

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 664.785.786

**М.А. Янова, С.В. Хижняк,
Ю.Ф. Росляков**

**ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ
ОБОГАЩЕННЫХ ЗЕРНОПРОДУКТОВ**

**M.A. Yanova, S.V. Khizhnyak,
Yu.F. Roslyakov**

**THE CHANGE IN MICROBIOLOGICAL INDICATORS IN THE TECHNOLOGY
OF CREATION OF ENRICHED GRAIN PRODUCTS**

Янова М.А. – канд. с.-х. наук, доц. каф. товаро-ведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: yanova.m@mail.ru

Хижняк С.В. – д-р биол. наук, проф. каф. ботаники, физиологии и защиты растений Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: skhizhnyak@yandex.ru

Росляков Ю.Ф. – д-р техн. наук, проф. каф. технологии зерновых, хлебных пищевкусных и субтропических продуктов Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар. E-mail: skhizhnyak@yandex.ru

Yanova M.A. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Merchandizing and Product Quality Control of Agrarian and Industrial Complex, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: yanova.m@mail.ru

Khizhnyak S.V. – Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Ecology and Natural Sciences, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: skhizhnyak@yandex.ru

Roslyakov Yu.F. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Technology of Grain, Grain Food and Taste and Subtropical products, Kuban State Technological University, Krasnodar. E-mail: skhizhnyak@yandex.ru

Результаты исследований о влиянии ультразвуковой кавитационной обработки на микробиологические показатели продукции различных авторов противоречат друг другу. Некоторые исследователи утверждают, что при кратковременном воздействии количество жизнеспособных микроорганизмов увеличивается, тогда как другие доказывают, что при ультразвуковом воздействии бактерии разрушаются. Настоящее исследование посвящено изучению влияния технологических параметров (времени, частоты и температуры) ультразвуковой кавитационной обработки на микробиологические показатели крупы злаков, обогащенной микроэлементами. Контрольные образцы овсяной и перловой крупы имели интенсивное бактериальное обсеменение: у овсяной – $3,4 \cdot 10^3$ КОЕ/г, перловой – $2,7 \cdot 10^3$ КОЕ/г. Ультразвуковая обработка уменьшала количество бактерий во всех экспериментах. Увеличение времени обработки в

диапазоне 10–30 минут повышало эффективность обеззараживания. Связь между эффективностью дезинфекции и временем обработки является нелинейной и может быть адекватно описана как логистическая функция при 25 °С и как экспоненциальная модель при 40 и 60 °С. Повышение температуры в диапазоне 25–60 °С и увеличение частоты ультразвука в диапазоне 35–42 кГц увеличили скорость дезинфекции. Представлена нелинейная модель множественного регрессирования совместного влияния температуры и частоты ультразвука на скорость дезинфекции. Наиболее эффективные комбинации времени обработки, частоты и температуры ультразвука позволили уменьшить бактериальное загрязнение крупы более чем на 90 %.

Ключевые слова: микробиология, показатели качества, зернопродукты, крупа, кавитация, частота ультразвука, температура, множественный регрессионный анализ.

The results of researches on the influence of ultrasonic cavitation processing on microbiological indicators of production made by various authors contradict each other. Some researchers claim that at short-term influence the quantity of viable microorganisms increases whereas others prove that at ultrasonic influence bacterium collapse. The research is devoted to studying the influence of technological parameters (time, frequency and temperature) of ultrasonic cavitation processing on microbiological indicators of the grain of cereals enriched with microcells. Control samples of oats and pearl-barley grain had intensive bacterial contamination: in oats – $3.4 \cdot 10^3$ CFU/g, pearl-barley – $2.7 \cdot 10^3$ CFU/g. Ultrasonic processing reduced the quantity of bacteria in all the tests. The increase in the time of processing in the range of 10–30 minutes increased disinfecting efficiency. The relationship between disinfection efficiency and the time of processing were nonlinear and could be adequately described as logistic function at 25 °C and as exponential model at 40 and 60 °C. The increase in the temperature in the range of 25–60 °C and in the frequency of ultrasound in the range of 35–42 kHz resulted in rising disinfection speed. Nonlinear model of multiple regressions of joint influence of temperature and frequency of ultrasound on disinfection speed is presented. The most effective combinations of the time of processing, frequency and temperature of ultrasound allowed reducing bacterial contamination of cereals more than by 90 %.

