

# Аминокислотный состав белковых концентратов из вторичных продуктов пищевых производств и альтернативного сырья

**Уланова Рузалия Владимировна**

*Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского,  
Федеральный исследовательский центр  
«Фундаментальные основы биотехнологии» РАН  
Адрес: 107143, Москва, проспект 60-летия Октября, д. 7, к.2.  
E-mail: colodovnicova@rambler.ru*

**Колпакова Валентина Васильевна**

*Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов –  
филиал Ф.Б.У «Федеральный научный центр пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН  
Адрес: 140051, Московская область, г/о Люберцы,  
дп. Красково, ул. Некрасова, 11  
E-mail: val-kolpakova@rambler.ru*

**Куликов Денис Сергеевич**

*Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов –  
филиал Ф.Б.У «Федеральный научный центр пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН  
Адрес: 140051, Московская область, г/о Люберцы,  
дп. Красково, ул. Некрасова, 11  
E-mail: denismalah@mail.ru*

**Евлагина Елена Григорьевна**

*Научно-исследовательская станция шелководства –  
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»,  
Адрес: 357431, Ставропольский край, г. Железноводск, пос. Иноземцево, ул. Пушкина, 13.  
E-mail: kim307@bk.ru*

Целью исследований явился сравнительный анализ биологической ценности белковых концентратов, полученных из вторичных продуктов переработки зерновых культур на крахмал с применением микроорганизмов *S. cerevisiae* 121, *G. Candidum* 977, *P. ostreatus*, *L. Acidophilus*, *S. thermophilus*, и с применением личинок насекомых *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Bombus mori*, выращенных на пшеничных отрубях, птичьим помете и листовой массе шелковицы. Результаты определения аминокислотного состава и сора белков кормовых микробно-растительных концентратов (КМРК), биомасса для которых выращена со всеми видами личинок, а также на овсяной и гороховой сыворотке, остающейся после выделения пищевых белков из экстрактов - вторичных продуктов производства крахмала, свидетельствовали о их 100% биологической полноценности. Экстракты, из которых получали сыворотку должны иметь соотношение гороховых и овсяных белков 2:1, а сыворотка модифицироваться в полноценный К.Р. симбиозом микроорганизмов *G. candidum* и *S. cerevisiae* 121. Данные виды препаратов могут быть рекомендованы для введения в состав кормов взамен животных белков как самостоятельные ингредиенты, а препараты из тритикалевого экстракта, продуктов его переработки и кукурузного экстрактов, полученные, соответственно, с *P. Ostreatus*, *S. cerevisiae* 121 и *L. Acidophilus*, *S. thermophilus* - совместно с другими белковыми продуктами с соблюдением принципа комплементарности незаменимых аминокислот. Практическая реализация предлагаемых приемов трансформации органических отходов позволит рационально использовать вторичные материальные ресурсы и получить востребованные белковые концентраты.

**Ключевые слова:** ферментные препараты, белковый концентрат, вторичные продукты, личинки насекомых, незаменимые аминокислоты

## Введение

Климатические изменения на земле сопровождаются негативным влиянием на агропромышленный комплекс различных стран мира, формируя принципиально новые условия для производства пищевой и кормовой продукции. Для снижения угроз продовольственной безопасности важно переориентировать и приспособить различные отрасли сельского хозяйства, пищевой и комбикормовой промышленности к новым климатическим условиям и к меньшей степени зависимости от них. Целесообразно также проведение научно-исследовательских работ, направленных на разработку новых технологических процессов и способов получения кормовых и пищевых препаратов, основанных на использовании дополнительных и доступных материальных ресурсов (Дружинин, Шкиперова, Прокопьев, 2015, с. 56–63; Кадомцева, Коростелев, 2017, с. 222–224; Коростелев, Кадомцева, 2018, с. 38–42; Яшалова, Рубан, 2018, с. 1127–1140; Pachauri, Meyer, 2014). Одним из приемов сокращения дефицита и снижения стоимости пищевого и кормового белка является производство биомассы микроорганизмов на субстратах, образовавшихся при переработке сырья агропромышленного комплекса (Белик, Моргуль, Крючкова, Аветисян, 2016, с. 122–129; Сон, Черевач, Текутьева, 2016, с. 24–27; Aggelopoulos, Bekatorou, Pandey, Kanellaki, 2013, p. 1885–1895; Anurama, Ravindra, 2000, p. 459–479).

## Литературный обзор

Микробный протеин имеет ряд преимуществ, по сравнению с животным и растительным: по составу аминокислот, невысокому содержанию жира, возможности культивирования продуцентов на вторичных продуктах переработки растительного сырья: сахарного тростника, сахарной свеклы, сорго, риса (рисовых отрубях, мучке), апельсиновой выварке и др., независимо от сезона и климатических условий (Jaganmohan, Purushottam, Prasad, 2013, p. 38–43; Nurudeen, Adetayo, Bolanle, Olaltunde, 2015, p. 169–174; Oshoma, Ikenebomeh, 2005, p. 32–36; Suman, Nupur, Anuradha, Pradeep, 2015, p. 251–262). Модификаторами сырья для получения белковой биомассы могут служить представители различных видов и родов: *Aspergillus terreus*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Aspergillus niger*. Так, на отходах производства кукурузы и сахарной мелассе ферментацией культур *Arachniotus species* и *Candida utilis* получена белковая биомасса, содержащая 16 аминокислот, включая все незаменимые (Ahmed, Ahmad, Nachmi, 2010, p. 1225–1234). Обо-

снована возможность применения рисовой мучки для получения новых видов высокоэффективных кормовых белковых добавок микробным синтезом (Сон, Черевач, Текутьева, 2016, с. 24–27). При этом биоконверсия отходов с использованием микробиологических процессов является естественным способом восстановления ресурсов (Athar, Ahmed, Hashmi, 2009, p. 115–121; Irshad, Ahmed, Latif, Rajoka, 2008, p. 913–918). Биомасса микроорганизмов активно применяется в составе кормов, значительно улучшая их кормовую ценность.

В пищевой промышленности белковые добавки из одноклеточных организмов используются ограничено из-за высокого содержания нуклеиновых кислот, плохого переваривания клеточной стенки микроорганизмов. Введение биомассы микроорганизмов в состав продуктов возможно только после глубокой переработки - фракционирования или модификации биомассы, позволяющих получать препараты, максимально адаптированные к организму человека. Значительный интерес представляет выделение из биомассы микроорганизмов различных фракций белков и их использование как основы для получения целевых продуктов (Хамнаева, Кондрашева, 2004, с. 136).

В качестве альтернативного источника пищевого и кормового белка интерес исследователей в последние годы обращен к насекомым. По мнению ряда авторов (Han, Shin, Kim, Choi, Kim, 2017, p. 139–216; Rumpold, Schlüter, 2013, p. 1–11; Varelas, 2019, p. 81), продовольственный сектор может быть расширен за счет массового производства биомассы насекомых. Многочисленные исследования последних лет свидетельствуют о важности и экономической перспективности развития данного направления (Ganda, Zannou-Boukari, Kenis, Chrysostome, Mensah, 2019, p. 59–67; Pavela, Benelli, Petrelli, Cappellacci, Lupidi, Sut, Dall'Acqua, Maggi, 2019, p. 879; Premalatha, Abbasi T., Abbasi T., Abbasi S.A., 2011, p. 4357–4360; Sanou, Sankara, Pousga, Coulibaly, Nacoulma, Kenis, Clottey, Nacro, Somda, Ouedraogo, 2020, p. 219–228; Van Huis, 2013, p. 2–4). Мука из насекомых может заменить дефицитную рыбную муку в качестве кормового ингредиента и применяться в отрасли аквакультуры, возможна перспектива введения съедобных насекомых в развивающийся сектор сельского хозяйства и пищевой промышленности (Уланова, Кравченко, Колпакова, 2018, с. 252–254; Уланова, Кузнецов, Аксенов, 2005, с. 47; Van Huis, 2013, p. 563–583). В некоторых странах мира насекомые и их личинки входят в состав рациона питания с доказательством их безвредности. Например, оценка безопасности куколок шелкопряда серией токсических тестов на крысах

