

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ СОЛОДА ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЗЕРНА БЕЛОРУССКОЙ СЕЛЕКЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИСОЛОДОВЫХ ЭКСТРАКТОВ

М.Л. Микулинич, Е.М. Моргунова, С.Л. Масанский

Подобраны оптимальные технологические режимы получения солода для таких зерновых культур белорусской селекции, как ячмень сорта Фэст, пшеница сорта Сударыня, овес голозерный сорта Гоша, тритикале сорта Эра, рожь сорта Зазерская 3. Определены зависимости влажности зернового сырья от температуры и продолжительности замачивания, активности гидролитических групп ферментов от температуры и продолжительности проращивания при различных режимах проращивания. Изучено влияние температуры сушки свежепросоженного солода на изменение активности гидролитических групп ферментов и влажности солода. В результате обоснованы оптимальные условия замачивания, режимы проращивания и сушки солода для производства полисолодовых экстрактов. Дана оценка качества солодов согласно разработанным режимам, отмечено их высокое качество.

Введение

Анализ литературных источников показал, что для получения солодов различного назначения необходимо подбирать соответствующие режимы солодоращения в зависимости от сорта, вида зернового сырья [1–7].

В технологии полисолодовых экстрактов от качества солодов зависят важнейшие потребительские свойства экстрактов, такие как цветность, аромат, вкус, а также диастатическая сила. Вместе с тем литературные данные о технологических параметрах получения солодов содержат определенные противоречия и не позволяют обобщить их для обоснования технологии солодоращения при производстве полисолодовых экстрактов.

Цель данной работы – теоретическое и практическое обоснование технологических режимов получения неферментированных солодов из новых сортов ячменя, пшеницы, ржи, тритикале и овса голозерного белорусской селекции для получения на их основе полисолодовых экстрактов.

Результаты исследований и их обсуждение

Объектом исследования явились новые сорта злаковых культур белорусской селекции, районированные в научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию и включенные в Государственный реестр Республики Беларусь: ячмень сорта Фэст, пшеница сорта Сударыня, овес голозерный сорта Гоша, тритикале сорта Эра, рожь сорта Зазерская 3; свежепросошенные и высушенные солода, полученные в лабораторных и производственных условиях.

Определение основных физико-химических показателей проводили стандартными методами, принятыми технохимическим контролем пивоваренного производства. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием стандартных компьютерных программ (Statgraphics Plus, Excel).

Изучено влияние температуры замачивания на продолжительность проращивания и рост зародышевого листка. Изучаемые образцы замачивали по трем температурным режимам с условными названиями «холодный» (10–12 °С), «нормальный» (12–14 °С), «теплый» (14–16 °С). Данные по физиологическим изменениям зерна и его влажности представлены в таблице 1.

Следует отметить, что при температуре замачивания 10–12 °С зерно ячменя, пшеницы, тритикале наклеивалось равномернее по сравнению с температурой замачивания 12–16 °С, однако при температуре замачивания 12–14 °С зерно овса голозерного и ржи наклеивалось

равномернее по сравнению с холодным и теплым режимом замачивания, при этом установлено, что замачивание при температуре 14–16 °С происходит быстрее, степень замачивания 44,0–46,0 % достигается уже через 18–24 часа в зависимости от злака, однако при таких температурах за счет интенсивных процессов дыхания замедлялся рост зерна.

Таблица 1 – Физиологические изменения зерна в процессе замачивания

t _{замочной} воды, °С	τ зама- чи- вания, Ч	Вид и сорт зернового сырья									
		Ячменя сорта Фэст		Пшеницы сор- та Сударыня		Овес голозерный сорта Гоша		Рожь сорта Зазерская 3		Тритикале сорта Эра	
		Влажность, % / Физиологические изменения зерна									
10-12	0	10,0±0,1	*	11,8±0,1	*	12,6±0,1	*	14,5±0,1	*	14,4±0,1	*
	4	31,8±0,2	*	20,4±0,2	*	30,2±0,2	*	20,4±0,2	*	26,8±0,1	*
	8	34,2±0,2	*	25,5±0,1	*	31,5±0,2	*	26,4±0,1	*	32,3±0,1	*
	12	35,4±0,1	*	30,3±0,1	*	34,2±0,1	*	32,8±0,2	*	37,2±0,1	*
	16	38,6±0,2	*	36,5±0,1	*	35,7±0,2	**	38,6±0,1	*	43,5±0,1	*
	20	39,2±0,1	*	41,6±0,1	*	40,5±0,1	***	41,0±0,1	*	43,8±0,1	*
	24	41,8±0,1	**	43,6±0,1	**	45,7±0,1	****	43,4±0,1	**	44,6±0,1	**
	32	43,4±0,1	***	45,6±0,1	***	–	–	45,8±0,1	***	46,2±0,1	***
	40	45,5±0,2	****	47,0±0,2	****	–	–	46,9±0,1	****	46,5±0,2	****
48	46,0±0,1	****	46,6±0,1	****	–	–	–	–	–	–	
12-14	0	10,0±0,1	*	11,8±0,1	*	12,6±0,1	*	14,5±0,1	*	14,4±0,1	*
	4	32,2±0,1	*	27,9±0,2	*	31,4±0,2	*	22,2±0,1	*	24,5±0,2	*
	8	34,9±0,2	*	31,2±0,2	*	37,5±0,2	*	28,6±0,2	*	38,2±0,2	*
	12	37,1±0,2	*	37,1±0,1	*	39,4±0,1	**	33,3±0,1	*	42,4±0,1	*
	16	40,9±0,2	*	38,5±0,2	*	42,8±0,1	**	36,7±0,2	*	43,4±0,2	**
	20	41,7±0,1	**	38,9±0,1	**	44,1±0,1	**	42,3±0,1	**	45,9±0,1	***
	24	45,3±0,1	***	42,9±0,1	***	46,0±0,1	***	45,7±0,1	***	46,5±0,1	****
	32	45,4±0,1	****	46,5±0,1	****	–	–	46,7±0,1	****	47,2±0,1	****
	40	46,0±0,2	****	46,8±0,1	****	–	–	47,0±0,1	****	–	–
14-16	0	10,0±0,1	*	11,8±0,1	*	12,6±0,1	*	14,5±0,1	*	14,4±0,1	*
	4	34,1±0,1	*	29,8±0,1	*	32,8±0,1	*	31,3±0,1	*	28,8±0,1	*
	8	36,1±0,1	*	33,7±0,1	*	34,7±0,1	**	34,6±0,1	*	38,6±0,1	*
	12	38,2±0,2	*	39,2±0,2	**	39,6±0,1	**	36,5±0,1	*	43,5±0,2	**
	16	41,9±0,1	**	40,6±0,1	***	40,6±0,1	**	41,8±0,1	**	44,6±0,1	***
	20	42,9±0,2	***	45,1±0,2	****	45,2±0,2	***	44,7±0,2	***	45,8±0,2	****
	24	46,3±0,2	****	46,8±0,2	****	46,8±0,1	****	46,8±0,1	****	47,8±0,2	****
	32	46,4±0,2	****	46,9±0,2	****	–	–	47,0±0,1	****	46,9±0,2	****

