

УДК 663.531; 663.51; 663.52

НОВЫЕ КРИТЕРИИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СПИРТОВОГО СУСЛА ИЗ БИОАКТИВИРОВАННОГО ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

А. А. Миронцева, Е. А. Цед, С. В. Волкова

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование биохимических особенностей и свойств некрахмалистых полисахаридов зерна и формирование единого подхода к дифференциации зерна по технологичности применительно к условиям спиртового производства является актуальным. Научной задачей явилась разработка и обоснование применения новых критериев оценки технологических свойств сырья при оптимизации параметров получения спиртового сусла из биоактивированного зерна.

Материалы и методы. Образцы зерна ржи и тритикале, зерновые замесы и спиртовое сусло, полученные из исходного и биоактивированного зерна ржи и тритикале по низкотемпературной механико-ферментативной схеме разваривания. Общепринятые в теххимическом контроле спиртовой отрасли методики контроля качества.

Результаты. Изучен физико-химический состав и рассчитаны коэффициенты вариации показателей качества зерна шести сортов ржи и тритикале белорусской селекции. Получена аналитическая зависимость между условной крахмалистостью зерна, содержанием гемицеллюлоз и пентозанов. Разработаны критерии оценки технологических свойств зерна – критерии некрахмалистости ржи (K_{np}) и тритикале (K_{npT}). Определены параметры критериев некрахмалистости, при которых использование зерна неэффективно вследствие достижения области значений минимальной условной крахмалистости. Проанализирована зависимость эффективной вязкости ржаных и тритикалевых замесов от критериев некрахмалистости и установлены их значения, позволяющие дифференцировать перерабатываемое зерно по технологичности реологических характеристик получаемых замесов. Выявлена возможность снижения норм расхода ферментных препаратов амилотического и ксиланазного спектра действия на 19,4 и 11,5 % при переработке биоактивированной ржи с критерием некрахмалистости $K_{np} \leq 0,7$; на 17,4 и 23,1 % – при переработке биоактивированного тритикале с критерием некрахмалистости $K_{npT} \leq 0,5$.

Выводы. Разработанные критерии некрахмалистости являются инструментом оценки и дифференциации зерна по технологичности, а также прогнозирования реологических параметров замесов при их водно-тепловой обработке. Рекомендованное сокращение фактического расхода ферментных препаратов амилотического и ксиланазного спектра действия при получении сусла позволит увеличить внутрихозяйственные резервы спиртовых предприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *рожь; тритикале; некрахмалистые полисахариды; замес; сусло; критерии некрахмалистости; эффективная вязкость; биоактивированное зерно; ферментные препараты.*

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Миронцева, А. А. Новые критерии при оптимизации параметров приготовления спиртового сусла из биоактивированного зернового сырья / А. А. Миронцева, Е. А. Цед, С. В. Волкова // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2022. – № 2(33). – С. 81–93.

NEW CRITERIA FOR OPTIMIZING THE PARAMETERS OF THE PREPARATION OF ALCOHOLIC WORT FROM BIOACTIVATED GRAIN RAW MATERIALS

A. A. Mirontseva, E. A. Tsed, S. V. Volkova

Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. The study of biochemical features and properties of non-starchy polysaccharides of grain and the development of a unified approach to the differentiation of grain in terms of manufacturability in relation to the conditions of alcohol production is of utmost importance. The scientific task of the research is to develop and justify the application of new criteria for assessing the technological properties of raw materials in optimizing the parameters for obtaining alcoholic wort from bioactivated grain.

Materials and methods. Samples of rye and triticale grains, grain mixtures and alcohol wort obtained from the original and bioactivated rye grains and triticale according to the low-temperature mechanical-enzymatic cooking scheme. Common quality control methods applied in the techno-chemical control of the alcohol industry.

Results. The physico-chemical composition was studied and the coefficients of variation of grain quality indicators of six varieties of rye and triticale of the Belarusian selection were calculated. An analytical dependence of the conditional starch content of grain on the content of hemicelluloses and pentosans was obtained. Criteria for assessing the technological properties of grain - criteria for non-starch content of rye (C_{nr}) and triticale (C_{nr}) have been developed. The parameters of the non-starch content criteria have been worked out, under which the use of grain is not effective due to the achievement of the range of values of the minimum conditional starch content. The dependence of the effective viscosity of rye and triticale mixtures on the criteria of non-starch content has been analyzed and their values have been determined, which makes it possible to differentiate the processed grain according to the manufacturability of the rheological characteristics of the resulting mixtures. The possibility of reducing the consumption rates of enzyme preparations of the amylolytic and xylanase spectrum of action by 19,4 and 11,5 % during the processing of bioactivated rye with the criterion of non-starch content $C_{nr} \leq 0,7$; by 17,4 and 23,1 % – during the processing of bioactivated triticale with the non-starch criterion $C_{nr} \leq 0,5$ has been revealed.

Conclusions. The developed criteria for non-starch content are a tool for assessing and differentiating grain in terms of manufacturability, as well as predicting the rheological parameters of mixtures during their water-heat treatment. The recommended reduction in the actual consumption of enzyme preparations with amylolytic and xylanase spectrum of action in obtaining wort will increase the on-farm reserves of alcohol industry enterprises.

KEY WORDS: *rye; triticale; non-starchy polysaccharides; mixture; wort; criteria for non-starch content; effective viscosity; bioactivated grain; enzyme preparations.*

FOR CITATION: Mirontseva, A. A. New criteria for optimizing the parameters of the preparation of alcoholic wort from bioactivated grain raw materials / A. A. Mirontseva, E. A. Tsed, S. V. Volkova // Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. – 2022. – № 2 (33). – P. 81–93 (in Russian).

ВВЕДЕНИЕ

При производстве пищевого этилового спирта в Республике Беларусь в основном перерабатывают тритикале и рожь, что обусловлено следующими аспектами: высокой концентрацией крахмала по сравнению с другими зерновыми культурами, низкой рыночной стоимостью данных культур [1]. Кроме того, сформированная агробиологическими преимуществами (хорошей урожайностью, зимостойкостью, устойчивостью к болезням и приспособленностью к произрастанию на почвах с невысоким естественным плодородием) себестоимость сырья обеспечивает рентабельность спиртового производства в целом [2, 3].

