

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРА, ЗАГОТОВКИ ТРАВЫ *LINUM PALLESCENS* И *LINUM HETEROSEPALUM*

А.Б. ОМАРХАН *, Г.Т. ЖУМАШОВА , З.Б. САКИПОВА , М.Б. ИБРАЕВА ,
Д.Б. НҰРАХМЕТОВА 

(Казахский Национальный Медицинский Университет имени С.Д. Асфендиярова, Республика Казахстан,
050012, г. Алматы, ул. Толе би 94)

Электронная почта автора-корреспондента: omarkhan.aktoty@mail.ru

*Разработка оптимальной технологии сбора и заготовки травы льна бледноцветного (*Linum pallescens* Bunge.) и льна разночашелистикового (*Linum heterosepalum* Regel.) направлена на обеспечение сохранности биологической активности, качества сырья, высокой технологической эффективности и экологической устойчивости процессов. Внедрение концепции «Quality by Design» (QbD) в разработку технологических процессов позволяет системно учитывать риски, влияющие на критические показатели качества и формировать условия для их оптимизации. Целью настоящего исследования является разработка оптимальной технологии сбора и заготовки травы льна бледноцветного и льна разночашелистикового для обеспечения качества сырья с применением концепции QbD. Образцы растений были идентифицированы сотрудниками РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции». В рамках концепции QbD для создания пространства проектирования (Design Space) процесса сушки и заготовки растительного сырья льна бледноцветного и льна разночашелистикового проведена статистический анализ с использованием программного обеспечения Minitab. Интеграция концепции QbD в процесс разработки технологии сбора и заготовки растительного сырья льна бледноцветного и льна разночашелистикового продемонстрировала высокую эффективность. Результаты исследования подтверждают потенциал применения QbD для повышения качества, эффективности и контроля на всех этапах заготовки лекарственного сырья.*

Ключевые слова. *Linum pallescens*, *Linum heterosepalum*, растительное сырье, сушка, планирование экспериментов, трава, семена.

LINUM PALLESCENS ЖӘНЕ *LINUM HETEROSEPALUM* ШӨБІН ЖИНАУ, ДАЙЫНДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

А.Б. ОМАРХАН*, Г.Т. ЖУМАШОВА, З.Б. САКИПОВА, М.Б. ИБРАЕВА, Д.Б. НҰРАХМЕТОВА

(С.Ж. Асфендияров атындағы Қазақ Ұлттық Медицина Университеті, Қазақстан Республикасы,
050012, Алматы қ., Төле би көш., 94)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: omarkhan.aktoty@mail.ru

*Солгынғұл зығыр (*Linum pallescens* Bunge.) және алатостаған жанырақ зығыр (*Linum heterosepalum* Regel.) шөбін жинау мен дайындаудың оңтайлы технологиясын әзірлеу биологиялық белсенділікті, шикізат сапасын сақтауды қамтамасыз етуге, жоғары технологиялық эффективтілікке және процестердің экологиялық тұрақтылығын сақтауға бағытталған. «Quality by Design» (QbD) концепциясын технологиялық процестерді әзірлеуге енгізу сапаның критикалық көрсеткіштеріне әсер ететін факторларды жүйелі түрде ескеру және оларды оңтайландыру шарттарын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Зерттеудің мақсаты QbD концепциясын қолданып, солгынғұл зығыр және алатостаған жанырақ зығыр шөбін жинау мен дайындаудың оңтайлы технологиясын әзірлеу. Өсімдік үлгілері «Ботаника және фитоинтродукция институты» ШЖҚ РМК мамандарымен идентификацияланды. QbD концепциясының шеңберінде зығырдың екі түрінің өсімдік шикізатын кептіру және дайындау процесінде жобалау кеңістігін (Design Space) жасау үшін Minitab*

бағдарламасын пайдалана отырып, статистикалық талдау жүргізілді. QbD концепциясын солғынғұл зығыр және алатостаған жапырақ зығыр өсімдік шикізаттарын жинау мен дайындаудың технологиясын жасау процесіне интеграциялау жоғары тиімділікті көрсетті. Зерттеу нәтижелері дәрілік өсімдік шикізатын дайындаудың барлық кезеңдерінде сапаны, тиімділікті және бақылауды арттыру үшін QbD қолдану ұтымдылығын растайды.

Негізгі сөздер. *Linum pallescens*, *Linum heterosepalum*, өсімдік шикізаты, кептіру, экспериментті жоспарлау, шөп, тұқым.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR COLLECTING AND HARVESTING THE HERB OF *LINUM PALLESCENS* AND *LINUM HETEROSEPALUM*

A.B. OMARKHAN*, G.T. ZHUMASHOVA, Z.B. SAKIPOVA, M.B. IBRAYEVA, D.B. NURAKHMETOVA

(Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Republic of Kazakhstan, 050012, Almaty, Tole bi str., 94)

