

УДК 635.63.044:631.588.5:631.524.84

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ ТЕПЛИЧНОЙ КУЛЬТУРОЙ ОГУРЦА ПРИ ДОСВЕЧИВАНИИ ВНУТРИ ЦЕНОЗА

И.В. ДАЛЬКЭ¹, Е.Е. ГРИГОРАЙ², Т.К. ГОЛОВКО¹

(¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
² ООО «Пригородный»)

Исследовали закономерности формирования световой среды, фотосинтетическую продуктивность и эффективность запасаения энергии культурой огурца (гибрид F1 Церес) в осенне-зимнем обороте при досвечивании внутри ценоза. Опыты проводили в производственной теплице ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар, Республика Коми) в 2009-2012 гг. Растения освещали натриевыми лампами высокого давления, размещенными над рядами и в междурядьях на уровне среднего яруса листьев. Режим освещения обеспечивал поступление ФАР к растениям в количестве 15 моль/м²-сут., в том числе, 20% от ламп в междурядьях. Интенсивность ФАР на уровне листьев верхнего яруса равнялась в среднем 200 мкмоль/м² сут, среднего и нижнего ярусов со стороны ряда, в котором размещали лампы, соответственно 110 и 70 мкмоль/м² сут. Освещенность листьев, обращенных к междурядью, где лампы отсутствовали по технологическим причинам, была на 45-50% меньше. Листовой индекс сформированного ценоза огурца составлял около 6 м²/м², содержание хлорофиллов варьировало в пределах 300-400 мг/м², удельная поверхностная плотность листьев достигала 30 г/м². Хорошо освещаемые листья среднего и нижнего ярусов ассимилировали в 1,3-1,5 раз интенсивней листьев противоположной стороны, но уступали листьям верхнего яруса по скорости фотосинтеза (7-8 мкмоль СО₂/лг сут). Эффективность запасаения энергии в полезной продукции составила около 100 г сырой массы/МДж ФАР, что сравнимо с высокопродуктивной светокультурой огурца. Предлагаемый режим освещения позволяет стабильно получать урожай огурцов 50 кг/м², сохраняя рентабельность производства.

Ключевые слова: *Cucumis sativus L.*, осенне-зимний оборот, световой режим, листовой индекс, фотосинтез, продуктивность, эффективность запасаения световой энергии.

Развитие современного агропромышленного производства на базе защищенного грунта зависит от успешного решения биологических, технических и экономических вопросов культивирования растений с использованием источников искусственного освещения. В реализации программ устойчивого развития тепличного овощеводства особое место отводится повышению эффективности светокультуры путем оптимизации световой среды [6]. Это является ключевым элементом интенсификации и экологизации технологии светокультуры, получения качественной раститель-

ной продукции [5, 7, 8]. Выбор светового режима зависит от потребности растений в интенсивности и спектральном составе радиации, цели выращивания, конструктивных особенностей теплиц, типа источника освещения и ряда других факторов, включая стоимость электроэнергии.

В тепличных хозяйствах России и за рубежом широко применяются газоразрядные лампы высокого давления, в частности натриевые лампы [5]. Разрабатываются современные технологии на основе светодиодной техники [7, 19], и внедряются гибридные системы освещения [11]. Все большее распространение получают технологии, основанные на использовании дополнительных модулей досвечивания внутри ценоза (в англоязычной литературе «interlighting») [14]. Однако этот подход связан с повышенной затратой энергетических ресурсов, требует высоких управленческих навыков и знаний о закономерностях продукционного процесса светокультуры. В литературе имеются отдельные сведения о том, что перераспределение света путем размещения части ламп внутри ценоза положительно сказывалось на фотосинтетической деятельности и продуктивности огурца [20, 21].

Целью нашей работы было исследование физиологических показателей продуктивности тепличной культуры огурца и выявление эффективности использования света растениями при досвечивании внутри ценоза.

Методика проведения опыта

Опыты проводили в производственных теплицах ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар, 61°43'с. ш., 50°47'в. д.) в осенне-зимний период 2009-2012 гг. Поступление ФАР за декабрь составляет в среднем 110 кал/см², продолжительность светового дня не превышает 6 ч. Интенсивность естественной (солнечной) радиации варьирует в пределах 4-7 Вт/м², что не позволяет культивировать растения без применения источников искусственного освещения.

