

## ПРИМЕНЕНИЕ ДРОЖЖЕЙ И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Татьяна Евгеньевна Банницына, аспирант кафедры пищевой биотехнологии  
Ле АньТуан, аспирант кафедры пищевой биотехнологии  
Альберт Владимирович Канарский, доктор технических наук,  
профессор кафедры пищевой биотехнологии

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Представлен аналитический обзор применения дрожжей в пищевой промышленности. Приведены общие сведения о дрожжах, их физиологических свойствах, размножении и питании, влиянии деятельности дрожжей на биологическую и пищевую ценность пищевых продуктов. Широкое использование дрожжей в пищевой промышленности объясняется особенностями их химического состава (содержание полноценного белка достигает 66%), высокой скоростью роста и высокой ферментативной активностью, наличием широкого спектра субстратов для выращивания и аппаратуры для их непрерывного культивирования. Применение дрожжей в пищевой промышленности связано в основном со способностью вызывать спиртовое брожение: в хлебопечении, производстве пива, вина, спирта, кваса. При производстве пшеничного хлеба применяют дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, ржаного – *Saccharomyces panis fermentati* и *Saccharomyces minor*. Микробиологические процессы и связанные с ними биохимические изменения в тесте определяют пористость, окраску, сохранение свежести хлеба, придают ему вкус и аромат, повышают питательную ценность. Наибольший интерес для виноделия представляют дрожжи *Saccharomyces vini* и *Saccharomyces oviformis*. Дрожжи ответственны за образование этанола в напитке и за накопление ароматических соединений, от которых зависит вкус и аромат вина. В технологии пива применяют пивные расы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* низового и верхового брожения. При производстве пива дрожжи играют главную роль на всех стадиях производства и определяют качество получаемого продукта. В отличие от производства вина и пива в производстве кваса необходимы не только чистые культуры дрожжей, но и чистые культуры молочнокислых бактерий. При сбраживании квасного сусла происходит одновременно процесс спиртового и молочнокислого брожения. Дрожжи применяются для производства кормового и пищевого белка, витаминов, ферментов, незаменимых аминокислот, органических кислот и других биологически активных веществ. Автолизаты и гидролизаты дрожжей используются в пищевой промышленности в качестве вкусовых добавок и источников биологически активных веществ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дрожжи, раса, брожение, метаболизм, хлебопечение, виноделие, пиво, квас, биотехнология.

The authors give an analytical review of the use of yeast in food industry and provide general information about yeast, their physiological characteristics, reproduction and nutrition, as well as their impact on biological and nutritional value of foods. The widespread use of yeasts in food industry is explained by the characteristics of their chemical composition (their complete protein content reaches 66%), high growth rate and high enzymatic activity, existence of a wide range of substrates for their growth and equipment for their continuous cultivation. The use of yeast in food industry is associated mainly with their ability to cause alcoholic fermentation in baking, brewing, winery, and production of spirits and kvass. *Saccharomyces cerevisiae* yeast is used to produce wheat bread, while *Saccharomyces panis fermentati* and *Saccharomyces minor* are used for making rye bread. Microbiological processes and their related biochemical changes in bread dough determine the porosity, color, freshness of bread, its taste and flavor and increased nutritional value. *Saccharomyces vini* and *Saccharomyces oviformis* are of the greatest interest for winery. Yeast is responsible for the formation of ethanol in the beverage and accumulation of its aromatic compounds that determine the taste and aroma of wine. Beer brewing technology includes the use of such yeast races as *Saccharomyces cerevisiae* of bottom- and top-fermenting types. Yeasts play the major role at all stages of beer production and determine the quality of final product. Unlike the production of wine and beer, production of kvass requires not only pure yeast cultures, but also pure cultures of lactobacilli. Fermentation of kvass wort occurs simultaneously with the processes of alcoholic and lactic fermentation. Yeasts are used for the production of feeding and dietary protein, vitamins, enzymes, essential amino acids, organic acids and other biologically active substances. Autolysates and hydrolysates of yeasts are used in food industry as flavorings and sources of biologically active substances.

