

УДК 664.69

Исследование набухания и растворимости сухих веществ семян зернобобовых культурКанд. техн. наук **И.А. Панкина**, pankina_ilona@front.ruканд. хим. наук **Л.М. Борисова**, lmborisova@yandex.ru*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,**Высшая школа биотехнологии и пищевых технологий**194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50*

Исследованы технологические свойства и кинетические характеристики перспективных зернобобовых культур, произрастающих на территории России, для создания новых пищевых продуктов из белоксодержащего природного сырья. Эксперимент проводили на зернобобовых культурах из коллекции Всероссийского института растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР) – узколистый люпин (сорт Снежесть), соя (сорт Уссурийская 211), чечевица (сорт Петровская 6), нут (сорт Юбилейный). Отбирали по три навески массой по 6 г для каждого сорта и помещали в исследуемый раствор. Через каждые 30 мин зерно вынимали, просушивали на фильтровальной бумаге и взвешивали. Массу набухшего зерна определяли как среднюю величину. Набухание зерна осуществляли в воде ($\text{pH} = 6,8\text{--}7,0$) при температуре $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$ в термостатируемых ячейках. Определены основные кинетические характеристики процесса водопоглощения – степень набухания (α), скорость набухания (da/dt) и константа скорости набухания (K_n). Показано, что максимальным значением скорости набухания, отличающимся в 2–4 раза от соответствующих показателей других культур, обладает нут, а наименьшим – чечевица и соя. Определены оптимальные режимы замачивания различных видов зернобобовых культур: для нута и люпина – 4–5 ч, для сои и чечевицы – 6–7 ч. Изучена развариваемость семян исследуемых зернобобовых культур: наилучший показатель у чечевицы, затем идет соя, далее нут. Зерно люпина осталось не разваренным даже в течение 5 ч варки. Исследована взаимосвязь между технологическими свойствами зерна и растворимостью сухих веществ в воде. Самой низкой растворимостью отличается люпин – при варке в течение 90 мин она составила 11,79%; наибольшей – характеризуется соя (17,93%) при времени доведения до кулинарной готовности 80 мин. Показано, что с увеличением времени тепловой обработки образцов, растворимость сухих веществ сначала существенно увеличивается, а к моменту доведения до кулинарной готовности стабилизируется и остается постоянной.

Ключевые слова: зернобобовые культуры; степень набухания; скорость набухания; растворимость сухих веществ в воде.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-2-13-20

Grain legumes' swelling and solubility of their dry solidsPh.D. **Iona A. Pankina**, pankina_ilona@front.ruPh.D. **Lilia M. Borisova**, lmborisova@yandex.ru*Saint-Petersburg Polytechnic University named after Peter the Great**The Higher School of Biotechnology and Food Technologies**194021, Russia, St. Petersburg, Novorossiyskaya str., 50*

The article deals with technological properties and kinetic characteristics of advantageous grain legumes grown in Russia to create new food products from natural high protein raw materials. Grain legumes from Nikolai Vavilov Institute of Plant Genetic Resources were analyzed: narrow-leaved lupine (Snezhest variety), soy beans (cogn Ussuriyskaya 211 variety), lentil (Petrovskaya 6 variety), and chickpea (Yubileiny variety). Three sample weights of 6 g. each were placed into the solution. At 30 minute intervals grain was removed, dried on filter paper and weighted. Average swelled grain mass was calculated. The grain swelled in water ($\text{pH} = 6.8\text{--}7.0$) at $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$ in temperature controlled cells. Main kinetic characteristics of water absorption were calculated: swelling degree (α), swelling speed (da/dt), and swelling speed constant (K_n). Chickpea was shown to have the maximum (2–4 times higher) swelling rate; lentil and soy beans – the minimum one. Optimal swelling times were specified: 4–5 hours — for chickpea and lupine, 6–7 hours — for soy beans and lentil. Cooking properties of the grain legumes in question were also analyzed. Lentil was shown to have the best ones, followed by soy beans, and chickpea. Lupine didn't become soft even after 5 hour boiling. Relationship between technological properties of beans and dry solids water solubility was investigated. Lupine has the lowest one – 11.79% after 90 minute boiling; soy beans – the highest one – 17.93% after 80 minute boiling. As cooking time increases the solubility of dry solids is shown to increase greatly at the beginning, and then, when it is ready to serve, stabilizes and remains constant

Keywords: grain legumes; swelling degree; swelling rate; the solubility of solids in water.