В опытах использовали гибрид F1 Церес (оригинатор Monsanto Holland B.V., США), включенный в Государственный реестр РФ для зимних теплиц. Растения выращивали в теплице («Агрисовгаз», Россия) на минеральном субстрате («Агрос», Россия). Температуру, влажность, концентрацию CO₂ в теплице контролировали климатическим компьютером («Segcom», Нидерланды). Рассаду в возрасте 20 сут. выставляли на маты с плотностью 2,2 шт./м². В зависимости от условий и фазы развития растений, концентрацию CO₂ в воздухе поддерживали в пределах 0,04-0,10%. Для освещения использовали натриевые лампы высокого давления (ООО «Reflux», Россия). Лампы ДнаЗ-600 Вт в количестве 19 шт. подвешивали над каждым рядом длиной 50 м на расстоянии 2,5 м друг от друга (рис. 1). Лампы меньшей мощности (ДнаЗ-250 Вт) размещали в междурядьях, не используемых для ухода за растениями и вывоза продукции. Высота расположения междурядных ламп в первом опыте составляла 60-70 см, во втором — 100-110 см.

Технология светокультуры огурца предусматривала постепенное включение / выключение ламп. В первом опыте (декабрь - январь 2009-2010 гг.) лампы над ценозом включали в промежуток времени от 22 до 24 ч, а выключали с 14 до 17 ч. Свет от верхних ламп поступал в течение 19 ч, от ламп внутри ценоза — 16 ч (декабрь) и 14 ч (январь). Темный период продолжался с 17 до 22 ч. Второй опыт проводили в ноябре - январе 2011-2012 гг. Освещение включали с 21 до 1ч, сначала верхние лампы, затем лампы внутри ценоза. Выключение освещения осуществляли с 14 до 17 ч, начиная с источников света внутри ценоза. Период темноты длился с 17 до 21 ч.

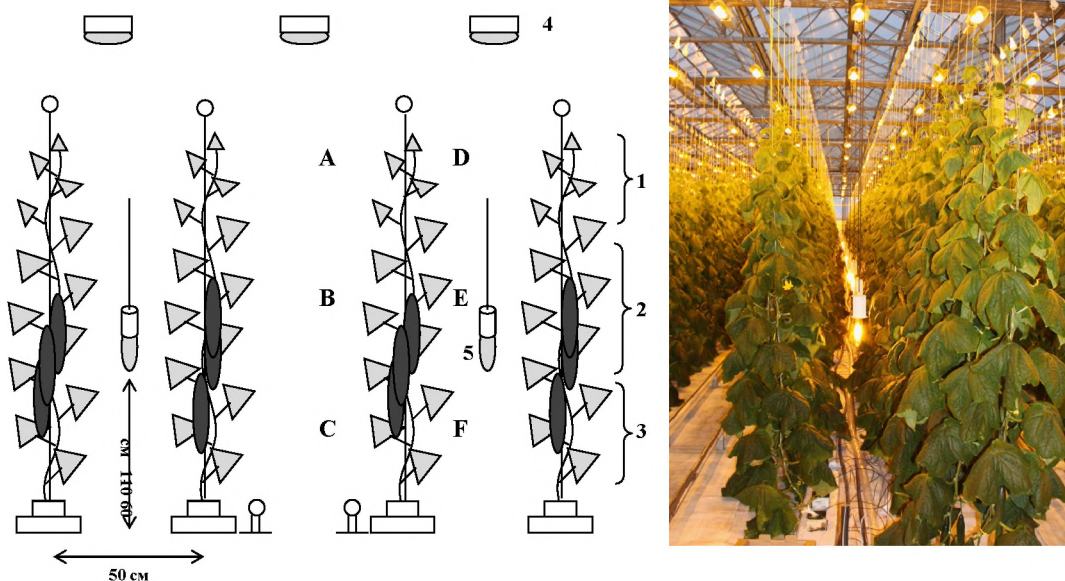


Рис. 1. Расположение ламп и области регистрации интенсивности освещения светокультуры огурца: 1, 2, 3 — листья верхнего (1-8 лист), среднего (9-25 лист), нижнего яруса (26-30 лист) соответственно; 4 — верхние лампы (Дна3-600 Вт/Reflux), 5 — боковые лампы (Дна3-250 Вт/Reflux); А, В, С — без ламп в проходах, предназначенных для ухода за растениями, сбора и вывоза плодов; D, E, F — сторона ряда с размещением ламп в междурядьях

Освещенность листьев разного яруса измеряли квантовым датчиком LI-190 SA (Licor Inc, США) с обеих сторон ряда (рис. 1). Интенсивность CO_2 -газообмена определяли с помощью портативной фотосинтетической системы LCPro+ (ADC BioScientific Ltd., Англия). Для определений использовали хорошо развитые неотделенные листья (6-8, 21-22 и 28-30 листья, считая от верхушки побега) 5-8 растений.

