УДК 637.131.8:579.872

И.С. Хамагаева

ВЛИЯНИЕ Fe^{++} НА МЕТАБОЛИЗМ ПРОПИОНОВОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

В результате проведенных исследований установлено, что активизированные культуры пропионовокислых бактерий обладают высокими антимутагенными и адгезивными свойствами, синтезируют значительное количество корриноидов и гемсодержащих ферментов. Выявлено, что с повышением концентрации железа в среде увеличивается синтез внеклеточных метаболитов, способствующих адаптации культур к металлу. Определены оптимальные технологические параметры выделения казеиновых фосфопептидов. Доказана высокая способность казеиновых фосфопептидов солюбилизировать двухвалентное железо. Установлена взаимосвязь между концентрацией железа и степенью солюбилизации. Отмечено, что железо, хелатированное казеиновыми фосфопептидами, сохраняется в двухвалентной форме в течение длительного срока.

Пропионовокислые бактерии, каталаза, пероксидаза, супероксиддисмутаза, казеиновые фосфопептиды, солюбилизация железа.

Введение

Концепция оптимального питания предполагает в качестве одного из важнейших условий сохранения здоровья человека адекватную обеспеченность его организма как макро-, так и микронутриентами, в том числе и эссенциальными микроэлементами, в частности железом. Железодефицитные состояния по-прежнему остаются актуальной и во многих отношениях нерешенной проблемой современной медицины. Недостаток железа в организме приводит ко многим негативным последствиям. Одним из них является развитие железодефицитной анемии [1].

Учитывая, что в повседневной жизни человек потребляет железо в составе растительных и животных продуктов и что наличие аминокислот и пептидов, а также белков животного происхождения способствует лучшему усвоению организмом этого микроэлемента, представляется целесообразным обогащать рационы питания именно органическими формами железа. По нашему мнению, наиболее удобным объектом для биотехнологического получения железа в органической форме являются пропионовокислые бактерии, которые обладают способностью синтезировать значительное количество гемсодержащих ферментов и корриноидов, повышающих усвоение железа [2].

Известно, что железо в организме может всасываться только в виде Fe^{2+}. Однако двухвалентное железо подвергается быстрому химическому окислению, переходя в нерастворимую, неусвояемую организмом трехвалентную форму. Для сохранения биодоступности железа привлекательной представляется роль хелатирующих «агентов», которые способствуют солюбилизации минералов, сохраняя их в растворимом состоянии. Одним из представителей такого рода хелаторов являются казеиновые фосфопептиды (CPPs). CPPs – это фосфолированные пептиды, образующиеся из казеинов коровьего молока при их переваривании пищеварительными протеиназами [3]. Следует отметить, что до сих пор казеиновые фосфопептиды недостаточно изучены и как хелатирующие «агенты» для минералов, и как потенциальные нутрицевтики в питании человека. Кроме того, в литературе отсутствуют данные о влиянии CPPs на солюбилизацию железа. Поэтому исследование железосвязывающей способности CPPs представляет большой интерес.

Цель работы – выяснение влияния различных концентраций сульфата железа на рост и биосинтез внеклеточных метаболитов пропионовокислыми бактериями, а также исследование хелатирующих свойств казеиновых фосфопептидов.

Материалы и методы

Бактерии и условия культивирования. Объектом исследования служили культуры пропионовокислых бактерий (ПКБ): штаммы *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii* АС-2503, *Propioni-bacterium freudenreichii subsp. freudenreichii* АС-2500, *Propionibacterium cyclohexanicum Kusano* АС-2260 и *Propionibacterium cyclohexanicum Kusano* АС-2259, полученные из фонда Всероссийской коллекции микроорганизмов Института биохимии и физиологии микроорганизмов (Москва), активизированные уникальным биотехнологическим способом, разработанным в Восточно-Сибирском государственном технологическом университете. В качестве источника железа использовали двухвалентную соль ($FeSO_4$). Культивирование пропионовокислых бактерий осуществляли на сывороточной среде с добавлением ростовых факторов [4]. В качестве инокулята использовали суточную культуру, выращенную на обезжиренном молоке. Сульфат железа добавляли в ростовую среду в концентрации 0,25–0,55 мг/мл. Культивирование пропионовокислых бактерий в присутствии сульфата

железа осуществляли в течение 24 часов при температуре 30 °С. Кинетику роста культур рассчитывали общепринятыми методами.

