

Влияние ферментных препаратов на основные показатели продуктов при разработке технологии переработки концентрированного сусла на этанол

Наталья В. Зуева	¹	Nataspirit30@yandex.ru
Геннадий В. Агафонов	¹	gvagafonov@mail.ru
Маргарита В. Корчагина	¹	rita.korchagina.97@mail.ru
Александр Н. Долгов	¹	vinodelvgta@mail.ru

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

Реферат. Среди приоритетных направлений развития спиртовой отрасли на первое место в настоящее время выдвигаются разработки, посвященные созданию энерго- и ресурсосберегающих технологий получения этанола из зерна. Для получения и сбраживания осахаренного зернового сусла необходимо крахмал и другие компоненты сырья перевести в растворённое состояние. Выбор режимов и технологических параметров получения осахаренного сусла при разработке новых технологий получения этанола базируется на экономических и аппаратно-технологических аспектах производства и во многом определяется свойствами перерабатываемого сырья. В связи с этим, необходимость в разработке новых технологий, учитывающих состав белковых веществ и некрахмальных соединений различных видов зернового сырья, с целью повышения эффективности биоконверсии всех составных частей зерна, позволяющих не только интенсифицировать процесс спиртового брожения и увеличить выход спирта, но и получать дополнительно кормовые белковые продукты является своевременной и актуальной. С целью получения высококонцентрированного сусла из водно-мучнистой суспензии пшеницы были проведены исследования влияния ферментных препаратов, содержащих ксиланазу, β -глюканазу и целлюлазу, а также разжижающего, осахаривающего и протеолитического действия на характеристики и вязкость сусла. Применение в качестве разжижающего препарата Термоферм 3500 L позволяет получить сусло с максимальной концентрацией сухих веществ, сбраживаемых углеводов и восстанавливающих сахаров. При этом показатель видимой доброкачественности сусла при использовании Термоферм 3500 L составил 85,8%. Изучена зависимость текучести крахмального сусла от продолжительности гидродинамической и ферментативной обработки на стадии механико-ферментативной обработки. В результате изучения реологических характеристик во время получения крахмального сусла можно был предложен эффективный, простой технологический прием для снижения вязкости сред, а именно, повышение температуры воды при замесе с 50 до 70 °C.

Ключевые слова: ферментные препараты, концентрированное сусло, этанол

Influence of enzyme preparations on the main product indexes in the development of technology for processing concentrated wort into ethanol

Natal'ja V. Zueva	¹	Nataspirit30@yandex.ru
Gennadij V. Agafonov	¹	gvagafonov@mail.ru
Margarita V. Korchagina	¹	rita.korchagina.97@mail.ru
Aleksandr N. Dolgov	¹	vinodelvgta@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. Among the priority directions of the alcohol-production industry, the development of energy- and resource-saving technologies for ethanol production from grain is currently in the forefront. To obtain and ferment sugared grain wort, starch and other components of the raw material must be transferred into a dissolved state. The choice of modes and technological parameters for obtaining sugared wort during the development of new technologies for ethanol production is based on economic and instrumental-technological aspects of production and is largely determined by the properties of the processed raw materials. In this regard, the necessity of developing new technologies taking into account the composition of protein substances and non-starch components of grain raw materials various types, with the purpose of increasing the efficiency of bioconversion of all grain constituents, which not only intensifies the process of alcohol fermentation and increase the yield of alcohol, but gives additional feed protein products is timely and relevant. To obtain a highly concentrated wort from an aqueous-powdery wheat suspension, we conducted studies of the effect of enzyme preparations containing xylanase, β -glucanase and cellulase, as well as the thinning, saccharifying and proteolytic effects on wort characteristics and viscosity. Application of Thermoferm 3500 L as a thinning preparation allows to obtain wort with the maximum concentration of solids, fermented carbohydrates and reducing sugars. At the same time, the indicator of apparent good quality of the wort when using Thermoferm 3500 L was 85.8%. The dependence of the flowability of starch wort on the duration of hydrodynamic and enzymatic treatment at the stage of mechanical-enzymatic treatment was studied. As a result of the study of rheological characteristics during the preparation of starch wort, an effective, simple technological method for reducing the viscosity of media, which consisted in raising the temperature of water during batching from 50 to 70 °C, was proposed

