

УДК 631.588.5:633.321

**ВЛИЯНИЕ НЕПРЕРЫВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ, РАЗВИТИЕ,
ПРОДУКТИВНОСТЬ КЛЕВЕРА КРАСНОГО,
ВЫРАЩИВАЕМОГО МНОГОУКОСНЫМ СПОСОБОМ,
И ВЫНОС ИМ ЭЛЕМЕНТОВ КОРНЕВОГО ПИТАНИЯ**

Н. Н. ТРЕТЬЯКОВ, Ю. И. СИЛЮТИНА, Н. К. НЕМЕДЖАНОВА
(Лаборатория фитотрон кафедры физиологии растений)

Потенциальная продуктивность растений в значительной мере определяется фотопериодической реакцией их, связанной с генетически обусловленной приспособляемостью организмов к среде [12, 26]. Как известно, растения короткого дня требуют для прохождения световой стадии светлого периода суток, продолжающегося не более 14 ч; растения длинного дня — 16—18 ч. При такой длине дня у тех и других быстрее начинаются цветение и плодоношение [8, 10].

Вместе с тем еще в первой половине XX в. появились работы, опровергающие положение о том, что требования растений к определенной длине дня и ночи обусловлены филогенетически [4, 21]. В литературе имеются сведения о том, что клевер является светолюбивым растением и слабая освещенность сильно задерживает его рост и развитие [23]. В ряде работ указывается также, что непрерывное освещение ускоряет рост и развитие клевера [3, 11, 22]. В опытах Фаттаховой [по 23] пока-

зано, что ослабление освещенности до 10 тыс. люкс и ниже приводило к сильному снижению и полному прекращению фотосинтеза у клевера красного.

К настоящему времени получено достаточно данных, опровергающих утверждения о обязательности не только смены дня и ночи, но также и температурных градиентов в течение суток, о вредности снижения температуры в любой период онтогенеза [13, 16].

Данная статья посвящена изучению влияния круглосуточного освещения на продуктивность, рост, развитие клевера, как растения длинного дня, на вынос им элементов корневого питания.

Методика опыта

Исследования проводили в двух камерах фитотрона ТСХА: в одной — при непрерывном освещении, в другой, служившей контролем, — при 16-ч дне. Температуру воздуха в камерах поддерживали круглосуточно на уровне 22—23°, питательного раствора — 20—21°, влажность — в пределах 65—75%.

Растения освещали зеркальными лампами ЗК-220-500. Освещенность измеряли раз в неделю в 10 точках стеллажа над верхушками растений при помощи люксметра Ю-16 и пересчитывали в Вт ФАР на 1 м² с коэффициентом пересчета при напряжении в сети 220 В. ФАР в опыте составила 118—120 Вт/м².

Выращивание растений проводили методом субстратной гидропонии на керамзите, размер гранул которого составлял 2—10 мм. Керамзит в течение года после употребления выдерживали (перед новым использованием) в естественных условиях. Перед опытом керамзит тщательно отмывали от грязи, пылевидных частиц и гранул меньше 2 мм, насыщали его 160 раз раствором Кнопа одной нормы. Данные о насыщении субстрата и его сорбционном характере опубликованы ранее [19]. Для посева использовали семена клевера красного сорта Московский 1 из расчета 1000 шт. на м² посева. Расстояние между рядами 10 см, а между растениями после появления всходов и прореживания — около 0,5 см. Во избежание перегрева субстрата между рядами мульчировали белой бумагой в 2—3 слоя.

Растения выращивали на растворе Кнопа одной нормы с еженедельной коррекцией по результатам химического анализа. Величину рН растворов определяли ежедневно и поддерживали в пределах 5,8—6,0. Количество вносимых микроэлементов было следующим, мг/л: В — 2,0; Zn — 0,4; Mn — 1,0; Cu — 0,4; Mo — 0,2; Co — 0,05; I — 0,01; Fe — 4,0.

Площадь посева в каждой камере составляла 1,8 м², объем питательного бака для камеры — 350 л. Полив проводили 5 раз в сутки субирригационным способом. Вынос N, P, K, Ca, Mg определяли по разно-

сти между содержанием их в растворе после коррекции и остаточном растворе в конце недели. Содержание N, P, K, Ca, Mg в растительном материале определяли после каждого укоса.

Методика проведения экспериментов, при которой анализируется питательный раствор и многократно через определенные промежутки времени определяется поглощение, считается наиболее правильной [18]. Анализ тканей растений менее надежен, но его результаты могут быть использованы для сравнения и подтверждения данных анализа питательного раствора в конце опыта.

