

Гринберг, Т. А. Микробные полисахариды и пищевая промышленность / Т. А. Гринберг, С. И. Смоляр, Ю. Р. Малашенко, Т. П. Пирог, Е. Д. Карпиловская // Микробиол. журнал. — 1991. — 53, № 5. — С. 82–96.

УДК 577.114+579.67

*Т. А. Гринберг, С. И. Смоляр, Ю. Р. Малашенко,  
Т. П. Пирог, Е. Д. Карпиловская*

Ин-т микробиологии и вирусологии АН УССР, Киев;  
Киев. НИИ гигиены питания

### МИКРОБНЫЕ ПОЛИСАХАРИДЫ И ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

*Представлены данные литературы по использованию микробных экзополисахаридов в пищевой промышленности. Рассмотрены некоторые особенности культивирования микроорганизмов — продуцентов экзополисахаридов и физико-химические свойства микробных полисахаридов, позволяющие рекомендовать их для применения в пищевой промышленности.*

*Ключевые слова:* Микробные экзополисахариды, биосинтез, культивирование, реологические свойства, гелеобразование, ксантан, геллан, пуллулан, курдлан, альгинат, аубазидан

Водорастворимые полисахариды традиционно используют во многих технологиях приготовления пищевых продуктов. Практическое применение растворимых в воде полисахаридов растений, называемых также гидроколлоидами, слизями, смолами или камедями, имеет тысячелетнюю историю. Египтяне применяли растительную клейковину при мумификации умерших, и, как предполагают, даже манна, которой питались древние израильтяне, была смолой деревьев семейства акации [61, 68]. Агар и другие полисахариды из морских водорослей также используют в течение многих десятилетий в пищевой промышленности и медицине.

В настоящее время в пищевой промышленности полисахариды находят широкое и разнообразное применение. Различия в строении и свойствах отдельных полисахаридов, используемых в качестве пищевых добавок, обуславливают многообразие выполняемых ими функций. Они выступают в роли желирующего фактора, загустителя, наполнителя, эмульгатора, агента набухания; фактора, препятствующего кристаллизации и синерезису; пенообразующего агента. Они не только увеличивают вязкость, но и могут способствовать повышению биологической и пищевой ценности тех продуктов, к которым их добавляют [68, 82]. Ни одна из пищевых добавок не выполняет столь разнообразных функций. В США, Японии, странах Европейского экономического сообщества полисахариды широко используются при приготовлении салатов, пудингов, соусов, приправ, кремов, при обработке сыров и молочных продуктов, супов-концентратов, замороженных десертов, при производстве пива (для усиления пенообразования) и фруктовых напитков (для суспендирования мякоти фруктов), в хлебопечении (для повышения качественных показателей хлеба и его выхода, а также в качестве упаковочного материала изделий). Полисахариды имеют важное значение при производстве диетических продуктов, поскольку они обеспечивают их объемность при низкой калорийности [67, 68, 82].

Полисахариды, применяемые в пищевой промышленности, должны отвечать определенным требованиям: быть не токсичными, их физиологические характеристики не должны ухудшаться при нагревании, на их свойства не должен влиять рН тех продуктов, к которым их добавляют.

В промышленности в основном используют полисахариды растительного происхождения. К ним относятся камеди — гетерополисахари-

ды, выделяемые поврежденными тканями различных частей растений, пентозаны зерен ржи, льна, семян вяза, белой акации и других растений. Из морских водорослей выделяют агар-агар, каррагенан, альгинаты. Полисахариды наземных растений производятся главным образом в Австралии, Северной Африке, Эфиопии, Нигерии, Сенегале, Мавритании, Чаде, Индии, Иране, Турции, Афганистане, Чили, Японии, Северной Европе [27, 61, 68]. Производство растительных полисахаридов носит сезонный характер, невозможно обеспечить контроль за их качеством, а цены на них во многом зависят от урожаев, которые, в свою очередь, зависят от погодных условий [72, 73].

Дополнительными источниками полисахаридов, пригодных для применения в пищевой промышленности, являются микробные экзополисахариды (ЭПС), полученные путем биосинтеза. В середине 80-х годов мировая продажа микробных ЭПС оценивалась в 100—200 млн долларов. Согласно постановлению Администрации по пищевым продуктам и медикаментам США (FDA), разрешен к использованию в пищевой промышленности ксантан. По данным Академии наук ГДР [21], биотехнологическим способом получают бактериальные ЭПС декстран и ксантан, а также альгинат из морских водорослей. Причем объем производства пищевого ксантана в 1987 г. достиг 40 млн западногерманских марок, ежегодный прирост его производства составляет 8% [21]. Интерес к микробным полисахаридам как объектам для применения в пищевой промышленности объясняется следующим: 1) возможностью получения полисахаридов с заранее определенными свойствами в количествах, требуемых производством; 2) наличием у микробных ЭПС уникальных физических и химических свойств и различных функциональных характеристик; 3) пригодностью для употребления в пищу без побочных эффектов, так как остатки сахаров и структура их гликозидных связей допускают либо переваривание и метаболизм в организме, либо инертность и отсутствие калорийного эффекта; 4) экономической целесообразностью получения ЭПС, обусловленной как внеклеточной природой этих полимеров, так и высокой продуктивностью их образования на дешевых субстратах; 5) необходимостью пополнения запасов природных растительных смол.

Последние обзоры, посвященные микробным полисахаридам [1, 2, 6, 31, 40, 42, 65, 72, 73, 78], подтверждают наличие как научного интереса к этим полимерам, так и практического, на что указывает постоянно увеличивающийся рынок их сбыта. Микробные полисахариды обладают высокой вязкостью при низких концентрациях, желирующими свойствами, проявляют синергию с другими полисахаридами, сочетаются с различными солями в широком диапазоне pH и температуры. Именно эти свойства позволяют отнести микробные полисахариды к промышленно ценным. Растительные смолы и полисахариды, полученные путем химического синтеза (карбоксиметилцеллюлоза, метилцеллюлоза и др.), такими свойствами не обладают.

Исследование свойств микробных полисахаридов расширяет возможности их применения в качестве пищевых добавок. В настоящее время наблюдается рост объема производства пищевых полуфабрикатов и готовой продукции. В связи с этим потребность в полисахаридах, пригодных для применения в пищевой промышленности, неуклонно возрастает.

Цель нашей работы — систематизировать появившийся в литературе материал по синтезу микробных ЭПС и анализу физико-химических свойств тех из них, которые могут представлять интерес для пищевой промышленности. Такая работа является актуальной и должна быть учтена исследователями при решении вопросов рационального питания в нашей стране.

**Биосинтез экзополисахаридов микроорганизмами.** Микроорганизмы, образующие экзополисахариды, широко распространены в природе. Установлено, что синтез этих полимеров преимущественно идет в аэробных условиях, однако он может происходить и в анаэробных. По-

казано, что синтез ЭПС могут осуществлять галофильные, психрофильные и термофильные микроорганизмы [1, 15, 16, 22, 26, 29, 38, 39, 41, 59].