Аналитические методы. За процессом связывания железа следили по количеству образованного хелатированного Fe^{2+} (% железа, оставшегося в двухвалентной форме от первоначальной дозы). Количество железа (Fe^{2+}) определяли референтным методом [5]. Количество железа (Fe^{3+}) определяли спектрофотометрическим методом. Методика разработана в соответствии с ОСТ 34-70-953.4-88. Сущность метода основана на взаимодействии растворенного железа с сульфосалициловой кислотой и измерении оптической плотности образующихся при этом окрашенных растворов.

Определение внеклеточных метаболитов проводили в конце фазы экспоненциального роста. Активность каталазы определяли колориметрическим методом [6], активность пероксидазы – спектрофотометрически с о-дианизидиновым реактивом [7], активность супероксиддисмутазы – по аутоокислению адреналина [8].

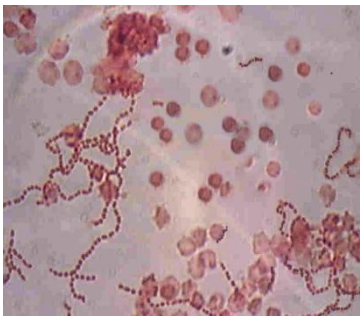
Антимутагенную активность определяли по тесту Эймса [2], адгезивные свойства изучали на формалинизированных эритроцитах по развернутому методу В.И. Брилис, об адгезивности штамма судили по индексу адгезивности микроорганизма (ИАМ) [9], концентрацию экзополисахаридов – антроновым методом [10], содержание витамина B_{12} – спектрофотометрическим методом [11].

Раствор казеиновых фосфопептидов получали путем ферментативного гидролиза натриевого казеината. Известно, что металлосвязывающая способность CPPs зависит от степени фосфорилирования. С целью получения гидролизата с максимальным содержанием низкомолекулярных фосфолированных пептидов и свободных аминокислот, способных в дальнейшем образовывать растворимые комплексы с железом, нами были уточнены технологические параметры выделения CPPs. При получении CPPs применяли схему одностадийного гидролиза казеината Na с использованием пепсина и трипсина при разной продолжительности гидролиза. Молекулярно-массовое распределение пептидов в составе водного раствора казеиновых фосфопептидов оценивали эксклюзионной хроматографией среднего давления на колонке TSK GEL (0,8/30 см). Содержание хелатированного железа определяли методом масс-спектрометрии. В таблицах обсуждаются статистически достоверные различия при $p < 0,05$.

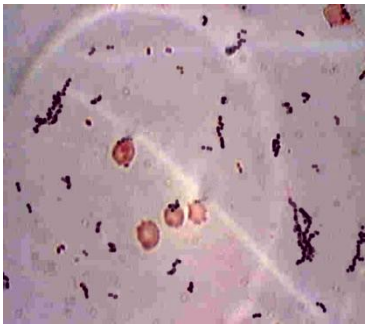
Результаты и их обсуждение

Изучение адгезивных свойств пропионовокислых бактерий. Одним из актуальных направлений современной микробиологии является изучение адгезивного процесса различных микроорганизмов. Адгезия – это межклеточное взаимодействие, выражающееся в прочном прикреплении клеток к субстрату. Что касается пропионовокислых бактерий (ПКБ), информация об их адгезивных свойствах в литературе нами не обнаружена.

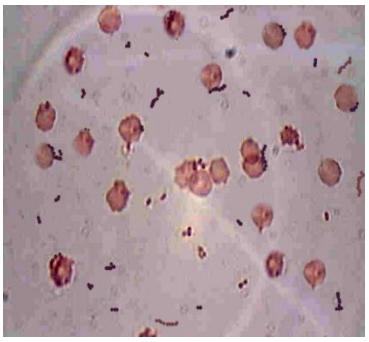
Следует отметить, что от адгезивных свойств во многом зависит состав, стабильность и защитные свойства микрофлоры макроорганизма. В связи с этим дальнейшие исследования направлены на изучение адгезивных свойств разных штаммов пропионовокислых бактерий. В качестве клеток макроорганизма были выбраны клетки формалинизированных эритроцитов. Адгезивный процесс ПКБ с эритроцитами представлен на рис. 1.



