

ПРОБИОТИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ КОМПОЗИЦИОННЫМ СОСТАВОМ

Фролов Д.И.

Пробиотические продукты разрабатываются с использованием высокотехнологичных методов для профилактического здорового питания с целью обеспечения здоровья человека. В их состав включены натуральные источники основных биоэлементов и физиологически активные вещества – комплекс пробиотических молочнокислых бактерий, олигосахаридов, антиоксидантов, витаминов. Благодаря сложному сочетанию ингредиентов в составе новых функциональных продуктов достигается высокий итоговый физиологический эффект. Применение искусственной нейронной сети может решить сложные задачи моделирования характеристик функциональных продуктов питания и создание пробиотических лиофилизированных продуктов с многофункциональным композиционным составом. Получаемые лиофилизированные пробиотические продукты, технологически обработанные без введения химических веществ, представляют собой 100% натуральные продукты с широким спектром применения в биофилактике ряда современных заболеваний (желудочно-кишечных, метаболических).

Ключевые слова: пробиотические продукты, лиофилизация, искусственные нейронные сети, диетическое питание.

Введение

Последние два десятилетия характеризуются выраженной ориентацией на все более массовое применение природных средств для защиты здоровья человека в форме пробиотиков, функциональных продуктов питания, биологических стимуляторов, регуляторов. Это стимулирует динамично развивающуюся пищевую промышленность на разработку и внедрение продуктов, отвечающих современным требованиям для здорового питания [2, 7–9, 12, 23, 24, 30, 31, 33].

Любая пища, отнесенная к функциональным продуктам питания, оценивается по питательной ценности, калорийности, вкусовым качествам и воздействию на здоровье человека, выражающейся в поддержке организма при болезни.

Среди множества пробиотических продуктов интерес к производству и потреблению ферментированных молочных продуктов, содержащих живые микроорганизмы, особенно велик. Они благотворно влияют на микрофлору кишечника, стимулируют избирательно ее рост и обмен веществ, укрепляя, таким образом, здоровье человека.

Пробиотический эффект микроорганизмов молочной кислоты мотивируется рядом физиологических характеристик и требований:

- микроорганизмы микрофлоры должны быть естественными обитателями желудочно-кишечного тракта;
- микроорганизмы микрофлоры не должны быть патогенными и токсигенными;
- микроорганизмы микрофлоры должны быть способны выживать и расти в условиях пищеварительной системы, то есть быть устойчивыми к низ-

кому рН и органическим кислотам, и поддерживать стабильную популяцию в желудочно-кишечном тракте.

При разработке каждого нового продукта питания его функция и назначение определяются на основе предварительно разработанной концепции механизма взаимодействия между его компонентами и функциями организма.

Основными требованиями ко всем технологиям производства и хранения продуктов питания являются получение продуктов с неизменной питательной ценностью, хорошим вкусом и структурой [1, 3, 4, 6, 10, 11, 26–28].

Благодаря сложному сочетанию ингредиентов в составе новых функциональных продуктов достигается высокий итоговый физиологический эффект в результате их применения [5, 13–16, 32, 34–37].

Количественные пропорции между отдельными ингредиентами определяются на основе инновационного подхода в пищевой науке, применяемого при разработке новых продуктов – использовании искусственных нейронных сетей.

Нейронные сети также находят применение в моделировании роста различных микроорганизмов, непосредственно связанных с безвредностью пищевых продуктов, прогнозировании физических, химических, функциональных и сенсорных характеристик при их производстве и хранении до покупки потребителем.

Моделирование с помощью нейронных сетей может решить относительно сложные задачи управления технологическими производственными процессами, моделирования различных событий и характеристик, которые обеспечивают получение

качественных и безопасных продуктов [18–22, 25, 29].

Основной целью исследования является создание пробиотических лиофилизированных продуктов с многофункциональным композиционным составом, основанном на применении искусственной нейронной сети.