Keywords: enzyme preparations, Thermoferm 3500L, concentrated wort, ethanol, energy-saving technology

Для цитирования

Зуева Н.В., Агафонов Г.В., Корчагина М.В., Долгов А.Н. Влияние ферментных препаратов на основные показатели продуктов при разработке технологии переработки концентрированного сусла на этанол // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 2. С. 191–197. doi:10.20914/2310-1202-2017-2-191-197

For citation

Zueva N.V., Agafonov G.V., Korchagina M.V., Dolgov A.N. Influence of enzyme preparations on the main product indexes in the development of technology for processing concentrated wort into ethanol. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 2. pp. 191–197. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-2-191-197

Введение

Одним из способов интенсификации процессов водно-тепловой обработки, осахаривания и сбраживания суслу является повышение концентрации сухих веществ в сусле. Повышение сухих веществ в сусле на 1,5–2%, может привести к увеличению производительности броидильного отделения на 10–15% без дополнительных капитальных затрат. Значительно уменьшить расход электроэнергии позволит снижение гидромодуля замеса, (на нагрев 1 кг зерна необходима лишь третья часть энергии, требуемой на нагрев 1 кг воды), что интенсифицирует спиртовое производство [1].

В спиртовой отрасли существуют приоритетные направления развития. Среди них: инновационные разработки по созданию энерго- и ресурсосберегающих технологий получения этанола из зерна. Для получения и сбраживания осахаренного зернового суслу необходимо основные нутриенты сырья перевести в растворенное состояние, и сделать их более доступными для действия ферментов. При разработке новых технологий производства этанола выбор режимов и технологических параметров получения осахаренного суслу базируется на аппаратурно-технологических и экономических аспектах. Немаловажную роль играют и свойства перерабатываемого сырья [2, 3, 8–10].

Однако при переходе на переработку сред повышенной концентрации наблюдается проблема повышенной вязкости замесов, что препятствует протеканию гидролиза крахмала и других биополимеров сырья, а также проведению последующих технологических операций: осахаривания, перекачивания, брожения.

От подвижности замеса зависит расход электроэнергии, возможность использования вторичного пара при подваривании и т. д. [4, 5].

Решение указанных проблем возможно при рациональном использовании комплексных ферментных препаратов с оптимальным составом ферментов для каждого вида сырья. Для гидролиза целлюлозы, гемицеллюлоз, β -глюкана, входящих в состав матрикса клеточных стенок, снижения потерь крахмала и деструкции некрахмальных полисахаридов, а также снижения вязкости в пищевой промышленности используют ферментные препараты целлюлолитического действия.

Снижение вязкости приводит к положительным эффектам в усовершенствовании технологии. Так, улучшаются условия проведения ферментативных реакций гидролиза водно-тепловой обработки замеса осахаривания, сокращается продолжительность брожения в результате влияния менее вязкой среды на физиологию дрожжей.

С целью получения высококонцентрированного суслу из водно-мучнистой суспензии пшеницы были проведены исследования влияния ферментных препаратов, содержащих ксиланазу, β -глюканазу и целлюлазу, а также разжижающего, осахаривающего и протеолитического действия на характеристики и вязкость суслу.

Ферментные препараты с целлюлазной активностью действуют на нерастворимые высокомолекулярные пентозаны, которые есть в пшеничном тесте, повышают долю низкомолекулярных пентозанов, при этом образуется более прочный клейковинный каркас. Доля связанной влаги в тесте увеличивается при внесении препаратов с гемицеллюлазной активностью. Увеличивается водопоглотительная способность полуфабрикатов и улучшаются структурно-механические свойства теста [6].

