

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 531.3:581.19:631.531:581.142:633.853.52

С.М. Доценко, И.В. Бибик,
О.И. Любимова, Ю.А. Гужель

КИНЕТИКА БИОХИМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОРАЩИВАНИЯ СЕМЯН СОИ

S.M. Dotsenko, I.V. Bibik,
O.I. Lyubimova, Y.A. Guzhel'

KINETICS OF BIOCHEMICAL PROCESSES OF GERMINATION OF SOYBEAN SEEDS

Работа посвящена вопросам изучения закономерностей и получения зависимостей процесса проращивания сои. Цель исследований – установление закономерностей трансформации биологически активных веществ в проращиваемых семенах сои и аккумуляции в них макро- и микроэлементов. Показатель, свидетельствующий об инактивации антипитательных веществ, – активность уреазы рассчитан по изменению величины pH раствора в течение 30 мин. Минеральный состав исследован методом приближенно-количественного спектрального анализа; содержание белков – фотоколориметрическим методом. Наиболее значимые факторы, влияющие на кинетику процесса проращивания, устанавливались методом математического моделирования. В результате исследований получена зависимость, показывающая, что в процессе проращивания происходит метаболизация ингибиторов трипсина. При этом ее интенсивность в значительной степени зависит от сорта сои. Анализ частных коэффициентов корреляции показал, что наибольшее влияние на процесс оказывают эквивалентный диаметр зерна и температура. Определены оптимальные значения параметров процесса проращивания сои, которые равны: диаметр сои – 5,9 мм; температура проращивания – 29–30 °С; кратность полива равна 5. Доказано, что в процессе проращивания семян сои содержание данных макро- и микроэлементов увеличивается в 1,5–2,5 раза по сравнению с их содержанием в исходном сырье. Обоснована кинетика биохимического процесса проращивания семян сои путем установления закономерностей и получения зависимостей, характеризующих про-

цессы аккумуляции воды, аскорбиновой кислоты, а также минеральных веществ в проращиваемых семенах сои.

Ключевые слова: соя, проращивание, ингибиторы трипсина, уреазы, соевый белок, сорта сои, математические модели, зависимости.

The work is devoted to studying patterns and dependencies of producing soybean germination process. The objective of research was establishing transformation of biologically active substances in soybean seeds germinated patterns and accumulation therein of macro- and micronutrients. The indication of the inactivation of anti-nutritional substances of urease activity is calculated by changing the pH of the solution for 30 minutes. Mineral composition was studied by approximately-quantitative spectral analysis; protein content was studied by photocolorimetry method. The most significant factors affecting the kinetics of the process of germination were established by mathematical modeling. As a result, the dependence research showed that it occurred during germination metabolization of trypsin inhibitors takes place. Thus its intensity largely depends on the type of soybean. Analysis of partial correlation coefficients showed that the greatest impact on the process is equivalent to the grain diameter and the temperature. The optimal parameters of the process of germination of soybeans, which are equal to the diameter of the soybean were 5, 9 mm; germination temperature was 29–30 °C. The multiplicity of watering was equal to 5, it was proved that in the process of germination of soybean data the contents of macro- and microelements increased by 1,5–2,5 times compared to their content in the feedstock. The kinetics of biochemical process of germination of soybean seeds

was motivated by establishing laws and obtaining dependencies characterizing the processes of water accumulation, ascorbic acid, as well as minerals in germinated soybean seeds.

Key words: soy, germination, trypsin inhibitors, urease, soy protein, soybean varieties, mathematical models of dependence.

Введение. Необычайно полезные ростки сои содержат активный белок и массу незаменимых для человека витаминов – витамины группы В, каротин и витамин С. При помощи этого продукта можно эффективно бороться с авитаминозом. Ростки содержат незаменимую клетчатку и аминокислоты, а также практически все известные микроэлементы. Следует отметить, что лецитин защищает желчные протоки от появления камней и холестериновых бляшек. Пророщенная соя благотворно влияет на обмен веществ, улучшает память, концентрирует внимание, нормализует работу головного мозга в целом. При онкологических заболеваниях ростки сои незаменимы.

