

我国主要土壤剖面酶活性状况

关松荫 沈桂琴 孟昭鹏 姚造华 闵九康

(中国农业科学院土壤肥料研究所)

本世纪五十年代以来,由于科学的发展以及新技术的引入,土壤酶的研究愈来愈为人们所重视。

试验研究已证明,土壤酶是土壤的组成分之一。它的数量虽少,但作用颇大。如脲酶能酶促土壤中有有机化合物尿素分子酰胺碳氮键的水解,生成的氨是植物氮素营养来源之一;蛋白酶能酶促土壤含氮有机化合物(蛋白质)水解成肽,再水解成氨基酸,然后释出氨,从而在土壤氨化过程中起着重要的作用;蔗糖酶能断裂蔗糖分子中果糖基 β -葡萄糖苷碳原子处的碳氧键,水解成葡萄糖和果糖;磷酸酶能酶促各种有机磷化物的分解,为植物提供有效磷素;过氧化氢酶能破坏土壤中生化反应生成的过氧化氢,减轻其对生物体的危害;多酚氧化酶能酶促酚类物质氧化成醌,而醌可与氨基酸或肽缩合,并通过一系列生化等反应,最后可形成繁殖酸等,所以此酶是参与土壤的腐殖化过程中的一种氧化酶。可见,土壤中的生化过程,是在酶的参与下完成。土壤酶活性,反应了土壤中进行的各种生物化学过程的动向和强度。在土壤肥力的研究中,土壤酶活性占有重要的地位。

1981年,我们在已往工作的基础上,系统地分析了我国主要土壤剖面酶活性状况及其与土壤肥力因素的关系。本文拟有关土壤酶的活性分布规律,酶活性与土壤肥力因素的关系以及用酶活性作为评价土壤生物活性和土壤肥力的指标作一初步讨论。

一、供试土壤与分析方法

供试土壤包括12种土壤16个剖面的74个样品。它们分别采自黑龙江富锦的白浆土,哈尔滨的黑土;辽宁省沈阳的棕壤;北京的褐土;山西省大同的栗钙土,山东省德州的潮土;江苏省南京的黄棕壤;湖南省祁阳的紫色土、红壤、石灰岩土;四川省重庆的紫色土;贵州省贵阳的黄壤;江西省进贤的红壤和北京、湖北省武昌、江苏省吴县的水稻土。取样地点除祁阳的紫色土、红壤为荒地外,其余土壤均属中等以上肥力水平的耕地。土壤剖面采样深度除祁阳紫色土为70厘米和石灰岩土为50厘米外,其余剖面深度均为100厘米左右。采样时间为1981年3月—6月。土壤的一般农化性状见表1。

土壤酶活性的测定方法^[13]:

1. 脲酶用 G. Hoffmann 和 K. Teicher 法(1961),酶活性表示: 氨态氮毫克/1克土(37℃, 24 小时)。
2. 蛋白酶用 A. Ш. Галстян 和 Э. А. Арутюнян 法(1968),酶活性表示: 氨基氮毫克/1克土(30℃, 24 小时)。
3. 蔗糖酶用 T. A. Шербакова 法(1968),酶活性表示: 葡萄糖毫克/1克土(37℃, 24 小时)。
4. 过氧化氢酶用 J. L. Johnson 和 K. L. Temple 法(1964),酶活性表示: 0.1N 高锰酸钾毫升/1克土。
5. 磷酸酶用 M. Кремер 和 Г. Эрдей 法(1959),酶活性表示: 酚毫克/1克土(37℃, 24 小时)。
6. 多酚氧化酶用 K. A. Koslov 法(1964),酶活性表示: 0.01N 碘毫升/1克土(30℃, 2 分钟)。

