

不同施肥水平对小麦生长期土壤氧化还原酶活性的影响

刘磊¹, 谷洁², 高华², 张社奇¹, 夏雪², 解媛媛¹

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在有机肥和氮肥配施条件下, 设置不同有机肥和氮肥的施肥梯度, 研究了小麦各生育期土壤氧化还原酶活性(包括过氧化氢酶、脱氢酶和多酚氧化酶活性)的动态变化趋势。结果表明, 与单施有机肥或单施氮肥相比, 有机肥和氮肥配施条件下, 土壤过氧化氢酶和脱氢酶活性均有明显提高。在有机肥用量 22 500 kg/hm²、氮肥用量 120 kg/hm² 条件下, 土壤过氧化氢酶和脱氢酶活性均达到最高, 分别为 1.175 0 ml/(g·20 min) 和 15.793 1 ug/(g·d)。但是, 随着肥料的施加, 土壤多酚氧化酶活性降低, 当有机肥用量和氮肥用量达到最大时, 多酚氧化酶活性降至最低。

关键词: 氧化还原酶; 有机肥; 氮肥; 小麦生长期

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0012-05

中图分类号: S141, S143

Effect of Different Fertilizer Levels on Soil Oxidoreductases Activities in Wheat Growing Stage

LIU Lei¹, GU Jie², GAO Hua², ZHANG She-qi¹, XIA Xue², XIE Yuan-yuan¹

(1. College of Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Under the different conditions of organic manure and nitrogen fertilizer, the dynamic change trend of soil oxidoreductases activities is studied. Results showed that compared with organic fertilizer or N fertilizer, soil catalase and dehydrogenase activities significantly increased under organic and N fertilizer conditions. With organic fertilizer of 22 500 kg/hm² and N fertilizer of 120 kg/hm², the activities of soil catalase and dehydrogenase were highest, being 1.175 0 [0.1 ml/(g·20 min)] and 15.793 1 ug/(g·d), respectively. Soil polyphenol oxidase activity decreased with the increase in the amount of organic and nitrogen fertilizer.

Keywords: oxidoreductases; organic manure; nitrogen fertilizer; growth of wheat

现代农业土地的高强度利用导致土壤养分元素缺乏、肥力降低, 严重影响了作物的产量、品质和农业经济效益^[1]。偏施氮肥, 有机肥严重不足, 是当前土壤出现次生盐渍化和发生连作障碍的主要原因之一^[2]。有机与无机肥配合施用是合理利用资源、更好地提高土壤肥力和保持作物高产、稳产、优质高效的施肥方式^[3]。在肥料施入、养分转化和作物生长过程中, 土壤酶起着重要作用^[4]。它是土壤中动植物残体分解、植物根系分泌和土壤微生物代谢的产物, 是一类具有生物化学催化活性的特殊物质, 参与土壤中众多的生物化学过程, 如腐殖质的合成与分解, 有机化合物、高等植物和微生物残体的分解及其转化等, 是评价土壤

肥力和土壤生态环境质量的重要环境生物学指标之一^[5-6]。土壤酶活性与土壤质量有着极为密切的关系, 被越来越多地应用到土壤肥力分级、土壤生态过程调控、土壤物质循环和土壤污染修复等研究中。

在土壤酶活性变化研究方面, 已有研究主要侧重于化肥与有机肥单一施用模式下的土壤酶活性变化^[7-8], 然而, 对于配施条件下, 不同施肥梯度情况的土壤氧化还原酶活性的研究却鲜见报道。因此, 本研究在大田试验条件下, 测定小麦生长期土壤过氧化氢酶、脱氢酶和多酚氧化酶活性的动态变化, 探讨有机无机肥配施对土壤氧化还原酶活性的影响, 为肥料高效利用和小麦高产技术理论研究提供科学依据。

收稿日期: 2010-05-11

修回日期: 2010-06-04

资助项目: 国家自然科学基金(40771109; 40871119); 国家科技支撑计划(2007BAD89B16; 2008BADA4B09)