Keywords: *microbiology, quality indicators, grain products, cereal, cavitation, ultrasound frequency, temperature, multiple regression analysis.*

Введение. Одними из первых ученых, установивших влияние ультразвука на бактерии, были Харви и Лумис, в 1928 году они доказали, что под ультразвуковым воздействием светящиеся бактерии разрушаются. Исследования в этой области имеют противоречивые сведения. Некоторые ученые утверждают, что при кратковременном воздействии число жизнеспособных микроорганизмов возрастает. Возможно, что при недлительной обработке ультразвуком бактериальные скопления разделяются, и далее каждая клетка дает жизнь новой колонии [1].

Анализ литературных источников показывает, что негативное влияние ультразвуковых

волн наблюдается только в жидкостях, это можно объяснить обеззараживающим действием кавитации [1–4]. Окислительное действие кислорода, активированного ультразвуком, наряду с физическим воздействием кавитационных пузырьков активно влияет на подавление микрофлоры [1]. Следовательно, если процесс обогащения будет происходить в минерализованной воде, то обеззараживание круп будет происходить быстрее.

Цель работы. Изучение изменения микробиологических показателей при технологии создания обогащенных зернопродуктов.

В связи с поставленной целью решалась **задача** определения оптимальных параметров ультразвуковой кавитационной обработки, положительно влияющих на микробиологические показатели в технологическом процессе обогащения микроэлементами крупы, полученной из зерна злаковых культур.

Объекты и методы исследования. Для проведения исследований определены варианты эксперимента, учитывающие минимальные и максимальные параметры обработки. В процессе эксперимента использовались следующие режимные характеристики: температура – от 25 до 60 °C, где 25 °C – начальная температура, максимальная – 60 °C (обработка проводилась с интервалом 5 минут продолжительностью от 10 до 30 минут), частота ультразвука 35 и 42 кГц [5]. Исследования по обогащению зерна и круп проводились на разработанной ультразвуковой установке, которая работает по принципу ультразвуковой ванны.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований представлены в таблице 1. Установлено, что контрольные образцы овсяной и перловой круп имели интенсивное бактериальное обсеменение: у овсяной – $3,4 \cdot 10^3$ КОЕ/г, перловой – $2,7 \cdot 10^3$ КОЕ/г.

Численность микроорганизмов снизилась после ультразвуковой обработки во всех вариантах. Увеличение длительности процесса воздействия ультразвука на крупу приводит к усилению снижения численности микрофлоры. Температурные параметры значительно влияют на процесс обеззараживания круп: чем выше была температура, тем интенсивнее идет процесс разрушения бактерий (см. табл. 1). При увеличении температуры уменьшается сила

сцепления между жидкостью и бактериальной клеткой. Ускорению расщепления бактериальной клетки способствует кавитация на ее по-

верхности, при общем повышении температуры изучаемого процесса под воздействием ультразвуковой кавитации.

Таблица 1

Микробиологическая характеристика круп по КМАФАнМ, КОЕ/г

Начальная температура, °С	Время, мин	Овсяная крупа, частота 35 кГц	Овсяная крупа, частота 42 кГц	Перловая крупа, частота 35 кГц	Перловая крупа, частота 42 кГц
Без обработки	-	$3,4 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$	$2,7 \cdot 10^3$
25 °С	10	$2,8 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$
	20	$1,2 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^3$	$0,8 \cdot 10^3$	$0,2 \cdot 10^3$
	30	$0,94 \cdot 10^3$	$0,73 \cdot 10^3$	$0,92 \cdot 10^3$	$0,64 \cdot 10^3$
40 °С	10	$1,90 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,10 \cdot 10^3$	$0,70 \cdot 10^3$
	20	$0,93 \cdot 10^3$	$0,74 \cdot 10^3$	$0,85 \cdot 10^3$	$0,61 \cdot 10^3$
	30	$0,32 \cdot 10^3$	$0,11 \cdot 10^3$	$0,21 \cdot 10^3$	$0,07 \cdot 10^3$
60 °С	10	$0,97 \cdot 10^3$	$0,85 \cdot 10^3$	$0,92 \cdot 10^3$	$0,78 \cdot 10^3$
	20	$0,41 \cdot 10^3$	$0,24 \cdot 10^3$	$0,11 \cdot 10^3$	$0,08 \cdot 10^3$
	30	$0,10 \cdot 10^3$	$0,04 \cdot 10^3$	$0,09 \cdot 10^3$	$0,01 \cdot 10^3$

Исследования показали, что минимальные параметры технологических режимов при обогащении круп микроэлементами способствуют успешному снижению контаминации, отсутствию роста микрофлоры крупы. Ультразвуковая обработка круп при определенных экспериментом режимах способствовала снижению численности микроорганизмов, увеличению длительности

процесса воздействия, снижению численности микрофлоры.

