

разработка системы экономических взаимоотношений между сельхозпредприятиями, фермерскими хозяйствами, сферой агросервиса и перерабатывающими предприятиями, совершенствование системы ценообразования, кредитования и налогообложения, а также формирование многоукладной экономики;

разработка принципов паритетных цен на все виды сельхозсырья и продуктов его переработки (молоко и молочные продукты).

Прогресс в животноводстве и переработке животноводческой продукции во многом зависит от организации внедрения в производство законченных научных разработок. Наибольший эффект, как показывает практика, достигается при объединении усилий научных учреждений и промышленных предприятий в производственных и научно-производственных системах.

В концепции подчеркнуто требование значительно улучшить подготовку кадров (научных, специалистов высшей и средней квалификации). Для этого необходимо укрепить материально-техническую базу НИИ, вузов и средних специальных учебных заведений. Подготовка инженеров-технологов и инженеров-механиков для молочной промышленности с действующей аспирантурой, открытой докторантурой и спецфаком (ФПК) по послевузовской подготовке, в том числе в области биотехнологии и новых процессов, осуществляется в СтГТУ, начата в КГТУ, планируется в ДГТУ.

В целом реализация концепции позволит возродить молочное дело России, обеспечить население высококачественными незаменимыми продуктами питания, создаст предпосылки для выхода на международный рынок.

Кафедра технологии молока и молочных продуктов

Поступила 03.04.96

661.733.2.01

ПРОИЗВОДСТВО МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

К.К. ПОЛЯНСКИЙ, Г.П. ШУВАЕВА, Н.Д. ДЕМЕНКО, В.Ф. ЯКОВЛЕВ

Воронежская государственная технологическая академия

Молочная, или α -оксипропионовая, кислота $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ впервые была получена Шееле в 1780 г. из кислого молока, откуда и получила свое название, путем отделения содержащихся в нем белков с последующим добавлением гашеной извести и разложением молочнокислого кальция щавелевой кислотой [1].

В 1847 г. Блондо показал, что молочная кислота может образоваться в процессе брожения [2]. Молочной кислоте посвящена одна из первых микробиологических работ Пастера. Шульце установил наличие молочнокислых бактерий в культурах дрожжей на винокуренных заводах.

Однако чистая культура молочнокислых бактерий была получена лишь в 1877 г., когда Листеру [3] удалось выделить *Bacterium lactis* (*Str. lactis*) из естественно бродящего молока. Приблизительно в то же время Дельбрюк сделал попытку определить наиболее благоприятную температуру для молочнокислого брожения. Он пришел к выводу, что сравнительно высокие температуры (30–40°C) благоприятствуют образованию молочной кислоты.

Первый, кому удалось наладить производство молочной кислоты в промышленных масштабах, был Эвери. К 1880 г. относятся работы по замене в пекарском порошке виннокислого кальция молочнокислым. Промышленное производство молочной кислоты впервые было осуществлено при помощи микроорганизма, известного под названием *Bacillus acidificans longissimus*, вероятно, тождественного с *Lb. delbrückii* и имеющего оптимальную температуру развития около 50°C [4]. Начиная с 1881 г. производство молочной кислоты методом брожения развивалось и постепенно превратилось в важную отрасль промышленности.

Получение молочной кислоты можно разделить на способы: химический (органический синтез) и

самый дешевый и быстрый — микробиологический (молочнокислородное брожение).

В настоящее время наиболее отработано периодическое выращивание микроорганизмов для получения молочной кислоты. Однако эксперименты последних лет свидетельствуют о возможности применения проточного культивирования продуцентов [5].

В США для получения молочной кислоты из глюкозы с применением *Lb. delbrückii*-B445 использовали непрерывнодействующий биореактор с перемешиванием, снабженный отбойниками и магнитной мешалкой. Циркуляцию культуральной жидкости из биореактора в фильтровальную ячейку кассетного типа с двумя фильтрующими мембранами и возврат клеток осуществляли диафрагменным насосом, ввод свежей среды в биореактор и отвод фильтрата из ячейки — перистaltическим насосом. Ячейки стерилизовали раствором формальдегида, после чего промывали стерильной водой. Процесс начинали в периодическом режиме, вводя посевной материал в фазе экспоненциального роста и переходя на непрерывный режим после накопления достаточного количества биомассы [6].

Основной фактор, влияющий на процесс ферментации, — это концентрация сахара. Рекомендуемый уровень массовой концентрации его в процессе брожения от 2 до 25 г/л. Исходная питательная среда содержит 3–4% сахара и 15–20% солодовых ростков по массе сахара. При нормальном брожении за сутки сбраживается до 2% сахара, убыль компенсируется добавлением в аппарат в несколько приемов сахара-сырца. В конечном счете вводят такое количество сахара, чтобы содержание лактата в культуральной жидкости не превышало 15–16% (из-за ограниченного предела растворимости лактата кальция), а несброженного сахара — 0,2–0,5%.

На заводах Чехии культуральную жидкость нагревают до 90°C и обрабатывают известью. Это улучшает структуру осадка, однако такая обработка непригодна для недостаточно сброженных рас-

творов (увеличивается цветность при разложении сахара) [7].

