

УДК 631.433.3:631.46

ПОГЛОЩЕНИЕ КИСЛОРОДА ТЕПЛИЧНЫМ ГРУНТОМ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ И ПРЕПАРАТА СИМБИОНТ-2

Н.Н. ИГНАТЬЕВ, Ю.П. ЖУКОВ, Д.А. АНДРЮШИН

(Кафедра почвоведения, кафедра агрохимии)

С целью поиска способов повышения эффективности минеральных удобрений изучалось влияние NPK, меди и стимулятора симбионт-2 на поглощение кислорода торфяным тепличным грунтом с корнями огуречных проростков. Установлено, что действие стимулятора измеряется величинами того же порядка, что и действие удобрений. Выявлены положительные взаимодействия между стимулятором и удобрениями. Указанные взаимодействия способствовали увеличению скорости поглощения кислорода системой почва — растение примерно на 20%. Сделан вывод о том, что применение удобрений и стимулятора целесообразно комбинировать. Установлено, что медь, внесенная в почву, не мешает положительному эффекту меди, которой обработаны семена огурцов, поэтому целесообразно комбинировать оба способа ее применения.

Скорость поглощения кислорода почвой с развившимися в ней корнями живых растений может служить ориентиром при поиске новых факторов, влияющих на урожайность культур и способов изменения эффективности применяемых минеральных удобрений. Уровень элементов питания (NPK) достоверным образом влияет на дыхание системы почва — растение [3]. Кроме того, обработка семян стимуляторами типа симбионт также вызывает заметный эффект в виде увеличения скорости поглощения кислорода. Применяя математическое планирование эксперимента, Н.Н. Игнатьев и Н.В. Дозорцева, выявили взаимодействия между элементами питания и стимулятором симбионт-1. Оказалось, что применение стимулятора роста растений может способствовать увеличению эффективности применения минеральных

удобрений [4]. Кроме того, при наличии в почве внесенного микроэлемента (молибденово-кислого аммония) действие стимулятора проявлялось более четко, чем без него [5]. Это дало основание попытаться выявить связь между действием макро- и микроудобрений при одновременном их применении в сочетании с симбионтом-2 в опытах с огуречными проростками. При этом три элемента питания (NPK) рассматривались как единый многокомпонентный фактор, так как соотношение между компонентами оставалось постоянным при изменении уровней фактора. В исследованиях также испытывали медь как микроудобрение и как стимулятор, применяя ее двумя способами (введение медного купороса в почву и обработка раствором медного купороса семян растений перед посевом). В качестве почвенного субстрата был использо-

ван тепличный грунт, представляющий собой переходный торф ($pH_{\text{СОЛ}} = 6,5$), заправленный доломитовой мукой. Оценка действия изучаемых факторов осуществлялась по интенсивности поглощения кислорода почвой с корнями проростков, так как этот показатель тесно связан с уровнем процессов роста, развития растения и синтеза веществ в корнях. При изучении связей между действующими факторами особый интерес представляет выявление взаимодействий факторов. Добиться этого можно было путем применения математического планирования эксперимента. Для этого следовало выяснить, в каких пределах исследуемые факторы будут влиять линейно на скорость поглощения кислорода почвой с корнями. Скорость поглощения кислорода системой почва — растение рассматривалась как выход процесса, т. е. результат действия факторов.

Методика

Для выявления линейности действия удобрений и микроэлемента были проведены модельные опыты с 7-дневными огуречными проростками, выращенными в указанной тепличной почве. Рекомендованная (полная) доза удобрения для тепличного грунта [1] складывалась из $N = 81,6$; $P = 38,3$; $K = 126,1$ мг/100г. Рекомендованная доза питания растений как сборный объект принята за единицу. Половинная и полуторные дозы приняты как 0,5 и 1,5 соответственно. В качестве источника микроэлемента был взят медный купорос из расчета 1,2 мг/100г (полная доза), кроме того, были использованы половинная и полуторная дозы. Тепличный грунт помещали в стеклянные стаканчики из расчета 5,75 г сухой массы на стаканчик. Объем грунта в стаканчике 40 мл. Грунт увлажня-

