

Физико-химическое обоснование и технологические параметры получения поликомпонентной пищевой добавки на основе овощной фасоли

Курочкин А.А., Новикова О.А.

Аннотация. В представленной работе проведена систематизация данных о высоком технологическом потенциале использования овощной фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) в качестве функциональной пищевой добавки. На основе критического анализа литературных источников и результатов собственных экспериментальных исследований обоснована целесообразность применения поликомпонентного подхода, при котором биологически активные компоненты стручков овощной фасоли интегрируются в матрицу пищевой добавки путём термовакуумной экструзии смеси с зерном пшеницы. Представлены расширенные данные по физико-механическим и химическим характеристикам стручков полусахарной фасоли двух сортов в различных стадиях онтогенеза. Разработаны и экспериментально верифицированы режимы экструдирования, обеспечивающие получение стабильного по качеству экструдата с заданными функционально-технологическими свойствами.

Ключевые слова: пищевые продукты, бобовые культуры, *Phaseolus vulgaris* L., стручки, пшеница, термовакуумная экструзия, пищевые волокна, функциональные ингредиенты, технологические параметры.

Для цитирования: Курочкин А.А., Новикова О.А. Физико-химическое обоснование и технологические параметры получения поликомпонентной пищевой добавки на основе овощной фасоли // Инновационная техника и технология. 2026. Т. 13. № 1. С. 48–53.

Physical and chemical justification and technological parameters for obtaining a multi-component food additive based on vegetable beans

Kurochkin A.A., Novikova O.A.

Abstract. The presented work systematizes data on the high technological potential of using vegetable beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a functional food additive. Based on a critical analysis of literature sources and the results of our own experimental studies, we have substantiated the feasibility of using a multi-component approach, in which the biologically active components of vegetable bean pods are integrated into the matrix of the food additive by thermovacuum extrusion of a mixture with wheat grain. We have also presented extended data on the physical, mechanical, and chemical characteristics of the pods of two varieties of semi-sugar beans at different stages of ontogenesis. Extruding modes have been developed and experimentally verified to ensure the production of a stable-quality extrudate with specified functional and technological properties.

Keywords: food products, legumes, *Phaseolus vulgaris* L., pods, wheat, thermovacuum extrusion, dietary fiber, functional ingredients, technological parameters.

For citation: Kurochkin A.A., Novikova O.A. Physical and chemical justification and technological parameters for obtaining a multi-component food additive based on vegetable beans. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2026. Vol. 13. No. 1. pp. 48–53. (In Russ.).

Введение

Бобовые культуры в целом занимают значимое место в современных технологиях пищевой индустрии, что обусловлено их высоким нутри-

циологическим потенциалом и функциональными свойствами. Несмотря на доминирующее положение сои и продуктов её переработки в данной нише, сравнительный анализ химического состава и биологической активности представителей семейства

бобовых позволяет акцентировать внимание на перспективности использования фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.).

С позиций современных концепций диетического питания и экономической эффективности, применение фасоли в пищевых технологиях способствует комплексной реализации её полезных свойств, включая белковую комплементарность, высокое содержание пищевых волокон и минорных биологически активных соединений [2, 5-9].

Содержание белка в бобовых культурах варьирует в диапазоне 17-30%, что существенно превышает аналогичный показатель для злаковых культур. При этом белки бобовых и зерновых характеризуются взаимодополняющим аминокислотным профилем: первые обогащены лизином при относительном дефиците серосодержащих аминокислот (метионина и цистеина); в то время как зерновые демонстрируют обратную тенденцию. [1, 3, 4].

Углеводный компонент бобовых представлен преимущественно крахмалом (45-48%), а также моно-, ди- и олигосахаридами, включая функциональные α -галактозиды.

Особый интерес в контексте разработки функциональных ингредиентов представляют пищевые волокна, содержание которых в бобовых, и особенно в стручках, достигает значительных величин.

Согласно современной классификации, пищевые волокна подразделяются на растворимые (пек-

тины, камеди, инулин, фруктаны) и нерастворимые (целлюлоза, лигнин, резистентный крахмал) фракции, каждая из которых вносит специфический вклад в физиологические эффекты [10-13].

Цель работы – обоснование состава и технологических параметров получения поликомпонентной пищевой добавки на основе овощной фасоли.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования: стручки полусахарной фасоли сортов «Краснодарская» и «Жёлтая река» в стадии технической спелости; зерно пшеницы мягкой (влажность $14 \pm 0,5\%$).

