

УДК 631.433

**ПОГЛОЩЕНИЕ КИСЛОРОДА СИСТЕМОЙ ПОЧВА — РАСТЕНИЕ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ АЭРАЦИИ,  
АЗОТНОГО ПИТАНИЯ И ДЕЙСТВИЯ СТИМУЛЯТОРА СИМБИОНТ-1**

**Н. Н. ИГНАТЬЕВ, Н. В. ДОЗОРЦЕВА**  
(Кафедра почвоведения)

Биологическое поглощение кислорода в почве осуществляется одновременно корнями растений и микроорганизмами, причем развитие большинства последних зависит от состояния корневой системы [2]. Изучение особенностей поглощения кислорода почвой вне связи с его поглощением корнями и наоборот [5, 8, 12, 17 и др.] не позволяет составить точного представления о расходе в ней кислорода, так как этот процесс во многом определяется взаимодействием растений и почвы.

Первые попытки исследовать поглощение кислорода почвой с живыми корнями показали, что оно значительно больше, чем в почве без корней [16]. Установлено также, что количество кислорода, поглощенного почвой и корнями, в частности корнями пшеницы, изменяется с изменением уровня аэрации [10].

Поскольку поглощение кислорода в рассматриваемой системе зависит от свойств самой почвы и от наличия в ней органов растения, можно ожидать, что под влиянием воздействий на растение и почву интенсивность поглощения кислорода изменится. Учитывая значительную долю участия растения в данном процессе, мы сделали попытку использовать скорость поглощения кислорода почвой с корнями как критерий оценки ответной реакции растения на внешние воздействия. Для этой цели необходимо было установить принципиальную возможность

измерения интенсивности поглощения кислорода системой при действии различных факторов, определяющих продуктивность растений.

Цель настоящей работы выяснить влияние доз минерального азота и биологического стимулятора Симбионт-1 [3] на поглощение кислорода системой почва — растение при различных уровнях аэрации.

В качестве объектов исследований использовали легкоуглинистую тепличную почву, взятую с Овощной опытной станции Тимирязевской академии, и 7—14-дневные проростки огурца (гибрид ТСХА-77, рекомендованный для возделывания в защищенном грунте). Выбор огуречного растения определялся особенностями роста этой культуры в рассадный период [1]. Содержание в почве физической глины — 22,97 %, илистой фракции — 11,59, потери при прокаливании — 12, гигроскопическая влага — 1,49, максимальная гигроскопическая влага — 6,04 % к сухой массе почвы. При определении рН и подвижных форм элементов в почве руководствовались указаниями по проведению анализов тепличных почв [14],  $pH_{вод}$  и  $pH_{сол}$  равны соответственно 6,75 и 6,12, содержание  $NH_4^+ + NO_3^-$  составляет 3,95 мг;  $K_2O$  — 6,18;  $P_2O_5$  — 7,92;  $Fe^{2+}$  — 1,07;  $Ca^{2+}$  — 3,05;  $Mg^{2+}$  — 7,83;  $Cl^-$  — 8,14 мг на 100 г абсолютно сухой почвы.

Почва характеризовалась низким содержанием водорастворимых форм азота и калия и нормальной обеспеченностью фосфором [4], что и определило ее выбор для постановки модельных опытов, в которых одним из факторов воздействия были разные уровни питания растений азотом.

Дозы азотных добавок (в форме  $NH_4NO_3$ ) рассчитывали по методике, принятой в тепличном овощеводстве [15].

Интенсивность поглощения кислорода почвой и корнями определяли на аппарате Варбурга с использованием модифицированного судика [9]. Поглощение кислорода, на наш взгляд, является более точным и доступным показателем, чем выделение углекислого газа, так как, во-первых, на аппарате Варбурга его легче регистрировать и, во-вторых, нет необходимости учитывать ретенцию последнего [8].

Почву помещали в стеклянные стаканчики объемом 40 мл. Заданный уровень аэрации создавался соответствующим увлажнением и поддерживался в течение дня трехразовым поливом дистиллированной водой. Данные о водно-физических свойствах тепличного грунта в условиях модельных опытов представлены в табл. 1.

