

# 长期定位施肥对非石灰性潮土不同土层土壤酶活性年际变化量的影响

王 飞, 温立玉, 刘树堂, 宋祥云

(青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 青岛 266109)

**摘要:**利用 1978 年所建立的莱阳长期定位试验田研究不同施肥处理对不同土层土壤酶活性以及年际变化量的影响, 经 10 年研究发现, 不同处理土壤酶活性总体顺序为: 有机肥(M) > 氮磷钾(NPK) > 氮磷(NP) > 氮肥(N) > 氮钾(NK) > 空白(CK)。土壤磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性随着年限的增加而逐年增加, 其年际变化量趋势波动前进, 与脲酶变化量趋势差异显著。其中土壤蔗糖酶、磷酸酶的年际变化量趋势较相似, 均为小幅度波动前进。过氧化氢酶年变化量趋势中则含有明显的“V”型趋势, 多有负增长量。脲酶的有机肥(M)处理年际变化量与施用化肥处理差异达极显著水平, 不同化肥处理间的变化量却不显著。

**关键词:**长期定位施肥; 非石灰性潮土; 土壤酶活性; 年际动态变化

**中图分类号:**S154 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)01-0165-05

## Effect of Different Fertilization Treatments and Different Soil Highths on Soil Enzyme Activities and Interannual Dynamic Characteristics to Long-term Fertilization

WANG Fei, WEN Li-yu, LIU Shu-tang, SONG Xiang-yun

(Resources and Environment College, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109)

**Abstract:** Using the Laiyang long-term positioning plots established in 1978, to study the effect of different fertilization treatments on soil enzyme activities and interannual dynamic characteristics. According to 10 years of research, we find that different treatments overall order of soil enzyme activity is M > NPK > NP > N > NK > CK. With the increase of service life soil phosphatase, invertase and catalase activities increased year by year. Its interannual variation went forward volatility and the difference is significant. The interannual variation of invertase and phosphatase was similar and went forward volatility. The interannual variation of catalase was contented the "V" similar trends and most of them appear negative growth. Otherwise, The difference between urease interannual variability of organic manure and chemical fertilizer volume was highly significant. The different treatments of chemical fertilizer was not significant.

**Key words:** Long-term fertilization; Non-calcareous alluvial soil; Soil enzyme activity; Interannual dynamics

土壤酶活性是综合评价土壤肥力高低的重要指标, 对土壤营养元素转化速度有影响<sup>[1]</sup>。近几年来, 对土壤酶活性的研究主要集中在不同施肥水平下, 土壤速效氮、磷、钾、有机质等基础养分与土壤酶活性相关性高低等方面, 对长期监控土壤酶年际变化量范围与趋势方面的报道还较少。本研究以莱阳市长期定位试验田为研究对象, 研究 10 年间土壤酶

活性的年际动态变化量的趋势, 旨在为估测长期定位施肥条件下土壤酶活性与含量的变化规律提供一定的理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

本试验在青岛农业大学莱阳长期定位实验田进

收稿日期: 2013-11-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(30873470); 公益性行业项目(201203030); 山东省泰山学者岗位项目(旱作与育种技术)

作者简介: 王 飞(1986-), 女, 山东青岛人, 在读硕士, 主要从事植物营养与施肥技术研究。

通讯作者: 刘树堂(1962-), 男, 山东安丘人, 博士, 硕士生导师, 主要从事植物营养与施肥技术研究。

行,土壤类型为非石灰性潮土,土壤基本情况为:pH 值 6.8,中性土壤,其有机质的含量为 4.10 g/kg,速效磷含量为 15 mg/kg,速效钾含量为 38 mg/kg。本试验共设置 6 个处理,采用随机排列,每个处理设置 3 次重复(表 1)。长年实行冬小麦-夏玉米轮作,每年两作。总基肥为有机肥和无机磷、钾肥相互配施 2 种,小麦和玉米用无机氮作种肥、在夏玉米拔节期、穗期分 2 次追肥。