Corresponding author's e-mail: omarkhan.aktoty@mail.ru

Development of an optimal technology for the collection and harvesting of Linum pallescens Bunge. and Linum heterosepalum Regel. herb is aimed at ensuring the preservation of biological activity, raw material quality, high technological efficiency and environmental sustainability of the processes. The implementation of the “Quality by Design” (QbD) concept in the development of technological processes makes it possible to systematically account for risks influencing critical quality attributes and to establish conditions for their optimization. The aim of the present study is to develop an optimal technology for the collection and harvesting of Linum pallescens and Linum heterosepalum herb to ensure quality based on the QbD concept. The plant specimens were identified by employees of the RSE REM «Institute of Botany and Phytointroduction». Within the framework of the QbD concept, statistical analysis with Minitab software was performed to establish the design space for the drying and harvesting processes of plant raw materials from both Linum species. The integration of the QbD concept into the process of developing the technology for the collection and harvesting of Linum pallescens and Linum heterosepalum herb demonstrated high efficiency. The results confirm the potential of applying QbD to improve quality, efficiency and control at all stages of medicinal plant raw material harvesting.

Keywords: *Linum pallescens*, *Linum heterosepalum*, plant raw material, drying, design of experiments, herb, seeds.

Введение

Виды растений рода лён являются древнейшими культурными растениями и относятся к семейству льновых (*Linaceae* Dumort.), к классу двудольных (*Magnoliopsida*). Семейство льновых насчитывает 9 родов и 274 видов по классификации APG IV (Angiosperm Phylogeny Group IV system of flowering plant classification). На территории СНГ произрастает 45, а на территории Республики Казахстан встречается 13 видов растений рода лён [1]. Льняное семя содержит ценное количество жирных кислот, таких как олеиновая кислота, стеариновая кислота, α-линоленовая кислота, линолевая кислота, пальмитиновая кислота, белки, пищевые волокна, лигнаны (арилнафталиновые: юстицидин В и изоюстицидин В; арилтетралиновые лигнаны:

подофиллотоксин; секоизолярициресинол диглюкозид), витамины и микроэлементы [2-4].

Льняное масло является одним из богатейших источников полиненасыщенных омега-3 жирных кислот растительного происхождения и применяется при лечении различных заболеваний таких как рак, диабет, заболевания сердечно-сосудистой системы [5-7].

В результате литературного обзора было выявлено, что Казахстанские виды растений рода льна мало изучены и перспективны для дальнейших исследований по определению химического состава, фармакологических действий для разработки растительных лекарственных средств. Таким образом, растения рода *Linum* можно рассматривать как потенциальный источник биологически важных метаболитов.

Правильный сбор и заготовка лекарственного растительного сырья являются ключевыми этапами, определяющими его качество и сохранность биологически активных соединений.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись трава отечественных лекарственных растений рода *Linum* L. – лен бледноцветный (*Linum pallescens* Bunge.) и лен разночашелистиковый (*Linum heterosepalum* Regel.).

Разработка рациональной технологии конвективной сушки растительного сырья (трава и семена растений *Linum pallescens*, *Linum heterosepalum*) была проведена с использованием программного обеспечения Minitab Statistical Software 21 и инструмента дизайна экспериментов (DoE). В качестве независимых переменных (факторов, X) для анализа были выбраны температура и время сушки, а в качестве зависимой переменной (отклика, Y) – показатель «потеря в массе при высушивании», отражающий эффективность процесса обезвоживания.

Результаты и их обсуждение

Заготовку травы *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum* проводили в соответствии с требованиями надлежащей практики культивирования и сбора лекарственных растений (GACP) и внутренними стандартными операционными процедурами [8]. Сырье собирали в Алматинской области, на подгорной равнине Джунгарского Алатау в период массового цветения растений (июнь–июль). Видовая идентификация образцов подтверждена специалистами РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции» Республики Казахстан. Сбор проводили вручную в сухую солнечную погоду в утренние часы (с 9:00 до 11:00), после испарения росы. Надземную часть срезали секатором на высоте 5–10 см от поверхности почвы, избегая повреждения корневой системы. Сырье помещали в сетчатые проветриваемые мешки, защищенные от влаги и загрязнений, и транспортировали к месту первичной обработки. Плоды льна (коробочки) собирали в сухую погоду в утренние часы, в фазе полной зрелости (август–сентябрь). Коробочки помещали в проветриваемую тару, предотвращающую накопление влаги и попадание посторонних примесей. Первичную обработку проводили вручную: семена отделяли от коробочек и удаляли посторонние примеси, поврежденные и недоразвитые экземпляры. Отобранное сырье проверяли визуально на

однородность и органолептические показатели (цвет, запах, отсутствие признаков плесени и вредителей).

После проведения заготовки и подготовки сырья следующим этапом является его сушка. На сегодняшний день традиционным методом получения высушенного лекарственного растительного сырья является естественная сушка в тени, которая широко применяется при работе с растениями, содержащими фенольные соединения, полисахариды и другие термолабильные вещества. Данный способ позволяет сохранить морфологические признаки и основные качественные характеристики сырья, что подтверждено полученными результатами. Однако, несмотря на удовлетворительное качество высушенного материала, процесс отличается значительной продолжительностью и зависит от внешних условий (температуры, влажности воздуха, скорости движения воздуха).

