

УДК 663.45: 543.32

**ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА БРОЖЕНИЕ ПИВНОГО СУСЛА****<sup>1</sup>Пастухова Г.В., <sup>1</sup>Перетрутов А.А., <sup>2</sup>Просвирин С.В., <sup>1</sup>Чубенко М.Н.,  
<sup>1</sup>Авдонина А.В., <sup>1</sup>Ануфриева А.И., <sup>1</sup>Иванов А.И.***<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексева, Н. Новгород, e-mail: lab202@dfngtu.nnov.ru;**<sup>2</sup>ООО «Дзержинский пивоваренный завод», Дзержинск, e-mail: sv\_prosvirin@mail.ru*

Исследовано влияние ионного состава исходной воды на брожение пивного сусла. Пивное сусло готовили на дистиллированной, водопроводной воде и искусственно приготовленной (содержащей 1,8–2,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> и 0,4–0,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup>). Рассчитаны скорость брожения и степень сбраживания пивного сусла. По полученным данным построены графики зависимости массы выделяющегося CO<sub>2</sub> при брожении, скорости брожения и количества дрожжевых клеток от продолжительности брожения сусла, приготовленного на воде, содержащей 2,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> и 0,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup> при внесении дрожжей от 0,5 до 1,0 г/100 см<sup>3</sup> сусла. Полученные экспериментальные данные позволяют выбрать солевой состав исходной воды, а именно содержание солей кальция и магния, которые влияют на содержание экстрактивных веществ в сусле и на скорость брожения сусла. Сусло, сваренное на воде оптимального состава (1,8–2,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> и 0,4–0,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup>), обеспечивает высокую скорость брожения и впоследствии – достаточное количество генерированных дрожжевых клеток для проведения дображивания пива.

**Ключевые слова:** брожение, пиво, сусло, жесткость воды, дрожжи, дрожжевые клетки, скорость брожения, степень сбраживания

**INFLUENCE OF WATER HARDNESS SALTS IN THE FERMENTATION OF BEER WORT****<sup>1</sup>Pastukhova G.V., <sup>1</sup>Peretrutov A.A., <sup>2</sup>Prosvirin S.V., <sup>1</sup>Chubenko M.N.,  
<sup>1</sup>Avdonina A.V., <sup>1</sup>Anufrieva A.I., <sup>1</sup>Ivanov A.I.***<sup>1</sup>Nizhny Novgorod state technical University n.a. R.E. Alekseev, N. Novgorod, e-mail: lab202@dfngtu.nnov.ru;**<sup>2</sup>ООО «Dzerzhinsky brewery», Dzerzhinsk, e-mail: sv\_prosvirin@mail.ru*

The influence of ion composition of source water for the fermentation of beer wort. Wort was prepared using distilled, tap water and artificially prepared (containing the 1,8–2,6 mg-equiv/dm<sup>3</sup> of Ca<sup>2+</sup> and 0,4–0,6 mg-equiv/dm<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup>). The calculated speed of fermentation and the degree of fermentation of beer wort. According to the data obtained plots of the mass of evolved CO<sub>2</sub> during fermentation, fermentation speed and the number of yeast cells as the duration of fermentation of wort prepared with water containing 2,5 mg-equiv/dm<sup>3</sup> of Ca<sup>2+</sup> and 0,6 mg-equiv/dm<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup> when making yeast from 0,5 to 1,0 g/100 cm<sup>3</sup> of wort. The obtained experimental data allow to choose the salt composition of source water, namely the content of salts of calcium and magnesium, which affect the content of extractives in the wort and on the rate of fermentation of the wort. The wort, brewed at the optimal water composition (the 1,8–2,6 mg-equiv/dm<sup>3</sup> of Ca<sup>2+</sup> and 0,4–0,6 mg-equiv/dm<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup>), provides high speed of fermentation and subsequently generated a sufficient number of yeast cells for carrying out post-fermentation beer.

