На правах рукописи

Палий Иван Николаевич

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *AGASTACHE FOENICULUM* PURSH. И *NEPETA CATARIA VAR. CITRIODORA* BECK. В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

03.01.05 – физиология и биохимия растений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Воронеж - 2015

Работа выполнена в ГБУ РК «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр»

Научный руководитель: доктор биологических наук, **Ильницкий Олег Антонович**

Официальные оппоненты: **Сазонова Татьяна Аркадьевна,** доктор биологических наук, доцент, Институт леса, Карельский научный центр РАН, лаборатория физиологии и цитологии древесных растений, ведущий научный сотрудник

Федорин Дмитрий Николаевич, кандидат биологических наук, доцент, Воронежский государственный университет, кафедра биохимии и физиологии клетки, доцент

Ведущая организация: Государственное бюджетное учреждение Республики Крым "Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма" (ГБУ РК «НИИСХ Крыма», г. Симферополь).

Защита диссертации состоится «15» мая 2015 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.038.02 при Воронежском государственном университете по адресу: 394006, Воронеж, Университетская пл., 1.

Автореферат диссертации размещен на официальном сайте Минобрнауки Российской Федерации и сайте Воронежского государственного университета: http://www.science.vsu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в зональной научной библиотеке Воронежского государственного университета.

Автореферат разослан «__»_____2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Брехова Любовь Ивановна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Возрастающая потребность косметической и медицинской промышленности в высококачественном растительном сырье, лекарственных и эфиромасличных растений является одной из причин поиска новых эфироносов и разработки оптимальных способов их выращивания.

Особый интерес вызывают растения, обладающие комплексом полезных свойств, к которым без сомнения, относятся котовник кошачий – *Nepeta cataria var. citriodora* Beck. и лофант анисовый – *Agastache foeniculum* Pursh., представители сем. *Lamiaceae*. Наличие у данных видов, сапонинов, эфирных масел, дубильных веществ позволяет считать их перспективными для использования как источников биологически активных веществ, пряно-ароматического и лекарственного сырья.

Трава котовника кошачьего используется в народной медицине при лечении хронических бронхитов, катара желудка, болезней печени и некоторых женских болезней. Она так же эффективна при атонии, малокровии, отдышке, спазмах; применяется как жаропонижающее, тоническое, потогонное и стимулирующее средство [Машанов, В.И. и другие, 1988; Работягов, В.Д. и другие, 1998]. Обладает антибактериальным [Ghadeer, O., 2013], антимикробным действием по отношению к золотистому стафиллококу, кишечной палочке, дрожжам [Nostro, A. et al., 2001; Zomorodian, K. et al., 2013]. Репеллент [Pages, F. et al., 2014]. Обладает высокой антивирусной активностью [Смирнов, Ю.А. и другие, 2009; Лавруков, М. Ю. и другие, 2008]. Имеет широкое распространение в странах Западной Европы как ароматическое и ветрогонное средство под названием Calmint (англ.).

Лофант находит широкое применение в китайской, монгольской, тибетской медицине при болезнях крови, желудка, кишечника, гепатитах, обладает радиопротекторным действием [Демченко, Н.П. и другие, 1987; Машанов, В.И., и другие, 1988]. Сырье лофанта анисового было опробовано в составе фитосборов сердечно-сосудистого и противоспалительного действия при санаторно-курортном лечении детей из Чернобыльской зоны. Рекомендуется для грудных, сердечных и желудочных сборов [Работягов, В.Д. и другие, 1997; Смирнов, Ю.А. и другие, 2009; Хлыпенко, Л.А. и другие, 1977].

Анализ литературных данных показал, что довольно полно известна агротехника выращивания котовника кошачьего и лофанта анисового в условиях ЮБК [Капелев, И.Г., 1981; Педенко, М. Е., 1974], однако данные о физиологии этих растений отрывочны. Не изученными для котовника кошачьего и лофанта анисового являются особенности водного режима, фотосинтеза, проблема биологической продуктивности, а также влияние минерального питания на содержание хлорофиллов, каротиноидов и эфирного масла. Кроме того, актуальным остается вопрос использования данных культур в качестве источника БАВ. В связи с вышеизложенным возникла необходимость комплексного физиологического исследования котовника кошачьего и лофанта анисового.

Цель и задачи исследований. Цель работы - исследовать физиологические параметры и особенности лофанта анисового и котовника кошачьего, культивируемых в условиях Южного берега Крыма.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- выявить зависимости интенсивности фотосинтеза от факторов внешней среды (освещенность, водного потенциала почвы, температура воздуха, относительная влажность воздуха) от условий корневого питания (минеральные, органические удобрения);
- определить зависимости водного режима (водный потенциал листа, интенсивность транспирации, скорость восходящего (ксилемного) водного потока и диаметра стебля) от условий корневого питания (минеральные, органические удобрения);
- исследовать зависимости интенсивности роста и продуктивности надземной биомассы котовника кошачьего и лофанта анисового от факторов внешней среды (освещенность, температура воздуха и почвы, относительная влажность воздуха) и условий корневого питания (минеральные, органические удобрения);
- определить влияние различных условий корневого питания на содержание эфирных масел у котовника кошачьего и лофанта анисового;
- установить динамику накопления хлорофиллов и каротиноидов в листьях исследуемых растений на разных этапах онтогенеза на фоне различных условий корневого питания;
- построить математические модели, описывающие процессы: транспирации, интенсивности фотосинтеза, накопление надземной биомассы и выход эфирного масла.

Научная новизна. Впервые установлена зависимость продуктивности надземной массы, выхода эфирного масла котовника кошачьего и лофанта анисового от суммарной солнечной радиации, температуры воздуха и почвы, относительной влажности воздуха, суммы осадков и условий корневого питания.

Для изучаемых видов установлена тесная положительная корреляционная связь между содержанием хлорофиллов, каротиноидов в листьях и вариантами корневого питания на разных этапах онтогенеза исследуемых растений.

Для исследования водного режима изучаемых видов впервые применен метод, основанный на зависимости оптических свойств листа и толщины листовой пластины от оводненности.

Анализ взаимосвязей между интенсивностью фотосинтеза, освещенностью, водным потенциалом почвы, температурой воздуха, относительной влажностью воздуха и условиями питания выявил оптимальные параметры культивирования котовника кошачьего и лофанта анисового в районе Южного берега Крыма.

Для котовника кошачьего и лофанта анисового с целью оптимизации их промышленного выращивания, построены математические модели, описывающие зависимость интенсивности фотосинтеза от суммарной

солнечной радиации, разности температур лист-воздух, диффузионного сопротивления листа, температуры воздуха, почвы, листа; закономерность накопления биомассы, выхода эфирного масла, влияние на рост условий питания и факторов внешней среды (температуры воздуха и почвы, продолжительности солнечного освещения, относительной влажности воздуха, суммы осадков).

Практическая значимость работы. Данные по оптимальным условиям выращивания котовника кошачьего и лофанта анисового, дают возможность получать урожай с максимальной продуктивностью. Построенные математические модели могут быть использованы при прогнозировании урожайности изученных видов. Проведенные исследования значительно дополнили существующую информацию о видах котовника и лофанта их физиологических особенностях, адаптационном потенциале и могут быть полезными как в теоретическом плане, так и при практическом выращивании данных культур.

