

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ БЕЛКОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Г.А. Симахина, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии оздоровительных продуктов, Национальный университет пищевых технологий

Вивчено фракційний склад білків цукрових буряків як один із критеріїв біологічної цінності. Встановлено, що білки містять переважно водо- та солерозчинну фракції, і саме це сприяє кращій їх збалансованості за амінокислотним складом та передбачає більш високий ступінь перетравлюваності білків в організмі людини протеолітичними ферментами. Вивчено перерозподіл фракційного складу білків цукрових буряків при різних способах їх перероблення.

Ключові слова: цукровий буряк, білки, амінокислоти, перетравлюваність, протеолітичні ферменти, фракціонування.

Изучен фракционный состав белков сахарной свеклы как один из критериев биологической ценности. Установлено, что белки содержат преимущественно водо- и солерастворимую фракции, и именно это способствует лучшей их сбалансированности по аминокислотному составу и предусматривает более высокую степень перевариваемости белков в организме человека протеолитическими ферментами. Изучено перераспределение фракционного состава белков сахарной свеклы при разных способах их переработки.

Ключевые слова: сахарная свекла, белки, аминокислоты, перевариваемость, протеолитические ферменты, фракционирование.

The factional composition of sugar beet proteins was studied in this article as one of the main criteria for their biological value. We confirmed that proteins contain mostly water and salt soluble factions, and this fact provides their better balance by amino acid content and conditions the higher grade of proteins' digestibility by proteolythic enzymes in human organism. The re-placement of factional composition of sugar beet was also studied for different types of their procession.

Keywords: sugar beet, proteins, amino acids, digestibility, proteolythic enzymes, fractioning.

Азотистые соединения пищевого сырья, в состав которых преимущественно входят белки, аминокислоты, растительные основания, являются важнейшим компонентом пищи человека. Потребность живого организма в данных соединениях зависит от возраста, пола, характера трудовой деятельности. В организме здорового человека должно существовать равновесие между количеством поступивших белков и выделившихся с продуктами распада. Поэтому для оценки белкового обмена введено понятие азотного баланса [1]. В молодом организме идет накопление белковой массы, и равновесие азотного баланса смещено в положительную сторону – количество азоту, поступившего с едой, превышает количество выведенного из организма. У людей старшего возраста, ослабленных и больных при недостатке в рационе питания белков, незаменимых аминокислот, витаминов наблюдается отрицательный азотный баланс. При его длительном действии организм гибнет.

Результаты собственных исследований, анализ экспериментальных данных зарубежных и отечественных ученых показали, что в сахарной свекле – одной из важнейших сельскохозяйственных культур Украины – доля белкового азота составляет 55...62% к общей массе азотистых соединений. И, таким образом, белок свеклы может стать существенным источником протеина в рационе питания человека.

Известно, что биологическая ценность продукта определяется не только содержанием в нем белка, но и его качеством. Поэтому **целью данной работы** является изучение фракционного состава белков сахарной свеклы, от которого в значительной степени зависит перевариваемость белков.

Перевариваемость, то есть способность белка гидролизироваться ферментами желудочно-кишечного тракта, – важнейший показатель качества белка. Это свойство изучают методами *in vitro* и *in vivo*. Известные методы определения перевариваемости белков *in vitro* хорошо согласуются с данными, полученными *in vivo* [2]. Определение *in vitro* широко используется для сравнительной характеристики пищевых продуктов одного

типа, в том числе и растительного сырья, поэтому мы и использовали данный метод при определении биологической ценности белков сахарной свеклы по сравнению с другими культурами.

В работе использованы продукты низкотемпературной сушки сахарной свеклы, моркови, амаранта и белков молока как стандартного субстрата. Перевариваемость определяли следующим способом. По разработанному фотоколориметрическому методу [3] находили массовую долю белка до и после ферментативного гидролиза. Разница между этими величинами представляет собой количество гидролизованного белка. Отношение данного количества к исходному содержанию белка, выраженное в процентах, характеризует перевариваемость белка.

Условия протеолиза, определенные в результате подбора фермент-субстратного соотношения, оптимальная длительность проведения реакции и кислотность среды соответствуют условиям в желудочно-кишечном тракте человека.