**KEY WORDS:** yeast, race, fermentation, metabolism, bakery, winery, beer, kvass, biotechnology.

Дрожжи с незапамятных времен играют большую роль в нашей жизни. Предполагается, что пиво египтяне начали варить за 6000 лет до н. э., а к 1200 году до н. э. овладели технологией выпечки дрожжевого хлеба наряду с выпечкой пресного. Дрожжи использовались в виноделии, приготовлении кваса. Позднее дрожжи стали использовать при получении крепких спиртных напитков. Для начала сбраживания нового субстрата использовались остатки старого – закваски. В результате столетиями происходила селекция дрожжей, и формировались новые физиологические расы дрожжей, не встречающиеся в природе, многие из которых изначально были описаны как отдельные виды [1].

В начале XIX в. были высказаны предположения, что за спиртовое брожение, вызываемое заквасками, ответственны присутствующие в них дрожжи, увиденные впервые в 1680 г. Антони Ван Левенгуком. Эти дрожжи были описаны в 1837 г. Мейеном, который дал им название *Saccharomyces*. В 1881 году Эмиль Христиан Хансен выделил чистую культуру дрожжей, а в 1883 году впервые использовал ее для получения пива вместо нестабильных заквасок. В конце XIX в. при его участии создается первая классификация дрожжей, в начале XX в. появляются определители и коллекции дрожжевых культур. К концу XIX в. было установлено, что сахаромицеты, выделенные из различных заквасок и различных сортов вина и пива, различаются по физиологическим свойствам, в частности по способности к сбраживанию различных сахаров.

В дальнейшем на основании физиологических различий было описано несколько десятков видов рода *Saccharomyces*. В последние годы методами молекулярной и генетической таксономии показано, что большинство этих «видов» реально представляют собой различные физиологические расы нескольких близких биологических видов, главным образом *Saccharomyces cerevisiae*. Это такие «виды», как, например, *Saccharomyces vini*, *Saccharomyces ellipsoides*, *Saccharomyces oviformis*, *Saccharomyces cheresiensis*, *Saccharomyces chevalieri* и десятки других, которые сейчас переведены в разряд синонимов *Saccharomyces cerevisiae* [12]. Большинство этих «видов» – это расы, селекционированные веками, такой же продукт человеческой деятельности, как сорта культурных растений, в природе их найти иногда невозможно. Установлено, что дикие популяции *Saccharomyces cerevisiae* распространены на Дальнем Востоке в сокоотечениях дуба. Предполагается, что Дальний Восток – центр видообразования этих дрожжей [1].

Дрожжи являются классическими модельными организмами для генетических исследований и в молекулярной биологии. Пекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* были первыми из эукариот, у которых полностью определена последовательность геномной ДНК [11]. Хромосомы у *Saccharomyces cerevisiae*, как и у других эукариот, связаны с гистонами и заключены в ядро. Геном у дрожжей очень маленький: всего 14 миллионов пар оснований ДНК на 16 хромосом. Всего в геноме дрожжей около 6000 генов. В биотехнологии дрожжи используются как векторные системы при производстве инсулина, интерферона, гетерологичных белков.

**Общие сведения о дрожжах.** Дрожжи – внетаксономическая группа высших грибов, утративших мицелиальное строение, преимущественно вегетирующих в одноклеточной форме и размножающихся почкованием или делением. Объединяет около 1500 видов, относящихся к аскомицетам и базидиомицетам. К грибам дрожжи относят на основании ряда характерных признаков: наличия ядра, отсутствия фотосинтезирующих пигментов и движения, наличия запасного вещества – гликогена.

Дрожжи отличаются по форме вегетативных клеток, половых спор и культуральным признакам. Растут дрожжи в пределах от 0 до 37°C, могут развиваться в аэробных и анаэробных условиях в диапазоне pH от 3 до 8. Как и все грибы, дрожжи обладают абсорбционным типом питания. Типичные размеры дрожжевых клеток составляют 3-7 мкм в диаметре, а некоторые виды могут достигать 40 мкм [10].

