

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ ФРОНТА ЭКСТРАГЕНТА В РАСТИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ПРИ ЕГО НАБУХАНИИ

В. Т. Казуб, А. Г. Кошкарова

Кафедра физики и математики, Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ГБОУ ВПО «Волгоградский государственный медицинский университет», г. Пятигорск; bukva46@mail.ru

Ключевые слова и фразы: замачивание; модельные образцы; набухание; скорость жидкости; экстрагирование.

Аннотация: Представлены теоретические и экспериментальные исследования скорости продвижения фронта экстрагента в растительное сырье, которые показывают, что в продольном направлении образцов скорость продвижения фронта выше, чем в поперечном, и по мере продвижения внутрь образца скорость падает. В области фронта экстрагента концентрация экстрактивных веществ выше, то есть в конце периода набухания их концентрация больше в центре, и только по окончании процесса они начинают диффундировать к поверхности.

Начальной стадией любого способа экстрагирования высушенного растительного сырья является проникновение экстрагента в сырье, сопровождаемое его набуханием, а соответственно и изменением первоначального объема, что увеличивает путь диффузии веществ к поверхности частицы. Изменение геометрических размеров сырья в процессе экстракции ни одним из известных уравнений, решенных для определения коэффициента диффузии веществ в растительном материале, не учитывается, что искажает найденную величину коэффициента диффузии.

В целях совершенствования технологического процесса экстрагирования изучено изменение размеров частиц сырья при замачивании модельных образцов, приготовленных из продольных и поперечных срезов корня солодки и сырья заводского измельчения.

Для проведения экспериментов из корня готовили модельные образцы (рис. 1). Замачивали сырье водой, подкрашенной анилиновым красителем (экстрагент). Отмеренное количество экстрагента, необходимое для полного набухания навески сырья, вводилось дробно в целях исключения предварительной экстракции. После введения всего экстрагента, необходимого для полного набухания, проводили определение коэффициента расширения кусочков корня (табл. 1). Из этих образцов 10 кусочков корня разрезали вдоль оси и измеряли глубину продвижения жидкости в продольном и поперечном направлениях. Интенсивная окраска жидкости позволяла найти и измерить на срезе глубину ее проникновения (рис. 2).

Скорость продвижения фронта жидкости $v_{пр}$ в продольном направлении образцов выше (табл. 2), чем в поперечном $v_{поп}$ и возрастает с ростом температуры.

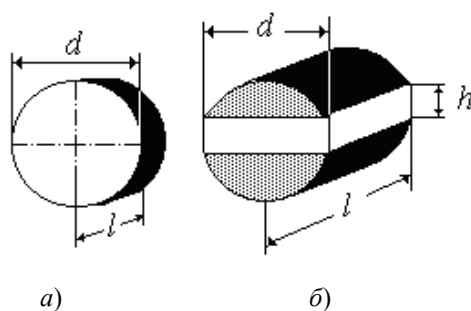


Рис. 1. Форма модельных образцов сырья, приготовленных из корня:
 а – диск (поперечный срез); б – пластинка (продольный срез)

Таблица 1

Коэффициент расширения корня при набухании

Вид анализируемых образцов	Линейные размеры сырья 10^{-3} , м						Коэффициент расширения		
	до набухания			после набухания					
	l	d	h	l	d	h	по l	по d	по h
Образцы поперечных срезов корня (диск)	3,6	12,5	–	3,6	16,6	–	1,0	1,33	–
Образцы продольных срезов корня	18,0	9,0	3,6	18,0	12,0	4,66	1,0	1,33	1,29

Примечание: l – длина; d – ширина (диаметр); h – высота.

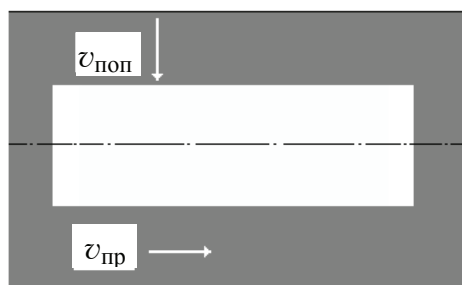


Рис. 2. Оценка скорости проникновения жидкости внутрь частицы сырья

Таблица 2

Скорость продвижения фронта экстрагента

Направление движения жидкости	Время контакта, ч	Скорость движения фронта жидкости, мм/ч, при температуре, °С			
		20	40	60	80
Вдоль образца	1	1,1	1,4	2,2	3,1
	2	1,0		2,1	
Поперек образца	1	0,9	1,3	2,0	2,8
	2		1,2	1,9	2,7

По мере продвижения жидкости ее скорость падает, что, по-видимому, можно объяснить повышением вязкости экстрагента за счет увеличения концентрации экстрактивных веществ. Внутри растительного сырья существует поток жидкости, движущийся с определенной скоростью от боковых поверхностей к центру образца. При этом внутренняя диффузия извлекаемых веществ из частицы сырья в окружающую жидкость под воздействием встречного потока жидкости должна замедляться.

