

Влияние комплексного соединения кобальта на пол и некоторые биологические характеристики шпината

Татьяна А. Кончина ¹	tatyana.konchina@mail.ru	 0009-0002-0723-4240
Светлана А. Опарина ¹	sv130297@mail.ru	 0009-0008-6754-7875
Елена В. Баронова ¹	ipprepod@yandex.ru	 0000-0002-1125-9590

¹ Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. К.Маркса, 36, г. Арзамас, 607220, Россия

Аннотация. Проблема половой дифференциации растений всегда занимала центральное место при изучении их биологических характеристик, так как процесс сексуализации растений контролирует количественные и качественные стороны формирования гамет и, в конечном счете, семян. Семенная продуктивность, в свою очередь, определяет эволюционную судьбу вида. К факторам, смещающим пол растений в ту или иную сторону, относятся различные химические соединения. Вопрос о влиянии предпосевной обработки комплексным соединением кобальта на половую дифференциацию растений в литературе не освещен. Процесс сексуализации растительных организмов служит одним из возможных путей повышения продуктивности растений, поэтому очевидна актуальность управления этим процессом. Влияние предпосевной химической обработки семян на процесс половой дифференциации, рост и продуктивность шпината огородного (*Spinacia oleracea* L.) изучалось по общепринятым методикам проведения полевых опытов с однолетними травами в полевых и лабораторных условиях. Проведённые исследования позволили установить, что с уменьшением количества листьев и их размеров снижается масса растений гинейкистов и андрейкистов шпината в вариантах с предпосевной обработкой концентрациями диметилсульфоксида хлорида кобальта (II) 0,05% и 0,1%, что говорит о его ингибирующем действии. Эта же концентрация вызывает смещение пола в популяциях шпината в женскую сторону. Также было показано, что минимальная концентрация 0,01% не оказывает влияния на морфологические характеристики шпината, за исключением количества листьев гинейкистов, но повышает семенную продуктивность шпината. Определено, что с повышением концентраций диметилсульфоксида хлорида кобальта (II) до значений 0,05% и 0,1% жизнеспособность пыльцы резко снижается. Полученные данные показывают, что биологические и морфофизиологические характеристики шпината огородного изменяются в зависимости от используемой концентрации комплексного соединения кобальта (II). Динамика изменения семенной продуктивности также находится в определенной зависимости от экспериментального фактора. Изучение влияния предпосевной обработки семян шпината огородного диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II) на процесс его половой дифференциации позволяет, при дальнейшем накоплении экспериментального материала, прогнозировать продуктивность данного растения для использования в практических целях как одного из самых распространённых и питательных видов овощной зелени.

Ключевые слова: шпинат огородный, семенная продуктивность, морфологические критерии, ингибитор, всхожесть, жизнеспособность пыльцы

The impact of the cobalt complex compound on the sex and some biological characteristics of spinach

Tatyana A. Konchina ¹	tatyana.konchina@mail.ru	 0009-0002-0723-4240
Svetlana A. Oparina ¹	sv130297@mail.ru	 0009-0008-6754-7875
Elena V. Baronova ¹	ipprepod@yandex.ru	 0000-0002-1125-9590

¹ Arzamas Branch of N. I. Lobachevsky National Research University, Marx St., Arzamas, 607220, Russia

Abstract. The problem of sexual differentiation of plants has always occupied a central place in the study of their biological characteristics, since the process of plant sexualization controls the quantitative and qualitative aspects of the formation of gametes and, ultimately, seeds. Seed production, in turn, determines the evolutionary fate of the species. Various chemical compounds are among the factors that change the plant sex in one direction or another. The question of the effect of pre-treatment with a cobalt complex compound on the sexual differentiation of plants is not covered in publications. The process of sexualization of plant organisms serves as one of the possible ways to increase plant productivity, therefore, the relevance of managing this process is obvious. The influence of pre-sowing chemical treatment of seeds on the process of sexual differentiation, growth and productivity of prickly-seeded spinach (*Spinacia oleracea* L.) was studied using generally accepted methods of conducting field experiments with annual herbs in field and laboratory conditions. The conducted studies allowed us to establish that with a decrease in the number of leaves and their size, the mass of spinach with female and male plants decreases in samples with pre-treatment with concentrations of dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride 0.05% and 0.1%, which indicates its inhibitory effect. The same concentration causes a gender change in spinach populations to the female side. It was also shown that the minimum concentration of 0.01% does not affect the morphological characteristics of spinach, except for the number of leaves of female plants, but increases the seed productivity of spinach. It was determined that with an increase in the concentrations of dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride to the values of 0.05% and 0.1%, the viability of pollen decreases sharply. The obtained data show that the biological and morpho-physiological characteristics of prickly-seeded spinach vary depending on the concentration of the complex compound of cobalt (II). The dynamics of changes in seed productivity is also in a certain dependence on the experimental factor. The study of the effect of pre-sowing treatment of *Spinacia oleracea* seeds with dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride on the process of its sexual differentiation allows, with further accumulation of experimental material, to predict the productivity of this plant for practical use as one of the most common and nutritious types of vegetable greens.

