



УДК 637.4.051

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ПИЩЕВЫХ ЯИЦ

**Штеле А.Л.**, профессор кафедры интенсивных технологий в животноводстве, канд. с.-х. наук

**Филатов А.И.**, заведующий кафедрой экономической кибернетики, канд. эконом. наук

ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный университет РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА)

**Аннотация:** Авторы приводят результаты исследований качества пищевых яиц в зависимости от их массы и предлагают формулу и таблицу для расчета их калорийности.

**Summary:** The authors bring the results of research on eggs quality depending on their mass and offer the formula and the table to calculate energetic value of eggs.

**Ключевые слова:** пищевые яйца, белок, желток, энергетическая ценность, моделирование, формула, таблица калорийности.

**Key Words:** edible eggs, white, yolk, energetic value, modeling, formula, table of calories.

Яйцо — полноценный источник питательных и биологически активных соединений, в числе которых протеин, липиды и углеводы, витамины и минеральные вещества. Качество пищевых яиц оценивают по химическому составу и энергетической ценности (калорийности), функциональным свойствам и усвояемости [1].

Качество пищевого куриного яйца характеризуется морфологическими и органолептическими свойствами. Прежде всего, это масса и соотношение его составных частей (белка, желтка), свежесть, чистота, прочность скорлупы и цвет желтка. Масса яиц является вторым после яйценоскости признаком яичной продуктивности птицы и варьируется в широком диапазоне — от 35 до 75 г, но преимущественно находится в пределах 45–65 г. В зависимости от массы яиц и срока хранения Национальным стандар-

том (ГОСТ Р 52121–2003) для пищевых куриных яиц установлены пять весовых категорий [2].

Масса яиц, их составных частей и их свойства определяются генотипом птицы и изменяются с возрастом и интенсивностью яйценоскости несушек, а также с переменой условий кормления и содержания. Биологической особенностью кур является постоянное повышение массы яиц в течение всего продуктивного периода. Принятое в промышленном птицеводстве ограниченное кормление птицы при строгом регулировании живой массы позволяет поддерживать оптимальную массу яиц.

Масса яиц от 40–45 г в начале яйценоскости увеличивается к середине продуктивного периода до 61–63 г, при возрасте несушек 40–44 недели. Далее длительное время масса яиц сохраняется в пределах 65–66 г. К завершению хозяйственного использования птицы (70–72 нед.) число крупных яиц

(70–75 г) достигает максимума. Яйца массой более 75 г, в основном двухжелтковые, нестандартные, нередко имеют дефекты скорлупы. Такие яйца, как и очень мелкие (менее 40 г), занимают до 10% в общем объеме и используются для переработки в яичные продукты [3].

Размер и содержимое яйца определяют общий запас питательных веществ, что положительно коррелирует с массой белка и желтка. В свою очередь калорийность яйца имеет прямую зависимость от его массы и соотношения белок:желток. Содержание в яйце жира, протеина и углеводов с учетом их энергетических коэффициентов позволяет рассчитать калорийность продукта.

В таблице 1 приводятся масса и соотношение составных частей яиц массой от 41 до 75 г, сгруппированных по классам с интервалом 5 г. Установлено, что по мере повышения массы яйца абсолютное содержание

Таблица 1

Морфологические показатели и калорийность яиц различной массы

Классы яиц (масса), г	Составные части яиц			Соотношение масс белка и желтка	Калорийность, ккал	
	M+m, г	белок, г/%	желток, г/%			скорлупа, г/%
41–45	43,2±0,76	24,8/57,5	13,2/30,6	5,2/11,8	1,72	65,5
46–50	47,8±0,38	29,2/58,9	14,0/29,2	5,6/11,9	2,01	65,1
51–55	54,2±0,17	32,1/59,2	15,9/29,3	6,2/11,5	2,02	73,0
56–60	58,6±0,20	35,2/60,1	16,7/28,5	6,7/11,4	2,11	78,7
61–65	63,1±0,22	37,5/59,5	18,3/29,0	7,3/11,5	2,06	87,8
66–70	68,1±0,18	41,1/60,4	19,5/28,7	7,5/10,9	2,10	91,5
71–75	71,8±1,14	44,0/61,3	19,7/27,4	8,1/11,3	2,23	96,6
Средняя масса, г*	60	35,0/58,4	18,5/30,8	6,5/10,8	1,90	81,0

\*С 2000 года при пересчете количества яиц (шт.) в весовые показатели (кг, т) принята средняя масса яиц 60 г



белка возрастает на 77,4%, желтка — на 49,2%, в то время как их пропорция в пределах классов изменяется незначительно. Калорийность среднего по размеру яйца (60 г) составляет 81 ккал при соотношении белка и желтка 1,90 : 1.