Результаты исследований и методические подходы, изложенные в работе, используются кафедрой ботаники и физиологии растений и биотехнологий Таврического национального университета им. В.И. Вернадского при чтении лекций по дисциплинам «Физиология растений», «Экология растений», практических занятиях большого спецпрактикума, при подготовке курсовых и дипломных работ, а также внедрены в ООО «Фитосовхоз Радуга» Симферопольского района Республики Крым.

Личный вклад соискателя состоит в освоении необходимых методик, получении результатов исследований, проведении аналитического обзора отечественной и зарубежной литературы, закладке полевых и лабораторных опытов. Диссертантом обобщены экспериментальные данные с использованием статистических методов, сформулированы основные положения и выводы диссертации. Совместно с научным руководителем выбран объект исследования, разработан методологический подход и определена структура диссертации. В совместных публикациях права соавторов не нарушены.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований были доложены на заседаниях отдела физиологии и репродуктивной биологии растений; Международной молодежной конференции «Проблемы интродукции, сохранения биоразнообразия и рационального использования растений в сельском хозяйстве» (Ялта, 2004); на 1-му відкритому з’їздї фітобіологів Херсонщини (Херсон, 2006); Міжнародній науково-практичній конференції «Досягнення та проблеми інтродукції рослин в степовій зоні України» (Нова Каховка, 2006); Міжнародній науковій конференції «Досягнення та проблеми інтродукції рослин в степовій зоні України» (Нова Каховка, 2007); Междуародной конференции молодых ученых Никитского ботанического сада – Национального научного центра и Центрального ботанического сада НАН Беларуси «Современные проблемы ботаники, интродукции, селекции и экологии растений» (Ялта, 2008); International scientific conference «Actualitiesin plant physiology» (Kaunas, 2008); Междуародной научно-практической

конференции «Интродукция и селекция ароматических и лекарственных растений (Ялта, 2009); Міжнародній наукової конференції «Онтогенез – стан, проблеми та перспективи вивчення рослин в культурних природних ценозах» (Херсон-2012); Всероссийской научной конференции с международным участием «Инновационные направления современной физиологии растений» (Москва-2013); XLV international research and practice conference and 1 stage of the championship in medicine and physical culture, pharmaceutics «Health protection and physical development of a person in conditions of the biospheric crisis» (London-2013); Международной научной конференции «Биологически активные вещества растений – изучение и использование» (Минск-2013); I-й международной научной конференции «Лекарственные растения: фундаментальные и прикладные проблемы» (Новосибирск-2013); III International scientific–practical conference «The Strategies of Modern Science Development» (Yelm, WA, USA-2013).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 25 работ.

Структура и объём диссертации. Диссертация изложена на 181 листах компьютерного текста и состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов исследований, изложения результатов исследований и их обсуждения, выводов, заключения, приложения, списка литературы, включающего 271 источников. Работа иллюстрирована 12 таблицами и 29 рисунком; содержит приложение включающее 15 рисунков, 10 таблиц и 2 акта внедрения результатов диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ
ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использовали сорта селекции Никитского ботанического сада: котовник кошачий - сорт «Победитель» - 3 и лофант анисовый – сорт «Памяти Капелева». Период проведения опытов - с марта по октябрь 2002 - 2005 гг. Растения выращивали на участках (10х10м), а также в емкостях (объем 20 л), достаточных для свободного размещения корневой системы.

В исследованиях применены 3 варианта внесения удобрений и контроль.

1. Внесение органического удобрения (навоз 40 т/га) и минеральных удобрений (N60P60);
2. Внесение органического удобрения (навоз 40 т/га);
3. Внесение минеральных удобрений (N60P60);
4. Контроль (почва без внесения каких-либо удобрений).

Исследования проводили в условиях полевого опыта и в камерах искусственного климата. Для проведения опытов использована фитометрическая система «Экоплант», которая позволяет регистрировать основные функциональные параметры растений и факторы внешней среды. Система способна измерять: температуру листьев растения, воздуха и почвы, разницу температур лист-воздух, скорость ксилемного и флоемного потоков в стеблях растений и изменение их диаметра, рост различных органов растений,

интенсивность фотосинтеза, водный потенциал почвы и влажность воздуха [Ильницкий,О.А. и другие, 2005].

Для измерения водного потенциала листьев применены психрометрический метод [Клейман, Е.И., 1988; Ильницкий, О.А. и другие, 2005]. Оптические свойства листьев растений измеряли полупроводниковым лазерным спектрофотометром – «Перфот-93» (СССР, Ломо) [Лискер, И.С. и другие, 1999].

Концентрацию хлорофиллов и каротиноидов в вытяжке определяли спектрофотометрически с применением двухволнового метода (спектрофотометр СФ-46) [Плешков, Б.П., 1985]. Массовую долю эфирного масла в растениях определяли методом гидродистилляции по А.С. Гинзбергу на аппаратах Клевенджера и пересчитывали на абсолютно сухую массу растительного сырья [Плешков, Б.П., 1985].

Достоверность полученных результатов исследований подтверждена методами математической и статистической обработки.

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОФАКТОРОВ И РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ КОРНЕВОГО ПИТАНИЯ НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ КОТОВНИКА КОШАЧЬЕГО И ЛОФАНТА АНИСОВОГО

Влияние метеофакторов на процесс транспирации котовника кошачьего и лофанта анисового

На основании экспериментальных данных выявлено, что интенсивность транспирации лофанта анисового выше котовника кошачьего. С помощью дисперсионного анализа определен показатель удельного влияния (%) различных независимых переменных на процесс транспирации, которыми были параметры внешней среды (табл.1).

Наибольшее влияние имеют: интенсивность суммарной солнечной радиации, температура воздуха, относительная влажность воздуха.

Таблица 1

Показатель удельного влияния (%) разных независимых переменных на процесс транспирации

Независимые переменные	Показатель удельного влияния, %	
	котовник кошачий	лофант анисовый
интенсивность суммарной солнечной радиации, квт/м^2	37,4	41,1
относительная влажность воздуха, %	17,7	16,1
температура воздуха, ^{o}С	28,9	31,4
температура грунта на глубине 15 см, ^{o}С	10,6	8,4
разница температур лист-воздух, ^{o}С	5,2	2,6

Изменение скорости водного потока и тургесценции органов растений котовника кошачьего и лофанта анисового

Интенсивность водного потока в ксилеме побегов под влиянием метеофакторов в течение дня меняется. Скорость водного потока котовника кошачьего в период максимальной температуры воздуха (11:00-16:00 час.), при влажности почвы 90% НВ составляла от 2,79 до 2,55 мВ, для лофанта анисового - от 3,02 до 2,38 мВ. В случае снижения влажности почвы до 40% НВ сохраняется та же закономерность, но показатели скорости водного потока значительно ниже: для котовника кошачьего от 1,34 до 0,94 мВ, для лофанта анисового от 1,95 до 1,38 мВ (рис. 1).

