

УДК 633.16:631.811.93

## УРОЖАЙ ЯЧМЕНЯ И ЕГО КАЧЕСТВО ПРИ УЛУЧШЕНИИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РАСТЕНИЙ КРЕМНИЕМ

И. П. ДЕРЮГИН, Ю. К. ЧУПРИКОВ, М. В. ВАСИЛЬЕВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Приводятся данные о влиянии кремния на величину и качество урожая зерна, содержание зольных элементов в зерне и соломе ячменя. В качестве кремниевое удобрения использовали белую сажу (аэросил), содержащую 87 %  $\text{SiO}_2$ .

Кремний оказывает влияние на фосфатное питание растений [1, 7, 8], повышает их сопротивляемость к полеганию, некоторым грибковым и вирусным болезням и другим неблагоприятным факторам внешней среды [2, 3].

Среди химических элементов, обнаруженных в составе растений, к абсолютно необходимым относится фосфор, а к условно необходимым — кремний. По всей вероятности, это связано с тем, что в составе почвы на долю кремния приходится 33 %, а на долю фосфора — только 0,08 % содержания всех элементов питания. Отношение содержания кремния в почве к содержанию фосфора составляет 413. В растениях на долю кремния и фосфора приходится в среднем соответственно 0,15 и 0,07 % содержания всех элементов питания, а их отношение едва превышает 2, хотя для злаковых культур это отношение всегда более 2.

В литературе отмечается [4], что с урожаем ячменя (35 ц/га) и соответствующим количеством соломы выносятся 273 кг  $\text{SiO}_2$ , причем основная масса кремния (98 %) приходится на солому. При внесении под ячмень по 45 кг д. в. азота, фосфора и калия на 1 га вынос кремния увеличивается до 301 кг/га.

Мы попытались изучить влияние кремниевое удобрения на урожайность ячменя, качество урожая, содержание элементов питания в зерне и соломе.

### Методика

Микрополевым опытом проводили в 1985—1986 гг. в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, развитой на моренных отложениях. Содержание подвижных форм фосфора и калия в почве (по Кирсанову) составляло соответственно 68 и 140 мг/кг, сумма поглощенных оснований — 85 мг. экв/100 г,  $\text{pH}_{\text{соль}}$  — 5,2, содержание  $\text{N}_{\text{общ}}$  — 0,11 70-

Схема опыта: 1-й вариант — NK (фон 1); 2-й — NPK (фон 2); 3-й — фон 1+Ca; 4-й — фон 2+Ca; 5-й — фон 1 + 1 Si; 6-й — фон 1+2Si; 7-й — фон 1+3 Si; 8-й — фон 2+1 Si; 9-й — фон 2+2 Si; 10-й — фон 2+3 Si; 11-й — фон 1+Ca+1 Si; 12-й — фон 1+Ca+2Si; 13-й — фон 2+Ca+1 Si; 14-й — фон 2+Ca+2 Si. Два варианта (7-й и 10-й) были введены в схему дополнительно в 1986 г.

В опыте применяли аммиачную селитру (ГОСТ 2—75), двойной суперфосфат (ГОСТ 16306—80), калий хлористый (ГОСТ 4568—83) и известняковую муку

(ГОСТ 14050—78). В качестве кремниевое удобрения испытывали белую сажу (аэросил), содержащую 87 %  $\text{SiO}_2$ . Аэросил используется в качестве наполнителя в резиновой промышленности (ГОСТ 18307—78). Азот, фосфор и калий вносили в расчете соответственно 200, 278, 100 кг на 1 га. Норма извести составляла 4,5 т/га, а одинарная норма кремния в расчете на  $\text{SiO}_2$  — 435 кг/га.

Повторность опыта 6-кратная, размер опытной делянки — 1,44 м<sup>2</sup>, учетной — 1 м<sup>2</sup>. Урожай учитывали сплошным методом. Опытной культурой был ячмень сорта Надя в 1985 г. и сорта Заозерский-85 в 1986 г. Полученные данные обрабатывали методами корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализов.

Содержание зольных элементов в зерне и соломе определяли на рентгенофлуоресцентном анализаторе СРМ-20М, а показатели качества урожая — на инфракрасных анализаторах «Инфрарид-61» и «Инфраматик-8100» по методикам ЦИНАО [5, 6].

