

**ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК имени В.И.ЛЕНИНА**

**ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАСТЕНИЕВОДСТВА
имени Н.И.ВАВИЛОВА**

На правах рукописи

ПОПОВ Эдуард Григорьевич

УДК 635.63:581.121+581.132

**ИССЛЕДОВАНИЕ CO₂ - ГАЗООБМЕНА CUCUMIS SATIVUS L.
ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ СРЕДЫ**

03.00.12 - физиология растений

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

ЛЕНИНГРАД - 1985

Работа выполнена в лаборатории моделирования биологических процессов Института биологии Карельского филиала АН СССР (г.Петрозаводск) в 1977-1981 гг.

Научные руководители: доктор биологических наук, профессор С.Н.ДРОЗДОВ; кандидат биологических наук В.К.КУРЕЦ.

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор А.Ф.КЛЕШНИН, кандидат биологических наук О.Д.БЫКОВ.

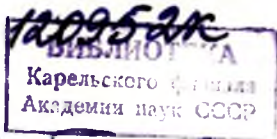
Ведущее учреждение - Московская ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия им.К.А.Тимирязева.

Защита диссертации состоится 18 апреля 1985 года в 14 час. 00 мин. на заседании специализированного совета К.020.18.02 по присуждению ученой степени кандидата биологических наук во Всесоюзном ордена Ленина и ордена Дружбы народов научно-исследовательском институте растениеводства им.Н.И.Вавилова по адресу: 190000, г.Ленинград, Центр, ул.Герцена, д.44.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им.Н.И.Вавилова.

Автореферат разослан "15" марта 1985 года.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат биологических наук



В.Н.

В.Н.Синельникова

Трудноуважаемым сотрудникам библиотеки
ИФ АН СССР за открытую помощь и моральную
поддержку в написании диссертации от
автора *А.И.*

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интенсификация сельскохозяйственного производства вызывает необходимость детального изучения эколого-физиологической характеристики районированных сортов и селекционного материала с целью более полной реализации их потенциальных возможностей в конкретных условиях внешней среды. В связи с развитием вычислительной техники и математических методов в настоящее время появилась возможность применения системного подхода и его разновидности - многофакторного планируемого эксперимента - для изучения взаимосвязи многопараметрических систем - растения и среды с целью получения эколого-физиологических характеристик (Урманцев, 1979; Джефферс, 1981). Одним из наиболее динамичных показателей продуктивности и устойчивости растений является газообмен, позволяющий с высокой точностью дистанционно получать информацию об интенсивности фотосинтетической и дыхательной деятельности их в онтогенезе (Вознесенский, 1977; Ничипорович, 1977; Лархер, 1978; Семяхатова, Заленский, 1979).

Имеется значительное количество работ по изучению влияния отдельных факторов среды на CO_2 -газообмен культуры огурца. Однако эти данные получены в основном в однофакторных экспериментах, на разных периодах онтогенеза и в большинстве случаев не на интактных растениях, т.е. не в системе "растение-среда", что не позволяет всесторонне определить влияние и взаимовлияние совокупности факторов среды на газообмен и продуктивность (Лужименко, 1963; Хит, 1972; Милторп, 1978).

Цель и задачи исследования. Цель работы - изучение CO_2 -газообмена интактного растения огурца в зависимости от действия (последствия) ведущих абиотических факторов внешней среды - света, температуры, концентрации CO_2 - методом многофакторного эксперимента. В задачи исследования входило: 1. разработка многофакторного метода для изучения CO_2 -газообмена в системе "растение-среда"; 2. изучение влияния и взаимовлияния интенсивности света, температуры воздуха, почвы и концентрации CO_2 на газообмен и биомассу огурца на ранней фазе его вегетации; 3. изучение влияния условий среды на хозяйственную продуктивность и CO_2 -газообмен тепличной культуры огурца в период плодоношения.

Научная новизна работы. Впервые применен метод многофакторного планируемого эксперимента для изучения CO_2 -газообмена в системе "целое растение-среда". Получены нелинейные уравнения связи (модели) CO_2 -газообмена интактных растений с комплексом ведущих факторов внешней среды, позволяющие определять сочетание условий, обеспечивающих наибольший видимый фотосинтез 3-х сортов огурца. Установлена количественная связь между балансом газообмена и сухой фитомассой целых растений на ранних фазах вегетации.

Показана возможность по последствию интенсивности видимого фотосинтеза целого растения подразделения толерантного диапазона температур (для огурца от 5 до 45⁰С) на зоны, характеризующие терморезистентность (Дроздов и др., 1977): фоновую, закалывающие и повреждающие, и установлена возможность использования CO_2 -газообмена интактного растения в качестве теста для определения границ температурных зон (авторское свидетельство СССР № 934999, 1982).

Практическая значимость. Результаты исследования показали возможность применения многофакторного эксперимента для количественной оценки конкретных сортов интактных растений по их газообмену, что может быть использовано в селекционной работе. Модели, отражающие зависимости CO_2 -газообмена, фитомассы и урожая от факторов внешней среды, могут быть использованы для оптимального управления продуктивности конкретных сортов огурца в регулируемых условиях производственных теплиц.