Цель исследований: установление закономерностей трансформации биологически активных веществ в прорастиваемых семенах сои и аккумуляции в них макро- и микроэлементов.

Объекты, методы и результаты исследований. Полученные результаты необходимы при проектировании и конструировании пище-

вых продуктов, содержащих соевый компонент, с заданным составом и свойствами.

Объектом исследования являлись сорта Амурской и Приморской селекции: Октябрь-70, Гармония, Соната, Даурия и др.

О степени разрушения антипитательных веществ сои судили по активности уреазы – показателю, косвенно свидетельствующему об инактивации антипитательных веществ, которую рассчитывали по изменению величины рН раствора в течение 30 мин.

Определение минерального состава проводили методом приближенно-количественного спектрального анализа; определение содержания белков – фотоколориметрическим методом.

Известно, что биохимические воздействия при получении и переработке белков изменяют их структуру и функциональность, что может быть использовано для модификации функциональных свойств соевых белков в заданном (желаемом) направлении [1, 2].

На первой стадии решено проводить структурную и функциональную модификацию соевых белков путем ограниченного протеолиза собственным ферментным комплексом – эндопротеиназами прорастающих семян сои при одновременном их насыщении макро- и микроэлементами.

В качестве минерализованной среды использована вода, показатели которой приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели минерализованной воды

Показатель	НСО ₃	Элемент			рН
		Mg	Ca	Na	
Концентрация, мг-экв. %	77–87	20–50	32–55	12–28	5,2–6,1

В образцах соевого сырья определены основные показатели биохимического состава, масса 1000 семян, а также выравненность 2 размерных характеристик сортов. В образцах полученной продукции определялась длина проростков, массовая доля сырья и сухой составляющей продукта.

Изучение новых сортов сои в качестве сырья при производстве соевых проростков показало, что различия изучаемых сортов амурской селекции по биохимическому составу семян были незначительны (табл. 2). При практически оди-

наковой всхожести и интенсивности начального роста заметная разница в крупности семян не оказала существенного влияния на выход продукции. При этом самый высокий уровень выхода продукции отмечен у сорта Октябрь-70, который составил 288 %.

При исследовании сортов Дальневосточной селекции, выведенных во Всероссийском НИИ сои, ДальНИИСХе и ПримНИИСХе, отмечена разнокачественность соевого сырья по его биохимическому составу (табл. 2).

Таблица 2

Биохимические показатели семян сои Дальневосточных сортов ($\bar{M} \pm m$; $p \leq 0,05$)

Сорт	Масса 1000 семян, г	Содержание				Уреазная активность	Энергетическая ценность, кДж/100 г
		белков	липидов	углеводов	минеральных веществ		
Даурия	211	38,9	19,0	19,0	5,50	2,15	330
Гармония	177	37,0	18,1	18,9	6,15	2,14	335
Лидия	132	39,3	17,5	18,1	5,00	2,20	340
Салтус	191	37,5	19,5	19,0	5,80	2,50	332
Венера	190	38,0	15,0	19,1	6,20	2,40	330
Приморская-13	188	40,0	18,0	17,0	6,10	2,60	345
Октябрь-70	197	39,0	18,0	19,0	6,0	2,40	350

На основании проведенных исследований установлено, что данные сорта сои имеют высокую интенсивность прорастания, равную 0,08–1,0 мм/ч. При этом изменение влажности зерна идет не равномерно. За первые четыре часа замачивания наблюдается резкое увеличение влажности с 12 до 60 %, а затем насыщение влагой замедляется. Оптимальная влажность для дальнейшего процесса проращивания достигается через 18–20 ч при температуре воды 16–18 °С.

Установлено, что за первые 48 ч проращивания насыпная объемная масса семян сои изменяется незначительно вследствие низкой интенсивности процесса прорастания, а далее заметно уменьшается. То же самое наблюдается и при изменении длины ростков.

