

ДЕСТРУКЦИЯ ФРУКТОЗЫ В ПРОЦЕССЕ НАПРАВЛЕННОГО ФЕРМЕНТИРОВАНИЯ ОГУРЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАММОВ МОЛОЧНОКИСЛЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Научный руководитель: Посокина Н.Е., зав. лабораторией
технологии консервирования, к.т.н.

Лялина О.Юр. – аспирант, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования», г. Видное Московская обл.

Аннотация. Задачей исследований являлось изучение динамики деструкции фруктозы в процессе направленного ферментирования огурцов сорта «Водолей» с использованием штаммов молочнокислых микроорганизмов с целью повышения качества конечного продукта и уменьшения потерь в процессе хранения. Изучены штаммы лактокультур: *Lactobacillus brevis* ВКМ В-1309, *Lactobacillus casei* ВКМ 536, *Lactobacillus plantarum* ВКМ В-578. С целью создания оптимальных условий для развития целевой микрофлоры и определения степени деструкции фруктозы различными штаммами микроорганизмов, исходное сырьё подвергали гомогенизации. Разработаны математические модели, адекватно описывающие степень ферментирования фруктозы в процессе обработки.

Установлено, что использование штамма *L. brevis* позволяет достичь максимальной эффективности ферментирования фруктозы, что, предположительно, указывает на потенциальную целесообразность использования данного вида молочнокислых микроорганизмов.

Ключевые слова: направленное ферментирование овощей, штаммы молочнокислых микроорганизмов, закваски, деструкция фруктозы, огурцы.

Ферментация – это биохимический процесс, при котором в органических субстратах (главным образом в углеводах под действием молочнокислых бактерий) происходят изменения, приводящие к превращению разлагаемых пищевых компонентов в более стабильные формы. Однако, в процессе ферментации образуется не только молочная кислота, но и другие продукты реакции - спирт и диоксид углерода и др. Эти продукты реакции регулируют рост и размножение микроорганизмов порчи пищевых продуктов, а поскольку процесс окисления происходит не до конца, в пищевом продукте остаются питательные вещества (нутриенты) [1]. Наиболее важной группой микроорганизмов являются молочнокислые бактерии, которые участвуют в продуцировании соединений, ингибирующих рост и размножение других микроорганизмов, в том числе противомикробных соединений с относительно широким спектром ингибирующего действия (органические кислоты, пероксид водорода, низин) и соединений с довольно узким противомикробным действием (бактериоцины).

Образующаяся при брожении молочная кислота оказывает консервирующее действие, придает продукту специфические вкусовые качества, подавляет жизнедеятельность многих нежелательных микроорганизмов, препят-

ствуется порче продуктов. Однако многочисленные второстепенные продукты ферментации также играют важную роль в обеспечении вкусовых свойств ферментированных продуктов [2, 3]. Кроме того, при ферментации обычно происходит изменение органолептических (вкус, запах и т.п.) и/или функциональных свойств пищевого продукта, и такие изменения востребованы потребителями.

Ферментация осуществляется одним из трех способов: самопроизвольным брожением, путем добавления рассола от предыдущей ферментации или путем внесения закваски. Самопроизвольное брожение – это комплекс процессов биохимических изменений без участия заквасочных культур. Обычно эти изменения происходят благодаря активности различных конкурирующих нативных микроорганизмов присутствующих на поверхности овощей. Доминирующими оказываются те микроорганизмы, которые лучше всего адаптированы к данному пищевому субстрату и к условиям процесса (соотношение углерода и азота, температура, значение рН, наличие и количество кислорода). Брожение такого типа довольно часто происходит путем смены пулов микроорганизмов - среди них доминируют молочнокислые бактерии, а на втором месте различные виды дрожжей. В результате доминирующей деятельности молочнокислых бактерий глюкоза и фруктоза овощей превращается в молочную кислоту [2]. Молочнокислые бактерии продуцируют молочную кислоту и другие противомикробные вещества, подавляющие рост и размножение патогенных бактерий и микроорганизмов порчи, тогда как дрожжи продуцируют главным образом вкусоароматические соединения и спирты. До сих пор многие предприятия изготавливают квашеную капусту путем самопроизвольного брожения без применения штаммов молочнокислых микроорганизмов.

Процессы ферментации, происходящие естественным путем, в некотором смысле непредсказуемы, что неприемлемо для крупномасштабного производства. С целью интенсификации и для повышения надежности и обеспечения более стабильного процесса ферментации рекомендуется применение чистых культур молочнокислых бактерий (заквасок) или стартерных активаторов, которые должны обладать соответствующими свойствами и быть способными доминировать над нативными молочнокислыми бактериями при соблюдении оптимальных условий брожения [2, 3]. Это позволяет направленно использовать биохимическую активность микроорганизмов для быстрого и максимального накопления обладающей консервирующим действием молочной кислоты, исключить развитие нежелательной микрофлоры, избежать появления отходов поверхностных слоев продукции, получить продукцию с хорошим вкусом, ароматом и структурой и уменьшить время созревания ферментированной продукции [4]. Выбор той или иной заквасочной культуры (одно- или многоштаммовой) определяется свойствами субстрата, ожиданиями потребителей и техническими требованиями. Заквасочные культуры могут быть чистыми или смешанными. Применение смешанных заквасочных культур позволяет снизить риск инфицирования бактериофагами [5] и улучшить качество готовой продукции.