К бактериям, продуцирующим ЭПС в количествах, представляющих интерес для их промышленного получения, относятся следующие виды: *Xanthomonas campestris* [2, 55, 56], *Azotobacter vinelandii* [28, 35], *Acinetobacter calcoaceticus* [36, 70], *Acinetobacter* sp. [7], *Arthrobacter viscosus*, *Arthrobacter* sp. [33], *Acetobacter xylinum* [43], *Alcaligenes faecalis* [66], *Agrobacterium* sp. [82], *Azotobacter beijerinckia* [79], *Erwinia tahitica* [32], *Bacillus polymyxa* [4, 23], *Klebsiella aerogenes* [36], *Leuconostoc mesenteroides* [52], *Pseudomonas aeruginosa* [78, 81], *Pseudomonas elodea* [50, 64], *Rhizobium trifolii* [58], *Zimomonas mobilis* [17] и др. Способность синтезировать ЭПС в значительных количествах обнаружена у дрожжей *Cryptococcus neoformans*, *Cryptococcus laurentii*, *Hansenula holstii*, *Saccharomyces cerevisiae* [3, 5, 13, 18]; у микромицетов — *Sclerotium* sp. [65], *Aureobasidium pullulans* [49, 60, 63] и ряда других видов.

Для получения ЭПС биосинтетическим способом селекционированные штаммы микроорганизмов культивируют на жидких минеральных средах с источником углерода, в качестве которого обычно используют глюкозу, сахарозу, мальтозу, мелассу, кукурузную декстрозу, барду, крахмал, молочную сыворотку и лактозу. В последнее время наблюдается тенденция применения в качестве источников углерода непитательных субстратов, таких как этиленгликоль, этанол, метанол, метан, углеводороды, с целью удешевления процесса получения ЭПС [6—8, 14, 78]. Ферментация позволяет культивировать продуцент в строго контролируемых условиях и получать биополимер со стабильным составом и заданными свойствами. Специфически изменяя условия роста микроорганизмов, можно изменять молекулярную массу и структуру образующегося полимера [56, 62, 83].

Как правило, микробные ЭПС получают при периодическом культивировании продуцента в течение 36—120 ч. Периодический процесс имеет ряд недостатков — постоянное изменение концентрации питательных веществ, концентрации клеток и синтезируемых продуктов, а также длительность культивирования и сравнительно низкая продуктивность. Метод непрерывного культивирования лишен этих недостатков. Рост микроорганизмов и образование ЭПС в этом случае можно регулировать с помощью одного лимитирующего фактора, которым чаще всего является источник азотного питания. При осуществлении непрерывного процесса культивирования скорость разбавления среды следует подбирать экспериментально в зависимости от физиологических особенностей используемого продуцента. У ряда микроорганизмов, например у *X. campestris*, *Aureobasidium pullulans*, *Azotobacter vinelandii*, *Methylococcus thermophilus*, скорость образования ЭПС зависит от скорости разбавления среды, причем при более низких скоростях разбавления наблюдается увеличение выхода ЭПС [15, 28, 60, 78, 80—83]. Условия культивирования продуцентов тщательно контролируются в отношении температуры, рН, аэрации [58, 60, 66, 83]. При реализации непрерывного культивирования возникает проблема стабильности штаммов, которая в значительной мере зависит от естественной изменчивости продуцента и от условий его культивирования. По мнению ряда авторов, параметром, способствующим возникновению мутантов с пониженной способностью к синтезу ЭПС, является лимит по углероду в непрерывных культурах [81—83]. Выход ЭПС по отношению к углеродному субстрату для бактерий составляет 50—70 %, для дрожжей — 10—43 %, для микромицетов — 10—50 % [5, 6, 75, 83].

Проблемы получения микробных ЭПС связаны с удалением клеток микроорганизмов. Это особенно важно, если учесть, что конечный продукт предназначен для применения в пищевой промышленности. При крупномасштабном производстве эффективное отделение клеток часто бывает затруднено. В связи с этим перед промышленным производством

вом микробных полисахаридов стоит ряд биоинженерных проблем по отделению клеток продуцента.

После отделения клеток микроорганизмов ЭПС извлекают из культуральной жидкости сравнительно мягким и простым способом, заключающимся в осаждении полимера органическими растворителями (этанол, ацетон). Для получения полисахаридов пищевого назначения предложен способ, основанный на взаимодействии кислых полисахаридов с белками молока, несущими при pH 2,8—3,2 ионизированные аминогруппы [9, 80]. Этот способ предусматривает отделение белкового компонента и возвращение его на начальные стадии процесса. Сушка готового продукта производится с помощью барабанной или распылительной сушилки.

В настоящее время осуществляется промышленное производство ряда микробных полисахаридов (декстранов, ксантана, геллана, занфлю, политрона). Получение ряда других микробных ЭПС находится на стадии опытно-промышленной разработки [26, 30, 65, 72, 73, 82].

**Основные области применения полисахаридов в пищевой промышленности.** Как уже выше сказано, из микробных полисахаридов только ксантан разрешен FDA к использованию в пищевой промышленности. Ксантан может быть применен практически во всех пищевых продуктах, приведенных в табл. 1, в отличие от растительных полисахаридов и полисахаридов, полученных путем химического синтеза.

**Микробные экзополисахариды, рекомендуемые для применения в пищевой промышленности.** Ксантан. Ксантан — полианионный гетерополисахарид, синтезируемый *Xanthomonas campestris* шт. NRRL В-1459 при культивировании на углеводных субстратах [55]. В Институте микробиологии и вирусологии АН УССР селекционирован штамм *X. campestris* pv. *campestris* 8162, который синтезирует биополимер, аналогичный ксантану, получаемому с помощью *X. campestris* NRRL В-1459 [2, 24]. Ксантан построен из повторяющихся пентасахаридных звеньев, содержащих D-глюкозу, D-маннозу и D-глюкуроновую кисло-

Т а б л и ц а 1. Полисахариды, используемые в пищевой промышленности, и продукты, полученные на их основе [52]

Источники получения полисахаридов	Сушеные продукты	Консервированные продукты	Замороженные продукты	Хлебо-булочные изделия	Молочные продукты	Заправки для салатов	Напитки	Мягкие напитки (безалкогольные)	Пиво	Кондитерские изделия	Фармацевтические средства	Косметика	Детергенты	Корм для домашних животных
Микроорганизмы														
Ксантан	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Морские водоросли														
Альгинат	+	+	+	+	+	+				+	+	+		+
Агар					+	+				+	+	+		+
Каррагенан					+			+	+	+		+		+
Растения														
Гумми гуара				+		+				+				+
Гумми стручковых лжеакаций						+								+
Семена айвы										+				
Гумми арабика				+			+	+	+		+	+		
Гумми трагиканта				+	+			+	+		+	+		
Химический синтез														
Карбоксиметилцеллюлоза				+	+	+		+	+		+	+	+	+
Оксэтилцеллюлоза				+			+							
Микрокристаллическая целлюлоза	+										+	+		

Примечание: Знак «+» означает применение указанного полисахарида для получения соответствующего продукта.

ту; к некоторым из боковых звеньев присоединены остатки уксусной и пировиноградной кислоты. Молекулярная масса ксантана варьирует в пределах от  $2 \cdot 10^6$  до  $15 \cdot 10^6$ . Растворы ксантана обладают высокой вязкостью при низких концентрациях, вязкость остается постоянной в широком диапазоне рН и не зависит от температуры и присутствия солей в растворе [2, 62, 65].

