

黑土酶活性对不同施肥条件的响应

张志丹¹, 李春丽¹, 王鸿斌¹, 赵兰坡¹, 杨学明²

(1 吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林省生态恢复与生态系统管理省部共建国家重点实验室培育基地, 吉林 长春 130118;
2 加拿大农业部温室及加工作物研究中心, 安大略 哈罗 NOR 1G0)

摘要:以中国科学院海伦农业生态实验站黑土为供试土壤,在田间调查、采样的基础上,研究了与碳、氮、磷循环有关的酶活性的状况与差异.结果表明:土壤酶在土壤循环中起到了生物学催化剂的作用,其活性可以作为表征土壤肥力的指示性指标.有机无机肥料的不同施用方法及作物种类会对土壤酶活性产生显著影响.磷肥能够明显增强转化酶与蛋白酶的活性,增施有机肥在增加土壤有机质含量的同时显著提高土壤脲酶的活性.脲酶活性在各施肥处理间、各作物种类间有显著性差异,这说明脲酶活性变化能够较好地表征不同的作物种类及施肥处理下土壤的肥力水平.另外,荒地连年锄下转化酶、蛋白酶、酸性磷酸酶与脲酶的活性均高于荒地,表明过氧化氢酶对于土壤翻耕的反应灵敏性较低.

关键词:黑土; 土壤酶活性; 施肥条件; 作物种类

中图分类号:S153.6

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2011)04-0021-06

Response of the Black Soil Enzyme Activities to Different Fertilizer Applications

ZHANG Zhi-dan¹, LI Chun-li¹, WANG Hong-bin¹, ZHAO Lan-po¹, YANG Xue-ming²

(1 Cultivating Base, National Key Laboratory for Jilin Province Ecological Restoration and Ecosystem Management, College of Resources and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2 Greenhouse & Processing Crops Research Centre, Agriculture & Agri-Food Canada, Harrow, Ontario NOR 1G0, Canada)

Abstract: On the base of field experimentation and sampling, the status and diversity of enzyme activities relevant to cycle of C, N, P in the black soil from the Hailun Agroecological Experimental Station were tested. The results showed that soil enzyme acted as a biological catalyst in soil cycle, and its variation could be used as an indicator for soil fertility. The application of different organic and inorganic fertilizers significantly affected the soil enzyme activities under the field conditions. N fertilizer could increase invertase and protease activities, and organic fertilizer increased the organic contents and urease activity significantly. Urease activities were significantly correlated with different fertilizer applications and crops, and extremely significantly correlated with the interaction among crops and fertilizer application, which showed that urease activities could be used as the characteristic of fertilizer level under different crops and fertilizer applications. The activities of invertase, protease, phosphatase and urease under waste land were less than those of the continuous tillage, which indicated that catalase was less sensitive to tillage than the other four kinds of enzyme.

Key words: black soil; soil enzyme activity; fertilizer application; kinds of crop

土壤酶作为土壤的重要组成部分,主要来自于土壤微生物代谢过程,在维持土壤正常生态功能方

收稿日期:2011-03-04

作者简介:张志丹(1979—),女,博士;通信作者:赵兰坡(1955—),男,教授,博士,E-mail:zhaolanpo12@163.com

基金项目:国家自然科学基金(31071862);吉林农业大学博士启动基金项目(153);吉林省科技发展计划资助项目(20110749)

面发挥着十分重要的作用. 土壤中一切生化反应都是在土壤酶的参与下完成的, 土壤酶活性的高低能反映土壤生物活性和土壤生化反应强度, 对土壤肥力的演化具有重要影响, 土壤微生态环境中土壤酶和微生物的活性常被作为土壤质量的重要指标来研究. 其中土壤过氧化氢酶、转化酶、磷酸酶、脲酶之间关系及总体活性对评价土壤肥力水平有重要意义, 土壤转化酶、磷酸酶、脲酶等水解酶活性能够表征土壤碳、氮、磷等养分的循环状况^[1-4]. 为进一步揭示黑土酶活性对于不同施肥条件的响应规律, 本文利用黑龙江海伦农业生态实验站黑土对酶活性变化情况进行分析, 研究更为有效地反映土壤质量与肥力水平的土壤酶指标, 为探索适合东北黑土特点的合理施肥提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

中国科学院海伦农业生态实验站, 位于黑龙江省海伦市(47°26'N, 126°38'E), 平均海拔 234 m, 试验地土壤为典型的中厚层黑土. 该站属温带大陆性季风气候, 冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨, 雨热同季, 全年降水量 500 ~ 600 mm, 80% 以上集中在 5—9 月. 年均气温 1.5 °C, 无霜期 120 ~ 130 d, ≥ 10 °C 的有效积温为 2 400 ~ 2 500 °C, 全年日照时数 2 600 ~ 2 800 h, 自然植被为草原化草甸杂草.