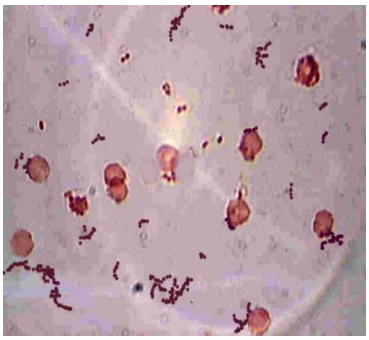
а



б



в



г

Рис. 1. Взаимодействие ПКБ с эритроцитами: а – *P. freudenreichii subsp. hermanii* АС-2503; б – *P. cyclohexanicum Kusano* АС-2259; в – *P. freudenreichii subsp. freudenreichii* АС-2500; г – *P. cyclohexanicum Kusano* АС-2260

Анализ данных, представленных на рис. 1, показывает, что пропионовокислые бактерии обладают различной способностью адгезироваться на эритроцитах. Выявлено, что некоторые штаммы адгезируются в виде отдельных бактериальных клеток (рис. 1, б, в, г), а также агрегатов, которые почти полностью закрывают эритроциты (рис. 1, а).

Адгезивные свойства культур оценивали по среднему показателю адгезии (СПА), коэффициенту участия эритроцитов (КУЭ); об адгезивности штамма судили по индексу адгезивности микроорганизма (ИАМ). Согласно методике микроорганизмы считали неадгезивными при ИАМ менее 1,75; низкоадгезивными − от 1,76 до 2,5; среднеадгезивными – от 2,51 до 4,0; высокоадгезивными – при ИАМ более 4,0. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Адгезивность пропионовокислых бактерий

Штамм	СПА	КУЭ, %	ИАМ (M±m)	Адгезивность
P. freudenreichii subsp. freudenreichii АС-2500	3,2	79	4,0±1,5	Среднеадгезивный
P. cyclohexanicum Kusano АС-2260	3,9	82	3,7±1,2	Среднеадгезивный
P. freudenreichii subsp. shermanii АС-2503	4,6	85	5,4±1,1	Высокоадгезивный
P. cyclohexanicum Kusano АС-2259	3,3	80	3,1±1,8	Среднеадгезивный

Из данных табл. 1 следует, что пропионовокислые бактерии обладают достаточно высокими адгезивными свойствами. Установлено, что из всех изученных культур высокоадгезивным штаммом является *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii* АС-2503, о чем свидетельствует индекс адгезивности (ИАМ = 5,4), а также показатели СПА (4,6) и КУЭ (85 %). Следовательно, этот штамм лучше других закрепится на клетках кишечника, создавая защитный барьер. Остальные штаммы по всем исследуемым показателям проявили среднюю степень адгезивности.

Изучение влияния сульфата железа на рост и биосинтез внеклеточных факторов адаптации пропионовокислых бактерий. Внеклеточные метаболиты, синтезируемые микроорганизмами и регулирующие их активность, называются ауторегуляторами. Важно подчеркнуть, что среди многочисленных функций ауторегуляторов крайне слабо изучены факторы, обеспечивающие адаптацию микроорганизмов к неблагоприятным физико-химическим условиям среды.

В связи с этим в дальнейших исследованиях изучали влияние сульфата железа на синтез экзометаболитов пропионовокислыми бактериями. Известно, что биологический эффект взаимодействия микроорганизмов с металлами определяется концентрацией металла, степенью его токсичности и метаболическим потенциалом микроорганизмов [12].

Результаты наших исследований (рис. 2) показали, что сульфат железа до определенной концентрации (0,25 мг/мл для *P. freudenreichii subsp. freudenreichii* АС-2500 и 0,35 мг/мл для всех остальных штаммов) повышает удельную скорость роста пропионовокислых бактерий, что свидетельствует о необходимости железа для нормального метаболизма клетки. Дальнейшее увеличение концентрации в среде $FeSO_4$ приводит к замедлению скорости роста. При этом количество жизнеспособных клеток остается на высоком уровне (10^{11} КОЕ/см^3). Следует отметить, что избыточное содержание металла ингибирует метаболизм, в этом случае включаются защитные механизмы, компенсирующие отрицательное действие металла.

