

УДК 637.146

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБИОТИЧЕСКИХ И МЕТАБИОТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ПИЩЕВЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ**И.С. Полянская, Е.С. Шигина**

ФГБОУ ВО «Вологодская молочнохозяйственная академия», Вологда, Россия

Функциональные продукты с пробиотиками являются наиболее стандартизированными из всех ферментированных продуктов, однако подходы к разработке и производству метабиотических ферментированных продуктов не столь очевидны. В настоящем исследовании сделана попытка сравнительного анализа пробиотических и метабиотических ферментированных пищевых продуктов, в том числе методам контроля их эффективности.

Ещё с древних времён известно, что молочнокислые бактерии (МКБ) с помощью выделяемых при жизнедеятельности метаболитов, замедляют процессы порчи продукта, в 1911 г. И.И. Мечников разработал теорию задержки старения (ортобиоза) организма с помощью кисломолочных продуктов. МКБ имеют общепризнанный статус безопасных для здоровья человека и животных. Однако считалось, что для оздоравливающего эффекта молочнокислые микроорганизмы, как и пробиотики в целом, должны быть приняты в составе продукта (пищевого или бактериального препарата) в вегетативном состоянии. Лишь в начале XXI века отечественными учёными [1] показано, что в ряде случаев, метаболиты пробиотиков, накопленные в процессе их жизнедеятельности, носят лучший оздоравливающий эффект, по сравнению с живыми клетками пробиотиков. Для ферментированных молочных продуктов исследованиями метабиотиков занималась Л.Г. Стоянова с соавт. [2, 3].

Известно, что все гомоферментативные лактобактерии (бактерии семейства *Lactobacillus*) при ферментации образуют преимущественно молочную кислоту (85 % и более). Однако лактобактерии, кроме облигатно-гомоферментативных (например, *L. acidophilus*) могут быть факультативно-гетероферментативными (например, *L. plantarum*, *L. casei*) облигатно гетероферментативными (например, *L. kefir*, бифидобактерии). Однако не является очевидным то, что гетероферментативные микроорганизмы всегда эффективнее, как пробиотики. Штаммы *Lactobacillus acidophilus* в 22,2 % обладают смешанным механизмом антагонизма, не исключая выделение бактериоцинов [4]. В наших предыдущих исследованиях среди отечественных культур *L. casei* более чем в 45 % случаев обладали высокой антагонистической активностью против стафилококков (зона задержки роста не менее 15 мм), среди испытанных культур *L. casei* и самая высокая антагонистическая активность по отношению к *E. coli* [5], однако по отношению к сальмонеллам гомоферментативные лактококки (*L. lactis* subsp. *lactis*) оказались эффективнее этих же штаммов *L. casei* [6].

Даже среди культур одного вида наблюдается значительная штаммоспецифичность по антибиотическому признаку. Во случаях выявлены штаммы с антибиотической активностью, превышающей среднюю по виду в 2–3 раза и, в основном, это связана с выделением специфичных антибиотических веществ, в частности, бактериоцинов. Кроме молочнокислых бактерий в производстве ферментированных молочных продуктов используются бревибактерии, пропионовокислые микроорганизмы, бифидобактерии. Бактериоцин лактоспорулин (IM-9), продуцируемый *Brevibacillus* sp. оказался устойчивым к высоким температурам (до 120 °C), толерантным к изменениям pH (между 2 и 10) и действию протеаз. При этом изменения этих параметров окружающей среды не влияли на его широкую антибактериальную активность как против грамположительных, так и грамотрицательных бактерий лактоспорулина [7]. Бактериоцины бифидобактерий (бифидин, бифилонг) также термолабильны, при обработке протеазами они утрачивают активность, что позволяет легко отличить их от других бактерицидных веществ [8]. В целом, пробиотики, синтезирующие бактериоцины, считаются перспективной альтернативой химическим антибиотикам, как стратегия профилактики инфекционных заболеваний.

Показано [2, 3], что преимущество метабиотиков, по сравнению с пробиотиками, проявляется в случае, если антимикробный агент является эндогенным, и выделяется после лизиса клеток. Однако лизис клеток может происходить и в ЖКТ, что порождает версию о том, что метабиотики – любые убитые пробиотики. При этом, далеко не все пробиотики, будучи лизированными, работают эквивалентно тому, как бы они были эффективны вегетативными и наоборот, не все метабиотики, будучи живыми клетками, принятыми *per os*, будут иметь такой же эффект.

