

土壤酶活性影响因子研究进展^{*}

万忠梅, 吴景贵

(吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林 长春 130118)

[摘 要] 对国内外土壤酶活性影响因素的研究进行了综述, 总结了土壤微生物、团聚体、农药、重金属和有机物料等对土壤酶活性的影响, 并对土壤纳米粒子与土壤酶活性关系的研究发展前景进行了展望。

[关键词] 土壤酶活性; 微生物; 团聚体; 重金属; 有机物料

[中图分类号] S154.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)06-0087-06

酶是土壤组分中最活跃的有机成分之一, 土壤酶和土壤微生物一起共同推动土壤的代谢过程^[1]。土壤酶来源于土壤中动物、植物和微生物细胞的分泌物及其残体的分解物, 其中微生物细胞是其主要来源^[1, 2]。土壤中广泛存在的酶类是氧化还原酶类和水解酶类, 其对土壤肥力起重要作用。土壤中有有机、无机营养物质的转化速度, 主要取决于转化酶、蛋白酶、磷酸酶、脲酶及其他水解酶类和多酚氧化酶、硫酸盐还原酶等氧化还原酶类的酶促作用^[2]。土壤酶绝大多数为吸附态, 极少数为游离态, 主要以物理和化学的结合形式吸附在土壤有机质和矿质颗粒上, 或与腐殖物质络合共存^[3]。

土壤酶活性反映了土壤中各种生物化学过程的强度和方向^[4], 其活性是土壤肥力评价的重要指标之一, 同时也是土壤自净能力^[1]评价的一个重要指标。土壤酶的活性与土壤理化特性、肥力状况和农业措施有着显著的相关性^[5]。因此, 研究土壤酶活性的影响因素, 提高土壤酶活性, 对改善土壤生态环境, 提高土壤肥力有重要意义。本文对土壤酶活性影响因子的研究进展进行了综述, 以期对土壤酶活性的深入研究和土壤培肥理论及其应用提供研究思路和方法。

1 土壤微生物

在土壤酶学研究中, 一直关注的是土壤贮积酶, 即存在于无微生物增殖土壤中的酶^[1], 其理论依据是: 土壤生物释出的酶极易钝化和酶解, 而贮积酶活

性则能保持较长时间。但是, 越来越多的研究^[6, 7]表明, 在测得的土壤酶活性值中, 活体微生物对土壤酶的影响相当大。有报道^[8]指出, 脲酶、磷酸酶和纤维素酶的活性与微生物量有较密切的关系, 3种酶的活性随着生物量的增加而不断增强, 二者变化基本保持同步。脱氢酶活性与土壤微生物的关系不明显, 其变化规律与生物量相比呈现不规则性。而蔗糖酶活性与土壤微生物数量、土壤呼吸强度有直接依赖性^[1]。Naseby^[9]通过向根际接种遗传改性微生物, 使根际土壤的碱性磷酸酶、磷酸二酯酶及芳基硫酸酯酶的活性增强, 同时使 β 糖苷酶、 β 半乳糖苷酶及N-乙酰基氨基葡萄糖酶的活性减弱, 该结果说明, 遗传改性微生物生成的酶, 对土壤的碳、磷转化具有重要作用。还有研究^[10]表明, 玉米生长的中前期, 土壤微生物量碳、氮与土壤过氧化氢、蔗糖酶、脲酶、蛋白酶活性及速效养分的相关性均达到显著或极显著水平。鉴于酶与微生物之间显著的相关性, Mawdsley等^[11]和Naseby等^[12]曾通过测定胞表酶的活性来研究遗传改性微生物对土壤代谢的影响。对VA菌根真菌改善植物磷营养的机理研究^[13~15]表明, VA真菌分泌的磷酸酶能矿化土壤有机磷, 同时, 由VA真菌分泌的谷酰胺合成酶和谷酰胺脱氢酶酶促的对氨态氮和硝态氮的同化, 也改善了植物的磷营养^[16]。

因此, 对不同土壤微生物与不同土壤酶关系的研究, 将是土壤酶未来研究的热点。其重要意义在于, 土壤微生物的生物多样性决定了其功能的多样性, 而土壤微生物作为媒介, 由其生成和释出的酶催

