

太湖水稻土中的芳基硫酸酯酶活性*

陆琴 王校常[†] 严蔚东 安志装 施卫明 曹志洪

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 选取了12个太湖地区的水稻土表土及其剖面, 分析芳基硫酸酯酶活性变化。耕作层芳基硫酸酯酶活性平均为 $\text{PNP } 160 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。大多数土壤其酶活性在 $\text{PNP } 100 \sim 200 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 之间。最低值和最高值分别为 $\text{PNP } 75, 315 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。犁底层土壤芳基硫酸酯酶活性明显低于耕作层, 60% 的土壤其酶活性低于 $\text{PNP } 50 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。犁底层酶活性与耕作层酶活性之间没有相关性。土壤芳基硫酸酯酶活性与土壤有机碳有显著正相关 ($R^2 = 0.533$); 与土壤 pH 关系较为复杂, 在 pH 小于 5.2 时, 随 pH 升高, 酶活性增加, 大于 5.2 时, 酶活性则明显下降。除个别土壤外, 大多数土壤芳基硫酸酯酶活性沿剖面下降, 在大于 60 cm 的土层中基本上没有芳基硫酸酯酶存在。不同土壤芳基硫酸酯酶活性的剖面分布有所不同。根据酶活性变化下降趋势, 其剖面分布基本上可以归结为四个类型。

关键词 水稻土, 芳基硫酸酯酶, 剖面分布

中图分类号 S154.2

建立一种能迅速、准确地反映或衡量土壤质量变化的指标体系是当前土壤质量研究中的一个重要课题^[1-3]。过去的大量研究表明土壤酶活性是土壤-生物综合作用的反映^[2-5]。土壤酶作为潜在的土壤质量指标, 有以下几个方面的有利因素: (1) 土壤质量的主要物理化学参数如有机质、pH、土壤结构、质地、微生物活性或微生物量与土壤酶活性密切相关; (2) 酶在剖面的垂直分布又与土壤的发育程度有关; (3) 与其它性质相比, 它能在较短的时间内反映出外界变化对土壤质量的影响效应。通常它能在 1~2 年内反映出农田管理措施对土壤质量的影响, 而有机 C、pH、土壤结构等指标或参数则很难在短期内有变化^[6-8]; (4) 土壤酶活性是土壤的一个综合性生物学指标或参数; (5) 与其它物理化学参数相比, 土壤酶测定的方法, 所需仪器设备相对简单易行, 而且重复性好, 样品准备时间也短, 普及推广容易。因此, 土壤酶学指标应该可以作为一个很好的土壤质量指标。

在绝大多数土壤中, 土壤硫是以有机态硫为主。而在太湖地区有机硫占到土壤全硫的 85%~95%。有机硫中则又以酯硫为主, 一般占土壤总硫的 40%~70%。硫酸酯酶是参与土壤和植物硫循环的重要酶类。芳基硫酸酯酶 (EC3.1.6.1) 是其中最重要的一种酶。它通过水解土壤有机硫 (酯硫) 中的硫酯键 (S-O) 而释放出无机硫^[4,9]。土壤中的芳基硫酸酯酶主要是来自于土壤微生物, 尤其是真菌。植物也能向土壤分泌芳基硫酸酯酶^[4]。土壤中芳基硫酸酯酶的活性与土壤中的有机质及无机硫含量有关^[7-9], 与农田管理措施呈显著的正相关^[3,5,7,10]。它与酸沉降有关, 可以作为大气干湿酸沉降的一个指标^[11,12]。由于缺硫土壤面积的扩大, 硫在土壤养分循环中的作用越来越重要。同时芳基硫酸酯酶是一个诱导酶, 其活性变化能反映酸沉降程度。所以土壤芳基硫酸酯酶被许多学者认为可以作为土壤质量的参考指标。在国内, 有关芳基硫酸酯酶的研究没有受到应有的重视^[13], 目前还没有与土壤芳基硫酸酯酶相关的任何报道。因此本研究的目的是: 明确太湖地区主要高产优质水稻土芳基硫酸酯酶的现状及其分布特征; 探讨水稻土芳基硫酸酯酶与其它土壤养分间的相互关系。