Сведения о формах усвоения растениями питательных веществ, имеющиеся в литературе, разноречивы. Одни авторы считают, что азот и фосфор усваиваются в виде ионов [7, 20], другие — в виде ионов и целых молекул [15]. При диссоциации в растворе одновременно присутствуют и молекулы, и ионы, поэтому мы полагаем, что правильнее говорить о поглощении отдельных элементов, учитывая при этом все формы их поглощения корнями. Катионы также поглощаются и в виде молекул, и в виде ионов. В связи с указанным в наших исследованиях этот процесс рассматривается как поглощение отдельных элементов.

Содержание калия в растворе и растениях определяли на пламенном фотометре, кальция и магния — трилометрически, нитратный азот — колориметрически с дисульфобензольной кислотой, фосфор — колориметрически по Дениже в модификации Малюгина и Хреновой, аммиачный азот — колориметрически с реактивом Несслера [2].

Опыт был начат в ноябре 1975 г. и закончен в мае 1976 г. Уборку клевера осуществляли многоукосным способом, за 195 суток проведено 6 укосов. Межукосный период между 1-м и 2-м укосом составлял при круглосуточном освещении — 45 сут, при 16-ч — 48; между 2-м и 3-м при непрерывном освещении — 31, при 16-ч — 28; при дальнейших скашиваниях межукосные периоды в обоих вариантах были одинаковы и составили 42, 28, 28, 21 сут.

Результаты и обсуждение

Ежедневные фенологические наблюдения, а также измерения, проводимые в день уборки, начиная с 3-го укоса (табл. 1), показали, что растения, выращиваемые при непрерывном освещении, быстрее проходили все этапы онтогенеза, чем растения при 16-ч дне.

К скашиванию в варианте с непрерывным освещением уже имелось значительное количество растений с цветоносами в фазе бутонизации — цветения, тогда как при 16-ч растения имели только розеточные листья с небольшим количеством стеблей на крайних экземплярах.

Подтверждением сказанного выше является и большее содержание сухого вещества в растениях непрерывного дня (табл. 3), по-видимому, также связанное с более быстрым прохождением этапов онтогенеза в этих условиях.

Вместе с тем надо отметить, что продолжительность этапов онтогенеза при непрерывном освещении после 1-го укоса сократилась. Если до 1-го скашивания бутонизация наступила на 29-й день, а цветение на 32-й, то после 2-го растения зацвели на 19-й; после 4-го — на 21-й и после 5-го — на 20-й день.

Скорость прохождения этапов онтогенеза вновь отрастающей надземной биомассы после каждого укоса уменьшалась. Так, если в среднем от общего числа растений на непрерывном дне перед 3-м укосом только 15% было с цветоносами, то перед 6-м — 53%. Растения, выращиваемые при 16-ч освещении, приходилось скашивать на более ранних этапах онтогенеза, в основном в фазу розеточных листьев.

Развитие клевера в фитотроне шло значительно быстрее, чем в поле, особенно при круглосуточном освещении. Если в естественных условиях лишь единичные растения зацветают в первый год, то в фитотроне в условиях непрерывного освещения на это потребовалось 32 дня.

Неполное цветение при непрерывном освещении объясняется, по-видимому, разнокачественностью популяций и большой густотой посева, когда на один погонный метр приходилось до 77 растений.

Определение выпадов после каждого укоса, начиная с 3-го, показало, что при непрерывном дне растений выпало больше, чем при 16-ч, вследствие более интенсивного роста и развития клевера в этих условиях.

Биометрические данные (табл. 1) свидетельствуют о том, что при непрерывном освещении высота и масса одного растения были больше,

Таблица 1

Биометрические показатели одного растения (среднее из 25)

Показатели	Укосы			
	3	4	5	6
Высота растения, см	75,2	73,9	71,4	56,2
	65,9	59,6	59,8	43,5
Масса одного растения, г	15,1	13,1	12,1	7,6
	10,7	8,8	10,3	5,3
В т. ч. масса, г:				
листьев	2,3	2,1	2,0	1,4
	1,7	2,0	2,1	1,5
черешков	3,3	2,3	8,5	4,6
	5,9	3,3	4,0	2,6
стеблей	9,5	8,7	1,6	1,6
	3,1	3,5	4,2	1,2
Число боковых побегов	1,4	1,3	1,1	0,7
	0,5	0,3	0,4	0,1
Площадь листьев на 1 м ² посева, м ²	9,4	8,1	7,2	5,1
	5,4	5,6	4,9	4,2

Примечание. В числителе выращивание при непрерывном освещении, в знаменателе — при 16-ч дне.

