

СТРУКТУРА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ПРОТЕИНА ЗЕРНА СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ДЛЯ КОРМОВЫХ ЦЕЛЕЙ**В. И. Блохин, И. Ю. Никифорова, Ф. З. Кадырова, М. А. Ланочкина, Ю. В. Малафеева**

Реферат. Исследования проводили с целью сравнительной оценки пленчатых сортов ярового ячменя по показателям биологической ценности протеина. Работу выполняли в 2022–2024 годы в условиях Предкамья Республики Татарстан. Методология сочетала в себе применением статистических методов с ранжированием сортов по питательной ценности для кормопроизводства. Достоверно более высокое содержание сырого протеина в сухом веществе зерна, по отношению к среднему сортовому (15,14%), зафиксировано у сортов Раушан (16,28%) и Вакула (16,46%), низкое – у сорта Финист (13,28%). Наибольшая сумма незаменимых аминокислот, по сравнению со средней сортовой (32,53 г/100 г протеина) отмечено у сортов Финист (34,66 г), Лидар (34,62 г) и Эндан (35,57 г), а наименьшая – у Фортуну (30,72 г), Нура (29,24 г), Деспины (30,59 г) и Раушана (30,82 г). Достоверно более высоким содержанием лизина, по отношению к среднему сортовому (3,93 г/100 г протеина), отличались сорта Финист (4,40 г) и Эндан (4,29 г). Выявлены первая и вторая лимитирующие аминокислоты в протеине зерна сортов ярового ячменя – лизин и треонин, средние сортовые скоры которых составили соответственно 55,6 и 59,8%. В результате ранжирования по комплексу показателей биологической ценности протеина максимальной суммой рангов (92 балла) характеризовался сорт Финист. Установлена отрицательная, достоверная на 1%-ном уровне значимости, связь между содержанием сырого протеина в зерне и лизина в протеине ($r=-0,52$). Полученные данные имеют практическое значение для селекции на качество и в кормопроизводстве.

Ключевые слова: яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.), сорт, биологическая ценность, ранжирование, сырой протеин, незаменимые аминокислоты, свиньи.

Введение. Ячмень – основная зернофуражная культура в кормлении свиней. Его доля в составе комбикормов для свиноматок может достигать до 60%, для свиней на откорме – до 80% [1]. Обусловлено это относительно высокими показателями кормовой ценности зерна ячменя. Содержание сырого протеина в зерне ярового ячменя варьирует от 12,51 до 15,01% [2, 3, 4]. По содержанию сырого протеина зерно ячменя превосходит зерно кукурузы в среднем на 1,29...2,10% [5, 6]. В. М. Голушко с соавторами [7] выявили, что концентрация «идеального» протеина в ячмене составляет 25,84 г/кг, что на 3,59 и 9,36 г/кг больше, чем в пшенице и кукурузе.

Белки злаковых культур характеризуются недостаточным количеством незаменимых аминокислот, в первую очередь – лизина. По данным Л. М. Ерошенко с соавторами [8] и L. T. Ortiz, et al. [9] содержание лизина в протеине зерна сортов ярового ячменя варьировало от 3,30 до 3,74 г/100 г белка. По величине этого показателя ячмень превышает пшеницу на 10,8, тритикале на 5,0, и кукурузу на 46,2% соответственно [10]. Исследованиями M. Rani, et al. [11] установлено среднее сортовое содержание суммы незаменимых аминокислот у ячменя (32,49 г/100 г протеина). По сумме критических (лизин, треонин, метионин) и незаменимых (лизин, треонин, метионин, валин, фенилаланин, изолейцин, лейцин) аминокислот яровой ячмень превосходит яровую пшеницу соответственно на 8,9 и 12,4%, а яровое тритикале – на 28,9 и 38,7% [12].

Применение полнорационных комбикормов из зернофуража, где одним из основных компонентов выступает ячмень, при откорме свиней обеспечивает получение дополнительного прироста массы на 21,6%,

снижение затрат кормов на 1 ц прироста на 12,3% и увеличение прибыли в расчёте на 1 ц прироста [13]. Рационы на основе ячменя обеспечивают лучший прирост живой массы, при этом мясо и сало свиней отличаются более благоприятным профилем жирных кислот в отношении показателей, способствующих укреплению здоровья [14]. При сравнительной характеристике рационов на основе кукурузы, гороха, конских бобов и ячменя, было установлено, что группа свиней при откорме ячменем характеризовалась самым высоким суточным приростом массы тела [15]. Частичная замена кукурузы ячменем существенно регулировала микрофлору кишечника опытных свиней [16].

Цель исследований – сравнительная оценка пленчатых сортов ярового ячменя по показателям биологической ценности протеина.

