

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физико-математических и
естественных наук

Кафедра «Общая биология и
биохимия»

Направление подготовки 06.04.01 Биология
Магистерская программа Физиология растений

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему:

**«ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО
АППАРАТА РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*».**

Студент

А. Беляева

Беляева Анна Олеговна

Научный руководитель

С.А. Солдатов

Солдатов С.А.

Нормоконтролёр

С.А. Солдатов

Солдатов С.А.

Рецензент

Л.В. Карпова

Карпова Л.В.

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 30.06.17 № 13)

Заведующий кафедрой

Г.А. Карпова

Карпова Г.А.

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 21.06.17 № 1)

Секретарь ГЭК

С.А. Солдатов

Солдатов С.А.

Пенза, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	7
1.1 Хозяйственное значение и производство картофеля в России и Пензенской области.....	7
1.2 Сорта картофеля, районированные в Пензенской области	10
1.3 Анатомо-морфологические и физиологические особенности картофеля	14
1.4 Техника культивирования растительного материала на искусственных питательных средах	19
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	23
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	28
3.1 Особенности роста и развития картофеля разных сортов	28
3.2 Структурные характеристики листьев картофеля разных сортот	33
3.3 Организация мезоструктуры фотосинтетического аппарата картофеля разных сортот.....	37
3.4 Особенности функционирования фотосинтетического аппарата растений картофеля.....	42
3.5 Особенности культивирования растений картофеля в условиях <i>in vitro</i>	49
3.6 Особенности формирования фотосинтетического аппарата растений картофеля в условиях <i>in vitro</i>	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
ВЫВОДЫ	70
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	73

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Картофель является одной из самых важных сельскохозяйственных культур. Благодаря содержанию в клубнях крахмала, белка высокого качества и витаминов он является исключительно важным продуктом питания человека. Его по праву называют вторым хлебом. В клубнях картофеля содержится большое количество крахмала, витамина С, В1, В2, В6, РР, К, поэтому он считается важным продуктом питания для человека [19].

Ежегодно в мире производится 350-400 млн т картофеля. По объёму продаж он уступает только сахарному тростнику, кукурузе, рису и пшенице. В России картофель является одним из самых потребляемых продуктов растениеводства. Россия занимает третье место в мире по производству картофеля (около 21 млн. тонн) после Китая и входит в десятку ведущих стран, производящих более половины валового производства. Общемировая доля картофеля в России составляет 7,87 %, на первом месте идет Китай 27,86 %, а на втором месте Индия 13,62 %.

Агроклиматические условия основных регионов России, в которых возделывают картофель, характеризуются разнообразием по составу и плодородию почв, количеству и равномерности распределения осадков за период вегетации, сумме эффективных температур, безморозному периоду и другим факторам. В этих условиях урожайность сельскохозяйственных культур во многом определяется их устойчивостью к неблагоприятным факторам среды конкретного сельскохозяйственного региона.

Для большинства регионов и хозяйств особенно важное практическое значение имеет правильный подбор сортов с учетом длительности периода вегетации, необходимого для их полного созревания. В последние годы повсеместно сокращаются посевные площади под картофелем в крупно-товарных хозяйствах, и увеличиваются в личных подсобных хозяйствах. Это

привело к изменению требований к сортам, в частности по вкусовым качествам и устойчивости к использованию в монокультуре.

Сорт – один из ведущих факторов, обеспечивающих высокую эффективность картофелеводства. Необходимы новые сорта, хорошо приспособленных к возделыванию в конкретных условиях различных регионов и устойчивые к значительным колебаниям условий среды и агротехники. Селекцию новых сортов наиболее эффективно вести непосредственно в условиях предполагаемого региона их возделывания [14. 15].

Идеального сорта, который по всем показателям был бы лучшим для всех почвенно-климатических условий России, нет. Его нужно подбирать конкретно для каждой зоны.

Несмотря на большое народнохозяйственное значение картофеля, изучению физиологии этой культуры уделено гораздо меньше влияния, чем физиологии зерновых культур и сахарной свеклы. Урожайность картофеля в нашей стране остается на достаточно низком уровне. По мнению ряда специалистов, картофель в условиях средней полосы России становится рентабельной культурой только при получении урожая свыше 200 ц/га [11. 12].

Фотосинтез картофеля обладает высокой потенциальной интенсивностью (около $100 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2/\text{ч}$), которая может быть реализована при оптимальных внешних условиях. Однако реальная интенсивность фотосинтеза картофеля в полевых условиях обычно не превышает 10-20 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2/\text{ч}$ [10].

Без предварительного изучения новых сортов картофеля их нельзя рекомендовать производству. В селекционной работе новый сорт оценивается, прежде всего, с точки зрения производственной ценности. Изучению анатомо-морфологических особенностей и физиологических процессов, как правило, уделяется второстепенное значение. Получение научных данных, объясняющих взаимосвязь между сортовыми признаками и

уровнем физиологических процессов, важно в селекционной работе и рекомендации новых сортов к производству.

Цель и задачи исследований. Цель работы: изучить структурно-функциональные особенности организации фотосинтетического аппарата разных сортов картофеля.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

1. Сравнить особенности роста и развития картофеля разных сортов;
2. Исследовать структурные характеристики листьев картофеля разных сортов;
3. Изучить организацию мезоструктуры фотосинтетического аппарата разных сортов картофеля;
4. Сравнить особенности роста и развития картофеля разных сортов в полевых и в условиях *in vitro*.

Публикации:

1. Солдатов, С. А. Структурно-функциональные особенности организации фотосинтетического аппарата разных сортов картофеля / С. А. Солдатов, А. О. Беляева, Т. А. Имангазеева // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Материалы V Международной научно-практической конференции. Сев.-Осет. гос. ун-т им. К. Л. Хетагурова. Владикавказ: ИПЦ СОГУ, 2014. – С. 385-387.
2. Беляева, А.О. Сравнительная оценка анатомо-морфологических и физиологических особенностей разных сортов картофеля / А.О. Беляева, С. А. Солдатов // Экономика и управление АПК, бухгалтерский учет, анализ и аудит, финансы и кредит; агрономия: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Том 1. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – С. 165-167.
3. Беляева, А. О. Мезоструктура фотосинтетического аппарата разных сортов картофеля / А. О. Беляева, С. А. Солдатов, Г. А. Карпова,

В. Н. Хрянин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. Биология. – 2017. – № 1 (17). – С. 50-58.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Хозяйственное значение и производство картофеля в России и Пензенской области

В нашей стране картофель имеет большое, разностороннее значение. Его используют как пищевую, техническую и кормовую культуру. В клубнях содержится около 25 % сухого вещества, из которых 70-80 % крахмал, 1,4-3 % белок и 0,8-1 % зольные вещества [18]. В их состав входят различные витамины – С, В, РР, К и каротиноиды. Белок картофеля по биологической ценности стоит выше белков многих других растений благодаря оптимальному соотношению незаменимых аминокислот. В клубнях картофеля находятся минеральные соли кальция, железа, йода, калия, серы и других веществ. По общему содержанию минеральных веществ картофель превосходит многие другие виды овощей и плодов [22, 27].

Велико значение картофеля и как технической культуры. Картофель используется в спиртовой, крахмало-паточной, декстриновой, глюкозной, каучуковой и других отраслях промышленности. Картофельный крахмал применяется в пищевой, текстильной, бумажной промышленности.

Картофель широко используют на кормовые цели. Особенно он ценен для свиней и молочного скота. Животным вскармливают клубни, ботву и продукты промышленной переработки картофеля (барду, мезгу). Питательная ценность 100кг клубней эквивалентна 20-30 корм. ед., силоса из ботвы – 8,5-9, свежей мезги – 13,2, свежей барды – 4 корм. ед. [19].

При урожае клубней 15 т/га и ботвы 8 т/га общий выход кормовых единиц составляет около 5,5 тыс. Как пропашная культура картофель служит хорошим предшественником яровых культур (яровая пшеница, кукуруза, свекла, ячмень, просо и др.).

В кожуре, позеленевших клубнях содержится ядовитое вещество – глюкоалкалоид соланин, частично распадающийся при варке. Позеленевшие

и проросшие клубни непригодны для употребления в пищу и кормления животных без тщательного проваривания и других способов обезвреживания.

Картофель распространен почти повсеместно, но наибольшие площади находятся в Китае, Индии, Украине, США, Белоруссии, Германии, Польше.

В 2012 году было выращено 268461106 тонн картофеля. Россия входит в пятерку крупнейших мировых производителей картофеля. Ёмкость рынка картофеля в России оценивается примерно в 500 млрд. рублей в год. Российский экспорт картофеля обычно составляет порядка 40-75 тыс. тонн в год.

Посевные площади, занятые под выращивание картофеля в России в течение последних 8 лет находятся на относительно стабильных отметках и составляют 2,1-2,2 млн.га. Для сравнения, в середине 90-х гг. они достигали 3,4-3,5 млн.га. Сокращение площадей по отношению к 1990-м годам обусловлено как некоторым снижением душевого потребления картофеля, так и значительным ростом урожайности данной сельскохозяйственной культуры.

С 1995 года, когда в России было собрано 39,9 млн. т. картофеля, отечественные урожаи этой культуры неуклонно сокращались, а в последние годы стабилизировались на отметке 27-30 млн. т. (в зависимости от погодных условий).

Считается, что в настоящее время 13 % отечественного картофеля производится сельхозпредприятиями, 8 % – фермерскими хозяйствами и 79 % – на приусадебных участках.

Картофель выращивается на территории всех федеральных округов РФ, но его товарное производство крупными сельхозпредприятиями сосредоточено в основном в Центральном и Приволжском федеральных округах. Это связано с наличием здесь перерабатывающих предприятий и больших городов с их развитыми розничными сетями.

Урожайность картофеля в России растёт с начала XXI века в результате увеличения его производства в крупных сельскохозяйственных

предприятиях. Тем не менее, средняя урожайность существенно ниже, чем в развитых странах, и зависит от многих факторов, в том числе от состава почв, применяемых семян, агрономических технологий и оборудования [21].

Основная зона производства картофеля в России – Нечерноземье. Здесь сосредоточено более 50 % площади, отводимой в России под картофель, с которых собирают около 55 % валовых его сборов. Климат в России в целом считается благоприятным для возделывания картофеля, однако потери урожая его довольно значительны.

Наилучшие условия для возделывания картофеля складываются в Центральном районе России, к которому относится Верхневолжье. Здесь потери урожая составляют не более 20 %. Однако урожайность значительно колеблется по областям, что зависит не только от погоды, а, главным образом, от уровня проведения агротехнических мероприятий и почвенного плодородия.

В Пензенской области производство картофеля осуществляют порядка 160 сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Посевные площади картофеля в Пензенской области в 2013 году в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах составили порядка 40288 гектаров. На них было собрано порядка 545 тыс. тонн картофеля, причем товарного (в организованных хозяйствах) – всего 45,8 тыс. тонн, что покрывает четверть от необходимого. Минимальная потребность региона в товарном картофеле, по оценке министерства сельского хозяйства составляет 180 тыс. тонн в год.

Средняя урожайность картофеля в 2013 году составила около 151 ц/га, тогда как реально можно увеличить урожайность до 500 и более ц/га [16].

Пензенские картофелеводческие хозяйства на межрегиональном рынке картофеля успешно конкурируют с сельскохозяйственными производителями других регионов и стран, осуществляя его поставки по трем направлениям:

- продовольственный картофель, поставляется преимущественно в Московскую, Саратовскую, Самарскую области;
- семенной картофель, поставляется, прежде всего, в регионы Южного и Северо-Кавказского федеральных округов;
- картофель для переработки на чипсы, поставляется на заводы ООО «Фрито Лей».

1.2 Сорты картофеля, районированные в Пензенской области

В настоящее время в мировом сортименте картофеля насчитывается более 4 тысяч сортов. В Российском «Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию», изданном в 2013 году, представлено 347 сортов картофеля (включая 13 сортов – кандидатов на исключение), из них охраняются патентами 177 сортов [7, 9].

Сорта картофеля различаются по скорости созревания. Разные сорта имеют оптимум роста при разных температурах и увлажненности. Поэтому выбор оптимального сорта очень важная задача [26].

Таблица 1.

Группы сортов по срокам созревания

Группы сортов по срокам созревания	Число дней от посадки до		Количество сортов в Госреестре (2013 год)
	формирования товарного урожая	начала увядания ботвы	
Очень ранние	<60	<80	4
Ранние	60-70	80-90	103
Среднеранние	70-80	100-115	104
Среднеспелые	80-100	115-125	80
Среднепоздние	100-110	125-140	45
Поздние	110-120	140-150	11

В условиях Пензенской области районированы следующие сорта картофеля.

I. Раннеспелые сорта (период вегетации 80-90 дней) формируют урожай товарных клубней через 55-56 дней после посадки. При соблюдении специальных агроприемов – проращивание семян за 45 дней до посадки, посадка в ранние сроки (температура почвы +7-8 °С), снижение глубины посадки до 6-8 см и др., можно получить товарный урожай уже в начале июля.

Утенок. Совместной селекции Пензенского НИИСХ и ВНИИКС. Районирован с 1998 г. Раннеспелый, столовый. Урожайность 350-400 кг/сотку; клубни крупные, выровненные, овальные и удлиненно-овальные, с мелкими глазками. Кожура желтая, гладкая, мякоть желтая. Лежкость при хранении хорошая. Вкусовые качества хорошие и отличные. Мякоть не темнеет при резке. Содержание крахмала 12-20 %. Устойчивость к раку, парше, проволочнику – высокая; к фитофторозу, вирусным болезням – средняя.

Ценность сорта: засухо- жароустойчив, устойчив к переувлажнению, высокоурожайный.

Удача. Селекции ВНИИКС (Москва). Районирован с 1994 г. Раннеспелый, столовый. Урожайность – до 500 кг/сотку. Клубни овальные, белые, крупные, кожура слабосетчатая. Мякоть белая. Вкусовые качества – от средних до хороших. Устойчивость к раку, парше, ризоктониозу, фитофторозу, механическим повреждениям клубней – высокая. Лежкость при хранении хорошая. Пригоден для переработки на картофелепродукты.

Ценность сорта: высокая урожайность и устойчивость к болезням, сорт интенсивного типа.

Даренка. Совместной селекции Пензенского НИИСХ и ВНИИКС. Перспективный сорт. Раннеспелый (80-90 дней), столовый. Урожайность: 400-450 кг/сотку. Клубни округло – овальные, желтые, кожура гладкая, мякоть желтая, глазки мелкие. Масса товарного клубня – 100-110 г. Вкусовые качества отличные. Содержание крахмала – 16-19 %. Устойчивость к раку,

парше, нематоды, вирусным болезням – высокая; фитофторозу – средняя. Лежкость при хранении – хорошая.

Ценность сорта: высокая урожайность, жаро- засухоустойчивость, отличные вкусовые качества.

Жуковский ранний. Селекции ВНИИКС (Москва). Районирован с 1994 г. Самый раннеспелый сорт из всех районированных в нашей области. Урожай ранних клубней через 55-60 дней после посадки – до 15-17 т/га. Общая урожайность – до 400 кг/сотку; клубни крупные (110-120г); овальные, розовые, мякоть белая. Вкусовые качества: от средних до хороших, развариваемость слабая. Содержание крахмала 10-13 %. Лежкость при хранении хорошая. Высокая устойчивость к нематоды, парше, раку. К вирусным болезням, к фитофторе устойчивость средняя.

