

# 土壤酶对土壤环境质量指示作用的研究进展<sup>①</sup>

边雪廉, 岳中辉\*, 焦 浩, 王慧一, 隋海霞, 赵文磊

(哈尔滨师范大学生命科学与技术学院/黑龙江省普通高等学校植物生物学重点实验室, 哈尔滨 150025)

**摘 要:** 土壤环境质量是土壤容纳、吸收和降解各种环境污染的能力。各种污染物(农业、工业)进入土壤后, 都会对土壤的环境质量造成一定的影响。土壤酶作为土壤中的重要组成部分, 是土壤中产生专一生物化学反应的生物催化剂, 对土壤环境质量的反应迅速, 常被用来作为指示土壤环境质量的生物学指标。因此本文综述土壤酶对化肥、农药、污水污泥、城市垃圾和重金属的指示作用, 为污染土壤的修复提供理论依据。

**关键词:** 土壤酶; 土壤环境质量; 研究进展

**中图分类号:** S154.2

土壤是人类赖以生存的物质基础, 也是重要的环境要素, 是具有吸附、分散、中和、降解环境污染物的缓冲带和过滤器。当土壤受到某些有害物质的污染, 且总量超过土壤自净能力时, 就会引起现存的或潜在的土壤环境质量恶化, 从而导致农产品减产、质量下降, 并对人类的健康造成一定的危害<sup>[1]</sup>, 因此对土壤环境质量的评估已经成为环境科学工作者关注的热点问题之一。

土壤环境质量指标主要包括土壤环境容量、重金属全素含量、重金属元素有效性、有机污染物(包括农药)的残留量、土壤 pH、土壤质地等, 但这些指标均为土壤理化指标。研究发现, 与土壤理化指标相比, 土壤生物及生物化学指标对土壤环境变化更为敏感, 能够比较迅速地评价土壤短时间内的环境质量变化<sup>[2-3]</sup>。在土壤生物组分中, 土壤微生物和土壤酶在土壤物质和能量的转化过程中起着至关重要的作用, 土壤微生物群落的变化能够迅速反映外来异生物质对土壤环境的影响<sup>[4]</sup>, 但是要获得土壤微生物学的特征需要利用分子生物学技术和专业的微生物技术, 配备昂贵的试剂和精密的实验仪器, 这无疑增加了大范围土壤研究的难度, 因此近些年来, 学者们开始尝试进行土壤酶对土壤环境质量的指示作用研究<sup>[5]</sup>。

土壤中的一切生物化学反应, 实际上都是在酶的

催化下进行的, 土壤酶活性反映了土壤中进行的各种生物化学过程的强度和方向, 是土壤的本质属性之一<sup>[6]</sup>。Dick 等<sup>[7]</sup>在 1992 年就指出“土壤酶有助于描述和预测不同生态系统的功能、质量及各系统间的相互作用”; 1997 年 Dick<sup>[8]</sup>又将土壤酶对维护土壤功能的重要意义进行了归纳, 认为土壤酶能够分解外来有机质、促进土壤有机质转化、将有机物分解为植物可利用的矿质元素、参与 N<sub>2</sub> 固定、降解有害异物(人造化合物如杀虫剂、工业废弃物等)、参与硝化和反硝化过程等; 1999 年 Bandick 等<sup>[9]</sup>的研究进一步指出可以用土壤酶来表征土壤的动态质量, 因为土壤酶能催化土壤的养分循环过程, 包括土壤 C(β-葡萄糖苷酶、β-半乳糖苷酶)、N(脲酶)、P(磷酸酶)和 S(硫酸酶)的循环, 并且与土壤生物有关, 容易测定, 对土壤污染后的变化反应迅速。目前以土壤酶作为土壤环境质量指标的研究主要集中在污染土壤、扰动土壤和农业土壤中。污染物如农业污染物<sup>[10]</sup>、污水<sup>[11]</sup>、污泥<sup>[12]</sup>、城市垃圾<sup>[13]</sup>、重金属<sup>[14]</sup>等对土壤酶活的影响各不相同, 因此, 本文综述土壤酶对土壤环境的指示作用, 为污染土壤的修复提供理论依据。

## 1 土壤酶对农业污染物的指示作用

农业污染物如化肥、农药等进入土壤时, 会对土壤生物学性质产生影响, 土壤酶活性随之发生变化,

基金项目: 黑龙江省高校重点实验室开放课题项目(ZK1201203)、黑龙江省高校科技创新团队研究计划—哈尔滨师范大学科技创新团队研究计划项目(KJTD-2011-2)和哈尔滨师范大学国家级预研项目(12XYG-10)资助。

