

УДК 635.64:631.589.2

КОРРЕКТИРОВКА ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ТЕПЛИЧНОГО ТОМАТА ПО ДАННЫМ О ПРИХОДЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

П. А. АПОСТОЛ, С. Г. ФОРЕРО

(Кафедра овощеводства)

В малообъемной культуре, где в качестве наполнителя корневой среды применяли торф и воду или воду, выращивали различные гибриды томата. Минеральные удобрения в течение вегетации вносили в корневую среду дискретно в зависимости от притока солнечной радиации, которую измеряли прибором или аппроксимировали по данным за 8 лет. Достигнута высокая урожайность плодов в коротком обороте (январь — июль) — 19 кг/м².

В теплицах для обеспечения заданной концентрации питательного раствора [3, 4] регулярно с определенной частотой анализируют раствор корневой среды на содержание в нем основных элементов питания и на основании полученных данных рассчитывают корректирующие дозы минеральных удобрений. Этот способ является самым распространенным. Если корневые среды содержат 0,2 и более кубических метров почвогрунтов на 1 м² площади теплицы, достаточно проводить анализы 1 раз в месяц. В малообъемной культуре на 1 м² имеется 5—15 л питательного раствора, поэтому частоту анализов приходится существенно увеличивать. Практически можно эксплуатировать очень незначительные объемы корневых сред, требующих ежесуточной или даже еще более частой корректировки, но тогда возникает необходимость в автоматизированных системах. В практике сельского хозяйства такие системы, как правило, не используются из-за их дороговизны. Задача решается

малыми средствами путем применения датчиков электропроводности.

Система минерального питания, для которой выходным сигналом является электропроводность питательного раствора, широко распространена при культуре растений на минеральной вате. Этот показатель является обобщенным и не содержит информации об отдельных элементах минерального питания. Однако для разработки таких систем требуется большая экспериментальная работа.

Рациональнее использовать при корректировке внесения элементов минерального питания в корневую среду другой показатель — приток солнечной радиации, поскольку в теплицах солнечная радиация является основным нерегулируемым фактором роста растений. Ее приход зависит от географической широты местности, погодных условий и времени года. По отношению к системе почва — растение солнечная радиация выступает как независимая переменная.

Во многих хозяйствах имеются

данные о дозах удобрений под конкретную культуру и об урожайности. Эти данные могут быть представлены в виде функции времени t

$$D=f_1(t), \quad (1)$$

где D — доза удобрений. Количество солнечной радиации, приходящей на земную поверхность, выражаем через

$$\gamma=f_2(t). \quad (2)$$

Если из уравнения (2) определить t и ввести результат в уравнение (1), то получим зависимость дозы удобрений от количества солнечной радиации

$$D=f_3(\gamma), \quad (3)$$

которая может оказаться очень полезной для практики тепличного овощеводства. Это связано с тем, что регистрация солнечной радиации осуществляется при помощи дешевых приборов — пиранометра и солнечного интегратора — и легко поддается автоматизации. Кроме того, для конкретной местности известны многолетние данные о поступлении на земную поверхность солнечной радиации. По ним с удовлетворительной для практики точностью определяется зависимость $\gamma(t)$. Это позволяет рассчитать жесткую программу внесения удобрений, которая обеспечивает получение максимального урожая. Такие программы должны быть рассчитаны для системы с известными параметрами.

Программированное внесение удобрений может сопровождаться измерением электропроводности питательного раствора корневой среды. Однако в отличие от системы, где электропроводность служит постоянным сигналом обратной связи, здесь оно является ограничителем сверху, т. е. технолог получает информацию и дей-

ствует соответствующим образом, когда концентрация солей в корневой среде повышается выше известного предела. Для этого достаточно редко (в зависимости от параметров системы) измеряют электропроводность и приостанавливают внесение удобрений в том случае, если достигнут заданный предел.

Методика

В опыте 1, проведенном в 1980 г., изучалось влияние расхода питательного раствора на его концентрацию в проточной водной культуре. Взрослые растения томата выращивали в полистироловых лотках, расположенных под углом 1:100. Размер лотков $6 \times 0,25 \times 0,15$ м. Бортики лотков сводились вместе в верхней части после посадки растений. Рассада гибрида Revertum выращивалась до фазы начало бутонизации первой кисти в торфяных горшочках (300 см^3) при дополнительном облучении. В лотки ее высаживали 3 февраля (10 шт./лоток), предварительно отмыв корни от торфа. Густота посадки 2 растения на 1 м^2 . Расход питательного раствора 0,6 л/ч на растение. В мае при солнечной погоде испытывали 3 варианта расхода питательного раствора: 1 — 0,02; 2 — 0,12; 3 — 0,6 л/ч на растение. Наблюдения проводили в течение 8 ч. Каждые 2 ч на выходе из лотка измеряли электропроводность питательного раствора, концентрацию NPK.