1.2 土壤样品采集及处理

试验小区面积 5.0 m × 4.2 m, 随机排列. 供试作物为小麦、大豆、玉米, 2004 年 5 月初播种, 2004 年 5 月 30 日采集土壤样品. 每年收获后的秸秆等剩余物用于专门喂猪, 循环利用率可视为 80%, 于春播前撒施地表. 氮肥(N)品种为尿素; 磷肥(P)品种为三料磷肥; 钾肥(K)品种为硫酸钾; M 为循环利用的有机肥料, 是过圈还田的猪粪肥(含 N 22.1 g/kg、P₂O₅ 2.6 g/kg、K₂O 2.4 g/kg). 共设 8 个施肥处理(对照、M、N、N + M、NP、NP + M、NPK、NPK + M), 施肥量(kg/hm²)为 N(小麦 120.0、玉米 150.0、大豆 32.3), P₂O₅(小麦 24.00、玉米 32.75、大豆 36.00), 有机肥(小麦 15 000、玉米 15 000、大豆 30 000). 对照(CK)为不施肥处理. 每种作物的各种施肥处理均设 3 个重复小区(3 次重复取平均值按 1 个土样号计), 每个小区采样 1 次, 采样深度 0 ~ 20 cm, 共 72 个供试土样. 同时又选取了荒地、荒地连年锄、小麦连作、大豆连作、玉米连作 5 个有代表性的土样进行研究. 供试土样均为耕层土壤, 采样深度为 20 cm 左右. 样品经风干后, 供室内分析使用, 土壤的基本理化指标见表 1.

表 1 海伦试验站黑土基本理化性质

Tab. 1 Black soil basal physical and chemical characters in Hailun experimental station

| 土样号 | $w(\text{有机质})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ | $w/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ | | | pH | 作物及施肥状况 |
|-----------------|---|--------------------------------------|------|-------|-----|------------|
| | | 碱解氮 | 速效磷 | 速效钾 | | |
| X ₁ | 53.50 | 233.2 | 10.1 | 136.5 | 6.5 | 小麦 CK |
| X ₂ | 51.97 | 234.2 | 8.8 | 133.5 | 6.3 | 小麦 M |
| X ₃ | 53.22 | 212.7 | 7.5 | 130.0 | 6.4 | 小麦 N |
| X ₄ | 56.39 | 248.0 | 11.1 | 146.5 | 7.0 | 小麦 N + M |
| X ₅ | 53.93 | 231.2 | 16.9 | 125.0 | 6.6 | 小麦 NP |
| X ₆ | 54.98 | 241.9 | 18.2 | 140.0 | 6.7 | 小麦 NP + M |
| X ₇ | 52.10 | 221.8 | 20.1 | 190.0 | 6.3 | 小麦 NPK |
| X ₈ | 56.31 | 246.3 | 23.9 | 192.5 | 7.0 | 小麦 NPK + M |
| X ₉ | 52.20 | 231.2 | 7.7 | 132.5 | 6.3 | 大豆 CK |
| X ₁₀ | 54.62 | 225.5 | 7.8 | 130.5 | 6.7 | 大豆 M |
| X ₁₁ | 50.38 | 221.6 | 17.9 | 130.5 | 6.2 | 大豆 N |
| X ₁₂ | 56.53 | 229.5 | 9.3 | 127.5 | 7.1 | 大豆 N + M |
| X ₁₃ | 54.02 | 226.1 | 15.9 | 128.0 | 6.6 | 大豆 NP |
| X ₁₄ | 54.69 | 289.0 | 13.3 | 130.0 | 6.7 | 大豆 NP + M |
| X ₁₅ | 55.92 | 248.0 | 12.9 | 137.5 | 6.6 | 大豆 NPK |
| X ₁₆ | 56.50 | 248.0 | 16.3 | 152.0 | 7.0 | 大豆 NPK + M |
| X ₁₇ | 48.36 | 209.0 | 6.4 | 132.5 | 6.3 | 玉米 CK |
| X ₁₈ | 49.56 | 206.0 | 10.9 | 147.0 | 6.2 | 玉米 M |
| X ₁₉ | 50.81 | 212.4 | 6.1 | 136.5 | 6.2 | 玉米 N |
| X ₂₀ | 53.01 | 218.4 | 12.5 | 143.0 | 6.4 | 玉米 N + M |
| X ₂₁ | 53.64 | 187.5 | 5.9 | 140.0 | 6.5 | 玉米 NP |
| X ₂₂ | 52.14 | 241.2 | 33.9 | 148.0 | 6.3 | 玉米 NP + M |
| X ₂₃ | 53.67 | 219.7 | 19.7 | 160.5 | 6.5 | 玉米 NPK |
| X ₂₄ | 55.13 | 230.5 | 23.9 | 199.0 | 6.8 | 玉米 NPK + M |
| X ₂₅ | 52.51 | 229.1 | 11.1 | 161.5 | 6.3 | 荒地 |
| X ₂₆ | 53.23 | 493.9 | 14.6 | 165.0 | 6.4 | 荒地连年锄 |
| X ₂₇ | 48.43 | 200.3 | 24.5 | 141.0 | 6.1 | 小麦连作 |
| X ₂₈ | 50.16 | 212.0 | 33.3 | 145.0 | 6.2 | 大豆连作 |
| X ₂₉ | 48.73 | 216.4 | 27.5 | 150.0 | 6.3 | 玉米连作 |

