ISSN 2311-9322 (Print), ISSN 2311-9330 (Online)

Biology in Agriculture

Биология в сельском хозяйстве

№1, 2019

Научно-практический и теоретический журнал



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина»

Фундаментальные и прикладные исследования по селекции, генетике, биотехнологии, физиологии, этологии, микробиологии и многим другим отраслям современной науки

scientia, virtus, libertas

≡ Russian Federation ≡

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина»

Главный редактор:
А.И. Шендаков,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
член Союза писателей России

Редакционная коллегия:

В.С. Буяров (председатель),
д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)
И.А. Егоров,
д. б.н., проф., академик РАН (г. Москва)
А.С. Делян,
д. с.-х. н., профессор (г. Москва)
Л.В. Калашникова,
д. филолог. наук, профессор (г. Орёл)
С.И. Кононенко,
д. с.-х. н., профессор (г. Краснодар)
А.А. Коровушкин,
д. биол. н., профессор (г. Рязань)
С.Д. Князев,
д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)
В.И. Крюков,
д. биол. н., профессор (г. Орёл)
Р.Н. Ляшук,
д. с.-х. н., профессор (г. Орёл)
В.В. Обливанцов,
д. с.-х. н., профессор (г. Севастополь)
С.Н. Харитонов,
д. с.-х. н., профессор (г. Москва)
M.A. Shariati,
Islamic Azad University (г. Тегеран)

Содержание

стр.

Общие и частные вопросы генетики

Шендаков А.И. Плейотропное действие генов: факты, заблуждения и перспективы оценки (***Shendakov A.I.*** *Pleiotropic action of genes: facts, mistakes and prospects of evaluation*)…… 2

Крюков В.И. Влияние ионов кадмия на индукцию ядерных аномалий в эритроцитах карпов (***Kryukov V.I.*** *Effect of cadmium ions on induction of nuclear anomalies in carp erythrocytes*) …… 11

Биологические ресурсы растений

Донская М.В., Донской М.М., Наумкин В.П. Создание и оценка селекционного материала чины посевной в условиях северной части ЦЧР (***Donskaya M.V., Donskoj M.M., Naumkin V.P.*** *Creation and evaluation of breeding material of grass pea in the conditions of the northern part of the central black earth region*)…… 18

Актуальные вопросы животноводства

Мурленков Н.В., Шендаков А.И. Эффективность пребиотических препаратов для телят в разные периоды выращивания (***Murlenkov N.V., Shendakov A.I.*** *Efficiency of prebiotic preparations for calves in different periods of growing*)…… 27

Современные аспекты производства и переработки продукции животноводства

Ряполов Р.П., Афанасенко М.А., Лещуков К. А. Изменение функционально-технологических свойств варено-копченых колбасных изделий при внесении в рецептуру растительных наполнителей (***Ryapolov R.P., Afanasenko M.A., Leshukov K.A.*** *The change of functional and technological properties of cooked sausage in the recipe of vegetable fillers*)… 31

Современные аспекты производства биогаза

Мирошниченко И.В., Снеговой Е.В. Повышение эффективности переработки осадков сточных вод в биогаз (***Miroshnichenko I.V., Snegovoi E.V.*** *Increase in efficiency of processing of drainage of sewage slouge to biogas*)…… 36

Адрес издателя и редакции: 302019, Россия, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69
Свидетельство о регистрации СМИ выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), ПИ №ФС 77-70557 от 03.08.2017 г. (предыдущее свидетельство ПИ №ФС 77-54372 от 29.05.2013 г.)

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. **Адрес издательства** (типографии): 302028, г. Орёл, бульвар Победы, 19, лицензия ЛР№021325 от 23.02.1999 г.
Язык: русский, английский
Телефон: гл. редактор – 8-953-816-78-84, **факс:** +7 (4862) 76-41-01
E-mail: bio413@ya.ru (для материалов), aish78@yandex.ru (для переписки)
Сдано в набор: 04.03.2019 г. **Подписано в печать:** 15.03.2019 г.
Дата выхода: 22.03.2019 **г.**
Периодичность выхода, объём: 4 раза в год, до 100 страниц, А4.
Тираж: 300 экземпляров. Цена свободная.
Формат: 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Фото на обложке: весна на Орловщине (автор **С.Е. Ноздрунов**)
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.
Перепечатка материалов с письменного разрешения главного редактора.

© ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2019

УДК 575.164

А. И. Шендаков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет
имени Н.В. Парахина», Россия, Орел
A. I. Shendakov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Orel State Agrarian University, Orel City, Russia, e-mail: bio413@ya.ru

ПЛЕЙОТРОПНОЕ ДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ: ФАКТЫ, ЗАБЛУЖДЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОЦЕНКИ

(Pleiotropic action of genes: facts, mistakes and prospects of evaluation)

Современная генетика представлена многими научными направлениями, многие направления генетики выделились в самостоятельные отрасли, такие, как цитогенетика, иммуногенетика, генетика растений, генетика животных, генетика человека, медицинская генетика и пр. Научные методы, применяемые в генетике, постоянно совершенствуются, однако целый ряд научных проблем, затрагиваемых генетикой, остаётся нерешённым. Отдельные фундаментальные проблемы одинаково важны для решения как в растениеводстве, так и ряде других отраслей. Одним из таких вопросов является вопрос определения плейотропного действия генов, осмысления его сущности в аспектах эволюции и видообразования. В научной работе сделан обзор современных данных о плейотропном действии генов, приведены частные случаи плейотропии у гороха, пшеницы, грибов, животных, человека и пр. Работа построена на обобщении данных, мнений и выявлении многообразия классификаций плейотропного действия генов; в работе приводятся случаи простой, истинной, косвенной, антагонистической и мультифакторной плейотропии. Отмечено, что плейотропия является побочным действием эволюции, однако для процесса селекции плейотропия крайне важна при её грамотном и целенаправленном использовании. Процесс проявления плейотропии усиливают мутации как у растений, так и у животных. Автором научной работы приводится собственная классификация разнообразия плейотропии, обозначаются факторы, способные затруднить результативность выявления плейотропного действия генов, а также обозначены перспективы дальнейших фундаментальных и прикладных исследований плейотропного действия генов. Автор статьи подчёркивает тот факт, что многофакторная (мультипликативная) плейотропия является естественным проявлением процесса организации и функционирования генома.

Ключевые слова: генетика, плейотропия, гены, аллели, признаки, антагонистическая плейотропия, видообразование, мутации, эволюция.

The present-day genetics is represented by many research areas, and many areas of genetics have separated into independent fields such as cytogenetics, immunogenetics, plant genetics, animal genetics, human genetics, medical genetics, etc. The scientific methods used in genetics are constantly being improved, but a number of scientific problems that are being solved in genetics still remain unresolved. It is equally important for both crop science and a number of other areas to have individual fundamental problems solved. One of the issues is the issue of determining the pleiotropic action of genes and understanding its essence in the aspects of evolution and speciation. The research reviews modern scientific data on the pleiotropic action of genes, presents individual cases of pleiotropy in peas, wheat, mushrooms, animals, humans, etc. The study is based on the generalization of data, opinions and the identification of a variety of classifications of the pleiotropic action of genes; the paper cites cases of simple, true, indirect, antagonistic and multifactorial pleiotropy. Pleiotropy has been noted to be a side effect of evolution, but pleiotropy is extremely important for the selection process if it is used in a competent and purposeful manner. The process of manifestation of pleiotropy increases mutations in both plants and animals. The author of the research provides his own classification of the diversity of pleiotropy, identifies factors that can hamper the effectiveness of detecting the pleiotropic action of genes and outlines the prospects for further fundamental and applied research on the pleiotropic action of genes. The author of the article emphasizes the fact that multifactorial (multiplicative) pleiotropy is a natural manifestation of the organization and functioning of the genome.

Key words: genetics, pleiotropy, genes, alleles, signs, antagonistic pleiotropy, speciation, mutations, evolution

К XXI веку методы генетики достигли высочайшего уровня развития не только в растениеводстве и животноводстве, но и в медицине. По целому ряду генетических явлений современная наука получила и систематизировала опыт, имеющий как фундаментальную теоретическую основу, так и реальные предпосылки к дальнейшему совершенствованию методической базы и к практическому применению. Наряду с важными открытиями и результативными исследованиями в области генетики, между тем, остаются неизученными и до конца не понятыми многие явления, ассоциированные с генетической детерминацией. Ежегодно генетика количественных признаков сталкивается с задачами, которые требуют повседневной исследовательской работы для полного или хотя бы частичного осмысления механизмов проявления, про-

цесса наследования и формирования продуктивных признаков, отдельных функций, качеств и особенностей живых организмов и растений. Не исключение в этом случае и такое сложное генетическое явление, как плейотропия.

Плейотропи́я (от греч. πλείων – «больше» и греч. τρέπειν – «поворачивать, превращать») – это явление множественного действия, выражающегося в способности одного гена влиять на несколько фенотипических признаков [44]. Наряду с эпистазом, сверхдоминированием и прочими явлениями наследственных факторов плейотропия представляет собой парадоксальное генетическое явление с точки зрения эволюции. При этом одновременное влияние одного гена нередко прослеживается не только сразу на два признака, а на три и большее количество признаков. Явление, характеризующее плейотропное действие генов, впервые было упомянуто ещё Г. Менделем, обнаружившим на растениях с пурпурными цветами красные пятна в пазухах листьев, а получаемые от таких растений семена всегда были покрыты серой или бурой кожурой. Г. Мендель в связи с этим предположил существование генетических факторов, детерминирующих данные признаки.

В настоящее время, с точки зрения научной проблемы, изучение плейотропии происходит комплексно, в нескольких направлениях, из которых можно выделить как целый ряд фундаментальных вопросов, так и огромное количество исследований случаев частной плейотропии: в растениеводстве и животноводстве, генетике человека и медицинской генетике в частности, в ветеринарии и защите растений, в изучении микроорганизмов, насекомых, грибов, водорослей, мхов, лишайников и пр. Учитывая то обстоятельство, что, по последним научным данным, в геноме млекопитающих присутствуют гены, характерные для других видов, микроорганизмов, червей и даже растений, изучение плейотропии как общебиологического явления представляется чрезвычайно актуальным.

Так, на сегодняшний день в периодической научной литературе приводятся новые данные о плейотропном действии генов у гороха [26, 33], пшеницы [8, 25], тыквы [2], редиса [18], грибов-паразитов [22], насекомых [13], в том числе жуков [17], крупных животных, в том числе птиц и овец [1], кроликов [3], лошадей [16], крупного рогатого скота [4, 37] и пр. Особое внимание к плейотропному действию в медицинской генетике обусловлено изучением предрасположенности к многофакторным заболеваниям [7, 9], в том числе к раковым заболеваниям, заболеваниям внутренних органов, сердечно-сосудистой системы и пр.

С фундаментальной точки зрения, обсуждаются вопросы сущности и причин возникновения плейотропного действия генов [11, 14, 15, 24, 36, 38], взаимосвязи проявления плейотропного действия генов с мутациями и общего влияния на эволюцию видов [42, 43]. При этом среди учёных с мировым именем до сих пор вызывают интерес вопросы исследования так называемой ***антагонистической плейотропии*** [28, 33], теория которой впервые была озвучена в 1957 году *Williams G.C.* [43]. К тому же, в настоящее время сформулирован целый ряд подходов при исследовании плейотропии, а сама классификация разновидностей плейотропного действия генов нуждается в систематизации и оценке перспектив её исследования в ближайшей перспективе, что, в целом, и послужило обоснованием актуальности данного обзора.

Простая и мультифакторная плейотропия. В растениеводстве и животноводстве, между тем, существуют разные подходы при интерпретации полученных научных данных: если в растениеводстве нередко основой для выведения нового сорта достаточно нескольких выявленных аллелей, ассоциированных с каким-либо ценным признаком, то в современном животноводстве селекционеры, как правило, имеют дело с количественными признаками (удой, живая масса, количество поросят и пр.), хотя селекция по масти, комолости, извитости шерсти или её отсутствию затруднений уже не вызывает. В равной степени селекционеры сталкиваются с затруднениями при необходимости постоянного увеличения урожайности и улучшения ряда количественных признаков у культурных растений.

При анализе генотипической (в том числе, генетической) изменчивости количественных признаков точность оценки плейотропного действия генов нередко зависит от правильности интерпретации полученных данных и генетико-статистических методов анализа. Проявление положительных или отрицательных генетических корреляций между признаками и вовсе до сих пор имеет два разных обоснования, одно из которых – плейотропия, другое – аддитивное (суммирующее) действие генов [1]. В селекции сельскохозяйственных животных нередко возникают противоречия при анализе генетических корреляций [19, 31, 34, 39], поскольку нельзя с полной долей уверенности при изучении признаков, детерминированных сотнями и, возможно, тысячами генов, однозначно говорить о плейотропии, аддитивном действии генов [20], сцепленном наследовании и пр. явлениях [23]. Однако, предпосылки к математическому выражению доли генов, вызывающих плейотропное действие, существуют, о чём следует говорить поэтапно.

Нередко доминантный ген, детерминирующий один признак, может оказаться рецессивным к другому признаку. Так, у крупного рогатого скота и кур известна коротконогость, вызываемая гетерозиготой, в рецессивном гомозиготном состоянии ген ведёт к летальному исходу. В птицеводстве приводятся примеры влияния генов, детерминирующих форму листовидного гребня, на яйценоскость. В труде «Генетика животных» Ф. Хатт [10] приводит пример мутации, при которой ген одновременно ведёт к зональному отсутствию шерсти на туловище и сосочков на языке у телят. В самом простом виде подобную плейотропию схематически можно изобразить следующим образом (см. рис. 1).

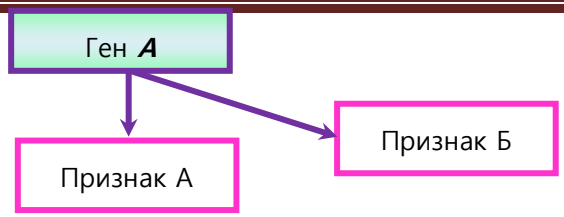


Рис. 1 – Детерминация одним геном двух признаков: простоя плейотропия

Исходя из рисунка, понятно, что у гена ***A*** есть основная функция и дополнительная. Всё было бы достаточно просто, если бы в этой ситуации не возникал вопрос, почему и на каком этапе эволюции гены стали выполнять дополнительные функции, не характерные для них, и зачем генам нужно выполнять «дополнительные обязательства». С точки зрения отдельных направлений генетики, *плейотропия* – побочное явление эволюции [11]. Вопрос определения временных рамок начала развития плейотропного действия генов в живых системах может оказаться нерешаемым, как и вопрос, например, определения точных временных рамок образования половой хромосомы *Y*.

Между тем, отдельные учёные (*Бакай А. В. с соавторами, 2007*), утверждает, что все гены в той или иной степени проявляют плейотропный эффект, в результате чего есть основания полагать, что любой наследственный признак определяется многими генами, а точнее, всем генотипом [1]. К сожалению, авторы не уточняют, качественные или количественные признаки определяются всем генотипом, но логика такого суждения понятна, т. е. взаимосвязь генов и признаков приобретает сложнейшую матричную основу, подобную неким нейронным сетям или структурам, которые распутать невозможно априори.

Так или иначе, в уже опубликованных статьях автора данной работы (*А. И. Шендаков и др., 2012-2017* [12, 40, 41]) вполне определённо высказана ***теория мультифакторной плейотропии*****,** сделаны попытки математического вычисления комплексного плейотропного эффекта генов через коэффициенты множественных генетических корреляций и даже доли плейотропных генов от общего числа генов, кодирующих тот или иной признак. Схема такой плейотропии в самом простом варианте может выглядеть следующим образом (см. рис. 2).

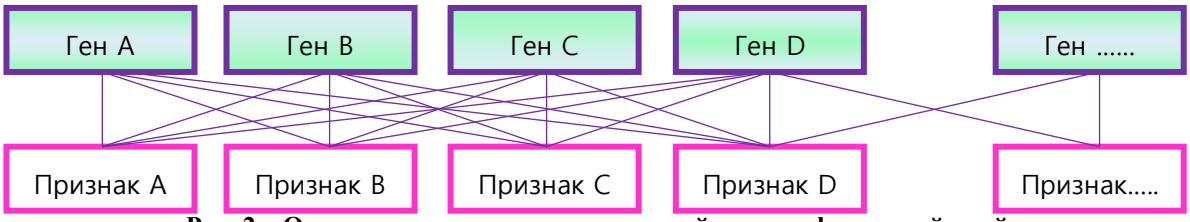


Рис. 2 – Один из вариантов множественной, мультифакторной плейотропии

В решении вопросов множественной, мультифакторной плейотропии не следует также забывать, что, скорее всего, она может проявляться в большей степени по родственным селекционным признакам. В литературе приводится мнение о плейотропном действии генов на живую массу скота в 6, 10, 12 и 18 месяцев, однако здесь можно говорить ещё и том, что к формированию живой массы скота в 10 месяцев и старше могут подключаться новые кластеры генов, связанные с половым созреванием, развитием внутренних органов и т. п. То же самое можно сказать и об интенсивности роста плодов, их созревании и увядании.

Частные случаи плейотропии. Рассматривая частные случаи оценки плейотропии, следует отметить некоторые работы по растениеводству, животноводству, медицинской генетике и пр. Так, по данным *Burstin J. с соавторами* (2007), повышенная питательная ценность семян гороха (*Pisum sativum*) и особенно содержание белка в семенах при сохранении урожайности является важной задачей для дальнейшего развития этой культуры. Являясь сложными и нестабильными показателями, содержание белка и выход белка семян интегрируют все процессы, происходящие в течение жизненного цикла. Семена являются основным поглотителем азота, их потребность в азоте частично удовлетворяется не только корнями, но и азотом, который был получен из вегетативных органов. В восьми генотипах различного происхождения установлено, что как максимальная скорость накопления азота в семенах, так и мощность источника азота варьировали среди генотипов. В большинстве случаев гены ***Le*** и ***Afila***, которые контролируют длину междоузлия и преобразование листочков в усики, соответственно, определяют состояние азота в растении. В зависимости от окружающей среды, эти гены были связаны с накоплением семенного белка [26]. (Более подробно с характеристикой этих и других мутаций у гороха можно ознакомиться в работе *Костерина О.Э.(2015)*, опубликованной в обзорной статье в «Вавиловском журнале генетики и селекции» [6]).

Используя серию почти изогенных мутантных гороховых линий, дефектных в биосинтезе крахмала, *Hughes R. K.и др. (2001)* установили, что гены, влияющие на биосинтез крахмала, оказывали плейотропное воздействие на содержание белка и состав семян гороха [32]. Китайские учёные (*Jing Wu и др, 2011*) отмечают наличие у пшеницы плейотропных генов, ведущих к карликовости растения [25].

Бухаров А.Ф. с соавторами (2016) отмечает, что наличие высоких значений коэффициентов корреляции между парами признаков «гидроксикоричные

кислоты» - «флавоноиды» (в мякоти плодов и в семенах), а также среднего значения коэффициента корреляции признаков «каротин в плодах» - «каротин в семенах», по-видимому, связано с общностью путей их биосинтеза и, возможно, обусловлено не только явлением сцепления, но и явлением плейотропии [2].

Поползухиной Н.А. и Кротовой Л.А. (2009) отмечен плейотропный характер мутантных признаков, когда наряду с основным признаком изменяется целый комплекс других признаков, а на проявление мутантных признаков оказывают влияние условия выращивания и генотипическая среда. При помещении мутантного гена в новую генотипическую среду происходит существенное варьирование всего комплекса признаков [8].

Международный научный коллектив, состоящий из французских, испанских и американских учёных *(G. Pierre и др.,2014)*, отмечает [22], что простейшие грибы, паразитирующие на яблонях, адаптируются к хозяину и могут полноценно функционировать только через общего хозяина после получения ресурсов. Поскольку один ген токсина или аллель вирулентности может дать возможность колонизировать хозяина, адаптация и репродуктивная изоляция (***reproductive isolation***) мгновенно упрощаются, что, в свою очередь, плейотропно вызывает адаптивное видообразование. Исследования по эволюционной геномике грибов дополнительно объясняют самые ранние стадии расхождения в результате потока генов и дают представление о плейотропно индуцированной адаптивной дивергенции у других эукариот.

Amanda S. Lobell, Rachel R. Kaspari, Yazmin L. Serrano Negron and Susan T. Harbison (2017) в статье *«The Genetic Architecture of Ovariole Number in Drosophila melanogaster: Genes with Major, Quantitative, and Pleiotropic Effects»* отмечают, что плейотропные гены, детерминирующие процессы размножения у дрозофил, могут быть как фенотипически проявившимися, так и «спящими», к плейотропным генам были отнесены гены, содержащие один или несколько полиморфных вариантов, значительно связанных с числом овариолей (*яйцевых трубок в яичнике*), и один или несколько вариантов, значительно связанных с одним «спящим» признаком [13].

По данным *Bellone R.R.(2010),* охарактеризовано одиннадцать различных генов, которые способствуют вариациям масти у лошадей. К сожалению, мутации, связанные с пигментацией, часто приводят к пагубным последствиям в других системах. В частности, обнаружены шесть плейотропных эффектов, ассоциированных с пигментными генами. К ним относятся неврологические дефекты (летальный синдром белых жеребят и лавандовый синдром – *Lavender Foal Syndrome, LES*), нарушения слуха, нарушения зрения (врожденная ночная слепота и множественные врожденные глазные аномалии), а также специфическая для лошади меланома [16].

Плейотропия играет большую роль в генетике человека и медицинской генетике в частности. Как отмечают *Слепцов А.А., Назаренко М.С. (2016)*, большое количество проведенных полногеномных ассоциативных исследований *(GWAS)* указывает на широкое распространение плейотропии. Молекулярные механизмы плейотропии не только помогают объяснить взаимосвязь между заболеваниями, но также позволяют по-новому взглянуть на патогенез конкретных заболеваний, что приводит к улучшению их профилактики, диагностики и лечения. Однако, как отмечают авторы, большинство плейотропных эффектов остаются неопределёнными, в связи с тем, что их функциональная значимость не была систематически оценена. Такое исследование требует больших усилий и уникального подхода, основанного на последовательном анализе нескольких уровней биологических процессов (транскрипция, трансляция). Появление крупных массивов информации в медицине, таких, как *мультиомиксные данные*, лабораторно инструментальная визуализация патологических состояний и ведение электронных баз данных историй болезней предоставляет большие возможности для исследования плейотропии [9].

Мнения и подходы при исследовании плейотропии. В мировой практике, как было уже отмечено, учёные высказывают разные мнения о плейотропном действии генов и строят разные теории о плейотропии. Еще в 1982 году в труде «Антагонистическая плейотропия, доминирование и генетическая вариация» известный канадский учёный *Michael A. Rose* высказал мнение, что, по всей вероятности, специфические закономерности действия генов и, следовательно, обоснованность конкретных генетических моделей может быть затруднительна для экспериментального анализа – по чисто практическим соображениям. Тем не менее, возможности для взаимодействия между теорией и экспериментом в популяционной генетике существуют [29].

Annalise B. Paaby, Matthew V. Rockman (2013) [14] отмечают, что плейотропия может возникать из нескольких различных, но потенциально перекрывающихся механизмов, таких, как: 1) плейотропия гена, 2) плейотропия развития и 3) селекционная плейотропия. Генная плейотропия возникает, когда продукты деятельности гена взаимодействует с несколькими другими белками или катализирует множественные реакции. Развивающая плейотропия возникает в тех случаях, когда мутации оказывают множественное воздействие на полученный фенотип. Селекционная плейотропия возникает тогда, когда полученный фенотип оказывает большое влияние на выживаемость (в зависимости от таких факторов, как возраст и пол).