При температуре 25 °С кривая зависимости эффективности обеззараживания от продолжительности обработки носила S-образный характер, при температурах 40 и 60 °С – характер гладкой кривой с насыщением (рис. 1).

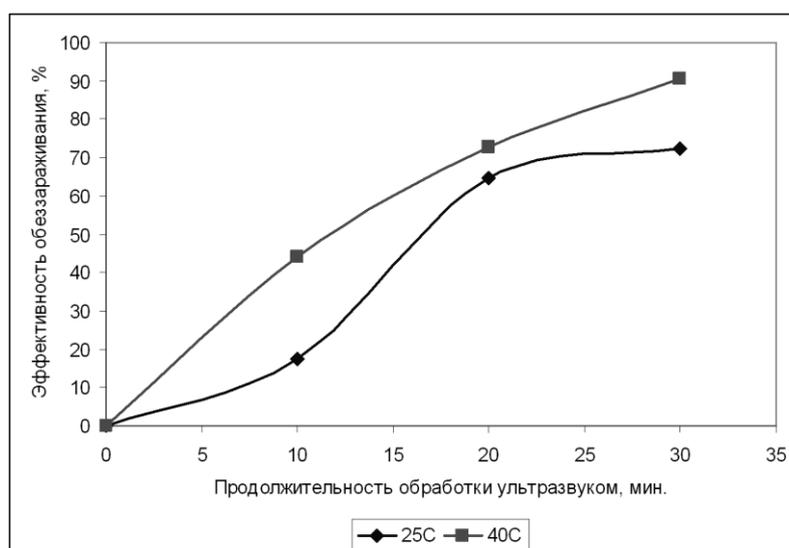


Рис. 1. Влияние температуры на характер кривой зависимости эффективности обеззараживания крупы ультразвуком от времени (на примере овсяной крупы: 25 и 40 °С, 35 кГц)

В качестве показателя эффективности обеззараживания принят процент погибших мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов.

При температурах 40 и 60 °С кривая зависимости эффективности обеззараживания от времени описывается регрессионной моделью вида

$$y = 100 \cdot (1 - e^{-k\tau}), \quad (1)$$

где y – процент погибших микроорганизмов; τ – время (мин); k – коэффициент.

Характеристики модели для разных вариантов обработки представлены в таблице 2.

Как видно из представленных данных, модель адекватно описывает процесс обеззараживания крупы ультразвуком, коэффициенты детерминации варьируют от 0,966 до более чем 0,999, а статистическая значимость модели – от $p=0,01$ до $p<0,001$.

Таблица 2

Характеристики регрессионной модели влияния времени обработки на эффективность обеззараживания крупы для разных вариантов эксперимента при температурах 40 и 60 °С

Температура, °С	Частота ультразвука, кГц	Коэффициент детерминации	Значение коэффициента k	Статистическая значимость коэффициента (p)
Овсяная крупа				
40	35	0,992	-0,065102	<0,001
60	35	0,998	-0,119361	<0,001
40	42	0,977	-0,103660	<0,01
60	42	>0,999	-0,137597	<0,001
Перловая крупа				
40	35	0,971	-0,074701	<0,01
60	35	0,994	-0,117647	0,001
40	42	0,966	-0,110136	0,01
60	42	0,996	-0,133006	<0,001

Коэффициент k характеризует скорость обеззараживания: чем выше абсолютное значение k , тем быстрее происходит обеззараживание крупы под действием ультразвука. Множественный регрессионный анализ показал, что в

интервале температур 40–60 °С зависимость абсолютного значения k от температуры и от частоты ультразвука адекватно описывается полиномом следующего вида:

$$y = a_0 + a_1T + a_2f + a_{12}Tf, \quad (2)$$

где y – абсолютное значение k ; T – температура; f – частота ультразвука; a_i – коэффициенты.

При использовании в качестве входных данных объединённой таблицы результатов для овсяной и перловой круп коэффициент детерминации составил 0,983, а статистическая значимость регрессионной модели $p<0,001$. Значения отдельных коэффициентов и их статистическая значимость представлены в таблице 3.

Поверхность отклика, соответствующая модели, представлена на рисунке 2.

Таким образом, можно констатировать, что сочетание повышенной температуры и ультра-

звуковой обработки эффективно снижает обсеменённость крупы мезофильными аэробными и факультативно анаэробными микроорганизмами. При этом скорость обеззараживания растёт как при повышении частоты ультразвука от 35 до 42 кГц, так и при увеличении температуры в диапазоне от 40 до 60 °С. Анализ бета-коэффициентов в регрессионной модели позволяет оценить относительный вклад температуры, ультразвука и эффекта их взаимодействия в скорость обеззараживания крупы (рис. 3).