Опыты по кормлению ксантаном крыс и собак показали [34, 69], что он не утилизируется организмом, не является остро токсичным, не вызывает раздражения или сенсibilизации кожных покровов. У собак наблюдали слабительный эффект и резкое уменьшение холестерина, особенно при использовании больших доз. Испытаниями на токсичность, вирулентность и канцерогенность установлена безопасность употребления ксантана в пищу [44, 45].

Основные характеристики ксантана позволяют применять его в различных пищевых продуктах и технологиях [55, 56, 72]. Ксантан совместим с большинством других водорастворимых полисахаридов: он улучшает свойства крахмала, в сочетании с растительными полисахаридами из семян лжеакации (или плодов робинии) его водные растворы образуют стабильные гели.

Ксантан применяют в пищевой промышленности в качестве стабилизирующего агента при приготовлении некоторых сортов сыра и сырных продуктов [45], для улучшения вкусовых свойств консервированных и замороженных продуктов, приправ, соусов, кремов, фруктовых напитков [71]. Исследования, проведенные в Американском институте хлебопечения, показали, что при использовании малых концентраций ксантана при изготовлении хлеба с низким содержанием клейковины возможна выпечка хлеба без потери объема с хорошей структурой крошки и высоким качеством корки [54, 71].

В последние десятилетия разработаны стерилизуемые упаковки пищевых продуктов с применением ксантана [73]. Использование ксантана в сочетании с камедью бобов рожкового дерева позволяет получить термически обратимый желирующий состав, сокращающий время застывания желе, регулирующий содержание влаги, обеспечивающий хороший вкус и исключающий прилипание, склеивание при использовании его в леденцах, а также увеличивающий срок хранения продуктов [73].

**Декстран.** Декстран — это  $\alpha$ -D-глюкан, синтезируемый разными грамположительными и грамотрицательными бактериями, такими как *Leuconostoc mesenteroides*, *Aerobacter* sp., *Streptococcus bovis*, *S. viridans*. Декстран нашел применение в качестве заменителя плазмы и для аналитических целей в химии и биологии [54, 84]. Несмотря на то, что декстран в промышленном масштабе получают с 40-х годов, доля его на рынке микробных полисахаридов остается сравнительно невысокой. Это, по-видимому, объясняется тем, что декстраны не нашли широкого применения в пищевой промышленности. Однако свойства декстрана позволяют предполагать, что он может быть использован в ряде пищевых технологий.

**Геллан.** Геллан — гетерополисахарид, синтезируемый *Pseudomonas elodea* ATCC 31461 из углеводов при аэробной ферментации [50]. Установлено, что он состоит из тетрасахаридных повторяющихся единиц, содержащих остатки глюкозы, рамнозы, глюкоуроновой кислоты и O-ацетильные группы [64]. По данным ЯМР-спектроскопии, O-ацетильные группы находятся в C-6 положении одного из остатков глюкозы. Геллан может существовать в трех формах — нативной, низкоацетилированной и низкоацетилированной осветленной. Низкоацетилированную форму геллана получают нагреванием при рН 10 из нативной формы. После охлаждения геллан образует хрупкие твердые гели. Прочность геля зависит от концентрации геллана и наличия в растворе солей. Наиболее прочный гель образуется при низком содержании двухвалентных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Гели геллана аналогичны гелям каррагенана [73]. Сейчас этот полимер под торговым названием «Гель-

«Гельрит» применяется как гелеобразующий агент для приготовления микробиологических сред. Геллановые гели стабильны при многократном автоклавировании, химически инертны по отношению к большинству добавок, применяемых в биологических ростовых средах, и, как правило, устойчивы к ферментативной деградации. По сравнению с агаром «Гельрит» обладает следующими преимуществами: повышенной прочностью, такой же прочностью геля при вдвое меньшей концентрации полимера, меньшей токсичностью по отношению к чувствительным микроорганизмам и культурам ткани. Проведенные недавно исследования показали, что «Гельрит» превосходит агар в качестве гелеобразующего агента для сред, применяемых при культивировании термофильных микроорганизмов. Вышеописанные свойства геллана позволяют получать железобетонные продукты повышенного качества, что делает перспективным применение его в пищевой промышленности.

Sandford с соавт. [73] указывают на возможные области применения геллана в пищевой промышленности (табл. 2). Следует отметить, что высокая температура плавления геля геллана позволяет применять этот полисахарид в тех пищевых продуктах, которые подвергаются тепловой обработке. Температура загустения геллана 30—45 °С, а температура плавления — несколько выше или ниже 100 °С в зависимости от условий получения геля (тип и количество катионов). Требуемая структура, форма и вкус некоторых пищевых продуктов могут быть получены при комбинированном применении геллана и других пищевых гидроколлоидов, например, таких как ксантан, смола стручков лжеакации, карбоксиметилцеллюлоза, модифицированный крахмал, агар, каррагенан, желатин, пектин, альгинат [73].

Хотя в настоящее время исследования по определению безвредности применения геллана еще не завершены, он считается одним из наиболее перспективных полимеров для пищевой промышленности.

**Курдлан.** Курдлан — линейный нейтральный полимер, относится к  $\beta(1 \rightarrow 3)$ -глюканам, синтезируется *Alcaligenes faecalis* и *Agrobacterium radiobacter* [47, 66]. Этот полисахарид при нагревании до 54 °С образует необратимый упругий гель, который, в отличие от агаровых гелей, сохраняет свою структуру в широком диапазоне температур (от 18 до 80 °С). В интервале температур от 80 до 100 °С прочность геля возрастает. Курдлан характеризуется исключительной устойчивостью к кислоте. В отличие от агаровых гелей, он сохраняет свою структуру в тепле и на холоде [72].

Курдлан может найти применение в качестве гелеобразователя в кулинарии, и, поскольку он не подвержен утилизации в организме, его

Таблица 2. Потенциальное применение геллановой смолы в пищевой промышленности [73]

Продукты	Функции геллановой смолы
Джемы с уменьшенной калорийностью, искусственные джемы; крахмальные, десертные, пектиновые желе	Определяет структуру, уменьшает время застывания, создает определенную консистенцию, уменьшает или исключает синергизис
Наполнители хлебо-булочных изделий, глазури на хлебо-булочных изделиях, консервированные помидки	Определяет структуру, предохраняет от потери влаги, трещин, кристаллизации сахара, заменяет агар
Десерты быстрого приготовления, консервированные пудинги, пудинги-полуфабрикаты, начинки для пирогов	Обеспечивает определенную структуру и форму
Обработанные геллановой смолой фрукты, овощи и мясо	Служит гелевой матрицей, обеспечивает стабильность при замораживании и оттаивании
Мороженое, молочные желе, йогурт	Определяет структуру

можно успешно использовать для приготовления диабетических продуктов.

**Альгинат.** Источником альгинатов являются морские водоросли, однако по природе своей этот источник непостоянен. Из бактерий близкий к альгинату гетерополисахарид образуют *Pseudomonas aeruginosa* и *Azotobacter vinelandii* [28, 65, 74, 80—84]. Но в связи с тем, что *P. aeruginosa* — патогенный вид, для производства альгината предпочтителен штамм *A. vinelandii*. Бактериальный альгинат отличается от альгината морских водорослей наличием О-ацетильных групп, связанных с остатками D-маннуриновой кислоты. В состав альгината входят D-маннуриновая и Z-гулуриновая кислоты [77].