Отмечено значительное повышение калорийности яиц — от 65,5 до 96,6 ккал при возрастании их массы от 45 до 75 г. При этом количество белка и желтка пропорционально увеличивается, достигая максимума — 44,0 и 19,7 г соответственно. Показательно, что соотношение белок:желток для разных весовых категорий, кроме мелких яиц (41–45 г), находилось в оптимальных границах — 1,90–2,10 : 1. Колебание этих показателей может достигать 53–69% для белка и 24–36% для желтка, что определяет возможные пределы пропорций на уровне  $1,47 \div 2,88 : 1$  [4–5].

Химический состав и калорийность яиц различной массы приведены в *таблице 2*. В белке яиц средней массы содержится 10–11% протеина и небольшое количество углеводов (0,8–0,9%), его калорийность составляет 16–17 ккал. Желток яиц отличается высоким уровнем протеина (до 18%) и жира (31–33%) при средней калорийности 64–65 ккал, что в 4 раза больше, чем в белке. Существенные различия питательности белка и желтка определяют исключительное значение их соотношения в яйце для оценки энергетической ценности.

Установлено, что в белке и желтке практически сохраняется постоянство сухого вещества, протеина и жира независимо от массы яйца. Полученные данные по химическому составу и калорийности яиц различной массы использованы при математическом моделировании их энергетической

ценности. Величину и размер яиц, соотношение составных частей, другие особенности их строения определяют при морфологическом анализе в процессе взвешивания и вскрытия [6]. Это является общедоступным приемом, не требующим сложного оборудования. Однако исследование химического состава для последующего расчета калорийности требует специальных анализов и лабораторного оснащения. В этой связи моделирование калорийности яиц по их выделенным морфометрическим признакам позволит намного снизить затраты, прежде всего, на лабораторные исследования.

#### Математическое моделирование энергетической ценности яиц

В основу разработанной методики формирования модели (формулы) положен метод двойного сканирования эмпирических данных. На первом этапе строятся уравнения регрессии, отражающие связь между зависимой переменной  $Y$  (результат) и одной или несколькими независимыми переменными  $X_1, X_2, \dots, X_p$  (факторы) для различных (фиксированных) значений других факторов  $M_1, M_2, \dots, M_q$ .

В нашем случае определяются коэффициенты уравнения регрессии калорийности (зависимая переменная) от соотношения белка и желтка (независимая переменная) для различной массы яйца (фиксированный фактор).

$$Y = a + b \times X, \quad (1)$$

где  $Y$  — калорийность (результат) яйца;

$X$  — соотношение белка и желтка (независимая переменная);

$a$  — свободный коэффициент (пересечение с осью  $Y$ );

$b$  — коэффициент регрессии (угловой коэффициент при переменной  $X$ ).

При этом формируются коэффициенты уравнения регрессии по уровням фиксированного фактора. На втором этапе сканирования на основе коэффициентов регрессии определяются уравнения регрессии, отражающие зависимость коэффициентов уравнений регрессии от уровней фиксированного фактора. Материал дополняется коэффициентами уравнений регрессии свободных коэффициентов  $a$  и коэффициентов регрессии  $b$  от фиксированного фактора  $M$ .

На основе полученных коэффициентов уравнения регрессии второго уровня формируется модель (формула) взаимосвязи результативной переменной  $Y$  с факториальной переменной  $X$  при заданном фиксированном факторе  $M$ :

$$Y = A_a + A_b \times X + M \times (B_a + B_b \times X) \quad (2)$$

В нашем случае значения  $A_a$  и  $A_b$  равны 0, модель (формула) приобретает вид:

$$Y = M \times (B_a + B_b \times X) \quad (3)$$

Метод многократного сканирования выгодно отличается от метода множественной и нелинейной регрессии логической обоснованностью полученных нелинейных зависимостей от множества (двух) факторов. При формировании модели (формулы) питательности яйца последовательность вычисления выглядит следующим образом (*табл. 3*). Получаем модель (формулу) калорийности яйца:

$$V_{\text{ккал}} = M \times (1,855 - 0,260 \times K_{\text{б/ж}}), \quad (4)$$

где  $V_{\text{ккал}}$  — калорийность яйца, ккал  
 $M$  — масса (фиксированный фактор);  
 $K_{\text{б/ж}}$  — коэффициент соотношения белка и желтка.