表 1 试验设计

Tab. 1 Experimental design					kg/hm <sup>2</sup>
处理	无机氮肥量	有机肥	磷肥施用量	钾肥施用量	
Treatment	N content	M content	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> content	K <sub>2</sub> O content	
N	276	0	0	0	
M	0	60 000	0	0	
NK	276	0	0	135	
NP	276	0	90	0	
NPK	276	0	90	135	
CK	0	0	0	0	

## 1.2 试验方法与数据处理

在每年 6 月份左右,即冬小麦收获后,分 3 个土层取土样,即 0~10,10~20,20~40 cm,在实验室测定不同土层土壤中磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶的活性。本试验选取 2005,2007,2009,2011,2013 年的测定值,进行土壤酶活性的年际变化量动态变化分析。土壤酶活性的测定方法为:土壤蔗糖酶活性采用硫代硫酸钠滴定法测定,土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾法测定<sup>[2]</sup>,酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定<sup>[3]</sup>,脲酶活性采用苯酚钠比色法测定<sup>[4]</sup>。

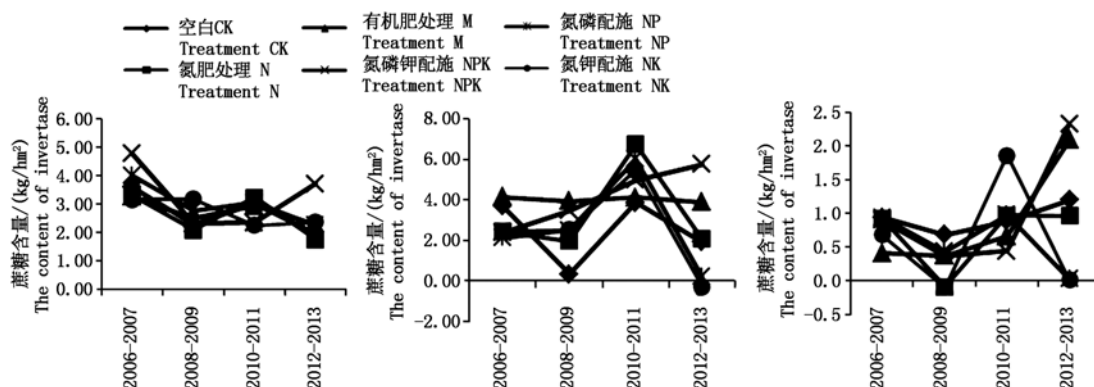
因定位试验具有长期性、重复性等特点,一年间的数据变化趋势小,故本研究节选有标志性的 1993,1998,2003,2008,2013 年的试验数据作为代表,研究 10 年间土壤酶活性的动态变化趋势。年际变化量(kg/hm<sup>2</sup>) = 后一年的年际变化量(kg/hm<sup>2</sup>)

- 前一年的年际变化量(kg/hm<sup>2</sup>)。

## 2 结果与分析

### 2.1 长期定位施肥对非石灰性潮土不同土层蔗糖酶活性年际变化量的影响

蔗糖酶在土壤中可以加速形成产物葡萄糖,为植物生长提供重要的营养物质<sup>[5]</sup>。长期定位施肥对不同土层土壤蔗糖酶活性年际变化量的影响如图 1 所示,经 10 年研究发现,各个处理间蔗糖酶活性年际变化量总的顺序为:M > NPK > NP > N > NK > CK,施用有机肥(M)处理高于施用化肥处理,配施磷肥的化肥处理显著高于其他化肥处理,说明磷肥的施用量对蔗糖酶活性有巨大的影响,钾肥作用不显著。所有施肥处理与不施肥(CK)处理的土壤蔗糖酶活性年际变化量都为正增长,全体变化量为 1.76~4.80 kg/hm<sup>2</sup>,有机肥(M)处理与化肥(N、NPK、NP、NK)处理的年变化量趋势都是波动前进。在 10~20 cm 土层,蔗糖酶年变化量整体高于 0~10 cm 土层,有机肥(M)处理的蔗糖酶含量趋势稳定,每 2 年的变化量约为 0.20 kg/hm<sup>2</sup>,大致可以看作“一”型,这说明有机肥中含有丰富的营养成分,可以有效改善土壤环境,使蔗糖酶活性保持稳定。而氮磷钾(NPK)处理的年际变化量分别为 2.39,3.48,4.99,5.35 kg/hm<sup>2</sup>,即随着施肥年限的增长而增多,说明合理配施氮磷钾肥可增加酶促基质,使蔗糖酶含量稳定增长,而 NP、NK、N 肥处理的变化量趋势均在 2006-2007 年平稳增长,其后 2008-2013 年间变化差异显著,呈现“倒 V”型,这可能是由于非石灰性潮土的土壤特性所致。在 20~40 cm 土层,蔗糖酶含量大幅度降低,氮肥(N)处理和氮钾(NK)处理的年际变化量出现了负增长,氮磷钾(NPK)和有机肥(M)处理的年际变化量高于其他施肥处理。