показала, что их белок можно считать безопасным при максимальной дозе 1,50 г/кг массы тела в день (Zhou, Han, 2006, p. 1123–1130). В составе куколок шелкопряда доказано отсутствие тяжелых металлов: свинца, ртути, кадмия, мышьяка, сорбиновой кислоты (Sirimungkararat, Saksirirat, Nopparat, Natongkham, 2008, p. 189–200). Однако получение белка из личинок насекомых для индустрии питания имеет ряд технологических особенностей, так как они, как и сами насекомые, могут содержать нежелательные микроорганизмы, в связи с чем необходимо проводить их обеззараживание. Бланшировка, сублимационная сушка и стерилизация позволяют снизить микробное загрязнение до допустимых норм (Megido, Desmedt, Blecker, Béra, Haubruge, Alabi, Francis, 2017, p. 12). Но препятствием для введения белковых добавок из личинок насекомых в технологию производства продуктов питания является отсутствие законодательных актов, регулирующих вопросы безопасности для допуска к использованию новых их видов в составе пищевых продуктов (Van der Spiegel, Noordam, Van der Fels-Klerx, 2013, p. 662–678), и негативное восприятие населением из-за отсутствия информации о положительных свойствах данных продуктов. В целом же проведенные исследования указывают на высокий кормовой и пищевой потенциал, как биомассы микроорганизмов, так и личинок насекомых.

Нами выполнены ранее исследования по выделению жидкостными способами некоторых форм белковых продуктов из насекомых. Так, установлено, что оптимальными условиями экстрагирования белков личинок домашних мух раствором гидроксида натрия 0,2% (вес/объем) являлось: соотношение раствора к материалу 5:1, температура экстракции 80 °С и время - 20 минут. При этом выход белков личинок домашних мух составил 57,53% (Ulanova, Kravchenko, 2016, p. 182–188). С применением водной экстракции на основе белкового гидролизата личинок домашних мух (*Musca domestica* L) разработан заменитель животного молока для пищевых целей (Ulanova, Kravchenko, 2014, p. 286–291).

### Теоретическое обоснование

Методы выделения белковых продуктов из насекомых относительно простые и недорогие, но также, как и для растительного сырья, для этих

целей используют растворы щелочи, что нежелательно для сохранения аминокислотного состава и свойств исходного сырья. В своих исследованиях по утилизации вторичных продуктов переработки зерновых и зернобобовых культур на крахмал методами биоконверсии с получением кормовых микробно-растительных концентратов (КМПК) мы не применяли щелочные растворы и высокие температуры в целях исключения протекания ряда специфических превращений аминокислот (аргинина, цистеина, лизина и т.д.), их конденсаций с образованием поперечных связей и реакции меланоидинообразования с углеводами, понижающих питательную ценность, по сравнению с нативными белками. Поэтому представлялось интересным изучить и сравнить аминокислотный состав белковых концентратов (БК), полученных по разработанным нами способам из вторичных продуктов переработки зерна, образующихся при производстве нативного крахмала, биоконверсией с микроорганизмами, а при производстве рутина - с использованием насекомых.

Целью работы явилась сравнительная оценка аминокислотного состава белковых концентратов кормового и пищевого назначения, полученных микробным синтезом из вторичных продуктов переработки зерновых и зернобобовых культур (тритикале, кукуруза, горох, овес) на крахмал, и альтернативного сырья - насекомых *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Bombyx mori*, для определения направлений возможного использования их в пищевых продуктах и комбикормах.

### Материалы и методы исследования

Материалом для получения кормовых микробно-растительных концентратов (КМПК) служили вторичные продукты переработки зерна тритикале (ГОСТ 34023–2016<sup>1</sup>); кукурузы (ГОСТ 32159–2013<sup>2</sup>), овса (ГОСТ 28673–2019<sup>3</sup>) и гороха (ГОСТ 28674–1990<sup>4</sup>) на крахмал А. Вторичные продукты из зерна тритикале представлены экстрактом, мезгой, сывороткой и нерастворимым остатком. Химический состав зерна тритикале, из которого выделяли крахмал, БК и вторичные продукты переработки, в% на сухие вещества (СВ), следующий: крахмал – 63,8; белок – 10,1; жир – 1,5; зола

<sup>1</sup> ГОСТ 34023–2016. Тритикале. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. 6 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 32159–2013. Крахмал кукурузный. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 28673–2019. Овес. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 28674–90. Горох требования при заготовках и поставках. М.: Стандартинформ, 2007. 7 с.



– 1,72; восстанавливающие сахара – 10,0. Методы определения показателей химического состава изложены в работе (Андреев, Колпакова, Кравченко, Уланова, Шевякова, Макаренко, Лукин, 2017, с. 90–104). Дробленое зерно тритикале замачивали в 0,15±0,05% растворе диоксида серы в течение 22–45 ч при температуре 49±1°C и соотношении раствора к массе зерна 2,0–2,5:1. Экстракт, отделенный от зерна центрифугированием при 4000 мин<sup>-1</sup>, имел рН 5,10±0,1, содержал 11,00±1,05% СВ, из которых 20,40±2,10% составлял белок, определенный по методу Кьельдаля (Nx5,7).

Переработку зерна на крахмал осуществляли в экспериментальном цехе Ф.Б.У ВНИМ крахмалопродуктов. Мезгу, содержащую преимущественно клетчатку, с влажностью 10% размалывали до частиц размером 20–100 мкм. Сыворотку и нерастворимый остаток получали после осаждения белковых веществ 0,1 н раствором HCl в изоэлектрической точке (рН 4,2) из экстракта, обработанного ферментными препаратами (ФП) по разработанной ранее нами схеме (Андреев Н.Р., Колпакова В.В. Гольдштейн В.Г. 2018). Для выделения БК использовали ферментные препараты (ФП) компании фирмы Novozymes A.S. (Дания): Shearzym 500 L из *Aspergillus oryzae* с грибной ксиланазной активностью 500 Г.А./г и оптимальными условиями действия 65–75°C, рН 4,5–5,5. В качестве источника целлюлазной, α-амилазной и β-глюканазной активности использовали Viscoferm L, продуцируемый штаммами *Trichoderma* и *Aspergillus* с цитолитической активностью 600 ед/г сырья, оптимумом действия при 50–60°C и рН 4,8–5,8. В качестве источника α-амилазы использовали Fungamyl 800 L из плесени *Aspergillus oryzae* (50–60°C, рН 5,0–6,5), амилоглюкозидазы – А.Г.300 L 2500, выделенный из гриба *Aspergillus niger* с оптимумом действия в области 55–60°C, рН 4,5–5,5. В качестве источника протеаз использовали ФП Distizym Protacid фирмы «Erbslon». Концентрации ФП изменяли от 50 до 190 ед./г СВ, продолжительность экстракции – от 1 до 5 ч, гидромодуль – от 1:7 до 1:25.

Вторым объектом выступал экстракт тритикале без выделения из него белковых веществ с химическим составом, изложенным выше. Третьим объектом для биосинтеза К.Р. служил экстракт кукурузы (ГОСТ 51953- 2002) с содержанием СВ 6% и массовой долей белка 7–8% на СВ. Для получения экстракта зерно замачивали водой с 0,1–0,2% диоксида серы с рН 3,3–4,1 при температуре 48...50°C в течение 45 ч. В качестве четвертого объекта выступала композиция из двух видов сыворотки, полученной после осаждения белков при

рН 4,2 из растворов, в которые они перед осаждением переведены с ФП из экстрактов гороха и овса. Количества гороховой и овсяной сыворотки в композиции соответствовали соотношению белка в них 2:1, соответственно. Экстракты содержали 5–8% СВ и массовую долю белка 8,62–19,26% на СВ. Качество пшеничных отрубей соответствовало требованиям ГОСТ 7169–2017.