^{*} [收稿日期] 2004-09-10

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40001012); 吉林省自然科学基金项目(吉科合字第20000564号); 吉林省杰出青年科学基金项目(204-56)

[作者简介] 万忠梅(1979-), 女, 吉林长春人, 在读硕士, 主要从事土壤化学及纳米粒子与肥力研究。E-mail: wanzhongmei@hotmail.com

[通讯作者] 吴景贵(1965-), 男, 吉林省舒兰县人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事土壤化学及土壤有机培肥研究。

E-mail: wujinggui11111@163.com

化的诸多生物化学过程,是土壤功能多样性的前提和基础。

2 土壤水气热条件

土壤水分、空气和热量状况对土壤酶活性的影响是明显的,一方面,其与土壤微生物的活性和类型有显著的相关性,因此,必然对土壤酶的活性产生巨大影响。另一方面,不同水分条件、空气组成和水分状况,也会直接影响土壤酶活性的存在状态与活性强弱。

一般情况下^[1],土壤湿度较大时,酶活性较高,但土壤过湿时,酶活性减弱。Birch^[3]研究了具有连续雨季和旱季地区的土壤酶活性,他指出当旱季结束雨季开始时,土壤酶活性显著增强^[3]。土壤含水量减少时,酶活性也减弱。

土壤温度直接影响释放酶类的微生物种群及数量,因此,土壤温度是影响酶活性的因素之一^[1]。有研究^[17,18]表明,当温度由 10 上升到 60 或 70 时,土壤酶活性显著增加;但随着温度的进一步升高,脲酶迅速钝化;在 150 下加热 24 h 或 115 下加热 15 h,土壤酶会完全失活。

因为土壤 CO₂ 和 O₂ 与土壤微生物的活动状态有关,所以土壤空气对土壤酶活性有直接影响。Overrein (1963)^[1]指出,氧与脲酶活性有关;除半纤维素酶外,蔗糖酶、淀粉酶、纤维素酶、脲酶、磷酸酶和硫酸酶同土壤氧的摄取量均呈正相关。

由此可见,土壤水气热对土壤酶活性的影响是非常显著的,如同对微生物的研究要注意水气热条件的合理设置一样,对某些土壤酶的研究,也必须考虑到其所适应的最佳水气热条件的控制和选择。尤其对污染土壤酶的修复研究及有机肥料的生化处理与制造的研究,更要强调水气热条件的分析设定。

3 土壤酸碱性

土壤酸碱性直接影响着土壤酶参与生化反应的速度。有些酶促反应对 pH 值变化很敏感,甚至只能在较窄的 pH 范围内进行^[1]。和文祥等^[18]、Frankenberger 等^[19]研究发现,土壤脲酶的两个最适 pH 值为 pH=6.5~7.0 或 pH=8.8~9.0,土壤磷酸酶的最适 pH 值为 4.0~5.0,6.0~7.0,8.0~10.0,分别称为酸性、中性、碱性磷酸酶。当 pH 在 5.0 以下时,过氧化氢酶和脱氢酶的活性几乎完全丧失,而转化酶和脲酶受酸度的影响较小,但与土壤腐殖质含量呈正相关^[20]。另有研究^[21]表明,pH 对脲酶的巯基

氨基、羧基等组成部分所处状态及蛋白质构型(三级结构)的影响,也会导致酶活性的改变。徐冬梅等^[22]研究表明,低酸度先对脲酶、中性磷酸酶产生一定的激活效应,进而转化为抑制,而[H⁺]离子浓度为 0~55 mmol/kg 时,外源酸对转化酶与酸性磷酸酶的活性表现为明显的激活效应。

