



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СВОБОДНОЙ И СВЯЗАННОЙ ВЛАГИ В ПИВНОЙ ДРОБИНЕ

Александра С. Данильченко¹, Хазрет Р. Сиухов²,
Татьяна Г. Короткова¹, Белла Б. Сиухова²

¹ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»;
ул. Московская, д. 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»;
ул. Первомайская, д.191, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация

Аннотация. Приведены экспериментальные данные по кинетике сушки сырой пивной дробины Майкопского пивзавода для двух температурных режимов 60°C и 55°C. Содержание сухого вещества 12,7%. Скорость сушильного агента составляла 4,5 м/с.

Цель – определение содержания свободной и связанной влаги в пивной дробине, полученной в качестве отхода при производстве пива по классической технологии.

Анализ кривых сушки и кривых скорости сушки показал, что свободная влага удаляется при изменении влагосодержания от начального 687,4% до 360%, при дальнейшем уменьшении влагосодержания удаляется связанная влага. Значение влагосодержания 360% принято находящимся на стыке между первым и вторым периодами сушки. В среднем содержание свободной влаги составляет 47%, связанной – 53%. Значительное количество связанной влаги свидетельствует о недостаточном разрушении клеточной структуры материала.

Ключевые слова: пивная дробина, кинетика сушки, скорость сушки, клеточная структура, влагосодержание, сухие вещества, свободная влага, отходы

Для цитирования: *Определение содержания свободной и связанной влаги в пивной дробине / Данильченко А.С. [и др.] // Новые технологии. 2020. Т. 15, № 4. С. 41–52. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-41-52>*

DETERMINATION OF THE CONTENT OF FREE AND ATTACHED MOISTURE IN SPENT GRAIN

Alexandra S. Danilchenko¹, Khazret R. Siyukhov²,
Tatiana G. Korotkova¹, Bella B. Siyukhova²

¹ FSBSI HE «Kuban State Technological University»;
2 Moskovskaya str., Krasnodar, 350072, the Russian Federation

² FSBSI HE «Maykop State Technological University»;
191 Pervomayskaya str., Maykop, 385000, the Russian Federation

Annotation. Experimental data on the kinetics of drying of raw brewer's grains from the Maykop brewery for two temperature regimes of 60°C and 55°C are presented. The dry matter content is 12,7%. The drying agent speed is 4,5 m/s.

The purpose is to determine the content of free and attached moisture in brewer's grains obtained as a waste in the production of beer using classical technology.

Analysis of the drying curves and drying rate curves has shown that free moisture is removed when the moisture content changes from the initial 687,4% to 360%; with a further decrease in the moisture content, the attached moisture is removed. A moisture content of 360% is assumed to be at the interface between the first and second drying periods. The average free moisture content is 47%, that of the attached one is 53%. A significant amount of the attached moisture indicates insufficient destruction of the cellular structure of the material.

Keywords: brewer's grains, drying kinetics, drying rate, cell structure, moisture content, dry matter, free moisture, waste

For citation: *Determination of the content of free and attached moisture in spent grain / Danilchenko A.S. [et al.] // New technologies. 2020. Vol. 15, No. 4. P. 41–52. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-41-52>*

В технологии производства пива в заторном чане при смешивании дробленого солода с горячей водой образуется затор, из которого в процессе затирания извлекаются углеводы, белки, минеральные соли, дубильные, горькие и другие растворимые вещества. Полученный экстракт отделяют от затора методом фильтрации, а оставшийся влажный твердый осадок – пивная дробина – является отходом производства, который богат клетчаткой, белками, жирами и незаменимыми аминокислотами [1]. Содержание воды в пивной дробине составляет 75–85%, а сухой остаток содержит порядка 6,6% белковых веществ, 1,7% жира и 9,7% безазотистых экстрактивных веществ [2]. Предложено много путей утилизации пивной дробины: рекультивация нефтезагрязненной черноземной почвы [2–4], экспериментально апробированная в полевых условиях на черноземе в Самарской области [3]; использование в качестве ингредиента в исходном сырье для получения жидкофазных биологически активных средств для растениеводства и земледелия [5]; применение в качестве реагента для обработки буровых растворов [6]; в качестве сырья для получения ксилозы и ксилита [7] для производства молочной кислоты, активированного угля и фенольных кислот [8] при химико-термической обработке для получения топлива [9]. В обзоре [10] рассмотрено применение пивной дробины (brewer's spent grain (BSG)) в различных

производствах. Однако основным направлением является получение пищевой кормовой добавки, добавляемой в рацион сельскохозяйственных животных [11–13].

Разработана технология получения кормового концентрата на основе пивной дробины, прошедшей биологическую обработку путем биоферментации с помощью закваски Леснова, включающая стадии прессования для отделения жидкой фракции и смешения отпрессованной твердой фракции влажностью 50–60% с минеральными добавками и посевным материалом, приготовленным на основе отрубей и закваски Леснова. После биоферментации продолжительностью 6–8 ч при температуре 50–60°C полученный кормовой продукт влажностью 50–55% подвергают сушке в конверторной сушилке при 80°C до содержания влаги 12–14% с получением кормового концентрата [13].