Наряду с указанными достоинствами ржи и тритикале при их переработке может возникать ряд технологических проблем, связанных со специфичностью химического состава зерна [1, 4].

Известно, что основной особенностью ржи и тритикале является наличие в составе зерновки некрахмалистых полисахаридов, сосредоточенных преимущественно в анатомической части зерна – оболочке. Некрахмалистые полисахариды ржи и тритикале представлены целлюлозой, гемицеллюлозой, пентозанами и пектиновыми веществами [4–6].

Гемицеллюлозы составляют почти половину компонентов клеточных стенок зерна и состоят в основном из β -глюкана и пентозанов. Пентозаны представляют собой гликопротеиды и разделяются на водорастворимые и нерастворимые фракции. Около 20 % пентозанов, растворимых в воде, не связаны с клеточной мембраной, могут образовывать высоковязкие растворы и поглощать воду в объеме, приблизительно в 10 раз превышающем их массу, называются гумми-веществами. Гумми-вещества относят к продуктам незавершенного гидролиза гемицеллюлоз или по-другому – декстринам гемицеллюлоз [4–9].

Изучением состава и свойств некрахмалистых полисахаридов ржи и тритикале занимаются сотрудники ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности (РФ), ВНИИ пищевой биотехнологии (РФ), Московского государственного университета пищевых производств (РФ) и др. [6–11]. Проводимые исследования посвящены количественному определению некрахмалистых полисахаридов во ржи и тритикале, их строению, свойствам, проблеме дифференциации и переработки зерна на спирт с различным содержанием некрахмалистых полисахаридов (НПС). М. В. Гернет, К. В. Кобелевым, И. Н. Грибковой [7] установлено, что общая концентрация НПС во ржи составляет 14,0–19,0 %, на долю гемицеллюлоз приходится 8–14%, гумми-веществ – 4,3–7,4 %. В различных сортах тритикале содержание гумми-веществ составляет 1,82–3,48 %, гемицеллюлоз – 5,81–7,28 %, причем обнаружена обратная зависимость между концентрацией гемицеллюлоз и гумми-веществ [10].

В работах [11–14] показано, что содержание некрахмалистых полисахаридов подвержено колебаниям в зависимости от сорта, крупности и условий произрастания зерна. Так, засушливые условия выращивания создают предпосылки для повышения доли водорастворимых пентозанов в зерне ржи, а с увеличением крупности (толщины) зерна их содержание снижается.

Практика работы спиртовых предприятий показывает, что высокое содержание некрахмалистых полисахаридов в зерне может оказывать негативное влияние на процесс измельчения зерна, затрудняя работу движущихся частей дробилок; высокая водопоглотительная способность гумми-веществ препятствует набуханию крахмала и последующих процессов его клейстеризации и ферментативного гидролиза; повышенное содержание гемицеллюлоз и пентозанов обуславливает высокую вязкость замесов и сусле и увеличивает расход электроэнергии на их перемешивание и транспортировку, кроме того, некрахмалистые полисахариды могут являться одной из причин пенистого брожения, что сопровождается нарастанием кислотности сверх норм и приводит к снижению выхода и качества этилового спирта [4, 6, 15, 16].

Научные исследования, проведенные в университете ИТМО (РФ), показывают целесообразность применения в спиртовом производстве ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов. Авторами установлено, что переработка низкопентозановой ржи приводит к увеличению концентрации сухих веществ и аминного азота в сусле, а процесс его сбраживания протекает интенсивнее и с меньшим накоплением побочных примесей в дистиллятах по сравнению с использованием фуражной ржи [17–20]. В ряде научных работ (РФ) даны рекомендации по переработке в спиртовом производстве зернового сырья с низким содержанием некрахмалистых полисахаридов и высокой концентрацией крахмала [5, 15, 21, 22].

Однако биохимические особенности и свойства некрахмалистых полисахаридов зерна белорусской селекции и их влияние на характер протекания процессов при получении пищевого этанола изучены недостаточно. Кроме того, имеющиеся данные не дают полного представления о рациональном ведении технологических процессов при непостоянстве содержания некрахмалистых полисахаридов в зерне.

В связи с этим целью настоящей работы явилось формирование единого подхода к дифференциации зерна по технологичности в условиях вариативности концентрации

некрахмалистых полисахаридов применительно к спиртовому производству.

Научная задача – разработка и обоснование применения новых критериев оценки технологических свойств сырья при оптимизации параметров получения спиртового сусла из биоактивированного зерна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлась рожь белорусской селекции сортов Пламя, Плиса, Павлинка, Нива, Алькора, Пуховчанка, а также тритикале – Антось, Кастусь, Дубрава, Рунь, Импульс, Прометей белорусской селекции (2017–2020 гг. урожая), предметом исследования выступали физико-химические показатели замесов и сусла, полученные в лабораторных условиях кафедры технологии пищевых производств учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий».

В работе применяли общепринятые и специальные методики исследований [23]. Влажность зерна определяли по ГОСТ 13586.5; условную крахмалистость – по ГОСТ 31683; содержание гемицеллюлоз – гидролизом до пентоз с последующим анализом моносахаридов по методу Бертрана. Общее содержание пентозанов в зерне устанавливали методом Толленса; содержание водорастворимых пентозанов – спектрометрически с орциновым реактивом. Эффективную вязкость замесов и сусла определяли с помощью ротационного вискозиметра НААКЕ Viscotester 6 plus. Показатели качества сусла – содержание сухих веществ (СВ), общих (ОУ) и растворимых углеводов (РУ) определяли в соответствии с инструкцией по техно-химическому и микробиологическому контролю спиртового производства [18], определение содержания редуцирующих сахаров (РС) вели по методу Бертрана.

