

## Особенности получения пшеничного пива

**Алябьев Борис Александрович**

ООО «Пивзавод «ВИКБИР»

Адрес: 692756, г. Артем, ул. 1-я Западная, д. 26

E-mail: [borisalyabev@yandex.ru](mailto:borisalyabev@yandex.ru)

**Ростовская Марина Феликсовна**

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Дальневосточный  
федеральный университет»

Адрес: 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, корпус М

E-mail: [rost-mf@mail.ru](mailto:rost-mf@mail.ru)

На основании данных зарубежной литературы рассмотрены некоторые аспекты использования пшеницы для пивоваренных целей, а также особенности технологии пшеничного пива. В настоящее время пшеничное пиво увеличивает свою популярность по всему миру, в том числе и в России. В зарубежной литературе производству пшеничного солода и пшеничного пива посвящено значительное количество публикаций, в то время как в отечественных источниках подобные данные крайне ограничены. В представленном обзоре приведена оценка пшеничного солода в разных странах, сделан акцент на различиях между зерном пшеницы и ячменя, являющимся традиционным сырьем для пивоварения, показано, что разница в химическом составе зерна и различие в составе ферментов пшеницы и ячменя предопределяет различие в процессе пивоварения – как в режиме затирания, так и брожения. Озвучена проблема, обсуждаемая в зарубежной литературе, что в настоящее время для характеристики пшеничного солода используются аналитические оценки ячменного солода, хотя, они разработаны для сырья с иными свойствами, в первую очередь это касается состава некрахмалистых полисахаридов и различия в содержании  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз, что требует некоторой корректировки показателей пшеничного солода. Основным выводом представленного обзора является необходимость исследования пивоваренных аспектов пшеницы, так как пшеничный солод имеет свои особенности, и, несмотря на его долгое использование в качестве материала для пивоварения, изучен в гораздо меньшей степени, чем традиционный ячменный солод.

**Ключевые слова:** пшеница, пшеничный солод, пшеничное пиво, ферменты солода

### Введение

Традиционным сырьем для производства пива является ячменный солод. Но в пивоварении также используют солод, полученный из пшеницы.

Пшеничное пиво пользуется популярностью во всем мире. Популярность пшеничного пива менялась на протяжении многих лет, но в последние несколько лет спрос на пшеничное пиво увеличивается (Mastanjević et al., 2018).

На рынке Германии представлено более 1000 сортов пшеничного пива<sup>1</sup>. Один из десяти сортов пива, проданных в Германии – это пшеничное пиво. В

Северной Америке (США, Канада) с использованием пшеничного солода получают и эли, и лагеры<sup>2</sup>. Служба экономических исследований Министерства сельского хозяйства США, предполагает, что от 5 до 10 % всего солода, используемого пивоварами США, может составлять пшеница (Jin Z. et al., 2018). В Великобритании производят американское белое пиво, но без специфического фенольного аромата (Delvaux, Combes, & Delvaux, 2004). Пиво с использованием пшеничного солода, чья доля в засыпи превышает долю ячменного солода, выпускается в Японии (Muramatsu, Tagawa, Kasai, & Takeya, 2006).

Немецкое пшеничное пиво Weizen/Weissbier производят с добавлением 50-80% пшеничного солода

<sup>1</sup> Бак, В. (2008). *Практическое руководство по технологии пивоварения*. Гамбург.

<sup>2</sup> 2021 Brewers Association Beer Style Guidelines. URL: <https://www.brewersassociation.org/edu/brewers-association-beer-style-guidelines/> (дата обращения: 12.05.2021).

(Бэмфорт, 2007). Также пшеничный солод используют для приготовления темного пшеничного пива Dunkel Weizen/Dunkel Weissbier, в этом случае доля пшеничного солода в засыпи также составляет не менее 50%, но при этом употребляется темный или карамельный ячменный солод. Еще более темное и более крепкое пшеничное пиво Weizenbock/Weissbock готовят с применением жженного ячменного солода и не менее 50% пшеничного солода<sup>3</sup>.

Пшеничный солод используют и для приготовления американского пшеничного пива American Wheat Ale и Wheat Lager. В этих сортах пива доля пшеничного солода в засыпи составляет 30%. Американское пшеничное пиво может быть светлым или темным, в зависимости от используемого вида ячменного солода.

Если производство пшеничного пива в Европе – это традиция, то в Китае объем производства пшеничного пива растет из экономических соображений. Пивоваренный ячмень в Китае зависит от импорта, а пшеница – традиционная культура Китая, дающая высокий урожай, и менее дорогая, по сравнению с ячменем (Jin, Zhang, & Du, 2008; Jin, Du, Zhang, K.-L., & Zhang, X.-C., 2011).

По мере увеличения производства пшеничного пива увеличивается спрос на подходящую пивоваренную пшеницу и солод из нее. При этом пивоваренной пшеницы, в том смысле, который вкладывается в термин «пивоваренный ячмень», не существует (ГОСТ Р 53358-2009<sup>4</sup>). Пшеница является злаком, который чаще всего используется в хлебопекарной промышленности, поэтому при селекции и исследованиях пшеницы основное внимание уделяется оптимизации для выпечки: высокое содержание белка, стабильное число падения (высокие числа указывают на низкий уровень активности  $\alpha$ -амилазы), постоянное хлебопекарные качества. Требования же к зерну пшеницы, предназначенной для мукомольной промышленности и для получения солода, по некоторым показателям противоположны. Пшеница, подходящая для солодоращения, должна иметь низкое содержание белка и легко накапливать ферменты при прорастивании. Высокое содержание белка может вызвать трудности фильтрации и проблемы брожения в процессе пивоварения, а также снижение стабильности вкуса готового пива (Faltermaier, 2014).

Цель данного обзора – показать различия между традиционным ячменем и пшеницей как сырьем

для пивоварения и сделать акцент на необходимости изучения пшеницы с точки зрения ее пивоваренных качеств.

## Материалы и методы исследования

В обзоре проанализировано 60 источников литературы, в том числе 17 источников на русском языке (из них 6 – переводы с иностранных языков) и 43 – на английском. Основная часть цитируемой литературы опубликована за последние 20 лет (48 источников), при этом за последние 10 лет – 19 источников. Также приведены ссылки на некоторые более ранние источники, которые представляют интерес и известные монографии по солодоращению и пивоварению: Главачек, Кунце, Нарцисс, Back, Briggs, Warner.

На первом этапе при работе с источниками использовали поисковые запросы в базе данных Scopus по ключевым словам: пшеница, пшеничный солод, пшеничное пиво, солодоращение пшеницы, амилолитические, цитолитические, протеолитические ферменты, белки.

На втором этапе путем анализа аннотаций были отсеяны работы посвященные выращиванию, селекции, генетике пшеницы, а также использованию пшеницы в хлебопечении.

В настоящее время, работая по данной тематике на протяжении 15 лет, определили круг авторов, работающих в данной области, а также ряд журналов, публикующих статьи по этому направлению: Journal of the Institute of Brewing, Journal of the American Society of Brewing Chemists, Food Chemistry, Yeast.

