

подтвердили, что общепринятые показатели качества готового сухого продукта, высушенного разными (выше представленными) способами вполне сопоставимы для обезвоживания в вакууме. Органолептическая оценка показала преимущество способами вакуумного обезвоживания по сравнению с конвективной сушкой.

Заключение. На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что сокращается не только продолжительность обезвоживания при получении конечного продукта способом НВС (по качественным показателям схожего с продуктом после ВСС), но и существенно сокращаются энергетические и производственные затраты на производство готовой продукции. Таким образом, можно рекомендовать низкотемпературно вакуумную сушку как качественный, но менее затратный по сравнению с сублимационной сушкой способ обезвоживания для промышленного применения.

Библиографический список

1. Морковь и тыква мускатная на снеки / П. Д. Осмоловский, А. В. Корнев, Н. Н. Воробьева [и др.] // Картофель и овощи. – 2019. – № 6. – С. 16-17. – DOI 10.25630/PAV.2019.43.73.004.

2. Разработка технологии производства натуральных фруктовых чипсов с витаминно-минеральными добавками / А. С. Смагулова, Ф. Х. Смольникова, Б. К. Асенова [и др.] // Качество продукции, технологий и образования : Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 30 апреля 2019 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2019. – С. 58-60.

УДК 577.127.4; 542.06

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСТРАКЦИИ ПОЛИФЕНОЛОВ ИЗ SALVIA OFFICINALIS

Голубев Алексей Алексеевич, аспирант кафедры Управления качеством и товароведения продукции, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, e-mail: alex.golubev@rgau-msha.ru

Аннотация: Соклет-экстракция шалфея лекарственного была оптимизирована для максимального выхода полифенолов. Квадратичная модель на основе схемы Бокса-Бенкена определила оптимальные условия: 73,7% концентрация этанола, продолжительность 3,7 часа и размер частиц 0,4 мм².

Ключевые слова: Полифенолы, Антиоксиданты, Оптимизация экстракции, Яснотковые, Шалфей лекарственный.

Введение. *Salvia officinalis* (шалфей лекарственный) является ценным источником биологически активных соединений, включая полифенолы, которые обладают значительными антиоксидантными свойствами [1, 3]. Однако по сравнению с другими представителями семейства яснотковых общее содержание полифенолов в *S. officinalis* относительно невысоко [4]. Это подчеркивает актуальность задачи оптимизации условий экстракции для повышения выхода фенольных соединений [2, 5].

Материалы и методы.

1.1. Растительное сырьё

Побеги были собраны на стадии их массового цветения на втором году жизни. Растительное сырьё было высушено при температуре 40°C и без воздействия солнечного света до содержания влаги 8-10%. После процесса сушки сырьё было вручную измельчено для удаления крупных стеблей.

1.2. Общее содержание полифенольных соединений

Для определения общего содержания полифенолов (ОСП) использовался метод Фолина-Чокальтеу [2]. Значение ОСП было выражено в миллиграммах эквивалентного галловой кислоты на грамм сухого веса (мг ГА₃/г_{св}),

1.3. Дизайн эксперимента

Исследование влияния технологических параметров на выход полифенолов проведено с использованием методики поверхностного отклика (RSM). Принята трехуровневая схема Бокса-Бенкена с тремя независимыми переменными: концентрацией этанола, временем экстракции и размером частиц растительного сырья. Проведено 15 экстракций с различными комбинациями уровней факторов.

1.4. Статистический анализ

Квадратичная математическая модель была разработана с использованием множественного регрессионного анализа. Значимые коэффициенты уравнения регрессии определялись с помощью дисперсионного анализа (ANOVA). Точность модели оценивалась посредством анализа несоответствия, теста Фишера и коэффициента детерминации.

Результаты и обсуждения. Для оценки влияния концентрации этанола, времени экстракции и размера частиц растительного сырья на содержание полифенолов в экстракте *S. officinalis* был использован дизайн Бокса-Бенкена (таблица 1).