К навеске исследуемого криоматериала добавляли водный раствор пепсину, подкисленного HCl до pH 2, в концентрации **фермент : субстрат = 1 : 12,5**. Длительность гидролиза – 3 часа, температура 37,5 °C. После указанного времени фермент инактивировали добавлением 20%-ного раствора трихлоруксусной кислоты. Пробы выдерживали еще некоторое время. Потом их центрифугировали для полнейшего осаждения белков и определяли в центрифугатах их содержание. Перевариваемость трипсином находили таким же способом, приливая к навеске образца 1%-ный раствор фермента в 0,05 М фосфатном буфере pH 7,0. Потом определяли степень пептидазного гидролиза.

Выяснилось, что белки свеклы отличаются высокой биологической ценностью, а по аминокислотному составу (**табл. 1**) приближаются к белкам животного происхождения. Об этом свидетельствуют полученные нами результаты изучения гидролиза белков свеклы после низкотемпературного

обезвоживания, по сравнению со стандартным белком молока и легкоперевариваемыми белками зерна амаранта и моркови.

Результаты исследований выражали в ммоль NH₂ на 1 г белка.

Таблица 1

**Количество гидролизированных in vitro
белков сублимированных материалов**

Вид криоматериала	Стадия протеолиза							
	Пепсиновая	σ_{\pm}	Трипсиновая	σ_{\pm}	Пептидазная	σ_{\pm}	Общий протеолиз	σ_{\pm}
Белки молока (контроль)	3,50	0,76	11,24	0,39	15,27	0,34	30,01	1,46
Свекла	3,14	0,34	11,19	1,44	15,04	0,19	29,37	0,94
Зерно амаранта	1,22	0,14	11,07	0,56	16,52	2,32	28,81	1,16
Морковь	2,65	0,82	11,04	0,48	14,92	0,11	28,61	0,32

Из приведенных данных видно, что на всех стадиях протеолиза перевариваемость белков сублимированной свеклы составляет 78...82% и очень мало отличается от аналогичных показателей для контрольного белка – молока и несколько превышает показатели для амаранта и моркови. Поэтому белки свеклы при поступлении в организм человека в желудочно-кишечном тракте под действием протеолитических ферментов будут легко распадаться до аминокислот и всасываться в кровь.

Аминокислотный состав сублимированной свеклы отличается широким спектром компонентов, количественные показатели которых сопоставимы с аминокислотами зерна амаранта и моркови (табл. 2). В скобках в процентах указан скор некоторых незаменимых аминокислот относительно шкалы ФАО/ВОЗ.

Согласно данным **таблицы 2**, сублимированная сахарная свекла содержит все незаменимые аминокислоты, поддерживающие в организме человека азотное равновесие и без которых невозможно нормальное функционирование организма. На их долю приходится около трети всех аминокислот свеклы.

Таблица 2

Аминокислотный состав белков сублимированных растительных материалов (г/100 г белка)

Аминокислоты	Сублимированные материалы		
	свеклы	моркови	амаранта
Валин	1,557 (32,8)	1,089 (21,7)	3,243 (64,8)
Изолейцин	5,856 (146,4)	2,727 (68,2)	3,350 (87,7)
Лейцин	2,275 (32,5)	следы	5,942 (84,9)
Лизин	2,11 (38,4)	0,580 (10,5)	5,271 (95,8)
Метионин	5,065	4,526	0,673
Цистин	0,010	-	1,012
Сумма серосодержащих	5,075 (145,0)	4,526 (129,3)	1,685 (48,1)
Треонин	3,288 (81,9)	0,958 (23,9)	3,770 (94,2)
Фенилаланин	2,975	3,388	5,050
Тирозин	5,278	3,292	3,540
Сумма ароматических	8,273 (137,8)	6,680 (111,3)	8,590 (143,1)
Триптофан	2,239 (22,3)	1,117 (11,2)	2,327 (23,2)
Аланин	5,935	2,613	3,152
Аргинин	11,356	9,679	5,701
Аспарагиновая кислота	9,237	3,022	5,039
Гистидин	5,196	4,079	2,683
Глицин	3,526	1,348	12,560
Глютаминовая кислота	10,045	4,987	3,220
Пролин	25,123	30,966	3,612
Серин	3,959	1,347	4,120

Значительное количество составляет метионин (5,065 г/100 г), который снабжает организм серою, препятствует ожирению печени, участвует в синтезе холина, витамина В₁₂, фолиевой кислоты, адреналина.