**Keywords:** fermentation, beer, wort, water hardness, yeast, yeast cells, speed of fermentation, the degree of digestion

Микробиологические и биохимические процессы, протекающие при брожении и дображивании пивного сусла, зависят от многих факторов и прежде всего, от состава пивного сусла, поступающего на брожение. Содержание сбраживаемых сахаров, продуктов гидролиза белков, минеральных солей, а также веществ, влияющих на органолептические характеристики пива, связано со степенью перехода сухих веществ солода в сусло при затирании и промывании солодовой дробины [4]. Как ранее установлено авторами [4, 7], одним из факторов, влияющих на переход экстрактивных веществ солода в сусло, является состав воды, которая используется для приготовления пивного сусла и промывки солодовой дробины, а именно, содержание солей жесткости и соотношение катионов кальция и магния, которое в соответствии с СанПиН

2.1.4.1074-01 вообще не регламентируется для питьевой воды. Известно, что активность ферментов солода и дрожжей определяется влиянием катионов кальция, которые увеличивают выход экстракта при затирании, считается оптимальным концентрация ионов кальция 2,25–2,75 мг-экв/дм<sup>3</sup> сусла. Катионы магния необходимы для брожения и размножения дрожжей. Они поддерживают жизнеспособность и витальность (активность) клеток. В свою очередь, известно, что ионы минеральных веществ необходимы для поддержания внутриклеточного рН, осмотической стабильности, транспорта растворов и в качестве кофакторов при ферментативно катализируемых реакциях. Ионы кальция, кроме всего прочего, необходимы для флокуляции дрожжей. В известных литературных источниках [4, 5] рекомендована корректировка минерально-

го состава воды (подработка), однако соотношение катионов кальция и магния в процессе брожения не было учтено. Наиболее высокий переход экстрактивных веществ наблюдался для сусла, приготовленного на воде с содержанием солей кальция 1,8–2,6 и магния 0,4–0,6 мг-экв/дм<sup>3</sup>, и составлял 8,9–9,1% при использовании конгрессного метода затириания [7], одновременно экстрагировались соединения кальция и магния в зависимости от содержания этих катионов в исходной воде.

### Цель исследования

Целью исследования данной работы являлось установление зависимости влияния катионного состава солей жесткости и их соотношения в исходной воде на скорость генерации дрожжей, скорость брожения и степень сбраживания пивного сусла.

### Материалы и методы исследования

Воду, используемую для затириания и промывания дробины, готовили искусственно, добавляя к дистиллированной воде соли кальция и магния. Приготовленная заторная вода содержала хлориды и сульфаты кальция и магния в оптимальном соотношении, обеспечивающем высокий переход сухих веществ солода. Также применяли воду из системы городского питьевого водоснабжения без подготовки и дистиллированную воду. Содержание экстрактивных веществ, ионов кальция и магния в сусле и исходной воде оценивали в соответствии с известными методиками [2]. Охмеленное сусло для брожения готовили настойным способом, затирая светлый ячменный солод на воде известного состава и выдерживая паузы при температурах 60, 64 и 72 °С. Воду после промывания дробины добавляли к суслу, варили сусло с хмелем и после проверки содержания экстрактивных веществ, ионов кальция и магния перенесли его в снабженные гидрозатвором бутылки. После добавления дрожжей низового брожения первой генерации сбраживали сусло при температуре 9–12 °С в течение 4–5 суток. В ходе брожения фиксировали выделение диоксида углерода по убыли массы сусла и проводили прямой подсчет количества дрожжевых клеток с помощью камеры Горяева и микроскопа МИКМЕД-5 [1]. По окончании опыта рассчитывали скорость брожения как отношение убыли массы сусла к соответствующему интервалу времени [3]. При этом скорость брожения для промышленных условий может быть рассчитана с учетом объема сусла в экспериментальном аппарате, то есть

$$w = \frac{m_{CO_2} \cdot 10^3}{\tau v},$$

где  $w$  – скорость брожения, г/час·м<sup>3</sup>;  $m$  – масса выделившегося CO<sub>2</sub>;  $\tau$  – время, час;  $v$  – объем сосуда, 0,1 л.

Степень сбраживания как отношение массы сброженной глюкозы, определенной по массе выделяющегося диоксида углерода в соответствии со стехиометрическим уравнением, к массе экстрактивных веществ в сусле [6]:



### Результаты исследования и их обсуждение

Данные, полученные при сбраживании сусла, приготовленного на воде разного солевого состава (водопроводной, дистиллированной, искусственно приготовленной) при норме дрожжей 0,5 и 1 г/100 см<sup>3</sup> сусла представлены в таблице.

Следует отметить, что наибольшее содержание экстрактивных веществ в охмеленном сусле получено при использовании воды с оптимальным количеством и соотношением солей жесткости и равно 13,4–14,3%. Суммарное содержание солей жесткости в сусле, подготовленном к брожению, находится в пределах 10,3–12,4 мг-экв/дм<sup>3</sup>, из них ионов кальция 8–8,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Отношение ионов кальция к ионам магния в исходной воде и в сусле изменяется в процессе затириания: так для оптимального состава, содержащего Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> 2,5 и 0,4 мг-экв/дм<sup>3</sup>, с 6,25 до 3,48 раз. В эти пределы входит вода, подготовленная нанофильтрацией и содержащая 2,2 и 0,45 мг-экв/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> соответственно.

