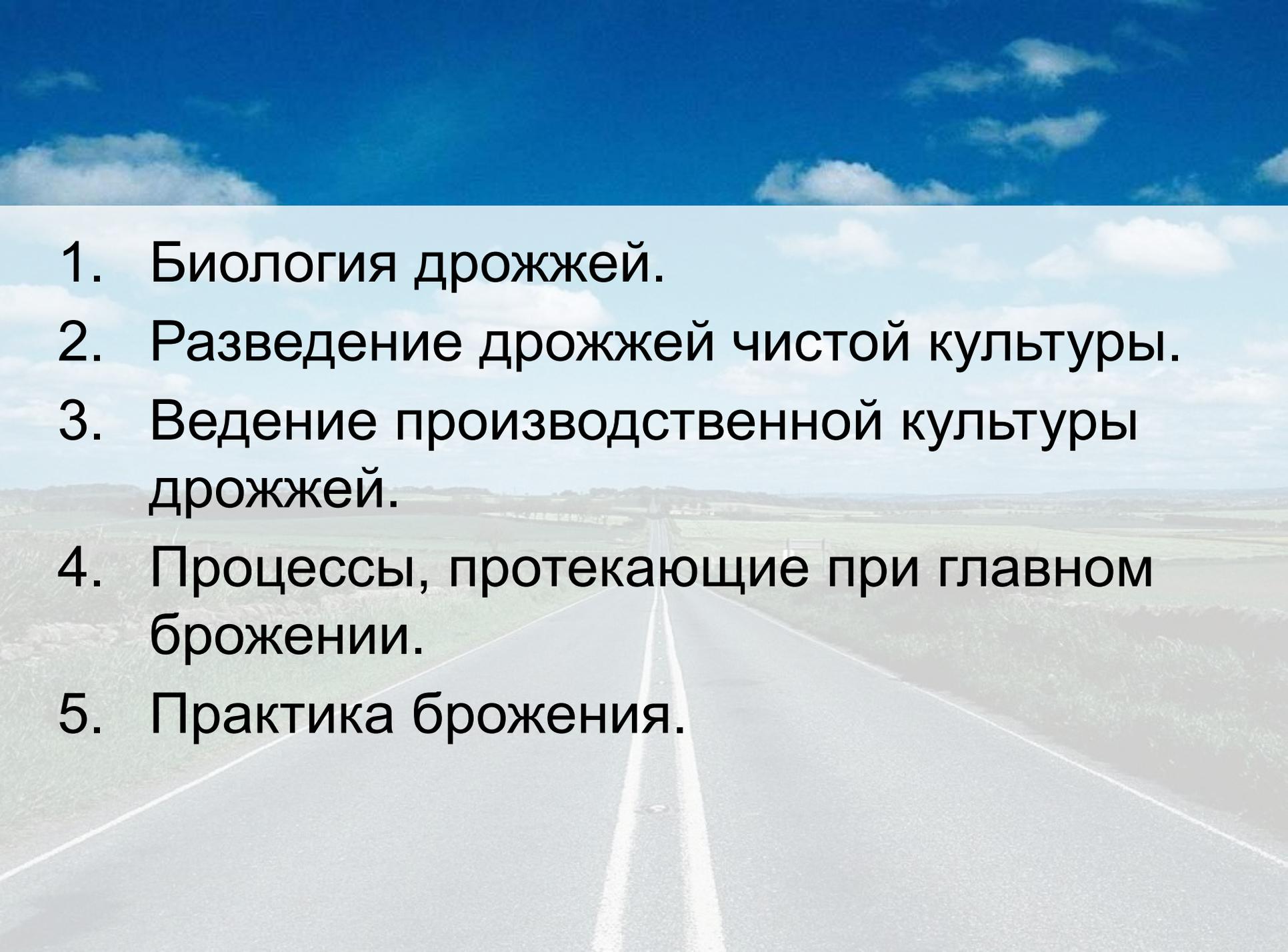




ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИВА

СБРАЖИВАНИЕ ПИВНОГО СУСЛА

- 
1. Биология дрожжей.
 2. Разведение дрожжей чистой культуры.
 3. Ведение производственной культуры дрожжей.
 4. Процессы, протекающие при главном брожении.
 5. Практика брожения.

1. Биология дрожжей

Пиво – продукт биохимической деятельности дрожжей. Именно продукты жизнедеятельности дрожжей обуславливают вкус и аромат пива. Любое изменение внешней среды приводит к метаболизму и изменяется вкус пива и скорость брожения.

