

В. В. АПАРШЕВА, Д. С. ДВОРЕЦКИЙ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
АЛЬГОФЛОРЫ В ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА
ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ И МУЧНЫХ
КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**



Тамбов

◆ Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» ◆

2021

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

В. В. АПАРШЕВА, Д. С. ДВОРЕЦКИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬГОФЛОРЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ И МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Утверждено Учёным советом университета
в качестве учебного пособия для студентов и магистрантов
направлений 19.03.01, 19.04.01 «Биотехнология» и
19.03.02, 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья»
очной и заочной форм обучения



Тамбов

◆ Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» ◆

2021

УДК 664.6
ББК 36.83
А76

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания и товароведения ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ»
О. В. Перфилова

Доктор химических наук, профессор, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Получение и применение полифункциональных наноматериалов»
Т. П. Дьячкова

Апаршева, В. В.

А76 Использование альгофлоры в технологии производства хлебобулочных и мучных кондитерских изделий : учебное пособие / В. В. Апаршева, Д. С. Дворецкий – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – 80 с. – 100 экз.
ISBN 978-5-8265-2391-9

Дано научно-практическое обоснование применения представителей альгофлоры для корректировки пищевой ценности хлебобулочных и мучных кондитерских изделий для здорового питания. Представлены разделы, посвящённые описанию характеристик, химического состава, свойств и основных направлений использования водорослей в пищевом производстве. Рассмотрено влияние микроводорослей на показатели качества сырья и готовых изделий хлебопекарного производства.

Предназначено для студентов и магистрантов направлений 19.03.01, 19.04.01 «Биотехнология» и 19.03.02, 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья» очной и заочной форм обучения.

УДК 664.6
ББК 36.83

ISBN 978-5-8265-2391-9

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ТГТУ), 2021

ВВЕДЕНИЕ

Пищевая отрасль принадлежит к стратегически важному разделу экономики нашего государства, способствующему сохранению и укреплению здоровья нации и обеспечивающему продовольственную безопасность. Немаловажным фактом при этом является ухудшение экологической ситуации и социально-экономических условий, снижение двигательной активности людей, повышение нервно-психической нагрузки на организм человека и др.

Именно поэтому в целях снижения риска возникновения алиментарно-зависимых заболеваний, удовлетворения потребностей людей в качественных, экологически безопасных и доступных продуктах питания перспективной задачей пищевой промышленности сегодня является повышение инновационной активности и внедрение научных знаний в производство.

Современные теоретические и практические аспекты производства продуктов питания доказывают важную роль использования методов и принципов пищевой комбинаторики, нутрициологии и квалитметрического прогнозирования при разработке современных продуктов питания [1 – 3]. Сущность данных подходов заключается в следующем:

- анализ рекомендуемых норм физиологической потребности в энергии и пищевых веществах с учётом гендерной принадлежности, возраста, территории проживания и т.д.;
- использование пищевых и биологически активных добавок, способствующих получению заданных сенсорных и физико-химических показателей качества;
- исследование и оценка предпочтений и привычек потребителей, традиций и национальных особенностей питания.

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что в последние годы население нашей страны всё больше внимания уделяет вопросам питания в целях сохранения, поддержания и улучшения своего физического и психического здоровья, снижения риска возникновения многих заболеваний. При этом многие люди отдают предпочтение привычным продуктам, сбалансированным по микронутриентам, в состав которых входят натуральные компоненты, содержащие вещества с высокой физиологической активностью, и не готовы заменять их на порошки, капсулы или таблетки. Особый интерес вызывают продукты питания, способные так же оказывать терапевтический эффект: улучшение обмена веществ, профилактика алиментарно-зависимых заболеваний и др.

Таким образом, становится очевидным, что производство продуктов для здорового питания посредством совершенствования традиционных технологий, а также разработки продуктов нового поколения невозможно без расширения сырьевой базы пищевых предприятий, внедрения современных методов воздействия и прогрессивных технологий, биотехнологических инноваций.

Развитие и изменение мирового рынка продовольственных товаров, инициативы по поиску натуральных компонентов с высокой пищевой и биологической ценностью заставили обратить внимание на представителей альгофлоры. Несмотря на то, что отдельные виды водорослей традиционно широко применяются в кулинарии некоторых приморских стран, свойства и влияние большинства из них на качество готового продукта остаются к настоящему времени малоизученными и не в полной мере используются для нужд отечественной пищевой промышленности.

В этой связи актуальной научной задачей, представляющей большой практический интерес, является комплексный подход к исследованиям и разработке продуктов питания на основе представителей альгофлоры, и в частности микроводорослей.

Пособие предназначено для студентов очного и заочного отделений и магистрантов направлений: 19.03.01, 19.04.01 «Биотехнология» и 19.03.02, 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья» и позволяет студентам овладеть следующими компетенциями:

- С25 (ПК-2) – знание современных методов получения и переработки биомассы микроводорослей;
- С26 (ПК-2) – умение осуществлять обоснованный выбор технологии и аппаратного оформления технологии переработки биомассы;
- С27 (ПК-2) – владение методами подготовки сырья, переработки и выделения целевого продукта.

1. ВОДОРОСЛИ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЁ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

1.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ АЛЬГОФЛОРЫ

Водоросли представляют собой слоевищные бессосудистые споровые растения, относящиеся к группе низших, содержат хлорофилл. Среди них, наряду с одноклеточными представителями, встречаются колониальные и многоклеточные организмы, а также сифоновые с талломом, не дифференцированным на отдельные клетки. Водоросли имеют следующие типы клеточной организации: прокариотический (сине-зелёные), мезокариотический (панцирные жгутиконосцы или динофлагеллаты) и эукариотический. Места обитания водорослей очень разнообразны: вода, почва, кора деревьев, камни и т.д.

На сегодняшний день насчитывается более 50 тысяч различных видов водорослей. В зависимости от содержащихся пигментов, морфологических признаков и особенностей биохимии фотосинтезирующие организмы подразделяются на царства, подцарства, отделы и классы, представленные в табл. 1.

1. Систематика фотосинтезирующих организмов [4]

Царство	Подцарство	Отдел	Класс
Plantae (Archaeplastida)	Viridiplantae	Зелёные водоросли (Chlorophyta)	–
		Харовые водоросли (Charophyta)	
	Biliphyta	Глаукофитовые (Glaucophyta)	
		Красные водоросли (Rhodophyta)	

Продолжение табл. 1

Царство	Подцарство	Отдел	Класс
Chromista	–	Ochrophyta	Золотистые водоросли (Chrysophyceae)
			Синуровые водоросли (Synurophyceae)
			Жёлто-зелёные водоросли (Xanthophyceae)
			Бурые водоросли (Phaeophyceae)
			Рафидофитовые водоросли (Raphidophyceae)
			Болидофицевые водоросли (Bolidophyceae)
			Диктиохофицевые водоросли (Dictyochophyceae)
			Пелагофицевые водоросли (Pelagophyceae)
Феотамниевые водоросли (Phaeothamniophyceae)			

Царство	Подцарство	Отдел	Класс
Chromista	–	Диатомовые водоросли (Bacillariophyta)	–
		Криптофитовые водоросли (Cryptophyta)	
		Гаптофитовые водоросли (Haptophyta)	
		Miozoa (Alveolata)	Динофлагелляты (Dinophyceae)
		Cercozoa (Rhizaria)	Хлорархниофиты (Chlorarachniophyceae)
Protozoa	–	Эвгленовые водоросли (Euglenophyta)	–

Размеры водорослей колеблются от нескольких микрометров до 60 м. Большинство из них получают энергию в результате фотосинтеза (фототрофы), встречаются так же виды, которые не только используют энергию света, но и поглощают органический углерод (миксотрофы). В процессе фотосинтеза водоросли вырабатывают органические вещества.

Зачастую одноклеточные водоросли образуют колонии, сформированные из большого числа клеток или их особые формы – ценобии. Тело многоклеточных водорослей – слоевище (таллом) не дифференцировано на ткани и органы.

В зависимости от типа клеточной организации клетки водорослей имеют ряд морфолого-анатомических особенностей. Клетка прокариотических водорослей имеет большое количество разнообразных клеточных включений (структурные гранулы, многогранные тела, β-гранулы), однако у неё отсутствуют морфологически оформленное ядро и типичные органеллы. Клетка мезокариотических водорослей содержит ядро, окружённое двухмембранной оболочкой, снабжённой порами.

Хромосомы ядра таких водорослей не содержат гистонов, состоят из микрофибрилл, а синтез дезоксирибонуклеиновой кислоты у них идёт непрерывно. Клетка эукариотических водорослей имеет морфологически оформленное ядро, окружённое оболочкой [5].

О пользе морских водорослей известно очень давно, они нашли применение в качестве источников питания, на их основе изготавливают биологически активные добавки и материалы медико-биологического назначения, широко используют в биотехнологии. Бурые водоросли (Phaeophyta) входят в экологическую группу бентосных организмов, обитающих преимущественно в морских водах. Включают более 1500 видов, из которых практическое применение нашли ламинария (*Laminaria*), саргассум (*Sargassum*), цистозейра (*Cystoseira*), алярия (*Alaria*), нереоцистис (*Nereocystis*), макроцистис (*Macrocystis*) и фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus*). Размеры слоевища таких водорослей составляют от 1 мкм до 40 м и имеют разнообразную форму (нитей: стелющихся или вертикально стоящих; корочек, пластинок, мешков, кустиков). У ряда представителей бурой альгофлоры в структуре таллома присутствуют заполненные газом пузыри.

Химический состав бурых водорослей включает в себя комплекс макро- и микроэлементов (незаменимый источник йода, который обладает хорошей усвояемостью), витаминов (тиамин, рибофлавин, пантатеновая кислота, пиридоксин, фолиевая кислота, цианокобаламин, α -токоферол, инозитол, липоевая кислота, биотин, никотинамид, цианцин, аскорбиновая кислота, каротин, холин и др.), белков, липидов, пигментов (хлорофилл (зелёный), фикофеин (синий), фикоэритрин (красный) и фикоксантин (бурый)), полифенольных веществ, углеводов (альгиновые кислоты, фукоидан, маннит и др.). Организм человека способен легко усваивать содержащиеся в них минеральные элементы, которые представлены нерастворимыми солями и частично металлоорганическими соединениями. Препараты, полученные на основе бурых водорослей, обладают свойством укрепления иммунной и нервной систем человека, зубной эмали, волос и ногтей; замедляют процессы старения и стабилизируют пищеварение, а также местное кровообращение и обменные процессы в клетках; используются для профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний, рахита, остеопороза, атеросклероза и тромбофлебита [6].

Типичным представителем бурых водорослей является ламинария (*Laminaria*). Таллом данного представителя альгофлоры имеет вид цельной или рассечённой пластинки без отверстий, в нижней части которой имеются ризоиды. Поверхность – ровная или морщинистая. Длина может достигать от 0,1 до 20 м. Размножение – бесполое (зооспоры) и половое. Благодаря содержанию белковых веществ ($\approx 11\%$),

крахмала ($\approx 14\%$), клетчатки ($\approx 5,9\%$), пентозанов ($\approx 6,5\%$), манита ($\approx 16,3\%$), альгиновых кислот ($\approx 16,3\%$), витаминов (группы В, А, D, К, аскорбиновая кислота, токоферол, ниацин) и минералов (состав идентичен составу крови человека) ламинария широко используется в медицине и пищевой промышленности.

Бурая водоросль араме (*Eisenia bicyclis*) или «морской дуб» встречается у побережья Японии и Республики Корея. Представляет собой два овальных разветвлённых или оперённых листа, расположенных на древесной ножке высотой до 1 м. Является источником минеральных веществ (кальций, йод, железо, магний и др.), витаминов, полисахаридов уникальной структуры (альгиновые кислоты, ламинараны и фукоиданы). Экстракт, полученный на основе водоросли араме, используется для лечения стафилококковых инфекций. Извлечённые из водоросли полисахариды обладают противоопухолевым эффектом и оказывают иммуностимулирующее действие на организм человека.

В водах Китая, Японии, Кореи, а на сегодняшний день, так же в США, Великобритании, Франции, Италии, Испании, Аргентины, Австралии и Новой Зеландии произрастает вид многолетних бурых водорослей из рода ундарий – ундария перистая (*Undaria pinnatifida*), или вакамэ, или миёк. Её слоевище имеет вид пластины с большим количеством криптостомов. Пластина перисто рассечена на округлые притуплённые доли, содержит срединное ребро. Длина водоросли может достигать 2 м. Окраска варьируется от желтовато-зелёного до оливкового или тёмно-коричневого цветов.

Водоросль богата пищевыми волокнами, аминокислотами, омега-3 жирными кислотами, минеральными веществами (йодом, кальцием, железом, медью, магнием, фосфором и др.), витаминами (С, А, Е, К, группы В, фолиевой кислотой и др.) и пигментами (фукоксантином). Ундария перистая способствует нормализации уровня холестерина в крови, профилактике и лечению заболеваний щитовидной железы, нарушений перистальтики кишечника, сердечно-сосудистых заболеваний; улучшает состояние волос и ногтей.

Представители бурых морских водорослей семейства Sargassaceae – хизики (*Sargassum fusiforme*) или хиджики, достигающие в длину 1 м. Слоевище водоросли представляет собой разветвлённые нити. Хиджики содержат белки, жиры, углеводы, богаты жирорастворимым витамином А и водорастворимыми витаминами группы В, а также макро- и микроэлементами: кальцием, магнием, калием и йодом. Входящий в состав водоросли пигмент фукоксантин оказывает противовоспалительное действие. Употребление хиджики в пищу способствует укреплению иммунитета, профилактике анемии, остеопороза и болезней

щитовидной железы, благоприятно влияет на обменные процессы в организме, а также сердечно-сосудистую и нервную системы.

К семейству саргассовых относится также бурая водоросль саргассум (*Sargassum*) или «морской виноград». Её слоевище имеет форму куста с ветвями, на концах которых располагаются одиночные воздушные пузыри. Размножение происходит бесполом (вегетативным) и половым путями.

Саргассум содержит белок, липиды, полисахариды (альгинаты, фукоиданы, обладающие противоопухолевым, противовоспалительным и иммуномодулирующим действиями), витамины. Минеральный состав водоросли представлен кальцием, калием, натрием, магнием, никелем, железом, йодом и др. Саргассум проявляет антиоксидантные, жаропонижающие, болеутоляющие и противовоспалительные свойства, может использоваться как противовирусное и иммуномодулирующее средство.

Повсеместно распространённый представитель альгофлоры – фукус (*Fucus*), представляет собой бурые, разделённые на две части, ветвящиеся пластинки длиной до 2 м. На жилках ветвей расположены специальные углубления, в которых расположены половые органы: антеридии и оогонии. В результате слияния в воде сперматозоидов и яйцеклеток образуется зигота, которая затем прорастает в новую водоросль.

По содержанию полезных органических веществ фукус превосходит многие овощи и фрукты. В его состав ходит весь спектр витаминов, минералы (железо, йод, марганец, цинк, калий, кальций и др.), полиненасыщенные жирные кислоты и фукоидан (обладает противовоспалительным и противовирусным свойствами). Содержание белковых веществ составляет в среднем 5,3, крахмала – 4,3, клетчатки – 4,5, пентозанов – 24,8, манита – 1,3, альгиновых кислот – 24,6%. Это морское растение используется для профилактики и лечения заболеваний щитовидной железы, отёков тканей, детоксикации и очищения организма, способствует снижению холестерина в крови, нормализует минеральный обмен, обладает диуретическим эффектом.

Немаловажное значение для промышленности имеют представители красных водорослей (*Phodophyta*), среди которых выделяют анфельцию (*Ahnfeltia*), филофору (*Phyllophora*), порфиру (*Porphyra*), фурцеллярию (*Furcellaria*), гелидиум (*Gelidium*).

Съедобные красные морские водоросли рода хондрус (*Chondrus*) – хондрус курчавый (*Chondrus crispus*) или ирландский мох распространены вдоль побережий Ирландии и США. Таллом водоросли имеет веерообразную форму (длина – до 15 см, ширина – до 10 см). Ножка – сжатая, узкая, может образовывать отростки.

Ирландский мох содержит много важных для человека органических соединений, из которых основными являются углеводы, фолиевая кислота, рибофлавин, железо, магний, фосфор, цинк, медь, марганец и кальций. Ещё в XIX веке отвары из этой водоросли использовали в народной медицине в целях лечения простудных заболеваний. В настоящее время продукты переработки хондуса курчавого применяют для лечения и профилактики анемии, болезней мочевого пузыря, щитовидной железы, расстройств эндокринной системы и кишечника, бронхитов и других заболеваний.

Красная водоросль родимения (*Rhodymenia*) получила свою окраску благодаря наличию в составе пигмента – фикоэритрина. Слоевище красной водоросли имеет псевдопаренхимное строение и представляет собой пластину, которая может иметь ветви. Поверхность и края пластины, как правило, гладкие и ровные. Пластина соединена с цилиндрическим стебелем, который дисковидной подошвой прикрепляется к подводному субстрату. Размножение родимении может происходить как вегетативным, так и половым путями. Данный представитель альгофлоры является ценным пищевым продуктом, содержащим белок, полисахариды (агар, каррагинин, агароиды), витамины (α -каротин, β -каротин, витамины группы В, аскорбиновую кислоту, токоферол и др.) и минеральные вещества (кобальт, фосфор, селен, кремний, натрий, кальций, калий, магний, железо, йод, марганец, медь, хром, цинк и др.). Установлено ингибирующее влияние родимении на развитие вирусов, бактерий и грибов. Водоросль обладает противоопухолевым и противовоспалительным свойствами, нормализует работу поджелудочной железы и желудочно-кишечного тракта; является хорошим источником йода, который участвует в процессах выработки гормонов щитовидной железы и служит для профилактики у детей эндокринных заболеваний, характеризующихся задержкой психомоторного и физического развития.

Зелёные водоросли (внетаксономическая категория, *Chlorophyta*) включают около 25 000 видов, которые имеют неоднородный химический состав, различную форму, размеры, строение и способы размножения. Зелёные представители альгофлоры содержат белки (около 45%, включая бикарбоновые кислоты, аланин, аргинин, лейцин и др.), углеводы (около 35%), в незначительных количествах липиды (около 10%), минеральные вещества (особенно богаты кальцием, железом и йодом, содержат также цинк, медь, кобальт и др.). Пигментный состав этих водорослей представлен хлорофиллом- α и хлорофиллом- β , каротиноидами (β -каротин, лютеин, виолаксантин, зеаксантин и др.). Все виды зелёных водорослей являются природными антиоксидантами, способствуют выведению из организма вредных веществ [6].

Слоевище многоклеточной зелёной водоросли ульва (*Ulva*) или «морской салат» имеет вид цельной, рассечённой или ветвистой пластины, в структуре которой различают два ряда прилегающих друг к другу клеток. Длина составляет от 0,3 до 1,5 м. Крупные клетки с ризоидами располагаются в основании таллома, образуя плотную подошву. Размножение – бесполое и половое.

Ульва содержит комплекс натуральных питательных веществ: белки, около 19 свободных аминокислот, часть из которых являются незаменимыми; полисахариды, растительные волокна, полиненасыщенные жирные кислоты, ферменты, витамины (А, С, группы В и др.), макро- и микроэлементы (йод, никель, марганец, железо). Данный представитель альгофлоры используется при лечении рахита, склероза и сосудистых заболеваний, способствует снижению веса, укрепляет иммунитет, нормализует обмен веществ в организме [7].

В странах юго-восточной Азии культивируют морскую зелёную водоросль семейства *Monostromataceae* – монострому (*Monostroma*). Распространена она и в нашей стране на Дальнем Востоке. Таллом водоросли пластинчатой или мешковидной формы зелёного цвета, имеет длину от 2 до 15 см. Размножение – бесполое и половое. Химический состав моностромы представлен белками, жирами, полисахаридами, жирорастворимыми (А) и водорастворимыми (С, группы В) витаминами, минеральными веществами. Водоросль обладает ранозаживляющим и общеукрепляющим свойствами [7].

