

不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响^①

邱现奎¹, 董元杰^{1*}, 万勇善², 胡国庆¹, 王艳华¹

(1 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018; 2 山东农业大学农学院, 山东泰安 271018)

摘要: 在田间试验条件下, 通过对花生各生育期土壤养分含量与酶活性的研究, 探讨了不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响。结果表明: 各生育期不同施肥处理土壤养分含量以控释掺混肥处理最高, 在整个生育期内都能满足花生对养分的需求, 普通复合肥在土壤中养分释放迅速, 后期出现脱肥现象; 土壤脲酶活性、酸性磷酸酶活性以控释掺混肥处理最高, 纯控释肥处理其次, 均明显高于普通复合肥和对照处理, 过氧化氢酶活性受肥料类型的影响较小, 变化范围在 2.68 ~ 6.26 ml/g 之间; 3 种土壤酶活性与速效 P 含量的相关性最好, 其中脲酶活性与土壤速效 P 含量相关性达到极显著正相关, 过氧化氢酶活性与速效 P 含量为极显著负相关, 脲酶活性与碱解 N 含量存在显著正相关, 磷酸酶活性与碱解 N 同样存在显著正相关, 过氧化氢酶活性与速效 K 含量存在极显著负相关。这说明土壤酶活性与土壤养分含量呈密切的相关性, 可将其作为评价土壤肥力的指标。

关键词: 生育期; 土壤酶活性; 相关性

中图分类号: S147.5

随着现代农业的发展和集约化生产水平的提高, 人们大量使用各种化肥以求获得高产量的农产品, 满足众多人口的粮食需求。据联合国粮农组织的统计资料表明, 在提高单产中, 化肥对增产所起的作用占 40% ~ 60%^[1]。在我国, 化肥对粮食增长的贡献率为 46.3%^[2]。化学肥料的施用对解决人们的温饱问题, 维持社会的稳定起到了重要的作用。在肥料施用的过程中人们先后发明并采用了多种不同类型的肥料和施肥技术, 对农业生产起到了积极的推动作用。有资料表明: 不同的施肥处理对土壤养分的含量及土壤中酶的活性具有显著的影响^[3-4], 土壤养分提供植物生长所必需的矿质元素, 同时其也是评价土壤自然肥力的重要指标, 土壤养分指标与土壤酶活性的大小有一定的关系^[5-7]。土壤酶是土壤的组成成分之一, 主要来自于高等植物的根系和土壤生物, 数量少, 作用大^[8]。土壤酶直接参与土壤中物质的转化、养分释放和固定过程, 与土壤供肥密切相关^[9]。当前, 农业生产中施用大量普通肥料能够解决高产作物养分缺乏的矛盾, 但存在成本高、环境效益低下以及存在作物生长后期供肥不足的缺陷; 而单施纯控释肥料虽然能保护土壤环境, 但同时也存在生产成本高和作物苗期供肥不足的缺点。

本研究以相同养分含量的不同种肥料作为不同施肥处理, 通过分析不同施肥处理对土壤养分含量和土壤酶活性的影响, 来评价不同肥料品种的差异, 为新型肥料的研制及施肥技术的创新提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

田间试验布置在山东省泰安市泰山区徐家楼办事处宅子村, 试验区土壤为普通棕壤。表 1 为试验区土壤的基本肥力特征。供试作物为: 花生 (品种为小白沙)。

田间试验设 4 个施肥处理, 处理一: CK (对照, 不施肥); 处理二: CCF (普通复合肥 N-P₂O₅-K₂O = 17-19-16, 原料为普通尿素、过磷酸钙、普通硫酸钾); 处理三: CRF1 (纯控释肥: N-P₂O₅-K₂O = 17-19-16, 原料为树脂包膜控释肥, 设计控释期为 4 个月); 处理四: CRF2 (控释掺混肥: N-P₂O₅-K₂O = 17-19-16, 由山东金正大生态工程股份有限公司提供, 原料为树脂包膜尿素、磷酸氢二铵、硫酸钾, 普通尿素、磷酸氢二铵、硫酸钾, 其中控释 N 占 50%, 控释 P 占 37%, 控释 K 占 25%)。试验小区面积为 10 m × 2 m, 施肥量为 750 kg/hm², 每个小区施肥 1.5 kg, 每