В России начаты исследования полунепрерывного способа выработки молочной кислоты. При этом производительность бродильного участка повышается на 24%, удельный расход сырья снижается на 5% [8].

Известен способ получения молочной кислоты в два этапа, согласно которому вначале сбраживают молочную сыворотку при 35°C, затем добавляют сахарозу с массовой долей 10%, питательные вещества, источник азота и углерода. Процесс сбраживания молочнокислыми бактериями *Lb. delbrückii* ведут при 50°C в течение нескольких суток до полной конверсии сахарозы. Выход кислоты достигает 80% [9].

Ойлейер, Вилке и др. (США) изучали биосинтез молочной кислоты из углеводов — глюкозы и лактозы — клетками *Lb. delbrückii* в реакторе с рециркуляцией клеток. Для поддержания продуктивности биосинтеза в реакционную смесь вводили помимо источника углерода дрожжевой экстракт, концентрация которого составляла 2 г/дм³ при использовании глюкозы и 20 г/дм³ — лактозы. Это различие обусловлено механизмом проникновения глюкозы и лактозы через клеточную мембрану. Максимальная производительность составила 60 и 42 г/л глюкозы и лактозы соответственно [10].

При производстве молочной кислоты применяют различные виды молочнокислых бактерий в зависимости от состава сбраживаемого сырья, имеющие среди них наиболее важное значение для промышленности представлены в таблице.

Таблица

Семейство и род	Главные виды	Главные продукты брожения
<i>Lactobacillaceae</i> <i>p. Lactobacillus</i>	<i>Lb. helveticum</i> <i>Lb. bulgaricum</i> <i>Lb. lactis</i> <i>Lb. acidophilum</i>	D (-), L (+) и DL-молочная кислота
<i>p. Lactobacillus</i>	<i>Lb. casei</i> <i>Lb. fermenti</i> <i>Lb. brevis</i> <i>Lb. reuteri</i>	DL-молочная кислота, CO ₂ , уксусная кислота, этанол
<i>Streptococcaceae</i> <i>p. Streptococcus</i>	<i>S. lactis</i> <i>S. cremoris</i> <i>S. thermophilum</i>	L(+)-молочная кислота L(+)-лактат
<i>p. Pedicoccus</i>	<i>P. pentosaceum</i> <i>P. acidilactici</i>	DL-лактат
<i>p. Leuconostoc</i>	<i>L. cremoris</i>	D(-) молочная кислота, CO ₂ , этанол, уксусная кислота

В настоящее время для получения молочной кислоты применяются в основном термофильные палочковидные штаммы *Lb. delbrückii*, *Lb. leichmanii*, которые быстро растут и образуют много молочной кислоты за короткое время. В России широко используются штаммы № 52 ВНИИПБТ; штамм № 83, выделенный из бродильных чанов Минского завода молочной промышленности; штамм БДШ-мутант, полученный в лаборатории МГУ; штамм Л-3, выделенный в ЛНИИППе

отбором естественно возникающих мутантов в штамме БДШ. Штамм Л-3 используется наиболее широко, он на двое суток быстрее сбраживает среду, среднесуточное накопление лактата повышается с 1,1 до 1,5%, снижается содержание несброженного сахара [11].

Для ферментативного получения молочной кислоты в большинстве стран используют побочные продукты переработки растительного сырья, ежегодно возобновляемого в больших количествах. Это прежде всего относится к сахарной свекле и сахарному тростнику и в некоторой мере к крахмалосодержащему сырью (кукуруза, картофель).

Интересен способ получения молочной кислоты, включающий приготовление исходного сахаросодержащего сырья для сбраживания.

Раствор свекловичной мелассы, рафинадной патоки или сахара-сырца с начальным содержанием сахара 3–4% нагревали до 70°C, вносили солодовые ростки и культуру молочнокислых бактерий *Lb. delbrückii*, нейтрализовали образующуюся в процессе брожения молочную кислоту карбонатом кальция до кислотности 0,3–0,4% (рН 4,9), добавляли сахаросодержащее сырье в процессе брожения до конечной концентрации лактата кальция 14–15% и выделяли молочную кислоту [12]. Недостаток этого способа — большая длительность процесса (10–12 сут) и низкий выход молочной кислоты (в производственных условиях 63–68%).

Для интенсификации и повышения эффективности процесса молочнокислого брожения заменяют солодовые ростки как источник питания на пшеничные или ржаные зародыши, проводят предварительный ферментативный гидролиз лактозы в сыворотке до простых сахаров — глюкозы и галактозы — с помощью препарата β-галактозидазы, вносят в питательную среду стимуляторы роста бактерий — таллий и цирконий [13]. Однако в указанных способах требуется отделение зародышей от зерна, что экономически невыгодно, а высокая токсичность таллия и циркония [14] не позволяет их использовать при производстве пищевой молочной кислоты.

Согласно способу получения молочной кислоты, предусматривающему сбраживание сахаросодержащего сырья молочнокислыми бактериями *Lb. delbrückii* Л-3 при 48–50°C с добавлением солодовых ростков, периодически нейтрализацию образующейся кислоты карбонатом кальция и последующее ее выделение, в сбраживаемый раствор через 24–48 ч от начала процесса брожения вносят комплексный ферментный препарат — целлоксингин, пектофоетидин или протосубтилилин [15], содержащий протеолитические, амилолитические, пектолитические и целлюлозолитические ферменты.

