




Анализ химического состава и свойств основных и побочных продуктов при реализации новых технологий получения этанола




Наталья В. Зуева	¹	nataspirit30@yandex.ru	 0000-0003-2840-398X
Геннадий В. Агафонов	¹	gvagafonov@mail.ru	 0000-0003-0346-9245
Ирина Ю. Лукинова	¹	irina_lukinoval5@mail.ru	
Александр Н. Долгов	¹	adolgov977@gmail.com	 0000-0003-4572-7417

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

Аннотация. В статье проведены исследования состава дрожжей, выделенных из бражки сепарацией, отрубей, отделенных на стадии размола, а также белковой добавки, полученной путем смешивания этих двух продуктов. Содержание сырого жира колеблется в пределах от 4,7 до 6,2%, содержание сырого протеина составляет 38%, что на 20% ниже, чем в кормовых дрожжах, но на 14% выше, чем у отрубей. Также выявили, что полученный белковый продукт обогащен микро- и макроэлементами, а также легкогидролизуемыми и водорастворимыми углеводами. Содержание сырой клетчатки составляет 5,5%, что почти в 2,5 раза ниже, чем в отрубях. Исследовали состав кормовой белковой добавки, полученной с внесением на стадии получения водно-мучнистой суспензии пшеницы целлюлолитического ферментного препарата Висколазы 150 L и без него. Ферментный препарат вносили на стадии приготовления водно-мучнистой суспензии и пшеницы дозировкой 0,01% к массе сырья. белковые кормовые добавки, полученные с и без добавления целлюлолитического ферментного препарата обладают высоким качеством по содержанию сырого протеина и белка. Так, содержание сырого протеина в белковой добавке с внесением в водно-мучнистую суспензию Висколазы 150 L составило 37%, тогда как без ферментного препарата 34%. Количество легкорастворимых полисахаридов и массовая доля золы были практически на одном уровне от 2,4 до 5% и от 5,5 до 7,0% соответственно. Содержание клетчатки в белковой добавке с использованием Висколазы 150 L составляло 4,2-6,1%, что в 2,5 раза ниже, чем в белковой добавке, полученной без ферментного препарата.

Ключевые слова: ферментные препараты, белковая добавка, комплексная технология, бражка, дрожжи, отруби

Analysis of the chemical composition and properties of the main and side products during the implementation of new technologies for producing ethanol

Natalia V. Zueva	¹	nataspirit30@yandex.ru	 0000-0003-2840-398X
Gennady V. Agafonov	¹	gvagafonov@mail.ru	 0000-0003-0346-9245
Irina Yu. Lukinova	¹	irina_lukinoval5@mail.ru	
Alexander N. Dolgov	¹	adolgov977@gmail.com	 0000-0003-4572-7417

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

Abstract. The article studied yeast composition isolated from the separation of the mash, bran separated in the grinding step, as well as a protein supplement obtained by mixing these two products. Crude fat content ranges from 4,7 to 6,2%, crude protein content is 38%, which is 20% lower than in the fodder yeast, but 14% higher than that of the bran. It is also found that the resulting protein product enriched in micro- and macro-elements, as well as readily hydrolyzable and water soluble carbohydrates. crude fiber content is 5,5%, which is almost 2,5 times lower than in the bran. The composition of the feed protein supplement obtained with the introduction at the stage of aqueous suspension of wheat powdery cellulolytic enzyme preparation Viskolazy 150 L and without it. The enzyme preparation was added in the step of preparing aqueous suspensions and wheat powdery dosage of 0,01% by weight of the feedstock. protein feed additives obtained with and without addition of cellulolytic enzyme preparation of high quality crude protein content and protein. Thus, the content of crude protein in the protein with the introduction of an additive in an aqueous suspension of powdery Viskolazy 150 L was 37% whereas 34% without the enzyme preparation. The amount of soluble polysaccharides and the mass fraction of ash were practically at the same level of from 2,4 to 5% and from 5,5 to 7,0%, respectively. fiber content of the protein supplement using Viskolazy 150 L was 4,2-6,1%, which is 2,5 times lower than in the protein supplement obtained without enzyme preparation.