Определение коэффициента поглощения и скорости движения потока экстрагента к центру частицы проводили на модельных продольных и поперечных срезах корня и сырье заводского измельчения. Эксперименты показали, что процесс набухания заканчивается в поперечных срезах быстрее, чем в продольных, и, при прочих равных условиях, для частиц больших размеров процесс набухания более длителен, что может служить подтверждением возрастания скорости экстрагирования с уменьшением размеров сырья. Коэффициент поглощения, определяемый как отношение максимального прироста в весе к навеске взятого сырья, для продольных и поперечных срезов модельных образцов ниже, чем для сырья заводского измельчения (табл. 3). Это можно объяснить тем, что сырье заводского измельчения имеет трещины, неровную шероховатую и волокнистую поверхность, а на поверхности искусственных образцов в результате гладких срезов возможно сплющивание пор-капилляров. Следует учитывать, что лекарственное растительное сырье содержит при определенной влажности, снижающей вероятность его переизмельчения при хранении и транспортировке, поэтому данные табл. 3 и 4 приведены для сырья с содержанием влаги 10,4 % [1]. Для абсолютно сухого сырья коэффициент поглощения имеет более высокое значение (табл. 4). По данным, приведенным в таблицах, можно судить какое количество экстрагента устремляется в виде потока внутрь частицы сырья и оказывает сопротивление встречной диффузии растворенных веществ к поверхности частицы.

При определении скорости продвижения фронта жидкости в растительный материал на продольных разрезах цилиндрических кусочков корня наблюдается интенсивная окраска в области фронта жидкости. Это указывает, что экстрагент, продвигаясь от поверхности частицы вглубь, насыщается растворимыми веществами и концентрация веществ в экстрагенте должна быть больше в области фронта жидкости, чем их исходная концентрация в сырье до экстракции.

Образцы длиной $50 \cdot 10^{-3}$ м, вырезанные из корней диаметром $(8 \dots 12) \cdot 10^{-3}$ м, заливали водой и настаивали в течение 8 часов. Экстрагент сливали, образцы подсушивали и разрезали вдоль оси. На разрезе четко выделялась граница фронта

Таблица 3

Коэффициент поглощения сырья с содержанием влаги 10,4 %

Характер измельчения сырья	Толщина образцов, 10^{-3} м	Навеска сырья, 10^{-3} кг	Добавка массы сырья при набухании, 10^{-3} кг, за время, ч					Максимальный прирост в весе, 10^{-3} кг	Коэффициент поглощения
			1	2	3	4	5		
Поперечные срезы	3,6	4,62	1,12	1,48	1,60	0,82	0,11	5,37	1,12
Продольные срезы	3,6	3,25	1,27	0,63	0,61	0,43	0,43	3,79	1,13
Сырье заводского измельчения	3,0	5,00	4,81	1,25	0,005	0,005	0,0001	6,07	1,21

Таблица 4

Коэффициент поглощения абсолютно сухого сырья

Характер измельчения сырья	Толщина образцов, 10^{-3} м	Навеска, 10^{-3} кг	Максимальный прирост в весе, 10^{-3} кг	Коэффициент поглощения
Поперечные срезы	3,6	4,05	5,37	1,32
Продольные срезы	3,6	2,85	3,79	1,33
	2,0	1,77	2,10	1,18
Сырье заводского измельчения	2,0	4,38	6,18	1,41
	3,0		6,07	1,38
	5,0		5,74	1,31

жидкости. Из этой области вырезали кусочки толщиной $2 \cdot 10^{-3}$ м, затем высушенные и контрольные (не подверженные замачиванию) срезы измельчали и проводили анализ на содержание экстрактивных веществ.

Результаты анализа (табл. 5) показывают, что в области фронта жидкости концентрация экстрактивных веществ выше. Это означает, что в конце периода набухания концентрация веществ в центре частицы возрастает, превышая первоначальную, и только по окончании процесса набухания экстрактивные вещества начинают диффундировать к поверхности.

В растительном материале, не подвергнутом замачиванию, на первом этапе экстрагирования поток экстрагента перемещается внутрь частиц навстречу диффундирующему экстракту, что снижает эффективность процесса приблизительно в два раза [3, 4].

