

旱区有机培肥对土壤肥力及酶活性的影响

马晓丽^{1a,2}, 贾志宽^{1a}, 肖恩时^{1b}, 韩清芳^{1a}, 聂俊峰^{1a}, 杨宝平^{1a},
侯贤青^{1a}, 卫 婷^{1a}, 高 飞^{1a}

(1 西北农林科技大学 a 干旱半干旱农业研究中心, b 农学院, 陕西 杨凌 712100;

2 汉中市农业技术推广中心, 陕西 汉中 723000)

【摘 要】 【目的】研究不同用量、不同种类有机肥对土壤养分含量和酶活性的影响。**【方法】**在渭北旱塬进行连续2年(2007—2009年)的有机培肥定位试验,以单施化肥处理为对照,研究施用不同量秸秆(9 000, 6 000 kg/hm²)和厩肥(22 500, 11 250 kg/hm²)后,不同土层(0~20, 20~40 cm)土壤养分含量和土壤酶活性的变化。**【结果】**2008年,20~40 cm土层,各有机培肥处理土壤有机质含量较对照增幅为26.87%~33.49%,且差异显著;各有机培肥处理2年的碱解氮和速效磷含量分别在0~40和0~20 cm土层与对照间差异达显著水平;2009年,各有机培肥处理0~20, 20~40 cm土层速效钾含量与对照差异均达显著水平,增幅分别为16.86%~35.85%和11.34%~22.61%。有机培肥处理2年,0~40 cm土层的土壤脲酶活性与对照差异均不显著;2009年0~20 cm土层秸秆(9 000, 6 000 kg/hm²)和厩肥(22 500 kg/hm²)处理的蔗糖酶活性较对照分别提高了0.19, 0.18, 0.13 mg/(g·h),且差异显著;2008年,各有机培肥处理0~20 cm土层磷酸酶活性与对照的差异均达到显著水平。相关分析表明,磷酸酶、脲酶、蔗糖酶活性与有机质、全氮及速效养分均呈极显著正相关。**【结论】**有机培肥可以显著提高土壤有机质和速效养分的含量,且对土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性有一定的改善作用。

【关键词】 有机培肥; 土壤养分; 土壤酶活性; 旱区

【中图分类号】 S158.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)01-0144-07

Effects of organic fertilization on the changes of soil nutrient and soil enzyme activities in arid areas

MA Xiao-li^{1a,2}, JIA Zhi-kuan^{1a}, XIAO En-shi^{1b}, HAN Qing-fang^{1a},
NIE Jun-feng^{1a}, YANG Bao-ping^{1a}, HOU Xian-qing^{1a}, WEI Ting^{1a}, GAO Fei^{1a}

(1 a Research Center of Agriculture in Arid and Semiarid Areas, b College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Technology Promotion Center of Agriculture in Hanzhong City, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

Abstract: 【Objective】 The study was to explore the effect of different amounts and kinds of organic fertilization on soil nutrient and soil enzyme activities. **【Method】** A two-year(2007—2009) field experiment was carried out in Weibei Loess plateau of Shaanxi province, compared with that treated with single fertilizer, in the 0—40 cm layer, soil nutrient and enzyme activities of different application rates of straw(9 000, 6 000 kg/hm²) and manure(22 500, 11 250 kg/hm²) were determined. **【Result】** In 2008, compared with the control, content of organic matter increased significantly by 26.87%—33.49% in 20—40 cm layer through organic fertilizer treatments, and the content of available K increased significantly by 16.86%—35.85% and 11.34%—22.61% in 0—20 and 20—40 cm layers respectively. Content of available N and available P of the two years showed significant difference between these organic fertilizer treatments and control in 0—

* [收稿日期] 2010-05-12

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD29B03); 陕西省农业科技创新项目(2010NKC-03)

[作者简介] 马晓丽(1984—), 女, 山西大同人, 在读硕士, 主要从事旱区农业资源研究。E-mail: maxiaoli@163.com

[通信作者] 贾志宽(1962—), 男, 山西朔州人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱区农业研究。E-mail: zhikuan@tom.com

40 and 0—20 cm layers respectively. The activities of urease of organic fertilizer treatments showed no significant difference between organic fertilizer treatments and the control in 0—40 cm layer in the two years. Activities of alkaline phosphatase showed significant difference in 0—20 cm layer in 2008, While in 2009 with the straw returning application of 9 000, 6 000 kg/hm² and the manure application of 22 500 kg/hm², in the 0—20 cm layer, activities of invertase increased significantly by 0.19, 0.18, 0.13 mg/(g·h) respectively compared with that of the control. Through correlation analysis, active relationship existed between three kinds of enzyme activities and organic matter and available nutrient. 【Conclusion】 Using organic fertilizers improved the amount of organic matter and available nutrient (N, P and K), and increased the activities of urease, invertase, alkaline phosphatase.

