

УДК 66.061

Аспирант С.С. Иванов, профессор Ю.И. Шишацкий,  
инженер С.Ю. Плюха  
(Воронеж. гос. ун. инж. техн.) кафедра промышленной энергетики,  
тел. (473) 279-98-22  
E-mail: d.pluxa@yandex.ru

Graduate S.S. Ivanov, professor Iu.I. Shishatski,  
engineer S.Iu. Pliukha  
(Voronezh state university of engineering technology) Department of industrial energetic.  
phone. (473) 279-98-22  
E-mail: d.pluxa@yandex.ru

## **Кинетика извлечения экстрактивных веществ из люпина с различной геометрической формой**

## **Kinetics of extraction of extractive substances from a lupine with various geometrical form**

Реферат. Обоснована актуальность темы и определены основные направления исследований. Сформулирована задача исследования – предсказать темп снижения массосодержания твёрдой фазы и установить функциональную связь концентрации экстракта со временем. Проанализированы соя и люпин, как источники ценных питательных компонентов. Убедительно показаны недостатки сои, химические компоненты которой являются ингибиторами ряда пищеварительных ферментов, таких как пепсин и химотрипсин. Углеводная фракция сои богата олигосахаридами, вызывающими кишечный метеоризм. Поэтому актуален вопрос о замене сои перспективной зернобобовой культурой – люпином, лишённой недостатков, присущих сое. Представлен состав и физико-химические свойства подсырной сыворотки. Получена методика расчёта средних размеров частиц сырья имеющих геометрическую форму шара, цилиндра и неограниченной пластины. Приведены результаты исследования кинетики экстрагирования из люпина при различной геометрической форме сырья. Определена предпочтительная форма тела при истощающем протекании процесса экстрагирования сырья в виде пластины. В то же время, другие геометрические формы не отрицаются, поскольку форма крупки, например, более технологична в изготовлении. Детально описаны графические зависимости и выполнен анализ полученных данных. Возможно использование композиции – молочно-растительного экстракта в различных отраслях промышленности и, в частности, в молочной для получения молочнокислых продуктов. Продолжением работы является определение коэффициентов молекулярной диффузии, построение математических моделей с использованием полученных экстракционных зависимостей, а также программное обеспечение процесса. Этот материал, при его совокупном анализе, даёт возможность выбрать аппаратно-технологическое оформление процесса экстрагирования, которое обеспечит максимальное извлечение из люпина целевого компонента при минимальных энергозатратах.

Summary. Relevance of a subject is proved and the main directions of researches are defined. The research problem is formulated – to predict rate of decrease in a mass-containing a firm phase and to establish functional connection of concentration of extract over time. Soy and lupine, as sources of valuable nutritious components are analysed. The soy shortcomings which chemical components are inhibitors of a number of digestive enzymes, such as pepsin and chymotrypsin are convincingly shown. The carbohydrate fraction of soy is rich with the oligosaccharides causing an intestinal meteorism. Therefore topical issue about replacement of soy with perspective leguminous culture – the lupine, deprived of the shortcomings inherent in soy. The structure and physical and chemical properties of subcheese serum is presented. The method of calculation of the average sizes of particles of raw materials of a sphere having a geometrical form, the cylinder and an unlimited plate is received. Results of research of kinetics of extraction from a lupine are given at various geometrical form of raw materials. The preferable shape of a body is defined at exhausting course of process of extraction of raw materials in the form of a plate. At the same time, other geometrical forms aren't denied as the form of crumbled, for example, is more technological in production. Graphic dependences are in details described and the analysis of the obtained data is made. Composition use – dairy plant extract in various industries and, in particular, in dairy for receiving lactic products is offered. Further work is determination of coefficients of molecular diffusion, creation of mathematical models with use of the received extraction dependences, and also the process software. This material, in its cumulative analysis, gives the chance to choose hardware and technological registration of process of extraction which will provide the maximum extraction from a lupine of a target component at the minimum energy consumption.

*Ключевые слова:* экстрагирование, выход экстрактивных веществ, геометрическая форма люпина

*Keywords:* extracting, output of extractive substances, the geometric shape of lupine

---

© Иванов С.С., Шишацкий Ю.И., Плюха С.Ю., 2014

Экстрагирование – сложный массо-обменный процесс, издавна применяемый для извлечения ценных компонентов из твёрдых пористых материалов с помощью растворителей. Сложность и скорость процесса в системе твёрдое тело-жидкость объясняется большим числом факторов, которые трудно поддаются обобщению и анализу. К числу таких факторов относятся, в частности, размер, форма частиц и вид слоя, который они образуют (подвижный, неподвижный, псевдооживленный) [1].