На основании лабораторных опытов и наблюдений в производственных теплицах даны рекомендации по дозированному электродосвечиванию и оптимальному регулированию температуры дня и ночи для увеличения выхода урожая огурцов.

Апробация. Результаты работы докладывались и обсуждались на Ул.-ом (Апатиты, 1979), Л.-ом (Сиктивкар, 1981) симпозиумах "Биологические проблемы Севера", Всесоюзной конференции "Проблемы и пути повышения устойчивости растений к болезням и экстремальным условиям среды в связи с задачами селекции" (Л., 1981), I-ой Всесоюзной конференции по применению физиологических методов в селекции растений (Жодино, 1981), УЛ.-ом делегатском съезде Всесоюзного ботанического общества (Донецк, 1983), Всесоюзной конференции "Устойчивость к неблаго-

приятным факторам среды и продуктивность растений" (Иркутск, 1964).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3-х глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, приложения и списка литературы, включающего 262 наименования, в том числе 40 на иностранных языках; изложена на 172 страницах машинописного текста, содержит 19 таблиц и 28 рисунков.

ОБЪЕКТ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования использовали растения сортов-гибридов огурца: Алма-Атинский I, Тепличный ранний 65, Сюрприз 66. Материал для опытов выращивали на песчаной почве по одному растению в сосуде. Полив производили питательным раствором с рН 6,2-6,4. Растения выращивали до фазы 3-4-х настоящих листьев в факторостатных условиях: освещенность 8-10 клк, фотопериод 12-14 часов, температура воздуха день/ночь 25/22°C, почвы 23/20°C, концентрация CO₂ 0,03 об.%, относительная влажность воздуха 70-80%. Для каждой серии опытов использовали морфологически выравненный материал, что составило вариабельность по биометрическим показателям около 10% и обеспечило однородность дисперсии воспроизводимости опытов разных лет. Растения в возрасте 20-22 дня помещали в герметичную камеру объемом 32 дм³ установки для исследования газообмена интактных растений с отдельным регулированием условий среды для надземной и корневой частей. Интенсивность видимого фотосинтеза и темнового дыхания измерялись посредством оптико-акустического газоанализатора по скорости поглощения (выделения) CO₂ целым растением. Параметры факторов среды регистрировались 6-канальным потенциометром.

В опытах по выявлению влияния интенсивности света, температуры воздуха, почвы и концентрации CO₂ на видимый фотосинтез и темновое дыхание растения экспозиция в каждой точке эксперимента -30-40 мин. - выбиралась с учетом окончания переходного процесса при переключении уровней факторов среды, заданных планом эксперимента, и установления скорости CO₂-газообмена на стационарном уровне. В опытах по изучению действия и последствий температуры на газообмен растения выдер-

живали 2 часа при оптимальных условиях среды, затем изменяли температуру до заданного уровня с различными экспозициями, а газообмен в последствии измерялся при исходных условиях.

В производственных теплицах ангарного типа (1000 м²) интенсивность видимого фотосинтеза определялась листовой камерой "клипсой" площадью 1 дм² и специальным прибором для отбора проб воздуха (Курец, Попов, 1979). Температура, влажность воздуха регистрировались недельными термографами и гигрографами. Информация о солнечной радиации была получена от Петрозаводской метеостанции, урожай учитывался по данным совхоза "Тепличный" г. Петрозаводска КАССР.

Для изучения системы "целое растение-среда" разработана модифицированная методика многофакторного эксперимента с короткими экспозициями, позволяющая в количественной форме определять взаимосвязь CO₂-газообмена интактного растения с совокупностью факторов внешней среды. Особенности методики: 1. выбор плана эксперимента - для числа факторов от 4 до 7 план Бокса-Бенкина (Box, Behnken, 1960); для опытов с учетом ростовых изменений - план, ортогональный росту растений (Маркова, Лисенков, 1973); 2. элиминированная оценка (отдельно по каждому фактору) опытных данных (Курец, Попов, 1979); 3. исследование многомерных моделей на оптимум в области факторного пространства с представлением результатов в графической форме на ЭВМ - метод сеток, реализованный в виде программы на языке АЛГАМС для ЭЦВМ Минск-32. Параметры среды в планах экспериментов и диапазоны варьирования факторов выбирали по литературным данным, температурной характеристике огурца (Дроздов и др., 1981) и динамике его газообмена в зависимости от температуры. Обработка данных многофакторных экспериментов проводилась по системе СТАТД Минск-32 (Методические указания..., 1976).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Влияние интенсивности света, температуры воздуха, почвы и концентрации CO₂ на CO₂-газообмен и биомассу огурца на ранней фазе вегетации

Рядом исследователей (Любименко, 1963; Хит, 1972; Вальтер, 1974) отмечалось, что в силу взаимодействия максимальная скорость реакции фотосинтеза может быть достигнута толь-

ко при определенной комбинации факторов среды. Одним из возможных подходов для решения задачи поиска условий, обеспечивающих максимум фотосинтеза, является применение многофакторного планируемого эксперимента (Федоров и др., 1968; Галкин и др., 1978; Harder, 1921). Для получения достоверных моделей необходимо выбрать их форму, план и экспозицию каждой точки эксперимента. Анализ литературы показал, что с точки зрения последствия наиболее лабильным фактором является температура (Беликов, Мелехов, 1975, 1979; Matthaei, 1904; Wright, Simon, 1973). Поэтому в первую очередь возникла необходимость изучения динамики CO_2 -газообмена целого растения в действии и последствии температуры.