1.3 分析项目及方法

过氧化氢酶分析采用文献[5]方法, 酶活性以 1 g 土壤消耗 0.1 mol · L⁻¹ KMnO₄ 的体积(mL)表示; 脲酶分析参考文献[6], 酶活性以 37 °C 恒温培养 24 h 后 1 g 土壤中 NH₃-N 的质量(mg)表示; 转化酶分析参考文献[6], 酶活性以 37 °C 恒温培养 24 h 后 1 g 土壤中 Na₂S₂O₃ 的质量(mg)表示; 蛋白酶分析参考文献[5], 酶活性以 30 °C 恒温培养 24 h 后 1 g 土壤中 NH₂-N 的质量(mg)表示; 磷酸酶分析采用赵兰坡等^[7]改进法, 酶活性以 37 °C 恒温培养 24 h 后 1 g 土壤中酚的质量(mg)表示. 土壤采用常规分析方法测定^[8], 其中土壤 pH 测定采用电位法, 阳离子交换量测定采用乙酸铵法, 土壤有机质测定采用高温外热重铬酸钾氧化 - 容量法, 土壤全氮的测定采用开氏消煮法, 土壤全磷的测定采用酸溶 - 钼锑抗比色法, 水解氮测定采用碱解扩散法, 速效磷测定采用 Olsen 法, 速效钾测定采用乙酸铵提取法. 采用 Excel 2003

软件进行数据处理,SAS 9.1 软件进行方差分析.

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理下的酶活性变化

2.1.1 过氧化氢酶 从表 2 可看出,不同作物种类及施肥处理下过氧化氢酶活性不同,种植小麦条件下酶活性为 CK > N + M > NPK > NP + M > NPK + M > M > N > NP,种植大豆为 N + M = NP + M > NPK > NP > M > N = NPK + M > CK,玉米则为 CK > N + M > NP > NPK + M > NPK > N > NP + M > M. 方差分析的结果显示,施肥处理对于过氧化氢酶的活性有显著性影响($F = 2.37 > F_{0.05} = 2.21$),而作物品种对过氧化氢酶的活性有显著影响($F = 15.57 > F_{0.05} = 3.19$). LSD 多重检验的结果显示,对于种植小麦和玉米的土壤而言,CK 的过氧化氢酶活性最高,而小麦的 CK 与 NP 之间,玉米的 CK 与 M 之间过氧化氢酶活性均存在显著性差异.

对大豆而言,各施肥处理间差异不显著(表 2),这与孙瑞莲等^[9]认为过氧化氢酶活性在施肥处理间差异较小相似.也与文献[10]报道的过氧化氢酶不能表征肥料对于土壤肥力的影响,可能是由于过氧化氢酶的辅基遭到了肥料中阴离子的封阻有关.但与文献[12-13]报道施用无机肥显著可以提高土壤过氧化氢酶活性不同.这可能是所研究的土壤类型、施肥模式、栽培的作物种类及肥料用量不同的缘故.

