

Включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований
Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь
от 2 февраля 2011 г. № 26



ISSN 2073-4794

Том 17
№4(66)
2024

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

Основан в 2008 году

Выходит 4 раза в год

Адрес редакции:

ул. Козлова, 29, г. Минск,
220037, Республика Беларусь
Тел./факс: (375-17) 252-55-70,
395-39-71, 361-11-41 (редактор)
e-mail: aspirant@belproduct.com

Редакция не несет ответственности
за возможные неточности по вине авторов.

Мнение редакции может не совпадать
с позицией автора

Отпечатано в типографии

УП «ИВЦ Минфина»

Подписано в печать 19.12.2024.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура NewtonС. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 12,80.

Тираж 100 экз. Заказ 657.

ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014 г.

Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

Учредитель

Республиканское унитарное предприятие
«Научно-практический центр Национальной
академии наук Беларуси по продовольствию»

Зарегистрирован в Министерстве информации
Республики Беларусь (свидетельство
о регистрации № 590 от 30 июля 2009 г.)

Журнал включен в базу данных
Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ)

Подписные индексы:

для индивидуальных подписчиков 01241

для ведомственных подписчиков 012412



FOOD INDUSTRY: SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Vol. 17, №4(66) 2024

Founder:

Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”

Editor-in-Chief:

Lovkis Zenon Valentinovich — Chief Researcher of the Administration of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", Honored Scientist of the Republic of Belarus, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor

Editorial council:

Meleschenya Aleksey Viktorovich — Deputy Editor-in-Chief, General Director of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Economical Sciences, Associate Professor

Akulich Alexandr Vasilyevich — Vice-Rector for Scientific Work of the educational institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Republic of Belarus

Gusakov Gordey Vladimirovich — Director of the Republican Unitary Enterprise "Institute of the Meat and Dairy Industry", PhD of Economical Sciences

Zhakova Kristina Ivanovna — Scientific Secretary of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences

Zaichenko Dmitry Aleksandrovich — Deputy General Director for Scientific and Innovation Work of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

Komarova Natalya Viktorovna — Deputy General Director for Research and Standardization of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

Laptenok Natalya Sergeevna — director of the research and production republican subsidiary unitary enterprise "Beltekhnohleb", PhD of Technical Sciences

Lisitsin Andrey Borisovich — Scientific Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution " V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems", Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor

Morgunova Elena Mikhailovna — Deputy General Director for Standardization and Quality of Food Products of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

Savenkova Tatyana Valentinovna — Director of the Research Institute of Quality, Safety and Technologies of Specialized Food Products of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian University of Economics. G.V. Plekhanov", Doctor of Technical Sciences, Professor

Sharshunov Vyacheslav Alekseevich — Professor of the Department of Machines and Apparatus for Food Production of the Educational Institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", Honored Scientist of the Republic of Belarus, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor

Shepshelev Alexandr Anatolyevich — Director of the State Scientific Institution "Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

Mironova Natalya Pavlovna — executive editor, Head of the Professional Development Center of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food"

The Journal is included in the List
of Journals for Publication of the Results of Dissertation Research

Supreme Certifying Commission of the Republic of Belarus
decree of 2 February 2011



ISSN 2073-4794

Vol. 17

№4(66)

2024

PEER-REVIEWED SCIENTIFIC
AND TECHNICAL JOURNAL

FOOD INDUSTRY: SCIENCE AND TECHNOLOGIES

The Journal was founded in 2008

Issued four times a year

Address of the Editorial Office:

29, Kozlova str., Minsk
220037, Republic of Belarus
Tel./Fax: +375-17-252-55-70,
+375-17-395-39-71, +375-17-361-11-41
(editor)
E-mail aspirant@belproduct.com

Printed at UE "IVC Minfina"
It is sent of the press 19.12.2024
Format 60x84/8. Offset paper.
NewtonC type. Offset printing.
Printed pages 11,16.
Publisher's signatures 12,80.
Circulation 100 copies. Order 657.
LP № 02330/89 of 3 March 2014
17, Kalvaryiskaya str., Minsk 220004

Subscription indexes
For individuals 01241
For legal entities 012412

Founder

Republican Unitary Enterprise "Scientific-Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus"

Registered in Ministry of Information of the Republic of Belarus
(Registration Certificate № 530 of July 2009)

The journal is included into
the database of Russian Science
Citation Index (RSCI)

СОДЕРЖАНИЕ

Мелещеня А. В., Ходорева О. Г., Марченко К. А. Расширение возможностей рационального использования тушек цыплят-бройлеров с дефектами обработки	6
Почицкая И. М., Чекун О. В. Анализ диет на растительной основе	16
Никулина О. К., Яковлева М. Р., Колоскова О. В. Разработка способа получения сахара с использованием метода электролиза в целях повышения эффективности работы сахарных предприятий.....	27
Жакова К. И., Бабодей В. Н., Пчельникова А. В. Окислительные процессы в жировых эмульсионных продуктах прямого типа. Анализ качественных показателей сырья, используемого при производстве эмульсионных продуктов прямого типа	35
Курамбоев Б. Ф., Балтаев У. С., Шамуратов С. Х., Абдуллаев М. Ж., Султанова Т. А., Ражабов М. Ф., Алимов У. К. Исследование реологических свойств доомыленного хлопкового соапстока, полученного ядровым способом	44
Лаптенко Н. С., Ивашкевич Т. В. Влияние степени повреждения крахмала на реологические свойства теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28.....	53
Сафронова Д. А., Баровская Н. А., Окунева Т. Ю. Соусы для питания детей дошкольного и школьного возраста.....	60
Крюк Т. В., Попова О. С., Тюрина Т. Г., Сиверский А. В., Романенко Н. А. Разработка состава пленочных материалов на основе полисахаридов для пищевой упаковки	67
Соловьев В. В., Шимановская Ю. А., Шустикова Ю. С. Оценка пивоваренных свойств солода из различных сортов ячменя в условиях микросоложения	76
Куприенко О. С., Зильберман А. И., Вашкевич И. И., Свиридов О. В. Аналитические характеристики новых иммуноферментных тест-систем на бета-лактамные антибиотики в пищевой продукции и продовольственном сырье.....	82
Шустикова Ю. С., Гайдым О. И., Данилович Н. В., Соловьев В. В., Шимановская Ю. А. Теоретические аспекты производства спиртных напитков на основе картофельного дистиллята	96

CONTENTS

Meliashchenia A. V., Khodoreva O. G., Marchenko K. A. Expanding opportunities for rational use of broiler chicken carcasses with processing defects	6
Pochitskaya I. M., Chekun O. V. Analysis of plant-based diets	16
Nikulina O. K., Yakovleva M. R., Koloskova O. V. Development of a method for producing sugar using electro dialysis to increase the efficiency of sugar enterprises.....	27
Zhakova Ch. I., Babodey V. N., Pchelnikova A. V. Oxidative processes in fat emulsion products of direct type. Analysis of qualitative indicators of raw materials used in the production of direct type emulsion products.....	35
Kuramboev B. F., Baltaev U. S., Shamuratov S. Kh., Abdullaev M. Zh., Sultanova T. A., Rajabov M. F., Alimov U. K. Study of rheological properties of pre-saponated cotton soapstock obtained by the nuclear method	44
Laptsenak N. S., Ivashkevich T. V. The effect of the degree of starch damage on the rheological properties of wheat flour dough premium grade M54-28.....	53
Safronova D. A., Barouskaya N. A., Okuneva T. J. Sauces for children of preschool and school age.....	60
Kryuk T. V., Popova O. S., Tyurina T. G., Siversky A. V., Romanenko N. A. Development of film materials composition based on polysaccharides for food packaging.....	67
Solovyov V. V., Shymanouskaya Yu. A., Shustikova Yu. S. Evaluation of brewing properties of malt from various barley varieties under micro-malting conditions	76
Kuprienko O. S., Zilberman A. I., Vashkevich I. I., Sviridov O. V. Analytical characteristics of new enzyme immunoassay systems for beta-lactam antibiotics in food products and raw materials	82
Shustikova Yu. S., Gaidym O. I., Danilovich N. V., Solovyov V. V., Shymanouskaya Yu. A. Theoretical aspects of the production of alcoholic beverages based on potato distillate	96

УДК 637.5.04/.07

Поступила в редакцию 12.09.2024
Received 12.09.2024**А. В. Мелещеня¹, О. Г. Ходорева², К. А. Марченко²**¹ РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь² РУП «Институт мясо-молочной промышленности», г. Минск, Республика Беларусь**РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЦИОНАЛЬНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТУШЕК ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ
С ДЕФЕКТАМИ ОБРАБОТКИ**

Аннотация. Проведен анализ дефектов тушек цыплят-бройлеров, не соответствующих по качеству обработки требованиям 2-го сорта (с дефектами обработки), полученных при убойе и первичной обработке цыплят-бройлеров на автоматизированной линии в промышленных условиях. Изучены показатели качества и безопасности (микробиологические) частей тушек, полученных в результате разделки тушек с дефектами обработки (после удаления поврежденных частей), проведен сравнительный анализ пищевой ценности частей, полученных при разделке тушек птицы с дефектами обработки и без них. Результаты исследований показали возможность использования тушек птицы, не соответствующих по качеству обработки требованиям 2-го сорта, не только для промышленной переработки, но и для разделки с целью получения частей тушек как одного из рациональных направлений использования. Соответствующее дополнение учтено при пересмотре государственного стандарта.

Ключевые слова: мясо птицы; разделка птицы; части тушек цыплят-бройлеров; дефекты обработки; рациональное использование.

A. V. Meliashchenia¹, O. G. Khodoreva², K. A. Marchenko²¹ RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food”, Minsk, Republic of Belarus² RUE “Institute for Meat and Dairy Industry”, Minsk, Republic of Belarus**EXPANDING OPPORTUNITIES FOR RATIONAL USE OF BROILER
CHICKEN CARCASSES WITH PROCESSING DEFECTS**

Abstract. Analysis of defects in broiler chicken carcasses that do not meet the requirements of the 2nd grade (with processing defects) obtained during slaughter and primary processing of broiler chickens on an automated line in industrial conditions was carried out. The quality and safety indicators (microbiological) of carcass parts obtained as a result of cutting carcasses with processing defects (after removing damaged parts) were studied, a comparative analysis of the nutritional value of parts obtained during cutting poultry carcasses with and without processing defects was carried out. The research results showed the possibility of using poultry carcasses that do not meet the requirements of the 2nd grade in terms of processing quality, not only for industrial processing, but also for cutting in order to obtain parts of carcasses as one of the rational areas of use. The corresponding addition was taken into account when revising the state standard.

Keywords: poultry meat; poultry butchering; parts of broiler chicken carcasses; processing defects; rational use.

Введение. Качество мяса птицы зависит от многих факторов, начиная от выращивания птицы и заканчивая хранением уже обработанных тушек [1]. Соответственно, дефекты тушек можно разделить на дефекты при выращивании птицы, дефекты при выращивании и переработке, дефекты при переработке птицы [2].

Значительное влияние на качество мяса птицы и, следовательно, эффективность работы предприятия, оказывают дефекты двух последних групп, получаемые при переработке птицы, в частности при отлове, транспортировке птицы и ее первичной переработке (включая пре-

дубойную выдержку и подготовку птицы к убою (навешивание на конвейер), оглушение, убой, обескровливание, тепловую обработку (шпарку), снятие оперения, потрошение, охлаждение) [1, 3-6].

К дефектам при переработке (или выращивании и переработке) относят: вывих в суставе, кровоподтеки, пеньки пера, переломы конечностей, царапины, ссадины, разрывы кожи, остатки пера, обширные срывы кожи, остатки внутренних органов, отсутствие конечности, перешпарка, разлив желчи, холодильный ожог и др. [2].

В настоящее время даже использование современных автоматизированных линий по убою и первичной переработке птицы, линий по разделке тушек птицы не позволяет полностью исключить возникновение дефектов на ряде технологических операций переработки птицы.

Большинство травматических повреждений (переломов, расчленения суставов, царапин, ссадин, разрывов кожи, кровоподтеков) возникает на стадиях отлова и транспортирования птицы, навешивании на конвейер убоа и в немалой степени зависит от квалификации выполняющих эти операции рабочих (человеческий фактор). Кроме того, ряд дефектов может возникнуть при неправильно подобранных и установленных режимах выполнения отдельных операций (оглушения, шпарки, обескровливания и т.д.), где необходимо учитывать вид, возраст, пол и т.д. перерабатываемой птицы, а также из-за несовершенства оборудования. Например, при неправильно подобранных режимах оглушения и в машинах снятия оперения могут возникнуть кровоизлияния, переломы. Из-за несовершенства конструкции шпарочных устройств и нарушения температурных режимов, из-за нанесения повреждений машинами для снятия оперения и потрошения могут возникнуть такие дефекты, как царапины, разрывы кожи, остатки пера, перешпарка. При этом, на возникновение этих дефектов также может оказывать влияние состояние резиновых пальцев машин для снятия оперения и их жесткость, неправильная регулировка машин [1, 2]. Сложность в регулировке машин при выполнении отдельных операций обусловлена также неоднородностью перерабатываемой птицы и существенных разбросах веса тушек.

Отсутствие дефектов (качество обработки) является одним из основополагающих показателей качества мяса птицы, наряду с упитанностью. Поэтому в зависимости от их наличия тушки птицы подразделяются на сорта — 1-й и 2-й [7, 8]. В соответствии с требованиями СТБ 1945-2010 [7] и ГОСТ 31962-2013 [8] тушки, соответствующие по упитанности требованиям 1-го и 2-го сортов, но не соответствующие по качеству обработки требованиям 2-го сорта (т.е. тушки с дефектами обработки) могут быть использованы только для промышленной переработки для изготовления продуктов питания. При этом, согласно ТР ТС 021/2021 [9] «переработка (обработка) — тепловая обработка (кроме замораживания и охлаждения), копчение, консервирование, созревание, сквашивание, посол, сушка, маринование, концентрирование, экстракция, экструзия или сочетание этих процессов».

В связи с вышеизложенным, с целью расширения области использования такого сырья (тушек с дефектами обработки) и повышения эффективности производства мяса птицы актуальным и целесообразным является рассмотрение возможности направления тушек птицы, соответствующих по упитанности, но не соответствующих по качеству обработки требованиям 2-го сорта (тушек с дефектами обработки), на разделку, т.е. производство частей тушек. При этом, поврежденные части по заключению технологической и (или) ветеринарной службы могут быть направлены на промышленную переработку на пищевые цели или на изготовление мяса механической обвалки или кормовой продукции.

Материалы и методы исследований. В качестве объектов исследований использовались потрошенные тушки цыплят-бройлеров, не соответствующие по качеству обработки требованиям 2-го сорта (с дефектами обработки), но соответствующие по упитанности требованиям 1-го сорта, полученные при убое и первичной обработке цыплят-бройлеров на автоматизированной линии в промышленных условиях на птицеперерабатывающем предприятии Республики Беларусь, а также части тушек, полученные при их разделке. Проведение лабораторных испытаний осуществляли с использованием следующих методов исследований:

- ♦ массовая доля белка по ГОСТ 25011-2017;
- ♦ массовая доля жира по ГОСТ 23042-2015;
- ♦ микробиологические показатели — КМАФАнМ по ГОСТ 7702.2.1-2017, Salmonella по ГОСТ 7702.2.3-93, Listeria monocytogenes по ГОСТ 32031-2012.

Результаты исследований и их обсуждение. С целью установления возможности направления тушек птицы с дефектами обработки на разделку были отобраны 11 тушек цыплят-бройлеров, соответствующих по упитанности требованиям 1-го сорта, но не соответствующих по качеству обработки требованиям 2-го сорта, полученные при переработке птицы на автоматизированной линии. Результаты визуального анализа отобранных тушек с дефектами обработки приведены в табл.1.

Таблица 1. Визуальный анализ тушек птицы с дефектами обработки
Table 1. Visual analysis of poultry carcasses with processing defects

Внешний вид тушки с дефектами обработки (фото)	Выявленные дефекты обработки	Части без повреждений
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ слущивание эпидермиса в виде пятен на грудке, ухудшающих товарный вид тушки ♦ царапина на кожном покрове грудки размером 1,5 см ♦ порез кожи и мышечной ткани в области плечевого сустава, переходящий на грудку и верхнюю часть спинки ♦ остатки волосовидного пера на правом окорочке 	<p>нижняя часть спинки, бедро, голень, крылья</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ отсутствует кисть правого крыла ♦ перелом лучевой кости локтевой части крыла с обнаженной костью ♦ ссадина на гузке ♦ разрыв кожи голени с порезом мышечных тканей ♦ порез кожи и мышечной ткани в области плечевого сустава 	<p>грудка, бедра, спинка, крыло, плечевая часть крыла</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ ссадина на нижней части спинки ♦ разрыв кожи грудки с порезом мышечных тканей ♦ отсутствует кисть правого крыла 	<p>верхняя часть спинки, окорочок, бедро, крыло, плечевая и локтевая часть крыла</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ перелом плечевой кости крыла с обнажением кости и повреждением мышечной ткани ♦ порез кожи и мышечной ткани в области плечевого сустава, переходящий на верхнюю часть спинки ♦ слущивание эпидермиса в виде пятен на бедрах, ухудшающих товарный вид тушки 	<p>грудка, голень, нижняя часть спинки</p>

Продолжение табл. 1

Внешний вид тушки с дефектами обработки (фото)	Выявленные дефекты обработки	Части без повреждений
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ обширное отсутствие (срыв) кожного покрова на грудке ♦ ссадина и кровоизлияние на правом крыле ♦ перелом (расчленение) тазобедренного сустава без обнажения кости 	<p>спинка, окорочок, бедро, крыло</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ разрыв кожного покрова на верхней части спинки длиной 10 мм ♦ порез кожи и мышечной ткани в области плечевого сустава 	<p>грудка, спинка, крылья, бедро, окорочок</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ отсутствует локтевая часть и кисть левого крыла ♦ слущивание эпидермиса в виде пятен на окорочке, ухудшающих товарный вид тушки 	<p>грудка, крыло, плечевая часть крыла, бедро, спинка</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ перелом плечевой кости крыла с обнажением кости и повреждением мышечной ткани ♦ ссадины на локтевой части крыла и кисти ♦ легкая ссадина на грудке 	<p>грудка, спинка, окорочок, бедро, крыло</p>

Окончание табл. 1

Внешний вид тушки с дефектами обработки (фото)	Выявленные дефекты обработки	Части без повреждений
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ обширное отсутствие (срыв) кожного покрова на грудке ♦ перелом (расчленение) плечевого сустава без обнажения кости с повреждением мышечной ткани 	<p>спинка, крыло, локтевая часть крыла, окорочок, бедро</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ ссадины на нижней части спинки и гузке 	<p>грудка, крылья, окорочок, бедро, верхняя часть спинки</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ♦ перелом берцовых костей голени с обнаженной костью (отсутствует заплюсневый состав) ♦ обширное отсутствие (срыв) кожного покрова на грудке ♦ ссадина на грудке ♦ перелом (расчленение) тазобедренного сустава без обнажения кости ♦ кровоизлияние на гузке ♦ кровоизлияния на кистях крыльев ♦ необширное отсутствие (срыв) кожного покрова на локтевой части крыла ♦ обширное отсутствие (срыв) кожного покрова на верхней части спинки в области шеи 	<p>нижняя часть спинки, плечевые части крыльев, локтевая часть крыла, окорочок, бедро</p>

Из результатов изучения тушек, не соответствующих по качеству обработки требованиям 2-го сорта (табл. 1), видно, что имеющиеся дефекты получены в результате механических повреждений отдельных участков тушки птицы и наиболее часто представляют собой механические повреждения конечностей (переломы голени, крыльев), реже — ссадины на различных частях тушки (на спинке, гузке, крыльях), а также срывы кожного покрова (на грудке), кровоизлияния (на крыльях, гузке), порезы, слущивание эпидермиса (на грудке, бедрах). При этом, доля частей тушек птицы, не имеющих повреждений составляет 36,6–92,3 % от массы потрошенной тушки в зависимости от областей локализации дефектов обработки.

Table 2. Результаты изучения частей тушек цыплят-бройлеров, полученных от тушек с дефектами обработки, по показателям качества
 Table 2. Results of the study of parts of broiler chicken carcasses obtained from carcasses with processing defects, according to quality indicators

Результат изучения качественных характеристик						
Наименование части тушки	Внешний вид	Цвет	Запах	Состояние костной системы	Состояние кожи	Состояние поверхности
Грудка	Чистые, без посторонних включений, без видимых кровяных сгустков, пятен от разлитой желчи, остатков внутренних органов, остатков пера, пуха, пеньков и волосовидных пеньков, без холодовые ожогов	Мышечной ткани — бледно-розовый. Кожи — бледно-желтый с розовым оттенком. Жиры — бледно-желтый	Свойственный свежесушеному мясу цыплят-бройлеров	Без переломов и деформаций	Чистая, без разрывов, царапин, пятен,ссадин и кровоподтеков. Имеются легкие ссадины, точечные кровоизлияния	Увлажненная
		Состоит из грудной кости с прилегающими к ней мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей. Края ровные, без глубоких надрезов мышечной ткани. Имеются реберные отростки грудины длиной до 1,5 см. Кожа шеи отсутствует. Имеются единичные пеньки, редко разбросанные по поверхности				
Окорочок	Состоит из бедренной, большой и малой берцовых костей с прилегающими к ним мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей	Мышечной ткани — розовый. Кожи — бледно-желтый с розовым оттенком. Жиры — бледно-желтый			Чистая, без разрывов, царапин, пятен,ссадин и кровоподтеков	
Бедро	Состоит из бедренной кости с прилегающими к ней мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей. Имеются единичные пеньки, редко разбросанные по поверхности					
Голень	Состоит из большой и малой берцовых костей с прилегающими к ним мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей					
Крыло	Чистые, без посторонних включений, без видимых кровяных сгустков, пятен от разлитой желчи, остатков внутренних органов, остатков пера, пуха, пеньков и волосовидных пеньков, без холодовых ожогов	Мышечной ткани — розовый. Кожи — бледно-желтый с розовым оттенком. Жиры — бледно-желтый	Свойственный свежесушеному мясу цыплят-бройлеров	Без переломов и деформаций	Чистая, без разрывов, царапин, пятен,ссадин и кровоподтеков	Увлажненная

Окончание табл. 2

		Результат изучения качественных характеристик				
Наименование части тушки	Внешний вид	Цвет	Запах	Состояние костной системы	Состояние кожи	Состояние поверхности
Плечевая часть крыла	Часть крыла, состоящая из плечевой кости с прилегающими к ней мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей					
Локтевая часть крыла	Часть крыла, состоящая из локтевой и лучевой костей с прилегающими к ней мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей					
Спинка	Состоит из позвоночного столба с прилегающими к нему костями и мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей, гузкой. Кожа шеи отсутствует. Имеются почки в углублении позвоночного столба					
Верхняя часть спинки	Часть спинки, состоящая из шейной и грудной частей позвоночного столба, с прилегающими к ним мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей. Кожа шеи отсутствует					
Нижняя часть спинки	Часть спинки, состоящая из тазовых и хвостовых частей позвоночного столба, с прилегающими к ним мышечной, соединительной, жировой тканями, кожей. Имеются почки в углублении позвоночного столба					

Наличие частей без повреждений дает предпосылки для их выделения с целью дальнейшего изучения качественных характеристик, показателей безопасности и определения возможности последующей реализации таких частей тушек в непереработанном виде как одного из наиболее рациональных направлений использования.

С этой целью, в рамках выполнения исследований, от тушек цыплят-бройлеров с дефектами обработки были удалены поврежденные части и далее все тушки разделаны вручную с получением частей следующего ассортимента: грудка, окорочок, голень, бедро, крыло, плечевая часть крыла, локтевая часть крыла, спинка, верхняя часть спинки, нижняя часть спинки.

Проведена оценка качественных характеристик полученных частей тушек цыплят-бройлеров на соответствие требованиям проекта государственного стандарта (СТБ 1945-2023). Результаты изучения качественных характеристик частей тушек, полученных от тушек с дефектами обработки, представлены в табл. 2.

Исходя их данных табл. 2, установлено соответствие качественных характеристик всех выделенных частей тушек цыплят-бройлеров требованиям проекта государственного стандарта.

Кроме того, проведена оценка пищевой ценности частей тушек цыплят-бройлеров, полученных от тушек, не соответствующих по качеству обработки требованиям 2-го сорта, а также их сравнительный анализ с данными по частям тушек цыплят-бройлеров, внесенным в проект государственного стандарта (СТБ 1945-2023) в качестве справочной информации о пищевой ценности (результаты представлены в табл. 3).

Table 3. Пищевая ценность частей тушек цыплят-бройлеров, полученных от тушек с дефектами обработки и без них

Table 3. Nutritional value of parts of broiler chicken carcasses obtained from carcasses with and without processing defects

Наименование показателя для частей тушек цыплят-бройлеров		Грудка	Окорочок	Голень	Бедро	Крыло	Плечевая часть крыла	Локтевая часть крыла	Спинка	Верхняя часть спинки	Нижняя часть спинки
Массовая доля белка, % (г/100г)	от тушек без дефектов обработки	22,5	19,2	19,4	19,7	22,0	21,9	22,4	19,6	21,2	20,2
	от тушек с дефектами обработки	22,5	19,3	19,4	19,0	21,5	22,7	22,0	19,2	20,0	19,1
Массовая доля жира, % (г/100г)	от тушек без дефектов обработки	5,7	14,6	9,2	15,6	13,3	9,6	9,2	13,9	13,1	13,5
	от тушек с дефектами обработки	4,1	13,3	8,5	15,4	13,5	8,4	10,0	14,6	12,3	13,8

Сравнительный анализ пищевой ценности (табл. 3) показал, что по содержанию белка части тушек цыплят-бройлеров, полученные от тушек с дефектами обработки, приближены к одноименным частям тушек цыплят-бройлеров, внесенным в проект государственного стандарта в качестве справочной информации о пищевой ценности. Отклонения по белку в меньшую сторону не превышают 5,7 %. В части содержания жира в частях тушек цыплят-бройлеров, полученных от тушек с дефектами обработки, отклонения в большую сторону не превышают 8,7 %. Можно сделать вывод, что имеющиеся отклонения по пищевой ценности не противоречат требованиям п.103, пп.д) ТР ЕАЭС 051/2021 [3]: «Допустимые пределы фактических значений содержания пищевых веществ при указании информации о пищевой ценности продуктов убоя и продукции из мяса птицы составляют:

- ♦ белок — не менее 80 процентов от значения, указанного в маркировке продукции;
- ♦ жир, углеводы, энергетическая ценность (калорийность) — не более 120 процентов от значения, указанного в маркировке продукции».

Проведены лабораторные испытания нормируемым действующим законодательством микробиологических показателей безопасности частей тушек цыплят-бройлеров, полученных от тушек с дефектами обработки (результаты представлены в табл. 4).

Исходя из данных табл. 4, установлено, что по нормируемым микробиологическим показателям безопасности части тушек, полученные от тушек с дефектами обработки, соответствовали требованиям [9-12].

Table 4. Результаты испытаний частей тушек цыплят-бройлеров, полученных от тушек с дефектами обработки, по микробиологическим показателям безопасности

Table 4. Results of testing parts of broiler chicken carcasses obtained from carcasses with processing defects for microbiological safety indicators

Наименование показателя	Нормируемое значение [9-12]	Грудка	Окорочок	Голень	Бедро	Крыло	Плечевая часть крыла	Локтевая часть крыла	Спинка	Верхняя часть спинки	Нижняя часть спинки
КМАФАнМ, КОЕ/г	не более $1,0 \times 10^5$	2,8×103	9,6×102	3,1×103	4,2×103	5,3×103	1,1×104	2,1×103	7,0×103	8,9×102	6,6×103
Патогенные, в том числе сальмонеллы (Salmonella)	не допускаются в 25 г	не обнаружены в 25 г									
Listeria monocytogenes	не допускаются в 25 г	не обнаружены в 25 г									

Заключение. Полученные результаты исследований подтвердили возможность направления тушек птицы, не соответствующих по качеству обработки требованиям 2-го сорта (с дефектами обработки), не только на промышленную переработку, но и на разделку (с удалением поврежденных частей) с целью получения частей тушек как одного из рациональных направлений использования. Соответствующее дополнение учтено при пересмотре государственного стандарта.

Список использованных источников

1. Рогозинникова, И.В. Технологические операции переработки, влияющие на сортность тушки птицы // Аграрное образование и наука. — 2019. — №3. — С.18–24.
2. Гушин, В.В. Дефекты тушек птицы и их влияние на качество продукции / В.В. Гушин, И.И. Маковеев, В.С. Брагин, А.Л. Маковеева // Птицеводство. — 2016. — №7. — С.37–40.
3. Скотт, М. Расселл. Дефекты тушек птицы // Птица и птицепродукты. — 2012. — №4. — С.46–48.
4. Скотт, М. Расселл. Дефекты тушек бройлеров // Птица и птицепродукты. — 2013. — №1. — С.35–36.
5. Васильева, О.Н. Эффективность переработки нестандартного мяса птицы на птицефабриках бройлерного и яичного направлений // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2012. - №1. — С.117–119.
6. Сэмс, Р. А. Переработка мяса птицы : под ред. Алана Р. Сэмса; пер. с англ., под науч. ред. В.В. Гушина. — СПб : Профессия, 2007. — 432 с. — Пер. изд. : Poultry meat processing. — 2001.
7. СТБ 1945-2010 Мясо птицы. Общие технические условия. — Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. — 24 с.
8. ГОСТ 31962-2013 Мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров и их части). Технические условия. — Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2016. — 10 с.
9. О безопасности пищевой продукции : ТР ТС 021/2011 : принят 09.12.2011 : вступ. в силу 01.07.2013 (переиздание июнь 2020 г.) / Евраз. Экон. Комис. — Минск, 2020. — 148 с.
10. О безопасности мяса птицы и продукции его переработки : ТР ЕАЭС 051/2021 : принят 29.10.2021 : вступ. в силу 01.01.2023 / Евраз. Экон. Комис. — Минск, 2021. — 121 с.
11. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности продовольственного сырья и пищевых продуктов», утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.01.2021 № 37.
12. Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов», утвержденный постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 21.06.2013 № 52.

Информация об авторах

Мелецня Алексей Викторович, кандидат экономических наук, доцент, генеральный директор РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: aleksmel@tut.by

Ходорева Ольга Геннадьевна, заведующий сектором стандартизации и нормирования мясной отрасли РУП «Институт мясо-молочной промышленности» (Партизанский пр-т, 172, 220075, г. Минск Республика Беларусь)

E-mail: olga_khodoreva@mail.ru

Марченко Кристина Александровна, научный сотрудник сектора стандартизации и нормирования мясной отрасли РУП «Институт мясо-молочной промышленности» (Партизанский пр-т, 172, 220075, г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: k.a.marchenko@mail.ru

Information about authors

Meliashchenia Aliaksei Victorovich, PhD (Economic), Associate Professor, General Director of the RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: aleksmel@tut.by

Khodoreva Olga Gennadievna, head of the sector for standardization and rationing of the meat industry RUE “Institute of Meat and Dairy Industry” (172, Partizansky Ave, 220075, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: olga_khodoreva@mail.ru

Marchenko Kristina Alexandrovna, researcher of sector of standardization and rationing of meat industry RUE “Institute of Meat and Dairy Industry” (172, Partizansky Ave, 220075, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: k.a.marchenko@mail.ru

УДК 613.26.03

Поступила в редакцию 14.10.2024
Received 14.10.2024**И. М. Почицкая, О. В. Чекун***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***АНАЛИЗ ДИЕТ НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ**

Аннотация. В последнее время наблюдается рост числа людей, которые придерживаются растительных диет по различным причинам: медицинским, этическим, религиозным и др. В статье рассмотрены основные виды диет, в которых акцент уделяется пищевым продуктам на основе растительного сырья, с полным отказом или незначительным потреблением продуктов животного происхождения. Проанализированы особенности влияния длительного отказа от продуктов животного происхождения на здоровье человека. Отмечена необходимость учета рисков, которые могут привести к дефициту питательных веществ, при переходе на растительный рацион и важность пополнения рациона питания новыми видами сбалансированных продуктов. Рассмотрены основные виды растительного сырья, которые могут служить альтернативой для замены продуктов животного происхождения.

Ключевые слова: растительные диеты, здоровое питание, вегетарианство, религиозный пост, постные продукты.

I. M. Pochitskaya, O. V. Chekun*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***ANALYSIS OF PLANT-BASED DIETS**

Abstract. Recently, there has been an increase in the number of people who adhere to plant-based diets for various reasons: medical, ethical, religious, etc. The article examines the main types of diets that focus on food products based on plant materials, with a complete refusal or insignificant consumption of animal products. The features of the impact of long-term refusal of animal products on human health are analyzed. The need to take into account risk factors that can lead to nutrient deficiencies when switching to a plant-based diet and the importance of replenishing the diet with new types of balanced products are noted. The main types of plant materials that can serve as an alternative to replace animal products are considered.

Keywords: plant-based diets, healthy eating, vegetarianism, religious fasting, Lenten foods.

Введение. Здоровье человека и продолжительность жизни зависит от характера питания. Важную роль в формировании алиментарно-зависимых заболеваний и алиментарно-обусловленных состояний играет питание, полноценность которого определяется как недостатком потребления отдельных веществ, так и рационом питания в целом. Нерациональное питание обуславливает возникновение у людей неинфекционных заболеваний, к числу которых относятся такие распространенные заболевания как диабет, ожирение, онкологические, сердечнососудистые заболевания и другие [1-2].

Неинфекционные заболевания, как правило, имеют продолжительное течение и являются результатом воздействия комбинации генетических, физиологических, экологических и поведенческих факторов, такие заболевания распространены во всех возрастных группах, всех регионах и всех странах. К факторам риска относят, в том числе и нездоровое питание. Последствия могут проявляться у отдельных людей в виде повышенного артериального давления, повышенного содержания глюкозы и липидов в крови, а также избыточной массы тела и ожирения [3].

В Республике Беларусь неинфекционные заболевания являются основной причиной смертности и составляют около 80% от общего числа заболеваний [4].

Поскольку в природе не существует сырья и пищевых продуктов, растительного или животного происхождения, содержащих оптимальное количество веществ, обладающих пищевой и биологически активной ценностью, рацион питания должен отличаться разнообразием, быть максимально насыщен белками, жирами, витаминами, макро- и микроэлементами и др. [5, 6].

Среди целого ряда многочисленных диет, большое значение имеют диеты на растительной основе, которые подразумевают частичный или полный отказ от продуктов животного происхождения. Основными причинами перехода на питание продуктами растительного происхождения являются религиозные, этические, проблемы со здоровьем и защита окружающей среды [7].

Виды диет на растительной основе. Существует большое разнообразие растительных диет и моделей питания, в которых основу составляют растительные источники питания в сочетании с низким потреблением или отсутствием потребления продуктов животного происхождения. К растительным моделям питания также относят этнотерриториальные стили питания, основанные на традиционных продуктах для данной местности.

Наиболее известной считается средиземноморская диета. Это стиль питания, основанный на традициях стран средиземноморья. Такая диета считается одной из самых здоровых. Основными источниками жиров является оливковое масло, содержащее полезные ненасыщенные жиры и антиоксиданты. Также допускается умеренное потребление рыбы и морепродуктов, богатых белком и омега-3 жирными кислотами. Красное мясо употребляется редко, предпочтение отдается птице и молочным продуктам. Вместо соли используют различные специи и травы. Исследования показывают, что такая диета может снижать риск сердечно-сосудистых заболеваний, диабета и некоторых видов рака [8].

Также известна японская диета — основанная на традиционных японских кулинарных практиках и особенностях местной культуры [9]. Такая диета характеризуется разнообразием продуктов: рис, рыба, морепродукты, овощи, соевые продукты (тофу, мисо) и фрукты. Тофу и мисо являются основными источниками белка, красное мясо употребляется редко. Рис является основным источником углеводов и занимает центральное место в большинстве приемов пищи. Также большое место в рационе уделяется рыбе и рыбным продуктам, богатым омега-3 жирными кислотами и белком. Важное место в рационе отводится овощам, часто используются ферментированные продукты (кимчи или натто). Порции обычно небольшие, что предотвращает переедание. Вместо сладких напитков употребляется зеленый чай, богатый антиоксидантами. Японская диета связана с низким уровнем сердечно-сосудистых заболеваний, рака и других хронических заболеваний, а также с высокой продолжительностью жизни [10].

В последние годы популярность получила палеодиета, основанная на принципах питания наших предков, живших в палеолите. Эта диета предполагает употребление продуктов, которые были доступны людям в эпоху охотников-собирателей, и исключает современные обработанные продукты. Основная идея такой диеты заключается в том, что человеческий организм лучше всего адаптирован к тем продуктам, которые ели наши предки. Палеодиета включает в себя мясо, рыбу, яйца, фрукты, орехи и семена. Эти продукты считаются более натуральными и менее обработанными. Исключаются зерновые, бобовые, молочные продукты, сахар и любые искусственные добавки. Несмотря на множество сторонников, палеодиета также подвергается и критике, так как исключение целых групп продуктов (злаки, бобовые), может привести к недостатку определенных питательных веществ [11].

Одним из видов растительной диеты является **вегетарианство** — система питания, исключающая или резко ограничивающая употребление продуктов животного происхождения. Среди вегетарианцев выделяют частичных вегетарианцев (периодически употребляют мясо птицы, рыбу и морепродукты), лакто-ово-вегетарианцев (включают в свой рацион молочные продукты и яйца), лакто-вегетарианцев (не исключают молочные продукты) и веганов (полностью отказываются от продуктов животного происхождения) [12, 13].

Рассмотрим основные виды вегетарианства, их преимущества и возможные недостатки.

1. Лакто-ово вегетарианская диета.

При соблюдении этой диеты не употребляют мясо или рыбу, но включают в свой рацион яйца (ово) и молочные продукты (лакто). Соблюдение лакто-ово-вегетарианской диеты подразумевает включение в рацион яиц, молока, сыра, масла, йогурта, сметаны, мороженого и других молочных продуктов, при этом исключается любое мясо животного происхождения, а также продукты из него. Лакто-ово-вегетарианская диета характерна для людей, исповедующих индуизм и буддизм. Последователи такой системы питания могут получать все необходимые питательные вещества при правильно сбалансированном рационе [14].

2. Лакто-вегетарианская диета.

Эта разновидность диеты включает молоко и продукты, приготовленные из него: сыр, масло, сметану, йогурт и мороженое. Диета исключает все виды мяса, а также яйца. Такой вид диеты широко распространен среди людей, которые следуют индуизму и буддизму [14].

3. Ово-вегетарианская диета.

Такая диета в дополнение к отказу от употребления мяса и рыбы, исключает молоко и молочные продукты и продукты, приготовленные с их использованием. Однако разрешается употребление яиц [14].

4. Пескетарианство.

Пескетарианство — от итальянского слова “pesce”, что означает рыба, следовательно, данная диета на растительной основе разрешает употребление различной рыбы. Эта диета считается более гибкой, потому что позволяет получать достаточное количество незаменимых аминокислот и омега-3 жирных кислот из рыбы, что полезно для профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы.

5. Веганство.

Наиболее строгий вид растительной диеты, при которой исключается употребление всех продуктов животного происхождения, включая все виды мяса и рыбы, молочные продукты и яйца. Некоторые люди, придерживающиеся веганской диеты, также предпочитают исключить мед, потому что он производится пчелами. Главная причина, по которой люди выбирают веганскую диету — этические соображения, отказ от эксплуатации животных и защита их прав. Она основана исключительно на употреблении растительной пищи и включает фрукты, овощи, зерновые, орехи, семена и бобовые, включая фасоль, горох и чечевицу. Веганская диета может включать растительные альтернативы традиционным продуктам животного происхождения, таким как растительное молоко и молочные продукты, заменители яиц на растительной основе и заменители мяса на растительной основе, такие как тофу, темпе, сейтан [15].

Веганские диеты, как правило, содержат недостаточное количество отдельных питательных веществ и нутриентов. Для восполнения их недостатка веганам рекомендуется принимать определенные витаминные и минеральные добавки, включая витамин B₁₂, железо, жиры омега-3, цинк и многое другое.

6. Флекситарианство (или полу-вегетарианство).

Зачастую питаться полноценно, вкусно и сбалансированно только растительными продуктами очень сложно. Не все люди могут быть вегетарианцами, кому-то по состоянию здоровья необходимо время от времени употреблять животные продукты, а кто-то просто не может не включать продукты животного происхождения в свой рацион.

Поэтому идеи вегетарианства неизбежно начали трансформироваться — так и появилось флекситарианство, сбалансированная система питания, при которой растительная диета дополняется незначительным количеством мяса, рыбы, морепродуктов, молочных продуктов и яиц. Диета разработана таким образом, чтобы быть более гибкой, чем строгая веганская или вегетарианская диета. В ней подчеркивается польза продуктов растительного происхождения, в то же время допускается небольшое количество продуктов животного происхождения (немного мяса, яйца и молочные продукты в умеренных количествах) [16].

Флекситарианство позволяет людям постепенно переходить на более здоровое питание без резких ограничений.

Распределение вегетарианцев в мире варьирует в зависимости от культурных, религиозных и социальных факторов. В Индии около 30% населения — вегетарианцы, что связано с индуистскими традициями. Примерно 13% населения Израиля практикуют вегетарианство, в основном из-за культурных и этических соображений. В Италии — около 10%, США — 5-8%, Великобритании около 7%. Вегетарианство также распространено среди буддистов [17].

Особое значение имеет практика полного или частичного отказа от употребления пищи животного происхождения во время христианского поста — религиозно обусловленной традиции, сопряженной с различными духовно-аскетическими практиками [18]. Этот подход к питанию имеет глубокие корни в различных религиозных и культурных традициях, но в последние годы он стал популярным и среди людей, стремящихся улучшить свое здоровье и снизить экологический след.

Религиозные традиции растительного питания. Христианство — одна из мировых религий, возникшая в начале первого века в Палестине, которая достаточно быстро распространилась по всему миру. Со временем христианство разделилось на два направления — православие и католицизм, а в XVI веке в христианстве формируется еще одно направление — протестантизм.

стантизм, который исповедуют жители Латинской Америки, США, Франции, Северной Европы и некоторых других стран.

В Республике Беларусь самой распространенной религией является христианство. Христиане Беларуси исповедуют: православие (80-82%), католицизм (10-12%), протестантизм (до 10%), также присутствует небольшое количество униатов и староверов [19].

Белорусская православная церковь объединяет 1709 общин, 15 епархий, 6 духовных учебных заведений, 35 монастырей, 15 братств, 10 сестричеств, одну миссию [20].

Христианство, как и любая другая религия, содержит свод правил, касающихся питания верующих. В христианстве отсутствуют жесткие и абсолютные запреты на употребление того или иного продукта, как, например, в иудаизме и исламе, но рекомендует соблюдение постов (добровольное самоотречение от пищи), подразделяя ее на скоромную и постную. К скоромной пище относятся мясные, молочные продукты, а также яйца, к постной — рыба и морепродукты, овощи и фрукты.

Христианский пост обуславливается несколькими видами и зависит от степени строгости: совершенное воздержание от пищи, сыроедение (пища, не приготовленная на огне), сухоядение (не употребляется растительное масло), строгий пост (не употребляется рыба), простой пост (употребляется рыба, растительное масло и все виды растительной пищи).

В большинстве протестантских конфессий календарных постов не существует, и вопросы о посте решаются индивидуально.

Католический пост — разбит на два вида: воздержание от употребления мясных продуктов и ограничение приемов пищи в течение дня, когда допускается одна сытная трапеза и две более легких. В современном католическом обществе пост сведен до минимума, поскольку яйца и молочные продукты считаются постной пищей. Кроме того, существуют возрастные ограничения для соблюдения постов для постов первого рода (воздержание от употребления мясных продуктов) — от 14 лет до конца жизни, а для поста второго рода — от 21 года до 59 лет [21].

В православном церковном календаре около 200 дней отведено на соблюдение постов: четыре многодневных поста, три однодневных, а также пост в среду и пятницу в течение всего года [22, 23]. В дни поста церковным уставом запрещается потребление скоромной пищи, в определенные дни разрешается потреблять рыбу и растительное масло. В дни строго поста не допускается не только рыба, но и пища, приготовленная на растительном масле, разрешено только сухоядение.

Однако, нет жестких правил соблюдения поста для людей, страдающих различными заболеваниями, для детей, пожилых людей и людей, занятых на тяжелых работах. Для больных и слабых людей (стариков и детей) эти требования могут быть ослаблены. Пост облегчается: для беременных, рожениц и кормящих грудью матерей; для находящихся в пути и попавших в экстремальные условия; для детей и престарелых, если старости сопутствуют немощь и слабость.

Основные посты в православии:

1. Великий пост: Самый продолжительный и строгий. Начинается за 7 недель до Пасхи и длится 40 дней. В этот период запрещены мясные продукты, молочные изделия, яйца, рыба (в определенные дни) и алкоголь.