Действие и последствие температуры на газообмен. Исследование зависимости CO_2 -газообмена интактного растения от величины температуры и длительности действия проводилось с учетом ее принадлежности к разным температурным зонам (Дроздов, 1974). Газообмен в последствии импульсов температуры воздуха измерялся при условиях, соответствующих исходным и после установления его на стационарном уровне.

Результаты опыта показали, что при изменении температуры в пределах фоновой зоны (19–29°C) интенсивность CO_2 -газообмена в последствии не изменяется. В последствии холодозакаляющих (экспозициях 2–3 ч) и теплозакаляющих (экспозициях 2–6 ч) температур фотосинтетическая активность возрастает.

Действие температур из зон холодого и теплового повреждения приводит к ингибированию газообмена. Увеличение продолжительности действия повреждающих температур вызывает полное ингибирование CO_2 -газообмена и даже (при 45°C) переходу его на отрицательный уровень. По данным опыта была построена регрессионная модель, отражающая зависимость интенсивности видимого фотосинтеза в последствии (Φ_n) температуры (T_B) и длительности ее воздействия (T):

$$\Phi_n = a_0 + a_1 T_B + a_2 T + a_3 T_B T + a_4 T_B^2 + a_5 T^2 + a_6 T_B^3 + a_7 T_B^4 \quad (I)$$

где a_0 – a_7 – коэффициенты, определяемые на ЭВМ.

На рис. 1 представлен частный случай модели (I) в графическом виде. В последствии исследованной температурной экспозиции точки минимаксов (в,с) кривой А, определенные по

точкам (в', с') первой производной (кривая В), соответствуют фоновой зоне. Точки пересечения (а, д) - границам зон повре-

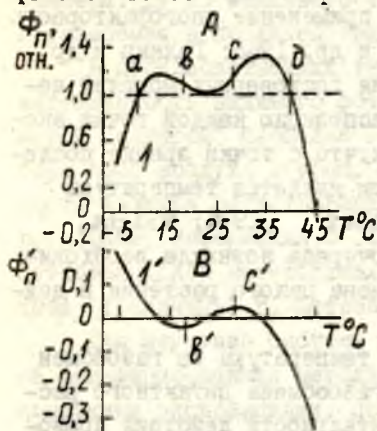


Рис.1. Характер изменения интенсивности видимого фотосинтеза $\Phi_{п}$ (А) и его производной $\Phi'_{п}$ (В) в последствии температур 5-45°C при длительности их действия 2,5-3,0 часа.

ждения. Таким образом, температурные границы зон терморезистентности могут быть определены по последствию CO_2 -газообмена целого растения. Дополнительный эксперимент по выяснению влияния экспозиции температуры в широких пределах (0,5-8,0 ч) на CO_2 -газообмен огурца в области закаливающих температур подтвердил результаты исследования модели I и показал незначимость последствия температуры при экспозициях менее 60 минут в фоновой и закаливающих зонах.

Исследование взаимосвязи CO_2 -газообмена огурца с условиями внешней среды

Для изучения количественных зависимостей газообмена от интенсивности света, температуры воздуха, почвы и концентрации CO_2 в области их оптимальных значений у трех сортов огурца с целью выявления сортовых различий и потенциальных возможностей по видимому фотосинтезу были проведены опыты по 3-х уровневому плану Бокса-Бенкина. Данные опытов представлены в виде графиков, отражающих зависимости газообмена огурцов от каждого исследованного фактора в отдельности при среднем уровне всех остальных (рис.2). По светолюбию испытываемые сорта не различаются - насыщение отмечается при 20-22,5 клк. По насыщению CO_2 (рис.2,Б) кривые выходят на плато в области 0,18-0,20 об.% у ранних сортов (Тепличный ранний 65, Сюрприз 66), а у позднего (Алма-Атинский I) при 0,30 об.%. Значительные сортовые различия проявились по влиянию температуры воздуха (рис.