Keywords: enzyme preparations, protein supplement, complex technology, mash, yeast, bran

Введение

В настоящее время в стране существует дефицит протеина в кормах. В расчете на 1 кормовую единицу рациона чаще всего его приходится 80–90 г. (по норме 100–110 г.). Известно, что вследствие недостатка протеина в рационах

ухудшаются перевариваемость и использование кормов, на 30–50% уменьшается продуктивность животных, снижается качество продукции и увеличиваются затраты кормов на единицу продукции. Поэтому в регулировании этого уровня большую роль играют различные кормовые добавки с повышенным содержанием протеина,

Для цитирования

Зуева Н.В., Агафонов Г.В., Лукинова И.Ю., Долгов А.Н. Анализ химического состава и свойств основных и побочных продуктов при реализации новых технологий получения этанола // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 3. С. 71–77. doi:10.20914/2310-1202-2020-3-71-77

For citation

Zueva N.V. Agafonov G.V., Lukinova I.Yu., Dolgov A.N. Analysis of the chemical composition and properties of the main and side products during the implementation of new technologies for producing ethanol. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 71–77. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-3-71-77

включающего в себя незаменимые аминокислоты, макро- и микроэлементы, витамины [3]. В работах современных ученых доказана эффективность использования внесения ферментных препаратов на различных стадиях при переработке зернового сырья [5–8].

Известно, что дрожжи производятся на основе зерновой барды и используются для обогащения комбикормов и скармливания животным в смеси с концентратами, силосом, жомом.

Представляло интерес провести химический анализ белковой добавки, полученной путем смешивания дрожжей, выделенных из зрелой бражки сепарацией, с отрубями.

Материалы и методы

Исследовали состав дрожжей, выделенных из бражки сепарацией, отрубей, отделенных на стадии размола, а также белковой добавки, полученной путем смешивания этих двух продуктов.

Аминокислотный состав белковых продуктов определяли на анализаторе марки Хитачи с предварительным гидролизом белков 6 н НС1 в запаянных ампулах. Для расчета аминокислотного сора белков проводили сравнение с эталонным белком ФАО/ВОЗ.

Массовую долю белка по Барнштейну в испытуемых образцах определяли согласно ГОСТ Р 28178–89 «Дрожжи кормовые. Методы испытаний».

Массовую долю перевариваемого протеина определяли согласно ГОСТ Р 51423–99 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения массовой доли растворимого азота после обработки пепсином в разведенной соляной кислоте».

Массовую долю сырой клетчатки определяли согласно ГОСТ Р 52839–2007 «Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации».

Массовую долю сырого жира определяли согласно ГОСТ 13496.15–97 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого жира».

Количество и качество клейковины определяли по ГОСТ 27839–2013 «Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины».

Массовую долю сырого протеина определяли согласно ГОСТ Р 51417–99 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Кьельдаля».

Массовую долю легкогидролизуемых углеводов определяли согласно ГОСТ 26176–91 «Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов».

Массовую долю сырой золы определяли согласно ГОСТ 26226–95 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы».

Результаты и обсуждение

Исследовали состав дрожжей, выделенных из бражки сепарацией, отрубей, отделенных на

стадии размола, а также белковой добавки, полученной путем смешивания этих двух продуктов.

Полученные данные приведены в таблице 1.

Основные и побочные продукты, исследованные в данной публикации, были получены путем реализации комплексной технологии переработки зернового сырья. Пшеничную муку в количестве смешивали с водой температурой 50 °С в соотношении 1,5:1 в тестомесителе и вносили ферментный препарат «Висколаза» и протеолитический ферментный препарат Протоферм FP с дозировкой 0,6 ед. ПС/г белка [1].

Замес гомогенизировали в гомогенизаторе. После чего на гидроциклоне разделяли на два потока.

Первый поток содержит А-крахмал и пищевые волокна, второй поток содержит глютен, В-крахмал, пентозаны и растворимые белки.