Ценность сорта: сверхранний сорт, жаро- засухоустойчив, высокоурожайный.

II. Среднеранние сорта (период вегетации 90-100 дней). Формируют урожай товарных клубней через 65-80 дней после посадки.

Теща. Совместной селекции Пензенского НИИСХ и ВНИИКС. Перспективный сорт. Среднеранний. Урожайность – до 400 кг/сотку. Высокоустойчив к раку; устойчив к вирусным и грибным болезням. Вкусовые качества отличные, рассыпчатый. Содержание крахмала высокое – до 23 %. Хранится хорошо. Клубни округло – овальные, розовые, с красными глазками. Мякоть клубня белая.

Ценность сорта: Отличные вкусовые качества, устойчивость к болезням.

Матушка. Среднеранний сорт, универсального назначения. Высокопродуктивен, 25,0-31,5 т/га (без удобрений). Жаро- и засухоустойчив, имеет стабильную продуктивность при колебаниях погодных условий. Обладает ранним клубнеобразованием, урожайность раннего картофеля до 20 т/га. Сорт приспособлен для механизированного возделывания и уборки. Устойчив к раку картофеля. Вирусными заболеваниями поражается слабо.

Устойчивость ботвы и клубней к фитофторозу повышенная. Клубни устойчивы к ризоктониозу и кольцевой гнили, поражаются паршой обыкновенной. Растения полураскидистые, компактные. Листья светло-зелёные. Венчик цветка светло-красно-фиолетовый. Цветение средней интенсивности, ягодообразование не отмечено. Гнездо клубней компактное, столоны короткие. Клубни красно-фиолетовые, крупные – 90-180 г, округло-овальные и овальные. Устойчивы к механическим повреждениям. Кожура слабо шершавая. Глазки мелкие и средней глубины, малочисленные. Мякоть кремовая, не темнеющая при резке и варке, разваривается средне. Вкусовые качества отличные. Крахмалистость – 19,1-26,2 %. Лёжкость при хранении хорошая.

III. Среднеспелые сорта (вегетационный период 110-130 дней).
Формируют товарный урожай через 80-100 дней.

Батя. Совместной селекции Пензенского НИИСХ и ВНИИКХ. Сорт среднеспелый, универсального назначения. Урожайность от 26,9 до 45,0 т/га. Высоко крахмалистый – 25,6-30,3 %. Отличные вкусовые и товарные качества. Жаро- и засухоустойчив, высокоадаптивен, имеет стабильную по годам продуктивность. Устойчив к раку картофеля и золотистой картофельной нематоды. Вирусными заболеваниями поражается слабо. Устойчив к фитофторозу, парше, ризоктониозу и кольцевой гнили. Ботва вынослива к повреждению колорадским жуком. Лежкость при хранении хорошая.

IV. Среднепоздние сорта (период вегетации 125-140 дней). Товарный урожай дают через 120 дней.

Лорх. Селекции ВНИИКХ (Москва). Среднепоздний. Столовый. Пригоден для приготовления хрустящего картофеля и других продуктов переработки. Вкусовые качества хорошие и отличные. Потенциальная урожайность 500 кг/сотку. Масса клубней 90-120 г. Сохранность клубней хорошая. Клубни белые, овальные, иногда удлинённо – овальные, глазки

мелкие. Мякоть белая, не темнеющая при резке. Устойчив к бактериальным заболеваниям. Неустойчив к раку.

Ценность сорта: Отличается пластичностью, дает высокие урожаи на различных типах почв.

1.3 Анатомо-морфологические и физиологические особенности картофеля

Картофель – вид многолетних клубненосных травянистых растений из рода Паслён (*Solanum*) семейства Паслёновые (*Solanaceae*). В естественных условиях встречается около 10 разновидностей вида картофель.

Картофель – многолетнее травянистое растение, но возделывается он только как однолетняя культура. Размножают его обычно клубнями, иногда их частями, ростками, черенками. В селекционной работе гибридные сеянцы выращивают из семян.

Корневая система мочковатая. Корни проникают в почву сравнительно неглубоко. При посеве семенами из зачаточного корешка семени развивается главный корень с многочисленными боковыми ответвлениями. Корневая система картофеля, выращенного из клубня, мочковатая. В начале прорастания клубней корневая система имеет ростковые (глазковые) или первичные корни. Столонные корни находятся непосредственно на столонах. В среднем на один стебель приходится 20-25 корней. Пристолонные клубни, появляющиеся в течение всего вегетационного периода, располагаются группами по 4-5 около каждого stolона. Глубина проникновения корней в почву у ранних сортов небольшая, у среднеспелых и поздних – довольно значительная. Основная масса корней (60-70 %) располагается в пахотном слое, 22-38 % проникает глубже, отдельные корни уходят на глубину до 150 см. Мощность корневой системы зависит от влажности, аэрации и содержания питательных веществ в почве, а также сорта картофеля: у

среднеспелых и среднепоздних сортов корни более мощные, чем у раннеспелых.

Стебель у картофеля прямостоячий или отклоняющийся в сторону. Куст культурного картофеля в зависимости от сорта и условий выращивания состоит из 4-8 облиственных стеблей. Они могут быть ветвящимися и неветвящимися у основания. У скороспелых сортов стебли неветвящиеся. Чем позднеспелее сорт, тем сильнее он ветвится [1].

Из пазушных почек подземной части стебля развиваются побеги – столоны, на концах которых образуются клубни. У культурных видов длина столонов не превышает обычно 10 см, у диких видов они могут иметь длину до 50 см и более.

Листья прерывисто-непарно-перисторассеченные, состоящие из конечной доли и 4-7 боковых, между которыми расположены более мелкие дольки.

Цветки пятерного типа, собраны в соцветие в виде завитка. Венчик имеет белую, синюю или красно-фиолетовую окраску с различными оттенками. В цветке имеется пять тычинок, собранных в колонку. Завязь верхняя.

Плод – двухгнездная многосемянная зеленая ягода. Семена очень мелкие, сплюснутые, светло-желтые. Вес 1000 семян около 0,5 г.

Клубень представляет собой утолщенную конечную часть столона. Более 3/4 веса клубня составляет вода и только около 1/4 – сухие вещества, из них минеральные соединения около 1 %, белки около 2 % и примерно 1 % сырая клетчатка. Содержание крахмала в клубнях у различных сортов колеблется от 12 до 24 % и выше. Несмотря на сильную изменчивость под влиянием условий выращивания, этот показатель служит устойчивым сортовым признаком.

На клубне по спирали расположены глазки, каждый из которых имеет три почки. Так как клубень растет вершиной, в верхней его части глазки расположены более сближенно, чем в средней и нижней.

Форма и окраска клубней отличаются большим разнообразием и являются важными сортовыми признаками. Клубни бывают круглые, округло-овальные, удлинённо-овальные, длинные, плоские и т. д. Окраска клубней – белая, розовая, красная или фиолетовая, зависит от цвета кожуры или мякоти. У большинства сортов мякоть белая или слегка желтоватая, лишь в редких случаях она бывает красная или сине-фиолетовая.

Биологические особенности. Основные фазы роста картофеля:

- 1 всходы,
- 2 бутонизация,
- 3 цветение,
- 4 увядание ботвы,
- 5 отмирание ботвы.

В развитии картофеля условно выделяют 3 периода.

1) От всходов до начала цветения (35-38 дней у скороспелых, 43-46 дней у позднеспелых) – характеризуется увеличением массы ботвы, прирост клубней незначительный.

2) От цветения до прекращения прироста ботвы – наиболее важный период в формировании клубней (формируется до 65-75 % урожая). Характеризуется наиболее интенсивным приростом клубней, который зависит от метеорологических условий.

3) От прекращения прироста ботвы до естественного ее увядания – прирост клубней еще продолжается, но менее интенсивно, чем во втором периоде.

Картофель – растение умеренного климата, но благодаря своей высокой пластичности его можно возделывать и на юге, и далеко на севере. В зависимости от сорта и условий выращивания вегетационный период у картофеля продолжается от 70 до 200 дней. По этому признаку сорта его делят на пять групп: ранние, среднеранние, среднеспелые, среднепоздние и поздние.

Картофель чувствителен к низким температурам. У большинства сортов ботва при быстром охлаждении погибает при температуре -1°C . При медленном понижении температуры, когда в растениях накапливаются сахара, они могут выдерживать кратковременные заморозки до $-2-3^{\circ}\text{C}$, а в отдельных случаях даже до -4°C . Для клубней температура $-1-2^{\circ}\text{C}$ губительна [30].

Начало клубнеобразования у большинства сортов картофеля совпадает с фазой бутонизации. Оптимальная температура для клубнеобразования $16-18^{\circ}\text{C}$, при температуре выше 20°C рост клубней прекращается. Наилучший урожай клубней картофеля формируется в условиях короткого (12-часового) дня.

Цветение. Картофель – самоопыляющееся растение. Некоторые виды и селекционные сорта отличаются стерильностью. Стерильность обусловлена генетически, на степень ее проявления оказывают влияние экологические условия. Например, в условиях Подмосковья вид *Solanum curtilobum* Juz. et Buk. ежегодно плодоносит, под Ленинградом же он дает ягоды в редкие годы. На Памире почти все виды картофеля хорошо плодоносят. Цветение наступает примерно через 30-35 дней после всходов и продолжается в течение нескольких дней. Рыльце созревает обычно на 3-4 дня раньше пыльников. Нормально развитая пыльца при правильном храниении может сохранять жизнеспособность до 6-7 суток. В связи со стерильностью пыльцы у многих сортов ягоды не образуются, некоторые сорта не цветут совсем или у них образуются только бутоны. Наиболее благоприятны для цветения температура $13-22^{\circ}\text{C}$ и небольшие осадки.

Картофель – одна из наиболее требовательных к почвенному питанию культур. При образовании 10 т. клубней картофель выносит из почвы около 50 кг азота, 20 кг фосфора, 90 кг калия, около 40 кг кальция, 20 кг магния. При урожайности 20-25 т/га вынос питательных веществ составляет 100-175 кг N, 40-50 кг P_2O_5 и 140-230 кг K_2O .

Картофель потребляет наибольшее количество питательных элементов в период интенсивного нарастания надземной массы и в период клубнеобразования. К концу вегетации поступление питательных элементов уменьшается и прекращается в начале засыхания листьев.

Из основных питательных элементов картофель потребляет больше всего калия, затем азота и меньше фосфора. Эта биологическая особенность явилась причиной того, что картофель стали считать калиелюбивой культурой и старались внести под него в первую очередь калийные удобрения. Калий необходим для процесса фотосинтеза, белкового и углеводного обмена. Однако исследования показали, что на большинстве почв наибольшие прибавки урожая он дает при внесении азотных и фосфорных удобрений. Это объясняется более высоким содержанием в большинстве почв усвояемого для растений калия, чем азота и фосфора [3].

Недостаточная обеспеченность отдельными элементами питания вызывает изменения различных органов, особенно листьев, и может быть определена по их внешнему виду.

Картофель – требовательное растение к влажности почвы. Потребность во влаге изменяется у него по фазам развития.

В начале своего роста картофель может жить за счет запасов влаги материнского клубня.

Критическим периодом является фаза от начала цветения до прекращения прироста ботвы. Недостаток влаги в почве в этот период приводит к сильному снижению урожая клубней.

Наиболее благоприятные условия для роста картофеля и образования высокого урожая клубней создаются при влажности почвы 70-80 % от полной полевой влагоемкости в зоне распространения основной массы корней в период цветения и клубнеобразования и 60-65 % – в период отмирания ботвы и накопления крахмала в клубнях.

Для получения хороших урожаев необходимо, чтобы за вегетацию выпало не менее 300 мм осадков, с преобладанием их в июне – июле и августе.

Избыток влаги оказывает отрицательное влияние: дождливая погода весной задерживает развитие клубней, а в конце роста клубней делает их мало крахмалистыми, водянистыми и малоустойчивыми против заболеваний [20].

Картофель лучше других культур использует влагу, находящуюся в воздухе. Капельки росы или тумана, осевшие на листьях, картофель поглощает при помощи железистых волосков. Транспирационный коэффициент картофеля 400-550, хотя в зависимости от условий произрастания изменяется в пределах 170-660 [32].

1.4 Техника культивирования растительного материала на искусственных питательных средах

Биотехнология – производственное использование биологических агентов (микроорганизмов, растительных клеток, животных клеток, частей клеток: клеточных мембран, рибосом, митохондрий, хлоропластов) для получения ценных продуктов и осуществления целевых превращений. В биотехнологических процессах также используются такие биологические макромолекулы как рибонуклеиновые кислоты (ДНК, РНК), белки – чаще всего ферменты. ДНК или РНК необходима для переноса чужеродных генов в клетки [2, 4, 5].

Современная биотехнология – это наука и отрасль производства, развивающаяся в трех основных направлениях:

- 1) молекулярная биология и генетическая инженерия;
- 2) микробиология и микробиологическая промышленность;
- 3) культура клеток и тканей *in vitro*.

Современная биотехнология охватывает широкий круг методов, отраслей и задач, объединенных в несколько крупнейших блоков. В частности, в растениеводстве можно выделить следующие направления:

- 1) микрклональное размножение и освобождение от вирусов;
- 2) создание новых форм растений с помощью методов генной инженерии;
- 3) клеточная селекция с использованием соматоклональной изменчивости в культуре *in vitro*;
- 4) сохранение генетических ресурсов культурных и дикорастущих видов и форм растений.

Выращивание изолированных клеток и тканей на искусственных питательных средах (*in vitro*) в стерильных условиях получило название метода культуры изолированных тканей.

Основой метода культуры изолированных клеток и тканей растений является уникальное свойство растительных клеток – тотипотентность. Под ним подразумевается способность растительной клетки при определенных условиях вторично дифференцироваться и под влиянием внешних условий выбирать тот или иной путь морфогенеза. В ходе морфогенеза заново возникают ткани и органы. Полученное в результате морфогенеза *in vitro* растение носит название растения-регенеранта.

Выделяют два принципиально различных типа клонального микроразмножения:

- 1) активация уже существующих в растении меристем (апекс стебля, пазушные и спящие почки стебля);
- 2) индукция возникновения почек или эмбриоидов *de novo*.

Термин «культура клеток, тканей и органов растений» применяется к следующим частям растения: изолированным зародышам, изолированным органам (кончики корней, меристемы побегов, листовые примордии, части молодых цветков и плодов), каллусной ткани, суспензионной культуре, культуре протопластов [24, 25, 31].

Клетки растений *in vitro* являются удобной моделью для изучения многих физиолого-биохимических процессов и генетики растительного организма. Культивируемые растительные клетки используются для изучения вторичного метаболизма, его регуляции путем блокирования или усиления работы отдельных ферментов, а также под влиянием различных факторов. Важной проблемой физиологии растений является познание сущности процессов роста, клеточной дифференциации и морфогенеза. Ее решение возможно путем моделирования этих процессов в культуре клеток и тканей с применением методов молекулярной биологии и генетики. На культивируемых клетках-моделях можно изучать такие процессы, как деление и растяжение клеток, индукция делений и каллусообразование, дифференцировка клеток и морфогенез под влиянием как внешних, так и внутренних факторов, прежде всего фитогормонов.