Предложена технологическая схема производства биоразлагаемой упаковки из отходов пищевых производств пивоваренных, спиртовых, мясоперерабатывающих, маслоэкстракционных и сахарных заводов. Технология переработки отходов 4 класса опасности пивной дробины, свекловичного жома, спиртовой барды, масличного жома и костного клея включает следующие этапы: обезвоживание, измельчение, смешивание, разваривание, формирование, глазирование. Преимущество биоразлагаемой

Таблица 1

Результаты исследования кинетики сушки при температуре 60°C

Table 1

Results of the study of drying kinetics at a temperature of 60°C

Процентное содержание сухого вещества 12,7 %					Эксперимент 1			Эксперимент 2		
Масса чашки Петри, г					121,292			120,527		
Масса навески, г					50,563			50,568		
Масса сухого вещества, г					6,642501			6,422136		
Время, мин	Эксперимент № 1 (чашка Петри 1)					Эксперимент № 2 (Чашка Петри 2)				
	Масса навески, мг	Влажность, в, %	Влаго-содержание, и, %	Среднее значение двух измерений, и, %	Скорость сушки, N, мин ⁻¹	Масса навески, мг	Влажность, в, %	Влаго-содержание, и, %	Среднее значение двух измерений, и, %	Скорость сушки, N, мин ⁻¹
0	50,563	87,300	687,402	687,402	0	50,568	87,300	687,402	687,402	0
5	49,711	87,082	674,134	680,768	2,654	50,023	87,162	678,915	683,158	1,697
10	48,598	86,786	656,801	665,467	3,466	49,063	86,910	663,967	671,441	2,990
15	47,459	86,469	639,064	647,933	3,547	47,967	86,611	646,901	655,434	3,413
20	46,320	86,137	621,327	630,195	3,547	46,844	86,290	629,415	638,158	3,497
25	45,146	85,776	603,044	612,186	3,656	45,734	85,958	612,131	620,773	3,457
30	43,988	85,402	585,011	594,028	3,607	44,591	85,598	594,333	603,232	3,560
35	42,854	85,015	567,352	576,181	3,532	43,435	85,214	576,333	585,333	3,600
40	41,708	84,604	549,505	558,429	3,569	42,276	84,809	558,286	567,309	3,609
45	40,607	84,186	532,360	540,933	3,429	41,107	84,377	540,083	549,184	3,641
50	39,477	83,734	514,763	523,561	3,519	39,966	83,931	522,316	531,200	3,553
55	38,359	83,259	497,353	506,058	3,482	38,867	83,477	505,204	513,760	3,423
60	37,238	82,756	479,896	488,624	3,491	37,729	82,978	487,484	496,344	3,544
65	36,112	82,218	462,361	471,128	3,507	36,612	82,459	470,091	478,787	3,479
70	34,955	81,629	444,343	453,352	3,604	35,507	81,913	452,885	461,488	3,441
75	33,835	81,021	426,902	435,622	3,488	34,403	81,333	435,694	444,289	3,438
80	32,729	80,380	409,678	418,290	3,445	33,279	80,702	418,192	426,943	3,500
85	31,617	79,690	392,362	401,020	3,463	32,171	80,037	400,939	409,566	3,451
90	30,518	78,958	375,247	383,804	3,423	31,094	79,346	384,169	392,554	3,354
95	29,405	78,162	357,915	366,581	3,466	29,999	78,592	367,119	375,644	3,410
100	28,321	77,326	341,034	349,474	3,376	28,949	77,816	350,769	358,944	3,270
105	27,270	76,452	324,667	332,851	3,273	27,914	76,993	334,653	342,711	3,223
110	26,251	75,538	308,799	316,733	3,174	26,880	76,108	318,552	326,603	3,220
115	25,259	74,577	293,350	301,074	3,090	25,879	75,184	302,966	310,759	3,117
120	24,290	73,563	278,260	285,805	3,018	24,907	74,216	287,830	295,398	3,027
125	23,345	72,493	263,544	270,902	2,943	23,924	73,156	272,524	280,177	3,061
130	22,407	71,342	248,937	256,241	2,921	22,970	72,041	257,669	265,097	2,971
135	21,493	70,123	234,704	241,820	2,847	22,045	70,868	243,266	250,468	2,881
140	20,622	68,861	221,140	227,922	2,713	21,142	69,624	229,205	236,235	2,812
145	19,758	67,499	207,685	214,412	2,691	20,264	68,308	215,534	222,369	2,734
150	18,954	66,121	195,165	201,425	2,504	19,416	66,923	202,329	208,931	2,641
155	18,170	64,659	182,956	189,060	2,442	18,609	65,489	189,763	196,046	2,513
160	17,402	63,099	170,996	176,976	2,392	17,807	63,935	177,275	183,519	2,498
165	16,657	61,449	159,394	165,195	2,320	17,036	62,303	165,270	171,273	2,401
170	15,918	59,659	147,886	153,640	2,302	16,302	60,605	153,841	159,555	2,286
175	15,205	57,767	136,783	142,334	2,221	15,599	58,830	142,894	148,368	2,189
180	14,549	55,863	126,567	131,675	2,043	14,929	56,982	132,462	137,678	2,087
185	13,921	53,872	116,787	121,677	1,956	14,291	55,062	122,527	127,494	1,987
190	13,300	51,718	107,117	111,952	1,934	13,686	53,075	113,107	117,817	1,884
195	12,713	49,489	97,976	102,546	1,828	13,085	50,920	103,748	108,428	1,872
200	12,147	47,135	89,161	93,568	1,763	12,500	48,623	94,639	99,194	1,822
205	11,596	44,623	80,581	84,871	1,716	11,958	46,294	86,200	90,420	1,688