表 1 不同土壤的农化性状

Table 1 Agrochemical characters in different soils

土壤类型 Soil type	深度 (cm) Depth	有机质(%) Organic matter	全氮(%) Total-N	水解氮(ppm) Hydrolyzable -N	全磷(P ₂ O ₅ %) Total-P	有机磷 (P ₂ O ₅ , ppm) Organic-P	有效磷 (P ₂ O ₅ , ppm) Available-P	pH	CaCO ₃ (%)
白浆土 Planosol (富锦)	0—20	3.75	0.155	107.4	0.140	779	24.7	6.5	0
	20—34	1.15	0.051	43.7	0.082	469	11.0	6.2	0
	34—70	1.23	0.062	42.0	0.093	378	16.0	5.9	0
	70—114	0.68	0.055	31.2	0.122	115	55.4	6.0	0
黑土 Black soil (哈尔滨)	0—30	2.88	0.131	79.7	0.106	515	45.1	7.6	0
	30—60	1.45	0.070	40.0	0.065	344	10.3	7.3	0
	60—80	1.22	0.047	28.1	0.068	240	7.3	7.3	0
	80—100	0.97	0.039	24.4	0.066	160	29.1	7.2	0
棕壤 Brown earth (沈阳)	0—20	1.60	0.064	59.3	0.089	270	19.9	6.3	0
	20—65	0.63	0.024	24.8	0.064	183	18.5	6.0	0
	65—100	0.50	0.017	17.3	0.070	137	17.6	6.3	0
褐土 Cinnamon soil (北京)	0—20	1.58	0.080	33.9	0.185	252	54.3	8.5	2.95
	20—55	1.19	0.083	22.4	0.154	412	19.9	8.4	5.03
	55—67	1.06	0.051	19.4	0.150	229	14.2	8.5	5.42
	67—100	1.11	0.041	24.4	0.158	195	19.0	8.6	4.45
栗钙土 Castanozem (大同)	0—30	1.35	0.056	34.3	0.137	126	5.7	8.5	5.89
	30—64	0.63	0.054	22.4	0.076	229	3.9	8.6	14.69
	64—110	0.48	0.014	14.2	0.069	119	4.6	8.7	22.90
潮土 Fluvo-aquic soil (德州)	0—23	1.15	0.072	44.7	0.160	174	52.7	8.5	6.15
	23—33	0.72	0.046	27.1	0.134	149	14.2	8.5	8.43
	33—80	0.66	0.055	32.2	0.127	153	4.6	8.5	10.32
	80—100	0.53	0.046	20.4	0.123	57	4.8	8.5	11.99
黄棕壤 Yellow brown earth (南京)	0—30	1.57	0.078	65.7	0.209	309	217.6	6.4	0
	30—40	0.91	0.070	39.0	0.170	195	131.4	6.9	0
	40—100	0.53	0.039	20.5	0.098	172	40.0	7.2	0
紫色土 Purplish soil (祁阳)	0—18	1.22	0.086	33.6	0.101	126	17.6	8.1	12.95
	18—30	0.82	0.065	27.8	0.092	124	7.6	8.2	11.76
	30—55	0.45	0.032	12.9	0.086	121	3.9	7.7	10.77
	55—70	0.29	0.037	14.3	0.087	69	3.7	7.8	10.61
紫色土 Purplish soil (重庆)	0—25	1.21	0.082	40.5	0.117	149	69.2	7.5	0
	25—40	1.01	0.067	46.8	0.103	92	48.5	7.4	0
	40—60	0.93	0.062	34.9	0.089	115	31.6	7.4	0
	60—80	0.75	0.067	31.5	0.063	34	32.1	6.7	0
	80—100	0.75	0.064	34.6	0.064	46	37.1	6.4	0
黄壤 Yellow earth (贵阳)	0—20	3.42	0.195	79.3	0.215	447	92.7	7.5	0
	20—35	2.73	0.160	68.8	0.213	412	38.9	7.3	0
	35—60	0.88	0.104	42.7	0.169	218	6.2	6.3	0
	60—80	0.86	0.093	34.3	0.085	298	4.1	5.6	0
	80—100	0.91	0.091	37.6	0.085	275	4.1	5.6	0

表 1 (续)
Table 1 (Continued)

土壤类型 Soil type	深度 (cm) Depth	有机质(%) Organic matter	全氮(%) Total-N	水解氮(ppm) Hydrolyzable -N	全磷(P ₂ O ₅ %) Total-P	有机磷 (P ₂ O ₅ , ppm) Organic-P	有效磷 (P ₂ O ₅ , ppm) Available-P	pH	CaCO ₃ (%)
红壤 Red earth (祁阳)	0—7	0.65	0.048	23.7	0.068	224	痕量	5.2	0
	7—34	0.26	0.049	16.0	0.059	137	3.4	5.5	0
	34—67	0.33	0.039	16.3	0.061	172	2.7	5.5	0
	67—114	0.32	0.049	14.6	0.080	133	3.9	5.4	0
	114—170	0.25	0.046	13.3	0.082	234	4.6	5.2	0
红壤 Red earth (进贤)	0—15	2.32	0.116	62.4	0.134	229	64.6	6.8	0
	15—27	1.02	0.080	39.3	0.092	218	24.0	6.9	0
	27—40	0.66	0.060	25.1	0.061	172	9.4	6.5	0
	40—60	0.31	0.041	14.4	0.056	115	7.3	5.4	0
	60—100	0.35	0.024	17.6	0.053	160	6.2	5.3	0
石灰岩土 Calcareous soil (祁阳)	0—12	1.80	0.106	42.0	0.085	309	0	8.3	47.84
	12—21	1.31	0.078	35.3	0.072	344	痕量	8.3	46.46
	21—43	0.42	0.039	13.9	0.125	183	痕量	8.3	49.69
	43—56	0.40	0.036	14.6	0.093	188	痕量	8.3	49.75
水稻土 Paddy soil (北京)	0—20	2.55	0.108	48.1	0.160	218	80.6	8.5	24.13
	20—43	1.56	0.046	30.9	0.148	151	64.8	8.7	22.75
	43—69	1.19	0.049	28.8	0.175	172	88.9	8.7	23.10
	69—100	1.04	0.028	47.8	0.117	92	31.4	8.5	—
水稻土 Paddy soil (武昌)	0—19	1.85	0.103	52.9	0.160	389	16.0	8.2	5.05
	19—43	1.73	0.098	42.7	0.164	401	24.0	8.4	5.13
	43—81	1.05	0.088	30.5	0.120	325	6.9	6.2	2.76
	81—100	1.14	0.076	31.9	0.117	385	14.2	8.3	5.18
水稻土 Paddy soil (吴县)	0—17	3.06	0.124	91.0	0.186	311	114.5	5.4	0
	17—30	2.38	0.135	75.9	0.167	126	92.3	6.6	0
	30—62	0.71	0.065	33.2	0.096	211	20.6	6.9	0
	62—84	0.92	0.048	27.8	0.096	188	23.4	7.0	0
	84—100	0.75	0.042	20.7	0.069	172	17.6	6.9	0

注: 有机质测定按丘林法, 全氮测定按凯氏法, 水解氮测定按康维皿扩散法, 全磷按硫酸-高氯酸-钼锑抗法, 有机磷测定按 550°C 灼烧-0.2 N H₂SO₄ 浸提法, 有效磷测定按 0.5 M NaHCO₃ 法进行。

二、结果与讨论

1. 土壤剖面酶活性的层次性与分布状况

土壤中酶活性的垂直分布是有一定规律的, 它随深度而递减, 且有层次性^[6-8]。熟化程度较高的土壤剖面酶活性的层次性明显, 轻度熟化土壤及荒地除了表层的酶活性稍高外, 下层土壤酶活性均较低, 剖面酶活性的层次性不明显, 阶梯形递减规律不显著^[1]。