Общее содержание серосодержащих кислот в свекле несколько выше, чем в моркови, и втрое больше, чем в зерне амаранта. Это согласуется с известными литературными данными относительно того, что в большинстве зерновых, бобовых, картофеле серосодержащие кислоты составляют всего 50...60% оптимального количества.

Высокое содержание тирозина в сублимированной свекле свидетельствует о ее значительных бактериологических свойствах. Аспарагиновая и глютаминовая кислоты, сумма которых в этом материале составляет 20 г/100 г белка, играют важную роль в обмене веществ, особенно белковом, используются при лечении заболеваний центральной нервной системы, депрессий.

Для максимального сохранения в готовом продукте всего нативного биокомплекса сырья обработку свеклы следует проводить в наиболее щадящих технологических условиях.

При переработке белоксодержащих материалов традиционными тепловыми методами белки подвергаются различным нежелательным преобразованиям, ухудшающим их свойствам, изменяя, в частности, способность к гидратации. Происходит деструкция полимеров, потеря летучих ароматических соединений, модификация текстуры, увеличение нерастворимого белкового остатка, не усвояемого организмом человека.

В крахмалсодержащем сырье после термической обработки наблюдается образование белково-крахмальных комплексов, не перевариваемых протеолитическими ферментами. Это связано с повышением степени агрегации и денатурации белков и зависит от интенсивности образования межмолекулярных ковалентных S-S-связей в результате окисления SH-групп.

Известно, что по растворимости в разных системах белковые соединения подразделяются на альбумины, глобулины, проламины и глютелины. **Альбумины** – водорастворимые белки – характеризуются максимальной пищевой и биологической ценностью. Они с минимальными потерями энергии превращаются в организме человека и наиболее сбалансированы по аминокислотному составу. **Глобулины** – солерастворимые белки – также отличаются высокой биологической ценностью, но преимущественно лимитированы по серосодержащим аминокислотам. В спирто- и щелочнорастворимых фракциях белков (**глютелины и проламины**) отсутствуют некоторые незаменимые аминокислоты, они труднее подвергаются действию протеолитических ферментов и своим присутствием снижают биологическую ценность пищевых продуктов.

В литературе отсутствуют данные относительно фракционного состава белков свеклы, поэтому такие исследования были проведены в данной работе. Белковые соединения свеклы по растворимости в различных средах фракционировали таким образом: массу тонко измельченных корнеплодов экстрагировали соответствующими растворителями при комнатной температуре и перемешивании соответственно условиям, приведенным в **табл. 3**. Извлечения получали на центрифуге в течение 15 минут при 6000 об/мин. Осадок промывали и промывными водами доводили объем каждого извлечения до 150 см³. Содержание белковых веществ свеклы определяли в соответствующих извлечениях и в осадке после последнего экстрагирования по разработанному нами методу, основанному на биуретовой реакции.

Таблица 3

Условия фракционирования белков свеклы

Условия анализа	Фракции белковых соединений			
	альбумины	глобулины	глютелины	проламины
Растворители	вода	1 М NaCl в 0,1 М фосфатном буфере (pH 6,8)	0,1 н NaOH	70% этиловый спирт
Свекловичная масса : растворитель	1 : 3	1 : 3	1 : 2,5	1 : 2,5
Время экстрагирования, мин.	60	60	60	60

Полученные результаты фракционного состава белков свеклы по растворимости в различных растворителях приведены в табл. 4.

Результаты таблицы еще раз подтверждают целесообразность получения пищевых биодобавок из свеклы, поскольку ее белковые соединения почти на 70,0 % представлены компонентами высокой биологической ценности.

Таблица 4

Фракционный состав белков свеклы

Фракция белка	Массовая доля фракционированных белков, % от общего содержания белка	$\sigma \pm$
Водорастворимая (альбумины и легкорастворимый глобулин)	44,4	0,36
Солерастворимая (труднорастворимые глобулины)	23,9	0,89
Щелочнорастворимая (глютелины)	10,4	0,17
Спирторастворимая (проламины)	3,06	0,44
Нерастворимый остаток	18,1	0,67

Интересные данные получены в исследованиях перераспределения фракционного состава белков сублимированной свеклы при различных температурных методах ее обработки.

Полученные данные приведены в **табл. 5** в сопоставлении с контрольным образцом – белками свежей свеклы.

