



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2021 Том 16 № 2

DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-2

agrojournal.rudn.ru

Научный журнал

Издается с 2006 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77–61171 от 30.03.2015 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Главный редактор

Плющиков В.Г., д-р с.-х. наук,
профессор АТИ РУДН,
Москва, Российская Федерация
E-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru

Заместитель главного редактора

Докукин П.А., канд. техн. наук,
доцент Агроинженерного
департамента АТИ РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: dokukin-pa@rudn.ru

Ответственный секретарь

Терехин А.А., канд. с.-х. наук,
доцент АТИ РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: terekhin-aa@rudn.ru

Члены редакционной коллегии

Аббоуд-Аби Сааб М., д-р филос. (биология), ведущий научный сотрудник, Национальный центр исследований морской фауны Ливана, Бейрут, Ливан

Акимов В.А., д-р тех. наук, проф., главный научный сотрудник, ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, РФ

Алтишулер А.М., д-р мед. и общ. наук, проф., Научно-исследовательский институт по чрезвычайным ситуациям, Израиль

Аун Жорж Э., профессор, Государственный университет Ливана, Бейрут, Ливан

Ашайеризаде О., PhD, доцент, Горганский университет сельскохозяйственных наук и природных ресурсов, Горган, Иран

Бабински Л., PhD, проф., Дебреценский университет, Дебрецен, Венгрия

Балестра Д.М., д-р филос. (биология), проф., ведущий научный сотрудник, Университет Тушии, Италия

Бородычев В.В., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, Волгоградский филиал ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, Волгоград, РФ

Валентини Р., д-р биол. наук, проф., Университет Тушии, Витербо, Италия

Ватников Ю.А., д-р вет. наук, проф., РУДН, Москва, РФ

Гитас И., PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Греция

Донник И.М., академик РАН, вице-президент РАН, Москва, РФ

Дубенок Н.Н., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

Еланский С.Н., д-р биол. наук, проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, РФ

Зволинский В.П., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, директор, Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, п. Соленое Займище, Астраханская обл., РФ

Игнатов А.Н., д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «Биоинженерия» РАН, Москва, РФ

Карвальо П.А., PhD, проф., Университет Бразилиа, Бразилиа

Ковеос Д., PhD, проф., декан факультета сельского хозяйства и природных ресурсов, Университет Аристотеля г. Салоники, Греция

Комитов Б., PhD, проф., Институт астрономии Болгарской академии наук, София, Болгария

Кузнецов Вл.В., д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАН, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

Левин Е.А., канд. техн. наук, доц., Мичиганский технологический университет, Мичиган-Сити, США

Мадзалья А., д-р филос. (биология), проф., научный сотрудник, Университет Тушии, Италия

Медавэр С., проф., декан сельскохозяйственного факультета, Ливанский государственный университет, Бейрут, Ливан

Новиков А.Е., д-р техн. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, РФ

Овчинников А.С., д-р с.-х. наук, профессор, чл.-кор. РАН, Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, РФ

Савин И.Ю., д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. РАН, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, РФ

Статакис Д., PhD, проф., департамент планирования и регионального развития, Университет Фессалии, Волос, Греция

Сычѳв В.Г., д-р с.-х. наук, академик РАН, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, Москва, РФ

Уша Б.В., д-р вет. наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАН, Институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Московский государственный университет пищевых производств, Москва, РФ

Чамурлиев Г.О., зам. отв. секретаря редколлегии, канд. с.-х. наук, РУДН, Москва, РФ

Шаад Н.В., д-р филос. (биология), проф., ведущий бактериолог, Министерство сельского хозяйства США, Вашингтон, США

Вестник Российского университета дружбы народов.
Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

ISSN 2312–7988 (online); 2312–797X (print)

4 выпуска в год.

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Языки: русский, английский.

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

Цели и тематика. Журнал *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство* — периодическое рецензируемое научное издание в области сельского хозяйства. Журнал является международным как по составу авторов и тематике публикаций, отражающей проблематику научных исследования в различных регионах мира, так и по составу редакционной коллегии и экспертного совета (рецензентов). Журнал предназначен для публикаций результатов фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых в виде оригинальных научных статей, обзорных научных материалов, научных сообщений, библиографических обзоров по определенным темам научных исследований. Также журнал публикует и распространяет результаты фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в коллаборации отечественных и зарубежных ученых по приоритетным проблемам сельскохозяйственной отрасли. В журнале могут быть опубликованы материалы, научная ценность которых и пригодность для публикации оценена рецензентами и редакционной коллегией журнала. Во всех материалах должны соблюдаться этические нормы научных публикаций.

Редакционная коллегия принимает к рассмотрению материалы по направлениям: агрономия, животноводство, ветеринария, зоотехния, ветеринарно-санитарная экспертиза, техносферная безопасность, землеустройство и кадастры, ландшафтная архитектура — для подготовки тематических выпусков с участием приглашенных редакторов.

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 03.02.01 Ботаника, 03.02.13 Почвоведение, 06.01.01 Общее земледелие растениеводство, 06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель, 06.01.04 Агрохимия, 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений, 06.01.06 Луговоеводство и лекарственные эфирномасличные культуры, 06.01.07 Защита растений, 06.01.09 Овощеводство, 06.02.01 Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных (ветеринарные науки), 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология (ветеринарные науки), 06.02.04 Ветеринарная хирургия (ветеринарные науки), 06.02.07 Разведение селекция и генетика сельскохозяйственных животных (сельскохозяйственные науки), 06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства (сельскохозяйственные науки).

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала: <http://agrojournal.rudn.ru>

Редакторы: О.В. Горячева, М.И. Яблонская

Компьютерная верстка: М.В. Рогова

Адрес редакции:

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3
Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Почтовый адрес редакции

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2
Тел.: (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Подписано в печать 28.06.2021. Выход в свет 30.06.2021. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Tinos, Roboto».

Усл. печ. л. 6,3. Тираж 500 экз. Заказ № 13. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3,

тел. (495) 952-04-41; publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2021 VOLUME 16 No. 2
DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-2
agrojournal.rudn.ru
Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr Vadim G. Plyushchikov
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: plushchikov-vg@rudn.ru

DEPUTY CHIEF EDITOR

Dr Petr A. Dokukin
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: dokukin-pa@rudn.ru

EXECUTIVE SECRETARY

Dr Aleksey A. Terekhin
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: terekhin-aa@rudn.ru

EDITORIAL BOARD

- Marie Abboud-Abi Saab**, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, National Centre of Sea Animals Research of Lebanon, Beirut, Lebanon
- Valeriy A. Akimov**, Professor, Dr of Technical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Institute for Research of Civil Defense and Emergencies Situations of the Emergencies Ministry of Russia, Moscow, Russian Federation
- Aleksandr M. Altshuler**, Dr of Medical and Social Sciences, Professor, Emergency Research Institute, Israel
- Georges Emilo Aoun**, Professor, Lebanese University, Beirut, Lebanon
- Omid Ashayerizadeh**, PhD, Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran
- Laszlo Babinszky**, PhD, Professor, University of Debrecen, Debrecen, Hungary
- Giorgio M. Balestra**, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy
- Viktor V. Borodychev**, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Volgograd Branch of Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Volgograd, Russian Federation
- Georgiy O. Chamurliiev**, Deputy Executive Secretary, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Agricultural Engineering Department, Agrarian Technological Institute, RUDN University, Moscow, Russian Federation
- Paulo A. Carvalho**, PhD, Professor, University of Brasilia, Brazil
- Irina M. Donnik**, Academician of RAS, Vice-president of RAS, Moscow, Russian Federation
- Nikolay N. Dubenok**, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy of Timiryazev, Moscow, Russian Federation
- Sergey N. Elanskiy**, Professor, Dr Biology science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation
- Ioannis Gitas**, PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
- Aleksandr N. Ignatov**, Professor, Dr of Biological Sciences, Leading Researcher, Research Centre "Bioengineering", RAS, Moscow, Russian Federation
- Dimitris Koveos**, Professor, PhD, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
- Boris Komitov**, PhD, Professor, Institute of Astronomy of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
- Vladimir V. Kuznetsov**, Professor, Dr of Biological Sciences, Corresponding Member of RAS, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Moscow, Russian Federation
- Eugene A. Levin**, Associate professor, PhD in Photogrammetry, Michigan Technological University, United States
- Angelo Mazzaglia**, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy
- Samir Medawar**, Professor, dean of the Agricultural Faculty, Lebanese University, Beirut, Lebanon
- Andrey E. Novikov**, Dr of Technical Sciences, Department of Processes and Apparatus of Chemical and Food Production, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation
- Aleksey S. Ovchinnikov**, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation
- Igor Y. Savin**, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Soil Institute of V.V. Dokuchaev, Moscow, Russian Federation
- Viktor G. Sychev**, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the RAS, director, Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry RAS, Moscow, Russian Federation
- Norman V. Schaad**, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), USA Ministry of Agriculture, Washington, United States
- Dimitris Stathakis**, Professor, PhD, University of Thessaly, Volos city, Greece
- Boris V. Usha**, Honoured Scientist of Russia, Academician of RAS, Dr of Veterinary Sciences, Professor, Institute of Veterinary Expertise, Sanitary and Ecology, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation
- Ricardo Valentini**, Professor, Dr of Biological Sciences, Tuscia University, Italy
- Yuriy A. Vatnikov**, Professor, Dr of Veterinary Sciences, Veterinary Medicine of ATI, RUDN University, Moscow, Russian Federation
- Vyacheslav P. Zvolinskiy**, Dr of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the RAS, director, Caspian Research Institute of Arid Agriculture, Solenoye Zajmishche city, Russian Federation

RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

Published by the RUDN University
(Peoples' Friendship University of Russia),
Moscow, Russian Federation

ISSN 2312–7988 (online); 2312–797X (print)

Publication frequency: Quarterly

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Languages: Russian, English

Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

Aims and Scope

RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries is a peer-reviewed periodical covering the latest research in the field of Agricultural Sciences. The journal is international with regard to its editorial board, contributing authors and thematic foci of the publications reflecting problems of various regions in the world.

The journal publishes original results of Russian and foreign scientific researchers and welcomes research articles, review articles, scientific reports, and bibliographic researches. The journal also publishes and disseminates the results of fundamental and applied research conducted by international collaborations of scientists on the priority problems of the agricultural sector.

The most common topics include Agronomy, Animal industries, Veterinary, Veterinary-sanitary expertise, Land use planning and cadaster, Landscape architecture.

The editors are open to thematic issue initiatives with guest editors. Submitted papers are evaluated by independent reviewers and the Editorial Board members specialized in the article field. All materials must comply with the ethical standards of scientific publications.

In order to expand our readership, we present our journal at scientific conferences, including the annual international conference "Innovation Processes in Agriculture", which is traditionally held at the base of the Agrarian Technological Institute of RUDN University. Each year the conference attracts many agrarian specialists from different parts of the world and continents: Europe, Asia, Africa, North and South America.

Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <http://agrojournal.rudn.ru>

Editors *O.V. Goryacheva, M.I. Yablonskaya*
Computer design *M.V. Rogova*

Address of the Editorial Board:

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation
Ph. +7 (495) 952-04-41
e-mail: publishing@rudn.ru

Postal Address of the Editorial Board:

8/2 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation
Ph. +7 (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House:

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation,
Ph. +7 (495) 952-04-41; e-mail: publishing@rudn.ru

Содержание

Растениеводство

Платонова С.Ю., Торрес Миньо К.Х., Гинс Е.М., Гинс М.С., Романова Е.В.

Фенологические особенности развития красноокрашенных сортов амаранта в условиях открытого грунта Московской области с высоким содержанием натурального пигмента амарантина 107

Батакова О.Б., Корелина В.А. Оценка урожайности, пластичности и стабильности образцов ярового ячменя в условиях Европейского Севера РФ118

Kryukova K.D., Gresis V.O. Study of differences in biological efficiency of the application of one- and two- component graminicide on sugar beet crops in conditions of Tula region (Изучение различий биологической эффективности применения одно- и двухкомпонентного граминицида на сахарной свекле в условиях Тульской области) 129

Защита растений

Naserzadeh Y., Bondarenko G., Kolesnikova E., Pakina E. Phylogenetic analysis and designing new primers for molecular identification of *Drosophila suzukii* (Филогенетический анализ и разработка новых праймеров для молекулярной идентификации *Drosophila suzukii*) 137

Агротехнологии и мелиорация земель

Германова С.Е., Дрёмова Т.В., Плющиков В.Г. Модель мониторинга нефтяного загрязнения почвы и его прекращения 146

Животноводство

Ayad A., Derbak H., Besseboua O. Using commercial enzyme immunoassay for measuring pregnancy-associated glycoproteins to diagnose pregnancy in dairy cows under field conditions in Algeria (Использование иммуноферментного анализа для определения гликопротеинов беременности с целью диагностики стельности дойных коров в полевых условиях Алжира)154

Полонский В.И., Сумина А.В. Влияние физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность кормов для птиц167

Contents

Crop production

- Platonova SY, Torres Mino CJ, Gins EM, Gins MS, Romanova EV.** Phenological traits of red amaranth varieties with a high content of amaranthine cultivated in open fields of Moscow region..... 107
- Batakova OB, Korelina VA.** Assessment of yield, plasticity and stability of spring barley cultivars grown in the European North of the Russian Federation.....118
- Kryukova K.D., Gresis V.O.** Study of differences in biological efficiency of the application of one- and two-component graminicide on sugar beet crops in conditions of Tula region 129

Plant protection

- Naserzadeh Y., Bondarenko G., Kolesnikova E., Pakina E.** Phylogenetic analysis and designing new primers for molecular identification of *Drosophila suzukii* 137

Agricultural technologies and land reclamation

- Germanova S.E., Dremova T.V., Plyushchikov V.G.** Model of monitoring of oil soil pollution and its termination 146

Animal breeding



- Ayad A., Derbak H., Besseboua O.** Using commercial enzyme immunoassay for measuring pregnancy-associated glycoproteins to diagnose pregnancy in dairy cows under field conditions in Algeria.....154
- Polonskiy V.I., Sumina A.V.** Influence of grain physical characteristics on functional value of poultry feed167

Растениеводство Crop production

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-107-117
УДК 635.49:635.042:631.524.022

Научная статья / Research article

Фенологические особенности развития красноокрашенных сортов амаранта в условиях открытого грунта Московской области с высоким содержанием натурального пигмента амарантина

С.Ю. Платонова¹  , К.Х. Торрес Миньо², Е.М. Гинс¹,
М.С. Гинс^{1,3}, Е.В. Романова¹

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

²Технический университет Котопакси, г. Лакатунга, Эквадор

³Федеральный научный центр овощеводства,
поселок ВНИИССОК, Московская область, Российская Федерация

 Svetlana.Platonova.00@mail.ru

Аннотация. Показаны фенологические особенности реакции сортов в зависимости от изменчивости погодных условий в открытом грунте Московской области. Одним из перспективных соединений красноокрашенных форм амаранта является представитель группы беталаиновых пигментов — амарантин. Выявлены фазы с максимальным содержанием амарантина с одного растения и рассмотрена динамика накопления исследуемого пигмента суммарно в листьях и соцветиях растений амаранта в расчете на единицу площади. Фенологические наблюдения за интродуцированными видами растений в новых условиях имеют важное значение и определяют их устойчивость к неблагоприятным факторам среды, способность давать полноценные плоды и семена и возможность их ввода в культуру. При введении новых видов и сортов амаранта проводят отбор более приспособленных форм для условий Нечерноземной зоны РФ, в которые они попали. Рассмотренные в исследовании сорта растений амаранта относили к четырем различным группам по продолжительности периода вегетации в открытом грунте от всходов до созревания семян (2013—2016 гг.). Анализ фенологических особенностей развития амаранта сортов селекции ВНИИССОК и Эквадора выявил, что изменчивость продолжительности стадий развития амаранта не зависит от сортового фактора, за исключением четвертой стадии позднеспелых сортообразцов Дон Педро и Эку 17020, зависимой от погодных условий. При анализе генотипической изменчивости наиболее стабильным оказался вегетативный период развития в разные годы исследований, продолжительность которого зависит от погодных условий. Для позднеспелого образца Эку 17020 характерно увеличение стадии созревания, в результате которой в открытом грунте образец эквадорской селекции

© Платонова С.Ю., Торрес Миньо К.Х., Гинс Е.М., Гинс М.С., Романова Е.В., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

не формировал зрелых семян. В исследовании выявлены оптимальные фазы для получения натурального растительного сырья с максимальным выходом красителя из красноокрашенных сортов амаранта Валентина, Дон Педро и Факел. Рассмотрена перспектива выращивания зеленолистных сортов Памяти Коваса и Эку 17020 с красными соцветиями в качестве источников биологически ценных соединений в условиях Московской области.



Ключевые слова: амарант, фенологические фазы, фенология, амаран-тин, интродукция, эквадорская селекция, нечерноземная зона

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: Поступила в редакцию: 24 февраля 2021 г. Принята к публикации: 11 мая 2021 г.

Для цитирования: Платонова С.Ю., Торрес Миньо К.Х., Гинс Е.М., Гинс М.С., Романова Е.В. Фенологические особенности развития красноокрашенных сортов амаранта в условиях открытого грунта Московской области с высоким содержанием натурального пигмента амарантина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 15. № 2. С. 107—117. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-107-117


Phenological traits of red amaranth varieties with a high content of amarantine cultivated in open fields of Moscow region

Svetlana Y. Platonova¹  , Carlos J. Torres Mino², Ekaterina M. Gins¹, Murat S. Gins^{1, 3}, Elena V. Romanova¹

¹Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

²Technical University of Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

³Federal Scientific Vegetable Center, Moscow region, Russian Federation

 Corresponding author: Svetlana.Platonova.00@mail.ru

Abstract. The article focuses on phenological features of amaranth varieties grown in open fields as a reaction to variability of weather conditions in the Moscow region. Amarantine is one of the promising compounds found in red-colored amaranths. It refers to a class of betalain pigments. The study revealed growth stages defined by the highest content of amarantine per plant and analyzed accumulation of the pigment in amaranth leaves and inflorescences. Phenological observations of introduced plant species under new conditions are important and determine their resistance to adverse environmental factors, ability to produce high quality fruits and seeds, and potential for cultivation. During the introduction of new amaranth varieties, the most adapted forms were selected for the conditions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation in 2013—2016. The studied Russian and Ecuador varieties were divided into 4 groups depending on the growth period (from germination to seed maturity). Analysis of phenological traits of plants confirmed that period of amaranth development did not depend on the variety, except the fourth stage of late-ripening cultivars — ‘Don Pedro’ and ‘Eku 17020’, dependent on weather conditions. Being dependent on weather conditions, the vegetative growth period turned to be the most stable. Late cv. ‘Eku 17020’ did not form mature seeds in open ground conditions, which is explained by its origin (Ecuador). In the present study we identified growth stages when plant raw materials had the highest dye content in red-leaved amaranth varieties (‘Valentina’, ‘Don Pedro’ and ‘Fakel’). We also considered the perspective of cultivation of green-leaved varieties with red inflorescences — ‘Pamyati Kovasa’ and ‘Eku-17020’ — as sources of biologically valuable compounds in the Moscow region.

Keywords: amaranth, phenological phases, phenology, amarantine, plant introduction, Ecuador breeding, Non-Chernozem zone

Conflicts of interest. The authors declared that they have no conflict of interest.

Article history:

Received: 24 February 2021. Accepted: 11 May 2021

For citation:

Platonova SY, Torres Mino CJ, Gins EM, Gins MS, Romanova EV. Phenological traits of red amaranth varieties with a high content of amaranthine cultivated in open fields of Moscow region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):107—117. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-107-117

Введение

Растения рода *Amaranthus* L. привлекают к себе внимание исследователей и практиков сельского хозяйства высокой урожайностью, особенностями приспособления к условиям среды, сбалансированностью белка, минеральных солей, содержанием ценных биологически активных веществ (БАВ), применимостью в лекарственной и пищевой сферах промышленности [1]. Первые цивилизации (майя, ацтеки и инки) выращивали его как культурное растение с высокой урожайностью. Археологические данные показывают, что Мексика является одним из центров происхождения амаранта. Кивича, известная сегодня как амарант в Андах, была одним из основных продуктов питания инков и ацтеков, считается, что до 80 % потребления калорий у ацтеков приходилось именно на амарант [2, 3].

Фенологические наблюдения, по мнению многих ученых [3—5], являются составной частью процесса изучения растений, вводимых в культуру. Различные факторы: фенологические особенности, технология выращивания, происхождение растений влияют на изменчивость разнообразных веществ амаранта.

Амарантин как водорастворимый антиоксидант перспективен для использования в медицине, а также для восстановления природной окраски в пищевой промышленности [5, 6]. Накопление пигмента амарантина зависит, таким образом, как от генотипа, так и от условий выращивания.

Знание динамики сезонного развития растений амаранта необходимо при подборе сортов амаранта, в листьях и соцветиях которых содержится повышенное количество амарантина и других биологически активных веществ, а также для совершенствования технологии выращивания с целью увеличения продуктивности растений и получения сырья для пищевой промышленности независимо от условий выращивания [7].

Цель исследования — изучение фенологических особенностей амаранта и отбор перспективных растений амаранта разных видов и сортов, изучение динамики накопления амарантина и оптимальной фазы для получения натуральных красителей в неоптимальных климатических условиях Нечерноземной зоны РФ.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований для изучения роста и развития растений, выделения пигмента амарантина являлись листья и соцветия амаранта (*Amaranthus* L.) краснолистных сортообразцов: Валентина, Дон Педро, Факел, а также сортообразцы с красноокрашенными соцветиями: Памяти Коваса, оригинатор ФГБНУ ФНЦО, образец Эквадорской селекции Ecu-17020, оригинатор INIAP [8].

Посев растений проводили в конце мая в открытом грунте Московской области (2013—2017 гг.). В соответствии с указаниями по изучению зеленных культур [9] в процессе онтогенеза были отмечены наиболее значимые стадии развития амаранта, рассчитаны продолжительности межфазных периодов. Биохимические исследования проводили в лаборатории физиологии и биохимии растений, интродукции и функциональных продуктов ФГБНУ ФНЦО (Федеральный научный центр овощеводства).

Содержание пигментов амарантина (в листьях и соцветиях амаранта) определяли спектрофотометрическим методом. Количество амарантина в водных экстрактах определяли с учетом молярного коэффициента экстинкции $15,66 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и молярного веса $726,6 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ [10].

Полученные данные обрабатывали статистически с использованием пакета электронных таблиц MS Excel. Для анализа полученных данных использовали метод дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [11]. Для обработки данных использовали схему двухфакторного опыта: доля влияния сортового фактора — Фактор А (сорт) и условия выращивания — Фактор Б (год) на изменчивость исследуемых признаков.

Результаты исследования и обсуждение

За период 2013—2016 гг. при выращивании в Московской области среди представленных красноокрашенных образцов к более раннеспелым относили сорт Валентина (до 118 суток), к среднеспелым — сорт Факел (до 128 суток) и сорт Дон Педро (от 135...155 суток) соответственно более ранним фенологическим наблюдениям [6, 12]. Среди зеленолистных растений с красными соцветиями выделяли два образца: среднеспелый сорт Памяти Коваса (от 125 до 133 суток) и позднеспелый образец Эку 17020 (около 165 суток) из Эквадора [13] (рис. 1).

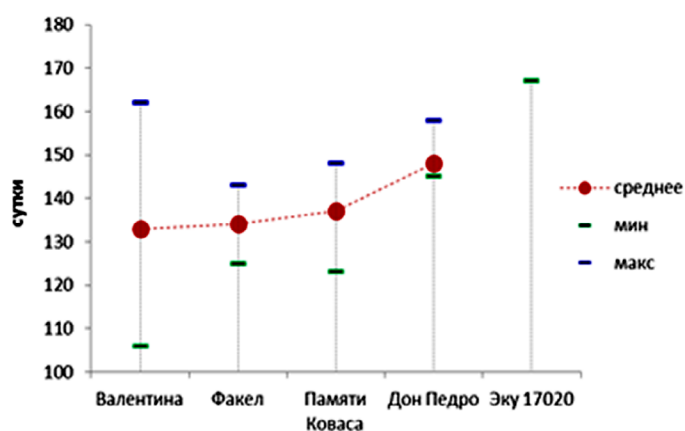


Рис. 1. Изменчивость вегетационного периода сортов амаранта в условиях открытого грунта Московской области за 2013–2016 гг.

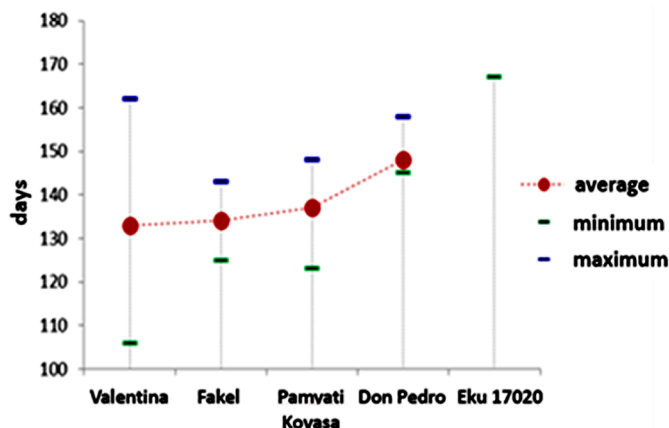


Fig. 1. Variation of growing season in amaranth varieties grown in open fields of the Moscow region (2013–2016)

У всех сортов Российской селекции всходы появлялись на 7 сутки, за исключением Дон Педро и Эку 17020 (более 10 суток), образцов происхождения стран Латинской Америки в 2014—2019 гг. Самым изменчивым по продолжительности вегетации можно считать сорт Валентина (102...160 суток), который отличался также по скороспелости в 2014 и 2015 гг. В 2013 и 2016 гг. наиболее скороспелым выделяли зеленолиственный сорт Памяти Коваса (см. рис. 1).

В зависимости от сорта и года исследований в реакции изученных сортов в отдельные фазы вегетационного периода были отмечены следующие закономерности (рис. 2). На первой вегетативной стадии в 2013 г. наблюдали самый короткий межфазный период менее 40 суток, тогда как в остальные годы продолжительность данного периода была от 42 до 50 суток. Для позднеспелых образцов Дон Педро и Эку17020 характерно увеличение межфазного периода до 50 суток (рис. 2).

Продолжительность стадии бутонизации в среднем варьировала от 15 до 32 суток, у позднеспелых сортообразцов также, как и на первой стадии наблюдались высокие значения более 30 суток.