Объекты и методы исследований

В состав продуктов были включены различные источники питательных веществ и физиологически активные вещества – пробиотический комплекс активных молочнокислых бактерий, полисахаридов, фруктов, зерновых ингредиентов, медовых продуктов, антоцианов и растительных масел.

Живая микрофлора в пробиотических продуктах представлена штаммами молочнокислых бактерий: *Streptococcus thermophilus*; *Lactobacterium acidophilus*; *Lactobacillus casei*, включенный в комбинированный стартер молочной кислоты в пропорции 1: 2 (кокки: палочковидные молочнокислые бактерии). Выращивание штаммов *Streptococcus thermophilus* осуществляли при температуре 43 °С в течение 5–9 ч, из *Lactobacterium acidophilus* при температуре 37 °С в течение 5–8 ч и *Lactobacillus casei* subsp. *Casei* – 30 °С в течение 5–8 часов.

Для целей долгосрочного, качественного и безопасного хранения пробиотических продуктов был использован метод лиофилизации.

Данные из экспериментов были статистически обработаны с помощью программы Statistica.

Нейронная модель была реализована в программе Statistica. Полученную модель использовали для составления состава экспериментальных образцов.

Физико-химические и биологические исследования – остаточная влажность после лиофилизации; РН; титруемая кислотность, общий белок; содер-

жание редуцирующих сахаров (включая лактозу), витамин С.

Микробиологическое исследование – определение числа жизнеспособных молочнокислых бактерий – методом предельных разведений.

После лиофилизации образцы гранулировали с помощью гранулятора и упаковывали в трехслойный (алюминий-полиамид-полиэтилен) лист, герметично вакуумировали и хранили в помещениях с относительной влажностью воздуха не выше 35% при температуре –20–22 °С.

Результаты и их обсуждение

Биоформулы новых продуктов соответствуют требованиям к физиологической активности, безвредности, безопасности и микробной стабильности, которые применимы к пробиотическим продуктам. Большое значение для хорошего усвоения имеет также приемлемость вкуса. Их органолептические свойства: вкус, аромат, стабильность консистенции, хорошая растворимость, которая принимается во внимание в процессе приготовления. После регидратации была проведена органолептическая оценка по гедонической шкале в 9 баллов.

Несмотря на нехарактерные вкусовые и ароматические свойства, обусловленные спецификой рецептурных композиций, новые продукты обладают отличной органолептикой и приятным кислым вкусом. Физико-химические показатели исследуемых образцов показали следующие тенденции (табл. 1).

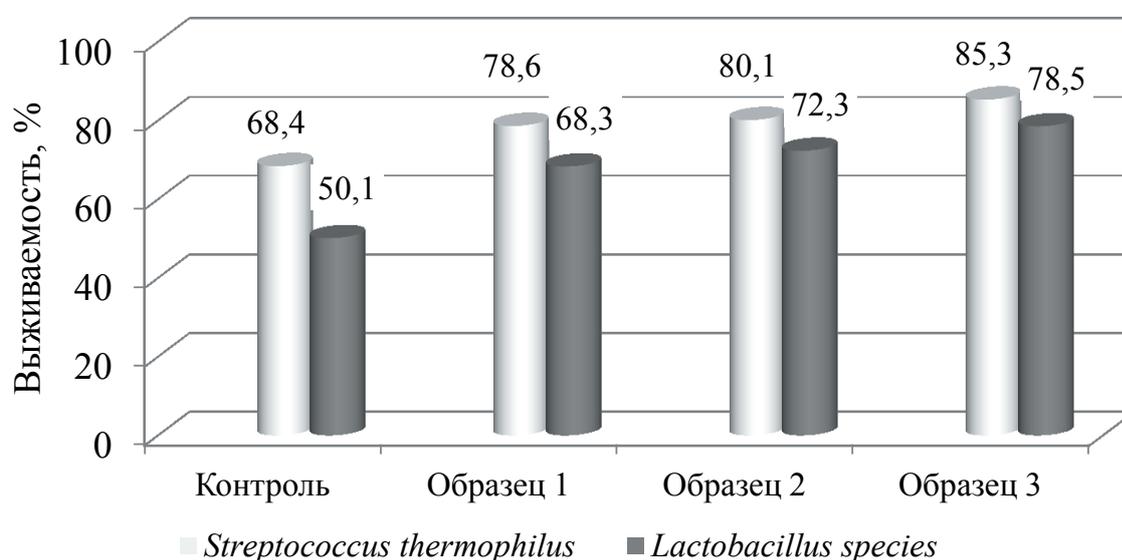
Как видно из результатов, новые пробиотические продукты представляют собой пищевые концентраты с низким остаточным содержанием влаги – 2,46–3,00%, что является доказательством оптимально реализуемого технологического процесса лиофилизации. Титруемая кислотность контроля, до и после лиофилизации находится в стандартных нормах (до 120 °С). Коллоидный характер