Материалы и методы

В качестве ферментных препаратов, разрушающих некрахмалистые полисахариды были выбраны: Висколаза 150 L (продуцентом является *Trichoderma longibrachitum*). Этот ферментный препарат содержит: β -глюканазная активность – 460 ед./см³, ксиланазная активность – 6400 ед./см³, и целлюлазная активность – 1600 ед./см³. А также ферментный препарат Целлюкласт 1,5 L. с β -глюканазной активностью – 3000 ед./см³, ксиланазной активностью – 728 ед./см³, и целлюлазной активностью – 1400 ед./см³.

На первом этапе работы основной задачей являлся выбор целлюлолитических ферментных препаратов и их оптимальных дозировок с целью деструкции некрахмальных полисахаридов и снижения вязкости как водно-мучнистой суспензии пшеницы, так и вязкости суслу с концентрацией сухих веществ 20–24% (концентрированного суслу).

Водно-мучнистую суспензию пшеницы получали следующим образом: очищенную от примесей пшеницу, размалывали на вальцовых станках в два этапа. Затем осуществляли 3-позиционный рассев, при этом отделяли часть отрубей, а полученную муку направляли в тестомеситель. Требования к помолу: проход через сита диаметром 0,16 мм – не менее 85%, 0,25 мм – 100%. В тестомеситель вносили муку и теплую воду, а также целлюлолитические ферментные препараты при оптимальных по литературным данным условиях их действия (T = 50 °C, pH 4,5–5,0). pH регулировали с использованием ацетатного буферного раствора. После чего в обработанной ферментными препаратами водно-мучнистой суспензии пшеницы определяли содержание крахмала, целлюлозы, растворимых углеводов, редуцирующих веществ [5]. Полученные данные представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1.
Влияние дозировки ферментного препарата Висколаза 150 L на содержание некоторых компонентов водно-мучнистой суспензии

Table 1.
Effect of the dosage of the enzymatic preparation Viscollase 150 L on the content of some components of the water-powdery suspension

Содержание исследуемых компонентов Content of test components	Дозировка Вискоказы 150 L, % к массе зерна The dosage of Viscose 150 L, % to the weight of the grain				
	0,005	0,01	0,02	0,03	Контроль
Крахмал, % Starch, %	61,09	60,97	59,7	58,7	62
Целлюлоза, % Cellulose, %	1,87	1,91	1,75	1,62	2,13
Редуцирующие вещества, г/100 см ³ Reducing substances, g/100 cm ³	7,73	7,95	8,28	8,96	7
Растворимые углеводы, г/100 см ³ Soluble carbohydrates, g/100 cm ³	9,6	11,3	11,43	11,51	7,06
Вязкость, Па·с Viscosity, Pa·s	124	88	81	74	145

Таблица 2.
Влияние дозировки ферментного препарата Целлюкласт 1,5 на состав водно-мучнистой суспензии

Table 2.
Effect of the dosage of the enzyme preparation Celluclust 1.5 on the composition of an aqueous-powdery suspension

Содержание исследуемых компонентов Content of test components	Дозировка Целлюкласт 1,5, % к массе зерна Celluclust 1.5, % to weight of grain				
	0,005	0,01	0,02	0,03	Контроль
Крахмал, % Starch, %	61,95	61,67	61,53	61,45	62
Целлюлоза, % Cellulose, %	2	1,99	1,84	1,78	2,13
Редуцирующие вещества, г/100 см ³ Reducing substances, g/100 cm ³	9,2	10,9	11,03	11,12	8,9
Растворимые углеводы, г/100 см ³ Soluble carbohydrates, g/100 cm ³	7,45	7,56	7,95	8,18	7
Вязкость, Па·с Viscosity, Pa·s	137	96	88	78	145

