

ПОЛУЧЕНИЕ МИНИКЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ НА АЭРОПОННЫХ УСТАНОВКАХ

Л.Г. Цёма, А.Л. Латыпова, Т.С. Морозова

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН
Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской
академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация,
e-mail: ann.latyпова@yandex.ru

***Аннотация.** Свет в жизни растений играет важную роль. От уровня освещённости зависит рост и развитие растений, что в конечном итоге определяет продуктивность культуры. В данной статье представлены данные по изучению влияния разных источников освещённости на фенологические, биометрические показатели развития растений картофеля. Проведена оценка продуктивности изучаемых сортов картофеля, в зависимости от различных источников освещения, при выращивании в лабораторных условиях, на аэропонных установках.*

***Ключевые слова:** картофель, аэропоника, светодиодные светильники, лампы ДНАЗ-400, фенологические наблюдения, миниклубни, продуктивность.*

Введение. Процесс семеноводства картофеля предполагает сочетание биотехнологических методов оздоровления растений на основе технологии культивирования *in vitro* апикальных меристем и стерильных растений с последующим выращиванием миниклубней в защищенных условиях [1].

Традиционное производство основано на выращивании миниклубней картофеля в теплицах в горшечной культуре с почвенным субстратом. Данная технология требует больших финансовых затрат и характеризуется низким коэффициентом размножения, а почвенные субстраты способствуют большему риску заражения растений болезнетворными микроорганизмами [2].

В настоящее время, наряду с традиционными способами выращивания широко используются альтернативные методы производства миниклубней картофеля, основанные на гидропонных и аэропонных технологиях [3, 4]. Аэропонный способ является разновидностью бессубстратного метода выращивания растений и является перспективной заменой традиционному методу. В лабораторных условиях данный способ позволяет контролировать и регулировать условия роста и развития растений картофеля. Одним из важнейших факторов, определяющих урожайность является освещение. На аэропонных установках представляется возможность регулировать интенсивность и качество освещения.

Интенсивность и спектральный состав света влияет на рост и фотосинтетическую активность вегетативной массы, а сокращение фотопериода до 12 часов является непосредственной причиной инициации клубнеобразования, так как картофель можно назвать растением короткого светового периода [5,6, 7].

Ещё в 1987 году Протасовой Н.Н. был исследован рост, фотосинтез и продуктивность ряда растений (в том числе и перца, относящегося вместе с картофелем к семейству паслёновых) в условиях различной интенсивности и спектрального состава освещения. Как наиболее благоприятные для выращивания светолюбивых культур были выявлены интенсивность ФАР в пределах 150-220 Вт/м² и спектральный состав с соотношением 25-30% - в синей, 20% - в зеленой, 50% - в красной области. Каждая область света по-своему влияет на развитие растения: красный свет отвечает за рост листьев и осевых органов, синий – замедляет рост вегетативной массы и способствует формированию более плотных листьев с наибольшим фотосинтезом на единицу площади листа, зеленая

область спектра, как и синяя, замедляет ростовые процессы, а также повышает фотосинтетическую активность хлоропластов [8].

Источниками света в светокультуре чаще всего являются натриевые лампы высокого давления, имеющие высокую эффективность излучения и продолжительный срок эксплуатации. Недостатком таких ламп является большое количество побочного тепла, а также ограниченный спектральный состав. В спектральном составе натриевых ламп выражен недостаток «синего» света (9% от) и почти нет ультрафиолетового света, а для нормального развития растений в освещении должны присутствовать все области видимого света с преобладанием красных, зелёных, синих и фиолетовых лучей, а также небольшая доля ультрафиолетового и инфракрасного света [9, 10]

В связи с выше перечисленными недостатками натриевых ламп в последние годы всё чаще встречаются исследования, посвящённые использованию облучателей на основе светодиодов в светокультуре. Это связано с такими преимуществами технологии LED-освещения (Light Emission Diodes – LED), как большая энергоэффективность (в сравнении с другими источниками освещения), и, соответственно, меньшая теплоотдача, безопасность для окружающей среды, устойчивость к влаге и части механических воздействий, переменность спектра, продолжительность работы до 50-80 тыс. часов [11]. Современные светодиоды перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет 620–780 нм, в оранжевой — 600–620 нм, в желтой — 585–595 нм, в зеленой — 500–570 нм, в голубой — 465–490 нм и в синей — 430–465 нм. Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне [12].

