

Управление Продуктивностью меристемных растений энергоэффективными световыми технологиями (Большин Р.Г.)

Производство семенного картофеля занимает важную позицию в сельском хозяйстве, и должно достигать 5 млн. тонн, занимать большие площади. Посадочный материал должен быть качественным: не иметь генетических отклонений, иметь высокий процент всхожести и плодовитости. Для реализации этих задач следует разрабатывать и внедрять новые инженерные технологии.

Учеными в области электрификации сельскохозяйственного производства доказана эффективность применения оптического излучения для получения дополнительной растениеводческой продукции, решены ряд теоретических и прикладных задач в области применения и создания источников излучения для сельскохозяйственных предприятий и биологических исследований.

Важнейшей задачей является увеличение продуктивности – найти пути для того, чтобы «вырастить два колоса там, где растет один» (К.А. Тимирязев). Для достижения этой цели необходимо научиться управлять фотосинтетической деятельностью растений. Так как фотосинтез – это основной процесс, при котором образуется сухое вещество растений. Согласно Ничипоровичу, биологический урожай равен сумме приростов сухой массы растения за каждые сутки вегетационного периода. Кроме того, накопление сухой массы зависит не только от интенсивности фотосинтеза, но и от коэффициента эффективности, что учитывает. Площади поверхности листьев и вегетационный период.

На практике более важен урожай хозяйственный, который возможно реализовать для нужд сельского хозяйства, чем биологический. Один из важнейших показателей хозяйственного урожая – это площадь листьев. Более высокие показатели урожая достигаются при быстром развитии

листовой поверхности в начале вегетационного периода. Следовательно, для получения наилучшего урожая, необходимо создать благоприятные условия для лучшего фотосинтеза растений именно в начале вегетационного периода.

Актуальным является повышение эффективности светодиодных (LED) фитоустановок для меристемного картофеля за счет научного обоснования наиболее эффективных доз спектральных составляющих зоны ФАР, позволяющих увеличить выход здорового элитного посадочного материала - меристемного картофеля и снизить потребление электроэнергии при его выращивании. Объектом исследования являлась система, состоящая из меристемы культуры картофеля, технических средств облучения и технологических мероприятий, позволяющая получить здоровый элитный посадочный материал при минимальных затратах.

При выполнении исследований применялись экспериментальные и аналитические методы исследования, использовались методы математического моделирования с применением программного обеспечения MS Excel, теоретические основы светотехники, электротехники, теории регрессионного анализа и математической статистики, методы прикладной экономики, а также современная измерительная аппаратура.

Растения синтезируют органические вещества из неорганических, поглощая фотосинтетически активную радиацию (ФАР). ФАР - часть оптического излучения с длинами волн от 380 нм – 740 нм, которые растения используют для фотосинтеза. Диапазон волн для фотоморфогенеза несколько шире - от 300 нм (ультрафиолетовый свет) до 800 нм (дальний красный) [56]. И если, оставив лишь спектр между 400 и 700 нм и блокировав остальной, то нарушатся другие процессы, что окажет негативное воздействие на рост растений и сократит показатели хозяйственного урожая. Доказано, что при освещении растений смешанным светом, интенсивность фотосинтетической деятельности растений возрастает, чем при освещении растений каждой длины волн в отдельности (эффект Эмерсона) [57].

На процесс фотосинтеза оказывают влияние: Солнечное излучение,

показатели температуры, содержание CO_2 в воздухе, обеспеченность водой.

Солнечное излучение оценивается по коэффициенту использования солнечной энергии при фотосинтезе. Показателем эффективности использования растением солнечной радиации, является коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД ФАР).

В целом, на Земле КПД ФАР составляет 0.2 процента, что является ничтожно малым. Повышение эффективное использование энергии ФАР является одной из важнейших задач в физиологии и в селекции сельскохозяйственных растений, способствующей повышению урожайности культур. Для увеличения урожайности, необходимо рассчитать возможный уровень урожайности в зависимости от многих факторов, то есть научиться программировать урожайность, что позволит достигнуть высоких урожаев культур при невысокой себестоимости продукции.

Учитывая, что растения, поглощая солнечную энергию, при участии хлорофилла, зеленого пигмента, преобразуют ее в химическую энергию органических соединений и накапливают массу растений. Согласно Тимирязеву К.А., 95 процентов урожая формируется именно за счет фотосинтетической деятельности растений, то есть за счет энергии ФАР. В связи с этим, необходимо увеличить энергию света от солнца, или искусственного излучателя (фитоустановки) с таким спектром излучения, который необходим для достижения наивысших показателей урожая при наименьших финансовых затратах.