В зависимости от наличия и типа полового процесса дрожжи включают в три отдела высших грибов: аскомицетовых, базидиомицетовых и несовершенных. Различить

дрожжи, принадлежащие к разным отделам грибов, можно как по характеристикам их жизненного цикла, так и без его наблюдения по признакам аффинитета. К ним относятся: синтез каротиноидов (встречается только у базидиомицетных дрожжей), тип убихинонов (с 5-7 изопреноидными остатками у аскомицетных и с 8-10 у базидиомицетных, хотя есть исключения), тип почкования, содержание ГЦ (гуанин-цитозин) пар в ДНК (26-48% – у аскомицетных, 44-70% – у базидиомицетных), наличие уреазы (характерно за несколькими исключениями только базидиомицетным) и другие признаки [11].

**Особенности метаболизма дрожжей.** Дрожжи являются хемоорганотрофами и используют органические соединения для получения энергии, а также в качестве источника углерода. Им необходим кислород для дыхания, однако при его отсутствии многие виды способны получать энергию за счет брожения с выделением спиртов (факультативные анаэробы).

В отличие от бактерий среди дрожжей нет облигатных анаэробов, гибнущих при наличии кислорода в среде. При пропускании воздуха через субстрат дрожжи начинают дышать (поскольку этот процесс эффективнее), потребляя кислород и выделяя углекислый газ. Это ускоряет рост дрожжевых клеток (эффект Пастера). Однако даже при доступе кислорода в случае высокого содержания глюкозы в среде дрожжи начинают ее сбрасывать (эффект Кребтри) [3].

Дрожжи достаточно требовательны к условиям питания. В анаэробных условиях дрожжи могут использовать в качестве источника энергии только углеводы, причем в основном гексозы и построенные из них олигосахариды. Некоторые виды дрожжей (*Pichia stipitis*, *Pachysolen tannophilus*, *Phaffia rhodozyma*) усваивают пентозы, например, ксилозу. *Schwanniomyces occidentalis* и *Saccharomycopsis fibuliger* способны сбрасывать крахмал, *Kluyveromyces marxianus* – инулин. В аэробных условиях круг усваиваемых субстратов шире: жиры, углеводороды, ароматические и одноуглеродные соединения, спирты, органические кислоты. Гораздо больше видов способны использовать пентозы в аэробных условиях. Сложные соединения (лигнин, целлюлоза) для большинства дрожжей (за исключением некоторых видов рода *Trichosporon*, проявляющих целлюлолитическую активность) являются недоступными.

Источниками азота для всех дрожжей могут быть соли аммония, примерно половина видов имеет нитратредуктазу и может усваивать нитраты. Пути усвоения мочевины различны у аскомицетовых и базидиомицетовых дрожжей. Аскомицетовые сначала карбоксилируют ее, затем гидролизуют, базидиомицетовые – сразу гидролизуют уреазу [3].

Для практического применения важны продукты вторичного метаболизма дрожжей, выделяемые в малых количествах в среду: сивушные масла, ацетоин (ацетилметилкарбинол), диацетил, масляный альдегид, изоамиловый спирт, диметилсульфид и др. Именно от них зависят органолептические свойства продуктов, полученных с помощью дрожжей [4].

**Распространение дрожжей.** Места обитания дрожжей связаны преимущественно с богатыми сахарами субстратами: поверхностью плодов и листьев, где они питаются прижизненными выделениями растений, нектаром цветов, раневыми соками растений, мертвой фитомассой и т. д., однако они распространены также в почве (особенно в подстилке и органических горизонтах) и природных водах.

Представители родов *Candida*, *Pichia*, *Ambrosiozyma* постоянно присутствуют в кишечнике и ходах ксилофагов (питающихся древесиной насекомых), богатые дрожжевые сообщества развиваются на листьях, пораженных тлей. Представители рода *Lypomyces* являются типичными почвенными обитателями [6]. Дрожжи являются важной составной частью нормальной микрофлоры человека и животных.

Широкое использование дрожжей в пищевой промышленности объясняется особенностями их химического состава (содержание полноценного белка достигает 66%), высокой скоростью роста, наличием широкого спектра субстратов для выращивания, создание аппаратуры для их непрерывного культивирования, высокой ферментативной активностью.

**Применение дрожжей в хлебопечении.** Производство хлеба – одно из древнейших и важнейших пищевых производств. Оно представляет собой сложный цикл микробиологических и химических процессов, протекающих в тесте с момента смешивания муки с водой до выпечки хлеба. В состав муки, используемой для выпечки, входят все компоненты, необходимые для развития микроорганизмов, деятельность которых играет большую роль в производстве хлеба. Микробиологические процессы и связанные с ними биохимические изменения в тесте определяют пористость, окраску, прочность среза, сохранение свежести хлеба, придают ему вкус и аромат, повышают его питательную ценность.

