

УДК 663.5

UDC 663.5

05.00.00 Технические науки

Technical Sciences

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНФОРМАЦИОННЫХ ПЕРЕСТРОЕК БЕЛКА ПРИ СУШКЕ

STUDYING CONFORMATIONAL REARRANGEMENTS OF PROTEIN WHEN DRYING

Данильченко Александра Сергеевна
ассистент, SPIN-код: 1470-5800
Кубанский государственный технологический университет, г.Краснодар, Россия

Danilchenko Aleksandra Sergeevna
assistant
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Короткова Татьяна Германовна
д.т.н., профессор, SPIN-код: 3212-7120
Кубанский государственный технологический университет, г.Краснодар, Россия

Korotkova Tatyana Germanovna
Dr.Sci.Tech., professor
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Мариненко Ольга Вячеславовна
к.т.н., доцент, SPIN-код: 7214-4807
Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп, Россия

Marinenko Olga Vyacheslavovna
Cand.Tech.Sci., assistant professor
Maikop State Technological University, Maikop, Russia

Артамонов Андрей Михайлович
к.т.н., доцент, AuthorID: 511495
Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп, Россия

Artamonov Andrey Mihaylovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor
Maikop State Technological University, Maikop, Russia

Приведен обзор и экспериментальные данные по исследованию питательной ценности белка яйца, включающего протеин, углеводы, минеральные вещества и аминокислоты. Обмен веществ, структура и функции каждой клетки, а также внешние и внутренние защитные функции определяются белками. Рассмотрены исследования функций микроэлементов, найденных в значительном количестве в яйцах, которые вносят вклад в здоровье: витамин D, витамин B12, холин, фолиевая кислота, селен, лютеин и зеаксантин. Высокое содержание белка яиц способствует большей сытости, потере веса и здоровью глаз. Приведены экспериментальные данные по аминокислотному составу белка. Проведены эксперименты по сушке вареного яичного белка, помещенного в чашку Петри. По истечении 10 мин сушки масса белка не изменялась и составила 0,1 г, что составляет 16 % от массы исходного белого белка. На фото показано, что белок при высыхании потерял белый цвет и стал прозрачным, причем крупинки белка словно «расплавилась» и частично соединились друг с другом. Полученные данные могут быть использованы для понимания биологического процесса работы белка в живом организме

The article gives a review and the experimental data on the nutritional value of eggs protein comprising protein, carbohydrates, minerals and amino acids. Metabolism, the structure and function of each cell, as well as external and internal protective functions are defined by proteins. We consider the study of functions of trace elements found in significant numbers in the eggs, which contribute to health: vitamin D, vitamin B12, choline, folic acid, selenium, lutein and zeaxanthin. The high content of egg protein contributes to greater satiety, weight loss and eye health. We present experimental data on the amino acid composition of the protein and experiments of drying a cooked egg white, placed in a Petri dish. After 10 minutes of drying, the weight of the protein did not change and amounted to 0.1 g, which is 16% of the weight of the original white protein. The photo shows that the protein is lost during drying white and became transparent, and protein grains look like "melted" and partially connected with each other. The data obtained can be used for understanding the operation of the biological process of protein in vivo

Ключевые слова: **ВАРЕННЫЙ ЯИЧНЫЙ БЕЛОК, СУШКА, АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БЕЛКА**

Keywords: **BOILED EGG WHITE, DRYING, PROTEIN AMINO ACID COMPOSITION**

Doi: 10.21515/1990-4665-121-040

С давних времен яйцо признается высококачественным продуктом питания, обладающим высокой питательной ценностью благодаря идеальному балансу его составляющих. Это запас белков, липидов, витаминов и минералов. Обмен веществ, структура и функции каждой клетки, а также внешние и внутренние защитные функции определяются белками. Пищевые белки содержатся в продуктах питания. В 100 г яичного белка содержится около 45 ккал и 12 грамм белка. Яичный белок нормализует работу сердца и кровеносных сосудов, положительно влияет на работу головного мозга, улучшает память и повышает работоспособность [1].