ли дистиллированной водой до пористости аэрации 30% от объема почвы. Через 7 дней после увлажнения грунта в него вносили удобрения, включая микроэлемент, в соответствии с вариантами опыта, и высаживали проросшие семена огурцов (одно семя на стаканчик). В качестве источника света использовали лампы ДРЛФ — 400 [8]. Через 7 дней после посадки на модифицированном аппарате Варбурга [6] при $25^\circ C$ определяли скорость поглощения кислорода почвой с проросшими корнями. Результаты выражали в мл поглощенного кислорода на 1 кг абсолютно сухой поч-вы за час. Все объемы кислорода приведены к нормальным условиям. По скорости поглощения кислорода судили об интенсивности действия факторов на рост растения, так как в данном случае скорость поглощения кислорода отражала не только интенсивность дыхания корней, но также интенсивность дыхания ризосферных организмов, развитие которых зависело от интенсивности выделения корневых экссудатов. Повторность 6-кратная. В дальнейших опытах способы выращивания растений и измерения уровней дыхания те же.

Действия стимулятора, NPK и микроэлемента были линейны в пределах: для стимулятора, при разбавлении от 1/8 до 1/12 тыс. от исходного; от 0 до 1,5 дозы для NPK; от 0 до 0,002% для меди при обработке семян; а также от 0 до 1 дозы для меди, внесенной в почву [2].

Результаты

Для выявления связи действия NPK, обработки семян стимулятором симбионт-2 и меди, внесенной в почву, был поставлен трехфакторный опыт, схема и результаты которого представлены в натуральных переменных в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

**Поглощение кислорода почвой с корнями проростков огурца
при действии удобрений, микроэлемента и стимулятора симбионт-2**

Вариант	Скорость поглощения O_2 , мл/кг ч, $У_{O_2}$	НРК, доли от полной дозы, X_1	Медь в почве, доли от полной дозы, X_2	Симбионт-2, разбавление от исходного, X_3
1	38,9	0,5	0,5	1/12 т
2	61,2	1,5	0,5	1/12 т
3	41,7	0,5	1	1/12 т
4	60,2	1,5	1	1/12 т
5	45,8	0,5	0,5	1/8 т
6	66,2	1,5	0,5	1/8 т
7	49,3	0,5	1	1/8 т
8	75,3	1,5	1	1/8 т

В табл. 1 представлен план опыта в натуральных переменных. Каждая переменная представлена на двух уровнях (верхним и нижним). Идея настоящего плана заключается в том, чтобы каждый фактор был представлен своим нижним уровнем с верхним и нижним уровнями двух других факторов, и верхний уровень каждого фактора должен быть представлен также с верхним и нижним уровнями других двух факторов.

Чтобы рассчитать на основании полученных результатов уравнение регрессии, уровни действующих факторов необходимо закодировать.

В кодированных переменных результаты опыта представлены в табл. 2.

Кроме действующих факторов

X_1 , X_2 , и X_3 , в плане опыта представлены их взаимодействия: X_1X_2 ; X_1X_3 ; X_2X_3 ; $X_1X_2X_3$, в т. ч. и тройное взаимодействие.

Нижний уровень каждого фактора обозначен «-1», верхний уровень каждого фактора «+1». Единица для простоты опускается. Выход процесса (Y) всегда представлен в натуральных единицах.