В научной работе о функциональных компромиссах генов и оценке плейотропии («*Gene Functional Trade-Offs and the Evolution of Pleiotropy*») *Frédéric Guillaume, Sarah P. Otto* (2012) пишут [21], что плейотропия является свойством генов, затрагивающих множество функций или характеристик. Гены сильно различаются по степени плейотропии, но эта вариация часто считается побочным продуктом их эволюции. Гены, которые вносят вклад в две функции, вносят вклад в одну функцию, уменьшая действие на вторую функцию. Также гены становятся плейотропными или специализируются на одной функции в зависимости от характера так называемых «компромиссов». В целом, когда генный продукт может хорошо функционировать при двух функциях, он развивается. Если же плейотропия сильно нарушает его основную

функцию, то она не развивается в последующих поколениях. Следовательно, ослабевающий плейотропный эффект чаще развивается у генов, детерминирующих признак, который в настоящее время наиболее важен. Даже если плейотропия закрепляется и развивается в популяции, то не все гены, как ожидается, становятся равноценно плейотропными. Экспрессия генов способствует плейотропии.

Австралийские учёные *Katrina McGuigan, Locke Rowe, Mark W. Blows* в работе «*Pleiotropy, apparent stabilizing selection and uncovering fitness optima*» (2011) [27] отмечают, что, согласно эволюционной теории, эволюцию отдельных признаков нельзя понять изолированно, когда присутствует плейотропия. Широко распространенная плейотропия вызывает проявление стабилизирующего отбора по признакам.

В отзыве «Об определении и измерении плейотропии» («*On the definition and measurement of pleiotropy*») *Jianzhi Zhang* и *Gunter P. Wagner* (2013) [24] отмечают, что концепция плейотропии, несмотря на 103-летнюю историю, имеет фундаментальную важность в генетике развития, эволюции и медицинской генетике, однако и по сегодняшний день эмпирических знаний о распространённости и механизмах плейотропии недостаточно. Обсуждая некоторые другие теории (в частности, «плейотропию гена», «плейотропию развития» и «селекционную плейотропию» *Annalise B. Paaby and Matthew V. Rockman* [14]), авторы отмечают, что нет необходимости в данных теориях выделять доминантную и рецессивную плейотропию, а плейотропия – это, в целом, не свойство гена, а свойство мутации. Плейотропия летальных и (или) стерильных мутаций не является характеристикой эволюционирующей способности генотипа, поскольку эти мутации никогда не будут конкурировать за реализацию в следующем поколении. Уровни плейотропных эффектов летальных аллелей малы. Дальнейший продуктивный путь – это расширение и улучшение попыток оценки плейотропии эмпирически, в больших масштабах и для многих видов.

Между тем, *Sarah P. Otto* в работе «*Два шага вперед, один шаг назад: плейотропные эффекты предпочтительных аллелей*» (2004) [36] отмечает, что мутантные аллели, которые являются полезными, закрепляются в популяции, а средний селективный эффект мутантных аллелей, которые являются полезными, фиксируется, в том числе, на одну треть плейотропией. Эти результаты помогают сформировать понимание эволюционной инерции, вызванной плейотропией.

В актуальной современной публикации «*Pleiotropy in complex traits: challenges and strategies*» *Nadia Solovieff, Chris Cotsapas, Phil H. Lee, Shaun M. Purcell, Jordan W. Smoller* (2013) [30] делают обзор проблем и стратегий изучения плейотропии. В частности, авторы подчёркивают, что в настоящее время в исследованиях ассоциаций генома выявлено множество вариантов, каждый из которых влияет на комплексные признаки, особенно при аутоиммунных заболеваниях, раковых и нейропсихиатрических заболеваниях человека. Эти результаты дают возможность сделать вывод, что плейотропные эффекты на комплексные черты могут быть широко распространены. Однако систематическое обнаружение таких эффектов является сложной задачей и требует новых методологий и основ для интерпретации результатов. Авторы доказывают наличие плейотропии в современных исследованиях генетического картирования, предлагают новые аналитические подходы к выявлению плейотропных эффектов, выявляют источники ложных кроссфенотипных эффектов, а также дают соображения для будущих направлений исследований плейотропии. Авторы выделяют три разновидности биологической плейотропии: опосредованную плейотропию, ложную (по причине неправильной интерпретации или погрешности вычисления) и ложную «подвижную» плейотропию, когда признаки детерминируются разными генами. При этом, в их понимании, опосредованная плейотропия является реальной формой плейотропии, в отличие от ложной плейотропии, но суть её состоит в том, что она не прямо влияет на признак, с косвенно, т. е. детерминирует какой-либо иной признак, вызывающий развитие основного, анализируемого признака, в отношении которого исследователи подразумевают истинную плейотропию.

В 2011 году *Sandra J. Hasstedt* и *Alun Thomas* с помощью пакета Java Pedigree Analysis Package в множественных локусах количественных признаков выявили не только плейотропные эффекты, но и эпистаз. Так, предполагаемая плейотропия, вызывающая ожирение у человека, детерминирована шестью локусами (на хромосомах 1, 2, 13, 16, 20 и 22) [35].

Существуют вызывающие доверие современные примеры выявления плейотропных эффектов у крупного рогатого скота. Так, результаты работы *Schrooten C.* (2004), опубликованной в монографии в виде тезисов докторской диссертации *"Genomic variation in dairy cattle – Identification and Use»*, показали, что процентное содержание жира и белка в молоке коров кодируют гены, расположенные на 6 хромосоме, однако есть плейотропные гены, отвечающие за эти признаки (на 6 и 14 хромосомах), одновременное увеличение % белка и молочного белка в кг (на 6 хромосоме), одновременное увеличение % жира в молоке и количества молочного белка (на 23 хромосоме) и пр.[37].

Вопросы, связанные с теорией антагонистической плейотропии. Эта теория нуждается в отдельном пояснении. Впервые она была предложена *Williams G.C.* в работе «*Pleiotropy, natural selection, and the evolution of senescence*», которая была опубликована в 1957 году [42]. Данная теория, объясняющая процесс старения, нашла отражение во многих современных трудах по теории плейотропии и экспериментальном анализе данного генетического явления. Согласно *Leroi A.M., Barke A., De Benedictics G., Francecshi C., Gartner A., Feder M.E., Kivisild T., Lee S., Kartal-Ozer N., et al.* (2005), теория антагонистической плейотропии объясняет, почему размножение может иметь негативный эффект на долговечность вида и может даже вызвать смерть, как это происходит у одноплодных организмов. Авторы объясняют плейотропное действие генов на процесс старения через накапливающиеся мутации. Так, мутации, которые вызывают перепроизводство половых гормонов, увеличивают тенденцию к усиленному размножению

и успех при размножении. В связи с этим мутантные формы сохраняются, несмотря, например, на то, что у таких организмов могут возникать заболевания половых органов на поздних этапах онтогенеза. Потому идея решения возможного компромисса в пользу размножения непосредственно вытекает из теории антагонистической плейотропии [28]. Несмотря на то, что конкретные плейотропные гены долгое время не были идентифицированы в силу отсутствия необходимых методов и знаний, впоследствии теория антагонистической плейотропии была подтверждена в экспериментах с использованием мушки дрозофилы (*Drosophila melanogaster*) – классического объекта генетических исследований. В исследованиях на дрозофиле учёным удалось увеличить продолжительность жизни за счёт ограничения размножения до позднего возраста. В подтверждение состоятельности результатов наблюдения, авторы привели тот факт, что среди мух-долгожительниц (с помощью селекции и закреплённых мутаций) наблюдалось ослабленная плодовитость.

Аналогичный эффект был обнаружен и среди круглых червей (*Caenorhabditis elegans*), где был идентифицирован ряд долгоживущих мутантов, которые отличались пониженной плодовитостью и уступали нормальным представителям популяции во время циклов голодания. В целом, данный результат является спорным относительно интерпретации на млекопитающих и крупных животных. На сегодняшний день исчерпывающих данных об антагонистической плейотропии нет.

Профессор университета в штате Мичиган *Roger L. Albin* в журнале «*Genetica*» (1993), отмечает, что теория антагонистической плейотропии является наиболее убедительной теорией для обоснования процесса старения, связанного, в том числе, с накоплением мутаций, а генетические заболевания дают возможность выявить потенциально плейотропные аллели и локусы [33].

Американский профессор из Флориды *Thomas F. Hansen* (2003) в публикации «*Is modularity necessary for evolvability? Remarks on the relationship between pleiotropy and evolvability*» строит теорию о том, что увеличение количества плейотропных генов способствует усилению эволюции, а то обстоятельство, при котором все гены были бы плейотропными, привело бы к максимальной эволюции [42]. Автор подтверждает мнение о том, что плейотропно действующие аллели могут иметь как положительный, и так отрицательный плейотропный эффект на другие признаки. Гены с дифференцированными типами плейотропных эффектов могут компенсировать ограничения друг друга. В отличие от теории «*скрытого плейотропного эффекта*», где положительная и антагонистическая плейотропия исключаются, автор утверждает, что чередующиеся плейотропные эффекты в популяции в целом равны нулю, а наиболее развитой генетической «архитектурой» является та, где гены могут влиять на разные характеристики (признаки), однако различными путями. Универсальная генетическая структура проявляет максимально изменяющиеся плейотропные эффекты. Также автор отмечает, что к плейотропному действию гена может привести любая потенциальная мутация.

Чтобы лучше понять процессы, связанные с плейотропией, *Жданова О.Л. и Фрисман Е.Я. (2014)* [5] разработали и исследовали математическую модель динамики генетической структуры и численности популяции с двумя возрастными классами, в которой выживаемости зигот и половозрелых особей определялись одним плейотропным локусом. Даже при таких ограничениях, когда внешние проявления сложной полигенной системы были сведены к монолокусному случаю, рассматриваемая модель демонстрировала широкий спектр различных эволюционных сценариев изменения динамики популяции. Увеличение репродуктивного потенциала и выживаемости сопровождалось переходом от стационарной динамики численности популяции к колебаниям. Однако эволюционный рост самих этих параметров мог быть немонотонным, со значительными флуктуациями; причем в случае антагонистической плейотропии рост одного из этих параметров, как правило, сопровождался закономерным уменьшением другого, что могло привести даже к стабилизации численности и генетического состава возрастных классов. Авторами было показано, что действие отбора на более поздней стадии жизненного цикла сопровождалось нарушением равенств Харди-Вайнберга, связывающих частоты аллелей и генотипов. Было получено балансовое соотношение, позволяющее сравнивать совокупные приспособленности генотипов, и показано, что отбор идет в сторону вытеснения менее приспособленных генотипов. При этом начальные условия в отдельных случаях могли определять как генетический состав популяции, так и характер динамики её численности.

Обобщения, выводы и предложения по дальнейшим исследованиям. Обобщая результаты анализа встречающихся в настоящее время данных о плейотропии, можно резюмировать и подвести некоторый промежуточный итог для систематизации разновидности этого сложного генетического явления.

Несмотря на многообразие данных и большое количество противоречивых мнений об этом генетическом явлении, в общих чертах плейотропию можно систематизировать по продолжительности действия, по биологической значимости, сложности и направленности действия на признаки (качества, черты), характеристики и какие-либо качества исследуемых объектов, включая растения, простейшие организмы, животных, человека и пр. (см. рис. 3).

Основным противоречием в данном случае можно считать тот факт, относить ли к истинной (генетической) плейотропии косвенную (опосредованную) плейотропию и где находятся пределы так называемой «истинности» и «косвенности» плейотропного действия генов. Скорее всего, отвечая на этот вопрос, следует исходить из того, какое количество генов и аллелей ассоциировано с тем или иным признаком. Вполне возможно, что правомочно называть плейотропию истинной только при анализе качественных признаков, где генетическая составляющая детерминации взаимосвязанных признаков неоднократно доказана эмпирически и подтверждена разными авторитетными научными коллективами. При этом следует

подчеркнуть, что определение истинного плейотропного влияния генов будет затрудняться: 1) с увеличением количества генов и аллелей, детерминирующих интересующий признак, процесс, качество и пр.; 2) при наличии других генетических явлений, по своему действию способных интерпретировать их в качестве плейотропии, в т.ч. при сцепленном наследовании генов; 3) при существенном влиянии средовых факторов на проявление анализируемых признаков и взаимосвязи «генотип-среда; 4) в случае активного возникновения мутаций в процессе жизнедеятельности организма, выращивания, возделывания и эволюции вида; 5) в связи с наличием истинной мультифакторной и косвенной мультифакторной плейотропии; 6) по причине переменности плейотропного действия генов, ощутимой динамике генетической изменчивости и общей мобильности генома; 7) в связи с вирусными заболеваниями, воздействующими на геном.

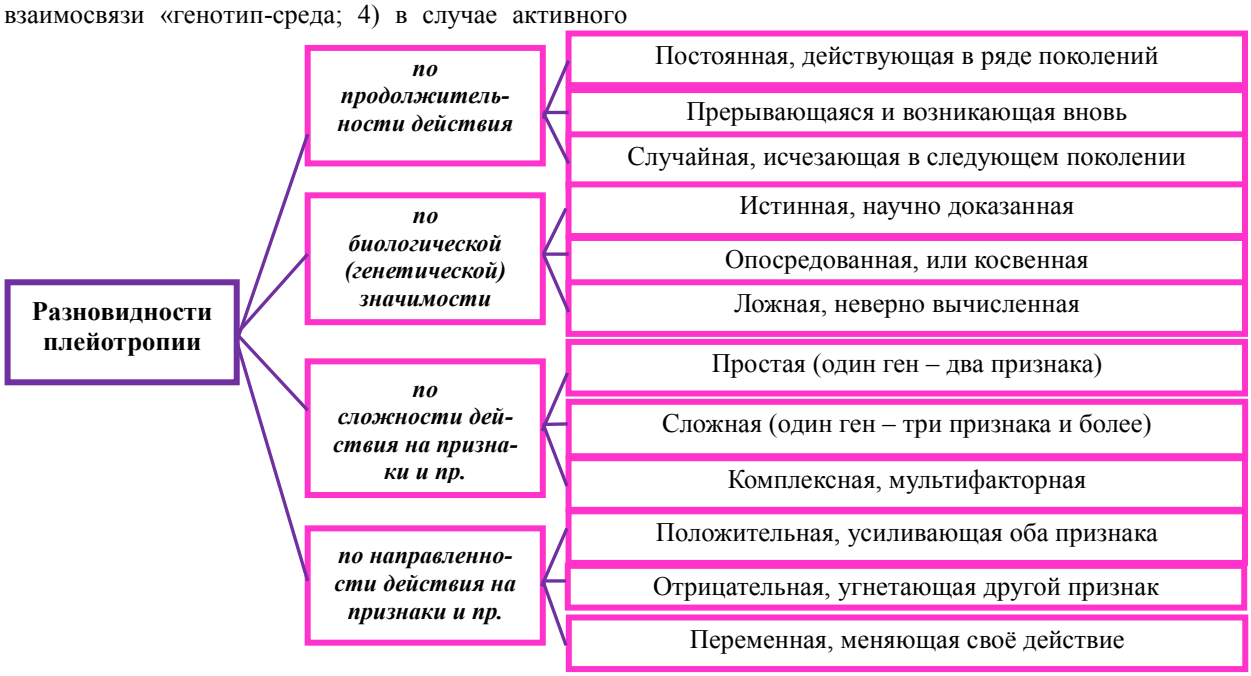


Рис. 3 – Общая систематизация плейотропного действия генов

Особенно сложной задачей является исследование мультифакторной плейотропии, поскольку оно неизбежно должно быть сопряжено с анализом большого массива данных и совершенствования методов научных исследований, включая генетические методы и методы генетико-статистического анализа. Не исключено, что так называемая *«антагонистическая плейотропия»* имеет место не только при детерминации процессов старения у животных и человека, но и при ускорении процессов вырождения сортов. Скорее всего, говоря о плейотропии, ведущей к отрицательным или противоположным последствиям для других или смежных признаков, следует особое внимание обращать на исследование эволюции и процессов видообразования. Плейотропия в своей сущности представляет собой некий способ генома «апробировать» предрасположенность к видоизменению и видообразованию.

Таким образом, изучение плейотропного действия генов является одной из фундаментальных проблем генетики растений, животных и человека, однако в настоящее время данные о плейотропии разрозненны и противоречивы. С одной стороны, плейотропия является «побочным действием эволюции», хотя и усиливает её, с другой стороны – плейотропия может способствовать проявлению естественного стабилизирующего отбора, с третьей – комплексная, мультифакторная плейотропия, скорее всего, является естественным проявлением устройства всего генома и его реакции на внешние факторы воздействия в эволюционном аспекте всего генетического многообразия. Дальнейшие исследования этого явления представляются перспективными как с научной, так и с практической точки зрения.

Литература

1. **Бакай А.В., Кочиш И. И., Скрипниченко Г. Г.** Генетика. – М.: КолосС, 2007. – 448 с.: ил. – (учебник для студентов высших учебных заведений).
2. **Бухаров А.Ф., Степанюк Н.В., Бухарова А.Р.** Корреляции биохимических показателей антиоксидантной активности и хозяйственно ценных признаков тыквы крупноплодной // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. - 2016. - № 21 (26). - С. 9-14.
3. **Глазко В.И., Косовский Г.Ю., Глазко Т.Т.** Доместикация как генетический феномен // Кролиководство и звероводство. - 2018. - № 1. - С. 5-8.

4. **Епишко Т.И., Яцына О.А., Смунева В.К., Яцына В.В.** Плейотропное действие гена каппа-казеина (CSN3) на воспроизводительные качества быков-производителей //Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. - 2010. - Т. 46. №1-2. - С. 21-24.
5. **Жданова О.Л., Фрисман Е.Я.** Моделирование отбора по плейотропному локусу в двухвозрастной популяции // Генетика. - 2014. - Т. 50. № 8. - С. 996.
6. **Костерин О.Э.** При царе горохе (Pisum sativum L.): непростая судьба первого генетического объекта // Вавиловский журнал генетики и селекции. - 2015. - №19(1). - С. 13-26.
7. **Кучер А.Н., Бабушкина Н.П., Буйкин С.В., Пузырев В.П.** Плейотропные эффекты генов предрасположенности к многофакторным заболеваниям // Молекулярная медицина. - 2013. - № 2. - С. 13-23.
8. **Поползухина Н.А., Кротова Л.А.** Проявление признаков у хемомутантов яровой пшеницы и их гибридов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - 2009. - № 17. - С. 59-62.
9. **Слепцов А.А., Назаренко М.С.** Плейотропия при многофакторных заболеваниях и подходы к её оценке // В сборнике: «Молекулярно-биологические технологии в медицинской практике», Новосибирск, 2016. С. 153-165.
10. **Хатт Ф.** Генетика животных (перевод с английского доктора биологических наук Я. Л. Глембоцкого). – М.: «Колос», 1969, 445 с. с илл.
11. **Хедрик Ф.** Генетика популяций (перевод с английского А.А. Лушниковой, Н.В. Петровой). - М.: «Техносфера». – 2003. - 592 с. илл (ISBN 5-94836-007-5) .
12. **Шендакова Т.А., Шендаков А.И., Бахтин Б.Е.** Генетические тенденции в популяциях голштинского скота: мультипликативное взаимодействие генов и элиминация рецессивных аллелей //Биология в сельском хозяйстве. - 2017. - №1 (14). - С.25-32.
13. **Amanda S. Lobell, Rachel R. Kaspari, Yazmin L. Serrano Negron and Susan T. Harbison** The Genetic Architecture of Ovariole Number in *Drosophila melanogaster*: Genes with Major, Quantitative, and Pleiotropic Effects // G3: Genes, Genomes, Genetics July 1, 2017 vol. 7 no. 7 2391-2403; https://doi.org/10.1534/g3.117.042390
14. **Annalise B. Paaby, Matthew V. Rockman** The many faces of pleiotropy //Trends Genet. 2013 Feb; 29(2): 66-73. doi:10.1016/j.tig.2012.10.010
15. **Barton N.H.** Pleiotropic models of quantitative variation //Genetics. 1990; 124, 773-782.
16. **Bellone R.R.** Pleiotropic effects of pigmentation genes in horses //Animal Genetics. - 2010. - vol.11. - P.100-110.
17. **Bilde T., Friberg U., Maklakov A. Fry J., Arnqvist G.** The genetic architecture of fitness in a seed beetle: assessing the potential for indirect genetic benefits of choice. // BMC Evolutionary Biology. 2008; 8:295.
18. **Conner J., Franks R., Stewart C.** Expression of additive genetic variances and covariances for wild radish floral traits: comparison between field and greenhouse environment // Evolution. 2003; 57(3):441-451.
19. **Dal Zotto R., De Marchi M., Dalvit C., Cassandro M.,** Gallo L. Heritability and genetic correlations of body condition score and calving interval with yield, somatic cell score, and linear type traits in Brown Swiss cattle // Journal of Dairy Science. 2007; 90:5737-5743.
20. **Finley A. O., Banerjee S., Waldmann P., Ericsson T.** Hierarchical spatial modeling of additive and dominance genetic variances for large spatial trial datasets // Biometrics. June 2009; 65:441-451.
21. **Frédéric Guillaume, Sarah P. Otto** Gene Functional Trade-Offs and the Evolution of Pleiotropy //Genetics. 2012 December; Vol. 192: 1389-1409.
22. **Gladieux, Pierre; Ropars, Jeanne; Badouin, Hélène; Branca, Antoine; Aguileta, Gabriela; de Vienne, Damien M.; Rodríguez de la Vega, Ricardo C.; Branco, Sara; Giraud, Tatiana** (2014-02-01).Fungal evolutionary genomics provides insight into the mechanisms of adaptive divergence in eukaryotes // Molecular Ecology (2014) vol. 23, pp. 753-773. doi:10.1111/mec.12631.
23. **Jared E. Decker, Daniel A Vasco, Stephanie D McKay, Matthew C McClure, Megan M Rolf, JaeWoo Kim, Sally L Northcutt6, Stewart Bauck, Brent W Woodward, Robert D Schnabel, Jeremy F Taylor.** A novel analytical method, Birth Date Selection Mapping, detects response of the Angus (Bos taurus) genome to selection on complex traits //BMC Genomics. 2012, 13:606. http://www.biomedcentral.com/1471-2164/13/606.
24. **Jianzhi Zhang and Gunter P. Wagner** On the definition and measurement of pleiotropy //Trends in Genetics. July 2013; Vol. 29, No. 7.
25. **Jing Wu, Xiuying Kong, Jianmin Wan, Xueying Liu, Xin Zhang, Xiuping Guo, Ronghua Zhou, Guangyao Zhao, Ruilian Jing, Xiangdong Fu, Jizeng Jia** Dominant and Pleiotropic Effects of a GAI Gene in Wheat Results from a Lack of Interaction between DELLA and GID1 // Plant Physiology, December 2011, Vol. 157, pp. 2120-2130.
26. **Judith Burstin, Pascal Marget, Myriam Huart, Annie Moessner, Brigitte Mangin, Christiane**

Duchene, Bruno Desprez, Nathalie Munier-Jolain, Gérard Duc Developmental Genes Have Pleiotropic Effects on Plant Morphology and Source Capacity, Eventually Impacting on Seed Protein Content and Productivity in Pea // Plant Physiology. - June 2007. - Vol. 144. - pp. 768-781.