Химический состав дрожжевой клетки подвержен значительным колебаниям, но в среднем дрожжевая клетка содержит 24–30% СВ и 70–76% воды. В состав СВ входят 85–90% органических соединений и 10–15% минеральных веществ. Из органических соединений это в основном белок 25–65%. Без азотистые соединения 20–60% и жир 2–5%. Содержатся так же запасные вещества: гликоген, тригалола. Содержание гликогена связано с возрастом клетки и её бродильной способностью его содержание изменяется от 70 до 0%. Важной составной частью клетки является ферменты, из которых наиболее интенсивны ферменты брожения и дыхания.

Углеводный обмен клетки.

Дрожжи сбраживают в основном моно-, ди- и трисахара. Но есть специальные гибридные штаммы дрожжей, усваивающие мальтотригалозу.

Скорость сбраживания различных сахаров разная.

Прежде всего, усваиваются моносахара, которые непосредственно вовлекаются в цикл брожения.

Одновременно усваивается и сахароза, но только после её предварительного расщепления инвертазой до моносахаров. С меньшей скоростью усваивается мальтоза, для её расщепления клетка синтезирует систему переноса - мальтопермиазу.

Внутри клетки под действием мальтозы происходит гидролиз мальтозы до 2-х глюкоз.

Сбраживание мальтозы начинается только после снижения в среде содержания глюкозы и сахарозы.

Азотный обмен клетки.

Дрожжи являются автотрофами, т.е. они синтезируют белок из неорганического азота. Они с большей скоростью потребляют азот в виде аминокислот. Причём аминокислоты используются и как источник азота и углерода. Если питательная среда содержит достаточный набор аминокислот для синтеза белка, то они усваиваются непосредственно, если набор аминокислот недостаточен то в этом случае аминокислоты трансформируются и только после этого включаются в синтез белка, поэтому сусло для нормального развития дрожжей должно быть не менее 25 мг аминного азота в 100 см³ сусла. Дрожжи не только потребляют азотные вещества из сусла, но и выделяют их в сусло. Считают, что 40% азота

Дыхание и брожение.

Пивные дрожжи это факультативные анаэробы. Энергию для жизнедеятельности они получают как в анаэробных так и в аэробных условиях. В аэробных условиях окисление углеводов идёт до CO_2 , H_2O , и выделяются $2,8 \cdot 10^6$ Дж тепла, т.е. с энергетической точки зрения для клетки выгоден аэробный процесс.

В условиях процесса брожения аэробное дыхание ограничено. На брожение расходуется 98% сбраживаемых углеводов и 2% сбраживаемых углеводов расходуется на дыхание. Пастером было доказано, что дрожжи не могут расти в отсутствии кислорода. Кислород нужен клетки для синтеза стиролов и ненасыщенных жирных кислот, которые регулируют поступление питательных веществ в клетку. Для этих целей необходимо 2-3 мг кислорода на дм^3 сусла. Потребность в кислороде зависит от условий предварительной подготовки дрожжей. Если дрожжи до брожения находились в контакте с

Размножение дрожжей.

Дрожжи размножаются вегетативно и спорообразованием. Причём культивированные дрожжи утратили способность к спорообразованию. Спорообразование используется в селекционных работах для получения новых штаммов дрожжей способных к размножению, имеет важное технологическое значение т.к.

1. Брожение начинается при определённой концентрации дрожжевых клеток в среде, через мерное размножение нежелательно по следующим причинам:

- а) на образование новых клеток расходуется экстракт сусла, идут потери горьких веществ сусла.
- Б) образующиеся продукты обмена ухудшают вкус пива.

2. Скорость размножения влияет на технологический процесс. Практика показывает обратную

Начальное количество клеток составляет 7000000–10000000 на 1 см³ суслу. После активного брожения концентрация клеток составляет 30000000–70000000 на 1 см³ суслу. Общее количество клеток зависит от наличия питательных веществ в среде т.е. от наличия сбраживаемых углеводов. Азотистых веществ, витаминов, кислорода к температуры. Свойства биомассы дрожжей зависят от условия размножения. При холодном анаэробном режиме размножения протекает медленно. Дрожжи, использующие питательные вещества медленно вырастают более крупными с повышенной бродильной активностью. При повышенной температуре и аэрации скорость размножения повышается, потребность в питании возрастает. Размеры клеток уменьшаются, и они вырастают

Дрожжи низового и верхового брожения.

