

УДК 664.724

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИОНОКАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО
ХРАНЕНИЯ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ АЗОТА**

**МАЙЛЫ ДАҚЫЛДАРДЫ АЗОТТЫҢ ГАЗДЫ ОРТАСЫНДА ТҮРАҚТЫ САҚТАУ ҮШІН
ИОНОКАВИТАЦИЯЛЫҚ ӨНДЕУДІҢ ТИІМДІЛІГІ**

**EFFICIENCY OF ION-CAVITATION PROCESSING FOR SUSTAINABLE STORAGE OF
OIL-CROPS IN THE GAS NITROGEN ENVIRONMENT**

*А.И. ИЗТАЕВ, М.Ж. КИЗАТОВА, М.А. ЯКИЯЕВА, М.М. МАЕМЕРОВ,
А.И. ИЗТАЕВ, М.Ж. КИЗАТОВА, М.А. ЯКИЯЕВА, М.М. МАЕМЕРОВ,
A.I. IZTAYEV, M.Zh. KIZATOVA, M.A. YAKIYAYEVA, M.M. MAYEMEROV*

(Алматинский технологический университет)

(Алматы технологиялық университеті)

(Almaty Technological University)

E-mail: auelbekking@mail.ru, yamadina88@mail.ru

В статье исследована эффективность ионокавитационной обработки при длительном хранении масличных культур в газовой среде азота. Также разработаны математические

модели эффективности ионокавитационной обработки. В результате исследования было доказано, что ионокавитационная обработка масличных культур рапса сорта «Липецкий» благоприятно воздействует на улучшение всхожести семян. После ионокавитационной обработки физико-биохимические свойства более стабилизируются, интенсивность дыхания колеблется в одном диапазоне, также снижается процесс образования плесени. Все эти изменения приводят к устойчивому состоянию хранения.

Майлы дақылдарды азотты ортада ұзақ мерзімді сақтау кезіндегі ионокавитациялы өңдеудің тиімділігі зерттелді, сондай-ақ ионокавитациялы өңдеудің тиімділігінің математикалық моделдері өңделді. Зерттеу нәтижесінде, майлы дақыл рапстың «Липецкий» атты сұрыпын ионокавитациялы өңдеу тұқымдардың өнгіштігін жетілдіруге оң ықпал ететіндігі дәлелденді. Ионокавитациялы өңдеуден соң тұқымдардың физика-биохимиялық қасиеті біршама тұрақталады, өз кезегінде тыныс алу қарқындылығы бір диапазонда тербеледі, сондай-ақ көгергіштіктің түзілу үрдісі төмендейді. Бұл өзгерістердің барлығы сақтау тұрақты күйде болатындығына алып келеді.

This paper studies the efficiency of ion-cavitation treatment for long-term storage of oil-bearing crops in a gas environment of nitrogen, and mathematical models of the efficiency of ion-cavitation treatment have been developed. As a result of the study, it was proved that the ion-cavitation treatment of the seeds of varieties of oilseed rape cultivars of the "Lipetsky" variety favorably improves seed germination. After ion-cavitation treatment, the physico-biochemical properties are more stabilized, which in turn, the intensity of breathing fluctuates in one range, and the process of mold formation also decreases. All this change leads to a stable state of storage.

Ключевые слова: рапс, ион, кавитация, азот, хранение, обработка, математическая модель.

Негізгі сөздер: рапс, ион, кавитация, азот, сақтау, өңдеу, математикалық моделі.

Key words: canola, ion, cavitation, storage, nitrogen, treatment, mathematical model.

Введение

Основы современной технологии хранения зерна базируются на результатах исследований ученых, в работах которых зерновая масса является биологической системой, реагирующей на изменения параметров окружающей среды путем изменения своих физико-химических, биохимических свойств и микробиологических процессов.

Интенсивность всех протекающих процессов в зерновой массе зависит в основном от одних и тех же факторов: влажности, температуры зерна и окружающей среды, доступа воздуха.

Хранение зерновой массы в регулируемой газовой среде угнетает развитие микрофлоры, снижает интенсивность дыхательного газообмена, продлевает срок хранения.