27. **Katrina McGuigan, Locke Rowe, Mark W.** Blows Pleiotropy, apparent stabilizing selection and uncovering fitness optima //Trends in Ecology and Evolution, 2011 (January); Vol. 26, No. 1, doi:10.1016/j.tree. 2010.10.008
28. **Leroi A.M., Barke A., De Benedictics G., Francecshi C., Gartner A., Feder M.E., Kivisild T., Lee S., Kartal-Ozer N., et al.** What evidence is there for the existence of individual genes with antagonistic pleiotropic effects? //Mech. Ageing Dev. 2005; 126: 421-429. (https://ru.wikipedia.org)
29. **Michael A.** Rose Antagonistic pleiotropy, dominance, and genetic variation. //The Genetical Society of Great Britain. 1982: 48 (1): 63-78.
30. **Nadia Solovieff, Chris Cotsapas, Phil H. Lee, Shaun M. Purcell, Jordan W. Smoller** Pleiotropy in complex traits: challenges and strategies //Nature Reviews Genetics | AOP, published online 11 June 2013; doi:10.1038/nrg3461.
31. **Pryce J. E., Coffey M. P., Brotherstone S.** The genetic relationship between calving interval, body condition score and linear type and management traits in registered Holsteins // Journal of Dairy Science. 2000; 83:2664-2671.
32. **Richard K Hughes, Neil Desforges, Christopher Selwood, Roger Smith, Charles I Speirs, Georges Sinnaeve, Peter G Gorton, Julian Wiseman, Kornelia Jumel, Stephen E Harding,Sandra E Hill, Val Street, Trevor L Wang and Cliff L Hedley** Genes affecting starch biosynthesis exert pleiotropic effects on the protein content and composition of pea seeds // Journal of the Science of Food and Agriculture. - 2001. - vol.81.- pp. 877-882. DOI: 10.1002/ jsfa.856
33. **Roger L. Albin** Antagonistic pleiotropy, mutation accumulation, and human genetic disease // Genetica. 1993; 91: 279-286.
34. **Sanchez M.P. , Govignon-Gion A., Ferrand M., Gelé M., Pourchet D., Amigues Y., Fritz S., Boussaha M., Capitan A., Rocha D., Miranda G., Martin P.,** Brochard M., Boichard D. Whole-genome scan to detect quantitative trait loci associated with milk protein composition in 3 French dairy cattle breeds // Journal of Dairy Science. Volume 99, Issue 10, October 2016, Pages 8203–8215.
35. **Sandra J. Hasstedt, Alun Thomas** Detecting Pleiotropy and Epistasis Using Variance Components Linkage Analysis in jPAP //Human Heredity. 2011;72: 258-263. DOI: 10.1159/000331690
36. **Sarah P. Otto** Two steps forward, one step back: the pleiotropic effects of favoured alleles //The Royal Society. 2004; 2:705-805.
37. **Schrooten C.** Genomic variation in dairy cattle – Identification and Use. Doctoral thesis (ISBN 90-8504-009-4). 2004; 69-91 (168 p.).
38. **Scott L. Nuismer, Michael Doebeli.** Genetic correlation and the coevolutionary dynamics of three-species systems //Evolution. 2004; 58(6):1165-1177.
39. **Serena Mazza, Nadia Guzzo, Cristina Sartori, Roberto Mantovani** Genetic correlations between type and test-day milk yield in small dual-purpose cattle populations: The Aosta Red Pied breed as a case study //Journal of Dairy Science. Volume 99, Issue 10, October 2016, Pages 8127-8136.
40. **Shendakov A. I.** Improvement system of biological factors management in the breeding of farm animals //Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2012; 12:3-18.
41. **Shendakova T.A., Shendakov A.I., Bakhtin B.E.** General and specific questions assessing the genetic determination and pleiotropic effects of genes in populations of dairy cattle //Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2017. T. 63; 3:176-187.
42. **Thomas F.** Hansen Is modularity necessary for evolvability? Remarks on the relationship between pleiotropy and evolvability. //BioSystems. 2003: 69; 83-94.
43. **Williams G.C.** Pleiotropy, natural selection, and the evolution of senescence //Evolution. 1957; 11: 398-411. (https://ru.wikipedia.org)
44. **https://ru.wikipedia**.org/wiki/Плейотропия Дата обращения 22.07.2018 г.

Поступила в редакцию: 20 июля 2018 г.

Шендаков Андрей Игоревич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина», aish78@yandex.ru, тел. 8-953-816-78-84,
Shendakov Andrey Igorevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor FSBEE HE "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin", aish78@yandex.ru, tel. 8-953-816-78-84.

УДК 574.24:575.224.46.044

Крюков В.И., доктор биологических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет
им. Н.В. Парахина», Россия, г. Орёл
тел. 8 (4862) 47 51 71, e-mail: iniic@mail.ru
V.I. Kryukov, doctor of biological sciences, professor
Orel state agrarian university, Russia, Orel

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КАДМИЯ НА ИНДУКЦИЮ ЯДЕРНЫХ АНОМАЛИЙ В ЭРИТРОЦИТАХ КАРПОВ

(Effect of cadmium ions on induction of nuclear anomalies in carp erythrocytes)

Изучали частоту возникновения микроядер и других аномалий ядра в эритроцитах карпов после 24-часового воздействия ионов кадмия в концентрации 0 (контроль), 0,0005, 0,001, 0,002, 0,004, 0,005 и 0,008 мг/л. Частоты эритроцитов с микроядрами (в %) составили 0,47 (в контроле), 0,50, 0,51, 0,51, 0,55, 0,63, 0,54, соответственно. Статистически достоверные различия с контрольной величиной установлены при воздействии концентрации 0,005 мг/л (0,63%). Суммарные частоты ядерных аномалий в эритроцитах (микроядра, пузырящиеся, лопастные, зазубренные ядра, двуядерные и амитотически делящиеся клетки) составили 0,75% (в контроле) и 0,80, 0,82, 0,90, 1,02, 1,19, 0,89% в опытных вариантах, соответственно. Статистически достоверные различия от контрольной величины установлены при воздействии концентраций 0,004 и 0,005 мг/л (1,02 и 1,19%), соответственно. Рассмотрены возможные механизмы указанной динамики частот аномалий.

Ключевые слова: рыба, кадмий, мутагенность, микроядра, ядерные аномалии.

The frequency of micronuclei and other nucleus abnormalities in carp erythrocytes after 24 hours of cadmium ions exposure at a concentration of 0 (control), 0.0005, 0.001, 0.002, 0.004, 0.005, and 0.008 mg/l has been studied. The frequencies of erythrocytes with micronuclei were equal to 0.47 (in control), 0.50, 0.51, 0.51, 0.55, 0.63, 0.54%, respectively. The cadmium ions exposure with the concentration of Cd^{+2} 0.005 mg/l caused a statistically significant increase in the frequency of micronuclei (0.63%) in comparison with the control. The total frequencies of all nuclear anomalies in erythrocytes (i.e. micronuclei, blebbed, lobed, notched nuclei, binuclear and amitotically dividing cells) were equal to 0.75% (in control) and 0.80, 0.82, 0.90, 1.02, 1.19, 0.89% in the experimental variants, respectively. When fish exposed to cadmium ions concentration of 0.004 and 0.005 mg/l the statistically significant differences of the total frequencies of the anomalies from the control value were established

Key words: fish, cadmium, mutagenicity, micronuclei, nuclear anomalies.

Введение. Последнее 25 лет характеризуются в природоохранной биологии повышенным вниманием к проблемам, связанным с загрязнением водных экосистем тяжёлыми металлами. Реки и озера стали подвергаться сильному загрязнению тяжёлыми металлами из-за поступления в них всё возрастающих объёмов промышленных, сельскохозяйственных и бытовых стоков. В некоторых регионах из-за загрязнения воды резко снижается численность популяций гидробионтов, сокращается их биоразнообразие. Но даже при низких концентрациях некоторые тяжёлые металлы (в их числе и кадмий) способны накапливаться в организмах, проявляя специфическую локализацию в определённых органах.

Если токсические эффекты солей тяжёлых металлов изучают на протяжении двух столетий, то история исследований генетических механизмов воздействия солей тяжёлых металлов на организмы вчетверо короче. Современные исследования мутагенности тяжёлых металлов ведутся на молекулярно-генетическом уровне и с каждым годом появляется всё больше сведений о их роли в нарушении самой структуры ДНК, влиянии на репарационные процессы и активацию (и инактивацию) определённых генов. Вместе с тем остаются не исследованными генетические последствия воздействия тяжёлых металлов на наследственность многих таксономических групп животных, не изучены отдалённые генетические последствия хронического воздействия повышенных концентраций тяжёлых металлов в окружающей среде. В последнее десятилетием у многих тяжёлых металлов (хром, никель, свинец, медь, ртуть, кадмий, органические соединения олова) обнаружены эпимутагенные свойства, т.е. способность воздействовать на эпигеном путём изменений метилирования ДНК и модификации гистоновых белков, влияющие на структуру хроматина и микроРНК. По указанным причинам анализ генетических и эпигенетических эффектов острого и хронического воздействий тяжёлых металлов на живые организмы является очень актуальным [12].

Одним из тяжёлых металлов, загрязняющих окружающую среду, является кадмий. Высокая токсичность кадмия изучена достаточно подробно, но его мутагенные свойства исследованы ещё недостаточно. К настоящему времени опубликован ряд работ, ставящих целью анализ генетических эффектов кадмия, но этих сведений явно недостаточно. По этой причине необходимо дальнейшее изучение мутагенности различных соединений кадмия для организмов разного эволюционного уровня.

В данной статье представлены результаты анализа влияния суточного воздействия ионов кадмия в концентрациях от 0,0005 до 0,008 мг/л на индукцию микроядер и других ядерных аномалий у годовиков карпа.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования служили годовалые карпы (*Cyprinus carpio*), массой 17-24 г., приобретённые в рыбхозе Орловской области. В лаборатории рыб для их адаптации помещали по 50 экз. в 150-литровые аквариумы, заполненные чистой, отстоянной в течение 2 суток водопроводной водой. Воду в аквариумах принудительно аэрировали и фильтровали. Температуру на уровне 22°С и световой режим (10 часов освещения люминесцентными лампами и 14 часов темноты) поддерживали автоматически. Во время адаптации и после выполнения экспериментального воздействия рыб кормили 1 раз в сутки коммерческим комбикормом для карповых рыб. После адаптационного периода, продолжительностью не менее 3 суток, рыбу использовали для проведения экспериментов, после выполнения которых готовили мазки крови для исследования частот микроядер в эритроцитах подопытных животных.

Рыб подвергали 24 часовому воздействию ионов кадмия различной концентрации. Для исследования использовали соль – кадмий азотнокислый 4-водный ($Cd(NO_3)_2 \times 4H_2O$) квалификации «химически чистый». Расчёт концентраций соли выполняли по действующему веществу – Cd^{+2}. В качестве отправной точки была принята ПДК кадмия в питьевой воде – 1 мкг/л (=0,001 мг/л). Весь ряд исследованных концентраций показан в таблице 1:

Таблица 1 – Исследованные концентрации ионов кадмия Cd^{+2}

Номер варианта опыта	0 (К)*	1	2	3	4	5	6
Концентрация Cd^{+2} в ПДК	0	0,5	1	2	4	5	8
Концентрация Cd^{+2} в мг/л	0	0,0005	0,001	0,002	0,004	0,005	0,008

* – К* – контроль, интактные животные.

Для анализа мутагенности кадмия использовали 25-литровые пластмассовые аквариумы, заполненные растворами нитрата кадмия исследуемых концентраций. Рыб выдерживали в экспериментальных растворах соли кадмия в течение 24 часов. Затем пересаживали в аквариумы с чистой водой, где рыбу содержали следующие 24 часа (для реализации индуцированных аномалий). По истечении указанного времени готовили мазки крови. Действие каждой концентрации проводили в двух независимых повторностях (в двух разных экспериментальных ёмкостях).

Кровь для мазков отбирали из хвостовой вены рыб с помощью одноразового шприца с небольшим количеством (≈0,1 мл) гепарина в физиологическом растворе. Каплю взятой крови выдавливали из шприца на чистое предметное стекло и делали мазок в соответствии с рекомендациями [6]. Мазок высушивали на воздухе в течение 18-36 часов, фиксировали 25-30 минут в 96%-ном этаноле и окрашивали 5%-ным раствором азур-эозина (по Романовскому) на фосфатном буфере при температуре 37 °С. Интенсивность окраски периодически контролировали визуально при малом увеличении микроскопа. При достижении оптимальной интенсивности окраски клеточных ядер краситель сливали, препараты промывали струёй водопроводной воды, затем ополаскивали тремя сменами дистиллированной воды и высушивали. Препараты просматривали под микроскопом марки "AxioImager A1" (Karl Zeiss) с цифровой цветной фотокамерой "ProgRes CFscan" в составе комплекса аппаратно-программной визуализации морфологических препаратов для анализа и регистрации показателей «ВидеоТесТ-Морфология» (Санкт-Петербург, «ВидеоТесТ»).

Микроскопический анализ клеток выполняли в соответствии со следующими принципами. Для анализа выбирали такие участки мазка, на которых эритроциты располагались без наложения друг на друга. Микроядрами считали хроматиновые образования, удовлетворяющие следующим условиям: 1) размер микроядра не должен превышать 1/5 размера ядра этого эритроцита; 2) микроядра должны быть четко отделены от основного ядра; 3) микроядро должно находиться в той же плоскости, что и основное ядро, и его оптическая плотность не должна существенно отличаться от оптической плотности основного ядерного материала.

Микроядра, размер которых приближался бы к 1/5 размера ядра, практически не встречались. Обычно размер обнаруживаемых микроядер не превышал 1/10 размера клеточного ядра.

Помимо микроядер при анализе фиксировали клетки с нарушенной морфологией ядер. Среди аномалий клеточных ядер выделяли следующие [9, 21]:

– пузырящиеся (blebbed) ядра (BL), имеющие одно или, чаще, несколько небольших выпячиваний ядерной оболочки, содержащих хроматин.

– лопастные (lobed) ядра (LB) с выпячиваниями большого размера, которые в свою очередь могли нести одно или несколько выпячиваний («лепестков») меньшего размера.

– зазубренные (notched) ядра (NT), у которых ядерная оболочка имела остроконечную «вмятину»,

– двуядерные клетки (binuclei) (BN), имеющие два ядра, приблизительно равных размеров и интенсивности окрашивания, находящиеся в пределах цитоплазмы одной клетки, расположенной обособленно от других эритроцитов.

– ядра в стадии амитотического деления (AM), морфология которых четко указывала на протекающий процесс амитотического деления. Такие ядра обычно имеют гантелеобразную форму.

В каждой из двух повторностей эксперимента анализировали по 3 случайно отобранных рыбы из 4 подвергшихся воздействию исследуемого фактора. В мазке крови каждой рыбы просматривали не менее 3000 эритроцитов. Таким образом, частоту аномалий в каждом варианте опыта рассчитывали после анализа не менее 18000 клеток.

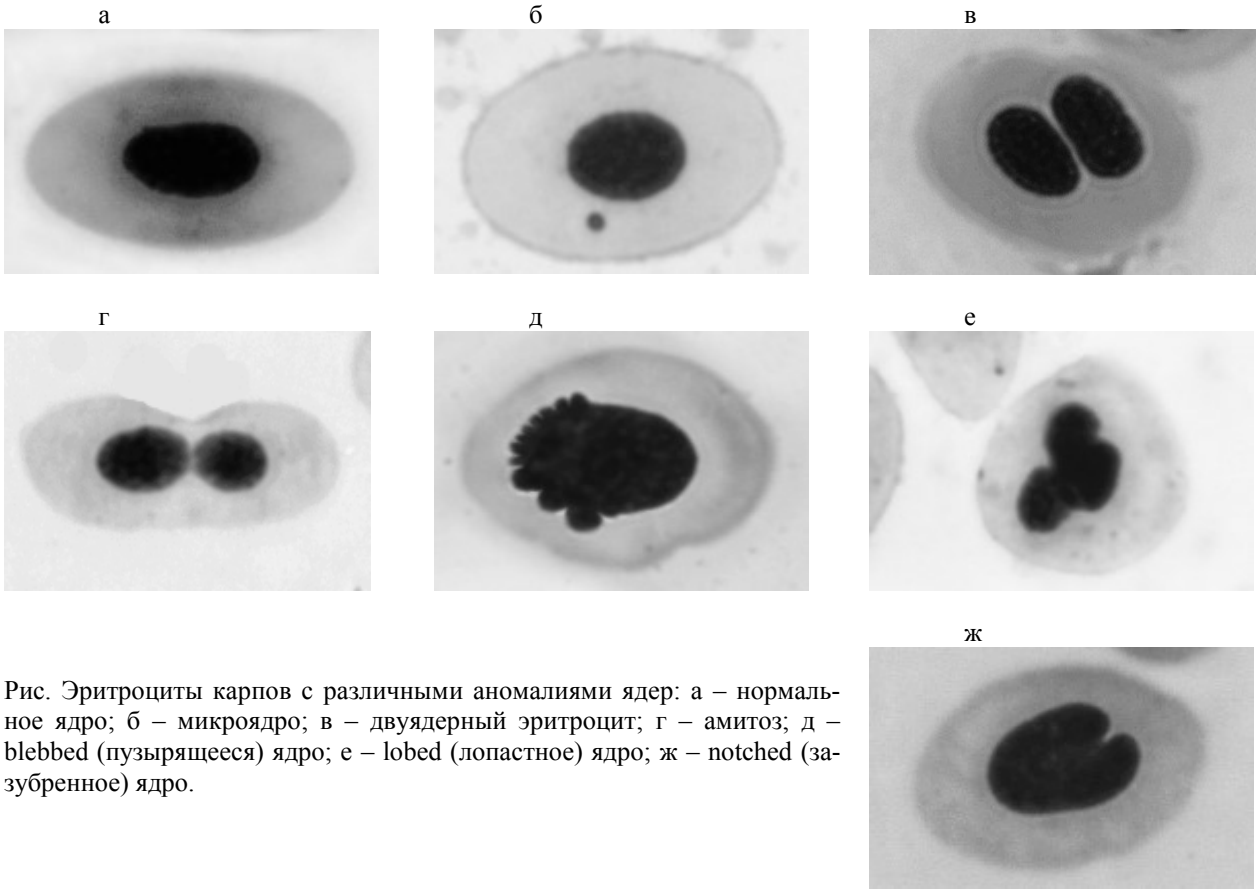


Рис. Эритроциты карпов с различными аномалиями ядер: а – нормальное ядро; б – микроядро; в – двуядерный эритроцит; г – амитоз; д – blebbed (пузырящееся) ядро; е – lobed (лопастное) ядро; ж – notched (зазубренное) ядро.

Статистическую значимость различий в частотах нарушений между контролем и различными вариантами опыта определяли после φ-преобразования частот аномалий [8, с. 166-169]. Все расчёты были реализованы с использованием электронных таблиц MS Excel.

Результаты и обсуждение

Подробное описание мелких хроматиновых телец, обнаруживаемых в эритроцитах крови, было сделано американским физиологом W.H. Howell [20] и французским гистологом J.M.J Jolly [22]. Поэтому гематологи называют их тельцами Жолли или тельцами Хауэлла-Жолли [30]. В генетике эти образования называют микроядрми. Цитогенетический механизм их образования в клетках подробно рассмотрен в ряде источников [например, 4, 26.]. Стимулом для использования микроядер в исследованиях мутагенеза стала публикация [29]. Изначально микроядерный тест был разработан для изучения мутагенных факторов на млекопитающих. У рыб формирование различных морфологических аномалий ядра в эритроцитах впервые было описано Карраско с сотрудниками [15]. В настоящее время этот тест с успехом используется для генетического тестирования мутагенных факторов с использованием самых различных животных: рыб [10, 13], амфибий [24], пресмыкающихся [2], птиц [5], млекопитающих и человека [7, 11]. Интерес к методу микроядерного тестирования не ослабевает, и в научной периодике систематически появляются обзоры, освещающие новые методические варианты этого анализа [4, 19].

Результаты микроскопического анализа мазков крови карпов после 24-часового воздействия на них различных концентраций кадмия приведены в таблице 2. Результаты статистического анализа этих данных представлены в таблице 3.

Частота эритроцитов с микроядрами у карпов при повышении концентрации кадмия от 0 до 0,005 мг/л воды постепенно возрастала от 0,47 до 0,63%, но при ещё большем повышении концентрации (до 0,008 мг/л) снижалась до 0,54%. Частота микроядер у рыб, подвергнутых в течение 24 часов воздействию кадмия в концентрации 0,005 мг/л (0,63%), статистически значимо отличалась от контрольной частоты микроядер. При возрастании концентрации до 0,008 мг/л частота микроядер снижалась, и различия в частотах вновь становились статистически не значимыми. Одной из возможных причин этого снижения частот нарушений может быть сильная интоксикация рыб и ингибирование важнейших биохимических процессов, обусловливающих деление клеток.

В этой работе приведены усреднённые частоты микроядер в каждой из проанализированных выборок, состоящих из 6 рыб, у каждой из которых анализировали около 3000 эритроцитов. При проведении микроскопического анализа мы обнаружили интересную особенность, состоящую в том, что частота формирования микроядер в эритроцитах рыб, составляющих одну экспериментальную выборку (и, следовательно, подвергнутых действию ионов кадмия одинаковой концентрации) имели существенно различные часто-

ты микроядер. Обнаруженный факт позволил нам предположить, что генотип отдельных рыб может сильно влиять на частоту возникновения или интенсивность репарации мутаций, индуцируемых у них ионами кадмия. Позже, уже при подготовке данной статьи, мы обнаружили публикацию об исследования полиморфизма чувствительности цитогенетического аппарата лимфоцитов крови у людей [3], с результатами которой наше предположение полностью согласуется.

Таблица 2 – Сводная таблица результатов микроскопического анализа эритроцитов карпов после их суточного пребывания в воде, содержащей кадмий в различных концентрациях

Концентрация Cd^{+2}, мг/л	Всего изучено клеток	В том числе клеток						
		нормальных	с микроядрами	двуядерных	в стадии амитоза	пузырящиеся (blebbed)	лопастные (lobed)	зазубренные (notched)
Контроль	19813	19664	94	16	12	1	4	22
0,0005	18915	18763	95	13	10	4	9	21
0,001	19336	19178	98	11	17	5	3	24
0,002	18487	18321	95	18	17	5	11	20
0,004	19137	18941	105	24	20	4	6	37
0,005	18981	18756	119	22	24	6	12	42
0,008	19045	18875	103	14	19	6	12	16

Таблица 3 – Частоты аномалий ядер (%) в эритроцитах карпов после суточного воздействия ионов кадмия в различных концентрациях

Концентрация Cd^{+2}, мг/л	Всего изучено клеток	Всего аномальных клеток	В числе аномальных клеток					
			с микроядрами	двуядерных	в стадии амитоза	пузырящиеся (blebbed)	лопастные (lobed)	зазубренные (notched)
Контроль	19813	0,75±0,02	0,47±0,10	0,08±0,01	0,06±0,01	0,005±0,001	0,02±0,02	0,11±0,05
0,0005	18915	0,80±0,02	0,50±0,10	0,07±0,01	0,05±0,01	0,021±0,002	0,05±0,03	0,11±0,05
0,001	19336	0,82±0,02	0,51±0,10	0,06±0,01	0,09±0,01	0,026±0,002	0,02±0,02	0,12±0,05
0,002	18487	0,90±0,02	0,51±0,10	0,10±0,01	0,09±0,01	0,027±0,002	**0,06±0,04***	0,11±0,06
0,004	19137	**1,02±0,02****	0,55±0,10	0,13±0,01	0,10±0,01	0,021±0,002	0,03±0,02	**0,19±0,05***
0,005	18981	**1,19±0,02*****	**0,63±0,11***	0,12±0,01	**0,13±0,01***	**0,032±0,003***	**0,06±0,04***	**0,22±0,07***
0,008	19045	0,89±0,02	0,54±0,10	0,07±0,01	0,10±0,01	**0,032±0,003***	**0,06±0,04***	0,08±0,04

Звездочками отмечены величины, статистически значимо отличающиеся от контрольных:
* – при P<0,05, ** – при P<0,01, *** – при P<0,001

Помимо микроядер в генотоксических исследованиях на рыбах обычно анализируют возникновение и других ядерных аномалий. Механизмы возникновения ядерных нарушений, сопутствующих микроядрам, пока не объяснены полностью. Тем не менее, эти аномалии считают показателями генотоксического повреждения клеток и, следовательно, они могут дополнять микроядерный тест при изучении мутагенности веществ [14, 31]. Ниже проанализированы частоты этих аномалий.