С целью оптимизации процесса и сокращения его продолжительности рассматривается использование конвекционной сушки в сушильных шкафах, позволяющей более точно регулировать температуру, скорость воздушного потока и другие параметры, влияющие на качество конечного продукта. Для обоснованного выбора оптимальных условий сушки была применена методология планирования экспериментов (Design of Experiments, DoE), основанная на концепции «Качество через проектирование» (Quality by Design, QbD), что обеспечивает системный подход к исследованию критических параметров процесса и их влияния на качество растительного сырья [9–11]. В рамках данного подхода подбираются значения критических параметров процесса, которые анализируются для установления их оптимальных диапазонов. На основании результатов формируются математические модели, позволяющие прогнозировать исходы экспериментов и определять условия, обеспечивающие стабильное качество продукции.

Использование DoE в фармацевтических исследованиях дает возможность сократить количество испытаний по сравнению с традиционным методом «один фактор за раз» и получить более полное понимание взаимосвязей между процессом и показателями качества [12].

Конвективная сушка

Сушка травы. Собранную траву льна бледноцветного (*Linum pallescens* Bunge.) и льна

разночашелистикового (*Linum heterosepalum* Regel.) сушили в конвекционном сушильном шкафу (ШС-80, Россия) при скорости циркуляции воздуха 0,8-1,0 м/с. Температурный режим составлял 40-45 °С, продолжительность сушки – 6-8 часов. Сырьё раскладывали на перфорированные поддоны или сетчатые лотки тонким и рыхлым слоем толщиной 3-5 см, обеспечивая равномерное распределение материала. Для предотвращения слеживания и ускорения обезвоживания сырьё периодически перемешивали.

Сушка семян. Семена льна сушили в тех же условиях циркуляции воздуха (0,8-1,0 м/с) при температуре 45-50 °С в течение 8-10 часов. Сырьё распределяли тонким слоем (до 2 см) на сетчатые лотки, обеспечивающие равномерную циркуляцию воздуха. В процессе сушки семена перемешивались через равные промежутки времени для исключения перегрева и равномерного обезвоживания.

Планирование эксперимента

Диапазоны варьирования параметров конвективной сушки были определены на основании литературных данных, согласно которым для различных видов лекарственного растительного сырья, включая растения рода *Linum*, применяются различные температурные и временные режимы. При этом ключевым требованием является недопущение превышения температуры самого материала: для трав – не более 45-50 °С, для семян – не выше 55 °С, что обеспечивает сохранение биологически активных соединений и предотвращает ухудшение органолептических

характеристик [13-16]. Были выбраны две независимые переменные (фактора – X): температура и время сушки. Значения факторов были установлены в диапазоне: для травы – температура сушки 30-60 °С, время сушки 1,5-11 ч; для семян – температура сушки 30-70 °С, время сушки 2-18 ч. В качестве зависимой переменной (отклика – Y) выбран показатель «потеря в массе при высушивании, (%)», отражающий влияние исследуемых параметров на эффективность процесса. С помощью программного обеспечения построено проектное поле, демонстрирующее 31 модель режимов сушки травы и отдельно семян *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum*.

На основе введенных параметров построены два проектных поля – для травы и для семян, включающие совокупность модельных режимов, которые в дальнейшем легли в основу статистического анализа. Построенные модели определили в программе Minitab необходимое число экспериментов (13) с заданными параметрами, все эксперименты были выполнены, а результаты зафиксированы в таблицах 1 и 2. В графы были внесены данные показателя «потеря в массе при высушивании», полученные в ходе проведения экспериментов. Применение методики DoE с последующей статистической обработкой позволило выявить взаимосвязь технологических параметров между собой и с показателем качества, а также определить оптимальные диапазоны условий конвективной сушки для исследуемого сырья.

Таблица 1. Результаты исследования модели DoE по показателю качества «Потеря в массе при высушивании» травы *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum* при конвективной сушке

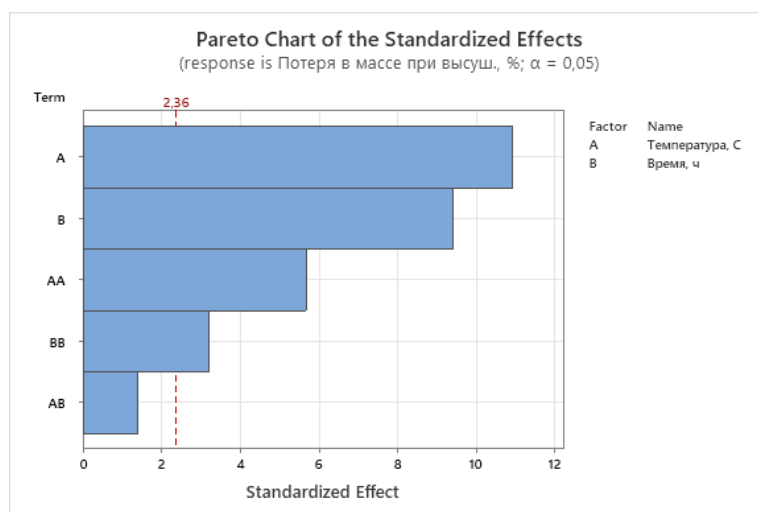
RunOrder	X		Y
	Температура, С	Время, ч	Потеря в массе при высуш., %
1	30,0000	11,0000	11,0
2	60,0000	1,5000	14,0
3	45,0000	7,0000	7,0
4	40,0000	8,0000	7,3
5	23,7868	6,2500	28,4
6	66,2132	6,2500	2,9
7	45,0000	0,4675	18,7
8	45,0000	12,9675	3,4
9	35,0000	9,0000	10,3
10	40,0000	7,5000	8,6
11	45,0000	6,0000	8,4
12	50,0000	4,5000	7,8
13	55,0000	3,0000	7,4