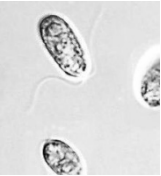
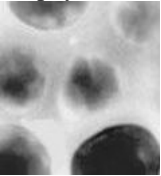
В настоящее время особый интерес вызывают микроводоросли – группа организмов с фототрофным типом питания, представленная многочисленными видами. Качественные и количественные характеристики многих представителей микроальгофлоры пока остаются малоизученными. Известно, что микроводоросли обладают высокой скоростью воспроизводства и способны продуцировать значительные количества метаболитов с ценными для человека свойствами (простейшие белки, аминокислоты, витамины, минеральные вещества, антиоксиданты, онкопротекторы и т.д.). Решение о перспективности их промышленного культивирования было сформулировано немецкими учёными в период Второй мировой войны. Именно в это время была предпринята попытка синтеза пищевых масел из диатомовых водорослей. А в период нефтяного кризиса (1978 г.) начал развиваться промышленный биосинтез представителей микроальгофлоры в целях производства биотоплива.

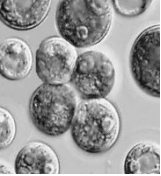
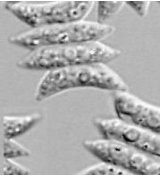
На сегодняшний день более чем в 60 странах мира (Австралия, Канада, Китай, США, Япония, Франция и др.) активно развивается индустрия производства биологически активных добавок на основе микроводорослей. Наиболее широко в настоящее время используются представители микроальгофлоры родов *Arthrospira*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Porphyridium*, *Haematococcus*, *Scenedesmus*, *Nostoc* и др.

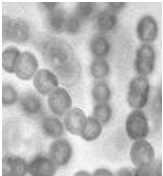
[8, 9]. Их таксонометрические показатели представлены в табл. 2. При этом ежегодно растёт число продуцентов-микроводорослей и спектр синтезируемых на их основе биологически ценных веществ.

2. Таксонометрия микроводорослей [4, 5]

Внешний вид под микроскопом	Отдел, класс, порядок, семейство, род	Краткая морфология и описание
<p>Arthrospira</p> 	<p>Цианобактерии (Cyanobacteria); синезелёные (Cyanophyceae); осцилляториевые (Oscillatoriales); формиевые (Phormidiaceae); спиролина (Arthrospira, Spirulina)</p>	<p>Спирулина состоит из тонких прозрачных клеток, соединённых друг с другом в виде нитевидной спирали сине-зелёного цвета. Известно около 15 различных форм спирали, вплоть до появления прямых трихомов. Размер клеток – 2...16 мкм. Размножение – вегетативное, фрагментами трихомов</p>
<p>Chlorella</p> 	<p>Зелёные водоросли (Chlorophyta); зелёные или равножгутиковые водоросли (Chlorophyceae, Isokontae); хлорококковые или протококковые (Chlorococcophyceae, Protococcophyceae); ооцистовые (Oocystaceae); хлорелла (Chlorella)</p>	<p>Клетка состоит из целлюлозной оболочки, цитоплазмы и ядра. Форма – шаровидная, диаметр – 2...10 мкм. Содержит один пристенный хлоропласт с пиреноидом или без него и одно ядро. Хлоропласты Chlorella содержат хлорофилл-α и хлорофилл-β, которые обеспечивают эффективный фотосинтез, улавливая и аккумулируя более 70% энергии солнечного света для выработки органических веществ. Типичный фотоавтотроф. Для роста и развития клетки необходимы естественное или искусственное освещение, вода, минеральные вещества, углекислый газ и кислород. Размножение бесполое – автоспорами</p>

Внешний вид под микроскопом	Отдел, класс, порядок, семейство, род	Краткая морфология и описание
<p>Dunaliella</p> 	<p>Зелёные водоросли (Chlorophyta); хлорофициевые (Chlorophyceae); хламидомонадовые (Chlamydomonadales); дуналиелловые (Dunaliellaceae); дуналиелла (Dunaliella)</p>	<p>Форма клетки различная: овальная, яйцевидная, грушевидная, шаровидная, цилиндрическая и др., лишена целлюлозной или пектиновой оболочки, длина – 2,8...40 мк, ширина – 1,5...20 мк. Представляет собой галофильный фотоавтотрофный микроорганизм. В благоприятных условиях клетки имеют зелёную окраску различных оттенков, а в неблагоприятных – жёлтый, бурый, оранжевый или ярко-красный цвета. Форма хлоропласта микроводоросли, как правило, чашевидная с тонкой структурой. Хлоропласт с пиреноидом и глазком. Клетка окружена оболочкой, образованной протоплазматической мембраной; содержит два жгутика. Размножается половым и бесполом способами</p>
<p>Porphyridium</p> 	<p>Красные водоросли (Rhodophyta); бангиевые (Bangiophyceae); порфиридиевые (Porphyridiales, Porphyridiaceae); порфиридиум (Porphyridium)</p>	<p>Клетка микроводоросли имеет один хлоропласт красного или сине-зелёного цвета. Форма – округлая, клетки часто собраны в слизистые колонии. Размножается делением</p>

Внешний вид под микроскопом	Отдел, класс, порядок, семейство, род	Краткая морфология и описание
<p>Наematococcus</p> 	<p>Зелёные водоросли (Chlorophyta); зелёные водоросли (Chlorophyceae, Euchlorophyceae); вольвоксовые (Volvocales); гематококкус (Naematococcus, Naematococcaceae)</p>	<p>Форма клетки – шарообразная или эллипсоидная. В благоприятных условиях клетки имеют зелёную окраску, а в стрессовых – красную. Имеют три вида клеток: зооспоры (крупные подвижные двухжгутиковые клетки); пальмеллы (неподвижные зелёные клетки, без жгутиков, обладают способностью к делению и восстановлению монадной структуры) и апланоспоры (неподвижные круглые клетки). Форма пластид – в виде чашечки, трубчатая или перфорированная, с одним или двумя пиреноидами. Ядро, как правило, центральное; большое количество сократительных вакуолей. Размножение – бесполое (путём деления вегетативных клеток на зооспоры) и половое (изогамный тип)</p>
<p>Scenedesmus</p> 	<p>Зелёные водоросли (Chlorophyta); зелёные водоросли (Chlorophyceae); хлорококковые, протококковые (Chlorococcales, Protococcales);</p>	<p>Клетки микроводоросли образуют ценобии (особая форма колонии), расположены линейно или в два или три ряда. Форма – сферическая или округлая, вытянутая, веретенообразная или удлинённо-веретенообразная; поверхность – гладкая или с выростами (в форме зубчиков, бородавочек, шипиков, шипов).</p>

Внешний вид под микроскопом	Отдел, класс, порядок, семейство, род	Краткая морфология и описание
	Сценедесмовые (Scenedesmaceae); сценедесмус (Scenedesmus)	Внешние отличия клеток ценобия дополняются отсутствием синхронности ядерных делений. Клетки одноклеточные. Хроматофор пластинчатой формы, занимает всю полость клетки; в центре его расположен пиреноид. Размножение бесполое – автоспорами
<p>Nostoc</p> 	Цианобактерии (Cyanobacteria); гормогониевые (Hormogoniophyceae); ностоковые (Nostocales); носток (Nostoc)	Форма клетки – шаровидная или эллипсоидная, реже приплюснутая. Образует сложные колонии. Их цвет в сухом состоянии чёрный, во влажном – чёрно-оливково-зелёный, размер от 0,5 мм до 0,5 м. Размножается гормогониями, посредством фрагментации трихомов, а также почкованием колоний

Arthrospira представляет собой свободно плавающую спиральную нитевидную цианобактерию. Микроводоросль характеризуется цилиндрическими многоклеточными цепочками соединённых между собой клеток в левозакрученной спирали. Для роста и развития ей необходимы высокая температура (способна выживать при температуре до 60...70 °С) и освещённость. Спирулина (популярны два вида: *Arthrospira platensis* и *Arthrospira maxima*) занимает лидирующее положение на рынке микроальгофлоры и является самой массовой культурой. Известность эта микроводоросль получила после положительного опыта её использования в качестве пищевой добавки для питания космонавтов.

Благодаря тому, что стенка клетки микроводоросли является достаточно хрупкой, облегчается её переваривание организмом человека. Препараты, полученные на основе спирулины, обладают иммуномоделирующим эффектом, снижают содержание холестерина в крови, нор-

мализуют деятельность желудочно-кишечного тракта, применяются для лечения и профилактики опухолей, инфекционных заболеваний, вызываемых вирусами из семейства герпесвирусов и Orthomyxoviridae [10, 11]. *Chlorella* является самым распространённым представителем зелёных одноклеточных микроскопических водорослей. Она существует на Земле с древнейших времён. Впервые о ней упоминается в научных трудах голландского микробиолога М. В. Бейеринка в 1890 г. На сегодняшний день известно, что род *Chlorella* включает несколько видов: *Chlorella vulgaris* Beyerink, *Chlorella infusionum* Beyerink, *Chlorella parasitica* Brandt, *Chlorella conductrix* Brandt, *Chlorella actinosphaerii* Averinzew [12]. Наиболее широко распространён в природе вид *Chlorella vulgaris*: встречается в водоёмах, на поверхности почвы, деревьев и т.д.

Dunaliella является представителем одноклеточных фотоавтотрофных зелёных водорослей, обитающих в высококонцентрированных солевых водоёмах.

Porphyridium относится к одноклеточным красным водорослям. Порфириум используется как пищевая добавка, а извлечённые из её биомассы ненасыщенные жирные кислоты и пигмент В-фикоэритрин (класс фикобилипротеинов, нетоксичный, с редким оттенком красного цвета) являются перспективным сырьём для пищевой промышленности [8, 13, 14].

Naematococcus – вид пресноводных одноклеточных, двужгутиковых, одноядерных микроводорослей. Клетки окружены яйцевидной, эллипсоидной, эллипсоидно-цилиндрической или шаровидной клеточной оболочкой. Содержащийся в микроводоросли пигмент астаксантин способствует снижению риска развития атеросклероза, оказывает противовоспалительное действие, используется при лечении диабета, заболеваний органов зрения, благоприятно влияет на метаболизм человека и кровеносную систему, обладает противораковым действием.

Scenedesmus представляет собой пресноводную зелёную микроводоросль, насчитывает около 100 различных видов. Обитает в пресной воде.

Nostoc – нитчатая колониальная микроводоросль. Насчитывает около 50 видов, распространённых как в воде, так и на суше. Колонии микроводоросли имеют различные размеры, формы и консистенции (студенистые, мягкие или с крепкой поверхностью).

1.2. КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ

Представители микроальгофлоры представляют собой фотосинтезирующие одноклеточные микроорганизмы, которые очень разнообразны

разны и насчитывают более сотни тысяч различных видов, обладающих уникальными свойствами и элементным составом. Распространены микроводоросли повсеместно, благодаря способности адаптироваться к различным средам. Их химический комплекс представлен $\approx 20\text{...}60\%$ липидов, $\approx 60\text{...}70\%$ белка, $\approx 15\text{...}60\%$ углеводов и $\approx 5\%$ остальных соединений.

Белки представляют собой органические вещества, «мономерные звенья» которых состоят из аминокислот. Именно они обеспечивают организм человека незаменимыми аминокислотами и служат строительным материалом. Микроводоросли являются перспективным источником для производства белка. Так, *Spirulina maxima* способна синтезировать до $60\text{...}71\%$ белка; *Spirulina platensis* – $46\text{...}63\%$; *Synechococcus* sp. – 63% ; *Aphanizomenon flos-aquae* – 62% ; *Chlorella vulgaris* – $40\text{...}62\%$; *Euglena gracilis* – $39\text{...}61\%$; *Chlorella pyrenoidosa*, *Diacronema vlkianum*, *Dunaliella salina* – 57% ; *Anabaena cylindrical* – $43\text{...}56\%$; *Isochrysis galbana* $50\text{...}56\%$; *Scenedesmus obliquus* $50\text{...}56\%$; *Tetraselmis maculate* – 52% и т.д. [8, 15]. В то же время такие традиционно используемые россиянами в пищу продукты, как говядина, куриное мясо и соя, содержат соответственно $17,4$; $19\text{...}24$ и 36% белков.

Важно отметить, что внутриклеточный белок некоторых видов микроводорослей обладает низкой биодоступностью, например, *Chlorella*. Это связано со строением клеточной стенки, которая содержит вещества, устойчивые к воздействию ферментов. Такие виды микроводорослей подвергают предварительной обработке (СВЧ-излучение, сушка, воздействие химических веществ и т.д.), позволяющей дезинтегрировать клеточную стенку и сделать белок более доступным. В то же время коэффициент усвояемости человеческим организмом белка *Spirulina platensis* составляет более 95% .

Жиры представляют собой органические соединения, включающие сложные эфиры глицерина и сложных карбоновых кислот. Наряду с белками и углеводами, они являются важной неотъемлемой составляющей питания человека, обеспечивая энергетический обмен и защитные функции организма. Содержание липидов у различных представителей микроальгофлоры может варьироваться от 3 до 80% ; например, в биомассе микроводоросли *Botryococcus Braunii* обнаружено 75% жиров, *Scenedesmus dimorphus* – $16\text{...}40\%$; *Euglena gracilis* – $22\text{...}38\%$; *Prymnesium parvum* – $22\text{...}38\%$; *Chlorella vulgaris* – $14\text{...}22\%$; *Chlamydomonas reinhardtii* – 21% ; *Spirogyra* sp. – $11\text{...}21\%$; *Chaetoceros calcitrans*, *Haematococcus pluvialis* – 15% и т.д. [15]. Некоторые виды микроводорослей содержат сложные эфиры высших жирных кислот и спиртов (нейтральные липиды): *Dunaliella salina* – 30% , *Nannochloropsis* – $23\text{...}58\%$, *Haematococcus pluvialis* – $50\text{...}59\%$, *Neochloris oleoabundans* – $23\text{...}73\%$, *Isochrysis* – 80% и т.д. [15].

Микроводоросли содержат насыщенные (миристиновая (C_{14:0}), пальмитиновая (C_{16:0}) и др.), мононенасыщенные (олеиновая (C_{18:1}), а также полиненасыщенные жирные кислоты. Биомасса таких микроводорослей как, например, *Chlorella vulgaris*, *Isochrysis galbana*, *Nannochloropsis oculata*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Cryptocodinium cohnii*, *Schizochytrium limacinum* и др., включает важные для человеческого организма омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, способствующие профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, инсульта и психических расстройств, проявляющие противовоспалительный гипотензивный и липотропный эффекты [15]. При этом многие микроводоросли содержат именно незаменимые, т.е. не синтезируемые в организме жирные кислоты класса омега-3: эйкозапентаеновую (*N. oculata*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Nitzschia* sp., *C. vulgaris* и др.), докозагексаеновую (*C. cohnii*, *Schizochytrium* sp. и др.).

В клетках микроводорослей *Arthrospira platensis* (синтезирует γ -линолевую кислоту), *Porphyridium cruentum* (синтезирует арахидоновую кислоту) обнаружены омега-6 полиненасыщенные жирные кислоты, которые играют важную роль в метаболизме человека, благоприятно влияют на состояние костей, кожи и волос [15].

Таким образом, полиненасыщенные жирные кислоты, синтезируемые некоторыми представителями микроальгофлоры, могут стать перспективным аналогом рыбьему жиру, производство которого ограничено рядом факторов: экологических, лимитирующих (нормы улова) и экономических (стоимость сырья).

Углеводы представляют собой широкий класс органических веществ, включающих карбонильную и гидроксильную группы. Функции углеводов в организме очень разнообразны. По содержанию углеводов наиболее популярные в настоящее время виды микроводорослей можно расположить в следующем порядке: *Spirogyra* sp. – 33...64%; *Porphyridium cruentum* – 40...57%; *Scenedesmus dimorphus*, *Scenedesmus quadricauda* – 21...52%; *Prymnesium parvum* – 25...33%; *Diacronema vlkianum*, *Dunaliella salina* – 32 %; *Anabaena cylindrical* – 25...30%; *Chaetoceros calcitrans*, *Haematococcus pluvialis* – 27%; *Chlorella pyrenoidosa* – 26%; *Aphanizomenon flos-aquae* – 23% и т.д. [15].

Микроводоросли содержат ценные для пищевой промышленности пигменты фикоэритрин и фикоцианин, используемые в качестве натуральных безопасных для человеческого организма красителей, например, в производстве жевательной резинки или желе. Эти красные белковые пигменты относятся к группе фикобилипротеинов, они принимают участие в химических процессах преобразования световой энергии в энергию химических связей органических веществ микроводорослей. В настоящее время в качестве продуцентов фикобилипро-

теинов используют микроводоросли *Arthrospira platensis*, *Porphyridium* и *Rhodella*. Пигмент фукоксантин содержится в бурых съедобных морских водорослях *Sphaerotrichia Divaricata* и относится к группе каротиноидов. Обладает противовоспалительным свойством, используется для профилактики болезней, связанных с нарушением обмена веществ.

Используемые в промышленности пигменты синтезируют также *Dunaliella salina* и *Haematococcus pluvialis*.

Для нормального функционирования человеческого организма необходимы витамины, большинство из которых являются незаменимыми. Микроводоросли могут синтезировать β -каротин, тиамин, пантотеновую и фолиевую кислоты, биотин, кабаламин, токоферол, филлохинон и др.

Натуральные органические пигменты – каротиноиды могут продуцировать только высшие растения, представители альгофлоры, грибы и некоторые виды бактерий. Наиболее важными среди каротиноидов являются β -каротин, α -каротин, ликопен, лютеин, зеаксантин, β -криптоксантин, α -криптоксантин, γ -каротин, нейроспорен, фитофлуен и фитоен. Все они обладают сильными антиоксидантными свойствами.

Жёлто-оранжевый пигмент β -каротин, относящийся к классу каротиноидов, является предшественником витамина А. Широко известны его антиоксидантные и иммуномодулирующие функции. Провитамин А является составным элементом основного зрительного пигмента родопсина, способствует восприятию цвета глазом. Необходим он также для обеспечения здоровья кожи и нормального развития клеток слизистых оболочек.

Лютеин представляет собой жёлтый пигмент, принадлежащий к семейству кислородосодержащих каротиноидов, известных как ксантофиллы. В человеческом организме этот пигмент не синтезируется, поэтому должен поступать с продуктами питания. Лютеин входит в состав зрительных пигментов человека, предотвращает слепоту и способствует профилактике глазных и сердечно-сосудистых заболеваний. Продуцентами лютеина выступают такие представители микроальгофлоры, как *Muriellopsis* sp., *Scenedesmus almeriensis*, *Chlorella protothecoides* и др.

Определённые микроводоросли (*Dunaliella salina*, *Arthrospira platensis* и др.) способны накапливать β -каротин, содержание которого в клетках продуцента значительно превышает его концентрацию в традиционно используемых для его производства овощах и фруктах.

Многие представители микроальгофлоры, например, *Tetraselmis* sp., богаты витамином В₁ (тиамин). Тиамин участвует в метаболизме

глюкозы и обеспечивает нормальное функционирование центральной нервной и мышечной систем, в том числе сердца. Обеспечивает снижение раздражительности и утомляемости, способствует профилактике бессонницы, полиневрита и болезни бери-бери.

Витамин В₂ (рибофлавин) принимает участие в метаболизме жиров и отвечает за образование гемоглобина. Рибофлавин необходим для защиты внутренней оболочки глаза, обеспечивает остроту зрения и правильное цветовое восприятие. Микроводоросли способны продуцировать данный витамин, особенно богата им *Pavlova pinguis*.

