

ВЫРАЩИВАНИЕ СОРГО ЛИМОННОГО ПРИ ИСКУССТВЕННОМ КЛИМАТЕ, РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКАХ И ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА

Исследования возможности и эффективности выращивания лимонного сорго в условиях открытой гидропоники [1, 2] позволили не только обогатить ассортимент эфирносонов Армении, но и разработать биотехнологию гидропонического производства сырья для получения этого ценного эфирного масла. По средним многолетним данным, в условиях открытой гидропоники получены высокие урожаи надземной массы лимонного сорго (48-59 т/га) и выход эфирного масла (176-223 кг/га). Высокие урожаи получены и при беспочвенной культуре базилика обыкновенного [3], розовой герани [4] и целого ряда других культур, факторы высокой продуктивности которых в условиях гидропоники проанализированы и обобщены [5]. Отмечена при этом тесная зависимость урожайности, содержания и качества эфирного масла от видов наполнителей, концентраций растворов, метеорологических условий и других факторов в течение вегетационных периодов. Показана четкая зависимость содержания и качества эфирного масла от суточных колебаний влажности и температуры воздуха, освещенности [6].

Очевидно, что изучение лимонного сорго, но в условиях контроля параметров внешней среды и питания растений, позволит провести подбор наиболее оптимальных параметров с целью управления содержанием и качеством эфирного масла.

Задачей наших исследований явилось проведение первых опытов по изучению возможности выращивания лимонного сорго при искусственном климате, определению накопления биомассы и содержания эфирного масла растениями при различных источниках и интенсивности освещения.

Материал и методика. Объектом исследования служили растения лимонного сорго, выращенные методом гидропоники на смеси гравия со шлаком (3:1) в 5-литровых вегетационных сосудах. Растения получали питательный раствор [7] 0,5 концентрации подпитыванием один раз в течение суток.

Выращивание растений проводилось в факторостатных условиях камер искусственного климата при температуре $30 \pm 2^\circ\text{C}$ днем

и $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ночью, относительной влажности воздуха $40 \pm 50\%$, продолжительности фотопериода - 14 ч/сутки, густоте расположения растений 12 шт/м².

В серии опытов при высоких интенсивностях света в фитокамере КТСК-1250 (ГДР) подача раствора от программных устройств производилась через каждые 3 ч, т.е. 8 р/сутки.

Опыт проводили в течение трех месяцев под различными по спектру источниками искусственного облучения: люминесцентными лампами низкого давления ЛБ-40-1 и ЛДЦ-80, ртутными лампами высокого давления типа ДРЛФ-400 и НФ-400 (ГДР) в комбинации с лампами накаливания при облученности ФАР на пологе 40 ± 50 Вт/м² и 100 ± 110 Вт/м².

Фитофотометрические измерения проводили фариометром ФАР-76 [8] с горизонтальной и сферической насадками в области ФАР (400+700 нм), в поддиапазонах: № 1 ("синий") - 400+500 нм; № 2 ("зеленый") - 500+600 нм; № 3 ("красный") - 600+700 нм и в области БИКР - 720+1100 нм.

Диапазон измерений фариометра ВНИСИ ФАР-76 был расширен, что позволило измерять облученность ФАР до 400 Вт/м². Основная погрешность фариометра составляет не более $\pm 15\%$ от измеряемой величины. ФАР-76 удовлетворяет требованиям, предъявляемым к приборам для измерения ФАР [9]:

1. Чувствительность в диапазоне ФАР (400+700 нм) близка к П-образной.

2. Косинусная ошибка не превышает $\pm 10\%$ при угле падения света 80° .

3. Малоинерционен.

4. Шкала равномерная.

5. Позволяет проведение измерений при температуре окружающего воздуха от $+10$ до $+50^\circ\text{C}$.

6. Приемник имеет относительно малые размеры и не затеняет растения при измерениях.

7. Прост и надежен в эксплуатации.

Определялись интенсивности фотосинтеза [10] и транспирации [11] листьев, содержание в них эфирного масла (по Гинзбергу) и фотосинтезирующих пигментов колориметрически (спектрофотометр СФ-4А).

Результаты и обсуждение. В опытах (табл. I) определены сле-

лучшие оптические характеристики растений лимонного сорго: коэффициенты отражения (ρ), пропускания (τ) и поглощения (α) в области ФАР, ее отдельных поддиапазонах и в области ближней инфракрасной радиации (БИКР).