Концентрацию зеленых и желтых пигментов в ацетоновых вытяжках из трех биологически независимых образцов листьев (по 250-300 мг сырой массы) измеряли спектрофотометрически (UV-1700, Shimadzu, Япония) при длинах волн 662 нм (хлорофилл *a*) и 644 нм (хлорофилл *b*).

Для определения массы и площади листьев отбирали 5-7 растений, разделяли на органы и взвешивали. Образцы листьев фотографировали с масштабной линейкой. Фотоснимки обрабатывали с помощью программы Image Tools (UTHSCSA, 1995-2002 гг.). Пробы листьев высушивали при 70°C. Удельную поверхностную площадь листьев (УППЛ) рассчитывали как соотношение их массы и площади. Листовой индекс (ЛИ, $\text{м}^2/\text{м}^2$) находили как произведение площади листьев одного растения и числа растений на 1 м^2 ценоза. Урожай ($\text{кг}/\text{м}^2$) учитывали по сборам плодов за весь период оборота.

Эффективность светокультуры огурца рассчитывали как отношение урожая (массы плодов) к кумулятивным затратам энергии и выражали в грамм сухой массы/моль ФАР или грамм сухой массы/МДж. При пересчете принимали, что плотность потока ФАР, равная 2200 $\text{мкмоль}/\text{м}^2\text{-сут}$ эквивалентна 500 $\text{Дж}/\text{м}^2$ [13], а содержание сухого вещества в плодах тепличного огурца составляет в среднем 5%.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Р-величину рассчитывали для уровня значимости $\alpha = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Характеристика сеетоеот среды. Поглощение и усвоение света растениями зависит от мощности светового потока, площади листовой поверхности и ее распределения в ценозе. Гибрид огурца F1 Церес — растение с недетерминированным ростом, появление молодых листьев и отмирание старых происходит непрерывно. В условиях светокультуры нижние, стареющие листья огурца периодически удаляют, оставляя на растении 25-28 листьев.

В опытах с досвечиванием внутри ценоза освещенность листьев среднего и нижнего ярусов сильно зависела от наличия ламп в междурядье. Листья, расположенные на дополнительно освещаемой стороне, получали больше света, по сравнению с листьями на противоположной стороне (табл. 1). Градиент освещенности листьев в направлении от верхушки к основанию побега был сильнее выражен на стороне без дополнительного освещения. В междурядьях, где лампы отсутствовали, листья нижнего яруса получали в 2-4 раза меньше ФАР по сравнению с вышерасположенными листьями. При этом их освещенность составляла около 50% от освещенности листьев противоположной стороны, где были установлены лампы в междурядье.

Таблица 1

Освещенность листьев растений огурца при размещении дополнительных ламп внутри ценоза (ФАР, мкмоль/м² сут.)

Статистические показатели*	Ярусы					
	A	B	C	D	E	F
Количество измерений	169	141	153	127	156	135
Минимум	79	20	12	44	10	4
Максимум	265	134	64	537	296	152
Медиана	172	51	36	196	100	72
Среднеарифметическое значение	180	50	37	236	111	69
Стандартная ошибка среднеарифметического значения	4	2	1	10	4	2
Коэффициент вариации, %	28	44	42	50	45	40

* *Примечание:* данные первого и второго опытов объединены; ярусы агроценоза см. на рис. 1.

Несмотря на улучшение световой среды, неравномерность освещения листьев среднего и нижнего ярусов на обеих сторонах ряда была довольно высокой. Об этом свидетельствует разница между максимальными и минимальными значениями ФАР и величина коэффициента вариации, C_v (табл. 1). В производственных условиях

в многоярусной структуре агроценоза огурца добиться объемного и равномерного распределения света непросто. При расположении источников света над растениями, листья в глубине ценоза получают сильно ослабленный рассеянный свет с измененным спектральным составом [5]. Размещение ламп в междурядьях приводит к увеличению интенсивности света, но мало способствует улучшению равномерности его распределения в ценозе [9].

Режим искусственного освещения в наших опытах включал этап постепенного выключения / включения ламп, что помимо снижения нагрузки на светотехническое оборудование и силовые линии, приближало к условиям естественного фотопериода. Сначала отключали все лампы внутри ценоза, затем через одну верхние лампы. При выключении ламп в междурядьях освещенность внутри ценоза снижалась и нижние листья почти не получали света (табл. 1).