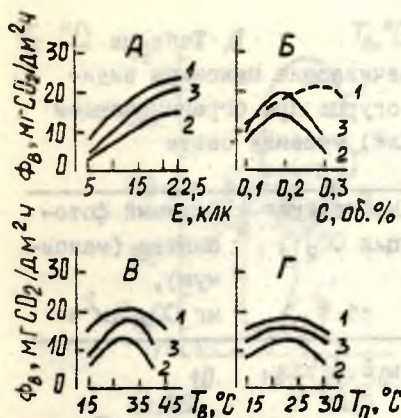


Рис. 2. Интенсивность видимого фотосинтеза в зависимости от освещенности (А), концентрации CO_2 (В), температуры воздуха (В), температуры почвы (Г): 1 - с.Алма-Атинский 1, 2 - с.Тепличный ранний 65, 3 - с.Сюрприз 66 (элиминированные зависимости данных многофакторного опыта).

2, В): у позднего сорта максимум видимого фотосинтеза достигается при 27°C , у ранних он сдвинут в сторону более высоких температур ($29-32^\circ\text{C}$). Зависимости от температуры почвы (рис. 2, Г) не показали сортовых различий, что согласуется с литературными данными (Ващенко, 1974).

По характеру зависимостей (рис.2) была выбрана форма моделей и проведен регрессионный анализ с исключением несущественных параметров, в результате получены модели (например, для с.Алма-Атинский 1) вида:

$$\Phi_B = a_0 + a_1 E + a_2 C + a_3 T_B + a_4 T_p + a_5 E^2 + a_6 C^2 + a_7 T_B^2 + a_8 T_p^2 + a_9 EC + a_{10} ET_B + a_{11} ET_p + a_{12} CT_B + a_{13} T_B T_p, \quad (2)$$

где Φ_B - интенсивность видимого фотосинтеза целого растения, E - облученность, C - концентрация CO_2 , T_B - температура воздуха, T_p - температура почвы, a_0 - средняя эксперимента, отражающая интенсивность процесса при исходном сочетании уровней факторов, $a_1 - a_{13}$ - коэффициенты, определяющие степень влияния факторов и их взаимодействий, - рассчитываются при обработке экспериментальных данных на ЭВМ.

Модели позволяют определить величину видимого фотосинтеза конкретного сорта для различных сочетаний условий внешней среды, а также условия, обеспечивающие максимум видимого фотосинтеза, в том числе и при наличии лимитирующих факторов, например, света (табл.1). Из таблицы 1 следует, что увеличение интенсивности видимого фотосинтеза при возрастании освещенности у исследованных сортов достигается при значительном увеличении температуры, особенно воздуха. Сравнение однофак-

Таблица 1

Условия внешней среды, обеспечивающие максимум видимого фотосинтеза 3-х сортов огурца при ограничивающем (5 клк) и насыщающем (22,5 клк) уровнях света

Сорт	Температура		Концентрация CO ₂ , об. %	Видимый фотосинтез (максимум), мг CO ₂ /дм ² ч
	воздуха,	почвы,		
	°С	°С	об. %	
Освещенность 5,0 клк				
Алма-Атинский I	21	18	0,26	27,61
Тепл. ранний 65	27	21	0,18	11,07
Сюрприз 66	29	19	0,14	23,76
Освещенность 22,5 клк				
Алма-Атинский I	36	22	0,26	49,27
Тепл. ранний 65	30	23	0,26	22,30
Сюрприз 66	31	20	0,18	34,76

торных значений максимумов (рис.2) с данными (табл.1), полученными по многофакторным моделям, показало, что во втором случае интенсивность видимого фотосинтеза в 1,5-2,0 раза выше. Для производства нецелесообразно ведение процесса на максимум в силу резкого падения эффективности затрат в этой области. Поэтому рядом исследователей (Лархер, 1978; Pisek et al., 1969) было предложено считать оптимальными условия среды, обеспечивающие 90%-ный уровень максимума видимого фотосинтеза (рис.3).

Наиболее широкая область температур, обеспечивающих 90%-ный уровень видимого фотосинтеза (рис.3,А), у с.Алма-Атинский I, наименее - с.Тепличный ранний 65. У с.Сюрприз 66 эта область занимает промежуточное положение относительно первых двух сортов. При постоянной концентрации CO₂ 0,1 об. % (рис.3,Б) наблюдается некоторое сужение областей оптимума, что, вероятно, можно объяснить снижением компенсационных возможностей растения при стабилизации одного из факторов среды, в данном случае концентрации CO₂ (Андреева и др., 1979).

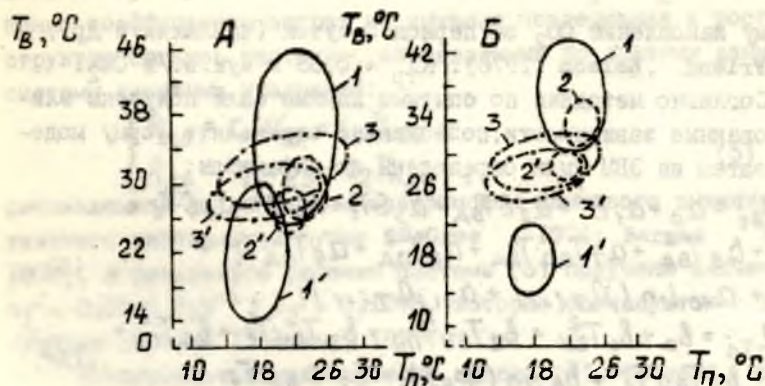


Рис. 3. Температурные области воздуха (T_B) и почвы (T_P) 90%-го уровня видимого фотосинтеза при освещенности 22,5 клк (1,2,3), 5,0 клк (1',2',3'), требуемой (А) и постоянной (Б) концентрации CO_2 0,1 об.%; 1, 1' - с.Алма-Атинский 1; 2, 2' - с.Тепличный ранний 65; 3, 3' - с.Сюрприз 66.

