

陕西土壤脲酶活性与土壤肥力关系分析*

和文祥 朱铭莪

(西北农业大学农化系, 陕西杨陵 712100)

摘 要

根据陕西7种主要土壤19个土样的脲酶活性及理化性质的测定结果,经相关、通径和主成分分析表明:土壤脲酶活性可明显反映出土壤肥力水平的差异,脲酶活性大小受到土壤理化性质直接和间接的影响。用主成分组成的土壤肥力信息系统分析统计和用土壤的脲酶活性及理化性质分别评价土壤肥力所得到的结果相似。

关键词 土壤脲酶, 土壤肥力, 通径分析, 主成分分析

土壤脲酶活性作为土壤肥力指标的研究,国内外学者有两种研究结果,周礼恺、Zantua等^[1,2]的研究表明:土壤脲酶与土壤有机质、全氮、全磷等性质均呈显著或极显著相关关系,可作为土壤肥力指标之一;而Sakorn等^[3]则认为,脲酶活性与土壤任一理化性质均不显著相关。但是,土壤脲酶作为唯一一种水解尿素肥料的酶,对它的研究,在理论和实践上都有着重要意义。

本文拟通过对陕西7种主要土壤19个土样的脲酶活性的研究,采用相关分析、通径分析和主成分分析,探讨土壤脲酶活性与土壤肥力水平的关系以及将其作为土壤肥力指标的可行性。

1 材料与方 法

1.1 供试土样

试验采用陕西7种主要土壤即:黄褐土、水稻土(安康市)、垆土(杨陵区)、褐土(黄龙县)、黑垆土(洛川县)、黄绵土(延安市)和风沙土(榆林市)共19个土壤样品,并分为高肥和低肥两个肥力水平,其理化性质见表1。

1.2 测定方法

常规方法测定土壤理化性质^[4],靛酚蓝比色法分析脲酶活性^[5]。

1.3 数据处理

多元线性回归(REG)和主成分分析(PCA)在西北农业大学计算机中心FACOMM340大型计算机终

*国家教委博士点基金资助项目。

收稿日期:1994-09-22;收到修改稿日期:1997-04-22

端, 调用 ANALYST(实验数据统计分析)软件包, 根据标准多元线性回归方程中的回归系数和偏相关系数计算间接途径系数, 由特征根和权系数计算得到主成分方程。

表 1 供试土样的理化性质

Table 1 The physical and chemical properties of the soil samples tested

土 编	肥 力	地	物理性	有机质	全 氮	全 磷	碱解氮	阳离子交		碳酸钙
壤 号	水 平	区	粘 粒	O.M.	Total	Total	Alkali-	换 量	pH	CaCO ₃
Soil No.	Fertility level	Region	Physicalclay (%)		N	P	hydroly-	CEC		(g/kg)
					g/kg	P ₂ O ₅	zable N	(cmol/kg)		
水稻土 1	高肥力水稻土		59.25	29.9	1.92	1.12	149.10	35.10	6.17	0
2	低肥力水稻土	陕	52.43	28.7	1.79	1.05	122.85	34.08	6.76	0
黄褐土 3	高肥力黄褐土1	南	50.60	10.5	0.69	0.82	44.10	35.65	7.07	0
4	高肥力黄褐土2	地	29.81	11.4	0.77	0.80	56.35	32.29	6.91	0
5	高肥力黄褐土3	区	54.85	11.1	0.95	0.82	57.40	35.06	6.87	0
6	低肥力黄褐土		51.55	8.2	0.43	0.72	59.85	34.61	6.59	0
黄绵土 7	高肥力黄绵土		18.92	16.0	0.80	1.35	65.10	25.56	8.20	78.3
8	低肥力黄绵土1		29.44	7.6	0.40	1.05	26.60	26.40	8.47	97.2
9	低肥力黄绵土2		23.41	7.7	0.60	1.06	28.70	26.15	8.45	104.7
黑垆土 10	高肥力黑垆土	关	29.77	11.2	0.77	1.17	39.20	28.29	8.25	29.90
11	低肥力黑垆土1	中	4.37	9.8	0.53	1.24	35.35	28.80	8.31	29.30
12	低肥力黑垆土2	和	36.92	8.2	0.63	1.19	34.30	29.59	8.30	30.10
风沙土 13	高肥力风沙土	陕	12.58	8.3	0.36	0.89	31.50	14.00	8.50	35.30
14	低肥力风沙土1	北	6.31	6.4	0.40	0.82	25.06	13.23	8.94	10.10
15	低肥力风沙土2	地	10.41	3.2	0.14	0.71	12.60	13.48	8.69	39.80
褐 土 16	高肥力褐土	区	38.75	17.9	1.43	1.42	99.40	30.07	8.06	95.60
17	低肥力褐土		37.64	16.5	1.09	1.33	76.30	28.13	8.30	121.3
瘠 土 18	高肥力瘠土		47.44	17.8	1.27	1.24	74.90	31.05	8.14	50.40
19	低肥力瘠土		46.19	13.9	0.81	1.15	54.60	30.03	8.13	51.80

