

CHEMICAL SCIENCES

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ECDYSTERONE EXTRACTION FROM *Silene praemixta*: COMPARISON OF METHODS AND PROCESS OPTIMIZATION

Mamatkhanov A.

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

Khajibaev T.

PhD in Technical Sciences, Institute of Chemistry of Plant Substances

Khalilov R.

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

Abduazimov B.

PhD in Technical Sciences, Institute of Chemistry of Plant Substances

Mamatkhanova M.

Doctor of Technical Sciences, Institute of Chemistry of Plant Substances

Sagdullaev Sh.

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

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКСТРАКЦИИ ЭКДИСТЕРОНА ИЗ *Silene praemixta*: СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА

Маматханов А.У.

доктор технических наук, профессор, Институт химии растительных веществ АН РУз

Хажибаяев Т.А.

PhD по техническим наукам, Институт химии растительных веществ АН РУз

Халилов Р.М.

доктор технических наук, профессор, Институт химии растительных веществ АН РУз

Абдуазимов Б.Б.

PhD по техническим наукам, Институт химии растительных веществ АН РУз

Маматханова М.А.

доктор технических наук, Институт химии растительных веществ АН РУз

Сагдуллаев Ш.Ш.

доктор технических наук, академик, Институт химии растительных веществ АН РУз

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17492561>

Abstract

The article presents the results of a study on methods for extracting ecdysterone from the aerial parts of *Silene praemixta* aimed at optimizing the technological process. The efficiency of the methods was evaluated based on ecdysterone yield (at least 95% of the content in the raw material), solvent consumption, and extraction time. Comparative analysis revealed that extraction with forced circulation and stirring provided the shortest process duration. However, the stirring method was characterized by a 2.1-fold higher solvent consumption, uncontrolled temperature increase, and difficulties in separating the extract due to excessive grinding of the raw material. Extraction using a Soxhlet apparatus was the most solvent-efficient but was slower and had limitations for industrial application due to its complex design and large equipment size. Based on the results, a three-stage extraction method with forced circulation of the solvent was selected for process intensification.

To optimize ecdysterone extraction from *Silene praemixta* using forced circulation, an experimental design approach based on a 3×3 Latin square was employed. The highest ecdysterone yield (60.8%) was achieved under the following conditions: raw material-to-solvent ratio of 1:5, solvent circulation rate of 70 L/h, and raw material particle size of 8 mm. The optimal extraction process consists of three cycles: soaking the raw material in 90% ethanol (1:5 ratio) for 1 hour, followed by a first extraction lasting 4 hours, and second and third extractions of 3 hours each. The ecdysterone yield reached 96.7% of the content in the raw material over three cycles.

Аннотация

В статье представлены результаты исследования методов экстракции экдистерона из надземной части растения *Silene praemixta* с целью оптимизации технологического процесса. Эффективность методов оценивалась по выходу экдистерона (не менее 95% от содержания в сырье), расходу экстрагента и времени экстракции. Сравнительный анализ показал, что экстракция с принудительной циркуляцией и с перемешиванием обеспечивают минимальную длительность процесса. Однако метод с перемешиванием отличается увеличенным в 2,1 раза расходом экстрагента, неконтролируемым повышением температуры и сложностями с отделением экстракта из-за чрезмерного измельчения сырья. Экстракция в аппарате Сокслета была наиболее экономичной по расходу экстрагента, но уступала по скорости и имела ограничения для промышленного применения из-за сложной конструкции и больших габаритов оборудования. На основании результатов для интенсификации процесса выбран метод трёхкратной экстракции с принудительной циркуляцией экстрагента.

Для оптимизации экстракции экидистерона из *Silene praemixta* методом принудительной циркуляции использован подход математического планирования эксперимента по схеме латинского квадрата 3×3 . Максимальный выход экидистерона (60,8%) достигнут при следующих параметрах: соотношение сырья и растворителя — 1:5, скорость циркуляции экстрагента — 70 л/ч, степень измельченности сырья — 8 мм. Оптимальный процесс экстракции включает три цикла: набухание сырья в 90%-ном этаноле (соотношение 1:5) в течение 1 часа, первая экстракция — 4 часа, вторая и третья — по 3 часа. Выход экидистерона составил 96,7% от содержания в сырье за три цикла.

Keywords: *Silene praemixta*, ecdysterone, extraction, optimization.

Ключевые слова: *Silene praemixta*, экстракция, оптимизация.