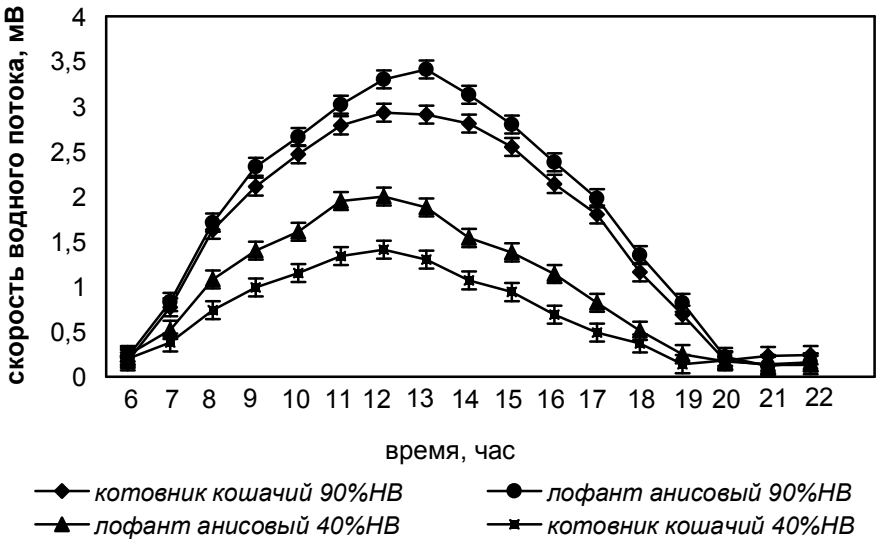

Рис. 1. Изменение скорости водного потока в ксилеме стебля в течение светового периода суток

Уменьшение диаметра стеблей происходит противофазно изменению скорости водного потока. Усиление транспирационного потока в дневное время снижает тургесцентность, что делает возможным применение этого показателя для первичной регистрации водного дефицита.

Влияние условий питания и влажности почвы на водный потенциал листьев котовника кошачьего и лофанта анисового

Выявлены тенденции развития и уровень водного потенциала листьев, по которым можно оценивать степень водного стресса и относительную засухоустойчивость. Водный потенциал листа является показателем, который изменяется как в течение дня, так и в течение всего вегетационного периода. Отмечены низкие значения водного потенциала листа в июле, но уже к сентябрю происходит очевидное его увеличение, вероятно, связанное с ослаблением давления метеофакторов. Водный потенциал листа котовника

кошачьего имеет более высокие значения по сравнению с таковым показателем для лофанта анисового.

Во время исследований выявлена зависимость водного потенциала листа от условий минерального питания. Высокие показатели зарегистрированы в варианте № 1 с общим применением органических и минеральных удобрений. Условия питания не оказывают существенного влияния на водный потенциал листа до снижения влажности почвы 65% НВ. Для котовника кошачьего (при 65% НВ) в варианте № 1 водный потенциал составлял -4,4 бар, для варианта № 4 этот показатель равен -7 бар, для лофанта анисового -5,2 бар и -8,4 бар, соответственно. Влияние условий питания на водный потенциал листа имеет линейный характер от варианта № 4 к варианту № 1. Низкие значения отмечены в варианте № 4 для обеих культур (рис. 2, рис. 3).

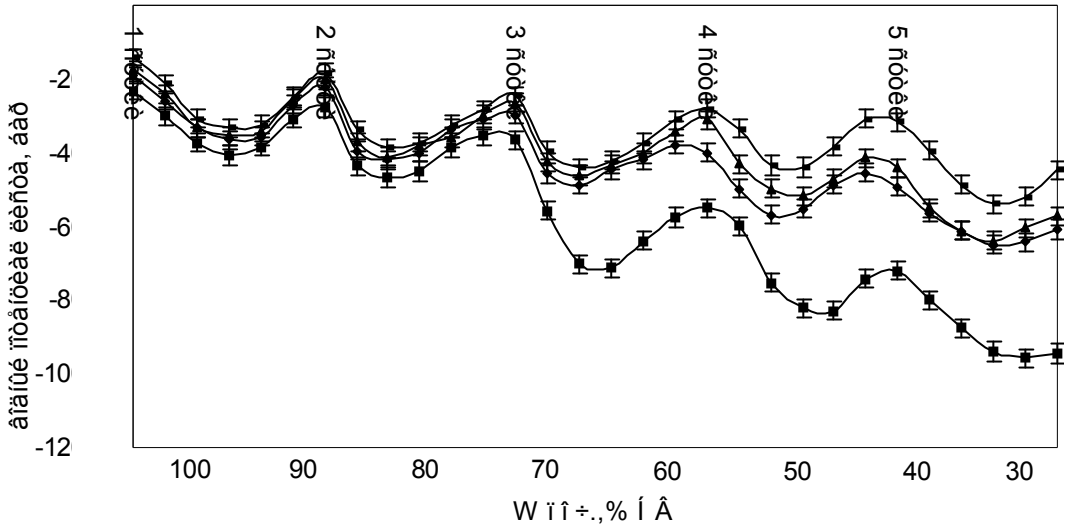

Рис. 2. Водный потенциал листа котовника кошачьего при различных условиях питания

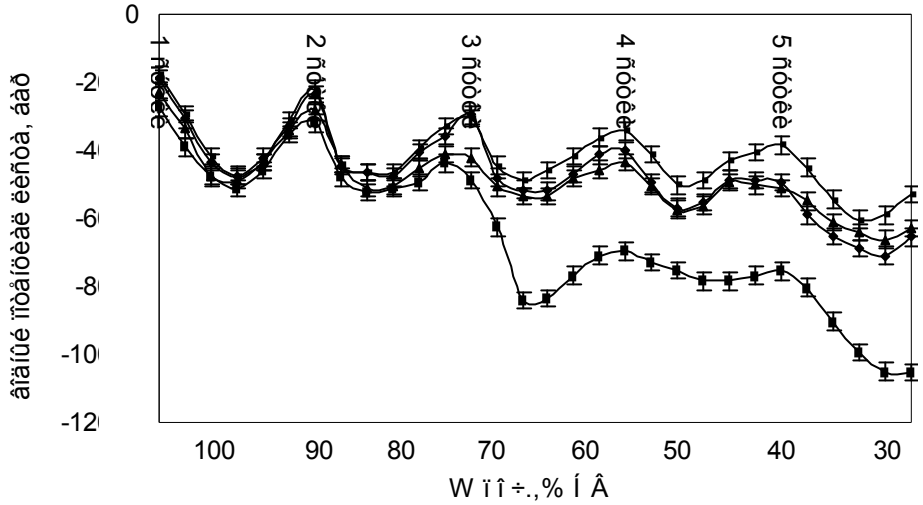

Рис. 3. Водный потенциал листа лофанта анисового при различных условиях питания

Оптические свойства листьев котовника кошачьего и лофанта анисового в инфракрасном излучении

Для характеристики водного режима изучаемых видов впервые применен метод, основанный на зависимости оптических свойств листа и толщины листовой пластинки от оводненности (рис. 4). Исследования показали, что коэффициент поглощения листа для лофанта анисового составляет 7-15 %, для котовника кошачьего 15-21 %.