В стаканчиках с почвой выращивались проростки огурца под лампой ДРЛ-400 [13], подвешенной на высоте 50 см. Растения освещались 11 ч в сутки в течение 6 или 12 дней в зависимости от условий опыта. Температура воздуха в световом шкафу при включенной лампе 25—26°.

Семена перед посевом выдерживали 30 мин при температуре 35° в дистиллированной воде или растворе биологического стимулятора Симбионт-1 соответствующей концентрации, затем проращивали в чашках Петри при 27°С 20 ч. Возраст проростка отсчитывали со дня появления корешка.

Т а б л и ц а 1

Краткая характеристика водно-физических свойств тепличного грунта

Пористость аэрации (ПА). % к объему почвы	Плотность	Плотность твердой фазы	Общая пористость, % к объему почвы	Полная влагоемкость (ПВ). % к сухой массе почвы	Влажность	
					% к сухой массе	% от ПВ
30	0,97	2,48	60,89	62,77	31,85	50,74
20	0,97	2,48	60,89	62,77	42,15	67,15
10	0,97	2,48	60,89	62,77	52,46	83,57

В день определения интенсивности поглощения кислорода на аппарате Варбурга надземную часть растений срезали, а стаканчики с почвой и корнями проростков помещали в модифицированные сосудики аппарата Варбурга. Экспозиция опыта 2 ч, а с момента срезания растений до отсчета результатов на манометре проходило 3,5 ч. Температуру в ванне аппарата в течение опыта поддерживали на уровне 25°C. Повторность всех определений 5—6-кратная.

С методической точки зрения важно было выяснить, какое время дыхание системы почва — растение остается стабильным после срезания надземной части растения. С этой целью был поставлен опыт с 11-дневными проростками огурца, в котором определяли поглощение кислорода через некоторые интервалы времени. Пористость аэрации составляла 20 % от объема почвы, а влажность — 42,15 % к сухой массе почвы.

Результаты опыта представлены в табл. 2. Здесь и в дальнейшем объемы поглощенного кислорода приведены к нормальным условиям и выражены в миллилитрах, отнесенных к 1 кг абсолютно сухой почвы и 1 ч времени дыхания.

Т а б л и ц а 2

Поглощение кислорода почвой с корнями проростков огурца в зависимости от времени после срезания надземной массы растений ( $t_{теор. 0.05}=2,23$ )

Показатель	Время после срезания надземной массы растений, ч						
	3,5	5,5	7,5	27,5	40,5	70,0	103,0
П о ч в а с к о р н я м и							
O <sub>2</sub> , мл/кг·ч	3,25	3,08	2,99	2,83	2,36	2,08	1,77
$t_{фк}$ к разнице между первым и последующими результатами	—	1,55	2,17	3,50	—	—	—
П о ч в а б е з к о р н е й							
O <sub>2</sub> , мл/кг·ч	2,08	2,04	2,01	1,89	1,62	1,56	1,39
$t_{фк}$ к разнице между первым и последующими результатами	—	0,5	1,0	4,09	—	—	—

Как видно из табл. 2, интенсивность поглощения кислорода как самой почвой, так и системой почва — растение постепенно уменьшалась. Через 5,5 ч после срезания надземной части растения и через 2 ч после первого отсчета изменение интенсивности дыхания оказалось недостоверным при 5 %-ном уровне вероятности. Недостоверной была разница и через 4 ч после первого отсчета, т. е. через 7,5 ч после срезания надземной части. Таким образом, в течение нескольких часов после срезания надземной части растения поглощение кислорода почвой с корнями огурца в условиях опыта изменялось незначительно, что позволило использовать настоящую методику для сравнительных оценок.

При вычислении количества поглощенного кислорода объем корней не учитывался, так как он практически не влияет на результат. Например, поглощение кислорода почвой и корнями растений, вычисленное без учета объема корней, составило 3,46 мл/кг·ч, а с его учетом — 3,45 мл/кг·ч.