В работе использовали различные роды и виды микроорганизмов из коллекции Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН Биологическими модификаторами компонентов сырья в первом варианте выступали дрожжи *S. cerevisiae* L., во втором для экстракта тритикале – высший съедобный базидиальный гриб *P. ostreatus*, в третьем для замочных вод кукурузы – молочнокислые бактерии (МКБ) *L. acidophilus* и *S. thermophilus*, в четвертом для композитной сыворотки – *S. cerevisiae* L. совместно с *G. Candidum*. Последний используется в сыроделии. Музейные культуры с сула-агара (СА) пересеивали в пробирку с 5 см<sup>3</sup> питательной среды из вторичных продуктов переработки зерновых культур с последующим культивированием в течение 24 ч. Посевную культуру пересеивали в колбы емкостью 300 см<sup>3</sup> с 50 см<sup>3</sup> питательной среды и выращивали на качалке при скорости вращения 150 мин<sup>-1</sup> в течение 48 ч и температуре 27°C±1°C.

#### Процедура исследования

Для получения БК путем модификации состава пшеничных отрубей использовали личинки *Tenebrio molitor*, состава помета птицы – личинки *Musca domestica*, листовой шелковицы – куколки тутового шелкопряда *Bombyx mori* (Рисунок 1). Личинки и куколки тутового шелкопряда получали из коллекции Научно-исследовательской станции шелководства (пос. Иноземцево, Ставропольский край).

Аминокислотный состав белков определяли на жидкостном хроматографе модели L8800-фирмы «Hitachi» (Япония) в стандартном режиме с сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом и ступенчатым градиентом натрий-цитратных буферных растворов с возрастающим значением рН и молярности. Хроматограф оснащен спектрофотометрическим детектором с коррекцией aberrаций (длины волн 570 и 440 нм), и колонкой 4,6х60 мм. Данные обрабатывали в online системе «МультиХром 1.52» для Windows 98. Навеску 3–5 мг образца помещали в стеклянную ампулу, затем добавляли 300 мкл смеси концентрированной соляной и трифторуксусной кислот (2:1) с

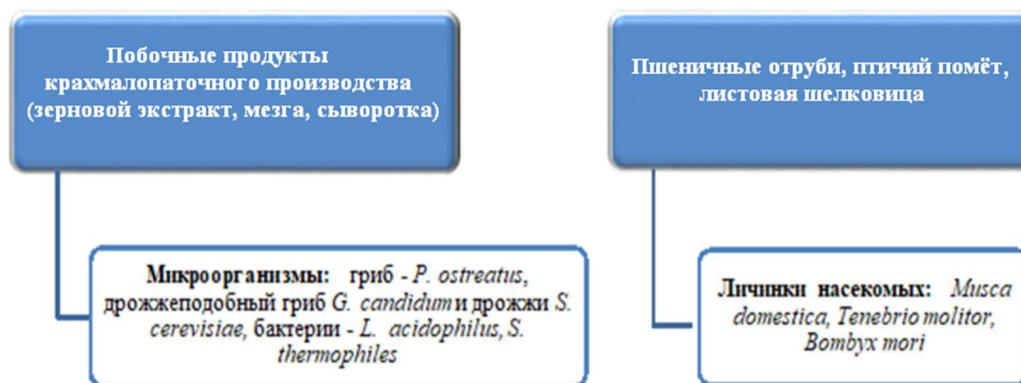


Рисунок 1. Биологические модификаторы вторичных продуктов пищевых производств и альтернативного сырья

0,1% 2-меркаптоэтанолом и замораживали в жидком азоте, вакуумировали и проводили гидролиз при 155°C в течение 1 ч. Из образцов удаляли гидролизующую смесь упариванием на роторном испарителе (Centrivar Concentrator Labconco, USA). К остатку добавляли 0,1н HCl и центрифугировали 5 мин при 800xg на центрифуге Microfuge 22R (Beckman-Coulter, USA<sup>5</sup> Аминокислотный скор белковых препаратов рассчитывали с использованием эталонной шкалы ФАО/ВОЗ (1973 г), которая приведена в работе, по методике, изложенной в пособии.<sup>6</sup> Для определения доверительного интервала среднего арифметического результата 3–5-х измерений использовали критерий Стьюдента на уровне значимости  $p = 0,05$ .

Для разработки способов получения кормовых и пищевых белковых препаратов с биологическими модификаторами (микроорганизмами и личинками насекомых) для получения питательной среды использовали сырье, описанное в разделе «Материалы и методы». Вторичные продукты из зерновых культур для питательной среды (экстракты, мезгу, нерастворимый остаток) получали по схеме выделения тритикалевого и кукурузного крахмала, представленной на Рисунке 2.

Экстракт зерна тритикале обрабатывали ФП на 3-х стадиях, в соответствии с методикой, описанной в работе (Андреев, Колпакова, Гольдштейн, 2018, с. 30–33). Суспензии, полученные с ФП на каждой стадии, центрифугировали при 5000 мин<sup>-1</sup>, получали нерастворимый остаток и белковые растворы (Рисунок 3). Растворы объединяли, и из них осаждали белки в изоэлектрической точке (рН 4,2). Суспензию с осажденным белком центрифугировали,

получали сыворотку и пасту белкового концентрата. Мезгу, нерастворимый остаток (концентрат полисахаридов) и сыворотку в соотношении, соответственно, 2:4:4:6:92 по массе использовали для получения биомассы ферментацией с дрожжами *S. cerevisiae* 121. Экстракт кукурузы ферментировали симбиозом молочнокислых бактерий *L. acidophilus* и *S. thermophilus*; тритикалевым экстракт – с *P. ostreatus*; сыворотку, полученную после выделения белкового композита из горохового и овсяного экстрактов, взятых в соотношении 2:1, – с *G. candidum* 977 и *S. cerevisiae* 121. После ферментации культуру продуцента инактивировали при температуре 90–95°C в течение 10 мин, биомассу отделяли от культуральной жидкости центрифугированием при 4000 мин<sup>-1</sup> в течение 10 мин и лиофильно высушивали (Рисунок 3).

Для получения белковых препаратов из насекомых биомассу личинок *Musca domestica* на помете птицы и биомассу *Tenebrio molitor* на пшеничных отрубях выращивали при 25–28°C и относительной влажности 65–75% в течение 6–7 дней. Для получения биомассы личинок *Bombyx mori* использовали умерщвленные куколки тутового шелкопряда породы Белокопная 1, районированные в Ставропольском крае и выращенные в лабораторных условиях. Выкормку гусениц производили на листьях шелковицы. Умерщвление куколок в коконах производили горячим паром в кономорильной камере при температуре 70–80°C в течение 25–30 мин. Белковые препараты из личинок получали по схеме, приведенной на рисунке 4, в соответствии с которой их биомассу промывали водой при 90 °C, измельчали ее до размера частиц 400–500 мкм, извлекали липидную фрак-

<sup>5</sup> Химический состав пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. М.: Агропромиздат, 1987. Т. 2. 360 с.

<sup>6</sup> Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А., Витол И.С., Колпакова В.В., Севериненко С.М., Осташенкова Н.В., Кобелева И.Б., Вяльцева И.В. Пищевая химия: лабораторный практикум. СПб: Г.О.Д, 2006, 304 с.

