

Галактоолигосахариды: технология, анализ рынка и коммерческие перспективы*

Д-р техн. наук **С.В.СИМОНЕНКО,**
Н.А.ШАХАЙЛО
НИИ детского питания

В течение последних 30 лет наблюдается существенный рост производства функциональных продуктов питания, оказывающих положительный эффект на здоровье человека. По некоторым оценкам ежегодный прирост продаж функциональных продуктов составляет около 5 %, а, например, в США объем рынка функциональных продуктов достиг 40 млрд долл. В состав значительной доли этих функциональных продуктов входят неперевариваемые олигосахариды, в частности галактоолигосахариды (ГОС).

В настоящее время на мировом рынке предлагается 20 различных видов неперевариваемых олигосахаридов. В химическом отношении эти вещества представляют собой большие молекулы, состоящие от 3 до 20 моносахаридных звеньев, соединенных гликозидными связями. Обычно их классифицируют по главному моносахариду на фруктоолигосахариды (содержат фруктозу и глюкозу) и ГОС (галактозу и глюкозу) (табл. 1). Неперевариваемые олигосахариды (НПО) различаются по длине цепи, составу моносахаридных звеньев, происхождению (табл. 2).

Галактоолигосахариды содержатся в женском молоке. В продуктах питания они находятся в следовых количествах (менее 0,01 % обнаружены в огурцах, чесноке, бананах, сое и цикории), такой уровень не позволяет ни одному из продуктов питания стать сырьевым источником ГОС.

Химическая формула ГОС: (Галактоза)_n – Глюкоза, причем *n* варьирует от 1 до 8, связь между мономерами может быть β-1-3, β-1-4, β-1-6.

В коммерческих образцах ГОС также присутствуют такие дисахариды, как аллолактоза и галактобиоза [8]. Тип связи между мономерами оказывает непосредственное влияние на физио-

логическую активность ГОС. Продукты Yakult Honsha Co. Ltd под брендом «Oligomate» производятся с участием фермента, выделенного из *Aspergillus oryzae*, ГОС во всех продуктах «Oligomate» содержат в основном β-1-6-связи. Продукты Clasado Ltd под брендом «Bimuno» производятся с участием фермента, выделенного из *Bifidobacterium bifidum*. ГОС в продуктах «Bimuno» содержат в основном β-1-3-связи, тогда как в Cup-Oligo и Vivinal (Nissin Sugar Manufacturing Co.Ltd и Friesland Campina Domo соответственно) обнаруживаются только β-1-4-связи в результате активности ферментов, выделенных соответственно из *Bacillus circulans* и *Cryptococcus laurentii*. Показано, что бифидогенность ГОС зависит от типа связи мономерных звеньев – олигомеры со связью β-1-3 обладают более выраженной бифидогенной активностью [24].

Галактоолигосахариды относят к группе растворимых неперевариваемых олигосахаридов, или растворимых пищевых волокон, часто под таким термином ГОС регистрируются национальными регуляторными органами.

Галактоолигосахариды очень хорошо растворимы, их относительная сладость составляет примерно 35 % сладости сахарозы. Они более вязкие, чем низкомолекулярные гидролизаты крахмала, снижают активность воды и ее температуру замерзания, а также обнаруживают хорошую влагоудерживающую способность. Очень высокая стабильность к нагреванию при разных уровнях

pH позволяет применять их при высоких температурах без видимого разложения в кислых средах. Так, например, «Oligomate 55» остается стабильным при нагревании до 160 °С в течение 10 мин при pH 2 (в этих же условиях почти половина сахарозы разлагается). При комнатной температуре в кислых растворах ГОС также показывает очень высокую стабильность [9, 7], которая выше, чем у фруктоолигосахаридов [10].

Несмотря на выраженную индивидуальность в отношении переносимости, установлены рекомендуемые дозировки внесения ГОС в функциональные продукты. Избыточное потребление ГОС приводит к кишечному дискомфорту и даже к диарее и вздутию кишечника из-за избыточной осмолярности ГОС в водных растворах, а также высокой способности к ферментации с выделением газа [11]. Например, потребление ГОС более 20 г/сут или ФОС более 40 г/сут приводит к диарее [7]. Большинство авторов склоняется к рекомендации в потреблении до 15 г/сут для выраженного бифидогенного эффекта, некоторые авторы – до 10 г/сут. Если же стартовый титр бифидобактерий был низким, как у пожилых и людей преклонного возраста, потребление ГОС 2,5 г/сут оказалось достаточным для заметного увеличения содержания бифидобактерий в толстом кишечнике [4, 7, 12]. Исследование на людях показало, что в отличие от фруктоолигосахаридов потребление ГОС вызывает заметно меньшее выделение газообразного водорода и диарею [6].