Развитие грибов *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium* сопровождается расщеплением крахмала, с образованием моносахаридов, которые в дальнейшем поглощаются грибами. Во время хранения зерна происходит значительная потеря витаминов. Грибы, принадлежащие внутренней микрофлоре, находясь в зерновке при

низкой влажности, не проявляют своей жизнедеятельности /1/.

Оценка технологических и пищевых достоинств зернобобовых культур, а также обеспечение безопасности продукции, сохранности при длительном хранении напрямую зависят от качества своевременной оздоровительной обработки.

Оборудование, улучшающее состояние хранящегося зерна, обеспечивает решение вопросов высокоэффективного хранения и требует лечебной обработки. И в связи с этим перед предприятиями по заготовке и первичной обработке масличных и зернобобовых культур остро становится вопрос разработки и применения принципиально новых инновационных технологий хранения и оснащения обработки новым поколением техники. Особенно это относится к зерновым регионам Казахстана, где ожидается значительное расширение посевов масличных и зернобобовых культур, присущ неблагоприятный, резко-континентальный климат, усложняющий задачу по обеспечению эффективной обработки и сохранности собранного урожая /2-4/.

В лабораториях Алматинского технологического университета впервые была проведена ионокавитационная обработка образцов масличной культуры рапса сорта «Липецкий», которые хранились в газовой среде азота, с целью повышения сохранности; исследованы изменения показателей, влияющие на сохранность семян.

Объекты и методы исследования

Установлено влияние отдельных факторов на процессы хранения масличных культур рапса сорта «Липецкий». Экспериментальные исследования были проведены в соответствии с планом полнофакторных экспериментов при комнатной температуре 18-23°C. Физико-биохимические, физиологические и микробиологические показатели определены согласно установленным методикам: ГОСТ 10583-76 «Рапс для промышленной переработки», ГОСТ 10857-64 «Семена масличные. Метод определения масличности», ГОСТ Р 51410-99 «Семена масличные. Определение кислотности масел», ГОСТ 13586.5 «Метод определения влажности», ГОСТ 10856-96 «Семена масличные. Ме-

тод определения влажности», ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Для определения влажности и натуры зерна использовался прибор «Анализатор АМ-5200» (Perten Instruments, Швеция). Интенсивность дыхания измеряли газоанализатором диоксида углерода ПКУ-4.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные исследования были проведены в соответствии с планом полнофакторных экспериментов. Эксперимент проводился при нормальных условиях хранения (при комнатной температуре 18-23°C). Были исследованы физико-биохимические (влажность, натура, кислотное число), физиологические (всхожесть, интенсивность дыхания) и микробиологические показатели (плесень и дрожжи), влияющие на процессы хранения масличных культур. Для сравнения образцы рапса со влажностью ≤8% и ≥12% были обработаны чистым азотом. Результаты исследования исходных и обработанных образцов показаны в таблицах 1 и 2 (сокращения в таблицах: н/о – не обнаружено, с/р – сплошной рост).

Таблица 1 – Результаты экспериментов контрольных образцов рапса «Липецкий», обработанного с чистым азотом

Образцы	Показатели функции								
	Всхожесть, %	Дыхание CO ₂ , об.%	Интенсивность дыхания мг CO ₂ на 100 г сухого вещества за 24 часа	Влажность до обработки, %	Натура, г/л	Жир, %	Кислотное число, мг КОН/г	Плесень, КОЕ/г	Дрожжи, КОЕ/г
	у ₁	у ₂	у ₃	у ₄	у ₅	у ₆	у ₇	у ₈	у ₉
рапс «Липецкий», влажность ≤8% без обработки	97	0,03	16,69	7,69	647	36,76	2,81	н/о	с/р
рапс «Липецкий», влажность ≥12% без обработки	71	0,73	23,46	13,35	642	34,88	3,63	н/о	с/р

Нами были определены исходные показатели семенных, физико-биологических и физиологических свойств исследуемых контрольных образцов рапса сорта «Липецкий» с влажностью до 8% и выше 12%.