## Результаты и их обсуждение

### Особенности пшеничного солода

В мире существуют различные аналитические методы для оценки зерна и солода: методы, рекомендованные ASBC (American Society of Brewing Chemists) – Американским обществом химиков-пивоваров; методы ЕВС (European Brewery Convention) – Европейской пивоваренной конвенции; методы МЕБАК (Methoden sammlung der Mitteleuropäisc Brautech-nische Analysenkommission) – Аналитической комиссии стран центральной Европы; методы IUB (Institute

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 53358-2009. (2011). Продукты пивоварения. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

of Brewing) - Института пивоварения (Bendelow, 1977). Между методиками этих организаций существуют различия: методы IOB больше приспособлены к технологии, применяемой на Британских островах, методы EBC и МЕВАК ближе к технологии предприятий на европейском континенте, методы ASBC связаны с технологиями, применяемыми в США и Канаде (Белокурова, 2008). В нашей стране анализ солода проводят методами, определяемыми ГОСТ 29294-2014<sup>5</sup>.

Пшеничный солод по ряду параметров отличается от ячменного. Ниже приведены несколько таблиц (Таблицы 1-3), в которых использованы данные из литературных источников разных стран, сравнивающих показатели светлого пшеничного и ячменного солода (Faltermaier, Waters, Becker, Arendt, & Gastl, 2014; Briggs, 1998; Бак, 2008). Данные, приведенные в таблицах 1, 3 получены с использованием методов EBC, а таблице 2 – методов IOB.

Таблица 1  
Рекомендуемые значения для светлого пшеничного и ячменного солода

Аналитические параметры	Рекомендуемые значения для пшеничного солода	Рекомендуемые значения для ячменного солода
Содержание влаги (%)	4,5–5,0	4,5–5,0
Белок (% СВ*)	11,0–13,0	9,5–10,5
Экстрактивность (% СВ)	>83	>81
Вязкость (мПа·с)	<1,800	<1,560
Конечная степень сбраживания (%)	>79	>80
Растворимый азот (г/100г солода, СВ)	650–780	600–700
Индекс Кольбаха (%)	37–40	38–42
Свободный аминный азот, (мг/100г солода, СВ)	90–120	120–160

СВ\* – сухое вещество

При этом ряд авторов (Бак, 2008; Нарцисс, 2007; Faltermaier, Waters, Becker, Arendt, & Gastl, 2014) считает, что аналитические данные для пшеничного солода требуют дальнейшей исследовательской работы. В настоящее время для пшеничного солода используются качественные оценки ячменного солода, хотя они выведены для сырья с иными свойствами. Многие параметры цитолитического растворения рассчитаны по β-глюкану, в

Таблица 2  
Сравнительные характеристики пшеничного и ячменного солода

Аналитические параметры	Пшеничный солод	Ячменный солод
Содержание влаги (%)	8,1	4,3
Содержание азота (% СВ)	2,18	1,65
Экстрактивность (% СВ)	85,7	81,0
Растворимый азот (% СВ)	1,12	0,61
Индекс Кольбаха (%)	51	37
Свободный аминный азот (мг/100г, СВ)	143	84
Цветность ед. EBC	8,0	3,5
ДС (IOB)	106	66

то время как для пшеницы большее значение имеет пентозан. При рассмотрении амилолитических характеристик следует учитывать, что отсутствие оболочки у пшеницы обеспечивает более высокое содержание экстрактивных веществ, но при этом конечная степень сбраживания в целом ниже из-за более низкой активности α-амилазы (Бак, 2008).

Главная особенность пшеницы, подвергаемой солодоращению, по сравнению с ячменем, – отсутствие цветочной оболочки. Из-за этого зерно пшеницы быстрее поглощает и теряет воду. Отсутствие оболочки приводит к тому, что замачиваемое зерно легче повреждается.

Возможность пшеницы производить хороший солод зависит от ряда факторов, среди которых очень существенный – состав эндосперма (Jin, Du, Zhang, K., & Zhang, D., 2011). Химический состав зерна пшеницы отличается от состава зерна ячменя. Различия касаются таких важных для солодоращения веществ как содержание крахмала, белковых веществ и некрахмалистых полисахаридов.

Пшеница превосходит ячмень по содержанию крахмала. Содержание крахмала в ячмене от общего сухого веса зерна находится в диапазоне 50–65%, в то время, как у пшеницы 60–63% (Меледина, 2003). По данным зарубежных исследователей<sup>6</sup>, содержание крахмала в пшенице может изменяться в более широких пределах от 53% до 70% (Jin, Du, Zhang, K., & Zhang, D., 2011). Содержание крахма-

<sup>5</sup> ГОСТ 29294-2014. (2014). Солод пивоваренный. Технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>6</sup> Нарцисс, Л. (2007). *Краткий курс пивоварения*. СПб.: Профессия.

Таблица 3

Сравнительные характеристики пшеничного и ячменного солода

Показатель	Ячменный солод		Пшеничный солод
	Затираание солода с изменяемыми параметрами	Экспресс-метод затираания солода	
Массовая доля экстракта в сухом веществе солода тонкого помола (%)	>81	>81	>83
$\alpha$ -амилаза (ед. ASBC)	>40	>40	>28
Конечная степень сбраживания (%)	>80	>80	-
Массовая доля белковых веществ в сухом веществе солода (%)	9,5-11	9,5-11	11-12,5
Растворимый азот (г/100г солода, СВ)	550-700	650-750	650-780
Число Кольбаха (%)	38-40	39-42	37-40
Свободный аминный азот (мг/100г солода, СВ)	120-150	130-160	-
Фриабильность (%)	>80	>85	-
Количество стекловидных зерен (%)	<2	<2	-
Вязкость (мПа·с) в пересчете на сусло с экстрактивностью 8,6%)	<1,58	<1,56	<1,8
Вязкость 65°C (мПа·с) в пересчете на сусло с экстрактивностью 8,6%)	<1,65	<1,60	-
$\beta$ -глюкан (мг/л)	<300	<200	-
$\beta$ -глюкан 65°C (мг/л)	<450	<350	-
Модификация (%)	>85	>90	-
Однородность (%)	>75	>75	-

ла влияет на экстрактивность солода и конечную степень сбраживания сусла. Бедное экстрактом сусло плохо сбраживается дрожжами, меньше образуется спирта и побочных продуктов. Вкус такого пива будет пустым. Экстрактивность ячменного солода обычно находится в диапазоне 73-82%, экстрактивность пшеничного солода выше ячменного и достигает 81,5-87% на СВ (Ермолаева, 2004; Нарцисс, 2007).

Соотношение между амилозой и амилопектином в крахмале пшеницы примерно такое же, как и в ячмене - на долю амилозы приходится около одной трети от общего количества крахмала, на долю амилопектина две трети. Было показано, что типичное содержание амилозы в пшенице составляет 25-28%, а амилопектина 72-75% (Colonna, 1992). Процесс клейстеризации крахмала очень важен во время затираания солода, так как в результате клейстеризации нарушается кристаллическая структура крахмала и образуется смесь фрагментов амилопектина, диспергированных молекул амилозы и амилопектина, которые гидролизуются во время затираания в декстрины и сбраживаемые сахара. Температура клейстеризации крахмала пшеницы по одним данным составляет 53-65°C (Belitz, Grosch,

& Schieberle, 2009), по другим, 58 – 64°C (Vermeulen, Goderis, Reynaers, & Delcour, 2005), что близко по значению к температуре клейстеризации крахмала ячменя - 57-65°C (Бэмфорт, 2007).