Таблица 2

Биометрические показатели
одного растения 6-го укоса
(среднее из 25)

Показатели	Непрерывное освещение	16-ч день
Размеры стебля, мм:		
длина	50,6±4,6	44,8±4,3
диаметр	7,3±1,7	7,3±0,8
Число ветвей	1,9±0,1	2,0±0,3
Число цветоносов	3,2±1,5	1,3±0,4
Число зеленых листьев	14,7±4,5	12,6±2,1
Число клубеньков на корнях	8,3±2,0	34,2±4,8

чем при 16-ч дне. Надо отметить, что в общей массе одного растения в 3-м и 4-м укосах при непрерывном дне преобладали стебли — 63,0 и 66,4%, а при 16-ч дне — черешки (55,1; 37,5%). В 5-м и 6-м укосах стебли при непрерывном освещении составляли только 13,2 и 21,1%, а черешки — 70,2 и 60,5% соответственно. Доля листьев при всех укосах была больше в контрольном варианте, в 3-м — 15,9%, в 4-м — 22,7, в 5-м — 20,4, в 6-м — 28,3%, а при непрерывном освещении — 15,2; 16,0; 16,6; 18,4% соответственно.

Площадь листьев, как видно из табл. 1, была значительно больше при круглосуточном освещении, что способствовало более полному использованию лучистой энергии посевами, усилению фотосинтеза и повышению продуктивности.

Длина стебля, число цветоносов и число листьев (табл. 2) были больше в варианте с непрерывным днем. Клубеньков азотфиксирующих бактерий оказалось в 4 с лишним раза меньше, чем в контроле, что может быть связано с подавляющим влиянием корневых выделений.

В вегетационных опытах [25] установлено, что у вигны и гиацинтовых бобов образование клубеньков при фотопериоде 11—14 ч шло интенсивнее, чем при 8 ч.

Способность к клубенькообразованию у бобовых зависит от многих причин, в том числе и от pH среды, и от условий минерального питания [17]. Ряд исследователей указывают, что азотные удобрения даже в малых дозах ингибируют образование клубеньков [14, 24].

Еженедельные линейные измерения растений (двух рядов на каждом стеллаже) показали, что при суточном освещении они превосходили по высоте растения 16-ч дня (рис. 1 а, б). В то же время отмечалось более сильное затухание роста при 24-ч освещении, что особенно отчетливо проявилось в 4-м и 5-м межукосных периодах.

Как видно из табл. 3, урожай сырой биомассы клевера за шесть укосов при непрерывном освещении на 80,98% превышал контроль и равнялся 56,36 кг/м², что условно в переводе на гектар составило

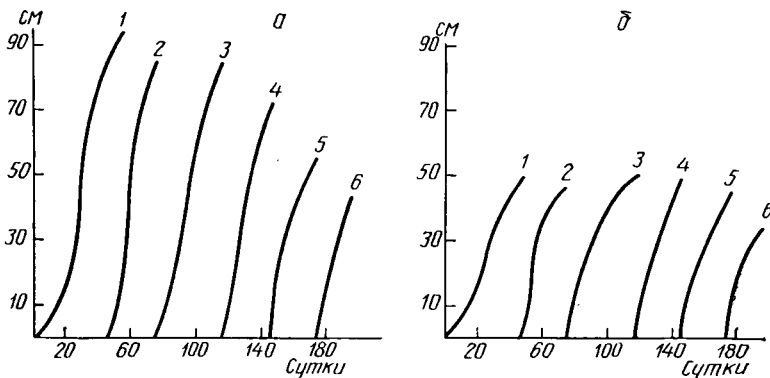


Рис. 1. Динамика роста клевера в межукосные периоды при непрерывном (а) и 16-часовом (б) освещении.

1—6 — укосы соответственно.

Продуктивность клевера в фитотроне при 24-ч и 16-ч освещении

Укос	Непрерывное освещение				16-ч день			
	сырая масса, кг/м ²	сухое вещество			сырая масса, кг/м ²	сухое вещество		
		%	г/м ²	г/м ² ·сут		%	г/м ²	г/м ² ·сут
1	11,51	15,86	1825,17	40,56	5,87	8,29	486,21	10,13
2	12,07	12,01	1449,97	46,77	5,59	10,45	584,57	20,88
3*	8,08	14,74	1191,14	28,36	7,04	11,69	823,44	19,60
4	10,02	14,74	1476,51	52,73	5,14	10,45	537,03	19,18
5	8,62	16,96	1458,84	52,10	4,34	14,04	609,62	21,77
6	6,06	16,18	981,15	46,72	3,16	11,86	374,89	17,85
Всего	56,36		8382,78		31,14		3415,76	
В среднем, %		180,98		245,52	100,00		100,00	

* Растения в течение 10 суток находились на 9-ч дне.