2 вида брожения:

- верховое (тёплое)
- низовое (холодное)

Дрожжи верхового брожения *Sacharomycetes cerevisiae* бродят при температуре 12–15°C. В конце брожения они всплывают на поверхность молодого пива в виде слоя пены и остаются в таком виде до конца брожения. Затем они оседают на дне бродильного аппарата образуя весьма рыхлый слой. По своей структуре эти дрожжи относятся к пылевидным т.е. не слипаются между собой. Дрожжи низового брожения *Sacharomycetes carlsbergensis* бродят при температуре 6–9°C. Эти дрожжи не переходят в поверхностный слой, а быстро оседают. Они относятся к хлопьевидным, т.е. оболочки их клейкие, что приводит их к слипанию и быстрому осаждению клеток. В результате этого образуется плотный слой дрожжевых клеток на дне бродильного аппарата. Хлопьеобразование способствует ускорению осветленного пива и облегчает съём дрожжей из бродильного аппарата. Низовое

Бродильная способность дрожжей.

Способность дрожжей сбраживать углеводы пивного сусла называется бродильная активность.

Бродильная активность пивного сусла определяет скорость брожения и зависит от дрожжей и внешних условий. Главный показатель характеризующий бродильную активность является степень сбраживания. Это показатель в % характеризующий отношение массы сброженного экстракта ($E - e$) к массе сухих веществ в начальном сусле (E).

Степень сбраживания определяется по формуле:

$$V=(E-e)*100/E$$

e-содержание в пиве экстрактивных веществ в %.

По степени сбраживания дрожжи делятся на 3 группы:

1. сильно или высоко сбраживающие дрожжи (степень сбраживания 90-100%)
2. средне сбраживающие (степень сбраживания 80-90%)
3. слабо или низкосбраживающие (степень сбраживания меньше 80%) .

Для характеристики бродильной способности дрожжей используется и другие показатели: количество выделившегося CO_2 , накопившегося спирта, количество сахара сброженного за единицу времени.

2. Размножение дрожжей чистой культуры

В настоящее время в пивоварении используется 100 рас дрожжей обладающей различными свойствами. Для технологической оценке качества используют следующие показатели:

- высокая бродильная активность особенно ценно быстрое разбраживание, но в сусле должны оставаться сухие вещества (несброженная мальтоза для дображивания)
- хорошая флокуляция дрожжей, т.е. быстрое и полное оседание их последующего брожения.
- умеренная способность к размножению
- стойкость к неблагоприятным условиям хранения и обработки
- стабильность свойств в течении 6 генераций.

Наиболее распространенными являются расы: 11, F, 34, 8a(M) – это сильно сбраживающие, 776, 41, 44, S, P, A – средне сбраживающие. Для производства пива каждый пивоваренный завод выбирает 1 расу. Иногда применяют смесь рас и ведут брожение сусла отдельно на разных расах а затем смешивают молодое пиво. Под разведение понимают увеличение массы дрожжей т.е. от массы в 1-й пробирки до массы семенных дрожжей необходимых для внесения в бродильный аппарат. Весь процесс разведения состоит из 2-х стадий:

1. лабораторная (разведение дрожжей в

Лабораторная стадия состоит из нескольких последующих процессов. Питательной средой является стерильное охмелённое сусло. Пересевы осуществляются следующим образом:

- 1-й - это чистая культура из пробирки осторожно переносится в колбочку с 20 см³ стерильного охмелённого сусла и ведут брожение при 20-23°С в течении 24-30 часов.
- 2-й через 24-30 часов содержимое колбочки с 20 см³ сусла переносят в колбу со 100 см³ сусла и ведут брожение при 8-10°С до достижения определённой биомассы бродящего сусла.
- 3-й содержимое колбочки со 100 см³ сусла переносят в колбу с 500 см³ сусла и ведут брожение при 8-10°С до достижения определённой биомассы.
- 4-й содержимое колбы с 500 см³ сусла переносят в колбу с 2,5 дм³ сусла и ведут брожение при 80°С до определённой биомассы.

Цеховая стадия.

Это разведение дрожжей на стерильном охмелённом пивном сусле в специальной установке, состоящей из стрелизатора, 2-х бродящих цилиндров и резервуара предварительного брожения. Бродильные цилиндры имеют сосуды для посевных дрожжей. Стерилизатор предназначен для кипячения сусли и последующего его охлаждения. Бродильные цилиндры предназначены для 1-й стадии размножения дрожжей. Резервуар предварительного брожения предназначен для стерилизации и охлаждения сусли, а так же проведения в нём второй стадии размножения чистой культуры. Для разведения чистой культуры в стрелизатор из сусловарочного аппарата набирают горячее охмеленное сусло., кипятят 1 час, затем охлаждают до 8-12°С с помощью сжатого воздуха.