实验结果表明(表2), 供试的黑土、棕壤、栗钙土、潮土、黄棕壤、紫色土、红壤(进贤)、

表 2 不同土壤的酶活性状况 (1981)
Table 2 Enzyme activities in different soils

土壤类型 Soil type	深度 (cm) Depth	酸性磷酸酶 (phenol mg/g) Acid phosphatase	中性磷酸酶 (phenol mg/g) Neutral phosphatase	碱性磷酸酶 (phenol mg/g) Alkaline phosphatase	脲酶 (NH ₃ -N mg/g) Urease	蛋白酶 (NH ₃ -N mg/g) Protease	过氧化氢酶 (0.1N KMinO ₄ ml/g) Catalase	蔗糖酶 (glucose mg/g) Invertase	多酚氧化酶 (0.01Nl ml/g) Polyphenol oxidase
白浆土 Planosol (富锦)	0—20	1.85	1.60	0.30	0.66	0.35	13.93	38.00	4.37
	20—34	0.56	0.40	0.07	0.26	0.31	13.17	6.50	9.09
	34—70	0.60	0.54	0.05	0.24	0.23	5.61	10.80	2.18
	70—114	0.56	0.31	0.06	0.20	0.12	6.97	6.30	2.91
黑土 Black soil (哈尔滨)	0—30	1.46	1.73	1.29	0.32	0.20	15.71	32.00	0.33
	30—60	1.12	0.90	0.41	0.19	0.13	12.70	5.50	1.49
	60—80	0.49	0.29	0.20	0.16	0.11	10.07	5.10	0.99
	80—100	0.38	0.34	0.15	0.13	0.07	10.71	4.70	1.16
棕壤 Brown earth (沈阳)	0—20	1.58	1.89	0.29	0.19	0.28	11.86	45.20	0.33
	20—65	0.64	0.38	0.91	0.12	0.18	7.67	2.80	0.66
	65—100	0.44	1.69	0.08	0.13	0.21	7.86	1.30	0.99
褐土 Cinnamon soil (北京)	0—20	0.66	0.33	0.94	0.21	0.23	16.76	33.60	5.09
	20—55	0.36	0.22	0.47	0.16	0.10	16.72	13.70	痕量
	55—67	0.32	0.25	0.39	0.16	0.14	16.65	11.50	1.97
	67—100	0.32	0.28	0.41	0.16	0.14	16.65	13.10	7.06
栗钙土 Castanozem (大同)	0—30	0.50	0.06	0.60	0.20	0.31	17.12	13.40	5.46
	30—64	0.23	0.23	0.29	0.17	0.07	13.17	1.90	0.73
	64—100	0.20	0.11	0.12	0.14	0.21	14.53	1.30	2.90
潮土 Cultivated fluvo-aquic soil (德州)	0—23	0.75	0.11	1.14	0.20	0.40	16.32	26.40	2.18
	23—33	0.40	0.05	0.46	0.17	0.32	16.28	10.80	2.04
	33—80	0.25	0.03	0.35	0.17	0.13	17.69	5.70	痕量
	80—100	0.20	0.00	0.12	0.14	0.14	16.98	3.20	5.82
黄棕壤 Yellow brown earth (南京)	0—30	1.36	2.58	0.37	0.19	0.27	11.65	21.50	0.46
	30—40	1.20	1.18	0.34	0.14	0.07	12.45	13.30	1.45
	40—100	0.44	0.20	0.14	0.15	0.17	14.13	1.70	1.98
紫色土 Purplish soil (祁阳)	0—18	0.56	0.19	0.44	0.21	0.27	17.07	13.80	0.99
	18—30	0.44	0.16	0.28	0.16	0.32	17.42	4.60	2.97
	30—55	0.27	0.12	0.21	0.12	0.18	17.36	2.20	3.14
	55—70	0.27	0.11	0.12	0.15	0.06	17.52	2.60	3.43

表 2 (续)
Table 2 (Continued)