Биоактивацию зерна проводили в соответствии с режимами, представленными в работе¹. Замесы и сусло из исходной и биоактивированной ржи и тритикале получали по низкотемпературной механико-ферментативной схеме с применением ферментных препаратов (ФП): Ликвафло, Вискаферм, Сахзайм Плюс 2х.

Результаты экспериментальных исследований получали из трех параллельных опытов при 2-кратном повторении, определяя их среднеарифметическое значение. Математическую обработку полученных данных проводили с использованием программ MS Excel и Statistica 10.0, программного пакета системы компьютерной алгебры Maxima.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведены исследования по определению физико-химических показателей шести сортов ржи белорусской селекции – Пламя, Плиса, Павлинка, Нива, Алькора, Пуховчанка и шести сортов тритикале – Антось, Кастусь, Дубрава, Рунь, Импульс, Прометей белорусской селекции. Результаты исследований представлены в табл. 1 и 2.

¹ Миронцева, А. А. Оптимизация основных параметров процесса биоактивации зерна ржи при производстве пищевого этилового спирта / А. А. Миронцева [и др.] // Техника и технология пищевых производств: тез. докл. XII Междунар. науч. конф. студ. и аспирантов, Могилев, 22–23 апреля 2021 г. / Могилевский гос. ун-т продовольствия; редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: МГУП. 2021. – С. 26.

Табл. 1. Физико-химические показатели исследуемых сортов зерна ржи

Table 1. Physico-chemical parameters of the studied varieties of rye grain

Сорта ржи	Показатели	Условная крахмалистость, %	Содержание гемицеллоз, %	Содержание пентозанов, %
Пламя	среднее значение	54,37	12,03	7,97
	коэффициент вариации, %	1,39	19,41	21,64
Плиса	среднее значение	56,72	7,93	5,13
	коэффициент вариации, %	0,95	4,43	9,80
Павлинка	среднее значение	54,13	11,47	6,83
	коэффициент вариации, %	3,08	8,74	20,56
Нива	среднее значение	57,91	7,77	4,43
	коэффициент вариации, %	2,01	4,52	19,18
Алькора	среднее значение	56,62	8,77	5,53
	коэффициент вариации, %	2,15	6,49	14,04
Пуховчанка	среднее значение	55,8	10,00	6,37
	коэффициент вариации, %	1,50	11,14	14,93

Табл. 2. Физико-химические показатели исследуемых сортов зерна тритикале

Table 2. Physico-chemical parameters of the studied varieties of triticale grain

Сорта тритикале	Показатели	Условная крахмалистость, %	Содержание гемицеллоз, %	Содержание пентозанов, %
Антось	среднее значение	60,53	6,34	4,63
	коэффициент вариации, %	1,84	7,28	10,65
Кастусь	среднее значение	58,53	7,20	5,17
	коэффициент вариации, %	1,98	4,17	4,87
Дубрава	среднее значение	61,33	6,07	4,43
	коэффициент вариации, %	1,88	10,72	7,25
Рунь	среднее значение	59,43	6,90	4,87
	коэффициент вариации, %	4,17	11,50	9,71
Импульс	среднее значение	60,33	6,30	4,77
	коэффициент вариации, %	3,32	14,55	12,29
Прометей	среднее значение	59,87	6,57	4,83
	коэффициент вариации, %	4,14	12,21	13,78

Рассчитанный коэффициент вариации показал слабую внутрисортную изменчивость зерна ржи по показателям влажности (5,79–9,66 %), природы (1,11–2,17 %), абсолютной массы (2,77–7,10 %), условной крахмалистости (2,71–8,21 %), жира (7,87–9,13 %), зольности (4,20–8,66 %), титруемой кислотности (2,71–7,51 %), энергии (0,95–2,30 %) и способности прорастания (1,09–2,03 %); среднюю внутрисортную изменчивость – по содержанию редуцирующих сахаров (12,75–17,70 %), белка (11,79–15,66 %), аминного азота (11,82–14,88 %), гемицеллюлоз (10,55–15,82 %) и пентозанов (10,84–18,98 %).

При анализе показателей сортов зерна тритикале установлена слабая вариация по показателям: влажности – 3,65–9,18 %, природы – 0,54–2,36 %, абсолютной массы – 2,5–8,32 %, условной крахмалистости – 1,76–4,17 %, белка – 3,2–7,36 %, жира – 1,16–7,94 %, зольности – 5,44–8,64 %, титруемой кислотности – 4,76–8,25 %, энергии – 1,23–2,58 % и способности прорастания – 0,97–2,54 %; средним значением коэффициента вариации характеризовались показатели: содержания редуцирующих сахаров – 10,33–14,80 %, аминного азота – 13,54–19,54 %, гемицеллюлоз – 13,84–20,27 %.

Высокий коэффициент вариации отмечен для всех сортов зерна тритикале по содержанию пентозанов: 22,48–28,80 %.

В результате обработки результатов экспериментальных данных, представленных в табл. 1 и табл. 2, получены уравнения 1 и 2, учитывающие взаимное влияние содержания гемицеллюлоз и пентозанов на условную крахмалистость в зерне ржи и тритикале:

$$K_p = 56,52 + 1,94G_p - 1,82П_p - 0,260G_p^2 + 0,385G_pП_p - 0,187П_p^2, \quad (1)$$

где K_p – условная крахмалистость ржи, %;

G_p – содержание гемицеллюлоз во ржи, %;

$П_p$ – содержание пентозанов во ржи, %.

$$K_{тр} = 51,23 + 2,19G_{тр} + 0,799П_{тр} - 0,324G_{тр}^2 + 0,457G_{тр}П_{тр} - 0,488П_{тр}^2 \quad (2)$$

где $K_{тр}$ – условная крахмалистость тритикале, %;

$G_{тр}$ – содержание гемицеллюлоз в тритикале, %;

$П_{тр}$ – содержание пентозанов в тритикале, %.

