

## Аэрация

Дрожжи не являются в строгом смысле анаэробными организмами, они нуждаются в кислороде для размножения. Пивовары обычно прокачивают кислород через сусло перед внесением дрожжей, до начала анаэробного брожения. Хотя пивоваров пугает даже мысль о контакте конечного продукта с воздухом, они знают, что кислород необходим для здоровья дрожжей и стабильного брожения.

Достаточное количество кислорода в сусле на ранних стадиях брожения необходимо, так как кислород играет неотъемлемую роль в синтезировании липидов для клеточной мембраны. Существует строгая зависимость между содержанием кислорода в сусле, количеством синтезированных стеролов и эффективностью брожения.

Когда пивоваренная компания Sierra Nevada, впервые начала коммерческие варки в 1980х, пивовары потратили три месяца пытаясь получить приемлемый pale ale. По непонятным причинам аромат пива не удовлетворял их требованиям. Была одна подсказка: вялотекущее брожение. Они обнаружили, что проблема была в недостаточной аэрации. Для обеспечения аэрации они модифицировали оборудование так что бы сусло распылялось в ферментере.

### Потребность в кислороде.

Когда дрожжи размножаются им необходимо создать новые липиды для мембран их потомства. Для этого им необходимо два компонента: стеролы и ненасыщенные жирные кислоты. Стеролы сохраняют мембрану гибкой и регулируют ее проницаемость. Дрожжи могут как поглощать стеролы из сусла так и производить их сами. Однако в сусле присутствует недостаточно стеролов (и не все их виды) для адекватного брожения, поэтому дрожжам приходится их производить. Интересно, что если в сусле присутствуют все правильные стеролы дрожжам трудно поглощать их в присутствии кислорода.

Синтезирование и регулирование стеролов связаны. Вкратце, дрожжи используют гликоген для получения ацетил-КоА, который они используют для создания сквалена. Затем в серии реакций с использованием кислорода, они превращают сквален в 2,3 – эпокзисквален (epoxysqualene), из которого затем получается ланостерол, первый стерол в последовательности синтеза. Затем дрожжи создают остальные стеролы, включая эргостерол, в различных реакциях, некоторые из них требуют кислорода. Есть десять энзимных реакций от ацетила-КоА до сквалена, и еще от десяти до двенадцати форм эргостерола. Большинство из свободных стеролов идут на строение плазмы мембраны, некоторые на различные мембрано связанные органелы внутри клетки.

Другие важные компоненты липидов мембраны это ненасыщенные жирные кислоты (UFAs), такие как пальмитолеиновая и олеиновая кислоты. Так же как со стеролами их синтез начинается с ацетил-КоА. Например, превращение ацетил-КоА в жирную пальмитиновую кислоту включает десять шагов. Затем под действием кислорода пальмитиновая кислота превращается в пальмитолеиновую кислоту.

Многие коммерческие пивоварни переживают, что добавление кислорода в сусло может ускорить старение пива, поэтому они заинтересованы в нахождении новых путей снабжения дрожжей стеролами, необходимыми для брожения. Пивоварня New Belgium из Колорадо экспериментировала с добавлением UFAs в дрожжевую культуру как способ отказаться от аэрации. Они выбрали оливковое масло как богатый источник олеиновой кислоты. Наибольшая доза оливкового масла, задаваемого пивоварами составила 1 миллиграмм на 25 миллиардов клеток за 5 часов до внесения, время брожения было сопоставимо со временем брожения с аэрацией, 94 часа с маслом против 83 с аэрацией. Поскольку при брожении была достигнута конечная плотность,

можно допустить, что внесение оливкового масла повышает концентрацию UFA. Получившееся пиво, amber ale, имело ожидаемо более высокое содержание эфиров, и содержание сивушных спиртов ниже чем в пиве без аэрации, но дегустационная комиссия не смогла определить разницу. New Belgium не применяет добавление масла постоянно, но эксперимент вызвал интерес у многих пивоваров. Некоторые темы для размышлений:

Какие позитивные и негативные последствия для пива от отсутствия аэрации сусла?

Какие последствия без аэрации на протяжении многих поколений дрожжей?

Добавление оливкового масла вместе с аэрацией сусла или дрожжей улучшит брожение?

Добавление эргостерола или эргостерола вместе с оливковым маслом улучшит брожение?

Может ли быть слишком много стерола? Нет, так как дрожжи продуманно регулируют свой метаболизм, избыток кислорода не приведет к избытку стерола. Взамен, дрожжи образуют больше ароматических компонентов.

Сколько кислорода необходимо.