*без изменений; **наклеивание; ***наклев/развилка; ****появление зародышевого листка

На основании полученных данных о влиянии температурного режима замачивания на влажность найдены зависимости:

– уравнение, описывающее изменение влажности ячменя сорта Фэст в процессе замачивания:

$$Y_1 = 7,78 + 2,33 \cdot x_1 + 0,354 \cdot x_2 - 0,0295 \cdot x_1^2 + 0,00329 \cdot x_1 x_2 (R^2=0,92);$$

– уравнение, описывающее изменение влажности пшеницы сорта Сударыня в процессе замачивания:

$$Y_2 = 8,63 + 3,07 \cdot x_1 + 0,169 \cdot x_2 - 0,0264 \cdot x_1^2 + 0,00144 \cdot x_1 x_2 (R^2=0,99);$$

– уравнение, описывающее изменение влажности овса голозерного сорта Гоша в процессе замачивания:

$$Y_3 = 8,41 + 2,70 \cdot x_1 + 0,371 \cdot x_2 - 0,0604 \cdot x_1^2 + 0,0114 \cdot x_1 x_2 (R^2=0,97);$$

– уравнение, описывающее изменение влажности ржи сорта Зазерская 3 в процессе замачивания:

$$Y_4 = 6,51 + 2,79 \cdot x_1 + 0,265 \cdot x_2 - 0,0514 \cdot x_1^2 + 0,0162 \cdot x_1 x_2 (R^2=0,97);$$

– уравнение, описывающее изменение влажности тритикале сорта Эра в процессе замачивания:

$$Y_5 = 9,70 + 2,88 \cdot x_1 + 0,379 \cdot x_2 - 0,0662 \cdot x_1^2 + 0,00825 \cdot x_1 x_2 \quad (R^2 = 0,97),$$

где Y_1 – влажность ячменя, %;

Y_2 – влажность пшеницы, %;

Y_3 – влажность овса голозерного, %;

Y_4 – влажность ржи, %;

Y_5 – влажность тритикале, %;

x_1 – температура замачивания, °С;

x_2 – продолжительность замачивания, часы.

В результате обработки полученных уравнений определены оптимальные условия замачивания: для ячменя, пшеницы, тритикале – температура замочной воды 11 °С, продолжительность замачивания 42; 36; 22 часа соответственно, влажность зерна 46,0 %; 46,0 %; 44,0 % соответственно; для овса голозерного, ржи – температура замочной воды 13 °С, продолжительность замачивания 20 и 26 часов соответственно, влажность зерна 44,0 % и 46,0 % соответственно.

На следующем этапе изучено влияние температурных режимов солодоращения для ячменя, пшеницы, овса голозерного, ржи, тритикале на динамику накопления гидролитических ферментов и продолжительность проращивания. Проращивание проводили по трем температурным режимам: 1 – «возрастающему» (13–17 °С); 2 – «постоянному» (14–15 °С); 3 – «падающему» (17–13 °С). Солодоращение вели до достижения длины зародышевого листка от $\frac{3}{4}$ до 1 длины зерна. Ежедневно отбирали пробы прорастающего зерна и определяли α - и β -амилазу, протеолитическую и цитолитическую активность ферментов. Экспериментальные данные по солодоращению представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика накопления гидролитических ферментов в зависимости от режима и продолжительности проращивания

Режим	Вид зернового сырья (сорт)	Диапазоны значений активности ферментов в процессе проращивания (0...7 – для ячменя сутки, 0...6 сутки – для пшеницы, ржи, тритикале, 0...5 сутки – для овса голозерного)			
		Амилолитическая активность, ед./г		Протеолитическая активность, ед./г	Цитолитическая активность, ед./г
		α -амилаза	β -амилаза		
1	Ячмень (Фэст)	0,26...9,2	58...229	0,29...2,45	0,0...30,0
	Пшеница (Сударыня)	0,34...13,2	106...683	0,18...12,1	0,0...32,1
	Овес (Гоша)	0,0...2,5	0,44...39,4	0,03...1,48	0,0...36,0
	Рожь (Зазерская 3)	0,78...14,0	75...415	0,21...1,48	0,0...30,0
	Тритикале (Эра)	1,2...13,7	181...491	0,33...1,25	0,0...40,5
2	Ячмень (Фэст)	0,26...13,0	58...378	0,29...2,25	0,0...36,2
	Пшеница (Сударыня)	0,34...16,0	106...785	0,18...11,6	0,0...31,8
	Овес (Гоша)	0,0...3,0	0,44...45,6	0,03...1,56	0,0...22,3
	Рожь (Зазерская 3)	0,78...7,8	75...471	0,21...2,49	4,7...70,2
	Тритикале (Эра)	1,2...14,2	181...508	0,33...1,59	0,0...38,2
3	Ячмень (Фэст)	0,26...15,1	58...534	0,29...2,80	0,0...38,1
	Пшеница (Сударыня)	0,34...16,1	106...771	0,18...12,8	0,0...36,4
	Овес (Гоша)	0,0...3,1	0,44...72,3	0,03...1,60	0,0...38,1
	Рожь (Зазерская 3)	0,78...14,2	75...490	0,21...2,75	0,0...74,3
	Тритикале (Эра)	1,2...14,9	181...521	0,33...2,05	0,0...41,7

Изучение динамики накопления гидролитических ферментов в процессе солодоращения по трем различным режимам показало, что наибольшая активность α -амилазы отмечена в конце проращивания зерна по режиму «падающих» температур и по сравнению с режимом «возрастающих» температур выше в 1,1–1,7 раза и «постоянных» температур – в 1,1–1,8 раза.