2 结果与讨论

2.1 土壤的脲酶活性

不同土壤间脲酶活性(以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 计)差异较大(图 1)。如低肥力黄褐土的脲酶活性为 $159\mu\text{g} / \text{g} \text{土} \cdot \text{h}$, 低肥力褐土的则高达 $1100\mu\text{g} / \text{g} \text{土} \cdot \text{h}$, 后者为前者的 6.92 倍, 而低肥力风沙土 2 的脲酶活性与低肥力黄褐土只相差 $32\mu\text{g} / \text{g} \text{土} \cdot \text{h}$; 高肥力水稻土的脲酶活性较低, 为 $373\mu\text{g} / \text{g} \text{土} \cdot \text{h}$, 高肥力褐土和高肥力瘠土的则为 1500 和 $1255\mu\text{g} / \text{g} \text{土} \cdot \text{h}$, 分别为高肥力水稻土的 4.02 和 3.36 倍。同一土壤高肥力与低肥力土样的脲酶活性呈现出: 土壤肥力水平高, 脲酶活性亦高, 反之则低。这是因为肥沃土壤中有广泛分布着分解尿素的微生物提供了充足的碳、氮源, 从而促进了其生长发育的结果。各高肥力土壤按脲酶活性进行排序: 褐土 > 瘠土 > 黄绵土 > 黑垆土 > 风沙土 > 水稻土 > 黄褐土; 低肥力土样

的排序与高肥力基本一致,而低肥力土壤中的黑垆土 > 黄绵土,水稻土 > 风沙土2。研究资料证明,土壤类型、肥力水平、环境条件等因素的差异,尤其是微生物种类、数量的差异,导致土壤中酶活性的显著差异。

表2 供试土壤脲酶活性与理化性质的相关系数(r)

Table 2 Correlation coefficients between urease activities and the physical and chemical properties of the soils tested

土样	土样数	有机质	全氮	碱解氮	全磷	阳离子交换量	pH	碳酸钙	物理性粘粒
Soil sample	Number of soil samples	O.M.	Total N	Alkali-hydrolyzable N	Total P	CEC		CaCO ₃	physical clay
所有供试土样	19	0.262	0.310	0.218	0.844**	-0.04	0.432	0.299	-0.019
陕南地区土样	6	0.983**	0.999**	0.942**	0.991**	0.07	-0.577	-	0.433
关中、陕北地区土样	13	0.942**	0.944**	0.962**	0.795**	0.597*	-0.768**	0.299	0.668*

* 0.05水平相关; ** 0.01水平相关

2.2 土壤的脲酶活性与理化性质的相关分析

所有供试 19 个土样其脲酶活性除与全磷外,与其余项目均无显著相关(表 2)。水稻土的有机质、全氮、碱解氮含量在供试土样中为最高,风沙土为最低(表 1),而脲酶活性却相反,高肥力的风沙土与高肥力水稻土相比,前者是后者的 1.83 倍;低肥力的风沙土 1 与低肥力水稻土相比,前者是后者的 1.30 倍(图 1)。这说明土壤生物状况及环境条件等对土壤理化性质和脲酶活性有重要影响^[6,7,9]。