Keywords: garden spinach, seed productivity, morphological criteria, inhibitor, germination, pollen viability

Для цитирования

Кончина Т.А., Опарина С.А., Баронова Е.В. Влияние комплексного соединения кобальта на пол и некоторые биологические характеристики шпината // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 235–241. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-235-241

For citation

Konchina T.A., Oparina S.A., Baronova E.V. The impact of the cobalt complex compound on the sex and some biological characteristics of spinach. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 235–241. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-235-241

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Стремление проникнуть в тайну полового процесса у растений существовало еще у древнегреческих мыслителей. В XIX веке изучением процесса оплодотворения занимались многие: Л.С. Ценковский (1853 г.) – у можжевельника, Я.Я. Вальц (1874 г.) – у зеленых водорослей, В.Ф. Хмелевский (1890–1891) – у спирогиры.

В современной ботанической литературе нет общепринятой терминологии для классификации различных сексуальных форм растений. В своей работе мы используем классификацию, предложенную А.Г. Сидорским [1], который отметил, что при определенных внешних условиях или в результате генетических особенностей может измениться обмен веществ, что приведет к невозможности обеспечения в организме физиолого-биохимической дифференцировки. В таком случае в морфологически обоеполом цветке нормально будет протекать либо макро-, либо микроспорогенез. Морфологически обоеполый цветок превратится в функционально тычиночный или пестичный. В функционально пестичных цветках пыльца нежизнеспособная, а в функционально тычиночных – нежизнеспособны яйцеклетки [1].

В связи с тем, что тычиночные и пестичные цветки моноиктовых, гиноикты и андроикты у диоиктовых отличаются по многим биологическим характеристикам, то закономерно влияние на них в разной степени экологических факторов. Это подтверждает большое число публикаций по данной проблеме [2–5]. По мнению В.Н. Година «явление однополых цветков и разных половых форм особей в популяциях, скорее всего, способствует продвижению раздельнополых форм значительно дальше границ распространения родственных гермафродитных видов» [6]. В случае, когда объектом исследований служили культурные растения, в подавляющем большинстве работ авторы дают практические рекомендации с целью создания оптимального для урожайности соотношения разнополых цветков у моноиктовых и однополых особей в популяциях у диоиктовых [7–10]. Ранее исследование Кончиной Т.А. показало, что шпинат, в отличие от моноиктовых (кабачков и огурцов), при всех дозах гамма-облучения имел сдвиг пола в женскую сторону за счет увеличения в посевах доли гиноиктовых. В ряде работ авторами отмечается, что влияние экологических факторов реализуется через воздействие на гормональную систему, которая взаимодействует с генетическим аппаратом и обуславливает проявление пола у растений [8, 11–15].

Обработка растений некоторыми химическими соединениями может вызвать нарушения в ходе микроспоро- и макроспорогенеза, что

оказывает влияние на урожайность. Так, предпосевная обработка семян огурцов растворами солей Mn и Ni приводила к увеличению числа тычиночных цветков [1]. Опрыскивание растений огурцов нитратом серебра вызывало в основном образование тычиночных цветков.

Материалы и методы

Объектом исследования был выбран шпинат – типичный вид, который по биологическим качествам чувствителен к экологическому воздействию на изменение половой дифференциации. Это – раздельнополое двудомное растение (диоикт), популяции которого состоят из мужских (андроиктовых) и женских (гиноиктовых) особей. Выбранный объект позволил изучить особенности сексуализации растений в зависимости от влияния комплексного соединения кобальта на популяционном уровне.