Таблица 2

Химический состав и калорийность яиц различной массы

Классы яиц (масса), г	Белок, %		Желток, %			Калорийность 100 г, ккал
	сухое вещество	протеин	сухое вещество	протеин	жир	
41–45	12,73	10,47	53,35	17,04	33,11	168,5
46–50	12,48	10,19	52,48	17,63	31,46	154,7
51–55	12,32	10,80	52,61	17,83	31,41	151,9
56–60	12,70	10,93	51,90	16,90	31,69	150,4
61–65	13,71	11,43	52,35	16,64	32,12	157,1
66–70	12,14	10,03	52,47	17,14	31,74	151,0
71–75	12,70	9,18	53,40	16,99	32,88	151,4
60 (средняя масса)	12,10	10,5	51,30	16,60	32,60	151,4

**Коэффициенты уравнения регрессии питательности  
и соотношения масс белка и желтка при различной массе яиц**

Таблица 3

Масса яйца (М), г	Свободный коэффициент уравнения регрессии (а)	Коэффициент регрессии (b) при переменной X (соотношение масс белка и желтка)
45	83,46698863	-11,6954937
50	92,74109847	-12,9949930
55	102,01520832	-14,2944923
60	111,28931817	-15,5939916
65	120,56342802	-16,8934908
70	129,83753786	-18,1929901
75	139,11164771	-19,4924894
Свободный коэффициент а	0,0000000	0,0000000
Коэффициент регрессии b при М	1,8548220	-0,2598999

По аналогичной методике разработаны модели (формулы) по сухому веществу, белку, липидам (жиру), углеводам, выведена универсальная формула оценки качества яйца по суммарному показателю энергетической ценности (калорийности) и формула расчета калорийности (формула Штеле-Филатова).

#### Модели определения формулы:

содержания в яйце сухого вещества, г (от массы яйца и соотношения белка и желтка)

$$V_{\text{св}} = M \times (0,292 - 0,033 \times K_{\text{б/ж}}) \quad (5)$$

содержания в яйце белка (протеина), г (от массы яйца и соотношения белка и желтка)

$$V_{\text{пр}} = M \times (0,121 - 0,004 \times K_{\text{б/ж}}) \quad (6)$$

содержания в яйце липидов (жира), г (от массы яйца и соотношения белка и желтка)

$$V_{\text{жир}} = M \times (0,155 - 0,028 \times K_{\text{б/ж}}) \quad (7)$$

содержания в яйце углеводов, г (от массы яйца и соотношения белка и желтка)

$$V_{\text{угл}} = M \times (0,0083 - 0,0000032 \times K_{\text{б/ж}}) \quad (8)$$

энергетической ценности яйца, ккал (калорийность протеина – 4, жира – 9, углеводов – 3,8 ккал/г):

$$ES = M \times (1,911 - 0,268 \times K_{\text{б/ж}}) \quad (9)$$

**Формула расчета калорийности яиц, ккал:**

$$ESF_{\text{ккал}} = M \times (0,276 - 0,032 \times K_{\text{б/ж}}) \times 10, \quad (10)$$

где 0,276; 0,032; 10 – постоянные коэффициенты

ESF-E (energy) – энергия-калорийность, S – Shtele, F – Filatov.

#### Применение модели (формулы и таблицы) для определения калорийности яиц

Калорийность яйца в зависимости от массы и соотношения белок:желток рассчитывают по формуле Штеле-Филатова (ESF). Можно также воспользоваться таблицей энергетической ценности яиц различной мас-

сы при известном (определенном) или оптимальном соотношении белок:желток (1,896÷2,142 : 1), которое отмечается у большинства пищевых куриных яиц (табл. 4).

Проведенные исследования показали, что с повышением массы яиц в пределах от 45 до 75 г их калорийность возрастает с 65,5 до 96,6 ккал

