

Таблица 4

Значения числителя в формуле (7)

$V_x^2 \backslash x^2$	$\Phi(x) = 0,90$ 2,690	$\Phi(x) = 0,95$ 3,8416	$\Phi(x) = 0,99$ 6,6564	$V_x = \frac{\sigma_x}{m_x} 100 \%$
0,111	0,2986	0,4262	0,7359	33,3
0,090	0,2421	0,3456	0,5967	30,0
0,0625	0,1684	0,2400	0,4144	25,0
0,040	0,1076	0,1536	0,2663	20,0

$V_x$  — неизвестный параметр, принимаемый значение 0,333 ( $V_x^2 = 0,111$ ).

**Решение.** По табл. 4 для  $V_x^2 = 0,111$  и  $x^2 = 3,84$ ,  $y^2 = 0,4262$ .

По табл. 3 при  $y^2 = 0,4262$  и  $\varepsilon^2 = 0,0025$ ,  $n = 170$ .

2. Если известна (хотя бы приблизительно) возможная величина изменчивости случайной величины, например  $V_x = 20 \%$  ( $V_x^2 = 0,040$ ), то при  $\varepsilon = 5 \%$  ( $\varepsilon^2 = 0,0025$ ), то  $y^2 = 0,1536$ , а  $n = 61$ , а при тех же условиях, но допустимая ошибка  $\varepsilon = 10 \%$  ( $\varepsilon^2 = 0,01$ ), то  $n$  равняется всего 15 ед.

Таким образом, из анализа табл. 3 и 4 видно, что объем выборки существенно зависит от «качественного» состава формирования выборки от значения дисперсии случайных величин, включаемых в объем выборки. Формирование выборки с использованием метода Монте-Карло позволит дополнительно уменьшить необходимый объем выборки  $n$ .

#### Список литературы

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1988. — 480 с.
2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. — М.: Физматгиз, 1961. — 480 с.
3. Сырых Н.Н., Кабдин Н.Е. Теоретические основы эксплуатации электрооборудования. — М.: Агробизнесцентр, 2007. — 514 с.
4. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. — М.: Радио, 1968. — 288 с.

УДК 664.854:634.22+664.864.039.5:634.22

*Г.Г. Юсупова, доктор с.-х. наук*

*Р.Х. Юсупов, доктор техн. наук*

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

*Т.А. Толмачева, канд. биол. наук*

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОДУКЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭНЕРГИЕЙ СВЧ-ПОЛЯ

**В** современных условиях производство хлебо-булочных и кондитерских изделий нуждается в использовании высококачественного экологичного сырья, совершенных технологий и оборудования, обеспечивающих максимальную сохранность полезных и питательных веществ, потребительские свойства изделий, повышение сроков их хранения.

Анализ применяемого сырья показал необходимость применения научно обоснованных методов воздействия и подбора дополнительного сырья с целью регулирования свойств, качества и безопасности продуктов питания из растительного сырья [1].

В производстве хлебобулочных и кондитерских изделий в качестве дополнительного сырья используется курага. Как всякое растительное сырье, курага подвержена микробиологическим и физиологическим процессам, вызывающим ее порчу.

Задача сохранения плодов и продуктов их переработки сводится к регулированию жизненных процессов, лежащих в основе появления порчи.

К порче плодов приводят как биологические процессы, протекающие в сырье, так и жизнедеятельность микроорганизмов. Изменяя условия среды, воздействуя на сырье или на микроорганизмы физическими, биологическими и химическими факторами, можно подавить жизнедеятельность возбудителей порчи и сохранить сырье.

В последние годы нашли широкое применение физические методы [2]. К ним относят: термическую обработку, стерилизацию ультразвуком, обработку токами высокой и сверхвысокой частоты, ультрафиолетовым, красным и синим светом, спектрами лазерного и ионизирующего излучений.

Авторами были проведены исследования по обеззараживанию сухих плодов кураги электротермическим воздействием энергии СВЧ-поля.

В процессе исследований осуществлены лабораторные и лабораторно-производственные эксперименты. В результате изучено влияние энергии СВЧ-поля на возбудителей плесени — грибы родов *Penicillium* и *Mucor* и общее микробное число (ОМЧ).