2. Рождественский пост: Длится с 28 ноября по 6 января. Также исключает мясные и молочные продукты, но допускает рыбу в определенные дни.

3. Успенский пост: С 14 по 27 августа. В основном аналогичен Рождественскому посту.

4. Посты перед праздниками: Например, перед праздником Петра и Павла (с 28 июня по 11 июля) и перед праздником Вознесения (за 40 дней до праздника) [23].

Главное правило — из рациона исключаются все «скоромные» продукты, то есть продукты животного происхождения (мясо, рыба, молоко и молочные продукты), в отдельные дни предписывается воздерживаться от употребления пищи, прошедшей термическую обработку, растительного масла, вина [24].

По пищевым ограничениям постные дни делятся на несколько «степеней строгости»:

- ♦ «Сухоядение» — употребление холодной, не проходившей термическую обработку пищи без добавления растительного масла. Разрешены хлеб, свежие, сушеные и квашеные овощи и фрукты, орехи.

- ♦ «Варение без елея», или горячая пища, приготовленная без добавления масла — разрешена термическая обработка в процессе приготовления блюд (варение, тушение, запекание, приготовление на пару).

- ♦ «Разрешение на вино и елей» — разрешение на добавление в пищу растительного масла, также допускается и даже рекомендуется употребление умеренного количества виноградного вина.

♦ «Разрешение на рыбу» — допустимо употребление рыбных блюд. Во время поста таких дней два. В праздник Благовещения (если он не приходится на дни последней недели Великого поста — Страстной седмицы) и в Вербное воскресенье. Допускается употребление рыбной икры, но не рыбы в Лазареву субботу.

Согласно каноническим правилам поста, в будние дни пища принимается один раз в день — в вечернее время. В субботу и воскресенье пища принимается дважды — в обеденное время и вечером. Соблюдать эти правила можно только после консультации с врачом и священником [24].

В средствах массовой информации довольно широко обсуждается проблема пользы или вреда поста для здоровья. Некоторые врачи считают, что соблюдение постов имеет сходство с соблюдением диеты и сравнивают строжайший православный пост с принятым в медицине полным голоданием, пост с сухоядением — с сыроедением, пост без рыбы — со строгим вегетарианством.

Факторы риска при соблюдении растительной диеты. Растительная диета имеет множество преимуществ для здоровья. Однако такой тип питания людей может приводить к дефицитным состояниям, вследствие отсутствия отдельных незаменимых нутриентов в продуктах растительного происхождения, а также из-за их низкой биодоступности. Дефицит или избыток питательных веществ не проходит бесследно для организма. Он или обуславливает непосредственное возникновение заболевания (как, например, анемии, эндемический зоб, ожирение и др.), или снижает сопротивляемость организма к неблагоприятным факторам внешней среды (простудные заболевания, инфекционные болезни), или создает условия, способствующие развитию той или иной патологии [25].

Исключение из ежедневного рациона питания животной пищи ограничивает поступление в организм человека таких важных для него веществ как полноценные белки, жирорастворимые витамины (А, Д, Е, К) и минеральные вещества (фосфора, кальция, железа и др.) [26].

Дефицит указанных веществ может быть компенсирован продуктами растительного происхождения, в которых содержание биологически активных веществ повышено. Так, недостаток полноценных белков, содержащихся в молоке, яйце, мясе и рыбе, может быть компенсирован при частом потреблении каши или других кулинарных изделий из гречневой, овсяной крупы, а также супов и пюре из бобовых круп.

При строгом растительном питании существует риск недостатка некоторых жизненно важных элементов, таких как витамин В₁₂, железо, омега-3 жирных кислот.

Витамин В₁₂ принимает участие в многочисленных физиологических процессах, необходимых для нормального роста, развития и обмена веществ человека, а его дефицит может приводить к тяжелой, в том числе угрожающей жизни, патологии различных органов и систем.

Известно, что дефицит витамина В₁₂ является одной из основных причин проблем со здоровьем у вегетарианцев, так как он в основном содержится в продуктах животного происхождения. А в растительной пище содержание данного витамина незначительно [12].

Потребление железа выше среди веганов по сравнению с людьми, придерживающимися других моделей питания, так как основой питания являются зеленые листовые овощи, зерновые, орехи и бобы, богатые железом. Однако это не всегда приводит к повышению уровня ферритина, из-за низкой биодоступности железа в продуктах растительного происхождения. Тем не менее, несмотря на низкую концентрацию ферритина, которую можно наблюдать у веганов, общая заболеваемость железодефицитной анемией не выше, чем у лиц, соблюдающих другие диеты [13].

Омега-3 кислоты состоят из нескольких важных аминокислот: альфа-линоленовая (ALA), стеарионовая (SDA), эйкозапентаеновая (EPA), докозагексаеновая (DHA) кислота.

Вегетарианцы могут удовлетворить потребности в альфа-линоленовой кислоте (ALA) с помощью таких пищевых продуктов, как льняное семя, семена чиа, грецкие орехи, рапсовое и соевое масло. Уровень EPA и DHA в крови вегетарианцев ниже, чем у людей, употребляющих мясо, поэтому недостаток можно восполнить с помощью веганских добавок из морских водорослей. Как известно, достаточное потребление Омега-3 коррелирует со снижением риска сердечно-сосудистых заболеваний. Вопрос о целесообразности обязательного добавления добавок с EPA и DHA в рацион остается открытым, так как риск сердечно-сосудистых заболеваний у вегетарианцев примерно на четверть ниже, чем у мясоедов, поэтому неясно, будут ли добавки EPA или DHA еще больше снижать этот риск [27].

Несмотря на множество преимуществ растительной диеты, таких как снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний и улучшение обмена веществ, существует риск неосознанного увеличения потребления углеводов.

Некоторые люди, переходя на растительное питание, могут начать злоупотреблять переработанными углеводами (например, белым хлебом, сладостями и фастфудом на растительной основе). Это может привести к увеличению массы тела, развитию инсулинорезистентности, а также к повышению риска диабета 2 типа.

Одной из причин является наличие большого количества высокоуглеводных продуктов в вегетарианском рационе. Многие вегетарианцы полагаются на хлеб, пасту, рис и другие зерновые продукты, чтобы удовлетворить свои энергетические потребности. Кроме того, вегетарианские альтернативы мясу, такие как соевые продукты и мясные заменители, часто содержат значительное количество углеводов и добавленных сахаров. Это может привести к тому, что общий рацион будет богат углеводами, но беден необходимыми белками и жирами [28].

Основная проблема любого вегетарианского рациона — обеспечение организма белком. Белки содержатся в молочных, растительных продуктах. Легче всего поддерживать необходимые нормы потребления белка лактоово вегетарианцам, использующим не только растительные белки, но и белки молока и яиц. Труднее всего приходится сыроедам, не использующим белки животного происхождения. Большая часть вегетарианцев поддерживает необходимое поступление белка в организм за счет бобовых (горох, фасоль, соя, чечевица), которые содержат белки в количестве от 25 до 45 г на 100 г продукта. Высоким содержанием белка отличаются и орехи, в различных сортах которых содержится от 16 до 25 г белка на 100 г ядер орехов [29].

Питательная ценность белков зависит и от их аминокислотного состава, особенно от наличия или отсутствия незаменимых аминокислот. Большинство критиков вегетарианского питания акцентируют внимание на недостатке или отсутствии в рационе вегетарианцев этих аминокислот.

Триптофан — это незаменимая аминокислота, необходимая для синтеза серотонина, который влияет на настроение, сон и общее самочувствие. Данная аминокислота участвует в образовании белков сыворотки крови и гемоглобина. Триптофан в значительных количествах содержится в бобовых, особенно в сое, в тыквенных и кунжутных семечках, в орехах (миндаль и кешью).

Лизин — так же незаменимая аминокислота, которая необходима для нормального кровообращения, образования достаточного количества эритроцитов и гемоглобина, которая оказывает влияние на усвоение кальция костной тканью. В сутки человеку необходимо 1–2 грамма лизина. Лизин можно получить из тех же бобовых: соя содержит 2,7 г лизина на 100 г веса, чечевица 1,8 г, фасоль 1,6 г [30, 31].

Некоторые растительные диеты могут быть несбалансированными или недостаточно разнообразными. Это может привести к недостатку питательных веществ, так как некоторые продукты могут блокировать усвоение важных минералов. Например, фитаты в цельнозерновых продуктах могут снижать усвоение железа и цинка. Также некоторые комбинации продуктов могут затруднять пищеварение: употребление высокопротеиновых продуктов с углеводами может привести к замедлению пищеварения и чувству тяжести. Кроме того, неправильные сочетания могут вызывать резкие колебания уровня сахара в крови, что приводит к усталости, раздражительности и голоду. Для того, чтобы этого избежать, необходимо разнообразить рацион, что позволит максимально эффективно использовать преимущества растительной диеты и избежать неприятных последствий [32].

Особенности постного рациона. Рацион питания человека во время строгого поста в основном представлен следующими группами пищевых продуктов растительного происхождения: зерномучными и кондитерскими, плодоовощными и вкусовыми товарами, растительными маслами [28, 33]. Продукты, каждой из указанных групп вносят определенный вклад в пищевую ценность суточного рациона человека.

Белок в растительном рационе. Поиск доступных источников белка является актуальной проблемой в области питания населения в мире. Известно, что дефицит белка в питании является одним из главных факторов снижения средней продолжительности жизни [34].

Животные и растительные белки заметно отличаются по биологической ценности. Животные белки обычно содержат все незаменимые аминокислоты в достаточных количествах, при этом усваиваемость составляет 90–95%. Это делает их полноценными белками. Растительные белки часто не содержат всех незаменимых кислот или имеют их в меньших количествах, которые также усваиваются хуже (около 60%). Например, бобовые имеют низкое содержание метионина, а злаки — лизина. Однако некоторые комбинации (например, рис и бобы) могут обеспечить полноценный аминокислотный профиль. Важно помнить, что при избыточном потреблении животных белков в организм поступает повышенное количество

насыщенных жирных кислот и холестерина. Поэтому целесообразно включать в рацион достаточное количество растительного белка, но из разных его источников [35].

Рассмотрим основные виды растительного сырья с высоким содержанием белка, которые могут быть заменой продуктам животного происхождения.

Среди растительного сырья бобовые культуры выделяются содержанием белка и незаменимых аминокислот. К ним относят чечевицу, фасоль, горох, нут и сою. Бобовые богаты белком и микроэлементами, в пост они легко могут заменить мясо и стать основой рациона наряду с крупами. Они содержат большое количество минеральных солей, в основном калия, кальция, фосфора, магния, серы и железа. Бобы являются источником молибдена, который является обязательным компонентом фермента, ответственного за нейтрализацию вредных консервантов, обычно добавляемых к готовым продуктам, а также стабилизируют уровень сахара в крови. В связи с высоким содержанием клетчатки и пектинов, способствующих выведению из кишечника солей тяжелых металлов, в том числе радиоактивных изотопов, что актуально для людей, живущих на загрязненных радионуклидами территориях [36].

Функциональные свойства бобовых культур подтверждают многочисленные медицинские исследования. Чечевицу и горох рекомендуют включать в рацион людей с сердечнососудистыми заболеваниями и при остеопорозе. Нут — для улучшения функции ЖКТ, горох — для повышения иммунной защиты организма [37].

Однако в бобовых содержится фитиновая кислота, которая не переваривается и не усваивается нашим организмом. Более того, она блокирует всасывание в кишечнике магния, кальция, железа и цинка, а также мешает всасыванию жиров и белков, блокируя пищеварительные ферменты в желудке.

Орехи также играют важную роль в растительной диете благодаря высокому содержанию полезных веществ. Они содержат в себе широкий спектр микроэлементов и витаминов, а также полезных жиров и растительный белок. Они имеют очень низкий гликемический индекс, в них также присутствует растительная клетчатка, благотворно влияющая на активное размножение полезных бактерий в кишечнике. Орехи богаты витаминами E и B₂, которые в свою очередь являются универсальным протектором клеточных мембран, оберегая их от окислительного воздействия свободных радикалов. Витамины и микроэлементы с жирными кислотами содержащиеся в орехах благотворно воздействуют на упругость кровеносных сосудов, укрепляют их (эндотелий) стенки. В 100 г орехов содержится белка: миндаля — 21 г, грецкого ореха — 16 г, кешью — 18 г и арахиса — 25 г [38].

Семена, как и орехи, обладают полезными свойствами, сочетая витамины и минералы для полноценной жизнедеятельности, они содержат достаточное количество белка. При употреблении семян отмечается не только повышение тонуса сердечной мышцы, но и улучшение функциональности головного мозга. Так же уникальным свойством семян, является их способность понижать инсулиновую реакцию организма на поступление быстрых углеводов. Вязкая и волокнистая текстура семян, создает в желудке особую среду, замедляющую процесс поступления глюкозы и жира в организм, тем самым не только уменьшая поступление общих калорий, но и снижая общие маркеры воспаления [39–41].

В постном питании особое место отводится грибам. В большинстве случаев это связано с деликатным, изысканным вкусом блюд из грибов. Химический состав грибов представлен белками, жирами и углеводами (клетчатка), физиологически-активными веществами. Достаточное содержание белка (около 4 грамм на 100 грамм продукта) делает грибы незаменимой частью постного меню. Также в них присутствуют углеводы и немного жиров, что увеличивает пищевую ценность блюда, в котором есть грибы. В грибах содержатся некоторые витамины (группы B, A, D, C, PP). Так, рибофлавин и витаминов группы B в грибах на порядок больше, чем в некоторых овощах. Однако, необходимо иметь в виду, что питательные вещества грибов усваиваются довольно сложно [42].

Во время поста важную роль в обеспечении здорового питания играют растительные масла, которые в старину не случайно называли постными. Полезны все виды растительных масел, но степень их полезности неодинакова, что обусловлено содержанием незаменимых жирных кислот.

Растительные масла на 94–96 % состоят из смесей триглицеридов высших жирных кислот. В зависимости от состава триглицеридов растительные масла могут быть жидкими (подсолнечное, хлопковое, соевое, рапсовое, кукурузное, льняное и др.) и твердыми (кокосовое, пальмовое, пальмоядровое и др.).

Одним из факторов, характеризующих биологическую ценность растительных масел, является присутствие в их составе фосфатидов (сложных эфиров глицерина, жирных кислот и фосфорной кислоты с азотистым основанием). Фосфатиды выполняют важную физиоло-

гическую роль: способствуют межклеточному обмену, участвуют в построении нервной и мозговой тканей, входят в состав крови и внутренних органов человека, препятствуют отложению холестерина в стенках кровеносных сосудов.

В растительных маслах содержание фосфатидов колеблется в широких пределах (от 0,02 до 4,5 % и более), в зависимости от способа выработки масла и степени его рафинации, особенно богато фосфатидами нерафинированное масло.

Из жирорастворимых витаминов в растительных маслах в достаточных количествах содержится лишь витамин Е.

В растительных маслах содержатся пигменты - каротиноиды (каротин и ксантофилл) и хлорофилл, являющиеся ценными биологическими веществами. Поскольку растительные масла содержат в своем составе 99,8-99,9 % жира, калорийность 100 г масла высока - 998 ккал. Замена животных жиров на растительные масла оказывает благотворное воздействие как на жировой и холестериновый обмен, так и на общее самочувствие постящегося человека [43].

Рыба обладает высокими пищевыми качествами, содержит большое количество полноценного белка, витамины А, Е, К, группы В, макроэлементы - фосфор, кальций, магний, железо, калий, натрий, хлор, серу, микроэлементы - йод, медь, мышьяк, кобальт, марганец, цинк, свинец, фтор. Мясо рыб характеризуется высокой пищевой ценностью, невысокой калорийностью, хорошей усвояемостью, а рыбий жир содержит большое количество полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) - линолевую, линоленовую и арахидоновую кислоты, которые являются для организма незаменимыми [44].

В последнее время многие люди, по своим убеждениям далекие от церкви, стремятся соблюдать посты, и особенно Великий пост. Большинство закусочных, ресторанов и кафе предлагают в пост отдельное меню — постное. Обычно в постном меню представлено 3–5 видов салатов, несколько видов холодных и горячих закусок, три - четыре наименования горячих и холодных сладких блюд. Постное меню представлены либо очень простыми блюдами (жареный картофель с грибами, овощной суп, гречиха, приготовленная на пару, каша гречневая рассыпчатая с грибами и луком, кисели, печеные яблоки), либо изысканными и экзотическими - например, руккола с клубникой, карпаччо из свеклы с сыром, тофу с жареным чесноком, роллы с авокадо и миндалем, тыквенный суп с перцем чили, пудинг из тофу со свежей клубникой и апельсиновым сахаром, фруктовый салат с медом и орехами. Как правило, постное меню вводится лишь на время Великого поста, в остальные посты, а также постные дни среду и пятницу. В редких случаях постные блюда в основном меню присутствуют на протяжении всего года.

На рынке Республики Беларусь большой ассортимент продуктов на зерномучной основе: хлебобулочные, кондитерские, пищевые концентраты. Особенностью таких изделий является высокая энергетическая ценность (от 300 до 600 ккал), обусловленная повышенным содержанием углеводов и низким содержанием белка.

В торговой сети представлены вегетарианские заменители молока на основе сои, миндаля, фундука, а также «мясных» продуктов на основе сои. Бобы сои содержат 35-48% белка, тогда как, например, в говядине 20% белка, а в твороге — 18%. Соевые паштеты, колбасы и котлеты содержат много веществ, таких как ароматизаторы и красители, которые добавляют, чтобы добиться схожести с настоящим мясом. Кроме того, в сое содержатся фитоэстрогены, избыток которых оказывает негативное влияние на организм человека.

Заключение. Таким образом, среди целого ряда многочисленных диет, большое значение имеют растительные диеты, которые подразумевают частичный или полный отказ от продуктов животного происхождения по различным причинам: религиозным, этическим, из-за стремления к здоровому образу жизни, защиты окружающей среды.

В научных исследованиях отмечается положительное значение растительной диеты как фактора, способствующего снижению заболеваемости артериальной гипертензией, снижению уровня холестерина, некоторых хронических дегенеративных заболеваний, ишемической болезни сердца, сахарного диабета 2-го типа, желчно-каменной болезни, инсульта и некоторых видов рака.

Однако при полном исключении животных белков из рациона питания, зачастую наблюдается избыточное употребление углеводов, в то время как оптимальной суточной нормой белков, жиров и углеводов: считается соотношение 3:3:4, то есть когда питание — это на 30% белки, на 30 % жиры и на 40 % углеводы.

Особенно опасен недостаток в рационе питания незаменимых аминокислот, который вызывает компенсаторную стимуляцию аппетита и способствует переяданию, что является одной из главных причин замедления обмена веществ, что приводит к ряду заболеваний,

среди которых ожирение и сахарный диабет, при высокоуглеводном питании снижается иммунитет, повышается вероятность развития аллергии. Для восполнения животных белков используются продукты богатые белком растительным.

Хорошей альтернативой животного белка являются бобовые (фасоль, горох, нут, чечевица и др.), которые содержат более 20 % белка, а соя более — 30%. Однако, в бобовых содержатся ингибиторы протеаз, которые отличаются наиболее высокой устойчивостью, не разрушаются при термической обработке и ухудшают усвоение белка. Для их разрушения нужно проращивать бобовые или подвергать ферментации.

Высокое содержание белка (до 20%) в орехах, которые кроме того являются источником жирорастворимых витаминов (А, Е). Однако они имеют высокую энергетическую ценность, что нужно учитывать при составлении рациона.

Свежие грибы содержат 2–5% белка, сушеные — 16–25%. Однако из-за того, что грибы трудно усваиваются, рекомендуется их употребление не чаще, чем раз в 5–7 дней.

В большом количестве белок варьирует в пределах 10–12 г на 100 г сухой крупы, однако уровень его усвоения составляет 50–60% — против 90–95% усвоения белка из мяса.

Семена масличных культур содержат белка 14–37 %, кроме того они богаты витаминами (группы В, С и Е) и жирами. Высокое содержание жира существенно повышает их калорийность.

В рыбе содержание белка колеблется от 13 до 22%, усвояемость его доходит до 98%. Рыбий жир богат полиненасыщенными жирными кислотами Омега-3. Мясо рыбы содержит витамины А, D, Е, К, минеральные вещества. Однако есть виды диет, в которых употребление рыбы запрещено.

Рациональная система питания должна учитывать гендерные и возрастные особенности, физическую нагрузку и другие факторы для формирования питания на основе комбинирования продуктов растительного происхождения, позволяющих обеспечить организм всеми необходимыми нутриентами в нужном количестве и сочетании.

В этой связи важной задачей является расширение ассортимента, насыщение рынка Республики Беларусь продуктами питания, выработанными на основе растительного белка, сбалансированными по белково-углеводному и витаминно-минеральному составу, что будет способствовать улучшению здоровья и увеличению продолжительности жизни населения.

Список использованных источников

1. Здоровое питание // Всемирная организация здравоохранения. — URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>. — (дата обращения: 30.09.2024).
2. Засимова Л.С., Четаева К.Г. Влияние питания на продолжительность жизни в российских регионах. / Л.С. Засимов, К.Г. Четаева // Вопросы статистики. 2023;30(5):53-66: <https://doi.org/10.34023/2313-6383-2023-30-5-53-66>.
3. Мировые лидеры присоединяются к новой инициативе по борьбе с неинфекционными заболеваниями // Всемирная организация здравоохранения. — URL: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2018/world-leaders-ncds/ru/> (дата обращения: 30.09.2024).
4. Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. (2022)*. STEPS: Распространенность факторов риска неинфекционных заболеваний в Республике Беларусь, 2020 г. // Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. — URL: <https://iris.who.int/handle/10665/358798>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. (дата обращения: 30.09.2024).
5. Тутельян, В. А. Научные основы здорового питания // В. А. Тутельян и др. — М.: Издательский дом «Панорама», 2010. — 816 с.
6. Профилактика неинфекционных заболеваний и борьба с ними в Беларуси: аргументы в пользу инвестирования / А. Kontsevaia [et. al.]; Европ. регион. бюро ВОЗ. — Копенгаген : ВОЗ, 2018. — 48 с.
7. Карамнова, Н. С. Растительные диеты: здоровье человека и планеты. / Н. С. Карамнова [и др.]. Профилактическая медицина. 2022;25(11):113-123. doi:10.17116/profmed202225111113.
8. Акашева, Д. У. Средиземноморская диета: история, основные компоненты, доказательства пользы и возможность применения в российской реальности / Д. У. Акашева, О. М. Драпкина. Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии 2020;16(2):307—316. DOI:10.20996/1819-6446-2020-04-03.
9. Швабская, О. Б. Здоровые рационы в популяционных пищевых моделях как компонент профилактики сердечно-сосудистых заболеваний: японская диета и рацион Окинавы. / О. Б. Швабская, Н. С. Карамнова, О. В. Измайлова, О. М. Драпкина // Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии 2022;18(6):692-702. DOI:10.20996/1819-6446-2022-12-08.
10. Саубенова, М. Г. Биологическая ценность ферментированных продуктов / М. Г. Саубенова, Е. А. Олейникова, А. А. Амангелды // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2019. — № 8 — С. 124–129. <https://doi.org/10.17513/mjpf.12838>.

11. Алташина М. В. Трошина Палеодиета: мифы и правда / М. В. Алташина, Е. В. Иванникова, Е. А. Трошина // *Consilium medicum*. — 2020. — Т. 22. — №4. — С. 43–46.
12. Артемьева, Н. К. Мониторинг пищевого поведения и оценка энергетического баланса представителей разных видов вегетарианского питания / Н. К. Артемьева, М. В. Забелин, А. А. Колесникова // *Вестник АГУ*. — 2018. — Выпуск 4 (231). — С. 181–187.
13. Евсеев, А. Б. Вегетарианство и его влияние на организм человека / А. Б. Евсеев // *Бюллетень науки и практики*. — 2022. — Т. 8. №9. — С. 389–398. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/82>.
14. Горбачев, Д. О. Изучение пищевого статуса лакто-овоовегетарианцев / Д. О. Горбачев [и др.] // *Материалы XVII Всероссийского конгресса с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты нутрициологии и диетологии. Лечебное, профилактическое и спортивное питание»*. — Вопросы питания. — 2018. — Т. 87 (приложение). — №5. — С.255—256.
15. Аксенова, Ю.Е. Вегетарианство и веганство с точки зрения биохимии / Ю.Е. Аксенова, П.С. Вернер, А.М. Кочеткова // *Вестник Челябинского государственного университета. Образование и здравоохранение*. — 2021. — №4 (16). — С. 31–37.
16. Лопатина, О. А. Особенности питания и образ жизни флекситарианства / О.А. Лопатина, А.И. Раченкова // *Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта*. — 2017. — №3 (6). — С. 35—43.
17. Vegetarian Statistics: A Comprehensive Analysis of Global Trends, Demographics, Health Benefits, Environmental Impact, and Market Growth [Электронный ресурс]. — URL: <https://sqmagazine.co.uk/statistics/vegetarian-statistics/> (дата обращения: 30.09.2024).
18. Мансветов, И.Д. О постах православной восточной церкви / И. Мансветов. - Москва : тип. М.Г. Волчанинова, 1886 (обл. 1887). — 134 с.
19. Религия в Белоруссии. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Религия_в_Белоруссии. (дата обращения: 30.09.2024).
20. Республика Беларусь - многоконфессиональное государство, в котором отсутствуют религиозные конфликты. — URL: <https://president.gov.by/ru/belarus/society/religia>. (дата обращения: 30.09.2024).
21. Католический пост: воздержание от мяса и ограничение в трапезах — URL: <https://aif.ru/food/diet/40515>. (дата обращения: 30.09.2024).
22. Дудник, Т.Л. Питание в дни православного поста / Т.Л. Дудник // *Современные проблемы сервиса и туризма*. — 2009. - №4. — С. 46—55.
23. Посты Православной Церкви. — URL: <https://azbyka.ru/posty-pravoslavnoj-cerkvi>. (дата обращения: 30.09.2024).
24. Как питаться во время Великого поста — URL: <https://www.86.rospotrebnadzor.ru/news/kak-pitatsya-vo-vremya-velikogo-posta>. (дата обращения: 30.09.2024).
25. Синкевич, Е. В. Физиолого-гигиеническая оценка вегетарианского типа питания / Е. В. Синкевич // *Современные проблемы гигиены, радиационной и экологической медицины : сборник научных статей / Минздрав РБ, УО «Гродненский государственный медицинский университет» ; редсовет: Е. Н. Кроткова [и др.]; редкол.: И. А. Наумов (гл. ред.) [и др.]*. — Гродно, 2021. — Т. 11. — С. 181—190.
26. Вегетарианские рационы: распространенность в российской популяции, региональные акценты и ассоциации с факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний. Результаты эпидемиологических исследований ЭССЕ-РФ, ЭССЕ-РФ2 и ЭССЕ-РФ3 / Драпкина О. М. [и др.] // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика* — 2023. - №22 (8s). 3794. — С. 142—153. DOI 10.15829/1728-8800-2023-3794.
27. Симонова, Г. И. Питание и атеросклероз / Г. И. Симонова, В. А. Тутельян, А. В. Погожева // *Бюллетень СО РАМН*. — 2006. — №2 (120). — С. 80–85.
28. Николаева, М. А. Особенности здорового питания во время поста / М. А. Николаева // *Сибирский торгово-экономический журнал №1 (19) • 2014*. — С. 107–110.
29. Ларионов, П. М. Биомедицинские аспекты вегетарианства. / П. М. Ларионов // *Современные методы формирования здорового образа жизни у студенческой молодежи : сб. науч. ст. по материалам I Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Минск, 15 марта 2017 г. / редкол.: И. В. Пантюк (отв. ред.) [и др.]; БГУ, Факультет социокультурных коммуникаций, кафедра экологии человека*. — Минск: Изд. Центр БГУ, 2017. — С. 14–19.
30. Юшков, С. Разработка комплексного состава растительных белков, имеющего полноценный набор аминокислот / С. Юшков // *Бизнес пищевых ингредиентов*. — 2018. — №1. — С. 22–27.
31. Aaslyng, M.D. Protein content and amino acid composition in the diet of Danish vegans: a cross-sectional study / M.D. Aaslyng [et al.] *BMC Nutr* 9, 131 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40795-023-00793>.
32. Мамаатов, А. У. Несбалансированное питание и его роль в развитии сердечнососудистых заболеваний / А. У. Мамаатов, Т. Т. Орозматов, А. Ш. Сатыбалдиева, А. Б. Стамкулова, Г. Б. Жайлообаева // *The Scientific Heritage*. — 2021. — №65. — С. 55—64.
33. Воронина, Т. А. Рацион питания русских крестьян во время поста (XIX в.) / Т. А. Воронина // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, т. 12, №6, 2010. — С. 287–291.

34. Миронов, П. В. Биотехнология пищевых и кормовых продуктов : учеб. пособие / П. В. Миронов, Е. В. Алаудинова, В. В. Тарнопольская. — СибГУ им. М. Ф. Решетнева. — Красноярск, 2017. — 94 с.
35. Степуро, М. В. Сравнительная оценка биологической ценности белков растительного сырья / М. В. Степуро, Е. Н. Хапрора // Известия вузов. Пищевая технология. — 2010. — №4.— С. 34–35.
36. Божко, С. Д. Бобовые культуры - перспективное сырье для пищевой промышленности / С. Д. Божко, Т. А. Ершова, А. Н. Чернышова, А. М. Черногор // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. — 2020. — №2. — С. 59–64. DOI 10.24411/2311-6447-2020-10043.
37. Марков П. Полезные и диетические характеристики зернобобовых на основе медицинских доказательств / П. Марков, Д. Марков, А. Воденичарова // World Ecology Journal. — 2016. — Т. 6., №12. — С. 24–30.
38. Борисова, А. В. Сравнительная характеристика содержания фенольных веществ и антиоксидантной активности некоторых видов употребляемых в пищу орехов / А.В. Борисова, Н.В. Макарова, Э. Х. Хамтова // Химия растительного сырья. — 2022. — №2. С. 141–148. DOI 10.20914/2310-1202-2022-4-141-148.
39. Ханфар, Р. Тыквенные семена - перспективный источник пищевого белка / Р. Ханфар, В.Г. Щербаков // Известия вузов. Пищевая технология. — 2005. — №5-6. — С. 44–46.
40. Воронова, Н. С. Исследование белков семян льна как полноценных и необходимых для здоровья человека / Н. С. Воронова, Л. С. Бередица. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — №14 (94). — С. 144–147.
41. Щеколдина, Т. В. Изучение биологической ценности семян квиноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) для создания специализированных продуктов питания / Т. В. Щеколдина, Е. А. Черниховец, А. Г. Христенко // Техника и технология пищевых производств. — 2016. — Т. 42, №3. — С. 90–97.
42. Цапалова И. Э., Бакайтис В. И. Дикорастущие съедобные грибы как источник белковых веществ // Известия ВУЗов. Пищевая технология. — 2004. — №1. — С. 64–65.
43. Кобилова, Г. И. Анализ потенциала использования альтернативных источников белка в пищевой промышленности, таких как растительные и микробные белки, для уменьшения зависимости от животного сырья / Г. И. Кобилова, А. У. Шингисов // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 4(121). — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17280> — (дата обращения: 03.10.2024).
44. Цибизова, М. Е. Использование рыбного белка в сбалансированном питании / М. Е. Цибизова, Н. Д. Аверьянова // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. — 2009. — №1. — С. 166.

Информация об авторах

Почицкая Ирина Михайловна, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник — заведующий научно-исследовательским сектором Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Чекун Ольга Владимировна, инженер-химик I категории лаборатории токсикологических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: olkalagodich@gmail.com

Information about the authors

Pochitskaya Irina Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher — Head of Research Sector of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety of Food Products of the RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” (29, Kozlova St., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Chekun Olga Vladimirovna, chemical engineer of the 1st category of the toxicological research laboratory Republican Control and Testing Complex for Quality and Safety of Food Products of the RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” (29, Kozlova St., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: olkalagodich@gmail.com

УДК 664.1

Поступила в редакцию 24.10.2024
Received 24.10.2024**О. К. Никулина, М. Р. Яковлева, О. В. Колоскова***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ САХАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ САХАРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Аннотация. В работе представлены результаты исследований влияния электромембранной обработки на изменение химического состава и технологического качества мелассы, а также установление оптимальных технологических параметров ее электромембранной очистки. Результаты исследований будут положены в разработку нового для сахарной отрасли республики способа получения сахара с использованием метода электродиализа в целях повышения эффективности работы сахарных предприятий Республики Беларусь.

Ключевые слова: производство сахара, электромембранные технологии, электродиализ, эффект очистки, меласса, мелассообразователи.

О. К. Nikulina, M. R. Yakovleva, O. V. Koloskova*RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***DEVELOPMENT OF A METHOD FOR PRODUCING SUGAR USING
ELECTRODIALYSIS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SUGAR
ENTERPRISES**

Abstract. The article presents studies of the influence of electromembrane treatment on changes in the chemical composition and technological quality of molasses, as well as the establishment of optimal technological parameters for its electromembrane treatment. The research results will be used to develop a new method for the sugar industry of the republic using the electrodiagnosis in order to increase the efficiency of sugar enterprises in the Republic of Belarus.

Keywords: sugar production, electromembrane technologies, electrodiagnosis, purification effect, molasses, molasses formers.

Введение. В свекловичной мелассе, являющейся отходом сахарного производства, остается около 15 % сахара, вводимого в производство со свеклой. Выделение сахара из мелассы непосредственно кристаллизацией на сахарном заводе экономически нецелесообразно, поэтому поиск недорогого и эффективного способа обессахаривания мелассы представляет на сегодняшний день значительный интерес.

Важнейшим свойством кристаллизуемого вещества является его растворимость, показывающая, какое количество вещества находится в единице растворителя в насыщенном растворе. Растворимость сахарозы, при прочих равных условиях, зависит от присутствия в растворе несахаров. Неорганические соединения, особенно соли щелочных металлов калия и натрия, повышают растворимость сахарозы [1-3].

В сахарном производстве катионы щелочных металлов (таких как калий и натрий) являются сильнейшими мелассообразователями. Известно, что одна часть ионов калия и натрия уводит в мелассу пять частей сахарозы [1-5]. Электродиализ же обеспечивает регулирование минерального состава и кислотности обрабатываемых растворов до требуемых значений за счет переноса ионогенных соединений.

Исследования [6–8], проведенные научно-исследовательской лабораторией сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по

продовольствию», показали, что применение электромембранной обработки диффузионного сока различной степени очистки позволяет достичь эффекта очистки 55–69 %. Кроме того, при электромембранной обработке сиропа достигается эффект очистки 30 %, при обработке оттока утфеля II кристаллизации — 40 %, а при обработке мелассы — 30 и более %.

Предполагается, что снижение зольности мелассы за счет применения электромембранных технологий позволит извлечь дополнительное количество сахарозы при помощи классических способов кристаллизации путем установления оптимальных технологических режимов.

Одним из косвенных мелассообразователей является вода. Ее мелассообразовательный коэффициент при 40 °С равен 2,334 [3].

Наличие в мелассе несахаров, влияющих на растворимость сахарозы, требует присутствия в ней определенного количества воды. Общее количество сахарозы, содержащейся в мелассе, распределяется так: 80–90 % сахарозы обусловлено присутствием в ней воды и 10–20 % — присутствием несахаров [2].

Таким образом, основными причинами мелассообразования являются:

- ♦ наличие воды в мелассе,
- ♦ повышенная растворимость сахарозы в присутствии несахаров,
- ♦ вязкость, затрудняющая центрифугирование утфеля последней кристаллизации и вынуждающая прекратить процесс кристаллизации в нем сахарозы при определенных параметрах.

По мере накопления солей кальция вязкость мелассы возрастает. С увеличением количества калийно-натриевой золы вязкость меласс уменьшается [1-4].

Вязкость мелассы является одной из причин практической недостижимости теоретически возможной степени обессахаривания мелассы. Она является важным технологическим параметром, определяющим технологический режим кристаллизации, уваривания и центрифугирования утфеля, от которого зависит содержание сахарозы в мелассе и, соответственно, ее количество [2].

Целью данной работы является исследование влияния электромембранной обработки на изменение химического состава и технологического качества мелассы, установление оптимальных технологических параметров ее очистки и разработка нового для сахарной отрасли республики способа получения сахара с использованием метода электродиализа.

Материалы и методы исследований. В лабораторных условиях процесс деминерализации исследовали на электромембранной установке Р EDR-Z с использованием мембран СМН-PES катионного типа и АМН-PES — анионного.

Лабораторные измерения полученных деминерализованных образцов проводились с помощью компьютеризированной системы комплексного лабораторного анализа и регистрации показателей сырья, промежуточных и конечного продукта сахарного производства Ecosucrolyser в соответствии с Инструкцией [9], определение мелассообразующих веществ и расчет мелассообразующего коэффициента в соответствии с [10–14].

Исследования вязкости деминерализованных меласс проводили на реовискозиметре Reolab QC при скорости вращения 40 с⁻¹ (данная скорость была экспериментально определена как не влияющая на вязкость). В прибор заливали исследуемый раствор, после чего он производил нагревание образца до температуры выше 80 °С, а затем в автоматическом режиме охлаждение до 35 °С. Замеры вязкости производились в автоматическом режиме каждые 10 секунд.

Результаты исследований и их обсуждение. Для исследования влияния деминерализации электродиализом на процесс кристаллизации сахарозы из мелассы проводили 2 серии опытов. Были подготовлены образцы мелассы с разной степенью деминерализации:

- ♦ 15 % — минимальная рекомендуемая степень деминерализации мелассы (параметр установлен для работы на сырье низкого качества),
- ♦ 20–28 % — средняя степень деминерализации на ОАО «Городейский сахарный комбинат» за производственный сезон,
- ♦ 33–45 % — рекомендуемая степень деминерализации мелассы при работе на сырье хорошего качества,
- ♦ 50–60 % — степень деминерализации достижимая в производственных условиях,
- ♦ 0 % — контроль без электромембранной обработки.

Показатели технологического качества образцов 1 серии опытов представлены в табл. 1. В образцах также определяли изменение мелассообразующего коэффициента, для чего исследовали содержание мелассообразующих катионов калия и натрия, на основании чего рассчитывали резерв сахара.

Table 1. Технологические и расчетные показатели образцов меласс после деминерализации
Table 1. Technological and calculated parameters of molasses samples after demineralization

Показатель	Степень деминерализации мелассы, %				
	0	15,1	24,4	43,0	59,5
УЭП, мСм/см	14,44	12,26	10,92	8,23	5,85
pH	6,45	6,54	6,56	5,59	5,15
СВ, %	31,48	30,79	30,45	30,45	29,50
СХ, %	19,34	19,97	20,21	20,86	20,99
Ч, %	61,44	64,86	66,37	68,51	71,15
СаО, % / к СВ	0,173 / 0,55	0,174 / 0,57	0,170 / 0,56	0,137 / 0,45	0,111 / 0,38
Зола, % / к СВ	3,08 / 9,80	2,50 / 8,10	2,15 / 7,05	1,56 / 5,12	1,01 / 3,43
калий, %	6,54	5,46	4,29	3,30	2,33
натрий, %	1,87	1,82	1,56	1,35	1,14
мелассообразующий коэффициент	2,34	2,27	2,06	1,82	1,61
резерв сахара, % к массе мелассы	0	3,1	7,7	11,3	14,1
эффект очистки, %	0	14,8	21,9	27,8	29,1

Из табл. следует, что деминерализация мелассы позволяет повысить чистоту мелассы с 61,44 % до 71,15 % (на 9,7 %), при этом количество сахарозы увеличивается с 19,34 % до 20,99 % (на 1,65 %); количество золы в % к сухим веществам снижается с 9,80 до 3,43 (на 65 %), а солей кальция — с 0,55 до 0,38 (на 31 %) в зависимости от степени деминерализации.

В результате деминерализации мелассы коэффициент мелассообразования снижается с 2,34 до 1,61, а расчетный резерв сахара достигает при этом 14 % к массе мелассы. Расчет количества сахара, которое можно дополнительно получить из деминерализованной мелассы (резерв сахара), основан на изменении содержания калия и натрия в растворе. Удаление других мелассообразующих веществ, а также возможность удаления большего количества воды, может способствовать увеличению фактического резерва сахара. При этом эффект очистки мелассы достигает 29,1 %.

Все образцы подвергались выпариванию на водяной бане при температуре кипения раствора 80–85 °С в течение 15 часов (табл. 2).

По теории М. И. Даишева [3–5], в присутствии несахаров с небольшим объемом частиц (например, катионы) происходит вытеснение свободной воды в насыщенном растворе сахарозы. Эта вода участвует в гидратации дополнительного количества сахарозы, то есть повышает ее растворимость. Удаление катионов электродиализом должно способствовать снижению растворимости сахарозы и возможности ее кристаллизации из раствора.

Table 2. Технологические показатели образцов меласс после выпаривания
Table 2. Technological indicators of molasses samples after evaporation

Показатель	Степень деминерализации мелассы, %				
	0	15,1	24,4	43,0	59,5
СВ, %	83,32	82,84	79,7	81,16	79,54
СХ, %	49,22	52,10	51,74	54,10	53,34
Ч, %	59,07	62,89	64,92	66,66	67,06
количество выпаренной воды, % к исходному количеству раствора	60,3	61,9	61,3	63,07	64,3

На основании данных табл. 2 можно сделать вывод, что деминерализация мелассы позволяет выпарить из раствора большее количество воды. Однако происходит снижение чистоты в упаренных растворах по сравнению с деминерализованными (табл. 1), при этом чистота упаренных деминерализованных растворов выше чистоты исходной мелассы.

В концентрированные образцы после охлаждения добавляли по 10 кристаллов сахара одинакового размера (0,02 % к массе образца) для затравки. Готовые utfели помещали в холодильники для кристаллизации. После производили замеры образованных кристаллов и анализ глубины истощения межкристального раствора, для чего кристаллы сахара извлекали из образцов и определяли чистоту межкристального раствора.

Массы кристаллов сахара до и после кристаллизации представлены в табл. 3, результаты исследований межкристалльного раствора — в табл. 4.

Table 3. Масса кристаллов сахара
Table 3. Mass of sugar crystals

Масса кристаллов	Степень деминерализации мелассы, %				
	0	15,1	24,4	43,0	59,5
до кристаллизации	0,032	0,027	0,026	0,028	0,028
после кристаллизации	0,036	0,035	0,033	0,029	0,023
изменение, г	0,003*	0,008	0,007	0,001	-0,001*
изменение, %	9**	30	26	4**	-4**

* Расчетная масса на 10 кристаллов

** Учитывая наличие на кристаллах несмываемых остатков межкристалльного раствора и погрешность взвешивания, изменение оценено как незначительное

Исходя из данных табл. 3, можно сделать вывод, что наращивание кристаллов происходило только в образцах с деминерализацией 15,1 и 24,4 %.

Table 4. Физико-химические показатели межкристалльного раствора
Table 4. Physico-chemical parameters of the intercrystalline solution

Показатели	Степень деминерализации мелассы, %				
	0	15,1	24,4	43,0	59,5
СВ, %	82,12	82,34	81,64	83,4	83,08
СХ, %	50,72	52,44	53,14	54,52	48,96
Ч, %	61,76	63,69	65,09	65,37	58,93

При этом в образце с деминерализацией 59,5 %, несмотря на отсутствие прироста массы затравочных кристаллов, произошла массовая спонтанная кристаллизация сахарозы. Межкристалльный раствор отделялся без наличия в нем кристаллов, масса кристаллов в смеси с неотделяемой частью межкристалльного раствора составила 53,7 % массы образца. Расчетный резерв сахара в данном образце составил 14,1 % к массе мелассы. Вместе с тем, чистота межкристалльного раствора образца достигла уровня чистоты исходной (недеминерализованной) мелассы (табл. 2). Таким образом, чистота образца за время кристаллизации охлаждением снизилась на 8,13 %.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что расчетная дополнительно получаемая в результате деминерализации мелассы сахароза (за счет удаления мелассообразующих катионов) из образца с деминерализацией 59,5 % выкристаллизовалась полностью. На рис. 1 видно, что кроме образования кристаллов произошло также их частичное наращивание: часть кристаллов имеют довольно крупный размер, но неправильную форму.



Рис. 1. Кристаллы образца мелассы с деминерализацией 59,5 %
Fig. 1. Crystals of molasses sample with demineralization 59.5%

В образце с деминерализацией 43,0 % прироста массы внесенных кристаллов также не наблюдалось. Однако наблюдалось массовое образование новых центров кристаллизации (рис. 2), отделить межкристальный раствор от новых кристаллов не представилось возможным. При этом чистота межкристального раствора снизилась на 1,3 %.



Рис. 2. Меласса со степенью деминерализации 43,0 % после кристаллизации охлаждением
Fig. 2. Molasses with a degree of demineralization of 43.0% after crystallization by cooling

На основании указанного, можно сделать вывод, что деминерализация мелассы до 43,0 % позволяет высвободить из нее сахарозу. Центры кристаллизации образуются, но их самопроизвольное наращивание не происходит.