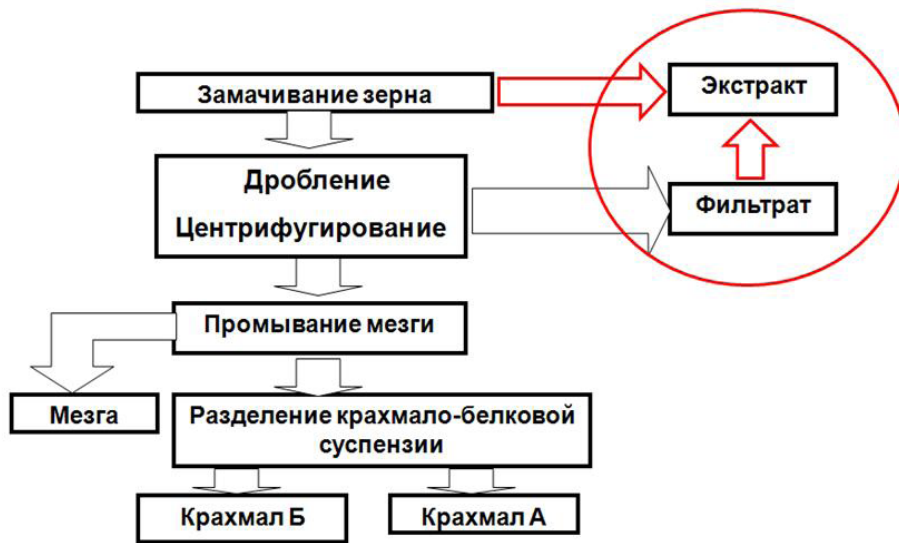


Рисунок 2. Схема получения экстракта и мезги

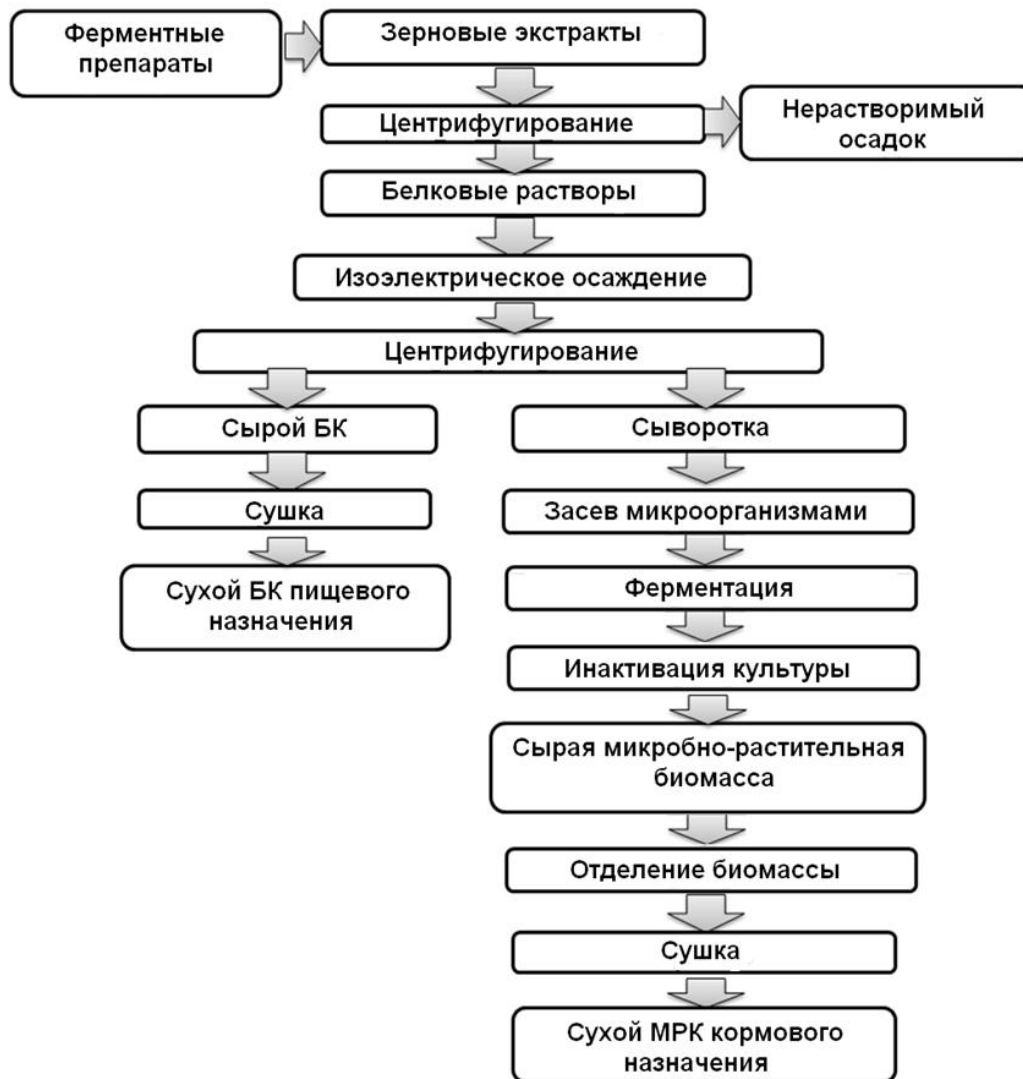


Рисунок 3. Принципиальная схема получения белкового концентрата и кормовых КРМК



Рисунок 4. Схема получения белкового препарата из биомассы личинок насекомых

цию смесью хлороформа и метанола при соотношении 2:1. Экстракцию белковых компонентов из обезжиренного продукта осуществляли 0,2 %-ным раствором N.O. при перемешивании в течение 30 мин, температуре 60–80°C и встряхивании при 150 мин<sup>-1</sup>. Нерастворимый хитин удаляли фильтрованием, белки из фильтрата осаждали в изоэлектрической точке при pH 4,5–4,8, центрифугировали и высушивали на лиофильной установке марки Hochvacuum, модели H.D.TG-50 (Германия) при температуре на входе -40°C, выходе +26°C и вакуумной заморозке до -80°C.

## Результаты и их обсуждение

Важным критерием биологической ценности белковых препаратов является аминокислотный состав. Сравнительное изучение состава аминокислот белковых препаратов, полученных путем биологической модификации вторичных продуктов производства крахмала, шелковицы и отходов птицеводства выявило некоторые отличия в их количестве и качестве. Белки К.Р. и белкового концентрата из личинок насекомых (БКЛН) по составу протеиногенных аминокислот близки между собой. Все препараты содержали полный набор наиболее распространенных аминокислот (Таблица 1). Исключение составили, так называемые, «редкие» аминокислоты. В препаратах 1, 2, 3, синтезированных на сыворотке, тритикалевом и кукурузном экстрактах, содержался орнитин, с участием которого в живых организмах, включая бактерии и грибы, происходит синтез мочевины и аминокислоты пролина. В составе белков БКЛН, как и в белке препарата 4, полученном на комбинированной зерновой сыворотке, он не обнаружен. Гидроксилизин, как и орнитин, присутствовал в белках, синтезированных на тритикалевой сыворотке и кукурузном экстракте, тогда как в препаратах, выращенных на остальных средах, он отсутствовал.

Между препаратами отмечены некоторые отличия в сумме незаменимых аминокислот (НАК) (Рисунок 5). Наибольшая сумма НАК наблюдалась у препарата 6, полученного из биомассы личинок *Musca domestica*, наименьшая – у препарата 2, полученном на кукурузном экстракте с *L. acidophilus* и *S. thermophiles*.

Сумма НАК препаратов, полученных из вторичных продуктов переработки зернового сырья с микроорганизмами, изменялась в диапазоне 34,03 – 43,70 г/100 г, белковых препаратов из личинок насекомых – в пределах 48,60–50,49 г/100 г белка, следовательно, последние в своем составе содержали на 23% больше таких кислот. Сравнение скоры НАК у разных образцов показывает, что наименьшие его значения характерны для К.М., полученного на экстракте из кукурузы, в данном концентрате в дефиците содержались Ile, Lys, серосодержащие и ароматические аминокислоты (Рисунок 6). Низкий скор первых трех видов НАК характерен и для большинства зерновых культур, в частности, кукурузы, следовательно, состав питательной среды модифицирован незначительно, так, как только три НАК (лейцин, валин, треонин) содержались в рекомендуемых количествах. Образец 4, биомасса которого выращена на комбинированной сыворотке из овса и гороха, имел полностью сбалансированный состав НАК у КРМК, полученного из тритикалевого экстракта, после удаления из последнего белков (мезга, сыворотка, нерастворимый остаток) (образец 1) и у КРМК, произведенного из целого экстракта (образец 3), наблюдался дефицит только серосодержащих НАК другие аминокислоты в нем содержались в достаточном количестве (>100%). Следовательно, 4-й образец предпочтительнее, с точки зрения биологической ценности, по сравнению с образцами, полученными из другого вида зернового сырья и с другими микроорганизмами. БКЛН характеризовались более высоким содержанием серосодержа-