Из данных таблицы 1 следует, что всхожесть сухого зерна рапса составляет 97%, а сырого 71%. При этом интенсивность дыхания сырого образца более чем в 1,4 раза выше по сравнению с сухим зерном.

Натура с увеличением влажности уменьшается до 5,0 г/л, жир на 1,88%, кислотность

повышается на 0,82 градуса, по микробиологическим показателям – плесень не обнаружена.

Для установления математической взаимосвязи исследуемых показателей семенных, физико-биохимических, физиологических и микробиологических показателей с влияющими режимными факторами ионоозонной кавитационной обработки были проведены полнофакторные эксперименты 2⁵, и результаты исследования по 32-опытам представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты полнофакторных экспериментов 2⁵ после ионной кавитационной обработки в присутствии азота рапса «Липецкий».

№ опы-та	Факторы (x _i)					Изменения показателей после обработки								
	Кон-центрация ионов, ед./см ³	Избыточное давление (кавитация), атм	Приблизительная влажность образцов в до-обработке, %	Время обработки, мин	Время закладки на хранение с азотом чистотой 99,999%	Всхо-жесть, %	Дыхание СО ₂ , об.%	Интенсивность дыхания мг СО ₂ на 100 г сухого вещества за 24 часа	Фактическая влажность после обработки, %	Натура , г/л	Жир, %	Кислотное число, мг КОН/г	Плесень , КОЕ /г	Дрож-жи, КОЕ/г
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈	y ₉
1	60000	4,0	12,0	20	15	72	0,17	16,69	12,80	651	34,44	2,62	н/о	23
2	500	4,0	12,0	20	15	64	0,08	23,46	12,65	654	33,86	2,00	н/о	28
3	60000	4,0	8,0	20	15	100	0,03	17,34	7,99	660	36,35	2,00	н/о	8
4	500	4,0	8,0	20	15	100	0,03	12,59	8,06	662	36,42	2,00	с/р	10
5	60000	4,0	12,0	10	15	74	0,29	10,46	12,83	653	34,70	2,03	н/о	32
6	500	4,0	12,0	10	15	70	0,17	12,66	12,73	654	34,05	2,18	н/о	25
7	60000	4,0	8,0	10	15	100	0,03	24,39	8,02	658	37,11	1,96	н/о	27
8	500	4,0	8,0	10	15	100	0,03	18,57	7,99	660	37,30	2,08	с/р	19
9	60000	1,0	12,0	20	15	78	0,31	16,81	12,74	655	33,88	2,01	н/о	36
10	500	1,0	12,0	20	15	71	0,23	18,04	12,68	654	34,16	2,08	н/о	33
11	60000	1,0	8,0	20	15	100	0,03	12,56	8,01	660	37,27	2,00	н/о	19
12	500	1,0	8,0	20	15	98	0,03	10,84	7,99	660	37,08	2,03	н/о	17
13	60000	1,0	12,0	10	15	73	0,36	20,99	12,72	653	33,92	2,28	н/о	30
14	500	1,0	12,0	10	15	74	0,33	18,16	12,72	655	34,34	2,56	н/о	39
15	60000	1,0	8,0	10	15	100	0,03	10,12	8,05	662	36,32	2,07	н/о	14
16	500	1,0	8,0	10	15	97	0,03	11,16	7,95	660	37,03	2,16	с/р	22
17	60000	4,0	12,0	20	5	72	0,21	14,18	12,59	655	34,07	2,29	н/о	17
18	500	4,0	12,0	20	5	64	0,60	22,81	12,89	647	34,04	2,83	н/о	23
19	60000	4,0	8,0	20	5	100	0,03	19,87	8,12	655	36,81	2,34	н/о	81
20	500	4,0	8,0	20	5	100	0,03	11,19	8,04	657	36,68	2,42	н/о	с/р