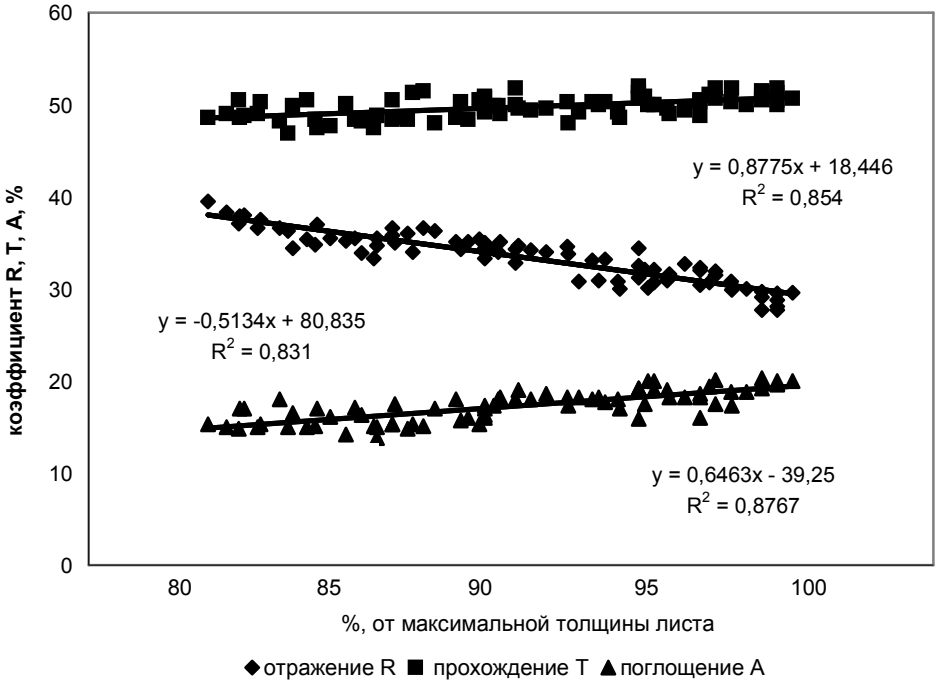

Рис. 4. Оптические параметры листа котовника кошачьего при различной оводненности

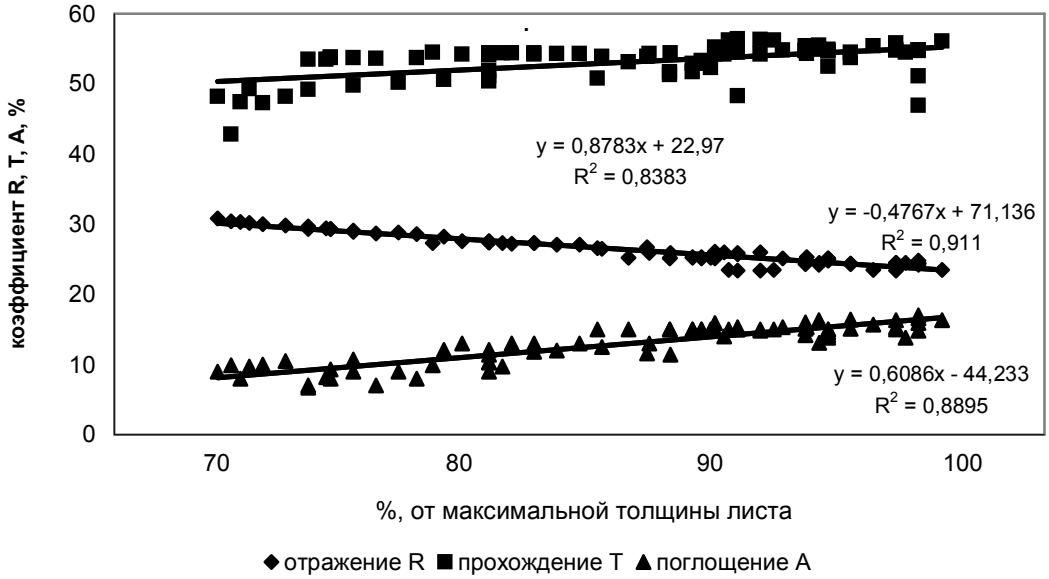

Рис. 5. Оптические параметры листа лофанта анисового при различной оводненности

Коэффициент отражения лофанта анисового находится в пределах 24-30%, котовника кошачьего – 27-40%, что свидетельствует о большей отражающей способности последнего вида (рис. 5). При этом толщина листовой пластинки уменьшалась для лофанта анисового на 30,2%, для котовника кошачьего - на 22,7%. Между показателями поглощения, толщиной листовой пластинки и ее оводненностью выявлена линейная зависимость.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КОРНЕВОГО ПИТАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КОТОВНИКА КОШАЧЬЕГО И ЛОФАНТА АНИСОВОГО

Влияние условий питания на продуктивность

Установлено влияние корневого питания на изменение характеристик вегетативных и генеративных побегов. Отмечено увеличение высоты и диаметра растений; количества и длины побегов, количества соцветий от варианта №4 (контроль) к варианту №1 (внесение комплекса органического и минерального удобрений).

Определено влияние различных условий питания на массу и соотношение различных органов растений разного возраста. Максимальная биомасса исследуемых растений наблюдалась в варианте № 1. При определении влияния независимых переменных, которыми были параметры внешней среды, на накопление биомассы, установлено, что определяющий вклад имеют: сумма осадков (мм), освещенность (лк), температура воздуха (^{o}C). Также установлена зависимость накопления эфирного масла от варианта минерального питания для культур разного возраста (табл. 2). Максимальный выход эфирного масла получили на варианте № 1.

Таблица 2

Выход эфирного масла в зависимости от условий питания

Массовая доля эфирного масла, % от сухой массы												
	Варианты корневого питания											
	№1	№2	№3	№4	№1	№2	№3	№4	№1	№2	№3	№4
	Растения первого года вегетации				Растения второго года вегетации				Растения третьего года вегетации			
котовник кошачий	1,72±0,16	1,23±0,15	1,22±0,15	0,91±0,16	1,74±0,20	1,25±0,20	1,25±0,20	0,93±0,20	1,80±0,22	1,30±0,20	1,28±0,20	1,00±0,20
лофант анисовый	1,43±0,20	1,11±0,20	0,95±0,20	0,81±0,20	1,44±0,90	1,12±0,90	1,00±0,90	0,84±0,90	1,40±0,30	1,10±0,30	1,00±0,30	0,80±0,30

При определении влияния независимых переменных на накопление эфирного масла, которыми были факторы внешней среды, наибольшее значение имели: сумма осадков, температура воздуха и температура почвы (табл. 3).

Таблица 3

Показатель удельного влияния (%) разных независимых переменных на накопление эфирного масла

Параметры внешней среды	Показатель удельного влияния, %	
	котовник кошачий	лофант анисовый
освещенность, лк	9,8	5,9
температура почвы на глубине 15 см, ^{o}C	15,8	12,6
температура воздуха, ^{o}C	28,3	29,4
относительная влажность воздуха, %	4,3	3,2
сумма осадков, мм	41,4	48,7

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ФОТОСИНТЕЗА И УСЛОВИЯМИ КОРНЕВОГО ПИТАНИЯ

Продуктивность растений является результатом интеграции многих фундаментальных процессов: фотосинтеза, дыхания, транспорта метаболитов, роста и развития. Среди факторов, оказывающих влияние на продуктивность, фотосинтезу принадлежит ведущая роль [Ничипорович, А.А., 1982].