Содержание сырого протеина в пшенице обычно выше, чем в ячмене (Taylor, Humphrey, Boxall, & Smith, 2008). Согласно литературным данным, содержание белка в пшенице (СВ) может колебаться от 8,7% (Depraetere, Delvaux, Coghe, & Delvaux, 2004) до 25,8% (Скурихин, 1991). Для мукомольной промышленности необходимо высокое содержание клейковины, то есть высокий уровень белка в зерне (Казаков & Карпиленко, 2005), для солодоращения же больше подходят сорта с низким содержанием белка (Нарцисс, 2007; Кунце, 2009). При этом пшеница содержит больше высокомолекулярных белков (Кунце, 2009). Белки же с высокой молекулярной массой, особенно пшеничные гликопротеины, улучшают пенные характеристики пшеничного пива (Bamforth, 1985), но при этом способствуют образованию помутнений (Delvaux F., Combes, & Delvaux F. R., 2004).

Согласно требованиям, принятым за рубежом, содержание белковых веществ в солоде, предназна-



ченного для получения очень светлого пива, не должно превышать 10,5%, для получения светлого лагерного – 11,5%, темное пиво может изготавливаться из солода с содержанием белка до 12%<sup>7</sup>. В России, согласно ГОСТ, массовая доля белковых веществ в светлом пшеничном солоде не должна превышать 12,2%<sup>8</sup>. Но в ряде зарубежных работ отмечается, что для получения классического пшеничного пива можно использовать пшеничный солод с более высоким содержанием белка: до 12,5% (Warner, 1992); 13,5–14,0% (Главачек & Лхотский, 1977; Guo, Jin, Du, Zhang, & Zhao, 2014). По данным китайских исследователей, солод, полученный из высокобелковой пшеницы и имеющий показатель белка, превышающий 14%, также имел хорошее качество (Jin, Du, Zhang, Xie, & Li, 2012).

Также как и в ячмене, основными некрахмалистыми полисахаридами пшеницы, образующими стенки клеток эндосперма, являются  $\beta$ -глюканы и пентозаны. В последнее время некрахмалистым полисахаридам пшеницы, используемой для получения солода, уделяется самое пристальное внимание. Установлена их важная роль в увеличении вязкости сусла и образовании помутнений (Бак, 2008).

Для оценки цитолитического растворения ячменного и пшеничного солода определяют показатель вязкости и содержание  $\beta$ -глюканов. Но если в зерне ячменя преобладают  $\beta$ -глюканы – 6,5% в ячмене, и только 1,4% – в пшенице, то в зерне пшеницы основную долю гемицеллюлоз составляют пентозаны. Среди пентозанов в пшенице преобладают арабиноксиланы. Содержание арабиноксиланов в пшенице в среднем 5,8%, в ячмене несколько меньше – от 4 до 5,5% (Izydorczyk & Dexter, 2008). Из-за меньшего содержания  $\beta$ -глюканов, некоторые авторы, отмечают, что оценку цитолитического растворения пшеничного солода необходимо производить по содержанию пентозанов (Бак, 2008).

### Затирание

Основной целью солодоращения является накопление ферментов в солоде. В непроросшем зерне содержится недостаточное количество ферментов, чтобы во время затирания солода произошел гидролиз крахмала, который приводит к образова-

нию сбраживаемых сахаров (Таблица 4), а также гидролиз белковых веществ, чтобы обеспечить достаточное содержание аминного азота для роста и размножения дрожжей. Во время затирания происходит растворение сухих веществ солода, при этом в сусле идет ферментативный гидролиз полимеров в более простые соединения.

Состав амилалитических ферментов ячменного и пшеничного солода отличается, что сказывается на состоянии сусла. Так, пшеничный солод характеризуется более высоким выходом экстракта, но имеет пониженную конечную степень сбраживания, по сравнению с ячменным. Этот результат нельзя объяснить диастатической силой, достигающей в пшеничном солоде 250–350°WK, что является более высоким показателем, по сравнению с ячменным (Нарцисс, 2007). Китайскими учеными был получен высокобелковистый пшеничный солод с диастатической силой достигающей 500 ед. °WK (Jin, Zhang, & Du, 2008). Бак предположил, что, возможно, причиной является более низкая активность  $\alpha$ -амилазы в пшеничном солоде (Бак, 2008; Филимонова & Борисенко, 2010) (Таблица 4). А величина диастатической силы коррелирует с  $\beta$ -амилазой<sup>9</sup>.

Согласно ГОСТ 31711-2012<sup>10</sup> при производстве пшеничного пива необходимо использовать не менее 50% пшеничного солода. Для пшеничного сусла из-за высокого содержания арабиноксиланов характерна повышенная вязкость<sup>11</sup>, содержание арабиноксиланов зависит от сорта и составляет 4–15% (Zhang & Li, 2009). Поэтому затруднительно получить пшеничное пиво из 100% пшеничного солода и нежелательно затирание с низким гидромодулем. Соотношение засыпь/вода (называемое, гидромодулем) обычно составляет 1:3...1:5 (концентрация 16–25%).

Ввиду отсутствия оболочек у пшеничного солода и высокой вязкости сусла, необходимо следить за фракционным составом помола. Качество помола влияет на выход экстракта и на продолжительность фильтрации затора (Кунце, 2009). Из литературных данных известно, что необходимо не менее 40% ячменного солода для обеспечения достаточного количества феруловой кислоты в составе сусла (Сандаков, 2006). Из-за небольшой доли ячменного солода в засыпи, желательно при-

<sup>7</sup> Нарцисс, Л. (2007). *Краткий курс пивоварения*. СПб.: Профессия.

<sup>8</sup> ГОСТ 29294-2014. (2014). Солод пивоваренный. Технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>9</sup> Brewing Handbook Final Spreads. URL: <https://ru.scribd.com/document/225020153/2013-11705-01-Brewing-Handbook-Final-Spreads> (дата обращения: 13.04.2021).

<sup>10</sup> ГОСТ 31711-2012. (2019). Пиво. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>11</sup> Нарцисс, Л. (2007). *Краткий курс пивоварения*. СПб.: Профессия.

Таблица 4

Состав ферментов в зерне и солоде ячменя и пшеницы.

	Диастатическая сила (°WK)	α-амилаза (ед./г)	β-амилаза (ед./г)
Ячмень	-	0,62 <sup>12</sup> ; 6-16 (Woonton, Jacobsen, Sherkat, & Stuart, 2005)	350 <sup>13</sup>
Ячменный солод	220-290 (Нарцисс, 2007а); 318 (Evans, Surrel, Sheehy, Stewart, Robinson, 2008, p. 1-10)	30-60 (Нарцисс, 2007а; Woonton, Jacobsen, Sherkat, & Stuart, 2005); 92-276 (Evans, Collins, Eglinton, & Wilhelmson, 2005)	728 (Evans, Surrel, Sheehy, Stewart, & Robinson, 2008)
Пшеница	2 (Briggs, 1998)	0,42 (Brewing Handbook); 0,408 (Miedl, Cornfine, Leiper, Shepherd, & Stewart, 2007)	454 (Brewing Handbook)
Пшеничный солод	250-350 (Нарцисс, 2007а)	47-55 (Меледина, 2003) 30 (Narziss, 2009); 32-44 (Нарцисс, 2007а)	645-1156 (Jin, Du, Zhang, Xie, & Li, 2012)

- (данные отсутствуют)

менять кондиционированный (мокрый) помол к ячменному солоду, что позволит сохранить оболочку ячменя целой и значительно улучшит фильтрацию затора (Кунце, 2009).