Для получения готовой продукции хорошего качества недостаточно применять только закваски (штаммы молочнокислых микроорганизмов), необходимо также использовать качественное исходное сырье. Достаточное количест-

во сахаров (глюкозы и фруктозы) в исходном сырье, 4% и выше, гарантирует накопление достаточного количества молочной кислоты и других органических кислот, что позволяет исключить развитие нежелательной микрофлоры (гнилостных и маслянокислых микроорганизмов).

В качестве исходного сырья использовали плоды огурцов сорта «Водолей». Активность ферментирования определяли по интенсивности деструкции фруктозы. Для получения сравнительных результатов все эксперименты проводили на модельных средах. Модельные среды для исследований готовили следующим образом: плоды свежих огурцов тщательно мыли в проточной воде до удаления с их поверхности всех загрязнений. Влагу с поверхности удаляли фильтровальной бумагой. Сырьё подвергали гомогенизации. Далее в полученную массу вносили 40 % водного раствора NaCl концентрацией 7 %. Полученные образцы дозировали в отдельные плоскодонные колбы на 250 см³, с последующим герметичным укупориванием и стерилизацией в течение 20 мин при 100 °С для устранения посторонней микрофлоры. После охлаждения подготовленные образцы инокулировали штаммами *Lactobacillus brevis* ВКМ В-1309, *Lactobacillus casei* ВКМ 536 и *Lactobacillus plantarum* ВКМ В-578, по одному штамму в каждый образец. Титр штаммов микрофлоры в каждом из образцов на момент инокуляции составлял $1 \cdot 10^4$ на 1 г. Активную фазу ферментирования проводили в течение 3 сут. при температуре 23-25 °С. Дальнейшее ферментирование проводили при температуре от -1 °С до +4 °С. Отбор проб проводили в течение 1, 2, 3, 10, 20, 30, 60, 90 суток обработки [6].

Исследование динамики изменения содержания фруктозы проводили методом ВЭЖХ на жидкостном хроматографе с рефрактометрическим детектором Perkin Elmer Series 200, колонка – Agilent Zorbax Carbohydrate 4,6×250 мм, подвижная фаза – «ацетонитрил:вода» 75:25, скорость потока 1 см³/мин в изократическом режиме. Идентификацию фруктозы проводили по абсолютному времени удерживания в образцах, сравнением со временем удерживания в градуировочных растворах. Расчёт концентрации – методом внешнего стандарта [6].

Анализ экспериментальных данных, полученных в результате математической обработки, показал, что процесс деструкции фруктозы при ферментировании образцов сырья исследуемыми штаммами молочнокислых микроорганизмов во всех трёх случаях протекает по схожему механизму, отличаясь лишь интенсивностью (рисунок).

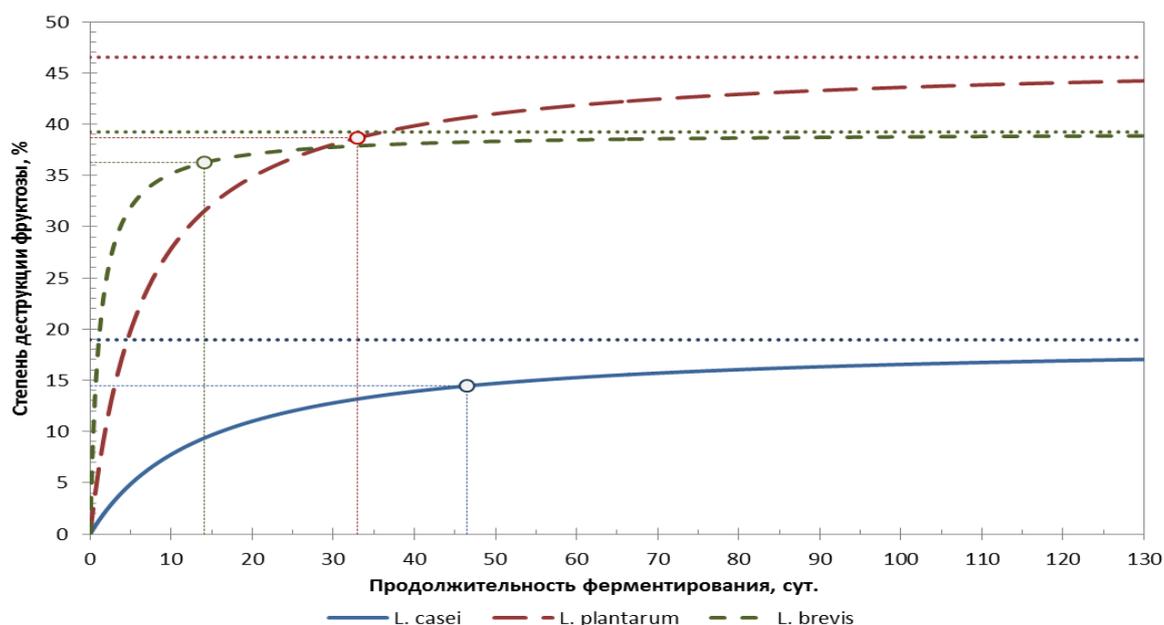


Рис. Зависимость степени деструкции фруктозы исследуемыми штаммами молочнокислых микроорганизмов от продолжительности ферментирования

При этом каждая из зависимостей характеризуется более-менее чётким зонированием на период активной деструкции и период малой активности.