Показано, что условия культивирования бактерий существенно влияют на свойства синтезируемого ими альгината. При низком содержании фосфора синтезируется в основном высокомолекулярный полимер [76]. Варьируя концентрацию ионов кальция, можно получать альгинат с различным соотношением маннуриновой и гулуриновой кислот, что связано с эпимеризацией одной кислоты в другую [28]. Показано, что выход альгината при непрерывном процессе ферментации на сахарозе достигает 50 % от субстрата [35, 82].

Альгинат обладает характерным свойством — кальций и другие двухвалентные катионы вызывают его осаждение из водного раствора.

В пищевой промышленности используется около 50 % производимого водорослями альгината [67]. Однако бактериальные альгинаты с соответствующими характеристиками могут заменить водорослевые альгинаты. Основная функция альгината — роль стабилизатора мороженого, йогурта, кремов. Альгинат добавляют в продукты, содержащие кислоту, в приправу для салатов, так как они образуют гели только при pH ниже 3. При производстве пива альгинат применяют для усиления образования и устойчивости пены, при производстве фруктовых напитков — для суспендирования мякоти. Применение альгината оказалось особенно эффективным при структурировании продуктов, когда требуется сформировать и зафиксировать различную их форму и текстуру. Так, альгинаты успешно применяют для изготовления растительно-белковых волокон, аналогов мясных волокон говядины и т. д.

Возрос интерес к получению аналогов фруктов — искусственных вишен, ягод черной смородины и др. Технология получения этих продуктов предполагает использование альгината, раствор которого содержит пигмент, сахар и ароматизирующее вещество. Такой раствор подают каплями в коагулирующий раствор с солями кальция. Вокруг капли образуется нерастворимый слой альгината кальция и при экспозиции ионы кальция диффундируют в каплю и желируют внутреннюю часть продукта. Варьируя тип солей кальция, их концентрацию, время реакции и температуру, можно получать различную консистенцию продукта [46]. Такие искусственные продукты устойчивы к нагреванию, их можно применять при выпечке пирожных, изготовлении кондитерских изделий, в соусах, джемах и т. д. [46]. На основе альгината в США разработаны методы получения искусственной икры, картофельных стружек, колец лука и различных закусок. Glicksman считает [46], что мы находимся на пороге новой эры развития искусственных пищевых продуктов и можем достичь хороших результатов, используя огромный потенциал полисахаридов.

**Пуллулан.** Пуллулан — продукт синтеза микромицета *Aureobasidium pullulans*; он представляет собой линейный полимер D-глюкозы, состоящей из  $\alpha(1 \rightarrow 6)$ -мальтотриозных и небольшого числа мальтотетраозных единиц [13, 49, 60]. Молекулярная масса пуллулана колеблется в пределах от  $1,5 \cdot 10^5$  до  $2 \cdot 10^6$ . Пуллулан предложен в качестве биологически разлагаемого материала для пищевых продуктов и упаковки [63, 75], в частности приготовленные из него пленки обладают антиокислительными свойствами. Пуллулан также рекомендован для приготовления низкокалорийных продуктов вместо крахмала. Однако этот полисахарид легко разрушается при ферментативном гидролизе,

Т а б л и ц а 3. Компоненты микробных аннионных эр полисахаридов (в молях)

Вид микроорганизма—продуцента ЭПС	Штамм	Нейтральные сахара				Анионный компонент*				О-аце- таль- ная груп- па	Ссылки литературы
		Нейтральные сахара				Анионный компонент*					
		Глю	Гал	Ман	Другие	Глюку- рово- вая кисло- та	Ману- рово- вая кисло- та	ПВК	Другие		
<i>Xanthomonas campestris</i>	B-1459	3	—	3	—	2	—	0,6	—	1,7	51
<i>Arthrobacter viscosus</i>	B-1797	3	3	—	—	1	—	1	—	3,0	52, 53, 54
<i>A. viscosus</i>	B-1973	1	1	—	—	—	1	—	—	5,0	53
<i>A. stabilis</i>	B-3225	2	1	—	—	—	—	0,3	Сукциновая кислота, 0,3	0,5	53
<i>Cryptococcus laurentii</i> var. <i>flavescens</i>	Y-1401	—	—	4	Ксилоза, 1	1	—	—	—	1,7	53
<i>Hansenula holstii</i>	Y-24408	—	—	5	—	—	—	—	Ортофосфорная кислота, 1	—	53
<i>Rhinoctadiella mansonii</i>	Y-6272	—	—	—	N-ацетил-глюко- замин, 2	—	—	—	N-ацетил-глюкозами- нуоновая кислота	—	37, 53
<i>Methylococcus thermophilus</i>	ИМВ-109	+	+	+	Фукоза, ксилоза, рамноза	+	—	+	—	+	15
<i>Acinetobacter</i> sp.	ИМВ-12	+	+	+	Рамноза	—	—	+	Жирные кислоты	+	7

П р и м е ч а н и е. Сокращения: глю — глюкоза, гал — галактоза, ман — манноза, ПВК — пировиноградная кислота. \* Представлен в виде нейтральной соли калия. «+» — наличие компонента, «—» — отсутствие компонента.

и поэтому применение его должно быть ограничено условиями, при которых не происходит разложение пуллулана.

*Аубазидан. А. pullulans* шт. № 8, селекционированный в Ленинградском химико-фармацевтическом институте, продуцирует сложный глюкан, содержащий  $\alpha$ - и  $\beta$ -глюкозидные связи. Разработан лабораторный регламент, и апробирована технология получения аубазидана на Красноярском заводе медицинских препаратов. Предложено использование этого полисахарида в фармацевтической промышленности и исследуются области применения его в пищевой промышленности [13].

**Целлюлоза.** Это линейный водорастворимый полисахарид, состоящий из  $\beta(1 \rightarrow 4)$ D-глюкозы; синтезируется *Acetobacter xylinum*. В зависимости от условий культивирования продуцента можно получить целлюлозу с разной молекулярной массой. Имеются сведения о синтезе фибрилл целлюлозы *in vitro* [43]. Целлюлоза может быть рекомендована для получения диетической низкокалорийной пищи.

**Другие микробные полианионные полисахариды.** Известно много водорастворимых полисахаридов. Мы рассмотрим те немногие из них, которые проходят испытания по применению в пищевой промышленности. Это полисахариды, синтезируемые *Arthrobacter viscosus* шт. В-1797 и шт. В-1973, *A. stabilis* шт. В-3225, *Cryptococcus laurentii* var. *flavescens* шт. V-1401, *Hansenula holstii* шт. Y-24408 [52, 54], *Rhinochla-diella mansonii* шт. Y-6272 [37], облигатными метанооксиляющими бактериями *Methylococcus thermophilus* шт. ИМВ-109 [15] и этаноласимилирующими бактериями *Acinetobacter* sp. [7]. Как видно из приведенных данных (табл. 3), рассматриваемые полисахариды существенно различаются по химическому составу (по качественному и количественному содержанию нейтральных сахаров и анионных компонентов). Растворы этих полисахаридов характеризуются также индивидуальными реологическими свойствами [53, 57]. Несмотря на существующие фундаментальные различия в химических свойствах исследованных микробных ЭПС, все они могут быть с успехом использованы в пищевой промышленности, а их индивидуальные свойства обеспечивают более широкий спектр специфического применения. Все полисахариды, за исключением фосфоманнана штамма *Hansenula holstii* Y-24408, совместимы с солями. Фосфоманнан Y-24408 характеризуется образованием прозрачных растворов, устойчивых к спонтанной микробной контаминации. При низких концентрациях он может быть использован в качестве прекрасного стабилизатора пены в пиве и других карбонатных солодовых напитках [84]. Фосфоманнан обладает высокими вкусовыми качествами. При скормливания крысам он не оказывает токсического воздействия, но в больших дозах проявляет слабительное действие, типичное для гидрофильных полисахаридов [34].

