

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ

А.В. Пасынков¹, доктор биологических наук, **А.А. Завалин**², академик РАН,
Е.Н. Пасынкова¹, доктор биологических наук,
В.Л. Андреев³, доктор технических наук

¹Ленинградский НИИСХ «Белогорка» – филиал ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха,
188338, Ленинградская обл., Гатчинский район, д. Белогорка

²ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова,
127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а

³Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
603340, Нижегородская обл., Княгинино, ул. Октябрьская, 22
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

По результатам множественного регрессионного анализа получено уравнение второго порядка, отражающее зависимость содержания белка ($Y = N_{\text{total}} \times 5,7; \%$) в зерне пшеницы от содержания сырой клейковины ($X_1, \%$) и массы 1000 зерен ($X_2, \text{г}$): $Y = 16,0570 + 0,6768X_1 - 0,0032X_1^2 - 0,7891X_2 + 0,0083X_2^2$. В представленном уравнении содержание белка приведено в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.), а содержание клейковины и масса 1000 зерен – на 12%-ную влажность или на воздушно-сухое вещество (в.с.в.). В тех случаях, когда содержание белка определено без учета влажности зерна (в.с.в.), а масса 1000 зерен – на а.с.в., при использовании разработанного уравнения для прогноза содержания белка в зерне пшеницы проводится их перерасчет с применением коэффициента 1,136. Приведены данные по сравнительной оценке прогностических возможностей и точности прогноза уравнения, разработанного авторами и предложенного для казахстанской пшеницы: $Y = 5,3270 + 0,3159X_1$. Линейное уравнение, разработанное для казахстанской пшеницы, отражает зависимость содержания белка от содержания сырой клейковины у различных сортов только в сравнительно узком интервале варьирования белковости зерна 12,0...17,0%, а разработанное авторами статьи – практически во всем его биологическом интервале – 7,9...21,1% а.с.в.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF VARIOUS METHODS OF PROTEIN CONTENT PREDICTION IN WHEAT KERNELS

Pasynkov A.V.¹, **Zavalin A.A.**², **Pasynkova E.N.**¹, **Andreev V.L.**³

¹Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre,
188338, Leningradskaya obl., Gatchinskii raion, p. Belogorka

²All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,
127434 Moskva, ul. D.N. Pryanishnikova, 31a

³Nizhny Novgorod Engineering and Economics University,
603340, Nizhegorodskaya obl., Knyaginino, ul. Oktyabr'skaya, 22
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

Multiple regression analysis made it possible to obtain a second-order equation reflecting the dependence of the protein content ($Y = N_{\text{total}} \times 5,7; \%$) in the wheat grain on the content of raw gluten ($X_1, \%$) and the 1000-kernels weight (X_2, g): $Y = 16,0570 + 0,6768X_1 - 0,0032X_1^2 - 0,7891X_2 + 0,0083X_2^2$. In the presented equation, the protein content is reduced to absolutely dry matter (d. m.), and the gluten content and the 1000-kernels weight - to 12% moisture or air-dry matter (a.d.m.). In cases where the protein content is determined without taking into account the moisture of the kernel (a.d.m.), and the 1000-kernels weight - on d.m., when using the developed equation to predict the protein content in kernel of wheat, they are recalculated using coefficient 1,136. The data on the comparative assessment of the predictive capabilities and predict accuracy of the equation developed by the authors of the article and proposed for Kazakhstan wheat are presented: $Y = 5,3270 + 0,3159X_1$. Checking the accuracy of the predict of the protein content in grain showed that the most accurate linear equation developed for Kazakhstan wheat reflects the dependence of the protein content on the content of raw gluten in different varieties only in a relatively narrow range of variation in the protein content of kernel: 12,0 ... 17,0, and the developed by the authors of the article - practically in its entire biological interval: 7,9 ... 21,1%.

