

На правах рукописи

ЯГДАРОВА Ольга Аркадьевна

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ОНТОГЕНЕЗА ОДНОЛЕТНИХ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

03.02.08 – экология
(биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Казань, 2013

Работа выполнена на кафедре экологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Марийский государственный университет»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Марийского государственного университета
Воскресенская Ольга Леонидовна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Казанского (Приволжского)
федерального университета
Хохлова Людмила Петровна

доктор биологических наук, профессор
Казанского государственного аграрного
университета
Пахомова Валентина Михайловна

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный
технологический университет»

Защита состоится «19» сентября 2013 г. в 14.30 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.081.19 при ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Факс: (843) 238-76-01

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского (Приволжского) федерального университета по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 35

Автореферат разослан «__»_____ 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент



Зелеев Р.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Город – это природно-антропогенная система, основными системообразующими факторами которой являются человек и природная среда. Зеленые насаждения как центральное звено городской экосистемы выполняют санитарно-гигиеническую, архитектурно-эстетическую, эмоционально-психологическую и другие функции. Роль зеленых насаждений в снижении негативного воздействия городской среды заключается в их способности нивелировать неблагоприятные для человека факторы природного и техногенного происхождения. Городская растительность является одним из основных объектов экологического мониторинга и оказывает большое влияние на создание условий среды, приемлемой для жизни человека в городе. Взаимосвязь между городом и растительностью довольно сложная и требует разносторонних исследований (Денисов, 2008; Карасёв, 2009; Воскресенский, 2011; Чупахина, 2012).

В настоящее время особое внимание уделяется изучению декоративных однолетников, так как эта группа растений занимает одно из ведущих мест в озеленении урбанизированных территорий, в том числе и города Йошкар-Олы. Декоративные растения обладают высокой степенью пластичности, которая зависит от стратегии прохождения ими адаптивной эволюции (Скромцкий, 1999; Жуков, 2004; Иванова, 2012 Cathey, 1970). Однолетники, как ни одна из групп растений, обладают высокими адаптивными свойствами по отношению к климату, несмотря на различные погодные условия. В связи с этим адаптационные возможности у декоративных растений могут быть использованы в озеленении различных по антропогенной нагрузке районов города. Тем не менее, изучение эколого-физиологических показателей у однолетних декоративных растений на разных этапах онтогенеза остаётся мало исследованным вопросом. Таким образом, особый интерес представляет физиологическая оценка отдельных онтогенетических состояний, изучение которых даёт возможность в целом оценить полноту протекания процессов роста и развития растений. Использование эколого-физиологических подходов на разных этапах онтогенеза обусловлено тем, что именно эффективность метаболических и энергетических процессов определяет конкурентоспособность вида, интенсивность его развития.

Цель данной работы заключалась в комплексном изучении эколого-биологических и физиоло-биохимических характеристик некоторых видов однолетних декоративных растений семейства *Asteraceae* (*Compositae*) на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие **задачи**:

1. Описать онтогенез астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих; оценить влияние антропогенного воздействия на их морфометрические показатели.

2. Установить особенности ритмов сезонного развития у однолетних декоративных растений в условиях антропогенной нагрузки.

3. Изучить содержание и накопление тяжёлых металлов (Pb, Cu, Zn и Fe) в почвах различных функциональных зон г. Йошкар-Олы.

4. Исследовать содержание Pb, Cu, Zn и Fe в органах декоративных растений на разных этапах онтогенеза и процессы передвижения и распределения тяжёлых металлов в системе «почва-растение» в условиях города.

5. Определить активность некоторых железо- и медьсодержащих ферментов, участвующих в адаптационных процессах в онтогенезе у растений в урбанизированных территориях.

6. Выявить отношение содержания неферментативных компонентов антиоксидантной системы растений разных онтогенетических состояний к антропогенным факторам среды.

Научная новизна работы.

Впервые описан онтогенез астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих; выделены онтогенетические состояния и их морфологические признаки-маркёры. Впервые проведён комплексный анализ однолетних декоративных растений на разных этапах онтогенеза с использованием биометрических, фенологических и физиолого-биохимических методов. Выявлены экологически значимые фенологические (изменения ритмов сезонного развития) и биохимические (функционирование антиоксидантной системы защиты) показатели, отражающие адаптивные механизмы растений к антропогенному воздействию. Изучены особенности распределения тяжёлых металлов в органах однолетних декоративных растений в зависимости от онтогенетических состояний и условий произрастания. Проведена оценка устойчивости декоративных однолетников к неблагоприятным условиям городской среды.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Антропогенное загрязнение городской среды приводит к высокой вариабельности морфометрических показателей у однолетних декоративных растений и изменению ритма сезонного развития на разных этапах онтогенеза.

2. При анализе системы «почва-растение» установлено, что в условиях городской среды изменяются процессы накопления, передвижения и распределения тяжёлых металлов в корнях и побегах модельных видов в процессе индивидуального развития.

3. Устойчивость астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих к урбанизированным условиям среды обусловлена комплексом биохимических параметров: пластичностью окислительно-восстановительных процессов и изменением соотношения компонентов антиоксидантной системы у растений.

Практическая значимость. Результаты исследований представлены в Комитет экологии и природопользования администрации городского округа «Город Йошкар-Ола» и МУП «Город» для выполнения Муниципальной целевой долгосрочной программы «Экологическая безопасность г. Йошкар-Олы». Материалы исследований используются в научной работе кафедры экологии ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», в учебном процессе при чтении курсов «Общая экология», «Физиология растений» и спецкурсов «Промышленное и бытовое озеленение», «Урбоэкология», «Экологическая физиология растений», на большом практикуме для студентов специальности «Биоэкология».

Конкурсная поддержка работы. Исследования выполнялись при поддержке гранта РФФИ 07-04-96619-р_Поволжье_а «Эколого-физиологические адаптации растений в условиях городской среды» (2007–2009); задания Федерального агентства по образованию «Исследование функциональных особенностей биосистем в изменяющейся среде» (2007–2009); задания Министерства образования и науки РФ «Исследование состояния и динамики популяций растений и животных» (2010–2012); ФЦП (соглашение № 14.В37.21.1111) «Экологические аспекты функционального состояния растений в условиях городской среды» (2012–2013); НИР № 5.8479.2013 «Экологический мониторинг и прогнозирование состояния урбанизированных и природных популяций растений» (2013–2015).