Лампы над ценозом обеспечивали интенсивность ФАР на уровне листьев верхнего яруса около 200 мкмоль/м²-сут. От ламп внутри ценоза освещенность листьев среднего яруса увеличивалась на 60 мкмоль/м²-сут. С учетом времени работы всех ламп (13-14 ч) и периода постепенного включения/выключения источников света (6 ч) поступление ФАР к растениям составляло около 15 моль/м² за сутки, в том числе 14% — за счет ламп внутри ценоза.

Для получения высокого урожая огурца в зимнее время следует обеспечить поступление ФАР 100-200 Вт/м² [8], что эквивалентно 440-880 мкмоль/м²-сут. В Голландии среднесуточное поступление солнечной ФАР в теплицы в осенне-зимний период варьирует от 1 до 5 моль/м². В опытах [21] с освещением лампами высокого давления сверху поток ФАР к ценозу огурца составил 16 моль/м² за сутки. Размещение световых модулей внутри ценоза позволило снизить суммарный поток ФАР в 1,5 раза за счет уменьшения мощности или количества верхних ламп. Продуктивность светокультуры при этом не снижалась вследствие более объемного и равномерного распределения светового потока по ассимилирующей поверхности растений. В Финляндии [14, 20] лампы внутри ценоза обеспечивают поступление 24-48% световой энергии. В зависимости от их мощности, поступление ФАР к листьям среднего яруса увеличивалось на 50-70 мкмоль/м²-сут. Общий приход ФАР к ценозу составлял 40-50 моль/м² за сутки, что позволяет полнее реализовать потенциал продуктивности светокультуры и получать до 180 кг/м² плодов огурца за осенне-зимний оборот.

Фотосинтез и дыхание листьев. В наших опытах CO₂-газообмен листьев огурца зависел от их положения на растении и освещенности (табл. 2). При всех работающих источниках искусственного освещения скорость видимого фотосинтеза (Фв) листьев верхнего яруса составляла 8-10 мкмоль CO₂/м²-сут (табл. 2). В пересчете на сухую массу (с учетом УППЛ) это эквивалентно 42-53 мг CO₂/г-ч. Листья среднего и нижнего ярусов на стороне, обращенной к междурядным лампам, фотосинтезировали интенсивней противоположных листьев. Особенно ярко это проявлялось в период постепенного отключения ламп. После полного отключения ламп регистрировали выделение CO₂ из листьев. В первом опыте скорость дыхания (Дт) листьев огурца варьировала в зависимости от их положения на стебле в пределах 0,9-1,4 мкмоль CO₂/м²-сут. У листьев верхнего яруса доля Дт составляла 25-30% от Фв, тогда как у листьев нижнего яруса этот показатель был существенно выше, особенно в опыте 2.

По данным некоторых авторов [20], дополнительный свет увеличивал интенсивность Дт листьев огурца в 1,5 раза пропорционально увеличению скорости асси-

Скорость CO_2 -газообмена листьев огурца в разное время суток, $\text{мкмоль CO}_2/\text{м}^2$ сут

Ярусы	Опыт 1			Опыт 2		
	8-11 ч	14-17ч	17-22 ч	8-11ч	14-17ч	17-21 ч
A	8,05 ± 0,73	7,27 ± 0,80	-1,42 ± 0,61	11,31 ± 1,55	8,75 ± 0,59	-4,03 ± 0,43
B	5,25 ± 0,53	1,66 ± 0,28	-1,44 ± 0,31	6,82 ± 1,65	1,45 ± 0,37	-4,83 ± 0,46
C	2,95 ± 0,33	-1,31 ± 0,20	-0,82 ± 0,36	1,30 ± 0,51	-2,75 ± 0,61	-2,01 ± 0,28
D	7,51 ± 0,99	2,69 ± 0,18	-1,42 ± 0,61	11,31 ± 1,55	6,24 ± 1,18	-2,03 ± 0,55
E	3,18 ± 0,52	1,14 ± 0,16	-1,01 ± 0,69	5,42 ± 0,66	8,65 ± 1,22	-2,17 ± 0,28
F	5,49 ± 0,52	0,32 ± 0,23	-0,92 ± 0,15	3,16 ± 0,60	5,81 ± 0,48	-2,46 ± 0,37

* *Примечание:* обозначения яруса агроценоза как на рис.1. Указано время суток, в течение которого проводили измерения: 8-11 ч — середина светового периода, 14-17 ч — период выключения света, 17-21 (22) ч — период темноты.