Извлекаемый компонент может находиться в капиллярнопористом материале в жидком или твёрдом состоянии. Материал может быть инертным носителем целевого компонента либо взаимодействовать с ним, удерживать за счёт адсорбции, а также электрических или других сил. Растворитель может иметь различную избирательную способность по отношению к компонентам, содержащимся в твёрдой фазе. Наконец, структура капиллярнопористого материала (или упругой клеточной растительной ткани) оказывает различное сопротивление процессу извлечения. Кроме того, на механизм процесса экстрагирования оказывают влияние условия равновесия и кинетика. Если условия равновесия характеризуются достижением равенства концентрации извлекаемого компонента в растворе и концентрации насыщения, и зависят от физико-химических свойств растворителя и целевого компонента, а также от температуры и давления, то кинетика определяет закономерности скорости экстрагирования и, в итоге, производительность экстракционного оборудования.

Задача нашего исследования – предсказать темп снижения массосодержания твёрдой фазы и установить функциональную связь концентрации экстракта со временем.

Среди известных источников растительного белка традиционным продуктом считаются соя, а также белковые препараты на её основе. Они нашли широкое применение для получения различных пищевых продуктов. Однако некоторые химические компоненты сои являются ингибиторами ряда пищеварительных ферментов, таких как пепсин и химотрипсин. Углеводная фракция сои богата олигосахаридами, вызывающими кишечный метеоризм. Поэтому актуален вопрос о замене сои перспективной зернобобовой культурой – люпином, лишённой недостатков, присущих сое. Люпин – единственная альтернативная культура сое.

Объектом исследования являлся люпин – сырьё растительного происхождения, прошедший термообработку, в результате которой обеспечивается переход балластных некрахма-

листых полисахаридов в полезные высокопитательные вещества. Значительное содержание в люпине, в частности, белка (его массовая доля составляет 34,1...43,1 %), который по питательной ценности практически равнозначен соевому и значительно ниже по цене, открывает широкие возможности для использования люпина в различных отраслях пищевой промышленности, а также для кормовых целей.

Белок – это основа формирования жизни, биологического разума, просвещения и инноваций.

Привлекательность люпина для России обусловлена тем, что его можно выращивать без ограничений по почвенным и климатическим условиям.

Превалирующими фракциями углеводного комплекса являются сахароза, стахиоза, водорастворимые полисахариды, пектиновые вещества, целлюлоза и крахмал. Современные сорта люпина характеризуются минимальным содержанием алколоидов, что позволяет применять эти сорта в пищевой промышленности. Семена люпина имеют богатый состав витаминов, содержат 11 минеральных веществ, полный набор аминокислот, включая все независимые. Так, значительная доля глутаминовой и аспарагиновой кислот позволяет улучшить качество молочных продуктов, поскольку именно эти аминокислоты – известные вкусообразователи.

В качестве экстрагента использовалась подсырная сыворотка, имеющая в своём составе до 6 % СВ (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Состав и физико-химические свойства подсырной сыворотки (в обобщённом виде)

Наименование показателя	Натуральная подсырная сыворотка
Массовая доля сухих веществ, %, в том числе	5,6...6,0
Массовая доля лактозы, %	3,9
Массовая доля жира, %	0,2
Массовая доля белковых веществ, %	0,8
Массовая доля минеральных веществ, %	0,7
Титруемая кислотность, °Т	15

Перед экстрагированием люпину придавалась форма шара, цилиндра и пластины. Средний размер частиц крупки (шара) определялся ситовым способом [5], а также рассчитывался по формуле:

$$d_{cp} = \frac{100}{\sum \frac{\Delta i}{d_i}}, \quad (1)$$

где  $d_{cp}$  – средний размер крупки, мм;  $\Delta i$  – количество фракций, %;  $d_i$  – размер частицы, мм.

Средние размеры частиц в форме цилиндра и пластины находились измерением с помощью микрометра и рассчитывались по формуле (1) для цилиндра (где  $d_{cp}$  – средний диаметр цилиндра) и по формуле (2) для пластины:

$$\delta_{cp} = \frac{100}{\sum \frac{\Delta i}{\delta i}}, \quad (2)$$

где  $\delta_{cp}$  – средняя толщина пластины, мм;  $\delta i$  – размер частицы, мм.

Средние размеры тел: шар  $d_{cp} = 1$  мм; цилиндр  $d_{cp} = 1$  мм; пластина  $\delta_{cp} = 1$  мм.