Для получения наибольшей продуктивности растений необходимо поддерживать требуемые параметры микроклимата, и в первую очередь дозу спектральных составляющих зоны ФАР [58], [59].

Для этого можно использовать сквозные цифровые технологии на основе компьютерных систем, которые способны выполнять творческие и интеллектуальные функции, традиционно считающиеся человеческими, то есть искусственный интеллект.

Управлять продуктивностью растений на стадии вегетации легче всего в

защищенном грунте, то есть в специальных помещениях или на земельных участках, оборудованных для создания искусственного микроклимата с целью выращивания сельскохозяйственных и овощных культур [60].

Одной из значимых сельскохозяйственных культур, является картофель. На наш континент, картофель был завезен в 1551 году и стремительно распространился по территориям Европы. В Россию картофель был отправлен из Голландии лично Петром I (по одной из версий) в 1716 году, который приказал распространить клубни «на расплод» на территории России. Это вызвало ряд недовольств, и не принесло результата. Но в 19 веке, при Николае I картофель все же начал распространяться и приобретать популярность среди населения. К началу 20 века, картофель стал считаться в России одним из основных продуктов питания. Картофель является основным сырьем для производства крахмала, который используется в пищевой, текстильной, бумажной и других промышленности. Кроме того, из него производят патоку, спирт, глюкозу, углекислоту. Так же, картофель и ботву, используют в качестве корма для скота.

Картофель размножается вегетативно, клубнями, но данный способ имеет ряд недостатков. Первое- это низкий коэффициент воспроизводства, что не позволяет быстро увеличивать площади посадок при необходимости. Второе – картофель имеет низкую сопротивляемость вирусным, бактериальным и грибным болезням, что приводит к значительному снижению урожая. Некоторые вирусы снижают урожай на 80 процентов.

Единственный способ получить здоровый и качественный материал – микрклональное размножение [33], [61].

Меристемная культура, которая позволяет быстро получить генетические копии растений, не зараженные вирусами и бактериями, с чистым генетическим материалом. Основные преимущества меристемной культуры – это высокий коэффициент воспроизводства и круглогодичное проведение работ.

Микрклональное размножение растений получает распространение в

сельском хозяйстве, создаются меристемные лаборатории в крупных растениеводческих предприятиях.

В основе Микрклонального размножения лежит уникальная способность растительной клетки: одна клетка может дать начало целому растительному организму, свободному от вирусной, бактериальной и грибной инфекции. Существующие сорта картофеля имеют большой биологический потенциал, и позволяет получать в оптимальных условиях до 15 кг/м². Если предположить, что за каждую такую операцию растение разделяется минимум на три новых зачатка, а интервал между разделениями составляет 25 дней, то, теоретически, за год может быть получено более 14 млн растений из одного меристемного зачатка [33], [61].

Недостатком данного метода является сложность и довольно высокая стоимость оборудования и соответственно высокая стоимость выходной продукции [62].



Рисунок 36. – Фрагмент меристемной лаборатории

В настоящее время широкое применение при выращивании различных растений получили световые фитоустановки, которые дополняют спектры дневного света (как правило красный и синий), или досвечивают растения, увеличивая длину светового дня [63], [64].

Для этих целей используют как люминесцентные лампы, например

ЛБ40, ЛБ80, так и светодиодные фитоустановки, которые позволяют экономить электроэнергию [35].

В настоящее время в растениеводстве фитоустановки используются, в основном, для увеличения длины светового дня, что дает в результате увеличение зеленой массы за счет увеличения времени фотосинтеза при низменных показателях энергии ФАР. Разработка и внедрение прогрессивных интеллектуальных технологий фитоустановок позволит снизить себестоимость продукции и повысить продуктивность.

Еще с середины 20 века ученые проводили эксперименты над увеличением к.п.д. фотосинтеза. Так как только 0,2 процента энергии ФАР усваивают растения, но теоретически есть возможность усвоить до 10 процентов энергии ФАР. В 1963 году Ничипорович А.А., показал, что максимальный к.п.д. фотосинтеза имел место при длине волны 680 нм.

При выращивании растений под фитоустановками необходимо знать, не только наиболее эффективный спектральный состав излучения, но и дозы этого излучения для получения наибольшего урожая сельскохозяйственных культур. По данным Протасовой Н.Н. (ИФР) отсутствие в излучении ламп отдельных участков спектра приводит к нарушению нормального роста растений () [37], [39].