Ключевые слова: пшеница, белок, сырая клейковина, масса 1000 зерен, множественный регрессионный анализ, прогноз содержания белка

Key words: wheat, protein, raw gluten, 1000-kernels weight, multiple regression analysis, protein content prediction

Содержание белка в зерне пшеницы – изменчивый признак, величина которого в зависимости от условий возделывания может варьировать в очень широких пределах: от 6 до 25% у отечественных и от 8 до 20% у западноевропейских сортов. Примерно в таких же пределах содержание белка может изменяться в зависимости от генотипа [1]. Считается, что определение содержания белка в зерне пшеницы – сравнительно трудоемкий и длительный химический анализ, который возможен только в хорошо оснащенных лабораториях, имеющих подготовленный и квалифицированный персонал. Содержание

белка (Y) в зерне пшеницы находится в определенной взаимосвязи с количеством сырой клейковины (X). Статистическая зависимость между величинами этих показателей для зерна казахстанской пшеницы можно выразить формулой, предложенной АО «КазАгроИнновация» и «Алматинским технологическим университетом» (рис. 1) [2]. Она представляет собой уравнение парной линейной регрессии и может использоваться не только для косвенного определения белковости зерна яровой пшеницы в условиях Республики Казахстан, но и для тех же целей в условиях западной Сибири РФ [3]:

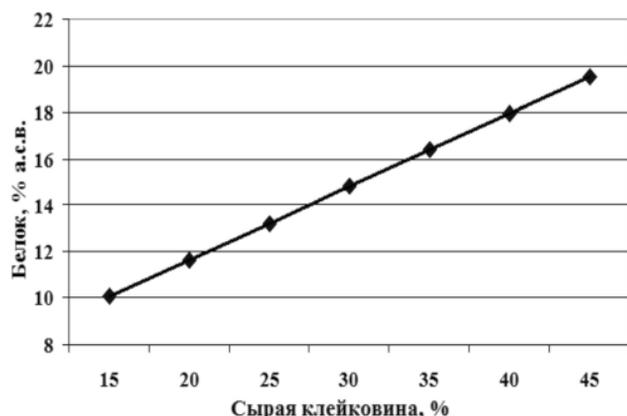


Рис. 1. Зависимость содержания белка (Y, % а.с.в. – % на абсолютно сухое вещество) в зерне пшеницы от содержания сырой клейковины (X_p, %).

$$Y = 5,3270 + 0,3159X_1 \quad (1) \text{ (рис. 1)}$$

Известно, что наиболее точно линейные уравнения отражают связи между зависимой (Y) и независимой (X) переменной только в узком их (переменных) интервале варьирования. Признано, что в подавляющем большинстве случаев зависимости между различными показателями в биологических системах наиболее точно отражают нелинейные уравнения (логарифмические, половинной степени, второго, третьего порядка и др.). При этом максимальная точность (по величине коэффициента детерминации – R²) отмечена у уравнений множественной нелинейной регрессии [4].

Ранее была показана возможность сравнительно точного прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы после определения содержания белка и массы 1000 зерен [5, 6]. Для этих целей разработаны и используются уравнения второго порядка. Поэтому было сделано предположение, что и зависимость содержания белка наиболее точно будет отражать уравнение второго порядка с двумя независимыми переменными: X₁ – содержание сырой клейковины и X₂ – масса 1000 зерен.

Цель исследования – разработать уравнение множественной нелинейной регрессии, адекватно отражающее зависимость содержания белка в зерне пшеницы от содержания сырой клейковины и массы 1000 зерен и провести сравнительную оценку прогностических возможностей и точности прогноза разработанного уравнения и предложенного для казахстанской пшеницы.

Методика. Для разработки уравнения множественной нелинейной регрессии использовали экспериментальные данные по содержанию белка, сырой клейковины и массе 1000 зерен, полученные при проведении исследований с яровой пшеницей и опубликованные ранее [7, 8]. Для расчета уравнения, отражающего зависимость содержания белка в зерне пшеницы (Y) от содержания сырой клейковины (X₁) и массы 1000 зерен (X₂) использовали метод множественного регрессионного анализа, алгоритм которого реализован в пакете статистических программ «Statistica 6» (Stat-Soft Inc., США).

