

PHARMACEUTICS

INTENSIFICATION OF THE DRYING PROCESS OF THE AERIAL PARTS OF *Physalis angulata* IN THE TECHNOLOGY OF MEDICINAL RAW MATERIAL PREPARATION USING FORCED-AIR VENTILATION

Yaminova Sh.

Kimyo International University in Tashkent

Bayniyazov A.

Tashkent Pharmaceutical Institute, Uzbekistan

Tilovova G.

Institute of Chemistry of Plant Substances, Uzbekistan

Abduraxmanov B.

PhD, Institute of the Chemistry of Plant Substances, Uzbekistan

Sotimov G.

Doctor of Technical Sciences, Institute of Chemistry of Plant Substances

Khalilov R.

Doctor of Technical Sciences,

Institute of Chemistry of Plant Substances, Uzbekistan

Mamatkhanov A.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Chemistry of Plant Substances

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ *Physalis angulata* В ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУХА

Яминова Ш.А.

студент, Ташкентский Международный Университет Кимё ТМУК

Бойниязов А.Ж.

студент, Ташкентский фармацевтический институт, Узбекистан

Тилова Г.Х.

докторант, Институт химии растительных веществ АН РУз

Абдурахманов Б.А.

PhD, Институт химии растительных веществ АН РУз

Сотимов Г.Б.

доктор технических наук,

Институт химии растительных веществ АН РУз

Халилов Р.М.

доктор технических наук,

Институт химии растительных веществ, Узбекистан

Маматханов А.У.

доктор технических наук, профессор,

Институт химии растительных веществ АН РУз

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18414005>

Abstract

This study presents the results of investigations on the harvesting and drying of the aerial parts of *Physalis angulata* under natural conditions and using forced-air ventilation. It was established that the maximum content of withasteroids is observed during the budding and mass fruiting stages, and therefore, harvesting is recommended specifically during these periods. The collection process involves cutting the fruiting and vegetative shoots at a height of 2–3 cm from the soil surface, followed by sorting and removal of damaged and mechanical impurities.

For natural drying, the plant material is spread in a uniform layer of 3–5 cm in areas protected from direct sunlight to prevent the degradation of biologically active compounds. Forced-air ventilation was applied to intensify the drying process. The main technological parameters included the layer thickness, air flow rate, temperature, and duration of drying. The conditions were optimized using the Box–Wilson experimental design method. A regression model was developed, and its adequacy was confirmed through statistical analysis using Cochran's and Fisher's criteria. All factors studied were significant, with temperature and duration contributing most to the drying process.

Based on the experiments, the optimal conditions for forced-air drying of *Physalis angulata* aerial parts were determined as follows: layer thickness – 15 mm; air velocity – 9 m/s; temperature – no more than 70 °C; duration – at least 5 hours. A discontinuous heat supply is recommended for energy efficiency.

The results enable the standardization of the drying process for *Physalis angulata*, ensuring the preservation of pharmacologically active compounds and producing high-quality plant material suitable for pharmaceutical

applications.

Аннотация

В работе представлены результаты исследований по сбору и сушке надземной части *Physalis angulata* в естественных условиях и с использованием метода принудительной вентиляции воздуха. Установлено, что максимальное содержание витастероидов наблюдается в фазе бутонизации и массового плодоношения, поэтому заготовку сырья рекомендуется проводить именно в эти периоды. Заготовка включает срез плодоносящих и вегетативных побегов на высоте 2–3 см от поверхности почвы, с последующей сортировкой и удалением повреждённых и механических примесей.

Для естественной сушки сырьё укладывают равномерным слоем толщиной 3–5 см в местах, защищённых от прямого солнечного излучения, чтобы избежать деградации биологически активных веществ.