1 材料与与方法

围绕江苏太湖地区水稻生产区, 选取 12 个江苏省市级丰产方作为试验点。土壤样品在春粮 (小麦

* 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999011808) 和江苏省自然科学基金重点项目 (BK99196) 资助。中国科学院土壤圈物质循环开放实验室部分资助

[†] 通讯作者, xcwang@issas.ac.cn

收稿日期: 2001-07-17; 收到修改稿日期: 2002-04-01

油菜) 收获后立即收集。剖面样是一个点样, 表土样是同块田块四个点的混合样。样品被风干、过筛后保存供分析用。采样地点数据列于表 1。

表 1 采样点的定位及种植情况
Table 1 Location of soil sampling sites and covering plants

采样点编号 Sample No.	地点 Location	纬度 Latitude	经度 Longitude	当季植物 Covering plants
1	平八	31°03′07.5″	120°38′41.5″	小麦
2	谢桥	31°42′53.4″	120°43′56.4″	小麦
3	万石	31°29′09.8″	119°55′55.9″	小麦
4	辛庄	31°30′26.1″	120°41′37.0″	小麦
5	云亭	31°50′39.9″	120°20′40.2″	小麦
6	前黄	31°35′17.5″	119°57′11.4″	小麦
7	华士	31°50′40.6″	120°25′28.0″	油菜
8	丁山	31°14′18.0″	119°53′06.9″	大豆
9	羊尖	31°37′19.4″	120°30′52.2″	小麦
10	渭塘	31°27′18.6″	120°39′10.3″	小麦
11	梅堰	30°58′22.7″	120°33′22.6″	油菜
12	藕渠	31°31′49.3″	120°47′30.5″	小麦

1.1 土壤基本性质分析

主要化学性质测定采用《土壤农业化学分析方法》一书中的方法^[14]。pH 测定的土液(1 mol L⁻¹ KCl) 比为 1:2.5, 全氮用开氏法, 全磷用酸溶-钼锑抗比色法, 有机质用重铬酸钾容量法测定。

1.2 土壤芳基硫酸酯酶活性的测定

土壤芳基硫酸酯酶活性的测定基本按照 Tabatabai 和 Bremner 的方法^[9,15]。称 1 g 风干土 (< 2mm) 于 50 ml 三角瓶, 加 0.25 ml 甲苯, 4 ml 0.5 mol L⁻¹ 乙酸缓冲液 (pH 5.8) 和 1 ml 0.02 mol L⁻¹ 对硝基苯硫酸钾溶液, 摇动使其混匀, 加盖后在 37°C 恒温培养箱中培养 1 h, 去盖, 加 1 ml 0.5 mol L⁻¹ CaCl₂, 加 4 ml 0.5 mol L⁻¹ NaOH, 摇匀, 过滤。滤液在 410 nm 下比色测定。酶活性以单位时间单位土壤释放的对硝基酚 (PNP) 表示。

2 结果分析

12 个太湖地区水稻土表土的基本物理化学性质及主要养分含量列于表 2。结果表明 12 个丰产方的水稻土基本上属于优质水稻土, pH 在 4.2~5.8 范围, 较为适宜。有机质含量在 1%~2% 之间。全氮在 0.10%~0.16% 范围内。全磷在 0.07%~0.18% 范围内。主要养分氮磷钾供应充足, 接近 50% 的土壤样品速效磷含量超过 20 μg g⁻¹ 土的太湖地区磷肥使用的临界标准^[16]。重金属含量皆在水稻土背景值范围内, 其它有机污染物也没有超标, 只有部分土壤能检测到 DDT 和 HCB 的存在, 但也都在检测限左右 (数据未列出)。

各个水稻土样的芳基硫酸酯酶活性的分析结果列于图 1。从图中可知, 各土壤之间酶活性差异较大, 高的如羊尖丰产方, 其酶活性高达 PNP 315 μg g⁻¹ h⁻¹。低的则在 PNP 75 μg g⁻¹ h⁻¹。12 个丰产方的平均酶活性约为 PNP 160 μg g⁻¹ h⁻¹。大多数土壤其酶活性在 PNP 100~200 μg g⁻¹ h⁻¹ 之间。大于 PNP 300 和小于 PNP 80 μg g⁻¹ h⁻¹ 都只有一个土样。