В образце с деминерализацией 24,4 % произошло наращивание внесенных кристаллов. При этом наблюдались единичные новые центры кристаллизации.

В образце с деминерализацией 15,1 % также произошло наращивание внесенных кристаллов, образования новых кристаллов не наблюдалось.

Проведенные исследования второй серии опытов подтвердили, что деминерализация мелассы позволяет выпарить из раствора большее количество воды; также как и в предыдущей серии опытов происходило снижение чистоты в упаренных растворах по сравнению с деминерализованными, при этом чистота упаренных деминерализованных растворов оставалась выше чистоты исходной мелассы.

Для исследования процесса кристаллизации в концентрированные образцы затравку не вносили, так как исследовали возможность спонтанной кристаллизации в образцах. Готовые utfели помещали в холодильник для выпадения кристаллов, затем выдерживали при комнатной температуре для их наращивания.

В образце с деминерализацией 57,8 % образовался плотный осадок кристаллов сахара в т.ч. и крупного размера, межкристальный раствор при этом можно было отделить, он был прозрачным без наличия мелких кристаллов («муки»). Осадок промывали водой. Количество отделенного сахара в смеси с неотделяемым межкристальным раствором составило 18,5 г или 21,7 % к массе образца, или 38,5 % к содержащемуся в образце сахару.

В образце с деминерализацией 42,3 % наблюдали массовое кристаллообразование по всему объему раствора. Отделить межкристальный раствор от кристаллов не представлялось возможным из-за равномерного их распределения. Образец по своей консистенции напоминал utfель в середине его варки. Однако удалось отделить осадок, количество отделенного сахара с остатками межкристального раствора составило 9 г или 10,7 % к массе образца (19,0 % сахара образца). Остальной сахар из образца также возможно извлечь при дальнейшем применении стандартных технологических приемов.

В образце с деминерализацией 28,9 % присутствовали мелкие кристаллы в небольшом количестве по объему образца. То есть центры кристаллизации образовались, но массовой спонтанной кристаллизации в растворе не произошло.

В образце с деминерализацией 20,5 % образования кристаллов не наблюдалось.

Так как вязкость мелассы является одной из причин практической недостижимости теоретически возможной степени обессахаривания мелассы, а также является важным технологическим параметром, определяющим технологический режим кристаллизации, уваривания и центрифугирования утфеля, от которого зависит содержание сахарозы в мелассе и, соответственно, ее количество, в упаренных образцах 2 серии опытов исследовали также изменение вязкости раствора в зависимости от температуры. При этом образцы доводили до одинакового содержания сухих веществ ($79 \pm 0,5 \%$). Результаты исследований представлены на рис. 3.

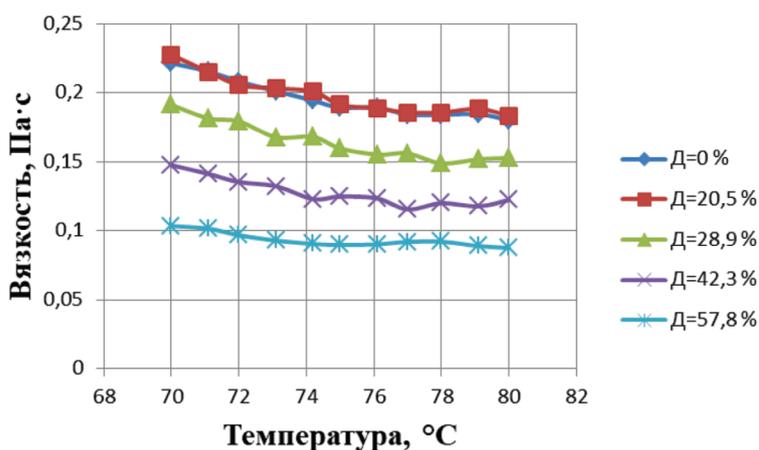
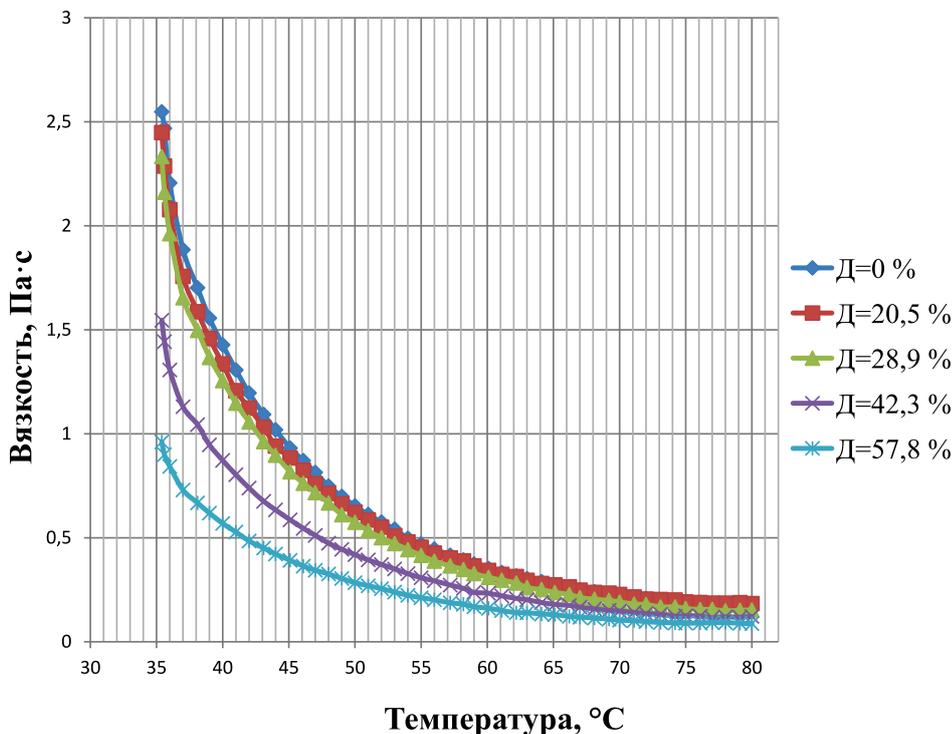


Рис. 3. Вязкость меласс в зависимости от температуры и степени деминерализации при СВ $79 \pm 0,5 \%$
 Fig. 3. Molasses viscosity depending on temperature and degree of demineralization at DM $79 \pm 0,5 \%$

Из рис. 3 следует, что при одинаковом содержании сухих веществ в мелассах деминерализованные образцы имеют более низкую вязкость и снижение вязкости коррелирует со степенью деминерализации продуктов. Однако при низкой деминерализации вязкость может повышаться из-за удаления снижающих вязкость катионов калия и увеличения концентрации повышающих вязкость солей кальция. При более глубокой деминерализации соли кальция также удаляются, снижая при этом вязкость мелассы.

Ниже 37°C происходит резкое увеличение вязкости во всех исследуемых растворах, после 35,6°C наблюдается сильное повышение вязкости без изменения температуры до конца установленного времени эксперимента. В данном опыте все образцы имели вязкость ниже 1 Па·с при охлаждении до 44 °С.

Заключение. Подтверждено, что деминерализация мелассы позволяет выпарить из раствора большее количество воды, при этом, не смотря на снижение чистоты в упаренных растворах, ее значение выше чистоты исходной мелассы, а содержание сахарозы в деминерализованных растворах увеличилось на 1,7 — 12,0 %.

Предположительно деминерализация мелассы до 57,8–59,5 % позволяет перерабатывать мелассу с получением сахара (или сахарного продукта) в том числе в межсезонный период, т.к. произошла массовая спонтанная кристаллизация сахарозы с частичным наращиванием образовавшихся кристаллов и отделением межкристалльного раствора низкой чистоты, а расчетная дополнительно получаемая в результате деминерализации мелассы сахароза (за счет удаления мелассообразующих катионов) из образца с деминерализацией 59,5 % выкристаллизовалась полностью.

Так как при деминерализации мелассы до 42,3–43,0 % образовались центры кристаллизации, но их самопроизвольное наращивание не произошло, имеется большая вероятность в производственных условиях извлечь сахар из такого раствора при дальнейшем применении стандартных технологических приемов.

В образцах мелассы со степенью деминерализации 15,1 — 28,9 % происходило наращивание внесенных кристаллов, но массовой спонтанной кристаллизации в растворе не произошло. Следовательно, деминерализованную мелассу целесообразно возвращать в технологический поток.

Определено, что при одинаковом содержании сухих веществ в мелассах деминерализованные образцы имеют более низкую вязкость и снижение вязкости коррелирует со степенью деминерализации продуктов.

Благодарности. Исследования проводились в рамках гранта Президента Республики Беларусь в сфере науки на 2024 год.

Список использованных источников

1. Тужилкин В.И. Кристаллизация сахара / В.И. Тужилкин — М., 2007. — 334 с.
2. Содержание сахара в мелассе. Оптимизация режима кристаллизации сахарозы на последнем продукте / З. В. Ловкис, Т. И. Турбан, Н. Н. Петюшев, С. В. Мельничек, О. К. Никулина, Е. И. Трефилова, В. В. Кулаковский; под общ.ред. З. В. Ловкиса. — Минск: Беларуская навука, 2014. — 97 с. — (Настоятельная книга производственника).
3. Сапронов А. Р. Технология сахарного производства / А. Р. Сапронов — М.: Колос. — 1999. — 494 с.
4. Бугаенко И. Ф. Общая технология отрасли. Научные основы технологии сахара / И. Ф. Бугаенко, В. И. Тужилкин. — Санкт-Петербург, 2007. — 161 с.
5. Захаров К. П. Методика по выработке режима кристаллизации утфеля последнего продукта. / К. П. Захаров, М. И. Даишев, И. Н. Акиндинов. — ЦБТИ Северо-Кавказского совнархоза. — Ростов-на-Дону, 1964. — 24 с.
6. Эффективные технологии производства свекловичного сахара / О.К. Никулина [и др.]. — Минск: ИВЦ Минфина, 2023. — 304 с.
7. Никулина, О. К. Использование электродиализа для повышения эффективности работы сахарных предприятий / О. К. Никулина // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. — 2024. — Т. 62, №2. — С. 168–176. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-2-168-176>
8. Применение электромембранных методов обработки для очистки густых полупродуктов сахарного производства / О. К. Никулина, О. В. Дымар, О. В. Колоскова, М. Р. Яковлева // Сахар. — 2022. — №4. — С. 26-31.
9. Инструкция по химико-техническому контролю и учету сахарного производства: Утв. М-вом пищ. Пром-ти СССР 27.07.81. — К.: Издана ВНИИ сахарной пром-ти, 1983. — 476 с.
10. Методы оценки технологических качеств сахарной свеклы с использованием показателей содержания калия, натрия и *α*-аминного азота, определенных в свекле и продуктах ее переработки / В. Н. Кухар [и др.] // Сахар. — 2019. — №1. — С. 18–36.
11. Чернявская, Л. И. Методы оценки качества свеклы, основанные на ее лабораторной переработке / Л. И. Чернявская // Сахар. — 2006. — №4. — С. 19–24.
12. Чернявская, Л. И. Методы оценки качества сахарной свеклы как сырья для получения сахара / Л. И. Чернявская // Сахар. — 2006. — №3. — С. 40–45.

13. Bertuzzi, S. Determinazione a: K, Na, azoto alfa-amminico in zueche-rificio, implecazioni tecnologiche / S. Bertuzzi, N. Zurlecla // Ind saccorif. iral. — 1988. — Vol. 81, №4. — P. 135–138.
14. Beziehungen zwieschen den Verhältnissen einiger Kationen und Anionen in der Zuckerrübe und deren grundlegenden qualitativen Merkmalen / A. Dandar [et al.] // C.I.T.S. — 1996. — S. 931–934.

Информация об авторах**Information about authors**

Никулина Оксана Константиновна, кандидат технических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: sugar@belproduct.com

Яковлева Мария Романовна, магистр технических наук, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: sugar@belproduct.com

Колоскова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: sugar@belproduct.com

Nikulina Oksana Konstantinovna, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Research laboratory of sugar production RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: sugar@belpoduct.com

Yakovleva Maryia Romanovna, Master of technical science, Junior Researcher RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: sugar@belpoduct.com

Koloskova Olga Vladimirovna, PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: sugar@belpoduct.com

УДК 665.1.09

Поступила в редакцию 26.06.2024
Received 26.06.2024**К. И. Жакова, В. Н. Бабодей, А. В. Пчельникова***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЖИРОВЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ
ПРОДУКТАХ ПРЯМОГО ТИПА. АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЫРЬЯ, ИСПОЛЗУЕМОГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
ЭМУЛЬСИОННЫХ ПРОДУКТОВ ПРЯМОГО ТИПА**

Аннотация. В статье представлена информация об окислительных процессах, которые происходят в эмульсионных продуктах на основе жидких растительных масел, а также проанализированы качественные показатели сырья, применяемого для изготовления майонезной продукции.

Ключевые слова: жировые эмульсионные продукты, окисление, сырье, качество.

Ch. I. Zhakova, V. N. Babodey, A. V. Pchelnikova*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”
Minsk, Republic of Belarus***OXIDATIVE PROCESSES IN FAT EMULSION PRODUCTS OF DIRECT
TYPE. ANALYSIS OF QUALITATIVE INDICATORS OF RAW MATERIALS
USED IN THE PRODUCTION OF DIRECT TYPE EMULSION PRODUCTS**

Abstract. The article the information about the oxidative processes that occur in emulsion products based on liquid vegetable oils, and also analyzes the quality indicators of the raw materials used for the manufacture of mayonnaise products are provides.

Keywords: fat emulsion products, oxidation, raw materials, quality.

Введение. Особенностью развития современной пищевой промышленности является необходимость постоянного повышения качества, конкурентоспособности выпускаемой продукции. Особое внимание при этом уделяется продуктам массового потребления, доступным и регулярно используемым всеми категориями населения, в том числе масложировым эмульсионным продуктам, таким как майонезы, майонезные соусы, соусы на основе растительных масел [1, 2].

В настоящее время потребности населения в майонезной продукции полностью удовлетворяются за счет товаров как отечественного, так и импортного производства. Обострение конкуренции требует от отечественного производителя внедрения новых технологий, расширения ассортимента при сохранении качества.

Майонез и подобные ему соусы являются многокомпонентными продуктами на основе жидких растительных масел с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (далее — ПНЖК) и различных вкусовых добавок. Присутствие в майонезной продукции белковых, жировых ингредиентов, воды обуславливает возможность параллельного протекания микробиологических, гидролитических, окислительных процессов, приводящих к активизации биохимических и автокаталитических окислительных реакций. Это вызывает ухудшение не только органолептических свойств пищевой продукции, но и снижает ее пищевую, в том числе биологическую ценность, что связано с окислением жизненно необходимых жирных кислот, а также с разрушением каротиноидов, токоферолов и других биологически активных веществ [3–5].

Кроме того, первичные продукты окисления — перекиси, оказывают токсическое действие на организм [6]. В процессе разнообразных реакций перекиси образуют карбонильные, а также полимерные соединения, ухудшающие усвояемость жира, а иногда обладающие

и канцерогенными свойствами [7]. Наиболее токсичными продуктами при автоокислении липидов являются акролеин, транс-4-гидрокси-2-нонеаль (II класс опасности) и малоновый альдегид (III класс опасности) [6].

При ферментативном окислении, а также при термической обработке масел и жиров образуется ряд других низкомолекулярных карбонильных соединений, среди которых: транс, транс-2,4-декадиеналь, транс-2-гексаналь, гептеналь и транс-цис-2,4-нонадиеналь (III класс опасности). При постоянном потреблении продуктов окисления липидов с пищей данные соединения способны проявлять общетоксическое (нарушение функции печени и почек, снижение массы тела, развитие окислительного стресса, атеросклероз), иммунотоксическое (повреждение лимфоцитов тимуса) и тератогенное (повышение материнской смертности и частоты выкидышей) действие в зависимости от типа соединений и их концентрации. Принимая во внимание тот факт, что жировые продукты составляют до 36% от калорийности суточного рациона, вклад токсичных соединений, присутствующих в них, значительно повышает риски развития алиментарно-зависимых заболеваний [6, 8].

Пищевые эмульсии представляют собой микрогетерогенные системы, состоящие из двух практически взаимно-нерастворимых жидкостей, которые сильно отличаются друг от друга по характеру молекул. На практике чаще всего встречаются водные эмульсии, т.е. эмульсии в которых одной из двух жидкостей является вода. Такие эмульсии подразделяются на два типа: масло в воде (сокращенно — м/в) и вода в масле — в/м. В эмульсиях первого типа, к которым относится майонезная продукция, масло является дисперсионной фазой, а вода — дисперсионной средой [9, 10].

Прямые эмульсии — это термодинамически нестабильные коллоидные системы, которые состоят из мелких жировых капель, диспергированных в водной фазе. Получение устойчивых высокожирных эмульсий возможно только в присутствии эмульгаторов — веществ, которые, адсорбируясь на поверхности капель, препятствуют их слиянию и придают системе агрегатную устойчивость. Для стабилизации низкожирных эмульсий в рецептуры дополнительно вводят различные полисахариды, проявляющие свойства загустителей и стабилизаторов, что увеличивает вязкость непрерывной фазы продукта и придает ему дополнительную агрегатную устойчивость (рис. 1) [11].



Рис. 1. Состав эмульсионной системы майонезной продукции [11]
 Fig. 1. Composition of the emulsion system for mayonnaise products [11]

Структурная устойчивость эмульсии, однородность и стабильность консистенции при длительном хранении в условиях изменяющихся температурных режимов, при транспортировании определяет не только товарный вид продукта, но и стабильность его в отношении окислительных и микробиологических процессов. В случае разрушения структуры, разжижения или расслоения эмульсии создаются условия, благоприятные для жизнедеятельности микроорганизмов и стимулирующие окисление жировой фазы. Следовательно, эмульгирующие и стабилизирующие компоненты наряду с обеспечением физической стабильности могут влиять и на стойкость готового продукта к окислению.

Стабильность эмульсий, как правило, связана со степенью дисперсности жировой фазы и pH продукта. Уменьшение размера капель масла приводит к увеличению площади поверхности раздела фаз и, соответственно, контакта между масляной и водной фазами, что, в свою очередь, может оказать негативное влияние на динамику окислительного процесса жировой фазы, в связи с большей доступностью прооксидантов непрерывной фазы к липидному субстрату [12]. В тоже время в некоторых научных источниках сообщается о противоположных результатах, которые объясняются увеличением толщины пограничного слоя между водной и липидной фазами. Это, по мнению исследователей, способствует обеспечению большей защиты эмульгированного масла от окисления [13, 14].

Важен и уровень pH продукта. Как правило, самая низкая скорость окисления имеет место при pH около 7. По мере понижения pH усиливается растворение металлов, в результате чего во многих продуктах окисление обычно ускоряется [15, 16].

Также на скорость окисления липидов оказывает влияние активность воды, оптимальным значением которой является — 0,2-0,3 [17].

Таким образом, процесс окисления липидов, входящих в состав эмульсионных пищевых продуктов, имеет свои особенности для каждого конкретного случая и зачастую зависит от малейших изменений в ассортименте и качестве сырьевых ингредиентов, технологии изготовления и других нюансов, которые на первый взгляд кажутся несущественными.

В общем виде механизм реакций окисления органических веществ, в том числе и жиров, объясняют перекисная теория Баха-Энглера и теория цепных реакций Семенова Н.Н. [18].

Согласно перекисной теории, первоначальными продуктами окисления жиров являются неустойчивые перекисные соединения различных типов, способные при распаде образовывать ряд более стабильных продуктов окисления. Перекисные соединения неустойчивы. Они разлагаются под влиянием различных агентов с образованием вторичных, более устойчивых соединений — гидросиликислот, эпокисей, альдегидов, кетонов, сополимерных и других веществ. При этом гидропероксиды, гидросиликислоты и эпокиси кислот не имеют вкуса и запаха, а носителями неприятного вкуса и запаха окисленных жиров (прогорклых) являются кетоны, альдегиды и низкомолекулярные кислоты, образующиеся на последующих стадиях окисления жира.

В настоящее время большое распространение получила разработанная академиком Семеновым Н.Н. цепная теория окисления жиров, в соответствии с которой реакция протекает через свободные радикалы, имеющие свободные валентности и обладающие повышенной реакционной способностью. При этом окислению подвергаются в первую очередь свободные ненасыщенные жирные кислоты. В начальный период окисления имеет место длительный индукционный период, в течение которого накапливаются свободные радикалы. В этот период времени химические и органолептические показатели жира почти не изменяются. Продолжительность индукционного периода зависит от концентрации антиокислителей, природы жира и условий переработки и хранения. Как только концентрация свободных радикалов достигнет определенного значения, индукционный период заканчивается и начинается автокаталитическая цепная реакция — процесс быстрого присоединения кислорода к радикалам.

Процесс автокаталитической цепной реакции включает несколько стадий [19-21]:

- ♦ зарождение цепи:



Рис. 2. Образование свободных радикалов, возникающих в результате отрыва атома водорода от углеродной части молекулы жирной кислоты

Fig. 2. The formation of free radicals resulting from the abstraction of a hydrogen atom from the carbon part of the fatty acid molecule

- ♦ продолжение цепи:



Рис. 3. Образование пероксидного радикала и промежуточного гидропероксида (гидроперекиси)

Fig. 3. Formation of peroxide radical and intermediate hydroperoxide (hydroperoxide)

- ♦ разветвление цепи, сопровождающееся:

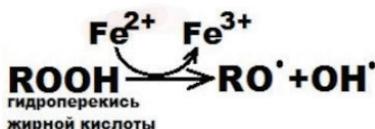


Рис. 4. Распад гидроперекиси на новые свободные радикалы, увеличивающие скорость цепной реакции

Fig. 4. The breakdown of hydroperoxide into new free radicals, increasing the rate of the chain reaction

При соединении двух радикалов с образованием неактивной молекулы может произойти обрыв цепи автокаталитической цепной реакции:



Рис. 5. Образование неактивной молекулы при соединении двух радикалов
 Fig. 5. Formation of an inactive molecule when two radicals combine

При температурах хранения от 2°C до 25°C в жировых продуктах происходит автоокисление, которое ускоряется в присутствии влаги, света и катализаторов, в качестве которых могут выступать легкоокисляющиеся металлы (окислы или соли железа, меди, свинца, олова), а также органические соединения, содержащие, например, белки; при температурах жарки от 140°C до 200°C в жировых продуктах наблюдается термическое окисление [7, 22].

Процесс нагревания жира до 140-180 °C в присутствии свободного доступа кислорода воздуха вызывает резкое сокращение индукционного периода. Присоединение кислорода к углеводородным радикалам жирных кислот происходит более беспорядочно. Некоторые продукты окисления липидов (гидропероксиды, альдегиды и др.), относительно устойчивые при температурах автоокисления, не могут длительно существовать при температурах термического окисления и распадаются по мере образования. В результате их распада образуется многочисленная группа новых реакционноспособных веществ, увеличивающих возможность протекания вторичных химических реакций в нагретом жире [22].

Химические соединения, образующиеся при авто- и термическом окислении можно подразделить на три группы [7]:

- ♦ продукты окислительной деструкции жирных кислот, в результате которой образуются вещества с укороченной цепью;
- ♦ продукты изомеризации и окисленные триглицериды;
- ♦ продукты окисления, содержащие полимеризованные или конденсированные жирные кислоты, в которых могут присутствовать функциональные группы, содержащие кислород. Все эти продукты значительно ухудшают качество жиров и делают их непригодными к употреблению в пищу.

Активными катализаторами окисления жиров являются ферменты, главным образом ферменты микроорганизмов. Поэтому загрязнение жиросодержащих пищевых продуктов, особенно бактериальное обсеменение, ускоряет процесс окисления жиров.

В каждом отдельном случае, в зависимости от характера жиросодержащих пищевых продуктов или пищевого сырья и условий, при которых они находятся, окисление может происходить по одному или нескольким из рассмотренных выше типов.

В пищевых эмульсионных продуктах прямого типа липиды обычно распределены в виде капель и представляют собой дисперсную жировую фазу. В этих пищевых продуктах скорость окисления может быть намного меньше или больше, чем для тех же самых липидов в виде непрерывной фазы. Высокая влажность, наличие белковых и минеральных веществ эмульсионных жировых продуктов прямого типа, таких как майонезы, способствуют развитию микрофлоры, а, следовательно, интенсивному развитию процессов биохимического прогоркания. Микроорганизмы, в том числе плесени и дрожжи, вырабатывают ферменты липазу и липоксидазу. Липаза гидролизует жиры, а образовавшиеся в результате гидролиза свободные жирные кислоты окисляются при участии фермента липоксигеназы.

Специфичность липоксигеназы состоит в том, что действию этого фермента подвергаются лишь те полиненасыщенные жирные кислоты, которые содержат цис-цис-1,4-пентадиеновую группу (линолевая, линоленовая, арахидоновая). Жирные кислоты с цис-транс или транс-транс-конфигураций двойных связей ферментом не окисляются. Образующиеся вторичные продукты окисления (альдегиды, кетоны и другие соединения) являются причиной ухудшения качества пищевого сырья и многих жиросодержащих продуктов (рис. 2) [23].

Таким образом, в данном случае липаза и липоксигеназа действуют кооперативно. Регулирование процессов ферментативного окисления липидов (рис. 6) играет большую роль при контроле образования продуктов перекисного окисления в масложировых продуктах прямого типа в силу высокой специфичности и скорости протекания реакции, на порядок превышающей скорость протекания неферментативного перекисного окисления.



Рис. 6. Общая схема ферментативного прогоркания жиров [23]

Fig. 6. General scheme of enzymatic rancidity of fats [23]

Поэтому при разработке мероприятий по повышению качества майонезной продукции основное внимание должно быть направлено на разработку методов по обеспечению микробиологической и гидролитической устойчивости, структурной стабильности и торможению развития окислительных процессов.

Существуют различные технологические приемы, позволяющие с большей или меньшей эффективностью ингибировать окислительные процессы в сырье и готовой продукции.

В исследованиях Y. Kishk с соавторами изучена окислительная стабильность эмульсий типа вода в масле с использованием в качестве стабилизатора ксантановой камеди, которая способствовала более низким значениям перекисного числа и конъюгированных диенов по сравнению с контрольными образцами [24].

В исследовании S. Katsuda и др. эмульсии на основе цитрусового пектина и рыбьего жира также демонстрировали меньшее накопление продуктов окисления по сравнению с контрольным образцом и образцом на основе пектина. Для предотвращения порчи жиров необходимо по возможности уменьшить или исключить их соприкосновение с кислородом воздуха, светом, теплом [13].

Процесс автоокисления можно затормозить с помощью натуральных (природных) и синтезированных веществ — антиокислителей, вступающих в реакцию с гидроперекисями без образования свободных радикалов, т.е. веществ, способных обрывать цепную реакцию [3, 7]. Антиоксидантами, растворимыми в водной фазе, могут выступать, например, аскорбиновая кислота или полифенольные соединения, а в липидной фазе — α -токоферол (витамин E) или ретинол (витамин A). Немало исследований проводилось в направлении поиска способов для замедления окислительных процессов без использования искусственных антиокислителей, например, путем добавления растительных экстрактов (розмарина, чеснока и др.), ликопина [25, 26].

При производстве майонеза и других пищевых эмульсий дополнительная обработка оборудования острым паром в процессе его комплексной мойки обеспечивает микробиологическую безопасность, а, следовательно, замедляют ферментативное окисление готовой продукции на протяжении срока хранения [27].

Масложировые эмульсионные продукты прямого типа являются мультикомпонентными системами, свойства которых определяются качественным и количественным составом рецептурных ингредиентов.

В качестве жировой основы для майонезных продуктов используют растительные масла. Наибольшая ценность жидких растительных масел — обеспечение поступления в организм полиненасыщенных жирных кислот, в том числе незаменимых (линолевой, линоленовой). Все растительные масла, используемые при изготовлении майонезной продукции, должны быть подвергнуты полной рафинации, включая дезодорацию. Кислотное число — не более 0,6 мг КОН/г; перекисное число — не более 10 ммоль активного кислорода/кг.

Устойчивость жиров и масел к окислению обусловлена расположением, геометрической конфигурацией и количеством двойных связей. Окисление может происходить только в жирнокислотной части молекул триглицерида, поскольку для окисления в нормальных условиях

необходимо наличие двойной связи: чем выше степень ненасыщенности жирной кислоты, тем ниже ее окислительная стабильность [23]. Так, для линоленовой кислоты, имеющей три двойных связи, относительная скорость окисления в два раза выше, чем для линолевой, в молекуле которой две двойных связи. Мононенасыщенная олеиновая кислота, имеющая одну двойную связь, наиболее устойчива из трех рассмотренных жирных кислот.

При производстве масложировых эмульсионных продуктов в качестве эмульгаторов используют природные пищевые поверхностно-активные вещества, представляющие собой белково-липидные комплексы с различным составом как высоко, так и низкомолекулярных эмульгирующих веществ. Общепринятыми эмульгаторами широко применяющимися в масложировой промышленности при производстве майонезной продукции являются яичные, молочные ингредиенты, горчичный порошок.

Из молочных продуктов в качестве эмульгаторов используют: сухое обезжиренное и цельное молоко, сухие сливки, сухую молочную сыворотку и другие молочные продукты. Белки молока при взаимодействии с эмульгированными жирами образуют комплекс, являющийся хорошим эмульгатором. При создании низкокалорийных и диетических сортов майонезов в качестве эмульгаторов иногда используют растительные белки, в основном соевые, содержащиеся в значительных количествах лецитин, улучшающий работу сердечно-сосудистой системы, эффективный для профилактики атеросклероза и нормализующий уровень холестерина и триглицеридов в крови.

Окисление липидов сухих молочных продуктов является одним из видов порчи, которое приводит к ухудшению органолептических свойств и снижению биологической ценности майонезной продукции. Сухое молоко имеет большую удельную поверхность соприкосновения с воздухом, вследствие чего жир в нем окисляется с последующим осаливанием. Высокое содержание свободного жира (выше 9%), солей меди и железа (более 10 мг/кг сухого вещества молока) также способствуют быстрому окислению [28]. Устойчивость сухих продуктов к окислению можно повысить путем обезжиривания молока, внесения антиоксидантов, а также осуществления гомогенизации сгущенного молока перед сушкой, хранения продукта в атмосфере азота. Надежным средством защиты сухого молока от окисления является упаковка его в герметическую тару в атмосфере инертного газа с предварительным вакуумированием [28].

Яичные продукты, с точки зрения химического состава, представляют собой сложную структуру, основой которой является протеиново-фосфолипидный комплекс, при этом протеины являются высокомолекулярными ПАВ, а фосфолипиды — низкомолекулярными. В молекуле белка имеются участки с ковалентными (растворимыми в масле) и ионными (растворимыми в воде) связями. Белок и желток яйца имеют различный состав протеинов. Белок состоит, в основном, из протеинов, которые обуславливают такие свойства белка при производстве майонезов, как растворимость в водной фазе, способность диспергировать, а также бактерицидное действие (лизоцим). В желтке содержатся как белки (вителин, липовителин, ливетин, фосфитин), так и липиды, важнейшими из которых являются фосфолипиды — вещества, обладающие эмульгирующей способностью, в число которых входит лецитин [11].

Гамма яичных продуктов, которую используют в качестве эмульгаторов при производстве майонезной продукции, достаточно велика — это как цельное яйцо, так и его производные: яичный порошок (меланж), яичный желток (в жидком или сухом виде).

Широкое распространение в производстве майонезов получило применение яичных желтков, ферментатически модифицированных фосфолипазой А2. Основные отличительные свойства ферментированного желтка заключаются в способности образовывать «прочные мембраны», окружающие и защищающие диспергированные капли масла на поверхности раздела фаз эмульсии. Создание таких мембран позволяет эмульсии находиться в стабильном состоянии даже при высоких температурах (выше 100°C). Это позволяет вести производственный процесс в широком температурном диапазоне, не опасаясь разрушения эмульсий. Кроме того, применение ферментированного желтка позволяет проводить стерилизацию готового майонеза при высоких температурах с целью получения продукта длительного хранения, с высокой окислительной устойчивостью. Взаимодействие ферментированного желтка со структурообразователями, такими как камеди, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), альгинаты, идет по пути синергизма, что позволяет существенно снизить дозировки структурообразователей при применении желтка даже для средне- и низкожирных майонезных соусов [29].

Окислительные изменения, происходящие при хранении сухих яичных продуктов, также, как и сухих молочных продуктов, объясняются главным образом окислением составных

частей яичных сухих продуктов кислородом воздуха, адсорбированным тонкодисперсными частицами. В результате при хранении ухудшаются вкус и запах продукта, уменьшается содержание каротиноидов, окисляются витамины. Хранение яичных сухих продуктов под вакуумом, в атмосфере инертного газа (азота) или диоксида углерода значительно снижает скорость окисления [30].

Для устойчивости высокожирных майонезов в отдельных случаях достаточно только эмульгатора. С целью придания долговременной устойчивости средне- и низкожирным эмульсиям в рецептуры вводят стабилизаторы — гидроколлоиды.

Стабилизаторы используются в майонезных продуктах в довольно малых дозах: от 0,1 до 1,0%. В зависимости от источника получения различают следующие группы гидроколлоидов:

- ♦ растительные (камедь плодов рожкового дерева, гуаровую камедь, пектин и т.д.);
- ♦ гидроколлоиды, получаемые из морепродуктов (каррагинан, агар-агар, альгинаты);
- ♦ биосинтезированные (ксантан, геллан, карбоксиметилцеллюлозу). Как правило, в целях наилучшей стабилизации майонезных эмульсий в качестве стабилизаторов используют не один, а несколько гидроколлоидов [11].

В рецептурах низкожирных соусов, содержащих большое количество воды, для увеличения стабильности эмульсии используют загустители-структуризаторы. В основном — это крахмалы и их производные, которые получают из различного промышленного сырья: кукурузы, картофеля, пшеницы, риса, тапиоки. Вследствие недостаточной устойчивости и склонности к синерезису растворов нативных крахмалов в производстве майонезных продуктов чаще всего применяют модифицированные крахмалы, получаемые путем структурирования нативного крахмала [11].

Вкусовые добавки, используемые в майонезах и соусах, включают в себя различные вкусовые, вкусоароматические и пряные вещества.

В качестве подсластителя в майонезных рецептурах используется сахар (сахароза), в диетических сортах — глюкоза, фруктоза и другие подсластители. Поваренная соль служит для улучшения вкусовых качеств и выявления вкуса других компонентов, кроме того она обладает и консервирующим действием.

Пряности вводят в рецептуры в виде уже готовых экстрактов, выпускаемых промышленностью, а также в порошкообразной форме. Основной пряностью, присутствующей практически во всех рецептурах, является горчица. Горчичный порошок — один из важных компонентов рецептуры майонеза. Именно он делает этот соус неповторимым, но его использование имеет ряд ограничений. Многолетний опыт применения горчичного порошка в майонезах показывает, что «высокоэфирный» порошок отрицательно влияет на стойкость эмульсии, особенно в майонезах, содержащих крахмал, за счет воздействия фермента мирозиназы на амилазу [31].

Пищевые кислоты (уксусная, молочная или лимонная) при добавлении в майонезы являются как вкусовыми добавками, так и консервантами. Снижая pH низкокалорийных эмульсий с 6,9 до 4,0–4,7, они препятствуют размножению нежелательных микроорганизмов. Лимонная кислота более мягкая, придает майонезным соусам изысканный вкус. Уксусная кислота выпускается в виде эссенции (с содержанием 70–80%) или столового уксуса. Уксус вводят в смесь на заключительной стадии процесса во избежание разрушения эмульсии.

Консерванты в майонезной продукции играют очень большую роль, продлевая сроки сохранности продукта. При производстве майонезных соусов используют, в основном, соли сорбиновой и бензойной кислот. Бензойная и сорбиновая кислоты сами по себе имеют слабокислую реакцию, поэтому снижение pH для повышения эффективности консервирующего действия достигается добавлением лимонной или уксусной кислот.

Заключение. Масложировые эмульсионные продукты прямого типа являются мультикомпонентными системами, свойства которых определяются качественным и количественным составом рецептурных ингредиентов.

Наличие в майонезных продуктах воды, белковых, жировых ингредиентов обуславливает возможность параллельного протекания микробиологических, гидролитических процессов, приводящих к активизации биохимических и автокаталитических окислительных реакций.

Структурная устойчивость эмульсии, однородность и стабильность консистенции определяет не только товарный вид продукта, но и стабильность его в отношении окислительных и микробиологических процессов. В случае разрушения структуры, разжижения или расслоения эмульсии майонеза создаются условия, благоприятные для жизнедеятельности микроорганизмов и стимулирующие окисление жировой фазы.

Эмульгирующие и стабилизирующие компоненты, обеспечивающие физическую стабильность, могут влиять и на стойкость готового продукта к окислению, что связано со степенью

дисперсности жировой фазы. Антиоксидантную активность проявляют также некоторые углеводы, используемые в качестве стабилизатора в высоких концентрациях благодаря их способности поглощать свободные радикалы.

Процесс автоокисления можно затормозить с помощью натуральных (природных) и синтезированных веществ — антиокислителей, вступающих в реакцию с гидроперекисями без образования свободных радикалов, т.е. веществ, способных обрывать цепную реакцию.

Дополнительная обработка оборудования острым паром в процессе его комплексной мойки обеспечивает микробиологическую безопасность, а, следовательно, замедляют ферментативное окисление готовой продукции на протяжении срока хранения.

Поэтому при разработке мероприятий по повышению окислительной устойчивости масложировых эмульсионных продуктов прямого типа основное внимание исследователей должно быть направлено на обеспечение их микробиологической, гидролитической и структурной устойчивости при производстве и хранении.

Список использованных источников

1. Терещук, Л. В. Технологические аспекты повышения антиоксидантной устойчивости соусов майонезных / Л. В. Терещук, К. В. Старовойтова // Техника и технология пищевых производств. — 2013. — №1 (28). — С. 47-53.
2. Старовойтова, К. В. Разработка и товароведная оценка соусов майонезных антиоксидантной направленности: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.15 / К. В. Старовойтова; Кемер. технол. ин-т пищевой пром. — Кемерово, 2011. — 20 с.
3. Тюньков, И. В. Химия пищи: учебно-методическое пособие / И. В. Тюньков, О. С. Котлярова. — Новосибирск: НГАУ, 2011. — 100 с.
4. Nunez de Gonzalez, M. T., Boleman, R. M., Miller, R. K., Keeton, J. T., Rhee, K. S. Antioxidant properties of dried plum ingredients in raw and precooked pork sausage // *Journal of Food Science*, 2008, vol. 73. — P. 63–71.
5. Lee, M. A., Choi, J. H., Choi, Y. S., Kim, H. Y., Kim, H. W., Hwang, K. E., Chung, H. K., Kim, C. J. Effects of kimchiethanolic extracts on oxidative stability of refrigerated cooked pork // *Meat Science*, 2011. — Vol. 89. — P. 405–411.
6. Саркисян, В. А. Токсикологическая характеристика основных продуктов окисления липидов / В. А. Саркисян, А. А. Кочеткова, В. В. Бессонов, И. В. Глазкова // Вопросы питания. — 2016. — №6. — С. 80-85.
7. Колодязная, В. С. Пищевая химия: Учеб. пособие. / В. С. Колодязная; СПбГАХИТ. — СПб., 1999. — 140 с.
8. Саркисян В. А. Пути регулирования процессов перекисного окисления липидов при производстве жировых ингредиентов / Вопросы питания // 2016. — Т. 85. — №2. С. 34.
9. Писаренко, А. П. Курс коллоидной химии : учебник / А. П. Писаренко, К. А. Поспелова, А. Г. Яковлев ; ред. А. П. Писаренко. — М. : Высш. шк., 1961. — 242 с.
10. Егоров, С. В. Коллоидная химия. Шпаргалка: учебное пособие / Егоров, С. В., Оробейко Е. С, Мухачева Е. С., — М.: Экзамен, 2007. — 64 с.
11. Нечаев, А. П. Майонезы / А. П. Нечаев, А. А. Кочеткова, И. Н. Нестерова - СПб: ГИОРД, — 2000. — 80 с.
12. Effects of droplet size on the oxidative stability of oil-in-water emulsions / K. Nakaya [et al.] // *Lipids*. 2005. Vol. 40. № 5. P. 501–507.
13. Katsuda, M. S. Physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions stabilized with p-lactoglobulin and pectin M. S. Katsuda [sr a./] *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56. № 14. — P. 5926-5931.
14. Тарасова, Л. И. Пищевые волокна SenseFi - стабилизаторы структуры и качества / Л. И., Тарасова, Т. Г. Тагиева, И. М. Завадская // Пищевая промышленность. — 2015. — №10. — С.50-52.
15. Jacobsen, C. Oxidation in fish oil enriched mayonnaise : Ascorbic acid and low pH increase oxidative deterioration. / Jacobsen, Charlotte; Timm Heinrich, Maike; Meyer, Anne S. — *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. — Vol. 49. — №. 8. — 2001. — P. 3947-3956.
16. Kim, J.Y., Yi, B., Lee, C. et al. Effects of pH on the rates of lipid oxidation in oil–water system. *Appl Biol Chem* 59. — 2016. — P. 157–161.
17. Активность воды. Увеличение сроков годности и стабильность продукции [Электронный ресурс] / Decagon Devices, Inc. — Режим доступа: <https://decagon.ru/aw/activity-of-water>. Дата доступа: 24.05.2024.
18. Черевко, А. И. Энциклопедия питания. Том 2. Нутриенты пищевых продуктов : справочное издание / А. И. Черевко, В. М. Михайлов, Е. В. Новикова [и др.] ; под общ. ред. А. И. Черевко, В. М. Михайлов. — Москва : КноРус, 2024. — 125 с.

19. Кубасов, А. А. Химическая кинетика и катализ. Часть 1 / А. А. Кубасов. — Москва: Изд-во Московского университета, 2004 г. — 144 с.
20. Рудакова, М. Ю. Повышение безопасности продуктов питания, жаренных во фритюре / М. Ю. Рудакова, Ю. В. Николаева // Продовольственные технологии. — 2017. — № 1. — С. 21–26.
21. Суханова, Г. А. Биохимия клетки: учебно-методическое пособие. / Г. А. Суханова, В. Ю. Серебров. — Томск: 1999 г. — 151 с.
22. Ефимкин, А. А. Технология продукции общественного питания : учеб. пособие : для студентов ссузов : в 2 ч. / А. А. Ефимкин, Н. С. Соляник ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Кемер. технол. ин-т пищевой пром-сти, Среднетехн. фак. - Кемерово : КемТИПП, 2011 — Ч. 1. — 2011. — 143 с.
23. Нечаев, А.П., Траубенберг С.Е. и др. Пищевая химия. Под ред. А.П. Нечаева. — СПб.: ГИОРД, 2007.- 640с.
24. Kishk, Y. F. M., Al-Sayed H. M. A. Free-radical scavenging and antioxidative activities of some polysaccharides in emulsions LWT - Food Science and Technology.2007. –Vol. 40. — №2. — P. 270–277.
25. Niki E, Yoshida Y, Saito Y, Noguchi N. Lipid peroxidation: mechanisms, inhibition, and biological effects// BiochemBiophys Res Commun, 2005, vol 338, 668–676.
26. Fuhrman B, Volkova N, Rosenblat M, Aviram M. Lycopene synergistically inhibits LDL oxidation in combination with vitamin E, glabridin, rosmarinic acid, carnosic acid, or garlic. Antioxid Redox Signal. 2000 Fall;2 (3):491–506.
27. Рахимова, Э. И., Сироткин А. С., Саитова Э. Э. Биологическая безопасность производства майонеза / Э. И. Рахимова, А. С. Сироткин, Саитова Э. Э. // Актуальная биотехнология. — 2019. —№3. — С. 302–305.
28. Радаева, И. А. Окисление липидов и порча молочных продуктов [Электронный ресурс] / Переработка молока. — Режим доступа: <https://www.milkbranch.ru/publ/view/439.html?ysclid=lx6ktjhfu9343797297>. Дата доступа: 24.05.2024.
29. Некоторые особенности применения ферментированного яичного желтка в производстве майонеза [Электронный ресурс] / Масла и жиры. — Режим доступа: <http://www.oilbranch.com/publ/view/15.html>. Дата доступа: 24.05.2024.
30. Николаева М. А. Хранение продовольственных товаров: учебное пособие / М. А. Николаева, Г. Я. Резго. — Москва: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2022. — 304 с.
31. Ароматизатор горчицы для майонезов и соусов [Электронный ресурс] / Тейст дизайн. — Режим доступа: <https://td-ukraine.com.ua/news/aromatizator-gorchicy-dlya-majonezov-i-sousov>. Дата доступа: 24.05.2024.