Метод принудительной вентиляции воздуха использовался для интенсификации процесса сушки. Основные технологические параметры включают толщину слоя сырья, скорость подачи воздуха, температуру и продолжительность процесса. Для оптимизации условий применяли метод математического планирования эксперимента по Боксу–Уилсону. Построена модель регрессии, адекватность которой подтверждена статистической обработкой (критерии Кохрена и Фишера). Все исследованные факторы оказались значимыми, а наибольший вклад в процесс сушки внесли температура и продолжительность.

На основании проведённых экспериментов установлены оптимальные условия сушки с принудительной вентиляцией для надземной части *Physalis angulata*: толщина слоя – 15 мм, скорость воздуха – 9 м/с, температура – не более 70 °С, продолжительность – не менее 5 ч. Рекомендуется проведение процесса с дискретным подводом тепла для экономии энергии.

Представленные результаты позволяют стандартизировать процесс сушки *Physalis angulata*, обеспечивая сохранение фармакологически ценных компонентов и высокое качество растительного сырья для фармацевтического применения.

Keywords: *Physalis angulata*, aboveground parts, raw material preparation, drying, optimization

Ключевые слова *Physalis angulata* надземные части, заготовка сырья, сушка, оптимизация.

Введение

Семейство паслёновых (Solanaceae) объединяет около 100 родов и порядка 2500 видов, широко распространённых в различных географических регионах мира. В его состав входят многочисленные культурные пищевые растения, характеризующиеся высоким содержанием биологически активных фитохимических соединений [1]. К числу наиболее известных и широко культивируемых представителей семейства относятся перец чили (*Capsicum annuum* L.), томат (*Lycopersicon esculentum* L.) и картофель (*Solanum tuberosum* L.). Наряду с ними семейство паслёновых включает значительное количество дикорастущих видов, в том числе род *Physalis*, который является пятым по величине родом семейства и насчитывает около 70 видов. Центр видового разнообразия рода *Physalis* расположен на территории Мексики, где сосредоточено около 50 видов, и данный род рассматривается как эндемичный для этого региона [2,3].

Некоторые представители рода, в частности *Physalis angulata*, имеют более широкое распространение и встречаются как на Американском континенте, так и в Азии. *Physalis angulata* произрастает в северных, западных и южных регионах Узбекистана [4–6]. На территории республики выявлено два вида рода *Physalis* — *Physalis angulata* и *Physalis alkekengi*. В связи с ограниченными сырьевыми ресурсами *Physalis alkekengi* в качестве объекта настоящего исследования был выбран *Physalis angulata*.

Physalis angulata представляет собой однолетнее травянистое растение с сильно ветвящимся стеблем высотой 30–50 см, покрытым головчатыми или рассеянными волосками. Листья очередные, голые либо с опушением по жилкам, яйцевидные

или продолговато-яйцевидные, с длинно заострённой верхушкой и неравнобоким клиновидным основанием, цельнокрайние или зубчатые, длиной 3–6 см и шириной 2–4 см. Цветоножки длиной 10–20 мм. Чашечка при цветении ширококолокольчатая, с прижатыми волосками, рассечённая до середины на ланцетные лопасти; при плодоношении зелёная, длиной 1,5–2,5 см. Венчик бледно-жёлтый, с мелкими пятнами в центральной части, диаметром 10–13(15) мм. Тычинки с фиолетовыми пыльниками. Плод — желтоватая, шаровидная, блестящая ягода диаметром 1–1,5 см. На территории Узбекистана растение встречается в Ферганской, Ташкентской, Джизакской и Самаркандской областях; цветение наблюдается в августе–сентябре, плодоношение — в сентябре–октябре [7].

Химический состав *Physalis angulata* характеризуется значительным разнообразием биологически активных веществ, включая фенольные кислоты, флавоноиды, алкалоиды, сапонины, дубильные вещества и терпеноиды [8, 9]. В растении выявлены физалины E, F, H, I, B, G, D, K, U, V, а также витанолиды и их производные: физагулины A, B, C, D, F, H, I, J, L, M, N, O, K, ангулатин A, физанолид A, виангулатины A–I, 14α-оксииксокарпанолид, 24,25-эпоксивитанолид D, вимонолид, физангулид, физангулид B, ангунолид и 4-оксоангунолид [10–13].