210	11,062	41,950	72,265	76,423	1,663	11,449	43,907	78,274	82,237	1,585
215	10,579	39,300	64,743	68,504	1,504	10,971	41,463	70,831	74,553	1,489
220	10,110	36,484	57,440	61,092	1,461	10,489	38,773	63,326	67,078	1,501
225	9,680	33,662	50,744	54,092	1,339	10,043	36,054	56,381	59,853	1,389
230	9,266	30,698	44,296	47,520	1,289	9,628	33,297	49,919	53,150	1,292
235	8,889	27,759	38,426	41,361	1,174	9,259	30,639	44,173	47,046	1,149
240	8,561	24,991	33,318	35,872	1,022	8,908	27,906	38,708	41,440	1,093
245	8,262	22,277	28,662	30,990	0,931	8,589	25,228	33,741	36,224	0,993
250	8,008	19,811	24,706	26,684	0,791	8,340	22,996	29,863	31,802	0,775
255	7,794	17,610	21,373	23,040	0,667	8,132	21,026	26,625	28,244	0,648
260	7,636	15,905	18,913	20,143	0,492	7,959	19,310	23,931	25,278	0,539
265	7,516	14,562	17,044	17,979	0,374	7,810	17,770	21,611	22,771	0,464
270	7,444	13,736	15,923	16,484	0,224	7,683	16,411	19,633	20,622	0,396
275	7,409	13,328	15,378	15,651	0,109	7,583	15,309	18,076	18,855	0,311
280	7,392	13,129	15,113	15,246	0,053	7,499	14,360	16,768	17,422	0,262
285	7,378	12,964	14,895	15,004	0,044	7,438	13,658	15,818	16,293	0,190
290	7,364	12,799	14,677	14,786	0,044	7,427	13,530	15,647	15,733	0,034
295	7,347	12,597	14,413	14,545	0,053	7,406	13,285	15,320	15,483	0,065
300	7,334	12,442	14,210	14,311	0,040	7,399	13,203	15,211	15,265	0,022
305	7,320	12,275	13,992	14,101	0,044	7,393	13,132	15,117	15,164	0,019
310	7,314	12,203	13,899	13,945	0,019	7,388	13,073	15,040	15,079	0,016
315	7,305	12,094	13,758	13,829	0,028	7,383	13,015	14,962	15,001	0,016
320	7,301	12,046	13,696	13,727	0,012	7,380	12,979	14,915	14,938	0,009
325	7,293	11,950	13,572	13,634	0,025	7,377	12,944	14,868	14,892	0,009
330	7,286	11,865	13,463	13,517	0,022	7,374	12,908	14,822	14,845	0,009
335	7,284	11,841	13,431	13,447	0,006	7,370	12,861	14,759	14,790	0,012
340	7,284	11,841	13,431	13,431	0	7,370	12,861	14,759	14,759	0

упаковки состоит в низкой себестоимости и в полном разложении в природных условиях [14].

Способами переработки пивной дробины являются механическое обезвоживание и сушка нагретым воздухом. Подбор оборудования осуществляют на основе данных, полученных путем экспериментального исследования кинетики сушки.

В данной работе исследована кинетика сушки сырой пивной дробины для двух температурных режимов 60°C и 55°C. Образцы пивной дробины отобраны на Майкопском пивоваренном заводе, расположенном в г. Майкопе.

Исследование кинетики сушки проведено в сушильном шкафу Memmert UFE 400 класса Basic (Германия), оснащенном вентилятором AC axial fans Series 4000 N 119×119×38 фирмы EBM для создания принудительной циркуляции воздуха. Для каждого температурного режима шкаф предварительно прогревали до заданной температуры. На дисплее, расположенном

на панели управления, отображалась температура процесса. Скорость сушильного агента составляла 4,5 м/с, которая определена нами ранее в работе [15]. Для каждого температурного режима использовались две чашки Петри, в каждую из которых помещалась навеска сырой пивной дробины. Убыль массы навески фиксировали на весах Ohaus Discovery через 5 минут в течение всего эксперимента. Результаты экспериментальных данных приведены в таблицах 1 и 2. Содержание сухого вещества в % определено по ГОСТ 31640-2012 путем высушивания в стеклянных бюксах в сушильном шкафу в течение часа при температуре 105±2°C с последующим охлаждением в эксикаторе до комнатной температуры и взвешиванием. Содержание сухого вещества для сырой пивной дробины Майкопского пивзавода составило 12,7%.

По результатам экспериментальных данных построены кривые сушки (рисунок 1) и кривые скорости сушки (рисунок 2). Скорость сушки определена как

