

УДК 631.461.71:546.22:631.674.2

РОЛЬ СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ В ПРОЦЕССАХ ТРАНСФОРМАЦИИ СЕРЫ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ПОЧВЫ

О. Д. СИДОРЕНКО, Т. Е. ЛИМАРЬ, В. Т. ЕМЦЕВ

(Кафедра микробиологии)

Сульфатредуцирующие бактерии занимают в почвах рисовых полей особое положение: с одной стороны, они являются продуцентами токсичных для проростков риса сероводорода и соды [5, 9, 13], а с другой — способствуют мобилизации питательных веществ, таких, как фосфор, азот и калий [7, 10, 11, 20], что влияет на развитие риса и его урожайность. Масштабы участия сульфатредуцирующих бактерий в указанных процессах до настоящего времени окончательно не выяснены. В связи с этим представляло интерес оценить роль сульфатредуцирующих бактерий в процессах трансформации серы в почве; изучить особенности их жизнедеятельности в затопленной почве и выявить факторы, оказывающие на нее влияние, а также проследить за развитием риса при внесении бактерий, восстанавливающих сульфаты.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Модельные опыты были поставлены на лугово-черноземовидной среднесуглинистой почве Краснодарского края (содержание гумуса 3,21%) и луговом солончаковом глинистом солонце (содержание гумуса 2,76%). Опыты проводили с соблюдением заданных стандартных условий, повторность 3-кратная. Культуры сульфатредуцирующих бактерий вносили в нестерильную и стерильную почву при затоплении. Предварительно увлажненную до пастообразного состояния почву стерилизовали в автоклаве при 1 атм в течение 30 мин 3 раза с интервалом 1—2 сут. После автоклавирования в нее вносили стерильные добавки (лактат и сульфат натрия) в зависимости от варианта опыта, биомассу сульфатредуцирующих бактерий на уровне, близком к естественному содержанию в почве (10^5 клеток на 1 г почвы), и после тщательного перемешива-

ния заливали стерильной водой слоем 1 см. Сосуды закрывали пергаментной бумагой и инкубировали в термостате при 28°.

Для получения биомассы сульфатредуцирующих бактерий их выделяли из лугово-черноземовидной почвы и солонца и выращивали на среде Постгейта «С» [18] с минимальным содержанием железа.

В модельных опытах со стерильными растениями почву предварительно стерилизовали автоклавированием, как указано выше, или гамма-излучением в дозе 3,5 Мрад. В сосуды диаметром 3,5 см и высотой 30 и 45 см высевали по 5—7 стерильных семян риса сорта Краснодарский 424. Семена освобождали от оболочки (чешуек) и обрабатывали насыщенным раствором перхлората ртути в течение 10 мин. Полноту стерилизации проверяли путем проращивания семян на мясо-пептонном агаре в чашках Петри. Растения выращивали на свету при комнатной температуре.

Общую численность сульфатредуцирующих бактерий устанавливали на среде Постгейта «В» [18] методом предельных разведений. Химические и физико-химические свойства почвы определяли общепринятыми методами: валовую серу и серу органических соединений — по Р. Х. Айдиняну и др. [1]; общее содержание сульфидов — по прописи Г. М. Кадерн [8]; водорастворимые сульфиды — с помощью специального экстрагирующего раствора [3], реакцию почвенного раствора (рН) и окислительно-восстановительный потенциал (Еh, мВ) — на универсальном рН-метре (тип ОР-204/1, Венгрия) и универсальном иономере ЭВ-74. Содержание в почве сульфатов вычисляли по разности между валовым содержанием серы и суммой серы органических соединений и сульфидов, хотя в этом случае к сульфатам, возможно, могли быть отнесены и другие соединения серы, содержащиеся в почве в незначительном количестве. Радионуклонные исследования проводили с использованием сульфата натрия, меченного ^{35}S , при помощи радиометра типа Б-2.

РОЛЬ СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ В НАКОПЛЕНИИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В ЗАТОПЛЕННОЙ ПОЧВЕ

Изменения содержания различных форм серы в почве при ее затоплении и роль сульфатредуцирующих бактерий в этом процессе изучали в модельном опыте с чистыми культурами *Dv. desulfuricans* ssp. *desulfuricans*, штамм 63 и *Dm. orientis*, штамм 58.