На следующем этапе исследований определялись наиболее значимые факторы, влияющие

на кинетику процесса проращивания семян сои, с целью получения математических моделей, адекватно описывающих данный процесс, и последующей оптимизации основных параметров исследуемого процесса.

В качестве критериев оптимизации параметров кинетики процесса проращивания семян приняты интенсивность роста – ΔM (отклик Y_1), содержание аскорбиновой кислоты в пророщенном зерне – ΔC (отклик Y_2).

В результате обработки априорной информации и поисковых исследований выделены факторы, оказывающие наибольшее влияние на исследуемый процесс. К таким факторам отнесены: эквивалентный диаметр семян сои D_3 , температура среды t °С и кратность полива K .

Обозначения и уровни варьирования факторов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Факторы и уровни их варьирования для сорта сои Октябрь-70

Уровень	Фактор		
	$(X_1) D_3, \text{ мм}$	$(X_2) t, \text{ °С}$	$(X_3) K$
Верхний уровень (+)	7,2	32	5
Основной уровень (0)	6,5	28	3
Нижний уровень (-)	5,8	24	1

После реализации эксперимента по матрице плана и получения критериев оптимизации проведена обработка результатов и построение математических моделей процесса.

Данные расчетов дисперсии откликов и проверка их однородности показали, что дисперсии откликов однородны, а, следовательно, можно считать, что влияние ошибок и случайных помех

по всем точкам матрицы плана одинаковое, а дисперсии параллельных опытов сравнимы между собой.

Для обоснования оценки влияния факторов по данным эксперимента построены уравнения регрессии, которые после отсеивания незначимых коэффициентов в кодированной форме имеют следующий вид:

– для интенсивности роста

$$Y_1 = 6,381 - 0,163 \cdot X_1 - 0,171 \cdot X_2 - 0,415 \cdot X_3 - 0,113 \cdot X_1 X_2,$$

$$Y_1 = 6,381 - 0,163 \cdot X_1 - 0,171 \cdot X_2 - 0,415 \cdot X_3 - 0,113 \cdot X_1 X_2 + 0,263 \cdot X_2 X_3,$$

$$Y_1 = 6,381 - 0,163 \cdot X_1 - 0,171 \cdot X_2 - 0,415 \cdot X_3 - 0,113 \cdot X_1 X_2 + 0,263 \cdot X_2 X_3 - 0,267 \cdot X_1^2 - 0,276 \cdot X_2^2 - 0,107 \cdot X_3^2 \rightarrow \max;$$

– для содержания аскорбиновой кислоты

$$Y_2 = 23,339 - 0,507 \cdot X_1 - 1,422 \cdot X_2 - 4,526 \cdot X_3 - 1,688 \cdot X_1 X_2 - 6,305 \cdot X_2^2 - 4,612 \cdot X_3^2 \rightarrow \max.$$

Адекватность моделей подтверждается с вероятностью $P = 0,95$ при коэффициентах корреляции $R_1 = 0,977$ и $R_2 = 0,967$ неравенством $F_R > F_T$.

Данные по расчету F-критерия (критерия Фишера) приведены в таблице 4.

Перейдя от кодированных значений факторов ($X_1; X_2; X_3$) к натуральным (D_3, t, K), получили зависимости показателей приращения массы ростков семян сои ΔM и содержания аскорбиновой кислоты (C) в соевых проростках от основных технологических факторов.

В натуральной форме уравнения регрессии имеют следующий вид:

– для интенсивности роста

$$\Delta M = -36,03 + 8,213 \cdot D_3 + 0,171 \cdot t - 0,551 \cdot K - 0,40 \cdot D_3 \cdot t + 0,032 \cdot t \cdot K - 0,563 \cdot D_3^2 - 0,0172 \cdot t^2 - 0,266 \cdot K^2 \rightarrow \max;$$

– для содержания аскорбиновой кислоты

$$\Delta C = -408,44 + 14,723 \cdot D_3 + 26,341 \cdot t - 9,180 \cdot K - 0,602 \cdot D_3 \cdot t + 0,394 \cdot t^2 - 1,153 \cdot K^2 \rightarrow \max.$$

Анализ частных коэффициентов корреляции показал, что наибольшее влияние на процесс оказывают эквивалентный диаметр зерна D и температура.

