

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
ИМ. А.О.КОВАЛЕВСКОГО

Отдел биотехнологий и фиторесурсов

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ СПИРУЛИНЫ

(Spirulina platensis)

Составители:

Зав. отделом биотехнологий и
фиторесурсов ИнБЮМ НАНУ

к. б. н. с. н. с. Р. П. Тренкеншу

к. б. н. н. с. Р. Г. Геворгиз

Севастополь, 2004 г

Наш адрес

Тренкеншу Рудольф Павлович

Геворгиз Руслан Георгиевич

Отдел биотехнологий и фиторесурсов

Институт биологии южных морей НАНУ

пр. Нахимова, 2

99011 Севастополь,

Крым, Украина

тел. (0692) 55-07-95, 8-068-47-53-790

e-mail: biotex@ibss.org.ua trenkens@yandex.ru

<http://biotex.ibss.org.ua>

Краткое описание объекта

Спирулина — микроскопические водоросли, обитающие преимущественно в теплых водоемах. Спирулина является одним из самых древних видов на Земле, поэтому обладает чрезвычайной приспособляемостью к различным природным условиям. В процессе эволюции, проходя жесткие условия конкуренции, клетки спирулины приобрели способность к делению при благоприятных условиях с высочайшей скоростью (удвоение биомассы за 5 ч). Биомасса спирулины пригодна к употреблению как простейшим организмам, так рыбам и животным. Более того, уникальность биохимического состава биомассы спирулины делает привлекательным возможность употребления спирулины людьми как источника важнейших компонентов, участвующих в обмене веществ. Возрастающая нехватка таких веществ в рационе человека, особенно для жителей больших городов и экологически неблагоприятных районов, приводит к различным нарушениям здоровья человек вплоть до летальных исходов. По многочисленным медицинским заключениям, чтобы не допустить подобных проявлений, врачи рекомендуют употребление биомассы спирулины как пищевой добавки. Уже само регулярное употребление спирулины (1-2 г в день) снижает риск многих заболеваний практически до нуля. Наиболее важным является тот факт, что спирулина, как пищевая добавка, является таким же организмом как и высшие растения (укроп и морковь), употребление которых в пищу, в отличие от искусственных препаратов, не влечет за собой *никаких* побочных эффектов. Из-за своей полезности биомасса спирули-

ны более полувека является предметом бизнеса во многих странах мира. Поначалу сбор спирулины проводили непосредственно в природных водоемах Африки и Америки, у которых из-за своего географического положения и химического состава воды сложились благоприятные условия для роста спирулины. В дальнейшем потребности в спирулины стали возрастать, что привело к разработке технологий выращивания спирулины в искусственных водоемах. На сегодняшний день на коммерческой основе биомассу спирулины производят и потребляют более чем в 60 странах мира: Мексика, России, Японии, Индии, Китае, Таиланде, США, — где производство спирулины превышает тысячи тонн в год.

Описание (научное) объекта

Биология и систематика

Spirulina (Arthrospira) platensis (Nordst.) Geitl. — филаментная планктонная цианобактерия. Согласно одной из наиболее распространенных современных микробиологических систем классификации, таксономическое положение Cyanobacteria отражает схема:

Царство (Kingdom)	Prokaryotae (прокариоты)
Домен (Domain)	Bacteria (истинных бактерий, или эубактерий)
Отдел (Division)	Gracilicutes (грамотрицательных бактерий)
Класс (Class)	Oxyphotobacteria (окислительных фотосинтезирующих бактерий)
Группы (Groups)	Cyanobacteria (содержат фикобилипротены)
Порядок (Order)	Oscillatoriales
Род (Genus)	Arthrospira
Вид (Species)	<i>Arthrospira platensis</i>

Согласно альгологической системы классификации, таксономическое положение *Spirulina (Arthrospira) platensis* отражает схема:

Царство (Kingdom)	Prokaryotae (прокариоты)
	Monera (Bacteria)
Класс (Class)	Cyanophyceae
Отдел (Division)	Cyanophycota

Порядок (Order)	Nostocales
Семейство (Family)	Oscillatoriaceae
Род (Genus)	Arthrospira
Вид (Species)	<i>Arthrospira platensis</i>