①基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目 (2006BAD10B07) 和山东农业大学博士后基金项目 (76226) 资助。

* 通讯作者 (yjdong@sdau.edu.cn)

作者简介: 邱现奎 (1983—), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 主要从事新型肥料研制及其应用研究。E-mail: qiuxiankui@tom.com

个处理设 3 次重复,除肥料种类不同外田间管理均与当地的传统习惯一致,小区随机排列。各处理的肥料均作为基肥一次性施用,基肥于播种后开沟施肥。花

生种子穴播,每穴 3 粒,行距 0.33 m,株距 0.20 m,出苗后间苗,每穴留 2 株。于 2008 年 4 月 24 日播种,9 月 2 日收获。

表 1 田间试验土壤基本理化性质

Table 1 Properties of experimental soil

土壤类型	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	全 N (g/kg)	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	有机质 (g/kg)
棕壤	48.89	53.63	80.99	1.226	86.1	10.74

1.2 测定项目及方法

1.2.1 土壤养分含量测定 土壤碱解 N 用碱解扩散法测定;土壤速效 P 用 0.5 mol/L 的 NaHCO_3 浸提,钼锑抗比色法测定;土壤速效 K 用 1 mol/L 醋酸铵浸提,火焰光度法测定^[10]。

1.2.2 土壤酶活性测定 脲酶活性测定:于花生全生育期内,按 S 形多点采集表层 (0~20 cm) 土壤混合样,采用苯酚-次氯酸钠比色法测定,其活性以 24 h 后 1 g 土壤中 NH_4^+-N 的毫克数表示。过氧化氢酶活性测定:参照脲酶活性测定时土壤混合样采样方法,采用高锰酸钾容量法测定,其活性以单位土重的 0.1 mol/L 1/5 KMnO_4 毫升数表示。磷酸酶活性测定:参照脲酶、过氧化氢酶活性测定时土壤混合样采样方法,采用磷酸苯二钠比色法测定,其活性以每克土壤的酚毫克数表示^[11]。

2 结果与分析

2.1 各生育期不同施肥处理对土壤速效养分的影响

2.1.1 不同施肥处理对土壤碱解 N 含量的影响

由图 1 可见,花生各生育期,各施肥处理土壤碱解 N 含量均大于 CK 处理。苗期,土壤碱解 N 含量以 CRF2 处理最高,其次是 CCF、CRF1 处理。控释复合肥 CRF1、CRF2 处理土壤碱解 N 高峰期出现在花针期 (6 月 15 日),此时土壤碱解 N 含量分别为 77.85 mg/kg、106.47 mg/kg,分别比 CCF 处理高 39.37%、90.60%。进入结荚期后期 (8 月 15 日),控释肥 CRF1、CRF2 处理仍缓慢释放 N,土壤中碱解 N 含量比 CK 处理分别高出 19.65%、49.42%,而 CCF 处理土壤碱解 N 含量仅比 CK 处理高 3.77%。成熟期,控释复肥处理土壤碱解 N 含量仍维持较高水平。由图 1 还可以看出,除成熟期外,不同控释肥处理土壤碱解 N 含量按照 CRF2>CRF1 顺序递减。这可能是由于二者养分释放速率差异引起的,其中 CRF2 为控释掺混肥,不仅含有控释 N 肥而且含有速效 N 肥,能在不同时期为花生生长提供所需养分,CRF1 为纯控释肥,其中不含易溶性养分,N 释放缓慢且稳定,正是此不同导致了土壤中碱解 N 含量存在差异。

