

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 4 (48)

2024

СОДЕРЖАНИЕ

БОТАНИКА

- Зверева Г. К.** Сравнительное изучение ассимиляционной ткани генеративных органов у *Oryza sativa* и *Phragmites australis* (Poaceae) 3

ЗООЛОГИЯ

- Хафизов А. Ф., Саттаров В. Н.** Некоторые морфологические данные *Apis mellifera* в Саратовской области 18
- Гаврилова Т. В., Саттаров В. Н., Тарасовская Н. Е., Оспанова А. К., Гельдымамедова Э. А.** Данные таксономической оценки *Apis mellifera* Казахстана 24
- Асанов А. Ю.** Морфобиологическая характеристика вьюна *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) притока реки Пензы (Пензенская область) 33

ЭКОЛОГИЯ

- Шишкин А. Ю., Шишкина К. А., Смирнов В. Ф., Аникина Н. А., Веселова Т. А.** Изменение активности оксидоредуктаз грибов под воздействием субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов, обладающих фотокаталитическим эффектом 43
- Павлов П. О.** Результаты исследования населения степного сурка на территории национального парка «Сенгилеевские горы» 60
- Рыжова Ю. А.** Оценка современного состояния ценопопуляции *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers. на особо охраняемой природной территории «Ясеньевая дубрава» Пензенской области 66

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Пузина Т. И., Макеева И. Ю.** Динамика содержания фитогормонов и интенсивности дыхания в материнском клубне в процессе вегетации растений картофеля 73

**UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION
NATURAL SCIENCES**

№ 4 (48)

2024

CONTENTS

BOTANY

- Zvereva G.K.** Comparative study of assimilatory tissue of generative organs
at *Oryza sativa* and *Phragmites australis* (Poaceae) 3

ZOOLOGY

- Khafizov A.F., Sattarov V.N.** Some morphological data of *Apis mellifera*
in Saratov region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy* 18
- Gavrilova T.V., Sattarov V.N., Tarasovskaya N.E.,
Ospanova A.K., Geldymamedova E.A.** Taxonomic assessment
data of *Apis mellifera* in Kazakhstan 24
- Asanov A.Yu.** Morphobiological characteristics of the loach *Misgurnus fossilis*
(Linnaeus, 1758) of the tributary of the Penza River (Penza Region) 33

ECOLOGY

- Shishkin A.Yu., Shishkina K.A., Smirnov V.F., Anikina N.A., Veselova T.A.**
Changes in the activity of fungal oxidoreductases under the influence
of submicron particles of heavy metal oxides with a photocatalytic effect 43
- Pavlov P.O.** Results of a study of the population of the steppe marmot
in the territory of the Sengileevskie Mountains National Park 60
- Ryzhova Yu.A.** Assessment of the current state of the cenopopulations
of *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers. on the territory
of the protected area "Ash oak grove" of the Penza region 66

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

- Puzina T.I., Makeeva I.Yu.** Dynamics of phytohormone content and respiration
intensity in the mother tuber during the vegetation of potato plants 73

УДК 581.823:582.52/.59

doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-1

Сравнительное изучение ассимиляционной ткани генеративных органов у *Oryza sativa* и *Phragmites australis* (Poaceae)

Г. К. Зверева

Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,

Краснообск, Новосибирская область, Россия

labspp@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Ассимиляционная паренхима соцветия злаков играет большую роль при формировании зерновок. Задачей настоящей работы было выявить особенности строения хлоренхимы и пространственных конфигураций ассимиляционных клеток генеративных органов *Oryza sativa* и *Phragmites australis*, имеющих соответственно бамбузоидный и арундиноидный типы анатомии листьев. *Материалы и методы.* Исследовалось анатомическое строение хлоренхимы нижних цветковых чешуй и осей соцветия первого порядка в средней части метелки у генеративных побегов *O. sativa* и *P. australis*, фиксированных в смеси Гаммалунда. Проекция ассимиляционных клеток и их взаимное расположение рассматривали на поперечных и продольных срезах под световым микроскопом. *Результаты.* Хлоренхима цветковых чешуй *O. sativa* состоит из плотно расположенных клеток цилиндрической формы и ячеистых второй группы из 2–4 секций. В чешуях *P. australis* ассимиляционная ткань представлена в основном удлинёнными вдоль органа клетками и более разнообразными вариантами ячеистых клеток второй группы. В осях метелки *O. sativa* клетки хлоренхимы расположены рыхло и имеют преимущественно дольчато-лопастные очертания на поперечных срезах, среди них можно выделить плоские и трехмерные дольчатые и ячеисто-дольчатые клетки. Ассимиляционная паренхима осей соцветия *P. australis* представлена в основном плоскими ячеистыми и ячеисто-лопастными клетками первой группы. *Выводы.* Разные части соцветий *O. sativa* и *P. australis* различаются по строению хлоренхимы и основным трехмерным формам ассимиляционных клеток. Наибольшее распространение ассимиляционных клеток сложной формы наблюдается в веточках метелки по сравнению с цветковыми чешуями.

Ключевые слова: нижняя цветковая чешуя, ось метелки первого порядка, хлоренхима, ячеистые клетки, лопастные клетки, сложные ячеисто-лопастные формы клеток

Для цитирования: Зверева Г. К. Сравнительное изучение ассимиляционной ткани генеративных органов у *Oryza sativa* и *Phragmites australis* (Poaceae) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 3–17. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-1

Comparative study of assimilatory tissue of generative organs of *Oryza sativa* and *Phragmites australis* (Poaceae)

G.K. Zvereva

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

labspp@yandex.ru

Abstract. *Background.* The assimilatory parenchyma of grasses inflorescence plays a major role in the formation of grains. The purpose of the study was to reveal peculiarities of chlorenchyma structure and spatial configurations of assimilatory cells of generative organs of *Oryza sativa* and *Phragmites australis*, having, respectively, bambusoid and arundinoid types of leaf anatomy. *Materials and methods.* The anatomical structure of the chlorenchyma of the lemmas and primary branches in the middle part of the panicle in generative shoots of *O. sativa* and *P. australis* fixed in Gammalund's mixture was studied. The projections of assimilatory cells and their mutual arrangement were examined on transverse and longitudinal sections under a light microscope. *Results.* Chlorenchyma of flower glumes of *O. sativa* consists of densely arranged cells of cylindrical shape and cellular second group cells of 2–4 sections. In the floral glumes of *P. australis* the assimilative tissue is represented mainly by cells elongated along the organ and more diverse variants of cellular cells of the second group. In the axes of the *O. sativa* panicle, the chlorenchyma cells are loosely arranged and have predominantly lobular-lobed outlines in cross sections; among them, flat and three-dimensional lobular and cellular-lobular cells can be distinguished. The assimilative parenchyma of *P. australis* inflorescence axes is represented mainly by flat cellular and cellular-lobed cells of the first group. *Conclusions.* Different parts of inflorescences of *O. sativa* and *P. australis* differ in the structure of chlorenchyma and basic three-dimensional forms of assimilation cells. The greatest distribution of assimilation cells of complex shape is observed in the branches of the panicle compared to the flower glumes.

Keywords: lemma, primary branches of the panicle, chlorenchyma, cellular cells, lobed cells, complex cellular-lobed forms of cells

For citation: Zvereva G.K. Comparative study of assimilatory tissue of generative organs of *Oryza sativa* and *Phragmites australis* (Poaceae). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(4):3–17. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-1

Введение

Ассимиляционная ткань элементов колоса злаков играет большую роль при формировании зерновок [1–3]. Вклад фотосинтеза метелки *Oryza sativa* в налив зерна первоначально рассматривался как незначительный [4–5], но в дальнейшем более совершенные методики исследования позволили установить, что генеративные органы риса также обладают высоким уровнем фотосинтетического метаболизма [6–10]. Показано, что цветковые чешуи риса являются важными компонентами, которые создают среду и координируют рост зерновки [11–13].

В чешуях и осях соцветия риса хлоренхима хорошо развита, при этом в нижних цветковых чешуях среди клеток мезофилла выделяют два слоя – столбчатую и губчатую паренхиму [14], ассимиляционные клетки колосковых и цветковых чешуй также описывают как губчатые паренхиматозные (spongy parenchymatous) [15].

Листья *O. sativa* имеют бамбузоидный тип листовой анатомии с ассимиляционной тканью, состоящей из лопастных клеток, расположенных относительно эпидермы более или менее параллельными рядами [16, 17]. Для листьев *Phragmites australis* характерен арундиноидный тип строения, при котором клетки мезофилла плотно сомкнуты и ориентированы немного радиально относительно проводящих пучков, среди них также отмечается большое присутствие лопастных клеток [18]. У обоих злаков наблюдается наличие крупноклеточной паренхимной обкладки с отсутствием или малым числом хлоропластов.

Нами было обнаружено усложнение формы клеток хлоренхимы у фестукоидных злаков в генеративных органах по сравнению с вегетативными [19, 20]. Задачей настоящей работы было выявить особенности строения хлоренхимы и конфигураций ассимиляционных клеток в генеративных органах *O. sativa* и *P. australis*, имеющих соответственно бамбузоидный и арундиноидный типы анатомии листьев.

Материал и методика

Исследовалась анатомическая структура хлоренхимы цветковых чешуй и осей соцветия у генеративных побегов *O. sativa* и *P. australis*, находящихся в состоянии колошения – начала цветения. Отмеченные виды злаков были выбраны потому, что в мезофилле их листьев широко представлены лопастные клетки.

Образцы *O. sativa* отбирались в оранжерее Сибирского ботанического сада Томского государственного университета, *P. australis* – в Приобской лесостепи Западной Сибири и фиксировались в смеси Гаммалунда [21]. Анализировались колоски и оси соцветий первого порядка в средней части метелки, при этом у обоих злаков рассматривались нижние цветковые чешуи, у *O. sativa* верхних обоеполых цветков, а у *P. australis* – нижних, обычно тычиночных, цветков. Поперечные и продольные срезы осуществлялись в средней трети чешуи и средней части боковых осей метелок. Продольные срезы цветковых чешуй проводили как параллельно поверхности (парадермальный срез), так и перпендикулярно эпидерме (продольный боковой срез). Продольные срезы осей метелки осуществлялись под эпидермой (парадермальный срез) и по диаметру (радиальный срез). Под световым микроскопом рассматривали формы ассимиляционных клеток и определяли размеры их проекций в каждой плоскости среза, при этом для уточнения клеточных конфигураций также использовали мацерированные препараты [22]. На поперечных срезах определяли высоту и ширину клеток хлоренхимы, на продольных – их толщину.

В хлоренхиме злаков различают клетки простой (с ровными или чуть волнистыми стенками) и сложной (с выраженными выростами и складками в одной или нескольких плоскостях) формы [23–26]. Среди клеток сложной формы выделяют плоские ячеистые и лопастные, первые вытянуты вдоль органа и состоят из палисадообразных секций, или ячеек, вторые отличаются разнообразными очертаниями на поперечных срезах. Ячеистые клетки первой группы (Ячеистая I) ориентированы перпендикулярно к эпидерме и выполняют роль палисадной паренхимы, ячеистые клетки второй группы (Ячеистая II) располагаются параллельно к ней, что аналогично губчатой ткани. Лопастные

клетки, у которых длина выростов значительно превышает ширину, характеризуют как дольчатые [27]. В более усложненных ячеисто-лопастных и ячеисто-дольчатых клетках наблюдается сочетание ячеистых конфигураций в продольном направлении и лопастных или дольчатых контуров на поперечных срезах.

Число хлоропластов в клеточных ячейках подсчитывали на мацерированных препаратах [22]. Для определения плотности хлоропластов в частях соцветий использовались подходы, предложенные О. В. Березиной и Ю. Ю. Корчагиным [25], а также Т. К. Горышиной [28]. Количественные показатели статистически обработаны общепринятыми методами с помощью программы Snedecor [29]. В таблицах приведены средние значения и стандартные ошибки.

Результаты и обсуждение

Для зрелых нижних цветковых чешуй *O. sativa* характерна мощная наружная эпидерма и подстилающая механическая паренхима, состоящая из двух-трех слоев (рис. 1, табл. 1). У *P. australis*, напротив, эти чешуи тонкие, со слабым развитием склеренхимы в виде островков под наружной эпидермой, их толщина в области проводящих пучков в среднем в 2,4–3,0 раза меньше таковой у *O. sativa*. Устьица в нижних колосковых чешуях *P. australis* встречаются на обеих эпидермах и расположены преимущественно вровень с ней, у *O. sativa* они приподнимающиеся и имеются лишь на внутренней поверхности. У обоих злаков устьица близки по длине замыкающих клеток. Клетки паренхимной обкладки узкие, лишь в некоторых из них встречаются немногочисленные хлоропласты.

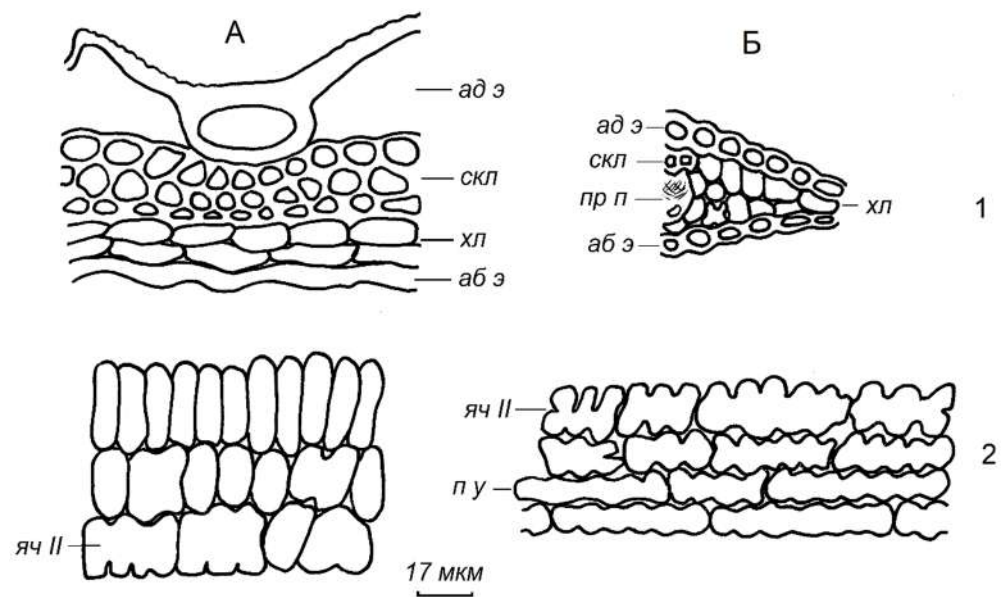


Рис. 1. Строение ассимиляционной ткани нижней цветковой чешуи у *Oryza sativa* (А) и *Phragmites australis* (Б). Срез: 1 – поперечный; 2 – парадермальный; ад э – адаксиальная (наружная) эпидерма; аб э – абаксиальная (внутренняя) эпидерма; скл – склеренхима; хл – хлоренхима; пр п – проводящий пучок.

Форма проекций ассимиляционных клеток:

яч II – ячеистая второй группы; п у – простая удлиненная

Таблица 1

Количественно-анатомическая характеристика эпидермы и клеток паренхимной обкладки частей соцветий *Oryza sativa* и *Phragmites australis*, мкм

Вид	Поперечный срез			Продольный срез		
	Толщина		Число слоев в хлоренхиме	Длина замыкающих клеток устьиц	Клетки обкладки	
	абаксиальной эпидермы	наружной стенки абаксиальной эпидермы			Длина	Ширина
Нижняя цветковая чешуя						
<i>Oryza sativa</i>	29,9 ± 1,87	13,0 ± 0,97	1–4	23,0 ± 0,93	34,6 ± 2,94	12,2 ± 0,55
<i>Phragmites australis</i>	9,4 ± 0,25	3,0 ± 0,13	1–3	25,4 ± 0,53	49,9 ± 3,27	12,9 ± 0,61
Ось метелки первого порядка						
<i>Oryza sativa</i>	14,5 ± 0,26	5,7 ± 0,10	2–5	27,9 ± 0,26	46,8 ± 3,54	12,4 ± 1,11
<i>Phragmites australis</i>	15,5 ± 0,23	6,2 ± 0,13	2–4	26,7 ± 0,67	50,3 ± 2,47	17,0 ± 0,83

П р и м е ч а н и е. Длину замыкающих клеток устьиц измеряли на адаксиальной (внутренней) эпидерме.

В цветковых чешуях хлоренхима сосредоточена в 2–3 слоя по обе стороны от проводящих пучков, далее она протягивается в один, реже два слоя, у *O. sativa*, и в один, иногда прерывающийся, ряд у *P. australis*.

На поперечных срезах чешуй у обоих видов ассимиляционные клетки простой формы с ровными стенками, лишь у *P. australis* изредка встречаются мелколопастные проекции. Основная часть клеток имеет вытянутую форму, своей наибольшей осью опирающуюся на эпидерму, при этом ширина проекций превосходит высоту у *P. australis* в 1,4–1,5 раза, а у *O. sativa* – в 2,0–2,1 раза (табл. 2).

Таблица 2

Размеры ассимиляционных клеток хлоренхимы цветковых чешуй и осей соцветий *Oryza sativa* и *Phragmites australis*

Вид	Форма клетки	Размеры клеток, мкм		
		Высота	Ширина	Толщина
Нижняя цветковая чешуя, первый ряд у абаксиальной эпидермы				
<i>Oryza sativa</i>	Простая цилиндрическая	12,4 ± 0,40	26,4 ± 1,53	12,7 ± 0,64
	Ячеистая II	10,3 ± 0,35	20,9 ± 1,03	25,2 ± 1,55
<i>Phragmites australis</i>	Простая удлиненная	6,9 ± 0,20	10,4 ± 0,65	49,8 ± 2,80
	Ячеистая II	7,3 ± 1,21	10,7 ± 0,83	29,2 ± 2,28
Ось метелки первого порядка, первый ряд у эпидермы				
<i>Oryza sativa</i>	Ячеисто-дольчатая с одним отростком	17,5 ± 0,41	16,4 ± 0,53	22,3 ± 0,96
	Ячеистая I	16,3 ± 0,42	11,2 ± 0,48	23,2 ± 1,13
	Ячеистая II	10,0 ± 0,44	17,1 ± 0,81	27,7 ± 2,62
<i>Phragmites australis</i>	Ячеистая I	14,1 ± 0,48	10,3 ± 0,40	25,6 ± 1,56
	Ячеистая II	10,3 ± 0,61	12,4 ± 0,95	22,5 ± 0,46

П р и м е ч а н и е. Высота и ширина определялись на поперечных срезах, толщина – на продольных срезах. Ячеистая I и II – форма ячеистых клеток первой и второй групп соответственно.

На основе сопоставления клеточных проекций на поперечных и продольных сечениях в чешуях *O. sativa* выявляются плотно сомкнутые цилиндрические клетки, ориентированные поперек длинных эпидермальных клеток, а также ячеистые и слабячеистые клетки второй группы (рис. 2, I).

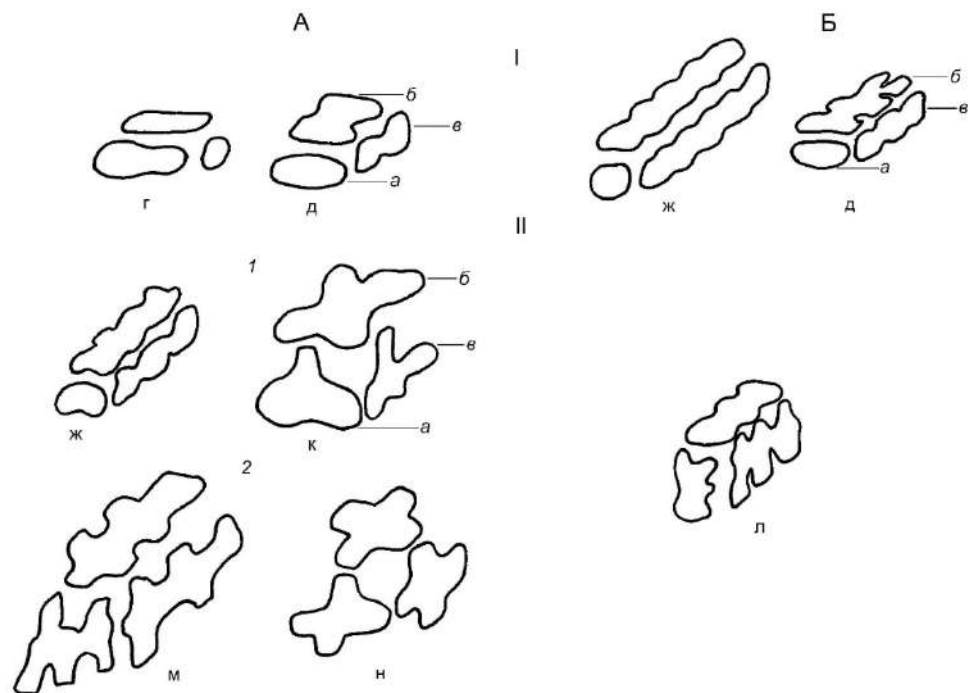


Рис. 2. Основные проекции ассимиляционных клеток в нижних цветковых чешуях (I) и осях соцветия первого порядка (II) у *Oryza sativa* (А) и *Phragmites australis* (Б).

Срез: а – поперечный; б – парадермальный; в – продольный боковой чешуй или радиальный осей. Проекция клеток: 1 – у эпидермы; 2 – внутренних слоев. Форма клетки: з – простая цилиндрическая; д – плоская ячеистая второй группы; ж – простая удлиненная вдоль органа; к – ячеисто-дольчатая с одним отростком; л – ячеисто-лопастная; м – ячеисто-дольчатая; н – трехмерная дольчатая

Своими наибольшими конфигурациями ассимиляционные клетки чешуй *P. australis* проявляются на парадермальных сечениях, среди которых наиболее часты разные варианты ячеистых клеток второй группы, состоящие в основном из 3–5 секций, а также удлиненные вдоль органа клетки с прямыми и слабо волнистыми боковыми стенками. Очень редко, но встречаются ячеистые клетки первой группы. Среди ячеистых клеток второй группы более всего ячеисто-губчатых, в том числе с поперечной складкой в крайних секциях. Учитывая присутствие мелколопастных проекций на поперечных сечениях, возможно небольшое участие более усложненных ячеисто-лопастных клеток.

Для веточек метелки обоих злаков характерно наличие толстостенной эпидермы с достаточно мелкими устьицами и слабое развитие склеренхимы в виде отдельных островков. Как и в чешуях, клетки паренхимной обкладки бесцветны или с небольшим числом хлоропластов, они протягиваются вдоль проводящих пучков, их длина больше ширины в 2,9–3,8 раза. Оси соцветия первого порядка у *O. sativa* в 1,2 раза более тонкие по сравнению с *P. australis*, но толщина хлоренхимы в них в 1,9 раза больше.

Фототрофная паренхима осей соцветия *O. sativa* сложена очень рыхло и состоит в основном из 3–5 слоев клеток разнообразной формы, которые создают систему развитых межклетников за счет соприкосновения вытянутых клеточных выростов (рис. 3). Так, на поперечных срезах большинство клеток под эпидермой характеризуются широкими и прижатыми к ней проекциями, часть из которых имеет один, изредка два удлинённых отростка, направленных внутрь. Небольшая доля проекций отличается палисадообразными формами, у которых высота превышает ширину в 2,1 раза, встречаются также отдельные губчато-лопастные клеточные конфигурации. Клетки внутренних рядов имеют хорошо выраженные дольчатые проекции с длинными тонкими отростками, по своим размерам на поперечных срезах они в 1,3–1,6 раза крупнее клеток первого слоя с выростами. Для последнего ряда хлоренхимы часто характерны мелкодольчатые и простые клеточные контуры.

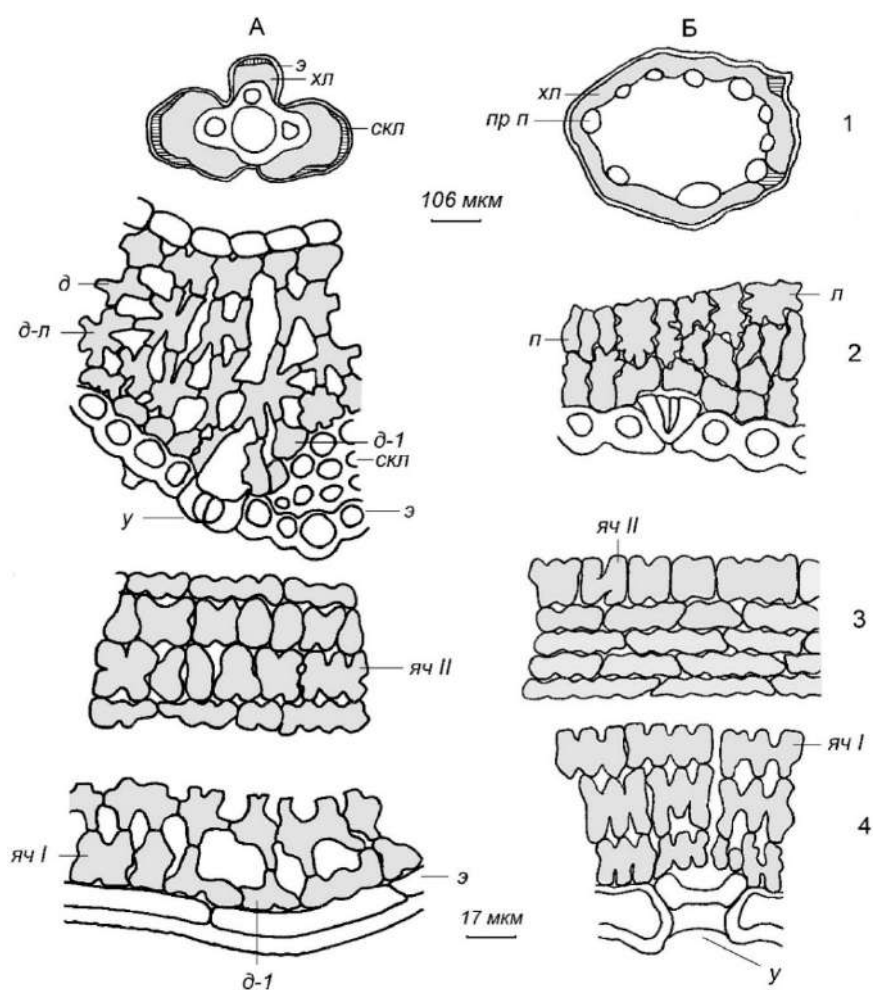


Рис. 3. Расположение (1) и строение хлоренхимы (2–4) в осях соцветия первого порядка у *Oryza sativa* (А) и *Phragmites australis* (Б). Срез: 1, 2 – поперечный; 3 – парадермальный; 4 – радиальный, э – эпидерма; у – устьице. Форма проекций ассимиляционных клеток: д – дольчатая; д-л – дольчато-лопастная; д-1 – дольчатая у эпидермы с одним отростком; л – лопастная; п – простая палисадообразная; яч I – ячеистая первой группы; яч II – ячеистая второй группы (остальные обозначения см. рис. 1)

На парадермальных срезах проекции ассимиляционных клеток расположены рядами, при этом в каждом ряду наблюдается чередование клеток простой и сложной формы. Сопоставляя форму и размеры клеток хлоренхимы с использованием тангентальных и радиальных сечений, можно выявить, что под эпидермой осей *O. sativa* располагаются клетки простой формы, плоские ячеистые первой и второй групп, а также ячеисто-дольчатые (рис. 2, II). Достаточно многочисленные ячеисто-дольчатые клетки отличаются более сложными очертаниями, у которых в отдельных секциях ячеистых клеток второй группы имеется один или два вытянутых выроста. Клетки внутренних слоев представлены трехмерными дольчатыми и дольчато-лопастными с выростами в разных направлениях, а также более длинными ячеисто-дольчатыми, у которых вдоль оси проявляются слабоячеистые проекции с наличием длинных отростков в секциях.

В осях метелки *P. australis* хлорофиллоносная ткань состоит из 2–4 слоев клеток, она плотно сомкнута и проходит почти сплошной полосой под эпидермой. Первые два ряда ассимиляционных клеток в своем большинстве являются ячеистыми клетками первой группы, основные формы которых проявляются на радиальных сечениях, а на поперечных срезах они имеют палисадообразные проекции, часто с волнистыми боковыми стенками. При этом у эпидермы можно выявить и небольшое присутствие ячеистых клеток второй группы. Хлорофиллоносные клетки последующих слоев нередко можно охарактеризовать как более усложненные ячеисто-лопастные, они отличаются мелколопастными и губчато-лопастными формами в поперечнике и разными вариантами ячеистых конфигураций первой группы в радиальном направлении. Ввиду того, что толщина клеточных секций в 1,5 раза меньше по сравнению с их шириной, выраженные световые признаки хлоренхимы осей соцветия особенно проявляются на радиальных сечениях.

В генеративных органах *P. australis* по сравнению с *O. sativa* ячеистые клетки формируются в основном с более многочисленными секциями, высота которых превосходит ширину у первого вида в 1,6–2,4 раза, а у второго – в 1,9–2,6 раза (табл. 3).

Таблица 3

Размеры секций ячеистых клеток у эпидермы в хлоренхиме
цветковых чешуй и осей соцветий у *Oryza sativa* и *Phragmites australis*

Вид	Форма клетки	Размеры секции, мкм		Число ячеек в клетке
		Высота	Ширина	
Нижняя цветковая чешуя, первый ряд у абаксиальной эпидермы				
<i>Oryza sativa</i>	Ячеистая II	21,5 ± 1,35	8,4 ± 0,41	2–4
<i>Phragmites australis</i>	Ячеистая II	11,9 ± 0,33	7,3 ± 0,25	2–7
Ось метелки первого порядка, первый ряд у эпидермы				
<i>Oryza sativa</i>	Ячеистая I	17,0 ± 0,55	8,4 ± 0,56	2–4
	Ячеистая II	17,2 ± 0,50	8,9 ± 0,45	2–4
<i>Phragmites australis</i>	Ячеистая I	16,3 ± 0,95	6,8 ± 0,22	2–7
	Ячеистая II	13,2 ± 0,52	7,3 ± 0,33	2–3

П р и м е ч а н и е. Размеры секций ячеистых клеток первой группы измеряли на продольных боковых и радиальных срезах, а секций ячеистых клеток второй группы – на парадермальных срезах. Остальные обозначения см. табл. 2.