Активность β -амилазы достигает быстрее максимальных значений по режиму «падающих» температур: на шестые сутки ращения – для ячменя сорта Фэст, на пятые – для пшеницы сорта Сударыня, ржи сорта Зазерская 3, тритикале сорта Эра, на четвертые – для овса голозерного сорта Гоша, значение активности β -амилазы выше в 1,1–2,3 раза по сравнению с режимом «возрастающих» и в 1,1–1,6 раза по сравнению с режимом «постоянных» температур.

Максимум активности протеаз у исследуемых образцов отмечается при ращении по режиму «падающих» температур, причем к 4–6 суткам в зависимости от злака их накопление больше в 1,1–1,3 раза и 1,1–1,9 раза, соответственно, чем при ращении зерна по режиму «постоянных» и «возрастающих» температур. Наибольшая активность цитолитических ферментов отмечена в конце проращивания зерна по режиму «падающих» температур и выше в 1,1–2,4 раза по сравнению с режимом «возрастающих» и «постоянных» температур.

Обработка экспериментальных данных позволила получить уравнения, устанавливающие зависимость амилолитической, протеолитической и цитолитической активности ферментов от температурного режима проращивания и продолжительности солодоращения исследуемого зерна, в виде:

$$y=k_0x^3 + k_1 x^2 + k_2x + b, \quad (1)$$

$$y=k_0x^2 + k_1x + b, \quad (2)$$

где $y \in \{y_1; y_2; y_3; y_4\}$; y_1 – активность α -амилазы, ед/г; y_2 – активность β -амилазы, ед/г; y_3 – протеолитическая активность, ед/г; y_4 – цитолитическая активность, ед/г;

k_0, k_1, k_2 – коэффициенты уравнения;

x – продолжительность солодоращения, сутки;

b – свободный член.

Значения коэффициентов для уравнений(1) и (2) представлены в таблицах 2–3 и находятся в пределах от 0,81 до 0,99, что свидетельствует о высокой степени согласия уравнения регрессии с фактическими величинами.

Для решения задачи оптимизации применяли метод регрессионного анализа и метод весовых коэффициентов [8]. Для определения обобщенного показателя активности ферментов привели все активности к единому масштабу и безразмерному виду. Преобразование активности ферментов к единому масштабу осуществляли по формуле

$$\widetilde{Y}_{tn} = \frac{|y_{tn} - y_n^*|}{y_n^*}, \quad (3)$$

где \widetilde{Y}_{tn} – преобразованное значение активности n-го вида фермента на t-е сутки;

y_{tn} – значение активности n-го вида фермента на t-е сутки;

y_n^* – значение активности n-го вида фермента на t-е сутки.

Единый критерий оптимальности рассчитывали по формуле

$$Y_t = \sum_{n=1}^4 \alpha_n \widetilde{Y}_{tn}, \quad (4)$$

где Y_t – критерий оптимальности на t-е сутки;

α_n – коэффициент весомости, равный для каждого фермента 0,25.

Таблица 3 – Значения коэффициентов уравнений (1) и (2) при разных режимах солодоращения

Вид зернового сырья (сорт)	Значение коэффициентов уравнений						
	активности α -амилазы				активности β -амилазы		
	k_0	k_1	k_2	b	k_0	k_1	b
режим «возрастающих» температур							
Ячмень (Фэст)	-0,185	2,67	–	-0,825	-2,66	48,1	17,7
Пшеница (Сударыня)	-0,425	5,11	–	-2,71	-14,6	205	-55,1
Овес (Гоша)	-0,0875	1,007	–	-0,63	-0,805	12,9	-9,59
Рожь (Зазерская 3)	-0,431	5,74	–	-4,76	-18,2	198	-99,3
Тритикале (Эра)	-0,401	5,39	–	-4,39	-5,70	102	68,6
режим «постоянных» температур							
Ячмень (Фэст)	-0,0506	2,15	–	-1,12	-5,07	95,2	-50,8
Пшеница (Сударыня)	-0,192	2,30	-4,93	-3,49	-20,5	281	-164
Овес (Гоша)	-0,0143	0,700	–	-0,60	0,207	6,98	-4,32
Рожь (Зазерская 3)	-0,335	3,81	–	-2,83	-5,99	122	-62,3
Тритикале (Эра)	0,0306	-0,994	8,48	-7,23	-7,51	118	54,5
режим «падающих» температур							
Ячмень (Фэст)	-0,204	3,97	–	-3,09	-7,74	141	-71,6
Пшеница (Сударыня)	-0,102	1,13	-0,364	-0,330	-18,9	261	119
Овес (Гоша)	-0,0214	0,899	–	-0,82	-5,65	50,2	-40,4
Рожь (Зазерская 3)	-0,730	8,00	–	-7,41	-20,5	221	-113
Тритикале (Эра)	-0,139	0,852	2,79	-2,67	-13,9	169	10,1

Таблица 4 – Значения коэффициентов уравнения (1) при разных режимах солодоращения