При изучении действия препарата Симбионт-1 в контрольных вариантах семена обрабатывали дистиллированной водой. Поскольку этот препарат готовится на спиртовой основе, важно было выяснить, оказывает ли этиловый спирт достоверное воздействие на интенсивность поглощения кислорода системой почва — растение при обработке се-

мян в той же концентрации, что и стимулирующий препарат. Был проведен опыт (7 дней), в котором семена огурца обрабатывали 75 %-ным этиловым спиртом при разведении его водой 1 : 10 000, а в контроле, как обычно, — дистиллированной водой. Пористость аэрации 20 %. В варианте со спиртом поглощение кислорода составило 3,18 мл/кг·ч, а с водой — 3,12. Таким образом, разница между вариантами не превышала сотых долей миллилитра поглощенного кислорода, а фактический критерий Стьюдента был значительно меньше теоретического — соответственно 0,67 и 2,23. Следовательно, спирт при разведении 0,0001 не оказывает достоверного воздействия на дыхание системы. Это дало основание в наших экспериментах не вводить варианта, отражающего действие спирта.

При разработке схемы опытов была использована методика математического планирования эксперимента [11].

Ниже все условия опыта представлены в натуральных переменных. На основании полученных данных были рассчитаны уравнения регрессии, предназначенные для работы с кодированными независимыми переменными. Зависимая переменная  $y$  в каждом уравнении отражает интенсивность поглощения кислорода почвой с корнями и выражается в натуральных единицах. Для каждого коэффициента регрессии вычисляли соответствующий фактический критерий Стьюдента  $t_{\phi}$ , а для уравнения в целом — фактический критерий Фишера  $F_{\phi}$  [11]. Кроме того, связь между выходом процесса и действующими факторами выражалась в виде коэффициента множественной детерминации ( $R^2$ ) и соответствующих каждому фактору частных коэффициентов детерминации ( $d^2$ ). Вся вычислительная работа проводилась на ЭВМ «Минск-22» с использованием программы ПРА-3 [7].

В табл. 3 представлены средние (из 6 повторностей) данные о поглощении кислорода почвой с корнями проростков огурца, отражающие влияние трех факторов: пористости аэрации, стимулирующего препарата и добавки азота. Пористость аэрации изменялась от 10 до 20 % к объему почвы, концентрация препарата Симбионт-1 — от 0 до 1/20000 к первоначальной, азотные добавки от 0 до 4,52 мг на 100 г сухой почвы; верхний уровень соответствовал половине полной расчетной дозы азота [15]. Для сравнения приводятся данные о поглощении кислорода почвой без корней. Разницу между поглощением кислорода системой почва — растение и одной почвой можно отнести за счет дыхания корней и ризосферной микрофлоры. Чтобы получить представление о воспроизводимости результатов, эксперименты с 7-дневными и с 14-дневными проростками повторяли дважды.

Т а б л и ц а 3

Поглощение кислорода почвой и корнями огурца (мл/кг·ч) в зависимости от ПА (10 и 20 %), разведения препарата Симбионт-1 (0 и 1/20 000) и дозы азота (0 и 4,52 мг на 100 г)

Условия опытов			7 дней			14 дней		
$x_1$ ПА, % к объему почвы	$x_2$ Симби- онт-1, разведе- ние	$x_3$ азот, мг на 100 г сухой почвы	почва без кор- ней	почва с корня- ми	разница	почва без кор- ней	почва с корня- ми	разница
10	0	0	2,11	3,08	0,97	1,18	5,26	4,08
20	0	0	2,20	3,22	1,02	1,24	5,37	4,13
10	1/20 000	0	2,11	3,10	0,99	1,18	5,30	4,12
20	1/20 000	0	2,20	3,38	1,18	1,24	5,52	4,28
10	0	4,52	2,23	3,27	1,04	1,26	5,57	4,31
20	0	4,52	2,39	3,54	1,15	1,33	5,67	4,34
10	1/20 000	4,52	2,23	3,62	1,39	1,26	5,66	4,40
20	1/20 000	4,52	2,39	3,86	1,47	1,33	5,82	4,49

По результатам каждого опыта были рассчитаны уравнения регрессии, отражающие связь между поглощением кислорода системой почва — растение и указанными факторами. Для повторных опытов приводятся только уравнения регрессии.