Частицы с одинаковой геометрической формой и сыворотка загружались в экстрактор и содержимое перемешивалось. Массовая доля белков в люпине и подсырной сыворотке составляла соответственно 35,4 и 5,6 % СВ.

Через заданные промежутки времени отбирались пробы экстракта на анализ. Температура в экстракторе составляла 50 °С.

Текущая концентрация экстрактивных веществ в твёрдой фазе (г/г, с последующим пересчётом в % сухого вещества) находилась, используя уравнение материального баланса

$$M_m \cdot (C_0 - \bar{C}) = M_{жс} \cdot C_1, \quad (3)$$

где  $M_m, M_{жс}$  – масса сухого сырья и экстрагента, г;  $C_0$  – начальная концентрация экстрактивных веществ в твёрдой фазе, г/г;  $\bar{C}$  – текущая концентрация экстрактивных веществ в твёрдой фазе, г/г;  $C_1$  – текущая концентрация экстрактивных веществ в жидкой фазе, г/г.

Результаты экспериментов представлены рисунками 1-3 и таблицей 2 (при  $t = 50$  °С).

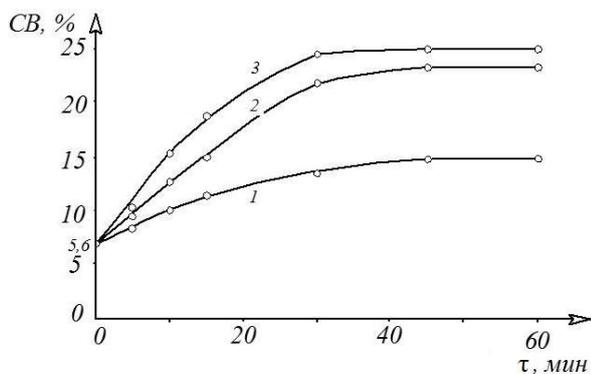


Рисунок 1. Зависимость извлечения экстрактивных веществ из люпина от времени (экстрагент – подсырная сывотка 5,6 % СВ): 1 – крупка; 2 – цилиндр; 3 – пластина

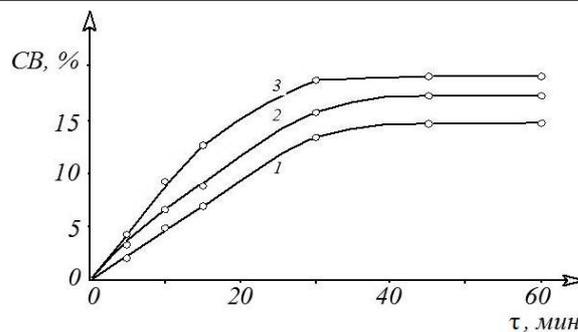


Рисунок 2. Зависимость извлечения экстрактивных веществ из люпина от времени: 1 – крупка; 2 – цилиндр; 3 – пластина

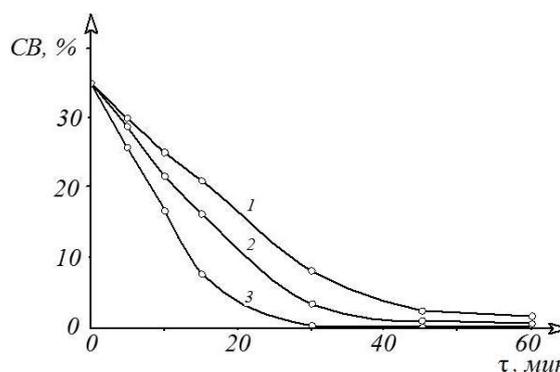


Рисунок 3. Зависимость концентрации экстрактивных веществ в люпине от времени (истощающее экстрагирование): 1 – крупка; 2 – цилиндр; 3 – пластина.

Как видно из рисунков 1 и 2 и таблицы 2, интенсивное извлечение экстрактивных веществ из сырья протекало в течение 900 с из открытых пор и капилляров, образовавшихся, по нашему мнению, дополнительно после механической обработки люпина для придания последнему заданной геометрической формы. Далее процесс протекал медленнее и по истечении 1800 с практически наступало равновесное состояние. Таким образом, после указанного времени дальнейшее экстрагирование было технологически нецелесообразным.

Т а б л и ц а 2

Максимальный выход экстрактивных веществ в зависимости от формы материала (экстрагент – подсырная сывотка 5,6 % СВ)

№ п/п	Вид сырья	Время экстрагирования, мин	Выход экстрактивных веществ СВ, %
1	Крупка	45	15,0
2	Цилиндр	45	23,5
3	Пластина	45	25,0

Результаты истощающего экстрагирования (рисунок 3) в совокупном рассмотрении с рисунками 1 и 2, а также таблицей 3 дают основание отдать предпочтение геометрической форме сырья в виде пластины.