\* 通讯作者(yuezhonghui@163.com)

作者简介: 边雪廉(1989—), 女, 黑龙江塔河人, 硕士研究生, 研究方向为植物生理生态学。E-mail: 13945082064@163.com

其变化幅度和污染物的类型、浓度、持续时间以及施用量等有一定关系,因此许多学者把土壤酶作为农业污染的指示指标<sup>[15]</sup>。如 Gianfreda 等<sup>[10]</sup>研究发现,中度或重度的有机污染土壤与正常耕地相比,土壤芳基硫酸酯酶、 $\beta$ -葡糖苷酶、磷酸酶、脲酶、脱氢酶、荧光素二乙酸水解酶活性降低或不表现酶活性;但也有研究发现,当农业污染物的施用浓度较小时,土壤酶活性不变或增加<sup>[15, 22]</sup>。

### 1.1 土壤酶对化肥的指示作用

许多研究都表明,化肥的施用会影响土壤脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶、荧光素水解酶、脱氢酶、芳基硫酸酯酶、 $\beta$ -葡糖苷酶、转化酶等的活性<sup>[8, 16-22]</sup>。

一般来说,当化肥过量施用时会导致土壤酶活性的降低。如 Dick 等<sup>[8]</sup>发现化学肥料会抑制磷酸酶的活性。钱海燕等<sup>[16]</sup>发现水田土壤中施用过量的氮肥会使土壤脲酶的活性受到抑制。李晨华等<sup>[17]</sup>发现氮、磷、钾肥会导致土壤过氧化氢酶活性显著降低。林天等<sup>[18]</sup>发现,在氮、磷、钾肥基础上添加钙后土壤脱氢酶和芳基硫酸酯酶的活性降低,而土壤脲酶、荧光素水解酶、酸性磷酸酶的活性受到抑制。Graham 等<sup>[19]</sup>发现甘蔗田土壤脱氢酶、碱性磷酸酶、芳基硫酸酯酶和组氨酸酶的活性随肥料施用量的增加而降低。

但有一些研究认为化肥的施用会提高土壤某些酶的活性或对土壤酶活性没有影响。如 Ajwa 等<sup>[15]</sup>、Acosta-Martinez 等<sup>[20]</sup>的研究都表明,随着氮肥施用量的增加,土壤  $\beta$ -葡糖苷酶、酸性磷酸酶、脱氢酶的活性随之升高。柳燕兰等<sup>[21]</sup>发现单施氮肥土壤脲酶、转化酶和碱性磷酸酶活性均增加。Russo 和 Bile<sup>[22]</sup>发现在辣椒地中施加氮、磷、钾混合肥,会使土壤  $\beta$ -半乳糖苷酶活性增加或保持不变。也有研究发现肥料的增加可使酸性磷酸酶、转化酶和蛋白酶活性升高<sup>[19]</sup>。

### 1.2 土壤酶对农药的指示作用

农药(杀虫剂、除草剂、杀菌剂)施用后会影响到土壤微生物的生长和活性,从而也对土壤酶活性产生影响,大量研究表明,酶对农药的作用机制是通过抑制或诱导作用,调节、修改或控制合成酶的基因,通过土壤中不同浓度的农药来控制胞内酶和胞外酶的产物及其总量的变化<sup>[23-26]</sup>。但以酶活性作为农药污染评价指标因土壤、农药类型不同而有较大差异<sup>[27-28]</sup>。

已有的研究表明,杀虫剂类农药对土壤脲酶、脱氢酶、纤维素酶、淀粉酶、蛋白酶、磷酸酶、磷酸单酯酶、过氧化氢酶和荧光素二乙酸酯水解酶等有一定影响。如除硫丹可激活脱氢酶活性之外,大多对其活

性都有抑制作用<sup>[29-34]</sup>。Rain 等<sup>[35]</sup>发现脲酶和脱氢酶对毒死蜱最为敏感,而纤维素酶、淀粉酶和蛋白酶的活性在施用毒死蜱后逐渐产生抗性。也有研究发现土壤磷酸酶活性随毒死蜱浓度的增加而增加,但超过20天后酶活性逐渐降低<sup>[36]</sup>。而重复施用毒死蜱和啶硫磷两种农药后土壤磷酸酶活性受抑制<sup>[37]</sup>。Yao 等<sup>[38]</sup>研究发现施用啶虫脒后,土壤脱氢酶活性增强,而土壤脲酶和过氧化氢酶的变化较小。Kalyani 等<sup>[33]</sup>和 Perucci 等<sup>[39]</sup>发现咪唑啉和硫丹可激活荧光素二乙酸酯水解酶的活性;Kalyani 等<sup>[33]</sup>和 Dutta 等<sup>[40]</sup>发现毒死蜱和乙硫磷也可激活荧光素二乙酸酯水解酶的活性,而硫丹可增加芳基硫酸酯酶的活性。Gundi 等<sup>[41]</sup>发现啶硫磷、久效磷、氯氰菊酯单独或混合使用可提高脱氢酶的活性;而 Fragoiro 和 Magan<sup>[42]</sup>的研究表明,西玛津、氟乐灵、狄氏剂等农药的施用降低了土壤脱氢酶的活性。Pandey 和 Singh<sup>[37]</sup>及 Singh 等<sup>[43]</sup>发现施用吡虫啉、林丹、二嗪磷后花生地碱性磷酸单酯酶和脱氢酶活性先下降后升高,最后趋于稳定。