土壤类型 Soil type	深度 (cm) Depth	酸性磷酸酶 (phenol mg/g) Acid phosphatase	中性磷酸酶 (phenol mg/g) Neutral phosphatase	碱性磷酸酶 (phenol mg/g) Alkaline phosphatase	脲酶 (NH ₃ -N mg/g) Urease	蛋白酶 (NH ₃ -N mg/g) Protease	过氧化氢酶 (0.1N KMnO ₄ ml/g) Catalase	蔗糖酶 (glucose mg/g) Invertase	多酚氧化酶 (0.01N I ml/g) Polyphenol oxidase
紫色土 Purplish soil (重庆)	0—25	1.35	0.71	0.57	0.21	0.18	13.30	10.00	0.49
	25—40	0.95	0.26	0.25	0.16	0.14	13.25	10.40	1.82
	40—60	0.72	0.39	0.18	0.13	0.08	14.23	6.30	1.98
	60—80	0.43	0.19	0.06	0.12	0.08	8.12	3.10	5.48
	80—100	0.47	0.14	0.03	0.14	0.07	9.81	2.70	6.61
黄壤 Yellow earth (贵阳)	0—20	1.84	0.69	1.26	0.40	0.49	15.15	17.80	0.66
	20—35	1.24	0.53	0.97	0.31	0.34	11.11	3.10	0.66
	35—60	0.48	0.23	0.06	0.20	0.12	4.99	1.00	11.09
	60—80	0.55	0.17	0.04	0.17	0.07	3.43	1.70	7.60
	80—100	0.64	0.07	0.04	0.21	0.12	3.32	2.00	7.60
红壤 Red earth (祁阳)	0—7	1.08	0.34	0	0.14	0.22	3.63	13.50	0.33
	7—34	0.28	0.19	0	0.14	0.17	5.34	3.50	0.66
	34—67	0.27	0.17	0	0.12	0.20	5.89	5.40	2.64
	67—114	0.25	0.08	0	0.12	0.17	3.59	5.20	0.73
	114—170	0.28	0.15	0	0.13	0.19	1.63	3.50	0.66
红壤 Red earth (进贤)	0—15	1.70	2.55	0.62	0.25	0.51	15.26	35.20	1.32
	15—27	0.95	1.10	0.20	0.25	0.31	13.38	9.12	1.98
	27—40	0.44	0.16	0.07	0.22	0.21	3.98	1.32	0.79
	40—60	0.32	0.16	0.02	0.21	0.11	4.07	1.50	2.77
	60—100	0.39	0.09	0.00	0.20	0.14	3.89	2.50	1.12
石灰岩土 Calcareous soil (祁阳)	0—12	0.88	0.34	0.87	0.41	0.62	17.57	10.80	1.46
	12—21	0.57	0.34	0.47	0.28	0.49	17.52	4.70	0.73
	21—43	0.23	0.12	0.02	0.28	0.35	12.89	2.00	5.10
	43—56	0.28	0.20	0.02	0.20	0.31	10.02	2.40	1.46
水稻土 Paddy soil (北京)	0—20	0.56	0.22	0.46	0.11	0.21	17.88	9.30	痕量
	20—43	0.32	0.12	0.06	0.18	0.13	16.94	3.10	3.42
	43—69	0.28	0.16	0.02	0.22	0.17	17.08	3.50	4.15
	69—100	0.10	0.11	0.00	0.07	0.24	17.74	1.40	2.33
水稻土 Paddy soil (武昌)	0—19	0.95	0.21	1.29	0.25	0.18	17.63	29.20	痕量
	19—43	0.59	0.10	0.71	0.22	0.17	17.63	11.50	痕量
	43—81	0.47	0.02	0.23	0.18	0.06	16.13	1.30	0.91
	81—100	0.43	0.02	0.44	0.23	0.14	17.63	0.52	0.36
水稻土 Paddy soil (吴县)	0—17	1.76	1.96	0.18	0.17	0.31	15.02	11.10	0.33
	17—30	1.12	0.63	0.16	0.13	0.37	13.94	8.16	痕量
	30—62	0.49	0.42	0.06	0.12	0.40	16.47	0.72	1.52
	62—84	0.48	0.18	0.03	0.12	0.04	13.09	3.00	0.33
	84—100	0.28	0.13	0.03	0.10	0.09	12.24	0.72	3.84

石灰岩土、水稻土(武昌)等的蔗糖酶活性均随剖面深度呈梯形减弱。层次性分布遵循耕作层>犁底层>心土层的顺序。白浆土、褐土、黄壤、红壤(祁阳)和水稻土(吴县)蔗糖酶活性亦均随剖面深度呈梯形减弱。但这五种土壤都各有一个土层蔗糖酶活性垂直分布不够规律,酶活性偏高或偏低的趋势与该土层中有机质含量高或低的趋势是一致的,表明蔗糖酶活性对底物有机质的明显依赖关系。土壤剖面中脲酶和蛋白酶活性也有梯形递减分布的特点。供试的白浆土、黑土、潮土、石灰岩土、紫色土(重庆)和红壤(进贤)其脲酶、蛋白酶活性都随剖面深度而递减,层次性较明显。紫色土(祁阳)和黄壤的脲酶也基本上随深度递减,但规律性较差,最下层酶活性与水解氮含量趋势是一致的。但未观察到褐土棕壤和黄棕壤的脲酶、蛋白酶的分布规律性。

研究资料指出,土壤中既有酸性磷酸酶又有碱性磷酸酶存在^[5]。本研究结果表明(表2),在显酸性的棕壤、显中性的黄棕壤、紫色土(重庆)、红壤(进贤)、水稻土(吴县)和显碱性的栗钙土、潮土、紫色土(祁阳)、石灰岩土和水稻土(北京)中,相应的酸性、中性和碱性磷酸酶活性,有随剖面深度加深呈梯形递减的垂直分布规律。层次性分布顺序是耕作层>犁底层>心土层。显酸性的黄壤、红壤(祁阳)和显碱性的水稻土(武昌)磷酸酶活性,也有梯形递减的分布特点,但规律性较差。在酶活性偏高或偏低的土层中,与土壤有机磷含量(表1)也有相同的分布趋势,这表明磷酸酶活性对酶促底物有机磷的依赖关系。黑土、褐土磷酸酶垂直分布也欠规律性,剖面最下层的酶活性稍高。虽然未观察到与底物数量的并行关系,但酶促作用产物有效磷含量也有偏高的趋势。

剖面中过氧化氢酶活性分布与pH值有关。含碳酸钙显碱性的褐土、栗钙土、潮土、紫色土(祁阳)、石灰岩土、水稻土(北京、武昌)过氧化氢酶活性较高。除个别土层的偏低外,一般酶活性指数均为16或17,且未显示层次分布特点。微酸性的白浆土、棕壤、黄壤和红壤(祁阳)过氧化氢酶活性较弱,耕层酶活性指数为11—13,下层则少,显示层次性分布特点,且与pH值的变化趋势相似。其中以黄棕壤和黄壤的过氧化氢酶活性对pH条件的依赖关系尤为明显。显中性的黑土、紫色土(重庆)、红壤(进贤)过氧化氢酶活性与pH值有关,也显示层次性的特点,但垂直分布规律较差。但吴县水稻土的过氧化氢酶活性分布无规律可循,层次性也不明显。

多酚氧化酶活性在剖面中的分布不够规律,棕壤、黄棕壤、紫色土、黄壤多酚氧化酶随剖面加深而递增,有的土壤虽也显示递增特点但欠规律性,有的土壤无规律,造成这种状况的原因还有待今后深入研究。