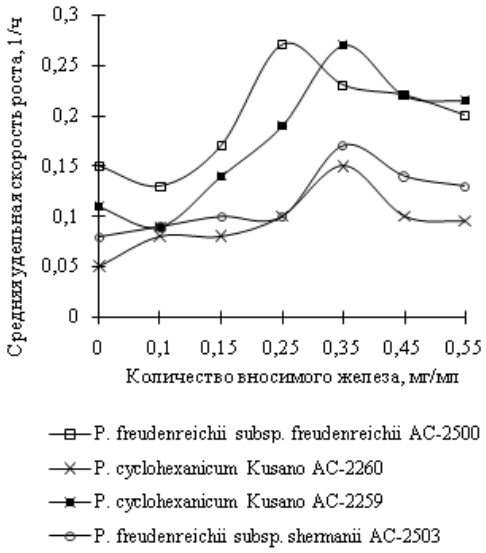


Рис. 2. Влияние сульфата железа на скорость роста пропионовокислых бактерий

При исследовании биотехнологического потенциала нами было установлено, что пропионовокислые бактерии синтезируют значительное количество гемсодержащих ферментов [13]. Поскольку синтез и активность гемовых ферментов зависят от содержания в среде ионов железа, дальнейшие исследования направлены на изучение влияния $FeSO_4$ на биосинтез каталазы, пероксидазы и СОД. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние сульфата железа на активность антиокислительных ферментов, синтезируемых пропионовокислыми бактериями

Штамм	Содержание железа, мг/мл	Активность ферментов		
		Каталаза, мкат/мл	Пероксидаза, нмоль/(мин·мг белка)	СОД, ед/мг белка
P. freudenreichii subsp. freudenreichii АС-2500	0	1280,0	1,573	1,02
	0,25	1290,5	1,572	1,77
	0,35	1300,9	1,572	1,77
	0,45	1492,5	1,570	1,78
	0,55	1490,6	1,571	1,78

Окончание табл. 2

Штамм	Содержание железа, мг/мл	Активность ферментов		
		Каталаза, мкат/мл	Пероксидаза, нмоль/(мин·мг белка)	СОД, ед/мг белка
P. cyclohexanicum Kusano AC-2260	0	1712,2	0,905	1,03
	0,25	1802,5	0,890	1,85
	0,35	1895,3	0,853	1,86
	0,45	1907,4	0,850	1,86
	0,55	1912,3	0,853	1,86
P. cyclohexanicum Kusano AC-2259	0	1561,9	1,118	1,01
	0,25	1807,0	1,125	1,83
	0,35	1991,1	1,122	1,83
	0,45	2007,0	1,119	1,83
	0,55	2091,3	1,119	1,84
P. freudenreichii subsp. shermanii AC-2503	0	2318,6	1,113	1,17
	0,25	2554,8	1,112	1,98
	0,35	2789,3	1,113	1,99
	0,45	2954,3	1,112	2,01
	0,55	2952,3	1,113	2,01

Анализ данных табл. 2 показал, что с увеличением дозы железа у всех изученных штаммов происходит увеличение активности таких ферментов, как каталаза и СОД. Увеличение концентрации сульфата железа в среде до 0,45–0,55 мг/мл приводит к возрастанию активности каталазы (в среднем) в 1,5 раза, а СОД – в 1,7–1,85 раза. Что касается пероксидазы, то ее активность во всех опытных образцах практически не изменялась. Вероятно, это объясняется накоплением только эндофермента. Установлена корреляционная зависимость между активностью ферментов (Y) и концентрацией сульфата железа:

$$Y_1 = -38{,}90x^2 + 40{,}61x + 19{,}40 \text{ – по СОД;}$$
$$Y_2 = -0{,}115x^2 + 0{,}861x + 0{,}514 \text{ – по каталазе.}$$

Коэффициенты корреляции $R_{1,2}$ составляют 0,990 и 0,898 соответственно.