Таблица 7

2Влияние спектра излучения на формирование растений

Длина волны, нм	Влияние на растения
400...500 (синий свет)	Растения низкорослые с низкой продуктивностью, стебли укорочены, листья утолщены и мелкие
500...600 (зелёный свет)	Растения с вытянутыми осевыми органами, тонкими листьями и с низкой продуктивностью
600...780 (красный свет) особенно важна зона 640... 680	Интенсивный рост листьев, осевых органов. Недостаток этого излучения приводит к развитию неполноценных органов и, следовательно, к низкой урожайности

Целесообразно создать источник излучения, имеющий следующее

соотношение длин волн: от 380...490 нм - 20...25%; от 490...500 нм - 20...25%; от 600...700 нм - 60...50%, так как каждая из трех основных ФАР (синий, зеленый, красный), по отдельности, не позволяет полноценно развиваться растениям [65], [66].

Кроме того, большое значение имеет изменение спектральной плотности облучения в течении дня, в зависимости от происхождения растений. Например, короткодневные растения более восприимчивы к синим спектрам излучения, а длиннодневные к красным, а синий наоборот замедляет их развитие. Таким образом, искусственно воздействуя на растения различной плотностью излучений и правильно подобрав спектральный состав можно сокращать продолжительность вегетации растений. В связи с чем необходимо воссоздать наилучшую дозу спектральных составляющих зоны ФАР для конкретной культуры в защищенном грунте, в зависимости от ее исторической родины.

Ввиду того, что исторической родиной картофеля являются южноамериканские страны Перу, Эквадор, Боливия, был проведен анализ изменения доз спектральных составляющих зоны ФАР, характерных для государства Перу, что считается генетической родиной Картофеля. Для сравнения был взят Краснодарский край – основной аграрный регион России. На основании анализа, был научно обоснован метод и разработана наиболее эффективная светодиодная фитоустановка.

На исторической родине картофеля – государства Перу Солнце ежедневно поднимается над горизонтом почти до 79° , в его излучении наряду с красным, желтым и зеленым спектрами, имеется так же значительное количество синих, фиолетовых и ультрафиолетовых длин волн.

Большое значение для растений имеет продолжительность светлого периода суток – фотопериодизм. Длина светового дня в столице Перу – городе Лима, на протяжении всего года, не изменяется и составляет примерно 12 ч. В Краснодаре длина дня колеблется от 10 до 16 ч.

**Изменение спектрального состава солнечного излучения от
высоты солнца в % по Клешнину А.Ф.**

Вид излучения	Высота солнца, град						
	0,5	5	10	20	30	50	90
Видимое 400...760 нм., в том числе:	31,2	38,6	41	42,7	43,7	43,9	45,2
фиолетовое 400...440 нм	0	0,6	0,8	2,6	3,8	4,5	5,4
синее 440...490 нм	0	2,1	4,6	7,1	7,8	8,2	9
зелёное 490...565 нм	1,7	2,7	5,9	8,3	8,8	9,2	9,2
жёлтое 565...595 нм	4,1	8	10	10,2	9,8	9,8	10,1
красное 595...760 нм	25,4	25,2	19,7	14,5	13,5	12,2	11,5
Ультрафиолетовое 295...400 нм	0	0,4	1	2	2,7	3,2	4,7
Инфракрасное более 760 нм	68,8	61	58	55,3	54,6	52,9	50,1
Общее излучение солнца в оптическом диапазоне 400...780 нм, %	100	100	100	100	100	100	100

Биологи считают, что на развитие любой овощной культуры влияют данные генетической памяти растения о месте, откуда оно родом. Уменьшение необходимых доз вызывает нарушения в росте растений, и соответственно, уменьшение урожайности. Исходя из того, что родиной картофеля является территория государства Перу, была смоделирована схема работы фитоустановки, моделирующая получение состава солнечного излучения для родины картофеля Перу, и для сравнения, Краснодарского края, как наиболее южной точки России, близкой к нужным показателям.

Схема управления контроллером была написана на языке программирования FDD и позволяет автоматически включать светодиоды фитоустановки в зависимости от изменения времени суток и высоты солнца над горизонтом, моделируя дозы облучения нужных спектров для заданного региона. То есть, при недостаточной освещенности, программа автоматически включает необходимые группы светодиодов фитоустановки, поддерживая требуемую дозу облучения.