Степень истощения твёрдой фазы  $E$ , рассчитанная по формуле:

$$E = \bar{C}/C_0, \quad (4)$$

приведена для всех форм частиц в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Степень истощения твердой фазы

Форма тела	Время, мин					
	5	10	15	30	45	60
шар	85,8%	71,7%	60,4%	23,7%	7,1%	5,6%
цилиндр	80,7%	60,4%	49,1%	9,6%	5,6%	5,6%
пластина	75,1%	49,1%	23,7%	1,4%	1,4%	1,4%

В то же время другие геометрические формы не отрицаются, поскольку форма крупки, например, более технологична в изготовлении.

Полученный молочно-растительный экстракт вследствие своего богатого химического состава может быть использован в технологии функциональных продуктов питания.

Продолжением данной работы является определение коэффициентов молекулярной диффузии, построение математических моделей с использованием полученных экстракционных зависимостей, а также программное обеспечение процесса. Этот материал, при его совокупном

анализе, даёт возможность выбрать аппаратурно-технологическое оформление процесса экстрагирования, которое обеспечит максимальное извлечение из люпина целевого компонента при минимальных энергозатратах. Это сложно, а зачастую невозможно достичь, проводя процесс путём однократной обработки твёрдой фазы растворителем или при прямоточном движении взаимодействующих фаз [4]. Поэтому возможным решением данной проблемы нам представляется интенсификация экстрагирования за счёт привлечения физических методов [2,3,6,7].

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование (система твердое тело – жидкость). Л.: Химия, 1974. 256 с.
- 2 Аксельруд Г.А., Альтшулер М.А. Введение в капиллярно-химическую технологию. М.: Химия, 1983. 264 с.
- 3 Белоглазов И.Н. Твёрдофазные экстракторы. Л.: Химия, 1985. 240 с.
- 4 Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Л.: Химия, 1977. 592 с.
- 5 Торжинская Л.Р., Яковенко В.А. Технологический контроль хлебопродуктов. М.: Агропромиздат, 1986. 399 с.
- 6 Шишацкий Ю.И., Яковлев Н.Н. Интенсификация процесса экстрагирования при приготовлении спиртовых морсов и настоев // Производство спирта и ликёроводочных изделий. 2009. №2. С. 31-32.
- 7 Шишацкий Ю.И., Мельникова Е.И., Плюха С.Ю., Кузьмин Е.В. и др. Перспективные типы экстракционных аппаратов для системы «твёрдое тело – жидкость» (аспекты теории и анализ конструкций) // Вопросы современной науки и практики. Тамбов. 2012. №2. С. 339 – 351.

#### REFERENCES

- 1 Aksel'rud G.A., Lysianskii V.M. Ekstragirovanie (sistema tverdoe telo-zhidkost') [Extraction (system solid body-liquid)]. Leningrad, Khimiia, 1974. 256 p. (In Russ.).
- 2 Aksel'rud G.A., Altshuler M.A. Vvedenie v kapiliarno-khimicheskuiu tekhnologiu [Introduction in capillary and chemical technology]. Moscow, Khimia, 1983. 264 p. (In Russ.).
- 3 Beloglazov I.N. Tverdofaznye ekstractory [Solid-phase extractors]. Leningrad, Khimiia, 1985. 240 p. (In Russ.).
- 4 Kogan V.B. Teoriticheskie osnovy tipovykh protsessov khimicheskoi tekhnologii [Theoretical bases of standard processes of chemical technology]. Leningrad, Khimiia, 1977. 592 p. (In Russ.).
- 5 Torzhinskaia L.R., Iakovenko V.A. Tekhnologicheskii kontrol' khleboproduktov [Technological control of bakeries]. Moscow, Agropromizdat, 1986. 399 p. (In Russ.).
6. Shishatskii Iu.I., Iakovlev N.N. Intensification of extraction process at preparation of spirit fruit drinks and infusions. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii*. [Production of alcohol and alcoholic beverage products], 2009, no. 2, pp. 31-32. (In Russ.).
- 7 Shishatskii Iu.I., Mel'nikova E.I., Pliukha S.Iu., Kuz'min E.V. et al. Perspective types of extraction devices for system "a solid body – liquid" (aspects of the theory and analysis of designs). *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki*. [Questions of modern science and practice], 2012, no. 2, pp. 339-351. (In Russ.).