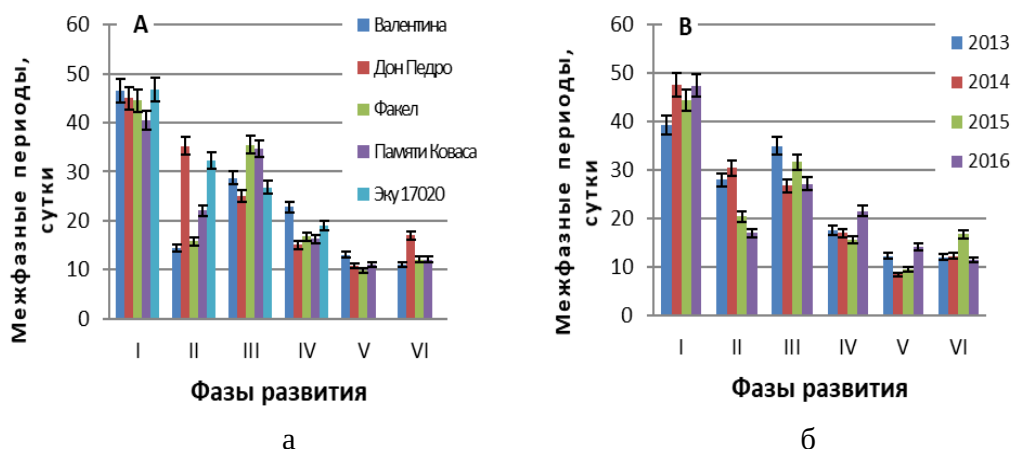


Рис. 2. Изменчивость межфазных периодов растений амаранта в зависимости от сорта (а) и года исследований (б) в разные фазы онтогенеза

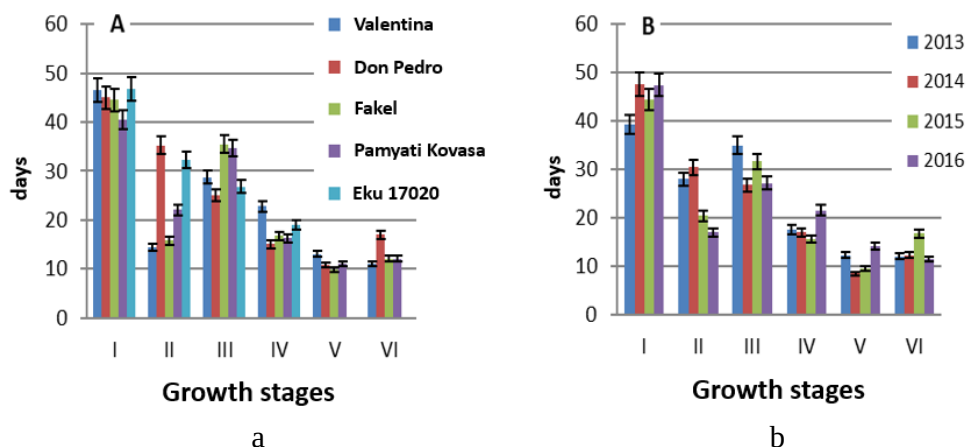


Fig. 2. Variation of growth periods in amaranth plants depending on the variety (a) and the year of growth (b) in different growth stages

На третьей стадии заметно отличались показатели 2013 и 2015 гг. в пределах от 30 до 37 суток, что в большей степени характерно для среднеспелых сортов Факел и Памяти Коваса. На четвертой стадии продолжительность межфазных периодов была примерно сравнима в 2013—2015 гг., за исключением 2016 г., характерного неблагоприятными условиями (до 22 суток). Реакция раннеспелого сорта Валентина составляла до 29...30 дней в 2013 и 2016 гг.

Следующие стадии (V—VI фазы созревания) являются короткими у всех сортообразцов ФГБНУ ФНЦО. В неблагоприятных условиях 2015 и 2016 гг. наблюдали 18 и 22 суток у сортообразца Дон Педро, и в 2015 г. — 21 суток у сорта Памяти Коваса. Для позднеспелого сортообразца Эку 17020 характерно увеличение стадии созревания, в результате которой в открытом грунте образец эквадорской селекции не формировал зрелых семян.

В среднем у всех сортов наблюдалась высокая влияние фенотипической изменчивости ($C_{ve} > 20\%$), кроме вегетативной стадии ($C_{ve} = 10...18\%$). Невысокой степенью генотипической изменчивости (Фактор А (сорт)) отличались показатели у отдельных фенофаз ($C_{vg} < 20\%$), за исключением II фазы.

Степень изменчивости $C_{vg}, \%$ всех фенофаз в отдельные годы была выше, чем в среднем за несколько лет для отдельных сортов. В разные годы самым стабильным был первый период развития, зависимый от условий Фактора Б (год) (рис. 3). Наиболее вариабельными являются второй период и последняя стадия ($DВ > 50\%$). Доля влияния погодных условий не превышала 34%. При этом все сорта амаранта селекции ФГБНУ ФНЦО (кроме сорта Эку 17020) успевали пройти полный цикл развития, что свидетельствует о высокой пластичности сортообразцов.

Суммарный выход амарантина с растения. За период 2014—2016 гг. с целью выявления фазы с максимальным выходом красителя была рассмотрена динамика накопления амарантина, в которой у сорта Валентина выделялись фазы бутонизации и начало цветения (140 и 183 мг/растение) [14, 15]. У сортообразца Дон Педро максимальным выходом амарантина отличалась фаза бутонизации (125 мг/растение) и у сорта Факел — фаза начала цветения (146 мг/растения).

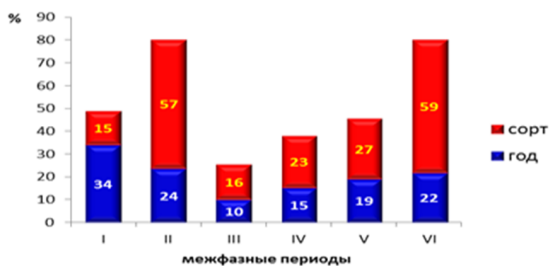


Рис. 3. Изменчивость межфазных периодов растений амаранта в зависимости от генотипа – Фактор А(сорт) и условия выращивания – Фактор Б (год)

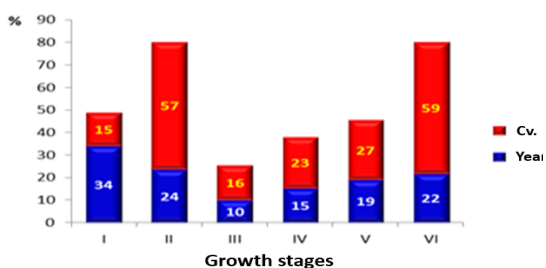


Fig. 3. The proportion of the influence of genotype (cultivar) and climatic factors (year)

Суммарный выход амарантина с растения. За период 2014—2016 гг. с целью выявления фазы с максимальным выходом красителя была рассмотрена динамика накопления амарантина, в которой у сорта Валентина выделялись фазы бутонизации и начало цветения (140 и 183 мг/растение) [14, 15]. У сортообразца Дон Педро максимальным выходом амарантина отличалась фаза бутонизации (125 мг/растение) и у сорта Факел — фаза начала цветения (146 мг/растения).

В рассмотренном анализе биометрических и биохимических показателей, фенологии растений, а также в расчете выхода красителя с единицы площади максимальным выходом красителя наиболее оптимальными были выделены репродуктивные стадии — III—IV фазы развития растений (1,52...1,82 г/м²) (рис. 4).

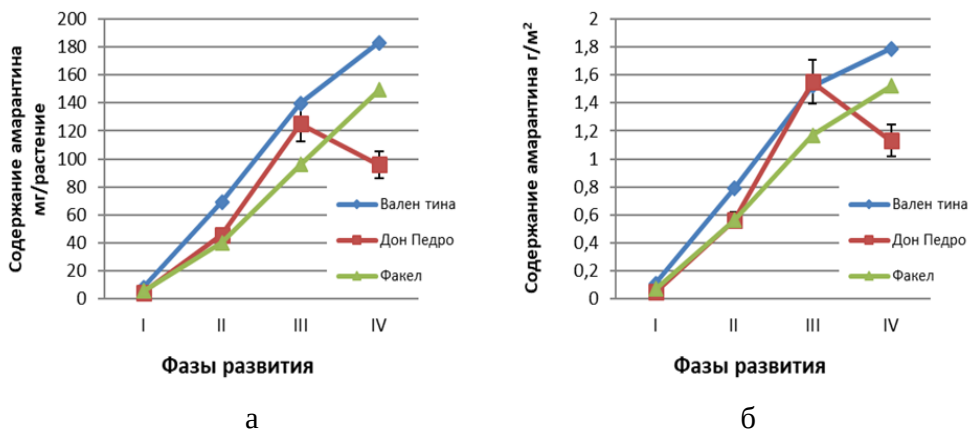


Рис. 4. Содержание амарантина с одного растения (а) и единицы площади (б) сортов амаранта с красноокрашенными листьями и соцветиями в период онтогенеза растений в открытом грунте Московской области (2014–2016 гг.)

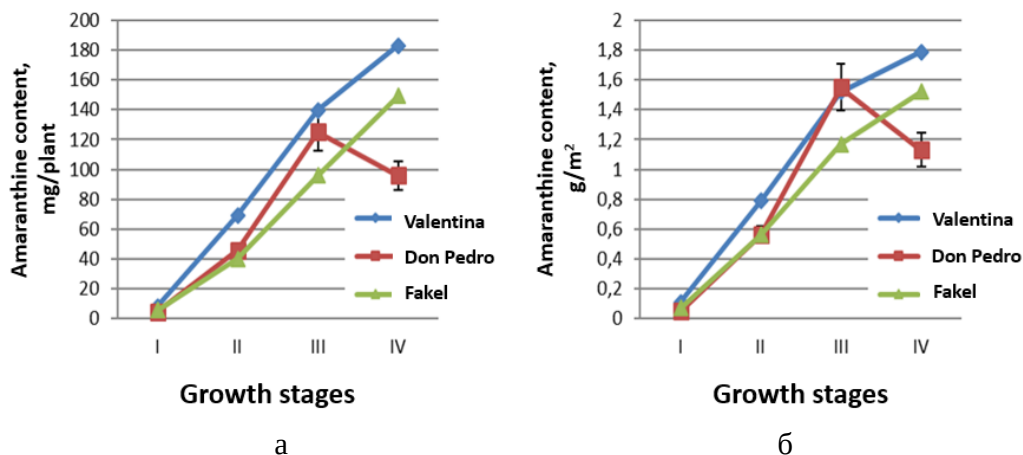


Fig. 4. Total yield of amarantine per plant (a) and unit area (б) in red-leaved amaranth varieties at various phenological phases of plant development in the open ground of the Moscow region (2014–2016)

Заключение

Фенологические особенности реакции сортов, продолжительность межфазных периодов зависят от скороспелости растений и влияния погодных условий в открытом грунте Московской области. По результатам исследований к раннеспелым отнесли сорт Валентина (до 118 суток), к среднеспелым — сорт Факел (до 128 суток) и сорт Памяти Коваса (от 125 до 133 суток), к позднеспелым — сортообразец Дон Педро (от 135...155 суток) и позднеспелый Эквадорский образец Эку 17020 (около 165 суток).

Вегетативный период развития растений не зависел от группы спелости сортов амаранта, фактор погодных условий в большей степени влиял на продолжительность первого периода (ДВ = 34 %). Наиболее изменчивыми по фактору сорта являлись II и VI фазы репродуктивного развития растений амаранта (ДВ > 50 %). Для позднеспелых образцов Дон Педро и Эку 17020 характерно увеличение стадии созревания. Образец эквадорской селекции не формировал зрелых семян и не достигал биологической спелости ввиду пониженных среднесуточных осенних температур (< 20 °С), что ниже биологического оптимума для теплолюбивых растений амаранта этого сорта.

Анализ фенологических наблюдений, динамики амарантина, перспективного сорта Валентина показал, что оптимальными фазами для получения высокого выхода амарантина с растения при возделывании в открытом грунте Московской области можно считать: начало бутонизации и начало формирования семян, т.е. III и IV фазы (140 и 183 мг/растение); у сорта Дон Педро — III фазу цветения (125 мг/растение); у сорта Факел — IV фазу начало формирования семян (146 мг/растение). Нестабильность погодных условий в открытом грунте Московской области на разных этапах развития ведет к необходимости оптимизации условий выращивания для получения стабильных урожаев листовой массы сортов с высоким содержанием пигмента и сокращению продолжительности межфазных периодов, что можно обеспечить в условиях защищенного грунта растений.

Библиографический список

1. Кононков П.Ф., Гинс В.К., Гинс М.С., Рахимов М.В. Технология выращивания и переработки листовой массы амаранта как сырья для пищевой промышленности. М.: РУДН, 2008. 195 с.
2. Mosyakin S.L., Robertson K.R. *Amaranthus* Linnaeus // *Flora of North America*. New York, USA: Oxford University Press, 2003. Vol. 4. Pp. 410—435.
3. Mosyakin S.L., Robertson K.R. New infrageneric taxa and combinations in *Amaranthus* (Amaranthaceae) // *Annales Botanici Fennici*. 1996. № 33. P. 275—281. Режим доступа: <http://www.sekj.org/PDF/anbf33/anbf33-275.pdf> Дата обращения: 02.12.2020.
4. Бекузарова С.А., Кузнецов И.Ю., Гасиев В.И. Амарант — универсальная культура. Владикавказ: Колибри, 2014. 180 с.
5. Гинс М.С. Биологически активные вещества амаранта. М.: РУДН, 2002.
6. Платонова С.Ю. Особенности роста и формирования продуктивности красноокрашенных сортов амаранта для получения натурального пищевого красителя с повышенным содержанием амарантина: дис. ... канд. с.-х. наук. Москва, 2019. 197 с.
7. Гинс М.С., Торрес Миньо К.Х., Гинс Е.М., Платонова С.Ю., Романова Е.В., Хакоме Могро Э.Х., Кононков П.Ф. Фенологическая характеристика сортов амаранта, выращенных в России и Эквадоре // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2015. № 1 (22). С. 14—19.
8. Торрес Миньо К.Х. Оценка сортов амаранта с использованием биохимических и молекулярных методов для создания функциональных продуктов питания на основе листовой биомассы: дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2015. 192 с.
9. Методические указания по селекции и семеноводству зеленых овощных культур в защищенном грунте. Л.: ВИР, 1976. 98 с.
10. Cai Y., Sun M., Corke H. Antioxidant activity of betalains from plants of the *Amaranthaceae* // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003. Vol. 51. P. 2288—2294. doi: 10.1021/jf030045u
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
12. Nieto C. El cultivo de amaranto *Amaranthus* spp. una alternativa agronómica para Ecuador. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cultivos Andinos. (Publicación Miscelánea no. 52). Quito, Ecuador; 1989.
13. Peralta I.E., Mazón N., Murillo I.A., Rivera M.M., y Monar B.C. Manual Agrícola de Granos Andinos: Chocho, quinua, amaranto y ataco. Cultivos, variedades y costos de producción. Publicación Miscelánea No. 69. Segunda Edición. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador; 2009.
14. Gins M.S., Romanova E.V., Torres C., Platonova S. Yu., Cholokinga M. Biologically active substances of plants from Latin America // *Innovative in Agriculture: Conference Papers of the VIII International scientific and practical conference*. М., 2016. P. 37—40.
15. Торрес Миньо К.Х., Платонова С.Ю., Гинс Е.В., Гинс М.С. Изменчивость биохимического состава листьев амаранта в процессе онтогенеза // Инновационные процессы в АПК: сб. статей V Междунар. науч.-практ. конф. преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов. М., 2013. С. 89—92.

References

1. Kononkov PF, Gins VK, Gins MS, Rakhimov MV. *Tekhnologiya vyrashchivaniya i pererabotki listovoi massy amaranta kak syr'ya dlya pishchevoi promyshlennosti*. Moscow: RUDN publ.; 2008. (In Russ).
2. Mosyakin SL, Robertson KR. *Amaranthus* Linnaeus. In: *Flora of North America Volume 4*. Magnoliophyta: Caryophyllidae, part 1. New York, USA: Oxford University Press; 2003. p.410—435.
3. Mosyakin SL, Robertson KR. New infrageneric taxa and combinations in *Amaranthus* (Amaranthaceae). *Annales Botanici Fennici*. 1996; 33(4):275—281.
4. Bekuzarova SA, Kuznetsov IY, Gasiev VI. *Amarant — universal'naya kul'tura* [Amaranth — universal crop]. Vladikavkaz: Kolibri publ.; 2014. (In Russ).
5. Gins MS. *Biologicheski aktivnye veshchestva amaranta* [Biologically active substances of amaranth]. Moscow: PFUR publ.; 2002. (In Russ).
6. Platonova SY. *Osobennosti rosta i formirovaniya produktivnosti krasnookrashennykh sortov amaranta dlya polucheniya natural'nogo pishchevogo krasitelya s povyshennym sodержaniem amarantina* [Features of

growth and formation of productivity of red-colored amaranth varieties for production of natural food dye with an increased content of amaranthine] [Dissertation] Moscow; 2019. (In Russ).

7. Gins MS, Torres Mino CJ, Gins EM, Platonova SY, Romanova EV, Hakome Mogro EH, Kononkov PF. Phenological characteristics of amaranth varieties grown in Russia and Ecuador. *Theoretical and applied problems of agro-industry*. 2015; (1):14–19.

8. Torres Mino CJ. *Otsenka sortov amaranta s ispol'zovaniem biokhimicheskikh i molekulyarnykh metodov dlya sozdaniya funktsional'nykh produktov pitaniya na osnove listovoi biomassy* [Evaluation of amaranth varieties using bio-chemical and molecular methods for creating functional food products based on leaf biomass] [Dissertation] Moscow; 2015.

9. Komarova RA, Sazonova LV, Kazakova AA, et al. *Metodicheskie ukazaniya po seleksii i semenovodstvu zelenykh ovoshchnykh kul'tur v zashchishchennom grunte* [Methodological guidelines for selection and seed production of green vegetable crops in protected soil]. Leningrad: VIR publ.; 1976.

10. Cai Y, Sun M, Corke H. Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51(8):2288–2294. doi: 10.1021/jf030045u

11. Dospikhov BA. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experiment]. Moscow: Agropromizdat publ.; 1985.

12. Nieto CC. El cultivo de amaranto *Amaranthus* spp una alternativa agronómica para Ecuador. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cultivos Andinos. (Publicación Miscelánea no. 52). Quito, Ecuador; 1989.

13. Peralta E, Mazón N, Murillo Á, Rivera M, Monar C. Manual Agrícola de Granos Andinos: Chocho, Quinoa, Amaranto y Ataco. Cultivos, variedades y costos de producción. Publicación Miscelánea No. 69. Segunda Edición. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador; 2009.

14. Gins MS, Romanova EV, Torres CJ, Platonova SY, Cholokinga M. Biologically active substances of plants from Latin America. In: *Innovative in Agriculture: Conference Papers of the VIII International scientific and practical conference*. Moscow; 2016. p.37–40.

15. Torres Mino CJ, Platonova SY, Gins EV, Gins MS. Variability of the biochemical composition of amaranth leaves in the process of ontogenesis. In: *Innovative processes in agriculture: collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference of teachers, young scientists, postgraduates and students*. Moscow; 2013. p.89–92.

Об авторах:

Платонова Светлана Юрьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, сотрудник аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: Svetlana.Platonova.00@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3816-3692

Торрес Миньо Карлос Хавьер — кандидат сельскохозяйственных наук, директор по научным исследованиям, Технический университет Котопакси, Эквадор, 050101, Латакунга, сектор Сан Фелиппе, Авенида Симон Родригес; e-mail: carlosjavier12@yahoo.com

Гинс Екатерина Муратовна — аспирант агробиотехнологического департамента Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г., Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: katya.888888@yandex.ru

Гинс Мурат Сабирович — доктор биологических наук, профессор агробиотехнологического департамента, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; заведующий лабораторий физиологии и биохимии растений, интродукции и функционального продукта Федеральный научный центр овощеводства, Российская Федерация, 143080, Московская обл., Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14; e-mail: anitr@bk.ru

Романова Елена Валерьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агробиотехнологического департамента, Российский университет дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: evroma2008@yandex.ru

About authors:

Platonova Svetlana Yurievna — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Agrobiotechnology Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: Svetlana.Platonova.00@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3816-3692

Torres Miño Carlos Javier — Candidate of Agricultural Sciences, science director, Technical University of Cotopaxi, Simon Rodriguez Av., San Felipe Sector, Latacunga, 050101, Ecuador; e-mail: carlosjavier12@yahoo.com

Gins Murat Sabirovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Agrobiotechnology Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; head of Laboratory of Physiology and Biochemistry, Introduction and Functional Products, Federal Scientific Vegetable Center, 14, Seleksionnaya st., VNISSOK vill., Odintsovo district, Moscow region, 143080, Russian Federation; e-mail: anirr@bk.ru

Gins Ekaterina Muratovna — PhD student, Agrobiotechnology Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: katya.888888@yandex.ru


Romanova Elena Valerievna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Agrobiotechnology Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: evroma2008@yandex.ru

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-118-128
УДК 633.13:631.559

Научная статья / Research article

Оценка урожайности, пластичности и стабильности образцов ярового ячменя в условиях Европейского Севера РФ

О.Б. Батакова , В.А. Корелина  

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация
 19651960@mail.ru

Аннотация. Современные агроклиматические условия окружающей среды Европейского Севера РФ за последние годы определяются постоянными колебаниями биотических и абиотических факторов, что требует от сортов для сельскохозяйственного производства высокого уровня пластичности и стабильности урожайности и количественных признаков. Поэтому определение уровня реакции растений на изменчивые факторы среды с целью отбора наиболее перспективного селекционного материала является важной задачей селекционеров. Исследования проводились на опытном поле ФИЦКИА УрО РАН (г. Котлас). В питомнике конкурсного испытания изучались образцы ячменя ярового местной селекции. Показатели пластичности и стабильности сорта рассчитывали по методу С.А. Эберхарта, В.А. Рассела (1966), показатель генетической гибкости — по методу Р.А. Удачина (1990). Различные погодные условия за период исследований дали возможность разносторонне оценить селекционный материал. Гидротермический коэффициент по Г.Т. Селянину (ГТК) за годы исследований варьировал от 1,85 до 3,06. Проведен анализ десяти образцов ячменя ярового за период 2017—2019 гг. на выявление пластичного, стабильного генотипа. В результате исследований высокий уровень стабильности показали образцы к-037712 ($\sigma^2=0,01$), к-038404 ($\sigma^2 = 0,02$). Выявлены образцы с нейтральным генотипом: к-039257, к-036982 ($b_i < 1$) и образец слабо реагирующий на изменения условий среды к-038806 ($b_i = 0,23$). Значение b_i близко к 1 у сорта Котласский, что показывает высокую экологическую пластичность сорта. Образец к-038806 с наименьшим коэффициентом линейной регрессии — 0,23 подходит для выращивания на естественном агрофоне. Выделенные генетические источники будут использованы в селекционной работе для создания высокопродуктивных сортов ярового ячменя для условий Европейского Севера РФ.

Ключевые слова: образец, сорт, адаптивность, стабильность, коэффициент регрессии, генотип, ячмень

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрОРАН № 0409-2021-0004.

© Батакова О.Б., Корелина В.А., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

История статьи: Поступила в редакцию: 29 декабря 2020 г. Принята к публикации: 11 мая 2021 г.

Для цитирования: Батакова О.Б., Корелина В.А. Оценка урожайности, пластичности и стабильности образцов ярового ячменя в условиях Европейского Севера РФ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 118—128. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-118-128

Assessment of yield, plasticity and stability of spring barley cultivars grown in the European North of the Russian Federation

Olga B. Batakova , Valentina A. Korelina  

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russian Federation

 Corresponding author: 19651960@mail.ru

Abstract. In recent years, modern agroclimatic environmental conditions in the European North of the Russian Federation are determined by constant fluctuations of biotic and abiotic factors, which require a high level of plasticity and stability of crop yield and quantitative characteristics from cultivars used in agricultural production. Therefore, determining the plant response to changing environmental factors in order to select the most promising breeding seeds, is an important task for breeders. The research was conducted on experimental field of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, in the nursery of competitive variety testing in 2017—2019. Cultivars of spring barley of local selection were studied. Indicators of cultivar plasticity and stability were calculated by the method of S.A. Eberhart, W.A. Russell (1966), the indicator of genetic flexibility — by the method of R.A. Udachin (1990). Various weather conditions during the research period enabled to evaluate the breeding material comprehensively. The hydrothermal coefficient (according to G.T. Selyaninov) varied from 1.85 to 3.06 during the research years. Ten cultivar samples of spring barley were analyzed to identify a plastic stable genotype. As a result, a high level of stability was shown by samples k-037712 ($\sigma^2 = 0.01$), k-038404 ($\sigma^2 = 0.02$). Samples with a neutral genotype were identified: k-039257, k-036982 ($b_i < 1$) and a sample weakly responding to environmental changes — k-038806 ($b_i = 0.23$). The b_i value is very close to 1 in Kotlassky cultivar, which shows a high ecological plasticity. Sample k-038806 has the lowest coefficient of linear regression (0.23), therefore, it is suitable for cultivation on unfertilized soils. The selected genetic sources will be used in breeding to develop highly productive cultivars of spring barley for the conditions of the European North of the Russian Federation.

Keywords: sample, cultivar, adaptability, stability, regression coefficient, genotype, barley

Conflicts of interest. The authors declared that they have no conflict of interest.

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the State Assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FECIAR UrB RAS) No. 0409-2021-0004.

Article history:

Received: 29 December 2020. Accepted: 11 May 2021

For citation:

Batakova OB, Korelina VA. Assessment of yield, plasticity and stability of spring barley cultivars grown in the European North of the Russian Federation. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):118—128. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-118-128

Введение

Ячмень яровой — пластичная и высокоадаптивная культура. Благодаря своим биологическим особенностям, ячмень характеризуется коротким вегетационным периодом, что обуславливает широкое распространение культуры до самых северных границ земледелия. Основные успехи мировой селекции ячменя связаны с экологической пластичностью этой культуры и ее высокой адаптивностью к местным условиям. В каждом регионе необходимо подбирать такие сорта, которые соответствовали бы его климатическим условиям. На Европейском Севере РФ урожайность ячменя остается недостаточно высокой и нестабильной по годам, поэтому при создании сорта доминируют прежде всего скороспелость и продуктивность, а также адаптивная способность и экологическая стабильность перспективного селекционного материала. Адаптивная способность — важнейшее свойство, которое определяет наибольшее соответствие между генотипом и условиями окружающей среды. «Адаптивный сорт — это сорт, приспособленный не только к оптимальным условиям, но и к минимуму и максимуму внешних факторов среды. Создание таких агроэкологически адресных сортов является важнейшей задачей селекции», — отмечали исследователи А.А. Жученко, И.Н. Щенникова, Л.П. Кокина, И.Ю. Зайцева и др. [1—6]. Адаптивные сорта должны гарантировать в достаточной степени высокую урожайность в благоприятных условиях и стабильную — в стрессовых. «При любом направлении селекции ярового ячменя урожай с единицы площади, в сочетании со скороспелостью и устойчивостью к неблагоприятным факторам, остается главным критерием оценки нового сорта», — пишет Н.А. Родина в [7]. По данным Л.П. Косяненко доказано, что с ростом потенциальной продуктивности сортов снижается их устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды, а это оказывает влияние на фактическую урожайность данных сортов — она снижается [8]. Для создания сортов необходимо оценивать соответствие сорта экологическим условиям местности, т. е. проводить оценку его экологической пластичности и стабильности [9]. Экологическая пластичность, по определению ряда ученых [10—12], — это реакция генотипа на изменение условий среды, проявляющаяся в фенотипической изменчивости; стабильность — это способность генотипа поддерживать определенный фенотип в различных условиях среды. Существующие методы оценки экологической стабильности сортов основаны на различных критериях оценки изучаемого материала и широко представлены в современной литературе [13, 14].