Key words: organic fertilization; soil nutrient; soil enzyme activity; arid area

我国黄土高原地区, 土壤贫瘠, 水资源严重缺乏, 致使土壤养分释放等生物化学过程受到严重限制, 增强土壤酶活性是提高该区土壤生产力及作物产量的主要途径之一。目前, 农业生产中主要依靠化肥提高作物产量, 但长期不合理的大量化肥的施入, 使得本来松软的农田土壤变得板结、水土污染严重, 导致农业生产力进一步衰退^[1]。农业的可持续发展依赖于土壤的合理利用与管理, 土壤的可持续利用要求土壤具有保水保肥的能力, 有机肥料在保持、改善和提高土壤肥力, 活化土壤养分, 增强土壤酶活性, 促进农作物高产、优质等方面有着不可替代的作用^[2-4], 所以合理增施有机肥料, 改善土壤结构, 提高土壤质量, 是农业高效、稳定和持续发展的必然要求。

酶是土壤的组成部分, 在土壤物质和能量转化过程中起着重要的催化作用, 其不仅能反映土壤生物活性的高低, 而且能表征土壤养分转化的快慢, 在一定程度上反映了土壤的肥力状况^[5]。李科江等^[6]通过 15 年的定位试验发现, 有机肥可提高土壤养分含量, 改善土壤物理性状, 增加土壤团聚体的含量, 有利于土壤酶活性提高, 并证明酶活性能很好地表征土壤的肥力水平。宋永林^[7]研究了褐潮土条件下长期施肥对土壤肥力状况的影响, 发现化肥配施秸秆或有机肥能显著增加土壤中有机质、氮素、磷素和钾素的含量。樊军等^[8]研究表明, 有机肥不仅能有效改善土壤肥力状况, 而且能提高土壤氮、磷养分含量, 促使其向有效态转化, 对于保持土壤养分基本平衡、提高养分有效性有显著的作用。程东娟等^[9]在冀西北高原旱地栗钙土上进行了 10 年的培肥试验, 结果表明有机无机肥配施可提高土壤养分含量和酶活性, 速效氮、速效磷、速效钾、全效氮、全效磷、有机质含量及土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性也均高于单施化肥处理。

目前, 有关在土壤瘠薄、干旱缺水的渭北旱塬通过有机培肥提高农田土壤肥力和酶活性及其之间关系的研究报道较少, 相应的技术模式也未形成。为此, 本研究通过在渭北旱塬设置不同有机培肥模式及用量试验, 探讨了有机培肥对土壤肥力及酶活性的影响, 并探讨了土壤酶之间及其与土壤肥力间的关系, 以期寻求作物稳产、高产的土壤生物化学环境及更好地培肥土壤提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况与试验设计

试验于 2007-09—2009-07 在陕西省合阳县甘井镇西北农林科技大学旱作试验站进行。该区地处黄土高原南部旱塬区, 试验地点海拔 910 m。该区年均气温 9~10℃, ≥10℃年积温 2 800~4 000℃, 年均降雨量 580 mm, 降雨主要集中在 7—9 月份, 冬春干旱, 四季多风, 为半湿润易旱区。试验地土壤类型为塬土。试验开始时 0~60 cm 土壤及供试秸秆和有机肥(厩肥)养分含量见表 1。

试验共设 5 个处理: CK, 不施有机肥; S₉₀, 秸秆还田量 9 000 kg/hm²; S₆₀, 秸秆还田量 6 000 kg/hm²; M₂₂₅, 厩肥施用量 22 500 kg/hm²; M₁₁₂, 厩肥施用量 11 250 kg/hm²。各处理均重复 3 次, 随机区组排列。供试小麦品种为晋麦 47, 播种前基施纯氮 150 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 90 kg/hm², 当年 9 月下旬播种, 翌年 6 月中旬收获, 收获后将秸秆和厩肥翻耕施入。

1.2 取样及样品处理

分别于 2008-06 及 2009-06 冬小麦成熟收获后, 用土钻在 0~60 cm 土层取样, 每 20 cm 取 1 个样。每个处理采用“S”形多点取样法进行。土样剔除石块、植物残根等杂物后, 混合制样, 装入塑封保鲜袋, 风干研磨过孔径 1 mm 和 0.25 mm 筛备用。

表 1 供试土壤、厩肥及小麦秸秆的养分含量

Table 1 Nutrient content of the experimental soil,manimal manure and wheat straw

养分 Nutrient	供试土壤 Experimental soil		培肥物质 Fertilizing matter	
	0~20 cm	20~40 cm	小麦秸秆 Wheat straw	厩肥 Animal manure
有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	15.037	10.598	669.146	579.582
全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	0.686	0.550	9.830	7.264
全磷/(g·kg ⁻¹) Total P	0.656	0.540	0.371	7.688
全钾/(g·kg ⁻¹) Total K	9.342	10.173	37.807	25.171
碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available N	54.100	36.632	—	—
速效磷/(g·kg ⁻¹) Available P	—	—	0.120	1.831
速效钾/(g·kg ⁻¹) Available K	—	—	14.958	0.963

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤养分含量^[10] 有机质含量采用重铬酸钾-浓硫酸外加加热法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用碳酸氢钠浸提,紫外分光光度计法测定;速效钾含量采用醋酸氨浸提,火焰光度计法测定;全氮含量采用全自动凯氏定氮仪测定;全磷含量采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定;全钾含量采用 NaOH 熔融-火焰光度计法测定。