土壤耕作层受土壤管理措施影响最深,是植物残体及肥料分布量较多的层次,也是微生物的密集层。同时,由于该层酶作用的底物多,一般酶活性强,生化过程活跃,从而加速了土壤有机物质的酶解速度,对保证适时供应作物所需的营养起着重要作用。而犁底层由于长期不犁耕,土壤较紧实,有机肥料、植物残体等有机物质含量较少,微生物数量也远不如耕作层的多,酶活性较低。至于心土层,因为很少受到耕作活动的影响,作物根系难以达到,微生物数量少,生物活动很弱,所以酶活性就更低。

荒地土壤的熟化程度较低,供试土壤中酶活性一般较弱。仅仅表土层酶活性较高,这主要是因为自然植被残体为微生物提供了能源,为酶提供了底物所致。

2. 酶活性与土壤肥力因素的关系

表 3 几种土壤酶活性与土壤肥力因素的相关系数
 Table 3 Correlation coefficient of enzyme activities and other fertility factors in different soils

项 目 Item	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	中性磷酸酶 Neutral phosphatase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	脲 酶 Urease	蛋白酶 Protease	过氧化氢酶 Catalase	蔗糖酶 Invertase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase
黑土 ($n=5$) Black soil								
有机质	0.923*	0.960**	0.998**	0.998**	0.969**	0.970**	0.987**	-0.570
全氮	0.940*	0.958*	0.990**	0.950*	0.980**	0.980**	0.970**	-0.488
水解氮	0.940*	0.970**	0.999**	0.996**	0.965**	0.984**	0.983**	-0.719
全磷	0.800	0.828	0.935*	0.950*	0.972**	0.893*	0.926*	0.410
有机磷	0.936*	0.948*	0.880*	0.865	0.790	0.889*	0.850	-0.603
有效磷	0.534	0.711	0.721	0.650	0.539	0.701	0.790	-0.737
pH	0.898*	0.890*	0.960**	0.980**	0.994**	0.926	0.936*	-0.452
紫色土 ($n=9$) Purple soil								
有机质	0.763*	0.630	0.693*	0.736*	0.414	-0.180	0.864**	-0.561
全氮	0.640	0.520	0.560	0.702*	0.350	-0.323	0.760*	-0.347
水解氮	0.780*	0.547	0.328	0.447	0.035	-0.507	0.653	0.263
全磷	0.697*	0.640	0.671*	0.808**	0.525	0.527	0.741*	-0.952**
有机磷	0.470	0.541	0.860**	0.640	0.698*	0.649	0.030	-0.866**
有效磷	0.903**	0.798**	0.376	0.396	-0.199	-0.604	0.318	0.227
pH	-0.045	-0.010	0.590	0.486	0.734*	0.928**	0.376	-0.713*
黄壤 ($n=6$) Yellow earth								
有机质	0.980**	0.970**	0.910*	0.933**	0.953**	0.970**	0.810	-0.805
全氮	0.970**	0.990**	0.899*	0.930**	0.960**	0.981**	0.830*	-0.759
水解氮	0.963**	0.980**	0.927**	0.950**	0.936**	0.987**	0.809	-0.729
全磷	0.720	0.865*	0.656	0.703	0.843*	0.807	0.504	-0.616
有机磷	0.930**	0.880*	0.830*	0.826*	0.890*	0.874*	0.720	-0.901*
有效磷	0.985**	0.946**	0.885*	0.943**	0.919**	0.962**	0.940**	-0.679
pH	0.886*	0.940**	0.970**	0.950**	0.789	0.969**	0.790	-0.525

红壤 ($n = 11$)
Red earth

有机质	0.945**	0.990**	0.972**	0.811**	0.967**	0.910**	0.959**	0.020
全氮	0.880**	0.960**	0.950**	0.780**	0.950**	0.910**	0.900**	-0.004
水解氮	0.930**	0.840**	0.980**	0.860**	0.946**	0.934**	0.936**	0.040
全磷	0.850**	0.940**	0.947**	0.703*	0.925**	0.852**	0.928**	-0.067
有机磷	0.760**	0.680*	0.670*	0.495	-0.103	0.586	0.701*	-0.279
有效磷	0.857**	0.965**	0.998**	0.855**	0.904**	0.902**	0.922**	0.124
pH	0.315	0.780**	0.770**	0.836**	0.789**	0.859**	0.620*	0.183

水稻土(北京) ($n = 6$)

Paddy soil (Beijing)

有机质	-0.340	0.800	0.838*	0.246	0.499	0.050	0.432	-0.810
全氮	-0.460	0.960**	0.960**	0.460	0.690	-0.264	0.336	-0.722
水解氮	0.008	0.910*	0.939**	0.213	0.916*	-0.108	0.013	-0.852*
全磷	-0.591	0.930**	0.890*	0.765	0.589	-0.375	0.114	0.150
有机磷	-0.497	0.987**	0.970**	0.610	0.680	-0.193	0.170	0.513
有效磷	-0.837*	0.714	0.031	0.774	0.259	0.028	0.100	0.044
pH	-0.312	-0.720	-0.740	-0.090	-0.819*	0.200	-0.369	0.869*

水稻土(吴县) ($n = 11$)

Paddy soil (Wu Xian)

有机质	0.954**	0.820**	0.140	0.238	0.505	0.060	0.679*	-0.551
全氮	0.840**	0.746**	0.150	0.297	0.550	0.190	0.387	-0.655*
水解氮	0.970**	0.880**	-0.011	0.100	0.624*	-0.022	0.314	-0.506
全磷	0.841**	0.660*	0.426	0.508	0.469	0.382	0.633*	-0.740**
有机磷	0.070	-0.086	0.720*	0.945**	-0.220	0.851**	0.650*	-0.444
有效磷	0.890**	0.915**	-0.321	-0.203	0.595	-0.307	0.009	-0.266
pH	-0.661*	-0.850**	0.630*	0.586	-0.502	0.350	0.333	-0.207