Введение

Одна из мировых продовольственных проблем связана с недостатком белка в продуктах питания. По медицинским нормам, суточное потребление белка человеком должно составлять 90 г, однако по оценкам российских специалистов, среднестатистический дефицит его потребления составляет 30%, что сказывается на здоровье людей, поскольку любое отклонение от формулы сбалансированного питания приводит к определенному нарушению функций организма.

В теле человека содержится около 10^5 различных белковых молекул. Белковые молекулы в биологических объектах всегда находятся в состоянии сборки и разборки, что объясняет присутствие в клетках как свободных аминокислот, так и очень большого числа пептидных молекул различного размера в разных концентрациях. В процессе пищеварения белки под влиянием ферментов расщепляются до α -аминокислот, которые и усваиваются организмом. Именно они определяют пищевую ценность белков и служат не только источником образования необходимых для жизнедеятельности веществ – белков, пептидов, ферментов, гормонов и др., но также и конечных продуктов азотистого обмена – аммиака, мочевины и др. [1].

В организме человека отсутствуют биохимические системы, синтезирующие некоторые аминокислоты: аргинин, гистидин, валин, лейцин, изолейцин, лизин, метионин, фенилаланин, треонин, триптофан. Эти аминокислоты обязательно должны поступать с пищей и их называют незаменимыми, то есть их недостаток не может покрываться другими белковыми аминокислотами [2].

Богатыми источниками целого ряда необходимых организму пищевых веществ, а в первую очередь белка, являются растительные пищевые культуры. В структуре белкового фонда доминируют белки злаковых культур, однако в решении проблемы растительного белка существенную роль играют и зернобобовые культуры [3].

Зернобобовые принадлежат к ботаническому семейству Fabaceae, которые с помощью глубоко проникающей корневой системы поглощают макро- и микроэлементы, переводят соединения фосфора и калия в доступные формы.

В процессе симбиоза бобовых с клубеньковыми бактериями рода *Rhizobium* за счет световой энергии, аккумулированной растением, производится самый дешевый белок, при этом азот воздуха включается в биологический круговорот. Ценность семян зернобобовых заключается в хорошей сбалансированности белков по содержанию незаменимых аминокислот, что в 2–3 раза превосходит белки злаковых культур, даже самые ценные сорта пшеницы.

Основной запас белков в семенах зернобобовых культур приходится на глобулины (60–70%), также содержатся альбумины (6–11%) и глютелины (5–15%), углеводы – крахмал, сахара, гемицеллюлоза, клетчатка. Кроме того семена этих культур содержат жиры, витамины А, В₁, В₂, С, D, Е, РР, что делает зернобобовые ценными продовольственными и кормовыми культурами.

Главной их ценностью благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями является большое количество белка в семенах (20–50%). Растения бобовых формируют новые органы – клубеньки, которые усваивают азот из атмосферы посредством фермента – нитрогеназы [4]. Эта уникальная способность биологической азотфиксации определяет преимущественное возделывание зернобобовых культур и в мире, и нашей стране. Использование данного растительного сырья в пищу является целесообразным и отвечает современной импортозамещающей экономике [5]. В последние годы, по данным Росстата, количество посевных площадей зернобобовых культур в Российской Федерации увеличивается. Как видно из диаграммы (рисунок 1), исключение составляет только 2014 г [6].

Цель данной работы – исследование процесса набухания семян и водопоглощаемости семенной оболочки зернобобовых культур, а также растворимости сухих веществ как важных характеристик для создания новых пищевых продуктов из белоксодержащего природного сырья.