Таблица 1 – Физико-химические показатели экспериментальных образцов - в естественном состоянии и после лиофилизации

Показатели	Контроль		Образец 1		Образец 2		Образец 3	
	До лиофилизации	После лиофилизации						
Общая влажность, %	87,90±0,01	2,98±0,00	83,1±0,00	2,46±0,01	84,88±0,07	3,00±0,05	82,8±0,01	2,95±0,06
Титруемая кислотность, °Т	110 ±0,00	95 ±0,01	82±0,01	78±0,2	79±0,012	72±0,11	90±0,011	83±0,014
Активная кислотность рН	4,20±0,03	4,16±0,04	5,12±0,03	4,32±0,03	4,43±0,11	4,02±0,00	4,82±0,09	4,11±0,01
Общий белок, %	4,12±0,01	16,21±0,01	14,05±0,23	29,05±0,01	16,78±0,01	35,01±0,01	18,96±0,00	38,11±0,02
Редуцирующие сахара, % (включая лактозу)	5,16±0,02	8,97±0,02	7,08±0,01	8,58±0,06	6,12±0,00	7,00±0,02	8,09±0,01	9,39±0,03
Витамин С, мг	1,206±0,01	2,542±0,02	3,123±0,00	3,670±0,01	2,185±0,00	3,225±0,01	2,312±0,15	3,412±0,01

Таблица 2 – Значения микробиологического посева экспериментальных образцов в КОЕ/г и log в первоначальном состоянии и после лиофилизации

Тип образца	Общее количество мезофильных микроорганизмов		Грибы		Дрожжи		Колиформы	
	КОЕ/г	log	КОЕ/г	log	КОЕ/г	log	КОЕ/г	log
Первоначальные								
Контроль	2,8·10	1,45	2,8	0,45	0,9·10	0,95	-	-
Образец 1	2,3·10 ³	3,36	1,8·10	1,25	1,3·10	1,11	-	-
Образец 2	1,45·10 ³	3,16	1,6·10	1,2	1,8·10	1,26	-	-
Образец 3	2,7·10 ³	3,43	1,4·10	1,15	1,7·10	1,23	-	-
Лиофилизованные								
Контроль	1,2·10	1,08	1,5	1,18	4,3	0,63	-	-
Образец 1	1,9·10 ²	2,28	1,2·10	1,08	0,7·10	0,85	-	-
Образец 2	1,38·10 ²	2,14	1,1·10	1,04	1,1·10	1,04	-	-
Образец 3	2,6·10 ²	2,41	0,8	0,9	1,2·10	1,08	-	-

Рис. 1. Выживаемость микроорганизмов *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus species*

остальных вариантных образцов, вызывающих небольшое снижение жизнеспособности молочнокислых бактерий, определяет снижение титруемой кислотности (72–90 °С). Что касается активной кислотности (рН), то внезапные изменения значений исследуемых образцов не наблюдаются – они находятся в пределах –4,02–5,12, то есть в стандартных нормах для ферментированных продуктов. Активная кислотность рН среды, которая также в значительной степени влияет на фермент и биохимическую активность микроорганизмов, что важно для их жизнеспособности и выживаемости, а также соответственно для их пробиотического эффекта.