При продвижении к центру частиц фронт экстрагента растворяет часть веществ и увлекает их за собой. Вследствие этого в центре частиц концентрация целевого продукта в некоторый момент времени максимальна (ее рост составляет 15 – 25 %) [3]. При замачивании рост размеров растительных частиц происходит в радиальном направлении (на 30...40 %).

Основными задачами измельчения сырья можно считать разрушение его структуры в целях увеличения поверхности экстрагирования. При разрушении структуры сырья часть клеток вскрывается и при последующем экстрагировании вещества, содержащиеся во вскрытых клетках, легко вымываются экстрагентом. В результате при экстрагировании возникают два разнородных процесса:

- 1) растворение и быстрое вымывание веществ из разрушенных клеток;
- 2) медленная диффузия растворенных веществ из неразрушенных клеток.

Первый процесс протекает в несколько раз быстрее второго и определяется в основном гидродинамическими условиями в экстракционном аппарате, а второй протекает медленно и зависит от коэффициента массоотдачи внутри растительного материала. Вследствие этого в процессе экстрагирования наблюдаются два

Таблица 5

Концентрация веществ в образце в области фронта продвижения жидкости и в контрольном образце

Анализируемое сырье	Содержание в сырье экстрактивных веществ, %
Контрольный образец	42,86
Исследуемый образец	45,52

периода быстрого и медленного экстрагирования. Длительность периода быстрого экстрагирования определяется количеством веществ, свободно диффундирующих из разрушенных клеток. Следовательно, относительное значение длительности периода быстрого экстрагирования может служить важной технологической характеристикой сырья – количества вымываемых веществ (коэффициент вымывания).

Если постулировать, что вещества в среднем равномерно распределены по всему объему растительного материала, то длительность периода быстрого экстрагирования может ориентировочно характеризовать число разрушенных клеток. Коэффициент вымывания сырья можно определить графическим путем, анализируя зависимость между истощением сырья и временем экстрагирования. На практике для расчета коэффициента вымывания используют графический метод (рис. 3), представляющий собой зависимость истощения сырья от времени экстрагирования.

График зависимости представляет собой две ветви, отражающие два периода экстрагирования I и II. Отрезок II отражает период диффузии веществ из сырья. Естественно, что процесс внутренней диффузии веществ из сырья начинается сразу после смачивания сырья и проникновения экстрагента внутрь клеток. Поэтому, если продолжить участок II до пересечения с осью ординат и предположить, что в этих точках начало осей координат, то это будет соответствовать случаю, когда в сырье отсутствуют разрушенные клетки и экстрагирование идет из цельного сырья. При электроразрядной обработке сырья клетки разрушаются, в связи с чем происходит сдвиг начальной точки отрезка II на величину, равную количеству вымываемых веществ или коэффициенту вымывания.

Результаты экстрагирования корней солодки представлены в табл. 6. Для расчета коэффициента вымывания можно использовать уравнение, описывающее прямую ветвь кривой зависимости истощения сырья от времени:

$$\left(\frac{q_0 - q_i}{q_0} \right) = k\tau + B, \quad (1)$$

где q_0 – начальное содержание веществ в сырье, кг; q_i – содержание веществ в сырье после экстрагирования в течение времени τ , кг; B – коэффициент вымывания; k – угловой коэффициент.

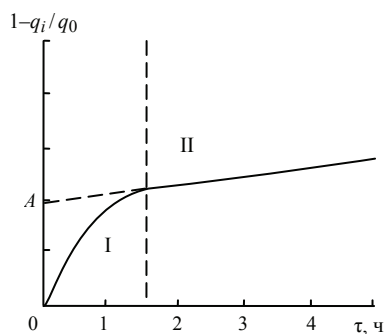


Рис. 3. Зависимость истощения сырья от времени экстрагирования

Таблица 6

Результаты экстрагирования корней солодки

Характеристика	Время, ч			
	1	2	3	5
$q_i \cdot 10^{-3}$, кг	13,0	12,5	11,7	11,3
q_i/q_0	0,74	0,71	0,67	0,65
$(q_0 - q_i)/q_0$	0,26	0,29	0,33	0,35

Коэффициент вымывания для сырья корней солодки

Показатель	Степень измельченности сырья, мм				
	5...10	3...5	2...3	1...2	0,5...1
Выход экстрактивных веществ в течение 1 ч	0,25	0,29	0,41	0,45	0,49
Коэффициент вымывания	0,26		0,42	0,44	

Величина B представляет собой отрезок OA , отсекаемый прямой ветвью на оси ординат. При различных соотношениях сырья и экстрагента величина коэффициента вымывания меняется, так как часть вымытых веществ находится также в экстракте, удержанном сырьем. В связи с этим целесообразно ввести понятие о числе вымывания как характеристике, описывающей все количество веществ, находящихся в разрушенных клетках сырья.