Различные формы серы определяли в исходной почве и после 36 сут инкубации в затопленном состоянии (табл. 1). До затопления большая часть серы в почве (85,7 %) входила в состав органических соединений, меньшая (14,3 %) — в состав сульфатов. В стерильной почве после затопления содержание серы органических соединений и сульфатов оставалось без изменения, что еще раз подтверждает возможность образования сероводорода и сульфидов лишь биогенным путем. В нестерильной почве и вариантах с сульфатредуцирующими бактериями валовое содержание серы уменьшалось за счет выделения газообразных восстановленных продуктов. В почвах с культурами *Dv. desulfuricans* и *Dm. orientis* выделялся лишь сероводород, в то время как в контроле с нестерильной почвой, кроме

Содержание серы органических соединений оставалось практически постоянным во всех вариантах, хотя следует отметить, что в нестерильной почве без доступа кислорода органическая сера находится в почве в состоянии, близком к динамическому равновесию. С одной стороны, запасы серы уменьшаются при разложении органического вещества и перехода ее в минеральные продукты распада, с другой — пополняются за счет образования органического вещества из минеральных соединений. Как показали опыты с меченным ^{35}S сульфатом кальция [19], после 4 мес инкубации затопленной почвы 37,8 % внесенного сульфата перешло в органическую форму и 44 % — в восстановленные минеральные соединения.

В вариантах с сульфатредуцирующими бактериями две трети сульфатов перешло в восстановленные формы: 46 % превратилось в сульфиды и 20 % терялось из почвы в виде сероводорода. В нестерильной почве образовалось меньше летучих серосодержащих соединений и больше сульфидов. Эти различия между вариантами, возможно, обусловлены тем, что в нестерильной почве за счет активного развития железоредуцирующих бактерий образовалось больше закисного железа, способного связывать сероводород в нерастворимый сульфид железа.

Суммарное содержание восстановленных

Таблица 1

Содержание различных соединений серы в лугово-черноземовидной почве
(мг S на 100 г) спустя 36 сут после затопления

Варианты	Валовое	Сульфаты	Сульфиды	Органическая сера	Сероводород
Исходная почва	147,4	21,1	0	126,3	0
Контроль (нестерильный)	145,2	7,4	11,5	126,3	2,2
Контроль (стерильный)	147,4	21,1	0	126,3	0
Почва + <i>Dv. desulfuricans</i>	142,8	6,8	9,6	126,4	4,6
Почва + <i>Dm. orientis</i>	143,4	7,3	9,7	126,4	4,0

Таблица 2

Потери серы из почвы, определенные с помощью меченного ^{35}S
сульфата натрия

Варианты	Скорость счета, имп./5 мин	Потери серы из почвы	
		S, мг/100 г	% от исходного содержания
Исходная активность	587 ± 5	—	—
Контроль (нестерильный)	526 ± 7	2,1	10,4
» (стерильный)	591 ± 20	0,0	0,0
Почва + <i>Dv. desulfuricans</i>	448 ± 13	4,7	23,7
» + <i>Dm. orientis</i>	471 ± 14	3,9	19,8

указанного газа, могли образоваться, но в меньших количествах, и другие летучие соединения: сероуглерод, метилсульфид, диметилсульфид, диметилдисульфид и др. [14].

Потери серы из почвы, определенные методом меченых атомов (табл. 2), были сходными с данными химических анализов.

соединений серы при инфицировании лугово-черноземовидной почвы сульфатредуцирующими бактериями было приблизительно такое же, как и в естественных условиях. Этот факт указывает на ведущую роль сульфатредукторов в образовании в почве сульфидов и сероводорода.

При сравнении вариантов с внесением

различных культур бактерий следует отметить, что неспорообразующая культура *Dv. desulfuricans* восстанавливала несколько больше сульфатов, хотя она характеризовалась меньшей сульфатредуцирующей активностью, чем спорообразующие бактерии *Dm. orientis*. Это можно объяснить тем, что температура инкубации (28°) была оптимальной именно для неспорообразующих сульфатредуцирующих бактерий.

ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ ПРИ ВНЕСЕНИИ В ПОЧВУ СУЛЬФАТОВ И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Важными факторами, определяющими развитие сульфатредуцирующих бактерий, являются органическое вещество и сульфаты — акцептор водорода (электрона) при окислении органики. Влияние этих факторов, а также естественного сульфатного засоления почвы (хлоридно-сульфатный тип засоления) на жизнедеятельность сульфатредукторов было изучено в модельных опытах с лугово-черноземовидной почвой и луговым солончаковым солонцом при инокуляции культурами *Dv. desulfuricans* ssp. *desulfuricans*, штамм 237, и *Dv. desulfuricans* ssp. *aestuarii*, штамм 218, выделенными из этих же почв. Кроме того, в зависимости от варианта в почву вносили лактат натрия (органическое вещество) и сульфат натрия соответственно 1 и 0,5 % от ее массы.

