

На правах рукописи

АНИСИМОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА
РАСТЕНИЙ МИСКАНТУСА (*MISCANTHUS* SPP.)**

Специальность: 1.5.21. Физиология и биохимия растений

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва – 2023

Работа выполнена на кафедре физиологии растений ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Тараканов Иван Германович**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии растений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Официальные оппоненты: **Креславский Владимир Данилович**, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник группы экологии и физиологии фототрофных организмов ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Пущинский научный центр биологических исследований Российской академии наук»

Осипова Людмила Владимировна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории физиологии минерального питания и устойчивости растений ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова».

Ведущая организация: ФГБУН Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук

Защита состоится «27» июня 2023 года в 12:00 час. на заседании диссертационного совета 35.2.030.09, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке им. Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте www.timacad.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.09,
кандидат биологических наук, доцент

Р.Н. Киракосян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. XXI век ставит перед человечеством новые вызовы. Одной из самых глобальных и серьёзных является проблема энергообеспечения населения нашей планеты с учётом того, что потребление различных видов энергии постоянно возрастает (Brosse, 2012; Капустянчик, 2021).

Альтернативная энергетика начала развиваться в странах Европы с середины XIX века, и с тех пор было разработано большое число способов добычи энергии, прежде всего электрической, которые были бы безопасны для окружающей среды и не зависели бы от исчерпаемых ресурсов (Амадзиев, 2011). В настоящее время в мировом сообществе продолжается рост убеждения в том, что необходимо развивать поиск альтернативных источников энергии и внедрять их во все возможные сферы хозяйственной деятельности человека (Варфоломеев, 2010; Булаткин, Гурьев, 2012; Капустянчик, Якименко, 2020).

В то же время в природе уже существует уникальный процесс, который позволяет запасать энергию световых лучей в виде энергии химических связей в органическом веществе биомассы – фотосинтез. Космическую роль зелёного растения, как «посредника» между «энергией космических солнечных лучей» и жизнью на нашей планете отмечал в своих работах К.А. Тимирязев, в том числе в своей Крунианской лекции (Тимирязев, 1957).

Испокон веков человечество пользуется энергией, запасённой в органическом веществе растений. Это и дрова, которыми отапливают печи в домах, это каменный уголь, при помощи которого плавил металл в доменных печах и приводили в движение двигатель паровоза, и, наконец, это ископаемые жидкие углеводороды – нефть, на которой во многом построена современная жизнь человека. И именно нестабильная ситуация на мировом рынке нефтепродуктов в конце XX века дала стимул развитию нового направления в мировом сельском хозяйстве и экономике – биоэнергетики, и, как её логичного продолжения, биоэкономики (Clifton-Brown, 2015; Гисматулина, 2019).

Одним из основных направлений биоэкономики является производство растительной биомассы в качестве биологически возобновляемого ресурса. В промышленно развитых странах активно ведётся работа по созданию и совершенствованию технологий переработки растительной биомассы в разнообразные виды топлива (твёрдое, жидкое, газообразное) (Васильев, 2005; Винаров, 2008; Lewandowski, 2016; Shepherd, 2020).

В конце XX века в странах Западной Европы была проведена масштабная работа по поиску и изучению дикорастущих видов растений, которые могли бы быть использованы в качестве сырья для производства биотоплива. Среди всех исследованных групп растений особое место заняли представители рода мискантус (*Miscanthus* spp.) семейства мятликовые (*Poaceae*). Это многолетние травянистые растения, для которых характерен C₄-тип фотосинтеза (Long, 2009, 2013). Различные виды мискантуса могут успешно реализовывать свой потенциал продуктивности в разнообразных природно-климатических условиях (Lewandowski, 2003; Clifton-Brown, 2008; Fonteyne, 2016; Kalinina, Nunn 2017).

В ходе 7-й Рамочной Программы Европейского Союза в период с 2011 по 2016 год был реализован международный проект FP7-KBBE-2011-5 «OPTIMISC» (Оптимизация производства биомассы мискантуса) и международный географический эксперимент по изучению биологических особенностей различных видов, сортов и форм мискантуса. В проекте приняли участие исследователи Германии, Нидерландов, Великобритании, Украины, Турции и России (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева). Отдельные элементы настоящей работы выполнены в рамках данного проекта в ходе международного географического опыта (Lewandowski, 2016).

Потенциальная продуктивность растительного организма определяется совокупностью факторов. Это, прежде всего, генетические особенности организма, а также условия окружающей среды, которые являются для данного вида, а зачастую и сорта сельскохозяйственной культуры лимитирующими (Драгавцев, 2015). Для большинства традиционных растений, имеющих важное значение в сельском хозяйстве, особенности продукционного процесса, а также влияние на него различных экологических факторов являются достаточно глубоко изученными (Каюмов, 1989; Кадыров, 2005; Гатаулина, 2013; Капустянчик, 2021).

Однако для новых, относительно недавно введённых в культуру и до сих пор малораспространённых растений, которые имеют потенциал сельскохозяйственного применения (в том числе и для представителей рода *Miscanthus*) вопросы формирования элементов продуктивности и в целом продукционного процесса остаются на настоящий день малоизученными, особенно в условиях нашей страны (Слынько, 2013; Хохлов, 2020; Капустянчик, 2021).

Эколого-физиологическая характеристика различных генотипов мискантуса необходима для обоснования возможности выращивания и получения стабильных урожаев в условиях различных регионов, отличающихся друг от друга климатическими особенностями, и, в частности, средней полосы Европейской части России.

Степень разработанности темы. Вопросы биологии представителей рода *Miscanthus* изучались европейскими исследователями, прежде всего в климатических условиях, приближенных к естественным ареалам (Clifton –Brown, 1998, 2001, 2007, 2015, 2017; Fonteyne, 2016; Friesen, 2014, 2015; Greef, Deuter 1993, 1997; Hastings, 2008, 2009; Iqbal, 2014; Lewandowski, 2000, 2003, 2016).

Большое количество работ по мискантусу носит прикладной характер и посвящено вопросам переработки биомассы и её дальнейшего использования (Будаева, 2010, 2015; Береснева, 2020; Гисматулина, 2014, 2015, 2017; Сакович, 2020; Слынько, 2013; Vonin, 2014; Brosse, 2012; Davey, 2016).

В последние годы вопросы биологии и продукционного процесса мискантуса стали всё чаще освещаться в работах отечественных исследователей (Гущина, 2018, 2019, 2020; Дорогина, 2019; Зеленова, 2021; Капустянчик, 2020, 2021; Муратова, 2019).

Однако остаются малоизученными отдельные аспекты продукционного процесса мискантуса, особенно в связи с действием стрессирующих факторов, а

также особенности продукционного процесса мискантуса при интродукции в более северные, относительно традиционных зон выращивания, регионы, в том числе в среднюю полосу Европейской части России.

Цель и задачи исследования

Цель исследования - изучить эколого-физиологические особенности формирования элементов продуктивности растений мискантуса различных видов и форм.

В исследованиях были поставлены следующие задачи:

1. Изучить эколого-физиологические аспекты формирования урожая у растений разных видов рода *Miscanthus* и дать физиологическое обоснование возможности их успешного выращивания на территории средней полосы Европейской части России;
2. Оценить урожайность и выявить факторы, ограничивающие продуктивность представителей рода *Miscanthus* при выращивании на территории средней полосы Европейской части России;
3. Исследовать особенности фотопериодической регуляции роста и развития у представителей разных видов рода *Miscanthus*;
4. Изучить особенности продукционного процесса представителей рода *Miscanthus* при разном уровне влагообеспеченности;
5. Изучить влияние низких температур и пониженной освещённости на рост, развитие и функциональную активность представителей рода *Miscanthus*;
6. Оценить потенциальную аллелопатическую активность у представителей рода *Miscanthus*.