При производстве пшеничного хлеба применяют *Saccharomyces cerevisiae*, ржаного – *Saccharomyces panis fermentati* и *Saccharomyces minor*. Дрожжи являются возбудителями брожения теста, их роль заключается в разрыхлении теста. Дрожжи сбраживают сахара муки и мальтозу, образующуюся из крахмала, с выделением спирта и углекислого газа, который поднимает и разрыхляет тесто. Аналогичный эффект вызывает внесение в тесто соды и кислоты (обычно лимонной), но в этом случае вкус и аромат хлеба уступает такому, приготовленному с использованием дрожжей [9]. Побочные продукты брожения – уксусный альдегид, бутиловый, изобутиловый, изоамиловый спирты, органические кислоты (молочная, янтарная, винная, щавелевая) создают вкус и аромат хлеба.

Для хлебопечения важным свойством дрожжей является высокая активность гликолитических ферментов. Они должны иметь высокую зимазную активность (скорость сбраживания глюкозы, фруктозы и сахарозы) и мальтазную активность (скорость сбраживания мальтозы). Должны проявлять осмотическую стабильность по отношению к жирам и высокой концентрации сахара, быть солеустойчивыми и стойкими к изменениям pH [5]. Важным показателем качества дрожжей является подъемная сила: чем быстрее дрожжи поднимают тесто, тем выше их качество. Подъемную силу определяют по времени, затраченному на подъем стандартного куска теста на стандартную высоту. Хорошие хлебопекарные дрожжи должны обладать подъемной силой не более 50 минут.

Микробиологические процессы и связанные с ними биохимические изменения в тесте определяют пористость, окраску, прочность среза, сохранение свежести хлеба, придают ему вкус и аромат, повышают его питательную ценность. В хлебе обнаружено около 300 ароматобразующих соединений. Большая их часть образуется во время брожения, другая – в процессе выпечки из продуктов метаболизма микроорганизмов [12].

На вкус и аромат хлеба влияют не только качество сырья, использованного для выпечки хлеба, но и характеристика ферментативных процессов. В частности, редуцирующие сахара, образующиеся под действием амилаз, являются субстратом для брожения, при этом продуктами являются как низколетучие ароматические вещества, так и образующиеся при поджаривании за счет неферментативной реакции с аминокислотами ароматические вещества; большое значение имеют также протеазы и липооксигеназы.

Дрожжи, которые используются в хлебопечении, относятся к виду *Saccharomyces cerevisiae* и исторически происходят от штаммов пивных дрожжей. Ранее дрожжи для хлебопечения получали с пивоварен. В конце XIX века развилась целая отрасль по производству пекарских дрожжей. Современное производство пекарских дрожжей имеет ряд существенных особенностей по сравнению с бродильной промышленностью. Основная цель такого производства – получение дрожжей, которые с высокой скоростью вырабатывают в тесте углекислый газ за счет брожения в анаэробных условиях. Однако производить их надо при хорошей аэрации, чтобы добиться большего выхода дрожжевой биомассы (эффект Пастера). Полученные дрожжи должны не только обладать высокой бродильной активностью в тесте, но и хорошо храниться, не теряя своих качеств в замороженном или высушенном состоянии. Пекарские дрожжи выращивают в ферментерах при интенсивном перемешивании культуральной среды и аэрации стерильным воздухом. При этом питательная среда, основой которой обычно служит меласса, подается постепенно или

порциями. Если добавить сразу много сахара, то метаболизм дрожжей переключится на бродильный (эффект Кребтри), и выход биомассы уменьшится. По завершении роста дрожжи концентрируют центрифугированием и фильтруют. Образующийся на фильтре осадок формируют в брикеты прессованных дрожжей влажностью 75%. Сухие дрожжи влажностью 7-10% получают высушиванием массы в распылительных сушилках.

