

Л. М. КАЛАЧАН

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА ПРИ ЕГО ЦИРКУЛЯЦИИ В СЛОЕ НАПОЛНИТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ ГИДРОПОНИКИ*

Гидропоника позволяет целенаправленно управлять режимом минерального и водного питания растений, что обеспечивает повышение урожая и улучшение качества продукции [1—3]. Поэтому выращивание растений без почвы теперь имеет широкое производственное значение [4—11].

Для выращивания растений без почвы предложено много рецептов [1, 7, 9, 12—14] питательных растворов, но колебания в их составе настолько велики, что научное обоснование многих растворов сомнительно [1, 13]. При циркуляции питательных растворов происходят процессы изменения общей концентрации, состава раствора и соотношения в нем питательных элементов.

Изучение этих изменений имеет практическое значение для гидропонического производства растений.

Объекты и методы исследования. Исследования проводились на экспериментальной гидропонической станции ИАПГ АН Армянской ССР.

Открытые вегетационные делянки наполнены севанским гравием, вулканическим шлаком, пемзой крошкой и их смесями. По величине частиц эти материалы представляют смесь от 3 до 15—20 мм.

На питательном растворе Г. С. Давтяна [7] выращивался ряд культур: овощные—томаты; технические—розовая герань, табак; лекарственные—алоэ и дольчатый паслен; цветы.

Концентрат макро- и микроэлементов в 500-литровом баке приготавливали обычно через каждые 4—5 дней. Разбавление концентрата 1:100 и добавление в рабочий резервуар происходит автоматически по мере расходования раствора в процессе питания растений. После расходования каждой порции концентрата [500 л] в течение 2-х дней в резервуар рабочего раствора поступала чистая вода, которая постепенно разбавляла рабочий раствор и служила для промывочного полива. Через 2 дня снова в систему включала концентрат и рабочий раствор постепенно доходил до нормы.

Анализ питательного раствора производился по рекомендациям О. Б. Гаспарян [15, 16]. Общую концентрацию раствора [сопротивление] измеряли с помощью кондуктометра типа ММЗЧ—59, концентрацию водородных ионов—рН метром [тип ЛПУ—01]. Аммиачный азот определяли колориметрическим методом с применением реактива Несслера.

* Руководитель Г. С. Давтян.

Таблица 2

Изменение состава питательного раствора при его циркуляции в секции алоэ, мг/л, 1973 г.

Дата анализа	День использования раствора	n р	Электропроводность $\times 10^5 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NO_3^-	H_2PO_4^-	HCO_3^-	NO_2^-	Cl^-	SO_4^{2-}
23/VII	Питательный раствор после обратного стока, I день	7,20	109	90	50	50	39	49	210	31	97	12	74	180
24/VII	Питательный раствор после обратного стока, II день	6,25	181	240	85	60	96	56	347	148	68	9	85	320
25/VII	Период промывочного полива после обратного стока, I день	6,26	157	107	14	70	33	64	297	74	39	3	81	200
26/VII	Период промывочного полива после обратного стока, II день	6,75	116	94	5	80	45	49	нет	39	102	3	81	150
27/VII	Питательный раствор после обратного стока, I день	6,54	172	114	56	60	73	61	396	101	92	11	81	210
28/VII	Питательный раствор после обратного стока, II день	6,16	181	230	58	70	79	72	570	170	48	73	88	350
29/VII	Период промывочного полива после обратного стока, I день	6,16	172	131	следы	90	45	69	173	106	39	4	88	190
30/VII	Период промывочного полива после обратного стока, II день	6,50	120	80	следы	80	45	61	212	49	48	2	92	170

Химический состав питательного раствора при его циркуляции в мг/л (1973 г)