Существует 2 основных системы культивирования клеток.

1. Непроточные культуры – тип культур, в котором клетки вводят в фиксированный объем среды. По мере роста клеток происходит использование питательных веществ и накопление метаболитов, поэтому среда должна периодически меняться, что приводит к изменению клеточного метаболизма, называемого еще и физиологической дифференцировкой. Со временем, в результате истощения среды происходит прекращение пролиферации клеток.

Увеличить продолжительность жизни непроточных культур можно несколькими способами:

- прерывистый (часть культуры заменяется равным объемом свежей среды);
- постоянный (объем культуры увеличивается с постоянной низкой скоростью, а небольшие порции клеток периодически удаляются);
- перфузионный (осуществляется постоянное поступление свежей среды в культуру и одновременное удаление равного объема использованной (бесклеточной) среды).

Перфузия может быть открытой, когда из системы удаляется вся среда, и закрытой, когда удаляемая среда проходит через дополнительный сосуд, где восстанавливается ее рН и осуществляется аэрирование, и возвращается в культуральный сосуд.

Все системы непроточных культур характеризуются накоплением отходов в той или иной форме и непостоянством внешних условий.

2. Проточные культуры обеспечивают истинные гомеостатические условия без изменения концентрации питательных веществ и метаболитов, а также числа клеток. Гомеостаз обусловлен постоянным вхождением среды в культуру и одновременным удалением равного объема среды с клетками. Такие системы пригодны для суспензионных культур и монослойных культур на микроносителях [23, 31].

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования были выбраны три сорта картофеля, которые были районированные в Пензенской области: среднеранние сорта «Теща» и «Матушка», среднеспелый сорт «Батя». Выбор объектов исследования был обусловлен тем, что данные сорта отличаются повышенным содержанием крахмала в клубнях растений.

Выбор объектов исследования был обусловлен тем, что данные сорта отличаются повышенным содержанием крахмала в клубнях растений. Так у растений сорта «Теща» в клубнях накапливается до 23,0 % крахмала, у сорта «Матушка» – до 26,2 %, у сорта «Батя» – до 30,3 %. Для сравнения, заявленное разработчиками содержание крахмала у наиболее известных и распространенных сортов «Жуковский ранний», «Утенок», «Даренка», «Русский сувенир» составляет до 13 %, до 20 %, до 19 %, до 18 %, соответственно.

Повышенное накопление крахмала в клубнях, вероятно, можно объяснить интенсивностью физиологических процессов, протекающих в растениях. Речь идет, прежде всего, об интенсивности фотосинтеза и дыхания. Уровень физиологических процессов неразрывно связан с анатомо-морфологическими особенностями сортов картофеля.

Полевые опыты проводились в 2013-2014 году в Мокшанском районе Пензенской области. Предшественник – раннеспелый картофель. Посадка картофеля осуществлялась квадратногнездовым способом (60*60 см) 1 мая, по зяби. Повторность опыта – четырехкратная. Размер учетной делянки 5 м². Полевые опыты закладывались при обычной агротехнике без внесения удобрений на естественной длине дня. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистого гранулометрического состава.

Все три сорта картофеля произрастали в одинаковых условиях.

В ходе полевых опытов проводились наблюдения за процессами роста и развития растений. Отмечались изменения высоты растений, количество

побегов у одного растения, количество листьев и их площадь. Фиксировали время наступления основных фаз развития растений: всходы, бутонизация, цветение и отмирание ботвы.

Первая динамическая копка была проведена на 63 день после посадки. В ходе нее подсчитывали среднее количество клубней у одного растения и их массу.

Учет и структуру урожая клубней картофеля проводили с каждой делянки, взвешивая товарную (клубни по поперечному диаметру больше 50 мм) и нетоварную фракции (клубни по поперечному диаметру меньше 50 мм) отдельно. При описании урожайности подсчитывали среднее количество клубней у одного растения.

Площадь листьев определяли методом высечек [8].

Для характеристики сортов использовались такие показатели, как листовой индекс и степень облиственности [29].

Интенсивность фотосинтеза определяли фотоэлектроколориметрическим методом [6].

Определение содержания пигментов проводили спектрофотометрическим методом [8].

Интенсивность дыхания определяли титрометрическим методом по количеству выделенного углекислого газа [6].

Жаростойкость изучали по Ф. Ф. Мацкову [6].

Водоудерживающую способность определяли по методу Арланда [28].

Организация фотосинтетического аппарата на уровне листа рассматривалась на основе анализа его мезоструктуры [8].

Основные показатели мезоструктуры листа, определяемые экспериментально:

1. Площадь листа (см^2 или дм^2).
2. Количество клеток фотосинтезирующих тканей в единице площади листа (тыс./см^2).
3. Объем клеток (тыс./мкм^3).

4. Число хлоропластов в клетке (шт.).
5. Объем хлоропласта (мкм^3).
6. Содержание хлорофилла в единице площади листа (мг/дм^2).

Основные показатели мезоструктуры листа, определяемые расчетным путем:

1. Количество хлоропластов в единице площади листа (млн/см^2).
2. Объем клетки, соответствующий одному хлоропласту (мкм^3).
3. Относительный объем хлоропластов в клетке (%).
4. Индекс проективной поверхности хлоропластов (ИПХ).
5. Индекс поверхности наружных мембран хлоропластов (ИМХ).
6. Содержание хлорофилла в одном хлоропласте (мг/10^9 хлоропластов или 10^9 молекул хлорофилла на хлоропласт).
7. Молярная концентрация хлорофилла в хлоропласте (моль хлорофилла на 1 л объема хлоропластов).

Имея количественные показатели структурной организации фотосинтетического аппарата, при наличии экспериментальных данных по интенсивности фотосинтеза листа ($\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$) можно рассчитать:

8. Фотосинтез одного хлоропласта ($\text{мг CO}_2/(\text{10}^9 \text{ хлоропластов} \cdot \text{ч})$ или $\text{млн молекул CO}_2/(\text{хлоропласт} \cdot \text{с})$) – отношение интенсивности фотосинтеза к количеству хлоропластов в единице площади листа.
9. Фотосинтез единицы площади наружной мембраны хлоропластов ($\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \text{ мембран} \cdot \text{ч})$) – отношение интенсивности фотосинтеза листа к ИМХ.
10. Ассимиляционное число ($\text{мг CO}_2/(\text{мг хлорофилла} \cdot \text{ч})$ или моль $\text{CO}_2/(\text{моль хлорофилла} \cdot \text{ч})$) – отношение интенсивности фотосинтеза к содержанию хлорофилла в листе.

Лабораторные опыты проводились в 2015-2016 годах. Все манипуляции с изолированными тканями (введение в культуру, пересадка на свежую питательную среду) проводились в асептическом помещении (ламинар-боксе) стерильными инструментами.

Стерилизация питательной среды осуществлялась в автоклаве при температуре 123 °С и давлении 1 атм. в течение 40 мин.

Стерилизация инструментов для работы с растительным материалом предварительно проводилась в сухожаровом шкафу. Непосредственно перед каждой манипуляцией с растительными эксплантатами металлические части инструментов прокаливались в пламени спиртовки.

Стерилизацию эксплантов (верхушечные почки) проводили в септических и асептических условиях. В септических условиях экспланты последовательно обрабатывали 0,5 %-ным раствором марганцевокислого калия и 1 %-ным раствором медного купороса по 15 минут для освобождения от бактериальных и грибковых инфекций. Затем в стерильных условиях обрабатывали следующими дезинфицирующими растворами: 70 % раствором этанола и перекисью водорода по 1 мин. После выдерживания в дезинфицирующих растворах экспланты несколько раз промывали дистиллированной водой.

Для стерилизации растительных объектов, а также для стерилизации рук применяли 0,05 % хлоргексидин биглюконат. Препарат проявляет бактерицидное действие в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий и фунгицидное действие.

Изолированные меристемы культивировали в асептических условиях на питательной среде Мурасиге и Скуга с добавлением зеатина (0,5-2 мг/л) и гиббереллина ГА3 (2 мг/л), содержание сахарозы – 20 г/л, глюкозы – 20 г/л.

Микроклональное размножение пробирочных растений осуществляли с помощью черенкования. Их культивировали на питательной среде Мурасиге и Скуга с добавлением зеатина (0,5 мг/л) и гиббереллина ГА3 (2 мг/л), содержание сахарозы – 10-20 г/л в зависимости от целей эксперимента.

Растения выращивали при естественном освещении и температуре.

Опыты проводили в 2-3 кратной повторности. Анализировали по 10-15 растений регенерантов.

Результаты исследований были подвергнуты статистической обработке по общепризнанным методикам [13, 33].

ГЛАВА 3. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА РАЗНЫХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ

3.1 Особенности роста и развития картофеля разных сортов

Посадка картофеля была проведена 1 мая при оптимальной температуре воздуха. За три недели до посадки клубни картофеля проращивали в теплом помещении. В первой половине 2014 года наблюдался недостаток влаги, во второй половине, в фазу бутонизации и цветения картофеля, – влаги было достаточно. На момент копки стояла сухая погода.

Первые всходы у растений сорта «Батя» появились 11 мая, к 15 мая 90 % растений дали всходы. Первые всходы у растений сорта «Матушка» появились 14 мая, к 20 мая 90 % растений дали всходы. Первые всходы у растений сорта «Теща» появились 20 мая, к 23 мая 90 % растений дали всходы.

Сорт «Батя» относится к среднеспелым сортам. Несмотря на это у него оказались самые ранние всходы, в среднем всходы появились на 3-5 дней раньше, чем у среднераннего сорта «Матушка» и на 8-9 дней раньше, чем у среднераннего сорта «Теща».

Данный факт можно объяснить повышенной способностью растений данного сорта к прорастанию клубней. Эту особенность мы заметили при хранении клубней. Клубни картофеля хранились в одинаковых условиях. Лучшую сохранность урожая показал сорт «Теща». Его клубни меньше всех потеряли в массе при хранении. Для сравнения можно привести фотографию клубней картофеля разных сортов картофеля, которые хранились в условиях обычной городской квартиры на лоджии. Температурный режим хранения отмечался значительными перепадами – от +1 °С до +20 °С.

Раньше всех начал прорастать среднеспелый сорт «Батя». У него наблюдалась наибольшая потеря в весе клубней при хранении.

Среднеранний сорт «Матушка» показал неплохие результаты при хранении, но несколько уступал сорту «Теща».



Рис. 1. Клубни картофеля разных сортов после зимнего хранения (фотография сделана 10 апреля 2014 года). Слева - направо: 1) сорт «Теща»; 2) сорт «Матушка»; 3) сорт «Батя»

Стоит отметить, что у растений сорта «Теща» появление всходов оказалось более дружным. От появления первых всходов до полного прорастания всех растений прошло 3 дня. Для сравнения у сорта «Батя» 5 дней, у сорта «Матушка» 7 дней.

На 12 июня у растений сорта «Батя» 50 % растений находились в фазе бутонизации, 50 % растений перешли к цветению. У растений сорта «Матушка» 100 % растений находились в это время в фазе бутонизации. У растений сорта «Теща» только 10 % растений находились в фазе бутонизации.

Динамика накопления урожая клубней – показатель, позволяющий судить об интенсивности формирования урожая. Даже раннеспелые образцы картофеля, имеющие высокую интенсивность накопления клубней, могут

быть более продуктивны, чем позднеспелые с менее интенсивным формированием урожая.



Рис. 2. Растения картофеля в возрасте 43 дней (12 июня 2014 г): 1) сорт «Батя»; 2) сорт «Матушка»; 3) сорт «Теща»

Срок начала клубнеобразования – важный признак, позволяющий определить у селекционного образца возможности формирования раннего урожая. Раннее начало этой фазы позволяет даже в неблагоприятных условиях обеспечить накопление более высокого урожая за счёт увеличения продолжительности периода накопления массы клубней.

Первая динамическая копка была произведена 2 июля, на 63 день после посадки растений. В ходе нее подсчитывали среднее количество клубней у одного растения и их массу.

Таблица 2.

Показатели продуктивности разных сортов картофеля в первую динамическую копку ($M \pm m$, $n=4$)

Сорт	Количество клубней у одного растения, шт.	Масса клубня, г	Урожайность, г/куст
Теща	7,3 $\pm 0,9$	38,6 $\pm 6,6$	281,8 $\pm 7,3$
Матушка	5,6 $\pm 0,6$	52,2 $\pm 6,3$	292,3 $\pm 7,4$
Батя	12,0 $\pm 3,1$	11,1 $\pm 1,6$	126,6 $\pm 6,3$

Наибольшую массу клубней на 1 куст к первой динамической копке сформировал сорт «Матушка». Клубни у данного сорта были наиболее крупными по сравнению с другими сортами. Средняя длина столонов составила 3,4 см.

У сорта «Теща» стоит отметить очень компактное расположение клубней. Урожайность к первой динамической копке была на уровне другого среднераннего сорта, но клубни оказались несколько мельче.

У среднеспелого сорта «Батя» закладывается очень большое количество клубней. Но их масса была в 3,5-4,7 раза меньше, чем у среднеранних сортов. Средняя длина столонов на момент первой динамической копки составила 8,5 см.

Стоит отметить, что на момент первой динамической копки растения картофеля продолжали обильно цвести, особенно растения сорта «Батя».



Рис. 3. Клубни картофеля в первую динамическую копку. Растения в возрасте 63 дней (2 июля 2014 г). 1) сорт «Матушка»; 2) сорт «Теща»

3.2 Особенности структурных характеристик листьев картофеля разных сортов

Высокую продуктивность растения должен обеспечивать хорошо развитый фотосинтетический аппарат растений. У картофеля фотосинтетической активностью обладают и листья, и стебли. Следующей задачей нашей работы было изучение листьев растений, как основных органов фотосинтеза.

Лист – это основной орган фотосинтеза растений. Поэтому логично было предположить существование зависимости между суммарной площадью листовой поверхности и интенсивностью фотосинтеза.

Результаты наших исследований представлены в таблице 3 и на рисунке 4.

Таблица 3.

Степень облиственности растений картофеля разных сортов в фазу бутонизации ($M \pm m$, $n=4$)

Сорт	Количество побегов у одного растения, шт.	Высота растений, см	Количество листьев на одном растении, шт.	Площадь листьев одного растения, см^2	Площадь одного листа, см^2	Листовой индекс, $\text{м}^2/\text{м}^2$ посева
Теща	2,2 $\pm 0,1$	26,9 $\pm 2,2$	21,2 $\pm 5,4$	1589 ± 79	74,96 $\pm 3,75$	0,46
Матушка	3,0 $\pm 0,2$	34,0 $\pm 1,3$	42,6 $\pm 9,7$	1948 ± 97	45,73 $\pm 2,29$	0,65
Батя	4,9 $\pm 0,4$	39,9 $\pm 1,0$	51,4 $\pm 7,1$	3809 ± 190	74,41 $\pm 3,72$	1,18

Количество побегов у среднеспелого сорта «Батя» было выше, чем у среднеранних сортов «Теща» (в 2,2 раза) и «Матушка» (в 1,6 раза). Растения сорта «Батя» превышали по высоте растения сорта «Теща» (на 48 %) и сорта «Матушка» (на 17 %). Самые крупные листья были у растений сорта «Теща» – 74,96 см^2 и «Батя» – 74,41 см^2 . Это на 63 % выше, чем у растений сорта

«Матушка». Растения среднеспелого сорта отличались самым высоким показателем облиственности. В среднем количество листьев здесь было выше в 2,4 раза, чем у сорта «Теща» и в 1,2 раза, чем у сорта «Матушка».