Порчу хлебопекарных изделий могут вызывать неосмофильные и осмофильные виды дрожжей. Аспорогенные дрожжи при попадании в тесто могут понизить качество хлеба и придать ему нежелательный запах. Бродящие дрожжи, заражая хлеб после выпечки, вызывают появление сильного запаха («фруктового», «ацетонового» и др.). Виды дрожжей, образующие гифы, могут давать на поверхности хлеба хорошо видимый рост. На темных сортах хлеба возможно появление белого налета «меловой плесени», порчу чаще всего вызывают *Huiphovichia burtonii*.

**Применение дрожжей в виноделии.** Дрожжи в естественных условиях присутствуют на поверхности плодов винограда, часто они заметны как светлый налет на ягодах, образованный преимущественно *Hanseniaspora uvarum*. В распространении дрожжей на винограднике основная роль принадлежит насекомым, особенно дрозophile, в кишечнике которой дрожжи могут размножаться и перезимовывать. Вместе с ее выделениями дрожжи попадают на ягоды винограда, в сусло, мезгу. Основным местом обитания дрожжей являются винные подвалы, откуда они переносятся на близлежащие фруктовые и ягодные насаждения, а затем на позднее созревающие ягоды винограда. На поврежденных насекомыми ягодах дрожжи хорошо сохраняются, и *Hanseniaspora apiculata*, быстро размножаясь, вытесняет дрожжи *Saccharomyces vini*, чем и обусловлено их преимущественное распространение в свежеежатом виноградном соке. *H. apiculata* часто составляет 80-90% всей микрофлоры и начинает брожение.

Наибольший интерес для виноделия представляют дрожжи *Saccharomyces vini* и *Saccharomyces oviformis*. Дрожжи *Saccharomyces vini* обладают повышенной стойкостью к продуктам обмена других дрожжей, быстро вытесняют в виноградном сусле другие виды *Saccharomyces*. Дрожжи *Saccharomyces oviformis* спиртоустойчивее дрожжей *Saccharomyces vini*, они обнаруживаются к концу брожения виноградного сусла и используются в производстве шампанского и хереса.

Значение дрожжей в винодельческом производстве определяется их участием во всех стадиях приготовления вин. Для получения вина собранный виноград давят и получают сок (виноградное сусло) с 10-25 % сахара. Для получения белых вин от него отделяют смесь косточек и кожуры (мезгу), в сусле для красных вин она остается. При брожении сахара сусла превращаются в этанол. Вторичные метаболиты дрожжей, а также соединения, полученные из них при созревании вина, определяют его аромат и вкус. Большое значение в дозревании уже перебродившего вина и придании ему аромата имеют молочнокислые бактерии, например *Oenococcus oeni*. Для получения ряда вин (в частности, шампанского) вторично сбраживают уже перебродившее вино.

Прекращение брожения связано либо с исчерпанием запасов сахаров (сухое вино), либо с достижением порога токсичности этанола для дрожжей. Хересные дрожжи *Saccharomyces beticus*, в отличие от обычных дрожжей, которые погибают, когда концентрация спирта в растворе достигает 12%, более устойчивы. Первоначально хересные дрожжи были известны только на юге Испании (в Андалусии), где благодаря их свойствам получали крепкое вино – херес, до 24% при длительной выдержке. Со временем хересные дрожжи были также обнаружены в Армении, Грузии, Крыму и др. Хересные дрожжи также используют при производстве некоторых крепких сортов пива [7].

В основе получения вина лежит сбраживание фруктозы и глюкозы виноградного сока с образованием этилового спирта. При этом в брожении участвует множество видов дрожжей, сменяющих друг друга, таких как *Hanseniaspora*, *Brettanomyces*, *Saccharomyces*.

В современной виноделии для сбраживания в основном используют чистые культуры специальных рас сахаромицетов. После окончания брожения молодое вино осветляют и дают ему созреть. Этот процесс для высококачественных вин может занимать несколько лет, при котором происходят различные биохимические изменения, которые улучшают вкусовые качества вина, формируют «букет вина» [8].

Дрожжи вносят в производство вина двойной вклад: они ответственны за образование этанола в напитке, а также за накопление в нем множества соединений, от которых зависит его вкус и аромат. Часть из них образуется непосредственно в ходе брожения, часть – при химических превращениях компонентов вина в ходе его созревания. В винах обнаружены сотни органолептических соединений, многие из них присутствуют в очень малых количествах и с трудом поддаются идентификации.

