

УДК 581.144.2:631.43:631.543.1

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА СРЕДЫ КОРНЕОБИТАНИЯ НА РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ, ЯЧМЕНЯ И КАРТОФЕЛЯ

Н.Н. ТРЕТЬЯКОВ, В.А. ШЕВЧЕНКО, А.Д. СЕЧКИН

(Кафедра физиологии растений)

Различные объемы среды корнеобитания создавали путем выращивания растений в стеклянных сосудах объемами 10, 20, 200, 600 см³ (водная культура фитотрон) и в сетчатых камерах объемами 100, 200, 400, 800 и 6000 см³, выполненных из сетки с ячейками диаметром 0,15 мм (почвенная культура, вегетационный домик). Учитывали прохождение фенофаз, линейный рост и поверхность листьев. формирование корневой системы, нарастание общей биомассы растений, их газообмен и структуру урожая.

Использованные методические приемы позволяют определять оптимальные и лимитирующие рост, развитие и продуктивность растений объемы среды корнеобитания, выявить максимально возможную насыщенность почвенного объема корнями, что важно для совершенствования приемов возделывания сельскохозяйственных культур.

В последние годы повысился интерес к изучению роли корневой системы в обеспечении надземных частей растений водой, элементами

минерального питания, специфическими продуктами метаболических процессов, имеющих место в корнях растений, к изучению процессов адаптации корневых систем растений к почвенным условиям [6]. Это особенно важно при ухудшении физических свойств почвы, общей экологической ситуации [4, 5, 7]. В связи с совершенствованием обработки почвы в направлении ее минимализации (поверхностная, фрезерная, чизельная, плоскорезная и др. [9]), реализацией идей адаптив-

ного и ландшафтного земледелия [3, 10] особое значение приобретает изучение влияния новых технологий на развитие и функциональную активность корневых систем сельскохозяйственных растений [8]. Обработка почвы без оборачивания и перемешивания пахотного слоя вызывают перераспределение корневой массы растений [17, 16]. Повышенная плотность и связанная с нею твердость почвы относятся к основным причинам неглубокого проникновения корней сельскохозяйственных культур. Отсюда следует, что приемы обработки почвы должны обеспечивать условия для наилучшего использования корневой системой растений факторов почвенного плодородия. Последнее в значительной мере определяется также габитусом и массой корней [1], густотой стояния растений, которая также влияет на мощность корневой системы, ее распределение по слоям почвенного профиля [13, 15]. Эффективность той или иной степени загущения посевов зависит от оптимального соотношения объемов почвы и воздушной среды, предоставленных растению [11]. В опытах одного из авторов данной статьи, проводимых с целью определения роли объемов среды корнеобитания и воздушной среды в питании кукурузы [12] показано, что при одной и той же густоте стояния растения образуют больше корней при большем объеме почвы. На делянках с ограниченным объемом почвы создавалась относительно большая масса стеблей и листьев при меньшей массе корней. Таким образом, при разных способах обработки почвы и густотах стояния растений существенно изменяются объемы поч-

венной среды, приходящиеся на растение, и масса корней в единице почвенного объема.

Для совершенствования приемов агротехники важно изучить возможности и особенности адаптации растений к изменяющимся объемам почвенной среды. Очевидно, реакция растений на ограничение объема почвы видоспецифична, зависит от доступности для растения воды и элементов минерального питания.

В вегетационных опытах нами моделировались условия, возникающие при повышенной плотности почвы, проведении разноглубинных ее обработок, при загущении посевов, вызывающих в полевых условиях уменьшение объема почвенной среды, приходящейся на одно растение.

Цель настоящей работы — продолжение проведенных ранее исследований [12, 16] влияния ограничения объема среды корнеобитания на некоторые физиологические функции и продуктивность растений кукурузы, ячменя и картофеля.

Методика

Опыты проводили в 1991—1993 гг. в фитотроне и в вегетационном домике лаборатории физиологии растений Тимирязевской академии. Объектами исследований явились: кукуруза — гибрид Днепровский 247М, ячмень сорта Зазерский 85, картофель сорта Приор.

В условиях фитотрона растения в водной культуре выращивали при температуре днем 22—23°, ночью 18—19° С, относительной влажности воздуха около 70%, продолжительности фотопериода 16 ч, освещенности 10 тыс. люкс. Различные

объемы среды корнеобитания создавали подбором стеклянных сосудов с объемами: 10, 20, 200 и 600 см³ (рис. 1).

Кукурузу выращивали рассадой (в фазе 3 листьев) по одному растению

в сосуде на 1,5 н. смеси Кюпа по принципу гидропоники. Питательную смесь прокачивали через сосуды электронасосом по схеме: 15 мин подача, 15 мин сток. Причем скорость потока раствора через разные