Плотность хлоропластов в цветковых чешуях у обоих злаков в 5,4–9,4 раза меньше по сравнению с боковыми веточками метелки, при этом их насыщенность в более тонких осях *O. sativa* близка к данным для *P. australis* (табл. 4).

Таблица 4

Показатели ассимиляционного аппарата генеративных органов *Oryza sativa* и *Phragmites australis*

Вид	Число хлоропластов	
	в клетке или в секции ячейистой клетки	в 1 см ² органа, млн
Нижняя цветковая чешуя		
<i>Oryza sativa</i>	8,2 ± 0,57	3,36
<i>Phragmites australis</i>	4,3 ± 0,19	2,10
Ось метелки первого порядка		
<i>Oryza sativa</i>	10,2 ± 0,32	18,23
<i>Phragmites australis</i>	5,4 ± 0,27	19,67

П р и м е ч а н и е. Число хлоропластов для осей соцветия определено в 1 см² боковой поверхности.

Как известно, мезофилл листьев *O. sativa* состоит из плотно сомкнутых уплощенных лопастных клеток [30–32]. Многочисленные плотно расположенные клетки лопастной формы широко присутствуют и в ассимиляционной паренхиме листьев *P. australis*, особенно во внутренней части между проводящими пучками [18, 33, 26].

В цветковых чешуях *O. sativa* конфигурации клеток упрощаются, волнистость стенок на поперечных срезах практически исчезает, и наряду с узкими цилиндрическими клетками проявляются ячейистые клетки второй группы. В цветковых чешуях *P. australis* более развита губчатая паренхима, образованная вытянутыми клетками простой формы и ячейистыми второй группы, своей наибольшей поверхностью они обращены к эпидерме, при этом также наблюдается упрощение клеточных проекций на поперечных сечениях. В результате в структуре хлоренхимы цветковых чешуй по сравнению с листьями у обоих злаков усиливается устойчивость к затенению, в большей степени это проявляется у *P. australis*. Теневые черты организации хлоренхимы были отмечены авторами ранее и для цветковых чешуй фестукоидных злаков, различающихся по строению мезофилла листьев и экологическим особенностям [34].

В средней части стебля *O. sativa* ассимиляционная ткань состоит из клеток простой формы, вытянутой вдоль органа. В веточках метелки *O. sativa* по сравнению со стеблем формы отдельных клеток и структура ассимиляционной ткани, напротив, резко усложняются. В открытых частях стебля *P. australis* хлоренхима представлена преимущественно плоскими ячейистыми клетками первой группы [35], в осях метелки наблюдается усложнение пространственных форм ассимиляционных клеток за счет большого присутствия более сложных ячейисто-лопастных клеток. У обоих видов в сложении хлорофиллоносной паренхимы веточек соцветия отмечаются хорошо выраженные световые черты.

Показано, что интенсивность фотосинтеза метелки разных генотипов *O. sativa* в 4,2–7,5 раза ниже по сравнению с листьями, вместе с тем соцветия отличались значительно более высоким уровнем дыхания и превосходили листья по содержанию азота на единицу площади в 1,8–3,4 раза [10]. На примере сортов и гибридов риса также установлено, что основная часть поверхности метелки приходится на колоски, площадь которых в 2,0–3,3 раза больше по

сравнению с осями соцветия [8, 9]. При сопоставлении с колосками у веточек метелки, включая рахис, интенсивность транспирации меньше в 3,8–8,5 раза, а скорость фотосинтеза – в 1,2–2,6 раза [6, 8]. В то же время ветви рахиса рассматриваются как один из наиболее важных органов фотосинтеза соцветия, так как в них фиксируется основная часть ассимилятов и наблюдается активное их передвижение из других органов [36]. Так, число первичных ветвей рахиса в метелке риса достоверно положительно коррелирует с длиной флагового листа, длиной метелки и урожайностью зерна [37]. Различия физиологических характеристик колосков и веточек метелки, вероятно, в некоторой степени обусловлены и особенностями структуры их ассимиляционной ткани.

Заключение

Таким образом, разные части генеративных органов *O. sativa* и *P. australis* различаются по строению хлоренхимы и основным трехмерным формам ассимиляционных клеток.

По сравнению с листовыми пластинками, отличающимися по строению мезофилла, хлоренхима цветковых чешуй у обоих злаков построена из более упрощенных и близких по конфигурациям клеток. Клетки лопастной формы, столь характерные для листьев обоих видов, в цветковых чешуях практически не выявляются. Хлоренхима чешуй *O. sativa* состоит из клеток цилиндрической формы и ячеистых второй группы из 2–4 секций, для чешуй *P. australis* характерны удлинённые вдоль органа ассимиляционные клетки с прямыми или слабоволнистыми боковыми стенками и более разнообразные варианты ячеистых клеток второй группы.

В осях метелки по сравнению со стеблями, напротив, происходит усложнение пространственных клеточных очертаний: у *O. sativa* за счет развития разных вариантов дольчатых и дольчато-ячеистых клеток, у *P. australis* – за счет увеличения участия ячеисто-лопастных клеток, что, вероятно, способствует усилению газообмена.

В строении хлоренхимы цветковых чешуй у обоих злаков проявляются теневые черты, а в осях метелки более выражены световые признаки. В целом наибольшее распространение ассимиляционных клеток сложной формы наблюдается в веточках метелки по сравнению с цветковыми чешуями.

Список литературы

1. Нальборчик Т. Э. Роль различных органов фотосинтеза в формировании урожая // Адаптивные реакции в формировании и активности фотосинтетического аппарата. Пущино : НЦБИ АН СССР, 1980. С. 22–23.
2. Андрианова Ю. Е., Тарчевский И. А. Хлорофилл и продуктивность растений. М. : Наука, 2000. 136 с.
3. Sanchez-Bragado R., Molero G., Reynolds M. P., Araus J. L. Relative contribution of shoot and ear photosynthesis to grain filling in wheat under good agronomical conditions assessed by differential organ $\delta^{13}\text{C}$ // Journal of Experimental Botany. 2014. Vol. 65, № 18. P. 5401–5413.
4. Takeda T., Maruta H. Studies on CO_2 exchange in crop plants: IV. Roles played by the various parts of the photosynthetic organs of rice plant in producing grains during the ripening period // Japanese Journal of Crop Science. 1956. Vol. 24, № 3. P. 181–184.
5. Tsuno Y., Sato T., Miyamoto H., Harada N. Studies on CO_2 uptake and CO_2 evolution in each part of crop plants: II. Photosynthetic activity in the leaf sheath and ear of rice

- plant // Japanese Journal of Crop Science. 1975. Vol. 44, № 3. P. 287–292. doi: 10.1626/jcs.44.287
6. Imaizumi N., Usuda H., Nakamoto H., Ishihara K. Changes in the rate of photosynthesis during grain filling and the enzymatic activities associated with the photosynthetic carbon metabolism in rice panicles // Plant and Cell Physiology. 1990. Vol. 31, № 6. P. 835–844. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a077986
 7. Imaizumi N., Samejima M., Ishihara K. Characteristics of photosynthetic carbon metabolism of spikelets in rice // Photosynthesis Research. 1997. Vol. 52, № 2. P. 75–82. doi: 10.1023/a:1005887931498
 8. Ishihara K., Kiyota E., Imaizumi N. Transpiration and photosynthesis characteristics of the panicle in comparison with the flag leaf in the rice plant // Japanese Journal of Crop Science. 1990. Vol. 59, № 2. P. 321–326. doi: 10.1626/JCS.59.321
 9. Chang T., Song Q., Zhao H. [et al.]. An in situ approach to characterizing photosynthetic gas exchange of rice panicle // Plant Methods. 2020. Vol. 16, № 92. doi: 10.1186/s13007-020-00633-1
 10. Zhang Q., Tang W., Peng S., Li Y. Limiting factors for panicle photosynthesis at the anthesis and grain filling stages in rice (*Oryza sativa* L.) // The Plant Journal. 2022. Vol. 109, № 1. P. 77–91. doi: 10.1111/tpj.15554
 11. Takeda K., Takahashi M. Unbalanced growth in floral glumes and caryopsis in rice. I. Varietal difference in the degree of unbalance and the occurrence of malformed grains. (Genetical studies on rice plant, XXXV) // Japanese Journal of Breeding. 1970. Vol. 20, № 6. P. 337–343. doi: 10.1270/jsbbs1951.20.337
 12. Nakamoto T., Inanaga S., Nagato Y. Analysis on the Growth Pattern of Glume in Rice // Japanese Journal of Crop Science. 1987. Vol. 56, № 2. P. 149–155. doi: 10.1626/jcs.56.149
 13. Suman S. K. Role of palea and lemma in the development of the caryopsis of *Oryza sativa* Linn. (Poaceae) // International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR). 2022. Vol. 9, № 12. P. 754–757.
 14. Петрова Л. Р., Ляховкин А. Г. Анатомо-морфологические особенности зеленых частей соцветия *Oryza sativa* (Poaceae) // Ботанический журнал. 1989. Т. 74, № 2. С. 200–208.
 15. Liu M., Li H., Su Y. [et al.]. G1/ELE functions in the development of rice lemmas in addition to determining identities of empty glumes // Frontiers in Plant Science. 2016. Vol. 7. Article 1006. doi: 10.3389/fpls.2016.01006
 16. Brown W. V. Leaf anatomy in grass systematics // Botanical Gazette. 1958. Vol. 119, № 3. P. 170–178.
 17. Carolin R. C., Jacobs S. W. L., Veski M. The structure of the cells of the mesophyll and parenchymatous bundle sheath of the Gramineae // Journal of the Linnean Society, Botany. 1973. Vol. 66, № 4. P. 259–275.
 18. Watson L., Macfarlane T. D., Dallwitz M. J. The grass genera of the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references. 1992 onwards. Version: 25th January 2024. URL: <https://www.delta-intkey.com/grass/index.htm>
 19. Зверева Г. К. Пространственная организация хлоренхимы в осях метелок фестукоидных злаков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 4 (32). С. 32–43. doi: 10.21685/2307-9150-2020-4-4
 20. Зверева Г. К. Клеточная организация ассимиляционной ткани у генеративных побегов фестукоидных злаков // Растительный мир Азиатской России. 2021. Т. 14, № 3. С. 194–204. doi: 10.15372/RMAR20210302
 21. Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев : Наукова думка, 1973. 591 с.

22. Possingham J. V., Saurer W. Changes in chloroplast number per cell during leaf development in spinach // *Planta*. 1969. Vol. 86, № 2. P. 186–194.
23. Chonan N. Studies on the photosynthetic tissues in the leaves of cereal crops. V. Comparison of the mesophyll structure among seedling leaves of cereal crops // *Proceedings of the Crop Science Society of Japan*. 1970. Vol. 39. P. 418–425.
24. Parker M. L., Ford M. A. The structure of the mesophyll of flag leaves in three *Triticum* species // *Annals of Botany*. 1982. Vol. 49, № 2. P. 165–176.
25. Березина О. В., Корчагин Ю. Ю. К методике оценки мезоструктуры листа видов рода *Triticum* (Poaceae) в связи с особенностями строения его хлорофиллоносных клеток // *Ботанический журнал*. 1987. Т. 72, № 4. С. 535–541.
26. Зверева Г. К. Анатомическое строение мезофилла листьев злаков (Poaceae). Новосибирск : Изд-во НГПУ, 2011. 201 с.
27. Иванова Л. А., Пьянков В. И. Структурная адаптация мезофилла листа к затенению // *Физиология растений*. 2002. Т. 49, № 3. P. 467–480.
28. Горышина Т. К. Фотосинтетический аппарат растений и условия среды. Л. : Изд-во ЛГУ, 1989. 204 с.
29. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. Краснообск : ГУП РПО СО РАСХН, 2004. 162 с.
30. Chonan N. Studies on the photosynthetic tissues in the leaves of cereal crops. III. The mesophyll structure of rice leaves inserted at different levels of the shoot // *Proceedings of the Crop Science Society of Japan*. 1967. Vol. 36, № 3. P. 291–296. doi: 10.1626/jcs.36.3_291
31. Chonan N. A comparative anatomy of mesophyll among the leaves of gramineous crops // *Japan Agricultural Research Quarterly*. 1978. Vol. 12, № 3. P. 128–131.
32. Бурундукова О. Л. Структурно-функциональные характеристики ассимиляционного аппарата сортов риса разного происхождения и морфотипа в условиях Приморья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 1993. 20 с.
33. Antoneilli M., Pasqualini S., Batini P. [et al.]. Physiological and anatomical characterization of *Phragmites australis* leaves // *Aquatic Botany*. 2002. Vol. 72, № 1. P. 55–66.
34. Зверева Г. К. Структура ассимиляционной паренхимы в чешуях цветка фестукоидных злаков (Poaceae) // *Ученые записки ЗабГУ. Биологические науки*. 2017. Т. 12, № 1. P. 72–79.
35. Зверева Г. К. Сравнительное исследование хлоренхимы вегетативных органов у *Phragmites australis* и *Molinia caerulea* (Poaceae, Arundinoideae) // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2023. № 3. С. 3–18. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-1
36. Sasahara T. Studies on Structure and Function of the Rice Ear: II. Photosynthetic and respiratory activities of organs consisting the rice ear // *Japanese Journal of Crop Science*. 1981. Vol. 50, № 3. P. 289–295. doi: 10.1626/jcs.50.289
37. Abbasi M. F., Din A. U., Abbasi F. M. Development of new rice strain with improved sink size and source capacity using a multi-parent advanced generation intercross (magic) approach // *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2022. Vol. 54, № 5. P. 963–975. doi: 10.54910/sabrao2022.54.5.1

References

1. Nal'borchik T.E. The role of various photosynthetic organs in crop formation. *Adaptivnye reaktsii v formirovanii i aktivnosti fotosinteticheskogo apparata* = Adaptive reactions in the formation and activity of the photosynthetic apparatus. Pushchino: NTsBI AN SSSR, 1980:22–23. (In Russ.)
2. Andrianova Yu.E., Tarchevskiy I.A. *Khlorofill i produktivnost' rasteniy* = Chlorophyll and plant productivity. Moscow: Nauka, 2000:136. (In Russ.)

3. Sanchez-Bragado R., Molero G., Reynolds M.P., Araus J.L. Relative contribution of shoot and ear photosynthesis to grain filling in wheat under good agronomical conditions assessed by differential organ $\delta^{13}C$. *Journal of Experimental Botany*. 2014;65(18):5401–5413.
4. Takeda T., Maruta H. Studies on CO₂ exchange in crop plants: IV. Roles played by the various parts of the photosynthetic organs of rice plant in producing grains during the ripening period. *Japanese Journal of Crop Science*. 1956;24(3):181–184.
5. Tsuno Y., Sato T., Miyamoto H., Harada N. Studies on CO₂ uptake and CO₂ evolution in each part of crop plants: II. Photosynthetic activity in the leaf sheath and ear of rice plant. *Japanese Journal of Crop Science*. 1975;44(3):287–292. doi: 10.1626/jcs.44.287
6. Imaizumi N., Usuda H., Nakamoto H., Ishihara K. Changes in the rate of photosynthesis during grain filling and the enzymatic activities associated with the photosynthetic carbon metabolism in rice panicles. *Plant and Cell Physiology*. 1990;31(6):835–844. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a077986
7. Imaizumi N., Samejima M., Ishihara K. Characteristics of photosynthetic carbon metabolism of spikelets in rice. *Photosynthesis Research*. 1997;52(2):75–82. doi: 10.1023/a:1005887931498
8. Ishihara K., Kiyota E., Imaizumi N. Transpiration and photosynthesis characteristics of the panicle in comparison with the flag leaf in the rice plant. *Japanese Journal of Crop Science*. 1990;59(2):321–326. doi: 10.1626/JCS.59.321
9. Chang T., Song Q., Zhao H. et al. An in situ approach to characterizing photosynthetic gas exchange of rice panicle. *Plant Methods*. 2020;16(92). doi: 10.1186/s13007-020-00633-1
10. Zhang Q., Tang W., Peng S., Li Y. Limiting factors for panicle photosynthesis at the anthesis and grain filling stages in rice (*Oryza sativa* L.). *The Plant Journal*. 2022;109(1):77–91. doi: 10.1111/tpj.15554
11. Takeda K., Takahashi M. Unbalanced growth in floral glumes and caryopsis in rice. I. Varietal difference in the degree of unbalance and the occurrence of malformed grains. (Genetical studies on rice plant, XXXXV). *Japanese Journal of Breeding*. 1970;20(6):337–343. doi: 10.1270/jsbbs1951.20.337
12. Nakamoto T., Inanaga S., Nagato Y. Analysis on the Growth Pattern of Glume in Rice. *Japanese Journal of Crop Science*. 1987;56(2):149–155. doi: 10.1626/jcs.56.149
13. Suman S.K. Role of palea and lemma in the development of the caryopsis of *Oryza sativa* Linn. (Poaceae). *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*. 2022;9(12):754–757.
14. Petrova L.R., Lyakhovkin A.G. Anatomical and morphological features of the green parts of the *Oryza sativa* (Poaceae) inflorescence. *Botanicheskiy zhurnal* = Botanical journal. 1989;74(2):200–208. (In Russ.)
15. Liu M., Li H., Su Y. et al. G1/ELE functions in the development of rice lemmas in addition to determining identities of empty glumes. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7. Article 1006. doi: 10.3389/fpls.2016.01006
16. Brown W.V. Leaf anatomy in grass systematics. *Botanical Gazette*. 1958;119(3):170–178.
17. Carolin R.C., Jacobs S.W.L., Vesik M. The structure of the cells of the mesophyll and parenchymatous bundle sheath of the Gramineae. *Journal of the Linnean Society, Botany*. 1973;66(4):259–275.
18. Watson L., Macfarlane T.D., Dallwitz M.J. *The grass genera of the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references*. 1992 onwards. Version: 25th January 2024. Available at: <https://www.delta-intkey.com/grass/index.htm>
19. Zvereva G.K. Spatial organization of chlorenchyma in panicle axes of festucoid cereals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2020;(4):32–43. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2020-4-4

20. Zvereva G.K. Cellular organization of assimilatory tissue in generative shoots of festuroid cereals. *Rastitel'nyy mir Aziatskoy Rossii* = Flora of Asian Russia. 2021;14(3): 194–204. (In Russ.). doi: 10.15372/RMAR20210302
21. Grodzinskiy A.M., Grodzinskiy D.M. *Kratkiy spravochnik po fiziologii rasteniy* = A brief handbook of plant physiology. Kiev: Naukova dumka, 1973:591. (In Russ.)
22. Possingham J.V., Saurer W. Changes in chloroplast number per cell during leaf development in spinach. *Planta*. 1969;86(2):186–194.
23. Chonan N. Studies on the photosynthetic tissues in the leaves of cereal crops. V. Comparison of the mesophyll structure among seedling leaves of cereal crops. *Proceedings of the Crop Science Society of Japan*. 1970;39:418–425.
24. Parker M.L., Ford M.A. The structure of the mesophyll of flag leaves in three *Triticum* species. *Annals of Botany*. 1982;49(2):165–176.
25. Berezina O.V., Korchagin Yu.Yu. Towards a methodology for assessing the mesostructure of leaves of species of the *Triticum* (Poaceae) genus in connection with the structural features of its chlorophyll-bearing cells. *Botanicheskiy zhurnal* = Botanical journal. 1987;72(4):535–541. (In Russ.)
26. Zvereva G.K. *Anatomicheskoe stroenie mezofilla list'ev zlakov (Poaceae)* = Anatomical structure of the mesophyll of cereal leaves (Poaceae). Novosibirsk: Izd-vo NGPU, 2011:201. (In Russ.)
27. Ivanova L.A., P'yankov V.I. Structural adaptation of leaf mesophyll to shading. *Fiziologiya rasteniy* = Plant physiology. 2002;49(3):467–480. (In Russ.)
28. Goryshina T.K. *Fotosinteticheskiy apparat rasteniy i usloviya sredy* = Photosynthetic apparatus of plants and environmental conditions. Leningrad: Izd-vo LGU, 1989:204. (In Russ.)
29. Sorokin O.D. *Prikladnaya statistika na komp'yutere* = Applied statistics on the computer. Krasnoobsk: GUP RPO SO RASKhN, 2004:162. (In Russ.)
30. Chonan N. Studies on the photosynthetic tissues in the leaves of cereal crops. III. The mesophyll structure of rice leaves inserted at different levels of the shoot. *Proceedings of the Crop Science Society of Japan*. 1967;36(3):291–296. doi: 10.1626/jcs.36.3_291
31. Chonan N. A comparative anatomy of mesophyll among the leaves of gramineous crops. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 1978;12(3):128–131.
32. Burundukova O.L. *Structural and functional characteristics of the assimilation apparatus of rice varieties of different origin and morphotype in the conditions of Primorye*. PhD abstract. Vladivostok, 1993:20. (In Russ.)
33. Antoneilli M., Pasqualini S., Batini P. et al. Physiological and anatomical characterization of *Phragmites australis* leaves. *Aquatic Botany*. 2002;72(1):55–66.
34. Zvereva G.K. The structure of assimilation parenchyma in the scales of the flower of festuroid cereals (Poaceae). *Uchenye zapiski ZabGU. Biologicheskie nauki* = Proceedings of Transbaikal State University. Biological sciences. 2017;12(1):72–79. (In Russ.)
35. Zvereva G.K. Comparative study of chlorenchyma of vegetative organs in *Phragmites australis* and *Molinia caerulea* (Poaceae, Arundinoideae). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2023;(3):3–18. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-1
36. Sasahara T. Studies on Structure and Function of the Rice Ear: II. Photosynthetic and respiratory activities of organs consisting the rice ear. *Japanese Journal of Crop Science*. 1981;50(3):289–295. doi: 10.1626/jcs.50.289
37. Abbasi M.F., Din A.U., Abbasi F.M. Development of new rice strain with improved sink size and source capacity using a multi-parent advanced generation intercross (magic) approach. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2022;54(5):963–975. doi: 10.54910/sabrao2022.54.5.1

Информация об авторах / Information about the authors

Галина Кимовна Зверева

доктор биологических наук,
старший научный сотрудник,
профессор кафедры биологии
и экологии,
Новосибирский государственный
педагогический университет
(Россия, г. Новосибирск, Вилпойская, 28);
главный научный сотрудник,
Сибирский федеральный научный
центр агробιοтехнологий РАН
(Россия, Новосибирская обл.,
г. Краснообск, ул. Центральная, 8)
E-mail: labspp@yandex.ru

Galina K. Zvereva

Doctor of biological sciences,
senior researcher, professor
of the sub-department
of biology and ecology,
Novosibirsk State Pedagogical University
(28 Vilyuiskaya street, Novosibirsk, Russia);
main researcher,
Siberian Federal Scientific Center
of Agro-Bio Technologies
of the Russian Academy of Sciences
(8 Tsentralnaya street, Krasnoobsk,
Novosibirsk region, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /

The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 07.12.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 24.12.2024

Принята к публикации / Accepted 10.01.2025

УДК 638.12:591.4

doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-2

Некоторые морфологические данные *Apis mellifera* в Саратовской области

А. Ф. Хафизов¹, В. Н. Саттаров²

^{1,2}Башкирский государственный педагогический университет
имени М. Акмуллы, Уфа, Россия

¹falk864314@gmail.com, ²wener5791@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В настоящее время известно, что распространеными породами медоносной пчелы в Саратовской области являются: среднерусская, карпатская, горная кавказская. В большом количестве на территорию завозят пчелопакеты и маток из Средней Азии и других южных регионов. В этой связи авторами были начаты исследования по таксономической оценке пчел Саратовской области. *Материалы и методы.* Материалом послужила выборка рабочих пчел, собранная в 2022–2023 гг. Отбор проведен на следующих пасеках населенных пунктов: Александровка, Пристанное, Петровский (д. Абодим), Карамышка, 1-я Елшанская улица, Клещевка. Камеральная обработка проведена на базе ФГБОУ ВО «БГПУ им. М. Акмуллы». Отбирали по 20 пчел из одной пчелинной семьи по стандартным методикам. *Результаты.* Среднее значение длины хоботка превышало стандартные показатели пчел среднерусского подвида (стандарт – 6,00–6,40 мм), что говорит о протекающих процессах гибридизации. Также данный признак превышает по значению таковой для пчел других популяций – кировская, башкирская и др. Показатели крыла соответствовали стандарту среднерусского подвида: длина – 9,00–10,00 мм, ширина – 3,00–3,50 мм, а при сравнении с другими популяциями показатель длины крыла был самым низким. Кубитальный индекс пчел был ниже стандарта среднерусского подвида, но ближе к показателям пчел марийской популяции. При этом по показателям тергита выявлено соответствие *Apis mellifera mellifera* и определенная близость к пчелам башкирской и волгоградской популяций. Длина стернита соответствовала среднерусским пчелам, а ширина выходила за требуемые стандарты – 4,75–5,00 мм. При этом значение длины стернита было самым высоким по сравнению с другими популяциями. По параметрам воскового зеркальца семьи соответствовали стандарту среднерусского подвида (стандарт длины – 2,45–2,70 мм, ширины – 1,50–1,70 мм). При этом значение длины было самым низким по сравнению с другими популяциями. *Выводы.* Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о протекающих в регионе процессах гибридизации и, возможно, о постепенном сокращении численности саратовской популяции среднерусского подвида. Сложившаяся ситуация, конечно же, требует создания природоохранных территорий и дальнейшего выявления и сохранения локалитетов аборигенной пчелы в Саратовской области.

Ключевые слова: медоносная пчела, морфометрические признаки, популяции, Саратовская область

Для цитирования: Хафизов А. Ф., Саттаров В. Н. Некоторые морфологические данные *Apis mellifera* в Саратовской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 18–23. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-2

Some morphological data of *Apis mellifera* in Saratov region

A.F. Khafizov¹, V.N. Sattarov²

^{1,2}Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia

¹falk864314@gmail.com, ²wener5791@yandex.ru

Abstract. *Background.* Currently, it is known that the common breeds in the Saratov region are: Central Russian, Carpathian, mountain Caucasian. A large number of bee packages and mothers from Central Asia and other southern regions are imported to the territory. In this regard, we started research on their taxonomic evaluation. *Materials and methods.* The material was a sample of worker bees collected in 2022–2023. The sampling was conducted in the following apiaries: Alexandrovka, Pristannoye, Petrovsky (v. Abodim), Karamyshka, 1st Elshanskaya Street, Kleshchevka. Chamber processing was carried out on the basis of BSPU M. Akmulla. 20 bees from one bee family were sampled according to standard methods. *Results.* The average value of trunk length exceeded the standard values of bees of the Central Russian subspecies (standard – 6.00–6.40 mm), which indicates that hybridization processes are taking place. Also, this parameter exceeded the values of other populations – Kirov, Bashkir and others. Wing indices corresponded to the standard of the Central Russian subspecies: length – 9.00–10.00 mm, width – 3.00–3.50 mm, and when compared with other populations, the wing length index was the lowest. Cubital index of bees was lower than the standard of the Central Russian subspecies, but closer to the indices of bees of the Mari population. At the same time, the tergite index corresponded to *Apis mellifera mellifera* and was closer to bees of the Bashkir and Volgograd populations. The length of sternite corresponded to the Central Russian bees, and the width exceeded the required standards – 4.75–5.00 mm. At the same time, the value of sternite length was the highest compared to other populations, respectively. In terms of wax mirror parameters, the families corresponded to the standard of the Central Russian subspecies (length standard – 2.45–2.70 mm, width – 1.50–1.70 mm). At the same time, the length value was the lowest compared to other populations. *Conclusions.* The analysis of the obtained data allows us to conclude about the ongoing hybridization processes in the region and possibly about the gradual reduction of the Saratov population of the Central Russian subspecies. The current situation, of course, requires the creation of protected areas and further identification and preservation of localities of native bees in the Saratov region.

Keywords: honey bee, morphometric traits, populations, Saratov region

For citation: Khafizov A.F., Sattarov V.N. Some morphological data of *Apis mellifera* in Saratov region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2024;(4):18–23. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-2

К большому сожалению, о медоносной пчеле, обитающей в Саратовской области, в научных периодических и монографических источниках материалов очень мало. Например: изучение журнала «Пчеловодство», где представлена практически вся информация о пчеле, разводимой в России, позволило найти только пару публикаций по Саратовской области. Челинцев В. отмечает, что, живя в г. Саратове, занимается содержанием пчел и пытается заниматься разведением аборигенной породы медоносной пчелы [1]. Г. Ф. Таранов и В. В. Родионов отмечают, что в области пчеловодства не выполняются плановые показатели и наблюдается снижение числа пчеловодческих хозяйств.

По развитию отрасли область занимает последнее место среди регионов, в таком районе, как Ново-Бурасский, для опыления подсолнечника не хватает 2000 пчелосемей; в Краснокутском районе в хозяйствах имеется всего 25 семей. Авторы отмечают, что основной причиной низких медосборов и снижения численности пчел в Саратовской области является невыполнение основных правил по разведению и содержанию пчел. Пчелы содержатся на большинстве пасек в неутепленных гнездах, с недостаточными кормовыми запасами, на плохих сотах, зимуют в непригодных помещениях. Передовой опыт и достижения пчеловодной науки, а также использование пчел для опыления сельскохозяйственных культур не внедряются. Чтобы улучшить состояние пчеловодства и повысить его продуктивность, необходимо, прежде всего, прекратить недооценивать эту отрасль и изменить методы руководства [2]. В настоящее время известно, что распространенными породами в Саратовской области являются: среднерусская, карпатская, горная кавказская. В большом количестве на территорию региона завозят пчелопакеты и маток из Средней Азии и других южных регионов. В этой связи авторами были начаты исследования пчел Саратовской области по их таксономической оценке.

Материалы и методы

Материалом послужила выборка рабочих пчел, собранная в 2022–2023 гг. Отбор проведен на пасеках населенных пунктов: Александровка, Пристанное, Петровский (д. Абодим), Карамышка, 1-я Елшанская, Клещевка. Камеральная обработка проведена на базе БГПУ им. М. Акмуллы. Отбор проводили по стандартным методикам [3–6]. При измерении признаков применяли микроскоп МБС-10. Морфологические характеристики пчел среднерусского подвида кировской, башкирской, марийской, красноярской, волгоградской популяций взяты из монографии Кривцова [7].

Результаты и их обсуждение

Исследованная область располагается на юго-востоке Европейской части России и в северной части Нижнего Поволжья (рис. 1).