Охлажденное сусло подают в бродильные цилиндры, куда через специальный кран вводят содержимое колбы Карлсберга, затем сусло сбраживают в течении 3-х суток. Дрожжи размножаются, и масса их увеличивается. К концу брожения, т.е. на 3 сутки готовят предварительно резервуар предварительного брожения. Заполняют его суслом, которое то же нагревают до кипения и затем охлаждают. Часть чистой культуры из бродильного цилиндра отбирают на хранение в сосуд для посевных дрожжей, где она хранится до следующей разводке, основную часть перекачивают в резервуар предварительного брожения, где осуществляется брожение при 9°С в течении 3-х суток.

Сброженную массу из резервуара предварительного брожения перекачивают в чан, наполненный на 1/3 суслом температура 5-9°C, через 12 часов брожения в этот чан доливают охмелённое сусло и продолжают ещё брожение 36 часов при 5-7 °C. Затем сброженное сусло перекачивают в танк главного брожения, который через 1 сутки заполняют суслом до полной вместимости и ведут брожение обычным способом, контролируя температуру, концентрацию СВ и осветление. Данные, которые получаются, записывают в цеховой журнал и на табличку возле танка. Осевшие при брожении дрожжи снимают и используют в производстве как 1-ю генерацию.

3. Ведение культуры производственных дрожжей

В пивоварении дрожжи используются многократно, в зависимости от микробиологической частоты и физиологического состояния. Заключение о предназначении дрожжей даёт лаборатория по показателям:

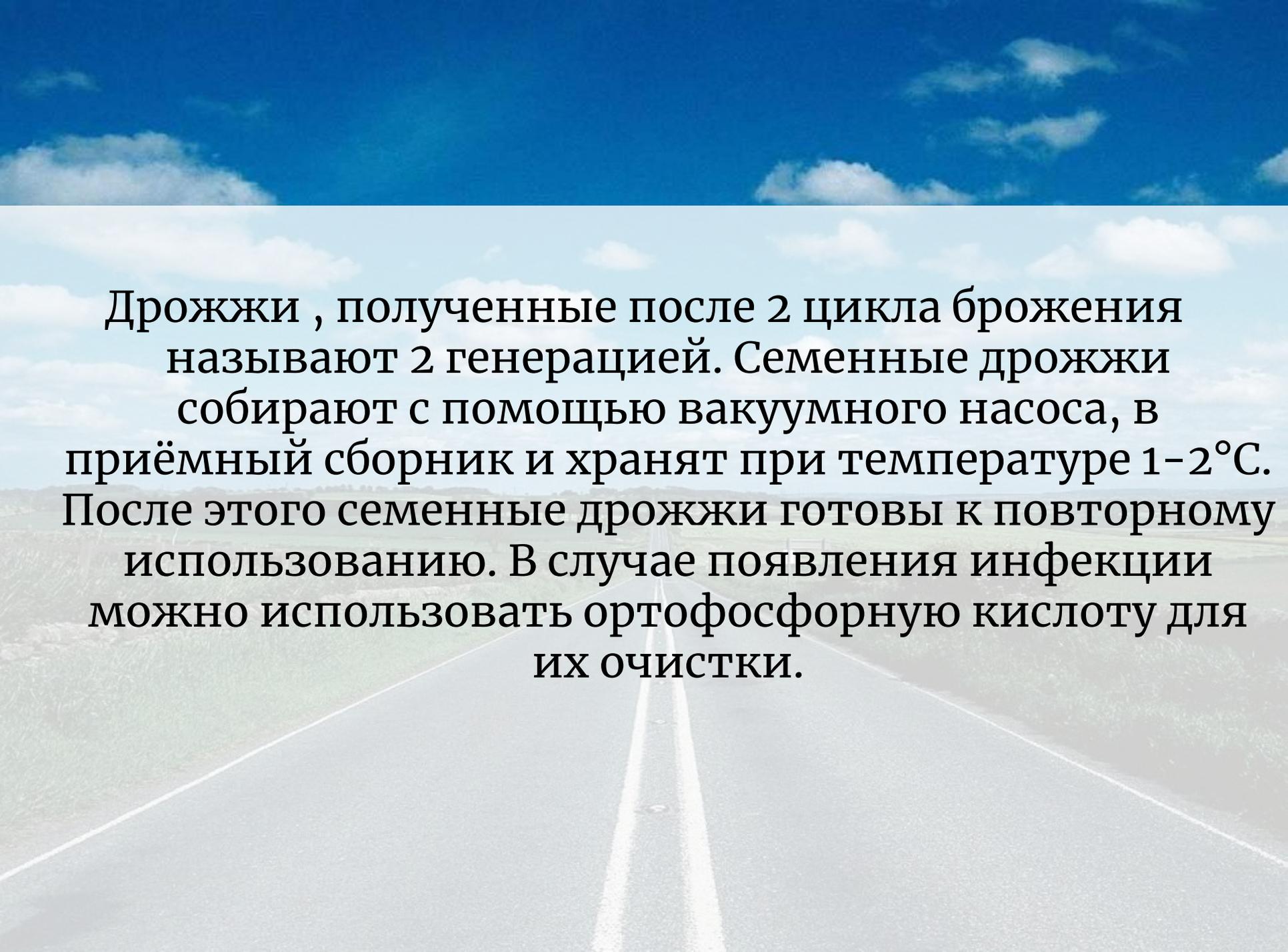
- содержание мёртвых клеток не более 5%
- наличие посторонних бактериальной культуры не более 0,5%
- упитанность дрожжевых клеток по гликогену не ниже 70%
- наличие клеток диких дрожжей не допускается.