作者简介: 刘磊(1984—), 男(汉族), 陕西省西乡县人, 硕士研究生, 主要研究方向为植物营养与废弃物资源化利用。E-mail: liulei1816@tom.com。

通信作者: 谷洁(1963—), 男(汉族), 陕西省周至县人, 博士, 教授, 主要从事农业废弃物的无害化处理和资源化利用研究。E-mail: gujoyer@sina.com。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地点位于关中平原西部, 陕西省眉县横渠镇, 属暖温带半湿润半干旱气候, 年平均气温为 12.9 °C, 年平均降水量为 609.5 mm, 年平均日照为 2 015.2 h。土壤类型为壤土。试验前耕层土壤(0—20 cm)理化性质为: pH 值 7.69, 有机碳 8.73 g/kg, 全氮 0.50 g/kg, 全磷 0.95 g/kg, 全钾 12.80 g/kg。供试小麦品种为小偃 22。于 2008 年 10 月 8 号播种, 2009 年 6 月 15 号收获。

试验共设 16 个处理, 主处理为有机肥, 副处理为氮肥, 各设零、低、中、高共 4 个水平。小区面积 264 m², 3 次重复, 顺序排列。本研究选用其中的 7 个处理, 具体方案见表 1 所示。

表 1 试验处理方案 g/hm²

| 处理 | M ₀ N ₂ | M ₁ N ₂ | M ₂ N ₀ | M ₂ N ₁ | M ₂ N ₂ | M ₂ N ₃ | M ₃ N ₂ |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 有机肥 | 0 | 7 500 | 22 500 | 22 500 | 22 500 | 22 500 | 37 500 |
| 氮肥 | 120 | 120 | 0 | 60 | 120 | 180 | 120 |

1.2 样品采集和测定方法

采集时间从 2008 年 10 月至 2009 年 6 月。分别为: 在播种前(10 月 27 日), 出苗期(11 月 19 日), 分蘖期(12 月 1 日), 越冬期(12 月 26 日), 返青期(2 月 23 日), 拔节期(3 月 10 日), 抽穗期(4 月 1 日), 开花期(4 月 22 日), 成熟期(5 月 19 日)和收获后(6 月 11 日)共取样 10 次。按五点法用土钻在 0—20 cm 耕层取样, 剔除石块、植物残根等杂物, 混合后, 过 2 mm 筛, 置于 4 °C 冰箱中冷藏, 待测。过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法(25 °C, 20 min)测定, 单位以 20 min 每克干土消耗 0.1 N 高锰酸钾的毫升数表示^[9]。多酚氧化酶用没食子素比色法, 单位用 2 h 后 1 g 土壤中紫色没食子素的毫克数表示^[9]。脱氢酶活性采用 TPF(三苯基甲膦)比色法测定^[10]。

1.3 数据处理

本试验均采用新鲜土样测定土壤的酶活性, 结果换算成烘干土表示。所得试验数据采用 Excel 和 SPSS 15.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤过氧化氢酶活性的动态变化

土壤过氧化氢酶是土壤酶系中的重要组分, 广泛存在于土壤中, 能够促进对生物体有毒害作用的过氧化物的分解, 能有效防止土壤及生物体在新陈代谢过程中产生的过氧化氢对生物体的危害^[11]。

2.1.1 小麦生长期有机肥对过氧化氢酶动态变化的影响 由图 1 可知, 在小麦生长期, 土壤过氧化氢酶活性总体上呈上升趋势。各个处理分别比较, M₀N₂(CK)由播种前的 0.934 5 ml/(g · 20 min) 上升至收获后的 1.310 2 ml/(g · 20 min), 上升幅度达 40.21%, M₁N₂(低有机肥)由播种前 0.924 3 ml/(g · 20 min) 上升至收获后 1.366 9 ml/(g · 20 min), 上升幅度达 47.89%, M₂N₂(中有机肥)由播种前 0.7905 ml/(g · 20 min) 上升至收获后 1.514 4 ml/(g · 20 min), 上升幅度达 91.57%, M₃N₂(高有机肥)由播种前 0.664 8 ml/(g · 20 min) 上升至收获后 1.303 2 ml/(g · 20 min), 上升幅度达 96.04%。与 CK 相比, 施入 M₁N₂, M₂N₂, M₃N₂ 这 3 个梯度的有机肥, 土壤过氧化氢酶活性上升幅度分别增加了 7.68%, 26.06% 和 55.83%。