Методика исследований. Лабораторные исследования посвящены вопросу изучения влияния различных источников освещения, при выращивании картофеля на аэропонных установках. Исследования проводили в лаборатории первичного семеноводства картофеля Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук.

Объектом исследований были восемь сортов картофеля отечественной и зарубежной селекции. Опыт двухфакторный. Фактор А – сорт картофеля. Раннеспелые: А₁ Удача (ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г.Лорха»); А₂ Легенда (Уральский НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН); А₃ Регги (Тат НИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН); А₄ Ред Скарлет NZPC HOLLAND B.V. (Нидерланды). Среднеранние: А₅ Невский (ФГБНУ «Ленинградский НИИСХ «Белогорка»); А₆ Ирбитский (Уральский НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН); А₇ Сальса (Тат НИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН); А₈ Гала (NORIKA GMBH (Германия).

Фактор В – источник освещения (ECOLED 100 L BIO IP 65 - светодиодный светильник, ДНАЗ-400 - натриевая лампа высокого давления), которые использовались в следующих комбинациях, штук на одной установке: В₁ - ECOLED 100 L BIO IP 65 – 8 шт; В₂ - ECOLED 100 L BIO IP 65 (4 шт) + ДНАЗ-400 (2 шт).

Для адаптации пробирочных растений первые 10 дней выращивание проходило на трехъярусной (адаптационной) установке, производства НПФ «Синтол». Возраст высаженных микрорастений 30 дней. Температуру воздуха в лабораторной комнате поддерживали в дневные часы +21+23 °С; в ночное время +19+20 °С. Относительная влажность воздуха – 60-65%. Растения освещали люминисцентными лампами Osram (Германия), L36W/77, световой поток 1400 Лм, по 16 часов в сутки. Показатели питательного раствора, используемого для питания растений: рН – 5,8-6,0; ЕС – от 1,3 с постепенным доведением до 1,6-1,8 мСм. Подача питательного раствора производилась через форсунки по 2 минуты с перерывами между ними 6 минут.

На одиннадцатые сутки провели «пересадку» растений картофеля на одноярусные аэропонные установки. Температура воздуха в дневные часы поддерживалась +17+19⁰ С, в

ночное время +15+16 °С. Относительная влажность воздуха составляла 60-65%. Показатели питательного раствора: рН 5,6-6,2, Ес 1,8-2,8. Подача питательного раствора после установки растений в установочные отверстия проводилась по 2 минуты с интервалом 9 минут, с постепенным увеличением интервала, по мере роста корней до 15 (переплетение корней) – 25 минут (массовое клубнеобразование). Для освещения использовали два варианта светильников (фактор В). Период досветки в начальный период роста растений составлял 16 часов в сутки и постепенно сокращался, к моменту образования миниклубней, – до 10-9 часов в сутки.

Проведена характеристика светового потока разных источников освещения при помощи ручного спектрометра UPRtek MK350S (таблица 1, рисунок 1).

Таблица 1 Результаты расчета фотосинтетического потока фотонов используемых светильников (1- ECOLED 100 L BIO IP 65; 2- ECOLED 100 L BIO IP 65 и ДНАЗ-400).