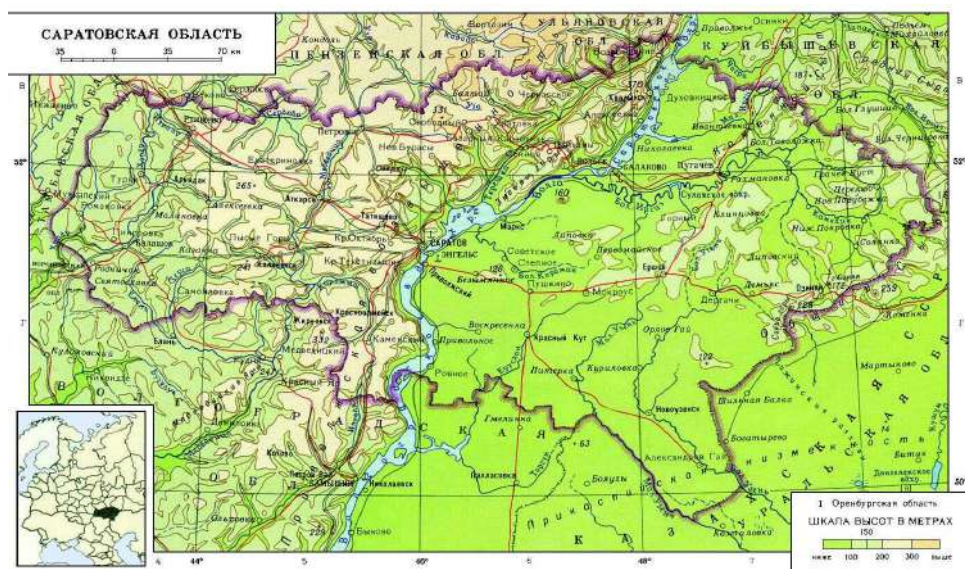


Рис. 1. Карта Саратовской области

С запада на восток территория вытянута на 575 км, с севера на юг – на 330 км. Через область протекает река Волга, которая делит область на две части: Левобережье и Правобережье. Климат области умеренно-континентальный. Отличается жарким летом и холодной малоснежной зимой. Континентальность возрастает с северо-запада на юго-восток. Область обладает значительным потенциалом по производству меда. По статистической информации насчитывается около 38 000 пчелосемей, производится около 3 тыс. т товарного меда.

Результаты данных морфометрических исследований в сравнении с другими популяциями представлены в табл. 1. Как видно, среднее значение длины хоботка превышало стандартные показатели пчел среднерусского подвида (*Apis mellifera mellifera*) (стандарт – 6,00–6,40 мм), что указывает на протекание процессов гибридизации. Также данный признак превышает по значению таковой для пчел других популяций – кировская, башкирская и др.

Таблица 1

Зависимость морфологических признаков от географического расположения популяции среднерусских пчел, $M \pm m$

Признаки	Популяция					
	кировская	башкирская	марийская	красноярская	волгоградская	саратовская
Длина хоботка, мм	6,3 ± 0,02	6,2 ± 0,05	6,2 ± 0,06	6,3 ± 0,03	6,3 ± 0,03	6,7 ± 0,22
Длина правого переднего крыла, мм	9,8 ± 0,03	9,4 ± 0,07	9,7 ± 0,03	9,7 ± 0,03	9,6 ± 0,05	9,0 ± 0,09
Ширина правого переднего крыла, мм	3,4 ± 0,01	3,1 ± 0,04	3,3 ± 0,03	3,3 ± 0,01	3,2 ± 0,04	3,13 ± 0,15
Кубитальный индекс, %	56,6 ± 1,25	53,8 ± 2,35	60,0 ± 1,41	58,3 ± 1,53	57,2 ± 1,04	59,7 ± 2,74
Длина 3-го тергита, мм	2,4 ± 0,01	2,3 ± 0,01	2,4 ± 0,02	2,4 ± 0,01	2,3 ± 0,01	2,3 ± 0,09
Ширина 3-го тергита, мм	4,1 ± 0,02	4,9 ± 0,04	4,9 ± 0,03	4,1 ± 0,02	4,8 ± 0,03	4,8 ± 0,08
Длина 3-го стернита, мм	2,4 ± 0,02	2,8 ± 0,03	2,8 ± 0,02	1,3 ± 0,03	2,7 ± 0,04	3,1 ± 0,08
Ширина 3-го стернита, мм	4,7 ± 0,02	4,4 ± 0,06	4,6 ± 0,05	4,7 ± 0,03	4,2 ± 0,09	3,9 ± 0,04
Длина воскового зеркальца, мм	1,6 ± 0,01	2,4 ± 0,02	1,9 ± 0,09	1,6 ± 0,01	1,6 ± 0,02	1,54 ± 0,08
Ширина воскового зеркальца, мм	2,5 ± 0,01	2,4 ± 0,04	2,2 ± 0,07	1,6 ± 0,01	2,4 ± 0,02	2,51 ± 0,11

По показателям крыла выявлена иная ситуация. Показатели соответствовали стандарту среднерусского подвида: длина – 9,00–10,00 мм, ширина – 3,00–3,50 мм. При сравнении с другими популяциями, мы видим, что показатель длины крыла в саратовской популяции самый низкий.

Кубитальный индекс пчел исследованной выборки был ниже стандарта среднерусского подвида – 60–65 %, но ближе к показателям пчел марийской популяции. При этом по показателям тергита (стандарт длины – 2,30–2,60 мм, ширины – 4,80–5,00 мм) выявлены их соответствие *Apis mellifera mellifera* и определенная близость к пчелам башкирской и волгоградской популяций. Длина стернита также соответствовала таковой у среднерусских пчел (стандарт – 3,00–3,20 мм), в то же время показатели его ширины выходили за пределы стандарта (4,75–5,00 мм). При этом значение длины стернита было самым высоким по сравнению с другими популяциями.

По параметрам воскового зеркала исследованные семьи соответствовали стандарту среднерусского подвида (длина – 2,45–2,70 мм, ширина – 1,50–1,70 мм). При этом значение длины зеркала в нашей выборке было самым низким по сравнению с другими популяциями.

Заключение

Анализ полученных результатов морфометрических признаков пчел позволяет сделать вывод о протекающих в регионе процессах гибридизации и постепенном сокращении численности саратовской популяции среднерусского подвида медоносной пчелы. Основным фактором этого процесса на сегодня остается завоз пчелосемей и маток с других регионов [7–10]. Сложившаяся ситуация, несомненно, требует создания природоохранных территорий и дальнейшего выявления и сохранения локалитетов аборигенной пчелы в Саратовской области.

Список литературы

1. Челинцев В. Развитие пчеловодства в г. Саратове противопоказано // Пчеловодство. 1957. № 4. С. 21.
2. Таранов Г. Ф., Родионов В. В. Почему не развивается пчеловодство в Саратовской области // Пчеловодство. 1951. № 7. С. 6–13.
3. Бородачев А. В., Бурмистров А. Н., Касьянов А. И. [и др.]. Методы проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве : метод. рекомендации. Рыбное : НИИП, 2006. 154 с.
4. Руттнер Ф. Техника разведения и селекционный отбор пчел : практ. руководство. М. : АСТ: Астрель, 2006. 166 с.
5. Алпатов В. В. Породы медоносной пчелы. М. : МОИСП, 1948. 183с.
6. Смирнов А. М., Туктаров В. Р., Саттаров В. Н. [и др.]. Методология фундаментальных исследований популяций *Apis mellifera* L., 1758. Уфа : БГАУ, 2012. 108 с.
7. Наумкин В. П., Велкова Н. И. Антропогенное воздействие на медоносные растения и пчел // Пчеловодство. 2023. № 3. С. 4–6.
8. Саттаров В. Н., Туктаров В. Р., Иванцов Е. М. Комплексная стратегия сохранения башкирской пчелы и ее логико-смысловая модель // Педагогический журнал Башкортостана. 2010. № 4 (29). С. 248–258.
9. Кривцов Н. И. Среднерусские пчелы. СПб. : Лениздат, 1995. 122 с.
10. Ишемгулов А. М. Рациональное использование биологических ресурсов Башкортостана для развития пчеловодства. Рыбное : ГНУ НИИП Россельхозакадемии, 2005. 272 с.

References

1. Chelintsev V. Development of beekeeping in Saratov is contraindicated. *Pchelovodstvo* = Beekeeping. 1957;(4):21. (In Russ.)

2. Taranov G.F., Rodionov V.V. Why beekeeping is not developing in Saratov region. *Pchelovodstvo* = Beekeeping. 1951;(7):6–13. (In Russ.)
3. Borodachev A.V., Burmistrov A.N., Kas'yanov A.I. et al. *Metody provedeniya nauchno-issledovatel'skikh rabot v pchelovodstve: metod. rekomendatsii* = Methods of conducting scientific research in beekeeping: methodological recommendations. Rybnoe: NIIP, 2006:154. (In Russ.)
4. Ruttner F. *Tekhnika razvedeniya i selektsionnyy otbor pchel: prakt. rukovodstvo* = Bee breeding techniques and selection: practical guide. Moscow: AST: Astrel', 2006:166. (In Russ.)
5. Alpatov V.V. *Porody medonosnoy pchely* = Honey bee breeds. Moscow: MOISP, 1948:183. (In Russ.)
6. Smirnov A.M., Tuktarov V.R., Sattarov V.N. et al. *Metodologiya fundamental'nykh issledovaniy populyatsiy Apismellifera L., 1758* = Methodology of fundamental research of *Apismellifera L.* populations, 1758. Ufa: BGAU, 2012:108. (In Russ.)
7. Naumkin V.P., Velkova N.I. Anthropogenic impact on honey plants and bees. *Pchelovodstvo* = Beekeeping. 2023;(3):4–6. (In Russ.)
8. Sattarov V.N., Tuktarov V.R., Ivantsov E.M. A comprehensive strategy for the conservation of the Bashkir bee and its logic-semantic model. *Pedagogicheskiy zhurnal Bashkortostana* = Pedagogical journal of Bashkortostan. 2010;(4)248–258. (In Russ.)
9. Krivtsov N.I. *Srednerusskie pchely* = Central Russian bees. Saint Petersburg: Lenizdat, 1995:122. (In Russ.)
10. Ishemgulov A.M. *Ratsional'noe ispol'zovanie biologicheskikh resursov Bashkortostana dlya razvitiya pchelovodstva* = Rational use of biological resources of Bashkortostan for the development of beekeeping. Rybnoe: GNU NIIP Rossel'khozakademii, 2005:272. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Айрат Фанилевич Хафизов

аспирант,
Башкирский государственный
педагогический университет
имени М. Акмуллы
(Россия, г. Уфа, ул. Октябрьской
революции, 3а)
E-mail: falk864314@gmail.com

Ayrat F. Khafizov

Postgraduate student,
Bashkir State Pedagogical University
named after M. Akmulla
(3a Oktyabrskaya Revolutsiya street,
Ufa, Russia)

Венер Нурулович Саттаров

доктор биологических наук, профессор,
и.о. заведующего кафедрой экологии,
географии и природопользования,
Башкирский государственный
педагогический университет
имени М. Акмуллы
(Россия, г. Уфа, ул. Октябрьской
революции, 3а)
E-mail: wener5791@yandex.ru

Vener N. Sattarov

Doctor of biological sciences,
professor, deputy head of the sub-department
of ecology, geography and nature
management, Bashkir State Pedagogical
University named after M. Akmulla
(3a Oktyabrskaya Revolutsiya street,
Ufa, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 27.11.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 14.12.2024

Принята к публикации / Accepted 23.12.2024

УДК 638.123.5

doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-3

Данные таксономической оценки *Apis mellifera* Казахстана

Т. В. Гаврилова,¹ В. Н. Саттаров², Н. Е. Тарасовская³,
А. К. Оспанова⁴, Э. А. Гельдымамедова⁵

^{1,3,4,5}Павлодарский педагогический университет
имени Элкей Марғұлан, Павлодар, Казахстан

²Башкирский государственный педагогический университет
имени М. Акмуллы, Уфа, Россия

¹gavrilovatv@ppu.edu.kz, ²wener5791@yandex.ru, ^{3,5}Vero-75@mail.ru, ⁴ospain@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Учитывая современные темпы завоза различных подвидов пчел на территорию Казахстана, является целесообразным проведение мониторинга морфологических признаков медоносных пчел для выявления «чистоты» популяций. *Цель* – оценка таксономической принадлежности пчел в Павлодарской области Казахстана. *Материалы и методы.* Материалом послужила выборка рабочих пчел из Павлодарской области. Исследования проведены по стандартной методике Ф. Рутгера. *Результаты.* У пчел в семье № 1 преобладал фен О, а в следующей семье доминировал фен е и О. При этом пчелы соответствовали крайнему подвиду. В семье № 3 идентифицированы два фена: 1R и Е. Встречаемость фена 1R была выше, чем Е. В четвертой семье выявлены три фена. Преобладал 1R – 85 %. В пятой семье в большинстве был фен 1R (90 %), при небольшой встречаемости пчел – е, 2R. Четвертая и пятая семьи были близки крайнему подвиду. Пчелы с феном 1R доминировали в семье № 6 – 80 %. Широкое разнообразие фенов отмечено в семье № 7 – Е, 1R, е, 2R. Здесь преобладал фен 1R – 60 % и 2R – 30 %. По морфологической характеристике данная семья близка к семьям крайнего, итальянского и среднерусского подвидов. В семье № 8 идентифицированы пчелы 2R, 1R, Е, с преобладанием 2R и 1R. В последней рассмотренной семье (№ 9) была выявлена идентичная ситуация. *Выводы.* Изученные пчелы большей частью относятся к крайнему подвиду. При этом семьи № 8 и 9 по своим характеристикам ближе к итальянским пчелам. К среднерусским пчелам наиболее близка семья № 1. Гибридизация между подвидами, которая была масштабной в историческом прошлом, продолжается до сих пор и ведет к образованию разнообразных помесных форм пчел с различными характеристиками.

Ключевые слова: медоносная пчела, фены, морфотипы, морфологическая характеристика, гибридизация, Казахстан

Для цитирования: Гаврилова Т. В., Саттаров В. Н., Тарасовская Н. Е., Оспанова А. К., Гельдымамедова Э. А. Данные таксономической оценки *Apis mellifera* Казахстана // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 24–32. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-3

Taxonomic assessment data of *Apis mellifera* in Kazakhstan

T.V. Gavrilova¹, V.N. Sattarov², N.E. Tarasovskaya³,
A.K. Ospanova⁴, E.A. Geldymamedova⁵

^{1,3,4,5}Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan, Pavlodar, Kazakhstan

²Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russia

¹gavrilovatv@ppu.edu.kz, ²wener5791@yandex.ru, ^{3,5}Vero-75@mail.ru, ⁴ospain@mail.ru

© Гаврилова Т. В., Саттаров В. Н., Тарасовская Н. Е., Оспанова А. К., Гельдымамедова Э. А., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Abstract. *Background.* Given the current rates of import of various subspecies of bees to the territory of Kazakhstan, it is advisable to monitor the morphological characteristics of honey bees to identify the "purity" of populations. The purpose is to assess the taxonomic affiliation of bees in Pavlodar region of Kazakhstan. *Materials and methods.* The material was a sample of worker bees from the Pavlodar region. The research was carried out using standard methods and F.'s methodology. Ruttner. *Results.* In bees in colonies No. 1, fen O prevailed, and in the next colonies, fen and O. dominated. At the same time, the bees corresponded to the krajn subspecies. Two hair dryers have been identified in f colonies No. 3: 1R and E. The occurrence of 1R hair dryer was higher than E. Three hair dryers have been identified in the fourth colonies. 1R prevailed – 85 %. In the fifth colonies, the majority had phen – 1R (90 %), with a small occurrence of bees – e, 2R. The fourth and fifth colonies were close to the krajn subspecies. Bees with a 1R hair dryer dominated in family No. 6 – 80 %. A wide variety of hair dryers was noted in the colonies No. 7 – E, 1R, e, 2R. Here the hair dryer 1R – 60 % and 2R – 30 % prevailed. According to morphological characteristics, this family is close to the krajn, italian and central russian subspecies. In colonies No. 8, bees 2R, 1R, E were identified, with a predominance of 2R and 1R. An identical situation was revealed in the last colonies examined (No. 9). *Conclusions.* The studied bees mostly belong to the krainian subspecies. At the same time, colonies No. 8 and 9 are closer to Italian bees in their characteristics. Colonies No. 1 is closest to the Central Russian bee. Hybridization between subspecies, which was essential in the historical past, continues to this day and contributes to the formation of a variety of mixed forms of bees with different characteristics.

Keywords: ahoney bee, phenes, morphotypes, morphological characterization, hybridization, Kazakhstan

For citation: Gavrilova T.V., Sattarov V.N., Tarasovskaya N.E., Ospanova A.K., Geldymamedova E.A. Taxonomic assessment data of *Apis mellifera* in Kazakhstan. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(4):24–32. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-3

Еще в начале XX в. Казахстан занимал одно из первых мест по количественному и качественному составу медоносной флоры, а получаемый в республике мед по своим показателям являлся высокосортным и направлялся большей частью на экспорт. Максимально пчеловодческая отрасль получила свое развитие в тех районах Казахстана, где географические и природно-климатические условия благоприятствовали разведению и содержанию медоносных пчел (*Apis mellifera*). Ученые и специалисты отмечают, что территорию Казахстана в 30-х гг. XX в. по развитию пчеловодческой отрасли можно разделить на четыре района: северный, восточный, юго-восточный и южный. Такое районирование сохраняется в настоящее время. Первый район (Зыряновский, Катон-Карагайский, Усть-Каменогорский, Риддерский, Шемонаевский, Уланский, Курпумский, Джарминский, Кокнекимнский и Зайсанский) расположен в горах юго-западного Алтая и специализируется на медовом направлении [1]. Второй район – восточный, охватывает южные склоны Тарбогатайского хребта в пределах пяти административных районов: Ленинский, Урджарский, Талды-Курганский, Алакульский и Аксупеский. Здесь пчеловодство характеризуется медово-розовым опылительным направлением, а пасеки в основном являются стационарными. Юго-восточный район располагается вдоль хребта и на северных склонах Заалийского Алатау, охватывает пять районов: Калининский, Энбекши-Казахский, Джаркентский, Алма-Атинский и Чикментский. Пчеловодческая отрасль здесь имеет смешанное направление ведения хозяйства при наличии фруктовых садов и посевов энтомофильных

культур. В прошлые века производимый здесь мед обладал высокими вкусовыми качествами. Особо выделяли пасеки в Энбекши-Казахском, Алма-Атинском и Курдайском районах [1]. Южный район располагается в отрогах Унамского хребта и охватывает Бостандыкский, Джувалинский, Ленгетовский, Пахта-Аральский и Келесский районы. Пчеловодческие хозяйства характеризуются здесь разведенческо-опылительной деятельностью, а пасеки являются в основном кочевыми. Оценивая ситуацию по распространению пасек в Республике и данные по численности пчел, заметим, что для опыления энтомофильных растений Казахстана нужно 2 млн пчелиных семей. На сегодня их число не превышает 83 тыс. [1, 2].

Отмечая важность природно-климатических условий для развития пчеловодства, Н. Ф. Крахотин писал: «Климат Восточно-Казахстанской области резко континентальный. Зима длится от 5 до 6 месяцев, без каких-либо оттепелей. Средняя температура в январе бывает от 10 до 20 °С мороза. В горно-лесной местности снеговой покров достигает 1,5–2 м, в степной – 15–60 см. Весна обычно наступает в конце марта или во второй декаде апреля. В степных районах с наступлением весны дни стоят холодные, с ночными заморозками. В апреле температура не превышает 8 °С тепла. Травянистая растительность в таких условиях долго не появляется. В горно-лесных районах снег не сходит иногда до конца апреля. Средняя температура в апреле колеблется от 10 до 15 °С тепла. В середине мая нередко наступают возвратные холода, с понижением температуры до 7 °С холода. Лето короткое, жаркое в предгорьях и прохладное в горах. Среднесуточная температура в июле – 23–24 °С». В описанных условиях так называемые местные или алтайские пчелы хорошо переносят длительную зимовку, характеризуются злобностью, малой продуктивностью и коротким хоботком [2–7].

Учитывая исторические аспекты становления и развития пчеловодства на территории Казахстана, а также современные темпы завоза, по мнению авторов, является целесообразным проведение мониторинга морфологических признаков медоносных пчел для выявления их таксономического статуса, что позволит оценить некоторые вопросы сохранения «чистоты» популяции в регионе. Целью работы явилась оценка таксономической принадлежности медоносной пчелы на территории Павлодарской области Казахстана.

Материалы и методы

Материалом послужила выборка рабочих пчел, собранная в 2022–2023 гг. Отбор проводился в весенний период в Павлодарском и Щербактинском районах Павлодарской области и в окрестностях г. Павлодара. Камеральная обработка проведена на базе Высшей школы естествознания Павлодарского педагогического университета имени Элкей Марғұлан. Отбирали по 20 пчел из одной пчелиной семьи по стандартной методике [7–10]. Подсчет кубитального и тарзального индексов проводили согласно принятой методике [8, 9]. Оценку фенотипов или морфотипов проводили на сухих пчелах, не обработанных водой или спиртом по методике Ф. Рутнера [8] (рис. 1).

Умерщвление пчел проводили в морилке. Для дальнейшего хранения пчел прокалывали энтомологической булавкой № 2 в грудном отделе согласно энтомологическим требованиям по оформлению насекомых.

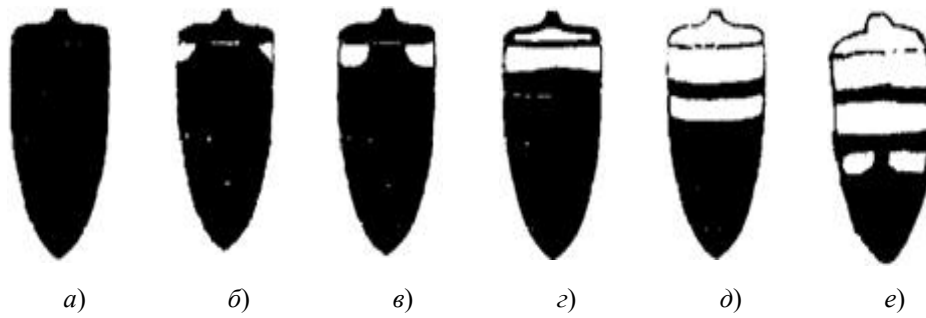


Рис. 1. Фены или морфотипы рабочих пчел:

a – О (темная кутикула, без коричневых или желтых уголков); *б* – *с* (маленькие коричневые или желтые уголки, до 1 мм²); *в* – Е (большие коричневые или желтые уголки, от 1 мм²); *г* – 1R (коричневое или желтое одно кольцо); *д* – 2R (коричневые или желтые два кольца); *е* – 3R (коричневые или желтые основные три кольца)

Измерения морфометрических признаков производили с помощью бинокулярного микроскопа МБС-9 и окуляра со шкалой, цифровым микроскопом DM4.

Результаты и их обсуждение

Исследование медоносных пчел Павлодарской области выявило наличие разнообразных окрасок кутикулы брюшка рабочих пчел (рис. 2).

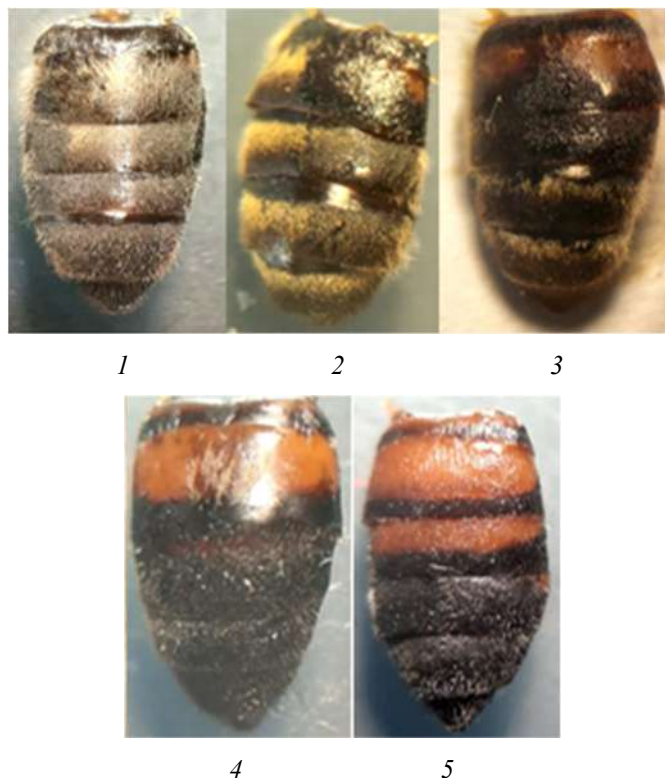


Рис. 2. Морфотипы (фены) рабочих пчел, зарегистрированные на территории Павлодарской области Казахстана: 1 – О; 2 – *с*; 3 – Е; 4 – 1R; 5 – 2R

Была выявлена широкая вариативность морфотипов пчел в Павлодарской области Казахстана (рис. 3). Согласно методике Ф. Руттнера, в исследованной выборке присутствуют пчелы, характеризующиеся фенами следующих подвидов: *Apis mellifera mellifera*, *Apis mellifera carnica*, *Apis mellifera ligustica*.

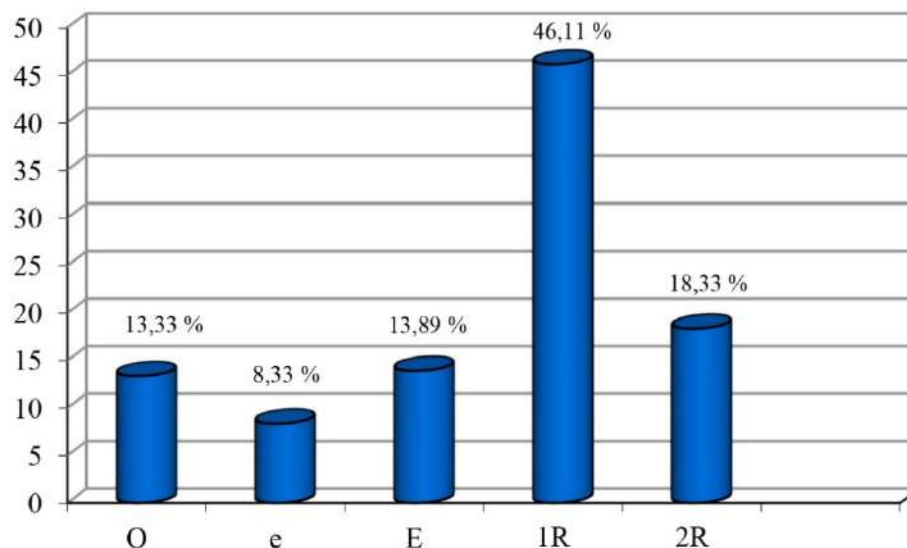


Рис. 3. Вариативность морфотипов рабочих пчел, зарегистрированных на территории Павлодарской области Казахстана

Для полной характеристики пчел Павлодарской области были получены следующие показатели морфометрических признаков (табл. 1).

В пчелиной семье № 1 преобладали особи темной окраски (фен О – 90 %), средний показатель кубитального индекса был $57,3 \pm 0,014$ %, а тарзальный индекс – $52,9 \pm 0,13$ %, что по морфологической характеристике приближает их к среднерусскому подвиду. В следующей семье (№ 2) у пчел хоботок относительно короткий, преобладали пчелы с феном – е (с маленькими желтыми уголками) и с феном О (30 %). По морфологическим характеристикам пчелы соответствовали крайнему подвиду.

Пчелам в семье № 3 были характерны два фена: 1R и Е. При этом встречаемость пчел с феном 1R была выше, чем Е. В целом, по оценке показателей, семью можно характеризовать как крайний подвид. В семье № 4 были идентифицированы три фена (1R, Е, 2R). Преобладали рабочие пчелы с феном 1R (с одним желтым кольцом) – 85 %. В пятой семье преобладали пчелы с одним желтым тергитом на брюшке, т.е. фен – 1R. Встречаемость таких пчел составила 90 %, при небольшой идентификации пчел с выраженными желтыми уголками и двумя желтыми кольцами – до 10 %. По таксономической оценке пчелы четвертой и пятой семей были близки крайнему подвиду. Рабочие пчелы с феном 1R (с одним желтым кольцом) доминировали в семье № 6 (80 %). Также здесь встречались пчелы с феном 2R (с двумя желтыми кольцами) – 15 % и Е – 5 %. По характерным морфологическим признакам пчелы соответствовали стандартным признакам крайнего и итальянского подвидов.