Для солода необходимо правильно подобрать режим затираания: температуру, время, pH, концентрацию затора. Кроме расщепления крахмала при затираании происходит расщепление белков и расщепление геммицеллюлоз, составляющих клеточные стенки, поэтому при исследовании влияния режимов затираания на состав сусла, также как и при солодоращении, необходимо учитывать действие трех основных групп ферментов: амилалитических, протеолитических и цитолитических. Каждая группа ферментов имеет свой температурный оптимум. Значение температурных пауз при проведении затираания показано в Таблице 5.

Затираание для получения пшеничного пива начинают с 35-40 °С, данная пауза наиболее благоприятна для высвобождения феруловой кислоты (Меледина, 2003), при температурах ниже 40 °С и выше 50 °С, гидролиз феруловой кислоты замедляется (Бак, 2008). Затираание же ячменного солода начинают с 50-52 °С (Кунце, 2009). Наличие феруловой кислоты – особенность при затираании пшеничного солода, это соединение декарбоксилируется дрожжами в 4-винилгваякол. Сам 4-винилгваякол не обнаруживается в конце затираания (McMurrough et al., 1996). Данные вещества относятся к фенолам, во время затираания содержание фенольных кислот увеличивается в 2-3 раза, уровень свободной феруловой кислоты может достигать 6,6 мг/дм<sup>3</sup> (McMurrough et al., 1996; Szwajgier,

Pielecki, & Targoński, 2005). Связанная форма феруловой кислоты может превышать свободную в 1,5-5,5 раз (Szwajgier, Pielecki, & Targoński, 2005).

### Брожение

Классическое пшеничное пиво обладает специфическим вкусовым профилем. Специфика заключается в том, что дрожжи декарбоксилируют гидробензойные кислоты в фенолы, которые дают сильный вкус и запах.

Известно, что для получения пшеничного пива используются дрожжи верхового брожения *Saccharomyces cerevisiae*. Дрожжи верхового брожения более гидрофобны и способны адсорбироваться с CO<sub>2</sub> и подниматься на поверхность пива. Но они также подвержены седиментации и флокулированию (Vidgren & Londesborough, 2011).

Для производства пшеничного пива, кроме *S. Cerevisie*, также используются другие виды микроорганизмов. В популярных бельгийских сортах пива с содержанием несоложенной пшеницы Gueuze и Lambic были обнаружены следующие микроорганизмы: *Enterobacteriaceae*, *Kloeckera apiculata*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces bayanus*, *lactic bacteria (Pediococcus cerevisiae)*, *Brettanomyces (B. bruxellensis, B. lambicus)* (Scholtes, Nizet, & Collin, 2012).

Тщательно подобранный штамм дрожжей и правильная технология обеспечивает специфический вкусовой профиль для различных видов пшеничного пива. Дрожжи верхового брожения оказыва-

<sup>12</sup> Там же.

<sup>13</sup> Там же.

ют более сильное влияние на характер пива, чем дрожжи низового брожения (Йентч, 2007), в пиве верхового брожения содержится больше продуктов обмена веществ, придающих пиву совершенно своеобразный характер (Кунце, 2009).

Между дрожжами *Saccharomyces pastorianus* и *Saccharomyces cerevisiae* существуют морфологические, физиологические и технологические различия (Tamai Y., Momma T., Yoshimoto H., & Kaneko, 1998; Nguyen & Gaillardin, 1997; Libkind, et al., 2011; Brückner & Mösch, 2012; Chen, et al., 2016; Crous, Gams, Stalpers, Robert, & Stegehuis, 2004; Evans, Collins, Eglinton, & Wilhelmson, 2005; Evans, Surrel, Sheehy, Stewart, & Robinson, 2008; Gibson & Liti, 2015; Krogerus, Magalhães, Vidgren, & Gibson, 2015; Mertens, et al., 2015; Miedl, et al., 2007; Narziss & Back, 2009; Stewart, Hill, & Russell, 2013; Walther, Hesselbart, & Wendland, 2014; Woonton, Jacobsen,

Sherkat, & Stuart, 2005). Отличительные признаки верховых и низовых дрожжей показаны в Таблице 6.

Технология использования дрожжей верхового брожения в принципе не отличается от той, которая применяется для дрожжей низового брожения. Дрожжи для пшеничного пива после двух-трех поколений могут постепенно терять способность к образованию 4-винилгваякола, и поэтому необходимо своевременное обновление таких дрожжей. Многократное использование семенных дрожжей в ЦКТ дает нейтральное пиво с яблочным эфирным ароматом, такое пиво имеет вкус, напоминающий пиво низового брожения, а 4-винилгваякол здесь практически незаметен (Сандаков, 2006).

При брожении и разведении дрожжи верхового брожения образуют крупные разветвленные ко-

Таблица 6

Отличительные признаки верховых и низовых дрожжей

Характерные признаки	<i>Saccharomyces pastorianus</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<b>Морфологические</b>		
Вид клеток под микроскопом	Обособленные отдельные клетки или их пары	Связанные цепочки клеток. Материнские и дочерные клетки долго между собой связаны
<b>Физиологические</b>		
Сбраживание рафинозы	Полное	на 1/3
Спорообразование	Образуют споры реже	Образуют споры
(Филимонова, Борисенко, 2010, с. 6-8)	Снижена способность к половому размножению	через 48 ч
Образование побочных продуктов	Небольшое количество	Повышенное количество
<b>Технологические</b>		
Характерные признаки	<i>Saccharomyces pastorianus</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Локализация после сбраживания	По окончании брожения оседают	Поднимаются на поверхность
Особенность хлопьеобразования	Пылевидные и хлопьевидные	Только пылевидные
Температура брожения	4-12 °C	14-25 °C
Предельная температура роста	37 °C	42 °C
Продолжительность брожения	7-10 дней	5-7 дней
Характерные признаки	<i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	<i>Saccharomyces pastorianus</i>
(Stewart, Hill, Russell, 2013, p. 202-220)	Saaz	Frohberg
Группа (Stewart, Hill, & Russell, 2013)		-
Температура брожения (Stewart, Hill, & Russell, 2013)	8-15 °C	18-22 °C
Максимальная температура (Stewart, Hill, & Russell, 2013)	34 °C	37 °C
Размер ДНК (МБ)	Фермент мелибиоза	
(Chen et al., 2016; Walther, Hesselbart, & Wendland, 2014)	CBS-1513 = 19.37	TT-21 = 22.43
		W34/70 = 22.97
		CCY48-91 = 24.21
		S288c = 12.16

Таблица 6 (продолжение)