表 2 不同作物种类及施肥处理下过氧化氢酶的活性变化

Tab.2 The soil catalase activities for different kinds of crop and fertilizer treatment

| 处理 | 过氧化氢酶活性 ¹⁾ /(mL · g ⁻¹) | | |
|---------|--|---------------|-----------------|
| | 小麦 | 大豆 | 玉米 |
| CK | 2.16 ± 0.066a | 1.98 ± 0.075a | 2.27 ± 0.082a |
| M | 1.99 ± 0.082ab | 2.03 ± 0.058a | 2.00 ± 0.077c |
| N | 1.82 ± 0.052bc | 2.00 ± 0.097a | 2.11 ± 0.103abc |
| N + M | 2.15 ± 0.116a | 2.07 ± 0.104a | 2.20 ± 0.093ab |
| NP | 1.79 ± 0.111c | 2.04 ± 0.069a | 2.19 ± 0.105ab |
| NP + M | 2.01 ± 0.110a | 2.07 ± 0.092a | 2.06 ± 0.049bc |
| NPK | 2.03 ± 0.068a | 2.06 ± 0.091a | 2.12 ± 0.083abc |
| NPK + M | 2.00 ± 0.045ab | 2.00 ± 0.079a | 2.17 ± 0.055abc |

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, LSD 法).

2.1.2 转化酶 从表 3 可看出,不同作物种类及施肥处理下土壤转化酶活性的大小不同,小麦为 NPK > NP > N + M > NPK + M > M > NP + M > CK > N,大豆为 NP + M > NPK + M > N > NP > NPK > M > CK > N + M,玉米为 N + M > NP + M > NPK + M > CK > NPK > M > NP > N. 方差分析的结果显示,施肥处理

($F = 55.71 > F_{0.05} = 2.21$)与作物品种($F = 18.77 > F_{0.05} = 3.19$)对转化酶的活性均有显著影响. LSD 多重检验的结果显示,3 种作物 CK 与 M 间的转化酶活性均无显著差异,对于小麦和玉米而言,NPK + M 的转化酶活性又显著高于 CK. 对小麦和玉米而言,表现为施 P 处理土壤的转化酶活性高于缺 P 处理(NPK > NP > N),说明缺 N、P 的施肥处理不利于增强土壤转化酶活性,其中又以缺 P 最为严重. 外源养分,如有机肥的施入大大增加了土壤有机碳含量,这为转化酶提供了更多的酶促基质,最大程度地提高了转化酶活性,加快了有机质的分解^[13].

表 3 不同作物种类及施肥处理下转化酶的活性变化

Tab.3 The soil invertase activities for different kinds of crop and fertilizer treatment

| 处理 | 转化酶活性 ¹⁾ /(mg · g ⁻¹) | | |
|---------|--|----------------|-----------------|
| | 小麦 | 大豆 | 玉米 |
| CK | 6.12 ± 0.156c | 5.80 ± 0.095d | 6.69 ± 0.095bcd |
| M | 6.30 ± 0.108c | 5.85 ± 0.109d | 6.64 ± 0.103d |
| N | 5.17 ± 0.144d | 6.73 ± 0.098ab | 5.79 ± 0.082e |
| N + M | 6.91 ± 0.099ab | 5.70 ± 0.108d | 7.29 ± 0.039a |
| NP | 7.07 ± 0.103a | 6.68 ± 0.100bc | 5.87 ± 0.100e |
| NP + M | 6.18 ± 0.098c | 6.91 ± 0.097a | 6.89 ± 0.095b |
| NPK | 7.13 ± 0.112a | 6.51 ± 0.082c | 6.68 ± 0.097cd |
| NPK + M | 6.71 ± 0.095b | 6.76 ± 0.110ab | 6.85 ± 0.106bc |

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, LSD 法).

2.1.3 蛋白酶 从表 4 可看出,不同作物种类及施肥处理下蛋白酶活性的大小不同,小麦为 NP + M > NPK + M > N + M > NP > CK > M > NPK > N,大豆为 NP + M > NPK > NPK + M > CK > N > N + M > M > NP,玉米为 NP + M > NPK + M > NPK > N + M > N > NP > M > CK. 方差分析的结果显示,施肥处理($F =$

表 4 不同作物种类及施肥处理下蛋白酶的活性变化

Tab.4 The soil protease activities for different kinds of crop and fertilizer treatment

| 处理 | 蛋白酶活性 ¹⁾ /(mg · g ⁻¹) | | |
|---------|--|----------------|----------------|
| | 小麦 | 大豆 | 玉米 |
| CK | 3.698 ± 0.050c | 3.678 ± 0.007d | 2.155 ± 0.057h |
| M | 3.587 ± 0.079d | 3.396 ± 0.017g | 2.214 ± 0.024g |
| N | 2.463 ± 0.062f | 3.589 ± 0.065e | 2.358 ± 0.040e |
| N + M | 4.209 ± 0.028b | 3.425 ± 0.072f | 2.406 ± 0.029d |
| NP | 3.730 ± 0.042c | 3.094 ± 0.086h | 2.308 ± 0.015f |
| NP + M | 4.354 ± 0.055a | 5.152 ± 0.072a | 4.004 ± 0.018a |
| NPK | 3.155 ± 0.0056e | 4.233 ± 0.061b | 3.495 ± 0.021c |
| NPK + M | 4.234 ± 0.054b | 4.209 ± 0.112c | 3.524 ± 0.024b |

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, LSD 法).