21	60000	4,0	12,0	10	5	74	1,05	12,66	13,13	648	34,66	2,81	н/о	35
22	500	4,0	13,0	10	5	70	0,60	12,41	12,79	653	33,82	2,70	н/о	29
23	60000	4,0	8,0	10	5	100	0,04	24,89	8,06	658	37,01	2,54	н/о	25
24	500	4,0	8,0	10	5	100	0,03	19,08	8,03	660	37,09	2,58	н/о	19
25	60000	1,0	12,0	20	5	78	0,37	16,43	12,65	654	33,79	2,03	н/о	37
26	500	1,0	12,0	20	5	71	0,34	17,76	12,64	654	34,09	2,08	н/о	39
27	60000	1,0	8,0	20	5	100	0,03	12,21	8,03	661	37,14	2,00	н/о	16
28	500	1,0	8,0	20	5	98	0,03	10,88	7,97	660	37,17	1,97	н/о	15
29	60000	1,0	12,0	10	5	73	1,10	22,93	13,82	641	33,99	2,59	с/р	31
30	500	1,0	12,0	10	5	74	0,86	19,45	12,96	649	34,05	2,83	н/о	38
31	60000	1,0	8,0	10	5	100	0,03	10,88	8,03	661	36,81	2,14	н/о	14
32	500	1,0	8,0	10	5	97	0,02	11,01	8,10	658	37,00	2,27	с/р	19

Из данных таблицы 2 видно, что состояние зерна по влажности в основном влияет на показатели всхожести, интенсивности дыхания, натуре, жира, кислотного числа и по микробиологическим показателям на рост плесени и дрожжей. В образцах №4, №8, №16, №29 и №32 обнаружен сплошной рост плесени, а в образце №20 наблюдается сплошной рост дрожжей. Но в целом наблюдаются лучшие результаты по сравнению с контрольными образцами, обработанные чистым азотом. Снижается кислотное число жира, интенсивность дыхания и образование дрожжей, все это способствует длительному хранению масличных культур.

Были обработаны результаты математического моделирования и определены режимы ионной технологии с перепадом избыточного давления для рапса сорта «Липецкий». Результаты исследования приведены в таблице 3.

Обработка данных и расчеты проводились с использованием разработанных в Одесской национальной академии пищевых технологий алгоритма и программы последовательного регрессионного анализа PLAN [5].

Расчеты коэффициентов регрессии проведены по матрицам в натуральной размерности и, соответственно, сами уравнения получены тоже в натуральной размерности.

Общий вид уравнений для полученных регрессионных уравнений следующий:

– для 4-х факторов:

$$y = b_0 + b_1C + b_2P + b_3w + b_4\tau + b_{12}C \cdot P + b_{13}C \cdot w + b_{14}C \cdot \tau + b_{23}P \cdot w + b_{24}P \cdot \tau + b_{34}w \cdot \tau;$$

– для 5-и факторов:

$$y = b_0 + b_1C + b_2P + b_3w + b_4\tau + b_5\tau_2 + b_{12}C \cdot P + b_{13}C \cdot w + b_{14}C \cdot \tau + b_{15}C \cdot \tau_2 + b_{23}P \cdot w + b_{24}P \cdot \tau + b_{25}P \cdot \tau_2 + b_{34}w \cdot \tau + b_{35}w \cdot \tau_2 + b_{45}\tau \cdot \tau_2;$$

Обозначения переменных в этих уравнениях приняты следующие:

b_1, b_2, \dots, b_5 – линейные коэффициенты;

y – показатель качества обработанного зерна;

C – соотношение концентрации ионов (ед./см³) к концентрации озона (г/см³), ед/г;

P – избыточное давление (кавитация), атм;

w – влажность до обработки, %;

τ – время обработки, мин.

Таблица 3– Результаты полнофакторных экспериментов 2⁵ после ионоазотной кавитационной обработки рапса «Липецкий»