Многие авторы изучали влияние соединений кобальта на различные процессы растений, их урожай. Так, Т.И. Смирновой и др. на основе использования хелатных соединений кобальта (II) обнаружено увеличение содержания хлорофилла и общей массы семян у фасоли обыкновенной [18]. Применение хлорида кобальта в концентрациях 0,01–1 мг/кг почвы привело к достоверному увеличению длины корешков, длины и массы проростков льна и пажитника [16]. На признание Co незаменимым микроэлементом для питания растений обращают внимание Сю Ху и др. [18], З. Ульхассан и др. [19], А. Банерджи и А. Ройчоудхури [20].

Нами был использован раннеспелый сорт – Витаминный, склонный к быстрому стеблеванию. Имеет розетку листьев диаметром 17–23 см. Шпинат этого сорта, по сравнению с другими сортами, содержит повышенное количество витаминов [21]. Сухие семена данной культуры замачивали в растворе диметилсульфоксид хлорида кобальта (II) ($4\text{CoCl}_2 \cdot 3(\text{CH}_3)_2\text{SO} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) в концентрациях 0,05%, 0,01%, 0,1% в течение суток.

Все опыты были проведены в трехкратной повторности, в каждой из которой было по 100 особей шпината. В ходе эксперимента велись фенологические наблюдения за скоростью развития растений (по 10 особей обоих полов в каждой повторности). У шпината были определены такие морфологические показатели как количество, длина, ширина листьев, масса, высота растений.

Определяли жизнеспособность пыльцы с помощью изатинового реактива (пролин-теста) [22]. На предметном стекле смешивали пыльцу с тремя каплями реактива. После пятиминутного окрашивания препарат прогревали в течение 10 минут на спиртовке. Жизнеспособная

пыльца реагирует с изатином и окрашивается в интенсивно темно-синий цвет, а нежизнеспособные пыльцевые зерна остаются бесцветными. Подсчёт окрашенных и проросших пыльцевых зёрен проводили через 24 часа после посева с помощью светового микроскопа при увеличении в 120 раз в пяти полях зрения в 3-х кратной повторности. Семена, полученные от опытных растений, после 5 месяцев сухого хранения проращивали согласно ГОСТу 12038–84 [23].

Полученные результаты были обработаны статистически. Определялись средняя арифметическая величина (M), квадратичное отклонение (σ), средняя статистическая ошибка (m). Достоверность различий между контрольными и опытными вариантами оценивали с помощью критерия Стьюдента ($t_{\text{ст}}$) на 5% уровне значимости, обеспечивающем 95% достоверную вероятность ($P < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Мужские растения шпината (андройкисты) отличались от женских (гинойкистов) более интенсивным развитием. Через две недели после появления всходов можно было различить растения по формирующимся мужским соцветиям. Наблюдения за мужскими и женскими растениями шпината во всех вариантах опыта показали, что они отличались друг от друга по ряду морфологических показателей: высоте, количеству листьев и вегетативной массе. Андройкисты превосходили гинейкистов по высоте, женские же особи отличались большим количеством листьев и большей массой. Сравнение по морфологическим показателям растений шпината, выросших из семян, обработанных диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II), с необработанными выявило различия по некоторым исследованным параметрам представлено в таблице 1.

Таблица 1.

Влияние предпосевной обработки на морфологические показатели шпината

Table 1.

The impact of pre-sowing treatment on the morphological parameters of spinach

Варианты Variants	Пол Sex	Масса, г Weight, g	P	Количество листьев, шт. Number of leaves (pcs.)	P	Длина, см Length, cm.	P	Ширина, см Width, cm.	P
Контроль Control	♂	17,0±1,04	-	12,6±0,3	-	10,2±0,3	-	6,4±0,3	-
	♀	30,0±1,4	-	27,0±0,6	-	11,1±0,3	-	7,2±0,3	-
0,01%	♂	15,0±0,3	>0,1	13,9±0,4	>0,02	10,8±0,4	>0,2	6,0±0,2	>0,1
	♀	31,0±0,8	>0,1	31,6±0,3	<0,001	12,0±0,3	>0,05	7,0±0,2	>0,6
0,05%	♂	13,0±0,3	<0,001	10,0±0,3	<0,001	7,7±0,3	<0,001	4,4±0,3	<0,001
	♀	21,0±0,8	<0,001	24,6±0,6	<0,001	8,9±0,2	<0,001	5,4±0,1	<0,001
0,1%	♂	10,2±0,4	<0,001	10,6±0,5	<0,1	9,4±0,4	>0,05	5,3±0,4	<0,05
	♀	21,0±0,8	<0,001	25,0±0,3	<0,1	10,8±0,4	>0,5	5,8±0,3	<0,05

