

УДК 663.143.2

## **Влияние режимов отбора культуральной жидкости на процесс накопления биомассы хлебопекарных дрожжей**

**Т. В. МЕЛЕДИНА**

[meledina07@mail.ru](mailto:meledina07@mail.ru)

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО  
Институт холода и биотехнологий  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

**Е. В. БОРИСОВА**

[boricov74@mail.ru](mailto:boricov74@mail.ru)

*Санкт-Петербургский институт управления и пищевых технологий*

*В статье рассматривается культивирование хлебопекарных дрожжей путем накопления биомассы приточным методом с периодическим отбором культуральной жидкости. Целью данных исследований является изучение влияния количества отбираемой жидкости на выход биомассы. Установлена оптимальная величина отбора биомассы.*

*Ключевые слова:* хлебопекарные дрожжи, биомасса, отбор биомассы.

---

## **The influence of a biomass of selections of mode on of accumulation the process of bakery yeast of a biomass**

**T. V. MELEDINA**

*National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics  
Institute of Refrigeration and Biotechnologies  
191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

**E. V. BORISOVA**

*Saint-Petersburg institute for management and food technologies*

*The cultivation of bakery yeast by biomass accumulation with a constant supply air and periodic selections of biomass is considered in article. The purpose of these researches is the studying of influence selected biomass of quantity of bakery yeast on biomass yield. The optimum size biomass of selection is defined.*

*Key words:* bakery yeast, biomass, selection biomass.

---

Производство хлебопекарных дрожжей представляет собой биотехнологический процесс, направленный на культивирование микроорганизмов. Современные технологии и оборудование создают условия для получения биомассы с высоким экономическим коэффициентом, обладающей хорошей бродильной активностью.

С целью накопления биомассы в дрожжевой промышленности используются периодический (бесприточный и воздушно-приточный) и отменно-доливной способы культивирования дрожжей.

Все они различаются режимом подачи питательных веществ, воды и воздуха, кратностью разбавления сырья, значениями технологических параметров (температура, pH, величина засева), а так же продолжительностью процесса.

Бесприточный способ предусматривает подачу мелассового сусла, растворов солей, стимуляторов роста и воды при загрузке дрожжерастительного аппарата. Процесс осуществляется с постоянным или периодическим аэрированием культуральной жидкости. Аэрация среды способствует проявлению эффекта Пастера, а следовательно, уменьшению доли сбрасываемых углеводов на образование этанола и увеличению выхода биомассы. Однако в виду высокой концентрации сахаридов в питательной среде экономический коэффициент возрастает незначительно [1].

При реализации воздушно-приточного способа, дрожжи выращивают в аппарате с притоком питательных веществ и постоянной аэрацией. В этом случае выход дрожжей, прежде всего, определяется величиной отношения сбрасываемых углеводов, приходящихся на единицу биомассы в начале каждого часа [2] и концентрацией растворенного кислорода в среде [3]. Так как дрожжи усваивают только мелкодиспергированный, растворенный в жидкой среде кислород, количество его должно быть достаточно для нормального размножения и роста дрожжей. Поэтому с целью получения максимального выхода биомассы выращивание дрожжей ведется при непрерывном и интенсивном продувании среды воздухом. Хорошее перемешивание способствует диспергированию и растворению кислорода, ускорению проникновения его и питательных веществ в дрожжевые клетки, а также удалению продуктов их обмена. В дрожжерастительных аппаратах устанавливают разнообразные воздухораспределительные системы: мешалки, барботажную систему, систему с механическими средствами распыления, турбоаэрационную, эрлифтную, вибрационную, либо их комбинации. В промышленных ферментёрах в настоящее время используют барботажную систему распределения воздуха, которая основана на принципе распыления воздуха в начале ввода его в среду. Кислород, растворенный в питательной среде, диффундирует в дрожжевую клетку при разности концентраций его в среде и внутри клетки. Чем быстрее идет потребление кислорода клетками, тем скорее растут дрожжи. Скорость поглощения кислорода зависит в основном от величины суммарной поверхности дрожжевых клеток, находящихся в единице объема. С увеличением концентрации дрожжей в среде увеличивается их поверхность, использующая кислород. Расход кислорода среды происходит тем быстрее, чем больше в ней дрожжевых клеток. Поэтому снижение концентрации клеток в аппарате с барботажной системой способствует повышению выхода биомассы.

Применение отъемно-доливного способа предполагает накопление биомассы воздушно-приточным методом с периодическими отборами культуральной жидкости. Поэтому его можно рассматривать с одной стороны как дальнейшее совершенствование периодического способа культивирования с притоком источников питания. С другой стороны этот способ является первым шагом к переходу к непрерывному культивированию микроорганизмов.

Целью данных исследований является изучение влияния количества отбираемой культуральной жидкости на выход и съём биомассы в отъемно-доливной культуре.