Белок содержит протеин, углеводы, минеральные вещества и аминокислоты. Аминокислотный состав белка яйца следующий, в г/100 г белка: лизин – 7,1; гистидин – 2,4; аргинин – 7,1; треонин – 5,1; метионин – 2,6; цистин – 1,7; метионин + цистин – 4,3; триптофан – 1,5; валин – 5,8; изолейцин – 5,6; лейцин – 8,5; фенилаланин – 4,3; тирозин – 4,3; фенилаланин + тирозин – 8,6; глицин – 3,2; аланин – 5,3; глицин + аланин – 8,5 [2, с. 259].

В обзоре [3] отмечается, что ранее проводимые исследования яиц были сосредоточены на определении уровня холестерина в сыворотке крови и здоровье сердца. Исследования последних лет не поддерживают мнение, что потребление яиц связано с риском развития ишемической болезни сердца или инсульта у здоровых взрослых людей. Существуют новые данные о том, что высокое содержание белка яиц может способствовать большей сытости и потере веса. С точки зрения веса тела Вандер Wal и др. (2008) [4] определили, что масса тела уменьшается на 65% (индекс массы тела снизился на 61%, когда 152 взрослых ели 2 яйца ежедневно на завтрак как часть дефицита энергии диеты в течение 8-недельного периода). При этом уровень холестерина оставался

неизменным в этом исследовании. Аналогичный вывод был получен Harman N.L. и др. (2009) [5].

Микроэлементы, найденные в значительном количестве в яйцах, вносят свой вклад в здоровье, т.е. витамин D, витамин B12, холин, фолиевая кислота, селен, лютеин и зеаксантин. Витамин D замедляет старение клеток и может помочь предотвратить CVD, диабет, аутоиммунные заболевания и некоторые виды рака (Ruxton, C. and Derbyshire, E.J., 2009), [6], в то время как витамин B12 может замедлить снижение когнитивных функций и защитить от болезни Альцгеймера (Malouf R. and Areosa Sastre A., 2003) [7]. Польза для здоровья холина, еще одном ключевом питательном веществе яйца, до конца не изучена. Адекватное потребление холина представляется важным во время воспроизведения потомства. Холин жертвует метильные группы к ДНК плода, вызывая гиперметиляцию, что, как полагают, сдерживает гены, которые могут быть вредны для здоровья (Maloney C.A. and Rees W.D., 2005) [8].

Положительное влияние фолиевой кислоты обнаружено при профилактике сердечно-сосудистых заболеваний. Фолиевая кислота улучшает функцию эндотелия (De Bree A. и др., 2007) [9] и снижает риск развития инсульта (Wang X., 2007) [10]. Flores-Mateo G. и др. (2006) [11] обнаружили, что увеличение концентрации селена в крови на 50 % снижает риск развития ишемической болезни сердца на 24 %. Селен также оказывает защитное действие как на ранних, так и поздних стадиях развития рака (Zeng H. и Combs G.F., 2008) [12]. Антиоксиданты, лютеин и зеаксантин обнаружены в яичном желтке. Они сосредоточены в макулярной области сетчатки глаза человека. В макуле фокусируется пучок света. Именно в ней сфокусированы все фоторецепторы, что гарантирует нам четкое, ясное и цветное восприятие окружающего мира. Только макула дает нам возможность читать, различать цвета и видеть

окружающий мир. Макула имеет характерную желтую окраску, которая связана с наличием пигментов – лютеина и зеаксантина. С возрастом концентрация макулярного пигмента снижается, что может быть причиной повреждения сетчатки и развития опасных заболеваний [13]. Исследования, проведенные Goodrow E.F. и др. (2006) [14] также обнаружили, что концентрация лютеина и зеаксантина возрастали, когда пожилые люди (> 60 лет) съедали одно яйцо в день в течение 5 недель.