图从左至右:依次为 0~10,10~20,20~40 cm 土层。图 2-4 同。

From left to the right is: 0-10, 10-20, 20-40 cm. The same as Fig. 2-4.

图 1 长期定位施肥对不同土层土壤蔗糖酶活性年际变化量的影响

Fig. 1 Effect of different fertilization treatments on soil invertase activities and interannual dynamic characteristics

## 2.2 长期定位施肥对不同土层磷酸酶活性年际变化量的影响

近年来研究表明,长期定位施肥可以改变农田土壤中酶结构,群落与生化性质<sup>[6]</sup>。农作物能吸收利用的无机磷<sup>[7]</sup>,正是由土壤中的磷酸酶将有机磷酸酯水解而形成的<sup>[8]</sup>。在长期定位施肥条件下,不同土层施肥处理间磷酸酶活性的年际变化情况如图2所示,各个处理间磷酸酶活性年际变化量总顺序为: M > NPK > NP > N > NK > CK。经研究发现,所有施肥处理的年际变化量都呈升高降低交替出现的波动

趋势。其中,20 ~ 40 cm 土层,氮钾(NK)处理的年际变化量随着施肥时间的增长而逐年下降,大致可以看作“\”型,说明长期不施用磷素,土壤供磷能力减弱,导致磷酸酶活性的年际变化量逐年减小。有机肥(M)和氮磷钾(NPK)处理的变化量最高,并且逐年上涨,说明合理施用N、P、K元素可以加强磷酸酶活性,而在0 ~ 10 cm 土层氮肥(N)处理的变化量不明显,这可能是因为大量的氮肥施用增多了土壤中的核酸酶,核酸酶可以降解出无机磷,从而降低了磷酸酶的活性。

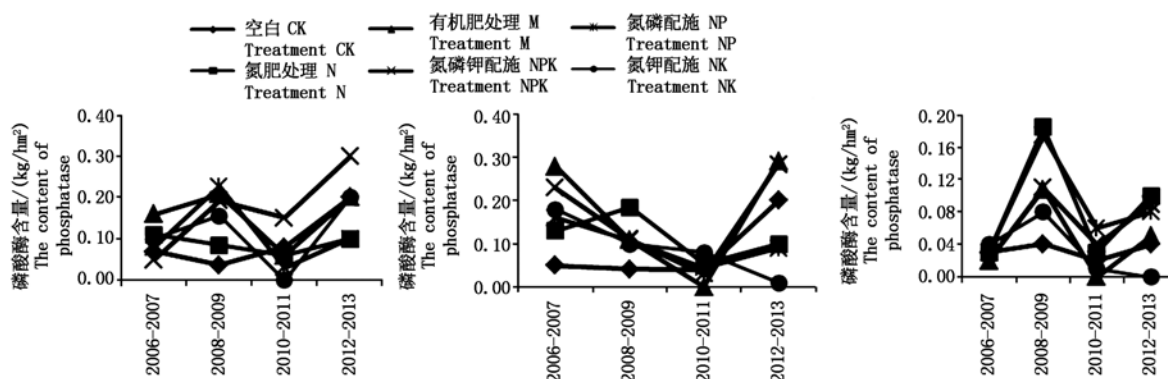


图2 长期定位施肥对不同土层土壤磷酸酶活性年际变化量的影响

Fig. 2 Effect of different fertilization treatments on soil phosphatase activities and interannual dynamic characteristics