## Результаты

Урожай зерна в среднем за 2 года колебался в пределах 247—317 г/м<sup>2</sup>, причем минимальный урожай был в 1-м варианте, максимальный — в 9-м. Во всех случаях получена прибавка зерна при внесении кремния, причем разность была достоверной, а между вариантами с различными нормами кремния недостоверна. Прибавка урожая зерна при использовании двойной и тройной норм кремния в среднем составила 39,5 г/м<sup>2</sup>, одинарной — 32,2 г/м<sup>2</sup> (табл. 1).

Максимальная прибавка урожая (47 г/м<sup>2</sup>) получена при внесении кремниевого удобрения по фону 1. При внесении азросила по фону 2 (8, 9 и 10-й варианты) прибавка урожая зерна была несколько ниже, чем по фону 1; максимальная прибавка (43 г/м<sup>2</sup>) получена при двойной норме кремния. Корреляционное отношение, характеризующее криволинейную зависимость между двойной нормой кремния и урожаем зерна, равнялось  $0,93 \pm 0,15$ .

Масса соломы, собранная с отдельных делянок, колебалась в пределах 347—406 г/м<sup>2</sup>, в среднем она составила 370 г/м<sup>2</sup>. Отношение массы соломы к массе зерна в среднем по опыту составило 1,30, причем при минимальной урожайности (1-й вариант) это отношение возросло до 1,40, при максимальной (9-й вариант)—уменьшилось до 1,3.

Больше всего соломы образовалось, когда по фонам 1 и 2 вносили одинарную норму кремния (в среднем 25,2 г/м<sup>2</sup>). Корреляционное отношение, характеризующее криволинейную зависимость между нормой кремния и массой соломы, составляло  $0,86 \pm 0,20$ .

Кремниевое удобрение не оказало существенного влияния на содержание фосфора, калия, кальция и магния в зерне ячменя, тогда как содержание кремния достоверно уменьшалось при увеличении нормы кремниевого удобрения, за исключением вариантов, где это удобрение вносили по фону 2 и известковании почвы (табл. 2). И если содержание фосфора и магния в соломе ячменя не изменялось, то содержание калия, кальция и кремния достоверно увеличивалось за исключением 10-го варианта (табл. 2).

Влияние кремния на качество зерна ячменя (табл. 3) изучалось нами в течение 2 лет. Содержание сырого протеина в зерне колебалось в пределах 10,9—12,7%, причем минимальным оно было в зерне, выращенном с применением азотного и фосфорного удобрений, а максимальным — при внесении кремния по фону 2 и известковании почвы. Сравнение 11-го и 12-го вариантов с 4-м показывает, что применение кремния по фону 2 с известкованием почвы привело к достоверному

Таблица 1

Урожай зерна и соломы ячменя (г/м<sup>2</sup>)

Вариант опыта	Масса зерна	Прибавка урожая зерна при внесении кремния	Масса соломы	Отношение массы соломы к массе зерна
1-й—НК (фон 1)	247	—	347	1,4
2-й— NPK (Фон 2)	274	—	372	1,4
3-й — фон 1 +Ca	248	—	356	1,4
4-й- фон 2 + Ca	257	—	349	1,4
5-й — фон 1 — ISi	281	34	358	1,3
6-й — » + 2S1	288	41	357	1,2
7-й— » + 3Si	294	47	362	1,2
8 — фон 2 + ISi	308	34	406	1,3
9 — « + 2Si	317	43	400	1,3
10 — » + 3Si	306	32	387	1,3
11 — фон 1 +Ca + ISi	276	28	384	1,4
12 — » + Ca + 2Si	283	35	382	1,4
13 — фон 2 + Ca+ ISi	290	33	377	1,3
14-й— » -f Ca + 2Si	296	39	361	1,2
НСР <sub>0,5</sub>		17,3	16,1	

Содержание зольных элементов в зерне и соломе ячменя  
(% на воздушно-сухую массу)