Анализ данных зависимостей позволил установить следующие общие закономерности: при условной крахмалистости зерна ржи 55,0 % и более – концентрация гемицеллюлоз не превышает 10,1 %, содержание общих пентозанов – не более 7,0 %. При условной крахмалистости зерна 53,5 % и менее – содержание гемицеллюлоз и общих пентозанов возрастает до 11,4 % и 8,5 % соответственно.

При условной крахмалистости тритикале 55,0 % и выше концентрация гемицеллюлоз в зерне не превышает 9,8 %, а содержание общих пентозанов – не более 6,6 %; при условной крахмалистости зерна тритикале 53,5 % и менее концентрация гемицеллюлоз достигает 11,1 %, а содержание общих пентозанов – 7,8 %.

В результате преобразований полученных закономерностей было получено графическое представление области минимальной условной крахмалистости во ржи и тритикале при ограничивающих концентрациях гемицеллюлоз и пентозанов. Контурные кривые функций отклика представлены на рис.1.

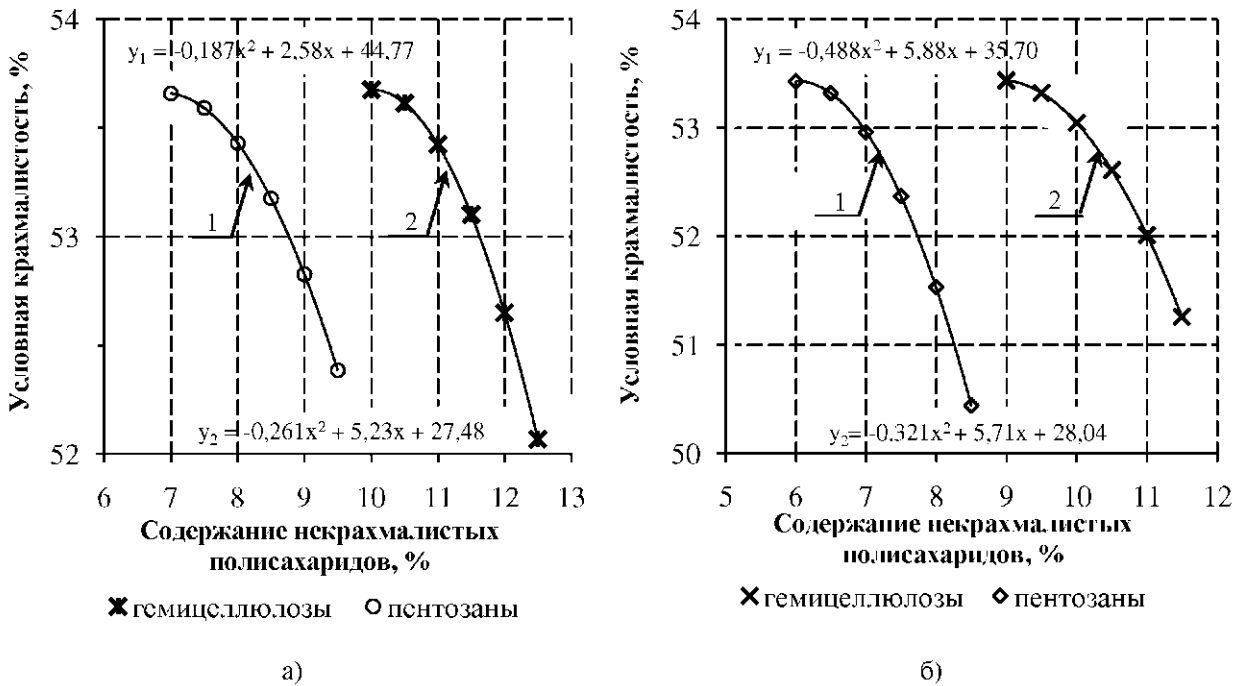


Рис. 1. Контурные кривые функции отклика области минимальной условной крахмалистости в зерне при ограничивающей концентрации гемицеллюлоз и общих пентозанов: а) рожь; б) тритикале

Fig. 1. Contour curves of the response function of the region of the minimum conditional starch content in grain at limiting concentration of hemicelluloses and common pentosans: a) rye; b) triticale

С помощью аналитических преобразований, заключающихся в приведении фактических значений каждого показателя в безразмерный вид и пересчета фактических значений, были получены графики функций изменений минимальной условной крахмалистости при ограничивающих значениях концентрациях гемицеллюлоз и пентозанов, выраженных в безразмерном виде.

Приняв значения параметров гемицеллюлоз и общих пентозанов равнозначными, был разработан новый критерий оценки технологических свойств зернового сырья белорусской селекции – критерий некрахмалистости. Критерий некрахмалистости представляет собой безразмерную величину и является произведением отношений фактических значений параметров гемицеллюлоз и общих пентозанов к их лимитирующему значению:

$$K_H = \frac{\Gamma_{\phi}}{\Gamma_{\text{lim}}} \cdot \frac{\Pi_{\phi}}{\Pi_{\text{lim}}}, \quad (3)$$

где Γ_{ϕ} , Π_{ϕ} – фактическое значение содержания гемицеллюлоз и пентозанов;

Γ_{lim} , Π_{lim} – лимитирующее значение содержания гемицеллюлоз и пентозанов в зерне.

С целью определения критерия некрахмалистости для зерна ржи уравнение (3) было преобразовано в уравнение (4), для зерна тритикале – в уравнение (5):

$$K_{\text{нр}} = \frac{(-0,634 \Gamma_p^2 + 1,11 \Gamma_p + 0,514)}{\Gamma_{\text{грр}}} \cdot \frac{(-0,253 \Pi_p^2 + 0,409 \Pi_p + 0,837)}{\Pi_{\text{грр}}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{нр}}$ – критерий некрахмалистости ржи, %;

Γ_p – содержание гемицеллюлоз во ржи, %;

Π_p – содержание пентозанов во ржи, %;

$\Gamma_{грр}$ – лимитирующее значение гемицеллюлоз во ржи, %;
 $\Pi_{грр}$ – лимитирующее значение пентозанов во ржи, %.

$$K_{нпр} = \frac{(-0,739 \Gamma_{гр}^2 + 1,19 \Gamma_{гр} + 0,524)}{\Gamma_{грр}} \cdot \frac{(-0,555 \Pi_{гр}^2 + 0,858 \Pi_{гр} + 0,667)}{\Pi_{грр}}, \quad (5)$$

где $K_{нпр}$ – условная крахмалистость тритикале, %;
 Γ_r – содержание гемицеллюлоз в тритикале, %;
 Π_r – содержание пентозанов в тритикале, %;
 $\Gamma_{грр}$ – лимитирующее значение гемицеллюлоз в тритикале, %;
 $\Pi_{грр}$ – лимитирующее значение пентозанов в тритикале, %.