Результаты модельного опыта показали, что органическое вещество, особенно в сочетании с сульфатами, стимулирует развитие сульфатредуцирующих бактерий и об-

разование сульфидов (табл. 3). Об этом также свидетельствуют многочисленные сульфидные пятна черного цвета, увеличивающиеся с возрастанием срока инкубации. Значительная часть сульфидов была представлена водорастворимыми формами (варианты с *Dv. desulfuricans*). В нестерильной почве с естественной микрофлорой образование токсичных для риса водорастворимых сульфидов отмечалось лишь на 20-е сутки инкубации и количество их было на порядок меньше, чем в остальных вариантах. Объясняется это, во-первых, тем, что в нестерильной почве обычно активно развиваются железоредуцирующие бактерии и образуется закись железа, связывающая водорастворимые сульфиды в сульфид железа, может также происходить связывание сероводорода и с другими металлами (Mn, Zn, Cu, Hg и др.), и, во-вторых, тем, что накопление в почве сульфидов в значительной мере определяется наличием сульфатоокисляющих микроорганизмов [17]. В работе [17] даже предлагается микробиологический тест оценки вреда сульфатредукции в почвах рисовых полей, основанный на соотношении численности сульфатредуцирующих и сульфатоокисляющих бактерий.

Внесение в почву одного сульфата натрия практически не сказывалось на численности бактерий, которая в зависимости от срока анализа была несколько выше или ниже, чем в контроле. Как известно, большинство почв рисосеющих районов, особенно в нашей стране, содержит достаточное количество сульфатов [7], поэтому его внесение без органического вещества не сказывается на численности бактерий или даже приводит к ее уменьшению.

Во всех вариантах опыта отмечалось некоторое подщелачивание почвы (табл. 3),

Таблица 3

Динамика численности *Dv. desulfuricans* ssp. *desulfuricans* содержания сульфатов, pH и ОВ-потенциала в лугово-черноземовидной почве

Показатель	Срок анализа, сут	Контроль		Почва + <i>Dv. desulfuricans</i>				
		нестерильный	стерильный	без добавки	+ сульфат	+ лактат	+ сульфат + лактат	
Численность бактерий, тыс. на 1 г	1	132	Не обн.	547	547	547	547	
	10	1418	» »	3175	2344	7087	23 810	
	20	3846	» »	726	1532	246	403	
	30	3906	» »	262	185	40	25	
Содержание сульфидов, мг на 100 г:	общее	10	3,82	» »	4,37	3,56	6,39	26,9
		20	8,41	» »	6,12	10,17	6,79	34,32
		30	9,22	» »	7,33	7,07	10,17	32,39
	в т. ч. водорастворимых	10	Не обн.	» »	1,46	1,99	1,62	2,70
		20	0,12	» »	1,51	2,77	4,56	6,98
		30	0,31	» »	3,42	3,79	3,64	7,74
	pH	1	6,99	6,87	6,87	6,93	6,95	6,98
		10	7,11	7,08	7,26	7,01	7,51	7,69
		20	7,39	7,02	7,40	7,10	7,66	7,76
		30	7,59	7,06	7,40	7,15	7,77	8,35
	ОВ-потенциал, мВ	1	292	264	264	267	224	249
		10	96	280	175	188	105	13
20		67	292	157	183	94	—16	
30		17	323	65	157	20	—37	

но резкого повышения щелочности среды, причиной которого, по мнению некоторых авторов [13], являются сульфатредукторы, мы не наблюдали. В связи с этим можно предположить, что процесс сульфатредукции не играет в природе решающей роли в генезисе соды. К подобным выводам пришел и Г. А. Буяновский [4]. По его данным, процесс биологического содообразования в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий требует значительных затрат энергии, которые не покрываются ее запасом, накопленным в гумусе и растительных остатках почвы.