Научная новизна. Впервые получена морфолого-физиологическая характеристика различных генотипов мискантуса в условиях средней полосы России. В результате сравнительной оценки четырёх генотипов мискантуса, относящихся к разным видам, выделены перспективные формы для хозяйственного использования. Впервые получены данные по урожайности растений мискантуса в течение первых 8 лет жизни в условиях средней полосы Европейской части России. Изучены особенности фотопериодической реакции различных видов мискантуса, благодаря которым в северных широтах наблюдается повышение продуктивности биомассы растений. Выявлены основные факторы, которые ограничивают продуктивность растений мискантуса в условиях средней полосы Европейской части России. Установлено влияние условий низкой освещённости и пониженной температуры на ростовые процессы растений и функциональную активность разных представителей рода *Miscanthus*. Выявлены реакции растений мискантуса на почвенную засуху, а также основные адаптационные механизмы в этих условиях. Установлено наличие аллелопатического действия растений мискантуса в ходе формирования агроценоза.

Теоретическая и практическая значимость работы. Впервые дана эколого-физиологическая характеристика различных генотипов мискантуса при выращивании в условиях средней полосы России.

На основании полученных результатов могут быть составлены рекомендации по агротехнике представителей рода *Miscanthus* и по разработке технологических карт возделывания данной культуры.

Кроме того, данные, полученные в ходе работы над диссертацией, могут быть использованы для преподавания курсов физиологии растений, растениеводства, физиологических основ управления продукционным процессом, а также смежных и базирующихся на их основе профессиональных дисциплин студентам сельскохозяйственных и биологических специальностей.

Методология и методы исследования. Диссертационная работа выполнена с использованием классических и современных методов физиологии растений. Подробно методология и методы исследования отражены в разделе «Объекты и методы исследований».

Положения, выносимые на защиту:

1. Мискантус – многолетнее корневищное травянистое растение, способное произрастать и формировать стабильный урожай биомассы в условиях средней полосы России;
2. Мискантус обладает ярко выраженной короткодневной фотопериодической реакцией, определяющей процессы кущения и возможность перехода к генеративному развитию;
3. В условиях средней полосы России продуктивность мискантуса ограничивается относительно невысоким приходом ФАР, возможностью наступления весенних и осенних заморозков, низкими температурами в период перезимовки, а также возможным недостатком запасов влаги в почве;
4. Одним из факторов, влияющих на формирование агроценоза на основе мискантуса, является аллелопатическое взаимодействие с сорными растениями;
5. Благодаря высокой потенциальной продуктивности и относительной неприхотливости мискантус можно рассматривать в качестве перспективной биоэнергетической культуры для России.

Публикации по теме диссертации. Результаты диссертационной работы отражены в 21 публикации в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе в 2 изданиях, рекомендованных ВАК РФ для защиты диссертаций и 2 статьях в международных изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается проведенным статистическим анализом. Материалы работы докладывались на российских и международных конференциях: Международном конгрессе FESPB / EPSO Plant Biology Europe (Дублин, Ирландия, 2014), Международной конференции «Perennial Biomass Crops for a Resource Constrained World» (Хоэнхайм, Германия, 2015); Международной научной конференции «Научное и кадровое обеспечение продовольственной безопасности России» (Москва, РГАУ-МСХА, 2015); Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ВИЛАР (Москва, 2015); Всероссийской научной конференции «Биологические аспекты распространения, адаптации и устойчивости растений» (Саранск,

2016); Международной научно-практической конференции «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования» (Ялта, 2016); Международной научной конференции, посвящённой 200-летию со дня рождения Н.И. Железнова (РГАУ-МСХА, Москва, 2017); Годичном собрании общества физиологов растений России «Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты» (Крым, Судак, 2017); Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные аспекты структурно-функциональной биологии растений: от молекул до экосистем (Орел, 2017); 13-й международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры растениеводства Белорусской СХА (Горки, 2019); Международной научной конференция профессорско-преподавательского состава, посвященной 125-летию со дня рождения В.С. Немчинова (Москва, РГАУ-МСХА, 2019); IX Съезде общества физиологов растений России «Физиология растений - основа создания растений будущего» (Казань, 2019); 16-й международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (Барнаул, Алтайский ГАУ, 2021), Всероссийской научной конференции с международным участием «Экспериментальная биология растений и биотехнология: история и взгляд в будущее» (Москва, 2021).

Личный вклад автора. Диссертационная работа является результатом исследований, проведённых лично автором на кафедре физиологии растений РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Автор лично участвовал в проведении полевого опыта. Автором лично была проведена серия вегетационных опытов. Все биометрические, газометрические и прочие измерения и наблюдения, осуществлённые в рамках проведённых автором опытов, проводились собственноручно автором. Обработка всех полученных в ходе работы над диссертацией данных и их научная интерпретация были проведены автором персонально. В совместных публикациях вклад автора колебался от 10 до 90%.

Структура и объём диссертации. Диссертация изложена на 170 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 55 рисунков, 20 таблиц, заключения, списка литературы, включающего 196 источников, в том числе 128 – на иностранном языке, и 3 приложений.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность за поддержку и помощь при проведении исследований и выполнении научной работы научному руководителю–доктору биологических наук, профессору, заведующему кафедрой физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Ивану Германовичу Тараканову, а также доктору сельскохозяйственных наук, профессору кафедры земледелия и МОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Николаю Фёдоровичу Хохлову.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе рассмотрены основные особенности и закономерности продукционного процесса растений, дана характеристика потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур (Мокроносов, 1992; Шатилов, 1993; Ламан, 2007; Драгавцев, 2015 и др.). Отдельно рассматриваются вопросы продуктивности растений в агроценозе (Ничипорович, 1961; Мурей, 1981; Тараканов, 2007; Кошкин, 2015; Clifton-Brown, 2017 и др.). Особое внимание уделено рассмотрению концепции взаимодействия «генотип-среда» (Драгавцев, 2015; Purdy, 2014; Zhang, 2015; McCalmont, 2017 и др.), а также её реализации с точки зрения продуктивности растений (Gedif, 2014; Leflon, 2015; Ulaganathan, 2015; Chandrika, 2015; Leon, 2016 и др.). Проанализированы факторы, которые могут лимитировать продукционный процесс растений (Максимов, 1952; Скаженник, 2014; Кошкин, 2015; Suzuki, 2014; Jensen, 2016; Feng, 2016 и др.). Представлены физиологические особенности C_3 - и C_4 -растений с точки зрения продукционного процесса (Ничипорович, 1954; Карпилов, 1960; Robson, 2013; Jiao, 2017; van der Weijde, 2017; Рахманкулова, 2018 и др.). Отдельно описаны биологические особенности представителей рода *Miscanthus* (Гисматулина, 2014; Greef and Deuter, 1993; Xi, 2004; van der Weijde, 2013; Clifton-Brown, 2015; Lewandowski, 2016; Fonteyne, 2016; Jiao, 2016 и др.).