Источник: составлено авторами

В опытах по влиянию предпосевной обработки комплексного соединения на соотношение полов шпината установлено достоверное возрастание количества гинейкистов в вариантах с обработкой диметилсульфоксидхлоридом кобальта (II) в концентрациях 0,05% (58,7%) и 0,1% (62,0%) по сравнению с контролем (50,3%). Причем, самый большой процент гинейкистов от общего количества особей в популяции отмечен при обработке семян комплексным соединением концентрацией 0,1%. Оказалось, что мужской пол менее резистентен, поэтому происходит феминизация популяций под воздействием химической обработки семян. В контроле соотношение гинейкистов и андройкистов (1,0) было ниже, чем во всех вариантах. Однако достоверное смещение половой дифференциации в женскую сторону наблюдается при замачивании семян шпината в растворах с концентрациями 0,05% (1,4) и 0,1% (1,6) (рисунок 1). Соотношение гинейкистов и андройкистов в варианте с обработкой

семян 0,01%-м раствором комплексного соединения составило 1,2, что лежит в пределах ошибки опыта.

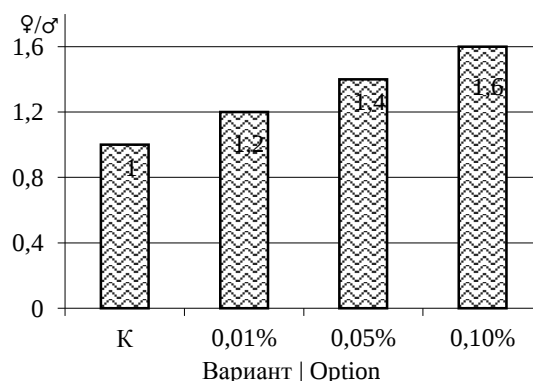


Рисунок 1. Влияние предпосевной обработки диметилсульфоксидхлоридом кобальта (II) на дифференциацию пола шпината

Figure 1. Impact of pre-sowing treatment with dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride on the differentiation of spinach sex

Важными характеристиками репродуктивной функции растений являются качественные показатели семенной продукции: масса тысячи семян, их количество и всхожесть. Сравнение

вариантов влияния предпосевной обработки комплексным соединением кобальта на жизнеспособность семян представлено в таблице 2.

Влияние предпосевной обработки диметилсульфоксид хлоридом кобальта (II) на жизнеспособность семян шпината сорта Витаминный

Таблица 2.

Impact of pre-sowing treatment with dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride on the viability of spinach seeds of the Vitamin variety

Table 2.

Вариант Variant	Количество семян, шт Number of seeds, pcs.		Масса 1000 семян, г Weight of 1000 seeds, g.		Всхожесть полученных семян, % Germination of the obtained seeds, %	
	M ± m	P	M ± m	P	M ± m	P
Контроль Control	97,0 ± 0,6	-	14,7 ± 0,3	-	71,3 ± 1,2	-
0,01%	99,8 ± 0,9	<0,001	16,0 ± 0,6	>0,1	83,3 ± 0,9	<0,001
0,05%	122,7 ± 1,9	<0,001	12,0 ± 0,6	<0,01	58,7 ± 1,8	<0,001
0,1%	116,0 ± 0,6	<0,001	10,7 ± 0,3	<0,01	56,3 ± 2,0	<0,001

Источник: составлено авторами

Установлено, что в вариантах с предпосевной обработкой комплексным соединением кобальта концентрациями 0,05% и 0,1% достоверно уменьшается масса 1000 семян (12,0 г и 10,7 г соответственно) (таблица 2). Всхожесть семян, полученных от обработанных растений в этих вариантах, в отличие от контроля (14,7%), достоверно ниже (12,0 и 10,7%). В связи с этим можно говорить об ингибирующем действии данных концентраций рассматриваемого вещества.

Наряду с качественными характеристиками семян важнейшим показателем функциональной половой дифференциации растений является жизнеспособность пыльцы, поскольку условия выращивания растений оказывают влияние на состояние пыльцевых зерен, их жизнеспособность [24, 25].

Исследование пыльцы путем окрашивания изатиновым реактивом (таблица 3) показало, что небольшая концентрация 0,01% комплексного соединения кобальта не оказывает существенного влияния на жизнеспособность пыльцы (86,7%) по сравнению с контролем (84,3%).