Таблица 1

Факторный план Бокса-Бенкена экстракции *S. officinalis*

Coded			Uncoded			TPC
X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	mgGAE/g _{dw}
0	0	0	60	3	1,0	55,67
-1	1	0	30	4	1,0	38,87
0	-1	1	60	2	1,5	33,06
1	0	-1	90	3	0,5	55,71
0	1	1	60	4	1,5	54,39
1	-1	0	90	2	1,0	46,37
0	-1	-1	60	2	0,5	45,85

-1	-1	0	30	2	1,0	28,64
1	1	0	90	4	1,0	52,71
0	0	0	60	3	1,0	56,11
-1	0	1	30	3	1,5	32,82
0	0	0	60	3	1,0	54,37
0	1	-1	60	4	0,5	62,3
-1	0	-1	30	3	0,5	39,42
1	0	1	90	3	1,5	50,65

Влияние независимых переменных на выход полифенолов было изучено на с помощью анализа откликов. Уравнение регрессии (1) включало только статистически значимые факторы ($p < 0,05$). Результаты анализа приведены в таблице 2. Модель характеризовалась высоким коэффициентом детерминации (0,94) и высоким скорректированным коэффициентом детерминации (0,91). Результаты F-теста ($p < 0,05$) подтвердили высокую прогностическую способность модели.

$$TPC = -51,32 + 1,45x_1 + 34,4x_2 - 8,09x_3 - 0,01x_1^2 - 4,61x_2^2 \quad (1)$$

Таблица 2

Дисперсионный анализ итоговой модели

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr(>F)
<i>First order</i>	3	1039,53	346,51	34,989	6,012e-05*
<i>Second order</i>	3	361,72	120,57	8,7500	0,019629*
<i>Residuals</i>	8	79,23	9,90		
<i>Lack of fit</i>	6	77,59	12,93	15,799	0,0607 ^{NS}
<i>Pure error</i>	2	1,64	0,82		
<i>Multiple R-squared</i>	0,9465				
<i>Adjusted R-squared</i>	0,9063				
	Df		p-value		
<i>F-statistic</i>	9; 5	23,58	0,0001127*		

*статистически значимо ($p < 0,05$); NS – не значимо

Концентрация этанола положительно влияет выход фенольных соединений, однако значительный отрицательный квадратичный эффект указывает на снижение эффективности при концентрациях выше 75%. Время экстракции также влияет на выход полифенолов, демонстрируя положительные линейные и отрицательные квадратичные эффекты. Кроме того, наблюдается умеренное отрицательное влияние размера частиц сырья. Процесс экстракции шалфея был успешно оптимизирован с использованием уравнения регрессии. Оптимальные условия для концентрации этанола, времени экстракции и размера частиц составляют 73,69%, 3,71 часа и 0,4 мм² соответственно.

Заключение. Методы экстракции были оптимизированы для максимального выхода полифенолов, учитывая такие факторы, как концентрация этанола, время экстракции и размер частиц шалфея лекарственного. Для описания и оптимизации процедуры экстракции была разработана квадратичная математическая модель на основе плана Бокса-

Бенкена. Оптимальные условия для экстракции: концентрация этанола 73,69%, продолжительность 3,71 часа и размер частиц растительного сырья 0,4 мм².

Библиографический список

1. Brglez Mojzer E. [и др.]. Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects // *Molecules* 2016, Vol. 21, Page 901. 2016. № 7 (21). С. 901.
2. Irakli M. [и др.]. Modeling and Optimization of Phenolic Compounds from Sage (*Salvia fruticosa* L.) Post-Distillation Residues: Ultrasound- versus Microwave-Assisted Extraction // *Antioxidants*. 2023. № 3 (12). С. 549.
3. Jovanović A. [и др.]. Polyphenols extraction from plant sources // *Lekovite sirovine*. 2017. № 37 (37). С. 45–49.
4. Malankina E. L., Tkacheva E. N., Kozlovskaya L. N. MEDICINAL PLANTS OF THE LAMIACEAE FAMILY AS FLAVONOIDS SOURCES // *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2018. № 1 (21).
5. Nutrizio M. [и др.]. Valorization of sage extracts (*Salvia officinalis* L.) obtained by high voltage electrical discharges: Process control and antioxidant properties // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. (60). С. 102284.

УДК 664.3.033

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МАЙОНЕЗНОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Демичев Владимир Васильевич, аспирант кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», dem4ev.volodymyr@yandex.ru

Клюшниковка Екатерина Олеговна, магистр кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева www.klyushnikova@mail.ru

Научный руководитель: Андреев Владимир Николаевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, v.andreev@rgau-msha.ru

Аннотация: В статье рассмотрена линия производства майонезной продукции компании «Русагро», проведен системный анализ линии с помощью программы для ЭВМ, выявлено «узкое место» линии.

Ключевые слова: системный анализ, линия производства майонеза, узкое место, программа для ЭВМ, априорное ранжирование факторов.

Майонез представляет собой эмульсию типа «вода в масле». По