Для ее достижения решали следующие задачи: скрининг сортов ярового ячменя по комплексу показателей биологической ценности протеина; провести ранжирование сортов ярового ячменя по показателям, лимитирующим биологическую ценность протеина зерна; выявить связь между содержанием лизина в протеине с содержанием сырого протеина в зерне.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2022–2024 году в отделе аналитических исследований и на опытных полях Татарского НИИСХ. Почва опытного участка серая лесная, среднесуглинистая, в пахотном слое (0...22 см) характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 3,52% (ГОСТ 26213-91), азота щёлочно-гидролизуемого – 7,9 мг/100 г (по А.Х. Корнфилду), подвижного фосфора – 25,7 мг/100 г, подвижного калия – 12,6 мг/100 г (по методу Кирсанова в модификации

ЦИНАО, ГОСТ 26207-91); гидролитическая кислотность – 4,5 ммоль/100 г (по методу Каппена в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26212-91); рН солевой вытяжки – 5,9 ед. Предшественником служила озимая рожь.

Использовали минеральные удобрения в дозе $N_{54}P_{52}K_{52}S_{20}$. Объект исследования – зерно 15 пленчатых сортов ярового ячменя, допущенных к возделыванию по Республике Татарстан (табл. 1).

Таблица 1 – Сорта ярового ячменя и учреждения-оригинаторы

Сорт	Учреждение-оригинатор
Раушан	ФГБНУ «ФИЦ Немчиновка»; ФГБНУ «ФИЦ Казанский НЦ РАН»; НПФ «Российские семена»
Лаишевский, Тимерхан, Эндан, Камашевский, Тевкеш	ФГБНУ «ФИЦ Казанский НЦ РАН»
Фандага, Деспина	NORDSAAT SAATZUCHT GMBH, Германия
Памяти Чепелева	Уральский ФАНИЦ УрО РАН
Нур	ФГБНУ «ФИЦ Немчиновка»
Финист	ФГБНУ «Самарский ФИЦ РАН»; ФГБНУ «ФНЦ лубяных культур»; ФГБОУ ВО «Самарская ГСХА»
Фортуна	ACKERMANN SAATZUCHT GMBH & CO. KG
Надежный	ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка»; ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
Лидар	ООО «Агрокомпания Л и З»
Вакула	ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»; «Селекционно-генетический институт-Национальный центр семеноведения и сортоизучения»; ООО АПК «Александровское»; ЗАО Агрофирма «Павловская Нива»

Количество сырого протеина в зерне определяли по ГОСТ 13496.4-2019 с использованием титриметрического метода по Кьельдалю (комплект лабораторного оборудования для определения азота и белка, полуавтомат Velp Scientifica, Италия). Содержание 10 незаменимых аминокислот измеряли с использованием спектроскопии в ближней инфракрасной области на приборе FOOS NIRS DS 2500, Дания. Валидация и градуировка соответствуют ГОСТ ISO 12099-2017.

При определении биологической ценности протеина ориентировались на показатели содержания незаменимых аминокислот в идеальном протеине для свиней, приведенные В.Г. Рядчиковым [17]. Рассчитывали семь показателей: аминокислотный скор (АС, %); индекс незаменимых аминокислот (ИНАК, доли ед.); обобщенный коэффициент утилитарности (U, доли ед.); коэффициент сопоставимой избыточности (G); коэффициент различия аминокислотных скоров (КРАС, %); биологическая ценность белка (БЦ, %); показатель Карпаци-Линдера-Варги (%). Их определяли по формулам, приведенным Н.Ф. Мазаловой [18].

Аминокислотный скор (АС, %) – один из методов определения качества протеина, путем сравнения аминокислоты в исследуемом продукте с «идеальным» протеином. Аминокислота, скор которой имеет самое низкое значение называется первой лимитирующей аминокислотой. Значение сора этой аминокислоты определяет биологическую ценность и степень усвоения протеина. Для «идеального» протеина (АС=100%).

Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК, доли единицы) учитывает количество всех незаменимых аминокислот. Для «идеального» протеина индекс незаменимых аминокислот (ИНАК=1).

Обобщенный коэффициент утилитарности аминокислотного состава протеина (U, доли ед.) численно характеризует степень сбалансированности незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме. Для «идеального» протеина обобщенный коэффициент утилитарности (U=1).

Коэффициент сопоставимой избыточности (G) отражает общее количество незаменимых аминокислот, которое не может быть утилизировано из-за взаимной несбалансированности состава по отношению к эталону. Для «идеального» протеина коэффициент сопоставимой избыточности (G=0).

Коэффициент различия аминокислотных скоров (КРАС, %) указывает на избыточное количество незаменимых аминокислот, не используемых на пластические нужды. По величине коэффициента различия аминокислотных скоров оценивают биологическую ценность протеина (БЦ=100-КРАС, %). Чем выше коэффициент различия аминокислотных скоров, тем ниже биологическая ценность белка. Для «идеального» протеина коэффициент различия аминокислотных скоров (КРАС=0%), а биологическая ценность (БЦ=100%).