土壤转化酶、磷酸酶、脱氢酶、过氧化氢酶、脲酶等对除草剂施用的响应不同。如转化酶活性受草甘磷和百草枯激活,受西维因抑制<sup>[43]</sup>,而脲酶活性不受这两种农药影响<sup>[44]</sup>。土壤磷酸酶的活性受咪唑啉、铁灭克、天王星3种除草剂的抑制,脱氢酶活性受天王星、功夫、久效磷、氧化乐果、乙草胺等除草剂的抑制<sup>[45]</sup>。过氧化氢酶的活性受水稻除草剂苯噻草胺抑制,且浓度越大,抑制作用越强<sup>[46]</sup>。草不绿抑制土壤酯酶的活性<sup>[47]</sup>。莠去津可降低土壤  $\beta$ -葡糖苷酶的活性<sup>[48]</sup>。

对杀菌剂施用比较敏感的酶类有土壤过氧化氢酶、转化酶、脲酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶等。土壤转化酶活性受百菌清、多菌灵混剂、氯氰菊酯这3种杀菌剂的抑制,但多菌灵、吡虫啉在低浓度时激活而高浓度时抑制转化酶活性<sup>[49]</sup>。过氧化氢酶、脲酶和酸性磷酸酶活性受到高浓度井冈素的抑制,而其低浓度对酶活性的影响较小<sup>[50]</sup>。土壤酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶、转化酶活性受百菌清的抑制<sup>[51]</sup>。较高剂量的杀菌剂可抑制脱氢酶的活性<sup>[52-53]</sup>。

## 2 土壤酶对工业污染物的指示作用

### 2.1 土壤酶对污水、污泥污染的指示作用

工业污水、污泥由于其富含一些有价值的有机无机营养物质,在处理后能够改善土壤肥力,常应用在农业领域进行农田的灌溉<sup>[54]</sup>。研究发现污水污泥的应用可以促进土壤生物活性<sup>[55]</sup>,增加基底呼吸和微生物

物的生物量,从而引起酶活性也发生相应的变化<sup>[12]</sup>。如 Kizilkaya 等<sup>[56]</sup>研究发现灌溉污水污泥的土壤,脲酶、磷酸单酯酶、芳基硫酸酯酶的活性增加;大麦田污水污泥对土壤 BAA-蛋白酶、脲酶、磷酸酶和  $\beta$ -葡糖苷酶活性有促进作用<sup>[54]</sup>。但也有研究表明,污水污泥施用后,土壤酶活性降低。如 Filip 等<sup>[57]</sup>发现在污水灌溉的土壤中,土壤  $\beta$ -葡糖苷酶、 $\beta$ -乙酰氨基葡萄糖苷酶、蛋白酶和磷酸酶活性受到抑制;Reddy 等<sup>[58]</sup>发现污泥处理后根际和非根际土壤的土壤脱氢酶活性都明显降低。污水污泥对土壤酶活性的不同影响与其施用量和成分有密切关系,如有研究发现污水污泥中含有重金属会严重抑制土壤脱氢酶的活性<sup>[58]</sup>;Kannan 和 Oblisami<sup>[59]</sup>发现用纸浆污染的水灌溉土壤会使土壤转化酶和脱氢酶的活性升高;李慧等<sup>[60]</sup>发现土壤脱氢酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶活性与土壤中石油烃含量呈显著正相关,而土壤脲酶活性与土壤中石油烃含量呈显著负相关;何艺等<sup>[61]</sup>也发现含油污的水对土壤过氧化氢酶、多酚氧化酶和脲酶均有一定程度的刺激作用。