Следующим этапом исследований стала проверка эффективности ориентировочного определения (прогноза) белковости зерна пшеницы. При сравнительной оценке эффективности прогноза содержания белка (Y = N_{общ.} × 5,7, % а.с.в.) в зерне пшеницы по

содержанию сырой клейковины (X₁) уравнения (1) и по содержанию сырой клейковины (X₁) и массе 1000 зерен (X₂) уравнения (2) множественной нелинейной регрессии, разработанного авторами статьи, использовали независимые экспериментальные данные по величине технологических качеств зерна, полученные авторами из Белоруссии, Болгарии, Казахстана, Литвы, Польши и Украины при проведении полевых опытов с иными сортами пшеницы в различных почвенно-климатических условиях. Подставляя эти экспериментальные данные в соответствующие уравнения, рассчитывали теоретическое (Y_т) содержание белка в зерне пшеницы. Следующий шаг – сравнение рассчитанных по уравнениям (1) и (2) теоретических величин белковости зерна пшеницы с экспериментальными данными (Y_э) или (Y_э - Y_т). При оценке точности каждого из разработанных уравнений ориентировались на регламент ГОСТ 10846-91 «Метод определения белка», согласно которому допускаемые отклонения при контрольных определениях общего азота (N_{общ.}) не должны превышать 0,045X + 0,04, где X – среднее арифметическое первоначального (в нашем случае экспериментального или N_э) и контрольного определений (в нашем случае – N_т).

Первый критерий сравнительной оценки точности уравнений (1) и (2) между собой: сумма квадратов отклонений экспериментальных величин содержания общего азота (N_э) в зерне от теоретических (N_т рассчитанных по соответствующему уравнению) или ∑ (N_э - N_т)².

Второй критерий – точность (оправдываемость) прогноза или отношение количества значений, когда отклонения экспериментальных величин содержания общего азота в зерне пшеницы от теоретических (N_э - N_т) не превышали допускаемых ГОСТ 10846-91 отклонений к общему числу наблюдений (n), выраженное в % [4, 6].

Результаты и обсуждение. Проведение статистической обработки экспериментальных данных, полученных при проведении исследований с яровой пшеницей и опубликованных ранее в работах [7, 8] методом множественного регрессионного анализа, позволило вывести уравнение второго порядка, отражающее зависимость содержания белка (Y, %) от содержания сырой клейковины и массы 1000 зерен (независимые переменные) – соответственно X₁ (%) и X₂ (г):

$$Y = 16,0570 + 0,6768X_1 - 0,0032X_1^2 - 0,7891X_2 + 0,0083X_2^2 \quad (2)$$

В представленном уравнении содержание белка приведено в пересчете на а.с.в., сырой клейковины и масса 1000 зерен – на 12 %-ную влажность или на воздушно-сухое вещество (в.с.в.). При использовании разработанного уравнения для прогноза в тех случаях, когда содержание белка определено без учета влажности зерна (в.с.в.), а масса 1000 зерен – в пересчете на а.с.в., предварительно проводили их перерасчет с применением коэффициента 1,136.

Анализ графического изображения разработанного уравнения (2) или поверхность отклика функции свидетельствует, что зависимость содержания белка в зерне пшеницы как от содержания сырой клейковины, так и от массы 1000 зерен носит нелинейный характер (рис. 2).

С увеличением содержания сырой клейковины содержание белка возрастает (+X₁), однако каждое последующее ее (сырой клейковины) повышение (на единицу) приводит к меньшему увеличению содержания