Было установлено, что сульфатредуцирующие бактерии сильно понижают ОВ-по-

³⁵S сульфата натрия в двух вариантах: стерильная почва (контроль) и почва с внесением культуры *Dm. orientis*, штамм 51. В сосуды с почвой, простерилизованной автоклавированием, высевали стерильные проросшие семена риса и одновременно вносили культуру сульфатредуцирующих бактерий. Проведенные на 25-е сутки анализы показали, что бактерии усиливали поступление серы в растения. В корнях растений, выросших при наличии бактерий, содержание серы составляло 5,0 мг на 1 г сухой растительной массы (скорость счета — 627 ± 4 имп. за 5 мин), а в надземной части —

Таблица 4

Жизнедеятельность *Dv. desulfuricans* ssp. *aestuarii*
в зависимости от степени засоления солонца лугового солончакового

Показатель	Сроки анализа, сут			
	1	10	20	30
Численность, тыс. на 1 г почвы	516	122)	3306	233
Общее содержание сульфидов, мг на 100 г почвы	—	12,89	13,59	15,42
Водорастворимые сульфиды, мг на 100 г почвы	—	3,2)	9,30	11,33
ОВ-потенциал, мВ	+257	+97	—28	—43
pH	7,77	7,82	7,92	8,10

тенциал среды, особенно в тех вариантах, где вносились органическое вещество: на 204—286 мВ при раздельном внесении лактата и сульфата (табл. 3) и до —37 мВ при совместном их внесении. Снижение ОВ-потенциала до определенного предела в затопленных почвах считается положительным явлением, так как чем он ниже, тем больше имеется подвижных питательных веществ в почве, что благоприятно влияет на развитие растений и урожай [10, 12].

В солонце лугового солончаковом численность сульфатредуцирующих бактерий была приблизительно такой же, как в лугово-черноземовидной почве, но динамика ее была несколько иной. В частности, максимум численности бактерий в солонце отмечался на 20-е сутки (табл. 4). Подщелачивался солонец также незначительно (на 0,33 ед.), но в отличие от лугово-черноземовидной почвы ОВ-потенциал здесь достигал отрицательных значений, что, возможно, связано с наличием в почве большого количества водорастворимых солей [12] и восстановленных соединений серы. Содержание общих и водорастворимых сульфидов в затопленной почве было также больше, т. е. при хлоридно-сульфатном типе засоления происходит значительное накопление в почве водорастворимых сульфидов.

ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ СЕРЫ В РИС И ЕГО РАЗВИТИЕ

Для выяснения этого вопроса был поставлен опыт с использованием меченого

3,4 мг (429 ± 6 имп. за 5 мин.), в то время как в варианте со стерильной почвой — соответственно 4,4 (548 ± 10) и 3,2 мг (405 ± 4 имп. за 5 мин).

Внесение «проклюнувшихся» семян с культурой сульфатредуцирующих бактерий *Dm. orientis* привело к угнетению роста растений и даже частичной гибели проростков. Вокруг погибших семян было отмечено образование черного сульфидного ореола. Если в вариантах со стерильной почвой средняя высота растений на 25-е сутки составляла 28,1 см, то при внесении культуры — 21,3 см, что можно объяснить токсичностью для проростков образовавшихся восстановленных соединений серы. Кроме того, при автоклавировании почвы могли образоваться соединения, неблагоприятно воздействующие на рис. Поэтому в дальнейших опытах с растениями мы использовали почву, предварительно простерилизованную гамма-излучением, чтобы избежать влияния побочных токсичных продуктов.

В литературе имеются сведения о зависимости токсичности сероводорода от возраста растений [2, 6]. Мы решили выяснить, как влияют сульфатредукторы на проросшие 1—2-суточные семена и 5-, 15- и 25-суточные растения. Для этого в сосуды со стерильными растениями указанного возраста вносили культуру *Dv. vulgaris* ssp. *vulgaris*, штамм 24, и через 10 сут инкубации при комнатной температуре определяли рост риса в высоту и содержание в почве водорастворимых сульфидов (табл. 5).

Только что проросшие семена риса чутко реагировали на внесение *Dv. vulgaris*; если в контрольном варианте (стерильная почва) средняя высота их была 10,4, то при

внесении культуры — 5,8 см. В нестерильной почве высота растений равнялась 14,2 см.

Изучение влияния титра сульфатредуцирующих бактерий, а соответственно и возрастающего количества водорастворимых сульфидов на 5- и 15-суточные растения показало, что даже 5-суточные проростки были невосприимчивыми или положительно реагировали на присутствие бактерий независимо от титра, несмотря на значительное накопление водорастворимых сульфидов (1,49—2,81 мг на 100 г почвы) на 10-е сутки после внесения культуры. В варианте с 15-суточными растениями отмечалось заметное стимулирующее действие внесения бактерий. Наиболее благоприятной для риса 5- и 15-суточного возраста была плотность бактерий 10^6 клеток на 1 г почвы.