Фотосинтетический поток фотон в диапазоне	Значение характеристики, мкмоль/м ² *с		Доля от общего излучения, %	
	1	2	1	2
№ светильника				
380-500 нм (синий)	22,74	28,85	18,7	9,3
500-600 нм (зеленый)	10,63	119,03	8,7	38,3
600-700 нм (красный)	88,28	162,37	72,4	52,3
Общий поток в диапазоне 380-800 нм	121,88	310,67	-	-

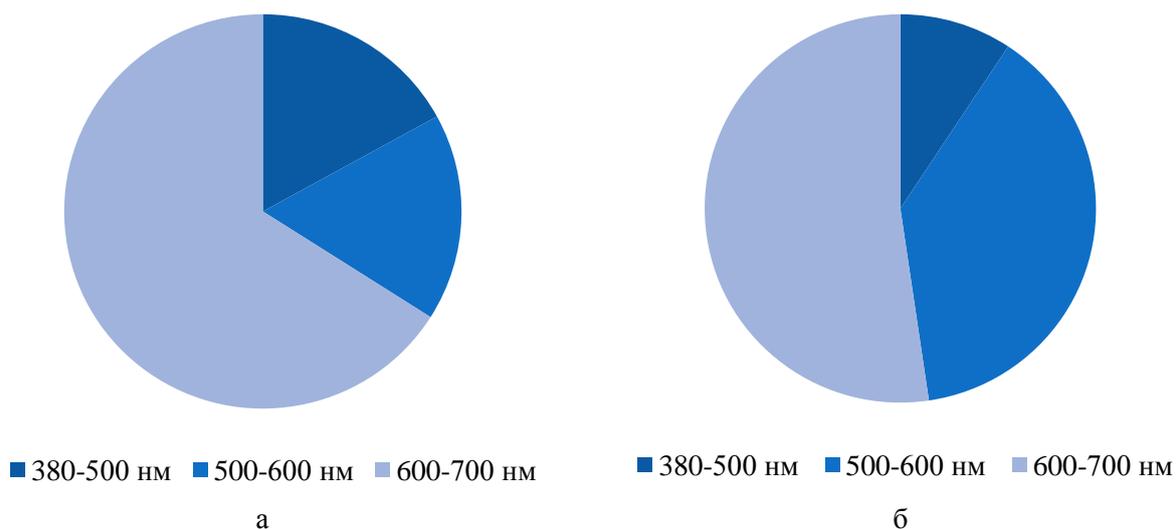


Рисунок 1. Соотношение световых потоков используемых светильников (а - ECOLED 100 L BIO IP 65; б - ECOLED 100 L BIO IP 65 и ДНАЗ-400).

Сбор миниклубней осуществлялся один раз в шесть - семь дней, в соответствии с ГОСТом 33996-2016.

Результаты и обсуждения. Интенсивность освещения не оказала существенных различий на периоды прохождения фенологических фаз растениями картофеля. По данным фенологических наблюдений, фаза образования столонов наступила на 18-19 сутки, от момента «пересадки» растений на одноярусные аэропные установки. Первый сбор миниклубней проводился на 62 сутки у всех изучаемых сортов, при освещении светодиодными светильниками ECOLED 100 L BIO IP 65 (4 штуки) в сочетании с лампами ДНАЗ – 400 (2 штуки). При выращивании растений с освещением только светодиодными светильниками, первый сбор наступал на 62 сутки у всех сортов, исключением являлись сорта Ирбитский и Гала, миниклубни которых начали собирать позднее, на 68 сутки.

Период от первого до последнего сбора миниклубней в варианте со светодиодными светильниками составил от 44 суток (сорта Ирбитский, Гала) до 50 суток. При выращивании с лампами ДНАЗ-400 данный период составил 50 суток, у всех изучаемых сортов.