Помимо основной функции яиц – питательной ценности, они являются потенциальным источником биологически активных молекул, которые начинают использоваться в фармацевтической и косметической промышленности [3].

В таблице 1 приведен питательный состав яйца, в таблице 2 представлена питательность различных источников белка в расчете на 100г продукта [3].

Таблица 1 – Питательный состав яйца (яйцо куриное, сырое)

Питательное вещество	Единица измерения	Питательное вещество на 100 г	яйцо (52 г)*	Пороговое значение	Рекомендуемое (суточное)
Энергия	ккал	151	78	-	-
Белки	г	12,5	6,5	-	-
Углеводы	г	следы	следы	-	-
Жир	г	11,2	5,8	-	-
Холестерин	мг	391	225	-	-
Ретинол эквив.	мкг	190	98	120	800
Витамин D	мкг	1,6	0,9	0,75	5
Рибофлавин	мг	0,47	0,24	0,21	1,4
Фолиевая кислота	мкг	50	26	30	200
Витамин B12	мкг	2,5	1,3	0,38	2,5
Холин	мг	160	83,2	82,5	550
Биотин	мкг	20	10	7,5	50
Фосфор	мг	200	104	105	700
Железо	мг	1,9	0,99	2,1	14
Цинк	мг	1,3	0,68	1,5	10
Йод	мкг	53	28	22,5	150
Селен	мкг	11	5,7	8,25	55

* относится к съедобной части яйца 56 г

Значения, выделенные жирным шрифтом, соответствуют минимальным требованиям

Таблица 2 – Питательность различных источников белка (на 100 г)

Наименование	Единица измерения	Курица (Гриль)	Говядина (жареная)	Яйца (вареные)	Рыба (приготовленная на пару, лосось)	Тофу (приготовленный на пару, соевый творог)
Энергия	ккал	148	202	147	194	73
Белок	г	32	36,2	12,5	21,8	8,1
Всего жиров	г	2,2	6,3	10,8	11,9	4,2
Насыщенные жирные кислоты	г	0,6	2,6	3,1	2	0,5
Мононенасыщенные жирные кислоты	г	1,0	2,8	4,7	4,7	0,8
Полиненасыщенные жирные кислоты	г	0,4	0,3	1,2	3,3	2,0
Холестерин	мг	94	88	385	54	0
Натрий	мг	55	62	140	49	4
Витамин А	мкг	следы	следы	190	14	0
Витамин D	мкг	0,3	0,8	1,8	8,7	0
Фолиевая кислота	мкг	6	21	39	17	15
Биотин	мг	2	2	16	7	н.о.
Фосфор	мг	310	230	200	270	95
Селен	мкг	16	12	11	28	н.о.
Йод	мкг	7	13	53	4	н.о.

н.о. – не определено

Таким образом, яйца обладают низкой энергией, но богаты питательными веществами и могут быть полезны для сытости, контроля веса и здоровья глаз. Яичный белок считается эталонным белком и такой же биологической ценностью белок является для животных и птицы [15].

Яичный белок представляет собой гидратированную и вязкую среду, термообработка которой может вызвать искажение его компонентов, неферментативного потемнения и коагуляции белков. В работе [16] исследовано влияние теплоты на некоторые свойства яичного белка. Стабилизация обработки, которая применяется в яичном белке, обеспечивает хороший контроль гигиены, но также индуцирует изменение функциональных свойств. Когда яичный белок подвергается воздействию тепла, то его глобулярные белки склонны к изменениям в структуре и конформации. Показано, что в зависимости от величины температуры и

длительности обработки, эти изменения могут варьироваться от денатурации до желатинизации или коагуляции.