## 2.3 长期定位施肥对非石灰性潮土不同土层脲酶活性年际变化量的影响

脲酶能分解有机物质,促其水解生成  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ ,能够提供植物所吸收利用的氮素<sup>[9]</sup>,其活性高低能够反应土壤有机形态氮向有效形态氮的转化能力的强弱<sup>[10]</sup>,是土壤氮素状况的评价指标<sup>[11]</sup>。长期定位施肥对非石灰性潮土不同土层脲酶活性年际变化量的影响见图3,与其他3种土壤酶变化趋势差异显著。不施肥处理(CK)土壤脲酶活性几乎没有变化,每2年变化约  $0.3 \text{ kg/hm}^2$ ,略低于化肥处理。值得注意的是,所有土层长期增施有机肥可显

著增加土壤脲酶含量的增加量,含量显著高于其他化肥处理,说明猪厩肥营养成分丰富,可大幅提高土壤供氮能力。氮肥(N)、氮磷钾(NPK)和氮磷(NP)处理的年际变化量幅度较小并且不同程度的出现了负增长,尤其是20 ~ 40 cm 土层中的氮磷(NP)处理8年间都没有出现变化量的正增长,但是全部化肥处理的脲酶含量却逐年缓慢增长,说明适当施用氮肥可以增加脲酶活性,但长期过量施用氮肥就会抑制脲酶含量的增长,在大田种植时要控制好脲酶活性的氮素平衡点,保护好农田土壤生态环境。

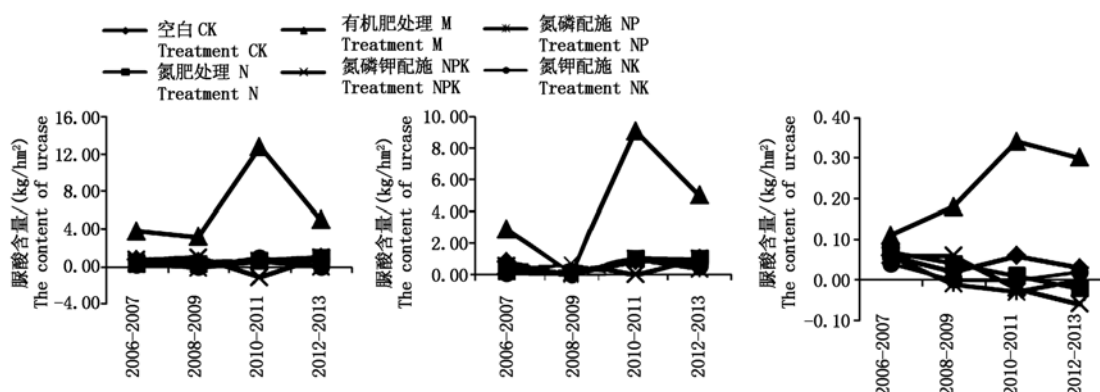


图3 长期定位施肥对不同土层土壤脲酶活性年际变化量的影响

Fig. 3 Effect of different fertilization treatments on soil urease activities and interannual dynamic characteristics

## 2.4 长期定位施肥对不同土层过氧化氢酶活性年际变化量的影响

过氧化氢酶能够参与土壤中物质和能量的转化,其活性大小可以反映土壤有机质转化速度的快慢<sup>[12]</sup>,也可以防止过氧化氢的过多积累,对土壤环境、土壤微生物造成巨大伤害<sup>[13]</sup>。长期定位施肥对非石灰性潮土不同土层过氧化氢酶活性年际变化量的影响见图4,0~10 cm 土层变化量最低值出现在试验第5年的时候,其后在2010~2013年间急剧增长,其高低变化幅度相差约47.5%,说明长期施肥使土壤酶促基质逐渐增多,当达到饱和状态时会急

