

В. О. КАЗАРЯН, В. А. ДАВТЯН

О ЗАВИСИМОСТИ АКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА РАСТЕНИЙ ОТ МОЩНОСТИ И МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОРНЕЙ

Выявление метаболической роли корней и разносторонние исследования ее дали возможность разрешить многие узловые вопросы обмена веществ и более основательно уяснить взаимоотношения надземной и корневой системы [15]. Понимание этой стороны жизнедеятельности растений одновременно дало возможность наметить основные направления решения проблемы старения растений, заключающиеся в онтогенетическом затухании корне-лиственной функциональной корреляции [6].

Две полярно расположенные синтетически активные системы—корни и листья взаимно обеспечивают свой рост и функционирование: удаление корней вызывает прекращение появления новых листьев и роста побегов [16, 25], а искусственное нарушение передвижения ассимилятов к корням (применением кольцевания) подавляет рост и функционирование корневой системы. Аналогичное явление наблюдается у однолетних растений в фазе цветения и созревания семян. С наступлением цветения, как показали наши опыты [8], постепенно прекращается передвижение ассимилятов из листьев к корням, что является одной из основных причин старения и отмирания растений. При проведении же дефлорации возобновляется рост и продлевается общая жизнедеятельность растений [3, 17, 23] в результате усиления, в первую очередь, питания корней ассимилятами. Подобный эффект получается при обрезке древесных [10, 19—20 и др.], приводящей к изменению соотношения массы надземной и подземной системы в пользу последней. В этом случае значительно усиливается фотосинтетическая продуктивность листьев [2, 5, 14], повышается суточная амплитуда синтеза и оттока ассимилятов к корням, поступление минеральных элементов и воды в листья [21]. Во всех этих опытах повышение общей жизнедеятельности и фотосинтетической активности растений было связано, как нам кажется, с усилением мощности корневой системы и повышением ее метаболической деятельности. Для подтверждения этого предположения в вегетационном сезоне 1964—65 гг. нами были проведены специальные опыты с подсолнечником сорта Гигант-549, с кукурузой сорта Картули-круги и укорененными листьями *Jacobinia suberecta*. С целью выяснения влияния добавочной подкормки углеводом на развитие корневой системы и активность фотосинтеза в листьях, для первых двух объектов была применена подкормка корней сахарозой.

Подопытные растения выращивались в больших эмалированных ва-
Биологический журнал Армении, XX, № 11—4

зонах, гидропонным способом, при следующем составе полной питательной смеси (в г на 1000 л воды): калий азотнокислый—550, аммоний азотнокислый—150, мочеви́на—100, сернокислый магний—300, суперфосфат—1000, лимоннокислое железо—7,5, борная кислота—4, сернокислый кобальт—1,5, сернокислый марганец—3, сернокислый цинк—1,5, сернокислая медь—1,5, иодистый калий—1,5 и молибдат аммония—1,5, рН раствора колебался от 5,5—5,8. Растения подкармливались также сахарозой: корни подсолнечника—3,5% раствором в течение 12 дней по одному часу, начиная с фазы 7 пар листьев; корни кукурузы—2% раствором через день также по одному часу, начиная с фазы 5 листьев. В фазе вегетативного роста растения подвергались анализу: определялись сухой вес листьев и корней, общая и рабочая поглотительная поверхность корней по И. И. Колосову [13], интенсивность фотосинтеза с применением аппарата И. Чатского и Б. Славика [18], состав и содержание отдельных аминокислот в пасоке с помощью бумажной хроматографии [7], общий и органический фосфор по Лоури и Лопесу [22] и азот по Кьельдалю [1], сахара—по схеме Кизеля [12] и микрометодом Хагедорн-Иенсена [1]. Опыт был поставлен в трехкратной повторности. Полученные данные являются средними из них.