4 土壤有机质、氮、磷及微量元素

土壤中有有机质含量只有百分之零点几至百分之几,虽然数量比率不高,但其对土壤理化性质影响很大。土壤酶可以吸附在有机物质上,一系列的土壤酶,如脲酶、二酚氧化酶、蛋白酶以及水解酶等,都曾以“酶-腐殖物质复合物”的形式从土壤中提取出来,这些提取物中的酶仍可保留有活性,在某些情况下,还有较强的抗分解能力和热稳定性^[23]。一般而言,土壤全氮、全磷含量与有机质含量是成比例的,所以土壤 N、P 含量与土壤酶活性有关^[1]。土壤有机质、全氮、全磷通过直接和间接效应成为影响脲酶和酸性磷酸酶、转化酶活性的主要因素^[24]。酶的活性与有机质分布剖面有关,而且随剖面加深而降低^[25]。土壤转化酶、蛋白酶、磷酸酶和脲酶活性与土壤有机质(有机碳)呈极显著相关($P < 0.01$)或显著相关($P < 0.05$),与全氮显著相关;过氧化氢酶、转化酶、蛋白酶、磷酸酶、脲酶与速效氮、速效磷较显著相关、显著相关或极显著相关;脲酶与全磷呈极显著相关^[26]。杨远平^[27]对毕节地区土壤磷酸酶活性的研究也表明,土壤磷酸酶活性与全氮、有机质、速效磷、水解氮等关系密切。樊军等^[28]研究表明,土壤脲酶、碱性磷酸酶、蛋白酶活性随土壤有机碳含量的增加而增加,蔗糖酶、过氧化氢酶活性与有机碳之间的关系因施肥种类及种植方式的不同而不同。汪远品等^[29]较为系统全面地测定了贵州省主要耕作土壤的脲酶活性,其回归分析表明,土壤脲酶活性主要受土壤有机质及氮、磷、钾等因素的影响,其中土壤基础铵量对耕作土壤脲酶活性影响最大。微量元素是植物、微生物和酶的激活剂和抑制剂,土壤的微量元素含量可能是决定土壤酶活性的一个重要生态学因素^[30]。微量元素对土壤酶活性的影响,取决于土壤的性质及不同酶类对微量元素的专有特性,对某些酶起激活作用的微量元素,对另一种酶则可能起抑制作用^[31,32]。而且,同一微量元素的含量不同时,既可以起激活酶的作用,也可以起到抑制酶的作用^[30]。李跃林等^[32]研究表明,锌和锰对土壤蛋白酶活性影响的正效应最大,即促进作用较大。锌在一定

程度上对脲酶和过氧化氢酶有负效应,即有一定的抑制作用,而锰对其有正效应,即促进作用。

5 土壤团聚体和粘粒

土壤团聚体是反映土壤理化性质和养分状况的一个指标,是由微小矿物颗粒复合而成的稳定结构,一般可分为大团聚体($> 250 \mu\text{m}$)和微团聚体($50\sim 250 \mu\text{m}$),直径为 $0.5\sim 3\text{mm}$ 的团聚体是决定土壤肥力水平的重要因素之一^[33]。不同粒径团聚体的酶活性不一样,小团聚体的酶活性要比大团聚体中的高^[3]。团聚体的稳定性也与酶活性有关,如脲酶活性与土壤团聚体的稳定性及土壤容重呈显著负相关,转化酶活性与土壤团聚体的稳定性呈显著的正相关^[34]。周礼恺等^[1]提出,黑土、棕壤脲酶活性主要集聚在微团聚体上,相当于土壤粒级的粘粒部分。随粒径增大,脲酶活性有下降趋势。糖酶主要吸附在粉砂粒上^[3]。粘粒和粉砂对酶吸附量的多少,与这些土粒的矿物组成有关。

粘粒由于具有颗粒细、表面积大及某些矿物结构的特定特征,而使其成为土壤中最活跃的矿物组分。粘粒是土壤具有许多物理、化学性质的根源^[35],其可与土壤腐殖质共同组成复合胶体。土壤酶只有一小部分存在于土壤溶液中,其大部分被土壤粘粒、腐殖质等物质吸附,其可通过阳离子交换反应的方式与粘粒矿物结合^[23]。粘粒对酶的吸附量受酸度、温度等环境条件影响,土壤pH值越低(低于酶蛋白的等电点),粘粒吸附的酶越多^[23]。由于脲酶为一弱酸性酶,所以脲酶在弱酸性介质中的吸附量大于弱碱性介质;在 $20\sim 60^\circ\text{C}$ 时,各土壤粘粒的脲酶吸附量随温度升高而降低^[36]。土壤中性磷酸酶和蛋白酶活性与脲酶的分布规律一致,主要吸附在土壤胶粒和粘粒部分;土壤硫酸酶活性与粘粒总表面积有关;磷酸酶活性绝大部分为粘粒吸附^[1]。不同土壤粘粒对酶吸附量也不同,冯贵颖等^[36]研究表明,土壤粘粒对脲酶均有吸附,且吸附数量不尽相同,同一土壤粘粒,表现为原样土壤粘粒的吸附量大于去有机质土壤粘粒;不同土壤粘粒对酶的吸附量,表现为原样壤土 $>$ 原样黑垆土 $>$ 原样黄绵土 $>$ 去有机质黑垆土 $>$ 去有机质黄绵土 $>$ 原样黄褐土 $>$ 去有机质褐土 $>$ 去有机质黄褐土。