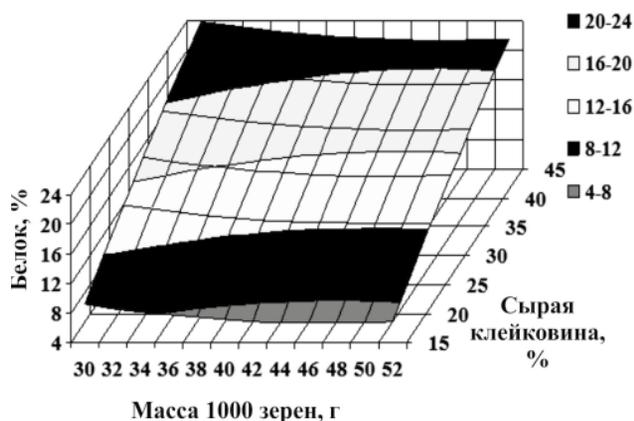


Рис. 2. Зависимость содержания белка (Y, % а.с.в.) в зерне пшеницы от содержания сырой клейковины (X₁, %) и массы 1000 зерен (X₂, г).

белка, по сравнению с предыдущим (+X₁ -X₁²). Необходимо отметить, что точка экстремума по содержанию сырой клейковины находится вне пределов полученных экспериментальных данных. Независимо от содержания клейковины, с возрастанием массы 1000 зерен от ее минимальных величин содержание белка снижается (-X₂), при этом каждое последующее увеличение массы 1000 зерен (на единицу) замедляет темпы снижения содержания белка в зерне (-X₂ +X₂²). После того, как масса 1000 зерен достигает точки экстремума (47,5 г), каждое последующее ее повышение приводит к большему увеличению содержания белка в зерне пшеницы по сравнению с предыдущим.

В табл. 1, 3 и 5 представлен алгоритм проверки прогностических возможностей уравнений (1) и (2), а в табл. 2, 4 и 6 – результаты точности прогноза содер-

жания белка в зерне пшеницы в зависимости от содержания клейковины и массы 1000 зерен в сравнительно широком биологическом интервале варьирования зависимой (Y) и независимых переменных (X₁ и X₂)

Ввиду того, что объем публикации ограничен и не позволяет привести все случаи отклонений, в табл. 1...6 приведены лишь некоторые типичные примеры, обнаруженные при проведении сравнительной оценки прогностических возможностей уравнений.

Проверка точности прогноза белковости зерна пшеницы показала, что уравнение (1) при содержании белка в зерне менее 12,0 % и сырой клейковины в интервале 16,2...25,4 % дает завышенные результаты (табл. 1, 2) по сравнению, как с экспериментальными данными, так и с уравнением (2). В рассматриваемом случае точность (оправдываемость) прогноза у уравнения (2) выше, чем у уравнения (1) в 3,4 (86,7% против 25,6%), а $\sum (Nэ-Nт)^2$ ниже в 8 раз (0,8266 и 6,6088 соответственно).

Проверка точности прогноза содержания белка в зерне при величине этого показателя в пределах 12,7...17,6 % и сырой клейковины в интервале 23,0...34,6 % показала (табл. 3 и 4), что уравнение (1) дает практически одинаковые результаты по сравнению, как с экспериментальными данными, так и с уравнением (2). Однако точность прогноза при использовании уравнения (1) в рассматриваемом диапазоне белковости зерна ниже, чем у уравнения (2), в 1,2 (79,1 % и 97,8 %), а $\sum (Nэ-Nт)^2$ выше в 2,1 раза (1,2418 и 0,5788 соответственно).

По результатам проверки точности прогноза белковости зерна при величине этого показателя в пределах 14,9...21,1 % и содержания сырой клейковины в интервале 25,7...42,6 % уравнение (1) дает заниженные результаты (табл. 5 и 6), по сравнению как с экспериментальными данными, так и с уравнением (2). При этом оправдываемость прогноза при использовании уравнения (1) в рассматриваемом диапазоне белковости зерна ниже, чем у уравнения (2), в 7,0 (12,6 % и 88,4 %), а