Повышенное содержание общего белка, снижение сахара и витамина С является результатом введения дополнительных питательных веществ в новые формулы пищевых продуктов.

Количественное содержание и жизнеспособность молочнокислых бактерий являются основны-

ми критериями, определяющими биологическую активность и пробиотические качества экспериментальных образцов.

Как видно из рисунка 1, выживаемость контроля является самой низкой, после лиофилизации без включенного криопротектора 50,1% для молочнокислых бактерий и 68,4% для *Str. thermophilus*. Для молочнокислых микроорганизмов в вариантных образцах выживаемость выше – 85,3% для *Str. thermophilus* и 78,5% для молочнокислых бактерий из-за присутствия в их составе олиго- и полисахаридов, которые также оказывают криопротекторное действие. Они увеличивают коллоидную воду, связанную с осмотическим давлением, в результате заполнения микро- и макрокапилляров.

Для контрольных и вариантных образцов после наблюдения за лиофилизацией наблюдалась высокая устойчивость *Str. thermophilus* к лиофилизации – от 68,4 до 85,3% по сравнению с *L. acidophilus*

и T. Case.i, которые более термолабильны и имеют более низкий уровень выживаемости – от 50,1 до 78,5%.

Возможной причиной различной резистентности микроорганизмов к сушке является различная чувствительность клеточной стенки к штаммам, возникающим при замораживании и высушивании, или различная способность ферментов клеток к денатурации.

На выживание патогенной микрофлоры во время лиофилизации влияют содержание влаги в продукте, температурные параметры и значения вакуума во время хранения.

Исследование микробиологических характеристик лиофилизированных пищевых продуктов, проведенными стандартными методами исследований было доказано отсутствие посевов микроорганизмов и патогенной микрофлоры (табл. 2).

Таким образом, для длительного хранения исследуемых лиофилизированных пробиотиков благоприятные условия – 20–22 °С и относительная влажность до 35%.

Результаты, полученные при исследовании выживаемости молочнокислых бактерий в лиофилизированных пробиотических продуктах, подтверждают, что активность воды в них оптимальна, то есть относительно низка – 0,28–0,47, что можно объяснить как соответствующими физико-химическими и биохимическими характеристиками продуктов, так и содержащимися в них криозащитными водорастворимыми биополимерными матрицами, а также в результате проведенной криогенной обработки исходного материала – быстрым замораживанием и лиофилизацией. Вероятно, молочнокислые бактерии легко адаптируются к низкому эффекту водной

активности под действием указанных факторов. Это может быть связано с возможным прямым воздействием добавленных веществ на микроорганизмы.

Доказательством низкой активности воды в пробиотических продуктах является стойкость к применяемой термообработке – замораживанию и сублимационной сушке [17], определяемая достигнутой высокой выживаемостью бактериальной микрофлоры молочнокислых бактерий в период замораживания и лиофилизации.

Выводы

Технология производства пробиотических продуктов на основе лиофилизации путем применения современного, инновационного метода формирования их состава – нейронных сетей, показала свою состоятельность.

Применяемая технология обеспечивает получение многокомпонентных пищевых концентратов с максимальным сохранением их питательной ценности и биоактивного комплекса в сочетании с жизнеспособной и активной полезной молочнокислой микрофлорой.

