

Подбор мультиэнзимного комплекса для снижения содержания антипитательных веществ в зеленой массе амаранта





Светлана В. Образцова	¹	sveta5501pavlenkova@ya.ru	 0000-0001-9539-0168
Ольга В. Бондарева	¹	bond.vrn15@ya.ru	
Татьяна В. Свиридова	¹	sviridovatv@ya.ru	 0000-0001-9529-5005
Галина П. Шуваева	¹	gpshuv@mail.ru	 0000-0002-4294-8209
Ольга Л. Мещерякова	¹	gawshina@mail.ru	 0000-0002-7832-8220
Ольга С. Корнеева	¹	korneeva-olga@ya.ru	 0000-0002-2863-0771

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В последние годы остро стоит вопрос усовершенствования кормовой базы птицеводства с целью повышения продуктивности и устойчивости к бактериальным инфекциям. Одной из перспективных кормовых культур является амарант, имеющий уникальный химический состав богатый питательными веществами, в особенности белком. Однако наряду с этим расходятся мнения о содержании антипитательных веществ в его составе. Цель работы – определение содержания антипитательных веществ, а также подбор мультиэнзимного комплекса для их снижения. Объектом изучения являлась зеленая масса амаранта сорта Гигант (урожай 2022 г.). В работе применяли общепринятые методы исследования химического состава и содержания антипитательных веществ. Подбор ферментативного комплекса осуществляли путем проведения биоконверсии зеленой массы амаранта. Проведение биоконверсии зеленой массы амаранта ферментативным комплексом КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой в количестве 0,5 мг/г сырья, при pH 6,5 и температуре 40 °C в течение 3 ч способствовало снижению фитиновой кислоты и ее солей на 90%.

Ключевые слова: антипитательные вещества, фитиновая кислота, танины, нитраты, нитриты, щавелевая кислота, сапонины, мультиэнзимный комплекс.

Selection of a multienzyme complex to reduce the content of anti-nutrients in the green mass of amaranth

Svetlana V. Obraztsova	¹	sveta5501pavlenkova@ya.ru	 0000-0001-9539-0168
Olga V. Bondareva	¹	bond.vrn15@ya.ru	
Tatiana V. Sviridova	¹	sviridovatv@ya.ru	 0000-0001-9529-5005
Galina P. Shuvaeva	¹	gpshuv@mail.ru	 0000-0002-4294-8209
Olga L. Meshcheryakova	¹	gawshina@mail.ru	 0000-0002-7832-8220
Olga S. Korneeva	¹	korneeva-olga@ya.ru	 0000-0002-2863-0771

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. In recent years, the issue of improving the poultry feed base in order to increase productivity and resistance to bacterial infections has been acute. One of the promising fodder crops is amaranth, which has a unique chemical composition rich in nutrients, especially protein. However, along with this, opinions differ about the content of anti-nutritional substances in its composition. The purpose of the work is to determine the content of anti-nutritional substances, as well as the selection of a multi-enzyme complex to reduce them. The object of study was the green mass of amaranth of the Giant variety (harvest 2022). Generally accepted methods of studying the chemical composition and content of anti-nutrients were used in the work. The selection of the enzymatic complex was carried out by bioconversion of the green mass of amaranth. The bioconversion of the green mass of amaranth with the KEMZAYM® plus P dry enzymatic complex contributed to a decrease in phytic acid and its salts by 35.3%.

Keywords: anti-nutrients, phytic acid, tannins, nitrates, nitrites, oxalic acid, saponins, multienzyme complex.