Синонимами видового названия считаются *Arthrospira platensis* (Nordstedt) Gomont., *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geitler (1925), *Spirulina jenneri* var. *platensis* Nordstedt. *Spirulina*.(A.) *platensis*, как все прокариоты, имеет низкий уровень клеточной дифференциации (отсутствуют хроматофоры, истинное ядро, ядрышки, вакуоли, митохондрии, эндоплазматическая сеть и т. д.). Неветвящиеся спиралеобразные трихомы (нити, или филаменты) из цилиндрических клеток окружены слизистым чехлом и способны к скользящему и вращательному движению. При воздействии различных физических и химических факторов филаменты могут распрямляться. Типичными пигментами, помимо хлорофилла а и каротиноидов, являются фикобилипротеины. Половой процесс у цианобактерий отсутствует. Размножается *S.*(A.) *platensis* при помощи гормогоний — короткоцепочечных, способных к движению, участков нитей, образующихся путем фрагментации материнских трихомов по некрдиям (специализированным клеткам, подвергающимся лизису).

Химический состав

Ниже приведен усредненный состав биомассы спирулины по органическим и неорганическим показателям.

Компонент	%	Компонент	г/100 г
Белок	55–70	Азот	10,68
Углеводы	10–20	Фосфор	1,14
Жиры	5	Натрий	1,74
Зольность	7	Калий	1,88
Нуклеиновые кислоты	6,5	Магний	0,35
Хлорофилл а	0,93	Кальций	1,1
Влажность	6–8	Сера	0,63

Компонент	мг/кг	Компонент	мг/кг
Железо	945	Медь	15
Марганец	64	Никель	5,8
Цинк	28	Кобальт	1,5
Хлор	5	Хром	5
Йод	100	Селен	7

Применение

Широкий спектр применимости спирулины складывается из двух основных направлений: использование самой биомассы и использование биомассы спирулины как сырья для получения каких-либо ценных веществ. Первое направление включает в себя разнообразные способы использования биомассы спирулины как пищевой добавки в рационе человека и животных, использование биомассы спирулины в медико-биологических процедурах лечебного и профилактического характера. Особое место занимает использование биомассы спирулины в качестве источника микроэлементов (йод, селен и пр.) крайне необходимых для полноценной жизнедеятельности человека. Биомасса спирулины, как готовый продукт к употреблению, используется в различных сферах человеческой деятельности: медицине, косметике, спорте, животноводстве, пчеловодстве, рыбоводстве, птицеводстве, ветеринарии и пр.

Второе направление является не менее важными — получение из биомассы микроводорослей каких-либо веществ как-то: аминокислы, протеины, разнообразные углеводы, липиды, пигменты, витамины и т. д. У спирулины на первое место выступают природные красители (пигменты) фикобилипротеины (фикоцианины). К счастью, содержание таких пигментов у спирулины достаточно высоко (около 10%), что всегда делает возможным использование биомассы как сырья для получения пигментов. Некоторые предприниматели находят мероприятие по получению фикоцианина более рентабельным из-за высочайших цен на природные красители.

Для примера приведем краткий перечень предлагаемых товаров за рубежом.

Packing	Distributor	Retail
Биомасса (порошок) 1 т	\$ 21,0	—
Порошок флакон 0,1 кг	\$ 53,6	\$ 109,9
Таблетки 500 шт по 500 мг	\$ 59,5	\$ 131,9
Таблетки 200 шт по 500 мг	\$ 72,0	\$ 159,9
Таблетки 100 шт по 500 мг	\$ 78,8	\$ 175,0
Капсулы 300 шт по 500 мг	\$ 105,0	\$ 233,1

Технология производства.

Краткое описание

Для любых микробиологических объектов технологии получения биомассы схожи. Для сугубо специализированных целей микроводоросли выращивают в строго контролируемых условиях (управляемый биосинтез), в специальных культиваторах, с целью получения биомассы с заданным биохимическим составом. Наиболее проста в исполнении технология выращивания спирулины, поскольку, обладая высокой степенью приспособляемости, спирулина не требует дорогостоящего оборудования (специализированных культиваторов), обеспечивающих строго определенные условия для роста клеток. Там, где это возможно по экологическим и климатическим условиям, спирулину выращивают в прудах под открытым небом или в бассейнах в стандартных сельскохозяйственных теплицах. Важным преимуществом такого производства является использование естественного освещения (энергетический ресурс), что в значительной степени снижает себестоимость конечного продукта.