Результаты этнофармакологических исследований свидетельствуют о широком применении *Physalis angulata* в народной медицине различных стран мира. Растение используется при лечении онкологических заболеваний, бактериальных инфекций, сахарного диабета, малярии, анемии и лихорадочных состояний [14]. В традиционной практике корень растения мацерируют и принимают с мёдом

при сахарном диабете дважды в сутки в течение 60 дней; настои корней применяют при гепатите, настои листьев — как мочегонное средство, при астме, малярии, воспалительных процессах и в качестве антисептика; незрелые плоды используют для лечения чесотки [15].

В Бразилии сок растения применяют при ушной боли, а отвар корней в сочетании с родами *Vixa* и *Euterpe* — при желтухе [16]. В ряде регионов настоей листьев используется как седативное средство и при воспалительных заболеваниях мочевого пузыря, селезёнки и почек; чай из листьев принимают до исчезновения симптомов воспаления, а также в качестве ночного успокаивающего средства [17].

В Нигерии отмечено особенно широкое использование *Physalis angulata*: все части растения применяются в лечебных целях — при родах, в качестве мочегонного, жаропонижающего средства, при гонорее, желтухе, заболеваниях печени, малярии, нефрите, послеродовых кровотечениях, кожных заболеваниях, опухолях и для предотвращения аборта. Плоды рекомендуются при инфекциях, бесплодии, воспалительных и кожных заболеваниях; листья — при астме, дерматитах, лихорадке, гепатите, ревматизме и глистных инвазиях; корни используют при сахарном диабете, заболеваниях печени, малярии и ревматизме [18]. В Индонезии отвар корней применяют при послеродовых болях, мышечных болях и гепатите [19].

В настоящее время на фармацевтическом рынке практически отсутствуют лекарственные препараты на основе витастероидов, за исключением экстракта корня ашваганды (GOLD LABS, 60 таблеток), который применяется для улучшения памяти, стимуляции деятельности нервной системы, повышения стрессоустойчивости, поддержки мужской репродуктивной функции и наращивания мышечной массы [20].

Таким образом, *Physalis angulata* является перспективным и востребованным источником растительного сырья для фармацевтической промышленности. В Институте химии растительных веществ АН Республики Узбекистан разработана технология получения биологически активной добавки — субстанции на основе витастероидов «Сухой экстракт *Physalis angulata*», получаемой из надземной части растения. В связи с этим контроль качества лекарственного растительного сырья *Physalis angulata* осуществляется по содержанию витастероидов.

После сбора растения в сырье продолжают биохимические процессы, аналогичные протекающим в живом организме, однако по мере обезвоживания начинают преобладать процессы деградации биологически активных веществ. В связи с этим сушку растительного сырья необходимо начинать непосредственно после сбора. Сушка лекарственного растительного сырья представляет собой сложный биохимический процесс, направленный на сохранение не только морфологических признаков, но и оптимального содержания биологически активных соединений [21].

Интенсификация сушки растений при заготовке лекарственного растительного сырья является перспективным направлением, позволяющим сократить продолжительность процесса, снизить потери биологически активных веществ и обеспечить стабильное качество сырья. Применение принудительной вентиляции и оптимизированных температурных режимов способствует повышению эффективности тепло- и массообмена и сохранению термолабильных соединений. Это делает интенсифицированные методы сушки важным элементом современной технологии переработки растительного сырья.

Исходя из вышеизложенного, в настоящей работе был изучен процесс сушки надземной части *Physalis angulata* с применением принудительной вентиляции воздуха.

Экспериментальная часть

Экспериментальные исследования проводили на растительном сырье — надземной части *Physalis angulata*, заготовленной в период 10–15 сентября 2025 года в естественных условиях произрастания Кибрайского района Ташкентской области. После сбора сырьё подвергали сушке в комнатных условиях, исключающих воздействие прямых солнечных лучей.