Апробация работы. Результаты исследований и материалы диссертационной работы были представлены и обсуждены на Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства», Мосоловские чтения (Йошкар-Ола, 2009; 2010; 2012); Международной научной конференции «Биологическое разнообразие северных экосистем в условиях изменяющегося климата» (Апатиты, 2009); VI Международной научной конференции «Регуляция роста, развития и продуктивности растений» (Минск, 2009); Всероссийской научной конференции «Поливариантность развития организмов, популяций и сообществ» (Йошкар-Ола, 2010); V-ой научной школе «Наука и инновации – 2010»: V международном научном семинаре «Фундаментальные исследования и инновации» (Йошкар-Ола, 2010); IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Йошкар-Ола, 2010); Всероссийской конференции «Актуальные проблемы экологии, биологии и химии» (Йошкар-Ола, 2010); Международной научной конференции «Регионы в условиях неустойчивого развития. Естественное знание в регионах: проблемы, поиски, решения» (Кострома, 2012); XII конференции молодых ученых «Научные, прикладные и образовательные аспекты физиологии, генетики, биотехнологии растений и микроорганизмов» (Киев, 2012); Всероссийской конференции с международ-

ным участием «Иновационные направления современной физиологии растений» (Москва, 2013).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Объём и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, списка использованной литературы и приложения. Объём работы составляет 204 страницы машинописного текста, в том числе 7 таблиц, 75 рисунков и приложения. Список литературы включает 286 наименований, 43 из которых принадлежат зарубежным авторам.

Личное участие автора в получении научных результатов. Исследования выполнены при непосредственном участии автора на всех этапах: постановки целей и задач исследований, выбора методов исследований, обработки и анализа литературных данных, постановки и проведения экспериментов, статистической обработки и интерпретации полученных результатов.

ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе проанализированы отечественные и зарубежные работы, посвящённые устойчивости однолетних декоративных растений как перспективной группы для озеленения в условиях загрязнения окружающей среды (Стороженко, 1978; Николаевский, 1979; Дашкевич, 1982; Зайцева, 1984; Головкин, 1986; Гетко, 1991; Скромный, 1999; Жуков, 2004; Колесникова, 2006, 2007; Бухарина, Воскресенская, 2009; Двоглазова, 2010; Иванова, 2012; Elkiey, Ormrod, 1979; Kiesling, Fugua, 1979).

Дана характеристика адаптационных процессов, протекающих в растениях в условиях урбанизированной среды (Красинский, 1950; Юсуфов, 1986; Барахтенова, Николаевский, 1988; Гирс, 1989; Кения, 1993; Пахомова, 1999; Николаевский, 1999; Акимова, 2001; Чиркова, 2002; Кузнецов, 2005; Барабой, 2006; Воскресенская, Сарбаева, 2006; Экология ..., 2007; Косаковская, 2008; Воскресенская, 2009; Уразгильдин, 2009; Бухарина, 2010; Кошкин, 2010; Колупаев и др., 2011; Чулахина, 2012; Levitt, 1980; Zisa et al., 1980; Scandalios, 2005; Suzuki, Mittler, 2006; Sagi, Fluhr, 2006; Foyer, Noctor, 2009; Jaleel et al., 2009; Tomilin et al., 2011).

ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Характеристика района исследования. Изучение экологического состояния г. Йошкар-Олы (столица Республики Марий Эл), проводимое на базе Маргеомониторинга, включало анализ основных загрязнителей атмосферы. Наиболее распространёнными загрязняющими веществами воздушного бассейна г. Йошкар-Олы являются взвешенные частицы, оксид

углерода, оксиды серы и азота, аммиак, хлор, сероводород, сажа, которые выбрасываются промышленными предприятиями и автотранспортом.

Работу проводили в соответствии с программой исследований, представленной на схеме (рис. 1). Изучение однолетних декоративных растений включало детальное рассмотрение их эколого-биологических и физиолого-биохимических показателей.

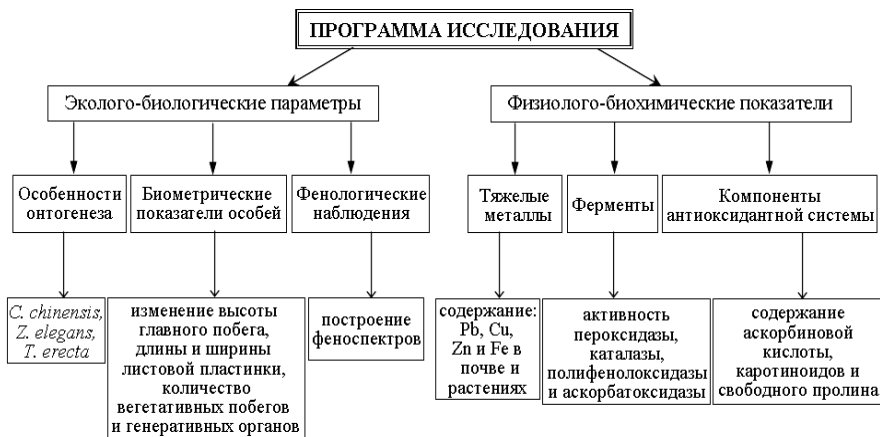


Рисунок 1. Схема программы исследования однолетних декоративных растений

Объектами исследования были стержнекорневые однолетние декоративные растения семейства Астровые (*Asteraceae*) (по старой классификации Сложноцветные (*Compositae*)), наиболее часто используемые в озеленении города: астра китайская (*Callistephus chinensis* (L.) Nees), цинния изящная (*Zinnia elegans* Jacq.) и бархатцы прямостоячие (*Tagetes erecta* L.).

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось в 2008–2013 гг., в различных районах г. Йошкар-Олы, отличающихся по степени антропогенного воздействия: 1) *пригородная зона* – ул. Лесная (п. Руэм; условно чистый, контрольный район исследования); 2) *селитебная зона* – ул. Я. Эшпая (г. Йошкар-Ола; район со средним уровнем загрязнения); 3) *промышленная зона* – ул. Крылова (г. Йошкар-Ола; загрязнённый район).