Таблица 3.

Влияние предпосевного обработки диметилсульфоксидхлоридом кобальта (II) на жизнеспособность пыльцы шпината сорта Витаминный

Table 3.

Impact of pre-sowing treatment with dimethyl sulfoxide cobalt (II) chloride on the pollen viability of the Vitamin spinach variety

Варианты Variants	Жизнеспособность пыльцы, % Pollen viability, %	
	M ± m	P
Контроль Control	84,3 ± 2,0	-
0,01%	86,7 ± 3,1	>0,1
0,05%	22,8 ± 3,2	<0,001
0,1%	17,1 ± 2,4	<0,001

С повышением концентраций до значений 0,05% и 0,1% жизнеспособность пыльцы снижается (22,8% и 17,1% соответственно). Снижение жизнеспособности пыльцы является показателем смещения функциональной сексуализации шпината в женскую сторону, что сопоставимо с морфологическим определением пола в этих вариантах. Концентрация 0,01% комплексного соединения кобальта достоверно не вызывает изменения половой дифференциации, однако стимулирует повышение семенной продуктивности растений – увеличивается масса 1000 семян и увеличение их всхожести.

Изучение влияния предпосевной обработки на морфологические показатели шпината (таблица 1) показало, что увеличение количества листьев на 4,6 шт. наблюдалось у гинейкистов в вариантах с обработкой 0,01%-м раствором комплексной соли кобальта по сравнению с контролем. Концентрации 0,05% и 0,1% несколько снижают количество листьев в среднем на одном женском растении до 24,6 и 25,0 (в контроле 27,0). В связи с обработкой у андроксийстов диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II) в варианте 0,01% достоверно увеличивается количество листьев (13,9) по сравнению с контролем (12,6). В концентрациях 0,05% и 0,1% снижается количество листьев у мужских особей на 2,6 и 2,4 шт. по сравнению с контролем.

Достоверного изменения длины листьев шпината в опыте с концентрациями 0,01% и 0,1% не наблюдается. В варианте 0,05% достоверно уменьшается длина листа как у мужских особей (7,7 см), так и у женских (8,9 см) по сравнению с контролем (10,2 см и 11,1 см). Ширина листьев по сравнению с контролем (♂ – 6,4 см, ♀ – 7,2 см) достоверно уменьшается только в вариантах 0,05% и 0,1% у гинейкистов и андроксийстов.

Показателем продуктивности шпината как зеленой культуры служит масса растений. Из таблицы 1 видно, что предпосевная обработка семян концентрациями 0,05% и 0,1% достоверно приводит к снижению массы растений обоих полов по сравнению с контролем. Наименьшее ее значение (10,2 г) отмечено у мужских особей в варианте с обработкой 0,1% диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II), тогда как в контроле масса равнялась 17,0 г.

Таким образом, с уменьшением количества листьев и их размеров снижается масса растений гинейкистов и андрейкистов шпината в вариантах с предпосевной обработкой $(\text{CH}_3)_2\text{SO} \cdot \text{CoCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ концентрациями 0,05% и 0,1%, что говорит об ингибирующем действии.

В опытах по влиянию предпосевной обработки комплексного соединения на соотношение полов шпината (таблица 2) самый большой процент гинейкистов от общего количества особей в популяции отмечен при обработке семян комплексным соединением концентрацией 0,1%. Оказалось, что мужской пол менее резистентен, поэтому происходит феминизация популяций под воздействием химической обработки семян. По полученным данным можно резюмировать, что комплексонат кобальта смещает пол шпината в женскую сторону.

Мы отметили возрастание урожая семян в вариантах с обработкой 0,05 и 0,1% – ными растворами (122,7 шт. и 116,0 шт.) по сравнению с контролем (97,0 шт.), что, по нашему мнению, может быть связано с химическим стрессом

растений и стремлением женских особей оставить как можно большее количество потомков. Концентрация диметилсульфоксид хлорида кобальта (II) 0,01% не оказала существенного влияния на крупность полученных семян шпината (16,0 г) по сравнению с контролем (14,7 г) а вот их всхожесть (83,3%) оказалась достоверно выше контрольных значений (71,3%). Количество же семян отличалось не значительно.