Для оптимизации объема экспериментальных исследований был использован метод активного планирования эксперимента, позволяющий получить уравнение регрессии, связывающее режимы воздействия на плоды сухофрукта и показатели эффективности обеззараживания и качества продукции.

Реакция сапрофитной микрофлоры на воздействие энергией СВЧ-поля изучалась на сухих плодах кураги длительного хранения. Схема опыта включает 11 вариантов, в том числе двух контрольных: промывание сухофруктов стерильной водой, в дальнейшем именуемый — контроль и стандарт по существующей технологии (отваривание плодов в сахарном сиропе), далее именуемый — контроль-стандарт.

Эксперименты проводились в трехкратной повторности. Допустимая численность плесневых грибов сухофруктов составляет 100 КОЕ/1г (СанПиН 2.3.2.1078–2001).

Начальный уровень обсемененности кураги плесневыми грибами рода *Penicillium* определяли по контролю и контролю-стандарту. Зараженность контроля составила  $2,1 \cdot 10^3$  КОЕ/г, в то вре-

мя как зараженность в контроле-стандарте — 10 КОЕ/г.

Полученные при исследовании результаты представлены в табл. 1.

Анализ результатов показал, что эффект полного обеззараживания (варианты № 1, 5–7) плодов кураги происходит при температуре нагрева до 85...100 °С, экспозиции 60...90 с и скорости нагрева 0,4...0,8 °С/с. Органолептические показатели качества в указанных вариантах либо ухудшаются, либо соответствуют контролю.

При максимальных режимах обеззараживания (экспозиция 90 с, скорость нагрева 0,8 °С/с, температура 100 °С), наблюдается полное уничтожение грибной инфекции, но плоды кураги «карамелезуются» и появляется вкус сгоревшей ягоды.

Воздействие минимальными режимами обеззараживания энергией СВЧ-поля (температура нагрева плодов 40 °С, экспозиция 30 с, скорость нагрева 0,4 °С/с) происходит снижение зараженности в два раза. Органолептические показатели соответствуют контролю.

Нагрев плодов кураги до температуры 65...70 °С при экспозиции 30 с и 90 с соответственно приводит к сокращению численности микроорганизмов.

Нагрев плодов кураги от 65 до 70 °С снижает численность микроорганизмов от 2 до 20 раз. При этом вкус становится кисло-сладким, а цвет не из-

Таблица 1

Влияние энергии СВЧ-поля на численность грибов рода *Penicillium* на плодах кураги

Вариант	Режим			Зараженность КОЕ/г; $1 \cdot 10^3$				Органолептический показатель
	Время обработки, с	Скорость нагрева $v$ , °С/с	Нагрев $t$ , °С	I	II	III	Среднее значение	
1	90	0,8	100	0	0	0	0	Окраска потемнела, плоды карамелезовались; вкус сгоревшей ягоды
2	30	0,8	80	1	0	0	0,33	Плоды подгорели; «карамелезовались»; терпкий вкус
3	90	0,4	70	2	2	2	2	Окраска плодов обесцветилась; вкус кисло-сладкий
4	30	0,4	40	11	11	12	11,3	Вкус и цвет плодов соответствуют контролю
5	60	0,8	90	0	0	0	0	Окраска потемнела; плоды «карамелезовались»; вкус медовый
6	60	0,4	70	0	0	0	0	Цвет плодов светлее контроля; вкус свежей ягоды
7	90	0,6	85	0	0	0	0	Цвет плодов соответствует контролю; вкус — кисло-сладкий, переспевшей ягоды
8	30	0,6	65	12	13	11	12	Цвет плодов соответствует контролю; вкус кисло-сладкий, переспевшей ягоды
9	60	0,6	75	1	0	1	0,67	Цвет плодов соответствует контролю; вкус сладкий с привкусом меда
10	Контроль			18	22	25	21,7	Цвет плодов желто-коричневый; вкус сладкий, присущий сушеной кураге
11	Контроль, отвар в сахарном сиропе			0	0	0,3	0,1	Цвет плодов желто-коричневый; вкус очень сладкий, присущий отваренной кураге

меняется. Дальнейшее повышение температуры нагрева плодов до 75...80 °С приводит к снижению численности грибов рода *Penicillium* до безопасных пределов. Необходимо отметить, что в варианте при температуре нагрева плодов кураги 80 °С органолептические показатели ухудшаются (плоды подгорают и имеют терпкий, горьковатый вкус), при температуре нагрева 75 °С цвет плодов соответствует контролю, вкус улучшается, становится сладким с привкусом меда.