Вид зернового сырья (сорт)	Значение коэффициентов уравнений							
	протеолитической активности				цитолитической активности			
	k_0	k_1	k_2	b	k_0	k_1	k_2	b
режим «возрастающих» температур								
Ячмень (Фэст)	-0,0130	0,180	-0,325	0,534	-0,415	6,93	–	-1,32
Пшеница (Сударыня)	-0,225	2,77	-7,33	5,01	-0,750	10,4	–	-5,44
Овес (Гоша)	-0,050	0,657	–	-0,60	0,359	-4,86	25,9	-20,7
Рожь (Зазерская 3)	-0,0108	0,316	–	-0,137	0,286	-4,00	20,7	-15,6
Тритикале (Эра)	0,018	0,011	–	0,29	-0,394	4,38	-5,85	2,43
режим «постоянных» температур								
Ячмень (Фэст)	-0,0201	0,296	-0,899	0,961	-0,0631	6,21	–	-7,25
Пшеница (Сударыня)	-0,214	2,63	-6,92	4,69	-0,0524	5,91	–	-6,14
Овес (Гоша)	-0,056	0,697	–	-0,59	-0,363	3,50	-4,48	1,27
Рожь (Зазерская 3)	-0,0481	0,769	–	-0,524	-1,18	13,8	-31,4	19,5
Тритикале (Эра)	-0,034	0,459	–	0,01	-0,0917	0,194	9,94	-9,30
режим «падающих» температур								
Ячмень (Фэст)	-0,0275	0,349	-0,823	0,889	-0,275	8,03	–	-4,69
Пшеница (Сударыня)	-0,0361	1,06	-3,27	2,60	-1,59	17,8	–	-14,8
Овес (Гоша)	-0,0829	0,877	–	0,71	-0,158	1,33	6,48	-7,42
Рожь (Зазерская 3)	-0,0711	1,097	–	-1,092	-1,60	18,2	-43,3	29,3
Тритикале (Эра)	-0,026	0,509	–	-0,08	-0,0315	-2,05	24,1	-23,5

Преобразование значений активности ферментов представлены в таблице 5 (на примере амилолитической активности).

Таблица 5 – Преобразование значений активности ферментов

Ре- жим	τ солодо- ращения, сутки	Преобразование значений активности ферментов ($\widehat{Y_{tn}}$)									
		Амилолитическая активность, ед./г									
		α-амилаза					β-амилаза				
		Я	П	О	Р	Т	Я	П	О	Р	Т
1	0	0,98	0,98	1,00	0,95	0,91	0,75	0,84	0,99	0,82	0,63
	1	0,39	0,39	0,40	0,66	0,77	0,47	0,54	0,57	0,52	0,58
	2	0,32	0,25	0,32	0,38	0,29	0,43	0,27	0,43	0,07	0,27
	3	0,28	0,23	0,28	0,29	0,24	0,34	0,27	0,35	0,04	0,25
	4	0,22	0,17	0,24	0,00	0,09	0,13	0,18	0,10	0,02	0,12
	5	0,15	0,08	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,00	0,01	0,00
	6	0,03	0,00	–	0,02	0,00	0,02	0,00	–	0,00	0,00
2	7	0,00	–	–	–	–	0,00	–	–	–	–
	0	0,98	0,98	1,00	0,91	0,92	0,85	0,86	0,99	0,84	0,64
	1	0,69	0,84	0,67	0,65	0,77	0,70	0,60	0,68	0,67	0,55
	2	0,57	0,81	0,60	0,13	0,13	0,62	0,39	0,57	0,58	0,32
	3	0,55	0,46	0,40	0,10	0,08	0,28	0,22	0,52	0,34	0,17
	4	0,42	0,22	0,07	0,05	0,05	0,18	0,03	0,18	0,01	0,11
	5	0,18	0,02	0,00	0,03	0,01	0,08	0,00	0,00	0,01	0,01
3	6	0,14	0,00	–	0,00	0,00	0,03	0,00	–	0,00	0,00
	7	0,00	–	–	–	–	0,00	–	–	–	–
	0	0,99	0,98	1,00	0,95	0,92	0,89	0,86	0,99	0,85	0,65
	1	0,72	0,84	0,65	0,73	0,72	0,63	0,54	0,37	0,48	0,51
	2	0,46	0,59	0,55	0,25	0,30	0,49	0,35	0,21	0,20	0,21
	3	0,36	0,45	0,16	0,04	0,07	0,33	0,22	0,10	0,14	0,09
	4	0,32	0,12	0,00	0,03	0,05	0,14	0,08	0,00	0,06	0,03
5	0,11	0,00	–	0,00	0,00	0,06	0,00	–	0,00	0,00	
6	0,00	–	–	–	–	0,00	–	–	–	–	

Я – ячменный солод, П – пшеничный солод, О – овсяный солод, Р – ржаной солод, Т – тритикалевый солод

Применяя метод регрессионного анализа, получили обобщенный показатель активности ферментов в форме полиномы третьей (для ячменя, пшеницы, овса голозерного) и второй (для ржи, тритикале) степени для различных режимов солодоращения, позволяющий определить минимум функций (Y) (процесс солодоращения считается законченным при достижении обобщенным показателем минимального значения):