Аксу и Китсал использовали мелассу в качестве субстрата для продуцирования лактата. *Lb. delbrückii* выращивали на твердой и жидкой среде, содержащей 20 г/л сахарной мелассы, при 42°C и рН 6,2. Образование лактата возрастало с 46 до 70% при добавлении 2 г/л дрожжевого экстракта, 1 г/л фосфата аммония и 0,2 г/л Mg²⁺. Добавление инвертазы при 65°C и рН 6,5, конвертирующей сахарозу мелассы в глюкозу и фруктозу, повышало выход лактата до 83%. В оптимальных условиях скорость роста *Lb. delbrückii* составляла 0,11 ч⁻¹, скорость образования лактата — 0,23 г/л мелассы [16].

Известен способ получения молочной кислоты из культуральной жидкости без образования солей-лактатов. По мере сбраживания сахара кислоту выделяют при помощи электролиза с биополярными и ионитовыми мембранами [17].

С экономической точки зрения более выгодно и эффективно получение солей молочной кислоты, нежели молочной кислоты. Технологическая схема включает следующие стадии: подготовка питательной среды для брожения; проведение процесса брожения; обработка сброженного сусла (фильтрация, очистка, упаривание), которое уже содержит кальциевую соль молочной кислоты в жидком виде; кристаллизация лактата; отделение, промывка, высушивание кристаллов. Лактат кальция является промежуточным продуктом в процессе получения других солей. Взаимодействуя с сульфатами или карбонатами различных металлов, он в результате обменной реакции переходит в соответствующую соль молочной кислоты [18–20].

Во многих странах расширяют выпуск молочной кислоты за счет нетрадиционных источников углеродсодержащего сырья, разрабатывают технологии рационального его использования, проводят отбор продуцентов с высокими биосинтетическими свойствами в отношении направленного синтеза желаемого продукта с высоким выходом.

Использование нетрадиционного сырья в производстве молочной кислоты является приоритетным направлением, конкурентоспособным на мировом рынке, имеет ряд преимуществ перед применением известных видов сырья.

При получении молочной кислоты источником углерода для продуцентов может служить любое сахаросодержащее сырье, однако отдельные микроорганизмы из огромного семейства *Lactobacillaceae* различно воздействуют на углеводы. Это объясняется специфичностью бактерий по отношению к сахарам. Так, бактерии, развивающиеся на растительных объектах, предпочитают мальтозу, на молоке — лактозу. Гетероферментативный *Lb. brevis* можно использовать для сбраживания сырья, содержащего пентозы, гидролизатов кукурузных кочерыжек, шелухи хлопковых семян, соломы и т.д. Следовательно, учитывая специфичность отношения различных групп молочнокислых бактерий и их штаммов к сырью, можно подобрать конкретный вид микроорганизма, синтезирующий необходимую кислоту из того или иного субстрата. Это дает возможность использовать практически любое сахаросодержащее сырье для производства молочной кислоты.

Чтобы облегчить довольно затруднительное выделение молочной кислоты из ферментационной среды, а также ее очистку, предпочтительнее работать с затвором относительно простого состава или с чистым сырьем. Наряду с мелассой из свеклы и тростникового сахара чаще всего применяют кукурузный или картофельный крахмал, который должен перед сбраживанием осахариваться. Для этого подходят микробные амилазы и солод. Также возможно применение других дешевых продуктов расщепления, содержащих углеводы, таких как сыворотка, отработанный сульфитный щелок и отходы получения цитрусовых соков.

При сбраживании мелассы или крахмала, которые применяются чаще всего, следует удовлетворять потребности молочнокислых бактерий в минеральных веществах, добавляя питательные соли.

Кроме того, следует обращать внимание на снабжение микроорганизмов необходимыми веществами, источниками факторов роста, так как молочнокислые бактерии, будучи аукокотофами, нуждаются в их присутствии.

Имеются разработки способа получения молочной кислоты с использованием гидролизата яблочных выжимок, который получают ферментативным путем из сухих выжимок. Определены оптимальные условия проведения гидролиза: температура 45°C, pH 5,5, продолжительность 24 ч. Выход молочной кислоты составляет 87% [21]. При получении L(+)-молочной кислоты из отходов фруктового сока путем ферментации *Lb. helveticus* при pH 3,7 выход ее до 5 г/л [22].

В Японии запатентован способ производства молочной кислоты из побочных продуктов нефтехимической промышленности с использованием штаммов *Nocardia lactofaciens*, *Arthrobacter Oxydans*. Данный способ в отличие от классического является аэробным. Предложен метод получения молочной кислоты путем одностадийной ферментации с одновременным добавлением целлюлозы и микроорганизмов, продуцирующих молочную кислоту, к целлюлозосодержащим веществам. Молочная кислота может быть получена при использовании очищенной целлюлозы, древесных опилок, рисовой соломы, кукурузных стеблей, богассы, обработанной бумаги и т.д. Целлюлозный материал, источник азота, неорганическую соль и питательные вещества суспендируют в воде и суспензию стерилизуют. Добавляют целлюлозу либо культуральную жидкость, экстракт поверхностной культуры микроорганизма *Trichoderma*, выращенного соответственно глубинным или поверхностным способом. Затем вводят предварительно выращенную биомассу продуцента молочной кислоты и сбраживают при 30–35°C, pH 4–6 в течение 2–7 сут. В качестве продуцента используют *Lb. delbrueckii* IF03534, *Lb. plantarum* IF03075, *Rhizopus orizae* IFO5375 [23].