## 2.2 土壤酶对城市固体垃圾污染的指示作用

城市固体垃圾是人们在生产建设、日常生活和其他活动中产生的废弃物,其中所含的有害物质会改变土壤结构和土质,影响土壤中微生物的活动,酶活性随之变化。已有的研究表明,城市固体垃圾会影响土壤  $\beta$ -葡糖苷酶、脲酶、碱性磷酸酶、脱氢酶、过氧化氢酶、纤维素酶、蛋白酶等的活性。如 Garcia Gil 等<sup>[62]</sup>发现城市固体垃圾堆肥增加了农田土壤脱氢酶和过氧化氢酶的活性。李俊等<sup>[63]</sup>发现随着垃圾填埋深度的加深,土壤脲酶和纤维素酶的活性有下降的趋势,而过氧化氢酶和蛋白酶的活性变化不大。Felipe 等<sup>[64]</sup>发现城市固体垃圾会导致  $\beta$ -葡糖苷酶、碱性磷酸酶活性增加。Carmine 等<sup>[65]</sup>发现城市固体垃圾堆肥能增加土壤脱氢酶和硝酸还原酶活性。Claire 等<sup>[66]</sup>发现土壤中过氧化物酶的活性在城市固体垃圾堆肥污染后增加,但对酰胺酶和脲酶的影响不大。

## 2.3 土壤酶对重金属污染的指示作用

众所周知,重金属在生态系统中具有长期的毒性作用且对土壤酶催化过程有着负面的影响<sup>[56]</sup>。它们通过抑制其催化反应活跃的基团、改变蛋白质的构象或与其他金属共同参与破坏酶复合物的形成从而破坏土壤酶的活性<sup>[67]</sup>。Marzadori<sup>[68]</sup>及 Aoyama 和 Naguno<sup>[69]</sup>指出,土壤脲酶、酸性磷酸酶、脱氢酶都对土壤重金属污染比较敏感,是指示土壤重金属污染的指标。土壤脱氢酶活性更易受到土壤 Pb 和 Cd 积累的影响,较适合

用于反映土壤中 Pb 和 Cd 污染程度<sup>[70]</sup>。Pankhurst<sup>[71]</sup>发现芳基硫酸酯酶可被用作土壤重金属污染的敏感指标。还有研究发现 L-谷氨酰胺酶、纤维素酶和  $\beta$ -葡糖苷酶活性受 Hg、Ag、Cr 和 Cd 等金属元素抑制<sup>[72]</sup>。杨志新等<sup>[73]</sup>发现中壤质潮褐土中随 Cd、Zn 复合浓度的增加,过氧化氢酶活性显著降低。龙建等<sup>[74]</sup>发现矿区红壤受 Cu、Zn、Pb、Cd 混合污染后,土壤多酚氧化酶活性降低。罗红等<sup>[75]</sup>对 Ni、Cu、Cd 复合污染的深层红壤进行研究,发现 Ni 浓度增加抑制土壤转化酶的活性,随 Cu 浓度的增加蛋白酶活性显著降低,Cd 对蛋白酶活性具有明显抑制作用。Frankenberger 和 Tabatabai<sup>[76-78]</sup>发现重金属如 Hg、Ag、Cr、Cd 对 L-天冬酰胺酶和硫酸酯酶均有抑制作用;Bardgett 等<sup>[79]</sup>也发现这 4 种重金属可抑制酸性磷酸酶和脲酶活性;Al-khafaji 和 Tabatabai<sup>[80]</sup>也发现其对芳基硫酸酯酶有抑制作用。Fusun 和 Esin<sup>[81]</sup>发现芳基硫酸酯酶、碱性磷酸酶和脲酶的活性与 Pb、Cr、Mn 总含量呈显著负相关。

但也有研究表明,土壤酶活性在重金属污染土壤的修复中有一定的积极作用。如在 Cd、Zn、Pb 复合污染的中壤质潮褐土中过氧化氢酶活性随着 Pb 浓度增加而增加<sup>[72]</sup>;Gao 等<sup>[82]</sup>发现 Cd、Cu、Ni 对磷酸酶活性均表现出一定的激活效应;Mikanova<sup>[83]</sup>发现蛋白酶和脲酶活性受重金属的抑制较弱。在红壤中重金属 Cu、Zn、Pb、Cd 污染对土壤转化酶影响不大<sup>[74]</sup>。