В организме человека витамин В₅ (пантотеновая кислота) принимает участие в производстве клеток крови, стимулирует рост и жизнедеятельность бифидобактерий в кишечнике, влияет на метаболизм белков, жиров и гормонов коры надпочечников. Пантотеновая кислота содержится в таких микроводорослях, как *Tetraselmis suecica*, *Chlorella vulgaris* и др.

Витамин В₇ участвует в метаболизме углеводов и жиров, оказывает положительное влияние на состояние и рост волос, ногтей и здоровье кожи. Лишь небольшая часть представителей микроальгофлоры являются аукоотрофами по биотину, к ним относятся *Dictyostelium discoideum*, *Entamoeba histolytica*.

Большинство представителей микроальгофлоры содержат в несколько раз больше витамина В₉ (фолиевая кислота), чем большинство фруктов. Фолиевая кислота необходима для формирования новых клеток в организме человека, она участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот и способствует усвоению кобаламина.

Витамин В₁₂ содержится преимущественно в продуктах животного происхождения, растительное сырьё содержит неактивные его формы. В состав этого витамина входит микроэлемент кобальт. В₁₂ участвует в обмене аминокислот, необходим для нормального развития функционально ведущей ткани нервной системы человека, способствует профилактике рака груди и малокровия. Некоторые виды микроводорослей богаты кобаламином, например, *Spirulina sp.*, *Chlorella sp.*, *Pleurochrysis carterae* и др. Встречаются также аукоотрофные к витамину В₁₂ представители микроальгофлоры.

Жирорастворимый витамин Е (токоферол) представляет собой мощный антиоксидант. Он участвует в неэнзиматических ингибирующих окисление реакциях, встраивается в мембраны клеток и крошечных клеточных структур, защищает организм от действия активных форм кислорода и свободных радикалов. Токоферол способствует усвоению β-каротина, служит для профилактики сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, обеспечивает нормальное функционирование мышечной системы человека. Определённые представители

микроальгофлоры содержат витамин E (*Arthrospira platensis*, *Dunaliella tertiolecta*, *Synechocystis* sp., *Nannochloropsis oculata*, *Tetraselmis suecica*, *Euglena gracilis*, *Dunaliella salina*, *Isochrysis galbana*, *Diacronema vlkianu*, *Chlorella*, *Clamydomonas* и *Ochromonas*), а отдельные штаммы *Eleginus gracilis* и *Dunaliella tertiolecta* способны вырабатывать высокие концентрации α -токоферола.

Для профилактики остеопороза и сердечно-сосудистых заболеваний человеческому организму необходим жирорастворимый витамин филлохинон. Представители микроальгофлоры продуцируют биодоступный витамин K₁, особенно богата им микроводоросль *Anabaena cylindrical*.

При этом большой интерес в последнее время вызывают представители микроальгофлоры, способные продуцировать ценные для пищевого производства и человеческого организма вещества. Поэтому для обеспечения рентабельности пищевой продукции с внесением микроводорослей и удовлетворения спроса потребителей очень важен выбор конкретного вида представителя микроальгофлоры.

Arthrospira обладает высокой биологической активностью и пищевой ценностью: содержит до 46...71% белка; 8...16% углеводов, 4...9% липидов, антиоксиданты (включая синий пигмент фикоцианин, способный замедлять окислительные процессы, приводящие к старению организма; стимулирует рост клеток и повышает иммунитет), витаминов группы B, токоферол, ниацин и другие вещества [15]. Белок спирулины легкоусвояемый, имеет высокую молекулярную массу и содержит 18 аминокислот, в том числе, все незаменимые. Однако необходимо отметить, что содержание в микроводоросли таких незаменимых аминокислот как метионин, цистеин и лизин, ниже, чем в мясе, молоке или яичных продуктах [16]. Белок *Arthrospira platensis* хорошо сочетается с яйцепродуктами и соей. Спирулина включает широкий спектр каротиноидов, проявляющих синергический эффект, благодаря которому интенсифицируется антиоксидантная защита. Биомасса микроводоросли спирулины представлена комплексом минеральных веществ, г/кг: железа – до 0,53, фосфора – 8,0, калия – 14,3, магния – 16,6, кальция – до 10,0; марганца – 0,02, цинка – 0,03. Содержащийся в её составе хром (2,8 мг/кг) способствует активации углеводного обмена человека и нормализации сахара в крови, поэтому микроводоросль может быть рекомендована людям, страдающим заболеванием сахарного диабета [17]. Исследования последних лет доказали, что спирулина способна накапливать йодсодержащие соединения гормональной природы – тироксин и трийодтиронин, обладающие хорошей усвояемостью в организме человека.

Биомасса хлореллы представлена натуральным комплексом полноценных белков, жиров, растительных углеводов, жиро- и водорастворимых витаминов (В₁, В₂, В₅, В₆, В₉, С, Е, К, РР), антиоксидантов (каротиноиды, флавоноиды), ферментов, пигмента хлорофилла (12...15%), макро- и микронутриентов (Са, К, Na, Р и Cu, Со, Mg, Мо, Fe, Zn) (табл. 3), может быть использована для лечения и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, атеросклероза, ревматоидного артрита. Белок данного представителя микроальгофлоры является полноценным, содержит более 40 аминокислот, включая все незаменимые, а также гистидин и не синтезируемый в детском организме аргинин. Липидный состав хлореллы включает такие соединения как гликолипиды и фосфолипиды, моноацилглицерол, диацилглицерол, фитостеролы, триацилглицеролы, свободные жирные кислоты, углеводороды и высшие алифатические спирты. Жирные кислоты, представленные олеиновой, стеариновой, арахидоновой, линолевой, α -линолевой, линоленовой, пальмитиновой и другими (многие из которых применяются при лечении неврологических и глазных заболеваний, а также для восстановления клеток печени), являются одной из основных составных частей липидного комплекса хлореллы. Важной составляющей микроводоросли является эйкозапентаеновая кислота – незаменимая полиненасыщенная жирная кислота класса омега-3, которая преимущественно поступает в организм человека с жиром морских рыб и морских животных. Эйкозапентаеновая кислота оказывает положительное влияние на клетки головного мозга, способствует нормальному функционированию сердечно-сосудистой и нервной систем человека.

Углеводы *Chlorella vulgaris* представлены моносахаридами (глюкоза, фруктоза, галактоза, ксилоза, рамноза и рибоза), дисахаридами (мальтоза и сахароза) и полисахаридами (крахмал, гемицеллюлоза, раффиноза, стахиоза, декстрины, целлюлоза). Микроводоросль содержит 4...7% нуклеиновых кислот [8, 12, 13].

Микроводоросль *Scenedesmus* богата растительным белком (45...56%), углеводами (10...52%), липидами (2...40%), аминокислотами, хлорофиллом и витаминами [15]. Минеральный состав сценедесмуса представлен такими элементами как Cu, Со, Mn, Zn, Mg, Fe и т.д.

Клетка микроводоросли *дуналиелла* содержит до 49...57% белка, включающего почти все аминокислоты, жиры (до 27%), углеводы (до 32%), витамины и активные минеральные соединения. *Дуналиелла* является перспективным источником растительного пигмента – каротина (содержание до 10%), который способен связывать синглетный кислород и замедлять реакции свободно-радикального окисления,

3. Содержание органических веществ в микроводоросли *Chlorella vulgaris* [8, 13, 15]

Наименование органических веществ	Содержание органических веществ
Белок, %	40...62
Углеводы, %	12...35
Липиды, %	5...22
Минеральные вещества, %	3...10
При культивировании на питательной среде Тамия, мг/л:	
алюминий	0,14
бор	0,7
железо (общее)	167
калий	129
кальций	175
кобальт	0,74
магний	264
марганец	15,5
медь	3,4
молибден	0,07
натрий	186
никель	2,4
фосфор	58,0
цинк	2,6
Витамины (на 1 г СВ биомассы), мкг:	
аскорбиновая кислота	1000...2500
биотин	0,1
каротин (провитамин А)	1000...1600
лейковорин	22
никотиновая кислота	110...180
пантотеновая кислота	12...17
пиридоксин	9
провитамин D	1000
рибофлавин	21...28
тиамин	2...18
токоферол	10...350
филлохинон	6
фолиевая кислота	485
цианокобаламин	0,025...0,1

активизировать метаболизм в организме человека, обеспечить нормальное функционирование органов зрения, нервной системы и потовых желез, рост эпителиальных, костных и нервных тканей [15, 18].

Porphyridium обладает высокой антиоксидантной активностью, является источником каррагинина, *b*-фикоэритрина, *R*-фикоцианина, аллофикоцианина, аллофикоцианина В (группа фикобилипротеинов), хлорофилла, β -каротина, зеаксантина, β -криптоксантина и внеклеточных сульфополисахаридов. Белки составляют 28...39% сухого вещества микроводоросли, липиды – 9...14%, а углеводы – 40...57% [15].

В пластидах клеток *Naematococcus* содержатся хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды, ассоциированные с фотосинтетическим аппаратом: β -каротин, зеаксантин, виолаксантин, антраксантин, лютеин и неоксантин. В стрессовых условиях клетка микроводоросли способна синтезировать сильный антиоксидант – астаксантин (95...99% от суммы пигментов клетки) – красный пигмент, относится к группе кислородсодержащих каротиноидов ксантофиллов [19]. Биомасса микроводоросли *Naematococcus* содержит до 48% белка, 15% жиров и 27% углеводов [15].

Белок ностока (до 52%) содержит все незаменимые аминокислоты. Входящий в состав алкалиновый протеин является редкой разновидностью фикоцианина, обладающего целебными свойствами и способствующего активизации иммунной системы [20]. Биомасса микроводоросли включает около 35 различных минеральных веществ, витамины, в особенности B_{12} , который участвует в процессах кроветворения и функционирования поджелудочной железы, регуляции выработки гормона адреналина, обеспечивает регенерацию клеток и тканей организма.

1.3. ПРИМЕНЕНИЕ ВОДРОСЛЕЙ В ПИЩЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Наряду с важным значением водорослей в природе, в последние годы растёт их роль в пищевой промышленности, которая определяется, прежде всего, высокой пищевой ценностью альгофлоры, а также способностью к накоплению и синтезу ценных органических соединений. Примеры современного использования водорослей и их биомассы в пищевом производстве представлены на рис. 1.

Традиция использования водорослей определённых видов в кулинарии некоторых приморских стран мира (Америка, Австралия, Индонезия, Ирландия, Китай, Корея, Филиппины, Япония и др.) сложилась очень давно. В пищу употребляют альгофлору из семейств ламинариевых, фукусковых, аляриевых и артротамновых. Их используют для при-

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ИХ БИОМАССЫ В ПИЩЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Использование в кулинарии: суши, чипсы, снеки, добавляют в салаты, омлеты, мороженое и другие блюда (вакаме, порфира, ламинария, ульва, спирулина и др. 150 видов)

Производство студне- и слизеобразующих веществ: агар-агар (анфельция, гелидиум), агароиды (филлофора, грацилярия), карраген (хондрук, гиргартина, фурцелярия), альгинаты (красные и бурые водоросли (ламинария, фукус, саргассы))

Производство пищевых масел (диатомовые водоросли)

Производство пищевых и биологически активных добавок: белок, фосфолипиды, экстракты, используемые в качестве компонентов функционального питания, аминокислоты, ферменты, витамины, антиоксиданты (дуналиелла, наннохлоропсис, гематоккоккус, хлорелла, спирулина и др.), маннит (бурые водоросли)

Производство пищевых красителей: окрашивание алкогольных и безалкогольных напитков, масел, жиров, рыбных паст и др. кулинарных изделий (спирулина, хлорелла (хлорофилл), формидиум (фикоцианин))

Рис. 1. Использование альгофлоры в пищевом производстве

готовления разнообразных горячих (супы), вторых (солянки с овощами) и холодных блюд (закуска, салаты), десертов и сладких блюд (засахаренные кусочки, конфеты, варенье, желе), хлебобулочных и мучных кондитерских изделий (кексы), консервов, применяют в качестве приправ и т.д. В последние годы интерес к таким продуктам питания растёт по всему миру.

В Японии, Корее и Китае добываемые съедобные виды красных водорослей рода *Porphyra* измельчают и высушивают на сетке, получая таким образом тонкие тёмно-зелёные листы – нори. На их основе готовят национальные кулинарные изделия (ролы, суши и т.д.), смешивают с лапшой, рисом и приправами.

В силу своих вкусовых качеств (нежный сладковатый вкус с приятным морским ароматом и менее выраженным привкусом йода, чем у ламинарии) и богатого химического состава ундария перистая или вакамэ нашла широкое применение в японской, китайской, корейской, а позднее, и в европейской кухнях. Её используют в сушёном, замороженном или консервированном видах. Вакамэ включают в состав салатов (салат с тофу, гома вакамэ и др.), суши, соусов, гарниров и супов (японский суп мисосиру, корейский суп миёккук и др.), употребляют в качестве закусок. Она хорошо сочетается с овощами, бобовыми, рисом, орехами, куриным мясом и рыбой. В кулинарии нашей страны данный представитель альгофлоры является сравнительно новым ингредиентом и перспективы его использования ещё предстоит оценить.

Бурые морские водоросли являются важным сырьём для производства продуктов питания. Например, из бурой водоросли *Phaeorhysaeae* вырабатывают пищевой полисахарид – альгинат натрия, который по своему химическому строению представляет собой натриевую соль альгиновой кислоты. Благодаря своим свойствам (крио- и термостойкость, способны образовывать гели) альгинаты нашли применение в технологиях производства соусов, майонезов, пудингов, спредов, кондитерских и других изделий в качестве гомогенизаторов, загустителей, стабилизаторов и эмульгаторов.

Бурые водоросли комбу или тасима, принадлежащие к семейству ламинариевых, являются популярным ингредиентом многих японских и корейских блюд: даси (бульон, выступающий в качестве основы японских супов и соусов), сасиме и др. Водоросль используют как закуску к зелёному чаю, добавляют в салаты и блюда с рисом, бобами. Комбу сушат, маринуют в уксусе или кисло-сладком соусе, а также измельчают в порошок.

Ламинарию (морская капуста) применяют в свежем, сушёном, маринованном, консервированном и термически обработанном видах. Наибольшей популярностью данная водоросль пользуется в азиатской кухне. На её основе готовят салаты, в том числе с мясом, рыбой, рисом и овощами, добавляют в супы и выпечку. В Англии и Австралии морскую капусту используют в качестве рецептурного ингредиента для мармеладных изделий, зефира и карамели.

Араме имеют тёмно-бурый цвет с мягким полусладким вкусом и хрустящей плотной текстурой. Используют их в сушёном виде: нарезанными на полоски или измельчёнными в порошок. Араме тушат с корнеплодами, фаршируют овощи, добавляют в кексы, запеканки, супы, блюда из рыбы и мяса.

Хизики заготавливают для кулинарного использования в Японии, Корее и Китае: салаты, тушеные блюда с мясом или фасолью, жарят в

кунжутном масле с корнеплодами, добавляют в супы, пироги и т.д. После сбора водоросль обязательно проходит предварительную обработку: сначала её подвергают кипячению, после чего сушат на солнце и отправляют на реализацию. Однако последние исследования доказали, что в составе водоросли содержатся потенциально токсичные количества неорганического мышьяка, в связи с чем потребление блюд с хизики значительно снизилось.

Водоросли саргассум обладают солоноватым вкусом с лёгким морским ароматом. Перед реализацией их сушат или консервируют. Это морское растение используют для приготовления салатов, в качестве приправы, а также для отделки готовых блюд.

На основе водоросли фукус изготавливают биологически активные добавки, а также употребляют в пищу как самостоятельный продукт, в составе салатов, добавляют к блюдам из рыбы и риса.

Продукты переработки бурых и красных водорослей – альгинаты, применяют в качестве загустителей, стабилизаторов и эмульгаторов в технологиях производства мороженого, соусов и майонезов (для предотвращения расслаивания), приправ, кетчупов, маргарина, молочных коктейлей, фруктовых соков, ликёров, сыров (в целях повышения их устойчивости и однородности), консервов, хлебобулочных изделий (в целях замедления процессов черствения хлеба), мармеладов и джемов (для снижения дозировок студнеобразователя и улучшения реологических свойств готового продукта). На основе бурых водорослей получают маннит, который используют в пищевой промышленности как подсластитель, а также как добавку, препятствующую образованию комков, в молочных и других продуктах.

Красные водоросли (грацилярию, эухеуму и другие виды) используют в качестве сырья для получения полисахарида агара и каррагинана – гидроколлоиды, обладающие желеобразующими свойствами.

В Ирландии пользуются популярностью красные морские водоросли – хондрус курчавый. Эти водоросли имеют слизистый, клейкий вкус. В высушенном виде их используют для осветления пива, а также как загуститель в технологиях производства мороженого, пудингов и супов. Хондрус курчавый добавляют в мясные фарши при производстве котлет и бифштексов, на его основе готовят различные напитки.

Жители побережья Исландии ещё в X в. использовали красную водоросль родимения в качестве продукта питания. Употребляли водоросль в сыром виде, а также высушивали, после чего использовали в блюдах из рыбы, добавляли в супы и хлебобулочные изделия. В настоящее время родимения также находит широкое применение в кулинарии: употребляется в пищу как самостоятельный продукт, используется для приготовления закусок, супов, салатов, смузи, чаёв и холод-

ных напитков, снеков и рыбных блюд. В рецептуре таких изделий как желе, пастила и мармелад содержатся студнеобразующие компоненты, полученные из водоросли, а её пигменты способны придать готовым изделиям приятный красноватый цвет.

Наличие в составе съедобных зелёных водорослей большого количества хлорофиллов, каротина и ксантофиллов делает их перспективным компонентом при приготовлении салатов и биологически активных добавок к пище. Благодаря механической или термической обработке зелёные водоросли способны придать блюдам особый приятный вкус и аромат, обусловленный наличием в их составе свободного йода и соединений, содержащих серу (диметилсульфид, триметиламин). Формирование уникального вкуса готовых изделий с зелёными водорослями происходит так же благодаря содержанию в них органических и ненасыщенных жирных кислот, глутаминовой кислоты, а также глицина, аланина, лейцина, изолейцина, валина, таурина, бетаина и др. [7].

В Японии, Китае, Великобритании, Ирландии, Скандинавии и России зелёную водоросль ульву добавляют в супы, салаты, гарниры к рыбе или мясу; используют в технологии производства таких мучных кондитерских изделий, как кексы и печенье, а также при изготовлении пудингов (для замедления процессов черствения и придания оригинального вкуса готовым изделиям).

Зелёная водоросль монострома обладает хорошими вкусовыми качествами. Её используют в качестве сырья для производства пищевых добавок, а также употребляют в сыром виде (в качестве овоща, Корея), добавляют в различные блюда (закуска в форме маленьких круглых шариков с начинкой – такояки и лепёшки – окономияки, Япония; суп – аса ну уширу, Окинава).

Отечественными учёными разработаны биологически активная добавка к пище (предназначена для обогащения рациона питания кальцием и пищевыми волокнами) и технологии продуктов питания с использованием бурых водорослей порядка *Fucales* и *Laminariales*: чай морской, конфеты желейные, джемы (обогащённые селеном или хромом), паштеты с рыбными фаршами, рыбно-овощные фарши с йодосодержащей добавкой (порошок ламинарии), соусы для мясных и рыбных блюд, кисломолочные продукты с высоким титром бифидобактерий. Согласно проведённым исследованиям установлено, что внесение бурых водорослей в продукты питания позволяет придать им лечебно-профилактические свойства и увеличить содержание биологически активных веществ [21 – 24].