Важная задача селекционеров — определение уровня реакции растений на изменчивые факторы среды с целью отбора наиболее перспективного селекционного материала. Созданию адаптивных сортов способствует отбор экологически пластичных селекционных линий, приспособленных по минимуму реагировать на изменение гидротермического режима и других экологических стрессоров среды. Немаловажное значение для селекции имеет анализ генотипов (сортов) для выявления образцов, характеризующихся обширными адаптационными свойствами к конкретным почвенно-климатическим условиям региона и соответствующих потребностям современного производства. По мнению В.Н. Пакуль, С.В. Мартыно-

вой, Д.Е. Андросова, лучшими являются генотипы, которые имеют минимальное взаимодействие со средой и высокую стабильность признака [15].

Цель исследований — оценка продуктивного и адаптивного потенциала сортов и образцов ярового ячменя собственной селекции в контрастные годы по признаку урожайности, в связи с чем, актуально определение генетической гибкости, стабильности B^2 и уровня адаптивного потенциала генотипов ярового ячменя в различных средовых условиях b_i .

Материалы и методы исследования

В питомнике конкурсного испытания с 2017 по 2019 гг. изучались 10 образцов ячменя ярового местной селекции.

Исследования проводились на опытном поле ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (г. Котлас), предшественник — однолетние культуры. Норма высева — 5,0 млн всхожих семян на 1 га, площадь делянки — 10 м², повторность опыта 4-кратная. Почвы опытного участка представлены дерново-подзолистыми суглинками. Мощность пахотного горизонта — 20...22 см, кислотность рН — 6,0, содержание гумуса — 2,2, содержание подвижного фосфора P_2O_5 — 250, обменного калия K_2O — 100 мг/кг на 100 г почвы.

Различные погодные условия за период исследований дали возможность разносторонне оценить селекционный материал. Гидротермический коэффициент (ГТК) за годы исследований варьировал от 1,85 до 3,06. Наиболее благоприятные условия для роста и развития растений ячменя сложились в 2017 г. Данные по агрометеорологическим исследованиям предоставлены ФГБУ «Северное УГМС» Гидрометцентра по посту Курцево. Оценка селекционного материала была проведена по основным селекционно-ценным признакам с учетом продолжительности вегетационного периода, устойчивости к полеганию и урожайности зерна. Во время вегетации растений проведены фенологические наблюдения (периоды: всходы, кущение, колошение, молочная спелость, полная спелость).

Показатели пластичности и стабильности сорта рассчитывали по методу С.А. Эберхарта, В.А. Рассела [16], индекс условий среды I_j рассчитывали по формуле

$$I_j = (\sum Y_{ij}/v) - (\sum \sum Y_{ij}/vn),$$

где $\sum Y_{ij}$ — сумма урожайности всех сортов за 1 год; $\sum \sum Y_{ij}$ — сумма урожайности всех сортов за все годы; v — количество образцов; n — число лет.

Коэффициент регрессии $b_i = \sum Y_{ij}I_j / \sum I_j^2$, где $\sum Y_{ij}I_j$ — сумма произведения урожайности i -го сорта за j -й год на соответствующую величину индекса условий среды; $\sum I_j^2$ — сумма квадратов индексов условий среды.

Для определения стабильности урожайности вычисляют теоретические урожаи каждого сорта по формуле $Y_{ij} = y_i + b_i I_j$, где y_i — средняя урожайность сорта за все годы испытаний, т/га; $b_i I_j$ — произведение коэффициента регрессии сорта на индекс условий среды.

Стабильность по формуле $Bd^2 = \sum b_i^2 / (n - 2)$, где $\sum b_i^2$ — сумма квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической; n — число лет испытаний.

Гидротермический коэффициент по Г.Т. Селянинову [17], рассчитывается по формуле $K = R \times 10 / \Sigma t$; где R представляет собой сумму осадков в миллиметрах за период с температурами выше $+10\text{ }^\circ\text{C}$, Σt определяет сумму температур в градусах за то же время.

Результаты исследования и обсуждения

С целью получения объективной оценки об адаптивности и индекса стабильности районированных сортов и образцов ярового ячменя селекции АрхНИИСХ в питомнике конкурсного сортоиспытания в годы, контрастные по уровню урожайности (2017—2019 гг.), были рассмотрены показатели урожайности согласно методическим указаниям по селекции ячменя и овса¹ (рис.).



Питомник конкурсного сортоиспытания ячменя ярового в фазу колосшения, 2019 г.
Nursery of competitive variety testing of spring barley in the earing phase, 2019

Анализируя показатели продуктивности, можно отметить наиболее благоприятный для ярового ячменя 2017 год. Он отличался количеством осадков в пределах нормы (107 %), среднесуточной температурой за период вегетации на $1\text{ }^\circ\text{C}$ ниже нормы, что не помешало сформировать достаточно высокий урожай зерна. ГТК составил 2,34, что в пределах нормы. Увлажнение считается оптимальным, если ГТК = $1 \dots 1,5$, избыточное — ГТК более 1,6, недостаточное — ГТК менее 1, слабое — ГТК менее 0,5. Для условий Архангельской области среднее значение гидротермического коэффициента составляет от 1,5 до 2,5. Сумма активных температур составила — $1468\text{ }^\circ\text{C}$, количество выпавших осадков — 342 мм.

Очень неблагоприятным для развития ячменя оказался 2018 г., как по сумме эффективных температур, так и по количеству выпавших осадков, резкие перепады дневных ($+18 \dots +22\text{ }^\circ\text{C}$) и низких ночных температур ($0 \dots +3\text{ }^\circ\text{C}$) первой половине

¹ Баталова Г.А., Широких И.Г., Щенникова И.Н. Методические указания по селекции ячменя и овса / Северо-Восточный региональный науч. центр Россельхозакадемии, Зональный науч.-исслед. ин-т сельского хоз-ва им. Н.В. Рудницкого. Киров, 2014. 62 с.

июня отрицательно сказались на развитии ярового ячменя. ГТК года составил 1,85. Растения не получили должного развития, были низкорослые и с очень слабым куцением, как результат — очень низкая урожайность.

За период 2019 г. среднесуточная температура воздуха составила 13,2 °С, что ниже средних многолетних на 0,5 °С, количество выпавших осадков на 57 % выше среднемноголетних показателей. ГТК составил — 3,06, что существенно выше средних многолетних данных (+0,56...+1,56). В результате сложившихся неблагоприятных погодных условий года (температура ниже нормы, большее количество осадков), которые существенно повлияли на рост и развитие зерновых культур в период «колошение — созревание», значительно увеличилась длина вегетационного периода, затянулась уборка урожая. Анализируя метеоусловия за годы исследований, можно сделать вывод, что вегетация ячменя проходила в крайне неблагоприятных и разнообразных климатических условиях, что позволило дать наиболее объективную оценку изучаемого селекционного материала.

Для дальнейшего анализа экологической пластичности образцов определили индексы условий среды I_j , которые могут принимать отрицательные и положительные значения, лучшие условия среды складываются при положительном значении, в нашем случае это 2017 г., когда I_j составил +1,6. Положительное значение индекса условий среды формирует более полную реализацию потенциальных возможностей генотипа. Неблагоприятные условия для развития ярового ячменя сложились в 2018 г. $I_j = -1,38$, в 2019 г. $I_j = -0,22$ (табл. 1). Высокие отрицательные индексы являются следствием низкого адаптивного потенциала изучаемых образцов. Индекс условий среды необходимо определить для вычисления коэффициента линейной регрессии.

Таблица 1

**Показатели урожайности, коэффициента регрессии, стабильности
и генетической гибкости образцов ячменя ярового**

Сорт, образец	Урожайность, т/га				Отношение к стандарту, %	Сумма	b_j	b^2
	2017	2018	2019	Среднее				
Ст. Дина	4,7	1,5	1,9	2,7	100	8,1	1,12	0,29
Таусень	5,2	1,5	2,1	2,9	+107	8,8	1,28	0,34
Котласский	4,9	1,6	3,5	3,3	+122	10,0	1,08	0,21
к-038404	5,7	1,4	3,2	3,4	+125	10,3	1,44	0,02
к-039257	5,6	3,9	3,2	4,2	+155	12,7	0,63	0,42
к-037712	6,4	2,7	4,2	4,4	+163	13,3	1,24	0,01
к-036982	4,1	2	4,2	3,4	+125	10,3	0,62	1,15
к-038338	4,9	1,4	3,4	3,2	+119	9,7	1,15	0,30
к-038623	5,2	1,4	2,5	3	+111	9,1	1,29	0,10
к-038806	3,8	3,3	4,1	3,7	+137	11,2	0,23	0,50
Средняя	5,05	2,07	3,23	3,44				
Сумма	50,5	20,7	32,3	34,4		103,5		
Индекс условий среды	+1,6	-1,38	-0,22	-0,03				
НСР05	0,4	0,35	0,71	0,6				

Table 1

Indicators of yield, regression coefficient, stability and genetic flexibility of spring barley cultivars

Cultivar	Yield, t/ha				Ratio to the standard,%	Total	b_i	σ^2
	2017	2018	2019	Mean				
Dina (St.)	4.7	1.5	1.9	2.7	100	8.1	1.12	0.29
Tausen	5.2	1.5	2.1	2.9	+107	8.8	1.28	0.34
Kotlassky	4.9	1.6	3.5	3.3	+122	10.0	1.08	0.21
k-038404	5.7	1.4	3.2	3.4	+125	10.3	1.44	0.02
k-039257	5.6	3.9	3.2	4.2	+155	12.7	0.63	0.42
k-037712	6.4	2.7	4.2	4.4	+163	13.3	1.24	0.01
k-036982	4.1	2	4.2	3.4	+125	10.3	0.62	1.15
k-038338	4.9	1.4	3.4	3.2	+119	9.7	1.15	0.30
k-038623	5.2	1.4	2.5	3	+111	9.1	1.29	0.10
k-038806	3.8	3.3	4.1	3.7	+137	11.2	0.23	0.50
Mean	5.05	2.07	3.23	3.44				
Total	50.5	20.7	32.3	34.4		103.5		
Environmental index	+1.6	-1.38	-0.22	-0.03				
LSD05	0.4	0.35	0.71	0.6				

Отмечен широкий размах варьирования урожайности не только по годам изучения, но и по изучаемым образцам, от 1,4 (2018 г.) и до 6,4 т/га (2017 г.). Многолетняя среднегодовая урожайность всего периода изучения оказалась равной 3,44 т/га. Данная величина является критерием для определения благоприятных и неблагоприятных условий выращивания ячменя, факторов внешней среды.

Определяемый по методике С.А. Эберхарта, В.А. Рассела коэффициент линейной регрессии b_i показывает реакцию изучаемого генотипа на изменение условий выращивания. Значение коэффициента выше 1 показывает отзывчивость сорта на уровень агротехники и соответственно, если $b_i < 1$, то и сорт слабее реагирует на условия внешней среды. По данным Н.И. Аниськова при условии $b_i = 1$ имеется полное соответствие изменения урожайности сорта изменению условий выращивания.

В наших исследованиях b_i варьировал от 0,23 до 1,44. Отмечен $b_i > 1$ у пяти образцов, $b_i < 1$ у трех. Образцы к-037712, к-038404, к-038623, к-038338 и сорт Дина ($b_i > 1$) обладают более высокой отзывчивостью на условия выращивания. Значение b_i очень близкое к 1 у сорта Котласский, что показывает высокую экологическую пластичность сорта. Наименьший коэффициент линейной регрессии — 0,23 у к-038806, что значит при изменении условий среды, на низком агрофоне урожайность незначительно понизится. Это означает, что образец к-038806 слабо реагирует на изменения условий среды, подходит для выращивания на естественном агрофоне. К нейтральному типу относятся образцы: к-039257, к-036982 ($b_i < 1$).

Стабильность (среднеквадратичное отклонение σ^2 по методике С.А. Эберхарта, В.А. Рассела) показывает, насколько сильно фактическая урожайность сорта соответствует ожидаемой, чем меньше среднеквадратичное отклонение фактических показателей от теоретически ожидаемых, тем стабильнее сорт.

В годы с лучшим индексом условий среды наиболее высокие показатели теоретической урожайности у многорядных образцов к-037712 и к-038404, при худших условиях среды высокие показатели теоретической урожайности у к-039257, низкие показатели у образцов Таусень, к-038623, к-038404 (табл. 2). Отмечены наиболее высокие показатели теоретической урожайности в годы с лучшими условиями и значительное ее снижение в годы с худшими условиями у к-038404.

Таблица 2

Теоретические урожайности образцов ярового ячменя в условиях Европейского Севера РФ

Сорт, образец	Теоретическая урожайность и отклонение ее от фактической, т/га							б ²	Генетическая гибкость, т/га
	2017	Отклонение	2018	Отклонение	2019	Отклонение	Средняя		
Ст. Дина	4,5	-0,2	1,5	-0,4	2,5	+0,3	2,8	0,29	3,10
Таусень	5,0	+0,3	1,1	-0,4	2,6	+0,3	2,9	0,34	3,35
Котласский	5,0	+0,1	1,8	+0,2	3,1	-0,4	3,3	0,21	3,25
к-038404	5,7	0	1,3	+0,1	3,1	+0,1	3,4	0,02	3,55
к-039257	5,2	+0,4	3,4	+0,5	3,3	-0,1	4,0	0,42	4,75
к-037712	6,4	0	2,7	0	4,1	+0,1	4,4	0,01	4,55
к-036982	4,4	-0,3	2,5	-0,5	3,3	+0,9	3,4	1,15	3,10
к-038338	5,0	-0,1	1,6	-0,2	2,9	+0,2	3,2	0,30	3,15
к-038623	5,1	-0,1	1,2	+0,2	2,7	-0,2	2,9	0,10	3,30
к-038806	4,1	-0,3	2,9	+0,4	3,7	+0,5	3,6	0,50	3,70

Table 2

Theoretical yields of spring barley cultivars in the Far North of the Russian Federation

Cultivar	Theoretical yield and its deviation from the actual yield, t/ha							б ²	Genetic flexibility, t/ha
	2017	Deviation	2018	Deviation	2019	Deviation	Mean		
Dina (St.)	4.5	-0.2	1.5	-0.4	2.5	+0.3	2.8	0.29	3.10
Tausen	5.0	+0.3	1.1	-0.4	2.6	+0.3	2.9	0.34	3.35
Kotlassky	5.0	+0.1	1.8	+0.2	3.1	-0.4	3.3	0.21	3.25
k-038404	5.7	0	1.3	+0.1	3.1	+0.1	3.4	0.02	3.55
k-039257	5.2	+0.4	3.4	+0.5	3.3	-0.1	4.0	0.42	4.75
k-037712	6.4	0	2.7	0	4.1	+0.1	4.4	0.01	4.55
k-036982	4.4	-0.3	2.5	-0.5	3.3	+0.9	3.4	1.15	3.10
k-038338	5.0	-0.1	1.6	-0.2	2.9	+0.2	3.2	0.30	3.15
k-038623	5.1	-0.1	1.2	+0.2	2.7	-0.2	2.9	0.10	3.30
k-038806	4.1	-0.3	2.9	+0.4	3.7	+0.5	3.6	0.50	3.70

Теоретический показатель стабильности имеет небольшой диапазон изменчивости (0,01...1,15). Наименьшими значениями среднеквадратичного отклонения характеризовались образцы к-037712 (0,01), к-038404 (0,02), к-038623 (0,1) как наиболее стабильные в питомнике конкурсного сортоиспытания. Самым нестабильным оказался образец к-036982 (1,15).

Показатель генетической гибкости рассчитали по методике, предложенной Р.А. Удачным [18], он показывает степень соответствия между генотипом и раз-

ными факторами внешней среды (сумма минимальной и максимальной урожайности, разделенная на два), при среднем значении 3,44 т/га изменялся в пределах от 3,10 до 4,75 т/га. Наибольшую степень соответствия условиям внешней среды (4,55...4,75 т/га) показали образцы к-037712 и к-039257, остальные образцы близки к среднему значению урожайности.

Заключение

Оценка экологической пластичности позволила выделить отзывчивые и стабильные сортообразцы ярового ячменя к условиям внешней среды. Таким образом, анализ экологической пластичности и стабильности ячменя ярового в условиях Европейского Севера РФ позволил выделить наиболее адаптивные образцы для использования в практической селекции в условиях северного региона. Высокий уровень стабильности показали образцы к-037712 (разновидности *ricotense*) и к-038404 (*nutans*). Образец к-037712 показал наибольшую степень соответствия условиям внешней среды. Значение b_1 очень близкое к 1 у сорта Котласский, что показывает высокую экологическую пластичность сорта. Образец к-038806 с наименьшим коэффициентом линейной регрессии — 0,23 подходит для выращивания на естественном агрофоне. Выделенные нами генетические источники будут использованы в селекционных программах, направленных на создание высокопродуктивных сортов ярового ячменя для условий Европейского Севера РФ.

Библиографический список

1. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. М., 2008.
2. Жученко А.А. За адаптивной системой селекции и семеноводства — будущее // Картофель и овощи. 2012. № 8. С. 5.
3. Жученко А.А. Стратегия адаптивного растениеводства и ресурсосбережения // АПК: Экономика, управление. 2017. № 6. С. 11—19.
4. Щенникова И.Н., Кокина Л.П., Зайцева И.Ю. Экологическая стабильность сортов и селекционных линий ярового ячменя // Вестник Марийского государственного университета. Серия Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2018. Т. 4. № 3. С. 85—90. doi:10.30914/2411-9687-2018-4-3-85-90
5. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш., Сапега С.В. Урожайность и параметры стабильности сортов зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 10. С. 22—26.
6. Сапега В.А., Турсумбекова Г.Ш. Урожайность и адаптивность сортов озимой ржи в Северном Зауралье // Земледелие. 2015. № 2. С. 45—46.
7. Родина Н.А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 488 с.
8. Косяненко Л.П. Серые хлеба в Восточной Сибири. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2008. 300 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19511292>
9. Пакуль В.Н., Мартынова С.В., Андросов Д.Е. Оценка адаптивной способности и стабильности ярового ячменя в условиях северной лесостепи Кузнецкой котловины // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 1. С. 32—34. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10106
10. Гребенникова И.Г., Алейников А.Ф., Степочкин П.И. Диаллельный анализ числа колосков вколосе яровой тритикале // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011. № 7—8 (221). С. 77—85.
11. Pereira H.S., Alvares R.C., Silva F.C., de Faria L.C., Melo L.C. Genetic, environmental and genotype x environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality // Semina: Ciências Agrárias. 2017. Vol. 38. № 3. Pp. 1241—1250. doi: 10.5433/1679-0359.2017v38n3p1241

12. Admas S., Tesfaye K. Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in North Shewa, Ethiopia // *Acta Universitatis Sapientiae. Agriculture and Environment*. 2017. Vol. 9. № 1. Pp. 82—94. doi: 10.1515/ausae-2017-0008
13. Gedif M., Yigzaw D., Tsige G. Genotype-environment interaction and correlation of some stability parameters of total starch yield in potato in Amhara region, Ethiopia // *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2014. Vol. 6. № 3. Pp. 31—40. doi: 10.5897/JPBCS2013.0426
14. Куркова И.В., Кузнецова А.С., Терехин М.В. Параметры экологической пластичности сортов сортообразцов ярового ячменя Амурской селекции // *Вестник Новосибирского аграрного университета*. 2015. № 3 (36). С. 19—24.
15. Куркова И.В., Рукосуев Р.В. Оценка параметров стабильности сортов ярового ячменя дальневосточной селекции // *Вестник Алтайского государственного университета*. 2013. № 1(99). С. 13—14.
16. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Sci.* 1966. № 6 (1). Pp. 36—40. doi: 10.2135/CROPSCI1966.0011183X000600010011X
17. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928. Вып. 20. С. 165—177.
18. Удачин Р.А., Головченко А.П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы // *Селекция и семеноводство*. 1990. № 5. С. 2—6.

References

1. Zhuchenko AA. *Adaptivnoe rasteniyevodstvo (ekologo-geneticheskie osnovy). Teoriya i praktika* [Adaptive plant growing (ecological-genetic principles). Theory and practice]. Moscow: Agrorus publ.; 2008. (In Russ).
2. Zhuchenko AA. Adaptive breeding and seed production system as the future. *Potato and vegetables*. 2012; (8):5. (In Russ).
3. Zhuchenko A.A. Strategy of adaptive crop production and resource saving. *AIC: economics, management*. 2017; (6):11—19. (In Russ).
4. Schennikova IN, Kokina LP, Zaitseva IY. Ecological stability of varieties and breeding lines of spring barley. *Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2018; 4(3):85—91. (In Russ). doi:10.30914/2411-9687-2018-4-3-85-90
5. Sapega VA, Tursumbekova GS, Sapega SV. Productivity and parameters of stability of grades of grain crops. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2012; (10):22—26. (In Russ).
6. Sapega VA, Tursumbekova GS. Productivity and adaptability of the winter rye variety in North Transurals. *Zemledelie*. 2015, 2:45—46. (In Russ).
7. Rodina NA. *Selektsiya yachmenya na Severo-Vostoke Nechernozem'ya* [Barley breeding in the North-East of Nonblack Soil Zone]. Kirov: Zonal ARI of the North-East publ.; 2006. (In Russ).
8. Kosyanenko LP. *Serye khleba v Vostochnoi Sibiri* [Gray bread in Eastern Siberia]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University publ.; 2008. 300 p. (In Russ).
9. Pakul VN, Martynova SV, Androsov DE. Estimation of adaptive ability and stability of spring barley under conditions of the northern forest-steppe of the kuznetsk depression. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2018; 32(1):32—34. (In Russ). doi: 10.24411/0235-2451-2018-10106.
10. Grebennikova IG, Aleynikov AF, Steepochkin PI. Diallel analysis of the number of spikelets per spike in spring triticale. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2011; (7—8):77—85. (In Russ).
11. Pereira HS, Alvares RC, Silva FC, de Faria LC, Melo LC. Genetic, environmental and genotype x environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality. *Semina: Ciencias Agrarias*. 2017; 38(3):1241—1250. doi: 10.5433/1679-0359.2017v38n3p1241.
12. Admas S, Tesfaye K. Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in North Shewa, Ethiopia. *Acta Universitatis Sapientiae. Agriculture and Environment*. 2017; 9(1):82—94. doi: 10.1515/ausae-2017-0008.
13. Gedif M, Yigzaw D, Tsige G. Genotype-environment interaction and correlation of some stability parameters of total starch yield in potato in Amhara region, Ethiopia. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*. 2014; 6(3):31—40. doi: 10.5897/JPBCS2013.0426.
14. Kurkova IV, Kuznetsova AS, Terekhin MV. Parameters of ecological plasticity of spring barley cultivars of Amur selection. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2015; (3):19—24. (In Russ).
15. Kurkova IV, Rukosuiev RV. Estimation of stability parameters of spring barley varieties of Far Eastern selection. *Izvestiya of Altai State University*. 2013; (1):13—14. (In Russ).

16. Eberhart SA, Russel WA. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966; 6(1):36—40. doi: 10.2135/CROPSCI1966.0011183X000600010011X
17. Selyaninov GT. Agricultural climate assessment. In: *Trudy po sel'skokhozyaistvennoi meteorologii. Вып. 20* [Proceedings on agricultural meteorology. Issue 20]. 1928. p.165—177. (In Russ).
18. Udachin RA, Golovchenko AP. Methodology for assessing the ecological plasticity of wheat varieties. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1990; (5):2—6. (In Russ).

Об авторах:

Батакова Ольга Борисовна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории растениеводства, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, Архангельская обл., Приморский район, п. Луговой, д. 10; e-mail: obb05@bk.ru

ORCID: 0000-0002-9883-6054

Корелина Валентина Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией растениеводства, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, Архангельская обл., Приморский район, п. Луговой, д. 10; e-mail: 19651960@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6052-7574

About authors:

Batakova Olga Borisovna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Plant Growing, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Lugovoy vill., Primorskiy district, Arkhangelsk region, 163032, Russian Federation; e-mail: obb05@bk.ru

ORCID: 0000-0002-9883-6054

Korelina Valentina Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Plant Growing, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Lugovoy vill., Primorskiy district, Arkhangelsk region, 163032, Russian Federation; e-mail: 19651960@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6052-7574

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-129-136

UDC 661.162.2:633.63(470.312)

Research article / Научная статья

Differences in biological efficiency of one- and two-component graminicide on sugar beet crops in Tula region

Kristina D. Kryukova ✉, Valeriya O. Gresis

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

✉ Corresponding author: k_kryukova@inbox.ru

Abstract. One of the most urgent tasks in sugar beet production for Russia today is irregularities in cultivation technology and a low-efficiency crop protection. It leads to a high level of weed infestation of agricultural fields. Developing and identifying the most efficient, selective and accessible herbicides, which have low phytotoxicity, do not have a negative effect on soil chemical characteristics and can be used in sugar beet cultivation is relevant today. The aim of this study was to examine and compare biological efficiency of various doses and concentrations of one- and two-component graminicides on sugar beet crops against the following weeds: Cockspur grass — *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv., Wild millet — *Setaria glauca* (L.) Beauv. and Couch Grass — *Elytrigia repens* (L.) Nevski. The experiment was conducted on the territory of the Tula region in 2020. The total field experiment area was 480 m². Application of clethodim + quizalofop-P-ethyl (0.5 l/ha) resulted in reducing the number and weight of annual weeds by 64...71 %, reducing the number and weight of perennial weeds by 54...58 %, which had the same efficiency as clethodim (0.6 l/ha). The efficiency of clethodim + quizalofop-P-ethyl (1.0 l/ha) was higher than Clethodim (0.6 l/ha) and amounted to 73...87 % of reduction in the number of weeds compared to the control, but was lower than Clethodim (1.8 l/ha), which resulted in 89...95 % reduction in the number of weeds compared to the control. The highest sugar beet yields were obtained in the variants with clethodim (1.8 l/ha) and two-component herbicide (1 l/ha), which amounted to 28 and 25 % yield increase, in comparison with the control.