Новые лиофилизированные пробиотические продукты, технологически обработанные без введения химических реагентов в биосистему, представляют собой 100% натуральные продукты с широким спектром применения в биопрофилактике ряда современных заболеваний – желудочно-кишечных, метаболических и других, а также для увеличения приспособляемости организма к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Список литературы

- [1] Курочкин А.А., Фролов Д.И., Воронина П.К. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4 (32). С. 172–177.
- [2] Курочкин А.А., Фролов Д.И. К вопросу повышения декомпрессионного эффекта в рабочем процессе одношнекового экструдера // Инновационная техника и технология. 2015. № 3 (04). С. 51–57.
- [3] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76–81.
- [4] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Применение компьютерных средств разработки программ для автоматизации расчета индекса расширения экструдата овса // Информационные технологии в экономических и технических задачах: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Пенза, 2016. С. 300–302.
- [5] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Технология производства кормов на основе термо-вакуумной обработки отходов с/х производства // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 36–40.
- [6] Курочкин А.А., Шабурова Г.В., Фролов Д.И. Получение экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья с заданной пористостью // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6 (22). С. 109–114.
- [7] Моделирование процесса получения экструдатов на основе нового технологического решения / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Нива Поволжья. 2014. № 30. С. 70–76.
- [8] Научное обеспечение актуального направления в развитии пищевой термопластической экструзии / А.А. Курочкин [и др.]. Пенза, 2015. 181 с.

- [9] Научно-технологическое обоснование энергоэффективной технологии экструдирования сельскохозяйственного сырья / А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы (24-25 мая 2016 г.): Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. Саранск, 2016. С. 338–344.
- [10] Оптимизация состава зернопродуктов при получении пивного суслу с использованием экструдированного ячменя / Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Д.И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6 (22). С. 103–109.
- [11] Перспективы использования экструдированной гречихи в пивоварении и хлебопечении / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4. С. 79–83.
- [12] Пчелинцева О.Н., Фролов Д.И. Математическое моделирование концентрирования фруктового сока в многокорпусной выпарной установке // Инновационная техника и технология. 2015. № 1 (02). С. 20–25.
- [13] Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 94–99.
- [14] Способ производства кормов : пат. 2610805 Российская Федерация : МПК А23К 40/25 А23К 10/26 А23К 10/37 / П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, А.Л. Мишанин ; 2015119627 ; заявл. 25.5.2015 ; опубл. 15.2.2017, Бюл. №5. 8 с.
- [15] Способ производства хлебобулочных изделий : пат. 2592619 Российская Федерация : МПК А 21 D 8/02 / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шматкова ; 2015109402/13 ; заявл. 17.3.2015 ; опубл. 27.7.2016, Бюл. №21. 8 с.
- [16] Способ производства хлебобулочных изделий : пат. 2579488 Российская Федерация : МПК А 21 D 8/02 / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шматкова ; 2014146596/13 ; заявл. 19.11.2014 ; опубл. 4.10.2016, Бюл. №10. 8 с.
- [17] Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д.И. Фролов, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, П.К. Воронина // Инновационная техника и технология. 2015. № 1 (02). С. 29–34.
- [18] Фролов Д.И. Актуальность микробиологических испытаний готовой продукции в области управления пищевой безопасности // Инновационная техника и технология. 2016. № 1 (06). С. 15–18.
- [19] Фролов Д.И. Безопасность продовольственного сырья : Учебно-методическое пособие. Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2015. 174 с.
- [20] Фролов Д.И. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания. Лабораторный практикум : Учебно-методическое пособие. Пенза: ПГТА, 2012. 92 с.
- [21] Фролов Д.И. Безопасность продовольственного сырья. Практикум : Учебно-методическое пособие. Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2016. 103 с.
- [22] Фролов Д.И., Елисеева Н.С., Дарченко Т.В. Профилактика образования биопленок на поверхностях молочного оборудования // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: Достижения, проблемы, перспективы: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2013. С. 71–73.
- [23] Фролов Д.И., Курочкин А.А. Информатизация процесса экструдирования овса с помощью программы расчета индекса расширения экструдата // Пищевые инновации и биотехнологии: Материалы IV Международной научной конференции / под общ. ред. М.П. Кирсанова; ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». Кемерово, 2016. С. 253–255.
- [24] Фролов Д.И., Курочкин А.А. К вопросу совершенствования экструзионных технологий // Инновационная техника и технология. 2015. № 2 (03). С. 18–23.
- [25] Фролов Д.И. Наноматериалы и нанотехнологии в пищевой промышленности и оценка их безопасности // Инновационная техника и технология. 2016. № 1 (06). С. 11–14.
- [26] Фролов Д.И., Никишин В.А. Повышение питательности экструдированных кормов для животных // Научные труды Sworld. 2014. Т. 7. № 4. С. 98–101.
- [27] Фролов Д.И. Оптимизация компонентного состава функциональных продуктов питания, оказывающих благотворное влияние на сердечно-сосудистую систему // Инновационная техника и технология. 2015. № 2 (03). С. 12–15.
- [28] Фролов Д.И. Оптимизация смесей с сбалансированным биохимическим составом и возможностями для их экструзии // Инновационная техника и технология. 2016. № 3 (08). С. 18–26.
- [29] Фролов Д.И., Тужилова Л.И. Профилактика образования биопленок на поверхностях молочного оборудования // Современная торговля: теория, практика, перспективы развития: Материалы Второй международной инновационной научно-практической конференции [Электронный ресурс] : Часть II. М.: Издательство Московского гуманитарного университета, 2013. С. 325–329.