Таблица 1

Морфометрические показатели и морфотипы рабочих пчел
из Павлодарской области Казахстана ($n = 180$)

№	Показатели	Длина хоботка, мм	Длина правого переднего крыла, мм	Кубитальный индекс, %	Тарзальный индекс, %	Морфотип
1	Lim	5,6–6,5	8,2–8,4	50,0–62,5	50,0–61,1	O – 90 % e – 10 %
	$M \pm m$	$6,0 \pm 0,03$	$8,3 \pm 0,07$	$57,3 \pm 0,014$	$52,9 \pm 0,13$	
	CV	6,18	1,13	8,16	7,86	
2	Lim	5,3–6,7	8,2–8,5	34,8–42,1	60,0–63,2	O – 30 % e – 65 % E – 5 %
	$M \pm m$	$5,5 \pm 0,04$	$8,5 \pm 0,01$	$39,6 \pm 0,13$	$61,3 \pm 0,10$	
	CV	7,01	0,98	9,10	5,88	
3	Lim	6,0–7,1	8,0–8,6	36,4–57,9	61,2–62,9	1R – 75 % E – 15 %
	$M \pm m$	$6,3 \pm 0,02$	$8,3 \pm 0,01$	$42,8 \pm 0,22$	$61,8 \pm 0,11$	
	CV	4,71	2,11	15,54	6,10	
4	Lim	5,1–6,1	8,1–8,3	40,9–57,9	51,7–63,2	1R – 85 % E – 10 % 2R – 5 %
	$M \pm m$	$5,4 \pm 0,29$	$8,2 \pm 0,01$	$48,5 \pm 0,16$	$58,5 \pm 0,09$	
	CV	5,72	2,7	10,5	5,09	
5	Lim	5,1–6,5	8,4–8,8	32,1–39,1	55,0–63,2	1R – 90 % E – 5 % 2R – 5 %
	$M \pm m$	$5,9 \pm 0,05$	$8,7 \pm 0,09$	$34,1 \pm 0,01$	$59,5 \pm 0,07$	
	CV	10,19	1,43	5,01	4,35	
6	Lim	6,1–6,6	8,3–8,8	37,5–47,6	52,4–60,1	1R – 80 % E – 5 % 2R – 15 %
	$M \pm m$	$6,4 \pm 0,01$	$8,6 \pm 0,01$	$40,1 \pm 0,24$	$56,1 \pm 0,05$	
	CV	2,08	2,18	17	3,55	
7	Lim	5,1–6,4	8,2–8,5	50,0–56,6	52,6–60,0	E – 5 % 1R – 60 % e – 5 % 2R – 30 %
	$M \pm m$	$6,1 \pm 0,03$	$8,4 \pm 0,08$	$52,5 \pm 0,04$	$56,5 \pm 0,06$	
	CV	6,08	1,95	3,02	4,03	
8	Lim	6,3–6,9	8,4–8,9	28,0–50,0	55,0–60,0	2R – 65 % 1R – 25 % E – 10 %
	$M \pm m$	$6,5 \pm 0,01$	$8,7 \pm 0,13$	$40,6 \pm 0,18$	$56,5 \pm 0,74$	
	CV	1,95	1,94	12,37	4,41	
9	Lim	6,1–6,7	8,4–8,9	40,9–50,0	54,0–58,9	2R – 55 % 1R – 45 %
	$M \pm m$	$6,5 \pm 0,02$	$8,7 \pm 0,01$	$43,6 \pm 0,15$	$55,4 \pm 0,12$	
	CV	2,59	1,94	9,85	4,22	

Широкое разнообразие фенов было отмечено в семье № 7 – E, 1R, e, 2R. При этом преобладал фен 1R (с одним желтым кольцом) – 60 %, при значительной доле пчел с феном 2R (с двумя желтыми кольцами) – 30 %. По общей морфологической характеристике пчел данной семьи можно отнести к краинским, итальянским и среднерусским подвидам. В следующей семье (№ 8) идентифицированы пчелы трех фенов 2R, 1R, E, с преобладанием 2R (два желтых кольца) – 65 % и 1R (одно кольцо) – 25 %, что с учетом морфометрических данных говорит о наличии итальянских пчел с примесью краинских. В последней изученной авторами семье (№ 9) выявлена похожая ситуация.

Анализируя полученные данные, отметим, что длина правого переднего крыла оказалась не слишком информативной и варьировала без существенных закономерностей. Однако пчелы с более длинными передними крыльями имели существенную долю морфотипа 2R.

Заключение

Большая часть изученных пчелиных семей по морфологической характеристике относится к крайинскому подвиду. При этом идентифицированные рабочие пчелы в семьях № 8 и 9 по своим характеристикам были ближе к итальянскому подвиду. К среднерусской пчеле по всем параметрам наиболее близка была семья № 1. Масштабная в историческом прошлом гибридизация между подвидами продолжается в настоящее время и ведет к образованию разнообразных помесных форм пчел с различным сочетанием внешних признаков. В числе факторов, способствующих межпородной гибридизации, можно выделить следующие: характер распространения переселенцев в историческом прошлом, удачные и неудачные попытки культивирования пород пчел, освоение целины, подъемы и спады в экономике Казахстана, а также отсутствие целенаправленного породного разведения в современных пчеловодческих хозяйствах различных форм собственности.

Список литературы

1. Козырев В. Пчеловодство Казахстана // Пчеловодство. 1932. № 2. С. 14–15.
2. Крахотин Н. Ф. О зимовке пчел в Восточно-Казахстанской области // Пчеловодство. 1956. № 12. С. 14–16.
3. Кирсанов М. М. Нужды пчеловодов Восточного Казахстана // Пчеловодство. 1961. № 12. С. 7.
4. Абутаева А. К. Тлегенова С. М., Саттаров В. Н. [и др.]. Морфология медоносных пчел Казахстана // Пчеловодство. 2019. № 5. С. 62–64.
5. Батырова К. И. Сейткалиев Е. Ж. О содержании различных пород пчел *Apis mellifera* в Казахстане // Актуальные научные исследования в современном мире. 2018 № 4-5 (36). С. 13–16.
6. Брагина Т. М., Тарасенко Е. Л. Опыт определения породы медоносной пчелы *Apis mellifera* L., 1758 в Костанайской области по жилкованию крыла с помощью компьютерной программы А. Б. Карташева // Биологическое разнообразие азиатских степей : материалы IV Междунар. науч. конф. Костанай : Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынова, 2022. С. 117–123.
7. Риб Р. Д. Пчеловоду Казахстана. Усть-Каменогорск : Медиа-Альянс, 2004. 408 с.
8. Бородачев А. В., Бурмистров А. Н., Касьянов А. И. [и др.]. Методы проведения научно-исследовательских работ в пчеловодстве : метод. рекомендации. Рыбное : НИИП, 2006. 154 с.
9. Руттнер Ф. Техника разведения и селекционный отбор пчел : практ. руководство. М. : АСТ: Астрель, 2006. 166 с.
10. Алпатов В. В. Породы медоносной пчелы. М. : МОИСП, 1948. 183 с.
11. Смирнов А. М., Туктаров В. Р., Саттаров В. Н. [и др.]. Методология фундаментальных исследований популяций *Apis mellifera* L., 1758. Уфа : БГАУ, 2012. 108 с.

References

1. Kozyrev V. Beekeeping in Kazakhstan. *Pchelovodstvo* = Beekeeping. 1932;(2):14–15. (In Russ.)
2. Krakhotin N.F. About wintering of bees in the East Kazakhstan region. *Pchelovodstvo* = Beekeeping. 1956;(12):14–16. (In Russ.)
3. Kirsanov M.M. Needs of beekeepers in East Kazakhstan. *Pchelovodstvo* = Beekeeping. 1961;(12):7. (In Russ.)
4. Abutaeva A.K., Tlegenova S.M., Sattarov V.N. et al. Morphology of honey bees of Kazakhstan. *Pchelovodstvo* = Beekeeping. 2019;(5):62–64. (In Russ.)
5. Batyrova K.I., Seytkaliev E.Zh. On the maintenance of various breeds of *Apis mellifera* bees in Kazakhstan. *Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire* = Current scientific research in the modern world. 2018;(4-5):13–16. (In Russ.)

6. Bragina T.M., Tarasenko E.L. An attempt to determine the species of the honey bee *Apis mellifera* L., 1758 in the Costa-Naiskoye region by wing venation with the help of the computer program of A.B. Kartashev. *Biologicheskoe raznoobrazie aziatskikh stepey: materialy IV Mezhdunar. nauch. konf.* = Biodiversity of the Asian steppes: proceedings of the 4th International scientific conference. Kostanay: Kostanayskiy regional'nyy universitet im. A. Baytursynova, 2022:117–123. (In Russ.)
7. Rib R.D. *Pchelovodu Kazakhstana* = To the beekeeper of Kazakhstan. Ust'-Kamenogorsk: Media-Al'yans, 2004:408. (In Russ.)
8. Borodachev A.V., Burmistrov A.N., Kas'yanov A.I. et al. *Metody provedeniya nauchno-issledovatel'skikh rabot v pchelovodstve: metod. rekomendatsii* = Methods of conducting scientific research in beekeeping: methodological recommendations. Rybnoe: NIIP, 2006:154. (In Russ.)
9. Ruttner F. *Tekhnika razvedeniya i selektsionnyy otbor pchel: prakt. rukovodstvo* = Bee breeding techniques and selection: practical guide. Moscow: AST: Astrel', 2006:166. (In Russ.)
10. Alpatov V.V. *Porody medonosnoy pchely* = Honey bee breeds. Moscow: MOISP, 1948:183. (In Russ.)
11. Smirnov A.M., Tuktarov V.R., Sattarov V.N. et al. *Metodologiya fundamental'nykh issledovaniy populyatsiy Apis mellifera* L., 1758 = Methodology of fundamental research of populations *Apis mellifera* L., 1758. Ufa: BGau, 2012:108. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Владимировна Гаврилова

магистр биологии,
старший преподаватель
Высшей школы естествознания,
Павлодарский педагогический
университет имени Элкей Марғұлан
(Республика Казахстан, г. Павлодар,
ул. Олжабай батыр, 60)
E-mail: gavrilovatv@ppu.kz

Tatyana V. Gavrilova

Master's degree in biology, senior lecturer
of the Higher School of Natural Sciences,
Pavlodar Pedagogical University
named after Alkey Margulan
(60 Olzhabay Batyr street, Pavlodar,
Republic of Kazakhstan)

Венер Нуруллович Саттаров

доктор биологических наук, профессор,
и.о. заведующего кафедрой экологии,
географии и природопользования,
Башкирский государственный
педагогический университет
имени М. Акмуллы
(Россия, г. Уфа, ул. Октябрьской
революции, 3а)
E-mail: wener5791@yandex.ru

Vener N. Sattarov

Doctor of biological sciences,
professor, deputy head of the sub-department
of ecology, geography and nature
management, Bashkir State Pedagogical
University named after M. Akmulla
(3a Oktyabrskaya Revolutsiya street,
Ufa, Russia)

Наталья Евгеньевна Тарасовская

доктор биологических наук, профессор,
профессор Высшей школы
естествознания,
Павлодарский педагогический
университет имени Элкей Марғұлан
(Республика Казахстан, г. Павлодар,
ул. Олжабай батыр, 60)
E-mail: Vero-75@mail.ru

Natalia E. Tarasovskaya

Doctor of biological sciences, professor,
professor of the Higher School
of Natural Sciences,
Pavlodar Pedagogical University
named after Alkey Margulan
(60 Olzhabay Batyr street, Pavlodar,
Republic of Kazakhstan)

Айнагуль Кенжешовна Оспанова

кандидат биологических наук,
профессор, профессор Высшей школы
естествознания,
Павлодарский педагогический
университет имени Әлкей Марғұлан
(Республика Казахстан, г. Павлодар,
ул. Олжабай батыр, 60)
E-mail: ospain@mail.ru

Ainagul K. Ospanova

Candidate of biological sciences,
professor, professor of the Higher School
of Natural Sciences,
Pavlodar Pedagogical University
named after Alkey Margulan
(60 Olzhabay Batyr street, Pavlodar,
Republic of Kazakhstan)

Эльза Аннамуратовна Гельдымамедова

кандидат биологических наук,
старший преподаватель
Высшей школы естествознания,
Павлодарский педагогический
университет имени Әлкей Марғұлан
(Республика Казахстан, г. Павлодар,
ул. Олжабай батыр, 60)
E-mail: Vero-75@mail.ru

Elza A. Geldymamedova

Candidate of biological sciences,
senior lecturer of the Higher School
of Natural Sciences,
Pavlodar Pedagogical University
named after Alkey Margulan
(60 Olzhabay Batyr street, Pavlodar,
Republic of Kazakhstan)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 04.12.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 17.12.2024

Принята к публикации / Accepted 26.12.2024

УДК 597.551.2639.2/.3
doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-4

**Морфобиологическая характеристика
вьюна *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758)
притока реки Пензы (Пензенская область)**

А. Ю. Асанов

Приволжский научный центр аквакультуры и водных биоресурсов,
Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

kfvniro-as@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Биология вьюна *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) достаточно изучена, при этом его современные популяционные характеристики в Европейской части России в научной литературе единичны. Особенно актуально это в настоящий период, когда встречаемость вьюна значительно снизилась, а в ряде регионов он внесен в Красную книгу. Целью данной работы является изучение морфобиологических показателей вьюна, обитающего в бассейне ручья Ржавец – притока реки Пензы, протекающей по Пензенской области. *Материалы и методы.* Выборка вьюна в количестве 168 экз. была отобрана из пруда Нижний рыбоводного хозяйства на ручье Ржавец. Обработка ихтиологического материала осуществлялась по общепринятым и оригинальным методикам. *Результаты.* Вьюн ручья Ржавец по окраске тела, основным меристическим и пластическим признакам соответствует европейскому вьюну. Длина и масса вьюна в выборке колебались в пределах: 9,2–24,0 см и 6–110 г. Его продолжительность жизни составляет около 10 лет. В первый год прирост рыб в среднем 5,2 см, в последующие годы – 2,3 см. Разница в темпах роста самцов и самок не отмечена. Упитанность по Фультону – 0,64–0,84, по Калабухову – 0,17–4,62, по Кларку – 0,57–0,72. Половозрелые особи появляются при длине 15,0 см в возрасте 4+. В возрасте 4–6+ все проанализированные особи были самцами на стадии зрелости I–II. В возрасте старше 6+ самцов не отмечено. Начиная с возраста 7+ все особи были самками на зрелой стадии – IV. Диаметр икринок в гонадах (в октябре) составлял 1,0–1,4 мм. Количество икринок в 1 г – 940–960 икринок. Индивидуальная абсолютная плодовитость в возрасте 7+ – 13,6 тыс. икринок, в возрасте 8+ – 21,9 тыс. Относительная плодовитость превышает 200 икр./г. *Выводы.* По основным видовым показателям популяция вьюна ручья Ржавец обитает в благоприятных и стабильных условиях. Вьюнов рыбоводных хозяйств можно использовать для восстановления утраченных популяций в регионе и заселения в деградирующие водоемы, лишенные ихтиофауны.

Ключевые слова: популяция вьюна, приток р. Пензы, размерно-весовой состав, темп роста, созревание, упитанность, плодовитость

Благодарности: автор выражает благодарность рыбоводу Танькову Александру Николаевичу за предоставленный материал.

Для цитирования: Асанов А. Ю. Морфобиологическая характеристика вьюна *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) притока реки Пензы (Пензенская область) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 33–42. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-4

Morphobiological characteristics of the *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) of the tributary of the Penza River (Penza region)

A.Yu. Asanov

Volga Research Center of aquaculture and aquatic Bioresources,
Penza State Agricultural University, Penza, Russia

kfvniro-as@list.ru

Abstract. *Background.* The biology of the loach *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) has been sufficiently studied, while its modern population characteristics in the European part of Russia are rare in the scientific literature. This is especially relevant in the current period, when the occurrence of loach has significantly decreased, and in a number of regions, it is listed in the Red Book. The purpose of this work is to study the characteristics of the loach population living in the Rzhavets Creek basin, a tributary of the Penza river flowing through Penza region. *Materials and methods.* A sample of 168 loaches was collected from the Nizhniy pond of the fish farm on the Rzhavets Creek. The ichthyological material was processed using generally accepted and original methods. *Results.* The Rzhavets brook loach corresponds to the European loach in body coloration and the main meristic and plastic features. The sizes in the sample varied: 9.2–24.0 cm and 6–110 g, in the population up to 27.5 cm and 131 g. Its lifespan is about 10 years. In the first year, the average fish growth rate is 5.2 cm, in the following years 2.3 cm. No difference in the growth rates of males and females was noted. The fatness according to Fulton is 0.64 – 0.84, according to Kalabukhov – 0.17–4.62, according to Clark – 0.57–0.72. Sexually mature individuals appear at a length of 15.0 cm at the age of 4+. At the age of 4–6+, all analyzed individuals were males at maturity stage I-II. No males were observed at the age of 6+. Starting from the age of 7+, all individuals were females at the mature stage – IV. The diameter of the eggs in the gonads (in October) was 1.0–1.4 mm. The number of eggs in 1 gram is 940–960 eggs. Individual absolute fertility at the age of 7+ is 13.6 thousand eggs, at the age of 8+ – 21.9 thousand. Relative fertility exceeds 200 eggs/g. *Conclusions.* According to the main species indicators, the loach population of the Rzhavets stream lives in favorable and stable conditions. Loaches from fish farms can also be used to restore lost populations in the region and populate degraded water bodies deprived of ichthyofauna.

Keywords: loach population, tributary of the Penza river, size and weight composition, growth rate, maturation, fatness, fertility

Acknowledgments: the author expresses gratitude to the fish farmer Alexander Nikolaevich Tankov for the material provided.

For citation: Asanov A.Yu. Morphobiological characteristics of the *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) of the tributary of the Penza River (Penza region). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2024;(4):33–42. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-4

Вьюн *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) занесен в Красную книгу Международного союза охраны природы, Красные книги Воронежской и Ростовской областей [1–3]. В настоящее время вид стал встречаться значительно реже и в водных объектах Пензенской области. За последние 20 лет исследовательского и любительского лова на различных водных объектах региона автором был выловлен лишь один экземпляр вьюна в 2013 г. в заболоченном нижнем участке ручья Прокоп г. Пензы [4–7].

Ручей Ржавец берет начало из лесного массива в поселке Ленинский Октябрьского района г. Пензы. Протекает по территории Пензенского района, где впадает в р. Пензу. Длина ручья – 8 км, площадь водосбора – 18,8 км². В верхней половине ручья расположена цепь проточных прудов: Верхний (15 га),

Средний (10 га) и Нижний (4 га), используемых в целях рыбоводства. Рыбоводное хозяйство ИП Танькова А. Н. существует с 2002 г. Пруд Нижний используется для выращивания рыбопосадочного материала. В 2023 г. в мелиоративных целях пруд оставлялся на «летование» и полностью осушался на протяжении года. Весной 2024 г. в него было зарыблено около 1,0 млн личинок карпа, толстолобика и белого амура. Осенью пруд был полностью сработан и в рыбоуловителе (координаты 53.1532° с.ш., 44.9211° в.д.), по сообщению рыбоведа, было обнаружено: 15 экз. сеголеток культивируемых видов рыб, масса личинок стрекоз и головастиков и около 100 кг вьюна. Обычно с данного пруда получают до 2 т сеголеток карпа и толстолобика, среди которых отмечается несколько экземпляров вьюнов. Диаметр ячейки в решетке рыбоуловителя составляет 10 мм, поэтому более мелкий вьюн мог уйти вниз по ручью. По сообщению рыбоведа, вьюн также обитает в Верхнем и Среднем прудах и в самом ручье. В некоторые годы, к каким относится жаркий 2024 г., ручей между прудами может пересыхать и, соответственно, вьюн спуститься в Нижний пруд или, исходя из биологии вьюна, зарываться глубоко в ил [8, 9]. Преодолеть плотину Нижнего пруда из нижнего бьефа ручья Ржавец вверх по течению представителям ихтиофауны практически невозможно.

Необычный образ жизни вьюнов описывается во многих научно-популярных и научных изданиях, однако опубликованные результаты исследований морфобиологических характеристик конкретных популяций вьюнов немногочисленны, особенно для средней полосы России [8–13].

В настоящее время на территории России отмечается шесть видов вьюнов: европейский вьюн *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758) и дальневосточные виды: амурский вьюн *M. anguillicaudatus* (Cantor, 1842), вьюн Никольского *M. nikolskyi* (Vasil'eva, 2001), змеевидный вьюн *M. mohoity* (Cantor, 1842), вьюн Дабри *Paramisgurnus dabrianus* (Dabryde Thiersant, 1872) [14]. Целью данной работы является изучение морфобиологических характеристик вьюна ручья Ржавец, притока реки Пензы.

Материалы и методы

На анализ вьюн был отобран после передержки в емкости с проточной водой через неделю после его поимки. Всего исследовано 168 экз. (4194 г), из них на полный биологический анализ использовали 26 экз. Размеры рыб представлены на рис. 1.

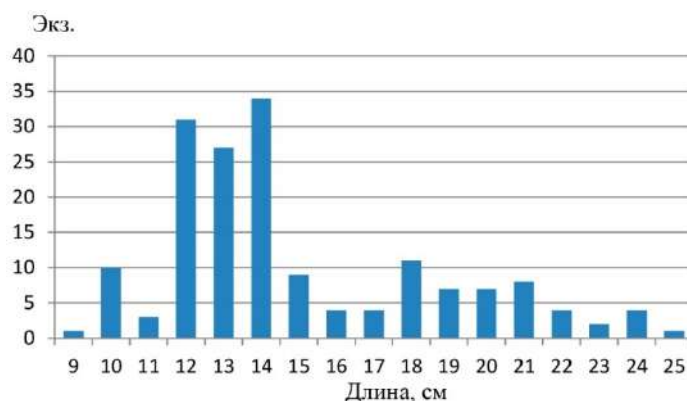


Рис. 1. Размеры вьюна в пробе (168 экз.)

Темп роста рыб определяли по чешуе с использованием обратных расчислений по предложенной авторами методике [15]. Предварительно удалив скальпелем слизь, чешуйки отделяли и переносили с тела рыб на предметное стекло с помощью лезвия бритвы. Длина закладки чешуи у молоди вьюна принята при размере 3 см [16]. Все расчеты проводились по промысловой длине l , от рыла до конца чешуйного покрова.

Упитанность рассчитывали по Фультону, Кларку и Калабухову [17, 18].

Коэффициент зрелости рассчитывали как отношение массы гонад к массе тела рыбы, %; гонадосоматический индекс – как отношение массы гонад к массе тушки в промилле, ‰ [17].

Количество икринок в пробе просчитывали по оригинальной методике. Для оценки плодовитости отбирали икру из средней части ястыков массой около 1 г, которую распределяли в чашке Петри с добавлением воды. Фотографировали, выводили на компьютер, распечатывали изображение, масштабированное 1:1 и по нему производился подсчет икринок.

Относительную плодовитость определяли как отношение индивидуальной абсолютной плодовитости к массе рыбы без внутренностей [17].

Площадь прудов измеряли с помощью планиметра на Яндекс карте Пензенской области. Для обработки статистического материала и построения зависимостей использовались программы Microsoft Excel и сайта Planetcalc.ru.

Результаты

Подвидов у европейского вьюна не зафиксировано [9]. Вьюн ручья Ржавец по основным меристическим и пластическим признакам соответствует европейскому вьюну [9, 11, 13]. От вьюна Никольского он отличается окраской – без многочисленных пятен на теле, расположением спинного плавника за основанием брюшных плавников, более высокими брюшными плавниками [19, 20].

Диаметр чешуи вьюна ручья Ржавец колебался от 0,8 мм у самой малой особи (длиной 9,5 см) до 1,8 мм у самой крупной особи (длиной 24 см)

Возраст рыб, отобранных на анализ, определен от 2+ до 8+ лет. Размеры годовиков и двухлеток, представленные в таблице, определены по обратным расчислениям. Также, по сообщению рыбоведа, среди всех выловленных рыб наиболее крупными размерами выделялось 8 экз., которые оказались самками с икрой, т.е. их возраст, вероятно, составлял не менее 9+ лет.

Размерно-возрастной состав вьюна рассчитан по данным наблюдений и по обратным расчислениям (табл. 1). Зависимость длины тела вьюна от возраста наиболее достоверно описывается квадратичной регрессией: $Y = -0,0101x^2 + 2,3523x + 2,9571$, где коэффициент корреляции – 0,9998, средняя ошибка аппроксимации – 0,8393 %. По данной формуле промысловая длина (l) в возрасте 9+ (10 лет) составит – 27,5 см, абсолютная длина (L) – 31 см.

В первый год прирост рыб превышает в среднем 5 см, из них 3 см, согласно литературным данным, приходится на личиночную стадию [16]. В последующие годы 2–8+ ежегодный прирост рыб колеблется от 2,0 до 2,5 см, в среднем $2,29 \pm 0,14$ см. Прирост самцов и самок в возрасте 2–6+ в среднем составил $2,28 \pm 0,32$ см и $2,21 \pm 0,15$ см, т.е. прирост фактически одинаковый. В возрасте старше 6+ самцов не отмечено. Прирост вьюна по абсолютной длине в возрасте 2–4+ составляет 3,0 см, в старших возрастах он снижается.

Таблица 1

Морфобиологические показатели вьюна в популяции бассейна ручья Ржавец

Показатели	Возраст, лет								
	1	2	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+
Длина средн., см	5,2	7,7	9,9	12,3	14,6	16,7	18,7	21,0	23,5
Мин.– макс., см	4,6– 5,7	6,8– 8,3	9,2– 10,7	11,4– 13,5	13,0– 16,5	15,5– 17,5	17,7– 19,9	20,1– 22,5	23,0– 24,0
Ср. абсолютных отклонений	0,23	0,30	0,38	0,52	0,68	0,73	0,48	0,53	0,50
Абсолютная длина, см	нд	нд	11,5	14,5	17,5	19,2	21,2	24,0	26,5
Масса, г	0,9	3,1	6,9	13,6	23,3	35,5	50,7	73,0	108,5
Прирост, см	5,2	2,5	2,2	2,4	2,3	2,1	2,0	2,3	2,5
Привес, г	0,9	2,2	3,8	6,7	9,7	12,2	15,2	22,3	35,5
Упитанность по Фультону	0,64	0,68	0,72	0,73	0,75	0,77	0,78	0,79	0,84
Упитанность по Калабухову	0,17	0,40	0,70	1,11	1,60	2,13	2,71	3,48	4,62
Упитанность по Кларку	0,72	0,70	0,70	0,77	0,70	0,73	0,68	0,57	0,62
Масса внутр. органов, г	нд	нд	0,4	0,7	1,3	1,3	2,8	19,3	28,0
Отношение массы внутр. органов к массе тела, %	нд	нд	6,7	5,2	6,1	6,1	5,9	25,0	25,8
Пол, зрелость	juv	juv	juv	juv	♂-I-II	♂-I-II	♂-II	♀-IV	♀-IV
Масса гонад, г	–	–	–	–	> 1,0	> 1,0	> 1,0	14,3	23,0
Коэфф. зрелости, %	–	–	–	–	> 1,0	> 1,0	> 1,0	18,1	21,2
Гонадосоматический индекс, %	–	–	–	–	> 1,0	> 1,0	> 1,0	23,7	28,5
Количество икринок, тыс. шт.	–	–	–	–	–	–	–	13,6	21,9
Относительная плодовитость, икринок/г	–	–	–	–	–	–	–	186	202

Зависимость массы вьюна от длины тела (l) наиболее достоверно описывается степенной регрессией: $y = 0,0052x^{3,1301}$, где коэффициент корреляции – 0,9927, средняя ошибка аппроксимации – 4,9052 %. По данной формуле вычислена масса вьюна в возрасте 1 и 2 года (см. табл. 1).

Зависимость возраста вьюна от длины тела (l) наиболее достоверно описывается квадратичной регрессией: $y = 1,7811x^2 - 5,0314x + 3,4309$, где коэффициент корреляции – 0,9953, средняя ошибка аппроксимации (%) – ∞. По данной формуле вычислена масса вьюна в возрасте 10 лет. Она составила – 131,2 г.

Наиболее многочисленными в выборке были особи с размерами 12–14 см, массой 13–23 г, в возрасте 3+–4+. В возрастных группах численность рыб плавно снижается за исключением рыб в возрасте 5+ поколения 2019 г., чья численность минимальна. Очевидно, в 2019 г. сложились неблагоприятные условия для воспроизводства и нагула молоди вьюна ручья Ржавец.

Упитанность вьюна по Фультону демонстрирует четкую тенденцию ее увеличения с возрастом рыб, что не всегда характерно для данного показателя у других видов рыб (см. табл. 1). Упитанность по Калабухову показывает типичную тенденцию ее увеличения с возрастом. Упитанность по Кларку, для расчета которой используется масса тела без внутренностей, имеет низкие показатели в старших возрастах.

По причине недельной выдержки вьюна в проточной воде без кормления его кишечник был пуст. Масса внутренностей рыб в возрасте 2–6+ колебалась от 0,4 до 2,8 г. В более старших возрастных группах за счет развития икры самок она составила – 19,3–28,0 г. Соответственно, отношение массы внутренностей к массе тела рыб в возрасте 2–6+ находилось на уровне 5,2–6,7 %, а у возрастных самок – на уровне четверть массы тела (см. табл. 1).

Половозрелые особи в возрасте 4+ имеют длину 15,0 см. В возрасте 4–6+ все проанализированные особи были самцами длиной 15,0–19,5 см и массой 25–52 г на начальной стадии зрелости I–II. Начиная с возраста 7+ (длина 21,0 см и массы 72 г) все особи были самками на зрелой стадии – IV (см. табл. 1).

Самцы, отловленные в ручье Ржавец, заметно отличаются от самок более стройным прогонистым телом, более крупными и жесткими грудными плавниками. Показатели коэффициента зрелости, массы гонад, гонадосоматического индекса у этих самцов минимальны. Напротив, показатели самок соответствуют высокой степени созревания.

Диаметр икринок (в октябре) составлял 1,0–1,4 мм. Количество икринок в 1 г – 940–960 икринок. Показатель индивидуальной абсолютной плодовитости увеличивается с размерами самок (см. табл. 1). Исходя из соотношения массы тела и плодовитости проанализированных рыб, можно утверждать, что плодовитость в возрасте 10 лет составит 27,0 тыс. икринок, а относительная плодовитость превышает 200 икр/г (см. табл. 1).

Обсуждение

В целом размерно-весовые характеристики вьюна ручья Ржавец соответствуют литературным данным [9, 11, 13]. При этом темп его роста ($l = 2,3$ см) значительно выше популяции вьюна Никольского из р. Амур ($l = 0,5–1,5$ см) [19].

Размеры чешуи вьюна ручья Ржавец соответствуют таковым вьюну Никольского. Однако максимальный возраст, фактически 10 лет, превышает указанный в литературе – 6–8 лет [1, 9, 19]. При этом максимальный возраст самцов в нашем исследовании, как и у амурской популяции, ограничивается семью годами [19].

По приведенным в публикациях средним размерно-весовым показателям рассчитанная авторами упитанность по Фультону и Калабухову вьюна Алтайского края значительно ниже упитанности вьюна ручья Ржавец. Упитанность амурского вьюна, напротив, превышает упитанность вьюна ручья Ржавец по Фультону, Калабухову и Кларку [19, 20].

Половозрелость вьюна ручья Ржавец наступает позднее и при больших размерах рыб в сравнении с другими сравниваемыми популяциями [19]. Соотношение самцов и самок в выборке составляет 1,3 : 1,0, т.е. обратно пропорционально популяции вьюна в Рязанской области [13]. Наличие в старших возрастных группах только самок характерно и для популяции вьюна из Алтайского края [20].

В амурской популяции у большинства особей отмечается наличие двух групп ооцитов, что свидетельствует о порционном нересте. В случае с вьюном ручья Ржавец мы достоверно отмечаем наличие одной порции икры. При этом абсолютная его плодовитость (13,6–21,9 (до 27,0) тыс. икринок) выше чем в сравниваемых популяциях [13, 19, 20]. Приводимые в ряде источников данные о плодовитости вьюна на уровне 100–150 тыс. икринок, очевидно, являются завышенными и заимствованными у Л. П. Сабанеева (1884), так как при таких показателях самка должна была бы весить 500–700 г при максимальных размерах – 140 г [8, 9].