При изучении индивидуального развития *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* была использована концепция дискретного описания онтогенеза растений, предложенная Т.А. Работновым (1950) и А.А. Урановым (1975), дополненная другими авторами (Ценопопуляция растений, 1976; Жукова, 1995). Биометрические характеристики особей определяли на модельных экземплярах (по 10 растений каждого онтогенетического состояния). Фенологические наблюдения проводили по методу И.Н. Бейдемана (1974).

Содержание тяжёлых металлов в почве и растениях определяли абсорбционным методом в аккредитованной лаборатории (ГОСТ 17.4.3.01, 1981; Ермаченко, 1997). Для характеристики окислительно-восстановительных процессов растений определяли активность ферментов: общей пероксидазы (КФ 1.11.1.7) и полифенолоксидазы (КФ 1.14.18.1) – фотометрическим методом по А.Н. Бояркину (1951; 1954), каталазы (КФ 1.11.1.6) – газометрическим методом (Prasad et al., 1999) и аскорбатоксидазы (КФ 1.10.3.3) – спектрофотометрическим методом (Методы биохимического ..., 1987). Определение содержания аскорбиновой кислоты (витамина С) (Чупахина, 1974) и каротиноидов (Lichtenthaler, 1987) осуществляли спектрофотометрическим методом, свободного пролина (Bates, 1973) – колориметрическим методом.

Экспериментальный материал был обработан с помощью программы «STATISTICA 6.0». В работе использовали следующие статистические характеристики: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, кластерный анализ, одно- и трехфакторный дисперсионный анализ (Глотов и др., 1982; Лакин, 1990).

ГЛАВА III. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОДНОЛЕТНИХ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОСКОЙ СРЕДЫ

Онтогенез некоторых однолетних декоративных растений. В ходе работы описан онтогенез астры китайской (*C. chinensis*), циннии изящной (*Z. elegans*) и бархатцев прямостоячих (*T. erecta*), выделены три периода и шесть онтогенетических состояний: I. Латентный период (se – семена); II. Прегенеративный период (p – проросток, j – ювенильное растение, im – имматурное растение, v – виргинильное растение); III. Генеративный период (g₁ – молодое генеративное растение, g₂ – средневозрастное генеративное растение). В качестве примера показан онтогенез *T. erecta* (рис. 2).

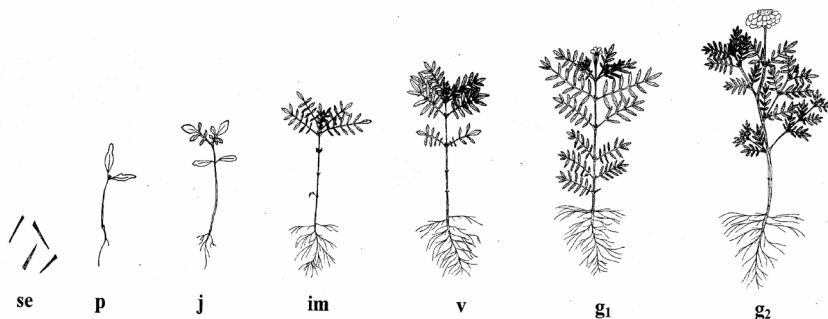


Рисунок 2. Онтогенез бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta* L.)

Специфика ростовых процессов у декоративных растений, произрастающих в районах с различной антропогенной нагрузкой. При исследовании онтогенетических состояний однолетних растений чаще всего используют биометрические показатели, которые отражают размерные характеристики особи, и поэтому дают возможность оценить интенсивность морфогенеза, рост и репродуктивные функции (Ценопопуляции растений..., 1976). В результате исследования биометрических показателей на примере астры китайской и бархатцев прямостоячих было выявлено, что антропогенное воздействие оказывало влияние на некоторые морфометрические параметры наземных органов растений. В урбанизированной среде у однолетних декоративных растений наблюдалось уменьшение высоты главного побега, длины и ширины листовой пластинки. Проведенный сравнительный анализ морфометрических показателей у изученных видов растений показал, что особи астры китайской, выращенные в различных условиях, статистически различались между собой по такому биометрическому признаку, как высота главного побега ($p = 0,023$); бархатцы прямостоячие – высотой главного побега, длиной и шириной листовой пластинки ($p = 0,018$). Городская среда не оказывала влияние на такие биометрические показатели у растений, как количество листьев и вегетативных побегов, а также наличие генеративных органов растений.

Особенности прохождения фенофаз у однолетних декоративных растений в условиях городской среды. Фенологические наблюдения – это основа всех экологических прогнозов. Каждое растение проходит определенную фенофазу в свой оптимальный срок, который для отдельной особи всегда представляет собой компромисс между наследственными задатками и теми условиями, в которых вид произрастает (Зайцев, 1974).

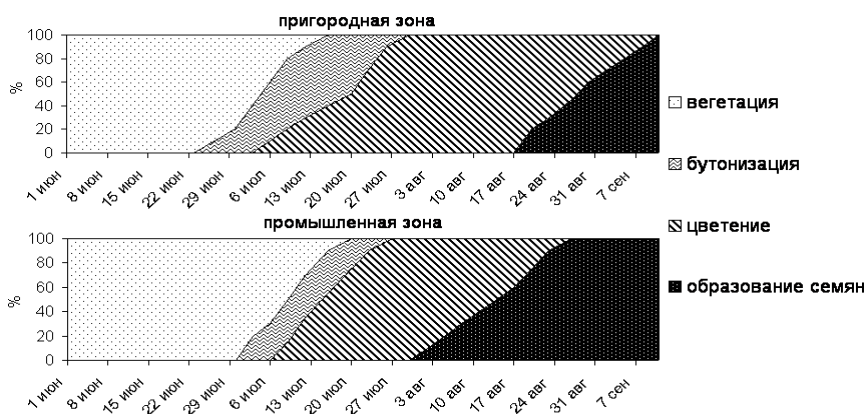


Рисунок 3. Фенологические спектры у *T. erecta*

В результате фенологических наблюдений выявлено, что изученные виды растений, произрастающие в различных по степени антропогенной нагрузки районах города, отличались особенностями прохождения и продолжительностью отдельных фенофаз. У особой *T. erecta* (рис. 3) фаза вегетации по мере повышения уровня загрязнения среды увеличивалась практически в 2 раза по сравнению с контрольной (пригородной) зоной. Продолжительность фазы бутонизации не отличалась во всех районах исследования (6–7 суток), но время начала данной фазы развития у исследуемого вида было различно. Наиболее длительный период цветения у бархатцев прямостоячих отмечался в пригородной зоне (45 суток), продолжительность фазы цветения в промышленной зоне города была короче в 4 раза и составила 10 суток. Одновременно в данном районе г. Йошкар-Олы увеличилась длительность фазы образования семян (на 10 суток). Иная тенденция обнаружена у астры китайской в промышленной зоне: особи быстро проходили фазу вегетации (19 суток) и рано вступали в фазу цветения. Для циннии изящной была характерна продолжительная фаза бутонизации (до 38 суток) во всех районах исследования.