Результаты сравнительного анализа пробиотических и метабиотических продуктов показывают, что отличительными особенностями мета – от пробиотических продуктов являются следующие:

1) В некоторых случаях бактерицидная активность лизатов, полученных обработкой клеток ацетон-уксусной смесью, более чем на 40 % превышает активность культуральной жидкости, содержащей живые клетки с неповрежденной клеточной стенкой и экзометаболитами, то в других случаях, она одинаковая [2, 9], что предполагает определённый отбор пробиотических штаммов для использования их как эффективных метабиотиков. Пробиотик, будучи лизированным специально, для получения метабиотического продукта может быть исследован на содержание метаболитов, в частности бактериоцинов, короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК) и стандартизироваться по ним.

2) На синтез антибиотических веществ оказывают влияние условия культивирования продуцента: состав питательной среды, а также время инкубации продуцента и др. факторы. К тому же, ограничения некоторых веществ, необходимых для метаболитного обмена, могут значительно снизить синтез бактериоцина, поэтому эффективность метабиотического продукта сложнее контролировать по количеству бактериоцинов, КЦЖК и др., чем пробиотического – по количеству жизнеспособных пробиотических клеток.

3) Часть антибиотических веществ не является термостабильными (лантибиотики), а часть термостабильны (некоторые нелантибиотических бактериоцины), что накладывает дополнительные ограничения на использование первых в технологических процессах продуктов с метабиотиками, в которых предусматривается высокотемпературная обработка на заключительном этапе, но такая возможность полностью исключена для продуктов с пробиотиками, которые всегда термолабильны.

4) Пищевой продукт с пробиотиками может позиционироваться как функциональный, если количество пробиотических культур не менее 10^6 (для йогурта 10^7) КОЕ в 1 г [10], не менее, чем 5×10^7 КОЕ в суточной порции таких продуктов (для бифидобактерий 5×10^8), с учетом возможных противопоказаний в виде индивидуальной непереносимости, наличия научных данных, полученных с использованием методов доказательной медицины для каждого вида функционального пищевого продукта. Для специализированного пищевого продукта утвержденные методы доказательной медицины, подтверждающие лечебные и (или) профилактические свойства и безопасность употребления этого пищевого продукта, должны быть применены к отдельным категориям людей и в настоящее время не существует стандарт на ферментированные специализированные пищевые продукты с метабиотиками. Для контроля количества наиболее значимых метаболитов в продуктах с метабиотиками непосредственно на предприятиях-производителях могут быть разработаны биологические методы, аналогичные методу редуктазной пробы с резазурином. Для внешнего контроля может быть применена масс-спектрометрия, газожидкостной хроматографии и др. методы.

5) МКБ в нативном состоянии потенциально могут распространять устойчивость к антибиотикам по всей пищевой цепочке [11], например, приобретать гены устойчивости к антибиотикам от устойчивых бактерий в сыром молоке и впоследствии передавать мобильный ген устойчивости другим бактериям во время обработки пищевых продуктов. Для продуктов с метабиотиками эта возможность исключена.

6) Если сравнить возможные положительные функции живых пробиотиков и метабиотиков, проявляющиеся во время производственного процесса (технологические уровни) и при употреблении пищевого продукта (нутриционные уровни) [12], то отличительной чертой метабиотиков является другой характер восстановления и поддержания здоровой нормобиоты кишечника (без способности метаболитов к колонизационной резистентности), что медики [1], как раз считают положительным моментом в случаях ослабленного иммунитета человека, или оппортунистических отношений пробиотиков и биоты кишечника.

7) Метабиотики обладают более высокой биодоступностью, т. к. метабиотические вещества доходят до толстой кишки на 95–97 % в неизменном виде [13], продукт с метабиотиком легче сохранить, чем с пробиотиком, обеспечить гарантированный срок хранения. Метабиотики не разрушаются под воздействием желудочного сока и пищеварительных ферментов при попадании в ЖКТ, за исключением некоторых бактериоцинов, которые, в случае термолабильности, работают на технологическом уровне [12].