По результатам определения экстремумов полученных функций найдены предельные значения содержания гемицеллюлоз и пентозанов в зерне ржи ($\Gamma_{рр} \geq 0,87$; $\Pi_{рр} \geq 0,81$) и тритикале ($\Gamma_{тр} \geq 0,80$; $\Pi_{тр} \geq 0,77$), при которых использование зерна неэффективно вследствие достижения областей минимальной условной крахмалистости. Это будет обуславливать снижение выхода спирта из тонны сырья и приводить к ухудшению экономических показателей работы предприятия.

Так как некрахмалистые полисахариды зерна обуславливают основную проблему в спиртовом производстве – высокую вязкость замесов, исследовали зависимость эффективной вязкости ($\mu_{эфф}$) замесов из ржи и тритикале от коэффициента некрахмалистости. Графическая интерпретация полученной зависимости показана на рис. 2.

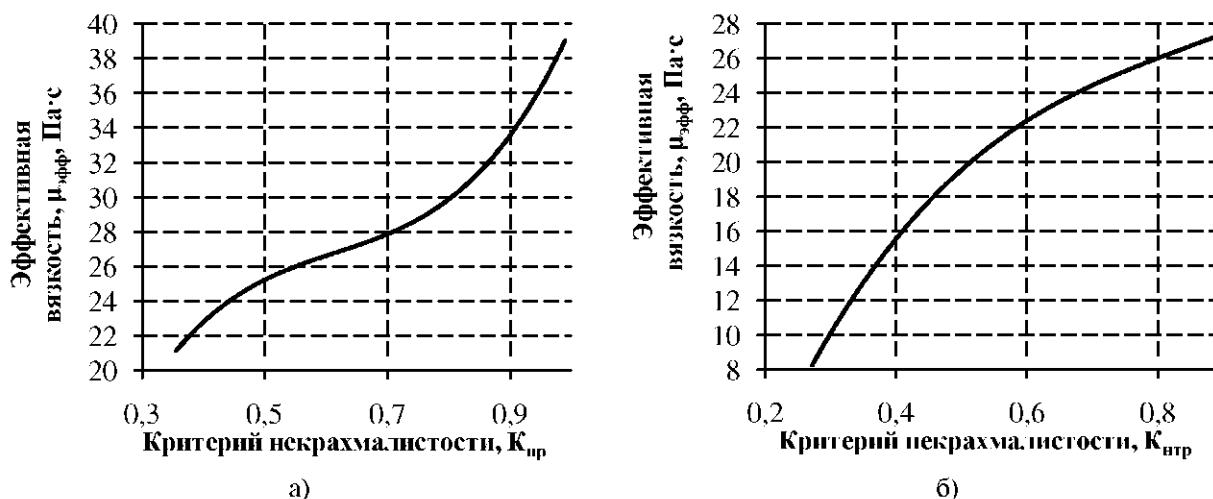


Рис. 2. Зависимость эффективной вязкости ржаных замесов от критерия некрахмалистости: а) рожь; б) тритикале

Fig. 2. The dependence of the effective viscosity of rye mixtures on non-starch content criterion: a) rye; b) triticale

Установлено, что значения эффективной вязкости замесов возрастали с увеличением коэффициента некрахмалистости. На графике, характеризующем зависимость $\mu_{эфф}$ от $K_{нпр}$, можно выделить две зоны: I – соответствующая области значений коэффициента некрахмалистости $K_{нпр} \leq 0,7$, где наблюдались показатели $\mu_{эфф}$ до 28 Па·с, II – область при $K_{нпр} > 0,7$, характеризующаяся резким возрастанием эффективной вязкости до значений 39 Па·с. Результаты зависимостей вязкости замесов из тритикале от $K_{нпр}$ показали: при $K_{нпр} \leq 0,5$ значение $\mu_{эфф}$ характеризуется значениями до 19 Па·с, при $K_{нпр} > 0,5$ $\mu_{эфф}$ составляет

от 19 Па·с до 27 Па·с. Причем в области значений коэффициента некрахмалистости $K_{нп} > 0,5$, численные значения вязкости замесов из тритикале сопоставимы со значениями вязкости замесов из ржи.

Полученные ограничительные значения коэффициентов некрахмалистости для ржи и тритикале ($K_{нп} \leq 0,7$; $K_{нп} \leq 0,5$) явились основой для дифференциации зерна ржи и тритикале при последующем анализе физико-химических процессов при получении сусла.

Зерно ржи и тритикале с различными коэффициентами некрахмалистости подвергали биоактивации и получали замесы по низкотемпературной механико-ферментативной схеме разваривания. Так как биоактивированное зерно ржи и тритикале обладает высокой активностью собственных ферментов¹, представляло интерес исследовать возможность снижения дозировок ФП на стадии получения сусла. При этом дозировку Ликвафло варьировали от 0,31 до 0,23 ед. АС /г условного крахмала для ржаных замесов; от 0,23 до 0,15 ед. АС /г – для замесов из тритикале; ФП ксиланазы вносили от 0,26 до 0,20 дм³/т СВ зерна. Дозировки ФП выбирали с учетом отраслевых норм расхода. В полученных образцах сусла определяли концентрацию сухих веществ, общих и растворимых углеводов, редуцирующих сахаров, аминного азота и эффективную вязкость.

