

УДК 631.461:631.445.22'4'57:631.8

## ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ГЕНЕТИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНЫХ ПОЧВ В ДЛИТЕЛЬНЫХ ОПЫТАХ С УДОБРЕНИЯМИ

Н. В. ЕВДОКИМОВА, А. Т. ТИЩЕНКО

(Почвенно-агрономический музей им. В. Р. Вильямса)

Превращение сложных органических соединений почвы осуществляется ферментами, продуцируемыми корневыми системами растений, макро- и микроорганизмами. По количественному составу продуктов реак-

ций можно оценивать обеспеченность растений элементами питания и почвенное плодородие.

Биологическая активность почвы в значительной мере обуславливается ее генети-

Таблица 1

Схема опытов

Место и годы проведения опыта	Севооборот	Среднегодовая норма, кг/га			pH <sub>KCl</sub>
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Серая лесная среднесуглинистая					
Владимирская государственная сельскохозяйственная опытная станция, 1970—1977	Вико-овсяная смесь — оз. пшеница с подсевом трав — травы 1-го года — травы 2-го года — оз. пшеница — картофель — ячмень	57	57	70	5,5
Чернозем выщелоченный сверхмощный малогумусный тяжелосуглинистый					
Кубанский СХИ, 1967—1975	Кукуруза — оз. пшеница — оз. пшеница — сахарная свекла — кукуруза на зерно — оз. пшеница — подсолнечник — оз. пшеница	38	33	30	6,8
Луговая сероземная					
Самаркандский СХИ, 1966—1975	Хлопково-люцерновый — 3 поля люцерны, 6 полей хлопчатника	250	200	125	8,0

Примечание. Удобрения вносят в виде аммиачной селитры, суперфосфата и калийной соли.

Таблица 2

**Активность инвертазы**  
(мг глюкозы на 1 г за 24 ч)  
при длительном применении удобрений

Глубина горизонта, см	Владимирская государственная сельскохозяйственная опытная станция: серая лесная почва	Кубанский СХИ: чернозем выщелоченный сверхмогучный маломогучный	Самаркандский СХИ; луговая сероземная почва
Контроль			
0—20	10,29	10,29	2,83
20—40	6,17	4,96	1,68
40—60	1,31	2,56	0,40
60—80	0,94	2,70	0,35
80—100	0,86	2,30	0,54
NPK, 1 норма			
0—20	13,11	—	2,73
20—40	7,20	—	1,53
40—60	2,13	—	0,53
60—80	1,00	—	0,43
80—100	0,93	—	0,43
NPK, 2 нормы			
0—20	9,11	—	—
20—40	5,17	—	—
40—60	3,38	—	—
60—80	2,56	—	—
80—100	2,51	—	—
Навоз + NPK, 1 норма			
0—20	—	10,67	—
20—40	—	5,92	—
40—60	—	3,62	—
60—80	—	3,10	—
80—100	—	2,20	—
Навоз + NPK, 2 нормы			
0—20	—	11,35	—
20—40	—	7,20	—
40—60	—	3,73	—
60—80	—	3,72	—
80—100	—	2,64	—

Примечание. Здесь и в последующих таблицах прочерк означает, что в опыте тот или иной вариант отсутствовал.

ческими свойствами. Направленность процессов трансформации веществ зависит также от агротехнических мероприятий, в том числе от системы удобрения.

В отечественной и зарубежной литературе приводятся разноречивые сведения о влиянии удобрений на биологические свойства почвы и ее ферментативную активность [1, 2]. В связи с этим нами изучалась активность почвенных ферментов в длительных опытах с возрастающими нормами минеральных и органико-минеральных удобрений. Опытные участки были расположены в разных природных зонах на генетически неоднородных почвах: серая лесная, чернозем выщелоченный, луговая сероземная. Удобрения вносили в течение 7—8 лет. Краткая схема опытов представлена в табл. 1.