В целом, использование метабิโอ́тиков – новое и перспективное направление, как в медицине, так и в пищевой промышленности. Однако известно, что для получения препаратов метабิโอ́тиков, требуется дорогостоящая и трудоёмкая очистка [7] и препараты не используются постоянно, как продукты питания в рационе.

Пищевые специализированные продукты с метабิโอ́тиками – новое направление развития лечебно-профилактической индустрии питания, которое охватывает как области разработки новых продуктов, так и совершенствования подбора заквасочной микробиоты для известных ферментированных продуктов [3, 12]. Преимущество метабิโอ́тиков, по сравнению с пробиотиками заключается, прежде всего в том, что нет необходимости поддерживать жизнеспособность пробиотических клеток во время срока годности, что позволяет производить ферментированные специализированные продукты питания с более длительным сроком безопасного потребления без консервантов. В отличие от пробиотиков, метабิโอ́тики должны контролироваться на содержание функционально значимых метаболитов, а не на количество живых клеток.

Литература

1. Кишечная микрофлора: Взгляд изнутри / И.В. Дармов, И.П. Погорельский, И.Ю. Чичерин и др./ Сборник научных статей. ВятГУ. – 2012. – 147 с.
2. Стоянова Л.Г. Метабиотические свойства штаммов *Lactobacillus acidophilus*, входящих в комплексные закваски для производства пробиотических молочных продуктов/ Л.Г. Стоянова, С.Д. Дбар, И.С. Полянская // Биотехнология. – 2022. – т № 1. – т. 38. – С. 1–10.
3. Шигина Е.С. Метабиотики в составе обогащенного йогурта / Е.С. Шигина, И.С. Полянская, В.Ф. Семенихина, Л.Г. Стоянова // Молочная промышленность. – 2022. – № 2. – С. 34–36.
4. Полянская И.С. Антибиотическая активность молочнокислых бактерий к стафилококкам / И.С. Полянская, В.Ф. Семенихина // Молочная промышленность. – 2014 – № 5. – 48–49.
5. Полянская И.С. Молочнокислые микроорганизмы для профилактики инфекций *E. coli* / И.С. Полянская, Г.Н. Забегалова, О.И. Топал, В.Ф. Семенихина // Молочная промышленность. – 2016. – № 12. – С. 52–54.6.
6. Полянская И.С. Антибиотическая активность молочнокислых культур по отношению к сальмонеллам / И.С. Полянская, А.С. Тераевич, О.И. Топал, В.Ф. Семенихина // Молочная промышленность. – 2015. – № 1. – С. 56–57.
7. Андрюков Б.Г. Вступая в пост-антибиотиковую эру: перспективные стратегии поиска новых альтернативных стратегий борьбы с инфекционными заболеваниями Б.Г. Андрюков, Е.П. Недашковская // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2018. – № 3 (75). – 2018. – С. 36–50.
8. Функ И.А., Иркитова А.Н. Биотехнологический потенциал бифидобактерий // *Acta Biologica Sibirica*. – 2016. – № 4. – С. 67–69.
9. Polyanskaya, I. Concept of metabiotics in fermented dairy products/ I. Polyanskaya, L. Stoyanova, V. Popova // *Journal of Hygienic Engineering and Design*. – 2021. – Vol. 37. – P. 25–36.
10. ГОСТ Р 55577–2013. Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Стандартинформ. 2014.
11. Алыбаева А.Ж. Молочнокислые бактерии против антибиотикорезистентных патогенов А.Ж. Алыбаева, М.Г. Саубенова, Е.А. Олейникова, А.В. Чижаева и др. Микробиология и вирусология. – 2021. – № 1–2 (32–33). – С. 1–16.
12. Полянская И.С. Пробиотические культуры в заквасках для сыров: паттерн подбора / И.С. Полянская, Л.Г. Стоянова, В.Л. Попова // Сыроделие и маслоделие. – 2020. – № 4. – С. 26–27.
13. Ардатская М.Д. Метабиотики как естественное развитие пробиотической концепции / М.Д. Ардатская, Л.Г. Столярова, Е.В. Архипова и др. // Трудный пациент. – 2017. – Т. 15. – №. 6. – С. 35–36.