Известны так же способы производства хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки (хлеб «Муромский» и хлеб «Се-

верный») с внесением ламинарии, а также хлеба «Прибрежный» из пшеничной муки с нетрадиционной добавкой – порошок из водорослей беломорских. Добавки из морских водорослей позволяют обогатить готовые изделия минеральными веществами, в частности йодом [25, 26].

Для получения различных сортов агара и пищевых волокон разработана комплексная технология переработки красных водорослей родов *Gracilaria*, *Gracilariopsis* и *Gelidium* [27].

В пищевой промышленности нашей страны применяются в основном макрофитные представители альгофлоры. Объёмы использования микроводорослей в качестве промышленного сырья пока очень ограничены, хотя перспективность такого подхода доказана в исследованиях многих учёных: С. А. Кедика, Л. В. Кравченко, В. К. Мазо, Е. С. Милько, В. А. Тутельяна, А. Belay, J. Challem, M. Garcia-Gonzalez, Ch. Romay и др.

Биомасса микроводорослей содержит уникальный комплекс натуральных веществ (витамины, макро- и микроэлементы, белки, растительные углеводы, липиды, пигменты и т.д.), обуславливающих целесообразность её применения при производстве продуктов повышенной пищевой ценности.

Известно, что применяемые в пищевой промышленности красители делятся на две группы: натуральные и синтетические. В целях обеспечения продовольственной безопасности большинство стран в настоящее время запрещают использование для изготовления продуктов питания многие синтетические красители. Это связано с содержанием в них токсинов (например, ацетата свинца), аллергенов и канцерогенов.

Пигменты, содержащиеся в микроводорослях, такие как каротиноиды (в значительных количествах содержатся в *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Dunaliella* и других представителях микроальгофлоры) и фикобилипротеины – окрашенные водорастворимые белки (хорошим источником является *Spirulina*), могут стать достойной безопасной альтернативой синтетическим красителям.

В настоящее время некоторые представители микроальгофлоры используют в качестве красителей для производства жевательной резинки, молочных продуктов, желе, мороженого, мучных кондитерских изделий и других продуктов питания. Синий цвет, получаемый из микроводоросли *Porphyridium aeruginum*, применяют в производстве напитков и кондитерских изделий. Разработана технология печенья, в которое добавляли микроводоросль *Chlorella vulgaris* в целях придания готовому продукту оригинального зелёного цвета.

Определённые представители микроальгофлоры (*Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Spirulina maxima*, *Dunaliella vlkianum*) используют в технологии производства вегетарианского пищевого геля в целях повышения содержания в нём полиненасыщенных жирных кислот, а также влияния на технико-технологические параметры его производства. Микроводоросли используют для повышения пищевой ценности йогуртов (*Arthrospira* sp., *Chlorella* sp.), ферментированного молока (*A. platensis*), сыра (*Chlorella* sp.), печени (*C. vulgaris*, *T. suecica*, *P. tricornutum*, *H. pluvialis*). Внесение микроводоросли *I. galbana* в рецептуру печени способствует повышению содержания в нём полиненасыщенных жирных кислот, а микроводоросли *A. platensis* – белка, клетчатки и антиоксидантов [15].

Ещё ацтеки и другие индейские племена использовали в пищу лепёшки, изготовленные из микроводоросли рода спирулина. На сегодняшний день её культивируют во многих странах мира (Болгария, Израиль, Индия, Италия, Россия, США, Япония и др.). Для этого используют как открытые водоёмы, так и фотобиореакторы закрытого и открытого типов. Полученную биомассу микроводоросли добавляют в хлебобулочные изделия, что обеспечивает повышение их пищевой и биологической ценности, а также улучшение товарного вида. В готовых изделиях происходит увеличение содержания белков (до 6%) и каротиноидов (до 47%) [28, 29]. Спирулину используют в качестве пищевой добавки и как самостоятельный продукт (хлопья, порошок). На основе микроводоросли готовят также супы, салаты, омлеты и соки.

Микроводоросль дуналиеллу используют для производства биодобавок к пище (как общеукрепляющее и профилактическое средство). Биомасса микроводоросли *Dunaliella* служит сырьём для производства β -каротина – каротиноидное соединение, которое обладает антиоксидантными свойствами, проявляет противораковое действие, улучшает функционирование органов зрения и сердечно-сосудистой системы. Дуналиеллу предлагается вносить в рецептуру мучных кондитерских изделий (для повышения пищевой и биологической ценности) и хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки (5...10% порошка микроводоросли *Dunaliella*, для повышения пищевой и биологической ценности, улучшения сенсорных и физико-химических показателей качества готовых изделий) [29, 30].

Из биомассы микроводоросли *Haematococcus pluvialis* получают астаксантин – каротиноид, относящийся к группе ксантофиллов, природный пигмент красного цвета. Астаксантин проявляет антиоксидантные и противовоспалительные свойства, благоприятно влияет на состояние кожи, улучшает работу органов зрения и кровеносной системы.

Некоторые виды микроводорослей рода носток используются в пищу как лакомство в качестве самостоятельного продукта в Азии и Андах. В Южной Америке и Китае микроводоросли высушивают и на их основе готовят муку.

Chlorella как в нативном, так и переработанном виде, широко используется в японской кулинарии: её добавляют в хлеб, молоко, мороженое и другие продукты питания. В России разработан способ производства хлеба из пшеничной муки с использованием наноструктурированного экстракта хлореллы. Его внесение в тесто (1...2%) позволяет повысить пищевую и биологическую ценность, улучшить потребительские свойства, а метаболизм также расширить ассортимент хлебобулочных изделий [31].

Обоснование использования конкретного вида микроводоросли в рецептуре пищевого продукта можно определить следующими параметрами:

1) *химический состав микроводоросли*. При этом очень важна концентрация белков, липидов и углеводов, а также наличие незаметных аминокислот, полисахаридов, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов и минеральных веществ;

2) *уровень чистоты представителя микроальгофлоры*. Например, биомасса спирулины может быть загрязнена микроцистинами – токсины, которые оказывают негативное воздействие на организм человека;

3) *сочетаемость представителя микроальгофлоры с рецептурными компонентами продукта питания*. При этом важно, в каком виде можно использовать микроводоросль в технологии продукта питания (порошок, суспензия, паста) и физико-химические показатели вносимого компонента (размеры частиц, влажность, кислотность и т.д.).

Целесообразность использования *Chlorella vulgaris* в пищевом производстве обусловлена рядом свойств, которыми обладает микроводоросль:

– из всех представителей микроальгофлоры хлорелла является наиболее активной, имеет короткий цикл роста с интенсивным накоплением биомассы (в 200 раз быстрее высших растений);

– неприхотлива: для культивирования в условиях пищевого производства не требуется сложного оборудования, специфических веществ (необходимы только вода, освещение и простые питательные компоненты), нет ограничений по территории выращивания и сезону. При этом полностью соблюдаются принципы экологической чистоты производства. А целенаправленное воздействие на метаболизм хлореллы и регуляция метаболизма (изменение минерального питания, температурного и светового режимов культивирования) позволяют

получить биологически активные субстанции с заданным химическим составом, в зависимости от потребностей производства [8, 12];

– устойчива по отношению к вытеснению и развитию в культуральной среде бактерий, вирусов и внутриклеточных паразитов [32];

– обладает высокой продуктивностью по биологически ценным веществам (табл. 3), в том числе эссенциальным липидам и пигментам. Благодаря наличию в составе хлоропластов микроводоросли хлорофилла- α и хлорофилла- β , обеспечивается эффективный фотосинтез: клетка способна улавливать и аккумулировать до 70% энергии солнечного света, с последующим использованием её для выработки ценных для пищевого производства органических веществ. Важно отметить, что все компоненты натурального комплекса биологически активных веществ хлореллы находятся в почти идеальных для человеческого организма соотношениях;

– проявляет выраженный терапевтический эффект, обусловленный уникальным составом: обладает лечебно-профилактическим действием, активизирует защитные силы организма, способствует детоксикации токсинов и тяжёлых металлов, улучшает белковый, минеральный и витаминный обмен в организме человека; способствует пищеварению, улучшению кроветворения и нормализации биохимических показателей крови [13].

Преимущества хлореллы являются хорошей предпосылкой для разработки технологии производства хлебобулочных и мучных кондитерских изделий на их основе.

Вопросы для проверки

1. Каково практическое значение бурых водорослей для промышленности?
2. Перечислите основных представителей красных водорослей, которые на сегодняшний день имеют важное промышленное значение.
3. Опишите строение, свойства и практическое использование водоросли родимения.
4. Каков химический состав водоросли ульва и как она используется?
5. Что такое микроводоросли? Дайте краткое морфологическое описание и характеристику представителям микроальгофлоры родов *Chlorella* и *Dunaliella*.
6. В чём заключается биологическая и пищевая ценности микроводоросли *Arthrospira*?
7. Назовите основные направления использования альгофлоры в пищевом производстве?
8. Перечислите основные достоинства микроводоросли рода *Chlorella vulgaris*.

2. БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА БАД НА ОСНОВЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

2.1. ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ БИОСИНТЕЗА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Представители микроальгофлоры, обладающие способностью быстро накапливать биомассу и значительные количества ценных продуктов метаболизма за счёт высокой фотосинтетической активности, являются перспективным сырьём для пищевой отрасли. Многие виды микроводорослей способны синтезировать 20...60% липидов (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Nannochloropsis*, *Haematococcus* и др.), 15...60% углеводов (*Porphyridium*, *Scenedesmus*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Chlorella* и др.) и 60...70% белка (*Spirulina*, *Synechococcus* sp., *Chlorella*, *Dunaliella*, *Scenedesmus* и др.).

Образование углеводов, представленных преимущественно крахмалом (содержится в пластидах), целлюлозой, гликогеном, полисахаридами (содержатся в клеточной оболочке) и агаром, происходит в процессе фотосинтеза микроводорослей.

Эукариотическая природа микроводорослей позволяет им синтезировать гликопротеины. Белок, продуцируемый представителями микроальгофлоры, содержит большое количество незаменимых аминокислот, состав которых может варьироваться в зависимости от места обитания, сезона года и используемого штамма.

Продукты биосинтеза микроводорослей в виде порошков, паст и суспензий можно использовать для производства продуктов питания повышенной пищевой ценности, функциональных и лечебно-профилактических.

Биотехнологический процесс производства продуктов переработки микроводорослей включает в себя следующие основные стадии.

1. Поиск, выбор и культивирование определённого штамма микроводоросли для получения биологически активных веществ.

2. Сбор биомассы микроводорослей, выделение и очистка целевого продукта.

При выборе определённого штамма микроводоросли в целях последующего использования в производстве продуктов для здорового питания, необходимо учитывать следующие основные факторы:

- представитель микроальгофлоры должен обладать способностью к быстрому накоплению биомассы и высокой продуктивностью

по биологически активным веществам с оптимальным химическим составом;

- иметь высокую плотность клеток;
- ингибировать развитие посторонних микроорганизмов в биомассе;
- быть нетребовательным к условиям питания и жизнедеятельности (обладать свойством адаптивности).

Культивирование представителей микроальгофлоры может происходить в открытых водоёмах (открытый тип системы культивирования) и с использованием фотобиореакторов различных конструкций (закрытый тип системы культивирования). Различают автотрофный (клеткам необходима подача углеродосодержащих веществ и света), гетеротрофный (клеткам необходима подача углеродосодержащих веществ при отсутствии света) и миксотрофный (комбинация автотрофного и гетеротрофного типов питания) типы питания. При этом клетки микроводорослей потребляют углекислый газ во время фотосинтеза и органические углеродные соединения во время дыхания. На рост, развитие и синтез биологически активных веществ микроводорослей влияют следующие факторы:

1) *температура*. Она отвечает за накопление сахарозы. При увеличении температуры микроводоросли, как правило, продуцируют значительные количества липидов и углеводов. Оптимальной температурой для роста представителей микроальгофлоры, синтезирующих липиды, является 15...35 °С. Важно также отметить, что температурный режим может существенно влиять на компонентный состав продуцируемых метаболитов;

2) *pH среды*. Воздействует не только на клетки микроводорослей, но и влияет на растворимость углекислого газа, необходимого для их роста. Оптимальной кислотностью среды для роста представителей микроальгофлоры, синтезирующих липиды, является $pH = 4,4 \dots 7,9$;

3) *интенсивность света, его спектральные характеристики и световой цикл*. Свет отвечает за процесс фотосинтеза. Высокая интенсивность облучения биомассы водорослей способствует накоплению углеводов и липидов, что обусловлено защитой функций клеток. В процессе культивирования представителей микроальгофлоры могут использовать как световой поток с широким спектром (белый свет), так и различными спектральными характеристиками (красный (630...740 нм) и синий (440...480 нм)). Воздействие красного и синего спектров приводит к изменениям метаболизма углерода в клетке (синий свет интенсифицирует включение углекислого газа в кислоты, а красный – в углеводы);

4) *содержание питательных веществ*. Их качественный и количественный состав влияет на скорость роста биомассы, концентрацию и химический состав синтезируемых биологически активных веществ. Таким образом, в целях модификации состава продуцируемых метаболитов необходимы изменения условий питания микроводорослей.

Для оптимальной жизнедеятельности представителям микроальгофлоры необходимы минеральные вещества, такие как N, P, S, K и др. Фосфор является составным элементом клетки, входит в состав мембран, нуклеиновых кислот и белков. Железо является важным компонентом ферментов, входящих в состав представителей микроальгофлоры, принимает участие в фотосинтезе.

В процессе культивирования концентрация Fe, N и P оказывает существенное влияние на содержание липидов. При этом снижение азотистых соединений в культуральной жидкости способствует снижению количества мембранных липидов, а их длительный дефицит обуславливает качественное изменение состава липидов. Концентрация азота в питательной среде также влияет на содержание белка, хлорофилла и количество рибосом в клетках микроводорослей, а соотношение общего количества углерода и азота – на накопление нейтральных липидов.

Помимо минеральных веществ, на процессы метаболизма различных представителей микроальгофлоры влияют различные соли. Таким образом, оптимальное соотношение элементов C / N / P, а также их ионных форм, содержание некоторых металлов в среде и её солёность является важным критерием для накопления биомассы и питательных веществ в микроводорослях.

Помимо углекислого газа, представители микроальгофлоры способны поглощать различные органические субстраты (глюкоза, фруктоза, ацетат натрия и глицерин). В их клетках моносахариды преобразуются в цикле гликолиза, после чего их продукт (ацетил-КоА) поступает в цикл Кребса, что сопровождается выделением НАДН и углекислого газа, и активизируется накопление нейтральных липидов [8, 15].

Для биосинтеза конкретного органического вещества, а также повышения его выхода, необходимо создание стрессовых условий. При этом индивидуальные метаболические особенности отдельных представителей микроальгофлоры в процессе накопления ими биологически активных веществ находятся в настоящее время на стадии изучения.

После наращивания биомассы следуют стадии выделения и очистки целевого продукта, которые являются наиболее дорогостоящими во всём процессе производства биологически активных веществ на основе микроводорослей. На первом этапе осуществляют сепарирование культуральной жидкости и клеток продуцента с использованием следующих способов.

1. *Центрифугирование* – разделение на основе разности плотностей культуральной жидкости и клеток микроводорослей под действием центробежных сил. Достоинства способа: быстрый и стабильный метод; биомасса в этом случае не содержит химических веществ, что очень важно для пищевого производства. Недостатки способа: высокая стоимость используемого оборудования и энергоёмкость.

2. *Осаждение (седиментация)*. Способ основан на осаждении клеток микроводорослей в культуральной жидкости под действием силы тяжести с образованием концентрированной суспензии. При этом, чем крупнее клетки представителей микроальгофлоры, тем быстрее происходит процесс осаждения. Достоинства способа: экономически выгодный подход, не требующий дорогостоящего оборудования. Недостатки способа: длительный по времени и применим не ко всем представителям микроальгофлоры.

3. *Фильтрация* – разделение клеток микроводорослей и культуральной жидкости при прохождении биомассы через пористый фильтр. При этом микроводоросли остаются на поверхности фильтра, а культуральная жидкость проходит через него. Различают микрофильтрацию, вакуумную, тенгенциальную и тупиковую фильтрации. Недостатком данного способа является высокая стоимость фильтра и большая вероятность забивания его пор.

4. *Флокуляция* основана на коагуляции, при которой клетки микроводорослей, находящиеся во взвешенном состоянии в культуральной жидкости, образуют более крупные агрегаты. Зачастую способ включает в себя использование химических, физических или биологических флокулянтов.

5. *Флотация* – разделение микроводорослей и культуральной жидкости путём группировки клеток за счёт использования пузырьков газа.

После сепарирования полученная биомасса микроводорослей имеет высокую влажность. Поэтому, как правило, проводят её сгущение, обезвоживание и сушку. Снижение влажности биомассы микроводорослей могут проводить с использованием метода открытой сушки под действием солнца. Недостатком такого подхода является медленная скорость сушки и необходимость больших площадей, кроме того, сложно контролировать качество готового продукта, а сам процесс напрямую зависит от погодных условий (низкие температуры могут испортить качество продукта и вызвать бактериальное загрязнение). Именно поэтому такой метод малопримемлем для производства сырья, используемого в пищевой промышленности.

Метод распылительной сушки основан на быстром воздействии горячего газа. Полученный таким образом продукт можно употреблять

в пищу и использовать в качестве сырья в пищевой отрасли, а сам метод является быстрым и экономически выгодным. Однако существует вероятность больших потерь биологически активных веществ в результате термического воздействия.

Барабанную сушку проводят с использованием наклонного вращающегося цилиндра, в который загружается биомасса. Данный метод позволяет получить продукт с хорошей усвояемостью при меньших затратах энергии, чем при распылительной сушке.

При сублимационной сушке удаление влаги из биомассы происходит в виде льда в условиях вакуума. При этом сохраняются все полезные свойства клеточных компонентов.

Биологически активные вещества могут быть локализованы как внутри клеток продуцента, так и в культуральной жидкости. В зависимости от этого, а также от качественного состава целевого продукта, различаются методы его выделения.

Дезинтеграцию клеток представителей микроальгофлоры проводят с использованием физических (ультразвуковое воздействие, раздавливание, растирание, осмотический шок и др.), химических, химико-ферментативных методов или их комбинации. После разрушения клеток следует стадия извлечения клеточных стенок. Для этого используют те же методы, что и при сепарировании: фильтрацию и высокоскоростное центрифугирование. Клеточные стенки после отделения, как правило, утилизируют, но иногда на их основе производят целевой продукт [15].

Для выделения биологически активных веществ из культуральной жидкости или гомогената разрушенных клеток используют следующие методы [15]:

- осаждение целевого продукта проводят химическим методом посредством внесения органических или неорганических веществ, а также под влиянием физических факторов: нагревание, охлаждение, разбавление или концентрирование;

- экстракция (твёрдо-жидкофазная и жидко-жидкофазная), представляет собой способ извлечения одного или нескольких растворимых целевых продуктов с помощью подходящего жидкого растворителя (экстрагент);

- адсорбция – процесс поглощения биологически активных веществ поверхностным слоем твёрдого тела (иониты на основе целлюлозы). Применяется для целевых продуктов, имеющих функциональные группы, заряженные положительно или отрицательно;

- хроматография – физико-химический способ разделения целевого и побочных компонентов, основанный на их различном распределении в динамических условиях между подвижной и неподвижной

фазами. Различают колоночную (гидрофобная, аффинная, ионообменная, хроматография гель-фильтрацией) и плоскостную (тонкослойная и бумажная) хроматографии;

– электрофорез представляет собой способ разделения белков и нуклеиновых кислот, основанный на движении заряженных макромолекул в стационарном электрическом поле.

Два последних метода используют в целях более тонкой очистки и разделения продуктов биотехнологического производства.