Определение сухого веса и поверхности корней в листьях у подсолнечника и кукурузы после 12-дневной подкормки сахарозой дало следующие результаты (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Сухой вес и поверхность корней и листьев подопытных растений
в зависимости от подкормки сахарозой

Объекты	Варианты	Сухой вес в г		Отношение поверхностей корень/лист	
		листья	корни	по общей поверх- ности	по рабочей поглотительной поверхности
Подсолнечник (9 пар листьев)	контроль подкормленный	17,6	13,84	8,0	4,7
		17,9	20,40	10,2	6,7
Кукуруза (7 листьев)	контроль подкормленный	0,32	0,44	2,9	1,6
		0,37	0,67	5,5	2,8

Эти цифры наглядно показывают, что различие между контрольной и подопытной группами растений проявляется главным образом в отношении сухого веса и поверхности корней. Последние у подкормленных растений подсолнечника по сухому весу оказались на 40, а у кукурузы на 65,6% выше контрольных. В данном случае сахарозная подкормка привела к усилению роста корней и, видимо, в связи с этим ослаблялся рост листьев.

Изменение соотношения общей поверхности листьев и корней в пользу последних привело к существенному повышению общей фотосинтетической активности листьев, что иллюстрируется результатами наших определений, проведенных у подсолнечника и кукурузы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Фотосинтетическая активность листьев подсолнечника и кукурузы по фазам развития (CO_2 в мг на кв. дм листовой площади за час)

Часы определения	П о д с о л н е ч н и к										Кукуруза	
	вегетация		бутониза-ция		цветение		созревание семян		пожел-тение листьев		вегетация	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
9	8,1	12,1	11,1	11,4	15,8	17,6	13,0	16,0	2,1	2,3	—	—
10	10,4	14,8	11,5	12,9	16,5	20,3	14,0	18,0	2,4	2,3	2,8	7,1
11	12,2	14,4	12,1	17,7	20,4	24,2	18,9	20,5	2,1	2,6	3,3	7,3
12	12,4	11,6	12,2	18,6	20,5	27,1	18,6	20,9	1,4	2,7	5,6	9,0
13	11,3	11,6	12,2	15,8	19,8	25,3	17,2	20,9	2,3	2,9	7,9	11,5
14	9,0	13,8	13,7	17,2	19,4	26,4	17,2	20,4	1,3	2,9	8,6	12,8
15	9,1	13,8	15,2	17,2	19,0	23,6	17,5	20,3	1,4	2,3	9,5	13,6
16	8,5	11,3	14,5	16,5	20,0	22,6	17,4	19,9	1,3	2,2	10,2	16,2
17	7,2	8,9	13,8	14,3	18,8	21,9	16,8	18,5	0,8	1,4	—	—
18	5,3	5,8	10,1	10,8	15,4	17,3	13,8	17,9	0,8	0,9	—	—
19	5,1	5,8	9,6	10,3	13,9	15,3	11,5	13,7	0,7	0,8	—	—
Среднесуточная активность	9,0	11,3	12,3	14,8	18,1	21,9	16,0	18,8	1,6	2,1	6,8	11,1

Определение активности фотосинтеза проводилось с фазы вегетации до пожелтения листьев. Определения в каждой фазе проведены во все часы светового периода суток, начиная с 9 час. утра до 19 часов.

Приведенные данные привлекают внимание прежде всего существенной разницей фотосинтетической активности у подопытных групп растений: активность этого процесса у растений, подкормленных сахарозой, намного выше, что более наглядно видно из приведенных кривых, относящихся к среднесуточной активности фотосинтеза для всех фаз развития подсолнечника (рис. 1). Средняя же интенсивность этого процесса для всего онтогенеза подкормленных растений подсолнечника выше на 22,1, а у кукурузы для фазы вегетации на 38,7%.

Следующей характерной особенностью онтогенетического изменения фотосинтетической активности обеих групп растений является ее параболический ход. Начиная с фазы вегетации постепенно интенсифицируется фотосинтез, достигая своего максимума в фазе цветения, вновь уменьшается вплоть до старения и отмирания растений. Подобная тенденция изменения активности фотосинтеза установлена еще раньше многими исследователями [4, 11, 24 и др.].