Введение

Среди разнообразия лекарственных препаратов, применяемых для профилактики и лечения, особую популярность приобретают природные адаптогены. Эти вещества, благодаря своим уникальным свойствам, широкому спектру терапевтического действия, минимальному количеству побочных эффектов и ограниченному числу противопоказаний, становятся важным инструментом в медицинской практике. Они способствуют повышению устойчивости организма к стрессам, улучшению общего состояния и поддержанию здоровья. Одним из ярких представителей таких природных адаптогенов является экидистерон, который эффективно применяется в терапии и профилактике различных заболеваний, помогая организму адаптироваться к неблагоприятным условиям и укрепляя его защитные механизмы [1, 2]. Показаны анаболические, адаптогенные и тонизирующие свойства экидистерона и на его основе создан препарат экидистен, который получают из корневищ с корнями *Rhaponticum carthamoides* (Willd) Iljin (левзея сафлоровидная). В Институте химии растительных веществ из корней и корневищ растения *R. carthamoides* производит субстанцию экидистена по описанной технологии, приведенной в литературе. Экидистен — белый с кремоватым оттенком кристаллический порошок. Умеренно растворим в 96% спирте, малорастворим в воде, практически не растворим в хлороформе. Слегка комкуется, без запаха. Содержание экидистерона (2 β ,3 β ,14 α ,20R,22R,25-гексагидрокси-5 β -холестен-7-он-6) в субстанции экидистена в пересчете на сухое вещество должно быть не менее 96.0% и не более 103.0% [3, 4].

Одним из перспективным источником сырья для получения экидистерона служит *Silene praemixta* М. Пор. (смолёвка смешанная), которая относится к одному из наиболее распространенных видов рода *Silene* в Центральной Азии. *S. praemixta* — многолетнее растение высотой 40–60 см, произрастающее в Средней Азии (Западный Тянь-Шань). Авторы подтверждают наличие экидистерона в растении *Silene praemixta* М. Пор. (смолёвка смешанная) и рекомендуют его использование как сырья для производства экидистена [5]. Помимо экидистерона, *S. praemixta* содержит другие экидистероиды, включая силеностерон, премиксистерон, 2-дезоксид- α -экидизон, 2-дезоксидэкидистерон, 22-О- β -D-глюкопиранозид-2-дезоксид- α -экидизон, 2-дезоксидэкидистерон 3-ацетат, 2-дезоксидэкидистерон, 26-гидроксиполипидин В, интегристерон А, а также силенозиды А и D [6–10].

Ранее нами была разработана промышленная технология производства субстанции экидистена из надземной части (н/ч) *S. praemixta*. Определены оптимальные параметры, влияющие на процесс экстракции экидистерона из надземной части (н/ч) *S. praemixta* в статических условиях. Установлены следующие условия экстракции: экстрагент — 80%-ный этиловый спирт, размер частиц сырья 1–5 мм, температура процесса — 20–30 °С и пятикратная экстракция. Для удаления гидрофобных и гидрофильных примесей из полученного экстракта предложена трёхкратная обработка дихлорметаном, за которой следует восьмикратная экстракция экидистерона смесью бутанола с экстракционным бензином в объёмном соотношении 1:1. Для получения субстанции экидистена, соответствующей требованиям фармакопейной статьи, рекомендована хроматографическая очистка на оксиде алюминия с последующей кристаллизацией из смеси этанола с ацетоном в объёмном соотношении 1:7. Для хроматографической очистки предложены следующие условия: соотношение высоты сорбционного слоя к диаметру колонки — 5:1, скорость элюирования — 45 л/(м²·час), соотношение массы вносимой в колонку субстанции и сорбента — 1:15 [11].

Основным процессом, применяемым при приготовлении лекарственных форм из растительного сырья, является **экстрагирование**. Практически каждый технологический цикл, связанный с их производством и независимо от условий, при которых он протекает, включает экстракцию действующих веществ из соответствующего растительного сырья [12].

Все существующие способы экстрагирования классифицируют на статические и динамические.

Экстракцию **в статических** условиях осуществляют в условиях комнатной температуры, предварительно заливая измельченное растительное сырье необходимым количеством экстрагента.