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования были использованы растения мискантуса различных видов, полученные и выращиваемые в международном географическом эксперименте в ходе реализации международного проекта 7-й Рамочной Программы Европейского Союза FP7-KBBE-2011-5 OPTIMISC («Оптимизация производства биомассы мискантуса») в период с 2011 по 2016 год. В рамках диссертационной работы изучали 4 генотипа мискантуса (рис.1): *M. sinensis* (М. китайский) – сорт Голиаф; *M. sacchariflorus* (М. сахароцветковый – дикий вид, собранный в юго-восточной Азии в районе 32° сев. широты); *M. x giganteus* (М. гигантский) – природный гибрид между *M. sinensis* и *M. sacchariflorus* (Greef, 1993); *M. x hybrid* (М. гибридный) – гибрид, полученный селекционерами университета Абериствита (Великобритания) в результате скрещивания *M. sacchariflorus* (дикого вида неизвестного происхождения) и *M. sinensis*, собранного в юго-восточной Азии в районе 45° сев. широты.

Многолетний полевой опыт был заложен в 2012 году на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева как часть международного географического эксперимента в рамках проекта OPTIMISC. В работе представлены данные по итогам 8 лет наблюдений и учётов в полевом опыте (2012-2019 гг.)

Почва полевого опыта агродерново-подзолистая, глееватая, глубоко осветленная, постагрогенная, легко- и среднесуглинистая, на суглинистой морене, московского возраста. Текстура почвы местами глинистая, суглинистая с вкраплениями песчаных линз. Предпосадочная подготовка участка включала в себя

вспашку почвы на глубину 20—22 см с последующим фрезерованием на глубину 8-10 см. Для высадки в полевых условиях использовали полученную после размножения *in vitro* рассаду растений мискантуса в возрасте трёх месяцев. При посадке растений производили полив в посадочные лунки из расчёта 2 литра воды на 1 растение. Впервые год жизни в июле произвели полив из расчёта 2 литра воды на одно растение. В дальнейшем поливы не производились.

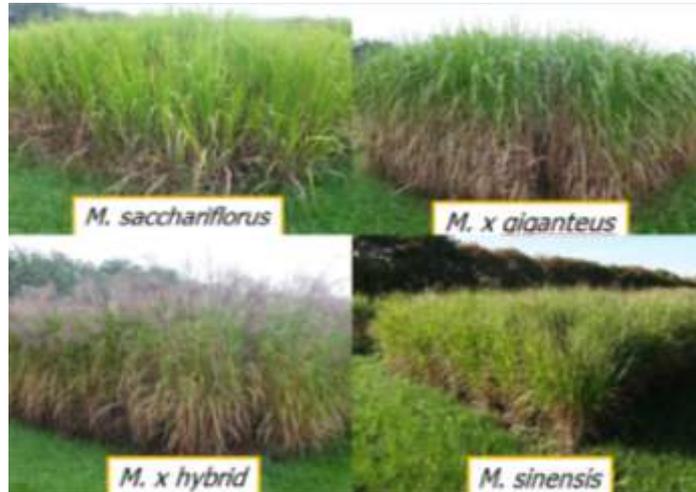


Рисунок 1 – Виды мискантуса, использованные в исследованиях

Метеорологические условия проведения полевого опыта оценивали по данным метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Для характеристики метеорологических условий (прежде всего условий увлажнения) использовали гидротермический коэффициент Селянинова (таблица 1).

Таблица 1 – Значения гидротермического коэффициента Селянинова по годам исследований

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
ГТК	1,32	1,91	0,92	1,46	1,63	1,78	1,01	1,09
Условия увлажнения	Влажные	Избыточное увлажнение	Засушливые	Влажные	Избыточное увлажнение	Избыточное увлажнение	Недостаточное увлажнение	Недостаточное увлажнение

Полевой опыт был заложен по методу организованных повторений (рис.2). Растения высаживали по схеме 70x70 см. На одной делянке площадью 25 м² (5 м x 5 м) размещалось по 49 растений (рис.3). Повторность опыта – трёхкратная. По аналогичной схеме закладывались полевые опыты во всех точках географического эксперимента (рис. 4).

Все точки географического эксперимента находились на разных географических широтах: Москва, Россия - 55,00°с.ш., 37,33°в.д.; Абериствит; Великобритания - 52,43°с.ш., 4,01°з.д.; Хоэнхайм, Германия - 48,74°с.ш., 8,93°в.д.;

Поташ, Украина - 48,89°с.ш., 30,44°в.д.; Вагенинген, Нидерланды - 51,59°с.ш., 5,39°в.д.; Адана, Турция - 37,00°с.ш., 35,00°в.д.

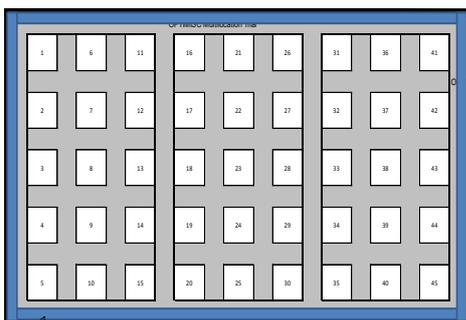


Рисунок 2 – Схематическое изображение полевого опыта с 15 генотипами мискантуса

	0.37	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0
	0.37	1.08	1.79	2.5	3.21	3.92	4.63	n
0.37	x	x	x	x	x	x	x	x
1.08	x	x	x	x	x	x	x	x
1.79	x	x	x	x	x	x	x	x
2.5	x	x	x	x	x	x	x	x
3.21	x	x	x	x	x	x	x	x
3.92	x	x	x	x	x	x	x	x
4.63	x	x	x	x	x	x	x	x

Рисунок 3 – Схема посадки растений мискантуса на делянке



Рисунок 4 – Точки географического эксперимента по изучению мискантуса в рамках проекта Европейского Союза FP7-KBBE-2011-5 «Оптимизация производства биомассы мискантуса»

В полевом опыте определяли следующие показатели:

Фенологические: календарные сроки весеннего выхода растений из состояния покоя и начала отрастания стеблей; продолжительность вегетации (дни), доля перезимовавших растений, %; сроки перехода растений к генеративному развитию.

Биометрические: Высота растения, см.; Число стеблей, шт (кущение); динамика накопления растениями биомассы в течение вегетации.

Физиологические: Листовой индекс; относительная скорость роста (г/г*сутки), КПД ФАР, содержание хлорофиллов (спектрофотометр СФ-104)

Спектрорадиометрические: плотность потока фотонов в травостое (спектрорадиометр Li-Cor LI-250A с квантовым датчиком LI-191R).

Для оценки **урожайности** производили полную срезку надземной части растений на высоте 5 см над уровнем почвы (данный способ позволяет имитировать механизированную уборку мискантуса и минимизировать потери урожая). Урожайность оценивали в пределах делянки и переводили в тонны сухой биомассы на гектар.

Для изучения влияния отдельных факторов на растения мискантуса в качестве дополнения к полевому провели серию вегетационных опытов (таблица 2). Растения выращивали в почвенной культуре в вегетационных сосудах объемом 2 л. Субстрат – «Агробалт-С». Посадочный материал получали путём деления корневищ маточных растений третьего года жизни, выкопанных с поле-

вого участка непосредственно перед закладкой опыта. Биологическая повторяемость вегетационных опытов – 6 растений на каждый вариант.

В вегетационных опытах проводили учёт показателей: интенсивность фотосинтетического газообмена, транспирации, устьичной проводимости (система автоматической регистрации LI-6400 XT (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, США); интенсивность кушения; площадь листьев (фотопланиметр LI-3100 C, Li-Cor, Небраска, США); сырая и сухая биомасса растений. В опыте по изучению фотопериодической чувствительности генотипов регистрировали сроки перехода растений к генеративному развитию.