Дата анализа	День использования раствора	pH	Электропроводность $\times 10^3 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	NO_3^-	H_2PO_4^-	HCO_3^-	NO_2^-	Cl^-	SO_4^{2-}
23/VII	Исходная вода	7,70	82	6	нет	80	34	47	12	следы	268	нет	67	110
23/VII	Исходный питательный раствор	6,00	181	323	86	80	34	47	493	199	268	нет	67	360
23/VII	Питательный раствор до подачи I день	7,30	109	40	5	40	56	49	100	25	197	6	74	140
23/VII	Питательный раствор после обратного стока, I день	6,50	192	300	90	35	68	47	285	146	117	6	74	340
24/VII	Питательный раствор до подачи, II день	6,22	181	310	90	30	68	56	480	219	73	16	81	350
24/VII	Питаемый раствор после обратного стока, II день	6,59	157	250	48	50	85	49	267	110	97	12	81	210
25/VII	Период промывочного подлива до подачи, I день	6,15	164	140	50	40	102	62	327	95	39	4	85	170
25/VII	Период промывочного подлива после обратного стока, I день	6,60	150	106	31	90	56	42	238	79	87	2	85	120
26/VII	Период промывочного подлива до подачи, II день	6,75	120	100	36	70	56	56	43	47	92	0,8	92	120
27/VII	Период пром. подлива после обратного стока, II день	7,30	90	39	34	90	32	52	35	25	185	5	106	120
27/VII	Питательный раствор до подачи, I день	6,44	120	200	42	55	51	57	279	83	117	124	93	280
27/VII	Питат. раствор после обр. с окл. I день	6,25	164	210	50	50	52	57	340	119	97	285	86	280
28/VII	Питательный раствор до подачи, II день	6,25	181	240	83	30	85	62	372	199	82	13	81	310
28/VII	Питательный раствор после обратного стока, II день	6,65	164	131	60	50	79	61	280	159	136	130	81	210
29/VII	Период промывочного подлива до подачи, I день	6,69	150	122	30	70	62	56	248	85	78	61	81	180
29/VII	Период промывочного подлива после обратного стока, I день	7,04	120	80	10	80	45	61	223	53	122	4	81	130
30/VII	Период промывочного подлива до подачи, II день	6,81	116	73	следы	70	45	47	198	39	141	нет	85	130
30/VII	Период промывочного подлива после обратного стока, II день	7,06	109	61	следы	80	45	56	161	27	151	следы	81	130

Результаты исследования. Результаты анализа (табл. 1, 2) показали, что в процессе циркуляции питательного раствора происходит изменение его состава: общей концентрации (электропроводности), pH, соотношения питательных элементов. Эти изменения связаны с усвоением растениями питательных веществ из раствора, контактом раствора с наполнителями различного характера и всей проводящей системой гидропоникума, вторичными процессами в растворе, осаждением питательных ионов из раствора и др.

Характер изменения электропроводности питательного раствора в процессе снабжения им растений и периодического обновления после промежуточных промывочных поливов показан на рис. 1.

На рис. 2, 3, 4 и 5—картина изменения содержания отдельных питательных элементов в питательном растворе.

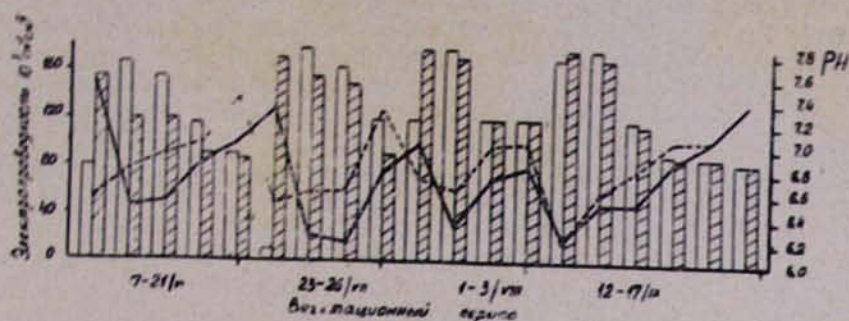


Рис. 1. Динамика изменения электропроводности и pH питательного раствора при его циркуляции. Столбиками обозначена электропроводность в $\times 10^3 \text{ см}^{-1} \text{ м}^{-1}$ (слева).

Незаштрихованный столбик — до полива, заштрихованный столбик — после полива растений. Кривые — динамика изменения pH (шкала справа): сплошная линия — до полива, пунктирная — после полива растений.