Верное количество растворенного кислорода так же важно, как и достаточное количество дрожжей при внесении. Отсутствие кислорода в сусле приводит к множеству проблем при брожении. Остановка брожения, долгое брожение, недоброд, стресс для дрожжей и отсутствие ароматов часто результат недостаточной аэрации сусла. Кроме того, отсутствие аэрации может снизить жизнеспособность следующих поколений дрожжей.

Для сусла средней плотности и нормального начального количества дрожжей, достаточное количество растворенного кислорода составляет от 8 до 10 ppm (parts per million). Когда дело доходит до высокоплотного сусла, пивоваром интересно должны ли они определять количество кислорода плотностью сусла или числом клеток в стартере. Ваша задача обеспечить оптимальное количество кислорода для размножения дрожжей. Конечно для более плотного сусла норма внесения дрожжей будет выше, соответственно и кислорода нужно больше. Иногда пивовар пытается скрыть недозасев более активной аэрацией для активизации размножения, но избыточное размножение дрожжей редко сочетается с приемлемым ароматом пива. Приемы по переливу сусла с разбрызгиванием, используемые многими домашними пивоварами могут дать примерно 4 ppm, что только половина от необходимого. Коммерческие пивоварни использующие похожие методы получают сравнимые результаты. Имея много свободного места, сильную спину и энергично встряхивая ферментер пивовар может достигнуть 8 ppm. Это максимальное значение при использовании воздуха. Применение аквариумного компрессора с камнем для аэрации не даст больше 8 ppm, даже при длительном использовании. Единственный способ достигнуть 10 ppm использовать чистый кислород. Заполнив свободное пространство в ферментере кислородом и активно тряся ферментер можно добиться концентрации выше 10 ppm, но раз у вас есть баллон с кислородом легче использовать камень для аэрации. С кислородным баллоном или генератором и камнем для аэрации возможно добиться высоких значений ppm. В продаже существует ряд систем, подходящих и коммерческим и домашним пивоварам и позволяющих получить необходимый уровень ppm.

Избыток кислорода редко приносит проблемы. Однако, кажется, что призывы использовать много кислорода привели в некоторых случаях к ухудшению аромата пива. Хотя большинство дрожжевых штаммов могут справиться с большим количеством растворенного кислорода, но возможно растворить так много кислорода что это приведет к проблемам с ароматом. Злоупотребление чистым кислородом приводит к повышению количества сивушных спиртов,

увеличению ацетальдегида и другим проблемам с ароматом. Большинство малых пивоварен не измеряют фактическую концентрацию кислорода, вместо этого полагаясь на оборудование. При таком подходе можно легко ошибиться из-за оборудования, температуры или других причин, получить более высокий, а куда чаще более низкий уровень растворенного кислорода чем планировалось. Цена оборудования для замера растворенного кислорода не слишком высока для большинства коммерческих пивоварен, около 1000\$

Что делать домашним пивоварам? Пока часть домашних пивоваров готова приобрести оборудование для получения идеального пива, обычный домашний пивовар не готов на такие инвестиции. Да, очень важно стремиться контролировать процесс пивоварения. Если вы можете обеспечить постоянный напор, то можете контролировать количество кислорода временем подачи. Многие домпивовары хотят знать какую насыщенность кислородом они обеспечивают своими методами. Точное количество не так важно, если только вы не готовы купить измерительное оборудование. Хватит и того, что вы можете изменять количество заданного кислорода и анализировать качество получившегося пива. Если одна минута при вашем напоре кислорода не обеспечивает удовлетворяющего вас результата, попробуйте аэрировать сусло полторы минуты или всего тридцать секунд. Если пиво стало лучше, придерживайтесь новых сроков. Вы обнаружите, что используя этот метод вы найдете золотую середину для дрожжей которые вы используете в данном пиве. Самое сложное обеспечивать постоянный напор постоянно. Эту задачу можно решить установкой редуктора. В противном случае, вам придется контролировать напор визуально все время аэрации.

Что бы помочь домпивоварам разобраться с вопросом сколько добавлять кислорода в сусло, White Lab провели эксперимент по аэрации 20 литров сусла, начальной плотности 18,7 используя 0,5 микронный стальной камень для аэрации с расходом 1 литр в минуту. Результаты показали, что для достижения от 8 до 10 ppm, вам нужно аэрировать одну минуту:

<b>Method of Aeration</b>	<b>Observed O<sub>2</sub> PPM</b>
Shaking, 5 minutes	2.71 ppm
30 seconds, pure O <sub>2</sub>	5.12 ppm
60 seconds, pure O <sub>2</sub>	9.20 ppm
120 seconds, pure O <sub>2</sub>	14.08 ppm

*Figure 4.1: Dissolved oxygen levels with various aeration times in 20 liters of wort. 18.7 °P wort at 75° F (24° C). Pure oxygen injection at 1 liter per minute using a 0.5 micron sintered stone.*

Для демонстрации эффекта от различной степени аэрации, White Labs затем внесли WLP001 в количестве 12 миллионов клеток на миллилитр в сусло из теста. Figure 4.2 показывает что сусло с концентрацией около 3 и 5 ppm не выбродило на столько же как остальные образцы. Превышение 9 ppm немного ускорило брожение в первые три дня, но оба образца имели одинаковую конечную плотность.