Опыт 2 проведен в 1988 г. Цель его — оптимизация дозы азота в питательном растворе для томата в зависимости от притока солнечной радиации. Семена томата Casuso высевали 25 декабря 1987 г. Окончание опыта 10 июля.

В опыте 6 вариантов: 1 — контроль; корректировка питательного раствора осуществлялась по

результатам анализов на содержание в нем N, P, K и Mg 1 раз в 10 дней; 2 — внесение азота из расчета 0,02 г/МДж; 3 — 0,03; 4 — 0,04; 5 — 0,05; 6 — 0,06 г/МДж. Удобрения вносили регулярно в зависимости от притока солнечной радиации за период от предыдущей до текущей корректировки. Фосфор, калий и магний вносили исходя из принятого соотношения N:P:K:Mg 1:0,34:1,84:0,23. Содержание кальция не регулировали. Микроэлементы применяли по рецепту [2] для культур, требующих рН 6,5 и ниже. Частоту корректировки для макроэлементов рассчитывали по определенным значениям параметров системы: заданный размах колебания концентрации в питательном растворе корневой среды — $C=42$ мг/л; объем питательного раствора в системе — $V=18,5$ л/м²; доза общей солнечной радиации, после которой проводят очередную корректировку — $\Delta\gamma=20\pm 3$; количество азота для внесения на 1 МДж — $k=0,04$ г.

В начале вегетации емкость заправляли раствором, содержащим: N — 210 мг/л, P — 62, K — 380, Mg — 50, Ca — 200 мг/л и микроэлементы по рецепту [2]. рН питательного раствора был доведен до 6,0 при помощи фосфорной и азотной кислот.

В опытах 3 и 4 в 1990 г. изучалось влияние параметров протока на урожайность плодов трех гибридов.

Параметры протока являются функциями конструкции растительни и способов аэрации питательного раствора. Конструкция А — короткий лоток размером $1,2\times 0,25\times 0,10$ м; конструкция Б — длинный лоток $6,0\times 0,1\times 0,1$ м. В первом случае выращивалось 3 растения, в последнем 11. Питательный раствор поступал с одного

конца лотка и протекал по нему, омывая корни. Уклон 1:25. Средний объемный расход питательного раствора 0,6 л/ч на растение. Конструкция В — емкость размером $2,5\times 0,5\times 0,3$ м. Уровень питательного раствора в ней колебался в зоне корней с частотой 2 оборота в час. Амплитуда колебаний $7,5\times 10^{-2}$ м. В нижней части емкости имелся слой питательного раствора постоянной высоты $0,3\times 10^{-2}$ м.

Параметры системы: $C=42$ мг/л, $V=13$ л/м², $\Delta\gamma=27\pm 5$ МДж/м², $k=0,02$ г/МДж. Первоначальная заправка была в 1,43 раза больше, чем в предыдущем опыте.

Если в опыте 2 приток солнечной радиации регистрировался приборами в теплице, то в опытах 3 и 4 проводилась аппроксимация среднесуточных данных притока общей солнечной радиации на улице за 8 лет (рис. 1) по методике, приведенной в [6]. После одновременного измерения притока солнечной радиации на улице и в теплице установлено, что в последнем случае он в 2 раза меньше.

Остальные приемы такие же, как в предыдущем опыте.