Во Франции предложен способ получения оптически чистой D- или L-молочной кислоты посредством сбраживания питательной среды, содержащей источники углерода и азота, фосфорную кислоту, витамины, нейтрализующий агент. Брожение проводят при помощи микроорганизмов, принадлежащих к роду *Lactobacillus*. Способ отличается тем, что питательная среда содержит в качестве дополнительного источника азота протеализат рыбы [24].

Известен патент на выработку молочной кислоты путем сбраживания раствора маннозы, получаемого гидролизом размолотых орехов пальмы с 3%-й серной кислотой при температуре кипения в течение 6 ч. Полученный таким образом раствор, содержащий от 15 до 30% маннозы, после нейтрализации углекислым кальцием разбавляют в 1,5–2 раза и фильтруют. *Lb. bulgaricum* вводят в кислотный гидролизат для его сбраживания. Образующуюся молочную кислоту нейтрализуют избытком углекислого кальция [25].

В качестве сырья для производства молочной кислоты используют картофельный неочищенный, разведенный, частично осахаренный крахмал. Сбраживание проходит при pH 5,0–7,0, величина которого регулируется добавлением щелочных, аммонийных гидроксидов или карбонатов. Используемые микроорганизмы принадлежат к родам

Lactobacterium, *Streptococcus*, *Pedococcus*, *Bacillus*. Осахаривание крахмала проводят кислотным или ферментативным способом с помощью ферментов амилолитического действия в количестве, достаточном для обеспечения 0,04–2 ед. ферментативной активности на 1 г крахмала, выраженного в сухом веществе [26].

Один из видов дешевого и доступного сырья — молочная сыворотка [27, 28]. Наиболее пригодной культурой в этом случае является *Lb. bulgaricum* [1, 29]. Этот гомоферментативный микроорганизм может превращать более 90% лактозы в молочную кислоту. Культура *Lb. bulgaricum* — менее активный кислотообразователь, однако способна развиваться при сравнительно высокой температуре (45–50°C), когда затруднено развитие посторонней микрофлоры, и за короткое время переводит всю имеющуюся в сыворотке лактозу в молочную кислоту.

Б.Юнеску использовал для сбраживания молочной сыворотки десять штаммов *Lb. bulgaricum* и один штамм *Lb. casei*. В зависимости от применяемых микроорганизмов и цели сбраживания сыворотки время ферментации при pH 4,5 было разным: от 48 ч до 10 дней. Однако длительное сбраживание сыворотки нецелесообразно в промышленных условиях, так как необходимо наличие значительного числа емкостей [30].

Усовершенствованный метод производства молочной кислоты предложен А. Суразинским [31], который применил для сквашивания сыворотки при 42–43°C восемь штаммов молочнокислых бактерий. Для интенсификации процесса сбраживания молочного сахара в сыворотку добавляли 0,2% ростового солода. Профильтрованную жидкость пропускали через колонну с катионообменной смолой и сушили.

Описанный метод ферментации ультрафильтрата сыворотки, полученный при производстве сыра, с помощью бактерий *Lb. bulgaricum* проводили при 42°C, pH 5,9. Показатели ферментации были наилучшими на среде с лактозой. Максимальная продуктивность молочной кислоты 2,7 г/л·ч [32].

В Финляндии предложено использовать ультрафильтрат сыворотки с добавлением дрожжевого экстракта, гидролизата белков казеина или белков сыворотки, кукурузного экстракта. Установлено, что более 70% молочной кислоты, образованной в периодическом процессе, выделяют не растущие клетки, особенно если в среду не внесены добавки [33].

Способ получения молочной кислоты культивированием молочнокислых бактерий на молочной сыворотке с последующей ферментацией, очисткой, концентрированием и осветлением активированным углем целевого продукта предложен в нашей стране [34].

Во Франции разработана установка для непрерывной ферментации молочной сыворотки. Она состоит из ферментатора, ультрафильтратора и электродиализатора для разведения лактозы и молочнокислой соли. Ферментацию ведут при 46°C, pH 5–6 в среде, содержащей 1,2% дрожжевого экстракта. Ультрафильтрацию осуществляют через мембрану площадью 45,4 см². Производительность установки 41 мл/ч [35]. Выращивание *Lb. bulgaricum* в виде непрерывной культуры на ультра-

трафильтрате из сыворотки описано австралийскими авторами [36].

Примесь кукурузной вытяжки и дрожжевого экстракта (1–1,8%) во взаимном соотношении 1:1 оказывает синтетическое воздействие, которое обуславливает выход кислоты.