Следует отметить, что увеличение активности каталазы и СОД значительно повышает способность пропионовокислых бактерий защищаться от окислительного стресса, поскольку именно эти ферменты способны выводить из клеток супероксидные радикалы.

Из литературных данных известно, что защита от токсичной концентрации металла у микроорганизмов проявляется в образовании различных веществ, связывающих металл в форме малотоксичных соединений. В связи с этим дальнейшие исследования были посвящены изучению влияния сульфата железа на синтез внеклеточных факторов адаптации бактерий. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что добавление ионов железа в питательную среду для культивирования ПКБ стимулирует синтез внеклеточных метаболитов. Так, было отмечено, что с увеличением дозы $FeSO_4$ наблюдается более высокая антимутагенная активность пропионовых бактерий, что указывает на индукцию антимутагенеза. Повышенный биосинтез экзополисахаридов (ЭПС) при добавлении железа – это проявление неферментативной защиты бактерий, когда ЭПС препятствуют проникновению излишнего железа в клетку за счет ее обволакивания. Увеличение адгезии объясняется не только защитной реакцией культур по отношению к металлу, но и тем, что согласно литературным данным наличие в среде двух- и трехвалентных катионов приводит к уменьшению толщины двойных заряженных слоев на поверхностях в водных средах, что способствует адгезии за счет уменьшения электростатических сил отталкивания.

Таблица 3

Влияние сульфата железа
на синтез внеклеточных метаболитов

Штамм	Содержание железа, мг/мл	Показатель			
		Адгезивная активность (ИАМ)	ЭПС, мкг/мл	Ингибирование (антимутагенная активность), %	Количество витамина B_{12}, мкг/мл
P. freudenreichii subsp. freudenreichii AC-2500	0	4,0	29,81	43,6	31,0
	0,25	4,0	29,96	44,2	32,0
	0,35	4,2	30,05	44,8	32,5
	0,45	4,6	35,50	48,9	34,0
	0,55	5,1	36,80	48,6	34,5
P. cyclohexancum Kusano AC-2260	0	3,7	31,85	46,2	22,0
	0,25	3,8	32,56	48,9	26,0
	0,35	3,9	36,98	48,7	27,0
	0,45	4,4	37,20	48,6	29,0
	0,55	4,7	48,30	57,9	28,0
P. cyclohexancum Kusano AC-2259	0	2,8	36,65	44,8	18,0
	0,25	3,1	36,90	46,2	18,0
	0,35	3,6	36,99	47,5	18,0
	0,45	4,2	38,70	52,8	19,0
	0,55	4,6	44,78	54,2	19,5
P. freudenreichii subsp. shermanii AC-2503	0	5,4	41,30	47,7	33,0
	0,25	5,4	44,52	49,6	35,0
	0,35	5,8	49,56	50,1	35,5
	0,45	6,1	50,20	51,2	36,0
	0,55	6,3	56,58	57,3	36,0

При исследовании морфологии пропионовокислых бактерий, культивируемых при разных концентрациях железа, было отмечено, что с увеличением дозы $FeSO_4$ до 0,55 мг/мл наблюдалось скопление клеток (когезия). Вероятно, в условиях межклеточных контактов посредством агрегации клетки поддерживают свою жизнеспособность.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что синтез экзометаболитов способствует адаптации пропионовокислых бактерий к ионам железа. Выявленные закономерности не только позволяют понять принцип метаболической организации у пропионовокислых бактерий, но и служат научной основой для создания биологически активных добавок, содержащих железо в органической биодоступной форме.

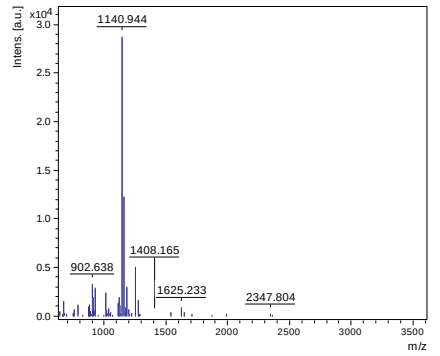
Влияние казеиновых фосфопептидов на солюбилизацию железа в питательной среде. При проведении экспериментальных исследований нами было отмечено, что при содержании железа в среде 0,45 мг/мл и более изменяется окраска концентратов и выпадает осадок, что свидетельствует об образовании нерастворимых Fe^{3+} ионов. В связи с этим в дальнейших исследованиях изучали влияние казеиновых фосфопептидов (CPPs) на солюбилизацию (хелатирование) железа в питательной среде.