*Рис. 4. Листья картофеля разных сортов: 1. сорт «Теща»;
2. сорт «Матушка»; 3. сорт «Батя»*

Средняя площадь листьев на одном растении оказалась выше у среднеспелого сорта «Батя» (в 2,4 раза по сравнению с растениями сорта «Теща» и в 2,0 раза по сравнению с растениями сорта «Матушка»). Это было

обусловлено большим количеством побегов у одного растения и значительным превышением количества листьев на растении, чем у среднеранних сортов.

Эту закономерность можно увидеть на рисунке 4, где показаны крупным планом листья растений разных сортов картофеля.

Хорошо заметно, что у растений сорта «Теща» и «Батя» боковые доли листа сближены, перекрывают друг друга, их количество чаще составляет 4 пары. Промежуточные доли сравнительно небольшие. У растений сорта «Матушка» количество боковых долей чаще составляет 3 пары, из-за чего лист кажется более «рыхлым», промежуточные доли крупнее, чем у сортов «Теща» и «Батя».

Листовой индекс – это определенное в фазу цветения отношение общей площади листьев растений к площади посева. Он свидетельствует о фотосинтетической работе посева и зависит от степени облиственности растений. Этот показатель помогает понять закономерности формирования хозяйственного урожая у разных сортов картофеля.

$$L = S \div P,$$

где L – листовой индекс; S – площадь листьев растений, растущих на площади почвы (P); P – площадь почвы, занимаемая растениями.

В наших опытах максимальный листовой индекс был определен у растений сорта «Батя» – $1,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$ посева. У среднеранних сортов «Матушка» и «Теща» он составил $0,65 \text{ м}^2/\text{м}^2$ посева и $0,46 \text{ м}^2/\text{м}^2$ посева, соответственно.

Установлено, что у большинства сельскохозяйственных культур оптимальный листовой индекс составляет $4\text{--}5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ посева [10]. В наших исследованиях он меньше оптимального. Вероятно, это связано с условиями жизни растений. Низкий листовой индекс на фоне высокой облиственности не позволяет получать максимально возможный хозяйственный урожай культуры с единицы площади. Самый низкий показатель облиственности одного растения – 1589 см^2 и самый низкий листовой индекс – $0,46 \text{ м}^2/\text{м}^2$

посева был усредненного сорта «Теща». Как следствие, в этом варианте опыта был получен наименьший урожай с одного растения – 660,3 г.

Сорт «Батя» показал самый высокий уровень облиственности – 3809 см² и самый высокий листовой индекс – 1,18 м²/м² посева. Как следствие, в этом варианте опыта был получен максимальный урожай с одного растения – 1080 г. Хотя следует заметить, что эти сорта принадлежат к разным группам по срокам созревания. Поэтому сравнивать их между собой не совсем корректно.

Среднеранний сорт «Матушка» показал урожайность на уровне 943,4 г. Облиственность составила 1948 см², листовой индекс – 0,65 м²/м² посева.

Анализируя полученные данные, следует отметить влияние листового индекса и степени облиственности на урожай. Не стоит забывать также, что для формирования урожая клубней у разных по скороспелости сортов решающее значение имеет продолжительность жизни листьев. Наблюдения за ходом формирования урожая у среднеранних и среднеспелых сортов показали, что основные различия в накоплении урожая клубней возникают в конце вегетации, когда листья у среднеранних сортов уже отмирают, а у среднеспелых продолжают вегетировать.

Таким образом, из трех исследуемых сортов самые низкие показатели облиственности, листового индекса и урожайности были у усредненного сорта «Теща». Вероятно, данный сорт хуже приспособлен к режиму ФАР (фотосинтетически активной радиации) в условиях культивирования. Наибольшие значения облиственности, листового индекса и урожайности были отмечены у растений среднеспелого сорта «Батя». Высокий уровень листового индекса был достигнут за счет резкого увеличения количества листьев на одном растении. Растения усредненного сорта «Матушка» отличаются небольшими по площади листьями и средним значением листового индекса.

3.3 Организация мезоструктуры фотосинтетического аппарата картофеля разных сортов

Основным фотосинтезирующим органом большинства растений является лист. Анатомия листа, расположение основных клеток и тканей, содержащих комплекс фотосинтетических пигментов, соответствуют наиболее эффективному течению процесса фотосинтеза. Структура листа и его фотосинтетическая активность оказываются тесно связанными.

Организация фотосинтетического аппарата на уровне листа рассматривалась на основе анализа его мезоструктуры. Понятие «мезоструктура» введено А. Т. Мокроносовым. Оно включает систему морфологических экспериментально определяемых характеристик листа, клеток мезофилла и хлоропластов, на основе которых можно получить расчетным путем большое число показателей, важных для понимания организации фотосинтетического аппарата.

Листья картофеля прерывисто-непарноперисторассеченные. Каждый такой лист состоит из 3-4 пар боковых долей, размещённых одна против другой, промежуточных долек между ними и конечной доли.

Самые крупные листья были у растений сорта «Теща» – 74,96 см² и «Батя» – 74,41 см². Это на 63 % выше, чем у растений сорта «Матушка» (45,73 см²).

Одновременно с площадью листьев измеряли толщину листовой пластинки у конечной доли листа. У сорта «Батя» была зафиксирована наибольшая толщина листа (на 10 % больше, чем у сорта «Теща» и на 15 % больше, чем у сорта «Матушка»). Соотношение (в %) толщины слоя палисадной и губчатой паренхимы: у сорта «Теща» – 42/58; у сорта «Матушка» – 43/57; у сорта «Батя» – 46/54. Таким образом, у среднеспелого сорта толщина слоя столбчатого мезофилла была максимальной среди изучаемых сортов картофеля. У растений сорта «Теща» наблюдалось увеличение толщины губчатого мезофилла.

Общее количество фотосинтезирующих клеток в единице площади листа выше у растений сорта «Теща» на 10 % по сравнению с сортом «Матушка» и на 14 % по сравнению с сортом «Батя».

Таблица 4.

Структурные характеристики листьев картофеля разных сортов

($M \pm m$, $n^1=20$, $n^2=50$, $n^3=100$)

Показатель	Сорт картофеля		
	Теща	Матушка	Батя
Площадь одного листа, см ²	74,96 ±3,75	45,73 ±2,29	74,41 ±3,72
Толщина листа, мкм	430,8 ±10,4	405,0 ±6,9	487,5 ±15,0
Толщина слоя палисадной паренхимы, мкм	180,4 ±4,4	175,2 ±4,8	222,2 ±6,8
Толщина слоя губчатой паренхимы, мкм	250,4 ±11,1	229,8 ±9,2	256,3 ±18,4
Общее количество фотосинтезирующих клеток в единице площади листа, тыс./см ² ; n^1	27,0 ±0,7	24,4 ±0,6	23,3 ±1,1
Палисадная паренхима, тыс./см ² ; n^1	9,3 ±0,3	8,4 ±0,3	8,2 ±0,3
Губчатая паренхима, тыс./см ² ; n^1	17,7 ±0,5	16,0 ±0,3	15,1 ±0,8
Объем клеток палисадной паренхимы, *10 ³ мкм ³ ; n^2	36,78 ±3,56	51,02 ±2,74	28,42 ±1,42
Объем клеток губчатой паренхимы, *10 ³ мкм ³ ; n^2	89,60 ±5,99	47,20 ±3,51	60,20 ±4,68
Число хлоропластов в клетке палисадной паренхимы, шт.; n^3	45,4 ±0,4	53,7 ±0,4	36,1 ±0,4
Число хлоропластов в клетке губчатой паренхимы, шт.; n^3	22,1 ±0,6	20,2 ±0,4	17,0 ±0,3

Листовые пластинки имеют мезофилльную структуру. Для картофеля характерен дорзовентральный тип строения фототрофных тканей листа. Мезофилл представлен палисадной и губчатой паренхимой. Клетки столбчатого мезофилла расположены в один слой. Распределение количества клеток между палисадным и губчатым мезофиллом оказалось одинаковым у всех трех сортов: 34 % / 66 %.

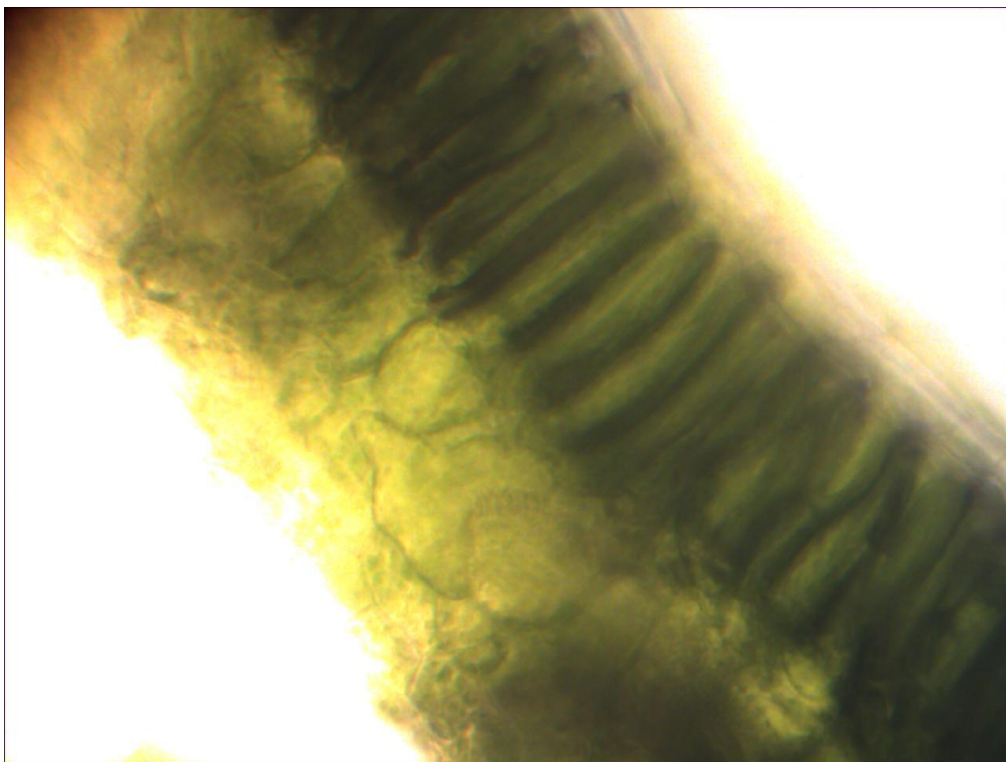


Рис. 5. Поперечный срез листа картофеля сорта «Матушка»

Объем клеток палисадной паренхимы был максимальным у сорта «Матушка» – $51 \cdot 10^3$ мкм. Это на 28 % выше, чем у сорта «Теща» и на 44 % выше, чем у сорта «Батя». Так как клетки палисадного мезофилла у растений сорта «Матушка» были крупнее, чем у остальных сортов, то естественно и количество хлоропластов в них оказалось выше, чем у других сортов – на 16 % и 33 %, соответственно. К тому же хлоропласты у растений сорта «Матушка» оказались самыми мелкими – 27 мкм^3 . Для сравнения у сорта «Теща» – 46 мкм^3 , у сорта «Батя» – 51 мкм^3 .

Объем хлоропластов – показатель довольно стабильный и мало подвержен фенотипическим изменениям. Исключение составляет действие затенения, которое индуцирует значительное (в 2 раза) увеличение объема пластид. Под влиянием дефицита света увеличивается количество антенного хлорофилла, обеспечивающего реакционный центр (Кошкин, 2005). Можно предположить, что растения сорта «Матушка» оказались наиболее приспособленными к тому уровню освещенности, который был на опытном участке. У сортов «Теща» и «Батя» размеры хлоропластов оказались больше на 70-89 %.

Самые крупные клетки губчатого мезофилла были отмечены у сорта «Теща» – $90 \cdot 10^3$ мкм³. Это на 33 % больше, чем у сорта «Батя» и на 47 % больше, чем у сорта «Матушка». При этом количество хлоропластов в губчатом мезофилле у сорта «Теща» выше, чем у сортов «Матушка» и «Батя» на 9 % и 23 %, соответственно.

Мезофилл листа картофеля быстро адаптируется к факторам среды. При выращивании растений при дефиците влаги или минерального питания уменьшается объем палисадных клеток и увеличивается суммарное число мезофилльных клеток в расчете на единицу площади листа. При затенении количество и длина палисадных клеток уменьшаются.

Все три опытных сорта картофеля произрастали в одинаковых условиях освещения. В первой половине 2014 года наблюдался недостаток влаги, во второй половине, в фазу бутонизации и цветения картофеля, – влаги было достаточно. Можно предположить, что у растений сорта «Теща» изначально строение листьев соответствует более ксероморфной структуре, чем у остальных сортов. У растений данного сорта возрастает толщина слоя губчатого мезофилла за счет увеличения размера клеток.

Мезоструктура фотосинтетического аппарата рассматривается на тканевом и клеточном уровнях организации.

Объем клетки паренхимы, соответствующий одному хлоропласту – это отношение объема клетки к числу хлоропластов в ней. Этот показатель свидетельствует об объеме клетки, который обеспечивается метаболитами, субстратами дыхания, АТФ и НАДФ*Н₂ за счет деятельности одного хлоропласта. Полученные данные показывают, что в клетках палисадной паренхимы наиболее активно функционируют хлоропласты у сорта «Матушка». Их активность превышала таковую у сорта «Теща» на 15 %, у сорта «Батя» – на 17 %.

Активность хлоропластов губчатой паренхимы у сорта «Матушка» наоборот была самой низкой. Максимальным этот показатель был у сорта «Теща».

Таблица 5.

Показатели мезоструктуры листьев картофеля разных сортов

 $(M \pm m, n^3 = 100)$

Показатель	Сорт картофеля		
	Теща	Матушка	Батя
Объем хлоропласта, мкм^3 ; n^3	46 ± 7	27 ± 2	51 ± 7
Поверхность наружной мембраны хлоропласта, мкм^2	62,0 $\pm 3,1$	43,5 $\pm 2,2$	66,5 $\pm 3,3$
Количество хлоропластов в единице площади листа ($\text{млн}/\text{см}^2$)	8,1 $\pm 0,4$	7,7 $\pm 0,4$	5,5 $\pm 0,3$
Объем клетки палисадной паренхимы, соответствующий одному хлоропласту (мкм^3)	810,0 $\pm 40,5$	950,1 $\pm 47,5$	787,3 $\pm 39,4$
Объем клетки губчатой паренхимы, соответствующий одному хлоропласту (мкм^3)	4054,3 $\pm 202,7$	2336,6 $\pm 116,8$	3541,2 $\pm 177,1$

По типу фотосинтетического метаболизма картофель – классический СЗ-вид. Первичным продуктом фиксации CO_2 является 3-фосфоглицериновая кислота. До 95 % поглощаемого при фотосинтезе CO_2 используется на синтез сахарозы и крахмала.