План опыта в кодированных переменных имеет много преимуществ: в частности, анализ уравнения, рассчитанного для кодированных переменных, дает возможность оценить вклад каждого фактора в общий выход процесса, а также выявить взаимодействия факторов. По результатам опыта было составлено уравнение регрессии для кодированных пе-

Т а б л и ц а 2

Матрица планирования 3-факторного опыта в кодированных переменных

Вариант	$У_{O_2}$	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$
1	38,98	+	-	-	-	+	+	+	-
2	61,24	+	+	-	-	-	-	+	+
3	41,75	+	-	+	-	-	+	-	+
4	60,82	+	+	+	-	+	-	-	-
5	45,85	+	-	-	+	+	-	-	+
6	66,26	+	+	-	+	-	+	-	-
7	49,31	+	-	+	+	-	-	+	-
8	75,35	+	+	+	+	+	+	+	+

ременных (1). Коэффициенты регрессии при конкретных переменных отражают вклад каждого фактора или взаимодействия их в выход процесса.

$$Y_{O_2} = 54,9 + 10,9X_1 + 1,9X_2 + 4,23X_3 + 0,3X_1X_2 + 0,6X_1X_3 + 1,3X_2X_3 + 1,1X_1X_2X_3 \quad (1)$$

t_0	15,21	2,03	13,48	4,12	20,82	6,09	23,35
t_T	2,70	2,02	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
P	0,99	0,975	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Под каждым коэффициентом регрессии приведены соответствующие им фактические (t_0) и теоретические (t_T) критерии достоверности Стьюдента, а также доверительные вероятности (P), свидетельствующие о достоверности коэффициентов регрессии.

Чем большую величину имеет коэффициент регрессии, тем больше вклад в выход процесса соответствующего ему фактора. Единственным неудобством является то, что в уравнение нельзя подставлять величины действующих факторов в натуральном виде, их сначала следует закодировать [7].

Как видно из уравнения (1), все факторы и их взаимодействия действовали положительно, о чем свидетельствует знак перед каждым коэффициентом регрессии. Кроме того, следует отметить, что все факторы и их взаимодействия оказывали достоверное влияние на скорость поглощения кислорода. Наибольшее влияние на скорость поглощения кислорода оказывали макроудобрения (NPK); чуть меньшее — препарат симбионт-2; микроудобрение (медь) оказывало хоть и минимальное, но заметное влияние на исследуемый процесс.

Из двойных взаимодействий наибольший вклад дало взаимодействие микроудобрения с препаратом симбионт-2. Значительный вклад дало и тройное взаимодействие. Ориентировочно влияние взаимодействия симбионта-2 с макро- и микроудобрениями увеличивали дыхание по сравнению с действием

удобрений примерно на 20%, а вместе с индивидуальным действием препарата интенсивность дыхания возрастает в 1,5 раза.

Из этого следует, что использование препарата повышает эффективность минеральных удобрений заметным образом, и есть смысл осуществлять совместное применение макро- и микроудобрений со стимулятором симбионт-2.

Также нас интересовало взаимодействие между NPK и медью, внесенной в почву при более широком диапазоне действия факторов. С этой целью провели двухфакторный опыт, в котором в почву вносили макроудобрения (NPK) и медный купорос. Результаты опыта представлены в табл. 3.

По полученным материалам было рассчитано уравнение (2) для кодированных переменных, в котором нашло отражение действие NPK и медного купороса, внесенного в почву.

Как видно из уравнения, оба фактора оказали положительное влияние

Т а б л и ц а 3
Поглощение кислорода системой почва - растение в условиях применения макроудобрений и микроэлемента, внесенного в почву

Вариант	Скорость поглощения O_2 , мл/кг ч, Y_{O_2}	NPK, доли от полной дозы, X_1	Медь в почве, доли от полной дозы, X_2
1	27,5	0	0
2	38,8	1,5	0
3	33,8	0	1
4	46,9	1,5	1

$$U_{O_2} = 36,76 + 6,14X_1 + 3,63X_2 + 0,48X_1X_2 \quad (2)$$

t_ϕ	9,62	3,87	18,71
t_τ	2,53	2,53	2,53
P	0,99	0,99	0,99

на скорость поглощения кислорода с высоким уровнем достоверности. Также имело место положительное взаимодействие обоих факторов, аналогичное тому, что представлено в уравнении (1).