Полученные данные о влиянии концентрации 0,05% и 0,1% $4\text{CoCl}_2 \cdot 3(\text{CH}_3)_2\text{SO} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ на смещение пола шпината в женскую сторону, одновременно позволяют утверждать, что повышение продуктивности растений эти концентрации не вызывают, а напротив наблюдается снижение зеленой массы растений. Следовательно, концентрации 0,05% и 0,1% диметилсульфоксида хлорида кобальта (II), оказывают ингибирующие действия на ряд биологических характеристик. В этих же вариантах изменяется семенная продуктивность: снижается крупность семян, но увеличивается их количество.

Заключение

Изучение влияния предпосевной обработки семян шпината огородного диметилсульфоксидом хлоридом кобальта (II) на процесс его половой дифференциации позволяет, при дальнейшем накоплении экспериментального материала, прогнозировать продуктивность данного растения для использования в практических целях как одного из самых распространённых и питательных видов овощной зелени.

Литература

- 1 Сидорский А.Г. Эволюция половой организации цветковых растений. Н. Новгород: Волго-Вятское книж. изд-во, 1991. 210 с.
- 2 Cane James H. Reproductive role of sterile pollen in cryptically dioecious species of flowering plants // Curr. Sci. (India). 1993. V. 65. № 3. P. 223–225.
- 3 Doust L.L., Doust S.L. Leaf demography and clonal growth in female and male *Rumex acetosella* // Ecology. 1987. № 6. P. 2056–2058.
- 4 Серков В.А., Хрянин В.Н., Зеленина О.Н. К проблеме регуляции процесса половой дифференциации растений конопля посевной // Инновационная техника и технология. 2017. № 2. С. 5–12.
- 5 Konchina T., Oparina S., Sidorskaya V., Rostunov A., Zhestkova E. Effects of anthropogenic impact on sexual differentiation of certain species of the Genus *Salix* // Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2019. V. 1. P. 105–109.
- 6 Godin V.N. Trioecy in Flowering Plants // Doklady Biological Sciences. 2022. V. 507. №. 1. P. 301–311.
- 7 Кордюм Е.Л., Глущенко Г.И. Цитозмбриологические аспекты проблемы пола покрытосемянных. Киев: Наукова Думка, 1976. 198 с.
- 8 Хрянин В.Н., Чайлахян М.Х. Регуляция проявления пола у растений // 2 съезд Всесоюзного общества физиологов растений. Ч. 2. Минск, 1992. С. 227.
- 9 Кунавин Г.А., Кастиорнова А.В. Фотосинтетический потенциал и урожайность шпината в зависимости от группы спелости сортов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 5(85). С. 97–100.
- 10 Штайнерт Т.В., Алилуев А.В. Влияние фиторегуляторов пола на продуктивность огурца // Овощи России. 2023. № 4. С. 38–42.
- 11 Чайлахян М.Х., Хрянин В.Н. Пол растений и его гормональная регуляция. М.: Наука, 1982. 173 с.
- 12 Спицын И.П., Гугнявых А.В. Генетическая детерминация пола цветка у покрытосемянных рода *Cerasus* // Биол. и экология растений. 1996. С. 56–59.
- 13 Coito J.L., Silva H., Ramos M.J.N., Montez M. et al. Vitis flower sex specification acts downstream and independently of the ABCDE model genes // Front. Plant Sci. 2018. doi:10.3389/fpls.2018.01029

