

Изучена возможность использования энергосберегающего озонирования для интенсификации процесса производства лимонной кислоты. Доказана возможность замены, действующей паро-формалиновой технологии стерилизации ёмкостного оборудования на дезинфекцию путём энергосберегающего озонирования. Установлено повышение выхода биомассы посевного материала продуцента лимонной кислоты, при использовании низкоинтенсивной озono-воздушной обработки.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ

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

*Т.П. Троицкая, профессор, доктор технических наук,
главный научный сотрудник отдела питания;
О.В. Павлова, младший научный сотрудник отдела питания*

Введение.

Решение проблемы сокращения значительных материальных затрат на обеспечение промышленного и сельскохозяйственного сектора топливно-энергетическими ресурсами путём энергосберегающих технологий является актуальным.

В пищевой промышленности энергосберегающими и экологическими чистыми являются технологии озонирования, которые используются с целью микробиологического обеззараживания сырья и продуктов питания, для водоподготовки, позволяющей не только скорректировать ее химический состав, но и снизить ее обсемененность микроорганизмами, улучшая тем самым ее органолептические свойства; для обеззараживания труднодоступного производственного оборудования, емкостей и систем коммуникаций, для улучшения санитарно-гигиенических условий производства, для дезинфекции поверхностей, воздуха, помещений, тары и упаковки, для стимуляции биоэнергетических и репродуктивных процессов в биотехнологических производствах с целью управления жизнедеятельностью микроорганизмов, воздействия на биохимические свойства различных продуцентов, используемых в пищевой промышленности.

Изучено действие на микроорганизмы статических электрических полей и ионов, возникающих при электрическом разряде в воздухе. Показано, что ионы, в зависимости от их знака, концентрации, энергии и времени воздействия влияют на жизнедеятельность микроорганизмов, изменяя окислительно-восстановительный потенциал среды и воздействуя на ферментные системы, обуславливающие дыхание организмов и реакции синтеза их биомассы. Регулированием режимов обработки меняется уровень метаболизма клеток и регулируется развитие биосистемы. Выявлены режимы, при которых наблюдается угнетающее или активирующее действие ионов на микроорганизмы. На примере дрожжевых культур показано, что отрицательные ионы воздуха при определённых режимах оказывают стимулирующее действие на генеративную активность микроорганизмов.

Известны способы обработки продуцентов, позволяющие активизировать их рост и интенсифицировать накопление биомассы в глубинной культуре при одновременном улучшении качества посевного материала: модулированным светом ультрафиолетового излучения, повышающим интенсификацию процесса активации жизнедеятельности хлебопекарных дрожжей, лазерным излучением, способствующим повышению производительности процесса активации

пивных дрожжей, излучением магнитостатической волны, позволяющем регулировать в процессе роста микроорганизмов объём накопления биомассы за один и тот же промежуток времени, акустическим полем, позволяющим увеличить прирост биомассы ультразвуком, с целью повышения бродильной активности и сокращения процесса брожения, вибрационным воздействием, для ускорения процесса брожения, озono-воздушной смесью, для повышения качества дрожжей и сокращения продолжительности брожения [1-5].

Озонирование нашло широкое применение как эффективное средство сухой дезинфекции и стерилизации технологического оборудования и производственных помещений на пищевых предприятиях. Заполняя весь объём, озон обеспечивает дезинфекционную обработку труднодоступных для традиционной обработки зон. Выявлены способы использования озонирования в пищевой промышленности для обеззараживания воды, асептической обработке готовой продукции, обеззараживания воздуха, дезинфекции помещений и герметичного оборудования, для обеззараживания питательной среды дрожжевого производства [6-11].

Учитывая, что в последние годы усилилось внимание к использованию электрохимических методов в биотехнологических процессах целесообразно выполнить исследования по выявлению возможности совершенствования и оптимизации основных стадий действующей технологии производства лимонной кислоты путём энергосберегающего озонирования.

Цель работы — выявление возможности использования энергосберегающего озонирования в технологии микробиологического синтеза лимонной кислоты.