В качестве примера (табл. 7) приведен расчет коэффициента вымывания для сырья корней солодки голой. При проведении расчетов с использованием уравнения (1) для сырья различной крупности получены следующие значения коэффициента вымывания: при измельченности 5...10 мм коэффициент вымывания составил 0,26, при 3...5 мм – 0,29, при 2...3 мм – 0,42, при 1...2 мм – 0,44, при 0,5...1 мм – 0,49 (среднее значение коэффициента вымывания 0,38).

Для более точного определения числа вымывания необходимо дополнительно учесть количество веществ c , кг, находящихся в удержанном соке. Для расчета числа вымывания C использована формула [2]

$$C = B + \frac{c}{p},$$

где p – общее количество веществ, кг.

С учетом этого число вымывания при измельченности сырья 5...10 мм составляет 0,30; 3...5 мм – 0,34; 2...3 мм – 0,51; 1...2 мм – 0,56; 0,5...1 мм – 0,66 (среднее значение числа вымывания 0,47).

Список литературы

1. Муравьев, И. А. Технология лекарств. Т. 1 / И. А. Муравьев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Медицина, 1980. – 704 с.
2. Пономарев, В. Д. Экстрагирование лекарственного сырья / В. Д. Пономарев // Фармация. – 1976. – № 2. – С. 95 – 98.

Determining the Speed of Extraction Agent Front Advancement into Plant Material in Swelling

V. T. Kazub, A. G. Koshkarova

*Department of Physics and Mathematics,
Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – Affiliate of Volgograd
State Medical University, Pyatigorsk; bukva46@mail.ru*

Key words and phrases: extraction; fluid velocity; model samples; soaking; swelling.

Abstract: Theoretical and experimental studies of the velocity of the extraction agent front advancement into plant material show that the samples in the longitudinal direction the velocity of the front advancement is higher than in the transverse one, and as it moves into the sample the velocity drops. In the extraction agent front the concentration of extractives is higher, i.e. at the end of the swelling period the concentration of the substances is greater in the center, and only at the end of the swelling process the extractives begin to diffuse to the surface.

References

1. Murav'ev I.A. *Tekhnologiya lekarstv* (Drug Technology), Moscow: Meditsina, 1980, vol. 1 of 2, 704 p.
2. Ponomarev V.D. *Farmatsiya*, 1976, no. 2, pp. 95-98.
3. Ponomarev V.D. *PhD dissertation (Pharmacy)*, Tbilisi, 1972, 277 p.
4. Kazamovskii L.S., Solon'ko V.N., Shinyanskii L.A. *Meditsinskaya promyshlennost' SSSR*, 1966, no. 7, pp. 28-32.

Bestimmung der Geschwindigkeit des Aufstiegs der Front des Extraktionsmittels ins Pflanzenmaterial bei seinem Anschwellen

Zusammenfassung: Die theoretischen und experimentalen Forschungen der Geschwindigkeit des Aufstiegs der Front des Extraktionsmittels in den Pflanzenrohstoff führen vor, dass in der längslaufenden Richtung der Muster die Geschwindigkeit des Aufstiegs der Front, als in querlaufend höher ist, und je nach dem Aufstieg ins Muster fällt die Geschwindigkeit. Auf dem Gebiet der Front des Extraktionsmittels ist die Konzentration der Extraktionsmittel höher, das heißt ist am Ende der Periode des Anschwellens die Konzentration der Stoffe im Zentrum mehr, und die Extraktivstoffe beginnen nur nach Abschluss dem Prozess des Anschwellens zur Oberfläche zu diffundieren.

Définition de la vitesse du défilement du front de l'extraction dans le matériel végétal lors de son gonflement

Résumé: Les études théoriques et expérimentales de la vitesse du défilement du front de l'extraction dans la matière première végétale montrent que la vitesse dans la direction longitudinale est supérieure que celle de la direction transversale; lors du défilement de l'échantillon la vitesse tombe. Dans le domaine de l'extraction la concentration des substances extractives est supérieure, c'est à dire à la fin de la période du gonflement la concentration des substances est plus grande dans le centre; seulement à la fin du processus du gonflement les substances extractives se mettent à diffuser vers la surface.

Авторы: *Казуб Валерий Тимофеевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и математики; *Кошкарлова Анна Геннадьевна* – преподаватель кафедры физики и математики, Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ГБОУ ВПО «Волгоградский государственный медицинский университет», г. Пятигорск.

Рецензент: *Газаров Руслан Арамович* – доктор технических наук, профессор, президент АНО «Северо-Кавказская академия инновационных технологий в образовании и науке», г. Пятигорск.