В настоящее время ищутся и внедряются новые формы экстракции с максимальной динамизацией всех видов диффузии (**динамические** экстрагирования). При производстве фармацевтических препаратов используют различные методы экстрагирования, такие как перколяция, реперколяция, мацерация с перемешиванием, непрерывное экстрагирование и др. Все эти способы позволяют получить хороший результат, благодаря гидродинамическим условиям, в этих способах экстрагент движется относительно сырья. Преимущества динамической экстракции включают ускорение массопереноса между сырьём и растворителем; сокращение времени экстракции

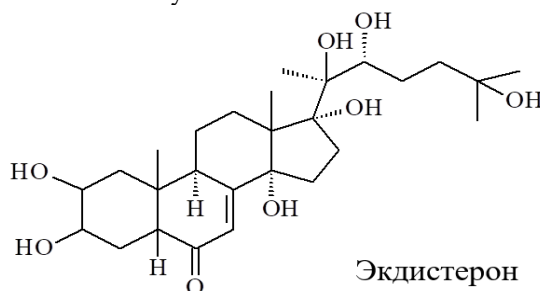
по сравнению со статическими методами; более полное извлечение целевых компонентов; повышение производительности при масштабировании [13, 14].

Цель исследования. Оптимизация извлечения экдистерона из надземной части *Silene praemixta* в условиях динамической экстракции.

Экспериментальная часть

Заготовку сырья н/ч *S. praemixta* для проведения экспериментов осуществляли во время бутонизации культивированной в ботаническом участке

ИХРВ АНРУз (г. Ташкент). Заготовленное сырьё состояло из стеблей, листьев, бутонов и соцветий и имел следующие показатели: содержание экдистерона ($C_{27}H_{44}O_7$, т. пл. 240-241°C) – 0,9%, влаги – 8%, золы общей – 6%, золы нерастворимой в 10% растворе хлористоводородной кислоты – 0,7%, частиц органической примеси – 1,1%; минеральной примеси – 0,7%.



Учитывая, что действующим веществом субстанции экдистена является экдистерон, при проведении исследования в качестве изучаемого вещества выбран экдистерон. Количественный анализ экдистерона проводили методом ВЭЖХ в условиях, приведенных в литературе [11, 19].

Условия хроматографирования: хроматограф с насосом высокого давления, позволяющим создавать градиент концентрации элюента, с УФ- детектором с переменной длиной волны, колонка Zorbax

Eclipse XDB-C18 с внутренним диаметром 3 мм, длиной 15 см, размер зерна сорбента 3,5 мкм или аналогичная.

Хроматографирование проводили при комнатной температуре. УФ-детектирование осуществлялось при длине волны 247 нм. Подвижной фазой служил градиент растворителей, который приведен в табл. 1.

Таблица 1

Наименование растворителя	Градиент растворителей					
	Время, мин					
	0.00	15.00	30.00	35.00	40.00	45.00
Вода	100	95	15	0	0	100
Ацетонитрил	0	5	85	100	100	0

Время анализа - 45 мин.

Скорость потока – 0,5 мл/мин.

Объем нанесения проб - 20 мкл.

Содержание экдистерона (X) вычисляли по формуле 1:

$$X = \frac{C_{\text{эк}} \cdot P_{\text{ст}}}{C_{\text{обр}}}; \quad (1)$$

где: $C_{\text{эк}}$ – концентрация экдистерона в растворе образца, определенное хроматографом, калиброванным по внешнему стандарту, в мг/л; $C_{\text{обр}}$ – концентрация испытуемого раствора, в мг/л; $P_{\text{ст}}$ – содержание экдистерона в стандартном образце, в процентах.

Для приготовления раствора стандартного образца экдистерона, около 0,01 г (точная навеска) стандартного образца экдистерона помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, прибавляли 20 мл спирта 50% и растворяли, доводя объем раствора до метки тем же растворителем и перемешивали (0,4 мг/мл, раствор А).

2,5 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл и доводили до метки спиртом 50% (0,04 мг/мл, раствор Б).

Для приготовления испытуемого раствора,

около 0,01 г (точная навеска) испытуемого образца помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, прибавляли 20 мл спирта 50% и растворяли, доводя объем раствора до метки тем же растворителем и перемешивали (0,4 мг/мл, раствор А).

2,5 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, доводя до метки спиртом 50% и перемешивали (0,04 мг/мл, раствор Б).