Крахмал, накапливающийся в хлоропластах, не транспортируется. Основной транспортной формой углерода у большинства растений является сахароза, которая синтезируется из фруктозы и глюкозы в цитоплазме. Распределение триозофосфатов между процессами синтеза крахмала в хлоропластах и сахарозы в цитоплазме зависит от обеспеченности этих клеточных компартментов неорганическим фосфатом. Когда концентрация фосфата в цитоплазме велика, триозофосфаты из хлоропластов идут в цитоплазму в обмен на фосфаты и синтезируется сахароза. Если содержание фосфатов в цитоплазме падает, триозофосфаты остаются в хлоропласте и синтезируется крахмал.

А. Т. Мокроносов с сотрудниками установили, что фотосинтетический метаболизм углерода в тканях качественно не различается. Однако в палисадной ткани обнаружен усиленный синтез крахмала, а в губчатой –

сахарозы. Губчатая ткань в большей степени, чем палисадная, специализирована на загрузку окончаний флоэмы и транспорт ассимилятов из листа. Установлено, что сахароза на пути к ситовидным трубкам передвигается в основном по апопласту (Якушкина, 2005). У растений сорта «Теща» губчатая паренхима наиболее развита по сравнению с картофелем других сортов. Поэтому транспорт сахарозы здесь должен осуществляться с большей интенсивностью. Не стоит забывать также, что сахароза из клеток мезофилла к проводящим пучкам может, по-видимому, передвигаться и по плазмодесмам (симпластный ток). Соотношение апопластного или симпластного пути зависит от вида растения, транспортируемого сахара, типа сопутствующих клеток, числа плазмодесм.

Таким образом, можно предположить, что у растений сорта «Теща», метаболизм направлен на образование растворимых сахаров и их отток из листьев, а у растений сорта «Матушка» будет происходить усиленный синтез крахмала.

3.4 Особенности функционирования фотосинтетического аппарата растений картофеля

Структура листа и его физиологическая активность оказались тесно взаимосвязаны. Этот факт подтверждается данными, полученными в полевых условиях при исследовании жаростойкости и водоудерживающей способности растений. Эти показатели были максимальными у сорта «Теща» и минимальными у сорта «Матушка» (таблицы 6-7).

Сорт «Теща» показал себя, как наиболее жаростойкий сорт среди исследуемых сортов. А вот сорт «Матушка», наоборот, имеет пониженную жаростойкость.

Показатель жаростойкости у растений картофеля разных сортов положительно коррелировал со значением водоудерживающей способности. Максимальная водоудерживающая способность характерна для растений

сорта «Теща», минимальная – для растений сорта «Матушка». Растения сорта «Батя» показали средние результаты.

Таблица 6.

*Жаростойкость растений разных сортов картофеля (n=3), %
побурения листа от HCl*

Сорта и варианты опыта		Температура, °C				
		40	45	50	55	60
Теща	1	3	4	5	5	20
	2	3	4	7	5	16
	3	2	5	6	5	15
Матушка	1	11	9	11	63	57
	2	8	7	10	78	72
	3	7	8	21	79	90
Батя	1	9	10	28	15	24
	2	10	13	23	13	23
	3	9	12	30	10	70

Таблица 7.

*Водоудерживающая способность растений разных сортов картофеля
($M \pm m$, n=4)*

Сорт растений	Количество воды, г, потерянное 100 г растений за 1 ч во время завядания
Теща	4,892
Матушка	14,261
Батя	8,824

Содержание хлорофиллов в листьях картофеля сортоспецифично. В наших опытах повышенное содержание хлорофиллов наблюдалось у растений среднераннего сорта «Матушка». Установлена тесная связь между содержанием хлорофиллов в листьях и крахмалистостью клубней. Среди среднеранних сортов картофеля повышенное содержание крахмала (до 26 %) наблюдалось у сорта «Матушка. Здесь крахмальные зерна имели средний размер 80*104 мкм. У сорта «Теща» содержание крахмала достигало 23 %, размеры крахмальных зерен были 73*95 мкм.

У среднеспелого сорта интенсивность фотосинтеза была выше в 1,8-2,3 раза выше, чем у среднеранних сортов. Таким образом, высокий уровень продуктивности у сорта «Батя» мог быть обеспечен не только высоким уровнем листового индекса, но и повышенной интенсивностью фотосинтеза. Здесь крахмальные зерна были самыми крупными – 118*159 мкм. Содержание крахмала достигало до 30 %.

Таблица 8.

*Особенности функционирования фотосинтетического аппарата
картофеля разных сортов ($M \pm m$, $n=4-5$)*

Показатель	Сорт картофеля		
	Теща	Матушка	Батя
Содержание хлорофилла в единице площади листа (мг/дм^2)	18,64 $\pm 2,24$	32,30 $\pm 2,84$	22,17 $\pm 2,06$
Интенсивность фотосинтеза, мг CO_2 на 1 дм^2 листа за 1 ч.	5,38 $\pm 0,27$	6,79 $\pm 0,34$	12,29 $\pm 0,61$
Ассимиляционное число, $\text{мг CO}_2/\text{мг}$ хлорофилла*ч	6,99 $\pm 0,35$	4,44 $\pm 0,22$	12,29 $\pm 0,61$
Индекс поверхности наружных мембран хлоропластов, см^2 на 1 см^2 листа	502,2 $\pm 25,1$	335,0 $\pm 16,8$	365,8 $\pm 18,3$
Интенсивность фотосинтеза, $\cdot 10^{-3}$ мг CO_2 на 1 дм^2 наружных мембран хлоропластов	10,71 $\pm 0,54$	20,27 1,01	33,60 1,68
Относительный объем хлоропластов в клетке палисадной паренхимы (%)	5,7 $\pm 0,3$	2,8 $\pm 0,1$	6,5 $\pm 0,3$
Относительный объем хлоропластов в клетке губчатой паренхимы (%)	1,1 $\pm 0,6$	1,1 $\pm 0,1$	1,4 $\pm 0,1$

Интенсивность фотосинтеза возрастает с увеличением содержания хлорофилла. Однако прямой пропорциональности между этими двумя показателями нет. В 1918 году Р. Вильштеттер и А. Штоль ввели понятие ассимиляционного числа. Это количество CO_2 в миллиграммах, усвоенное на единицу содержания хлорофилла в единицу времени. По данным В. Н. Любименко, с увеличением содержания хлорофилла ассимиляционные числа падают. Так, при увеличении содержания хлорофилла в 20 раз интенсивность фотосинтеза увеличивается всего в 2 раза. Соответственно

ассимиляционное число падает в 10 раз. Интересно заметить, что величина ассимиляционных чисел зависит от интенсивности освещения. При низкой освещенности, когда лимитирующей является скорость световых реакций, увеличение содержания хлорофилла не сопровождается падением ассимиляционного числа. При высокой освещенности повышение содержания хлорофилла приводит к заметному уменьшению ассимиляционного числа. Из этого следует, что содержание хлорофилла и интенсивность света можно рассматривать как единый фактор, определяющий поглощение света. При высокой интенсивности света даже сравнительно небольшое количество хлорофилла может поглощать его достаточно для достижения светового насыщения.

В наших вариантах опыта максимальное ассимиляционное число было у растений сорта «Батя» – 12,29 мг CO_2 /мг хлорофилла*ч. Это было обусловлено, прежде всего, высоким уровнем фотосинтетической активности. Наименьшее значение ассимиляционного числа было зафиксировано у растений картофеля сорта «Матушка» – 4,44 мг CO_2 /мг хлорофилла*ч. Это связано с повышенным содержанием хлорофиллов (в 1,53-1,99 раза выше, чем у растений других сортов). При этом интенсивность фотосинтеза находилась на уровне другого среднераннего сорта – «Теща».

Относительный объем хлоропластов в клетке – это суммарный объем всех хлоропластов в процентах к объему клетки. В процессе роста листа у мезофитных растений относительный объем хлоропластов снижается от 25-30 % до 3-5 % за счет того, что растяжение клетки происходит быстрее, чем увеличение хлоропластов в ней. При дефиците света этот показатель, наоборот, увеличивается, так как объем клетки уменьшается сильнее, чем число хлоропластов. В нашем опыте относительный объем хлоропластов находится в пределах 7 %. Это говорит о достаточном уровне освещенности для растений. На момент опытов данный показатель оказался равен 27666,7 лкс. Если анализировать относительный объем хлоропластов в клетке у разных сортов, то можно предположить, что клетки мезофилла

листа у растений сорта «Матушка» достигли максимального размера, поэтому показатель здесь самый низкий – 2,8 %. У растений сорта «Теща» он составил – 5,7 %, у растений сорта «Батя» – 6,5 %.

Индекс поверхности наружных мембран хлоропластов – это произведение поверхности мембран хлоропластов на число пластид в 1 см² листа. Этот показатель имеет значение для расчета скорости трансмембранного переноса CO₂ при фотосинтезе, а также оттока ассимилятов из хлоропластов. Если рассчитать фотосинтез на 1 дм² наружных мембран хлоропластов, то по нему можно судить о скорости диффузии CO₂ через наружную мембрану хлоропласта. Так как скорость обратного потока ассимилятов из хлоропласта в цитоплазму соизмерима со скоростью поступления CO₂ в хлоропласт, то этот прием можно использовать для определения скорости ближнего транспорта ассимилятов в системе хлоропласт – цитоплазма.

У растений сорта «Теща» наблюдалось высокое значение индекса поверхности наружных мембран хлоропластов на фоне низкой интенсивности фотосинтеза. Это говорит о низкой скорости оттока ассимилятов из хлоропластов, т.е. низкой скорости ближнего транспорта ассимилятов в системе хлоропласт – цитоплазма. Наиболее интенсивно образование и отток ассимилятов происходил у растений сорта «Батя».

Вероятно, у растений сорта «Теща» снижение оттока ассимилятов из хлоропластов в цитоплазму компенсируется увеличением количества фотосинтезирующих клеток и увеличением количества хлоропластов в них. Так количество клеток и палисадной, и губчатой паренхимы у растений сорта «Теща» было максимальным среди исследуемых сортов картофеля. Губчатая ткань в большей степени, чем палисадная, специализирована на загрузку окончаний флоэмы и транспорт ассимилятов из листа. При этом количество хлоропластов в губчатом мезофилле у сорта «Теща» выше, чем у сортов «Матушка» и «Батя» на 9 % и 23 %, соответственно.

Размеры проводящих пучков у растений сорта «Теща» – 162*261 мкм; у сорта «Матушка» – 182*219; мкм; у сорта «Батя» – 207*238 мкм.

Таким образом, отток ассимилятов из листьев зависит от множества факторов: от интенсивности фотосинтеза в самом хлоропласте, от процессов в окружающем его цитозоле, а также от скорости потребления ассимилятов в органах-акцепторах.

Картофель отличается высокой потенциальной биологической продуктивностью. Раннеспелые сорта способны давать до 600-700 ц/га, позднеспелые – до 1000 ц/га.

Показатели продуктивности разных сортов картофеля представлены в таблице 9 и на рисунке 6.

Таблица 9.

Показатели продуктивности разных сортов картофеля ($M \pm m$, $n=4$)

Сорт	Количество клубней у одного растения, шт.	Масса товарных клубней у одного растения, г	Масса нетоварных клубней у одного растения, г	Масса клубня, г	Расчетная урожайность, ц/га (при средней густоте посева 27,5 тыс. раст. на 1 га; схема посадки 60*60)
Теща	8,7 $\pm 0,8$	571,2 $\pm 81,7$	89,1 $\pm 17,2$	75,9 $\pm 3,8$	181,6
Матушка	7,6 $\pm 0,7$	904,3 $\pm 71,7$	39,1 $\pm 11,4$	124,1 $\pm 6,2$	259,4
Батя	12,5 $\pm 1,9$	1000,0 $\pm 50,0$	80,0 $\pm 4,0$	86,4 $\pm 4,3$	297,0

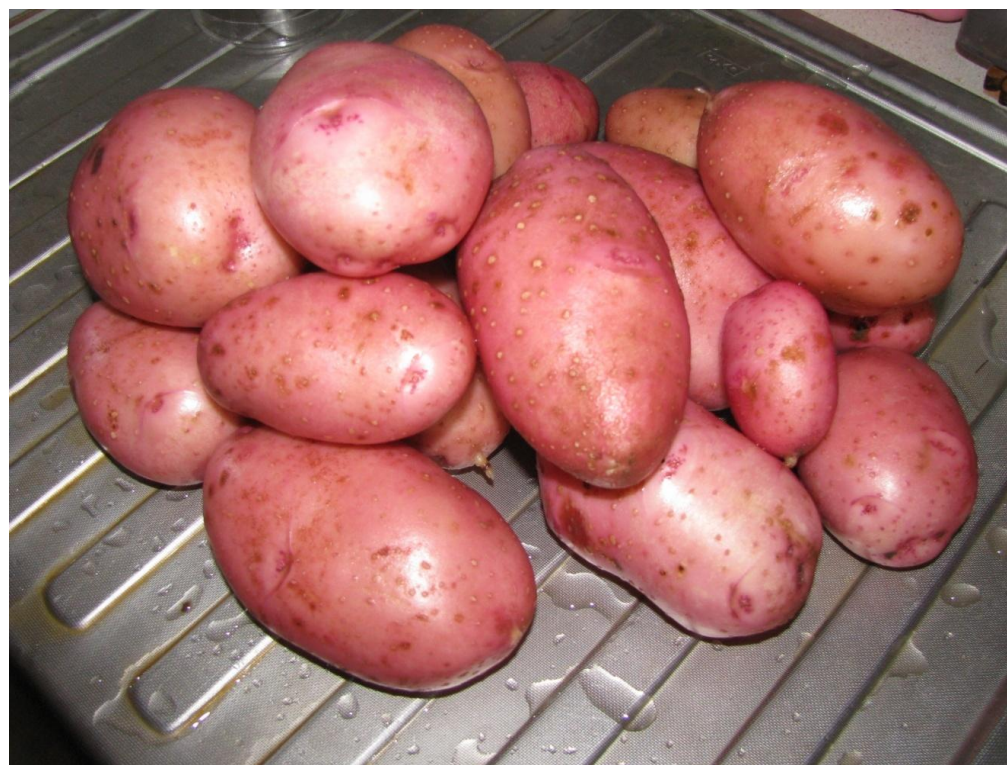
Величина и качество урожая картофеля зависят от многих факторов. Важнейшими из них являются погодные условия, свойства почвы, агротехника, сорт.

Среди исследуемых сортов максимальная урожайность была показана сортом растений «Батя». Она составила 297 ц/га. Однако масса клубня была небольшой – 86,4 г. Стоит отметить большое количество клубней у одного растения картофеля – 12,5 шт. Масса нетоварных клубней составила 8 % от общей урожайности.

Наиболее сбалансированный урожай показал сорт «Матушка». Расчетная урожайность составила 259,4 ц/га при средней массе клубня 124,1 г. Масса нетоварных клубней составила 4,3 % от общей урожайности.



А.



Б.



В.

Рис. 6 Клубни картофеля разных сортов: А) сорт «Теща»;
Б) сорт «Матушка»; В) сорт «Батя»

У сорта «Теща» расчетная урожайность составила 181,6 ц/га при средней массе клубня 75,9 г. Масса нетоварных клубней составила 15,6 % от общей урожайности.

3.6 Особенности культивирования растений картофеля в условиях *in vitro*

Все работы с культурой клеток и тканей *in vitro* проводили в стерильных (асептических) условиях в ламинар-боксе гигиенической безопасности (LAMSYSTEMS, класс II / тип А), стерильными инструментами, в стерильной посуде, на стерильных питательных средах.