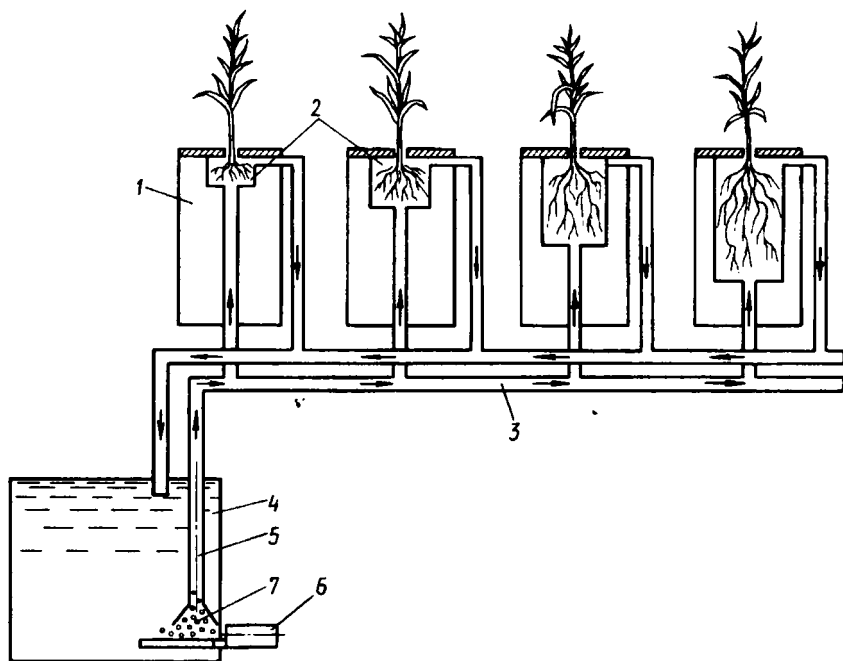


Рис. 1. Схема опыта с водной культурой.

1 — сосуд с гранитной крошкой; 2 — стеклянный сосуд; 3 — коллектор; 4 — бак с питательным раствором; 5 — насос для подачи питательного раствора; 6 — воздушный насос; 7 — барботирование раствора.

по объему сосуды устанавливались так, чтобы корни растения в каждом из них получали одинаковое количество элементов минерального питания. Аэрация в сосудах обеспечивалась путем насыщения раствора воздухом, проходящим по коллектору при помощи компрессора. Работа установки полностью автома-

тизирована на основе командного прибора КЭП-10. Стеклянные сосуды помещали в 6-литровые пластмассовые сосуды, заполненные гранитной крошкой, что обеспечивало светоизоляцию корневой системы.

В опыте с почвенной культурой растения выращивали в сетчатых камерах разного объема — 100, 200,

400 и 800 см³. Последние изготовляли из мелкочаеистой латунной сетки с ячейками диаметром 0,15 мм, практически непроницаемыми для корней (рис. 2). Камеры вставляли в сосуды общим объемом 6000 см³, заполненные почвой. Контролем был сосуд без сетчатой камеры объемом 6000 см³.

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая среднеокультурен-

ная, характеризующаяся следующими агрохимическими показателями: рН_{сол} 5,3, содержание P₂O₅ — 224, содержание K₂O — 104 мг/кг, гумуса — 2,2%. Плотность почвы в камерах и сосудах 1,2—1,3 г/см³.

Ячмень высевали по 10 зерновок на сосуд, картофель — по одному растению на сосуд 2-недельной рассадой. Для обеспечения растений элементами минерального питания

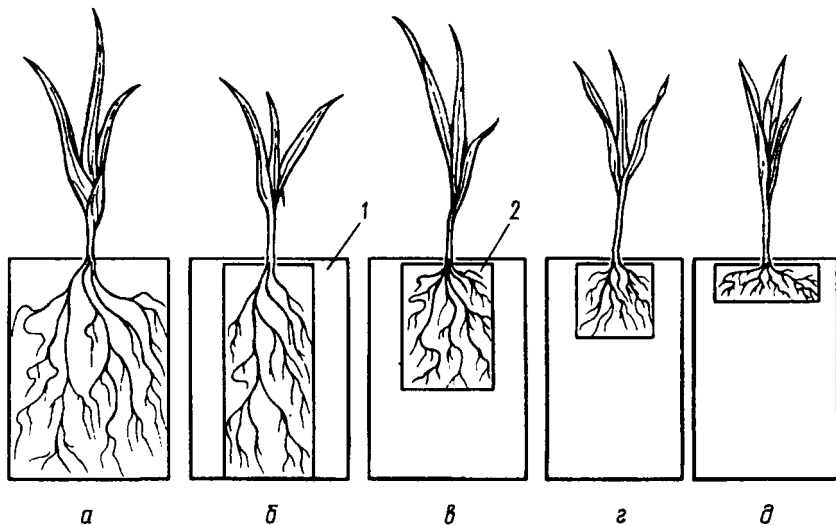


Рис. 2. Схема опыта с почвенной культурой.

1 — сосуд с почвой; 2 — сетчатая камера; а — объем сосуда 6000 см³; б — объем сетчатой камеры 800 см³; в — 400; г — 200; д — 100 см³.

применяли 1 н. питательную смесь Кнопа в 3 срока: 0,25 — при появлении всходов; 0,25 — до выметывания и 0,5 — после цветения. В течение вегетационного периода влажность почвы в сосуде поддерживали на уровне 75% ПВ. С этой целью в период интенсивного прироста биомассы полив проводили дважды — утром и вечером. В сет-

чатые сосуды вода и питательные вещества поступали в силу концентрационных градиентов, образующихся благодаря эвапотранспирации и поглотительной деятельности корней. Подобное передвижение воды и растворенных в ней веществ происходит в естественных условиях, например, из нижних в верхние, насыщенные корнями слои почвы.