- 14 Müller N.A., Kersten B., Leite Montalvao A.P., Mähler N. et al. A single gene underlies the dynamic evolution of poplar sex determination // *Nat. Plants*. 2020. V. 6. P. 630–637.
- 15 Leite Montalvão A.P., Kersten B., Fladung M., Müller N.A. The diversity and dynamics of sex determination in dioecious plants // *Frontiers in Plant Science*. 2021. V. 11. doi:10.3389/fpls.2020.580488.
- 16 Смирнова Т.И., Шилова О.В., Никольский В.М., Тумасьева И.Г. и др. Комплексоны кобальта на основе экологически безопасных комплексонов в качестве микроэлементных удобрений // *Вестник Тверского государственного университета. Серия «Химия»*. 2021. № 1 (43). С. 127–133.
- 17 Черных Ю.О., Куликова М.А., Ступаков А.Г. Зависимость морфометрических параметров льна и пажитника в ранний период жизни от разных концентраций хлорида кобальта в черноземе типичном // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2022. № 2 (34). С. 161–168.
- 18 Hu X., Wei X., Ling J., Chen J. Cobalt: an essential micronutrient for plant growth? // *Frontiers in Plant Science*. 2021. V. 12. doi:10.3389/fpls.2021.768523
- 19 Ulhassan Z., Shah M.A., Ali R.K., Wardah A. et al. Mechanisms of cobalt uptake, transport, and beneficial aspects in plants // *Beneficial chemical elements of plants*. John Wiley & Sons Ltd, 2023. 386 p.
- 20 Banerjee A., Roychoudhury A. Beneficial aspects of cobalt uptake in plants exposed to abiotic stresses // *Frontiers in Plant-Soil Interaction*. Academic Press, 2021. P. 523-529.
- 21 Лебедева А.Т. Шпинат заслуживает внимания // *Картофель и овощи*. 2000. № 2. С. 26–27.
- 22 Бритиков Е.А. Биологическая роль пролина. М.: Наука, 1975. 87 с.
- 23 ГОСТ 12038 – 84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1985. 56 с.
- 24 Дубровский М.Л. Пыльца растений как биоиндикатор экологического состояния природных и антропогенных территорий // *Наука и Образование*. 2022. Т. 5. № 4. URL: <http://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/5341>
- 25 Pacini E., Dolferus R. Pollen developmental arrest: maintaining pollen fertility in a world with a changing climate. 2019. V. 10. doi:10.3389/fpls.2019.00679.

References

- 1 Sidorsky A.G. Evolution of the sexual organization of flowering plants. N. Novgorod, Volgo-Vyatskoe book publishing house, 1991. 210 p. (in Russian).
- 2 Cane James H. Reproductive role of sterile pollen in cryptically dioecious species of flowering plants. *Curr. Sci. (India)*. 1993. vol. 65. no. 3. pp. 223–225.
- 3 Doust L.L., Doust S.L. Leaf demography and clonal growth in female and male *Rumex acetosella*. *Ecology*. 1987. no. 6. pp. 2056–2058.
- 4 Serkov V.A., Khryanin V.N., Zelenina O.N. On the problem of regulating the process of sexual differentiation of hemp plants. *Innovative technology and technology*. 2017. no. 2. pp. 5–12. (in Russian).
- 5 Konchina T., Oparina S., Sidorskaya V., Rostunov A., Zhestkova E. Effects of anthropogenic impact on sexual differentiation of certain species of the Genus *Salix*. *Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2019. vol. 1. pp. 105-109.
- 6 Godin V.N. Trioecy in Flowering Plants. *Doklady Biological Sciences*. 2022. vol. 507. no. 1. pp. 301-311.
- 7 Kordyum E.L., Glushcheko G.I. Cytoembryological aspects of the problem of sex of angiosperms. Kyiv, Naukova Dumka, 1976. 198 p. (in Russian).
- 8 Khryanin V.N., Chailakhyan M.Kh. Regulation of sex manifestation in plants. 2nd Congress of the All-Union Society of Plant Physiologists. Part 2. Minsk, 1992. pp. 227. (in Russian).
- 9 Kunavin G.A., Kastornova A.V. Photosynthetic potential and yield of spinach depending on the ripeness group of varieties. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2020. no. 5(85). pp. 97–100. (in Russian).
- 10 Steinert T.V., Aliluev A.V. The influence of sex phyto regulators on cucumber productivity. *Vegetables of Russia*. 2023. no. 4. pp. 38–42. (in Russian).
- 11 Chailakhyan M.Kh., Khryanin V.N. Plant sex and its hormonal regulation. M., Nauka, 1982. 173 p. (in Russian).
- 12 Spitsyn I.P., Gugnyavykh A.V. Genetic determination of flower sex in angiosperms of the genus *Cerasus*. *Biol. and plant ecology*. 1996. pp. 56–59. (in Russian).
- 13 Coito J.L., Silva H., Ramos M.J.N., Montez M. et al. Vitis flower sex specification acts downstream and independently of the ABCDE model genes. *Front. Plant Sci*. 2018. doi:10.3389/fpls.2018.01029
- 14 Müller N.A., Kersten B., Leite Montalvao A.P., Mähler N. et al. A single gene underlies the dynamic evolution of poplar sex determination. *Nat. Plants*. 2020. vol. 6. pp. 630–637.
- 15 Leite Montalvão A.P., Kersten B., Fladung M., Müller N.A. The diversity and dynamics of sex determination in dioecious plants. *Frontiers in Plant Science*. 2021. vol. 11. doi:10.3389/fpls.2020.580488
- 16 Smirnova T.I., Shilova O.V., Nikolsky V.M., Tumaseva I.G. and others. Cobalt complexonates based on environmentally friendly complexones as microelement fertilizers. *Bulletin of Tver State University. Series "Chemistry"*. 2021. no. 1 (43). pp. 127–133. (in Russian).
- 17 Chernykh Yu.O., Kulikova M.A., Stupakov A.G. Dependence of the morphometric parameters of flax and fenugreek in the early period of life on different concentrations of cobalt chloride in typical chernozem. *Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects*. 2022. no. 2 (34). pp. 161–168. (in Russian).
- 18 Hu X., Wei X., Ling J., Chen J. Cobalt: an essential micronutrient for plant growth? *Frontiers in Plant Science*. 2021. vol. 12. doi:10.3389/fpls.2021.768523
- 19 Ulhassan Z., Shah M.A., Ali R.K., Wardah A. et al. Mechanisms of cobalt uptake, transport, and beneficial aspects in plants. *Beneficial chemical elements of plants*. John Wiley & Sons Ltd, 2023. 386 p.