Таблица 1

Неперевариваемые олигосахариды	Молекулярная структура	Тип связи между мономерами
Лактулоза	Gal-Fru	β-1-4
Лактосахароза	Gal-Glc-Fru	β-1-4
Раффиноза	Gal-Glc-Fru	α-1-6
Галактоолигосахариды (ГОС)	(Gal) _n -Glc	β-1-3; β-1-4; β-1-6
Фруктоолигосахариды (ФОС)	(Fru) _n -Glc	β-1-2
Соевые олигосахариды	(Gal) _n -Glc-Fru	α-1-6
Изомальтоолигосахариды	(Glc) _n	α-1-6
Ксилоолигосахариды	(Xy) _n	β-1-4
Палатинозоолигосахариды	(Glc-Fru) _n	α-1-6
Гликозилсахароза	(Glc)n-Fru	α-1-4
Мальтоолигосахариды	(Glc) _n	α-1-4
Циклодекстрины	(Glc) _n	α-1-4, циклическая структура
Гентиоолигосахариды	(Glc) _n	β-1-6

* По материалам зарубежной печати.

Таблица 2

ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ ГОС НА ЗДОРОВЬЕ

Коммерческое название	Содержание НПО, %	Производитель
Галактоолигосахариды		
TOS	60	Borculo Whey Products, Голландия
Oligomate 55 Oligomate 55 P (порошок) TOS-100 (порошок)	Более 55 Более 55 Более 99	Yakult Honsha Co. Ltd, Япония
Cup-Oligo H-70 Cup-Oligo P (порошок)	70 70	Nissin Sugar Manufacturing Co.Ltd, Япония
Bimuno (порошок)	52	Clasado Ltd, Япония
Vivinal Vivinal (порошок)	57 29/71	Friesland Campina Domo, Голландия
Фруктоолигосахариды		
Raftilose L30 Raftilose L60 Raftilose L85 Raftilose L95 Raftilose P95 (порошок)	Более 30 Более 60 Более 85 Более 95 95	Orafti, Бельгия
Actilight P (порошок) Actilight G	95 55	Beghin-Meiji Industries, Франция
Meiologo P (порошок) Meiologo G	95 55	Meiji Seika Kaisha, Япония
Oligo-Sugar Oligo-Sugar (порошок)	60 23	Cheil Foods and Chemicals, Корея
Инулин		
Raftiline ST (порошок)	–	Orafti, Бельгия
NutraFlora (порошок)	95	Golden Technologies Co., США
Изомальтоолигосахариды		
Isomalto-500 Isomalto-900 Isomalto-900P (порошок)	Более 50 Более 80 Более 85	Showa Sangyo Co., Япония
Panorup	Более 85	Hayashibara Shoji Inc., Япония
Panorich Biotose #50	Более 50 Более 50	Nihon Shokunin Kako Co., Япония
Ксилоолигосахариды		
Xylo-oligo 20P (порошок) Xylo-oligo 35P (порошок) Xylo-oligo 95P (порошок) Xylo-oligo 70	20 35 95 75	Suntory Ltd, Япония
Лактосахароза		
Nyuka-Origo LS-40L Nyuka-Origo LS-55L Pet Oligo L55 Nyuka-Origo LS-55P (порошок)	42 55 57 55	Ensuiko Sugar Refining Co., Япония
Newka-Oligo LS-35 Newka-Oligo LS-55L Newka-Oligo LS-55P (порошок)	Более 35 Более 55 Более 55	Hayasibara Shoji Inc., Япония
Гентиоолигосахариды		
Gentose #45 Gentose #80 Gentose #80P (порошок)	45 90 90	Nihon Shokunin Kako Co., Япония

Энергетическая ценность ГОС относительно низкая – 1–2 ккал/г [4, 6], так как часть энергии тратится на ферментацию и абсорбцию толстым кишечником короткоцепочечных жирных кислот.