- [30] Фролов Д.И., Фудин К.П. Влияние конвективной сушки и температурного режима на содержание химических веществ в репчатом луке // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. № 1 (29). С. 84–89.
- [31] Фролов Д.И., Фудин К.П. Изучение кинетики конвективной сушки репчатого лука // Инновационная техника и технология. 2015. № 3 (04). С. 28–32.
- [32] Функциональный композит на основе экструдированной смеси пшеницы и семян тыквы / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Инновационная техника и технология. 2015. № 2 (03). С. 5–11.
- [33] Чекайкин С.В., Курочкин А.А., Фролов Д.И. Актуальное направление в совершенствовании зерносушилок контактного типа // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы (24–25 мая 2016 г.): Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. Саранск, 2016. С. 344–347.
- [34] Шабурова Г.В., Курочкин А.А., Фролов Д.И. Технологии пищевых производств в вопросах и ответах : Учебно-методическое пособие. Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2015. 116 с.
- [35] Шабурова Г.В., Курочкин А.А., Фролов Д.И. Технология и оборудование пищевых производств в вопросах и ответах : Учебно-методическое пособие. Пенза: ИП Поповой М.Г. «Копи-Riso», 2013. 142 с.
- [36] Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 4. С. 70–74.
- [37] Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон / А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 3 (42). С. 104–111.

PROBIOTIC PRODUCTS WITH A MULTIFUNCTIONAL COMPOSITE STRUCTURE

Frolov D.I.

Probiotic products are developed using high-tech methods for prevention of a healthy diet to ensure health. Included in their structure natural sources of key bio-elements and physiologically active substances - probiotic complex of lactic acid bacteria, oligosaccharides, antioxidants, vitamins. Due to the complex combination of ingredients in the composition of the new functional products achieved high final physiological effect. The use of artificial neural networks can solve complex problems of modeling of characteristics of functional foods and the creation of freeze-dried probiotic products with multifunctional composite structure. The resulting lyophilized probiotic products, technologically processed without the introduction of chemicals, are 100% natural products with a wide range of applications in bioprotection of a number of modern diseases (gastrointestinal, metabolic).