В настоящее время разработаны пищевые технологии, использующие выделенные и очищенные продукты метаболизма микроводорослей: продукты для здорового питания (протеиновый порошок – *Chlorella* sp., *Athrospira* sp.; фикобилипротеины – *Spirulina platensis*, *Porphyridium* sp.), функциональных продуктов питания для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний (пептиды – *Chlorella pyrenoidosa*, *Cyanobacteria*), загустители как альтернатива желатину, пектину и крахмалу (полисахариды – *Porphyridium* sp., *Rhodella* sp.) [15].

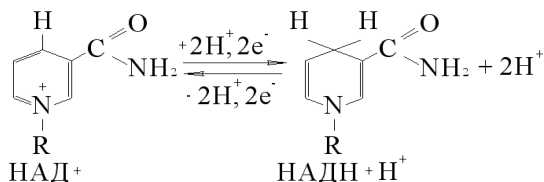
2.2. КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ CHLORELLA

Процесс культивирования хлореллы представляет собой накопление биомассы и продуктов метаболизма в условиях питательной среды. Биопродуктивность фотоавтотрофной микроводоросли *Chlorella* зависит от базисных факторов: освещённости, состава питательной среды, концентрации углекислого газа, pH питательной среды, температурных показателей и конструкции фотобиореактора [33].

Ядро клетки микроводоросли хлорелла содержит большое количество нуклеиновых кислот, дезоксирибонуклеиновую и рибонуклеиновую кислоты, именно в нём начинаются все биохимические процессы. Ядерная мембрана, содержащая многочисленные ядерные поры, отделяет ядро от цитоплазмы. Обмен между ядром и цитоплазмой осуществляется через ядерные поры [34].

Рибонуклеиновая кислота, содержащаяся в ядрышке, принимает участие в синтезе белка. Посредством переноса рибонуклеиновой кислоты на мембрану шероховатого эндоплазматического ретикулума происходит синтез аминокислот, их упаковка в белковые молекулы и последующая транспортировка к месту назначения с помощью транспортных везикул. Перенос молекул белка (аминокислот) осуществляется либо непосредственно к органеллам клетки, либо к гладкому эндоплазматическому ретикулуму [35].

Сборка аминокислот и транспортировка веществ происходит одновременно с процессами клеточного дыхания, образования КоА, β -окисления жирных кислот и окислительного фосфорилирования, протекающими в матриксе митохондрий во внутренней оболочке [36]:



Параллельно с процессами в митохондриях протекают реакции, связанные с процессом синтеза сложных органических веществ, сопровождающимся поглощением энергии.

Выбор питательной среды, необходимой для нормального роста и развития клеток микроводорослей, зависит от метаболических потребностей культивируемой культуры. Для микроводоросли *Chlorella* используют стандартные и модифицированные питательные среды: Таммийя, сбалансированную питательную среду № 3, среду № 4 и модифицированную среду №4, Пратта, Бенеке, Кнопа и др.

Базисными минеральными веществами, оказывающими значительное влияние на метаболизм, рост и развитие клетки являются:

- магний (входит в состав хлорофилла, принимает участие в ряде метаболических процессов);
- калий (оказывает влияние на водно-солевой обмен и осмотическое давление);
- сера (принимает участие в реакциях энергетического метаболизма);
- фосфор (входит в состав клеточных мембран, участвует в реакциях синтеза белка);
- марганец (принимает участие в процессах фотосинтеза, активизирует ферменты, оказывает влияние на поддержание структуры хлоропластов);
- цинк (участвует в процессах дыхания и белкового обмена);
- бор (оказывает влияние на процессы обмена нуклеиновых кислот).

Известно, что в процессе метаболизма биомасса хлореллы, культивируемая на средах, богатых азотом, накапливает белок; при азотном голодании – липиды и углеводы, а при наличии глюкозы и ацетата – каротиноиды.

Спектральный состав света оказывает значительное влияние на жизнедеятельность клеток зелёных микроводорослей:

- красный свет способствует развитию фотосинтетического аппарата и обеспечивает процесс синтеза крахмала;
- синий – синтез хлорофилла, развитие хлоропластов, открывание устьиц и фототропизм [8].

Температурный режим культивирования микроводоросли зависит от используемого штамма: для термофильных штаммов оптимальной является температура 35...37 °С, для мезофильных – 25...27 °С, а для криофильных – 10...15 °С. Величина рН в процессе культивирования должна поддерживаться в диапазоне 5,5 – 6,5. При возрастании кислотности коррекцию производят добавлением фосфорной и азотной кислот, при снижении кислотности – раствором гидрата окиси калия [8, 37]. В данных условиях *Chlorella* преимущественно накапливает белки. При этом содержание белков в клетке уменьшается по мере её старения, а содержание липидов при этом возрастает. Снижение интенсивности освещённости воспринимается как сигнал о завершении экспоненциальной фазы роста клетки. В результате активизируется процесс перераспределения избытка поглощённой энергии на биосинтез нейтральных липидов, состав которых характеризуется преобладанием насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот.

Целенаправленное воздействие на метаболизм хлореллы (создание стрессовых условий) позволит обеспечить различное содержание белков, липидов, каротиноидов и других веществ.

Вопросы для проверки

1. Перечислите факторы, оказывающие влияние на рост, развитие и синтез биологически активных веществ микроводорослей.
2. Укажите основные способы разделения клеток микроводорослей и культуральной жидкости.
3. Какие методы используют для выделения целевого продукта из культуральной жидкости или гомогената разрушенных клеток?
4. Перечислите питательные среды, которые используют для культивирования микроводоросли *Chlorella*.
5. Какие минеральные вещества обеспечивают нормальную жизнедеятельность клеток микроводоросли *Chlorella* и какова их роль?
6. В каких условиях биомасса хлореллы накапливает белок, а в каких каротиноиды?

3. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Хлебобулочные изделия являются продуктом ежедневного питания всех социально-демографических групп нашей страны. За их счёт удовлетворяется до 40% суточной пищевой и энергетической ценности [38]. Именно поэтому в условиях инновационного прогресса пищевой промышленности остро встаёт вопрос о необходимости развития хлебопекарной отрасли, научной основой которого является:

- расширение ассортимента хлебобулочных изделий за счёт совершенствования технологий традиционных продуктов, а также разработки изделий нового поколения на основе внедрения прогрессивных хлебопекарных технологий, в том числе ориентированных на конкретного потребителя;

- разработка линейки хлебобулочных и мучных кондитерских изделий в формате on-the-go («поесть на ходу»), обеспечение привлекательного для потребителя внешнего вида, удобства формы и размеров;

- поиск и адаптация натуральных и доступных, не традиционных для отрасли компонентов с высокой пищевой и биологической ценностью, в том числе микробиологических, способных придать хлебобулочным изделиям лечебную или профилактическую направленность, оригинальный внешний вид и свойства, увеличить сроки сохранения свежести.

На сегодняшний день во многих странах мира (Англия, Россия, Китай, Финляндия, Франция, Япония и др.) ведутся работы по поиску новых видов сырья и расширения ассортимента хлебобулочных изделий для здорового питания, удовлетворяющих потребительскому спросу. При этом большое внимание уделяется представителям альгофлоры. Бесспорными лидерами по рациональному использованию и приготовлению хлебобулочных изделий с внесением водорослей в настоящее время являются японцы. В странах Юго-восточной Азии традиционно в рецептурах хлебобулочных изделий используют морские водоросли, в частности, рода саргассум. Известный французский пекарь Ришар Бертине предлагает вносить в тесто из пшеничной муки сушёные водоросли вакиме, которые предварительно замачивают в воде. Широкой популярностью в производстве отечественных хлебобулочных изделий пользуются такие водоросли, как ламинария и фукус. Хлебобулочные изделия с внесением ламинарии используют для

снижения внутреннего облучения. Российскими учёными разработаны рецептуры хлеба из ржано-пшеничной муки с морской зелёной водорослью из семейства ульвовых, которые добавляли в тесто в порошкообразной форме, а также хлеба из пшеничной муки с внесением порошка, изготовленного из слоевища морской водоросли ундарии перистонадрезной.

Растёт популярность хлебобулочных изделий для здорового питания с внесением микроводорослей. К настоящему времени разработаны рецептуры хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с внесением таких представителей микроальгофлоры как спирулина, хлорелла и дуналиелла.

Особый интерес вызывает микроводоросль рода *Chlorella vulgaris*. Внесение её в рецептуры хлебобулочных изделий позволит не только расширить их ассортимент, повысить пищевую ценность и придать оригинальный внешний вид, но и обогатить сырьевую базу хлебопекарных предприятий компонентом стабильного качества, не зависящим от сезона и мировых колебаний цен на пищевые ингредиенты. Использование *Chlorella vulgaris* в технологическом процессе производства хлебобулочных изделий в полной мере отвечает задачам современных нормативно-правовых документов РФ:

1. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. (утверждена распоряжением Правительства от 29.06.2016 г. № 1364-р).

2. Стратегия формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 г. (утверждена приказом Министерства здравоохранения РФ от 15.01.2020 г. № 8).

3.1. ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОВОДОРОСЛИ РОДА *CHLORELLA VULGARIS*

На каждой технологической стадии производства хлебобулочных изделий из пшеничной муки происходит совокупность сложных физических, коллоидных, биохимических и микробиологических процессов, которые тесно связаны с физико-химическими, функциональными и технологическими показателями качества компонентов, используемых в производстве, параметрами и условиями проведения технологического процесса.

Конечной целью хлебопекарного производства является получение высококачественного продукта, обладающего хорошими физико-химическими показателями и удовлетворяющего требованиям потребителя. Достижение указанной цели осуществляется посредством управ-

ления параметрами проведения каждой технологической стадии производства; строгое регулирование комплекса процессов, особенно при внедрении нетрадиционных хлебопекарных компонентов; анализ жизнедеятельности микрофлоры полуфабрикатов и теста.

Несмотря на то, что представители микроальгофлоры являются нетрадиционным сырьём, в рецептурах хлебобулочных и мучных кондитерских изделий они представляют собой натуральные компоненты, содержащие вещества с высокой физиологической активностью, и в этой связи заслуживают внимания пекарей.

Для научного обоснования использования микроводоросли хлореллы в технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий необходимо изучить физико-химические и сенсорные показатели нового вида сырья.

В хлебопекарной промышленности хлорелла может использоваться в виде суспензии, загущённой массы или как сухая биомасса. При этом с культуральной жидкостью в тесто поступает около 310 различных внеклеточных веществ (свободные аминокислоты, белки, пептиды), определённая часть которых может быть использована микрофлорой полуфабриката [39].

Совокупность компонентов, входящих в состав микроводоросли *Chlorella vulgaris*, является непостоянной и в значительной степени зависит от условий культивирования. Установлено, что по содержанию жирных кислот микроводоросль хлорелла значительно превышает пшеничную и ржаную муку (табл. 4). Биологическая ценность белков хлореллы так же выше, чем ржи и пшеницы, так, содержание валина больше в 10,8 и 11,7 раз, лейцина – в 10,5 и 7,5 раза, лизина – в 34,0 и 40,1 раза и т.д. (табл. 5). В хлорелле содержится значительное количество аскорбиновой кислоты (в пшеничной и ржаной муке отсутствует) и β -каротина (отсутствует в пшеничной муке, содержание в ржаной муке – 5,0 мг). По сравнению с пшеничной и ржаной мукой, в микроводоросли выше количество жизненно важных витаминов: пиридоксина в среднем в 5,5 и 3,7, рибофлавина – 73,8 и 22,7 раза и тиамина – 9,1 и 4,4 раза.

Таким образом, анализ химического состава хлореллы (табл. 3 – 5) свидетельствует о целесообразности её использования в технологии хлебобулочных изделий в целях повышения их пищевой и биологической ценности: микроводоросль характеризуется значительным содержанием белка, жирных кислот, клетчатки, хлорофилла, витаминов (аскорбиновая кислота, β -каротин, группы В и др.) и минеральных веществ.

Калорийность 100 г порошка микроводоросли составляет 343 ккал, что выше на 3% калорийности муки пшеничной высшего сорта и на

**4. Содержание жирных кислот в микроводоросли,
пшеничной и ржаной муке [8, 40]**

Наименование кислоты	Содержание, % масс.		
	микроводоросль хлорелла	мука пшеничная высшего сорта	мука ржаная обдирная
C _{16:0} (пальмитиновая)	18,00...23,50	0,13...0,28	0,16
C _{18:0} (стеариновая)	0,60...3,20	0,01...0,02	0,01
C _{18:1} (олеиновая)	3,90...43,20	0,10...0,28	0,14...0,15
C _{18:2} (линолевая)	11,00...25,10	0,48	0,74
C _{18:3} (линоленовая)	1,30...24,20	0,03...0,06	0,05...0,10

**5. Содержание аминокислот в микроводоросли
Chlorella vulgaris, пшеничной и ржаной муке [8, 40]**

Наименование аминокислоты	Содержание, г/100 г		
	хлорелла	мука пшеничная высшего сорта	мука ржаная обдирная
Незаменимые аминокислоты:			
валин	5,50	0,47	0,51
изолейцин	3,50	0,43	0,38
лейцин	6,10	0,81	0,58
лизин	10,2	0,25	0,30
метионин	1,40	0,15	0,12
треонин	2,90	0,31	0,26
фенилаланин	2,80	0,50	0,50
триптофан	2,10	0,10	0,11
Заменимые аминокислоты:			
аланин	7,70	0,33	0,42
аргинин	15,80	0,40	0,42
аспарагиновая кислота	6,40	0,34	0,69
гистидин	3,30	0,20	0,19

Наименование аминокислоты	Содержание, г/100 г		
	хлорелла	мука пшеничная высшего сорта	мука ржаная обдирная
глицин	6,20	0,35	0,45
глутаминовая кислота	7,80	3,08	1,97
серин	3,30	0,50	0,42
тирозин	2,80	0,25	0,26
пролин	5,80	0,97	0,56
цистин	0,20	0,20	0,15

5% муки ржаной обдирной. При этом следует отметить, что около 60% органических веществ, содержащихся в порошке из микроводоросли хлорелла, не переваривается в желудочно-кишечном тракте человека и не усваивается, таким образом, данный продукт можно считать низкокалорийным.

Микрофотография клеток микроводоросли *Chlorella vulgaris*, а также полученный на её основе порошок и суспензия, представлены на рис. 2 и 3.

Установлено, что содержание сухих веществ в порошке из микроводоросли (влажность 10,0%) выше, чем в муке пшеничной высшего сорта (влажность 14,0%) и муке ржаной обдирной (влажность 13,5%). Максимальный размер частиц порошка *Chlorella vulgaris* достигает

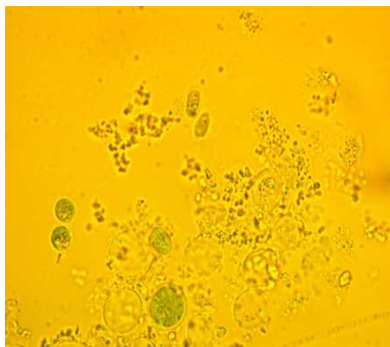


Рис. 2. Микроскопия клетки представителя микроальгофлоры рода *Chlorella vulgaris* (×40 мкм)



а)



б)

Рис. 3. Микроводоросль *Chlorella vulgaris*:

а – суспензия; б – порошок

90 мкм, тогда как среднее значение размера частиц муки пшеничной высшего сорта составляет 167 мкм. Таким образом, гранулометрический состав композиции (мука пшеничная : порошок *Chlorella vulgaris*) изменяется в зависимости от дозировки порошка микроводоросли.

Суспензия микроводоросли хлорелла имеет pH = 8,6. Результаты исследования органолептических показателей суспензии и порошка из микроводоросли хлореллы представлены в табл. 6.

6. Органолептические показатели качества микроводоросли *Chlorella vulgaris*

Наименование показателя	Значение показателей	
Консистенция	Жидкость	Однородная сыпучая масса (порошок)
Цвет	Светло-зелёный	Насыщенный зелёный
Запах	Свойственный водорослям, с лёгким травянистым ароматом	Свойственный водорослям, с травянистым ароматом
Вкус	Приятный, тонкий травянистый	Приятный, выраженный травянистый

3.2. ВЛИЯНИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ РОДА *CHLORELLA VULGARIS* НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ И МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

Движущей силой технологического процесса производства хлебобулочных изделий является совокупность сложнейших изменений

компонентов, вызываемых специально вносимыми в тесто и содержащимися в перерабатываемом сырье микроорганизмами. Под воздействием микроорганизмов в тесте происходят различные типы брожения, в результате которых в полуфабрикатах хлебопекарного производства накапливаются конечные продукты их жизнедеятельности, обеспечивающие разрыхление теста, способствующие формированию вкуса и аромата готового хлеба (табл. 7). Основными представителями этих микроорганизмов являются дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* и *Saccharomyces minor* (ржаные закваски) и молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus* (табл. 8). Наряду с основной культурой дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, в тестовые полуфабрикаты попадают также дрожжеподобные микроорганизмы *Monilia*, *Oidium*, *Candida* sp., *Torulopsis* и др., с молочными компонентами – бактерии семейства *Propionibacteriaceae* рода *Propionibacterium* (вызывают пропионовокислое брожение), с мукой – бактерии *Aerobacter aerogenes* (вызывают бутиленгликолевое брожение), с мукой и другим сырьём – бактерии из рода клостридии *Clostridium acetobutylicum* (вызывают масляное и ацетонобутиловое брожение), бактерии *Bacterium acetoaceticum* (вызывают ацетоноэтиловое брожение) и др.

7. Конечные продукты основных типов брожения, протекающих в хлебопекарных полуфабрикатах [41]

Типы брожения		Конечные продукты брожения
Спиртовое		Этанол, углекислый газ, глицерин, бутиловый спирт
Молочнокислое	Гомо-ферментативное	Молочная (85...90%) и уксусная кислоты, этанол, бутиловый спирт
	Гетеро-ферментативное	Молочная (20...40%), уксусная, янтарная и муравьиная кислоты, этанол, углекислый газ, водород
Пропионовокислое		Пропионовая, уксусная и янтарная кислоты, углекислый газ

Типы брожения	Конечные продукты брожения
Бутиленгликолевое	Молочная, муравьиная, янтарная и уксусная кислоты, этанол, 2,3-бутиленгликоль, углекислый газ, водород, ацетон, ацетилметилкарбинол, глицерин
Масляное и ацетонобутиловое	Углекислый газ, водород, муравьиная, уксусная и масляная кислоты, этанол, изопропиловый и бутиловый спирты, ацетон, ацетилметилкарбинол, бутиленгликоль
Ацетонэтиловое	Углекислый газ, водород, муравьиная и уксусная кислоты, этанол, ацетон, ацетилметилкарбинол, бутиленгликоль

При брожении хлебопекарных полуфабрикатов имеют место практически все перечисленные выше типы брожения, но в зависимости от используемой технологии, условий проведения технологического процесса и видового состава микрофлоры, степень её участия различается. На активность бродильной микрофлоры оказывают влияние такие факторы, как применяемые штаммы и количество жизнеспособных клеток, активная кислотность полуфабриката и его рецептура, влажность, температура, продолжительность процесса, наличие кислорода и др. Таким образом, жизнеспособность хлебопекарных дрожжей и молочнокислых бактерий, обуславливающих структуру полуфабрикатов, органолептические показатели, объём и форму готовых хлебобулочных изделий, имеет важное технологическое значение. С этой точки зрения целесообразным является исследование влияния микроводоросли хлорелла на показатели качества микроорганизмов теста.