Информация об авторах

Жакова Кристина Ивановна, кандидат технических наук, ученый секретарь, РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: zhakova@belproduct.com

Бабодей Валентина Николаевна, начальник отдела технологий кондитерской и масложировой продукции, РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: 2945684@mail.ru

Пчельникова Анна Владимировна, научный сотрудник отдела технологий кондитерской и масложировой продукции, РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: 2945684@mail.ru

Information about authors

Zhakava Christina Ivanovna, PhD (Technical), scientific secretary of the RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: zhakova@belproduct.com

Babodey Valentina Nikolaevna, head of the department of technology confectionery and fat-and-oil products of the RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: 2945684@mail.ru

Pchelnykova Anna Vladimirovna, researcher of the department of technology confectionery and fat-and-oil products of the RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: 2945684@mail.ru

УДК 664.31.36

Поступила в редакцию 14.06.2024
Received 14.06.2024

**Б. Ф. Курамбоев¹, У. С. Балтаев¹, С. Х. Шамуратов¹, М. Ж. Абдуллаев²,
Т. А. Султанова¹, М. Ф. Ражабов¹, У. К. Алимов^{1,3}**

¹Ургенчский государственный университет, г. Ургенч, Республика Узбекистан

²АО «Urganch yog'-moy», г. Ургенч, Республика Узбекистан

³Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДООМЫЛЕННОГО ХЛОПКОВОГО СОАПСТОКА, ПОЛУЧЕННОГО ЯДРОВЫМ СПОСОБОМ

Аннотация. Соапсток является ценным вторичным ресурсом для масложировой промышленности, из которого можно получить различные ПАВы, жирные кислоты, моющие средства и т.д. В данной статье приведены сравнительные результаты исследования по переработке хлопкового соапстока щелочным гидролизным методом омыления с последующей отсолкой мыльной массы поваренной солью. Для этого исходный соапсток (далее — СП) был разбавлен водой в пропорции от 1:1 до 1:4 по отношению к исходной массе. Экспериментально показано, что плотность и вязкость эмульсии мыльного ядра по сравнению с сырым соапстком повышается от 1,11 до 1,74 и от 1,01 до 1,07. В то же время по сравнению с сырым разбавленным соапстком данные значения повышаются от 0,94 до 1,48 и от 1,67 до 5 соответственно. Это говорит о том, что после отсолки солевой раствор в несколько раз повышает плотность и вязкость прямой эмульсии “масло-жир в воде”.

С точки зрения эффективного использования материальных и сырьевых ресурсов, а также обеспечения необходимых технологических показателей, наиболее оптимальной для получения транспортабельной мыльной эмульсии является «Проба отс» с массовым соотношением СП: H₂O = 2. Результаты степени отстаивания мыльного ядра показали возможность увеличения скорости отстаивания и сокращения времени отстаивания до двух часов. Реологические характеристики доомыленного и отсоленного хлопкового соапстока свидетельствуют о приемлемости осуществления перекачки эмульсии мыльного ядра с одного аппарата в другой и выдержки в достаточных сроках хранения.

Ключевые слова: соапсток, омыления, отсолка, плотность, вязкость, отстаивание, скорость отстаивания.

**B.F.Kuramboev¹, U.S.Baltaev¹, S.Kh.Shamuratov¹, M.Zh.Abdullaev²,
T.A.Sultanova¹, M.F. Rajabov¹, U.K.Alimov^{1,3}**

¹Urgench State University, Urgench, Republic of Uzbekistan

²JSC “Urganch yog'-moy”, Urgench, Republic of Uzbekistan

³General and Inorganic chemistry Institute of Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Republic of Uzbekistan

STUDY OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PRE-SAPONATED COTTON SOAPSTOCK OBTAINED BY THE NUCLEAR METHOD

Abstract. Soapstock is a valuable secondary resource for the oil and fat industry, from which various surfactants, fatty acids, detergents, etc, can be obtained. This article presents comparative results of a study on processing cotton soapstock by the alkaline hydrolysis method of saponification with subsequent salting of the soap mass with table salt. For this purpose, the original soapstock (SP) was diluted with water from 1:1 to 1:4 times relative to the original mass. It was experimentally shown that the density and viscosity of the soap core emulsion, compared to raw soap stock, exceed from 1.11 to 1.74, from 1.01 to 1.07, and 1.66 to 6 times. At the same time, compared to raw diluted soapstock, these values exceed from 0.94 to 1.48 and from 1.67 to 5 times, respectively. This suggests that after salting, the salt solution several times exceeds the density and viscosity of the direct emulsion “oil-fat in water”.

From the point of view of material and raw material resources, as well as technological indicators, the most optimal condition for obtaining a transportable soap emulsion is the “Sample pickling” with a mass ratio of SP: H₂O = 2. The results of the degree of settling of the soap core showed the possibility of increasing the settling rate by a sufficient 2 hours. Rheological characteristics of pre-saponified and salted cotton soapstock indicate the acceptability of pumping the soap core emulsion from one apparatus to another and holding it for sufficient storage periods.

Keywords: soap stock, saponification, salting, density, viscosity, settling, settling rate.

Введение. Масла и пищевые жиры играют ключевую роль в рационе питания человека и составляют около 30% от общего количества остальных питательных веществ (углеводы, белки, витамины, макро- и микроэлементы). Согласно требованиям Санитарных норм и правил (СанНиП) и техническому регламенту (ТР 0366-19), ежегодно на душу населения в республике приходится в среднем от 9,1 до 13,5 кг масла. В мире в качестве сырья для пищевого масла перерабатывают такие масличные культуры как соя, пальма, подсолнух, оливки, сафрол и др. Они относятся к категории светлых масел и имеют ценные сбалансированные питательные компоненты. Также они хорошо подвергаются процессам рафинации, омылению и этерификации для получения эмульгаторов, биотоплива и концентратов фосфолипидов и др. [1].

Республика Узбекистан входит в десятку мировых производителей хлопка сырца. Годовой объем производства равен 3,5 млн т, что составляет 8,04% от общемирового годового объема производства хлопка, равного 43,5 млн т. Из этого же сырца в хлопкоочислительных заводах республики получают 1,75 млн. т семян хлопка, из которого государственные и кластерные хозяйства республики получают 205 тыс. т хлопкового масла. В то же время потребность республики в растительном масле составляет 500 тысяч т. Остальное количество (220-230 тыс. т масла) импортируется из-за рубежа.

Региональными производителями хлопкового масла в Узбекистане являются как государственные акционерные общества “Urganch yog‘-moy”, “Farg‘ona yog‘-moy”, “Yangiyul yog‘-moy”, “Effektiv oil”, “Ideal oil”, “Xonrod invest”, так и кластерные предприятия. Они получают около 220 тыс. тонн сырого хлопкового масла, из которого извлекают в среднем 20-22 тыс. тонн соасптока. В России же при переработке масличных культур образуется 150 тыс. тонн соасптока [2].

Соаспсток является полупродуктом, образующимся в процессе щелочной рафинации (NaOH, KOH) сырого масла. В состав соасптока входят нейтральный жир, натриевые соли жирных кислот (мыло), фосфолипиды, фосфатидилхолин (лецитин), фосфатидилэтанолламин (кефалин), фосфатидилсерин, фосфатидилинозит, кардиолипин и фосфосфинголипиды (сфингомиелины), красящие вещества (каротин, каротиноиды, хлорофил, госсипол), свободные жирные кислоты, глицерин, углеводы (сахароза, рафиноза, стахиоза, сквален), воскоподобные, неомыляемые вещества и др. [3,4].

В зависимости от технологии ведения процесса и режима рафинации, а также вида культуры, содержание соасптока и его технические характеристики меняются. Например, соаспсток подсолнечного масла содержит (мас. %): общий жир — 46, жир в виде мыла — 15, влагу — 42, фосфлипиды — 2, неомыляемые и воскоподобные вещества — 3 [5, 6]. Хлопковый соаспсток содержит нейтральный жир — от 25 до 65 %, жирные кислоты (связанные в виде мыла) — от 13 до 33 %, воду — от 40 до 60 %, фосфолипиды — от 0,45 до 0,85 %, неомыляемые вещества — от 2,9 до 6,8 %, токоферол — от 4,0 до 8,9 %, свободный госсипол — от 0,21 до 0,29 % [7, 8].

Соаспсток широко применяется для производства мыла различного назначения, синтетических жирных кислот, поверхностно-активных веществ, биотоплива, кормовых добавок для птиц [9-11]. Также соаспсток нашел свое применение в горном деле и бурении нефтяных скважин [7, 9, 13].

Несмотря на присутствие ценных веществ в соаспстоке, последнее время при производстве хозяйственного мыла и других видов мыла вместо него используются привозные синтетические жирные кислоты (олеиновая, пальмитиновая, стеариновая, линолевая, линоленовая, миристириновая).

В работе [14] приведен сравнительный анализ физико-химических показателей и основных структурно-механических свойств прозрачных мыл «Чистая линия», «Лаймовый пудинг», твердого крем-мыла «Детское» и мыла Duru Gourmet «Вишневый пирог» и др. На основе полученных результатов исследований выявлено, что все исследуемые образцы, за исключением декоративного мыла «Exotic Fresh» (ЗАО «Витекс», Республика Беларусь), характеризуются высоким содержанием жирных кислот (более 73 %), титром и йодным числом, соответствующими требованиям нормативных документов. Однако следует не забывать о преимуществах природных веществ перед синтетическими, а также об их значимости в экологической, экономической и социальной сферах.

Соапсток представляет собой прямую эмульсионную коллоидную систему «масло в воде» с концентрацией масла порядка 40 %, стабилизированную собственными ионогенными поверхностно-активными веществами с рН среды 9-12. Все вышеуказанные показатели исследований свидетельствуют, что соапсток является одним из важных вторичных ресурсов масложировой промышленности.

Целью настоящего исследования является изучение реологических свойства хлопкового соапстока, имеющего более сложную структуру в сравнении с соапстоком светлых масел, после его отсолки хлоридом натрия. Данный метод называется ядерным и хорошо известен в технологии мыловарения.

Материалы и методы исследований. Для исследования был использован хлопковый соапсток предприятия АО «Uganch yog'-moу». Данное предприятие за сутки перерабатывает 200-300 тонн семян хлопка. В среднем при переработке 120 тыс. тонн семян (из 250 тыс. тонн хлопка сырца) с масличностью 19% методом прессования получают 22,8 тыс. тонн сырого масла. После щелочной рафинации получают 2,143 тыс. тонн соапстока, что составляет 9,4 % от общего количество сырого масла. С учетом технологических потерь 1,6 % в количестве 364,8 т. получается $23,8 - 2,143 - 0,364 = 15,37$ тыс. т. рафинированного масла. Ежегодно на предприятии накапливается 2,143 тыс. тонн хлопкового соапстока, что представляет собой как практический, так и научный интерес.

Для исследований в течение одного месяца использовался хлопковый соапсток в свежем виде, который хранился в холодильнике при температуре не выше +8 °С.

Согласно ТУ O'zDSt 2797:2013 [12], технические характеристики соапстока должны отвечать следующим требованиям, приведенными в табл. 1.

Table 1. Техническая характеристика хлопкового соапстока
Table 1. Technical specifications of cotton soapstock

Наименование показателей	Характеристики			
	Соапсток из светлых растительных масел	Соапсток из хлопкового масла	Соапсток из саломаса и животных жиров	Соапсток мисцельный
Цвет	От желтого до светло-коричневого с оттенком коричневого цвета исходной масла	От коричневого до темно-коричневого	От желтого до темно-желтого с сероватым оттенком	От темно-желтого до коричневого
Консистенция при 20°С	Жидкая или мазеобразная			
Запах	Специфический, свойственный соапстоку, полученному из различных масел и жиров; допускается слабый запах продуктов разложения органических веществ; не допускается запах нефтепродуктов, бензина			
Посторонние твердые примеси	Отсутствие	Отсутствие	Отсутствие	Отсутствие

Исходный соапсток (СП) подвергался разбавлению водой жесткостью 7 ммоль экв/л при соотношении СП : H₂O = 1 : 1.

Прежде чем определить реологические показатели, образцы соапстока доомыляли классическим методом, применяя 42 %-ный раствор гидроксида натрия при температуре 95 °С до постоянного содержания свободной щелочности (0,2-0,3 %). Затем в полученную мыльную массу добавляли сухую поваренную соль, рН исходного и разбавленного соапстока был определен на приборе Mettler Toledo рН-метр FiveGo (Швейцария).

Плотность образцов соапстока определяли пикнометрическим методом и ее значение рассчитывали по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \tag{1}$$

где m — масса эмульсии соапстока, г; V — емкость пикнометра, см³. Точность измерения составляет ± 0,05 %.

Исследования по определению динамической вязкости были проведены с использованием ротационного вискозиметра HAAKE Viscotester 1 plus (Германия). Точность измерения составляет ±3.

Весь процесс доомыления, отсолки и измерения реологических свойств проводился в водном термостате Memmert WNB 29-115V 29L (Германия) с контрольным напряжением 115V.

Физико-химические параметры были графически обработаны с использованием Microsoft Excel software (версии 2011) для получения изменения коэффициента регрессии R^2 и определения достоверности полученных результатов.

Исходные характеристики хлопкового мыла без добавки воды представлены в табл. 2.

Table 2. Исходные характеристики неомыленного и неразбавленного мыла
Table 2. Initial content of unsaponified and undiluted soapstock

Общая жирность, %	Содержание нейтрального жира, %	Содержание свободных жирных кислот, %	pH	Содержание мыла, %	Содержание влаги, %	Содержание сухих веществ	Содержание золы, %
33,2	26	-	6,25	7,2	35,94	64,06	8,2

Процесс отстаивания доомыленного и отсоленного мыла изучался в зависимости от времени выдержки при 95°C, согласно формуле:

$$\omega, \% = h_1 - \frac{h_2}{h_1} \cdot 100, \quad (2)$$

где, h_1 — общая высота мыла, мм; h_2 — уровень высоты неосветленной части мыла, мм.

Результаты исследований и их обсуждение. Для предварительной оценки были изучены реологические свойства сырого неомыленного мыла. Мыло разбавляли водой в соотношении 1:1; 1:2; 1:3 и 1:4 раза, полученные образцы промаркировали соответственно как “Проба 1”, “Проба 2”, “Проба 3” и “Проба 4”. Результаты представлены в табл. 3 и на рис. 1.

Как видно, чем больше пробы были разбавлены, тем ниже снижались показатели плотности и вязкости. Снижение реологических характеристик наблюдалось при увеличении температуры. Например, при температуре 40 °C и разбавлении мыла в пропорциях от 1:1 до 1:4 приводит к снижению плотности и вязкости от 1,0770 до 0,9434 г/см³ и от 17 до 8 Па·с. Тогда как с увеличением температуры наблюдается снижение плотности от 1,0853 г/см³ до 1,0334 г/см³ (в пробе 1, при разбавлении 1:1) и от 0,9494 г/см³ до 0,9258 г/см³ (в пробе 4, при разбавлении 1:4), а вязкости от 27 до 7 (в пробе 1) и от 9 до 1 Па·с в пробе 4) при разбавлении мыла от 1:1 до 1:4. Это свидетельствует, что в зависимости от температуры и степени разбавления мыла плотность и вязкость снижаются от 1,03 до 1,2 и от 3 до 27 раз.

Table 3. Изменение показателей плотности и вязкости сырого разбавленного мыла
Table 3. Changes in the density and viscosity of raw diluted soapstock

Нумерация проб	pH мыла	Плотность, (г/см ³) при температуре, °C						Математическая зависимость	R ²
		20	40	60	80	90	95		
Проба 1	6,30	1,0853	1,0770	1,0687	1,0509	1,0424	1,0334	d=1,1029-0.0007T	0,9568
Проба 2	6,33	1,0509	1,0445	1,0345	1,0227	1,0185	1,0113	d=1.0635-0.0005T	0,9797
Проба 3	6,62	1,0366	1,0303	1,0203	1,0111	1,0061	1,0019	d=1.0473-0.0005T	0,9917
Проба 4	6,69	0,9494	0,9434	0,9375	0,9317	0,9269	0,9258	d=0.956-0.0003T	0,9962
Нумерация проб	pH мыла	Вязкость, (Па·с) при температуре, °C						Математическая зависимость	R ²
		20	40	60	80	90	95		
Проба 1	6,30	27	17	13	11	9	7	$\eta=62,198-11,94\ln(T)$	0,9848
Проба 2	6,33	18	15	10	9	7	5	$\eta=42,754-7,951\ln(T)$	0,9425
Проба 3	6,62	15	13	8	7	4	3	$\eta=18,542-0.1591\ln(T)$	0,9702
Проба 4	6,69	9	8	6	5	2	1	$\eta=-0,0012T^2+0,077T+8,5703$	0,9671

На основании полученных результатов для проведения дальнейших исследований оптимальным был выбран вариант пробы 1. Данная проба подвергалась доомылению 42%-ным раствором NaOH. Процесс щелочного гидролиза длился 4,5 часа до постоянного содержания свободной щелочности 0,2%. Далее мыльный клей подвергался отсолке с добавлением хлорида натрия 10% от мыльной массы. Затем после отсолки мыльная масса перемешивалась в течение 30 мин. После чего была разбавлена еще раз водой в соотношении 1:1; 1:2; 1:3 и 1:4 и был отмечен как “Проба 1 отс”, “Проба 2 отс”, “Проба 3 отс” и “Проба 4 отс”. После разбавления отсоленная мыльная масса перемешивалась каждой 15 мин и доводилось до постоянного значения плотности и вязкости. Время зафиксированная, при котором реологические показатели постоянны составило 270 мин.

Зависимость изменения плотности и вязкости разбавленных мыльных отсолевых масс от температуры приведена в табл. 4 и на рис. 2. Как видно аналогичная закономерность наблюдается и при измерении реологических свойств доомыленных и отсоленных образцов соапстока. Так с увеличением температуры от 20 до 95 °С плотность и вязкость соапстока снижаются в порядке от 1,6912 до 1,5306 и от 1,1367 до 1,0064 г/см³ и от 45 до 18 и от 42 до 5 Па·с соответственно при измерении разбавленного доомыленного и отсоленного соапстока от 1:1 до 1:4 раза. В случае увеличении степени разбавленности соапстока при одной и той же температуре, например 40 °С плотность и вязкость снижаются 1,6548 до 1,0988 г/см³ и от 42 до 36 Па·с соответственно.

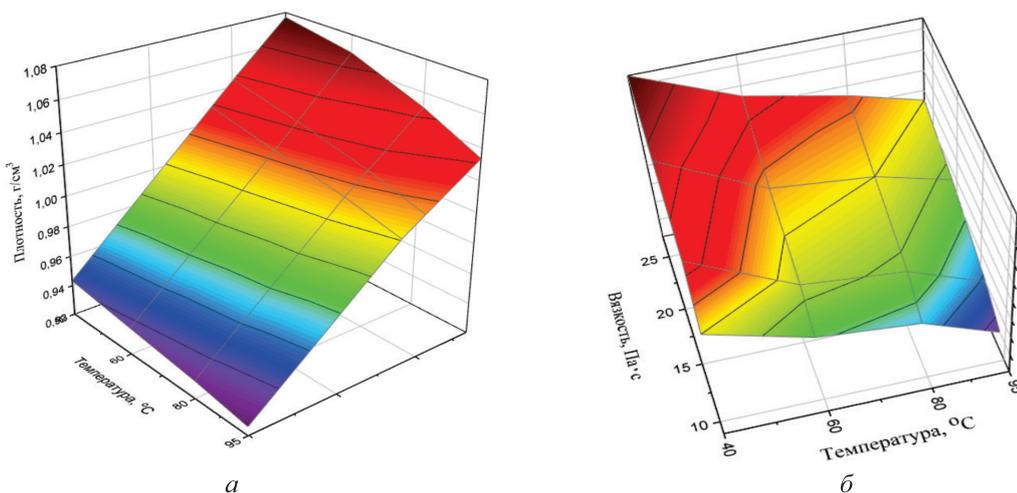


Рис. 1. Зависимость изменения плотности (а) и вязкости (б) разбавленных проб сырого соапстока от температуры
 Fig. 1. Dependence of changes in density (a) and viscosity (b) of diluted samples of raw soapstock on temperature

Эти данные по сравнению исходными показателями реологических свойств соапстока с 1,0277 до 0,8791 г/см³ и с 42 до 3 Па·с превышают от 1,11 до 1,74 и от 1,01 до 1,07 и 1,66 до 6 раза. Это говорит о том, что после отсолки солевой раствор несколько раз превышает плотность и вязкость прямой эмульсии “масла-жир в воде”.

В то же время показатели плотности и вязкости эмульсии мыльного ядро от 0,94 до 1,48 и от 1,67 до 5 раза превышает реологические показатели сырого соапстока.

Обоих случаях (табл. 3 и 4) хлопковый соапсток являясь полидис-персной системой при определенных условиях проявляют свои аномальные свойства, т.е. не подчиняется Ньютонским законам и жидкостям. Это связано присутствием природных ПАВ как госсипола, его производных, фосфолипидов, мыло и др. [15].

Корреляционные показатели плотности подчиняются прямолинейную зависимость, а в случае вязкости R^2 выявляют нечто подобное, что представляет как логарифмическую, так и полиминальное уравнение зависимости (рис. 1), а также прямолинейную (рис. 2). Это свидетельствует о существование полярных (-RCOONa) и неполярных (R-O-CO-R) молекул в сыром и отсоленном соапстоке.

Согласно технологии ядерного способа, соапсток после отсолки оставляют на отстаивание на определенное время [16]. Результаты исследования представлены в табл. 5 и на рис. 3. Как показали расчеты, степень отстаивания соапстока после отсолки увеличивается с увеличением времени выдержки.

Например, в случае разбавления соапстока при массовом соотношении СП : H₂O = 1:1 (Проба 1 отс) и увеличении времени отстаивания от 15 до 120 мин, степень отстаивания повышается от 21,88 до 37,5%. В то же время максимальная степень отстаивания наблюдается при разбавлении соапстока до 1:4 (от 59,37 до 71,88%) при продолжительности времени отстаивания от 15 до 120 мин. При постоянной температуре с увеличением степени разбавления соапстока, наблюдается увеличение степени отстаивания мыльной массы. Однако при постоянной диапазоне степени разбавления соапстока от 1:1 до 1:4 и увеличении температуры степень отстаивания увеличивается от 21,88 до 56,25 и от 37,5 до 71,88. При этом наблюдается увеличение степени отстаивания в 2,57 и 1,92 раза соответственно.

Table 4. Изменение показателей плотности и вязкости доомыленного и отсоленного soapstocka
Table 4. Changes in the density and viscosity of pre-saponified and salted soapstock

Нумерация проб	рН soapstocka	Плотность. (г/см ³) при температуре. °С						Математическая зависимость	R ²
		20	40	60	80	90	95		
Исх	12,65	1,0277	0,973	0,9382	0,894	0,8807	0,8791	d=1,7374-0.0021T	0,9866
Проба 1 отс	12,68	1,6912	1,6548	1,6202	1,5808	1,5514	1,5306	d=1,3777-0.0023T	0,9899
Проба 2 отс	12,71	1,3245	1,2919	1,2489	1,2026	1,1703	1,1558	d=1.237-0.0018T	0,9973
Проба 3 отс	12,73	1,2026	1,1654	1,1256	1,0911	1,0734	1,0703	d=1,168-0.0018T	0,9801
Проба 4 отс	12,74	1,1367	1,0988	1,0502	1,0162	1,0101	1,0064	d=1.0599-0.002T	0,9871
Нумерация проб	рН soapstocka	Вязкость. (Па · с) при температуре. °С						Математическая зависимость	R ²
		20	40	60	80	90	95		
Исх	12,65	42	35	27	16	7	3	η=54,851-0,3587T	0,9531
Проба 1 отс	12,68	45	42	36	28	22	18	η=54,3-0,4051T	0,9638
Проба 2 отс	12,71	44	39	33	24	18	13	η=53,877-0,4319T	0,9578
Проба 3 отс	12,73	43	37	31	22	15	9	η=54,516-0,486T	0,9637
Проба 4 отс	12,74	42	36	29	18	10	5	η=54,857-0,5172T	0,9732

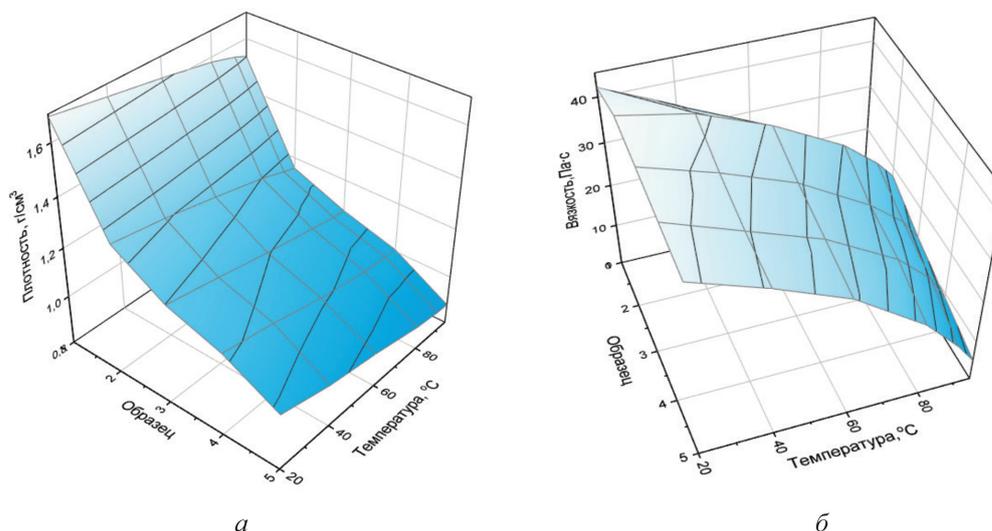


Рис. 2. Зависимость изменения плотности (а) и вязкости (б) разбавленных доомыленных и отсоленных образцов от температуры

Fig. 2. Dependence of changes in density (a) and viscosity (b) of diluted pre-saponified and salted samples on temperature

Была рассчитана скорость отстаивания, которая характеризует темп роста степени отстаивания за минуту. Результаты представлены в табл. 6. Из таблицы следует, что при массовом соотношении СП:Н₂О = 1:1 скорость отстаивания растет от 1,46 до 2,5 %/мин. Подобная закономерность наблюдается и в Пробе 2 отс и Пробе отс 3 и описывается логарифмической функцией. Однако в Пробе 4 ост скорость отстаивания подчиняется прямолинейной функции, что означает линейную зависимость от времени отстаивания.

Из результатов исследований таблиц 4–6 можно сделать вывод, что оптимальным вариантом является «Проба отс» с массовым соотношением СП: Н₂О = 2. В остальных вариантах при уменьшении объема воды уменьшается скорость отстаивания, а увеличение объема воды ведет к нерациональному использованию больше водных ресурсов, которые в дальнейшем усложняют очистку сточных вод в предприятиях масложировой промышленности.

Заключение. Таким образом, проведенные лабораторные исследования показали возможность измерения плотности и вязкости доомыленной и отсоленной массы хлопкового soapstocka. Результаты показали, что значения плотности и вязкости эмульсии мыльного ядра превышают реологические показатели сырого soapstocka от 0,94 до 1,48 и от 1,67 до 5 раза соответственно. По сравнению сырым soapstockom данные показатели превышают от 1,11 до

1,74 и от 1,01 до 1,07 и 1,66 до 6 раза. Это говорит о том, что после отсолки солевой раствор в несколько раз превышает плотность и вязкость прямой эмульсии “масла-жир в воде”. Результаты степени отстаивания мыльного ядра показали возможность увеличения скорости отстаивания и сокращение времени отставания до 2 часов.

Table 5. Изменение показателей осветления soapstock после его доомыления и отсолки от массового соотношения СП: H₂O и времени отстаивания при 95 °С

Table 5. Changes in the clarification indicators of soapstock after its pre-saponification and salting depending on the mass ratio of SP: H₂O and settling time at 95 °С

Нумерация проб	Массовые соотношения СП : H ₂ O	Время отстаивания, мин	Изменение уровня осветленной части soapstock от исходного положения, (мм)	Степень отстаивания, %	Математическая зависимость (логарифмическая)	R ²
Исх	-	1	3,2	100	-	-
Проба 1 отс	1:1	15	2.5	21,88	Y=3,0286 - 6,537 ln(T)	0,9759
Проба 2 отс	1:2		2.2	31,25	Y=5,3153 -7,9079 ln(T)	0,9587
Проба 3 отс	1:3		1.8	43,75	Y=6,2295 - 11,212 ln(T)	0,9617
Проба 4 отс	1:4		1.3	56,25	Y=8,283 -13,898 ln(T)	0,9481
Проба 1 отс	1:1	30	2.4	24,99	Y=3,0286 - 6,537 ln(T)	0,9759
Проба 2 отс	1:2		2.2	32,81	Y=5,3153 -7,9079 ln(T)	0,9587
Проба 3 отс	1:3		1.7	46,87	Y=6,2295 - 11,212 ln(T)	0,9617
Проба 4 отс	1:4		1.4	59,37	Y=8,283 -13,898 ln(T)	0,9481
Проба 1 отс	1:1	45	2.35	26,56	Y=3,0286 - 6,537 ln(T)	0,9759
Проба 2 отс	1:2		2.1	37,38	Y=5,3153 -7,9079 ln(T)	0,9587
Проба 3 отс	1:3		1.6	48,44	Y=6,2295 - 11,212 ln(T)	0,9617
Проба 4 отс	1:4		1.2	62,49	Y=8,283 -13,898 ln(T)	0,9481
Проба 1 отс	1:1	60	2.3	28,12	Y=3,0286 - 6,537 ln(T)	0,9759
Проба 2 отс	1:2		2.0	37,51	Y=5,3153 -7,9079 ln(T)	0,9587
Проба 3 отс	1:3		1.6	48,44	Y=6,2295 - 11,212 ln(T)	0,9617
Проба 4 отс	1:4		1.2	62,50	Y=8,283 -13,898 ln(T)	0,9481
Проба 1 отс	1:1	75	2.2	31,25	Y=3,0286 - 6,537 ln(T)	0,9759
Проба 2 отс	1:2		2.0	37,50	Y=5,3153 -7,9079 ln(T)	0,9587
Проба 3 отс	1:3		1.5	53,12	Y=6,2295 - 11,212 ln(T)	0,9617
Проба 4 отс	1:4		1.1	65,63	Y=8,283 -13,898 ln(T)	0,9481
Проба 1 отс	1:1	90	2.2	31,25	Y=3,0286 - 6,537 ln(T)	0,9759
Проба 2 отс	1:2		2.0	37,50	Y=5,3153 -7,9079 ln(T)	0,9587
Проба 3 отс	1:3		1.4	56,25	Y=6,2295 - 11,212 ln(T)	0,9617
Проба 4 отс	1:4		1.0	68,75	Y=8,283 -13,898 ln(T)	0,9481
Проба 1 отс	1:1	120	2.0	37,50	Y=3,0286 - 6,537 ln(T)	0,9759
Проба 2 отс	1:2		1.8	43,75	Y=5,3153 -7,9079 ln(T)	0,9587
Проба 3 отс	1:3		1.3	59,38	Y=6,2295 - 11,212 ln(T)	0,9617
Проба 4 отс	1:4		0.9	71,88	Y=8,283 -13,898 ln(T)	0,9481

Table 6. Изменение скорости отстаивания от массового соотношения СП : H₂O и продолжительности времени

Table 6. Change in settling rate depending on the mass ratio of SP:H₂O and time duration

Нумерация проб	Массовая соотношение СП : H ₂ O	Скорость отстаивания при продолжительности, %/мин						
		15	30	45	60	75	90	120
Проба 1 отс	1:1	1,46	1,67	1,77	1,87	2,08	2,08	2,5
Проба 2 отс	1:2	2,08	2,19	2,49	2,5	2,5	2,5	2,92
Проба 3 отс	1:3	2,92	3,12	3,23	3,23	3,54	3,75	3,96
Проба 4 отс	1:4	3,75	3,96	4,17	4,17	4,38	4,58	4,79

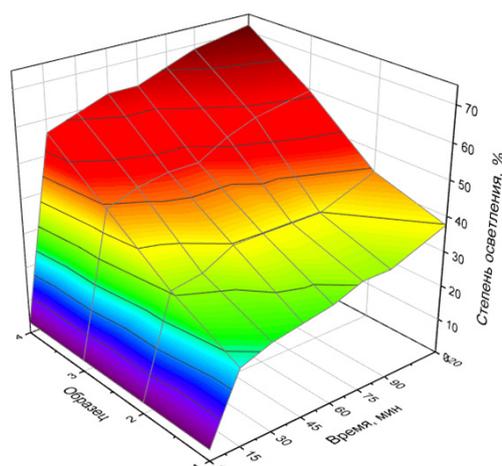


Рис. 3. Зависимость изменения степени отстаивания от продолжительности времени отстаивания доомыленных и отсоленных проб от температуры
 Fig. 3. Dependence of changes in the degree of settling on the length of time of settling of pre-saponified and salted samples on temperature

Оптимальным условием получения транспортабельной мыльной эмульсии является «Проба отс» с массовым соотношением СП: $H_2O = 2$. В остальных вариантах ниже этой соотношении воды препятствует скорости отстаивания, а больше требует больше водных ресурсов, которые в дальнейшем усложняют очистки сточных вод в предприятиях масложировой промышленности. Реологические характеристики доомыленного и отсоленного хлопкового мыльного раствора свидетельствуют о приемлемости осуществления перекачки эмульсии мыльного ядро с одного аппарата в другой и обеспечения необходимого качества в пределах установленных сроков хранения.

Список использованных источников

1. Wolf H., Richard J. H., Gijss C. Edible oil processing. Chapter 1. USA. 2013. 310 p.
2. Пояркова, Т. Н. Воздействие факторов различной природы на поверхностно-активные свойства мыльного раствора и его компонентов // Т. Н. Пояркова, Г. В. Кудрина, О. Г. Андросова, А. А. Зайцев, Ю. И. Прокофьев // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. — 2014. — С.83–92.
3. Abramzon, A. A. Poverhnostno-aktivnye veshchestva: svoystva i primeneniye / A. A. Abramzon. — L.: Himija, 1981. — 304 s.
4. Dowd, M. K. Compositional Characterization of Cottonseed Soapstocks / M. K. Dowd. — JAOCS, Vol. 73, no. 10 (1996). pp.1287 — 1295.
5. Арутюнян, Н. С. Лабораторный практикум по химии жиров / Н. С. Арутюнян. — СПб.: ГИОРД, 2004. — 264 с.
6. Шнып, И. А. Способы утилизации мыльного раствора — техногенного отхода жироперерабатывающей промышленности / И. А. Шнып, Л. М. Слепнева, О. Ф. Краецкая, Н. В. Зык, Р.С. Лукьянова // Вестник БНТУ. — 2011. — №2. — С. 68–71.
7. Базаров, Г. Р. Получение поверхностно-активных веществ на основе жирных кислот хлопкового мыльного раствора / Г. Р. Базаров, С. А. Абдурахимов // European research: innovation in science, education and technology: Тез. докл. — Лондон. — Электронный ресурс. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43971348> (дата доступа: 11.02.2024).
8. Pominski J., Pack F. C. The Destruction of Gossypol in Cottonseed Oil Soapstock by a Heat Treatment. The Journal of the American Oil Chemists' Society. 34, 1957. pp.299 — 301.
9. Рахимов Б. Р., Адизов Б. З., Абдурахимов С. А., Анваров Р. А., Ходжаев С. Б. Использование мыльных растворов в качестве депрессаторов для изменения вязкости местных нефтей. Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Рахимов Б.Р. [и др.]. 2021. 5(86). — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11783> (дата доступа: 11.02.2024).
10. Haas, M. J. Improving the economics of biodiesel production through the use of low value lipids as feedstocks: Vegetable oil soapstock. Fuel Processing Technology, 86. 2005, pp.1087–1096.
11. Pekel A. Y., Demirel G., Midilli M., Yalcintan H., Ekiz B., Alp M. Comparison of broiler meat quality when fed diets supplemented with neutralized sunflower soapstock or soybean oil. Poultry Science. 2012, 91. pp. 2361–2369.

12. ТР 12181-3-262-20. Производственный технологический регламент по процессу производства сырых жирных кислот иолеино-пальмитиновой фракции жирных кислот хлопкового соапстока. Ташкент, 2019. — 139 с.
13. Рахимов Б. Р., Набиев А. Б., Адизов Б. З., Абдурахимов С. А. Понижитель вязкости тяжелых нефтей на основе хлопкового соапстока. *Universum: Технические науки: электрон. научн. журн.* 2020. № 5(74). — URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/9362> (дата доступа: 11.02.2024).
14. Бабодей, В. Н. Сравнительный анализ качественных показателей прозрачных мыл, представленных на рынке Республики Беларусь / В. Н. Бабодей, К. И. Жакова, А. В. Пчельникова // *Пищевая промышленность: наука и технологии.* Минск, 2018. — Т. 11 — № 3 (41). — С. 75 — 84.
15. Рахимов Б. Р., Адизов Б. З., Абдурахимов С. А., Ходжиев С. Ф., Кадилова Н. Б. Использование соапстоков в качестве депрессаторов для изменения вязкости местных нефтей. *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2021. 5(86). — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11783> (дата доступа: 11.02.2024).
16. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / редкол.: А. Г. Сергеев [и др.]. — Ленинград, 1975. — Т. IV: Производство глицерина, жирных кислот. Хозяйственного и туалетного мыла и синтетических моющих средств. — 544 с.

Информация об авторах

Курамбоев Бехзод Фахриддинович, базовый докторант Ургенчского государственного университета, ул. Хамида Алимджана, 14, 220100, г. Ургенч, Республика Узбекистан.

E-mail: bekkuramboev@gmail.com

Балтаев Умидбек Сотимбаевич, кандидат технических наук, соискатель Ургенчского государственного университета, ул. Хамида Алимджана, 14, 220100, г. Ургенч, Республика Узбекистан.

E-mail: umidbek.baltaev.80@mail.ru

Шамуратов Санжарбек Хусинбай угли, доктор философии по техническим наукам (PhD), преподаватель, Ургенчского государственного университета, ул. Хамида Алимджана, 14, 220100, г. Ургенч, Республика Узбекистан.

E-mail: sanjar.sh@urdu.uz

Абдуллаев Матмурод Жумамуродович, мастер цеха по переработке соапстока АО «Urganch yog'-moy», Dosova 2, 220100, г. Ургенч, Республика Узбекистан.

E-mail: assalomualeykum1965@gmail.com

Султанова Турсуной Ахмадовна, магистр Ургенчского государственного университета, ул. Хамида Алимджана, 14, 220100, г. Ургенч, Республика Узбекистан.

E-mail: tursunoysultanova@gmail.com

Раджабов Мансур Фарходович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Пищевых технологий», факультета «Химических технологий» Ургенчского государственного университета, ул. Хамида Алимджана, 14, 220100, г. Ургенч, Республика Узбекистан.

E-mail: m.radjabov04041972@gmail.com

Алимов Умарбек Кадырбергенович, доктор наук по техническим наукам (DSc), старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории фосфорных удобрений Института общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан, ул. Мирзо Улугбек, 77-а, 100170, Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан.

E-mail: umaralihonalimov@mail.ru

Information about authors

Kuramboev Bekhzod Farkhodovich, basic doctoral student of Urgench State University, st. Hamid Alimjon, 14, 220100, Urgench Republic of Uzbekistan,

E-mail: bekkuramboev@gmail.com

Baltaev Umidbek Sotimbaevich, PhD (Technical), applicant of the Urgench State University, st. Hamid Alimjon, 14, 220100, Urgench, Republic of Uzbekistan.

E-mail: umidbek.baltaev.80@mail.ru

Shamuratov Sanjarbek Khusinbai ugli, Doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD), teacher of Urgench State University, st. Hamid Alimjon, 14, 220100, Urgench, Republic of Uzbekistan.

E-mail: sanjar.sh@urdu.uz

Abdullaev Matmurod Zhumamurodovich, Foreman of the Soapstock Processing Shop, JSC "Urganch yog'-moy", Dosova 2, 220100, Republic of Uzbekistan, Urgench.

E-mail: assalomualeykum1965@gmail.com

Sultanova Tursunoy Akhmadovna, Master student of Urgench State University, st. Hamid Alimjon, 14, 220100, Urgench, Republic of Uzbekistan.

E-mail: tursunoysultanova@gmail.com

Radjabov Mansur Farkhodovich, PhD (Technical), Associate Professor, Head of the Department of Food Technologies, Faculty of Chemical Technologies, Urgench State University, st. Hamida Alimjon, 14, 220100, Urgench, Republic of Uzbekistan.

E-mail: m.radjabov04041972@gmail.com

Alimov Umarbek Kadyrbergenovich, - Doctor of Science in Technical Sciences (DSc), senior researcher, leading researcher at the laboratory of phosphate fertilizers of the General and Inorganic Chemistry Institute of Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, st. Mirzo Ulugbek, 77-a, 100170, Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan.

E-mail: umaralihonalimov@mail.ru

УДК 664.64.016.8

Поступила в редакцию 14.10.2024
Received 14.10.2024**Н. С. Лаптенюк, Т. В. Ивашкевич**

*Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Белтехнохлеб»
РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»
(Государственное предприятие «Белтехнохлеб»),
г. Минск, Республика Беларусь*

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ КРАХМАЛА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА ИЗ МУКИ ПШЕНИЧНОЙ ВЫСШЕГО СОРТА М54-28

Аннотация. Количество поврежденного крахмала муки является одной из значимых характеристик ее качества, представляющих интерес для всех отраслей, связанных с производством продуктов переработки зерна. Содержание поврежденного крахмала напрямую влияет на реологические свойства муки при замесе и брожении теста и на влагоудерживающие свойства муки.

В статье представлены экспериментальные данные о степени повреждения крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28, результаты исследования о влиянии степени повреждения крахмала на реологические свойства теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28.

Ключевые слова: мука пшеничная, поврежденный крахмал; реологические свойства теста.

N. S. Laptsenak, T. V. Ivashkevich

*Scientific-Industrial Republican Subsidiary Unitary Enterprise «BELTEKHNOHLEB»
RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus*

THE EFFECT OF THE DEGREE OF STARCH DAMAGE ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WHEAT FLOUR DOUGH PREMIUM GRADE M54-28

Abstract. The amount of damaged starch in flour is one of the significant characteristics of its quality, which is of interest to all industries related to the production of grain processing products. The content of damaged starch directly affects the rheological properties of flour during kneading and fermentation of dough, the moisture-retaining properties of flour, as well as the actual yield of bakery products and their appearance.

The article presents experimental data on the degree of starch damage to samples of wheat flour of the highest grade M54-28, the results of a study on the effect of the degree of starch damage on the rheological properties of the dough from wheat flour of the highest grade M54-28.

Keywords: wheat flour, damaged starch; rheological properties of the dough.

Введение. Одним из важнейших условий получения продукции надлежащего качества является качество используемого сырья, и в первую очередь, качество муки как основного сырья при производстве хлебобулочных изделий. Решающую роль в формировании качества хлебобулочных изделий играет пшеничная мука и ее свойства, поскольку большая часть муки, используемой на хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь, приходится на долю пшеничной (приблизительно 69,0 %). В связи с этим изучение ее свойств и характеристик является одним из основополагающих факторов, обеспечивающих получение качественного продукта, что позволяет своевременно оценить и скорректировать технологический процесс производства.

В настоящее время для оценки качества муки пшеничной используют такие показатели как белизна, зольность, количество и качество клейковины, число падения. Однако данные параметры в большей степени отражают состояние белково-протеинозного и углеводно-а-

милазного комплекса пшеничной муки и не учитывают состояние и свойства крахмала. В то же время крахмал является основным компонентом муки (в пшеничной муке около 70 %), и формирует структуру теста, взаимодействуя с другими его компонентами. От состояния крахмальных зерен зависит водопоглотительная способность теста, процессы его брожения, структура мякиша, вкус, аромат, пористость и скорость черствения изделия [1].

Мука содержит два вида крахмала в различных пропорциях: целый и поврежденный крахмал. В зависимости от системы помола и настройки вальцов количество и текстура поврежденного крахмала варьируются. Поврежденный крахмал — это гранулы крахмала, содержащиеся в муке, подвергнутые механическому повреждению в процессе помола [2]. Использование в хлебопечении муки, содержащей в своем составе высокое количество поврежденных крахмальных зерен, не всегда приводит к положительному эффекту и оказывает влияние на качество конечного продукта [3].

На основании вышеизложенного содержание крахмала, его состояние и свойства, в частности, размеры крахмальных зерен, степень их повреждения при размоле зерна крахмала оказывают влияние на качество готовых изделий.

Цель работы — исследование влияния степени повреждения крахмала на реологические свойства теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования является мука пшеничная высшего сорта М54-28, выпускаемая белорусскими производителями, с разной степенью повреждения крахмала.