Если дрожжи не удовлетворяют 1 из показателей, хотя эта генерация дрожжей меньше 6, то всё равно эти дрожжи утилизируют и не принимают цикл брожения. Процесс ведения производственной культуры дрожжей состоит из следующих стадий:

- съём дрожжей после брожения
- очистка
- хранение
- активирование

Съём дрожжей после брожения.

После перекачки молодого пива на дне чана остаются дрожжи, которые можно разделить на 3 слоя. Верхний слой коричневого цвета, состоит из мелких дрожжевых клеток, осевших в конце брожения. Этот слой содержит много мертвых клеток, посторонних микроорганизмов, осадок белковых веществ, хмелевых смол. Средний слой: более светлый, состоит из дрожжей, обладающих высокой бродильной активностью. Нижний слой тёмного цвета, в нём содержится отмершие дрожжевые клетки и отстой. Примерно половину образовавшихся дрожжей используют в последующих циклах брожения в качестве семенных, а остальные дрожжи являются избыточными. Дрожжи чистой культуры, осевшие на дно бродильного аппарата, после цикла главного брожения называют семенными дрожжами 1 генерации.



Дрожжи , полученные после 2 цикла брожения называют 2 генерацией. Семенные дрожжи собирают с помощью вакуумного насоса, в приёмный сборник и хранят при температуре 1-2°C. После этого семенные дрожжи готовы к повторному использованию. В случае появления инфекции можно использовать ортофосфорную кислоту для их очистки.

При обработке дрожжей химическими реактивами может уменьшиться их флокуляционная способность, поэтому помимо этих средств используют и другие средства оказывающие отрицательное воздействия на физиологию дрожжей. Наиболее эффективна водная или щелочная вытяжка хмеля, содержащая горьких веществ до 0,15. Хмель оказывает бактериальное действие на дрожжи, не влияя при этом на их качество. Жидкие семенные дрожжи хранят в течении 2-3 суток под слоем пива с температурой 1-2 °С. Более длительное хранение приводит к снижению бродильной способности при хранении в дрожжах происходит:

1. снижение гликогена
2. с поверхности клеток отмываются ферменты и активаторы роста
3. повышается содержание мёртвых клеток, избыток которых способствует автолизу.

Ослабленные дрожжи перед брожением подвергают

4. Процессы, протекающие при главном брожении

При спиртовом брожении проходят целый ряд реакций, определяющих вкус и аромат пива:

- сбраживание углеводов
- образование ароматических соединений
- пенообразование
- осветление молодого пива за счёт осаждения дрожжей.

Сбраживание углеводов.

Спиртовое брожение заключается в последующем прохождении многочисленных реакций катализирующие ферменты дрожжевой клетки, поэтому для управления процессом брожения необходимо знать основные факторы, влияющие на скорость брожения. Скорость брожения – это функция зависящая от многих факторов.

$$V=f(x_1, x_2, x_3, x_4 \dots)$$

x_1 – количество и качество засевных дрожжей

x_2 – концентрация и состав питательной среды

x_3 – температура

x_4 – степень сбраживания.

Количество и качество засевных дрожжей.

Каждая дрожжевая клетка действует самостоятельно как катализатор брожения. Чем больше клетка в сусле, тем больше скорость брожения. По классической технологии количество засевных дрожжей составляет 0,6–0,8 литра на 10 Дал сусла.

Норма внесения дрожжей зависит от их расы, плотности сусла, принятой на заводе технологической схемы, наличие кислорода. Однако увеличение нормы дрожжей должно быть не больше, чем до 1–2 литров на 10 Дал, т.к. избыток отрицательно влияет на вкус пива.

Концентрация и состав питательной среды.