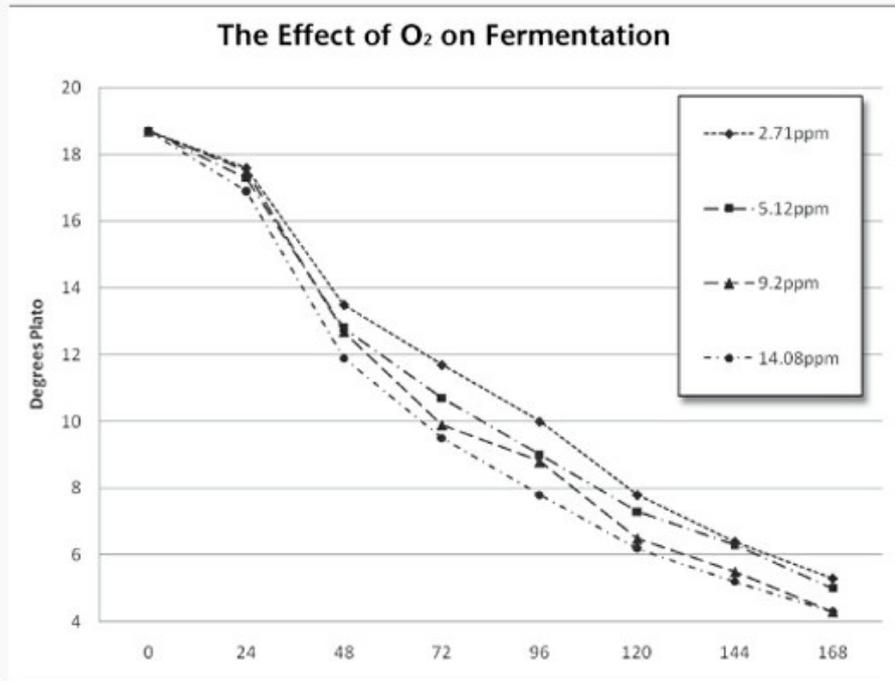


Figure 4.2: Comparison of how oxygen levels (ppm) affect fermentation progress over time (hours). 18.7 °P wort starting at 75° F (24° C).

Домпивовары не единственные кто пытался выяснить сколько кислорода добавлять в сусло. Исследование White Labs выяснило что многие малые пивоварни недо или пере аэрируют их пиво. White Labs проверили аэрацию сусла у дюжины коммерческих пивоварен и обнаружили следующие значения:

<b>Wort Volume (bbl)</b>	<b>O<sub>2</sub> Flow Rate (L/min)</b>	<b>O<sub>2</sub> Duration (minutes)</b>	<b>Wort Gravity (°P)</b>	<b>Dissolved Oxygen (ppm)</b>
40	6	40	12.5	5.00
15	6	45	13.2	5.42
15	12	75-80	25.5	5.50
10	6	35	12.3	5.85
40	7	40	12.3	6.20
15	7	40	12.7	6.54
10	7	35	12.5	7.20
10	6	30	14.4	8.10
10	7	30-40	12.0	8.25
20	7	20	12.8	9.00
15	5	90	12.7	24.40
10	6	25-30	12.8	35.80

*Figure 4.3: Sample of craft brewery dissolved oxygen levels (Parker, 2008).*

Очевидно, что очень немногие пивоварни придерживаются рекомендованных 8 – 10 ppm. Ни одна из этих пивоварен не измеряет уровень растворенного кислорода в сусле. Большинство использовало расходомер, вносило чистый кислород в поток, и затем рассчитывало количество внесенного кислорода основываясь на времени перекачивания сусла.

Дальнейшие исследования показали, что при повышении количества кислорода больше рекомендуемого уровня, увеличение числа клеток привело к ускорению брожения, в некоторых случаях брожение закончилось на 24 – 48 часов раньше.