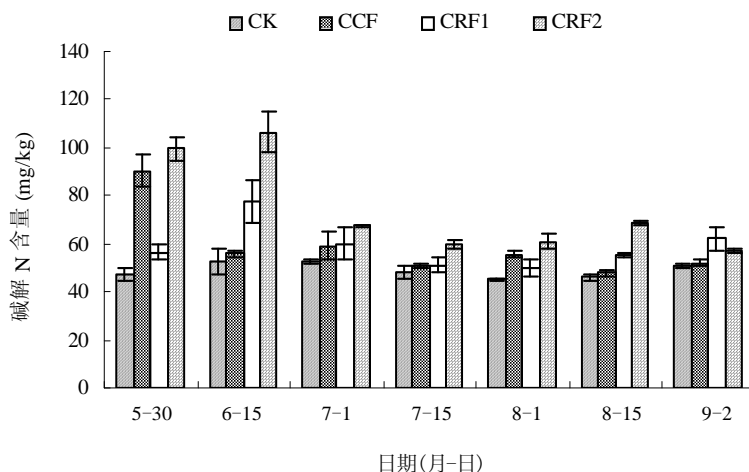


图 1 不同施肥处理对土壤碱解 N 含量的影响

Fig. 1 Effects of different fertilizing treatments on contents of soil available N

2.1.2 不同施肥处理对土壤速效 P 含量的影响

由图 2 可见，苗期，土壤速效 P 含量以 CRF2 处理最高，其次是 CCF、CRF1 处理，这与土壤碱解 N 含量变化趋势相似。CRF2 处理土壤速效 P 含量高峰期出现在花针期（6 月 15 日），此时土壤速效 P 含量高达 171.04 mg/kg，与其他处理差异显著。进入结荚期后期（8 月 15 日），控释肥 CRF1、CRF2 处理仍缓慢释放 P，土壤中速效 P 含量比 CK 处理

分别高出 143.9%、181.9%，而 CCF 处理土壤速效 P 仅比 CK 处理高出 75.88%。成熟期，各施肥处理土壤速效 P 含量按照 CRF2>CRF1>CCF 的顺序递减。这可能是由于肥料所含成分不同所引起的，CRF2 处理含有控释和速效两种类型的磷酸氢二铵，CRF1 处理主要含纯控释磷酸氢二铵，而 CCF 处理主要含普通磷酸钙，正是由于所含 P 类型不同造成 P 在土壤中释放速率不同。

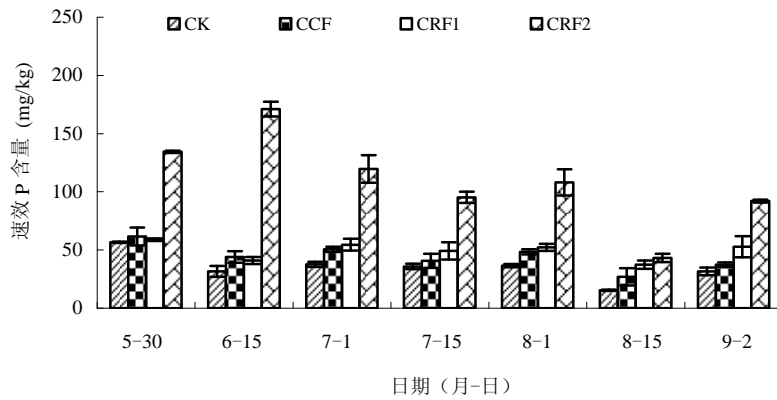


图 2 不同施肥处理对土壤速效 P 含量的影响

Fig. 2 Effects of different fertilizing treatments on contents of soil available P

2.1.3 不同施肥处理对土壤速效 K 含量的影响

由图 3 可见，普通复合肥施入土壤后养分迅速释放，苗期土壤速效 K 含量达 300.7 mg/kg。控释复合肥 CRF1、CRF2 处理土壤速效 K 高峰期分别出现在花针期（7 月 1 日）、花针期（6 月 15 日），而普通复合肥进入花针期后，土壤速效 K 含量明显低于各控释肥处理。进入结荚期后期（8 月 15 日），控释肥 CRF1、CRF2

处理仍继续释放 K，土壤中速效 K 含量比 CK 处理分别高出 108.0%、120.0%，比 CCF 处理分别高出 76.26%、86.41%。到成熟期，控释复肥处理土壤速效 K 含量仍维持较高水平，此时土壤速效 K 含量以 CRF1 处理最高，与 CCF 处理差异显著。此时 CRF1 处理速效 K 含量大于 CRF2 处理，这是由于纯控释肥与控释掺混肥的控释特性差异所引起。