Степень повреждения крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28 оценивалась на анализаторе поврежденного крахмала I-SENS. Прибор работает по принципу амперометрического метода измерения поглощения йода в разбавленной суспензии муки и показывает количество поврежденного крахмала в муке в единицах NDS (количество поврежденного крахмала NANOSENS с учетом влажности и белка) [4].

Для исследования качества муки по реологическим свойствам теста использовали измерительную систему Миксолаб. Метод определения водопоглотительной способности муки и реологических свойств теста на приборе Миксолаб заключается в измерении крутящего момента, который возникает при замесе теста из муки и воды в течение нескольких последовательных фаз замеса, обусловленных разной температурой [5].

Результаты исследований и их обсуждение. В испытательной лаборатории Государственного предприятия «Белтехнохлеб» проведены исследования степени повреждения крахмала 18 образцов муки пшеничной высшего сорта М54-28 амперометрическим методом на приборе I-SenS. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Table 1. Количество поврежденного крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28
Table 1. The amount of damaged starch of wheat flour of the highest grade М54-28

Наименование образца	Количество поврежденного крахмала, выраженное в единицах NDS*
Образец № 1	99,8
Образец № 2	100,8
Образец № 3	101,7
Образец № 4	99,0
Образец № 5	98,2
Образец № 6	97,7
Образец № 7	95,6
Образец № 8	100,1
Образец № 9	99,7
Образец № 10	100,3
Образец № 11	100,7
Образец № 12	100,6
Образец № 13	99,9
Образец № 14	101,5
Образец № 15	101,2
Образец № 16	101,5
Образец № 17	99,2
Образец № 18	99,7

*NDS — единица поврежденного крахмала NANOSENS с учетом влажности и белка

Согласно данным, представленным в табл. 1, степень повреждения крахмала исследуемых образцов муки пшеничной варьировала от 95,6 единиц NDS до 101,7 единиц NDS. В результате анализа полученных результатов установлено, что образцы муки №3, №14, №15, №16 содержали максимальное количество поврежденного крахмала (101,7, 101,5, 101,2 и 101,5 единиц NDS соответственно), а образец муки №7 - минимальное (95,6 единиц NDS). Низкое количество крахмала относительно других образцов муки наблюдалось в образцах №5 и №6. Указанные образцы муки характеризовались уровнем поврежденного крахмала в 98,2 единиц NDS и 97,7 единиц NDS соответственно. Анализируя полученные результаты, установлено, что большинство образцов муки пшеничной высшего сорта М54-28 характеризовались степенью повреждения крахмала в диапазоне от 99,0 единиц NDS до 100,8 единиц NDS.

В ходе изучения научной литературы выявлено, что на реологические свойства теста оказывают влияние свойства крахмала, в частности, размеры крахмальных зерен и степень их повреждения [1, 6, 7, 8]. В связи с этим комплексное изучение реологических характеристик теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28 проведено относительно степени повреждения крахмала исследуемых образцов муки на приборе Миксолаб согласно протоколу Chopin+. Определяли водопоглотительную способность исследуемых образцов муки и измеряли консистенцию теста по характеру изменения величины крутящего момента на приводе тестомесильной емкости в процессе замеса (С1), нагрева (С2, С3, С4) и охлаждения (С5).

Были установлены значения водопоглотительной способности исследуемых образцов муки пшеничной высшего сорта М54-28 и показателей реологических свойств теста. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Table 2. Реологические показатели теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28 с различной степенью повреждения крахмала
Table 2. Rheological parameters of the dough from wheat flour of the highest grade М54-28 with varying degrees of starch damage

Наименование образцов	Водопоглотительная способность, %	Крутящий момент (Н·м)				
		С1	С2	С3	С4	С5
Образец №1	55,1	1,13	0,46	2,01	1,96	3,09
Образец №2	56,7	1,09	0,47	1,92	1,81	2,90
Образец №3	58,9	1,15	0,51	1,81	1,61	2,58
Образец №4	55,7	1,11	0,40	1,78	1,62	2,64
Образец №5	55,5	1,07	0,38	1,92	1,78	2,89
Образец №6	54,7	1,09	0,40	1,90	1,75	2,75
Образец №7	55,4	1,06	0,40	2,04	1,95	3,05
Образец №8	58,1	1,13	0,44	1,75	1,50	2,46
Образец №9	54,5	1,05	0,47	2,00	1,93	3,19
Образец №10	55,4	1,09	0,48	1,96	1,80	2,79
Образец №11	56,5	1,09	0,44	1,80	1,56	2,49
Образец №12	56,7	1,15	0,48	1,80	1,57	2,60
Образец №13	55,4	1,11	0,46	1,90	1,72	2,75
Образец №14	57,7	1,13	0,61	1,88	1,83	2,83
Образец №15	55,3	1,14	0,48	1,85	1,87	3,01
Образец №16	57,4	1,14	0,58	1,88	1,75	2,83
Образец №17	54,7	1,13	0,44	1,85	1,64	2,55
Образец №18	56,2	1,11	0,43	1,84	1,64	2,53

На основании полученных результатов установлена динамика изменения водопоглотительной способности муки от степени повреждения крахмала (рис. 1).

В соответствии с рис. 1 в группе исследуемых образцов муки с диапазоном поврежденного крахмала от 95,6 единиц NDS до 99,7 единиц NDS наблюдались более низкие показатели водопоглотительной способности муки (54,5 — 55,7) % по сравнению с другими образцами. По мере увеличения количества поврежденного крахмала водопоглотительная способность муки увеличивалась.

Оценка индекса водопоглотительной способности (ВПС) протекает в первый период времени замешивания теста и показывает количество воды, необходимое для замеса теста требуемой консистенции ($1,1 \pm 0,05$) Н·м. Сопоставив значения индекса ВПС и водопоглоти-

тельной способности исследуемых образцов муки пшеничной установлено, что чем выше индекс ВПС, тем выше водопоглотительная способность муки.



Рис. 1. Динамика изменения водопоглотительной способности муки пшеничной высшего сорта М54-28 от степени повреждения крахмала
 Fig. 1. Dynamics of changes in the water absorption capacity of wheat flour of the highest grade М54-28 from the degree of starch damage

Реологическое поведение теста из исследуемых образцов муки оценивали по изменению крутящего момента в точках С2, С3, С4 и С5.

Крутящий момент в точке С2 характеризует минимальную консистенцию теста на начальном этапе нагрева. Изучена динамика изменения крутящего момента С2 и вязкости теста (по разнице С3-С2) из муки пшеничной высшего сорта М54-28 от количества поврежденного крахмала (рис. 2).

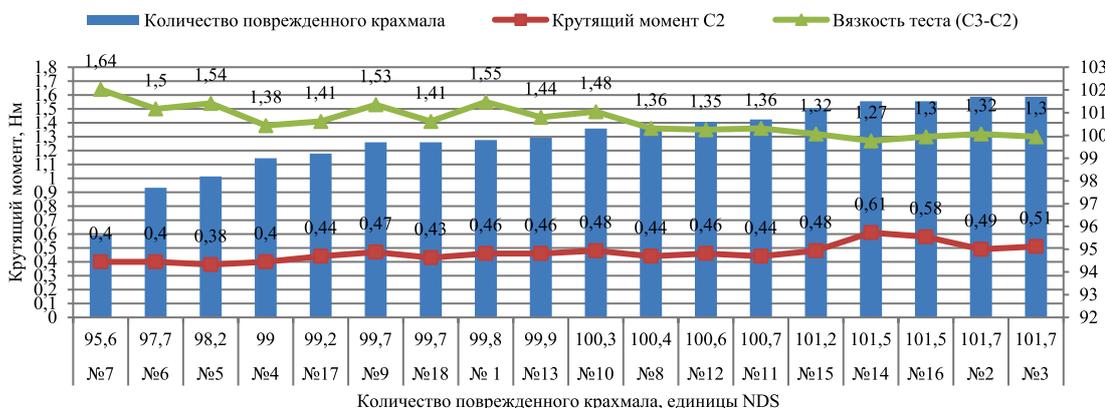


Рис.2. Динамика изменения крутящего момента С2 и вязкости теста (С3-С2) из муки пшеничной высшего сорта М54-28 от количества поврежденного крахмала
 Fig.2. Dynamics of changes in torque С2 and viscosity of dough (С3-С2) from wheat flour of the highest grade М54-28 from the amount of damaged starch

В соответствии с рис. 2, более низкие значения крутящего момента С2 (0,38 — 0,4) Н·м и более высокие значения разности С3-С2 (1,5 — 1,64) Н·м характерны для образцов муки с количеством поврежденного крахмала от 95,6 единиц NDS. до 99,0 единиц NDS. В диапазоне (99,2 — 100,6) единиц NDS значения С2 составили — (0,44 — 0,48) Н·м, значения С3-С2 — (1,31 — 1,55) Н·м, свыше 100,6 единиц NDS — (0,51 — 0,61) Н·м и (1,27 — 1,35) Н·м соответственно. На основании полученных результатов установлено, что в исследуемых образцах муки пшеничной высшего сорта М54-28 с увеличением степени поврежденного крахмала значения крутящего момента С2 незначительно увеличивались, а вязкость теста снижалась (С3-С2) (рисунок 2).

Крутящий момент в точке С3 характеризует изменение консистенции теста при его нагревании от 60 °С до 90 °С. Изучена динамика изменения консистенции теста из муки пшеничной высшего сорта м54-28 на данном этапе (рис. 3).

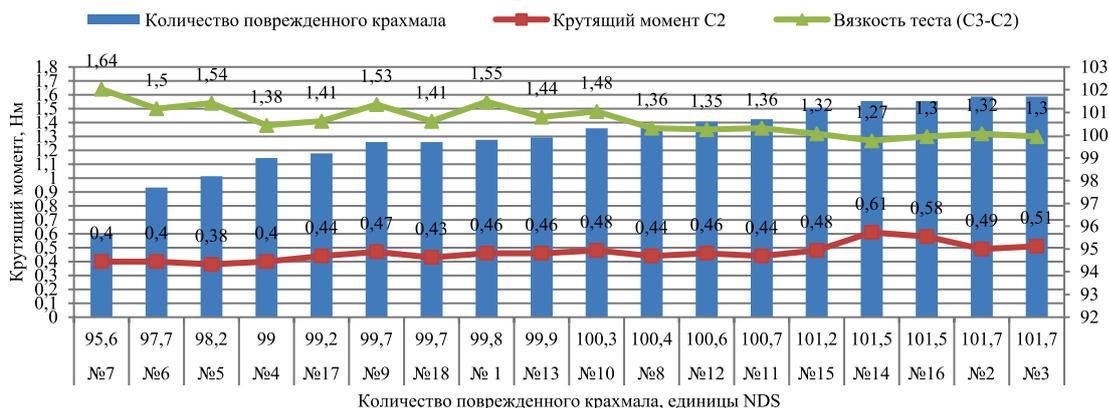


Рис. 3. Динамика изменения консистенции теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28 при его нагреве от 60 °С до 90 °С от количества поврежденного крахмала
 Fig. 3. Dynamics of changes in the consistency of the dough from wheat flour of the highest grade M54-28 when heated from 60 °C to 90 °C from the amount of damaged starch

В результате анализа данных, приведенных на рисунке 3, установлено отсутствие линейной зависимости крутящего момента в точке С3 от степени повреждения крахмала. Максимальная консистенция теста при нагреве от 60 °С до 90 °С с образованием вязкого клейстера выявлена для образцов муки с количеством поврежденного крахмала 95,6 ед. NDS (№7), 99,7 ед. NDS (№9) и 99,8 ед. NDS (№1) — 2,04 Н·м и 2,0 Н·м и 2,01 Н·м соответственно. Значения консистенции теста в указанном температурном интервале для большинства образцов муки имели близкие между собой значения в точках С3 — (1,82–1,89) Н·м. Консистенция теста в данной группе исследуемых образцов муки характеризовалась стабильностью крахмального клейстера в горячем состоянии. Величина вязкости теста на стадии клейстеризации крахмала образцов №3 и №4 была немного ниже (С3 1,75 и 1,78 Н·м) по сравнению с остальными образцами, что указывает на меньшую вязкость крахмального геля в нагретом состоянии.

Дальнейшее нагревание крахмального клейстера приводит к полному разрушению набухших гранул крахмала и замедлению увеличения вязкости суспензии. Одновременно с этим процессом достигает своего оптимального уровня и амилалитическая активность. Во время гидролиза крахмала альфа-амилаза снижает консистенцию теста. Точка С4 характеризует стабильность крахмального клейстера теста в нагретом состоянии. На основании полученных значений крутящего момента С4 установлена динамика изменения стабильности крахмального клейстера, приготовленного из исследуемых образцов муки пшеничной М54-28, в нагретом состоянии (рис. 4).

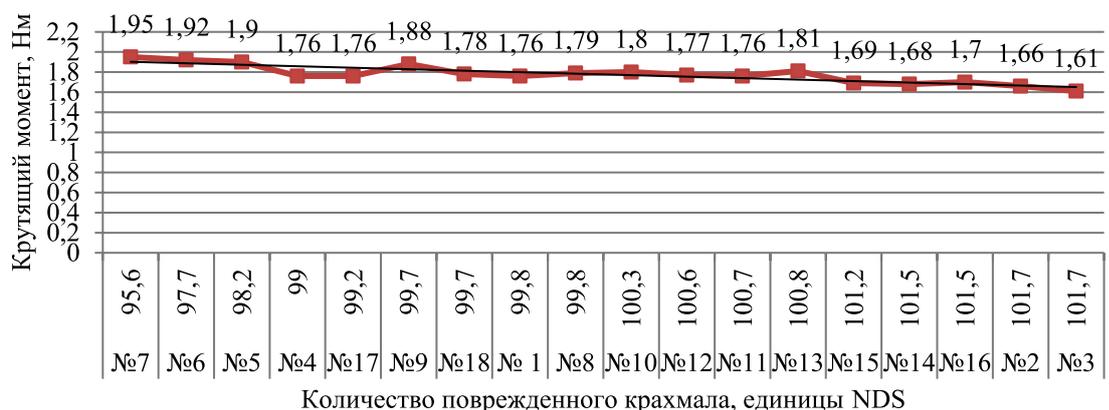


Рис. 4. Динамика изменения стабильности крахмального клейстера муки пшеничной высшего сорта М54-28 от степени поврежденного крахмала
 Fig. 4. Dynamics of changes in the stability of starch paste of wheat flour of the highest grade M54-28 from the degree of damaged starch

Согласно представленным на рис. 4 данным, выявлено, что образцы муки пшеничной М54-28 с количеством поврежденного крахмала свыше 101,2 единиц NDS имели меньшие

значения С4 (1,61 — 1,7) Н·м по сравнению с остальными образцами. Полученные результаты указывали на низкую стабильность и вязкость крахмального клейстера в нагретом состоянии. Значения консистенции теста в точке С4 исследуемых образцов муки с количеством поврежденного крахмала от 99,0 единиц NDS до 100,8 единиц NDS близки между собой и составили (1,76 — 1,81) Н·м. Исключение составил образец муки №9 (1,88) Н·м). Консистенция теста в данной группе исследуемых образцов муки характеризовалась стабильностью крахмального клейстера в горячем состоянии относительно других образцов. Низкая степень поврежденных зерен крахмала (95,6 — 98,2 единиц NDS) муки пшеничной М54-28 в сравнении с другими образцами обуславливала повышенную вязкость крахмальной суспензии, и, как следствие, более высокие значения крутящего момента С4 — (1,9 — 1,95 Н·м).

При охлаждении теста с 90 °С до 50 °С происходит процесс ретроградации крахмала, который характеризует углеводно-амилазный комплекс муки и зависит от соотношения в молекулах крахмала амилозы и амилопектина. С данным процессом связаны сроки годности готового изделия. В процессе проведения исследования влияния степени повреждения крахмала на реологические свойства теста из муки пшеничной высшего сорта М54-28 изучена динамика ретроградации крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28 от степени поврежденного крахмала (рис. 5).

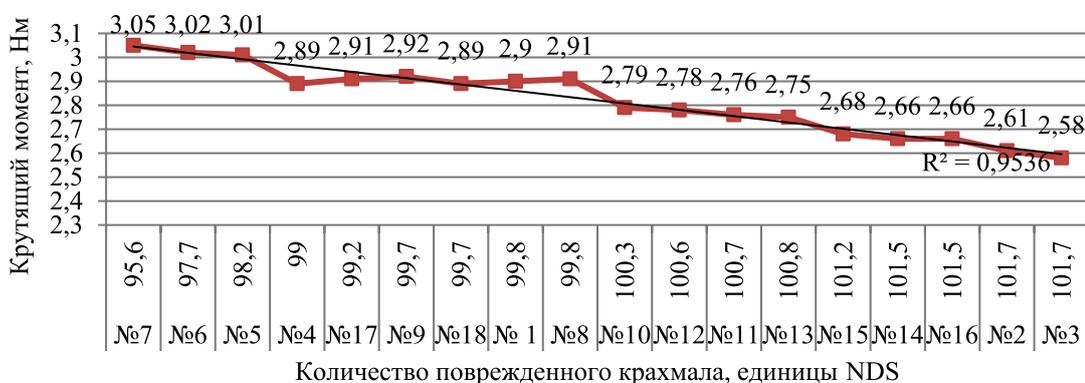


Рис. 5. Динамика ретроградации крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28 от степени поврежденного крахмала

Fig. 5. Dynamics of retrogradation of starch of wheat flour of the highest grade M54-28 from the degree of damaged starch

Как свидетельствуют данные рис. 5, прослеживалась ярко выраженная зависимость ретроградации крахмала от степени повреждения крахмала муки. Согласно Руководству по приложениям Миксолаба: чем выше крутящий момент С5, тем быстрее идет процесс ретроградации. Достаточно высокие значения С5 (3,05 — 2,89 Н·м) соответствовали образцам муки пшеничной с количеством поврежденного крахмала от 95,6 единиц NDS до 99,8 единиц NDS, что обусловлено высокой степенью кристаллизации крахмала, следовательно, быстрым черствением готовой продукции. В группе образцов муки с уровнем поврежденного крахмала свыше 100,3 единиц NDS наблюдалась тенденция к снижению крутящего момента С5, что указывает на замедление черствения готовой продукции. Наиболее низкие значения (2,66 — 2,58 Н·м) относительно других образцов соответствовали образцам муки с уровнем повреждения крахмала свыше 101,2 единиц NDS. Можно предположить, что готовые изделия будут сохранять свежесть более длительный период.

Заключение. С учетом вышеизложенного установлено, что чем выше степень повреждения крахмала муки пшеничной высшего сорта М54-28, тем выше водопоглотительная способность, ниже вязкость теста на начальном этапе нагрева, стабильность крахмального клейстера в температурном интервале от 60 °С до 90 °С. Наряду с этим установлено, что готовая продукция будет дольше сохранять свежесть.

Список использованных источников

1. Ауэрман, Л. Я. Технология хлебопекарного производства: учебник — 9-е изд.; перераб. и доп.; под ред. Л. И. Пучковой. — СПб. Профессия, 2005. — 416 с.
2. Мелешкина Е. И., Коломиец С. Н., Жильцова Н. С. Количество поврежденного крахмала в муке лабораторного и производственного помолов / Е. И. Мелешкина, С. Н. Коломиец, Н. С. Жильцова // Вестник ВГУИТ. — 2023. — Т. 85 — №3. — С. 67–73.

3. Русяков, В. А. Влияние поврежденности крахмальных гранул и бактериальной альфа-амилазы на хлебопекарные показатели муки / В. А. Русяков // Актуальные исследования. — 2023. — 5 (135) — №2. — С. 39–44.
4. Руководство пользователя анализатора поврежденного крахмала муки I-SENS — Турция: 2020. — 51 с.
5. Руководство по приложениям Mixolab — Франция: Лаборатория приложений CHOPIN, 2009. — 79 с.
6. Цыганова Т. Б. Технология хлебопекарного производства. — Москва, 2001. — 432 с.
7. Равшанов С. С., Мирзаев Д. Д. Влияние размера частиц муки, мелких и механически поврежденных зерен крахмала на функциональные свойства муки пшеничной хлебопекарной // Universum: технические науки: электронный научный журнал. — 2023. — 1(106). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14879/>
8. Пучкова Л. И., Поляндова Р. Д., Матвеева И. В. Технология хлеба. — СПб: «Гиорд», 2005. — 559 с.

Информация об авторах

Лаптенок Наталья Сергеевна, кандидат технических наук, директор Государственного предприятия «Белтехнохлеб» (ул. Раковская, 30, 220004, г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: laptenokn@mail.ru

Ивашкевич Татьяна Валерьевна, ведущий инженер-химик испытательной лаборатории Государственного предприятия «Белтехнохлеб» (ул. Раковская, 30, 220004, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: tv-ivashkevich.75@mail.ru

Information about authors

Laptsenak Natalia Sergeevna, PhD (Engineering), Director of the State Enterprise Beltechnohleb, (30, Rakovskaya St., 220004, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: laptenokn@mail.ru

Ivashkevich Tatiana Valer'yevna, leading specialist (chemist) testing laboratory of the State Enterprise Beltechnohleb (30, Rakovskaya St., 220004, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: tv-ivashkevich.75@mail.ru

УДК 664.8

Поступила в редакцию 17.09.2024
Received 17.09.2024**Д. А. Сафронова, Н. А. Баровская, Т. Ю. Окунева***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***СОУСЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО
И ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА**

Аннотация. Проведены исследования по созданию консервированных овощных и фруктовых соусов для питания детей дошкольного и школьного возраста, отвечающих критериям качества, безопасности и пищевой ценности продукции этой группы. Проанализирована пищевая ценность разработанного ассортимента соусов, определено содержание нутриентов в продукции, выраженное в процентах от норм физиологических потребностей в них детей дошкольного и школьного возраста. Осуществлен подбор компонентов соусов. Проведен сравнительный анализ показателей качества соусов для детского питания с соусами общего назначения. Проанализировано содержание 5-оксиметилфурфуrolа во фруктовом соусе в процессе его пооперационного изготовления в условиях промышленного производства.

Ключевые слова: соусы, питание для детей дошкольного и школьного возраста.

D. A. Safronova, N. A. Barouskaya, T. J. Okuneva*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***SAUCES FOR CHILDREN OF PRESCHOOL AND SCHOOL AGE**

Abstract. Researches on creation of tinned vegetable and fruit sauces for a food of children of the preschool and school age answering to criteria of quality, safety and food value of production of this group are conducted. Food value of the developed assortment of sauces is analysed, the maintenance nutrientov in production, expressed in percentage of norms of physiological requirements for them of children of preschool and school age is defined. Selection of components of sauces is carried out. The comparative analysis of indicators of quality of sauces for baby food with general purpose sauces is carried out. The maintenance 5-oksimeitilfurfuroла in fruit sauce in the course of it operational manufacturing in the conditions of industrial production is analysed.

Keywords: sauces, a food for children of preschool and school age.

Введение. Организация рационального питания детей во время пребывания в организованных коллективах является одним из ключевых факторов поддержания их здоровья. Использование специализированных продуктов промышленного производства, в том числе соусов, является актуальным, так как позволяет обеспечить контроль их качества на всех стадиях технологического процесса.

Соусы для детского питания для детей дошкольного и школьного возраста отличаются от соусов общего назначения использованием для их приготовления сырья более высокого качества, с более низким содержанием соли, сахара, жира, кислот, ограниченным содержанием пищевых добавок и отвечающих повышенным требованиям к показателям безопасности, а также соответствующих возрастным потребностям детского организма в основных питательных веществах, макро- и микронутриентах.

При изготовлении овощных и фруктовых соусов для детей дошкольного и школьного возраста согласно требованиям ТР ТС 21, [2] и [3] не допускается использование жгучих специй (перца, хрена, горчицы), уксуса, красителей, ароматизаторов, подсластителей, консервантов, генетически модифицированного сырья и полуфабрикатов, изготовленных из этого сырья.

Как указано в [4], питание для детей должно быть щадящим по химическому составу и способам приготовления.

Созданный ассортимент фруктовых и овощных соусов для детского питания для детей дошкольного и школьного возраста отвечает критериям качества, безопасности и пищевой ценности специализированной продукции этой группы.

К овощам и фруктам, предназначенным для изготовления детского питания, предъявляются особые требования. Они должны иметь высокую биологическую и пищевую ценность, быть высокосортными, свежими, не содержать патогенных веществ, генно-модифицированных организмов, соответствовать требованиям по отсутствию или не превышению допустимых уровней присутствия в них токсичных элементов, нитратов, пестицидов, микотоксина патулина.

Введение пряностей и пряно-ароматических растений в состав соусов повысило не только их пищевую, но и биологическую ценность, что способствует повышению антиоксидантного статуса организма, нормализует жизненно важные функции систем организма, предотвращает различные заболевания [5].

Цель работы — создание фруктовых и овощных соусов для питания детей дошкольного и школьного возраста, отвечающих критериям качества, безопасности и пищевой ценности продукции этой группы.

Материалы и методы исследований. При проведении исследований использовались общепринятые и специальные физические, химические, микробиологические и органолептические методы оценки и анализа продукции, регламентированные техническими нормативными правовыми актами в области технического нормирования и стандартизации (далее — ТНПА).

Результаты исследований и их обсуждение. В результате проведенных исследований создан ассортимент овощных соусов («Сказка», «Антошка», «Рыжик») и фруктовых соусов (соус абрикосовый, соус яблочный, соус яблочно-черничный) для детского питания для детей дошкольного и школьного возраста с низким содержанием соли, сахара, кислоты, без жгучих специй, уксуса по сравнению с аналогичной продукцией общего назначения.

Подбор компонентов соусов для питания детей дошкольного и школьного возраста был осуществлен с помощью программного обеспечения «MatModel», разработанного в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

Так, в качестве наиболее значимых критериев оптимизации при моделировании компонентного состава овощных соусов «Сказка», «Антошка», «Рыжик» были определены массовые доли растворимых сухих веществ, хлоридов, титруемых кислот и жира.

В общем виде математическая модель рецептуры представляет собой систему уравнений, описывающих зависимость конкретных качественных показателей исходных компонентов и готового продукта, а также весовые соотношения ингредиентов.

Для каждого наименования овощного соуса были определены критерии качества и их значения, составлены и решены системы уравнений для определения весовых долей каждого компонента рецептурной композиции продукта.

Для подтверждения полезности соусов проведен анализ пищевой ценности разработанного ассортимента.

Сравнительный анализ содержания калия и каротина в 25 г овощных и фруктовых соусах для питания детей дошкольного и школьного возраста (усредненная суточная порция) в процентах от нормы физиологических потребностей в них представлен на рисунках 1 и 2.

Нормы физиологической потребности в пищевых веществах представлены в [6].



Рис. 1. Сравнительный анализ содержания калия в овощных и фруктовых соусах в процентах от нормы физиологических потребностей в калии

Fig. 1. The comparative analysis of the maintenance of potassium in vegetable and fruit sauces in percentage of norm of physiological requirements for potassium



Рис. 2. Сравнительный анализ содержания каротина в овощных и фруктовых соусах в процентах от нормы физиологических потребностей в каротине
 Fig. 2. The comparative analysis of the maintenance of carotin in vegetable and fruit sauces in percentage of norm of physiological requirements for carotin

Как видно из рис. 1 и 2, калия и каротина больше в овощных соусах.

Проведен сравнительный анализ показателей качества овощных и фруктовых соусов, предназначенных для питания детей дошкольного и школьного возраста, с соусами общего назначения.

Сравнительный анализ массовой доли хлоридов в овощных соусах и массовой доли титруемых кислот в овощных и фруктовых соусах для питания детей дошкольного и школьного возраста, указанных в разработанных рецептурах, и в соусах общего назначения в соответствии с СТБ 1000 представлен на рис. 3.

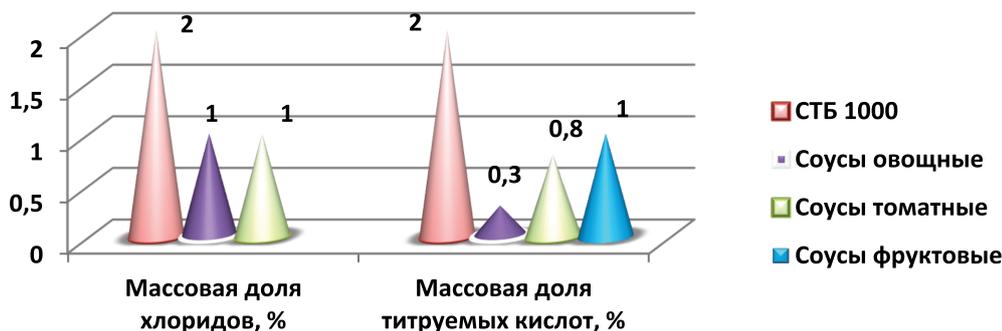


Рис. 3. Сравнительный анализ показателей качества овощных и фруктовых соусов для детского питания с соусами общего назначения
 Fig. 3. The comparative analysis indicators of quality of vegetable and fruit sauces for baby food with general purpose sauces

Как видно из рис. 3, содержание хлоридов в овощных соусах для детского питания в 2 раза меньше, чем в соусах общего назначения. Кислотность фруктовых соусов для детского питания в 2 раза ниже, томатных соусов в 2,5 раза ниже, овощных соусов почти в 7 раз ниже, чем соусов общего назначения.

В соусах для детского питания сбалансированность пищевых веществ (витаминов, минеральных веществ, углеводов, белков, пищевых волокон) достигнута за счет подбора составляющих компонентов.

Так, яблочно-черничный соус для питания детей дошкольного и школьного возраста дополнительно обогащен пищевыми веществами и натрием за счет пектина, который применяли в качестве загустителя и стабилизатора.

Пектин рекомендован к употреблению. Он способствует стабилизации обмена веществ, улучшает перистальтику кишечника. Важнейшим свойством пектина является его способность образовывать комплексы с тяжелыми и радиоактивными элементами и выводить их из организма. Пищевая ценность пектина определяется наличием углеводов, белков, пищевых волокон, минеральных веществ.

Информация о пищевых веществах, вносимых с пектином, представлена на рисунках 4 и 5.

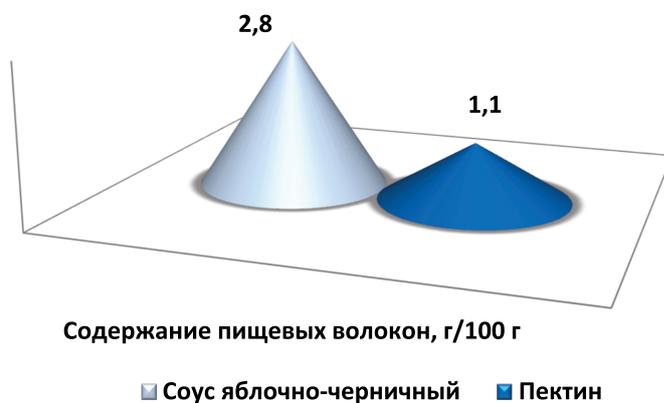


Рис. 4. Пищевые волокна, вносимые с пектином в соус яблочно-черничный
Fig. 4. The food fibres brought with pectin in sauce is apple-bilberry

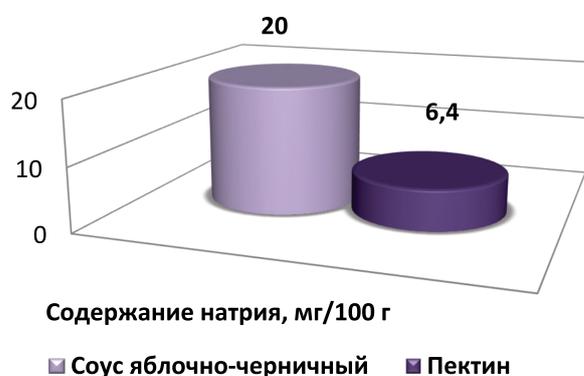


Рис. 5. Натрий, вносимый с пектином в соус яблочно-черничный
Fig. 5. The sodium brought with pectin in sauce is apple-bilberry

В яблочно-черничном соусе пищевые волокна, вносимые с пектином, составляют 39 %, а содержание натрия — 32 %.

При изготовлении абрикосового соуса для питания детей дошкольного и школьного возраста в качестве загустителя применяли рисовую муку для обеспечения требуемой консистенции продукта. В разработанной рецептуре на данный вид фруктового соуса предусмотрено также использование пшеничной или кукурузной муки.

Содержание крахмала в пшеничной муке в среднем составляет 78 %, рисовой муке — 73 %, кукурузной муке — 70 %. Крахмал состоит из амилозы и амилопектина.

Свойства амилозы и амилопектина представлены на рис. 6.

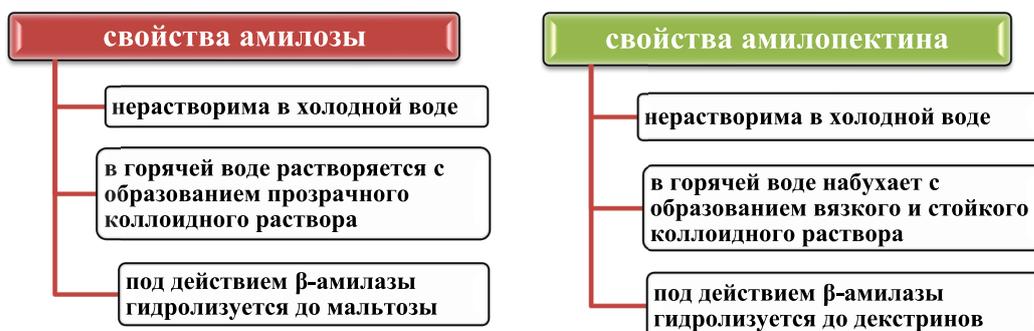


Рис. 6. Свойства амилозы и амилопектина
Fig. 6. Properties amylose and amylopectin

Соотношение амилозы и амилопектина в муке определяет ее структурные характеристики. Чем меньше доля амилозы, тем лучшим загустителем является мука.

В муке соотношение амилозы и амилопектина составляет:

- ♦ в пшеничной муке — 1:3,2;
- ♦ кукурузной — 1:3,5;
- ♦ рисовой — 1:4,9.

Как видно из представленного соотношения, лучшим загустителем является рисовая мука, в которой более низкое содержание амилозы.

Проведены исследования по образованию 5-оксиметилфурфуrolа при изготовлении опытной партии яблочно-черничного соуса для детского питания для детей дошкольного и школьного возраста на ПУП «Стародорожский плодоовощной завод» ОАО «Слущкий сахарорафинадный комбинат».

В питании детей дошкольного и школьного возраста должны отсутствовать загрязняющие химические вещества, к которым относится и оксиметилфурфуrol.

Оксиметилфурфуrol (5-оксиметилфурфуrol, гидроксиметилфурфуrol, ОМФ) — это органическое вещество фуранового ряда, производное токсического вещества — фурфуrolа. Он является промежуточным продуктом в химических реакциях разложения моносахаридов в кислой среде, неустойчив на свету.

Образование оксиметилфурфуrolа зависит от концентрации сахара, кислотности и рН продукта, температуры и продолжительности тепловой обработки.

Сахароза при нагревании в кислой среде претерпевают химические изменения, представленные на рис. 7.



Рис. 7. Химические изменения сахарозы
Fig. 7. Chemical changes of sucrose

Образование муравьиной и левулиновой кислот и темноокрашенных соединений происходит при нагревании свыше 120 °С.

Оксиметилфурфуrol обладает ограниченным токсичным (мутагенным) действием, при высоких концентрациях может вызывать судороги и параличи, а в малых количествах — угнетать деятельность нервной системы, что особенно опасно для детского организма.

Присутствие оксиметилфурфуrolа в пищевой продукции, особенно в продукции для детского питания, нежелательно, но содержание оксиметилфурфуrolа в ней, за исключением соковой продукции для детского питания, не нормируется. Теоретически оксиметилфурфуrol может содержаться во всех видах пищевой продукции, в которой есть сахар и которая подвергается термической обработке.

Оксиметилфурфуrol относится к индикаторам качества и безопасности ведения технологического процесса. Он образуется в процессе изготовления и длительного хранения продукции, особенно при ее высокотемпературной обработке. Оптимальными условиями образования оксиметилфурфуrolа можно считать температуру выше 60 °С с длительностью нагревания от 10 мин до 240 мин.

Проведены исследования по определению содержания оксиметилфурфуrolа в яблочно-черничном соусе для детского питания для детей дошкольного и школьного возраста в процессе его изготовления на ПУП «Стародорожский плодоовощной завод» ОАО «Слущкий сахарорафинадный комбинат».

Исследования проведены с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1200 по ГОСТ 31644.

Содержание 5-оксиметилфурфуrolа в яблочно-черничном соусе для детского питания для детей дошкольного и школьного возраста в процессе его пооперационного изготовления представлено на рис. 8.

Яблочно-черничный соус изготовлен с применением в качестве сырья яблочного и черничного пюре, консервированных асептическим способом.

Как видно из рис. 8, наибольшее содержание 5-оксиметилфурфуrolа в черничном пюре, консервированном асептическим способом. Содержание 5-оксиметилфурфуrolа увеличива-

ется в процессе пооперационного изготовления соуса, после тепловой обработки (варки). Исследования показали, что наиболее интенсивно образуется 5-оксиметилфурфурол в период перед стерилизацией продукта, когда он находится при температуре расфасовки порядка 80 °С. Температурные (110 °С) и временные (25 — 35 мин) характеристики стерилизации не оказали существенного влияния на динамику образования оксиметилфурфуrolа.

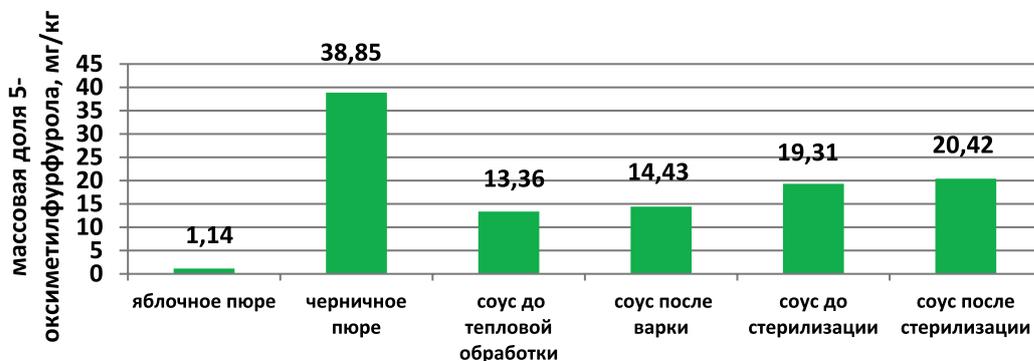


Рис. 8. Содержание 5-оксиметилфурфуrolа в яблочно-черничном соусе в процессе его пооперационного изготовления

Fig. 8. The maintenance 5-oximethylfurfural in is apple-bilberry sauce in the course of it post-operative manufacturing

Заключение. На основании проведенных исследований в Республике Беларусь создан ассортимент фруктовых и овощных соусов для питания детей дошкольного и школьного возраста, отвечающий критериям качества, безопасности и пищевой ценности продукции этой группы. Осуществлен подбор компонентов овощных соусов для питания детей дошкольного и школьного возраста с помощью программного обеспечения «MatModel», разработанного в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». В качестве наиболее значимых критериев оптимизации при моделировании компонентного состава определены массовые доли растворимых сухих веществ, хлоридов, титруемых кислот и жира.

Анализ пищевой ценности показал, что калия и каротина больше в овощных соусах. Анализ содержания соли и кислотности в соусах для детского питания в сравнении с соусами общего назначения показал, что содержание хлоридов в овощных соусах для детского питания в 2 раза меньше, чем в соусах общего назначения. Кислотность фруктовых соусов для детского питания в 2 раза ниже, томатных соусов в 2,5 раза ниже, овощных соусов почти в 7 раз ниже, чем соусов общего назначения. Установлено, что в яблочно-черничном соусе пищевые волокна, вносимые с пектином, составляют 39 %, натрия — 32 %. Анализ пшеничной, кукурузной и рисовой муки, применяемых при изготовлении абрикосового соуса, показал, что лучшим загустителем является рисовая мука, в которой более низкое содержание амилозы.

Анализ содержания 5-оксиметилфурфуrolа в яблочно-черничном соусе в процессе его пооперационного изготовления в условиях производства показал, что необходимо контролировать качество применяемых пюре-полуфабрикатов, консервированных асептическим способом, и контролировать продолжительность и температурные параметры тепловой обработки и стерилизации консервов.

Список использованных источников

1. ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции. — Минск: БелГИСС, 2013. — 242 с.
2. Санитарные нормы и правила «Требования для организаций, осуществляющих производство пищевой продукции для детского питания», утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 3 июня 2013г. №42. — Минск: Минздрав РБ, 2013. — 40 с.
3. Санитарные нормы и правила «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам». Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов»: утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 21 июня 2013 г. №52. — Минск: Минздрав РБ, 2013. — 266 с.
4. Специфические санитарно-эпидемиологические требования к содержанию и эксплуатации учреждений образования, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 07.08.2019 №525. — Минск: Совет Министров РБ, 2019. — 83 с.

5. Тутельян В. А. Научные основы здорового питания / под ред. В. А. Тутельян. — М.: ИД «Панорама. Наука и практика», 2010. — 816 с.
6. Санитарные нормы и правила «Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 20.11.2012 № 180. — Минск: Минздрав РБ, 2013. — 21 с.
7. СТБ 1000-96 Соусы и кетчупы. Общие технические условия. — Минск: БелГИСС, 2007. — 26 с.
8. ГОСТ 31644-2012 Продукция соковая. Определение 5-гидрооксиметилфурфурола методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. — Минск: БелГИСС, 2014. — 29 с.

Информация об авторах

Сафронова Диана Анатольевна, заместитель начальника отдела технологий консервирования пищевых продуктов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: 203sok@tut.by

Баровская Наталья Анатольевна, заведующий сектором по разработке режимов стерилизации отдела технологий консервирования пищевых продуктов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: 203sok@tut.by

Окунева Татьяна Юрьевна, главный специалист отдела технологий консервирования пищевых продуктов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: 203sok@tut.by

The information on authors

Safronova Diana Anatolievna, the deputy the chief of department of technologies of conservation of foodstuff RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: 203sok@tut.by

Barouskaya Natalia Anatolievna, managing sector on working out of modes of sterilisation of department of technologies of conservation of foodstuff RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: 203sok@tut.by

Okuneva Tatyana Yuryevna, the chief specialist of department of technologies of conservation of foodstuff RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: 203sok@tut.by

УДК 547.458:664

Поступила в редакцию 06.09.2024
Received 06.09.2024

**Т. В. Крюк^{1,2}, О. С. Попова², Т. Г. Тюрина¹, А. В. Сиверский¹,
Н. А. Романенко¹**

¹ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко»,
г. Донецк, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли
им. М. Туган-Барановского», г. Донецк, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ УПАКОВКИ

Аннотация. Проведены исследования степени набухания, паро- и кислородопроницаемости пленочных образцов на основе крахмалов различного ботанического происхождения (картофельного, кукурузного, пшеничного, рисового) и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), пластифицированных глицерином, сорбитом, или их смесями, и сшитых органической кислотой (лимонной, янтарной или глутаровой). Установлено, что лучший комплекс свойств демонстрируют пленки на основе кукурузного или пшеничного крахмала в случае, когда содержание КМЦ в полимерной композиции составляет не менее 20 %, а пластификатором является глицерин. При включении в полимерную композицию поливинилового спирта (ПВС) значительно улучшаются механические свойства пленочных образцов. С помощью методологии поверхности отклика проведена оптимизация состава пленок на основе кукурузного крахмала и КМЦ (80:20 мас./мас.) при варьировании содержания в композиции ПВС и глицерина (независимые переменные). На основании данных регрессионного анализа определены закономерности влияния концентрации независимых переменных, а также природы сшивающего агента на эксплуатационные характеристики пленочных материалов. Установлено, что в большей степени улучшить барьерные и механические свойства образцов позволяет использование в качестве сшивающего агента лимонной кислоты. Пленки на основе кукурузного крахмала/КМЦ/ПВС/лимонной кислоты, имеющие минимальные степень набухания и паропроницаемость, максимальную прочность на разрыв и высокое удлинение были определены как перспективные материалы для упаковки пищевых продуктов.

Ключевые слова: пищевая упаковка, крахмал, карбоксиметилцеллюлоза, пленочные материалы, методология поверхности отклика.

T. V. Kryuk^{1,2}, O. S. Popova², T. G. Tyurina¹, A. V. Siversky¹, N. A. Romanenko¹

¹L.M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry, Donetsk, Russian Federation

²Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky,
Donetsk, Russian Federation

DEVELOPMENT OF FILM MATERIALS COMPOSITION BASED ON POLYSACCHARIDES FOR FOOD PACKAGING

Abstract. This paper uses design-based response surface analysis methodology to optimize polysaccharide-based film materials, which were characterized by swelling ratio, gel fraction, water vapor transmission rate, tensile strength, and elongation at break (dependent variables). Films were prepared by casting using corn starch, carboxymethylcellulose (polysaccharide ratio 80:20 w/w), polyvinyl alcohol (5–15.5 wt%), glycerol (20–50 wt%) and crosslinker (7 wt%). Citric, succinic or glutaric acid was used as a cross-linking compound. As a result of regression analysis, the influence of the varying the concentration of polyvinyl alcohol and glycerol on the dependent variables values of the films was demonstrated and optimal concentrations of synthetic polymer and plasticizer were

determined: 10–15,5 wt% and 30–40 wt% respectively. It has been established that samples obtained in the presence of citric acid to achieve better barrier and mechanical properties.