На основании результатов опыта с 7-дневными проростками рассчитано следующее уравнение:

$$y = 3,38 + 0,12x_1 + 0,10x_2 + 0,19x_3 + 0,06x_2 \cdot x_3 \quad (1)$$

$$t_{\phi} = \begin{matrix} & 5,25 & 4,70 & 8,47 & 2,75 \end{matrix}$$

$$F_{\text{теор. } 0,005} = 2,59; F_{\phi} = 32,25; t_{\text{теор. } 0,05} = 2,02.$$

Из уравнения (1) видно, что все три фактора в отдельности и взаимодействие двух последних обеспечили положительный вклад в выход процесса, на что указывают положительные знаки при всех коэффициентах регрессии. Так как  $F_{\phi} > F_{\text{теор.}}$ , то в целом связь между действием факторов и выходом процесса воспроизводится достоверно. О достоверности действия каждого фактора в отдельности при изменении их уровней с нижнего до верхнего свидетельствуют более высокие значения  $t_{\phi}$  по сравнению с  $t_{\text{теор.}}$

Анализ коэффициентов регрессии показывает, что наибольшее воздействие на дыхание в условиях опыта оказала азотная добавка, а наименьшее — взаимодействие стимулятора и азота. Это подтверждается также соответствующими значениями частных коэффициентов детерминации, каждый из которых указывает на долю вклада отдельного фактора в общую колеблемость:

$$R^2 = d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 = 0,16 + 0,13 + 0,42 + 0,04 = 0,75.$$

Первые три номера при частных коэффициентах детерминации соответствуют номерам переменных в уравнении (1), четвертый — взаимодействию отдельных факторов.

В дальнейшем мы не приводим статистические характеристики, кроме критериев Стьюдента, под соответствующими коэффициентами регрессии.

По результатам повторного опыта рассчитано уравнение

$$y = 3,41 + 0,10x_1 + 0,07x_2 + 0,16x_3 + 0,05x_2 \cdot x_3 \quad (2)$$

$$t_{\phi} = \begin{matrix} & 3,55 & 2,51 & 5,85 & 1,95 \end{matrix}$$

$$t_{\text{теор. } 0,05} = 2,02; t_{\text{теор. } 0,10} = 1,68.$$

Сравнивая характеристики уравнения (1) и (2), можно заметить, что последнее воспроизводит все тенденции, которые наблюдались в

Т а б л и ц а 4

Поглощение кислорода системой почва — растение (мл/кг·ч) в зависимости от ПА (20 и 30 %), разведения препарата Симбионт-1 (1/20 000 и 1/10 000) и дозы азота (4,52 и 9,04 мг на 100 г)

Условия опыта			Почва без корней	Почва с корнями	Разница
$x_1$ ПА, % к объему почвы	$x_2$ Симбионт-1, разведение	$x_3$ N, мг на 100 г сухой почвы			
20	1/20 000	4,52	2,39	3,71	1,32
30	1/20 000	4,52	2,30	3,62	1,32
20	1/10 000	4,52	2,39	3,84	1,45
30	1/10 000	4,52	2,30	3,72	1,42
20	1/20 000	9,04	2,31	3,39	1,08
30	1/20 000	9,04	2,24	3,35	1,11
20	1/10 000	9,04	2,31	3,59	1,28
30	1/10 000	9,04	2,24	3,44	1,20

уравнении (1). Этого вполне достаточно при поиске факторов, оказывающих достоверное воздействие на рассматриваемую систему.