Характерные признаки (Stewart, Hill, & Russell, 2013)	Saccharomyces carlsbergensis		Saccharomyces pastorianus		Saccharomyces cerevisiae	
Флокуляция (Bruckner & Mosch, 2012; Crous, Gams, Stalpers, & Robert, 2004) (Vidgren & Londesborough, 2011)	FLO1, FLO5, FLO9, FLO10, FLO11 (или MUC1), FIG2 и AGA1. Дополнительный ген Lg-FLO1 (чувствительный к глюкозе и манозе) + FLONS , FLONL				FLO1, FLO5, FLO9, FLO10, FLO11 (или MUC1), FIG2 и AGA1	
Побочные продукты брожения	CBS-1513 (1)	W34/70 (1)	(2)	(3)	(3)	(4)
Ацетальдегид	150%	100%	3 мг/дм³	11 мг/дм³	2,6-4,3 мг/дм³	13 мг/дм³
1-Пропанол	80%	100%	13 мг/дм³	5 мг/дм³	12,8-13,1 мг/дм³	12 мг/дм³
2-метилпропанол (Изобутанол)	165%	100%	28 мг/дм³	8,5 мг/дм³	10,7-16,2 мг/дм³	32 мг/дм³
2-метилбутанол	-	100%	17 мг/дм³	-	-	28 мг/дм³
3-метилбутанол (Изоамиловый спирт)	90%	100%	60-65 мг/дм³	33,3 мг/дм³	49,5-72,1 мг/дм³	82 мг/л
3-метилбутилацетат (Изобутилацетат)	70%	100%	3 мг/дм³	1,6 мг/дм³	3,8-4,1 мг/дм³	1,35 мг/дм³
Этилацетат	50%	100%	38 мг/дм³	16,2 мг/л	30,8-38,6 мг/дм³	18 мг/дм³
Этилгексаноат	120%	100%	-	-	-	0,08 мг/дм³
Этилоктаноат	100%	100%	-	-	-	0,32 мг/дм³
Фенилэтанол	-	-	-	25,7 мг/дм³	12,5-36,3 мг/дм³	-

(1) – Walther A., Hesselbart A., Wendland, 2014, p. 783-793;

(2) – Gibson, Liti, 2015, p. 17-27;

(3) – Mertens S., Steensels J., Saels V., Rouck G. D., Aerts G., Verstrepen, 2015, p. 8202-8214;

(4) – Krogerus, Magalhães, Vidgren, Gibson, 2015, p. 769-778;

лонии, распадающиеся лишь после окончания брожения, тогда как низовые дрожжи существуют исключительно в виде отдельных клеток или пар клеток (Прист, 2005).

Согласно литературным данным, для засева дрожжей низового брожения необходимая концентрация дрожжевых клеток составляет 15 млн. клеток/дм<sup>3</sup>, для верхового брожения, ввиду быстрого брожения, рекомендуют меньший уровень засева: 7-15 млн. клеток/мл<sup>14</sup> и 2-4 млн клеток/дм<sup>3</sup> (Бак, 2008).

Верховые дрожжи образуют повышенное количество побочных продуктов брожения — высших спиртов и сложных эфиров. Среди высших спиртов (их нормальное содержание в пиве — около 150-160 мг/дм<sup>3</sup>) выделяются, прежде всего, пропанол и метил-пропанол; если их соотношение к сложным эфирам составляет около 3...4 к 1, то достигается гармоничный вкус. Кроме того, дрожжи пшеничного пива обладают способностью образовывать: 4-винилгваякол (до 2,6 мг/дм<sup>3</sup>) и 4-винилфенол (до 1 мг/дм<sup>3</sup>) (Zhu & Cui, 2013), придающие пшеничному пиву типичный вкус и запах пряной гвоздики (McMurrough et al., 1996). Стоит отме-

тить, что после брожения 75 % феруловой кислоты (источник 4-винилгваякола) остается в связанном состоянии (Szwajgier, Pielecki, & Targoński, 2005).

Фруктовые тона (банановый аромат) в пшеничном пиве обуславливаются высокой концентрацией эфиров (концентрации изоамилацетата около 4 мг/дм<sup>3</sup>, при этом концентрация этилацетата должна составлять не более 45 мг/дм<sup>3</sup>). Фенольный аромат характеризуется пряными нотами из-за наличия 4-винилгваякола, в среднем 1,5-2 мг/дм<sup>3</sup> (пороговое ощущение 0,2-3,2 мг/дм<sup>3</sup>) (McMurrough et al., 1996).

## Выводы

Как показывают приведенные данные, несмотря на долгую историю и обширные научные исследования, пшеница как материал для пивоварения менее изучена, по сравнению с традиционным ячменем, это же касается и пшеничного солода. В настоящее время появляется все больше зарубежных работ, исследующих не набор стандартных показателей пшеничного зерна, предназначенного для солодоращения пшеничного солода и пшеничного

<sup>14</sup> Нарцисс, Л. (2007). *Краткий курс пивоварения*. СПб.: Профессия.

пива, а анализирующих различия в составе белковых фракций, в составе некрахмалистых полисахаридов ячменя и пшеницы, в цитолитических, амилолитических, протеолитических и ферментативных изменениях, происходящих в процессе солодоращения пшеницы, по сравнению с ячменем, и влияние этих процессов на качество пшеничного солода и пшеничного пива. В нашей стране показатели качества для пшеничного солода введены только в 2016 году<sup>15</sup>. Используя зарубежный опыт, необходимо развивать исследования пшеницы, используемой в пивоварении, исходя из того, что Россия является одним из главных поставщиков этой культуры, но при этом, высококачественная пшеница с высоким содержанием белка выращивается только в нескольких южных округах. Во многих регионах выращиваемая пшеница имеет невысокое содержание белка, не обладает хорошими хлебопекарными свойствами, но может быть использована для пивоваренных целей.