Keywords: sugar beet, biological efficacy, pesticide, herbicide, graminicide, clethodim, quizalofop-P-ethyl

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interests.

Article history:

Received: 5 May 2021. Accepted: 1 June 2021

For citation:

Kryukova KD, Gresis VO. Differences in biological efficiency of one- and two-component graminicide on sugar beet crops in Tula region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):129—136. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-129-136

© Kryukova K.D., Gresis V.O., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Introduction

Sugar beet is one of the most important industrial crops in Russia and has a great national and economic importance. The main advantage of sugar beet is high yields and productivity, which can reach 50 t/ha, depending on the region, the cultivation technology and cultivar characteristics [1, 2].

Sugar beet is a highly weed-sensitive crop. There are over 75 species of weeds that cause significant damage to sugar beet production. In turn, human economic activity leads to changes in the stable species composition of weeds in a field community [3–5].

Nowadays, highly profitable sugar beet production is impossible without the integrated crop protection system against weeds. Integrated protection includes a complex of agrotechnical, biological, chemical and other methods of weed control. First of all, the main task is to regulate the number of harmful objects on sugar beet crops to the threshold of economic harmfulness [6].

In Russia, there is a high weed infestation of fields, which is associated with a violation of crop rotation rules, soil cultivation systems, a decrease in the use of chemical herbicides, and, the number of such fields is growing [3–5]. According to various sources, there are no production fields in the country without weeds. About 75 % of the area requires constant weed control and a lot of appropriate measures [5].

Number of weed seeds in the arable soil layer increased 1.5 fold in beet-growing regions [1]. The number and species composition of weeds is also increasing, including perennial and harmful weeds [7–11].

In this study, a field experiment was carried out on sugar beets using graminicides based on clethodim and a mixture of clethodim with quizalofop-P-ethyl [12]. These active substances have proven effectiveness in many countries, have a high biological efficiency and do not harm sugar beet plants [13–19].

Thus, developing and identifying the most efficient, selective and accessible herbicides, which have low phytotoxicity, do not have a negative effect on soil chemical properties and can be used in sugar beet cultivation is relevant today [1, 5, 6].

The aim of this study was to examine and to compare biological efficiency of various doses and concentrations of one- and two-component graminicides against annual and perennial cereal weeds on sugar beet crops in the Tula region (active substances: clethodim; clethodim + quizalofop-P-ethyl).

Materials and methods

The objects were plots and weeds in the sugar beet field in the Tula region. The research subjects were the following harmful objects:

1. Couch Grass — *Elytrigia repens* (L.) Nevski.
2. Cockspur grass — *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.
3. Wild millet — *Setaria glauca* (L.) Beauv.

The cultivated plants were sugar beets (*Beta vulgaris* L.) of one-seeded mid-ripening sugary hybrid — ‘Okean’.

Seeding rate: 1.1 sowing unit. Plant growth stage treated: 4–6 true leaves. Forecrop: winter wheat. Tillage: in autumn — plowing to a depth of 25 cm, in spring — presowing harrowing and cultivation.

The experiment has variants:

1. Control (without any chemical graminicide treatment).
2. Graminicide with active ingredient of clethodim (120 g/l). Application rate: 0.6 l/ha.
3. Graminicide based on clethodim (120 g/l). Application rate: 1.8 l/ha.
4. Graminicide based on clethodim and quizalofop-P-ethyl (140 g/l + 70 g/l, respectively). Application rate: 0.5 l/ha.
5. Graminicide based on clethodim and quizalofop-P-ethyl (140 g/l + 70 g/l, respectively). Application rate: 1.0 l/ha.

Consumption of working solution: 200 l/ha. Frequency of treatments: 1. Spraying was carried out in the phase of 2...4 leaves in weeds and regardless of the growth stage of sugar beet plants. The period of herbicide action: during the growing season.

The total field experiment area was 480 m². The size of each experimental plot was 60 m², and the record plot was 24 m². The protective stripes were 3 meters wide and were not counted.

Quantitative-weighting method was used on accounting sites with a size of 1.0 m² on each plot of the experiment. Counting the yield was carried out by a mechanical method from the entire area of the plots, statistical data processing — the technique of analysis of variance (ANOVA). The counts of harmful objects (weeds) were carried out before treatment, 30 and 45 days after treatment, and before harvesting.

Results and discussion

The influence of one- and two-component graminicide with different consumption rates on the total weed infestation of sugar beet crops and on certain types of weeds is shown in Table 1 and 2.

Table 1

Effect of graminicides on weeds (Tula region, 2020)

Variant	Date	Decrease of weeds, % to control		
		Cockspur grass	Wild millet	Couch grass
1. Clethodim, 120 g/l, rate – 0.6 l/ha	17.07	50	67	56
	01.08	68	66	58
	23.09	72	78	67
2. Clethodim, 120 g/l, rate – 1.8 l/ha	17.07	94	97	93
	01.08	99	98	97
	23.09	100	100	98
3. Clethodim, 140 g/l + quizalofop-P-ethyl 70 g/l, rate – 0.5 l/ha	17.07	75	73	61
	01.08	73	73	58
	23.09	82	76	62
4. Clethodim, 140 g/l + quizalofop-P-ethyl 70 g/l, rate – 1.0 l/ha	17.07	96	85	80
	01.08	97	90	81
	23.09	97	93	91
5. Control*	17.07	21	41	23
	01.08	23	42	25
	23.09	20	42	22

*The control contains data on the number of weeds, plants/m²

Table 2

Influence of active ingredients and their rates and concentrations on total weed infestation of sugar beet crops (Tula region, 2020)

Variant	Date	Number of weeds				Weed mass			
		Plants/m ²		Decrease, % to control		G/m ²		Decrease, % to control	
		Annual	Perennial	Annual	Perennial	Annual	Perennial	Annual	Perennial
1. Clethodim, 120 g/l, rate – 0.6 l/ha	17.07	22	10	62	56	63	48	68	59
	01.08	18	9	67	58	59	43	72	64
	23.09	16	8	74	67	–	–	–	–
2. Clethodim, 120 g/l, rate – 1.8 l/ha	17.07	13	4	96	93	23	9	88	92
	01.08	10	2	98	97	18	6	92	95
	23.09	7	1	100	98	–	–	–	–
3. Clethodim, 140 g/l + quizalofop-P-ethyl 70 g/l, rate – 0.5 l/ha	17.07	21	11	74	61	71	54	64	53
	01.08	19	10	73	58	63	51	70	58
	23.09	15	9	79	62	–	–	–	–
4. Clethodim, 140 g/l + quizalofop-P-ethyl 70 g/l, rate – 1.0 l/ha	17.07	15	11	92	80	37	43	81	63
	01.08	11	8	93	81	28	35	87	71
	23.09	7	5	94	91	–	–	–	–
5. Control	17.07	62	23	–	–	195	116	–	–
	01.08	65	25	–	–	212	120	–	–
	23.09	62	22	–	–	–	–	–	–

In variants without any chemical graminicide treatments and using only mechanical treatment of crops, the number of studied annual cereal weeds has reached about 65 or more plants per 1 m², and the number of perennial cereal weeds has reached about 25 plants and more per 1 m².

The initial infestation of sugar beet crops with *Setaria* weeds averaged 41 plants per 1 m², Cockspur grass averaged 21 plants per 1 m², and for Couch Grass the average infestation was 23 weeds per 1 m².

Based on the data obtained, the least effective variants were graminicide based on clethodim, 120 g/l, consumption rate — 0.6 l/ha and graminicide based on clethodim 140 g/l and quizalofop-P-ethyl 70 g/l, consumption rate — 0.5 l/ha. Clethodim at a concentration of 120 g/l, consumption rate 0.6 l/ ha destroyed about 64 % of perennial grasses and about 74 % of annual grasses. Similar results were noted in variant with clethodim 140 g/l and quizalofop-P-ethyl 70 g/l, with a consumption rate of 0.5 l/ha, which destroyed about 59 % of perennial cereal weeds and about 76 % of annual cereal weeds.

The medium efficacy in this study was shown by a herbicide based on clethodim at a concentration of 140 g/l and quizalofop-P-ethyl at a concentration of 70 g/l with a

consumption rate of 1.0 l/ha, reducing the number of studied annual and perennial weeds by 94 and 91 %, respectively. This agent with a consumption rate of 1.0 l/ha is inferior in terms of biological efficiency only to a herbicide based on clethodim, 120 g/l with a consumption rate of 1.8 l/ha.

The best biological efficiency in this study was recorded in variant with clethodim at a concentration of 120 g/l and consumption rate of 1.8 l/ha. The weed decrease was 95 % and more for annual weeds and 98 % and more for perennial weeds compared to the control, i.e. at a given consumption rate of this agent based on clethodim at a concentration of 120 g/l, it almost completely destroys all weeds studied in this research and completely destroys annual weeds. The effect of this formulation and consumption rate was superior in biological effectiveness compared to the effect of other investigated graminicides.

The yield of sugar beet root crops of the ‘Okean’ hybrid, depending on the formulation and the consumption rate used, is shown in Table 3. Date of harvesting: September 23, 2020.

Table 3

**Sugar beet productivity depending on the graminicides and their consumption rates
(Tula region, 2020)**

Variant	Average yield, t/ha	% to control
1. Clethodim, 120 g/l, – 0.6 l/ha	26.4	118
2. Clethodim, 120 g/l, – 1.8 l/ha	28.6	128
3. Clethodim, 140 g/l + quizalofop-P-ethyl 70 g/l, – 0.5 l/ha	26.5	119
4. Clethodim, 140 g/l + quizalofop-P-ethyl 70 g/l, – 1.0 l/ha	27.8	125
5. Control	22.3	100

LSD05 = 1.6 t/ha.

The average yield of sugar beet root crops without the use of the studied graminicides in the control was 22.3 t/ha.

In the variants with the use of the studied graminicides, significant increases in the yield of sugar beet were obtained, which averaged 18...28 %.

The largest increase in the yield of sugar beet reached 28 % for the formulation based on clethodim at a concentration of 120 g/l at a consumption rate of 1.8 l/ha, while the average yield of crops was 28.6 t/ha.

The lowest increase in yield among the studied graminicides was 18 and 19 % for the formulation based on clethodim at a concentration of 120 g/l with a consumption rate of 0.6 l/ha and for the formulation based on clethodim at a concentration of 140 g/l with quizalofop-P-ethyl at a concentration of 70 g/l with a consumption rate of 0.5 l/ha, respectively, and the average yield of sugar beet was 26.4 and 26.5 t/ha, respectively.

The medium result in the increase of sugar beet productivity was 25 % in the formulation based on clethodim at a concentration of 140 g/l with quizalofop-P-ethyl at a concentration of 70 g/l with a consumption rate of 1.0 l/ha. The average yield of sugar beet was 27.8 t/ha.

Conclusions

The most effective was a herbicide formulation based on clethodim at a concentration of 120 g/l with a consumption rate of 1.8 l/ha. Also, an effective result was shown by clethodim 140 g/l with quizalofop-P-ethyl 70 g/l with a consumption rate of 1.0 l/ha. The lowest biological effectiveness among studied agents was noted in graminicides based on clethodim, 120 g/l with a consumption rate of 0.6 l/ha and Clethodim, 140 g/l with Quizalofop-P-ethyl 70 g/l with a consumption rate of 0.5 l/ha. The use of pesticides was safe for the protected crop and did not have any negative visual effects.

References

1. Gureev II. *Sovremennye tekhnologii vozdel'yvaniya i uborki sakharnoi svekly* [Modern technologies of cultivation and harvesting of sugar beets]. Moscow: Pechatnyi gorod publ.; 2011.
2. Shpaar D, Sushkov M. *Vyrashchivanie sakharnoi svekly* [Cultivation of sugar beet]. Moscow: Agropromizdat publ.; 1996.
3. Artokhin KS. *Sornye rasteniya* [Weed plants]. Moscow: Pechatnyi gorod publ.; 2010.
4. Bazdyrev GI. *Zashchita sel'skokhozyaistvennykh kul'tur ot sornykh rastenii* [Protection of agricultural crops from weeds]. Moscow; 2004.
5. Spiridonov YY. Integrated crop protection program against weeds. *Zashchita i karantin rastenii*. 2000;(2):18—20.
6. Nikitin NV, Spiridonov YY, Shestakov VG. *Nauchno-prakticheskie aspekty tekhnologii primeniya sovremennykh gerbitsidov v rasteniyevodstve* [Scientific and practical aspects of the technology of using modern herbicides in crop production]. Moscow: Pechatnyi gorod publ.; 2010.
7. Gamuev VV, Gamuev OV. Protection of sugar beet from weeds. *Zemledelie*. 2013;(4):29—31.
8. Gamuev VV, Smirnov MA. Promising methods of protecting sugar beet from weeds. *Zemledelie*. 2015;(5):37—39.
9. Dvoryankin EA. The advantages of modern schemes of herbicides used in beet crops. *Sakharnaya svekla*. 2009;(1):33—36.
10. Ivaschenko AA. Sugar beet weed protection. *Zashchita i karantin rastenii*. 2005;(10):17—18.
11. Ivaschenko AA. Modern trends in protection of sugar beet from weeds. *Zashchita i karantin rastenii*. 2005;(2):26—30.
12. *Gosudarstvennyi katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeniyu na territorii Rossiiskoi Federatsii. Chast' I. Pestitsidy* [State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use on the territory of the Russian Federation. Part I. Pesticides]. Moscow: Ministry of Agriculture; 2020.
13. European Food Safety Authority, Anastassiadou M, Brancato A, Carrasco Cabrera L, Ferreira L, Greco L, Jarrar S, Kazocina A, Leuschner R, Magrans JO, Miron I, Pedersen R, Raczky M, Reich H, Ruocco S, Sacchi A, Santos M, Stanek A, Tarazona J, Theobald A and Verani A. Review of the existing maximum residue levels for clethodim according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. *EFSA Journal*. 2019;17(5):5706. doi: 10.2903/j.efsa.2019.5706
14. Osterholt M, Webster E, Blouin D, McKnight B. Overlay of residual herbicides in rice for improved weed management. *Weed Technology*. 2019;33(3):426—430. doi: 10.1017/wet.2019.22
15. Mesnage R, Biserni M, Balu S, Frainay C, Poupin N, Jourdan F, et al. Integrated transcriptomics and metabolomics reveal signatures of lipid metabolism dysregulation in HepaRG liver cells exposed to PCB126. *Archives of Toxicology*. 2018;92(8):2533—2547. doi: 10.1007/s00204-018-2235-7
16. Mesnage R, Biserni M, Wozniak E, Xenakis T, Mein CA, Antoniou MN. Comparison of transcriptome responses to glyphosate, isoxaflutole, quizalofop-p-ethyl and mesotrione in the HepaRG cell line. *Toxicology Reports*. 2018;5:819—826. doi: 10.1016/j.toxrep.2018.08.005

17. Biserni M, Mesnage R, Ferro R, Wozniak E, Xenakis T, Mein CA, et al. Quizalofop-p-Ethyl induces adipogenesis in 3T3-L1 adipocytes. *Toxicological Sciences*. 2019;170(2):452–461. doi: 10.1093/toxsci/kfz097

18. Jankowska M, Kaczynski P, Lozowicka B. Metabolic profile and behavior of clethodim and spirotetramat in herbs during plant growth and processing under controlled conditions. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1323. doi: 10.1038/s41598-020-58130-3

19. Guldiken B, Ozkan G, Catalkaya G, Ceylan FD, Yalcinkaya IE, Capanoglu E. Phytochemicals of herbs and spices: Health versus toxicological effects. *Food and Chemical Toxicology*. 2018;119,37–49. doi: 10.1016/j.fct.2018.05.050

About authors:

Kryukova Kristina Dmitrievna — Master student, Agrobiotechnology department, Agrarian and Technology Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 8/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: k_kryukova@inbox.ru

Gresis Valeriya Olegovna — PhD student, Assistant Professor, Agrobiotechnology department, Agrarian and Technology Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 8/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: gresis_vo@pfur.ru

Изучение различий биологической эффективности применения одно- и двухкомпонентного граминицида на сахарной свекле в условиях Тульской области

К.Д. Крюкова ✉, В.О. Гресис

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

✉ k_kryukova@inbox.ru

Аннотация. Одна из наиболее актуальных проблем при возделывании сахарной свеклы в России — нарушение технологии выращивания и низкоэффективная защита данной культуры, что приводит к высокой засоренности полей. Разработка и подбор наиболее высокоэффективных, селективных и доступных гербицидов, которые обладают низкой фитотоксичностью и не ухудшают химических свойств почвы, для применения на посевах сахарной свеклы остается актуальной по сей день. Цель данного исследования — изучить биологическую эффективность применения различных доз одно- или двухкомпонентных граминицидов на посевах сахарной свеклы против таких сорных растений, как пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), куриное просо (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.), щетинник сизый (*Setaria glauca* (L.) Beauv.). Исследование проводилось на территории Тульской области в 2020 г. Общая площадь опыта составила 480 м². Использование нормы расхода действующих веществ клетодим + хизалофоп-П-этил с нормой расхода 0,5 л/га снижало количество и массу однолетних злаковых сорняков на 64...71 %, количество и массу многолетних злаковых сорняков на 54...58 %, что было на уровне эффективности использования нормы расхода действующего вещества клетодим 0,6 л/га. Эффективность нормы расхода 1,0 л/га препаративной формы на основе клетодима + хизалофоп-П-этила была выше эффективности нормы расхода 0,6 л/га препаративной формы на основе клетодима, но ниже эффективности нормы расхода 1,8 л/га препаративной формы на основе клетодима. Наибольшую прибавку урожайности получили при использовании норм расхода 1,8 л/га препаративной формы на основе клетодима — 28 % и 1 л/га двухкомпонентного гербицида — 25 %.

Ключевые слова: сахарная свекла, биологическая эффективность, пестицид, гербицид, граминицид, клетодим, хизалофоп-П-этил

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 5 мая 2021 г. Принята к публикации: 1 июня 2021 г.

Для цитирования: Kryukova K.D., Gresis V.O. Differences in biological efficiency of one- and two-component graminicide on sugar beet crops in Tula region // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 129—136. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-129-136

Библиографический список

1. Гуреев И.И. Современные технологии возделывания и уборки сахарной свеклы: практическое руководство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Печатный город, 2011. 256 с.
2. Шпаар Д., Сушков М. Выращивание сахарной свеклы. М.: Агропромиздат, 1996. 144 с.
3. Артохин К.С. Сорные растения. М.: Печатный город, 2010. 272 с.
4. Баздырев Г.И. Защита сельскохозяйственных культур от сорных растений. М., 2004. 328 с.
5. Спиридонов Ю.Я. Программа интегрированной защиты посевов от сорной растительности // Защита и карантин растений. 2000. № 2. С. 18—20.
6. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве. М.: Печатный город, 2010. 200 с.
7. Гамуев В.В., Гамуев О.В. Защита сахарной свеклы от сорной растительности // Земледелие. 2013. № 4. С. 29—31.
8. Гамуев В.В., Смирнов М.А. Перспективные способы защиты сахарной свеклы от сорной растительности // Земледелие. 2015. № 5. С. 37—39.
9. Дворянкин Е.А. Преимущества современных схем гербицидов, применяемых в свекловичных посевах // Сахарная свекла. 2009. № 1. С. 33—36.
10. Иващенко А.А. Защита сахарной свеклы от сорняков // Защита и карантин растений. 2005. № 10. С. 17—18.
11. Иващенко А.А. Современные тенденции защиты сахарной свеклы от сорняков // Защита и карантин растений. 2005. № 2. С. 26—30.
12. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть I. Пестициды. М.: Министерство сельского хозяйства, 2020. 830 с.
13. European Food Safety Authority, Anastassiadou M., Brancato A., Carrasco Cabrera L., Ferreira L., Greco L., Jarrah S., Kazocina A., Leuschner R., Magrans J.O., Miron I., Pedersen R., Raczkyk M., Reich H., Ruocco S., Sacchi A., Santos M., Stanek A., Tarazona J., Theobald A., Verani A. Review of the existing maximum residue levels for clethodim according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. EFSA Journal. 2019. Vol. 17. № 5. P. 5706. doi: 10.2903/j.efsa.2019.5706
14. Osterholt M., Webster E., Blouin D., McKnight B. Overlay of residual herbicides in rice for improved weed management. Weed Technology. 2019. Vol. 33. № 3. Pp. 426—430. doi: 10.1017/wet.2019.223 p.
15. Mesnage R., Biserni M., Balu S., Frainay C., Poupin N., Jourdan F. et al. Integrated transcriptomics and metabolomics reveal signatures of lipid metabolism dysregulation in HepaRG liver cells exposed to PCB126. Arch. Toxicol. 2018. Vol. 92(8). Pp. 2533—2547. doi: 10.1007/s00204-018-2235-7
16. Mesnage R., Biserni M., Wozniak E., Xenakis T., Mein C.A., Antoniou M.N. Comparison of transcriptome responses to glyphosate, isoxaflutole, quizalofop-p-ethyl and mesotrione in the HepaRG cell line. Toxicol. 2018. № 5. Pp. 819—826. doi: 10.1016/j.toxrep.2018.08.005
17. Biserni M., Mesnage R., Ferro R., Wozniak E., Xenakis T., Mein C.A., et al. Quizalofop-p-Ethyl Induces Adipogenesis in 3T3-L1 Adipocytes. Toxicological Sciences. 2019. Vol. 170. № 2. Pp. 452—461. doi: 10.1093/toxsci/kfz097
18. Jankowska M., Kaczynski P., Lozowicka B. Metabolic profile and behavior of clethodim and spirotriamet in herbs during plant growth and processing under controlled conditions. Scientific Reports. 2020. Vol. 10. № 1. Pp. 1323. doi: 10.1038/s41598-020-58130-3
19. Guldiken B., Ozkan G., Catalkaya G., Ceylan F.D., Yalcinkaya I.E., Capanoglu E. Phytochemicals of herbs and spices: Health versus toxicological effects. Food and Chemical Toxicology. 2018. № 119. Pp. 37—49. doi: 10.1016/j.fct.2018.05.050

Об авторах:

Крюкова Кристина Дмитриевна — магистрант, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: k_kryukova@inbox.ru



Гресис Валерия Олеговна — аспирант, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: gresis_vo@pfur.ru


Защита растений Plant protection

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-137-145
UDC 595.773.4:632.9:579.2

Research article / Научная статья

Phylogenetic analysis and designing new primers for molecular identification of *Drosophila suzukii*

Yousef Naserzadeh¹  , Galina N. Bondarenko², Ekaterina V. Kolesnikova²,
Mahmoudi Niloufar¹, Elena N. Pakina¹

¹Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation
²All-Russian Plant Quarantine Center, Moscow region, Russian Federation
 Corresponding author: unaserzadeh@gmail.com

Abstract. The family Drosophilidae includes over 3750 species worldwide and over 2000 of these are species of *Drosophila*. Spotted wing drosophila (SWD), *Drosophila suzukii* is one of the most dangerous species in this family. The insects live on undamaged ripening fruits, using its peculiar serrated ovipositor to break the skin of fresh ripening fruits and lay eggs in it. *Drosophila* species are very difficult and practically impossible to detect at larval stages. The present investigation was conducted at the All-Russian Plant Quarantine Center and Agrarian and Technological Institute of RUDN University, Moscow, Russia in 2018—2020. The aim of this study was to investigate the method of accurate and rapid identification of *D. suzukii*, and to design specific primer pairs for pest identification by Real-Time PCR method. The real-time quantitative PCR is a fast, sensitive, repeatable and accurate method for quantifying gene transcript levels. In this study, we designed specific primers (4.Dsuz.FRP) for Real-Time PCR to identify *D. suzukii* from other relative species. Although *D. suzukii* is absent in the Russian Federation and has not been reported so far, the project could be a precautionary measure.

Keywords: identification, original sequences, phylogenetic tree, *Drosophila suzukii*, PCR, plant quarantine

Acknowledgments. This paper has been supported by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

Article history: Received: 13 September 2020. Accepted: 25 May 2021

For citation:

Naserzadeh Y, Bondarenko G, Kolesnikova E, Mahmoudi N, Pakina E. Phylogenetic analysis and designing new primers for molecular identification of *Drosophila suzukii*. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):137—145. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-137-145

© Naserzadeh Y., Bondarenko G.N., Kolesnikova E.V., Pakina E.N., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0
International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Introduction

The spotted wing *Drosophila* (SWD), *Drosophila suzukii*, was originally described by Matsumura in Japan in 1931 [1]. Members of the *Drosophila* genus are not generally considered pests since their larvae are primarily developed on damaged or rotting fruits. Nevertheless, *D. suzukii* infests healthy ripening fruits while still on the plant. *Drosophila suzukii* larvae devour the fruit pulp within the fruits rendering them unmarketable and reducing the processed fruit exceptional [2, 3]. Furthermore, the wounds created at the infested fruits throughout ovipositing provide access to secondary fungal or bacterial infections leading to additional fruit tissue disintegrate [4–8]. *Drosophila suzukii* includes exceptional kinds of hosts; for this reason, this type of agricultural pest has come to be a world major pest (Fig. 1) of a large variety of commercial fruit crops [9, 10]. The aim of the research was to molecularly become aware of and draw a phylogenetic tree for *Drosophila suzukii* and distinguish it from other species.



Fig. 1. Worldwide-confirmed distribution of *D. suzukii* (August 2020) [11].
(<https://www.cabi.org/isc/datasheet/109283#toDistributionMaps>)

The principal purpose of this study was to categorize the molecular species of *D. suzukii*. Our purpose was to create an accurate and unique identity technique based on primers designed for *D. suzukii*, this approach is rapid and more efficient than techniques based totally on morphological identity [5, 12, 13]. The polymerase chain reaction turned into created to discover insects as a reliable and price-effective approach. In addition, in various molecular identification methods, one of the most important parts is the primer design. In this project, we design a specific pair of primers based on Real-time PCR.

Materials and Methods

DNA was extracted from the material under project (insect and larvae, from laboratory collection) by treating the specimens with Proteinase K accompanied with removal

of proteins with no extraction with natural solvents and using «DNA Extran-2 Kit», set № NG-511-100 («Synthol», Russian Federation) according to manufacturer’s instructions.

