

Научная статья
УДК 665.939.14
EDN СИВУА

Предиктивный анализ биоактивных свойств аминокислот растительных белков

Дмитрий Иванович Девяткин¹, аспирант
Научный руководитель – Ольга Викторовна Чугунова²,
доктор технических наук, профессор
^{1,2} Уральский государственный экономический университет
Свердловская область, Екатеринбург, Россия, devyatkdin@mail.ru

Аннотация. В настоящее время перспективным направлением признано использование изолятов растительных белков в питании в качестве альтернативы белкам животного происхождения. Обосновано, что важным аспектом является степень усвояемости макронутриента, зависящая от активности протеолитических ферментов желудочно-кишечного тракта. Автором изучена возможность использования протеаз молочнокислых бактерий для гидролиза белка сои с целью повышения его усвояемости.

Ключевые слова: изолят соевого белка, протеолитические ферменты, усвояемость белка, ферментативный гидролиз, аминокислотная последовательность

Для цитирования: Девяткин Д. И. Предиктивный анализ биоактивных свойств аминокислот растительных белков // Актуальные исследования молодых ученых – результаты и перспективы : материалы 2-ой всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (Благовещенск, 12 февраля 2025 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. С. 384–389.

Original article

Predictive analysis of bioactive properties of amino acids of plant proteins

Dmitry I. Devyatkin¹, Postgraduate Student
Scientific advisor – Olga V. Chugunova²,
Doctor of Technical Sciences, Professor
^{1,2} Ural State University of Economics, Sverdlovsk Region, Ekaterinburg, Russia
devyatkdin@mail.ru

Abstract. Currently, the use of plant protein isolates in nutrition as an alternative to animal proteins is recognized as a promising direction. It is proved that an

important aspect is the degree of macronutrient digestibility, depending on the activity of proteolytic enzymes of the gastrointestinal tract. The author has studied the possibility of using lactic acid bacteria proteases to hydrolyze soy protein in order to increase its digestibility.

Keywords: soy protein isolate, proteolytic enzymes, protein digestibility, enzymatic hydrolysis, amino acid sequence

For citation: Devyatkin D. I. Predictive analysis of bioactive properties of amino acids of plant proteins. Proceedings from Current research by young scientists – results and prospects: 2-aya Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh (12 fevralya 2025 g.). (PP. 384–389), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

Растительные продукты характеризуются меньшим содержанием белка в своем составе и пониженной степенью его усвояемости в отличие от продуктов животного происхождения. Животные белки усваиваются на 93–96 %, растительные – на 62–80 % [1].

Тем не менее, на данный момент получение протеина из недорогостоящих видов сырья, в том числе из растительных вторичных ресурсов, признано перспективным направлением в условиях дефицита белка в питании населения большинства стран мира [2].

Важным аспектом в организации рационального питания является анализ потенциальной степени усвояемости потребляемого белка. В процессе пищеварения соляная кислота в желудке денатурирует белок, а протеолитические ферменты желудочно-кишечного тракта (желудка, поджелудочной железы и тонкого кишечника) гидролизуют его до пептидов.

Наилучшим образом усваиваются пептиды, состоящие из коротких цепочек аминокислот: ди- и трипептиды, а также одиночные аминокислоты. Неперевариваемые белки выводятся из организма [3].

Проведение ферментативного гидролиза нутриента перед его употреблением способствует дополнительному разрушению пептидных связей с отличным от действия ферментов желудочно-кишечного тракта механизмом воздействия на аминокислотную последовательность белка [4, 5].

Целью нашей работы явилась оценка целесообразности воздействия протеолитических ферментов на структуру полипептидной цепи для повышения усвояемости соевого белка на примере использования протеазы молочнокислых бактерий.

Методика исследований. Предиктивный анализ аминокислот представляет метод, который позволяет идентифицировать устойчивые аминокислотные паттерны, обуславливающие определенные свойства пептидов, и на их основе предложить новые пептидные последовательности с доказанной эффективностью [6].

Для идентификации и количественной оценки повторяющихся сочетаний аминокислотных остатков в целевых пептидных последовательностях использовались инструменты программы BIOPEP-UWM. Учитывалось влияние ферментов желудочно-кишечного тракта и протеазы молочнокислых бактерий на структуру соевого белка. Оценивалось количество выделенных пептидов.

Результаты исследований. Рассмотрим идеальный случай при попадании соевого белка в организм человека без посторонних веществ, препятствующих его усвоению. Используемые данные представлены на рисунке 1.

BIOPEP-UWM: Enzymes action

Select data for enzymes action:

Select protein

Protein id:	1160 soybean (Glycine max) 156
-------------	------------------------------------

Select enzymes

Enzyme id:	13 pepsin (pH 1.3) EC 3.4.23.1	View enzyme
Enzyme id:	12 trypsin EC 3.4.21.4	View enzyme
Enzyme id:	11 chymotrypsin (A) EC 3.4.21.1	View enzyme

Рисунок 1 – Параметры прогнозирования ферментативной активности

В результате реакции с протеолитическими ферментами желудка (пепсином) и тонкого кишечника (трипсином и химотрепсином), методом *in silico*

спрогнозирована структура выделенных пептидов, состоящих из аминокислотных последовательностей. Профиль биологической активности пептидов в гидролизате соевого белка представлен на рисунке 2. В данном случае используется однобуквенное обозначение аминокислот, знаком «←» обозначаются места разрыва пептидной связи.