- 20 Banerjee A., Roychoudhury A. Beneficial aspects of cobalt uptake in plants exposed to abiotic stresses. *Frontiers in Plant-Soil Interaction*. Academic Press, 2021. pp. 523-529.
- 21 Lebedeva A.T. Spinach deserves attention. *Potatoes and vegetables*. 2000. no. 2. pp. 26–27. (in Russian).
- 22 Britikov E.A. Biological role of proline. M., Nauka, 1975. 87 p. (in Russian).
- 23 GOST 12038 – 84. Agricultural seeds. Methods for determining germination. M., Publishing house of standards, 1985. 56 p. (in Russian).
- 24 Dubrovsky M.L. Plant pollen as a bioindicator of the ecological state of natural and anthropogenic territories. *Science and Education*. 2022. vol. 5. no. 4. Available at: <http://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/5341> (in Russian).
- 25 Pacini E., Dolferus R. Pollen developmental arrest: maintaining pollen fertility in a world with a changing climate. 2019. vol. 10. doi:10.3389/fpls.2019.00679.

Сведения об авторах

Татьяна А. Кончина к.б.н., доцент, кафедра биологии, географии и химии, Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. К. Маркса, 36, г. Арзамас, 607220, Россия, tatyana.konchina@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-0723-4240>

Светлана А. Опарина к.п.н., доцент, кафедра биологии, географии и химии, Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. К. Маркса, 36, г. Арзамас, 607220, Россия, sv130297@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0008-6754-7875>

Елена В. Баронова к.ф.н., доцент, кафедра иностранных языков и культур, Арзамасский филиал ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. К. Маркса, 36, г. Арзамас, 607220, Россия, iprepod@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1125-9590>

Вклад авторов

Татьяна А. Кончина общее руководство проектом, эксперимент, анализ и дополнение текста статьи

Светлана А. Опарина эксперимент, сбор и обработка материалов, подготовка первоначального варианта текста

Елена В. Баронова сбор и обработка материалов, подготовка окончательного варианта текста

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Tatyana A. Konchina Cand. Sci. (Biol.), associate professor, biology, geography and chemistry department, Arzamas Branch of N. I. Lobachevsky National Research University, Marx St.,36, Arzamas, 607220, Russia, tatyana.konchina@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-0723-4240>

Svetlana A. Oparina Cand. Sci. (Pedog.), associate professor, biology, geography and chemistry department, Arzamas Branch of N. I. Lobachevsky National Research University, Marx St.,36, Arzamas, 607220, Russia, sv130297@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0008-6754-7875>

Elena V. Baronova Cand. Sci. (Phyl.), associate professor, foreign languages and cultures department, Arzamas Branch of N. I. Lobachevsky National Research University, Marx St.,36, Arzamas, 607220, Russia, iprepod@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1125-9590>

Contribution

Tatyana A. Konchina general project management, experiment, analysis and addition to the text of the article

Svetlana A. Oparina experiment, collection and processing of materials, preparation of the initial version of the text

Elena V. Baronova collection and processing of materials, preparation of the final version of the text

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/01/2024	После редакции 12/02/2024	Принята в печать 29/02/2024
Received 25/01/2024	Accepted in revised 12/02/2024	Accepted 29/02/2024