В результате исследований биологических особенностей однолетних декоративных растений выявлено, что городская среда оказывала влияние на некоторые морфометрические показатели: высоту главного побега, длину и ширину листовых пластинок у модельных видов декоративных растений и изменяла ритм их сезонного развития: более раннее вступление в фазу цветения у астры китайской, продолжительный период бутонизации у циннии изящной или длительная фаза вегетации у бархатцев прямостоячих.

ГЛАВА IV. ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И У ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ В ХОДЕ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА

Оценка степени загрязнённости почвенного покрова тяжёлыми металлами. Разнообразие антропогенно изменённых почв в городе оказывает непосредственное влияние на рост и формирование городских ландшафтов, которые сопровождаются значительными перестройками окружающей среды, это вызывает необходимость индикации и объективной оценки почвенного покрова (Котлов, 1977; Рылова, 2003; Никитенко, 2007). В ходе проведённых нами исследований (рис. 4) выявлена следующая картина накопления Pb, Cu, Zn и Fe почвами г. Йошкар-Олы: наибольший уровень загрязнения почвенного покрова подвижными формами тяжёлых металлов (ТМ) был характерен для селитебной и промышленной зон города. Содержание ТМ превысило санитарно-гигиенический показатель (ПДК) для свинца и цинка (I класс опасности) в 2–4 раза, меди (II

класс опасности) в 6–9 раз. Относительно чистым районом исследования выявлена пригородная зона (п. Руэм), где содержание изученных тяжелых металлов в почве было самым низким. По содержанию ТМ в почвах города исследуемые металлы располагались в следующем порядке: Fe>Zn>Cu>Pb.

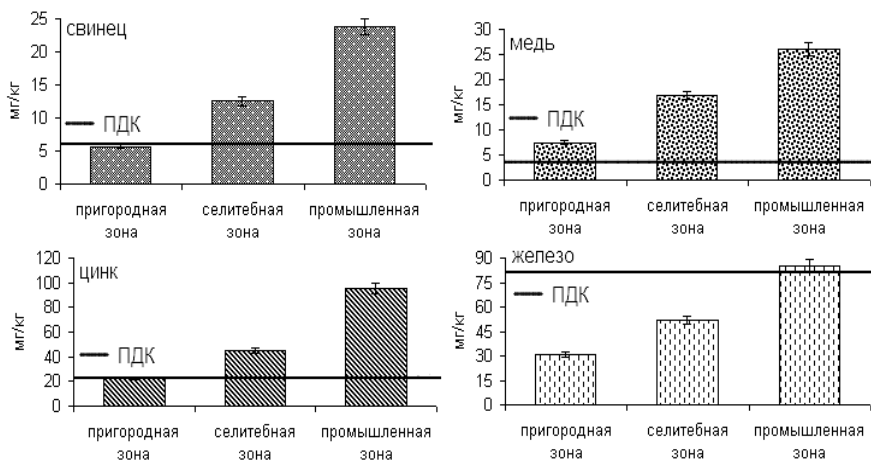


Рисунок 4. Содержание тяжёлых металлов в почве г. Йошкар-Олы

Аккумуляция тяжёлых металлов декоративными растениями. Однолетние травянистые растения чаще всего подвержены влиянию тяжёлых металлов. Химические элементы, поглощаемые травянистыми растениями из почвы в разных количествах, играют существенную роль в регулировании физиологических процессов в растительном организме. В ходе исследования содержания Pb в вегетативных органах декоративных растений было обнаружено, что накопление этого элемента растениями увеличивалось по мере загрязнения окружающей среды. При переходе особей из прегенеративного периода в генеративный, содержания металла в листьях и корнях также возрастало. Наибольшей металлоаккумулирующей способностью по отношению к свинцу во всех изученных местообитаниях отличались особи астры китайской на протяжении всего онтогенеза. У растений бархатцев прямостоячих и циннии изящной в процессе индивидуального развития содержание Pb в вегетативных органах статистически не различались.

Аккумуляция Cu (рис. 5) в листьях и корнях *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* увеличивалась в процессе онтогенеза по мере усиления антропогенной нагрузки на среду, но не превышала предельно-допустимой концентрации (ПДК). В процессе индивидуального развития изученных видов

растений содержание меди в листьях имело одновыпуклую кривую: для пригородной и селитебной зон пик приходился на v-особи бархатцев прямостоячих, у циннии изящной и астры китайской максимальное содержание металла было у g₁-растений. У декоративных растений, произрастающих в промышленной зоне наибольшее количество Cu приходилось на v-особи астры китайской, у циннии изящной – на g₂-особи, у бархатцев прямостоячих – на g₁-растения.