90.0 > $F_{0.05} = 2.21$) 与作物品种 ($F = 232.4 > F_{0.05} = 3.19$) 对于蛋白酶的活性均有显著影响. LSD 多重检验的结果显示, 3 种作物各施肥处理间的蛋白酶活性均有显著性差异. 在种植小麦的条件下, 含 P 施肥的蛋白酶活性显著高于缺 P 施肥 (NP > N), 张小磊等^[14] 研究也表明, P 肥明显增强了蛋白酶的活性, N 肥和 K 肥则对其活性起到抑制作用.

2.1.4 酸性磷酸酶 从表 5 可看出, 不同作物种类及施肥处理下酸性磷酸酶活性的大小不同, 小麦为 NPK + M > NP > NPK > N + M > N > NP + M > M > CK, 大豆为 M > NPK + M > N > N + M > NPK > NP > CK > NP + M, 玉米为 N > NPK > N + M > M > NPK + M > NP > NP + M > CK. 方差分析的结果显示, 施肥处理 ($F = 1531.2 > F_{0.05} = 2.21$) 与作物品种 ($F = 505.2 > F_{0.05} = 3.19$) 对酸性磷酸酶的活性均有显著影响. LSD 多重检验的结果显示, 3 种作物多数施肥处理间酸性磷酸酶活性具有显著性差异 (表 5).

从大豆和小麦的各施肥处理的总体来看, NPK + M > NPK > 未平衡施肥处理 (N、NP) > CK, 表明 NPK 与猪厩肥配施可明显提高磷酸酶活性, 与 NPK 相比, 猪厩肥对于提高磷酸酶活性的作用更为明显, 这与其他研究发现的施用有机肥有利于激活黑土磷酸酶活性的结论相同^[15]. 通常施有机肥可使土壤 pH 上升, 因此施用有机肥后, 碱性磷酸酶的活力增强^[16]. NPK > CK 表明合理施用 NPK 可以提高磷酸酶的活性, 磷酸酶活性的增大还是减小, 不是固定的, 而是根据土壤性质、施用肥料的多少以及这些肥料的特性来决定的^[17]. 种植玉米时单独施用 N 的酸性磷酸酶的活性反而最高, 这与其他研究发现的玉米根系分泌的酸性磷酸酶活性并不随 P 浓度的降低而提高的现象一致, 这表明酸性磷酸酶可能不是玉米 P 高效的生理机制之一^[18].

表 5 不同作物种类及施肥处理下酸性磷酸酶的活性变化

Tab. 5 The soil acid phosphatase activities for different kinds of crop and fertilizer treatment

| 处理 | 酸性磷酸酶活性 ¹⁾ / (mg · g ⁻¹) | | |
|---------|---|----------------|----------------|
| | 小麦 | 大豆 | 玉米 |
| CK | 1.90 ± 0.036f | 3.53 ± 0.016ef | 3.40 ± 0.039e |
| M | 3.67 ± 0.036e | 7.26 ± 0.037a | 4.04 ± 0.039c |
| N | 3.83 ± 0.028d | 4.03 ± 0.016b | 4.46 ± 0.046a |
| N + M | 4.17 ± 0.021c | 3.88 ± 0.024c | 4.34 ± 0.041b |
| NP | 4.24 ± 0.013b | 3.56 ± 0.079de | 3.98 ± 0.036cd |
| NP + M | 3.68 ± 0.024e | 3.47 ± 0.017f | 3.91 ± 0.059d |
| NPK | 4.22 ± 0.041bc | 3.60 ± 0.014d | 4.38 ± 0.009ab |
| NPK + M | 4.60 ± 0.005a | 4.10 ± 0.023b | 4.03 ± 0.055c |

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者, 表示差异不显著 ($P > 0.05$, LSD 法).

2.1.5 脲酶 从表 6 可看出, 不同作物种类及施肥处理下脲酶活性的大小不同, 小麦为 NPK + M = NPK > NP + M = NP > N + M > N > M > CK, 大豆为 NPK + M > N + M > N > NP > NPK = M = NP + M > CK, 玉米为 NPK + M > N + M > NPK > NP + M > N > M > NP > CK. 方差分析的结果显示, 施肥处理对于脲酶的活性有显著影响 ($F = 8.19 > F_{0.05} = 2.21$), 而作物品种对脲酶活性的影响则不显著 ($F = 0.66 < F_{0.05} = 3.19$). LSD 多重检验的结果显示, 种植玉米时各施肥处理间的脲酶活性差异性大于种植小麦与大豆的情况 (表 6).