После получения адекватных математических моделей процесса определялись координаты оптимума и изучались поверхности отклика (табл. 5).

На рисунках 1–6 представлены поверхности откликов $Y_i = f(X_1; X_2; X_3) \rightarrow \max$ и сечения этих поверхностей.

Таблица 4

Результаты регрессивного анализа ($Y_{1,2} = f(X_1; X_2; X_3) \rightarrow \max$)

Критерий	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{12}	a_{23}	a_{11}	a_{22}	a_{33}	Заключение об адекватности	
										F_R	F_T
Y_1	6,38	-0,16	0,17	0,41	-0,11	0,26	-0,26	-0,27	-0,11	12,23	3,58
Y_2	23,33	-1,50	1,42	4,52	-1,68	-	-	-6,30	-4,61	15,37	3,73

Области экстремальных значений $Y_{1,2} = f(X_1; X_2; X_3) \rightarrow \max$

Критерий	X_1	X_2	X_3	y
$Y_1 \rightarrow \max$	-0,47	0,88	1,0	6,920
$Y_2 \rightarrow \max$	-1,0	0,25	0,49	26,339

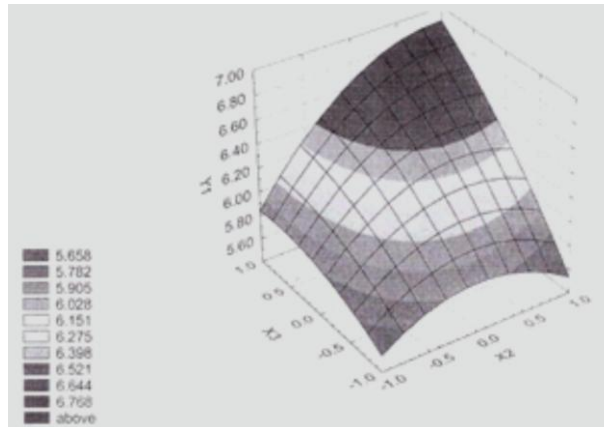


Рис. 1. Поверхность отклика $Y_i = f(X_1 = -0,8; X_2; X_3) \rightarrow \max$

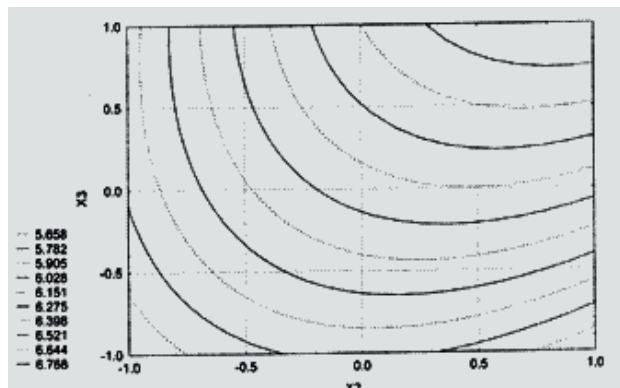


Рис. 2. Сечения поверхности отклика $Y_i = f(X_1 = -0,8; X_2; X_3) \rightarrow \max$