Таблица I

Оптические характеристики (ρ , τ , α) растений лимонного сорго в области ФАР, ее поддиапазонах и в области БИКР (средние показатели 25 определений)

Область облучения	Оптич. характеристика (%)	Источники облучения, по вариантам			
		ЛБ-40-I (I)	ДРЛФ, с зерк. отражением (II)	ЛПЦ-80 (III)	НФ-400 (IV)
ФАР (400+700нм)	ρ	4,6	8,6	6,0	4,7
	τ	11,1	24,6	26,7	26,9
	α	84,3	66,8	67,3	68,4
№ I (400+500нм)	ρ	4,4	6,0	4,0	2,3
	τ	11,4	16,9	19,7	19,3
	α	84,2	77,1	76,1	78,4
№ 2 (500+600нм)	ρ	4,9	8,7	6,7	4,5
	τ	11,0	25,5	24,9	23,9
	α	84,1	65,8	68,4	71,6
№ 3 (600+700нм)	ρ	4,5	6,3	6,2	4,7
	τ	11,2	19,4	33,8	28,6
	α	84,3	74,4	60,0	66,7
БИКР (720+1100нм)	ρ	17,5	15,8	18,3	13,5
	τ	24,4	40,3	53,2	33,6
	α	58,1	43,9	28,5	52,9

В ходе фотометрических измерений оценены спектральные характеристики самих источников облучения по вариантам, исходя из П-образной чувствительности приемника фараметра ФАР-76. Эти определения (табл. 2) показали, что основная доля излучения от искусственных источников облучения растений приходится на область № 2 (500+600 нм) и составляет 63-68%, длинноволновая ФАР № 3 (600+700 нм) составляет 20-26% от суммарной ФАР, а коротковолновая ФАР № I (400+500 нм) - 7-15% соответственно.

Таким образом, спектральное распределение радиации от этих искусственных источников в эксперименте соответствует распределению солнечной радиации.

Таблица 2

Спектральный состав падающей радиации
в области ФАР

Типы источников света	Суммарная ФАР		Область облучения ФАР					
	Вт/м ²	%	№1:400+ +500нм		№2:500+ +600нм		№3:600+ +700нм	
			Вт/м ²	%	Вт/м ²	%	Вт/м ²	%
I - ЛБ-40-I	45±5	100	3,0	6,8	30	68,2	11,0	25,0
II - ДРЛФ-400 с зерк.отраж.	45±5	100	4,9	10,0	31,0	63,3	13,1	26,7
III - ЛДЦ-80	45±5	100	6,6	15,3	27,6	64,2	8,8	20,5
IV - НФ-400	100±10	100	8,9	8,2	73,3	67,9	25,8	23,9

Таблица 3

Индексы листовой поверхности лимонного
сорго L (м² л.п./м²)

Диапазон	В а р и а н т ы			
	I	II	III	IV
ФАР*	7,3	4,7	4,4	4,5
	7,3	5,3	4,5	4,8
№ 1	7,2	5,9	5,4	5,4
№ 2	7,4	4,6	4,6	4,8
№ 3	7,3	5,4	3,6	4,2

Расчеты урожая зеленой массы и выхода эфирного масла (при густоте посадки 12 растений/м²) показали, что максимальный урожай зеленой массы получен под лампами ДРЛФ-400 с одновременным применением зеркальных отражателей (вариант II), где максимальный выход эфирного масла получен как за счет количества зеленой массы, так и создания зеркальными боковыми отражателями равномерного интенсивного облучения в ценозе.

Эффективным оказалось кратное увеличение интенсивности

* В числителе - L, рассчитанный по значению $\tau_{\text{ФАР}}$, в знаменателе - L, рассчитанный по значениям τ_1 , τ_2 и τ_3

облучения (вариант IV), повлекшее за собой нарастание зеленой массы (табл.5) и усиление интенсивности транспирации (табл.4), которое, однако, сопровождалось снижением содержания эфирного масла (табл.5). Видимо, частая подача питательного раствора растениям лимонного сорго нежелательна [2].