Введение

В последние годы остро стоит вопрос усовершенствования кормовой базы птицеводства с целью повышения продуктивности и устойчивости к бактериальным инфекциям [1,11,19,20]. Одной из перспективных кормовых культур является амарант, имеющий уникальный химический состав [16]. В зеленой массе амаранта

в пересчете на абсолютно сухой вес содержится, %: сырого протеина 15,6–16,75 (в листьях до 30), жира – 2,4–2,8, клетчатки – 16,0–21,7, кальция 2,1–2,6, фосфора 0,2–0,21, каротина 160–200 мг [2, 3, 14]. Включение амаранта в состав рационов птицы оказывает положительное влияние на продуктивность, сохранность и физиологическое состояние. Выштакалюк А.С., Хируг С.С. установили, что употребление

Для цитирования

Образцова С.В., Бондарева О.В., Свиридова Т.В., Шуваева Г.П., Мещерякова О.Л., Корнеева О.С. Подбор мультиэнзимного комплекса для снижения содержания антипитательных веществ в зеленой массе амаранта // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 3. С. 106–112. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-106-112

For citation

Obraztsova S.V., Bondareva O.V., Sviridova T.V., Shuvaeva G.P., Meshcheryakova O.L., Korneeva O.C. Selection of a multienzyme complex to reduce the content of anti-nutrients in the green mass of amaranth. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 3. pp. 106–112. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-106-112

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

фитомассы амаранта в чистом виде вызывает некоторое ухудшение состояния птиц [4, 5]. Это может быть вызвано превышением уровня клетчатки, избыточным содержанием некоторых аминокислот в составе рациона или присутствием антипитательных веществ в составе растения. Однако, на сегодняшний день информация о содержании антипитательных веществ в зеленой массе амаранта противоречива. Известны различные способы деструкции антипитательных веществ: процессы мацерации, водно-и водно-спиртовой обработки, в том числе бланширования, экстракции углеводородами, или введения наполнителей, нейтрализующих их негативное действие [6]. Однако одним из приоритетных направлений в производстве кормовых добавок является биоконверсия растительного сырья с помощью ферментативного гидролиза.

Цель работы – подбор мультиэнзимного комплекса для получения высокобелковой кормовой добавки из зеленой массы амаранта с максимально сниженным содержанием антипитательных веществ.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась зеленая масса амаранта сорта «Гигант» (*Amaranthus hypochondriacus*), урожай 2022 г.

Химический состав зеленой массы амаранта определяли: содержание первоначальной влаги методом высушивания, ГОСТ 1396.3–92; сырой золы, ГОСТ 26226–95; сырого протеина методом Кьельдаля, ГОСТ 13496.15–94; сырого жира экстрагированием бензином по Сокслету, ГОСТ 13496.95; сырой клетчатки по Геннебергу и Штоману (модификация), ГОСТ 1396.2–91, безазотистые экстрактивные вещества – расчётным методом.

Подготовку проб для определения антипитательных веществ проводили путем приготовления вытяжек используя зелёную часть амаранта. Надземную часть амаранта предварительно измельчали до размеров 2–3 мм. Взвешивали 50 г. образца, тщательно перетирали в ступке с кварцевым песком, количественно переносили

в колбу на 500 см³, заливали 450 см³ дистиллированной воды и настаивали в течение 24 ч при температуре 25 °С. Полученную смесь фильтровали и использовали для определения содержания антипитательных веществ: количество нитратов в соответствии с ГОСТ 13496.19–2015, щавелевой кислоты – МУ 1808–77, танинов – ГОСТ 19885–74. Содержание фитатов контролировали согласно методике, описанной в Патенте РФ 2018102663, ингибиторы трипсина – ГОСТ 33427–2015, сапонины – согласно методике, описанной в Патенте РФ 2413951, нитраты и нитраты – ГОСТ 13496.19–2015.

Для ферментативного гидролиза были использованы коммерчески доступные препараты, обладающие фитазной активностью:

1. ФИДБЕСТ® - Р (Ф-1) - монофосфатазный препарат, с фитазной активностью 10000 ед/г. Сохраняет активность в течение 4 часов активность в диапазоне pH 3,0-7,0.

2. ФИДБЕСТ® - WP 20000 (МЭП-1) - ферментный комплекс, имеющий ксиланазную активность не менее 20000 ед/г, β-глюканазную - не менее 7000 ед/г, фитазную - не менее 10000 ед/г. Производитель компания «Сиббиофарм».

3. «Санфайз 10 000 L фитаза» (Ф-2) - монофосфатазный препарат, с фитазной активностью не менее 10 000 ФЕ/г. Производитель компания «Wuhan Sunhy Biology».