表 2 供试土壤的基本化学性质

Table 2 Some chemical properties of soil used

采样点编号 Sample No.	pH (1:2.5:1 mol L ⁻¹ KCl)	有机碳 O. C (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)
1	4.39	11.8	1.26	1.1
2	4.73	11.8	1.59	1.0
3	4.26	12.5	1.11	0.7
4	5.62	19.0	2.02	1.4
5	4.28	15.7	1.69	1.2
6	4.74	11.6	1.36	1.2
7	4.62	11.6	1.56	1.8
8	5.28	9.4	1.24	0.8
9	5.06	14.1	1.38	1.1
10	4.72	17.2	1.62	1.3
11	4.65	16.1	1.27	1.8
12	5.74	14.1	1.00	1.2

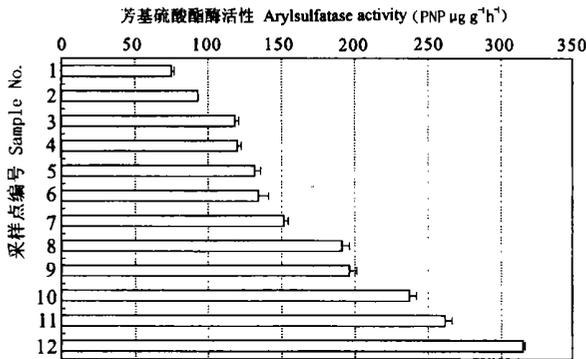


图 1 太湖水稻土耕作层土壤芳基硫酸酯酶活性

Fig. 1 Arylsulfatase activity in plowing layer of paddy soils in Taihu region

犁底层土壤酶活性分析结果(图 2)表明,有两个土壤基本上无芳基硫酸酯酶活性存在。60% 的土壤其酶活性低于 PNP 50 $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。有两个土壤其酶活性超过 PNP 200 $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。犁底层土壤芳基硫酸酯酶活性与表层(或耕作层)酶活性之间没有明显的相关性。从目前有限的结果不能判断种植作物与酶活性之间的关系。

耕作层和犁底层土壤酶活性与土壤有机质含量有明显的相关趋势(图 3), 相关系数达到 0.73 ($P=0.01$), 呈显著性正相关。与国外的研究结果基本一致^[7,9]。另外土壤酶活性与土壤 pH 的关系结果列于图 4, 不是明显的正相关。从图中看, 在 pH 小于 5.2 时, 芳基硫酸酯酶的活性基本上随 pH 增加而增加, 但 pH 超过 5.2 后, 芳基硫酸酯酶的活性开始下降。实验条件下, 芳基硫酸酯酶的最适 pH 是在 5.4 到 6.4。而从本研究的结果看, 结果似乎有所不一致, 具体原因有待进一步分析。但也表现出土壤条件对酶活性的影响是多方面的, 是一个综合的过程。