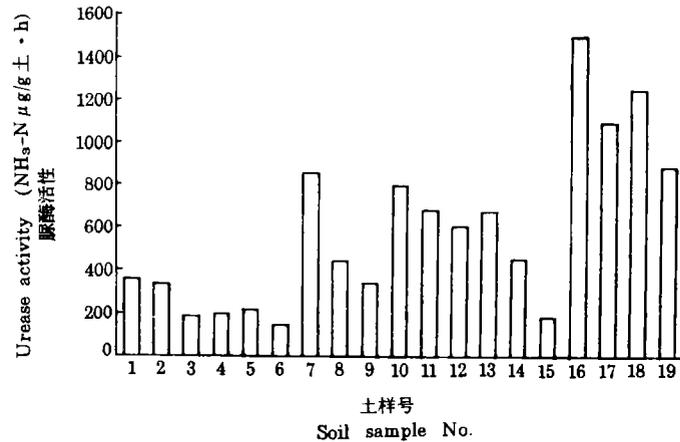


图1 供试土样脲酶活性

Fig.1 Urease activities of soil samples tested

同类地区土壤的脲酶活性与土壤肥力存在着极密切的关系。表 2 列出陕南的 6 个土样与关中、陕北地区 13 个土样的脲酶活性分别与土壤理化性质相关分析的结果,两地区土壤的脲酶活性分别与土壤有机质、全氮、碱解氮及全磷呈极显著正相关,而与 pH 为极显著负相关。因为同一地区的土壤 pH 差异不大,尤其是关中和陕北地区,低肥力土样的 pH 只略高于高肥力土样,瘠土土样 pH 相近(表 1),因而统计结果显示出负相关。说明在关中和陕北地区

影响土壤的脲酶活性的因子实际上主要是土壤有机质等肥力因素。

2.3 土壤的脲酶活性与理化性质的通径分析

通径分析是因果机理分析中的数学方法,使各变量在无量纲的基础上,计算通径系

数。可用通径系数的大小和正负来表示自变量对因变量作用的大小和方向,且通径系数之间还可进行相互比较^[8]。

我们将脲酶活性与理化性质测定结果进行回归,得到两个标准多元线性回归方程。

陕南地区土壤:

$$U' = -0.07967X_1' + 0.89817X_2' + 0.1967X_4' - 0.03266X_8'$$

关中和陕北地区土壤:

$$U' = -0.02732X_1' + 0.5453X_2' + 0.1353X_3' + 0.46908X_4' - 0.95818X_5' \\ - 0.07994X_6' - 0.2808X_7' + 0.53930X_8'$$

其中, U' 为标准化的脲酶活性, X_1 为有机质, X_2 为全氮, X_3 为碱解氮, X_4 为全磷, X_5 为阳离子代换量, X_6 为碳酸钙, X_7 为 pH, X_8 为物理性粘粒, X_i' ($i = 1 \sim 8$) 为标准化的理化性质(下同)。

将方程中的标准回归系数即直接通径系数乘以各理化性质间的偏相关系数得到间接通径系数,结果见表 3。

表3 土壤理化性质对脲酶活性的通径系数

Table 3 Path coefficients of physical and chemical properties affecting urease activities

		$X_8 \rightarrow U$	$X_2 \rightarrow U$	$X_3 \rightarrow U$	$X_4 \rightarrow U$	$X_5 \rightarrow U$	$X_6 \rightarrow U$	$X_7 \rightarrow U$	$X_8 \rightarrow U$
关 中 陕 北 地 区	X_1	<u>-0.0273</u>	0.5103	0.1301	0.4034	-0.6398	-0.0343	0.2273	0.3725
	X_2	-0.0255	<u>0.5453</u>	0.1295	0.3908	-0.6797	-0.0348	0.0219	0.4003
	X_3	-0.0263	0.5219	<u>0.1353</u>	0.3879	-0.5706	-0.0385	0.2118	0.3410
	X_4	-0.0235	0.4543	0.1119	<u>0.4691</u>	-0.8263	-0.0377	0.2464	0.3995
	X_5	-0.0182	0.3868	0.0806	0.4037	<u>-0.9582</u>	-0.0315	0.2420	0.4910
	X_6	-0.0117	0.2375	0.0651	0.2211	-0.3779	<u>-0.0799</u>	0.0294	0.1419
	X_7	0.0221	-0.4247	-0.102	-0.4116	0.8254	0.0294	<u>-0.2808</u>	-0.4265
	X_8	0.0188	0.4047	0.0856	0.3475	-0.8723	-0.0210	0.2221	<u>0.5393</u>
陕 南 地 区	X_1	<u>-0.0797</u>	0.8833		0.1937				-0.0144
	X_2	-0.0783	<u>0.8982</u>		0.1944				0.0082
	X_4	-0.0784	0.8877		<u>0.1967</u>				-0.0153
	X_8	-0.0351	0.4091		0.0919				<u>-0.0327</u>