Методы анализа: определение влажности – термогравиметрическим методом при 105°C до постоянной массы; содержание белка – по Кьельдалю с коэффициентом пересчёта 6,25; содержание жиров – экстракция петролейным эфиром по Соклету; пищевые волокна – ферментативно-гравиметрическим методом (АОАС 991.43); аминокислотный состав – ВЭЖХ после кислотного гидролиза; минеральный состав – атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES); физико-механические свойства – на текстуранте с использованием стандартных методик.

Экструдирование проведено на экспериментальном термовакуумном экструдере с шнеком $L/D = 12$, частота вращения 120 об/мин, температура

Таблица 1 – Технологические и морфометрические характеристики образцов фасоли ($M \pm \sigma$, $n = 5$)

Показатели	Сорт «Краснодарская»	Сорт «Жёлтая река»
Морфология стручка		
Цвет	жёлтый; в биологической спелости – с красными прожилками	жёлтый
Форма поперечного сечения	плоская, широкая	круглая
Длина, см	$14,8 \pm 0,6$	$16,3 \pm 0,8$
Стадия молочной спелости		
Масса стручка, г	$16,7 \pm 1,2$	$14,8 \pm 1,0$
Масса семян в стручке, г	$3,6 \pm 0,4$	$3,1 \pm 0,3$
Масса 1000 семян, г	$349,0 \pm 15,2$	$316,0 \pm 12,8$
Соотношение семян : оболочка, %	0,971	0,930
Влажность, %	$85,0 \pm 2,1$	$87,0 \pm 1,8$
Стадия технической спелости		
Масса стручка, г	$14,1 \pm 0,9$	$13,6 \pm 0,7$
Масса семян в стручке, г	$4,3 \pm 0,5$	$4,2 \pm 0,4$
Масса 1000 семян, г	$752,0 \pm 28,4$	$710,0 \pm 24,1$
Соотношение семян : оболочка, %	30 : 70	32 : 69
Влажность, %	$52,0 \pm 1,5$	$56,0 \pm 1,9$
Стадия биологической спелости		
Масса стручка, г	$4,7 \pm 0,4$	$4,4 \pm 0,3$
Масса семян в стручке, г	$3,1 \pm 0,3$	$3,4 \pm 0,4$
Масса 1000 семян, г	$631,0 \pm 22,6$	$686,0 \pm 25,3$
Соотношение семян : оболочка, %	66:34:00	77:23:00
Влажность, %	$10,0 \pm 0,8$	$12,0 \pm 1,1$

зон 80-110°C, вакуум в камере 0,07-0,08 МПа, время пребывания 10-15 с.

Результаты и их обсуждение

Для обоснования технологических решений проведён детальный анализ физико-механических и химических параметров стручков полусахарной фасоли сортов «Краснодарская» и «Жёлтая река» в трёх стадиях спелости. Результаты представлены в таблицах 1-3.

Анализ полученных данных подтверждает, что стручки полусахарной фасоли в стадии технической спелости характеризуются оптимальным балансом макро- и микронутриентов для использования в качестве функционального ингредиента. Высокое содержание пищевых волокон (31,5-33,2 г/100 г СВ), преимущественно нерастворимой фракции, коррелирует с данными литературы для (*Phaseolus vulgaris* L.).

Аминокислотный профиль демонстрирует высокую комплементарность с белками злаковых: содержание лизина (6,5-6,8% от белка) компенсирует его дефицит в пшеничном белке, в то время как серосодержащие аминокислоты, лимитирующие в бобовых, поступают из зернового компонента смеси.

Для оптимизации процесса экструдирования определены ключевые физико-механические свойства и реологические характеристики стручков в стадии технической спелости:

- насыпная плотность: 0,42-0,48 г/см³;
- истинная плотность: 1,12-1,18 г/см³;
- угол естественного откоса: 32-38°;
- водопоглощающая способность (WHC): 8,3 ± 0,5 г/г;
- жиродерживающая способность (ОНС): 2,5 ± 0,2 г/г;

Таблица 2 – Химический состав стручков полусахарной фасоли в стадии технической спелости (г/100 г сухого вещества, М±σ, n = 5)