Results of enzyme action

M - K - IIF - VF - AL - L - AIVACN - R - SAR - F - DPL - SQSY - R - QY - QL - QSH - L - L - L - QQQVL - SPCSEF - VR - QQY - SIVATPF - W - QPATF - QL - IN - N - QVM - QQQCCQQL - R - L - VAQQSH - Y - QAISIVQAIQQQL - QL - QQF - SGVY - F - DQTQAQAQTL - L - TF - N - L - PSICGIY - PN - Y - Y - SAPR - SIATVGGVW - Y

Рисунок 2 – Профиль биологической активности пептидов под действием ферментов желудочно-кишечного тракта

Профиль биологической активности пептидов в гидролизате соевого белка, полученный при использовании протеаз молочнокислых бактерий, приведен на рисунке 3.

Results of enzyme action

M - KI - I - F - V - F - AL - L - AI - V - ACNRSARF - DP - L - SQSY - RQY - QL - QSHL - L - L - QQQV - L - SP - CSEF - V - RQQY - SI - V - ATP - F - W - QP - ATF - QL - I - NNQV - M - QQQCCQQL - RL - V - AQQSHY - QAI - SI - V - QAI - V - QQL - QL - QQF - SGV - Y - F - DQTQAQAQTL - L - TF - NL - P - SI - CGI - Y - P - NY - Y - SAP - RSI - ATV - GGV - W - Y

Рисунок 3 – Профиль биологической активности пептидов под действием протеазы молочнокислых бактерий

Таким образом, при совместном воздействии протеолитических ферментов будет наблюдаться увеличение числа коротких цепочек аминокислотных последовательностей, что говорит о повышении усвояемости потребляемого гидролизата соевого белка. Результат представлен на рисунке 4.

**M - K - I - I - F - V - F - AL - L - AI - V - ACN - R - SAR - F - DP - L
- SQSY - R - QY - QL - QSH - L - L - L - QQQV - L - SP - CSEF -
V - R - QQY - SI - V - ATP - F - W - QP - ATF - QL - I - N - N - QV -
M - QQQCCQQL - R - L - V - AQQSH - Y - QAI - SI - V - QAI - V -
QQL - QL - QQF - SGV - Y - F - DQTQAQAQTL - L - TF - N - L - P
- SI - CGI - Y - P - N - Y - Y - SAP - R - SI - ATV - GGV - W - Y**

**Рисунок 4 – Профиль биологической активности пептидов
под совокупным действием ферментов желудочно-кишечного тракта
и протеаз молочнокислых бактерий**

По анализу биоактивных свойств получаемого гидролизата, проведенного с использованием инструментов программы BIOPEP-UWM, оценено количество выделенных пептидов, обладающих биоактивными свойствами. Наблюдается значительное увеличение коротких цепочек аминокислот: дипептидов, трипептидов, а также одиночных аминокислот.

Заключение. На основании полученных данных можно сделать вывод, что обработка изолята соевого белка протеазами молочнокислых бактерий целесообразна с точки зрения повышения усвояемости употребляемого в пищу белка. При приготовлении продуктов питания на основе гидролизата рекомендуется учитывать термостабильность белка и наличие веществ, препятствующих его усвоению организмом человека.

Список источников

1. Борисова К. С. Сравнительная оценка альтернативных источников белка // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 2. С. 171–174.
2. Рождественская Л. Н. Анализ вызовов и современных тенденций развития технологий на рынке белков // Пищевая промышленность. 2018. № 5. С. 42–47.
3. Алейник В. А., Бабич С. М. Концепция ферментативной дезинтеграции питательных веществ в верхнем отделе желудочно-кишечного тракта // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2023. № 9 (217). С. 56–67.
4. Брашко И. С., Позняковский В. М., Донскова Л. А. Характеристика фер-

ментных препаратов и разработка нового технического решения для биоконверсии коллагенсодержащего сырья // *Индустрия питания*. 2024. Т. 9. № 1. С. 50–59.

5. Бикбулатов П. С., Арисов А. В., Чугунова О. В. Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности // *Вестник биотехнологии*. 2023. № 4 (37).

6. Смирнова А. В. Идентификация и предиктивный анализ аминокислотных паттернов, обуславливающих потенциальную антигиперурикемическую активность пептидов // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. № 4. С. 687–700.

References

1. Borisova K. S. Comparative assessment of alternative protein sources. *Vestnik molodezhnoi nauki Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021; 2:171–174 (in Russ.).

2. Rozhdestvenskaya L. N. Analysis of challenges and current trends in the development of technologies in the protein market. *Pishchevaia promyshlennost'*, 2018;5:42–47 (in Russ.).

3. Aleynik V. A., Babich S. M. The concept of enzymatic disintegration of nutrients in the upper gastrointestinal tract. *Ekspерimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya*, 2023;9(217):56–67 (in Russ.).

4. Brashko I. S., Poznyakovskiy V. M., Donskova L. A. Characterization of enzyme preparations and development of a new technical solution for the bioconversion of collagen-containing raw materials. *Industriya pitaniya*, 2024;9;1:50–59 (in Russ.).

5. Bikbulatov P. S., Arisov A. V., Chugunova O. V. Enzyme preparations and biocatalytic processes in the food industry. *Vestnik biotekhnologii*, 2023;4(37) (in Russ.).

6. Smirnova A. V. Identification and predictive analysis of amino acid patterns responsible for the potential antihyperuricemic activity of peptides. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2024;4:687–700 (in Russ.).

© Девяткин Д. И., 2025

Статья поступила в редакцию 31.01.2025; одобрена после рецензирования 12.02.2025; принята к публикации 26.02.2025.

The article was submitted 31.01.2025; approved after reviewing 12.02.2025; accepted for publication 26.02.2025.