## 3 结论与展望

众多的研究都表明,化肥、农药、污水污泥、城市固体垃圾和重金属会对土壤酶活性产生不同的影响,其作用表现为 3 种趋势,即促进、抑制或没有影响(表 1),同一种酶在同一类污染物的作用下,也可能表现出相反的趋势,这是由于污染物浓度、持续时间、土壤类型的差异造成的。在常涉及的 20 多种酶类中,对各种污染物都较敏感的酶类有脱氢酶、过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶、 $\beta$ -葡糖苷酶(表 1)等,可以考虑用这些酶类来指示污染后土壤环境质量的,但目前的研究仅限于酶活性的变化,对酶活性的作用机制较少涉及,能否真正用其来指示土壤环境的变化可能还需要一些分子生物学机制的研究。除此之外,土壤中还有大约 40~50 种酶类的特性是我们所不了解的,这些酶类是否对土壤环境有指示作用也有待于去研究发现,弄清酶活性特征与土壤的关系,寻找一个敏感的、普遍适用的综合指标,是土壤酶学主要的研究方向。

表 1 不同污染物对土壤酶活性的作用  
Table 1 Functions of different pollutants on soil enzyme activities

污染类型	土壤酶	影响	文献
农业污染物	化肥	酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶、脱氢酶、芳基硫酸酯酶、荧光素水解酶、组氨酸酶	抑制 [8]、[16–19]、[21]
		$\beta$ -葡糖苷酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脱氢酶、转化酶、 $\beta$ -半乳糖苷酶、蛋白酶	促进 [15]、[19–22]
	杀虫剂	脱氢酶、磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶	抑制 [29–34]、[36–38]、[42]
		荧光素水解酶、脱氢酶、芳基硫酸酯酶	促进 [33]、[37–41]、[43]
	除草剂	脱氢酶、转化酶、磷酸酶、过氧化氢酶、土壤脲酶、 $\beta$ -葡糖苷酶	抑制 [43]、[45–48]
杀菌剂	转化酶、脲酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、脱氢酶	抑制 [49–53]	
工业污染物	污水污泥	$\beta$ -葡糖苷酶、 $\beta$ -乙酰氨基葡萄糖苷酶、蛋白酶、磷酸酶、脱氢酶、土壤脲酶	抑制 [57–58]、[60–61]
		转化酶、脱氢酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶	促进 [54]、[56]、[59–61]
	城市固体垃圾	脲酶、纤维素酶	抑制 [63]
		过氧化氢酶、脱氢酶、碱性磷酸酶、 $\beta$ -葡糖苷酶、硝酸还原酶、过氧化物酶	促进 [62]、[64–66]
	重金属	L-谷氨酰胺酶、 $\beta$ -葡糖苷酶、纤维素酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶、转化酶、蛋白酶、L-天冬酰胺酶、脲酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、硫酸酯酶、芳基硫酸酯酶	抑制 [72–81]
	过氧化氢酶、磷酸酶、土壤脲酶、转化酶	促进 [72]、[74]、[82–83]	

#### 参考文献：

- [1] 陈怀满主编. 环境土壤学. 1 版[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1
- [2] Nannipieri P, Ceccanti B, Grego S. Ecological significance of biological activity in soil[A] // Bollag JM, Stotzky G. Soil Biochemistry[M]. New York, Basel: Marcel Dekker, 1990: 293–355
- [3] Yakovchenko VI, Sikora LJ, Rauffman DD. A biologically based indicator of soil quality[J]. Biology and Fertility of Soils, 1996, 21: 245–251
- [4] Visser S, Parkinson D. Soil biological criteria as indicators of soil quality: Soil microorganisms[J]. American Journal of Alternative Agriculture, 1992, 7: 33–37
- [5] Ayten K, Sema CC, Oguz CT, Ridvan K. Soil enzymes as indication of soil quality[J]. Soil Biology, Soil Enzymology, 2011, 22(1): 119–148
- [6] 周礼恺主编. 土壤酶学. 1 版[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 116–206
- [7] Dick WA, Tabatabai MA. Significance and potential uses of soil enzymes[A]// Meeting FB. Soil Microbial Ecology[M]. New York, Basel, Hong K: Marcel Decker, 1992: 95–127
- [8] Dick RP. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health[A]//Pnkrst C, Doube BM, Gupta VVSR. Biological Indicators of Soil Health[M]. Wallingford, Oxon, UK: CAB Internation, 1997: 121–156
- [9] Anna KB, Richard PD. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology and Biochemmistry, 1999, 31: 1 471–1 479
- [10] Gianfreda L, Rao MA, Piotrowska A, Palumbo G, Colombo C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: Intensive agricultural practices and organic pollution[J]. Science of Total Environment, 2005, 341: 265–279
- [11] Zhang YL, Dai JL, Wang RQ, Zhang J. Effects of long-term sewage irrigation on agricultural soil microbial structural and functional characterizations in Shandong, China[J]. European Journal of Soil Biology, 2008, 44: 84–91
- [12] Fernandes SAP, Bettiol W, Cerri CC. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity[J]. Applied Soil Ecology, 2005, 30: 65–77
- [13] Bastida F, Kandeler E, Hernandez T, Garcia C. Long-term effect of municipal solid waste amendment on microbial abundance and humus-associated enzyme activities under semiarid conditions[J]. Microbial Ecology, 2008, 55: 651–661
- [14] Bhattacharya P, Tripathy S, Chakrabarti K, Chakraborty A, Banik P. Fractionation and bioavailability of metals and their impacts on microbial properties in sewage irrigated soil[J]. Chemosphere, 2008, 72: 543–550
- [15] Ajwa HA, Dell CJ, Rice CW. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tall grass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 32: 169–177
- [16] 钱海燕, 杨滨娟, 黄国勤, 严玉平, 樊哲文, 方豫. 秸秆还田配施化肥及微生物菌剂对水田土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(3): 440–445
- [17] 李晨华, 贾仲君, 唐立松, 吴宇澄, 李彦. 不同施肥模式对绿洲农田土壤微生物群落丰度与酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 567–574
- [18] 林天, 何园球, 李成亮. 红壤旱地中土壤酶对长期施肥