Доказанные полезные свойства делают применение ГОС как пищевой добавки особенно привлекательным. Из-за β-конфигурации гликозидной связи ГОС чрезвычайно устойчива к гидролизу фермен-

тами слюны и желудка [12]. В толстом кишечнике ГОС может быть субстратом для ограниченной группы микроорганизмов, причем наиболее выраженной способностью к утилизации ГОС обнаруживают бифидо- и лактобактерии, которые рассматриваются современной диетологией как самые дружественные человеку бактерии. По этой причине ГОС получил термин «бифидогенный фактор» [13].

Большинство положительных факторов, с которыми связано действие ГОС на здоровье, вызвано их влиянием на рост бифидобактерий в толстом кишечнике. Перечислим основные факторы:

- подавление патогенных бактерий. Продуктами ферментации ГОС в митохондриях бифидобактерий являются короткоцепочечные кислоты, такие как молочная или уксусная, CO₂, CH₄, H₂ и некоторые антибиотики. Кислоты снижают pH, что приводит к изменению в составе микрофлоры, а именно к росту численности бифидобактерий и лактобактерий и снижению численности клостридий, кишечной палочки, а также подавлению роста патогенных бактерий, таких как *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus* и др.;

- образование полезных веществ. Бифидобактерии выделяют витамины группы B, в том числе B₁, B₂, B₆, B₁₂, а также биотин, никотиновую кислоту и фолиевую кислоту [14, 15];

- увеличение всасывания минеральных веществ. Снижение pH ускоряет всасывание железа и кальция, что снижает риск остеопороза, так как эти минералы увеличивают плотность и массу костной ткани [16, 17];

- предотвращение патогенной и аутогенной диареи. Это действие связано с ингибированием как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий метаболитами бифидобактерий [12];

- предотвращение запоров. Короткоцепочечные кислоты стимулируют перистальтику и увеличивают влагосодержание в просвете толстого кишечника из-за повышения осмотического давления [18];

- снижение концентрации холестерина в сыворотке крови. Обнаруженные изменения в концентрации холестерина вызваны действием ГОС на численность лактобактерий, некоторые виды которых усваивают холестерин, ингибируют всасывание холестерина в кровяное русло [19, 20];

- снижение артериального давления. Установлена отрицательная корреляция между величиной давления в диастоле и долей бифидобактерий в их общем счете в просвете толстого кишечника [21];

- противораковая активность, особенно в отношении опухолей толстого кишечника. Противораковый эффект связан с увеличением клеточного иммунитета под действием бифидобактерий [12, 22].

РЫНОК ГОС

В настоящее время пять компаний предлагают ГОС в качестве пищевой добавки в функциональные продукты питания, три из них расположены в Японии и две – в Голландии. В Японии неперевариваемые олигосахариды, в том числе и ГОС, вносят в 450 продуктов питания. Средняя рыночная цена ГОС сложилась в диапазоне 17–22 долл. США за 1 кг (без учета доставки, налогов и ввозных пошлин), что делает ГОС продуктом с самой высокой добавленной стоимостью из производимых в молочной промышленности. Целевые потребительские группы ГОС:

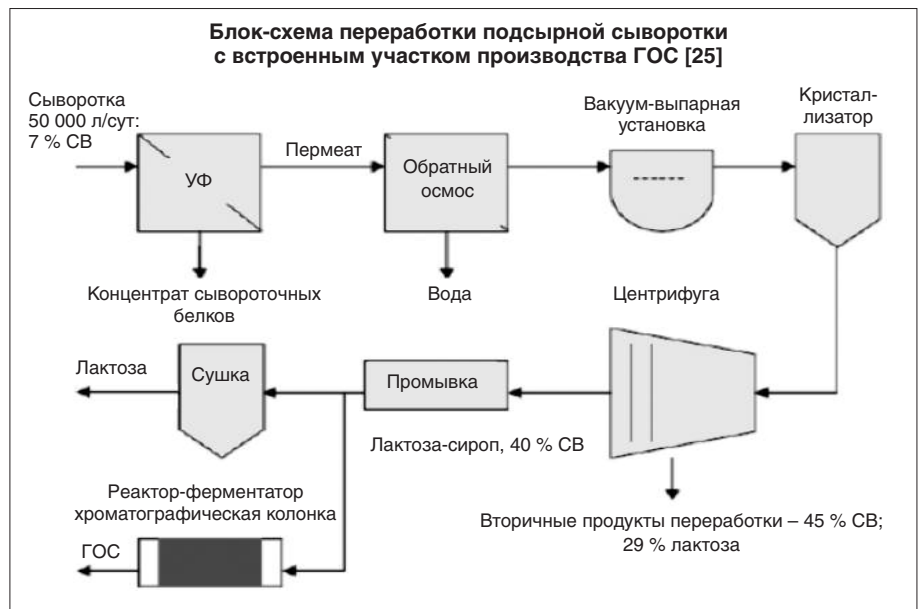
- младенцы на искусственном вскармливании (ГОС является компонентом заменителей женского молока);
- пациенты, получающие энтеральное питание;
- люди преклонного возраста.