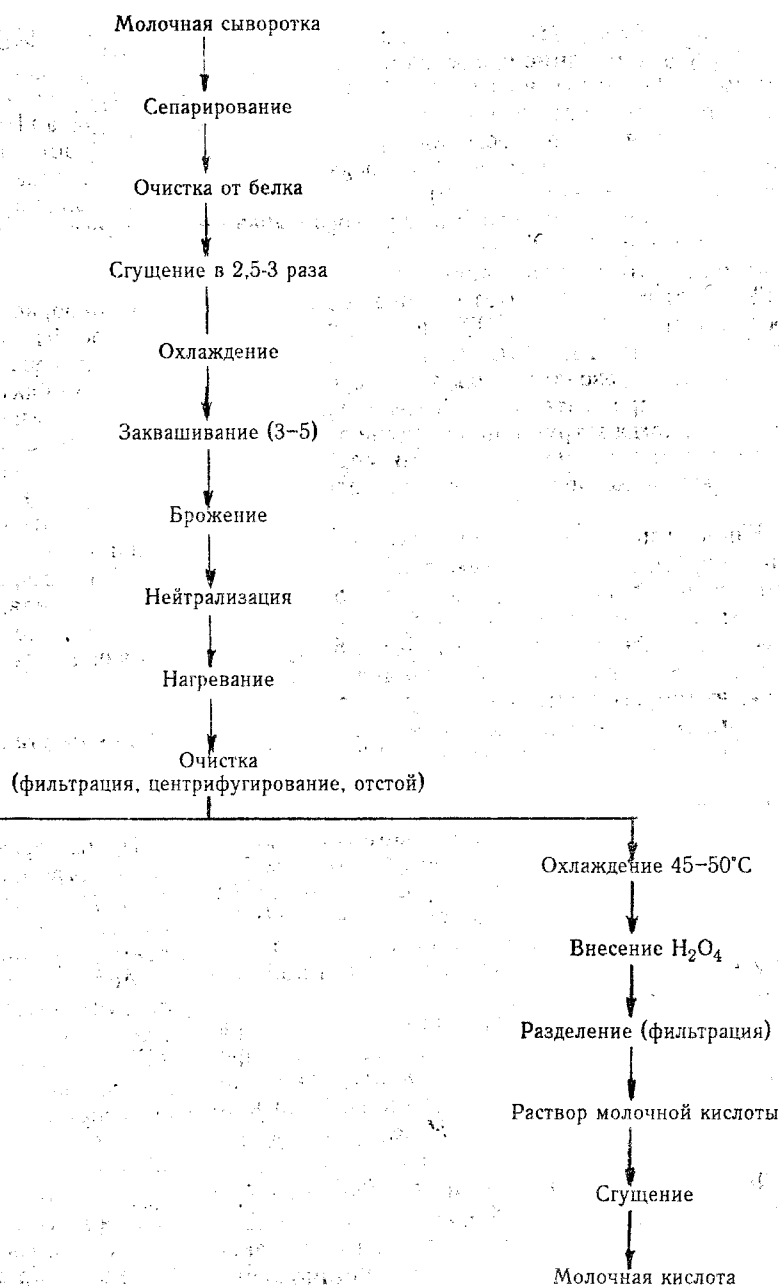
В Голландии [37] сбраживают гидролизованную сыворотку при помощи *Lb. bulgaricum* и *Lb. lactis*. Выход молочной кислоты после 48 ч инкубации получается выше (3,3–3,9%), чем при использовании необработанной сыворотки (2,4–2,5%).

Способы получения молочной кислоты непрерывным сбраживанием недорогого сырья молочнокислыми бактериями разработаны в США. Культуральную жидкость непрерывно удаляют из зоны брожения с последующим выделением клеток микроорганизмов, которые рециркулируют в зону брожения. Бесклеточный поток, содержащий продукт, подвергают контактированию при кислотном pH с жидкостью, состоящей из трет-С₂≥24-триалкиламида и не смешивающегося с водой органического растворителя. Контактное брожение продолжают до извлечения молочной кислоты из протока. Не смешивающаяся с водой жидкость характеризуется коэффициентом распределения > 1,0. Фазу, не смешивающуюся с водой, отделяют от образующейся на стадии контактирования смеси и подвергают контактированию с водным раствором аммиака, твердой щелочью или соединением щелочно-земельного металла [38].

Таким образом, биотехнология молочной кислоты из сыворотки сводится к следующим операциям: пастеризация, охлаждение до температуры брожения, засев культурами микроорганизмов, выделение молочной кислоты [21, 28].

Молочную сыворотку, полученную от выработки продуктов (сыр, творог), сепарируют с целью освобождения от жира, затем пастеризуют при 85–93°C с выдержкой в течение 10–15 мин и подвергают фильтрации. Очищенную от белков сыворотку загружают в чаны (на 80–85% общей емкости) и при температуре, оптимальной для данного штамма микроорганизмов, заквашивают 3–5% закваски. Однако это количество не является строго постоянным и зависит главным образом от активности штамма и запрограммированной продолжительности брожения. Образующаяся при брожении лактозы молочная кислота периодически нейтрализуется известковым молоком или мелом, в результате чего получается лактат кальция. Конец брожения наступает через 3–5 дней. Для ускорения процесса прибегают к обработке ферментами [16], в качестве стимуляторов роста рекомендуется добавлять дрожжевой автолизат [1], солод [39], томатный сок [28], витамины комплекса В — тиамин, рибофлавин, биотин и др.