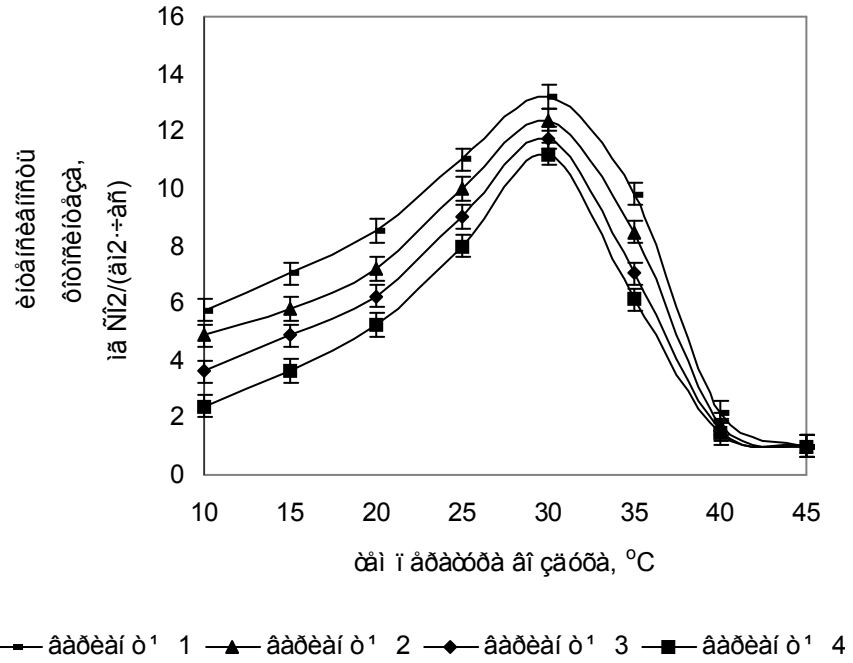

Рис. 7. Интенсивность фотосинтеза котовника кошачьего при различных условиях питания

Разница между вариантами корневого питания составила 2 мг CO_2/дм^2 • ч для обеих культур при разных уровнях интенсивности фотосинтеза, которая для котовника кошачьего составляла от 11,2 до 13,2 мг CO_2/дм^2 • час, для лофанта анисового - от 12,10 до 14,16 мг CO_2/дм^2 • час (рис. 7, рис. 8).

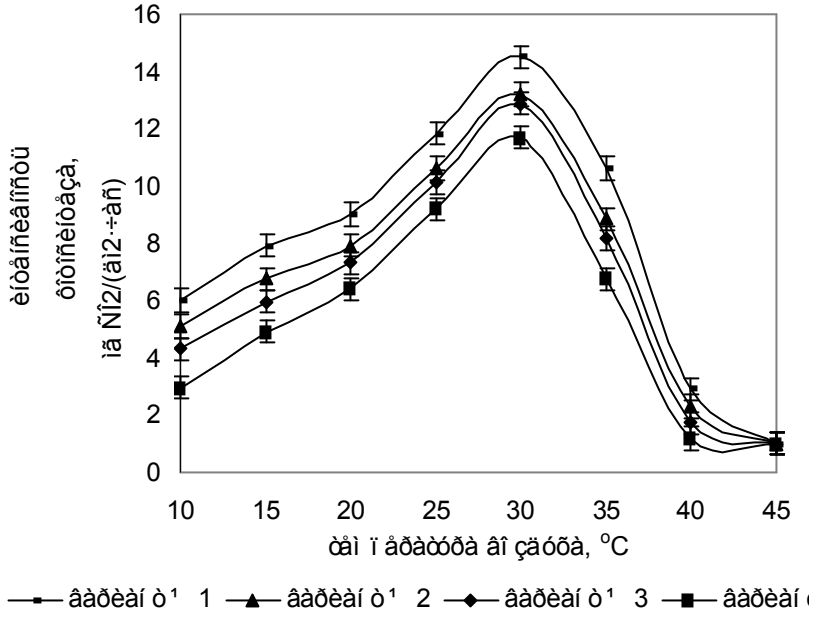

Рис. 8. Интенсивность фотосинтеза лофанта анисового при различных условиях питания

Оптимум интенсивности фотосинтеза для исследуемых растений соответствует температуре 28-32°С. После достижения оптимума фотосинтеза при дальнейшем повышении температуры воздуха кривые зависимости практически сливаются в одну линию, направленную в сторону подавления его интенсивности повышенными температурами.

С помощью дисперсионного анализа определены разные доли влияния независимых переменных на интенсивность фотосинтеза (табл. 5).

Таблица 5

Показатель удельного влияния (%) разных независимых переменных на интенсивность фотосинтеза

Независимые переменные	Показатель удельного влияния, %	
	котовник кошачий	лофант анисовый
температура воздуха, °С	9,8	9,4
разница температур лист - воздух, °С	9,5	3,7
температура листа, °С	15,4	17,2
температура почвы, °С	8,2	3,2
диффузионное сопротивление листа, с/см$^{-1}$	24,1	28,7
суммарная солнечная радиация, квт/м^2	32,7	37,4

Максимальное влияние на интенсивность фотосинтеза изучаемых культур имеют: суммарная солнечная радиация, диффузионное сопротивление листа, температура листа, внося большее долевое влияние относительно остальных переменных. Влияние независимых переменных различно между собой и неодинаково по культурам, но по очередности влияния, тенденция характерна для обоих видов.

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛОВ И КАРОТИНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ КОТОВНИКА КОШАЧЬЕГО И ЛОФАНТА АНИСОВОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ КОРНЕВОГО ПИТАНИЯ

На основании анализа полученных результатов выявлено, что наибольшее содержание хлорофиллов в листьях растений отмечено для варианта № 1, которое последовательно уменьшается в растениях других вариантов. Максимальное содержание обнаружено в фазе «массового цветения» в растениях, культивируемых в варианте № 1, которое для котовника кошачьего составляло 8,57 мг/г абс. сухого вещества, для лофанта анисового - 5,04 мг/г абс. сухого вещества. Количество хлорофиллов увеличивается по разным фазам вегетации и достигает максимального значения в момент «массового цветения». В дальнейшем в исследуемых растениях происходит снижение содержания хлорофиллов a и b.

Минимальное содержание хлорофиллов наблюдается в фазе «начало отрастания»; для котовника кошачьего оно составило 6,94, для лофанта анисового - 3,63 мг/г абс. сухого вещества. К моменту созревания семян количество хлорофиллов снижается и для котовника кошачьего составляет 7,35, для лофанта анисового – 3,85 мг/г абс. сухого вещества.

По количеству хлорофиллов и каротиноидов можно оценивать степень водоудерживающей способности. Показано, что чем больше хлорофиллов, каротиноидов у растений, тем более они устойчивы в условиях водного дефицита [Баранина, И.И., 1984; Таран, Н.Ю., 1999].

Содержание хлорофиллов и каротиноидов в этих культурах различно. Количество пигментов выше у котовника кошачьего на разных фазах вегетации и при использовании разных вариантов питания. Это свидетельствует о потенциально более высокой водоудерживающей способности котовника кошачьего в условиях водного дефицита, что согласуется с результатами по водному режиму этих культур.

Для котовника кошачьего в варианте № 1 количество каротиноидов в фазе «начало вегетации» составляло 2,01 мг/г абс. сухого вещества, а в фазе «созревания семян» - 2,21 мг/г абс. сухого вещества; для лофанта анисового в начале отрастания - 1,21 мг/г абс. сухого вещества, а в фазе «созревания семян» - 1,5 мг/г абс. сухого вещества. Количественные показатели хлорофиллов отличаются между объектами. У котовника кошачьего содержание хлорофиллов выше по сравнению с лофантом анисовым, что свидетельствует о потенциально большей продуктивности первого вида.

Высокое содержание хлорофиллов может свидетельствовать о потенциально высокой продуктивности растений, выращенных при определенных условиях. При увеличении количества зеленого пигмента в растениях наблюдается положительная корреляция с продуктивностью растений, что согласуется с литературными данными [Дерендовская, А.Н. и другие, 2008; Прядкин, Г.А. и другие, 2010].