миляции. При этом интенсивность ФАР на уровне верхушки и среднего яруса растений составляла 400 и 300 $\text{мкмоль}/\text{м}^2\text{-сут}$ соответственно. В наших опытах такая реакция дыхания не отмечалась, скорее эффект был обратным, возможно из-за более низкого уровня освещенности.

Огурец относится к светолюбивым культурам с высокой ассимиляционной способностью. При ФАР свыше 1000 $\text{мкмоль}/\text{м}^2\text{-сут}$ скорость фотосинтеза листьев может достигать 20 $\text{мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{-сут}$ [12]. Повышенное содержание углекислоты в воздухе стимулирует фотосинтез. При насыщающей освещенности и концентрации CO_2 в теплице 0,8-1% молодые листья огурца ассимилировали со скоростью 30-50 $\text{мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{-сут}$ [18, 20]. Максимальная скорость Фв листьев 3-недельных растений огурца при периодическом повышении концентрации CO_2 с 0,03 до 0,1% составляла в среднем 25 $\text{мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{-сут}$, что на 20% выше, по сравнению с растениями в условиях естественного содержания CO_2 в воздухе [3].

Для выявления потенциальной фотосинтетической активности листьев исследуемых растений мы провели определения Фв при ФАР 1000-1500 $\text{мкмоль}/\text{м}^2\text{-сут}$, что на порядок выше реально действующей освещенности. В первом опыте максимальная скорость Фв листьев верхнего яруса плодоносящих растений огурца составляла 9 $\text{мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{-сут}$, среднего и нижнего ярусов была в 1,5 раза ниже (рис. 2). При высокой освещенности листья нижнего яруса с освещенной стороны растения проявляли тенденцию к ускорению ассимиляции CO_2 , чем листья, обращенные к стороне, где лампы в междурядьях отсутствовали.

Решающую роль в поглощении и запасании света растениями играют фотосинтетические пигменты и, прежде всего, хлорофиллы. Их накопление зависит от условий культивирования. В первом опыте листья огурца содержали в 1,5 раза меньше хлорофиллов, чем во втором, как в расчете на единицу площади, так и на сухую массу (табл. 3). Однако закономерности, обусловленные ярусным положением и условиями освещения, в той или иной степени проявлялись в обоих опытах.

Листья верхнего яруса накапливали заметно меньше хлорофиллов (в расчете на сухую массу), чем листья, расположенные в нижних слоях ценоза, а в расчете на площадь, наоборот. Это обусловлено различиями в величине УППЛ. Листья на верхушке растения меньше по площади с более толстой листовой пластинкой, интенсивней фотосинтезируют и не испытывают такой плодонагрузки, как листья среднего и нижнего ярусов.

Существенных различий в содержании хлорофиллов между листьями нижнего и среднего ярусов, получающих дополнительный свет от ламп внутри ценоза, выявлено не было. По данным других авторов [14], в осенне-зимний период содержание хлорофиллов в листьях растений огурца, выращенных под верхними лампами, достигало 7 мг/дм², а перераспределение до 48% верхнего света в глубину ценоза способствовало увеличению содержания хлорофилла на 20%. Такая же тенденция была отмечена нами в опыте 2, однако уровень накопления пигментов был ниже, возможно из-за сортовых отличий.

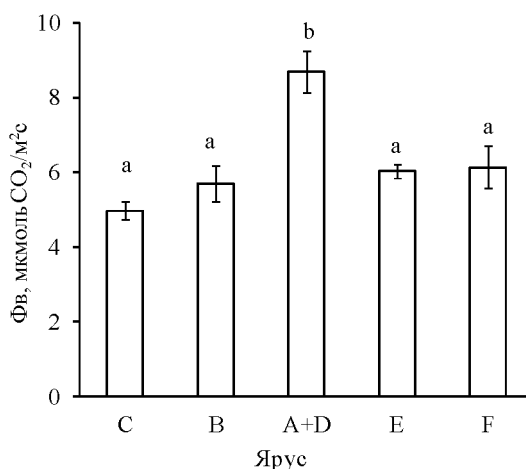


Рис. 2. Максимальная интенсивность видимого фотосинтеза (Fv) листьев огурца на разных ярусах. Обозначения ярусов агроценоза как на рис. 1. Символы a, b — однородные группы, выделенные критерием Дункана (опыт 2009-2010 гг.)