Для полного убеждения в выявленной зависимости интенсивности фотосинтеза от мощности корневой системы был поставлен второй опыт с укорененными листьями *Jacobinia suberecta*. Черешки листьев этого растения за 1,5—2 мес. укореняются при высадке во влажный песок, образуя массу всасывающих корней.

Удаляя с вегетирующих растений листья одинакового яруса и размеров, черешками их помещали во влажный песок, заполненный в пикировочные ящики. Последние затем переносились во влажную и светлую теплицу, оставляя до формирования на черешках массы корней. Из

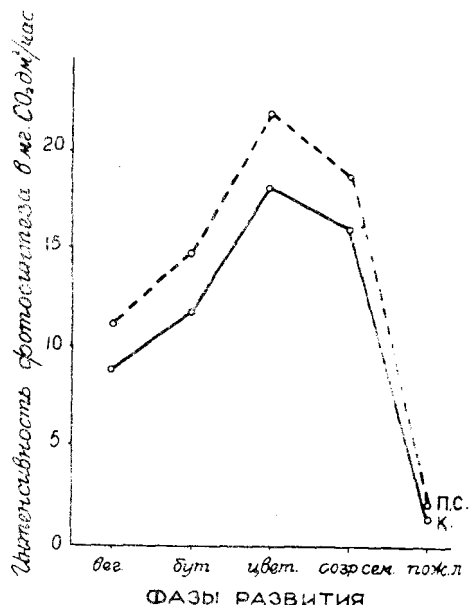


Рис. 1. Кривая среднедневной фотосинтетической активности листьев контрольных (к) и подкормленных сахарозой (п. с.) растений.

этих укорененных листьев, подбирая несколько экземпляров, носящих примерно одинаковое количество корней, очищали последние от песка водопроводной водой и, погружая в 1 н. питательный раствор, переносили в лабораторию. Далее, ежедневно, в течение 6 дней в 10 и 16 час. проводили определения фотосинтеза с помощью инфракрасного газоанализатора (ГИП-7). Листья при этом находились в условиях 6000 люкс от света ртутной лампы, при 30°C и в токе свежего воздуха (18 л/час).

Первое определение фотосинтеза производилось при наличии всех корней на черешках (контроль). В остальные дни сразу же после утреннего определения фотосинтеза в зоне его отхождения от черешка срезалось одно из небольших всасывающих корневых разветвлений и определялся сухой вес. При такой постановке опыта масса корней на подопытных листьях постепенно сокращалась, а на 6 день они оказались полностью лишены корней (табл. 3).

Как показывают данные табл. 3, параллельно с уменьшением сухого веса корней ослабляется фотосинтетическая активность листьев, хотя последние до четвертого дня опыта носили значительную массу корней. Ослабление фотосинтеза наступило через 6 час. после удаления части корневых разветвлений. Примечательно при этом то обстоятельство, что

Таблица 3

Ослабление интенсивности фотосинтеза листьев в зависимости от сокращения массы всасывающих корней

Дни определения	Сухой вес корней		Фотосинтез (в мг CO_2 дм ² /час)		В % от контроля
	в мг	% от первоначального	в 10 час. утра	в 16 час.	
Контроль	47,5	100,5	6,08	6,07	—
I день удаления	36,0	76,6	—	4,18	68,8
II " "	28,5	60,6	4,23	2,18	35,9
III " "	19,6	41,7	2,97	1,42	23,4
IV " "	11,5	24,4	2,71	0,94	15,5
V " "	—	—	1,42	0,21	3,4

более плавное убывание массы корней вызывает сравнительно усиленное ослабление активности фотосинтеза.