Большая часть экстракта сусле состоит из углеводов из них около 75% сбраживаются (сбраживание сахара). Сахара сбраживаются в определённой последовательности: фруктоза и глюкоза, затем сахароза и мальтоза. Часть экстракта составляет не сбраживающиеся вещества. К ним относятся: декстрины, белки, минеральные вещества. Процесс главного брожения длится около 7 суток с момента введения дрожжей для сортов пива с начальным содержанием экстракта в сусле 11-13% и 8-10 суток для сортов пива с большим содержанием экстракта. При сбраживании сусле с высоким содержанием экстракта повышается начальная и максимальная температуры брожения, увеличивается количество засевных дрожжей до 1 литра на 10 дал сусле.

Температура .

Наиболее важный регулирующий фактор, особенно при низовом брожении. Повышение температуры до 24-28°C интенсифицирует процесс брожения, однако такая температура в пивоварении не поддерживается, так как обязательным условием при производстве пива является снижение экстракта при сбраживании не более чем 3-4 % в сутки. Это необходимо для образования и связывания CO₂. Наиболее приемлемой является температура 8-9°C. Однако, при брожении пива в ЦКБА температура повышается до 12-14°C.

Степень сбраживания.

Величина степени сбраживания различны для разных сортов и зависит от плотности сусла и содержание спирта в пиве. Различают видимую и действительную степень сбраживания. Если содержание экстракта в пиве определяется в присутствии спирта и CO_2 то это видимый экстракт. Используя его значение, вычисляют видимую степень сбраживания. Действительную степень сбраживания находят по величине действительного экстракта который определяется после удаления спирта и CO_2 из пива. Конечная степень сбраживания, т.е. максимально возможное в процессе брожения не достигается. В готовом пиве нельзя оставлять сбраживаемый экстракт. Чем меньше разница между степенью сбраживания готового пива и конечной степенью сбраживания тем больше его биологическая стойкость. Конечная степень сбраживания для светлых сортов пива составляет 77-82%. Видимая степень сбраживания:

Образование ароматических соединений.

Кроме этилового спирта и углекислого газа образуется более 400 различных соединений влияющих на вкус и аромат пива. Из них 75 органические кислоты, 50 высшие спирты, 16 кетоны, 125 сложные эфиры, 12 альдегиды.

Все эти соединения подразделяются на 3 группы:

вещества, образующиеся дрожжами в качестве побочных продуктов размножения которые потом превращаются в другие соединения.

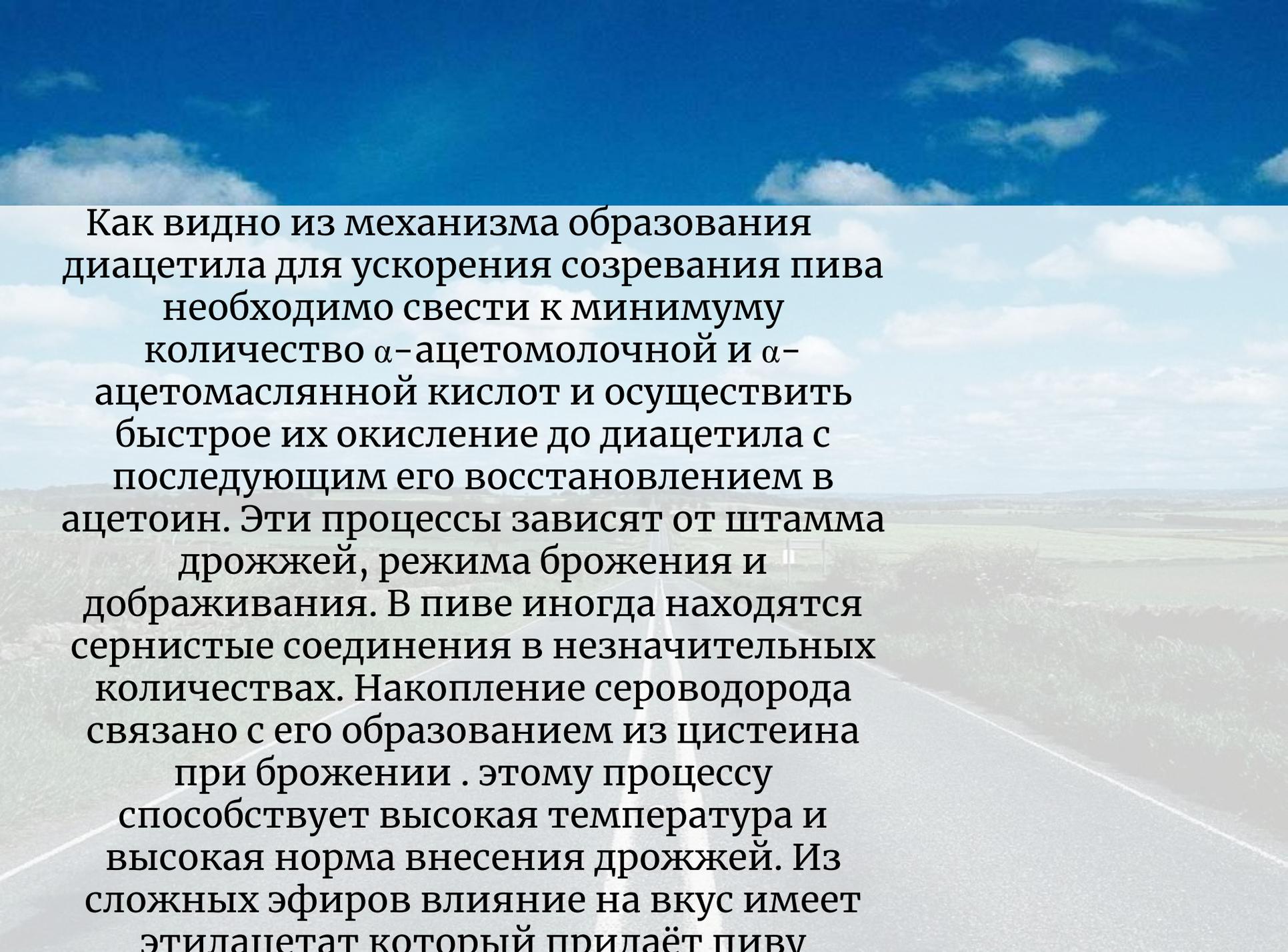
Пример : ацетальдегид, диацетил, сероводород, диэтилсульфид.