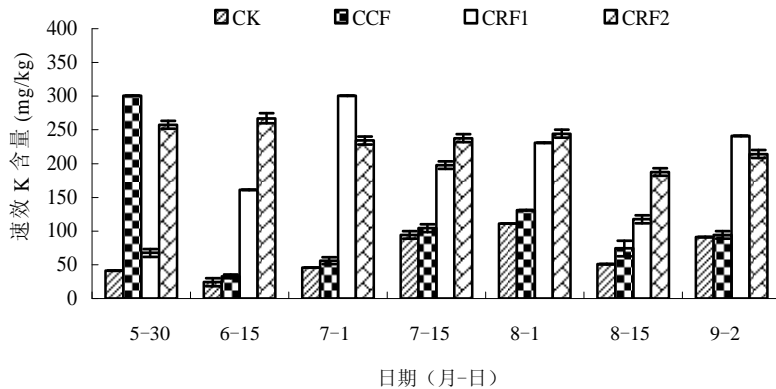


图 3 不同施肥处理对土壤速效 K 含量的影响

Fig. 3 Effects of different fertilizing treatments on contents of soil available K

2.2 各生育期不同施肥处理对土壤酶活性的影响

2.2.1 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响 在土壤酶中, 脲酶是唯一对一种重要的矿质肥料——尿素的转化作用具有重大影响的酶^[12], 施入土壤中的尿素只能在脲酶的参与下才能水解, 脲酶的酶促反应产物N是植物N源之一, 它的活性可以用来表征土壤N素状况。不同的生育期, 各个处理中脲酶活性的差异发生着不同的变化。

由图 4 可见, 花生全生育期内, 不同施肥处理脲酶活性变化趋势相似, 呈现出逐渐递增的趋势。苗期, CRF2 处理脲酶活性最高。进入花针期后, 土

壤脲酶活性有所增加, 此时CRF2 处理脲酶活性最高, 与其他处理差异显著。进入结荚期(7月15日), 脲酶活性增加较快, 随后30天内脲酶活性趋于稳定。成熟期, 各处理脲酶活性继续增高, 其中CRF2 处理脲酶活性最高, 达 1.598 mg/g, 其次为CRF1、CCF、CK处理。肥料施入土壤后, 脲酶活性增加可能的原因是脲酶反应底物的浓度升高, 施入肥料后, 由于肥料中所含N素为尿素和磷酸氢二铵, 土壤中氢氧化铵浓度升高, 溶解或水解土壤有机质增加, 提高了水溶性有机质含量, 因而脲酶活性也随之增加^[13]。

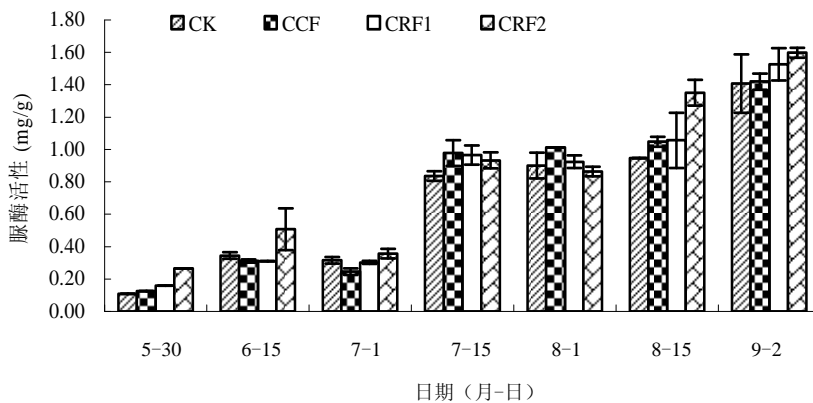


图 4 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响

Fig. 4 Effects of different fertilizing treatments on activity of soil urease

2.2.2 不同施肥处理对土壤酸性磷酸酶活性的影响

磷酸酶是一种水解性酶, 酶促作用能够加速有机P的脱P速度, 提高土壤P的有效性。土壤有机P转化受多种因子制约, 有机磷盐的转化是有机质矿化过程的基本部分, 磷酸酶参与能酶促磷盐键的水解性裂解。土壤中的磷酸酶有酸性、中性和碱性之分, 在不同酸碱性土壤中, 3种磷酸酶的比例是不同的。本实验土壤为微酸性土壤, 酸性磷酸酶活性见图5。