Все поверхности ламинара обрабатывали 96 % спиртом, простерилизованные инструменты, материалы, растительный материал помещали на стол бокса и включали ультрафиолетовое излучение и биофильтры. Для работы в ламинар-боксе надевали стерильный халат, руки обрабатывали 96 % спиртом или 0,05 % раствором хлоргексидина

биглюконата. Пинцеты, скальпели и препарировальные иглы, микробиологические петли и лезвия помещали в стакан с 96 % спиртом. Перед каждой манипуляцией инструменты обжигали на пламени спиртовки.

Стерилизация питательной среды осуществлялась в автоклаве (Tuttnauer 2540 ML, AUTOCLAVE – STEAM STERILIZER) при температуре 123 °C и давлении 1 атм. в течение 40 мин.

Стерилизацию эксплантов (верхушечные почки) проводили в септических и асептических условиях. Изначально была проведена поверхностная стерилизация. Предварительно часть растения, из которой был извлечен эксплант, обрабатывали раствором синтетического моющего средства для удаления поверхностных загрязнений, затем промывали в проточной воде. Верхние кроющие листья удалялись.

Далее в септических условиях экспланты последовательно обрабатывали 0,5 %-ным раствором марганцевокислого калия и 1 %-ным раствором медного купороса по 15 минут для освобождения от бактериальных и грибковых инфекций. Затем в стерильных условиях последовательно обрабатывали следующими дезинфицирующими растворами: 70 % раствором этанола и перекисью водорода по 1 мин. После выдерживания в дезинфицирующих растворах экспланты несколько раз промывали дистиллированной водой.

Основными стерилизующими агентами в наших опытах служили этиловый спирт и пероксид водорода. Для снижения повреждающего эффекта этилового спирта на растительные экспланты мы уменьшили концентрацию до 70 %. В качестве стерилизующего агента мы использовали также перекись водорода, которая менее всего повреждает экспланты и после которой не требуется отмывка в стерильной воде, так как она быстро разлагается. Применялась последовательная стерилизация двумя препаратами, с предварительной обработкой растительного материала 0,5 %-ным раствором марганцевокислого калия и 1 %-ным раствором медного купороса по 15 минут.

Для картофеля удобнее использовать твердые (агаризированные) питательные среды. Приживаемость растительных почек приближалась к 100 %. На таких средах удобно производить различные манипуляции с объектами, например, частую пересадку растений. Для культивирования растений картофеля мы использовали среду Мурасиге и Скуга, которая содержит много неорганического азота, что стимулирует процессы органогенеза. К тому же среда Мурасиге и Скуга по содержанию азота оптимальна для получения микроклубней картофеля *in vitro*.

Таблица 10.

Приготовление маточных растворов для среды Мурасиге и Скуга

№ п.п.	Компонент среды	Количество вещества
Маточный раствор макросолей (г на 1 л маточного раствора)		
1.	KNO ₃	38
2.	NH ₄ NO ₃	33
3.	KH ₂ PO ₄	3,4
4.	MgSO ₄ · 7H ₂ O	7,4
	или MgSO ₄ безводный	3,6
5.	CaCl ₂ · 2H ₂ O	8,8
	или CaCl ₂ безводный	6,65
Маточный раствор микросолей (мг на 100 мл маточного раствора)		
6.	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	25
7.	CuSO ₄ · 5H ₂ O	2,5
8.	H ₃ BO ₃	620
9.	MnSO ₄ · 5H ₂ O	2410
	или MnSO ₄ · 4H ₂ O	2230
10.	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	860
11.	KJ	83
12.	CoCl ₂ · 6H ₂ O	2,5
13.	FeSO ₄	557
	Na ₂ ЭДТА	745

Составление питательной среды начинали с приготовления концентрированных (маточных) растворов. Использование маточных растворов снижает погрешности при взвешивании компонентов солей (сравните, взвешивание 1 г и 1 мг). К тому же это удобно – не нужно каждый раз взвешивать соли.

Для культивирования изолированных меристем и почек растений картофеля в качестве источника углеродного питания мы использовали сахарозу – 20 г/л и глюкозу – 20 г/л. Для микроклонального размножения и последующего выращивания растений использовали среду Мурасиге и Скуга с добавлением сахарозы 10-30 г/л.

Таблица 11.

Модифицированная питательная среда Мурасиге и Скуга для культивирования апикальных меристем картофеля

Компоненты питательной среды	
Маточный раствор макросолей	50 мл/л
Маточный раствор микросолей	1 мл/л
Fe-хеллат	5 мл/л
CaCl ₂	50 мл/л
Тиамин-HCl	1 мг/л
Пиридоксин-HCl	1 мг/л
Витамин B ₁₂	0,015 мг/л
Никотиновая кислота	2 мг/л
Фолиевая кислота	0,5 мг/л
Мезоинозит	100 мг/л
Гидролизат казеина	1 г/л
Пантотенат Ca	10 мг/л
Рибофлавин	0,5 мг/л
Биотин	1 мг/л
Активированный уголь	10 г/л
ГК	2 мг/л
Зеатин	2 мг/л
Сахароза	20 г/л
Глюкоза	20 г/л
Агар-агар	7 г/л
pH 5,7-5,8	

При культивировании растений мы использовали следующие фитогормоны: индолилуксусная кислота (0,5-2 мг/л), зеатин (0,5-2 мг/л) и гиббереллин ГА3 (2 мг/л). Ауксины сначала растворяли в 2 мл 96 % этилового спирта (или 0.1 н NaCl) и добавляли 98 мл воды, доводя объем до 100 мл, хранили при температуре 2-4 оС. Цитокинины растворяли в 2 мл 1 н раствора щелочи (KOH), добавляли 98 мл воды, доводя объем до 100 мл,

хранили при температуре 2-4 оС. Гиббереллин легко растворим в воде. Растворы фитогормонов желательно готовить непосредственно перед работой со средами.

Таблица 12.

Модифицированная питательная среда Мурасиге и Скуга для микроразмножения картофеля черенкованием побегов

Компоненты питательной среды	
Маточный раствор макросолей	50 мл/л
Маточный раствор микросолей	1 мл/л
Fe-хеллат	5 мл/л
CaCl ₂	50 мл/л
Тиамин-HCl	1 мг/л
Пиридоксин-HCl	1 мг/л
Никотиновая кислота	2 мг/л
Зеатин	0,5 мг/л
Гибберелловая кислота	2 мг/л
Пантотенат Ca	10 мг/л
Активированный уголь	10 г/л
Сахароза	30 г/л
Агар-агар	7 г/л
pH 5,8	

В качестве исходного материала для введения растений картофеля в условия *in vitro* использовали апексы верхушечных и боковых почек. Клубни картофеля проращивали на свету. Затем срезали почки, стерилизовали растительный материал по описанной схеме и высаживали его на питательную среду в чашки Петри. Через 3-5 дней (время достаточное, чтобы выявить бактериальную или грибковую инфекцию) отбирали незараженные проростки и пересаживали их в пробирки.

Уже на 2-3 день корни растений трогались в рост и к 7-ми дневному возрасту, их длина могла достигать 20-30 мм. На 5 день начинала распускаться почка и разворачиваться листочки.

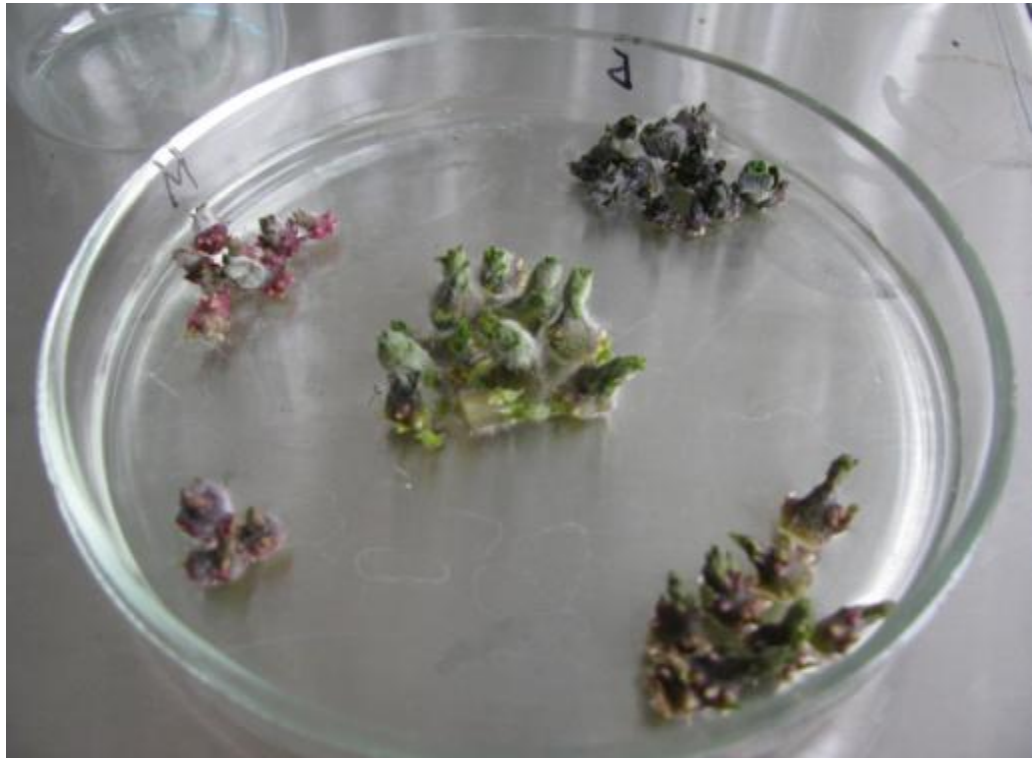


Рис. 7. Проросшие почки картофеля разных сортов



Рис. 8. Растения картофеля сорта «Батя» в возрасте 7 дней

К 15 дню у растений было по 6-7 придаточных корней, появлялись боковые корни первого порядка. Высота растений составляла 25-40 мм.

Побег состоял из 6-7 междоузлий. Такие растения уже можно использовать для микрочеренкования.



Рис. 9. Растение картофеля сорта «Матушка» в возрасте 16 дней

Микроклональное размножение пробирочных растений осуществляли с помощью черенкования. Такое размножение основано на подавлении апикального доминирования и активации пазушных меристем при удалении верхушки побега. Из пазушных почек на питательных средах образуются побеги.

Растения, сформировавшие 5-6 листочков, в стерильных условиях извлекали из пробирок и разрезали на части (отрезок стебля с листом и пазушной почкой). Черенки высаживали на глубину междоузлия в питательную среду.

На 3-4 день после посадки начинался рост стеблей. На базальном конце черенка образуется каллус.



Рис. 10. Растения картофеля сорта «Батя» после микрочеренкования

Для укоренения растений, образовавшихся при микрочеренковании, их необходимо пересадить на новую питательную среду. Черенки и побеги легко укореняются на средах с обедненным составом минеральных солей (среда Уайта, Мурасиге и Скуга, разбавленная вдвое), либо на средах с добавлением ауксинов: ИУК, НУК, ИМК.

Проростки, сформировавшиеся в пробирках со средами, можно рассматривать как небольшие укорененные растения, которые необходимо адаптировать к обычным условиям выращивания. Такие растения лучше пересаживать в грунт, когда полностью сформируются 5-6 листьев и достаточно разрастутся корни.

Такие растения мы использовали для опытов по изучению фотосинтетического аппарата.

3.6 Особенности формирования фотосинтетического аппарата растений картофеля в условиях *in vitro*

Листья картофеля, выращенные в условиях культуры *in vitro* имели цельную листовую пластинку, не разделенную на доли (рис. 11). Верхняя и боковые доли в них совершенно не выражены. Подобная изменчивость формы листьев при культивировании *in vitro* характерна не только для картофеля, но и для других растений.

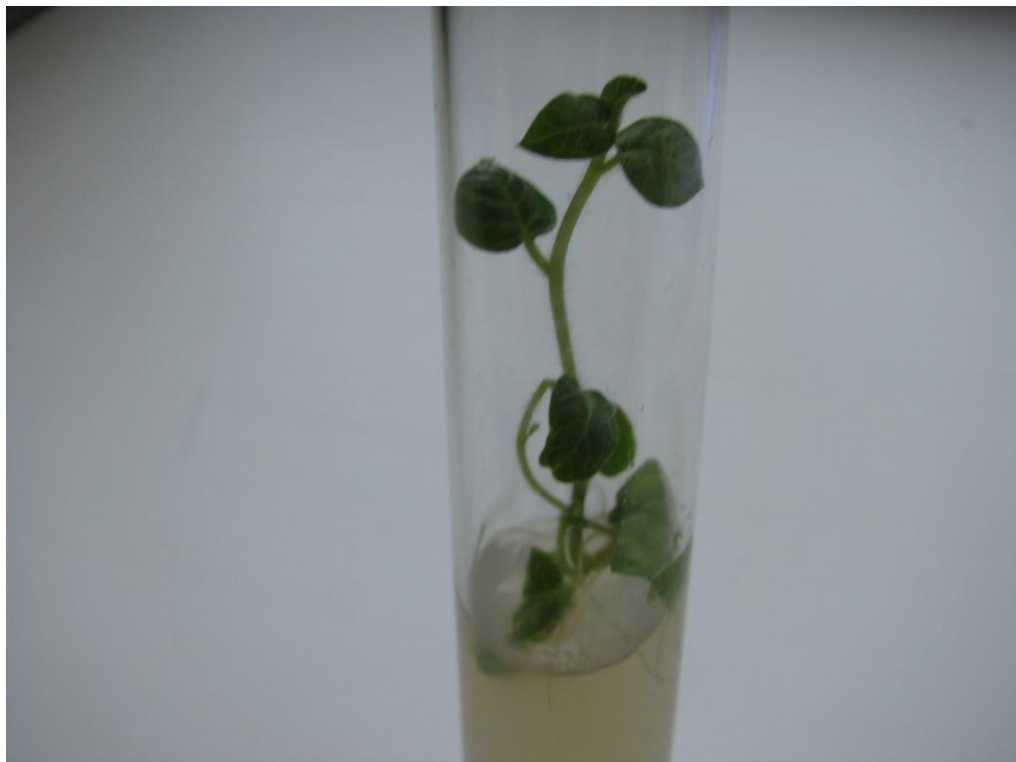


Рис. 11. Растения картофеля сорта «Батя» в возрасте 30 дней

Листовая пластинка растет за счет действия краевой маргинальной меристемы. У растений картофеля, выращенного в условиях *in vitro* маргинальная меристема формируется вдоль края листовой пластинки без перерыва. В результате этого создается пластинка не рассеченного на дольки листа. Такие цельные листья образуются в течение всего онтогенеза у растений в условиях *in vitro*. Форма листовой пластинки картофеля определяется равномерным, замедленным, но согласованным ростом его маргинальной меристемы и центральной жилки.

Зачаточный лист растения картофеля, выращиваемого в полевых условиях, уже на ранних этапах своего развития образует на своей поверхности локально расположенные группы клеток маргинальной меристемы, между которыми расположены группы клеток, которые не включаются в ее состав. Такое прерывистое расположение маргинальной меристемы связано с ускоренным ростом центральной жилки листа. В результате такого несогласованного роста центральной жилки и маргинальной меристемы образуется перисторассеченный лист с его боковыми дольками (рис. 12).