В соответствие с поставленной целью сформулированы следующие задачи исследования:

- ♦ оценить влияние различных режимов дезинфекции ёмкостного оборудования путём электро-озонирования на санитарное состояние ёмкостного оборудования;
- ♦ выполнить исследования по выявлению возможности управления жизнедеятельностью продуцента лимонной кислоты, методом низкоинтенсивной озono-воздушной обработки;
- ♦ провести производственные испытания эффективности использования озонирования для оптимизации технологического процесса синтеза лимонной кислоты.

Объекты и методы исследований.

В качестве объекта исследований использован продуцент лимонной кислоты — производственный штамм мицелиального гриба *Aspergillus niger*, который является традиционно применяемым на ОАО «Скидельский сахарный комбинат» при получении кристаллической лимонной кислоты путём глубинного культивирования на меласной питательной среде и ёмкостное оборудование цеха лимонной кислоты ОАО «Скидельский сахарный комбинат».

Исследование посторонней микрофлоры, контаминирующей технологический процесс производства лимонной кислоты, проводилось микробиологическими методами.

Оценка эффективности биоцидного действия озонирования проводилась путём микробиологических анализов смывов с внутренней поверхности ёмкостного оборудования до и после обработки. Общее количество микроорганизмов до и после обработки определялось исходя из числа выросших колоний в чашках Петри (через 48 ч культивирования в термостате при температуре 31,8 °С) на питательной стерильной среде Сабуро-агар и питательной стерильной среде СПА при проведении стандартных микробиологических исследований. Общее количество микроорганизмов в 1 мл исходя из числа выросших колоний и степени разведения определялось по формуле

$$N = a \cdot K / V,$$

где N — количество микроорганизмов в 1 см³ суспензии; K — разведение, из которого производится посев; a — среднее число колоний на чашках Петри; V — объём суспензии, взятый для посева.

Влияние озono-воздушной обработки на выход биомассы продуцента лимонной кислоты определялось фильтрационным методом. Процесс культивирования вёлся в две стадии: пер-

вая — выращивание посевного мицелия из сухого препарата конидий гриба, вторая — ферментация углеводов питательной среды в лимонную кислоту. Суспензия препарата конидий обрабатывалась озono-воздушной смесью. Обработанная суспензия вносилась в питательную среду для выращивания посевного мицелия. Выросший посевной мицелий использовался для засева ферментационной среды. Через 8-10 сут. культивирования культура гриба инактивировалась путём нагревания ферментированного раствора до кипения, биомасса отделялась путём фильтрования.

Результаты исследований и их обсуждение.

В производственных условиях ОАО «Скидельский сахарный комбинат» суспензия конидий *Aspergillus niger* обрабатывалась озono-воздушной смесью, полученной с помощью установки: озонатор ЭРГО-М, газоанализатор озона, аспиратор (рис. 1). Обработанная озono-воздушной смесью ($C(O_3) = 10 \text{ мг/м}^3$, время — 1 мин) суспензия продуцента вносилась в посевной ферментатор для выращивания посевного мицелия. Микроскопия показала, что споры *Aspergillus niger* после предварительной низкоинтенсивной стимуляции озono-воздушной смесью при снятии с продувки были набухшими в 1,5-2 раза больше, чем споры без обработки.

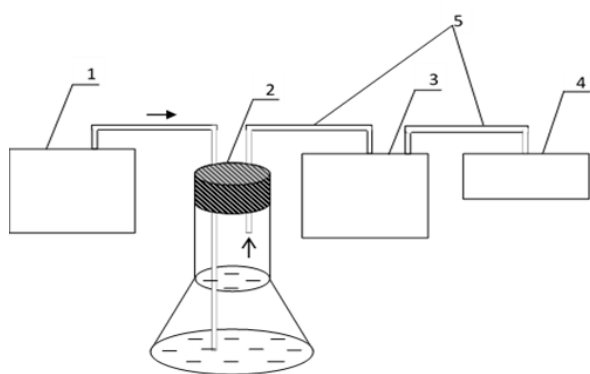


Рис. 1. Схема установки для обработки суспензии продуцента лимонной кислоты: 1 — озонатор модели ЭРГО-М; 2 — суспензия препарата конидий продуцента лимонной кислоты; 3 — аспиратор (модель ОП-824ТЦ); 4 — газоанализатор «ЦИКЛОН-5.51»; 5 — системы трубок

Для оценки эффективности влияния низкоинтенсивной озono-воздушной обработки на продуцент лимонной кислоты выбран такой показатель как биомасса посевного материала.