С другой стороны, в полевых условиях рост корней в значительной мере определяется этими же градиентами.

В опытах определяли: интенсивность фотосинтеза и дыхания растений при постоянной температуре $20 \pm 0,5^\circ \text{C}$ с помощью инфракрасного газоанализатора ГИП-10 МБ2А; скорость роста растений — по фазам развития; накопление сухого вещества — весовым методом; объем и поглощающую поверхность корней — методом Сабинина — Колосова; площадь листьев — с помощью фотопланиметра Licor-3100, а также путем умножения длины на ширину листа и на коэффициент. Статистический анализ полученных данных проводили методом дисперсионного анализа [2].

Результаты

Прохождение фенофаз. В опыте с водной культурой при проточной и

активной подаче питательного раствора и достаточной обеспеченности элементами минерального питания разный объем среды корнеобитания до фазы 8 листьев практически не влиял на сроки появления и рост листьев кукурузы (табл. 1). В почвенной культуре, напротив, растения заметно реагировали на ограничение объема среды корнеобитания (табл. 2). Причем различия в росте растений между вариантами возрастали в более поздние сроки определений. В первую половину вегетации (до 13-го листа) кукуруза контрольного варианта опережала в своем развитии растения варианта с минимальным объемом среды корнеобитания (100 см^3), однако в дальнейшем (в фазы выметывания и цветения початка) межфазные периоды в этом варианте сокращались, а молочно-восковая спелость початков наступала практически одновременно во всех вариантах.

Т а б л и ц а 1

Даты появления очередных листьев кукурузы в водной культуре

Количество листьев, шт. на 1 растение	Объем сосудов, см^3			
	10	20	200	600 (контроль)
3	2.05	2.05	2.05	2.05
4	5.05	5.05	5.05	5.05
5	9.05	9.05	9.05	9.05
6	12.05	13.05	13.05	13.05
7	18.05	19.05	19.05	19.05
8	22.05	22.05	22.05	22.05

На развитие ячменя объем среды корнеобитания в почвенной культуре оказывал существенное влияние во второй половине вегетации. До колошения фазы развития наступа-

ли одновременно по всем вариантам опыта, затем наблюдалось опережение в развитии растений в варианте с минимальным объемом среды корнеобитания. В последнем случае

Т а б л и ц а 2

**Даты наступления фенологических фаз у кукурузы, ячменя и картофеля
в почвенной культуре**

Фаза развития	Объем сетчатых камер, см ³				
	6000 (контроль)	800	400	200	100
<i>Кукуруза</i>					
3-й лист	20.05	20.05	21.05	20.05	21.05
5-й «	29.05	29.05	30.05	29.05	30.05
7-й «	6.06	6.06	7.06	7.06	8.06
9-й «	14.06	15.06	17.06	16.06	18.06
11-й «	19.06	21.06	23.06	23.06	25.06
13-й «	27.06	29.06	1.07	1.01	3.07
Выметывание	4.07	4.07	7.07	7.07	6.07
Цветение початка	14.07	16.07	14.07	18.07	14.07
Молочно-восковая спелость	25.07	26.07	24.07	26.07	23.07
<i>Ячмень</i>					
Всходы	10.06	10.06	10.06	10.06	10.06
Кущение	21.06	21.06	21.06	20.06	21.06
Выход в трубку	1.07	1.07	29.06	20.06	28.06
Колошение	4.07	4.07	2.07	3.07	1.07
Цветение	9.07	9.07	8.07	7.07	7.07
Молочно-восковая спелость	30.07	29.07	27.07	26.07	24.07
Полная спелость	12.08	12.08	11.08	10.08	8.08
<i>Картофель</i>					
Бутионизация	24.06	24.06	23.06	18.06	18.06
Цветение	28.06	28.06	27.06	23.06	21.06
Начало отмирания ботвы	17.07	16.07	10.07	6.07	6.07
Полное отмирание ботвы	6.08	3.08	1.08	19.07	18.07
Уборка	18.08	18.08	18.08	18.08	18.08

молочно-восковая спелость ячменя наступала на неделю раньше, чем в контроле. Межфазный период кущение — молочно-восковая спелость в варианте с минимальным объемом сетчатых камер продолжался 33 дня, в контроле — 40 дней, период колошение — молочно-вос-

ковая спелость — соответственно 17 и 21 день.

Растения картофеля в вариантах с объемами среды 100 и 200 см³ в фазу бутонизации значительно опережали в развитии контроль. Бутионизация у них наступала на 6 дней раньше, цветение — на 7, а отмирание

ботвы — на 9 дней раньше, чем в контроле.

Таким образом, ограничение объема среды корнеобитания в почвенной культуре до 200 и 100 см³ неоднозначно влияло на развитие изучавшихся культур. У кукурузы ограничение объема несколько замедляло наступление фаз в период вегетативного развития и сокращало межфазные периоды во время формирования зерна. У ячменя существенное влияние на развитие проявилось при минимальном объеме камеры — 100 см³, где опережение в развитии растений наблюдалось с фазы выхода в трубку. У картофеля наиболее заметно ускорилось прохождение фаз с фазы бутонизации в вариантах 100 и 200 см³, причем опережение в развитии к концу вегетации (полное отмирание ботвы) по этим вариан-

там по сравнению с контролем достигло 19 дней. Можно предположить, что для завершения онтогенеза минимально необходимый объем корнеобитания одного растения картофеля должен быть не менее 400 см³, а у кукурузы и ячменя — соответственно не менее 200 и 10 см³.