Результаты и обсуждение

Установлено, что ферментные препараты целлюлолитического действия оказали на углеводный комплекс зерна пшеницы неоднозначное влияние. По сравнению с контрольным вариантом под действием Вискоказы 150 L в дозе 0,005–0,3% к массе зерна количество редуцирующих сахаров увеличилось на 13–26%, а крахмала – снизилось на 1,5–5%, отмечается усиление гидролиза целлюлозы на 12–24%, возрастает количество растворимых углеводов – на 30–62%. Тогда как при использовании ферментного препарата Целлюкласт 1,5 L количество редуцирующих сахаров увеличилось на 10–21%, а крахмала – снизилось на 1–3%, целлюлоза гидролизовалась на 10–15%, возросло количество растворимых углеводов – на 20–50%.

Благодаря целлюлолитическим ферментным препаратам осуществляется последовательный гидролиз некрахмальных полисахаридов до низкомолекулярных углеводов (глюкозы), а также диспергирование крахмала и других высокомолекулярных веществ в составе зерна, что повышает количество сбраживаемых веществ и увеличивает количество получаемого спирта.

Более эффективное действие ферментных препаратов разжижающего действия и ферментных препаратов, гидролизующих некрахмалистые полисахариды, возможно благодаря высокой степени диспергирования сырья.

Вторым этапом исследований являлся выбор ферментных препаратов разжижающего действия; изучение возможности снижения норм дозровок, а также изучение реологических характеристик концентрированного сусла в зависимости от режимов водно-тепловой и ферментативной обработки.

Концентрированное сусло получали следующим образом: пшеницу дробили, просеивали на трехпозиционном рассеве, отделяли отруби, причем количество отрубей составляло 20% от массы перерабатываемого зерна, при этом крахмалистость отрубей составила 25%. Проход через сито $d = 0,16$ мм составил 8%; проход через сито $d = 0,20$ мм – 95%; проход через сито $d = 0,25$ мм – 100%. Пшеничную муку в количестве смешивали с водой температурой 50 °C в соотношении 1,5:1 в тестомесителе и вносили ферментный целлюлолитический ферментный препарат, а также протеолитический ферментный препарат. Водно-мучнистую суспензию (вмс)

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 составляет 10% от массы перерабатываемого сырья, при этом содержание белка 75%, влажность не более 7%, содержание золы менее 1%. Сконцентрированный А-крахмал соединяли с В-крахмалом и получали замес с содержанием сухих веществ 20–24%. Разваривание концентрированного 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, 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 осахаривающий ферментный препарат. Полученную массу осахаривали в течение 30 мин. И направляли на сбраживание [7].

В качестве разжижающих ферментных препаратов использовали: Термамил 120 L (продуцент – *Bacillus licheniformis*) и Термоферм 3500 L (продуцент *Bacillus subtilis*). Характеристика представленных ферментных препаратов приведена в таблице 3.

Дозировку разжижающих ферментных препаратов варьировали от 0,5 до 2,0 ед. АС/г условного крахмала сырья. Показатели качества осахаренного суслу в зависимости от дозировок амилазных ферментных препаратов разжижающего действия приведены в таблице 4.

Таблица 3.

Характеристика ферментных препаратов амилазного действия

Table 3.

Characteristics of enzyme preparations of amylolytic action

Название	Активность, ед. АС/см ³	Продуцент	Оптимальные условия действия	
			°С	рН
Термамил 120 L	700	<i>Bacillus licheniformis</i>	60–95	6,0–6,5
Термоферм 3500 L	3450	<i>Bacillus subtilis</i>	60–96	5,5–6,5

Таблица 4.

Показатели качества осахаренного суслу в зависимости от дозировок амилазных ферментных препаратов разжижающего действия

Table 4.