Выход экстрактивных веществ определяли следующим образом: точную навеску (100 мг) спиртового экстракта помещали в предварительно высушенный и взвешенный бюкс. Бюкс с экстрактом помещали в сушильный шкаф и сушили при температуре 60 °С. При высушивании открытый бюкс вместе с крышкой помещали в эксикатор для охлаждения на 50 мин, затем закрывали и взвешивали. Первое взвешивание проводили после сушки в течение 2 ч. Последующие взвешивали после каждого часа дальнейшего высушивания. Процесс сушки проводили до постоянной массы. Массовую долю сухого остатка (в %) вычисляли по формуле 2:

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m} \cdot 100; \quad (2)$$

где: m – навеска, г; m_1 – масса чаши, г; m_2 – масса

чаики с остатком после высушивания, г.

С целью изучения влияния способа экстракции на выход сухого экстракта из н/ч *S. praemixta* и содержание экдистерона в целевом продукте образцы экстракта получили следующими способами экстракции [13, 14]:

Способ 1. Ремацерация. В экстрактор объёмом 10 л помещали 1 кг воздушно-сухого сырья *S. praemixta*, измельчённого до частиц размером до 5 мм, заливали 4 л 90%-ного этилового спирта и проводили экстракцию при 20 °С в течение 6 часов. Экстракт сливали, а процесс экстракции повторяли ещё 4 раза, используя по 3 л спирта для каждой стадии. Объединённый спиртовой экстракт (16 л) фильтровали и концентрировали до объёма 0,5 л. Концентрат разбавляли 0,5 л воды, а гидрофобные примеси удаляли трёхкратной обработкой дихлорметаном (по 1 л). Экдистерон извлекали из очищенного водного раствора восьмикратной экстракцией смесью н-бутанола и экстракционного бензина (1:1) по 1 л. Полученную густую массу высушивали при температуре до 60 °С, измельчали, просеивали и анализировали.

Способ 2. Экстракция в аппарате Сокслета. В аппарат Сокслета загружали 0,1 кг сырья, в экстракционную колбу заливали 500 мл, а в сборник экстракта — 100 мл 90%-ного этилового спирта. Сырьё набухало в течение 2 часов, после чего проводили экстракцию до полного извлечения экстрактивных веществ. Объединённые экстракты концентрировали, очищали от примесей, извлекали экдистерон и высушивали по методике, аналогичной способу 1. Сухую массу измельчали, просеивали и анализировали.

Способ 3. Экстракция с принудительной циркуляцией. Эксперименты проводили в экстракторе объёмом 50 л с паровой рубашкой и взрывозащищённым насосом. В экстрактор загружали 10 кг воздушно-сухого сырья *S. praemixta*, заливали 40 л 90%-ного этилового спирта и проводили экстракцию при комнатной температуре с циркуляцией экстрагента (60 л/ч) в виде душа. Каждые 20 минут отбирали пробы для анализа содержания сухой массы. После достижения фазового равновесия экстракт сливали, а процесс повторяли ещё дважды с 30 л свежего спирта. Объединённые экстракты фильтровали, концентрировали, очищали, извлекали экдистерон и высушивали по методике спо-

соба 1. Сухую массу измельчали, просеивали и анализировали.

Способ 4. Экстракция с перемешиванием. В экстрактор объёмом 50 л с лопастной мешалкой (30 об/мин) загружали 10 кг воздушно-сухого сырья *S. praemixta* и заливали 80 л 90%-ного этилового спирта. После набухания сырья в течение 1 часа экстракцию проводили при комнатной температуре с перемешиванием до достижения фазового равновесия, контролируя содержание сухого остатка каждые 20 минут. Экстракт (65 л) сливали, а процесс повторяли ещё дважды с 65 л свежего спирта. Далее экстракты обрабатывали по методике способа 1: концентрировали, очищали, извлекали экдистерон и высушивали. Полученную сухую массу измельчали, просеивали и анализировали.

В процессе проведения экспериментов анализировалось изменение содержания экдистерона, переходящих в 90%-ный этиловый спирт, под влиянием каждого контакта фаз экстракции с течением времени. На основании полученных данных определили динамику экстракции экдистерона из н/ч *S. praemixta*.