Выбор способа сушки надземной части *Physalis angulata* осуществляли на основании методики, представленной в источнике [22].

Для установления оптимальных параметров сушки надземной части *Physalis angulata* с использованием принудительной вентиляции воздуха применяли метод математического планирования эксперимента Бокса–Уилсона [23–25].

Результаты и их обсуждение

Рекомендации по сбору и сушке надземной части Physalis angulata в естественных условиях.

Установлено, что максимальное содержание витастероидов в надземной части *Physalis angulata* отмечается в фазе вегетации, включающей периоды бутонизации и массового плодоношения. В связи с этим заготовку травы *Physalis angulata* рекомендуется проводить именно в указанные фазы развития растения.

При заготовке сырья отбирают вегетативные и плодоносящие побеги. Срез надземной части осуществляют серпом или ножом на высоте около 2–3 см от поверхности почвы, что предотвращает загрязнение сырья и способствует сохранению жизнеспособности растений.

Physalis angulata обладает высокой способностью к отрастанию после скашивания, что позволяет проводить заготовку сырья на одном и том же участке в течение нескольких лет подряд. Для сохранения природных ресурсов и предотвращения истощения популяций рекомендуется обеспечивать восстановительный период («отдых») не реже одного раза в три года.

Сырьё *Physalis angulata* перед сушкой не подвергают мойке и предварительно сортируют с удалением механических примесей и повреждённых частей. Размещение сырья осуществляют равно-

мерным слоем толщиной не более 3–5 см, что обеспечивает равномерное обезвоживание растительной массы в условиях естественной сушки и предотвращает процессы самосогревания.

Сушку в естественных условиях проводят в местах, исключая воздействие прямого солнечного излучения. Воздействие солнечных лучей может приводить к деградации витастероидов, содержащихся в *Physalis angulata*, что сопровождается снижением фармакологической ценности растительного сырья.

Готовое сырьё должно представлять собой плод внутри чашечки желто-оранжевый, напоминает воздушный шар, ребристый. В верхней части ребер с фиолетовыми полосками.

В готовом сырье не должно быть частей других растений, а также одревесневших, загнивших, побуревших, пораженных вредителями частей, органической примеси (части других неядовитых растений), минеральной примеси (земля, песок, камешки).

Сырьё состоит из кусочков стеблей, листьев, бутонов и корзинка.

Готовое сырьё упаковывают в соответствии ГОСТу 19217-73. Согласно стандарту:

- готовое сырьё должно упаковываться в мешки или тюки, обеспечивающие сохранность продукции;
- упаковка должна быть прочной, чистой и предохранять сырьё от загрязнения, увлажнения и механических повреждений;
- применяемые упаковочные материалы должны соответствовать установленным нормам и не ухудшать качество сырья;
- каждая упаковочная единица должна иметь маркировку, содержащую основные сведения о продукции;
- транспортирование и хранение должны осуществляться в условиях, исключая порчу и потерю качества сырья.

Интенсификация процесса сушки надземной части Physalis angulata с использованием принудительной вентиляции воздуха.

Общие технологические требования к методу сушки с принудительной вентиляцией воздуха. Метод сушки с принудительной вентиляцией воздуха относится к наиболее эффективным способам обезвоживания растительного сырья, обеспечивающим ускоренное удаление влаги при сохранении биоло-

гически активных веществ. Для его успешного применения необходимо соблюдение ряда технологических требований:

Равномерное размещение: сырьё укладывают тонким слоем (обычно 3–5 см) на сушильных поддонах или решётках для обеспечения равномерного тепло- и массообмена, предотвращения самосогревания и локального перегрева.

Температурный режим: температура воздуха подбирается в соответствии с термолабильностью действующих веществ. Превышение допустимого диапазона может привести к разрушению биологически активных соединений и потере фармакологической ценности.