6 农药及重金属污染物

6.1 农药

近年来,化学农药在农业上的广泛应用,对农业

生态及人类生存环境造成了严重污染。农药施入土壤,对土壤酶活性也产生了强大影响。沈标等^[37]研究表明,农药中常含有的氯苯对脲酶活性具有轻微刺激作用;氯苯质量浓度在 $100, 200, 300 \text{ mg/kg}$ 时均可使脱氢酶活性提高,但对脱氢酶活性的刺激促进作用随氯苯质量浓度的递增而下降;当氯苯质量浓度为 200 mg/kg 时,其对蔗糖酶活性有较轻的抑制作用。农药“六六六”有降低自然土壤中过氧化氢酶活性的作用^[38]。和文祥等^[39]研究表明,杀虫双对土壤脲酶、多酚氧化酶和过氧化氢酶具有明显的抑制作用,在低浓度时抑制幅度较大,高浓度时抑制幅度较小;和文祥^[40]还指出,杀虫双对碱性和酸性磷酸酶活性的强烈抑制,达极显著负相关,而中性磷酸酶对杀虫双反应较为迟钝。

6.2 重金属

重金属随工业三废的排放以及肥料的施用进入土壤,由于其的难降解性和难移动性而对土壤生态系统产生破坏,从而影响土壤酶活性。但土壤酶活性的降低主要是由于酶合成作用的下降以及由此引起的微生物生长受到抑制,而不是重金属对酶的直接抑制^[41]。有研究^[42]表明,Cd, Zn, Pb共存时,其对脲酶的影响表现出协同抑制负效应;对过氧化氢酶却表现出一定的拮抗作用或屏蔽作用,尤其Pb浓度较高时,屏蔽作用较为明显;对转化酶和碱性磷酸酶的影响随Cd浓度增加而降低,其中以Cd的抑制作用最为显著。和文祥等^[43]研究表明,不同状态(溶液态、粘粒态和土壤态)脲酶对Hg, Cd的反应表现出类似的规律性变化,即Hg, Cd抑制脲酶活性,其中Hg+ Cd复合污染的影响幅度最大, Hg的生态毒性最强。汞的加入降低了土壤脲酶活性,且随汞浓度增加,土壤脲酶活性减小。这主要是因为汞与酶活性部位——巯基和含咪唑基的配位体结合形成了非常稳定的化学键,因而对脲酶具有较强的抑制作用^[44]。不同pH值下,汞、镉对脲酶活性的抑制作用有明显差别, pH=6.0时,汞、镉对土壤脲酶活性抑制幅度最大, pH=7.5时则相反^[45]。

7 有机物料及培肥方式

不同培肥方式对土壤酶活性影响不同,有机肥料具有较强的酶活性^[34, 46~48]。与土壤有机质相比,土壤酶活性能够更迅速地反映管理与培肥措施对土壤肥力的影响^[49]。和文祥等^[50]对肥料长期定位试验的研究发现,培肥模式中厩肥处理可显著提高土壤总体酶活性;施用厩肥酶活性增幅最高,化肥则较