Существует большое количество рас дрожжей, отобранных и используемых в производстве вина. Правильно проведенное брожение определяет качество полученного вина и зависит в наибольшей степени от рационального выбора расы дрожжей. Дрожжи должны отвечать требованиям и условиям производства, типу изготавливаемых вин (столовых, полусладких, крепких, десертных, шампанских и др.).

В виноделии важная роль отводится чистым культурам дрожжей. К чистым культурам дрожжей относят дрожжи, выделенные из одной клетки и специально подобранные путем селекции для определенных типов вин – столовых, шампанских, полусладких, десертных, крепких, хересных, селекционированных в соответствии с требованиями производства и условиями района. Только применяя чистую культуру дрожжей, можно получать вина с заранее заданными качествами. Это происходит потому, что внесенная в сусло в определенном количестве (обычно 2-3%) разводка чистой культуры попадает в оптимальные условия, и дрожжи, энергично размножаясь, подавляют дикую микрофлору и быстро сбраживают сахара [2].

Преимущества сбраживания сусла чистой культурой дрожжей: брожение сусла начинается быстро, протекает плавно, без сильного пенообразования, и приводит к полному сбраживанию сахара; в результате брожения образуется на 0,5-1,0% об. спирта больше, чем при самопроизвольном сбраживании; вина, выбродившие на чистых культурах дрожжей, содержат меньше летучих кислот и летучих эфиров, быстрее осветляются и обладают более чистым вкусом и букетом, менее подвержены заболеваниям, чем вина, получающиеся в результате самопроизвольного брожения. Применение чистой культуры дрожжей позволяет устранить все случайности, нарушающие спиртовое брожение, наиболее полно выявить положительные свойства, присущие вину из данного сорта винограда.

Кроме вина, ставшим наиболее популярным напитком, в мире производится множество разнообразных традиционных алкогольных напитков: сакэ – на Востоке, текила – в Южной Америке, помбе – в Африке и т.д. Они различаются по типу исходного сырья, способами осахаривания полисахаридов, видами добавок, для сбраживания могут использоваться виды дрожжей, отличные от *Saccharomyces cerevisiae*. При производстве рома, например, применяются дрожжи из рода *Schizosaccharomyces* [7].

**Применение дрожжей в пивоварении.** Пиво является слабоалкогольным напитком, готовится в основном из ячменного солода и хмеля путем сбраживания сусла пивоваренными дрожжами. Превращение веществ ячменя при солодоращении и веществ солода во время затирания и варки сусла происходит под действием ферментов солода без участия микроорганизмов. Превращение же веществ сусла во время брожения является биохимическим процессом, вызываемым микроорганизмами – пивоваренными дрожжами.

Различают пивные дрожжи низового и верхового брожения (эту классификацию ввел Христиан Хансен). Дрожжи верхового брожения (в частности, *Saccharomyces cerevisiae*) формируют «шапку» на поверхности сусла, предпочитают температуры 14-25°C (поэтому верховое брожение также называется теплым), они выдерживают более высокие концен-

трации спирта. Дрожжи низового (холодного) брожения (*Saccharomyces uvarum*, *Saccharomyces carlsbergensis*) имеют оптимум развития при 6-10°C и оседают на дно ферментера, образуя плотный осадок.

В пивоварении используют и другие виды дрожжей. При создании пшеничного пива часто используется *Torulaspora delbrueckii*. При изготовлении ламбика применяется дикая культура дрожжей, принадлежащая к роду *Brettanomyces*.

Наряду с составом суслу и технологическими условиями дрожжи играют ответственную роль в ходе процессов на всех стадиях производства пива и влияют на качество получаемого продукта. Для производства пива имеет значение физиологическое состояние дрожжей и условий их деятельности. Основной отличительной особенностью разных групп дрожжей является их способность сбраживать раффинозу. Из ферментов, гидролизующих раффинозу, в ферментной системе низовых дрожжей находятся инвертаза и мелибиаза, а у верховых – только инвертаза. В связи с этим верховые дрожжи сбраживают раффинозу только на треть.