Таблица 2. Результаты исследования модели DoE по показателю качества «Потеря в массе при высушивании» семян *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum* при конвективной сушке

RunOrder	Температура, С	Время, ч	Потеря в массе при высуш., %
1	30,0000	18,0000	15,7
2	70,0000	2,0000	7,1
3	35,0000	15,0000	12,8
4	40,0000	12,0000	11,2
5	21,7157	10,0000	27,9
6	78,2843	10,0000	2,6
7	50,0000	1,3137	19,8
8	50,0000	21,3137	6,2
9	45,0000	10,0000	9,1
10	50,0000	8,5000	8,7
11	55,0000	7,0000	7,9
12	60,0000	5,0000	7,2
13	65,0000	3,5000	6,4

В результате статистической обработки экспериментальных данных в программе *Minitab* была построена диаграмма Парето, позволяющая выделить наиболее значимые входные факторы, оказывающие определяющее влияние на выходной показатель. Согласно принципу Парето, около 20 % факторов формируют до 80 % совокупного эффекта, включая возможное

влияние их взаимодействий. На рисунках 1 и 2 представлены результаты анализа, из которых следует, что ключевыми параметрами, оказывающими наибольшее влияние на показатель «потеря в массе при высушивании» как для травы, так и для семян, являются температура сушки (фактор А) и время сушки (фактор В).

Рисунок 1. Диаграмма Парето - взаимосвязь технологических параметров «температура сушки» и «время сушки» с показателем качества «потеря в массе при высушивании» в траве *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum*

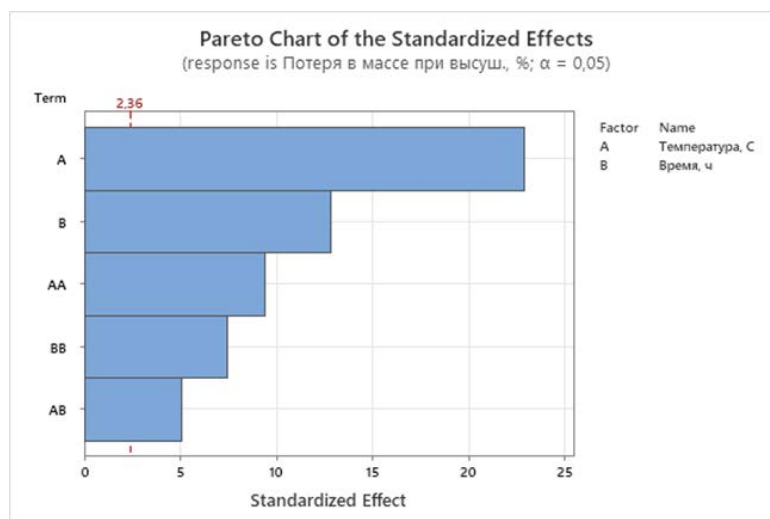


Рисунок 2. Диаграмма Парето - взаимосвязь технологических параметров «температура сушки» и «время сушки» с показателем качества «потеря в массе при высушивании» в семенах *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum*

Представленный подход обеспечивает наглядное отображение взаимосвязи между технологическими параметрами – температурой и временем сушки – и выходным показателем качества «потеря в массе при высушивании» в

траве и семенах. На построенных поверхностях отклика (рис. 3 и 4) оптимальные режимы процесса визуализированы в виде таргетной зоны округлой формы, выделенной светло-зеленым цветом.

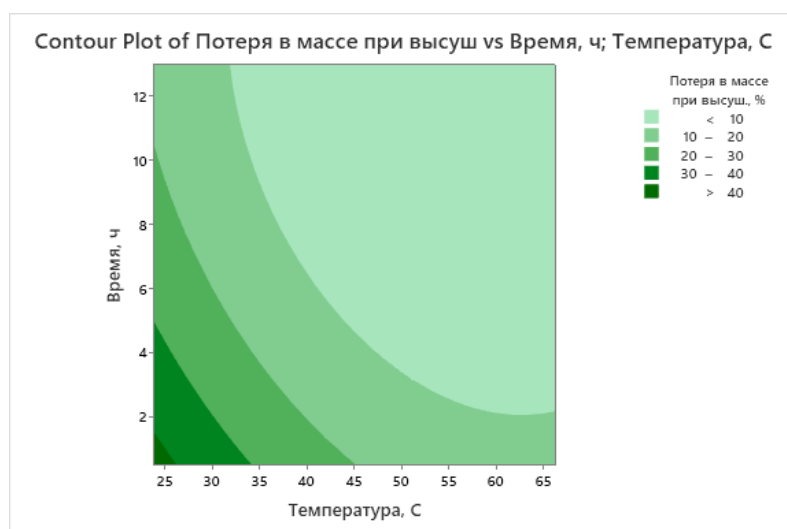


Рисунок 3. Контурные графики взаимосвязи технологических параметров «температура сушки» и «время сушки» с показателем качества «потеря в массе при высушивании» в траве *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum*