Результаты экспериментов [17] показали, что метод высушивания коллоидного раствора открытой, далекой от равновесия, системы «белок – вода» при достаточной скорости испарения воды *in vitro* позволили обнаружить неравновесное состояние наноструктур белка в процессе его самоорганизации. Эксперименты показали, что в неравновесном состоянии белок обладает собственной информацией активного поведения – самоорганизацией с автокатализом и другими свойствами нелинейных неравновесных активных систем. При добавлении воды в первоначально высохшую систему «белок – вода» белковые структуры «таяли» и пропадали из вида при гидратации. Наблюдениями установлено, как в присутствии воды белок снова превращался в невидимую фазу, т.е. растворялся. Дальнейшее исследование показало, что этот раствор при высыхании (реакция дегидратации) в такой же открытой системе снова уплотняется и самоорганизуется, приобретая первоначальные неравновесные и нелинейные особенности. Сделан вывод, что при высыхании белок сохраняет свои свойства. Он не денатурируется. Только после повтора высыхания и увлажнения 4-5 раз наступали отклонения в морфологии.

Проведенные нами эксперименты по сушке при 60 °С жидкого яичного белка, размещенного в дистиллированной воде, показали, что при высыхании на дне стеклянного бюкса (чашки Петри) образовывалась мутная пленка, словно клеем приклеенная ко дну бюкса, которая полностью растворялась (исчезала) при заливании ее водой, что согласуется с данными [17]. Дальнейшие эксперименты проведены по сушке вареного яичного белка, помещенного в чашку Петри (рисунки 1-4). Результаты измерений приведены в таблице 3. Для исследований было взято яйцо куриное столовое АО «Агрокомплекс» им. Н.И. Ткачева.



Рисунок 1 – Масса пустой чашки Петри



Рисунок 2 – Масса чашки Петри с вареным белком



Рисунок 3 – Масса чашки Петри с вареным белком после 5 мин сушки в сушильном шкафу Memmert



Рисунок 4 – Масса чашки Петри с вареным белком после 10 мин сушки в сушильном шкафу Memmert

Таблица 3 – Результаты измерений массы белка при высушивании

Масса чашки Петри, г			121,29
Масса чашки Петри с вареным белком, г			121,90
Масса вареного белка, г			0,61
Температура в сушильном шкафу Memmert, °C			60
Продолжительность сушки			Масса, г
час:мин:сек	сек	мин	
10:28:19	0	0,000	0,61
10:33:56	337	5,617	0,19
10:38:11	592	9,867	0,10

По истечении 10 мин сушки (рисунок 4) масса белка не изменялась и составила 0,1 г, что составляет 16 % от массы исходного белого белка. На рисунках 3 и 4 видно, что белок при высушивании потерял белый цвет и стал прозрачным. Острые граненые формы округлились, переходя в жидкие кристаллы, причем крупинки белка словно «расплавилась».

В зерновой барде, являющейся источником полноценного кормового белка, содержатся белки, жиры, углеводы, минеральные вещества и аминокислоты [18, 19]. Барда выводится из нижней части бражной колонны при температуре 103-107 °C. Несмотря на высокую температуру, оказывающую влияние на свойства белка, он не теряет своей ценности. Впоследствии отжатую барду высушивают при температуре не выше 60°C для исключения денатурации белков, что наблюдается при сушке при более высоких температурах. Сухая барда используется в качестве добавки в корм животным и птице. Вопрос сохранения питательности барды находится на стадии изучения. Полученные данные могут быть использованы для понимания биологического процесса работы белка в живом организме.

Список литературы

1. Белки <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. Рядчиков В.Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных: учебно-практическое пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2012. - 328 с.
3. CHS. Ruxton, E. Derbyshire, S. Gibson MA The nutritional properties and health benefits of eggs <https://www.researchgate.net/publication/228353488>
4. Vander Wal, J.S., Gupta, A., Khosia, P. and Dhurandhar, N.V. (2008), "Egg breakfast

enhances weight loss”, *International Journal of Obesity*, Vol.32, No.10, pp.1545-51.

5. Harman, N.L., Leeds, A.R., Griffin, B.A. (2009), “Increased dietary cholesterol does not increase plasma low density lipoprotein when accompanied by an energy-restricted diet and weight loss”, *European Journal of Nutrition*, Vol.47, No.6, pp.287-93.