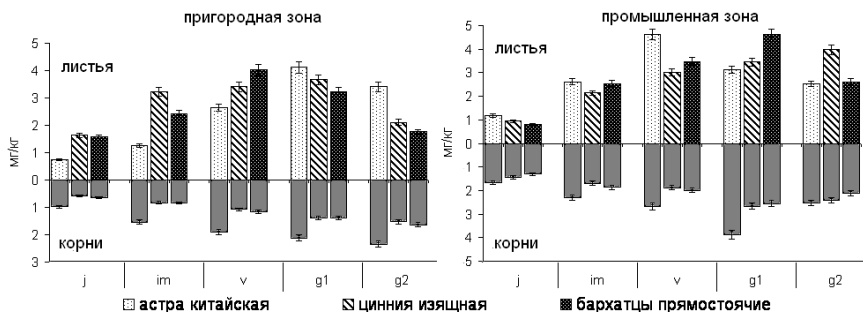


Рисунок 5. Содержание Cu в листьях и корнях декоративных растений в процессе онтогенеза

Рассматривая накопления Zn в вегетативных органах декоративных растений, было обнаружено, что во всех районах исследования для корней астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих характерно максимальное содержание цинка по сравнению с наземными органами, особенно в загрязнённых районах г. Йошкар-Олы. При изучении специфики аккумуляции Zn вегетативными органами у изученных видов был построен следующий убывающий ряд: астра китайская > цинния изящная > бархатцы прямостоячие. В онтогенезе декоративных растений отмечалось увеличение содержания металла по мере старения растений (максимум был у g₂-особей всех исследуемых видов по сравнению с растениями прегенеративного периода). Содержание данного элемента в органах декоративных растений при этом было ниже или в пределах ПДК. Таким образом, содержание цинка в листьях и корнях у декоративных растений на протяжении всего онтогенеза возрастало с увеличением загрязнения окружающей среды.

Содержание Fe в листьях и корнях декоративных растений увеличивалось в процессе индивидуального развития. Наибольшей способностью к накоплению металла обладали вегетативные органы особей астры китайской, а низкой концентрирующей способностью характеризовались растения бархатцев прямостоячих. Железа в корнях модельных видов накапли-

валось больше, чем в ассимиляционных органах, исключение составили ювенильные особи циннии изящной и бархатцев прямостоячих: содержание металла в них было одинаковым как в листьях, так и в корнях.

Процессы накопления, передвижения и распределения тяжёлых металлов в системе «почва-растение» в условиях городской среды. Для характеристики биогенной миграции металлов в системе «почва-растение» были рассчитаны индексы биоаккумуляции. В ходе анализа коэффициентов накопления Pb, Cu, Zn и Fe у изученных видов декоративных растений было обнаружено увеличение этого коэффициента на протяжении всего индивидуального развития: наибольшей накопительной способностью по отношению к данным металлам обладали вегетативные органы особей астры китайской. Листья и корни у растений бархатцев прямостоячих характеризовались низкой поглотительной способностью к Pb, Zn и Fe, а у циннии изящной – к Cu. У всех изученных видов декоративных растений коэффициент накопления Pb, Cu и Zn был значительно ниже 1, что свидетельствует о слабой поглотительной способности растений. В отличие от других металлов, коэффициент накопления в листьях и корнях по отношению к Fe у растений *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* был достаточно высоким (>1).

При оценке коэффициента передвижения Pb, Cu, Zn и Fe в вегетативных органах *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* прослеживалась иная тенденция: по мере роста растений данный показатель снижался. Самым высоким коэффициентом передвижения по отношению к Cu и Zn на протяжении всего онтогенеза в пригородной и селитебной зонах обладали листья и корни особей циннии изящной, а в промышленном районе города – бархатцев прямостоячих. Вегетативные органы растений астры китайской в прегенеративном и генеративном периодах онтогенеза характеризовались наименьшей способностью к передвижению меди и цинка. Коэффициент передвижения Pb и Fe у декоративных растений имел свои особенности: в пригородной зоне наибольшая способность к передвижению металлов отмечалась у особей бархатцев прямостоячих, в селитебной зоне – у астры китайской, а в промышленной зоне – у циннии изящной.

Таким образом, анализируя содержания ТМ в декоративных растениях на разных этапах онтогенеза, выявили видовую специфичность накопления Pb и Zn вегетативными органами *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta*. Установлено, что листья и корни особей астры китайской, в отличие от других видов, обладали наибольшей аккумулирующей способностью по отношению к свинцу и цинку. Анализируя коэффициент накопления металлов (Pb, Cu, Zn и Fe), можно отметить, что вегетативные органы изученных декоративных растений лучше всего накапливают железо, так как этот элемент в определённых количествах является необходимым для роста и развития клеток растений. Коэффициент передвижения металлов в

вегетативных органах у данных видов наоборот был выше 1; полученные данные свидетельствует о преобладании изученных металлов в листьях, что говорит о слабых защитных механизмах корневой системы у однолетних декоративных растений к исследуемым металлам.

ГЛАВА V. ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ У ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Антиоксидантные железосодержащие ферменты, участвующие в адаптационных процессах растений. Одним из биохимических показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является активность пероксидазы и каталазы (Духовский, 2003; Чупахина, 2012). В результате исследования активности пероксидазы у декоративных растений (рис. 6) было установлено, что содержание данного фермента в листьях декоративных растений увеличивалось в процессе индивидуального развития; наибольшей ферментативной активностью обладали особи генеративного периода. У g_2 -растений астры китайской, выращенных в пригородной зоне, данный показатель был максимальным – почти в 2 раза выше по сравнению с особями циннии изящной и в 6 раз больше, чем у растений бархатцев прямостоячих ($p = 0,004$). Действие антропогенных факторов привело также к усилению активности пероксидазы на всех этапах развития. В результате наибольшая пероксидазная активность в листьях *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* наблюдалась в промышленной и селитебной зонах. Нужно отметить, что среди изученных видов растений максимальной ферментативной активностью характеризовались листья особой астры китайской во всех районах исследования. У растений бархатцев прямостоячих были достаточно низкие значения активности данного фермента.