小,无肥反而降低。有研究^[51]表明,以牲畜粪作有机肥时,施用猪粪的土壤脲酶活性较高。而绿肥能提高脱氢酶的活性^[3]。另有报道^[34, 52, 53]指出,在黑钙土中分别添加 5% 的草木樨、玉米秸秆、麦秆 3 种有机物料,对蛋白酶活性的影响表现为玉米秸秆>麦秆>草木樨;对脲酶活性和磷酸酶活性的影响表现为草木樨>玉米秸秆>麦秆。对长期不同施肥水平,冬小麦连作旱地农田土壤脲酶与碱性磷酸酶动力学参数的测定^[54]结果表明,动力学参数(K_m , V_{max} , V_{max}/K_m)从几个方面反映了不同施肥条件下土壤酶活性的特征及不同酶之间的差别,有机肥对脲酶的 V_{max} , V_{max}/K_m 及碱性磷酸酶的 K_m , V_{max} 影响最大^[54]。另外,化肥的施用与对照相比也提高了土壤酶活性,但幅度较小。而施用化肥提高土壤酶活性的原因,是由于化肥能促进作物根系代谢,使根系分泌物增多,微生物繁殖加快,从而有利于土壤酶活性的提高^[55]。

8 结 语

由上述分析可见,土壤酶活性的影响因素非常复杂,土壤中微生物种类、水气热状况、酸碱度、结构组成、养分丰缺、污染程度及培肥方式等都显著地影响着土壤酶活性。由于土壤酶活性是评价土壤肥力

的重要指标之一,所以有关土壤生物活性影响因素的研究将一直是土壤培肥理论 and 应用研究的重要组成部分。从发展趋势看,未来如下几个方面的研究可能具有重要的意义:第一,通过对不同土壤酶活性与上述相应影响因素的相关性及影响程度的研究,筛选出反映不同土壤肥力因素变化的特征酶,最终确立土壤肥力诊断的酶学标准。第二,对土壤微生物酶与土壤贮积酶间的关系及其在土壤有机培肥和土壤污染修复中的作用进行研究,相关进展可能为有机培肥机理研究和土壤酶修复研究奠定理论基础。第三,土壤纳米粒子与土壤酶活性的关系研究,将是今后土壤生物学活性影响因素研究的一个发展方向。纳米粒子具有不同于宏观物质和微观粒子的物理化学特性^[56],如量子尺寸效应、小尺寸效应、宏观量子隧道效应、表面效应等。土壤中含无机纳米粒子(1~100 nm 范围内的土粒),其既可以以游离态存在,又可以与土壤中其他成分如腐殖质形成组装体^[57]。虽然纳米粒子的数量相对较少,但作为土壤的组分之一,因其所具有的特性,土壤中的无机纳米粒子必然会影响到土壤中微生物和酶的活性,进而对土壤肥力产生影响,对其进行研究必将对土壤酶活性的分析评价有十分积极的作用。

[参考文献]

- [1] 关松荫,张德生,张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986
- [2] 严昶升,周礼恺,张德生. 土壤肥力研究法[M]. 北京:农业出版社,1988
- [3] 周礼恺. 土壤酶的活性[J]. 土壤学进展,1980,8(4): 9- 15
- [4] 周礼恺,张志明,陈恩凤. 黑土的酶活性[J]. 土壤学报,1981,18(2): 158- 165
- [5] 陈恩凤. 土壤酶的生物学意义(代序)[A]. 中国科学院林业研究所,中国科学院土壤肥料研究所,吉林农业大学. 全国土壤酶学研究文集[C]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1988. 2- 5
- [6] Sparling G P. The substrate-induced respiration[A]. A lef K, Nannipieri P, ed Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry[C]. London: Academic Press, 1995. 97- 104
- [7] Grierson P F, Adams M A. Plant species affect acid phosphatase, ergosterol and microbial P in a jarrah (*Eucalyptus marginata* Donn ex Sm.) forest in south-western Australia[J]. Soil Biol Biochem, 2000, 32: 1817- 1828
- [8] 郭继勋,姜世成,林海俊,等. 不同草原植被碱化草甸土的酶活性[J]. 应用生态学报,1997,8(4): 412- 416
- [9] Naseby D C, Lynch J M. Establishment and impact of *Pseudomonas fluorescens* genetically modified for lactose utilization and kanamycin resistance in the rhizosphere of pea[J]. J Appl Microbiol, 1998, 84: 169- 175
- [10] 沈 宏,曹志洪,徐本生. 玉米生长期间土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究[J]. 应用生态学报,1999,10(4): 471- 474
- [11] Mawdsley J L, Burns R G. Inoculation of plants with *Flavobacterium* P25 results in altered rhizosphere enzyme activities[J]. Soil Biol Biochem, 1994, 26: 871- 882
- [12] Naseby D C, Lynch J M. Rhizosphere soil enzymes as indicators of perturbations caused by enzyme substrate addition and inoculation of a genetically modified strain of *Pseudomonas fluorescens* as wheat seeds[J]. Soil Biol Biochem, 1997, 29: 1353- 1362
- [13] Dodd C, Burton C C, Burns R G, et al. Phosphatase activity associated with the roots and the rhizosphere of plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi[J]. New Phytol, 1987, 107: 163- 172
- [14] Tarafdar J C, Marschner H. Phosphatase activity in the rhizosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus[J]. Soil Biol Biochem, 1994, 26: 387- 395