Учитывая, что медь можно применять до посева и при протравливании семян, было необходимо выяснить вопрос о величинах индивидуального действия меди в каждом из указанных случаев. С этой целью был проведен следующий двухфакторный опыт, где медь вносили в почву, а также использовали для замачивания семян. Семена огурцов замачивали 0,002% раствором медного купороса в течение 30 мин перед проращиванием. Результаты опыта представлены в табл. 4.

$$U_{O_2} = 32,95 + 2,75X_1 + 2,30X_2 - 0,40X_1X_2 \quad (3)$$

t_ϕ	3,87	4,13	5,82
t_τ	2,53	2,53	2,53
P	0,99	0,99	0,99

Из уравнения видно, что оба фактора действовали положительно и достоверно с доверительной вероятностью 0,99. Отрицательное взаимодействие можно объяснить тем, что за счет стимулирующего действия меди (X_2) произошло увеличение корневой системы и тем самым усиление выделительной деятельности корневой системы. В результате в почве оказалось дополнительное количество токсинов, которые частично подавили активность почвенной микрофлоры.

Учитывая, что в процессе дыхания системы почва - растение участвуют не только корни, но также и почвенные микроорганизмы, было

$$U_{O_2} = 31,9 + 4,8X_1 + 6,5X_2 + 3,5X_3 - 0,4X_1X_2 + 0,1X_1X_3 - 0,4X_2X_3 + 0,8X_1X_2X_3 \quad (4)$$

t_ϕ	16,69	16,61	21,11	12,57	21,52	27,84	33,04
t_τ	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
P	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Т а б л и ц а 4

Влияние способов применения меди на поглощение кислорода системой почва — растение

Вариант	Скорость поглощения O_2 , мл/кг ч, U_{O_2}	Медь в почве, доли от полной дозы, X_1	Обработка семян медью, концентрация, % X_2
1	27,5	0	0
2	33,8	1	0
3	32,9	0	0,002
4	37,6	1	0,002

По полученным материалам было рассчитано уравнение регрессии (3) для кодированных переменных.

необходимо сравнить доли участия растения и удобрений в их влиянии на дыхание почвы.

С этой целью был поставлен еще один трехфакторный опыт, в котором растение выступало как самостоятельный фактор, влияющий на поглощение кислорода наряду с макроудобрением и микроэлементом, внесенным в почву. Результаты опыта в натуральных переменных представлены в табл. 5.

По результатам опыта было рассчитано уравнение регрессии (4) для кодированных переменных. U_{O_2} для данного случая отражает дыхание почвы.

Влияние растения, уровней питания и внесения меди в почву на поглощение кислорода тепличной почвой

Вариант	Скорость поглощения O_2 , мл/кг ч $У_{O_2}$	Растение, число проростков на стаканчик, X_1	Удобрение, доля от полной дозы, X_2	Медь в почве, доля от полной дозы, X_3
1	15,8	0	0	0
2	27,5	1	0	0
3	31,9	0	1,5	0
4	38,8	1	1,5	0
5	24,9	0	0	1
6	33,8	1	0	1
7	36,3	0	1,5	1
8	46,9	1	1,5	1

Как видно из уравнения (4), действие растения (X_1) было достаточно сильным и достоверным, однако, действие удобрений (X_2) оказалось значительно выше, а действие меди (X_3) заметно уступает действию растения. Указанное превышение требует своего объяснения. Удобрение действует на растение и почвенную микрофлору. Действие через растение предполагает два момента. Во-первых, под влиянием удобрений должно усиливаться дыхание корней, во-вторых, усиливается выделительное действие корней, в результате ризосферная микрофлора получает больше питания. Это также способствует увеличению скорости поглощения кислорода. Видимо, это и привело к повышению коэффициента регрессии при X_2 по сравнению с коэффициентом регрессии при X_1 , так как минеральное питание необходимо не только растениям, но и почвенным микроорганизмам. Обращает на себя внимание высокий коэффициент регрессии при X_3 (медь). Это означает, что потребность почвенной микрофлоры в микроэлементах сравнима с потребностью в макроэлементах. Отрицательное взаимодействие растения с макроудобрением и отрицательное взаимодействие макро- и микроудобре-