А-крахмал после гидроциклонов направляли на систему сит, где происходит его промывка. Глютен и В-крахмал разделяли с одновременной промывкой на барабанных ситах. Выделенный глютен высушивали. Выход глютена составил 10%. Сконцентрированный А-крахмал соединяли с В-крахмалом получая концентрированный замеса с содержанием сухих веществ 20–24%. Разваривание крахмального замеса осуществляли по механико-ферментативной схеме. Замес с содержанием сухих веществ 24% перекачивали в аппарат гидродинамической и ферментативной обработки первой ступени (ГДФО-1), добавляли термостабильную альфа-амилазу (Термоферм 3500 L). Замес выдерживали при температуре 75 °С в течение 1 ч. Затем массу перекачивали в аппарат гидродинамической и ферментативной обработки второй ступени (ГДФО-2), доводили температуру до 85 °С и в течение 1 ч осуществляли предварительный ферментативный гидролиз. После чего массу охлаждали до 58 °С и направляли в осахариватель, куда вносили ферментный препарат Биозим 800 L, содержащий в своем составе глюкоамилазу. Полученную массу осахаривали в течение 30 мин. Сусло сбраживали в течение 54 ч, получая зрелую бражку. Из зрелой бражки сепарацией на сепараторах выделяли дрожжи в количестве влажностью 70%. Выход спирта с 1 т. крахмала крахмального замеса составил 66,4 дал. Выделенные сепарацией дрожжи направляют на плазмоллизатор, затем их смешивают с отрубями, полученную смесь высушивали, гранулировали с получением кормовой добавки с содержанием протеина 25–30% и влажностью не более 10% [2, 4, 9].

Таблица 1.

Пищевая ценность кормовых белковых продуктов

Table 1.

Nutritional value of fodder protein products

Наименование показателей Description of indicators	Кормовые белковые продукты Fodder protein products		
	Кормовые дрожжи nutrient yeast	Из отрубей bran products	Белковая добавка, полученная смешением этих продуктов Protein additive obtained by mixing these products
Сырой жир, % Raw fat, %	3,4-14,0	4,8	4,7-5,2
Сырой протеин, % Crude protein, %	47-50	32,7	38
Белок по Барнштейну, % Barnstein Protein, %	45-48	31,4	36
Общие углеводы, % а.с.в Total carbohydrates, %	-	38,1	27,6
в т.ч. водорастворимые углеводы water-soluble carbohydrates	-	3,6	3,9
легкогидролизуемые углеводы easily hydrolyzable carbohydrates	-	7,5	2,6
сырая клетчатка, % raw fiber, %	1,03	12,0	5,5
Зола, % Ash, %	15,0	9,5	9,4

Из данных таблицы 1 видно, белковый продукт, полученный путем смешивания отрубей и дрожжей, выделенных из зрелой бражки, обладает хорошей питательной ценностью, не уступая растительным белковым добавкам.

Содержание сырого жира колеблется в пределах от 4,7 до 6,2%, содержание сырого протеина составляет 38%, что на 20% ниже, чем в кормовых дрожжах, но на 14% выше, чем у отрубей. Также выявили, что полученный белковый продукт обогащен микро- и макроэлементами, а также легкогидролизуемыми и водорастворимыми углеводами. Содержание сырой клетчатки составляет 5,5%, что почти в 2,5 раза ниже, чем в отрубях. Вероятно, это связано с использованием ферментных препаратов целлюлолитического действия, расщепляющих некрахмалистые соединения.

Исследовали аминокислотный и витаминный состав белковой добавки. Под биологической ценностью белка понимают интегральный эффект, который зависит от количества и качества белка в рационе, его перевариваемости протеиназами желудочно-кишечного тракта КРС, от скорости ассимиляции аминокислот.

Из данных таблицы 2 видно, что лимитирующей аминокислотой является триптофан.

Биологическая ценность белковой добавки составила 57,4%. Основным показателем качества белковых добавок является сумма аминокислот, которая для белковых добавок из зерносырья составляет около 20%. По содержанию аминокислот, в том числе незаменимых, белки кормовой добавки близки к белкам животного происхождения.

Таблица 2.