Систематические анализы (табл. 1, 2) показали, что растения неравномерно поглощают из раствора отдельные питательные ионы. Результаты наших исследований, а также данные других авторов [9, 10] показывают, что растения поглощают аммиачный азот быстрее,

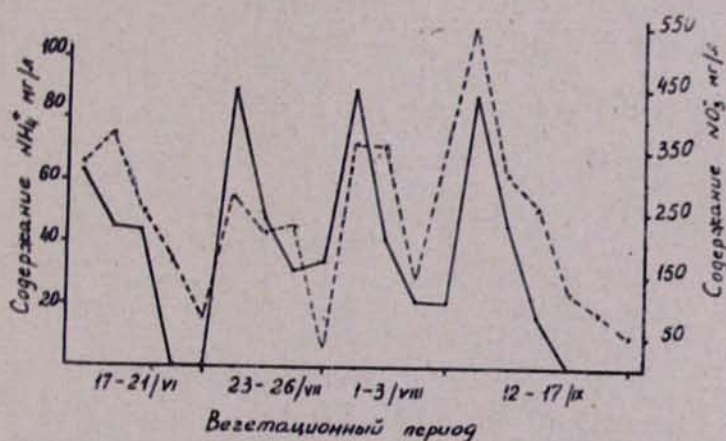


Рис. 2. Изменение содержания ионов NH_4^+ и NO_3^- в питательном растворе в процессе циркуляции питательного раствора. Сплошная линия — NH_4^+ , пунктирная — NO_3^- .

чем нитратный (рис. 2). Поглощение аниона NO_3 корнями происходило значительно слабее, чем катиона NH_4^+ .

Работами Д. Н. Прянишникова [17] установлено, что одним из факторов, определяющих питательное достоинство аммиачных или нитратных солей, является реакция питательной среды.

В наших опытах реакция питательной среды (рис. 1) способствовала более быстрому поглощению корнями аммонийной формы NH_4^+ азота.

В то время как аммиачный азот питательного раствора полностью поглощается корнями, в растворе обычно наблюдается остаток нитратного азота.

С целью избежания засоления субстрата после расходования одного бака в 500 л концентрата в резервуар рабочего раствора в течение двух дней подавалась чистая вода. Результаты исследований показывают, что при этом мы не только не лишаем растения питательных веществ, но промывочными поливами возвращаем их в резервуар. Таким способом удается не только избегать вполне возможного засоления, но и вторично использовать питательные ионы, адсорбированные субстратом.

При резком разбавлении раствора водой происходит активное вымывание ионов из наполнителей, усиливается десорбция. Наполнитель, соприкасаясь с водой, отдает ей не только те ионы (K^+ , NO_3^- , SO_4^{2-}), которые поглотил из питательного раствора, но и другие ионы, например Na^+ содержащиеся в нем.

Однако вода вымывает растворимые соли—хлориды, нитраты, некоторые сульфаты, а нерастворимые или мало растворимые соединения—фосфаты кальция и магния, сульфат кальция—мало вымываются и в основном остаются в наполнителе.

Анализ раствора во время промывочных поливов показывает, что на второй день после циркуляции содержание в нем фосфора и калия незначительно (рис. 3.4) и из питательного раствора интенсивно расходуется в первую очередь аммоний, в то время как промывочные воды еще содержат нитраты.

Режим циркуляции питательного раствора с периодическими промежуточными промывочными поливами водой обеспечивает более

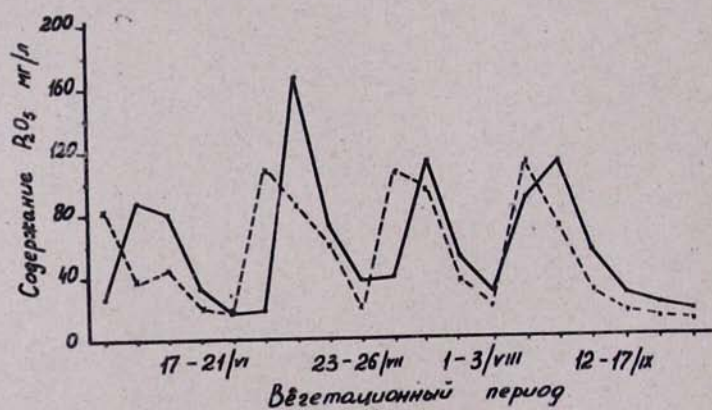


Рис. 3. Изменение содержания P_2O_5 в питательном растворе при его циркуляции. Сплошная линия — до полива, пунктирная — после полива растений.