Модели CO_2 -газообмена огурца, учитывающие ростовые изменения на ранней стадии его вегетации

Для изучения ростовых процессов разрабатываются как теоретико-динамические, так и практико-эмпирические модели (Сиротенко, Горбачев, 1977; Росс, 1977; Бихеле и др., 1980; Липса, 1982; Гродзинский, 1983). Учитывая важность развития первых, необходимо отметить преимущество вторых - простоту и, следовательно, быстроту их построения (Торнли, 1982).

Для получения динамической модели, связывающей CO_2 -газообмен и биомассу интактного растения с условиями среды на раннем этапе вегетации была выбрана схема взаимосвязи CO_2 -газообмена целого растения со средой: в фотопериод - от уровня света, концентрации CO_2 , температуры воздуха, почвы, темного дыхания предшествующей ночи и возраста; в темновой период - от температуры воздуха, почвы, предшествующего фотосинтеза и возраста. План эксперимента предполагал постановку 3-х серий опыта в течение 15 суток. До и после каждой серии определялась сухая фитомасса растений. По балансу CO_2 -газообмена и приросту сухого веса целого растения определялся коэффициент трансформации K_{Tr} как отношение прироста сухого веса к сум-

марному накоплению CO_2 за период 5 суток (Чайлахян и др., 1982; Friend, Nelson, 1976): $K_{\text{TP}} = 0,55$ г сух.в./г CO_2 .

Согласно методики по опытным данным были получены элиминированные зависимости, позволившие определить форму модели, затем на ЭВМ были определены их параметры:

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi_{Vi} &= a_0 + a_1 E^2 + a_2 E \cdot T_{\text{ВД}} + a_3 E \cdot T_i + a_4 C^2 + a_5 C \cdot T_i + \\ &+ a_6 T_{\text{ВД}}^2 + a_7 T_{\text{ВД}} \cdot T_{\text{ПД}} + a_8 T_{\text{ПД}}^2 + a_9 T_{\text{ПД}} \cdot T_i + \\ &+ a_{10} \ln(D_{Ti-1}) + a_{11} D_{Ti-1} \cdot T_i, \\ D_{Ti} &= b_0 + b_1 T_{\text{ВН}}^2 + b_2 T_{\text{ВН}} \cdot T_{\text{ПН}} + b_3 T_{\text{ВН}} \cdot T_i + b_4 T_{\text{ПН}}^2 + \\ &+ b_5 T_{\text{ПН}} \cdot T_i + b_6 \ln(\Phi_{Vi}) + b_7 \Phi_{Vi} T_i \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Φ_{Vi} и D_{Ti} - интенсивность видимого фотосинтеза и темнового дыхания в i сутки, E - освещенность, C - концентрация CO_2 , $T_{\text{ВД}}$, $T_{\text{ВН}}$ - температура воздуха день-ночь, $T_{\text{ПД}}$, $T_{\text{ПН}}$ - температура почвы день-ночь, T_i - возраст растений, сутки; a_0 - a_{11} , b_0 - b_7 - коэффициенты, определяемые на ЭВМ.

Исследование модели (3) на ЭВМ численным методом показало, что при изменении освещенности с 8 до 23 клк оптимум по температуре воздуха смещается с 20 до 33°C, более высокая интенсивность темнового дыхания предшествующей ночи увеличивает абсолютное значение видимого фотосинтеза. Установлено, что дыхательные затраты целого растения изменяются в процессе роста и зависят от уровня предшествующего фотосинтеза, что подтверждает результаты исследований других авторов (Ниловская, Коржева, 1983). На основании модели (3) и динамики роста биомассы огурца был определен расчетный режим оптимального роста с последующей проверкой его в 4 и 5-ой сериях опыта.