Для проведения исследований использовали образцы мелассы, соответствующие требованиям ГОСТ Р 52304 – 2005 (табл.1). В качестве минеральных компонентов применяли аммоний серноокислый ( по ГОСТ 10873-73); диаммоний фосфат (по ГОСТ 8515), калий хлористый (по ГОСТ 4586 марки К). В связи с недостатком биотина в среде культивирования использовали биотин. Внесение минеральных солей и биотина производили в соответствии с приростом биомассы.

Таблица 1

**Физико-химические показатели свекловичной мелассы согласно ГОСТ Р 52304 – 2005**

Наименования показателя	Значение показателя
Массовая доля сухих веществ, %, не менее	75,0
Массовая доля сахара прямой поляризации, %, не менее	44,0
Массовая доля редуцирующих веществ, %, не более	1,0
Массовая доля сбраживаемых (ферментируемых) сахаров, %, не менее	48,0
Массовая доля солей кальция в пересчёте на СаО, %, не более	1,5
рН	От 6,5 до 8,0

В первой серии экспериментов дрожжи выращивали на пилотной установке, которая состояла из двух аппаратов вместимостью 3 л, снабженных перемешивающими устройствами – дисковыми мешалками. Коэффициент утилизации кислорода соответствовал 20%.

Во второй серии экспериментов культивирование вели в сосудах вместимостью 1,5 л, снабженных барботажными воздухораспределительными системами. В этом случае массообмен кислорода был в 2 раза ниже и составлял 10%.

Подача питательных компонентов и поддержание температуры в среде происходили автоматически. Величину рН культуральной жидкости поддерживали в интервале 4,3-4,6 с помощью замены части сульфата аммония раствором аммиака (20%).

Экономический коэффициент утилизации сбраживаемых сахаров определяли в расчете на дрожжи с содержанием 25% СВ и выражали в процентах.

### Результаты и обсуждение

Отъемно-доливная культура предусматривает два периода: короткий накопительный и следующий за ним период периодических отборов культуральной жидкости.

Отбор некоторой части культуральной жидкости следует вести в середине фазы логарифмического роста, характеризующейся максимальной скоростью роста клеток. В этой фазе роста дрожжи имеют максимальную физиологическую активность. После отбора биомассы в ферментер добавляют воду и продолжают подачу питательных компонентов. В результате концентрация дрожжей в основном аппарате понижается, повышается массообмен кислорода, что ускоряет рост оставшихся в аппарате дрожжей и повышает экономический ко-

эффицент утилизации сахаридов. Этот прием позволяет задержать культуру в логарифмической фазе роста на неопределенно долгое время.

Процесс отбора можно осуществлять двумя путями. Во-первых, путем поддержания постоянной концентрации биомассы перед отборами. Количество отбираемой биомассы, должно соответствовать приросту дрожжей, который имеет место между отборами культуральной жидкости. Этот процесс целесообразно вести в области оптимальных концентраций биомассы, когда не наблюдается лимита по кислороду и, следовательно, не происходит снижение скорости роста клеток.

Во-вторых, отбор среды можно производить путем постепенного увеличения концентрации дрожжей в аппарате перед отборами культуральной жидкости. В этом случае биомассу следует отбирать в меньшем количестве, чем коэффициент прироста дрожжей за период времени между отборами. Периодичность отборов и количество отбираемой массы определяется прежде всего массообменными характеристиками ферментеров, а также производственной необходимостью.

В данной работе длительность периодов между отборами составляла 2 ч, а приток питательных компонентов был рассчитан таким образом, чтобы прирост биомассы соответствовал 12,5-13,5 % в час. С целью достижения высокого экономического коэффициента (более 205%) величина отношения сбраживаемых сахаров, приходящихся на биомассы в начале каждого часа составляла менее 0,1г/г [2].

В первой серии экспериментов накопительный период длился 6 часов. После достижения концентрации дрожжей в аппарате 90 г/л произвели отбор культуральной жидкости в количестве 26%. Следует отметить, что концентрация биомассы перед каждым последующим отбором была практически одинаковой и составляла  $103 \pm 3$  г/л. Всего за 14 часов процесса было произведено 4 отбора (табл.2) . При этом съём дрожжей по сравнению с контрольным вариантом, который также длился 14ч, увеличился с 262 до 311 г, т.е. на 18,7%.

Таблица 2

**Показатели процесса при поддержании постоянной концентрации дрожжей в аппарате перед отборами культуральной жидкости (отбор 26%)**

Часы	Биомасса перед отбором, г	Дрожжи в отборе, г	Концентрация дрожжей перед отбором, г/л	Сахар/Дрожжи на начало часа, г/г
0	43	–	61	0,180
4	95	–	78	0,097
6	135	35	90	0,088
8	156	40	101	0,073
10	156	40	100	0,065
12	160	44	106	0,068
14	156		100	
Итого	156	155		

В следующем опыте доля отбираемой культуральной жидкости составила 13%. Результаты опыта представлены в табл. 3 и рис.1, они указывают на то, что концентрация дрожжей в основном аппарате перед отборами биомассы увеличивается со 100 до 160 г/л. Не смотря на то, что количество дрожжей в отборах (105 против 155г) на 33% меньше, тем не менее, общая производительность возросла на 30% (405 против 311).