ний можно объяснить тем, что при внесении указанных удобрений усиливается выделительная функция корневой системы и при этом увеличивается выделение дополнительного количества токсичных веществ. Положительное взаимодействие растения и микроудобрения, а также положительное тройное взаимодействие можно объяснить тем, что почвенная микрофлора получила сбалансированное питание минеральным и органическим материалом корневых выделений

Выводы

1. В условиях опыта с проростками семян огурцов на тепличном грунте выявлены положительные взаимодействия стимулятора роста растений симбионт-2 с макро- и микроудобрениями. Применение симбионта-2 заметно повысило эффективность минеральных удобрений.

2. Эффект от обработки семян медью оказался не намного меньше, чем при внесении меди в почву, хотя количество меди, потребовавшейся на обработку семян, было затрачено значительно меньше, чем при внесении в почву.

3. Макроудобрения (NPK) оказывали более мощное воздействие на поглощение кислорода почвой, чем живые корни растений. Это дает основание считать, что почвенные микроорганизмы способны перехватывать у растения значительное количество питания.

4. Уровень влияния микроудобрения (медный купорос) на поглощение кислорода тепличным грунтом с корнями огуречных проростков и почвенными микроорганизмами оказался сравнимым с действием макроудобрений (NPK). Это свидетельствует о том, что в условиях использования торфяного грунта эффект от использования меди в какой-то степени приближается к действию NPK.

5. Стимулирующий эффект препарата симбионт-2, выраженный в величине скорости поглощения кислорода системой почва — растение, сравним с действием минеральных удобрений в условиях производства.

6. Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о целесообразности комбинированного применения симбионта-2 с минеральными удобрениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Э.А., Смирнов Н.А. Технология возделывания овощных культур и грибов в защищенном грунте. М.: Агропромиздат, 1987. — 2. Андрюшин Д.А. Оценка линейности действия удобрений и микроэлемента на поглощение кисло-

рода почвой с корнями огуречных проростков. Деп. ВИНТИ, №7, 07.05.2004. —

3. Дозорцева Н.В. Поглощение свободно-го кислорода системой почва-растение в условиях модельных опытов. Канд. дис. М., 1982. — 4. Игнатъев Н.Н., Дозорцева Н.В. Влияние уровней фосфорного и калийного питания, пористости азрации и биостимулятора симбионт-1 на поглощение кислорода тепличной почвой с корнями огуречных проростков. Актуальные вопросы генезиса и плодородия почв. М.: ТСХА, 1983, с. 71-77. — 5. Игнатъев Н.Н., Андрюшин Д.А. Физиологическая активность водных вытяжек из почвы в условиях действия элементов питания растений, стимулирующего начала и микроэлемента. Деп. ВИНТИ, №3159, 18.12.2000. — 6. Игнатъев Н.Н., Дозорцева Н.В. Оценка активности биологических стимуляторов роста растений по интенсивности поглощения кислорода системой почва — растение. — Изв. ТСХА, 1981, вып. 1, с. 72-78. — 7. Игнатъев Н.Н., Передкова Л.И. Использование метода математического планирования эксперимента при изучении биологической активности почвы. — Изв. ТСХА, 1977, вып. 2, с. 113-121. — 8. Леман В.М. Курс светокультуры растений. М.: Высшая школа, 1976, с. 22-27.

*Статья поступила
30 сентября 2004 г.*

SUMMARY

The influence of NPK, copper and the stimulant symbiont 2 on oxygen absorption by a greenhouse turf soil with cucumber roots sprouts was studied to find ways to increase the efficiency of mineral fertilizers. The experiments showed that symbiont 2 effect is equal to the effect of fertilizers. These interactions favoured the increase of absorption speed of oxygen by the system soil-plant, approximately by 20%. Positive interreactions were discovered between the stimulant and the fertilizers. The conclusion is drawn that it's expedient to combine both fertilizers and the stimulant. It's detected that copper in the soil does not impede the positive effect of the copper with which cucumber seeds were treated, so it's necessary that one should combine these two methods of it's application.