Quality indicators of sugared wort, depending on the dosages of amylolytic enzyme preparations of the diluting effect

Ферментный препарат Ferment	Образцы суслу Wort sample	Дозировка ФП, ед. АС/г условного крахмала Ferment dosage	Содержание в сусле Content in wort			Аминный азот, мг/100 см ³ Amine N	Видимая доброкачественность, % Visible good quality
			СВ, % мас.	ОПВ, г / 100 см ³	РВ, г / 100 см ³		
Термоферм 3500L	16–18%	2	17,8	12,5	8,6	13,4	68,8
	20–24%	0,5	23,8	13	7,6	17,2–21,4	58,5
		0,7		15,41	10,2		66,1
		1		20,63	17,6		85,3
		1,2		21,08	18,1		85,86
		1,5		21,12	18,3		85,9
	16–18%	2	17,6	12,5	8,5	13,2	68,0
Термамил 120L	20–24%	0,5	23,5	11	7,0	16,4–19,8	58,3
		0,7		13,46	8,9		66,1
		1		19,5	16,0		82,0
		1,2		19,8	16,2		81,8
		1,5		20,0	16,3		81,5
	16–18%	2	17,6	12,5	8,5	13,2	68,0

Использование в качестве разжижающего препарата Термоферм 3500 L в дозировке 0,5 ед. АС/г условного крахмала позволяет повысить содержание общих редуцирующих веществ по сравнению с суслом, полученным по стандартной технологии на 20–35%. Содержание редуцирующих веществ при дозировке 0,5 ед. АС/г условного крахмала составляет 13 г./100 см³, тогда как при дозировке 1 ед. АС/г у.с.к. – 20,6 г / 100 см³.

Вероятно, это связано с тем, что использование целлюлолитических ферментных препаратов на стадии получения интенсифицирует процесс гидролиза клеточных стенок и оболочек сырья, что улучшает доступ амилолитических ферментов к крахмалу и повышает степень его использования.

Дальнейшее увеличение дозировки ферментного препарата не приводит к значительному увеличению общих редуцирующих веществ.

При применении в качестве разжижающего ферментного препарата Термамил 120 L, максимальное содержание общих редуцирующих веществ наблюдали также при дозировке 1 ед. АС/г условного крахмала – 19,5 г/100 см³, при дальнейшем увеличении дозировки содержание общих редуцирующих веществ увеличилось незначительно на 1,5–2%.

Применение в качестве разжижающего препарата Термоферм 3500 L позволяет получить сусло с максимальной концентрацией сухих веществ,

сбраживаемых углеводов и восстанавливающих сахаров. При этом показатель видимой доброкачественности сусла при использовании Термоферм 3500 L составил 85,8%, что превышает соответствующие значения для Термамил 120 L. Максимальное содержание аминного азота сусла проявляется при использовании ферментного препарата Термоферм 3500 L при дозировке 1–1,2 ед. АС/г условного крахмала и составило 17–21 мг/100 см³, тогда как при использовании ферментного препарата Термамил 120 L количество аминного азота колеблется от 16,5 до 20 мг/100 см³.

Исходя из полученных результатов ферментный препарат Термоферм 3500 L будет использован нами в качестве разжижающего при переработке концентрированного сусла.

В качестве варьируемых факторов, выбранных в работе, для возможности решения проблемы нетехнологичности сред из крахмалистого сусла на паузе механико-ферментативной обработки сырья рассмотрены:

- сокращение первой паузы ($t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) с 30 мин до 0 мин;
- сокращение второй паузы ($t = 70\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$) с 120 до 60 мин;
- сокращение третьей паузы ($t = 80\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$) с 60 до 30 мин.

Зависимость текучести крахмального сусла от продолжительности гидродинамической и ферментативной обработки представлена в таблице 5.

Таблица 5.

Зависимость текучести крахмального сусла от продолжительности гидродинамической и ферментативной обработки

Table 5.