Этот факт говорит о том, что между интенсивностью фотосинтеза и массой активных корней существует определенная зависимость. Обращает на себя внимание то, что фотосинтетическая активность у одних и тех же листьев в утренние часы значительно выше, чем в 16 час. предыдущего дня. В данном случае после ночного перерыва существенно повышается уровень фотосинтеза и эта тенденция, как мы видим, усиливалась по мере сокращения массы корней. Подобное расхождение в активности фотосинтеза листьев в различные часы суток при наличии на них корней одинаковой поверхности следует, по всей вероятности, объяснить тем, что ткани листовых пластинок в ночные часы обогащаются разнообразными метаболитами и минеральными соединениями, участвующими в повышении жизнедеятельности хлорофиллоносных клеток. В дневные часы, наоборот, в результате утреннего сокращения массы корней в ткани листовых пластинок поступает меньшее количество указанных выше соединений, что влечет за собой ослабление фотосинтеза. По-видимому, одна из внутренних причин ритмического изменения активности фотосинтеза в течение светлого периода суток заключается именно в аналогичной ритмичности передачи пасоки из корней к листьям.

Данные, подтверждающие непосредственное участие корневых метаболитов в повышении энергии фотосинтеза через активацию хлорофиллоносных клеток листьев подсолнечника, приведены в табл. 4—6. Из приведенных данных (табл. 4) видно, что хотя содержание общего азота в пасоке подкормленных растений меньше, но соотношение белкового азота к небелковому значительно возрастает. Малое количество общего азота в пасоке отнюдь не свидетельствует о пониженной поглотительной способности корней подкормленных растений. Энергичное увеличение массы корней показывает, что значительная доля поглощенного из питательного раствора азота расходуется ими в процессе роста. Это видно из того, что увеличение сухого веса корней подкормленных растений составляет 44,5%. В корнях этих растений общий азот достигает 31,63 мг на 1 г сухого вещества, у контрольных—25,37 мг.

Таблица 4

Содержание общего и белкового азота в пасоке подопытных растений подсолнечника

Варианты	Азот (в мг в 100 мл пасоки)			Соотношение белкового к небелковому
	общий	белковый	небелковый	
Контроль	67,1	12,4	54,7	0,18
Подкормленные сахарозой	40,5	12,3	28,2	0,30

Таким образом корни подкормленных групп из питательного раствора в целом поглощают больше азота, чем корни контрольных растений, *что нужно рассматривать как показатель повышенной метаболической активности первых*. Последнее обстоятельство более ярко проявляется в отношении синтеза органической формы фосфора (табл. 5).

Таблица 5

Содержание общего и органического фосфора в пасоке подопытных растений подсолнечника

Варианты	Количество фосфора (в мг в 100 мл пасоки)			Соотношение органического фосфора к общему
	общий	органический	неорганический	
Контрольные	18,5	5,34	13,16	0,28
Подкормленные сахарозой	33,92	22,78	11,14	0,67

Как видим, корни подкормленных растений в два с лишним раза активнее в отношении синтеза органической формы фосфора. Они проявляют также усиленную поглотительную способность. Столь же наглядным показателем метаболического уровня корней является синтез в них аминокислот и передача их вместе с пасоккой надземным органам. Хроматографическое определение аминокислот привело к следующим результатам (рис. 2, табл. 6).

Как показывают данные табл. 6, в 1 мл пасоки подкормленных растений обнаружено 13 аминокислот с общим количеством 663,84 мкг. Пасока контрольных растений оказалась значительно беднее аминокислотами: в ней идентифицированы лишь 7 аминокислот с общим содержанием 112,84 мкг, т. е. в 6 раз меньше, чем в пасоке опытных растений.

В пасоке определялось также содержание сахаров (табл. 7). Выяснилось, что меньше всего в ней обнаруживается сахароза, а максимальная разница между подопытными группами растений обнаружена в содержании мальтозы. В пасоке подкормленных растений количество этого сахара оказалось в 3,2, а сумма сахаров в 2,2 раза больше, чем в контроле.