Частота **двуядерных клеток** с повышением концентрации от нуля (в контроле) до 0,004 мг/л возрастала с 0,08% до 0,13%, а затем, при концентрациях 0,005 и 0,008 мг/л снижалась до 0,12% и 0,07% соответственно. Во всех вариантах опыта обнаруженные различия в частотах были статистически незначимыми при сравнении с частотой в контроле.

В отличие от полученных нами результатов, в ранее проведённом исследовании [16] было обнаружено существенное увеличение частоты двуядерных клеток в крови и различных тканях у рыб (*Cyprinus carpio*, *Carassius gibelio и Corydoras paleatus*), обработанных раствором соли кадмия в сублетальных концентрациях 0,005-0,1 мг/л. Возможной причиной расхождения результатов может быть то, что в нашем исследовании были исследованы экологически значимые и существенно более низкие концентрации кадмия.

В контрольной выборке **частота амитотически делящихся клеток** составила 0,06%. Почти такой же частота амитозов осталась при воздействии на карпов кадмия в концентрации 0,0005 мг/л. Дальнейшее увеличение концентрации кадмия в воде приводил к постепенному росту частот амитозов до 0,09, 0,010 и 0,13% (при концентрациях 0,001 и 0,002, 0,004 и 0,005 мг/л соответственно). Увеличение концентрации ионов кадмия до максимальной исследованной концентрации 0,008 мг/л вызвало некоторое снижение частоты амитозов

При воздействии на рыб кадмия **частоты клеток с пузырящимися ядрами** сразу возрастают вчетверо, но при концентрациях 0,0005-0,004 мг/л ещё остаются статистически незначимыми. Суточное пребывание карпов в воде с ионами кадмия в концентрациях 0,005 и 0,008 мг/л вызывало более чем 6-кратное увеличение частоты рассматриваемых аномалий, и эти различия были уже статистически значимыми.

Влияние возрастающих концентраций ионов кадмия на индукцию **клеток с лопастными ядрами** оказалось неоднозначным. При минимальной исследованной концентрации кадмия наблюдали увеличение частоты лопастных ядер в 2,5 раза. Однако у карпов, подвергнутых двукратно увеличенной концентрации ионов кадмия (0,001 мг/л), зафиксировано падение частоты рассматриваемых аномалий до контрольной величины (0,02%). Дальнейшее повышение концентрации кадмия до 0,002 мг/л вызвало новое, уже трёхкратное увеличение частоты аномалий. Вместе с тем, у карпов, проведших 24 часа в воде, содержащей следующую по величине концентрацию (0,004 мг/л) кадмия, частота аномалий оказалась вдвое меньшей и достигла величины лишь 0,03%. Наконец,

карпы, подвергшиеся действию ионов кадмия в максимальных концентрациях 0,005 и 0,008 мг/л вновь показали повышение частоты лопастных ядер до 0,06%. Объяснить наблюдаемое изменение частот пока не представляется возможным. Можно предположить, что отсутствие закономерного изменения частоты рассматриваемого типа нарушений с увеличением концентрации кадмия в среде обитания карпов может быть обусловлено либо отсутствием прямой связи механизмов, вызывающих образование ядерных «лопастей» с концентрацией кадмия, либо является следствием случайных изменений числа ядер с данными аномалиями.

Частоты эритроцитов с зазубренными ядрами оставались почти неизменными при воздействии на карпов ионов кадмия первых трёх концентраций (0,0005, 0,001 и 0,002 мг/л). Затем, при увеличении концентрации (до 0,004 и 0,005 мг/л) их частота резко возрастала до 0,19 и 0,22%, соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации до 0,008 мг/л приводило к снижению частоты «зазубренных» ядер до частоты, даже меньшей (0,08%), чем в контрольной выборке. Можно предположить наличие в клетках компенсаторных реакций, нейтрализующих вредное действие низких концентраций кадмия. При более высоких концентрациях эти механизмы не способны предотвратить повреждающее действие ионов металла. При максимальной же концентрации кадмия интоксикация клетки, вероятно, достигает такой степени, что ядерные процессы, ведущие к образованию «зазубренных» ядер просто прекращаются. Снижение частоты ядерных аномалий в наблюдаемых случаях происходило, по-видимому, из-за ингибирования ионами кадмия внутриклеточных и внутриядерных процессов. Цитотоксический эффект ионов кадмия был установлен в экспериментах с использованием высокопроизводительного скрининга (анализ γH2AX) в двух клеточных линиях человека (HepG2 и LS-174T), представляющих органы-мишени (печень и толстая кишка) [23].

Определённый интерес представляет анализ **суммарных частот** всех ядерных нарушений, обнаруженных в эритроцитах карпов, подвергнутых суточному воздействию ионов кадмия в разных концентрациях. Частота таких нарушений в контрольной выборке рыб составила 0,75%. Увеличение концентрации ионов кадмия с 0,0005 до 0,005 мг/л привело к повышению суммарных частот аномалий с 0,80 до 1,19%. При этом частоты аномалий, возникающих при концентрациях ионов 0,004 и 0,005 мг/л (равные 1,02 и 1,19%, соответственно), статистически достоверно отличались от суммарной частоты ядерных аномалий в контрольной выборке рыб. При максимальной исследованной концентрации ионов кадмия (0,008 мг/л) суммарная частота всех ядерных аномалий снижалась до 0,89%. Химические свойства кадмия подобны таковым у цинка. Поэтому кадмий способен замещать цинк в активных центрах металлсодержащих ферментов и вызывать сильные нарушения ферментативных процессов. Возможно, обнаруженное снижение суммарных частот ядерных аномалий при максимальной исследованной концентрации кадмия происходило из-за интоксикации рыбы и нарушения важных метаболических процессов в их организме.

Механизм действия кадмия обусловлен его включением в различные звенья биохимических процессов. Кадмий способен разрывать связи между нуклеотидами в ДНК, разрушать сшивки ДНК с белком, ингибировать процессы репарации ДНК, вызывать окислительное повреждение ДНК, индуцировать хромосомные аберрации, нарушать регуляцию экспрессии генов. Кадмий способен ингибировать активность ряда ферментов, что может снижать активность иммунной системы и общую резистентность рыб к патогенным и стрессирующим факторам. Это может вести к повышению заболеваемости рыб в хозяйствах индустриального рыбоводства и наносить им экономический ущерб.

Из обнаруженных нами публикаций первой, в которой мутагенность кадмия для рыб (тиляпий) подтверждалась с использованием микроядерного теста, была работа [1]. В другом эксперименте пребывание нильских тиляпий (*Oreochromis niloticus*) в течение 2, 4, 6 и 10 суток в воде, содержащей ионы кадмия концентрациях 0,5 и 1,0 мг/л приводило к значительному увеличению частоты микроядер и других ядерных нарушений [25]. Более поздние эксперименты показали, что действие на тиляпий (*Oreochromis niloticus*) ионов кадмия в концентрации 4,63 мг/л в течение 24, 48, 72 и 96 часов вызывает статистически достоверное увеличение частоты микроядер и других ядерных аномалий в эритроцитах периферической крови [9]. В наших экспериментах 24 часовое воздействие ионов кадмия вызвало статистически достоверное повышение частоты микроядер при значительно более низких концентрациях. У других видов рыб воздействие кадмия также вызывает генетические нарушения. Индукция кадмием большого числа микроядер в различных тканях была обнаружена у форели (*Salmo trutta*) и гольяна обыкновенного (*Phoxinus phoxinus*) [27], а также у тиляпии мозамбикской (*Oreochromis mossambicus*) [17]. Внутрибрюшинное воздействие 0,05%-ного раствора хлорида кадмия барбусам лещевидным (*Puntius altus*) на 24, 48, 72 и 96 часов в дозе 1 мл/100 г приводило к изменению частоты микроядер в эритроцитах до 0,023, 0,043, 0,027, 0,013% соответственно при контрольной частоте, равной 0,003% [21]. Внутрибрюшинная инъекция угрям (*Anguilla anguilla* L.) хлорида кадмия в дозе 1,7 мг ионов металла на килограмм массы тела вызвала через 24 часа увеличение частоты микроядер в эритроцитах до 5,56‰ при 2,29‰ в контроле [28].

Помимо острой генотоксичности кадмия при краткосрочном воздействии интерес представляют результаты хронического влияния кадмия на организмы. В подобном исследовании было показано, что воздействие ионов кадмия на гамбузию в течение 1 недели в концентрациях 0,1-1,0 ppm статистически достоверно увеличивало частоту клеток с микроядрами до 0,6 и 0,8‰ при 0,2‰ в контроле [18].

В заключение следует подчеркнуть, что кадмий, являющийся одним из тяжёлых металлов, может накапливаться в объектах окружающей среды и в живых организмах. Попадая в организмы, кадмий может оказывать токсическое воздействие на биохимические

процессы, модифицируя активность ряда ферментов, играющих важную роль в метаболизме. Образуя комплексы с ДНК, кадмий может нарушать успешность репарационных процессов, а также изменять активность некоторых генов. Эти свойства кадмия обусловливают его мутагенные и канцерогенные свойства. Однако указанные механизмы ещё недостаточно ясны и для получения возможности управления ими и профилактики негативных последствий необходимы дальнейшие исследования.

Выводы

1. Суточное пребывание карпов в воде, содержащей ионы кадмия (0,0005, 0,001, 0,002, 0,004, 0,005 и 0,008 мг/л), приводит к увеличению частот микроядер в эритроцитах карпа. Статистически значимые отличия от контрольной частоты наблюдали только в одном варианте опыта – 0,005 мг/л. Повышение концентрации кадмия до 0,008 мг/л снижало частоту образования микроядер до величины, не имеющей статистически значимых отличий от контрольной. Предположительно это происходило из-за интоксикации клеток и ингибирования клеточных делений в процессе которых и происходит образование микроядер.

2. Суточное пребывание карпов в воде, содержащей ионы кадмия в концентрациях 0,004, и 0,005 мг/л, приводит к статистически значимому увеличению суммарных частот всех ядерных нарушений (т.е. микроядер, двуядерных клеток, амитотически делящихся клеток, клеток с пузырящимися, лопастными и зазубренными ядрами) в эритроцитах карпа.

Литература

1. **Гришанин А.К. и др.** Изучение мутагенного действия дихлорофоса, кадмия и нафталина на эритроциты тиляпий (*Oreochromis mossambicus*, Peters) при помощи метода учёта микроядер / Гришанин А.К., Степанова В.А., Павлов Д.Ф. //Генетика. 1993. Т. 29, № 7. –С. 1213-1217.
2. **Дробот Г.П., Ремизова О.С.** Использование гематологических показателей *Lacerta agilis* L. для оценки антропогенно нарушенных территорий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 1 (8). – С. 1887-1890.
3. **Ильинских Н.Н. и др.** Генетический полиморфизм чувствительности цитогенетического аппарата лимфоцитов крови у жителей Республики Алтай к мутагенному действию кадмия в окружающей среде / Ильинских Н.Н., Кравцов В.Ю., Ильинских И.Н., Ильинских Е.Н., Юркин А.Ю., Романова М.С. // Бюллетень сибирской медицины, 2011. № 3, –7 с. http://www.international.ssmu.ru/ bull/11/03/08.pdf (Дата обращения: 10-02-2019).
4. **Ковалева О.А. и др.** Нехромосомный цитогенетический анализ соматических клеток млекопитающих / О. А. Ковалева, Н. А. Безденежных, Ю. И. Кудрявей // Biopolymers and Cell. .2013. V. 29. № 1. –P. 33-41.
5. **Косякова Г.П.** Кариотипическая нестабильность эритроцитов мясных, яичных и мясояичных пород кур. //Сборн. тезисов Всеросс. конфер. «50 лет ВОГиС: успехи и перспективы», Москва, 8-10 ноября 2016. – М.: 2016. - 349 с. – С. 194.
6. **Методические указания** по проведению гематологического обследования рыб. – М.: МСХ РФ, Департамент ветеринарии, 1999. № 13-4-2-/1487 от 02.02.1999. http://gov.cap.ru/home/65/aris/bd/vetzac/document/437.html
7. **Нечаева М.С.** Аномалии ядра в клетках буккального эпителия спортсменов-единоборцев с разным уровнем агрессивности, опосредованном генами серотонинергической системы /Дис. канд биол. наук. Специальность 03.03.04 – Клеточная биология, цитология, гистология. – Воронеж. 2016. – 183 с.
8. **Урбах В.Ю.** Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. –М.: Медицина, 1975. - 295 с.
9. **Abu Bakar S.N.N. et al.** Genotoxic effect of zinc and cadmium following single and binary mixture exposures in tilapia (*Oreochromis niloticus*) using micronucleus test / S.N.N. Abu Bakar, A. Ashriya, A.S. Shuib and S.A. Razak // Sains Malaysiana. 2014. V. 43. № 7. –P. 1053-1059.
10. **Al-Sabti K., Metcalfe C.D.** Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water // Mutation Research, 1995. V. 343. – P. 121-135.
11. **Araldi R.P. et al., 2015.** Using the comet and micronucleus assays for genotoxicity studies: A review. / Rodrigo Pinheiro Araldi, Thatiana Correa de Melo, Thais Biude Mendes, Paulo Luiz de Sa Junior // Biomedicine & Pharmacotherapy. 2015. V. 72. – P. 74-82.
12. **Arita A., Costa M.** Epigenetics in metal carcinogenesis: nickel, arsenic, chromium and cadmium // Metallomics. 2009. V 1. – P. 222-228.
13. **Arslan O.Ç., Parlak H.** Micronucleus test good biomarker for determination of genetic changes in aquatic organis // Journal of Aquatic Pollution and Toxicology. 2017. V. 1. № 3. – P.18-23.
14. **Bolognesi C. et al.** Assessment of micronuclei induction in peripheral erythrocytes of fish exposed to xenobiotics under controlled conditions. / Bolognesi C., Perrone E., Roggieri P., Pampanin D., Sciutto A. // Aquat Toxicol. 2006. V.78. Suppl 1. – P.93-98.
15. **Carasso K.R. et al.** An assessment of the piscine micronuclei test as an *in situ* biological indicator of chemical contaminant effects. / Carasso, K.R., Tillbury, L.K. and Myers, M.S. // Can. J. Fish Aquat. Sci. 1990. V. 47. – P. 2123-2136.
16. **Cavas T. et al.** Induction of micronuclei and binuclei in blood, gill and liver cells of fishes subchronically exposed to cadmium chloride and copper sulphate. / Cavas, T., Garanko, N.N., Arkhipchuk, V.V. // Food and Chemical Toxicology 43. № 4. – P. 569-574.

17. **Chandra P., Khuda-Bukhsh A.R.** Genotoxic effects of cadmium chloride and azadirachtin treated singly and in combination in fish // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2004. V. 58. № 2. – P. 194-201.
18. **Güner U., Muranli F.D.G.** Micronucleus test, nuclear abnormalities and accumulation of Cu and Cd on *Gambusia affinis* (Baird & Girard, 1853) // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2011. V. 11. – P 615-622.
19. **Hayashi M.** The micronucleus test – most widely used in vivo genotoxicity test. / Makoto Hayashi // Genes Environ. 2016; 38: 18-24.
20. **Howell, W.H.**. The life-history of the formed elements of the blood, especially the red blood corpuscles". // Journal of Morphology. New York. 1890 V. 4. № 1. – P. 57-116. doi:10.1002/jmor. 1050040105.
21. **Jiraungkoorskul W. et al**. Micronucleus test: the effect of ascorbic acid on cadmium exposure in fish (*Puntius altus*). / Wannee Jiraungkoorskul , Somphong Sahaphong , Piya Kosai and Myung-Huk Kim // Research Journal of Environmental Toxicology, 2007. V. 1. – P. 27-36. DOI: 10. 3923/rjet. 2007.27.36
22. **Jolly J.** Recherches sur la formation des globules rouges des mammifères.// Comptes rendus de la Société de Biologie, Paris.1908. V 58. – P. 528-531.
23. **Kopp B. et al.** Genotoxicity of 11 heavy metals detected as food contaminants in two human cell lines. / Kopp B., Zalko D., Audebert M. // Environ Mol Mutagen. 2018. V. 59 № 3. – P. 202-210.
24. **Kour P. et al.** Evaluation of acute toxicity of copper sulphate in different tissues of frogs Euphlyctis cyanophlyctis / Preetpal Kour, N.K. Tripathi, P.Poonam // Journal of Asian Scientific Research, 2014, V. 4. № 2. – P 59-69.
25. **Özkan F. et al.** Induction of micronuclei and other nuclear abnormalities in peripheral erythrocytes of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, following exposure to sub-lethal cadmium doses / Ferbal Özkan, Suna Gül Gündüz, Mehmet Berköz, Arzu Özlüer Hunt // Turk. J. Zool. 2011. V. 35. № 4. – P. 585-592.
26. **Russo A., Degrassi F.** Molecular cytogenetics of the micronucleus: Still surprising // Mutat. Res. Gen. Tox. 2018 V. 836 –P. 36-40. https://doi.org/ 10.1016/j.mrgentox.2018.05.011
27. **Sánchez-Galán S. et al.** Brown trout and European minnow as target species for genotoxicity tests: differential sensitivity to heavy metals. / S. Sánchez-Galán, Ana Rosa Linde, Eva García-Vázquez // Ecotoxicology and environmental safety. 1999. V. 43. № 3. – P.301-304.
28. **Sánchez-Galán S. et al.** Induction of micronuclei in eel (*Anguilla anguilla* L.) by heavy metals / S. Sánchez-Galán, A. R. Linde, F. Ayllon, and E. Garcia-Vazquez // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2001. V. 49. – P. 139-143.
29. **Schmid W.** The micronucleus test // Mutat. Res. 1975. V. 31. № 1. P. 9-16.
30. **Sears, M.D., Udden, M.D.** Howell-Jolly Bodies: A Brief Historical Review.// The American Journal of the Medical Sciences. 2012. V. 343, № 5. – P. 407-409.
31. **Strunjak-Perovic I. et al.** Nuclear abnormalities of marine fish erythrocytes. / Strunjak-Perovic I., Topic-Popovic N., Coz-Rakovac R., Jadan M. // J. Fish Biol. 2009. V 74. № 10. – P. 2239-2249.

Поступила в редакцию: 11.02.2019 г.

Крюков Владимир Иванович, доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник ИНИИ ЦКП ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», email: ecogenet@mail.ru, тел. 8 (4862) 47-51-71, e-mail: iniic@mail.ru

УДК 638.14.03

М.В. Донская, М.М. Донской, кандидаты сельскохозяйственных наук
В.П. Наумкин*, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБНУ «ФНЦ зернобобовых и крупяных культур», тел.: +7(4862)40-32-24; e-mail: office@vniizbk.orel.ru
*ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»
M.V. Donskaya, M.M. Donskoj, V.P. Naumkin *
FSBSI «Federal scientific center of legumes and groat crops»
* FSBEE HE «Orel state agrarian university named after N.V. Parakhin»

СОЗДАНИЕ И ОЦЕНКА СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЧИНЫ ПОСЕВНОЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЦЧР

(Creation and evaluation of breeding material of grass pea in the conditions of the northern part of the central black earth region)

Проведено изучение 46 коллекционных сортообразцов чины посевной (Lathyrus sativus L.) из 6 эколого-географических групп по комплексу хозяйственно ценных признаков в условиях северной части Центрально-Черноземного региона. Сортообразцы характеризовались широким варьированием изученных признаков. Установлено, что по возрастающей степени изменчивости основные элементы структуры семенной продуктивности чины посевной располагаются в следующем порядке: число семян в бобе; масса 1000 семян; $K_{хоз}$; число продуктивных узлов; число бобов на растении; масса бобов с растения; число семян с растения; масса семян с растения. Выделены сортообразцы, показавшие за годы изучения наиболее высокую урожайность – от 5,0 до 5,8 т/га: среднеевропейская группа – к-1702 (Франция), к-1200 (Башкирия), к-1707 (Франция), к-1211 (Татария), к-1209 (Татария), к-615706 (Украина); анатолийская группа - к-1229, к-1215, к-1228 (Азербайджан). Создан и внесен в Госреестр новый сорт чины посевной Славянка, характеризующийся высокой урожайностью.

Ключевые слова: чина посевная, коллекция, сортообразец, продуктивность, семена, урожайность.

Abstract: 46 collection samples of grass pea (Lathyrus sativus L.) from 6 ecological-geographical groups by a complex of economically valuable traits in the conditions of the northern part of the Central Black Earth region were studied. Variety samples were characterized by a wide variation of the studied traits. It is established that according to the increasing degree of variability the main elements of the structure of the seed productivity of grass pea are arranged in the following order: number of seeds in the bean; weight of 1000 seeds; harvest index; number of productive nodes; number of beans per plant; weight of beans per plant; number of seeds per plant; seed weight per plant. The variety samples that showed the highest yields during the years of study have been identified – from 5,0 to 5,8 t/ha: Central European group – k-1702 (France), k-1200 (Bashkiria), k-1707 (France), k-1211 (Tataria), k-1209 (Tataria), k-615706 (Ukraine); Anatolian group - k-1229, k-1215, k-1228 (Azerbaijan). A new variety of grass pea the Slavyanka, characterized by high yields, has been created and submitted to the State Register.

Keywords: grass pea, collection, variety sample, productivity, seeds, yiel

Чина посевная (*Lathyrus sativus* L.) – ценная зернобобовая культура. Ее используют для кормовых, продовольственных, медоносных и технических целей [1]. Главное её назначение – кормовое. Для кормовых целей чину обычно высевают на зерно, зеленый корм, травяную муку, сено, силос и для выпаса. Мука чины используется в качестве посыпки для балансировки концентрированных кормов по протеину [2]. Чину высевают в смеси с овсом, ячменем или однолетними злаковыми травами (суданской травой, могаром, райграсом и др.) [3]. В последние годы чину и другие бобовые культуры активно высевают в смесях с горчицей белой для повышения урожайности и улучшения кормовой базы пчеловодства [4-9]. Чина посевная хорошая медоносная культура. Изучение видового состава насекомых-опылителей чины показало, что в её опылении участвуют представители 5 отрядов, 61 вид: *Hymenoptera* (24 вида), *Coleoptera* (19 видов), *Lepidoptera* (9 видов), *Diptera* (7 видов), и *Neuroptera* (2 вида) [10-12]. Наиболее активное посещение пчелами чины отмечается с 14 до 18 часов. Максимум посещаемости приходится на 16 часов. С 20 часов начинается спад летной деятельности пчёл и к 22 часам они встречаются единично [13-16]. Средний процент медоносных пчел на посевах чины составляет 39,12% с колебаниями по годам от 33,51% до 43,12%. Прочие представители насекомых-опылителей составляют 60,88% с колебаниями от 56,88% до 66,49% [17].

В настоящее время, в связи с изменениями климата, возникает необходимость расширения ареала возделывания засухоустойчивых зернобобовых культур, к числу которых относится чина посевная. Особенности возделывания чины в условиях северной части Центрально-Черноземного региона изучены недостаточно. Поэтому возникла необходимость в более глубоком исследовании этой культуры в условиях Орловской области.

Материал и методы исследований

Работа проводилась в 2009…2016 гг. в полевом севообороте ФГБНУ ВНИИЗБК и на кафедре агро-экологии и охраны окружающей среды ФГБОУ ВО

«Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина».