Показатели полученных значений концентрации сухой биомассы представлены в табл. 1.

1.

№ пробы	X, сухая биомасса, г/л	$X_{cp.}$, среднее значение сухой биомассы, г/л
1	1,99	без озono-воздушной обработки 1,85
2	1,84	
3	1,72	
4	2,26	после озono-воздушной обработки 2,29
5	2,20	
6	2,40	

Примечание: 1,2,3 — пробы без озono-воздушной обработки через 24 ч культивирования; 4,5,6 — пробы после озono-воздушной обработки через 24 ч культивирования.

Установлено, что выход биомассы продуцента после низкоинтенсивной обработки при одинаковых условиях культивирования (35-37 °С) возрастает на 23,6 % по сравнению с контролем.

Для разработки и оценки влияния различных режимов дезинфекции ёмкостного оборудования путём электро-озонирования на санитарное состояние ёмкостного оборудования на 1 этапе использовался озонатор модели ЭРГО-М, для проведения предварительных производственных испытаний, который был установлен на площадке между посевными ферментаторами (рис. 2).

Озонированный воздух от озонатора подавался по гофрированному шлангу. Испытания проводились без прерывания производственного процесса. Характеристика биоцидного действия установки представлена в табл. 4-6.



Рис. 2. Обработка посевного ферментатора

4.

(20)

№ пробы	Разведения, <i>K</i>	Количество колоний, выросших на чашках Петри			Количество микроорганизмов, КОЕ/мл
		повторность		среднее число, <i>a</i>	
		<i>n</i> ₁	<i>n</i> ₂		
Ia	1:10	21	18	19,5	1,95 * 10 ²
Iaг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
Iб	1:10	2	нет роста	1	0,10 * 10 ²
Iбг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIa	1:10	8	13	10,5	1,05 * 10 ²
IIaг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIб	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIбг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста

Примечание: Ia — питательная среда СПА, проба до обработки (м/ф); Iaг — питательная среда СА, проба до обработки (м/ф); Iб — питательная среда СПА, проба до обработки (инокулятор); Iбг — питательная среда СА, проба до обработки (инокулятор); IIa — питательная среда СПА, проба после обработки (м/ф); IIaг — питательная среда СА, проба после обработки (м/ф); IIб — питательная среда СПА, проба после обработки (инокулятор); IIбг — питательная среда СА, проба после обработки (инокулятор).

2 этап — производственные испытания (озонатор модели ЭРГО-М2). Испытания проводились без прерывания производственного процесса (рис. 3). Проведена обработка озонм мало-

го ферментатора перед пуском в работу. Микробиологический анализ раствора показал, что при закачке в посевной ферментатор бактериальный рост отсутствует.

5.

(30)

№ пробы	Разведения, <i>K</i>	Количество колоний, выросших на чашках Петри			Количество микроорганизмов, КОЕ/мл
		повторность		среднее число, <i>a</i>	
		<i>n</i> ₁	<i>n</i> ₂		
Ia	1:10	6	5	5,5	0,55 * 10 ²
Iaг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
Iб	1:10	14	18	16	1,60 * 10 ²
Iбг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIa	1:10	2	1	1,5	0,15 * 10 ²
IIaг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIб	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIбг	1:10	9	11	10	1,00 * 10 ²

Примечание: Ia — питательная среда СПА, проба до обработки (м/ф); Iaг — питательная среда СА, проба до обработки (м/ф); Iб — питательная среда СПА, проба до обработки (инокулятор); Iбг — питательная среда СА, проба до обработки (инокулятор); IIa — питательная среда СПА, проба после обработки (м/ф); IIaг — питательная среда СА, проба после обработки (м/ф); IIб — питательная среда СПА, проба после обработки (инокулятор); IIбг — питательная среда СА, проба после обработки (инокулятор).

6.