– для режима «возрастающих» температур

$$Y_1 = 0,344 \cdot x^3 - 4,26 \cdot x^2 + 5,39 \cdot x + 53,2 (R^2 = 0,99)$$

$$Y_2 = -1,285 \cdot x^3 + 15,5 \cdot x^2 - 71,1 \cdot x + 151 (R^2 = 0,99)$$

$$Y_3 = 0,872 \cdot x^3 - 7,36 \cdot x^2 + 3,62 \cdot x + 56,6 (R^2 = 0,99)$$

$$Y_4 = 2,03 \cdot x^2 - 26,0 \cdot x + 82,7 (R^2 = 0,99)$$

$$Y_5 = 1,699 \cdot x^2 - 26,3 \cdot x + 95,8 (R^2 = 0,99)$$

– для режима «постоянных» температур

$$Y_1 = 0,448 \cdot x^3 - 4,72 \cdot x^2 + 0,284 \cdot x + 76,2 (R^2 = 0,99)$$

$$Y_2 = 1,244 \cdot x^3 - 11,4 \cdot x^2 + 9,87 \cdot x + 82,9 (R^2 = 0,99)$$

$$Y_3 = 1,921 \cdot x^3 - 16,6 \cdot x^2 + 22,6 \cdot x + 61,1 (R^2 = 0,99)$$

$$Y_4 = 2,94 \cdot x^2 - 35,7 \cdot x + 107 (R^2 = 0,99)$$

$$Y_5 = 2,77 \cdot x^2 - 30,9 \cdot x + 86,7 (R^2 = 0,99)$$

– для режима «падающих» температур

$$Y_1 = 0,763 \cdot x^3 - 7,90 \cdot x^2 + 9,08 \cdot x + 65,1 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$Y_2 = 0,317 \cdot x^3 - 3,25 \cdot x^2 - 8,47 \cdot x + 82,9 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$Y_3 = 5,51 \cdot x^3 - 41,2 \cdot x^2 + 72,3 \cdot x + 18,1 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$Y_4 = 4,57 \cdot x^2 - 46,2 \cdot x + 116 \quad (R^2 = 0,99)$$

$$Y_5 = 4,48 \cdot x^2 - 41,5 \cdot x + 96,8 \quad (R^2 = 0,98)$$

где Y_1 – обобщенный показатель активности ферментов для ячменя сорта Фэст;
 Y_2 – обобщенный показатель активности ферментов для пшеницы сорта Сударыня;
 Y_3 – обобщенный показатель активности ферментов для овса голозерного сорта Гоша;
 Y_4 – обобщенный показатель активности ферментов для ржи сорта Зазерская 3;
 Y_5 – обобщенный показатель активности ферментов для тритикале сорта Эра;
 x – продолжительность солодоращения, сутки.

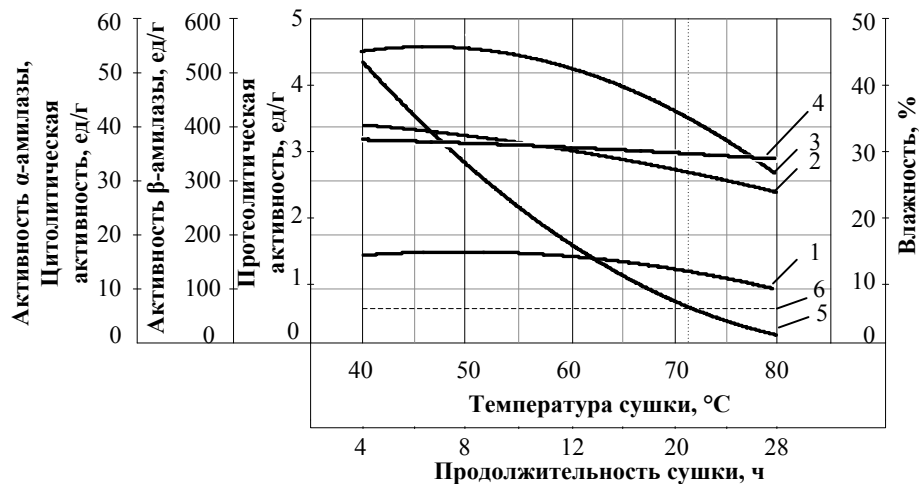
В результате обработки полученных уравнений определено, что режим «падающих» температур является оптимальным для накопления гидролитических групп ферментов в процессе солодоращения зернового сырья белорусской селекции, позволяет увеличить активность α - и β -амилазы, протеаз и цитолитических ферментов в 1,1–2,4 раза и сократить продолжительность солодоращения на 14–20 %.

На третьем этапе изучено влияние температуры сушки свежепросоженного солода на изменение активности гидролитических групп ферментов и влажности. Сушку свежепросоженных солодов проводили при следующих температурных режимах: при температуре 40 °С – 4 часа; 50 °С – 4 часа; 60 °С – 4 часа; 65 °С – 4 часа; 70 °С – 4 часа; 75 °С – 4 часа; 80 °С – 4 часа. Через каждые 4 часа отбирали пробы и определяли ферментативную активность и влажность солодов. Результаты представлены на рисунках 1–2.

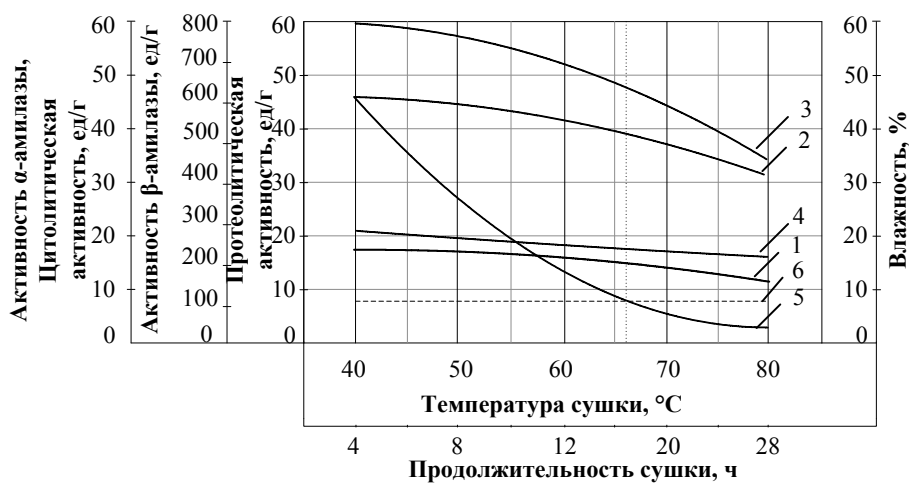
Из рисунков 1–2 видно, что при снижении температуры сушки до 80 °С активность всех ферментов в изученном ячменном, пшеничном, овсяном, ржаном, тритикалевом солоде значительно уменьшается: α -амилаза – на 15–33 %, β -амилаза – на 20–43 %, цитолитическая – на 18–38 %. Значение протеолитической активности в готовом солоде выше на 3–6 % по сравнению со свежевысушенным солодом. Увеличение протеолитической активности объясняется специфичностью действия пептидаз (значение ферментов в готовом солоде выше, чем в свежепросоженном солоде) при сушке и согласуется с данными других ученых [9, 10].