PCR-products purification. A 1:1 volume of Binding Buffer was added to the completed PCR mixture (e.g. 100 µL of Binding Buffer per every 100 µL of the reaction mixture) and mixed thoroughly. Then the solution was transferred up to the GeneJET purification column, centrifuged for 30...60 s. The flow-through solution was discarded. 700 µL of Wash Buffer was added to the GeneJET purification column and centrifuged for 30...60 s. The flow-through was discarded. The purification column was placed back into the collection tube. Then the empty GeneJET purification column was centrifuged for 1 min. After that the GeneJET purification column was transferred to a clean 1.5 mL microcentrifuged tube. Then 50 µL of Elution Buffer was added to the center of the GeneJET purification column membrane and centrifuged for 1 min.

Sequencing. DNA extracts were quantified on a NanoDrop 2000 spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific Inc., USA). Sequencing was done according to the generally accepted protocol with the use of Genetic Analyzer AB-3500 (Applied Biosystems, USA).

The *Drosophila spp.* primers, S1859, and A2191 are targeting several *Drosophila* species and generate an amplicon of 220-bp length. PCR conditions had been identified for each primer pairs: each 25 µL response protected 2 µl of DNA extract (10 pmol), 5x PCR grasp mix, and display-blend (HS-5x), zero.5 µM each primer, 17 µl water.

Primer S1859 (5'-GGAACAGGATGAACAGTTTAACCGCC-3') as a forward and A2191 (5'-CCCGGTAAAATTTAAAATATAAACTTC-3') as a reverse were used (Table 1) and, in a Veriti™ thermocycler (Applied Biosystems, USA). The reaction mixture was as follows: ready-to-use PCR mixture Screen Mix-HS (Evrogen, Russia). PCR conditions: denaturation at 95 °C for 90 Sec was followed by 39 cycles, including 30 sec at 90 °C; primer annealing at 61 °C for 15 sec; elongation at 72 °C for 30 sec; final elongation at 72 °C for 5 min (Table 2).

Table 1

Primers for the identification of *Drosophila spp.*

Target genes	Primer	Primer sequence (5'-3')		
<i>Drosophila spp.</i>	S1859	5'-GGAACAGGATGAACAGTTTAACCGCC-3'	Bogdanowicz et al. [14]	2000
<i>Drosophila spp.</i>	A2191	5'-CCCGGTAAAATTTAAAATATAAACTTC-3'	Bogdanowicz et al. [14]	2000

Table 2

A list of sequences for identification of *Drosophila suzukii* with Real-time PCR

No	Species	Country: (Data from laboratory of Russian Plant Quarantine Center)	Result of real-time PCR
1	<i>Drosophila suzukii</i>	Egypt	+
2	<i>Drosophila suzukii</i>	Turkey	+
3	<i>Drosophila melanogaster</i>	Turkey	
4	<i>Drosophila simulans</i>	Canada	
5	<i>Drosophila persimilis</i>	USA	
6	<i>Drosophila rhopaloa</i>	Japan	
7	<i>Drosophila kikkawai</i>	China	

The end of the table 2

No	Species	Country: (Data from laboratory of Russian Plant Quarantine Center)	Result of real-time PCR
8	<i>Drosophila ficusphila</i>	Japan	
9	<i>Drosophila erecta</i>	Brazil	
10	<i>Drosophila obscura</i>	Japan	
11	<i>Drosophila yakuba</i>	USA	
12	K- extraction		
13	K- amplification	Water	

Primer design for Real-time PCR, for the identification of Drosophila suzukii. Primer 4.Dsuz.F (5'- CCTTCGTGAAGCCTTCTACCG -3') as a forward and 4.Dsuz.R (5'- GCA*****AGATC -3') as a reverse and 4.Dsuz.Probe (5'- CAA*****TTCGCTG -3') as a probe were used. 1 µl (10 pmol) of each primer, 5 µl of master-mix 5dd (HS-5x), 16 µl H₂O and 1 µl DNA were used to make PCR mixture. The total volume of 25 µl, in a CFX 96 (Bio Rad, USA), was maintained and run-in Real-Time PCR unit. The reaction mixture was ready-to-use PCR mixture Screen-Mix (Evrogen, Russia) with the following procedure: 94 °C for 5 min, followed by 39 cycles of 95 °C for 30 s, 58 °C for 15 s, and 72 °C for 30 s. After the amplification, a melting curve analysis was performed, and the results had been averaged.

Results and Discussion

D. suzukii has a wide range of hosts both in its native habitats in Asia and the United States, with small fruits and cherries being the main economic concerns [1, 15–17]. Significant damage has been observed in several commercial soft fruits, such as blackberries, blueberries, cherries, raspberries, strawberries, tomatoes, grapes, cherries, figs, kiwis [18–20].

As shown in the phylogenetic tree (fig. 2), *D. suzukii* family members, such as *D. simulans* and *D. melanogaster*, are very close in genetic code, making it more difficult to identify. Moreover, this further highlights the need to design proprietary primers. Finally, we recommend this primer to other researchers (Table 3).

In this study, we have developed a Real-time PCR assay for the detection and identification of *D. suzukii* (Fig. 3).

In these results, we designed the primers 4.Dsuz.F (5'- CCTTCGTGAAGCCTTCTACCG -3') as a forward and 4.Dsuz.R (5'- GCA*****AGATC -3') as a reverse and 4.Dsuz.Probe (5'- CAA*****TTCGCTG -3') as a probe. In addition, we had nine samples for identification with originally designed primer (4.Dsuz) and we had only two positives of *Drosophila suzukii* as the positive control, 9 unknown cases, their names are listed in Table 1, respectively.

In addition, there is a case of the negative control (sample 3 up to 11) for checking PCR and extraction DNA processes. Two were accurately identified as *Drosophila suzukii*; two samples (number: 1, from Egypt and number: 2 from Turkey) showed melt peaks in the acceptable range of T: 58 °C results for and were clearly distinguished from another species. No other melt peaks were reported.

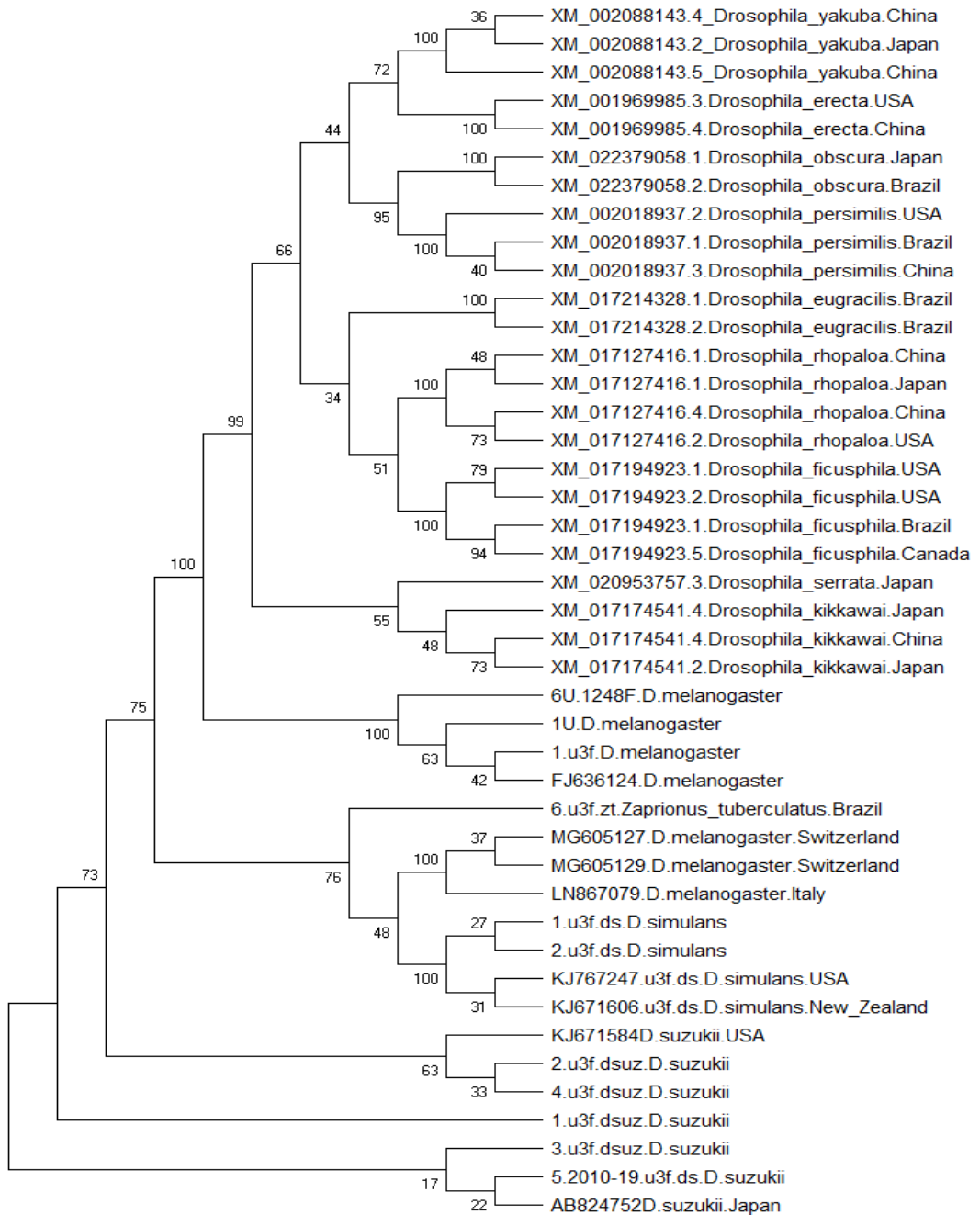


Fig. 2. Phylogenetic tree for *Drosophila* spp.

Identification of different *Drosophila suzukii* genetic codes

No	Species	Number of letters											
		99	101	114	119	123	140	141	143	160	165	171	181
1	<i>Drosophila suzukii</i>	T	C	C	T	C	T	C	C	C	C	T	A
2	<i>Drosophila simulans</i>	C	T	T	C	T	G	T	G	C	T	C	T
3	<i>Drosophila melanogaster</i>	A	T	C	T	C	T	T	A	T	T	C	T
4	<i>Drosophila persimilis</i>	C	T	T	C	T	G	T	G	C	T	C	T
5	<i>Drosophila rhopaloa</i>	C	T	T	C	T	G	T	G	C	T	C	T
6	<i>Drosophila ficusphila</i>	A	T	C	T	G	T	T	C	T	T	C	T
7	<i>Drosophila kikkawai</i>	G	T	C	T	G	T	T	A	T	T	C	T
8	<i>Drosophila erecta</i>	C	T	T	C	T	G	T	G	C	T	C	T
9	<i>Drosophila yakuba</i>	C	T	T	C	T	G	T	G	C	T	C	T
9	<i>Drosophila obscura</i>	G	T	C	T	T	T	T	C	T	T	C	T

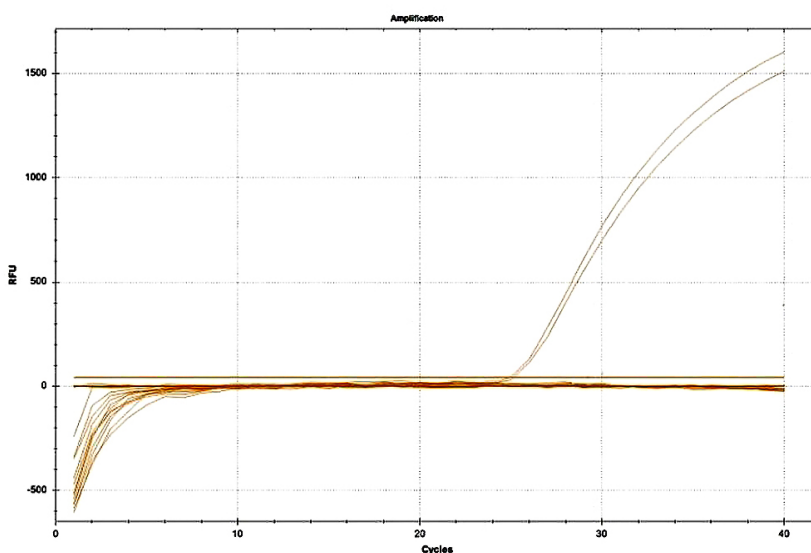


Fig. 3. The efficiency of the real-time PCR assay for the identification of *D. suzukii*

The research has proven that particular host fruits were preferred for ovipositing and development of larvae, at the same time as temperature performed an essential position in *D. suzukii* development, survival, and fecundity. We have used unique sequences in all stages and the primers were designed for the first time as well.

The primary comparison for the results of the sequence with the GeneBank genetic sequence database was performed by the NCBI BLAST web site (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>). BioEdit v.7.0.5.3 [18] sequence alignment editor was used for sequence checking, alignment, and editing.

Conclusion

Molecular identification for all samples used within the improvement of the technique changed into done by way of PCR amplification. For a long time, polymerase chain reaction (PCR) methods had been used to classify pests, organisms and sicknesses around the sector. The outcomes showed that those primers appropriately diagnosed the gene region in addition to the specific region of *D. suzukii*. When samples are not sufficient for morphological identification or handiest immature samples are available, real-time PCR molecular detection may be used as a fast and efficient detection approach. For such an economically vital attacker, a one-of-a-kind identification method can also permit extra accurate tracking and detection and save you misidentification. Real-time PCR detection can be used as a fast and efficient detection device. Finally, a phylogenetic tree turned into identified for numerous specimens close to *D. suzukii*. As an end result, it is far located near the subspecies in the tree.

References

1. Asplen MK, Anfora G, Biondi A, Choi DS, Chu D, Daane KM, et al. Invasion biology of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science*. 2015; 88(3):469–494. doi: 10.1007/s10340-015-0681-z
2. Walsh DB, Bolda MP, Goodhue RE, Dreves AJ, Lee J, Bruck DJ, et al. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *Journal of Integrated Pest Management*. 2011; 2(1): G1-G7. doi: 10.1603/IPM10010
3. Rota-Stabelli O, Ometto L, Tait G, Ghirotto S, Kaur R, Drago F, et al. Distinct genotypes and phenotypes in European and American strains of *Drosophila suzukii*: implications for biology and management of an invasive organism. *Journal of Pest Science*. 2020; 93(1):77–89. doi: 10.1007/s10340-019-01172-y
4. Poyet M, Eslin P, Héraude M, Le Roux V, Prévost G, Gibert P, et al. Invasive host for invasive pest: when the Asiatic cherry fly (*Drosophila suzukii*) meets the American black cherry (*Prunus serotina*) in Europe. *Agricultural and forest entomology*. 2014; 16(3):251–259. doi: 10.1111/afe.12052
5. Lillesaar C, Gaspar P. Serotonergic Neurons in Vertebrate and Invertebrate Model Organisms (Rodents, Zebrafish, *Drosophila melanogaster*, *Aplysia californica*, *Caenorhabditis elegans*). In: Pilowsky PM. (ed.) *Serotonin*. Academic Press; 2019. p.49–80. doi: 10.1016/B978-0-12-800050-2.00003-6
6. Murphy KA, Unruh TR, Zhou LM, Zalom FG, Shearer PW, Beers EH, et al. Using comparative genomics to develop a molecular diagnostic for the identification of an emerging pest *Drosophila suzukii*. *Bulletin of entomological research*. 2015; 105(3):364–372. doi: 10.1017/S0007485315000218
7. Naserzadeh Y, Pakina EN, Nafchi AM, Gadzhikurbanov AS. Specific identification method based on PCR for *Drosophila melanogaster*. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(2):134–142. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-134-141.
8. Lee JC, Bruck DJ, Dreves AJ, Ioriatti C, Vogt H, Baufeld P. In focus: spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*, across perspectives. *Pest management science*. 2011; 67(11):1349–1351. doi: 10.1002/ps.2271
9. Naserzadeh Y, Mahmoudi N, Pakina E, Zargar M. Molecular identification and primer design for spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*). *Research on Crops*. 2020; 21(2):364–369. doi: 10.31830/2348-7542.2020.061
10. Nikolouli K, Sassù F, Mouton L, Stauffer C, Bourtzis K. Combining sterile and incompatible insect techniques for the population suppression of *Drosophila suzukii*. *Journal of pest science*. 2020; 93(2):647–661. doi: 10.1007/s10340-020-01199-6
11. Enriquez T, Ruel D, Charrier M, Colinet H. Effects of fluctuating thermal regimes on cold survival and life history traits of the spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*). *Insect Science*. 2020; 27(2):317–335. doi: 10.1111/1744-7917.12649
12. Taning CN, Christiaens O, Berkvens N, Casteels H, Maes M, Smagghe G. Oral RNAi to control *Drosophila suzukii*: laboratory testing against larval and adult stages. *Journal of pest science*. 2016; 89(3):803–814. doi: 10.1007/s10340-016-0736-9

13. Durkin SM, Chakraborty M, Abrieux A, Lewald KM, Gadau A, Svetec N, Peng J, Kopyto M, Langer CB, Chiu JC, Emerson JJ, Zhao L. Behavioral and Genomic Sensory Adaptations Underlying the Pest Activity of *Drosophila suzukii*. *Molecular biology and evolution*. 2021 May 19;38(6):2532–2546. doi: 10.1093/molbev/msab048
14. Bogdanowicz SM, Schaefer PW, Harrison RG. Mitochondrial DNA variation among worldwide populations of gypsy moths, *Lymantria dispar*. *Molecular phylogenetics and evolution*. 2000; 15(3):487–495. doi: 10.1006/mpev.1999.0744
15. Naserzadeh Y, Bondarenko G, Kolesnikova E, Zargar M, Pakina E, Engeribo A. Molecular identification and design of specific primer for quarantine fruit fly (*Drosophila suzukii*). *Research on Crops*. 2020 Sep 1;21(3). doi: 10.31830/2348-7542.2020.095
16. Catel J, Kaur R, Gibert P, Martinez J, Fraimout A, Jiggins F, et al. Wolbachia in European populations of the invasive pest *Drosophila suzukii*: regional variation in infection frequencies. *PLoS One*. 2016;11(1):e0147766. doi: 10.1371/journal.pone.0147766
17. Biganski S, Fückel S, Jehle JA, Kleespies RG. Infection effects of the new microsporidian species *Tubulosema suzukii* on its host *Drosophila suzukii*. *Scientific Reports*. 2021;11(1):10151. doi: 10.1038/s41598-021-89583-9
18. Varón-González C, Fraimout A, Debat V. *Drosophila suzukii* wing spot size is robust to developmental temperature. *Ecology and Evolution*. 2020;10(7):3178–3188. doi: 10.1002/ece3.5902
19. Ulmer R, Couty A, Eslin P, Gabola F, Chabrierie O. The firethorn (*Pyracantha coccinea*), a promising dead-end trap plant for the biological control of the spotted-wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*). *Biological Control*. 2020;150:104345. doi: 10.1016/j.biocontrol.2020.104345
20. Maino JL, Schouten R, Umina P. Predicting the global invasion of *Drosophila suzukii* to improve Australian biosecurity preparedness. *Journal of Applied Ecology*. 2021 Apr;58(4):789–800. doi: 10.1111/1365-2664.13812

About authors:

Naserzadeh Yousef — PhD candidate, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: unaserzadeh@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2585-5307

Bondarenko Galina Nikolaevna — Candidate of Biological Sciences, All-Russian Plant Quarantine Center, 32, Pogradichnaya st., Bykovo, Ramensky district, Moscow region, 140150, Russian Federation; e-mail: galine1988@yandex.ru

Kolesnikova Ekaterina Vladimirovna — All-Russian Plant Quarantine Center, 32, Pogradichnaya st., Bykovo, Ramensky district, Moscow region, 140150, Russian Federation; e-mail: reseachergm@mail.ru


Pakina Elena Nikolaevna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: e-pakina@yandex.ru

Филогенетический анализ и разработка новых праймеров для молекулярной идентификации *Drosophila suzukii*

Ю. Насерзаде¹  , Г.Н. Бондаренко², Е.В. Колесникова², Е.Н. Пакина¹

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

²Всероссийский центр карантина растений, Московская обл., Российская Федерация

 unaserzadeh@gmail.com

Аннотация. Семейство Drosophilidae насчитывает более 3750 видов по всему миру, из них к роду *Drosophila* относится более 2000 видов, причем, *Drosophila suzukii* считается одним из самых опасных

представителей этого семейства. Личинок вредителя крайне трудно или практически невозможно обнаружить, так как азиатская ягодная дрозифила большую часть жизненного цикла проводит внутри плода. Вылупляющиеся из яиц личинки *Drosophila suzukii* питаются здоровыми плодами, вызывая размягчение тканей и загнивание плодов. Эксперименты проводились на базе Всероссийского центра карантина растений и в Аграрно-технологическом институте Российского университета дружбы народов в 2018—2020 гг. Цель исследования — подобрать метод точной и быстрой диагностики вредителя, разработать специфические пары праймеров для ПЦР в реальном времени. На сегодняшний день количественная ПЦР — это быстрый, высокочувствительный, воспроизводимый и наиболее точный метод диагностики. По результатам исследования были разработаны специфические праймеры (4.Dsuz.FRP), позволяющие с высокой точностью отличать *D. suzukii* от других родственных видов при использовании метода ПЦР в реальном времени. Хотя появление *D. suzukii* не было зафиксировано на территории Российской Федерации, исследование дает возможность быстро и с высокой точностью идентифицировать вредителя в случае его возможного завоза, а также поможет предотвратить его последующее распространение.

Ключевые слова: идентификация, исходная последовательность, филогенетическое дерево, *Drosophila suzukii*, ПЦР, карантин растений

Финансирование. Благодарности. Публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

История статьи:

Поступила в редакцию: 13 сентября 2020 г. Принята к публикации: 25 мая 2021 г.

Для цитирования: Naserzadeh Y., Bondarenko G., Kolesnikova E., Pakina E. Phylogenetic analysis and designing new primers for molecular identification of *Drosophila suzukii* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 137—145. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-137-145

Об авторах:

Насерзаде Юсеф — аспирант, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: unaserzadeh@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2585-5307

Бондаренко Галина Николаевна — кандидат биологических наук, Всероссийский центр карантина растений, 140150, Российская Федерация, Московская обл., г. Раменское, р.п. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: galine1988@yandex.ru

Колесникова Екатерина Владимировна — Всероссийский центр карантина растений, 140150, Российская Федерация, Московская обл., г. Раменское, р.п. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: Reseachergm@mail.ru

Пакина Елена Николаевна — кандидат биологических наук, доцент, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: e-pakina@yandex.ru


Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-146-153
УДК 614.771:665.71:631.111.3:504.054

Научная статья / Research article

Модель мониторинга нефтяного загрязнения почвы и его прекращения

С.Е. Германова  , Т.В. Магдеева , В.Г. Плющиков 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 germanova-se@rudn.ru

Аннотация. Оценка влияния хозяйственной деятельности нефтедобывающего комплекса России на загрязнение земель способствует принятию эволюционных управленческих решений. В нефтяном комплексе промышленное загрязнение отрицательно сказывается на флоре и фауне, поэтому необходимо определить уровень воздействия, степень его опасности, место заражения. Нужен системный подход. При изучении экологической среды важно учитывать наличие рискованных ситуаций и стохастических необратимых изменений. Идентификация характера и типа загрязнения почвы нефтепродуктами должна проводиться с использованием высокотехнологичного инструментария, интеллектуальных процедур. Рассмотрены моделирование ситуации загрязнения почв, прогнозирование и идентификация нефтяных загрязнений, также подмодель оптимального прекращения мониторинга. Прекращение наблюдений за оптимизацией окружающей среды приведет к снижению затрат на наблюдение, поскольку мониторинг загрязненной нефтепродуктами окружающей среды является дорогостоящим и сложным технологическим механизмом, часто требующим спутниковых данных. Предлагаемый алгоритм моделирования и системного анализа основан на ситуационном моделировании. Эволюционное моделирование позволяет адаптировать процедуру (методологию) прогнозирования и оценки к факторам риска окружающей среды. Это повышает точность (формализация и доказательность) и полноту выводов, оперативность анализа ситуации, что влияет на управляемость риска как для нефтяного комплекса, так и для отдельного предприятия отрасли. Результаты работы могут быть использованы для разработки программных средств, в частности экспертных и прогнозных систем. Ситуационные модели необходимы, когда нефтяные компании решают многокритериальные и многофакторные задачи принятия решений.

Ключевые слова: загрязнение, нефть, водная поверхность, эволюционное моделирование, мониторинг, прекращение мониторинга

История статьи:

Поступила в редакцию: 17 июля 2020 г. Принята к публикации: 23 апреля 2021 г.

© Германова С.Е., Магдеева Т.В., Плющиков В.Г., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Для цитирования:

Германова С.Е., Магдеева Т.В., Плющиков В.Г. Модель мониторинга нефтяного загрязнения почвы и его прекращения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 146—153. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-146-153

Model of monitoring of oil soil pollution and its termination

Svetlana E. Germanova ✉, Tatiana V. Magdeeva , Vadim G. Plyushchikov 

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

✉ Corresponding author: germanova-se@rudn.ru

Abstract. The assessment of impact of oil production economic activities on land pollution in Russia contributes to evolutionary management decision making. Oil industrial pollution affects negatively flora and fauna. Thus, it's important to identify the level of its exposure and danger, the site of contamination. A system approach is needed. When studying the environment, it's necessary to consider the presence of risk situations and stochastic irreversible changes. It's essential to identify the nature and type of soil contamination with petroleum products using high-tech tools, intellectual procedures. The work considers modeling of such situation, forecasting and identification of oil contaminants. The submodel of optimal termination of monitoring is also considered. Ending monitoring of environmental optimization will result in lower monitoring costs, since monitoring oil-contaminated environments is an expensive and complex technological mechanism, often requiring satellite data. The proposed algorithm for modeling and system analysis is based on situational modeling. Evolutionary modeling allows to adapt the procedure (methodology) of forecasting and assessment to environmental risk factors. It increases the accuracy (formalization and evidence) and completeness of conclusions, the efficiency of situation analysis, which affects manageability of risk both for the oil complex and for individual enterprise in the industry. The results of the research may be used for development of software tools, in particular expert and predictive systems. Situational models are needed when oil companies are solving multi-criteria and multi-factor problems.

Keywords: pollution, oil, water surface, evolutionary modeling, monitoring, termination of monitoring

Article history:

Received: 17 July 2020. Accepted: 23 April 2021

For citation:

Germanova SE, Magdeeva TV, Plyushchikov VG. Model of monitoring of oil soil pollution and its termination. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):146—153. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-146-153

Введение

Задача экологической чистоты производственной инфраструктуры хозяйствующих субъектов в добыче нефти, нефтяной промышленности — весьма актуальна. Требования экологических служб, нормативов следует соблюдать, иначе можно столкнуться не только с издержками предприятий, ликвидацией ущерба, но и воздействием вредоносных загрязнителей на население, экологическую среду.