3 种作物 CK 脲酶活性均较低, 随施肥量增加土壤中脲酶活性均相应地增加. 长期施用 NPK 配施有机肥能明显提高种植大豆的土壤脲酶活性, 特别是增施富含新鲜养分的猪粪肥, 这与邱莉萍等^[19] 的研究结果相一致. 从配施比例来看, 有机肥比例越大, 种植小麦土壤脲酶活性越高, 土壤脲酶活性的增长主要是由于土壤中有肥的施加增加了土壤中有机的含量^[17]. 3 种作物配施 N 后脲酶活性均高于 M, 表明合理施用 N 可增强脲酶活性 (表 6). 有研究表明, 在施用有机肥作基肥的基础上, 适量追施化学 N 肥可提高脲酶活性^[20].

表 6 不同作物种类及施肥处理下脲酶的活性变化

Tab. 6 The soil urease activities for different kind of crop and fertilizer treatment

| 处理 | 脲酶活性 ¹⁾ / (mg · g ⁻¹) | | |
|---------|--|---------------|----------------|
| | 小麦 | 大豆 | 玉米 |
| CK | 0.56 ± 0.05c | 0.69 ± 0.007b | 0.67 ± 0.057d |
| M | 0.67 ± 0.08bc | 0.71 ± 0.017b | 0.69 ± 0.025cd |
| N | 0.69 ± 0.06ba | 0.76 ± 0.065b | 0.74 ± 0.040bc |
| N + M | 0.78 ± 0.03ab | 0.78 ± 0.072b | 0.80 ± 0.029a |
| NP | 0.79 ± 0.04a | 0.72 ± 0.086b | 0.68 ± 0.016cd |
| NP + M | 0.79 ± 0.06a | 0.71 ± 0.072b | 0.74 ± 0.018bc |
| NPK | 0.80 ± 0.06a | 0.71 ± 0.061b | 0.76 ± 0.02ab |
| NPK + M | 0.80 ± 0.05a | 0.95 ± 0.112a | 0.81 ± 0.024a |

1) 同列数据后凡是有一个相同小写字母者, 表示差异不显著 ($P > 0.05$, LSD 法).

2.2 不同作物连作下酶活性的变化分析

通过上述的研究与分析, 已基本明确了在现行耕作、施肥条件下, 黑土酶活性可作为评价肥力的可行性指标. 为能更深入细致的探明酶活性对土壤肥力的响应提供可靠的科学依据, 从而更深层次的明确酶在黑土质量退化中的反应, 从土壤生物化学的角度揭示黑土质量退化的机制, 为黑土新型保护性耕作制度及环保效益型施肥制度的建立提供理论依据.

2.2.1 过氧化氢酶 从图 1 可以看出, 过氧化氢酶活性为荒地 > 荒地连年锄 > 小麦连作 > 大豆连作 >

玉米连作,即3种作物对过氧化氢酶活性大小的影响为小麦>大豆>玉米.有研究表明,随着退耕年限的增加过氧化氢酶活性逐渐增强^[21],说明土地耕作程度越高,过氧化氢酶的活性就越低.

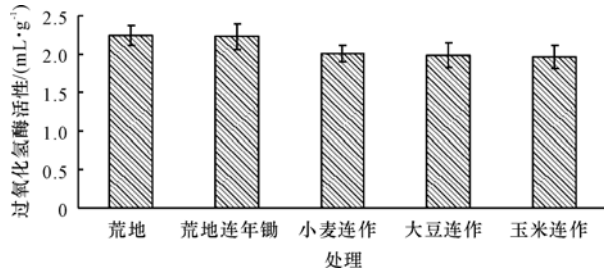


图1 不同作物连作下过氧化氢酶活性的变化

Fig. 1 The variation of soil catalase activities under different continuous croppings

2.2.2 转化酶 从图2的分析得知,转化酶活性为荒地连年锄>荒地>小麦连作>大豆连作>玉米连作,即3种作物对转化酶活性大小的影响为小麦>大豆>玉米.王平等^[22]研究也发现,播前土壤转化酶活性最低,与耕种后差异明显,表明在没有植物根系干扰及土壤温度较低等土壤微环境下,土壤转化酶活性较低.分析其原因:一方面可能是因为累积在土壤中的转化酶主要以完整的死细胞和非增殖的活细胞结合的形式存在,而不是从细胞释出,然后以吸附的形式存在,受土壤有机无机复合胶体的影响不显著;另一方面是因为转化酶活性不仅与土壤有机C含量有关,而且与有机C存在状态有关.土壤有机质保持土壤蔗糖酶活性免遭变性、免遭分解作用显著^[23].