Опишем кратко основные этапы производства биомассы спирулины в обычной сельскохозяйственной теплице, которая легко поддается необходимому переоборудованию.

- 1. Подготовка.** Строительство и установка бассейнов в теплице, при необходимости подготовка емкостей для воды, подготовка необходимого инструментария для сбора и промывки урожая, подготовка блока сушки биомассы. Чем больше общая площадь бассейнов, тем больший можно получить урожай, следовательно, от этого зависит и размеры блока сушки биомассы, расход воды, количество обслуживающего персонала и т. д.

2. **Запуск производства.** На этом этапе небольшой объём биомассы спирулины помещают в бассейн со специально приготовленной питательной средой. По мере нарастания биомассы сбор урожая не проводят, а заполняют другие бассейны. Таким образом поступают до тех пор, пока не заполнятся все бассейны.
3. **Сбор урожая.** Поскольку скорость роста микроводорослей достаточно высока, сбор урожая проводят ежедневно. При достижении некоторой плотности в бассейнах часть биомассы спирулины всплывает на поверхность, что позволяет проводить сбор урожая непосредственно с поверхности.
4. **Подкормка.** По мере роста спирулины и сбора урожая, среда в которой растут микроводоросли приходит к истощению. Чтобы пополнить недостаток элементов питания, в среду периодически добавляют минеральные соли — источник азота, фосфора, железа, магния и пр.
5. **Промывка биомассы.** Поскольку спирулина растет в воде с высоким содержанием различных неорганических солей (питательная среда), собранную биомассу обязательно подвергают промывке. Для этого биомассу помещают на сито и промывают обычной пресной водой.
6. **Сушка биомассы.** Отмытую биомассу спирулины сушат теплым воздухом при температуре не выше 60°C. Для этого биомассу наносят тонким слоем на полиэтилен и высушивают в течение 3–4 ч, не допуская попадания прямых солнечных лучей, поскольку интенсивный солнечный свет приводит к разрушению пигментов, что заметно снижает качество биомассы спирулины.
7. **Хранение биомассы.** Уже высушенную биомассу спирулины собирают в герметичную тару для хранения, например, полиэтиленовые мешки. Герметичность желательна, поскольку высушенная биомасса микроводорослей довольно гигроскопична. Хранят спирулину в темном месте при комнатной температуре. Крайне нежелательно попадание влаги на высушенную биомассу спирулины. В таких ситуациях биомасса не подлежит повторной сушке, поскольку высокое содержание белка и влага — наиболее благоприятная среда для развития бактерий. Порой достаточно нескольких минут бурной деятельности бактерий, чтобы биомасса спиру-

лины приобрела характерный вид и запах испорченной продукции.

Преимущество нашей технологии над другими

В лаборатории Управления биосинтезом микроводорослей отдела Биотехнологий и фиторесурсов (ИнБЮМ) разработана технология выращивания спирулины в обычных теплицах, которая обладает рядом преимуществ в сравнении с традиционными способами. Уже само увеличение урожая в 5–10 раз в сравнении с традиционными технологиями при неизменных материальных затратах, ставит наше предложение вне всякой конкуренции. Успех предлагаемой технологии заключается в том, что она основана на принципиально ином подходе к выращиванию микроводорослей. Кратко перечислим основные преимущества:

1. Технология основана на непрерывном способе выращивания. Другими словами, ежедневно проводят во всех бассейнах обмен некоторого объёма суспензии на свежую питательную среду. Некоторый объём суспензии сливают из бассейна, взамен в бассейн добавляют такой же объём свежей питательной среды. Сливаемый объём суспензии идет на сито для сбора урожая. Сбор урожая с поверхности бассейна и фильтрацией сливаемого объёма увеличивает показатели по сбору урожая на порядок.
2. Ежедневное добавление свежей питательной среды исключает нехватку каких-либо компонентов, необходимых для роста спирулины.
3. Состав питательной среды организован таким образом, чтобы истощение всех компонентов во время роста спирулины проходило равномерно. Это позволяет рационально расходовать дорогостоящие минеральные соли, которые необходимы для приготовления питательных сред.
4. Режим непрерывного выращивания микроводорослей позволяет легко создавать оптимальную температуру в бассейнах посредством изменения объёма в бассейне. Причём резкое снижение или увеличение объёма не снижает скорости роста микроводорослей, поскольку спирулина адаптирована к условиям ежедневного обмена в бассейне части суспензии на питательную среду.

5. Регулярное перемешивание суспензии в бассейнах значительно повышает скорость роста спирулины, поскольку перемешивание приводит к удалению из суспензии избыточной концентрации кислорода. Известно, что высокие концентрации кислорода угнетают рост любых растений, т.к. кислород является побочным продуктом фотосинтеза.

Готовность к внедрению

Предлагаемая технология неоднократно использовалась на предприятиях Украины и России, достаточно упомянуть предприятие «Агро-Виктория» (г. Сочи), производство биомассы спирулины которого в год превышает 5 т. Разработан полный пакет документации, включающей технически и технологические инструкции культивирования спирулины в теплице. Нароботан опыт подготовки технологов и будущих работников. Практика внедрения показала, что даже в тех случаях, когда будущие работники не имеют специального биологического образования, необходим достаточно непродолжительный срок (1–2 месяца), чтобы они уловили суть дела и могли самостоятельно вести весь технологический процесс.

Описание технологической схемы

Кратко приведём описание технологической схемы на примере обычного трудового дня, предполагая, что все подготовительные работы по устройству теплицы, бассейнов, блока сушки и пр. уже проведены, а также заселены спирулиной все бассейны.

8-30 Поверхностный сбор урожая.

9-00 по 13-30 Перемешивание культуры в бассейнах. Перемешивание осуществляется на протяжении всего рабочего дня с интервалами не более 1-2 ч.

14-30 Поверхностный сбор урожая.

15-00 Процедура обмена и мероприятия по фильтрации, промывке и сушке биомассы.

18-00 Сбор и упаковка высушенной биомассы.

18-00 Подготовительные процедуры для работы следующего дня: приготовление питательных сред, подготовка блока сушки и пр.

Замечание. Временные рамки могут уточняться или изменяться в связи со спецификой конкретного производства.

Фотогалерея



Рис. 1. Микроводоросли в лаборатории. Подготовка к выезду на плантацию.



Рис. 2. Подготовительные работы в теплице.



Рис. 3. Запуск производства.



Рис. 4. Производство спирулины.



Рис. 5. Культиваторы для экспериментальных работ.



Рис. 6. Конечный продукт технологии — Спирулина, которую можно приобрести в аптеке.



Рис. 7. Институт биологии южных морей.

Технологические инструкции и технические условия

Ниже приведён пример технологической инструкции и технических условий, разработанных для производства "Агро-Виктория".

УТВЕРЖДАЮ:

Директор предприятия "Агро-Виктория"

_____ М.И. Хмелевский

" ____ " _____ 2002 г

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНАЯ ДОБАВКА К ПИЩЕ

"СПИРУЛИНА-СОЧИ (S.plat.-C)"

ТУ 9284-002-26110950-2002

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ

Разработал:

Зав. лабораторией эколого-физиологических и гидрохимических исследований
ИнБИОМ НАНУ

_____ Р.П. Тренкеншу

" ____ " _____ 2002 г

ТОО "АГРО-ВИКТОРИЯ" г. СОЧИ

2002 г

Настоящая инструкция является неотъемлемой частью комплекта документации

Технические условия
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНАЯ ДОБАВКА К ПИЩЕ
“СПИРУЛИНА–СОЧИ (S.plat.-C)”
(ТУ 9284-002-26110950-2002)

и распространяется на производство витаминно-минеральных добавок вида:

- "Спирулина СОЧИ–1"** (S. plat.-C-1) (порошкообразная, таблетированная);
- "Спирулина СОЧИ–Д"** (S. plat.-C-Д) – с добавлением сахара (порошкообразная, таблетированная),
- "Спирулина СОЧИ–Экстра"** (S.plat.-C-Экстра) – с повышенным содержанием белка, фикоцианина и б-каротина (порошкообразная, таблетированная),
- "Спирулина СОЧИ–Йод"** (S.plat.-C-Йод) с повышенным содержанием йода (порошкообразная, таблетированная).