剧激发过氧化氢酶的活性,使其变化量增大。在10~20 cm 与20~40 cm 土层变化趋势相似,过氧化氢酶变化量多为负增长,酶活性持续下降,说明过氧化氢酶对化肥响应不明显,其中氮肥(N)、氮磷(NP)和氮钾(NK)处理出现负增长量的次数最多,与有机肥(M)全是正增长量的趋势正好相反。20~40 cm 土层的总变化量范围最小,为:-0.02~0.06 kg/hm<sup>2</sup>,0~10 cm 的表层变化范围最大,为:-0.05~0.7 kg/hm<sup>2</sup>,说明随着土层的加深,过氧化氢酶的活性变化量逐渐减低。40 cm 以下的土层其酶活性含量极少,变化量也小,可以忽略不计。

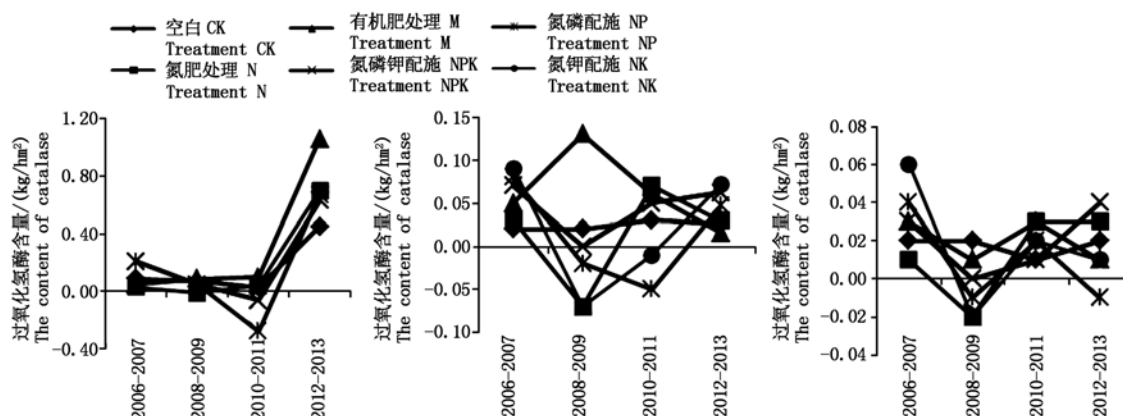


图4 长期定位施肥对不同土层土壤过氧化氢酶活性年际变化量的影响

Fig. 4 Effect of different fertilization treatments on soil catalase activities and interannual dynamic characteristics

## 3 结论与讨论

土壤酶主要是土壤微生物、植物根系所分泌的,也依靠一些动植物残体分解所形成<sup>[14]</sup>,通常被看作评价土壤质量的生物活性指标<sup>[15-18]</sup>,在土壤生态系统中起重要作用。土壤酶活性及变化量在不同土层中的总体排列顺序为:0~10 cm > 10~20 cm > 20~40 cm,这与Wang等<sup>[19]</sup>研究结果相一致,即在紫色土柑橘园中随着土层深度的增加,转化酶和脲酶的活性也降低。陈恩凤等<sup>[20]</sup>研究表明,脲酶和磷酸酶有较强的相关性,但本研究中脲酶与磷酸酶年际变化量差异显著,脲酶有机肥处理远远高于化肥处理,各个化肥处理在0~0.5 kg/hm<sup>2</sup> 区间范围内曲线波动,而磷酸酶却在2.0~5.0 kg/hm<sup>2</sup> 范围内波动,两者研究结果有出入,这可能是与非石灰性潮土供磷能力强,保水性好的土壤性质有关。土壤蔗糖酶、磷酸酶、过氧化氢酶10年的变化量都呈现波动前进趋势,这与张雪梅、吕光辉等<sup>[21]</sup>的研究结果相似,即过氧化氢酶和蔗糖酶活性随年限的增加总体趋势增加,一致表现出“N”形的变化趋势,脲酶活性和磷酸酶活性呈现“M”形的相似变化趋势。由此可见,长期施用肥料可以增加土壤蔗糖酶、磷酸酶、过氧化氢