Рис. 12. Листья картофеля сорта «Батя» в возрасте 30 дней

Из маргинальных меристем образуются дольки листа, состоящие из миниареол. Миниареола – это минимальная группировка клеток, ограниченная проводящей тканью. Миниареолы состоят из относительно постоянного числа клеток. По типу расположения проводящих пучков миниареолы разделяются на замкнутые и незамкнутые.

Меристемные растения образуют большое число замкнутых миниареол, ограниченных проводящими пучками со всех сторон. Листья

растений, выращенных в полевых условиях, содержат меньшее количество замкнутых миниареол.

Чем больше площадь листа, тем больше в нем миниареол. Число миниареол на 1 мм^2 не зависит ни от сорта картофеля, ни от условий выращивания. Этот показатель оказался равен 10,45-10,92 шт/ мм^2 . Площадь одной миниареолы: 0,091-0,093 мм^2 .

Таким образом площадь листа зависит не от размера миниареол, а от их общего количества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сорт – один из ведущих факторов, обеспечивающих высокую эффективность картофелеводства. Идеального сорта, который по всем показателям был бы лучшим для всех почвенно-климатических условий России, нет. Его нужно подбирать конкретно для каждой зоны. Без предварительного изучения новых сортов картофеля их нельзя рекомендовать производству.

Урожайность картофеля в нашей стране остается на достаточно низком уровне. Фотосинтез картофеля обладает высокой потенциальной интенсивностью (около 100 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2/\text{ч}$), которая может быть реализована при оптимальных внешних условиях. Однако реальная интенсивность фотосинтеза картофеля в полевых условиях обычно не превышает 10-20 мг $\text{CO}_2/\text{дм}^2/\text{ч}$ (Грязнов, 2006).

В селекционной работе новый сорт оценивается, прежде всего, с точки зрения производственной ценности. Изучению анатомо-морфологических особенностей и физиологических процессов, как правило, уделяется второстепенное значение. Получение научных данных, объясняющих взаимосвязь между сортовыми признаками и уровнем физиологических процессов, важно в селекционной работе и рекомендации новых сортов к производству.

Цель работы: изучить структурно-функциональные особенности организации фотосинтетического аппарата разных сортов картофеля.

В качестве объекта исследования были выбраны разные сорта картофеля: среднеранние сорта «Теща» и «Матушка», среднеспелый сорт «Батя».

Выбор объектов исследования был обусловлен тем, что данные сорта отличаются повышенным содержанием крахмала в клубнях растений. Так у растений сорта «Теща» в клубнях накапливается до 23,0 % крахмала, у сорта «Матушка» – до 26,2 %, у сорта «Батя» – до 30,3 %.

Повышенное накопление крахмала в клубнях, вероятно, можно объяснить интенсивностью физиологических процессов, протекающих в растениях. Речь идет, прежде всего, об интенсивности фотосинтеза и дыхания. Уровень физиологических процессов неразрывно связан с анатомо-морфологическими особенностями сортов картофеля.

Посадка картофеля была проведена 1 мая при оптимальной температуре воздуха. За три недели до посадки клубни картофеля проращивали в теплом помещении.

Первые всходы у растений сорта «Батя» появились 11 мая, к 15 мая 90 % растений дали всходы. Первые всходы у растений сорта «Матушка» появились 14 мая, к 20 мая 90 % растений дали всходы. Первые всходы у растений сорта «Теща» появились 20 мая, к 23 мая 90 % растений дали всходы.

Сорт «Батя» относится к среднеспелым сортам. Несмотря на это у него оказались самые ранние всходы, в среднем всходы появились на 3-5 дней раньше, чем у среднераннего сорта «Матушка» и на 8-9 дней раньше, чем у среднераннего сорта «Теща».

Данный факт можно объяснить повышенной способностью растений данного сорта к прорастанию клубней. Эту особенность мы заметили при хранении клубней. Клубни картофеля хранились в одинаковых условиях. Лучшую сохранность урожая показал сорт «Теща». Его клубни меньше всех потеряли в массе при хранении. Для сравнения можно привести фотографию клубней картофеля разных сортов картофеля, которые хранились в условиях обычной городской квартиры на лоджии. Температурный режим хранения отмечался значительными перепадами – от +1 °С до +20 °С.

Раньше всех начал прорастать среднеспелый сорт «Батя». У него наблюдалась наибольшая потеря в весе клубней при хранении.

Среднеранний сорт «Матушка» показал неплохие результаты при хранении, но несколько уступал сорту «Теща».

Стоит отметить, что у растений сорта «Теща» появление всходов оказалось более дружным. От появления первых всходов до полного прорастания всех растений прошло 3 дня. Для сравнения у сорта «Батя» 5 дней, у сорта «Матушка» 7 дней.

На 12 июня у растений сорта «Батя» 50 % растений находились в фазе бутонизации, 50 % растений перешли к цветению. У растений сорта «Матушка» 100 % растений находились в это время в фазе бутонизации. У растений сорта «Теща» только 10 % растений находились в фазе бутонизации.

Динамика накопления урожая клубней – показатель, позволяющий судить об интенсивности формирования урожая.

Первая динамическая копка была произведена 2 июля, на 63 день после посадки растений. В ходе нее подсчитывали среднее количество клубней у одного растения и их массу.

Наибольшую массу клубней на 1 куст к первой динамической копке сформировал сорт «Матушка». Клубни у данного сорта были наиболее крупными по сравнению с другими сортами. Средняя длина столонов составила 3,4 см.

У сорта «Теща» стоит отметить очень компактное расположение клубней. Урожайность к первой динамической копке была на уровне другого среднераннего сорта, но клубни оказались несколько мельче.

У среднеспелого сорта «Батя» закладывается очень большое количество клубней. Но их масса была в 3,5-4,7 раза меньше, чем у среднеранних сортов. Средняя длина столонов на момент первой динамической копки составила 8,5 см.

Высокую продуктивность растения должен обеспечивать хорошо развитый фотосинтетический аппарат растений. Лист – это основной орган фотосинтеза растений. Поэтому логично было предположить существование зависимости между суммарной площадью листовой поверхности и интенсивностью фотосинтеза.

Количество побегов у среднеспелого сорта «Батя» было выше, чем у среднеранних сортов «Теща» (в 2,2 раза) и «Матушка» (в 1,6 раза). Растения сорта «Батя» превышали по высоте растения сорта «Теща» (на 48 %) и сорта «Матушка» (на 17 %). Самые крупные листья были у растений сорта «Теща» – 74,96 см² и «Батя» – 74,41 см². Это на 63 % выше, чем у растений сорта «Матушка». Растения среднеспелого сорта отличались самым высоким показателем облиственности. В среднем количество листьев здесь было выше в 2,4 раза, чем у сорта «Теща» и в 1,2 раза, чем у сорта «Матушка».

Средняя площадь листьев на одном растении оказалась выше у среднеспелого сорта «Батя» (в 2,4 раза по сравнению с растениями сорта «Теща» и в 2,0 раза по сравнению с растениями сорта «Матушка»). Это было обусловлено большим количеством побегов у одного растения и значительным превышением количества листьев на растении, чем у среднеранних сортов.

В наших опытах максимальный листовой индекс был определен у растений сорта «Батя» – 1,18 м²/м² посева. У среднеранних сортов «Матушка» и «Теща» он составил 0,65 м²/м² посева и 0,46 м²/м² посева, соответственно.

Сорт «Батя» показал самый высокий уровень облиственности – 3809 см² и самый высокий листовой индекс – 1,18 м²/м² посева. Как следствие, в этом варианте опыта был получен максимальный урожай с одного растения – 1080 г. Хотя следует заметить, что эти сорта принадлежат к разным группам по срокам созревания. Поэтому сравнивать их между собой не совсем корректно.

Среднеранний сорт «Матушка» показал урожайность на уровне 943,4 г. Облиственность составила 1948 см², листовой индекс – 0,65 м²/м² посева.

Организация фотосинтетического аппарата на уровне листа рассматривалась на основе анализа его мезоструктуры.

Самые крупные листья были у растений сорта «Теща» – 74,96 см² и «Батя» – 74,41 см². Это на 63 % выше, чем у растений сорта «Матушка» (45,73 см²).

Одновременно с площадью листьев измеряли толщину листовой пластинки у конечной доли листа. У сорта «Батя» была зафиксирована наибольшая толщина листа (на 10 % больше, чем у сорта «Теща» и на 15 % больше, чем у сорта «Матушка»). Соотношение (в %) толщины слоя палисадной и губчатой паренхимы: у сорта «Теща» – 42/58; у сорта «Матушка» – 43/57; у сорта «Батя» – 46/54. Таким образом, у среднеспелого сорта толщина слоя столбчатого мезофилла была максимальной среди изучаемых сортов картофеля. У растений сорта «Теща» наблюдалось увеличение толщины губчатого мезофилла.

Общее количество фотосинтезирующих клеток в единице площади листа выше у растений сорта «Теща» на 10 % по сравнению с сортом «Матушка» и на 14 % по сравнению с сортом «Батя».

Листовые пластинки имеют мезофилльную структуру. Для картофеля характерен дорзовентральный тип строения фототрофных тканей листа. Мезофилл представлен палисадной и губчатой паренхимой. Клетки столбчатого мезофилла расположены в один слой. Распределение количества клеток между палисадным и губчатым мезофиллом оказалось одинаковым у всех трех сортов: 34 % / 66 %.

Объем клеток палисадной паренхимы был максимальным у сорта «Матушка» – 51*10³ мкм. Это на 28 % выше, чем у сорта «Теща» и на 44 % выше, чем у сорта «Батя». Так как клетки палисадного мезофилла у растений сорта «Матушка» были крупнее, чем у остальных сортов, то естественно и количество хлоропластов в них оказалось выше, чем у других сортов – на 16 % и 33 %, соответственно. К тому же хлоропласты у растений сорта «Матушка» оказались самыми мелкими – 27 мкм³. Для сравнения у сорта «Теща» – 46 мкм³, у сорта «Батя» – 51 мкм³.

Самые крупные клетки губчатого мезофилла были отмечены у сорта «Теща» – $90 \cdot 10^3$ мкм³. Это на 33 % больше, чем у сорта «Батя» и на 47 % больше, чем у сорта «Матушка». При этом количество хлоропластов в губчатом мезофилле у сорта «Теща» выше, чем у сортов «Матушка» и «Батя» на 9 % и 23 %, соответственно.

Объем клетки паренхимы, соответствующий одному хлоропласту – это отношение объема клетки к числу хлоропластов в ней. Этот показатель свидетельствует об объеме клетки, который обеспечивается метаболитами, субстратами дыхания, АТФ и НАДФ*Н₂ за счет деятельности одного хлоропласта. Полученные данные показывают, что в клетках палисадной паренхимы наиболее активно функционируют хлоропласты у сорта «Матушка». Их активность превышала таковую у сорта «Теща» на 15 %, у сорта «Батя» – на 17 %.

Активность хлоропластов губчатой паренхимы у сорта «Матушка» наоборот была самой низкой. Максимальным этот показатель был у сорта «Теща».

Таким образом, можно предположить, что у растений сорта «Теща», метаболизм направлен на образование растворимых сахаров и их отток из листьев, а у растений сорта «Матушка» будет происходить усиленный синтез крахмала.

Структура листа и его физиологическая активность оказались тесно взаимосвязаны.

Сорт «Теща» показал себя, как наиболее жаростойкий сорт среди исследуемых сортов. А вот сорт «Матушка», наоборот, имеет пониженную жаростойкость.

Показатель жаростойкости у растений картофеля разных сортов положительно коррелировал со значением водоудерживающей способности. Максимальная водоудерживающая способность характерна для растений сорта «Теща», минимальная – для растений сорта «Матушка». Растения сорта «Батя» показали средние результаты.

Содержание хлорофиллов в листьях картофеля сортоспецифично. В наших опытах повышенное содержание хлорофиллов наблюдалось у растений среднераннего сорта «Матушка». Установлена тесная связь между содержанием хлорофиллов в листьях и крахмалистостью клубней. Среди среднеранних сортов картофеля повышенное содержание крахмала (до 26 %) наблюдалось у сорта «Матушка». Здесь крахмальные зерна имели средний размер 80×104 мкм. У сорта «Теща» содержание крахмала достигало 23 %, размеры крахмальных зерен были 73×95 мкм.

У среднеспелого сорта интенсивность фотосинтеза была выше в 1,8-2,3 раза выше, чем у среднеранних сортов. Таким образом, высокий уровень продуктивности у сорта «Батя» мог быть обеспечен не только высоким уровнем листового индекса, но и повышенной интенсивностью фотосинтеза. Здесь крахмальные зерна были самыми крупными – 118×159 мкм. Содержание крахмала достигало до 30 %.

В наших вариантах опыта максимальное ассимиляционное число было у растений сорта «Батя» – $12,29 \text{ мг CO}_2/\text{мг хлорофилла} \cdot \text{ч}$. Это было обусловлено, прежде всего, высоким уровнем фотосинтетической активности. Наименьшее значение ассимиляционного числа было зафиксировано у растений картофеля сорта «Матушка» – $4,44 \text{ мг CO}_2/\text{мг хлорофилла} \cdot \text{ч}$. Это связано с повышенным содержанием хлорофиллов (в 1,53-1,99 раза выше, чем у растений других сортов). При этом интенсивность фотосинтеза находилась на уровне другого среднераннего сорта – «Теща».

Относительный объем хлоропластов в клетке – это суммарный объем всех хлоропластов в процентах к объему клетки. В процессе роста листа у мезофитных растений относительный объем хлоропластов снижается от 25-30 % до 3-5 % за счет того, что растяжение клетки происходит быстрее, чем увеличение хлоропластов в ней. При дефиците света этот показатель, наоборот, увеличивается, так как объем клетки уменьшается сильнее, чем число хлоропластов. В нашем опыте относительный объем хлоропластов находится в пределах 7 %. Это говорит о достаточном уровне освещенности

для растений. На момент опытов данный показатель оказался равен 27666,7 лкс. Если анализировать относительный объем хлоропластов в клетке у разных сортов, то можно предположить, что клетки мезофилла листа у растений сорта «Матушка» достигли максимального размера, поэтому показатель здесь самый низкий – 2,8 %. У растений сорта «Теща» он составил – 5,7 %, у растений сорта «Батя» – 6,5 %.

Индекс поверхности наружных мембран хлоропластов – это произведение поверхности мембран хлоропластов на число пластид в 1 см² листа. Этот показатель имеет значение для расчета скорости трансмембранного переноса CO₂ при фотосинтезе, а также оттока ассимилятов из хлоропластов. Если рассчитать фотосинтез на 1 дм² наружных мембран хлоропластов, то по нему можно судить о скорости диффузии CO₂ через наружную мембрану хлоропласта. Так как скорость обратного потока ассимилятов из хлоропласта в цитоплазму соизмерима со скоростью поступления CO₂ в хлоропласт, то этот прием можно использовать для определения скорости ближнего транспорта ассимилятов в системе хлоропласт – цитоплазма.

У растений сорта «Теща» наблюдалось высокое значение индекса поверхности наружных мембран хлоропластов на фоне низкой интенсивности фотосинтеза. Это говорит о низкой скорости оттока ассимилятов из хлоропластов, т.е. низкой скорости ближнего транспорта ассимилятов в системе хлоропласт – цитоплазма. Наиболее интенсивно образование и отток ассимилятов происходил у растений сорта «Батя».