4. Агрофит 5000 (Ф-3) – монофосфатазный препарат, фитазная активность не менее 5000 ед/г. Производитель компания «Агрофермент».

5. КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой (МЭП-2) – мультиэнзимный препарат, проявляет ксиланазную, бета-глюканазную, целлюлазную активности, амилазную, протеазную и фитазную активности. Производитель компания «KEMIN».

Результаты и обсуждение

В ходе исследований установлено (таблица 1), что зеленая масса амаранта богата питательными веществами, отличается высоким содержанием сырого протеина 14,89%, сырой клетчатки 23,10%.

Таблица 1.

Химический состав зеленой массы амаранта

Table 1.

Chemical composition of the green mass of amaranth

Показатель Indicator	Содержание, % Content, %	Показатель Indicator	Содержание, % Content, %
Гигровлага Hygro moisture	4,80	Сырая зола Crude ash	11,15
Общий азот Total nitrogen	2,39	Кальций, мг Calcium, mg	1660,00
Сырой протеин Crude protein	14,89	Фосфор, мг Phosphorus, mg	450,00
Сырой жир Crude fat	4,33	Рибофлавин, мг Riboflavin B 2, mg	2,00
Сырая клетчатка Crude fiber	23,10	Витамин С, мг Vitamin C, mg	4,20
Безазотистые экстрактивные в-ва Nitrogen-free extractive substances	43,62	Витамин Е, мг Vitamin E, mg	1,19

Однако кроме питательных компонентов в амаранте содержатся антипитательные вещества, накапливающиеся в период роста и развития растения [15]. По литературным данным в фитомассе амаранта содержатся танины, фитиновая кислота, ингибиторы трипсина, нитраты и сапонины, которые ухудшают перевариваемость корма, снижают его конверсию, продуктивность птицы и качество продукции [6, 7, 12, 13, 17]. В связи с этим, нами был изучен состав антипитательных веществ зеленой части амаранта. В ходе наших исследований установлено (таблица 2), что в зеленой массе амаранта присутствуют: щавелевая кислота, танины, нитраты и фитаты, ингибиторы трипсина и сапонины отсутствуют.

Таблица 2.
Содержание антипитательных веществ
в фитомассе амаранта

Table 2.
The content of anti-nutritional substances
in the green mass of amaranth

Антипитательный компонент Anti-nutritional substance	Количественное содержание, мг/100 г. Quantitative content, mg/100 g
Щавелевая к-та Oxalic acid	79
Танины Tannins	75
Фитиновая кислота Phytic acid	156
Нитраты Nitrates	74
Ингибиторы трипсина Trypsin inhibitors	0
Сапонины Saponins	0

Анализ антипитательных компонентов зеленой массы амаранта показал, что содержание фитиновой кислоты и ее солей в амаранте в 1,5–2 раза выше, чем в чечевице, кормовых бобах и пшенице, но ниже по сравнению с соей, фасолью и люпином. Количество танинов, щавелевой кислоты и нитратов не значительно. Содержание щавелевой кислоты в данном сорте амаранта в 6–7 раз ниже, чем в зеленой массе вики (0,50–0,8%) и в 12 раз – овса (1%). [8, 18] Кроме того, наиболее эффективный способ ее выделения, позволяющий извлечь 83% кислоты предусматривает двукратную обработку растительного сырья СВЧ-энергией в течение 5 мин с интервалом в 3 мин, с последующей экстракцией дистиллированной водой при температуре 70–80 °C в течение 10 мин. Что может способствовать снижению питательной ценности зеленой массы амаранта за счет разрушения витаминов. Количество танинов и нитратов не превышает предельно допустимые концентрации 500 мг / 100 г. и 200 мг / 100 г. соответственно.

Поэтому разрабатывать способы их удаления из амаранта не целесообразно, кроме того присутствие танинов в небольшом количестве в кормах препятствует развитию тимпании.