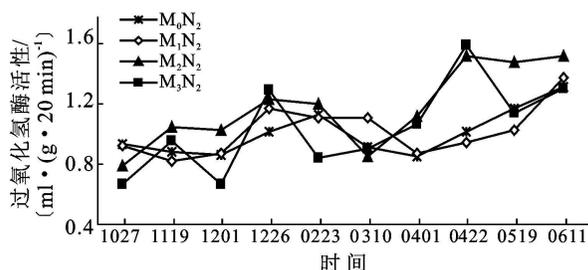


图 1 小麦生长期施用有机物对土壤过氧化氢酶动态变化的影响

就整个小麦生长期的平均值来看, 土壤过氧化氢酶活性表现为: M₂N₂ > M₃N₂ > M₁N₂ > M₀N₂, 其中 M₂N₂ 处理土壤平均过氧化氢酶活性最大, 达到 1.175 0 ml/(g · 20 min), 与 CK 相比, 高出 16.90%。从图 1 可以看出, 在小麦生长过程中, M₂N₂ 处理在 3 月 10 日土壤过氧化氢酶活性略低于 CK, 而在其它时期均高于 CK, 其中开花期、成熟期达显著水平 ($P < 0.05$)。说明肥料的施入可以增强土壤过氧化氢酶活性, 这与任祖淦等^[12] 研究结果相似, 并且以中有机肥效果最佳。

2.1.2 小麦生长期氮肥对土壤过氧化氢酶活性的动态变化的影响 由图 2 可知, 在小麦生长期间, 4 个处理土壤过氧化氢酶活性后期均高于前期。各个处理比较, CK 由播种前 1.024 7 ml/(g · 20 min) 上升至收获后 1.234 5 ml/(g · 20 min), 上升幅度达 20.48%, M₂N₁ 由播种前 0.725 7 ml/(g · 20 min) 上升至收获后 1.464 5 ml/(g · 20 min), 上升幅度达 101.81%, M₂N₂ 由播种前 0.790 5 上升至收获后 1.514 4 ml/(g · 20 min), 上升幅度达 91.57%, M₂N₃ 由播种前 0.768 3 ml/(g · 20 min) 上升至收获后 1.597 1 ml/(g · 20 min), 上升幅度达 107.87%。与

CK 相比, 施入 M_2N_1 , M_2N_2 , M_2N_3 这 3 个梯度的氮肥, 土壤过氧化氢酶活性上升幅度分别增加了 81.33%, 71.09% 和 87.39%。

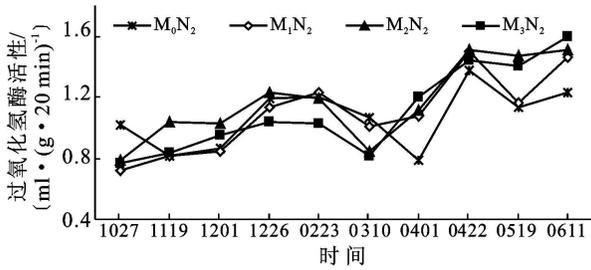


图 2 施用氮肥对土壤过氧化氢酶动态变化的影响

就整个小麦生长期的平均值来看, 土壤过氧化氢酶活性表现为: $M_2N_2 > M_3N_2 > M_1N_2 > M_0N_2$ 。其中 M_2N_2 处理土壤平均过氧化氢酶活性最大, 达到 $1.1750 \text{ ml}/(\text{g} \cdot 20 \text{ min})$, 比 CK 相比, 高出 9.64%。结合图 2 可以看出, 在小麦生长过程中, M_2N_2 处理在返青期、拔节期土壤过氧化氢酶活性略低于 CK, 而在其它时期均高于 CK, 其中抽穗期、成熟期达显著水平 ($P < 0.05$)。就不同梯度的氮肥处理而言, 在出苗期、分蘖期、越冬期、开花期、成熟期这几个时期, 中氮肥处理的过氧化氢酶活性均高于其它 3 个处理, 说明中量氮肥施入可以使土壤过氧化氢酶活性长时间的保持在较高水平。