Графическая зависимость наиболее значимого параметра – содержание сухих веществ сусла в сусле из биоактивированной ржи и тритикале с различными коэффициентами некрахмалистости в зависимости от дозировки ФП по отношению к контролю представлено на рис. 3 и рис. 4.

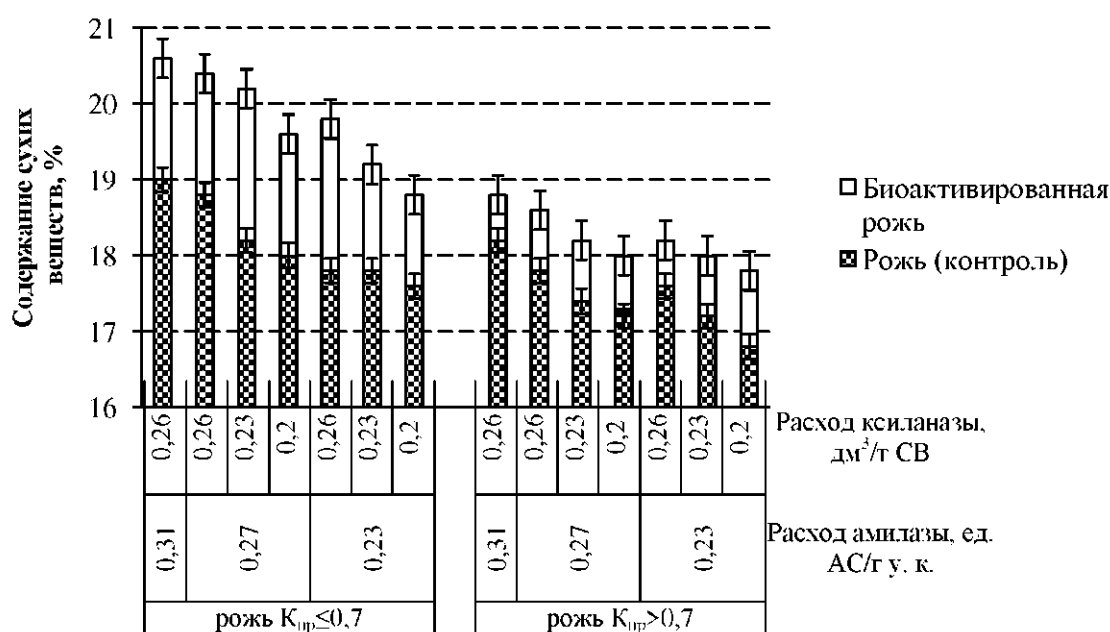


Рис. 3. Влияние дозировки ферментных препаратов на концентрацию сухих веществ в ржаном сусле в зависимости от критерия некрахмалистости

Fig. 3. The influence of the dosage of enzyme preparations on the concentration of solids in rye wort depending on non-starch content criterion

¹Миронцева, А. А. Исследование возможности повышения ферментативной активности зерна ржи и тритикале при производстве пищевого этилового спирта / А. А. Миронцева, Е. А. Цед // Техника и технология пищевых производств: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 21–22 апреля 2022 г.; в 2-х т. / Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий»; редкол.: А. В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: БГУТ, 2022. – Т. 1. – С. 37–38.

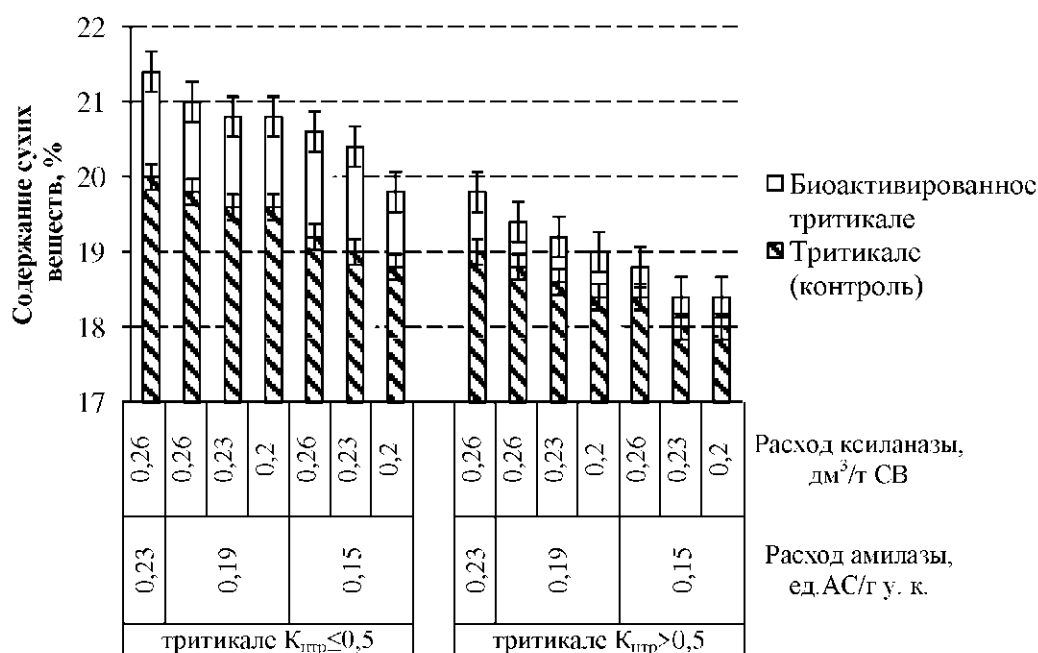


Рис. 4. Влияние дозировки ферментных препаратов на концентрацию сухих веществ в тритикалевом сусле в зависимости от критерия некрахмалистости

Fig. 4. The influence of the dosage of enzyme preparations on the concentration of solids in triticale wort, depending on non-starch content criterion

Установлено, что использование биоактивированного зерна для получения суслу при стандартной дозировке ФП приводит к увеличению содержания сухих веществ (СВ) (20,0 % и выше), а также к значительному улучшению его углеводного состава. Об этом свидетельствует повышение в сусле из ржи и тритикале концентрации общих (ОУ) и растворимых углеводов (РУ) – на 5,6–7,9 % и 8,2–8,9 %, а также редуцирующих сахаров (РС) – на 13,4–14,8 % по сравнению с контрольными образцами. Кроме того, в сусле повышается содержание аминного азота в сравнении с контролем: в ржаном – на 10,6 %, в тритикалевом – на 11,7 %. Необходимо отметить, что во всех образцах суслу из биоактивированного зерна ржи с $K_{н} \leq 0,7$ концентрация СВ, ОУ, РУ, РС была выше в среднем на 8,9; 9,2; 18,3 и 14,7 % соответственно; из биоактивированного тритикале с $K_{н} \leq 0,5$ – на 6,5; 7,1; 11,9 и 12,7 % по отношению к значениям в контрольных образцах.