The dependence of the flowability of starch wort on the duration of hydrodynamic and enzymatic treatment

Т _{общ.} , мин	Длительность пауз, мин Duration, min			Текучесть крахмального сусла, с Flowability of starch wort, s					
				Термоферм 3500L			Термамил 120L		
	Пауза 1 ($t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Пауза 2 ($t = 70\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Пауза 3 ($t = 80\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Пауза 1	Пауза 2	Пауза 3	Пауза 1	Пауза 2	Пауза 3
210	30	120	60	32,9	20,6	16,2	35,3	24,4	17,7
180	-	120	60		18,4	13,5		21,8	14,0
120	-	60	60		17,2	9,8		19,7	11,2
90	-	60	30		17,4	14,8		20,0	15,7

При изучении влияния первого фактора – сокращение паузы ($t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), используемой для замеса, выявлено, что текучесть сред при 30 мин выдержки сусла при этой температуре составила 35,3 с при использовании Термамила 120 L и 32,9 с при применении Термоферма 3500 L. Вероятно, это связано с высоким содержанием сухих веществ сусла. Исключив эту паузу, мы получили более технологичные среды с текучестью 20–24 с. Пробы, полученные при $t = 70\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$, имеют показатель текучести

18–22 с. Причем сокращая вторую паузу ($t = 70\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$) с 120 до 60 мин текучесть сусла снижается до 17–19 с, что связано с процессом клейстеризации крахмала зерна. Применяя 60 мин выдержку сусла при температуре 70–75 °C, а также 60 мин выдержку сусла при 80–95 °C получаем текучесть сусла 11,2 с при использовании Термамила 120 L и 9,8 с при применении Термоферма 3500 L, что на уровне допустимых значений для технологичных сред.

Однако сокращение третьей паузы ($t = 80\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$) с 60 до 30 мин приводит к ухудшению реологических характеристик сред. Так, текучесть суслу составила 15–17 с.

В результате изучения реологических характеристик в ходе получения крахмального суслу можно предложить эффективный, простой технологический прием для снижения вязкости сред, а именно, повышение температуры воды при замесе с 50 до 70 $^{\circ}\text{C}$.

С целью сокращения продолжительности механико-ферментативной обработки высококонцентрированного крахмального суслу представляло

интерес изучить динамику накопления сухих веществ, сбраживаемых углеводов и восстанавливающих сахаров в процессе его приготовления (таблица 6).

Установлено, что наименьшее значение на основные показатели суслу оказывает длительность выдержки массы на первой паузе, осуществляемой при температуре 50 $^{\circ}\text{C}$. Так, сокращение этой паузы с 30 мин (О) сначала до 15 мин (О1), а затем и отсутствие выдержки (О2) приводит к незначительному снижению содержания ОРВ в сусле с 20,9 до 20,6%, и уменьшению РВ на 1,5%.

Таблица 6.

Зависимость основных показателей концентрированного суслу от продолжительности водно-тепловой обработки

Table 6.

Dependence of the main indicators of concentrated wort on the duration of water-heat treatment

№ п/п	$\tau_{\text{общ}}$, мин	Длительность пауз, мин Duration, min			Массовая доля в сусле, % Mass fraction in wort, %			
		Пауза 1 ($t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Пауза 2 ($t = 70\text{--}75\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Пауза 3 ($t = 80\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$)	СВ	ОРВ	РВ	Белок Protein
К	210	30	120	60	18,6	16,8	10,1	0,4
О	210	30	120	60	23,6	20,9	18,2	0,5
О1	195	15	120	60	23,6	20,8	17,8	0,5
О2	180	-	120	60	23,6	20,6	17,8	0,5
О3	180	-	90	90	23,6	20,6	17,9	0,6
О4	120	-	60	60	23,6	20,5	17,8	0,6
О5	120	-	30	90	22,8	15,1	8,4	0,38
О6	90	-	60	30	23,0	16,9	11,8	0,5
О7	90	-	30	60	22,8	20,3	18,0	0,4

В опытном варианте накопление сбраживаемых углеводов (O_2) и восстанавливающих сахаров (O_3) протекало значительно интенсивнее, чем в контрольном. С позиции сохранения восстанавливающих сахаров, следует рекомендовать: 1) исключение первой паузы водно-тепловой обработки при $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2) 60 мин выдержку при 70–75 $^{\circ}\text{C}$ и 60 мин выдержку при температуре 80–95 $^{\circ}\text{C}$. Увеличение паузы при данной температуре до 90 мин сопровождалось разрушением образовавшихся сахаров.