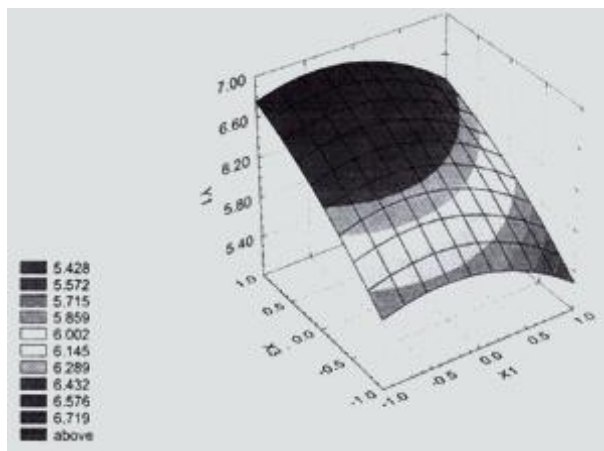


Рис. 3. Поверхность отклика $Y_i = f(X_1; X_2 = 0,42; X_3) \rightarrow \max$

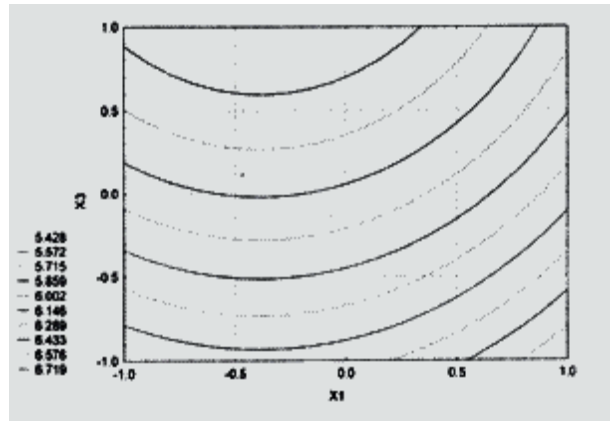


Рис. 4. Сечения поверхности отклика $Y_i = f(X_1; X_2 = 0,42; X_3) \rightarrow \max$

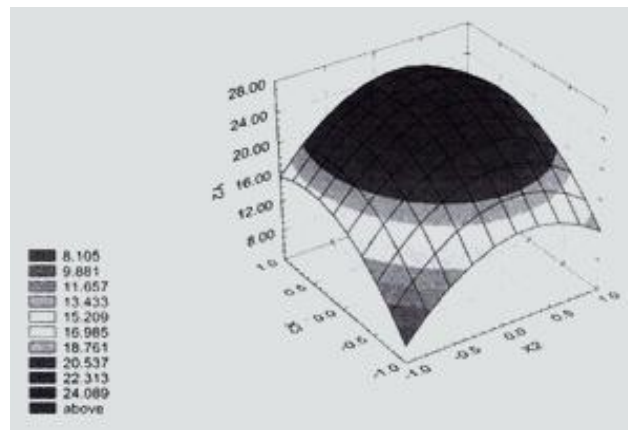


Рис. 5. Поверхность отклика $Y_i = f(X_1 = -0,8; X_2; X_3) \rightarrow \max$

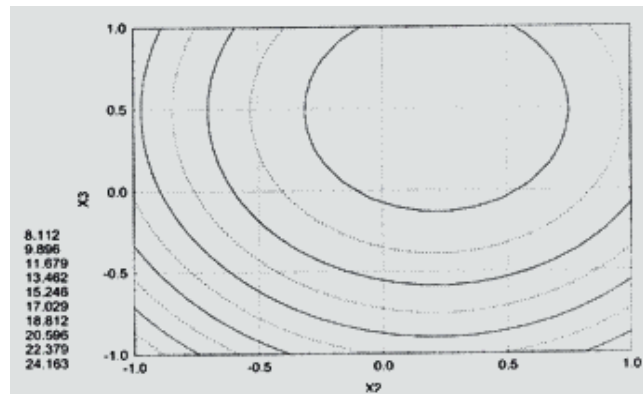


Рис. 6. Сечения поверхности отклика $Y_i = f(X_1 = -0,8; X_2; X_3) \rightarrow \max$

Проведенный анализ и решение полученных уравнений регрессии позволили определить оптимальные значения параметров: $D_3 = 5,9$ мм; $t = 29-30$ °С; $K = 5$. При указанных выше значениях параметров интенсивность роста составляет 6,7 г на 100 г в час, а содержание ас-

корбиновой кислоты – 24,934 мг/100 г за этот же промежуток времени.