Таблица 3

Коэффициенты в модели, описывающей совместное влияние температуры и частоты ультразвука на скорость обеззараживания крупы, выраженную через абсолютное значение k

Коэффициент	Значение	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение
a_0	-0,414280	0,088519	-4,6801	0,009447
a_1	0,007480	0,001736	4,308698	0,012559
a_2	0,011056	0,002290	4,828643	0,00847
a_{12}	-0,000140	$4,49 \times 10^{-05}$	-3,21293	0,032498

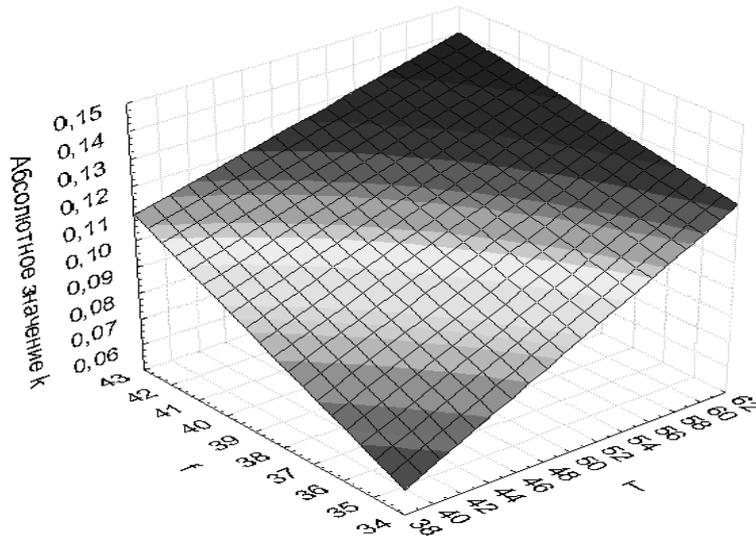


Рис. 2. Поверхность отклика, соответствующая модели

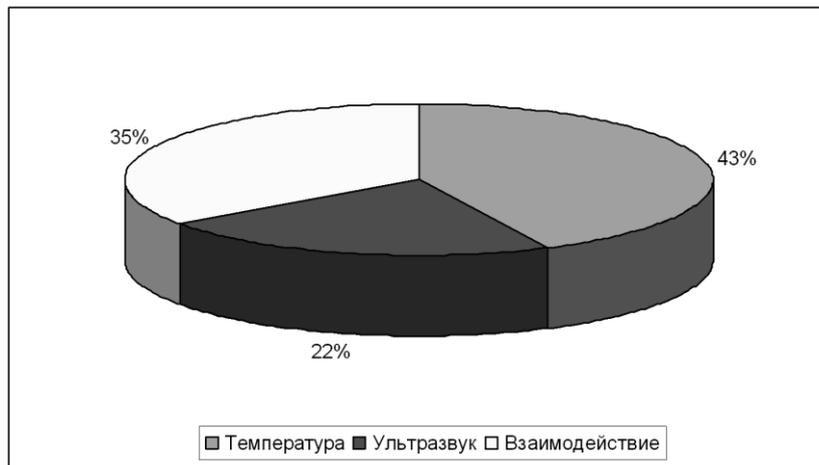


Рис. 3. Относительный вклад температуры, ультразвука и эффекта взаимодействия «температура-ультразвук» в скорость обеззараживания крупы

При температуре 25 °С влияние времени обработки ультразвуком на эффективность стерилизации крупы адекватно описывается логистической функцией вида

$$y = \frac{L}{1 + e^{-k(\tau - T_0)}}, \quad (3)$$

где y – процент погибших микроорганизмов; τ – время (мин), L , k и T_0 – константы.

При использовании данной регрессионной модели коэффициенты детерминации варьируют от 0,987 до более чем 0,999, а статистическая значимость модели – от $p=0,05$ до $p=0,001$. Наибольшее значение с точки зрения организации процесса стерилизации играют параметры

L и T_0 . Величина L равна максимально возможному уровню стерилизации при данном режиме, а T_0 – времени, необходимому для достижения уровня стерилизации, равного половине от максимально возможного (рис. 4).

Характеристики модели для разных вариантов обработки представлены в таблице 4.