Активность гидролитических ферментов

определяли в смешанных образцах воздушно-сухой почвы, отобранных до глубины 1 м через каждые 20 см в 5 точках деланки в двух повторностях. Аналитическая повторность 3-кратная.

Известно, что субстратом каталитических реакций фермента инвертазы служат безазотистые органические соединения (сахароза, рафиноза, генцианоза, стехиоза и др.), соотношение и структура которых в почвах разных типов различные. Как видно из табл. 2, активность фермента обнаружена во всех исследуемых почвах, максимум ее наблюдался в черноземе выщелоченном и серой лесной в горизонтах 0—20 и 20—40 см, в луговой сероземной почве активность была в 3 и более раза ниже.

Генетическая неоднородность почв отразилась на характере изменения активности инвертазы не только в верхних горизонтах, но и по всему профилю. В серой лесной и луговой почвах до горизонта 40—60 см она резко снижалась, а до глубины 1 м этот показатель несколько стабилизировался. В черноземе выщелоченном активность фермента по профилю почвы также снижалась, но более плавно.

По содержанию гумуса почвы можно расположить в следующей последовательности: чернозем выщелоченный — 4,2%, серая лесная — 2,5, луговая сероземная — 1,6%. В серой лесной почве, как известно, содержание гумуса наибольшее в слое 15—20 см, далее минеральная толща резко обеднена им. Мощность гумусового горизонта черноземных почв определяется глубиной распространения основной массы корневых систем растений. В луговой сероземной почве гумус наряду с другими соединениями более равномерно распределен по всей метровой толще. Результаты анализа почвенных образцов, отобранных на разной глубине, показали определенную корреляцию между содержанием гумуса в почве и активностью инвертазы (табл. 3). Следу-

Таблица 3

**Изменение содержания гумуса и активности инвертазы в метровом слое выщелоченного чернозема**

Глубина горизонта, см	С. %	Инвертаза, мг глюкозы на 1 г за 24 ч
0—20	2,24	10,29
20—40	2,08	4,96
40—60	1,54	2,56
60—80	1,36	2,70
80—100	0,93	2,30

ет, однако, отметить, что в горизонте 0—20 см инвертазная активность в 2 раза выше, чем в горизонте 20—40 см, при близком содержании гумуса. Большая активность фермента в верхнем слое, очевидно, обусловлена продуцированием его корневыми системами растений.

Влияние разных видов и норм удобрений на процессы трансформации углеводистых соединений в целом было эффективно, в результате несколько возросло содержание простых сахаров по сравнению с их количеством в почве без удобрений (табл. 2). Но повышение среднегодовых норм от 30—

70 до 130 кг д. в. и более на единицу площади вызвало на одних почвах усиление, а на других ингибирование активности инвертазы главным образом в слое 0—20 см. Неодинаковая реакция почвенной инвертазы на высокие нормы удобрений, по-видимому, связана с различными условиями увлажнения и физико-химическими показателями почв, от которых в той или иной степени зависит концентрация солей в зоне внесения удобрений. Так, на серых лесных почвах и черноземе выщелоченном в вариантах с одинарной дозой NPK и удвоенной органо-минеральных удобрений на одинаковых глубинах инвертазная активность заметно возросла по сравнению с контролем. Положительное действие удобрений связано также с усилением метаболической активности культур при благоприятном пищевом режиме. При систематическом применении на луговой сероземной

почве 125—250 кг азота, фосфора и калия на 1 га активность инвертазы в двух верхних горизонтах была несколько ниже, чем в почве без удобрений.