* $P < 0.05$ 显著相关; ** $P < 0.01$ 极显著相关。

表4 黑土酶活性与肥力因素的偏相关分析

Table 4 Partial correlation of enzyme activities and fertility factors in black soil

相关因子 Correlation variable			样品数 No. of sample (n)	偏相关系数 Partial correlation coefficient (r'')	概 率 Probability (p)
y	x ₁	x ₂			
蛋白酶 Protease	水解氮 Hydrolyzable-N	全 氮	5	yx_1, x_2 -0.6231	N.S.
		Total-N	5	yx_2, x_1 0.8048	N.S.
脲 酶 Urease	水解氮 Hydrolyzable-N	全 氮	5	yx_1, x_2 0.3526	N.S.
		Total-N	5	yx_2, x_1 0.7494	N.S.
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	有机磷 Organic-P	全 磷	5	yx_1, x_2 0.9654	<0.01
		Total-P	5	yx_2, x_1 0.9808	<0.01
蔗糖酶 Invertase	有机磷 Available-P	有机质	5	yx_1, x_2 0.9367	<0.01
		Organic matter	5	yx_2, x_1 0.9957	<0.01

大量研究资料指出,土壤酶活性与土壤有机质^[2-4,10,11]、水溶性有机物^[9]、全氮、有效氮^[11]、全磷、有效磷^[14]具有较好的相关性。某些土壤酶之间也有一定的关系^[2]。

我们的研究结果表明(表3),供试土壤剖面酶活性(多酚氧化酶除外)与有机质、全氮、水解氮、全磷、有机磷、有效磷等有不同程度的相关性。由表3中可见,黑土、红壤、紫色土、水稻土(吴县)蔗糖酶与有机质含量相关或显著相关。黄壤的接近相关。北京郊区的水稻土,因施用的有机肥料中含有大量煤灰渣,耕层、犁底层碳素含量虽较高,但蔗糖酶活性很低。分析脲酶、蛋白酶与全氮量的关系发现,黑土、黄壤、红壤脲酶、蛋白酶与全氮相关或显著相关。紫色土的脲酶也与全氮相关。黑土、紫色土、黄壤、红壤、水稻土磷酸酶与全磷、有机磷含量相关或显著相关。分析酶活性与酶促产物的关系发现,黑土、红壤、黄壤中的脲酶、蛋白酶与水解氮相关或显著相关,水稻土蛋白酶也与水解氮含量相关。除黑土外,其余供试土壤磷酸酶与有效磷呈显著相关,而北京水稻土的磷酸酶与有效磷呈反相关。上述几种土壤酶活性与有机质、全氮、全磷、有机磷、水解氮、有效磷的相关关系表明,底物对酶活性影响很大,酶促活性明显依赖相应底物的含量。土壤酶促产物数量增加,土壤酶活性增强,生化过程活跃。

为了深入了解土壤酶活性与有关的土壤肥力因子的关系,我们曾对供试的九种土壤(石灰岩土、棕壤、栗钙土除外)作了偏相关分析。以黑土为例进一步阐述酶活性与土壤肥力因素的关系(表4)。表中可见,黑土碱性磷酸酶活性与全磷、有机磷呈显著相关,蔗糖酶活性与有机质、有效磷也呈显著相关。尽管在相关分析中(表3)黑土蛋白酶、脲酶与全氮、水解氮相关或显著相关,但偏相关分析未发现它们之间的相关性。其他供试土壤的偏相关分析结果为:白浆土、潮土、黄棕壤、红壤、紫色土和水稻土的蛋白酶、脲酶与全氮、水解氮相关;褐土、红壤、紫色土、水稻土磷酸酶活性与全磷、有效磷相关或显著相关;白浆土、紫色土、红壤、黄壤蔗糖酶与有机质含量呈显著相关,潮土、水稻土蔗糖酶与有机质含量接近相关,但未观察到黄棕壤、褐土蔗糖酶与有机质的相关性。通过偏相关分析进一步证明,土壤酶活性与基质数量、酶促产物之间存在着密切的关系。纵然有的土壤蛋白酶,脲酶与土

表 5 土壤各种酶活性的相关分析(r)
Table 5 Relationship between enzymes in soils

相 关 因 子 Variable	白 土 Planosol	黑 土 Black soil	黄 土 Cinnamon soil	黄 土 Cultivated Fluvo-aquic soil	黄 褐 土 Yellow brown earth	紫 土 Purple soil	黄 壤 Yellow earth	红 壤 Red earth	石灰岩土 Calcareous soil	水稻土(北京) Paddy soil (Beijing)	水稻土(吴县) Paddy soil (Wu Xian)
蔗糖酶与酸性磷酸酶 Invertase and acid phosphatase	0.994**	0.868	0.996**	0.999**	0.967*	0.660	0.900*	0.943**	0.975*	0.025	0.390
蔗糖酶与中性磷酸酶 Invertase and neutral phosphatase	0.998**	0.940*	0.853	0.978*	0.896	0.472	0.816*	0.957**	0.753	0.090	0.010
蔗糖酶与碱性磷酸酶 Invertase and alkaline phosphatase	0.980*	0.989**	0.997**	0.992**	0.958*	0.771*	0.855*	0.937**	0.968*	0.070	0.926**
蔗糖酶与脲酶 Invertase and urease	0.990**	0.980**	0.990**	0.880	0.780	0.850**	0.910*	0.660*	0.980*	-0.050	0.810**
蔗糖酶与蛋白酶 Invertase and protease	0.640	0.930*	0.910	0.900	0.060	0.450	0.730	0.940**	0.960*	-0.155	0.110
蔗糖酶与过氧化氢酶 Invertase and catalase	0.560	0.950*	0.830	-0.065	-0.940	0.160	0.875*	0.840**	0.740	-0.400	0.630*
脲酶与酸性磷酸酶 Urease and acid phosphatase	0.990**	0.930*	0.995**	0.870	0.632	0.640	0.959**	0.725*	0.960*	-0.890*	0.128
脲酶与中性磷酸酶 Urease and neutral phosphatase	0.990**	0.950*	0.837	0.940	0.070	0.548	0.920**	0.908**	0.720	0.513	-0.120
脲酶与碱性磷酸酶 Urease and alkaline phosphatase	0.990**	0.990**	0.990**	0.924	0.404	0.900**	0.980**	0.843**	0.970*	0.430	0.835**
酸性磷酸酶与中性磷酸酶 Acid phosphatase and neutral phosphatase	0.990**	0.970**	0.810	0.980*	0.769	0.910**	0.950**	0.928**	0.870	0.360	0.840**
酸性磷酸酶与碱性磷酸酶 Acid phosphatase and alkaline phosphatase	0.995**	0.930*	0.999**	0.987*	0.800	0.684*	0.920**	0.870**	0.990**	-0.310	0.060
中性磷酸酶与碱性磷酸酶 Neutral phosphatase and alkaline phosphatase	0.979**	0.967**	0.810	0.985*	0.865	0.679*	0.912*	0.938**	0.865	0.988**	-0.368