Выявлены режимы водно-тепловой обработки суслу (О3 и О4), характеризующиеся следующими физико-химическими показателями суслу: содержание ОРВ – 20,6%, РВ – 17,8%, растворимый белок – 0,6% при снижении общей продолжительности на стадии водно-тепловой и ферментативной обработки с 3,5 до 2 ч. Возможно применение ферментных препаратов целлюлолитического и протеолитического действия при получении концентрированного суслу способствует гидролизу некрахмалистых полисахаридов, таких, как целлюлоза, что позволяет получить дополнительный источник сбраживаемых углеводов. Воздействуя на растворимую фракцию гемицеллюлоз, можно снизить вязкость. При гидролизе клеточных стенок и оболочек сырья повышается

доступ амилолитических ферментов к крахмалу и степень его использования.

Заключение

Установлено, что под действием целлюлолитических ферментов происходит последовательный гидролиз некрахмальных полисахаридов до низкомолекулярных углеводов (глюкозы). Так при использовании ферментного препарата Целлюкласт 1,5 L количество редуцирующих сахаров увеличилось на 3–5%, крахмала снизилось на 1–3%, целлюлоза гидролизовалась на 10–15%, количество растворимых углеводов возросло на 2–5%.

Определены факторы, влияющие на процесс получения концентрированного суслу по предлагаемой технологии. Показано, что для достижения требуемых реологических характеристик суслу водно-тепловая обработка должна начинаться с 70 $^{\circ}\text{C}$. В качестве ферментного препарата разжижающего действия рекомендован ферментный препарат Термоферм 3500 L в дозировке 1 ед. АС/г условного крахмала. Выявлены режимы получения суслу, обеспечивающие снижение общей продолжительности стадий водно-тепловой и ферментативной обработки с 3,5 до 2 ч.

ЛИТЕРАТУРА

1 Крикунова Л.Н., Рябова С.М. Низкотемпературный способ получения ржаного сусла // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2011. № 2. С. 14–16.

2 Баракова Н.В., Тишин В.Б., Леонов А.В. Влияние ферментных препаратов на вязкость высококонцентрированных замесов из ячменя при производстве этилового спирта // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2010. № 4. С. 24–26.

3 Романюк Т.И., Чусова А.Е., Агафонов Г.В. Получение осветленного сусла из зерна ржи и его сбраживание на этанол // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2013. № 4. С. 13–16.

4 Долгов А.Н., Агафонов Г.В., Зуева Н.В., Шенцева С.А. Выбор способа измельчения зернового сырья при разработке технологии получения этанола // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 8. С. 13–15.

5 Долгов А.Н., Агафонов Г.В., Н.В., Вертепова В.А., Рубцова М.О. Влияние технологических параметров на состав и реологические свойства замесов из пшеничной муки // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 9. С. 10–12.

6 Saha B. C. и др. Hydrothermal pretreatment and enzymatic saccharification of corn stover for efficient ethanol production // *Industrial Crops and Products*. 2013. Т. 44. С. 367–372.

7 Пат. РФ № 2586538 Способ переработки зернового сырья с получением этанолабелкового продукта и глютена / Долгов А.Н., Агафонов Г.В., Зуева Н.В., Веретенников С.А. Опубл. 17.05.2016

8 Gumienka M., Lasik M., Szambelan K., Czamecki Z. Reduction of water consumption in bioethanol production from triticale by recycling the stillage liquid phase // *Acta Scientiarum Polonorum*. 2011. Т. 10, № 4. С. 467–474.