Определения интенсивности фотосинтеза листьев с помощью камер-прищепок показали, что под лампами ДРЛФ наблюдается увеличение интенсивности фотосинтеза листьев до 12 мг CO_2 на $\text{дм}^2/\text{ч}$. Повышение облученности ФАР (табл.4) с 45 до 110 Вт/ м^2 не сопровождалось ожидаемым усилением фотосинтеза и составило лишь 14 мг CO_2 , что говорит о низком пороге светового насыщения этой культуры. Не удалось установить прямой связи между интенсивностью фотосинтеза и количеством фотосинтезирующих пигментов, которое значительно понижается при высокой интенсивности облучения (вариант IV). Эти коррелятивные зависимости подлежат дальнейшему изучению.

Высокая интенсивность транспирации листьев растений, связанная с их достаточной оводненностью в этой серии опытов, объясняется также и большим поглощением БИКР, которая здесь более чем вдвое превосходит облученность во всех других вариантах.

Экспериментально определены оптические характеристики листьев лимонного сорго при искусственном климате. При этом установлено, что ближняя инфракрасная радиация (720+1100 нм) отражается и пропускается максимально и, следовательно, минимально поглощается по сравнению с радиацией в области ФАР - 400+700 нм (табл.1).

Можно было предположить, что при идентичных облученностях в области БИКР пропускание ИК радиации будет определяться, в основном, содержанием воды в листьях растений [12].

Сравним данные по группам вариантов I и III. Пропускание БИКР растениями более чем в 2 раза выше в варианте III (53,2%) по сравнению с вариантом I (24,4%) при относительно близких значениях отражения (18,3 и 17,5% соответственно).

Следовательно, поглощение БИКР в варианте III более чем в 2 раза меньше по сравнению с вариантом I (табл.1), что,

Таблица 4

Интенсивность транспирации, фотосинтеза и содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях лимонного сорго при различных источниках облучения и частоте подачи питательного раствора

Тип источника (по вариантам)	Частота подачи раст-га	Интенсивность транспирации $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$	Интенсивность фотосинтеза, $\text{мг CO}_2 / \text{дм}^2 \cdot \text{ч}$	Содержание пигментов, мг/г свеж. вещ-ва		
				хлорофилл "а"	"б"	каротиноиды
I - ЛБ-40-I	I	$101 \pm 2,1$	$7,1 \pm 0,1$	2,47	0,97	0,91
II - ДРЛФ-400, с зерк.отраж.	I	$94,0 \pm 1,8$	$12,6 \pm 0,7$	2,07	0,65	0,68
III - ДЛЦ-80	I	$117,5 \pm 3,7$	$8,2 \pm 0,4$	2,52	0,89	0,84
IV - НФ-400	8	$159,8 \pm 3,1$	$14,1 \pm 0,6$	1,32	0,39	0,50

вероятно, обусловлено меньшим содержанием воды в листьях растений лимонного сорго в варианте II, на что указывают значения сырых весов листьев (табл.5). Из этих данных следует, что содержание эфирного масла в листьях сорго выше в варианте III, при одноразовой подаче питательного раствора, где листья оводнены сравнительно меньше. Сравним варианты II и IV, которые идентичны с точки зрения процентного содержания БИКР в общем излучении (табл.2) и объемного облучения благодаря отражению от зеркальных пленок (вариант II) и стенок камеры (вариант IV).

Облученность в области БИКР, как и в области ФАР, вдвое превышает таковую в варианте II. Пропускание БИКР в варианте II составляет 40,3%, а в варианте IV - 33,6% (табл.1). В листьях растений, содержащих меньше воды (вариант II) при однократном поливе, по сравнению с 8-кратным поливом, содержание эфирного масла выше (0,34%).

Таким образом, установлено, что увеличение частоты подпитывания растений на фоне относительно высокой облученности ФАР (вариант IV) хотя и ведет к увеличению наземной биомас-

Таблица 5

Некоторые биометрические характеристики лимонного
сорго, содержание и выход эфирного масла под
различными источниками света

Тип источника света (варианты)	Облучен- ность, ФАР Вт/м ²	Частота подачи пита- тель- ного раст. раз/с	Сырой вес, г/расте- ние		Урожай		Содержа- ние	Выход эфир- ного мас- ла, г/м ²	Плотность эф. масла, г/см ³
			листья (над- земная часть)	кор- ни	целое расте- ние	зеле- ной мас- сы, кг/м ²	эфиро- го мас- ла, %		
ЛБ-40-I (I)	45,5	I	66,3	56,9	143,2	1,036	0,320	3,312	0,872
ДРЛ-400 с зерк. отраж. (II)	45,5	I	288,3	68,3	306,6	2,850	0,340	9,720	0,886
ЛДЦ-80 (III)	45,5	I	71,1	40,6	111,7	0,853	0,460	3,924	0,890
НБ-400 (IV)	100,10	8	226,3	155,0	381,3	2,716	0,270	7,320	0,899

сы, но одновременно сопровождается уменьшением накопления хозяйственно ценного продукта - эфирного масла (табл.4) на фоне повышения интенсивности транспирации (табл.4).