Таблица 1.  
Аминокислотный состав белковых препаратов, г/100 г белка

Аминокислоты	Белковые препараты, полученные культивированием с:						
	микроорганизмами				личинками насекомых		
	1	2	3	4	5	6	7
Asp	11,30 ±0,05	7,15 ±0,12	9,22 ±0,21	11,90 ±0,15	13,30 ±0,14	7,93 ±0,13	10,45 ±0,25
Thr	5,14 ±0,21	4,50 ±0,10	4,30 ±0,13	6,90 ±0,14	4,50 ±0,20	4,26 ±0,16	3,46 ±0,17
Ser	5,61 ±0,05	5,12 ±0,03	5,13 ±0,11	7,10 ±0,08	4,30 ±0,09	3,55 ±0,07	5,00 ±0,32
Glu	14,00 ±0,32	15,52 ±0,38	13,72 ±0,41	14,6 ±0,29	12,3 ±0,26	12,25 ±0,22	13,70 ±0,19
Pro	3,73 ±0,09	11,50 ±0,12	4,50 ±0,15	4,30 ±0,10	3,60 ±0,08	9,03 ±0,16	3,60 ±0,05
Gly	4,65 ±0,07	15,52 ±0,17	5,53 ±0,07	5,10 ±0,05	4,0 ±0,12	3,64 ±0,06	5,03 ±0,09
Ala	10,41 ±0,21	10,07 ±0,27	6,44 ±0,16	7,20 ±0,18	5,10 ±0,28	4,28 ±0,31	3,77 ±0,25
Cys	5,13 ±0,23	0,98 ±0,07	0,21 ±0,10	0,10 ±0,06	0,30 ±0,08	0,00 ±0,01	2,34 ±0,26
Val	1,70 ±0,04	5,48 ±0,17	6,40 ±0,24	6,90 ±0,29	6,70 ±0,31	6,43 ±0,27	4,04 ±0,16
Met	1,00 ±0,25	2,11 ±0,18	1,22 ±0,04	0,40 ±0,20	2,70 ±0,19	4,26 ±0,15	12,10 ±0,29
Ile	4,74 ±0,21	3,46 ±0,13	4,63 ±0,10	5,20 ±0,22	5,10 ±0,17	4,64 ±0,20	3,49 ±0,12
Leu	8,00 ±0,09	9,69 ±0,18	9,34 ±0,29	8,50 ±0,11	8,40 ±0,25	5,79 ±0,07	5,96 ±0,10
Tur	2,53 ±0,15	0,05 ±0,23	4,10 ±0,16	3,20 ±0,06	7,10 ±0,24	9,99 ±0,19	4,64 ±0,18
Phe	4,60 ±0,18	3,23 ±0,28	4,71 ±0,35	5,30 ±0,25	5,60 ±0,17	8,94 ±0,29	3,40 ±0,12
Lys-OH	0,28 ±0,09	5,28 ±0,23	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01
Orn	3,75 ±0,23	2,74 ±0,25	0,42 ±0,13	0,0 ±0,01	0,10 ±0,05	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01
Lys	8,51 ±0,24	4,53 ±0,17	6,14 ±0,27	7,0 ±0,38	8,20 ±0,34	6,18 ±0,28	5,35 ±0,18
His	2,60 ±0,17	1,99 ±0,10	6,21 ±0,24	1,90 ±0,14	2,30 ±0,17	5,86 ±0,22	2,01 ±0,13
Arg	1,93 ±0,11	1,01 ±0,04	8,13 ±0,28	4,50 ±0,25	6,40 ±0,19	2,98 ±0,18	4,00 ±0,10

Примечание: 1 - *S. cerevisiae* 121 на тритикалиевой сыворотке с мезгой и остатком; 2 - *L. acidophilus* и *S. thermophilus* на кукурузном экстракте; 3 - *P. ostreatus* на тритикалевой сыворотке; 4 - *G. candidum* и *S. cerevisiae* 121 на гороховой и овсяной сыворотке; 5 - *Bombus mori* на листьях шелковицы; 6 - *Musca domestica* на помете птицы; 7 - *Tenebrio molitor* - на пшеничных отрубях



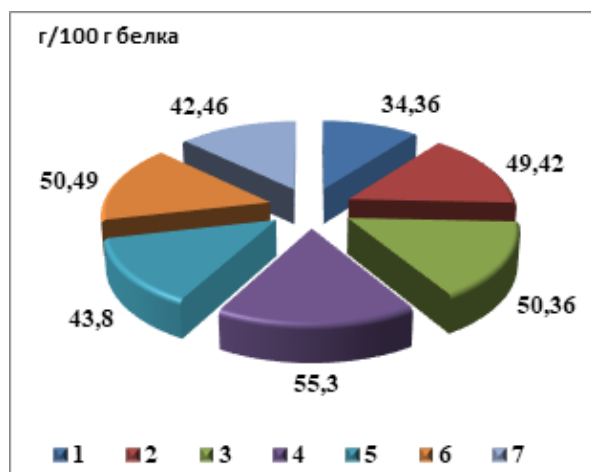


Рисунок 5. Сумма НАК.белковых препаратов, полученных с биологическими агентами: 1 – *S. cerevisiae* 121; 2 – *L. acidophilus* + *S. Thermophilus*; 3 – *P. ostreatus*; 4 – *G. candidum* + *S. cerevisiae* 121; 5 – *Bombyx mori*; 6 – *Musca domestica*; 7 – *Tenebrio molitor*

щих НАК по сравнению с КРМК, полученными из вторичных продуктов переработки зерна на крахмал, за исключением образца 4. Незначительным дефицитом серосодержащих НАК отличался КРМК под номером 5, полученным с *Bombyx mori* на листьях шелковицы, лейцина – КРМК под номером 6, выращенном с *Musca domestica* на помете птицы

КРМК, для которого биомасса выращена с *Tenebrio molitor* на пшеничных отрубях, имел 100% биологическую ценность. Важно отметить, что БКЛН, полученные с использованием личинок насекомых, за исключением образца 4 (на овсяной и гороховой сыворотке), содержали в достаточном количестве наиболее дефицитные НАК лизин, треонин, серосодержащие аминокислоты.

Известно, что животный белок содержит все незаменимые аминокислоты, однако в организм человека с ним могут поступать насыщенные жирные кислоты и холестерин, которые способствуют ожирению, сахарному диабету, сердечно-сосудистым заболеваниям. В препаратах, полученных из исследуемого сырья, включая альтернативное, практически отсутствовали нежелательные для организма вещества липидной природы. Если сравнить технологии получения БК микробным синтезом и получения БКЛН на основе личинок насекомых, то можно отметить, что каждая из них имеет свои достоинства. Микробной ферментации на экстрактах свойственна невысокая стоимость конечной продукции за счет снижения материальных, энергетических затрат на подготовку питательного субстрата, обслуживание процесса ферментации и экономия воды. Для технологии получения БКЛН на основе личинок насекомых характерна низкая стоимость исходного сырья, минимальное количество отходов и низкие про-