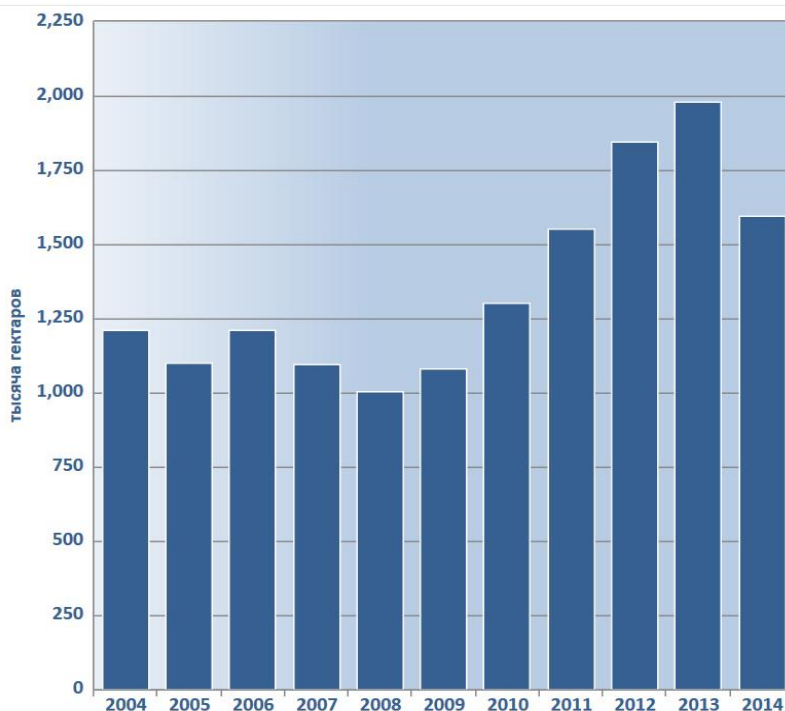


Рисунок 1 – Посевные площади зернобобовых культур в Российской Федерации за период 2004–2014 гг.

Объекты и методы исследования

Для исследования были выбраны зернобобовые культуры коллекции ВИР – узколистный люпин, соя, чечевица, нут.

Таблица 1 – Объекты исследования

Вид и сорт семян	Номер классификации коллекции ВИР	Область (край) выращивания	Год урожая
люпин (сорт Снежить)	К-3694	Брянская обл.	2003
соя (сорт Уссурийская 211)	К-4171	Краснодарский край	2006
чечевица (сорт Петровская 6)	К-22356	Пензенская обл.	2006
нут (сорт Юбилейный)	К-1258	Саратовская обл.	2005

При контакте биополимера с водными растворами происходит проникновение молекул растворителя в объем биополимера, сопровождающийся процессом набухания.

Набуханием называют самопроизвольный процесс поглощения полимером низкомолекулярной жидкости или ее пара с увеличением массы и объема вещества. Количественной мерой набухания является степень набухания α , имеющая массовое или объемное выражение:

$$\alpha = \frac{(m - m_0)}{m_0} \qquad \alpha = \frac{(V - V_0)}{V_0}$$

где m_0 и m – массы, а V_0 и V – соответственно объемы исходного и набухшего образца полимера [7]. Исследование процесса набухания проводили весовым методом. Взвешивание осуществляли на аналитических весах типа НР–60. В модельных опытах отбирали по три навески массой по 6 г для каждого сорта и помещали в исследуемый раствор. Через каждые 30 минут зерно вынимали, просушивали на фильтровальной бумаге и взвешивали. Массу набухшего зерна определяли как среднюю величину из трех значений. Набухание зерна осуществляли в воде (рН = 6,8–7,0) при температуре $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$ в термостатируемых ячейках [8–10]. Для определения развариваемости (степени готовности зерна по размягчению его ткани) применяли специальный прибор – динамометр-твердомер.

Математическая обработка экспериментальных данных осуществлялась с привлечением регрессивного анализа критерием вероятности $P = 0,95$ и степени свободы $X = (n - 1)$, т.е. критерием Стьюдента [11].

Результаты и их обсуждение

Вопросы, связанные с набуханием зерна и водопроницаемостью семенной оболочки, имеют большое практическое значение для выяснения наиболее благоприятных условий сушки, кондиционирования, хранения, определения оптимальных режимов замачивания зерна и т.д.