Известно, что металлосвязывающая способность CPPs зависит от степени фосфорилирования. С целью получения гидролизата с максимальным содержанием низкомолекулярных фосфорилированных пептидов и свободных аминокислот, способных в дальнейшем образовывать растворимые комплексы с железом, нами были уточнены технологические параметры выделения CPPs. При получении CPPs применяли схему одностадийного гидролиза казеината Na с использованием протеолитических ферментов. Результаты исследований представлены в табл. 4.

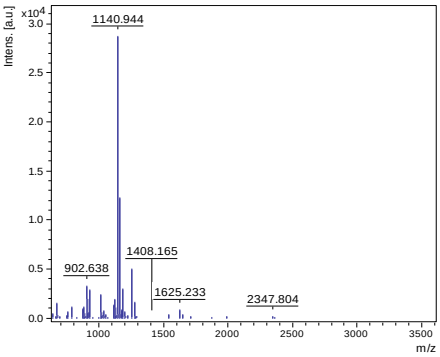
Таблица 4

Молекулярно-массовое распределение фракций в составе ферментолизатов

Пределы молекулярных масс, кД	Размеры пептидных фракций в гидролизатах, нм	Ферменты		
		пепсин	трипсин	химозин
> 20	> 10	10,5	–	20,5
20,1–18,7	7–10	9,2	–	22,6
18,7–12,5	5–7	7,6	5,7	18,4
12,5–11,0	4–5	15,7	15,4	16,7
11,0–5,1	3–4	19,5	13,2	11,8
5,1–2,8	~ 3	14,4	17,0	9,4
2,8–1,0	1–2	11,7	26,6	–
< 1	< 1	10,1	22,1	–

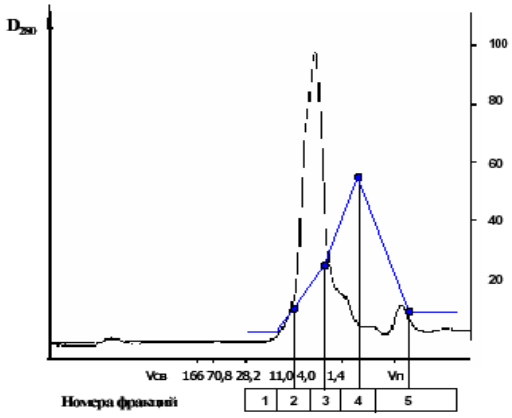


а

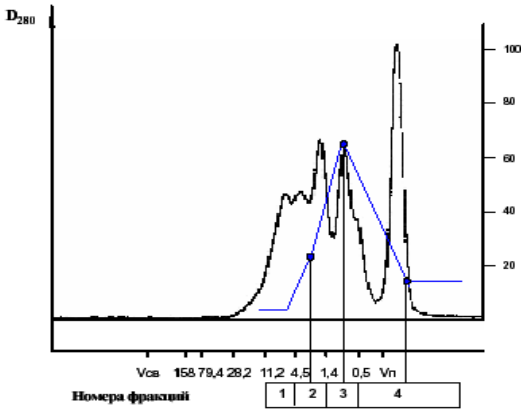


б

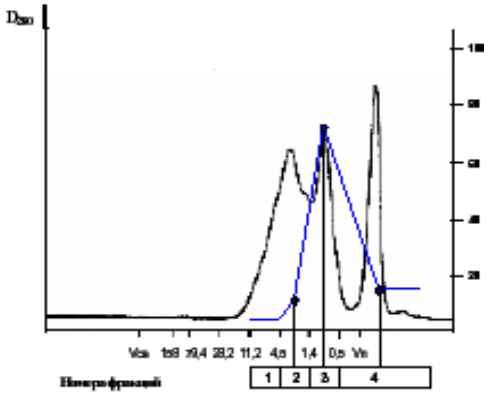
Рис. 3. Масс-спектры гидролизатов до и после внесения железа: а – гидролизат без железа; б – гидролизат с добавлением железа