Таблица 2 – Вегетационные опыты, проведённые в ходе исследований (Лаборатория искусственного климата РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Опыт	Исследуемые виды	Варианты опыта	Условия выращивания
1. Изучение фотопериодической реакции мискантуса	М. гигантский М. китайский М. сахароцветковый М. гибридный	Соотношение длины день/ночь, ч: 10/14 18/6 24/0	Освещение ДНаЗ/Reflux, ППФ 180 мкмоль/м ² *сек t°день 20-24 °С t°ночь 18-20 °С
2. Изучение влияния водного дефицита на растения мискантуса	М. гигантский М. китайский М. сахароцветковый М. гибридный	Влажность субстрата: Контроль: 70% ПВ Дефицит: 30% ПВ	Освещение ДНаЗ/Reflux, ППФ 180 мкмоль/м ² *сек t°день 20-24 °С t°ночь 18-20 °С Фотопериод: 24 ч.
3. Изучение влияния пониженной освещённости на растения мискантуса	М. гигантский	Плотность потока фотонов: Нормальная (180 мкмоль/м ² *сек) Низкая (20 мкмоль/м ² *сек)	Освещение ДНаЗ/Reflux t°день 20-24 °С t°ночь 18-20 °С Фотопериод: 24 ч.
4. Изучение влияния пониженной температуры на растения мискантуса	М. гигантский	Контроль (20 °С) Низкая t° (5 °С)	Освещение ДНаЗ/Reflux, ППФ 180 мкмоль/м ² *сек Фотопериод: 24 ч.

Оценку потенциальной аллелопатической активности растений мискантуса проводили в условиях лабораторного биотеста. Водную вытяжку аллелопатически активных веществ получали из листьев растений мискантуса китайского, гигантского и сахароцветкового седьмого года жизни из полевого опыта, завершивших свою вегетацию. Тест-растение - редис сорта Чародей. Семена редиса проращивали по методике ГОСТ 12038-84 по схеме: 1. Контроль – дистиллированная вода; 2. Разбавление вытяжки в 2 раза; 3. Концентрированная вытяжка из листьев мискантуса. У тест-растений на 7 день от начала проращивания определяли биометрические показатели (длина корня и гипокотилия). Повторность опыта - четырёхкратная.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Физиологические особенности продукционного процесса представителей рода *Miscanthus*

Все представители рода мискантус - многолетние травянистые растениями. Рассматриваемые в работе виды мискантуса способны произрастать на одном месте без снижения продуктивности до 20 лет (Lewandowski et al, 2000).

Все изученные виды успешно перезимовывали на широте Москвы, за весь период наблюдения со 2 по 8 годы жизни растений гибель ни одного растения при перезимовке не отмечена. У всех изученных генотипов мискантуса весеннее отрастание начиналось в среднем в конце первой декады – начале второй декады мая.

Фотосинтетический потенциал посадок мискантуса ограничен сроками начала вегетации весной и сроками отмирания наземной биомассы осенью. Продолжительность вегетации у различных видов при этом отличается крайне незначительно (табл. 3). Продолжительность вегетации у мискантуса на широте Москвы колеблется от 150 до 170 дней. Чем старше становятся растения, тем продолжительней оказывается их вегетация. Это связано с тем, что взрослые растения более устойчивы к осеннему понижению температуры.

Таблица 3 – Продолжительность вегетации растений мискантуса, Полевая станция РГАУ-МСХА, число дней от начала отрастания весной до отмирания наземной биомассы осенью

Вид	Год жизни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>M. sacchariflorus</i>	155	151	156	161	162	158	163	168
<i>M. x hybrid</i>	156	151	155	160	161	158	163	169
<i>M. x giganteus</i>	153	150	153	157	159	156	162	167
<i>M. sinensis</i>	155	151	156	160	162	159	164	168

Мискантус сахароцветковый до 4 года жизни является самым низкорослым из изученных генотипов, в то время как, начиная с 5 года, его высота начинает увеличиваться и в отдельные годы достигает максимальных значений среди изученных генотипов (таблица 4). Подобная картина наблюдается до 8 года жизни, и, судя по всему, сохранится в ближайшие годы вегетации.

Мискантус гибридный также достигает максимальной высоты к пятому году жизни. Мискантус гигантский с самого начала занял лидирующие позиции с точки зрения высоты, и сохраняет их до настоящего времени. При этом в отдельные годы его высота может превышать значения в 2,5 метра (рис. 6).

Из-за различной продолжительности вегетации во всех точках географического эксперимента период нарастания побегов в высоту различается. Независимо от географического района произрастания, наиболее интенсивное увеличение высоты растений приходится на первую половину вегетации, что составляет от 1 до 3 месяцев в зависимости от точки эксперимента (рис. 7).

Таблица 4 – Максимальная высота растений мискантуса разных лет жизни, см

Вид	Год жизни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>M. sacchariflorus</i>	71±15	102±8	141±6	165±8	225±15	241±9	244±11	246±18
<i>M. x hybrid</i>	65±11	125±9	153±6	169±12	186±14	191±15	189±19	180±15
<i>M. x giganteus</i>	78±9	152±11	202±9	221±11	232±14	244±18	252±11	249±14
<i>M. sinensis</i>	69±8	131±12	157±8	175±8	191±9	199±14	183±13	186±17

Наиболее продолжительный период нарастания высоты побегов растений наблюдается в Абериствите и Адане. В нашем опыте наиболее интенсивные ростовые процессы у всех изученных видов мискантуса отмечались в период с мая по июль, после чего происходило плавное снижение интенсивности нарастания побегов вплоть до прекращения ростовых процессов.



Рисунок 6 - Растения мискантуса гигантского 5 года жизни, Москва, сентябрь 2016 года

Различная продолжительность вегетации генотипов мискантуса обуславливает различия по фотосинтетическому потенциалу, и, соответственно, продуктивности. В целом, оценивая высоту разных видов мискантуса, можно отметить достаточно широкую вариабельность по данному признаку. Разброс значений может достигать одного метра.

Самым важным показателем с точки зрения продукционного процесса растений мискантуса является продуктивность биомассы и, соответственно, урожайность (таблицы 5, 6).

Урожайность мискантуса сахароцветкового в первый год жизни (после высадки в поле) оказалась равной в среднем 1,1 тонны сухой биомассы с гектара. В дальнейшем, по мере увеличения возраста растений, урожайность мискантуса сахароцветкового постепенно повышается, выходя на максимальную величину к 6-7 году жизни.