В целях изучения влияния микроводоросли на жизнеспособность дрожжевых клеток проводили замес теста из пшеничной муки с внесением 3% суспензии *Chlorella vulgaris*. Через каждые 30 мин проводили микроскопирование теста и подсчёт количества нежизнеспособных

8. Характеристика основной бродильной микрофлоры хлебопекарных полуфабрикатов [41]

Вид, класс, порядок, семейство, род	Характеристика
Сахаромицес cerevisии (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>); Сахаромицеты (<i>Saccharomycetes</i>); Сахаромицетовые; Сахаромицетовые; Сахаромицес	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> – вид одноклеточных микроскопических грибов. Размножение – вегетативное при помощи почкования. Размер клетки 0,008...0,010 мкм, круглой или овальной формы. На сусло-агаре образуют колонии круглой формы, диаметром 5...10 мм, выпуклые, желтоватого цвета. Оптимальная температура развития 28...30 °С; рН = 4,5...5,0. Неустойчивы к высокой концентрации сахара, соли, спирта (концентрация 12...14%). Выполняют роль разрыхлителей тестовых полуфабрикатов, оказывая влияние на объём и пористость хлебобулочных изделий. Сбраживают глюкозу, фруктозу, сахарозу, простые декстрины и не сбраживают лактозу, крахмал, клетчатку
Сахаромицес минор (<i>Saccharomyces minor</i>); Сахаромицеты (<i>Saccharomycetes</i>); Сахаромицетовые; Сахаромицетовые; Сахаромицес	<i>Saccharomyces minor</i> – вид высших одноклеточных грибов, которые не образуют спор. Форма клетки – круглая или слегка овальная, диаметром 3,2...4,0 мкм. Молодые клетки имеют гомогенную протоплазму. На сусло-агаре образуют круглые, правильные колонии диаметром 25 мм, выпуклые с гладкой блестящей поверхностью серовато-белой окраски с розоватым оттенком. Специфичны для ржаного теста. Оптимальная температура развития 25...28 °С; рН = 3,0... 3,5, спиртоустойчивы, не требовательны к источникам витаминного и азотного питания. Неустойчивы при повышении температуры до 35 °С. Хорошо сбраживают и усваивают глюкозу, сахарозу, фруктозу, галактозу, раффинозу несколько слабее мальтозу и не сбраживают ксилозу, арабинозу, глицерин, маннит и лактозу, не расщепляют крахмал и клетчатку

Вид, класс, порядок, семейство, род	Характеристика
Болгарская палочка (<i>Lactobacillus dellbrueeckii</i>); Бациллы (<i>Bacilli</i>); Lactobacillales; Lactobacillaceae; Лактобациллы (<i>Lactobacillus</i>)	<p><i>Lactobacillus dellbrueeckii</i> – гомоферментативные, неподвижные, неспорообразующие грамположительные молочнокислые бактерии. Клетки бактерий палочковидные, имеют правильную форму, размер 0,5...0,8 × 5,0...9,0 мкм, располагаются поодиночке и парно. На плотной питательной среде образуют колонии круглой формы, выпуклые, беловатого цвета. Оптимальная температура развития 45...50 °С; pH = 5,5... 6,0. Требовательны к источникам азотистого питания. Обладают способностью сбраживать глюкозу (без образования углекислого газа) и сахарозу, хуже – мальтозу, галактозу, не сбраживают лактозу, раффинозу, арабинозу, ксилозу, ксилит, мелибиозу и трегалозу. Интенсивно вырабатывают кислоты и используются при выведении жидких дрожжей</p>
Лактобактерии плантарум (<i>Lactobacillus plantarum</i>); Бациллы (<i>Bacilli</i>); Lactobacillales; Lactobacillaceae; Лактобациллы (<i>Lactobacillus</i>)	<p><i>Lactobacillus plantarum</i> – гомоферментативные, грамположительные анаэробные неспорообразующие молочнокислые бактерий. Клетки бактерий палочковидные, средних размеров 0,7...1,0 × 3,0...8,0 мкм, располагаются поодиночке или короткими цепочками. Образуют колонии средней величины, куполообразные, беловатого цвета. Оптимальная температура развития 30...35 °С, pH < 3,2, спиртоустойчивы (концентрация до 20%). Требовательны к источникам углеводного, витаминного и аминокислотного питания. Обладают способностью сбраживать и усваивать галактозу, лактозу, сахарозу, альтозу, раффинозу, ксилит, мелибиозу, трегалозу, хуже сбраживают арабинозу и ксилозу. Используются в производстве ржаных и пшеничных заквасок. В процессе метаболизма бактерии происходит накопление антибиотика лактолина, подавляющего рост и развитие ряда грамположительных, граммотрицательных и дизентерийных бактерий, а также кишечной палочки</p>

Вид, класс, порядок, семейство, род	Характеристика
<p>Lactobacillus; Leichmannii; Бациллы (Bacilli); Lactobacillales; Lactobacillaceae; Лактобациллы (Lactobacillus)</p>	<p>Lactobacillus leichmannii – гомоферментативные молочнокислые бактерии, подгруппа термобактерий. Клетки бактерий палочковидные, мелкие, размером 0,6...1,0 × 4,0 мкм, располагаются поодиночке или цепочками. Оптимальная температура развития 40...45 °С. Требовательны к наличию в среде фолиевой кислоты и витамина В₁₂. Обладают способностью сбраживать глюкозу (без образования углекислого газа), сахарозу, мальтозу, целлобиозу, трегалозу, лактозу, не сбраживают галактозу. Специфичны для ржаных заквасок. Не оказывают особого влияния на процесс брожения</p>
<p>Lactobacillus casei; Бациллы (Bacilli); Lactobacillales; Lactobacillaceae; Лактобациллы (Lactobacillus)</p>	<p>Lactobacillus casei – гомоферментативные молочнокислые бактерии, подгруппа стрептобактерий. Различают три подвида: L. casei var. casei, L. casei var. rhamnosus, L. casei var. alactosus. Клетки бактерий палочковидные. Оптимальная температура развития L.casei var. casei, L.casei var. rhamnosus – 30...45 °С, L.casei var. alactosus – 30...35 °С. Сбраживают и усваивают галактозу, лактозу, сахарозу, мальтозу, ксилит, трегалозу, не сбраживают арабинозу, ксилозу, раффинозу и мелибиозу. Обнаружены в заквасках и тесте, где принимают участие в кислотонакоплении. Проявляют антагонистическую активность по отношению к кишечной и картофельной палочкам, патогенному микрококку, к бактериям тифа и дизентерии, золотистому стафилококку и дрожжеподобным грибам</p>

Вид, класс, порядок, семейство, род	Характеристика
<p>Lactobacillus brevis; Бациллы (Bacilli); Lactobacillales; Lactobacillaceae; Лактобациллы (Lactobacillus)</p>	<p>Lactobacillus brevis – мезофильные гетероферментативные бактерии, подгруппа β-бактерий. Клетки представляют собой короткие толстые палочки размером 0,7...1,0 × 2,0...4,0 мкм, располагаются поодиночке или цепочками различной длины. Оптимальная температура роста 30 °С. Обладают способностью роста при более низких и высоких температурах 15...37 °С. Развиваются в сочетании с Lactobacillus plantarum. Сбраживают и усваивают галактозу, мальтозу, мелибиозу, хуже – лактозу, сахарозу, арабинозу, ксилозу, раффинозу и не сбраживают ксилит и трегалозу. Наряду с молочной кислотой, они образуют этиловый спирт и углекислый газ. Используются в производстве ржаных и пшеничных заквасок, обеспечивают формирование вкуса и аромата готовых изделий. В процессе метаболизма накапливает антибиотик бревин, подавляющий рост и развитие золотистого стафилококка, кишечной и дизентерийной палочек</p>
<p>Lactobacillus fermenti; Бациллы (Bacilli); Lactobacillales; Lactobacillaceae; Лактобациллы (Lactobacillus)</p>	<p>Lactobacillus fermenti – мезофильные гетероферментативные бактерии. Клетки представляют собой короткие палочки размером 0,5...1,0 × 2,0...3,0 мкм, располагаются поодиночке и короткими цепочками. Оптимальная температура роста 37... 40 °С. Наряду с молочной кислотой, они образуют этиловый спирт и углекислый газ. Сбраживают галактозу, мальтозу, хуже – лактозу, сахарозу, арабинозу, ксилозу, раффинозу, мелибиозу, трегалозу, не сбраживают ксилит. Специфичны для заквасок. Продуцирует антибиотик бактериоцин, предотвращающий рост и развитие пневмо- и энтерококков. Используется для предотвращения развития картофельной болезни хлеба</p>

Вид, класс, порядок, семейство, род	Характеристика
Lactobacillus buchneri; Бациллы (Bacilli); Lactobacillales; Lactobacillaceae; Лактобациллы (Lactobacillus)	Lactobacillus buchneri – гетероферментативные молочнокислые бактерии. Клетки бактерий палочковидные, мелкие, размером $0,35 \times 0,7 \dots 4,0$ мкм, располагаются одиночно или попарно или цепочками. Образует колонии желтоватого цвета. Температура роста $15 \dots 45$ °С. Наряду с молочной кислотой, они образуют этиловый спирт и углекислый газ. Сбраживают меллицитозу. Обнаружены в заквасках, где содержатся в небольших количествах

клеток (рис. 4, 5). Установлено, что вносимая в тесто микроальгофлора не несёт угнетающего эффекта на присутствующие в нём *Saccharomyces cerevisiae*. Динамика гибели клеток дрожжей имеет общую закономерность. Через 90 мин брожения количество дрожжевых клеток в образце с внесением суспензии хлореллы ($5,8 \text{ КОЕ } 10^6/\text{г}$) превышало их количество в контрольном образце на 22%.

Важным показателем, характеризующим интенсивность брожения и признаком созревания теста, является динамика его кислотона-

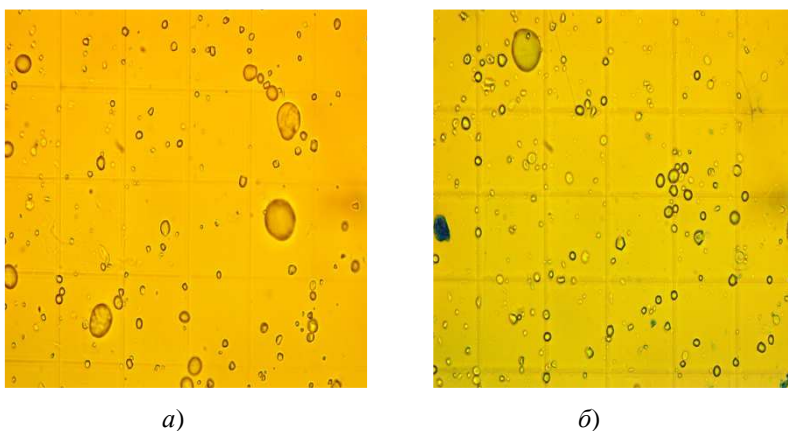


Рис. 4. Микроскопия теста из пшеничной муки с внесением хлореллы после замеса $\times 40$ мкм:

а – без окрашивания; *б* – с окрашиванием

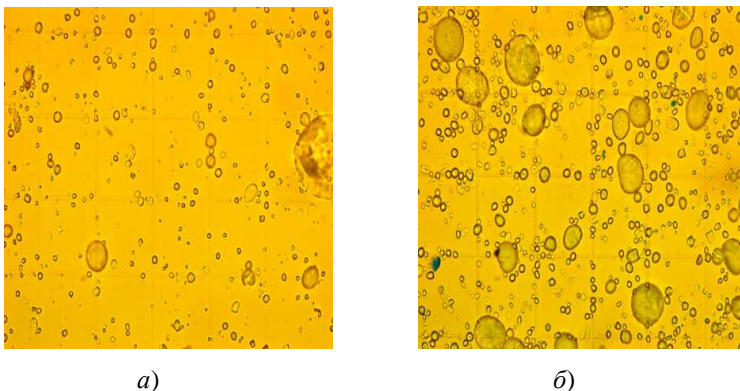


Рис. 5. Микроскопия теста из пшеничной муки с внесением хлореллы после 90 мин брожения $\times 40$ мкм:

a – без окрашивания; *б* – с окрашиванием

копления. Установлено, что внесение суспензии хлореллы в тесто из пшеничной муки стимулирует процесс кислотонакопления в процессе брожения теста и тем самым подтверждает её положительное влияние на активность клеток дрожжей. Требуемая кислотность теста ($3...3,5$ °) в образце с внесением суспензии хлорелла достигается за 150 мин брожения, а в контрольном образце – за 180 мин.

Известно, что молочнокислые бактерии семейства *Lactobacillus* очень требовательны к источникам питания, большинство бактерий этого семейства нуждаются в аргенине, цистеине, глутаминовой кислоте, лецине, фенилаланине, триптофане, тирозине и валине. Многие не могут полноценно развиваться в отсутствие витаминов, особенно адермина, пантотеновой кислоты и биотина. В данном случае химический состав суспензии хлореллы позволяет ей выступать оптимальной средой для развития молочнокислых бактерий.

На втором этапе изучали динамику кислотонакопления теста из смеси ржаной и пшеничной муки на основе ржаной и КМКЗ. Исследование проводили в течение 100 мин (рис. 6). Микробиологический состав и кислотность ржаной и концентрированной молочнокислой закваски представлены в табл. 9.

Установлено, что через 100 мин брожения титруемая кислотность образца теста на основе КМКЗ с внесением суспензии микроводоросли хлорелла соответствует показателю кислотности контрольного образца; титруемая кислотность образца теста на основе ржаной закваски с внесением суспензии микроводоросли хлорелла на 3% превышает показатель кислотности теста контрольного образца.

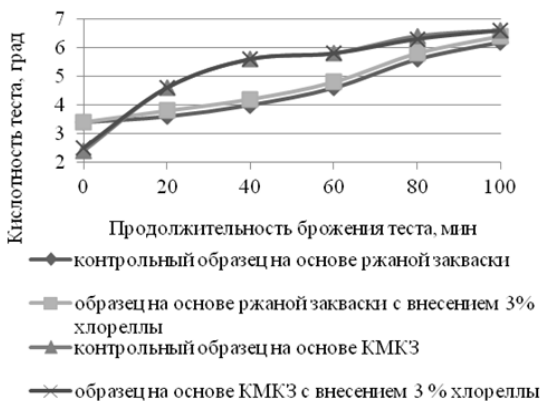


Рис. 6. Процесс кислотонакопления в тесте из смеси ржаной и пшеничной муки

9. Микрофлора и кислотность используемых заквасок

Закваска	Кислотность, град	Микробиологический состав
Ржаная	15,0	Lactobacillus brevis – 1 Lactobacillus casei – 26 Lactobacillus plantarum – 30 Lactobacillus fermenti – 34 Saccharomyces cerevisiae – 576 Saccharomyces minor «Чёрноречинский 1966»
Концентрированная молочнокислая	21,1	Lactobacillus brevis – 1 Lactobacillus casei – 26 Lactobacillus plantarum – 30 Lactobacillus fermenti – 34

3.3. ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ МИКРОВОДОРОСЛИ РОДА CHLORELLA VULGARIS И ЕЁ ВЛИЯНИЯ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

Согласно данным литературных источников из-за деятельности микроорганизмов примерно четверть производимых хлебобулочных

изделий становится непригодной к употреблению. Зачастую это связано с поражением изделий плесневыми грибами (преобладают представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, а также мукоровые грибы) и спорообразующими бактериями подвида *Bacillus subtilis*, вызывающими картофельную болезнь хлеба [42, 43].

Культура бактерий *Bacillus subtilis* является спорообразующей, широко распространена в природе: почве, воздухе, растениях. При попадании в хлебобулочное изделие, споры бактерии инициируют активный гидролиз крахмала с образованием декстринов, под действием их протеолитических ферментов происходит разрушение белков хлеба. Это приводит к тому, что заражённый мякиш становится тёмным, липким и тянущимся, а хлебобулочное изделие приобретает резкий специфический запах и становится непригодным к употреблению в пищу и вторичной переработке. Спорообразующие бактерии *Bacillus subtilis* погибают только при температуре 130 °С, легко перенося высушивание и кипячение [44].

Споры плесневых грибов (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Mucorales*, *Neurospora* и др.), попадая из окружающей среды, образуют на поверхности корки хлебобулочного изделия видимый мицелий различной окраски. Под действием их ферментного комплекса происходит расщепление компонентов мякиша изделия и накопление в нём продуктов метаболизма (пенициловой кислоты, микофенольной кислоты, цитринина, патулина и др.). В результате интенсивного размножения грибов хлебобулочное изделие приобретает неприятный вкус и аромат, а использование его в пищу может привести к осложнениям с летальным исходом, нарушениям в функционировании центральной нервной системы и органов желудочно-кишечного тракта человека [45, 46].

В процессе метаболизма в клетке хлореллы происходит накопление до 350, а культуральной жидкости – до 310. Это белки, различные углеводы, жиры, аминокислоты, фенольные соединения, органические кислоты, антибиотики и другие органические вещества, включая физиологически активные соединения [47, 48].

В связи с этим целесообразным является изучение влияния экзометаболитов культуры *Chlorella vulgaris* на подавление роста возбудителей порчи хлебобулочных изделий. В качестве объектов исследований использовали суспензию *Chlorella vulgaris*, отобранную с конца экспоненциальной фазы роста, с численностью клеток 20 млн. кл./мл. Культуру выращивали в оптимальных для роста условиях по освещённости и температуре. Тест-объектами выступала культура бактерий *Bacillus subtilis* и плесневые грибы. Исследование проводили с использованием метода дисков на чашках Петри: диски фильтровальной бумаги, пропитанные суспензией хлореллы, пинцетом

укладывали на поверхность агаровой пластинки, засеянной спорами плесени (рис. 7) или культурой бактерий *Vacillus subtilis*. В результате проведённых исследований установлено наличие зон задержки роста плесени и бактерий (табл. 10), что, вероятно, связано с присутствием жирных кислот и веществ пигментной природы в составе суспензии микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

Установлено, что размер зон инактивации роста возбудителей порчи хлебобулочных изделий возрастал при наличии освещённости. Вероятно, под действием света из неактивных предшественников, входящих в состав суспензии микроводоросли *Chlorella vulgaris*, образуются вещества с антибактериальными свойствами [49]. Воздействие света активизирует процесс окисления жирных кислот с образованием продуктов их окисления, которые являются биологическими детергентами.

Для изучения влияния суспензии микроводоросли *Chlorella vulgaris* на микробиологическую устойчивость хлебобулочных изделий в процессе их хранения проводили визуальный контроль готовых изделий на наличие поражения спорами плесневых грибов или бактерий *Vacillus subtilis* (табл. 11). Контрольные образцы хлебобулочных изде-

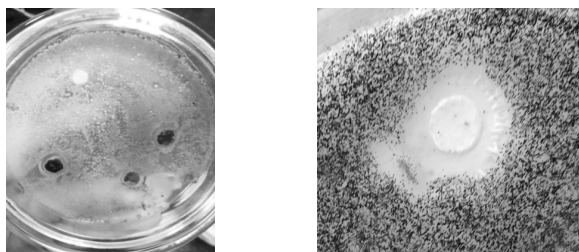


Рис. 7. Подавление роста плесневых грибов суспензией микроводоросли *Chlorella vulgaris* (метод бумажных дисков)

10. Подавление роста возбудителей порчи хлебобулочных изделий суспензией микроводоросли *Chlorella vulgaris* (метод бумажных дисков)

Освещённость	Размер зон угнетения роста, мм	
	бактерия <i>Vacillus subtilis</i>	споры плесневых грибов
Без света	0,50	0,80
При действии света	1,00	1,25

11. Микробиологическая устойчивость хлебобулочных изделий в процессе хранения

Условия хранения	Модельные образцы хлебобулочных изделий	Время хранения готовых изделий, ч			
		24	48	72	96
Нормальные	1	–	–	–	Среднее плесневение
	2	–	–	–	–
	3	–	–	–	–
	4	–	–	–	–
Провокационные	1	–	–	Среднее плесневение	Сильное плесневение со слабым поражением картофельной болезнью
	2	–	–	–	Среднее плесневение
	3	–	–	–	Среднее плесневение
	4	–	–	–	–

Примечание. 1 – булочное изделие из пшеничной муки (контроль); 2 – хлеб из ржано-пшеничной муки на основе молочнокислой закваски (контроль); 3 – булочное изделие из пшеничной муки, приготовленное опарным способом, с внесением суспензии микроводоросли (4%); 4 – хлеб из ржано-пшеничной муки на основе молочнокислой закваски с внесением суспензии микроводоросли (2%).