Циркуляция воздуха: скорость движения воздуха должна обеспечивать эффективное удаление влаги с поверхности растительной массы, не вызывая механических повреждений. Принудительная вентиляция позволяет равномерно распределять тепло и ускоряет процесс сушки.

Контроль влажности: относительная влажность воздуха в сушильной камере должна поддерживаться на уровне, предотвращающем повторное увлажнение сырья и развитие микрофлоры.

Продолжительность сушки: процесс следует завершать при достижении нормативной остаточной влажности сырья, соответствующей фармакопейным требованиям и обеспечивающей длительное хранение.

Санитарно-гигиенические условия: сушильное помещение и оборудование должны соответствовать требованиям чистоты и гигиены, исключать попадание пыли, насекомых и других загрязнителей.

Соблюдение этих требований обеспечивает получение высококачественного, стандартизированного растительного сырья с сохранением всех фармакологически ценных компонентов и оптимальными органолептическими характеристиками.

Для определения условий максимальной сушки надземной части *Physalis angulata* применяли метод математического планирования эксперимента по Боксу–Уилсону [23–25]. В качестве влияющих факторов выбрали следующие:

X₁– толщина слоя растительного сырья на противне сушилки, мм;

X₂ – скорость подаваемого воздуха, м/с;

X₃– температура процесса, °C;

X₄– продолжительность процесса, ч.

Основные уровни и интервалы варьирования выбранных факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Факторы и интервалы варьирования

Уровень факторов	Фактор			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Верхний	15	9	70	5
Средний	20	7	60	4
Нижний	25	5	50	3
Интервал варьирования	5	2	10	1
Единица измерения	Мм	м/с	°C	ч

Параметром оптимизации служило содержание влаги по отношению к массе сырья. Во всех

опытах количество сырья и метод выделения были

идентичными. В опытах использовали по 1,0 кг сырья.

Установлены два уровня четырех факторов, т.е. полный факторный эксперимент типа 2^4 . Использована дробная реплика 2, реплики от полного

факторного эксперимента 2^4 с применением планирования типа 2^{4-1} с генерирующими соотношениями $X_4=X_1 \cdot X_2$.

Матрица планирования экспериментов и результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования экспериментов и их результаты

№ опыта	Код фактора					Y значения		
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄ =X ₁ X ₂	Y ₁	Y ₂	Y _{ср}
1	+	+	+	+	+	65,4	68,2	66,8
2	+	+	-	+	-	54,3	50,6	52,45
3	+	-	+	+	-	51,8	49,6	50,7
4	+	-	-	+	+	43,3	45,7	44,5
5	+	+	+	-	+	48,6	46,8	47,7
6	+	+	-	-	-	30,4	32,4	31,4
7	+	-	+	-	-	33,2	29,8	31,5
8	+	-	-	-	+	30,8	28,6	29,7

Результаты опытов представлены в виде уравнения регрессии:

$$Y=b_0 + b_1x_1 + \dots + b_jx_j ; (1)$$

где $b_0, \dots, b_j$ – коэффициенты регрессии неполного квадратного уравнения.

Постулируя, что изучаемый процесс при заданных интервалах варьирования переменных может быть описан линейной зависимостью, и, пользуясь методом наименьших квадратов, определили коэффициенты регрессии по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{ij} \times Y_i)}{N}; (2)$$

где i – номер опыта (1, 2, ..., 8); j – номер фактора (1, 2, 3, 4); X_{ij} – кодированное значение факторов; N – число опытов в матрице.