Набухание – это важное технологическое свойство зерновых и зернобобовых культур, влияющее на консистенцию, форму, объем и выход готовых изделий. В процессе приготовления пищи набухание используют для подготовки продуктов. Определение оптимального времени замачивания зерна, и изучение процесса его набухания представляют определенный интерес для более точного расчета выхода готовой продукции и времени тепловой обработки в процессе приготовления пищи.

Известно, что степень набухания, прежде всего, зависит от природы биополимера, т.е. от жесткости его межмолекулярных связей и лиофильности макромолекул. Если межмолекулярные взаимодействия в биополимере достаточно сильны, и растворитель не может разобщить макромолекулы, то набухание прекращается.

Согласно термодинамике, процесс набухания характеризуется уменьшением энергии Гиббса системы: $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S < 0$.

Степень набухания также зависит от природы растворителя, присутствия электролитов и значений рН среды. Наши исследования проводились в нейтральной среде.

Зерна исследуемых культур были необработанны, т.е. не были освобождены от семенной оболочки. В ходе изучения процесса набухания было выявлено, что не все зерна за исследуемый интервал времени сохранили целостность семенной оболочки; процент разрушенной оболочки составлял от 5 до 8%.

Кинетические кривые набухания исследуемых зернобобовых культур в дистиллированной воде при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ представлены на рисунке 2.

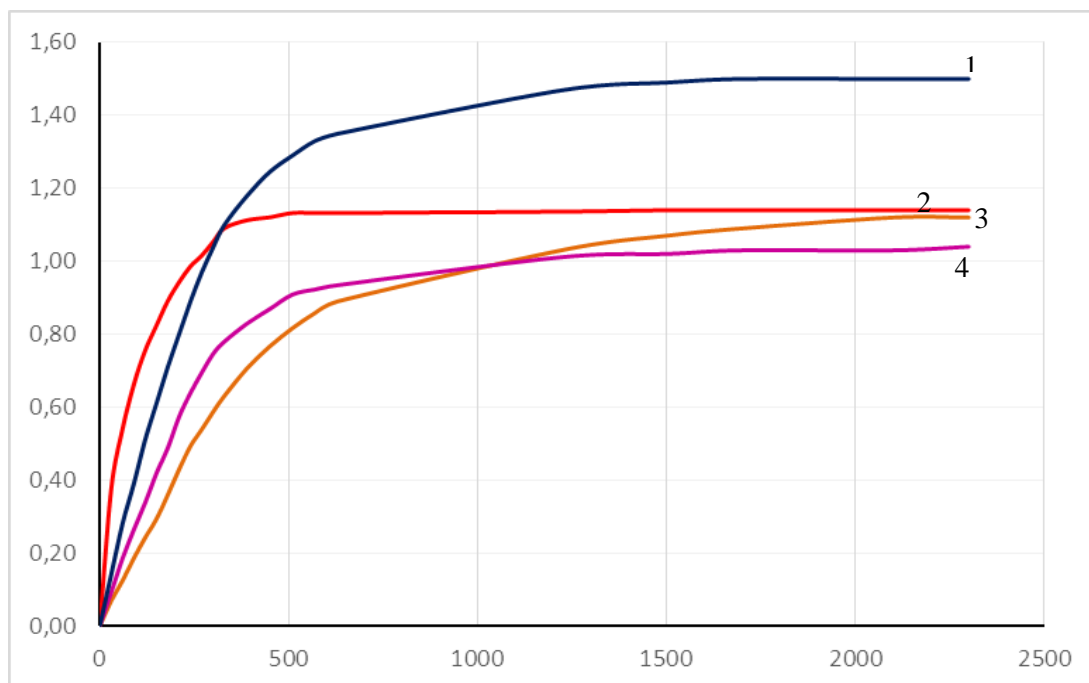


Рисунок 2 – Кинетические кривые набухания зернобобовых культур в дистиллированной воде при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$: 1 – люпин; 2 – нут; 3 – соя; 4 – чечевица.

Из графиков видно, что характер зависимости степени набухания от времени для всех культур одинаков. Но образцы отличаются по скорости и предельной степени набухания.