Таблица 2

Результаты исследования кинетики сушки при температуре 50°C

Table 2

Results of the study of drying kinetics at a temperature of 50°C

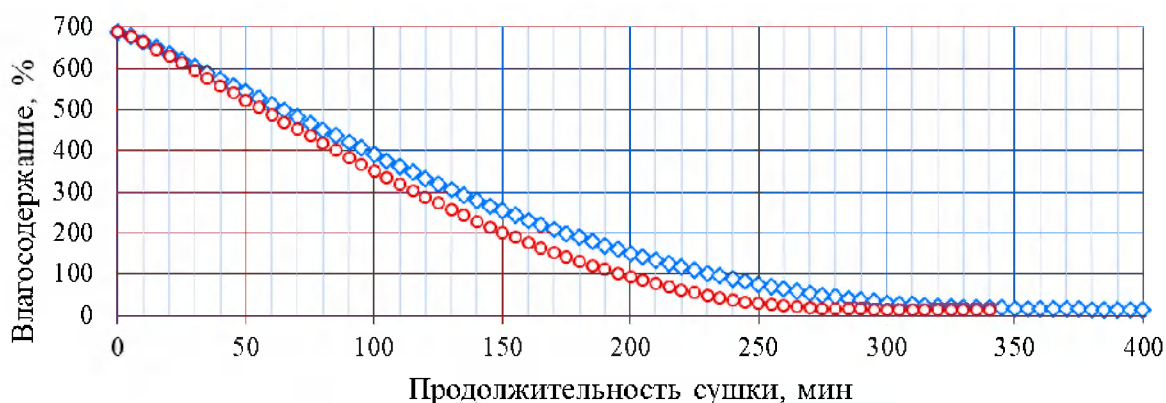
Процентное содержание сухого вещества 12,7 %		Эксперимент 1				Эксперимент 2				
Масса чашки Петри, г		121,288				120,518				
Масса навески, г		49,439				49,147				
Масса сухого вещества, г		6,278753				6,241669				
Время, мин	Эксперимент № 1 (чашка Петри 1)					Эксперимент № 2 (Чашка Петри 2)				
	Масса навески, м г	Влажность, w, %	Влаго-содержание, u, %	Среднее значение двух измерений, u, %	Скорость сушки, N, мин ⁻¹	Масса навески, м г	Влажность, w, %	Влаго-содержание, u, %	Среднее значение двух измерений, u, %	Скорость сушки, N, мин ⁻¹
0	49,439	87,300	687,402	687,402	0	49,147	87,300	687,402	687,402	0
5	49,124	87,219	682,385	684,893	1,978	48,579	87,152	678,301	682,852	1,820
10	48,362	87,017	670,248	676,317	2,817	47,715	86,919	664,459	671,380	2,768
15	47,425	86,761	655,325	662,787	3,072	46,792	86,661	649,671	657,065	2,958
20	46,446	86,482	639,733	647,529	3,090	45,838	86,383	634,387	642,029	3,057
25	45,487	86,197	624,459	632,096	2,940	44,892	86,096	619,231	626,809	3,031
30	44,529	85,900	609,201	616,830	3,082	43,924	85,790	603,722	611,476	3,102
35	43,559	85,586	593,752	601,477	3,016	42,994	85,482	588,822	596,272	2,980
40	42,594	85,259	578,383	586,068	3,053	42,029	85,149	573,362	581,092	3,092
45	41,630	84,918	563,030	570,706	3,009	41,095	84,812	558,398	565,880	2,993
50	40,687	84,568	548,011	555,520	2,920	40,139	84,450	543,081	550,739	3,063
55	39,756	84,207	533,183	540,597	2,939	39,173	84,066	527,605	535,343	3,095
60	38,799	83,817	517,941	525,562	3,075	38,221	83,670	512,352	519,978	3,050
65	37,820	83,398	502,349	510,145	3,081	37,283	83,259	497,324	504,838	3,006
70	36,838	82,956	486,709	494,529	3,094	36,323	82,816	481,944	489,634	3,076
75	35,861	82,491	471,148	478,929	3,053	35,376	82,356	466,771	474,358	3,034
80	34,900	82,009	455,843	463,496	2,986	34,428	81,870	451,583	459,177	3,038
85	33,947	81,504	440,665	448,254	3,012	33,490	81,363	436,555	444,069	3,006
90	32,979	80,961	425,248	432,956	3,071	32,558	80,829	421,623	429,089	2,986
95	32,018	80,390	409,942	417,595	2,971	31,605	80,251	406,355	413,989	3,054
100	31,070	79,792	394,843	402,393	2,996	30,681	79,656	391,551	398,953	2,961
105	30,125	79,158	379,793	387,318	2,946	29,744	79,015	376,539	384,045	3,002
110	29,199	78,497	365,045	372,419	2,877	28,822	78,344	361,768	369,153	2,954
115	28,290	77,806	350,567	357,806	2,835	27,923	77,647	347,364	354,566	2,881
120	27,409	77,092	336,536	343,551	2,709	27,025	76,904	332,977	340,171	2,877
125	26,455	76,266	321,342	328,939	2,660	26,157	76,138	319,071	326,024	2,781
130	25,713	75,581	309,524	315,433	2,632	25,312	75,341	305,533	312,302	2,708
135	24,898	74,782	296,544	303,034	2,493	24,489	74,512	292,347	298,940	2,637
140	24,107	73,955	283,946	290,245	2,484	23,694	73,657	279,610	285,978	2,547
145	23,319	73,075	271,395	277,671	2,468	22,906	72,751	266,985	273,298	2,525
150	22,547	72,153	259,100	265,248	2,390	22,151	71,822	254,889	260,937	2,419
155	21,799	71,197	247,187	253,143	2,314	21,423	70,865	243,226	249,057	2,333
160	21,073	70,205	235,624	241,405	2,253	20,726	69,885	232,059	237,642	2,233
165	20,371	69,178	224,443	230,034	2,158	20,032	68,842	220,940	226,499	2,224
170	19,695	68,120	213,677	219,060	2,096	19,352	67,747	210,045	215,493	2,179
175	19,034	67,013	203,149	208,413	2,056	18,691	66,606	199,455	204,750	2,118
180	18,386	65,850	192,829	197,989	2,024	18,067	65,453	189,458	194,456	1,999
185	17,754	64,635	182,763	187,796	1,948	17,450	64,231	179,573	184,515	1,977
190	17,144	63,376	173,048	177,906	1,890	16,855	62,968	170,040	174,806	1,907
195	16,554	62,071	163,651	168,349	1,820	16,260	61,613	160,507	165,274	1,907
200	15,986	60,723	154,605	159,128	1,750	15,684	60,204	151,279	155,893	1,846