Продукт производится из биомассы микроводоросли *Spirulina platensis* (Nordst. Geitl), выращиваемой в условиях теплиц в культиваторах открытого типа. Продукт предназначен для непосредственного употребления в пищу с целью ее обогащения витаминами, антиоксидантами и минеральными веществами, а также для включения в качестве добавки при производстве продуктов питания и кормовых смесей.

Витаминно-минеральная добавка выпускается в двух формах: порошок и таблетки. Нормативные документы и ссылки даны в тексте и приложении.

1 Технологический регламент производства спирулины

Выращивание спирулины относится к сельскохозяйственному производству и должно соответствовать требованиям, предъявляемым к производству сельхозпродукции в стеклянных или пленочных теплицах. В целом технология производства биомассы водорослей состоит из следующих стадий:

- подготовка теплиц;
- изготовление культиваторов;
- подготовка инокулята;
- приготовление питательных сред и питающих растворов;
- заправка культиваторов;
- выращивание водорослей и контроль параметров;
- поверхностный сбор биомассы;
- слив части суспензии;
- долив питающих растворов;
- отбор биомассы;
- промывка биомассы;
- сушка.

1.1 Теплицы и их оборудование.

- Теплицы должны быть построены в соответствии с действующими нормами и правилами, учитывающими архитектурно — планировочные, конструктивные и санитарные требования, включая требования охраны окружающей среды. (ГОСТ 12.3.002-75, СН 245-71, СНиП 2-97-76).
- Теплицы должны обеспечивать температурный режим культуры в пределах: дневное время суток — 18-35°C, ночное - не ниже 10°C.
- Освещенность на поверхности культуры в дневное время должна составлять 10-100 клк.
- Промежутки между бассейнами и дорожки в теплицах — из щебня или гравийно-песчаные с верхним гравийным (щебневым) слоем. Допускается бетонное покрытие. По согласованию с СЭС возможно синтетическое или керамическое покрытие дорожек.
- Вентиляция теплиц — естественная или принудительная.

1.2 Культиваторы и дополнительное оборудование.

- Культиваторы для выращивания спирулины представляют собой бассейны из полиэтиленовой пленки, укладываемой на выровненную поверхность грунта и закрепляемую на ограждающих конструкциях с помощью деревянных планок или скреп. Площадь одного бассейна прямоугольной формы — около 10 м² освещаемой поверхности глубиной 15-25 см. Допускается любая другая конфигурация культиваторов.
- Дополнительные ёмкости используются для приготовления питательных сред, питающих растворов и в качестве накопителей при отборе суспензии из культиваторов.
- Дополнительные ёмкости выстилаются полиэтиленовой пленкой и могут быть изготовлены из металла, дерева, бетона, кирпича или других материалов. Объём ёмкостей 1-60 м³, конфигурация — любая.
- Для перекачивания питательных сред и суспензии используются насосы, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к насосам для перекачивания питьевой воды.
- В качестве трубопроводов используются любые шланги и полиэтиленовые трубы для питьевой воды.

1.3 Инокулят

- В качестве посевного материала используется альгологически чистая культура сине-зеленой водоросли *Spirulina platensis* (Nordst. Geitl.) систематическое положение которой оценивается специалистами Академии Наук или Государственных Университетов, имеющих права паспортизации культур микроводорослей, и подтверждается письменным систематическим описанием, заверенным руководством учреждения, производящего оценку.
- Инокулятом может служить культура водорослей из специальных культиваторов — инокуляторов, либо из рабочих бассейнов после микроскопического анализа, подтверждающего альгологическую чистоту культуры.

- Микроскопический анализ культур производится не реже 1 раза, в инокуляторах — 2-3 раза в неделю, о чём делается соответствующая запись в журнале.