По окончании брожения сусло нагревают для удаления сывороточных белков. Раствор молочнокислого кальция сливают, фильтруют, обрабатывают для осветления активированным углем, снова фильтруют и упаривают. Лактат кальция кристаллизуют, кристаллы отмывают и в случае необходимости подвергают дальнейшей очистке и сушке. Готовый продукт используется в виде лактата кальция или служит полуфабрикатом для получения молочной кислоты. Ниже приведена технологическая схема процесса производства лактата кальция и молочной кислоты из молочной сыворотки [40].



Исследованиями [41] установлено, что оптимальная концентрация лактозы в сыворотке 7%. При использовании более концентрированной сыворотки (10% лактозы) в конце брожения лактоза выделяется в виде кристаллов и происходит затвердение раствора в трубопроводах для стока. Сбраживание лактозы активируется при добавлении 0,15% дрожжевого автолизата или 0,3% солода. Добавление в процессе брожения карамелизованной сывороточной мелассы резко тормозит или прекращает рост бактерий и образование молочной кислоты. Причиной ингибирования служат соединения меланоидной природы.

При получении молочной кислоты из сыворотки непрерывным способом [42] на скорость образования молочной кислоты существенно влияет тепловая обработка исходного субстрата. Оптимальной оказалась пастеризация сыворотки при 69°C в те-

чение 15-30 мин. В случае автоклавирования сыворотки (160°C в течение 1 мин) приемлемая скорость образования кислоты достигается лишь при внесении органических добавок. Хороший эффект получен при добавлении в сыворотку казеината натрия (5 г/л) или сухого обезжиренного остатка. Кислород воздуха тормозит процесс брожения. Условия образования молочной кислоты оптимальны при 46°C и pH 5,5-6,0.

В связи с тем, что процесс молочнокислого брожения двухфазный, непрерывный способ превращения лактозы сыворотки в молочную кислоту должен быть двухступенчатым. На первой ступени при непродолжительном выдерживании количество бактерий в сыворотке достигнет максимума. На второй ступени кислота будет образовываться при незначительном увеличении количества бактерий в результате возрастающей концентрации ферментов.

Интерес представляет способ получения молочной кислоты с использованием продуцента, который в обычных условиях не вызывает брожения лактозы [43]. По этому способу сыворотку подогревают до 80°C и после охлаждения вносят чистую культуру *Bacillus debruckii*, сахарозу, CaCO_3 и ржаные ростки. Количество вводимого мела составляет 3–5%. Процесс брожения при 35°C длится 10–20 ч.

Основные достоинства биотехнологического метода с применением иммобилизации клеток обусловлены тем, что иммобилизованные клетки — это катализаторы многократного использования, позволяющие создать непрерывнодействующие процессы. Непрерывный процесс производства молочной кислоты иммобилизованными клетками на среде, содержащей сладкое сорго, исследовали в работе [44]. Отобраны высокопродуктивные по молочной кислоте бактерии и наилучший штамм идентифицирован как *Lactobacillus casei* var. *casei*. Количество продуцируемой молочной кислоты и ее чистота соответственно составляют 49 г/л и 98%.

Лактобациллы хорошо выдерживают иммобилизацию в альгенате Са и долго сохраняют способность к образованию молочной кислоты, что позволило разработать проточный процесс получения молочной кислоты с использованием рециркулирования субстрата через колонный биореактор. Выход молочной кислоты составлял 4,8% за 5 ч работы при 90–95% конверсии субстрата в продукт. При традиционной ферментации получают такой уровень конверсии за 4–6 дней, т.е. иммобилизованные клетки ферментируют глюкозу с относительно высокой скоростью.

В альгенате Са и в периодическом режиме культивирования хорошо работали клетки *Lb. pentosus*, сбраживая углеводы сульфитной жидкости. За 70 ч было получено 40 г/л молочной кислоты. *Lb. bulgaricum*, иммобилизованный в том же геле, в рециркулирующем периодическом процессе при ферментации лактозы превращает ее на 55–60% в молочную кислоту. При проточном культивировании получают 37–44% молочной кислоты из 5–10%-го раствора лактозы за 12,5 ч.

Если использовать сыворотку молока и иммобилизованную культуру *Lb. bulgaricum*, то уровень конверсии лактозы в молочную кислоту составляет 70%, а из деминерализованной сыворотки — 80% за 90 ч. С иммобилизованными клетками получали 1,4–2,1% молочной кислоты. Иммобилизованные клетки лактобацилл можно применять как биокатализатор для получения молочной кислоты из разбавленных сточных вод, содержащих гексозы и пентозы, из гидролизатов древесины и побочных продуктов молочной промышленности, а также для предферментации молока [45].

Сравнительное изучение процесса образования молочной кислоты свободными и иммобилизованными клетками показало, что продуктивность иммобилизованных клеток выше при начальной концентрации глюкозы в среде 80 г/л и составляет 1,10 г/л·ч. Продуктивность свободных клеток 0,36 г/л·ч, при культивировании клеток в реакторах колонного типа — 37 г/л·ч [46].