Компонент	Сорт «Краснодарская»	Сорт «Жёлтая река»	Литературные данные
Макронутриенты			
Белок	19,4 ± 1,2	18,7 ± 1,5	16,1-23,1
Жиры	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,1-1,1
Углеводы (расчётные)	66,8 ± 2,1	68,2 ± 2,4	62,0-70,6
Пищевые волокна (общие)	33,2 ± 1,8	31,5 ± 2,0	28,5-38,4
нерастворимые	26,8 ± 1,5	25,1 ± 1,7	22,3-30,2
растворимые	6,4 ± 0,6	6,4 ± 0,5	5,1-8,9
Крахмал	42,1 ± 2,3	40,8 ± 2,1	38,5-45,2
Сахара (сумма)	8,7 ± 0,9	9,2 ± 1,0	6,8-11,4
Зола	6,0 ± 0,4	5,8 ± 0,5	4,5-8,2
Минорные компоненты			
Пектиновые вещества	3,1 ± 0,3	2,9 ± 0,2	2,8-3,5
Гемицеллюлозы	4,6 ± 0,4	4,4 ± 0,3	4,0-5,5
Полифенолы (экв. галловой к-ты), мг/г	5,3 ± 0,4	4,9 ± 0,5	3,8-6,2
Антиоксидант. активность (FRAP), мкмоль экв. тролокса/г	33,4 ± 2,1	31,2 ± 1,9	26,5-38,7

- набухаемость: 4,2 ± 0,3 мл/г;
- модуль упругости при сжатии: 12,4 ± 1,8 МПа.

Влажность сырья в стадии технической спелости (52-56%) представляет технологическое ограничение для прямого экструдирования, что обусловлено недостаточной вязко-упругими свойствами расплава и риском деструкции биополимеров. Для решения данной проблемы предложено использование зернового наполнителя с низкой влажностью и высоким содержанием крахмала.

Практическая реализация представленной научной гипотезы нашла воплощение сначала в опытной отработке отдельных технологических операций, а затем в логически обоснованной и экспериментально подтвержденной технологии получения пищевой добавки на основе овощной фасоли.

Сущность технологии заключается в следующем. Стручки овощной фасоли в стадии технической спелости влажностью 52-56 % измельчали на частицы размером 8-10 мм и смешивали с зерном пшеницы влажностью 14% в соотношении 1:2,5. Полученную смесь выдерживали в смесителе в течение 1,0-1,5 часов, после чего подвергали обработке с помощью термовакуумного экструдера в течение 10-15 секунд при температуре 100-110°C. На выходящий из фильеры экструдера экструдат воздействовали пониженным давлением, равным 0,07-0,08 МПа с целью более интенсивного «вскипания» (вспучивания) и достижения в нем влаги 8-10%. Одновременно экструдат разрезался на частицы размером 3-4 мм режущим устройством, входящим в состав экструдера.

Разработанные технологические режимы экструдирования обеспечивают:

- снижение влажности смеси с 24-26% до 8-10% за счёт вакуумного испарения;

Таблица 3 – Аминокислотный профиль белка стручков фасоли (% от общего белка, М±σ, n = 5)

Аминокислота	Сорт «Краснодарская»	Сорт «Жёлтая река»	Эталон ФАО/ВОЗ
Незаменимые			
Лизин	6,8 ± 0,4	6,5 ± 0,3	5,8
Треонин	3,9 ± 0,2	3,7 ± 0,3	4
Метионин + Цистин	2,1 ± 0,2	2,0 ± 0,1	2,5
Валин	4,2 ± 0,3	4,0 ± 0,2	5
Изолейцин	3,1 ± 0,2	2,9 ± 0,2	4
Лейцин	5,4 ± 0,3	5,2 ± 0,4	6,6
Фенилаланин + Тирозин	6,2 ± 0,4	5,9 ± 0,3	6,3
Триптофан	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,1
Заменимые			
Аспарагиновая к-та	14,2 ± 0,8	13,8 ± 0,7	–
Глутаминовая к-та	11,5 ± 0,6	11,1 ± 0,5	–
Серин	6,3 ± 0,4	6,1 ± 0,3	–
Глицин	3,2 ± 0,2	3,0 ± 0,2	–
Аргинин	4,1 ± 0,3	3,9 ± 0,2	–
Аланин	4,3 ± 0,3	4,1 ± 0,2	–
Пролин	3,5 ± 0,2	3,3 ± 0,2	–

– гелеобразование крахмала и денатурацию белков, повышающие биодоступность нутриентов;
– формирование пористой структуры экструдата с размером частиц 3-4 мм;
– сохранение термостабильных биоактивных соединений (полифенолы, минералы).