- [15] Tarafdar J C. Visual demonstration of *in vivo* acid phosphatase activity of VA mycorrhizal fungi[J]. Curr Sci, 1995, 69: 541- 543
- [16] Smith S E, John S B T, Smith F A, et al Activity of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in *Trifolium subterraneum* L. and *Allium cepa* L. Effects of mycorrhizal infection and phosphate nutrition[J]. New Phytol, 1985, 99: 211- 227.
- [17] 林玉锁 土壤对重金属缓冲性能的研究[J]. 环境科学学报, 1995, 15(3): 289- 293
- [18] 和文祥, 朱铭哉, 张一平. 土壤酶与重金属关系的研究现状[J]. 土壤与环境, 2000, 9(2): 139- 142
- [19] Frankenberger J R, Johanson J B, Nelson C O. Urease activity in sewage sludge amended soils[J]. Soil Biol Biochem, 1983, 15: 543- 549
- [20] 梅守荣. 土壤酶活性及其测定[J]. 上海农业科技, 1985, (1): 17- 18
- [21] 许嘉琳, 杨居荣. 陆地生态系统中的重金属[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995
- [22] 徐东梅, 刘广深, 许中坚, 等. 模拟酸雨组成对棉花根际土壤水解酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34 (3): 216- 218
- [23] 黄巧云, 李学垣. 粘土矿物、有机质对酶活性的影响[J]. 土壤学进展, 1995, 23(4): 12- 18
- [24] 刘广深, 徐东梅, 许中坚, 等. 用通径分析法研究土壤水解酶活性与土壤性质的关系[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 756- 762
- [25] 佩奇 A L, 米勒 R H, 基尼 D R, 等. 土壤分析法[M]. 闵九康, 郝心仁, 严慧峻, 等译. 北京: 中国农业科技出版社, 1991
- [26] 李 勇. 原始土壤酶活性与肥力形成实质初探[A]. 陕西土壤学会 论文汇编[C]. 1987. 53- 64
- [27] 杨远平. 毕节地区烟地土壤中磷酸酶活性的研究[J]. 贵州农业科学, 2002, 30(1): 33- 34
- [28] 樊 军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 II 土壤酶活性与土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 146- 150
- [29] 汪远品, 何滕兵. 贵州主要耕作土壤的脲酶活性研究[J]. 热带亚热带土壤学, 1994, 3(4): 226- 232
- [30] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 263- 278
- [31] Kumar V, Singh M. Inhibition of soil urease activity and nitrification with some metallic cations[J]. Aust J Soil Res, 1986, 24(4): 527- 532
- [32] 李跃林, 彭少麟, 李志辉, 等. 桉树人工林地土壤酶活性与微量元素含量的关系[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 345- 348
- [33] 尹瑞玲. 微生物与土壤团聚体[J]. 土壤学进展, 1985, 13(4): 24- 29
- [34] 李东坡, 武志杰, 陈利军. 土壤生物学活性对施入有机肥料的响应 I 土壤酶活性的响应[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 463- 468
- [35] Dixon J B. 土壤中粘粒的作用[J]. 土壤学进展, 1992, 20(3): 33- 35
- [36] 冯贵颖, 朱明哉, 呼世斌. 土壤粘粒吸附脲酶量的影响因子研究[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(4): 48- 52
- [37] 沈 标, 李顺鹏, 赵硕伟, 等. 氯苯、对硝基苯酚对土壤生物活性的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(3): 309- 314
- [38] 逢焕成, 严慧峻, 刘继芳, 等. 土壤有机氯污染的生物修复和土壤酶活性的关系[J]. 土壤肥料, 2002, (1): 30- 33
- [39] 和文祥, 蒋 新, 卞永荣, 等. 杀虫双对土壤酶活性影响的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 13- 17
- [40] 和文祥, 蒋 新, 朱茂旭. 杀虫双对土壤磷酸酶的毒性效应[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(6): 658- 661
- [41] 龚 平, 张铁珩, 李培军. 重金属对土壤微生物的生态效应[J]. 应用生态学报, 1997, 8(2): 218- 224
- [42] 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
- [43] 和文祥, 陈会明, 朱明哉. 汞镉对游离和固定化脲酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 945- 952
- [44] 和文祥, 朱明哉, 张一平. 土壤脲酶与汞关系中的作物效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(2): 68- 72
- [45] 和文祥, 朱明哉, 张一平. pH 对汞镉与土壤脲酶活性关系的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(3): 66- 70
- [46] 关松荫. 有机肥料对土壤中酶活性及氮磷转化的影响[A]. 中国科学院林业土壤研究所, 中国科学院土壤肥料研究所, 吉林农业大学. 全国土壤酶学研究文集[C]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1988. 141- 147.
- [47] 关松荫. 土壤酶活性因子的研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(1): 72- 76
- [48] 姜 岩, 赵兰坡, 周艺敏, 等. 城市垃圾肥农用对土壤生态环境的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1992, (1): 7- 9
- [49] 孙 波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境 III 土壤质量评价的生物指标[J]. 土壤, 1997, 29(5): 225- 234
- [50] 和文祥, 来航线, 武志军. 培肥对土壤酶活性影响的研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(3): 265- 268
- [51] 袁 玲, 杨邦俊, 郑兰君, 等. 长期施肥对土壤酶活性和氮、磷养分影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 300- 306
- [52] Balasubramanian A. Effect of organic manuring on the activities of enzymes hydrolyzing sucrose and urea and on soil aggregation[J]. Plant and Soil, 1972, 37: 319- 328
- [53] Pancholy S K, Rice E L. Soil enzymes in relation to old field succession: amylase, catalase, invertase, dehydrogenase and urease[J]. Soil Sci Soc Amer Proc, 1973, 37: 47- 50
- [54] 樊 军, 郝明德. 旱地农田土壤脲酶与碱性磷酸酶动力学特征[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 35- 37
- [55] 史吉平, 张夫道, 林 葆. 长期施肥对土壤有机质及生物学特性的影响[J]. 土壤肥料, 1998, (3): 7- 11
- [56] 杨闽生, 杨迈之, 余 赫, 等. 纳米粒子的基本性质及光电化学性质[J]. 化学通报, 1997, 60(1): 20- 24
- [57] 王明辉. 土壤中无机纳米微粒的研究[D]. 吉林长春: 吉林农业大学, 2004