Линейный рост и поверхность листьев. В условиях водной культуры ограничение объема среды корнеобитания практически не влияло на линейный рост кукурузы. Наблюдалась даже некоторая тенденция опережения роста в варианте с минимальным объемом сосуда (10 см³). В фазу 8 листьев оно составило 4 см (табл. 3). По формированию листовой поверхности наблюдалась обратная картина — некоторое превышение площади листьев в контроле.

Т а б л и ц а 3

Линейный рост (h, см) и площадь листьев (s, см²) в среднем на одно растение кукурузы в водной культуре

Вариант (объем сосудов, см ³)	3-й лист		5-й лист		8-й лист	
	h	s	h	s	h	s
10	23	54	50	173	97	710
20	23	56	49	164	95	708
200	27	65	48	155	90	742
600 (контроль)	26	64	48	171	93	743

В почвенной культуре ограничение объема среды корнеобитания растений кукурузы до 100 и 200 см³ уже в начале вегетационного периода снижало площадь листьев и высоту растений, а в фазу цветения початка превышение этих показателей у контрольных растений

составило соответственно 39 см и 1167 см² (табл. 4). У ячменя эффект сокращения объема камер проявлялся в меньшей степени и позднее. Площадь листьев в контроле в фазу выхода в трубку была на 4,1 и 6,2 см² больше, чем в вариантах 100 и 200 см³. В сетчатых камерах

Т а б л и ц а 4

**Динамика линейного роста (см, числитель) и формирования
листовой поверхности (см², знаменатель) у растений в условиях
ограниченных объемов среды корнеобитания в почвенной культуре**

Фаза развития	Объем сетчатых камер, см ²					НСР ₀₅
	6000 (контроль)	800	400	200	100	
<i>Кукуруза</i>						
3-й лист	14	14	14	15	13	0,62
	24	21	21	22	19	
5-й «	44	39	40	40	37	0,84
	174	168	159	140	113	
7-й «	63	61	59	56	59	2,02
	571	567	508	428	383	
9-й «	95	87	83	77	81	5,15
	1370	1211	1148	910	903	
11-й «	129	116	114	103	105	6,06
	2599	2190	2066	1664	1646	
13-й «	148	131	132	122	119	6,42
	3298	2860	2739	2152	2221	
Выметывание	165	146	151	134	136	6,03
	3306	2996	2958	2274	2454	
Цветение початка	190	168	169	158	151	8,14
	3031	2940	2641	2388	1864	
<i>Ячмень</i>						
Кушение	17	17	17	16	16	0,31
	50	50	47	48	46	
Выход в трубку	38	38	37	35	35	5,85
	63	60	61	56	58	
Колошение	44	44	40	40	37	4,08
	77	76	80	75	68	
Цветение	47	47	44	43	40	3,62
	82	80	84	76	72	
Молочно-восковая спелость	46	45	45	43	38	3,55
	104	108	103	93	96	
<i>Картофель*</i>						
Бутонизация	41	39	26	17	18	2,03
Цветение	44	41	29	19	21	3,94
Начало отмирания ботвы	46	45	32	24	24	2,91
Полное отмирание ботвы	35	33	24	17	17	3,37

* Высота растений.

объемом 100 см^3 растения в фазу колошения были на 7—8 см ниже контрольных. Вместе с тем в камерах объемом всего 200 см^3 растения ячменя в отличие от кукурузы по линейному росту и формированию листовой поверхности незначительно отставали от контрольных. Растения картофеля в обоих вариантах, как и в случае с кукурузой, существенно уступали по этим показателям контролю. Так, в фазу бутонизации разница по высоте составила соответственно 28 и 21 см при 45 см в контроле.

Таким образом, в почвенной культуре ограничение объема среды корнеобитания менее 400 см^3 оказывает существенное влияние на линейный рост и формирование листовой поверхности кукурузы и картофеля. На ячмене воздействие этого фактора сказывается в меньшей степени: только при минимальном объеме камер (100 см^3) наблюдалось угнетение растений.

В отличие от водной культуры, где ограничение объема среды корнеобитания при проточной подаче питательного раствора до фазы 8 листьев не влияло на рост и развитие кукурузы, в почвенной культуре доступ воды и питательных веществ зависел от скорости потока воды и элементов питания из почвы к поглощающей поверхности корней, который, в свою очередь, определялся градиентом концентрации, создаваемым поглощательной деятельностью корней. Поэтому при малых объемах сетчатых камер возникла ситуация лимитированного обеспечения растений водой и элементами минерального питания, что и ограничивало рост кукурузы. Аналогичная критическая ситуация мо-

жет возникать в поле в засушливые периоды при мелкой поверхностной обработке почвы, когда пополнение водой корнеобитаемой среды происходит только за счет капиллярной и парообразной влаги, поступающей из нижележащих необрабатываемых слоев почвы, и не удовлетворяет потребностей растений.