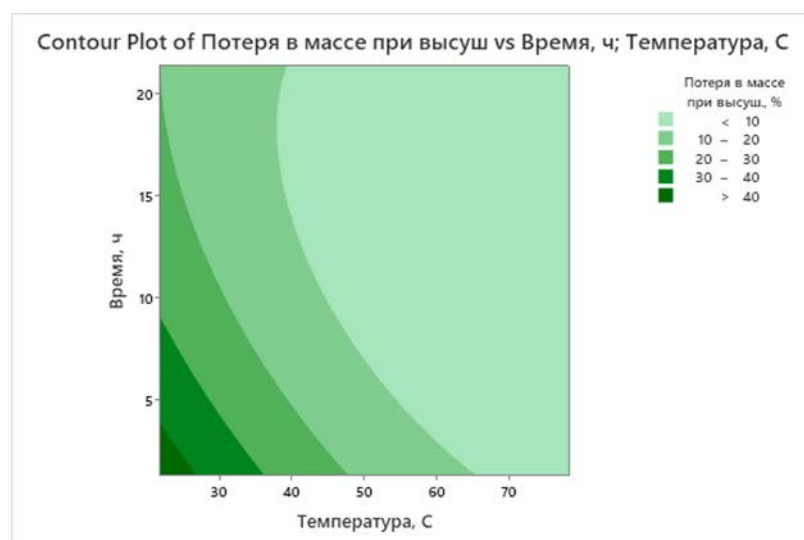


Рисунок 4. Контурные графики взаимосвязи технологических параметров «температура сушки» и «время сушки» с показателем качества «потеря в массе при высушивании» в семенах *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum*

Использование функции Response Optimizer программы Minitab позволило не только оценить влияние каждого из технологических параметров на показатель качества, но и установить взаимосвязь между ними (рис. 5 и 6). Для травы оптимальными условиями сушки определены температура 40-45 °C и продолжительность сушки 6-8 ч. При данных параметрах потеря в массе при высушивании составила $8,0 \pm 1$ %, что сопоставимо с результатами экспериментов. Визуальная оценка показала, что при повышении температуры наблюдались признаки термического повреждения сырья (потемнение, частичное подгорание), в то время как

при пониженных температурах процесс становился чрезмерно длительным, и материал оставался недостаточно сухим.

Для семян оптимальными режимами оказались температура 45-50 °C и время сушки 8-10 ч, при которых показатель потери в массе при высушивании составил $9,0 \pm 1$ %. Аналогично, при превышении температурного диапазона фиксировались изменения органолептических характеристик, тогда как при пониженных температурах семена сохраняли избыточную влажность, что свидетельствовало о неполной сушке.

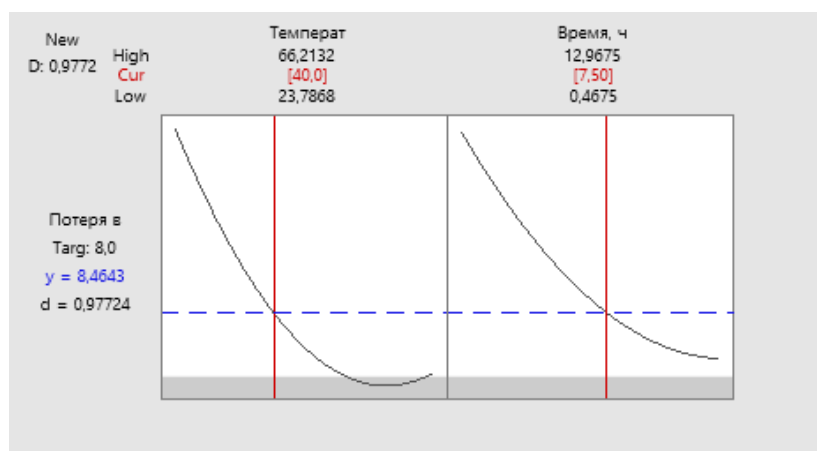


Рисунок 5. Взаимосвязь технологических параметров «температура сушки» и «время сушки» для показателя «потеря в массе при высушивании» в траве *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum*