Вариант опыта	р	К	Ca	Mg	Si
Зерно					
1-й — NK (фон 1)	0,46	0,74	0,06	0,14	0,30
2-й — NPK (фон 2)	0,51	0,74	0,07	0,14	0,26
3-й — фон 1 + Ca	0,50	0,76	0,06	0,13	0,27
4-й — фон 2 Ca	0,44	0,76	0,06	0,12	0,22
5-й — фон 1 + ISi	0,46	0,82	0,08	0,12	0,35
6-й — » + 2Si	0,46	0,74	0,06	0,14	0,29
7-й — » + 3Si	0,44	0,73	0,07	0,12	0,27
8-й — фон 2 4- ISi	0,50	0,71	0,06	0,14	0,29
9-й — » + 2Si	0,51	0,75	0,06	0,15	0,26
10-й — » + 3Si	0,48	0,72	0,07	0,13	0,27
11-й — фон 1 + Ca + ISi	0,45	0,82	0,06	0,14	0,33
12-й — « + Ca + 2Si	0,43	0,74	0,06	0,12	0,29
13-й — фон 2 + Ca + ISi	0,52	0,77	0,08	0,13	0,26
14-й — » + Ca + 2Si	0,56	0,83	0,06	0,14	0,32
HCP <sub>05</sub>	0,03	0,05	0,01	0,01	0,03
Солома					
1-й — NK (фон 1)	0,08	1,70	0,20	0,09	1,84
2-й — NPK (фон 2)	0,09	1,45	0,21	0,13	1,72
3-й — фон 1 + Ca	0,08	1,63	0,19	0,12	1,48
4-й — фон 2 + Ca	0,07	1,59	0,19	0,11	1,52
5-й — фон 1 + ISi	0,08	1,73	0,21	0,14	1,80
6-й — » + 2Si	0,08	1,75	0,22	0,11	1,80
7-й — » + 3Si	0,11	1,75	0,26	0,12	1,80
8-й — фон 2 + ISi	0,11	1,86	0,24	0,13	1,96
9-й — » + 2Si	0,08	1,73	0,26	0,12	2,00
10-й — » + 3Si	0,11	1,33	0,26	0,12	1,71
11-й — фон 1 + Ca + ISi	0,10	1,86	0,24	0,14	1,82
12-й — » + Ca + 2Si	0,11	1,80	0,23	0,13	1,92
13-й — фон 2 + Ca + ISi	0,10	1,88	0,22	0,13	2,20
14-й — » + Ca + 2Si	0,10	1,95	0,22	0,12	2,38
HCP <sub>05</sub>	0,01	0,15	0,01	0,01	0,18

увеличению содержания сырого протеина в зерне, однако различия между вариантами с одинарной, двойной и тройной нормами кремния не обнаружено. Содержание крахмала и жира в зерне ячменя при внесении кремния находилось в пределах ошибки опыта.

Питательность зерна ячменя, определенная стандартным методом, практически не изменялась при использовании кремния и составляла в среднем  $1,20 \pm 0,01$  корм. ед.

Таблица 3

Качество зерна ячменя (% на воздушно-сухую массу)

Вариант опыта	Влага	Сырой протеин	Крахмал	Жир
1-й — NK (фон 1)	5,3	10,9	66	2,1
2-й — NPK (фон 2)	4,7	11,3	69	2,3
3-й — фон 1 + Ca	5,1	11,3	66	2,2
4-й — фон 2 + Ca	4,2	10,8	69	2,3
5-й — фон 1 + ISi	4,8	11,0	69	2,3
6-й — » + 2Si	4,9	11,5	67	2,4
7-й — » + 3Si	4,7	11,2	66	2,0
8-й — фон 2 + ISi	5,2	12,3	66	2,5
9-й — » + 2Si	4,8	12,3	68	2,4
10-й — н + 3Si	4,8	11,8	66	2,2
11-й — фон 1 + Ca + ISi	4,5	11,4	66	2,0
12-й — » + Ca + 2Si	6,1	12,5	66	2,2
13-й — фон 2 + Ca + ISi	6,1	12,7	65	2,2
14-й — » + Ca + 2Si	6,8	12,7	65	2,2
HCP <sub>05</sub>	4,1	1,7	4,5	0,22

Аминокислотный состав зерна ячменя (г на 100 г белка)