**Энергетическая ценность (ккал) яиц различной массы при определенном соотношении белок:желток (по Штеле-Филатову)**

Таблица 4

Масса яйца, г	Соотношение белок:желток						
	1,500	1,684	1,896	2,142	2,431	2,762	2,909
45	67,9	65,7	63,1	60,2	56,7	52,7	50,9
46	69,4	67,1	64,5	61,5	57,9	53,9	52,0
47	70,9	68,6	65,9	62,8	59,2	55,0	53,2
48	72,4	70,1	67,3	64,2	60,5	56,2	54,3
49	73,9	71,5	68,7	65,5	61,7	57,4	55,4
50	75,5	73,0	70,1	66,8	63,0	58,5	56,6
51	77,0	74,4	71,5	68,2	64,2	59,7	57,7
52	78,5	75,9	72,9	69,5	65,5	60,9	58,8
53	80,0	77,4	74,4	70,9	66,8	62,1	60,0
54	81,5	78,8	75,8	72,2	68,0	63,2	61,1
55	83,0	80,3	77,2	73,5	69,3	64,4	62,2
56	84,5	81,7	78,6	74,9	70,5	65,6	63,4
57	86,0	83,2	80,0	76,2	71,8	66,7	64,5
58	87,5	84,7	81,4	77,5	73,1	67,9	65,6
59	89,0	86,1	82,8	78,9	74,3	69,1	66,8
60	90,5	87,6	84,2	80,2	75,6	70,2	67,9
61	92,0	89,0	85,6	81,6	76,8	71,4	69,0
62	93,6	90,5	87,0	82,9	78,1	72,6	70,1
63	95,1	92,0	88,4	84,2	79,3	73,8	71,3
64	96,6	93,4	89,8	85,6	80,6	74,9	72,4
65	98,1	94,9	91,2	86,9	81,9	76,1	73,5
66	99,6	96,3	92,6	88,2	83,1	77,3	74,7
67	101,1	97,8	94,0	89,6	84,4	78,4	75,8
68	102,6	99,3	95,4	90,9	85,6	79,6	76,9
69	104,1	100,7	96,8	92,2	86,9	80,8	78,1
70	105,6	102,2	98,2	93,6	88,2	82,0	79,2
71	107,1	103,6	99,6	94,9	89,4	83,1	80,3
72	108,6	105,1	101,0	96,3	90,7	84,3	81,5
73	110,2	106,6	102,4	97,6	91,9	85,5	82,6
74	111,7	108,0	103,8	98,9	93,2	86,6	83,7
75	113,2	109,5	105,2	100,3	94,5	87,8	84,9



(на 147,5%). При этом абсолютное для крупных яиц (71–75 г) содержание белка и желтка достигает максимальных величин — 44,0 и 19,7 г соответственно. Для основной части получаемых яиц при их массе 50–70 г соотношение белок : желток находится в оптимальных границах —  $1,896 \div 2,142 : 1$ .

Калорийность белка среднего по массе яйца составляет 16–17 ккал, желтка — 64–65 ккал. Желток яйца насыщен протеином и жиром, содержит основную часть витаминов и минеральных веществ и в 4 раза превосходит белок по калорийности. Значительные различия в питательности и калорийности желтка и белка определяют исключительную роль их соотношения в содержимом яйца при расчете энергетической ценности.

Таким образом, для определения калорийности яиц достаточно ввести полученные данные по массе и отношению белок:желток в формулу Штеле-Филатова или воспользоваться *таблицей 4*.

Предлагаемые формула и таблица определения энергетической ценности яиц имеют практическое значение для потребителя с целью учета калорийности продукта в рационе питания. Использование предложенной математической модели также играет важную роль и при маркетинговых коммуникациях птицеводческих и других предприятий для указания на упаковочных материалах и этикетках калорийности реализуемых яиц по пяти весовым категориям в соответствии с действующим стандартом на яйца куриные пищевые. 

### Литература

1. Мартынчик А.Н., Маев И.В., Янушевич О.О. Общая нутрициология. — МЕД-пресс-информ, 2005. — 392 с.
2. ГОСТ Р 52121–2003. Национальный стандарт Российской Федерации. Яйца куриные пищевые. Технические условия. — М.: Госстандарт России, 2003. — 7 с.
3. Штеле А.Л. Куриное яйцо: вчера, сегодня, завтра. — М.: Агробизнесцентр, 2004. — 196 с.
4. Штеле А.Л. Биологические и зоотехнические факторы образования полноценных яиц // Птицеводство. — 2011. — №9. — С. 19–24.
5. Царенко П.П., Васильева Л.Т. Эволюция куриного яйца // Животноводство России. — 2009. — №9. — С. 21–22.
6. Оценка качества кормов, органов, тканей, яиц и мяса птицы. — Сергиев Посад: ВНИТИП, 2010. — 119 с.

**Для контактов с авторами:**  
**Штеле Альберт Львович**  
*e-mail: alsbtele@mail.ru*  
**Филатов Анатолий Иванович**  
*e-mail: kiber1@timacad.ru*

### Новые птичники в Орловской области

В развитие птицефабрики в Орловской области планирует инвестировать свыше 427,4 млн рублей.

В 2012–2013 гг. предполагается строительство новых птичников — 13 цехов по выращиванию цыплят-бройлеров и инкубатория производственной мощностью 12 млн яиц в год.

*www.agro.ru*



# EuroTier

События мирового значения для профессионалов животноводства





## Инновационные идеи – первоклассная техника

- 145 000 высококвалифицированных посетителей, интересующихся новыми технологиями в области скотоводства, свиноводства, разведения птицы и аквакультуры
 
- Более 1 900 экспонентов из различных стран на 180 000 кв. м выставочной площади
- Полная программа по вопросам животноводства: племенного разведения, кормления, содержания, продажи и маркетинга
- Ведущие технологии для производства регенеративной энергии и децентрализованного энергоснабжения

## Ганновер / Германия

## 13-16 ноября 2012 г.

Hotline: +49(0)69/24788-265



www.eurotier.com