Опыт 5 проведен в 1991 г. с томатами Verliosa и Capuso, которые выращивались на торфяном субстрате с момента пикировки сеянцев. Грядки длиной 5 м (система Т) состояли из торфяных плит. Ширина и толщина грядок во время эксплуатации 0,5 и 0,25 м соответственно. Количество минеральных удобрений рассчитывалось как для опытов 3 и 4. Удобрения вносили вручную 2 раза в неделю. Концентрация поливочного питательного раствора была в 2 раза выше, чем для водной культуры. В другие дни растения поливались водой. Необходимость полива определяли глазомерно. Частота поли-

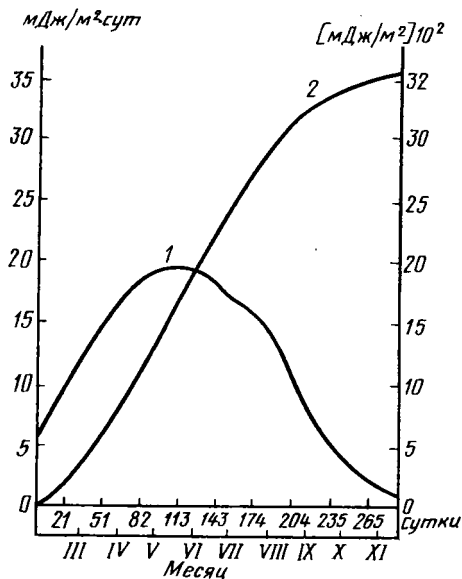


Рис. 1. Аппроксимация притока общей солнечной радиации на земную поверхность (1 — в дифференциальном, 2 — в интегральном виде) в г. Москве.

ва начиная с середины апреля — 1 раз в сутки в солнечные дни.

Обсуждение модели

Рассматривается корневая среда, для которой справедливо соотношение $Q=CV$ (4), где Q — общее количество внесенного минерального элемента, C — концентрация минерального элемента, V — объем питательного раствора корневой среды. Примером таких сред являются вода, минеральная вата, верховой торф и другие инертные среды, применяемые в малом количестве [4]. Основными факторами корневой среды, действующими на растения, являются концентрация минерального элемента и pH. Последние должны регулироваться. В реальных условиях все переменные уравнения (4) изменяются во

времени. Возможные последствия могут быть рассмотрены формально, имея в виду, что C зависимая, а Q и V независимые переменные. Из (4) получаем

$$C=Q/V. \quad (5)$$

Отсюда путем дифференцирования получим

$$dC/dt = [(dQ/dt)V - (dV/dt)Q]/V^2. \quad (6)$$

Как результат причинно-следственных связей из (6) представляют интерес 4 случая:

1. $(dQ/dt)V - (dV/dt)Q = 0$, тогда C — константа.
2. $(dQ/dt)V > (dV/dt)Q$ т. е. dC/dt убывает.
3. $(dQ/dt)V < (dV/dt)Q$ т. е. dC/dt возрастает.
4. $(dV/dt) = 0$, тогда $dC/dt = (1/V)(dQ/dt)$.

Первый случай — идеальный для практики. Однако он трудно реализуем для значительного интервала времени. Испарение воды из корневой среды приводит к тому, что для обычно применяемых питательных смесей имеет место третий вариант (рис. 2).

Обратная зависимость изменения

Таблица 1
Урожайность плодов томата в опыте 2

Вариант	Биологическая			Товарная на 1 м ² , % к биологической
	кг/рас-тение	кг/м ²	V, %	
1	4,73	16,1	22	98
2	4,88	16,1	30	98
3	5,53	18,3	17	98
4	5,75	19,0	22	97
5	5,51	18,9	20	97
6	5,05	16,7	14	96
НСР ₀₅	0,55	1,8	10	—

Примечание. V — вариация показателя строки.