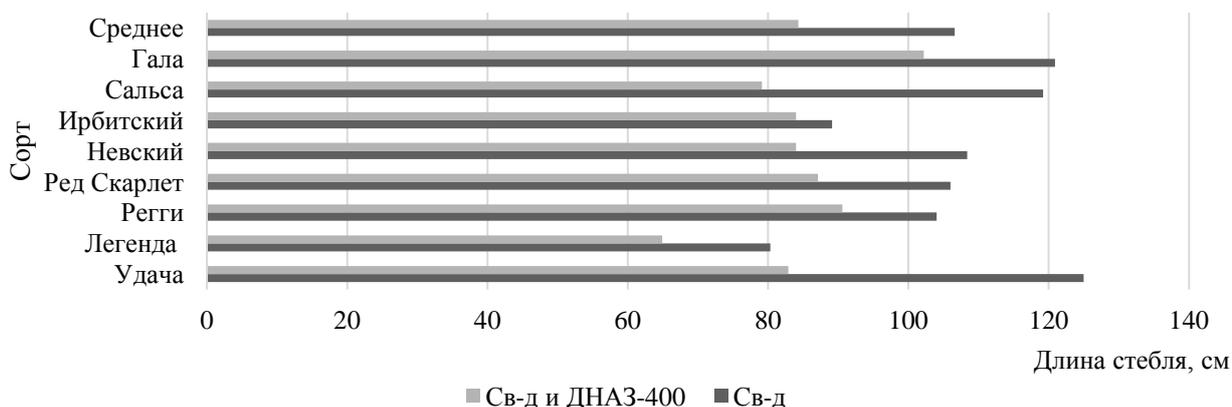
В течение периода выращивания проводили морфометрические измерения растений картофеля (измеряли количество листьев (шт), длину стеблей (см)). Конструкция аэропонных установок обеспечивает свободный доступ к корневой системе, что позволяет в динамике измерять длину корневой системы (данные представлены в таблице 2).

Таблица 2 – Динамика развития растений картофеля, при выращивании на аэропонных установках, при различных источниках освещения, 2022 год.

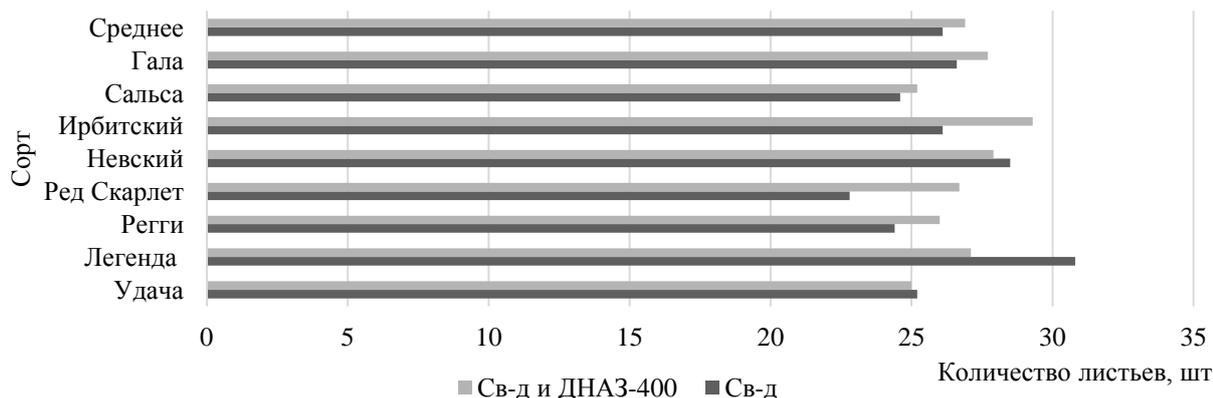
Дата проведения измерений	Длина стеблей, см			Количество листьев, шт.			Длина корневой системы, см		
	Св-д	Св-д и ДНАЗ-400	Разница, (\pm к св-д)	Св-д	Св-д и ДНАЗ-400	Разница, (\pm к св-д)	Св-д	Св-д и ДНАЗ-400	Разница, (\pm к св-д)
22 февраля	23	16,7	-6,3	10,3	11,1	+0,7	74,7	76,5	+1,7
4 марта	51	36,1	-14,9	13,7	15,2	+1,5	102,9	103,2	+0,3
14 марта	85,7	66,9	-18,8	17,8	19,2	+1,5	-	-	-
16 мая	106,6	84,3	-22,3	26,1	26,9	+0,7	104,5	111,5	+6,9