Содержание незаменимых аминокислот в белковой добавке

Table 2.

Essential amino acid content in protein additive

Аминокислота Amino acid	Содержание, % Contents, %	АК скор, % Amino acid velocity, %
Цистин + метионин Cystine + methionine	2,17	163
Изолейцин Izoleytsin	2,10	138
Лейцин Leucine	4,53	170
Лизин Lysine	2,03	96
Фенилаланин Phenylalanine	2,36	104
Треонин Threonine	1,77	118
Триптофан Tryptophane	0,31	82
Валин Valine	2,38	126

Содержание витаминов в белковых продуктах приведено в таблице 3. Содержание витаминов группы В определяли в соответствии с ГОСТ 32042–2012. Содержание витамина В₁ (тиамина), В₂ (рибофлавина) определяли методом измерения интенсивности флуоресценции, который заключается в извлечении витамина из пробы белковой добавки раствором серной кислоты, окислении его раствором железосинеродистого калия в тиохром, дальнейшей экстракции окисленной формы из водной фазы изобутиловым спиртом и измерении интенсивности флуоресценции.

Витамин В₅ (никотиновая кислота) определили колориметрическим методом. Сущность метода заключается в кислотном гидролизе связанных форм витамина В₅, очистке гидролизата, получении окрашенного раствора и колориметрическом определении в сравнении со стандартным раствором.

Содержание витаминов в кормовых белковых продуктах

Table 3.

Vitamin content in fodder protein products

Витамин Vitamin	Содержание витаминов в кормовых белковых продуктах, мг/кг Fodder protein products vitamin content, mg/kg		
	Кормовые дрожжи nutrient yeast	Из отрубей bran products	Белковая добавка, полученная смешением этих продуктов Protein additive obtained by mixing these products
B ₁	5,5-36	1,5	1,4
B ₂	42,5-98	31	21,7
B ₃	27-128	78	80,0
B ₄	3060	1380	1290
B ₅	245-583	180	220
H	0,2	0,2	0,2
A	0,06-0,2	9,1	5,8
E	2,45-54,7	35,2	18,2

Бета-токоферол (Е), альфа-каротин (А) и витамин Н (биотин) определяли в соответствии с ГОСТ 32043–2012 методом обращенно-фазной высокоэффективной жидкостной хроматографии, который заключается в экстракции витаминов из белковой добавки изопропиловым спиртом и последующем определении содержания витаминнообращенно-фазной высокоэффективной жидкостной хроматографией.

Повышенная биологическая ценность белковой добавки обусловлена содержанием

в них протеина (30–50%) и витаминов группы В, тесно связанных с белковым обменом в организме животных. В значительных количествах в белковой добавке содержатся также витамины группы А, Е, Д.

В кормовых продуктах идентифицированы токоферолы. Был исследован минеральный состав кормовых дрожжей, отрубей и смеси этих продуктов (белковая добавка). Результаты исследований приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Содержание минеральных веществ и тяжелых металлов в кормовых белковых продуктах

Table 4.

Content of mineral substances and heavy metals in feed protein products

Показатель Indicators	Кормовые белковые продукты Fodder protein products		
	Кормовые дрожжи nutrient yeast	Из отрубей bran products	Белковая добавка, полученная смешением этих продуктов Protein additive obtained by mixing these products
Ca, г/кг (g/kg)	3,8-2,9	6,78	5,44
P, г/кг (g/kg)	13,4-28	18,2	17,4
K, г/кг (g/kg)	13,05	13,85	14,87
Na, г/кг (g/kg)	1,015	1,37	1,09
Mg, г/кг (g/kg)	0,79	5,44	3,82
Mn, мг/кг (mg/kg)	176	295	235
Zn, мг/кг (mg/kg)	935,5	120	120
Cu, мг/кг (mg/kg)	5,5	17,9	15,5
Fe, мг/кг (mg/kg)	658	760	870
Тяжёлые металлы, мг/кг: Pb Heavy metals, mg/kg: Pb	1,4	0,1	–
Cd	–	0,46	–
As	–	–	–
Cr	–	–	–
Ni	1,5	0,18	–
Hg	0,05	–	–
F	11	–	28
Нитраты, мг/кг Nitrates, mg/kg			
Нитриты, мг/кг Nitrites, mg/kg			
Металломагнитные примеси, мг/кг Metallomagnetic impurities, mg/kg	–	–	–