- 的响应[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 682–686
- [19] Graham MH, Haynes RJ. Organic matter accumulation and fertilizer-induced acidification interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long-term sugarcane management experiment[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2005, 41: 249–256
- [20] Acosta-Martinez V, Reicher Z, Bischoff M, Turco RF. The role of tree leaf mulch and nitrogen fertilizer on turfgrass soil quality[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29: 55–61
- [21] 柳燕兰, 宋尚有, 郝明德. 长期定位施肥对黄绵土酶活性及土壤养分状况的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 798–803
- [22] Russo VM, Biles CL. Fertilizer rate and  $\beta$ -galactosidase and peroxidase activity in pepper fruit at different stages and years of harvest[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2003, 58: 231–239
- [23] 王百慧, 焦浩, 刘宝林, 田宇, 郑景瑶, 岳中辉. 土壤酶对农药降解作用机制的研究进展[J]. 中国农学通报, 2012(32): 253–257
- [24] Cervelli S, Nannipieri P, Sequi P. Interactions between agrochemicals and soil enzymes[A]// Burns RG. *Soil Enzymes*[M]. New York: Academic Press, 1978: 251–293
- [25] Gianfreda L, Rao MA. Interactions between xenobiotics and microbial and enzymatic soil activities[J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2008, 38: 269–310
- [26] Johnsen K, Jacobsen CS, Torsvik V, Sørensen J. Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soil—A review[J]. *Biology and Fertility of Soil*, 2001, 36: 443–453
- [27] Sannino F, Gianfreda L. Pesticide influence on soil enzymatic activities[J]. *Chemosphere*, 2001, 45: 417–425
- [28] Speri TW, August DJ, Feltham CW. Assessment of the feasibility of using CCA (copper, chromium and arsenic)-treated and boric acid-treated sawdust as soil amendments[J]. *Plant and Soil*, 1992, 142: 249–258
- [29] Beulke S, Malkomes HP. Effects of the herbicides metazachlor and dinoterb on the soil microflora and the degradation and sorption of metazachlor under different environmental conditions[J]. *Biology and Fertility of Soil*, 2001, 33: 467–471
- [30] Kalam A, Tah J, Mukherjee AK. Pesticide effects on microbial population and soil enzyme activities during vermicomposting of agricultural waste[J]. *Journal of Applied Environmental and Biology*, 2004, 25: 201–208
- [31] Yao XH, Min H, Lu ZH, Yuan HP. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42: 120–126
- [32] Jastrzebska E. The effect of chlorpyrifos and teflubenzuron on the enzymatic activity of soil[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2011, 20: 903–910
- [33] Surya KS, Sharma J, Dureja P, Singh S, Lata. Influence of endosulfan on microbial biomass and soil enzymatic activities of a tropical Alfisol[J]. *Bull of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, 84: 351–356
- [34] Defo MA, Njine T, Nola M, Beboua FS. Microcosm study of the long term effect of endosulfan on enzyme and microbial activities on two agricultural soils of Yaounde-Cameroon[J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2011, 6: 2 039–2 050
- [35] Rain MS, Lakshmi KV, Devi PS. Impact of chlorpyrifos on soil enzyme activities in agriculture soil[J]. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Science*, 2008, 10: 295–300
- [36] Madhuri RJ, Rangaswamy V. Influence of selected insecticides on phosphatase activity in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) soil[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2002, 23: 393–397
- [37] Pandey S, Singh DK. Soil dehydrogenase, phosphomonoesterase and arginine deaminase activities in an insecticide treated groundnut (*Arachis hypogaea* L.) field[J]. *Chemosphere*, 2006, 63: 869–880
- [38] Yao X, Min H, Lu Z. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42: 120–126
- [39] Perucci P, Dumontet S, Bufo SA, Mazzatura A, Casucci C. Effects of organic amendment and herbicide treatment on soil microbial biomass[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 32: 17–23
- [40] Dutta M, Sardar D, Pal R, Kole RK. Effect of chlorpyrifos on microbial biomass and activities in tropical clay loam soil[J]. *Environmental Monitoring Assessment*, 2010, 160: 385–391
- [41] Gundi VAKB, Narashima G, Reddy BR. Interaction effects of insecticides on microbial populations and dehydrogenase activity in a black clay soil[J]. *Journal of Environmental Science and Health B*, 2005, 40(2): 269–283
- [42] Fragoeiro S, Magan N. Impact of trametes versicolor and Phanerochaete chrysosporium on differential breakdown of pesticide mixtures in soil microcosms at two water potentials and associated respiration and enzyme activity[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2008, 62: 376–383
- [43] Singh J, Singh DK. Dehydrogenase and phosphomonoesterase activities in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) field after diazinon, imidacloprid and lindane treatments[J]. *Chemosphere*, 2005, 60: 32–42
- [44] 呼蕾, 和文祥, 王旭东, 郑粉莉. 草甘膦的土壤酶效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4): 680–685
- [45] Cai X, Sheng G, Liu W. Degradation and detoxification of acetochlor in soils treated by organic and thiosulfate amendments[J]. *Chemosphere*, 2007, 66: 286–292
- [46] 黄智, 李时银, 刘新会. 苯噻草胺对土壤中过氧化氢酶活性及呼吸作用的影响[J]. 环境化学, 2002, 21(05): 481–484
- [47] Dzantor EK, Felsot AS. Microbial responses to large concentrations of herbicides in soil[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1991, 10: 649–655
- [48] Voets JP, Meerschman P, Verstraete W. Soil microbiological and biochemical effects of long-term atrazine applications[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1974, 6: 149–152