Показатель Карпаци-Линдера-Варги различает протеин на «хороший» и «идеальный». Для «идеального» протеина он равен 100%.

Ранжирование сортов по комплексу показателей биологической ценности протеина проводили в порядке убывания. Максимальный ранг присваивали сорту с наиболее высоким показателем биологической ценности. То есть лучший сорт характеризовался максимальной суммой баллов.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы «Agros», версия 2006.

Результаты и обсуждение. Генеральная средняя содержания протеина в зерне сортов ярового ячменя с вероятностью 95% располагалась в интервале 14,66...15,62% на сухое вещество (табл. 2). Достоверно самое высокое в опыте содержание протеина, по отношению к среднему сортовому (15,14% на сухое вещество) зафиксировано у сортов Раушан (16,28%) и Вакула (16,46%), достоверно самое низкое – у Финиста (13,28%).

С вероятностью 95% генеральная средняя суммы аминокислот в протеине зерна сортов ярового ячменя располагалась в интервале 31,52...33,54 г/100 протеина. Достоверно более высокие суммы аминокислот, по отношению к средней сортовой (32,53 г/100 г протеина), зафиксированы у сортов Финист (34,66 г), Лидар (34,62 г) и Эндан (35,57 г), достоверно самые низкие – у Фортуны (30,72 г), Нура (29,24 г), Деспины (30,59 г) и Раушана (30,82 г).

С вероятностью 95% генеральная средняя содержания лизина в протеине зерна сортов ярового ячменя располагалась в интервале 3,81...4,06 г/100 г протеина. Достоверно более высокие величины этого показателя, по отношению к среднему сортовому (3,93 г), отмечено у сортов Финист (4,40 г) и Эндан (4,29 г), достоверно самые низкие – у Нура (3,55 г) и Раушана (3,65 г).

Таблица 2 – Содержание сырого протеина, лизина и суммы незаменимых аминокислот в зерне сортов ярового ячменя (2022–2024 годы)

Сорт	Содержание, г/100 г протеина		СП, % на СВ*
	Lys	сумма НАК**	
Идеальный протеин	7,1	40,1	
Финист	4,40	34,66	13,28
Фортуна	3,87	30,72	14,69
Нур	3,55	29,24	15,25
Тимерхан	4,02	33,95	15,41
Надежный	4,06	33,06	14,69
Лидар	3,98	34,62	14,42
Памяти Чепелева	3,86	32,80	15,75
Деспина	3,77	30,59	15,94
Лаишевский	3,91	32,44	15,41
Камашевский	4,04	32,70	15,75
Раушан	3,65	30,82	16,28
Вакула	3,82	32,18	16,46
Эндан	4,29	35,57	14,35
Тевкеч	4,05	33,82	15,22
Фандага	3,74	30,78	14,19
X ± Sx	3,93 ± 0,06	32,53 ± 0,47	15,14 ± 0,22
95% доверительный интервал	3,81...4,06	31,52...33,54	14,66...15,62
F-критерий Фишера	6,89	11,57	9,68
HCP ₀₅	0,26	1,61	0,84

*СП – сырой протеин; СВ – сухое вещество

** – сумма незаменимых аминокислот (НАК)

Следует отметить относительно высокое среднее сортовое содержание в протеине аргинина (4,55 г/100 г протеина), в сравнении с эталонным показателем (2,8 г/100 г протеина).

Девять из десяти незаменимых аминокислот выступают лимитирующими (скор<100%). По данным М. О. Омарова с соавторами [19], первой и второй лимитирующими аминокислотами в протеине зерна ярового ячменя

служат лизин и треонин. В наших исследованиях установлена аналогичная картина, их средние сортовые скоры составляли соответственно 55,6 и 59,8% соответственно, третьей лимитирующей аминокислотой в протеине зерна был гистидин (63,9%), четвертой – изолейцин (72,1%), пятой – триптофан (84,1%), шестой – лейцин (85,3%), седьмой – метионин (86,5%), восьмой – валин (87,1%), девятой – фенилаланин (95,0%).