Известно, что кинетика процесса набухания осуществляется по механизму реакции первого порядка, поэтому скорость набухания (da/dt) может быть представлена в виде уравнения:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = K_n \cdot (\alpha_\infty - \alpha_\tau).$$

Константа скорости набухания (K_n) и степень набухания (α_τ) характеризуют кинетику процесса, а степень предельного набухания α_∞ – его конечный результат [12].

Скорость набухания находили графически как тангенс угла наклона касательной с положительным направлением оси времени. Построение касательных к точкам на кинетических кривых набухания осуществляли по «методу зеркала».

Значения констант кинетического уравнения процесса набухания и кинетические уравнения для исследуемых зернобобовых культур представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения констант кинетического уравнения процесса набухания и кинетические уравнения для различных зернобобовых культур

Культура	Значения констант кинетического уравнения набухания		Кинетическое уравнение процесса набухания
	K_n , 1/мин	α_∞	
люпин	$4,36 \cdot 10^{-3}$	1,47	$\frac{d\alpha}{d\tau} = 4,36 \cdot 10^{-3} (1,47 - \alpha_\tau)$
нут	$10,00 \cdot 10^{-3}$	1,14	$\frac{d\alpha}{d\tau} = 10,00 \cdot 10^{-3} (1,14 - \alpha_\tau)$
soя	$2,27 \cdot 10^{-3}$	1,12	$\frac{d\alpha}{d\tau} = 2,27 \cdot 10^{-3} (1,12 - \alpha_\tau)$
чечевица	$3,16 \cdot 10^{-3}$	1,04	$\frac{d\alpha}{d\tau} = 3,16 \cdot 10^{-3} (1,04 - \alpha_\tau)$

Самую большую скорость набухания имеет нут, что в 2–4 раза отличается от других культур. Этот показатель часто зависит от структуры семян и толщины семенной оболочки. Высокая скорость набухания может быть связана с наличием рыхлого наружного слоя и более тонкой семенной оболочкой зерна [13]. Наименьшими скоростями набухания характеризуются чечевица и соя. Самая высокая предельная степень набухания у зерна люпина, а наименьшая – у чечевицы. Как показали исследования, наиболее оптимальным временем замачивания для нута и люпина является 4–5 ч, а для сои и чечевицы — 6–7 ч.

Исследования показали, что наилучшей развариваемостью обладает чечевица, затем соя, далее нут. Зерно люпина осталось не разваренным даже в течение 5 ч варки.

Известно, что на развариваемость зернобобовых культур оказывают влияние как сортовые признаки, так и почвенно-климатические условия выращивания культуры [14]. Есть мнение, что быстрота разваривания зернобобовых культур может зависеть от интенсивности связывания семенами воды: повышенная способность к связыванию воды определяет и более высокую развариваемость семян.

Нут и соя обладают высокими показателями степени набухания (1,14 и 1,12 соответственно). Наименьшей (1,04) и наибольшей (1,47) степенью набухания обладают чечевица и люпин соответственно. Однако у чечевицы время разваривания составило 70 мин, а люпин не разварился даже в течение 5 ч влаготепловой обработки. Видимо одним из решающих факторов скорости доведения до кулинарной обработки является толщина семенной оболочки. Как нами было изучено ранее [8], самая тонкая кожура у семян чечевицы, а наибольшей толщиной семенной оболочки характеризуется люпин.

Влаготепловая обработка зерна бобовых – процесс, способный изменить структуру зерна и вызвать размягчение тканей, изменить массу. В процессе замачивания и варки в воду частично переходят белки, крахмал, сахара и другие пищевые вещества.

Нами были проведены исследования по определению количества растворимых сухих веществ рефрактометрическим методом всех исследуемых образцов.

Из литературных данных известно, что растворимость сухих веществ в воде имеет связь с развариваемостью [15]. Очень низкая растворимость свидетельствует о плохой развариваемости семян.

В нашем случае из всех исследуемых зернобобовых культур самой низкой растворимостью сухих веществ отличается люпин, при варке которого в течение 90 мин этот показатель составил 11,79%. Наибольшим он был у сои (17,93%), при этом время доведения до кулинарной готовности составило 80 мин (таблица 3).