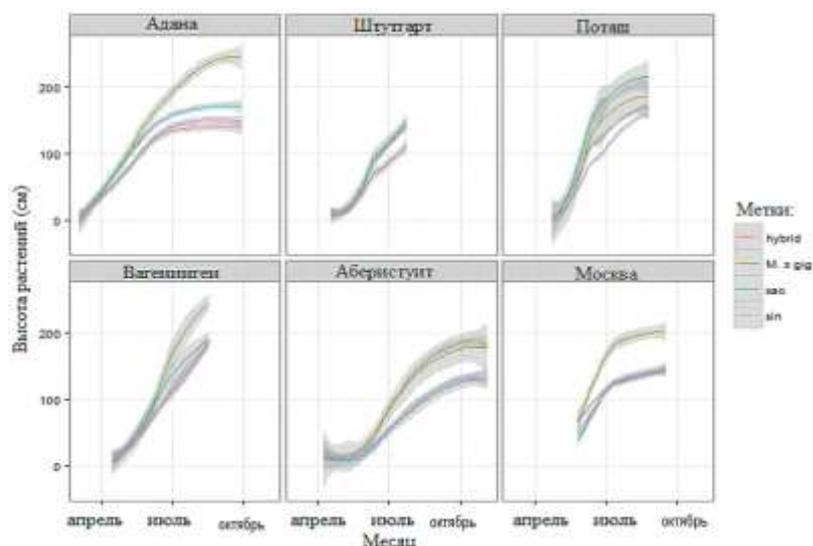


Рисунок 7 – Динамика нарастания побегов растений мискантуса в разных точках географического эксперимента (2014 год, растения 3 года жизни)

Из литературных источников известно (Lewandowski, 2003), что растения мискантуса в условиях Западной Европы выходят на максимальный уровень продуктивности уже к 3-4 году, и сохраняют её в течение 20 лет. В условиях Москвы выход на максимальную продуктивность растений мискантуса сахароцветкового оказался отложенным на 3-4 года по сравнению с европейскими условиями, что может быть связано с меньшим фотосинтетическим потенциалом из-за короткого периода вегетации. Урожайность *M.* гибридного в первый год жизни составила в среднем 1,9 тонн сухой биомассы с одного гектара, несколько превысив по урожайности мискантус сахароцветковый. В дальнейшие годы вегетации происходит стремительное увеличение урожайности, которая выходит на максимальный уровень к 5-6 году жизни.

Мискантус гигантский изначально характеризуется более высокой продуктивностью по сравнению с остальными изученными видами из-за более развитого ассимиляционного аппарата и высокого фотосинтетического потенциала. Уже в первый год жизни мискантус гигантский сформировал в среднем 2,6 тонны сухой биомассы на гектар. В каждый из последующих годов жизни происходило постепенное увеличение продуктивности, и на максимальный уровень мискантус гигантский вышел к 6-7 году жизни.

Таблица 5 – Урожайность растений мискантуса разных лет жизни, т сухой биомассы/га, Полевая опытная станция РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Вид	Год жизни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>M. sacchariflorus</i>	1,1	2,9	5,8	10,9	12,1	18,2	19,1	18,7
<i>M. x hybrid</i>	1,9	6,9	10,4	9,7	16,0	20,7	18,3	18,3
<i>M. x giganteus</i>	2,6	5,3	7,8	10,6	16,2	23,4	24,2	23,6
<i>M. sinensis</i>	1,7	3,7	6,2	9,9	11,8	14,8	15,8	16,1
<i>HCP₀₅</i>	0,2	0,4	0,9	0,4	1,2	0,8	1,1	0,9

Наиболее интегральным показателем, характеризующим эффективность использования солнечной радиации, является КПД ФАР (рис.8). В целом значения коэффициента полезного действия фотосинтетически активной радиации для растений мискантуса варьировались от 0,8 до 1,3%.

Таблица 6 – Урожайность мискантуса в различных точках географического эксперимента, т/га

Точка географического эксперимента	Год	<i>M. sacchariflorus</i>	<i>M. x hybrid</i>	<i>M. x giganteus</i>	<i>M. sinensis</i>	<i>HCP₀₅</i>
Адана, Турция	2013	13,1	11,4	-	9,5	0,4
	2014	10,7	16,6	22,0	24,1	2,3
	2015	7,5	10,7	12,8	16,4	1,2
Штутгарт, Германия	2013	9,8	9,6	-	8,2	0,3
	2014	16,3	19,9	18,5	16,5	0,8
	2015	15,8	14,9	12,2	12,8	0,9
Поташ, Украина	2013	12,4	12,9	-	8,7	0,7
	2014	21,4	21,6	24,3	16,7	1,8
	2015	-	-	-	-	-
Вагенинген, Нидерланды	2013	7,2	11,4	-	9,2	1,2
	2014	14,8	17,7	22,8	15,9	0,7
	2015	-	-	-	-	-
Абериствит, Великобритания	2013	1,3	2,4	-	1,4	0,3
	2014	5,2	12,17	12,1	6,8	1,4
	2015	11,3	11,9	16,2	7,9	1,5
Москва, Россия	2013	2,9	6,9	5,3	3,7	0,4
	2014	5,8	10,4	7,8	6,2	0,9
	2015	10,9	9,7	10,6	9,9	0,4

Наибольшие значения КПД ФАР отмечены для наиболее продуктивного вида – мискантуса гигантского. На втором месте находятся растения мискантуса гибридного. Мискантус китайский и мискантус сахароцветковый характеризовались наименьшими значениями КПД ФАР – от 0,8 до 1 %.

У растения мискантуса листья составляют существенную долю в суммарной надземной биомассе. Наивысшие значения индекса листовой поверхности в течение вегетации отмечались у растений мискантуса гибридного (рис. 9). По мере роста растений происходило постепенное увеличение величины листового индекса, максимум которого приходился на конец августа. Листовой индекс у мискантуса достигает существенных величин (от 5 до 8), то есть листья верхнего яруса в определённый момент начинают затенять листья нижнего яруса, тем самым не позволяя им фотосинтезировать в достаточной степени. У всех видов, кроме мискантуса гигантского, в конце вегетации (в период с конца августа до конца сентября) отмечается снижение величины листового индекса. Это связано с интенсивным отмиранием листьев нижнего яруса. У растений мискантуса китайского все листья на стеблях сохраняются до конца вегетации, тем самым сохраняя высокое значение индекса листовой поверхности.

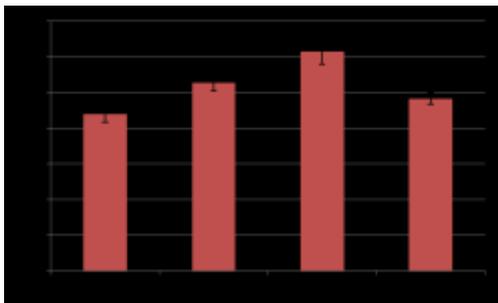


Рисунок 8 - КПД ФАР растений мискантуса 4 года жизни (2015 год), %

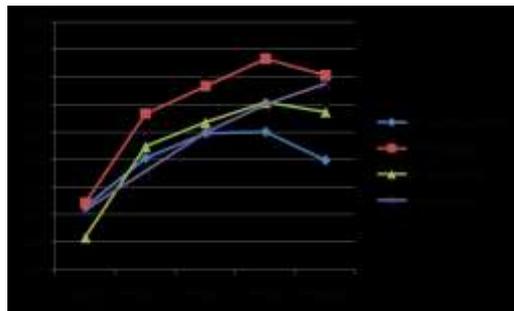


Рисунок 9 – Индекс листовой поверхности растений мискантуса 4 года жизни (2015 год)

3.2 Реакция растений мискантуса на световые условия

У всех изученных видов мискантуса в вегетационном опыте условия длинного дня (18 ч) приводили к усилению кущения. Короткий день (10 ч) тормозил образование новых побегов. Непрерывное 24-х часовое освещение приводило к торможению кущения. Условия короткого дня тормозили развитие светособирающей поверхности фотоассимиляционного аппарата, что, по-видимому, обуславливается подавлением кущения. Условия длинного дня (18 ч) приводят к интенсивному увеличению площади листьев мискантуса. Это связано с тем, что в условиях длинного дня растения формируют большее число побегов с большим количеством листьев на них.