205	15,444	59,345	145,972	150,289	1,659	15,141	58,776	142,579	146,929	1,740
210	14,931	57,948	137,802	141,887	1,569	14,606	57,266	134,008	138,294	1,714
215	14,443	56,527	130,030	133,916	1,497	14,081	55,673	125,597	129,802	1,682
220	13,975	55,072	122,576	126,303	1,444	13,591	54,075	117,746	121,671	1,570
225	13,525	53,577	115,409	118,993	1,390	13,116	52,412	110,136	113,941	1,522
230	13,087	52,023	108,433	111,921	1,362	12,658	50,690	102,798	106,467	1,468
235	12,671	50,448	101,808	105,120	1,256	12,227	48,952	95,893	99,346	1,381
240	12,278	48,862	95,548	98,678	1,211	11,812	47,158	89,244	92,569	1,330
245	11,897	47,224	89,480	92,514	1,185	11,402	45,258	82,675	85,960	1,314
250	11,528	45,535	83,603	86,542	1,139	11,018	43,350	76,523	79,599	1,230
255	11,180	43,839	78,061	80,832	1,047	10,639	41,332	70,451	73,487	1,214
260	10,849	42,126	72,789	75,425	1,038	10,287	39,325	64,812	67,631	1,128
265	10,542	40,441	67,900	70,344	0,887	9,964	37,358	59,637	62,224	1,035
270	10,263	38,821	63,456	65,678	0,871	9,656	35,360	54,702	57,170	0,987
275	9,989	37,143	59,092	61,274	0,852	9,349	33,237	49,784	52,243	0,984
280	9,730	35,470	54,967	57,030	0,773	9,080	31,259	45,474	47,629	0,862
285	9,489	33,831	51,129	53,048	0,748	8,819	29,225	41,292	43,383	0,836
290	9,255	32,158	47,402	49,265	0,724	8,596	27,389	37,720	39,506	0,715
295	9,030	30,468	43,818	45,610	0,689	8,396	25,659	34,515	36,117	0,641
300	8,821	28,820	40,490	42,154	0,626	8,204	23,919	31,439	32,977	0,615
305	8,627	27,220	37,400	38,945	0,591	8,045	22,416	28,892	30,166	0,509
310	8,446	25,660	34,517	35,959	0,547	7,907	21,061	26,681	27,786	0,442
315	8,281	24,179	31,889	33,203	0,490	7,790	19,876	24,806	25,744	0,375
320	8,130	22,771	29,484	30,687	0,462	7,691	18,845	23,220	24,013	0,317
325	7,991	21,427	27,270	28,377	0,412	7,604	17,916	21,826	22,523	0,279
330	7,866	20,179	25,280	26,275	0,371	7,534	17,153	20,705	21,266	0,224
335	7,747	18,952	23,384	24,332	0,318	7,475	16,499	19,760	20,232	0,189
340	7,632	17,731	21,553	22,469	0,280	7,425	15,937	18,959	19,359	0,160
345	7,528	16,595	19,896	20,725	0,248	7,382	15,447	18,270	18,614	0,138
350	7,470	15,947	18,973	19,435	0,179	7,357	15,160	17,869	18,069	0,080
355	7,427	15,460	18,288	18,630	0,151	7,335	14,906	17,517	17,693	0,070
360	7,366	14,760	17,316	17,802	0,110	7,322	14,755	17,308	17,413	0,042
365	7,332	14,365	16,775	17,046	0,104	7,291	14,392	16,812	17,060	0,099
370	7,306	14,060	16,361	16,568	0,060	7,267	14,109	16,427	16,619	0,077
375	7,268	13,611	15,755	16,058	0,053	7,232	13,694	15,866	16,147	0,112
380	7,223	13,073	15,039	15,397	0,042	7,200	13,310	15,354	15,610	0,103
385	7,203	12,831	14,720	14,879	0,034	7,197	13,274	15,306	15,330	0,010
390	7,184	12,601	14,418	14,569	0,022	7,182	13,093	15,065	15,186	0,048
395	7,176	12,503	14,290	14,354	0,007	7,175	13,008	14,953	15,009	0,022
400	7,176	12,503	14,290	14,290	0	7,175	13,008	14,953	14,953	0

отношение уменьшения влагосодержания материала к промежутку времени, за которое это уменьшение произошло. При построении кривой скорости сушки взято среднее значение двух рядом стоящих измерений влагосодержания.