Таблица 3 – Взаимосвязь между технологическими свойствами зерна бобовых культур и растворимостью сухих веществ в воде

Культура	Скорость набухания K_n , 1/мин	Степень набухания α	Время тепловой обработки до кулинарной готовности, мин	Растворимость сухих веществ, %		
				после замачивания в течение 7 часов	после доведения до кулинарной готовности	общая
соя	$2,27 \cdot 10^{-3}$	1,12	80	0,99	16,95	17,93
нут	$10,00 \cdot 10^{-3}$	1,14	90	4,98	10,87	15,84
чечевица	$3,16 \cdot 10^{-3}$	1,04	70	0,99	15,54	16,52
люпин	$4,36 \cdot 10^{-3}$	1,47	более 300	2,24	9,55	11,79

На рисунке 3 представлены графические зависимости растворимости сухих веществ для исследуемых зернобобовых культур в зависимости от времени тепловой обработки.

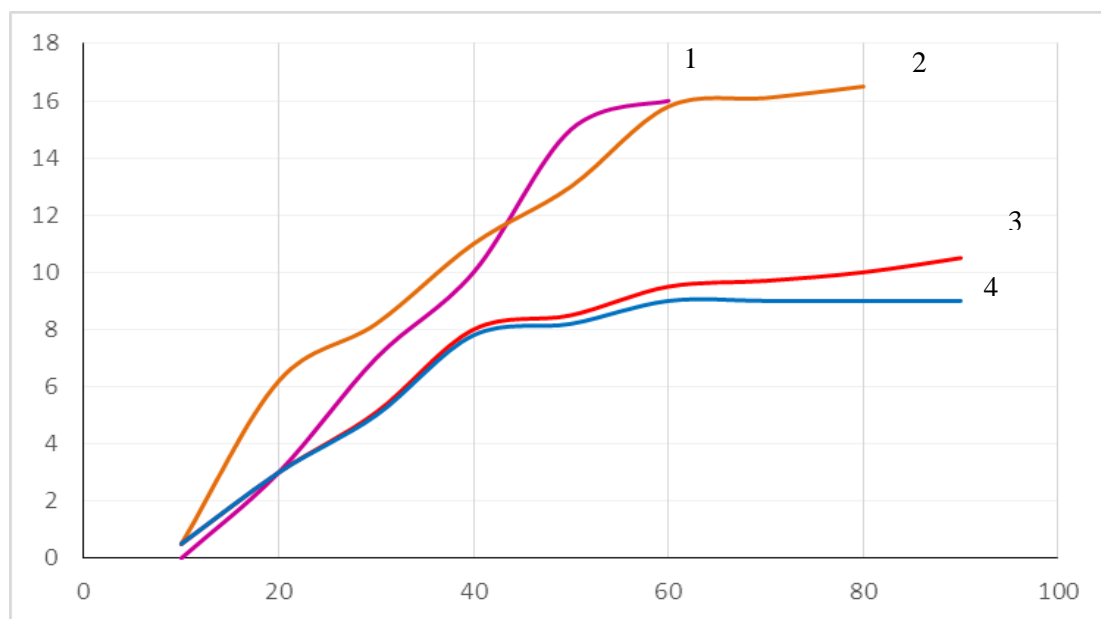


Рисунок 3 – Зависимость количества растворимых сухих веществ зернобобовых культур от времени тепловой обработки: 1 – чечевица; 2 – соя; 3 – нут; 4 – люпин

Выводы

По результатам исследования процесса набухания получены кинетические кривые влагопоглощения зерен исследуемых культур. Определены значения констант скорости набухания зерен всех образцов, а также максимальные (предельные) значения степени их набухания. Характер кривых изотерм набухания для всех исследуемых зернобобовых культур свидетельствует о том, что этот процесс имеет ограниченный характер, однако происходит вымывание (выщелачивание) ряда компонентов из зерен этих культур, и процесс набухания протекает через достижение максимального значения степени набухания (α_{max}). Доказано, что самую большую скорость набухания имеет нут, которая в 2–4 раза отличается от скоростей набухания для других культур, а наименьшие значения скорости набухания у чечевицы и сои. Выявлено, что самая высокая предельная степень набухания у зерна люпина, а наименьшая – у чечевицы. В результате проведенных исследований определено, что наиболее оптимальное время замачивания для нута и люпина — 4–5 ч, а для сои и чечевицы — 6–7 ч.