Keywords: *probiotic products, lyophilization, artificial neural network, diet.*

References

- [1] Kurochkin A. A., Frolov D. I., Voronina P. K. Determination of basic parameters of the vacuum chamber of the upgraded extruder // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural Academy. 2015. No. 4 (32). Pp. 172-177.
- [2] Kurochkin A. A., Frolov, D. I. the effect of decompression in the working process of single-screw extruder // Innovative technology. 2015. No. 3 (04). Pp. 51-57.
- [3] Kurochkin A. A., Frolov D. I. Multicomponent extrudate based on wheat and milk Thistle seed // proceedings of the Samara state agricultural Academy. 2015. No. 4. Pp. 76-81.
- [4] Kurochkin A. A., Frolov, D. I. Application of computer program development tools to automate the calculation of the index of expansion of the extrudate of oats // Informational technologies in economical and technical problems: Collection of scientific works of the International scientific-practical conference. Penza, 2016. Pp. 300-302.
- [5] Kurochkin A. A., Frolov D. I. Technology of production of feed based on the thermo-vacuum treatment of waste of agricultural production // Innovative technology. 2014. No. 4 (01). Pp. 36-40.

- [6] Kurochkin A. A., Shaburova G. V., Frolov D. I. the preparation of the extrudates of the grain starch-containing raw materials with predetermined porosity // XXI century: the results of the past and challenges of the present plus. 2014. No. 6 (22). Pp. 109-114.
- [7] Modeling of the process of obtaining extrudates on the basis of a new technological solution / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Niva Povolzhya. 2014. No. 30. Pp. 70-76.
- [8] Scientific support for topical direction in the development of the edible thermoplastic extrusion / A. A. Kurochkin [and others]. Penza, 2015. 181 p.
- [9] Scientific and technological basis of energy-efficient technologies extrusion of agricultural raw materials / A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, G. V. Shaburova, D. I. Frolov // energy-saving technologies and systems (may 24-25, 2016): Collection of scientific works of the international scientific-practical conference dedicated to the memory of doctor of technical Sciences, Professor F. H. Burumkulova. Saransk, 2016. Pp. 338-344.
- [10] Optimization of the composition of by-products when obtaining a wort with the use of extruded barley / G. V. Shaburova, A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, D. I. Frolov // XXI century: the results of the past and challenges of the present plus. 2014. No. 6 (22). Pp. 103-109.
- [11] Prospects for the use of extruded buckwheat in brewing and baking / G. V. Shaburova, P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // proceedings of the Samara state agricultural Academy. 2014. No. 4. Pp. 79-83.
- [12] Pchelintseva O. N., Frolov D. I. Mathematical modeling of the concentration of fruit juice in a multiple-effect evaporator set // Innovative technology. 2015. No. 1 (02). Pp. 20-25.
- [13] Regulation of the structure of extrudates of the grain starch-containing raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Bulletin Samara state agricultural Academy. 2013. No. 4. Pp. 94-99.
- [14] Method of feed production : Pat. 2610805 Russian Federation : 40/25 IPC A23K A23K A23K 10/37 10/26 / P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, L. A. mishanin ; 2015119627 ; Appl. On 25.5.2015 ; publ. 15.2.2017, bull. No. 5. 8 p.
- [15] Method of production of bakery products : Pat. 2592619 Russian Federation : IPC A 21 D 8/02 / G. V. Shaburova, P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov, N. N. Shmatkova ; 2015109402/13 ; Appl. On 17.3.2015 ; publ. 27.7.2016, bull. No. 21. 8 p.
- [16] Method of production of bakery products : Pat. 2579488 Russian Federation : IPC A 21 D 8/02 / G. V. Shaburova, P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov, N. N. Shmatkova ; 2014146596/13 ; Appl. 19.11.2014 ; publ. 4.10.2016, bull. No. 10. 8 p.
- [17] Theoretical description of the process of explosive evaporation of water in the extruder with vacuum chamber / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, P. K. Voronina // Innovative technology. 2015. No. 1 (02). Pp. 29-34.
- [18] Frolov D. I. Relevance of microbiological finished product testing in food safety management // Innovative technology. 2016. No. 1 (06). Pp. 15-18.
- [19] Frolov D. I. Safety of food raw materials : a Teaching manual. Penza: Penza state technological University, 2015. 174 p.
- [20] Frolov D. I. Safety of food raw materials and food products. Laboratory workshop : a Teaching manual. Penza: PGTA, 2012. 92 p.
- [21] Frolov D. I. Safety of food raw materials. Workshop : a Teaching manual. Penza: Penza state technological University, 2016. 103 p.
- [22] Frolov D. I., Eliseeva N., Marchenko T. V., Prevention of formation of biofilms on the surfaces of dairy equipment // Food industry and agriculture: Achievements, problems, prospects: Collection of articles VII International scientific-practical conference. Penza: Privolzhsky House of knowledge, 2013. Pp. 71-73.
- [23] Frolov D. I., Kurochkin A. A. Informatization of process of extruding of oats with the help of the program to calculate the expansion index of the extrudate // Food innovation and biotechnology: Materials of IV International scientific conference / under the General editorship of M. P. Kirsanova; FGBOU VO «Kemerovo technological Institute of food industry (University)». Kemerovo, 2016. Pp. 253-255.
- [24] Frolov D. I., Kurochkin A. A. To the question of improvement of extrusion technology // Innovative technology. 2015. No. 2 (03). Pp. 18-23.
- [25] Frolov D. I. Nanomaterials and nanotechnologies in the food industry and evaluation of their security // Innovative technology. 2016. No. 1 (06). Pp. 11-14.
- [26] Frolov D. I., Nikishin V. A. improvement of the nutritional value of the extruded animal feed // proceedings Sworld. 2014. Vol. 7. No. 4. Pp. 98-101.
- [27] Frolov D. I. Optimizing component composition of functional foods with beneficial effects on the cardiovascular system // Innovative technology. 2015. No. 2 (03). Pp. 12-15.
- [28] Frolov D. I. Optimization of compounds with balanced chemical composition and capacity for extrusion // Innovative technology. 2016. No. 3 (08). Pp. 18-26.