полное использование питательных веществ субстрата и позволяет избежать опасности его засоления.

Таким образом, применяемый в институте способ приготовления питательного раствора обеспечивает растения всеми необходимыми питательными элементами и, как отмечено Г. С. Давтяном [18], не приходится прибегать к частым анализам и корректировке раствора. В проведенных ранее исследованиях [19] было установлено, что наполнители активны и взаимодействуют с питательным раствором. Это подтверждается и результатами наших анализов.

Благодаря своей большой подвижности—эквивалентная электропроводность— $349,8 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^2$ [20] и малым размерам (радиус— 10^{-5} А) [21]—катион водорода, который может появляться в растворе, как и угольная кислота, в связи с дыханием корней, способен легко проникать в кристаллическую решетку минералов и вызывать их разрушение в результате обмена катионов. В исходной воде содержалось (в мг/л): Na^+ —47,5—50,5; Cl^- —67,2—70,9; Ca^{2+} —80,1—93,6; Mg^{2+} —24,3—37,9 (табл. 3), а в питательном растворе обнаружено: Na^+ до 72, Cl^- до 106, Ca^{2+} до 105, Mg^{2+} до 102.

Многочисленными исследованиями [22—24] установлено, что при подщелачивании раствора наблюдается более полное поступление катионов, тогда как при подкислении усиливается поглощение анионов. Наши работы и исследования ряда авторов [9, 25] показали, что поглощение катионов магния зависит от кислотности раствора. Чем кислее питательный раствор, тем меньше магния поглощается растениями (рис. 5). Вероятно, здесь проявляется также антагонизм ионов [25, 26].

Следует отметить, что содержание магния в промывочной воде отрицательно коррелирует с кальцием при циркуляции питательного раствора (рис. 5).

Исходная реакция питательного раствора, которая зависит от количества и свойств веществ, взятых для приготовления раствора, а также от реакции исходной воды, устанавливается нами на требуемом уровне. Поддержание реакции питательного раствора в определенных

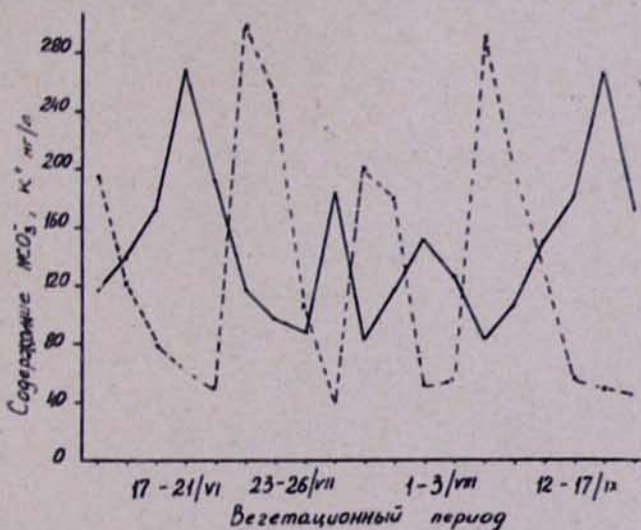


Рис. 4. Изменение содержания ионов K^+ и HCO_3^- в питательном растворе при его циркуляции. Сплошная линия — HCO_3^- , пунктирная — K^+ .

Химический состав исходной воды в мг/л (числитель) и мг. экв. (знаменатель)
(1973 г.)