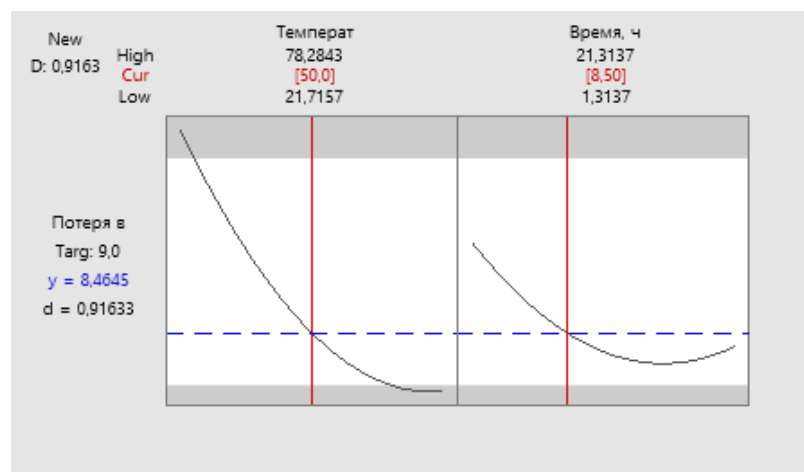


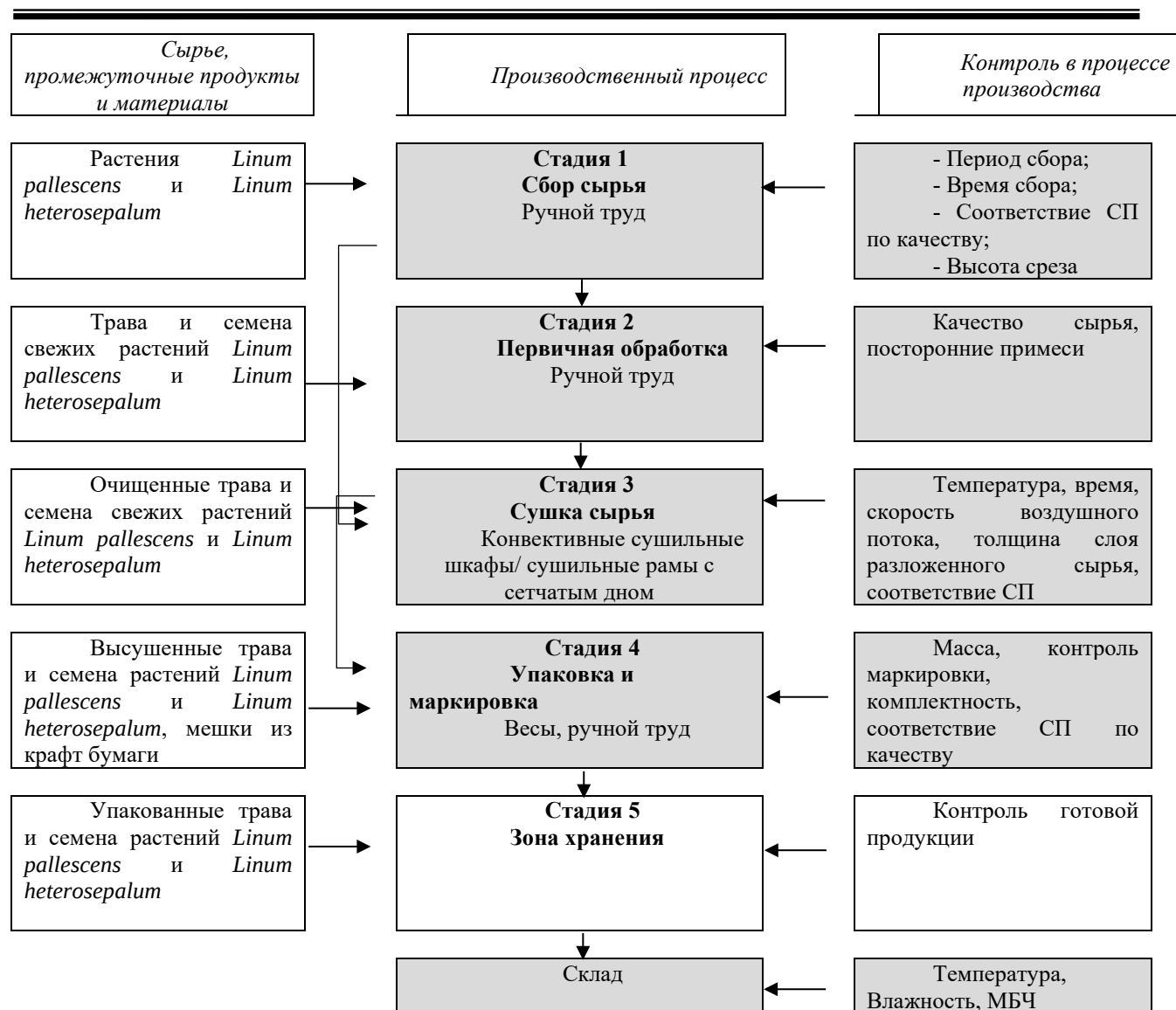
Рисунок 6 Взаимосвязь технологических параметров «температура сушки» и «время сушки» для показателя «потеря в массе при высушивании» в семенах *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum*.

Высушенное цельное сырьё (трава и семена льна бледноцветного и льна разночашелистикового) упаковывали в мешки из трёхслойной крафтовой бумаги одинаковой массы (размер 50×25 см). Упаковка соответствовала требованиям к хранению лекарственного растительного сырья и исключала попадание посторонних веществ. Испытания на стабильность и установление сроков хранения проводятся в соответствии с требованиями Приказа Министра здравоохранения Республики Казахстан от 28 октября 2020 года №165 «Об утверждении Правил проведения производителем лекарственного средства исследования стабильности, установления

срока хранения и повторного контроля лекарственных средств».