Проведенные исследования по растворимости сухих веществ зернобобовых культур в процессе влаготепловой обработки показали, что с увеличением времени тепловой обработки образцов растворимость сухих веществ сначала существенно увеличивается, а к моменту доведения до кулинарной готовности стабилизируется и остается постоянной. Среди множества факторов, способствующих сокращению времени доведения зерна до кулинарной готовности, можно выделить высокую гидратацию зерна, хорошую растворимость сухих веществ, минимальные значения толщины семенной оболочки.

Литература

1. Коваленко Л.В. Биохимические основы химии биологически активных веществ: учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 229 с.
2. Химия пищевых продуктов: научное издание / ред.-сост. Ш. Дамодаран, К.Л. Паркин, О.Р. Феннема. СПб.: Профессия, 2012. 1040 с.
3. Панкина И.А., Борисова Л.М. Перспективные направления использования нетрадиционного растительного сырья для создания функциональных пищевых продуктов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве функциональные продуктов питания» (Мичуринск, 16–18 декабря 2014 г.). Мичуринск: БИС, 2014. С. 149–151.
4. Вишнякова М.А. Хозяйственный и селекционный потенциал зерновых бобовых культур // Материалы I Международного конгресса «Зерно и хлеб России» (Санкт-Петербург, 23–25 ноября 2005 г.). СПб., 2005. С. 106.
5. Панкина И.А., Борисова Л.М. Перспективные направления использования люпина узколистного и исследование реологических свойств белковой пасты на ее основе // Потребительский рынок Евразии: современное состояние, теория и практика в условиях Евразийского экономического союза и ВТО: сб. науч. тр. Екатеринбург, 2015. С. 123–127.
6. Сводные данные по Российской Федерации [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy (дата обращения 21.02.2016).
7. Зимон А.Д. Занимательная коллоидная химия. 4-е изд., доп. и перераб. М.: Агар, 2002. 168 с.
8. Панкина И.А., Борисова Л.М., Белокурова Е.С. Исследование физических и технологических свойств семян зернобобовых культур // Зерновое хозяйство России. 2015. № 2. С. 34–37.
9. Панкина И.А., Барсуков А.В. Исследование технологических свойств люпина узколистного с целью создания функциональных пищевых продуктов // Потребительский рынок Евразии: современное состояние, теория и практика в условиях Евразийского экономического союза и ВТО: сб. науч. тр. Екатеринбург, 2015. С. 127–131.
10. Красильников В.Н., Панкина И.А. Исследование химического состава и технологических свойств семян люпина узколистного с целью создания комбинированных продуктов питания // Материалы Международной конференции «Проблемы дефицита растительного белка и пути его преодоления» (Минск, 13–15 июля 2006 г.). Минск: Белорусская наука, 2006. С. 119–122.
11. Спиридонов В.П., Лопаткин А.А. Математическая обработка физико-химических данных. М.: МГУ, 1970. 224 с.
12. Краткий справочник физико-химических величин /под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой. СПб.: Иван Федоров, 2003. 240 с.
13. Егоров Г.А. Управление технологическими свойствами зерна. М.: Издательский комплекс МГУПП, 2005. 292 с.
14. Сургутский В.П. Химия пищевых продуктов. Книга 1. Красноярск: Гротеск, 1997. 320 с.
15. Крюк И.Ф. Биохимия и товароведение семян зернобобовых культур и продуктов их переработки. Минск, 1961. 275 с.