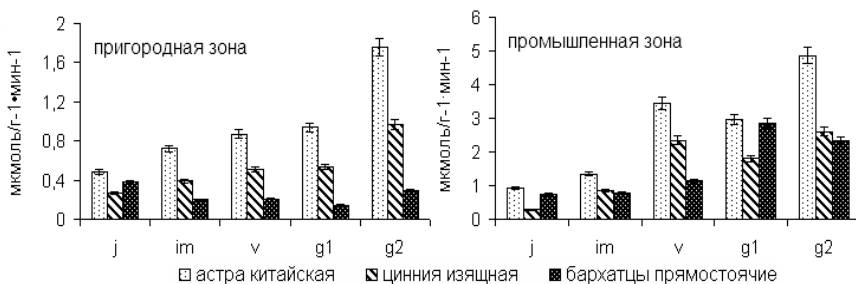


Рисунок 6. Изменение активности общей пероксидазы в онтогенезе декоративных растений

При оценке содержания каталазы в листьях декоративных растений выявлено, что динамика ферментативной активности сходна во всех районах исследования: происходило снижение активности этого фермента у растений от прегенеративного периода к генеративному. У g_2 -особей астры китайской активность каталазы в пригородной зоне почти в 2 раза ниже по сравнению с другими изученными видами ($p = 0,042$). По мере увеличения антропогенной нагрузки данный показатель также падал. Так, в промышленной зоне содержание фермента у декоративных растений было минимальным. Среди изученных видов наибольшую ферментативную активность в пригородной зоне имели листья особей бархатцев прямостоячих, а в сельтебной и промышленных зонах – растения циннии изящной. Особи астры китайской характеризовались самой низкой ферментативной активностью в листьях во всех районах исследования.

Активность медьсодержащих ферментов у декоративных растений. Немаловажное значение в регуляции окислительно-восстановительных процессов играют Cu-содержащие ферменты полифенолоксидазы и аскорбатоксидазы, которые выполняют важные функции в регуляторной деятельности клетки. В процессе индивидуального развития у изученных видов декоративных растений наблюдалась общая закономерность распределения полифенолоксидазы в листьях: активность данного фермента усиливалась от прегенеративного периода к генеративному периоду. Кроме того, по мере увеличения антропогенной нагрузки содержание полифенолоксидазы возрастало; и максимальной активностью данного фермента характеризовались листья особей, произрастающих в промышленной зоне. Нужно отметить, что активность полифенолоксидазы у *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* в процессе онтогенеза имела вид одновыпуклой кривой, максимум которой приходился на молодые генеративные растения. Так, содержание фермента в листьях g_1 -растений астры китайской в промышленной зоне было в 2,5 раза выше по сравнению с циннией изящной и почти в 4 раза больше, чем у g_1 -растений бархатцев прямостоячих ($p = 0,0009$). Среди изученных видов на протяжении всего индивидуального развития наибольшей полифенолоксидазной активностью обладали листья особей астры китайской; у бархатцев прямостоячих содержание фермента было самым низким.

Изучение содержания другого медьсодержащего фермента – аскорбатоксидазы (рис. 7) у декоративных однолетников показало, что данный фермент снижал свою активность в листьях – как в процессе индивидуального развития растений, так и при увеличении антропогенной нагрузки. Исключение составляли растения *T. erecta*, произрастающие в сельтебной зоне: для данного вида характерно максимальное содержание фермента средневозрастного генеративного растения ($0,7 \pm 0,02$ мкмоль/ $г^{-1} \cdot мин^{-1}$), что в 3 раза выше по сравнению с циннией изящной и в 9,5 раз больше, чем у астры китайской ($p = 0,0001$). Среди изученных декоративных расте-

ний наименьшей аскорбатоксидазной активностью во всех районах исследования характеризовались листья особой астры китайской на протяжении всего онтогенеза. У особой циннии изящной, произрастающих в промышленном районе исследования содержание фермента в органах было максимальным. В листьях бархатцев прямостоячих, выращенных в пригородной и селитебной зонах наблюдалась наибольшая ферментативная активность.

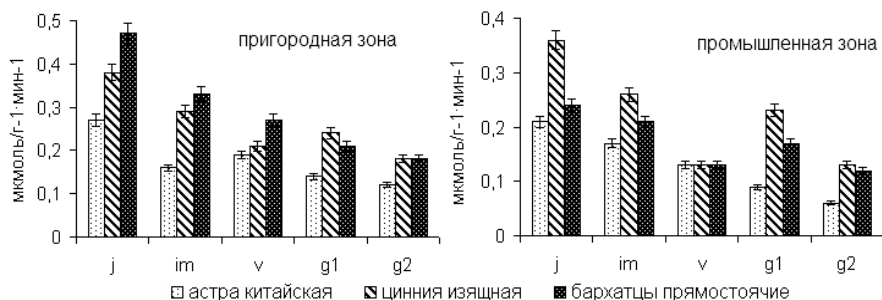


Рисунок 7. Изменения активности аскорбатоксидазы в онтогенезе декоративных растений

Таким образом, анализ активности железо- и медьсодержащих ферментов показал, что по мере увеличения антропогенного загрязнения окружающей среды происходил рост активности пероксидазы и полифенолоксидазы в листьях изученных декоративных растений, а активность каталазы и аскорбатоксидазы падала. По-видимому, колебательный характер изменения Fe- и Cu-содержащих ферментов объясняется снижением уровня активности одних ферментов и одновременной активацией других, как в процессе индивидуального развития, так и в зависимости от условий произрастания.

ГЛАВА VI. ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ НЕФЕРМЕНТАТИВНОЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в онтогенезе декоративных однолетников. Известно, что одним из биохимических показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к новым экологическим условиям является содержание аскорбиновой кислоты и каротиноидов – низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы защиты растений (Чухакина, 2012). При сравнении количества аскорбиновой кислоты в листьях декоративных растений на разных этапах онтогенеза (табл. 1) обнаружено, что в большинстве случаев комплексное загрязнение городской среды приводило к снижению количества данного показателя у изученных растений. В процессе онтоге-

неза наибольшее содержание витамина С в листьях приходилось на имма-турные, виргинильные и молодые генеративные растения. Кроме того, выявлена видовая специфичность содержания данного соединения у изученных декоративных растений: наибольшим количеством аскорбиновой кислоты обладали листья особой астры китайской во всех изученных районах исследования.