由图5可见, 全生育期内, 不同处理的酸性磷酸酶活性变化趋势相似, 呈现出先增加后降低最后趋于稳定的趋势。苗期, CRF2 处理酸性磷酸酶活性最高, 其次为CRF1、CCF处理, CK处理酸性磷酸酶活性最低。进入花针期, 各处理酸性磷酸酶活性呈现出递增趋势, 随后30天内活性有所降低, 进入结荚期中期(8月1日)后, 酸性磷酸酶活性趋于稳定状态。以上说明, 在花生全生育期内, 不同施肥处理土壤供给有效

P的强度不同, 控释肥CRF1、CRF2处理酸性磷酸酶活性明显高于CCF和CK处理。这可能是由于肥料所含成分不同所引起的, CRF2、CRF1处理都含有磷酸氢二铵, 在土壤中易于溶解, 即而发生P素固定, 在全生育期内都易于发生酶促反应, 被磷酸酶催化水解, 而CCF处理主要含过磷酸钙, 在土壤中转化为易溶成分较为困难, 进而影响了酸性磷酸酶活性。

2.2.3 不同施肥处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

过氧化氢是由生物呼吸过程和有机物的生物化学氧化反应产生的, 其对生物和土壤均有毒害作用, 而存在于土壤中的过氧化氢酶则能酶促过氧化氢分解为水和氧气, 从而解除了过氧化氢的毒害作用。

过氧化氢酶活性测定结果(图6)表明, 过氧化氢酶活性受肥料类型的影响较小, 在花生全生育期内, 过氧化氢酶活性的变化范围在2.682~6.256 ml/g之间。过氧化氢酶活性变化规律是: 苗期, 各处理以CRF2处理活性最高; 进入花针期(6月15日), 过氧化氢

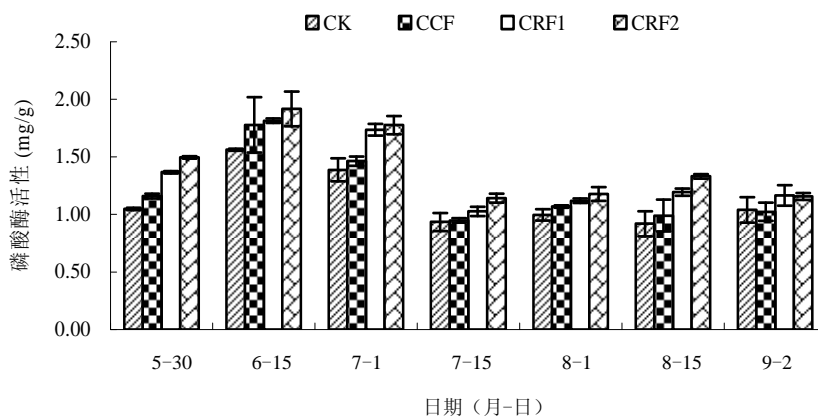


图 5 不同施肥处理对土壤酸性磷酸酶活性的影响

Fig. 5 Effects of different fertilizing treatments on activity of soil phosphatase

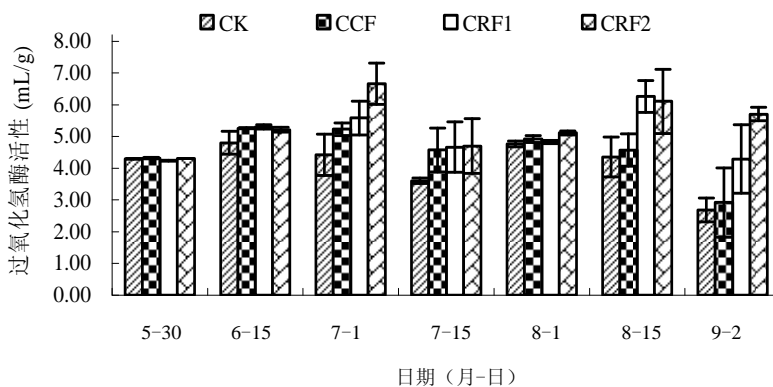


图 6 不同施肥处理对土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig. 6 Effects of different fertilizing treatments on activity of soil catalase