Проблема мониторинга почвенных нефтяных загрязнений актуальна для такой крупной нефтедобывающей страны, как Россия. Дистанционному зондированию почвы, мониторингу и моделированию уделяется много внимания, в т.ч.

спутниковому, с применением БПЛА или высокоточных датчиков для облучения поверхности почвы и последующего анализа данных [1—6] и др.

Методы и процессы экологически грамотного функционирования нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий часто сложны, требуют сложно реализуемого (даже если и эффективного) мониторинга для обеспечения экологически допустимых параметров среды. Они ориентированы на общие издержки и общую прибыль (предельные доходы и издержки).

Современный экомониторинг — совокупность высокоинформативных и высокотехнологических и методических мер, процедур организации и проведения наблюдения, оценки (прогноза) текущей ситуации в заданной экосреде.

Цель исследования — изучение состояния, техногенного воздействия, загрязнения (с выявлением причин, источников), ущерба и нагрузки на среду, идентификация параметров и факторов, необходимых для карт (ГИС), например, по аномалиям и ЧС, для оперативного, автоматизированного контроля и классификации типов загрязнения, регистрации и наблюдения.

Материалы и методы исследований

Релевантный инструментарий — прогнозирование и моделирование, не требующее сложного мониторинга, позволяющее управлять системными процессами нефтяного предприятия [7].

Пусть на предприятии нефтедобычи идет загрязнение почвы около рабочей (производственной) территории. Рассмотрим векторы концентраций загрязняющих факторов — $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и воздействия загрязнителей (ПДК) — $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, причем $x_i \leq y_i$, $i = 1, 2, \dots, n$. Учитываем эффективность влияния поллютанта на загрязненность:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{y_i},$$

а также эффект их «суммарного» воздействия — усиления токсических характеристик загрязнения, способность к биоаккумуляции (усиления) или, наоборот, трансформации (ослабления).

Несмотря на прогрессивность применения дистанционных методов, мониторинг на основе даже высокоточного инструментария (например, спутникового зондирования [8]) осложняется высокой стоимостью проведения и избыточностью обрабатываемой информации. Ни от первого, ни от второго фактора избавиться при достаточных критериях качества идентификации загрязнений не удастся.

Одним из приемлемых (с точки зрения принятых критериев адекватности и эффективности) решений является инфологическое, технологическое использование Big Data [9], Data Mining [10] и других интеллектуальных систем анализа объемной информации, их селекции по информативности.

Другое решение — математическое, оптимальное прекращение мониторинговых мероприятий, без достижения «уровня нерентабельности мониторинговых исследований». Рассмотрим примеры обоих подходов.

Результаты исследования и обсуждения

Подход, ориентированный на Big Data и Data Mining. При подобном подходе формируем Big Data, используя базы данных, например, загрязнителей (нефть и ее производные — бензин, дизельное топливо, керосин и др.), диапазонов изменений экспериментальных данных и предварительного статистического анализа [11]. Далее работают процедуры Data Mining: извлекается необходимая сигнальная информация, осуществляется нормировка и фильтрация данных, сравнение и анализ реальных сигналов с пороговыми значениями.

Для идентификации типа и вреда конкретного загрязнителя используется релевантное значение a_1 результатов мониторинговых исследований и сравнение его близости к «эталонному» значению a_2 . В качестве меры близости и пространства сходимости можно выбрать различные функционалы и пространства.

Например, для евклидова нормированного пространства можно использовать показатель интенсивности $i(a)$ отражения спутникового сигнала от загрязнителя (по Big Data) и аналогичное нормированное значение $I(\lambda)$ для незагрязненной поверхности, а в качестве метрики —

$$\rho(a_1, a_2) = \left| \frac{i(a_2)}{i(a_1)} - \frac{I(a_2)}{I(a_1)} \right|.$$

Критерий близости (идентификации) — максимизация минимального (по эталонам базы) значения $\rho(a_1, a_2)$:

$$F(a_i, a_j) \Rightarrow \max_{i,j} \left(\min_{m,k} (\rho_{mk}(a_1, a_2)) \right),$$

где

$$\rho_{mk} = \left| \frac{i^m(a_2)}{i^m(a_1)} - \frac{I^k(a_2)}{I^k(a_1)} \right|,$$

m — вид нефтепродукта-загрязнителя; k — тип загрязняемой почвы.

Кроме вышеприведенного критерия близости загрязнителя к эталонному, отслеживается и критерий инструментальной точности, например, сигнал должен превышать значительно «шумы» («белый шум») измерений (правило «трех сигм»):

$$i^m(a_2), i^m(a_1), I^k(a_2), I^k(a_1) > 3\sigma,$$

где σ — среднеквадратичное значение «шума» регистратора.

Интегрируя оба критерия, можно предложить предикатное тело процедуры идентификации:

- 1) если пороговые значения I^* удовлетворяют условию

$$\left| \frac{I^*(a_2)}{I^*(a_1)} \right| \geq \left| \frac{I(a_2)}{I(a_1)} \right|,$$

то выбирается решение о загрязнении почвы;

- 2) если же выполнено условие

$$\left| \frac{I^*(a_2)}{I^*(a_1)} \right| < \left| \frac{I(a_2)}{I(a_1)} \right|,$$

то выбирается решение об отсутствии загрязнения.

Возможны и другие процедуры (критерии выбора решения), в т.ч. для идентификации загрязнения водной поверхности [12, 13].

Проблема прекращения наблюдений и ее решение. Важно определиться: когда и сколько времени проводить мониторинг, особенно с учетом стохастики процесса.

Пусть наблюдения можно описать марковскими цепями, определенными на множестве $K = \{1, 2, \dots, k\}$, имеющими матрицу переходных вероятностей $P = \|P_{ij}\|, i = 1, 2, \dots, k$. Она определяется статистической обработкой данных. Задаем функции $f(i)$ выигрыша, если в состоянии i прекращаются наблюдения за состоянием среды.

Оптимальное состояние остановки наблюдений удовлетворяет [13, 14] соотношению

$$v(i) = \max\{f(i) - c(i) + \sum_{j=1}^k P_{ij} v(j)\},$$

где $v(i)$ — функция цены (продолжения-остановки), $i = 1, 2, \dots, k$.

Данное рекуррентное соотношение может привести к оптимальному состоянию методом последовательных приближений:

$$v_0(i) = f(i), i = 1, 2, \dots, k,$$

$$v_n(i) = \max\left\{f(i) - c(i) + \sum_{j=1}^k P_{ij} v_{n-1}(j)\right\}, \quad n \geq 1.$$

Эти приближения сходятся, не убывая, к $v(i)$.

Задача эквивалентна задаче линейного программирования:

$$\min_{v_i} \sum_{i=1}^k d_i v_i,$$

$$v_i \geq f(i), \quad v_i \geq -c(i) + \sum_{j=1}^k P_{ij} v_j, \quad d_i \geq 0, \quad i \in K.$$

Пусть $c = (c_1, c_2, \dots, c_k)$ — вектор стоимостей, фиксированных априори наблюдениями (экспертами). Тогда наблюдению l соответствует марковская цепь $x_n^{(l)}$ с матрицей переходных вероятностей:

$$P_n^{(l)} = \|P_{ij}^{(l)}\|, \quad i, j = 1, 2, \dots, k, \quad l = 1, 2, \dots, L.$$

Если задается функция $f(i)$ — выигрыш при остановке наблюдений в состоянии i , то цена $v(i)$ удовлетворяет соотношению

$$v(i) = \max\left\{f(i), \max_{1 \leq l \leq L} \left(-c_i + \sum_{j=1}^k P_{ij}^{(l)} v(j)\right)\right\},$$

а сама цена определяется итерациями:

$$v_0(i) = f(i),$$

$$v_n(i) = \max\left\{f(i), \max_{1 \leq l \leq L} \left(-c_j + \sum_{j=1}^k P_{ij}^{(l)} v_{n-1}(i)\right)\right\}, \quad i \in K, n \geq 1,$$

В состояниях из множества

$$I = \left\{i: i \in E, v(i) = -c_l + \sum_{j=1}^k P_{ij}^{(l)} v(j)\right\}$$

следует использовать наблюдение l -го типа.

Оптимум может находиться по времени или суммарной выгоде (продолжения/прекращения) наблюдений.

Это аналог задачи оптимизации получения максимального дохода за единицу времени. Можно перебирать поочередно все состояния марковского процесса в качестве начального состояния, сравнивать доходы, выбирать наибольшие (наилучшие) из них. В каждый момент времени решается проблема выбора: продолжать-останавливать наблюдения?

Факторы, влияющие на выигрыш, динамически и стохастически меняются, учитываются в переходных вероятностях при статистическом анализе с использованием технического инструментария конкретного мониторинга [15].

Выводы

В странах с развитым гео- и экомониторингом используют множество ГИС различного назначения и «мощности», электронные карты, компьютерные модели и интеллектуальные системы дистанционного зондирования, динамического картографирования состояния среды. Решаются задачи оптимизации инженерно-технической защиты.

Алгоритмическая структура, логичность мониторинговой системы определяет точность оценок геосреды. Например, используя метод эволюционного стохастического моделирования, можно упростить процедуры обработки данных, повысить оперативность принятия решения. Рассмотрение моделей таких задач — актуальная проблема.

Библиографический список

1. Трофимов С.Я., Аммосова Я.М., Орлов Д.С. Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнений на почвы // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2000. № 2. С. 30—34.
2. Куликов О.В. Техногенные загрязнения нефтепродуктами почв и водных объектов // Бурение и нефть. 2002. № 12. С. 24—27.
3. Дерябин А.Н., Унгурияну Т.Н., Бузинов Р.В. Риск здоровью населения, связанный с экспозицией химических веществ почвы // Анализ риска здоровью. 2019. № 3. С. 18—25.
4. Germanova S.E., Ryzhova T.A., Kocheva M.V., Fedorova T.A., Petukhov N.V. Situational modelling of oil pollution risks monitored by distributed monitoring // Amazonia Investiga. 2020. Vol. 9. No. 25. Pp. 44—48.
5. Васильев А.В., Быков Д.Е., Пименов А.А. Экологический мониторинг загрязнения почвы нефте-содержащими отходами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 4. С. 269—272.
6. Калицев Д.М. Модель загрязнения зоны ответственности производственной инфраструктуры нефтегазового предприятия // Современные научные исследования и разработки. 2018. Т. 2. № 11. С. 290—292.
7. Глухова Л.В., Казиев В.М., Казиева Б.В. Системные правила финансового контроля и управления инновационными бизнес-процессами предприятия // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2018. Т. 2. № 1. С. 118—126.
8. Тимофеев Ю.М., Березин И.А., Виролайнен Я.А., Макарова М.В., Никитенко А.А. Анализ мезомасштабных вариаций содержания углекислого газа вблизи Москвы по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 263—270.
9. Chen Sh.H., Yu T. Big Data in Computational Social Sciences and Humanities: An Introduction // Big Data in Computational Social Science and Humanities. Computational Social Sciences. Springer, Cham., 2018. Pp. 1—25. doi: 10.1007/978-3-319-95465-3_1

10. Михеева Т.И. Data Mining в геоинформационных технологиях // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2006. № 41. С. 96—99.
11. Абрамов Н.С., Макаров Д.А., Талалаев А.А., Фраленко В.П. Современные методы интеллектуальной обработки данных ДЗЗ // Программные системы: теория и приложения. 2018. Т. 9. № 4(39). С. 417—442.
12. Федотов Д.В., Белов М.Л., Матросова О.А., Городничев В.А., Козинцев В.И. Метод обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в двух узких спектральных диапазонах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2010. № 2. С. 39—47.
13. Белов М.Л., Штейнгарт А.Д., Матросова О.А., Городничев В.А. Лазерный флуоресцентный метод мониторинга утечек из нефтепроводов, использующий нейросетевой алгоритм // Наука и образование. 2014. № 1. С. 55—69.
14. Федотов Ю.В., Матросова О.А., Белов М.Л., Городничев В.А. Метод обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в трех узких спектральных диапазонах // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 3. С. 208—212.
15. Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А. Эффективность мониторинговых систем обнаружения // Экологические системы и приборы. 2002. № 6. С. 3—5.

References

1. Trofimov SY, Ammosova YM, Orlov DS. Influence of oil on soil cover and the problem of developing a regulatory framework for the influence of oil pollution on soils. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2000; (2):30—34. (In Russ).
2. Kulikov OV. Technogenic oil pollution of soil and water. *Burenie i neft'*. 2002; (12):24—27. (In Russ).
3. Deryabin AN, Unguryanu TN, Buzinov RV. Population health risk caused by exposure to chemicals in soils. *Health Risk Analysis*. 2019; (3):18—25. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2019.3.02
4. Germanova SE, Ryzhova TA, Kocheva MV, Fedorova TA, Petukhov NV. Situational modelling of oil pollution risks monitored by distributed monitoring. *Amazonia Investiga*. 2020;9(25):44—48. (In Russ).
5. Vasiliev AV, Bykov DE, Pimenov AA. Ecological monitoring of pollution of the soils by oily waste. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. 17(4):269—272. (In Russ).
6. Kalitsev DM. The pollution model of the «responsibility» zone of the production infrastructure of an oil and gas industry. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*. 2018; 2(11):290—292. (In Russ).
7. Gluhova LV, Kaziev VM, Kazieva BV. System rules of financial control and management of innovative business processes of the enterprise. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva*. 2018; 2(1):125—133. (In Russ).
8. Timofeev YM, Berezin IA, Virolainen JA., Makarova MV, Nikitenko AA. Analysis of mesoscale variability of carbon dioxide in the vicinity of Moscow megacity based on satellite data. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2019; 16(4):263—272. (In Russ). doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-263-270
9. Chen SH, Yu T. Big data in computational social sciences and humanities: an introduction. In: Chen SH. (ed.) *Big Data in Computational Social Science and Humanities*. Cham: Springer; 2018. p.1—25. doi: 10.1007/978-3-319-95465-3_1
10. Miheeva TI. Data Mining in geo-information technologies. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2006; (41):96—99. (In Russ).
11. Abramov NS, Makarov DA, Talalaev AA, Fralenko VP. Modern methods for intelligent processing of Earth remote sensing data. *Program Systems: Theory and Applications*. 2018; 9(4):417—442. (In Russ). doi: 10.25209/2079-3316-2018-9-4-417-442
12. Fedotov DV, Belov ML, Matrosova OA, Gorodnichev VA, Kozintsev VI. Method of detecting oil contamination on water surface based on registration of fluorescent radiation in two narrow spectral ranges. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 2010; (2):39—47. (In Russ).
13. Belov ML, Shteingart AD, Matrosova OA, Gorodnichev VA. Laser fluorescent method for monitoring leaks from petrol pipes based on the neural network algorithm. *Science and Education*. 2014; (1):5—69. (In Russ). doi: 10.7463/0114.0676410
14. Fedotov YV, Matrosova OA, Belov ML, Gorodnichev VA. Method of detection of oil pollution on the Earth's surface based on fluorescence radiation recording within three narrow spectral bands. *Atmospheric and oceanic optics*. 2013; 26(3):208—212. (In Russ).

15. Krapivin VF, Mkrtchyan FA. Effectiveness of monitoring systems of detection. *Ecological systems and devices*. 2002; (6):3—5. (In Russ).

Об авторах:

Светлана Евгеньевна Германова — старший преподаватель департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: germanova-se@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-2601-6740

Магдеева Татьяна Валерьевна — старший преподаватель департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: dremova-tv@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-5584-5321

Плющиков Вадим Геннадьевич — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-2057-4602

About authors:

Germanova Svetlana Evgenievna — Senior Lecturer, Department of Technospheric Security, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: germanova-se@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-2601-6740

Magdeeva Tatiana Valeryevna — Senior Lecturer, Department of Technospheric Security, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: dremova-tv@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-5584-5321

Pliushchikov Vadim Gennadievich — Doctor of Agricultural sciences, Professor, Director of Department of Technospheric Security, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-2057-4602



ЖИВОТНОВОДСТВО Animal breeding

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-154-166
UDC 619:636.2(65)


Research article / Научная статья

Using commercial enzyme immunoassay for measuring pregnancy-associated glycoproteins to diagnose pregnancy in dairy cows under field conditions in Algeria

Abdelhanine Ayad¹  , Hanane Derbak¹ , Omar Besseboua² 

¹University of Bejaia, *Bejaia, Algeria*

²Hassiba Benbouali University of Chlef, *Chlef, Algeria*

 Corresponding author: abdelhanine.ayad@univ-bejaia.dz

Abstract. The purpose of the present work was to study effectiveness for early pregnancy diagnosis in cattle of the new enzyme immunoassay (EIA) sandwich kit commercially available based on the measurement of pregnancy-associated glycoproteins (PAGs). 120 Holstein-Friesian cattle of mixed age and parity were comprised from different dairy herds. The pregnant females ($n = 68$) were diagnosed by ultrasonography at day 35–40 after artificial insemination and confirmed by transrectal exploration at 2–3 months after AI. The non-pregnant females ($n = 52$) were housed in the absence of males during the experimental period. Blood samples were collected from coccygeal vessels of females into EDTA tubes. The serum was obtained by centrifugation and the serum was stored at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ until assay. The PAG concentrations in pregnant and non-pregnant females were determined in serum by EIA kit. The reproducibility inter- and intra-assay of the PAG-EIA is satisfactory (2.78 and 13.19 %, respectively). The accuracy ($\geq 94.8\%$) and the test of parallelism were largely acceptable. No cross-reaction was observed with the different hormones tested at different dilutions. PAG-EIA system gave 100 % sensitivity and negative predictive values. Whereas, specificity and positive predictive value were 91.93 and 71.15 %, respectively. The accuracy of pregnancy diagnosis by PAG-EIA was 87.5 %. In conclusion, the present study shows clearly that the EIA kit can be used to measure PAG in serum cows for the detection of gestation in Algeria. Therefore, this alternative technique could be recommended to replace the radioactive methods in immunoassays to improve the reproductive performances and an efficient tool for reproductive management of dairy cattle.

Keywords: Pregnancy-associated glycoproteins, enzyme-immunoassay, pregnancy diagnosis, cows

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflict of interests

Article history:

Received: 5 February 2021. Accepted: 24 May 2021

© Ayad A., Derbak H., Besseboua O., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

For citation:

Ayad A, Derbak H, Besseboua O. Using commercial enzyme immunoassay for measuring pregnancy-associated glycoproteins to diagnose pregnancy in dairy cows under field conditions in Algeria. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):154—166. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-154-166

Introduction

Reproductive management in bovine is an important economic component in the success of a dairy farm. Zootechnical performance needs to be assessed in order to achieve good level and positive financial results to become profitable in bovine herd. The reproductive efficiency of dairy cows increases significantly incomes from milk sales and shorter calving intervals in the modern dairy industry worldwide. Early detection of pregnancy is an essential key to achieve the optimal calving-to-conception interval in dairy cattle. Early pregnancy diagnosis facilitates the detection of non-pregnant cows as early as possible after insemination or early embryonic mortality, and allows them to be re-inseminated. Several techniques are being used to diagnose pregnancy in dairy herd such as transrectal palpation or ultrasonographic examination [1—3].

In a number of mammals, it has been shown that trophoblast cells express a range of pregnancy-associated glycoproteins (PAGs) during pregnancy period. Pregnancy-associated glycoproteins, also known under a variety of other names including pregnancy-specific protein B (PSPB) [4] and pregnancy specific protein 60 (PSP-60) [5], were first described as placental antigens that were present in blood serum of the mother soon after implantation. These proteins appear to be enzymatically inactive as member of the aspartic proteinase family, which also includes pepsin, rennin, cathepsin and several other proteinases [6]. They are synthesized by the mono- and binucleate of the placenta cells, some of them being secreted in maternal blood from the moment when the conceptus becomes more closely attached to the uterine wall and formation of placentomes begins [7].

Due to the release of secretory granules PAGs in the maternal circulation, it can be used as an indicator of pregnancy and for following up ongoing pregnancies in physiological [8—10] and pathological conditions, such as embryonic and fetal mortalities [5, 11, 12]. These proteins differed in amino acid sequence, molecular masses [13] and degree of glycosylation [14]. Because of large variety of expressed molecules and to large variations in the post translational processing of the glycoproteins, several immunoassay methods, such as radioimmunoassay (RIA) and enzyme immunoassay (EIA), have been developed to be a useful tool of early pregnancy detection in maternal serum [15—18] or milk [19] cattle.

Traditionally, radio-immunoassay (RIA) has been employed to quantify the PAG concentrations in serum using antibody origins. In Algeria, the radioimmunoassay (RIA) methods are less used for routine analysis because of several limitations inherent to the use of radioactive isotopes and it also generates radioactive waste that causes environmental contamination.

In the context, **the purpose of the present work** was to study effectiveness for early pregnancy diagnosis in cattle of the new enzyme-immunoassay (EIA) sandwich kit commercially available based on the measurement of PAGs.

Materials and methods

This research was approved by the Scientific Council Faculty of the Veterinary High National School (Algiers, Algeria). Concerning the ethical aspects, the experimental procedure was performed *in-vitro* and the blood sampling of females was performed according to good veterinary practice under farm conditions.

Animals and samples. This study was conducted in Algeria from March to August 2011. In this study, 120 Holstein-Friesian cattle were comprised from different dairy herds of Tizi-Ouzou (36°46', 4°25') and Biskra (34°49', 5°43') province, Algeria. The age of the animals ranged between 18 months and 12 years with mixed parity. Body condition scores (BCS) of Holstein-Friesian females were noted according to Edmonson et al. [20]. The BCS of experiment females was between 2.5 to 4.5. Animals were examined by a veterinarian and presented no signs of clinical disease. All pregnant females were artificially inseminated (AI) after 100 days post calving [10]. The pregnant cows (Pregnant group, n = 68) were diagnosed by ultrasonography at day 35–40 post-IA (AGRO SCAN A14, sonde bifréquence 3.5 and 5.0 MHz) and confirmed by transrectal exploration at 2–3 months after AI. The non-pregnant heifers (Control group, n = 52) were housed in the absence of males during the experimental period. Blood samples (5 to 8 ml) were collected from coccygeal vessels of Holstein-Friesian females into EDTA tubes (Sarstedt®, Numbrecht, Germany). The serum was obtained by centrifugation (3000 x g at 15 min) and the serum was stored at –20 °C until assay.

PAG enzyme-linked immunosorbent assay. The PAG concentrations in pregnant and non-pregnant females were determined in serum by enzyme immunoassay (EIA) performed in duplicates. The detecting antibody was rabbit anti-PAG IgG as biotin-conjugate. The test sample used a spectrophotometer reader according to the kit instruction. The enzyme substrate was avidin-horseradish peroxidase (HRP). The standard curve ranged from 0 to 2 ng/ml. A cut-off of 0.8 ng/ml was used to discriminate between pregnant and non-pregnant females.

The basis of the test is the sandwich reaction involving two antibodies raised against PAG: the first one is coated on a 96 micro-plate whereas the second one is conjugated to biotin and detected using avidin-HRP. Each sample was analyzed in duplicate. Briefly, dilution buffer is added just before adding PAG standards and serum samples. Afterwards, it is followed by an overnight incubation at room temperature. Microtiter wells are washed before addition of biotinylated anti-PAG. The washing step is followed by incubation with avidin-HRP for 20 min at 37 °C. The plate is washed and after, the substrate/chromogen solution is added to the wells and incubated for 30 min at room temperature. The addition of the stopping reagent transforms the blue coloration into a yellow compound. Finally, the absorption at 450 nm is measured and the optical density is proportional to the PAG concentration.

Technical validation

Reproducibility. To test the reproducibility of EIA kit, two samples with different PAG concentrations were used. Samples were obtained from cows diagnosed earlier with ultrasonography as pregnant. Reproducibility was determined by calculating the intra

and inter-assay of variation (CV) as follow: $[\%CV = (SD / \text{mean}) \times 100]$. For intra-assay CV, the first serum was assayed in duplicate seven (07) times within the same assay. Likewise, for inter-assay CV, each serum was assayed in duplicate seven (07) times in consecutive assays.

Specificity. To test the specificity of the EIA assay, six (06) reproductive hormones were used, namely PMSG (*Folligon*® 1000 UI, International Intervet B.V., European Union), GnRH (*Fertagyl*®, International Intervet B.V., European Union), progesterone (Progesterone® Retard Pharon, BAYER health, 13 street Jean Jaurès 92807 Puteaux-cedex, France), testosterone (*Testoenant*®, Geymonat S.P.A. Via S, Anna, 2-Anagni, Italie), oxytocin (*Oxyto-Kel Synth*®, Kela N.V., St. Lenaartseweg 48, 2320 Hoogstraten, Belgium) and dinoprost (*Enzaprost*® T, Cevaanimal health, 10 avenue of ballastièrè, 33500 Libourne, France). Each hormone was diluted in buffer solution to obtain the following concentrations 1, 10^{-2} , 10^{-3} and 10^{-4} . After that, each dilution of tested compounds was assayed in duplicate.

Parallelism. Parallelism was assessed by serially diluting pregnant cow sera with high PAG concentration. For that, two samples containing relatively high PAG concentrations were diluted in buffer solution and assessed in duplicate. Thus, parallelism of the EIA was determined by evaluating samples at its initial strength (1/1), and at dilutions of 1/2, 1/4, 1/8 and 1/16.

Pregnancy diagnose analysis. This study was designed to test the accuracy of pregnancy outcomes based on PAG-EIA of blood samples collected between 25—50 days post AI. The following table showed the various categories as possible: Sensitivity, specificity, positive and negative predictive values (PPV and NPV, respectively) and accuracy were determined as described by Kastelic [21]. The sensitivity (Se) was expressed as the proportion of pregnant females with a positive PAG-ELISA result [true positive / (true positive + false negative)]. The Specificity (Sp) was calculated as the proportion of non-pregnant females with a negative PAG-EIA result [true negative / (true negative + false positive)]. Positive predictive value (PPV) was calculated as the proportion of females testing positive that were truly pregnant [true positive / (true positive + false positive)]. Negative predictive value (NPV) was calculated as the proportion of females testing negative that were truly non-pregnant [true negative / (true negative + false negative)].

The accuracy (Ac) was defined as the proportion of pregnant and non-pregnant females correctly identified by the test [(true positive + true negative) / (true positive + true negative + false positive + false negative)]. The rate of false positive or negative result is the likelihood of a positive or negative result in cows known not to be pregnant or be pregnant, and this rate is related to the test specificity [rate of false positive = $1 - \text{specificity}$] or sensitivity [rate of false negative = $1 - \text{sensitivity}$], respectively [22].

Statistical analysis. Statistical analyses were carried out in STATVIEW (Version 4.55). Statistical analysis was performed using t-test to compare treated and control females. The PAG concentrations were expressed as mean \pm SD, and $P < 0.05$ was considered significant. The statistical significance of test was determined by Student tests.