Анализ рисунков 1 и 2 показывает наличие трех периодов сушки сырой пивной дробины, что соответствует общим представлениям о сушке влажных материалов. В периоде прогрева материала влагосодержание изменяется от 687,4% до 650%. В периоде постоянной скорости

сушки (первом периоде) влагосодержание изменяется от 650% до 360%, и происходит интенсивное удаление свободной влаги. Скорость сушки составляет 3 мин⁻¹ при температуре сушильного агента 55°C и возрастает до 3,5 мин⁻¹ при температуре сушильного агента 60°C. В периоде падающей скорости сушки (втором периоде) происходит удаление связанной влаги до достижения равновесного влагосодержания, которое в среднем находится в диапазоне 14,0–14,6%. Для сохранения питательных свойств пивной дробины и



◇ Температура сушки 55°C ○ Температура сушки 60°C

Рис. 1. Кривая сушки пивной дробины (эксперимент № 2)

Fig. 1. Drying curve of brewer's grains (experiment No. 2)

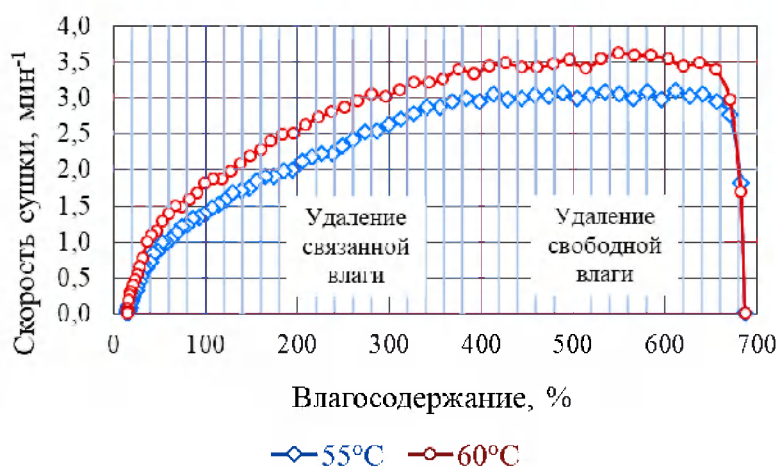


Рис. 2. Кривая скорости сушки пивной дробины (эксперимент № 2)

Fig. 2. Brewer's grain drying rate curve (experiment No. 2)

исключения денатурации белков температура сушки в производственных условиях не превышает 60°C.

Определим процентное содержание свободной и связанной влаги в ивовой дробине. Согласно экспериментальным данным, приведенным на рисунке 2, примем, что влагосодержание 360% соответствует первому критическому влагосодержанию, находящемуся на стыке между периодом постоянной скорости сушки и периодом падающей скорости сушки. Это означает, что при этом значении влагосодержания заканчивается удаление свободной влаги и начинается удаление связанной влаги. Определим

процентное содержание свободной и связанной влаги в пивной дробине. Необходимые данные для расчета возьмем из таблиц 1 и 2. Массу влаги в навеске определим как разность между массой навески и массой сухого вещества. Исходные и расчетные значения приведены в таблице 3.

Примем, что содержание свободной влаги составляет 47%, связанной 53%. Данное соотношение свободной и связанной влаги в пивной дробине свидетельствует о превышении количества связанной влаги по сравнению со свободной. Таким образом, применяемое перед сушкой пивной дробины в производственных

Содержание свободной и связанной влаги в пивной дробине

Table 3

Free and attached moisture content in brewer's grains

Температура сушильного агента, °С	Масса навески, г	Масса влаги в навеске, г	Масса навески, г, при влагосодержании ~360%	Масса испаренной влаги, г, а – с	Содержание свободной влаги, %, (d / b)·100	Содержание связанной влаги, %, 100 – е
	a	b	c	d	e	f
60	50,563	43,920	29,405	21,158	48,174	51,826
	50,568	44,146	29,999	20,569	46,593	53,407
50	49,439	43,160	28,896	20,543	47,597	52,403
	49,147	42,905	28,822	20,325	47,372	52,628
Среднее значение					47,434	52,566

условиях её механическое обезвоживание (отжим, прессование) позволяет

максимально удалить свободную влагу, но не способствует разрушению

Сырая дробина



Сухая дробина

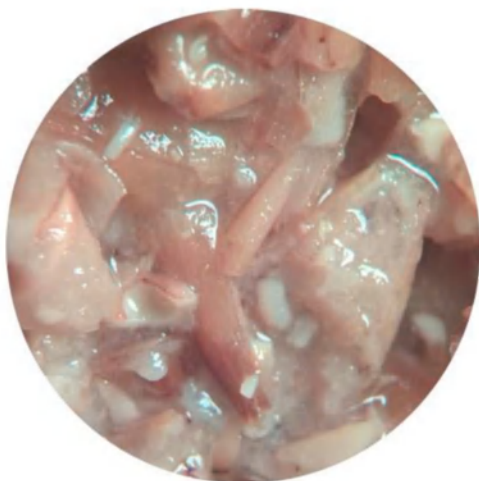


Внешний вид (без увеличения)



Увеличение 0,6x14 (8,4 крат)

Сырая дробина

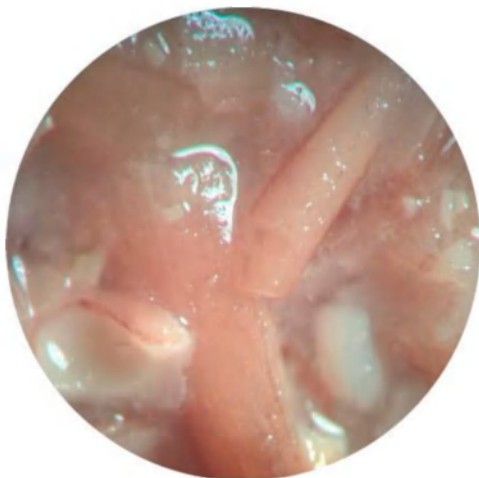


Сухая дробина



Увеличение 1x14 (14 крат)