References

1. Kovalenko L.V. *Biokhimicheskie osnovy khimii biologicheskii aktivnykh veshchestv*. [Biochemical fundamentals of chemistry of biologically active substances]. Textbook. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2012, 229 p.
2. *Khimiya pishchevykh produktov [Food chemistry]*. In ed. Sh. Damodaran, K.L. Parkin, O.R. Fennema. St. Petersburg, Profesiya, 2012, 1040 p.
3. Pankina I.A., Borisova L.M. Perspektivnye napravleniya ispol'zovaniya netraditsionnogo rastitel'nogo syr'ya dlya sozdaniya funktsional'nykh pishchevykh produktov [Perspective directions of use of non-traditional vegetative raw materials for creation of functional foods]. *Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference "Innovative Technologies in Production Functional Food" (Michurinsk, 16–18 december 2014)*. Michurinsk, BIS Publ., 2014. pp. 149–151.
4. Vishnyakova M.A. Khozyaistvennyi i selektsionnyi potentsial zernovykh bobovykh kul'tur [Economic and selection potential of grain bean crops]. *Proceedings of the 2nd International Congress "Grain and Bread of Russia" (St. Petersburg, 23–25 november 2005)*. St. Petersburg, 2005. P. 106.

5. Pankina I.A., Borisova L.M. Perspektivnye napravleniya ispol'zovaniya lyupina uzkolistnogo i issledovanie reologicheskikh svoystv belkvoi pasty na ee osnove [Perspective directions of use of lupine and investigation of rheological properties of protein paste based on it]. *The consumer market of Eurasia: the current state of theory and practice in the conditions of the Eurasian Economic Union and WTO*. Collection of scientific works. Ekaterinburg, 2015, pp. 123–127.
6. Svodnye dannye po Rossiiskoi Federatsii [A summary of the Russian Federation]. *Federal State Statistics Service* URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy (accessed 21.02.2016).
7. Zimon A.D. *Zanimatel'naya kolloidnaya khimiya* [Entertaining colloidal chemistry]. Moscow, Agar, 2002, 168 p.
8. Pankina I.A., Borisova L.M., Belokurova E.S. Issledovanie fizicheskikh i tekhnologicheskikh svoystv semyan zernobobovykh kul'tur [Research of physical and technological properties of seeds of leguminous cultures]. *Grain economy of Russia*. 2015, no. 2, pp. 34–37.
9. Pankina I.A., Barsukov A.V. Issledovanie tekhnologicheskikh svoystv lyupina uzkolistnogo s tsel'yu sozdaniya funktsional'nykh pishchevykh produktov. [Research of technological properties of lupine to create functional foods.]. *The consumer market of Eurasia: the current state of theory and practice in the conditions of the Eurasian Economic Union and WTO*. Collection of scientific works. Ekaterinburg, 2015, pp. 127–131.
10. Krasil'nikov V.N., Pankina I.A. Issledovanie khimicheskogo sostava i tekhnologicheskikh svoystv semyan lyupina uzkolistnogo s tsel'yu sozdaniya kombinirovannykh produktov pitaniya [Investigation of chemical composition and processing lupine seeds uzkolistnogo properties to create a combined food]. *Proceedings of the International Conference "Problems of vegetable protein deficit, and ways to overcome it" (Minsk, 13–15 July 2006)*. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2006, pp. 119–122.
11. Spiridonov V.P., Lopatkin A.A. *Matematicheskaya obrabotka fiziko-khimicheskikh dannykh* [Mathematical processing of physicochemical data]. Moscow, MGU Publ., 1970, 224 p.
12. *Kratkii spravochnik fiziko-khimicheskikh velichin* [Short reference book of physical and chemical sizes]. In ed. A.A. Ravidelya, A.M. Ponomarevoi. St. Petersburg, Ivan Fedorov Publ., 2003, 240 p.
13. Egorov G.A. *Upravlenie tekhnologicheskimi svoystvami zerna* [Management of technologic properties of grain]. Moscow, MGUPP Publ., 2005, 292 p.
14. Surgutskii V.P. *Khimiya pishchevykh produktov* [Food chemistry]. Book 1. Krasnoyarsk, Grotesk Publ., 1997, 320 p.
15. Kryuk I.F. *Biokhimiya i tovarovedenie semyan zernobobovykh kul'tur i produktov ikh pererabotki* [Biochemistry and commodity research of leguminous crops and products of their processing]. Minsk, 1961. 275 p.

Статья поступила в редакцию 24.02.2016