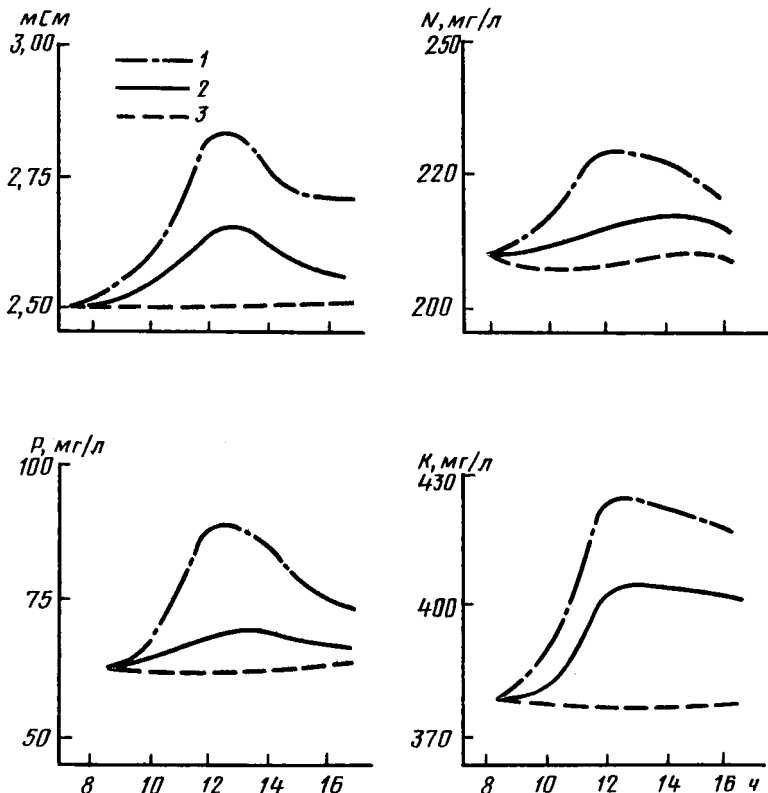


Рис. 2. Изменение концентрации элементов питательного раствора корневой среды в проточной водной культуре в период плодоношения томатов.
 1 — расход раствора на растение 0,02 л/ч; 2 — 0,12 л/ч; 3 — 0,6 л/ч.

концентрации от объема питательного раствора корневой среды имеет особое значение, когда объем не поддерживается на постоянном уровне. При неизменном числителе в уравнении (6) уменьшение V обостряет ситуацию тем больше, чем ближе V к 0. Очевидно, для придания изменениям концентрации большей определенности и уменьшения ее колебаний V должен быть как можно больше. Когда V мал (5—15 л/м²), желательно, чтобы его поддерживали на постоянном уровне. Надо сказать, что поиск компромисса между объемом корневой

среды и способом корректировки в ней элементов питания для тепличного овощеводства является одной из основных задач.

Когда V постояен, изменение концентрации происходит из-за несоответствия между количеством поглощенного растениями и внесенного минерального элемента. Добиваться полного соответствия нет необходимости, поскольку эксперименты (табл. 1) показывают, что один и тот же урожай может быть получен при значительных колебаниях концентрации минерального элемента корневой среды. Ситуация

обостряется по мере того, как сужают интервал отклонения регулируемой выходной величины ΔC .

В результате интегрирования уравнения

$$dC/dt = (1/V)dQ/dt \quad (7)$$

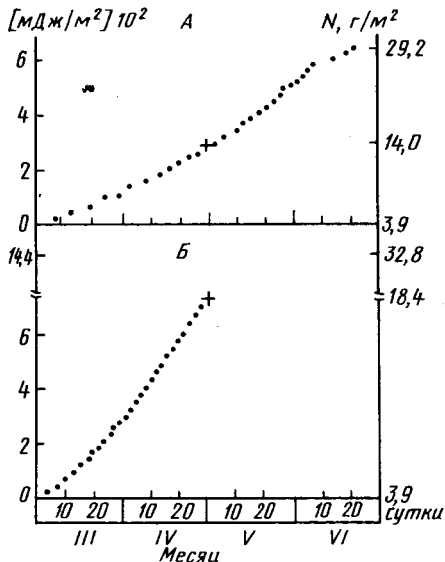
при условии, что $dQ/dt = R$ — постоянная, получим

$$C(t) = C_0 + (R/V)t. \quad (8)$$

Принято $C_0 = C_{\text{opt}}$, где C_0 и C_{opt} — начальная и оптимальная концентрации элемента в питательном растворе корневой среды. В $C(t) = C_{\text{lim}}$ $C(t)$ — концентрация элемента в питательном растворе корневой среды в момент времени t , а C_{lim} — предельно допустимое ее значение. Тогда $\Delta C = C_{\text{lim}} - C_{\text{opt}}$ или из (8)

Рис. 3. Частота внесения удобрений в корневую среду в зависимости от притока общей солнечной радиации.

А — корректировка по результатам измерения притока солнечной радиации в теплице; Б — по аппроксимированным данным для ее притока на земную поверхность в г. Москве.



$$\Delta C = (R/V)t. \quad (9)$$

Если t измеряют в сутках, то $R = q_{\text{in}} - q_{\text{out}}$, где q_{in} — количество элемента, внесенного в корневую среду за сутки, q_{out} — количество элемента, поглощенного растениями за сутки.