Качество полученной пищевой добавки подтверждено органолептической оценкой и стабильностью при хранении (срок годности ≥ 6 мес. при t = 20±5°C, RH ≤ 75%).

Выводы

Стручки полусахарной фасоли в стадии технической спелости характеризуются сбалансированным химическим составом: содержание белка 18,7-19,4%, пищевых волокон 31,5-33,2%, минеральных веществ 5,8-6,0% на сухое вещество, что обосновывает их использование в качестве функционального ингредиента.

Литература

- [1] Босак, В.Н. Биологическая ценность и аминокислотный состав различных сортов фасоли овощной / В.Н. Босак, Т.В. Сачивко // Овощеводство. 2017. т. 25. С. 5-10.
- [2] Волох, Е.Ю. Разработка технологии производства пшеничного хлеба с использованием добавок из бобовых культур: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 05.18.01 / Волох Елена Юрьевна. Махачкала, 2017. 24 с.
- [3] Костикова, Н.О. Оценка различных сортов фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) по химическому составу и энергетической ценности зерна / Н.О. Костикова, О.А. Миуц // Зернобобовые

Физико-механические параметры (насыпная плотность 0,42-0,48 г/см³, WHC 8,3 г/г, ОНС 2,5 г/г) определяют целесообразность предварительного измельчения до частиц 8-10 мм и смешивания с зерновым наполнителем для оптимизации реологии экструзионного расплава.

Разработанные режимы термовакуумной экструзии (соотношение фасоль : пшеница 1 : 2,5, t = 100-110°C, τ = 10-15 с, P_{вак} = 0,07-0,08 МПа) обеспечивают получение стабильного экструдата влажностью 8-10 % с сохранением функциональных свойств исходного сырья.

Предложенная технология получения поликомпонентной пищевой добавки может быть масштабирована для промышленного применения и интегрирована в производство хлебобулочных, кондитерских и специализированных продуктов питания.

References

- [1] Bosak, V.N. Biological value and amino acid composition of various varieties of vegetable beans / V.N. Bosak, T.V. Sachivko // Vegetable growing. 2017. vol. 25. p. 5-10.
- [2] Volokh, E.Yu. Development of technology for the production of wheat bread using additives from legumes: abstract. dis. ... candidate of Agricultural Sciences: 05.18.01 / Volokh Elena Yurievna. Makhachkala, 2017. 24 p.
- [3] Kostikova, N.O. Evaluation of various varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by chemical composition and energy value of grain / N.O. Kostikova, O.A. Miyuts // Legumes and cereals. 2021.