直接通径系数反映各理化性质对脲酶活性直接影响作用的大小。陕南地区土壤顺序为: 全氮 > 全磷 > 物理性粘粒 > 有机质; 关中和陕北地区土壤为: 全氮 > 物理性粘粒 > 全磷 > 碱解氮 > 有机质 > 碳酸钙 > pH 值 > 阳离子交换量, 两者趋势大体一致。

从表中还可看出, 有机质对脲酶活性的直接通径系数较小, 两地区分别为 -0.0797 和 -0.0273, 而它通过全氮、全磷对脲酶活性影响的间接通径系数则高达 0.8833、0.1937 和 0.5103、0.4034, 有机质的其余间接通径系数在数值上(除碳酸钙和物理性粘粒外)和直接通径系数相差 4.8—23.4 倍。

两地区全氮的直接通径系数分别为 0.8982 和 0.5453, 远高于全氮经其它理化性质对脲酶活性影响的间接通径系数; 关中、陕北地区阳离子交换量的直接通径系数为 -0.9582, 为较强的负效应, 而其通过全氮、全磷、pH 值和物理性粘粒对脲酶活性影响的

间接通径系数为 0.3868、0.4037、0.2420 和 0.4910,说明间接作用是正效应。

通径分析作为一种因果机理的分析方法,其直接和间接通径系数之和在数值上等于相关系数,比相关分析提供了更多的信息,不仅揭示出脲酶活性与各理化性质关系的密切程度,而且能指出这种关系中哪种作用途径处于主导地位。如有机质的间接通径系数远高于直接通径系数,表明有机质对脲酶活性的作用主要是间接作用的结果;全氮对脲酶活性的影响主要是直接作用来完成的;对关中和陕北地区的阳离子交换量来讲,尽管直接作用是较强的负效应,但具有正效应的间接作用不仅抵消了这种负效应,而且使得它与脲酶活性表现上显示出一种显著的正相关关系。

2.4 主成分分析

为了进一步探讨土壤脲酶活性与土壤肥力的关系,我们对与土壤脲酶活性有关的肥力因子之间进行了主成分分析,以便能筛选出产生影响的主要因子群。

表 4 是供试土壤主成分的特征根和方差贡献率,其中特征根指的是累积方差贡献。可以看出,第一主成分对土壤肥力的贡献最大,加上第二主成分方差贡献率,其累积方差贡献率均大于 85%。根据主成分分析原理^[8],当累积方差贡献率大于 85% 时,则可用来基本反映系统的变异信息。因而说明用第一、二主成分这两个综合指标即可代表土壤肥力系统内的变异信息。

表 4 供试土壤主成分特征根

Table 4 Principal component eigenvalues of the soils tested

地 点	项 目	第一主成分	第二主成分
Location	Item	First principal component	Second principal component
陕南地区	特征根	5.665	1.653
	方差贡献率 (%)	70.8	20.7
	累积方差贡献率 (%)	70.8	91.5
关中陕北地区	特征根	6.847	0.8724
	方差贡献率 (%)	76.1	9.7
	累积方差贡献率 (%)	76.1	85.8

我们计算两地区土壤主成分权系数(表 5),陕南地区土壤的第一主成分主要综合了脲酶、有机质、全氮、碱解氮、全磷和 pH 的变异信息,第二主成分则综合了阳离子交换量和物理性粘粒的变异信息。关中和陕北地区土壤除第二主成分比陕南地区土壤增加一个碳酸钙含量以外,主成分的其余组分均与陕南地区相同,只是土壤肥力系统中各因素对第一、二主成分作用的权系数有所不同。不难看出,尽管土壤有较大差异,但对土壤肥力起主要作用的因子是土壤肥力系统中的第一主成分,其中包括土壤脲酶活性。

根据特征根与权系数值,得到反映土壤肥力水平的第一、二主成分方程。

陕南地区土壤:

$$y_1 = 4.69 \times 10^{-3}u + 0.0414x_1 + 0.6612x_2 + 9.523 \times 10^{-3}x_3 + 2.5864x_4 + 0.07835x_5 \\ - 0.0968x_7 + 0.2364x_8 - 3.047$$

$$y_2 = -1.6084 \times 10^{-3}u - 0.01412x_1 - 0.20187x_2 - 2.22 \times 10^{-3}x_3 - 0.5866x_4 \\ + 0.6245x_5 - 0.210x_7 + 0.0626x_8 - 21.6649$$