Можно предположить, что соотношение фосфора и кальция в белковой добавке обеспечит нормальное развитие костного скелета молодняка. Имея такой сложный состав, кормовая добавка позволяет большую часть валовой энергии кормов превратить в организме животных и птиц в обменную энергию, а следовательно, увеличивает привес и приводит к экономии затрат на корма на 10–15%.

Основную часть минеральных веществ кормовых белковой добавки составляют фосфор (около 50%), калий (около 13,0%), кальций (около 3%), магний (около 1%). Кроме того, в состав дрожжевых клеток входят и микроэлементы.

Микроэлементы – Fe, Mn и Zn содержатся в данных добавках в большом количестве, но концентрации Cu и P – на том же уровне.

Исследовали состав кормовой белковой добавки, полученной с внесением на стадии получения водно-мучнистой суспензии пшеницы целлюлолитического ферментного препарата Висколаза 150 L и без него. Ферментный препарат вносили на стадии приготовления водно-мучнистой суспензии и пшеницы дозировкой 0,01% к массе сырья. Полученные данные представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Состав кормовой белковой добавки (в пересчёте на а.с.в.%)

Table 5.

Composition of feed protein additive (in terms of a.s.v.%)

Продукт Product	Массовая доля Mass fraction					
	сырого протеина raw protein	белка по Барнштейну protein (Barnstein)	растворимых углеводов soluble carbohydrates	зола ash	клетчатки fiber	сырого жира raw fat
Белковая добавка без Висколазы 150L Proteinaceous additive without Viscolase 150L	30–34,7	25,8–31,4	2,4–3,6	5,3–6,8	12,0–15,3	2,34–4,8
Белковая добавка с Висколазой 150L Protein additive with Viscolase 150L	31,5–37,3	28,7–33,7	2,6–5,7	6,2–7,3	4,2–6,1	4,7–5,2

Из данных таблицы 5 следует, что белковые кормовые добавки, полученные с и без добавления целлюлолитического ферментного препарата обладают высоким качеством по содержанию сырого протеина и белка. Так, содержание сырого протеина в белковой добавке с внесением в водно-мучнистую суспензию Висколазы 150 L составило 37%, тогда как без ферментного препарата 34%. Количество легкорастворимых полисахаридов и массовая доля золы были практически на одном уровне от 2,4 до 5% и от 5,5 до 7,0% соответственно. Содержание клетчатки в белковой добавке с использованием Висколазы 150 L составляло 4,2–6,1%, что в 2,5 раза ниже, чем в белковой добавке, полученной без ферментного препарата. Это объясняется тем, что ферментные препараты, содержащие целлюлазы (эндогликаназы, целлюбиогидролазы, β-глюкозидазы), гидролизуют некрахмалистые полисахариды, такие, как целлюлоза, что позволит получить дополнительный источник сбраживаемых углеводов.

Заключение

В ходе реализации комплексной переработки зернового сырья на этанол была получена кормовая добавка, обладающая хорошей

питательной ценностью, с содержанием сырого жира 4,7–6,2%, содержанием сырого протеина – 38%, обогащенная микро- и макроэлементами, а также легкогидролизуемыми и водорастворимыми углеводами. Содержание сырой клетчатки составляет 5,5%, что почти в 2,5 раза ниже, чем в отрубях. При исследовании аминокислотного, витаминного и минерального состава белковой добавки было выявлено, что по содержанию незаменимых аминокислот белки кормовой добавки близки к белкам животного происхождения. Повышенная биологическая ценность белковой добавки обусловлена содержанием в них протеина (30–50%) и витаминов группы В, тесно связанных с белковым обменом в организме животных. В значительных количествах в белковой добавке содержатся также витамины группы А, Е, Д. Основную часть минеральных веществ кормовых белковой добавки составляют фосфор (около 50%), калий (около 13,0%), кальций (около 3%), магний (около 1%). Кроме того, в состав дрожжевых клеток входят и микроэлементы.