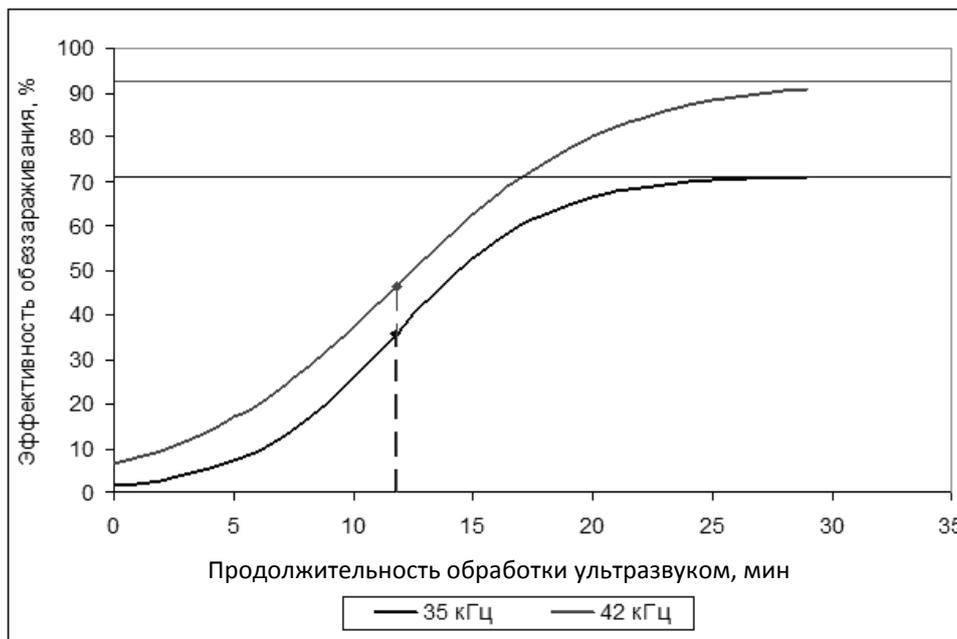


Рис. 4. Физический смысл параметров L и T_0 на примере теоретических кривых для крупы перловой. Горизонтальными сплошными линиями показаны значения L , вертикальными пунктирными – значения T_0 для режимов 35 и 42 кГц при температуре 25 °С

Таблица 4

Характеристики регрессионной модели влияния времени обработки на эффективность обеззараживания крупы для разных вариантов эксперимента при температуре 25 °С

Крупа	Частота ультразвука, кГц	Параметры модели		Коэффициент детерминации	Значимость модели, p
		L	T_0		
Овсяная	35	73	13,6	>0,999	0,001
Перловая		71	11,8	0,999	<0,01
Овсяная	42	89	11,3	0,995	<0,05
Перловая		93	11,8	0,987	0,05

Как видно из представленных данных, при 25 °С частота ультразвука влияет на степень обеззараживания крупы (параметр L), но практически не влияет на скорость обеззараживания (параметр T_0).

Выводы. В целом можно констатировать, что при температурах 40 и 60 °С обеззараживание крупы ультразвуком происходит существенно быстрее, чем при 25 °С. При этом в диапазоне 40–60 °С скорость процесса увеличивается как при повышении температуры, так и при по-

вышении частоты ультразвука, однако при 30-минутной экспозиции при любом режиме достигается уничтожение более 90 % микрофлоры. При 25 °С 90%-е обеззараживание крупы достигается лишь при частоте ультразвука 42 кГц, а при 35 кГц максимальная степень обеззараживания не превышает 71–73 %.

Литература

1. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: Изд-во ИИЛ, 1956. – 726 с.
2. Маргулис А.А. Кавитация. – М., 1986. – 323 с.
3. Пирсол И. Кавитация. – М.: Мир, 1975. – 95 с.
4. Флинн Г. Физика акустической кавитации в жидкостях // Физическая акустика / под ред. У. Мезона. – М.: Мир, 1967. – Т. 1, Ч. Б. – С. 7–138.

5. Янова М.А., Гусев А.И. Технология обогащения круп микроэлементами. – Красноярск, 2015. – 120 с.

Literatura

1. Bergman L. Ul'trazvuk i ego primenenie v nauke i tehnike. – М.: Izd-vo IIL, 1956. – 726 s.
2. Margulis A.A. Kavitacija. – М., 1986. – 323 s.
3. Pirsol I. Kavitacija. – М.: Mir, 1975. – 95 s.
4. Flinn G. Fizika akusticheskoj kavitacii v zhidkostjah // Fizicheskaja akustika / pod red. U. Mezona. – М.: Mir, 1967. – Т. 1, Ч. В. – С. 7–138.
5. Janova M.A., Gusev A.I. Tehnologija obogashhenija krup mikrojelimentami. – Krasnojarsk, 2015. – 120 s.