- [49] 闫颖, 袁星, 樊宏娜. 五种农药对土壤转化酶活性的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(05): 588-591
- [50] Qian H, Hu B, Wang Z, Xi X, Tao H. Effect of validamycin on some enzymatic activities in soil[J]. Environmental Monitoring Assessment, 2007, 125: 1-8
- [51] Yun LY, Shan M, Fang H, Xiao W, Xiao QC. Responses of soil microorganisms and enzymes to repeated applications of chlorothalonil[J]. Journal Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54: 10 070-10 075
- [52] Monkiedje A, Spiteller M. Effects of the phenylamide fungicides, mefenoxam and C on the microbiological properties of a sandy loam and a sandy clay soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35: 393-398
- [53] Bello D, Trasar-Cepeda C, Leiros MC, Gil-Sotres F. Evaluation of various tests for the diagnosis of soil contamination by 2,4,5-trichlorophenol (2,4,5-TCP) [J]. Environmental Pollution, 2008, 156: 611-617
- [54] Antolin MC, Pascual I, Garcia C, Polo A, Sanchez-Diaz M. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions[J]. Field Crop Research, 2005, 94: 224-237
- [55] Saviozzi A, Biasci A, Riffaldi F, Levi-Minzi R. Long-term effects of farmyard manure and sewage sludge or some soil biochemical characteristics[J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 30: 100-106
- [56] Kizilkaya R, Askin T, Bayrakli B, Saglam M. Microbial characteristics of soils contaminated with heavy metals[J]. European Journal of Soil Biology, 2004, 40: 95-102
- [57] Filip Z, Karazawa S, Berthelin J. Characterization of effects of a long-term wastewater irrigation on soil quality by microbiological and biochemical parameters[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 1999, 162: 409-413
- [58] Reddy GB, 李季. 污泥处理后根际和非根际土壤中的酶活性[J]. 土壤学进展, 1990(3): 34-35
- [59] Kanan K, Oblisami G. Influence of paper mill effluent irrigation on soil enzyme activities[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1990, 22: 923-926
- [60] 李慧, 陈冠雄, 杨涛, 张成刚. 沈抚灌区含油污水灌溉对稻田土壤微生物种群及土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1 355-1 359
- [61] 何艺, 谢志成, 朱琳. 不同类型水浇灌对已污染土壤酶及微生物量碳的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008(6): 2 227-2 232
- [62] Garcia Gil JC, Plaza C, Solwe rovira P, Polo P. Long term effect of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32: 1 907-1 913
- [63] 李俊, 舒为群, 陈济安, 伍亚舟. 垃圾填埋场土壤酶活性与化学性质和微生物数量的关系研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1 043-1 047
- [64] Felipe B, Ellen K, Teresa H, Carlos Garcia. Long-term effect of microbial abundance and humus-associated enzyme activities under semiarid conditions[J]. MedSci Entry for Microbial Ecology, 2008, 55: 651-661
- [65] Carmine C, Maddalena C, Rosaria M, Patrizia R, Pacifico R. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity[J]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34: 311-318
- [66] Claire SW, Sabine H, Enrique B. Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost[J]. Biology and Fertility of Soils, 1995, 20: 226-236
- [67] Eivazi F, Tabatabai MA. Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1990, 22: 891-897
- [68] Marzadori C. Effects of lead pollution on different soil enzyme activities[J]. Biology and Fertility of Soils, 1996, 22: 53-58