лий и образцы с внесением суспензии хранили в нормальных (температура 20...22 °С, влажность 55%) и провокационных условиях (температура 37...38 °С, влажность 85%).

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что видимый мицелий грибов наблюдался на поверхности булочных изделий из пшеничной муки с внесением суспензии микроводоросли через 96 ч

хранения в провокационных условиях, тогда как в контрольном образце булочного изделия его можно было наблюдать уже через 72 ч.

Полученные данные свидетельствуют о том, что введение в рецептуру хлебобулочных изделий суспензии микроводоросли *Chlorella vulgaris* позволяет затормозить их микробиологическую порчу.

3.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ РОДА CHLORELLA VULGARIS НА ХЛЕБОПЕКАРНЫЕ СВОЙСТВА МУКИ

Основным компонентом хлебопекарного производства выступает мука, показатели качества которой в значительной степени определяют конечный результат. В связи с этим целесообразным является изучение и анализ влияния микроводоросли *Chlorella vulgaris* на хлебопекарные свойства муки. В ходе исследования определяли качество и количество сырой клейковины (стандартная методика ГОСТ 27839) и водопоглотительную способность муки.

Качество и количество клейковины, которая представляет собой комплекс нерастворимых в воде белковых веществ, в значительной степени определяет хлебопекарные свойства муки и готовых хлебобулочных изделий. В результате проведённого эксперимента установлено, что внесение хлореллы приводит к увеличению количества клейковины пшеничной муки на 3%, по сравнению с контрольным образцом и укреплению её структурно-механических свойств (табл. 12).

12. Показатели качества клейковины пшеничной муки

Наименование показателя	Значение показателей		
	контроль	модельные образцы с внесением микроводоросли, %	
		2	4
Количество отмытой клейковины, г	8,85	8,98	9,12
Растяжимость клейковины, см	15,5	14,8	14,0
Качество, ед. пр. ИДК	73,7	73,5	73,0

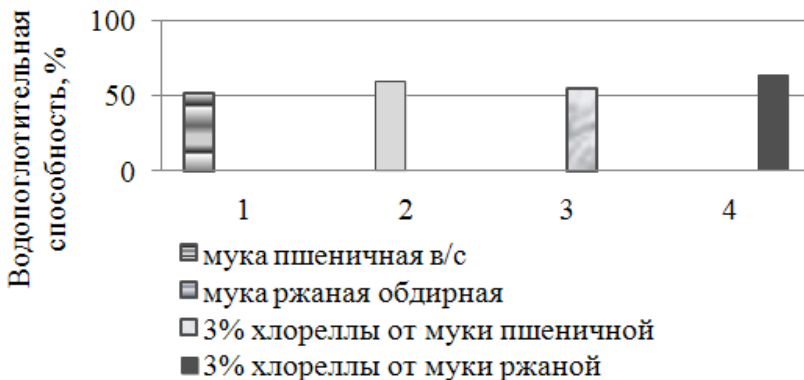


Рис. 8. Водопоглощательная способность муки

Одним из хлебопекарных свойств муки, характеризующим её способность к образованию теста нормальной консистенции, является водопоглощательная способность. Установлено, что внесение 3% хлореллы, содержащей в своём составе значительное количество белков и полисахаридов, способствует повышению водопоглощательной способности муки пшеничной на 3% и муки ржаной на 4%, по сравнению с контрольными образцами (рис. 8).

3.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ РОДА CHLORELLA VULGARIS ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

В рамках обоснования технологических решений производства хлебобулочных изделий из пшеничной муки с внесением *Clorella vulgaris* необходимы данные по её влиянию на показатели качества готового продукта.

Модельные образцы хлебобулочных изделий из пшеничной муки (рис. 9) представляют собой пищевые продукты, полученные выпечкой разрыхлённого дрожжами теста, которое готовилось опарным или безопарным способами из пшеничной муки с добавлением хлебопекарных дрожжей, соли, воды, микроводоросли хлорелла и дополнительных видов сырья, предусмотренных рецептурой изделий. Образцы выпекали формовыми (рис. 10) и подовыми (рис. 11, 12).

Производство хлебобулочных изделий из пшеничной муки включает следующие стадии технологического процесса: подготовка сырья к производству, замес полуфабрикатов (тесто, опара), их брожение,



Рис. 9. Модельные образцы хлебобулочных изделий из пшеничной муки с внесением *Chlorella vulgaris*



Рис. 10. Хлеб из пшеничной муки с внесением 2% *Chlorella vulgaris*



Рис. 11. Булочное изделие с внесением 4% *Chlorella vulgaris* и 4% паприки



Рис. 12. Булочные изделия, приготовленные опарным способом, с внесением:
a – 2% *Chlorella vulgaris*;
б – 4% *Chlorella vulgaris*

разделка теста (деление теста на куски заданной массы, округление тестовых заготовок, предварительная расстойка, формование тестовых заготовок, укладка, окончательная расстойка, надрезка, наколка, отделка поверхности тестовых заготовок) выпечка изделий, охлаждение, хранение и транспортировка в торговую сеть для реализации.

После охлаждения (16...18 ч) готовые изделия отправляли на исследование физико-химических (табл. 13, 14), структурно-механических и органолептических показателей (табл. 15).

Установлено, что внесение микроводоросли в хлебобулочные изделия из пшеничной муки способствовало улучшению структуры мякиши готовых изделий: пористость хлеба из пшеничной муки с внесе-

13. Физико-химические показатели хлеба из пшеничной муки

Наименование показателя	Значение показателей		
	контроль	модельные образцы с внесением микроводоросли, %	
		2	4
Кислотность мякиша, град	2,6	2,6	2,7
Пористость мякиша, %	77,0	79,0	81,0
Удельный объём, см ³ /г	3,3	3,5	3,7

14. Физико-химические показатели булочного изделия из пшеничной муки

Наименование показателя	Значение показателей		
	контроль	модельные образцы с внесением микроводоросли, %	
		2	4
Кислотность мякиша, град	2,3	2,3	2,4
Пористость мякиша, %	76,0	78,1	80,8
Формоустойчивость, (Н:Д)	0,43	0,44	0,46

15. Органолептические показатели модельных образцов хлебобулочных изделий из пшеничной муки с внесением микроводоросли

Модельный образец	Результаты сенсорного анализа образца
Булочное изделие из пшеничной муки, приготовленное опарным способом (контроль)	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет желтоватый. Мякиш не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений. Вкус и запах, свойственные данному изделию
Булочное изделие из пшеничной муки, приготовленное опарным способом, с внесением 4% <i>Chlorella vulgaris</i>	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет жёлто-коричневый с проявлением зелени. Мякиш не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений, равномерная, тонкостенная. Вкус и запах приятные, с неярко выраженным травянистым ароматом

Модельный образец	Результаты сенсорного анализа образца
Булочное изделие из пшеничной муки с внесением 4% <i>Chlorella vulgaris</i> и 4 % паприки	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет оранжево-коричневый с проявлением зелени. Мякиш имеет кручёную структуру, не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений, тонкостенная. Вкус приятный, сладковатый. Запах приятный, пряный, с неярко выраженным травянистым ароматом
Хлеб из пшеничной муки с внесением 2% <i>Chlorella vulgaris</i>	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет желтовато-коричневый. Мякиш поперечный, не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений, равномерная, тонкостенная. Вкус приятный, с неярко выраженным лёгким травянистым ароматом
Хлеб из пшеничной муки (контроль)	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет желтоватый. Мякиш поперечный, не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений, равномерная. Вкус и запах приятные, свойственные данному изделию

нием микроводоросли *Chlorella vulgaris* повысилась на 2,6...5,2% по сравнению с контрольным образцом; удельный объём – на 6,0...12,1%; пористость булочного изделия из пшеничной муки повысилась на 2,7...6,3% по сравнению с контрольным образцом; формоустойчивость – на 2,3...7,0%. Кислотность мякиша хлеба из пшеничной муки выросла на 3,8% по сравнению с контрольным образцом, а булочного изделия из пшеничной муки – на 4,3% по сравнению с контрольным образцом.

Были проведены исследования влияния микроводоросли *Chlorella vulgaris* на процесс черствения хлеба из пшеничной муки, оценку которого проводили по состоянию мякиша в течение трёх суток.

В результате проведённых исследований установлено, что через 48 ч в модельных образцах сжимаемость мякиша уменьшилась на 32%, а у контрольного образца на 33% (рис. 13). При дальнейшем хранении (после двух суток) сжимаемость выше у модельного образца с добав-

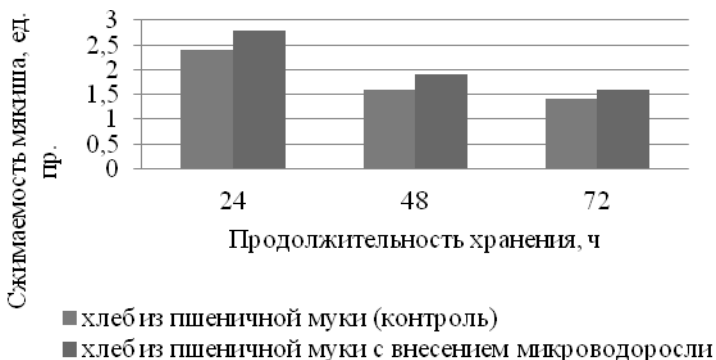


Рис. 13. Влияние продолжительности хранения хлеба из пшеничной муки на сжимаемость мякиша

лением микроводоросли. Полученные данные коррелируют с результатами исследований качества клейковины и водопоглотительной способности муки.

Внесение микроводоросли в рецептуру хлеба из пшеничной муки позволяет замедлить процесс черствения, повысить сроки хранения готовых изделий.

Сенсорный анализ модельных образцов хлебобулочных изделий из пшеничной муки (табл. 15) показал положительное влияние микроводоросли *Clorella vulgaris* на основные органолептические показатели готовых изделий: аромат, структуру мякиша и вкус. Булочные изделия обладали правильной округлой нерасплывчатой формой, трещины и подрывы на поверхности отсутствовали. Готовые хлебобулочные изделия из пшеничной муки имели развитую тонкостенную пористость. Благодаря тепловой обработке тестовых заготовок с внесением *Clorella vulgaris* готовые изделия обладали особым пикантным ароматом и вкусом, что связано с химическим составом микроводоросли (йод, полиненасыщенные жирные и глутаминовая кислоты). Наличие в составе хлореллы глицина и аланина способствовало приданию лёгкой сладости готовым изделиям, а лейцина, валина и изолейцина – тонкого горьковатого привкуса, который не был выражен и в целом не оказывал отрицательного влияния на сенсорную оценку готовых изделий. Следует отметить, что готовые изделия имели более тёмный цвет корки с наличием желтовато-зеленоватого оттенка, цвет мякиша модельных образцов с внесением микроводоросли так же обладал оригинальным зеленоватым оттенком, не характерным для хлебобулочных изделий из пшеничной муки.

3.6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ РОДА *CHLORELLA VULGARIS* ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СМЕСИ РЖАНОЙ И ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Производство хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки включает следующие стадии технологического процесса: подготовка сырья к производству, замес и брожение полуфабрикатов (тесто, закваска), разделка теста (деление теста на куски заданной массы, округление тестовых заготовок, формование тестовых заготовок, укладка, окончательная расстойка, накладка, отделка поверхности тестовых заготовок) выпечка изделий, охлаждение, хранение и транспортировка в торговую сеть для реализации.

Для обоснования использования хлореллы в технологии производства хлебобулочных изделий были проведены лабораторные выпечки хлебобулочных изделий из смеси пшеничной и ржаной муки с внесением хлореллы (рис. 14, 15). Микроводоросль в виде порошка влажностью 10% вносили на этапе замеса теста. После охлаждения у выпеченных образцов определяли органолептические (табл. 16) и физико-химические показатели (табл. 17).

Установлено, что внесение хлореллы в рецептуру хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки способствует улучшению качества готовых хлебобулочных изделий: пористость мякиша хлеба на основе концентрированной молочнокислой закваски с внесением микроводоросли *Clorella vulgaris* повысилась на 0,4%, по сравнению с контрольным образцом, а на основе ржаной закваски – на 3,01%; удельный объем хлеба на основе концентрированной молочнокислой закваски с внесением микроводоросли *Clorella vulgaris* выросла на 3,59%, по сравнению

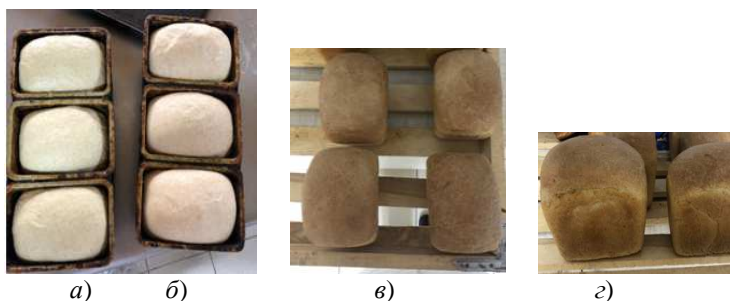


Рис. 14. Тестовые заготовки для изготовления хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки на основе ржаной закваски:

а – с внесением *Clorella vulgaris*; *б* – контроль.

Выпеченные хлебобулочные изделия из смеси ржаной и пшеничной муки на основе ржаной закваски: *в* – контроль; *г* – с внесением *Clorella vulgaris*



а) б)

Рис. 15. Хлеб из смеси ржаной и пшеничной муки на основе молочнокислой закваски:

а – с внесением *Clorella vulgaris*; б – контроль

16. Органолептические показатели модельных образцов хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки с внесением микроводоросли

Модельный образец	Результаты сенсорного анализа образца
Хлеб из смеси ржаной и пшеничной муки на основе молочнокислой закваски с внесением <i>Chlorella vulgaris</i>	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет коричневатый. Мякиш поперечный, не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений, равномерная, тонкостенная. Вкус приятный, с ярко выраженным ароматом ржаного изделия и лёгким травянистым запахом
Хлеб из смеси ржаной и пшеничной муки на основе молочнокислой закваски (контроль)	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет коричневатый. Мякиш поперечный, не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений, равномерная. Вкус и запах приятный, свойственный данному изделию
Хлеб из смеси ржаной и пшеничной муки на основе ржаной закваски с внесением <i>Chlorella vulgaris</i>	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет коричневый. Мякиш поперечный, не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений, равномерная, тонкостенная. Вкус приятный, с ярко выраженным ароматом ржаного изделия и лёгким травянистым запахом
Хлеб из смеси ржаной и пшеничной муки на основе ржаной закваски (контроль)	Поверхность гладкая, без трещин и подрывов. Цвет коричневый. Мякиш поперечный, не липкий, не влажный, эластичный, без следов непромеса. Пористость без уплотнений, равномерная. Вкус и запах приятные, свойственные данному изделию

17. Физико-химические показатели хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки

Наименование показателя	Значение показателей			
	контроль		модельные образцы с внесением 3% микроводоросли	
	на КМКЗ	на ржаной закваске	на КМКЗ	на ржаной закваске
Кислотность мякиша, град	5,8	5,2	5,8	5,2
Пористость мякиша, %	74,7	75,0	73,0	75,2
Деформация мякиша, мм	2,4	2,5	2,7	2,9
Удельный объём, см ² /г	2,23	2,31	2,38	2,54

с контрольным образцом, а на основе ржаной закваски – на 6,72%; деформация мякиша хлеба на основе концентрированной молочнокислой закваски с внесением микроводоросли *Clorella vulgaris* увеличилась на 4,17%, по сравнению с контрольным образцом, а на основе ржаной закваски – на 7,41%. Кислотность мякиша модельных образцов хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки с внесением микроводоросли, по сравнению с контрольными образцами, не изменилась. Готовые хлебобулочные изделия из смеси ржаной и пшеничной муки с внесением микроводоросли имели развитую тонкостенную пористость, а также более выраженный, по сравнению с контрольными изделиями, аромат и лёгкий приятный травянистый запах.

На следующем этапе было изучено влияние микроводоросли *Chlorella vulgaris* на процесс черствения хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки. Установлено, что через 48 ч в модельных образцах сжимаемость мякиша уменьшилась на 20,8% (на КМКЗ) и 19,2% (на основе ржаной закваски), а у контрольного образца на 21,7% (на основе КМКЗ) и 20,0% (на основе ржаной закваски) (рис. 16).

Таким образом, можно сделать вывод: внесение микроводоросли в рецептуру хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки позволило замедлить процесс черствения модельных образцов.

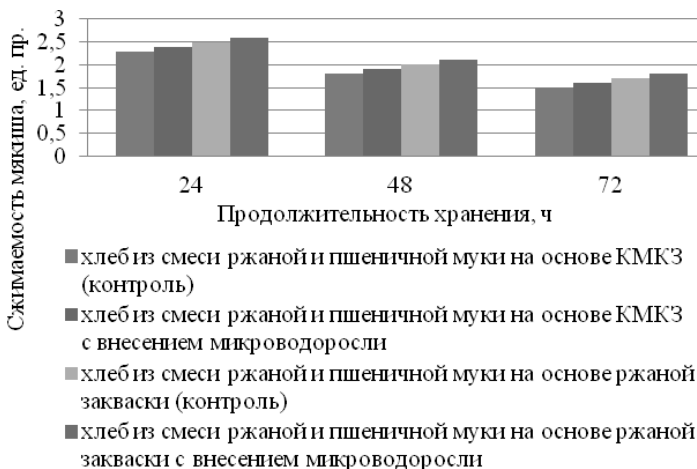


Рис. 16. Влияние продолжительности хранения хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки на сжимаемость мякниша

Вопросы для проверки

1. Перечислите конечные продукты спиртового брожения.
2. Какие типы брожения имеют место при брожении тестовых полуфабрикатов?
3. Какую роль играют *Saccharomyces cerevisiae* в тестовых полуфабрикатах? Какие вещества они способны сбраживать, а какие нет?
4. В производстве каких хлебопекарных полуфабрикатов и с какой целью используют *Lactobacillus brevis*?
5. Какой антибиотик вырабатывают молочнокислые бактерии рода *Lactobacillus fermenti* и для чего они используются в хлебопекарном производстве?
6. Какие вещества необходимы молочнокислым бактериям семейства *Lactobacillus* для жизнедеятельности?
7. Чем вызваны плесневение и картофельная болезнь хлеба?
8. Перечислите основные стадии производства булочного изделия из пшеничной муки.
9. Перечислите основные стадии производства хлеба формового из смеси ржаной и пшеничной муки.

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Ключевым аспектом государственной политики Российской Федерации в социальной сфере выступает укрепление здоровья населения и профилактика заболеваний, обусловленных нарушениями пищевого статуса. В рамках реализации комплекса мер по улучшению здоровья населения предусмотрено увеличение выпуска специализированных кондитерских изделий, отвечающих физиологическим потребностям организма человека в пищевых веществах и энергии, а также обладающих лечебно-профилактическим действием.

При этом на долю мучных кондитерских изделий приходится более половины (53,8% в 2019 г.) от общего объёма производства кондитерских изделий, что обусловлено стабильным ростом их потребления (согласно результатам исследований АСКОНД в 2018 г. потребление кондитерских изделий в России составило 25,2 кг на душу населения в год). Значительное количество мучных кондитерских изделий вырабатывают предприятия хлебопекарной промышленности. Ассортимент таких изделий очень разнообразен и отличается рецептурой, технологией приготовления, внешним видом и вкусом.