Из данных таблицы 2, рисунка 2 (а,б,в), видно, что корневая система лучше развивалась при выращивании сочетании освещения светодиодными светильниками ECOLED 100 L ВЮ IP 65 (4 штуки) с лампами ДНАЗ – 400 (2 штуки). Данная тенденция прослеживается в течение всего периода вегетации. При выращивании под светодиодными светильниками растения были более вытянутые, имели большую длину стеблей. Более активное формирование листового аппарата у изучаемых сортов проходило с досвечиванием ECOLED 100 L ВЮ IP 65 (4 штуки) в сочетании с лампами ДНАЗ – 400 (2 штуки). Данные исследования по формированию листового аппарата требуют дальнейшего, более глубокого изучения.

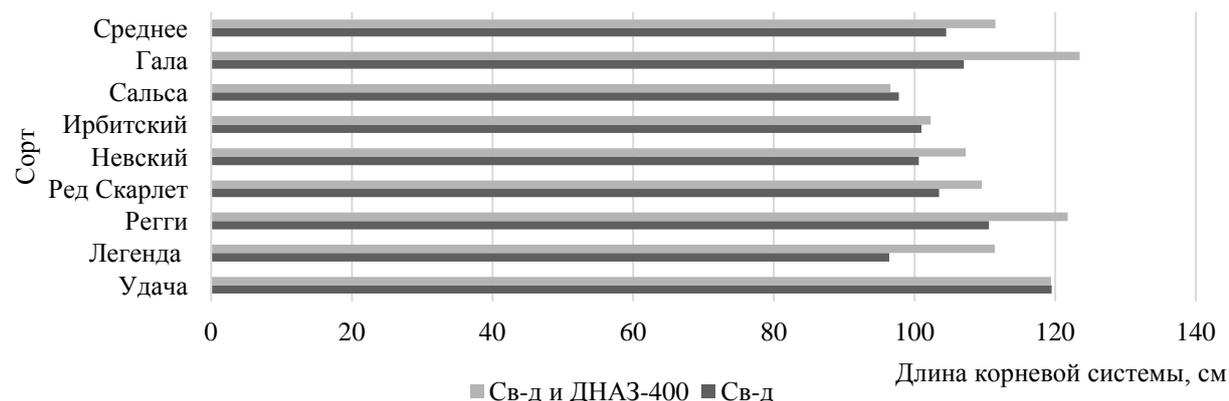
Последнее измерение растений, перед уборкой культуры, проведенное 16 мая показало, что в основном тенденция по морфометрическим показателям сохраняется (рисунок 2 а,б,в). Так, длина стебля у всех сортов при выращивании на 2 варианте (светодиодные светильники и ДНАЗ-400) была короче, чем при выращивании со светодиодными светильниками, особенно сильная реакция проявилась у сорта Удача. Количество сформированных листьев почти у всех сортов при комбинированном освещении было большим, исключение составили сорта Невский, Удача и Легенда. Более сильная корневая система развивалась при освещении светодиодными светильниками ECOLED 100 L ВЮ IP 65 (4 штуки) в сочетании с лампами ДНАЗ – 400 (2 штуки).



а.



б.



в.

Рисунок 2. Морфометрические показатели растений картофеля, выращенных при разных источниках освещения, перед ликвидацией культуры (а - длина стебля; б - количество листьев; в - длина корневой системы).

Интенсивность освещения оказала значительное влияние на продуктивность растений картофеля. Данные таблицы 3, свидетельствуют о статистически достоверном увеличении показателей продуктивности у всех изучаемых сортов, при выращивании растений картофеля под комбинированным освещением. Выход миниклубней с одного растения увеличивался в ранней группе спелости от 9,5 (сорт Ред Скарлет) до 33,4 (сорт Легенда) штук. Среднеранний сорт Гала положительно отреагировал на выращивание под светодиодными лампами в дополнении с лампами ДНАЗ – 400 и сформировал 136,2 шт миниклубней на одном растении. Миниклубни, выращенные в варианте с комбинированным освещением отличались большей средней массой клубня. В ранней группе масса клубней была больше на 0,17-1,18 г; в среднеранней группе спелости на 0,22-1,14 г.