Таблица 1
Содержание аскорбиновой кислоты в листьях декоративных растений в процессе онтогенеза, мкг/г

Вид	прегенеративный период			генеративный период	
	j	im	v	g ₁	g ₂
<i>пригородная зона</i>					
<i>C. chinensis</i>	83,4±0,56	91,6±0,88	98,2±0,92	82,5±0,66	76,8±0,22
<i>Z. elegans</i>	70±0,32	85,6±0,70	88,6±0,75	79,3±0,34	56±0,31
<i>T. erecta</i>	66,2±0,51	73,9±0,51	88,3±0,72	81,2±0,55	63,6±0,56
<i>селитренная зона</i>					
<i>C. chinensis</i>	77,8±0,35	81,3±0,53	89,4±0,44	77,8±0,56	70,3±0,55
<i>Z. elegans</i>	64±0,33	84±0,78	67,6±0,52	65,3±0,42	79,3±0,48
<i>T. erecta</i>	60,5±0,55	80,4±0,65	92,6±0,89	75,2±0,67	66,8±0,31
<i>промышленная зона</i>					
<i>C. chinensis</i>	63,7±0,58	75,9±0,58	95,1±0,89	82,3±0,79	75,6±0,56
<i>Z. elegans</i>	57,9±0,43	55,3±0,41	72,3±0,70	52,9±0,42	62,3±0,23
<i>T. erecta</i>	51,4±0,34	64,9±0,46	79,4±0,67	65,3±0,44	50,4±0,38

Наряду с аскорбиновой кислотой изучались особенности и других низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы – каротиноидов. Содержание каротиноидов в листьях изученных видов (рис. 8) повышалось по мере усиления загрязнения окружающей среды, максимальные значения этого показателя характерны для растений промышленной зоны г. Йошкар-Олы.

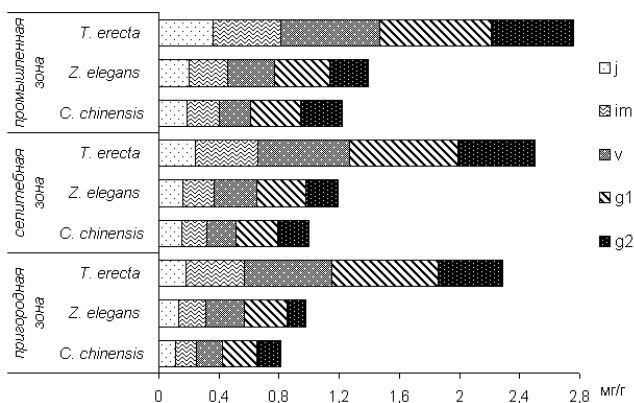


Рисунок 8. Содержание каротиноидов в листьях декоративных растений в процессе онтогенеза

В ходе онтогенеза у *C. chinensis*, *Z. elegans* и *T. erecta* наблюдалось также увеличение в листьях каротиноидов, максимум приходился на молодые генеративные особи. Так, в промышленной зоне у g_1 -растений бархатцев прямостоячих данный показатель был выше в 2,5 раза по сравнению с астрой китайской и циннией изящной ($p = 0,0032$). Как и для аскорбиновой кислоты, обнаружена видовая специфичность изменения изученного показателя: наибольшим содержанием каротиноидов в листьях характеризовались особи бархатцев прямостоячих. У особой астры китайской, выращенных в пригородной и селитебной зонах, содержание каротиноидов в листьях было самым низким.

При неблагоприятных воздействиях накопление свободного пролина рассматривают как один из механизмов биохимической адаптации. Анализируя содержание этой аминокислоты в листьях изученных декоративных растений, можно сделать следующие выводы: наибольшее содержание данного показателя в листьях было характерно для растений, произрастающих в промышленной зоне. У особой астры китайской было обнаружено наибольшее количество изученной аминокислоты в листьях на протяжении всего индивидуального развития в отличие от других декоративных растений семейства *Compositae*. Исключение составили растения циннии изящной, выращенные в пригородной зоне: у данного вида содержание пролина в листьях было максимальным.

Таким образом, в процессе онтогенеза декоративных растений, произрастающих в разных местообитаниях, показаны значительные изменения содержания неферментативных антиоксидантных компонентов. В урбанизированной среде у изученных видов в листьях происходило повышение содержания каротиноидов, пролина и уменьшение количества аскорбиновой кислоты. Данное явление рассматривается как естественный механизм защиты от неблагоприятных условий среды, направленный на сохранение чувствительных внутриклеточных компонентов.

Итак, в ходе изучения эколого-физиологических показателей растений установлено, что для бархатцев прямостоячих и циннии изящной по сравнению с астрой китайской, характерна достаточно высокая экологическая стабильность, которая выражается в меньших затратах потенциальных возможностей растений к восстановлению и преодолению физиолого-биохимических нарушений под действием антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Таким образом, использование комплексного подхода (эколого-биологического и физиолого-биохимического) позволило более полно раскрыть адаптационные возможности декоративных растений в условиях городской среды. В результате исследований выявлено, что бархатцы прямостоячие и цинния изящная лучше адаптируются к изменяющимся условиям среды, а астра китайская наиболее чувствительна к антропогенному

воздействию, поэтому данный вид может быть использован в качестве биоиндикатора загрязнения городской среды. Всё это свидетельствует о том, что однолетние декоративные растения являются эффективными видами для использования их в целях фитоиндикации, оценки экологического состояния территорий и озеленения городской среды.

ВЫВОДЫ

1. На основе концепции дискретного описания онтогенеза были описаны особенности индивидуального развития астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих: выделено 3 периода и 6 онтогенетических состояний; определены следующие признаки-маркеры: тип корневой системы; форма и длина листовой пластинки; порядок ветвления; интенсивность процессов отмирания и новообразования в разных онтогенетических состояниях. На биометрические показатели декоративных растений значительное влияние оказывают антропогенные факторы среды, в результате у растений происходит снижение темпов развития вегетативных и генеративных органов.

2. У декоративных растений, произрастающих в городской среде, происходит изменение длительности отдельных фенофаз: у бархатцев прямостоячих фаза вегетации увеличивалась за счет сокращения фазы цветения и образования семян; особи астры китайской быстро проходят фазу вегетации и раньше вступают в фазу цветения.

3. При оценке содержания тяжёлых металлов в почве г. Йошкар-Олы (селитебная и промышленная зоны) отмечалось увеличение предельно допустимой концентрации: для свинца и цинка в 2–4 раза, меди в 6–9 раз.

4. В результате исследования вегетативных органов модельных видов декоративных растений наблюдалась различная аккумулирующая способность к тяжёлым металлам: наибольшее содержание свинца и меди обнаружено в листьях, а цинка и железа – в корнях. В условиях городской среды коэффициент накопления Pb, Cu и Zn в декоративных растениях не превышал единицы, астра китайская обладала наибольшей способностью накапливать изученные тяжелые металлы.