5636,0 ц, а при 16-ч освещении — 3114,0 ц. Урожай сухого вещества составил 245,5% к контролю. Наиболее значительно различались по урожаю варианты опыта в 1-й и 2-й укосы.

Среднесуточный прирост сухого вещества при непрерывном дне был в 2,0—2,5 раза выше, чем в 16-ч варианте (соответственно 52,7 и 21,8 г/м²).

Уменьшение продуктивности клевера красного за 3-й межукосный период с 46,8 до 28,4 г/м² в сутки при непрерывном освещении связано с вынужденным переводом растений обоих вариантов по техническим причинам на 9-ч освещение, продолжавшееся 10 суток. Продуктивность растений контрольного варианта при этом почти не снизилась. Так, если в варианте 16-ч дня во 2-й межукосный период среднесуточная продуктивность составляла 20,88 г/м², в 4-й — 19,18 г/м², то в 3-й — 19,6 г/м². При непрерывном освещении этот показатель был равен соответственно 46,77 и 52,73 г/м² и в 3-й укосный период — 28,36 г/м².

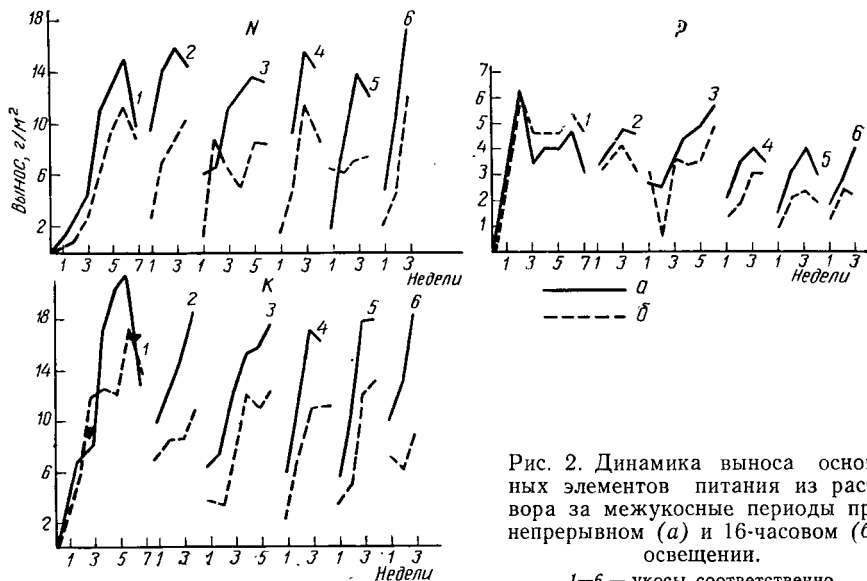


Рис. 2. Динамика выноса основных элементов питания из раствора за межукосные периоды при непрерывном (а) и 16-часовом (б) освещении.

1—6 — укосы соответственно.

Из рис. 2 видно, что вынос основных элементов минерального питания, особенно P и K, в обоих вариантах был наибольшим в 1-й межукосный период, что, по-видимому, связано с усиленным ростом растений, а также продолжающейся адсорбцией элементов керамзитом. Эти данные согласуются с результатами работ других исследователей [1]. Надо отметить, что отдельно за каждый межукосный период, а следовательно, в целом за вегетацию вынос N, P, K при суточном освещении был значительно больше, чем в контроле: N — на 58%, P — на 17%, K — на 44%, что являлось следствием более интенсивного роста растений при непрерывном освещении и обуславливало более высокую урожайность.

Абсолютные величины максимальных недельных выносов азота менялись от укоса к укосу; выносы калия мало различались по всем межукосным периодам кроме первого в обоих вариантах и последнего в варианте с 16-ч днем; выносы фосфора, как правило, уменьшались от укоса к укосу. Возможно, последнее было связано с накоплением этого элемента в субстрате и использованием растениями поглощенного гранулами керамзита фосфора, а также накоплением его в корнях растений и отдачей в отрастающие надземные части; с увеличением массы корней от укоса к укосу все больше фосфора перемещалось из корней в отрастающую надземную часть растений.