Таблица 3 – Скоры незаменимых аминокислот в белке зерна сортов ячменя относительно идеального протеина (среднее за 2022–2024 годы), %

Сорт	Lys	Thr	His	Ile	Trp	Leu	Met	Val	Phe	Arg
Идеальный протеин	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Финист	62,0	63,0	69,7	73,0	81,1	90,5	92,9	92,0	102,1	174,8
Фортуна	54,5	58,7	64,5	66,4	73,0	79,7	82,5	82,9	90,6	152,4
Нур	49,9	53,9	56,3	62,6	70,6	77,9	81,9	77,6	83,4	148,2
Тимерхан	56,6	63,0	65,4	74,4	81,0	87,7	92,7	90,9	89,6	178,4
Надежный	57,1	61,1	64,8	73,0	78,7	85,9	90,5	89,8	95,5	164,4
Лидар	56,0	63,0	65,9	77,1	94,4	90,1	88,9	95,3	103,9	175,3
Памяти Чепелева	54,4	59,1	61,8	72,9	81,7	87,5	91,9	88,1	95,9	163,9
Деспина	53,1	57,1	64,4	69,2	85,4	78,3	79,1	79,9	89,0	150,4
Лаишевский	55,1	59,3	61,2	72,4	91,4	87,1	82,6	85,3	95,8	159,0
Камашевский	56,9	58,4	61,9	72,9	85,6	88,4	82,7	86,1	95,7	162,4
Раушан	51,4	55,8	61,4	69,9	88,3	79,2	82,9	80,8	91,2	155,2
Вакула	53,8	58,6	65,1	72,8	87,5	84,6	84,9	85,9	94,8	157,5
Эндан	60,4	66,1	68,2	79,8	86,5	94,8	86,4	93,2	104,9	183,9
Тевкеч	58,6	61,9	65,2	79,2	92,1	91,4	97,3	93,1	102,2	168,3
Фандага	52,6	58,3	60,1	66,2	84,1	79,3	80,5	85,7	90,1	149,8
X ± Sx	55,6 ± 0,8	59,8 ± 0,8	63,9 ± 0,9	72,1 ± 1,2	84,1 ± 1,7	85,3 ± 1,5	86,5 ± 1,4	87,1 ± 1,4	95,0 ± 1,6	162,9 ± 2,9
№№ лимитирующей аминокислоты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-

Аналогично абсолютным значениям содержания в белке следует отметить высокий средний сортовой скор аргинина (162,9%), в сравнении с другими незаменимыми

аминокислотами. Это согласуется с данными Н. С.-А. Ниязова [1], согласно которым скор аргинина в протеине зерна ярового ячменя достигал 167,5%.

Таблица 4 – Ранжирование сортов ярового ячменя по показателям биологической ценности протеина* (среднее за 2022–2024 годы)

Сорт	скор Lys, %	ИНАК, доли. ед.	U, доли. ед.	G	КРАС, %	БЦ, %	Показатель Карпаци-Линдера-Варги, %	Сумма рангов, балл
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Идеальный протеин	100	1	1	0	0	100	100	
Финист	<u>62,0</u> 15	<u>0,52</u> 14	<u>0,70</u> 14	<u>16,46</u> 14	<u>28,77</u> 10	<u>71,23</u> 10	<u>80,73</u> 15	92
Фортуна	<u>54,5</u> 7	<u>0,27</u> 2	<u>0,71</u> 15	<u>16,27</u> 15	<u>25,73</u> 15	<u>74,27</u> 15	<u>77,54</u> 7	76
Надежный	<u>57,1</u> 12	<u>0,39</u> 10	<u>0,69</u> 11	<u>17,77</u> 11	<u>28,97</u> 9	<u>71,03</u> 9	<u>78,83</u> 13	75
Камашевский	<u>56,9</u> 11	<u>0,35</u> 7	<u>0,69</u> 12	<u>17,57</u> 12	<u>28,33</u> 11	<u>71,67</u> 11	<u>78,65</u> 11	75
Деспина	<u>53,1</u> 4	<u>0,31</u> 5	<u>0,69</u> 13	<u>17,44</u> 13	<u>27,47</u> 13	<u>72,53</u> 13	<u>76,87</u> 4	65
Эндан	<u>60,4</u> 14	<u>0,53</u> 15	<u>0,67</u> 7	<u>19,04</u> 8	<u>32,03</u> 2	<u>67,97</u> 2	<u>80,45</u> 14	62
Нур	<u>49,9</u> 1	<u>0,20</u> 1	<u>0,68</u> 9	<u>18,53</u> 10	<u>26,27</u> 14	<u>73,73</u> 14	<u>75,31</u> 1	50
Тимерхан	<u>56,6</u> 10	<u>0,43</u> 11	<u>0,66</u> 3	<u>19,90</u> 5	<u>31,36</u> 5	<u>68,64</u> 5	<u>78,58</u> 10	49
Лаишевский	<u>55,1</u> 8	<u>0,36</u> 9	<u>0,68</u> 8	<u>18,79</u> 9	<u>29,83</u> 8	<u>70,17</u> 8	<u>77,84</u> 8	58
Тевкеч	<u>58,6</u> 13	<u>0,45</u> 12	<u>0,67</u> 6	<u>19,31</u> 7	<u>31,78</u> 3	<u>68,22</u> 3	<u>78,76</u> 12	56
Фандага	<u>52,6</u> 3	<u>0,30</u> 4	<u>0,68</u> 10	<u>24,12</u> 1	<u>28,01</u> 12	<u>71,99</u> 12	<u>76,62</u> 3	45