酶、脲酶的活性,其变化量趋势波动前进,并与土壤中的基础养分有显著性关系。

从2003~2013这10年间,不同处理间土壤酶活性的总体顺序为:有机肥(M) > 氮磷钾(NPK) > 氮磷(NP) > 氮肥(N) > 氮钾(NK) > 空白(CK)。随着土层深度的加深,土壤酶活性逐渐降低,变化量也随之减小。土壤磷酸酶、蔗糖酶、过氧化氢酶活性随着施肥年限的增加而逐年增加,变化量趋势为波动前进,与脲酶变化量趋势差异显著。其中土壤蔗糖酶、磷酸酶的年际变化量趋势较相似,均为小幅度波动前进。过氧化氢酶年变化量趋势中则常含有明显的“V”型趋势,多有负增长量。脲酶的有机肥(M)处理年际变化量与施用化肥处理差异达极显著水平,不同化肥处理间的变化量却不显著。

## 参考文献:

- [1] AonM A, Colaneri A C. II. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil [J]. Applied Soil Ecology, 2001, 18 (3): 255-270.
- [2] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-323.
- [3] 李振高, 骆永明, 滕 应, 等. 土壤与环境微生物研究

- 法[M]. 北京:科学出版社,2008:395-413.
- [4] 鲍士但. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1986:145-146.
- [5] 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]. 植物营养与肥科学报,2003,9(4):406-410.
- [6] 范晓辉,林德喜,沈 敏,等. 长期试验地潮土的矿化与硝化作用特征[J]. 土壤学报,2005,42(2):340-343.
- [7] 程国华,郭树凡,薛景珍,等. 长期施用含氯化肥对土壤酶活性的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1994,25(4):360-365.
- [8] 张华勇,尹 睿,黄锦法,等. 稻麦轮作田改为菜地后生化指标的变化[J]. 土壤,2005,37(2):182-186.
- [9] 张昌顺,李 昆,马姜明,等. 施肥对印楝幼林土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 林业科学研究,2006,19(6):750-755.
- [10] 张平良,王淑英,姜小凤,等. 长期不同施肥方式对黄土高原旱地黑垆土土壤酶活性及其肥力的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(6):338-34.
- [11] 张咏梅,周国逸,吴 宁,等. 土壤酶学的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报,2004,12(1):83-90.
- [12] Kandeler E, Luxhøi J, Tscherko M, *et al.* Xylanase, invertase and protease at the soil-litter interface of a loamy sand[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31(7):1171-1179.
- [13] 李 萍,徐雅梅. 不同培肥措施对藏东南土壤酶活性的影响[J]. 土壤肥料,2002,19(7):33-35.
- [14] Marx M C, Wood M, Jarvis S C. A microplate fluorimetric assay for study of enzyme diversity in soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2001, 33(12-13):1633-1640.
- [15] Garcia-Ruiz R, Ochoa V, Hinojosa M B, *et al.* Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(6):1024-1027.
- [16] 冶伟立,陈新燕,宋菲菲,等. 不同水稻种植年限对土壤酶活性的影响研究[J]. 天津农业科学,2012,18(4):50-52.
- [17] 杨文平,王春虎,茹振钢. 秸秆还田对冬小麦根际土壤酶活性及产量的影响[J]. 河南农业科学,2011,40(7):41-43.
- [18] 李春霞,陈 阜,王俊忠,等. 秸秆还田与耕作方式对土壤酶活性动态变化的影响[J]. 河南农业科学,2006(11):68-70.
- [19] Wang D M, Wang C Z, Han X R, *et al.* Effects of long-term application of fertilizers on some enzymatic activities in Brunisolic soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(10):263-267.
- [20] 陈恩凤,周礼恺,邱凤琼,等. 土壤肥力实质研究[J]. 土壤学报,1985,22(2):113-119.
- [21] 张雪梅,吕光辉,杨晓东,等. 农田耕种对土壤酶活性及土壤理化性质的影响[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(12):177-179.