На основе полученных результатов, приведенных в табл. 2, находили коэффициенты регрессии и получили следующее уравнение регрессии первого порядка:

$$Y = 44,34 + 5,24 X_1 + 4,83 X_2 + 9,26 X_3 + 2,83 X_4$$

Таблица 3

Статистический анализ

ΔY	ΔY^2	S_i^2	$Y_{\text{рас}}$	$\Delta Y'_i$	$(\Delta Y'_i)^2$
- 1,40	1,96	3,92	66,52	0,28	0,08
1,85	3,4225	6,845	51,19	1,26	1,58
1,10	1,21	2,42	50,37	0,33	0,11
- 1,20	1,44	2,88	46,37	- 1,87	3,49
0,90	0,81	1,62	47,98	- 0,28	0,08
- 1,00	1,0	2,0	32,66	- 1,26	1,58
1,70	2,89	5,78	31,83	- 0,33	0,11
1,10	1,21	2,42	27,83	1,87	3,49
$\Sigma=3,05$	$\Sigma=13,9425$	$\Sigma=27,89$	$\Sigma=354,75$		$\Sigma=10,52$

Чтобы убедиться в правильности проведения эксперимента, адекватности полученной модели, провели статистическую обработку полученных данных (см. табл. 3).

Для определения вариации значений для двух повторных опытов использовали дисперсию, вычисленную по формуле 3:

$$S_i^2 = \frac{2\Delta Y^2}{1}; (3)$$

Расчет однородности дисперсии проводили по критерию Кохрена:

$$G_{\text{экс}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} \leq G_{\text{кр}}; (4)$$

Дисперсия считается однородной, если выполняются условия критерия Кохрена. Табличное значение критерия составило $G_{\text{кр}}=0,6798$ [25]. В результате расчётов получено экспериментальное значение $G_{\text{экс}}=0,2455$. Поскольку $G_{\text{экс}} < G_{\text{кр}}$, условие

формулы (4) выполняется, и дисперсия является однородной.

Для проверки адекватности полученной модели определяли сначала дисперсию адекватности:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta Y'_i)^2}{f}; (5)$$

Затем находили $Y_{\text{рас}}$; (табл. 3)

На основе полученных результатов находим $\Delta Y'_i$ по формуле 6

$$\Delta Y'_i = Y_{\text{ср}} - Y_{\text{рас}}; (6)$$

После этого определяли дисперсию воспроизводимости для двух повторных опытов по формуле 7:

$$S_y^2 = \frac{2\sum_{i=1}^N (Y_{iq} - Y)^2}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N}; (7)$$

где $i=1, 2, \dots, N$; $q=1, 2, \dots, n$

В результате расчётов получено значение $S_i^2 =$

3,4856

Далее находили дисперсию адекватности по формуле 8:

$$S_{ад}^2 = \frac{n \sum (Y_{cp} - Y_{pac})^2}{N - q}; \quad (8)$$

где $q = K + 1$; K – число коэффициентов регрессии.

В результате расчётов получено значение $S_{ад}^2 = 7,0122$.

Адекватность модели проверяли по критерию Фишера:

$$F_{экс} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2};$$

$$F_{таб} (2,8) = 4,5 \text{ (для } f_1=2; f_2=8) [25]$$

В результате расчётов получено значение $F_{экс} = 2,0117$

Адекватность разработанной модели оценивали с использованием критерия Фишера ($F_{экс} < F_{таб}$). Этот подход позволил проверить соответствие экспериментальных данных предсказаниям модели и убедиться в достоверности полученных результатов, а также в правильности выбранной структуры и параметров математической модели.

Поскольку $F_{экс} < F_{кр}$, условия критерия удовлетворены, что позволяет считать модель адекватной экспериментальным данным.

$$F_{экс} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}; \quad (9)$$

Для проверки значимости коэффициентов регрессии необходимо найти дисперсию коэффициентов регрессии S_{bi}^2 по формуле:

$$S_{bi}^2 = \frac{S_y^2}{N} \quad (10) \quad S_{bi} = \pm \sqrt{S_{bi}^2} \quad (11)$$

В результате расчётов получено:
 $S_{bi}^2 = 0,4357$; $S_{bi} = 0,6600$

Затем определяли доверительный интервал:

$$\Delta b_i = t S_{bi} \quad (12)$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы, с которыми определялась S_y^2 в выбранном уровне значимости (обычно 0,05).