2.2 土壤脱氢酶活性的动态变化

土壤脱氢酶是一种重要的土壤氧化还原酶, 它从一定的基质中析出氢或氢的供体而进行氧化作用, 反映土壤微生物新陈代谢的整体活性, 可以作为微生物氧化还原能力的指标, 在研究生物动力学中极受人们的重视^[13]。

2.2.1 小麦生长期有机肥对土壤脱氢酶动态变化的影响 由图 3 可知, 随着生育进程的推进, 各处理土壤脱氢酶活性变化趋势相似。从播种前到分蘖期, 土壤脱氢酶活性迅速下降, 其中 CK 降至 $3.5357 \text{ ug}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 而 3 个施有机肥处理 (M_1N_2 , M_2N_2 , M_3N_2) 则降至 $8.23 \text{ ug}/(\text{g} \cdot \text{d})$ 左右。从分蘖期到拔节期, 土壤脱氢酶活性处于较平稳的变化时期。期间, CK 脱氢酶活性均低于其它 3 个处理。从拔节期到开花期, 土壤脱氢酶活性迅速上升, 在此期间, M_2N_2 处理脱氢酶活性均高于其它 3 个处理, 而 CK 则最低。从开花期到收获期, 土壤脱氢酶活性再次迅速下降。

就整个小麦生长期的平均值来看, M_2N_2 处理土壤脱氢酶活性最大, 为 $15.7931 \text{ ug}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 比 CK 高出 42.16%。综合图 3 可以看出, 在小麦生长期间, M_2N_2 处理除在出苗期, 土壤脱氢酶活性低于 CK

以外, 其它时期均高于 CK, 其中在返青期达显著水平 ($P < 0.05$), 在分蘖期、越冬期、拔节期、抽穗期、开花期、成熟期达到极显著水平 ($P < 0.01$)。表明施入中量有机肥能显著提高土壤脱氢酶活性。

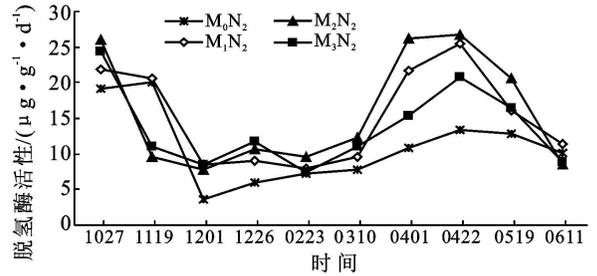


图 3 施用有机肥对土壤脱氢酶动态变化的影响

2.2.2 小麦生长期氮肥对土壤脱氢酶动态变化的影响 由图 4 可知, 随着生育进程的推进, 各处理土壤脱氢酶活性变化趋势相似。从播种前到分蘖期, 4 个处理的土壤脱氢酶活性不同程度的下降。其中 M_2N_3 和 M_2N_2 处理急剧下降, 而 CK 下降趋势则比较缓和。从分蘖期到拔节期, 土壤脱氢酶活性比较稳定。从拔节期到抽穗期, 土壤脱氢酶活性迅速上升, 以中有机肥处理上升幅度最大。从抽穗期到收获期, 土壤脱氢酶活性再次下降。