а



б



в

Рис. 4. Содержание железа в хроматографических фракциях комплекса железа с трипсиновым (а), пепсиновым (б) и химотрипсиновым (в) гидролизатом казеината натрия

Таблица 5

Влияние дозы сульфата железа
и протеолитических ферментов
на содержание хелатированного железа

Доза вносимого сульфата железа, мг/мл	Содержание хелатированного железа в водных растворах казеиновых фосфопептидов, мг			
	гидролиз пепсином	гидролиз трипсином	гидролиз химозином	гидролиз химотрипсином
1	0,51	0,87	0,48	0,71
2	0,88	1,99	0,98	1,12
3	1,47	2,67	1,25	2,52
4	1,99	3,13	1,87	3,25
5	2,10	4,98	2,12	4,18
6	2,89	5,25	2,58	5,16
7	2,99	6,96	2,98	6,45
8	3,58	7,27	3,15	7,15
9	4,12	8,12	4,12	8,45
10	4,69	7,72	5,12	6,89

Данные, представленные в табл. 4 и 5 и на рис. 3 и 4, свидетельствуют о том, что казеиновые фосфопептиды образуют с ионами железа хелатные комплексы, представляющие собой наноразмерные частицы. Такие частицы будут эффективно связываться с клеточной поверхностью, легко переносить ионы железа через кишечную стенку и защищать минерал от взаимодействия с другими элементами в желудке.

В результате проведенных исследований модифицирована технологическая схема получения казеиновых фосфопептидов (рис. 5).

Натрия казеинат
↓
Эндопротеиназа (переваривание)
↓
Гидролиз (подкисление pH 4,6)
↓
Удаление непептидного материала (центрифугирование)
↓
Осаждение 15 % ТХУ кислотой
↓
Центрифугирование
↓
Введение $FeSO_4$ → Раствор, обогащенный CCPs
↓
Нанофильтрация
↓
Раствор CCPs с хелатированным железом

Рис. 5. Модифицированная технологическая схема получения казеиновых фосфопептидов

Существует мнение, что искусственные хелатные формы минералов при хранении разрушаются и теряют свою эффективность, поэтому они уступают природным органическим солям этих элементов. В связи с этим исследовали сохранность железа, хелатированного казеиновыми фосфопептидами, в двухвалентной форме в процессе длительного хранения. Результаты исследований представлены в табл. 6.

Таблица 6

Влияние CPPs на процесс
солюбилизации железа при хранении

Штамм	Содержание CPPs, %	Содержание Fe^{2+} в среде при хранении (% от первоначальной дозы внесения), сут.			
		30	60	90	120
P. freudenreichii subsp. freudenreichii АС-2500	контроль	19,0	19,0	19,5	18,5
	10	58,0	62,0	62,5	60,0
	20	88,0	88,0	88,5	88,0
P. cyclohexanicum Kusano АС-2260	контроль	30,0	29,5	30,0	28,5
	10	69,0	70,5	70,0	69,0
	20	94,5	95,0	95,0	94,5
P. cyclohexanicum Kusano АС-2259	контроль	32,0	32,0	30,5	29,0
	10	60,0	60,5	60,0	59,5
	20	75,0	75,0	75,5	75,0
P. freudenreichii subsp. shermanii АС-2503	контроль	22,0	25,0	25,5	19,0
	10	66,0	67,0	66,0	63,5
	20	95,0	96,0	96,0	95,0

Данные, приведенные в табл. 6, указывают на то, что в процессе хранения количество хелатированного железа в концентратах, содержащих раствор CPPs, практически не изменилось, тогда как в контроле наблюдалось значительное снижение содержания растворимых ионов Fe^{2+}.

Совокупность полученных данных указывает на то, что казеиновые фосфопептиды являются перспективными хелатирующими агентами для получения новых, биодоступных форм железа. В результате исследований подобраны оптимальные дозы $FeSO_4$ и водного раствора CPPs, обеспечивающие максимальное количество солюбилизированного железа.

Выводы

1. Установлено, что активизированные культуры пропионовокислых бактерий синтезируют гемсодержащие ферменты (каталазу, СОД, пероксидазу), что открывает широкие перспективы для их практического применения.