Таблица 3

Содержание фотосинтетических пигментов и структурные параметры листьев огурца на разных ярусах агроценоза

Ярусы	Хл а + б, мг/дм ²		Хл а + б, мг/г сухой массы		УППЛ, г/дм ²	
	2009 г.	2011 г.	2009 г.	2011 г.	2009 г.	2011 г.
A + D	1,79 ± 0,22	3,26 ± 0,14	5,59 ± 0,62	8,51 ± 0,33	0,36 ± 0,02	0,30 ± 0,02
B	1,69 ± 0,08	2,72 ± 0,19	7,38 ± 0,16	15,10 ± 1,57	0,26 ± 0,02	0,17 ± 0,003
C	1,74 ± 0,15	2,43 ± 0,27	10,21 ± 0,99	15,85 ± 1,61	0,27 ± 0,02	0,17 ± 0,01
E	1,71 ± 0,04	4,20 ± 0,19	7,16 ± 0,53	14,85 ± 0,51	0,26 ± 0,02	0,23 ± 0,03
F	1,72 ± 0,16	3,11 ± 0,39	9,69 ± 2,01	13,67 ± 1,67	0,27 ± 0,02	0,20 ± 0,01

Определения листовой поверхности гибрида огурца Fj Церес показали, что величина ЛИ сформированного ценоза составляла в среднем 6 м²/м². Как известно, ценозы с таким ЛИ могут перехватывать до 95% падающей ФАР. Основная часть листовой поверхности была локализована в среднем и нижнем ярусах ценоза, где листья тоньше и вдвое крупнее. Полученные данные сопоставимы с величинами ЛИ,

приводимыми другими авторами [13]. Снижение поступления ФАР к листьям огурца на 1% приводило к уменьшению ЛИ на 0,4% [16]. Прямая зависимость продуктивности от величины ЛИ существует в ограниченных пределах, до урожайности плодов 5-6 кг/м² [13].

Эффективность запасаения световой энергии. Средняя урожайность светокультуры огурца в производственной теплице ООО «Пригородный» в первом опыте составила 51,7 кг/м², во втором — 49,5 кг/м² [1]. Следует особо отметить, что улучшение световой среды оказало положительный эффект на урожайность и товарность продукции при сохранении рентабельности производства. По некоторым данным [20, 21], прибавка урожая за счет перераспределения части верхнего света внутрь ценоза составляла 7-10%. Кроме того, отмечено уменьшение выхода нестандартной продукции и увеличение срока хранения огурцов первого сорта [14].

Расчеты показали, что средняя за два опыта величина коэффициента эффективности использования поступающей ФАР на накопление массы плодов (КЭ) составила 1,1 г сухой или 22 г сырой массы /моль ФАР, что эквивалентно 100 г сырой массы/МДж. По нашим подсчетам, величина КЭ для огурца, культивируемого под верхними лампами при мощности светового потока 100 Вт/м² [8], составляла около 60 г сырой массы/МДж. По данным других авторов [17], величина КЭ для растений огурца, культивируемых при ФАР 364 и 620 мкмоль/м²-сут, составляла 3,4 и 4,3 г сухой массы/МДж соответственно (или 70-80 г сырой массы/МДж). В полевых условиях КЭ огурца равнялся 79 г сырой массы/МДж при среднесуточной дозе ФАР 4,4 МДж/м² и приросте плодов 0,43 г сырой массы/м² в сут [12]. По нашим данным [2], величина КЭ запасаения энергии в биомассе листового салата при выращивании в условиях зимних теплиц составляла в среднем 4,3 г сухой (или 85 г сырой массы) / МДж.

Заключение

Нами выявлены закономерности распределения света в ценозе и эффективность использования ФАР тепличной культурой огурца в осенне-зимнем обороте при освещении растений натриевыми лампами высокого давления. Установлено, что размещение дополнительных ламп в междурядьях улучшает световые условия функционирования листьев среднего и нижнего ярусов, являющихся основными донорами ассимилятов для формирующихся плодов. Освещенность листьев возрастала в 1,5-2 раза, а скорость их фотосинтеза увеличивалась в 1,3-1,5 раза. Эффективность запасаения энергии ФАР в полезной продукции составляла около 100 г сырой массы / МДж, что сопоставимо с данными других авторов для высокопродуктивной светокультуры огурца. Перспективность размещения дополнительных модулей искусственного освещения внутри ценоза обусловлена объективными физиологическими и экономическими показателями. Используемый в опытах режим освещения позволяет стабильно получать в осенне-зимнем обороте в первой световой зоне урожай огурцов 50 кг/м², сохраняя рентабельность производства.