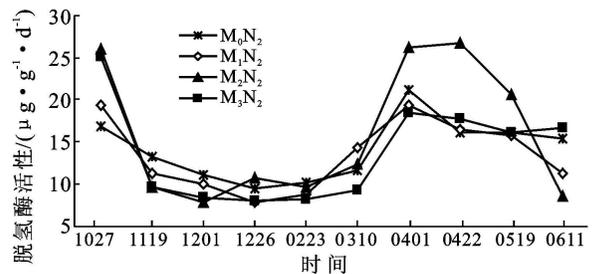


图 4 施用氮肥对土壤脱氢酶动态变化的影响

就整个小麦生长期的平均值来看, M_2N_2 土壤脱氢酶活性最大, 为 $15.7931 \text{ ug}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 比 CK 高出 12.19%。从图 4 还可以看出, 在小麦生长期间, M_2N_2 土壤脱氢酶活性在出苗期、分蘖期和返青期低于 CK, 其它时期均高于 CK, 其中在抽穗期和开花期达到极显著水平 ($P < 0.01$)。 M_2N_3 的平均土壤脱氢酶活性为 $13.7172 \text{ ug}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 低于 CK 的 $14.0772 \text{ ug}/(\text{g} \cdot \text{d})$, 并且由图 4 可知, 在小麦生长期相当长的时间内, M_2N_3 处理脱氢酶活性均低于 CK, 并且在出苗期、返青期和拔节期达到显著水平 ($P < 0.05$), 在分蘖期达到极显著水平 ($P < 0.01$)。表明适量的氮肥会提高土壤脱氢酶活性, 其中以中氮肥处理最佳, 但如果氮肥用量过高, 则会抑制土壤脱氢酶活性。这与郭天财^[14]等人的研究结果相似。

2.3 土壤多酚氧化酶的动态变化

多酚氧化酶来源于土壤微生物、植物根系分泌物及动植物残体的分解物, 可将土壤中的有机和无机物质转化的中间产物—酚类物质氧化为醌, 而后形成类腐殖质的大分子化合物^[7]。

2.3.1 小麦生长期有机肥对土壤多酚氧化酶动态变化的影响 由图5可以看出, 随着生育进程的推进, 在小麦生长期土壤多酚氧化酶活性波动较大, 但变化趋势相似, 前期与后期酶活性较低, 中期活性较高。4个不同有机肥处理的峰值均出现在抽穗期, 且以CK的土壤多酚氧化酶活性最高, 达到4.453 7 mg / (g · 2h)。

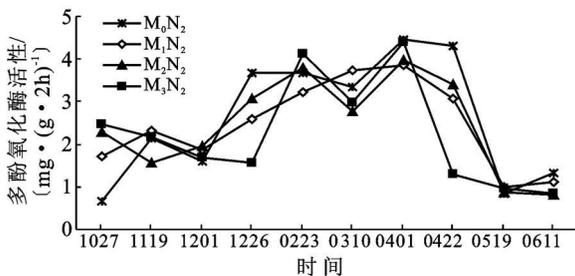


图5 施用有机肥对土壤多酚氧化酶动态变化的影响

就整个小麦生长期的酶活性平均值来看, M₀N₂, M₁N₂, M₂N₂ 和 M₃N₂ 这4个处理的土壤多酚氧化酶活性分别为2.603 3, 2.444 6, 2.451 8和2.249 6 mg / (g · 2h)。其中以CK最高, 高有机肥处理最低。表明有机肥的施入在一定程度上抑制了土壤多酚氧化酶活性。

2.3.2 小麦生长期氮肥对土壤多酚氧化酶动态变化的影响 由图6可知, 在小麦生长前期和后期土壤多酚氧化酶活性较低, 中期较高。CK在出苗期到拔节期这一时期内, 土壤多酚氧化酶活性远远高于其它3个施氮处理, 并在越冬期达到5.314 8 mg / (g · 2h)的高峰值。到了小麦生长后期, 4个处理之间的土壤多酚氧化酶活性差异并不显著, 可能是因为此时土壤中施入的氮肥消耗殆尽, 氮肥已不再是影响酶活性的首要因素。