Инвертаза гидролизует трисахарид раффинозу до моносахарида фруктозы и дисахарида мелибиозы, который далее может быть расщеплен только мелибиазой, содержащейся в низовых дрожжах, до глюкозы и галактозы. Кроме того, у низовых дрожжей в отличие от верховых нет фермента сукцинатдегидрогеназы, который функционально связан с цитохромом С и дыхательным ферментом Варбурга. Этим объясняется меньшая способность к размножению низовых дрожжей, чем верховых [8].

Клетки пивоваренных дрожжей круглой или овальной формы и имеют размеры 5-10 × 5-13 мкм. Разница в форме отдельных клеток зависит от изменения состава среды, питания, наличия вредных примесей, в частности тяжелых металлов, изменения температуры и т. п. Значительные изменения формы дрожжевых клеток являются признаком дегенерации дрожжей. Здоровые дрожжи всегда наряду с крупными клетками имеют часть мелких, которые в период интенсивного роста не смогли еще достичь размеров взрослых клеток. При попадании дрожжей в неблагоприятные условия возникают сумки со спорами, при этом вегетативные клетки превращаются в сумки со спорами. В одной сумке образуется 1-4, реже 8 спор. Споры шаровидные или овальные с гладкими оболочками. В благоприятных условиях споры снова превращаются в почкующиеся клетки: перед этим происходит разбухание и копуляция прорастающих спор или их почек. На сусло-агаре обычно формируются гладкие, тускло-блестящие, белые с желтоватым оттенком колонии [2].

Дрожжи, применяемые в пивоварении, должны обладать следующими свойствами:

- высокой бродильной активностью. Бродильную активность определяют по степени сбраживания суслу (показатель, характеризующий отношение массы сброженного экстракта к массе сухого вещества в начальном сусле).

- флокуляционной способностью – медленно и полно оседать на дно бродильных аппаратов в конце главного брожения. Различия в флокуляционных свойствах лежат в основе разделения дрожжей на хлопьевидные и пылевидные.

- умеренной способностью к размножению. Очень активное размножение дрожжей нежелательно, т.к. при этом расходуются экстрактивные вещества суслу и образуется большое количество побочных продуктов.

- способностью придавать пиву характерный вкус и аромат.

Квас производится по схеме, аналогичной пиву. Однако помимо ячменного солода широко применяется ржаной солод. К нему добавляется мука и сахар, после чего смесь заливается водой и варится с образованием суслу. Важнейшим отличием квасоварения от производства пива является использование при сбраживании суслу помимо дрожжей молочнокислых бактерий. В производстве кваса необходимы не только чистые культуры дрожжей, но и чистые культуры молочнокислых бактерий. При сбраживании квасного суслу происходит одновременно процесс спиртового и молочнокислого брожения.

В настоящее время в технологии кваса используют дрожжи расы М-квасная и молочнокислые бактерии 11 и 13. Раса дрожжей М-квасная была отнесена к виду *Saccharomyces minor* (по современной классификации следует отнести их к виду *Saccharomyces cerevisiae*), расы 11 и 13 молочнокислых бактерий были отнесены к виду *Betabacterium* (по современной классификации – *Lactobacillus fermentum*). При сбраживании квасного суслу происходит одновременно процесс спиртового и молочнокислого брожения. При спиртовом брожении под воздействием комплексных ферментных систем дрожжей гексозы квасного суслу распадаются до конечных продуктов, сбраживают также глюкозу, сахарозу, мальтозу до этилового спирта и диоксида углерода. В процессе брожения образуются промежуточные и побочные продукты – аминокислоты, янтарная, пировиноградная и другие кислоты, а также бутиловый, амиловый, изоамиловый, пропиловый спирты, диацетил, создающие характерные вкус и аромат кваса.

Сбраживание квасного суслу дрожжами и молочнокислыми бактериями – пример симбиотических взаимоотношений. Молочнокислые бактерии, продуцируя молочную кислоту, создают условия, благоприятные для развития дрожжей, а продукты жизнедеятельности дрожжей, в частности витамины, стимулируют жизнедеятельность бактерий.