Результаты и их обсуждение

Так как во всех Способах эксперименты проводили до выхода экдистерона более 95% от содержания в сырье, эффективность способов оценивали по расходу экстрагента и времени экстракции. Наилучшие результаты по времени показали экстракция с принудительной циркуляцией и с перемешиванием. Однако при перемешивании расход экстрагента в 2,1 раза выше, чем при принудительной циркуляции. Кроме того, перемешивание вызывало повышение температуры процесса, что затрудняло её регулирование, а интенсивное перемешивание увеличивало степень измельчения сырья, усложняя отделение экстракта от шрота. Экстракция в аппарате Сокслета была наиболее экономичной по расходу экстрагента, но уступала по времени циркуляционному и перемешивающему методам. Применение аппарата Сокслета в промышленности ограничено из-за сложной конструкции, больших габаритов и трудностей с загрузкой/выгрузкой сырья.

С учётом вышеизложенного, для интенсификации экстракции экдистерона из н/ч *S. praemixta* в динамических условиях выбран метод трёхкратной экстракции с принудительной циркуляцией экстрагента (рис. 1).

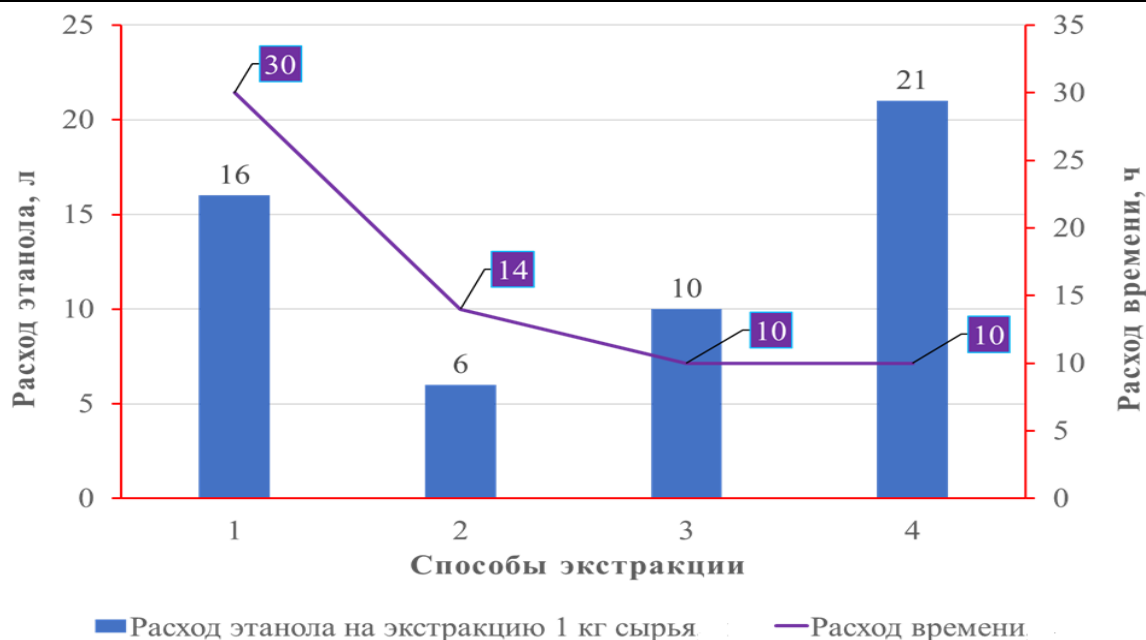


Рис. 1. Влияние способа экстракции экидистерона из н/ч *S. praemixta* на качественные параметры готового продукта и технологические показатели процесса

Исследование технологических процессов — трудоёмкий и длительный экспериментальный процесс, поэтому важно получать максимум информации при минимальном числе опытов. Оптимизация экспериментов на всех стадиях технологического цикла значительно повышает эффективность научной работы. В последние годы для оптимизации и прогнозирования химико-технологических процессов всё шире применяются методы математического планирования эксперимента, включая методы Бокса-Уилсона, Бокса-Бенкена и схемы латинских квадратов (3×3, 4×4 и др.) [16-20]. Для оптимизации экстракции экидистерона из сырья *S. praemixta* методом принудительной циркуляции экстрагента эксперименты проводили по плану латинских квадратов 3×3.

В качестве факторов изучали следующие:

A — соотношение сырья и растворителя: $A_1=1:3$; $A_2=1:4$; $A_3=1:5$.

B — скорость циркуляции экстрагента: $B_1=70$ л/ч; $B_2=80$ л/ч; $B_3=90$ л/ч.

C — степень измельченности сырья: $C_1=4$ мм; $C_2=8$ мм; $C_3=12$ мм.

Опыты проводили по плану, приведенному в табл. 1.