В случае дискретной корректировки t в уравнении (9) задается как промежуток времени между моментами внесения удобрений Δt . При этом $R = q_{\text{out}}$, так как за время Δt $q_{\text{in}} = 0$. Тогда

$$\Delta C = (q_{\text{out}}\Delta t)/V, \quad (10)$$

откуда $\Delta CV = q_{\text{out}}\Delta t$. Произведение ΔCV обозначает корректирующую дозу элемента. Значение ΔC определяется в экспериментах, а V задается технологом при проектировании системы. Значение q_{out} характеризует темп поглощения элемента растениями. Оно является независимой переменной, изменяющейся во времени (в онтогенезе растений). Время очередной корректировки определяется из

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad (11)$$

где t_2 и t_1 — время текущей и предыдущей корректировки соответственно.

Из (11) $t_2 = t_1 + \Delta t$, или, после замены Δt в (10)

$$t_2 = t_1 + \Delta CV / q_{\text{out}}. \quad (12)$$

Если известна средняя скорость выноса элемента из корневой среды в зависимости от притока солнечной радиации $q_{\text{out}} = f_4(\gamma)$, то время очередной корректировки может быть определено путем введения в уравнение (12) значений этой функции.

Мы принимаем, что задача корректировки питательного раствора корневой среды в течение вегетации растений заключается в поддержании в известных, заданных пределах концентрации минерального

элемента. Поскольку в нашей статье речь не идет о непрерывном автоматическом процессе, необходимо определить частоту и дозу корректировки разностными методами. Емкость питательного раствора корневой среды и допустимые колебания концентрации элементов в ней являются параметрами системы. Темп поглощения минерального элемента задается как функция притока солнечной радиации. Размер питательной емкости позволяет в условиях первоначальной заправки обходиться без введения нелинейной зависимости в начале и конце вегетации растений. Для периода вегетации применим линейный закон в отношении внесения минерального элемента в зависимости от притока солнечной энергии. Рассчитывается доза основного питательного элемента — азота. Остальные элементы вносят по принятому соотношению.

Нами использованы следующие расчетные формулы:

$$D_N = k_N \gamma(t), \quad (13)$$

где D_N — доза азота, г/м²; k_N — коэффициент пропорциональности, г/МДж; $\gamma(t)$ — количество солнечной радиации, МДж/м².

$$D_k = k_N \int_{t_1}^{t_2} \gamma(t) dt, \quad (14)$$

где D_k — корректирующая доза азота, г/м²; t_1 — время предыдущей корректировки; t_2 — время текущей корректировки.

$$D_3 = V \Delta C, \quad (15)$$

где D_3 — заданная доза для разового внесения в корневую среду, г/м²; V — объем питательного раствора корневой среды, л/м²; ΔC — допустимый скачок концентрации минерального элемента корневой среды, мг/л.

$$\Delta \gamma = \gamma(t_2) - \gamma(t_1) = V \Delta C / k_N, \quad (16)$$

где $\Delta \gamma$ — количество солнечной радиации, соответствующее корректирующей дозе азота, МДж/м².

Результаты

Из табл. 1 следует, что урожайность в контроле (вариант 1), где корректировку питательного раствора корневой среды проводили по результатам агрохимического анализа, существенно не отличается от ее уровня в вариантах 2 и 6, где удобрения вносили в зависимости от притока солнечной радиации. В опыте достигнута точка экстремума по урожайности плодов. Это позволяет выбрать оптимальные варианты по дозе удобрений (3-й и 4-й).

Обращает на себя внимание вариация урожайности по кустам (табл. 1). При наименьшей дозе удобрений она оказалась самой большой (вариант 2). Это указывает на возможную неравномерность минерального питания растений из-за низкой концентрации питательного раствора и медленной диффузии. Корректирующая доза вносилась в двух точках, а сильно разросшаяся корневая система не позволяла смешиваться питательному раствору за счет барботажа.

В опытах 3 и 4, в которых приток солнечной радиации не измерялся, урожайность плодов была такой же, как в опыте 2. Это указывает на пригодность применяемого способа корректировки.