Следует отметить, что сушку пивоваренных солодов проводят до влажности 3–6 % [1, 11], однако для получения полисолодовых экстрактов целесообразно проводить сушку солодов до 4–6 % – для ячменя, 5–8 % – для ржи и овса [1], поэтому выбор оптимальной температуры от сушки осуществляли по величине влажности равной не более 6 % – для ячменя, не более 8 % – для пшеницы, ржи, тритикале и овса голозерного.

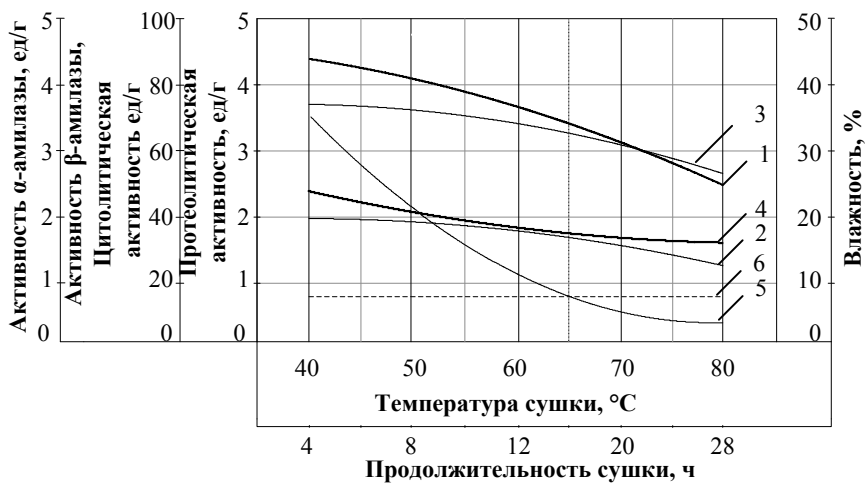
Учитывая все результаты проведенного блока эксперимента, можно рекомендовать при получении солода для производства полисолодовых экстрактов сушку исследуемых солодов при температурах 65–70 °С и продолжительностью 16–22 часа (для ячменя – 70 °С, продолжительностью 22 часа; пшеницы – 65 °С, продолжительностью 20 часов; тритикале и ржи – 65 °С, продолжительностью 19 часов; овса голозерного – 65 °С, продолжительностью 16 часов), так как такие температуры позволяют сохранить сравнительно высокую активность гидролитических групп ферментов в солоде при необходимой влажности солода.



а) ячменного солода



б) пшеничного солода

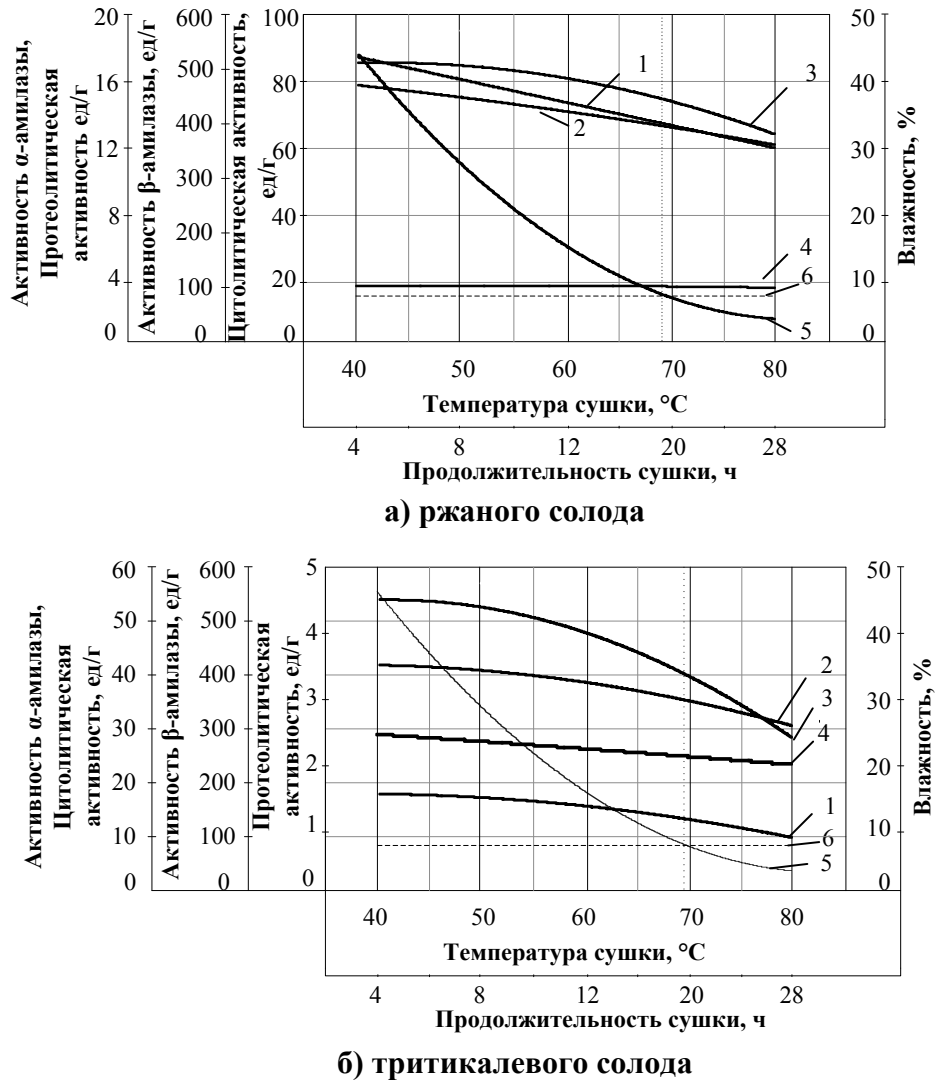


в) овсяного солода

1 – α-амилаза; 2 – цитолитические ферменты; 3 – β-амилаза; 4 – протеолитические ферменты; 5 – влажность; 6 – критическое значение влажности

Рисунок 1 – Изменение активности ферментов и влажности в исследуемом зерне в процессе сушки солода

Активность α - и β -амилазы начинает снижаться с температуры 50 °С, протеолитическая и цитолитическая активность – с 40 °С. Активность ферментов при температуре 80 °С снижается по сравнению с температурой при 50 °С для α - и β -амилазы – на 29–41 % и 24–43 %, по сравнению с температурой при 40 °С для цитолитических ферментов – на 22–40 %, для протеолитических – на 7–26 %.