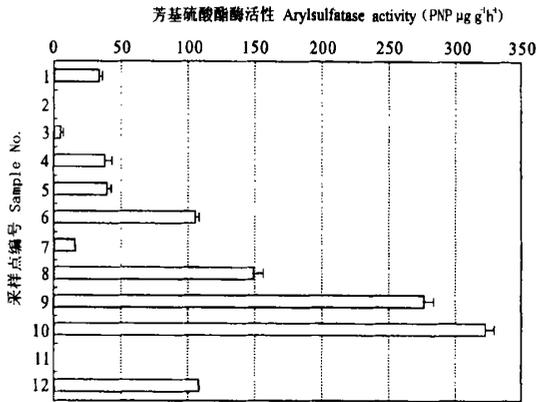


图 2 太湖水稻土犁底层土壤芳基硫酸酯酶活性

Fig. 2 Arylsulfatase activity in plowpan of paddy soil in Taihu region

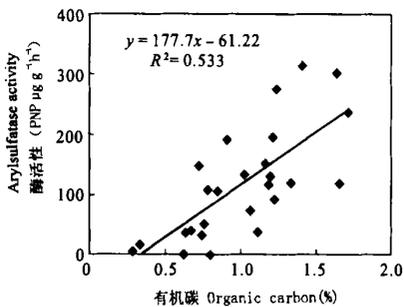


图 3 土壤有机碳含量与土壤芳基硫酸酯酶活性的关系

Fig. 3 The relationship between organic carbon and arylsulfatase activity

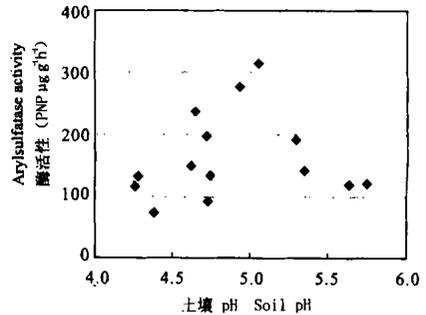


图 4 表层土壤 pH 与芳基硫酸酯酶活性关系

Fig. 4 The relationship between pH and arylsulfatase activity in plowing layer of soil

芳基硫酸酯酶活性在水稻土的剖面分布结果列于图 5。芳基硫酸酯酶活性基本上随土层深度的增加而减少,但在 60 cm 土层以下,基本上已检测不到。但其减少的趋势并不完全一致。12 个土壤剖面的芳基硫酸酯酶活性分布模式可以归纳成图 5 中的几个模式。第一种是图 5A 模式,芳基硫酸酯酶活性只存在于耕作表层,其余几层没有检测到。第二种是图 5B 模式,在犁底层能检测到芳基硫酸酯酶活性,但活性下降明显,在犁下层基本没有芳基硫酸酯酶活性存在。第三种模式为图 5C,其犁底层的酶活性下降幅度较第二种模式小,犁下层仍能检测到酶活性的存在。第四种为图 5D 模式,其犁底层酶活性要高于耕作层,犁下层酶活性下降明显。

3 讨论

土壤中的芳基硫酸酯酶活性高低不仅与土壤有机质、有效硫供应有关,也与土壤本身的物理化学性质有关。有机质高的土壤通常其芳基硫酸酯酶活性也高^[5,8,9]。太湖地区水稻土有机质含量较高,所以其平均酶活性高达 $\text{PNP } 160 \mu\text{g g}^{-1}\text{h}^{-1}$,比美国佛罗里达州的平均值 $\text{PNP } 85 \mu\text{g g}^{-1}\text{h}^{-1}$ 还高。但最大酶活性基本一致,都在 $\text{PNP } 300 \mu\text{g g}^{-1}\text{h}^{-1}$ 左右^[9]。耕作层和犁底层土壤有机碳含量与酶活性呈显著正相关(图 3),与前人的结果基本一致^[7-9]。但表土层有机碳与酶活性之间没有表现出显著正相关,可能与土壤环境条件有关。因为太湖地区乡镇企业比较发达,年酸沉降量也较高,据 1996 年太湖地区的监测结果,其通过降雨带入的 SO_4^{2-} 年平均为 $\text{S } 32.1 \text{ kg hm}^{-2}$,比苏北高出 80%^[17]。酸沉降引起的高土壤有

