

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДЕСТРУКЦИИ ФРУКТОЗЫ В ПРОЦЕССЕ НАПРАВЛЕННОГО ФЕРМЕНТИРОВАНИЯ ОВОЩЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАММОВ МОЛОЧНОКИСЛЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Посокина Н.Е., канд. техн. наук, Захарова А.И.

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Российская Федерация, г. Видное

Аннотация. Исследован процесс 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. Разработаны математические модели, адекватно описывающие степень ферментирования фруктозы в процессе обработки.

Ключевые слова. Ферментирование овощей, молочнокислые микроорганизмы, деструкция фруктозы.

STUDY OF THE DYNAMICS OF DEGRADATION OF FRUCTOSE IN THE PROCESS OF THE DIRECTED FERMENTATION OF VEGETABLES USING STRAINS OF LACTIC ACID MICROORGANISMS

Posokina N.E., Cand. Sc. (Tech.), Zakharova A.I.

All-Russian research Institute of technology conservation –
branch of FSBSI «V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems»
of RAS, Russian Federation, Vidnoye

Abstract. The process of directed fermentation of cucumbers of the "Aquarius" variety with the use of strains of lactic acid microorganisms in order to improve the quality of the final product and reduce losses during storage is studied. The studied strains of *Lactococcus*: *Lactobacillus brevis* In the VCR-1309, VCR 536 *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* VKM V-578. Mathematical models adequately describing the degree of fructose fermentation in the process of processing are developed.

Keywords. Vegetable fermentation, lactic acid microorganisms, fructose de-struction.

В работах [1, 2, 3] показано, что активность процессов ферментирования растительной ткани определяется, преимущественно, целевой активностью штаммов молочнокислых микроорганизмов. Авторами выполнен ряд сравнительных исследований по подбору штаммов стартовых культур молочнокислых микроорганизмов, перспективных для производства качественной ферментированной овощной продукции в промышленных условиях.

Основой технологии производства ферментированной овощной продукции является комплексный подбор системы «сырьё – микробиальная культура» с учётом ряда технологических и потребительских критериев, одним из которых является влияние обработки на интенсификацию и направленность процесса, а также на органолептические, физико-химические и микробиологические характеристики качества готовой продукции [1, 2, 3].

В качестве исходного сырья использовали плоды огурца 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: свежие плоды 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 предварительно подготовленные стеклянные банки, 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 ферментации.

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.

Анализ результатов после математической обработки экспериментальных данных 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).

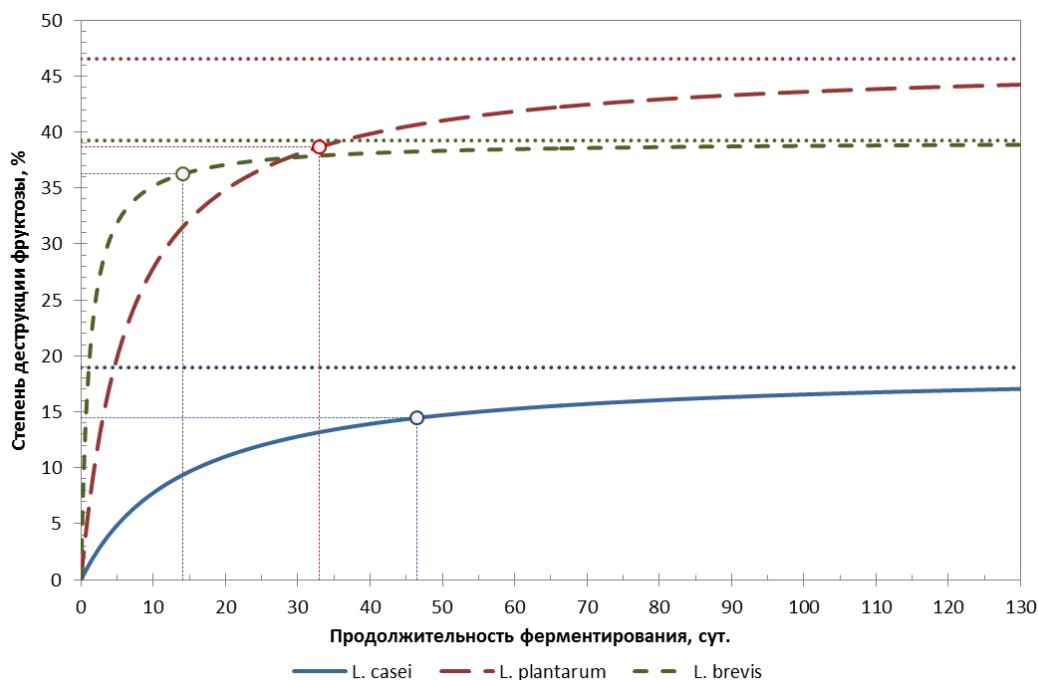


Рисунок. Зависимость степени деструкции фруктозы исследуемыми штаммами молочнокислых микроорганизмов от продолжительности ферментирования

При этом каждая из зависимостей характеризуется 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, %; 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:

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

Показатели и характеристики разработанных математических моделей

	Вид микроорганизмов		
	<i>L. casei</i>	<i>L. plantarum</i>	<i>L. brevis</i>
Коэффициенты:			
a	18,9294	46,5089	39,2059
b	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 [4]:

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

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).

Выводы.

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. Farnworth E.R. Handbook of fermented functional foods. CRC Press, 2008. 581 p.
2. Hutkins R.W. Microbiology and technology of fermented foods. IFT Press Blackwell Publishing, 2006. 473 p.
3. Лялина О.Ю., Грачева А.Ю., Литвиненко Т.И., Посокина Н.Е. Изучение процессов ферментирования овощей с использованием специализированных штаммов микроорганизмов // Материалы Международной научно-технической конференции, ч. 1, (13-14 ноября 2014 г.) / ФГБОУ ВПО «ВГУИТ», 2014. С. 101-106.
4. 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.