Ввиду того, что азот и калий являются более подвижными элементами и меньше способны накапливаться в корнях и адсорбироваться субстратом, выносы их, определяемые по убыли из раствора, более соответствовали фактическому поглощению этих элементов растениями.

Усвоение элементов, как правило, было выше в контрольном варианте. Это согласуется с литературными данными об усвоении элементов питания табаком [9]. При световом режиме, способствующем росту, содержание элементов минерального питания часто бывает ниже, чем при затенении растений, что можно объяснить более интенсивным образованием органических веществ при хороших условиях роста на каждую единицу элемента корневого питания, более эффективным использованием растениями элементов питания.

В одинаковые по продолжительности межукосные периоды, какими являлись 4-й и 5-й, усвоение элементов было почти одинаковым в обоих вариантах.

По обобщенным литературным данным [23], содержание важнейших элементов в клевере, выращенном в полевых условиях, следующее (% на сухое вещество): N — 2,39—3,02; P₂O₅ — 0,47—0,76; K₂O — 2,09—5,50; CaO — 2,21—2,60; Mg — 0,54—1,01, а соотношение P₂O₅ и K₂O равно 1 : 3. При выращивании в фитотроне содержание элементов в клевере было выше, чем в полевых условиях, и колебалось в следующих пределах: N — 3,4—6,0; P₂O₅ — 0,92—1,83; K₂O — 3,86—7,83; CaO — 1,7—3,6; Mg — 0,2—0,4; соотношение P₂O₅ и K₂O — 1 : 4 и 1 : 5.

Величина транспирационного коэффициента клевера в искусственных условиях выращивания зна-

Т а б л и ц а 4

Элементный состав клевера красного
(% на абсолютно сухое вещество)

Укос	N	P	K	Ca	Mg
1	3,7	0,4	3,2	2,2	0,2
	6,0	0,7	6,5	2,6	0,4
2	3,4	0,5	3,6	1,8	0,2
	6,0	0,8	5,7	1,7	0,4
3	4,4	0,5	3,8	1,6	0,2
	4,9	0,5	5,1	1,4	0,2
4	3,9	0,5	3,6	1,4	0,2
	5,5	0,6	5,3	1,2	0,3
5	3,9	0,5	3,6	1,5	0,2
	5,5	0,6	5,1	1,3	0,2
6	4,6	0,8	3,9	1,8	0,2
	6,0	0,6	5,7	1,6	0,2

П р и м е ч а н и е. В числителе при непрерывном освещении, в знаменателе — при 16-ч дне.

чительно меньше, чем в полевых, и колеблется в пределах 450—600 мл на 1 г сухого вещества [23], тогда как в фитотроне при непрерывном освещении составляет 194, а при 16-ч дне — 320 мл на 1 г сухого вещества, что свидетельствует о высоком КПД усвоения лучистой энергии посевами при вдвое меньших, чем при естественном освещении, мощностях ФАР.

В литературе имеются сведения о том, что в гидропонике, при обильном снабжении растений питательными веществами, водой и воздухом создаются благоприятные условия и продуктивность растений повышается. Величина транспирационного коэффициента при гидропонном выращивании значительно ниже, чем в полевых условиях [6].

Выводы

1. В фитотроне при выращивании красного клевера в течение 7 мес методом субстратной гидропонии и проведении шести укосов урожай сырой биомассы при непрерывном освещении в течение суток был на 80,98% больше, чем на 16-ч дне, и равнялся 56,36 кг/м², что условно в переводе на 1 га составило 5636,0 ц, тогда как при 16-ч — 3114,0 ц.

2. Среднесуточный прирост сухого вещества при непрерывном дне в 2—2,5 раза превышал контроль и достигал 52,7 г/м², а на 16-ч дне он составлял не более 21,8 г/м².

3. При непрерывном дне красный клевер быстрее проходил этапы онтогенеза; ко дню скашивания в этом варианте имелось значительное количество растений с цветоносами в фазе бутонизации — цветения, тогда как на 16-ч дне растения имели только розеточные листья с небольшим количеством стеблей.

4. Усиленный рост клевера в варианте с круглосуточным освещением способствовал и увеличению выноса основных элементов питания из раствора и вследствие этого повышению урожайности.

5. Усвоение N, P, K, Ca, Mg при непрерывном освещении в фитотроне, как правило, было меньше, чем при 16-ч дне, но значительно больше, чем в полевых условиях.