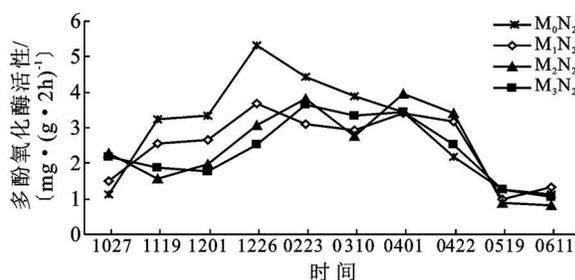


图6 施用氮肥对土壤多酚氧化酶动态变化的影响

就小麦生长期的平均值来看, M₂N₀, M₂N₁, M₂N₂ 和 M₂N₃ 这4个处理的土壤多酚氧化酶活性分别为2.935 9, 2.532 6, 2.451 8和2.361 8 mg / (g · 2h)。其中CK最高, M₂N₃最低。并且3个施氮处理, 氮肥用量越高, 土壤多酚氧化酶活性越低。这表明氮肥对土壤多酚氧化酶活性有抑制作用。

2.4 不同施肥水平对小麦产量的影响

由表2可知, 与不施有机肥、氮肥相比, 其它处理的小麦产量均有不同程度的增产效果。其中, 不同有机肥处理的增产幅度为5.66%~14.00%, 不同氮肥处理的增产幅度为22.94%~40.15%。两种施肥方式都在M₂N₂处理下, 小麦产量达到最高, 并且氮肥处理条件下, 小麦产量与CK的差异达到显著水平。

表2 不同施肥水平对小麦产量的影响

| 处理 | 产量/ (kg · hm ⁻²) | 增产率/ % | 处理 | 产量/ (kg · hm ⁻²) | 增产率/ % |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-----------|
| M ₀ N ₂ | 5 000 ^a | 0 | M ₂ N ₀ | 4 067 ^a | 0 |
| M ₁ N ₂ | 5 367 ^a | 7.34 | M ₂ N ₁ | 5 000 ^b | 22.94 |
| M ₂ N ₂ | 5 700 ^a | 14.00 | M ₂ N ₂ | 5 700 ^b | 40.15 |
| M ₃ N ₂ | 5 283 ^a | 5.66 | M ₂ N ₃ | 5 200 ^b | 27.86 |

注: 同列中不同字母表示差异显著(P < 0.05)。

3 结论

(1) 与单施有机肥或单施氮肥相比较, 在有机肥与氮肥配施的条件下, 土壤过氧化氢酶和脱氢酶活性对有机肥或氮肥的施入都有积极地响应。这是因为两种肥料的施入更有利于协调土壤C/N, 改善土壤理化性质, 有助于植物根系和土壤微生物的生长, 使更多的酶进入土壤。但是有机肥或氮肥的用量超过一定范围, 酶活力将会降低^[15-16]。本试验中, 有机肥用量在22 500 kg/hm²条件下, 氮肥用量在120 kg/hm²条件下, 土壤过氧化氢酶和脱氢酶活性均达到最高。

(2) 在有机肥与氮肥配施的条件下, 土壤多酚氧化酶活性随着肥料用量的增加呈下降趋势, CK最高, 高有机肥和高氮肥处理最低。这是由于多酚氧化酶的特性所决定的, 它可将土壤中的酚类物质氧化为醌, 而后形成类腐殖质的大分子化合物^[17]。肥料的施入使得土壤中微生物和植物可直接利用的养分含量增加, 不需要多酚氧化酶的过多合成, 从而土壤微生物和植物根系所生产的多酚氧化酶数量较不施肥低, 活性较弱。这与关松荫在对贵州黄壤的研究中得出土壤养分越低, 多酚氧化酶活性越高的结论是相似的^[7]。

(3) 随着施肥水平的上升, 小麦产量也在一定范围内呈增加趋势, 以中氮肥中有机肥处理产量最高, 且这一处理的土壤过氧化氢酶活性和土壤脱氢酶活性也均为最高, 说明在一定范围内土壤酶活性的提高有利于小麦产量的提高。这可能是由于肥料的施入提高了土壤酶活性, 促进了土壤养分的转化和速效养分的增加, 为小麦生长提供了充足的营养, 从而增加了籽粒产量^[18]。