Относительная плодовитость вьюна ручья Ржавец несколько превышает таковую для популяции Рязанской области, но более чем в два раза ниже по сравнению с алтайской популяцией вьюна (423 икринки) [13, 20].

Очевидно, по причине жаркого лета 2024 г. часть особей вьюна могла переселиться из верхних прудов и практически пересохшего ручья в нижний пруд. Поколение молоди вьюна 2024 г. как и личинки и мальки представителей других видов рыб могли быть полностью уничтожены личинками стрекоз и другими водными беспозвоночными, а годовики и часть наиболее мелких двухлеток уйти через решетку рыбоуловителя вниз по течению ручья, где он становится более полноводным.

В гастрономическом плане вкусовые качества вьюна ручья Ржавец, по мнению дегустаторов, ухудшаются с увеличением его размеров, что характерно для некоторых других видов пресноводных рыб.

Заключение

По морфобиологической характеристике вьюна ручья Ржавец – высокой продолжительности жизни, средних темпов роста, средней упитанности, позднем созревании, наличии одной порции ооцитов, индивидуальной плодовитости – можно сделать выводы о благоприятных и стабильных условиях обитания его популяции. Этому способствует минимальное загрязнение благодаря использованию прудов под рыбоводство и отсутствию полной сработки верхнего и среднего прудов. Выловленного вьюна можно употреблять в пищу, использовать в качестве насадки для лова рыбы, а также для восстановления в регионе утраченных популяций и заселения деградирующих водоемов, лишенных ихтиофауны.

Список литературы

1. Решетников Ю. С. Вьюны // Большая российская энциклопедия. 2004–2017. URL: old.bigenc.ru/biology/text/2380477
2. Красная книга Воронежской области. Животные / науч. ред. О. П. Негрбов. Воронеж : МОДЭК, 2011. 425 с.
3. Арзанов Ю. Г., Бахтадзе Г. Б., Белик В. П. [и др.]. Красная книга Ростовской области. Т. 1: Животные. Ростов н/Д. : Донской издательский дом, 2014. 279 с.
4. Павлов П. В. Рыбы, земноводные и пресмыкающиеся // Биологическое разнообразие и динамика процессов в заповеднике «Приволжская лесостепь» // Труды Государственного заповедника «Приволжская лесостепь». Вып. 1. Пенза, 1999. С. 99–101.
5. Ильин В. Ю., Левин Б. А., Янкин А. В. Предварительные данные по ихтиофауне Пензенской области // Охрана биологического разнообразия и развитие охотничьего хозяйства России : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Пенза : РИО ПГСХА, 2005. С. 42–44.

6. Ильин В. Ю., Янкин А. В. Русловые переливные плотины верхнего течения реки Суры и их влияние на размещение ихтиофауны // Проблемы охраны и экологического мониторинга природных ландшафтов и биоразнообразия : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Пенза : РИО ПГСХА, 2006. С. 42–45.
7. Осипов В. В. Аннотированный каталог круглоротых и рыб заповедника «Приволжская лесостепь» // Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П. Г. Смидовича. Саранск, 2012. Вып. 10. С. 272–281.
8. Сабанеев Л. П. Рыбы России: жизнь и ловля наших пресноводных рыб : в 3 вып. Вып. 2. М. : Природа. 1874. С. 208–432.
9. Атлас пресноводных рыб России : в 2 т. / под ред. Ю. С. Решетникова. М. : Наука, 2002. Т. 1. 379 с.
10. Золотницкий Н. Ф. Аквариум любителя. М. : ТЕРРА, 1993. 784 с.
11. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран / гл. ред. Е. Н. Павловский. 4-е изд., испр. и доп. М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1948. Ч. 1. 467 с.
12. Заповедная Мордовия – Вьюн – *Misgurnus fossilis*. URL: zapoved-mordovia.ru/forum/52.html
13. Иванчев В. П., Иванчева Е. Ю. Круглоротые и рыбы Рязанской области и прилегающих территорий : монография. Рязань : НПИ «Голос губернии», 2010. 292 с.
14. Бурик В. Н. Cobitidae (вьюновые) и Balitoridae (балиторовые) Среднего Амура в водоемах Еврейской автономной области и сопредельных приграничных территорий Китая // Амурский зоологический журнал. 2020. Т. XII, № 3. С. 1–13.
15. Асанов А. Ю. Особенности темпа роста толстолобика (*Hypophthalmichthys*) в водоемах Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 1. С. 42–54. doi: 10.21685/2307-9150-2023-1-3
16. Коблицкая А. Ф. Определитель молоди пресноводных рыб. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. 208 с.
17. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищевая промышленность, 1966. 226 с.
18. Савостин В. С., Асанов А. Ю. Упитанность густеры Сурского (Пензенского) водохранилища // Проблемы сохранения запасов промысловых рыб : материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Почетного работника рыб. хоз-ва России М. Г. Воронова (г. Улан-Удэ, 10 ноября 2023 г.). Улан-Удэ : БГСХА им. В. Р. Филиппова, 2023. С. 82–86.
19. Островская Е. В., Касаткина А. П. Морфобиологическая характеристика и видовой статус вьюна рода *Misgurnus* Пади большой (среднее течение р. Амур) // Известия ТИНРО. 2021. Т. 201, № 1. 124–137.
20. Романенко Г. А., Зеленцов Н. В. Вьюн Никольского (*Misgurnus nikolskyi* Vasil'eva, 2001) – новый вид в ихтиофауне Алтайского края (Западная Сибирь, Россия) // Амурский зоологический журнал. 2020. Т. XII, № 1. С. 1–6.

References

1. Reshetnikov Yu.S. Loach. *Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya* = The Great Russian Encyclopedia. 2004–2017. (In Russ.). Available at: old.bigenc.ru/biology/text/2380477
2. Negrobov O.P. (ed.). *Krasnaya kniga Voronezhskoy oblasti. Zhivotnye* = The Red Book of Voronezh region. Animals. Voronezh: MODEK, 2011:425. (In Russ.)
3. Arzanov Yu.G., Bakhtadze G.B., Belik V.P. et al. *Krasnaya kniga Rostovskoy oblasti. T. 1: Zhivotnye* = The Red Book of Rostov-na-Donu region. Volume 1: Animals. Rostov-on-Don: Donskoy izdatel'skiy dom, 2014:279. (In Russ.)
4. Pavlov P.V. Fish, Amphibians and Reptiles. Biological Diversity and Dynamics of Processes in the Privolzhskaya Lesostep Nature Reserve. *Trudy Gosudarstvennogo zapovednika «Privolzhskaya lesostep'»* = Proceedings of the State Reserve “Volga Forest-Steppe”. Penza, 1999;(1):99–101. (In Russ.)

5. Il'in V.Yu., Levin B.A., Yankin A.V. Preliminary data on the ichthyofauna of the Penza region. *Okhrana biologicheskogo raznoobraziya i razvitie okhotnich'ego khozyaystva Rossii: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf.* = Protection of biological diversity and development of hunting industry in Russia: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Penza: RIO PGSKhA, 2005:42–44. (In Russ.)
6. Il'in V.Yu., Yankin A.V. Channel overflow dams of the upper reaches of the Sura River and their impact on the distribution of ichthyofauna. *Problemy okhrany i ekologicheskogo monitoringa prirodnikh landshaftov i bioraznoobraziya: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf.* = Issues of protection and environmental monitoring of natural landscapes and biodiversity: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Penza: RIO PGSKhA, 2006:42–45. (In Russ.)
7. Osipov V.V. Annotated catalog of cyclostomes and fishes of the Privolzhskaya Lesostep reserve. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika imeni P.G. Smidovicha* = Proceedings of the Mordovian State Nature Reserve named after P.G. Smidovich. Saransk, 2012;(10):272–281. (In Russ.)
8. Sabaneev L.P. *Ryby Rossii: zhizn' i lovlya nashikh presnovodnykh ryb: v 3 vyp.* = Fish of Russia: life and catching of our freshwater fish: in 3 issues. Moscow: Priroda. 1874;(2):208–432. (In Russ.)
9. Reshetnikov Yu.S. (ed.). *Atlas presnovodnykh ryb Rossii: v 2 t.* = Atlas of freshwater fishes of Russia: in 2 volumes. Moscow: Nauka, 2002;1:379. (In Russ.)
10. Zolotnitskiy N.F. *Akvarium lyubitelya* = Hobbyist's Aquarium. Moscow: TERRA, 1993:784. (In Russ.)
11. Berg L.S. *Ryby presnykh vod SSSR i sopredel'nykh stran. 4-e izd., ispr. i dop.* = Freshwater fish of the USSR and adjacent countries. The 4th edition, revised and supplemented. Moscow; Leningrad: Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1948;Pt.1:467. (In Russ.)
12. *Zapovednaya Mordoviya – V'yun – Misgurnus fossilis* = Mordovia Reserve – Loach – *Misgurnus fossilis*. (In Russ.). Available at: zapoved-mordovia.ru/ru/forum/52.html
13. Ivanchev V.P., Ivancheva E.Yu. *Krugloroty i ryby Ryazanskoy oblasti i prilezhashchikh territoriy: monografiya* = Cyclostomes and fishes of the Ryazan region and adjacent territories: monograph. Ryazan': NP «Golos gubernii», 2010:292. (In Russ.)
14. Burik V.N. Cobitidae (loaches) and Valitoridae (balitorids) of the Middle Amur in the reservoirs of the Jewish Autonomous Region and adjacent border territories of China. *Amurskiy zoologicheskii zhurnal* = Amur zoological journal. 2020;XII(3):1–13. (In Russ.)
15. Asanov A.Yu. Features of the growth rate of silver carp (*Hypophthalmictus*) in the reservoirs of the Volga Upland within the Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2023;(1):42–54. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-1-3
16. Koblitskaya A.F. *Opredelitel' molodi presnovodnykh ryb* = Freshwater fish juvenile identification guide. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1981:208. (In Russ.)
17. Pravdin I.F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* = Guide to the study of fish. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1966:226. (In Russ.)
18. Savostin V.S., Asanov A.Yu. Fatness of the white bream of the Sura (Penza) reservoir. *Problemy sokhraneniya zasovov promyslovykh ryb: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu Pochetnogo rabotnika ryb. khoz-va Rossii M.G. Voronova (g. Ulan-Ude, 10 noyabrya 2023 g.)* = Issues of preserving commercial fish stocks: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 70th Honorary worker of the fisheries of Russia M.G. Voronov (Ulan-Ude, November 10, 2023). Ulan-Ude: BGSKhA im. V.R. Filippova, 2023:82–86. (In Russ.)
19. Ostrovskaya E.V., Kasatkina A.P. Morphobiological characteristics and species status of the loach of the genus *Misgurnus* Padi big (middle reaches of the Amur River). *Izvestiya TINRO* = Proceedings TINRO. 2021;201(1):124–137. (In Russ.)

20. Romanenko G.A., Zelentsov N.V. Nikolsky's loach (*Misgurnus nikolskyi* Vasil'eva, 2001) is a new species in the ichthyofauna of the Altai region (Western Siberia, Russia). *Amurskiy zoologicheskii zhurnal* = Amur zoological journal. 2020;XII(1):1–6. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Алик Юсупович Асанов

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник,
Приволжский научный центр
аквакультуры и водных биоресурсов,
Пензенский государственный аграрный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая 30)
E-mail: kfvniro-as@list.ru

Alik Yu. Asanov

Candidate of biological sciences,
senior researcher,
Volga Research Center of aquaculture
and aquatic Bioresources,
Penza State Agricultural University
(30 Botanic street, Penza, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /

The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 08.12.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 25.12.2024

Принята к публикации / Accepted 12.01.2025

УДК 574.24 +57.045

doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-5

Изменение активности оксидоредуктаз грибов под воздействием субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов, обладающих фотокаталитическим эффектом

А. Ю. Шишкин¹, К. А. Шишкина², В. Ф. Смирнов³,
Н. А. Аникина⁴, Т. А. Веселова⁵

^{1,2,3,4,5}Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

¹uandshi@yandex.ru, ²Ksenia.loshdka@yandex.ru, ³biodeg@mail.ru,
⁴undinaf@gmail.com, ⁵veselova-ta@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Для научно обоснованного и эффективного использования новых биоцидных соединений в качестве средств защиты промышленных материалов от биоповреждений необходимы экофизиологические исследования по оценке их влияния на микроорганизмы-деструкторы. Целью исследования является оценка воздействия субмикронных частиц новых фотокаталитически активных оксидов тяжелых металлов, обладающих антимикробными свойствами, на активность эндо- и экзооксидоредуктаз грибов-активных деструкторов промышленных материалов в темноте и при освещении видимым светом. *Материалы и методы.* Грибы культивировали на питательных средах с индукторами ферментов и субмикронными частицами в темноте и при освещении. Активность ферментов определялась спектрофотометрически в культуральной жидкости и в мицелии грибов. *Результаты.* В ходе экспериментов установлена неоднозначность действия субмикронных частиц вновь синтезированных сложных оксидов тяжелых металлов $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ и $CsTeMoO_6$, обладающих фотокаталитическим эффектом, на активность экзо- и эндооксидоредуктаз грибов-деструкторов промышленных материалов *Penicillium cyclopium* F-245 и *Chaetomium globosum* F-109 в темноте и в условиях воздействия света видимого спектра. В подавляющем большинстве имело место увеличение активности исследуемых энзимов, как в условиях воздействия света, так и в условиях темноты. В ряде вариантов активность оксидоредуктаз увеличивалась в 8–10 раз. *Выводы.* Подобный эффект может быть связан как с физиолого-биохимическими особенностями исследуемых культур, так и с различными (темновыми и световыми) механизмами ингибирующего действия оксидов тяжелых металлов на метаболизм микромицет, например от способности оксидов металлов образовывать разные виды активных форм кислорода в условиях воздействия света.

Ключевые слова: фотокаталитически активные оксиды металлов, субмикронные частицы, грибы-деструкторы, оксидоредуктазы, биоповреждение, биодеградация

© Шишкин А. Ю., Шишкина К. А., Смирнов В. Ф., Аникина Н. А., Веселова Т. А., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (базовая часть госзадания, проект FSWR-2023-0024). Для проведения исследований использовано оборудование Центра коллективного пользования «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии» (ННГУ им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород).

Для цитирования: Шишкин А. Ю., Шишкина К. А., Смирнов В. Ф., Аникина Н. А., Веселова Т. А. Изменение активности оксидоредуктаз грибов под воздействием субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов, обладающих фотокаталитическим эффектом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 43–59. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-5

Changes in the activity of fungal oxidoreductases under the influence of submicron particles of heavy metal oxides with a photocatalytic effect

A.Yu. Shishkin¹, K.A. Shishkina², V.F. Smirnov³,
N.A. Anikina⁴, T.A. Veselova⁵

^{1,2,3,4,5}National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,
Nizhny Novgorod, Russia

¹uandshi@yandex.ru, ²Ksenia.loshdka@yandex.ru, ³biodeg@mail.ru,
⁴undinaf@gmail.com, ⁵veselova-ta@yandex.ru

Abstract. *Background.* For scientifically substantiated and effective application of new biocidal compounds as means of protecting industrial materials from biodamage, ecophysiological studies are necessary to assess their effect on destructor microorganisms. The purpose of this study was assessing the effect of antimicrobial submicron particles of new photocatalytically active heavy metal oxides on the activity of endo- and exooxidoreductases of fungi – active destructors of industrial materials under dark and visible light conditions. *Materials and methods.* Fungi were cultivated on nutrient media with enzyme inducers and submicron particles in the dark and under illumination. Enzyme activity was determined spectrophotometrically in the culture liquid and in the mycelium of fungi. *Results.* The ambiguous effect of submicron particles of newly synthesized complex heavy metal oxides $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ and $CsTeMoO_6$, possessing a photocatalytic effect, on the activity of exo- and endooxidoreductases of fungi destructing industrial materials *Penicillium cyclopium* F-245 and *Chaetomium globosum* F-109 under dark and visible light conditions was established. There was an increase in the activity of the studied enzymes, both under the influence of light and in the dark in the overwhelming majority. In some variants, the activity of oxidoreductases increased by 8–10 times. *Conclusions.* Observed effect can be associated with both the physiological and biochemical characteristics of the studied cultures, and with different (dark and light) mechanisms of the inhibitory effect of heavy metal oxides on the metabolism of micromycetes, for instance with ability metal oxide produce different types of reactive oxygen species under light.

Keywords: photocatalytically active metal oxides, submicron particles, fungi-destructor, oxidoreductases, biodeterioration, biodegradation

Financing: the research was financed by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (the basic part of the state assignment, project FSWR-2023-0024). The research was carried out using the equipment of the Center for Collective Use “New Materials and Resource-Saving Technologies” (Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod).

For citation: Shishkin A.Yu., Shishkina K.A., Smirnov V.F., Anikina N.A., Veselova T.A. Changes in the activity of fungal oxidoreductases under the influence of submicron particles of heavy metal oxides with a photocatalytic effect. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(4):43–59. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-5

Введение

Антропогенное влияние человека на окружающую среду весьма многообразно. В частности, создаваемые человеком новые промышленные материалы вносятся им в биосферу. Попадая в окружающую среду, материалы способны по-разному взаимодействовать с живыми организмами. Многие из них могут оставаться нейтральными и не оказывать какого-либо влияния на жизнедеятельность живых организмов, другие, напротив, способны оказывать токсическое действие и вызывать их гибель, а третьи – в различной степени вовлекаются в трофические цепи, т.е. используются живыми организмами в качестве источников питания (углерода и энергии) [1–5]. В последнем случае промышленные материалы в процессе своей функциональной эксплуатации подвергаются негативному воздействию микроорганизмов, главным образом, микроскопических грибов и бактерий, которые вызывают процессы биodeградации и биоповреждений промышленных материалов и изделий.

Успешное решение такой важной экологической проблемы, как биоповреждение промышленных материалов, позитивным образом повлияет на ресурсосбережение и, кроме этого, положительным образом скажется на качестве среды обитания человека, так как среди грибов, участвующих в процессах биоповреждения, встречаются штаммы, способные вызывать различные заболевания человека: техногенные микозы, микотоксикозы и микоаллергозы [6].

Основным способом защиты промышленных материалов от биоповреждений является введение в их состав различных биоцидных присадок (биоцидов). Арсенал биоцидных соединений постоянно обновляется в связи с высокой адаптационной способностью микроорганизмов к действию химических факторов, а также с поиском соединений, оказывающих пониженную экологическую нагрузку на окружающую среду.

В последнее время в качестве средств защиты находят применение соединения, обладающие фотокаталитической активностью, в частности оксиды тяжелых металлов. Установлено, что биоцидный эффект этих соединений усиливается на свету. Это позволяет добиваться антимикробного действия при снижении их концентрации в защищаемых промышленных материалах, что снижает экологическую нагрузку на окружающую среду и обосновывает целесообразность их использования. Большинство оксидов металлов проявляет фотокаталитическую активность в УФ-спектре. Поэтому весьма перспективным является поиск оксидов металлов, обладающих фотокаталитической активностью в видимом свете.

Свет, как и другие абиотические факторы, способен воздействовать на всех участников процессов биоповреждения: субстрат, промышленный материал, агент биоповреждения (живые организмы) и средство защиты [7]. Если воздействие света на промышленные материалы и живые организмы достаточно хорошо изучено, то действие света на средства защиты промышленных материалов исследовано недостаточно. Плановый и целенаправленный подбор средств защиты невозможен без изучения экофизиологических механизмов ингибирующего действия биоцидных соединений на метаболизм деструкторов. Зная, какие метаболиты микромицетов (экзоферменты, органические кислоты) участвуют в деструктивном процессе того или иного материала, можно научно обоснованно и наиболее эффективно рекомендовать использование в качестве средств защиты тот или иной биоцид, исходя из знания экофизиологических механизмов его ингибирующего действия на жизнедеятельность грибов.

Известно, что одними из метаболитов грибов, участвующих в биодegradации промышленных материалов и поддержании окислительно-восстановительного гомеостаза, являются оксидоредуктазы [2, 4]. В связи с этим представляет интерес исследовать воздействие субмикронных частиц вновь синтезированных сложных оксидов тяжелых металлов $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ и CsTeMoO_6 , обладающих фотокаталитическим эффектом, на активность эндо- и экзооксидоредуктаз грибов *Penicillium cyclopium* и *Chaetomium globosum* деструкторов промышленных материалов.

Материалы методы

В качестве тест-культур грибов использовали штаммы *Penicillium cyclopium* F-245 и *Chaetomium globosum* F-109 (ВКМ, ИБФМ РАН, г. Пущино, Россия), которые являются распространенными биодеструкторами различных промышленных материалов и активными продуцентами экзоферментов, а также не требуют специальных условий для выращивания.

В качестве субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов, обладающих фотокаталитической активностью, были использованы $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ и CsTeMoO_6 с размером 736 и 670 нм соответственно. Данные соединения впервые получены в НИИ химии ННГУ им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород. Методы синтеза, особенности фотокаталитических реакций и их антимикробные свойства описаны в работах [8–12]. Оксид вольфрама WO_3 со средним размером частиц 674 нм, также обладающий фотокаталитической активностью, был взят для сравнения.

Культивирование микроскопических грибов. Для культивирования грибов использовали неагаризованную питательную среду Чапека – Докса следующего состава: NaNO_3 (2,0 г/л), KH_2PO_4 (0,7 г/л), K_2HPO_4 (0,3 г/л), KCl (0,5 г/л), $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (0,5 г/л), $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (0,01 г/л), сахара (30,0 г/л). Грибы культивировали в 50 мл питательной среды в плоскодонных колбах объемом 100 мл. Для приготовления суспензии спор грибов (1×10^6) были взяты 7-суточные культуры. Подсчет количества спор осуществляли с помощью камеры Горяева. В каждую колбу с жидкой ППС вносили 1 мл суспензии спор. Колбы помещали на перемешивающие устройства АПУ-4М, обеспечивающие встряхивание со скоростью 110 об/мин. Культивировали грибы в течение четырех суток. Затем добавляли исследуемые оксиды тяжелых металлов в концентрации 2 мг/мл. Одну часть колб оставляли на свету, другую часть – накрывали плотной бумагой, создавая условия темноты. Возвращали на перемешивающие устройства еще на 7 дней. В экспериментах по определению активности экзофенолоксидазы в качестве индуктора в питательную среду вносили 10 г/л сосновых опилок.

Источник светового излучения. В качестве источника светового излучения использовали светодиодные прожекторы JAZZWAY PFL-C3 мощностью 50 Вт, которые располагались на расстоянии 15 см от поверхности образцов, для исключения влияния теплового эффекта. Поверхностная плотность потока излучения составляла 524 Вт/м².

Определение активности оксидоредуктаз. В экспериментах определялась общая активность соответствующих эндо- и экзооксидоредуктаз грибов. Для определения активности эндооксидоредуктаз 0,1 г мицелия гомогенизировали в фосфатном буфере (pH 7,4) с помощью гомогенизатора Stegler S10 (Китай). Затем образцы центрифугировали, охлаждая при 10000 g, и полученный

супернатант использовали для анализа. Активность экзоферментов определялась в культуральной жидкости (КЖ) исследованных грибов.

Оптическую плотность реакционной смеси определяли на спектрофотометре Shimadzu UV-mini 1240 (Япония) в режиме фотометрии [13].

Определение активности каталазы проводилось по стандартному методу (Li, Shellhorn, 2007). В качестве субстрата использовался 30 Ммоль раствор пероксида водорода. Измерения проводились при $\lambda = 240$ нм. В кювету спектрофотометра толщиной 1 см помещали: 1 мл буферного раствора pH = 7,8; 1 мл супернатанта; 1 мл 30 Мм H_2O_2 . Измерения проводили в течение одной минуты. В контрольной кювете H_2O_2 заменяли водой. Активность каталазы выражали в условных единицах (у.е.), равных количеству H_2O_2 в мМ в 1 мл реакционной смеси за 1 мин, в пересчете на 1 мг общего белка.

Определение активности фенолоксидазы проводили по стандартной методике (Flurkey et al., 2007). В качестве субстрата использовали пирокатехин. Измерения проводили при $\lambda = 535$ нм. В кювету спектрофотометра толщиной 1 см помещали: 1 мл фосфатного буфера ($\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH}$), pH 7.2; 1 мл 0.1 М раствора *n*-фенилендиамина; 1 мл 1 % раствора пирокатехина, 1 мл супернатанта. В контрольной кювете пирокатехин заменяли водой. Активность фермента выражали в условных единицах (у.е.), равных приращению оптической плотности в 1 мл реакционной смеси за 1 мин, в пересчете на 1 мг общего белка.

Определение активности пероксидазы проводилось по модифицированному методу (Nagaraja, 2009). В качестве субстрата использовали *n*-фенилендиамин (0,1 М). Измерения проводили при $\lambda = 535$ нм. В кювету спектрофотометра толщиной 1 см помещалось: 1,5 мл буферного раствора pH = 7,2; 0,5 мл культуральной жидкости; 0,5 мл 0,1 М раствора *n*-фенилендиамина; 0,5 мл 0,03 % H_2O_2 . В контрольной кювете H_2O_2 заменяли водой. За единицу активности принималось приращение оптической плотности в 1 мл реакционной смеси за 1 мин, в пересчете на 1 мг общего белка.

Определение общего количества белка проводилось методом Лоури (Досон и др., 1991). Оптическую плотность определяли на спектрофотометре в режиме фотометрии, при $\lambda = 750$ нм.

Полученные экспериментальные данные были статистически обработаны с помощью программного обеспечения «Microsoft Excel 365» и Origin Pro 2015. Достоверность результатов оценивали с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни (U) с поправкой Холма. В таблицах и на рисунках приведены средние значения всех опытов со стандартными ошибками в виде среднеквадратичного отклонения.

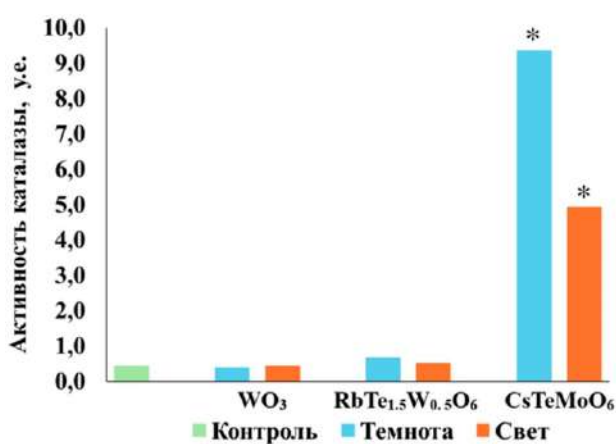
Результаты были получены в трех независимых экспериментах. Каждый вариант в эксперименте представлен в пяти повторностях.

Результаты

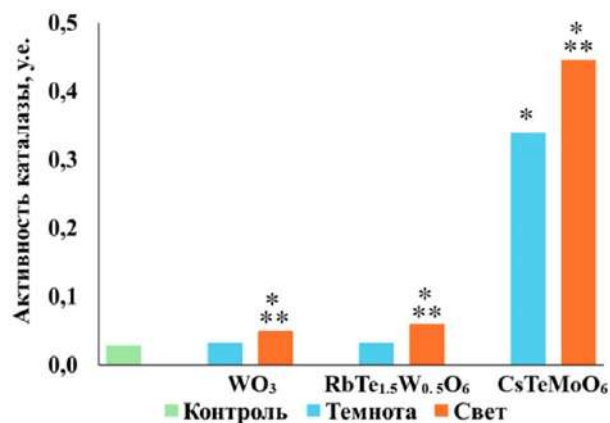
Ранее установлены антимикробные свойства субмикронных частиц WO_3 , $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ и CsTeMoO_6 по отношению к грам «+» и грам «-» бактериям, спорам и вегетативному мицелию грибов. Было установлено, что свет усиливал биоцидный эффект исследуемых частиц [10–12]. Также было показано, что введение $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ и CsTeMoO_6 в состав некоторых полимерных материалов придает последним антимикробные свойства. Однако механизмы

воздействия данных соединений на метаболизм грибов-деструкторов промышленных материалов до конца не изучены, что сдерживает научно обоснованное, целенаправленное и эффективное применение данных соединений в качестве биоцидных присадок к промышленным материалам. На рис. 1–3 показаны результаты исследования влияния оксидов тяжелых металлов на активность экзooksидоредуктаз.

Анализ результатов экспериментов по оценке влияния субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов на активность экзокаталазы грибов *C. globosum* и *P. cyclospium* показал, что исследуемые соединения не оказывали ингибирующего эффекта на активность данного фермента (рис. 1). Субмикронные частицы CsTeMoO_6 вызывали существенное увеличение активности каталазы у исследуемых грибов, как в условиях темноты, так и при воздействии света. Для гриба *P. cyclospium* было показано, что активность каталазы в культуральной жидкости (КЖ) незначительно повышалась в присутствии субмикронных частиц WO_3 и $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ в условиях воздействия света.



а)



б)

Рис. 1. Воздействие света на активность экзокаталазы *C. globosum* (а) и *P. cyclospium* (б) в присутствии исследуемых оксидов: * – значимые различия варианта «контроль» от варианта «в темноте»; ** – значимые различия варианта «в темноте» от варианта «в условиях воздействия света»

Результаты исследования влияния субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов на активность экзопероксидаз грибов *C. globosum* и *P. cyclopium* представлены на рис. 2.