Активность другого фермента — уреазы — обусловлена не только содержанием гумуса в почве, но и особенностями состава и структуры азотсодержащих органических компонентов, степенью конденсации и полимеризации, выраженностью процессов минерализации и гумификации. Наиболее высокая активность уреазы характерна для серой лесной почвы (табл. 4), ее органическое вещество представлено рыхлыми, менее устойчивыми соединениями, чем у его аналогов в черноземах. В процессе гидролиза мочевины при участии уреазы в горизонте 0—20 см серой лесной почвы образовалось 9 мг аммиачного азота, а в черноземах — 6,0 мг. Высокая мобильность органических соединений в почвах гумидных областей подтверждается данными, полученными нами при анализе образцов дерно-

Таблица 4

Активность уреазы (мг NH<sub>4</sub> на 10 г за 24 ч) при длительном применении удобрений

Глубина горизонта, см	Владимирская государственная сельскохозяйственная опытная станция; серая лесная почва	Кубанский СХИ; выщелоченный ма-логумусный сверх-мощный чернозем	Самаркандский СХИ; луговая се-роземная почва
Контроль			
0—20	8,72	6,40	4,66
20—40	3,66	4,88	2,28
40—60	0,55	3,90	0,96
60—80	0,78	2,30	1,06
80—100	0,69	1,75	0,88
NPK, 1 норма			
0—20	12,00	—	6,00
20—40	4,38	—	3,38
40—60	0,70	—	1,06
60—80	0,84	—	0,99
80—100	0,63	—	0,84
NPK, 2 нормы			
0—20	9,03	—	—
20—40	1,10	—	—
40—60	1,10	—	—
60—80	0,99	—	—
80—100	0,72	—	—
NPK + навоз, 1 норма			
0—20	—	7,01	—
20—40	—	5,08	—
40—60	—	2,16	—
60—80	—	1,48	—
80—100	—	1,46	—
NPK + навоз, 2 нормы			
0—20	—	4,05	—
20—40	—	3,12	—
40—60	—	2,00	—
60—80	—	1,37	—
80—100	—	1,14	—

Примечание. 2. нормы NPK — 129N70P137K; 2 нормы навоз + NPK — 4 т навоза + 9 ц условных туков на 1 га.

Таблица 5

Активность фосфатазы (мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 10 г за 24 ч) при длительном применении удобрений

Глубина горизонта, см	Владимирская государственная сельскохозяйственная опытная станция; серая лесная почва	Кубанский СХИ; выщелоченный ма-логумусный сверх-мощный чернозем	Самаркандский СХИ; луговая се-роземная почва
Контроль			
0—20	6,56	7,65	0,43
20—40	4,00	7,37	0,28
40—60	0,68	4,38	0,21
60—80	0,55	3,18	0,16
80—100	0,45	2,60	0,16
NPK, 1 норма			
0—20	8,70	—	0,43
20—40	4,63	—	0,36
40—60	1,06	—	0,23
60—80	0,45	—	0,24
80—100	0,30	—	0,18
NPK, 2 нормы			
0—20	5,30	—	—
20—40	3,30	—	—
40—60	0,60	—	—
60—80	0,44	—	—
80—100	0,35	—	—
Навоз + NPK, 1 норма			
0—20	—	8,50	—
20—40	—	6,70	—
40—60	—	3,63	—
60—80	—	2,82	—
80—100	—	2,08	—
Навоз + NPK, 2 нормы			
0—20	—	8,17	—
20—40	—	7,22	—
40—60	—	4,35	—
60—80	—	3,08	—
80—100	—	1,87	—

во-подзолистых почв [2]. Внесение одинарной нормы одних минеральных удобрений или в сочетании с органическими оказало положительное влияние на активность уреазы. Удвоенная норма удобрений вызвала незначительное снижение этого фермента почти во всех горизонтах метровый толщи. Активность уреазы по профилю изменяется аналогично изменению активности инвертазы.