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

表 6 不同肥力潮土耕层酶活性(1979)
Table 6 Enzyme activities in plowed horizon of cultivated fluvo-aquic soils with different fertilities

地 址	Localities	深度 (cm)	Depth (cm)	有机质 (%)	Organic matter	水解氮 (ppm)	Hydrolyzable-N	CO ₂ 释放量 (mg/g)	Total-P	有效磷 P ₂ O ₅ (ppm)	有机磷 P ₂ O ₅ (ppm)	碱性磷酸酶 (P ₂ O ₅ mg/g 30°C, 28hr)	蔗糖酶 (G. mg/g, 37°C, 24hr.)	过氧化氢酶 (O ₂ cm ³ /g, 2min.)	脲酶 (NH ₃ -N mg/100g 37°C, 15hr.)	有机肥用量 (斤/亩)	Organic fertilizer (斤/亩)	常年产量 (斤/亩)	Yield
山东禹城	Shandong Yucheng	0—20	0—20	1.32	55	2.5	—	283	23.9	11.7	6.14	2.47	25.1	5000	1000				
		0—20	0—20	1.15	52	2.1	0.16	223	14.4	11.2	5.40	1.90	20.8	3000	800				
		0—20	0—20	0.91	38	1.7	0.18	132	5.1	7.9	2.43	1.58	15.3	1000	400				

表 7 不同肥力土壤酶活性
Table 7 Enzyme activities in soils with different fertilities

土 壤	Soil	深度 (cm)	Depth (cm)	有机质 (%)	Organic matter	全氮 (%)	Total-N	水解氮 (ppm)	Hydrolyzable-N	有效磷 (P ₂ O ₅ , ppm)	有效氮	中性磷酸酶 (phenol mg/g)	脲酶 (NH ₃ -N mg/g)	蛋白酶 (NH ₃ -N mg/g)	过氧化氢酶 (0.1N KMnO ₄ ml/g)	蔗糖酶 (glucose mg/g)	脲酶 (glucose mg/g)	肥力水平	Fertility level
黄 壤 Yellow earth (贵阳)	Yellow earth (Guiyang)	0—20	0—20	3.42	0.195	79.3	40.5	0.69	0.40	0.49	15.1	17.8	高						
		0—20	0—20	2.51	0.156	67.8	24.8	0.53	0.39	0.22	13.2	14.6	低						
黑 土 Black soil (哈尔滨)	Black soil (Harbin)	0—30	0—30	3.49	0.166	91.8	14.7	1.7	0.39	0.30	16.3	35.2	施肥						
		0—30	0—30	2.88	0.131	79.7	19.7	1.7	0.32	0.20	15.7	32.0	无肥						

壤氮素之间,磷酸酶与土壤磷素之间虽未显示相关性,但并不是说这些土壤的有机氮化物、有机磷化物的转化过程一定很弱,因为土壤酶促作用还受到包括气候因子、土壤其他性质在内的诸因子的影响。由于我们目前还不清楚这些条件与有机物质转化的内在联系,故这一点暂不讨论,有待今后深入研究。而有机质含量与蔗糖酶活性的关系是明显的。对供试的多数土壤来说,土壤有机质数量是影响蔗糖酶活性等的主导因素。

3. 土壤酶活性之间的关系

土壤酶活性之间存在一定的关系(表5)。除水稻土、紫色土外,其他供试土壤蔗糖酶与磷酸酶之间均呈相关或显著相关。表中可见,有10种土壤蔗糖酶与碱性磷酸酶之间均呈相关或显著相关。表明这些土壤中多糖转化和有机磷转化,特别是与碱性条件下的有机磷转化关系密切。从脲酶、蛋白酶与蔗糖酶,脲酶与酸性、中性、碱性磷酸酶之间的关系中可以分别看出,土壤含氮有机化合物转化与蔗糖转化,与磷素转化是相互影响的。这些供试的白浆土、黑土、红壤和黄壤中表现尤为明显。从表(5)可见,三种磷酸酶之间存在着密切的关系。除黄棕壤外,其余供试土壤的酸性、中性和碱性磷酸酶均表现一定程度相关。

土壤酶活性之间的关系表明,土壤酶在酶促土壤有机物质转化中,不仅显示专性特性,同时存在共性关系。酶的专性特性能反映土壤中这种或那种有机化合物的转化进程,而有共性关系的酶的总体活性,在一定程度上反映着土壤肥力的水平。