Key words: food packaging, starch, carboxymethylcellulose, film materials, response surface methodology.

Введение. Повсеместное масштабное использование пластических масс, которые практически не подвергаются рециклизации, создает серьезные экологические проблемы. Эксперты полагают, что при сохранении неизменной современной тенденции производства и управления пластиковыми отходами их объем к 2050 году может превысить 11 000 млн т [1]. В связи с этим в последнее время наблюдается повышенный интерес к биоразлагаемым и возобновляемым природным полимерам [2]. Наиболее рациональным представляется расширение использования растительных полисахаридов, которые могут быть получены путем фотосинтеза — крахмала (Кр) и целлюлозы. Крахмал считается одним из самых многообещающих материалов из-за его доступности и низкой стоимости, кроме того, он обладает превосходной биосовместимостью и может обрабатываться с помощью стандартного оборудования для переработки пластмасс [3]. Целлюлоза и ее водорастворимые производные, в частности, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), представляется идеальной альтернативой многим гидрофильным синтетическим полимерам благодаря биоразлагаемости и широкой доступности [4].

Комбинация Кр и КМЦ при производстве пленочных материалов позволяет частично нивелировать низкие механические свойства крахмала и чувствительность к воде карбоксиметилцеллюлозы [5, 6], однако, для получения образцов с эксплуатационными характеристиками, соответствующими практическим требованиям, необходимо использование дополнительных компонентов (полимеров, пластификаторов, сшивающих агентов и пр.). Так, значительное улучшение параметров прочности наблюдалось при добавлении к смеси Кр/КМЦ κ-каррагинана [7], латекса натурального каучука [8], монтмориллонита [9], полиэтилена, привитого малеиновым ангидридом [10].

Положительное влияние на свойства полисахаридов оказывает введение биоразлагаемого и биосовместимого поливинилового спирта (ПВС). Пленки на основе КМЦ/ПВС рассматриваются как оболочки гранулированных удобрений, раневые покрытия, системы доставки лекарств, пищевая упаковка (ПУ) [11–13 и др.]. Привлекательность композитов Кр/ПВС как основы ПУ обусловлена высоким уровнем параметров растяжения и прочности, низкой способностью к набуханию и пропусканию водяного пара [14–16 и др.]. В этой связи представляет интерес изучение возможности использования тройной системы Кр/КМЦ/ПВС в качестве ПУ. Исследование таких композитов на сегодняшний день ограничивается работами [17–19], в которых показано, что матрицы Кр/КМЦ/ПВС обладают улучшенными термическими, морфологическими, барьерными и механическими свойствами по сравнению с полимерными системами, состоящими из Кр и ПВС и/или КМЦ и ПВС.

Цель данной работы — с применением методов статистической обработки данных выбрать состав полимерной композиции, включающей крахмал различного ботанического происхождения и КМЦ, а также крахмал, КМЦ и ПВС, для получения на ее основе пленочных материалов с уровнем характеристик, позволяющих их применение в качестве пищевой упаковки.

Объекты и методы исследований. В качестве объектов исследования были использованы: крахмал картофельный (ГОСТ 53876-2010), кукурузный (ГОСТ 32159-2013), пшеничный (ГОСТ 31935-2012), «Плещеевский крахмальный завод», РФ; крахмал рисовый, «Vinh Thuan Production Trading Co», Вьетнам; натрий карбоксиметилцеллюлоза, E466, «USK Chemical», Турция; поливиниловый спирт, M_w 40 кДа, ГОСТ 10779-78, «ОКБ СпецСтальПроект», РФ; лимонная кислота (ЛК), «х.ч.», «Цитробел», РФ; янтарная кислота (ЯК), «х.ч.», «АО Реахим», РФ; глутаровая кислота (ГК), 99 %, «Acros Organics», Бельгия; глицерин (Гл), «ч.д.а.», «Компонент-реактив», РФ; сорбит (С), E420, «Сладкий мир», РФ. На всех этапах экспериментов использовалась дистиллированная вода.

Образцы получали следующим образом. Кр предварительно желатинировали в 50 мл воды (95 °С, 40 мин) при постоянном перемешивании; КМЦ, ПВС растворяли в 50 мл горячей воды. Растворы полимеров смешивали в необходимых количествах, вносили пластификатор, сшивающий агент, перемешивали (50 °С, 0,5 ч), охлаждали до комнатной температуры, выдерживали в течение 24 ч для деаэрации, разливали на чашки Петри (толщина слоя раствора 6 мм) и высушивали в сушильном шкафу. Пленки состава Кр/КМЦ отверждали последовательно при 40 °С (24 ч) и 60 °С (1 ч) — режим 1, или при 40 °С (24 ч), 60 °С (1 ч) и 80 °С (1 ч) — режим 2; состава Кр/КМЦ/ПВС — при 40 °С (24 ч). Содержание ПВС, пластификатора и сшивающего агента (в %) рассчитывали по отношению к массе смеси Кр/КМЦ (3 г).

Значения степени набухания (DS), массовой доли геля (G), скорости пропускания водяного пара ($WVTR$) определяли гравиметрическим методом [20, 21], кислородопроницаемости (OP) — титриметрически [22]. Механические характеристики пленок — прочность при растяжении (σ_p) и относительное удлинение при разрыве (ε_p) измеряли на разрывной машине РЭМ-600-А («Метротест», РФ), коэффициент светопропускания пленок (T , %) — на КФК-2МП-УХЛ 4.2, толщину (l , мм) — с помощью механического микрометра МК-125 0,01. Электронно-микроскопические исследования выполняли с помощью растрового (сканирующего) электронного микроскопа JSM-5300LV (Jeol, Япония). Миграцию (M) в модельные пищевые среды (M1 — 3 %-ная уксусная кислота, M2 — 10 %-ный раствор этанола в воде) определяли в соответствии с [23].

Статистический анализ полученных результатов проводили с помощью программы *Statgraphics Centurion 18*. Для изучения влияния комбинации факторов на свойства пленок было проведено математическое моделирование с использованием множественного регрессионного анализа; использовался анализ главных компонент и статистический подход методологии поверхности отклика (*Response surface methodology, RSM*), вариант однофакторного дисперсионного анализа (*One-Way ANOVA*), уровень значимости 95 %. Число экспериментов для статистической обработки всех исследуемых параметров пленок составляло 3.

Результаты исследований и их обсуждение. На начальном этапе были получены пленки на основе смеси крахмала одного из четырех ботанических сортов (картофельный, кукурузный, пшеничный, рисовый) с КМЦ при соотношениях полисахаридов 80:20, 85:15 или 90:10 %. Изучение влияния природы пластификатора — Гл, С или смесь Гл/С 1:1, 1:3, 3:1 (при общем содержании пластифицирующей добавки 50 %) на свойства пленочных материалов показало, что присутствие сорбита, независимо от его количества, негативно влияет на свойства образцов: они имеют повышенную ломкость и при контакте с водой быстро (в течение ~1 ч) переходят в гелеобразное состояние. Аналогичные зависимости прослеживаются и при снижении в составе композиции доли КМЦ, поэтому в дальнейшем рассматривали системы, в которых соотношение Кр:КМЦ составляло 80:20 %. Пленки такого состава, помещенные в воду, хорошо набухают без потери целостности.

Набухание заметно снижается при увеличении количества сшивающего агента (органической кислоты) и температуры прогрева образцов, что иллюстрирует рис. 1 на примере сшивки ЛК. Как видно, повышение [ЛК] от 3,8 до 7 и далее до 10 % приводит к уменьшению значений DS на ~400 и далее еще на 125 %. Таким образом, введение органической кислоты в количестве 7 % при отверждении по режиму 2 позволяет достичь уровня сорбционных характеристик, приемлемых для применения материала в качестве ПУ.

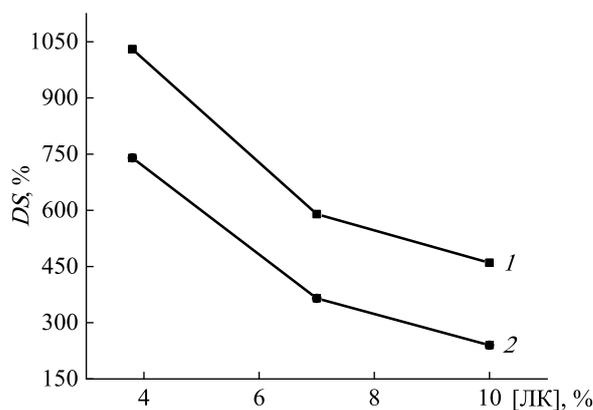


Рис. 1. Зависимость степени набухания пленочных образцов от концентрации ЛК. Режим отверждения образцов: 1 (1), 2 (2). Состав образцов, %: кукурузный Кр:КМЦ = 80:20, Гл — 50

Fig. 1. Dependence of the swelling degree of film samples on the LA concentration. Sample drying mode: 1 (1), 2 (2). Sample composition, %: corn S:CMC = 80:20, Gl — 50

Для указанных выше образцов были определены значения ряда физико-химических показателей: толщины, светопропускания, степени набухания в воде, паро-, кислородопроницаемости, миграции несвязанных компонентов в гидрофильные среды. Пленки из картофельного, рисового и пшеничного Кр имели минимальную толщину ($0,10 \pm 0,02$ мм), из рисового Кр — максимальную: $0,14 \pm 0,02$ мм. Пленки из кукурузного и пшеничного Кр характеризуются практически одинаковыми значениями DS (~350 %), $WVTR$ ($43,5 \pm 2,8$ и $42,1 \pm 1,2$ г/(м²·сут)), OP ($22,6 \pm 1,6$ и $25,2 \pm 2,2$ мг/л) и T (~55 %). По сравнению с ними пленки из картофельного

и рисового Кр хорошо препятствуют проникновению кислорода ($OP\ 17,2\pm 1,2$ мг/л), при этом они более проницаемы для водяного пара ($WVTR\ 71,2\pm 3,0$ и $89,4\pm 4,2$ г/(м²·сут)), менее устойчивы по отношению к воде (DS достигает 465 %) и менее прозрачные (T не превышает 50 %). Миграция несвязанных компонентов в гидрофильных средах максимальна из пленок на основе картофельного и рисового крахмалов и составляет 450–500 мг/дм².

Для исследования взаимосвязи между типом Кр и рассматриваемыми характеристиками пленочных материалов был проведен факторный анализ по методу главных компонент. На рис. 2 можно увидеть два кластера, созданных между переменными (тип Кр) и факторами (свойство пленок). Первый кластер состоит из кукурузного и пшеничного Кр, обеспечивающих максимальные светопропускание и кислородопроницаемость пленок, второй — из картофельного и рисового Кр, образцы из которых имеют наибольшую толщину, паропроницаемость, степень набухания и миграции. Таким образом, теоретические расчеты подтверждают, что по совокупности свойств в качестве основы пленочных материалов предпочтительнее использовать кукурузный или пшеничный крахмал.

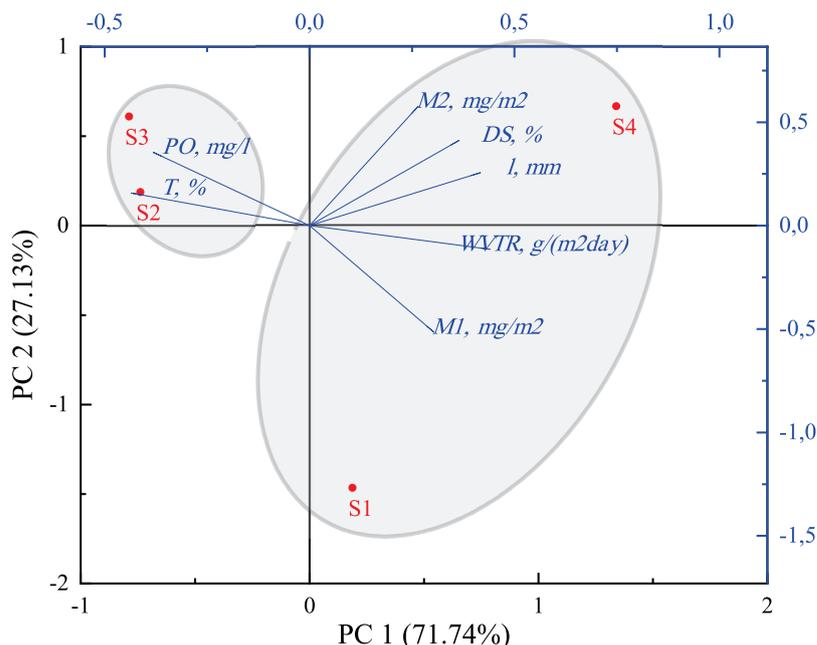


Рис. 2. Диаграмма рассеяния, показывающая корреляции между типом Кр и максимальными значениями параметров, характеризующих свойства пленочных образцов. S1, S2, S3, S4 — картофельный, кукурузный, пшеничный и рисовый Кр соответственно. Состав образцов, %: Кр:КМЦ = 80:20, Гл — 50, ЛК — 7

Fig. 2. Scatterplot showing correlations between the type of S and maximum values of parameters characterizing the film samples. S1, S2, S3, S4 — potato, corn, wheat and rice S, respectively. Sample composition, %: S:CMC = 80:20, GI — 50, LA — 7

Следует отметить, что общим недостатком всех пленок является плохая эластичность и повышенная хрупкость. Включение в полимерную композицию даже небольших количеств ПВС (7 %) позволяет существенно упростить режим отверждения (достаточно прогрева только при 40 °С) и при этом получить пленочные образцы с хорошими механическими свойствами, что является следствием образования более прочной полимерной сетки. В дальнейшем исследовали пленки на основе кукурузного Кр и КМЦ (80:20 %), с добавкой ПВС (7–15,5 %), которые пластифицировали Гл (20–50 %) и сшивали ЛК, ЯК или ГК (7 %).

В целом по показателям $WVTR$, σ_p и ϵ_p (табл. 1) практически все образцы соответствуют требованиям ГОСТ Р 57432-2017 «Упаковка. Пленки из биоразлагаемого материала. Общие технические условия» [24] для пленок из биоразлагаемого материала типа 5 (полученные смешением биоразлагаемых полимерных материалов), предназначенных для изготовления упаковки пищевых продуктов: прочность при растяжении — не менее 14 МПа, относительное удлинение при разрыве — не менее 5 %, паропроницаемость — не более 300 г/(м²·сут). При этом понятно, что в качестве ПУ необходимо выбрать состав композиции, обеспечивающий наиболее высокий по совокупности уровень характеристик пленочных материалов. С этой целью была проведена оптимизация с использованием методологии поверхности

отклика (*RSM*) для модели с двумя независимыми переменными: концентрация ПВС, концентрация Гл, и пятью переменными отклика: *DS*, *G*, *WVTR*, σ_p , ε_p . Адекватность модели оценивали по значениям *F*-критерия Фишера, точность оценки регрессированных данных — по значениям коэффициента детерминации (R^2).

Table 1. Результаты исследования пленок матрицы кукурузный Кр/КМЦ (80:20 %)*
Table 1. Results of investigation films based on corn S/CMC (80:20 %)

		ПВС, %	7	7	7	10	10	10	15,5	15,5	15,5
		Гл, %	20	25	50	20	25	50	20	25	50
Сшивающий агент	ЛК	<i>DS</i> , %	663	782	766	606	598	684	296	332	295
		<i>G</i> , %	75,0	72,1	67,2	73,2	67,4	67,1	75,9	72,0	68,3
		<i>WVTR</i> , г/м ² ·сут	53,2	55,8	68,7	46,9	55,4	66,9	46,3	46,9	60,9
		σ_p , МПа	36,9	30,7	19,8	38,3	30,8	24,0	41,6	26,9	25,2
		ε_p , %	1,7	2,0	8,2	4,6	5,9	8,0	3,2	4,1	7,9
	ЯК	<i>DS</i> , %	711	748	758	581	632	718	385	365	318
		<i>G</i> , %	70,2	69,1	66,8	73,2	72,4	63,0	81,3	80,4	63,8
		<i>WVTR</i> , г/м ² ·сут	65,0	77,5	80,1	56,9	68,0	71,0	55,8	56,1	63,6
		σ_p , МПа	26,7	23,0	5,2	29,3	20,5	16,1	31,8	26,3	13,7
		ε_p , %	4,8	9,3	19,0	3,9	7,4	17,8	5,0	7,0	10,0
	ГК	<i>DS</i> , %	1171	1145	1195	580	532	798	557	490	385
		<i>G</i> , %	76,0	76,2	58,9	72,2	76,3	60,1	76,7	74,1	62,0
		<i>WVTR</i> , г/м ² ·сут	68,0	70,1	82,3	61,7	66,7	81,7	60,2	63,8	73,9
		σ_p , МПа	34,6	13,4	2,8	33,9	21,1	7,2	26,2	24,0	6,8
		ε_p , %	4,2	5,0	8,3	3,6	4,8	7,8	9,0	10,0	21,0

*Все представленные значения являются средней величиной результатов трех параллельных экспериментов.

В результате статистической обработки экспериментальных данных для 9 наборов пленок с различными комбинациями ПВС и Гл (табл. 1) были получены соответствующие квадратичные полиномиальные уравнения и графики поверхности отклика, позволяющие провести теоретическую оценку изменения параметров сшивки, сорбционных и механических характеристик при вариации количества ПВС и Гл в составе полимерной композиции при постоянной концентрации сшивающего агента (7 %). Во всех случаях отклики имели высокие значения критерия Фишера, в 73,3 % случаях — высокую значимость ($P < 0,05$), уравнения регрессии для них — высокий коэффициент детерминации (табл. 2). Это позволяет провести анализ данных *RSM* с точки зрения практического приложения.

Table 2. Сводные данные результатов ANOVA
Table 2. Summary of ANOVA results

Сшивающий агент	Переменная отклика	Сумма площадей	<i>DF</i>	Среднеквадратичное значение	<i>F</i>	<i>P</i>	R^2
ЛК	<i>DS</i>	307504,0	5	61500,8	34,64	0,0074	98,30
	<i>G</i>	96,5	5	19,3	8,15	0,0572	93,15
	<i>WVTR</i>	617,2	5	123,4	33,94	0,0077	98,26
	σ_p	397,3	5	79,6	9,30	0,0479	93,94
	ε_p	48,7	5	9,7	7,55	0,0634	92,64
ЯК	<i>DS</i>	245610,0	5	49122,1	22,92	0,0135	97,45
	<i>G</i>	316,6	5	63,3	56,42	0,0036	98,95
	<i>WVTR</i>	609,5	5	121,9	8,68	0,0525	93,53
	σ_p	531,3	5	106,3	7,15	0,0681	92,26
	ε_p	239,5	5	47,9	34,84	0,0074	98,31
ГК	<i>DS</i>	818182,0	5	163636,0	15,77	0,0230	96,34
	<i>G</i>	446,7	5	89,3	18,10	0,0190	96,80
	<i>WVTR</i>	509,4	5	101,9	25,46	0,0116	97,70
	σ_p	1044,8	5	209,0	7,50	0,0639	92,59
	ε_p	211,3	5	42,3	32,49	0,0301	98,78

Для ПУ способность поглощать молекулы воды без растворения, т.е. степень набухания (параметр, непосредственно связанный с водостойкостью полимеров) должна быть как можно более низкой [25]. Из результатов *RSM* (см. графики *RSM* для составов с ЛК) следует, что для пленок с предлагаемыми композициями основной вклад в изменение величины *DS* вносит количество введенного ПВС. Как видно на рис. 3а, минимальные значения *DS* (< 300 %) достигаются при [ПВС] более 15 %, при этом [Гл] может варьироваться во всем заданном диапазоне — от 20 до 50 %. Также установлено, что имеет место влияние природы органической кислоты: меньшие значения *DS* получены при использовании трехосновной ЛК, способной образовывать большее количество сшивок (табл. 1).

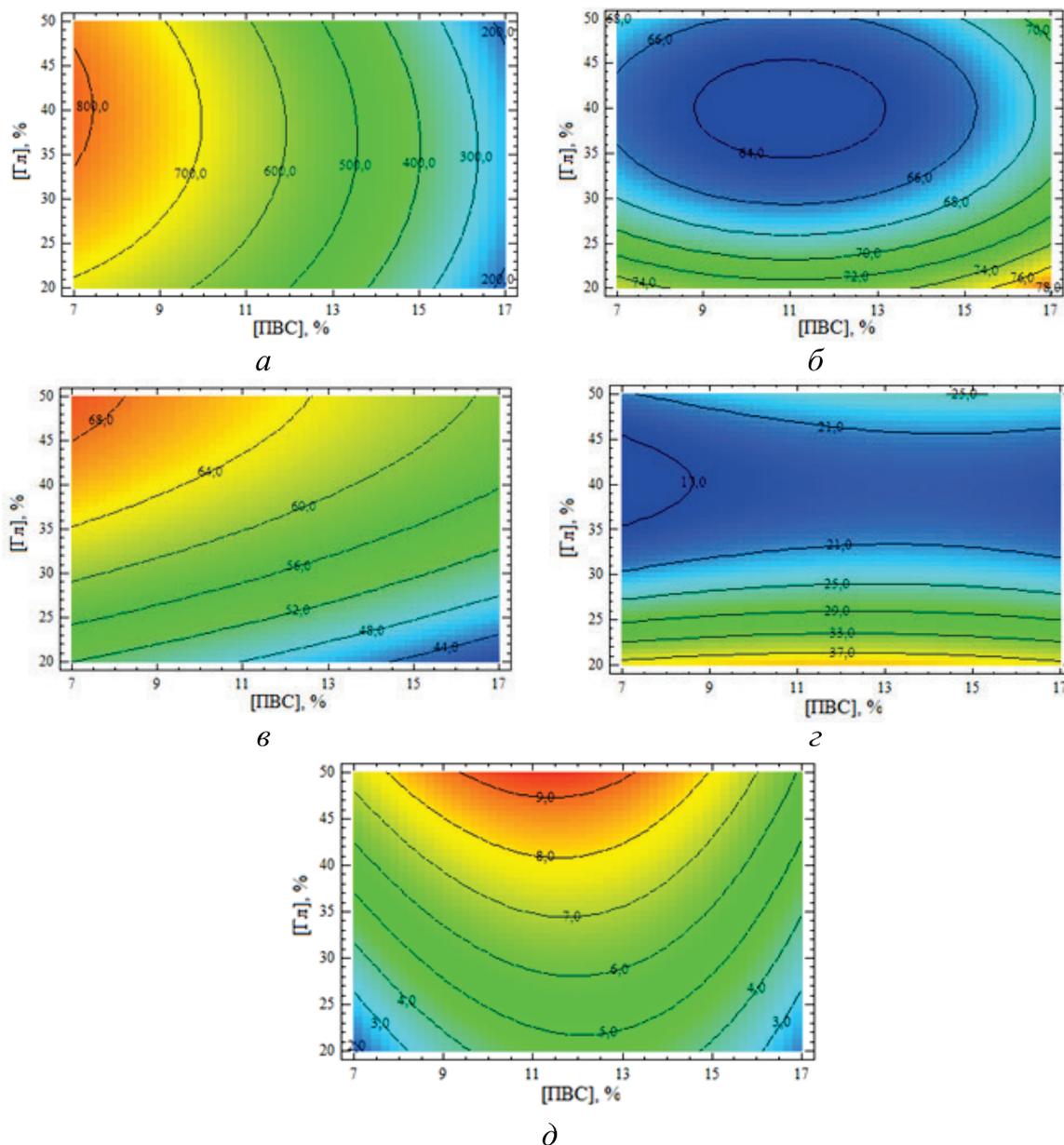


Рис. 3. График контура поверхности (*RSM*), показывающий эффект независимых переменных ПВС и Гл на степень набухания (а), долю геля (б), скорость пропускания водяного пара (в), прочность при растяжении (г), относительное удлинение при разрыве (д) пленок состава кукурузный Кр/КМЦ/ПВС/Гл/ЛК

Fig. 3. Contour plot showing the effect of the of independent variables PVA and GI on the films swelling degree (a), gel fraction (b), water vapor transmission rate (c), tensile strength (d), elongation at break (e) of the composition corn S/CMC/PVA/GI/LA

Значимым параметром является величина доли геля, которая характеризует нерастворимую фракцию, образовавшуюся за счет межмолекулярных связей между полимерными цепями. Несвязанные компоненты гидрогеля могут переходить в водную среду в условиях повышенной влажности, то есть, минимизации миграции растворимых веществ из полимерной матрицы должна соответствовать достаточно высокая величина G . Результаты *RSM* показывают, что на долю геля в пленочных материалах в большей степени влияет количество пластификатора. Максимальное значение G достигается при [Гл] 20 %, варьирование [ПВС] во всем заданном диапазоне значений (7–15,5 %) не приводит к заметному увеличению доли геля, при этом оптимальной величиной можно считать [ПВС] 15,5 % (рис. 3б).

Для сохранения качества пищевых продуктов необходимо также минимизировать процесс переноса водяного пара из окружающей среды через ПУ [26], что соответствует возможно более низкому значению показателя $WVTR$. Поскольку известно, что паропроницаемость полимерной пленки связана с наличием в ее составе как гидрофильных фрагментов полимерной сетки, так и подвижных гидрофильных молекул [27], закономерно, что в нашем случае величина параметра $WVTR$ определяется как содержанием синтетического полимера, так и пластификатора. Это четко видно на соответствующих графиках контура поверхности (рис. 3в): паропроницаемость уменьшается при увеличении [ПВС] и снижении [Гл]. Минимальную величину $WVTR$ обеспечивает [ПВС] более 13 %, [Гл] — 20–25 %. Зависимость паропроницаемости от природы сшивающего агента заключается в том, что значения $WVTR$ повышаются в ряду ЛК < ЯК < ГК (табл. 1).

Механические свойства являются важнейшей характеристикой для упаковочных полимерных пленок, поскольку они должны выдерживать нагрузки, возникающие при эксплуатации. Достаточно высокие значения σ (>25 МПа) были получены при увеличении [ПВС] более 9 % и уменьшении [Гл] менее 30 % (рис. 3г). Максимальной прочностью при растяжении (>35 МПа) обладают образцы, в которых сшивающим агентом является ЛК (табл. 1). Величина относительного удлинения при разрыве определяется в основном концентрацией пластификатора, практически не зависит от [ПВС] (рис. 3д) и природы органической кислоты (табл. 1). Оптимальное сочетание значений механических параметров пленок ($\sigma_p > 14$ МПа и $\epsilon_p > 5$ % согласно требованиям действующего нормативного документа [24]) можно достичь, повышая [Гл] выше 25 % при сохранении [ПВС] на уровне 7–15 %.

Как видно из представленных результатов, пленки, сшитые ЛК, характеризуются оптимальным набором свойств для практического применения в качестве ПУ. Следует отметить, что такие образцы имеют наиболее однородную морфологию поверхности (рис. 4).

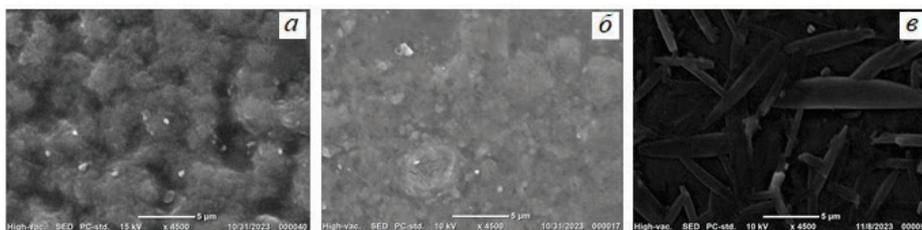


Рис. 4. Микрофотографии (СЭМ) поверхности пленочных образцов ($\times 4500$). Сшивающий агент: ЛК (а), ЯК (б), ГК (в). Концентрация, %: ПВС — 15,5; Гл — 25

Fig. 4. Microphotographs (SEM) of the film samples surface ($\times 4500$). Cross-linking agent: LA (a), SA (b), GA (c). Concentration, %: PVA — 15.5; GI — 25

Заключение. Использование методологии поверхности отклика позволяет получить значимую информацию для улучшения состава пленочных материалов, которые могут позиционироваться как основа упаковки для пищевых продуктов. В результате примененного статистического подхода *RSM* было установлено, что содержание в пленках на основе кукурузного крахмала и КМЦ при их соотношении 80:20 мас./мас. 10–15,5 % ПВС и 30–40 % Гл обеспечивает снижение набухания, паропроницаемости, повышает долю геля, прочность и удлинение образцов. В наибольшей степени барьерные и механические свойства пленок улучшает использование в качестве сшивающего агента лимонной кислоты.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект *FRES-2024-0001*).

Авторы благодарят ЦКП «Центр исследований полимеров» ИСПМ РАН за проведение исследований методом СЭМ и заявляют об отсутствии конфликта интересов с другими лицами и организациями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Geyer, R. Production, use, and fate of synthetic polymers / R. Geyer // In: Plastic Waste and Recycling. — London: Academic Press, 2020. — P. 13–32. DOI: 10.1016/b978-0-12-817880-5.00002-5.
2. Renewable polymers and plastics: Performance beyond the green / A. Pellis [et al.] // New Biotechnol. — 2021. — Vol. 60. — P. 146–158. DOI: 10.1016/j.nbt.2020.10.003.
3. Starch-based biodegradable materials: challenges and opportunities / T. Jiang [et al.] // Adv. Ind. Eng. Polym. Res. — 2020. — Vol. 3. — No. 1. — P. 8–18. DOI: 10.1016/j.aiepr.2019.11.003.
4. Recent developments of carboxymethyl cellulose / M. S. Rahman [et al.] // Polymers. — 2021. — Vol. 13. — No. 8. — P. 1345–1393. DOI: 10.3390/polym13081345.
5. Limpongsa, E. Modification of release and penetration behavior of water-soluble active ingredient from ball-milled glutinous starch matrix via carboxymethylcellulose blending / E. Limpongsa, M. T. Soe, N. Jaipakdee // Int. J. Biol. Macromol. Part B. — 2021. — Vol. 193. — No. 1. — P. 2271–2280. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.11.059.
6. Preparation and characterization of cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose edible film incorporating apple polyphenols / L. Lin [et al.] // Int. J. Biol. Macromol. — 2022. — Vol. 212. — No. 1. — P. 155–164. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.05.121.
7. Effect of k-carrageenan on mechanical, thermal and biodegradable properties of starch–carboxymethyl cellulose (CMC) bioplastic / A. H. D. Abdullah [et al.] // Cellul. Chem. Technol. — 2021. — Vol. 55. — No. 9–10. — P. 1109–1117. DOI: 10.35812/CelluloseChemTechnol.2021.55.95.
8. Corn starch reactive blending with latex from natural rubber using Na⁺ ions augmented carboxymethyl cellulose as a crosslinking agent / N. Leksawasdi [et al.] // Sci. Rep. — 2021. — Vol. 11. — No. 1. — P. 19250. DOI: 10.1038/s41598-021-98807-x.
9. Almasi, H. Physicochemical properties of starch–CMC–nanoclay biodegradable films / H. Almasi, B. Ghanbarzadeh, A. A. Entezami // Int. J. Biol. Macromol. — 2010. — Vol. 46. — No. 1. — P. 1–5. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2009.10.001.
10. Mechanical properties improvement of thermoplastic corn starch and polyethylene-grafted-maleic anhydride blending by Na⁺ ions neutralization of carboxymethyl cellulose / K. Jantanasakulwong [et al.] // Int. J. Biol. Macromol. Part A. — 2018. — Vol. 120. — P. 297–301. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.08.076.
11. A review of polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose (PVA/CMC) composites for various applications / H. N. Khoramabadi [et al.] // J. Compos. Compods. — 2020. — Vol. 2. — P. 69–76. DOI: 10.29252/jcc.2.2.2.
12. Synthesis, structural, and physical properties of polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose blend films induced by gamma-irradiation / M. F. Zaki [et al.] // Opt. Quant. Electron. — 2023. — Vol. 55. — P. 1000. DOI: 10.1007/s11082-023-05284-9.
13. Design of magnesium oxide nanoparticle incorporated carboxy methyl cellulose/poly vinyl alcohol composite film with novel composition for skin tissue engineering / N. Verma [et al.] // Materials Technology. — 2021. — Vol. 37. — No. 21. — P. 1–11. DOI: 10.1080/10667857.2021.1873634.
14. Poly(vinyl alcohol)/modified cassava starch blends plasticized with glycerol and sorbitol / P. Boonsuk [et al.] // J. Appl. Polym. Sci. — 2022. — Vol. 139. — No. 24. — P. 52362. DOI: 10.1002/app.52362.
15. Physicochemical properties for food packaging and toxicity behaviors against healthy cells of environmentally friendly biocompatible starch/citric acid/polyvinyl alcohol biocomposite films / N. Gürlür [et al.] // Starch–Stärke. — 2021. — Vol. 75. — No. 3–4. — P. 2100074. DOI: 10.1002/star.202100074.
16. Physico-chemical, mechanical and morphological properties of biodegradable films based on arrowroot starch and poly(vinyl alcohol) / J. A. A. Nascimento [et al.] // J. Macromol. Sci. Part B. — 2021. — Vol. 60. — No. 12. — P. 1–24. DOI: 10.1080/00222348.2021.1949836.
17. Bella, G. R. Polyvinyl alcohol/starch/carboxymethyl cellulose ternary polymer blends: synthesis, characterization and thermal properties / G. R. Bella, R. S. J. Jeevitha, S. A. T. Booshan // Int. J. Res. Pharm. Sci. — 2016. — Vol. 3. — No. 6. — P. 43–50.
18. Kapil, G. Synthesis and characterization of PVA/starch/CMC composite films reinforced with walnut shell flour / G. Kapil, L. Sohan, A. Sanjiv // SN Appl. Sci. — 2019. — Vol. 1. — P. 1416. DOI: 10.1007/s42452-019-1462-8.
19. Boonthod, C. Development of polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose/starch biodegradable film for active packaging / C. Boonthod. — Bangkok : Silpakorn University, 2022. — 70 p.
20. Изучение зависимости параметров шивки гидрогелей на основе синтетических и природных полимеров от их состава / Т. Г. Тюрина [и др.] // Вест. ДонНУ. Сер. А: Естеств. науки. — 2022. — № 1. — С. 115–122.
21. ГОСТ 21472-81. Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости. — Москва : Стандартинформ, 2008. — 8 с.
22. Wittaya-areekul, S. Development and in vitro evaluation of chitosan–polysaccharides composite wound dressings / S. Wittaya-areekul, C. Prahsarn // Int. J. Pharm. — 2006. — Vol. 313. — No. 1–2. — P. 123–128. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2006.01.027.

23. Influence of starch composition and molecular weight on physicochemical properties of biodegradable films / D. Domene-López [et al.] // *Polymers*. — 2019. — Vol. 11. — No. 7. — P. 1084. DOI: 10.3390/polym11071084.
24. ГОСТ Р 57432-2017. Упаковка. Пленки из биоразлагаемого материала. Общие технические условия. — Москва : Стандартинформ, 2019. — 8 с.
25. Effect of glyoxal concentration on the properties of corn starch/poly(vinyl alcohol)/carvacrol nanoemulsion active films / M. Cheng [et al.] // *Ind. Crops. Prod.* — 2021. — Vol. 171. — P. 113864. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.113864.
26. Polysaccharide-based blend films as a promising material for food packaging applications: physicochemical properties / V. D. Hiremani, [et al.] // *Iran. Polym. J.* — 2022. — Vol. 31. — P. 503–518. DOI: 10.1007/s13726-021-01014-8.
27. Development and characterization of PVA-starch incorporated with coconut shell extract and sepiolite clay as an antioxidant film for active food packaging applications / R. Tanwar [et al.] // *Int. J. Biol. Macromol.* — 2021. — Vol. 185. — P. 451–461. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.06.179.

Информация об авторах

Крюк Татьяна Владленовна, кандидат химических наук, доцент, заместитель директора по научной работе ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко» (ул. Розы Люксембург, 70, 283048, г. Донецк, Российская Федерация).

E-mail: ktvl2010@mail.ru

Попова Оксана Сергеевна, старший преподаватель кафедры таможенного дела и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» (ул. Щорса, 31, 283050, г. Донецк, Российская Федерация).

E-mail: omango@yandex.ru

Тюрина Татьяна Григорьевна, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко» (ул. Розы Люксембург, 70, 283048, г. Донецк, Российская Федерация).

E-mail: t_turina@mail.ru

Сиверский Алексей Владимирович, младший научный сотрудник ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко» (ул. Розы Люксембург, 70, 283048, г. Донецк, Российская Федерация).

E-mail: alekseysiverskiy@gmail.com

Романенко Наталья Александровна, младший научный сотрудник ФГБНУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко» (ул. Розы Люксембург, 70, 283048, г. Донецк, Российская Федерация).

E-mail: nathaly_roman@mail.ru

Information about authors

Kryuk Tatiana Vladlenovna, PhD (Chemistry), Associate Professor, Deputy Director for Research of L. M. Litvinenko Institute of Physical Organic and Coal Chemistry (70 Rosa Luxemburg Street, 283048, Donetsk, Russian Federation).

E-mail: ktvl2010@mail.ru

Popova Oksana Sergeevna, Senior Lecturer, Department of Customs Affairs and Expertise of Goods of Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky (31 Shchors Street, 283050, Donetsk, Russian Federation).

E-mail: omango@yandex.ru

Turina Tatiana Grigorievna, Doctor of Chemical Sciences, Leading Researcher of L. M. Litvinenko Institute of Physical Organic and Coal Chemistry (70 Rosa Luxemburg Street, 283048, Donetsk, Russian Federation).

E-mail: t_turina@mail.ru

Siversky Alexey Vladimirovich, junior researcher of L. M. Litvinenko Institute of Physical Organic and Coal Chemistry (70 Rosa Luxemburg Street, 283048, Donetsk, Russian Federation).

E-mail: alekseysiverskiy@gmail.com

Romanenko Natalia Alexandrovna, junior researcher of L. M. Litvinenko Institute of Physical Organic and Coal Chemistry (70 Rosa Luxemburg Street, 283048, Donetsk, Russian Federation).

E-mail: nathaly_roman@mail.ru

УДК 663.43

Поступила в редакцию 19.11.2024
Received 19.11.2024**В. В. Соловьев, Ю. А. Шимановская, Ю. С. Шустикова***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***ОЦЕНКА ПИВОВАРЕННЫХ СВОЙСТВ СОЛОДА
ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ
МИКРОСОЛОЖЕНИЯ**

Аннотация. Пивоварение — это высокотехнологичный процесс, требующий внимательного подхода к выбору сырья, особенно ячменя, который является основным компонентом для производства солода. Качество и характеристики ячменя напрямую влияют на итоговые свойства пива, такие как вкус, аромат, цвет и пенообразование. Поэтому понимание того, как различные сорта ячменя влияют на пивоваренные свойства солода, становится важным фактором для достижения стабильного качества и экономической эффективности в пивоварении.

В статье приведен сравнительный анализ качественных показателей 5 проб ячменя пивоваренного. Определены сорта ячменя, которые наиболее предпочтительны с точки зрения получения пива высокого качества и повышения эффективности процессов солодовенного и пивоваренного производства.

Ключевые слова: ячмень пивоваренный, солод, пивоваренное производство, показатели качества.

V.V. Solovyov, Yu.A. Shymanouskaya, Yu.S. Shustikova*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***EVALUATION OF BREWING PROPERTIES
OF MALT FROM VARIOUS BARLEY VARIETIES UNDER
MICRO-MALTING CONDITIONS**

Abstract. Brewing is a high-tech process that requires a careful approach to the selection of raw materials, especially barley, which is the primary ingredient for malt production. The quality and characteristics of barley directly influence the final properties of beer, such as taste, aroma, color, and foam formation. Therefore, understanding how different varieties of barley affect the brewing properties of malt becomes an important factor for achieving stable quality and economic efficiency in brewing.

This article presents a comparative analysis of the quality indicators of five barley samples used for brewing. The barley varieties that are most preferable in terms of producing high-quality beer and increasing the efficiency of malting and brewing processes have been identified.

Keywords: malting barley, malt, brewing production, quality indicators.

Введение. Пивоварение является важной отраслью пищевой промышленности, поэтому повышение эффективности производства пива является актуальной задачей [1].

Основным сырьем пивоваренного производства является ячмень, который впоследствии проращивается и идет на пивоварение в виде солода [2, 3].

Производство солода является ключевым этапом в пивоварении и других отраслях пищевой промышленности, так как от качества используемого сырья напрямую зависит качество конечного продукта. Ячмень имеет множество сортов, каждый из которых может существенно отличаться по содержанию белков, углеводов, ферментов и других химических компонентов, что, в свою очередь, влияет на выход солода и его качество. Эти различия

имеют большое значение для пивоваров, стремящихся оптимизировать производственные процессы и улучшить вкусовые характеристики конечного продукта. Некоторые показатели солода, такие как цвет, вкус и запах, являются решающими в определении типа пива, а количество экстрактивных веществ и степень расщепления белков существенно влияют на его качество [4, 5].

Качество пивоваренного ячменя регламентируется ГОСТ 5060-2021 «Ячмень пивоваренный. Технические условия» [6]. Согласно этому документу в ячмене нормируются органолептические, физические, физико-химические и физиологические показатели. В стандарте ячмень для солодоращения делится на два класса. Предъявляются требования к цвету зерна ячменя, он должен быть светло-желтого или желтого цвета. Не допускаются посторонние запахи, в том числе затхлый, солодовый, плесневый. Особое значение для производства солода имеют показатели крупности и выравненности ячменя. Стандартом ограничивается содержание мелких зерен, так как не выравненное по размерам зерно при солодоращении прорастает недостаточно равномерно, что отрицательно влияет на технологический процесс [7].

Таким образом, для приготовления солода пивоваренного ячмень должен отвечать следующим критериям:

- ♦ высокая степень всхожести семян;
- ♦ чистота сорта;
- ♦ крупность и выравненность зерен по размеру;
- ♦ низкое содержание белка [8].

Цель солодоращения состоит в том, чтобы активировать в ячменном зерне ферменты и обеспечить с их помощью определенные биохимические изменения веществ зерна [9].

Процесс производства солода включает несколько ключевых стадий, включая замачивание, проращивание и сушки зерна, каждая из которых зависит от биологических и химических свойств исходного сырья [10].

Задача замочки — контролируемо замочить сухой ячмень. Рабочее пространство резервуара попеременно заполняется водой (максимальный уровень) или без воды (минимальный уровень) — воздушный перерыв. Цикл замочки длится 48 часов (2 суток). Весь временной график уровня воды и сопутствующих операций предопределяется пользователем при вводе технологического процесса на операторском ПК. Поэтому частота аэрации — вытяжки CO_2 точно определена заранее.

Задача проращивания прорастить намоченный ячмень. Цель проращивания зерна — накопление достаточного количества активных ферментов амилолитического комплекса, для обеспечения возможно более полного осахаривания крахмала [11]. В среде проращивания с достаточным подводом увлажненного воздуха происходит постепенное прорастание ячменя, образуется зеленый солод. Длительность прорастания составляет, как правило, 3–6 суток.

Задача солодосушки — контролируемо осушить проросший солод. Собственно, солодосушение состоит из нескольких этапов:

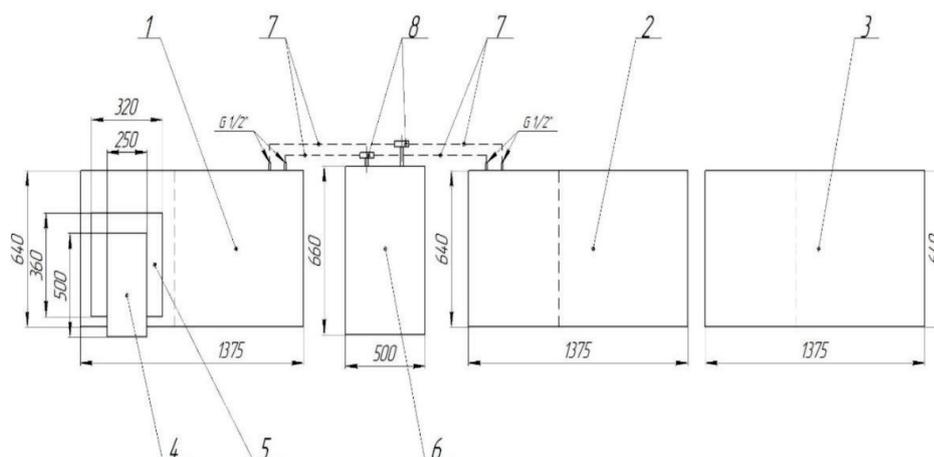
- ♦ повышение температуры до $55\text{ }^\circ\text{C}$;
- ♦ выдержка при этой температуре;
- ♦ повышение температуры до $85\text{ }^\circ\text{C}$;
- ♦ опять выдержка при этой температуре.