Усиление фотосинтетической активности повышает содержание хлорофиллов и каротиноидов, что позволяет косвенно судить о потенциальной продуктивности и степени устойчивости растения в условиях водного дефицита.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА КОТОВНИКА КОШАЧЬЕГО И ЛОФАНТА АНИСОВОГО В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Сложился определенный разрыв между возрастающей степенью антропогенного давления на агроэкосистемы и несовершенством методов прогноза их последствий. Прогресс в этом направлении наметился с появлением концепций устойчивого и точного земледелия. Инструментом формирования комплекса рекомендаций могут быть средства поддержки технологических решений, а в качестве возможности таковых выступают динамические модели продукционного процесса (ДМПП). Использование математических моделей повышает эффективность выбранных мер в сельском хозяйстве.

С целью выявления закономерностей накопления биомассы от условий питания и факторов внешней среды на основе регрессионного анализа построены математические модели множественной линейной регрессии для котовника кошачьего и лофанта анисового. В рассматриваемых моделях метеорологическая информация и сведения о корневом питании выступали в качестве независимых переменных, а рассматриваемый параметр был зависимым.

Шаг модели - 1 декада:

$Y=a_O+a_1X1+a_2X_2+a_3X_3+a_4X_4+a_5X_5$

где Y - надземная масса растения, г (определяемая величина);

a_o-константа выражающая переменную Y; a, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5-коэффициенты регрессии при независимых переменных;

X1 - освещенность, лк;

X2 - температура почвы на глубине 15 см, °С;

X3 - температура воздуха, °С;

X4 - относительная влажность воздуха, %;

X5 - сумма осадков, мм.

Приводим уравнения множественной линейной регрессии для котовника кошачьего:

Вариант корневого питания №1

$Y=74,231-5,1396X_1-1,5794X_2+5,1109X_3-0,22638X_4+9,1385X5$ $R^2=0,9182$

$F_{кр} = 6,26 < F = 90,02$

$t_{кр} = 2,77 < t = 9,49$

Вариант корневого питания №2

$Y=52,692-6,527X_1-1,4269X_2+5,6091X_3-0,33352X_4+9,7028X5$ $R^2=0,908$

$F_{кр} = 6,26 < F = 78,96$

$t_{кр} = 2,77 < t = 8,89$

Вариант корневого питания №3

$Y=57,518+6,2809X_1-1,4957X_2-5,249X_3-0,27084X_4-10,082X5$ $R^2=0,901$

$F_{кр} = 6,26 < F = 72,66$

$t_{кр} = 2,77 < t = 8,52$

Вариант корневого питания №4

$Y=35,549+5,4834X_1-1,1533X_2-5,0621X_3-0,27897X4-8,2752X5$ $R^2=0,931$

$F_{кр} = 6,26 < F = 108,26$

$t_{кр} = 2,77 < t = 10,40$

Для лофанта анисового уравнения множественной линейной регрессии:

Вариант корневого питания №1

$Y=77,873-5,9198X_1-1,6735X_2+5,312X_3-0,29979X_4+10,03X5$ $R^2=0,9151$

$F_{кр} = 6,26 < F = 86,33$

$t_{кр} = 2,77 < t = 9,29$

Вариант корневого питания №2

$Y=66,044-6,0257X_1-1,5357X_2+4,9815X_3-0,42463X_4+9,8606X5$ $R^2=0,9142$

$F_{кр} = 6,26 < F = 85,44$

$t_{кр} = 2,77 < t = 9,24$

Вариант корневого питания №3

$Y=74,634-6,3859X_1-1,7224X_2+4,639X_3-0,37179X_4+11,304X5$ $R^2=0,908$

$F_{кр} = 6,26 < F = 78,96$

$t_{кр} = 2,77 < t = 8,89$

Вариант корневого питания №4

$Y=66,836-6,6518X_1-1,5931X_2+5,1162X_3-0,43844X_4+10,407X5$ $R^2=0,9026$

$F_{кр} = 6,26 < F = 73,98$

$t_{кр} = 2,77 < t = 8,60$

Коэффициенты детерминации находятся в пределах 0,901-0,931

Надежность моделей подтверждена расчетами коэффициентов детерминации (R^2), Фишера (F), Стьюдента (t) при уровне значимости $P<0,05$. Коэффициент детерминации для моделей принимает значения от 0 до 1. Чем ближе значение коэффициента к 1, тем сильнее определяется зависимость. При оценке регрессионных моделей это интерпретируется как соответствие модели данным. Фактические значения критериев Фишера (F) и Стьюдента (t) выше их

критических значений ($F_{кр}$, $t_{кр}$), что так же подтверждает значимость полученных моделей [Афифи, А., 1982].

С помощью дисперсионного анализа определены взаимосвязи накопления биомассы от внешних условий и доля влияния каждого фактора при совместном их взаимодействии (табл.4).

Таблица 4

Показатель удельного влияния (%) разных независимых переменных на накопление надземной биомассы

Независимые переменные	Показатель удельного влияния, %	
	котовник кошачий	лофант анисовый
X1	33,9	35,7
X2	8,6	7,3
X3	16,4	15,8
X4	5,9	4,5
X5	34,8	36,4

Накопление биомассы в наибольшей степени зависят от суммы осадков, освещенности и температуры воздуха, что характерно для обеих культур. Прогноз темпов развития имеет большое практическое значение, а так как лист является важным структурным элементом урожая растений, изучена динамика накопления его массы в период вегетации (рис. 6).

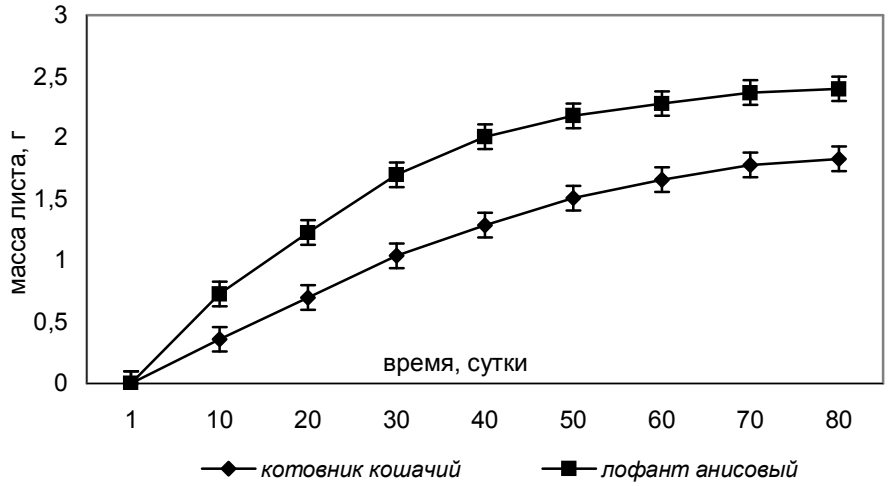

Рис. 6. Динамика накопления массы листа

Интенсивность прироста выше у лофанта анисового. Например, в период с 11 мая по 19 июля (70 дней) масса листа у лофанта анисового увеличивалась с 730 до 2400 мг, то есть на 1670 мг, тогда как у котовника кошачьего - всего на

1470 мг, с 360 мг до 1830 мг за тот же период. Нарастание массы листа лофанта анисового происходит быстрее (50 мг в первые 40 суток) по сравнению с котовником кошачьим (32 мг) (вариант №4).