Таблица 9

**Среднегодовой состав солнечного излучения на родине картофеля
государства Перу**

Вид излучения	Фиолетовый	Синий	Зелёный	Жёлтый	Красный	УФ	Всего
Среднегодовое значение, %	8,81%	16,04 %	17,88%	21,54%	28,98	6,75%	100%
Время действия, час	12,82						

Таблица 10

Среднегодовой состав солнечного излучения в Краснодаре

Вид излучения		Фиолетовый	Синий	Зелёный	Жёлтый	Красны й	УФ	Всего
Март	Среднегодовое значение, %	5	13	14	18	28	5	100
	Время действия, час	11,61						
Апрель	Среднегодовое значение, %	7	14	18	17	29	5	100
	Время действия, час	13,22						
Май	Среднегодовое значение, %	9	17	17	23	32	6	100
	Время действия, час	14,93						
Июнь	Среднегодовое значение, %	7,98	15,74	17,90	21,18	31,11	6,10	100
	Время действия, час	15,59						
Июль	Среднегодовое значение, %	8,08	15,83	17,90	21,14	30,81	6,24	100
	Время действия, час	15,38						
Август	Среднегодовое значение, %	8,08	15,83	17,90	21,14	30,81	6,24	100
	Время действия, час	14,32						

В опытах, проведенных на базе ФГБНУ УНИИСХ были реализованы следующие режимы облучения:

1. Имитация солнечного спектра генетической родины картофеля

государства Перу в течение 30 дней;

2. Имитация солнечного спектра для Краснодара в течение 30 дней: при этом в первые 10-ть дней как в марте, затем 10 дней как в апреле и оставшиеся 10 дней как в мае;

3. Контроль – освещение (облучение) лампами ЛБ 80, используемыми в меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ.

В качестве воспринимающих элементов для обеспечения работы фитоустановки, использовались различные фотодатчики, для которых под каждый спектральный состав были применены различные светофильтры [67].

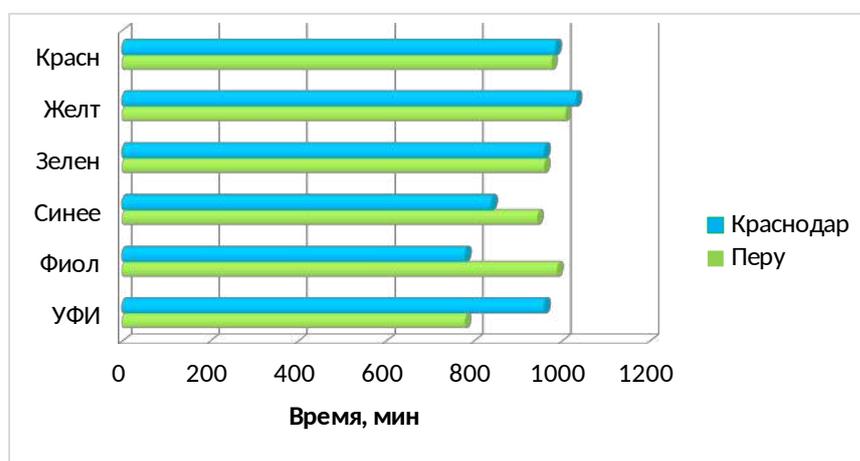


Рисунок 37. – Сравнение экспозиций доз спектральных составляющих зоны ФАР региона Перу и Краснодарского края

Анализ показал значительные отличия зоны Перу и Краснодарского края в коротковолновой части излучения зоны ФАР.

Эксперименты проводились в меристемной лаборатории на базе ФГБНУ Удмуртский НИИСХ Удмуртской Республики.

В процессе исследования проводились сравнения использования трех различных фитоустановок:

- Сине-красная LED фитоустановка с соотношением синих и красных светодиодов 37% и 63%.

- Сине-красно-белая LED фитоустановка с соотношением синих,

красных и белых светодиодов соответственно 25%; 50% и 25%.

- Люминесцентный светильник с электронным ПРА и лампами ЛБ 80. (Контроль), повсеместно используемый в сельском хозяйстве

Освещенность измерялась люксметром, измерения ультрафиолетового излучения – радиометром (ТКА-АВС). Результаты исследования показали прирост урожая при использовании LED фитоустановки со смешанными спектрами излучения (сине-красно-белая). В LED фитоустановка была усовершенствована: были добавлены светодиоды других спектров, управляющий модуль (ПЛК), датчики для контроля доз облучения, появилась возможность программного управления группами светодиодов в различном порядке и независимо от других.