Зависимости массы выделяющегося CO<sub>2</sub>, скорости брожения и количества дрожжевых клеток от продолжительности брожения сусла, приготовленного на корректированной по составу воде, содержащей 2,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> и 0,4 мг-экв/дм<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup> (кривые 1, 2), 2,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> и 0,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup> (кривые 3, 4) представлены на рис. 1–3. Результаты получены в нескольких параллельных опытах и усреднены.

В первые 40 часов брожения сусла выделяется небольшое количество CO<sub>2</sub>, затем количество выделяющегося CO<sub>2</sub> резко возрастает и продолжает увеличиваться до 70 часов. Далее скорость выделения диоксида углерода снижается, что косвенно указывает на окончание главного брожения сусла. Большее количество CO<sub>2</sub>, выделившегося при брожении сусла, отмечено при норме внесения дрожжей 1 г/100 см<sup>3</sup> сусла и составляет приблизительно 4 г за 120 ч брожения.

Скорость брожения сусла в первые 50 ч опыта увеличивается незначительно, затем в следующие 20 ч наблюдается резкое возрастание скорости с 0,01 до 0,1 г CO<sub>2</sub>/ч. В этот промежуток времени заметно увеличение числа дрожжевых клеток при норме внесения 0,5 и 1 г/100 см<sup>3</sup> сусла в 2,3 и 1,7 раза соответственно по сравнению с начальным количеством в сусле.

Уменьшение соотношения ионов кальция к магнию в сусле, приготовленном на воде, содержащей Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> 1,25 и 0,2 мг-экв/дм<sup>3</sup>, с 6,25 до 4,18 раз приводит к снижению экстрагируемости, но в первую очередь к уменьшению степени сбраживания вслед-

ствии замедленной генерации дрожжевых клеток. Скорость брожения для промежутка времени соответствующего максимальному образованию новых клеток, рассчитанная на метр кубический бродящего сусла, составляет  $0,9 \text{ кг CO}_2/\text{час}\cdot\text{м}^3$ , что соответствует накоплению спирта порядка  $0,94 \text{ кг}/\text{час}\cdot\text{м}^3$ .

Увеличение ионного отношения кальция к магнию в исходной воде с 3,5 до 15,0 раз снижает степень сбраживания в 20–25 раз, не смотря на незначительно отличающуюся экстрактивность (14,27–12,29%).

Сусло, приготовленное на воде с пониженным содержанием кальция ( $1,25 \text{ мг-экв}/\text{дм}^3$ ), также не пригодно для эффективного сбраживания, так как степень сбраживания к моменту окончания главного брожения (90 часов) не превышает 2,0%. Сравнение результатов брожения производственного сусла, полученного на воде при подготовке по схеме с катионным обменом и ультрафиолетовым обеззараживанием, свидетельствует о том, что контролируемые и автоматически поддерживаемые концентрации и отношения ионов кальция и магния в под-

готовленной воде могут улучшить технологические показатели процесса на стадии затирания и главного брожения.

Брожение сусла, приготовленного на водопроводной воде, протекает медленнее, продолжительность главного брожения составляет 90 ч, число дрожжевых клеток при максимальной скорости брожения находилось в пределах  $25\text{--}40 \text{ млн}/\text{см}^3$ .

Сусло, приготовленное на дистиллированной воде, содержит 9,92% растворенных веществ и  $8,8 \text{ мг-экв}/\text{дм}^3$  солей жесткости. Брожение сусла, так же как и сусла, приготовленного на водопроводной воде, протекало с меньшей скоростью, продолжительность главного брожения составляла 115 ч, а число дрожжевых клеток при наибольшей скорости брожения находилось в пределах  $35\text{--}50 \text{ млн}/\text{см}^3$ .

Сравнение всех трех рисунков, отличающих результаты выделенной массы диоксида углерода, скорости брожения и числа клеток дрожжей приводит к заключению, что оптимальная масса загружаемых дрожжей находится в выбранном интервале  $0,5\text{--}1,0 \text{ г}$ .