№	Показатели качества	Значение функции		Статистические показатели								
		min	max	Критерий Стьюдента	Дисперсия ошибки опыта и неадекватности		Среднее квадр. отклонение		Число степени свободы		Критерий Фишера	
					t _{кр.}	s _{2y}	s _{2ag}	s _y	s _{ag}	Ns _{2y}	Ns _{2ag}	F _p
1	Всхожесть, %	72.00	99.38	4.304	3.61	8.26	1.90	2.87	2	30	2.29	19.46
2	Дыхание, об. %	0.08	0.97	4.304	0.0001	0.015	0.011	0.12	2	19	120.27	19.44
3	Интенсивность дыхания, мг СО ₂ на 100 г с.в. за 24 часа	8.09	21.56	4.304	0.56	10.84	0.75	3.29	2	25	19.27	19.45
4	Фактическая влажность после обработки, %	7.93	12.89	4.304	0.053	0.050	0.23	0.22	2	31	1.06	3.32
5	Натура, г/л	655.69	655.69	4.304	75.69	23.83	8.70	4.88	2	31	3.18	3.32
6	Жир, %	34.12	36.91	4.304	0.27	0.09	0.52	0.30	2	30	3.01	3.32
7	Кислотное число, мг КОН/г	1.86	2.68	4.304	0.008	0.028	0.09	0.17	2	27	3.50	19.46

При ионоазотной кавитационной обработке наиболее вероятное значение колебаний \min и \max показателей семенных, физико-биохимических и физиологических свойств семян рапса сорта «Липецкий» не подвергались существенным изменениям в процессе хранения.

На основе сопоставленных данных таблицы 3 видно, что установление способа и режимов обработки, обеспечивающих сохранность при длительном хранении требуют проведения глубокого научного анализа.

Для установления технологических оптимальных значений режимов обработки, составлены математические модели линейного программирования. При этом обоснованы и выбраны целевая функция и уравнения ограничений, описывающие условия стабилизации сохранности семян масличных культур при хранении; установлен вид способа технологической обработки. Так, для масличных культур рекомендуется ионоазотная кавитационная обработка. Подготовлены математические модели следующей структуры, определяющие оптимальные условия обработки, обеспечивающие количественно-качественную сохранность при хранении рапса «Липецкий». В качестве целевой функции принимается показатель – интенсивность дыхания, содержание которого должно быть ближе к минимуму, а функциями ограничения приняты следующие показатели: всхожесть – y_1 ($\min=80$, $\max=100$), дыхание – y_2 ($\min=0$, $\max=1,10$), влажность – y_4 ($\min=3$, $\max=13$), кислотное число жира – y_7 ($\min=0,5$, $\max=3$).

Заключение

Научное обоснование режимных параметров хранения сортов семян рапса при ионокавитационной подготовке семян к хранению и дальнейшее хранение в азотной среде показали следующие результаты:

– состояние сортов семян рапса после обработки ионокавитационными потоками и хранения в азотной среде осталось стабильным

по диапазонам изменения показателей: влажности от 8,03-13,37%, интенсивности дыхания по некоторым образцам на 3,0-5,5% даже снижены, а кислотное число также уменьшено, что дает лучшую стабильность при хранении в азотной среде;

– семенные свойства сортов семян рапса сохраняются и в процессе хранения улучшаются и переходят в класс лучшей группы семенной партии, и в течение хранения не наблюдалось образование плесени, т.е. микробиологические процессы находятся в состоянии покоя.

– по результатам полнофакторных экспериментов 2^5 обработки рапса «Липецкий» были разработаны математические модели, описывающие эффективность технологии ионоазотной обработки для масличных культур.

В результате исследования было доказано, что ионокавитационная обработка и хранение в азотной среде обеспечивают более длительное хранение масличных культур по сравнению с контрольными образцами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джанкуразов Б.О., Изтаев А.И. Обработка и хранение растениеводческой продукции. Алматы: Алейрон, 2006. – 160 с.
2. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна. – М.: Агропромиздат, 1991. – 608 с.
3. Нечаев А.П., Шуб И.С., Аношина О.М. и др. Технология пищевых производств. Под ред. Нечаева А.П. – М.: КолосС, 2008 – 768 с.
4. Маемеров М.М. Исследование воздействия компонентов ионоозонной технологии по очистки воздушного бассейна зернохранилища. // Известия Кыргызского Государственного технического университета им. И. Раззакова. Бишкек. 2008. -№13. – С. 117-120.
5. Остапчук Н.В., Каминский В.Д., Станкевич Г.Н., Чучуй В.П. Математическое моделирование процессов пищевых производств: Сб. задач: Учеб. пособие / Под ред. Н. В.Остапчука. – К.: Вища шк., 1992. – 175 с.