Библиографический список

1. Григорай Е.Е., Головки Т.К., Далькэ И.В., Табаленкова Г.Н. Продуктивность культуры огурца при разных режимах досвечивания в условиях защищенного грунта на севере России // Гавриш. 2011. № 3. С. 20-24.

2. Дalgъкэ И.В., Буткин А.В., Табаленкова Г.Н., Малышев Р.В., Григорай Е.Е, Головоко Т.К. Эффективность использования световой энергии и продуктивность тепличной культуры листового салата // Известия ТСХА. 2013. № 5. С. 60-68.

3. Кособрюхое А.А. Активность фотосинтетического аппарата при периодическом повышении концентрации CO₂// Физиология растений. 2009. Т. 56. № 1. С. 8-16.

4. Тараканов Г.П., Мухин В.Д., Шуин К.А. и др. Овощеводство / Под ред. Г.И. Тараканова, В.Д. Мухина // М.: Колос, 2003. 472 с.

5. Судаков В.Л., Аникина Л.М., Удалова О.Р. Оптимизация световой среды при выращивании растений в условиях фитотронов // Гавриш. 2012. № 3. С. 14-16.

6. Тараканов П.Г. Современное состояние и перспективы развития светокультуры растений по материалам V Международного симпозиума по светокультуре растений в Лиллехаммере, Норвегия, 21-24 июня 2005 г. // Гавриш. 2005. № 6. С. 34-38.

7. Тепличное освещение // Овощеводство. 2013. № 2. (Электронный документ): <http://ovoshevodstvo.com/journal/browse/201302/article/853/>.

8. Тихомиров А. А., Шарунич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2000. 213 с.

9. Шарунич В.П., Шарунич Т. С., Коломыйцев Е.В. Влияние дополнительного искусственного облучения на фенологические, биометрические и продукционные показатели томата «Пламя» при выращивании методом многоярусной узкостеллажной гидропоники // Вестник ОрелГАУ 2011. № 2. С. 84-88.

10. Эдвардс Дж., Уокер Д. Фотосинтез C₃- и C₄-растений: механизмы и регуляция. М.: Мир, 1986. 590 с.

11. Dueck A., Janse J., Eveleens B.A., Kempkes F.I.K., Marcelis I.F.M. Growth of tomatoes under Hybrid LED and HPS Lighting / Proceedings of the International Symposium on Advanced Technologies and Management towards Sustainable Greenhouse Ecosystems Greensys. 2011 // Acta Horticulturae. 2012. Vol. 952. P. 335-342.

12. Ferreira R.C., Silva N.F., Bezerra R.S. Effects of photo selective shade nets on the meteorological elements, growth and radiation use efficiency of cucumber // XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR). Quebec City, Canada — June 13-17, 2010. P. 1-9: <http://www.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2010/CSBE101226.pdf>.

13. Galvani E., Escobedo J.F., Cunha A.R., Klosowski E.S. Estimativado indice de area foliar e da produtividade de pepino em meio protegido — cultivos de inverno e de verão // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2000. Vol. 4. № 1. P. 8-13.

14. Hovi-Pekkanen T., Tahvonen R. Effects of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber // Scientia Horticulturae. 2008. Vol. 116. № 2. P. 152-161.

15. Juszczuk IM, Flexas J., Szal B., Dabrowska Z, Ribas-Carbo M, Rychter A.M. Effect of mitochondrial genome rearrangement on respiratory activity, photosynthesis, photorespiration and energy status of MSC16 cucumber (*Cucumis sativus* L.) mutant // Physiologia Plantarum. 2007. Vol. 131. №4. P. 527-541.

16. Klaring H.-P., Klotek Y, Schmidt U., Tantau H.-J. Screening a cucumber crop during leaf area development reduces yield // Annals of Applied Biology. 2012. Vol. 161. № 2. P. 161-168.

17. Nederhoff E.M., Vegter J.G. Photosynthesis of stands of tomato, cucumber and sweet pepper measured in greenhouses under various CO₂-concentrations // Annals of Botany. 1994. Vol. 73. №2. P. 353-361.

18. Nederhoff E.M. Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. 1994. Dissertation. Agricultural University, Wageningen. The Netherlands. Summaries in English and Dutch. 213 p.

19. Olle M., Virsile A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality // Agricultural and Food Sciences. 2013. Vol. 22. № 2. P. 223-234.

20. Fetter sen R.I., Torre S., Gislerod H.R. Effects of intracanopy lighting on photosynthetic characteristics in cucumber // *Scientia Horticulturae*. 2010. Vol. 125. № 2. P. 77-81.