Молочную кислоту выпускают четырех сортов: химически чистую, фармакопейную, пищевую и техническую. Они разнятся степенью чистоты,

концентрацией и, соответственно, способом применения.

Пищевую молочную кислоту изготавливают 68%-й и более слабой концентрации. Применяемая в пищевой промышленности молочная кислота должна иметь высокую степень очистки, особенно в отношении вредных для здоровья веществ.

Для придания некоторым продуктам пищевой промышленности приятного кисло-сладкого вкуса фруктов и ягод добавляют молочную кислоту. Молочная кислота попадает в организм человека со сметаной, творогом, простоквашей, кефиром, сыром, ржаным хлебом и другими продуктами. Кроме вкусового назначения молочная кислота оказывает влияние и на ряд физиологических процессов в организме человека, содействуя осахариванию крахмала и расщеплению жиров, уменьшению образования токсичных продуктов и улучшению усвояемости животного белка [47].

Из отдельных отраслей пищевой промышленности главным потребителем молочной кислоты является кондитерская. Молочная кислота применяется здесь при изготовлении основы для лимонадов, эссенций и сиропов, а также в производстве мармеладов и фруктовых напитков. Нежный вкус молочной кислоты превосходно сочетается с естественным вкусом и ароматом большинства фруктов. Подкисление в виноделии проводят при переработке очень зрелого винограда и других плодов, когда содержание натуральных кислот в них недостаточно и вино получается слабое и темное. Для подкисления "плоских" вин и вин с повышенным содержанием солей также можно применять молочную кислоту. Молочная кислота улучшает вкус сидра, ее добавляют в затор или в сырцевой солод в пивоварении, для снижения кислотности воды до оптимальной величины. При этом увеличивается выход экстрактивных веществ солода, улучшается физиологическое состояние дрожжей.

Благодаря антимикробному действию молочная кислота применяется для консервирования рыбы, маслин и других пищевых продуктов. Она предохраняет от порчи и гниения квашеную капусту, маринады, мясо.

Добавление молочной кислоты или лактата кальция в тесто предотвращает развитие в хлебе картофельной палочки, которая очень чувствительна к кислотности, а при использовании муки низкого качества увеличивает объем мякиша и улучшает корочку хлеба. Благодаря солоноватому привкусу лактата натрия, добавление его в хлебобулочные, кондитерские изделия придает им пикантный вкус [48].

ЛИТЕРАТУРА

1. Залашко М.В. Биотехнология переработки молочной сыворотки. — М.: Агропромиздат, 1990. — 189 с.
2. Воробьева А.И. Промышленная микробиология. — М.: Высшая школа, 1989. — 385 с.
3. Квасников Г.И., Нестеренко О.А. Молочнокислые бактерии и пути их использования. — М.: Агропромиздат, 1975. — 208 с.
4. Бутыренко Т.А. Возможное направление использования молочной сыворотки // Молочная пром-сть. — 1985. — № 9.
5. Болтенков М.В. Производство молочной кислоты в мембранном биореакторе // Молочная пром-сть. Зарубеж. опыт: Экспресс-информ. / ЦНИИТЭИмясомолпром. — 1986. — Вып. 5. — С. 8.
6. Chemical Engineering Importance to bioengineering, Dec., 1984.