Наиболее эффективным способом деструкции фитатов является ферментативная обработка. При действии фитазы снижается концентрация свободной фитиновой кислоты и её низших фосфатных эфиров – анионов ИФ₅₋₄, оказывающих негативное влияние на пищеварение и всасывание питательных веществ. Известно, что фитаты в кормах присутствуют не в чистом виде, а в виде глобул, включающих крахмал и протеин, которые ограничивают действие фитаз. Расщепление глобул протеазами и карбогидразами может облегчать доступность фитаз к субстрату, повышая эффективность их действия [9,10]. В связи с этим был проведен эксперимент определения эффективности влияния промышленных ферментных препаратов (таблица 3) на деструкцию фитиновой кислоты.

Свежескошенную массу амаранта измельчали на ножевой мельнице до размера частиц 1–2 мм, смешивали с цитратным буфером в соотношении 1:10. Ферментативный гидролиз осуществляли при температуре 30 ± 1 °C, pH 4,5 в течение 60 мин. Концентрация ферментного препарата в каждом образце составляла 0,1 мг/г сырья. В процессе гидролиза контролировали остаточное содержание фитиновой кислоты.

Таблица 3.
Влияние ферментных препаратов фитазы
на степень деструкции фитиновой кислоты
и ее солей в зеленой массе амаранта

Table 3.
The effect of enzyme preparations of phytase
on the degree of destruction of phytic acid and
its salts in the green mass of amaranth

Ферментный препарат Enzyme preparation	Остаточное содержание фитиновой кислоты и ее солей, % от максимального Residual content of phytic acid and its salts, % of the maximum
ФИДБЕСТ® – P – 10000 (Ф-1) FEEDBEST® – P – 10000	83,96
ФИДБЕСТ® – WP 20000 (МЭП-1) FEEDBEST® – WP 20000	73,72
«Санфайз 10 000 L фитаза» (Ф-2) «Sanfayz 10 000 L phytase»	83,33
Агрофит 5000 (Ф-3) Agrofit 5000	91,02
КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой (МЭП-2) KEMZYME® plus P dry	64,7

Все исследуемые ферментные препараты проявляли активность в отношении фитатов зеленой массы амаранта. Наибольшее снижение количества фитатов наблюдали при использовании мультиэнзимных препаратов МЭП-1 и МЭП-2, содержащих не только фитазу, но и ксиланазу, β -глюканазу, нарушающих целостность оболочек клеток, препятствующих доступности гидролаз к питательным веществам цитоплазмы, в том числе и фитатов. Наибольшее влияние на снижение фитатов в зеленой массе амаранта проявлял МЭП-2, дополнительно содержащий ферменты протеазу и амилазу, способствующие разрушению комплексов фитатов с крахмалом и протеином.

На эффективность действия ферментов значительное влияние оказывают pH, температура и дозировка препаратов.

Изучение влияния дозировки МЭП-2 на снижение содержания фитиновой кислоты

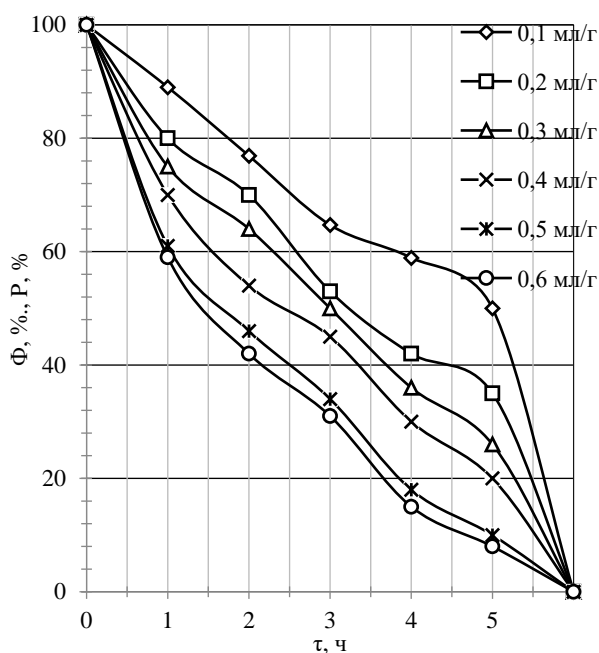


Рисунок 1. Влияние дозировки мультиферментного препарата МЭП-2 на содержание фитиновой кислоты в зеленой массе амаранта: Ф – содержание фитатов, % от максимального; τ – продолжительность гидролиза, ч, n – дозировка ферментных препаратов, мг/г

Figure 1. The effect of the dosage of the multi-enzyme preparation MЭП-2 on the content of phytic acid in the green mass of amaranth: P – the content of phytates, % of the maximum; τ – duration of hydrolysis, h, n – dosage of enzyme preparations, mg/g

(рисунок 1) показало, что внесение мульти-энзимного комплекса в количестве 0,5–0,6 мг/г в реакционную смесь позволит полностью удалить фитиновую кислоту в течение 5 ч гидролиза.