С методической точки зрения необходимо было выяснить наиболее приемлемый для данных опытов возраст проростков. С этой целью был поставлен опыт в таких же условиях, как и два предыдущих, с той лишь разницей, что использовались 14-дневные проростки (табл. 3). В этом случае почвой с корнями поглощалось кислорода больше, чем в предыдущем опыте, что можно объяснить более сильным развитием корневой системы и сопутствующей ей микрофлоры. Возросла также и разница в поглощении кислорода между вариантами с корнями и без них, что связано не только с возрастом растений, но и со снижением биологической активности почвы при отсутствии корней в результате постепенного уменьшения доступного микроорганизмам органического материала. На основании полученных результатов было рассчитано уравнение

$$y = 5,52 + 0,07x_1 + 0,05x_2 + 0,16x_3 \quad (3)$$

$$t_{\phi} = \quad 3,64 \quad 2,60 \quad 7,83$$

$$t_{\text{теор. } 0,05} = 2,02.$$

Как и в предыдущих опытах, изменение уровней всех трех факторов от нижнего до верхнего оказало достоверное влияние на поглощение кислорода системой почва — растение, однако ни одного достоверного взаимодействия их зафиксировать не удалось. Методически необходимо было повторить опыт, в результате проведения которого получено следующее уравнение:

$$y = 5,40 + 0,08x_1 + 0,07x_2 + 0,15x_3 \quad (4)$$

$$t_{\phi} = \quad 3,12 \quad 2,84 \quad 5,79$$

$$t_{\text{теор. } 0,05} = 2,02.$$

Уравнение (4) воспроизводит все тенденции, отраженные в уравнении (3), в том числе и отсутствие достоверных взаимодействий факторов. Вероятно, в 7-дневном возрасте растения более чувствительны к действию изучаемых факторов, чем в 14-дневном, благодаря чему в первых двух опытах нам удалось проследить взаимодействие стимулятора и азотной добавки. Это дало нам основание продолжать работу с 7-дневными проростками огурца.

После того как было установлено положительное влияние изучаемых уровней факторов на поглощение кислорода системой почва — растение, предстояло выяснить, хотя бы приблизительно, верхние их пределы, до которых указанное действие будет сохраняться. С этой целью был проведен опыт (табл. 4), в котором верхние уровни факторов из предыдущих опытов были использованы в качестве нижних, а верхние были равны: ПА — 30 % от объема почвы, разведение стимулятора Симбионт-1 — 0,0001, добавка азота — 9,04 мг на 100 г сухой почвы, что соответствовало полной расчетной его дозе.

В уравнении (5), рассчитанном по результатам последнего опыта, коэффициент регрессии при  $x_1$  имеет знак минус, что свидетельствует об отрицательном действии ПА при ее изменении от 20 до 30 %.

$$y = 3,58 - 0,04x_1 + 0,06x_2 - 0,13x_3 \quad (5)$$

$$t_{\phi} = \quad 1,49 \quad 2,04 \quad 4,47$$

$$t_{\text{теор. } 0,05} = 2,04; \quad t_{\text{теор. } 0,10} = 1,70; \quad t_{\text{теор. } 0,20} = 1,28.$$

Вероятно, уменьшение влажности в микроразонах почвы при увеличении уровня аэрации сказалось на активности некоторых групп микроорганизмов. В литературе [6] отмечается неодинаковая реакция разных групп микроорганизмов на уровни влажности в почве. На мысль

о снижении активности микроорганизмов наводит и тот факт, что в вариантах без корней интенсивность дыхания также снижается при изменении ПА от 20 до 30 %. Следует отметить, что уровень достоверности действия фактора в данном случае снизился до 0,80. Из уравнения (5) также следует, что увеличение концентрации стимулятора продолжает оказывать положительное действие на выход процесса, хотя уровень достоверности в данном случае был несколько ниже, чем в предыдущих опытах. Снижение уровней достоверности действия факторов может свидетельствовать о том, что их значения находятся вблизи точек, за которыми лежат области безразличного действия фактора.

Увеличение добавки азота оказало четко выраженное отрицательное действие при высоком уровне достоверности. Вероятно, полная доза азота для 7-дневных проростков является избыточной.