Дата анализа	рН	Электропроводность $\times 10^3 \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	HCO_3^-	Cl^-	HPO_4^{2-}	SO_4^{2-}
17/VI	7.83	75	$\frac{49.0}{2.13}$	$\frac{6.0}{0.15}$	$\frac{24.3}{1.99}$	$\frac{90.1}{4.5}$	нет	$\frac{17.8}{0.28}$	нет	$\frac{258.6}{4.24}$	$\frac{70.9}{2.20}$	следи	$\frac{93.6}{1.95}$
23/VII	7.70	82	$\frac{47.5}{2.06}$	$\frac{6.0}{0.15}$	$\frac{34.0}{2.80}$	$\frac{80.1}{4.0}$	нет	$\frac{12.4}{0.20}$	нет	$\frac{268.4}{4.48}$	$\frac{67.3}{1.9}$	следи	$\frac{110.0}{2.30}$
20/VIII	7.95	75	$\frac{47.5}{2.06}$	$\frac{6.0}{0.15}$	$\frac{37.9}{3.11}$	$\frac{85.8}{4.28}$	нет	$\frac{9.42}{0.15}$	$\frac{0.4}{0.01}$	$\frac{268.4}{4.48}$	$\frac{67.3}{1.9}$	следи	$\frac{93.6}{1.95}$
12/IX	7.92	82	$\frac{50.5}{2.17}$	$\frac{6.5}{0.15}$	$\frac{37.9}{3.11}$	$\frac{93.6}{4.67}$	нет	$\frac{17.8}{0.28}$	$\frac{0.9}{0.02}$	$\frac{273.2}{4.47}$	$\frac{70.9}{2.0}$	следи	$\frac{110.0}{2.30}$

пределах—одно из важнейших условий гидропонии. В результате неодинаковой скорости поглощения катионов и анионов солей происходит смещение кислотности раствора [11]. Физиологическая реакция солей, входящих в питательный раствор, обуславливает изменение реакции раствора под влиянием воздействия растения; при поглощении расте-

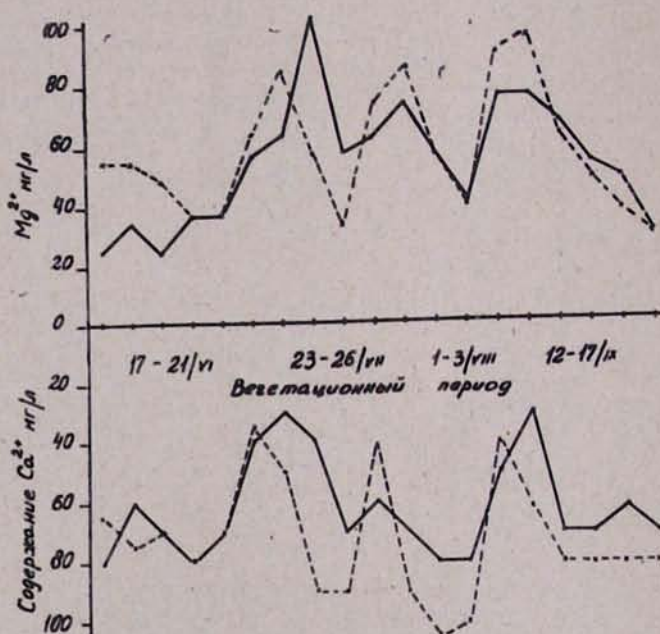


Рис. 5. Изменение содержания Mg^{2+} и Ca^{2+} в питательном растворе при его циркуляции. Сплошная линия — до полива, пунктирная — после полива растений.

ниями преимущественно анионов в растворе накапливаются щелочные остатки и раствор подщелачивается. Наличие же в питательном растворе аммиачных солей $[\text{NH}_4\text{NO}_3, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ подкисляет раствор, так как при pH около 6—6,8 поглощение аммония растениями явно преобладает; в растворе аммоний расходуется полностью, в то время, как нитраты остаются.

Физиологически кислые соли $(\text{NH}_4\text{NO}_3, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, \text{K}_2\text{SO}_4)$ питательного раствора образуют кислоты HNO_3 и H_2SO_4 , которые противодействуют подщелачиванию раствора. Можно полагать, что сдвиг pH питательного раствора происходит также под влиянием продуктов жизнедеятельности микроорганизмов [27—29].

Сильное подщелачивание питательной среды способствует образованию труднорастворимых фосфатов кальция и магния, что может вызывать недостаток фосфора для растений. Однако применяемые раствор и режим его подачи обеспечили растениям достаточное количество фосфора (рис. 3).

Выводы

1. Применяемый на гидропонической экспериментальной станции ИАПГ способ приготовления питательного раствора обеспечивает растения необходимым питательными элементами в нужных количествах (с небольшим избытком) и требуемых соотношениях.

2. Режим циркуляции питательного раствора, предусматривающий периодические промежуточные промывочные поливы водой, обеспечивает вымывание веществ из наполнителя, их вторичное использование и избежание опасности засоления субстрата.