(60)

№ пробы	Разведения, <i>K</i>	Количество колоний, выросших на чашках Петри			Количество микроорганизмов, КОЕ/мл
		повторность		среднее число, <i>a</i>	
		<i>n</i> ₁	<i>n</i> ₂		
Ia	1:10	42	56	49	4,9 * 10 ²
Iaг	1:10	1	3	2	0,2 * 10 ²
Iб	1:10	163	179	171	17,1 * 10 ²
Iбг	1:10	нет роста	1	0,5	0,05 * 10 ²
IIa	1:10	1	3	2	0,2 * 10 ²
IIaг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIб	1:10	16	14	15	1,5 * 10 ²
IIбг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста

Примечание: Ia — питательная среда СПА, проба до обработки (м/ф); Iaг — питательная среда СА, проба до обработки (м/ф); Iб — питательная среда СПА, проба до обработки (инокулятор); Iбг — питательная среда СА, проба до обработки (инокулятор); IIa — питательная среда СПА, проба после обработки (м/ф); IIaг — питательная среда СА, проба после обработки (м/ф); IIб — питательная среда СПА, проба после обработки (инокулятор); IIбг — питательная среда СА, проба после обработки (инокулятор).

Характеристика биоцидного действия установки представлена в табл. 7.

Экспериментально подтверждена эффективность разработанной технологии при производстве опытно-промышленной партии кристаллической лимонной кислоты с использованием энергосберегающего низкотемпературного озонирования на ОАО «Скидельский сахарный комбинат». По разработанной технологии в производственных условиях выработана партия кри-

таллической лимонной кислоты. Произведён отбор образцов (проб) в соответствии с требованиями ГОСТ 908-2004, СТБ 1036-97, СТБ 1053-98 для контроля на соответствие требованиям ГН 10-117-99 «Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде», ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», СанПиН № 195 от 12.12.2012 «Требования к пищевым добавкам, ароматизаторам и технологическим вспомогательным средствам». Проба отобрана в полиэтиленовый пакет из пищевой плёнки (горловина пакета запаяна), снабжена этикеткой и исследована по показателям качества и безопасности (табл. 7).



Рис. 3. Обработка посевного ферментатора

7.

(30)

№ пробы	Разведение, К	Количество колоний, выросших на чашках Петри			Количество микроорганизмов, КОЕ/мл
		повторность		среднее число, <i>a</i>	
		n_1	n_2		
Ia	1:10	33	37	35	$3,5 \cdot 10^2$
Iaг	1:10	24	29	26,5	$2,65 \cdot 10^2$
Iб	1:10	сплошной бактериальный рост	сплошной бактериальный рост	сплошной бактериальный рост	сплошной бактериальный рост
Iбг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIa	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIaг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
IIб	1:10	4	2	3	$0,3 \cdot 10^2$
IIбг	1:10	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста

Примечание: Ia — питательная среда СПА, проба до обработки (м/ф); Iaг — питательная среда СА, проба до обработки (м/ф); Iб — питательная среда СПА, проба до обработки (иноку-

лятор); Ибг — питательная среда СА, проба до обработки (инокулятор); Па — питательная среда СПА, проба после обработки (м/ф); Паг — питательная среда СА, проба после обработки (м/ф); Пб — питательная среда СПА, проба после обработки (инокулятор); Пбг — питательная среда СА, проба после обработки (инокулятор).

7.

(Citric acid) 330

№ пп	Наименование показателей	Требования ГОСТ 908-2004		Результаты испытаний
1	Внешний вид и цвет	Бесцветные кристаллы или белый порошок без комков		Бесцветные кристаллы
2	Вкус	Кислый, без постороннего привкуса		Кислый, без постороннего привкуса
3	Запах	Отсутствие запаха		Отсутствует
4	Структура	Сыпучая и сухая, на ощупь не липкая		Сыпучая и сухая, на ощупь не липкая
5	Механические примеси	Не допускаются		Не обнаружены
6	Идентификация лимонной кислоты	Выдерживает испытание		Выдерживает испытание
7	Массовая доля лимонной кислоты не менее Моногидрата (C ₆ H ₈ O ₇ ·xH ₂ O), % не более	99,5		99,8
		100,5		
8	Массовая доля воды, %, не менее не более	7,5		8,6
		8,8		
9	Массовая доля сульфатной золы, %, не более	0,05		0,03
10	Массовая доля сульфатов, %, не более	0,015		0,001
11	Массовая доля оксалатов, %, не более	0,01		0,0001
12	Испытание на ферроцианиды	Выдерживает испытание		Выдерживает испытание
13	Испытание на легкообугливаемые вещества	Выдерживает испытание		Выдерживает испытание
14	Испытание на железо	Выдерживает испытание		Выдерживает испытание
	Токсичные элементы	ГОСТ 908-2004	ТР ТС 029/2012 СанПиН №195 от 12.12.2012	
15	Свинец, мг/кг не более	0,5	1,0	Соответствует требованиям ТНПА
16	Мышьяк, мг/кг не более	0,7	1,0	Соответствует требованиям ТНПА
17	Ртуть, мг/кг не более	-	1,0	Соответствует требованиям ТНПА
	Радионуклиды	ГН 10-117-99		
19	Цезий-137, Бк/кг не более	370		Соответствует требованиям ТНПА