Формирование корневой системы. В условиях опытов в водной культуре нарастание объема и массы корней растений лимитировалось фактическим объемом стеклянных сосудов, а при почвенной культуре — объемами почвенных пор, занятых водой и воздухом, в сетчатых камерах. В водной культуре (рис. 3) в фазу 8 листьев кукурузы нарастание объема корневой системы в сосудах 10 см^3 было остановлено физическим ограничением среды корнеобитания, поскольку степень насыщенности объема сосудов корнями приближалась здесь к 100%. В варианте 20 см^3 она составила 90%. В то же время важно отметить, что на единицу объема корней в сосуде 10 см^3 приходилось $3,5 \text{ м}^2$ общей поглощающей поверхности, а в контроле

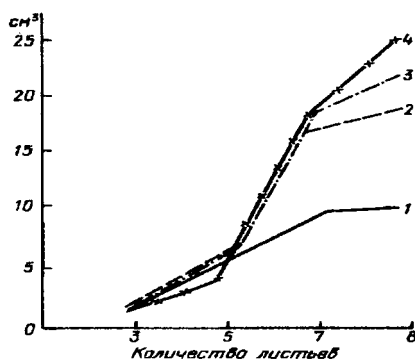


Рис. 3. Динамика объема корневой кукурузы в водной культуре.
1 — объем стеклянного сосуда — 10 см^3 ; 2 — 20;
3 — 200; 4 — 600 см^3 .

(600 см³) — 2,0 м². При объеме сосудов 200 и 600 см³ объем корневой системы составил в конце опыта (8 листьев) соответственно 22 и 27 см³, т. е. 3-кратное увеличение объема со-

суда привело лишь к незначительному изменению объема корней. Мало различались при этих объемах сосудов общая и рабочая поглощающие поверхности корней (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

**Поглощающая поверхность корней у кукурузы (м²)
в водной культуре (фаза 8 листьев)**

Вариант (объем сосудов, см ³)	Общая	Рабочая	Нерабочая	Удельная общая	Удельная рабочая
10	4,2	1,2	3,0	0,2	0,06
20	5,2	1,3	3,9	0,3	0,07
200	18,9	9,2	9,7	0,8	0,4
600	19,0	9,4	9,6	0,9	0,5

Особенно значительные различия вариантов и изучаемых растений по массе и объему корней проявились в условиях почвенной культуры. У ячменя в фазу выхода в трубку масса корней достигла максимального значения в сетчатой камере объемом 100 см³ (3,6 при 15 г в контроле), а в фазу цветения — в контрольном сосуде (20,4 г) при практически неизменной массе корней в камерах 100 см³. Так же, как и в случае с водной культурой, корни растений при объемах сетчатых камер 100, 200 и 400 см³ фактически заполняли все имеющиеся в них почвенные поры. Различия по массе и объему корней между крайними вариантами составили 4—5 раз.

У картофеля наблюдалась несколько меньшая реакция на ограничение объема корнеобитаемой среды. Так, в фазу начала отмирания ботвы масса корней в контроле лишь в 3 раза превышала значение этого показателя в камерах 100 см³. Подобные различия отмечены и по объему корней. Расчеты показывают, что в камерах 100, 200, 400 см³

основная часть почвенных пор была заполнена корнями растений.

Нарастание общей биомассы растений. Несмотря на большие различия крайних вариантов по развитию корневой системы кукурузы в водной культуре, существенных их различий по общей биомассе надземной части до фазы 8 листьев отмечено не было, наблюдалась лишь некоторая тенденция к увеличению массы стеблей в вариантах 10 и 20 см³ по сравнению с контролем (табл. 6) — соответственно 3, 2,5 и 2 г сухих веществ — при одновременном снижении массы корней. Вероятно, фотоассимиляты шли в основном на формирование осевого органа, т. е. наблюдался компенсаторный эффект — уменьшение массы одного органа (корней) приводит к увеличению массы другого (стеблей). Таким образом, в водной культуре в условиях достаточной обеспеченности элементами минерального питания растения кукурузы до фазы 8 листьев, мало различаясь по общей биомассе надземной части в сосудах разных объемов, существен-

но различались по массе корней. Корнеобеспеченность единицы надземной массы была значительно выше при большем объеме сосудов. Если доля корней в общей биомассе

в сосудах объемом 10 см³ составила 14,5%, то в сосуде 600 см³ она увеличилась в 2 раза, а соотношение надземной массы и корней снизилось с 5,9 до 2,5.

Т а б л и ц а 6

Структура растений кукурузы (г на 1 растение) в водной культуре

Вариант (объем сосудов, см ³)	Надземная масса (Н)			Масса корней (К)	Общая	Объем корней, см ³	Корни, % к общей массе	Н : К	Степень насыщенности объема корнями, %
	листья	стебли	всего						
10	2,9	3,0	5,9	1,0	6,9	10	14,5	5,9	100
20	2,3	2,5	4,8	1,2	6,0	18	20,0	4,0	90
200	2,2	1,8	4,0	1,3	5,3	22	24,5	3,1	11
600	2,5	2,0	4,5	1,8	6,3	27	28,6	2,5	4,5

(контроль)

Уячменя, как отмечалось ранее, в условиях почвенной культуры варианты особенно заметно различались по накоплению массы сухих корней, которая в контроле была в 5 раз выше, чем в вариантах 100 и 200 см³. На долю листьев в тот же период приходилось 40% в вариантах 100, 200, 400 см³ и 25% в контроле, а также в варианте 800 см³, на долю стеблей — соответственно 25—27 и 17—19%. Таким образом, уменьшение доли корневой массы в вариантах 100, 200 и 400 см³ по сравнению с контролем приводит к увеличению доли надземной части, в основном листьев. Доля колоса в фазу восковой спелости тоже была выше в

вариантах с ограниченным объемом сетчатых камер.