21. Trouwborst G., Schapendonk A.H.C.M., Rappoldt K., Pot S., Hogewoning S. W. The effect of intracanopy lighting on cucumber fruit yield — Model analysis // *Scientia Horticulturae*. 2011. Vol. 129. № 2. P. 273-278.

PHOTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY AND RADIATION USE EFFICIENCY OF GREENHOUSE CUCUMBER UNDER INTRACANOPY LIGHTING

I.V. DALKE¹, E.E. GRIGORAY², T.K. GOLOVKO¹

0 Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
² «Prigorodnyi» Ltd.)

The photosynthetic productivity and radiation use efficiency in cucumber were studied in order to optimize the crop management during autumn-winter round in the industrial greenhouse on the North. Experiments were performed in the greenhouses of «Prigorodnyi» Ltd. (61°40' N, 50°49' E) with cucumber hybrid Ceres FI from October to March 2009-2011. The density of planting was 2.2 nr². The lighting system with the high-pressure sodium lamps («Reflux», Russia) above the crop (toplighting) in combination with the same lamps in between the crop (interlighting) was used. The intracanopy lamps were placed approximately 1.5-2 m below the top of the canopy in row-spacing unused for care of the plants. The length of toplighting and interlighting was 19 and 14-16 hours. Lamps were switched on at 22-24 p.m. The crop was supplied daily with 15 mol/m² of the photosynthetic active radiation (PAR) from lamps fixed above and in canopy. The intracanopy lighting made 20% of the total light received by plants. The CO₂ concentration of 0.04-0.10% was maintained depending on stage of plant development. The canopy leaf index amounted approximately 6 m² m² soon after fruitage. CO₂-exchange was measured with LCPro⁺ (ADC BioScientific Ltd., UK) in leaves from upper, middle and low part of canopy. The lighting of leaves was measured with LI-190 SA (LI-COR Inc., USA). PAR intensity of the upper part of plant was 200 fμmol/m² per day and decreased 2-3 times in direction to ground. Intracanopy lamps increased the lighting of the leaves from middle part of canopy on 60 fμmol/m² per day. Positive effects of the intracanopy lighting on the photosynthetic characteristics and crop productivity were revealed. The photosynthetic rate of the upper leaves was 8-11 fμmol CO₂ and about 5 fμmol CO₂ in leaves from middle and low parts of canopy with interlighting. The 30% lower photosynthetic rate was in the middle and low leaves without interlighting. The significant difference in leaf chlorophyll concentrations was not found. Crop productivity was above 50 kg fruit/m². The radiation use efficiency was near 100 g fruit biomass/MJ PAR. The prospects of cucumber interlighting in the industrial greenhouse in the North are discussed.

Key words: Cucumis sativus L., intracanopy lighting, leaf area index, photosynthesis, fruit productivity, radiation use efficiency, autumn-winter round, northern region.

Далью Игорь Владимирович — к. б. н., с. н. с. лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28; тел. (8212) 24-96-87; e-mail: dalke V/ ib.komisc.ru).

Григорай Евгений Евгеньевич — заместитель генерального директора ООО «Пригородный» (167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Тентюковская, 425; тел. (8212) 51-48-09, факс (8212) 22-47-81; e-mail: ooprigrorod@list.ai).

Головко Тамара Константиновна — д. б. н., проф., зав. лабораторией экологической физиологии растений Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28; тел. (8212) 24-96-87; e-mail: golovko@ib.komisc.ru).

Dalke Igor Vladimirovich — PhD in Biology, senior research scientist of the laboratory of Ecological Physiology of Plants, Research Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division of RAS (167982, Russia, the Komi Republic, Syktyvkar, Koimmunisticheskaya st., 28; tel. (8212) 24-96-87; e-mail: dalke@ib.komisc.ru).

Grigoray Evgeny Evgenievich — Deputy General Director of «Prigorodniy» Ltd. (167000, Russia, the Komi Republic, Syktyvkar, Tentjukovskaya st., 425; tel. (8212) 51-48-09, fax (8212) 22-47-81; e-mail: ooprigrorod@list.ru).

Golovko Tamara Konstantinovna — Doctor of Biological Sciences, professor. Head of the laboratory of Ecological Physiology of Plants, Research Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division of RAS (167982, Russia, the Komi Republic, Syktyvkar, Koimmunisticheskaya st., 28; tel. (8212) 24-96-87; e-mail: golovko@ib.komisc.ru).