Метеорологические условия в годы исследований можно охарактеризовать как контрастные, поэтому полученные в исследованиях данные позволили достаточно достоверно и объективно оценить особенности изученного материала.

Изучено 46 сортообразцов чины посевной (*Lathyrus sativus* L.) из среднеевропейской, средиземноморской, иранской, анатолийской, индийской и абиссинской эколого-географических групп, полученные из мировой коллекции растительных ресурсов ВИР им. Н.И. Вавилова (г. Санкт-Петербург) (см. рис. 1).



к-875 (Памир)



к-1211 (Татария)



к-1215 (Азербайджан)

Рис. 1 – Коллекционные сортообразцы чины посевной с различной окраской цветков

Посев опытных делянок проводили в четырехкратной повторности с площадью питания одного растения 10х45 см в оптимальные сроки. Учётная площадь делянки 2 м^2.

Структурный анализ проводили по Методическим указаниям ВИР (2010) [18]. Математическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову (1985) [19] с использованием приложения Microsoft Office Excel 2010.

Результаты исследований и обсуждение

Высота является важнейшим морфологическим признаком, характеризующим растение, так как от её величины напрямую зависит степень полегания, которая в свою очередь влияет на семенную продуктивность и урожайность растений.

По мнению Ф.Л. Залкинд (1953) эколого-географические группы чины посевной характеризуются различной высотой растения, которая увеличивается при дождливой погоде [20]. Самыми низкорослыми считаются растения индийской группы (20-35 см), самыми высокорослыми – растения иранской (45-65 см) и среднеевропейской (40-65 см) групп.

По своим морфологическим особенностям растения чины посевной имеют стебель, склонный к полеганию (Вавилов, Посыпанов, 1983) [21]. При

запоздалой уборке чина может полегать полностью.

Анализ средних данных за 2009-2011 гг. (см. табл. 1) показал, что у сортообразцов чины посевной среднеевропейской группы высота растений составила 83,3±3,0 см; средиземноморской – 79,6±3,0 см.

Таблица 1 – Высота растений у сортообразцов чины посевной различных эколого-географических групп, (см), 2009-2011 гг.

Эколого-географическая группа	2009 г.	2010 г.	2011 г.	В среднем за три года
Среднеевропейская	95,7±3,4	59,7±2,2	94,6±3,5	83,3±3,0
Средиземноморская	89,6±2,7	58,5±2,4	89,4±3,3	79,6±3,0
Иранская	87,1±3,6	59,5±2,2	85,9±3,5	77,5±3,1
Анатолийская	96,3±3,8	62,8±2,6	95,1±3,6	84,7±3,4
Индийская	81,6±3,0	53,9±2,2	79,5±2,8	71,7±2,7
Абиссинская	105,1±3,8	74,1±3,3	104,7±4,0	94,6±3,7

У сортообразцов из иранской группы значение признака составило 77,5±3,1 см; анатолийской – 84,7±3,4 см. В пределах среднеевропейской группы высота растений колебалась от 68,0±3,0 см (к-1868, Чехословакия) до 96,4±2,8 см (к-1209, Татария); у сортообразцов средиземноморской группы – от 72,8±2,7 (к-703, Италия) до 90,4±3,4 см (к-775, Испания); у сортообразцов иранской группы – от 61,9±2,5 см (к-1939, Таджикистан) до 93,5±2,5 см (к-875, Памир); у сортообразцов анатолийской группы – от 70,8±3,0 см (к-596, Палестина) до 96,1±2,6 см (к-1229, Азербайджан). У к-1901 (Индия) значение признака было 71,7±2,7 см, у к-797 (Эфиопия) – 94,6±3,7 см.

В 2010 г. высота растений у сортообразцов чины посевной различных эколого-географических групп была на порядок ниже, чем в 2009 и 2011 гг., на что в большой степени повлияла сухая и аномально - жаркая погода.

Высота растений у чины посевной относится к числу средне варьирующих признаков. Коэффициент изменчивости этого признака в среднем за три года у изучаемого набора сортообразцов находился в пределах от 8,0% до 23,3%.

Отмечены колебания значений коэффициента вариации у сортообразцов в пределах одной эколого-географической группы: среднеевропейской – от 8,0% (к-1246, Куйбышевская обл.) до 19,7% (к-1707, Франция); средиземноморской – от 11,3% (к-781, Испания) до 16,7% (к-791, о. Сардиния); иранской – от 10,7% (к-875, Памир) до 20,3% (к-1932, Пакистан); анатолийской – от 9,0% (к-1229, Азербайджан) до 19,3% (к-1228, Азербайджан); индийская – 15,0% (к-1901, Индия); абиссинская – 15,0% (к-797, Эфиопия).

Формирование ветвей – признак, в определенной мере зависящий от внешних условий.

В этой связи весьма актуальным является проведение исследований по определению числа ветвей у сортообразцов чины различных эколого-географических групп, а также изучение характера изменчивости этого признака.

Как показали наши исследования [22, 23], число ветвей у сортообразцов различных эколого-географических групп, в среднем за три года изучения, варьировало в пределах 5,4±0,4 шт. (иранская группа) – 8,1±0,5 шт. (среднеевропейская группа). В среднем по группам значение этого признака колебалось от 6,6±0,4 шт. (индийская группа, к-1901, Индия) до 7,3±0,5 шт. (анатолийская группа, к-797, Эфиопия).

Рассматривая особенности уровня проявления признака у сортообразцов в пределах эколого-географической группы (см. рис. 2), мы установили, что он изменялся у сортообразцов из среднеевропейской группы от 6,2±0,4 шт. (к-1218, к-1731, Украина) до 8,1±0,5 шт. (к-1209, Татария); у сортообразцов из средиземноморской группы – от 6,3±0,5 шт. (к-703, Италия) до 8,0±0,5 шт. (к-775, Испания).

Среди сортообразцов иранской группы можно выделить колебания признака числа ветвей от 5,4±0,4 шт. (к-1939, Таджикистан) до 8,0±0,5 шт. (к-875, Памир). У сортообразцов из анатолийской группы амплитуда колебания этого признака была наименьшей и составила 7,1±0,5 шт. (к-1229, Азербайджан) – 7,6±0,5 шт. (к-1228, Азербайджан).

Изучение коэффициента изменчивости числа ветвей у сортообразцов чины посевной по годам показало, что этот признак относится к средне варьирующим. Предел его колебаний составил в среднем за три года изучения от 18,7% до 35,0%, варьируя в пределах эколого-географических групп: среднеевропейской – от 18,7% (к-1219, Украина) до 33,7% (к-1197, Татария); средиземноморской – от 24,7% (к-773, Испания) до 31,3% (к-781, Испания); иранской – от 23,0% (к-1932, Пакистан) до 35,0% (к-1849, Афганистан); анатолийской – от 24,7% (к-1215, Азербайджан) до 27,7% (к-596, Палестина; к-1229, Азербайджан); индийской - 20,7% (к-1901, Индия); абиссинской – 25,7% (к-797, Эфиопия).



Рис. 2 - Число ветвей у различных эколого-географических групп чины посевной, (шт.), 2009-2011 гг.

В результате проведения анализа сухой биомассы (массы абсолютно сухого растения без семян) чины посевной установлено, что наименьшей сухой биомассой в среднем за три года (16,9±2,36 г/растение) обладали растения сортообразцов чины посевной из иранской эколого-географической группы, наибольшей – (21,8±3,12 г/растение) из анатолийской группы (табл.2).

Таблица 2 – Изменчивость сухой биомассы у сортообразцов чины посевной различных эколого-географических групп, (г/растение), 2009-2011 гг.

Эколого-географическая группа	2009 г.	2010 г.	2011 г.	В среднем за три года
Среднеевропейская	27,2±3,27	13,8±1,16	19,3±2,28	20,1±2,52
Средиземноморская	26,4±2,54	14,9±1,58	19,3±3,52	20,2±2,17
Иранская	23,0±3,19	12,0±1,09	15,8±3,17	16,9±2,36
Анатолийская	29,6±2,56	15,8±2,36	20,0±3,21	21,8±3,12
Индийская	22,4±3,81	8,2±1,21	22,7±2,16	17,8±2,00
Абиссинская	23,5±1,42	13,3±3,18	25,5±2,05	20,8±3,17
$НСР_{005}$	2,293	2,347	2,568	

В 2009 году значение этого показателя варьировало от 22,4±3,81 г/растение (индийская эколого-географическая группа) до 29,6±2,56 г/растение (анатолийская группа).

В 2010 году, аномально жарком для Орловской области, растения всех сортообразцов из изученных эколого-географических групп сформировали сравнительно невысокую зеленую массу, поэтому и сухая биомасса находилась в пределах от 8,2±1,21 г/растение (индийская группа) до 15,8±2,36 г/растение (анатолийская группа).

В 2011 году наименьшая сухая биомасса (15,8±3,17 г/растение) была отмечена у сортообразцов из иранской группы, а наибольшая (25,5±2,05 г/растение) – у сортообразцов из абиссинской группы.

Продуктивность семян и её структура

Семенная продуктивность растений – один из сложнейших признаков, обусловленный как генотипом растения, так и влиянием почвенно-климатических и агротехнических условий.

Нами была изучена семенная продуктивность и её структура у сортообразцов чины посевной из различных эколого-географических групп [24-26].

Число продуктивных узлов на главном стебле. По нашим наблюдениям в 2010 г. число продуктивных узлов на главном стебле у сортообразцов чины различных эколого-географических групп было несколько ниже, чем в 2009 и 2011 годах.

У сортообразцов из среднеевропейской группы наибольшее число продуктивных узлов на главном стебле в среднем за три года исследований сформировал сортообразец к-1200 (Башкирия) – 12,0±0,8 шт., наименьшее – к-1209 (Татария) – 8,1±0,7 шт. В средиземноморской группе максимальное значение признака 11,8±0,9 шт. отмечено у сортообразца к-775 (Испания), минимальное – 9,0±0,8 шт. – у к-791 (о. Сардиния). У сортообразцов иранской группы наблюдалось следующее варьирование изучаемого признака – 7,3±0,6 шт. (к-1939, Таджикистан) – 11,2±1,0 шт. (к-875, Памир). В анатолийской группе колебание было следующим – от 9,0±0,8 шт. у сортообразца к-596 (Палестина) до 11,1±1,0 шт. – у к-1228 (Азербайджан). Число продуктивных узлов на главном стебле у

сортообразцов индийской и абиссинской групп было на уровне 7,9±0,9 шт. и 10,5±1,0 шт. соответственно.

Анализ коэффициентов вариации признака «число продуктивных узлов на главном стебле» у изученных сортообразцов, в среднем за три года, показал их уровень от 22,3% (к-1197, Татария, среднеевропейская группа) до 48,7% (к-615706, Украина, среднеевропейская группа).

Число бобов на растении. Число бобов на растении у изученного набора сортообразцов характеризуется значительным варьированием уровня проявления. В среднем за годы изучения этот показатель колебался от 21,9±2,3 шт. (к-1939, Таджикистан, иранская группа) до 55,3±5,6 шт. (к-1229, Азербайджан, анатолийская группа).

Внутри групп, в среднем за три года изучения, также наблюдались колебания признака «число бобов на растении». Так, у сортообразцов из среднеевропейской группы минимальным было значение признака – 31,1±3,3 шт., которое показал сортообразец к-1868 (Чехословакия), а максимальным – 49,5±5,3 шт., которое имел сортообразец к-615706 (Украина). В средиземноморской группе предельными были значения признака 31,6±4,2 шт. (к-791, о. Сардиния) – 44,4±4,3 шт. (к-775, Испания). Наибольшее число бобов на растении (44,9±5,0 шт.) среди сортообразцов иранской группы сформировал к-1932 (Пакистан), а наименьшее число бобов (35,2±3,3 шт.) среди сортообразцов анатолийской группы было отмечено у к-596 (Палестина).

Для сортообразцов из абиссинской и индийской групп (к-797, Эфиопия и к-1901, Индия) значение признака было на уровне 31,7±3,4 шт., и 37,5±3,9 шт.

Общий уровень изменчивости числа бобов на растении, в среднем за годы изучения, колебался 32,0% (к-1700, Германия, среднеевропейская группа) до 64,7% (к-1939, Таджикистан, иранская группа).

Масса бобов с растения. Масса бобов с растения – это важный элемент урожая. В наших исследованиях масса бобов с растения в пределах изучаемых эколого-географических групп изменялась следующим образом: среднеевропейская группа – от 14,1±1,8 г (к-1218, Украина) до 25,1±3,0 г (к-1209, Татария); средиземноморская группа – от 17,0±2,4 г (к-791, о. Сардиния) до 21,1±2,1 г (к-781, Испания); иранская группа – 7,9±1,1 г (1939, Таджикистан) – 19,9±2,6 г (к-863, Афганистан); анатолийская группа – 14,5±1,8 г (к-596, Палестина) – 24,1±2,9 г (к-1229, Азербайджан). У сортообразцов индийской и абиссинской групп масса бобов с растения была на уровне 12,8±1,3 г - у к-1901 (Индия) и 14,0±1,7 г - у к-797 (Эфиопия).

Общий уровень изменчивости массы бобов на растении, в среднем за годы изучения, колебался 32,0% (к-1207, Башкирия, среднеевропейская группа) до 67,0% (к-1211, Татария, среднеевропейская группа).

Число семян с растения. Рассматривая особенности уровня проявления признака у сортообразцов в пределах одной эколого-географической группы (в среднем за 2009-2011 гг.) можно отметить колебания: 45,2±5,9 шт. (к-1771, Венгрия) – 85,6±9,7 шт. (к-1209, Татария) – среднеевропейская группа; 51,7±4,9 шт. и 51,7±7,9 шт. (к-703, Италия и к-791, о. Сардиния) – 68,5±6,4 шт. (к-773, Испания) – средиземноморская группа; 36,9±6,2 шт. (к-1939, Таджикистан) — 81,4±10,3 шт. (к-1932, Пакистан) – иранская группа; 54,4±5,1 шт. (к-596, Палестина) – 90,2±10,5 шт. (к-1229, Азербайджан) – анатолийская группа. Для сортообразцов индийской и абиссинской группы значение признака «число семян с растения» соответственно составило 86,0±7,9 шт. (к-1901, Индия) и 52,8±6,0 шт. (к-797, Эфиопия).

Анализ коэффициентов изменчивости числа семян с растения показал, что в среднем за три года, его значение находилось в пределах от 34,3% (к-1901, Индия, индийская группа) до 68,0% (к-1939, Таджикистан, иранская группа).

Число семян в бобе. Число семян в бобе имеет большое значение в формировании урожая чины.

Так, сравнивая средние значения по изучаемым группам в среднем за три года, мы установили, что значение признака было в пределах от 1,6 до 2,4 шт., варьируя в каждой группе: в среднеевропейской от 1,1±0,1 шт. (к-1771, Венгрия) до 2,1±0,1 шт. (к-1205, Башкирия и к-1707, Франция); в средиземноморской от 1,4±0,1 шт. (к-775, Испания) до 1,6±0,1 шт. (к-703, Италия, к-773, Испания и к-791, о. Сардиния); в иранской от 1,6±0,1 шт. (к-875, Памир) до 2,1±0,1 шт. (к-863, Афганистан); в анатолийской от 1,6±0,1 шт. (к-596, Палестина) до 1,9±0,1 шт. (к-1215, Азербайджан). Сортообразец из Индии к-1901 имел самое большое число семян в бобе в целом по коллекции – 2,4±0,1 шт. Для сортообразца из абиссинской эколого-географической группы (к-797, Эфиопия) значение признака составило 1,6±0,1 шт.

Нами было замечено, что в 2010 г. сортообразцы различных групп сформировали в среднем большее число семян в бобе, чем в 2009-2011 гг.

Коэффициент вариации числа семян в бобе в среднем за три года изменялся от 15,0% (к-875, Памир, иранская группа) до 30,3% (к-775, Испания, средиземноморская группа).

Масса 1000 семян. Одним из важных признаков, характеризующих урожайность и технологические свойства у сортов и форм чины посевной, является масса 1000 семян. Масса 1000 семян является видо- и сортоспецифичным признаком, но может изменяться в зависимости от почвенно-климатических условий. Ф.Л. Залкинд (1953) [20] и Г.Н. Васильев (1953) [27] подразделяют чину посевную по массе 1000 семян на три группы:

1) крупносемянную (свыше 250 г);
2) среднесемянную (от 150 до 250 г);
3) мелкосемянную (от 50 до 150 г).

В своих исследованиях Ф.Л. Залкинд (1953) считает среднеевропейскую группу среднесемянной (масса 1000 семян – 165-230 г), средиземноморскую – крупносемянной (масса 1000 семян – 250-600 г), а остальные эколого-географические группы причисляет к мелкосемянным, но при благоприятных условиях формы и сорта кипрской и иранской групп могут быть среднесемянными.

Сравнив средние по эколого-географическим группам значения массы 1000 семян за три года исследований, мы установили, что

среднеевропейская, средиземноморская, анатолийская и абиссинская группы относятся к среднесемянным, а иранская и индийская группы, у которых в среднем по группе масса 1000 семян была ниже 150 г – к мелкосемянным.

Однако внутри каждой из изучаемых групп наблюдались существенные колебания признака «масса 1000 семян», позволяющие выделить в них как мелкосемянные, так средне- и крупносемянные сортообразцы. Так, в среднеевропейской группе подавляющее большинство сортообразцов были среднесемянными, за исключением к-1221 (Сербия), к-1661 (Венгрия), к-1700 (Германия), к-1771 (Венгрия) и к-615706 (Украина), у которых масса 1000 семян (в среднем за три года) превысила 250 г и составила соответственно 266,8±7,9 г, 252,5±12,7 г, 250,4±17,3 г, 289,3±16,0 г и 264,2±9,0 г.

В средиземноморской группе также большинство сортообразцов относились к среднесемянным, кроме крупносемянных к-781 (Испания) и к-791 (о. Сардиния) с массой 1000 семян – 263,4±12,9 г и 267,6±7,9 г.

В иранской группе только один сортообразец к-863 (Афганистан) с массой 1000 семян – 181,8±17,0 г, являлся среднесемянным, остальные были мелкосемянными.

Сортообразцы из анатолийской группы показали себя среднесемянными, максимальное значение массы 1000 семян (209,8±6,7 г) было отмечено у сортообразца к-596 (Палестина).

Сортообразец индийской группы к-1901 показал себя за годы исследований как мелкосемянный. Среднее значение массы 1000 семян у него было на уровне 101,1±5,0 г.

Сортообразец из Эфиопии (к-797) имел массу 1000 семян равную 216,5±9,9 г.

Значение коэффициента вариации массы 1000 семян у чины посевной в среднем за годы исследований находилось в пределах от 9,7% (к-1230, Венгрия, среднеевропейская группа) до 42,0% (к-1939, Таджикистан, иранская группа).

Масса семян с растения (семенная продуктивность). Проведенные нами исследования показали, что у сортообразцов чины посевной различных эколого-географических групп в годы изучения существенно изменялись не только абсолютные значения этого признака, но и амплитуда его изменчивости.

В среднем за три года семенная продуктивность у сортообразцов среднеевропейской группы изменялась от 10,5±1,3 г (к-1218, Украина) до 18,3±2,2 г (к-1209, Татария); у сортообразцов средиземноморской группы – от 12,5±1,2 г (к-703, Италия) до 14,8±1,4 г (к-773, Испания). У сортообразцов иранской группы наблюдалось варьирование от 4,7±0,5 г (к-1939, Таджикистан) до 13,9±2,1 г (к-863, Афганистан). В анатолийской группе минимальным было значение 11,4±1,0 г (к-596, Палестина), максимальным – 16,5±2,1 (к-1228, Азербайджан). Сортообразец к-1901 (Индия) имел значение признака, равное 8,7±1,3 г, а сортообразец к-797 (Эфиопия) – 11,2±1,2 г.

За годы изучения сортообразец к-1939 (Таджикистан) оказался самым низкопродуктивным в коллекции и в группе. Так, в 2009 г. его семенная продуктивность была на уровне 6,8±0,5 г, в 2010 г. - 5,9±0,6 г, а в 2011 г. – 1,5±0,3 г.

Рассмотрев средние значения признака по группам и в целом по коллекции, мы установили, что 2009 г. был наиболее благоприятным для возделывания чины посевной, так как семенная продуктивность в 2009 году была выше, чем в 2010 и 2011 годах.

Масса семян с растения у чины посевной относится к сильно изменчивым признакам. Значение коэффициента вариации в годы исследований находилось в пределах от 36,7% (к-596, Палестина, анатолийская группа) до 66,3% (к-875, Памир, иранская группа).

Коэффициент хозяйственной эффективности ($К_{хоз}$). Установлено, что в целом по коллекции наибольшее и наименьшее значение $К_{хоз}$ (в среднем за три года) показали сортообразцы из иранской эколого-географической группы: 27,3±0,03% (к-1939, Таджикистан) и 46,6±0,02% (к-863, Афганистан).

В других изучаемых группах такого сильного варьирования не наблюдалось. Так, для среднеевропейской группы колебания были от 37,3±0,02% (к-1700, Германия) до 45,3±0,02% (к-1209, Татария); для средиземноморской – от 39,3±0,02% (к-791, о. Сардиния) до 42,6±0,02% (к-781, Испания). Сортообразцы анатолийской группы показали большую стабильность по $К_{хоз}$ – 41,3±0,01% и 41,3±0,03% (к-596, Палестина и к-1229, Азербайджан) – 42,3±0,02% (к-1228, Азербайджан).

У сортообразцов из индийской и абиссинской групп (к-1901, Индия и к-797, Эфиопия) значение $К_{хоз}$ составило 40,0±0,03% и 35,3±0,02% соответственно.

В 2010 г. $К_{хоз}$ практически для всех изучаемых сортообразцов был равен 50%, исключением стал к-1731 (Украина) – 60% (это было самое высокое значение за все годы изучения) и к-1700 (Германия), к-875 (Памир) и к-1939 (Таджикистан), у которых $К_{хоз}$ составил 40%. 2009 и 2011 годы отличались более низкими значениями признака в среднем по коллекции.

В среднем за годы изучения коэффициент вариации $К_{хоз}$ изменялся от 11,7% (к-596, Палестина, анатолийская группа) до 49,3% (к-1939, Таджикистан, иранская группа).

Биологическая урожайность семян. Основным интегрирующим критерием возделывания любой сельскохозяйственной культуры является урожайность, которая определяется естественным плодородием почвы, специфическими погодными условиями зоны, применяемой технологией и возделываемым сортом. Знание закономерностей во взаимоотношениях растений с условиями произрастания позволяет, с одной стороны, полнее изучить биологические особенности чины посевной – её требования к условиям среды, с другой – более обоснованно подходить к разработке и использованию сортов, наиболее подходящих к этим условиям.

Результаты полевых исследований показали, что сложившиеся погодные условия по-разному влияли на урожайность сортообразцов чины посевной [28].

Так, наиболее высокую урожайность коллекционные сортообразцы чины сформировали в 2009 году – от 2,0 т/га (к-1939, Таджикистан, иранская группа) до 7,0 т/га (к-615706, Украина, среднеевропейская группа), самую низкую урожайность – в жарком и засушливом 2010 г. – от 1,3 т/га (к-1939, Таджикистан, иранская группа) до 5,1 т/га (к-1209, Татария, среднеевропейская группа). Сортообразец к-1939 имел минимальное значение урожайности и в 2011 году – 0,3 т/га, что было самым маленьким значением в коллекции за все годы исследований.