Максимальное содержание эфирного масла в опытах наблюдается в варианте с однократным подпитыванием растений питательным раствором при сравнительно низкой облученности ФАР под лампами ДЛЦ-80 (табл.4, вар.III).

На основании формулы Монси-Саеки определялись индексы листовой поверхности (ИЛП), принимая значение $k = 0,3$, соответствующее злаковым культурам [13]:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-kL}, \text{ откуда } \frac{Q}{Q_0} = e^{-kL}, \text{ откуда } \ln \frac{Q}{Q_0} = -kL \text{ и } L = -\frac{\ln \frac{Q}{Q_0}}{k}.$$

Расчеты, проведенные на основе данных табл. I, как для всей области ФАР, так и для отдельных ее поддиапазонов, показали, что средние расчетные значения L по поддиапазонам ФАР идентичны со значениями, полученными для всей области ФАР (табл.3).

Предполагалось, что накопление зеленой фитомассы (табл.4) должно коррелировать со значениями ИЛП по вариантам. Сравним данные вариантов I и III. Накопление зеленой массы в варианте I - $1,036 \text{ кг/м}^2$, которому соответствует ИЛП = 7,3, а в варианте III - накопление зеленой фитомассы составляло $0,853 \text{ кг/м}^2$, чему соответствует меньший ИЛП [4, 5].

Сравнение данных вариантов II и IV показывает, что существует определенная корреляция и в этом случае: большему ИЛП в варианте II соответствует большее накопление зеленой надземной фитомассы ($P_{L2} = 2,86 \text{ кг/м}^2$, $P_{L4} = 2,716 \text{ кг/м}^2$).

Таким образом, проведенный эксперимент, выявив возможности выращивания и исследования лимонного сорго при искусственном климате, позволяет в то же время отметить, что в регулируемых условиях термо- и фотопериодов, концентрации и частоты подачи питательного раствора проявляется четкая зависимость накопления биомассы и содержания эфирного масла от интенсивности и состава света, условий водообеспечения растений.

Опыты показали, что растения лимонного сорго имеют сравнительно низкий порог светового насыщения. Увеличение облученности ФАР не сопровождается увеличением количеств фотосинте-

зирущих пигментов и интенсивности фотосинтеза. Установлено, что увеличение числа подач питательного раствора, увеличивая оводненность листьев и интенсивность транспирации, не сопровождается увеличением содержания эфирного масла в листьях.

Индексы листовой поверхности, рассчитанные по формуле Монси-Саеки, могут служить критерием оценки надземной фитомассы в относительно идентичных условиях облучения растений.

Пересчет данных, полученных при выращивании растений лимонного сорго в условиях искусственного климата, показывает, что хотя и облученность ФАР в условиях камер в 5+8 раз меньше естественной солнечной, однако урожайность надземной фитомассы в течение трех месяцев и выход масла получились в первых экспериментах меньше лишь вдвое [1, 2].

Опыты позволяют наметить новые краткосрочные и более длительные эксперименты при более высоких облученностях с широким варьированием факторов среды обитания с целью дальнейшего выяснения потенциальных возможностей растений лимонного сорго.

Данные экспериментов найдут применение и при разработке фотометрической модели в условиях гидропоники.