Для контроля стабильности были заложены три серии (01RC, 02RC, 03RC) заготовленной травы и семян льна бледноцветного и льна разночашелистикового. Температура хранения сырья установлена не выше 25 °С при относительной влажности воздуха 60±5 %.

На основании полученных данных разработана технология сбора и заготовки травы и семян растений льна бледноцветного, льна разночашелистикового (рис. 7).

Рисунок 7. Технологическая схема процесса заготовки сырья растений *Linum pallescens* и *Linum heterosepalum*

Заключение

В ходе проведённого исследования были обоснованы и экспериментально подтверждены оптимальные условия конвективной сушки травы и отдельно семян растений: лен бледноцветный и лен разночашелистиковый. На первом этапе была обеспечена правильная организация сбора и первичной заготовки сырья в соответствии с требованиями надлежащей практики культивирования и сбора лекарственных растений (GACP), что позволило сохранить морфологические признаки и исходное качество материала.

Применение конвективной сушки позволило значительно сократить продолжительность

процесса при сохранении органолептических и фармакогностических характеристик сырья.

С использованием методологии DoE, реализованной в *Minitab 21*, построены математические модели и выявлена закономерность взаимодействия факторов и определена оптимальные режимы конвективной сушки: для травы — температура сушки сырья 40–45 °С, время сушки сырья 6–8 ч, при которых показатель «потеря в массе при высушивании» составила $8,0 \pm 1\%$; для семян — температура сушки сырья 45–50 °С, время сушки сырья 8–10 ч, при которых показатель «потеря в массе при высушивании» составила $9,0 \pm 1\%$. При данных режимах высушенное сырьё сохраняло соответствие фармакопейным

требованиям, включая морфологические и органолептические характеристики.

Таким образом, проведённое исследование позволило разработать научно обоснованную технологию сушки лекарственного растительного сырья (*Linum pallescens* Bunge., *Linum heterosepalum* Regel.), основанную на принципах концепции QbD.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флора Казахстана : в 6 т. / ред. Н. В. Павлов. – Алма-Ата : Изд-во Академии наук Казахской ССР, 1961. – Т. 6. – 462 с.
2. Koçak, M. Z. “Phenolic Compounds, Fatty Acid Composition and Antioxidant Activities of Some Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Varieties: A Comprehensive Analysis.” *Processes* 12 (2024): 689. <https://doi.org/10.3390/pr12040689>
3. Wang, S., Z. S. Zhang, T. F. Zhang, and D. W. Xue. “Extraction and Characterization of Flaxseed Oil Obtained with Subcritical n-Butane.” *Journal of Oleo Science* 69 (2020): 1011–20.
4. Nedelcheva, R., Y. Zarev, R. Mihaylova, E. Kozuharova, G. Momekov, and I. Ionkova. “Arylnaphthalene Lignans with a Focus on *Linum* Species: A Review on Phytochemical, Biotechnological and Pharmacological Potential.” *Pharmacia* 71 (2024): e117690. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.71.e117690>
5. Parikh, M., and G. N. Pierce. “Dietary Flaxseed: What We Know and Don’t Know about Its Effects on Cardiovascular Disease.” *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 97 (2019): 75–81.
6. Buckner, A. L., C. A. Buckner, S. Montaut, and R. M. Lafrenie “Treatment with Flaxseed Oil Induces Apoptosis in Cultured Malignant Cells.” *Heliyon* 5 (2019): e02251.
7. Ansari, R., M. M. Zarshenas, and A. H. Dadbakhsh “A Review on Pharmacological and Clinical Aspects of *Linum usitatissimum* L.” *Current Drug Discovery Technologies* 16, no. 2 (2019): 148–58. <https://doi.org/10.2174/1570163815666180521101136> PMID: 29779483.
8. World Health Organization. WHO Guidelines on Good Agricultural and Collection Practices (GACP) for Medicinal Plants. Geneva: World Health Organization, 2003.
9. Politis, S. N., P. Colombo, G. Colombo, D. M. Rekkas “Design of Experiments (DoE) in Pharmaceutical Development.” *Drug Development and Industrial Pharmacy* 43, no. 6 (2017): 889–901. <https://doi.org/10.1080/03639045.2017.1291672>
10. Dhoot, A. S., G. J. Fernandes, A. Naha, et al. “Design of Experiments in Pharmaceutical Development.” *Pharmaceutical Chemistry Journal* 53 (2019): 730–35. <https://doi.org/10.1007/s11094-019-02070-4>
11. Arnold, S. F. “Design of Experiments with MINITAB.” *The American Statistician* 60, no. 2 (2006): 205. <https://doi.org/10.1198/tas.2006.s46>

12. Wahid, Z., and N. Nadir. “Improvement of One Factor at a Time through Design of Experiments.” *World Applied Sciences Journal* 21, no. 1 (2013): 56–61.