В среднем за три года исследований, по эколого-географическим группам чины посевной были отмечены следующие колебания. В среднеевропейской группе: от 2,9 т/га (к-1218, Украина) до 5,8 т/га (к-615706, Украина), в средиземноморской группе: от 3,6 т/га у сортообразца к-703 (Италия) до 4,4 т/га у сортообразцов из Испании к-773 и к-781. В иранской группе урожайность сортообразцов изменялась от 1,2 т/га (к-1939, Таджикистан) до 4,7 т/га (к-863, Афганистан). У сортообразцов анатолийской группы урожайность была достаточно высокой и варьировала от 3,2 т/га (к-596, Палестина) до 5,4 т/га (к-1228, Азербайджан). У сортообразцов к-1901 (Индия), к-797 (Эфиопия) биологическая урожайность была практически на одном уровне и составила 3,2 т/га, 3,5 т/га соответственно.

Среди изучаемых сортообразцов чины посевной были выделены наиболее высокоурожайные, урожайность которых за годы исследований составила 5,0-5,8 т/га: среднеевропейская группа – к-1702 (Франция), к-1200 (Башкирия), к-1707 (Франция), к-1211 (Татария), к-1209 (Татария), к-615706 (Украина); анатолийская группа: к-1229, к-1215, к-1228 (Азербайджан) (см. рис.3).

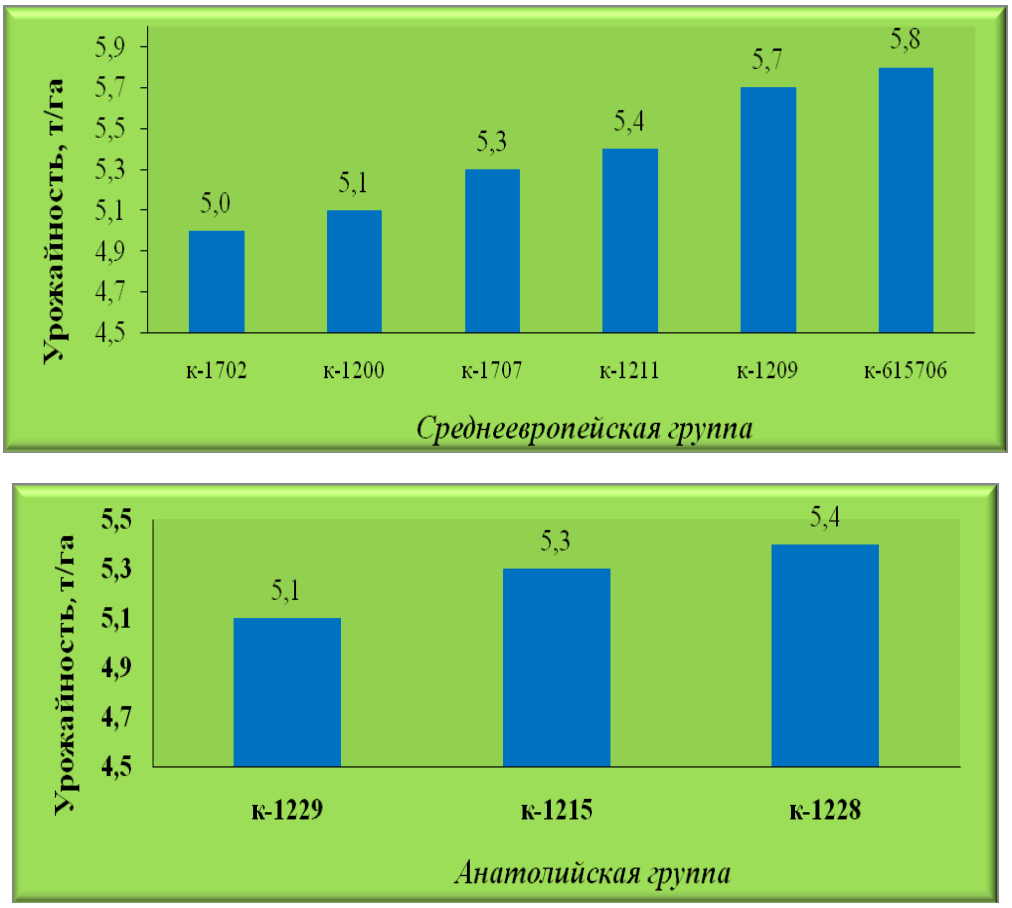


Рис. 3 - Сортообразцы чины посевной, выделившиеся по урожайности, 2009-2011 гг.

По результатам проведенных исследований был создан новый сорт чины посевной Славянка, который в 2016 г. внесен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ (Патент № 8431 от 08.04.2016 г.). Сорт среднеспелый, продолжительность вегетационного периода 87 суток. Высота растений 80-90 см. Цветки белые, семена гладкие, окраска кожуры белая. Масса 1000 семян 214-220 г. Содержание белка в семенах 26,5-29,0%, в зеленой массе 19,4-21,0%. Хорошо посещается медоносными пчелами и другими насекомыми-опылителями.

Сорт высокоурожайный: урожайность семян 4,35 т/га, зеленой массы – 15,14 т/га, максимальная урожайность семян – 4,64 т/га и зеленой массы – 16,72 т/га получена в 2014 году в Орловской области.

Агротехника сорта Славянка – общепринятая для чины посевной. Рекомендуется использовать на зернофураж и зеленый корм в моно- и поливидовых

посевах, а также для улучшения кормовой базы пчеловодства во всех зонах возделывания культуры.

На 18-ой Российской агропромышленной выставке «Золотая осень 2016» в г. Москва сорт был награжден дипломом и золотой медалью.

Выводы

Таким образом, результаты анализа опытных данных свидетельствуют о том, что:

- по возрастающей степени изменчивости основные элементы структуры семенной продуктивности чины посевной располагаются в следующем порядке: число семян в бобе – 22,6%; масса 1000 семян – 25,8%; $К_{хоз}$ –30,5%; число продуктивных узлов – 35,5%; число бобов на растении – 48,3%; масса бобов с растения – 49,5%; число семян с растения – 51,1%; масса семян с растения – 51,5%;

- выделены сортообразцы, показавшие за годы изучения наиболее высокую урожайность – от 5,0 до 5,8 т/га: среднеевропейская группа – к-1702 (Франция), к-1200 (Башкирия), к-1707 (Франция), к-1211 (Татария), к-1209 (Татария), к-615706 (Украина); анатолийская группа: к-1229, к-1215, к-1228 (Азербайджан);

- создан и внесен в Госреестр высокоурожайный сорт чины посевной Славянка.

Литература

1. **Наумкин, В.П., Донской, М.М., Донская, М.В.** Возделывание чины посевной как медоносной культуры: рекомендации / В.П. Наумкин, М.М. Донской, М.В. Донская // Орел: ОрелГАУ, 2014. – 32 с.
2. **Дегунова, Н.Б.** Использование однолетних бобовых культур в условиях Новгородской области (Рекомендации) / Н.Б. Дегунова, В.В. Клокова, Н.К. Рушева. - Великий Новгород, 2011. – 24 с.
3. **Евтушенко, Е.В.** Продуктивность чины посевной в одновидовом и смешанном посевах в приазовской зоне Ростовской области: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. с.-х. наук: специальность 06.01.01 «Общее земледелие» / Е.В. Евтушенко. - пос. Персиановский, 2011. – 22 с.
4. **Велкова, Н.И., Донская, М.В., Наумкин В.П.** Медоносные смеси чины посевной с горчицей белой / Н.И. Велкова, М.В. Донская, В.П. Наумкин // Пчеловодство, 2016. - №4. – С. 22-24.
5. **Донская, М.В., Велкова, Н.И., Наумкин В.П.** Изучение морфобиологических признаков и урожайности совместных посевов чины с горчицей белой / М.В. Донская, Н.И. Велкова, В.П. Наумкин // Зернобобовые и крупяные культуры, 2016. - №1(17). – С. 63-67.
6. **Велкова, Н.И., Донская, М.В., Наумкин В.П.** Медоносные смеси вики посевной с горчицей белой / Н.И. Велкова, М.В. Донская, В.П. Наумкин // Пчеловодство, 2016. - №8. – С. 24-26.
7. **Донская, М.В., Велкова, Н.И., Наумкин В.П.** Изучение морфобиологических особенностей гороха посевного в совместных посевах с горчицей белой / М.В. Донская, Н.И. Велкова, В.П. Наумкин // Зернобобовые и крупяные культуры, 2017. - №2(22). – С. 79-83.
8. **Велкова, Н.И., Донская, М.В., Наумкин В.П.** Медоносные смеси гороха посевного с горчицей белой / Н.И. Велкова, М.В. Донская, В.П. Наумкин // Пчеловодство, 2017. - №6. – С. 24-26.
9. **Донская, М.В., Велкова, Н.И., Наумкин В.П.** Оценка морфобиологических признаков и урожайности совместных посевов вики посевной с горчицей белой / М.В. Донская, Н.И. Велкова, В.П. Наумкин // Зернобобовые и крупяные культуры, 2018. - №3(27). – С. 58-63.
10. **Наумкин, В.П.** Видовой состав насекомых на посевах чины / В.П. Наумкин, А.А. Старостин, М.М. Донской // Зернобобовые и крупяные культуры, 2014. - №2(10). – С. 75-80.
11. **Наумкин, В.П., Донской, М.М., Старостин, А.А.** Оценка видового разнообразия насекомых агроценозов чины посевной / В.П. Наумкин, М.М. Донской, А.А. Старостин // Сборник научных трудов по пчеловодству. Вып. 22. – Орел: ОрелГАУ, 2014. – С. 90-100.
12. **Наумкин, В.П., Донской, М.М., Велкова, Н.И.** Насекомые-опылители чины посевной / В.П. Наумкин, М.М. Донской, Н.И. Велкова // Пчеловодство, 2015. – №1. – С. 10-12.
13. **Наумкин, В.П.** Цветение и посещаемость пчелами чины посевной / В.П. Наумкин, М.М. Донской // Пчеловодство, 2014. - №7. – С. 20-22.
14. **Донская, М.В., Донской М.М., Наумкин В.П.** Возделывание чины посевной как медоносной культуры / М.В. Донская, М.М. Донской, В.П. Наумкин // Пчеловодство, 2016. - №3. – С. 31-33.
15. **Донской, М.М., Наумкин, В.П.** Особенности цветения и опыления чины посевной / М.М. Донской, В.П. Наумкин // Сборник научных трудов по пчеловодству. Вып. 20. – Орел: ОрелГАУ, 2012. – С. 128-142.
16. **Донской, М.М.** Цветение и урожайность сортообразцов чины посевной различных эколого-географических групп / М.М. Донской, В.П. Наумкин // Зернобобовые и крупяные культуры, 2014. - №1(9). – С. 45-52.
17. **Наумкин, В.П., Донской, М.М.** Закономерности летной деятельности насекомых-опылителей на посевах чины посевной / В.П. Наумкин, М.М. Донской // Зернобобовые и крупяные культуры. – Орел: ВНИИЗБК, 2014. - №4(12). – С. 32-36.
18. **Методические указания** ВИР им. Н.И. Вавилова: Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение / М.А. Вишнякова, Т.В. Буравцева, С.В. Булынцев и др. - Санкт-Петербург, 2010. - 141 с.
19. **Доспехов, Б.А.** Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.

20. **Залкинд, Ф.Л.** Чина /Ф.Л. Залкинд. – Москва: СЕЛЬХОЗГИЗ, 1953. – 144с.
21. **Вавилов, П.П.** Бобовые культуры и проблемы растительного белка / П.П. Вавилов, Г.С. Посыпанов.– М.: Россельхозиздат, 1983.- 256 с.
22. **Наумкин, В.П.** Морфобиологические особенности чины посевной (*Lathyrus sativus* L.) в условиях Центрально-Черноземного региона России / В.П. Наумкин, М.М. Донской // Вестник Орел ГАУ, 2012. - №2(35). – С. 97-101.
23. **Наумкин, В.П.** Источники хозяйственно-ценных признаков для селекции чины посевной (*Lathyrus sativus* L.) в условиях Орловской области / В.П. Наумкин, М.М. Донской // Зерновое хозяйство России, 2012. - №3(21). – С. 43-47.
24. **Наумкин, В.П.** Исходный материал для селекции чины посевной (*Lathyrus sativus* L.) в условиях Орловской области / В.П. Наумкин, М.М. Донской, М.В. Донская // Зернобобовые и крупяные культуры, 2013. - №3(7). – С. 46-50.
25. **Донской, М.М., Наумкин, В.П., Донская, М.В., Мазалов, В.И.** Практическое руководство по возделыванию чины посевной / М.М. Донской, В.П. Наумкин, М.В. Донская, В.И. Мазалов. - Орел: ФГБНУ ВНИИЗБК, 2015. – 32 с.
26. **Донской, М.М., Наумкин, В.П., Донская, М.В., Мазалов, В.И.** Чина посевная - перспективная зернобобовая культура / М.М. Донской, В.П. Наумкин, М.В. Донская, В.И. Мазалов // Наше сельское хозяйство, Беларусь, 2017. - №13. - С. 40-45.
27. **Васильев, Г.Н.** Чина посевная / Г.Н. Васильев. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1953. – 88 с.
28. **Донской, М.М.** Агробиологические особенности чины посевной (*Lathyrus sativus* L.) в условиях Центрально-Черноземного региона: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата с.-х. наук : специальность 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство / М.М. Донской. - Орел: Орел ГАУ, 2013. – 20 с.

Поступила в редакцию: 21.12.2018 г.

Донская Мария Владимировна, Донской Михаил Михайлович, кандидаты сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «ФНЦ зернобобовых и крупяных культур», **Владимир Петрович Наумкин,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», телефон: +7(4862)40-32-24; факс: +7(4862)40-31-30, e-mail: office@vniizbk.orel.ru

УДК 636.087.8

Н.В. Мурленков, аспирант
А.И. Шендаков, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
N.V. Murlenkov, Post-graduate student
A.I. Shendakov, Doctor of Agricultural Sciences, professor
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»,
Орел, Россия
Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education
"Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin", Orel, Russia
e-mail: chr98@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ТЕЛЯТ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ ВЫРАЩИВАНИЯ

(Efficiency of prebiotic preparations for calves in different periods of growing)

Актуальной проблемой животноводства последних лет является широкое распространение резистентных форм патогенных микроорганизмов после лечения молодняка антибиотиками. Применение последних привело в конечном итоге к тому, что продукты животного происхождения содержат остаточные количества этих препаратов. Одним из эффективных выходов из сложившегося положения является широкое применение средств на основе бактерий, содержащих живые штаммы, или компонентов пищи, которые стимулируют рост и жизнедеятельность полезной микрофлоры. Использование добавок, включающих указанные свойства, способствует нормализации физиологического и продуктивного статуса животных и птицы, а также позволяет получить экологически чистые продукты питания для народонаселения. В статьи представлены два опыта, в ходе которых была определена эффективность пребиотика «Ветелакт» на рост телят черно-пестрой породы молочного и молозивного периодов выращивания.

Ключевые слова: пребиотик, рост и развитие, телята.

An actual problem of animal husbandry in recent years is the widespread spread of resistant forms of pathogenic microorganisms after treatment or feeding antibiotics. The widespread use of antibiotics as therapeutic and growth stimulating agents has led to the fact that animal products often contain residual amounts of these additives. One of the effective ways out of this situation is the widespread use of products based on bacteria containing live strains or food components that stimulate the growth and activity of beneficial microflora. The use of additives, including these properties, helps to normalize the physiological and productive status of animals and birds, as well as to obtain environmentally friendly food for the population. The article presents two experiments, during which the efficiency of the prebiotic "Vetelact" on the growth of calves of Black-and-White breed of dairy and colostrum cultivation periods was determined.

Key words: prebiotic, growth and development, calves.

Одной из главных задач мировой науки в последние десятилетия стало повышение эффективности и рентабельности агропромышленного комплекса [9]. И если препараты для защиты растений аграрии быстро берут на вооружение, то животноводы долго присматриваются к новинкам. Не стали исключением и кормовые добавки для сельскохозяйственных животных. По мере активного развития методов племенного животноводства, в среде селекционеров растет интерес к кормовым добавкам, способным ускорять темпы роста, защищать от развития патогенных инфекций и улучшать другие параметры продуктивности сельскохозяйственных животных. Например, усвоение кормов и качество мяса, молока и яиц [10].

В свою очередь, российская наука старается не отставать от западных стран, в нашей стране идет активная работа над созданием функциональных кормовых добавок для животноводства. И все увереннее отечественные препараты составляют конкуренцию иностранным аналогам.

Основной причиной применения определенных кормовых добавок является стремление повысить эффективность производства, сравнимую с эффектами, которые дают стимуляторы роста на основе антибиотиков, запрещенные в ЕС с 01 января 2006 года [4].

Несмотря на многочисленные трудности, связанные с регистрацией новых кормовых добавок [3], особенно в категории зоотехнических кормовых добавок, современная мировая экономика и сильная рыночная конкуренция приводят к необходимости внедрения новых технологий в области производства кормов для животных. В связи с этим большие ожидания животноводов связаны с использованием пробиотиков, пребиотиков и синбиотиков. Эти препараты используются, в основном, для поддержания здоровья кишечной микробиоты домашнего скота, так как являются эффективным инструментом борьбы с патогенами, представляющими угрозу как для животных, так и для потребителей [2, 8].

За последнее десятилетие российский рынок кормовых добавок прошел несколько стадий форми-

рования и развития, достигнув на сегодняшний момент стадии насыщения, о чем косвенно свидетельствует длинный список зарегистрированных в РФ препаратов [1]. В последнее время внимание специалистов привлекает концепция «пребиотиков» – использования в питании компонентов пищи, способных улучшать состав кишечной микрофлоры в желаемом направлении. Пребиотики – это препараты немикробного происхождения, способные оказывать позитивный эффект на организм хозяина через селективную стимуляцию роста или усиление метаболической активности нормальной микробиоты кишечника [8].

Пребиотики можно классифицировать по нескольким признакам: природе и структуре, происхождению и источникам сырья, способу производства, области применения [5]. Основным критерием является химическое строение молекул пребиотиков, которое определяет их резистентность к перевариванию в пищеварительном тракте и способность к ферментации определенными группами бактерий кишечника.

Согласно примечанию к определению пребиотиков в ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения», основными видами пребиотиков являются ди- и трисахариды, олиго- и полисахариды, многоатомные спирты, аминокислоты и пептиды, ферменты, органические низкомолекулярные и ненасыщенные высшие жирные кислоты, антиоксиданты, полезные для животного растительные и микробные экстракты и др. [12]. Виды и классификация пребиотиков представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Виды и биологические свойства пребиотиков

Пребиотик	Состав	Биологические свойства
Лактацид	Лимонная кислота (20,2%-24,7%)	Контролирует микрофлору и кислотность желудочно-кишечного тракта, улучшает переваримость корма, особенно при использовании высокопротеиновых стартерных рационов. Улучшает вкус комбикорма за счет его подкисления. Обменная энергия 1 кг препарата - 1 973 ккал.
	Фумаровая кислота (40,5%-49,5%)	
	Янтарная кислота (0,5%-3,5%)	
	Яблочная кислота (0,5%-1,5%)	
Кормомикс-МОС	Глюканоманнаны (до 20%)	Участвует в блокировке колонизации кишечника патогенных бактерий, усиливает кишечный иммунитет. Стимулирует рост бифидо- и лактофлоры. Препарат не накапливается в органах, тканях и продуктах животноводства; обладает совместимостью с компонентами корма и любыми кормовыми добавками; выдерживает гранулирование и экструдирование.
	Активированные маннанолигосахариды (МОС) (2,5 %)	
	Глюканы (20%)	
	Протеины (45%)	
	Незаменимые свободные аминокислоты (18%)	
	Витамины группы В (200 мг/кг)	
Ветелакт	Лактулозы (50%),	Усиливает рост полезных бактерий, таких как бифидобактерии и лактобактерии, и способствует подавлению роста потенциально патогенных бактерий, таких как Clostridium и Escherichia coli. Добавка оказывает гиперосмотическое слабительное действие, стимулирует перистальтику кишечника, улучшает всасывание фосфатов и солей Ca^{2+}, способствует выведению ионов аммония.
	Лактоза	
	Галактоза	
	Вода	
Агримос	Экстрагированные из штамма *Saccharomyces cerevisiae:* Маннан-олигосахариды (МОС) и β-(1,3 и 1,6)-поли-D-глюкоза	Препарат ограничивает развитие патогенной микрофлоры в пищеварительном тракте, связывая в кишечнике патогенные бактерии (преимущественно сальмонеллы и колибактерии), не позволяя им закрепиться и вызвать инфекцию; способствует росту полезной микрофлоры и восстановлению нормальной морфологии стенки кишечника, повышая переваримость питательных веществ, улучшая конверсию корма и скорость роста; стимулирует иммунную систему, повышая устойчивость к стрессам и заболеваниям, снижая отход и выбраковку животных.
Биотроник СЕ форте	Муравьиная кислота	Обладает синергетическим действием, направленным на подавление размножения патогенной грамотрицательной (сальмонеллы, E. coli) и селективную поддержку полезной микрофлоры (молочнокислые бактерии). Предотвращает диарею и другие вызываемые бактериями желудочные заболевания, что способствует хорошему здоровью и росту животных. Улучшает процесс пищеварения и усвоение кормов. Уменьшает заболеваемость и падеж молодого поголовья. Повышает резистентность организма животного.
	Пропионовая кислота	
	Соль аммония	
	Муравьиная кислота	
	Пропинат аммония	
	Вермикулит в качестве разбавителя	

В то же время следует отметить, что в научных кругах пока нет единства мнений по вопросу классификации пребиотиков. В ряде работ [6, 7, 16] встречается упоминание о веществах белковой природы (аминокислотах, пептидах), витаминах, полиолах как о бифидогенных факторах или пребиотиках, однако

исследования чаще всего проводили in vitro, а доказательств пребиотического эффекта in vivo пока недостаточно. Большинство исследователей считают пребиотиками только вещества углеводной природы, прежде всего, так называемые, неперевариваемые олигосахариды (короткоцепочечные углеводы с количеством мономеров от 2 до 10).

Эффективность пребиотиков доказана многими исследованиями в области птицеводства [5], однако в других отраслях, например, в скотоводстве, животноводы не спешат обращаться к пищевым волокнам, а предпочитают пробиотики. Связано это в первую очередь с тем, что в раннем возрасте эффективность кормовых пребиотиков, по мнению исследователей [12, 14], минимальна, поскольку микрофлора уже содержит достаточно лактозы, которая поступает с молозивом или ЗЦМ. В связи с этим нами был проведен опыт, целью которого являлось: определить эффективность кормовых пребиотиков, влияющих на рост молодняка крупного рогатого скота разных периодов выращивания.

Материалы и методы исследований

Для определения эффективности ведущих показателей роста животных опытных групп был использован классический пребиотик «Ветелакт». Объектом исследования служил клинически здоровый молодняк черно-пестрой породы молозивного и молочного периодов выращивания. Для проведения эксперимента было сформировано три группы телят по 6 голов для каждого периода выращивания по принципу аналогов.

Контрольные группы получали только основной рацион: по 7 день жизни основным компонентом рациона служило молозиво (6-3 л/г), после в состав рациона включался ЗЦМ (1-6 л/г), сено (0,20 кг/г) и стартер 400 гр/г. Основной рацион телят молочного периода состоял из: сена (0,30 кг/г), силоса (0,30 кг/г), стартера (500 гр/г) и ЗЦМ (6 л/г). Опытные группы обоих периодов выращивания вместе с основным рационом в составе молозиво и ЗЦМ получали пребиотик «Ветелакт» на протяжении 14 дней в дозировке 1 мл на 10 кг живой массы.

Предварительно рассчитав необходимую дозу, «Ветелакт» добавляли в молозиво и ЗЦМ раз в сутки перед утренним кормлением. Динамику живой массы телят определяли по результатам еженедельных взвешиваний, на основании которых рассчитывали абсолютный и среднесуточный приросты. Для определения веса животных использовались механические рычажные весы ВМ-500 (1000*2200).