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вакула	$\frac{53,8}{5}$	$\frac{0,35}{6}$	$\frac{0,67}{5}$	$\frac{19,68}{6}$	$\frac{30,73}{6}$	$\frac{69,27}{6}$	$\frac{77,21}{5}$	39
Лидар	$\frac{56,0}{9}$	$\frac{0,50}{13}$	$\frac{0,64}{1}$	$\frac{21,69}{2}$	$\frac{34,96}{1}$	$\frac{65,04}{1}$	$\frac{78,29}{9}$	36
Памяти Чепелева	$\frac{54,4}{6}$	$\frac{0,36}{8}$	$\frac{0,66}{12}$	$\frac{20,65}{3}$	$\frac{31,54}{4}$	$\frac{68,46}{4}$	$\frac{77,37}{6}$	33
Раушан	$\frac{51,4}{2}$	$\frac{0,29}{3}$	$\frac{0,66}{4}$	$\frac{19,91}{4}$	$\frac{30,22}{7}$	$\frac{69,78}{7}$	$\frac{76,00}{2}$	29
X ± Sx	55,6 ± 0,8	0,37 ± 0,03	0,68 ± 0,01	19,14 ± 0,53	29,73 ± 0,63	70,27 ± 0,36	77,94 ± 0,39	
95% довери- тельный интер- вал	53,6- 57,2	0,32- 0,43	0,67- 0,69	18,01- 20,28	28,38- 31,09	68,91- 71,62	77,11- 78,76	
F-критерий Фишера	15,81	5,61	9,84	16,76	9,07	9,07	4,47	
НСР ₀₅	2,5	0,12	0,02	1,50	2,4	2,4	2,13	

* – В числителе абсолютные значения показателей, в знаменателе – ранг сорта

С вероятностью 95% генеральная средняя ярового лизина в протеине зерна сортов ярового ячменя располагалась в интервале 53,6...57,2%. Достоверно более высокие величины этого показателя, по отношению к средней сортовой (55,6%), зафиксированы у сортов Финист (62,0%), Эндан (60,4%) и Тевкеч (58,6%).

Генеральная средняя индекса незаменимых аминокислот (ИНАК) протеина зерна изученных сортов с вероятностью 95% находилась в интервале 0,32...0,43 доли ед. Достоверно более высоким, по отношению к среднему сортовому (0,37 доли ед.), он был у сортов Финист (0,50), Лидар (0,50) и Эндан (0,53).

С вероятностью 95% генеральная средняя обобщенного коэффициента утилитарности аминокислотного состава протеина (U, доли ед.) зерна сортов ярового ячменя располагалась в интервале 0,671...0,691. Достоверно более высокими величинами этого показателя, по отношению к средней сортовой (0,682 доли ед.), отличались сорта Финист (0,709) и Фортуна (0,711).

Генеральная средняя коэффициента сопоставимой избыточности аминокислотного состава протеина (G) зерна с вероятностью 95% располагалась в интервале 18,01...20,28. Достоверно более низким по отношению к среднему сортовому (19,14) он был у сортов Финист (16,46), Фортуна (16,27), Деспина (17,44) и Камашевский (17,57).

С вероятностью 95% генеральная средняя коэффициента различия аминокислотных скоров (КРАС, %) располагалась в интервале 28,37...31,09%. Достоверно более низкие величины этого показателя, по отношению к средней сортовой (29,73%), отмечены у сортов Фортуна (25,73%) и Нур (26,27%), что свидетельствует о повышенной биологической ценности их протеина (БЦ, %). Достоверно более

высокой биологической ценностью протеина зерна по отношению к средней сортовой (70,26%) отличались сорта Фортуна (74,27%) и Нур (73,73%).

Генеральная средняя показателя Карпаци-Линдера-Варги с вероятностью 95% располагалась в интервале 77,11...78,76. Достоверно более высокие его величины, по отношению к средней сортовой (77,94%), зафиксированы у сортов Финист (80,73%) и Эндан (80,45%).

Максимальной в опыте суммой рангов (92 балла) характеризовался у сорта Финист, минимальной (29 баллов) – сорт Раушан.

Установлена отрицательная связь между содержанием протеина в зерне и содержанием лизина в протеине зерна сортов ярового ячменя ($r = -0,53$; $t_{\text{факт.}} = 3,17 > t_{\text{теор.}} = 2,02$). То есть, сорта с более высоким содержанием протеина в зерне, отличались меньшими значениями содержания лизина в протеине. Аналогичные данные приведены в исследованиях Biel W., Jasuno E. [20] и Jarro Valaja, et al. [21].