Результаты математических моделей могут использоваться в прогнозе урожайности в других условиях культивирования изучаемых культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты собственных исследований и литературные данные, можно констатировать, что исследуемые показатели котовника кошачьего и лофанта анисового находятся в непосредственной зависимости от внешних факторов окружающей среды, а также условий питания.

Изменение параметров скорости ксилемного потока и диаметра стеблей дают возможность определить величину водного дефицита. Скорость водного потока у котовника кошачьего ниже, чем у лофанта анисового. Кроме того, установлено, что для котовника кошачьего характерно незначительное изменение диаметра стебля при различной влажности почвы, что указывает на меньшее расходование воды этим растением и большую устойчивость к водному дефициту. Определяющее влияние на процесс транспирации оказывают: интенсивность суммарной солнечной радиации, температура воздуха. Затем по мере убывания находятся: относительная влажность воздуха, температура почвы и разность температур лист - воздух.

В условиях достаточного увлажнения почвы условия питания не оказывают существенного влияния на водный потенциал листа данных культур. Достоверные отличия этого показателя проявляются при снижении влажности почвы ниже уровня 65% НВ. Отмечается более высокий водный потенциал листьев котовника кошачьего по сравнению с лофантом анисовым, что подтверждает меньшую устойчивость последней культуры в условиях водного дефицита.

Урожай надземной массы определяется продолжительностью вегетационного периода, темпами онтогенеза листовой пластинки, стебля. У котовника кошачьего и лофанта анисового надземная масса достигает своего максимума на второй, третий год вегетации. Установлено, что на накопление надземной биомассы основное влияние оказывают сумма осадков, продолжительность солнечного сияния и температура воздуха. Существенное влияние на структуру урожая и продуктивность котовника кошачьего и лофанта анисового оказывают минеральные и органические удобрения, что согласуется с данными других авторов [Якубенко, Б. Е., 2000; Браун, Э. Э., 2010; Ибрахим, А., 2008]. Максимальная продуктивность надземной биомассы котовника кошачьего получена при внесении 3 ц/га (NH_4NO_3+$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ и навоза 40 т/га была выше контроля на 66,3%. При этом выход эфирного масла увеличивался на 55,5%. Для лофанта анисового при аналогичном уровне внесеных удобрений урожай надземной массы повышался на 73,8% и выход эфирного масла - 58,3%. Установлено, что накопление эфирного масла у

исследованных культур в существенной мере зависит от суммы осадков, температуры воздуха и почвы.

В ходе исследований получены данные о влиянии факторов внешней среды на физиологические процессы котовника кошачьего и лофанта анисового в условиях Южного берега Крыма, дающие возможность подбора оптимальных условий выращивания данных культур с целью получения высоких урожаев. Проведенные исследования позволяют создать эколого-физиологический паспорт вида (сорта), в который могут быть внесены характеристики основных процессов жизнедеятельности растений (водный режим; интенсивность фотосинтеза; корневое питание растений), обуславливающих их продуктивность (биомасса, выход эфирного масла).

Полученные нами математические модели могут быть использованы в качестве базовой основы при имитационном динамическом моделировании, позволяющем рассчитывать с определенным интервалом в режиме реального времени: транспирацию, устьичное сопротивление листа, интенсивность фотосинтеза, накопление массовой доли эфирного масла. Используя их в качестве расчетного алгоритма можно рассчитывать продукционный процесс изучаемых культур. Для получения такого уровня продукта требуется использование программирования, например, в среде Borland Delphi+Bold. Модель позволит в динамике рассчитать различные характеристики состояния системы «почва-растение-атмосфера», физиологическое состояние растения, прогноз урожайности, оценка темпов роста, подбор оптимальных способов выращивания в течение всего периода вегетации.

ВЫВОДЫ

1. Дана комплексная оценка физиологических особенностей *Nepeta cataria var. citriodora* Beck. и *Agastache foeniculum* Pursh., интродуцированных на Южном берегу Крыма. Установлена степень влияния факторов внешней среды на интенсивность фотосинтеза, водный режим, интенсивность роста. Показана возможность прогнозировать урожай и продуктивность данных культур в различных условиях произрастания.
2. Выявлены оптимальные параметры: температура воздуха (28-32 ^{O}C), освещенность (0,4-0,5 квт/м^2), влажность воздуха (50-70%) и внесение комплекса органического и минерального удобрений (40т/га и 3ц/га, соответственно), при которых наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза котовника (18,16 мг CO_2*дм^2/час) и лофанта (19,51 мг CO_2*дм^2/час). В целом, интенсивность фотосинтеза у лофанта выше, чем у котовника, что может свидетельствовать о более высокой продуктивности лофанта.
3. Установлено, что внесение комплекса органического и минерального удобрений (40т/га и 3ц/га, соответственно) наиболее благоприятно влияет на водный режим котовника и лофанта. При этом скорость водного потока котовника (1,41-2,91 мВ) ниже, чем у лофанта (2,00-3,41 мВ). Кроме того, для

котовника также характерно меньшее значение интенсивности транспирации и изменение диаметра стебля при различной влажности почвы (40-90% НВ). У листьев котовника более высокий водный потенциал (-4,4 бар) по сравнению с лофантом (-5,2 бар). Следовательно, по совокупности полученных параметров можно судить о меньшем расходовании воды котовником и, как следствие, его большей устойчивости к условиям водного дефицита.

4. Определено влияние факторов внешней среды и условий корневого питания на процессы роста и накопления надземной биомассы, которые в наибольшей степени зависят от суммы осадков, продолжительности солнечного сияния и температуры воздуха. Такая последовательность действующих факторов характерна для котовника и лофанта первого, второго и третьего годов вегетации.

5. Установлено влияние различных условий корневого питания на содержание эфирных масел у котовника и лофанта. Максимальный выход эфирного масла как для котовника (1,74% от сухой массы), так и для лофанта (1,44% от сухой массы) получен при использовании комплекса органического и минерального удобрений (40т/га и 3ц/га, соответственно).

6. Пигментный состав листьев зависит от условий питания растений и фазы вегетации. Максимальное содержание хлорофилла выявлено в фазе «массового цветения» при использовании комплекса органического и минерального удобрений. Для котовника оно составило 8,57 мг/г от сухой массы, для лофанта – 5,04 мг/г. Концентрация каротиноидов достигала максимума к моменту созревания семян, и составляла для котовника – 2,21 мг/г, для лофанта – 1,5 мг/г. Данные изменения концентраций пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) связаны с естественными возрастными процессами в листовой пластинке.

7. Полученные математические модели могут выступать в качестве базовой основы для создания модели имитационного динамического моделирования продукционного процесса и использоваться в агроценозах, сокращая время, средства на культивирование и получение урожая котовника кошачьего и лофанта анисового.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Перечень статей, рекомендованных ВАК РФ

1. Палий И.Н. Зависимость CO_2-газообмена *Nepeta cataria* и *Ocimum gratissimum* L. от условий внешней среды / И.Н.Палий, Т.И.Быстрова // Бюлл. Никит. ботан. сада. - 2004. - Вып. 89. - С. 104-106 .
2. Фитомониторинг и засухоустойчивость растений / О.А.Ильницкий [и др.] // Труды Никит. ботан. сада. - 2005. - Т. 125. - С. 35-46.
3. Сравнительная эффективность методов фитомониторинга при обезвоживании плодовых и технических культур / О.А.Ильницкий [и др.] // Труды Никит. ботан. сада. - 2005. - Т. 125. - С. 99-111.