Значительную часть общего фосфора в почве составляют фосфорорганические соединения: нуклеиновые кислоты, нуклеотиды, фитин, лецитин и др. Большинство из них усваиваются растениями только благодаря действию фосфатазы. В исследуемых почвах активность фосфатазы изменялась в соответствии с активностью инвертазы и уреазы. Исключительно низкая активность фосфатазы в луговой сероземной почве (табл. 5). Установлено, что гидролазы активны в слабокислой среде. Интервал между рН оптимума гидролаз и рН среды луговой почвы значительный, что обуславливает быструю инактивацию фермента [1]. Изменения активности фосфатазы по почвенному профилю существенны, они связаны прежде всего с обшими запасами органических фосфатов в почве (табл. 6). Пред-

На фоне систематического внесения удобрений активность фосфатазы увеличилась лишь в варианте с 30—70 кг д. в. Удвоение норм минеральных удобрений на серых лесных и органо-минеральных на черноземах отрицательно влияло на активность фермента, в первом случае — по всей глубине профиля, во втором — с глубины 20—40 см.

Для оценки уровня эффективного почвенного плодородия опытных полей при разных системах удобрения нами был проведен подсчет урожайности культур за ротацию севооборота на черноземной почве Кубанского сельскохозяйственного института и серой лесной почве Владимирской государственной сельскохозяйственной опытной станции. Наиболее низкая продуктивность культур была в вариантах без удобрений — соответственно 51 и 27 ц зерновых единиц на 1 га. В этих же вариантах, как правило, зафиксирована самая низкая активность ферментов. Различия между удобренными вариантами по выходу зерновых единиц с 1 га составляли всего 0,9—1,7 ц.

### Заключение

Основными свойствами, определяющими активность того или иного гидролитического фермента в почве, являются ее гумусированность, состав и строение гумусовых соединений, степень их подвижности.

Активность инвертазы, уреазы и фосфатазы до глубины 1 м изменяется в зависимости от дифференциации содержания гумуса в почвенном профиле.

Систематическое в течение 7—8 лет внесение в серую лесную и черноземную почвы 30—70 кг азота, фосфора и калия на 1 га оказало положительное действие на активность инвертазы, уреазы и фосфатазы. На луговой сероземной почве в условиях щелочной среды раствора отмечена инактивация гидролаз и особенно фосфатазы.

Внесение двойной нормы удобрений в отдельных случаях оказало отрицательное действие на процессы гидролиза безазотистых, азот- и фосфорсодержащих соединений почвы.

Таблица 6

#### Содержание углерода, органических фосфатов и активность фосфатазы в выщелоченном черноземе

Глубина горизонта, см	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> на 100 г, мг	Фосфатаза, мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> на 10 г	C, %
0—20	87	7,65	2,24
20—40	83	7,37	2,08
40—60	82	4,38	1,54
60—80	74	3,18	1,36
80—100	65	2,60	0,93

ставляют интерес данные об изменении содержания органических фосфатов по профилю почв, полученные Э. А. Бабариной [3]. Вниз по профилю снижается не только содержание гумуса и органических фосфатов, но и активность фосфатазы. Эти показатели самые низкие в горизонте 80—100 см.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении, 1974, вып. 8, изд-во «Ереван», с. 158. — 2. Евдокимова Н. В. Ферментативная активность почвы в условиях интенсивного применения удобрений. — Докл. ВАСХНИЛ, 1979, № 4, с. 14—16. — 3. Минеев В. Г., Ба-

барина Э. А. Изменение содержания органических фосфатов при длительном применении удобрений. — Докл. ВАСХНИЛ, 1977, № 6, с. 10—11.

Статья поступила 23 февраля 1983 г.

### SUMMARY

The article deals with the study of influence of application of mineral and organic-and-mineral fertilizers during 7—8 years on activity of hydrolytic enzymes — investase, urease and phosphatase — along the prophile (down to 1 m) of grey forest soil, meadow sierozem soil and leached chernozem.

Systematic application of mineral or mineral-and-organic fertilizers at the rate of 30—70 kg of acting matter per ha results in increased hydrolytic processes and accumulation in the soil of large amount of available mobile carbohydrate compounds,

nitrogen and phosphorus. Doubled rates somewhat reduced the activity of hydrolases mainly in upper horizons. Along the profile down to 1 m fertilizers had partially positive effect on enzymes activity.