3. Аммонийные формы азота (NH_4^+) поглощаются растениями быстрее, чем нитратные (NO_3^-) .

4. Адсорбция же других анионов корнями растений несколько превышает адсорбцию катионов, вследствие чего реакция питательного раствора имеет тенденцию к подщелачиванию.

5. Исходная вода по химическому составу относится к гидрокарбонатному классу.

По данным исследований 1973 г. каждый кубометр воды приносит в резервуар питательного раствора: Ca^{2+} —80,1—93,6; Mg^{2+} —24,3—37,9; K^+ —6,0—6,5; SO_4^{2-} —93,6—110,0 граммов, в растворенном состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Давтян. Проблема питательного раствора в производстве растений без почвы. «Сообщения Ин-та агрохимических проблем и гидропоники», изд-во АН Арм. ССР, № 7, 1967 (Доклад на сессии ВАСХНИЛ, посвящен 100-летию со дня рождения Д. Н. Прянишникова), стр. 11—20.
2. С. Ф. Ващенко, Д. И. Латышев, А. Н. Смирнова. Опыт выращивания огурцов на гравии в совхозе «Тепличный».—«Сад и огород», № 12, 1959, стр. 19—21.
3. В. А. Чесноков, Е. Н. Базырина. Выращивание растений без почвы на искусственных средах.—«Вестник с-х науки», № 4, 1957, стр. 121—128.
4. Е. М. Цветаева. Выращивание растений без почвы.—«Сад и огород», № 6, 1956, стр. 30—31.
5. Е. М. Цветаева. Выращивание растений на искусственных питательных средах. «Природа», № 5, 1959.
6. Г. С. Давтян. Гидропоника как производственное достижение агрохимической науки, изд-во АН Арм. ССР, 1969.

7. Г. С. Давтян. Гидропоника.—В справ. книге по химиз. сельского хоз-ва, М., «Колос», 1969, стр. 271—286.
8. А. Б. Овакимян. Экономическая эффективность и народнохозяйственное значение гидропонии, изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1975, стр. 43—77.
9. Э. А. Алиев. Выращивание овощей в теплицах без почвы. «Урожай», Киев, 1971, стр. 44—78, 86.
10. Ю. А. Дюкарев, М. А. Буц. Составление и корректировка питательных растворов. В кн.: «Опыт выращивания овощей гидропонным способом». Киев, 1971, стр. 8—16.
11. М. Бентли. Промышленная гидропоника, М., «Колос», 1965, стр. 343—347.
12. Э. А. Алиев. Питательные растворы для выращивания рассады при беспочвенной культуре.—«Физиология растений», т. 17, выпуск I, 1970, стр. 182—188.
13. В. Гомес. Критические оценки питательных растворов, применяемых в гидропониках. «Сельское хозяйство за рубежом». «Растениеводство», № 9, 1964.
14. З. И. Журбицкий, Л. А. Соколова. О питательных смесях для выращивания растений на искусственных средах. «Вопросы гидропонии», № 5, 1964, стр. 70—77.
15. О. Б. Гаспарян. Некоторые рекомендации по анализу питательных растворов, применяемых в гидропонике. «Сообщения» ИАПНГ, изд-во АН Арм. ССР, № 7, 1967, стр. 86—91.
16. О. Б. Гаспарян. Химический анализ оросительных вод, «Сообщения» ИАПНГ, изд-во АН Арм. ССР, № 9, 1970, стр. 61—80.
17. Д. Н. Прянишников. Избранные сочинения. Азот в жизни растений и в земледелии, т. II, М., Сельхозиздат, 1953, стр. 80—101.
18. Г. С. Давтян. Гидропоника в открытом грунте. В кн.: «Гидропоника в сельском хозяйстве», М., «Колос», 1965, стр. 84—91.
19. Н. Г. Давтян. Исследования физических и химических свойств наполнителей для выращивания без почвы. «Сообщения лаборатории агрохимии», № 6, Ереван, 1964, стр. 95—102.
20. Г. Шарло. Методы аналитической химии. «Химия», М., 1966, Л., стр. 403.
21. С. Н. Алешин. Роль водородного иона в процессах выветривания и почвообразования. Изд-во ТСХА, № 1, 1952.
22. Д. А. Сабинин. Физиологические основы питания растений. М.-Л., изд-во АН СССР, 1955.
23. L. B., Arrington, J. W. Shive. Oxygen and carbon dioxide content of culture solutions in relation to cation and anion nitrogen absorption by tomato plants—*Soil Sci.*, 42, 1936. (цит. по З. И. Журбицкому.—«Физиологические и агрохимические основы применения удобрений», изд-во АН СССР, 1963, стр. 173).
24. И. Г. Дикусар. Аммиак, нитраты и нитриты как источники азота для сахарной свеклы при различных pH питательной среды в условиях текучих растворов. Из результатов вегетационных опытов и лабор. работ, т. XIV 1928. (цит. по З. И. Журбицкому.—«Физиологические и агрохимические основы применения удобрений», изд-во АН СССР, 1963, стр. 174).
25. К. П. Магницкий. Взаимосвязи в питании растений. «Агрохимия», 1967, № 10, стр. 32—47.
26. D. Boynton, O. C. Compton. Leaf analysis in estimating the potassium, magnesium and nitrogen needs of fruit trees. *Soil Sci.*, 59, 339—351, 1945.
27. С. А. Карагулян. Распространенность азотфиксирующих бактерий в условиях открытой гидропонии. «Сообщения» ИАПНГ АН Арм. ССР, № 14, 1974, стр. 67—71.
28. Р. М. Ульяшова. Микрофлора гравийной культуры помидоров. «Природа», 1965, № 3, стр. 120—121.
29. Д. Банфи. Некоторые микробиологические аспекты гидропонных минеральных растворов. В кн.: «Гидропоника», ВИНТНСХ, Москва, 1966, стр. 108—114.