Аппроксимированные кривые для притока солнечной радиации за период выращивания томатов без искусственного облучения в условиях Москвы приводятся на рис. 1 в дифференциальном и интегральном виде. Синусоида на этом рисунке описывается уравнением

Таблица 2

Урожайность плодов томата в зависимости от параметров системы, выращиваемого гибрида и субстрата

Гибрид F ₁	Уро- жай- ность, кг/м ²	Достоверность
<i>Система А (опыт 3)</i>		
Counter	19,9	По опыту 3:
Verlioca	18,3	НСР ₀₅ для част-
Dombello	24,8	ных различий 2,6
<i>Система Б (опыт 3)</i>		
Counter	16,5	НСР ₀₅ для гиб-
Verlioca	14,8	ридов 1,8
Dombello	16,1	НСР ₀₅ для пара- метров системы 1,5
<i>Система В (опыт 4)</i>		
Verlioca	18,3	По опытам 4 и 5:
Carlson	14,8	F _φ < F _т
Caruso	18,1	
<i>Система Т (опыт 5)</i>		
Verlioca	12,4	
Caruso	11,4	

$$\gamma = 10,4 + 9,2 \sin \left(\frac{n-21}{365} 360 \right),$$

где n — порядковый номер суток начиная с 1 марта.

Данные табл. 2 свидетельствуют о существенной прибавке урожая томатов в коротком лотке (система А).

Гибрид Dombello дал существенную прибавку урожая плодов в системе А (табл. 2). Однако нельзя говорить о преимуществе данного гибрида, поскольку в системе Б значительного повышения его урожайности не наблюдалось.

На торфоплите (опыт 5) урожайность плодов у гибрида Verlioca была на 16—32, а у гибрида Caruso — на 24—31 % ниже, чем в водной культуре. Снижение урожайности, возможно, связано с режимом полива. Кроме того, не исключено, что для торфяной культуры

еще не определены оптимальные динамика внесения и нормы удобрений. Других существенных причин, определяющих различия урожайности в торфяной и водной культурах, не видится.

Динамика внесения минеральных удобрений при разных способах корректировки была приблизительно одинаковой (рис. 3, обратить внимание на масштаб), хотя в контрольном варианте опыта 3 корректировка проводилась значительно реже, чем в остальных вариантах. Вместе с тем в контроле и в варианте 2 при практически одинаковых нормах удобрений (табл. 3) получена также и одинаковая урожайность. Следовательно, повышение урожайности в вариантах 3—5 зависело от норм удобрений. Однако при заданной концентрации питательного раствора большую норму удобрений (в контрольном варианте) можно обеспечить за счет увеличения частоты внесения. Это указывает на существенность фактора частоты.

В опытах получены высокие урожаи плодов в коротком культурообороте, поэтому представляют интерес данные о всей биомассе растений (табл. 3) и содержании в ней минеральных элементов (табл. 4).

В структуре биомассы (табл. 5) в опыте 2 наблюдалось постоян-

Таблица 3
Воздушно-сухая биомасса томатов (г/м²)
в конце вегетации в опыте 2

Вариант	Листья	Стебли	Корни	Плоды	Общая
1	371	157	57	849	1434
2	363	173	74	843	1453
3	361	167	67	934	1529
4	415	194	78	930	1617
5	395	183	63	937	1578
6	434	193	78	818	1523
\bar{v} , %	9	8	12	6	—

Таблица 4
Содержание минеральных элементов и золы (%) в органах растений в конце вегетации в опыте 2

Вариант	N	P	K	Ca	Mg	Зола
<i>Листья</i>						
1	1,89	0,60	1,70	3,76	0,78	22,68
2	2,13	0,60	2,50	3,48	0,70	23,33
3	2,17	0,70	1,91	3,89	0,78	23,90
4	2,21	0,70	1,88	3,34	0,72	22,26
5	2,55	0,82	2,43	3,78	0,82	22,79
6	2,53	0,75	2,43	3,66	0,65	22,11
<i>Стебли</i>						
1	1,11	0,49	1,97	1,48	0,49	8,3
2	1,37	0,45	2,32	1,64	0,45	9,5
3	1,23	0,51	1,90	1,63	0,51	8,6
4	1,52	0,53	2,00	1,63	0,53	9,0
5	1,80	0,57	2,08	1,54	0,57	8,9
6	1,79	0,57	2,22	1,57	0,57	9,3
<i>Корни</i>						
1	2,51	1,00	1,53	1,38	0,54	19,70
2	2,51	1,01	1,73	1,60	0,51	20,65
3	2,84	1,20	1,28	1,60	0,58	14,60
4	2,93	0,95	2,00	1,26	0,49	16,85
5	2,95	1,36	1,87	1,42	0,51	16,75
6	2,91	1,50	2,18	1,62	0,56	18,30
<i>Плоды</i>						
1	1,68	0,40	2,81	0,16	0,14	10,28
2	2,16	0,45	3,32	0,17	0,15	10,28
3	1,90	0,42	2,95	0,15	0,14	12,50
4	2,02	0,47	3,29	0,15	0,14	10,65
5	2,04	0,50	3,52	0,14	0,13	10,98
6	2,23	0,49	3,51	0,16	0,14	10,90