Анализ результатов, представленных в табл. 1, показал, что не все варианты обработки энергией СВЧ-поля приемлемы для обеззараживания сухих плодов кураги, так как в некоторых из вариантов вместе с обеззараживанием происходит ухудшение органолептических показателей, что не позволяет дальнейшее применение кураги в пищу. Эффективными режимами обработки плодов кураги методом электротермического воздействия энергией СВЧ-поля являются скорость нагрева 0,6 °С/с, экспозиция 60 с, температура нагрева 75 °С.

По результатам проведенных исследований и данным регрессионного и дисперсионного анализов получено уравнение

$$Y_4 = 1,5 - 1,6x_1 - 4,2x_2 - 1,9x_1^2 + 4,0x_2^2 + 2,2x_1x_2, \quad (1)$$

где  $Y_4$  — рассматриваемая зараженность кураги;  $x_1$  — время нагрева;  $x_2$  — скорость нагрева.

Полученное уравнение позволило рассчитать эффективные режимы обработки сухих плодов кураги. При анализе полученных результатов сделан вывод, что область эффективных режимов находится в пределах: экспозиция 60...90 с; скорость нагрева 0,55...0,8 °С/с. Температура нагрева при соответствующих режимах варьирует от 60 до 85 °С. При скорости нагрева 0,6...0,7 °С/с, экспозиции 30...90 с и температуре нагрева 70...75 °С происходит обеззараживание плодов до пределов ПДК (100 КОЕ/г), в контроле зараженность составляет  $2,1 \cdot 10^3$  КОЕ/г.

Полное обезвреживание грибов рода *Penicillium* наступает при скорости нагрева 0,56...0,62 °С/с, экспозиции 75...90 с и температуре нагрева 75 °С.

Зараженность грибами рода *Mucor* плодов кураги в контроле составила  $1,7 \cdot 10^3$  КОЕ/г, в контроле-стандарте — 0 КОЕ/г (табл. 2). При воздействии энергией СВЧ-поля на плоды кураги полное обеззараживание от плесневых грибов рода *Mucor* происходит при скорости нагрева 0,6...0,8 °С/с с нагревом 75...100 °С и экспозиции 60...90 с.

При максимальных режимах влияния СВЧ-поля (вариант № 1) при скорости нагрева 0,8 °С/с, экспозиции 90 с и температуре нагрева 100 °С происходит полное уничтожение спор данного рода грибов, цвет плодов становится темнее, карамелизуется и появляется вкус сгоревшей ягоды.

Необходимо отметить, что в вариантах при минимальном режиме экспозиции 30 с со скоростью

Таблица 2

Влияние СВЧ-энергии на численность грибов рода *Mucor* на кураге

Вариант	Режим			Зараженность КОЕ/г; $1 \times 10^{-2}$				Органолептический показатель
	Время обработки, с	Скорость нагрева $v$ , °С/с	Нагрев $t$ , °С	I	II	III	Среднее значение	
1	90	0,8	100	0	0	0	0	Окраска потемнела, плоды карамелизовались; вкус сгоревшей ягоды
2	30	0,8	80	0	1	0	0,33	Плоды подгорели; карамелизовались; терпкий вкус
3	90	0,4	70	2	0	0	0,7	Окраска плодов обесцветилась; вкус кисло-сладкий
4	30	0,4	40	20	18	17	18,3	Вкус и цвет плодов соответствуют контролю
5	60	0,8	90	0	0	0	0	Окраска потемнела; плоды карамелизовались; вкус медовый
6	60	0,4	70	3	3	3	3	Цвет светлее контроля, вкус свежей ягоды
7	90	0,6	85	0	0	0	0	Цвет соответствует контролю, вкус кисло-сладкий, переспевшей ягоды
8	30	0,6	65	19	18	18	18,3	Цвет соответствует контролю, вкус кисло-сладкий, перезревшей ягоды
9	60	0,6	75	0	0	0	0	Глянцевый, цвет соответствует контролю, вкус ладкий с привкусом меда
10	Контроль			18	16	19	17,7	Цвет желто-коричневый, вкус сладкий присущий сушеной кураге
11	Контроль, отварен.в сахарном сиропе			0,7	0,7	0,7	0,7	Глянцевый, желто-коричневый, приторно-сладкий