В последние годы созданы новые отрасли биотехнологии с использованием дрожжей. Дрожжи применяются для производства кормового и пищевого белка, витаминов, ферментов, органических кислот, незаменимых аминокислот, усилителей вкуса и других биологически активных веществ. Хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* богаты биологически активными веществами и имеют следующий химический состав: белок составляет 44-52%, углеводы – 32-35% (среди них глюкан, гликоген, маннан, трегалоза), липиды – 2-5% (триглицериды, фосфолипиды, эргостерин), зольные вещества – 6,5%, кроме того, хлебопекарные дрожжи содержат витамины группы В, биотин, витамин РР, фолиевую кислоту, макро- и микроэлементы. Из биомассы *Saccharomyces cerevisiae* выделяют эргостерин, который переводят в витамин D облучением ультрафиолетом. Разработаны промышленные способы получения из дрожжей витаминов группы В, β-каротина из красных дрожжей.

Сами по себе дрожжи являются очень ценным пищевым сырьем. Они богаты белками, их содержание может достигать до 66%, при этом 10% массы приходится на незаменимые аминокислоты, поэтому их выгодно использовать для обогащения пищевых продуктов белком. Продукты, полученные из биомассы дрожжей, по общему количеству и соотношению незаменимых аминокислот соответствуют требованиям, предъявляемым ФАО / ВОЗ к высокопитательным пищевым продуктам. Автолизаты и гидролизаты дрожжей широко используются в пищевой промышленности в качестве вкусовых добавок и источников биологически активных веществ. В связи с этим применение дрожжевых ингредиентов приобретает большую популярность, и в настоящее время мировое потребление дрожжевых продуктов превышает 100 000 тонн в год и имеет ежегодный пророст 1-2%.

### Список литературы

1. Бабьева И.П. Биология дрожжей / И.П. Бабьева, И.Ю. Чернов. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 221с.
2. Вакербауер К. Разведение чистой культуры дрожжей / К. Вакербауер, Х. Хеонг, М. Бекман // Мир пива. – 2004. – № 2. – С. 16-28.
3. Глик Б. Молекулярная биотехнология / Б. Глик, Дж. Пастернак. – 2-е изд. – Москва : Мир, 2002. – С. 27.
4. Промышленная микробиология : учеб. пособие для вузов по специальности «Микробиология», «Биология» ; под общей редакцией проф. Н.С. Егорова. – Москва : Высшая школа, 1989. – 688 с.
5. Соколенко Г.Г. Инулиназоактивный штамм *Saccharomyces cerevisiae* G / Г.Г. Соколенко, Н.А. Карпеченко // Биотехнология. – 2013. – № 6. – С. 18-22.
6. Fell J.W. Biodiversity and systematics of basidiomycetous yeasts as determined by large-subunit rDNA D1/D2 domain sequence analysis / J.W. Fell, T. Boekhout, A. Fonseca, G. Scorzetti, A. Statzell-Tallman // J. Syst. Evol. Biol., – 2000. – Vol. 50. – P. 1351-1371.
7. Fleet G.H. Yeast interactions and wine flavour / G.H. Fleet // Int. J. Food Microbiol. – 2003. – Vol. 86, No. 1 - 2. – P. 11-22.
8. Glennie C.W. Starch Hydrolysis During Sorghum Beer Brewing / C.W. Glennie // Starch. – 1988. – Vol. 40, No. 7. – P. 259-261.
9. Kyung M.Y. Ethanol Tolerance in the Yeast *Saccharomyces cerevisiae* Is Dependent on Cellular Oleic Acid Content / Man You Kyung, Claire-Lise Rosenfield, Douglas C. Knipple // Applied and Environmental Microbiology. – 2003. – Vol. 69, No. (3). – P. 1499-1503.
10. Microbial Diversity: Current Perspectives and Potential Applications ; edited by T. Satyanarayana and B.N. Johri. – New Delhi : I.K. International Publishing House Pvt. Ltd., 2005. – 1133 pp.
11. Morrow C.A. Sexual reproduction and dimorphism in the pathogenic basidiomycetes / C.A. Morrow, J.A Fraser // Fems Yeast Research, 2009. – Vol. 9, No. 2. – P. 161-177.
12. The Metabolism and Molecular Physiology of *Saccharomyces cerevisiae* ; edited by J.R. Dickinson, M. Schweizer. – 2<sup>nd</sup> Edition. – London : CRC Press, 2004. – 459 pp.