Таблица 5

**Перераспределение фракционного состава белков свеклы
при различных методах обработки**

Условия эксперимента	Массовая доля фракций белков, % от общей массы белка				
	Водорастворимая	Солерастворимая	Щелочно-растворимая	Спирторастворимая	Нерастворимый остаток
1	2	3	4	5	6
Свежая свекла	44,4	23,9	10,4	3,06	18,24
Свекла при хранении (4...8°C) в течение 16 недель	44,0	23,9	8,6	2,94	20,56
Свекла после замораживания (0... -28°C)	51,6	27,8	11,9	4,2	4,5
Свекла после сублимации (2...25°C)	46,2	29,4	9,6	4,2	10,6
Свекла после тепловой обработки (100...110°C)	31,7	17,8	7,5	3,9	39,1

Из данных таблицы видно, что замораживание и последующая сублимация свеклы способствует значительному уменьшению количества нерастворимого остатка (в 2...4 раза). Напротив, после высокотемпературной

обработки свеклы доля нерастворимого остатка увеличивается более чем вдвое, снижая биологическую ценность белков и продуктов, их содержащих.

Выявлены изменения и других свойств белков свеклы при действии различных температур. Температура обработки влияет прежде всего на биологическую ценность, одним из основных показателей которой является перевариваемость белков протеолитическими ферментами желудочно-кишечного тракта. Результаты показали, что наиболее доступными действию этих ферментов являются легкорастворимые белковые фракции сублимированной свеклы.

Скорость ферментативного гидролиза белков оценивали по величине прироста оптической плотности гидролизатов водорастворимой фракции белка свеклы после низкотемпературной и тепловой сушки, определенной на спектрофотометре СФ-16 при длине волны 280 нм. Контроль – белки свежей свеклы.

Полученные данные показали, что белок свеклы после низкотемпературной сушки переваривается даже лучше, чем белок свежей свеклы. Причина заключается в том, что под действием низких температур часть белков из нерастворимого переходит в растворимое состояние. Вероятно, что в свежей свекле благодаря определенному содержанию связанной воды белковые молекулы прочно агрегированы, и это состояние усложняет расщепление белков ферментами. Температурный шок, которому подвергаются клетки материала при быстром снижении температуры, способствует разрушению этих агрегатов, высвобождению значительного количества белковых молекул, их частичной деструкции и увеличению числа свободных аминокислот, что в общем повышает биологическую ценность полученных криопродуктов.

После тепловой сушки, напротив, в несколько раз возрастает доля нерастворимого белкового остатка, и степень расщепления белка таких продуктов резко падает. Особенно это проявляется на стадии химотрипсинового гидролиза, моделирующего процессы, происходящие в

тонком кишечнике. В данном случае значения перевариваемости белка свежей свеклы и высушенной тепловым способом отличаются в 2,5...2,7 раза.

Выводы. Белки сахарной свеклы отличаются высокой биологической ценностью, обусловленной преимущественным содержанием водо- и солерастворимой фракции, характеризующихся наилучшей сбалансированностью по аминокислотному составу и переваривающихся в организме человека протеолитическими ферментами с минимальными затратами энергии. Одним из способов повышения биологической ценности биоконпонентов сахарной свеклы является ее переработка при температурах ниже нуля. При этом возрастает доля водо- и солерастворимой фракций, уменьшается содержание нерастворимого остатка, что в общем положительно влияет на процессы усвоения аминокислот организмом и их использование для синтеза собственных белков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский А.А. Роль биохимии в развитии науки о питании: Некоторые закономерности ассимиляции пищевых веществ на уровне клетки и целостного организма / А.А. Покровский. – М. : Наука, 1974. – 178 с.
2. Методы белкового и аминокислотного анализа растений / под ред. В.Г. Канарева. – 4-е изд. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2003. – 284 с.
3. Рева Л.П. Быстрый метод количественного определения белков в соках сахарного производства / Л.П. Рева, Г.А. Симахина // Реф. сб. «Сахарная пром-сть». – М. : ЦНИИТЭИпищепром, 1982. – Вып. 1. – С. 12-18.
4. Сімахіна Г.О. Низькі температури у технологіях оздоровчих продуктів : монографія / Г.О. Сімахіна, Н.В. Науменко. – К. : Видавництво «Сталь», 2011. – 363 с.

Рецензент – д. т. н., проф. В.М. Логвин