Из полученных данных выявлено, что в случае использования биоактивированной ржи с $K_{н} \leq 0,7$ рациональны два варианта снижения дозировок ферментных препаратов Ликвафло и Вискаферм: до 0,27 ед. АС /г у.к. и 0,23 дм³/т СВ зерна, либо до 0,23 ед. АС /г у.к. и 0,26 дм³/т СВ зерна. При этом образцы осахаренного суслу характеризовались более высоким содержанием СВ: на 10,9–11,2 % превышающем значения в контрольных образцах, ОУ – на 10,5–11,7 %, РУ – на 18,6–24,1 %; РС – на 15,9–17,01 %. Вязкость ржаного суслу составляла 2,62 Па·с и 3,48 Па·с соответственно.

При использовании биоактивированного тритикале с $K_{н} \leq 0,5$ целесообразно применять сниженные дозировки ФП: Ликвафло – 0,19 ед. АС/г у.к., Вискаферм – 0,2 дм³/т СВ зерна, которые обеспечивают по сравнению с контролем более высокие значения СВ (на 7,3–7,4 % выше), ОУ (на 7,4–7,7 % выше), РУ (на 11,8–13,8 % выше), РС (на 14,7–14,8 % выше). Вязкость опытных образцов при этом находится в пределах значений 2,75–2,93 Па·с.

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что при получении суслу

из ржи с $K_{нр} > 0,7$ и тритикале с $K_{нтр} > 0,5$ снижать дозировки ФП нецелесообразно, так как в исследуемых образцах резко повышается вязкость в сравнении с контролем: в образцах ржаного суслу – в 1,9–4,2 раза, в образцах суслу из тритикале – в 1,6–3,7 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ научной информации позволил выделить технологические недостатки зерна ржи и тритикале, обусловленные присутствием в их составе некрахмалистых полисахаридов, оказывающих негативное влияние на протекание процессов получения пищевого этилового спирта. Обнаружено отсутствие системного подхода в дифференциации зерна для спиртового производства и рекомендаций по параметрам приготовления суслу в условиях variability концентрации некрахмалистых полисахаридов в перерабатываемом зерне.

Обоснована необходимость разработки новых критериев оценки технологичности зерна для нужд спиртового производства.

Исследованы физико-химические показатели качества шести сортов ржи и шести сортов тритикале белорусской селекции, определены коэффициенты вариации, дифференцирующие показатели по признаку: слабая, средняя, высокая внутрисортовая изменчивость. Установлены взаимосвязи между концентрацией гемицеллюлоз, пентозанов и условной крахмалистости, получены математические уравнения, учитывающие их взаимное влияние на содержание во ржи и тритикале.

Выявлены аналитические зависимости: при условной крахмалистости ржи 55,0 % и выше – содержание гемицеллюлоз в зерне не превышает 10,1 %, содержание общих пентозанов – не более 7,0 %; при условной крахмалистости тритикале 55,0 % и более концентрация гемицеллюлоз не превышает 9,8 %, содержание общих пентозанов – не выше 6,6 %.

На основании полученных экспериментальных данных разработаны новые критерии оценки технологичности зерна ржи и тритикале с позиции взаимозависимости условной крахмалистости, гемицеллюлоз и пентозанов. Экстремумы функций полученных критериев позволили выделить предельные значения гемицеллюлоз и пентозанов в зерне ржи ($G_{рр} \geq 0,87$; $P_{рр} \geq 0,81$) и тритикале ($G_{трр} \geq 0,80$; $P_{трр} \geq 0,77$), при которых использование зерна неэффективно вследствие достижения области минимальной условной крахмалистости.

Изучена зависимость эффективной вязкости ржаных и тритикалевых замесов от критериев некрахмалистости зерна. Определены пороговые значения критериев некрахмалистости ржи ($K_{нр} > 0,7$) и тритикале ($K_{нтр} > 0,5$), при которых замесы становятся нетехнологичными вследствие резкого увеличения эффективной вязкости.

Исследованы физико-химические показатели суслу из биоактивированного зерна ржи и тритикале с различными критериями некрахмалистости при изменении стандартных параметров приготовления суслу. Установлено, что переработка биоактивированной ржи с критерием некрахмалистости $K_{нр} \leq 0,7$ и тритикале с $K_{нтр} \leq 0,5$ способствует значительному улучшению показателей качества суслу, его реологических характеристик и позволяет снизить нормы расхода ферментного препарата амилолитического спектра действия (Ликвафло) и ксиланазного – (Вискаферм) на 19,4 и 11,5 % для ржаного суслу; на 17,4 и 23,1 % для суслу из тритикале. Определено, что в условиях получения суслу из ржи с критерием некрахмалистости $K_{нр} > 0,7$ и тритикале с $K_{нтр} > 0,5$ дозировки ферментных препаратов снижать нерационально вследствие ухудшения показателей качества суслу и значительного повышения вязкости.