Вещества, образующиеся как побочные продукты размножения дрожжей из спиртового брожения. Они устойчивы и не превращаются в другие соединения поэтому после брожения количество их остаётся постоянным или незначительно увеличивается. К ним относятся : этанол, сложные эфиры, некоторые высшие спирты.

Вещества, содержание которых в пиве не

По количеству веществ в 1-й группе судят о готовности пива. Основным компонентом отвечающий за молодое пиво является ацетальдегид, образуется он в период максимального размножения дрожжей и активного брожения и постепенно при брожении превращается в соединение не обладающее вкусом и ароматом. В последнее время особое внимание уделяется наличию в пиве диацетила который придаёт пиву привкус творога и сыворотки. За рубежом и у нас содержание диацетила – это критерий готовности пива. Установлена последовательность процессов приводящих к образованию и удалению диацетила:

- использование дрожжами аминокислот суслы для синтеза клеточного белка
- образование α -ацетомолочной и α -ацетомасляной кислот используемых для биосинтеза валина и изолейцина. Эти кислоты являются предшественниками диацетила



Как видно из механизма образования диацетила для ускорения созревания пива необходимо свести к минимуму количество α -ацетомолочной и α -ацетомасляной кислот и осуществить быстрое их окисление до диацетила с последующим его восстановлением в ацетоин. Эти процессы зависят от штамма дрожжей, режима брожения и дображивания. В пиве иногда находятся сернистые соединения в незначительных количествах. Накопление сероводорода связано с его образованием из цистеина при брожении. этому процессу способствует высокая температура и высокая норма внесения дрожжей. Из сложных эфиров влияние на вкус имеет этилацетат который придаёт пиву

Кроме этого эфиры образуются при биосинтезе дрожжевых клеток. Содержание эфиров в пиве изменяется от 23 до 55 мг на дм³. Примерно 1/3 этого количества принадлежит этилацетат. Сбраживание сахаров сопровождается изменением рН сусла. Начальный рН 5,3-5,6 а рН пива 4,2-4,6. Это обусловлено образованием углекислого газа и органических кислот на 3-й день брожения. При брожении снижается величина окислительно-восстановительного потенциала от 20 до 11 единиц, во время брожения в сусле уменьшается количество продуктов окисления и увеличивается количество продуктов восстановления. Известно, что чем ниже ОВП при брожении, тем выше качество пива. При увеличении ОВП сусла и молодое пиво темнее, вкус

Пенообразование.

CO₂ который образуется при брожении с начало растворяется в сбраживаемом сусле а потом начинает выделяться в виде пузырьков на поверхности которых адсорбируются ПАВ. Это белки, пектины, хмелевые смолы. пузырьки газа покрывающие слоем этих веществ сливаются и образуют на поверхности слой пены.

Осветление молодого пива.