У картофеля в почвенной культуре в фазу бутонизации масса листьев, стеблей и корней в контроле оказалась в 2 раза выше, чем в варианте с минимальным объемом камер. Причем в камерах 100 и 200 см³ растения практически одинаково реагировали на уменьшение корнеобитаемой среды и отставали по накоплению биомассы от растений варианта 400 см³ в 1,5 раза и в 2 раза от растений в вариантах 800 и 6000 см³. В фазу начала отмирания ботвы это отставание возросло, и к концу вегетации в контроле накопление биомассы было в 2,5 раза больше, чем в варианте 100 см³. Осо-

бенно важно подчеркнуть, что ограничение корнеобитаемой среды затруднило формирование клубней картофеля, снизило урожай. К моменту уборки масса клубней контрольного варианта была в 2 раза больше, чем при объеме камер 100 и 200 см³, что свидетельствует о большой чувствительности картофеля к объему почвенной среды. Ограниче-

ние объема среды корнеобитания привело к уменьшению массы всех частей растений, существенно изменив их соотношение (табл. 7). Так, в фазу полного отмирания ботвы доля листьев, стеблей, корней и клубней в общей биомассе растения в варианте 100 см³ составила соответственно 3,3%, 1,2, 0,8 и 94,7%, а при объеме 6000 см³ — 4,1, 1,4, 1,4, 93,4%.

Т а б л и ц а 7

Динамика сухой массы картофеля и ячменя в почвенной культуре

Фаза развития	Вариант (объем камер, см ³)				
	100	200	400	800	6000
<i>Ячмень (г на 10 растений)</i>					
Выход в трубку:					
листья	4,4	5,8	5,1	7,5	7,4
стебли	3,4	3,5	4,2	6,7	7,0
корни	3,6	4,6	4,8	16,1	15,0
всего	11,4	13,9	14,1	30,3	29,4
Цветение:					
листья	5,7	7,1	7,9	9,4	10,6
стебли	3,8	4,7	4,9	7,8	7,0
корни	3,7	4,6	5,7	20,6	20,4
колос	0,7	0,7	0,9	1,3	1,6
всего	13,9	17,1	19,4	39,1	39,6
Восковая спелость:					
листья	5,8	6,7	7,7	10,7	12,8
стебли	3,8	4,5	5,1	7,1	8,5
корни	3,4	4,5	5,3	12,0	16,7
колос	1,1	1,3	1,5	2,1	2,4
всего	14,1	17,0	19,6	31,9	40,4
<i>Картофель (г на 1 растение)</i>					
Бутонизация:					
листья	3,8	3,2	5,7	6,9	7,0
стебли	1,2	1,1	2,0	2,1	2,0

Фаза развития	Вариант (объем камер, см ³)				
	100	200	400	800	6000
корни	0,7	0,8	1,2	1,5	1,4
клубни	22,4	28,1	27,5	32,4	39,3
всего	28,1	33,2	36,4	42,9	49,7
Начало отмирания ботвы:					
листья	3,1	3,6	6,8	6,9	7,3
стебли	1,1	1,2	2,2	2,0	2,1
корни	0,8	1,0	2,1	2,6	2,4
клубни	54,2	63,1	69,3	84,3	87,2
всего	59,2	68,9	80,4	95,8	99,0
Полное отмирание ботвы:					
листья	2,4	3,8	5,1	4,8	5,8
стебли	0,9	1,2	2,0	1,3	1,9
корни	0,6	1,1	1,7	2,1	1,9
клубни	69,3	74,2	99,4	96,5	131,5
всего	73,2	80,3	108,2	104,7	141,1

Газообмен растений. Общая масса растения, распределение ее по органам во многом определяются уровнем фотосинтеза и дыхания, обеспечивающих энергией все затратные про-

цессы жизнедеятельности растительного организма. Поэтому важно выяснить зависимость этих составляющих газообмена от ограничения объема корнеобитаемой среды.

Т а б л и ц а 8

Интенсивность фотосинтеза (мг CO₂/дм² ч) листьев кукурузы, ячменя и картофеля в почвенной культуре

Вариант (объем камер, см ³)	Кукуруза		Ячмень		Картофель	
	17.06	27.06	7.07	3.08	7.07	3.08
100	3,00	5,05	9,52	5,46	6,80	2,11
200	2,68	4,33	9,08	6,19	6,43	2,69
400	2,13	4,38	8,84	4,74	4,61	3,20
800	2,18	4,29	9,50	5,30	5,45	4,23
6000 (контроль)	0,91	2,80	8,11	4,81	5,03	4,10
НСП ₀₅			0,56	0,33	0,38	0,27

В почвенной культуре наблюдалась четкая тенденция к повышению интенсивности фотосинтеза при ограничении объема среды корнеобитания, особенно в первый период вегетации растений (табл. 8). В пос-

ледующем происходило постепенное выравнивание значений этого показателя в опытных и контрольном вариантах. Только у картофеля в камерах 100 и 200 см³ отмечалось существенное снижение интенсив-

ности фотосинтеза по сравнению с контролем.