Экспериментальные данные по брожению сусла

Виды сусла	Содержание в сусле			Продолжительность главного брожения, ч	Масса $\text{CO}_2$ , выделившегося к окончанию главного брожения, г	Степень сбраживания сусла, %	Число клеток при максимальной скорости брожения, млн/см <sup>3</sup>
	экстрактивных веществ, %	$\text{Ca}^{2+}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$\text{Mg}^{2+}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>				
Сусло, приготовленное на дистиллированной воде	9,92	7,4	1,2	115	0,9–2,3	17–40	35–50
Сусло, приготовленное на водопроводной воде	9,92	8,2	2,3	90	1,6–2,1	30–40	25–38
Сусло, приготовленное на воде, содержащей $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Mg}^{2+}$ 1,25 и 0,2 мг-экв/дм <sup>3</sup>	11,38	9,2	2,2	90	0,07–0,1	1,5–1,9	14–23
Сусло, приготовленное на воде, содержащей $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Mg}^{2+}$ 3,0 и 0,2 мг-экв/дм <sup>3</sup>	12,29	10	3	70	0,13–0,08	1,5–2,1	13–21
Сусло, приготовленное на воде, содержащей $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Mg}^{2+}$ 2,5 и 0,4 мг-экв/дм <sup>3</sup>	14,27	8,0	2,3	70	3,5–4,0	50–55	100–175
Сусло, приготовленное на воде, содержащей $\text{Ca}^{2+}$ и $\text{Mg}^{2+}$ 2,5 и 0,6 мг-экв/дм <sup>3</sup>	13,43	8,8	3,6	70	1,7–2,5	25–40	35–45
Сусло с ООО «ДПЗ»	14,12	6,6	2,95	70	2,5–3	30–35	20–30

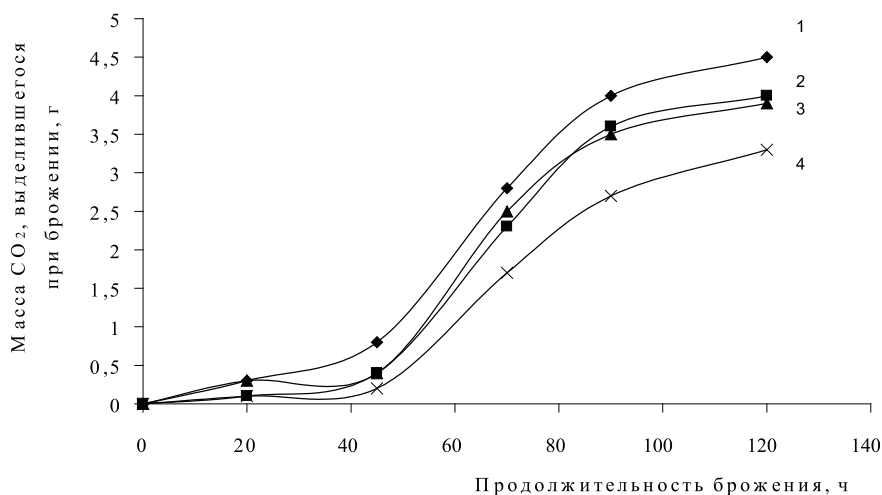


Рис. 1. Зависимость массы  $CO_2$ , выделившегося при брожении, от продолжительности брожения сусле, приготовленного на воде, содержащей: 1, 2 –  $2,5 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Ca}^{2+}$  и  $0,4 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Mg}^{2+}$ ; 3, 4 –  $2,5 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Ca}^{2+}$  и  $0,6 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Mg}^{2+}$ ; при внесении дрожжей, г: 1, 3 – 1,0; 2, 4 – 0,5