5. В условиях урбанизированной среды в онтогенезе изученных растений происходило изменение активности окислительно-восстановительных ферментов: активность пероксидазы и полифенолоксидазы увеличивалась в листьях декоративных растений в процессе онтогенеза, а активность каталазы и аскорбатоксидазы уменьшалась по мере индивидуального развития растений.

6. В листьях декоративных растений в условиях городской среды отмечалось изменение содержания низкомолекулярных антиоксидантов: снижение количества аскорбиновой кислоты и увеличение каротиноидов, свободного пролина в генеративном периоде онтогенеза.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи и издания, рекомендованные ВАК

1. Воскресенская, О.Л. Оценка ферментативной активности и содержания стрессовых белков в тканях некоторых видов декоративных растений / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева, О.А. Бердникова (Ягдарова), Е.Р. Юсупова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Тольятти, 2009. – С. 250–253.
2. Ягдарова, О.А. Изменение активности антиоксидантных ферментов в онтогенезе бархатцев прямостоячих в условиях городской среды / О.А. Ягдарова, О.Л. Воскресенская // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2013. – С. 198–201.
3. Ягдарова О.А. Особенности накопления свинца однолетними декоративными растениями в процессе онтогенеза в условиях города Йошкар-Олы // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/108-8981> (дата обращения: 29.04.2013).
4. Ягдарова О.А. Особенности прохождения фенофаз у однолетних декоративных растений в условиях городской среды / О.А. Ягдарова, О.Л. Воскресенская // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – М.: РУДН, 2013. – № 2. – С. 42–47.

Статьи в научных изданиях и электронные ресурсы

5. Ягдарова, О.А. Онтогенез астры китайской (*Callistephus chinensis* (L.) Nees) / О.А. Ягдарова, Т.В. Боровикова, Л.А. Жукова, О.Л. Воскресенская // Онтогенетический атлас: научное издание. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. – Т. 6. – С. 28–32.
6. Ягдарова, О.А. Бархатцы прямостоячие, или африканские (*Tagetes erecta* L.) / О.А. Ягдарова, А.Д. Шопина, О.Л. Воскресенская, Л.А. Жукова // Онтогенетический атлас: научное издание. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. – Т. 6. – С. 38–43.
7. Экологическое состояние г. Йошкар-Олы / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева, Е.А. Алябышева, Т.И. Копылова, О.С. Соловьева, Н.А. Смирнова, В.С. Воскресенский, О.А. Бердникова (Ягдарова). – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. [Электронный ресурс] <http://new.marsu.ru/GeneralInformation/structur/HelpUnits/libr/resours/yoshkar-ola/index.html>.

Список работ, опубликованных в международных, Всероссийских и региональных сборниках и материалах конференций

8. Воскресенская, О.Л. Динамика ростовых процессов в онтогенезе однолетних растений / О.Л. Воскресенская, Л.А. Жукова, О.А. Бердникова (Ягдарова) // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: сборник

материалов международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2009. – С. 378–380.

9. Шопина, А.Д. Изменение физиологических показателей у однолетних декоративных растений в условиях загрязнения окружающей среды / А.Д. Шопина, О.А. Бердникова (Ягдарова), Т.В. Боровикова, О.Л. Воскресенская // Биологическое разнообразие северных экосистем в условиях изменяющегося климата: материалы международной научной конференции. – Апатиты, 2009. – С. 70–71.

10. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Особенности онтогенеза бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta* L.) / О.А. Бердникова, Л.А. Жукова // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: материалы VI Международной научной конференции / Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – С. 17.

11. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Содержание пигментов у декоративных растений на разных этапах онтогенеза / О.А. Бердникова, О.Л. Воскресенская // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. Вып. XII. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – С. 251–352.

12. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Изменение активности железосодержащих оксидаз в онтогенезе бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta* L.) / О.А. Бердникова // Актуальные проблемы экологии, биологии и химии: материалы Всероссийской конференции. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – С. 42–45.

13. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Действие фитогормонов на особенности прохождения фенофаз у некоторых видов декоративных растений / О.А. Бердникова, О.Л. Воскресенская, Т.В. Боровикова // Наука и инновации – 2010: материалы Всероссийского молодежного научного семинара. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – С. 35–37.

14. Бердникова, О.А. (Ягдарова) Особенности онтогенеза и изменение биометрических показателей у астры китайской при разной плотности посадки / О.А. Бердникова, Т.В. Боровикова // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2010. – С. 248–251.

15. Ягдарова, О.А. Изменение феноритмов у некоторых декоративных растений / О.А. Ягдарова // Физиология растений – фундаментальные основы экологии и инновационных биотехнологий: материалы докладов VII съезда Общества физиологов растений: в 2 ч. – Нижний Новгород, 2011. – Ч. 2. – С. 787.

16. Ягдарова, О.А. Изменение содержания тяжелых металлов у декоративных растений / О.А. Ягдарова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. Вып. XII. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2012. – С. 262–264.

17. Ягдарова, О.А. Динамика ростовых процессов в онтогенезе астры китайской в посевах с разной плотности / О.А. Ягдарова, О.Л. Воскресенская // Регионы в условиях неустойчивого развития. Естественное знание в регионах: проблемы, поиски, решения: материалы международной научной конференции. – Кострома: КГУ им. Н. А. Некрасова, 2012. – Т. 1. – С. 288–292.

18. Yagdarova, O.A. The content of vitamin c and carotenoids in ontogenesis of ornamental plants in urban environment / O.A. Yagdarova, O.L. Voskresenskaya // Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів: матеріали XII конференції молодих вчених. – Київ, 2012. – С. 20–21.

19. Воскресенская, О.Л. Особенности накопления цинка декоративными растениями в онтогенезе в условиях городской среды / О.Л. Воскресенская, О.А. Ягдарова // Инновационные направления современной физиологии растений: материалы Всероссийской конференции с международным участием. – М.: МГУ, 2013. – С. 158.

Подписано в печать 20.07.2013 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,1. Тираж 120 экз. Заказ № 2355.

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООП
ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет»
424001, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1