Выводы.

Усовершенствованная технология микробиологического синтеза лимонной кислоты путём энергосберегающего озонирования может быть успешно реализована на отечественном предприятии ОАО «Скидельский сахарный комбинат». Разработана и утверждена технологическая документация: «Технологическая инструкция по выращиванию посевного материала с использованием энергосберегающего низкотемпературного озонирования» — ТИ ВУ 190239501.13.005 — 2015, «Технологическая инструкция по выращиванию мицелия и ведения кислотообразования с использованием низкотемпературного озонирования» — ТИ ВУ 190239501.13.006 — 2015, «Технологическая инструкция по санитарной обработке оборудования и помещений цеха лимонной кислоты с использованием низкотемпературного озонирования» — ТИ ВУ 190239501.13.007 — 2015.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Осипова, М.В.* Интенсификация процесса брожения методом электронно-ионной обработки пивных дрожжей: автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.18.07 / М.В. Осипова. — Москва, 2010. — 26 с.
2. Способ активации дрожжей : пат. 2272420 РФ, С2, С12N1/18, С12N13/00 / Г.А. Баранов, А.В. Земляной, С.Б. Оникиенко ; опубл. 27.03.2006.
3. Способ изменения биологической активности микроорганизмов : пат. 2287014 РФ, С2, С12N13/00 // Кубанский государственный университет ; опубл. 10.11.2006.
4. Способ активации прессованных дрожжей : пат. 2328119 РФ, С1, С12N13/00 // Воронежская государственная технологическая академия ; опубл. 10.07.2008.
5. Способ активации чистой культуры винных дрожжей : пат. 2403287 РФ/ С1, С12N13/00 // Кубанский государственный технологический университет ; опубл. 10.11.2010.
6. *Додонов, С.Н.* Технологический процесс обработки зерна озоном при производстве солода: автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.20.01 / С.Н. Додонов. — Саранск, 2004. — 35 с.
7. Способ хранения хлеба : пат. 2483552 РФ, С1, А21D15/00 // Башкирский государственный университет : опубл. 10.06.2013.
8. Устройство для озонирования воздуха : пат. 2176366 РФ, С1, С01В13/11 // ОО НПК «Прогрессивные технологии» : опубл. 27.11.2001.
9. Система для озонирования помещений : пат. 218532 РФ, С1, С01В13/11 // Калужское опытно-конструкторское бюро : опубл. 20.07.2002.
10. Способ дезинфекции герметичного оборудования : пат. 96790 Респ. Беларусь, С1, А61L2/20 // РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» : опубл. 28.01.2007.
11. Способ дезинфекции герметичного оборудования : пат. 7948 Респ. Беларусь, С1, С12N1/14 // РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» : опубл. 30.09.2004.

Рукопись статьи поступила в редакцию 26.02.2016

T.P. Trotskaya, O.V. Pavlova

**THE INTENSIFICATION OF THE PROCESS
OF PRODUCTION OF CITRIC ACID WITH THE USE
OF ELECTROTECHNOLOGY**

Studied energy saving of ozonation to intensify the process of production of citric acid. Proved the possibility of replacement of the existing steam-formalin sterilization technology capacitive equipment for energy-saving disinfection by ozonation. The increase of the biomass yield of the seed the product of citric acid with the use of low-intensity ozone-air treatment.