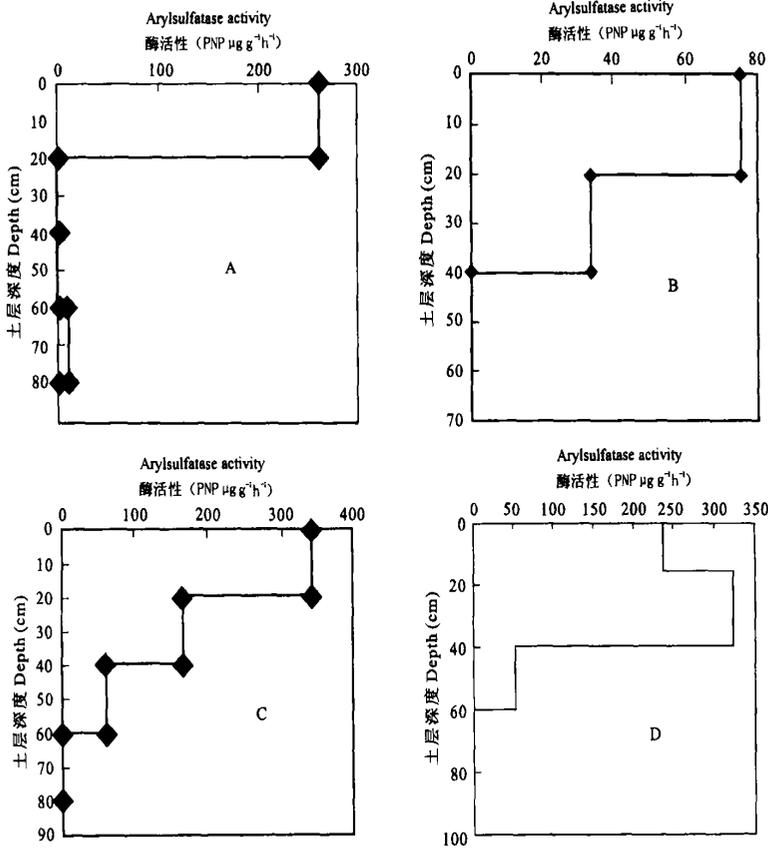


图5 水稻土芳基硫酸酯酶的剖面分布图

Fig. 5 The distribution of arylsulfatase activity in the profile of paddy soils

效硫含量显著降低酶活性。由于不同地区其 SO_4^{2-} 年沉降量有所不同, 可能导致其酶活性的差异。

犁底层土壤酶活性变化相对较大, 其变化范围在 $\text{PNP } 0 \sim 300 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。平均酶活性在 $\text{PNP } 90 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 左右。部分土壤基本上检测不到酶活性, 一半以上土壤酶活性低于 $\text{PNP } 50 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。由于底层土壤其有机质差异较大, 而且土壤理化性质也相差很大, 特别是其氧化还原状况差异较大, 而氧化还原状况与酶活性密切相关, 因此其酶活性差异较大。

芳基硫酸酯酶活性在太湖水稻土壤剖面中的分布也被首次研究。其剖面分布基本上是随剖面下降(图5), 与其他人的研究结果一致^[9]。但个别土壤其剖面分布有所不同(图5D), 即犁底层土壤酶活性要大于耕作层土壤。与Jarvis关于弗吉尼亚湿地的研究结果一致^[11]。导致这一现象的原因可能与其高有机碳含量有关; 这一剖面的有机碳变化与芳基硫酸酯酶活性几乎一致。另外, 也可能与其表层 SO_4^{2-} 含量有关。吴县乡镇企业发达, 相对而言, 酸沉降较多, 因此表层累积的 SO_4^{2-} 也较多, 导致芳基硫酸酯酶活性相对较低, 结果犁底层酶活性大于耕作表层。另外, 要注意的一点是, 太湖地区的这些丰产方基本上是在20世纪80年代末或90年代初中期通过土地平整等农田基本改造而形成的, 部分丰产方的剖面分布可能并不能完全反映太湖地区的实际情况, 如部分土壤其犁底层酶活性几乎为零, 而部分土壤酶活性极高。

芳基硫酸酯酶活性与全氮、全磷基本上没有相关性, 这与其他人的研究结果一致^[5, 9]。芳基硫酸酯酶活性的最适 pH 为 6.2^[15]。但我们发现水稻土中 $\text{pH } 5.2$ 似乎是一个转折点(图4)。表明耕作层土壤酶活性与 pH 的关系较为复杂, 有待于进一步的研究。

从本研究的初步结果看,芳基硫酸酯酶作为太湖水稻土质量指标尤其是土壤硫素营养与酸沉降指标是可行的。首先,水稻土或其它土壤类型芳基硫酸酯酶与其它土壤酶,酶活性随剖面的变化规律与养分变化规律一致,基本上沿剖面下降。其次,它与土壤有机质关系密切,同时随 pH 变化明显。与前人的研究结果一致^[8,9,15]。