Высота 25-суточных растений в контроле (стерильная почва) была 28,7 см, на 10-е сутки после инокуляции *Dv. desulfuricans* ssp. *desulfuricans*, штамм 237, — 36,1, *Dv. vulgaris* ssp. *vulgaris*, штамм 24, — 35,6, *Dm. orientis*, штамм 51, — 33,9 и *Dm. nigrificans*, штамм 56, — 32,3 см при средней

ред посевом обрабатывать семена синезелеными водорослями [16], продукты жизнедеятельности которых ускоряют прорастание семян и развитие всходов.

Снижение чувствительности растений к восстановленным продуктам связано с выделением в ризосферу кислорода, частично окисляющего эти соединения, и сменой дыхательных ферментов: по мере старения корней металлосодержащие оксидазы заменяются флавопротеиновыми, устойчивыми к ингибиторам [2]. Так, рис 15—25-суточного возраста был устойчив к концентрации водорастворимых сульфидов 1,5—2,8 мг на 100 г почвы.

Положительное влияние сульфатредуцирующих бактерий на развитие риса, вероятно, происходит как за счет непосредственного их воздействия на растения (образование стимулирующих развитие риса веществ и фиксации атмосферного азота), так и за счет косвенного (снижение ОВ-потенциала среды и мобилизация питательных веществ). Снижение потенциала приводит к возникновению специфических условий — появлению сети окисленных

Т а б л и ц а 5

Образование водорастворимых сульфидов в почве и рост риса в высоту в зависимости от титра *Dv. vulgaris* на 10-е сутки после внесения культуры

Титр <i>Dv. vulgaris</i>	Водорастворимые сульфиды, мг/100 г почвы		Высота растений, см	
	возраст растений, сут			
	5	15	5	15
Контроль (нестерильный)	—	—	21,7	35,2
Контроль (стерильный)	—	—	15,1	22,4
10^3	0,25	0,38	16,4	29,0
10^6	1,49	1,70	17,8	31,8
10^9	2,81	2,64	16,0	31,6

высоте растений в варианте с нестерильной почвой 38,5 см. Следовательно, рис в этом возрасте также положительно реагировал на внесение сульфатредуцирующих бактерий. Максимальный эффект отмечался в вариантах с неспорообразующими сульфатредукторами, вероятно, потому, что для них создались оптимальные температурные условия.

В тех случаях, когда рост риса стимулировался сульфатредуцирующими бактериями, растения были высокие, зеленые, не наблюдались пожелтения или увядания листьев. Большая высота растений во всех вариантах опытов была обусловлена высокими температурой воздуха (около 28°) и влажностью.

Как показали наши исследования, чувствительность риса к восстановленным соединениям серы с возрастом уменьшается. На прорастающие семена угнетающе действовали, а иногда приводили к летальному исходу даже небольшие количества сероводорода. Жак [15] объясняет данный факт тем, что в спермосфере концентрация органических веществ более высокая, чем в ризосфере риса. В связи с этим для уменьшения полегания всходов предлагается пе-

проженок по корням риса. В результате создается большая разность потенциалов, благодаря которой происходит непрерывная диффузия к корням легкоподвижных восстановленных соединений, необходимых для растения.

Таким образом, сульфатредуцирующие бактерии оказывают положительное влияние на рост и развитие риса с 15-суточного возраста. Бактерии улучшают обеспеченность растений элементами питания и, если вносятся одновременно с проросшими семенами, способствуют поступлению серы в растения.

ВЫВОДЫ

1. Подтверждено биогенное образование в затопленной почве восстановленных соединений серы, ведущую роль в котором играют сульфатредуцирующие бактерии. За 36 сут инкубации они восстановили $\frac{2}{3}$ сульфатов: 46 % превратилось в сульфиды и 20 % терялось из почвы в виде сероводорода. При температурных условиях, близких к естественным (28°), повышенной активностью обладали мезофильные неспорообразующие бактерии рода *Desulfovibrio*.

2. В результате жизнедеятельности бактерий, восстанавливающих сульфаты, образуется большое количество сероводорода и водорастворимых сульфидов, основная часть которых, связываясь с закисным железом, переходит в нерастворимый и нетоксичный для риса сульфид железа, придающий почве рисовых полей угольно-черный цвет.