Табл. 1. Алгоритм сравнительной оценки точности прогноза уравнений

По уравнению (1)					По уравнению (2)			
данные по X ₁ , X ₂ и Yэ из работы [9], n ¹ = 12								
X ₁	Yэ	Yт ₁	(Nэ-Nт ₁)	ДО	X ₂	Yт ₂	(Nэ-Nт ₂)	ДО
22,8	11,2	12,53	- 0,233*	0,134	41,6	11,36	- 0,028	0,129
23,4	11,9	12,72	- 0,144*	0,137	38,0	12,14	- 0,042	0,135
24,7	13,3	13,13	0,030	0,144	36,5	13,08	0,039	0,144
21,5	10,2	12,12	- 0,337*	0,128	40,2	10,82	- 0,109	0,123
23,4	12,0	12,72	- 0,126	0,138	39,1	11,98	0,004	0,135
20,8	10,1	11,90	- 0,315*	0,127	40,0	10,47	- 0,064	0,121
23,6	11,6	12,78	- 0,207*	0,136	42,1	11,74	- 0,024	0,132
24,4	12,3	13,03	- 0,129	0,140	39,8	12,41	- 0,019	0,138
24,8	13,5	13,16	0,059	0,145	38,5	12,80	0,124	0,144
21,9	10,3	12,25	- 0,341*	0,129	40,1	11,05	- 0,121	0,124
23,7	12,3	12,81	- 0,090	0,139	41,5	11,85	0,080	0,135
21,7	10,2	12,18	- 0,348*	0,128	40,6	10,88	- 0,119	0,123
ЧЗ = 7	ОП = 41,7 %		$\sum = 0,6133$		ЧЗ = 0	ОП = 100 %	$\sum = 0,0741$	

(здесь и в остальных таблицах) ¹n – общее число наблюдений; X₁ – содержание сырой клейковины, %; Yэ – экспериментальное содержание белка (N_э_{обм} × 5,7), % а.с.в.; Yт – теоретическое содержание белка, % а.с.в. (расчет по уравнению 1 или 2); (Nэ – Nт) – отклонения экспериментальных величин содержания общего азота от теоретических, % а.с.в.; ДО – допускаемые отклонения (ГОСТ 10846-91); X₂ – масса 1000 зерен, г; ЧЗ – число значений, выходящих за пределы ДО; ОП – оправдываемость (точность) прогноза, %; \sum – сумма квадратов отклонений экспериментальных величин от теоретических; * – значения выходят за пределы допускаемых отклонений.

Табл. 2. Результаты проверки точности прогноза в интервале белковости зерна пшеницы 7,9...15,1 %

Источник	Уравнение	n	Интервал варьирования (min ... max)			ЧЗ	Σ	ОП, %
			X ₁	X ₂	Y			
[9]	(1)	12	20,8...24,8	36,5...42,1	10,1...13,5	7	0,6133	41,7
	(2)					0	0,0741	100,0
[10]	(1)	26	16,4...27,7	42,8...47,9	8,65...12,40	26	2,2369	0
	(2)					8	0,3441	69,2
[11]	(1)	20	16,2...25,6	36,9...48,7	7,89...12,1	20	2,8998	0
	(2)					2	0,1494	90,0
[12]	(1)	8	22,3...25,4	39,2...42,7	11,3...12,9	3	0,1362	62,5
	(2)					0	0,0370	100,0
[13]	(1)	18	23,5...31,7	39,2...48,8	11,2...15,1	7	0,5486	61,1
	(2)					1	0,1511	94,4
[14]	(1)	6	24,7...27,5	40,1...42,7	11,8...14,7	4	0,1740	33,3
	(2)					1	0,0709	83,3
Всего	(1)	90	16,2...31,7	36,5...48,8	7,89...15,1	67	6,6088	25,6
	(2)					12	0,8266	86,7