Таблица 3

**Изменение основных показателей процесса при отборе 13% культуральной жидкости**

Время процесса, ч	Дрожжи перед отбором, г	Дрожжи в отборе, г	Концентрация дрожжей перед отбором, г/л	Сахар/Дрожжи на начало часа, г/г
0	43		59	0,180
4	95		80	0,097
6	140	20	100	0,068
8	184	25	120	0,060
10	220	28	140	0,057
12	260	32	150	0,050
14	300		160	
Итого		105		

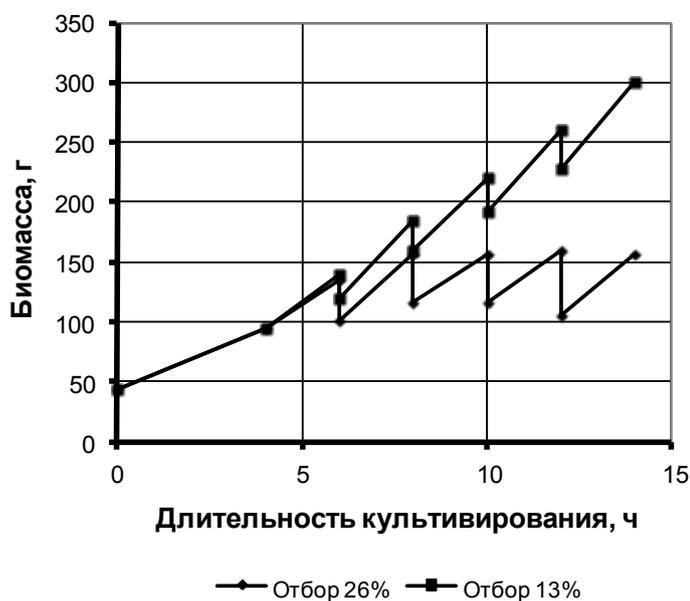


Рис. 1. Кривые роста дрожжей в отъемно-доливной культуре при разных количествах отборов

Для установления оптимальной величины отбора в третьей серии опытов отбор культуральной жидкости составлял 7 и 18% от полезного объема в аппарате. Результаты представлены в таблице 4 и на рис. 2.

## Съем дрожжей с аппарата при разном количестве отбираемой культуральной жидкости

Отбор культуральной жидкости, % к объему	Съем дрожжей с аппарата, г	Экономический коэффициент, % от сбраживаемых углеводов
-	261,5	204,3
26	311,0	203,9
13	405,0	205,7
7	350,5	207,4
18	343,8	205,7

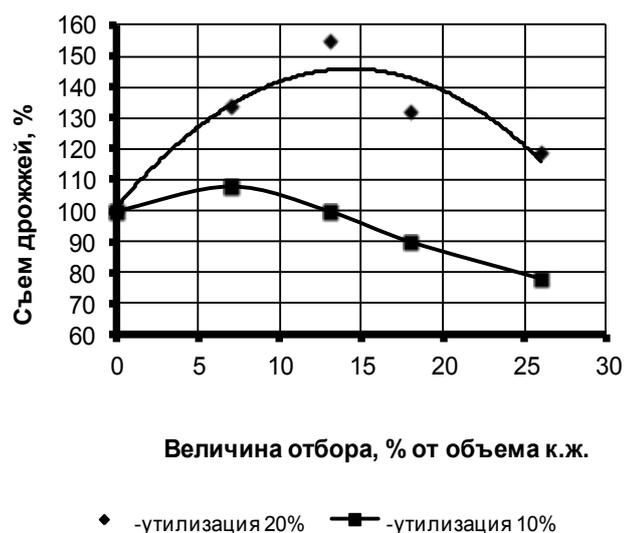


Рис. 2. Влияние величины отбора культуральной жидкости на съем дрожжей (производительность процесса) при разной степени утилизации кислорода

При использовании одного и того же режима культивирования, но при реализации его в аппаратах с низким массообменом кислорода (10% утилизация кислорода) увеличение выработки дрожжей практически не происходит (рис.2). Более того начиная с отбора 7% наблюдается падение производительности процесса.

Таким образом, для повышения съема дрожжей в отъемно-доливной культуре следует использовать аппараты с высоким массообменом кислорода. В этом случае съем дрожжей с одного и того же полезного объема аппарата за одно и то же время культивирования можно увеличить на 55 %.

### Список литературы

1. Меледина Т.В., Кхалил М. Закономерности роста и размножения хлебопекарных дрожжей на бесприточных стадиях технологического процесса накопления биомассы // Вестник МАХ. 2006. № 4.
2. Меледина Т. В. Научное обоснование и разработка высокоэффективных технологий дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – СПбГУНиПТ, 2002. – 32с.
3. Тишин В. Б. Культивирование микроорганизмов: кинетика, гидродинамика, тепло-массообмен. – СПб., 2012. – 181 с