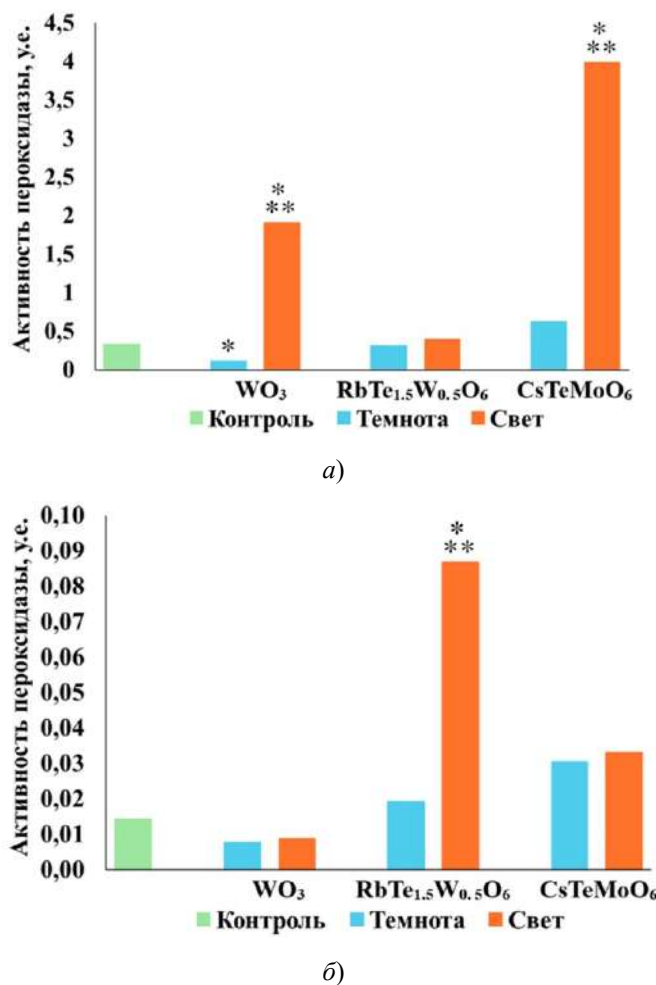
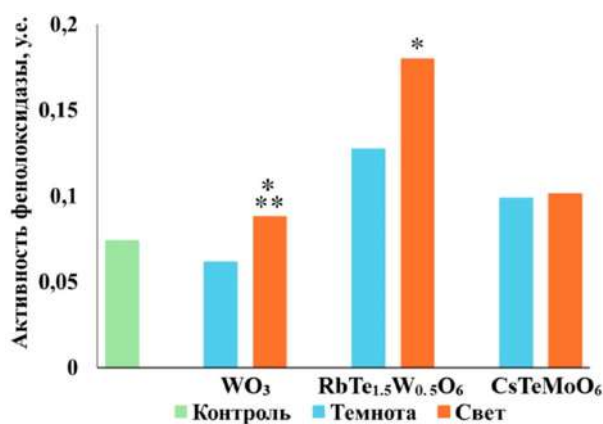


Рис. 2. Воздействие света на активность экзопероксидазы *C. globosum* (a) и *P. cyclopium* (б) в присутствии исследуемых оксидов:

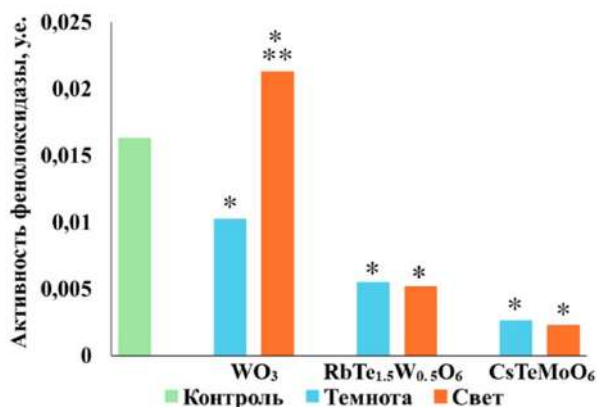
* – значимые различия варианта «контроль» от варианта «в темноте»; ** – значимые различия варианта «в темноте» от варианта «в условиях воздействия света»

Было показано, что активность экзопероксидазы повышалась только под воздействием света в присутствии WO₃ и CsTeMoO₆ у гриба *C. globosum*, а также в присутствии RbTe_{1.5}W_{0.5}O₆ у гриба *P. cyclopium*. Увеличение активности фермента происходило только на свету, что может быть обусловлено влиянием образующихся при фотокатализе АФК. Стоит отметить, что в присутствии WO₃ в условиях темноты наблюдалось снижение активности экзопероксидазы *C. globosum*.

Результаты исследования влияния WO₃, RbTe_{1.5}W_{0.5}O₆ и CsTeMoO₆ на фенолоксидазную активность используемых в работе грибов представлены на рис. 3.



a)



б)

Рис. 3. Воздействие света на активность экзофенолоксидазы *C. globosum* (a) и *P. cyclospium* (б) в присутствии исследуемых оксидов: * – значимые различия варианта «контроль» от варианта «в темноте»; ** – значимые различия варианта «в темноте» от варианта «в условиях воздействия света»

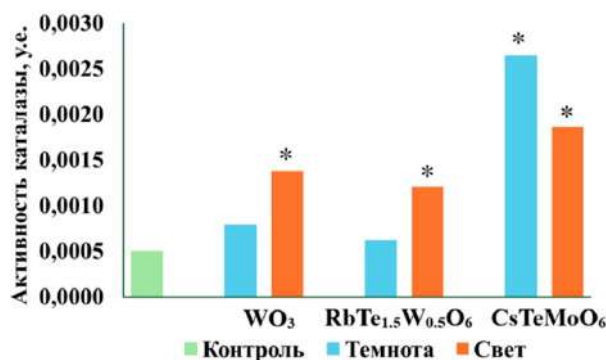
Было показано, что активность экзофенолоксидазы гриба *C. Globosum* увеличивалась по сравнению с контролем только в присутствии $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ в условиях воздействия света. Снижение активности данного фермента наблюдалось при наличии в среде WO_3 в условиях темноты (рис. 3).

В случае *P. cyclospium* субмикронные частицы оксидов тяжелых металлов вызвали снижение активности внеклеточной фенолоксидазы гриба, как в условиях темноты, так и при воздействии светового излучения, за исключением варианта с WO_3 в условиях освещения. В последнем случае активность фенолоксидазы не отличалась от контроля, однако была выше по сравнению с вариантом «в темноте». В вариантах с $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ и $CsTeMoO_6$ световое излучение не оказывало ни стимулирующего, ни ингибирующего эффекта на активность экзофенолоксидазы по сравнению с темновыми условиями.

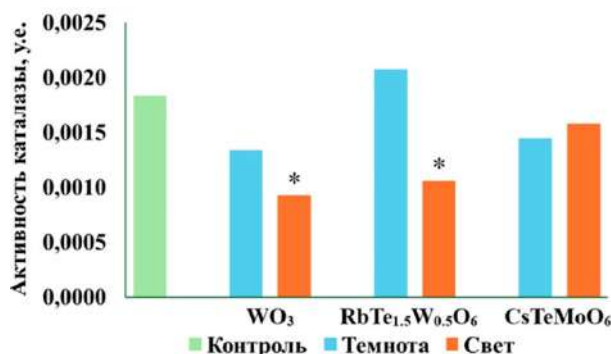
Результаты эксперимента по действию изучаемых соединений на активность эндооксидоредуктаз представлены на рис. 4–6. Субмикронные частицы оксидов тяжелых металлов способны разрушать мембраны и вызывать окислительный стресс, в том числе и за счет образования АФК в условиях

воздействия светового излучения. В результате проникновения наноразмерных фракций частиц и ионов тяжелых металлов, нарушения целостности клеточных стенок и мембран и, как следствие, гомеостаза клеток грибов субмикронные частицы оксидов способны влиять на активность и внутриклеточных ферментов.

В связи с этим на данном этапе было исследовано действие субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов WO_3 , $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ и CsTeMoO_6 на активность внутриклеточной каталазы грибов *P. cyclopium* и *C. globosum*. Результаты исследования представлены на рис. 4.



a)



б)

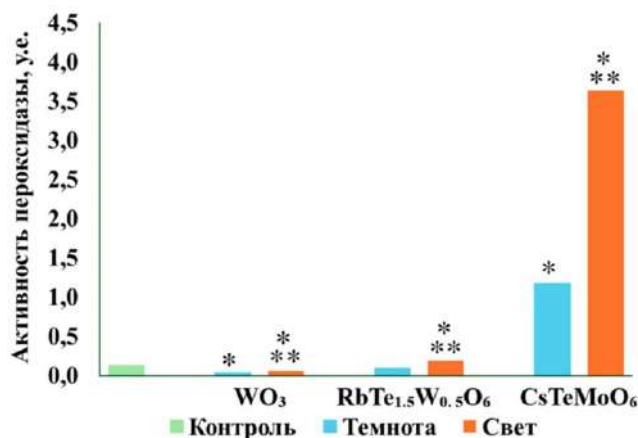
Рис. 4. Воздействие света на активность эндокаталазы *C. globosum* (a) и *P. cyclopium* (б) в присутствии исследуемых оксидов: * – значимые различия варианта «контроль» от варианта «в темноте»; ** – значимые различия варианта «в темноте» от варианта «в условиях воздействия света»

В случае с *C. globosum* субмикронные частицы исследуемых оксидов металлов вызвали увеличение активности внутриклеточной каталазы в вариантах с WO_3 и $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ только в условиях воздействия светового излучения и в вариантах с CsTeMoO_6 как в темноте, так и при освещении (рис. 4).

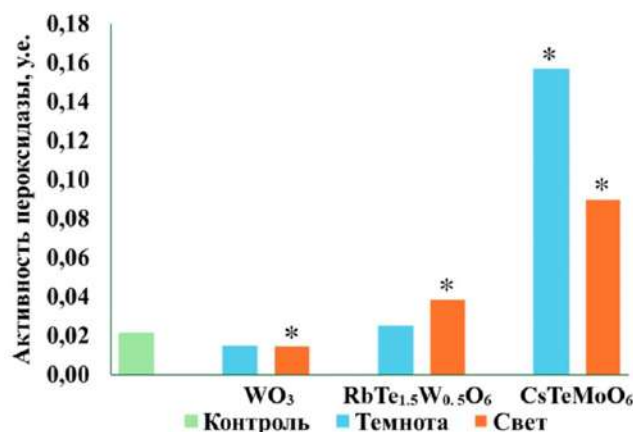
Иная картина наблюдалась в случае *P. cyclopium*. Как показали результаты исследования, субмикронные частицы исследуемых оксидов тяжелых металлов не оказывали значительного влияния на изменение активности эндокаталазы *P. cyclopium*, за исключением вариантов с WO_3 и $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ в условиях воздействия светового излучения. Здесь наблюдалось незначительное

снижение активности каталазы. Это может быть обусловлено ингибированием фермента катионами тяжелых металлов, выходящих из субмикронных частиц, или за счет механизма их фотокатализа, при котором образуются $\bullet\text{OH}$ радикалы, которые способны повреждать белки, взаимодействуя с аминокислотами и т.п.

Сложный оксид CsTeMoO_6 значительно увеличивал активность эндопероксидазы исследуемых грибов как в условиях темноты, так и при воздействии светового излучения (рис. 5).



a)

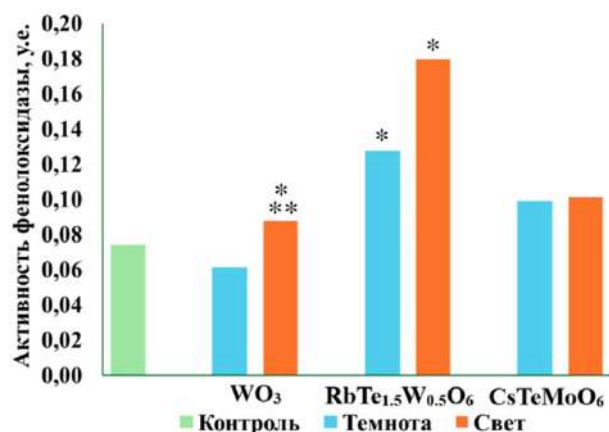


б)

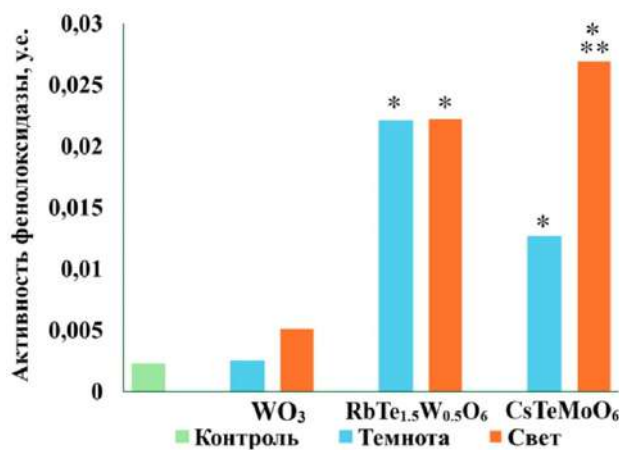
Рис. 5. Воздействие света на активность эндопероксидазы *C. globosum* (a) и *P. cyclopium* (б) в присутствии исследуемых оксидов: * — значимые различия варианта «контроль» от варианта «в темноте»; ** — значимые различия варианта «в темноте» от варианта «в условиях воздействия света»

Увеличение активности внутриклеточной пероксидазы может быть связано со способностью CsTeMoO_6 образовывать пероксид водорода.

Оценивалось влияние субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов на активность фенолоксидаз грибов *P. cyclopium* и *C. globosum*. Результаты исследования представлены на рис. 6.



а)



б)

Рис. 6. Воздействие света на активность эндофенолоксидазы *C. globosum* (а) и *P. cyclopium* (б) в присутствии исследуемых оксидов: * – значимые различия варианта «контроль» от варианта «в темноте»; ** – значимые различия варианта «в темноте» от варианта «в условиях воздействия света»

Активность эндофенолоксидазы гриба *C. globosum* под воздействием исследуемых субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов увеличивалась только в случае с RbTe_{1.5}W_{0.5}O₆, в темноте и на свету. Также отмечено увеличение активности энзима при введении в среду культивирования WO₃ в условиях воздействия света.

Активность эндофенолоксидазы *P. cyclopium* увеличивалась в присутствии субмикронных частиц RbTe_{1.5}W_{0.5}O₆ и CsTeMoO₆. Свет усиливал активность фенолоксидазы только в случае с CsTeMoO₆.

Обсуждение

Известно, что экзо- и эндооксидоредуктазы грибов выполняют разные функции. Экзооксидоредуктазы (каталазы, пероксидазы, фенолоксидазы), метаболизируя различные экзогенные субстраты антропогенного происхождения: фенопласты, полиэтилен, полиметилден, капрон, поликарбонаты, акрилаты, стеклотекстолит, фторопласты, полиакриламид и другие – принимают активное

участие в их разрушении. Эндооксидоредуктазы участвуют в поддержании окислительно-восстановительного гомеостаза в клетке грибов, в дыхании, энергетическом обмене, трансформации пероксидов и чужеродных организму веществ (ксенобиотиков).

Результаты экспериментов показали, что в подавляющем большинстве вариантов не наблюдалось ингибирования эндооксидоредуктаз при введении в состав среды субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов. Снижение активности наблюдалось в случае эндопероксидазы в присутствии WO_3 в среде культивирования под воздействием света у обоих грибов и в условиях темноты у *C. globosum*, а также в случае эндокаталазы *P. cyclopium* на свету в присутствии WO_3 и $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$. Напротив, авторами было обнаружено увеличение активности исследуемых энзимов при действии сложных оксидов тяжелых металлов как в условиях света, так и темноты. Известно, что действие ряда химических соединений может вызывать стрессовое состояние у грибов, что приводит к нарушению окислительно-восстановительного гомеостаза в результате окислительного стресса. Ответом на подобное воздействие может быть увеличение активности эндооксидоредуктаз [15, 16]. Увеличение активности ферментов под действием света по сравнению с темновыми условиями наблюдалось в случае эндопероксидазы у гриба *C. globosum* при введении в среду культивирования WO_3 , $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ и $CsTeMoO_6$, в случае эндофенолоксидазы у гриба *C. globosum* при введении в среду культивирования WO_3 и в случае у гриба *P. cyclopium* при введении в среду культивирования $CsTeMoO_6$.

Повышение активности экзокаталазы может быть связано с накоплением пероксида водорода в среде культивирования, который образуется как в клетке и выходит в окружающую среду, так и в среде культивирования при действии света на исследуемые соединения в следствии их фотокаталитической активности. Такая же причина может быть и для экзопероксидаз, так как для грибов характерны каталазы-пероксидазы, которые обладают одновременно двумя ферментативными активностями [2, 17].

Эффект усиления фенолоксидазной активности исследуемых грибов как на свету, так и в темноте может быть связан с тем, что данный фермент участвует в синтезе пигментов меланина, которые локализуются в клеточных стенках гриба и защищают его от воздействия субмикронных частиц оксидов металлов и ионов металлов, входящих в их состав [18].

В настоящее время из литературных данных известно о следующих механизмах в условиях темноты и светового воздействия оксидов тяжелых металлов. В настоящее время темновой механизм ингибирующего действия нано- и субмикронных частиц оксидов металлов на метаболизм микроорганизмов связывают с тем, что эти вещества разрушают мембраны, легко проникают в микробную клетку и связываются с SH-группами в активных центрах ряда ферментов, вызывая инактивацию последних. В результате чего нарушается проницаемость мембран и дыхание живых организмов [19]. Ингибирующие механизмы данных частиц под воздействием света обусловлены синтезом АФК, которые могут негативно влиять на клеточную мембрану, обеспечивающую транспорт как самого пероксида водорода, так и экзоферментов, необходимых для его продукции снаружи клетки, а также нарушение поступления и выведения различных органических и неорганических веществ. АФК могут негативно влиять на экзо- и эндоферменты, взаимодействуя с их активными центрами и изменяя пространственную структуру ферментов, а также на генетический аппарат клетки, нарушая процессы экспрессии различных белков и РНК [20].

Отмечено, что одно и то же химическое соединение может по-разному влиять на исследуемые экзо- и эндоэнзимы у различных грибов. Например, как WO_3 , так и $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$ под действием света у *C. globosum* снижали активность экзокаталазы, но увеличивали ее у *P. cyclopium*. Такой эффект связан с физиолого-биохимическими особенностями отдельных культур грибов, а именно, с различными механизмами устойчивости к действию исследуемых соединений.

С другой стороны, в экспериментах имело место, когда один и тот же гриб по-разному изменял активность исследуемых оксидоредуктаз под действием разных биоцидов, что позволяет говорить и о возможных различных механизмах ингибирующего действия исследуемых химических соединений на активность исследуемых энзимов. Например, активность эндопероксидазы исследуемых грибов на свету снижалась под влиянием WO_3 , но увеличивалась под влиянием $RbTe_{1.5}W_{0.5}O_6$.

Заключение

Результаты экспериментов показали разную результативность действия исследуемых субмикронных частиц новых сложных оксидов металлов на активность эндо- и экзооксидоредуктаз как в условиях воздействия света, так и в темноте.

В подавляющем большинстве имеет место повышение активности исследуемых эндо- и экзоэнзимов как в условиях воздействия света, так и в условиях темноты. Причем в ряде случаев повышение активности ферментов было более значительным (в 8–10 раз) по сравнению с контролем. Это позволяет предположить, что антимикробная активность этих соединений не связана с подавлением ими активности оксидоредуктаз исследуемых грибов, а связана с ингибированием других экофизиологических звеньев метаболизма микроорганизмов.

Установлено, что свет как абиотический фактор также оказывал неоднозначное действие на активность оксидоредуктаз.

Как известно, изменение активности экзоферментов под воздействием различных химических соединений может быть связано как с влиянием этих соединений на сам фермент (его активный центр или пространственную структуру), так и на его синтез *denovo*. Тогда как в случае эндоэнзимов к вышеперечисленным причинам добавляется нарушение проницаемости цитоплазматических мембран и клеточной стенки грибов, что влияет на выход этих ферментов из клетки в среду. Выяснение конкретных механизмов воздействия субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов на клетки грибов требует отдельных исследований.

Таким образом, исследованные авторами экофизиологические характеристики грибов расширили теоретические представления авторов о механизмах действия исследуемых соединений на активность экзо- и эндооксидоредуктаз и показали пути дальнейшего их исследования в плане выявления механизмов ингибирующего действия.

Список литературы

1. Ильичев В. Д., Бочаров Б. В. Биоповреждения. М. : Наука, 1987. 352 с.
2. Касатова Е. С., Стручкова И. В., Аникина Н. А., Смирнов В. Ф. Действие слабого низкочастотного электромагнитного поля на активность экстрацеллюлярных оксидоредуктаз *Trichoderma viridis* // Микология и фитопатология. 2017. Т. 51, № 2. С. 99–103. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29069949>

3. Anikina N. A., Smirnov V. F., Smirnova O. N., Zakharova E. A. Protection of construction materials based on acrylates from biodeterioration // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 5. P. 116–124. doi: 10.18720/MCE.81.12
4. Мочалова А. Е., Смирнов В. Ф., Антонец В. А. [и др.]. Редукционные технологии при утилизации отходов полимерных материалов. Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та им. Н. И. Лобачевского, 2016. 123 с.
5. Pereira E., Napp A. P., Allebrandt S. [et al.]. Biodegradation of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater by autochthonous microorganisms // International Biodeterioration & Biodegradation. 2019. Vol. 145. P. 104789. doi: 10.1016/j.ibiod.2019.104789
6. Koul B., Upadhyay H. Fungi-Mediated Biodeterioration of Household Materials, Libraries, Cultural Heritage and Its Control // Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives / ed. by P. Gehlot, J. Singh. Singapore : Springer, 2018. doi: 10.1007/978-981-13-0393-7_32
7. Смирнов В. Ф., Глаголева А. А., Мочалова А. Е. [и др.]. Влияние факторов биологической и физической природы на биодеградацию и физико-химические свойства композиций на основе поливинилхлорида и природных полимеров // Пластические массы. 2017. № 7-8. С. 47–50. doi: 10.35164/0554-2901-2017-7-8-47-50
8. Suleimanov E. V., Fukina D. G., Fukin G. K. [et al.]. Crystal structure features of the mixed-valence tellurium beta-pyrochlores: $\text{CsTe}_{(1.625)}\text{W}_{(0.375)}\text{O}_6$ and $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$ // Journal of Solid State Chemistry. 2020. Vol. 286, № 2. P. 337–345. doi: 10.1016/j.jssc.2020.121267
9. Fukina D. G., Shotina V. A., Boryakov A. V. [et al.]. Crystal Structure and Photocatalytic Properties of the $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ Mixed-Valence β -Pyrochlore Compound // ChemPhotoChem. 2023. P. E202300072. doi: 10.1002/cptc.202300072
10. Smirnov V. F., Smirnova O. N., Shishkin A. Yu. [et al.]. Effect of Light on the Antifungal Activity of Submicron Particles Based on Tungsten Oxide // Nanotechnologies in Russia. 2022. Vol. 17, № 3. P. 444–456. doi: 10.1134/S263516762203017X
11. Semenycheva L. L., Smirnov V. F., Smirnova O. N. [et al.]. Antimicrobial Effect of Submicron Complex Oxide Particles CsTeMoO_6 under Visible Light // Applied Sciences (Switzerland). 2024. Vol. 2, № 14. P. 889. doi: 10.3390/app14020889
12. Smirnov V. F., Shishkin A. Yu., Smirnova O. N. [et al.]. Study of the Antimicrobial Activity of Submicron Particles of Metal Oxides Based on Tungsten Under Light and Dark Exposure Conditions // Nanobiotechnology Reports. 2022. Vol. 17, № 2. P. 235–243. doi: 10.1134/S2635167622020161
13. Залепкина С. А., Смирнов В. Ф., Смирнова О. Н. [и др.]. Фунгицидный эффект 2-селанил-1-пиридин-оксида и его производных и их действие на рост и активность оксидоредуктаз *Aspergillus oryzae* // Mikologiya i Fitopatologiya. 2018. Т. 52, № 4. С. 267–276. doi: 10.1134/S0026364818040050
14. Карпов В. А., Смирнов В. Ф., Смирнова О. Н. [и др.]. Действие биоцидов на активность ряда экстрацеллюлярных ферментов грибов-деструкторов технических изделий, эксплуатируемых в условиях тропического климата (Вьетнам) // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56, № 3. С. 185–193. doi: 10.31857/S0026364822030047
15. Makarov I. O., Klyuev D. A., Smirnov V. F. [et al.]. Effect of Low-Frequency Pulsed Magnetic Field and Low-Level Laser Radiation on Oxidoreductase Activity and Growth of Fungi-Active Destructors of Polymer Materials // Microbiology (Russian Federation). 2019. Vol. 88, № 1. P. 72–78. doi: 10.1134/S0026261719010053
16. Аникина Н. А., Барышков Р. В., Шишкин А. Ю. [и др.]. Влияние субмикронных частиц оксидов металлов на продукцию пероксида водорода и активность окислительных ферментов *Aspergillus niger* и *Penicillium chrysogenum* // Микология и фитопатология. 2024. Т. 58, № 2. С. 134–142. doi: 10.31857/S0026364824020055
17. Zámocký M., Furtmüller P. G., Obinger C. Two distinct groups of fungal catalase/peroxidases // BiochemSoc Trans. 2009. Vol. 4, № 37. P. 772–777. doi: 10.1042/BST0370772

18. Eisenman H. C., Casadevall A. Synthesis and assembly of fungal melanin // *Applied Microbiology Biotechnology*. 2012. Vol. 93. P. 931–940. doi: 10.1007/s00253-011-3777-2
19. Zakharova O. V., Gusev A. A. Photocatalytically Active Zinc Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticles in Clonal Micropropagation of Plants: Prospects // *Nanotechnology in Russia*. 2019. № 14. P. 311–324. doi:10.1134/S1995078019040141
20. Sirelkhatim A., Mahmud S., Seeni A. [et al.]. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism // *Nano-Micro Lett*. 2015. № 7. P. 219–242. doi:10.1007/s40820-015-0040-x

References

1. Il'ichev V.D., Bocharov B.V. *Biopovrezhdeniya* = Biodamage. Moscow: Nauka, 1987:352. (In Russ.)
2. Kasatova E.S., Struchkova I.V., Anikina N.A., Smirnov V.F. Effect of weak low-frequency electromagnetic field on the activity of extracellular oxidoreductases *Trichoderma viride*. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and phytopathology. 2017;51(2):99–103. (In Russ.). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29069949>
3. Anikina N.A., Smirnov V.F., Smirnova O.N., Zakharova E.A. Protection of construction materials based on acrylates from biodeterioration. *Magazine of Civil Engineering*. 2018;(5):116–124. doi: 10.18720/MCE.81.12
4. Mochalova A.E., Smirnov V.F., Antonets V.A. et al. *Reduktsionnye tekhnologii pri utilizatsii otkhodov polimernykh materialov* = Reduction technologies in the recycling of polymer waste materials. Nizhniy Novgorod: Izd-vo Nizhegorod. gos. un-ta im. N.I. Lobachevskogo, 2016:123. (In Russ.)
5. Pereira E., Napp A.P., Allebrandt S. et al. Biodegradation of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater by autochthonous microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2019;145:104789. doi: 10.1016/j.ibiod.2019.104789
6. Koul B., Upadhyay H. Fungi-Mediated Biodeterioration of Household Materials, Libraries, Cultural Heritage and Its Control. *Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives*. Ed. by P. Gehlot, J. Singh. Singapore: Springer, 2018. doi: 10.1007/978-981-13-0393-7_32
7. Smirnov V.F., Glagoleva A.A., Mochalova A.E. et al. Influence of biological and physical factors on biodegradation and physical-chemical properties of composites based on polyvinyl chloride and natural polymers. *Plasticheskie massy* = Plastics. 2017;(7-8):47–50. (In Russ.). doi: 10.35164/0554-2901-2017-7-8-47-50
8. Suleimanov E.V., Fukina D.G., Fukin G.K. et al. Crystal structure features of the mixed-valence tellurium beta-pyrochlores: $\text{CsTe}_{(1.625)}\text{W}_{(0.375)}\text{O}_{(6)}$ and $\text{RbTe}_{1.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_6$. *Journal of Solid State Chemistry*. 2020;286(2):337–345. doi: 10.1016/j.jssc.2020.121267
9. Fukina D.G., Shotina V.A., Boryakov A.V. et al. Crystal Structure and Photocatalytic Properties of the $\text{CsV}_{0.625}\text{Te}_{1.375}\text{O}_6$ Mixed-Valence β -Pyrochlore Compound. *ChemPhotoChem*. 2023:E202300072. doi: 10.1002/cptc.202300072
10. Smirnov V.F., Smirnova O.N., Shishkin A.Yu. et al. Effect of Light on the Antifungal Activity of Submicron Particles Based on Tungsten Oxide. *Nanotechnologies in Russia*. 2022;17(3):444–456. doi: 10.1134/S263516762203017X
11. Semenicheva L.L., Smirnov V.F., Smirnova O.N. et al. Antimicrobial Effect of Submicron Complex Oxide Particles CsTeMoO_6 under Visible Light. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024;2(14):889. doi: 10.3390/app14020889
12. Smirnov V.F., Shishkin A.Yu., Smirnova O.N. et al. Study of the Antimicrobial Activity of Submicron Particles of Metal Oxides Based on Tungsten Under Light and Dark Exposure Conditions. *Nanobiotechnology Reports*. 2022;17(2):235–243. doi: 10.1134/S2635167622020161

13. Zalepkina S.A., Smirnov V.F., Smirnova O.N. et al. Fungicidal effect of 2-selanyl-1-pyridine oxide and its derivatives and their effect on the growth and activity of *Aspergillus* oxidoreductases in crops. *Mikologiya i Fitopatologiya* = Mycology and phytopathology. 2018;52(4):267–276. (In Russ.). doi: 10.1134/S0026364818040050
14. Karpov V.A., Smirnov V.F., Smirnova O.N. et al. The activity of biocides on the activity of extracellular fermentation fungi-destroyers of technical products used in tropical climate conditions (Vietnam). *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and phytopathology. 2022;56(3):185–193. (In Russ.). doi: 10.31857/S0026364822030047
15. Makarov I.O., Klyuev D.A., Smirnov V.F. et al. Effect of Low-Frequency Pulsed Magnetic Field and Low-Level Laser Radiation on Oxidoreductase Activity and Growth of Fungi–Active Destroyers of Polymer Materials. *Microbiology (Russian Federation)*. 2019;88(1):72–78. doi: 10.1134/S0026261719010053
16. Anikina N.A., Baryshkov R.V., Shishkin A.Yu. et al. Effect of submicron particles of metal oxides on the production of hydrogen peroxide and the activity of oxidizing enzymes of *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum*. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and phytopathology. 2024;58(2):134–142. (In Russ.). doi: 10.31857/S0026364824020055
17. Zámocký M., Furtmüller P.G., Obinger C. Two distinct groups of fungal catalase/peroxidases. *BiochemSoc Trans.* 2009;4(37): 772–777. doi: 10.1042/BST0370772
18. Eisenman H.C., Casadevall A. Synthesis and assembly of fungal melanin. *Applied Microbiology Biotechnology*. 2012;93:931–940. doi: 10.1007/s00253-011-3777-2
19. Zakharova O.V., Gusev A.A. Photocatalytically Active Zinc Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticles in Clonal Micropropagation of Plants: Prospects. *Nanotechnology in Russia*. 2019;(14):311–324. doi: 10.1134/S1995078019040141
20. Sirelkhatim A., Mahmud S., Seeni A. et al. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. *Nano-Micro Lett.* 2015;(7):219–242. doi: 10.1007/s40820-015-0040-x