Полисахарид В-3225 — хороший стабилизатор вязкости растворов при нагревании, полисахарид В-1973 рекомендован для получения упаковок пищевого назначения [53].

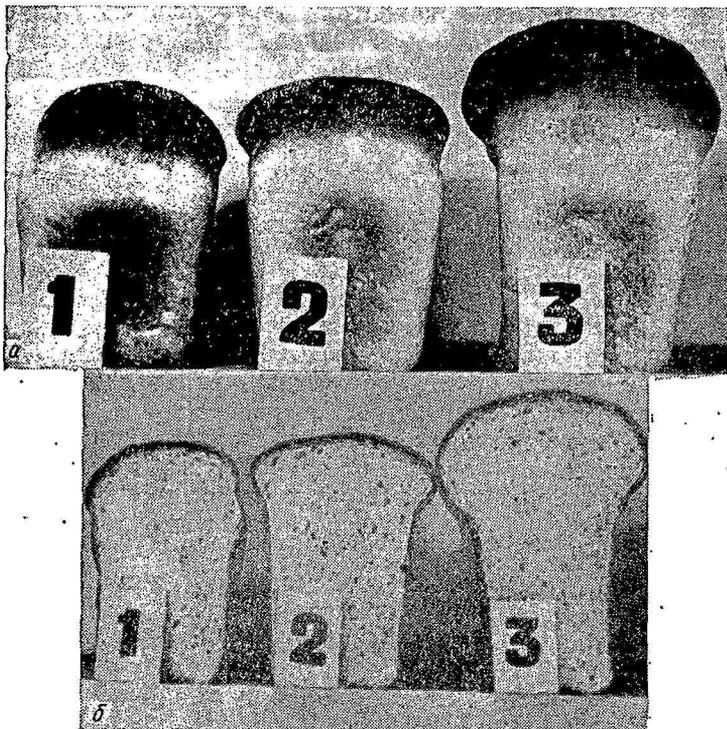
Полисахариды *Methylococcus thermophilus* и *Acinetobacter* sp., полученные на основе непивового сырья — метана и этанола, могут быть использованы для улучшения качества хлебо-булочных изделий [10, 11, 25].

При добавлении 0,5 % полисахаридных препаратов *M. thermophilus* и *Acinetobacter* sp. к муке устранялась излишняя липкость теста увеличивались его формоустойчивость и газодерживающая способность — соответственно на 32—40 и 9—11 %. Хлебо-булочные изделия выпеченные из муки с добавлением микробного полисахарида, имел на 28—39 % больший удельный объем по сравнению с контролем. На рисунке представлены образцы хлеба: а — целый хлеб, б — в разрезе 1 — контроль, 2 — хлеб из муки с добавлением 0,5 % модифицированного крахмала, 3 — с добавлением 0,5 % полисахарида, синтезированного *Acinetobacter* sp. Положительный эффект воздействия исследованных микробных полисахаридов на клейковину пшеничного теста ука-

зывает на целесообразность их применения при переработке муки пониженного хлебопекарного качества [10—12].

В число важнейших перспективных направлений развития биотехнологии на 1990—2000 гг. входит производство микробных полисахаридов для пищевой промышленности [48].

Полисахариды широко применяются в производстве для повышения качества большинства пищевых продуктов. Наиболее энергетически емким соединением в продуктах питания является крахмал, так как



ферменты пищеварительной системы могут гидролизовать только  $\alpha(1 \rightarrow 4)$ -глюкозидные связи, которые в нем присутствуют. Рассматриваемые нами микробные полисахариды, так же как и ряд растительных гетерополисахаридов и целлюлоз, обычно называют балластом или грубой пищей. Они являются необходимым и важным компонентом продуктов питания, которые разрабатываются в пищевой промышленности. Дефицит таких полисахаридов в пище провоцирует ряд так называемых болезней цивилизации — ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, рак прямой кишки. Увеличение их содержания в пище улучшает деятельность желудка и предохраняет от упомянутых выше болезней, а иногда и излечивает их [67].

Большинство микробных полисахаридов не участвуют в обмене веществ, но играют важную роль в качестве диетических факторов.

В настоящее время число микроорганизмов — продуцентов ЭПС исчисляется несколькими сотнями. Однако только некоторые из них синтезируют промышленно важные полимеры. Микробный полисахарид, который может конкурировать на рынке, должен обладать новыми или улучшенными по сравнению с уже используемыми полимерами свойствами [82]. Исследования американских ученых по получению и внедрению ксантана в пищевой промышленности проводились в течение 15 лет и требовали больших финансовых затрат [56]. Однако быстрое расширение областей применения ксантана и существенное улучшение продуктов питания при его добавлении должны стимулиро-

вать исследования по использованию других микробных полисахаридов в пищевой промышленности.

Увеличение производства микробных полисахаридов и потребления их в пищевой промышленности ставит задачу поиска перспективных непатогенных продуцентов ЭПС, а также мутантов с определенными отвечающими потребностям пищевой промышленности свойствами. Так, американская фирма «Альфа-Бета Текнолоджи» пытается получить генноинженерным способом биополимер углеродной природы для медицины и пищевой промышленности [20]. Три японские фирмы «Хаяшибара байокемикел леборатори», «Топпан принтинг» и «Осака кагаку боркин» совместно разработали технологию получения нового полисахарида типа пуллулана для пищевой и фармацевтической промышленности. Первым продуктом, полученным в результате выполнения исследовательской программы фирм, начатой в 1982 г., стала съедобная пленка, содержащая пуллулан в сочетании с некоторыми другими гелеобразователями. Предлагаемый биополимер практически не метаболизируется в организме [19].

В связи с выявлением новых типов микробных ЭПС необходимы исследования по изучению их структуры и физиологического воздействия на организм, определению их безвредности, а также разработка вкусной и диетической пищи с высоким содержанием полисахаридов.

Пока нет возможности выявить связь между химической структурой и физическими свойствами полисахаридов, хотя известно, что удаление некоторых заместителей, таких как пируват и сукцинат, может изменить их реологические свойства.

Основное применение промышленных полисахаридов — модификация реологических свойств водных растворов. ЭПС используют в основном в качестве наполняющих, вяжущих либо желирующих агентов. Гель образуется, как правило, в результате перехода от беспорядочной формы молекул при высокой температуре к упорядоченной форме при низкой температуре. Некоторые ЭПС могут образовывать гели путем межмолекулярного или внутримолекулярного взаимодействия. Возможно образование гелей при взаимодействии ЭПС с другими находящимися в растворе полимерами (например, ксантана с растительным галактомананом), и, наконец, возможно образование гелей с участием катионов металлов (термостабильного геля альгината кальция). Существует множество возможностей модификации структуры ЭПС и, следовательно, вероятность получения полисахаридов с потенциальной промышленной ценностью высока.