Обнаружение в пасоке сахаров с первого взгляда кажется парадоксальным и как бы противоречит основной тенденции обмена веществ между листьями и корнями. Ведь считается, что листья направляют к

корням в основном сахара для их роста и жизнедеятельности. Нами же выяснено, что часть этих сахаров вновь возвращается к листьям. Этот парадокс сразу становится понятным, если обнаруженное нами количество сахаров пересчитать на 100 мл пасоки. В этом случае их количество

Таблица 6

Состав и содержание аминокислот в пасоке подопытных растений подсолнечника (в 1 мл пасоки)

Наименование аминокислот	Содержание в 1 мл в мкг	
	контроль	подкормленные
Цист(е)ин	85,83	27,50
Лизин	—	10,28
Гистидин	—	28,33
Аргинин	8,50	212,10
Аспарагиновая кислота	—	64,70
Серин+глицин	7,67	33,00
Глутаминовая кислота	4,18	223,73
Аланин	2,13	9,33
Пролин	—	следы
Тирозин	—	15,60
Валин	3,20	22,14
Лейцин	0,83	16,33
Изолейцин	—	0,88
Общее содержание	112,34	663,84

Таблица 7

Содержание сахаров в пасоке подсолнечника

Варианты	В % от сухого веса пасоки			Сумма
	редуцирующие	сахара	мальтоза	
Контроль	2,56	1,38	3,58	7,52
Подкормленный сахарозой	3,30	1,99	11,60	16,89

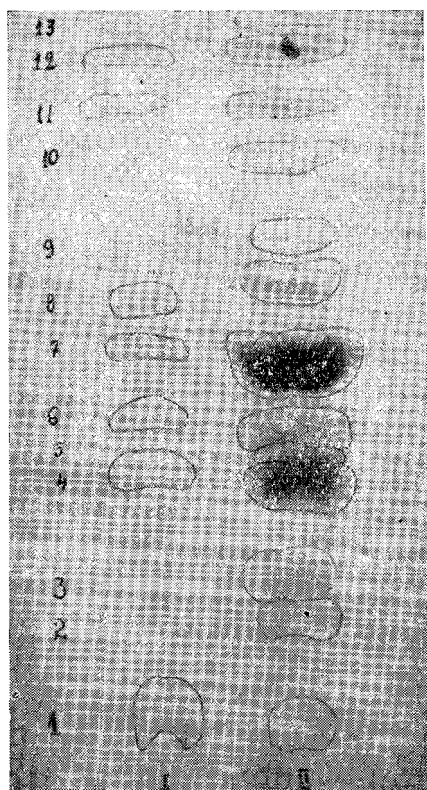


Рис. 2. Хроматограммы аминокислот пасоки контрольных (слева) и подкормленных сахарозой растений. Аминокислоты: 1. цист(е)ин; 2. лизин; 3. гистидин; 4. аргинин; 5. аспарагиновая кислота; 6. серин+глицин; 7. глутаминовая кислота; 8. аланин; 9. пролин; 10. тирозин; 11. валин; 12. лейцин; 13. изолейцин.

составляет лишь 0,088% пасоки, что является весьма ничтожным. Появление сахаров в пасоке, по всей вероятности, связано с тем, что корни не успевают подвергать их метаболическому превращению, вследствие интенсивной подачи воды к энергично транспирирующим листьям.

Влияние сахарозной подкормки проявилось столь же существенно и в отношении изменения сдвигов наступления последовательных фаз развития подсолнечника (табл. 8). При этом весьма интересно, что у

Таблица 8

Изменение сроков наступления последовательных фаз развития и длины вегетационного периода подсолнечника в связи с сахарозной подкормкой

Фаза развития	Д а т а		Продолжительность прохождения фаз в днях	
	контрольные растения	подкормленные растения	контроль	подкормка
Фаза 7 пар листьев	7.VI	7.VI	—	—
Бутионизация	13.VII	8.VII	105	100
Цветение	30.VII	21.VII	17	13
Созревание семян	15.VIII	2.VIII	16	13
Отмирание	3.IX	11.IX	19	50
Общая продолжительность вегетационного периода	—	—	157	176

подкормленных растений значительно продлевался вегетационный период, в то время как сроки наступления бутонизации, цветения и созревания семян сократились. Продление вегетационного периода было обусловлено мощностью корневой системы подкормленных растений, в силу чего листья длительное время снабжались корневыми метаболитами, обеспечивающими синтез и обновление хлорофилла и белков. В результате существенно затягивалось пожелтение и отмирание листьев.