ство. Результаты определения динамики содержания элементов в листьях (табл. 6) в течение вегетации отражают условия минераль-

Таблица 5
Структура воздушно-сухой биомассы (%) растений томата в конце вегетации (числитель — общая, знаменатель — вегетативная) в опыте 2

Вариант	Листья	Стебли	Корни	Плоды
1	26	11	4	59
	83	27	10	0
2	24	11	5	60
	60	28	12	0
3	21	10	4	65
	61	28	11	0
4	26	12	5	57
	60	28	12	0
5	25	12	4	59
	62	29	9	0
6	29	13	5	53
	62	27	11	0

ного питания. Они существенно различаются по вариантам, что указывает на причину колебания урожайности.

Биологический вынос элементов (табл. 7) является производной от количества биомассы (табл. 3) и относительного содержания элементов в ней (табл. 4). Он полностью отражает условия минерального питания, которые создавались в результате действия изучаемого фактора.

Баланс элементов питания

Таблица 6
Изменение содержания азота (%) в листьях томата в опыте 2

Вариант	14/IV	10/V	30/V	9/VI	20/VI	27/VI	7/VII	Среднее	НСР ₀₅
1	2,59	2,41	2,29	2,44	2,31	2,05	1,99	2,30	—
2	2,58	2,02	2,02	2,08	2,25	1,80	1,99	2,11	0,15
3	2,70	2,29	2,23	2,33	2,25	2,14	2,10	2,29	0,07
4	2,73	2,38	2,26	2,53	2,39	2,39	2,16	2,27	0,00
5	2,83	2,28	2,51	2,35	2,57	2,29	2,77	2,51	0,00
6	2,92	2,33	2,49	2,60	2,45	2,36	2,38	2,50	0,00

* НСР₀₅ рассчитана для разности средних между смежными вариантами начиная со 2-го.

Таблица 7

Биологический вынос минеральных элементов (г/м^2) растениями томата в опыте 2

Вариант	Лист	Стебель	Корень	Плоды	Общий
<i>Азот</i>					
1	6,7	1,9	1,9	14,2	24,7
2	4,1	2,2	1,4	18,4	26,1
3	7,8	2,1	1,6	17,8	29,3
4	9,2	3,0	2,3	18,8	33,1
5	10,1	3,0	1,9	19,1	34,1
6	11,0	3,5	2,3	18,2	35,0
<i>Фосфор</i>					
1	2,1	0,9	0,7	3,4	7,1
2	2,2	0,7	0,6	3,8	7,3
3	2,5	0,9	0,8	3,9	8,1
4	3,3	1,0	0,7	4,4	9,4
5	3,2	1,0	0,9	4,7	9,8
6	3,3	1,1	1,2	4,0	9,6
<i>Калий</i>					
1	5,9	3,4	1,1	23,7	34,1
2	9,3	3,7	1,0	28,2	42,2
3	6,9	3,2	0,9	27,6	38,6
4	7,8	3,9	1,6	30,6	43,9
5	9,6	3,8	1,2	33,0	47,6
6	10,6	4,3	1,7	40,1	56,7
<i>Кальций</i>					
1	12,9	2,6	1,0	1,4	17,9
2	12,9	2,6	0,9	1,1	17,5
3	14,1	2,7	1,1	1,6	19,5
4	13,9	3,2	1,0	1,4	19,5
5	14,9	2,8	0,9	1,4	20,1
6	15,9	3,0	1,3	1,2	21,4
<i>Магний</i>					
1	2,7	0,9	0,4	1,2	5,2
2	2,6	0,7	0,3	1,3	4,9
3	2,8	0,9	0,4	1,3	5,4
4	3,0	1,0	0,4	1,3	5,7
5	3,2	1,0	0,3	1,2	5,7
6	2,8	1,1	0,4	1,2	5,5

(табл. 7) определялся по количеству внесенного элемента и остатку его в питательном растворе, а также по результатам агрохимического анализа биомассы. Несоответствие результатов объясняется ошибками применяемых методик.