На рисунке 7 представлена зависимость содержания аскорбиновой кислоты в соевых проростках от продолжительности проращивания $\tau_{пр}$ и дорацивания $\tau_{д}$.

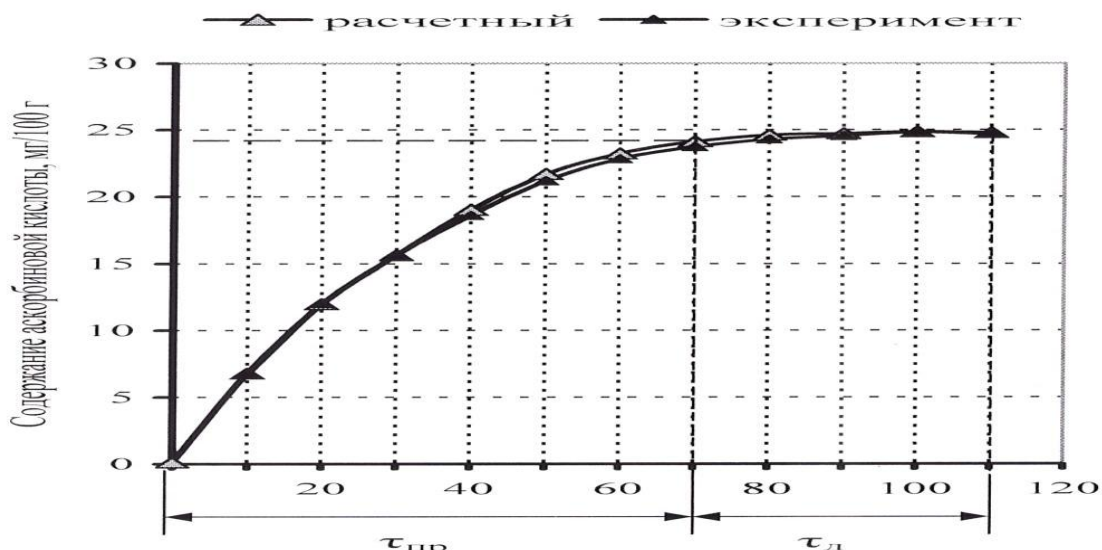


Рис. 7. Зависимость содержания аскорбиновой кислоты в соевых проростках от продолжительности $\tau_{пр}$ и доращивания $\tau_{д}$

Данная зависимость аппроксимирована выражением следующего вида:

$$C = 25,934 - 25,87 \cdot e^{-0,032\tau},$$

где $\tau = \tau_{пр} + \tau_{д}$ – общее время получения ростков высокого качества.

Преобразование данного выражения при известных значениях C позволило установить кинетику биохимического процесса накопления аскорбиновой кислоты:

$$\tau = 100,621 - 30,929 \cdot \ln(25,934 - C).$$

С целью установления зависимости изменения уреазной активности ΔpH от времени проращивания $\tau_{пр}$ и времени доращивания $\tau_{д}$ проведены эксперименты, результаты которых представлены на рисунке 8.

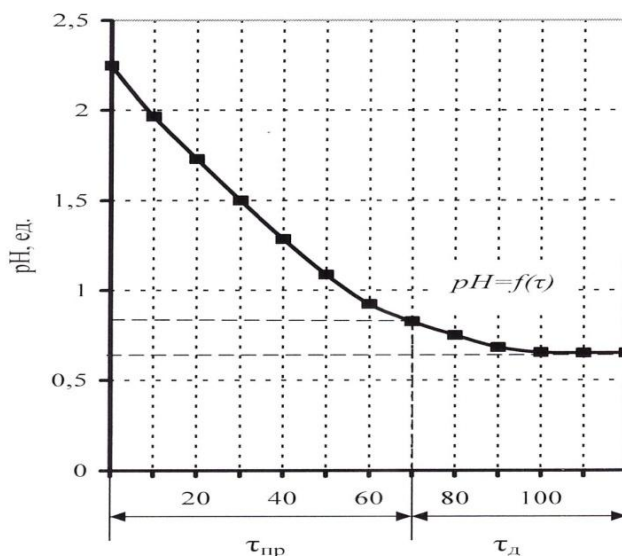


Рис. 8. Зависимость изменения активности уреазы ΔpH от времени проращивания $\tau_{пр}$ и времени доращивания $\tau_{д}$ семян сои

Данная зависимость аппроксимирована выражением следующего вида:

$$\Delta pH = 2,2 \cdot e^{-0,002\tau},$$

где τ – продолжительность проращивания семян сои, ч.