Results

The standard curves ($n = 6$) used ranged from 0.4 to 2 ng/ml to estimate PAG concentrations with a linear regression plot (Fig. 1). The reproducibility of PAG-EIA technical are summarized in Table 1. The values of inter-assay CV are 6.08 and 13.19 %, whereas intra-assay CV is low calculated for PAG-EIA (2.78 %). The recovery rates obtained by the use of PAG-EIA technical were higher 96.8 %, as shown in Table 2. Parallelism of serum samples diluted with buffer solution is given in Table 3. As far as the specificity is considered, no cross reaction of PAG-EIA was recorded for reproduction hormones tested at different dilutions ($1, 10^{-2}, 10^{-3}$ and 10^{-4} IU/ml).

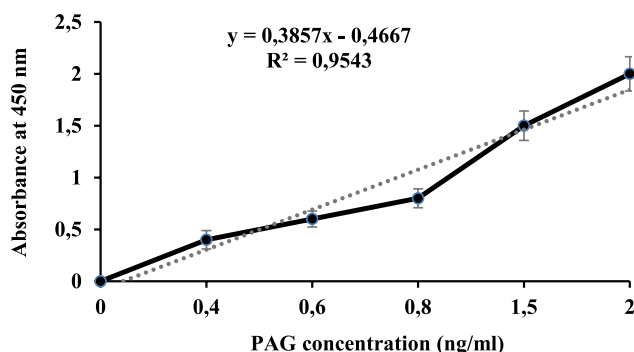


Fig. 1. Standard curves (mean \pm SD) of pregnancy-associated glycoproteins (PAG) in the enzyme immunoassay calculated over six assays

Table 1

Intra- and inter-assay coefficients of variation of pregnancy-associated glycoproteins by ELIA

Sample	Intra-assay ^a		Inter-assay ^b	
	PAG concentration ^c , ng/ml	CV, %	PAG concentration ^c , ng/ml	CV, %
1	2.21 \pm 0.06	2.78	2.33 \pm 0.14	6.08
2	—	—	0.94 \pm 0.12	13.19

^aSeven replicates in the same assay. ^bTwo replicates in 7 consecutive assays. ^cMean \pm SD.

Table 2

Recovery of different concentrations of PAG added to a plasma sample containing low concentrations of PAG respectively as measured by ELIA

Theoretical PAG concentration, ng/ml	Observed PAG concentration, ng/ml	Recovery ^a , %
1.25	1.21	96.8
1.20	1.14	95
1.16	1.10	94.8

^a(Observed value/Theoretical value) \times 100.

Table 3

Serial dilutions of a plasma sample containing relatively high PAG concentrations as measured by EIA

Dilution ^a	PAG concentration, ng/ml	
	Sample 1	Sample 2
1/1	5.16	5.18
1/2	3.53	3.61
1/4	2.21	2.07
1/8	1.30	1.17
1/16	0.65	–

^aSamples from pregnant females were diluted in buffer solution.

The PAG concentration (mean \pm SD) determined in serum samples from non-pregnant and pregnant females is represented in Table 4. PAG concentrations measured by EIA system are significantly ($P < 0.001$) higher in pregnant females than in non-pregnant females (3.51 ± 1.17 vs. 0.53 ± 0.08). It can be seen that in pregnant cows, the PAG-EIA resulted in the high and the least variable concentrations than the threshold currently used for pregnancy diagnosis (0.80 ng/mL). For samples of non-pregnant females, all PAG concentrations revealed very low content than the threshold 0.80 ng/mL.

Table 4

Mean (\pm SD) pregnancy-associated glycoprotein concentrations obtained by EIA in pregnant and non-pregnant female

	Non-pregnant females ($n = 52$)	Pregnant females ($n = 68$)
PAG concentration (mean \pm SD, ng/ml)	0.53 ± 0.08^a	3.51 ± 1.17^b
Min-Max	0.06–0.78	0.98–6.21

^{a,b}Significant differences between PAG concentrations from pregnant and non-pregnant females ($P < 0.001$).

The sensitive, specificity, positive and negative predictive values of the PAG-EIA tests are presented in Table 5. PAG-EIA system gave 100 % sensitivity and negative predictive values. Whereas, specificity and positive predictive value were 91.93 and 71.15 %, respectively. From a total of 52 samples collected in non-pregnant cows, measurement by PAG-EIA technique resulted in 15 cases of incorrect pregnancy diagnosis, i.e. false positive. The accuracy of pregnancy diagnosis by PAG-EIA was 87.5 %. There was a significant increase of PAG concentration from Day 25 to Day 50 after AI measured by EIA system ($P < 0.05$) (Fig. 2). Positive correlation between PAG concentrations AI measured by EIA and day after AI was $r = 0.32$ ($P \leq 0.001$).

Sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value, and accuracy of PAG-EIA for determining pregnancy status 25–50 days post AI

Variables	PAG-EIA
Correct positive results, <i>n</i>	68
False positives, <i>n</i>	15
Correct negative results, <i>n</i>	37
False negatives, <i>n</i>	00
Sensitivity Se, %	100
Specificity Sp, %	91.93
Positive predictive value PPV, %	71.15
Negative predictive value NPV, %	100
Accuracy Ac, %	87.5
Rate of false positive, %	8.07
Rate of false negative, %	0

Se = true positive / (true positive + false negative). Sp = true negative / (true negative + false positive). PPV = true positive / (true positive + false positive). NPV = true negative / (true negative + false negative). Ac = (true positive + true negative) / (true positive + true negative + false positive + false negative). Rate of false positive = 1 – specificity. Rate of false negative = 1 – sensitivity.

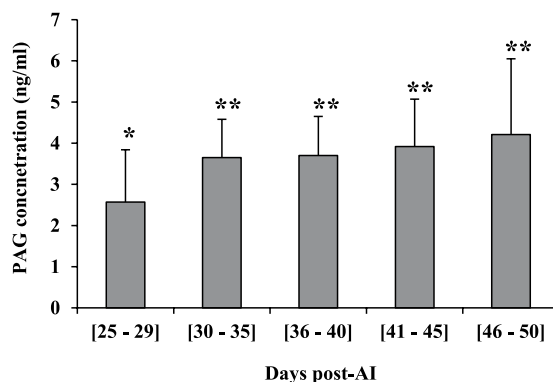


Fig. 2. Plasma concentrations of PAG, ng/ml, measured by enzyme immunoassay system during the first trimester of pregnancy (25...50 post AI) in dairy cows: *** – values with different superscripts of PAG concentration differ statistically ($P < 0.05$)

Discussion

The gestation diagnosis is of crucial importance to the farmer for the establishment and maintaining the production performances and dairy herd reproductive management. Early detection of pregnancy plays a key role in the achievement of an optimal

calving-to-conception interval in dairy and beef cattle. For this, it requires effective diagnostic methods that are accurate, practical. The results of this investigation have demonstrated that using a commercial EIA test to detect serum PAG concentrations was a highly accurate form of early pregnancy diagnosis in cattle under field conditions in Northern Algeria.

The test of reproducibility inter- and intra assay evaluated with bovine serum of the PAG-EIA system is satisfactory. CV inter- and intra-assay of PAG as measured by ELISA were reported by Gatea and co-authors [23] to be 7.8 and 8 %, respectively. These slight differences can be attributed to materials used and user experience. Parallelism was assessed by a serial dilutions (1/1, 1/2, 1/4 and 1/8) with pregnant female containing a high PAG concentration. In the present study, the results obtained show clearly that the concentrations PAG obtained are parallel. Concerning the precision of PAG-EIA, the results obtained are acceptable with the rate of recovery 94.8 %. The specificity test carried out here allowed us to verify the hypothetical interference of reproductive hormones and other placental glycoproteins on commercial PAG-EIA system. Our results showed that the commercial EIA was specific for the detection of PAG with regard to PMSG, GnRH, progesterone, testosterone, oxytocin and Prostaglandin F_{2α}. It is common knowledge that some placental glycoproteins from human and equine origin presented probably similar to those observed in the PAG molecules [24, 25].

The accuracy of pregnancy diagnosis is important criteria in relation to sensitivity and specificity values. In the current study, all pregnant females were correctly diagnosed as pregnant by PAG-EIA, while the low rate of non-pregnant females was diagnosed incorrectly. The sensitivity and the specificity of the commercial PAG-EIA at Day 28–50 after AI were high (100 and 91.93 %, respectively) for using as tool of pregnancy diagnosis in cattle. This result allows to reduce false-negative diagnosis, and the risk of prostaglandin injection in pregnant females in cattle breeding. Thus, it is desirable for the sensitivity to be very high (100 %) [26] because this can reduce the calving interval by re-inseminating of non-pregnant cows as early as possible. The sensitivity and negative predictive value outcomes of our study is similar to that reported by numerous authors using RIA-PAG [10, 15, 27], and using PAG- or PSPB-ELISA [26, 28, 29]. Recently, Meziane et al. [30] compared and evaluated two methods of pregnancy diagnosis, namely proteins associated with pregnancy and ultrasonography, in dairy cattle in the East of Algeria. The sensitivity and the specificity of PAG by the ELISA test were similar (100 and 93.75 %, respectively) to our results. Likewise, the sensitivity rate reported in the present study was higher than those from the previous findings [18, 31, 32]. The specificity of the PAG-EIA test for diagnosing non-pregnant cows obtained in the present study was higher than those reported, ranging from 66 to 90.7 %, in the researches assessing the effectiveness of the PAG-EIA test at Days 26–30 [16, 32–35]. Also, other investigations reported the specificity similar or slightly higher (91.1–97.2 %) carried out with the PAG-EIA test [18, 29, 31, 36] and the PAG-RIA [15, 27, 29] in dairy cows in comparison to the present study. These variations could be due to the interference in the assay of sample constituents rather than to the hormone to be measured. The discrepancy in the technique accuracy to predict pregnancy might be explained by the specific PAGs being detected by antibodies employed in the PAG-EIA. It is important to remember that

the molecular biology researches have been estimated over 100 PAG genes in ruminant genome most of them being expressed in the superficial layers of the placenta [37]. Recently, Ayad and Touati [38] concluded there was another source of glycoprotein expression apart from the placenta in cow. A similar finding of the detection of PAG in testicular tissue and an ovarian extract has also been demonstrated by Zoli et al. [39].

In our work, the increased PAG concentration in the first trimester pregnancy was similar to previous researches [40—42]. These variation of PAG concentration in dairy cows may be affected by the nutritional status and body score. Lopez-Gatius et al. [43] reported lower PAG concentrations in high producing dairy cows, which can partially explain differences between PAG concentrations found in dairy cattle in our study. Also, these divergence of serum PAG levels after AI might be attributed to the parity [41].

Conclusion

The present study shows clearly that the enzyme immunoassay kit can be used to measure PAG in serum of cows for the detection of gestation in Algeria. It is well known that the RIA method presents limitations to the use of radioactive isotopes in several countries, especially in Africa, because of concerns for radiation safety, short shelf lives of radioactive reagents and radioactive waste disposal. Therefore, this alternative technique could be recommended to replace the radioactive methods in immunoassays to improve the reproductive performances and an efficient tool for reproductive management of dairy cattle.

References

1. Romano JE, Thompson JA, Forrest DW, Westhusin ME, Tomaszewski MA, Kraemer DC. Early pregnancy diagnosis by transrectal ultrasonography in dairy cattle. *Theriogenology*. 2006; 66(4):1034—1041. doi: 10.1016/j.theriogenology.2006.02.044
2. Rosiles VA, Galina CS, Maquivar M, Molina R, Estrada S. Ultrasonographic screening of embryo development in cattle (*Bos indicus*) between days 20 and 40 of pregnancy. *Anim. Reprod. Sci.* 2005; 90(1—2):31—37. doi: 10.1016/j.anireprosci.2005.01.006
3. Szenci O, Beckers JF, Humblot P, Sulon J, Sasser G, Taverne MAM, Varga J, Baltusen R, Schekk GY. Comparison of ultrasonography bovine pregnancy-specific protein B, and bovine pregnancy-associated glycoprotein 1 tests for pregnancy detection in dairy cows. *Theriogenology*. 1998;50(1):77—88. doi: 10.1016/S0093-691X(98)00115-0
4. Butler JE, Hamilton WC, Sasser RG, Ruder CA, Hass GM, Williams RJ. Detection and partial characterization of two bovine pregnancy-specific proteins. *Biol. Reprod.* 1982;26:925—933. doi: 10.1095/biolreprod26.5.925
5. Mialon MM, Camous S, Renand G, Martal J, Menissier F. Peripheral concentrations of a 60-kDa pregnancy serum protein during gestation and after calving and in relationship to embryonic mortality in cattle. *Reprod. Nutr. Dev.* 1993;33(3):269—282. doi: 10.1051/rnd:19930309
6. Xie S, Low BG, Nagel RJ, Beckers JF, Roberts RM. A novel glycoprotein of the aspartic proteinase gene family expressed in bovine placental trophoctoderm. *Biol. Reprod.* 1994;51(6):1145—1153. doi: 10.1095/biolreprod51.6.1145
7. Wooding FB. The synepitheliochorial placenta of ruminants: Binucleate cell fusions and hormone production. *Placenta*. 1992;13(2):101—113. doi: 10.1016/0143-4004(92)90025-o
8. Humblot P, Camous S, Martal J, Charlery J, Jeanguyot N, Thibier M, et al. Diagnosis of pregnancy by radioimmunoassay of a pregnancy-specific protein in the plasma of dairy cows. *Theriogenology*. 1988;30(2):257—267. doi: 10.1016/0093-691x(88)90175-6
9. Sasser RG, Ruder CA, Ivani KA, Bulter JE, Hamilton WC. Detection of pregnancy by radioimmunoassay of a novel pregnancy-specific protein in serum of cows and a profile of serum concentration during gestation. *Biol. Reprod.* 1986;35(4):936—942. doi: 10.1095/biolreprod35.4.936

10. Zoli AP, Guilbault LA, Delahaut P, Benitez Ortiz W, Beckers JF. Radioimmunoassay of a bovine pregnancy-associated glycoprotein in serum: its application for pregnancy diagnosis. *Biol. Reprod.* 1992;46(1):468-392. doi: 10.1095/biolreprod46.1.83
11. Semambo DNK, Eckersall PD, Sasser RG, Ayliffe TR. Pregnancy-specific protein B and progesterone in monitoring viability of the embryo in early pregnancy in the cow after experimental infection with *Actinomyces pyogenes*. *Theriogenology*. 1992;37(3):741–748. doi: 10.1016/0093-691X(92)90153-I
12. Szenci O, Humblot P, Beckers JF, Sasser G, Sulon J, Baltusen R, et al. Plasma profiles of progesterone and conceptus proteins in cow with spontaneous embryonic/fetal mortality as diagnosed by ultrasonography. *Vet. J.* 2000;159(3):287–290. doi: 10.1053/tvj.1999.0399
13. Xie SC, Low BG, Nagel RJ, Kramer KK, Anthony RV, Zoli AP, et al. Identification of the major pregnancy specific antigens of cattle and sheep as inactive members of the aspartic proteinase family. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 1991;88(22):10247–10251. doi: 10.1073/pnas.88.22.10247
14. Klisch K, De Sousa NM, Beckers JF, Leiser R, Pich A. Pregnancy associated glycoprotein-1, –6, –7, and –17 are major products of bovine binucleate trophoblast giant cells at midpregnancy. *Mol. Reprod. Dev.* 2005;71(4):453–460. doi: 10.1002/mrd.20296
15. Ayad A, Sousa NM, Sulon J, Iguer-Ouada M, Beckers JF. Comparison of five radioimmunoassay systems for PAG measurement: ability to detect early pregnancy in cows. *Reprod. Dom. Anim.* 2007;42(4):433–440. doi: 10.1111/j.1439-0531.2006.00804.x
16. Friedrich M, Holtz W. Establishment of an ELISA for measuring bovine pregnancy associated glycoprotein in serum or milk and its application for early pregnancy detection. *Reprod. Domest. Anim.* 2010;45(1):142–146. doi: 10.1111/j.1439-0531.2008.01287.x
17. Green JA, Parks TE, Avalle MP, Telugu BP, McClain AL, Peterson AJ, et al. The establishment of an ELISA for the detection of pregnancy-associated glycoproteins (PAGs) in the serum of pregnant cows and heifers. *Theriogenology*. 2005;63(5):1481–1503. doi: 10.1016/j.theriogenology.2004.07.011
18. Romano JE, Larson JE. Accuracy of pregnancy specific protein-B test for early pregnancy diagnosis in dairy cattle. *Theriogenology*. 2010;74(6):932–939. doi: 10.1016/j.theriogenology.2010.04.018
19. Gajewski Z, Petrajtis-Gołobów M, Melo de Sousa N, Beckers JF, Pawliński B, Wehrend A. Comparison of accuracy of pregnancy-associated glycoprotein (PAG) concentration in blood and milk for early pregnancy diagnosis in cows. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* 2014;156(12):585–590. doi: 10.1024/0036-7281/a000654
20. Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Farver T, Webster G. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 1989;72(1):68–78. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0
21. Kastelic JP. Critical evaluation of scientific articles and other sources of information: an introduction to evidence-based veterinary medicine. *Theriogenology*. 2006;66(3):534–542. doi: 10.1016/j.theriogenology.2006.04.017
22. Silva E, Sterry RA, Kolb D, Mathialagan N, McGrath MF, Ballam JM, Fricke PM. Accuracy of a pregnancy-associated glycoprotein ELISA to determine pregnancy status of lactating dairy cows twenty-seven days after timed artificial insemination. *J. Dairy Sci.* 2007;90(10):4612–4622. doi: 10.3168/jds.2007-0276
23. Gatea AO, Smith MF, Pohler KG, Egen T, Pereira MH, Vasconcelos JL, et al. The ability to predict pregnancy loss in cattle with ELISAs that detect pregnancy associated glycoproteins is antibody dependent. *Theriogenology*. 2018;108:269–276. doi: 10.1093/jas/sky015
24. Beckers JF, Wouters-Ballman P, Ectors F. Isolation and radioimmunoassay of a bovine pregnancy specific protein. *Theriogenology*. 1988;29(1):219. doi: 10.1016/0093-691X(88)90047-7
25. Smith PL, Bousfield GR, Kumar S, Fiete D, Baenziger JU. Equine lutropin and chorionic gonadotropin bear oligosaccharides terminating with SO4-4-GalNAc and Sia alpha 2,3Gal, respectively. *J. Biol. Chem.* 1993;268(2):795–802. doi: 10.1016/S0021-9258(18)54004-7
26. Howard J, Gabor G, Gray T, Passavant C, Ahmadzadeh A, Sasser N, et al. BioPRYN, a blood-based pregnancy test for managing breeding and pregnancy in cattle. *Proc Am Soc Anim Sci West Sec.* 2007;58:295–298.
27. Skinner JG, Gray D, Gebbie FE, Beckers JF, Sulon J. Field evaluation of pregnancy diagnosis using bovine pregnancy-associated glycoprotein (bPAG). *Cattle Pract.* 1996;4(3):281–284.
28. Bragança GM, Monteiro BM, Dos Santos Albuquerque R, De Souza DC, Campello CC, Zimmerman SO, et al. Using pregnancy-associated glycoproteins to provide early pregnancy diagnosis in Nelore cows. *Livest. Sci.* 2018;214:278–281. doi: 10.1016/j.livsci.2018.06.018
29. Green JC, Volkmann DH, Poock SE, McGrath MF, Ehrhardt M, Moseley AE, et al. Technical note: A rapid enzyme-linked immunosorbent assay blood test for pregnancy in dairy and beef cattle. *J. Dairy Sci.* 2009;92(8):3819–3824. doi: 10.3168/jds.2009-2120

30. Meziane R, Boughris F, Benhadid M, Niar A, Mamache B, Meziane T. Comparative evaluation of two methods of pregnancy diagnosis in dairy cattle in the East of Algeria: proteins associated with pregnancy and ultrasonography. *Biol. Rhyth. Res.* 2021;52(2):237–245. doi: 10.1080/09291016.2019.1592348

31. Fosgate GT, Motimele B, Ganswindt A, Irons PC. A Bayesian latent class model to estimate the accuracy of pregnancy diagnosis by transrectal ultrasonography and laboratory detection of pregnancy-associated glycoproteins in dairy cows. *Prev. Vet. Med.* 2017;145:100–109. doi: 10.1016/j.prevetmed.2017.07.004

32. Gabor G, Toth F, Sasser G, Szasz F, Barany I, Wolfling A, et al. Ways of decrease the period between calving in dairy cows. 1. Early pregnancy detection by BioPryn ELISA-test. *Magyar Allatorvosok Lapja.* 2004;126(8):459–464.

33. Fernandez GI, Moncebaez J, Elinzondo C, Hernandez H, Ulloa-Arvizu R, Rojas S. Negative prediction value of pregnancy-associated glycoprotein contributes to reduce the days during which non-pregnant Holstein cows are subjected to diverse strategies of hormonal synchronization. *Int. J. Anim. Vet. Adv.* 2013;5(4):160–164.

34. Khan D, Khan H, Ahmad N, Tunio MT, Tahir M, Khan MS, et al. Early pregnancy diagnosis using pregnancy-associated glycoproteins in the serum of pregnant ruminants. *Pakistan J. Zool.* 2020;52(2):785–788. doi: 10.17582/journal.pjz/20190527080541

35. Sinedino LDP, Lima FS, Bisinotto RS, Cerri RLA, Santos JEP. Effect of early or late resynchronization based on different methods of pregnancy diagnosis on reproductive performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2014;97(8):4932–4941. doi: 10.3168/jds.2013-7887

36. Piechotta M, Bollwein J, Friedrich M, Heilkenbrinker T, Passavant C, Branen J, et al. Comparison of commercial ELISA blood tests for early pregnancy detection in dairy cows. *J. Reprod. Dev.* 2011;57(1):72–75. doi: 10.1262/jrd.10-022T

37. Xie S, Green J, Bao B, Beckers JF, Valdez KE, Hakami L, et al. Multiple pregnancy-associated glycoproteins are secreted by day 100 ovine placental tissue. *Biol. Reprod.* 1997;57(6):1384–1393. doi: 10.1095/biolreprod57.6.138438. Ayad A, Touati K. Pregnancy-associated glycoprotein concentrations in non-pregnant cows: a case study. *RUDN J. Agron. Anim. Ind.* 2019;13(4):287–293. doi: 10.22363/2312-797X-2018-13-4-287-293

39. Zoli AP, Beckers JF, Wouters-Ballman P, Closset J, Falmagne P, Ectors F. Purification and characterization of a bovine pregnancy-associated glycoprotein. *Biol. Reprod.* 1991;45(1):1–10. doi: 10.1095/biolreprod45.1.1

40. Ayad A, Sousa NM, Sulon J, Hornick JL, Iguer-Ouada M, Beckers JF. Correlation of five radioimmunoassay systems for measurement of bovine plasma pregnancy-associated glycoprotein concentrations at early pregnancy period. *Res. Vet. Sci.* 2009;86(3):377–382. doi: 10.1016/j.rvsc.2008.10.003

42. Thongruay S, Tasripoo K, Suthikrai, W, Sophon S, Srisakwattana K. Use of pregnancy-associated glycoproteins (PAG) levels to determine early pregnancy in somatic cell clone recipient buffaloes. *Thai J. Vet. Med. Suppl.* 2017;47:249–250.

43. Lopez-Gatius F, Garbayo JM, Santolaria P, Yaniz J, Ayad A, Sousa NMet al. Milk production correlates negatively with plasma levels of pregnancy-associated glycoprotein (PAG) during the early fetal period in high producing dairy cows with live fetuses. *Domest. Anim. Endocrinol.* 2007;32(1):29–42. doi: 10.1016/j.domaniend.2005.12.007

About authors:

Ayad Abdelhanine — DVM, MSc, PhD, Department of Biological Sciences of the Environment, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, 06000, Algeria; e-mail: abdelhanine.ayad@univ-bejaia.dz
ORCID: 0000-0002-9325-7889

Derbak Hanane — MSc, PhD Student, Department of Biological Sciences of the Environment, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, 06000, Algeria; e-mail: derbak90@hotmail.com
ORCID: 0000-0003-0459-8399


Besseboua Omar — DVM, MSc, PhD, Department of Agronomic and Biotechnological Sciences, Faculty of Nature and Life Sciences, Hassiba Benbouali University of Chlef, Chlef, 02000, Algeria; e-mail: besseboua.omar@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1365-4479

Использование иммуноферментного анализа для определения гликопротеинов беременности с целью диагностики стельности дойных коров в полевых условиях Алжира

А. Аяд¹  , Х. Дербак¹ , О. Бессебуа² 

¹Университет Абдеррахмана Мира, Беджая, Алжир

²Университет Хассибы Бенбуали, Эш-Шелифф, Алжир

 abdelhanine.ayad@univ-bejaia.dz

Аннотация. Изучена эффективность ранней диагностики беременности у крупного рогатого скота в полевых условиях в Алжире с помощью нового доступного набора для иммуноферментного анализа, основанного на определении гликопротеинов, связанных с беременностью. Исследованы 120 коров голштинско-фризской породы смешанного возраста из разных молочных стад. Контроль беременности у 68 стельных коров осуществляли методом ультразвуковой диагностики на 35...40-й день после инсеминации и подтверждали трансректальным исследованием через 2—3 месяца после проведения искусственного осеменения. 52 нестельных коров содержали изолированно от самцов на протяжении всего эксперимента. Образцы крови отбирались из хвостовой артерии в пробирки с ЭДТА. Плазму получали центрифугированием и хранили при температуре –20 °С до начала проведения анализа. Концентрации гликопротеинов беременности (ГПБ) у стельных и нестельных коров определяли в плазме крови с помощью набора реагентов ИФА. Воспроизводимость результатов ГПБ-ИФА (внутри- и межсерийной сходимости) удовлетворительна (2,78 и 13,19 % соответственно). Точность ($\geq 94,8$ %) и повторяемость анализа были в основном приемлемыми. Не наблюдалось перекрестной реакции с разными гормонами, протестированными в разных разведениях. Диагностическая чувствительность ГПБ-ИФА тест-системы составила 100 % и наблюдалась отрицательная прогностическая значимость. При этом специфичность и прогностическая ценность положительного результата составили 91,93 и 71,15 % соответственно. Точность диагностики беременности с помощью ГПБ-ИФА составила 87,5 %. Таким образом, настоящее исследование явно показывает, что набор для ИФА можно использовать для измерения содержания ГПБ в сыворотке крови коров с целью определения стельности. Следовательно, данный альтернативный метод может быть рекомендован для замены методов иммуноанализа с применением радиоактивных изотопов для улучшения репродуктивных показателей коров и является эффективным инструментом для воспроизводства молочного крупного рогатого скота.