## Литература

- Белокурова, Е. С. (2008). Новые методы определения качественных показателей сырья в пивоварении. *Пиво и напитки*, 1, 40-41.
- Бэмфорт, Ч. (2007). *Новое в пивоварении*. СПб.: Профессия.
- Главачек, Ф., & Лхотский, А. (1977). *Пивоварение*. Прага: Пищевая промышленность.
- Йентч, М. (2007). Верховые сорта пива в центре внимания. *Мир пива*, 3, 8-11.
- Кунце, В. (2009). *Технология солода и пива* (3-е изд.). СПб.: Профессия.
- Меледина, Т. В. (2003). *Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении*. СПб.: Профессия.
- Нарцисс, Л. (2007). *Технология солодоращения*. СПб.: Профессия.
- Прист, Ф. Д. (2005). *Микробиология пива*. СПб.: Профессия.
- Сандаков, О. А. (2006). *Разработка технологии пшеничного пива верхового брожения с дображиванием в бутылках* [Кандидатская диссертация, Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий]. СПб., Россия.
- Филимонова, Т. И., & Борисенко, О. А. (2010). Селекция пивных дрожжей. *Пиво и напитки*, 1, 6-8.
- Bamforth, C. W. (1985). The foaming properties of beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 91, 370-383. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1985.tb04359.x>
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. (4th ed.). Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>
- Bendelow, V. M. (1977). Malting Quality Selection Methods in Canadian Barley Breeding Programs. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 35(2), 81-85. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-35-0081>
- Briggs, D. E. (1998). *Malt and Malting*. London: Blackie academic & Professional.
- Brückner, S., & Mösch, H.-U. (2012). Choosing the right lifestyle: adhesion and development in *Saccharomyces cerevisiae*. *Federation of European Microbiological Societies (FEMS Microbiology)*, 36(1), 25-58. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00275.x>
- Chen, P., Dong, J., Yin, H., Bao, X., Chen, L., He, Y., Chen, R., Wan, X., Zhao, Y., & Hou, X. (2016). Genome comparison and evolutionary analysis of different industrial lager yeasts (*Saccharomyces pastorianus*). *Journal of the Institute of Brewing*, 122(1), 42-47. <https://doi.org/10.1002/jib.303>
- Colonna, P. (1992). New insights on starch structure and properties. In *Symposium on Cereal Chemistry and Technology: A Long Past and a Bright Future, Proceedings of the 9th International Cereal and Bread Congress* (pp. 25-42). Paris: INRA.
- Crous, P. W., Gams, W., Stalpers, J. A., Robert, V., & Stegehuis, G. (2004). MycoBank: An online initiative to launch mycology into the 21st century. *Studies in mycology*, 50, 19-22.
- Delvaux, F., Combes, F. J., & Delvaux, F. R. (2004). The effect of wheat malting on the colloidal haze of wheat beers. *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly*, 44(1), 27-32.
- Depraetere, S. A., Delvaux, F., Coghe, S., & Delvaux, F. R. (2004). Wheat variety and barley malt properties: influence on haze intensity and foam stability of wheat beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 110(3), 200-206. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2004.tb00203.x>
- Evans, D. E., Collins, H., Eglinton, J., & Wilhelmson, A. (2005). Assessing the impact of the level of diastatic power enzymes and their thermostability on the hydrolysis of starch during wort production to predict malt fermentability. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 63(4), 185-198. <https://doi.org/10.1094/asbcj-63-0185>
- Evans, D. E., Surrel, A., Sheehy, M., Stewart, D. C., & Robinson, L. H. (2008). Comparison of Foam Quality and the Influence of Hop alpha-Acids and Proteins Using Five Foam Analysis Methods. *Journal of the American Society of Brewing*

<sup>15</sup> ГОСТ 29294-2014. (2014). Солод пивоваренный. Технические условия. М.: Стандартинформ.

- Chemists*, 66(1), 1-10. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2007-1129-01>
- Faltermaier, A., Waters, D., Becker, T., Arendt, E., & Gastl, M. (2014). Common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its use as a brewing cereal – a review. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(1), 1-15. <https://doi.org/10.1002/jib.107>
- Gibson, B., & Liti, G. (2015). *Saccharomyces pastorianus*: genomic insights inspiring innovation for industry. *Yeast*, 32(1), 17-27. <https://doi.org/10.1002/yea.3033>
- Guo, M., Jin, Y., Du, J., Zhang, K., & Zhao, D. (2014). Effects of wheat protein compositions on malt quality. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 6(1), 73-80. <https://doi.org/10.3920/QAS2013.0247>
- Izydorczyk, M. S., & Dexter, J. E. (2008). Barley  $\beta$ -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products – a review. *Food Research International*, 41(9), 850-868. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.001>
- Jin, Y., Du, J., Zhang, K., Xie, L., & Li, P. (2012). Relationship between Kolbach index and other quality parameters of wheat malt. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(1), 57-62. <https://doi.org/10.1002/jib.15>
- Jin, Y., Zhang, K., & Du, J. (2008). Effects of wheat protein content on endosperm composites and malt quality. *Journal of the Institute of Brewing*, 114(4), 289-293. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00771.x>
- Jin, Y.-H., Du, J.-H., Zhang, K.-L., & Zhang, X.-C. (2011). Effects of wheat starch contents on malt qualities. *Journal of the Institute of Brewing*, 117(4), 534-540. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00501.x>
- Jin, Z., Zhou, B., Gillespie, J., Gross, T., Barr, J., Simsek, S., Brueggeman, R., & Schwarz, P. (2018). Production of deoxynivalenol (DON) and DON-3-glucoside during the malting of *Fusarium* infected hard red spring wheat. *Food Control*, 85, 6-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.09.002>
- Krogerus, K., Magalhães, F., Vidgren, V., & Gibson, B. (2015). New lager yeast strains generated by interspecific hybridization. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 42(5), 769-778. <https://doi.org/10.1007/s10295-015-1597-6>
- Libkind, D., Hittinger, C., Valério, E., Gonçalves, C., Dover, J., Johnston, M., Gonçalves, P., & Sampaio, J. (2011). Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. *Journal Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(35), 14539-14544. <https://doi.org/10.1073/pnas.1105430108>
- Mastanjević, K., Šarkanj, B., Krska, R., Sulyok, M., Warth, B., Šantek, B., & Krstanović, V. (2018). From malt to wheat beer: A comprehensive multi-toxin screening, transfer assessment and its influence on basic fermentation parameters. *Journal Food Chemistry*, 254, 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.005>
- McMurrough, I., Madigan, D., Donnelly, D., Hurley, J., Doyle, A.-M., Hennigan, G., McNulty, N., & Smyth, M. R. (1996). Control of Ferulic Acid and 4-Vinyl Guaiacol in Brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 102(5), 327-332. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1996.tb00918.x>
- Mertens, S., Steensels, J., Saels, V., Rouck, G. D., Aerts, G., & Verstrepen, K. J. (2015). A Large Set of Newly Created Interspecific *Saccharomyces* Hybrids Increases Aromatic Diversity in Lager Beers. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(23), 8202-8214. <https://doi.org/10.1128/AEM.02464-15>
- Miedl, M., Cornfine, S., Leiper, K. A., Shepherd, M., & Stewart, G. G. (2007). Low-Temperature Processing of Wheat for Bioethanol Production: Part II. Exploitation of Endogenous Wheat Enzymes. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 65(4), 192-196. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2007-0801-02>
- Muramatsu, Y., Tagawa, A., Kasai, T., & Takeya, K. (2006). Volume changes of wheat and barley soaking in water. *Journal of Food Engineering*, 73(4), 364-369. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.001>
- Narziss, L., & Back, W. (2009). *Die Bierbrauerei. Band 2: Die Technologie der Würzebereitung*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Nguyen, H. V., & Gaillardin, C. (1997). Two subgroups within the *Saccharomyces bayanus* species evidenced by PCR amplification and restriction polymorphism of the non-transcribed spacer 2 in the ribosomal DNA unit. *Systematic and Applied Microbiology*, 20(2), 286-294. [https://doi.org/10.1016/S0723-2020\(97\)80075-6](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(97)80075-6)
- Scholtes, C., Nizet, S., & Collin, S. (2012). Occurrence of sotolon, abhexon and theaspirane-derived molecules in Gueuze beers. Chemical similarities with «yellow wines». *Journal of the Institute of Brewing*, 118(2), 223-229. <https://doi.org/10.1002/jib.34>
- Stewart, G. G., Hill, A. E., & Russell, I. (2013). 125th Anniversary Review: Developments in brewing and distilling yeast strains. *Journal of the Institute of Brewing*, 119(4), 202-220. <https://doi.org/10.1002/jib.104>
- Szwajgier, D., Pielecki, J., & Targoński, Z. (2005). The release of ferulic acid and feruloylated oligosaccharides during wort and beer production. *Journal of the Institute of Brewing*, 111(4), 372-379. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00222.x>
- Tamai, Y., Momma, T., Yoshimoto, H., & Kaneko, Y. (1998). Co-existence of two types of chromosome in the bottom fermenting yeast, *Saccharomyces*