Анализ данной зависимости показывает, что в процессе проращивания происходит метаболизация ингибиторов трипсина. При этом ее интенсивность в значительной степени зависит от сорта сои.

В этой связи получена формула, позволяющая корректировать продолжительность проращивания τ_{np} и доращивания τ_d в зависимости от сорта сои:

$$\tau_i = 2,3 \frac{1}{K_{np}} \cdot \lg\left(\frac{\Delta pH_0}{\Delta pH_d}\right),$$

где K_{np} – коэффициент, учитывающий интенсивность метаболизации ингибитора трипсина

(определяется экспериментально). Для сорта сои Октябрь-70 $K_{np} = 0,002$;

ΔpH_0 – исходная активность уреазы в семенах сои, зависящая от сорта;

ΔpH_d – допустимое значение активности уреазы.

Скорость метаболизации ингибитора трипсина в процессе проращивания и доращивания семян сои определили как

$$v_m = \Delta pH_0 \cdot K_{np} \cdot e^{-K_{np}\tau}.$$

На основании проведенных исследований получены математические модели, характеризующие кинетику накопления макро- и микроэлементов при проращивании семян сои, которые представлены в виде математических зависимостей в таблице 6.

Таблица 6

Зависимости содержания основных макро- и микроэлементов (К) от продолжительности проращивания семян сои (τ)

Катион	Зависимости содержания макро- и микроэлементов от продолжительности проращивания	Зависимости продолжительности проращивания семян сои от требуемого содержания макро- и микроэлементов
Нартий	$K_{Na} = 694,7 - 284,6 \cdot e^{-0,022\tau}$	$\tau = 258,0 - 45,6 \cdot \ln(694,7 - [Na])$
Калий	$K_K = 2902,9 - 897,9 \cdot e^{-0,019\tau}$	$\tau = 359,0 - 52,8 \cdot \ln(2902,9 - [K])$
Фосфор	$K_P = 796,2 - 86,1 \cdot e^{-0,016\tau}$	$\tau = 273,0 - 61,2 \cdot \ln(796,2 - [P])$
Магний	$K_{Mg} = 29,9 - 9,9 \cdot e^{-0,011\tau}$	$\tau = 203,8 - 88,7 \cdot \ln(29,9 - [Mg])$
Марганец	$K_{Mn} = 8900,9 - 900,9 \cdot e^{-0,021\tau}$	$\tau = 322,0 - 47,3 \cdot \ln(8900,9 - [Mn])$
Кальций	$K_{Ca} = 771,0 - 361,0 \cdot e^{-0,017\tau}$	$\tau = 339,5 - 57,6 \cdot \ln(771,0 - [Ca])$

Анализ данных зависимостей показывает, что в процессе проращивания семян сои содержание данных макро- и микроэлементов увеличивается в 1,5–2,5 раза по сравнению с их содержанием в исходном сырье.

Выводы. Таким образом, обоснована кинетика биохимического процесса проращивания семян сои путем установления закономерностей и получения зависимостей, характеризующих процессы аккумуляции воды, аскорбиновой кислоты, а также минеральных веществ в проращиваемых семенах сои.

Результаты исследования положены в основу разработки новых способов пригото-

вления соевых продуктов повышенной биохимической ценности [3–6].