У всех представителей рода мискантус переход к цветению означает резкое снижение интенсивности накопления биомассы, связанное с торможением образования новых побегов и с сильным удлинением цветоносов, которые становятся в 1,5 – 2 раза тоньше основного стебля и формируют на своём конце соцветие – метёлку. Длинный и полый цветонос крайне малопригоден для большинства хозяйственных нужд. С формированием соцветий начинается отток ассимилятов к ним, что также может снизить продуктивность биомассы целого растения.

Короткодневная фотопериодическая реакция обуславливает относительно высокую продуктивность биомассы мискантуса при выращивании в высоких географических широтах благодаря блокированию перехода растений к генеративному развитию. Так, в средней полосе России, условия длинного дня, наблюдающиеся в летний период, позволяют растениям при благоприятных температурных условиях наращивать достаточно большое количество стеблей в течение первой половины вегетации.

Мискантус гибридный и мискантус китайский оказались растениями с классической количественной фотопериодической реакцией. Наиболее остро она проявилась у растений мискантуса гигантского, которые при 24-часовом фотопериоде вообще не зацвели. Растения мискантуса китайского и мискантуса гибридного при выращивании в условиях короткого дня перешли к цветению в среднем уже через месяц после начала отрастания побегов (Таблица 7).

Таблица 7 – Влияние фотопериодических условий на сроки начала цветения мискантуса в условиях вегетационного опыта

Вид	Фотопериод, ч	Число дней от начала вегетации до начала цветения
<i>Miscanthus sinensis</i>	10	31 ± 3
	18	69 ± 6
	24	77 ± 5
<i>Miscanthus x hybrid</i>	10	28 ± 2
	18	65 ± 4
	24	71 ± 5
<i>Miscanthus x giganteus</i>	10	79 ± 5
	18	120 ± 8
	24	-
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	10	-
	18	-
	24	-

Переход к цветению в полевых условиях начинается лишь в первой декаде сентября, то есть при снижающейся продолжительности светового периода. Кроме того, у мискантуса китайского и мискантуса гибридного компетентность к короткодневной фотопериодической индукции цветения проявляется раньше, нежели у гигантского и сахароцветкового. Продолжительность индуктивного периода у них тоже, очевидно, меньше, благодаря чему удается наблюдать переход к цветению в рамках относительно малопродолжительного периода вегетации на широте Москвы. У мискантуса сахароцветкового, очевидно, меньшая критическая длина дня. Растения мискантуса гигантского в полевых условиях в средней полосе России не переходят к цветению вообще. Это оказывает положительное влияние на продуктивность этих растений (как уже отмечалось выше, мискантус гигантский – один из самых продуктивных видов).

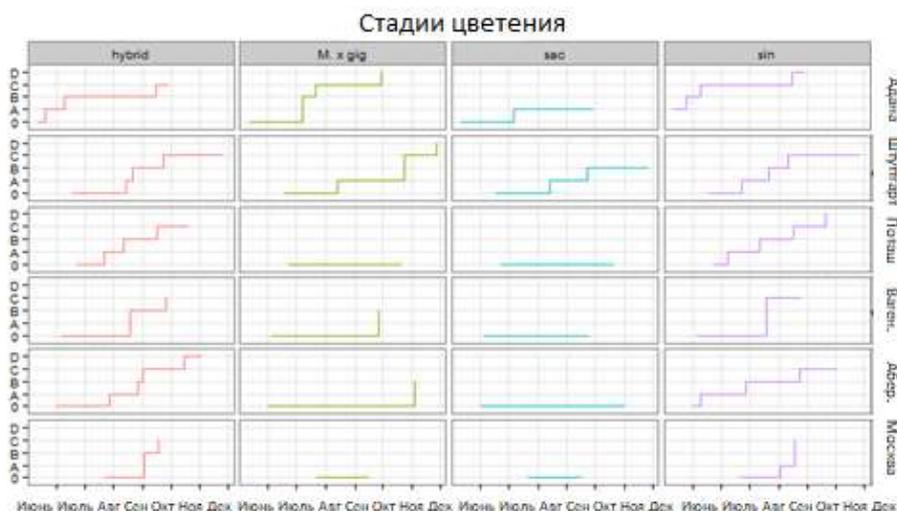


Рисунок 10 – Сроки прохождения стадий цветения у разных видов мискантуса во всех точках географического эксперимента, растения 4 года жизни (2015 год). А-появление флагового листа, В-вымётывание, С-начало цветения, D-конец цветения

Среди всех представленных в географическом эксперименте точек наиболее южная – это Адана, Турция (рис. 10). Соответственно растения, произрастающие там, должны находиться в наиболее благоприятных фотопериодических условиях с точки зрения цветения (низкие широты, меньшая длина дня в период вегетации). В самой южной точке географического эксперимента растения мискантуса начинают зацветать в мае, то есть тогда, когда в средней полосе ещё даже не началось отрастание после зимы. Столь раннее цветение крайне неблагоприятно сказывается на продуктивности мискантуса.

3.2.2 Реакция растений мискантуса на условия пониженной освещенности

Достичь потенциальной урожайности мискантуса – до 40 тонн сухого вещества с га - в северных широтах не представляется возможным. Одна из причин – более низкий приход ФАР (Clifton-Brown, 2017). Кроме того, для плантаций мискантуса характерен очень высокий листовой индекс, из-за чего листья нижнего яруса оказываются настолько затенёнными, что почти не фотосинтезируют. В связи с этим представляло интерес изучение ответных реакций мискантуса на условия низкой освещенности. В условиях вегетационного опыта растения мискантуса гигантского, выращиваемые при достаточном уровне освещенности, в значительной степени опережали по ростовым показателям растения, выращиваемые при низкой освещенности (рис. 11).

У растений, выращенных при достаточном уровне освещенности, интенсивность фотосинтеза была почти в шесть раз выше ($0,8 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$) по сравнению с растениями, выращенными при недостаточном световом довольствии ($5 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$). У растений, выращенных при достаточном уровне освещенности, световая кривая фотосинтеза имела классический вид, характерный для C4-растений. На промежутке освещенности от 0 до $1000 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ отмечено стабильное увеличение интенсивности фотосинтеза.



Рисунок 11 – Растения мискантуса гигантского, выращенные при разной освещенности, 30 день от начала опыта 1 – $180 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$, 2 – $20 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$

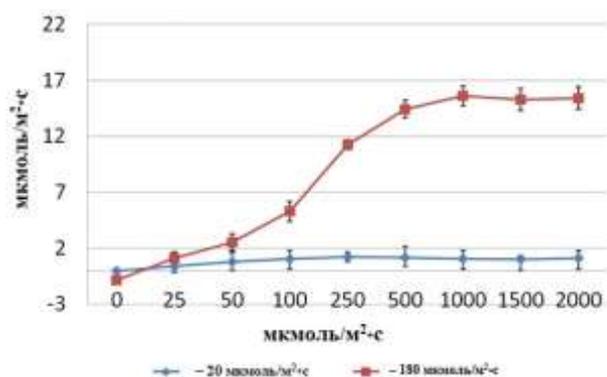


Рисунок 12–Световые кривые фотосинтеза растений мискантуса гигантского, выращенных в условиях нормальной и пониженной освещенности на 30 день от начала вегетации

У растений, выращенных при низком уровне освещённости, уже при сравнительно низких уровнях значений ППФ (40-50 мкмоль/м²*с) световая кривая выходила на плато, и дальнейшего увеличения интенсивности фотосинтеза не отмечалось (рис.12).