Вероятно, у растений сорта «Теща» снижение оттока ассимилятов из хлоропластов в цитоплазму компенсируется увеличением количества фотосинтезирующих клеток и увеличением количества хлоропластов в них. Так количество клеток и палисадной, и губчатой паренхимы у растений сорта «Теща» было максимальным среди исследуемых сортов картофеля. Губчатая ткань в большей степени, чем палисадная, специализирована на загрузку окончаний флоэмы и транспорт ассимилятов из листа. При этом количество

хлоропластов в губчатом мезофилле у сорта «Теща» выше, чем у сортов «Матушка» и «Батя» на 9 % и 23 %, соответственно.

Размеры проводящих пучков у растений сорта «Теща» – 162*261 мкм; у сорта «Матушка» – 182*219; мкм; у сорта «Батя» – 207*238 мкм.

Таким образом, отток ассимилятов из листьев зависит от множества факторов: от интенсивности фотосинтеза в самом хлоропласте, от процессов в окружающем его цитозоле, а также от скорости потребления ассимилятов в органах-акцепторах.

Среди исследуемых сортов максимальная урожайность была показана сортом растений «Батя». Она составила 297 ц/га. Однако масса клубня была небольшой – 86,4 г. Стоит отметить большое количество клубней у одного растения картофеля – 12,5 шт. Масса нетоварных клубней составила 8 % от общей урожайности.

Наиболее сбалансированный урожай показал сорт «Матушка». Расчетная урожайность составила 259,4 ц/га при средней массе клубня 124,1 г. Масса нетоварных клубней составила 4,3 % от общей урожайности.

У сорта «Теща» расчетная урожайность составила 181,6 ц/га при средней массе клубня 75,9 г. Масса нетоварных клубней составила 15,6 % от общей урожайности.

Сравнивая особенности формирования разных сортов картофеля в полевых условиях и в условиях *in vitro*, мы пришли к следующим выводам. Листья картофеля, выращенные в условиях культуры *in vitro* имели цельную листовую пластинку, не разделенную на доли.

У растений картофеля, выращенного в условиях *in vitro* маргинальная меристема формируется вдоль края листовой пластинки без перерыва.

Форма листовой пластинки картофеля определяется равномерным, замедленным, но согласованным ростом его маргинальной меристемы и центральной жилки.

Меристемные растения образуют большое число замкнутых миниареол, ограниченных проводящими пучками со всех сторон. Листья

растений, выращенных в полевых условиях, содержат меньшее количество замкнутых миниареол.

Чем больше площадь листа, тем больше в нем миниареол. Число миниареол на 1 мм^2 не зависит ни от сорта картофеля, ни от условий выращивания. Этот показатель оказался равен 10,45-10,92 шт/ мм^2 . Площадь одной миниареолы: 0,091-0,093 мм^2 .

Таким образом площадь листа зависит не от размера миниареол, а от их общего количества.

Обобщая данные, полученные при исследовании разных сортов, следует отметить, что у каждого изученного сорта существуют свои достоинства и определенные недостатки. Также четко прослеживается взаимосвязь анатомо-морфологических и физиологических особенностей растений. Эти особенности в конечном итоге определяют величину и качество урожая.

ВЫВОДЫ

1. Наибольшую массу клубней на 1 куст к первой динамической копке сформировал среднеранний сорт «Матушка» – 292,3 г при средней массе одного клубня 52,2 г. Данный сорт можно рекомендовать для получения раннего урожая.

2. Максимальный листовой индекс был у растений сорта «Батя» – 1,18 м²/м² посева. У сорта «Матушка» листовой индекс составил 0,65 м²/м² посева. У сорта «Теща» листовой индекс составил 0,46 м²/м² посева.

3. Соотношение (в %) толщины слоя палисадной и губчатой паренхимы: у сорта «Теща» – 42/58; у сорта «Матушка» – 43/57; у сорта «Батя» – 46/54. Общее количество фотосинтезирующих клеток в единице площади листа выше у растений сорта «Теща» на 10 % по сравнению с сортом «Матушка» и на 14 % по сравнению с сортом «Батя». Распределение количества клеток между палисадным и губчатым мезофиллом оказалось одинаковым у всех трех сортов: 34 % / 66 %.

4. Объем клеток палисадной паренхимы был максимальным у сорта «Матушка» – 51*10³ мкм. Это на 28 % выше, чем у сорта «Теща» и на 44 % выше, чем у сорта «Батя». Количество хлоропластов в них оказалось выше, чем у других сортов – на 16 % и 33 %, соответственно. Размеры хлоропластов у сорта «Матушка» – 27 мкм³, у сорта «Теща» – 46 мкм³, у сорта «Батя» – 51 мкм³.

5. Объем клеток губчатого мезофилла был максимальным у сорта «Теща» – 90*10³ мкм³. Это на 33 % больше, чем у сорта «Батя» и на 47 % больше, чем у сорта «Матушка». Количество хлоропластов в губчатом мезофилле у сорта «Теща» выше, чем у сортов «Матушка» и «Батя» на 9 % и 23 %, соответственно.

6. В клетках палисадной паренхимы наиболее активно функционируют хлоропласты у сорта «Матушка». Их активность превышала таковую у сорта «Теща» на 15 %, у сорта «Батя» – на 17 %. Активность

хлоропластов губчатой паренхимы была максимальной у растений сорта «Теща».

7. Наибольшую жаростойкость и водоудерживающую способность показал сорт «Теща». Наименьшее значение жаростойкости и водоудерживающей способности зафиксировано у сорта «Матушка».

8. Максимальное ассимиляционное число было у растений сорта «Батя» – 12,29 мг CO_2 /мг хлорофилла*ч. Это было обусловлено высоким уровнем фотосинтетической активности. Наименьшее значение ассимиляционного числа было зафиксировано у растений картофеля сорта «Матушка» – 4,44 мг CO_2 /мг хлорофилла*ч. Это связано с повышенным содержанием хлорофиллов (в 1,53-1,99 раза выше, чем у растений других сортов).

9. У растений сорта «Теща» наблюдалось высокое значение индекса поверхности наружных мембран хлоропластов на фоне низкой интенсивности фотосинтеза. Это говорит о низкой скорости оттока ассимилятов из хлоропластов, т.е. низкой скорости ближнего транспорта ассимилятов в системе хлоропласт – цитоплазма. Наиболее интенсивно образование и отток ассимилятов происходил у растений сорта «Батя».

10. Размеры проводящих пучков у растений сорта «Теща» – 162*261 мкм; у сорта «Матушка» – 182*219; мкм; у сорта «Батя» – 207*238 мкм.

11. Среди исследуемых сортов максимальная урожайность была показана растениями сорта «Батя». Она составила 297 ц/га. Однако масса клубня была небольшой – 86,4 г. Масса нетоварных клубней составила 8 % от общей урожайности. Наиболее сбалансированный урожай показал сорт «Матушка». Расчетная урожайность составила 259,4 ц/га при средней массе клубня 124,1 г. Масса нетоварных клубней составила 4,3 % от общей урожайности. У сорта «Теща» расчетная урожайность составила 181,6 ц/га при средней массе клубня 75,9 г. Масса нетоварных клубней составила 15,6 % от общей урожайности.

12. Листья картофеля, выращенные в условиях культуры *in vitro* имели цельную листовую пластинку, не разделенную на доли. У растений картофеля, выращенного в условиях *in vitro* маргинальная меристема формируется вдоль края листовой пластинки без перерыва. Форма листовой пластинки картофеля определяется равномерным, замедленным, но согласованным ростом его маргинальной меристемы и центральной жилки.

13. Чем больше площадь листа, тем больше в нем миниареол. Число миниареол на 1 мм² не зависит ни от сорта картофеля, ни от условий выращивания. Этот показатель оказался равен 10,45-10,92 шт/мм². Площадь одной миниареолы: 0,091-0,093 мм².

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов, Б. В. Сортовые ресурсы и передовой опыт семеноводства картофеля / Б. В. Анисимов. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2000. – 152 с.
2. Бабикова, А. В. Растение как объект биотехнологии / А. В. Бабикова, Т. Ю. Горпенченко, Ю. Н. Журавлев // Комаровские чтения. – 2007. – Вып. LV. – С. 184-211.
3. Бацанов, Н. С. Агротехника. Подбор сортов картофеля для севооборотов / Н. С. Бацанов // Картофель. – М.: Колос, 1970. – С. 178-179.
4. Биотехнология [Офиц. сайт]. URL: <http://www.biotechnolog.ru/> (Дата обращения: 5.04.2017).
5. Бутенко, Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе / Р. Г. Бутенко. – М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. – 160 с.
6. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. – 160 с.
7. Выращивание картофеля в Голландии: справочное издание / сост. Г. Вагенинген. – [Б. м.]: Голландия, 1993. – 76 с.
8. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: Учеб. пособие для студ. вузов / В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова; Под ред. Е. П. Ермакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 256 с.
9. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию [Офиц. сайт]. URL: http://www.gossort.com/ree_cont.html. (Дата обращения: 5.04.2017).
10. Грязнов, В. П. Сравнительная оценка фотосинтетической продуктивности некоторых новых сортов картофеля, выращиваемых в условиях белогорья / В. П. Грязнов // Научные ведомости. – 2006. – №3 (23), вып. 4. – С. 129-132.
11. Дубин, С. В. Факторы высокой урожайности картофеля // Генетические и агротехнологические ресурсы повышения качества

продовольственного и технического картофеля: сб. материалов Третьей науч.-практ. конференции. – М.: МГУ, 2013. – С. 16-19.

12. Дубинин, С. В. Тонна картофеля с одной сотки / С. В. Дубинин. – М.: МСП, 2000. – 64 с.

13. Зайцев, В. В. Элементарная математика / В. В. Зайцев. – М.: Наука, 1973. – 591 с.

14. Кабунин, А. А. Вопросы селекционной работы с картофелем / А. А. Кабунин // Генетические и агротехнологические ресурсы повышения качества продовольственного и технического картофеля: сб. материалов Третьей науч.-практ. конференции. – М.: МГУ, 2013. – С. 22-25.

15. Кабунин, А. А. К методике селекции многоуровневых и крупноклубневых сортов картофеля / А. А. Кабунин, О. А. Догуревич // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 5. – С. 9-11.

16. Киселева, Г. В. Формирование запрограммированных урожаев разных сортов картофеля при использовании комплексонов микроэлементов: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Г. В. Киселева. – Тверь, 2009. – 24 с.

17. Кошкин, Е. И. Частная физиология полевых культур / Под ред. Е. И. Кошкина. – М.: КолосС, 2005. – 344 с.

18. Литун, Б. П. Картофелеводство / Б. П. Литун, А. И. Замотаев, Н. А. Андрюшина. – М.: «Агропромиздат», 2000. – 167 с.

19. Манжесов, В. И. Технология хранения растениеводческой продукции: учебное пособие / В. И. Манжесов, И. А. Попов, Д. С. Щедрин. – М.: КолосС, 2005. – 392 с.

20. Машьянова, Г. К. Все о картофеле / Г. К. Машьянова, Г. П. Шушакова, А. Е. Аферина, З. И. Анкудинова. – Новосибирск: Новосибирское книжное изд-во, 1991. – 160 с.

21. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации [Офиц. сайт]. URL: <http://www.mcx.ru/news/news/show/16984.78.htm>. (Дата обращения: 5.04.2017).

22. Мировое производство картофеля 2012: [Электронный ресурс] // Блог Честного Статистика. 2010-2013. URL: http://www.statistic.su/blog/world_production_of_potatoes_2012/2013-05-30-956. (Дата обращения: 18.03.2017).
23. Назарова, Н. Н. Культура столонов и регуляция роста растений и клубнеобразования у картофеля *in vitro*: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н. Н. Назарова. – Душанбе, 2006. – 23 с.
24. Основы биотехнологии растений. Культура клеток и тканей: Учеб. пособие / Составители: И. К. Сорокина, Н. И. Старичкова, Т. Б. Решетникова, Н. А. Гринь. – Саратов: Изд-во СГУ им. Н. Г. Чернышевского, 2002. – 45 с.
25. Сельскохозяйственная биотехнология: Методические указания / Составители: Кильчевский А. В., Никонович В. В. Французенок В. В., Ермоленков В. В., Воробьева Е. П. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 1999. – 24 с.
26. Сорта картофеля, возделываемые в России: 2013. Справочное издание. – М.: Агроспас, 2013. – 144 с.
27. Технологический процесс производства оригинального, элитного и репродукционного семенного картофеля //ФГУ «Россельхозцентр», ГНУ ВНИИКХ Россельхозакадемии. – М., 2011. – 32с.
28. Третьяков, Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Т. В. Карнаухова, Л. А. Паничкин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
29. Цубербиллер, Е. А. Пути повышения урожайности картофеля / Е. А. Цубербиллер. – Л.: Гидрометиздат, 1969. – 45 с.
30. Черников, В. А. Агроэкология / В. А. Черников, А. И. Чекерес. – М.: Колос, 2001. – 536 с.
31. Шевелуха, В. С. Сельскохозяйственная биотехнология: Учеб. / В. С. Шевелуха, Е. А. Калашникова, С. В. Дегтярев и др.: Под ред. В. С. Шевелухи. – М.: Высш. шк., 1998. – 416 с.

32. Широков, Е. П. Картофель, плоды, овощи: учебное пособие / Е. П. Широков, В. И. Полегаев // Хранение и переработка продукции растениеводства с основами стандартизации и сертификации: в 2-х частях. – М.: Колос, 2000. – Ч. 1. – 254 с.

33. Шмидт, В. М. Математические методы в ботанике / В. М. Шмидт. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. – 288 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет
физико-математических
и естественных наук

Кафедра
«Общая биология и биохимия»

Направление подготовки
06.04.01 Биология
Магистерская программа Физиология растений

Утверждаю:
Зав. кафедрой
 Г.А. Карпова
« 10 » 11 2015 г.

Задание

По ВКР студента Беляевой Анны Олеговны

Тема работы «Особенности формирования фотосинтетического аппарата растений картофеля в условиях *in vitro*»

Утверждена приказом по Университету « 30 » 10 2015 г. № 1168/0

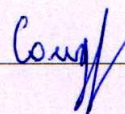
Срок сдачи студентом законченной работы « 22 » 05 2017 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВКР

№ п/п	Перечень подлежащих разработке вопросов:	Сроки выполнения этапов	Примечания
1.	Обзор литературы по заявленной проблеме. Подбор объекта исследования для проведения эксперимента.	Декабрь 2015 г – апрель 2016 г	Выполнено
2.	Сравнение особенностей роста и развития картофеля разных сортов. Исследование структурных характеристик листьев картофеля разных сортов.	Май – сентябрь 2016 г.	Выполнено
3.	Изучение организации мезоструктуры фотосинтетического аппарата разных сортов картофеля.	Май – декабрь 2016 г.	Выполнено
4.	Обработка результатов и их анализ. Написание дипломной работы.	Январь – май 2017 г.	Выполнено

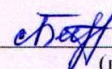
Дата сдачи задания « 10 » 11 2016 г.

Руководитель _____



(подпись)

Задание принял к исполнению _____



(подпись)