酶活性有所提高，在 7 月 1 日时，过氧化氢酶活性最高，随后 15 天内酶活性有所降低；结荚期后期（8 月 15 日），各处理以 CRF1 处理酶活性最高，其次为 CRF2、CCF 处理；成熟期，CRF2 处理过氧化氢酶活性仍维持在较高水平。全生育期内，各施肥处理过氧化氢酶活性较 CK 处理均有所增加，这说明肥料施用在一定程度上提高了土壤中过氧化氢酶的活性，但是不同肥料处理之间过氧化氢酶活性差异不明显。

2.3 土壤养分含量与土壤酶活性的关系

土壤酶来自土壤微生物、植物和动物，土壤酶活性常被用作预测土壤肥力的指标^[14]。土壤养分含量与土壤酶活性关系见表 2。由表 2 可见，3 种酶活性与速效 P 含量的相关性最好，其中脲酶活性与速效 P 含量相关性达到极显著正相关，过氧化氢酶活性与土壤速效 P 含量相关性为极显著负相关。土壤脲酶活性与碱

解 N 含量相关性为显著正相关，磷酸酶活性与碱解 N 含量相关性同样为显著正相关。过氧化氢酶活性与速效 K 含量相关性达到极显著负相关。此外，磷酸酶活性与过氧化氢酶活性之间存在着极显著负相关关系。由表 2 还可以看出，过氧化氢酶活性与土壤各养分含量之间相互关系最为密切，其次为脲酶、磷酸酶。

3 结论与讨论

在本试验条件下，经过不同施肥处理：对照（不施肥）、普通复合肥、纯控释肥、控释掺混肥，据花生不同生育期土壤中养分含量、酶活性变化情况得出，纯控释肥和控释掺混肥在土壤中 N、P、K 养分释放规律有所不同，其差异主要表现在花生生长的苗期，此时纯控释肥养分释放缓慢，而控释掺混肥由于含有易溶性养分，其养分释放较快，很好地解决了苗期供肥

表 2 土壤养分含量与土壤酶活性的关系

Table 2 Correlations between soil nutrient contents and soil enzyme activities

分析项目	碱解 N	速效 P	速效 K	脲酶	过氧化氢酶	磷酸酶
碱解 N	1	-	-	-	-	-
速效 P	0.423	1	-	-	-	-
速效 K	-0.089	0.769**	1	-	-	-
脲酶	0.570*	0.592**	0.186	1	-	-
过氧化氢酶	-0.268	-0.797**	-0.757**	-0.296	1	-
磷酸酶	0.638*	0.498	0.270	0.188	-0.597*	1

注: $n=3$; * 表示处理在 $p<0.05$ 水平上的差异显著性; ** 表示处理在 $p<0.01$ 水平上的差异显著性。

不足的问题。普通肥料处理在结荚期之前能维持土壤养分含量及与之相关的酶活性处于较高水平,之后养分含量逐渐降低造成花生生育后期脱肥;纯控释肥处理,能使全生育期土壤养肥水平均处于较高水平,但成本太高;控释掺混肥处理,既能使全生育期土壤养肥水平均处于较高水平又能有效降低施肥成本。各肥料处理土壤脲酶活性以控释掺混肥处理活性最高,其次为纯控释肥,普通复合肥处理;本实验土壤为弱酸性土壤,不同处理酸性磷酸酶活性变化趋势相似,各施肥处理中,控释掺混肥处理酸性磷酸酶活性最高;过氧化氢酶活性受肥料类型的影响较小,在花生全生育期内,过氧化氢酶活性的变化范围在 2.682 ~ 6.256 ml/g 之间,各施肥处理过氧化氢酶活性较对照处理均有所提高,在花生生长后期,控释肥处理过氧化氢酶活性高于普通复合肥处理。这说明土壤酶活性与施肥处理呈密切的相关性,可将其作为施肥处理措施的生物学指标。