S_{bi} – квадратичная ошибка коэффициента регрессии.

$$\Delta t_{кр} = 3,182$$

$$\Delta b_i = 2,1003$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала (табл. 4).

Таблица 4

Значимость коэффициентов регрессии

b_i – значения	Символ	Δb_i – значения	Результаты
$b_0 = 44,34$	>	2,1003	Коэффициент значим
$b_1 = 5,24$	>		Коэффициент значим
$b_2 = 4,83$	>		Коэффициент значим
$b_3 = 9,26$	>		Коэффициент значим
$b_4 = 2,83$	>		Коэффициент значим

Как видно из табл. 4, значимыми оказались все рассмотренные факторы, при этом рассчитанные уравнения регрессии остались не измененными.

Одной из задач метода математического планирования эксперимента является количественная оценка вклада каждого из выбранных факторов на результат экстракции. По количественному вкладу факторы располагаются в следующем порядке: $X_3 > X_1 > X_2 > X_4$

Таким образом, проведенными исследованиями методом математического планирования эксперимента самые оптимальные показатели получены при первом эксперименте (66,8; %). Исходя из этого, установлены следующие оптимальные условия сушки с принудительной вентиляцией надземной части *Physalis angulata*:

- толщина слоя растительного сырья на противне сушилки – 15 мм;
- скорость подаваемого воздуха – 9 м/с;
- температура процесса – не более 70 °C;
- продолжительность процесса – не менее 5 ч.

Для экономии энергии процесс сушки можно проводить с дискретным подводом тепла. Для этого каждые 30 мин необходимо отключать источник подачи тепла и подавать холодный воздух.

Данная работа финансировалась за счет

средств гранта №: AL-9224094148 AL-9224094148 на тему «Разработка технологии получения средства “Fizangulid” на основе вимастероидов, выделенных из растения *Physalis angulata*, обладающего иммуномодулирующей и противовоспалительной активностью» (2025 - 2027) и бюджета Института химии растительных веществ имени академика С.Ю. Юнусова Академии наук Республики Узбекистан.

Список литературы:

1. Elpel T. Botany in a day: the patterns method of plant identification. Thomas J. Elpel's herbal field guide to plant families of North America. 2nd ed. Pony: Hops Press, 2004.
2. Medina-Medrano J.R., Almaraz-Abarca N., González-Elizondo M.S., Uribe-Soto J.N., González-Valdez L.S., Herrera-Arrieta Y. Phenolic constituents and antioxidant properties of five wild species of *Physalis* (Solanaceae) // *Bot Stud.* 2015. V. 56(1). P. 19-24.
3. Azadbakht M., Azadbakht M. Medicinal plants systematic according to APG. 2nd ed. Tehran: Arjmand, 2013.
4. Sayadi S., Mehrabian A. Diversity and distribution patterns of Solanaceae in Iran: implications for conservation and habitat management with emphasis on endemism and diversity in SW Asia. *Rastaniha.* 2016; 4(2): 57-64.