Данная добавка может быть рекомендована для включения в рацион питания птицы и КРС.

Литература

- 1 Зуева Н.В., Агафонов Г.В., Корчагина М.В., Долгов А.Н. и др. Выбор ферментных препаратов и температурно-временных режимов водно-тепловой и ферментативной обработки при разработке комплексной технологии переработки зернового сырья // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 112–119.
- 2 Корчагина М.В., Зуева Н.В., Агафонов Г.В. Технология получения белковой добавки из послеспиртовой барды // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 2-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск: Университетская книга, 2018. Т. 3. С. 174–177.
- 3 Колпакова В.В., Коваленок В.А. Взаимосвязь функциональных свойств сухой пшеничной клейковины с аминокислотным составом и показателями её качества // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 173–180. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-173-180/
- 4 Bondesson P.M., Galbe M. Process design of SSCF for ethanol production from steam-pretreated, acetic-acid-impregnated wheat straw // *Biotechnology for biofuels*. 2016. V. 9. № 1. P. 222.
- 5 Miranda Junior M., de Oliveira J.E., Batistote M., Ernandes J.R. Evaluation of Brazilian ethanol production yeasts for maltose fermentation in media containing structurally complex nitrogen sources // *Journal of the Institute of Brewing*. 2012. V. 118. № 1. P. 82–88.
- 6 Аксенов В.В. Внедрение инновационных технологий в переработку зернового сырья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 208–212.
- 7 Rosell C.M., Altamirano-Fortoul R., Don C., Dubat A. Thermomechanically Induced Protein Aggregation and Starch Structural Changes in Wheat Flour Dough // *Cereal Chemistry*. 2013. V. 90. № 2. P. 89–100.
- 8 Cheung A.W.Y., Brosnan J.M., Phister T., Smart K.A. Impact of dried, creamed and cake supply formats on the genetic variation and ethanol tolerance of three *Saccharomyces cerevisiae* distilling strains // *Journal of the Institute of Brewing*. 2012. V. 118. № 2. P. 152–162.
- 9 Mikulski D., Kłosowski G. Efficiency of dilute sulfuric acid pretreatment of distillery stillage in the production of cellulosic ethanol // *Bioresource technology*. 2018. V. 268. P. 424–433.
- 10 Brar K.K. et al. Evaluating novel fungal secretomes for efficient saccharification and fermentation of composite sugars derived from hydrolysate and molasses into ethanol // *Bioresource technology*. 2019. V. 273. P. 114–121.
- 11 Cripwell R.A. et al. Consolidated bioprocessing of raw starch to ethanol by *Saccharomyces cerevisiae*: Achievements and challenges // *Biotechnology Advances*. 2020. P. 107579.
- 12 Kamble M., Salvi H., Yadav G.D. Preparation of amino-functionalized silica supports for immobilization of epoxide hydrolase and cutinase: characterization and applications // *Journal of Porous Materials*. 2020. P. 1–9.
- 13 Yu J. et al. Process integration for ethanol production from corn and corn stover as mixed substrates // *Bioresource technology*. 2019. V. 279. P. 10–16.
- 14 Willberg-Keyriläinen P. et al. Improved reactivity and derivatization of cellulose after pre-hydrolysis with commercial enzymes // *BioResources*. 2019. V. 14. № 1. P. 561–574.
- 15 Puligundla P. et al. A review of recent advances in high gravity ethanol fermentation // *Renewable Energy*. 2019. V. 133. P. 1366–1379.