Табл. 3. Алгоритм сравнительной оценки точности прогноза уравнений

По уравнению (1)					По уравнению (2)			
данные по X ₁ , X ₂ и Yэ из работы [15], n= 12								
X ₁	Yэ	Y _{T1}	(Nэ-N _{T1})	ДО	X ₂	Y _{T2}	(Nэ-N _{T2})	ДО
29,2	15,0	14,55	0,079	0,157	41,5	14,64	0,063	0,157
28,3	14,5	14,27	0,041	0,154	40,2	14,34	0,028	0,154
27,5	14,1	14,01	0,015	0,151	38,1	14,23	- 0,023	0,152
26,3	13,8	13,64	0,029	0,148	37,5	13,72	0,013	0,149
29,7	15,2	14,71	0,086	0,158	43,3	14,73	0,083	0,158
28,6	14,8	14,36	0,077	0,155	40,8	14,42	0,067	0,155
27,7	14,5	14,08	0,074	0,153	39,4	14,14	0,063	0,153
26,8	14,0	13,79	0,036	0,150	38,7	13,79	0,037	0,150
30,0	15,1	14,80	0,052	0,158	42,4	14,94	0,027	0,159
28,6	14,7	14,36	0,059	0,155	41,5	14,34	0,063	0,155
27,8	14,5	14,11	0,069	0,153	40,0	14,11	0,068	0,153
27,0	14,2	13,86	0,060	0,151	39,0	13,85	0,062	0,151
ЧЗ = 0	ОП = 100%		Σ = 0,0436		ЧЗ = 0	ОП = 100%	Σ = 0,0353	

Табл. 4. Результаты проверки точности прогноза в интервале белковости зерна пшеницы 12,7...17,6 %

Источник	Уравнение	n	Интервал варьирования (min ... max)			ЧЗ	Σ	ОП, %
			X ₁	X ₂	Y			
[15]	(1)	12	26,3...30,0	37,5...43,3	13,8...15,2	-	0,0436	100
	(2)					-	0,0353	100
[16]	(1)	5	25,5...29,8	40,1...46,3	12,7...14,2	-	0,0443	100
	(2)					-	0,0107	100
[17]	(1)	16	27,4...30,9	39,9...45,1	13,3...15,5	1	0,1085	93,8
	(2)					1	0,1049	93,8
[18]	(1)	15	23,8...30,6	49,2...51,6	12,8...14,4	-	0,1635	100
	(2)					-	0,1429	100
[19]	(1)	11	28,8...34,6	35,1...43,2	14,5...17,6	2	0,1298	81,8
	(2)					-	0,0889	100
[20]	(1)	32	23,0...32,4	30,3...34,9	12,9...15,9	16	0,7521	50,0
	(2)					1	0,1961	96,9
Всего	(1)	91	23,0...34,6	30,3...51,6	12,7...17,6	19	1,2418	79,1
	(2)					2	0,5788	97,8

Табл. 5. Алгоритм сравнительной оценки точности прогноза уравнений

По уравнению (1)					По уравнению (2)			
данные по X ₁ , X ₂ и Y _э из работы [21], n = 12								
X ₁	Y _э	Y _{T1}	(Nэ-N _{T1})	ДО	X ₂	Y _{T2}	(Nэ-N _{T2})	ДО
29,0	17,6	14,49	0,546*	0,167	29,9	16,82	0,137	0,176
32,0	19,2	15,44	0,660*	0,177	29,2	18,47	0,128	0,189
31,0	18,5	15,12	0,593*	0,173	29,8	17,82	0,120	0,183
35,0	20,2	16,38	0,670*	0,184	29,5	19,77	0,076	0,198
31,0	18,1	15,12	0,523*	0,171	29,5	17,91	0,034	0,182
34,0	19,5	16,07	0,602*	0,180	29,8	19,22	0,048	0,193
31,0	18,5	15,12	0,593*	0,173	29,2	18,00	0,088	0,184
34,0	19,6	16,07	0,620*	0,181	29,7	19,25	0,061	0,193
28,0	16,9	14,17	0,479*	0,163	29,3	16,50	0,070	0,172
31,0	18,3	15,12	0,558*	0,172	29,2	18,00	0,053	0,183
28,0	17,4	14,17	0,566*	0,165	28,4	16,78	0,108	0,175
33,0	18,5	15,75	0,482*	0,175	29,7	18,79	- 0,051	0,187
27,0	15,0	13,86	0,201*	0,154	29,4	15,97	- 0,171*	0,162
31,0	16,5	15,12	0,242*	0,165	28,8	18,12	- 0,284*	0,177
29,0	16,2	14,49	0,300*	0,161	28,8	17,15	- 0,167	0,172
31,0	17,4	15,12	0,400*	0,168	29,2	18,00	- 0,105	0,180
ЧЗ = 16	ОП = 0%		Σ = 4,3483		ЧЗ = 2	ОП = 87,5%	Σ = 0,2408	