- pastorianus. *Yeast*, 14(10), 923-933. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0061\(199807\)14:10<923::AID-YEA298>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0061(199807)14:10<923::AID-YEA298>3.0.CO;2-I)
- Taylor, D. G., Humphrey, P. M., Boxall, J., & Smith, P. J. (1998). Brewing of English style ales with malted cereals, other than barley. *MBAA TechQuarterly*, 35(1), 20-23.
- Vermeylen, R., Goderis, B., Reynaers, H., & Delcour, J. A. (2005). Gelatinisation related structural aspects of small and large wheat starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 62(2), 170-181. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.021>
- Vidgren, V., & Londesborough, J. (2011). 125th Anniversary review: yeast flocculation and sedimentation in brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 117(4), 475-487. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00495.x>
- Walther, A., Hesselbart, A., & Wendland, J. (2014). Genome sequence of *Saccharomyces carlsbergensis*, the World's First Pure Culture Lager Yeast. *G3 - Genes Genomes Genetics*, 4(5), 783-793. <https://doi.org/10.1534/g3.113.010090>
- Warner, E. (1992). *German Wheat Beer*. Brewers Publications.
- Woonton, B. W., Jacobsen, J. V., Sherkat F., & Stuart, I. M. (2005). Changes in germination and malting quality during storage of barley. *Journal of the Institute of Brewing*, 111(1), 33-41. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00646.x>
- Zhang, G. P., & Li, C. D. (2010). *Genetics and Improvement of Barley Malt Quality*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01279-2>
- Zhu, M., & Cui, Y. (2013). Determination of 4-vinylgaiacol and 4-vinylphenol in top-fermented wheat beers by isocratic high performance liquid chromatography with ultraviolet detector. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(6), 1018-1023. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000600018>

# Peculiarities of Making Wheat Beer

**Boris A. Alyabyev**

LLC "Brewery "VIKBIR"

26, 1st Zapadnaya str., Artem, Primorsky region, 692756, Russian Federation

E-mail: borisalyabev@yandex.ru

**Marina F. Rostovskaya**

Federal State Autonomous Educational Institution  
of Higher Education "Far Eastern Federal University"

26, 1st Zapadnaya str., Artem, Primorsky region, 692756, Russian Federation

E-mail: rost-mf@mail.ru

Some aspects of the use of wheat for brewing are considered, as well as the features of the technology for the production of wheat beer on the basis of data from foreign literature. Currently, wheat beer is growing in popularity all over the world, including in Russia. A significant number of publications are devoted to the production of wheat malt and wheat beer in foreign literature, while in domestic sources such data are extremely limited. The presented review provides an assessment of wheat malt in different countries, emphasizes the differences between wheat and barley grains, which are traditional raw materials for brewing, it is shown that the difference in the chemical composition of grain and the difference in the composition of wheat and barley enzymes predetermines the difference in the brewing process how in mashing and fermentation mode. The problem discussed in foreign literature is voiced that at present analytical evaluations of barley malt are used to characterize wheat malt, although they have been developed for raw materials with different properties, first of all, this concerns the composition of non-starchy polysaccharides and differences in the content of  $\alpha$ - and  $\beta$ -amylases, which requires some adjustment of the wheat malt performance. The main conclusion of the presented review is the need to study the brewing aspects of wheat, since wheat malt has its own characteristics, and, despite its long use as a material for brewing, has been studied to a much lesser extent than traditional barley malt.

**Keywords:** wheat malt, malt qualities, amylase, amylopectin, protein,  $\beta$ -glucan, wheat beer

## References

- Belokurova, E. S. (2008). Novye metody opredeleniya kachestvennykh pokazatelei syr'ya v pivovarenii [New methods for determining the quality indicators of raw materials in brewing]. *Pivo i napitki [Beer and drinks]*, 1, 40-41.
- Bemfort, Ch. (2007). *Novoe v pivovarenii [New in brewing]*. S-Petersburg: Professiya.
- Filimonova, T. I., & Borisenko, O. A. (2010). Seleksiya pivnykh drozhzhei [Breeding brewer's yeast]. *Pivo i napitki [Beer and drinks]*, 1, 6-8.
- Glavachek, F., & Lkhotskii, A. (1977). *Pivovarenie [Brewing]*. Praga: Pishchevaya promyshlennost'.
- Ientch, M. (2007). Verkhovye sorta piva v tsentre vnimaniya [Horseback beers in the spotlight]. *Mir piva [World of beer]*, 3, 8-11.
- Kuntse, V. (2009). *Tekhnologiya soloda i piva [Malt and beer technology]* (3rd ed.). S-Petersburg: Professiya.
- Meledina, T. V. (2003). Syr'e i vspomogatel'nye materialy v pivovarenii [Raw materials and auxiliary materials in brewing]. S-Petersburg: Professiya.
- Nartsiss, L. (2007). *Tekhnologiya solodorashcheniya [Malting technology]*. S-Petersburg: Professiya.
- Prist, F. D. (2005). *Mikrobiologiya piva [Microbiology of beer]*. S-Petersburg: Professiya.
- Sandakov, O. A. (2006). *Razrabotka tekhnologii pshenichnogo piva verkhovogo brozheniya s dobrazhivaniem v butylkakh [Development of technology for top-fermented wheat beer with after-fermentation in bottles]* [Candidate Dissertation, Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii]. S-Petersburg, Rossiya.
- Bamforth, C. W. (1985). The foaming properties of beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 91, 370-383. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1985.tb04359.x>
- Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. (4th ed.). Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>
- Bendelow, V. M. (1977). Malting Quality Selection Methods in Canadian Barley Breeding Programs. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 35(2), 81-85. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-35-0081>
- Briggs, D. E. (1998). *Malt and Malting*. London: Blackie academic & Professional.