Изучение влияния pH на эффективность действия фитазы (рисунок 2) проводили при оптимальной дозировке мультиэнзимного препарата 0,5 мг/г сырья при температуре 30 °C в течение 1 ч. Установлено, что фермент проявляет высокую способность к деструкции фитиновой кислоты во всем исследуемом диапазоне pH, но наибольшее эффективна обработка зеленой массы амаранта при pH 6,5.

Выбор оптимальных режимов гидролиза фитатов зеленой массы амаранта мультиэнзимным комплексом (рисунок 3) показал, что наибольшее снижение фитатов наблюдается при дозировке МЭП-2 0,5–0,6 мг/г сырья, температуре 45 °C, pH 6,5 в течение 3–4 ч. Однако, для сохранения ценных компонентов зеленой массы амаранта нагревать ее выше 40 °C не рекомендуют.

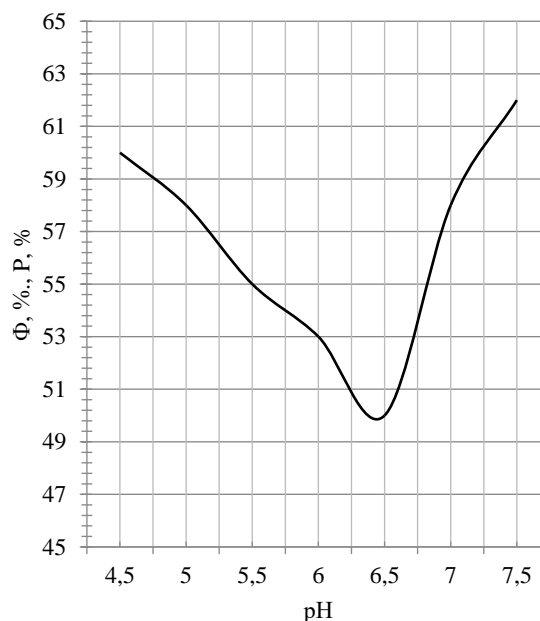


Рисунок 2. Влияние pH на содержание фитиновой кислоты и ее солей в процессе ферментативной обработки зеленой массы амаранта: Ф – содержание фитатов, % от максимального

Figure 2. The effect of pH on the content of phytic acid and its salts in the process of enzymatic treatment of amaranth green mass: P is the content of phytates, % of the maximum

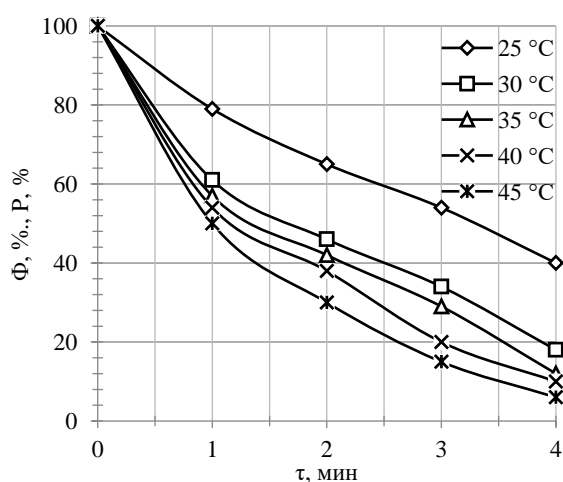


Рисунок 3. Динамика гидролиза фитатов зеленой массы амаранта мультиэнзимным препаратом МЭП-2 при дозировке 0,5 мг/г сырья: Φ – содержание фитатов, % от максимального; τ – продолжительность гидролиза, мин, t – температура гидролиза, °C