Таким образом, солодосушение — это высушивание проросшего солода при точно определенных условиях времени, температуры и мощности. Процесс завершается в заданное время и при условии достижения данной влажности отходящего воздуха (прибл. ниже 10 %).

Целью данной работы являлось изучение и сравнение качественных показателей солода из различных сортов ячменя, а также исследование влияния сортов ячменя различной генетической и экологической принадлежности на эффективность производства солода и, как следствие, на качество пива.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в лаборатории отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», в лабораториях Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания, в ОАО «Белсолод».

Экспериментальные работы по выпуску солода пивоваренного ячменного светлого осуществлялись в условиях микросоложения из ячменя озимых и яровых сортов отечественной и импортной селекции. Микросолодовня управляется системой управления, размещенной в отдельном шкафу. Схема микросолодовни Ш12-МСО представлена на рис. 1.



1 — шкаф замачивания, 2 — шкаф проращивания, 3 — шкаф сушильный,
 4 — установка для озонирования, 5 — генератор озона «Эвозон»,
 6 — промышленная холодильная машина (чиллер) TAEvo Tech MINI 05 со встроенным насосом
 и автоматикой, 7 — подводка гибкая для воды, 8 — тройник

Рис. 1. Схема микросолодовни
 Fig. 1. Scheme of a micro malting plant

Результаты исследований и их обсуждение. На исследование было взято 5 проб ячменя, выращенных в Республике Беларусь, урожая 2023 года, из них: 2 пробы импортных сортов озимого ячменя (Изоцел и Дипло), 2 пробы отечественных сортов ярового ячменя (Бровар и Аванс) и 1 проба ярового ячменя из сортов импортной селекции (Деспина).

Образцы ячменя были исследованы в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания по показателям: массовая доля белка, массовая доля крахмала, массовая доля влаги, крупность. Результаты представлены в табл. 1.

Table 1. Показатели качества образцов ячменя
 Table1. Quality indicators of barley samples

Наименование сорта ячменя	Наименование показателя / значение			
	Крупность, %	Массовая доля, %		
		белок	крахмал	влага
Изоцел (озимый)	82,0	10,10	60,55	12,3
Дипло (озимый)	81,2	10,71	58,88	11,6
Бровар (яровой)	80,1	10,82	58,73	11,7
Аванс (яровой)	90,6	10,58	59,79	11,5
Деспина (яровой)	92,8	9,54	62,55	12,2

Одним из главных показателей качества солодовенного сырья является содержание белка в зерне. Его варьирование составляет от 9 до 16 %. В пивоваренной промышленности высокобелковость зерна является нежелательным качеством, оптимальное содержание белка в зерне при производстве пива составляет от 9 до 12 %. Белок включает в себя лишь белковый азот в составе аминокислот. Азот необходим при производстве пива, так как он используется в питании дрожжей и, кроме того, способствует получению пива с долго не опадающей пеной. Чем больше содержится белка в зерне ячменя, тем меньше в нем крахмала, который является основным экстрактивным веществом. Слишком низкое содержание белка (менее 9 %) также не желательна, так как это способствует повышению содержания антоцианогена, вызывающего муть пива [12 — 16].

Содержание белка всех исследуемых образцов ячменя составило 9,54 — 10,82 %. Содержание крахмала составило 58,73 — 62,55 %. Таким образом, все взятые на исследования образцы ячменя пивоваренного по содержанию белка и крахмала соответствовали нормативным требованиям.

Содержание влаги образцов ячменя составило от 11,5 до 12,3 %, что не превышает нормативное значение (не более 15 %), данный показатель может изменяться в зависимости от

погодных условий при созревании и от технологии сбора урожая. Крупность зерна также соответствовала требованию стандарта (не менее 65 %) [6].

Таким образом, все образцы ячменя пивоваренного, взятые на исследование в условиях микросоложения, соответствовали требованиям ГОСТ 5060-2021 «Ячмень пивоваренный. Технические условия».

Производство солода пивоваренного ячменного проводилось по утвержденным технологическим режимам для установки микросоложения с соблюдением установленной технологии производства.

Результаты процесса замачивания исследуемых образцов ячменя представлены в табл. 2.

Table 2. Результаты процесса замачивания исследуемых образцов ячменя
Table 2. The results of the soaking process of the studied barley samples

Наименование сорта ячменя	Наименование показателя / значение	
	Наклев/развилка, %, (1 сут)	Влажность, %, (1 сут)
Изоцел (озимый)	95/42	46,6
Дипло (озимый)	95/47	47,3
Бровар (яровой)	95/66	48,5
Аванс (яровой)	97/35	45,4
Деспина (яровой)	99/50	47,5

По показателям наклев/развилка лучшие результаты на 1 сутки получили яровые сорта ячменя — Деспина (99/50 %) и Бровар (95/66 %).

Проращивание исследуемых образцов ячменя проводилось при температуре 16 °С в течение 4 суток и 1 часа. По окончании процесса проращивания проводили микросушку.

В готовом солоде исследовали показатели качества. Результаты исследований показателей качества солода представлен в табл.3.

Table 3. Показатели качества солода
Table 3. Malt quality indicators

Наименование сорта ячменя	Наименование показателя / значение							
	Влажность, %	Массовая доля экстракта, %	Продолжительность осахаривания/прозрачность	Цвет сула, см ³ р-ра конц. 0,1 моль/дм ³ на 100 см ³ сула	Кислотность, см ³ р-ра Na OH конц. 1 моль/дм ³ на см ³	Срез	Фриабильность, %	β-глюкан, мг/л
Изоцел	4,9	73,7/77,5	15 пр	0,25	1,0	79-3-0	69(6,8)8,6	308
Дипло	5,0	75,6/79,6	15 пр	0,25	1,0	80-2-0	73(5,2)7,9	293
Бровар	4,9	75,6/79,5	15 пр	0,23	1,0	82-2-0	76(3,4)7,2	255
Аванс	4,8	78,2/82,1	15 пр	0,27	1,1	86-1-0	86(2,6)3,6	128
Деспина	5,0	78,0/82,1	15 пр	0,21	1,05	89-0-0	94(0,0)0,0	150

Массовая доля экстракта (экстрактивность) является одним из самых важных показателей качества пивоваренного солода. Это количество органического вещества измельченного ячменя, способного переходить в водный раствор под воздействием ферментов ячменного солода. Чем выше этот показатель, тем больше выход экстракта в варочном цехе. Лабораторный выход экстракта в пересчете на воздушно-сухое вещество солода должен составлять 72 — 79 % и является косвенной характеристикой истинного выхода экстракта в варочном цехе. При заключении о пригодности солода для производства экстрактивность учитывают как относительную величину. Нормальный лабораторный выход экстракта для хорошего солода должен составлять 76 — 78 %. Выход экстракта в пересчете на сухое вещество должен составлять 76 — 84 %, причем для стандартного солода он должен составлять от 79,5 до 82 %. Выход экстракта зависит от сорта ячменя, области возделывания и погодных особенностей года уборки урожая [15, 17].

Наилучшие результаты по показателю массовая доля экстракта показали образцы яровых сортов ячменя Деспина (78,0/82,1 %) и Аванс (78,2/82,1%), а самый низкий результат продемонстрировал образец солода из озимого сорта ячменя Изоцел (73,7/77,5 %).

Солод, изготовленный из озимых сортов ячменя (Изоцел и Дипло) по показателю фриабильность и по содержанию мучнистых зерен уступал яровым сортам ячменя (Бровар, Аванс, Деспина). При этом солод из ячменя сорта Деспина обладал наилучшими качественными характеристиками по сравнению с другими яровыми сортами по данным показателям.

Известно, что экстрактивные вещества суслу на 70 — 75 % представляют собой углеводы солода, в том числе сюда входит и β -глюкан, который относится к некрахмальным полисахаридам. Для технологии пивоварения необходимо, чтобы солод и пивное сусло содержал как можно меньше β -глюкана, то есть чтобы произошло полное расщепление этого полисахарида. При неполном его расщеплении негативное влияние β -глюкана проявляется в повышении вязкости суслу и пива, снижении выхода суслу, плохой фильтруемости пива. Связанные с повышенным уровнем β -глюкана проблемы показывают, насколько важно его содержание для оценки качества солода и для прогнозирования процесса производства пива [17–19].

В зависимости от степени растворения солода содержание высокомолекулярного β -глюкана может составлять в конгрессном сусле 50 — 300 мг/ дм³ [20]. Наилучшими с точки зрения содержания β -глюкана оказались образцы солода из яровых сортов ячменя импортной и отечественной селекции — Деспина, Бровар и Аванс.

Заключение. Сравнительный анализ качественных показателей 5 образцов ячменя пивоваренного позволил сделать вывод, что содержание белка во всех образцах соответствует нормативным требованиям для пивоваренного ячменя. Для пивоварения применяются сорта с низким содержанием белка (9–12 %), и данный показатель у всех исследуемых образцов находился в этом диапазоне (от 9,54 % до 10,82 %). Содержание крахмала, крупность и влажность также соответствовали нормативным значениям.

При этом в условиях микросоложения яровые сорта ячменя, особенно сорт Деспина, продемонстрировали более высокое качество с точки зрения содержания экстракта и фриабильности. Солод, изготовленный из озимых сортов ячменя (Изоцел и Дипло), имел более низкие показатели качества в сравнении с яровыми сортами. Например, он имеет более низкую экстрактивность, фриабильность и содержание β -глюкана.

Таким образом, яровые сорта ячменя пивоваренного (Деспина, Бровар и Аванс) являются более предпочтительными для производства солода и пива, обладая рядом преимуществ по сравнению с озимыми сортами. Использование яровых сортов ячменя по сравнению с озимыми позволяет повысить качество и эффективность солодовенного и пивоваренного производства.

Список использованных источников

1. *Ефремова, Е. Н.* Влияние качества зерна ячменя на физико-химические показатели пива / Е. Н. Ефремова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. — 2016. — № 1(32). — С. 42-46.
2. *Бейтуганов, И. Р.* Влияние величины семян ячменя на пивоваренное качество зерна и солода / И. Р. Бейтуганов, Д. Х. Нартокова, М. Б. Хоконова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. — 2019. — № 3(25). — С. 13-18.
3. *Хоконова, М. Б.* Качество зерна ячменя и солода в зависимости от приемов агротехники / М. Б. Хоконова, М. А. Устова // Техника и технология пищевых производств. — 2014. — № 4(35). — С. 71-75.
4. *Гусев, А. Н.* Разработка рецептуры специального пива с использованием душицы обыкновенной / А. Н. Гусев, И. И. Багаутдинов, Е. Н. Черненко // Российский электронный научный журнал. — 2023. — № 2(48). — С. 57-63.
5. *Гернет, М. В.* Состояние и перспектива производства специальных сортов пива / Пиво и напитки. — 2009. — № 2 — С. 8-10.
6. Ячмень пивоваренный. Технические условия : ГОСТ 5060-2021. — Взамен ГОСТ 5060-86 ; введ. 01.04.2022. — Москва : Российский институт стандартизации, 2021. — 8 с.
7. *Майорова, С. А.* Качество зерна ячменя, как сырья для производства солода / С. А. Майорова // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения : Сборник материалов LV Студенческой научно-практической конференции, Тюмень, 17–19 марта 2021 года. — Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2021. — С. 144-149.
8. *Белокурова, Е. С.* Физиологические показатели качества ячменя пивоваренного — основа для получения солода высокого качества / Е. С. Белокурова, Л. М. Борисова, Г. В. Лепеш // Техничко-технологические проблемы сервиса. — 2012. — № 4(22). — С. 57-61.
9. *Дзахмишева, И. Ш.* Технологические аспекты производства пивоваренного солода / И. Ш. Дзахмишева // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Направитие»: сборник избранных статей, Санкт-Петербург, 10–13 августа 2021 года. — Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2021. — С. 40-42.
10. *Баланов, П. Е.* Технология солода: учеб.-метод. пособие / П. Е. Баланов, И. В. Смолтраева. — СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. — 82 с.
11. *Оплачко, О. А.* Технология производства пива с использованием кукурузного солода / О. А. Оплачко // Студенческая наука — агропромышленному комплексу : Научные труды студентов Горского Государственного аграрного университета, Владикавказ, 11–12 апреля 2018 года. Том Выпуск 55 (Часть 1). — Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2018. — С. 405-407.

12. *Еренова, Б. Е.* Вопросы качества и безопасности пивоваренного ячменя и солода / Б. Е. Еренова // Безопасность и качество товаров : Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Саратов, 15 июля 2019 года / Под ред. С.А. Богатырева. — Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2019. — С. 92-94.
13. *Семенюта, А. А.* Зерно и солод в пищевых технологиях: оценка качества: учебное пособие / А. А. Семенюта, Т. В. Танашкина, Т. А. Сенотрусова. — Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2023. — 101 с.
14. *Захарова, О. А.* Качество зерна и солода пивоваренного ячменя при оптимизации технологии его выращивания / О. А. Захарова, О. В. Ожерельева // Агрехимикаты в XXI веке: теория и практика применения : материалы международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 31 мая — 02 2017 года. — Нижний Новгород: ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», 2017. — С. 35-38.
15. *Майорова, С. А.* Качество зерна ячменя, как сырья для производства солода / С. А. Майорова // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения : Сборник материалов LV Студенческой научно-практической конференции, Тюмень, 17–19 марта 2021 года. — Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2021. — С. 144-149.
16. *Райхерт, Д. В.* Ячмень как сырье для производства солода / Д. В. Райхерт, Р. И. Белкина // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса : сборник трудов LVII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 27 февраля — 03 2023 года. Том Часть 13. — Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. — С. 32-36.
17. Сырьевые свойства зерна ячменя пивоваренного назначения / И. В. Опанасюк, Р. И. Белкина, М. В. Губанов, А. А. Новоселова // Современная наука — агропромышленному производству : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Тюмень, 23–24 октября 2014 года. Том I. — Тюмень: ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», 2014. — С. 55-57.
18. *Грибкова, И. Н.* Влияние β-глюкана на качество пива / И. Н. Грибкова, В. И. Козлов // Актуальные вопросы индустрии напитков. — 2018. — №2. — С. 42-44.
19. *Полонский, В. И.* Актуальные проблемы селекции ячменя / В. И. Полонский, А. В. Сумина // Международная заочная научная конференция «Проблемы современной аграрной науки». — Красноярск, 2010. — С.52-58.
20. Новое в пивоварении / Чарльз Бэмфорт (ред.); пер. с англ. яз. Е. С. Боровиковой и И. С. Горожанкиной. — Санкт-Петербург : Профессия, 2007. — 519 с.

Информация об авторах

Соловьев Виталий Владимирович, кандидат технических наук, начальник отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: solovyoffg@gmail.com

Шимановская Юлия Александровна, младший научный сотрудник отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: yuliya.sorokina.96@bk.ru

Шустикова Юлия Сергеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pus-tanja@yandex.ru

Information about the authors

Solovyov Vitaliy Vladimirovich, PhD (Engineering), Head of the Technology Department of alcoholic and non-alcoholic beer products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: solovyoffg@gmail.com

Shymanouskaya Yulia Aleksandrovna, Junior Researcher at the Department of Technologies of the alcohol and non-alcoholic beer products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: yuliya.sorokina.96@bk.ru

Shustikova Yulia Sergeevna, PhD (Engineering), Senior Researcher at the Department of Technologies of the alcohol and non-alcoholic beer products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: pus-tanja@yandex.ru

УДК 57.083.3:[577.182.22+577.182.24]

Поступила в редакцию 16.08.2024
Received 16.08.2024**О. С. Куприенко, А. И. Зильберман, И. И. Вашкевич, О. В. Свиридов***Государственное научное учреждение «Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь***АНАЛИТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЫХ
ИММУНОФЕРМЕНТНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМ
НА БЕТА-ЛАКТАМНЫЕ АНТИБИОТИКИ
В ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ СЫРЬЕ**

Аннотация. Исследованы аналитические характеристики двух разработанных микропланшетных тест-систем для прямого конкурентного иммуноферментного анализа бета-лактамовых антибиотиков. Одна из систем «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» включает рекомбинантный микробный рецептор бета-лактамов, который распознает и связывает как пенициллины, так и цефалоспорины. Вторая биоаналитическая система «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» основана на взаимодействии пенициллинов со специфичными к ним высокоаффинными поликлональными антителами. Калибраторы для построения градуировочного графика в обоих случаях готовят путем последовательного разведения раствора ампициллина, и массовая доля суммы бета-лактамов или пенициллинов в образцах измеряется относительно концентрации этого антибиотика. Найдены показатели специфичности обеих тест-систем, рассчитаны параметры точности выполнения измерений, установлены диапазоны определений и охарактеризована область применения соответствующих методик иммуноферментного анализа. Для тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» показано наличие смещения результатов измерений массовой доли антибиотиков в кислотолюбивой продукции, мясе и субпродуктах, что учтено при расчете суммарной неопределенности методики. Метрологически аттестованные рабочие характеристики, область применения и порядок проведения анализа с использованием тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» соответствуют описанию в МВИ.МН 5336-2015.

Ключевые слова: бета-лактамовые антибиотики, пенициллины, цефалоспорины, иммуноферментный анализ, методика измерений.

O. S. Kuprienko, A. I. Zilberman, I. I. Vashkevich, O. V. Sviridov*Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus***ANALYTICAL CHARACTERISTICS OF NEW ENZYME IMMUNOASSAY
SYSTEMS FOR BETA-LACTAM ANTIBIOTICS IN FOOD PRODUCTS AND
RAW MATERIALS**

Abstract. The analytical characteristics of two developed kits for enzyme-linked immunosorbent assay of beta-lactam antibiotics were studied. PRODOSCREEN® ELISA-Beta-Lactam kit includes a recombinant microbial beta-lactam receptor that recognizes and binds both penicillins and cephalosporins. PRODOSCREEN® ELISA-Penicillin kit is based on the interaction of penicillins with high affinity polyclonal antibodies specific to these antibiotics. Calibration solutions in both cases are prepared on the basis of ampicillin, therefore, the contents of beta-lactams or penicillins in the samples are measured relative to the concentration of this antibiotic. In the experiments, the specificities of the test systems were determined, the accuracy parameters for measuring the sum of beta-lactam antibiotics were calculated, the ranges of determination and the scopes of application of enzyme-linked immunosorbent assays of beta-lactams were established. It was shown that the recovery is significantly different from 1 when the measurements of beta-lactam concentrations in fermented milk products, meat and offal are carried out using the PRODOSCREEN® ELISA-Beta-

Lactam kit. This finding was taken into account when calculating the total uncertainty of the method. As for PRODOSCREEN® ELISA-Penicillin test system, its metrologically certified performance characteristics, scope of application and the analytical procedure correspond to the parameters described in MVI.MN 5336-2015.

Keywords: beta-lactam antibiotics, penicillins, cephalosporins, enzyme-linked immunosorbent assay, validation.

Введение. Мероприятия по обеспечению биобезопасности продукции, выполняемые на постоянной основе пищевой промышленностью и лабораторными службами, включают проведение обязательного контроля продуктов питания и продовольственного сырья на содержание в них остатков антибиотиков различных классов. Дело в том, что нарушение ветеринарных технологий и правил применения лекарственных противомикробных препаратов приводит к их распространению в сфере агрохозяйственной деятельности, накоплению в продукции животного происхождения и попаданию в организм человека, что может вызывать серьезные расстройства здоровья. Кроме того, увеличение разнообразия и массы антибиотиков в объектах окружающей среды вызывает быстрый рост бактериальной резистентности к антибиотикам [1]. В наше время проблема антибиотикоустойчивости патогенных микроорганизмов стала настоящим вызовом науке и обществу. В октябре 2022 года Советом Глав СНГ принят План совместных действий государств-участников содружества по противодействию устойчивости к противомикробным препаратам, в выполнение которого включилась Национальная академия наук Беларуси. План включает, в частности, развитие в период 2022–2026 годов системного мониторинга остаточных количеств противомикробных лекарств в пищевых матриксах, а также укрепление материально-технической базы специализированных лабораторий, выполняющих такие определения (мероприятия 2.17.1 и 2.17.2 Плана).

Данная статья посвящена современным средствам и методикам биоаналитического мониторинга бета-лактамов антибиотиков, пожалуй, самого обширного класса противомикробных субстанций, входящих в составы порядка 150 ветеринарных препаратов, зарегистрированных в государственном реестре Республики Беларусь. Авторы надеются, что их скромный вклад будет полезен для выполнения названных мероприятий Плана по противодействию устойчивости к антибиотикам.

В Беларуси, как и во многих странах мира, законодательно установлены максимально допустимые уровни (МДУ) остаточных количеств бета-лактамов в пищевой продукции животного происхождения, которые варьируются в широком пределе от 4 до 400 мкг/кг. Существующий в пищевой аналитике порядок измерения содержания бета-лактамов антибиотиков в пищевых матриксах состоит из первичного скрининга путем биоанализа и последующего подтверждения положительного результата чаще всего высокоэффективной жидкостной хроматографией в комбинации с масс-спектрометрией. Биоаналитические методы, включающие иммунный и рецепторный анализы, постоянно совершенствуются, составляя актуальную область прикладных научных исследований.

Главное внимание при разработке биоаналитических систем на антибиотики класса бета-лактамов уделяется, естественно, соединениям, входящим в нормируемые перечни, а именно группам пенициллинов и цефалоспоринов [2-5], однако, описаны, как бы впрок, и тест-системы, распознающие соединения и из двух других групп — карбопенемов и монобактамов [6]. В основе молекул пенициллинов лежит структура пенициллановой кислоты, включающая конденсированные тиазолидиновый и бета-лактамовый циклы, тогда как цефалоспорины являются производными цефалоспороановой или дезацетоксицефалоспороановой кислот и содержат конденсированные бета-лактамовое и дигидротиазиноное кольца (рис. 1). Для проявления биологической активности, которая реализуется через сродство к тому или иному бактериальному белку-рецептору, большое значение имеет целостность и реакционная способность бета-лактамового цикла, который очень неустойчив в кислой и щелочной средах, а также может разрушаться в ходе химической модификации. Периферическая структура антибиотика, обозначенная радикалами R_1 – R_3 на рис. 1, влияет на силу сродства к природному или рекомбинантному рецептору, а с другой стороны определяет различия в антигенных свойствах и иммунореактивностях бета-лактамов в процессах продуцирования специфических антител у животных и взаимодействий в иммуноаналитических системах.

Химия и биотехнологии использования бета-лактамов антибиотиков как гаптенных хорошо освещены в литературе, и научные результаты нашли свое воплощение в практических системах иммуноанализа. Описаны способы синтеза иммуногенных конъюгатов пенициллинов и цефалоспоринов с белками-носителями, схемы получения поликлональных и моно-

клональных антител, характеристики обратимых конкурентных реакций антиген-антитело с участием свободных и конъюгированных с инертными белками или ферментами антибиотиков. Отметим, однако, что исследователям редко удается получить высокоаффинные антитела и достичь требуемой чувствительности иммуноанализа [2–5, 7]. Неизвестны антитела, которые связывают все соединения группы пенициллинов или группы цефалоспоринов, не говоря уже об их специфичности в отношении полного перечня контролируемых бета-лактамов. Кроме того, каждый вновь полученный препарат антител имеет новый набор свойств, что создает трудности в разработке и стандартизации иммунных тест-систем и методик их применения.

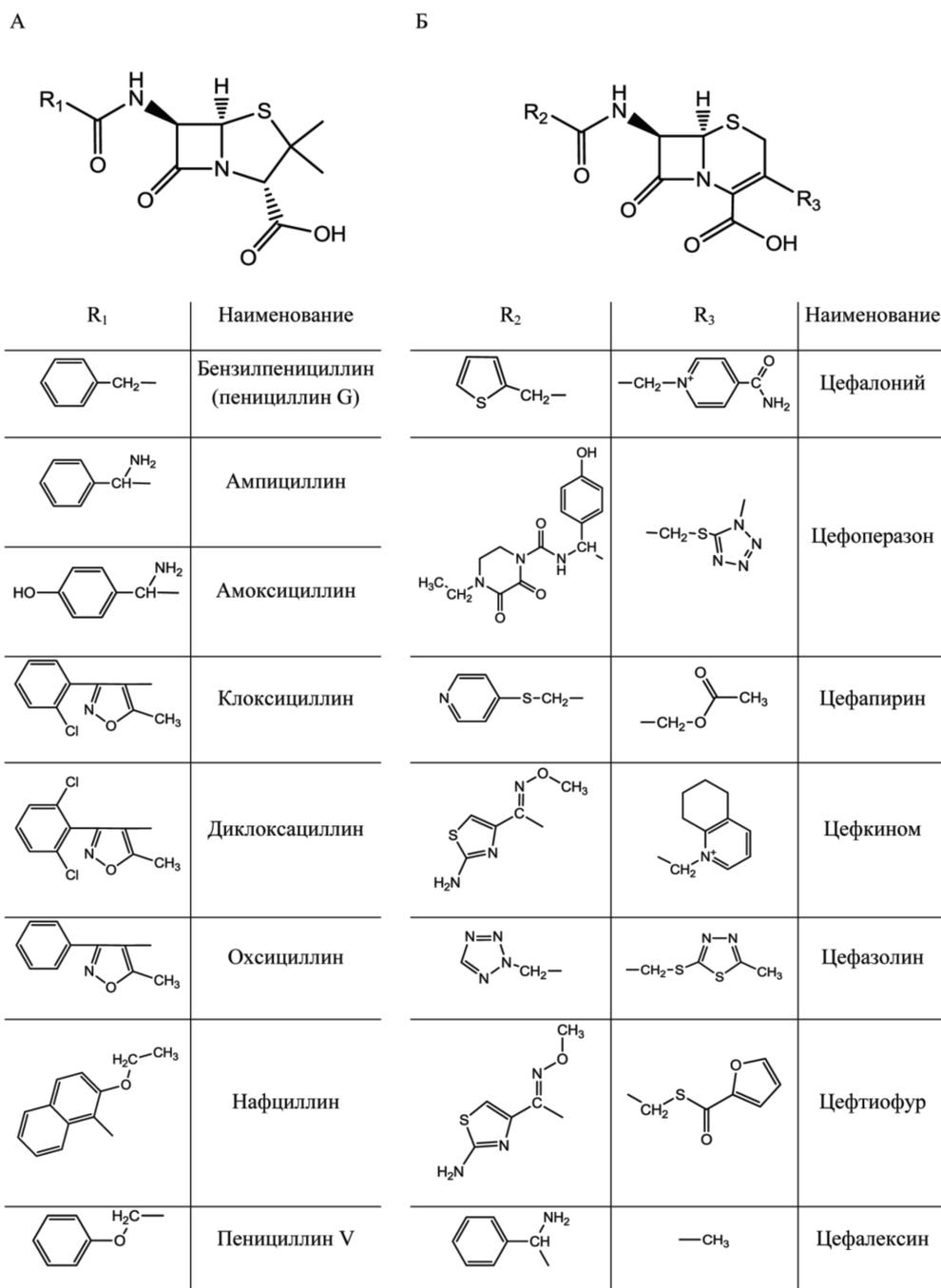


Рис. 1. Химические структуры основных бета-лактамных антибиотиков: пенициллинов (А) и цефалоспоринов (Б)

Fig. 1. Chemical structure of the main beta-lactam antibiotics: penicillins (A) and cephalosporins (B)

Биоанализ данного класса антибиотиков получил мощный импульс для дальнейшего развития после открытия и применения *in vitro* бактериальных белков со свойствами мембранных рецепторов бета-лактамов, например, в *Streptococcus pneumoniae*, получивших название «пенициллинсвязывающие белки» (penicillin-binding proteins, PBPs) [8, 9.]. В клетке патогенного микроорганизма белок-рецептор выступает в качестве мишени антибиотика, распознает его бета-лактамную структуру и специфически связывает лекарственную субстанцию. В результате комплексообразования напряженное бета-лактамное кольцо раскрывается и ацилирует остаток серина в активном центре рецептора, что ингибирует этот важный для функционирования клетки белок и вызывает ее гибель. В биоаналитической системе *in vitro*, основанной на принципе рецепции и включающей PBP, образование нековалентного комплекса между PBP и бета-лактамом также происходит, но оно не приводит к химической модификации активного центра рецептора из-за крайне малых концентраций реагентов. В рецепторно-аналитических системах на бета-лактамы наиболее часто исследовался белок PBP 2x* [7, 10-12].

К семейству PBPs, представители которого связывают пенициллины, цефалоспорины и некоторые соединения других групп бета-лактамов, относится и трансмембранный белок BlaR — трансдуктор сигнала в индуцируемом бета-лактамами синтезе бета-лактамазы *Bacillus licheniformis* [13]. Данный белок включает С-концевой домен (BlaR-CTD), экспонированный вне клетки. Этот сенсорный домен выполняет рецепторную функцию, связанный им бета-лактама ацилирует активный центр, структурные изменения формируют сигнал, в результате которого инактивируется белок-репрессор, включается транскрипция гена и осуществляется синтез бета-лактамазы. BlaR-CTD был гетерологически экспрессирован в *E. Coli* как водорастворимый PBP с молекулярной массой 26 кДа, и его высокоочищенная форма получена в препаративных количествах [14-19]. Анализ кристаллической структуры BlaR-CTD показал, что его полипептидная цепь свернута в 2 домена с полостью лигандсвязывающего центра между ними [20]

В последнее десятилетие опубликован ряд статей об использовании рекомбинантного BlaR-CTD из *B. Licheniformis* дикого и мутантного типов в микропланшетных и мембрано-хроматографических рецепторных системах для количественного определения широкого спектра бета-лактамовых антибиотиков в пищевых продуктах [6, 16–19]. Разработан метод количественного определения BlaR-CTD, обладающего лигандсвязывающей и антигенной активностями, установлены характеристики стабильности рецептора в технологиях изготовления практических биоаналитических систем на его основе [19].

В данной статье представлены результаты разработки и испытаний двух предназначенных для практики тест-систем иммуноферментного анализа (ИФА) бета-лактамовых антибиотиков в пищевых продуктах и сырье животного происхождения. Одна из систем основана на взаимодействии пенициллинов с высокоаффинными поликлональными антителами, а другая включает рекомбинантный микробный рецептор BlaR-CTD, который распознает и связывает как пенициллины, так и цефалоспорины.

Целью данной работы является определение аналитических характеристик тест-систем «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин». Перечень задач состоял из выяснения специфичности анализа, проводимого с использованием тест-систем, расчета параметров точности методик ИФА бета-лактамов, установления области их применения с указанием диапазонов измерения концентраций антибиотиков.

Материалы и методы исследований. Применяли препараты бета-лактамовых антибиотиков с установленными значениями содержания основного компонента от следующих фирм-поставщиков. Аналитические стандарты Vetranal™ пеницилина G калиевой соли (99,3 %), цефалония гидрата (99,3 %), диклоксациллина натриевой соли гидрата (98,0 %) — Sigma-Aldrich (США); референсные материалы феноксиметилпенициллина (98,26 %), цефепима бензатина (93,8 %), цефоперазона (999,0 мкг/мл), цефазолина натриевой соли (98,5 %) — LGC Labor GmbH (Германия); амоксициллина тригидрат (99,9 %) ампициллина тригидрат (99,3 %), цефкином сульфат (96,0 %), нафциллина натриевая соль моногидрат (95,7 %), оксациллин натриевая соль моногидрат (99,4 %) — HPC Standards GmbH (Германия); сертифицированные референсные материалы клоксациллина натриевой соли моногидрата (98,2 %), цефтиофура (97,5 %), цефалексина (98,5 %) — CPChem Ltd (Франция); пиперациллина натриевая соль (946 мкг/мг) — Glentham Life Sciences (Великобритания). Кроме того использовали бацитрацин, хлорамфеникол, стрептомицина сульфат фирмы Glentham Life Sciences (Великобритания), колистина сульфат — LGC Labor GmbH (Германия), тетрациклина гидрохлорид Merck (США).

Детекцию колориметрического сигнала в лунках микротитровальных планшетов осуществляли при длине 450 нм с использованием фотометра универсального Ф300ТП (ОАО «Витязь», Беларусь).

Использовали тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин», изготовленные в соответствии с ТУ ВУ 100185129.196-2023 в составе:

- ♦ микротитровальный планшет, 96-луночный полистирольный планшет с биоспецифически иммобилизованными бета-лактамым рецептором BlaR-STD или антителами к пенициллинам, 12 стрипов по 8 лунок, готов к использованию, 1 планшет;
- ♦ конъюгат ампициллина с пероксидазой, 100-кратный концентрат, 1 флакон, (0,10±0,01) мл;
- ♦ раствор для разведения конъюгата, 1 флакон, (10,0±0,5) мл;
- ♦ стандарт ампициллина, 4 нг/мл в восстановленном виде, лиофилизированный препарат, 3 флакона;
- ♦ буфер для разбавления, 1 флакон, (50,0±1,0) мл;
- ♦ моющий буфер, 10-кратный концентрат, 1 флакон (50,0±1,0) мл;
- ♦ хромоген-субстратный раствор, 1 флакон (14,0±0,5) мл;
- ♦ стоп-реагент, 1 флакон (14,0±0,5) мл;

Подготовка к проведению ИФА.

Стандарт ампициллина восстанавливали 2 мл буфера для разбавления, получали 4 нг/мл раствор антибиотика. Далее последовательным разведением этого раствора буфером для разбавления приготавливали градуировочные растворы для проведения ИФА. Концентрации ампициллина в градуировочных растворах тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» — 0,08, 0,20, 0,50, 1,25 нг/мл, тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» — 0,125, 0,25, 0,50, 1,00, 2,00, 4,00 нг/мл.

Рабочий раствор конъюгата готовили в пробирке или флаконе, разбавляя концентрат раствором для разведения в 100 раз. Рабочий моющий буфер подготавливали, разбавляя концентрат дистиллированной водой в 10 раз.

Приготовление растворов для внесения добавок бета-лактамных антибиотиков

Для получения основных растворов бета-лактамных антибиотиков навески их препаратов, взвешенные с точностью до 0,1 мг, помещали в отдельные мерные колбы объемом 100 мл, приливали 50 мл дистиллированной воды или метанола, и перемешивали до полного растворения. Затем доводили объем раствора в колбе до метки и тщательно перемешивали. Концентрацию антибиотика в основном растворе рассчитывали по формуле (1), неопределенность концентрации вычисляли по формуле (2) как указано в [21].

$$C_{BL_0} = \frac{10^6 \cdot m_{BL_X} \cdot M_{BL} \cdot P_{BL_X}}{100 \cdot M_{BL_X} \cdot V_k}, \quad (1)$$

где C_{BL_0} — концентрация бета-лактамного антибиотика в основном растворе, нг/мл; m_{BL_X} — навеска бета-лактамного антибиотика, мг; M_{BL} — молярная масса бессолевой и/или безводной форм антибиотика, г/моль; P_{BL_X} — массовая доля основного вещества в сухом препарате антибиотика, %; M_{BL_X} — молярная масса основного вещества антибиотика, г/моль; V_k — объем мерной колбы, в которой приготавливается основной раствор антибиотика, мл.

$$\begin{aligned} \frac{u(C_{BL_0})}{C_{BL_0}} &= \sqrt{\left[\frac{u(m_{BL_X})}{m_{BL_X}} \right]^2 + \left[\frac{u(P)}{P} \right]^2 + \left[\frac{u(V_k)}{V_k} \right]^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{\Delta_m}{m_{BL_X}} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{\sqrt{3} \cdot P_{BL_X}} \right)^2 + \left(3,68 \cdot 10^{-7} + \frac{\Delta V_k^2}{6 \cdot V_k^2} \right)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\frac{u(m_{BL_X})}{m_{BL_X}}$ — относительная стандартная неопределенность массы навески бета-лактамного антибиотика;

$\frac{u(P)}{P}$ — относительная стандартная неопределенность массовой доли основного вещества;

$\frac{u(V_k)}{V_k}$ — относительная стандартная неопределенность объема основного раствора антибиотика, приготавливаемого в мерной колбе; Δ_m — величина погрешности взвешивания весов, мг; ΔV_k^2 — предел допускаемой погрешности на номинальную вместимость мерной посуды, см³.

Растворы для добавок получали методом последовательного разведения основных растворов. Вычисляли неопределенность концентрации каждого из растворов.

Подготовка проб

В работе использовали образцы продуктов питания животного происхождения, закупленные в торговой сети г. Минска, не содержащие бета-лактамы антибиотики (массовые доли бета-лактамов антибиотиков в расчете на ампициллин ниже предела количественного определения тест-систем «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин»).

В навески образцов продуктов вносили отдельные бета-лактамы антибиотики (пенициллины и цефалоспорины). Объем вносимой аликвоты антибиотика составлял от 25 до 300 мкл и не превышал 2 % от объема экстракта (объема аликвоты образца при анализе жидких продуктов). Внесение добавок осуществляли на трех уровнях контаминации.

Образцы продукции животного происхождения для анализа в тест-системе «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» готовили следующим образом. Образцы молока, восстановленного сухого молока и восстановленной сухой молочной смеси для детского питания разводили в 5 раз буфером для разбавления. К навеске (1,00±0,01) г молочной сыворотки, восстановленной сухой молочной сыворотки, творога, коктейля молочного, кисломолочных продуктов (йогурт, сметана, кефир, пахта и т.п.), мороженого на молочной основе, мяса (мышцы) и мясных продуктов, креветок, субпродуктов (печень, почки) приливали 4,0 мл воды. Встряхивали образцы в течение 10 мин, затем центрифугировали при 4000 g (4–10) °C в течение 10 мин. Аликвоту надосадочной жидкости разбавляли в (2–10) раз буфером для разбавления. К навеске (1,00±0,01) г сыра (мягкого, полутвердого, твердого, сверхтвердого), масла сливочного, животного жира приливали 4,0 мл воды и 4,0 мл хлористого метилена. Встряхивали образцы в течение 10 мин, затем центрифугировали при 2000 g (20–25) °C в течение 10 мин. Аликвоту верхнего водного слоя разбавляли в 2 раза буфером для разбавления.

Образцы продукции животного происхождения для анализа в тест-системе «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» готовили, как описано ниже. Образцы молока, восстановленного сухого молока и восстановленной сухой молочной смеси для детского питания разводили в 2 раза буфером для разбавления. Навеску (25,0±0,1) г сгущенного молока растворяли в воде и доводили объем раствора до 100 мл. Затем аликвоту разводили в 2 раза буфером для разбавления. К навеске (0,50±0,01) г молочной сыворотки, восстановленной сухой молочной сыворотки, творога, коктейля молочного, кисломолочных продуктов (йогурт, сметана, кефир, пахта и т.п.), сыра (мягкий, полутвердый, твердый, сверхтвердый), масла сливочного, мороженого на молочной основе приливали 3,5 мл воды и 4,0 мл хлористого метилена. Встряхивали образцы в течение 10 мин, затем центрифугировали при 2000 g (20–25) °C в течение 10 мин. Аликвоту верхнего водного слоя разбавляли в 5 раз буфером для разбавления. К навеске (1,00±0,01) г мяса (мышцы) и мясных продуктов, субпродуктов (печень, почки) и продуктов из них, рыбы, креветки приливали 4,0 мл воды. Встряхивали образцы в течение 10 мин, затем центрифугировали при 2000 g (20–25) °C в течение 10 мин. Аликвоту надосадочной жидкости разбавляли в 8 раз буфером для разбавления.

Проведение ИФА. В лунки микротитровального планшета, покрытые антителами или рецептором, вносили 50 мкл градуировочных растворов или подготовленных проб и 50 мкл рабочего раствора конъюгата. Инкубировали в течение 1 ч при (20–25) °C в случае тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» или при (4–8) °C в случае тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин». По окончании времени инкубации удаляли жидкость из всех лунок путем резкого переворачивания планшета и промывали лунки 3 раза по 200 мкл рабочего моющего буфера. Далее в каждую лунку вносили по 100 мкл хромоген-субстратного раствора. Спустя 15 мин инкубации при (20–25) °C в темноте во все лунки планшета добавляли по 100 мкл стоп-реагента. В течение не более 15 мин измеряли оптическую плотность в лунках микропланшета при 450 нм.

На основании полученных экспериментальных данных строили градуировочные графики

зависимости $\text{logit} \left(\frac{B}{B_0} \right) = \log \left(\frac{\frac{B}{B_0}}{1 - \frac{B}{B_0}} \right)$ от десятичного логарифма концентрации ампициллина

на вида

$$\text{logit} \left(\frac{B}{B_0} \right) = a + b \cdot \lg C, \quad (3)$$

где B_0 — значение оптической плотности для градуировочного раствора C_0 , о.е.; B — значение оптической плотности, измеренное в лунке с градуировочным раствором ампициллина, о.е.; C — концентрация ампициллина в растворе, нг/мл; a и b — коэффициенты линейной регрессии.

По градуировочному графику определяли концентрацию бета-лактамовых антибиотиков в каждой лунке с исследуемой пробой. Для расчета массовой доли антибиотиков в образце использовали фактор разведения, зависящий от способа подготовки пробы.

В случае тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» использовали величины B' и B'_0 , которые получали после вычитания из зарегистрированной оптической плотности фонового сигнала. Величину фонового сигнала определяли в результате ИФА, проведенного по описанной схеме, в лунках, в которые вносили 100 мкл буфера для разведения и не добавляли рабочий раствор конъюгата.

Определение специфичности тест-систем. При проведении ИФА, как описано выше, в лунки микротитровального планшета вместо подготовленных проб вносили растворы известной концентрации бета-лактамовых и других антибиотиков, которые могут присутствовать в животноводческой продукции. Специфичность рассчитывали как процент перекрестного реагирования (кросс-реактивность, CR , %) различных антибиотиков со связывающими их белками, иммобилизованными в лунках микротитровального планшета, по формуле:

$$CR = \frac{C_{Amp}}{C_x} \cdot 100, \quad (4)$$

где C_{Amp} и C_x — концентрации соответственно вещества стандарта ампициллина и сравниваемого антибиотика, при которых максимальное значение ОП₄₅₀, измеренное в отсутствие конкурентных ингибиторов в системе, уменьшается на 50 %, нг/мл.

Результаты исследований и их обсуждение. Принцип работы и специфичность тест-систем. Тест-системы для определения бета-лактамовых антибиотиков «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» основаны на твердофазном прямом конкурентном ИФА, который проводится в лунках микротитровального полистирольного планшета (иммуносорбента). В течение первой инкубации, выполняемой в ИФА, определяемое соединение (бета-лактамовый антибиотик) и производное ананта в виде пероксидазного конъюгата конкурируют за связывание с иммобилизованными рецепторным белком BlaR-STD или специфическими к бета-лактамовым антибиотикам антителами. Не вступившие в иммунохимическую реакцию, а значит и не связавшиеся с твердой фазой компоненты, удаляют из лунок путем многократного промывания. Затем добавляют в каждую лунку хромоген-субстратный раствор, взаимодействие которого с пероксидазой в составе связанного с твердой фазой конъюгата приводит к формированию голубой окраски. Интенсивность окрашивания тем выше, чем больше конъюгата связалось с рецепторным белком или специфическими антителами, то есть чем меньше определяемого соединения содержится в анализируемой пробе. Ферментативную реакцию, приводящую к окрашиванию раствора, останавливают добавлением стоп-реагента, после чего измеряют интенсивность окраски. Схема ИФА приведена на рис. 2.

Базовым компонентом ИФА тест-систем, во многом определяющим их свойства является функционализированный микропланшет, внутренняя поверхность лунок которого покрыта специальными белками. В лунках микротитровального планшета тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» иммобилизован рекомбинантный белок-рецептор BlaR-STD [19]. При изготовлении микропланшета для тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» применены специфические поликлональные антитела кролика к антибиотикам группы пенициллинов [7]. Специфичность двух тест-систем, найденная в эксперименте по определению перекрестной реактивности BlaR-STD и антител к бета-лактамовым антибиотикам и другим лекарственным препаратам, приведена в табл. 1.

С помощью тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» могут быть определены концентрации антибиотиков, как группы пенициллинов, так и цефалоспоринов (всего 14 наименований). Эта система имеет низкую аналитическую чувствительность к цефтифуру и цефалексину, зато обладает повышенным сродством к пенициллину G, присутствие которого, например, в молоке не допускается вовсе. Тест-система «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» позволяет определять антибиотики группы пенициллинов со специфичностью от 18 до 120 % (всего 9 наименований), при этом она абсолютно не чувствительна к присутствию антибиотиков группы цефалоспоринов. При использовании каждой из двух тест-систем в от-

сутствии информации о виде антибиотика, содержащего в пробе, концентрация определяемых соединений выражается как сумма пенициллинов и цефалоспоринов (в случае тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам») или только пенициллинов (для тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин») в пересчете на ампициллин, который применяется для приготовления градуировочных растворов.