Выводы. Установлена значительная межсортная вариабельность зерна ярового ячменя по показателям биологической ценности протеина. По содержанию сырого протеина в зерне достоверно превзошли средний уровень по опыту сорта Раушан и Вакула, уступив при этом большинству сортов по качественному составу протеина. Наибольшая в опыте сумма незаменимых аминокислот, в том числе лимитирующих сбалансированность протеина по лизину и треонину, отмечена у сортов Финист и Эндан.

Достоверно более высокие скоры лизина, по отношению к среднему сортовому значению (55,6%), зафиксированы у сортов Финист (62,0%), Эндан (60,4%) и Тевкеч (58,6%).

По комплексу показателей биологической ценности протеина максимальным в

исследовании значением суммы рангов (92 балла) характеризовался сорт Финист, что свидетельствует о высокой биологической ценности протеина его зерна.

У изученных сортов ярового ячменя выявлена отрицательная связь между содержанием протеина в зерне и лизина ($r=-0,53$).

Сведения о финансировании. Работа выполнена по государственному заданию

«Совершенствование комплексных отечественных технологий селекции, растениеводства и животноводства на основе идентификации высокоценных генотипов, молекулярно-генетических методов, биотехнологий, конструирования адаптивных и высокопродуктивных агробиоценозов и агроэкосистем для производства экологически безопасной и функциональной продукции» ЕГИСУ НИОКР 125031003428-9.

Литература

1. Ниязов Н. С.-А. Истинная переваримость аминокислот ячменя // Животноводство России. 2022. № 5. С. 23–24. doi: 10.25701/ZZR.2022.05.05.012.
2. Питательная ценность зерна сортообразцов ярового ячменя селекции Татарского НИИСХ / В. И. Блохин, И. Ю. Никифорова, И. С. Ганиева и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 4 (64). С. 5–9. doi: 10.12737/2073-0462-2022-5-9.
3. Левакова О. В., Ерошенко Л. М. Высокобелковые сорта и перспективные линии ярового ячменя // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 6. С. 23–25. doi: 10.30850/vrsn/2019/6/23-25.
4. Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири / В. И. Полонский, Н. А. Сурин, С. А. Герасимов и др. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 1. С. 48–58. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58.
5. Определение аминокислотного профиля кормов, используемых на МРТ Краснодарского края / В. Г. Рядчиков, В. Х. Вороков, О. Г. Шляхова и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 163. С. 192–212.
6. Протеиновая и аминокислотная питательность кормов для свиней / В. М. Голушко, А. В. Голушко, В. Н. Пилюк и др. // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2016. № 3. С. 81–88.
7. Основные виды корма для свиней / В. М. Голушко, А. В. Голушко, В. А. Рошин и др. // Животноводство России. 2017. № 11. С. 23–25.
8. Оценка качественных показателей зерна сортов и линий ярового ячменя / Л. М. Ерошенко, М. М. Романов, А. Н. Ерошенко и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 2. С. 126–133. doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.126-133.
9. Changes in the nutrient composition of barley grain (*Hordeum vulgare* L.) and of morphological fractions of sprouts / L. T. Ortiz, S. Velasco, J. Trevino, et al. // Scientifica. 2021. 7 p. URL: <https://europepmc.org/backend/ptpmrender.fcgi?accid=PMC8321752&blobtype=pdf>. (дата обращения: 15.07.24). doi: 10.1155/2021/9968864.
10. Ниязов Н. С.-А. Кажущаяся и истинная илеальная доступность аминокислот зерна злаковых кормов у растущих свиней // Проблемы биологии продуктивных животных. 2021. № 1. С. 101–111. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.1.101-111.
11. Comparative quality evaluation of physicochemical, technological, and protein profiling of wheat, rye, and barley cereals / M. Rani, G. Singh, R. A. Siddiqi, et al. // Frontiers in Nutrition. 2021. Vol. 8. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2021.694679/full> (дата обращения: 15.07.24). doi: 10.3389/fnut.2021.694679.
12. Маркевич Д. В., Путятин Ю. В., Таврыкина О. М. Сравнительный анализ состава незаменимых аминокислот в основной продукции зерновых культур // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 1 (50). С. 178–188.
13. Попков Н. А., Голушко В. М., Козинец А. И. К стратегии развития комбикормовой отрасли Беларуси // Зоотехническая наука Беларуси. 2020. Т. 55. № 1. С. 3–16.
14. Barley, Triticale, of Rye? The type of grain can affect the growth performance and meat quality of sustainable raised pigs / E. R. Grela, E. Kowalczyk-Vasilev, M. Świątkiewicz, et al. // Animals (Basel). 2023. Vol. 13. No. 8. 15 p. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/8/1331> (дата обращения: 15.07.24). doi: 10.3390/ani13081331.
15. Different carbohydrate sources affect swine performance and post-prandial glycemic response / P. Lombardi, N. Musco, S. Calabrò, et al. // Italian Journal of Animal Science. 2020. Vol. 19. No. 1. P. 421–430. doi: 10.1080/1828051x.2020.1749899.
16. Ma X., Li Z., Zhang Yu. Effects of the partial substitution of corn with wheat or barley on the growth performance, blood antioxidant capacity, intestinal health and fecal microbial composition of growing pigs // Antioxidants (Basel). 2022. Vol. 11. No. 8. 13 p. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/8/1614> (дата обращения: 15.07.24). doi: 10.3390/antiox11081614.
17. Рядчиков В. Г. Нормы потребности свиней мясных пород и кроссов в энергии и переваримых аминокислотах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2007. № 34. С. 188–216.
18. Мазалова Н. Ф. Пищевая химия, практикум. Керчь. 2020. С. 19–20
19. Омаров М. О., Слесарёва О. А., Османова С. О. Определение доступности аминокислот зерна злаков для всасывания в кишечнике у молодняка свиней // Проблемы биологии продуктивных животных. 2016. № 3. С. 82–90.
20. Biel W., Jacyno E. Chemical composition and nutritive value of spring hulled barley varieties // Bulgarian journal of agricultural science. 2013. Vol. 19. No. 4. P. 721–727.
21. Valaja J., Suomi K., Alaviuhkola T. Effects of variety, soil type and nitrogen fertilizer supply on the nutritive value of barley for growing pigs // Agricultural and Food Science. 1997. Vol. 6. No. 4. P. 295–303. doi: 10.23986/afsci.72792. (дата обращения: 15.07.24)