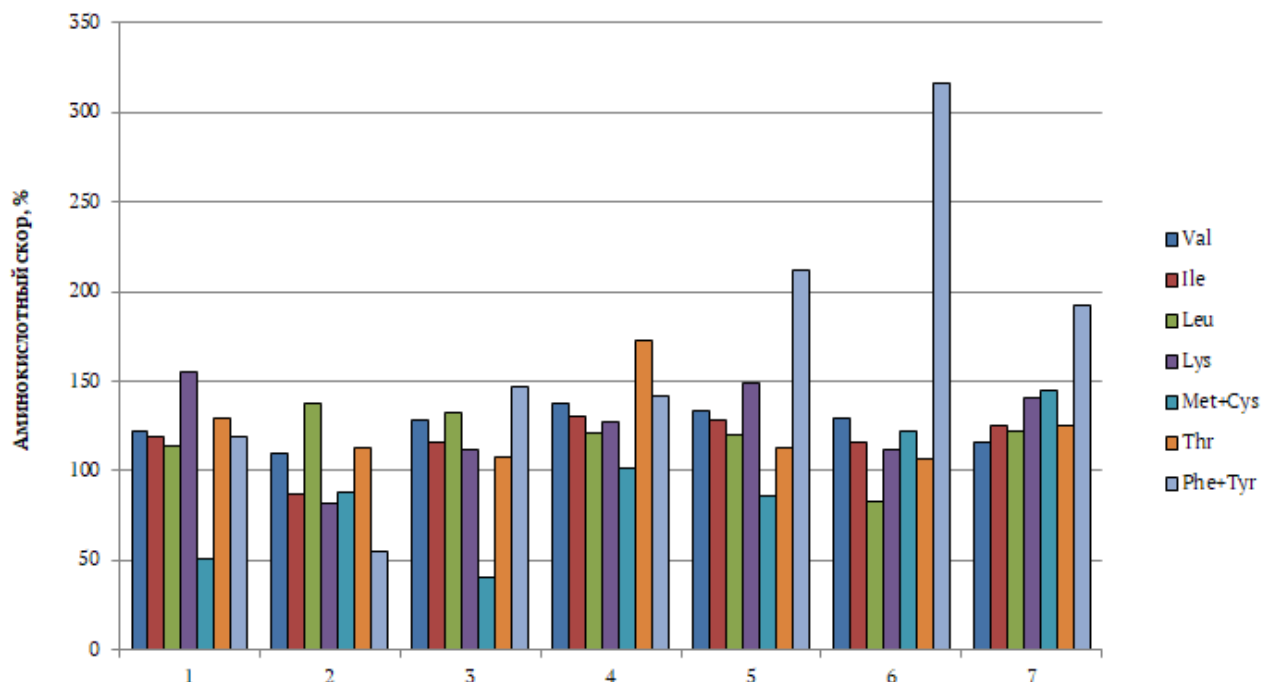


Рисунок 6. Аминокислотный скор БК, полученных с: 1 – *S. cerevisiae* 121; 2 – *L. acidophilus* + *S. Thermophiles*; 3 – *P. ostreatus*; 4 – *G. candidum* + *S. cerevisiae*; 5 – *Bombyx mori*; 6 – *Musca domestica*; 7 – *Tenebrio molitor*

изводственные затраты на процесс, поэтому оба направления являются перспективными.

### Выводы

Выполнен сравнительный анализ биологической ценности белковых концентратов, полученных из вторичных продуктов переработки зерновых культур на крахмал с применением микроорганизмов *G. candidum*, *S. cerevisiae*, *P. ostreatus*, а также из пшеничных отрубей, птичьего помета и листовой массы шелковицы с личинками насекомых *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Bombyx mori*. Результаты определения аминокислотного состава и расчета сгора белков К.М., полученных на овсяной и гороховой сыворотке, остающейся после выделения пищевых белков из экстрактов при производстве крахмала, при соотношении в них белков 1:2, соответственно, с симбиозом микроорганизмов *G. candidum* и *S. cerevisiae*, а также концентратов, произведенных из исследуемых личинок насекомых, свидетельствовали об их 100% биологической полноценности. Данные препараты могут быть рекомендованы для введения в состав кормов и пищевых продуктов взамен животных белков как самостоятельные ингредиенты, а препараты из тритикалевого экстракта, продуктов его переработки (мезга, сыворотка, нерастворимый остаток) и кукурузного экстракта, полученные, соответственно, с модификаторами *P. Ostreatus*, *S. cerevisiae* 121 и *L. acidophilus* + *S. Thermophiles*, целесообразно применять совместно с другими продуктами при соблюдении принципа комплементарности НАК. Практическая реализация предлагаемых приемов трансформации органических отходов позволит рационально использовать вторичные материальные ресурсы и получить востребованные белковые концентраты

### Литература

- Андреев Н.Р., Колпакова В.В. Гольдштейн В.Г. К вопросу глубокой переработки зерна тритикале // Пищевая промышленность. 2018. № 9. с. 30–33.
- Андреев Н.Р., Колпакова В.В., Кравченко И.К., Уланова Р.В., Шевякова Л.В., Макаренко М.А., Лукин Н.Д. Утилизация вторичных продуктов переработки тритикале с получением кормового микробно-растительного концентрата для прудовых рыб // Юг России: экология. Развитие. 2017. № 4. с. 90–104. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-90-104>
- Белик С.Н., Моргуль Е.В., Крючкова В.В., Аветисян З.Е. Продукты микробного синтеза в решении проблемы белкового дефицита // Wschodnioeuropejskie czasopismo naukowe. 2016. Vol. 7, issue 1. P. 122–129.
- Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Прокопьев Е.А. Влияние изменения климата на сельское хозяйство российских регионов // Регионология. 2015. Т. 91, № 2. с. 56–63.
- Кадомцева М.Е., Коростелев В.Г. Влияние глобальных климатических изменений на состояние мировых земельных ресурсов // Устойчивое развитие мирового сельского хозяйства. 2017. № 1. с. 222–224.
- Коростелев В.Г., Кадомцева М.Е. Агрострахование как элемент климатически оптимизированного сельского хозяйства // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. Т. 365, № 5. с. 38–42. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2018-15074>
- Сон О.М., Черевач Е.И., Текутьева Л.А. Использование отходов зерноперерабатывающей промышленности в микробиологическом синтезе кормового белка // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 12. с. 24–27.
- Уланова Р.В., Кравченко И.К., Колпакова В.В. Комплексная переработка личинок комнатной мухи с использованием биологических методов // Актуальная биотехнология. 2018. Т. 26, № 3. с. 252–254.
- Уланова Р.В., Кузнецов Б.Б., Аксенов А.В. Технология производства нового белкового препарата // Комбикорма. 2005. № 2. с. 47.
- Хамнаева Н.И., Кондрашева Е.В. Об использовании микробной биомассы для получения новых кондитерских изделий // Успехи современного естествознания. 2004. № 4. с. 136.
- Яшалова Н.Н., Рубан Д.А. Долговременные риски российского растениеводства в условиях глобальных изменений климата в контексте продовольственной безопасности // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16, № 6. с. 1127–1140. <https://doi.org/10.24891/re.16.6.1127>
- Aggelopoulos T., Bekatorou A., Pandey A., Kanellaki M., Koutinas A.A. Discarded Oranges and Brewer's Spent Grains as Promoting Ingredients for Microbial Growth by Submerged and Solid State Fermentation of Agro-industrial Waste Mixtures // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2013. Vol. 170, issue 8. P. 1885–1895. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0313-0>
- Ahmed S., Ahmad F., Nachmi A.S. Production of microbial biomass protein by fermentation of *Arachnoidus* sp., and *Candida utilis* // Pakistan Journal of Botany. 2010. Vol. 42, issue 2. P. 1225–1234.
- Van Huis A. Edible insects contributing to food security // Agriculture & Food Security. 2015. Vol. 4, no. 20. P. 2–4. <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>

- Athar M.S., Ahmed S., Hashmi A.S. Bioconversion of beet pulp to microbial biomass protein by *Candida utilis* // *Journal of the Chemical Society of Pakistan*. 2009. Vol. 31. P. 115–121.
- Ganda H., Zannou-Boukari E.T., Kenis M., Chrysostome C.A.A.M., Mensah G.A. Potentials of animal, crop and agri-food wastes for the production of fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019. Vol. 5, no. 2. P. 59–67. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0064>
- Han R., Shin J.T., Kim J., Choi Y.S., Kim Y.W. An overview of the South Korean edible insect food industry: challenges and future pricing/promotion strategies // *Entomological Research*. 2017. Vol. 47, issue 3. P. 139–216. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12230>
- Irshad M., Ahmed S., Latif F., Rajoka M.I. Regulation of Endo-  $\beta$ -D- Xylanase and  $\beta$ - Xylosidase synthesis in *Humicola lanuginosa* // *Journal of the Chemical Society of Pakistan*. 2008. Vol. 30. P. 913–918.
- Pachauri R.K., Meyer L.A. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and I.I. to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. I.C., Geneva, Switzerland, 2014. 151 p. U.L. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf) (дата обращения: 10.08.2020).
- Jaganmohan P.B., Purushottam D., Prasad S.V. Production of Single Cell Protein (SCP) with *Aspergillus terreus* Using Solid State Fermentation // *European Journal of Biological Sciences*. 2013. Vol. 5, issue 2. P. 38–43. <https://doi.org/10.5829/idosi.ejbs.2013.5.2.7210>
- Megido R.C., Desmedt S., Blecker C., Béra F., Haubruge E.T., Alabi T., Francis F. Microbiological Load of Edible Insects Found in Belgium // *Insects*. 2017. Vol. 8, issue 1. P. 12. <https://doi.org/10.3390/insects8010012>
- Nurudeen O.O., Adetayo O.M., Bolanle A.S.R., Olaltunde O.A.L. Cellulase and Biomass Production from Sorghum (*Sorghum guineense*) Waste by *Trichoderma longibrachiatum* and *Aspergillus terreus* // *Journal of Microbiology Research*. 2015. Vol. 5, issue 6. P. 169–174. <https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20150506.01>
- Oshoma C.E., Ikenebomeh M.J. Production of *Aspergillus niger* biomass from rice bran // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2005. Vol. 4, issue 1. P. 32–36. <https://doi.org/10.3923/pjn.2005.32.36>
- Pavela R., Benelli G., Petrelli R., Cappellacci L., Lupidi G., Sut S., Dall'Acqua S., Maggi F. Exploring the Insecticidal Potential of Boldo (*Peumus boldus*) Essential Oil: Toxicity to Pests and Vectors and Non-target Impact on the Microcrustacean *Daphnia magna* // *Molecules*. 2019. Vol. 24, issue 5. P. 879. <https://doi.org/10.3390/molecules24050879>
- Premalatha M., Abbasi T., Abbasi T., Abbasi S.A. Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects // *Renewable and Sustainable. Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, issue 9. P. 4357–4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>
- Anupama, Ravindra P. Value added Food: Single cell protein // *Biotechnology Advances*. 2000. Vol. 18, issue 6. P. 459–479. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00045-8)
- Rumpold B., Schlüter O. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013. Vol. 17. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Sanou A.G., Sankara F., Pousga S., Coulibaly K., Nacoulma J.P., Kenis M., Clottey V.A., Nacro S., Somda I., Ouedraogo I. Indigenous practices in poultry farming using maggots in western Burkina Faso // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020. Vol. 4, no. 4. P. 219–228. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0004>
- Sirimungkararat S., Saksirirat W., Nopparat T., Natongkham A. Edible products from eri silkworm (*Samia ricini* D.) and mulberry silkworm (*Bombyx mori* L.) in Thailand // *Forest insects as food: humans bite back. Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development*. Chiang Mai, Thailand, 2008. P. 189–200.
- Suman G., Nupur M., Anuradha S., Pradeep B. Single Cell Protein Production: a Review // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015. Vol. 4, no. 9. P. 251–262. U.L. <https://www.ijcmas.com/vol-4-9/Gour%20Suman,%20et%20al.pdf> (дата обращения: 10.08.2020).
- Ulanova R., Kravchenko I. Development and evaluation of novel insect-based milk substitute // *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*. 2014. Vol. 3, no. 6. P. 286–291.
- Ulanova R., Kravchenko I. Housefly Larvae as a Source of Good Quality Renewable Protein Product 1 // *Entomology and Applied Science Letters*. 2016. Vol. 3, no. 5. P. 182–188. U.L. <https://easletters.com/en/article/shi2-housefly-larvae-as-a-source-of-good-quality-renewable-protein-product> (дата обращения: 10.08.2020).
- Van der Spiegel M., Noordam M.Y., Van der Fels-Klerx H.J. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013. Vol. 12, issue 6. P. 662–678. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12032>

- Van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security // *Annual Review of Entomology*. 2013. Vol. 58. P. 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Varelas V. Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed // *Fermentation-Basel*. 2019. Vol. 5, issue 3. P. 81. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>
- Zhou J., Han D. Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) pupae // *Food and Chemical Toxicology*. 2005. Vol. 44, issue 7. P. 1123–1130. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.01.009>



# Amino Acid Composition of Protein Concentrates from Secondary Products of Food Production and Alternative Raw Materials

**Ruzaliya V. Ulanova**

*S.N. Vinogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Center  
“Fundamental Foundations of Biotechnology”, of Russian Academy of Science  
7, 60th anniversary of October Avenue, Moscow, 107143, Russian Federation  
E-mail: colodovnicova@rambler.ru*

**Valentina V. Kolpakova**

*All-Russian Research Institute for Starch Products – Branch of V.M.  
Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences  
11, Nekrasova str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russian Federation  
E-mail: val-kolpakova@rambler.ru*

**Denis S. Kulikov**

*All-Russian Research Institute for Starch Products – Branch of V.M.  
Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences  
11, Nekrasova str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russian Federation  
E-mail: denismalah@mail.ru*

**Elena G. Evlagina**

*Research station of sericulture – Branch of Federal State Budget Scientific Institution  
“North Caucasian Federal Scientific Agricultural Center”  
13, Pushkina str., Zheleznovodsk, Inozemtsevo, Stavropol Territory, 357431, Russian Federation  
E-mail: kim307@bk.ru*

The aim of the research is a comparative analysis of the biological value of protein concentrates obtained from secondary products of grain processing for starch with the use of microorganisms *S. cerevisiae* 121, *G. candidum* 977, *P. ostreatus*, *L. acidophilus*, *S. thermophilus*, and with the use of insect larvae *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Bombyx mori* grown on wheat bran, poultry manure and mulberry leaves. The results of determining the amino acid composition and the rate of proteins of feed microbial-plant concentrates (FMPC), the biomass for which was grown with all types of larvae, and also on oat and pea whey remaining after the isolation of food proteins from extracts - secondary products of starch production, testified to their 100% biological value. The extracts from which the whey was obtained should have a ratio of pea and oat proteins of 2:1, and the whey should be modified into a full-fledged F.P. by symbiosis of microorganisms *G. candidum* and *S. cerevisiae* 121. These types of preparations can be recommended for introduction into the composition of feed instead of animal proteins as independent ingredients, and preparations from triticale extract, products of its processing and corn extracts obtained, respectively, with *P. ostreatus*, *S. cerevisiae* 121 and *L. acidophilus*, *S. thermophilus* - together with other protein products in compliance with the principle of complementarity of essential amino acids. Practical implementation of the proposed methods for the transformation of organic waste will allow rational use of secondary material resources and obtain demanded protein concentrates.

**Keywords:** enzyme preparations, protein concentrate, by-products, insect larvae, essential amino acids

## References

- Andreev N.R., Kolpakova V.V. Gol'dshtein V.G. K vo-  
prosu glubokoi pererabotki zerna triticale [On  
the issue of deep processing of triticale grain].  
Pishchevaya promyshlennost' [Food industry],  
2018, no. 9, pp. 30–33.  
Andreev N.R., Kolpakova V.V., Kravchenko I.K., Ulanova R.V., Shevyakova L.V., Makarenko M.A., Lukin N.D. Utilizatsiya vtorichnykh produktov pererabot-