Для определения прироста сухой фитомассы огурца нами на основании уравнения Дэвидсона-Филипа (Davidson, Philip, 1958) была составлена модель роста в виде трех уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} R_i &= C_1 W_{i-1} + C_2 P_n i \\ \Delta W_i &= K_{\text{TP}} (P_n i - R_i) \\ W_i &= W_{i-1} + \Delta W_i \end{aligned} \right. \quad (4)$$

R_i и $P_n i$ - соответственно суммарное темновое дыхание и видимый фотосинтез, мг CO_2 /растение·сут., W_i и ΔW_i - сухая фитомасса и суточный ее прирост, г/растение·сут., K_{TP} - трансформационный коэффициент перехода, г сух.в./г CO_2 (0,55), i - ин-

декс номера суток, $i = 20, N, N = 24$ сут., c_1 и c_2 - соответственно коэффициенты затрат на дыхание поддержания и роста структур органов растения, определенные по опытным данным из системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} R_{20} = c_1 W_{19} + c_2 P_{n20} \\ R_{24} = c_1 W_{23} + c_2 P_{n24} \end{cases}, \quad (5)$$

составленной на основании зависимости темнового дыхания интактного растения за сутки (McGee, 1974; Barnes, Hole, 1978). В результате решения системы (5) получены значения $c_1 = 0,0543 \text{ сут}^{-1}$, $c_2 = 0,1273$, которые согласуются с литературными данными (Тооминг, 1977).

Экспериментальная проверка модели (4) показала, что расчетные значения отличаются от опытных не более, чем на 12%. Абсолютный прирост сухой фитомассы огурца в I и II вариантах выращивания составил соответственно 1,42 и 2,20 г, относительный увеличился на 50% (табл.2).

Таблица 2

Условия внешней среды и показатели прироста фитомассы огурца с.Алма-Атинский I (сводная таблица опыта)

Условия внешней среды				Показатели	
Освещенность, клк	Концентрация CO_2 , об.%	Температура		Абсолютный прирост сухой фитомассы, г	Относительный прирост сухой фитомассы, отн.ед., (%)
		воздуха день/ ночь, °C	почвы день/ ночь, °C		
При средних условиях (I-3 серии опыта)					
12,8	0,15	24,2/22	21,6/21	1,056	1,022 (100)
При оптимальных условиях (I вариант)					
15,5	0,21	26/23	21/22	1,420	1,193 (116,7)
При оптимальных условиях (II вариант)					
22,5	0,30	32/27-29	19-23/23-25	2,200	1,705 (166,8)

Увеличение напряженности факторов внешней среды при оптимальном их соотношении позволило сократить период накопления фитомассы огурца в начале его вегетации на $\approx 40\%$.

2. Исследование влияния условий среды в период плодоношения тепличной культуры огурца на его продуктивность В работах ряда авторов (Чесноков, Степанова, 1955; Про-

тасова, 1959; Быков, 1970) показана необходимость оптимизации условий выращивания культур защищенного грунта вследствие низкой интенсивности их видимого фотосинтеза. В связи с этим задачей данного раздела было определение количественных зависимостей выхода урожая от условий среды с целью их оптимизации в период формирования зеленца и выяснение корреляционной связи с видимым фотосинтезом в производственных теплицах.

Изучение зависимости продуктивности огурца от календарного возраста и условий среды в динамике

Зависимости выхода урожая двух сортов огурца от условий среды исследовались в пассивном эксперименте в течение вегетационного периода. Из числа факторов внешней среды учитывались основные: суточные суммы солнечной радиации, средние температуры воздуха днем и ночью. По элиминированным зависимостям прироста урожая для каждого сорта на ЭВМ была получена модель с наилучшими статистическими оценками:

$$\Delta Y = \text{EXP} [a_0 + a_1 E_C + a_2 T_{ВД} + a_3 T_{ВН} + a_4 T + a_5 \ln(E_C) + a_6 T_{ВД}^2 + a_7 T_{ВН}^2 + a_8 \ln(T) + a_9 E_C T_{ВД} + a_{10} E_C T + a_{11} T_{ВД} T_{ВН} + a_{12} T_{ВД} T + a_{13} T_{ВН} T] \quad (6)$$

, где

ΔY - суточный прирост урожая, кг/сут., E_C - суточные суммы солнечной радиации, кал/сут., $T_{ВД}$, $T_{ВН}$ - средняя дневная и средняя ночная температура воздуха, °C, T - возраст растений, сут., $a_0 - a_{13}$ - коэффициенты, определяемые на ЭВМ.

Анализ экспериментальных и расчетных кривых (рис.4) показал, что имеется значительный резерв увеличения выхода

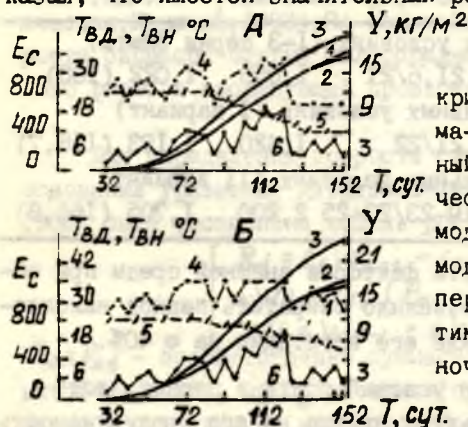


Рис. 4. Интегральные кривые урожая огурцов с.Алма-Атинский I (А) и с.Тепличный ранний 65 (Б): 1 - фактический, 2 - предсказанный по моделям, 3 - оптимальный по моделям, 4 - оптимальная температура воздуха днем, 5 - оптимальная температура воздуха ночью, 6 - солнечная радиация.