Выявлена целесообразность в изучении и установлении взаимосвязи критериев некрахмалистости зерна и физико-химических процессов при сбраживании спиртового суслу из биоактивированной ржи и тритикале при снижении норм расхода ферментных препаратов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Шаршунов, В. А. Использование новых зерновых культур – важнейший резерв повышения эффективности производства высококачественного спирта / В. А. Шаршунов, З. В. Василенко, Е. А. Цед // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2009. – № 2. – С. 104–112.
- 2 Привалов, Ф. И. Современное состояние и перспективы возделывания озимой ржи в Беларуси / Ф. И. Привалов, Э. П. Урбан // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2009. – № 4. – С. 56–61.
- 3 Привалов, Ф. И. Формирование урожайности озимого и ярового тритикале под влиянием уровня интенсификации технологий возделывания / Ф. И. Привалов, К. Г. Шашко, В. В. Холодинский // Земледелие и селекция в Беларуси: сборник научных трудов / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск, 2013. – Вып. 49. – С. 86–94.
- 4 Яковлев, А. Н. Применение мультиэнзимного комплекса при получении этилового спирта из проблемного сырья / А. Н. Яковлев, С. Ф. Яковлева, О. С. Корнсева // Вестник ВГУИТ. – 2012. – № 3. – С. 148–152.
- 5 Римарева, Л. В. Теоретические и практические основы ферментативного катализа полимеров зернового сырья в спиртовом производстве / Л. В. Римарева [и др.] // Производство спирта и ликеро-водочных изделий. – 2008. – № 3. – С. 4–9.
- 6 Кононенко, В. В. Переработка зерна ржи и ячменя в спиртовом производстве / В. В. Кононенко, Л. Н. Крикунова, В. В. Колпакова // Производство спирта и ликеро-водочных изделий. – 2003. – № 3. – С. 11–13.
- 7 Гернет, М. В. Количественное определение пентозанов как метод оценки качества ржи / М. В. Гернет, К. В. Кобелев, И. Н. Грибкова // Пиво и напитки. – 2013. – № 2. – С. 28–31.
- 8 Weipert, D. Pentosans in rye/ D. Weipert // Vortr. Pflanzenzucht. – 1996. – № 35. – P. 85–94.
- 9 Vinkh, C. J. A. Physicochemical and functional properties of rye nonstarch polysaccharides. Variability in the structure of water-soluble arabinoxylans / C. J. A. Vinkh [et al.] // J. Cereal Chem. 1993. – V. 70. – № 3. – P. 311–317.
- 10 Кобелев, К. В. Свойства тритикале и перспективы ее использования в бродильных производствах / К. В. Кобелев [и др.]. – Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 2013. – № 5. – С. 51–53.
- 11 Оверченко, М. Б. Исследование различных сортов тритикале для использования их в спиртовом производстве / М. Б. Оверченко [и др.]. – Пиво и напитки. – 2014. – № 6. – С. 14–18.
- 12 Кобелев, К. В. Мониторинг качества ржи и тритикале / К. В. Кобелев [и др.]. – Пиво и напитки. – 2013. – № 1. – С. 40–42.
- 13 Гончаренко, А. А. Связь средневзвешенной молекулярной массы водозэкстрактивных пентозанов озимой ржи с технологическими и хлебопекарными качествами зерна / А. А. Гончаренко [и др.]. – Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 4. – С. 3–6.
- 14 Исмагилов, Р. Р. Содержание водорастворимых пентозанов в зерне ржи разной фракции / Р. Р. Исмагилов [и др.]. – Пиво и напитки. – 2015. – № 3. – С. 44–46.
- 15 Абрамова, И. М. Технологические требования к пшеничному и ржаному сырью, обеспечивающие высокое качество спирта и ликеро-водочных изделий / И. М. Абрамова // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 2011. – № 5. – С. 62–67.
- 16 Яковлев, А. Н. Интенсификация переработки ржи на этанол с использованием мультиэнзимного комплекса / А. Н. Яковлев [и др.]. – Производство спирта и ликеро-водочных изделий. – 2009. – № 4. – С. 12–14.
- 17 Алимova, Д. С. Применение низкопентозановой ржи в технологии этилового спирта / Д. С. Алимova [и др.]. – Вестник ВГУИТ. – 2018. – № 3. – С. 248–253.
- 18 Кобылянский, В. Д. Изучение инновационной зернофуражной низкопентозановой озимой ржи / В. Д. Кобылянский, О. Д. Солодухина // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 1. – С. 10–16.
- 19 Кобылянский, В. Д. Основы селекции малопентозановой ржи / В. Д. Кобылянский, О. В. Солодухина // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – СПб. – 2009. – Т. 166. – С. 112–118.
- 20 Кобылянский, В. Д. Элементы технологии селекции сортов озимой ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне / В. Д. Кобылянский, О. В. Солодухина // Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии и переработка. – Екатеринбург. – 2012. – С. 20–24.
- 21 Жученко, А. А. Рожь – важнейшая продовольственная и кормовая культура России / А. А. Жученко // Агропродовольственная политика России. – 2012. – № 3. – С. 14–21.
- 22 Гончаренко, А. А. Вязкость водного экстракта зерна озимой ржи как универсальный признак при селекции на целевое использование / А. А. Гончаренко [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2007. – № 3. – С. 44–49.
- 23 Поляков, В. А. Инструкция по техно-химическому и микробиологическому контролю спиртового производства / В. А. Поляков [и др.]. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 480 с.

Поступила в редакцию 24.11.2022 г.

ОБ АВТОРАХ:

Анна Александровна Миронцева, старший преподаватель кафедры технологии пищевых производств, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (БГУТ), e-mail: anna_mirontseva@mail.ru.

Елена Алексеевна Цед, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии пищевых производств, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (БГУТ), e-mail: tsedelena@inbox.ru.

Светлана Владимировна Волкова, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии пищевых производств, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (БГУТ), e-mail: svetlana08@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS:

Anna A. Mirontseva, senior lecturer of the Department of Food Production Technologies, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: anna_mirontseva@mail.ru.

Elena A. Tsed, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Food Production Technologies, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: tsedelena@inbox.ru.

Svetlana V. Volkova, PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Production Technologies, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, e-mail: svetlana08@mail.ru