Figure 3. Dynamics of hydrolysis of phytates of amaranth green mass by multienzyme preparation MEP-2 at a dosage of 0.5 mg/g of raw materials: P – phytate content, % of maximum; τ – duration of hydrolysis, min, t – hydrolysis temperature, °C

Таким образом, для снижения количества фитиновой кислоты и ее солей в зеленой массе

амаранта ферментативную обработку необходимо проводить мультиэнзимным комплексом КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой (МЭП-2) в количестве 0,5 мг/г сырья, при pH 6,5 и температуре 40 °C течение 3 ч, что позволит снизить содержание фитатов на 90%.

Заключение

Установлено, что в зеленой массе амаранта присутствуют: щавелевая кислота (79 мг/ 100 г.), танины (75 мг/ 100 г.), нитраты (74 мг/ 100 г.) и фитаты (156 мг/ 100 г.), ингибиторы трипсина и сапонины отсутствуют. Наиболее эффективным способом деструкции фитатов является ферментативная обработка. Наибольшее влияние на снижение фитатов в зеленой массе амаранта оказал ферментативный комплекс КЕМЗАЙМ® плюс Р сухой, дополнительно содержащий ферменты протеазу и амилазу, способствующие разрушению комплексов фитатов с крахмалом и протеином. Ферментативную обработку мультиэнзимным комплексом необходимо проводить в количестве 0,5 мг/г сырья, при pH 6,5 и температуре 40 °C в течение 3 ч, что позволяет снизить содержание фитатов на 90%.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 22–76–00062.

Литература

- 1 Нормова Т.А., Схабо Р.В., Шимко П.В. Долгосрочные перспективы развития птицеводства в России // Вестник Академии знаний. 2020. № 38 (3). С. 218–239.
- 2 Холикназарова Ш.Р., Тухтабоев Н.Х. Амарант: химический состав и как культура многоцелевого использования // Actual Problems of Applied Sciences Journal World. 2019. № 4(14). С. 57–66. doi: 10.5281/zenodo.2767543
- 3 Pavlenkova S.V., Shuveva G.P., Mescheryakova O.L., Miroshnichenko L.A., Korneeva O.S. Amaranth—A promising crop for fodder manufacturing // Journal of Biotechnology. 2017. V. 256. P. S27.
- 4 Дорохов А.С., Чилингарян Н.О. Состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности в Российской Федерации // Аграрный вестник Урала. 2020. № 07 (198). С. 75–84.
- 5 Исмазова Ш.Н., Исабаев И.Б., Эргашева Х.Б. Альтернативные источники сырья для производства комбикормовой продукции // Universum: технические науки. 2019. №. 12-2 (69). С. 18-23. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8580>
- 6 Прохоров О.Н. Питательные и антипитательные вещества зерна амаранта // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы. 2019. С. 47-52.
- 7 Yang Y., Fukui R., Jia H., Kato H. (Amaranth supplementation improves hepatic lipid dysmetabolism and modulates gut microbiota in mice fed a high-fat diet // Foods. 2021. V. 10. №. 6. P. 1259. doi: 10.3390/foods10061259
- 8 Саломатов А.С., Быкова И.Д. Биологическая ценность амаранта // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. № 4(69). P. 95–100. doi: 10.33979/2219-8466-2021-69-4-95-100
- 9 Walk C.L., Rao S.V.R. Increasing dietary phytate has a significant anti-nutrient effect on apparent ileal amino acid digestibility and digestible amino acid intake requiring increasing doses of phytase as evidenced by prediction equations in broilers // Poultry science. 2020. V. 99. №. 1. P. 290-300. doi: 10.3382/ps/pez48
- 10 Babatunde O.O., Cowieson A.J., Wilson J.W., Adeola O. et al. The impact of age and feeding length on phytase efficacy during the starter phase of broiler chickens // Poultry Science. 2019. V. 98. №. 12. P. 6742-6750. doi: 10.3382/ps/pez390
- 11 Thirumalaisamy G., Muralidharan J., Senthilkumar S., Hema Sayee R. et al. Cost-effective feeding of poultry // International Journal of Science, Environment and Technology. 2016. V. 5. №. 6. P. 3997-4005.
- 12 Leinonen I., Kyriazakis I. How can we improve the environmental sustainability of poultry production? // Proceedings of the Nutrition Society. 2016. V. 75. №. 3. P. 265-273. doi: 10.1017/S0029665116000094
- 13 Chatterjee R.N., Rajkumar U. et al. An overview of poultry production in India // Indian Journal of Animal Health. 2015. V. 54. №. 2. P. 89-108.