Таким образом, микробные ЭПС могут быть применены для улучшения качества ряда пищевых продуктов (хлебо-булочных изделий, пива, фруктовых соков и др.), стабилизации свойств пищевых продуктов, получения новой вкусной пищи, приготовления диетических низкокалорийных продуктов. В связи со способностью рассмотренных ЭПС адсорбировать катионы металлов перспективно использование их для выведения из организма токсичных металлов, в частности свинца, при профилактическом питании рабочих, занятых в соответствующих производствах [42]. По всей видимости, микробные ЭПС могут быть использованы и для выведения из организма радионуклидов, что чрезвычайно актуально в связи с имеющими место последствиями Чернобыльской аварии.

В СССР проводятся исследования перспективности применения в пищевой промышленности аубазидана, полимиксана, ксантана, декстрана, а также полисахаридов, полученных путем микробного синтеза с использованием отечественных штаммов микроорганизмов на основе непищевого сырья — метана и этанола. При анализе данных литературы представляются обоснованными и актуальными предпринимать в нашей стране исследования в этом направлении.

Стоимость коммерческих препаратов микробных полисахаридов довольно высокая, что обусловлено сложностью и трудоемкостью технологии получения очищенных препаратов для пищевой промышлен-

ности. Так, стоимость ксантана пищевого назначения составляет 12—13,7 долларов за 1 кг, что примерно в 3 раза выше стоимости неочищенного препарата [72]. Но даже в случае невысокой экономической конкурентоспособности используемых и разрабатываемых новых технологий получения микробных ЭПС они могут стать предпочтительными в связи с их гарантированным производством, стабильными свойствами и экологической чистотой.

Исследования по структуре и свойствам существующих и разрабатываемых новых полисахаридов имеют большое значение для рационального производства пищевых продуктов.

*T. O. Grinberg, S. I. Smolyar, Yu. P. Malashenko,  
T. P. Pirog, E. D. Karpilovska*

Ин-т мікробіології та вірусології АН УРСР, Київ;  
Київ. НДІ гігієни харчування

## МИКРОБНИ ПОЛІСАХАРИДИ І ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

### Резюме

Представлені дані літератури по використанню микробних екзополісахаридів у харчовій промисловості. Розглянуті деякі особливості культивування мікроорганізмів — продуцентів екзополісахаридів та фізико-хімічні властивості микробних полісахаридів, які дозволяють рекомендувати їх для застосування у харчовій промисловості.

*T. A. Grinberg, S. I. Smolyar, Yu. R. Malashenko,  
T. P. Pirog, E. D. Karpilovskaya*

Institute of Microbiology and Virology,  
Academy of Sciences, Ukrainian SSR, Kiev  
Research Institute of Nutrition Hygiene, Kiev

## MICROBIAL POLYSACCHARIDES AND FOOD INDUSTRY

### Summary

Data from literature are presented confirming the use of microbial exopolysaccharides in the food industry. Some peculiarities in cultivation of microorganisms — producers of exopolysaccharide and physicochemical properties of microbial polysaccharides which permit recommending them to be applied in the food industry are considered.

**Key words:** microbial polysaccharides, biosynthesis, cultivation, rheological properties, gel formation, xanthane, gellane, pullulane, curdlane, alginate, aubasidane

The author's address: *Grinberg T. A.* Institute of Microbiology and Virology, 143, Zabolotny, St., 143, Kiev, 252143, Ukrainian SSR

1. Ботвинко И. В. Экзополісахариды бактерий // Успехи микробиологии.—1985.—20.—С. 79—122.
2. Гвоздяк Р. И., Матышевская М. С., Григорьев Е. Ф., Литвинчук О. А. Микробный полисахарид ксантан.— Киев: Наук. думка, 1989.—212 с.
3. Витовская Г. А., Самаркина Г. М., Ананьева Е. П., Синицкая И. А. Синтез внеклеточных гетерогликанов дрожжами рода *Cryptococcus* // Микробиология.—1989.—58, № 2.—С. 240—245.
4. Глухова Е. В., Заславская П. Л., Шендеров Б. А. Сравнительный анализ двух штаммов *Vacillus polytuxa*, различающихся по спектру продуцируемых экзогенных полисахаридов // Антибиотики и мед. биотехнология.—1986.—31, № 10.—С. 743—748.