Ս.Ս. Կարապետյան, Ն. Փ. Մկրտչյան, Ս. Խ. Մալրադեան

Արհեստական կլիմայի լուսային տարրեր ավելորդների և ինտենսիվության պայմաններում կիտրոնային սորգոյի ամեցումը

Փակտորատատ պայմաններում ուսումնասիրվել է կիտրոնային սորգոյի մի շարք ֆիզիոլոգիական, բիոմեթրիկ ցուցանիշները, նրա տերևների օպտիկական բնութագրերը:

Որոշված է այդ մշակույթի լուսային հազեցվածության ցածր շեմը, ցույց է տրված, որ Փլճ-ի ինտենսիվության ավելացումը չի ուղեկցվում Ֆոտոսինթեզի պիգմենտների քանակի ավելացմամբ և Ֆոտոսինթեզի ուժգնացմամբ:

Ջրի քանակի ավելացումը տերևներում ուղեկցվել է տերևների տրանսպիրացիայի ինտենսիվությամբ, սակայն եթերայուղի քանակի ավելացում չի նկատվել:

Որոշված են Փլճ սահմանում բաժանցելիության, անդրադարձան և կլանման գործակիցները, այդ թվում Փլճ-ի տարբեր և մոտակա ինֆրակարմիր մասշտաբման սահմաններում:

Բերված են կենսաաշնակածի կուտակման և տերևային մակերևույթի էնդերգիա հաշվարկները: Արհեստական կլիմայի պայմաններում ցույց է տրված կիտրոնային սորգոյի ամեցման հնարավորությունը և միջավայրի օպտիմալ պարամետրիկ լիարտության ուղիները:

CITRIC SORGHUM CULTIVATION UNDER ARTIFICIAL CLIMATE ,
DIFFERENT SOURCES AND INTENSITIES OF LIGHT

A number of physiological,biometrical parameters of citric sorghum and optical characteristics of its leaves are studied. Low level of light saturation is shown. PAR irradiation increase doesn't coincide with the increase of quality of photosynthesizing pigments and photosynthesis itself.

Leaves submergence increase is accompanied by the leaves transpiration intensity increase and has no influence upon the oil content in leaves.

Coefficients of reflection,transmission,accumulation and radiation of PAR and the range of infrared radiation and its separate subranges are given. Leaves area indices and biomass accumulation calculations are given. The ways of finding of the optimal parameters for citric sorghum soilless cultivation are given.

Л и т е р а т у р а

1. Майрапетян С.Х. Гидропоническое производство лимонного сорго.-Парфюмерно-косметическая и эфиромасличная промышленность. ЦНИИТЭ Пищепрома, № 6, М., 1978, с.1-3.
2. Майрапетян С.Х. Эффективность производства лимонного сорго в условиях открытой гидропоники. - Сообщ. ИАПГ АН АрмССР, 1979, № 18, с.15-21.
3. Майрапетян С.Х. Изучение эфиромасличности базилика обыкновенного в условиях открытой гидропоники. - Сообщ. ИАПГ АН АрмССР, 1972, № 2, с.14-18.
4. Давтян Г.С., Майрапетян С.Х. Эффективность производства розовой герани без почвы. - Сообщ. ИАПГ АН АрмССР, № 17, 1974, с.100-101.
5. Давтян Г.С. Факторы высокой продуктивности растений в управляемых условиях. - Сообщ. ИАПГ АН АрмССР, 1974, № 14, с.3-14.

6. Майрапетян С.Х. Количественное и качественное изменение эфирного масла розовой герани в течение суток в условиях открытой гидропоники. - Сообщ. ИАПГ АН АрмССР, № 15, 1976, с.85-89.

7. Лавтин Г.С. Проблема питательного раствора в производстве растений без почвы. - Сообщ. ИАПГ АН АрмССР, № 7, 1967, с.11-19.

8. Хазанов В.С., Крайман Т.Я., Шишов Д.М., Мкртчян Н.П. Фотометр для определения светового режима. - Тез.докл. на УІ Всесоюз. конф. по фотосинтетике растений, Львов, 1980, с.103.

9. Родственский В.И., Клешиин А.Ф. Управляемое культивирование растений в искусственной среде. М.: Наука, 1980, 199 с.

10. Карапетян С.А., Гевондян А.А. Временной ход фотосинтеза гидропонических и почвенных растений табака при различной скорости изменения температуры листьев. - Сообщ. ИАПГ АН АрмССР, 1980, № 20, с.12-15.

11. Иванов Л.А., Силина А.А., Цельникер Ю.Л. О методе быстрого навешивания для определения транспирации в естественных условиях. - Бот. журн., 1950, т.32, № 2, с.171.

12. Брандт А.Б., Тагеева С.В. Оптические параметры растительных организмов. М.; Наука, 1967, 301 с.

13. Monai M., Saeki T. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für Stoffproduktion. - Tap. Town. Botany, 1953, vol. 14, №1, p. 22-52.