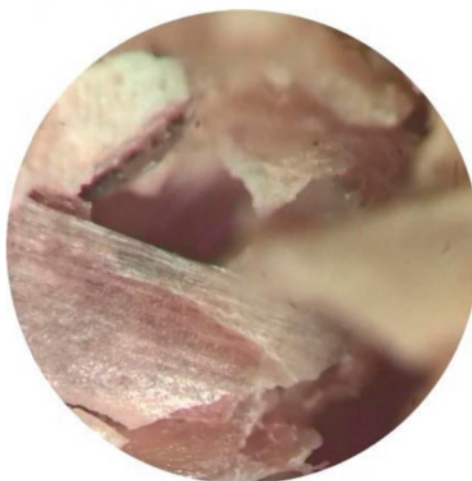
Сырая дробина



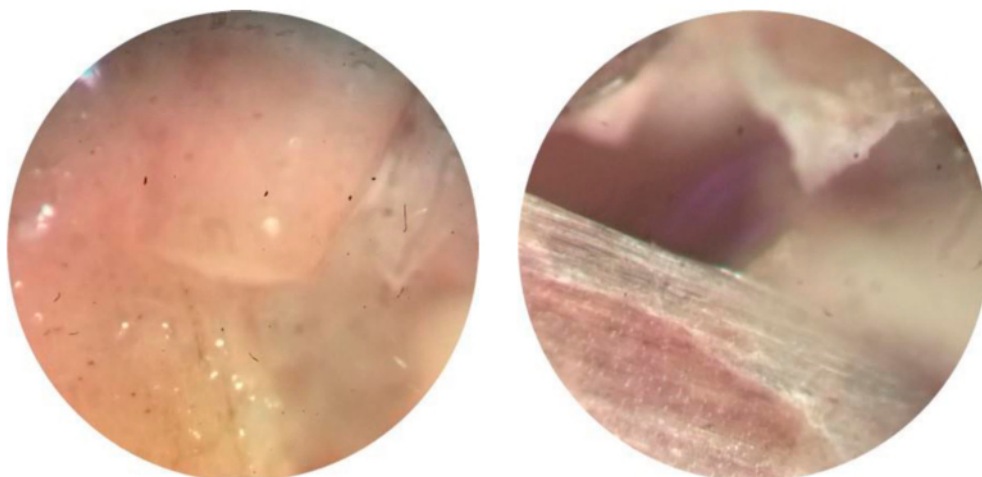
Сухая дробина



Увеличение 2x14 (28 крат)



Увеличение 4x14 (56 крат)



Увеличение 7x14 (98 крат)

Рис. 3. Пивная дробина Майкопского пивзавода до и после сушки при различных увеличениях под микроскопом

Fig. 3. Beer grain from Maykop brewery before and after drying at various magnifications under the microscope

клеточной структуры материала и снижению количества связанной влаги.

На рисунке 3 приведен внешний вид пивной дробины Майкопского пивзавода до и после сушки без увеличения и при различных увеличениях под микроскопом МБС-10.

Размеры крупных частиц пивной дробины составляют 5–7 мм, что соответствует стандартному размолу исходного сырья (солода) на дробилках. Содержание крупных частиц является преобладающим. Связанная влага удерживается адсорбционными силами (адсорбционно связанная влага) и содержится в клетках

материала (осмотически связанная влага). Наличие большого количества разрушенных клеток материала объясняет значительное количество связанной влаги в пивной дробине.

Сухая пивная дробина имеет более длительный срок хранения. Ее используют в качестве кормовой добавки в корм для сельскохозяйственных животных.

Вывод:

Содержание связанной влаги в пивной дробине больше, чем свободной, что свидетельствует о недостаточном разрушении клеточной структуры материала при дроблении.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кунце В. Технология солода и пива / пер. с нем. СПб.: Профессия, 2001. 911 с.
2. Руденко Е.Ю. Влияние отходов пивоварения на ферментативную активность нефтезагрязненной чернозёмной почвы // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 3. С. 60–64.
3. Руденко Е.Ю. К перспективам использования отходов пивоварения для рекультивации нефтезагрязненных почв // Экология и промышленность России. 2012. № 2. С. 34–38.
4. Руденко Е.Ю., Бахарев В.В., Чалдаев П.А. Рекультивация нефтезагрязненной почвы с использованием отходов пивоварения // Биотехнология. 2013. № 3. С. 51–57.
5. Рабинович Г.Ю., Фомичева Н.В., Ковалев Н.Г. Исследование воздействия пивной дробины на формирование жидкофазных биологически активных средств для растениеводства и земледелия // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 5. С. 49–52.