5. Горин С. Е., Свиридов А. Ф., Бабьева И. П. Перспективы изучения внеклеточных полисахаридов дрожжей // Микробные метаболиты.—М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1979.—С. 65—87.
6. Гринберг Т. А., Дерябин В. В., Старухина Л. В., Малашенко Ю. Р. Экзополисахариды мегилотрофных бактерий // Микробиол. журн.—1987.—49, № 2.—С. 101—112.
7. Гринберг Т. А., Дерябин В. В., Краснопецева Н. В. и др. Некоторые свойства полисахарида, синтезируемого культурой *Acinetobacter species* // Там же.—1987.—49, № 4.—С. 24—30.
8. Дерябин В. В., Старухина Л. А., Усов А. И., Яроцкий С. В. Кислый экзополисахарид облигатномегилотрофных бактерий *Methylobacillus methylophilus* ВСБ-792 (ЦМПМ-В-1946) // Биотехнология.—1986.—№ 5.—С. 22—27.
9. Дерябин В. В., Старухина Л. А., Григорьев Е. Ф. Выделение экзополисахаридов микроорганизмов // Там же.—1988.—4, № 6.—С. 735.
10. Дробот В. И., Гринберг Т. А. Влияние микробных экзополисахаридов на структурно-механические свойства теста // Третий симпоз. соц. стран по биотехнологии (Братислава, 25—29 апр. 1983 г.): Сб. тез.—Братислава, 1983.—С. 221.
11. Дробот В. И., Арсеньева Л. Ю., Гринберг Т. А. Структурно-механические свойства пшеничного теста и клейковины при использовании микробных полисахаридов // Изв. вузов. Пищ. технология.—1987.—№ 5.—С. 53—56.
12. Дробот В. И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности.—Киев: Урожай, 1988.—152 с.
13. Елинов Н. И. Химия микробных полисахаридов.—М.: Высш. шк., 1984.—256 с.
14. Каллянец Н. П., Диканская Э. И., Дерябин В. В. и др. Образование экзополисахаридов облигатно-мегилотрофными бактериями *Methylobacillus methylophilus* ВСБ-792 // Биотехнология.—1986.—№ 4.—С. 35—39.
15. Малашенко Ю. Р., Гринберг Т. А., Щурова З. П. и др. Внеклеточные углеводсодержащие продукты *Methylococcus thermophilus* // Прикл. биохимия и микробиология.—1985.—21, № 5.—С. 597—601.
16. Мальцева Н. Н., Ласик Я. Синтез и моносахаридный состав экзополисахаридов некоторых почвенных бактерий // Микробиол. журн.—1982.—44, № 4.—С. 33—36, 107.
17. Межбарде И. Н., Панкова Л. М., Лайвениекс М. Г. и др. Биосинтез левана культурой *Zitomonas mobilis* 113 // Изв. АН ЛатвССР.—1989.—№ 4, С. 130—133.
18. Пирог Т. П., Стабникова Е. В., Гринберг Т. А. Образование экзополисахаридов дрожжами рода *Saccharomyces* // Пищ. пром-сть.—1988.—№ 34.—С. 74—77.
19. Промышленная микробиология // Экспресс-информация. Зарубежный опыт.—1987.—Вып. 18.—С. 16.
20. Промышленная микробиология // Экспресс-информация. Зарубежный опыт.—1989.—Вып. 5.—С. 5.
21. Промышленная микробиология // Экспресс-информация. Зарубежный опыт.—1989.—Вып. 21.—С. 4—8.
22. Северина Л. О., Тименов Н. В., Плахунов В. К. Экзополисахариды некоторых экстремально галофильных архебактерий // Микробиология.—1988.—57, № 3.—С. 509—511.
23. Ткаченко А. А., Севрюгина Т. В. Биосинтез левана *Bacillus polymyxa* // Микробиология.—1989.—58, № 3.—С. 457—468.
24. А. с. 595379 СССР, МКИ<sup>2</sup> C12 K 3/00. Штамм 8162 *Xanthomonas campestris* — продуцент гетерополисахарида / М. С. Матышевская, Р. И. Гвоздяк, И. И. Майко и др.—Опубл. 28.02.87, Бюл. № 8.
25. А. с. 1158144 СССР, МКИ<sup>3</sup> A 21 D 8/04. Способ приготовления теста / Ю. Р. Малашенко, Т. А. Гринберг, В. И. Дробот и др.—Опубл. 30.05.85, Бюл. № 20.
26. Пат. 929015 СССР, МКИ<sup>3</sup> C 12 P 19/04. Способ получения полисахаридов / Е. Такакаяма, Ц. Назава, Е. Масуда и др. (Япония) // Открытия. Изобретения.—1982.—№ 18.—С. 303.
27. Anderson D. M. W. Industrial utilization of polysaccharides // Process biochemistry.—1977.—12, N 10.—P. 24.
28. Annison G., Couperwhite I. Influence of calcium on alginate production and composition in continuous cultures of *Azotobacter vinelandii* // Appl. Microbiol. and Biotechnol.—1986.—25, N 1.—P. 55—61.
29. Anton J., Meseguer I., Rodriguez-Valera F. Production of an extracellular polysaccharide by *Haloferax mediterranei* // Appl. and Environ. Microbiol.—1988.—54, N 10.—P. 2381—2386.
30. Baird J. K., Sandford P. A., Cottrell I. W. Industrial application of some new microbial polysaccharides // Biotechnology.—1983.—1.—P. 778—783.
31. Berthelet D., Michel J. P., Heyraud A., Rinaudo M. Polysaccharides exocellulaires d'origine microbienne // Etude bibliographique, Ministère de l'industrie et de la recherche.—Collonges-sous-Saleve (France): CIRTA, 1984.—Vol. 1/2—429 p.
32. Blake I. D., Clarke M. L., Jansson P. E., McNeil K. E. Fructan from *Erwinia herbicola* // J. Bacteriol.—1982.—151, N 3.—P. 1595—1597.
33. Bodie E. A., Schwartz R. D., Catena A. Production and characterization of a polymer from *Arthrobacter* sp. // Appl. and Environ. Microbiol.—1985.—50, N 3.—P. 629—633.
34. Booth A. N., Hendrickson A. P., De Eds F. Physiologic effects of three microbial polysaccharides on rats // Toxicol. Appl. Pharmacol.—1963.—5.—P. 478—483.

35. *Briwonese A. C., Sutherland I. W.* Polymer production by a mucoid strain of *Azotobacter vinelandii* in batch culture // Appl. Microbiol. and Biotechnol.—1989.—30, N 1.—P. 97—102.
36. *Bryan B. A., Linhardt R. J., Daniels L.* Variation in composition and yield of exopolysaccharides produced by *Klebsiella* sp. strain K32 and *Acinetobacter calcoaceticus* BD4 // Appl. and Environ. Microbiol.—1986.—51, N 6.—P. 1304—1308.
37. *Burton K. A., Cadmus M. C., Lagoda A. A. et al.* A unique biopolymer from *Rhino-cladiella mansonii* NRRL V-6272 production in 20 liter fermentors // Biotechnol. and Bioeng.—1976.—18, N 2.—P. 1669—1674.
38. *Cerning J., Bouillanne C., Desmazeaud M. J., Landon M.* Exocellular polysaccharide production by *Streptococcus thermophilus* // Biotechnol. Lett.—1988.—10, N 4.—P. 255—260.
39. *Christensen B. E., Kjosbakken J., Smidsrød O.* Partial chemical and physical characterization of two extracellular polysaccharides produced by marine, periphytic *Pseudomonas* sp. strain NCMB 2021 // Appl. and Environ. Microbiol.—1985.—50, N 4.—P. 837—845.
40. *Clare K. A.* Applications of novel biogums // Spec. Chem.—1989.—9, N 4.—P. 238—244.
41. *Colwell R. R.* Polysaccharide glue from marine bacterium // Bioprocess Technol.—1986.—8, N 6.—P. 6.
42. *Dugan P. R.* The function of microbial polysaccharides in bioflocculation and biosorption of mineral ions // Floccul. Biotechnol. and Separ. Syst. Proc. Int. Symp. (San Francisco, July 28-Aug. 1, 1986).—Amsterdam etc., 1987.—P. 337—350.
43. *Fiedler S., Sattler K.* Optimierung der bakteriellen Zellulosebildung // Wiss. Beitr. Ingenieurhochsch.—Köthen, 1985.—P. 76.
44. *Food and Drug Administration.* Food additives permitted in food for human consumption: Xanthan gum // Fed. Register.—1969.—34, (53), Pt 121.—P. 5376.—March 19.
45. *Food and Drug Administration.* French dressing identity standart; confirmation of effective date of order listing xanthan gum as an optional ingredient // Fed. Register.—1971.—38 (49), Pt 1.—P. 6883.—March 14.
46. *Glicksman M.* Hydrocolloids in food product applications // Polysaccharides food.—London, 1979.—P. 185—204.
47. *Harada T., Misaki A., Saito H.* Curdlan. Bacterial gel-forming beta-1,3-glucan // Arch. Biochem. and Biophys.—1968.—124.—P. 292—298.
48. *Harlander S. K., Garner R. G.* The future of biotechnology in food processing // Res. Tomorrow. Yearb. Agr.—S. 1, 1986.—P. 52—55.
49. *Heald P. J., Kristiansen B.* Synthesis of polysaccharide by yeast-like forms of *Aureobasidium pullulans* // Biotechnol. and Bioeng.—1985.—27, N 10.—P. 1516—1519.
50. *Jansson P. E., Lindberg B., Sandford P. A.* Structural studies of gellan gum, an extracellular polysaccharide elaborated by *Pseudomonas elodea* // Carbohydr. Res.—1983.—124, N 1.—P. 135—139.
51. *Jeanes A., Pittslay J. E., Santi F. R.* Polysaccharide B-1459: a new hydrocolloid polyelectrolyte produced from glucose by bacterial fermentation // J. Appl. Polym. Sci.—1961.—5.—P. 519—526.
52. *Jeanes A.* Extracellular microbial polysaccharides: New hydrocolloids having both fundamental and practical import // Polymer science and technology / Ed. N. M. Bikales.—New York: Plenum press, 1973.—Vol. 2.—P. 259—280.
53. *Jeanes A., Pittslay J. E.* Viscosity profiles for aqueous dispersions of extracellular anionic microbial polysaccharides // Ibid.—1973.—Vol. 17.—P. 1621—1624.
54. *Jeanes A.* Extracellular microbial polysaccharides // Food Technol.—1974.—28, N 5.—P. 34—38.
55. *Jeanes A., Rogovin P., Cadmus M. C. et al.* Polysaccharide (xanthan) of *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459; procedures of culture maintenance and polysaccharide production, purification and analysis // Agr. Res. Service. U. S. Department of Agriculture, North Central Region.—Nov. 1976.—P. 1—14.
56. *Kennedy J. F., Bradshaw J. J.* Production, properties and applications of xanthan // Progr. Ind. Microbiol.—1984.—19.—P. 319—371.
57. *Kwon B.-D., Foss Per A., Rha C.* Rheological characterization of high viscosity polysaccharides // Ind. Polysaccharides; Genet. Eng., Struct./Prop. Relat. and Appl.: Proc. Symp. Appl. and Modif. Ind. Polysaccharides. 193 rd Amer. Chem. Soc. Nat. Meet. Denver Colo, 5—10 Apr., 1987.—Amsterdam etc., 1987.—P. 253—266.
58. *Leps W. T., Thompson B. G., Brandingen M. A.* Effect of medium constituents and pH control on growth and exopolysaccharide production by *Rhizobium trifolii* // Abstr. Annu. Meet. Soc. Microbiol., 1987, 87 th Annu. Meet (Atlanta Ga, 1—6 March, 1987).—Washington : D. C., 1987.—P. 265.
59. *Manrese A., Espuny M. J., Guinea J., Comelles F.* Characterization and production of a new extracellular polymer from *Pseudomonas* sp. GSP-910 // Appl. Microbiol. and Biotechnol.—1987.—28, N 4.—P. 347—351.
60. *McNeil B., Kristiansen B., Seviour R. J.* Polysaccharide production and morphology of *Aureobasidium pullulans* in continuous culture // Biotechnol. and Bioeng.—1989.—33, N 9.—P. 1210—1212.
61. *Meer J., Meer W. A., Tinker J.* Polysaccharides and food processing // Food Technol.—1975.—29, N 10.—P. 22—25.