Литература

1. Толстогозов В.Б. Новые формы белковой пищи. – М: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
2. Петибская В.С. Соя: химический состав и использование. – Майкоп: Полиграф-Юг, 2012. – 432 с.
3. Пат. РФ. №2349099. Способ приготовления белково-витаминного салата / Доценко С.М., Юценко Б.И., Филонова О.В., Кодирова Г.А. – 2009.

4. Пат. РФ. №2349098. Способ получения соевых ростков. *Доценко С.М., Кодирова Г.А.* – 2009.
5. Пат. РФ. №2348179. Способ обработки соевого зерна. / *Доценко С.М., Скрипко О.В., Филонова О.В., Любимова О.И.* – 2009.
6. *Струпан Е.А., Тупсина Н.Н.* Основные направления повышения пищевой ценности кондитерских изделий // *Вестн. КрасГАУ.* – 2007. – № 6. – С. 271–274.
7. *Мацейчик И.В., Ломовский И.О., Таярова А.В.* Применение продуктов переработки овса и порошков из местного растительного сырья в производстве мучных кондитерских изделий // *Вестн. КрасГАУ.* – 2014. – № 10. – С. 200–206.
2. *Petibskaya V.S.* Soya: himicheskij sostav i ispol'zovanie. – *Majkop: Poligraf-YUg,* 2012. – 432 s.
3. Pat. RF. №2349099. Sposob prigotovleniya belkovo-vitaminного salata / *Docenko S.M., Yushchenko B.I., Filonova O.V., Kodirova G.A.* – 2009.
4. Pat. RF. №2349098. Sposob polucheniya soevykh rostkov / *Docenko S.M., Kodirova G.A.* – 2009.
5. Pat. RF. №2348179. Sposob obrabotki soevogo zerna. / *Docenko S.M., Skripko O.V., Filonova O.V., Lyubimova O.I.* – 2009.
6. *Strupan E.A., Tupsina N.N.* Osnovnye napravleniya povysheniya pishchevoj cennosti konditerskih izdelij // *Vestn. KrasGAU.* – 2007. – № 6. – S. 271–274.
7. *Macejchik I.V., Lomovskij I.O., Tayurova A.V.* Primenenie produktov pererabotki ovsa i poroshkov iz mestnogo rastitel'nogo syr'ya v proizvodstve muchnykh konditerskih izdelij // *Vestn. KrasGAU.* – 2014. – № 10. – S. 200–206.

Literatura

1. *Tolstoguzov V.B.* Novye formy belkovej pishchi. – *M: Agropromizdat,* 1987. – 303 s.

УДК 581.192

***Н.А. Величко, Е.А. Евдокимова,
Я.В. Смольникова, Л.П. Рубчевская***

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗАЯЧЬЕЙ КАПУСТЫ И РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ КРЕПКОАЛКОГОЛЬНОГО НАПИТКА НА ЕЕ ОСНОВЕ

***N.A. Velichko, E.A. Evdokimova,
Ya.V. Smolnikova, L.P. Rubchevskaya***

THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE ORPIN AND WORKING OUT THE RECIPE OF A STRONG ALCOHOLIC DRINK BASED ON IT

В связи с недостаточной изученностью химического состава заячьей капусты представляло интерес исследовать данный состав и определить возможные пути применения капусты в рецептурах пищевых продуктов. Исследование химического состава надземной части заячьей капусты проводили по методикам, принятым в биохимии растений. В статье приведены результаты по химическому составу заячьей капусты. В надземной части заячьей капусты установлено значительное количество безазотистых экстрактивных веществ (67,70 %), зольных веществ (14,97 %), клетчатки (12,69 %). Изучение минерального состава показало присут-

ствие значительного количества кальция (7,68 %), фосфора (4,62 %), магния (1,41 %), железа (216,64 мг/кг), марганца (208,21 мг/кг). В составе жирных кислот присутствуют незаменимые эссенциальные кислоты, такие как линолевая, альфа-линоленовая. Разработана рецептура крепкоалкогольного напитка с использованием в качестве ингредиента заячьей капусты. Определены физико-химические и органолептические показатели напитка.