Показатель	Вариант опыта								НСР <sub>05</sub>
	1-й — НК (фон 1)	2-й — NPK (фон 2)	3-й — фон 1 + Ca	4-й — фон 2 + Ca	6-й — фон 1 + 2Si	9-й — фон 2 + 2Si	12-й — фон 1 + Ca + 2Si	14-й — фон 2 + Ca + 2Si	
Σ Незаменимых аминокислот	29,1	31,1	30,1	29,6	32,6	28,9	30,2	29,8	1,33
Лизин	3,7	4,0	4,0	3,8	4,7	4,1	3,9	4,1	0,32
Цистин	1,0	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	0,9	0,34
Пролин	9,2	9,7	8,7	9,8	9,5	9,6	9,5	9,6	0,31
Аргинин	5,4	5,5	5,1	5,3	4,3	5,7	5,5	5,7	0,49
Гистидин	2,2	2,3	2,4	2,3	2,8	2,4	2,1	2,2	0,23
Лейцин	6,4	6,3	7,4	7,5	7,2	6,4	6,4	5,9	0,80
Изолейцин	3,4	3,6	3,2	2,8	3,4	3,6	3,4	3,3	0,27
Фенилаланин	5,6	5,7	5,2	5,7	5,9	5,4	5,4	5,1	0,29
Треонин	2,4	3,8	2,6	2,9	3,6	1,6	3,5	4,1	0,99
Валин	5,4	5,6	5,3	4,6	5,0	5,4	5,5	5,1	0,34
Глицин	3,7	3,7	4,0	3,9	3,6	3,9	4,0	3,8	0,73
Аланин	4,2	4,3	4,3	4,7	4,1	4,4	4,2	4,5	0,20
Серин	4,6	3,7	4,9	4,4	4,9	5,1	4,7	4,3	0,47
Аспарагиновая кислота	7,6	7,3	8,0	7,2	6,4	6,8	8,2	7,7	0,64
Глутаминовая кислота	24,2	22,1	23,3	23,3	22,7	23,5	22,0	23,0	0,92
Тирозин	3,4	3,4	2,9	3,9	3,0	3,6	3,2	3,0	0,34

Содержание незаменимых аминокислот в суммарных белках зерна ячменя равнялось в среднем 30,3 %, а отношение количества заменимых аминокислот к незаменимым — 2,3. Из данных табл. 4 видно, что кремний не вызывает изменения суммы незаменимых аминокислот в зерне, чего нельзя сказать о содержании отдельных аминокислот. Так, если содержание валина, фенилаланина и гистидина в составе суммарных белков зерна ячменя, полученного в вариантах с применением кремния, мало отличается от данного показателя 1-го варианта, то содержание треонина, изолейцина и лизина увеличивается, а лейцина — уменьшается. Кремниевое удобрение неоднозначно влияет и на содержание заменимых аминокислот в суммарных белках зерна ячменя. Если количество серина, пролина, глицина, цистеина и тирозина под действием кремния возрастает, то количество аспарагиновой и глутаминовой кислот, аланина и аргинина достоверно уменьшается.

### Выводы

1. Применение кремния на фоне азотных и калийных удобрений повышало урожайность ячменя, возделываемого на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Прибавка урожая зерна при внесении кремния по фону НК составила 19 %, по фону NPK — 16 %.
2. Не установлено существенного влияния кремния на содержание белка и сумму незаменимых аминокислот в зерне ячменя.
3. При внесении кремниевого удобрения содержание зольных элементов в зерне и соломе ячменя не изменилось.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Айлер Р. Химия кремнезема. Т. 2. — М.: Мир, 1982. — 2. Воронков М. Г. Кремний и жизнь. Рига: Зинанте, 1978. — 3. Водяницкий Ю. Н. Дефицит кремния в некоторых почвах и пути его устранения. — Агрохимия, 1984, № 8, с. 127—132. — 4. Рочев В. А., Барсукова Г. А. Влияние кремнегельсодержащего удобрения на содержание подвижных форм кремния и фосфора в почве и накопление их в растениях. — Сиб. вестн. с.-х. науки, 1984, № 3, вып. 8, с. 1—6. — 5. Пуховский А. В., Логинов Ю. М. Перспективы применения спектрометров СРМ-20М для массовых анализов раст. — Тез. докл. I Всесоюз. совещания по рентгеноспектраль-

ному анализу (9—11 июня, 1986 г.). Орел: Орловское ПО «Научприбор» 1986, с. 143—144. — 6. Методические указания по работе на инфракрасном анализаторе «Инфрарпид-61». — М.: ЦИНАО, 1986, с. 3, — 7. Der Einflub von kalk und kieselsaure auf

die V. B. Scheffer, K. Scheffer, Landuirf. Forsch, 1984, Bd. 37, N 1, S. 1—8. — 8. Schnug E., Franc B. E. Deutschen bodenbundlichen Ges., Mitteilungen, 1984, Bd. 39, S. 47—52.

*Статья поступила 24 сентября 1987 г.*

## SUMMARY

The effect of silicon on yield of barley grain, quality of the yield and the amount of ashy elements was studied. White soot (aerosil) containing 87 % of SiO<sub>2</sub> was tested as silicon fertilizer. Application of silicon on nitrogen and potassium fertilizer background increased the yield of barley grown on soddy-podzolic medium loam. The increase in the grain yield after applying silicon made up 19 % on K background and 16 % on PK background. There was no essential effect of silicon on protein content and on total amount of irreplaceable amino acids in barley grain. The amount of ashy elements in grain and in straw did not vary.