ՄԱՆԿԱՐԱՐ ԼՈՒՍՈՒՅԹԻ ԿԱԶՄԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ԼՅԱՆՑՈՒԹԻ ՇԵՐՏՈՒՄ
ՆՐԱ ՇՐՋԱՊՏՈՒՅՑԻ ԸՆԹԱՅՔՈՒՄ ԲԱՅՈԹՅԱ ԶԻՒՐՈՊՈՆԻԿԱՅԻ
ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ մեկ անդարար լուծույթի կազմի մեջ նրա շրջապտույտի ընթացքում տեղի են ունենում զգալի փոփոխություններ, այնուամենայնիվ հանքային տարրերի պարունակությամբ և հատարելությամբ այդ լուծույթի մատակարարման մեր տեխնոլոգիան բավարարում է բույսերի նորմալ զարգացումը և ապահովում լուծույթի լրիվ օգտագործումը: Բույսերն ավելի արագ են կլանում ազոտի ամոնիումը: Բույսերի արմատները կատիոններից ավելի անիոն են կլանում, որի հետևանքով աննդարար լուծույթի սեակցիան բարձրանում է:

Սննդարար լուծույթի շրջապտույտի ընթացքում մագնեզիումի և կալցիումի բանակությունների միջև նկատվում է հակադարձ կախվածություն: 1973 թ. օգոստոսնաօրոյական տվյալների համաձայն, ելային ջրի 1 մ³ սննդարար լուծույթի ամբար է բերել լուծված վիճակում 80—94գ Ca, 24—38 Mg, 6—6,5գ K, 94—110գ SO₄:

L. M. KALACHYAN

CHANGES IN THE COMPOSITION OF THE NUTRIENT SOLUTION
WHEN CIRCULATING IN THE LAYER OF FILLERS IN OPEN-AIR
HYDROPONICS

Summary

In spite of the considerable changes taking place in the composition of the nutrient solution during its circulation, the nutrient solution as used at the Institute of agrochemical problems and hydroponics of the Armenian Academy of Sciences guarantees the uptake of nutrient ions by the plants. The plants absorb more quickly the ammonium form of nitrogen. The roots of plants absorb a lot more anions than cations, as a result of which the pH value of the nutrient solution increases.

According to the data of studies of 1973, one cubic metre of the primary water brings back into the reservoir of nutrient solution in the form of dissolved elements, such as Ca—80—94g., Mg—24—38g. K—6—6,5g., and SO₄—94—110g.