References

- 1 Zueva N.V., Agafonov G.V., Korchagina M.V., Dolgov A.N. et al. Selection of enzyme preparations and temperature-time regimes of water-heat and enzymatic treatment in the development of complex technology of processing of grain raw materials. *Proceedings of VSUET*. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 112–119. (in Russian).
- 2 Korchagina M.V., Zueva N.V., Agafonov G.V. Technology for obtaining protein additives from post-alcohol Barda. Youth and science: a step to success: collection of scientific articles of the 2nd all-Russian scientific conference of promising developments of young scientists. Kursk, Universitetskaya kniga, 2018. vol. 3. pp 174–177. (in Russian).
- 3 Kolpakova V.V., Kovalenok V.A. Relationship of the functional properties of dry wheat gluten with amino acid composition and its quality indicators. *Proceedings of VSUET*. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 173–180. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-173-180 (in Russian).
- 4 Bondesson P.M., Galbe M. Process design of SSCF for ethanol production from steam-pretreated, acetic-acid-impregnated wheat straw. *Biotechnology for biofuels*. 2016. vol. 9. no. 1. pp. 222.
- 5 Miranda Junior M., de Oliveira J.E., Batistote M., Ernandes J.R. Evaluation of Brazilian ethanol production yeasts for maltose fermentation in media containing structurally complex nitrogen sources. *Journal of the Institute of Brewing*. 2012. vol. 118. no. 1. pp. 82–88.
- 6 Aksenov V.V. The introduction of innovative technologies in the processing of grain raw materials. *Vestnik KGAU*. 2012. no. 2. pp. 208–212. (in Russian).
- 7 Rosell C.M., Altamirano-Fortoul R., Don C., Dubat A. Thermomechanically Induced Protein Aggregation and Starch Structural Changes in Wheat Flour Dough. *Cereal Chemistry*. 2013. vol. 90. no. 2. pp. 89–100.
- 8 Cheung A.W.Y., Brosnan J.M., Phister T., Smart K.A. Impact of dried, creamed and cake supply formats on the genetic variation and ethanol tolerance of three *Saccharomyces cerevisiae* distilling strains. *Journal of the Institute of Brewing*. 2012. vol. 118. no. 2. pp. 152–162.
- 9 Mikulski D., Kłosowski G. Efficiency of dilute sulfuric acid pretreatment of distillery stillage in the production of cellulosic ethanol. *Bioresource technology*. 2018. vol. 268. pp. 424–433.
- 10 Brar K.K. et al. Evaluating novel fungal secretomes for efficient saccharification and fermentation of composite sugars derived from hydrolysate and molasses into ethanol. *Bioresource technology*. 2019. vol. 273. pp. 114–121.
- 11 Cripwell R.A. et al. Consolidated bioprocessing of raw starch to ethanol by *Saccharomyces cerevisiae*: Achievements and challenges. *Biotechnology Advances*. 2020. pp. 107579.

12 Kamble M., Salvi H., Yadav G.D. Preparation of amino-functionalized silica supports for immobilization of epoxide hydrolase and cutinase: characterization and applications. *Journal of Porous Materials*. 2020. pp. 1–9.


13 Yu J. et al. Process integration for ethanol production from corn and corn stover as mixed substrates. *Bioresource technology*. 2019. vol. 279. pp. 10–16.

14 Willberg-Keyriläinen P. et al. Improved reactivity and derivatization of cellulose after pre-hydrolysis with commercial enzymes. *BioResources*. 2019. vol. 14. no. 1. pp. 561–574.


15 Puligundla P. et al. A review of recent advances in high gravity ethanol fermentation. *Renewable Energy*. 2019. vol. 133. pp. 1366–1379.

Сведения об авторах

Наталья В. Зуева к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nataspirt30@yandex.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

Геннадий В. Агафонов д.т.н., профессор, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gvagafonov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0346-9245>

Ирина Ю. Лукинова студент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, irina_lukinova15@mail.ru

Александр Н. Долгов внешний совместитель, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, adolgov977@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4572-7417>

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

Natalia V. Zueva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nataspirt30@yandex.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

Gennady V. Agafonov Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gvagafonov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0346-9245>

Irina Yu. Lukinova student, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, irina_lukinova15@mail.ru

Alexander N. Dolgov external part-time worker, technologies of fermentation and sugar production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, adolgov977@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-4572-7417>

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 28/07/2020	После редакции 06/08/2020	Принята в печать 17/08/2020
Received 28/07/2020	Accepted in revised 06/08/2020	Accepted 17/08/2020