Сведения об авторах:

Блохин Василий Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, e-mail: bvikazan@bk.ru

Никифорова Ирина Юрьевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, e-mail: irina220169@mail.ru

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия.

Кадырова Фануся Загитовна – доктор сельскохозяйственных наук, чл.-корр. АН РТ, профессор кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: fanusa51@rambler.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

Ланочкина Марина Александровна – научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, e-mail: lmar2701@mail.ru

Малафеева Юлия Викторовна – научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, e-mail: malxp@mail.ru

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия.

PROTEIN STRUCTURE AND BIOLOGICAL VALUE OF SPRING BARLEY GRAINS FOR FEED PURPOSES

V. I. Blokhin, I. Yu. Nikiforova, F. Z. Kadyrova, M. A. Lanochkina, Yu. V. Malafeeva

Abstract. The study was conducted to comparatively evaluate hulled spring barley varieties for protein biological value. The work was carried out from 2022 to 2024 in Kama region of the Republic of Tatarstan. Methodology combined statistical methods with ranking of varieties based on their nutritional value for feed production. Significantly high values of crude protein content in the dry matter of grain relative to the average varietal value of 15.14% were recorded in Raushan (16.28%) and Vakula (16.46%) varieties, a low one was in Finist variety (13.28%). The highest amount of essential amino acids, in comparison with the varietal average (32.53 g/100 g protein), was noted in Finist (34.66 g), Lidar (34.62 g) and Endan (35.57 g) varieties, and the lowest - in Fortuna (30.72 g), Nur (29.24 g), Despina (30.59 g) and Raushan (30.82 g). Finist (4.40 g) and Endan (4.29 g) varieties had significantly higher lysine content than the varietal average (3.93 g/100 g protein). The first and second limiting amino acids in the grain protein of spring barley varieties – lysine and threonine – were identified, with average varietal scores of 55.6 and 59.8%, respectively. As a result of ranking based on a set of protein biological value indicators revealed that Finist variety had the highest rank sum (92 points). A negative relationship was established between the content of crude protein in grain and the content of lysine in protein ($r = -0.52$), which was reliable at the 1% significance level. Data obtained have practical implications for quality breeding and forage production.

Key words: spring barley (*Hordeum vulgare* L.), variety, biological value, ranking, crude protein, essential amino acids, pigs.