нагрева 0,4...0,6 °C/c и нагреве 40...60 °C происходит стимулирование роста и развития грибной инфекции и зараженность плодов становится выше, чем в контроле и составляет 1830 КОЕ/г. Органолептические показатели кураги остаются на уровне контроля.

В варианте № 7, где принят верхний уровень параметров времени обработки 90 с и средний уровень скорости нагрева 0,6 °C/c при температуре нагрева 85 °C, происходит деконтаминация данного вида инфекции. Вкус становится кисло-сладким, цвет соответствует контролю.

При параметрах с режимами: скорость нагрева 0,4 °C/c, экспозиция 60 с, температура 70 °C (вариант 6) под воздействием СВЧ-энергии происходит обеззараживание грибов рода *Mucor* до  $3 \cdot 10^2$  КОЕ/г, число колоний уменьшается по сравнению с контролем в среднем в 6 раз.

При режимах с максимальной скоростью нагрева 0,8 °C/c, температурой нагрева 80...90 °C и экспозицией 30...60 с происходит деконтаминация плодов кураги.

В варианте с параметрами: скорость нагрева 0,6 °C/c, время обработки 60 с, температура нагрева 75 °C происходит полное уничтожение данной инфекции, органолептические показатели и потребительские свойства плодов кураги улучшаются по сравнению с контролем.

Полученные результаты по деконтаминации плодов кураги от плесневых грибов рода *Mucor* показывают, что наиболее эффективными являются параметры: экспозиция 60 с, скорость нагрева 0,6 °C/c при нагреве 75 °C. По результатам опыта было получено уравнение регрессии:

$$Y_5 = 2,6 - 3,5x_1 - 6,2x_2 - 2,4x_1^2 + 5,3x_2^2 + 4,3x_1x_2, \quad (2)$$

где  $Y_5$  — зараженность кураги возбудителем рода *Mucor*.

Анализ уравнения (2) показывает, что под влиянием энергии СВЧ-поля процесс обезвреживания грибами рода *Mucor* происходит при минимальных режимах воздействия. При максимальной экспозиции происходит интенсивное обезвреживание. При экспозиции 90 с и скорости нагрева 0,48 °C/c наблюдается полное их уничтожение.

При экспозиции 30...75 с происходит снижение до предельно допустимых концентраций, либо полное уничтожение грибов рода *Mucor*.

Обеззараживающими являются режимы: скорость нагрева 0,6 °C/c, экспозиция 60 с, температура нагрева 80 °C.

Из результатов экспериментов, отраженных на графике (рис. 2), следует, что с увеличением времени обработки и скорости нагрева происходит постепенное снижение зараженности плодов кураги грибами рода *Mucor*.

На плодах кураги установлено общее микробное заражение.

В контроле зараженность плодов составила  $4,8 \cdot 10^2$  КОЕ/г, в контроле-стандарте —  $1,3 \cdot 10^2$  КОЕ/г.

В результате анализа полученных экспериментальных данных установлено снижение показателя ОМЧ (общее микробное число). Общее микробное заражение на плодах кураги снижается при возрастании значений режимных параметров. Полное снижение показателя ОМЧ наблюдается в режи-

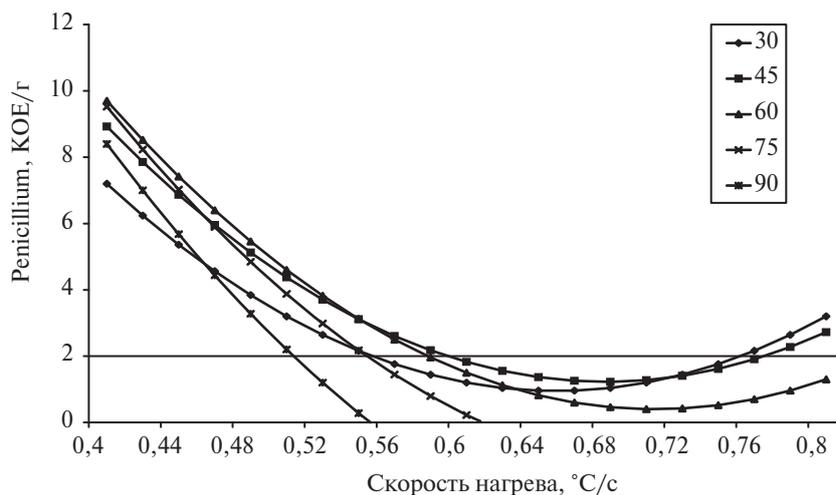


Рис. 1. Влияние энергии СВЧ-поля на грибы рода *Penicillium* на плодах кураги

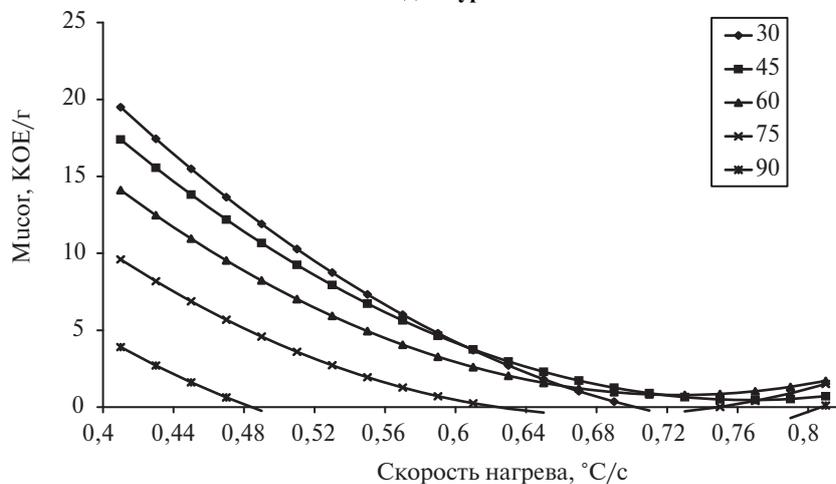


Рис. 2. Влияние энергии СВЧ-поля на грибы рода *Mucor* на плодах кураги

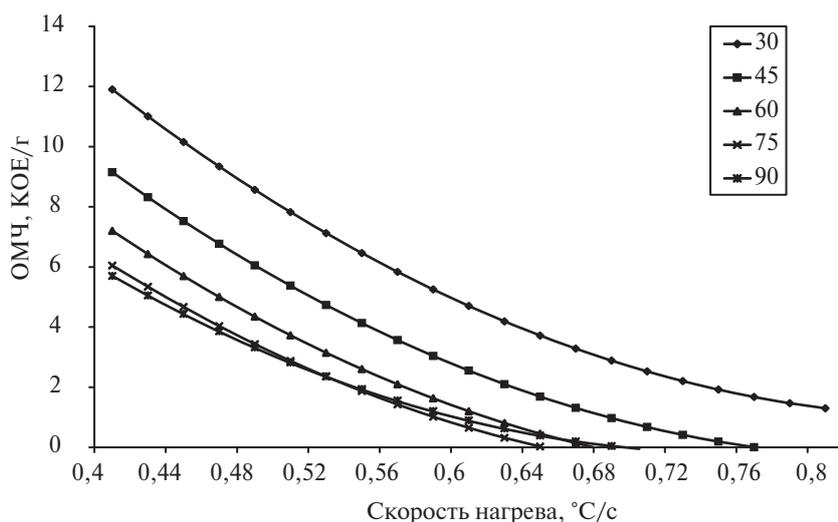


Рис. 3. Влияние энергии СВЧ-поля на общее микробное заражение плодов кураги

мах с параметрами: экспозиция 60...90 с, скорость нагрева 0,8 °C/c, температура 90...100 °C. При этом снижаются органолептические показатели. Плоды темнеют, карамелезуются, приобретают привкус сгоревшей ягоды.

Снижение зараженности показателей ОМЧ наблюдается во всех вариантах. При минимальных режимах экспозиции 30 с скорости нагрева 0,4 °C/c и температуре нагрева 40 °C/c происходит снижение до  $4,7 \cdot 10^3$  КОЕ/г, что ниже контроля. Органолептические показатели остаются на уровне контроля.

При параметрах с режимами: экспозиция 60...90 с, скорость нагрева 0,6 °C/c, температура нагрева 75...85 °C наблюдается снижение показателя ОМЧ до 100 КОЕ/г (варианты № 7, 9).

Но при температуре нагрева 85 °C органолептические показатели практически остаются на уровне контроля. При температуре нагрева 75 °C цвет плодов кураги остается на уровне контроля, вкус улучшается, плоды становятся сладкими, с привкусом меда.

Проанализировав табличные данные, следует, что оптимальными режимами, снижающими ОМЧ до предельно допустимых норм, являются экспозиция 60 с, скорость нагрева 0,6 °C/c и разогрев 75 °C.

Для определения корреляционных зависимостей между выходными параметрами и исследуемыми факторами по результатам исследований и применения матрицы получено адекватное уравнение регрессии:

$$Y_6 = 11x_1^2 - 4,3 - 10x_1 - 7,8x_2 + 10,3x_2^2 + 5x_1x_2, \quad (3)$$

где  $Y_6$  — общая микробная зараженность.

Из анализа уравнения (3) следует, что полное уничтожение микроорганизмов (ОМЧ) на плодах кураги происходит при скорости нагрева 0,8 °C/c, экспозиции 60...90 с.

Обезвреживание бактерий до норм предельной концентрации 100 КОЕ/г происходит в диапазоне обработки времени от 60...90 с, скорости нагрева 0,6 °C/c.

При минимальных уровнях обработки: скорости нагрева 0,4 °C/c, экспозиции 30 с, температуре нагрева 40 °C обеззараживание происходит частично и равно  $1,1 \cdot 10^2$  КОЕ/г, что превышает предельно допустимые концентрации в четыре раза.

Обработка плодов кураги при параметрах скорости нагрева от 0,4, до 0,6 °C/c с увеличением экспозиции снижает численность микроорганизмов, но при этом полного обеззараживания не происходит.

Обработка в диапазоне времени 84...90 с при тех же значениях скорости нагрева существенно снижает зараженность плодов кураги микроорганизмами, но при этом показатель ОМЧ превышает нормы предельно допустимой концентрации микроорганизмов в 2–3 раза. Из всего следует, что указанные уровни обработки не эффективны, поскольку общее микробное число не снижается.

Обработка плодов кураги при скорости нагрева 0,7...0,8 °C/c и экспозиции 44...55 с сводит общую зараженность микроорганизмами к нулю. Указанные режимы являются эффективными для снижения численности различных групп микроорганизмов и повышения качества сухих плодов кураги, поэтому могут быть рекомендованы в производство.

Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность обработки энергией СВЧ-поля, повышая при этом качество и микробиологическую безопасность сырья для хлебобулочных изделий.

### Список литературы

1. Юсупова Г.Г., Косован А.П., Юсупов Р.Х. Микробиологический контроль пищевых продуктов из зерна. — М.: ОАО «Московская типография № 2», 2010. — 422 с.
2. Юсупов Р.Х., Толмачёва Т.А., Юсупова Г.Г. Сырье для хлебопекарного и кондитерского производств и методы его улучшения. — Челябинск: Челяб. ин-т (ф-л) ГОУ ВПО «РГТЭУ», 2004. — 156 с.