## Выводы

1. Разработана модель для сравнительной оценки реакции растения на разные внешние воздействия по интенсивности поглощения кислорода почвой с корнями проростков огурца.

2. В условиях опытов влияние пористости аэрации, стимулятора Симбионт-1 и добавки азота на поглощение кислорода почвой с корнями проростков огурца выражалось значениями одного порядка.

3. Максимальное поглощение кислорода почвой и корнями 7-дневных проростков огурца в условиях опытов имело место при пористости аэрации 20 % и дозе азота, равной половине расчетной.

4. Установлено влияние взаимодействия стимулятора Симбионт-1 и добавки азота на поглощение кислорода системой почва — растение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Н. В. Влияние уровня минерального питания на рост, развитие и урожайность огурца при культуре в пленочной теплице. — Автореф. канд. дис. М., 1970. — 2. Браун М. Э. Микроорганизмы ризосферы — приспособленцы, грабители или благодетели. — В кн.: Почвен. микробиол. Под ред. Д. И. Никитина. М.: Колос, 1979, с. 36—57. — 3. Гельцер Ф. Ю. Новые продуценты стимулирующих веществ для растений. — Докл. ВАСХНИЛ, 1975, № 5, с. 16—18. — 4. Глунцов Н. М., Штефан В. К. и др. Рекомендации по рациональному использованию удобрений в защищенном грунте. М.: МСХ СССР, 1977. — 5. Гречин И. П. Свободный кислород и его роль в почвенных процессах лесолуговой (таежнолесной) зоны европейской части СССР. — Автореф. докт. дис. М., 1965. — 6. Еникеева М. Г. Влажность почвы и деятельность микроорганизмов. — Тр. Ин-та микробиол. М.: Изд-во АН СССР, 1952, вып. 2, с. 130—138. — 7. Дукарский О. М., Закурдаев А. Г. Статистический анализ и обработка наблюдений на ЭВМ «Минск-22». М.: Статистика, 1971. — 8. Игнатьев Н. Н. Поглощение свободного кислорода почвами. — Автореф. канд. дис. М., 1970. — 9. Игнатьев Н. Н. Модификация метода Варбурга с целью определения интенсивности поглощения кислорода почвой с нарушенной структурой. — Докл. ТСХА, 1972, вып. 176, с. 51—55. — 10. Игнатьев Н. Н., Немова Л. И. Поглощение кислорода дерново-подзолистой почвой и корнями проростков пшеницы при различных уровнях аэрации. — Докл. ТСХА, 1976, вып. 218, с. 45—47. — 11. Игнатьев Н. Н., Передкова Л. И. Использование метода математического планирования эксперимента при изучении биологической активности почвы. — Изв. ТСХА, 1977, вып. 2, с. 113—121. — 12. Кудрявцева А. Потребность корней растений в кислороде. — Науч.-агроном. журн., 1924, № 1, с. 48—67. — 13. Леман В. М. Курс светокультуры растений. М.: Высшая школа, 1976. — 14. Методические указания по организации агрохимических обследований и проведению анализов в овощеводстве защищенного грунта. Ч. 1. М.: Колос, 1973. — 15. Методические указания по проведению опытов и внесению удобрений в овощеводстве защищенного грунта. М.: Колос, 1972. — 16. Пильщикова Ф. Н., Игнатьев Н. Н. Поглощение кислорода корнями яблони и почвой. — Изв. ТСХА, 1973, вып. 4, с. 124—129. — 17. Станков Н. З., Ладонина Т. П., Тимофеева А. А. Определение поглощающей поверхности корневой системы растений. — Вест. с.-х. науки, 1963, № 8, с. 125—130.

Статья поступила 27 июня 1980 г.

## SUMMARY

The absorption of oxygen by greenhouse ground and by the roots of cucumber seedlings at different levels of aeration and nitrogenous nutrition and under application of stimulator Symbiont-1 was studied. It is found that there is an interaction between preparation Symbiont-1 and nitrogen which causes variations in the absorption of oxygen by soil and by roots. The range of positive and negative effect of aeration and nitrogen is shown.