3.3 Реакция растений мискантуса на пониженную температуру

Фотосинтетический аппарат мискантуса приспособлен к функционированию при более низких, по сравнению с традиционными С₄-растениями, температурах (Naidu, 2003). Растения М. гигантского контрольной группы показали стабильное нарастание побегов в течение всего опыта, и к его концу достигли высоты в 60 см. Растения при температуре 5°С фактически прекратили свой рост. Спустя 45 суток экспозиции при 5°С температуру повысили до 25°С. Оказавшись в оптимальных температурных условиях, растения мискантуса гигантского очень активно возобновили ростовые процессы. Интенсивность фотосинтеза у растений, выращенных при оптимальной температуре, оказалась равной в среднем 3,7 мкмоль/м²*с, в то время как на фоне пониженной температуры видимый фотосинтез практически не регистрировался. Интенсивность транспирации растений при оптимальной температуре (0,67 ммоль/м²*с) была в шесть раз выше по сравнению с растениями при пониженной температуре (0,9 ммоль/м²*с).

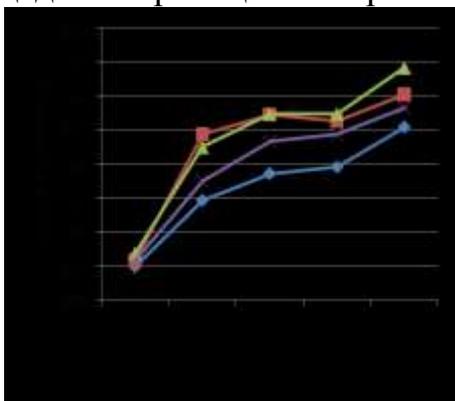
3.4 Влияние водного дефицита на продукционный процесс растений мискантуса

Условия засухи привели к существенному снижению уровня накопления сухой биомассы всеми исследованными генотипами мискантуса. Засуха существенно влияла на показатели фотосинтетического газообмена. Условия засухи приводили к существенному подавлению процесса видимого фотосинтеза (1,5 мкмоль/м²*с у растений контрольной группы и 0,8 мкмоль/м²*с у растений в условиях засухи), что может свидетельствовать как о возникновении нарушений в фотосинтетическом аппарате, так и об усилении дыхания. Засуха вызвала снижение степени открытия устьиц у растений (устьичная проводимость у растений контрольной группы находилась на уровне 0,040 моль/м²*с, в то время как в условиях засухи она снижалась до 0,028 мкмоль/м²*с), что, по-видимому, явилось одной из причин параллельного снижения интенсивности процессов фотосинтетического газообмена.

За 8 лет наблюдений в полевых условиях в 2014 году (растения 3 года жизни) была отмечена засуха в летний период (июль-август) из-за крайне малого количества выпавших в июле осадков. В следующем – 2015 году - в аналогичный период времени засуха не отмечалась. В год с засухой на графиках, описывающих динамику накопления сухой массы посадками мискантуса, в период июль – август чётко виден временный выход на плато, который свидетельствует о торможении ростовых процессов (рис. 13).

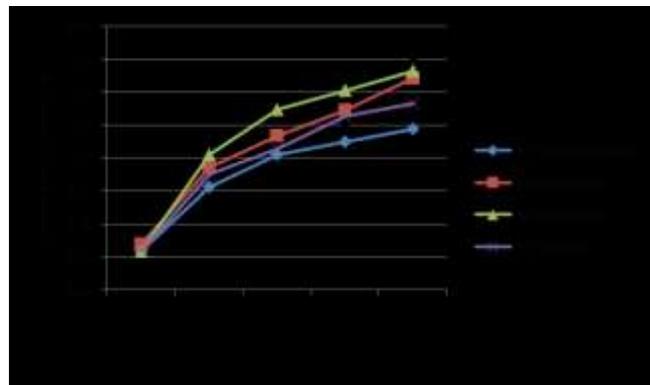
После завершения периода засухи и восстановления благоприятного водного режима растения продолжили накапливать биомассу. Можно выделить и

некоторые специфические ответные реакции растений мискантуса на засуху. Так, при наступлении водного дефицита происходило массовое отмирание листьев нижнего яруса. Кроме того, листья мискантуса, как и у большинства злаков, в условиях сильной засухи сворачиваются по краям, тем самым уменьшая площадь испаряющей поверхности.



3 год жизни

(2014 год, засуха в июле-августе)



4 год жизни

(2015 год)

Рисунок 13 - Накопление биомассы растениями мискантуса в условиях полевого опыта при разном уровне влагообеспеченности

3.5 Роль аллелопатических взаимодействий в формировании агроценоза на основе мискантуса

В растениях мискантуса были обнаружены биологически активные соединения: флавоноидные гликозиды (в соцветиях), трисин, фриделин, лупеол, ацетат лупеола, фриенол, и изоарборинол (в корневище и стеблях) (Фруентов, 1987). Ежегодно в зимний период с растений мискантуса на поверхность почвы опадает большое число отмерших листьев, которые могут быть потенциальными источниками аллелохимикалий. В полевом опыте при сравнении состава сорного компонента на делянке и в разделительной полосе рядом с ней было отмечено достаточно большое количество сорных растений семейства капустные в последней при их полном отсутствии в посадках мискантуса.



Рисунок 14 – Влияние водной вытяжки из листьев растений мискантуса китайского на проросание растений редиса (Слева направо: вода (контроль), разбавление в 2 раза, концентрированная вытяжка)

Это позволило сделать предположение о том, что аллелопатическая активность мискантуса будет проявляться прежде всего на растениях семейства *Brassicaceae*. При тестировании в лабораторных условиях вытяжек из листьев изученных генотипов мискантуса проростки редиса, выращенные в воде, характеризовались нормальным, ненарушенным габитусом. У них был хорошо развит зародышевый корешок, семядоли не были деформированы.

У проростков, выращенных на вытяжке из мискантуса китайского, отмечены нарушения ростовых процессов, которые усиливались по мере увеличения концентрации раствора (что является одним из доказательств наличия в вытяжке из растительной биомассы аллелопатически активных веществ) (Кондратьев, 2020). Это говорит о высокой чувствительности корневой системы редиса к аллелохимикалиям мискантуса. Таким образом, можно предположить наличие у растений мискантуса китайского потенциальной аллелопатической активности, что может объяснять различия в видовом составе сорного компонента в пределах агроценоза на его основе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение особенностей продукционного процесса, в том числе ответных реакций растений на неблагоприятные условия окружающей среды – важный этап на пути расширения ареала выращивания новых сельскохозяйственных культур и растений для нужд биоэкономики. Мискантус – перспективная культура для выращивания на территории Российской Федерации.

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. В результате комплексного изучения эколого-физиологических особенностей продукционного процесса у растений мискантуса китайского, мискантуса сахароцветкового, мискантуса гигантского и мискантуса гибридного установлено, что физиологические характеристики разных генотипов мискантуса, относящихся к этим видам, а также гибридам на их основе, позволяют успешно выращивать их на территории средней полосы Европейской части России.

2. По итогам восьми лет наблюдений установлено, что наиболее продуктивным видом мискантуса среди изученных при выращивании в условиях средней полосы Европейской части России является мискантус гигантский, урожайность которого к 8 году жизни достигает 25 тонн сухой биомассы с гектара. Мискантус сахароцветковый и мискантус гибридный при выходе на максимальную продуктивность к 8 году жизни достигают урожайности 20 тонн сухой биомассы с гектара. Наименее урожайным оказался мискантус китайский, который к 8 году жизни формирует до 18 тонн сухой биомассы с гектара.