Таблица 3- Продуктивность растений картофеля при использовании разных источников освещения, 2022 г

Сорт (А)	Выход миниклубней с одного растения, шт		Средняя масса одного миниклубня, г		Продуктивность одного растения, г	
	св-д (В1)	св-д + ДНАЗ-400 (В2)	св-д (В1)	св-д + ДНАЗ-400 (В2)	св-д (В1)	св-д + ДНАЗ-400(В2)
Ранние сорта						
Удача	44,8	54,8	5,41	6,21	242,4	340,3
Легенда	101,8	135,2	1,46	1,63	148,76	220,86
Регги	48,2	71,9	5,07	6,0	244,35	431,4
Ред Скарлет	50,0	59,56	3,59	4,77	179,52	284
Среднеранние сорта						
Невский	52,0	75,5	3,3	4,32	171,5	325,9

Ирбитский	57,9	70	3,63	3,85	210,35	269,8
Сальса	37,3	40,74	4,98	6,12	185,1	249,36
Гала	73,2	136,2	3,04	3,85	222,2	524,85
НСР ₀₅ по фактору А					F _φ < F ₀₅	
НСР ₀₅ по фактору В					68,77	

После каждого сбора урожая миниклубни сортировали, делили на фракции по диаметру: до 9 мм; 9-20 мм; 20-30 мм; 30-40 мм; 40 и более мм (рисунок 3). При выращивании растений картофеля на аэропонных установках независимо от сорта и источника освещения больший выход миниклубней получен диаметром 9-20 мм; 20-30 мм. Больший % миниклубней диаметром до 9 мм получен, при выращивании под светодиодными светильниками. В раннеспелой группе более крупные миниклубни образовались у сортов Удача (фракция 20-30 мм – 58,3%; 30-40 мм – 23,2%); Регги (фракция 20-30 мм составила 63,1%; 30-40 мм – 18%). Среднеранние сорта сформировали достаточно крупные миниклубни, большая часть которых по фракционному составу была 20-30 мм; 30-40 мм.