Reference

1. Niyazov NSA. [True digestibility of barley amino acids] Zhivotnovodstvo Rossii. 2022; 5. 23–24 p. doi: 10.25701/ZZR.2022.05.05.012.
2. Blokhin VI, Nikiforova IYu, Ganieva IS. [Nutritional value of spring barley grain samples bred by Tatar Research Institute of Agriculture]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 4 (64). 5–9 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-5-9.
3. Levakova OV, Eroshenko LM. [High-protein varieties and promising lines of spring barley]. Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki. 2019; 6. 23–25 p. doi: 10.30850/vrsn/2019/6/23-25.
4. Polonskiy VI, Surin NA, Gerasimov SA. [Evaluation of barley samples for the content of β -glucans in grain and other valuable traits in Eastern Siberia]. Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2021; Vol.182. 1. 48–58 p. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58.
5. Ryadchikov VG, Vorokov VKh, Shlyakhova OG. [Determination of amino acid profile of feed used at MRT of Krasnodar Krai]. Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; 163. 192–212 p.
6. Golushko VM, Golushko AV, Pilyuk VN. [Protein and amino acid nutritional value of pig feed]. Vestsi natsyynalnai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk. 2016; 3. 81–88 p.
7. Golushko VM, Golushko AV, Roshchin VA. [Main types of feed for pigs]. Zhivotnovodstvo Rossii. 2017; 11. 23–25 p.
8. Eroshenko LM, Romakhin MM, Eroshenko AN. [Evaluation of quality indicators of grain of spring barley varieties and lines]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2019; Vol.20. 2. 126–133 p. doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.126-133.
9. Ortiz LT, Velasco S, Trevino J. Changes in the nutrient composition of barley grain (*Hordeum vulgare* L.) and of morphological fractions of sprouts. [Internet]. Scientifica. 2021; 7 p. [cited 2024, July 15]. Available from: <https://europepmc.org/backend/ptpmrender.fcgi?accid=PMC8321752&blobtype=pdf>. doi: 10.1155/2021/9968864.
10. Niyazov NSA. [Apparent and true ileal availability of amino acids in cereal feed grains in growing pigs]. Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh. 2021; 1. 101–111 p. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.1.101-111.
11. Rani M, Singh G, Siddiqi RA. Comparative quality evaluation of physicochemical, technological, and protein profiling of wheat, rye, and barley cereals. [Internet]. Frontiers in Nutrition. 2021; Vol.8. [cited 2024, July 15]. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2021.694679/full>. doi: 10.3389/fnut.2021.694679.
12. Markevich DV, Putyatin YuV, Tavrykina OM. [Comparative analysis of the composition of essential amino acids in the main products of grain crops]. Pochvovedenie i agrokimiya. 2013; 1 (50). 178–188 p.
13. Popkov NA, Golushko VM, Kozinets AI. [To a strategy of compound feed industry development in Belarus]. Zootekhnicheskaya nauka Belarusi. 2020; Vol.55. 1. 3–16 p.
14. Grela ER, Kowalczyk-Vasilev E, Swiatkiewicz M. Barley, Triticale of Rye? The type of grain can affect the growth performance and meat quality of sustainable raised pigs. [Internet]. Animals (Basel). 2023; Vol.13. No.8. 15 p. [cited 2024, July 15]. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/13/8/1331>. doi: 10.3390/ani13081331.
15. Lombardi P, Musco N, Calabro S. Different carbohydrate sources affect swine performance and post-prandial glycemic response. Italian Journal of Animal Science. 2020; Vol.19. No.1. 421–430 p. doi: 10.1080/1828051x.2020.1749899.

16. Ma X, Li Z, Zhang Yu. Effects of the partial substitution of corn with wheat or barley on the growth performance, blood antioxidant capacity, intestinal health and fecal microbial composition of growing pigs. [Internet]. Antioxidants (Basel). 2022; Vol.11. No.8. 13 p. [cited 2024, July 15]. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/8/1614>. doi: 10.3390/antiox11081614.
17. Ryadchikov VG. [Standards of requirements of meat breeds and crosses of pigs for energy and digestible amino acids]. Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2007; 34. 188-216 p.
18. Mazalova NF. Pishchevaya khimiya, praktikum. [Food chemistry, practical course]. Kerch. 2020; 19-20 p.
19. Omarov MO, Slesareva OA, Osmanova SO. [Determination of the availability of amino acids of cereal grain for intestinal absorption of young pigs]. Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh. 2016; 3. 82-90 p.
20. Biel W, Jacyno E. Chemical composition and nutritive value of spring hulled barley varieties. Bulgarian journal of agricultural science. 2013; Vol.19. No.4. 721-727 p.
21. Valaja J, Suomi K, Alaviuhkola T. Effects of variety, soil type and nitrogen fertilizer supply on the nutritive value of barley for growing pigs. [Internet]. Agricultural and Food Science. 1997; Vol.6. No.4. 295-303 p. [cited 2024, July 15]. Available from doi: 10.23986/afsci.72792.

Authors:

Blokhin Vasilii Ivanovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, leading researcher of Spring Barley Breeding Laboratory, e-mail: bvikazan@bk.ru
 Nikiforova Irina Yurevna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Spring Barley Breeding Laboratory, e-mail: irina220169@mail.ru
 Tatar Research Institute of Agriculture – a separate structural subdivision of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia.
 Kadyrova Fanusya Zagitovna – Doctor of Agricultural Sciences, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Professor of General Farming, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: fanusa51@rambler.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.
 Lanochkina Marina Aleksandrovna – researcher of Spring Barley Breeding Laboratory, e-mail: lmara2701@mail.ru
 Malafeeva Yuliya Viktorovna – researcher of Spring Barley Breeding Laboratory, e-mail: malxp@mail.ru
 Tatar Research Institute of Agriculture – a separate structural subdivision of Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia.