

# 不同施肥措施对春玉米农田土壤酶活性的影响

黄智鸿<sup>1</sup>, 赵海超<sup>1\*</sup>, 魏 东<sup>1</sup>, 史宝林<sup>1</sup>, 毛庆文<sup>1</sup>, 宋胜普<sup>2</sup>, 阎立波<sup>3</sup>

(1. 河北北方学院, 河北 张家口 075000; 2. 宣化县农牧局, 河北 宣化 075100;

3. 河北省农林科学院, 河北 石家庄 050051)

**摘 要:** 为研究肥料配比对春玉米农田土壤酶活性的影响, 连续4年采用田间定位种植春玉米, 分析各生育期各土层酶活性, 利用聚类分析和主成分分析揭示酶活性的动态变化差异。结果表明, 各种施肥措施显著增加蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性, 主要影响10~20 cm土层酶活性。施用有机肥土壤酶活性最大值出现在散粉期, 施用无机肥土壤酶活性最大值出现在大喇叭口期。随着土层深度的增加, 蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性呈下降趋势; 过氧化氢酶活性10~20 cm土层最低。配合施肥中增施氮肥降低过氧化氢酶活性, 增加蔗糖酶、脲酶活性; 增施磷肥增加脲酶、磷酸酶活性; 增施有机肥增加过氧化氢酶活性, 降低蔗糖酶、脲酶活性。单施氮肥降低土壤脲酶和磷酸酶活性。有机无机肥配施能够延长春玉米生育期土壤酶活性的高值期。土壤蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶和磷酸酶活性分别受全钾、全氮、有机质和全氮、全磷和有机质含量的影响, 施肥通过改变土壤元素含量及供给能力影响土壤酶活性。

**关键词:** 施肥措施; 酶活性; 土壤; 春玉米

**中图分类号:** S154.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-6257 (2016) 05-0018-07

土壤微生物是陆地生态系统中最活跃的组分, 能敏感地反映气候以及土壤微生态环境的变化<sup>[1]</sup>, 在农田生态系统中土壤微生物作为重要的生物组分, 在植物残体降解、腐殖质形成、养分转化与循环、土壤结构形成与改良中扮演着十分重要的角色<sup>[2]</sup>。土壤酶来自土壤微生物、植物及动物活体或残体, 是土壤生化过程的产物<sup>[3]</sup>, 在催化土壤中物质分解及促进养分循环中具有重要作用<sup>[4-5]</sup>。因此, 许多研究者指出, 土壤酶活性能够灵敏、及时、准确地反映土壤质量的变化状况<sup>[6]</sup>, 可以作为反映土壤质量的敏感指标<sup>[7]</sup>。

施肥不仅是作物增产最有效的途径, 也有研究表明施肥可提高土壤总体酶活性<sup>[5,8]</sup>, 利用有机肥可以明显提高土壤生物活性<sup>[9-10]</sup>, 但长期单施和过量施用化学肥料能够造成土壤有机质含量降低、理化性状恶化<sup>[11]</sup>, 肥料利用率下降<sup>[12]</sup>, 以及土壤微生物性状发生变化<sup>[13]</sup>。目前在施肥对土壤酶活性

方面开展了大量的研究工作, 施肥可以通过影响土壤物理、化学和生物性状综合影响土壤酶活性, 因此, 不同肥料配合对土壤酶活性的综合影响值得进一步探讨。本研究以春玉米农田不同肥料配合长期田间定位试验为基础, 为明确不同肥料配施对土壤酶活性动态影响的差异, 利用聚类分析和主成分分析等分析手段, 探讨不同施肥条件下土壤酶活性的变化机制及主控因子, 为确定合理施肥及培肥地力提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

研究区域在中国北部河北省张家口市宣化县沙岭子镇南兴渠村 (北纬40°36'11.56"~东经115°08'05.74"), 该区春玉米种植面积近70万hm<sup>2</sup>, 占河北省春玉米种植面积的近1/3。试验地点无霜期为100~150 d, 年降水量为350~450 mm, 主要集中在7~8月。试验区土壤主要为褐土, 土壤质地为壤质土, 其土壤理化性状如表1所示。

### 1.2 试验处理

试验处理设单施氮(N)、单施磷(P)、氮磷配施(NP)、氮磷钾配施(NPK)、单施有机肥

收稿日期: 2015-06-08; 最后修订日期: 2015-07-13

基金项目: 河北省科学技术厅重大项目 (编号: 13226402D)。

作者简介: 黄智鸿 (1971-) 女, 河北张家口人, 副研究员, 博士生, 主要从事作物栽培生理生态学研究。E-mail: hbnuhz@163.com。

通讯作者: 赵海超, E-mail: haichaozhao19@163.com.cn。

(O)、氮+有机肥(NO)、磷+有机肥(PO)、氮磷+有机肥(NPO)、氮磷钾+有机肥(NPKO) 9个处理,以不施肥为对照(CK);其中施氮(N)  $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施钾( $\text{K}_2\text{O}$ )  $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、有机肥  $7500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。氮肥用尿素(N 46%)、磷肥用过磷酸钙( $\text{P}_2\text{O}_5$  12%)、钾肥用硫酸钾( $\text{K}_2\text{O}$  50%)、有机肥用牛粪

[含有机质 14.7%、氮(N) 0.42%、磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 0.22%]。为减少土壤扰动等引起的差异,施用肥料均以基肥一次性施入土壤。重复 3 次,共 30 个小区;小区面积为  $6 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 60 \text{ m}^2$ 。2010~2014 年连续 4 年采用田间定位施肥,种植玉米品种为郑丹 958,种植密度为  $75000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,田间管理同当地传统种植。

表 1 土壤 0~40 cm 土层理化性质

| 有机质<br>( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 全氮<br>(N, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 全磷<br>(P, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | 全钾<br>(K, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) | pH 值 | 容重<br>( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 孔隙度<br>(%) |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|------|-------------------------------------------|------------|
| 21.45                                      | 1 170                                        | 141                                          | 32 370                                       | 7.86 | 1.32                                      | 43         |

### 1.3 土壤样品采集

2014 年分别在玉米的大喇叭口期(7月3日)、散粉期(7月20日)和成熟期(9月20日),在田间试验小区内按“S”形采样法随机采集 5 点,采样深度分为 0~10、10~20、20~40 cm 3 个土层,现场混匀,去除土壤中植物残体和根系置于塑封袋中,带回实验室  $4^\circ\text{C}$  保存。进行土壤酶活性的测定。

### 1.4 分析方法

土壤蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定<sup>[14-15]</sup>;土壤碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定<sup>[15]</sup>;土壤脲酶采用靛蓝酚比色法测定<sup>[15]</sup>;土壤过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法测定<sup>[15]</sup>。土壤基本理化性状采用常规分析法测定<sup>[16]</sup>。

### 1.5 数据处理

试验数据统计与作图采用 Excel 2003 软件,数据聚类分析、相关分析和回归分析采用 SPSS 17.0 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对土壤蔗糖酶活性的影响

土壤中的蔗糖酶又名转化酶,可以将土壤中的蔗糖水解成葡萄糖和果糖<sup>[17]</sup>,对土壤中碳的矿化具有重要作用。不同施肥处理的土壤蔗糖酶变化如图 1 所示,土壤蔗糖酶活性在  $10.96 \sim 36.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$  之间,最小值出现在 NPKO 处理的成熟期,最高值出现在 NPK 处理的大喇叭口期。土壤蔗糖酶活性 NPK、NP、P 和 CK 处理的最高值出现在大喇叭口期,其他处理最高值出现在散粉期。蔗糖酶活性大喇叭口期最高值出现在 NPK 处理,最低值出现在 NPKO 处理;散粉期最高值出现在 PO 处理,最低值出现在 CK 处理;成熟期最高值出现在 NPK 处理,最低值出现在 NPKO 处理。土壤蔗糖酶活性 NPK、NP、N 和 O 处理随深度的增加呈下降趋势,其他处理最高值出现在 10~20 cm 土层。根系主要活动层

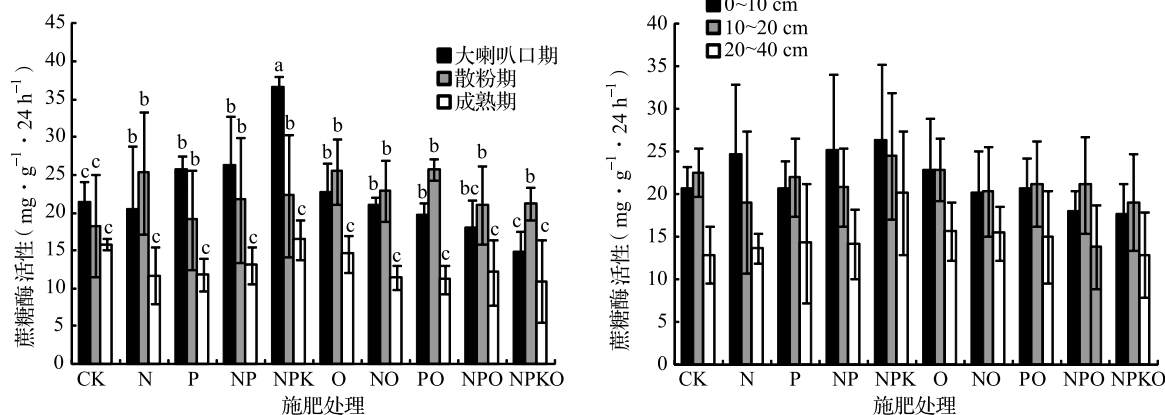


图 1 不同施肥处理对土壤蔗糖酶活性的影响

注:柱上不同小写字母代表 0.05 水平上的差异,下同。

(10~20 cm) 蔗糖酶活性大小顺序为  $\text{NPK} > \text{O} > \text{CK} > \text{P} > \text{PO} > \text{NPO} > \text{NP} > \text{NO} > \text{NPKO} > \text{N}$ 。可见, 氮磷钾肥配施能够增加土壤蔗糖酶活性, 但单施氮肥降低 10~20 cm 土层蔗糖酶活性, 增施有机肥降低蔗糖酶活性, 特别是有机无机肥配施降低土壤蔗糖酶活性。

## 2.2 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响

脲酶是催化尿素水解的唯一酶, 脲酶活性的高低可以反映出土壤供氮水平<sup>[3]</sup>。不同施肥处理土壤脲酶活性变化如图 2 所示, 土壤脲酶活性在  $0.20 \sim 0.99 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$  之间, 最小值出现在 NPO 处理的大喇叭口期, 最高值出现在 P 处理的大喇叭口期。脲酶活性 NPKO、NPO、PO、O、N 和 CK 处理在散

粉期最高, 其他处理大喇叭口期最高。脲酶活性在大喇叭口期 P 处理最高, NPO 处理最低; 在散粉期 NPKO 处理最高, N 处理最低; 在成熟期 N 处理最高, NPO 处理最低。不同土层脲酶活性 N 处理的最高值出现在 20~40 cm 土层, P 和 NPK 处理最高值出现在 10~20 cm 土层, 其他处理最高值出现在 0~10 cm 土层。根系主要活动层 (10~20 cm) 脲酶活性大小顺序为  $\text{P} > \text{NPK} > \text{NP} > \text{NO} > \text{NPKO} > \text{CK} > \text{O} > \text{N} > \text{NPO} > \text{PO}$ 。可见, 增施有机肥能够降低生育期平均土壤脲酶活性, 但提高春玉米散粉期土壤脲酶活性, 增施磷肥, 氮肥和有机肥配施有利于增加土壤脲酶活性, 而单施氮肥降低土壤脲酶活性。

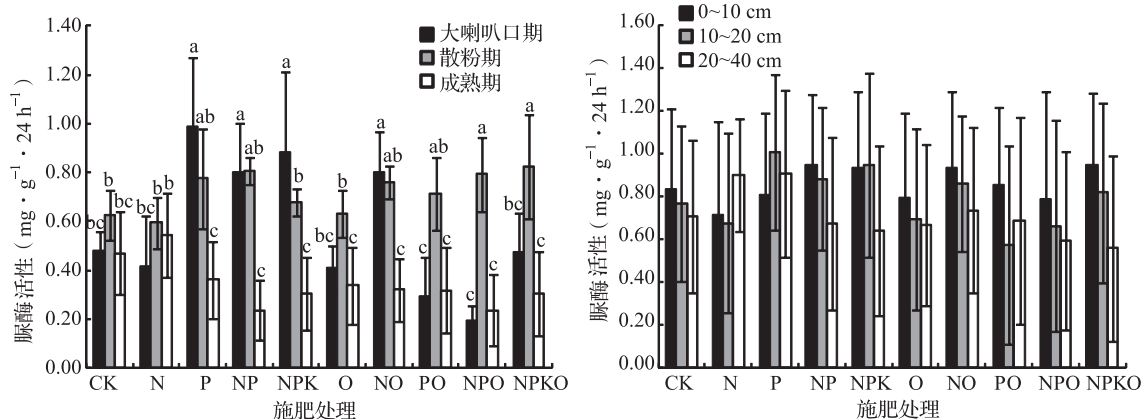


图 2 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响

## 2.3 不同施肥处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

土壤过氧化氢酶活性能够反映土壤中碳、氮物质的转化状况<sup>[18]</sup>。不同施肥处理的土壤过氧化氢酶活性变化如图 3 所示, 土壤过氧化氢酶活性在  $0.15 \sim 0.97 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 30 \text{ min}^{-1}$  之间, 最小值出现在 NPO 处理的成熟期, 最高值出现在 NPO 处理的散粉期。过氧化氢酶活性均在玉米散粉期达到最高,

在大喇叭口期 NO 处理最高, NPO 处理最低, 在散粉期 NPO 处理最高, N 处理最低, 在成熟期 CK 最高, NPO 处理最低。过氧化氢酶活性随着土壤深度的增加总体呈先降后升的趋势, P、CK 和 NPKO 处理最高值出现在 0~10 cm 土层, 其他处理最高值出现在 20~40 cm 土层。根系主要活动层 (10~20 cm) 过氧化氢酶活性大小顺序为  $\text{CK} > \text{NO} > \text{O} > \text{PO} >$

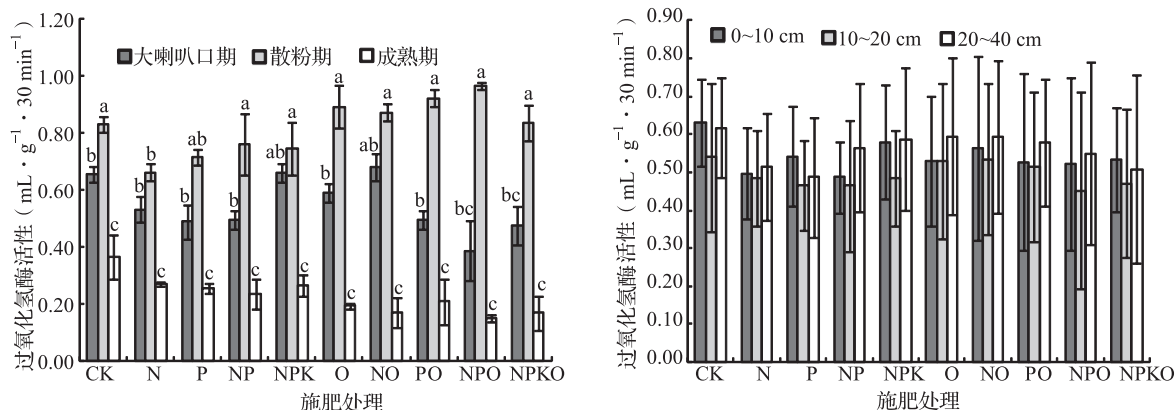


图 3 不同施肥处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

NPK > N > NPKO > P > NP > NPO。可见, 增施有机肥能够提高土壤过氧化氢酶活性, 有机无机配施降低土壤过氧化氢酶活性, 但提高散粉期土壤过氧化氢酶活性, 单施磷肥、氮肥降低土壤过氧化氢酶活性。

## 2.4 不同施肥处理对土壤磷酸酶活性的影响

磷酸酶起到调节土壤磷素供应的作用<sup>[19]</sup>。不同施肥处理的土壤磷酸酶活性变化如图4所示, 土壤磷酸酶活性在  $0.10 \sim 0.49 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24 \text{ h}^{-1}$  之间, 最小值出现在 NPO 处理大喇叭口期, 最高值出现在 P 处理大喇叭口期。各处理的土壤磷酸酶活性均高于 CK。磷酸酶活性 P、NPK、NO 处理的最高值出现在大喇叭口期, 其他处理的最高值出现在散粉

期。在大喇叭口期 P 处理最高, NPO 处理最低, 在散粉期 NPKO 处理最高, CK 最低, 在成熟期 N 处理最高, NPO 处理最低。不同土层的磷酸酶活性 P 和 NPK 处理 10 ~ 20 cm 土层最高, N 处理 20 ~ 40 cm 土层最高, 其他处理随着土壤深度的增加总体呈先降后升的趋势。根系主要活动层 (10 ~ 20 cm) 磷酸酶活性大小顺序为  $P > NPK > NP > ON > NPKO > O > CK > N > NPO > PO$ 。可见, 增施磷肥能够提高土壤磷酸酶活性, 施用无机肥有利于提高土壤磷酸酶活性, 特别是 10 ~ 20 cm 土层磷酸酶活性, 但单施氮肥降低土壤磷酸酶活性, 有机无机配施有利于提高散粉期土壤磷酸酶活性。

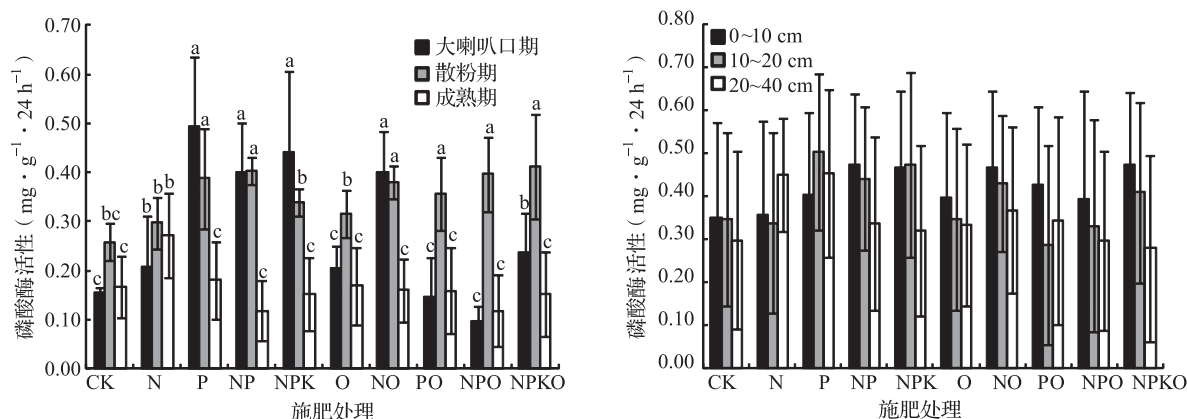


图4 不同施肥处理对土壤磷酸酶活性的影响

## 3 讨论

### 3.1 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

土壤酶活性是影响土壤养分循环和土壤供肥能力的重要指标。不同施肥处理除过氧化氢酶之外, 施肥均显著提高酶活性<sup>[8]</sup>, 但主要是提高大喇叭口期酶活性, 不同土层来看主要是提高 0 ~ 10 cm 土壤酶活性, 不施肥处理的过氧化氢酶活性主要是散粉期显著高于施肥处理, 而在大喇叭口期低于施肥处理。过氧化氢酶活性 20 ~ 40 cm 土层最高, 而其他酶活性总体随着土层深度的增加呈下降趋势, 过氧化氢酶是表征土壤生物氧化过程强弱的酶类<sup>[20]</sup>, 由于 10 ~ 20 cm 土层根系的耗氧作用, 使该层过氧化氢酶活性较低, 而底层和上层土壤氧化性较强, 这与该区域土壤质地有关。对各种酶活性季节性变化进行聚类分析 (图5) 可见, 蔗糖酶活性可以分为两类, 一类为 N、O、PO、NO、NPO、NPKO 处理, 该类处理散粉期酶活性最高; 其他处理为另一类, 该类处理大喇叭口期酶活性最高, 表明施用有机肥能够使

蔗糖酶活性高峰期延长、延后, 使土壤保持长期较高的酶活性, 主要是因为施用有机肥增加土壤中碳素含量进而促进蔗糖酶活性, 这与焦晓光等<sup>[21]</sup>研究结果相同。脲酶活性可以分为两类, 一类为 P、NP、NPK、NO 处理, 该类处理脲酶活性总体较高, 且大喇叭口期与散粉期酶活性差异不显著; 其他处理为另一类, 该类处理脲酶活性总体较低, 各生育时期差异较大。磷酸酶活性分类和脲酶相同。脲酶是将酰胺态有机氮化物水解转化为植物可直接利用的无机氮的酶, 反映土壤的供氮水平和能力的酶<sup>[5]</sup>, 磷酸酶是将有机磷水解转化为植物可直接利用的无机磷的酶, 反映土壤供磷水平和能力的酶。可见, 配合施肥中增施氮肥能够提高土壤的供氮、磷能力, 但单施无机氮肥由于反馈作用抑制脲酶的活性。过氧化氢酶活性可以分为两类, 一类为 NPK、CK、NO 处理, 该类处理大喇叭口期和散粉期酶活性差异较小; 其他处理为另一类, 该类处理大喇叭口期和散粉期差异显著, 可见, 土壤无机有机肥均衡条件下, 土壤过氧化氢酶活性在玉米生育期差异较小。

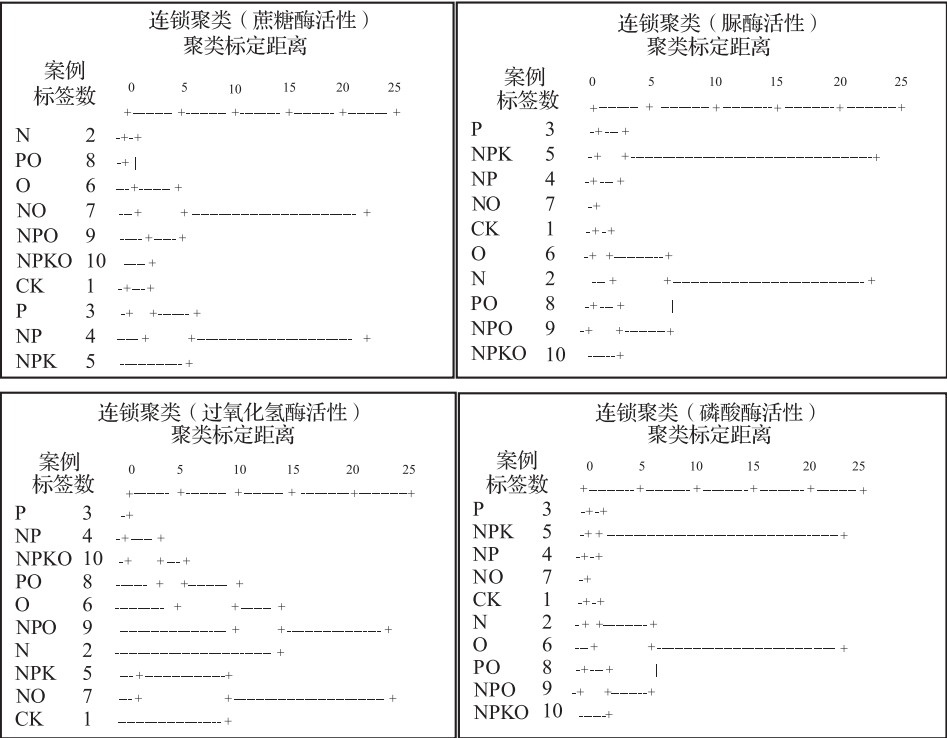


图5 不同施肥处理土壤酶活性聚类分析

3.2 土壤肥力对微生物及酶活性的影响

施肥是影响土壤肥力的主要农作措施，微生物及酶活性是影响土壤供肥能力的重要指标，不同施肥措施下土壤酶活性与土壤肥力间的相关性如表2所示。蔗糖酶与全钾呈显著正相关；脲酶与全磷呈显著负相关；过氧化氢酶与有机质呈显著负相关；磷酸酶与有机质呈显著负相关。这与刘庆新等<sup>[22]</sup>的研究不尽相同，在土壤各种营养元素均衡条件下，土壤各种酶活性与各种肥力指标均呈正相关，但在不同施肥措施下，由于土壤中氮、磷、钾等营

养元素不均衡，土壤酶活性受土壤有机质和氮、磷的影响不同，因此在配合施肥中增施氮肥有利于提高土壤氮、磷的供应能力，而单施氮肥，由于其他因子的限制作用，土壤氮、磷的供应能力反而下降。增施有机肥虽然显著增加了大喇叭口期过氧化氢酶活性，但却降低了成熟期的酶活性，因为施用无机肥农田土壤后期出现土壤脱肥现象，作物需要促进土壤有机残体矿化分解释放养分，因此提高过氧化氢酶活性。作物的养分吸收作用和酶的反饋抑制作用是影响土壤肥力与酶活性关系的重要因素。

表2 土壤肥力与微生物和酶活性的相关性

| 相关系数  | 速效钾 (K)  | 硝态氮      | 有效磷 (P)  | 有机质        | 全磷 (P)     | 全氮       | 全钾 (K)    |
|-------|----------|----------|----------|------------|------------|----------|-----------|
| 蔗糖酶   | -0.149 8 | -0.588 0 | -0.148 9 | -0.010 1   | -0.338 1   | -0.057 6 | 0.720 3 * |
| 脲酶    | -0.172 9 | -0.162 9 | -0.024 1 | 0.307 7    | -0.664 0 * | -0.079 4 | 0.290 7   |
| 过氧化氢酶 | -0.285 9 | -0.209 4 | -0.188 4 | -0.639 0 * | -0.027 9   | 0.411 8  | 0.469 5   |
| 磷酸酶   | -0.002 0 | -0.109 1 | 0.015 0  | -0.614 6 * | 0.459 5    | -0.013 7 | 0.180 4   |

注：n = 10，\* 表示差异达 0.05 显著水平。

土壤微生物和酶在参与土壤生化反应的过程中并不是孤立存在的，而是相互间存在着密切的配合和相互促进的复杂关系，同时也是各种营养元素均衡作用的结果。因此引进数理统计分析能够更好的揭示土壤酶活性与土壤肥力的关系。将土壤酶活性分别与土壤肥力指标进行回归分析，多元回归

方程：

$$U = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + fX_6 + gX_7$$

式中：U 为酶活性，X<sub>1</sub> 为速效钾，X<sub>2</sub> 为硝态氮，X<sub>3</sub> 为有效磷，X<sub>4</sub> 为有机质，X<sub>5</sub> 总磷，X<sub>6</sub> 为总氮，X<sub>7</sub> 为总钾，a、b、c、d、e、f、g 为各肥力指标的回归系数。方程中的标准回归系数就是通径系数，它乘以

相应的肥力指标间的相关系数就是间接途径系数,可揭示出哪种作用途径处于主导地位<sup>[22]</sup>。根据相关系数和回归分析途径系数(表3)可知,土壤蔗糖酶活性主要受全钾含量的影响,因此氮、磷、钾配施蔗糖酶活性最高;脲酶活性主要受全氮含量的影响,

施用氮肥能够提高土壤脲酶活性;过氧化氢酶活性主要受有机质和全氮含量的影响,因此施用有机肥能够提高土壤过氧化氢酶活性;磷酸酶活性主要受全磷和有机质的影响,因此单施磷肥土壤磷酸酶活性最高,而施用有机肥降低土壤磷酸酶活性。

表3 土壤肥力与微生物和酶活性的回归系数

| 回归系数  | 速效钾 (K) | 硝态氮    | 有效磷 (P) | 有机质    | 全磷 (P) | 全氮     | 全钾 (K) | R <sup>2</sup> |
|-------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| 蔗糖酶   | 0.941   | -0.686 | -0.688  | 0.066  | -0.095 | -0.225 | 0.739  | 0.601          |
| 脲酶    | 0.302   | -0.292 | 0.495   | 0.357  | -1.591 | 0.884  | -0.336 | 0.964          |
| 过氧化氢酶 | -0.121  | -0.399 | -0.108  | -0.781 | -0.204 | 0.850  | -0.119 | 0.752          |
| 磷酸酶   | 0.285   | -0.170 | 0.431   | 0.774  | -1.251 | 0.533  | -0.120 | 0.956          |

#### 4 结论

连续4年不同施肥措施田间定位试验,各种施肥措施显著增加蔗糖酶活性、脲酶活性和磷酸酶活性,对过氧化氢酶活性影响较小。过氧化氢酶活性在散粉期达到最高,10~20 cm 土层活性最低;蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性,施用有机肥处理最高值出现在散粉期,施用无机肥处理最高值出现在大喇叭口期,随着土层深度的增加均呈下降趋势。

增施氮肥增加土壤蔗糖酶活性、脲酶活性,降低土壤过氧化氢酶活性,单施氮肥降低土壤脲酶活性和磷酸酶活性,且主要影响10~20 cm 土层;增施磷肥增加土壤脲酶活性、磷酸酶活性;增施有机肥降低土壤蔗糖酶活性、脲酶活性,提高土壤过氧化氢酶活性;无机肥有利于提高土壤磷酸酶活性;有机无机肥配施降低土壤蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性,提高散粉期土壤磷酸酶活性、脲酶活性。

通过聚类分析可见,有机无机肥配施能够延长春玉米生育期土壤酶活性高值期,通过相关分析和回归分析可见,蔗糖酶活性主要受全钾含量的影响,脲酶活性主要受全氮含量的影响,过氧化氢酶活性主要受有机质和全氮含量的影响,磷酸酶活性主要受全磷和有机质的影响。

#### 参考文献:

- [1] 张红,吕家珑,曹莹菲,等.不同植物秸秆腐解特性与土壤微生物功能多样性研究[J].土壤学报,2014,51(4):743-752.
- [2] 杨凤娟,吴焕涛,魏珉,等.轮作与休闲对日光温室黄瓜连作土壤微生物和酶活性的影响[J].应用生态学报,2009,20(12):2983-2988.
- [3] 于天一,逢焕成,唐海明,等.不同母质类型水稻土酶活

性及其与理化性质的关系[J].土壤学报,2013,50(5):181-185.

- [4] Ajwa H A, Dell C J, Rice C W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tall grass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31 (5): 769-777.
- [5] 林诚,王飞,李清华,等.不同施肥制度对黄泥田土壤酶活性及养分的影响[J].中国土壤与肥料,2009,(6):24-27.
- [6] 孙建,刘苗,李立军,等.免耕与留茬对土壤微生物量C、N及酶活性的影响[J].生态学报,2009,29(10):5508-5515.
- [7] Parthasarathi K, Ranganathan L S. Aging effect on enzyme activities in pressmud vermicasts of *Lampito mauritii* (Kinberg) and *Eubrilus eugeniae* (Kinberg) [J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 30 (4): 347-350.
- [8] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1093-1099.
- [9] Plaza C, Hernandez D, Garcia-Gil J C, et al. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36 (10): 1577-1585.
- [10] Kautz T, Wirth S, Ellmer F. Microbial activity in a sandy arable soil is governed by the fertilization regime [J]. European Journal of Soil Biology, 2004, 40 (2): 87-94.
- [11] 陶磊,褚贵新,刘涛,等.有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J].生态学报,2014,34(21):6137-6146.
- [12] Roelck M, Han Y, Schleef K H, et al. Recent trends and recommendations for nitrogen fertilization in intensive agriculture in eastern China [J]. Pedosphere, 2004, 14 (4): 449-460.
- [13] Liu H, Lin Y H, Zhang Y S, et al. Effects of long-term fertilization on biodiversity and enzyme activity in grey desert soil [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (8): 3898-3904.
- [14] Pan Y Q, Luo H L, Li Y R. Soluble acid invertase and sucrose phosphate synthase: Key enzymes in regulating sucrose accumu-

- lation in sugarcane stalk [J]. Sugar Tech., 2009, 11 (1): 28–33.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986. 27–30.
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999. 106–108, 146–196.
- [17] 王俊华, 尹睿, 张华勇, 等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响 [J]. 生态环境, 2007, 16 (1): 191–196.
- [18] 何念祖. 浙江省几种水稻土的酶活性及其与土壤肥力的关系 [J]. 浙江农业大学学报 (农业与生命科学版), 1986, 12 (1): 43–47.
- [19] 张志丹, 赵兰坡. 土壤酶在土壤有机培肥研究中的意义 [J]. 土壤通报, 2006, 37 (2): 362–368.
- [20] 陈华癸, 樊庆笙. 微生物学 [M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- [21] 焦晓光, 魏丹. 长期培肥对农田黑土土壤酶活性动态变化的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (5): 23–27.
- [22] 刘庆新, 吴发启, 刘海斌, 等. 纸坊沟流域土壤酶活性与土壤肥力关系研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (5): 1100–1106.

### Effects of different fertilizer application on soil enzyme activity of spring corn

HUANG Zhi-hong<sup>1</sup>, ZHAO Hai-chao<sup>1\*</sup>, WEI Dong<sup>1</sup>, SHI Bao-lin<sup>1</sup>, MAO Qing-wen<sup>1</sup>, SONG Sheng-pu<sup>2</sup>, YAN Li-bo<sup>3</sup>  
(1. Hebei North University, Zhangjiakou Hebei 075000; 2. Agriculture and Husbandry Bureau of Xuanhua County, Xuanhua Hebei 075100; 3. Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang Hebei 050051)

**Abstract:** The effect of fertilizer combination on the soil enzyme activity was studied in spring maize farmland. The field location planted spring maize for 4 years. The soil enzyme activity was analyzed in the different growth period. The differences of dynamic changes of enzyme activity were revealed using the cluster discriminant analysis and the principal component analysis. The results showed that fertilization significantly increased the activities of sucrase, urease and phosphatase, and mainly affected the enzyme activity of 10 ~ 20 cm soil layer. The soil enzyme activity reached the maximum in the powder period with organic fertilizer application and in the big trumpet period with inorganic fertilizer application. With the increasing of soil depth, the activities of sucrase, urease and phosphatase decreased. Catalase activity reached the minimum in 10 ~ 20 cm soil layer. In various fertilization treatments, with the increasing of nitrogen content, the catalase enzyme activity decreased, and the sucrose and urease activity increased. The urease and phosphatase activity increased with more phosphate application. The catalase enzyme activity increased, and the sucrose and urease activity decreased when organic fertilizer was increased. While with only nitrogen fertilizer, urease and phosphatase activities reduced. Organic and inorganic combined fertilizers extended the high value duration of soil enzyme activity during the spring maize's growth period. The activity of sucrase, urease, catalase and phosphatase was influenced respectively by total potassium, total nitrogen, organic matter and total nitrogen, total phosphorus and organic matter content. Fertilization affected soil enzyme activity by changing soil elements content and supply ability.

**Key words:** fertilizer application scheme; enzyme activity; soil; spring maize