- и крупяные культуры. 2021. №3 (39). С. 97-101. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-97-101.
- [4] Курочкин, А.А. Поликомпонентная пищевая добавка на основе овощной фасоли /А.А. Курочкин, О.А. Новикова // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10, № 2. С. 19-24. – EDN EJLWUL.
- [5] Пат. 2 803770 Российская Федерация, МПК7 А21D 2/36. Способ производства хлеба / А.А. Курочкин, П.К. Гарькина, М.О. Волошина, С.А. Буренкова. – №2023114709; заявл. 05.06.2023; опубл. 19.09.2023, Бюл. №26.
- [6] Русина, И.М. Возможности применения муки из фасоли и гороха в хлебопечении /И.М. Русина, А.Ф. Макарович, Т.П. Троцкая, Ю.В. Мистюк, С.С. Ковалевская //Пищевая промышленность: наука и технологии. 2012. №. 4(18). С. 22-27.
- [7] Царева, Н.И. Бобовые в технологии продуктов питания со взбивной структурой: монография /Н.И. Царева, Е.Н. Артемова. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2014. 133 с.
- [8] Черемных, Д.А. Применение зеленой стручковой фасоли для обогащения пшеничной муки / Д.А. Черемных, Л.В. Наймушина, И.Д. Зыкова // Вестник КрасГАУ. 2018. № 3. С. 152-156.
- [9] Чижикова, О.Г. Разработка ассортимента хлеба пшеничного с добавлением семян фасоли /О.Г. Чижикова, О.Л. Коршенко, М.А. Суховарова, А.В. Исаков // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №3 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/184TVN315.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/184TVN315.
- [10] Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E.N., Maieves H.A., Berrios J.J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion Process as an Alternative to Improve Pulses Products Consumption. A Review. Foods. 2021 May 15;10(5):1096. doi: 10.3390/foods10051096. PMID: 34063375; PMCID: PMC8156340.
- [11] Orozco-Angelino X, Espinosa-Ramírez J, Serna-Saldívar SO. Extrusion as a tool to enhance the nutritional and bioactive potential of cereal and legume by-products. Food Res Int. 2023 Jul;169:112889. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112889. Epub 2023 Apr 27. PMID: 37254337.
- [12] Pedrosa M.M., Guillamón E., Arribas C. Autoclaved and Extruded Legumes as a Source of Bioactive Phytochemicals: A Review. Foods. 2021 Feb 9;10(2):379. doi: 10.3390/foods10020379. PMID: 33572460; PMCID: PMC7919342.
- [13] Sinkovič L., Blažica V., Blažica B., et al. How Nutritious Are French Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from the Citizen Science Experiment? // Plants. 2024. Vol. 13, Iss. 2. P. 314. DOI: 10.3390/plants13020314.
- No.3 (39). pp. 97-101. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-97-101.
- [4] Kurochkin, A.A. Polycomponent food additive based on vegetable beans / A.A. Kurochkin, O.A. Novikova // Innovative Technique and Technology. 2023. Vol. 10, No. 2. Pp. 19-24.
- [5] Pat. 2 803 770 Russian Federation, MPK7 A21D 2/36. Method of bread production / A.A. Kurochkin, P.K. Garkina, M.O. Voloshina, S.A. Burenkova. – No. 2023114709; application 05.06.2023; publ. 19.09.2023, Bul. No. 26.
- [6] Rusina, I.M. The possibilities of using flour from beans and peas in baking / I.M. Rusina, A.F. Makarchikov, T.P. Trotskaya, Yu.V. Mistyuk, S.S. Kovalevskaya // Food industry: Science and technology. 2012. No. 4(18). pp. 22-27.
- [7] Tsareva, N.I. Legumes in the technology of food with a whipped structure: monograph /N.I. Tsareva, E.N. Artemova. – Orel: FGBOU VPO «Gosuniversitet-UNPK», 2014. 133 p.
- [8] Cheremnykh, D.A. The use of green string beans for enriching wheat flour / D.A. Cheremnykh, L.V. Naimushina, I.D. Zykova // Bulletin of KrasGAU. 2018. No. 3. pp. 152-156.
- [9] Chizhikova, O.G. Development of an assortment of wheat bread with the addition of bean seeds /O.G. Chizhikova, O.L. Korshenko, M.A. Sukhovarova, A.V. Isakov // Online journal «Science Studies» Volume 7, No. 3 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/184TVN315.pdf> (access is free). Cover from the screen. Yaz. rus., eng. DOI: 10.15862/184TVN315.
- [10] Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E.N., Maieves H.A., Berrios J.J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion Process as an Alternative to Improve Pulses Products Consumption. A Review. Foods. 2021 May 15;10(5):1096. doi: 10.3390/foods10051096. PMID: 34063375; PMCID: PMC8156340.
- [11] Orozco-Angelino X, Espinosa-Ramírez J, Serna-Saldívar SO. Extrusion as a tool to enhance the nutritional and bioactive potential of cereal and legume by-products. Food Res Int. 2023 Jul;169:112889. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112889. Epub 2023 Apr 27. PMID: 37254337.
- [12] Pedrosa M.M., Guillamón E., Arribas C. Autoclaved and Extruded Legumes as a Source of Bioactive Phytochemicals: A Review. Foods. 2021 Feb 9;10(2):379. doi: 10.3390/foods10020379. PMID: 33572460; PMCID: PMC7919342.
- [13] Sinkovič L., Blažica V., Blažica B., et al. How Nutritious Are French Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from the Citizen Science Experiment? // Plants. 2024. Vol. 13, Iss. 2. P. 314. DOI: 10.3390/plants13020314.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Курочкин Анатолий Алексеевич доктор технических наук профессор кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>	<p>Kurochkin Anatoly Alekseevich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>
<p>Новикова Ольга Анатольевна аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 914-73-00 E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>	<p>Novikova Olga Anatolievna upostgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 914-73-00 E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>