9 Saha B. C. et al. Pilot scale conversion of wheat straw to ethanol via simultaneous saccharification and fermentation // *Bioresource technology*. 2015. Т. 175. С. 17–22.

10 Giese E. C. и др. Enzymatic saccharification of acid-alkali pretreated sugarcane bagasse using commercial enzyme preparations // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2013. Т. 88. № 7. С. 1266–1272.

REFERENCES

1 Krikunova L.N., Ryabova S.M. Low-temperature method of producing rye wort. *Proizvodstvo spirita i likerovodochnykh izdelii* [The production of alcohol and alcoholic beverages]. 2011. no. 2. pp. 14–16. (in Russian).

2 Barakova N.V., Tishin V.B., Leonov A.V. Effect of enzyme preparations on viscosity of highly concentrated mixtures of barley in the production of ethanol. *Proizvodstvo spirita i likerovodochnykh izdelii* [The production of alcohol and alcoholic beverages]. 2010. no. 4. pp. 24–26. (in Russian).

3 Romanyuk T.I., Chusova A.E., Agafonov G.V. Obtaining the clarified wort from rye grain and its fermentation to ethanol. *Proizvodstvo spirita i likerovodochnykh izdelii* [The production of alcohol and alcoholic beverages]. 2013. no. 4. pp. 13–16. (in Russian).

4 Dolgov A.N., Agafonov G.V., Zueva N.V., Shentseva S.A. The choice of method of grinding grain raw materials in the development of technology for production of ethanol. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural products]. 2014. no. 8. pp. 13–15. (in Russian).

5 Dolgov A.N., Agafonov G.V., N.V., Vertepova V.A., Rubtsova M.O. Influence of technological parameters on the composition and rheological properties of mixtures of wheat flour. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural products]. 2014. no. 9. pp. 10–12. (in Russian).

6 Saha B. C. et al. Hydrothermal pretreatment and enzymatic saccharification of corn stover for efficient ethanol production. *Industrial Crops and Products*. 2013. vol. 44. pp. 367–372.

7 Dolgov A.N., Agafonov G.V., Zueva N.V., Veretennikov S.A. Sposob pererabotki zernovogo syr'ya s polucheniem etanolabelkovogo produkta i glyutena [A method of processing grain raw materials to produce ethanol language product and gluten-free]. Patent RF, no. 2586538. Publ. 17.05.2016.

8 Gumienka M., Lasik M., Szambelan K., Czamecki Z. Reduction of water consumption in bioethanol production from triticale by recycling the stillage liquid phase. *Acta Scientiarum Polonorum*. 2011. vol. 10, no. 4. pp. 467–474.

9 Saha B. C. et al. Pilot scale conversion of wheat straw to ethanol via simultaneous saccharification and fermentation. *Bioresource technology*. 2015. vol. 175. pp. 17–22.

10 Giese E. C. et al. Enzymatic saccharification of acid-alkali pretreated sugarcane bagasse using commercial enzyme preparations. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2013. vol. 88. no. 7. С. 1266–1272.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Natal'ja V. Zueva candidate of technical sciences, assistant professor, fermentation technology and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, Nataspirit30@yandex.ru

Gennadij V. Agafonov doctor of technical sciences, professor, head of Department of fermentation technology and sugar industries), Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gvagafonov@mail.ru

Margarita V. Korchagina student, fermentation technology and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, rita.korchagina.97@mail.ru

Aleksandr N. Dolgov candidate of technical sciences, assistant professor, fermentation technology and sugar industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vinodelvgt@mail.ru

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.2.2017

ACCEPTED 5.11.2017

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, Nataspirit30@yandex.ru

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

Маргарита В. Корчагина студент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, rita.korchagina.97@mail.ru

Александр Н. Долгов к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vinodelvgt@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 02.04.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 11.05.2017