3. Процесс сульфатредукции не играет в природе решающей роли в генезисе соды, так как почва в результате жизнедеятельности бактерий подщелачивается незначительно. Одновременно происходит снижение ОВ-потенциала почвы, что способствует мобилизации питательных веществ почвы.

4. Внесение органического вещества, особенно совместно с сульфатами, приводит к активизации всех процессов, осуществляемых сульфатредуцирующими бактериями. Использование одних сульфатов практически не влияет на жизнедеятельность бактерий в затопленной почве.

5. Воздействие сульфатредуцирующих бактерий на рост и развитие риса зависит от возраста растений. Бактерии угнетающе действуют на 1—2-суточные проростки риса и стимулируют развитие растения начиная с 15-суточного возраста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айдинян Р. Х., Иванова М. С., Соловьева Т. Г. Методы извлечения и определения различных форм серы в почвах и растениях. / Инструкция Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. М., 1975. — 2. Аleshин Е. П., Сметанин А. П. Минеральное питание риса. Краснодар, 1965. — 3. Ачканов А. Я., Швидкая Л. А. Сульфиды в почвах рисовых полей. — Химия в сельск. хоз-ве, 1980, № 10, с. 46—49. — 4. Буяновский Г. А. Об энергетической обеспеченности биологического восстановления сульфатов в почве. — Изв. АН СССР, сер. биол., 1969, № 3, с. 428—433. — 5. Ежов Ю. И. Значение восстановительных процессов в почвах при культуре риса. — Почвоведение, 1962, № 2, с. 51—57. — 6. Елкина О. Г. Динамика микробиологических процессов в почве рисовых полей. — Микробиология, 1938, т. 7, вып. 4, с. 485—497. — 7. Илялетдинов А. Н. Биологическая мобилизация минеральных соединений. — Алма-Ата Наука, 1966. — 8. Кадер Г. М. Йодометрическое определение сероводорода в почвах. — Почвоведение, 1963, № 5, с. 101—104. — 9. Мошкович Л. В., Мамутов Ж. У. Роль бактерий в содообразовании в почвах Акдалинского массива орошения. — В кн.: Повышение плодородия почв рисовых полей. М.: Наука, 1977, с. 150—159. — 10. Неуньлов Б. А. Повышение плодородия почв рисовых полей Дальнего Востока. Владивосток: Приморск. кн. изд-во, 1961. — 11. Чеботарев Е. Н. Биохимия сульфатвосстанавливающих бактерий. — Итоги науки и техники (микробиология), 1978, т. 7, с. 6—64. — 12. Ша-рапов И. Д. Окислительно-восстановительный потенциал в почвах рисового севооборота. — Изв. АН Каз.ССР, сер. бот. и почв., 1960, вып. 3, с. 20—31. — 13. Abd-El-Malek Y., Rizk S. G. — J. Appl. Bacteriol., 1963, vol. 26, N 1, p. 14—20. — 14. Farwall S. O., Shargard A. E., Pack M. R., Adams D. F. — Soil Biol. and Biochem., 1979, vol. 11, N 4, p. 411—415. — 15. Yacq V. — Cah. ORSTOM Biol., 1977, vol. 12, N 2, p. 101—107. — 16. Yacq V., Roger P. — Cah. ORSTOM Biol., 1977, vol. 12, N 2, p. 101—ORSTOM Biol., 1977, vol. 12, N 2, p. 101—107. — 17. Yacq V., Roger P. — Cah. ORSTOM Biol., 1978, vol. 13, N 2, p. 137—142. — 18. Postgate J. R. — Lab. Practice, 1966, vol. 15, N 11, p. 1240—1244. — 19. Sachdev M. S., Chhabra Pami-la. — Plant and Soil, 1974, vol. 41, N 2, p. 335—341. — 20. Sperber Y. I. — Nature, 1957, vol. 180, p. 994—995.

Статья поступила 11 октября 1982 г.

SUMMARY

It is shown that in flooded paddy soils sulphate-reducing bacteria play the leading part in forming reduced sulphur compounds, the bulk of which, fixed with iron, is transformed into non-toxic for rice sulphide of iron. The bacterial activity results in slightly higher soil alkalinity and sharply lower oxidation reduction potential. Influence of various factors (organic matter, sulphates, etc.) on the activity of sulphate reducers was found. Dependence was revealed between tolerance of rice to reduced sulphur compounds and age of plants.