Особенно хочется указать на низкие дозы минеральных элементов в расчете на 1 кг плодов (табл. 8). Так, в лучших вариантах (3 и 4) для получения 1 кг плодов потребовалось внести азота на 30 %

Таблица 8

Баланс минеральных элементов в конце вегетации в опыте 1

Вариант	Внесено, г/м^2	Остаток в растворе, г/м^2	Вынос, г/м^2	K_a	K_b	Внесено в расчете на 1 кг плодов, г
<i>Азот</i>						
1	23,6	0	24,7	105	100	1,47
2	22,3	0	26,1	117	100	1,38
3	28,3	0	29,3	104	100	1,55
4	32,8	0	33,3	101	100	1,73
5	38,0	1,2	34,1	90	97	2,01
6	41,8	1,8	35,0	84	96	2,50
<i>Фосфор</i>						
1	6,8	Сл.	7,1	104	100	0,43
2	6,5	»	7,3	112	100	0,45
3	8,0	»	8,1	101	100	0,44
4	9,2	0,04	9,4	102	100	0,49
5	10,6	0,07	9,8	92	99	0,52
6	11,6	0,10	9,6	83	99	0,57
<i>Калий</i>						
1	41,9	Сл.	34,1	81	100	2,1
2	39,4	»	42,1	107	100	2,6
3	49,5	1,2	38,6	78	98	2,7
4	56,9	1,6	43,9	77	97	3,0
5	65,6	2,2	47,6	73	97	3,5
6	71,6	4,3	56,7	79	94	4,3
<i>Магний</i>						
1	5,2	0,7	5,2	100	85	0,32
2	4,9	0,6	4,9	100	88	0,30
3	6,1	0,7	5,4	89	89	0,33
4	7,0	1,3	5,7	81	81	0,37
5	8,1	1,7	5,8	72	79	0,43
6	8,9	1,8	5,5	62	80	0,53

Примечание. K_a — коэффициент использования, рассчитанный по результатам анализа воздушно-сухой биомассы; K_b — рассчитанный по результатам анализа питательного раствора корневой среды.

меньше, чем указывается другими исследователями [1, 5]. Это очень хороший результат, если учесть, что в окружающую среду удобрения не попали.

Выводы

1. Внесение удобрений в корневую среду тепличного томата в за-

висимости от притока солнечной радиации обеспечивает получение в расчете на 1 м² 19 кг плодов за период вегетации в теплице в г. Москве — 25 декабря (посев) — 10 июля (уборка).

2. Дозы азота и других элементов минерального питания, рассчитанные по данным о притоке солнечной радиации, полученным непосредственно в опыте, оказали такое же влияние на урожайность, как и дозы, рассчитанные путем аппроксимирования среднемесячных данных о притоке солнечной радиации за 8 лет.

3. Для получения 1 кг плодов томатов при урожайности 19 кг/м² в коротком обороте достаточно внести 1,73 г азота.

4. Оптимальная доза удобрений при отсутствии слива питательного раствора из системы в период вегетации способствовала практически полному поглощению растениями биогенных элементов.

5. Высокая урожайность плодов томатов в коротком культурообороте (18—19 кг/м²) обеспечивается внесением удобрений в постоянном соотношении N:P:K:M_g — 1:0,34:1,84:0,23.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вендило Г. Г., Миканаев Т. А., Петриченко В. Н., Скоржинский А. А. Удобрение овощных культур.— М.: Агропромиздат, 1986.— 2. Бенгли М. Промышленная гидропоника.— М.: Колос, 1965.— 3. Глунцов Н. М. Агробиохимическая лаборатория овощевода.— М.: Росагропромиздат, 1989.— 4. Семидчиев Х. Тепличное овощеводство на малообъемной гидропонике.— М.: Агропромиздат, 1985.— 5. Geissler T. Gemuseproduktion unter glas und planten.— VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1976.— 6. France L., Thornley I. H. M.— Mathematical Models in Agriculture Butterworth Co (Publishers) L. T. D., 1984.

Статья поступила 2 июля 1991 г.

SUMMARY

In low-voluminal culture where peat and water or water were used as fillers for root medium, different tomato hybrids were grown. During vegetation mineral fertilizers were discretely applied into root medium, depending on the flow of solar radiation which was measured with an apparatus of was approximated according to the data obtained during 8 years. High yield of fruits was achieved in a short rotation (January — July) — 19 kg/m².