土壤脲酶、过氧化氢酶、酸性磷酸酶活性与土壤养分含量存在相应的相关性,其中以与速效P含量的相关性最好。脲酶活性与土壤速效P含量相关性达到极显著正相关,过氧化氢酶活性与土壤速效P含量相关性为极显著负相关;此外,过氧化氢酶活性与土壤各养分关系最为密切。这表明选用合适的土壤酶作为评价土壤肥力的指标,比单纯通过土壤养分来评价土壤肥力更加全面和灵敏,同时多种酶的共性关系也可以作为综合评价土壤肥力指标的标志之一。将土壤酶与土壤速效养分相结合作为深入研究土壤肥力的评价指标,对尝试建立棕壤土壤学评价指标体系以及培肥土壤具有重要的指导意义^[15]。

参考文献:

- [1] 浙江农业大学. 作物营养与施肥. 北京: 中国农业出版社, 1987: 3
- [2] 张民. 包膜控释肥料研究与产业开发. 化肥工业, 2004 (2):7-14
- [3] 任祖淦, 陈玉水, 唐福钦, 王东海, 张逸清. 有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(3): 279-283
- [4] 李贵宝. 潮土中几种酶活性与肥力因素间的相关研究. 河南农业科学, 1994(10): 24-26
- [5] 周礼恺, 张志明, 曹承绵. 土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用. 土壤学报, 1983, 20(4): 413-417
- [6] Monreal CM, Bergstrom DW. Soil enzymatic factors expressing the influence of land use, tillage system and texture on soil biochemical quality. Soil Sci. Can. J., 2000, 80: 419-428
- [7] Böhme L, Langer U, Böhme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 109(1/2):141-152
- [8] 关松荫. 土壤酶与土壤肥力. 土壤通报, 1980, 1(6): 41-44
- [9] 张宪武. 土壤微生物研究: 理论, 应用, 新方法. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993: 13-24
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986
- [12] 王冬梅, 王春枝, 韩晓日, 张旭东, 邹德乙, 刘小虎. 长期施肥对棕壤主要酶活性的影响. 土壤通报, 2006, 37(2): 263-267
- [13] 金继运, 刘荣乐, 等译. 土壤肥力与肥料. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 95-155
- [14] 刘建新. 不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究. 土壤通报, 2004, 35(4): 523-525
- [15] 王灿, 王德建, 孙瑞娟, 林静慧. 长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性. 生态环境, 2008, 17(2): 688-692

Effects of Different Fertilizing Treatments on Contents of Soil Nutrients and Soil Enzyme Activity

QIU Xian-kui¹, DONG Yuan-jie¹, WAN Yong-shan², HU Guo-qing¹, WANG Yan-hua¹

(1 College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China;

2 College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract: Under the field experimental conditions, we explored the effects of different fertilizing treatments on the contents of soil nutrients and soil enzyme activities. The results showed that: in each growth period of peanut, the contents of soil available nutrients in the treatments of the controlled-release compound bulk fertilizer were highest, which could meet for peanut requirement throughout the whole growth period. The common compound fertilizer released the nutrients quickly in soil thus led nutrient insufficiency later. The activities of urease and acid phosphatase in the treatments of the controlled-release compound fertilizer were much higher than those in the treatments of common compound fertilizer and control. The activity of catalase was less affected by the types of fertilizers, which ranged from 2.68 to 6.26 ml/g. Significant correlations existed between soil enzyme activity and soil nutrient content, positive correlation between urease activity and available P, negative correlation between catalase activity and available P, positive correlation between urease and phosphatase activities and available N, negative correlation between catalase activity and available K. The results indicate the feasibility of soil enzyme activities in assessing soil nutrients and fertility.

Key words: Growth period, Soil enzyme activity, Correlation