Дополнительно к этим группам потребителей ГОС может выступать как пищевая добавка с доказанным пребиотическим эффектом и выраженными преимуществами по сравнению с другими пребиотиками из табл. 2 – как подсластитель, не вызывающий кариеса и содержащий мало калорий [23]. Таким образом, рынок возможных приложений ГОС включает:

- диетическая пищевая добавка в самые разные продукты питания с доказанным пребиотическим действием;
- компонент детских молочных смесей, моделирующих концентрацию ГОС, близкую к концентрации в женском молоке;
- добавка к кормам для животных;
- низкокалорийный подсластитель;
- непещевое применение, например, в косметических целях, средствах для обработки полости рта и пр.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОС

Известно, что производство сыра является одним из динамично растущих. Так, по компетентным оценкам ежегодный прирост производства сыра в мире оценивается в 3–4 %. Одна из насущных проблем этого производства – избыток предложения сыворотки. Получение продуктов с высокой добавленной стоимостью из сыворотки – одна из самых привлекательных задач молочной промышленности. В связи с этим получение ГОС из сыворотки является интересной альтернативой и трендом последних 10–15 лет.



Технология производства ГОС создана в начале 1990-х годов и включает трансгалактозилирование коммерческими препаратами β-галактозидазы гидролизатов лактозы, полученной из подсырной сыворотки.

На рисунке приведена технологическая схема производства ГОС, встроенная в стандартизированный процесс переработки подсырной сыворотки в количестве 50 000 л/сут путем добавления в реактор объемом 40 л с расчетной производительностью 2000 т. Раствор лактозы гидролизует грибовой (*Aspergillus oryzae*), бактериальной (*Bacillus circulans*) или дрожжевой (*Kluyveromyces lactis*) лактазой до глюкозо-галактозного сиропа. Затем иммобилизованный коммерчески доступный фермент β-галактозидаза трансгалактозилирует гидролизат до ГОС. Далее целевой продукт отделяется на хроматографической колонке от глюкозы, галактозы и лактозы. Лактоза возвращается обратно в реактор, а глюкоза и галактоза являются побочным продуктом.

Производство ГОС является перспективным направлением переработки подсырной сыворотки и может выступать альтернативой производству лактулозы. ГОС – продукт будущего, и его использование в пищевой промышленности будет расти. Производство лактулозы, по-видимому, не выдержит конкуренции с ГОС ввиду его очевидных достоинств – возможности получения из отходов производства сычужных сыров, утилизация которых является чувствительной экологической проблемой.

Среди прочих пребиотиков у ГОС есть еще одно неоспоримое преимущество – это бифидогенный фактор, «придуманный» самой природой, единственный природный источник ГОС – женское молоко и предназначены эти вещества исключительно для питания бифидобактерий в толстом кишечнике младенца.

Позволим себе сделать предположение о целесообразности создания в России товарного производства галактоолигосахаридов. Этот проект может быть привлекательным для частных инвесторов, но мы не исключаем и интерес государства. Среди потенциальных инвесторов могли бы быть компании, продвигающие функциональные продукты. Здесь нужны смелые подходы, способные «угадать» наиболее емкий рынок. Например, может дать хорошие объемы производства и прибыль хлеб, обогащенный ГОС, с заявленным бифидогенным эффектом и предназначенный людям старших возрастных групп.

НИИ детского питания может оказать методическую и информационную поддержку данному проекту, а также дать экспертную оценку инвестиционному бизнес-плану.

Авторы выражают собственную точку зрения и не связаны договорными или коммерческими обязательствами ни с одной из компаний, упомянутых в данной публикации.



Со списком литературы можно ознакомиться, направив запрос по электронной почте на имя С.В.Симоненко по адресу: niidp@rambler.ru