Интеллектуальный светодиодный светильник, позволяющий регулировать спектральный состав излучения и разработанный представителями ФГБОУ ВПО Ижевской ГСХА, испытывался при выращивании меристемного картофеля в меристемной лаборатории ФГБНУ УНИИСХ. Облучательная установка, включает в себя красные, зеленые, желтые и сине-фиолетовые светодиоды. Размеры LED фитоустановки составляют 650 x 130 мм. В меристемной лаборатории поддерживалась температура в пределах $+27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, фотопериод составлял 16 часов в сутки.

Площадь поверхности листьев измерялась прибором проектором через каждые 10 дней и определялась как средняя арифметическая от суммы двух взаимно перпендикулярных проекций листьев.

В ходе проведенных опытов было установлено, что наибольшая площадь листьев оказалась при выращивании растений под LED фитоустановкой со схемой региона Перу. Кроме того, применение установки имитирующий спектр Перу позволяет снизить удельный расход электрической энергии на 50%.

Таблица 11

**Исследование влияния спектрального состава излучения фитоустановок
на развитие меристемного картофеля**

Параметры	Схема Перу	Схема Краснодар	ЛБ 80 (контроль)
Действительное время работы облучательной установки, час	2080	2240	2400
Расход электроэнергии, %	87	93	100
Изменение площади листьев, %	126	116	100
Удельные затраты электроэнергии, %	43,5	48,2	100

Анализ структуры всех затрат на выращивание одного меристемного растения показывает, что 17% приходится на облучение растений.

Таблица 12

Результаты расчета экономической эффективности

Показатель	Размерность	Обозначение	Вариант	
			ЛБ 80	LED 24
Капитальные вложения	Руб.	К	23 780	274 560
Эксплуатационные затраты	Руб.	ЭЗ	394 041	279 722
Стоимость потребляемой электроэнергии	Руб.	Сэ	202 176	53 914
Амортизационные отчисления	Руб.	Са		
на лампу	Руб.	Сал	72	503
на арматуру	Руб.	Саарм	6 443	12 676
Затраты на ЗП электромонтёра	Руб.	Сзп	180 000	156 000
Затраты на текущий ремонт, 12,5% от К	Руб.	Стр	2 972	34 320
Прочие затраты, 10% от К	Руб.	Спр	2378	22 309
Нормативный коэффициент эффективности капиталовложений	О.е.	Ен	0,15	
Приведённые затраты	Руб.	ПЗ	397 608	320 906
Отношение приведённых затрат к выходу продукции	Руб/проб.	ПЗ/А	19,88	13,37
Годовой экономический эффект	Руб.	Гээ		76 703
Срок окупаемости	Год	Т		4,18

Использование LED фитоустановки с имитацией спектра Перу позволяет сократить сроки всхожести меристемных растений картофеля на 4 дня (до момента возможности пересадки в грунт) и получить за счет этого за год примерно на 15% растений больше по сравнению с контролем. Кроме

того, примерно на 50% снижается потребление электрической энергии, снижение эксплуатационных затрат в виду более длительного срока службы излучателей, в отличие от повсеместно используемых ламп (ЛБ80), что приводит к существенной экономии денежных средств.

Основные выводы заключаются в следующем:

1. Анализ специальной отечественной и зарубежной литературы показал, что имеется множество светодиодных (LED) фитоустановок, применение которых позволяет получить практически любую дозу спектральных составляющих зоны ФАР, но регулировка спектра осуществляется, как правило, вручную. Применение ПЛК позволило бы повысить эффективность LED фитоустановок и привести к увеличению выхода продукции при уменьшении затрат.

2. Предложена математическая модель, описывающая влияние дозы спектральных составляющих излучения зоны ФАР на продуктивность меристемного картофеля, которая показала, что имитация спектра излучения Перу позволяет уменьшить время выращивания меристемного картофеля на 4 дня и снизить удельные затраты примерно в 1,3 раза.

5. В ходе экспериментов выявлено, что наиболее эффективной является фитоустановка, имитирующая спектр Перу, применение которой позволяет снизить расход электрической энергии на 50% и повысить выход продукции на 15%. Ожидаемый экономический эффект составляет около 76 тыс. руб., доход от сэкономленной электроэнергии равен 148 тыс. руб. (на момент исследования), при сроке окупаемости около 4 лет.