[参 考 文 献]

- [1] 周修冲, 刘国坚, Portch S. 平衡施肥在广东“三高”农业中的作用[J]. 广东农业科学, 1998(1): 32-34.
- [2] 朱宝国, 于忠和, 王囡囡, 等. 有机肥和化肥不同比例配施对大豆产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 97-100.
- [3] 葛晓光, 张恩平, 高慧, 等. 长期施肥条件下菜园—蔬菜生态系统变化的研究(II): 土壤理化性质的变化[J]. 园艺学报, 2004, 31(2): 178-182.
- [4] Mersi W, Schinner F. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodonitrotetrazolium chloride[J]. Biology and Fertility of Soils, 1991, 11: 216-220.
- [5] Mijangos I, Perez R. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2006, 40: 100-106.
- [6] 沈善敏. 中国土壤肥力[J]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 111-151.
- [7] 马宗斌, 熊淑萍, 何建国, 等. 氮素形态对专用小麦中后期根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1544-1551.
- [8] Polesskaya O G, Kashirina E I, Alekhina N D. Changes in the activity of antioxidant enzymes in wheat leaves and roots as a function of nitrogen source and supply[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2004, 51: 615-620.
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 323-325.
- [10] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 268.
- [11] Visser S, Parkinson D. Soil biological criteria as indicators of soil quality: Soil microorganisms[J]. American Journal of Alternative Agriculture, 1992, 7: 33-37.
- [12] 任祖淦, 陈玉水, 唐福钦, 等. 有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(3): 279-283.
- [13] 郑洪元, 张德生. 土壤动态生物化学研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 173-265.
- [14] 郭天财, 宋晓. 施氮量对冬小麦根际土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 110-114.
- [15] 滕应, 黄昌勇, 龙健, 等. 铅锌银尾矿污染区土壤酶活性研究[J]. 中国环境科学, 2002, 22(6): 551-555.
- [16] 高瑞, 吕家珑. 长期定位施肥土壤酶活性及其肥力变化的研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 143-145.
- [17] 郝建朝, 吴沿友, 连宾, 等. 土壤多酚氧化酶性质研究及意义[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 470-474.
- [18] 张电学, 韩志卿, 李东坡, 等. 不同促腐条件下秸秆还田对土壤微生物量碳氮磷动态变化的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10): 1903-1908.

(上接第 11 页)

- [2] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 1501-1511.
- [3] 胡克林, 李保国, 林启美, 等. 农田土壤养分的空间异质性特征[J]. 农业工程学报, 1999, 9(3): 33-38.
- [4] 贾艳红, 赵传燕, 南忠仁, 等. 黑河下游地下水波动带土壤盐分空间变异研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(3): 420-430.
- [5] Webster R, Oliver M A. Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey[M]. Oxford England: Oxford University Press, 1990.
- [6] 李海滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 651-657.
- [7] 王奇瑞, 谭晓风, 高峻. 太行山山前坡地不同土地利用方式下土壤水分的时空变异特征[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 100-110.
- [8] 于婧, 聂艳, 周勇, 等. 江汉平原典型区农田土壤全氮空间变异的多尺度套合[J]. 土壤学报, 2009, 40(5): 938-944.
- [9] 赵庚星, 李秀娟, 李涛, 等. 耕地不同利用方式下的土壤养分状况分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 55-58.
- [10] 苑小勇, 黄元仿, 高如泰, 等. 北京市平谷区农用地土壤有机质空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 70-76.
- [11] 陈涛, 施加春, 刘杏梅, 等. 杭州市城乡结合带蔬菜地土壤铅铜含量的时空变异研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(4): 608-615.
- [12] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 等. 黄土高原县域土壤养分空间变异特征及预测: 以陕西省横山县为例[J]. 土壤学报, 2008, 45(4): 577-584.
- [13] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 31-65.
- [14] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-200.