Мучные кондитерские изделия подразделяются на следующие группы: печенье, вафли, пряничные изделия, кексы, рулеты, торты, пирожные и мучные восточные изделия. Из них одно из лидирующих место по объёму производства (30%) занимают кексы.

Кекс представляет собой мучное кондитерское изделие объёмной формы, изготовленное из сдобного теста (массовая доля общего сахара не менее 20%, жира – не менее 10%, влаги – не более 30%) с добавлениями (орехи, изюм, цукаты и др.) или без них, с отделкой поверхности или без неё, с использованием дрожжей или химических разрыхлителей или без использования химических разрыхлителей и дрожжей.

Производство кексов может включать следующие технологические стадии: подготовка сырья к производству, приготовление полуфабрикатов (опара, тесто), разделка теста (деление теста на куски заданной массы, формование тестовых заготовок, укладка, окончательная расстойка) выпечка изделий, отделка поверхности, охлаждение, хранение и транспортировка в торговую сеть для реализации.

В целях повышения пищевой ценности кексов, а также придания им оригинального внешнего вида и вкуса, было предложено использование в качестве добавки микроводоросли хлореллы (рис. 17).



а) б)

Рис. 17. Кекс с изюмом:

a – контроль; *б* – с внесением 3% *Clorella vulgaris*

Для обоснования целесообразности такого подхода были проведены экспериментальные исследования влияния *Chlorella vulgaris* на органолептические показатели кексов (табл. 18), удельный объём и общую деформацию сжатия мякиша (табл. 19), процессы черствения (рис. 18) и показатели микробиологической безопасности (табл. 20) в процессе хранения изделий.

Внесение в рецептуру кексов микроводоросли *Chlorella vulgaris* приводило к изменению органолептических показателей модельных образцов: готовые изделия характеризовались выпуклой формой, оригинальным цветом мякиша и приятным травянистым ароматом, корка

18. Органолептические показатели модельных образцов кексов с внесением микроводоросли

Модельный образец	Результаты сенсорного анализа образца
Кекс с внесением <i>Chlorella vulgaris</i>	Поверхность без подгорелости. Цвет коричневатый. Внешний вид в изломе поперечный, без следов непромеса и закала. Форма соответствует той форме, в которой осуществлялась выпечка, без повреждений. Вкус приятный, свойственный кексу с лёгким травянистым ароматом
Кекс (контроль)	Поверхность без подгорелости. Цвет коричневатый. Внешний вид в изломе поперечный, без следов непромеса и закала. Форма соответствует той форме, в которой осуществлялась выпечка, без повреждений. Вкус и запах приятные, свойственные данному изделию, без постороннего привкуса и запаха

19. Показатели качества кексов

Наименование показателя	Значение показателей	
	контроль	модельный образец с внесением 3% микроводоросли
Общая деформация сжатия мякиша, мм	24,2	24,4
Удельный объём, см ³ /г	2,68	2,78

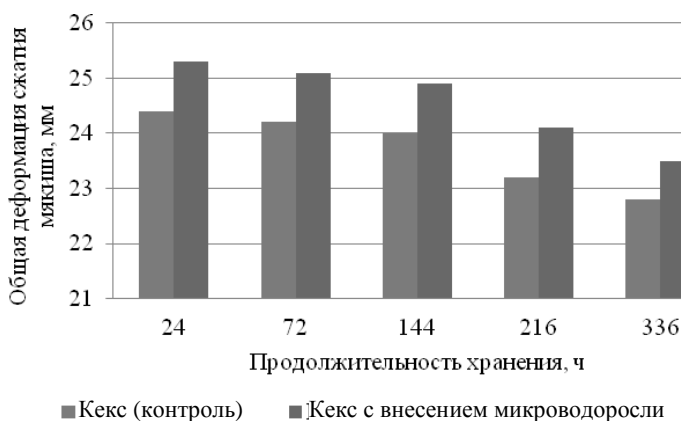


Рис. 18. Влияние продолжительности хранения кексов на общую деформацию сжатия мякиша

20. Показатели микробиологической безопасности кексов на 14 сутки хранения

Наименование показателя	Значение показателей	
	допустимый уровень	модельный образец с внесением 3% микроводоросли
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ г/см ³ , не более	5×10^3	$0,8 \times 10^3$

Наименование показателя	Значение показателей	
	допустимый уровень	модельный образец с внесением 3% микроводоросли
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта, г (см ³)	0,1	Не обнаружено
<i>S. aureus</i> , не допускаются в массе продукта, г (см ³)	0,1	
Плесени КОЕ/г, не более	50	
Дрожжи КОЕ/г, не более	50	

имела более яркую окраску, чем у контроля. У кексов с внесением хлореллы наблюдалось улучшение структуры мякиша – удельный объем повысился на 3,7%, по сравнению с контролем; общая деформация сжатия выросла на 0,8%.

Для изучения влияния микроводоросли на изменение структурно-механических свойств мякиша кексов в процессе хранения, выпеченные изделия после охлаждения упаковывали в полипропиленовую пленку и оставляли при температуре 18...21 °С и влажности воздуха 70...75%. О степени черствения судили по изменению общей деформации сжатия мякиша в течение 14 сут (рис. 16).

Установлено, что в процессе хранения кексов происходит закономерное снижение пластических свойств мякиша изделий. При этом показатель общей деформации сжатия мякиша кексов с внесением хлореллы через 14 сут хранения на 3,1% выше, чем у контрольного образца. Анализ изменения общей деформации сжатия мякиша на протяжении всего периода хранения изделий свидетельствует о том, что кекс с хлореллой имеет более низкие темпы черствения по сравнению с контрольным образцом.

На следующем этапе было проведено исследование микробиологической безопасности кексов на 14 сут хранения, в результате которого установлено соответствие готовых изделий требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (табл. 18).

Вопросы для проверки

1. Какие изделия относятся к мучным кондитерским?
2. Что такое кекс?
3. Перечислите основные стадии производства кекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем пособии представлены данные о химическом составе различных представителей альгофлоры и их свойства. Указаны роды и виды наиболее широко используемых в промышленности водорослей. Обобщена информация об основных направлениях использования макрофитных и микрофитных представителей альгофлоры в пищевом производстве.

Дано описание биотехнологических основ производства биологически активных добавок на основе микроводорослей. Представлены требования к условиям культивирования микроводоросли рода хлорелла. Описаны результаты исследования органолептических и физико-химических свойств порошка хлореллы и суспензии этой микроводоросли.

Третья и четвертая главы пособия посвящены научно-практическому обоснованию использования микроводоросли хлорелла как источника пищевых и биологически активных веществ в технологии производства хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. В разделах представлены результаты исследований влияния микроводоросли на показатели качества хлебопекарных дрожжей и молочнокислых бактерий; на хлебопекарные свойства муки; на органолептические и физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий из пшеничной муки, хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки и кекса. Описаны и проанализированы результаты исследования антибактериальной активности микроводоросли хлорелла и её влияния на микробиологическую устойчивость хлебобулочных изделий в процессе хранения.

Материал, представленный в пособии, может быть использован при освоении дисциплин по направлениям подготовки 19.03.01, 19.04.01 «Биотехнология» и 19.03.02, 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Создание качественно новых продуктов с заданными свойствами / К. Л. Коновалов, А. И. Лосева, М. Т. Шульбаева, Н. В. Печеник // Пищевая индустрия. – 2010. – № 5.
2. Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания : учебное пособие / Е. И. Муратова, С. Г. Толстых, С. И. Дворецкий, О. В. Зюзина, Д. В. Леонов. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2011. – 80 с.
3. Дунченко, Н. И. Научные и методологические подходы к управлению качеством пищевых продуктов / Н. И. Дунченко // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 3(26).
4. Водоросли: цианобактерии, красные, зелёные и харовые водоросли : учебно-методическое пособие / А. Г. Пауков, А. Ю. Тептина, Н. А. Кутлунина, А. С. Шахматов, Е. В. Павловский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 204 с.
5. Седова, Т. В. Основы цитологии водорослей / Т. В. Седова. – Л. : Наука, 1977. – 172 с.
6. Осовская, И. И. Морские водоросли. Применение в биотехнологии : учебное пособие / И. И. Осовская, А. А. Приходько. – СПб. : Изд-во ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 78 с.
7. Титлянов, Э. А. Полезные вещества морских зелёных макроводорослей (Chlorophyta) и морских трав (Magnoliophyta): структура, содержание, накопление и использование / Э. А. Титлянов, Т. В. Титлянова, О. С. Белоус // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 166. – С. 283 – 296.
8. Технология получения липидов из микроводорослей [Электронный ресурс] : монография / Д. С. Дворецкий, С. И. Дворецкий, М. С. Темнов и др. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.
9. Pulz, O. Valuable Products from Biotechnology of Microalgae / O. Pulz, W. Gross // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2004. – V. 65, No. 6. – P. 635 – 648.
10. Capelli, B. Potential Health Benefits of Spirulina Microalgae / B. Capelli, G. R. Cysewski // Nutrafoods. – 2010. – V. 9, Is. 2. – P. 19 – 26.
11. Минюк, Г. С. Спирулина Крымская – источник йода / Г. С. Минюк, Р. П. Тренкеншу // Прикладная альгология. – 1999. – № 1 – 3. – С. 25 – 28.
12. Андреева, В. М. Род Clorella. Морфология, систематика, принципы классификации / В. М. Андреева. – Л. : Наука, 1975. – 110 с.
13. Туманова, А. Л. Экспериментальные исследования по изучению влияния пищевой суспензии микроводоросли *Chorella vulgaris* на

организм человека / А. Л. Туманова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 9. – С. 85 – 88.

14. Гудвиллович, И. Н. Влияние условий культивирования на рост и содержание фикобилипротеинов красной микроводоросли *Porphyridium purpureum* (обзор) / И. Н. Гудвиллович // Экология моря. – 2010. – Спец. вып. 81 : Биотехнология водорослей. – С. 28 – 36.

15. *Microalgae Biotechnology for Food, Health and High Value Products* [Электронный ресурс]. – URL : <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0169-2>

16. Кедик, С. А. Спирулина – пища XXI века / С. А. Кедик, Е. И. Ярцев, Н. В. Гульятеева. – М. : Фарма Центр, 2006. – 166 с.

17. Румянцева, В. В. Перспективы использования микроводоросли *Spirulina Platensis* в технологии леденцовой карамели повышенной пищевой ценности / В. В. Румянцева, Е. В. Хмелева, Л. А. Жижина // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2018. – № 3. – С. 20 – 25.

18. Кудрицкая, С. П. Разработка технологии получения и фармакотоксикологические исследования бета-каротина : дис. ... д-ра биол. Наук / С. П. Кудрицкая. – Краснодар, 2003. – 346 с.

19. Идентификация и характеристика причерноморских штаммов *Naematococcus pluvialis* – продуцентов астаксантина / Э. С. Челебиева, Н. В. Данцюк, К. А. Чеканов и др. // Прикладная биохимия и микробиология. – 2018. – Т. 54, № 6. – С. 603 – 613.

20. Баянова, Ю. И. Оценка витаминного состава некоторых одноклеточных водорослей и высших растений, выращенных в искусственных условиях / Ю. И. Баянова, Н. И. Трубачев // Прикладная биохимия и микробиология. – 1981. – Т. 17, № 3. – С. 400 – 407.

21. Вафина, Л. Х. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (*Phaeophyta*) при получении функциональных пищевых продуктов : дис. ... канд. техн. наук / Л. Х. Вафина. – М., 2010. – 280 с.

22. Корнева, Е. Л. Пробиотические продукты на основе биогеля из морских водорослей / Е. Л. Корнева, Н. М. Аминаина, Е. В. Якуш // Известия ТИНРО. – 2009. – Т. 159. – С. 361 – 365.

23. Гержова, Т. В. Разработка технологии специализированной пищевой продукции из ламинарии для питания детей в организованных коллективах : дис. ... канд. техн. наук / Т. В. Гержова. – М., 2014. – 181 с.

24. Кобзева, С. Ю. Разработка технологии функциональной рыбо-овощной кулинарной продукции с порошком ламинарии : дис. ... канд. техн. наук / С. Ю. Кобзева. – Орел, 2012. – 159 с.

25. Сборник рецептур и технологических инструкций по приготовлению хлебобулочных изделий для профилактического и лечебного питания / Гос. науч.-исслед. ин-т хлебопекар. пром-сти (ГОСНИИХП). – М. : Пищепромиздат, 2004. – 250 с.

26. Пат. RU 2142232. Российская Федерация, C1 МПК A21D 8/02, 2/36. Способ производства хлеба «Белгородский с морской капустой» / Верещак В. Д., Письменный В. В., Суханов Е. П., Троицкий Б. Н., Черкашин А. И., Шарова Г. П.; опубл. 12.10.1999.

27. Игнатова, Т. А. Разработка технологии комплексной переработки красных водорослей – агарофитов родов *Gracilaria*, *Gracilariopsis*, *Gelidium* : дис. ... канд. техн. наук / Т. А. Игнатова. – М., 2011. – 201 с.

28. Гришина, Л. Н. Разработка технологии хлебобулочных изделий с применением микроводоросли спирулины : дис. ... канд. техн. наук / Л. Н. Гришина. – М., 2012. – 185 с.

29. Пат. RU 2450522. Способ производства хлебобулочных изделий для профилактического / Белявская И. Г.; опубл. 20.05.2012.

30. Шабунина, Е. А. Научное обоснование режимов массообмена при автотрофном биосинтезе дуналиеллы и её применение в технологии мучных кондитерских изделий : дис. ... канд. техн. наук / Е. А. Шабунина. – Воронеж, 2018. – 230 с.

31. Пат. RU 2685113. Способ производства хлеба, содержащего наноструктурированный экстракт хлореллы / Кролевец А. А.; опубл. 16.04.2019.

32. Плеханов, С. Е. Подавление роста бактерий экзометаболитами культуры водоросли *Chlorella* / С. Е. Плеханов, Л. Б. Братковская, А. П. Садчиков // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2013. – № 5(15). – С. 12 – 15.

33. Владимиров, М. Г. Интенсивная культура одноклеточных водорослей / М. Г. Владимиров, В. Е. Семенов. – М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1962. – 44 с.

34. De Roos, A. D. G. The Origin of the Eukaryotic Cell Based on Conservation of Existing Interfaces / A. D. G. de Roos // *Artificial Life*. – 2006. – V. 12. – P. 513 – 523.

35. Anderson, H. C. Electron Microscopic Studies of Induced Cartilage Development and Calcification / H. C. Anderson // *J. Cell Biol.* – 1967. – V. 35. – P. 81 – 101.

36. Fromme, P. Unraveling the Photosystem I Reaction Center: a History, or the Sum of Many Efforts / P. Fromme, P. Mathis // *Photosynthesis Research*. – 2004. – № 80. – P. 109 – 124.

37. Конев, С. В. Фотобиология / С. В. Конев, И. Д. Волоотовский. – Минск : Изд-во БГУ им. Ленина, 1979. – С. 333 – 336.

38. Тутельян, В. А. Концепция оптимального питания: научные обоснования / В. А. Тутельян // Информационный бюллетень. – 2001. – № 11. – С. 6 – 12.
39. Лукьянов, В. А. Прикладные аспекты применения микроводорослей в агроценозе / В. А. Лукьянов, А. И. Стифеев. – Курск : Изд-во Курск. гос. сельскохозяй. акад., 2014. – 181 с.
40. Пашенко, Л. П. Технология хлебобулочных изделий / Л. П. Пашенко, И. М. Жаркова. – Воронеж : ВГТА, 2011. – 692 с.
41. Матвеева, И. В. Биотехнологические основы приготовления хлеба / И. В. Матвеева, И. Г. Белявская. – М. : ДеЛи принт, 2001. – 150 с.
42. Богатырева, Т. Г. Пути повышения микробиологической чистоты хлебобулочных и макаронных изделий, методы контроля / Т. Г. Богатырева, О.И. Сидорова. – М. : ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1994. – 40 с.
43. Davidson, P. M. Antimicrobial agents / P. M. Davidson, V. K. Juneja // Food Additives. – NY. : Marcel Dekker, Inc, 1990. – Pp. 83 – 137.
44. Поландова, Р. Д. Картофельная болезнь хлеба: проблемы и современные способы предупреждения / Р. Д. Поландова, Т. Г. Богатырева, А. А. Атаева // Хлебопечение России. – 1998. – № 4. – С. 13–14.
45. Сорокулова, И. Б. Возбудитель «картофельной болезни» хлеба и здоровье человека / И. Б. Сорокулова // Хлебопечение России. – 2000. – № 2. – С. 30.
46. Fritze, D. Taxonomy of the Genus *Bacillus* and Related Genera: the Aerobic Endosporeforming Bacteria // Phytopathology. – 2004. – No 94(11). – Pp. 1245 – 1248.
47. Музафаров, А. М. Массовое культивирование хлореллы и её использование в животноводстве / А. М. Музафаров, Т. Т. Таубаев. – Ташкент : Фан, 1968. – 160 с.
48. Плеханов, С. Е. Функциональное состояние культур хлорококковых водорослей и накопление внеклеточных органических веществ / С. Е. Плеханов, И. В. Максимова // Физиология растений. – 1996. – Т. 43, № 1. – С. 142 – 149.
49. Максимова, И. В. Светозависимый антибактериальный эффект водорослей и его экологическое значение / И. В. Максимова, О.А. Сидорова // Гидробиология. – 1986. – Т. 22, № 6. – С. 3 – 11.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Водоросли – перспективное сырьё для производства продуктов повышенной пищевой ценности	5
1.1. Общая характеристика представителей альгофлоры	5
1.2. Компонентный состав микроводорослей	17
1.3. Применение водорослей в пищевом производстве	25
2. Биохимические основы производства БАД на основе микроводорослей	34
2.1. Основы производства продуктов биосинтеза микроводорослей	34
2.2. Культивирование микроводоросли <i>Chlorella</i>	39
3. Научно-практические аспекты применения микроводорослей в технологии производства хлебулочных изделий	42
3.1. Органолептические и физико-химические показатели микроводоросли рода <i>Chlorella vulgaris</i>	43
3.2. Влияние микроводоросли рода <i>Chlorella vulgaris</i> на показатели качества хлебопекарных дрожжей и молочнокислых бактерий	47
3.3. Исследование антибактериальной активности микроводоросли рода <i>Chlorella vulgaris</i> и её влияния на микробиологическую устойчивость хлебулочных изделий в процессе хранения	56
3.4. Исследование влияния микроводоросли рода <i>Chlorella vulgaris</i> на хлебопекарные свойства муки	60
3.5. Использование микроводоросли рода <i>Chlorella vulgaris</i> при изготовлении хлебулочных изделий из пшеничной муки	61
3.6. Использование микроводоросли рода <i>Chlorella vulgaris</i> при изготовлении хлебулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки	66
4. Использование микроводорослей в производстве мучных кондитерских изделий	70
Заключение	74
Список литературы	75

Учебное издание

АПАРШЕВА Вера Викторовна
ДВОРЕЦКИЙ Дмитрий Станиславович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬГОФЛОРЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ И МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Учебное пособие

Редактор И. В. Калистратова
Компьютерное макетирование М. А. Евсейчевой

Подписано в печать 18.10.2021.

Выход в свет 01.11.2021.

Формат 60×84/16. 4,65 усл. печ. л.

Тираж 100 экз. (1-й завод 70 экз.) Заказ № 40

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Тел. 8(4752) 63-81-08.

E-mail: izdatelstvo@tstu.ru.

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392008, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112А.

Тел. 8(4752) 63-07-46.

E-mail: tipo_tstu68@mail.ru

ISBN 978-5-8265-2391-9



9 785826 523919