- 14 Mottet A., Tempio G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges // *World's Poultry Science Journal*. 2017. V. 73. №. 2. P. 245-256. doi: 10.1017/S0043933917000071
- 15 Mengesha M. The issue of feed-food competition and chicken production for the demands of foods of animal origin // *Asian Journal of Poultry Science*. 2012. V. 6. №. 3. P. 31-43.
- 16 Khairu Islam M., Forhad Uddin M., Mahmud Alam M. Challenges and prospects of poultry industry in Bangladesh // *Eur. J. Bus. Manag.* 2014. V. 6. P. 116-127.
- 17 Birhanu M.Y., Osei-Amponsah R., Yeboah Obese F., Dessie T. et al. Smallholder poultry production in the context of increasing global food prices: roles in poverty reduction and food security // *Animal Frontiers*. 2023. V. 13. №. 1. P. 17-25. doi: 10.1093/af/vfac069
- 18 Nkukwana T.T. Global poultry production: Current impact and future outlook on the South African poultry industry // *South African Journal of Animal Science*. 2018. V. 48. №. 5. P. 869-884. doi: 10.4314/sajas.v48i5.7
- 19 Gerber P., Opio C., Steinfeld H. Poultry production and the environment—a review // *Animal production and health division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla*. 2007. V. 153. P. 1-27.
- 20 Mapiye C., Mwale M., Mupangwa J.F., Chimonyo M. et al. A research review of village chicken production constraints and opportunities in Zimbabwe // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2008. V. 21. №. 11. P. 1680-1688.