62. Milas M., Rinaudo M. Conformational investigation of the bacterial polysaccharide xanthan // Carbohydr. Res.—1979.—76.— P. 189—196.
63. Nguyen A., Grothe S., Luong J. H. Applications of pullulan in aqueous two-phase systems for enzyme production, purification and utilization // Appl. Microbiol. and Biotechnol.—1988.—27, N 4.— P. 341—346.
64. O'Neill N. A., Selvendran R. R., Morris V. J. Structure of the acidic extracellular gelling polysaccharide produced by *Pseudomonas elodea* // Carbohydr. Res.—1983.—124.— P. 123—133.
65. Paul F., Morin A., Monsan P. Microbial polysaccharides with actual potential industrial applications // Biotechnol. Adv.—1986.—4.— P. 245—259.
66. Phillips K. R., Pik J., Lawford H. G. et al. Production of curdlan-type polysaccharide by *Alcaligenes faecalis* in batch and continuous culture Can. J. Microbiol.—1983.—29, N 10.— P. 1331—1338.
67. Pilnik W., Rombouts F. M. Polysaccharides and food processing // Carbohydr. Res.—1985.—142.— P. 93—105.
68. Pizlo A., Rzedowski W. V. Wielocukry rozpuszczalne w wodzie i ich otrzymywanie na drodze mikrobiologicznej // Przem. ferm. i owocowo-waizywny.—1979.— N 3.— P. 12—14.
69. Robbins D. J., Moulton J. E., Bath A. N. Subacute toxicity study of a microbial polysaccharide fed to dogs // Food Cosmet. Toxicol.—1964.—2.— P. 545.
70. Rosenberg E., Rubinovitz C., Gottlieb A. et al. Production of biodespersan by *Acinetobacter calcoaceticus* A2 // Appl. and Environ. Microbiol.—1988.—54, N 2.— P. 317—322.
71. Sanderson G. R. The interactions of xanthan gum in food systems // Progr. Ed. Nutr. Sci.—1982.—6.— P. 77—87.
72. Sandford P. A., Baird J. Industrial utilization of polysaccharides // Molecular biology. Vol. 2. The polysaccharides.—London; New York: Acad. press.—1983.— 607 p.
73. Sandford P. A., Cotterell I. W., Pettitt D. J. Microbial polysaccharides: New products and their commercial applications // Pure and Appl. Chem.—1984.—56.— P. 879—895.
74. Sengha S. S., Anderson A. J., Hacking A. J., Dawes E. A. The production of alginate by *Pseudomonas mendocina* in batch and continuous culture // J. Gen. Microbiol.—1989.—135, N 4.— P. 795—804.
75. Shin Y. C., Kim Y. H., Lee H. S. et al. Production of pullulan by a fed-batch fermentation // Biotechnol. Lett.—1989.—9, N 9.— P. 621—624.
76. Skjak-Braek G., Smidsred O., Larsen B. Tailoring of alginates by enzymatic modification in vitro // Int. J. Biol. Macromol.—1986.—8, N 6.— P. 330—336.
77. Skjak-Braek G. Biosynthesis and structure-function relationships in alginates.—Norway: Univ. Trondheim, 1988.—49 p.
78. Slodki M. E., Cadmus M. C. Production of microbial polysaccharides // Adv. Appl. Microbiol.—1980.—23.— P. 19—55.
79. Stephenson M. P., Jackson F. A., Dawes E. A. Further observations on carbohydrate metabolism and its regulation in *Azotobacter beijerinckii* // J. Gen. Microbiol.—1978.—109, N 1.— P. 89—96.
80. Sutherland I. W. Bacterial exopolysaccharides / Eds. A. H. Rose, D. W. Tempest // Adv. Microbiol. Physiol.—1972.—8.— P. 143—213.
81. Sutherland I. W. Microbial polysaccharides // Trends Biochem. Sci.—1979.—4, N 3.— P. 55—59.
82. Sutherland I. W., Ellwood D. C. Microbial exopolysaccharide — industrial polymers of current and future potential // Microbiol. Technol. Curr. State Future Prospects: 29 Symp. Soc. Gen. Microbiol.—Cambridge, 1979.— P. 107—150.
83. Sutherland I. W. Biosynthesis of microbial exopolysaccharides // Adv. Microbiol. Physiol.—1982.—23.— P. 80—142.
84. Szczesniak A. S., Farkas E. Objective characterization of the mouthfeel of gum solutions // J. Food. Sci.—1962.—27.— P. 381—389.

Рецензент Л. В. Косенко  
Член редколлегии Л. Д. Варбанец

Получено 10.04.90