1 – α -амилаза; 2 – цитолитические ферменты; 3 – β -амилаза; 4 – протеолитические ферменты; 5 – влажность; 6 – критическое значение влажности

Рисунок 2 – Изменение активности ферментов и влажности в исследуемом зерне в процессе сушки солода

Проведена оценка качества ячменного, пшеничного, овсяного, ржаного и тритикалевого солодов, полученных по режиму «падающих» температур на микросолодовне «Seeger» Ивановского ОАО «Белсолод», Республика Беларусь, по показателям, характеризующим цитолитическую растворимость солода, протеолитические процессы в солоде и амилолитическую активность солода. Результаты представлены в таблице 6.

Из данных таблицы 5 видно, что экстрактивность всех образцов находилась в пределах нормируемых значений (не менее 76,0–80,0 % [11–13]) и варьировалась от 78,9 % до 85,2 %, наименьшее значение экстрактивности наблюдалось для овсяного солода, для которого этот показатель составил 78,9 %, что связано с меньшей крахмалистостью исходного сырья. Продолжительность осахаривания (не более 18–25 минут [11–13]) находится в допустимых диа-

пазонах 10–15 минут, за исключением овса голозерного, что связано с наименьшим значением его диастатической силы, 68 ед., по сравнению с другими солодами. Рекомендуемое значение для данного показателя составляет 240–400 ед. – для ячменного солода [9, 14, 15], 250–420 ед. – для пшеничного и тритикалевого солодов [9], 300–500 ед. – ржаного солода [9], за исключением солода из овса голозерного (значение не установлено).

Таблица 6 – Оценка качества солодов, полученных по режиму «падающих» температур на микросолодовне «Seeger» Ивановского ОАО «Белсолод», Республика Беларусь

Показатель качества	Вид солода				
	Ячменный	Пшеничный	Овсяный	Ржаной	Тритикалевый
Показатели, характеризующие амилитическую активность солода					
Экстрактивность, %	79,4±0,3	85,2±0,4	78,9±0,2	80,0±0,3	82,1±0,4
Продолжительность осахаривания, мин	10±5	15±3	28±2	15±5	15±2
Диастатическая сила, ед/г	457±14	641±13	68±7	430±10	372±8
Показатели, характеризующие протеолитические процессы в солоде					
Число Кольбаха, %	40	41	37	37	40
Содержание аминного азота, мг/100 г сухого вещества солода	210±6	245±6	175±5	355±7	250±6
Цвет, цв. ед.	0,21±0,01	0,26±0,01	0,15±0,01	3,4±0,2	0,45±0,02
Протеолитическая активность, ед/г	3,0±0,2	13,7±0,3	1,8±0,2	3,0±0,2	2,2±0,3
Показатели, характеризующие цитолитическую растворимость солода					
Содержание мучнистых зерен, %	90	88	86	82	81
Массовая доля стекловидных зерен, %	1	2	2	отсутствуют	1
Разность массовых долей экстракта в сухом веществе солода тонкого и грубого помолов, %	2,1	0,3	1,0	0,7	1,9
Вязкость, мПа·с	1,60±0,01	1,55±0,01	1,55±0,01	2,77±0,02	1,81±0,01
β-глюкан, мг/100 г сухого вещества солода	113±3	68±2	114±4	132±3	59±2
Время фильтрования затора, мин	25±5	40±4	60±4	70±5	60±5
Цитолитическая активность, ед/г	31,2±1,6	32,4±1,5	30,5±1,2	66,1±1,5	35,9±1,6

Наибольшей интенсивностью цвета обладали образцы суслу из ржаного и тритикалевого солодов, значение которых составило $3,4 \text{ см}^3 \text{ 1 моль/дм}^3$ раствора йода на 100 г солода и $0,65 \text{ см}^3 \text{ 0,1 моль/дм}^3$ раствора йода на 100 см³ воды, соответственно; наименьшей – сусло из овсяного солода и составило $0,15 \text{ см}^3 \text{ 0,1 моль/дм}^3$ раствора йода на 100 см³ воды, что обусловлено видом злаков.

Содержание мучнистых (более 80 %) и стекловидных (менее 10 %) зерен, разность массовых долей экстрактов в сухом веществе солода тонкого и грубого помола (менее 4,0 %) свидетельствует о равномерности растворения эндосперма и стенок крахмальных зерен зерна, правильности ведения процесса сушки и соответствует требованиям, предъявляемым к солоду. Число Кольбаха для ячменного и тритикалевого солодов находится в пределах нормируемых значений (39–41 % [11, 13]), содержание аминного азота (не менее 130 мг/100 г солода [9, 14]) – в интервале 175–355 мг/100 г сухих веществ солода, что свидетельствует о хорошем растворении азотистых веществ солодов.

Наибольшей вязкостью суслу обладал солод из ржаного солода – 2,77 мПа·с, что связано с

содержанием в его составе слизеобразных коллоидных веществ, немного меньше данный показатель для тритикалевого солода и составил 1,81 мПа·с, так как тритикале – это гибрид ржи и пшеницы и в своем составе также имеет незначительное количество слизей.