Обобщая результаты изложенных данных, мы вправе прийти к выводу, что одним из существенных факторов, способствующих повышению фотосинтетической активности листьев, наряду со множеством других, является мощность корневой системы, главным образом величина рабочей поглотительной ее поверхности. Развитая корневая поглотительная и метаболическая поверхность обеспечивает надземные органы, в частности листья, разнообразными азот и фосфоросодержащими метаболитами, принимающими участие в энергичном синтезе и обновлении хлорофилла и белков. Повышение фотосинтетической активности листьев следует объяснить именно этим обстоятельством. Параллелизм между энергией обновления хлорофилла и активностью фотосинтеза установлен нами еще ранее с применением радиоактивного углерода [9].

В ы в о д ы

1. Непродолжительная (12-дневная) подкормка корней кукурузы и подсолнечника слабым раствором (2—3,5%) сахарозы в фазе вегетации стимулирует развитие корневой системы. В результате существенно (от 42 до 75%) увеличивается величина соотношения рабочей поглотительной поверхности корней и площади листьев (табл. 1). Изменение соотношения поверхности корней и листьев в пользу первых приводит к повышению активности фотосинтеза и эта тенденция сохраняется до конца онтогенеза (табл. 2 и 3).

2. Обнаруживается параллелизм между активностями метаболической функции корней и фотосинтеза листьев (табл. 4—6). Природа положительного влияния корневых метаболитов на активацию фотосинтеза пока остается неясной.

3. Подкормка корней сахарозой, стимулируя увеличение рабочей поглощающей поверхности корней, приводит к значительному продлению общей жизни однолетних растений после созревания семян.

Ботанический институт
АН АрмССР

Поступило 7.VI 1967 г.

Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Վ. Ա. ԴԱՎԹՅԱՆ

ԲՈՒՅՍԵՐԻ ՖՈՏՈՍԻՆԹԵԶԻ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԱՐՄԱՏՆԵՐԻ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՈՒ ՄԵՏԱԲՈԼԻԿ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ ԵՂԱԾ ԿԱՊԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Արմատների մետաբոլիկ դերի պարզաբանումը և նրա բաղմակողմանի ուսումնասիրությունները հնարավորություն են տվել լուծելու բույսերի կենսագործունեության այնպիսի հանգուցային հարցեր, ինչպես նյութափոխանակությունը և արմատների ու տերևների փոխհարաբերությունը: Վերջինիս պարզաբանումը միաժամանակ ուղիներ է նշում լուծելու բույսերի ծերացման պրոբլեմը, որը կայանում է արմատ-տերևային ֆունկցիոնալ կապի մարման մեջ:

Երկու բևեռային աղտիվ սիստեմները փոխադարձաբար ապահովում են իրենց աճն ու ֆունկցիոնալ գործունեությունը: Արմատների հեռացումը կանխում է նոր տերևների առաջացումը և ընձյուղների աճը, իսկ ասիմիլյատների դեպի արմատների տեղաշարժման արհեստական կասեցումը ճնշում է արմատային սիստեմի աճն ու կենսագործունեությունը:

Ելնելով այդ նկատառումներից փորձեր են դրված արևածաղկի, եգիպտացորենի, և յակոբինիայի բույսերի վրա: Արևածաղկի և եգիպտացորենի արմատային սիստեմը վեգետացիոն ֆազում հզորացվել է 12 օր մեկական ժամ 2—3,5% սախարոզայի լուծույթով սնուցման միջոցով: Միաժամանակ յակոբինիայի (*Jacobinia suberecta*) արմատակալած տերևներից հեռացվել են որոշակի թվով արմատային ճյուղավորություններ:

Արմատների մետաբոլիկ աղտիվության և տերևների ֆոտոսինթետիկ գործունեության վերաբերյալ կատարված դիտողությունները հեղինակներին բերել են հետևյալ եզրակացությունների.