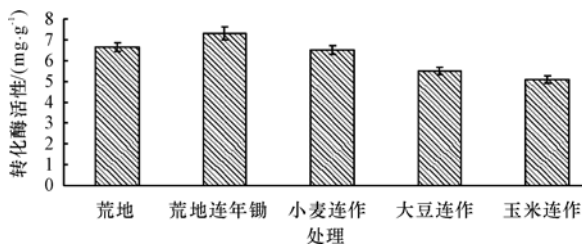


图2 不同作物连作下转化酶活性的变化

Fig. 2 The variation of soil invertase activities under different continuous croppings

2.2.3 蛋白酶 种植作物及施肥能不同程度地提高蛋白酶的活性,从图3的分析得知,蛋白酶活性为荒地连年锄>荒地>大豆连作>玉米连作>小麦连作,即3种作物对蛋白酶活性大小的影响为大豆>玉米>小麦.荒地连年锄>荒地说明蛋白酶对翻耕的作用敏感,是比过氧化氢酶更优的反映土壤肥力水平的指标.小麦、大豆、玉米各施肥处理间的差异性显著,各品种间差异性显著,这说明不同的作物种

类及施肥处理通过蛋白酶活性大小的变化能很好地表征土壤的肥力水平.

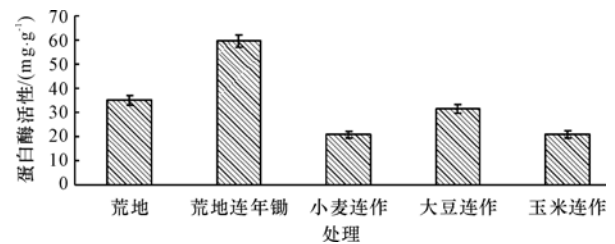


图3 不同作物连作下蛋白酶活性的变化

Fig. 3 The variation of soil protease activities under different continuous croppings

2.2.4 酸性磷酸酶 种植作物及施肥对土壤磷酸酶活性均有不同程度提高,从图4的分析得知,磷酸酶活性为荒地连年锄>荒地>小麦连作>大豆连作>玉米连作,即3种作物对酸性磷酸酶活性大小的影响为小麦>大豆>玉米.同时,小麦、大豆、玉米各施肥处理间的差异性显著,各品种间差异性显著,这说明不同的作物种类及施肥处理通过酸性磷酸酶活性大小的变化能表征土壤的肥力水平.磷肥的大量施用和累积,造成了黑土区含磷量过高,从而导致了磷酸酶活性不能表征黑土区的土壤肥力水平,而以上的分析研究表明,在海伦试验站合理的施肥条件下,酸性磷酸酶活性大小的变化能表征土壤的肥力水平,这一结论的得出,对于指导我们为黑土区提出更合理的施肥制度能够产生积极的作用.

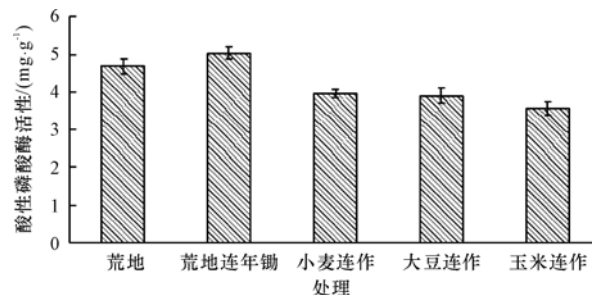


图4 不同作物连作下酸性磷酸酶活性的变化

Fig. 4 The variation of soil acid phosphatase activities under different continuous croppings

2.2.5 脲酶 从图5的分析得知,脲酶活性为荒地连年锄>荒地>玉米连作>小麦连作>大豆连作,即3种作物对脲酶活性大小的影响为玉米>小麦>大豆.荒地连年锄>荒地,说明脲酶对翻耕的作用敏感,且敏感度高于蛋白酶,故其是比过氧化氢酶、蛋白酶更优的反映土壤肥力水平的指标.也有研究表明,小麦不同的生育期脲酶活性是先增加后逐渐减小的趋势,原因是小麦根系从土壤中吸收大量的可溶性氮素及磷素,吸收氮的强度最大,脲酶活性增强^[24].