References

- 1 Normova T.A., Shabo R.V., Shimko P.V. Long-term prospects for the development of poultry farming in Russia. *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2020. pp. 218–239. (in Russian).
- 2 Kholiknazarova Sh.R., Tukhtaboev N.Kh. Amaranth: chemical composition and as a multi-purpose crop. *Actual Problems of Applied Sciences Journal World*. 2019. no. 4(14). pp. 57–66. doi: 10.5281/zenodo.2767543 (in Russian).
- 3 Pavlenkova S.V., Shuveva G.P., Mescheryakova O.L., Miroshnichenko L.A., Korneeva O.S. Amaranth—A promising crop for fodder manufacturing. *Journal of Biotechnology*. 2017. vol. 256. pp. S27.
- 4 Dorokhov A.S., Chilingaryan N.O. State and prospects for the development of the feed industry in the Russian Federation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020. no. 07 (198). pp. 75–84. (in Russian).
- 5 Ismatova Sh.N., Isabaev I.B., Ergasheva Kh.B. Alternative sources of raw materials for the production of mixed feed products. *Universum: technical sciences*. 2019. no. 12-2 (69). pp. 18-23. Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8580> (in Russian).
- 6 Prokhorov O.N. Nutrients and anti-nutrients of amaranth grain. Current scientific and technical means and agricultural problems. 2019. pp. 47-52. (in Russian).
- 7 Yang Y., Fukui R., Jia H., Kato H. (Amaranth supplementation improves hepatic lipid dysmetabolism and modulates gut microbiota in mice fed a high-fat diet. *Foods*. 2021. vol. 10. no. 6. pp. 1259. doi: 10.3390/foods10061259
- 8 Salomatov A.S., Bykova I.D. Biological value of amaranth. Technology and merchandising of innovative food products. 2021. no. 4(69). pp. 95–100. doi: 10.33979/2219–8466–2021–69–4–95–100 (in Russian).
- 9 Walk C.L., Rao S.V.R. Increasing dietary phytate has a significant anti-nutrient effect on apparent ileal amino acid digestibility and digestible amino acid intake requiring increasing doses of phytase as evidenced by prediction equations in broilers. *Poultry science*. 2020. vol. 99. no. 1. pp. 290-300. doi: 10.3382/ps/pez48
- 10 Babatunde O.O., Cowieson A.J., Wilson J.W., Adeola O. et al. The impact of age and feeding length on phytase efficacy during the starter phase of broiler chickens. *Poultry Science*. 2019. vol. 98. no. 12. pp. 6742-6750. doi: 10.3382/ps/pez390
- 11 Thirumalaisamy G., Muralidharan J., Senthilkumar S., Hema Sayee R. et al. Cost-effective feeding of poultry. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2016. vol. 5. no. 6. pp. 3997-4005.
- 12 Leinonen I., Kyriazakis I. How can we improve the environmental sustainability of poultry production? *Proceedings of the Nutrition Society*. 2016. vol. 75. no. 3. pp. 265-273. doi: 10.1017/S0029665116000094
- 13 Chatterjee R.N., Rajkumar U. et al. An overview of poultry production in India. *Indian Journal of Animal Health*. 2015. vol. 54. no. 2. pp. 89-108.
- 14 Mottet A., Tempio G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*. 2017. vol. 73. no. 2. pp. 245-256. doi: 10.1017/S0043933917000071
- 15 Mengesha M. The issue of feed-food competition and chicken production for the demands of foods of animal origin. *Asian Journal of Poultry Science*. 2012. vol. 6. no. 3. pp. 31-43.
- 16 Khairu Islam M., Forhad Uddin M., Mahmud Alam M. Challenges and prospects of poultry industry in Bangladesh. *Eur. J. Bus. Manag.* 2014. vol. 6. pp. 116-127.
- 17 Birhanu M.Y., Osei-Amponsah R., Yeboah Obese F., Dessie T. et al. Smallholder poultry production in the context of increasing global food prices: roles in poverty reduction and food security. *Animal Frontiers*. 2023. vol. 13. no. 1. pp. 17-25. doi: 10.1093/af/vfac069
- 18 Nkukwana T.T. Global poultry production: Current impact and future outlook on the South African poultry industry. *South African Journal of Animal Science*. 2018. vol. 48. no. 5. pp. 869-884. doi: 10.4314/sajas.v48i5.7
- 19 Gerber P., Opio C., Steinfeld H. Poultry production and the environment—a review. *Animal production and health division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla*. 2007. vol. 153. pp. 1-27.
- 20 Mapiye C., Mwale M., Mupangwa J.F., Chimonyo M. et al. A research review of village chicken production constraints and opportunities in Zimbabwe. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2008. vol. 21. no. 11. pp. 1680-1688.


Сведения об авторах

Светлана В. Образцова к.т.н., инженер-химик, Испытательный центр, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sveta5501pavlenkova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9539-0168>

Ольга В. Бондарева младший научный сотрудник, лаборатория метабеномики и пищевых биотехнологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, bond.vrn15@ya.ru


Татьяна В. Свиридова к.б.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sviridovavt@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9529-5005>


Галина П. Шуваева к.б.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4294-8209>

Ольга Л. Мещерякова к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gawshina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7832-8220>

Ольга С. Корнеева д.б.н., зав. кафедрой, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


Information about authors

Svetlana V. Obraztsova Cand. Sci. (Engin.), chemical engineer, testing center, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sveta5501pavlenkova@ya.ru


 <https://orcid.org/0000-0001-9539-0168>

Olga V. Bondareva resercher, laboratory of metagenomics and food biotechnologies, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bond.vrn15@ya.ru


Tatiana V. Sviridova Cand. Sci. (Bio.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sviridovavt@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9529-5005>


Galina P. Shuvaeva Cand. Sci. (Bio.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gpshuv@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4294-8209>

Olga L. Meshcheryakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gawshina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7832-8220>

Olga S. Korneeva Dr. Sci. (Bio.), head of the department, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/07/2023	После редакции 02/08/2023	Принята в печать 25/08/2023
Received 12/07/2023	Accepted in revised 02/08/2023	Accepted 25/08/2023