Биометрическая обработка цифрового материала экспериментальных данных проводилась общепринятыми статистическими методами с использованием пакета программы «Microsoft Excel» (2007).

Результаты эксперимента

Данные, характеризующие изменчивость массы животных, изложены в таблице 2. Результаты выращивания телят молозивного периода показали, что на конец опыта живая масса животных в опытной группе превосходила контрольную на 1750 г (4,4%, P<0,05) соответственно. Среднесуточный прирост живой массы в опытной группе составил 709,52, что на 130,95 г (23%) больше показателя контрольной соответственно. Показатели абсолютного прироста опытной группы превосходили контроль на 1830 г (23%).

Таблица 2 – Результаты выращивания телят

Показатели	Группы			
	Молозивный период выращивания		Молочный период выращивания	
	контроль n =6	опытная n=6	контроль n=6	опытная n=6
Живая масса, кг (в начале опыта)	30,23 ±0,52	30,15 ±0,68	50,53 ±0,81	50,88 ±0,45
Живая масса, кг (в конце опыта)	38,93 ±0,37	40,68 ±0,49*	61,78 ±0,25	64,56 ±048**
Среднесуточный прирост, г	578,57 ±59,1	709,52 ±65,26	803,45 ±59,97	977,15 ±52,02
Абсолютный прирост, кг	8,1 ±0,83	9,93 ±0,91	11,25 ±0,84	13,68 ±0,73

Примечание: * - P< 0,05, ** - P< 0,01

Средняя живая масса телят молочного периода в опытной группе на конец опыта превосходили контроль в среднем на 2780 г (4,5%, P<0,01) соответственно. Среднесуточный прирост живой массы в опытной группе был выше, чем в контроле. Данный показатель составил 977,15, что на 173,70 г (21,6%) больше показателя контрольной группы соответственно. Было установлено, что по показателям абсолютного прироста опытная группа телят отличались от контрольной группы – она превосходила ее аналоги в среднем на 2430 г (21,6%).

Выводы. По результатам эксперимента установлено, что показатели роста телят молочного и молозивного периодов были наиболее высокими от опытных групп, в состав рациона которых включался «Ветелакт». Это свидетельствует о том, что пребиотики на основе дисахаридов успешно проявляют свои свойства вне зависимости от возраста клинически здорового молодняка.

Литература

1. **Бурдаева К.С.** «Агенты продовольственной безопасности»: выполнима ли миссия? // Птица и птицепродукты. 2009. № 5. С. 69-70.
2. **Гамко Л.Н.** Пробиотики на смену антибиотикам: монография / Л.Н. Гамко, И.И. Сидоров, Т.Л. Талызина, Ю.Н. Черненок. – Брянск, 2015. – 136 с.
3. Манаенков В.В. Проблемы гармонизации терминологии в ТР ТС «О безопасности кормов и кормовых добавок» // Хлебопродукты. 2016. № 7. С. 14-15.
4. **Мурленков Н.В., Шендаков А.И.** Функциональные особенности биопрепаратов в животноводстве и птицеводстве» // Биология в сельском хозяйстве. №4 (21). 2018. С.26-30.
5. **Учасов Д.С.** Пробиотики и пребиотики в промышленном свиноводстве и птицеводстве: монография / Д.С.Учасов, В. С. Буяров, Н. И. Ярован, И. В. Червонова, О. Б. Сеин. – Орёл: Изд-во Орёл ГАУ, 2014. – 164 с.
6. **Шевелева С.А., Батищева С.Ю.** Характеристика бифидогенных свойств коллагенового сырья // Вопр. питания. 2012. № 1. С. 13–23.
7. **Шендеров Б.А.** Медицинская микробная экология и функциональное питание. В 3 т. Т. 3. Пробиотики и функциональное питание. Москва : Грантъ, 2001. 288 с.
8. **Яковенко Э.П., Агафонова Н.А., Яковенко А.В.** Антибиотики, пребиотики, пробиотики, метабиотики при избыточном бактериальном росте в тонкой кишке // Трудный пациент. 2018. Т. 16. № 4. С. 16-22.
9. **AgroVestniK** [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://agrovesti.net/lib/tech/feeding-tech/v-chem-polza-kormovykh-dobavok.html (Дата обращения 19.01.2019).
10. **FeedLot: аналитика** & новости кормовой продукции [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://feedlot.ru/?p=599 (Дата обращения 19.01.2019).
11. **Fuller R.** Modification of the intestinal microflora using probiotics and Prebiotics / Fuller R, Gibson GR. // Scandinavian Journal of Gastroenterology Supplement. – 1997. – Vol. 222. – p. 28–31.
12. **Gibson G.R., Roberfroid M.B.** Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics // J. Nutr. 1995. Vol. 125. P. 1401–1412.
13. **Hill C., Guarner F., Reid G.** The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic // Nature Reviews Gastroenterolog. 2014. Vol. 11 (8). P. 506-514.
14. **Mookiah S.** Effects of dietary prebiotics, probiotic and synbiotics on performance, caecal bacterial populations and caecal fermentation concentrations of broiler chickens // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2014. Vol. 94. P. 341-348.
15. **Parker R.** Probiotics, the other half of the antibiotic story // Animal Nutrition and Health. 2014. No 29. P. 4–8.
16. **Rastall R.A., Gibson G.R.** Recent developments in prebiotics to selectively impact beneficial microbes and promote intestinal health // Curr. Opin. Biotechnol. 2015. Vol. 32. P. 42–46.

Поступила в редакцию: 10.02.2019 г.

Мурленков Никита Вячеславович, аспиранты кафедры частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных, **Шендаков Андрей Игоревич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой частной зоотехнии и разведения сельскохозяйственных животных ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия, e-mail: chr98@yandex.ru

УДК 637.5.035

Р.П. Ряполов, М.А. Афанасенко, магистры 1-го курса
К. А. Лещуков, доктор сельскохозяйственных наук, доцент
R.P. Ryapolov, M.A. Afanasenko, masters of 1 course
K.A. Leshukov, doctor of agricultural sciences, associate professor
ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, Россия
Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education "Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin", Orel, Russia
E-mail: kostl77@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВАРЕНО-КОПЧЕНЫХ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ВНЕСЕНИИ В РЕЦЕПТУРУ РАСТИТЕЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

(The change of functional and technological properties of cooked sausage in the recipe of vegetable fillers)

Обогащение пищевых продуктов эссенциальными веществами – это серьезное вмешательство в традиционно сложившуюся структуру питания человека. Необходимость такого вмешательства продиктована объективными изменениями образа жизни современного человека, набором и пищевой ценностью используемых им продуктов питания. Поэтому обогащение колбасных изделий новыми натуральными ингредиентами представляет собой интересное и актуальное научное направление. В статье приведены результаты исследований по изучению влияния порошка плодов можжевельника обыкновенного и семян пажитника сенного, а также их смеси на функционально-технологические свойства и выход варено-копченых колбасных изделий. Применение указанных растительных наполнителей улучшает функционально-технологические свойства и увеличивает выход готовых продуктов.

Ключевые слова: варено-копченые колбасы, функционально-технологические свойства, выход продукта, растительные наполнители.

The enrichment of food with essential substances is a serious interference in the traditional structure of human nutrition. The need for such intervention is dictated by objective changes in the way of life of modern man, the set and nutritional value of the food products used by him. Therefore, the enrichment of sausages with new natural ingredients is an interesting and relevant scientific direction. In article results of researches on studying of influence of the powder of the fruit of common juniper and seeds of fenugreek, and mixtures thereof a functionally-technological properties and yield of cooked sausages. The use of these vegetable fillers improves the functional and technological properties and increases the yield of finished products.

Key words: cooked sausages, functional and technological properties, product yield, vegetable fillers.

Введение. Пересмотр традиционно сложившегося в России ассортимента мясопродуктов в сторону увеличения объемов выработки изделий из натуральных ингредиентов с разнообразными органолептическими и физико-химическими характеристиками – современный принцип организации и руководства предприятий пищевой промышленности. В связи с этим актуальной задачей становится применение в производстве колбасных изделий новых натуральных ингредиентов. Рассматривая область пищевых технологий, следует отметить, что в настоящее время наблюдается тенденция роста потребления обогащенных продуктов питания [3, 4].

Обогащение пищевых продуктов эссенциальными веществами – это серьезное вмешательство в традиционно сложившуюся структуру питания человека. Необходимость такого вмешательства продиктована объективными изменениями образа жизни современного человека, набором и пищевой ценностью используемых им продуктов питания. Поэтому обогащение колбасных изделий новыми натуральными ингредиентами представляет собой интересное и актуальное научное направление.

В этой связи целью настоящей работы является разработка технологии варено-копченых колбасных изделий с функциональными наполнителями. В качестве функциональных наполнителей использовали: взамен перца черного молотого порошок плодов можжевельника обыкновенного (Juniperus communis L.) и взамен перца душистого молотого порошок семян пажитника сенного (Trigonella foenum-graecum) производства ООО «Престиж» г. Санкт-Петербург.

Для достижения поставленной цели намечалось решение следующих задач:

- изучить химический состав, пищевую и биологическую ценность порошка семян пажитника сенного (Trigonella foenum-graecum) и порошка плодов можжевельника обыкновенного (Juniperus communis L.);
- определить наиболее оптимальное количество функциональных наполнителей при моделировании рецептурного состава варено-копченых колбасных изделий;
- изучить функционально-технологические свойства готовых варено-копченых колбасных изделий (колбаса «Любительская» категории А).

Материалы и методы исследований

В качестве функциональных наполнителей использовали: взамен перца черного молотого порошок плодов можжевельника обыкновенного (Juniperus communis L.) и взамен перца душистого молотого порошок семян пажитника сенного (Trigonella foenum-graecum), а также их смесь производства ООО «Престиж» г. Санкт-Петербург. В данной научно-исследовательской работе использовалась рецептура приготовления варено-копченой колбасы первого сорта «Любительская» категории А по ГОСТ Р 55455-2013 Колбасы варено-копченые. Технические условия. Использовали оболочки искусственные белковые «Белкозин» диаметром 45-65 мм по ТУ 10-10-01-03.

Семена пажитника сенного содержат небольшие количества алкалоида тригонеллина (0,3%), никотиновую кислоту (витамина РР) - 3,5-18 мг, рутин, стероидные сапонины и фитостерины, флавоноиды, слизистые (до 30%) и горькие вещества, немного эфирного масла (0,3%), около 6% жирного масла, белки, танины, витамины, кумарины, фосфор, железо, мышьяк. Из суммы стероидов выделены диосгенин, ямогенин, гитогенин, тигогенин и гликозиды диосцин и ямосцин, из фитостеринов – фитостерин. Для семян типично высокое содержание слизистых веществ (20-45%), протеинов и жиров, что оправдывает их использование как общеукрепляющего средства. Наряду с этим найдено большое количество стероидных сапонинов, стеролов, флавоноидов и немного эфирного масла с более чем 50 компонентами. Характерный запах обусловлен 3-гидрокси-4,5-диметил-2(5H)-фураноном [6].

Ягоды можжевельника содержат 0,5-2,0% эфирного масла, сахара, смолы, красящие вещества, жирное масло, органические кислоты – яблочную, муравьиную и уксусную, дубильные вещества и микроэлементы (марганец, железо, медь и алюминий). В основном активные действующие вещества – монотерпены: пинен, микрин, сабинен, лимонен, терпинен, камфен. Эфирное масло плодов можжевельника (главным образом терпинеол) усиливает фильтрацию в почечных клубочках и тормозит обратную резорбцию ионов натрия и хлора в извитых канальцах почек. Галеновы препараты плодов можжевельника усиливают секрецию бронхиальных желез, повышают желчеобразование и желчевыделение, усиливают секрецию желудочного сока [6].

Функционально-технологические свойства готовых продуктов изучали при помощи традиционных стандартизированных методик, применяемых в мясной промышленности.

Пищевая ценность и нутриентный баланс порошка семян пажитника и можжевельника представлены на рисунках 1 и 2.

Результаты исследований и их обсуждение

При изготовлении готовых продуктов технологическая схема производства Любительской варено-копченой колбасы первого сорта категории А была несколько изменена, т. к. в рецептуру добавляли в качестве функциональных наполнителей: взамен перца черного молотого порошок плодов можжевельника обыкновенного (Juniperus communis L.) (2 группа опыта), взамен перца душистого молотого порошок семян пажитника сенного (Trigonella foenum-graecum) (3 группа опыта), а также смесь порошка плодов можжевельника и порошка семян пажитника (4 группа опыта) (см. табл.1).

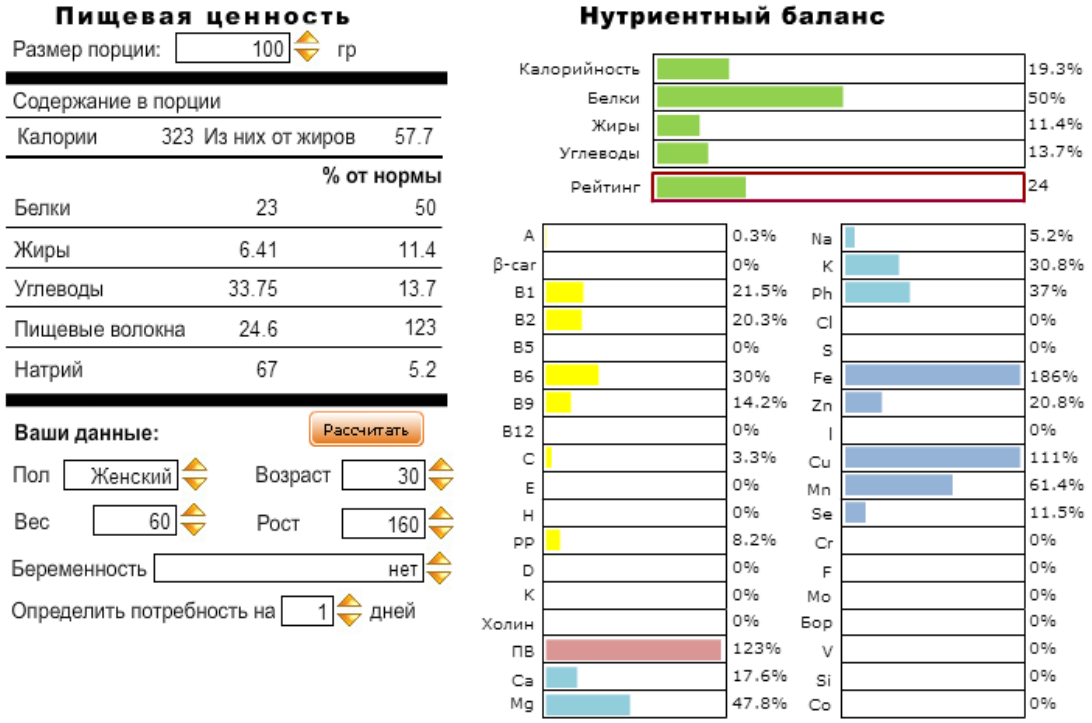


Рис. 1 - Пищевая ценность и нутриентный баланс порошка семян можжевельника



Рис. 2 - Пищевая ценность и нутриентный баланс порошка семян пажитника

Таблица 1. - Варианты рецептур, используемых в исследованиях

Используется сырье несоленое, кг на 100 кг	«Любительская» 1 сорта категории А 1. (контроль)	«Любительская плюс»		
		2	3	4
говядина жилованная 1 сорта	650	650	650	650
грудинка свиная или шпик свиной боковой	350	350	350	350
Пряности и материалы, г на 100 кг				
соль поваренная	3000	3000	3000	3000
нитрит натрия	10	10	10	10
сахар – песок	200	200	200	200
перец черный молотый	100	-	100	-
перец душистый молотый	50	50	-	-
кардамон молотый	30	30	30	30
порошок плодов можжевельника	-	100	-	75
порошок семян пажитника	-	-	50	75

В результате установлено, что использование функциональных наполнителей в рецептуре колбасы варено-копченой «Любительская» улучшает функционально-технологические свойства готовых продуктов (см. табл. 2).

Таблица 2. - Результаты определения ВСС, ВУС, ЖУС

Показатели ФТС	Исследуемые образцы							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
ВСС, %	92,6	91,9	96,9	94,5	95,6	95,1	93,3	92,0
ВУС, %	93,3	91,2	96,3	94,0	95,2	94,8	92,3	91,9
ЖУС, %	41,3	41,6	48,7	50,2	47,3	48,4	47,8	48,9

1 - Сырой мясной фарш без добавления компонентов;
2 - Колбаса варено-копченая «Любительская» категории А;
3 - Сырой мясной фарш с добавлением порошка плодов можжевельника;
4 - Колбаса варено-копченая «Любительская плюс» с добавлением порошка плодов можжевельника;
5 - Сырой мясной фарш с добавлением порошка пажитника;
6 - Колбаса варено-копченая «Любительская плюс» с добавлением порошка пажитника;
7 - Сырой мясной фарш с добавлением смеси порошков плодов можжевельника и семян пажитника;
8 - Колбаса варено-копченая «Любительская плюс» с добавлением смеси порошков плодов можжевельника и семян пажитника.

Наибольшей влагосвязывающей способностью обладает образец колбасы варено-копченой «Любительская плюс» с добавлением порошка семян пажитника в рецептуре в количестве 0,05г на 100г несоленого сырья. Наибольшей влагоудерживающей и жироудерживающей способностью обладает образец колбасы варено-копченой «Любительская плюс» с добавлением порошка плодов можжевельника в рецептуре в количестве 0,075г на 100г несоленого сырья. У этого же образца показатель выхода продукта и переваримости был наивысший – 62,6% и 62,0% соответственно. То есть наилучшие показатели функционально-технологических свойств были установлены у образцов №№ 4,6,8.

Выход продукта – это показатель разницы массы до и после термообработки. У каждого мясного продукта выход существенно различается. Например, вареные колбасы имеют высокие выходы, потому что в рецептуру вареных колбас входит вода и при термической обработке продукта – варке – происходит набухание белков мышечной ткани за счет впитывания ими воды и при этом существенно увеличивается объем фарша в колбасном батоне и соответственно увеличивается выход продукта. Результаты расчета выходов и потерь при термообработке отражены на рисунке 3.

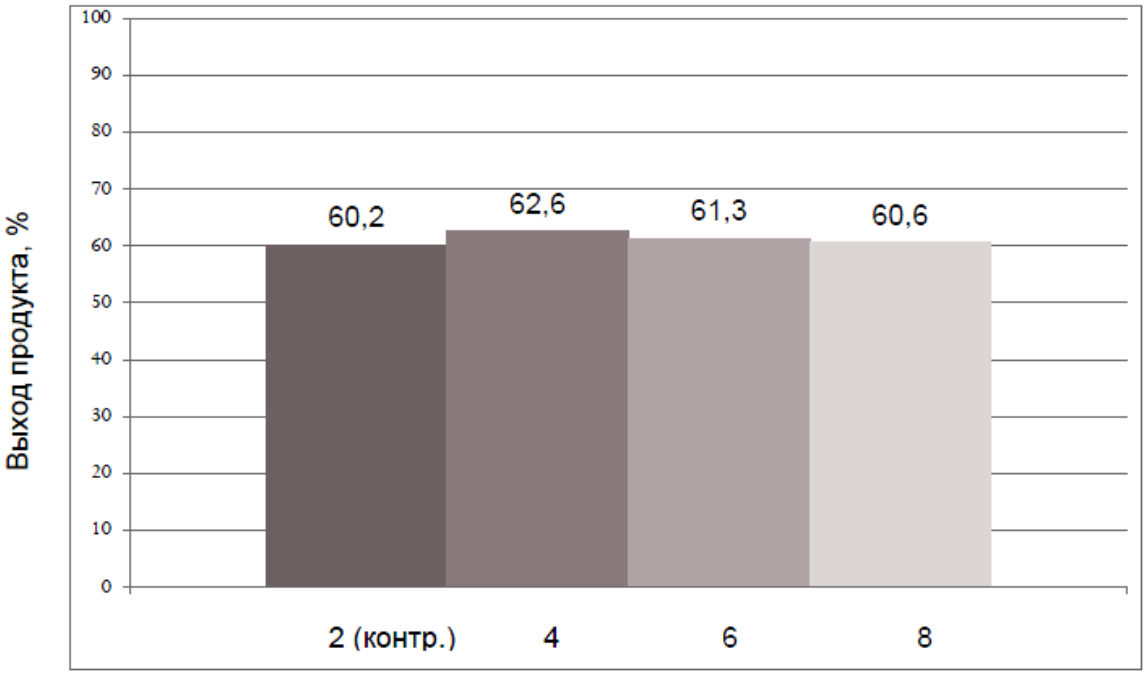


Рис. 3 – Выходы мясных продуктов.

В результате органолептической оценки опытных образцов установлено, что наилучшие показатели внешнего вида, вкуса, запаха, цвета и консистенции были у образцов с добавлением смеси порошков плодов можжевельника и семян пажитника.

Выводы

Таким образом, в результате исследований установлено, что использование функциональных наполнителей (порошок плодов можжевельника, порошок семян пажитника и их смеси) взамен перца черного молотого и взамен перца душистого молотого в рецептуре колбасы варено-копченой «Любительская» улучшает функционально-технологические свойства и выход готовых продуктов. Для производства предлагаем технологию варено-копченой колбасы «Любительская плюс» с функциональными наполнителями. В качестве функциональных наполнителей использовать смесь: взамен перца черного молотого порошок плодов можжевельника обыкновенного (Juniperus communis L.) – 0,075 г и взамен перца душистого молотого порошок семян пажитника сенного (Trigonella foenum-graecum) – 0,075 г на 100 г несоленого сырья. Функциональные наполнители добавлять на стадии составления фарша при перемешивании 8-10 минут.

Литература

1. **Позняковский В.М.** Экспертиза мяса и мясных продуктов. *Новосибирск: Изд-во Новосиб. унив-та.* 2001: 534.
2. **Коснырева Л.М., Криштафович В.И., Позняковский В.М.** Товароведение и экспертиза мяса и мясных товаров : учебник для студ. высш. учеб. заведений. *М.: Издательский центр «Академия».* 2007: 320.
3. **Шалимова О.А., Аверина Н.В., Горлов И.Ф.** Использование нута и пшеницы как альтернатива сое при создании рецептур колбасных изделий из мяса птицы. *Все о мясе.* 2017; 3:10-13.
4. **Колесник Л.С., Сучкова Т.Н., Мамаев А.В.** Использование энзимрезистентного горохового крахмала в технологии мясных продуктов: тенденции и перспективы. *Сборник материалов Международной научно-практической конференции: «Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты». Западно-Сибирский научный центр.* 2016:404-406.
5. **Гончарук О.В.** Разработка технологии и товароведная характеристика мясных паштетов с соевым белком. *Дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07, 05.18.15.Владивосток. 2006:173.*
6. **Савина И.Л.** Травник. Полный справочник лекарственных растений. *Изд-во: Аргумент Принт.* 2012:560.

Поступила в редакцию: 31.01.2019 г.