13. ElGamal, R., C. Song, A. M. Rayan, C. Liu, S. Al-Rejaie, and G. ElMasry. “Thermal Degradation of Bioactive Compounds during Drying Process of Horticultural and Agronomic Products: A Comprehensive Overview.” *Agronomy* 13, no. 6 (2023): 1580. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>

14. Müller, J., A. Heindl. “Drying of Medicinal Plants.” *Frontis* (2006): 237–52.

15. Nair, G. R., P. Liplap, Y. Garipey, and G. S. V. Raghavan. “Effect of Microwave and Hot Air Drying on Flax Straw at Controlled Temperatures.” *International Journal of Postharvest Technology and Innovation* 2, no. 4 (2012): 355–69.

16. Nair, G. R., K. A. E. L. Eggie, Y. V. A. N. Garipey, V. A. L. É. R. I. E. Orsat, and V. I. J. A. Y. A. Raghavan. “Microwave Assisted Drying of Flax Straw and Fibre at Controlled temperatures. In CSBEI00614 Presented at Section VI: Postharvest Technology and Process Engineering Conference.

REFERENCES

1. Pavlov N. V. (ed.). *Flora Kazahstana: v 6 t., t. 6* [Flora of Kazakhstan: in 6 vols., vol. 6]. Alma-Ata: Izd-vo Akademii nauk Kazahskoj SSR, 462 p., 1961.
2. Koçak, M. Z. “Phenolic Compounds, Fatty Acid Composition and Antioxidant Activities of Some Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Varieties: A Comprehensive Analysis.” *Processes* 12 (2024): 689. <https://doi.org/10.3390/pr12040689>
3. Wang, S., Z. S. Zhang, T. F. Zhang, and D. W. Xue. “Extraction and Characterization of Flaxseed Oil Obtained with Subcritical n-Butane.” *Journal of Oleo Science* 69 (2020): 1011–20.
4. Nedelcheva, R., Y. Zarev, R. Mihaylova, E. Kozuharova, G. Momekov, and I. Ionkova. “Arylnaphthalene Lignans with a Focus on *Linum* Species: A Review on Phytochemical, Biotechnological and Pharmacological Potential.” *Pharmacia* 71 (2024): e117690. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.71.e117690>
5. Parikh, M., and G. N. Pierce. “Dietary Flaxseed: What We Know and Don’t Know about Its Effects on Cardiovascular Disease.” *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 97 (2019): 75–81.
6. Buckner, A. L., C. A. Buckner, S. Montaut, and R. M. Lafrenie “Treatment with Flaxseed Oil Induces Apoptosis in Cultured Malignant Cells.” *Heliyon* 5 (2019): e02251.
7. Ansari, R., M. M. Zarshenas, and A. H. Dadbakhsh “A Review on Pharmacological and Clinical Aspects of *Linum usitatissimum* L.” *Current Drug Discovery Technologies* 16, no. 2 (2019): 148–58. <https://doi.org/10.2174/1570163815666180521101136> PMID: 29779483.

8. World Health Organization. WHO Guidelines on Good Agricultural and Collection Practices (GACP) for Medicinal Plants. Geneva: World Health Organization, 2003.
9. Politis, S. N., P. Colombo, G. Colombo, D. M. Rekkas “Design of Experiments (DoE) in Pharmaceutical Development.” *Drug Development and Industrial Pharmacy* 43, no. 6 (2017): 889–901. <https://doi.org/10.1080/03639045.2017.1291672>
10. Dhoot, A. S., G. J. Fernandes, A. Naha, et al. “Design of Experiments in Pharmaceutical Development.” *Pharmaceutical Chemistry Journal* 53 (2019): 730–35. <https://doi.org/10.1007/s11094-019-02070-4>
11. Arnold, S. F. “Design of Experiments with MINITAB.” *The American Statistician* 60, no. 2 (2006): 205. <https://doi.org/10.1198/tas.2006.s46>
12. Wahid, Z., and N. Nadir. “Improvement of One Factor at a Time through Design of Experiments.” *World Applied Sciences Journal* 21, no. 1 (2013): 56–61.
13. ElGamal, R., C. Song, A. M. Rayan, C. Liu, S. Al-Rejaie, and G. ElMasry. “Thermal Degradation of Bioactive Compounds during Drying Process of Horticultural and Agronomic Products: A Comprehensive Overview.” *Agronomy* 13, no. 6 (2023): 1580. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>
14. Müller, J., A. Heindl. “Drying of Medicinal Plants.” *Frontis* (2006): 237–52.
15. Nair, G. R., P. Liplap, Y. Gariépy, and G. S. V. Raghavan. “Effect of Microwave and Hot Air Drying on Flax Straw at Controlled Temperatures.” *International Journal of Postharvest Technology and Innovation* 2, no. 4 (2012): 355–69.
16. Nair, G. R., K. A. E. L. Eggie, Y. V. A. N. Gariépy, V. A. L. É. R. I. E. Orsat, and V. I. J. A. Y. A. Raghavan. “Microwave Assisted Drying of Flax Straw and Fibre at Controlled temperatures. In CSBEI00614 Presented at Section VI: Postharvest Technology and Process Engineering Conference.