Во всех опытах количество сырья и метод выделения были идентичными. В опытах использовали по 1,0 кг воздушно-сухого сырья. Параметром оптимизации служил выход экидистерона от содержания в сырье при первом контакте фаз. Результаты опытов представлены в табл. 1.

Таблица 1

План эксперимента и результаты эксперимента (среднее из двух значений)								
План экспериментов				Результаты экспериментов			Число опы- тов	Повторность опытов
Факторы	A ₁	A ₂	A ₃	Выход экидистерона, % от содер- жания в сырье				
B ₁	C ₁	C ₂	C ₂	42,3	38,2	60,8	N = 9	f = 2
B ₂	C ₂	C ₃	C ₁	20,9	40,8	55,8		
B ₂	C ₁	C ₁	C ₃	18,9	20,5	23,2		

Для установления значимости факторов провели дисперсионный анализ результатов эксперимента. Для этого в начале найдены суммы показателей каждого фактора по формуле 3:

$$T = \sum T_{ij}; \quad (3)$$

Для этого в начале рассчитали суммы показателей каждого фактора (T_{ij}) и их средние значения (табл. 2).

Таблица 2

Сумма каждого фактора и их средние значения									
Искомые значения	Фактор А			Фактор В			Фактор С		
	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2	B_3	C_1	C_2	C_3
Сумма T_{ij}	82,1	99,5	139,8	141,3	117,5	62,6	118,6	119,9	82,90
Среднее	27,36	33,16	46,60	47,10	39,16	20,86	39,53	39,96	27,63

Данные, представленные в табл. 2, были использованы в формуле 3 для расчёта суммарных показателей влияния каждого фактора:

Результат: $T = 321,4$.

Дисперсию квадратов показателей всех наблюдений анализировали по формуле 4:

$$S^2 = \sum Y_{ij}^2; (4)$$

Результат: $S^2 = 13475,96$.

Суммы квадратов каждого фактора вычисляли по формуле 5:

$$S_a^2 = \frac{1}{n} \sum T_{ij}^2; S_b^2 = \frac{1}{n} \sum T_{ij}^2; S_c^2 = \frac{1}{n} \sum T_{ij}^2; (5)$$

Результат: $S_a^2 = 12061,57$;

$S_b^2 = 12563,57$;

$S_c^2 = 11771,46$.

На следующем этапе определены средние значения суммы квадратов T/N , затем общие значения суммы квадратов рассчитали по формуле 6:

$$SS_{\text{общ}} = S^2 - \frac{T^2}{N}; (6)$$

Результат: $T/N = 11477,55$.

$SS_{\text{общ}} = 1998,41$.

Суммы квадратов группы факторов вычисляли по формуле 7:

$$SS_a = S_a^2 - \frac{T^2}{N}; SS_b = S_b^2 - \frac{T^2}{N}; SS_c = S_c^2 - \frac{T^2}{N}; (7)$$

Результат: $SS_a^2 = 584,02$;

$SS_b^2 = 1086,02$;

$SS_c^2 = 293,91$.

Затем остаточную дисперсию рассчитали по формуле 8:

$$SS_{\text{ост}} = SS_{\text{общ}} - SS_a - SS_b - SS_c; (8)$$

Результат: $SS_{\text{ост}} = 34,47$.

Средний квадрат каждого фактора вычисляли по формуле 9:

$$S_a = \frac{SS_a}{f}; S_b = \frac{SS_b}{f}; S_c = \frac{SS_c}{f}; (9)$$

где: $f = n - 1$

Результат: $S_a = 292,01$;

$S_b = 543,01$;

$S_c = 146,95$.

Остаточную дисперсию среднего квадрата каждого фактора вычисляли по формуле 10:

$$S_{\text{ост}} = \frac{SS_{\text{ост}}}{f}; (10)$$

где: $f = (n - 1)(n - 2)$

Результат: $S_{\text{ост}} = 17,23$

Дисперсионные отношения вычисляли по формуле 11:

$$F_a = \frac{S_a}{S_{\text{ост}}}; F_b = \frac{S_b}{S_{\text{ост}}}; F_c = \frac{S_c}{S_{\text{ост}}}; (11)$$

Результат: $F_a = 16,94$;

$F_b = 31,51$;

$F_c = 8,53$.

Табличное значение критерия Фишера $F_{\text{табл.}}(2,9) = 4,3$ [21].