- ki tritikale s polucheniem kormovogo mikrobnorastitel'nogo kontsentrata dlya prudovalnykh ryb [Utilization of secondary products of triticale processing to obtain microbial and plant feed concentrate for pond fish]. *Yug Rossii: ekologiya. Razvitiye* [South of Russia: ecology. Development], 2017, no. 4, pp. 90–104. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-90-104>
- Belik S.N., Morgul' E.V., Kryuchkova V.V., Avetisyan Z.E. Produkty mikrobnogo sinteza v reshenii problemy belkovogo defitsita [Microbial synthesis products in solving the problem of protein deficiency]. *Wschodnioeuropejskie czasopismo naukowe* [East European scientific journal], 2016, vol. 7, issue 1, pp. 122–129.
- Druzhinin P.V., Shkiperova G.T., Prokop'ev E.A. Vliyaniye izmeneniya klimata na sel'skoe khozyaistvo rossiiskikh regionov [Impact of climate change on agriculture in Russian regions]. *Regionologiya* [Regionology], 2015, vol. 91, no 2, pp. 56–63.
- Kadomtseva M.E., Korostelev V.G. Vliyaniye global'nykh klimaticheskikh izmenenii na sostoyaniye mirovykh zemel'nykh resursov [The impact of global climate change on the state of the world's land resources]. *Ustoichivoe razvitiye mirovogo sel'skogo khozyaistva* [Sustainable Development of World Agriculture], 2017, no. 1, pp. 222–224.
- Korostelev V.G., Kadomtseva M.E. Agrostrakhovanie kak element klimaticheskoi optimizirovannogo sel'skogo khozyaistva [Agricultural insurance as an element of climate-smart agriculture]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International Agricultural Journal], 2018, vol. 365, no. 5, pp. 38–42. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2018-15074>
- Son O.M., Cherevach E.I., Tekut'eva L.A. Ispol'zovanie otkhodov zernopererabatyvayushchei promyshlennosti v mikrobiologicheskom sinteze kormovogo belka [The use of wastes from the grain processing industry in the microbiological synthesis of fodder protein]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of farm products], 2016, no. 12, pp. 24–27.
- Ulanova R.V., Kravchenko I.K., Kolpakova V.V. Kompleksnaya pererabotka lichinok komnatnoi mukhi s ispol'zovaniem biologicheskikh metodov [Complex processing of house fly larvae using biological methods]. *Aktual'naya biotekhnologiya* [Actual biotechnology], 2018, vol. 26, no. 3, pp. 252–254.
- Ulanova R.V., Kuznetsov B.B., Aksenov A.V. Tekhnologiya proizvodstva novogo belkovogo preparata [Technology for the production of a new protein preparation]. *Kombikorma* [Compound feed], 2005, no. 2, pp. 47.
- Khamnaeva N.I., Kondrasheva E.V. Ob ispol'zovanii mikrobnoi biomassy dlya polucheniya novykh konditerskikh izdelii [On the use of microbial biomass to produce new confectionery]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2004, no. 4, pp. 136.
- Yashalova N.N., Ruban D.A. Dolgovremennyye riski rossiiskogo rasteniyevodstva v usloviyakh global'nykh izmenenii klimata v kontekste proizvodstvennoi bezopasnosti [Long-term risks of Russian crop production in the context of global climate change in the context of food security]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional economy: theory and practice], 2018, vol. 16, no. 6, pp. 1127–1140. <https://doi.org/10.24891/re.16.6.1127>
- Aggelopoulos T., Bekatorou A., Pandey A., Kanelaki M., Koutinas A.A. Discarded Oranges And Brewer's Spent Grains as Promoting Ingredients for Microbial Growth by Submerged and Solid State Fermentation of Agro-Industrial Waste Mixtures. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2013, vol. 170, issue 8, pp. 1885–1895. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0313-0>
- Ahmed S., Ahmad F., Hachmi A.S. Production of Microbial Biomass Protein by Fermentation of Arachnoidus Sh., and Candida Utilis. *Pakistan Journal of Botany*, 2010, vol. 42, issue 2, pp. 1225–1234.
- Van Huis A. Edible Insects Contributing to Food Security. *Agriculture & Food Security*, 2015, vol. 4, no. 20, pp. 2–4. <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>
- Athar M.S., Ahmed S., Hashmi A.S. Bioconversion of Beet Pulp to Microbial Biomass Protein by Candida Utilis. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 2009, vol. 31, pp. 115–121.
- Ganda H., Zannou-Boukari E.T., Kenis M., Chrysothome C.A.A.M., Mensah G.A. Potentials of Animal, Crop and Agri-Food Wastes for The Production of Fly Larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 59–67. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0064>
- Han R., Shin J.T., Kim J., Choi Y.S., Kim Y.W. An Overview of The South Korean Edible Insect Food Industry: Challenges and Future Pricing/Promotion Strategies. *Entomological Research*, 2017, vol. 47, issue 3, pp. 139–216. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12230>
- Irshad M., Ahmed S., Latif F., Rajoka M.I. Regulation of Endo-β-d- Xylanase and β- Xylosidase Synthesis in Humicola Lanuginosa. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 2008, vol. 30, pp. 913–918.
- Pachauri R.K., Meyer L.A. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and I.I. to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. I.C., Geneva, Switzerland, 2014. 151 p. U.L. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf) (accessed 10.08.2020).

- Jaganmohan P.B., Purushottam D., Prasad S.V. Production of Single Cell Protein (SCP) with *Aspergillus terreus* Using Solid State Fermentation. *European Journal of Biological Sciences*, 2013, vol. 5, issue 2, pp. 38–43. <https://doi.org/10.5829/idosi.ejbs.2013.5.2.7210>
- Megido R.C., Desmedt S., Blecker C., Béra F., Haubruge E.T., Alabi T., Francis F. Microbiological Load of Edible Insects Found in Belgium. *Insects*, 2017, vol. 8, issue 1, pp. 12. <https://doi.org/10.3390/insects8010012>
- Nurudeen O.O., Adetayo O.M., Bolanle A.S.R., Olaltunde O.A.L. Cellulase and Biomass Production from Sorghum (*Sorghum guineense*) Waste by *Trichoderma longibrachiatum* and *Aspergillus terreus*. *Journal of Microbiology Research*, 2015, vol. 5, issue 6, pp. 169–174. <https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20150506.01>
- Oshoma C.E., Ikenebomeh M.J. Production of *Aspergillus Niger* Biomass from Rice Bran. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2005, vol. 4, issue 1, pp. 32–36. <https://doi.org/10.3923/pjn.2005.32.36>
- Pavela R., Benelli G., Petrelli R., Cappellacci L., Lupidi G., Sut S., Dall'Acqua S., Maggi F. Exploring the Insecticidal Potential of Boldo (*Peumus boldus*) Essential Oil: Toxicity to Pests and Vectors and Non-Target Impact on the Microcrustacean *Daphnia Magna*. *Molecules*, 2019, vol. 24, issue 5, pp. 879. <https://doi.org/10.3390/molecules24050879>
- Premalatha M., Abbasi T., Abbasi T., Abbasi S.A. Energy-Efficient Food Production to Reduce Global Warming and Ecodegradation: The use of Edible Insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, vol. 15, issue 9, pp. 4357–4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>
- Anupama, Ravindra P. Value added Food: Single cell protein. *Biotechnology Advances*, 2000, vol. 18, issue 6, pp. 459–479. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00045-8)
- Rumpold B., Schlüter O. Potential and Challenges of Insects as an Innovative Source for Food and Feed Production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013, vol. 17, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Sanou A.G., Sankara F., Pousga S., Coulibaly K., Nacoulma J.P., Kenis M., Clottey V.A., Nacro S., Somda I., Ouedraogo I. Indigenous Practices in Poultry Farming Using Maggots in Western Burkina Faso. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2020, vol. 4, no. 4, pp. 219–228. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0004>
- Sirimungkararat S., Saksirirat W., Nopparat T., Natongkham A. Edibleproducts from Eri Silkworm (*Samia Ricini D.*) and Mulberry Silkworm (*Bombyx Mori L.*) In Thailand. In *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*, Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development. Chiang Mai, Thailand, 2008, pp. 189–200.
- Suman G., Nupur M., Anuradha S., Pradeep B. Single Cell Protein Production: A.R.view. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2015, vol. 4, no. 9, pp. 251–262. U.L. <https://www.ijcmas.com/vol-4-9/Gour%20Suman,%20et%20al.pdf> (accessed 10.08.2020).
- Ulanova R., Kravchenko I. Development and Evaluation of Novel Insect-Based Milk Substitute. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 2014, vol. 3, no. 6, pp. 286–291.
- Ulanova R., Kravchenko I. Housefly Larvae as a Source of Good Quality Renewable Protein Product 1. *Entomology and Applied Science Letters*, 2016, vol. 3, no. 5, pp. 182–188. <https://easletters.com/en/article/shi2-housefly-larvae-as-a-source-of-good-quality-renewable-protein-product> (accessed 10.08.2020).
- Van der Spiegel M., Noordam M.Y., Van der Fels-Klerx H.J. Safety of Novel Protein Sources (Insects, Microalgae, Seaweed, Duckweed, and Rapeseed) and Legislative Aspects for Their Application in Food and Feed Production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2013, vol. 12, issue 6, pp. 662–678. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12032>
- Van Huis A. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 2013, vol. 58, pp. 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Varelas V. Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed. *Fermentation-Basel*, 2019, vol. 5, issue 3, pp. 81. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>
- Zhou J., Han D. Safety Evaluation of Protein of Silkworm (*Antheraea pernyi*) Pupae. *Food and Chemical Toxicology*, 2005, vol. 44, issue 7, pp. 1123–1130. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.01.009>