урожая за счет регулирования факторов среды: у с.Алма-Атинский I до 17,4% при увеличении температуры днем с 24 до 33°C, ночью снижении с 24 до 12°C (рис.4-А,4,5); у с.Тепличный ранний 65 до 35,5% при увеличении температуры днем с 26 до 36°C, ночью снижении с 24 до 15°C (рис.4-Б,4,5). Требуемое снижение температуры в темновой период, по-видимому, связано с увеличением чувствительности продукционного процесса огурца к повышенным температурам вследствие увеличения дыхания поддержания структуры растения (Challa, 1976). Значительное различие в увеличении выхода урожая (в 2 раза) связано с разной реакцией этих сортов огурца на условия среды: с.Алма-Атинский I более чувствителен к недостатку света и содержания CO₂ в воздухе.

Определение связи видимого фотосинтеза с продуктивностью у тепличной культуры огурца

Наблюдения газообмена листьев верхнего яруса растений и условий среды в теплице показали, что интенсивность видимого фотосинтеза в ходе вегетации огурца изменялась от 2 до 15 мг CO₂/дм²ч, освещенность от 2 до 45 клк, концентрация CO₂ от 0,10 об.% в начале марта до 0,02 об.% в апреле-июне месяцах.

Элиминированные кривые наблюдений свидетельствуют (рис. 5), что зависимость видимого фотосинтеза огурца (Φ_B) от температуры воздуха (T_B) и возраста растений (T) имеют характер одновершинных кривых с максимумами соответственно в области 30-32°C и II4-II6 суток, а от освещенности (E) и концентрации CO₂ (C) - экспоненциальных кривых. Насыщение по освещенности отмечается в области 25-30 клк, а по концентрации CO₂ в исследованных пределах отсутствует.

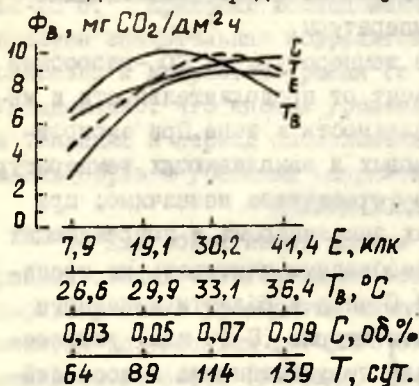


Рис. 5. Элиминированные (однофакторные) зависимости интенсивности видимого фотосинтеза огурца с.Алма-Атинский I от условий среды в теплице. Обозначения см. в тексте.

С учетом вида элиминированных зависимостей была получена регрессионная модель, позволившая определить наибольшие значения видимого фотосинтеза на характерных этапах плодоношения огурца (начало, начало массового, массовое). Сравнение расчетных данных с экспериментальными показало, что наибольшие различия в интенсивности видимого фотосинтеза отмечаются в начале плодоношения, что свидетельствует о значительной разбалансированности значений факторов среды в теплице на более ранних этапах роста огурца. Установленная высокая корреляция между интенсивностью видимого фотосинтеза и приростом урожая ($r = + 0,613$) позволяет объяснить различия в оптимальном выходе урожая двух сортов огурца. При достаточном уровне света и температуре с.Алма-Атинский I более требователен к содержанию CO_2 в воздухе (насыщение около 0,3 об.%) по сравнению с с.Тепличный ранний 65 (насыщение около 0,10-0,15 об.%). Поэтому наблюдаемый диапазон изменения факторов среды в теплицах оказывает менее лимитирующее действие на с.Тепличный ранний 65.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведена разработка методики многофакторного эксперимента, позволяющая изучать количественно комплексное влияние факторов среды на CO_2 -газообмен интактного растения и его урожай, и на ее основании получен ряд моделей, связывающих газообмен, прирост сухой фитомассы и выход урожая с ведущими факторами среды - интенсивностью света, температурой воздуха, почвы, концентрацией CO_2 и возрастом растений. Показано, что для получения работоспособных моделей необходимо учитывать зональное влияние температуры.

2. Установлено, что влияние температуры на CO_2 -газообмен интактного растения огурца зависит от продолжительности и интенсивности воздействия, принадлежности к зоне. При экспозициях 30-40 мин. в диапазоне фоновых и закалывающих температур (8-39°C) последствие видимого фотосинтеза незначимо; при экспозициях более I часа в зонах закалывающих и повреждающих температур (5-18°C и 29-45°C) необходимо учитывать их последствие. При экспозициях 2,5-3,0 часа в области линейного участка световой кривой фотосинтеза огурца (8-10 клк) установлено усиление интенсивности видимого фотосинтеза в последствии закалывающих температур (8-18°C и 29-39°C), что может

онть использовано для определения низких и высоких температурных границ зон закалывания растений.