Наименьшее содержание β -глюкана было отмечено для образцов пшеничного и тритикалевого солодов, что свидетельствует о хорошем расщеплении гумми-веществ и гемицеллюлозы до низкомолекулярных соединений и составило 68 и 59 мг/100 г сухого вещества солода, соответственно. Для образцов ячменя, овса голозерного и ржи данный показатель колебался в пределах 113–132 мг/100 г сухого вещества солода. Известно [15], что содержание β -глюкана не должно превышать 200 мг/100 г сухого вещества солода.

Однозначного мнения о связи между скоростью фильтрования и растворенностью солода нет. В работе [7] утверждается, что хорошо растворенный солод фильтруется медленно, однако медленная фильтрация характерна для плохо растворенного солода [15]. Время фильтрования лабораторного суслу для изученных образцов варьировалось от 25 до 70 минут. Наибольшее время было отмечено для образцов ржаного солода (70 минут), что связано со значительным содержанием гумми-веществ и высоким содержанием β -глюкана.

Таким образом, качество полученных солодов высокое, в частности, по показателям, характеризующим амилолитическую активность солода (диастатическая сила, экстрактивность), протеолитические процессы в солоде (число Кольбаха, содержание аминного азота) и цитолитическую растворимость солода (содержание мучнистых зерен, разность массовых долей экстракта в сухом солоде тонкого и грубого помола, содержание β -глюкана).

Заключение

В результате проведенных исследований определены зависимости влажности зернового сырья от температуры и продолжительности замачивания, зависимости активности гидролитических групп ферментов от температуры и продолжительности проращивания при различных режимах проращивания, которые описаны полиномиальными уравнениями второй и третьей степени при $R^2=0,81-0,99$.

Подобраны оптимальные технологические режимы солодоращения и сушки для таких зерновых культур, как ячмень сорта Фэст, пшеница сорта Сударыня, овес голозерный сорта Гоша, тритикале сорта Эра и рожь сорта Зазерская 3 белорусской селекции. Рекомендовано для производства полисолодовых экстрактов осуществлять сушку солодов при температурах 65–70 °С и продолжительностью 16–22 часа (для ячменя – 70 °С, продолжительностью 22 часа; пшеницы – 65 °С, продолжительностью 20 часов; тритикале и ржи – 65 °С, продолжительностью 19 часов; овса голозерного – 65 °С, продолжительностью 16 часов). Активность гидролитических групп ферментов в солоде при этом характеризуется значениями в диапазоне: для α - и β -амилазы – 68–641 ед/г, протеолитической активности – 1,8–13,7 ед/г, цитолитической активности – 30,5–66,1 ед/г.

Проведена опытно-промышленная проработка технологии получения пшеничного, овсяного, ржаного и тритикалевого солодов по режиму «падающих» температур в условиях ОАО «Белсолод», Республика Беларусь.

Литература

- 1 Домарецкий, В. А. Технология экстрактов, концентратов и напитков из растительного сырья: учеб. пособие / В. А. Домарецкий. – М.: ФОРУМ, 2011. – 448 с.
- 2 Волкова, С. В. Технология производства пищевого этилового спирта на основе использования овса голозерного белорусской селекции: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / С. В. Волкова; УО МГУП. – Могилев, 2010. – 225 с.
- 3 Моргунова, Е. М. Разработка технологии пивоваренного солода из тритикале, районированных в Республике Беларусь: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / Е. М. Моргунова; УО МГУП. – Могилев, 2000. – 217 с.
- 4 Болотов, Д. Н. Совершенствование технологии солодов из тритикале и применение их в пищевой промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07, 05.18.01 / Д. Н. Болотов; Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж, 2004. – 23 с.
- 5 Briggs, D. Malt and malting / D. Briggs. – 1st. ed. – Blackie, London, 1998. – 796 p.

- 6 Мукоид, Р. Н. Совершенствование технологии овсяного солода: автореф. дис. канд. ... техн. наук: 05.18.05 / Р. Н. Мукоид; Нац. унив. пищ. технол. – Киев, 2012. – 20 с.
- 7 Нарцисс, Л. Технология солода / Л. Нарцисс. – М.: Пищевая промышленности, 1980. – 503 с.
- 8 Грачев, Ю. П. Математические методы планирования экспериментов / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. – М.: ДеЛипринт, 2005. – 296 с.
- 9 Нарцисс, Л. Пивоварение. Т.1. Технология солодоращения / Л. Нарцисс; перевод с нем. под общ. ред. Г. Л. Ермолаевой и Е. Ф. Шаненко. – СПб.: Профессия, 2007. – 584 с.
- 10 Емельянова, Н. А. Разработка и совершенствование технологии солодовых экстрактов, концентрата квасного сусла и солода для их производства: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.07 / Н. А. Емельянова; МВ и СО КОТКЗ «Технологический институт пищевой промышленности». – Киев, 1990. – 50 с.
- 11 Солод пивоваренный. Технические условия: ГОСТ 29294-2014. – Введ. 01.10.2016. – Минск: Межгос. совет по стандартизации и метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2014. – 28 с.
- 12 Солод ржаной сухой. Технические условия: ГОСТ 29272-92. – Введ. 01.06.1993. – Минск: Межгос. совет по стандартизации и метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1993. – 26 с.
- 13 Солод пивоваренный тритикалевый. Технические условия: ТУ ВУ 01797526.545-97 / Г.И. Косминский, Е.М. Моргунова. – Введ. 10.08.1997. – Могилев: МГУП, 1997. – 12 с.
- 14 Меледина, Т.В. Биохимические процессы при производстве солода / Т.В.Меледина, И.П.Прохорчик, Л.И.Кузнецова.–СПб.:НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 89 с.
- 15 Косминский, Г. И. Технология солода, пива и безалкогольных напитков. Лабораторный практикум по техническому контролю производство / Г. И. Косминский. – 2-е издание. – Минск: Дизайн ПРО, 2001. – 352 с.

Поступила в редакцию 16.12.2016