- [69] Aoyama M, Nagumo T. Factors affecting microbial biomass and dehydrogenase activity in apple orchard soils with heavy metal accumulation[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1996, 42: 821-831
- [70] 高秀丽, 邢维芹, 冉永亮, 周卫东, 李立平. 重金属积累对土壤酶活性的影响[J]. 生态毒理学学报, 2012, 7(3): 331-336
- [71] Parkhurst CE. Biological Indicators of Soil Health[M]. United Kingdom. Oxon: CAB Internationa, 1997
- [72] Deng SP, Tabatabai MA. Cellulase activity of soil Effect of trace elements[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27: 977-979
- [73] 杨志新, 刘树庆. 重金属 Cd、Zn、Pb 复合污染对土壤酶活性的影响[J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 60-63
- [74] 龙健, 黄昌勇, 滕应, 姚槐应. 矿区重金属污染对土壤环境质量微生物学指标的影响[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 60-63
- [75] 罗虹, 刘鹏, 宋小敏. 重金属镉、铜、镍复合污染对土壤酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 94-96, 121
- [76] Frankenberger WT Tr, Tabatabai MA. L-asparaginase activity of soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 1991, 11: 6-20
- [77] Frankenberger WT Jr, Tabatabai MA. Amidase activity in soils: IV. Effects of trace elements and pesticides[J]. Soil Science Society of America Journal, 1981, 45: 1 120-1 124
- [78] Frankenberger WT Jr, Tabatabai MA. Factors affecting L-asparaginase activity in soils[J]. Biology and Fertility of Soils, 1991, 11: 1-5
- [79] Bardgett RD, Speir TW, Ross DJ, Yeates GW, Kettles HA. Impact of pasture contamination by copper, chromium and arsenic timber preservative on soil microbial properties and nematodes[J]. Biology and Fertility of Soils, 1994, 18: 71-79
- [80] Al-Khafaji AA, Tabatabai MA. Effects of trace elements on arylsulfatase activity in soils[J]. Soil Science, 1979, 127: 129-133
- [81] Füsün G, Esin E. The effects of heavy metal pollution on enzyme activities and basal soil respiration of roadside soils[J]. Environmental Monitoring Assessment, 2008, 145: 127-133
- [82] Gao Y, Zhou P, Mao L, Liang M, Zhi YE, SHI WJ. Assessment of effects of heavy metals combined pollution on soil enzyme activities and microbial community structure: Modified ecological dose response model and PCR-RAPD[J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 60(3): 603-612
- [83] Mikanova O. Effects of heavy metals on some soil biological parameters[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2006, 88(1-3): 220-223

## Soil Enzyme Indication on Soil Environmental Quality: A Review

BIAN Xue-lian, YUE Zhong-hui\*, JIAO Hao, WANG Hui-yi, SUI Hai-xia, ZHAO Wen-lei

*(College of Life Science and Technology, Harbin Normal University/Key Laboratory of Heilongjiang Province, Harbin Plant Biology Colleges and Universities, Harbin 150025, China)*

**Abstract:** Soil environmental quality is an ability of soil to accommodate, absorb and degradation a variety of environmental pollution. Various pollutants (agriculture, industry) into the soil have a certain impact on the soil environmental quality. The soil enzyme, as an important part of the soil, is the specific biological catalysts of biochemical reactions and often used as an indicator of soil environmental quality due to its rapid response to soil environmental quality. This paper summarized soil enzymes as indication of chemical fertilizers, pesticides, sewage sludge, municipal waste and heavy metals in order to provide a theoretical basis of contaminated soil remediation.

**Key words:** Soil enzymes; Soil environmental quality; Review