Интенсивность дыхания листьев растений кукурузы, ячменя и картофеля заметно увеличивалась в вариантах с ограниченным объемом среды корнеобитания (табл. 9). Так, в вариантах 100 и 200 см³ уровень дыхания у кукурузы (в фазу 11 листьев) был соответственно на 40 и 35%,

у ячменя (в фазу цветения) — на 6 и 12%, у картофеля (в начале отмирания ботвы) — на 14 и 18% выше, чем в контроле. Таким образом, в ответ на ухудшение условий для формирования корневой системы эти растения реагировали повышением уровня дыхания листьев, что, очевидно, является одним из путей адаптации к этому стрессу.

Т а б л и ц а 9

Интенсивность темнового дыхания (мг CO₂/дм² ч) растений кукурузы, ячменя и картофеля в почвенной культуре

Вариант (объем камер, см ³)	Кукуруза		Ячмень		Картофель	
	25.06	29.07	10.07	8.08	10.07	8.08
100	1,39	2,07	0,69	0,41	0,57	0,28
200	1,37	2,06	0,72	0,49	0,59	0,27
400	1,07	1,65	0,67	0,38	0,52	0,25
800	0,97	1,67	0,67	0,38	0,47	0,26
6000 (контроль)	0,96	1,51	0,65	0,37	0,49	0,21
НСР ₀₅	0,17	0,19	0,05	0,05	0,04	0,03

Структура растений. Растения кукурузы в вариантах с ограниченным объемом среды корнеобитания по общей массе и структуре урожая отличались от контрольных. Так, при объеме камер 100 см³ к концу вегетации масса листьев, стеблей и в целом всего растения была почти в 2 раза меньше, чем в контроле (табл. 10). Важно подчеркнуть, что в минимальном объеме на единицу массы корней было сформировано в 5 раз больше вегетативной массы по сравнению с контрольным вариантом. Это свидетельствует о повышенной физиологической активности корней в условиях ограниченно-

го объема среды корнеобитания. Варианты 100 и 200 см³ по формированию общей биомассы практически не различались, т.е. эти объемы камер были одинаково малы для данной культуры. Контрольные растения (объем камер 6000 см³) превосходили по накоплению массы надземных органов и корней растения варианта 800 см³. Таким образом, данные опыта подтверждают высокую требовательность кукурузы к объему почвенной среды, а поэтому физическое и другие ограничения развития корневой массы будут приводить к уменьшению продуктивности этой культуры.

Структура растений кукурузы, ячменя и картофеля в почвенной культуре

Вариант (объем камер, см ³)	Сухая масса					Корни			Н : К
	листья	стебли	корни	початки, колос, клубни	общая	объем	насыщен- ность объема корня- ми, %	% к общей массе	

Кукуруза (г на 1 растение)

100	11	33	1,4	9	54,4	12	12	3	37,5
200	12	35	2,7	5	54,7	21	10,5	5	18,7
400	15	30	5,4	14	64,4	34	8,5	7	10,8
800	14	44	6,8	10	74,8	48	6,0	9	9,9
6000	17	51	11,6	13	92,6	71	1,2	15	7,0
НСР ₀₅	0,64	1,68	3,12	4,01		6,78			

Ячмень (г на 10 растений)

100	6	4	3	1,1	14,1	9,2	9,2	23,7	3,2
200	7	5	5	1,3	17,0	10,6	5,3	26,5	2,8
400	8	5	5	1,5	19,6	12,7	3,2	27,2	2,7
800	11	7	22	2,1	41,9	13,0	1,6	52,5	0,9
6000	13	9	17	2,4	40,4	14,5	0,2	41,3	1,4
НСР ₀₅	0,57	0,58	1,78	0,35		0,71			

Картофель (г на 1 растение)

100	2	1	0,6	69,3	73,2	4,1	4,1	0,8	5,5
200	4	1	1,1	74,2	80,3	4,9	2,4	1,4	4,6
400	5	2	1,7	99,4	108,2	8,0	2,0	1,6	4,2
800	5	1	2,1	96,5	104,7	9,4	1,2	2,0	2,9
6000	6	2	1,9	131,5	141,1	12,3	0,2	1,3	4,1
НСР ₀₅		0,51	0,35	9,63		0,84			

Ячмень в меньшей степени, чем кукуруза, реагирует на ограничение среды корнеобитания. По массе надземных органов и корней растения вариантов 800 и 6000 см³ практически не различались (табл. 10). Следовательно, объем почвенной среды, приходящийся на одно растение в камере 800 см³ и равный 80 см³, в условиях опыта не лимити-

ровал роста и развития ячменя. В то же время растения указанных вариантов существенно превосходили по формированию биомассы растения, выращенные в сетчатых камерах объемом 100, 200 и 400 см³.