2. Подобраны оптимальные дозы сульфата железа, обеспечивающие активный рост и высокое количество жизнеспособных клеток пропионовокислых бактерий.

3. Отмечено, что добавление ионов железа в питательную среду стимулирует синтез внеклеточных метаболитов, которые способствуют адаптации пропионовокислых бактерий к металлу.

4. Исследовано молекулярно-массовое распределение и последовательность пептидных фракций в составе казеиновых фосфопептидов на наноуровнях.

5. Модифицирован способ выделения казеиновых фосфопептидов, обеспечивающий максимальный выход низкомолекулярных пептидных наноструктур с характерными размерами 1–10 нм, способных хелатировать максимальное количество железа (до 7 мг/мл железа).

6. Изучены комплексы казеиновых фосфопептидов с микроэлементами, охарактеризован механизм связывания ионов минерала с пептидными фракциями в составе комплексов и определено точное содержание хелатированного минерала.

Список литературы

1. Авцын, А. Микроэлементозы человека / А. Авцын и др. – М., 2005. – 496 с.
2. Воробьева, Л. Пропионовокислые бактерии. – М., 1999. – 300 с.
3. Гаппаров, М. Влияние казеиновых фосфопептидов на биодоступность минералов / М. Гаппаров, Е. Стан // Вопросы питания. – 2003. – № 6.
4. Хамагаева, И. Биотехнология заквасок пропионовокислых бактерий / И. Хамагаева и др. – Улан-Удэ, 2006. – 172 с.
5. Смирнов, И. Референтный метод определения железа / И. Смирнов и др. // Проблемы гематологии и переливания крови. – 1999. – № 1.
6. Королюк, М.А. Метод определения активности каталазы / М.А. Королюк и др. // Лабораторное дело. – 1988. – № 1.
7. Лебедева, О.В. Кинетическое изучение реакции окисления о-дианизидина перекисью водорода в присутствии пероксидазы из хрена / О.В. Лебедева и др. // Биохимия. – 1977. – Т. 42. – № 8.
8. Сирота, Т.В. Новый подход в исследовании процесса аутоокисления адреналина и использование его для измерения активности супероксиддисмутазы // Вопросы медицинской химии. – 1999. – № 3.
9. Брилис, В.И. и др. Микробиология. – 1982. – № 9.
10. Нево, А.С. Влияние дейтерометанола и оксида дейтерия на ростовые характеристики и биосинтез экзополисахарида облигатными метилотрофными бактериями / А.С. Нево и др. // Биотехнология. – 2003. – № 6.
11. Канопкайте, С. Кобаламины. – Вильнюс: Мокслас, 1978. – 144 с.
12. Тутельян, В.А. Коррекция микронутриентного дефицита – важнейший аспект концепции здорового питания населения России / В.А. Тутельян и др. // Вопросы питания. – 1999. – № 1.
13. Хамагаева, И.С. Биотехнологический потенциал пропионовокислых бактерий / И.С. Хамагаева и др. // Молочная промышленность. – 2007. – № 11.

ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления»,
670013, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40в.
Тел./факс: (3012) 43-14-15
e-mail: office@esstu.ru

SUMMARY

I.S. Khamagaeva

INFLUENCE OF Fe^{++} ON METABOLISM OF PROPIONATE BACTERIA

As a result of the researches it has been established, that activated propionate bacteria cultures have high antimutagenic and adhesive properties, synthesize a significant quantity of corrinoids and heme-containing enzymes. It was found out that Fe strengthening is accompanied by acceleration of synthetic process of exocellular metabolites, which facilitated adaptation of cultures to a metal. Optimum process parameters of excreting of caseic phosphopeptides have been determined. Their strong power to solubilize ferrous iron has been proved. The research established the correlation between Fe percentage and solubilization level. It was noted that Fe chelated with caseic phosphopeptides persists in the bivalent form during a long period of storage.

Propionate bacteria, catalase, peroxydase, superoxide dismutase, caseic phosphopeptides, Fe solubilization.

The East-Siberia State university of Technology and management
40v, Kluchevskaya street, Ulan-Ude, 670013, Russia
Phone/Fax: (3012) 43-14-15
e-mail: office@esstu.ru