4. Палий И.Н. Зависимость интенсивности роста надземной биомассы *Nepeta cataria* L. и *Lophanthus anisatus* Benth. от типа почвенного питания и факторов внешней среды / И.Н.Палий, О.А.Ильницкий // Бюлл. Никит. ботан. сада. - 2005. - Вып. 91. - С. 71-76.

5. Палий И.Н. Динамическая модель водного режима *Nepeta cataria* L. / И.Н.Палий, О.А.Ильницкий // Бюлл. Никит. ботан. сада. - 2006. - Вып. 93. - С. 53-58.

6. Оптические свойства листьев растений в ближнем инфракрасном излучении в связи с их водным режимом / О.А.Ильницкий [и др.] // Бюлл. Никит. ботан. сада. - 2007. - Вып. 94. - С. 55-60.

7. Палий И.Н. Зависимость CO_2-газообмена *Agastache foeniculum* Pursh., от условий внешней среды / И.Н.Палий, О.А.Ильницкий // Бюлл. Никит. ботан. сада. - 2008. - Вып. 97. - С. 83-85.

8. Палий И.Н. Влияние почвенного питания на формирование урожая, пигментный состав листьев и выход эфирного масла *Nepeta cataria* var. *citriodora* Beck. / И.Н.Палий, О.А.Ильницкий // Труды Никит. ботан. сада. - 2011. - Т. 133. - С. 166–177.

9. Палий И.Н. Влияние на процесс транспирации *Nepeta cataria var. citriodora* Beck., *Agastache foeniculum* Pursh. факторов внешней среды / И.Н.Палий // Физиология и биохимия культ. растений. - 2012. - Т. 44. - № 2. - С. 177-182.

10. Палий И.Н. Влияние почвенного питания на формирование урожая и выход эфирного масла *Agastache foeniculum* Pursh. / И.Н.Палий // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. – 2012. - Т. 25. - № 2. - С. 120-125.

11. Палій І. Взаємозв’язок між інтенсивністю фотосинтезу, основними факторами зовнішнього середовища та умовами живлення *Nepeta cataria var. citriodora* Beck. і *Agastache foeniculum* Pursh. / І.Палій // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. - 2012. - Вип. 59. - С. 306-314.

12. Палій І.М. Регуляція продуктивності та фармакологічних властивостей *Agastache foeniculum* Pursh. і *Nepeta cataria* var. *citriodora* Beck. елементами мінерального живлення в умовах Південного берега Криму / І.М.Палій // Фітотерапія часопис. Біологія та фармація. - 2013. - № 1. - С. 77-80.

Статьи и материалы конференций

1. Палий И.Н. Влияние почвенного питания на количество эфирного масла *Nepeta cataria* L. и *Lophanthus anisatus* Benth. / И.Н.Палий // 1-ий Відкритий з’їзд фітобіологів Херсонщини: матер. з’їзду, м. Херсон, 6 квітня, 2006 р. / ХДУ [та ін.]. - Херсон, 2006. - С. 43.

2. Ильницкий О.А. Оптические свойства листьев растений ближнего инфракрасного излучения в связи с их водным режимом и засохустойчивостью / О.А.Ильницкий, И.Н.Палий, С.П.Кутько // Досягнення та проблеми

інтродукції рослин в степовій зоні України: матер. Міжнар. наук.-практ. конф., м. Нова Каховка, 18-20 жовтня 2006 р. / ХДУ [та ін.]. - Херсон, 2006. - С. 20-22.

3. Палий И.Н. Влияние почвенного питания на количество хлорофилла *Nepeta cataria* L. и *Lophanthus anisatus* Benth. / И.Н.Палий // Досягнення та проблеми інтродукції рослин в степовій зоні України: матер. Міжнар. наук.-практ. конф., м. Нова Каховка, 18-20 жовтня 2007 р. / ХГУ [та ін.]. - Херсон, 2007. - С. 94-95.

4. Палий И.Н. Влияние различных вариантов питання на прирост надземной биомассы *Nepeta cataria var. citriodora* Beck. как источника биологически активних веществ / И.Н.Палий // Интродукция и селекция ароматических и лекарственных растений: матер. Междунар. Науч.-практич. конф., г. Ялта 18-12 июня 2009 г. / НБС - ННЦ. - Ялта, 2009. - С. 144.

5. Investigation of water regime and drought resistance of various kinds of plants applying phytomonitoring methods. Sodininkyste ir darzininkyste / O.Ilnitsky [et al.] // Actualities in plant physiology : abst. of Inter. sci. conf., Kaunas 12-13 june 2008 / Lithuanian institute of horticulture [et al.]. - Kaunas, 2008. - Vol. 27. - № 2. - P. 169-177.

6. Ільницький О.А. Оптичні властивості листків *Nepeta cataria var. citriodora* Beck., *Agastache foeniculum* Pursh. у зв'язку з їх водним режимом / О.А.Ільницький, М.І.Федорчук, І.М.Палій // Онтогенез – стан, проблеми та перспективи вивчення рослин в культурних природних ценозах: матер. Міжнар. наук. конф., м. Херсон, 7-9 вересня 2012 р. / ХДАУ [та ін.]. - Херсон, 2012. - С. 317-321.

7. Оптичні властивості листків *Nepeta cataria var. citriodora* Beck. і *Agastache foeniculum* Pursh. у зв'язку с їх водним режимом / О.А.Ільницкий [та ін.] // Таврийський науковий вісник. - 2012. - Вип. 80, Ч. 2. - С. 363–368.

8. Paliy I.N. Optical features of *Nepeta cataria* var. citriodora Beck. leaves connected with the plants water regime / I.N.Paliy, O.A.Ilnitsky // Health protection and physical development of a person in conditions of the biospheric crisis pharmaceutics: mater. XLV Int. res. and pract. conf. and 1 stage of the championship in medicine and physical culture, London, 28 february-05 march 2013 / International Academy of Science and Higher Education - London, 2013. - P. 22-24.

9. Paliy I.N. Optical features of *Agastache foeniculum* Pursh. leaves connected with the plants` water regime / I.N.Paliy // European Applied Sciences. - 2013. - № 2. - P. 10-12.

10. Paliy I.N. Effect of the root nutrition conditions over the aboveground biomass growth of *Agastache foeniculum* Pursh. / I.N.Paliy // Инновационные направления современной физиологии растений: матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, г. Москва, 2-6 июня 2013 г. / МГУ. - Москва, 2013. - С. 29.

11. Палий И.Н. *Nepeta cataria var. citriodora* Beck. Как источник биологически активных веществ / И.Н.Палий // Лекарственные растения: фундаментальные и прикладные проблемы: матер. I Междунар. науч. конф., г. Новосибирск 21-22 мая 2013 / НГАУ. - Новосибирск, 2013. - С. 213-215.

12. Paliy I.N. *Agastache foeniculum* Pursh. as a source of biologically active substances / I.N.Paliy // Биологически активные вещества растений – изучение и использование: матер. Междунар. науч. конф., г. Минск 29-31 мая 2013 г. / ЦБС. - Минск, 2013. - С. 62-63.

13. Paliy I. Intercommumication between photosynthesis' intensity, the main environmental factors and nutrition conditions in *Nepeta cataria* var. *citriodora* Beck. / I.Paliy // The Strategies of Modern Science Development: proceedings of III Int. sci.-prac. conf., Yelm, WA, USA, 12-13 september 2013 / Scientific publishing center «Discoveri». - Yelm, 2013. - P. 13-20.