7. **Bottazzi V.** Other fermented dairy products // *Biotechnology*. — 1983. — 5. — P. 315-365.
8. А.с. 1113409 СССР. Способ получения молочной кислоты / М.М. Возлинский, М.Н. Силева, Г.И. Буленков, Г.Д. Страхова; Заявл. 15.11.77; Оpubл. 28.05.80 в Б.И. № 19.
9. Пат. 52958 Польша, МКИ С 21P7156. Способ приготовления молочной кислоты из продуктов, содержащих сахара / Б. Юнеску; Заявл. 06.03.89; Оpubл. 15.11.91.
10. *App. Biochem. and Biotechnol.* — 1985. — 11. — № 6.
11. **Никулина И.Д.** Повышение эффективности молочнокислого брожения, выделение и очистка молочной кислоты: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1980. — 30 с.
12. *Микробиология молока* / Э.М. Фостер, Ф.Ю. Нельсон и др. — М.: Пищепромиздат, 1961. — С. 521-524.
13. **Twary V., Mishva N., Pandey A.** Fermentative production of lactic acid in Presence of some trace elements // *The Bact. II abt.* — 1980. — 135. — P. 523-526.
14. *Biotechnol. Lett.* — 1983. — 5. — № 10.
15. Инструкция по биологическому и химическому контролю производства молочной кислоты. — Л.: Высшая школа, 1976. — 217 с.
16. **Петерсон Г.Э.** Промышленное использование микроорганизмов — некоторые современные открытия в области молочного дела // *Тр. 21-го Международ. молочного конгресса*. — 1982. — Т. 2. — С. 230-241.
17. А.с. 1159541 СССР. Способ приготовления концентрата лактата из молочной сыворотки / П.Я. Заринь, Л.Р. Дукальска, А.Р. Микельсоне; Заявл. 14.09.83; Оpubл. 07.06.85 в Б.И. № 21.
18. Электродиализное получение молочной кислоты из молочной сыворотки / В.В. Кошелев, Г.А. Литинская и др. // *Электронная обработка материалов*. — 1988. — № 5. — С. 63-65.
19. **Мосичев М.С., Складнев А.А., Котов В.Б.** Общая технология микробиологических производств. — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. — 264 с.
20. **Смирнов В.А.** Пищевые кислоты (лимонная, молочная, винная). — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1987. — 264 с.
21. **Синкевич Т.В., Ридель К.П.** Молочная сыворотка. Переработка и использование в агропромышленном комплексе. — М.: Пищевая пром-сть, 1983. — 226 с.
22. А.с. 1159541 СССР. Способ приготовления концентрата лактата из молочной сыворотки / П.Я. Заринь, Л.Р. Дукальска, А.Р. Микельсоне; Заявл. 14.09.83; Оpubл. 07.06.85 в Б.И. № 21.
23. Пат. 53-113085 Япония, МКИ С 13 К 1/06. Способ превращения отходов нефтяной промышленности в молочную кислоту / Сэйксу, Япония; Заявл. 17.03.90; Оpubл. 03.05.92.
24. Пат. 2606032 Франция, МКИ С 13 К 5/00. Ионообменные смолы, применяемые для гидролиза лактозы.
25. Пат. 8810789 Франция. Способ получения молочной кислоты из гидролизата орехов пальмы *Phytelephas*.
26. **Насрулаева Р.З., Калунянц К.А., Садова А.И.** Современные микробиологические способы получения лимонной и молочной кислот: Обзорн. информ. / АгроНИИТЭИИП. — М., 1987. — Вып. 3. — 24 с.
27. **Храмцов А.Г., Нестеренко П.Г.** Безотходная технология в молочной промышленности / Под ред. А.Г. Храмова. — М.: Агропромиздат, 1989. — 271 с.
28. **Залашко М.В., Залашко А.С.** Микробный синтез на молочной сыворотке. — Минск: Наука и техника, 1976. — 274 с.
29. **Мюллер Г., Литц Г.Д.** Микробиология пищевых продуктов растительного происхождения / Пер. с нем. А.М. Калашниковой. — М., 1977. — 342 с.
30. **Шиловская Т.Е.** Биологическая обработка сыворотки для использования на пищевые цели: Обзорн. информ. Цельномолочная пром-сть / ЦНИИТЭИ. — М., 1980. — 31 с.
31. **Кравченко Э.Ф., Волкова Т.А., Чикалова О.А.** Состояние и перспективы переработки и использования молочной сыворотки в СССР и за рубежом: Обзорн. информ. / АгроНИИТЭИММП. — М., 1989. — 44 с.
32. **Havlatko F., Knez W.** / *XV Int. Dairy Congr. London*. — 1959. — 2.
33. **Heriban V., Sturdik E.** Fermentacna produkcia Kyseliny mliecnej // *Kras. prum.* — 1989. — 35. — № 11. — S. 328-331.
34. **Храмцов А.Г.** Научно-технические аспекты рационального использования молочной сыворотки // *Молочная пром-сть*. — 1993. — № 2. — С. 2-6.
35. **Cudjoe Kofitsyo Sewornn.** The effect of lactic acid sprays on the keeping qualities // *Int. J. Food Microbiol.* — 1988. — 7. — № 1. — P. 7.
36. **Cox G.C., MacBean R.D.** // *Australian I. of Dairy Technol.* 32, 1977, с. 1, s. 19.
37. **Nijpels H.H.** // *Oesterreichische Milchwirtschaft*, 32, 1977, с. 14, s. 281.
38. **Robinson K.H.** // *Dairy Ind.* — 1981. — 46. — № 6. — P. 15.
39. А.с. 730808 СССР, МКИ А23 С 21100. Способ получения кисломолочного напитка из сыворотки / Р.А. Васильева, М.В. Зюзькова; Заявл. 21.07.89; Оpubл. 30.06.91 в Б.И. № 24.
40. **Храмцов А.Г.** Молочная сыворотка. — М.: Агропромиздат, 1990. — 240 с.
41. **Коваленко М.С.** Переработка побочного молочного сырья. — М.: Пищевая пром-сть, 1965. — 122 с.
42. Пат. 2369680 США, МКИ С13 К 5100. Выделение и очистка лактатов из культуральной жидкости методом электродиализа / Датта Р., США; Заявл. 19.04.88; Оpubл. 05.10.89.
43. **Herman A., Napierala W.** Patent PNR № 52958.
44. **Lawrence R.C., Thomas T.D.** The fermentation of milk by lactic acid bacteria // *Microbiol. technology. Current State, Future prospect*. — 1979. — P. 186.
45. **Lockwood L.B.** Production of organic acids by fermentation // *Microbiol. process*. — 1979. — 1. — P. 356-387.
46. 3rd Eur. Congr. Biotechnol., Munhen, 10-14 Sept., 1984.
47. Переработка и использование молочной сыворотки: Техн. тетр. / А.Г. Храмцов. — М.: Росагропромиздат, 1989. — 271 с.
48. **Kulipers P.K.** Lactic acid // *Int. Food Market and Technol.* — 1988. — № 4. — P. 12-14.

Кафедра технологии молока и молочных продуктов

Поступила 31.05.95