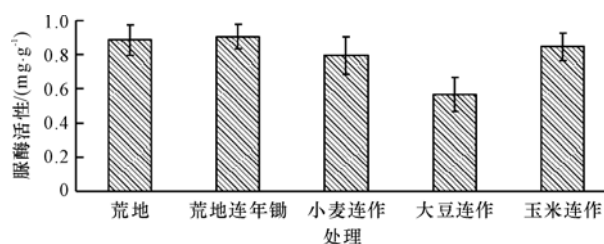


图5 不同作物连作下脲酶活性的变化

Fig.5 The variation of soil urease activities under different continuous croppings

小麦、大豆、玉米各施肥处理间的差异显著,各品种间差异显著,且为玉米 > 小麦 > 大豆,这说明不同的作物种类及施肥处理通过脲酶活性大小的变化能很好的表征土壤的肥力水平。

3 结论

田间试验结果表明,有机无机肥料的不同施用方法及作物种类会对土壤酶活性产生显著影响.施肥措施对于过氧化氢酶的活性影响不大;转化酶活性不随施肥品种及数量增加而明显变化,含P施肥下转化酶与蛋白酶活性显著高于缺P施肥,P肥能够明显增强转化酶与蛋白酶的活性;施用有机肥增加了土壤中有机质的含量,可以显著提高酸性磷酸酶和脲酶的活性.有机肥比例越大,酸性磷酸酶和脲酶的活性越高.脲酶活性在各施肥处理间、各作物种类间有显著差异,这说明不同的作物种类及施肥处理通过脲酶活性大小的变化能很好地表征土壤的肥力水平。

通过研究酶活性变化对不同作物长期连作响应的结果得知,转化酶、蛋白酶、酸性磷酸酶与脲酶的活性均表现为荒地连年锄 > 荒地,表明其对翻耕作用的反应更加敏感,反映土壤肥力的能力优于过氧化氢酶。

参考文献:

- [1] 苏立涛,沈向,郝云红,等. 有机物料对连作平邑甜茶幼苗生长及微生态环境的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 187-192.
- [2] 徐华勤,章家恩,冯丽芳,等. 广东省典型土壤类型和土地利用方式对土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1464-1471.
- [3] 隋跃宇,焦晓光,刘晓冰,等. 长期施肥对农田黑土酶活性及作物产量的影响[J]. 土壤通报, 2010, 41(3): 608-610.
- [4] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 176-182.
- [5] 哈兹耶夫. 土壤酶活性[M]. 郑洪元,等译. 北京: 科学出版社, 1980: 86-87.
- [6] 严昶生. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社,

1988: 274-276.

- [7] 赵兰坡,姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J]. 土壤通报, 1986, 17(3): 138-141.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-169.
- [9] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 406-410.
- [10] 周礼凯. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 164-165.
- [11] 王光华,齐晓宁,金剑,等. 施肥对黑土农田土壤全碳、微生物量碳及土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 661-666.
- [12] 焦晓光,隋跃宇,魏丹,等. 长期施肥对农田黑土酶活性及土壤肥力的影响[J]. 农业系统科学与综合研究, 2010, 26(4): 443-447.
- [13] 王俊华,林先贵,尹睿,等. 长期定位施肥对潮土腐植酸含量及其相关因素的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 352-357.
- [14] 张小磊,安春华,马建华,等. 长期施肥对城市边缘区不同作物土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 667-671.
- [15] 李东坡,武志杰,陈利军,等. 长期不同培肥黑土磷酸酶活性动态变化及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 550-553.
- [16] BOHME L, BOHME F. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization[J]. European Journal of Soil Biology, 2006, 42: 1-12.
- [17] 沈菊培,陈利军. 土壤磷酸酶活性对施肥-种植-耕作制度的响应[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 622-627.
- [18] 樊明寿,徐冰,王艳. 缺磷条件下玉米根系酸性磷酸酶活性的变化[J]. 中国农业科技导报, 2001, 3(3): 33-35.
- [19] 邱莉萍,王益权,刘军,等. 旱地长期培肥土壤脲酶和碱性磷酸酶动力学及热力学特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1028-1034.
- [20] 尤彩霞,陈清,任华中,等. 不同有机肥及有机无机配施对日光温室黄瓜土壤酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(3): 521-523.
- [21] 张笑培,杨改河,任广鑫,等. 黄土高原南部植被恢复对土壤理化性状与土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 64-68.
- [22] 王平,马忠明,包兴国,等. 长期不同施肥方式对小麦/玉米间作土壤蔗糖酶活性的影响[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(5): 611-614.
- [23] 李东坡,武志杰,陈利军,等. 长期定位培肥黑土土壤蔗糖酶活性动态变化及其影响因素[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(2): 102-105.
- [24] 刘淑英. 不同施肥对西北半干旱区土壤脲酶和土壤氮素的影响及其相关性[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 219-223.

【责任编辑 周志红】