Ключевые слова: гликопротеины беременности, иммуноферментный анализ, диагностика беременности, коровы

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности.

Профессор А. Аяд благодарит П. Делахо (SER Groupe, Марлой, Бельгия) за предоставление набора реагентов для проведения ИФА. Авторы также благодарят всех заводчиков за гостеприимство и теплый прием во время проведения исследований на территории фермы.

История статьи:

Поступила в редакцию: 5 февраля 2021 г. Принята к публикации: 24 мая 2021 г.

Для цитирования:

Ayad A., Derbak H., Besseboua O. Using commercial enzyme immunoassay for measuring pregnancy-associated glycoproteins to diagnose pregnancy in dairy cows under field conditions in Algeria // Вестник Российского

университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 154—166.
doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-154-166

Об авторах:

Аяд Абдельханин — доктор медицинских наук, кафедра общей экологии, факультет естественных наук, Университет Абдеррахмана Мира, 06000, Алжир, Беджая; e-mail: abdelhanine.ayad@univ-bejaia.dz
ORCID: 0000-0002-9325-7889

Дербак Ханане — аспирант, кафедра общей экологии, факультет естественных наук, Университет Абдеррахмана Мира, 06000, Беджая, Алжир; e-mail: derbak90@hotmail.com
ORCID: 0000-0003-0459-8399

Бессебуа Омар — доктор медицинских наук, кафедра агрономии и биотехнологии, факультет естественных наук, Университет Хассибы Бенбуали, 02000, Алжир, Эш-Шелифф; e-mail: besseboua.omar@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1365-4479

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-167-175
УДК 633.14:631.52

Обзорная статья / Review article

Влияние физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность кормов для птиц

В.И. Полонский¹, А.В. Сумина² ✉

¹Красноярский государственный аграрный университет,
г. Красноярск, Российская Федерация

²Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,
г. Абакан, Российская Федерация
✉ alenasumina@list.ru

Аннотация. Целью настоящего исследования является анализ зарубежной научной литературы, посвященный влиянию физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность получаемых на его основе кормов для птиц. Рассмотрены роль размера частиц зернового корма и его формы в обеспечении оптимального развития и функционирования желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и повышения продуктивности птиц. Результаты исследований показали, что использование корма крупного помола не только сопровождается увеличением относительной массы желудка у бройлеров по сравнению с кормлением более мелкими частицами, но и усилением ферментативного расщепления корма в ЖКТ и улучшением усвояемости содержащихся в нем питательных веществ. Обнаружено, что с повышением уровня включения грубой кукурузы в рацион количество полезных бактерий *Lactobacillus spp.* и *Bifidobacteria spp.* в ЖКТ увеличивалось, а количество условно патогенных микроорганизмов уменьшалось. У птиц, получающих гранулированный корм, найдено недостаточное развитие желудка, что обусловлено, главным образом, отсутствием его механической стимуляции. Предполагается, что с целью улучшения функции желудка и здоровья птиц целесообразно ввести в их рацион источник пищевых волокон. Показано, что добавление от 2 до 3 % нерастворимого источника клетчатки в обычные рационы молодых цыплят на основе высокобелковой соевой муки и кукурузы может улучшить развитие их пищеварительного тракта и ростовые показатели.

Ключевые слова: птицы, зерновой корм, размер частиц, форма корма, гранулирование, желудочно-кишечный тракт, численность микроорганизмов

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: Поступила в редакцию: 24 февраля 2021 г. Принята к публикации: 11 мая 2021 г.

Для цитирования: Полонский В.И., Сумина А.В. Влияние физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность кормов для птиц // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 167—175. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-167-175

© Полонский В.И., Сумина А.В., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Influence of grain physical characteristics on functional value of poultry feed

Vadim I. Polonskiy¹, Alena V. Sumina² ✉

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, *Krasnoyarsk, Russian Federation*

²Katanov Khakass State University, *Abakan, Russian Federation*

✉ *Corresponding author: alenasumina@list.ru*

Abstract. The purpose of this investigation was to analyze the scientific literature concerning the influence of grain physical characteristics on functional value of poultry feed. The review considers the role of grain feed particle size and its shape in ensuring optimal development and functioning of digestive tract and increasing productivity of birds. The results showed that compared to the feeding with smaller particles, the use of coarse feed increased stomach weight in broilers, enhanced enzymatic degradation of feed in digestive tract and improved nutrient bioavailability. The study found that increase in the level of coarse corn in the diet increased the number of *Lactobacillus* spp. and *Bifidobacteria* spp. beneficial bacteria in digestive tract. Meanwhile, number of opportunistic pathogenic microorganisms decreased. In birds which were given granular feed we found insufficient development of stomach, mainly due to the lack of mechanical stimulation. We assume that in order to improve stomach function and health of birds, it is necessary to apply a source of dietary fiber to their diet. The results of studies suggest that adding 2–3 % of insoluble source of fiber to the routine diets of young chickens based on high-protein soy flour and corn can improve their digestive tract development and growth characteristics.

Keywords: poultry, grain feed, particle size, shape, granulation, digestive tract, number of microorganisms

Conflicts of interest. The authors declared that they have no conflict of interest.

Article history:

Received: 24 February 2021. Accepted: 11 May 2021

For citation:

Polonskiy VI, Sumina AV. Influence of grain physical characteristics on functional value of poultry feed. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):167–175. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-167-175

Введение

В последние годы интенсивно исследуются вопросы влияния фракционного состава зернового сырья на физико-химические характеристики и функциональную ценность получаемых на его основе кормовых продуктов. Информация о взаимосвязи между физической структурой корма с одной стороны и функционированием желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и продуктивностью птиц с другой относится к важной составляющей стратегии производства кормов. Поэтому по А.М. Amerah [1], оптимизация размера частиц зерна является центральным звеном технологической операции измельчения кормов и всего процесса их изготовления.

С одной стороны, известно, что измельчение зернового корма способствует повышению качества его гранулирования, уменьшению разделения ингредиентов при дальнейшей обработке, а также увеличению эффективности и однородности

его смешивания [2]. Кроме того на примере ячменя, овса, ржи и пшеницы показано, что меньшие средние размеры зерновых частиц характеризуются более высокой эффективностью экстракции (до 31 %) остатков пестицидов из зерновой муки при прочих равных факторах [3]. С другой стороны, показано, что использование корма крупного помола сопровождается увеличением относительной массы желудка у бройлеров по сравнению с кормлением более мелкими частицами, а также усилением ферментативного расщепления корма в ЖКТ [4, 5].

Хотя зерновые культуры повсеместно считаются одним из основных компонентов в кормлении птиц, в данном направлении проводится весьма ограниченное количество работ. Результаты, полученные зарубежными учеными, указывают на наличие определенной связи размера зерновых частиц, их формы и однородности рациона с продуктивностью и состоянием здоровья птиц [6—8]. К сожалению, в России работ, посвященных изучению сказанного выше, чрезвычайно мало.

Целью исследования является анализ зарубежных научных литературных источников по проблеме влияния физических характеристик зернового сырья на функциональную ценность получаемых на его основе кормов для птиц. Данный обзор предлагается в первую очередь вниманию отечественных научных работников и специалистов-технологов зерноперерабатывающих производств, зооинженеров и биотехнологов.

Влияние размера частиц зернового сырья на функционирование желудочно-кишечного тракта у птиц

Сегодня широко распространено мнение о том, что меньший размер частиц корма способствует увеличению относительной площади его поверхности, что позволяет подвергать субстраты ингредиентов в организме птиц более эффективному воздействию пищеварительных ферментов и повышать усвояемость корма в целом [4, 9, 10].

Однако показано, что птицы, питавшиеся кормом, содержащим мелкие частицы, имели меньшие желудки по сравнению с теми особями, которые питались крупнозерновым кормом. Механизм влияния грубых частиц корма на увеличение массы желудка является следствием повышенного механического измельчения [5, 11]. Как правило, большой и хорошо развитый желудок связан с его повышенной измельчающей активностью [6, 7] и улучшением моторики ЖКТ [11], в результате чего улучшается переваривание питательных веществ [1].

Результаты нескольких исследований показали, что использование корма крупного помола не только сопровождается увеличением относительной массы желудка у бройлеров по сравнению с кормлением более мелкими частицами [4, 13, 14], но и усилением ферментативного расщепления корма в ЖКТ и улучшением усвояемости содержащихся в нем питательных веществ [15]. При использовании груборазмолотого корма наблюдались положительные эффекты в отношении функции ЖКТ, здоровья и продуктивности бройлеров и индеек [16].

Для оценки влияния включения в рацион питания крупнозернистой кукурузы исследовали продуктивность бройлеров, развитие и функцию ЖКТ, а также время удержания в нем частиц корма. В экспериментах 0, 25 и 50 % мелкозернистой ку-

курузы заменяли на крупнозернистую, что сопровождалось распределением корма по размерам соответственно 218, 204 и 181 мкм. В результате было установлено, что птицы, получавшие рационы, содержащие 25 и 50 % крупнозернистой фракции, демонстрировали повышенную активность функционирования ЖКТ, что, предположительно, происходило благодаря большему времени удержания в нем корма и усиленному развитию желудка [8].

Следует выделить, что птицы инстинктивно предпочитают потребление грубых частиц корма для стимуляции функции желудка, которая, как было предположено, контролирует моторику кишечника [9, 10].

Отметим, что в литературе имеются данные, свидетельствующие об отсутствии четкого влияния размера частиц зерна на функционирование ЖКТ птиц. Так, в трехнедельных экспериментах с 385 курами-несушками, содержащимися на рационах из кукурузы, пшеницы и сои с размерами кормовых частиц от 0,15 до 4,0 мм, авторам не удалось установить почти никакого влияния размера частиц на массу желудка, поджелудочной железы и тонкой кишки [17]. В [4] сообщается, что у птиц, содержащихся на рационе с тонким измельчением корма, размер частиц зерна на показатели переваримости белков и липидов существенного влияния не оказывал.

Как известно, в тонком кишечнике птиц основными видами бактерий являются молочнокислые, *Lactobacilli spp.* Увеличение количества этих микроорганизмов обычно считается полезным для здоровья хозяина, так как они могут предотвратить колонизацию некоторых патогенных микроорганизмов [18]. Однако следует выделить, что *Lactobacilli spp.*, обитающие в тонком кишечнике, по-видимому, ответственны за некоторое уменьшение переваривания липидов [19].

В [20] описано увеличение численности *Lactobacilli spp.* и снижение *Bifidobacteria spp.* после того, как птицам скармливали крупные частицы кукурузного корма (1,4 мм) по сравнению с теми, которым давали мелкие его частицы (0,6 мм). Другие авторы в своих экспериментах обеспечивали бройлеров рационами с градуированным уровнем грубой кукурузы (0, 150, 300, 450, 600 г/кг) и обнаружили, что с повышением уровня ее включения в рацион количество *Lactobacillus spp.* и *Bifidobacteria spp.* в ЖКТ увеличивалось, а количество *Clostridium spp.*, *Campylobacter spp.* и *Bacteroides spp.* уменьшалось [21]. Механизм наблюдаемого влияния размера частиц на профили микробиоты кишечника может быть объяснен следующим образом. Во-первых, стимуляция развития желудка и повышенная секреция соляной кислоты снижают величину рН и впоследствии оказывают антимикробное действие на патогенные бактерии, поступающие в дистальный отдел ЖКТ [18]. Во-вторых, конкурентному исключению патогенных бактерий может способствовать облегчение колонизации полезных видов [22].

Влияние физической структуры корма на функционирование желудочно-кишечного тракта у птиц

В литературе установлено различное влияние физической структуры и размера частиц корма на его усвоение. Так, найдено, что форма корма (пюре, крошка и гранулы) оказывала большее влияние на характеристики производительности

кур-несушек, чем размер частиц кормовых ингредиентов [23]. Однако размер частиц корма влиял на развитие ЖКТ и продуктивность птицы в большей степени, когда бройлеров кормили пюре, чем гранулированными кормами [5]. При этом показано, что после процесса гранулирования корма эффект размера частиц на развитие желудка усиливался [6, 7]. Найдено, что относительная масса желудка линейно возрастала с повышением включения грубой кукурузы в рацион в виде пюре, но не зависела от доли грубой кукурузы (до 500 г/кг) в корме, представленном в форме крошки [5, 24]. В проведенных исследованиях была оценена специфичность влияния размеров зерновых частиц, полученных из разных видов корма, на массу желудка. В итоге было обнаружено, что размер частиц кукурузы оказывал большее влияние на этот показатель, чем таковой соевого шрота [20, 25]. Отметим, что другие авторы в результате выполненных экспериментов, посвященных влиянию формы корма (пюре и крошка) и размера частиц зерна кукурузы и пшеницы (707 и 1096 мкм) на яйценоскость кур-несушек, четкой зависимости между изучаемыми параметрами не выявили [26].

Установлено, что гранулирование значительно уменьшало размер частиц корма и выравнивало различия между крупно и мелко измельченными шротами в рационах на основе пшеницы [18]. Авторы показали, что доля кормовых частиц размером более 1,0 мм снизилась за счет гранулирования с 262 до 149 г/кг в крупноизмельченном рационе и с 209 до 135 г/кг в мелкоизмельченном. Полученные результаты были подтверждены в [27], где авторы установили, что процесс гранулирования сопровождался уменьшением доли крупных частиц размером более 2,0 мм и увеличением доли мелких частиц менее 0,075 мм.

В экспериментах было показано, что относительная масса желудка птиц уменьшалась, когда их содержали на гранулированном рационе, а не на таковом в форме пюре. По мнению авторов, уменьшение размера желудка при подаче гранул является логической реакцией на снижение активности измельчения в результате более мелкого размера частиц, вызванного процессом гранулирования [4, 18, 27]. Показано, что птицы, которые получали гранулированные рационы, имели более низкую массу поджелудочной железы и активность панкреатических ферментов (амилазы, липазы и химотрипсина), чем те, кого кормили пюреобразными кормами [18]. Этот вывод согласуется с полученными на бройлерах результатами [28]. Корм, изготовленный из грубого пюре, дольше остается в желудке, тем самым увеличивает механическую стимуляцию этого органа и интенсивно измельчается [29].

Поскольку гранулирование уменьшает развитие желудка, время, затрачиваемое на прохождение корма в верхнем отделе ЖКТ, еще больше сокращается, что может выступать ограничивающим фактором эффективности работы ферментов в гранулированных рационах. По данным М. Абдоллахи с соавторами [30], учитывая повышенное потребление корма и уменьшенный размер желудка у птиц, кормящихся гранулами, время удержания на единицу корма становится еще короче по сравнению с птицами, содержащимися на рационе в форме пюре.

В целом, очевидно, что недостаточное развитие желудка у птиц, получающих гранулированное питание, обусловлено главным образом отсутствием его механи-

ческой стимуляции кормом. Гранулирование уменьшает потребность в измельчении, так что функция желудка почти сводится к функции транзитного органа [7].

В литературе показано, что на профиль микробиоты ЖКТ бройлеров оказывает влияние не только размер частиц корма, но и его физическая форма. Найдено, что птицы, кормящиеся гранулированным кормом, характеризовались более низким количеством *Lactobacilli spp.* и более высоким количеством кишечных палочек и энтерококков в кишечном тракте по сравнению с птицами, потребляющими корма в форме пюре [18].

К сожалению, данные о влиянии формы корма и вида зерновых культур на профиль микробиоты кишечника в литературе весьма скудны, и в этой области необходимы дополнительные исследования [8].

Оптимизация уровня клетчатки в рационе птиц

Введенный запрет на использование антибиотиков в кормах в качестве стимуляторов роста во многих странах мира привел к увеличению частоты кишечных заболеваний у домашней птицы. Для снижения частоты возникновения этой проблемы в качестве кормовой стратегии было изучено включение натуральных добавок, кормление цельнозерновыми злаками, использование грубых рационов в форме пюре и повышение в кормах уровня клетчатки.

Известны положительные эффекты умеренного включения в рацион клетчатки, заключающиеся в улучшении функции желудка и здоровья птиц. Показано, что увеличение структурных компонентов в кормах путем включения в рацион частиц грубого зерна и манипулирования составом пищевых волокон, улучшает здоровье кишечника, повышает использование корма и эффективность производства. Примером этого являются пищевые некрахмальные нерастворимые полисахариды, которые оказывают благотворное влияние на здоровье кишечника и использование питательных веществ, стимулируя выработку пищеварительных ферментов и усиливая бактериальную ферментацию в кишечнике [31]. По мнению Г. Матеоса с коллегами [32], включение от 2 до 3 % нерастворимого источника клетчатки в обычные рационы молодых цыплят на основе высокобелковой соевой муки и кукурузы может улучшить развитие пищеварительного тракта и ростовые показатели. Структурные компоненты рационов, такие как нерастворимая фракция пищевых волокон, улучшают функцию желудка, что, в свою очередь, положительно влияет на физиологию кишечника и продуктивность птицы. Необходимое количество пищевых волокон зависит от физико-химических характеристик источника волокна, особенно его растворимости, содержания лигнина и размера частиц.

В связи с сообщениями об улучшении доступности питательных веществ при добавлении в рацион структурных компонентов, стимулирующих развитие желудка, может быть рекомендовано включение в рацион домашней птицы 20...30 % частиц злаков размером более 1 мм или включение, по меньшей мере, 3 % грубых волокон, например, овсяной шелухи [6].

Заключение

По-видимому, птицы обладают способностью регулировать развитие своего ЖКТ и пищеварительных функций в соответствии со структурой кормового рациона. В частности, размер частиц и физическая форма корма оказывают большое влияние на размеры их желудка. Кормление птиц крупно измельченными частицами может иметь преимущество, так как данный технологический прием стимулирует функции желудка, в т. ч. секрецию соляной кислоты, повышает численность полезной микрофлоры, увеличивает время удержания корма в верхних отделах ЖКТ, что способствует улучшению процесса усвоения корма. По-видимому, имеющее место благотворное влияние на птиц крупных частиц, находящихся в составе корма, также предпочтительно и для повышения экономии энергии. Найдено, что у птиц, получающих гранулированный корм, отмечается плохое развитие желудка, что обусловлено, главным образом, отсутствием его механической стимуляции. В этом плане с целью улучшения функции желудка и здоровья птиц целесообразно ввести в их рацион источник пищевых волокон.

Библиографический список/ References

1. Amerah AM, Ravindran V, Lentle RG, Thomas DG. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. *World's Poultry Science Journal*. 2007; 63(3):439—455. doi: 10.1017/S0043933907001560
2. Behnke KC. Factors influencing pellet quality. *Feed Technology*. 2001; 5(4):19—22.
3. Herrmann SS, Hajeb P, Andersen G, Poulsen ME. Effects of milling on the extraction efficiency of incurred pesticides in cereals. *Food Additives and Contaminants: Part A*. 2017; 34(11):1948—1958. doi: 10.1080/19440049.2017.1339915
4. Peron A, Bastianelli D, Oury FX, Gomez J, Carre B. Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broilers fed on a pelleted diet. *British Poultry Science*. 2005; 46(2):223—230. doi: 10.1080/00071660500066142
5. Zaefarian F, Abdollahi MR, Ravindran V. Particle size and feed form in broiler diets: impact on gastrointestinal tract development and gut health. *World's Poultry Science Journal*. 2016; 72(2):277—290. doi: 10.1017/S0043933916000222
6. Svihus B. The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poultry Science Journal*. 2011; 67(2):207—224. doi: 10.1017/S0043933911000249
7. Amerah AM, Ravindran V, Lentle RG, Thomas DG. Influence of feed particle size and feed form on the performance, energy utilization, digestive tract development, and digesta parameters of broiler starters. *Poultry Science*. 2007; 86(12):2615—2623. doi: 10.3382/ps.2007-00212
8. Xu Y, Stark CR, Ferket PR, Williams CM, Pacheco WJ, Brake J. Effect of dietary coarsely ground corn on broiler live performance, gastrointestinal tract development, apparent ileal digestibility of energy and nitrogen, and digesta particle size distribution and retention time. *Poultry Science*. 2015; 94(1):53—60. doi: 10.3382/ps/peu015
9. Duke GE, Kuhlmann WD, Fedde MR. Evidence for mechanoreceptors in the muscular stomach of the chicken. *Poultry Science*. 1977; 56(2):297—299. doi: 10.3382/ps.0560297
10. Ferket PR, Gernat A.G. Factors that affect feed intake of meat birds: a review. *International Journal of Poultry Science*. 2006; 5:905—911. doi: 10.3923/IJPS.2006.905.911
11. Parsons AS, Buchanan NP, Blemings KP, Wilson ME, Moritz JS. Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase. *Journal of Applied Poultry Research*. 2006; 15(2):245—255. doi: 10.1093/japr/15.2.245
12. González-Alvarado JM, Jimenez-Moreno E, Valencia DG, Lazaro R, Mateos GG. Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. *Poultry Science*. 2008; 87(9):1779—1795. doi: 10.3382/ps.2008-00070
13. Nir I, Shefet G, Aaroni Y. Effect of particle size on performance. 1. Corn. *Poultry Science*. 1994; 73(1):45—49. doi: 10.3382/ps.0730045

14. Amerah AM, Lentle RG, Ravindran V. Influence of feed form on gizzard morphology and particle size spectra of duodenal digesta in broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*. 2007; 44(2):175–181. doi: 10.2141/jpsa.44.175
15. Carre B. Effects of feed particle size on the digestive processes in domestic birds. *INRA Productions Animales*. 2000; 13(2):131–136.
16. Gabriel I, Mallet S, Leconte M, Travel A, Lalles JP. Effects of whole wheat feeding on the development of the digestive tract of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2007; 142(1–2):144–162. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.06.036
17. Rohe I, Ruhnke I, Knorr F, Mader A, Borojeni FG, Lowe R, Zentek J. Effects of grinding method, particle size, and physical form of the diet on gastrointestinal morphology and jejunal glucose transport in laying hens. *Poultry Science*. 2014; 93(8):2060–2068. doi: 10.3382/ps.2013–03783
18. Engberg RM, Hedemann MS, Jensen BB. The influence of grinding and pelleting of feed on the microbial composition and activity in the digestive tract of broiler chickens. *British Poultry Science*. 2002; 43(4):569–579. doi: 10.1080/0007166022000004480
19. Smits CH, Veldman A, Verkade HJ, Beynen AC. The inhibitory effect of carboxymethylcellulose with high viscosity on lipid absorption in broiler chickens coincides with reduced bile salt concentration and raised microbial numbers in the small intestine. *Poultry Science*. 1998; 77(10):1534–1539. doi: 10.1093/ps/77.10.1534
20. Jacobs CM, Utterback PL, Parsons CM. Effect of corn particle size on growth performance and nutrient utilization in young chicks. *Poultry Science*. 2010; 89(3):539–544. doi: 10.3382/ps.2009-00434
21. Singh Y, Ravindran V, Wester TJ, Molan AL, Ravindran G. Influence of feeding coarse corn on performance, nutrient utilization, digestive tract measurements, carcass characteristics, and cecal microflora counts of broilers. *Poultry Science*. 2014; 93(3):607–616. doi: 10.3382/ps.2013-03542
22. Santos FBO, Sheldon BW, Santos Jr AA, Ferket PR. Influence of housing system, grain type, and particle size on *Salmonella* colonization and shedding of broilers fed triticale or corn-soybean meal diets. *Poultry Science*. 2008; 87(3):405–420. doi: 10.3382/ps.2006-00417
23. Kocer B, Bozkurt M, Kucukyılmaz K, Ege G, Aksit H, Orojpour A, Topbas S, Tuzun AE, Bintas E, Seyrek K. Effects of particle sizes and physical form of the diet on performance, egg quality and size of the digestive organs in laying hens. *European Poultry Science*. 2016; 80:223–230. doi: 10.1399/eps.2016.159
24. Xu Y, Stark CR, Ferket PR, Williams CM, Brake J. Effects of feed form and dietary coarse ground corn on broiler live performance, body weight uniformity, relative gizzard weight, excreta nitrogen, and particle size preference behaviors. *Poultry Science*. 2015; 94(7):1549–1556. doi: 10.3382/ps/pev074
25. Pacheco WJ, Stark CR, Ferket PR, Brake J. Evaluation of soybean meal source and particle size on broiler performance, nutrient digestibility, and gizzard development. *Poultry Science*. 2013; 92(11):2914–2922. doi: 10.3382/ps.2013-03186
26. Ege G, Bozkurt M, Kocer B, Tuzun AE, Uygun M, Alkan G. Influence of feed particle size and feed form on productive performance, egg quality, gastrointestinal tract traits, digestive enzymes, intestinal morphology, and nutrient digestibility of laying hens reared in enriched cages. *Poultry Science*. 2019; 98(9):3787–3801. doi: 10.3382/ps/pez082
27. Abdollahi MR, Ravindran V, Wester TJ, Ravindran G, Thomas DV. Influence of feed form and conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broiler starters fed wheat-based diet. *Animal Feed Science and Technology*. 2011; 168(1–2):88–99. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.03.014
28. Agah MJ, Norollahi H. Effect of feed form and duration time in growing period on broilers performance. *International Journal of Poultry Science*. 2008; 7(11):1074–1077.
29. Hetland H, Svihus B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens. *British Poultry Science*. 2001; 42(3):354–361. doi: 10.1080/00071660120055331
30. Abdollahi MR, Ravindran V, Svihus B. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. *Animal Feed Science and Technology*. 2013; 186(3–4):193–203. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.10.015
31. Kheravii SK, Morgan NK, Swick RA, Choct M, WU S-B. Roles of dietary fibre and ingredient particle size in broiler nutrition. *World's Poultry Science Journal*. 2018; 74(2):301–316. doi: 10.1017/S0043933918000259
32. Mateos GG, Jiménez-Moreno E, Serrano MP, Lázaro RP. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *Journal of Applied Poultry Research*. 2012; 21(1):156–174. doi: 10.3382/japr.2011-00477

Об авторах:

Полонский Вадим Игоревич — доктор биологических наук, профессор, кафедра ландшафтной архитектуры и ботаники, Институт агроэкологических технологий, Красноярский государственный аграрный университет, Российская Федерация, г. Красноярск, ул. Стасовой, 44 д; e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Сумина Алена Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра химии и геоэкологии, Институт естественных наук и математики, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Российская Федерация, г. Абакан, ул. Ленина, д. 90; e-mail: alenasumina@list.ru

About authors:

Polonskiy Vadim Igorevich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Landscape Architecture and Botany, Institute of Agroecological Technologies, Krasnoyarsk State Agrarian University, 44, Stasovoy st., Krasnoyarsk, 660113, Russian Federation; e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

Sumina Alena Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry and Geoecology, Institute of Natural Sciences and Mathematics, Katanov Khakass State University, 90, Lenina st., Abakan, 655017, Russian Federation; e-mail: alenasumina@list.ru

Для заметок