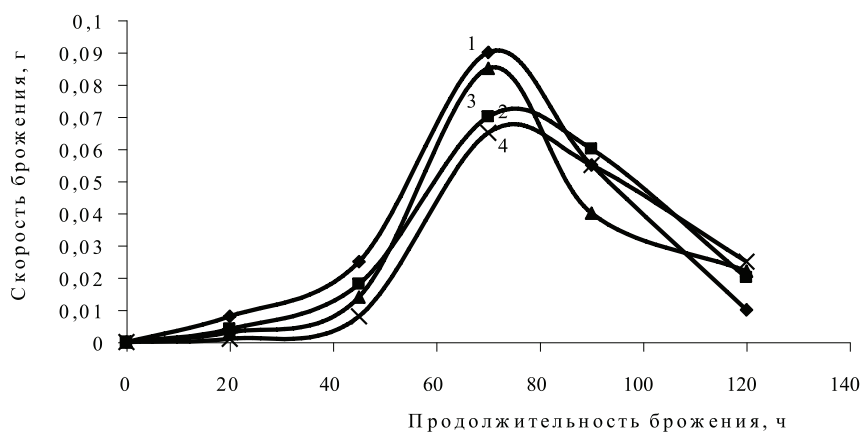


Рис. 2. Изменение скорости брожения сусле во времени приготовления на воде, содержащей: 1, 2 –  $2,5 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Ca}^{2+}$  и  $0,4 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Mg}^{2+}$ ; 3, 4 –  $2,5 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Ca}^{2+}$  и  $0,6 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Mg}^{2+}$ ; при внесении дрожжей, г: 1, 3 – 1,0; 2, 4 – 0,5

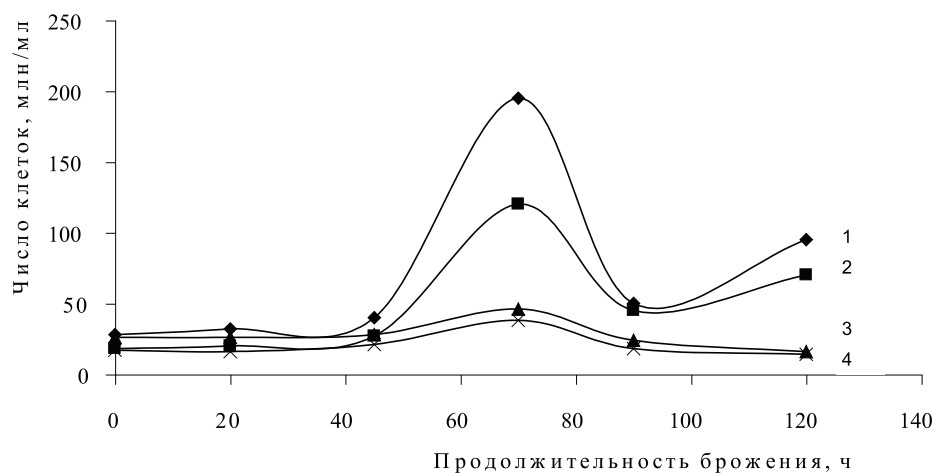


Рис. 3. Изменение количества дрожжевых клеток при брожении сусле, приготовленного на воде, содержащей: 1, 2 –  $2,5 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Ca}^{2+}$  и  $0,4 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Mg}^{2+}$ ; 3, 4 –  $2,5 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Ca}^{2+}$  и  $0,6 \text{ мг-экв/дм}^3 \text{ Mg}^{2+}$ ; при внесении дрожжей, г: 1, 3 – 1,0; 2, 4 – 0,5

### Выводы

1. Состав исходной воды, а именно содержание и соотношение солей кальция и магния, влияют на содержание экстрактивных веществ в сусле, и в итоге – на скорость брожения и степень сбраживания сусла.

2. Сусло, сваренное на воде оптимального состава (1,8–2,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> и 0,4–0,6 мг-экв/дм<sup>3</sup> Mg<sup>2+</sup>), обеспечивает высокую скорость генерации дрожжей и впоследствии – достаточное количество генерированных дрожжевых клеток для проведения дображивания пива.

### Список литературы

1. Градова Н.Б., Бабусенко Е.С., Горнова И.Б., Гасарова Н.А. Лабораторный практикум по общей микробиологии/РХТУ им. Д.И. Менделеева. – М., 1999. – 130 с.

2. Косминский Г.И. Технология пива и безалкогольных напитков. Лабораторный практикум по теххимическому контролю производства. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 352 с.

3. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива: пер. с нем. – СПб., Изд-во «Профессия», 2001. – 912 с.

4. Меледина Т.В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении. – СПб: «Профессия», 2003. – 304 с.

5. Микробиология пива / Прист Ф.Дж., Й. Кэмпбелл (ред.); пер. с англ. под общ. ред. Т.В. Мелединой и Тыну Сойдла. – СПб: Профессия, 2005. – 368 с.

6. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения. – СПб.: Профессия, 2007. – 640 с.

7. Перетрутов А.А., Пастухова Г.В., Просвирин С.В., Чубенко М.Н., Авдонина А.В., Ануфриева А.И., Иванов А.И. Влияние солей жесткости воды на затирание солода и промывку солодовой дробины в производстве пива // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12–2. – С. 224–228.