6. Ruxton, C. and Derbyshire, E.J. (2009), “A review of vitamin D and health: are we getting enough?”, *Nutrition Bulletin*, Vol.34, pp.185-197.

7. Malouf, R. and Areosa Sastre, A. (2003), “Vitamin B12 for cognition”, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Vol.3, pp.CD004326.

8. Maloney, C.A. and Rees, W.D. (2005), “Gene-nutrient interactions during fetal development”, *Reproduction*, Vol.130, No.4, pp.401-410.

9. De Bree, A., van Mierlo, L.A., and Draijer, R. (2007), “Folic acid improves vascular reactivity in humans: a meta-analysis of randomised controlled trials”, *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol.86, No.3, pp.610-7.

10. Wang, X., Qin, X., Demirtas, H., Li, J., Mao, G., Huo, Y., Sun, N., Liu, L. and Xu, X. (2007), “Efficacy of folic acid supplementation in stroke prevention-a meta-analysis”, *Lancet*, Vol.369, No.9576, pp.1876-82.

11. Flores-Mateo, G., Navas-Acien, A., Pastor-Barriuso, R. and Guallar, E. (2006), “Selenium and coronary heart disease: a meta-analysis”, *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol.84, No.4, pp.762-73.

12. Zeng, H. and Combs, G.F. (2008), “Selenium as an anticancer nutrient: roles in cell proliferation and tumor cell invasion”, *Journal of Nutrition and Biochemistry*, Vol.19, No.1, pp.1-7.

13. Что такое макула? <http://www.vseozrenii.ru/stroenie-glaza/makula/> (Дата обращения 14.08.2016 г.)

14. Goodrow, E.F., Wilson, T.A., Crocker Houde S., Vishwanathan, R., Scollin, P.A., Handelman, G. and Nicolosi, R.J. (2006), “Consumption of one egg per day increases serum lutein and zeaxanthin concentrations in older adults without altering serum lipid and lipoprotein cholesterol concentrations”, *The Journal of Nutrition*, Vol.136, No.10, pp.2519-2524.

15. Короткова Т.Г., Данильченко А.С. Белок барды – ценный корм для животных и птицы // Современный взгляд на будущее науки: сборник статей Международной научно - практической конференции (25 мая 2016 г., Томск). В 5 ч. Ч.4 / - Уфа: АЭТЕРНА, 2016. – С. 61-62.

16. Effect of Heat on Egg White Proteins / Zoubida Akkouche, Lyes Aissat, Khodir Madani // International Conference on Applied Life Sciences (ICALS2012) Turkey, September 10-12, 2012. p. 407-413.

17. Рапис Е. Неравновесное состояние наноструктур белка при его самоорганизации // Журнал технической физики, 2006. Т. 76. Вып. 2. С. 121-127.

18. Егоров И. Послеспиртовая барда и пивная дробина в кормлении птицы / И. Егоров, Ш. Имангулов, Г. Игнатова, П. Паньков, Б. Розанов, С. Кислюк // Комбикорма, 2006. – № 2.

19. Данильченко А.С., Короткова Т.Г., Ксандопуло С.Ю. Переработка послеспиртовой барды на корм для животных и птиц // Дальневосточная весна – 2016 : материалы 14-й Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам экологии и безопасности, Комсомольск-на-Амуре, 28 апреля 2016 г. / редкол.: И. П. Степанова (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. – С. 300-302.