Табл. 6. Результаты проверки точности прогноза в интервале белковости зерна пшеницы 14,9...21,1 %

Источник	Уравнение	n	Интервал варьирования (min ... max)			ЧЗ	Σ	ОП, %
			X ₁	X ₂	Y			
[21]	(1)	16	27,0...35,0	28,4 -29,9	16,2...20,2	16	4,3483	0
	(2)							
[22]	(1)	11	31,7...38,6	31,6...37,2	16,5...19,4	7	0,4689	36,4
	(2)							
[23]	(1)	23	30,2...35,7	32,2...38,8	16,3...18,5	17	1,1369	26,1
	(2)							
[24]	(1)	16	25,7...31,2	29,1...31,2	14,9...18,9	16	3,9465	0
	(2)							
[25]	(1)	21	28,4...42,6	39,7...52,5	14,9...21,1	19	1,9628	9,5
	(2)							
[26]	(1)	8	30,2...33,5	29,1...33,6	17,1...18,3	8	1,1419	0
	(2)							
Всего	(1)	95	25,7...42,6	28,4...52,5	14,9...21,1	83	13,005	12,6
	(2)							
Итого (табл. 2, 4, 6)	(1)	276	16,2...42,6	28,4...52,5	7,89...21,1	169	20,856	38,8
	(2)							

Σ (Nэ-N_T)² выше в 8,9 раза (13,0050 и 1,4616 соответственно).

Таким образом, для более точного и корректного изучения взаимосвязей содержания белка с содержанием сырой клейковины в зерне пшеницы необходимо учитывать величину массы 1000 зерен. Линейное уравнение, разработанное для казахстанской пшеницы, отражает зависимость содержания белка от содержания сырой клейковины в зерне только в сравнительно узком интервале варьирования белковости зерна 12,0 ... 17,0 %, а предложенное авторами статьи уравнение множественной нелинейной регрессии – практически во всем его биологическом интервале – 7,89 ... 21,1% а.с.в. и при более высокой точности прогноза.

Литература

1. Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерне. М.: Наука. 1984. 119с.
2. Шаймерденова Д., Тастанбеков С. Метрологическое обеспечение качества зерна в Казахстане // *Хлебопродукты*. 2009. № 4. С. 49–51.
3. Скрябин В.А., Сухарева В.П. Об оценке качества зерна яровой пшеницы Западной Сибири // *Современные методы, средства и нормативы в области оценки качества зерна и зернопродуктов: сборник материалов 16-й Всеросс. научно-практич. конф. (3–7 июня 2019 г., Анапа)*. Краснодар: Кубанский филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН», 2019. С. 63–67.

4. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. М.: Агропромиздат, 1989. С. 32–42.
5. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Эффективность прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 4 (64). С. 19–26. doi: 10.31367/2079-8725-2019-64-4-19-26.
6. Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н. Совершенствование способа прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 2. С. 7–12. doi: 10.31857/S2500-2627-2020-2-7-12.
7. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Статистические зависимости основных показателей качества зерновых культур // *Агрохимия*. 2011. № 2. С. 24–40.
8. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность севооборота и качество зерна / А.В. Пасынков, Е.В. Светлакова, Н.В. Котельникова и др. // *Агрохимия*. 2016. № 10. С. 38–47.
9. Вплив елементів технологій вирощування на врожайність та якість зерна пшениці озимої / К.М. Оліник, Г.В. Давидюк, Л.Ю. Блажевич и др. // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2016. No. 4 (33). Vol. 33. P. 45–50.
10. Masauskiene A., Masauskas V., Peltonen J. The impact of phosphorus seed coating on winter wheat at different fertilization practices // *Agronomy Research*. 2007. No. 5 (2). P. 123–133.
11. Урожайність та якість зерна пшениці озимої залежно від удобрення та попередників / І.М. Тимчишин, О.І. Качмар, М.М. Щерба и др. // *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства УААН»*. К.: ВД «ЕКМО», 2008. Вип. 3-4. С. 61–66.
12. Заходи підвищення урожайності та якості зерна озимої пшениці в умовах Присивашся / І.І. Гасанова, І.В. Костиця, М.А. Остапенко и др. // *Бюл. ін. с. з. степової зони НААН України*. 2012. № 2. С. 98–102.
13. Торикиев В.Е., Куликович С.Н. Технологии возделывания и качество зерна озимой пшеницы. Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2013. С. 158–160.
14. Мельник А.Ф., Кондрашин Б.С. Биологизированные технологии – фактор повышения продуктивности озимой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 5 (59). С. 3–6.
15. Предшественники, урожай и качество зерна озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии / Х.А. Малкандуев, А.Х. Малкандуева, Р.И. Шамурзаев и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2015. № 4. С. 122–128.
16. Sulek A., Podolska G. Planowanie i wartasc technologiczna ziarna pszenicy jarej odmiany Nawra w zalezności od dawki i terminy stosowania azotem // *Acta Sci. Pol. Agricultura*. 2008. No. 7 (1). P. 103–110.
17. Сычев В.Г., Алметов Н.С., Козырев А.С. Эффективность средств химизации на посевах яровой пшеницы в условиях Волго-Вятского региона. М.: ВНИИА, 2009. С. 121–123
18. Delchev G., Georgiev M., Petrova I. Influence of Some Mixtures between Stimulators and Antibroadleaved Herbicides on the Grain Yield and Grain Quality of Durum Wheat // *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences. Special Issue*. 2014. No. 1. P. 1123–1127.
19. Пахотина И.В., Колмаков Ю.В., Евдокимов М.Г. Эффективность систем оценки качества зерна твердой пшеницы // *Вестник Алтайского ГАУ*. 2015. № 8 (130). С. 14–18.
20. Действие минеральных удобрений на продуктивность новых сортов яровой пшеницы в условиях Прибайкалья / Ф.С. Султанов, А.А. Юдин, О.Б. Габдрахимов и др. // *Вестник ИрГСХА*. 2019. № 92. С. 81–88.
21. Джапаров Р.Ш., Баймуканов Е.Н., Тлепов А.С. Применение химических и биологических приемов в земледелии для повышения урожайности зерна яровой пшеницы в Предуралье республики Казахстан // *Известия Оренбургского ГАУ*. 2017. № 4 (66). С. 60–65.
22. Зыкин В.А., Колмаков Ю.В., Белан И.А. Роль отдаленной гибридизации в создании высококачественных сортов пшеницы // *Вестник Россельхозакадемии*. 2004. № 1. С. 47–49.
23. Особенности хозяйственно-ценных признаков линии сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущих пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL / И.А. Белан, Л.П. Россеева, Н.В. Трубочева и др. // *Вестник ВОГиС*. 2010. Т. 14. № 4. С. 632–640.
24. Дмитриев Н.Н. Влияние длительного внесения минеральных удобрений в стационарном севообороте на урожайность пшеницы и ячменя и динамику аммонийного азота // *Вестник ИрГСХА*. 2011. Вып. 46. С. 13–19.
25. Синтетическая пшеница как источник улучшения качества зерна в селекции пшеницы / И.Я. Потоцкая, В.П. Шаманин, С.С. Шепелев и др. // *Вестник Курской ГСХА*. 2019. № 2. С. 55–62.
26. Формирование урожайности и качества зерна яровой пшеницы под влиянием некорневых подкормок в условиях Саратовского Заволжья / И.С. Полетаев, А.П. Солодовников, Н.Н. Гусакова и др. // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 9. С. 18–24.

Поступила в редакцию 20.03.2021

После доработки 18.04.2021

Принята к публикации 11.05.2021