研究资料指出,施用有机肥料增强了土壤酶活性^[9],翻压绿肥也使土壤酶活性增强^[12],主要是因为增加了酶的底物和改善了土壤环境。

我们分析不同肥力的潮土、黄壤、黑土耕层酶活性与土壤养分状况的关系(表6、7)表明,长期施用有机肥料的黑土及施用高量有机肥料的潮土,不仅能够改善土壤物理性状,补充土壤有效养分,同时有机肥料中的碳水化合物等可为微生物提供能源,为酶提供底物。土壤生化过程活跃,促进了土壤代谢作用,使土壤养分所处的形态发生变化,从而提高土壤有效肥力水平。从表6、7可见,酶活性与土壤熟化程度密切相关。熟化程度较高的黄壤酶活性,高于熟化程度较低的黄壤酶活性。看来,土壤酶活性既能表征土壤有机物质的转化进程和土壤有效肥力状况,又可做为综合评价土壤肥力的指标之一。

三、结 论

1. 供试的大多数土壤蔗糖酶活性、磷酸酶活性,随剖面深度呈梯形减弱。酶活性的强弱顺序是:耕作层>犁底层>心土层。酶活性分布和层次性分别与酶促底物有机质和有机磷的含量有关。白浆土、黑土、潮土、石灰岩土、紫色土和红壤(进贤)脲酶、蛋白酶活性随剖面深度而递减,层次性较明显。过氧化氢酶活性分布状况与pH值有关。显碱性的土壤过氧化氢酶活性较高,基本上不显层次性;显酸性的土壤过氧化氢酶活性较弱,有层次性分布特点。多酚氧化酶活性在剖面中的分布规律性不明显。棕壤、黄棕壤、紫色土、黄壤多酚氧化酶活性随剖面深度加深而递增。

2. 土壤酶活性与土壤肥力因素密切相关,其中与土壤有机质、全氮、全磷的关系最为显著;与有效氮、有效磷的相关性也较好。大部分土壤中蛋白酶、磷酸酶和蔗糖酶分别与水解氮、有效磷和有机质呈显著相关。在土壤酶的活性之间也有不同程度的相关性,显示

了酶活性的共性关系。因此,土壤酶可以做为评价土壤肥力的指标之一。

参 考 文 献

- [1] 陈本楚、钱泽澍, 1966: 红壤微生物学特性(二)浙江省低丘红壤的酶和呼吸活性。土壤学报, 第14卷, 2期, 221—225页。
- [2] 邱凤琼等, 1981: 东北黑土有机质和酶活性与土壤肥力的关系。土壤学报, 第18卷3期, 244—254页。
- [3] 张宪武、郑鸿元, 1962: 丰产大豆土壤的生物化学活性。土壤学报, 第10卷1期, 1—12页。
- [4] Connolly, M. G., Otoale, P., Morgan, M. A., 1980: Urease activities and comparative transformations of urea and ammonium nitrate in some Irish soils under laboratory and glasshouse conditions. *Journal of life Sciences*, 1(2): 157—165.
- [5] Halstead R. L., 1964: Phosphatase activity of soils as influenced by lime and other treatments. *Can. J. Soil Sci.*, 44: 137—144.
- [6] Kanazawa, S., Takai, Y., 1977: Characteristics of soil organic matter and respiration in the subalpine coniferous forest of Mt. shigayama. 5, β -Glucosidase and protease activities in soil. *Journal of the science of soil and manure Japan*, 48 (11—12): 534—539.
- [7] Ross, D. J., 1977: Protease activity, and it's relationship to nitrogen mineralization in some soils under pasture and tussock grassland. *New Zealand Journal of Science* 20(2): 179—185.
- [8] Ross, D. J., Speir, T. W. 1979: Biochemical activities of organic soils from subantarctic tussock grasslands on campbele Island. 2 Enzyme activities *New Zealand Journal of Science*, 22(2): 173—182.
- [9] Spalding, B. P., Duxbury, J. M., 1977: Enzymatic activities and extractable organic matter in soil invaded by lycopodium tristachyum fairy rings. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 41(6): 1109—1113.
- [10] Tabatabai, M. A., Dick, W. A. 1979: Distribution and stability of pyrophosphalase in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 11(6): 655—659.
- [11] Zantua, M. I., Dumenil, L. C., Bremner, J. M., 1977: Relationships Between soil urease activity and other soil properties. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41(2): 350—352.
- [12] Пейве, Я. В., 1961: Биохимия Почв. Сельхозгиз, Москва.
- [13] Хазнев, Ф. Х., 1976: Ферментативная Активность Почв. Наука, Москва.
- [14] Чундерова, А. И., Зубец, Т. П., 1969: Активность фосфатазы в дерново-подзолистых почвах. *Почвоведение*, № 11, 47—53.

ENZYME ACTIVITIES IN MAIN SOILS IN CHINA

Guan Songyin, Shen Guiqin, Meng Zhaopeng, Yao Zaohua and Min Jiukang

(Institute of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences)

Summary

1. Analytical results of enzyme activities of invertase, acid, alkaline and neutral phosphatase in 12 soil samples showed that enzyme activities in soils were closely related to soil horizons and decreased with the increase of soil depth. The intensity of enzyme activities in different soil horizons were in the sequence as follows: plough horizon > plough-pan > subsoil horizon. Catalase activity in soil was related to pH. Enzyme activity of polyphenol oxidase showed no remarkable distribution regularity in soil profile. This enzyme in brown earth, yellow brown earth, purplish soil and yellow earth increased with the increase of soil depth.

2. Enzyme activities (except polyphenol oxidase) in black soil, red earth and yellow earth were closely related to soil organic matter. There are also correlation among different enzyme activities. Activities of urease, catalase, invertase, protease and phosphatase in the soils with higher fertility were stronger than those in the soils with lower fertility. So enzyme activity could be used as an index for evaluation of soil fertility.