Ряполов Роман Петрович, Афанасенко Маргарита Александровна, магистры 1 курса направления подготовки 19.04.03 - Продукты питания животного происхождения

Лещуков Константин Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры «Продукты питания животного происхождения» ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», г. Орел, Россия, 302019, г. Орёл, ул. Генерала Родина, 69, тел: +79103005013; e-mail: kostl77@mail.ru

УДК 606.628.3:620.95

И.В. Мирошниченко, кандидат биологических наук, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Россия, п. Майский, Белгородская обл.
тел. +7-903-887-3490, e-mail: imiroshnichenko_@mail.ru
I.V. Miroshnichenko, candidate of biological sciences, Belgorod state agrarian university named after V. Gorin, Russia, Mayskiy, Belgorod region
Е.В. Снеговой, главный инженер ООО «ЭнергоПарк», Россия, г. Курск
тел. +7-910-210-8504, e-mail: snegovoi_evgeni@mail.ru
E.V. Snegovoi, chief engineer LLC «EnergoPark», Russia, Kursk

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В БИОГАЗ

(Increase in efficiency of processing of drainage of sewage slouge to biogas)

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-47-310008 р_а и ООО «ЭнергоПарк» в рамках проекта № 6.6.46
The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-47-310008 p_a and LLC «EnergoPark» to the research project № 6.6.46

Изучен биогазовый потенциал осадка сточных вод городских очистных сооружений в комбинации с отходами птицеводства и свеклосахарного производства. Исследования проведены с использованием лабораторной биогазовой установки с реакторами периодического культивирования (batch-эксперимент). Специфический выход биогаза из осадков сточных вод, из их смеси с жомом сахарной свеклы и с пометом цыплят-бройлеров составил соответственно 597,97±154,7, 1089,12±195,26 и 978,39±166,32 мл/г оСВ специфический выход метана – 9,93±3,16, 16,24±8,16 и 44,75±12,97 мл/г оСВ соответственно. Установлено, что для адаптации к осадку сточных вод метанобразующей микрофлоре инокулума требуется больше времени, чем для адаптации к куриному помету или жому сахарной свеклы. Добавление этих субстратов повышает эффективность переработки осадка сточных вод в биогаз, лучшие результаты получены при использовании куриного помета.

Ключевые слова: биогаз, метан, отходы, осадки сточных вод, помет цыплят-бройлеров, жом сахарной свеклы.

Biogas potential of sewage sludge from urban wastewater treatment plants in combination with wastes from poultry and sugar production has been studied. The studies were carried out using a laboratory biogas plant with batch reactors. The specific biogas yield of sewage sludge, from its mixture with sugar beet pulp and broiler chicken droppings amounted to 597.97 ± 154.7, 1089.12 ± 195.26 and 978.39 ± 166.32 ml / g of VS, respectively. The specific methane yield is 9.93 ± 3.16, 16.24 ± 8.16 and 44.75 ± 12.97 ml / g oVS, respectively. It has been established that it takes longer to adapt to the sewage sludge of the methane-forming microflora of the inoculum than to adapt to chicken manure or sugar beet pulp. The addition of these substrates increases the efficiency of processing sewage sludge into biogas, the best results are obtained when using chicken manure.

Keywords: biogas, methane, waste, sewage sludge, broiler chickens manure, sugar beet pulp.

Введение

В настоящее время станции очистки городских сточных вод зачастую оснащены системой аэротенков. При такой технологии воды очищаются в полном объеме, однако образуются и неперерабатываемые отходы – сырой осадок и избыточный активный ил [1]. Избыточный ил после фильтрации направляется на иловые площадки, что имеет ряд весомых недостатков. Его размещение требует значительных площадей. Содержащаяся в осадках сточных вод влага, проходя через почву, загрязняет её, далее попадает в грунтовые и поверхностные воды. В результате разложения избыточного ила загрязняется и воздушный бассейн.

Осадки сточных вод – это отходы, образующиеся на разного рода сооружениях водоочистки и водоподготовки. Состав их может быть разным: грубые, тяжелые, плавающие примеси, сырой осадок, активный ил и т.д. Переработке в биогазовых установках подлежат, как правило, два последних вида, представляющие собой комплекс микроорганизмов и простейших с частично окисленными взвешенными веществами. Такая технология позволяет удалить из коммунальных и животноводческих стоков до 90% органических соединений. В результате получаются качественные удобрения – в то время как при компостировании сырье теряет около 60% азота [2, 3].

По данным, полученным в ходе различных исследований, специфический выход биогаза из осадка сточных вод очистных сооружений может достигать от 400 до 700 литров на 1 кг органического вещества (л/кг оСВ), содержание в нем метана – порядка 60% (при массовой доле сухого вещества (СВ) 4%, органических веществ в сухом остатке (оСВ) – 70%). Такой субстрат целесообразно перерабатывать в смеси с

другими отходами – например, с отходами агропромышленного комплекса [4, 5, 6, 7].

Положительный результат показала совместная переработка осадка сточных вод с рисовой соломой. Добавление осадка сточных вод в количестве 0,5, 1,0, 1,5 и 3,0% от массы соломы способствовало оптимизации состава сбраживаемой массы по соотношению C / N и, соответственно – увеличению выхода биогаза. Лучший эффект отмечен при добавлении 3% осадка сточных вод: выход биогаза в этом варианте в 4 раза выше, чем в варианте без добавления соломы [8].

При совместной переработке осадков сточных вод очистных сооружений с твердыми бытовыми отходами в соотношении 3:1 по массе органического вещества суточная выработка биогаза увеличивается почти в 4 раза, при этом специфический выход метана составляет 420±30 мл/г оСВ [9].

Достаточно высокую степень биодеградации органического вещества отходов показали эксперименты по анаэробной ферментации избыточного активного ила муниципальных очистных сооружений в смеси с 25% скошенной травы и 25% отходов общественного питания [10].

Однако в лабораторных исследованиях A. Wriege-Bechtold при переработке активного ила очистных сооружений в смеси с жиром из жироловок выход биогаза снизился почти на 50%. Биогазовая продуктивность смесей субстратов колебалось в среднем от 800 до 1200 л/кг оСВ в зависимости от соотношения компонентов [5].

Энергетический потенциал отходов, в том числе и осадков сточных вод, напрямую зависит от их химического состава и, соответственно, от происхождения. В настоящее время не теряет актуальности разработка способов повышения биогазовой продуктивности субстратов. Для этого, помимо составления смесей с разного рода отходами, тестируются ферментные препараты, разрабатываются режимы ферментации.

В исследованиях S. Kolbl установлено, что потенциал образования метана из осадка сточных вод составляет 319±11 мл/г оСВ. Использование ферментных препаратов MicropanBiogas и Novozymes способствует увеличению данного показателя соответственно на 8 и 45 % [11].

При обработке осадка сточных вод очистных сооружений в термофильном режиме в двухступенчатой системе разложение органических веществ на 13% выше, по сравнению с одноступенчатой; здесь же отмечается и увеличение метановой продуктивности с 303,74 до 450,02 мл/г оСВ [12].

При анаэробной ферментации осадков сточных вод очистных сооружений в Feed-batch-реакторах объемом 40 л (системы полупроточного культивирования) выход биогаза составил от 370 до 400 мл/г оСВ с содержанием метана от 55,22 до 56,56 % [13].

При переработке осадка сточных вод очистных сооружений в реакторах периодического культивирования отмечалась лучшая устойчивость микрофлоры к повышенному содержанию ХПК. Специфический выход метана составил от 273 до 483 мл/г оСВ, объемная доля метана в биогазе – от 65 до 68% [14].

Иловые площадки очистных сооружений вблизи г. Курск занимают около 40 га, и потребность в их расширении растет. Для решения проблемы здесь построен современный завод по переработке сырого осадка сточных вод и избыточного активного ила [15]. Это биогазовая станция, спроектированная компанией ZorgBiogaz AG, состоящая из четырех реакторов рабочим объемом 3600 м^3 каждый, двух резервуаров для приема сырья полезным объемом 200 м^3 каждый и двух резервуаров для перебродившей массы. Образующийся биогаз скапливается под куполом реакторов и через пункт газоподготовки поступает в генераторную установку для выработки электроэнергии. Сброженная биомасса сепарируется, вода возвращается в очистные сооружения, а сухая часть используется в качестве удобрения [1]. В настоящее время ведется поиск и испытание косубстратов, их оптимальных сочетаний для повышения эффективности работы биогазовой станции.

Цель исследования – изучение биогазового потенциала осадка сточных вод очистных сооружений г. Курск, тестирование данного материала в смеси с отходами агропромышленного комплекса растительного и животного происхождения.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на базе лаборатории по изучению биогазовых технологий Белгородского ГАУ.

Материал исследования – осадки сточных вод городских очистных сооружений, помет цыплят-бройлеров, жом сахарной свеклы.

Изучаемые показатели: массовая доля сухого вещества и органики в исходных субстратах и инокулуме (определяли согласно [16]), валовый и специфический выход биогаза и метана из субстратов и их сочетаний, динамика образования биогаза и метана.

Анаэробную ферментацию субстратов осуществляли в биореакторах периодического культивирования (batch-реакторы) объемом 300 мл каждый, помещенных в водяную баню, оснащенную термодатчиками и измерителем-регулятором универсальным «ОВЕН ТРМ 138» (Россия). Продолжительность инкубации – 35 суток, температура – +37±0,5ºС. Биогаз отводился по трубкам в пластиковые пакеты объемом 3 л каждый. Объем биогаза определяли еженедельно с помощью колбы для Хоэнхаймского теста выхода биогаза [17], состав – с помощью газоанализатора «Optima – 7 Biogas» (Германия).

Каждый субстрат исследовали в трех повторениях.

Постановка и проведение экспериментов, обработка результатов осуществлялись в соответствии с DIN 38 414 (S8) и VDI 4630 [18 – 19].

Для обеспечения сравнимости результатов исследования объем газа приводили к нормальным условиям по уравнению (1):

$$V_0=(P*V*T_0)/(T*P_0), \quad (1)$$

где:

V_0 – объем сухого газа при нормальных условиях, мл$_н$,

V – зарегистрированный объем газа, мл,

P – давление газа в момент измерения, мбар,

P_0 – атмосферное давление при н.у.; P_0 = 1013 мбар,

T_0 –температура воздуха при н.у.; T_0 = 273 K,

T – температура биогаза, K.

Результаты исследований и их обсуждение

Основные параметры, влияющие на биогазовую продуктивность субстратов – содержание в них сухих веществ и органики. В нашем эксперименте осадок сточных вод отличался очень низким содержанием сухого вещества (табл. 1).

Таблица 1 – Исходные параметры сырья

Субстрат	СВ%НМ	оСВ%СВ
Инокулум	7,32±0,03	71,95±0,40
Помет куриный	26,28±0,17	87,45±0,15
Осадок сточных вод	0,28±0,07	72,78±6,83
Жом	9,81±0,63	93,92±1,93

Нормы загрузки реакторов рассчитывали таким образом, чтобы соотношение массы оСВ инокулума и оСВ субстрата в реакторе составило 2:1 (табл. 2). Экспериментальные варианты были представлены смесью субстратов и инокулума, нулевой – инокулумом. Рабочий объем реактора – 250 мл.

Таблица 2 – Загрузка реакторов

Вариант	Загрузка сырья, г на реактор		Нагрузка по оСВ, г на реактор		
	инокулум	субстрат	оСВ инокулума	оСВ субстрата	оСВ в сумме
Инокулум	250,00	-	13,16	-	13,16
Помет куриный	231,78	18,22	5,61	18,11	23,72
Осадок сточных вод	17,72	232,28	0,93	0,46	1,39
Жом	194,99	55,01	10,27	5,06	15,33
Помет+ осадок сточных вод	21,72	0,49 227,79	1,14	0,11 0,45	1,71
Жом+ осадок сточных вод	21,66	1,22 227,12	1,14	0,11 0,45	1,70

В вариантах со смесью субстратов их соотношение по натуральной массе составило: помет : осадок сточных вод – 1:465, жом : осадок сточных вод – 1:186. При этом ориентировались на соотношение, которое планируется применить в условиях производства с учётом объемов образования данных видов отходов.

Нулевой вариант закладывается для корректировки продуктивности субстратов в экспериментальных вариантах, чтобы вычислить количество биогаза или метана, образовавшегося непосредственно из внесенного органического вещества конкретного субстрата.

Биогазовая продуктивность субстратов и их смесей за 35 дней инкубации приведена в таблице 3.

Самый высокий специфический выход биогаза отмечался в варианте, представленном смесью жома и осадка сточных вод, несколько ниже – из смеси помета и осадка сточных вод, самый низкий выход биогаза – в варианте с пометом. Данный параметр имеет скорее технологическое значение при проектировании биогазовой станции – например, для расчета объема газгольдера. Но более важным показателем с энергетической точки зрения является специфический выход метана. Наибольший специфический выход биогаза отмечен в варианте с жомом, несколько ниже (примерно на 33%) значение этого показателя в варианте со смесью помета и осадка сточных вод, далее следует вариант с пометом. Наименьший специфический выход метана – в варианте с осадком сточных вод, что ожидаемо: из-за крайне низкого содержания сухих веществ в исходном субстрате оно было низким и в биореакторе в целом.

Таблица 3 – Биогазовая продуктивность субстратов

Субстрат	Валовый выход биогаза, мл из 1 реактора	Валовый выход метана, мл из 1 реактора	Специфический выход биогаза, $мл_н$/г оСВ	Специфический выход метана, $мл_н$/г оСВ
Помет куриный	1156,97±234,35	475,95±116,90	63,89±12,94	26,28±6,45
Осадок сточных вод	274,82±71,12	4,56±1,45	597,97±154,75	9,93±3,16
Жом	977,20±80,24	333,88±46,67	193,23±15,87	66,02±9,23
Помет+ осадок сточных вод	551,20±93,70	25,21±7,30	978,39±166,32	44,75±12,97
Жом+ осадок сточных вод	611,78±109,68	15,62±3,22	1089,12±195,26	16,24±8,16

Таким образом, из трех вариантов: осадок сточных вод, смесь осадка сточных вод с жомом и смесь осадка сточных вод с пометом цыплят-бройлеров оптимальным является последний.

Если сравнивать биогазовую продуктивность отдельных субстратов, то самый высокий специфический выход метана в варианте с жомом, самый низкий – с осадком сточных вод. Учитывая исходные параметры субстратов, это ожидаемо.

В нашем эксперименте биогазовая продуктивность куриного помета и жома ниже приведенных в справочниках. Это связано, в первую очередь, с разницей в химическом составе. Содержание СВ в помете в справочнике на 5,72% выше, в жоме – в сред-

нем выше на 14,19%; оСВ в жоме – на 1,08% Содержание оСВ в курином помет в справочниках, напротив, на 15,95% ниже [20].

Динамика образования биогаза и метана, помимо режима ферментации, зависит от химического состава сырья – разные группы веществ разлагаются с разной скоростью. Этот показатель имеет технологическое значение – например, для определения кратности и объема загрузки субстратов.

Во всех вариантах отмечено 2 пика образования биогаза и метана (рис. 1-2). В вариантах с куриным пометом и жомом сахарной свеклы кривые более крутые, что свидетельствует о присутствии в их составе большого количества легкоразлагаемых веществ. Первый пик образования биогаза в этих вариантах намного выше и приходится на конец первой недели эксперимента, в варианте со смесью помета и осадков сточных вод первый пик незначительно превосходит второй. В вариантах с осадками сточных вод и со смесью жома и осадков сточных вод – напротив – выше вторые пики, приходящиеся соответственно на конец четвертой и третьей недели.

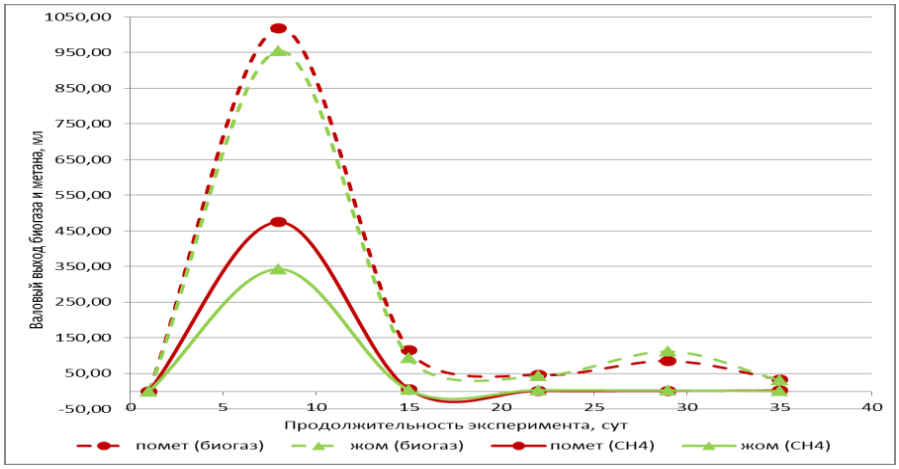


Рис 1. - Динамика образования биогаза и метана из помета цыплят-бройлеров и жома сахарной свеклы

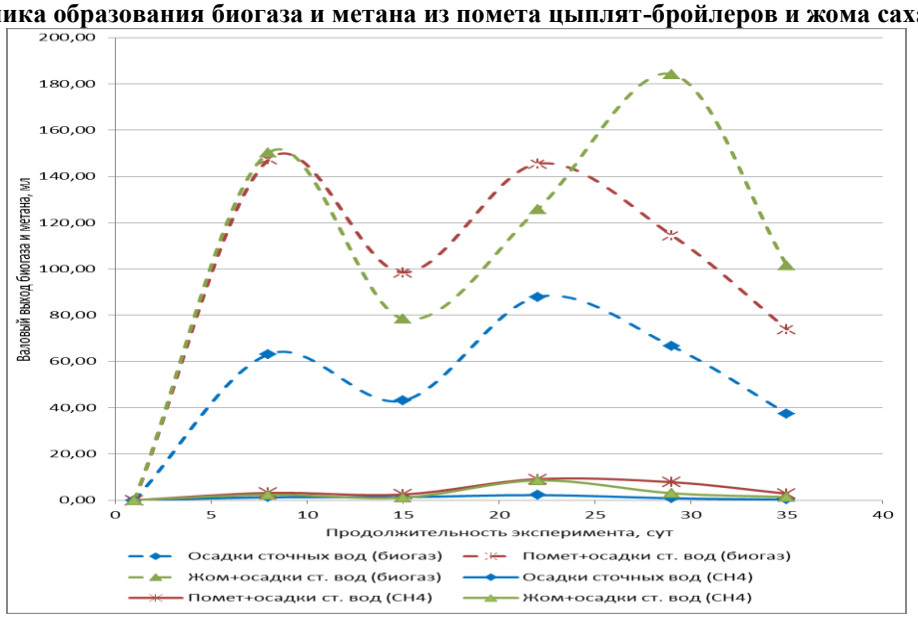


Рис. 2. - Динамика образования биогаза и метана из комбинаций субстратов

Синтез метана во всех вариантах, включающих осадки сточных вод, сначала был незначительным – он усилился лишь во вторую половину эксперимента, пик образования метана приходится на начало четвертой недели. В вариантах с куриным пометом и жомом пик метанообразования приходится на конец первой – начало второй недели эксперимента.

Заключение

В ходе наших исследований установлено, что для адаптации к осадку сточных вод метанобразующей микрофлоре инокулума требуется больше времени, чем для адаптации к куриному помету или жому сахарной свеклы. Добавление этих субстратов повышает эффективность переработки осадка сточных вод в биогаз, лучшие результаты получены при использовании куриного помета.

В целом биогазовая продуктивность осадка сточных вод невелика, что обусловлено низким содержанием в нем сухих веществ. При переработке данного отхода в биогазовой установке положительный эффект могла бы оказать его предварительная сепарация.

Литература

1. **В Курске** запущен новый партпроект «Чистый воздух». Kursk.er.ru, 2017. URL: https://kursk.er.ru/news/2017/2/27/v-kurske-zapushen-novyj-partproekt-chistyj-vozduh/
2. **Биогазовые** установки в России. Lektsii.org. URL: https://lektsii.org/16-19171.html
3. **Energieeffiziente** Kläranlagen – Hochlastfaulung für Klärschlamm. Fraunhofer Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik. URL: https://www.igb.fraunhoer.de/content/dam/igb/de/documents/ Broschüren/Energieeffiziente_Klaeranlagen__ Hochlast-faulung_fuer_ Klaerschlamm.pdf
4. **Gaserträge** und Nährstoffgehalte – Abfall. ARCHEA New Energy GmbH. URL: https://www.archea-biogas.de/_mediafiles/9-substrate.pdf
5. **Wriege-Bechtold, A.** Anaerobe Behandlung von Braunwasser und Klärschlamm unter Berücksichtigung von Co-Substraten. Technische Universität Berlin. URL: https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/4830/1/wriege-bechtold_alexander.pdf
6. **Лукьянов, А.** Альтернативная энергия России – биогаз. Агробизнес: экономика – оборудование – технологии, 2013; 10: 60-69. URL: http://bit.do/eJqFC
7. **Gerden, E.** Bioenergy in Russia: Potential for a leading position. Sun&Wind Energe, 2011; 12.
8. **Atta, N.N., El-Baz, A.A., Said, N., Abdel Daiem, M.M.** Anaerobic Co-Digestion of Wastewater Activated Sludge and Rice Straw in Batch and Semi Continuous Modes. Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/300001498_Anaerobic_Co-Digestion_of_Wastewater_Activated_ Sludge_and_Rice_Straw_in_Batch_and_Semi_ Continuous_Modes
9. **Björn, A., Yekta, S.S., Ziels, R.M., Gustafsson K., Svensson B.H., Karlsson,·A.** Feasibility of OFMSW co-digestion with sewage sludge for increasing biogas production at wastewater treatment plants. Euro-Mediterr J Environ Integr. 2017; 2: 21 URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s41207-017-0031-z
10. **Szűcs,B. R., Simon,M., Füleky, G.** Co-Digestion of Organic Waste and Sewage Sludge by Dry Batch Anaerobic Treatment. Management of Organic Waste, 2012; 97-112. URL: http://cdn.intechopen.com/pdfs/27159/InTech-Co_digestion_of_organic_waste_ and_sewage_sludge_by_dry_batch_anaerobic_treatment.pdf
11. **Kolbl, S.** Usage of hydrolytic enzymes for anaerobic digestion optimization in a wastewater treatment. Acta hydrotechnica, 2015; vol. 28, no. 48: 65-76. URL: http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta_articles/a 28sk. htm
12. **Lu, J.** Optimization of Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Using Thermophilic Anaerobic Pre-Treatment. DTU Orbit – The Research Information System. URL: http://orbit.dtu.dk/files/4692519/ Thesis.pdf.
13. **Lebiocka, M., Montusiewicz, A., Cydzik-Kwiatkowska, A.** Effect of Bioaugmentation on Biogas Yields and Kinetics in Anaerobic Digestion of Sewage Sludge. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30103443
14. **Girault, R., Bridoux, G., Nauleau, F., Poullain, C., Buffet, J., Peu, P., Sadowski, A.G., Béline, F.** Anaerobic co-digestion of waste activated sludge and greasy sludge from flotation process: Batch versus CSTR experiments to investigate optimal design. Bioresource Technology, Elsevier, 2012; 105: 1 – 8. URL: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00736422
15. Под Курском строится завод по производству газа из отходов. Курские известия, 2017. URL: http://kursk-izvestia.ru/news/25463/
16. **Pfeiffer, D.; Dittrich-Zechendorf, M.** Messmethodensammlung Biogas: Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ), 2012. 151 S.
17. **Hellfrich, D., Oechsner, H.** Hohenheimer Biogasertragstest. Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. Agrartechnische Forschung (9) Heft 3: 27 – 30.
18. DIN 38 414 (S8): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des Faulverhaltens (S 8). Beuth Verlag. URL: https://www.beuth.de/de/norm/din-38414-8/1209064
19. VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Beuth Verlag. URL: https://www.beuth.de/de/technische-regel/vdi-4630/ 244849582
20. Handreichung. Biogasgewinnung- und Nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2013; 232.

Поступила в редакцию: 22.02.2019

Мирошниченко Ирина Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, заведующий лабораторией по изучению биогазовых технологий ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Россия, п. Майский, Белгородская обл., тел. +7-903-887-3490, e-mail: imiroshnichenko_@mail.ru

Снеговой Евгений Владимирович, главный инженер ООО «ЭнергоПарк», Россия, г. Курск, тел. +7-910-210-8504, e-mail: snegovoi_evgeni@mail.ru

scientia, virtus, libertas