Дрожжи для своего развития, роста и размножения потребляют азотсодержащие соединения сусла. При его сбраживании растворённые белковые вещества частично денатурируют, а затем флокулируются и осаждаются. Во время главного брожения в результате осаждения белка и усвоения дрожжами азотистых веществ содержание их в сбраживаемом сусле уменьшается на 1/3. При брожении осаждаются так же полифенольные вещества. Образование этилового спирта, эфиров, снижение рН способствует коагуляция высоко

5. Практика брожения

Главное брожение проводят в открытых и закрытых бродильных аппаратах прямоугольной и цилиндрической формы, т.е. в виде танков. На нём имеется штуцер для присоединения пивных шлангов. Кран для наполнения и спуска пива. Кран для отбора проб. Штуцера для установки шпунт-аппарата и манометра, а так же предохранительный клапан.

Температура воздуха в цехе
главного брожения должна
быть около 6°C , влажность не
более 75%. Количество CO_2 в
цехе должно быть не более
0,1%. Цех главного брожения
должен быть снабжён
вентиляцией для удаления
 CO_2 . Ведение главного
брожения включает
следующие операции:
наполнение снизу
бродильного аппарата
охлаждённым суслom,
введение в ток сусла

Главное брожение протекает в несколько стадий:

1. Забел – на поверхности бродящего сусла появляется полоса нежной белой пены. Эта стадия продолжается 1-1,5 суток и характеризуется интенсивным почкованием и размножением дрожжей, а экстрактивность сусла снижается на 0,2-0,5% в сутки.
2. Стадия низких завитков – характеризуется более интенсивным выделением CO_2 , образованием густой компактной поднимающейся пены. В начале белый но постепенно темнеющий из-за окисления хмелевых смол и частичного подсыхания. Продолжительность 2-3 суток. Экстрактивность сусла на этой стадии снижается на 0,5-1% в сутки.
3. Стадия высоких завитков – характеризуется интенсивностью брожения, максимальной температурой брожения, убыль экстракта достигает 1-1,5% в сутки. Пена становится рыхлой, сильно

4. Стадия опадения завитков. Поверхность сусла покрывается тонким слоем. деки а падение завитков продолжается 2-е суток. Экстрактивность сброживаемого сусла понижается на 0,5-0,2% в сутки.

При спиртовом брожении 1 кг сброживаемого сахара выделяет 628 кДж тепла, что приводит к повышению температуры сусла. Для поддержания в сусле определённого температурного режима через змеевики установленные внутри бродильного аппарата пропускают воду температурой 0,5-1 °С. в замен змеевиков иногда снаружи к боковым стенкам бродильного аппарата привариваются холодильные пояса. Наибольшая температура сусла 8-9 °С достигается на 3-4 сутки и поддерживается на этом уровне 1-2 суток. Затем молодое пиво постепенно охлаждают со скоростью 1 °С в сушилке т.к. дрожжи весьма чувствительны к резкому перепаду температур. Известно, что растворимость CO_2 увеличивается с понижением температуры поэтому чтобы сохранить максимально возможную концентрацию растворённого CO_2 в молодом пиве перед подачей пива на дображивание температуры в пиве снижают до 4-5 °С. Содержание CO_2 в

Примерный график брожения для жигулёвского пива (11%):

| Дни брожения | Температура °C | Содержание экстрактивных веществ в сусле в % |
|--------------|----------------|--|
| 1 | 5 | 11 |
| 2 | 5,5 | 10,6 |
| 3 | 6,3 | 9,7 |
| 4 | 7,5 | 8,1 |
| 5 | 7,5 | 6,5 |
| 6 | 6,5 | 4,9 |
| 7 | 4,5 | 4,4 |

Отклонение в процессе главного брожения.

Пузырчатое брожение - характеризуется появлением крупных пузырей различной величины обычно в конце главного брожения. Оно объясняется бурным выделением CO_2 и наличием в пиве вязких слизистых веществ. Если это брожение возникает за счёт большей нормы введения дрожжей теплового хода взвесей то оно безопасно. Если причиной является инфицирование сусла посторонними микроорганизмами

Кипящее брожение – это сильное волнообразное движение поверхности напоминающий кипящую жидкость. Обычно наблюдается на стадии высоких завитков которые при этом спадают. Причина - большое количество белкового отстоя, солод короткого ращения, ячмень жаркого лета на качество пива не влияет.

Затухающее брожение - наиболее часто встречающийся в практике. Оно выражается в недостаточном сбраживании

По окончании главного брожения молодое пиво температурой не более 5°C перекачивается в закрытый бродильный аппарат на дображивание а осевшие дрожжи собирают в приёмный сборник для промывки и подготовки к использованию



**Спасибо за
внимание**