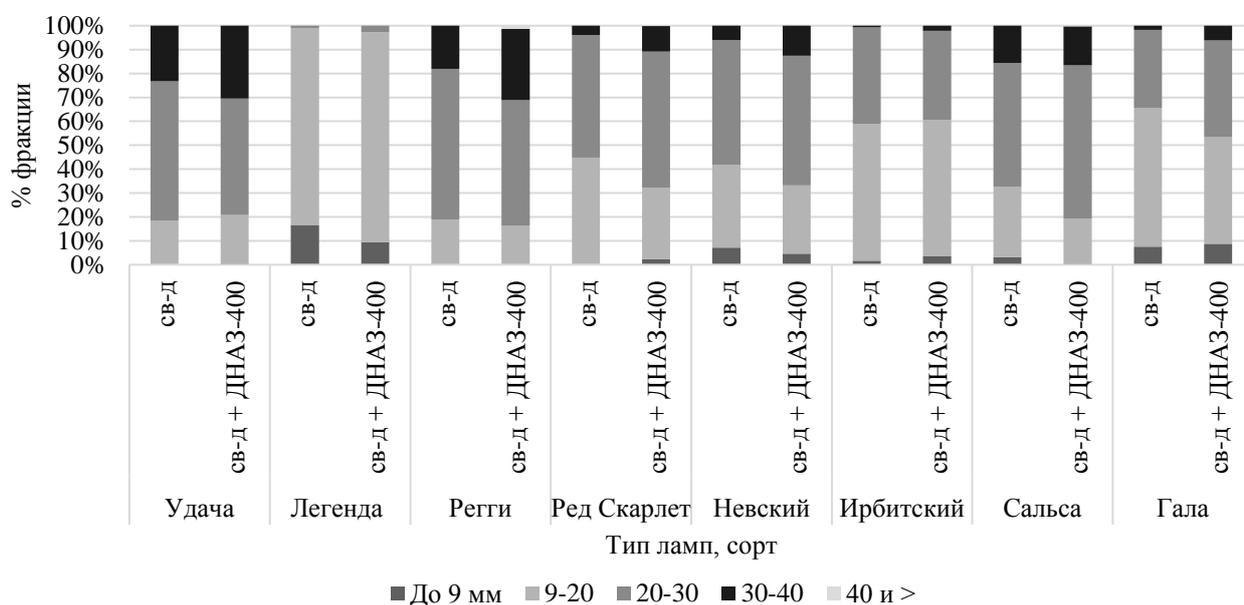


Рисунок 3. Фракционный состав (%) собранных миниклубней, при использовании разных источников освещения, 2022 г

По размеру миниклубней выделились сорта: Невский и Сальса. Светодиодные светильники + лампы ДНАЗ-400 способствовали формированию более крупной фракции миниклубней (30-40 мм).

По результатам проведённых лабораторных исследований, можно сделать предварительные выводы, что растения картофеля на аэропонных установках лучше развиваются при использовании в качестве источников освещения комбинации ламп ECOLED 100 L BIO IP 65 (4 штуки) в сочетании с лампами ДНАЗ – 400 (2 штуки). Растения формируют мощную корневую систему, хорошо развитый листовой аппарат. Данное сочетание ламп способствует большему выходу миниклубней с одного растения, увеличению их массы, следовательно, возрастает продуктивность растений. Проведенные исследования требуют дальнейшего изучения.

Библиографический список

1. Терентьева Е.В., Ткаченко О.В. Аэропонный способ получения миниклубней картофеля // Известия ТСХА. 2017. Выпуск 1. С.75-84.

2. Технологический процесс производства оригинального, элитного репродукционного семенного картофеля. – М.: ФГБУ «Россельхозцентр», ГНУ ВНИИКХ Россельхозакадемии, 2011. 32 с.
3. Жевора С.В. Инновационная технология выращивания мини-клубней картофеля в системе аэрогидропоники: учебное пособие/С.В. Жевора М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 84 с.
4. Гериева Ф.Т. Основные положения технологического регламента выращивания оригинальных семян картофеля в горных условиях Северного Кавказа// Известия Горского государственного аграрного университета. 2014. Т. 51. №3. С. 29-33.
5. Латыпова А.Л. Особенности сортовой реакции растений картофеля на выращивание в искусственных условиях на аэропонных установках // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. №3. Ижевск, 2022 г. С. 12-19.
6. Марухленко А.В. Ускоренное размножение оздоровленного картофеля с применением аэропонной технологии // Картофелеводство, материалы научно-практической конференции "Современное состояние и перспективы развития селекции и семеноводства картофеля". Москва, 2018. С. 202-208.
7. Хутинаев О.С. Особенности гидропонного выращивания мини- и микроклубней на установках Кд-10 и "Минивит" // Картофелеводство // Сборник научных трудов. Материалы научной конференции «Мировые генетические ресурсы картофеля и их использование в современных направлениях селекции» (к 125-летию со дня рождения Н.И. Вавилова). 2012 г. С. 125-131.
8. Протасова Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // Физиология растений. Том 34, №4. Москва, 1987 г. С 812-822.
9. Мартиросян Ю.Ц. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения // Сельскохозяйственная биология. Том 48, №1. Москва, 2013 г. С. 107-112.
10. Цёма Л.Г. Светокультура томата в условиях Пермской области: Дис. ... кандидата с-х. наук. М., 2006.175 с.
11. Молчан О.В. LED-освещение в производстве продукции растениеводства закрытого грунта // Наука и инновации. №5. Минск, 2018 г. С. 38-43.
12. Прокофьев А. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве//Полупроводниковая светотехника. 2010. №5. С.60-63.