Study progress on factors affecting soil enzyme activity

WAN Zhong-mei, WU Jing-gui

(Faculty of Resource and Environment Sciences, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: In this article, the study on factors affecting soil enzyme activity in recent years was reviewed. Several aspects such as microbial, aggregation, heavy metals, organic manure and so on were included. At the same time, the effects of the soil inorganic nanometer particle (SNP) on soil enzyme activity in the future research was forecasted.

Key words: soil enzyme activity; microbial; aggregation; heavy metals; organic manure

(上接第 86 页)

Abstract ID: 1671-9387(2005)06-0084-EA

Effect of different amendments on the release and diffusion of phosphorus from chemical fertilizer

YANG Ying, YANG Xue-qin, GUAN Wen-ling, LIU Jun-ling, WANG Xu-dong

(College of Resource and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this paper, different kinds of amendments such as Zeolite, Humic acid, PAM, Citric acid and Carboxymethyl were used for mixing with phosphate. The release and diffusion of phosphorus in soil were studied by incubation experiment. The results showed that all the amendments could increase the availability of phosphorus from chemical fertilizer in soil. Citric acid could increase the solution and diffusion of phosphorus of chemical fertilizer in the first week by 2.7 times. After 4 weeks incubation, humic acid and PAM could increase the concentration of available phosphorus at the fertilization point and the available P increased by 75% and 68% in outer layer (7-9 cm) compared with the control.

Key words: phosphate; fertilizer amendment; phosphorus diffusion and release