-
- [29] Frolov D. I., Tuzhilova L. I. Prevention of formation of biofilms on the surfaces of dairy equipment // Modern trade: theory, practice, prospects: proceedings of the Second international innovation scientific-practical conference [Electronic resource] : Part II. M.: Publishing house of Moscow humanitarian University, 2013. Pp. 325-329.
- [30] Frolov D. I., To K. P. the Influence of convective drying and temperature on the content of chemical substances in the bulb onions // XXI century: the results of the past and challenges of the present plus. 2016. No. 1 (29). Pp. 84-89.
- [31] Frolov D. I., To K. P. a Study of the kinetics of convective drying of onion // Innovative technology. 2015. No. 3 (04). Pp. 28-32.
- [32] Functional composite extruded mixture of wheat and pumpkin seeds / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Innovative technology. 2015. No. 2 (03). Pp. 5-11.
- [33] Chekalkin S. V., Kurochkin A. A., Frolov D. I. Current trend in the improvement of grain dryers contact type, energy-saving technologies and systems (may 24-25, 2016): Collection of scientific works of the international scientific-practical conference dedicated to the memory of doctor of technical Sciences, Professor F. H. Burumkulova. Saransk, 2016. Pp. 344-347.
- [34] Shaburova G. V., Kurochkin A. A., Frolov D. I. Technologies for food production questions and answers : textbook. Penza: Penza state technological University, 2015. 116 p.
- [35] Shaburova G. V., Kurochkin A. A., Frolov D. I. Technology and equipment of food production questions and answers : textbook. Penza: IP Popova, M. G., «Copy-Riso», 2013. 142 p.
- [36] Extrudates of plant materials with a high content of lipids / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Bulletin Samara state agricultural Academy. 2014. No. 4. Pp. 70-74.
- [37] Extrudates of plant materials with a high content of lipids and dietary fibers / A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, G. V. Shaburova, D. I. Frolov // Equipment and technology of food production. 2016. No. 3 (42). Pp. 104-111.