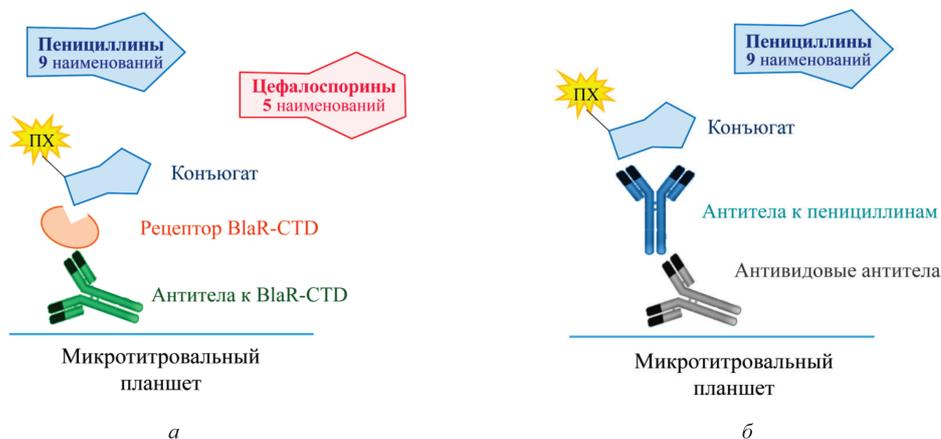


Рис. 2. Схемы количественного определения бета-лактамовых антибиотиков тест-системами «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» (А) и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» (Б)
Fig. 2. Assay schemes for the quantitative determination of beta-lactam antibiotics by «PRODOSCREEN® ELISA-Beta-Lactam» (A) and «PRODOSCREEN® ELISA-Penicillin» (B) kits

Table 1. Специфичность тест-систем
Table 1. Kits specificity

Антибиотик	Специфичность (CR), %	
	«ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам»	«ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин»
<i>Пенициллины</i>		
Бензилпенициллин (пенициллин G)	244	100
Амоксициллин	111	120
Пиперациллин	110	80
Феноксиметилпенициллин (пенициллин V)	208	130
Ампициллин (вещество стандарта)	100	100
Оксациллин	75	54
Диклоксациллин	75	18
Клоксациллин	54	47
Нафциллин	15	29
<i>Цефалоспорины</i>		
Цефалоний	129	< 0,01
Цефоперазон	109	< 0,01
Цефапирин	49	< 0,01
Цефкином	39	< 0,01
Цефазолин	10	< 0,01
Цефтиофур	5	< 0,01
Цефалексин	0,3	< 0,01
<i>Антибиотики других групп</i>		
Хлорамфеникол	< 0,01	< 0,01
Стрептомицин	< 0,01	< 0,01
Тетрациклин	< 0,01	< 0,01
Бацитрацин	< 0,01	< 0,01
Колистин	< 0,01	< 0,01

Градуировочные графики двух тест-систем приведены на рис. 3.

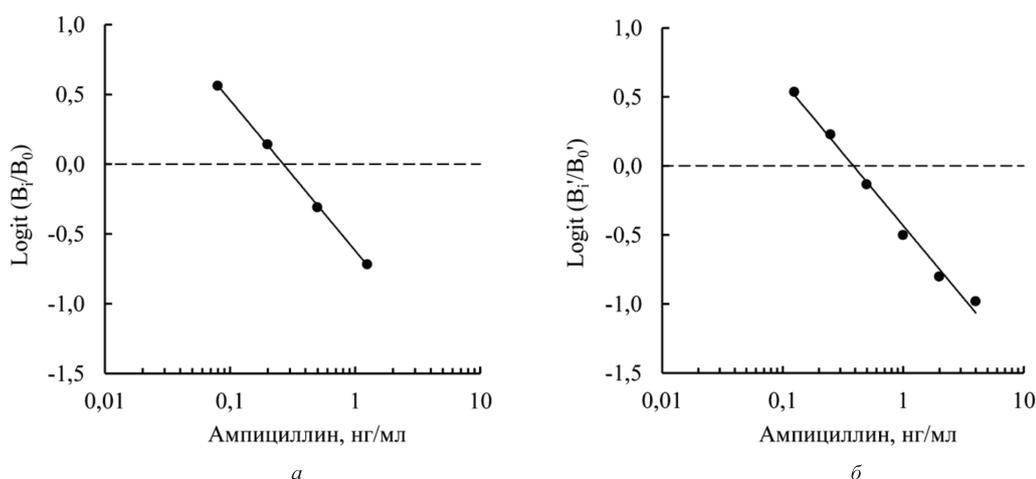


Рис. 3. Градуировочные графики тест-систем «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» (А) и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» (Б)

Fig. 3. Calibration curves of «PRODOSCREEN® ELISA-Beta-Lactam» (A) and «PRODOSCREEN® ELISA-Penicillin» (B) kits

Оценка параметров точности методик измерений бета-лактамных антибиотиков. Для расчета параметров точности анализа, проводимого согласно инструкции по применению тест-систем, был организован внутрилабораторный эксперимент, в котором получали результаты в условиях повторяемости (одним и тем же оператором в течение ограниченного времени с применением одного и того же оборудования) и при варьировании параметров промежуточной прецизионности «оператор» и «время» (работа выполнялась двумя операторами в течение двух дней). Для оценки показателей точности служил метод добавок. В качестве добавки применяли растворы бета-лактамных антибиотиков, в которых неопределенность концентрации основного вещества не превышала 3 %. Учитывали изменение объема экстракта (объема жидкой пробы), обусловленное внесением добавки. Исследуемые образцы продуктов питания и продовольственного сырья, в которые вносились добавки, сгруппированы в матрицы по близости состава, особенностям подготовки проб и предварительно полученной информации об извлечении из них бета-лактамных антибиотиков. Далее при указании видов продукции также учитывали результаты определения бета-лактамных антибиотиков в других образцах, не вошедших во внутрилабораторный эксперимент. Отобранные образцы исследуемых видов продукции без добавок были предварительно проверены на отсутствие в них бета-лактамных антибиотиков.

Значение массовой доли бета-лактамных антибиотиков в пробе с добавкой в пересчете на ампициллин с учетом специфичности тест-систем рассчитывали по формуле (5).

$$X_{REF} = \frac{C_{BL} V_{BL} CR}{m_s \cdot 100}, \tag{5}$$

где X_{REF} — массовая доля суммы бета-лактамных антибиотиков в пробе с добавкой в пересчете на ампициллин, мкг/кг; C_{BL} — концентрация раствора антибиотика в растворе для внесения добавки, нг/мл; V_{BL} — объем добавленного раствора антибиотика, мл, m_s — масса навески пробы, в которую вносится добавка, г, CR — значение специфичности (кросс-реактивности), приведенное в таблице 1.

В табл. 2 приведен план внесения добавок в различные образцы, который позволяет оценить параметры определения тест-системой «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» 14 бета-лактамных антибиотиков на трех уровнях контаминации. Для тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» использована аналогичная схема внесения добавок, включающая 9 антибиотиков групп пенициллинов.

Среди полученных в условия повторяемости и промежуточной прецизионности с варьированием параметров «оператор-время» результатов не было выбросов и разбросов (проведена проверка по критериям Кохрена и Граббса в соответствии с [22]). Среднее извлечение бета-лактамных антибиотиков R , рассчитанное как указано в [23], составило от 0,76 до 1,09 для тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» (таблица 3). Величина R для 9 пенициллинов с использованием тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» варьировалась от 0,94 до 1,06.

Table 2. Наименования бета-лактамовых антибиотиков, вносимых в образцы для исследования тест-системой «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам»

Table 2. Names of beta-lactam antibiotics added to samples for testing using the «PRODOSCREEEN® ELISA-Beta-Lactam» kit

Матрица	Наименование вносимого антибиотика на уровне контаминации		
	1	2	3
I	ампициллин	пенициллин G	нафциллин
II	амоксициллин	цефазолин	оксациллин
III	ампициллин	клоксациллин	ампициллин
IV	пенициллин V	диклоксациллин	ампициллин
V	ампициллин	пиперациллин	цефапирин
VI	цефалоний	ампициллин	цефкином
VII	-	ампициллин	цефоперазон

Table 3. Извлечение бета-лактамовых антибиотиков из различных образцов, найденное с использованием тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам»

Table 3. Recovery of beta-lactam antibiotics from samples by «PRODOSCREEEN® ELISA-Beta-Lactam» kit

Матрица	Наименование образца	X_{REF} , мкг/кг	R
I	Молоко пастеризованное	0,56	1,07
	Молоко обезжиренное сухое восстановленное	2,68	0,99
	Детское питание на молочной основе	4,69	0,98
II	Молочная сыворотка	1,01	0,98
	Восстановленная сухая молочная сыворотка деминерализованная	4,02	1,00
	Восстановленная сухая молочная сыворотка подсырная	10,06	0,96
III	Молоко сгущенное	2,01	1,09
	Напиток на основе сыворотки	6,71	0,93
	Мороженое	16,76	0,99
IV	Сливки 20 % жирность	1,01	0,94
	Творог	4,02	0,93
	Кефир	10,06	0,79
V	Масло сливочное	1,02	1,02
	Сыр	4,02	1,01
	Животный жир	10,06	0,96
VI	Говядина (мышечная ткань)	1,01	0,88
	Куриная голень (мышечная ткань)	16,76	0,76
	Креветки	50,29	0,77
VII	Почки говяжьи	16,76	0,78
	Печень говяжьи	50,29	0,77

В качестве параметров повторяемости σ_r , %, и промежуточной прецизионности $\sigma_{I(TO)}$, %, методик измерения бета-лактамовых антибиотиков с применением тест-систем установлены максимальные значения дисперсий повторяемости и промежуточной прецизионности, вычисленных для каждого вида продукции по [22, 24] (таблицы 4 и 5). Пределы повторяемости r , %, рассчитаны, как указано в [25]. Относительная суммарная стандартная неопределенность u , %, рассчитана по формуле (6).

$$u = \sqrt{\sigma_{I(TO)}^2 - \frac{\sigma_r^2}{2} + u(R)^2}, \quad (6)$$

где σ_r — максимальное значение относительного стандартного отклонения повторяемости для определенного вида продукции, %; $\sigma_{I(TO)}$ — максимальное значение относительного стандартного отклонения промежуточной прецизионности для вида продукции, %; t_{crit} — t-критерий Стьюдента, в данном эксперименте для N-1 степеней свободы при 95 % доверительной вероятности $t_{crit}=2,36$; $u(R)$ — максимальное значение стандартной неопределенности извлечения для вида продукции, в которую в методе добавок вносят вклад стандартное отклонение результатов измерения и неопределенность концентрации аналита в образце с добавкой, %.

Значимость отличия извлечения от единицы проверяли, как указано в [23] с использованием *t*-критерия Стьюдента. Если *R* незначимо отличалось от единицы, то вместо *u*(*R*), %, в уравнении (6) подставляли значение *u*(*R*)', %, которое вычисляли по формуле (7).

$$u(R)' = \frac{t_{crit} \cdot u(R)}{1,96} \tag{7}$$

При измерении количества бета-лактамовых антибиотиков с использованием тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» в кисломолочных продуктах, сливках, мясе, креветках и субпродуктах установлена значимость смещения. Для этих матриц при вычислении суммарной стандартной неопределенности по формуле (6) вместо *u*(*R*), %, подставляли значение *u*(*R*)'', %, вычисленное по формуле (8)

$$u(R)'' = \sqrt{\left(\frac{1-R}{k}\right)^2 + u(R)^2}, \tag{8}$$

где *R* — значение извлечения для соответствующего вида продукции с максимальным отклонением от единицы; *k* — фактор охвата, который равен 2 для 95% доверительного интервала.

Относительная расширенная неопределенность измерений *U*, %, рассчитана по формуле (9).

$$U = 2 \cdot u. \tag{9}$$

Для расчета предела количественного определения тест-систем «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» измерили содержание суммы бета-лактамовых антибиотиков в чистых образцах отдельных представителей видов продукции. Каждый образец анализировался 10 раз в условиях повторяемости. Расчет проведен путем прибавления к среднему из полученных значений массовой доли ампициллина шестикратной величины стандартного отклонения результатов. Нижние границы установленных диапазонов измерений для тест-систем равны пределам количественного определения для каждой из матриц (таблицы 4 и 5).

Table 4. Параметры точности методики измерений с использованием тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам»

Table 4. The accuracy of the measurement method using the «PRODOSCREEN® ELISA-Beta-Lactam» kit

Виды продукции	Диапазон измерений, мкг/кг	σ_r , %	$\sigma_{ит0}$, %	r , %	<i>u</i> , %	<i>U</i> , %
Молоко сырое, пастеризованное, стерилизованное, молоко сухое восстановленное, сухие молочные смеси для детского питания после восстановления	от 0,50 до 6,25 включ.	5,8	8,4	16,1	9	18
Молочная сыворотка, восстановленная сухая молочная сыворотка	от 0,80 до 12,50 включ.	6,1	8,2	17,1	8	16
Молоко сгущенное, напитки на основе сыворотки, мороженое на молочной основе, молочные коктейли	от 1,60 до 25,00 включ.	6,4	8,9	18,0	9	18
Творог, кисломолочные продукты (йогурт, сметана, кефир, пахта и т.п.), сливки	от 0,80 до 12,50 включ.	8,3	8,3	23,2	13	26
Сыр (мягкий, полутвердый, твердый, сверхтвердый), масло сливочное, животный жир	от 0,80 до 12,50 включ.	6,7	7,9	18,9	8	16
Мясо, субпродукты, креветки	от 0,80 до 62,50 включ.	5,9	8,1	16,6	15	30

Согласно описанной в стандарте [25] процедуре сравнения альтернативных методов измерения показано, что параметры, полученные для тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин», не имеют значимых различий от количественных характеристик, указанных в методике измерений МВИ.МН 5336-2015 «Методика выполнения измерений содержания антибиотиков группы пенициллинов в продукции животного происхождения методом ИФА с использованием тест-систем производства EuroProxima B.V., Нидерланды». Методика применения тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» и методика МВИ.МН 5336-2015 предназначены для определения антибиотиков группы пенициллинов (бензилпенициллина,

ампициллина, амоксициллина, оксациллина, пиперациллина) прямым иммуноферментным анализом в одинаковом перечне продукции животного происхождения в идентичных диапазонах. В обеих методиках во всем диапазоне измерений отсутствует смещение извлечения пенициллинов из образцов, соответствующих области применения. Это позволило распространить действие МВИ.МН 5336-2015 на измерения, проводимые с использованием тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин» (экспертное заключение БелГИМ на извещение об изменении №1 МВИ.МН 5336-2015). Наименование МВИ.МН 5336-2015 изменено на «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Массовая доля антибиотиков группы пенициллинов в продукции животного происхождения. Методика измерений методом ИФА с использованием тест-систем PENICILLIN ELISA и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин».

Table 5. Показатели точности методики измерений с использованием тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин»

Table 5. The accuracy of the measurement method using the «PRODOSCREEEN® ELISA-Penicillin» kit

Виды продукции	Диапазон измерений, мкг/кг	σ_r , %	$\sigma_{I(TO)}$, %	r , %	u , %	U , %
Мясо	от 2,5 до 160,0 включ.	5,4	5,4	15,1	5	10
Молоко сырое, пастеризованное, стерилизованное, молоко сухое восстановленное	от 0,16 до 8,00 включ.	5,5	7,8	15,4	8	16
Молоко сгущенное	от 1,00 до 32,00 включ.	5,4	7,0	15,1	7	14
Творог, сыр (мягкий, полутвердый, твердый, сверхтвердый), масло сливочное, коктейли молочные, кисломолочные продукты (йогурт, сметана, кефир, пахта и т.п.), мороженое на молочной основе, молочная сыворотка, восстановленная сухая молочная сыворотка	от 2,5 до 160,0 включ.	5,8	7,0	16,3	7	14

Стабильность тест-систем. Использованы серийно-изготовленные тест-системы опытно-промышленных партий, хранившиеся при (4–8) °С в течение 1 года. Градуировочные графики ИФА соответствовали параметрам тест-систем, изготовленных в соответствии с ТУ ВУ 100185129.196-2023. Содержание ампициллина после внесения добавки в пробы определяли для молока при использовании тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» и для мяса при использовании тест-системы «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин». Проводили работу с применением именно этих матриц, поскольку для них характерны наименьшие значения относительных стандартных отклонений повторяемости и промежуточной прецизионности. В результате внутрилабораторного эксперимента получены данные и рассчитаны дисперсии повторяемости и промежуточной прецизионности при использовании тест-систем с истекшим сроком годности (табл. 6). С применением квантиля распределения χ^2 по процедуре, описанной в [25] проведено сравнение полученных в данном эксперименте результатов с установленными ранее параметрами (табл. 4 и 5) и показано, что различия между ними незначимы. Также определено, что извлечение R незначимо отличается от единицы.

Table 6. Рассчитанные значения дисперсий повторяемости и промежуточной прецизионности ИФА при использовании тест-систем с истекшим сроком годности

Table 6. Calculated values of repeatability and intermediate precision standard deviations of ELISA when using expired kits

Тест-система	Матрица	$S_{отв. r}$, %	$S_{отв. I(TO)}$, %
«ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам»	Молоко стерилизованное	7,1	7,1
«ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин»	Говядина	3,9	5,3

Заключение. Определены аналитические характеристики тест-систем «ПРОДОСКРИН® ИФА-Бета-Лактам» и «ПРОДОСКРИН® ИФА-Пенициллин». Эти биоаналитические системы основаны на прямом конкурентном ИФА и могут использоваться для измерения содер-

жания суммы нормируемых бета-лактамовых антибиотиков в широком перечне продуктов питания и пищевого сырья животного происхождения. Установленные для обеих методик показатели точности остаются неизменными в течение всего срока годности тест-систем.

Список использованных источников

1. Влияние антибиотиков, используемых в животноводстве, на распространение лекарственной устойчивости бактерий (обзор) / И. С. Сазыкин [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. — 2021. — Т. 57, № 1. — С. 24–35. DOI: 10.31857/S0555109921010335
2. Improved enzyme immunoassay for group-specific determination of penicillins in milk / A. Strasser [et al.] // Food Agric. Immunol. — 2003. — V. 15, № 2. — P. 135–143. doi 10.1080/09540100400003493
3. Production of penicillin-specific polyclonal antibodies for a group specific screening ELISA / P. Cliquet [et al.] // Food Agric. Immunol. — 2007. — V. 18, № 3–4. — P. 237–252. doi 10.1080/09540100701802908
4. A broadly applicable approach to prepare monoclonal anti-cephalosporin antibodies for immunochemical residue determination in milk / A. Bremus [et al.] // Anal. Bioanal. Chem. — 2012. — № 2. — P. 403:503–515. DOI 10.1007/s00216-012-5750-z
5. Synthesis of novel hapten and production of generic monoclonal antibody for immunoassay of penicillins residues in milk / S.N. Jiao [et al.] // J. Environ. Sci. Health. B. — 2013. — V. 48, № 6. — P. 486–494. doi 10.1080/03601234.2013.761908
6. Integration of antibody-antigen and receptor-ligand reactions to establish a gold strip biosensor for detection of 33 β -lactam antibiotics / Y. Li [et al.] // Sci. China Mater. — 2021. — V. 64, № 8. — P. 2056–2066. doi.org/10.1007/s40843-020-1578-0
7. Конъюгаты аминопенициллинов с белками: синтез, иммуногенные свойства и связывание с рецептором бета-лактамов и антителами / О. В. Куприенко [и др.] // Биоорганическая химия. — 2022. — Т. 48, № 1. — С. 75–86. DOI: 10.31857/S0132342322010067
8. Penicillin binding proteins: key players in bacterial cell cycle and drug resistance processes / P. Macheboeuf [et al.] // FEMS Microbiol. Rev. — 2006. — V. 30, № 5. — P. 673–691. doi 10.1111/j.1574-6976.2006.00024.x
9. The penicillin-binding proteins: structure and role in peptidoglycan biosynthesis / E. Sauvage [et al.] // FEMS Microbiol. Rev. — 2008. — V. 32, № 3. — P. 234–258. doi 10.1111/j.1574-6976.2008.00105.x
10. Development of a rapid multi-residue assay for detecting β -lactams using penicillin binding protein 2x* / K. Zeng [et al.] // Biomed. Environ. Sci. — 2013. — V. 26, № 2. — P. 100–109. doi 10.3967/0895-3988.2013.02.004
11. A gold immunochromatographic assay for the rapid and simultaneous detection of fifteen β -lactams / Y. Chen [et al.] // Nanoscale. — 2015. — V. 7, № 39. — P. 16381–16388. doi: 10.1039/c5nr04987c
12. Серченя Т. С. Прямое конъюгирование пенициллинов и цефалоспоринов с белками для рецепторного анализа бета-лактамовых антибиотиков / Т. С. Серченя, И. В. Горбачева, О. В. Свиридов // Биоорганическая химия. — 2022. — Т. 48, № 1. — С. 63–74. doi: 10.31857/S0132342322010122
13. Identification of BlaR, the signal transducer for beta-lactamase production in *Bacillus licheniformis*, as a penicillin-binding protein with strong homology to the OXA-2 beta-lactamase (class D) of *Salmonella typhimurium* / Y.F. Zhu [et al.] // Journal of Bacteriology. — 1990. — V. 172, № 2. — P. 1137–1141. doi: 10.1128/jb.172.2.1137-1141.1990
14. Expression in *Escherichia coli* of the carboxy terminal domain of the BLAR sensory-transducer protein of *Bacillus licheniformis* as a water-soluble Mr 26 000 penicillin-binding protein / B. Joris [et al.] // FEMS Microbiology Letters. — 1990. — Vol. 70, № 1. — P. 107–113. doi: 10.1016/0378-1097(90)90111-3
15. The kinetic properties of the carboxy terminal domain of the *Bacillus licheniformis* 749/I BlaR penicillin-receptor shed a new light on the derepression of beta-lactamase synthesis / V. Duval [et al.] // Mol. Microbiol. — 2003. — Vol. 48, № 6. — P. 1553–1564. doi: 10.1046/j.1365-2958.2003.03520.x
16. Development of a direct ELISA based on carboxy-terminal of penicillin-binding protein BlaR for the detection of β -lactam antibiotics in foods / J. Peng [et al.] // Anal. Bioanal. Chem. — 2013. — V. 405, № 27. — P. 8925–8933. doi 10.1007/s00216-013-7311-5
17. Analysis of the stability and affinity of BlaR-CTD protein to β -lactam antibiotics based on docking and mutagenesis studies / J. Ning [et al.] // J. Biol. Eng. — 2019. — V. 13, № 1. — P. 27–43. doi.org/10.1186/s13036-019-0157-4
18. Rapid Detection of 21 β -Lactams using Immunochromatographic Assay Based on Mutant BlaR-CTD Protein from *Bacillus Licheniformis* / Y. Li [et al.] // Analyst. — 2020. — V. 145, № 9. P. 3257–3265. doi: 10.1039/d0an00421a
19. Метод количественного определения активного рецептора бета-лактамовых антибиотиков BLAR-CTD для биоаналитического применения / Т.С. Серченя [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. — 2023. — Т. 59, № 1. — С. 81–95. doi: 10.31857/S0555109923010105
20. Crystal Structure of the Sensor Domain of the BlaR Penicillin Receptor from *Bacillus licheniformis* / F. Kerff [et al.] // Biochemistry. — 2003 — V. 42, № 44. — P. 12835–12843. doi:10.1021/bi034976a

21. Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК CG 4. Третье издание. Пер. с англ. Р. Л. Кадиса [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1_RU_V2.pdf. — Дата доступа: 10.07.2024.
22. СТБ ISO 5725-2-2022. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений. — Взамен СТБ ИСО 5725-2-2002. — Введ. 01.01.2023. — Минск: Госстандарт, 2022. — 70 с.
23. VAM Project 3.2.1 Development and Harmonization of Measurement Uncertainty Principles Part (d): Protocol for uncertainty evaluation from validation data / V.J. Barwick, S.L.R. Ellison. — LGC (Teddington) Limited, 2000. — 90 с.
24. СТБ ИСО 5725-3-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений. — Введен впервые 01.07.2003. — Минск: Госстандарт, 2022. — 35 с.
25. СТБ ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике. — Введен впервые 01.07.2003. — Минск: Госстандарт, 2002. — 48 с.

Информация об авторах

Куприенко Ольга Сергеевна, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси» (ул. Академика Купревича, 5/2, 220084, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: kuprienko@iboch.by

Вашкевич Ирина Игнатьевна, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси» (ул. Академика Купревича, 5/2, 220084, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: vashkevich@iboch.by .

Зильберман Анна Игоревна, научный сотрудник ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси» (ул. Академика Купревича, 5/2, 220084, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: info@iboch.by

Свиридов Олег Васильевич, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией «Химия белковых гормонов», ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси» (ул. Академика Купревича, 5/2, 220084, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: sviridov@iboch.by

Information about authors

Kuprienko Olga Sergeevna, PhD (Chemistry), Leading Researcher, Institute of Bioorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus (5/2, Academic Kuprevich str., 220084, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: kuprienko@iboch.by

Vashkevich Irina Ignatievna, PhD (Chemistry), Leading Researcher, Institute of Bioorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus (5/2, Academic Kuprevich str., 220084, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: vashkevich@iboch.by .

Zilberman Anna Igorevna, Researcher The Institute of Bioorganic Chemistry, Institute of Bioorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus (5/2, Academic Kuprevich str., 220084, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: info@iboch.by

Sviridov Oleg Vasilevich, Doctor of Chemistry, Professor, Head of the Laboratory «Chemistry of Protein Hormones», Institute of Bioorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus (5/2, Academic Kuprevich str., 220084, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: sviridov@iboch.by

УДК 663.5 + 633.491

Поступила в редакцию 16.11.2024
Received 16.11.2024

**Ю. С. Шустикова, О. И. Гайдим, Н. В. Данилович, В. В. Соловьев,
Ю. А. Шимановская**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА СПИРТНЫХ НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ КАРТОФЕЛЬНОГО ДИСТИЛЛЯТА

Аннотация. На сегодняшний день в мире растет спрос на высококачественные и экологически чистые алкогольные напитки. Очень многие производители уделяют внимание тому, чтобы сохранялись традиционные технологии на основе качественного исходного сырья. В то же время, покупатели акцентируют внимание на уникальную органолептику продуктов, что, соответственно, стимулирует производителей экспериментировать с различными технологиями и рецептурами.

На данный момент в нашей стране отсутствуют технологии производства картофельных дистиллятов и оригинальных крепких спиртных напитков на их основе. Производство данной продукции, произведенной на предприятиях Республики Беларусь, позволило бы существенно расширить ассортимент, а также набор вкусов и ароматов высококачественной алкогольной продукции, при этом позволив создать ассортимент спиртных напитков с необычными специфическими органолептическими характеристиками, а также сократить импорт.

Ключевые слова: картофельный дистиллят, этиловый спирт, алкогольные напитки, крахмалсодержащее сырье, сбраживание.

**Yu. S. Shustikova, O. I. Gaidym, N. V. Danilovich, V. V. Solovyov,
Yu. A. Shymanouskaya**

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus*

THEORETICAL ASPECTS OF THE PRODUCTION OF ALCOHOLIC BEVERAGES BASED ON POTATO DISTILLATE

Abstract. Today, the demand for high-quality and environmentally friendly alcoholic beverages is growing in the world. Many manufacturers pay attention to the preservation of traditional technologies based on high-quality raw materials. At the same time, buyers focus on the unique organoleptics of products, which accordingly encourages manufacturers to experiment with various technologies and formulations.

At the moment, there are no technologies for the production of potato distillates and original spirits based on them in our country. The production of these products, produced at enterprises of the Republic of Belarus, would significantly expand the range, as well as the set of flavors and aromas of high-quality alcoholic beverages. At the same time, it made it possible to create an assortment of alcoholic beverages with unusual specific organoleptic characteristics, as well as reduce imports.

Keywords: potato distillate, ethyl alcohol, alcoholic beverages, starch-containing raw materials, fermentation.

Введение. Перспективными направлениями развития перерабатывающих отраслей пищевой промышленности являются обеспечение конкурентоспособности и качества выпускаемой продукции, уменьшение себестоимости ее производства за счет снижения производственных потерь и разработки энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Одна из основных задач пищевой промышленности — обеспечение страны достаточным количеством продукции высокого качества при доступной стоимости, которая будет пользоваться спросом среди населения.

На современном этапе развития пищевой промышленности в алкогольной отрасли существует необходимость разработки новых видов и повышения качества продукции на внутреннем и внешнем рынках, развития экспортного потенциала.

На сегодняшний день в Республике Беларусь спиртовая и ликероводочная промышленности являются одними из главных и перспективных отраслей перерабатывающей промышленности. Предприятия, производящие спирт и алкогольные напитки, вносят огромный вклад в бюджет Республики Беларусь. Для того чтобы повысить качество этилового ректифицированного спирта из пищевого сырья и снизить затраты на его производство, ведется постоянный поиск решений по развитию биотехнологических процессов.

Исходя из сложившейся структуры хозяйства и географического положения, в разных странах используется различное сырье для производства спирта и алкогольных напитков на его основе [1]. Как правило, для изготовления алкогольных напитков используют наиболее доступное и традиционное для конкретной страны сырье. Американский бурбон производится из кукурузы, мексиканская текила — из голубой агавы, кубинский ром получают из сахарного тростника, а бурятский тарасун — из молока. Имея определенные продукты и экспериментируя с ними, в разных странах производители разработали собственные, национальные, уникальные рецепты [2].

Для обеспечения экономической целесообразности переработки сырья на этиловый спирт, оно должно обладать рядом основных характеристик. Сырье, применяемое при производстве этанола, должно содержать значительное количество углеводов, ежегодно воспроизводиться в необходимых объемах, пригодных для промышленного использования, собираться концентрированно без значительных транспортных перевозок, должно быть доступным и по приемлемой цене. Даже в одной стране, но в различных регионах, а также в разное время, используемое сырье зависит от изменений в потреблении, экономической ситуации на рынке и иных факторов. Одним из таких видов сырья является картофель [3].

Результаты исследований и их обсуждение. Рынок картофеля является важнейшей составной частью современного агропродовольственного рынка нашей страны. По своему значению и важности в пищевом рационе белорусов картофель считается «вторым хлебом». Картофель относится к сырью, которое по своим показателям соответствует технологическим требованиям спиртового производства, но в то же время имеет ряд недостатков, поэтому его использование для получения этанола не популярно в нашей стране. К таким недостаткам можно отнести: плохое хранение из-за высокой влажности, трудоемкость возделывания, сложность транспортировки, подверженность болезням и обсемененности микроорганизмами и др. [4, 5].

В то же время, Республика Беларусь является одной из лидирующих стран по производству картофеля на душу населения (700–1000 кг). В зависимости сорта, клубни картофеля содержат 15–35 % сухих веществ, из которых 17–29 % — крахмал, 1–2 % — белок, около 1 % — минеральные вещества. Картофель представляет собой ценный продукт питания. Из его клубней готовят множество продуктов питания и разнообразных ценных высококачественных блюд. Картофель является одним из товаров, по которым оценивается продовольственная безопасность страны [6].

При грамотной переработке данного корнеплода можно получить необычные интересные напитки. Одним из таких является картофельный дистиллят, на основе которого в дальнейшем, можно создать различные алкогольные напитки с уникальным специфическим составом. При упоминании картофельного дистиллята, сразу на ум приходит название «картофельный шнапс».

Считается, что родоначальником «шнапса» была Германия, хотя сегодня ведутся споры на этот счет. Австрия также претендует на эту роль. Скандинавские страны «шнапсом» считали любой крепкий алкоголь, полученный путем дистилляции фруктовой, зерновой, картофельной бражки. Но все же первым используемым сырьем для получения данного напитка был картофель. В связи с отсутствием серьезных знаний в данной области, опыта и оборудования, производство «шнапса» в прошлом потеряло популярность. Сегодня, обладая достаточным уровнем знаний и огромным количеством информации, было бы очень интересно возобновить поиск решений в этой области.

В начале 1980-х годов картофель в нашей стране активно перерабатывался на спирт, но спустя 10 лет из него практически перестали производить данный продукт. Производители отмечают, что из картофеля спирт получается самый мягкий, а из зерна — самый чистый. Проблема в том, что затраты на производство спирта из картофеля в 2 раза выше, а количество спирта получается в 3,5 раза меньше (в среднем из 1 тонны картофеля получается 9 дал спирта, а из 1 тонны зерна — 32–34 дал). По этой причине, к слову, многие отказались от картофеля, так как он имеет относительно невысокую крахмалистость, что впоследствии увеличивает себестоимость спирта.

В Республике Беларусь отсутствуют технологические решения производства картофельных дистиллятов и оригинальных крепких спиртных напитков на их основе. Производство данной продукции на отечественных предприятиях, позволило бы существенно расширить

спектр вкусов и ароматов спиртных напитков, тем самым сократив импорт, создав ассортимент с необычными специфическими органолептическими характеристиками.

В современном мире увеличивается спрос на высококачественные и экологически чистые алкогольные напитки. Большинство производителей обращают внимание на сохранение традиционных технологий и на качество исходного сырья. Покупатели акцентируют внимание на необычные органолептические характеристики продуктов, тем самым стимулируют производителей ставить эксперименты с различными рецептурами и технологиями.

В различных регионах мира переработка картофеля при производстве алкогольных напитков продолжает оставаться важным аспектом пищевой промышленности. Производство алкогольных напитков из картофеля с давних времен известно в таких странах, как Россия, Польша, Германия и скандинавские страны. В последнее время отмечен интерес к традиционным методам производства на основе картофельного спирта. Использование современных технологий в процессе брожения и дистилляции позволяет увеличить эффективность и улучшить качество готового продукта.

Проведенный обзор литературы и патентный поиск позволили отметить некоторые технологии и способы производства этилового спирта и алкогольных напитков на основе картофеля.

Технология производства этилового спирта из крахмалистого сырья основана на ферментативном гидролизе картофельного крахмала, прошедшего водно-тепловую обработку, и сбраживании образующихся сахаров дрожжевыми культурами, с дальнейшей перегонкой спирта и ректификацией.

Общеизвестен способ подготовки картофеля при производстве этилового спирта, заключающийся в его температурной обработке при 140–170°C. При этом такую обработку проводят либо в одну, либо в две стадии [3]. Недостатки такой обработки состоят в том, что, во-первых, она требует значительных энергозатрат; во-вторых, она сопряжена с потерей сахаров за счет их термораспада, а также реакций меланоидинообразования; в-третьих, после температурной обработки картофельную кашку необходимо охладить до температур, наиболее благоприятных для ферментативного осахаривания крахмала, что сопряжено с дополнительными затратами.

Существует изобретение, которое относится к спиртовой промышленности и касается производства спирта из картофеля, конкретно — способов подготовки картофеля к переработке на спирт.

Картофель подвергают температурной обработке при температурах от 0°C и ниже в течение от 20 и более суток. Измельчают его в кашку и подвергают ферментативному осахариванию. Можно температурную обработку картофеля при температуре от 0°C и ниже совмещать с хранением картофеля на сырьевом складе. Изобретение обеспечивает минимальные энергозатраты и исключение термического распада сахаров и реакции меланоидинообразования [7].

В патенте Ru 2769349 С1 описан способ получения картофельного ликера, предусматривающий подбор компонентов и купажиrowание. В качестве основного компонента используют картофельный концентрат и спирт этиловый ректифицированный высшей очистки крепостью 96 %, полученный из картофеля. В качестве дополнительного компонента, в свою очередь, применяют фруктово-сахарные, ягодно-сахарные сиропы и/или сироп кокосового молока с сахарозой, у которых массовая доля сухих веществ составляет 50–70 %, а содержание сахарозы не более 10 %. В результате тщательного смешивания компонентов в определенном соотношении в течение 1–10 мин при 1000–3000 об/мин, осуществляют купажиrowание. Изобретение обеспечивает получение алкогольного натурального напитка на основе картофельного концентрата — картофельного ликера, совмещающего достоинства химического состава картофеля, фруктового и ягодного сырья, отличающегося хорошими органолептическими свойствами. Данный продукт характеризуется отрегулированным углеводно-белково-витаминно-минеральным статусом и высокими потребительскими характеристиками [8].

В таких странах, как Польша, картофельный спирт остается важной составляющей национальной алкогольной продукции, где большая часть водки — картофельная. Производители активно развивают экспортные рынки.

Chopin Potato Vodka — единственная в мире картофельная водка премиум класса. Сырьем для приготовления спирта служит особый сорт картофеля, который выращивают в регионе Подлясье (Польша). Спирт подвергают дистилляции четыре раза, а для доведения его до нужной крепости используют артезианскую минеральную воду высокой степени очистки с характерным для данного региона привкусом [9].

В скандинавских странах одним из популярнейших алкогольных напитков на основе картофеля является аквавит. Основными поставщиками, выпускающими аквавит по оригинальным рецептам являются такие страны, как Норвегия, Дания и Швеция. Аквавит — национальный скандинавский алкогольный напиток крепостью 37,5–50,0 %, который производят на основе спирта, полученного путем перегонки сырья из картофеля или, реже, зерна без

добавления сахара. Далее изделие настаивается на различных специях, таких как: тмин, укроп, кориандр, корица, фенхель, анис, зверобой и другие, и выдерживается в дубовых бочках или в бочках из-под хереса (шерри) или коньяка от 3 месяцев до 12 лет. Каждая страна имеет свои национальные рецепты аквавита, что в дальнейшем влияет на его внешний вид: норвежский аквавит — янтарный, датский — соломенного цвета. Аквавит обычно имеет оттенок от соломенно-золотистого до темно-коричневого. Некоторые сорта бесцветны. Более темный цвет может свидетельствовать о более долгой выдержке продукта, либо о том, что в ходе производства использовались «молодые» бочки.

Самый дорогой аквавит производят в Норвегии: там существует премиальная серия Linie Aquavit. Суть его дороговизны ясна из названия: термин «Linie» означает, что напиток пересек экватор. Чтобы придать напитку дороговизны, его катают через экватор в Южное полушарие: при этом, барахтаясь в бочке на морских волнах, он активно взаимодействует с деревянными стенками, впитывая аромат и эфирные масла [10].

В Швеции пользуется спросом «Karlsson's Gold Vodka» («Золотая водка Карлсона»), которую также делают из картофельных клубней. Эта шведская водка делается исключительно из шведской картошки и, главное, по лекалам винного производства: то есть с учетом терруара, сорта картофеля и года урожая. Это во всех смыслах модернистский продукт, переосмысливающий все главные принципы водочной мифологии. Эталонная водка не должна иметь своего вкуса. Karlsson's же, напротив, упирает на различие оттенков вкуса урожая разных лет. Причем существуют как single-malt сорта (сделанные из картофеля одного вида), так и смешанные купажи. Также имеется водка, сделанная из молодой картошки. Каждая бутылка пронумерована, к каждой приложен буклет с указанием места произрастания картошки, особенностей сорта, историей фермерского хозяйства-производителя и описанием погодных условий в данном году. Бета-тестеры уверяют, что на вкус водки разных лет и тем более сделанные из разных сортов действительно сильно отличаются: в одних сильнее земляные тона, в других — фруктовые. Также Karlsson выпускает апокрифическую 25-градусную версию своего картофельного продукта [11].

В Исландии национальным алкогольным напитком является напиток крепостью от 37 % до 40 %, который известен названием — брэннивин. Спиртное также относится к классу аквавитов — скандинавских дистиллятов с травами. Изготавливают данный напиток путем перегонки суслу из картофеля и тминных семечек. Тмин — пряность, которая в изобилии растет в Исландии в дикой природе, т.к. другие травы там выживают с трудом. Вкус у брэннивина необычный, с выразительным тминным характером и легким намеком на крахмал. Благодаря яркому вкусу брэннивина, его часто подают с протухшим акульим мясом, которое в Исландии считают деликатесом [12].

Как мы отметили выше, Германия, Польша, скандинавские и другие страны готовят алкогольные напитки из картофеля, но все же превзошли всех англичане. В графстве Хартфордшир производят сорокоградусную продукцию под торговой маркой «CHASE». Эта картофельная водка в 2010 году даже выиграла San Francisco Spirits Competition — международный конкурс, который проходит в США. 30 независимых судей признали английскую марку лучшей в мире, несмотря на то, что конкуренцию ей составляли 249 образцов водки, произведенных из разного сырья на всех континентах.

В США и Канаде также наблюдается рост интереса к производству водки и других алкогольных напитков из картофельного спирта. В некоторых странах Азии производство спирта из картофеля только начинает развиваться, но уже показывает потенциал для роста [2].

Заключение. Проведенный обзор литературы, патентов и электронных источников позволил отметить, что производство алкогольных напитков на основе картофеля, в частности картофельного дистиллята, является достаточно интересным направлением. Опыт мировых стран в данной области показывает, что данные напитки пользуются достаточно большим спросом. В нашей стране разработки в этой области отсутствуют. Таким образом, полученная информация позволит заложить фундамент для изучения технологических параметров процесса получения картофельных дистиллятов, проведения анализа качественных показателей картофельных дистиллятов и напитков на его основе. Производство данных продуктов позволит сократить импорт алкогольной продукции, а также создать уникальные напитки с оригинальными органолептическими характеристиками.

Список использованных источников

1. Хоконова, М. Б. Анализ сырья для производства пищевого спирта / М.Б. Хоконова, А.А. Портов // Известия КБГАУ: технические науки. — 2018. — №1(19). — С.45-49.
2. Чем картофельная водка отличается от пшеничной [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://russian7.ru/post/chem-kartofelnaya-vodka-otlichaetsya-ot/>. Дата доступа: 04.07.2024.
3. Яровенко, В. Л. Технология спирта / В.Л. Яровенко, В.А. Маринченко — М.: Колос-Пресс, 2002. — 464 с.

4. *Фараджеева, Е. Д.* Общая технология бродильных производств: учебники и учеб. пособия для студентов вузов / Е.Д. Фараджеева, В.А. Федоров — М.: Колос, 2002. — 408 с.
5. Статистика по сельскому хозяйству [Электронный ресурс] // Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. — Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnayastatistika/realny-sector-ekonomiki/selskoekhozyaistvo/selskoe-khozyaistvo/>. — Дата доступа: 01.09.2024.
6. *Борель, К. В.* Тенденции развития производства и реализации картофеля в Республике Беларусь / К. В. Борель // Технический сервис в АПК. Агропанорама, 2020. — С. 43-47.
7. Способ подготовки картофеля к переработке на спирт: пат. Ru 2451080 C1 / Е.Д. Гельфанд, М.В. Емельянова. — Оpubл. 20.05.2012.
8. Способ получения картофельного ликера: пат. Ru 2769349 / В.В. Литвяк. — Оpubл. 01.10.2020.
9. Водочный редактор [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://happy-bottle.club/ru/chopin-potato-vodka-2-shotglasses-6-70-40-gb-l-code/>. — Дата доступа: 12.11.2024.
10. Аквавит-визитная карточка Норвегии [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://natali-ya.livejournal.com/3142243.html/>. — Дата доступа: 15.11.2024.
11. Главные отличия картофельной водки от пшеничной [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.forbes.ru/stil-zhizni-slideshow/eda-i-vino/53096-10-samyh-strannyh-alkogolnyh-napitkov-mira-kotorye-stoit-popr?image=20922/>. — Дата доступа: 15.10.2024.
12. Бреннивин (Brennivín) — национальный исландский алкогольный напиток [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.inshaker.com/trends/znaniya/brennivin-brenniv-n-chernaya-smert-so-vkusom-tmina/>. Дата доступа: 15.10.2024.

Информация об авторах

Шустикова Юлия Сергеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 22037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pus-tanja@yandex.ru

Гайдим Ольга Ивановна, главный специалист отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 22037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: vodka@belproduct.ru

Данилович Наталья Валерьевна, главный специалист отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 22037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: vodka@belproduct.ru

Соловьев Виталий Владимирович, кандидат технических наук, начальник отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 22037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: solovyoffg@gmail.com

Шимановская Юлия Александровна, младший научный сотрудник отдела технологий спиртовой и пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, д.29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: yuliya.sorokina.96@bk.ru

Information about authors

Shustikova Yulia Sergeevna, PhD (Engineering), Senior Researcher at the Department of Technologies of the alcohol and non-alcoholic beer products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: pus-tanja@yandex.ru

Gaidym Olga Ivanovna, Chief Specialist at the Department of Technologies of the alcohol and non-alcoholic beer products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: vodka@belproduct.ru

Danilovich Natalya Valerievna, Chief Specialist at the Department of Technologies of the alcohol and non-alcoholic beer products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: vodka@belproduct.ru

Solovyov Vitaliy Vladimirovich, PhD (Engineering), Head at the Department of Technologies of the alcohol and non-alcoholic beer products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: solovyoffg@gmail.com

Shymanouskaya Yulia Aleksandrovna, Junior Researcher at the Department of Technologies of the alcohol and non-alcoholic beer products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: yuliya.sorokina.96@bk.ru