Коэффициент считается значимым, если его дисперсионное отношение превышает значение критерия Фишера. На основании результатов анализа все выбранные факторы признаны значимыми.

Наибольший выход экидистерона получен при условиях $A_3B_1C_2$ (60,8%) и, соответственно, влияющие факторы были выбраны следующим образом: соотношение сырья и растворителя – 1:5; скорость циркуляции экстрагента – 70 л/ч; степень измельченности сырья – 8 мм.

Дальнейшие исследования были направлены на определение оптимальных условий экстракции экидистерона из н/ч *S. praemixta* методом экстракции с принудительной циркуляцией экстрагента. Результаты представлены в виде диаграммы на рис. 2.

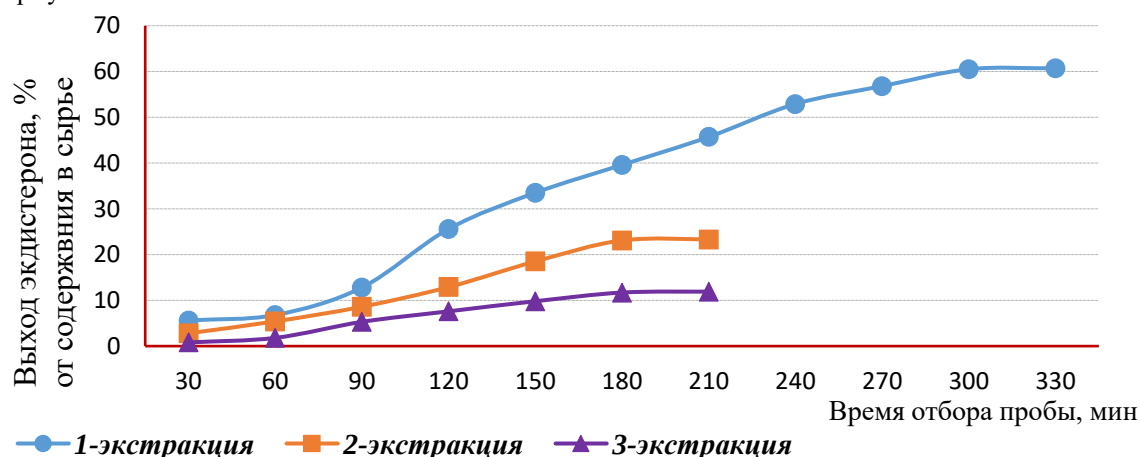


Рис. 2. Динамика извлечения экидистерона из н/ч *S. praemixta* методом экстракции с принудительной циркуляцией экстрагента с использованием 90%-ного этилового спирта

Из рис. 2 видно, что кривые экстракции представляют собой типичные изотермы, стремящиеся к равновесию. При первом контакте фаз выход экидистерона в течение первого часа низкий. Это объясняется тем, что первый час расходуется для набухания сырья.

При четвертом контакте фаз выход экидистерона незначительный, основная их часть извлекается за три слива. При этом выход составляет 96,7% от содержания в сырье. Таким образом, было установлено, что экстракцию экидистерона из н/ч *S. praemixta* методом

экстракции с принудительной циркуляцией экстрагента следует проводить трехкратно. Для этого сырье загружают в экстрактор, заливают 90%-ным этиловым спиртом в соотношении сырья к растворителю 1:5, оставляют для набухания сырья на 1 час, а затем проводят первую экстракцию в течение не менее 4 часов, вторую и третью – по 3 часа каждая.

Вывод

Исследование методов экстракции экидистерона из н/ч *S. praemixta* показало, что трёхкратная экстракция с принудительной циркуляцией экстрагента является оптимальной. Предложенный метод обеспечивает высокую эффективность и перспективность для промышленного применения при извлечении экидистерона из *S. praemixta*.

Финансовая поддержка. Данная работа финансировалась за счет средств базового финансирования Института химии растительных веществ Академии Наук Республики Узбекистан.