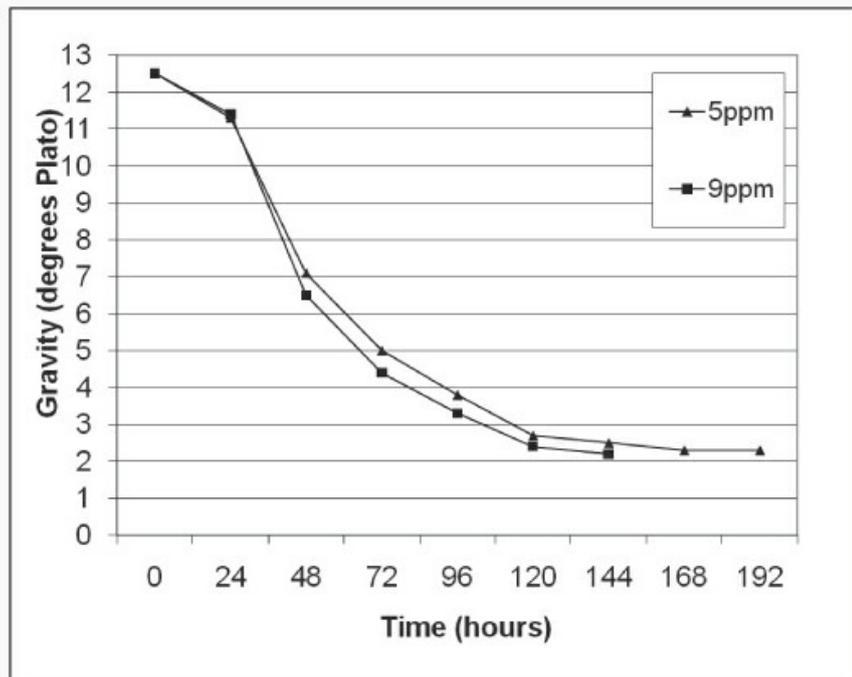


Figure 4.4: Fermentation speed of one brewery showing current versus oxygen-enhanced wort. The higher-oxygen wort reached terminal gravity 24 to 48 hours sooner than the lower-oxygen wort (Parker, 2008).

White Labs так же изучили последствия хронической недоаэрации. На Figure 4.5 показано сравнение протекания брожения для дрожжей, которые до этого несколько раз бродили при значении концентрации кислорода 5 ppm. К пятому поколению наблюдается значительное увеличение лаг фазы, увеличение времени брожения и более высокие значения конечной плотности чем у ранних поколений.

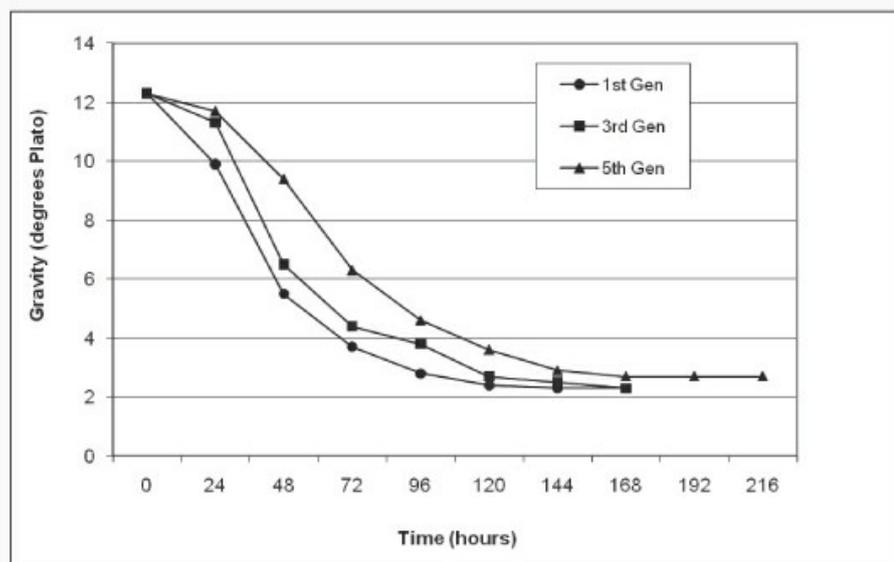


Figure 4.5: Fermentation performance of various yeast generations with chronically depleted oxygen resources (Parker, 2008).

Выводы этих экспериментов не только в том, что достаточная аэрация необходимое условие для хорошего брожения, но и, что недоаэрирование влияет на последующие поколения дрожжей.

Отсутствие растворенного кислорода не только уменьшает количество дрожжей, но и снижает способность к нормальному брожению у следующих поколений. Без доступа к элементам необходимым для строительства клеточной мембраны, меньше клеток имеют запас гликогена и мембраны способные выдержать стресс ферментации, алкоголя и пониженного pH пива.