6. Реагент для обработки буровых растворов: патент № 2087512 / Д.А. Галян [и др.]; заявл. 05.17.94, опубл. 08.20.97.
7. Ферментативный гидролиз пивной дробины / Фазлиев И.И. [и др.] // Экология и промышленность России. 2012. № 8. С. 20–22.
8. Techno-economic analysis for brewer's spent grains use on a biorefinery concept / Mussatto S.I. [et al.] // The Brazilian case. Bioresour. Technol. 2013. No. 148. P. 302–310.
9. Analysis of Drying of Brewers' Spent Grain / Arranz J.I. [et al.] // *Proceedings*. 2018. 2, 1467; doi:10.3390/proceedings2231467.
10. Aliyu S., Bala M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications // *African Journal of Biotechnology*. 2011. Vol. 10(3), pp. 324–331, 17 January, doi: 10.5897/AJBx10.006.
11. Киреева К.В., Владимиров Н.И. Эффективность использования гранулированной смеси на основе сухой пивной дробины в рационах лактирующих коров // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. № 5 (175). С. 92–95.
12. Велямов М.Т. Кормовая добавка из отходов пивоваренных производств с пробиотиком для откорма бычков / Ж.С. Алимкулов [и др.] // *Алматы технологиялық университетінің хабаршысы*. 2019. № 4. С. 77–81.
13. Лазаревич А.Н. Кормовой концентрат для сельскохозяйственных животных на основе отходов пивоваренного производства // *Вестник КрасГАУ*. 2015. № 9. С. 203–207.
14. Антипов С.Т., Шахов С.В., Жигулина М.О. Внедрение принципов устойчивого развития производства биоразлагаемой упаковки из вторичных материальных ресурсов пищевых производств // *Вестник ВГУИТ*. 2014. № 4. С. 53–57.
15. Данильченко А.С., Короткова Т.Г. Влияние поверхности массообмена системы «вода – воздух» на температуру мокрого термометра при вынужденной конвекции воздуха в замкнутом объеме [Электронный ресурс] // *Научные труды КубГТУ*. 2016. № 10. С. 1–11. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1147> (дата обращения: 20.05.2020).

REFERENCES:

1. Kuntze V. Malt and beer technology / transl. from German. SPb.: Professiya, 2001. 911 p.
2. Rudenko E.Yu. The influence of brewing waste on the enzymatic activity of petroleum-contaminated chernozem soil // *Theoretical and Applied Ecology*. 2011. No 3. P. 60–64.
3. Rudenko E.Yu. On the prospects of using brewing waste for the reclamation of petroleum-contaminated soils // *Ecology and industry of Russia*. 2012. No 2. P. 34–38.
4. Rudenko E.Yu., Bakharev V.V., Chaldaeve P.A. Reclamation of petroleum-contaminated soil using brewing waste // *Biotechnology*. 2013. No 3. P. 51–57.
5. Rabinovich G.Yu., Fomicheva N.V., Kovalev N.G. Investigation of the effect of brewer grains on the formation of liquid-phase biologically active agents for plant growing and agriculture // *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2014. No 5. P. 49–52.
6. Reagent for drilling fluid treatment: patent No 2087512/D.A. Galyan [et al.]; declared 05.17.94, published 08.20.97.
7. Enzymatic hydrolysis of brewer's spent grains / Fazliev I.I. [et al.] // *Ecology and industry of Russia*. 2012. No 8. P. 20–22.
8. Techno-economic analysis for brewer's spent grains use on a biorefinery concept / Mussatto S.I. [et al.] // *The Brazilian case*. Bioresour. Technol. 2013. 148. P. 302–310.
9. Analysis of drying of brewers' spent grain / Arranz J.I. [et al.] // *Proceedings* 2018, 2, 1467; doi:10.3390/proceedings2231467.
10. Aliyu S., Bala M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications // *African Journal of Biotechnology*. 2011. Vol. 10(3), pp. 324–331, 17 January, doi: 10.5897/AJBx10.006.
11. Kireeva K.V., Vladimirov N.I. Efficiency of using a granular mixture based on dry brewer's spent grains in the diets of lactating cows // *Bulletin of Altai State Agrarian University*, 2019. No 5 (175). P. 92–95.

12. Feed additive from brewing waste with probiotic for fattening bulls / M.T. Velyamov [et al.] // Bulletin of Almaty Technological University. 2019. No 4. P. 77–81.

13. Lazarevich A.N. Feed concentrate for farm animals based on brewing waste // Bulletin Krasnoyarsk State Agrarian University. 2015. No 9. P. 203–207.

14. Antipov S.T., Shakhov S.V., Zhigulina M.O. Introduction of the principles of sustainable development of the production of biodegradable packaging from secondary material resources of food production // Voronezh State University of Engineering Technologies Bulletin. 2014. № 4. P. 53–57.

15. Danilchenko A.S., Korotkova T.G. Influence of the surface of mass transfer of the «water – air» system on the temperature of a wet thermometer during forced convection of air in a closed volume [Electronic resource] // Scientific works of KubSTU. 2016. No 10. P. 1–11. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1147> (access date: 20.05.2020).

Информация об авторах / Information about the authors:

Александра Сергеевна Данильченко, соискатель кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»;

bagira.ask@rambler.ru

Хазрет Русланович Сиюхов, заведующий кафедрой технологии, машин и оборудования пищевых производств ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»; доктор технических наук, доцент;

siukhov@mail.ru

Татьяна Германовна Короткова, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; доктор технических наук, доцент;

korotkova1964@mail.ru

Белла Батмизовна Сиюхова, старший преподаватель кафедры технологии, машин и оборудования пищевых производств ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»;

siyuhowa@mail.ru

Alexandra S. Danilchenko, a post-graduate student of the Department of Life Safety, FSBEI HE «Kuban State Technological University»;

bagira.ask@rambler.ru

Khazret R. Siyukhov, Head of the Department of Technology, Machines and Equipment for Food Production, FSBEI HE «Maykop State Technological University»; Doctor of Technical Sciences, an associate professor;

siukhov@mail.ru

Tatiana G. Korotkova, a professor of the Department of Life Safety, FSBEI HE «Maykop State Technological University»; Doctor of Technical Sciences, an associate professor;

korotkova1964@mail.ru

Bella B. Siyukhova, a senior lecturer of the Department of Technology, Machines and Equipment for Food Production, FSBEI HE «Maykop State Technological University»;

siyuhowa@mail.ru