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Юрьевич Шишкин

ассистент кафедры биохимии
и биотехнологии
Института биологии и биомедицины;
младший научный сотрудник
лаборатории микробиологического
анализа отдела химико-биологических
исследований научно-
исследовательского института химии,
Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского
(Россия, г. Нижний Новгород,
пр-т Гагарина, 23)
E-mail: uandshi@yandex.ru

Andrey Yu. Shishkin

Assistant of the sub-department
of biochemistry and biotechnology
of the Institute of Biology
and Biomedicine;
junior researcher of the laboratory
of microbiological analysis
of the department of chemical
and biological research
of the Research Institute of Chemistry,
National Research Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(23 Gagarina avenue, Nizhny Novgorod,
Russia)

Ксения Александровна Шишкина

лаборант лаборатории
микробиологического анализа
отдела химико-биологических
исследований научно-
исследовательского института химии,
Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского
(Россия, г. Нижний Новгород,
пр-т Гагарина, 23)
E-mail: Ksenia.loshdka@yandex.ru

Ksenia A. Shishkina

Laboratory assistant of the laboratory
of microbiological analysis
of the department of chemical
and biological research
of the Research Institute of Chemistry,
National Research Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(23 Gagarina avenue, Nizhny Novgorod,
Russia)

Василий Филиппович Смирнов

доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры биохимии
и биотехнологии Института биологии
и биомедицины;
заведующий лабораторией
микробиологического анализа
отдела химико-биологических
исследований научно-
исследовательского института химии,
Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского
(Россия, г. Нижний Новгород,
пр-т Гагарина, 23)
E-mail: biodeg@mail.ru

Vasiliy F. Smirnov

Doctor of biological sciences, professor,
professor of the sub-department
of biochemistry and biotechnology
of the Institute of Biology
and Biomedicine;
chief of the laboratory of microbiological
analysis of the department of chemical
and biological research
of the Research Institute of Chemistry,
National Research Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(23 Gagarina avenue, Nizhny Novgorod,
Russia)

Надежда Андреевна Аникина

кандидат биологических наук,
доцент кафедры биохимии
и биотехнологии
Института биологии
и биомедицины;
старший научный сотрудник
лаборатории микробиологического
анализа отдела химико-биологических
исследований научно-
исследовательского института химии,
Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского
(Россия, г. Нижний Новгород,
пр-т Гагарина, 23)
E-mail: undinaf@gmail.com

Nadezhda A. Anikina

Candidate of biological sciences,
associate professor of the sub-department
of biochemistry and biotechnology
of the Institute of Biology
and Biomedicine;
senior researcher of the laboratory
of microbiological analysis
of the department of chemical
and biological research
of the Research Institute of Chemistry,
National Research Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(23 Gagarina avenue, Nizhny Novgorod,
Russia)

Татьяна Анатольевна Веселова

кандидат биологических наук,
доцент кафедры биохимии
и биотехнологии Института
биологии и биомедицины,
Национальный исследовательский
Нижегородский государственный
университет имени Н. И. Лобачевского
(Россия, г. Нижний Новгород,
пр-т Гагарина, 23)
E-mail: veselova-ta@yandex.ru

Tatyana A. Veselova

Candidate of biological sciences,
associate professor of the sub-department
of biochemistry and biotechnology
of the Institute of Biology and Biomedicine,
National Research Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(23 Gagarina avenue, Nizhny Novgorod,
Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 21.11.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 10.12.2024

Принята к публикации / Accepted 23.12.2024

УДК 599.32 (470.42)

doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-6

Результаты исследования населения степного сурка на территории национального парка «Сенгилеевские горы»

П. О. Павлов

Ульяновский государственный педагогический
университет имени И. Н. Ульянова, Ульяновск, Россия
Ульяновский областной краеведческий музей
имени И. А. Гончарова, Ульяновск, Россия
Национальный парк «Сенгилеевские горы», Ульяновск, Россия
pavelmml@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Мониторинг ключевых видов на территории национального парка является неотъемлемой частью его функционирования. Одним из таких видов для «Сенгилеевских гор» является степной сурок. Цель данного исследования – выявить современное состояние поселений степного сурка в условиях природоохранного статуса территорий. *Материалы и методы.* Материал собран за период с 2023 по 2024 г. Учет сурка проводили в весенне-летний период, в утренние часы, когда зверек наиболее активен, сбор материала проводился в ходе пешего маршрута. Оценка численности сурков в поселениях проводили не прямым учетным методом численности на пробных площадках с последующей экстраполяцией, а вычисляли с использованием следующих показателей: число семейных участков при полном их учете в поселении и среднее число зверьков в семейной группировке. Среднее число зверьков в семье было вычислено по данным учета сурков в Ульяновской области. Для 16 275 семейных группировок этот показатель составил 3,79 особей на 1 семью. *Результаты.* По результатам проделанных работ можем наблюдать увеличение численности зверьков во всех обследованных поселениях. *Выводы.* Природоохранный статус национального парка «Сенгилеевские горы» благоприятно влияет на численность степного сурка и состояние его популяций в целом.

Ключевые слова: мониторинг, степной сурок, байбак, национальный парк, Сенгилеевские горы, Ульяновская область

Благодарности: автор выражает благодарность С. В. Титову за консультацию в проведение учетных работ и М. В. Корепову за содействие и помощь в сборе материала.

Для цитирования: Павлов П. О. Результаты исследования населения степного сурка на территории национального парка «Сенгилеевские горы» // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 60–65. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-6

Study results of the steppe marmot's population in the National Park “Sengileevskie Gory”

P.O. Pavlov

Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov, Ulyanovsk, Russia
Ulyanovsk Regional Museum of Local Lore
named after I.A. Goncharov, Ulyanovsk, Russia
National Park “Sengileevskie Gory”, Ulyanovsk, Russia
pavelmml@mail.ru

Abstract. *Background.* Monitoring of key species in the national park is an integral part of its functioning. One of these species for the “Sengileevskie Gory” is the steppe marmot. The purpose of this study is to identify the current state of steppe marmot settlements in terms of the environmental status of the territories. *Materials and methods.* The material was collected for the period from 2023–2024, groundhog accounting was carried out in the spring and summer, in the morning hours, when the animal is most active, the collection of material was carried out during a walking route. The estimation of the number of marmots in settlements was not carried out using the direct accounting method of numbers at trial sites with subsequent extrapolation, but was calculated using the following indicators: the number of family plots with full accounting in the settlement and the average number of animals in the family grouping. The average number of animals in the family was calculated based on the data of groundhog accounting in Ulyanovsk region. For 16 275 family groups, this figure was 3.79 os/per 1 family. *Results.* Based on the results of the work done, we can observe an increase in the number of animals in all the surveyed settlements. *Conclusions.* The conservation status of the National Park “Sengileevskie Gory” undoubtedly has a beneficial effect on the number of steppe marmots and the state of their populations as a whole.

Keywords: monitoring, steppe marmot, baibak, national park, Sengileevskie Mountains, Ulyanovsk region

Acknowledgements: the author extends gratitude to S.V. Titov for consulting in carrying out accounting work and M.V. Korepov for assistance and help in collecting material.

For citation: Pavlov P.O. Study results of the steppe marmot’s population in the National Park “Sengileevskie Gory”. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2024;(4): 60–65. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-6

Введение

Основная часть территории национального парка располагается на правом берегу р. Волга в пределах Приволжской возвышенности. Процессы линейной и плоскостной эрозии привели к образованию многочисленных долин рек, ручьев, оврагов и балок на изучаемой территории. Наличие овражно-балочных систем, соседствующих с агроландшафтами, способствует распространению степного сурка, который использует неудобья как основной биотоп своего обитания. В 2013 г. специалистами была проведена оценка состояния поселений степного сурка на особо охраняемой природной территории, в ходе которых было зафиксировано 13 поселений байбака, состоящих из 614 семей при общей численности 2069 особей [1].

Материал и методы

Полевой материал по распространению степного сурка в Ульяновской области был собран в весенне-летний период 2023–2024 гг. методом маршрутного учета семей и колоний. Всего в ходе учетных маршрутов пройдено 32,37 км. Обследовано три поселения в окрестности с. Тушна, с. Шиловка и с. Вырыстайкино (рис. 1). Во всех поселениях были заложены три пробные площадки для подсчета зверьков в семьях.

Результаты и обсуждение

По итогам проведенных работ было определено общее количество семейных участков сурков в трех поселениях, которое в общем составило 187 семей при средней численности зверьков в 707 особей. Ниже приводятся данные по каждому поселению отдельно.

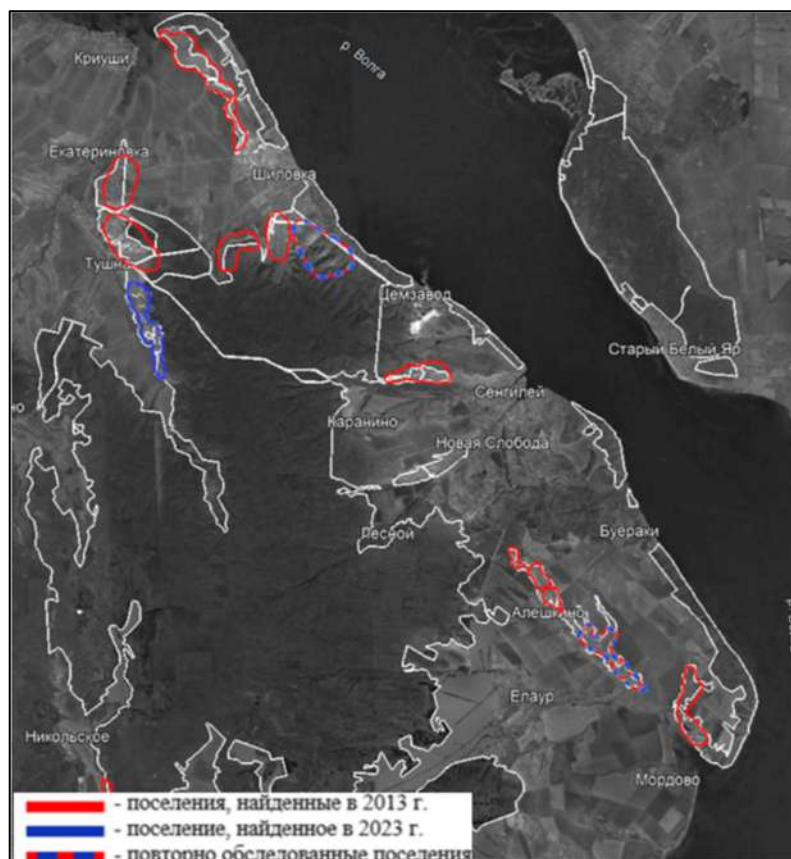


Рис. 1. Поселения степного сурка в границах национального парка «Сенгилеевские горы»

Поселение «Тушна» находится южнее с. Тушна (рис. 2), общая его протяженность составляет около 4,8 км. Поселение расположено на западной экспозиции склона долины реки Атца. Общая протяженность учетного маршрута составила 16,2 км. Рельеф территории характеризуется возвышенной, местами бугристо-всхолменной долиной р. Атца, расчлененной ручьем, оврагами и балками. Поселение с запада ограничено руслом реки, с востока лесным массивом. Растительность представлена разнотравно-злаковой ассоциацией. В ходе учетных работ было обследовано поселение байбака ленточного типа, состоящее из 87 семей при средней численности 329 особей. Площадь поселения составляет 1,5 км². Средняя плотность зверьков в поселениях составила 219 ос./км². Плотность семейных участков составляет 58 семей/км².

Поселение «Шиловская степь» также ленточного типа находится в окрестностях кемпингового лагеря (рис. 3). Общая его протяженность составляет 5,3 км. Длина маршрута составила 10,8 км. Поселение располагается по остепненным склонам и дну трех балок. Границы поселения ограничиваются на вершине склона культивируемыми полями, а снизу лесным массивом. Растительность представлена разнотравно-злаковой ассоциацией. По материалам 2013 г. данное поселение состояло из 10 семей. Оценочная численность байбаков составляет 38 особей, площадь поселения – 0,073 км², плотность населения зверьков – 520 ос./км².



Рис. 2. Учетный маршрут по поселению «Тушна»



Рис. 3. Учетный маршрут по поселению «Шиловская лесостепь»

При повторном учете количество семейных участков выросло и на сегодня составляет 60 семей, средняя численность байбака выросла на 83,2 % и составляет 227 особей, исследуемая площадь поселения увеличилась до 0,813 км², плотность населения зверьков снизилась до 279 ос/км², что связано, по мнению авторов, с увеличением самой площади поселения при его росте. Плотность семейных участков – 74 семьи/км².

Поселение «Вырыстайкино» ленточного типа находится в окрестностях с. Вырыстайкино. Общая протяженность поселения составляет 3,15 км. Длина маршрута составила 5,4 км. Поселение располагается на сильно изрезанном оврагами степном склоне долины реки Сирма. На территории поселения

осуществляется спорадический выпас домашнего скота. Границы поселения ограничиваются на вершине склона культивируемыми полями, а снизу – рекой. Растительность представлена разнотравно-злаковой ассоциацией. По материалам 2013 г., данное поселение, состоящее из 26 семейных участков, при оценочной численности байбаков в 99 особей, площадь поселения – 0,786 км², плотность населения зверьков – 126 ос/км².



Рис. 4. Маршрутный учет по поселению «Вырыстайкино»

При повторном учете количество семейных участков выросло на 14 и теперь составляет 40, средняя численность байбака выросла на 34,4 % до 151 особи, площадь поселения увеличилась до 1,1 км², а плотность населения зверьков – 137 ос/км².

Заключение

Таким образом, по сравнению с 2013 г., когда изучаемая территория не входила в состав национального парка «Сенгилеевские горы» и использовалась как охотничьи угодья, в которых были нередки случаи браконьерства, в 2024 г. по причине реализации охранного режима наблюдаем рост численности сурка на всей обследованной территории. На основе полученных данных показатель общей численности байбака в 13 известных поселениях на территории национального парка составляет 3055 особей, что на 720 особей больше по сравнению с данными 2013 г.

По наблюдениям специалистов, превышение показателя плотности семейных участков значений 30 особей на 1 км² вызывает изменение возрастного состава популяции, что ведет к дальнейшему снижению успешности размножения и выселение части зверьков с территории поселения [2]. Этот процесс мы наблюдаем в первых двух изученных авторами поселениях. В поселении

«Тушна» зверьки преодолели естественную водную преграду и расширили границы поселения в западном направлении. Во втором поселении «Шиловская степь» наблюдаем норы сурков, расположенные на возделываемых полях, а также по опушкам леса среди высокотравья, что указывает на высокую экологическую пластичность этого вида.

Учитывая вышеописанное, можем сделать вывод, что природоохранный статус национального парка «Сенгилеевские горы», несомненно, благоприятно влияет на численность степного сурка и состояние его популяций в целом. На данный момент охота на сурков в Ульяновской области разрешена по путевкам и проводится в 12 районах. В этой связи ресурсы байбака национального парка могут быть использованы для проведения повторной реинтродукции зверьков в переэксплуатированные поселения байбака в регионе.

Список литературы

1. Титов С. В., Кузьмин А. А., Наумов Р. В. [и др.]. Динамика ареалов и современное состояние поселений наземных беличьих в правобережных районах Поволжья : монография. Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. 124 с.
2. Машкин В. И. Европейский байбак: экология, сохранение и использование. Киров : ВНИОЗ, 1997. 160 с.

References

1. Titov S.V., Kuz'min A.A., Naumov R.V. et al. *Dinamika arealov i sovremennoe sostoyanie poseleniy nazemnykh belich'ikh v pravoberezhnykh rayonakh Povolzh'ya: monografiya* = Dynamics of habitats and current state of settlements of ground squirrels in the right-bank regions of the Volga region: monograph. Penza: Izd-vo PGU, 2015:124. (In Russ.)
2. Mashkin V.I. *Evropeyskiy baybak: ekologiya, sokhranenie i ispol'zovanie* = European marmot: ecology, conservation and use. Kirov: VNIOZ, 1997:160. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Павел Олегович Павлов

аспирант,
Ульяновский государственный
педагогический университет
имени И. Н. Ульянова;
младший научный сотрудник,
Национальный парк
«Сенгилеевские горы»;
заведующий сектором палеонтологии
отдела природы,
Ульяновский областной краеведческий
музей имени И. А. Гончарова
(Россия, г. Ульяновск,
бул. Новый Венец, 3/4)
E-mail: pavelmml@mail.ru

Pavel O. Pavlov

Postgraduate student,
Ulyanovsk State Pedagogical University
named after I.N. Ulyanov;
junior researcher,
National park “Sengileevskiye Gory”;
head of the sector of paleontology
of the department of nature,
Ulyanovsk Regional Museum
of Local Lore named after I.A. Goncharov
(3/4 Novyy Venets boulevard,
Ulyanovsk, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /

The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 18.11.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 02.12.2024

Принята к публикации / Accepted 20.12.2024

УДК 574.34:574.36

doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-7

Оценка современного состояния ценопопуляции *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers. на особо охраняемой природной территории «Ясеновая дубрава» Пензенской области

Ю. А. Рыжова

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

jyliyar@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers. – многолетний травянистый олигокарпический клубнеобразующий эфемероид. Вид занесен в Красную книгу Пензенской области (категория 3). *Материалы и методы.* Исследования автора проводились с 2022 по 2024 г. в период массового цветения *C. marschalliana* на особо охраняемой природной территории «Ясеновая дубрава» в Пензенской области. С целью выявления особенностей онтогенеза, динамики численности особей и оценки современного состояния популяции *C. marschalliana* в Пензенской области полученные данные были сопоставлены с аналогичными показателями из литературных источников (2013). *Результаты.* За период наблюдений ценопопуляция *C. marschalliana* сохранила полночленность, при стабильной плотности и невысокой численности. Преобладание особей прегенеративных возрастных состояний указывает на успешное ежегодное пополнение ценопопуляции вида новыми особями и удовлетворительное самоподдержание вида в ценозе. *Выводы.* Ценопопуляция *C. marschalliana* полночленная, имеет стабильную плотность и невысокую численность, самоподдержание умеренное.

Ключевые слова: *C. marschalliana*, онтогенез, структура ценопопуляций, Пензенская область, лесостепь

Для цитирования: Рыжова Ю. А. Оценка современного состояния ценопопуляции *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers. на особо охраняемой природной территории «Ясеновая дубрава» Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 66–72. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-7

Assessment of the current state of the cenopopulations of *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers. on the territory of the protected area “Yasenevaya dubrava” of Penza region

Yu.A. Ryzhova

Penza State University, Penza, Russia

jyliyar@mail.ru

Abstract. *Background.* *Corydalis marschalliana* a perennial herbaceous oligocarpic tuberous ephemeroid. The species is listed in The Red Book of Penza region (category 3). *Materials and methods.* The author's research was conducted from 2022 to 2024 during the period of mass flowering of *C. marschalliana* in the territory of the protected area “Yasenevaya

© Рыжова Ю. А., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

dubrava” of Penza region. In order to identify the features of ontogenesis, the dynamics of the number of individuals and assess the current state of the population *C. marschalliana* in the Penza region, the data obtained were compared with similar indicators from literary sources (2013). *Results and discussion*. The frequency of ontogenetic states has changed over the past 11 years. The base spectrum shifted from the pronounced right-hand side to the left. Individuals of pregenerative states predominate. *Conclusion*. The CP is full-membered, has a stable density and low number, self-sustainment is moderate.

Keywords: *C. marschalliana*, ontogenesis, population structure, Penza region, forest-steppe

For citation: Ryzhova Yu.A. Assessment of the current state of the cenopopulations of *Corydalis marschalliana* (Pall. ex Willd.) Pers. on the territory of the protected area “Yasenevaya dubrava” of Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(4):66–72. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-7

Введение

Corydalis marschalliana (Pall. ex Willd.) Pers. – многолетний травянистый олигокарпический клубнеобразующий эфемероид, геофит, мезофит, высотой 15–35 см [1]. Европейско-юго-западноазиатский южно-лесной (неморальный) вид. В России *C. marschalliana* распространена преимущественно в черноземной полосе Европейской части, может встречаться и севернее, но редко и спорадически. Растет в широколиственных, реже в сосново-широколиственных лесах [2]. Лекарственное растение, в клубнях содержится несколько алкалоидов, наиболее ценным из них является бульбокапнин, который обладает довольно широким спектром действия [3].

C. marschalliana – редкое растение. В Пензенской области и ряде сопредельных регионов (Саратовской и Ульяновской областях) вид включен в Красные книги с категорией редкости 3 [2, 4, 5]. В Республике Мордовия занесен в «Список редких и уязвимых видов растений и грибов, не включенных в Красную книгу, но нуждающихся в постоянном мониторинге», в Тамбовской области – в «Перечень видов растений, грибов, лишайников, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде» [6, 7].

В Пензенской области охраняется на территории четырех региональных памятников природы: «Арбековский лес» (Пензенский район), «Иссинская дубрава» (Иссинский район), «Кувшиновский лес» (Вадинский район), «Ясенева дубрава» (Пензенский район).

Цель работы – дать оценку современному состоянию ценопопуляций *C. marschalliana*, на особо охраняемой природной территории «Ясенева дубрава» Пензенской области.

Материалы и методы

Исследования проводились на особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Ясенева дубрава» в Пензенском районе Пензенской области в течение трех полевых сезонов (2022–2024) в фазу массового цветения *C. marschalliana* (апрель).

Климат Пензенской области умеренно-континентальный. Предельная толщина снежного покрова в пункте исследования – 54 см, количество дней в году со снежным покровом – примерно 154–155 [8]. Почва данного района относится к светло-серым лесным глубоко вскипающим среднemosным среднегумусным [9].

В основу мониторинга о современном состоянии ценополюций (ЦП) исследуемого вида были использованы общепринятые методы [10]. Было заложение 10 пробных площадок (ПП) размером 1 м², на которых был проведен полный подсчет особей *C. marschalliana* разных онтогенетических состояний. Для выявления флористического состава мест обитания вида были сделаны полные геоботанические описания на площади в 100 м².

Изучение структуры ЦП проводили на основе анализа основных параметров популяций – численность, экологическая плотность, соотношение онтогенетических состояний, жизненность особей.

Выделение онтогенетических состояний *C. marschalliana* проводили на основании комплекса качественных морфологических признаков [1].

При анализе онтогенетической структуры ЦП использовали общепринятые показатели: индекс возрастности, индекс эффективности самоподдержания ЦП, индексы возрастных периодов [11].

Для изучения онтогенеза *C. marschalliana* было проанализировано более 80 растений разных возрастных состояний в сходных экологических условиях вне границ ООПТ.

При выделении стадий онтогенеза опирались на следующие биометрические показатели: число розеточных ассимилирующих листьев, длина черешка, длина и ширина пластинки листа, высота и ширина клубня, количество придаточных корней и генеративных побегов, высота генеративного побега. После измерения всех биометрических показателей выкопанные растения были высажены обратно.

Для оценки современного состояния ЦП *C. marschalliana* в работе использованы данные состояния ЦП видав ООПТ «Ясеновая дубрава» в 2013 г. из литературных источников [13].

Названия видов приведены по Черепанову [12]. Все полученные данные оценивались статистически с использованием программ пакета Microsoft Office 2010.

Результаты и обсуждения

Растительность ООПТ «Ясеновая дубрава» представлена дубо-липняком с ясенем снытево-волосистоосоковым. Формула древостоя – 3Лп3Д2Яс1Ос1Ко. Сомкнутость яруса высокая и составляет 0,9. Первый древесный ярус образован средневозрастными генеративными особями *Quercus robur* и *Tilia cordata*, второй – формируют молодые генеративные деревья *Populus tremula*, *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*. Подлесок образован *Corylus avellana* (ОПП – 0,3).

Травяной ярус плотного сложения (ОПП 0,8–0,9), доминируют неморальные виды трав – *Aegopodium podagraria*, *Carex pilosa*, *Mercurialis perennis*, *Asarum europaeum*. Изредка встречаются *Polygonatum multiflorum*, *Stellaria holostea*, *Lathyrus vernus*, *Galium odoratum*, *Stachys sylvatica*, *Convallaria majalis*. Характерно участие эфемероидов: *Corydalis solida*, *C. marschalliana*, *Anemone ranunculoides*, *Gagea lutea*.

На территории ПП «Ясеновая дубрава» в онтогенезе *C. marschalliana* авторами выделено три периода и восемь возрастных состояний: ювенильное (j), имматурное (im), виргинильное (v), молодое генеративное (G₁), средневозрастное генеративное (G₂), старое генеративное (G₃), сенильное (s).

Сравнительный анализ популяционной структуры *C. marschalliana* за период наблюдений (11 лет) показал, что в составе популяций преобладают особи нормальной жизненности (90 %), ЦП нормальные, полночленные. В составе популяций отмечается значительное участие ювенильных растений, что указывает на ежегодное пополнение популяции новыми особями и успешность семенного размножения вида.

При этом в 2022–2024 гг. наблюдается снижение численности особей старого генеративного состояния более чем в 2 раза и увеличение участия особей виргинильного и молодого генеративного состояний (рис. 1). Так, основу ЦП в 2013 г. составляли особи генеративного периода, на которые приходилось более 60 % численности, 2/3 из них – старые генеративные растения. Современная структура ЦП имеет два малодифференцированных максимума: в виргинильном (21,1 %) и старом генеративном состояниях (18,6 %). Участие особей прегенеративного периода за 11-летний период наблюдений увеличилось с 43,9 до 54,6 %, т.е. происходит ежегодное пополнение ЦП молодыми растениями и нормальное прохождение онтогенеза на первых этапах жизни вида.

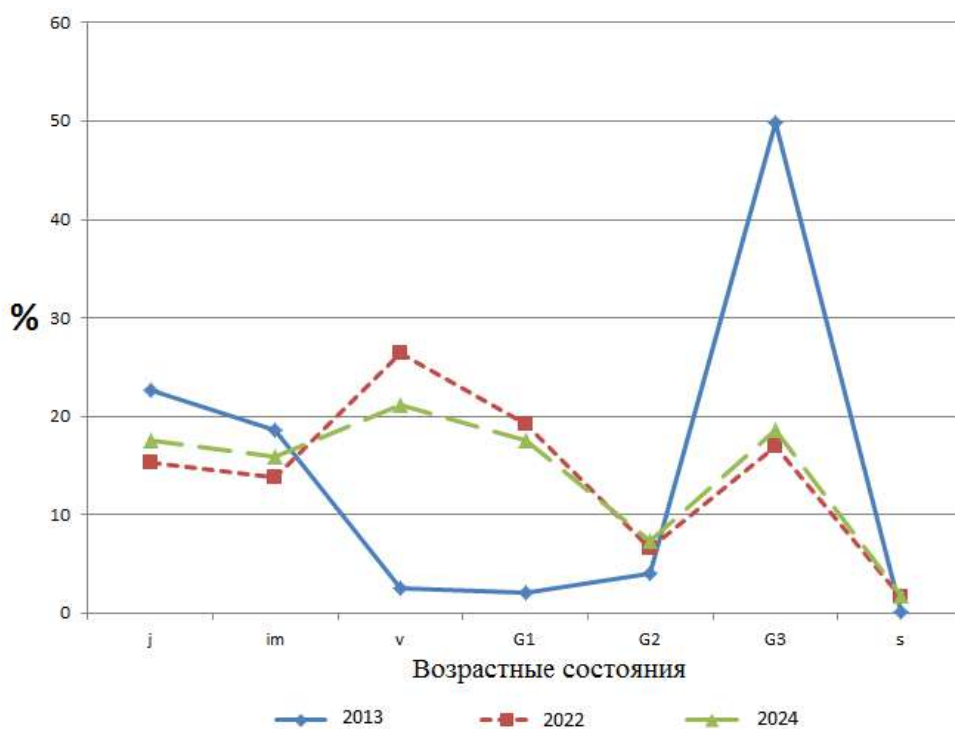


Рис. 1. Возрастной спектр *Corydalis marschalliana* на ООПТ «Ясенева дубрава»

Небольшое участие в ЦП имеют особи сенильного возрастного состояния (1–2 % за весь период наблюдений), что, очевидно, объясняется особенностями онтогенеза *C. marschalliana*. Вид может закончить онтогенез в старом генеративном состоянии и редко приобретает черты сенильных особей.

Выявленные изменения в структуре ЦП *C. marschalliana* за 11-летний период подтверждаются изменениями показателей индексов популяционной

структуры (табл. 1). В 2013 г. тип онтогенетической структуры ЦП определялся как «переходная» (индекс возрастности $\Delta = 0,407$, эффективности $\omega = 0,509$). Эффективность самоподдержания довольно низкая ($I_b = 0,784$), семенная продуктивность слабая ($I_s = 0,782$). По состоянию на 2024 г. ЦП характеризуется как «молодая» (индекс возрастности $\Delta = 0,407$, эффективности $\omega = 0,509$). Эффективность самоподдержания умеренная ($I_b = 1,25$), семенная продуктивность невысокая ($I_s = 1,2$).

Таблица 1

Показатели популяционной структуры *Corydalis marschalliana*
на территории ООПТ «Ясеновая дубрава»

Год наблюдений	2013	2022	2024
Средняя плотность особей на 1 м ²	5,9 (59*)	18	19
Характер размещения особей	случайный	случайный	случайный
Преобладающая группа особей	старая генеративная	виргинильная	виргинильная
Тип ЦП	переходная	молодая	молодая
Индекс возрастности Δ	0,407	0,31	0,27
Индекс эффективности ЦП ω	0,509	0,46	0,49
Индекс молодости I_v	0,438	0,554	0,546
Индекс зрелости I_g	0,559	0,428	0,434
Индекс старения I_s	0,001	0,016	0,018
Индекс восстановления I_b	0,784	1,03	1,25
Индекс замещения I_z	0,782	0,801	1,2

* – средняя плотность особей на 10 м²

Заключение

C. marschalliana – редкий вид на территории Пензенской области и нуждается в постоянном мониторинге состояния его ЦП в местах произрастания.