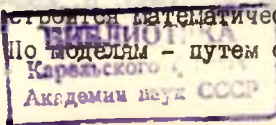
3. Установлено, что максимум видимого фотосинтеза наибольший у с.Алма-Атинский I - 49,3 мг CO_2 /дм²ч, который достигается при освещенности 22,5 клк, температуре воздуха 36⁰С, почвы 22⁰С и концентрации CO_2 0,26 об.%, с.Сюрриз 66 - 34,8 мг CO_2 /дм²ч (22,5 клк, 31⁰С, 20⁰С, 0,18 об.%), с.Тепличный ранний 65 - 22,3 мг CO_2 /дм²ч (22,5 клк, 30⁰С, 23⁰С, 0,26 об.%). Наибольшая область температур 90%-го оптимума видимого фотосинтеза также у с.Алма-Атинский I, наименьшая - у с. Тепличный ранний 65.

4. Определена взаимосвязь суточного CO_2 -газообмена интактного растения с ростом его фитомассы на ранней фазе вегетации. Показано, что оптимум температуры, обеспечивающий максимум видимого фотосинтеза, изменяется в сторону ее больших значений в течение дня, а при высоком уровне света (23 клк) и концентрации CO_2 (0,3 об.%) оптимум температуры сдвигается и в процессе роста огурца. Коэффициент перехода (трансформации) от суточного усвоения CO_2 к сухой фитомассе целого растения составил $K_{\text{тр}} = 0,55$ г сух.в./г CO_2 . Установлено, что при оптимальном соотношении условий среды день/ночь период накопления сухой фитомассы огурца значительно сокращается.

5. Показана возможность значительного (до 35,5%) увеличения выхода урожая за счет повышения температуры воздуха днем с увеличением уровня солнечной радиации и поддержания ее постоянной ночью (24⁰С) до фазы массового плодоношения с последующим снижением в зависимости от возраста растений до 12-15⁰С. В пределах исследованных факторов среды теплиц установлена значительная коррелятивная связь между видимым фотосинтезом и приростом урожая ($r = +0,613$ у с.Алма-Атинский I). Установлено, что низкий уровень видимого фотосинтеза огурца в теплицах в период плодоношения связан с разбалансом требований сорта и уровнями напряженности факторов среды.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для объективной оценки селекционного материала на ранних этапах онтогенеза на основе эколого-физиологической характеристики проводится многофакторный планируемый эксперимент, по результатам которого строится математическая модель конкретного сорта (гибрида). По моделям - путем сравнения их



графиков по различным факторам среды - выбирается сорт (гибрид) с наилучшими характеристиками по уровню и суточному балансу CO_2 -газообмена интактного растения.

2. Для определения низких и высоких температурных границ зон закаливания интактные растения подвергают действию импульсов температуры (для огурца - в пределах $5-45^\circ\text{C}$, экспозиции 2,5-3,0 ч). По CO_2 -газообмену в последствии температур рассчитывают коэффициенты регрессионного уравнения, по которому графически определяют границы температурных зон, что дает возможность оптимально регулировать температурные условия среды в защищенном грунте.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Попов Э.Г., Борисов Г.А., Курец В.К. О методах управления факторами внешней среды. - В сб.: Применение математических методов в биологических исследованиях. Петрозаводск, 1978, с. 3-26.

2. Курец В.К., Попов Э.Г. Моделирование продуктивности и холодоустойчивости растений. - Л.: Наука, 1979. - 160 с.

3. Дроздов С.Н., Курец В.К., Попов Э.Г. Многофакторный метод моделирования продуктивности растений. - Физиол. и биохимия культурных растений, 1979, т. II, № 2, с. 164-168.

4. Курец В.К., Попов Э.Г., Таланов А.В., Обшатко Л.А. Зависимость нетто-фотосинтеза и темнового дыхания растений огурца от суточного хода температуры. - В сб.: Физиологические аспекты формирования терморезистентности и продуктивности с.-х. растений. Петрозаводск, 1980, с. 92-100.

5. Попов Э.Г. О моделировании газообмена интактного растения. - там же, с. 100-103.

6. Курец В.К., Попов Э.Г. А.с. 934999 (СССР). Способ определения низких и высоких температурных границ зон закаливания растений. - Опубл. в Б.И., 1982, № 22.

7. Курец В.К., Дроздов С.Н., Попов Э.Г., Марковская Е.Ф. Влияние суточного термопериода на CO_2 -газообмен растений огурца. - Доклады ВАСХНИЛ, 1982, № 6, с. 25-26.

8. Попов Э.Г., Безденежных В.А., Таланов А.В. Оптимизация процесса формирования продуктивности тепличной культуры огурца. - В сб.: влияние факторов внешней среды и физиологически активных веществ на терморезистентность и продуктивность растений. Петрозаводск, 1982, с. 116-126.

9. Курец В.К., Попов Э.Г. Оценка селекционного материала на ранних этапах онтогенеза на основе математической модели. - В сб.: Применение физиологических методов при оценке селекционного материала и моделировании новых сортов с.-х. культур. М., 1983, с. 233-236.