Математически все три зависимости могут быть выражены в следующей форме:

$$\omega = \frac{a \cdot \tau}{b + \tau}, \quad (1)$$

где ω – степень деструкции фруктозы, %; τ – продолжительность ферментирования, сут.; a и b – коэффициенты.

Показатели, адекватность и характеристики моделей для всех исследуемых штаммов микроорганизмов представлены в таблице. Обобщая, можно утверждать, что все разработанные модели адекватны по критерию Фишера при $\alpha < 0,00005$ и имеют высокую сходимость с экспериментальными данными ($R^2 > 0,98$).

Анализ результатов моделирования показал, что все зависимости с увеличением продолжительности ферментирования стремятся к некоторому предельному – асимптотическому – значению, которое может быть определено по формуле:

$$\omega_{\tau \rightarrow \infty} = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{a \cdot \tau}{b + \tau}. \quad (2)$$

Таблица

Показатели и характеристики разработанных математических моделей

Показатели	Вид микроорганизмов		
	<i>L. casei</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. brevis</i>
Коэффициенты:			
<i>a</i>	18,9294	46,5089	39,2059
<i>b</i>	14,3856	6,6888	1,1468

Адекватность модели:			
α, \leq	0,00004	0,00001	0,00002
R^2	0,9897	0,9999	0,9986
Характеристики модели:			
$\omega_{\tau \rightarrow \infty}, \%$	18,93	46,51	39,21
$\tau_{d \leq 1}, \text{сут.}$	46,50	32,94	14,11
$\omega_{d \leq 1}, \%$	14,46	38,66	36,26
$q, \%$	76,37	82,12	92,48

Естественно, что при масштабировании исследуемых процессов до промышленного производства достижение асимптотических значений степени деструкции фруктозы лишено смысла. Значительно более целесообразным является определение максимально приемлемой продолжительности процесса ферментирования, при котором дальнейшее увеличение продолжительности на заданную величину $\Delta\tau$ приводит к приросту ω на некоторую величину d , определяемую по формуле [7]:

$$d = \frac{\omega(\tau + \Delta\tau) - \omega(\tau)}{\omega(\tau)} \cdot 100\% . \quad (3)$$

В данной работе максимально приемлемую продолжительность процесса определяли при $d = 1\%$.

Сравнительный анализ экспериментальных данных показывает, что по критерию интенсивности деструкции фруктозы при ферментировании огурцов наиболее эффективным является использование исследованного штамма *L. brevis*, обеспечивающего максимальную эффективность процесса (максимально приемлемая продолжительность 14,11 суток при достижении степени деструкции фруктозы более 92% от асимптотического значения).

Исследованная динамика деструкции фруктозы огурцов различными штаммами молочнокислых организмов показывает различные временные периоды до достижения максимально приемлемых значений. Так, для штамма *L. casei* этот период составил 46,50 суток, для *L. plantarum* – 32,94 суток, для *L. brevis* – 14,11 суток. Таким образом, использование штамма *L. brevis* позволяет достичь максимально приемлемой степени деструкции фруктозы в огурцах за наименьший временной период и показывает целесообразность использования этого вида молочнокислых микроорганизмов при направленной ферментации огурцов.

Литература

1. Caplice E., Fitzgerald G. F. Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation //Int. J. Food Microbiol. – 1999.- 50.- P. 131-149.
2. Hutkins R.W. Microbiology and technology of fermented foods. IFT Press Blackwell Publishing, 2006. - 473 p.
3. Farnworth E.R. Handbook of fermented functional foods. CRC Press, 2008. - 581 p.
4. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной про-

- дукции/ под ред. Н.К. Синха, И.Г. Хью /пер. с англ. яз. – СПб.: Профессия, 2014. - С. 467-485.
5. Daly C. The use of mesophilic cultures in the dairy industry // *Antonie Van Leeuwenhoek*. – 1983. - 49. -Р. 297-312.
 6. Кондратенко В.В., Лялина О.Ю., Посокина Н.Е., Терешонок В.И., Тырина Е.С. Исследование динамики деструкции фруктозы в процессе направленного ферментирования огурцов// *Овощи России*. – 2016. - №3 (32). – С. 76-78.
 7. Разработать систему научно-обоснованных параметров биотехнологической трансформации биополимеров углеводной природы вторичных продуктов свеклосахарного производства в функциональные биологически активные компоненты (0605-2014-0003). Раздел 9, подраздел 25 Программы ФАНО на 2013-2020гг. / Отчёт о НИР. – Видное: ФГБНУ «ВНИИТек», 2014. – 65с.