Список литературы:

1. Сыров В.Н. Фитоэкидистероиды: биологические эффекты в организме высших животных и перспективы использования в медицине // Экспериментальная и клиническая фармакология. 1994. № 5. С. 61–65.
2. Машковский М.Д. Лекарственные средства. Москва: ООО «Новая Волна», 2002. 14-е изд., Том I, С. 136.
3. Mamatkhanov A.U., Khalilov R.M., Mamatkhanova M.A. Complex Processing of *Rhaponiticum carthamoides* Rhizomes with Roots to Produce Ecdisten Substance, Total Flavonoids, and Lipid Concentrate // *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2021. Vol. 54. P. 1040–1044.
4. Маматханов А.У., Хажибаев Т.А., Халилов Р.М. *Ajuga turkestanica* – альтернативный источник для производства экидистена // *Химия растительного сырья*. 2022. №1. С. 309–318.
5. Флора СССР. М., 1936. Т.6. Смолевка – *Silene*. С. 577–691.
6. Saatov Z., Usmanov B.Z., Abubakirov N.K. Phytoecdysones of *Silene praemixta*. I. Silenosterone // *Chemistry of Natural Compounds*. 1979. Vol.15. P. 700–703.
7. Saatov Z., Usmanov B.Z., Abubakirov N.K. Фитоэкидизоны *Silene praemixta*. II. Премиксистерон // *Chemistry of Natural Compounds*. 1979. Vol.15. P. 703–705.
8. Agzamova A.A., Isaev I.M., Mamathanov A.U., Isaev M.I., Ibragimov T.F. Phytoecdysteroids from *Silene praemixta* // *Advances in Biological Chemistry*. 2014. Vol.4 (1), P. 1–4.
9. Saatov Z., Gorovits M.B., Abdullaev N.D., Usmanov B.Z., Abubakirov N.K. Фитоэкидистероиды растений рода *Silene*. VIII. 2-дезоксизкидистерон-3-ацетат из *Silene praemixta* // *Chemistry of Natural Compounds*. 1985. Vol. 21. P. 56–58.
10. Mamadalieva N.Z., Zibareva L.N., Saatov Z., Lafont R. Phytoecdysteroids of *Silene viridiflora*. // *Chemistry of Natural Compounds*. 2003. Vol. 39. P. 199–203.
11. Mamatkhanov, A.U., Khalilov, R.M. Technology for obtaining ecdisten substance from the aerial part of *Silene praemixta* // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2022. Vol. 56. P. 815–820.
12. Фозилова У.Ж., Маматханов А.У., Анисимов В.В., Маматханова М.А., Халилов Р.М. Усовершенствование процесса экстракции экидистерона из надземной части *Silene brahuica* // *Sciences of Europe*. 2025. № 165. С. 13–18.
13. Ergasheva S.A., Mamatkhanova M.A., Nabiev A. Karimov A.M., Khalilov R.M., Mamatkhanov A.U. Development of the Flow Chart for Obtaining and Studying the Antihypoxic Activity of Dry Extracts from the Aerial Part of *Scutellaria Adenostegia* Herbs // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2021. Vol. 55. Pp.580–584.
14. Акбаров Н.А., Маматкулов З.У., Саноев А.И., Халилов Р.М., Сагдуллаев Ш.Ш. Интенсификация процесса экстракции глицирризиновой кислоты из подземной части *Glycyrrhiza glabra* // *Фармацевтический журнал*. 2024. №06. С. 41–48.
15. Abdukadirov I.T., Yakubova M.R., Nuriddinov K.R., Mamatkhanov A.U., Turakhozhaev M.T., Ecdysterone and Turkesterone in *Ajuga turkestanica* Determined by HPLC // *Chemistry of Natural Compounds*. 2005. №. 41. P. 475–476.
16. Бабин А.В., Ракипов Д.Ф. Организация и математическое планирование эксперимента. Екатеринбург. 2014. С. 85–94.
17. Hajibaev T.A., Khalilov R.M. The Process Optimization of Furostanol Saponins Extraction from the Aerial Part of *Tribulus Terrestris* // *International Journal of Scientific Research in Chemical Sciences*. 2023. Vol.10 (6). P.1–7.
18. Анисимов П.Н. Об использовании методики планирования эксперимента в соответствии с трехуровневыми планами Бокса-Бенкена // *Вестник магистратуры*. 2017. №2–2 (65). С. 32–36.
19. Маматханов А.У., Хажибаев Т.А., Халилов Р.М. Технология получения суммы иридоидов из отходов переработки надземной части *Ajuga turkestanica* // *Химия растительного сырья*. 2023. №3. С. 293–302.
20. Кариева Ё.С., Садикова Р.К., Каримов О.У., Нуридуллаева К.Н. Изучение процесса экстракции изосалипурпозидов из цветков бессмертника самаркандского // *Химия растительного сырья*. 2024. №1. С.354–361.
21. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. Москва. 1978. 319 с.