Как отмечалось ранее, ограничение среды корнеобитания значительно снизило массу и долю клубней в структуре растений картофеля. В

условиях опыта обращает внимание небольшая доля корней в общей биомассе у картофеля и высокая — у ячменя, причем с уменьшением объема корнеобитаемой среды доля корней в общей биомассе снижалась в 5 раз у кукурузы, в 2 раза — у ячменя и в 1,5 раза — у картофеля. Эти различия, по-видимому, объясняются свойственными данным культурам особенностями адаптации к уменьшению объема почвенной среды и различной фактической насыщенности корнями объема почвы в сетчатой камере. Так, у кукурузы при изменении объема почвы с 6000 до 100 см³ степень насыщенности корнями возрастала с 1,2 до 12%, у ячменя — с 0,2 до 9,2, у картофеля — с 0,2 до 4,1%. С учетом того, что общая скважность почвы в сосудах в течение вегетационного периода составляла примерно 25—30%, приведенные показатели должны быть увеличены в 3—4 раза, что более правильно отражает фактическую насыщенность почвенных пор корнями. Следует иметь в виду, что у картофеля значительная часть общей скважности была занята клубнями.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о необходимости дальнейшего и более глубокого изучения адаптивных процессов растений, имеющих место при уменьшении объемов корнеобитаемой среды, а также подтверждают однотипность ответных реакций кукурузы, ячменя и картофеля на этот фактор при различном их количественном выражении.

Выводы

1. Ограничение объема среды корнеобитания в водной и почвенной

культурах ведет к комплексу ответных адаптивных и однотипных реакций растений, выражающихся в изменении темпов их роста и развития, соотношений их частей и органов.

2. Угнетение растений при ограничении объема среды корнеобитания является следствием чрезмерного насыщения корнями свободного от почвенных частиц пространства среды, нарушения оптимального, свойственного данному виду растений соотношения их надземных и подземных частей.

3. В условиях опытов сильнее всего на ограничение объема реагировал картофель, затем кукуруза и в меньшей мере — ячмень.

4. Используемые в исследовании методические приемы позволяют определить оптимальные и лимитирующие рост и развитие, продуктивность растений объемы среды корнеобитания, выявить максимально возможную насыщенность почвенного объема корнями, что важно для совершенствования приемов возделывания сельскохозяйственных растений в полевых условиях и при гидропонике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриценко В.В. Агрономические основы окультуривания почвы и повышения урожайности растений в Нечерноземной полосе. — Докт. дис. М.: ТСХА, 1968. — 2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / 5-е изд. М.: Агропромиздат, 1985. — 3. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство. Кишинев: Штиинца, 1990. — 4. Кирюшин В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. М.: Пушино, 1993. — 5. Моргунов Ф.Т., Шидула

- И.К.* Почвозащитное бесплужное земледелие. М.: Колос, 1984. — **6.** *Обручева Н.В.* Международный симпозиум «Экология корней и ее практическое применение» (2—6 сентября 1991 г., Вена, Австрия). — Физиол. раст., 1992, т. 39, вып. 1, с. 187—190. — **7.** *Пупонин А.И.* Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. — **8.** *Пупонин А.И., Третьяков Н.Н., Хохлов Н.Ф., Шевченко В.А.* Урожайность полевых культур при разных моделях пахотного слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. — Земледелие, 1990, № 6, с. 31. — **9.** *Пупонин А.И., Кирюшин Б.Д.* Минимализация обработки почвы: опыт, проблемы и перспективы. М.: ВНИИТЭИ агропром, 1989. — **10.** *Романенко Г.А., Каштанов А.Н.* Ландшафтное земледелие. М.: РАСХН, отд. Землед., 1994. — **11.** *Снягин И.И.* Площади питания растений / 3-е изд. М.: Россельхозиздат, 1975. — **12.** *Третьяков Н.Н.* Рост кукурузы в условиях ограниченных объемов почвы и воздушной среды. Изв. ТСХА, 1972, вып. 4, с. 63—72. — **13.** *Третьяков Н.Н.* Биологические основы агротехники кукурузы в Центральном районе Нечерноземной зоны. — Автореф. докт. дис. М., 1970. — **14.** *Третьяков Н.Н. и др.* Практикум по физиологии растений. М.: Агропромиздат, 1990. — **15.** *Устименко А.С., Данильчук П.В.* Корневые системы и продуктивность с.-х. культур. М.: Колос, 1975. — **16.** *Шевченко В.А.* Рост, развитие и продуктивность кукурузы и ячменя при разных способах основной обработки дерново-подзолистой почвы. — М., 1989. — **17.** *Meyer W.S., Tan C.S., Barrs M.D., Smith R.C.* — Austral J. agr. Res., 1990, vol. 41, № 2, p. 253—265.
- Статья поступила 4 октября 1994 г.*

SUMMARY

Conditions arising with higher soil density, soil tillage at different depth, too thick sowing that under field conditions results in lower volume of soil medium per 1 plant were modelled in greenhouse experiments.

Different volumes of root medium were produced by growing plants in glass vessels of volume 10, 20, 200, 600 cm³ (water culture), and in net chambers with cell diameter of 0.15 mm with a volume of 100, 200, 400, 800 and 6000 cm³. Phenophases, linear growth and leaf surface, formation of root system, growth of total plant biomass, gas exchange and yield structure were taken into consideration.

The procedures used allow to determine optimum volumes of root medium and those limiting growth, development and productivity of plants, to find maximum possible filling the soil volume with roots, which is important for improving the practices of farm crop cultivation.