За период наблюдений ЦП *C. marschalliana* сохранила полночленность, при стабильной плотности и невысокой численности.

Значительное участие особей прегенеративных возрастных состояний указывает на успешное ежегодное пополнение ЦП вида новыми особями и удовлетворительное самоподдержание вида в ценозе.

Таким образом, в сообществах ООПТ «Ясеновая дубрава» складываются благоприятные условия для успешного прохождения полного онтогенеза *C. marschalliana*, и в настоящее время вид не нуждается в дополнительных мерах охраны.

Список литературы

1. Смирнова О. В., Торопова Н. А. Секция *Radix – cava Irmisch: Corydalis marschalliana Pers.* // Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Эфемероиды. Методические разработки для студентов биологических специальностей : монография. М. : МГПИ им. В. И. Ленина, 1987. С. 29–35.
2. Красная книга Пензенской области. Т. 1: Сосудистые растения, мхи, лишайники, грибы / науч. ред. д-р биол. наук, проф. А. И. Иванов. 3-е изд., доп. и перераб. М. ; Пенза : Студия онлайн, 2024. 300 с.
3. Цицин Н. В. Атлас лекарственных растений СССР. М. : Гос. изд-во мед. лит., 1962. 711 с.

4. Красная книга Саратовской области. Грибы. Растения. Лишайники. Животные. Саратов : Папирус, 2021. 496 с.
5. Красная книга Ульяновской области. М. : Буки Веди, 2015. 550 с.
6. Красная книга Республики Мордовия. Том I. Редкие виды растений и грибов. Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2017. 409 с.
7. Красная книга Тамбовской области: мхи, сосудистые растения, грибы, лишайники. Тамбов : ООО «ТПС», 2019. 480 с.
8. Географический атлас Пензенской области: природа, население, хозяйство, культура / предисл. И. И. Курицына. Пенза : Облиздат, 2005. 60 с.
9. Вяль Ю. А., Дюкова Г. Р. Особенности почвообразования зональных и аллювиальных почв в лесных ландшафтах лесостепи (на примере памятников природы «Присурская дубрава» и «Шнаевская ясеневая дубрава») // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. 2006. № 5. С. 45–50.
10. Ценопопуляции растений: основные понятия и структура / отв. ред. канд. биол. наук, проф. А. А. Уранов, д-р биол. н., проф. Т. И. Серебрякова. М. : Наука, 1976. 216 с.
11. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
12. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
13. Кулакова Д. А. Экологические особенности произрастания *Corydalis marschalliana* Pers. в Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2013. № 2 (2). С. 55–63.

References

1. Smirnova O.V., Toropova N.A. Section Radix – cava Irmisch: *Corydalis marschalliana* Pers. *Diagnozy i klyuchi vozrastnykh sostoyaniy lesnykh rasteniy. Efemeroidy. Metodicheskie razrabotki dlya studentov biologicheskikh spetsial'nostey: monografiya.* = Diagnoses and keys of age states of forest plants. Ephemeroids. Methodological developments for students of biological specialties: monograph. Moscow: MGPI im. V.I. Lenina, 1987:29–35. (In Russ.)
2. Ivanov A.I. (ed.). *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. T. 1: Sosudistye rasteniya, mkhi, lishayniki, griby. 3-e izd., dop. i pererab.* = The Red Book of Penza Region. Volume 1: Vascular plants, mosses, lichens, fungi. The 3rd edition, revised and supplemented. Moscow; Penza: Studiya onlayn, 2024:300. (In Russ.)
3. Tsitsin N.V. *Atlas lekarstvennykh rasteniy SSSR* = Atlas of medicinal plants of the USSR. Moscow: Gos. izd-vo med. lit., 1962:711. (In Russ.)
4. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti. Griby. Rasteniya. Lishayniki. Zhivotnye* = The Red Book of Saratov Region. Mushrooms. Plants. Lichens. Animals. Saratov: Papirus, 2021:496. (In Russ.)
5. *Krasnaya kniga Ul'yanovskoy oblasti* = The Red Book of Ulyanovsk region. Moscow: Buki Vedi, 2015:550. (In Russ.)
6. *Krasnaya kniga Respubliki Mordoviya. Tom I. Redkie vidy rasteniy i gribov* = The Red book of the Republic of Mordovia. Volume 1. Rare species of plants and mushrooms. Saransk: Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2017:409. (In Russ.)
7. *Krasnaya kniga Tambovskoy oblasti: mkhi, sosudistye rasteniya, griby, lishayniki* = The Red Bokk of Tambov region: mosses, vascular plants, fungi, lichens. Tambov: ООО «TPS», 2019:480. (In Russ.)
8. *Geograficheskiy atlas Penzenskoy oblasti: priroda, naselenie, khozyaystvo, kul'tura / predisl. I.I. Kuritsyna* = Geographical atlas of the Penza region: nature, population, economy, culture / foreword by I.I. Kuritsyn. Penza: Oblizdat, 2005:60. (In Russ.)

9. Vyal' Yu.A., Dyukova G.R. Features of soil formation of zonal and alluvial soils in forest land-shafts of the forest-steppe (by the example of the "Prisurskaya dubrava" and "Shnayevskaya yasenevaya dubrava"). *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo* = Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinskiy. 2006;(5):45–50. (In Russ.)
10. Uranov A.A., Serebryakova T.I. (eds.). *Tsenopopulyatsii rasteniy: osnovnye ponyatiya i struktura* = Plant coenopopulations: basic concepts and structure. Moscow: Nauka, 1976:216. (In Russ.)
11. Zhivotovskiy L.A. Ontogenetic states, effective density and classification of plant populations. *Ekologiya* = Ecology. 2001;1:3–7. (In Russ.)
12. Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* = Vascular plants of Russia and adjacent countries (within the former USSR). Saint Petersburg: Mir i sem'ya, 1995:992. (In Russ.)
13. Kulakova D.A. Ecological features of growth of *Corydalis marschalliana* Rers. in Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2013;(2):55–63. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Юлия Александровна Рыжова

старший преподаватель
кафедры общей биологии и биохимии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: jyliyar@mail.ru

Yuliya A. Ryzhova

Senior lecturer of the sub-department
of general biology and biochemistry,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /

The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 06.12.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.12.2024

Принята к публикации / Accepted 26.12.2024

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 581.1:577.175.1:633.491
doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-8

Динамика содержания фитогормонов и интенсивности дыхания в материнском клубне в процессе вегетации растений картофеля

Т. И. Пузина¹, И. Ю. Макеева²

¹Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, Орел, Россия

²Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия

¹tipuzina@gmail.com, ²makeevainna@inbox.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Содержание фитогормонов в клубнях картофеля в основном изучается в процессе их инициации и дальнейшего роста. Между тем представляет интерес исследование динамики содержания фитогормонов не только в молодых клубнях, но и в материнских (посадочных), так как известно, что они являются поставщиками не только питательных веществ, но и фитогормонов. Однако имеющиеся сведения касаются изучения содержания только одной или двух групп фитогормонов до инициации клубнеобразования. В последующий период вегетации растений их гормональный статус не исследован. Цель настоящей работы состояла в изучении четырех групп фитогормонов (гиббереллинов, ауксинов, цитокининов, абсцизовой кислоты) в материнском клубне, начиная от его посадки и заканчивая 25 сутками после фазы цветения. Одновременно исследовали интенсивность процесса дыхания данных клубней. *Материалы и методы.* Объектом исследования служили материнские клубни картофеля сорта Скороплодный. Растения выращивали в почвенной культуре в условиях вегетационного домика. Содержание ауксинов, цитокининов и абсцизовой кислоты определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа. Содержание гиббереллиновой кислоты определяли методом биотестирования с использованием проростков гороха сорта Шустрик. В качестве стандартных растворов использовали индолилуксусную кислоту, зеатин, гибберелловую кислоту, абсцизовую кислоту. Интенсивность дыхания определяли по количеству выделяющегося CO₂ в приборе для наблюдения газообмена методом титрования. Достоверность результатов оценивали с помощью критерия Стьюдента. *Результаты.* Исследование выявило снижение в материнском клубне гибберелловой кислоты на 30 % через 39 суток после посадки, а между 15 сутками после появления всходов до бутонизации – почти в два раза. После цветения содержание гиббереллиновой кислоты не обнаружено. Содержание индолилуксусной кислоты, в отличие от гибберелловой кислоты, в процессе вегетации растений уменьшалось постепенно. Через 25 суток после цветения оно снизилось на 38 %

от исходного. На фоне уменьшения ауксинов и гиббереллинов снизилась интенсивность дыхания материнского клубня. Цитокинины (зеатин) содержались в ничтожно малом количестве. Их уровень в процессе вегетации не изменился. Количество абсцизовой кислоты после цветения уменьшилось в два раза. *Выводы.* Делается вывод о разной степени мобилизации четырех групп фитогормонов из материнского клубня в процессе вегетации растений картофеля.

Ключевые слова: гибберелловая кислота, ИУК, зеатин, АБК, интенсивность дыхания, фазы вегетации, материнский клубень, картофель

Для цитирования: Пузина Т. И., Макеева И. Ю. Динамика содержания фитогормонов и интенсивности дыхания в материнском клубне в процессе вегетации растений картофеля // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 4. С. 73–80. doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-8

Dynamics of phytohormone content and respiration intensity in the mother tuber during the vegetation of potato plants

T.I. Puzina¹, I.Yu. Makeeva²

¹Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

²South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

¹tipuzina@gmail.com, ²makeevainna@inbox.ru

Abstract. *Background.* The content of phytohormones in potato tubers is mainly studied during their initiation and further growth. Meanwhile, it is of interest to study the dynamics of phytohormones not only in young tubers, but also in maternal (planting) tubers, since they are known to supply not only nutrients, but also phytohormones. However, the available information concerns the study of the content of only one or two groups of phytohormones before the initiation of tuber formation. In the subsequent period of plant vegetation, their hormonal status has not been studied. The purpose of this work was to study four groups of phytohormones (gibberellins, auxins, cytokinins, abscisic acid) in the maternal tuber, starting from its planting and ending 25 days after the flowering phase. At the same time, the intensity of the respiration process of these tubers was studied. *Materials and methods.* The object of the study were maternal tubers of the Skoroplodny potato variety. The plants were grown in soil culture in a vegetation house. The content of auxins, cytokinins, and abscisic acid was determined by solid-phase enzyme immunoassay. The content of gibberellic acid was determined by biotesting using Shustrik pea sprouts. IAA, zeatin, GA, and ABA were used as standard solutions. The respiration rate was determined by the amount of CO₂ released in devices for monitoring gas exchange using the titration method. The reliability of the results was assessed using the Student's criterion. *Results.* The study revealed a 30 % decrease in gibberellic acid in the mother tuber 39 days after planting, and an almost twofold decrease between 15 days after emergence and budding. No GA content was detected after flowering. The content of IAA, unlike gibberellic acid, decreased gradually during plant vegetation. 25 days after flowering, it decreased by 38 % of the initial value. Against the background of a decrease in auxins and gibberellins, the intensity of respiration of the mother tuber decreased. Cytokinins (zeatin) were contained in an insignificant amount. Their level did not change during vegetation. The amount of ABA after flowering decreased by half. *Conclusions.* A conclusion is made about different degrees of mobilization of four groups of phytohormones from the mother tuber during the vegetation of potato plants.

Keywords: gibberellic acid, IAA, zeatin, ABA, respiration rate, vegetation phases, mother tuber, potato

For citation: Puzina T.I., Makeeva I.Yu. Dynamics of phytohormone content and respiration intensity in the mother tuber during the vegetation of potato plants. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(4):73–80. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-4-8

Введение

Содержание фитогормонов в клубнях картофеля в основном изучается в процессе их инициации и дальнейшего роста в разные фазы вегетации растений [1–3]. Между тем представляет интерес исследование динамики фитогормонов не только в молодых клубнях, но и в материнских (посадочных), так как известно, что они являются поставщиками как питательных веществ, так и фитогормонов [4, 5].

Имеющиеся в литературе сведения не многочисленны и касаются изучения содержания одной или двух групп фитогормонов в материнском клубне на 28–40 день прорастания клубней, т.е. только до инициации клубнеобразования [4, 6]. В последующий период вегетации их гормональный статус практически не изучался. В связи с этим цель настоящей работы состояла в изучении содержания четырех групп фитогормонов (гибберелловой кислоты (ГК), индолилуксусной кислоты (ИУК), зеатина, абсцизовой кислоты (АБК)) в материнском клубне, начиная от его посадки и заканчивая 25 сутками после фазы цветения. Одновременно исследовали интенсивность процесса дыхания данных клубней.

Материалы и методы

Объектом исследования служили материнские клубни картофеля сорта Скороплодный селекции ФИЦ КХ имени А. Г. Лорха (Коренево, Россия). Растения выращивали в почвенной культуре в условиях вегетационного домика на агробиостанции Орловского госуниверситета. В сосуде с 10 кг серой лесной среднесуглинистой почвы выращивали одно растение. В период закладки опыта в почву вносили оптимальное количество для картофеля азота, фосфора, калия, соответственно 2,3; 0,7; 3,1 г элемента на сосуд. Поддерживали влажность почвы 60 % от полной влагоемкости.

Фиксацию растительного материала для определения содержания фитогормонов проводили жидким азотом. Пробы высушивали лиофильно. Экстракцию фитогормонов проводили из одной навески 80 % этанолом. Содержание ИУК, зеатина, абсцизовой кислоты (АБК) определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа [7]. После сорбирования белкового конъюгата гормона в лунки полистиролового планшета вносили сыворотку с антителами к соответствующему гормону, а затем раствор стандартного гормона или экспериментальных образцов. Количество антител, специфически связанных с белковым конъюгатом гормона, определяли с помощью антител барана против иммуноглобулинов кролика меченых пероксидазой. Для определения активности связавшейся пероксидазы использовали ортофенилендиамин. Интенсивность хромофорного ответа определяли на микрофотометре Dombiplate (Dia-M, Россия) при длине волны 492 нм. Для анализов использовали отечественные реактивы фирмы «Уралинвест» (Уфа). В качестве стандартных растворов фитогормонов были взяты ИУК, зеатин и АБК (Serva, Германия). Содержание гибберелловой кислоты определяли методом биологической пробы. В качестве биотеста использовали проростки гороха сорта Шустрик (ФГНБУ

ФНЦ ЗБК, Орел). Количество гибберелловой кислоты рассчитывали по калибровочной кривой, построенной для ГК (Phylaxia, Венгрия).

Интенсивность дыхания определяли в апикальной $\frac{1}{4}$ части посадочного клубня по количеству выделяющегося CO_2 в приборе для наблюдения газообмена (Физприбор, Россия) методом титрования.

На рисунках представлены средние арифметические и их стандартные ошибки из пяти биологических и пяти аналитических повторностей. Достоверность результатов оценивается с помощью критерия Стьюдента, считая достоверными различия при уровне доверительной вероятности выше 0,95.

Результаты и обсуждение

Полученные экспериментальные данные показывают уменьшение содержания гибберелловой кислоты в материнском клубне в процессе вегетации растения картофеля (рис. 1, *a*). Через 15 суток после появления всходов (39 суток от начала посадки клубней) ее количество снизилось на 30 %. В этот период начинается образование столонов.

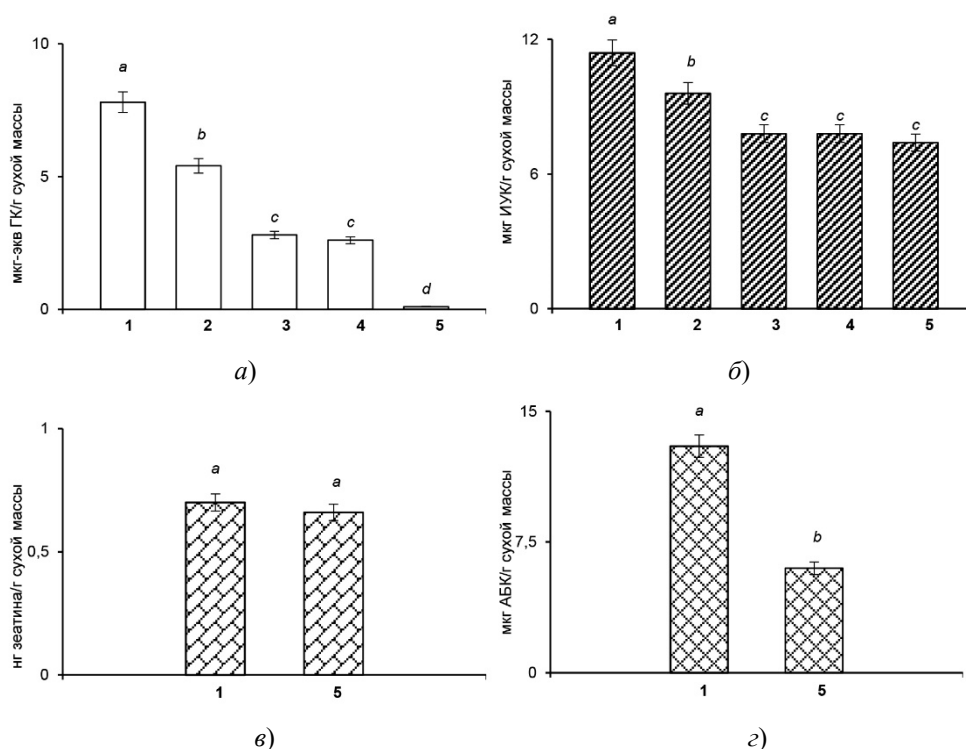


Рис. 1. Содержание фитогормонов в материнском клубне в процессе вегетации растений картофеля:

1 – посадочные клубни; 2 – через 15 суток после появления всходов;
3 – фаза бутонизации; 4 – фаза цветения; 5 – 25 суток после цветения;
a – гибберелловая кислота; *b* – ИУК; *v* – зеатин; *z* – АБК.

Одинаковыми латинскими буквами обозначены величины, различия между которыми статистически не значимы ($p \leq 0,05$)

По данным Чайлахяна [1], образование и рост столонов регулируется гиббереллинами. Полученные авторами ранее данные также свидетельствуют

о наибольшем содержании гиббереллинов в столонах на данном этапе их онтогенеза [8]. К фазе бутонизации, когда заканчивается рост столона и происходит инициация клубнеобразования, содержание гибберелловой кислоты в материнском клубне резко снижается (почти в два раза), а после цветения уже не обнаруживается. Несколько иные данные получены Ботини и Тизио [4]. В их опытах активность гиббереллинов материнских клубней резко уменьшалась уже на 28 день прорастания. Полученные результаты могут свидетельствовать о мобилизации гиббереллинов из материнского клубня для образования и роста столонов.

Изменение содержания ауксинов в материнском клубне в процессе вегетации отличалось от гиббереллинов (рис. 1,б). На 39 день после посадки оно уменьшилось только на 19 %, а в фазу бутонизации, по сравнению с предыдущей, на 18 %. В дальнейшем содержание ИУК не изменялось. По-видимому, ауксины практически не мобилизуются из материнских клубней. В то же время в исследованиях [9] отмечено отсутствие ауксиновой активности уже на 30 день прорастания. Возможно, это связано с использованием метода биотестирования, который не всегда позволяет определить малые количества фитогормона. Другие сведения о содержании ауксинов в материнском клубне в процессе вегетации растений в литературе не найдены. Надо отметить, что ауксины необходимы для роста формирующихся молодых клубней. Это было показано как в исследованиях авторов [10], так и в работе Аксеновой с соавторами [3]. Одновременно авторами ранее выявлено изменение градиента ИУК в стебле картофеля после фазы бутонизации с базипетального на акропетальный, а именно накопление данного фитогормона в базальной части стебля [11]. Это может служить доказательством поступления ИУК в формирующиеся клубни из надземных органов.

Содержание цитокининов (зеатина) и абсцизовой кислоты определяли в посадочных клубнях и через 25 суток после цветения (рис. 1,в,г). Следует отметить ничтожно малое количество зеатина в материнском клубне (нг/г сухой массы), тогда как другие группы фитогормонов содержатся в микрограммах. В процессе вегетации растений содержание зеатина было практически неизменным, что может свидетельствовать об отсутствии участия цитокининов материнского клубня в регуляции процессов, происходящих как в надземных органах, так и в формирующихся клубнях. По-видимому, цитокинины поступают в основном из корневой системы – места их основного биосинтеза. В отличие от цитокининов количество абсцизовой кислоты после фазы цветения уменьшилось в два раза. Возможно, снижение уровня АБК в материнских клубнях в данный период вегетации растений связано с поступлением ее в молодые клубни. Имеются сведения [12], что АБК способствует биосинтезу крахмала в процессе роста клубней. Следует отметить, что в литературе отсутствуют сведения о содержании цитокининов и АБК в материнских клубнях картофеля. Лишь в одной работе [6] методом биотестирования показано незначительное изменение активности данных групп фитогормонов на 40 день прорастания клубней.

Вызывало интерес изучение интенсивности процесса дыхания материнских клубней в период окончания роста столонов и начала формирования молодых клубней на фоне той гормональной ситуации, которая складывается на данном этапе, так как известно, что дыхание во многом регулируется фитогормонами. Полученные результаты (рис. 2) свидетельствуют о снижении

процесса дыхания к фазе бутонизации на 40 %. По-видимому, это связано с некоторым уменьшением ауксинов и существенным гиббереллинов в данный период вегетации. В ранних работах авторами также выявлена меньшая интенсивность дыхания и сопряженность окисления и фосфорилирования в изолированных митохондриях апикальных глазков клубней картофеля с меньшей активностью ауксинов и гиббереллинов [13].

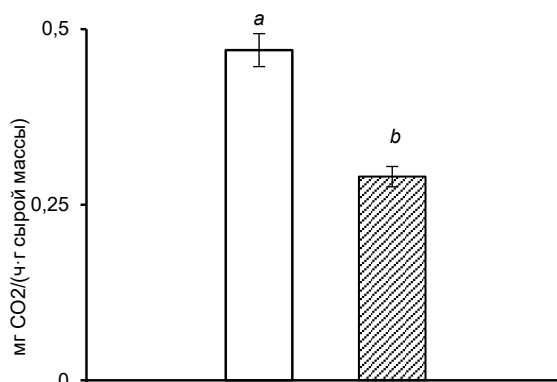


Рис. 2. Интенсивность дыхания материнских клубней. Одинаковыми латинскими буквами обозначены величины, различия между которыми статистически не значимы ($p \leq 0,05$): □ – 15 суток после появления всходов; ▨ – фаза бутонизации

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о специфическом изменении содержания четырех групп фитогормонов в материнском клубне в процессе вегетации растений картофеля. Установлено существенное снижение содержания гибберелловой кислоты к фазе бутонизации и отсутствие данного гормона после цветения. Содержание индолилуксусной кислоты постепенно уменьшалось к фазе бутонизации, а в последующем оставалось на одном уровне. Отмечено чрезвычайно малое содержание цитокининазеатина, которое не изменялось в процессе вегетации растений. Уровень абсцизовой кислоты уменьшился после цветения в два раза. Полученные результаты свидетельствуют о разной степени мобилизации изученных групп фитогормонов из материнского клубня по мере вегетации растений картофеля. Одновременно показано снижение интенсивности дыхания к фазе бутонизации на фоне значительного уменьшения гибберелловой кислоты и понижения уровня ИУК.

Список литературы

1. Чайлахян М. Х. Механизмы клубнеобразования у растений картофеля // Регуляция роста и развития картофеля / под ред. М. Х. Чайлахяна, А. Т. Мокроносова. М. : Наука, 1990. С. 48–62.
2. Ewing E. E., Struik P. C. Tuber formation in potato: induction, initiation and growth // Horticultural Reviews. 1992. Vol. 14. P. 89–198. doi: org/10.1002/9780470650923.ch.3
3. Aksenova N. P., Sergeeva L. I., Kolachevskaya O. O., Romanov G. A. Hormonal regulation in tuber formation in potato // Bulbous Plants. Biotechnology. NewYork ; London : CRCPress, 2014. P. 3–36. doi: 10.1201/8166136-3

4. Bottini A., Tizio R. Hormonal contribution of the mother tuber to growth, stolonization and tuberization of the potato plant (*Soanumtuberosum* L.) // *Fyton*. 1981. Vol. 41, № 1/2. P. 27–32.
5. Борзенкова Р. А., Боровкова М. П., Крылова Т. Н. Влияние материнского клубня на формирование гормонального статуса, рост и клубнеобразование у растений картофеля при засухе. Екатеринбург : Урал. ун-т, 1997. 48 с.
6. Цовян Ж. В., Петросян М. Т. Гормональные вещества материнского клубня картофеля и его роль в процессе клубнеобразования // Регуляция роста и развития картофеля / под ред. М. Х. Чайлахяна, А. Т. Мокроносова. М. : Наука, 1990. С. 78–82.
7. Веселов С. Ю. Использование антител для количественного определения, очистки и локализации регуляторов роста растений. Уфа : БГУ, 1998. 138 с.
8. Пузина Т. И. Гормональный статус столонов и клубней картофеля разной величины // Регуляторы роста и развития растений : материалы второй конференции. М. : МСХА имени К. А. Тимирязева, 1993. С. 80.
9. Цовян Ж. В., Мартиросян Г. С. Ауксиновая активность клубней картофеля и ее перераспределение в связи с прорастанием // Вопросы биологии. Ереван : ЕГУ, 1981. С. 115–121.
10. Пузина Т. И., Кириллова И. Г., Якушкина Н. И. Динамика индолилуксусной кислоты в органах картофеля на разных этапах онтогенеза и ее роль в регуляции роста клубня // Известия АН. Серия биологическая. 2000. № 2. С. 170–177.
11. Пузина Т. И., Кириллова И. Г. Градиенты содержания свободных фитогормонов в стебле картофеля в связи с клубнеобразованием // Физиология растений. 1996. Т. 43, № 6. С. 915–919.
12. Борзенкова Р. А., Боровкова М. П. Динамика распределения фитогормонов по различным зонам клубней картофеля в связи с ростом и запасанием крахмала // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 1. С. 129–133.
13. Якушкина Н. И., Пузина Т. И. Изменение гормонального и энергетического обмена на первых этапах прорастания глазков картофеля // Биологические науки. 1977. № 2. С. 94–98.

References

1. Chaylakhyan M.Kh. Mechanisms of tuber formation in potato plants. *Regulyatsiya rosta i razvitiya kartofelya* = Regulation of growth and development of potatoes. Moscow: Nauka, 1990:48–62. (In Russ.)
2. Ewing E.E., Struik P.C. Tuber formation in potato: induction, initiation and growth. *Horticultural Reviews*. 1992;14:89–198. doi: org/10.1002/9780470650923.ch.3
3. Aksenova N.P., Sergeeva L.I., Kolachevskaya O.O., Romanov G.A. Hormonal regulation in tuber formation in potato. *Bulbous Plants. Biotechnology*. NewYork; London: CRCPress, 2014:3–36. doi: 10.1201/8166136-3
4. Bottini A., Tizio R. Hormonal contribution of the mother tuber to growth, stolonization and tuberization of the potato plant (*Soanumtuberosum* L.). *Fyton*. 1981;41(1/2):27–32.
5. Borzenkova R.A., Borovkova M.P., Krylova T.N. *Vliyanie materinskogo klubnya na formirovanie gormonal'nogo statusa, rost i klubneobrazovanie u rasteniy kartofelya pri zasukhe* = The influence of the mother tuber on the formation of hormonal status, growth and tuber formation in potato plants under drought. Ekaterinburg: Ural. un-t, 1997:48. (In Russ.)
6. Tsovyany Zh.V., Petrosyan M.T. Hormonal substances of the mother potato tuber and its role in the process of tuber formation. *Regulyatsiya rosta i razvitiya kartofelya* = Regulation of growth and development of potatoes. Moscow: Nauka, 1990:78–82. (In Russ.)
7. Veselov S.Yu. *Ispol'zovanie antitel dlya kolichestvennogo opredeleniya, ochistki i lokalizatsii regulyatorov rosta rasteniy* = Using antibodies for quantification, purification and localization of plant growth regulators. Ufa: BGU, 1998:138. (In Russ.)

8. Puzina T.I. Hormonal status of stolons and potato tubers of different sizes. *Regulyatory rosta i razvitiya rasteniy: materialy vtoroy konferentsii* = Plant growth and development regulators: proceedings of the second conference. Moscow: MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 1993:80. (In Russ.)
9. Tsovyan Zh.V., Martirosyan G.S. Auxin activity of potato tubers and its redistribution in connection with germination. *Voprosy biologii* = Biology questions. Erevan: EGU, 1981:115–121. (In Russ.)
10. Puzina T.I., Kirillova I.G., Yakushkina N.I. Dynamics of indoleacetic acid in potato organs at different stages of ontogenesis and its role in regulating tuber growth. *Izvestiya AN. Seriya biologicheskaya* = Proceedings of the Academy of Sciences. Biological series. 2000;(2):170–177. (In Russ.)
11. Puzina T.I., Kirillova I.G. Gradients of free phytohormones content in potato stems in relation to tuber formation. *Fiziologiya rasteniy* = Plant physiology. 1996;43(6):915–919. (In Russ.)
12. Borzenkova R.A., Borovkova M.P. Dynamics of distribution of phytohormones in different zones of potato tubers in connection with growth and starch storage. *Fiziologiya rasteniy* = Plant physiology. 2003;50(1):129–133. (In Russ.)
13. Yakushkina N.I., Puzina T.I. Changes in hormonal and energy metabolism in the early stages of potato eye germination. *Biologicheskie nauki* = Biological sciences. 1977;(2):94–98. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Тамара Ивановна Пузина

доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры ботаники,
физиологии и биохимии растений,
Орловский государственный
университет имени И. С. Тургенева
(Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95)
E-mail: tipuzina@gmail.com

Tamara I. Puzina

Doctor of biological sciences, professor,
professor of the sub-department of botany,
physiology and biochemistry of plants,
Orel State University
named after I.S. Turgenev
(95 Komsomolskaya street, Orel, Russia)

Инна Юрьевна Макеева

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры биохимии
имени Р. И. Лифшица,
Южно-Уральский государственный
медицинский университет
(Россия, г. Челябинск, ул. Воровского, 64)
E-mail: makeevainna@inbox.ru

Inna Yu. Makeeva

Candidate of biological sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of biochemistry
named after R.I. Lifshitz,
South Ural State Medical University
(64 Vorovskogo street, Chelyabinsk,
Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 24.11.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 16.12.2024

Принята к публикации / Accepted 25.12.2024