表 5 供试土壤主成分的权系数

Table 5 Principal component eigenvectors of the soils tested

测定项目 Analysis items	陕 南 地 区 South Shaanxi		关 中 陕 北 地 区 Central and North Shaanxi	
	第一主成分 First principal component	第二主成分 Second principal component	第一主成分 First principal component	第二主成分 Second principal component
	脲酶	0.4059	-0.1391	0.3496
有机质	0.4088	-0.1395	0.3617	0.1723
全氮	0.4072	-0.1243	0.3623	0.1360
碱解氮	0.4121	-0.0960	0.3546	0.3050
阳离子交换量	0.0931	0.7421	0.3231	-0.4234
全磷	0.4094	-0.0929	0.3577	-0.0564
碳酸钙	—	—	0.1875	0.6291
pH值	-0.3066	-0.0664	-0.3464	0.2299
物理性粘粒	0.2493	0.6105	0.3192	-0.4592

关中和陕北地区土壤:

$$y_1 = 9.464 \times 10^{-4}u + 0.0751x_1 + 0.9682x_2 + 0.0139x_3 + 1.679x_4 + 0.0238x_5 \\ + 0.00528x_6 - 1.4313x_7 + 0.0238x_8 + 5.001$$

$$y_2 = 3.514 \times 10^{-4}u + 0.03578x_1 + 0.3626x_2 + 0.012x_3 - 0.2649x_4 - 0.0631x_5 \\ + 0.0177x_6 + 0.9502x_7 - 0.0342x_8 - 7.628$$

分别将 19 个土样的脲酶和理化性质值代入上述方程, 求出 y_1 和 y_2 值。据主成分原理^[8], 用主成分值可计算各样品间的距离, 进行样品聚类。由脲酶和理化性质主成分值可看出, 陕南地区土壤中水稻土属肥力水平较高的土壤, 黄褐土则较低。关中、陕北地区土壤中, 高肥力褐土、低肥力褐土、高肥力矮土均属肥力水平高的类群。高肥力黑垆土、低肥力黑垆土(1 和 2)、低肥力矮土及高肥力黄绵土五个土样为一类群, 其肥力为中等水平。而高肥力风沙土、低肥力风沙土(1 和 2)及低肥力黄绵土(1 和 2)五个土样则为土壤肥力较低的类群。

综上所述, 采用主成分组成的土壤肥力信息系统更能说明土壤脲酶可作为评价土壤肥力水平的重要依据。

参 考 文 献

1. 周礼恺, 1983: 土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用。土壤学报, 第 20 卷 4 期, 413—417 页。
2. Zantua, M. I. and Bremner, J. M., 1975: Preservation of soil samples for assay of urease activity. Soil Biol. Biochem., 7: 297—299.
3. Sakorn, P. P., 1987: Urease activity and fertility status of some lowland rice soils in the central plain. Thai Journal Of Agricultural Science, 20: 173—186.
4. 南京农学院主编, 1980: 土壤农化分析。33—139 页。农业出版社。
5. 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著, 1985: 土壤微生物研究法。268—269 页。科学出版社。
6. 周礼恺, 1987: 土壤酶学。142 页。科学出版社。

7. 汪远品,何腾兵,1989: 贵州东部低产田脲酶活性及其影响因素的研究. 贵州农业科学,第6期,27—33页。
8. 袁志发,孟德顺编著,1993: 多元统计分析. 133—220页. 天则出版社。
9. Sahrawat, K. L., 1980: Urease activity in tropical rice soil and flood water. *Soil Biol. Biochem.*, 12: 195—196.

RELATIONSHIP BETWEEN UREASE ACTIVITY AND FERTILITY OF SOILS IN SHAANXI PROVINCE

He Wenxiang and Zhu Ming'e

(Department of Agrochemistry, Northwestern Agricultural University, Yangling Shanxi 712100)

Summary

The urease activities and physico-chemical properties of nineteen samples collected from seven main soils in Shaanxi Province were analyzed. The results obtained by the correlation, path and principal component analyses showed that the soil urease activities varied significantly with the soil fertility level and soil physical and chemical properties had both direct and indirect influences on the urease activity. Similar evaluation results of soil fertility were got by using an information system of soil fertility consisting of principal component and by the urease activities and the physical and chemical properties respectively.

Key words Soil urease, Soil fertility, Path analysis, Principal component analysis