3. Растений мискантуса обладают ярко выраженной короткодневной фотопериодической реакцией, что было экспериментально показано как в контролируемых условиях выращивания, так и в условиях полевого географического эксперимента. Критическая длина дня у растений мискантуса гибридного и мискантуса китайского превышает критическую длину дня у мискантуса сахароцветкового и мискантуса гигантского. На широте Москвы переход к генеративному развитию наблюдается у растений мискантуса гибридного и мискантуса китайского. Условия длинного дня стимулируют процессы кущения и накопления сухой биомассы.

4. К основным факторам, ограничивающим продуктивность мискантуса в условиях средней полосы России, относятся: недостаточный приход ФАР, низ-

кие температуры в весенний и осенний период и водный дефицит в период вегетации.

5. У растений мискантуса исследованных видов были подтверждены две стратегии адаптации к условиям недостатка влаги - сохранение и поддержание процессов жизнедеятельности в условиях водного дефицита наряду с наличием механизмов, которые позволяют оптимизировать эффективность водопотребления.

6. В условиях пониженной освещенности у растений мискантуса происходит снижение активности фотосинтетического газообмена и перестройка фотосинтетического аппарата, проявляющаяся в возникновении светового насыщения фотосинтеза.

7. Низкие положительные температуры тормозят рост и накопление биомассы, а также подавляют фотосинтетический газообмен растений мискантуса. Отрицательные температуры вызывают полное отмирание наземной части у изученных видов мискантуса.

8. При формировании агроценоза на основе мискантуса существенную роль играют аллелопатические взаимоотношения. Преимущественное влияние растения мискантуса оказывают на представителей семейства *Brassicaceae*.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Анисимов, А.А.** Особенности фотопериодической регуляции онтогенеза у различных видов мискантуса (*Miscanthus* Spp.) / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 6. – С. 56-72.

2. **Анисимов, А.А.** Возможности использования мискантуса (*Miscanthus* spp.) для получения хлорофилла / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2017. – Т. 20. – № 6. – С. 40-45.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных

3. Progress on optimizing miscanthus biomass production for the european bioeconomy: Results of the EU FP7 project OPTIMISC / **A.A. Anisimov**, I.G. Tarakanov, I. Lewandowski, A. Kiesel [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7. – No NOV. – P. 1620. – DOI 10.3389/fpls.2016.01620.

4. Environmental influences on the growing season duration and ripening of diverse *Miscanthus* germplasm grown in six countries / **A.A. Anisimov**, I.G. Tarakanov, C. Nunn, J. C. Clifton-Brown [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2017. – Vol. 8. – No MAR. – P. 907. – DOI 10.3389/fpls.2017.00907.

Публикации в материалах международных, всероссийских, межрегиональных конференций, симпозиумов и других изданиях

5. **Анисимов, А.А.** Особенности фотопериодической реакции различных видов мискантуса (*Miscanthus* spp.) / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических

и антропогенных воздействий : VIII Съезд Общества физиологов растений России. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. – 656 с. – ISBN 978-5-9274-0687-6.

6. **Анисимов, А.А.** Продукционный процесс растений мискантуса (по результатам географического эксперимента) / И. Г. Тараканов, Н. Ф. Хохлов, А. А. Анисимов // Доклады ТСХА. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. – С. 75-78.

7. **Анисимов, А.А.** Мискантус (*Miscanthus* spp.) в России: возможности и перспективы / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2016. – № 12. – С. 3-5.

8. **Анисимов, А.А.** Реакция растений кукурузы и мискантуса на условия пониженной температуры / Н. К. Фаттахова, А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Доклады ТСХА : Сборник статей. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. – С. 76-78.

9. **Анисимов, А.А.** Морфолого-физиологические реакции растений мискантуса на условиях низкой освещенности / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Доклады ТСХА : Сборник статей. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. – С. 50-53.

10. **Анисимов, А.А.** Эколого-физиологические аспекты продукционного процесса растений мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis* Anderss.) - традиционного лекарственного растения китайской медицины / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Биологические особенности лекарственных и ароматических растений и их роль в медицине : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ВИЛАР, Москва, 23–25 июня 2016 года. – Москва: Щерб. тип., 2016. – С. 350-353.

11. **Анисимов, А.А.** Особенности формирования элементов продуктивности у различных видов мискантуса / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Доклады ТСХА. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2017. – С. 31-33.

12. **Анисимов, А.А.** Потенциальная аллелопатическая активность растений *Miscanthus* spp / В. С. Водолазский, А. Н. Давыдова, А. А. Анисимов // Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты. – Крым, Судак: АНО "Центр содействия научной, образовательной и просветительской деятельности "Соцветие", 2017. – С. 129.

13. **Анисимов, А.А.** Эколого-физиологические основы продукционного процесса различных видов мискантуса (*Miscanthus* spp.) / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты. – Крым, Судак: АНО "Центр содействия научной, образовательной и просветительской деятельности "Соцветие", 2017. – С. 94.

14. **Анисимов, А.А.** Физиологические особенности продукционного процесса различных видов мискантуса / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тара-

канов // Современные аспекты структурно-функциональной биологии растений: от молекул до экосистем : Всероссийская научная конференция с международным участием. IV чтения, посвященные памяти профессора Ефремова Степана Ивановича. – Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2017. – С. 53-59.

15. **Анисимов, А.А.** Физиологические основы продукционного процесса растений мискантуса / А. А. Анисимов, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // IX Съезд общества физиологов растений России «Физиология растений - основа создания растений будущего» : тезисы докладов, Казань, 18–24 сентября 2019 года. – Казань: Казанский университет, 2019. – С. 43. – DOI 10.26907/978-5-00130-204-9-2019-43.

16. **Анисимов, А.А.** Продукционный процесс мискантуса (*Miscanthus spp.*) в средней полосе России / А. А. Анисимов, И. Г. Тараканов, Н. Ф. Хохлов // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: Сборник статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры растениеводства. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 24-28.

17. **Анисимов, А.А.** Потенциальная аллелопатическая активность растений мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis*) / А. А. Анисимов, М. С. Медведков, А. Н. Скороходова // Доклады ТСХА. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 112-114.

18. **Анисимов, А.А.** Оценка потенциальной вегетативной инвазивности генотипов мискантуса / Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов, М. С. Медведков, А. А. Анисимов // Доклады ТСХА. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 65-67.

19. **Анисимов, А.А.** Агробиологические аспекты производства семенного картофеля с многослойной мульчей из мискантуса / А. А. Анисимов, В. А. Николаев, Н. Ф. Хохлов, И. Г. Тараканов // Картофель и овощи. – 2020. – № 2. – С. 31-34. – DOI 10.25630/PAV.2020.18.2.007.

20. **Анисимов, А.А.** Особенности формирования урожая различными видами мискантуса (*Miscanthus spp.*) / А. А. Анисимов, М. С. Медведков, А. Н. Скороходова // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2021. – С. 115-116.

21. **Анисимов, А.А.** Формирование агроценоза на основе мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis*): аллелопатический аспект / А. А. Анисимов, М. С. Медведков, А. Н. Скороходова // Экспериментальная биология растений и биотехнология: история и взгляд в будущее. Годичное собрание общества физиологов растений России. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, 2021. – С. 247.