References

1. Belki <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

2. Rjadchikov V.G. Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh: uchebno-prakticheskoe posobie. – Krasnodar: KubGAU, 2012. - 328 s.
3. CHS. Ruxton, E. Derbyshire, S. Gibson MA The nutritional properties and health benefits of eggs <https://www.researchgate.net/publication/228353488>
4. Vander Wal, J.S., Gupta, A., Khosia, P. and Dhurandhar, N.V. (2008), “Egg breakfast enhances weight loss”, *International Journal of Obesity*, Vol.32, No.10, pp.1545-51.
5. Harman, N.L., Leeds, A.R., Griffin, B.A. (2009), “Increased dietary cholesterol does not increase plasma low density lipoprotein when accompanied by an energy-restricted diet and weight loss”, *European Journal of Nutrition*, Vol.47, No.6, pp.287-93.
6. Ruxton, C. and Derbyshire, E.J. (2009), “A review of vitamin D and health: are we getting enough?”, *Nutrition Bulletin*, Vol.34, pp.185-197.
7. Malouf, R. and Areosa Sastre, A. (2003), “Vitamin B12 for cognition”, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Vol.3, pp.CD004326.
8. Maloney, C.A. and Rees, W.D. (2005), “Gene-nutrient interactions during fetal development”, *Reproduction*, Vol.130, No.4, pp.401-410.
9. De Bree, A., van Mierlo, L.A., and Draijer, R. (2007), “Folic acid improves vascular reactivity in humans: a meta-analysis of randomised controlled trials”, *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol.86, No.3, pp.610-7.
10. Wang, X., Qin, X., Demirtas, H., Li, J., Mao, G., Huo, Y., Sun, N., Liu, L. and Xu, X. (2007), “Efficacy of folic acid supplementation in stroke prevention-a meta-analysis”, *Lancet*, Vol.369, No.9576, pp.1876-82.
11. Flores-Mateo, G., Navas-Acien, A., Pastor-Barriuso, R. and Guallar, E. (2006), “Selenium and coronary heart disease: a meta-analysis”, *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol.84, No.4, pp.762-73.
12. Zeng, H. and Combs, G.F. (2008), “Selenium as an anticancer nutrient: roles in cell proliferation and tumor cell invasion”, *Journal of Nutrition and Biochemistry*, Vol.19, No.1, pp.1-7.
13. Chto takoe makula? <http://www.vseozrenii.ru/stroenie-glaza/makula/> (Data obrashhenija 14.08.2016 g.)
14. Goodrow, E.F., Wilson, T.A., Crocker Houde S., Vishwanathan, R., Scollin, P.A., Handelman, G. and Nicolosi, R.J. (2006), “Consumption of one egg per day increases serum lutein and zeaxanthin concentrations in older adults without altering serum lipid and lipoprotein cholesterol concentrations”, *The Journal of Nutrition*, Vol.136, No.10, pp.2519-2524.
15. Korotkova T.G., Danil'chenko A.S. Belok bardy – cennyj korm dlja zhivotnyh i pticy // *Sovremennyy vzgljad na budushhee nauki: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno - prakticheskoy konferencii (25 maja 2016 g., Tomsk). V 5 ch. Ch.4 / - Ufa: AJeTERNA, 2016. – S. 61-62.*
16. Effect of Heat on Egg White Proteins / Zoubida Akkouche, Lyes Aissat, Khodir Madani // *International Conference on Applied Life Sciences (ICALS2012) Turkey, September 10-12, 2012. p. 407-413.*
17. Rapis E. Neravnovesnoe sostojanie nanostruktur belka pri ego samoorganizacii // *Zhurnal tehniceskoy fiziki*, 2006. T. 76. Vyp. 2. S. 121-127.
18. Egorov I., Poslespirtovaja barda i pivnaja drobina v kormlenii pticy / I. Egorov, Sh. Imangulov, G. Ignatova, P. Pan'kov, B. Rozanov, S. Kisljuk // *Kombikorma*, 2006. – № 2.
19. Danil'chenko A.S., Korotkova T.G., Ksandopulo S.Ju. Pererabotka poslespirtovoj bardy na korm dlja zhivotnyh i ptic // *Dal'nevostochnaja vesna – 2016 : materialy 14-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. po problemam jekologii i bezopasnosti, Komsomol'sk-na-Amure, 28 aprelja 2016 g. / redkol.: I. P. Stepanova (otv. red.) [i dr.]. – Komsomol'sk-na-Amure : FGBOU VO «KnAGTU», 2016. – S. 300-302.*