致 谢 样品采集过程中得到无锡、苏州、常州相关市县土肥站的大力支持,在此表示感谢。

参考文献

1. 曹志洪. 土壤质量与农业可持续发展. 中国科技月报, 2000, 9: 15
2. Dick R P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran J V, Coleman D C, Brezdicsek D F, *et al.* eds. Defining Soil Quality for A Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Society of Agriculture, Madison, 1994. 107~124
3. Dick R P, Breakwell D P, Turco R F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran J W, Jones A J. eds. Handbook of Methods for Assessing Soil Quality. SSSA, Madison, 1996. 247~ 272
4. 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987
5. Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31: 1 471~ 1 479
6. Martens D A, Johanson J B, Frankenberger W T. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. Soil Science, 1992, 153(1): 53~ 61
7. Perucci P, Scarponi L. Effect of crop residue addition on arylsulfatase activity in soils. Plant and Soil, 1983, 73: 323~ 326
8. Deng S P, Tabatabai M A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. Bio. Fert. Soils, 1997, 24: 141~ 146
9. Tabatabai M A, Bremner J M. Arylsulfatase activity of soil. Soil. Sci. Soc. Am. Proceedings, 1970, 34: 225~ 229
10. Pulford I D, Tabatabai M A. Effect of waterlogging on enzyme activities in soils. Soil. Biol. Biochem., 1988, 20: 215~ 219
11. Jarvis B W, Lang G E. Arylsulfatase activity in peat exposed to acid precipitation. Soil Biol. Biochem., 1987, 19(1): 107~ 109
12. Press M C, Henderson J, Lee J A. Arylsulfatase activity in peat in relation to acidic deposition. Soil Biol. Biochem., 1987, 17(1): 99~ 103
13. 关松荫, 沈桂琴, 孟昭鹏, 等. 我国主要土壤剖面酶活性状况. 土壤学报, 1984, 21(4): 368~ 380
14. 中国土壤学会编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
15. Tabatabai M A. Enzymes. In: Weaver R W, Angle J S, Bottomley P S. eds. Methods of Soil Analysis. part 2. Microbiological and Biochemical Properties. SSSA, Madison, 1994. 814~ 818
16. 鲁如坤. 我国磷肥生产与使用中的问题和对策. 见: 李庆逵, 朱兆良, 于天仁主编. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998. 52~ 68
17. 刘崇群. 我国土壤硫素状况、硫肥效应及其需求趋势. 见: 李庆逵, 朱兆良, 于天仁主编. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998. 96~ 105

ARYLSULPHATASE ACTIVITY OF PADDY SOILS IN THE TAIHU LAKE REGION

Lu Qin Wang Xiaochang Yan Weidong An Zhizhuang Shi Weiming Cao Zhihong
(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Summary

Arylsulfatase is a principle enzyme involved in soil sulphur cycle and is one of the potential indicators of soil quality. Arylsulfatase activity of twelve paddy soil profiles in Taihu region were investigated. The average arylsulfatase activity was p-nitrophenol (PNP) $160 \mu\text{g g}^{-1} \text{soil h}^{-1}$. The highest activity for the plowing layer of these paddy soils was PNP $315 \mu\text{g g}^{-1} \text{soil h}^{-1}$ while the lowest was PNP $75 \mu\text{g g}^{-1} \text{soil h}^{-1}$. The enzyme activities for most soils were in the range of PNP $100\sim 200 \mu\text{g g}^{-1} \text{soil h}^{-1}$. Arylsulfatase activity in the plowing layer of paddy soils was significantly correlated with soil organic carbon content ($R^2=0.533$). Arylsulfatase activity increased with pH when pH was below 5.2, and decreased with pH when pH was higher than 5.2. Arylsulfatase activity dropped with increasing profile depth for all profiles except Meiyuan soil profile where the activity in the plowpan layer was higher than that in the plowing layer. No enzyme activity was detected when the depth is over 60 cm. The distribution of arylsulfatase activity in these profiles could be grouped into four different patterns according to its decrease trend within soil profile.

Key words Paddy soil, Arylsulfatase, Soil profile