1. Արևածաղկի և եգիպտացորենի կարճատև սնուցումը սախարոզայի թույլ լուծույթներով խթանում է արմատային սիստեմի աճը, որի շնորհիվ արմատների կլանող բանվորական և տերևների մակերեսների փոխհարաբերությունը մեծանում է 42-ից 75% -ով և օգուտ առաջինի:

2. Սախարոզայով սնուցված բույսերի մոտ մեծանում է արմատների մետաբոլիկ աղտիվությունը, որի շնորհիվ արմատաշյուղի մեջ ավելանում է ազոտի ու ֆոսֆորի օրգանական ձևերի, ինչպես նաև ազատ ամինաթթուների տեսակային ու քանակային կազմը: Վերջինիս պարունակությունը փորձնական բույսերի արմատաշյուղում մոտ 6 անգամ շատ է քան ստուգիչ բույսերի մոտ:

3. Զուգահեռականություն է նկատվում արմատների հզորության, մետաբոլիկ ակտիվության և տերևների ֆոտոսինթետիկ գործունեության մեջ: Արմատների մասնակի հեռացումը, ընդհակառակը, ճնշում է տերևների ֆոտոսինթետիկ ինտենսիվությունը:

4. Բույսերի սնուցումը սախարոզայով, ավելացնելով արմատների բանվորական կլանող մակերեսը և մետաբոլիկ ակտիվությունը, բերում է միամյա բույսերի կյանքի երկարացմանը սերմակալումից հետո:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Белозерский А. Н. и Проскуряков Н. И. Практическое руководство по биохимии растений. М., 1951.
2. Изюминский А. П. Зап. Харьк. с.-х. ин-та, т. 10, 1951.
3. Казарян В. О. ДАН АрмССР, т. 12, 2, 51, 1950.
4. Казарян В. О. Стадийность развития и старения однолетних растений. Изд. АН АрмССР. Ереван, 1952.
5. Казарян В. О. Физиологические основы ситогенеза растений. Изд. АН АрмССР. Ереван, 1959.
6. Казарян В. О. ДАН АрмССР, т. 41, 2, 122, 1965.
7. Казарян В. О., Авунджян Э. С. и Карапетян К. А. ДАН АрмССР, т. 29, 3, 137, 1959.
8. Казарян В. О. и Балагезян Н. В. ДАН СССР, т. 103, 2, 337, 1955.
9. Казарян В. О., Габриэлян Г. Г. и Агабабян В. Ш. ДАН АрмССР, т. 24, 5, 225, 1957.
10. Казарян В. О. и Есаян Г. С. Изв. АН АрмССР (биол. науки), т. 14, 2, 17, 1961.
11. Катунский В. М. Изв. АН СССР (серия биол.), 1, 1939.
12. Кизель А. Р. Практическое руководство по биохимии растений. Биомедгиз, М.—Л., 1934.
13. Колосов И. И. Поглодательная деятельность корневых систем растений. Изд. АН СССР, М., 1962.
14. Коссович П. Л. Лесное хоз-во и лесозэксплуатация, 10, 1936.
15. Курсанов А. Л. Взаимосвязь физиологических процессов в растениях. XX тимиразевское чтение. Изд. АН СССР, М., 1960.
16. Мирошниченко К. Г. ДАН СССР, 83, 6, 933, 1952.
17. Молиш Г. Физиология растений как теория садоводства. Сельхозгиз, М., 1933.
18. Чатский И. и Славик Б. Biol. plantarum, 2 (2), 107, 1960.
19. Шитт П. Г. Введение в агротехнику плодоводства. Сельхозгиз, М., 1936.
20. Шитт П. Г. Биологические основы агротехники плодоводства. Сельхозгиз, М., 1936.
21. Kazarjan V. O. Biol. plantarum, 4 (4), 283, 1962.
22. Lowry O. H. and Lopez J. A. Jour. Biol. Chem., 162, 421, 1946.
23. Molish H. Die Lebensdauer der Pflanze, Sena, 1929.
24. Singh B. and Lal V. Ann. Bot., 49, 194, 1935.
25. Went F. W. Plant physiol., 13, 1, 55, 1938.