5. Mozaffarian V. Identification of medicinal and aromatic plants of Iran. Tehran: Arjmand, 2013.
6. Khikmatullaev I.L., Boimatov O.S., Yuldasheva N.K. et al. Constituent Composition of *Physalis angulata* // Chem Nat Compd. 2022. V. 58. P. 596–600. <https://doi.org/10.1007/s10600-022-03749-z>.
7. Флора Узбекистана. Институт ботаники Академии наук Узбекской ССР. Т. 5. Ташкент, 1961. с 424-428.
8. Renjifo-Salgado E., Vargas-Arana G. *Physalis angulata* L. (*Bolsa Mullaca*): A review of its traditional uses, chemistry and pharmacology. Boletín Latinoamericano Caribe // Plant Med Aromat. 2013. V. 12. P. 431–445.
9. Lima L.G.B., Montenegro J., Abreu J.P., Santos M.C.B., Nascimento T.P.D., Santos M.D.S., Ferreira A.G., Cameron L.C., Ferreira M.S.L., Teodoro A.J. Metabolite Profiling by UPLC-MSE, NMR, and antioxidant properties of amazonian fruits: Mamey apple (*Mammea americana*), Camapu (*Physalis angulata*), and Uxi (*Endopleura uchi*) // Molecules. 2020. V. 25(2). P. 342.
10. Kuo P.Q., Kuo T.H., Damu A.G., Su C.R., Lee E., Wu T., Shu R., Chen C.M., Bastow K., Chen T.H., Lee K.H. Physanolide A, a novel skeleton steroid, and other cytotox principles from *Physalis angulata* // Org Lett. 2006. V.8. P. 2953 – 2956.
11. Shingu K., Yahara S., Nohara T., Okabe H. Three new withanolides, physagulins A, B, and D from *Physalis angulata* L. // Chem Pharm Bull. 1992. V. 40. P. 2088 - 2091.
12. Nagafuji S., Okabe H., Akahane H., Abe F. Trypanocidal constituents in plants 4. Withanolides from the aerial parts of *Physalis angulata* // Biol Pharm Bull. 2004. V. 27. P. 193 - 197.
13. Okmanov R. Ya, Makhmudova M. M., Bobaev I. D., Tashkhodjaev B. Withanolides *Physalis angulata* L // Acta Crystallographica Section E. England. 2021. E77.
14. Towers G., Cabanillas J. An ethnobotanical study of the tradicional medicine of the Mestizo people of Suni Miraño, Loreto, Peru // J Ethnopharmacol. 1996. V. 53. P. 149 - 153.
15. Mejía K., Rengifo E. Plantas medicinales de uso popular en la Amazonía peruana. 2ª ed. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. 2000. Iquitos, Perú.
16. Duke J.A., Vásquez R. Amazonian Ethnobotanical Dictionary. CRC Press, Inc. Boca Raton, 1994. Florida, USA.
17. Agra M., Baracho G., Nurit K., Basilio I., Coelho V. Medicinal and poisonous diversity of the flora of “Cariri Paraibano”, Brazil // J Ethnopharmacol. 2007. V. 111. P. 383 - 395.
18. Lawal I., Uzokwe N., Igboanugo A., Adio A., Awosan E., Nwogwugwu J., Faloye B., Olatunji B., Adesoga A. Ethno medicinal information on collation and identification of some medicinal plants in Research Institutes of South-west Nigeria // Afr J Pharm Pharmacol. 2010. V. 4. P. 1 - 7.
19. Roosita K., Kusharto C., Sekiyama M., Fachrurrozi Y., Ohtsuka R. Medicinal plants used by the villagers of a Sundanese community in West Java, Indonesia // J Ethnopharmacol. 2008. V.115. P. 72 - 81.
20. <https://volvitshop.cv.ua/ua/p2532080541-ekstrakt-kornya-ashvagandy>.
21. Маматханова М.А., Гулямова Д. Р., Халилов Р.М., Маматханов А.У. Зависимость изменения содержания флавоноидов в корнях *Ammothamnus lehmannii* от способа сушки // Фармацевтический журнал. 2020. №2. С. 62–67.
22. Алимуджианг А., Халилов, Р.М., Джао Джатнг Ю, Джао Бо, Сагдуллаев Ш.Ш. Интенсификация сушки листьев *Rosa rugosa* // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. №8(125). Ч.2. С. 63–67.
23. Бабин А.В., Ракипов Д.Ф. Организация и математическое планирование эксперимента. Екатеринбург, 2014. С. 85-94.
24. Абдурахманов Б.А., Халилов Р.М., Сотимов Г.Б. Изучение процесса экстракции гиперина из надземных частей *Hypericum scabrum* и *Hypericum perforatum* // Химия растительного сырья. 2021. №1. С. 299–307.
25. Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических процессов. – Москва: Химия, 1972. 182 с.