- Brückner, S., & Mösch, H.-U. (2012). Choosing the right lifestyle: adhesion and development in *Saccharomyces cerevisiae*. *Federation of European Microbiological Societies (FEMS Microbiology)*, 36(1), 25-58. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00275.x>
- Chen, P., Dong, J., Yin, H., Bao, X., Chen, L., He, Y., Chen, R., Wan, X., Zhao, Y., & Hou, X. (2016). Genome comparison and evolutionary analysis of different industrial lager yeasts (*Saccharomyces pastorianus*). *Journal of the Institute of Brewing*, 122(1), 42-47. <https://doi.org/10.1002/jib.303>
- Colonna, P. (1992). New insights on starch structure and properties. In *Symposium on Cereal Chemistry and Technology: A Long Past and a Bright Future, Proceedings of the 9th International Cereal and Bread Congress* (pp. 25-42). Paris: INRA.
- Crous, P. W., Gams, W., Stalpers, J. A., Robert, V., & Stegehuis, G. (2004). MycoBank: An online initiative to launch mycology into the 21st century. *Studies in mycology*, 50, 19-22.
- Delvaux, F., Combes, F. J., & Delvaux, F. R. (2004). The effect of wheat malting on the colloidal haze of wheat beers. *Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly*, 44(1), 27-32.
- Depraetere, S. A., Delvaux, F., Coghe, S., & Delvaux, F. R. (2004). Wheat variety and barley malt properties: influence on haze intensity and foam stability of wheat beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 110(3), 200-206. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2004.tb00203.x>
- Evans, D. E., Collins, H., Eglinton, J., & Wilhelmson, A. (2005). Assessing the impact of the level of diastatic power enzymes and their thermostability on the hydrolysis of starch during wort production to predict malt fermentability. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 63(4), 185-198. <https://doi.org/10.1094/asbcj-63-0185>
- Evans, D. E., Surrel, A., Sheehy, M., Stewart, D. C., & Robinson, L. H. (2008). Comparison of Foam Quality and the Influence of Hop alpha-Acids and Proteins Using Five Foam Analysis Methods. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 66(1), 1-10. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2007-1129-01>
- Faltermaier, A., Waters, D., Becker, T., Arendt, E., & Gastl, M. (2014). Common wheat (*Triticum aestivum* L.) and its use as a brewing cereal – a review. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(1), 1-15. <https://doi.org/10.1002/jib.107>
- Gibson, B., & Liti, G. (2015). *Saccharomyces pastorianus*: genomic insights inspiring innovation for industry. *Yeast*, 32(1), 17-27. <https://doi.org/10.1002/yea.3033>
- Guo, M., Jin, Y., Du, J., Zhang, K., & Zhao, D. (2014). Effects of wheat protein compositions on malt quality. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 6(1), 73-80. <https://doi.org/10.3920/QAS2013.0247>
- Izydorczyk, M. S., & Dexter, J. E. (2008). Barley  $\beta$ -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products – a review. *Food Research International*, 41(9), 850-868. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.001>
- Jin, Y., Du, J., Zhang, K., Xie, L., & Li, P. (2012). Relationship between Kolbach index and other quality parameters of wheat malt. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(1), 57-62. <https://doi.org/10.1002/jib.15>
- Jin, Y., Zhang, K., & Du, J. (2008). Effects of wheat protein content on endosperm composites and malt quality. *Journal of the Institute of Brewing*, 114(4), 289-293. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00771.x>
- Jin, Y.-H., Du, J.-H., Zhang, K.-L., & Zhang, X.-C. (2011). Effects of wheat starch contents on malt qualities. *Journal of the Institute of Brewing*, 117(4), 534-540. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00501.x>
- Jin, Z., Zhou, B., Gillespie, J., Gross, T., Barr, J., Simsek, S., Brueggeman, R., & Schwarz, P. (2018). Production of deoxynivalenol (DON) and DON-3-glucoside during the malting of *Fusarium* infected hard red spring wheat. *Food Control*, 85, 6-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.09.002>
- Krogerus, K., Magalhães, F., Vidgren, V., & Gibson, B. (2015). New lager yeast strains generated by interspecific hybridization. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 42(5), 769-778. <https://doi.org/10.1007/s10295-015-1597-6>
- Libkind, D., Hittinger, C., Valério, E., Gonçalves, C., Dover, J., Johnston, M., Gonçalves, P., & Sampaio, J. (2011). Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. *Journal Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(35), 14539-14544. <https://doi.org/10.1073/pnas.1105430108>
- Mastanjević, K., Šarkanj, B., Krska, R., Sulyok, M., Warth, B., Šantek, B., & Krstanović, V. (2018). From malt to wheat beer: A comprehensive multi-toxin screening, transfer assessment and its influence on basic fermentation parameters. *Journal Food Chemistry*, 254, 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.005>
- McMurrough, I., Madigan, D., Donnelly, D., Hurley, J., Doyle, A.-M., Hennigan, G., McNulty, N., & Smyth, M. R. (1996). Control of Ferulic Acid and 4-Vinyl Guaiacol in Brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 102(5), 327-332. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1996.tb00918.x>
- Mertens, S., Steensels, J., Saels, V., Rouck, G. D., Aerts, G., & Verstrepen, K. J. (2015). A Large Set of

- Newly Created Interspecific *Saccharomyces* Hybrids Increases Aromatic Diversity in Lager Beers. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(23), 8202-8214. <https://doi.org/10.1128/AEM.02464-15>
- Miedl, M., Cornfine, S., Leiper, K. A., Shepherd, M., & Stewart, G. G. (2007). Low-Temperature Processing of Wheat for Bioethanol Production: Part II. Exploitation of Endogenous Wheat Enzymes. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 65(4), 192-196. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2007-0801-02>
- Muramatsu, Y., Tagawa, A., Kasai, T., & Takeya, K. (2006). Volume changes of wheat and barley soaking in water. *Journal of Food Engineering*, 73(4), 364-369. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.001>
- Narziss, L., & Back, W. (2009). *Die Bierbrauerei. Band 2: Die Technologie der Würzebereitung* [The brewery. Volume 2: The technology of wort preparation]. WileyVCH Verlag GmbH & Co.
- Nguyen, H. V., & Gaillardin, C. (1997). Two subgroups within the *Saccharomyces bayanus* species evidenced by PCR amplification and restriction polymorphism of the non-transcribed spacer 2 in the ribosomal DNA unit. *Systematic and Applied Microbiology*, 20(2), 286-294. [https://doi.org/10.1016/S0723-2020\(97\)80075-6](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(97)80075-6)
- Scholtes, C., Nizet, S., & Collin, S. (2012). Occurrence of sotolon, abhexon and theaspirane-derived molecules in Gueuze beers. Chemical similarities with «yellow wines». *Journal of the Institute of Brewing*, 118(2), 223-229. <https://doi.org/10.1002/jib.34>
- Stewart, G. G., Hill, A. E., & Russell, I. (2013). 125th Anniversary Review: Developments in brewing and distilling yeast strains. *Journal of the Institute of Brewing*, 119(4), 202-220. <https://doi.org/10.1002/jib.104>
- Szwajgier, D., Pielecki, J., & Targoński, Z. (2005). The release of ferulic acid and feruloylated oligosaccharides during wort and beer production. *Journal of the Institute of Brewing*, 111(4), 372-379. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00222.x>
- Tamai, Y., Momma, T., Yoshimoto, H., & Kaneko, Y. (1998). Co-existence of two types of chromosome in the bottom fermenting yeast, *Saccharomyces pastorianus*. *Yeast*, 14(10), 923-933. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0061\(199807\)14:10<923::AID-YEA298>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0061(199807)14:10<923::AID-YEA298>3.0.CO;2-I)
- Taylor, D. G., Humphrey, P. M., Boxall, J., & Smith, P. J. (1998). Brewing of English style ales with malted cereals, other than barley. *MBAA TechQuarterly*, 35(1), 20-23.
- Vermeylen, R., Goderis, B., Reynaers, H., & Delcour, J. A. (2005). Gelatinisation related structural aspects of small and large wheat starch granules. *Carbohydrate Polymers*, 62(2), 170-181. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.07.021>