6. Транспирационный коэффициент клевера в фитотроне был значительно ниже, чем в полевых условиях, в связи с лучшим снабжением растений питательными веществами, водой и воздухом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. М., Васильев И. М. Физиология обмена веществ клевера красного. М., Изд-во МГУ, 1961. — 2. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., Изд-во МГУ, 1961. — 3. Ван Дер-Вин, Мейер Г. Свет и рост растений. М., Сельхозгиз, 1962. — 4. Васильев И. М. Зимовка растений. М., Изд-во АН СССР, 1956. — 5. Гедройц К. К. Избр. соч., т. 3. М., Госсельхозиздат, 1955. — 6. Давтян Г. С. Гидропоника как производственное достижение агрохимической науки. Ереван, 1969. — 7. Ермаков Е. И., Медведева И. В. Минеральный и водный обмен растений томата в интенсивной светокультуре при выращивании их агроагрегатным методом. — Агрохимия, 1974, № 9, с. 105—112. — 8. Клешнин А. Ф., Богомолова Н. Н. К вопросу о кинетике фотопериодического процесса. — Физиология растений, 1969, т. 16, вып. 5, с. 800—809. — 9. Кристкалне С. Х., Губарь Г. Д., Крейцберг О. Э. Продуктивность растений табака и содержание в них минеральных элементов в зависимости от уровня питания и интенсивности освещения. — В сб.: Фотосинтез, минеральное питание, световой режим. Рига, «Зинатне», 1970, с. 25—28. — 10. Леман В. М. Курс светокультуры растений. М., «Высшая школа», 1961. — 11. Лисицын П. И. Избр. соч., т. 1. М., Сельхозгиз, 1951. — 12. Мошков Б. С. Роль лучистой энергии в выявлении потенциальной продуктивности растений. М., «Наука», 1973. — 13. Мошков Б. С. Актиноритмизм как общебиологическое явление. — В кн.: Фотопериодизм животных и растений. Л., 1976, с. 136—162. — 14. Посыпанов Г. С. О роли симбиотического и минерального азота в питании бобовых культур. — Докл. ТСХА, 1974, вып. 204, с. 41—46. — 15. Потапов Н. Г. Основные закономерности поглощения минеральных веществ корневой системой. — В кн.: Физиол. с.-х. растений, т. 2. М., Изд-во МГУ, 1967, с. 5—85. — 16. Разумов В. И. Влияние ночных температур на рост и развитие ячменя из Эфиопии. — Бюл. Всесоюз. ин-та растениеводства, 1972,

вып. 24, с. 46—50. — 17. Р ж а н о в а Е. И. Физиология роста и развития зернобобовых растений. — В кн.: Физиол. с.-х. растений, т. 6. Изд-во МГУ, 1970, с. 5—49. — 18. С ат к л и ф ф Д. Ф. Поглощение минеральных солей растениями. М., «Мир», 1964. — 19. Т р е т ь я к о в Н. Н., С и л ю т и н а Ю. И. Адсорбция керамзитом элементов минерального питания растений. — Изв. ТСХА, 1978, вып. 4, с. 212—217. — 20. У о л л е с А. Поглощение растениями питательных веществ из растворов. М., «Колос», 1966. — 21. Ф е д о р о в А. К. Выколашивание озимых растений в условиях относительно высоких температур. — Фи-

зиол. растений, 1960, т. 7, вып. 6, с. 686—694. — 22. Ш а н н С. С. и др. Свет и развитие растений. М., Сельхозгиз, 1963. — 23. Ш а т и л о в И. С. Биологические основы полевого травосеяния. М., ТСХА, 1969. — 24. B o n d G., M a c k i n t o s h A n n e H. — Proc. Roy. Soc. London, 1975, vol. 190, N 1099, p. 199—209. — 25. M a h d i A. A., H a b i s h H. A. — J. Agr. Sci, 1975, vol. 85, N 3, p. 417—425. — 26. V i n c e - P r u e — Brit. Nat. Bibliogr., L., 1975, N 1335, p. 16.

Статья поступила 30 января 1979 г.

SUMMARY

The effect of continuous light on growth, development, productivity, removal and assimilation of elements by red clover under conditions of multi-cutting cultivation on substratum hydroponics at one rate of Knop's solution with weekly correction was studied.

It has been shown that continuous light hastens plant development, and favours growth and productivity, as well as assimilation of N, P, K, Ca, Mg. During 7 months of vegetation clover was cut 6 times.