1.3.2 土壤酶活性^[11] 土壤脲酶活性用靛酚蓝比色法测定,磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定,过氧化氢酶活性用重铬酸钾滴定法测定,蔗糖酶活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定。

1.4 数据处理

数据经 Excel 2003 整理后,采用 SAS 8.1 统计软件进行分析,结果用“平均值±标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 有机培肥对土壤养分含量的影响

2.1.1 有机质 由表 2 可以看出,冬小麦收获后同

一处理土壤有机质含量随土层深度的增加而降低。2008 和 2009 年收获后,各有机培肥处理 0~40 cm 土层有机质含量均高于对照组,且有机质含量均随秸秆和厩肥施用量的增加而增大。

2008 年,S₉₀、S₆₀、M₂₂₅ 和 M₁₁₂ 处理 0~20 cm 土层有机质含量较对照分别增加了 14.80% (P<0.05),5.23%,14.46% (P<0.05)和 13.85% (P<0.05);在 20~40 cm 土层,以上各处理有机质含量与对照差异均达显著水平(P<0.05),增幅分别为 31.04%,30.00%,33.49%和 26.87%。

2009 年,在 0~40 cm 土层,S₉₀、S₆₀ 和 M₂₂₅ 处理有机质含量与对照的差异均达到显著水平,在 0~20 和 20~40 cm 土层,以上 3 个处理有机质含量较对照增加的幅度分别为 14.30%,10.33%,7.53%和 35.15%,35.54%,20.95%;M₁₁₂ 处理与对照差异不显著。同一有机肥种类不同用量处理之间有机质含量差异不显著;同一处理土壤有机质含量年际间差异也不明显。

表 2 有机培肥对土壤有机质含量的影响

Table 2 Effect of fertilization on soil organic matter

年份 Year	处理 Treatment	土层深度/cm Soil layer		年份 Year	处理 Treatment	土层深度/cm Soil layer	
		0~20	20~40			0~20	20~40
2008	S ₉₀	16.91±0.66 a	11.11±0.58 a	2009	S ₉₀	17.27±0.32 a	11.65±1.14 a
	S ₆₀	15.50±0.24 ab	11.02±0.83 a		S ₆₀	16.67±0.60 ab	11.68±0.43 a
	M ₂₂₅	16.86±0.52 a	11.32±1.04 a		M ₂₂₅	16.25±0.37 ab	10.43±0.30 a
	M ₁₁₂	16.77±0.20 a	10.76±0.68 a		M ₁₁₂	15.82±0.53 bc	10.29±0.72 ab
	CK	14.73±0.89 b	8.48±0.32 b		CK	15.11±0.38 c	8.62±0.44 b

注:同一年同列数据后标不同小写字母者表示差异显著(P<0.05)。下表同。
Note:Column data marked with different lowercase letters are significantly different(P<0.05). The same as below.

2.1.2 全氮、碱解氮 从表 3 可以看出,2008 年收获后,除了 20~40 cm 土层的 M₁₁₂ 处理外,其他有机培肥处理各土层全氮含量与对照间的差异均未达到显著水平,不同肥料梯度间及肥料种类间差异也不显著。2009 年收获后,0~20 cm 土层,S₆₀ 处理的全氮含量与对照差异达显著水平,增幅为 17.39%,

S₉₀、M₂₂₅ 和 M₁₁₂ 处理与对照差异不显著;在 20~40 cm 土层,有机培肥对土壤全氮含量的影响不明显,各处理全氮含量与对照间差异均未达到显著水平,且各有机肥处理间的土壤全氮含量差异也不显著。

从表 3 还可以看出,在 2008 和 2009 年,0~40 cm 土层各有机培肥处理的碱解氮含量均显著高于

对照,且随秸秆和厩肥施用量的增大而增加。2009 年,0~40 cm 土层同一有机培肥处理的碱解氮含量显著高于 2008 年。2008 年,在 0~20 和 20~40 cm 土层, S_{90} 、 S_{60} 、 M_{225} 和 M_{112} 处理的碱解氮含量与对照相比,增幅分别为 2.09%,2.07%,2.41%,2.28%

表 3 有机培肥对不同土层土壤全氮、碱解氮含量的影响

Table 3 Effect of fertilization on soil total N and available N in different soil layers					
年份 Year	处理 Treatment	全氮/(g·kg ⁻¹) Total N		碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available N	
		0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
2008	S_{90}	0.85±0.02 a	0.62±0.05 ab	58.12±0.61 ab	41.95±1.81 a
	S_{60}	0.83±0.01 a	0.60±0.03 ab	58.11±0.84 bc	41.86±1.83 a
	M_{225}	0.86±0.03 a	0.64±0.03 ab	58.30±3.07 a	45.22±2.48 a
	M_{112}	0.84±0.01 a	0.65±0.02 a	58.23±1.83 ab	41.52±0.85 b
	CK	0.82±0.04 a	0.57±0.01 b	56.93±2.68 c	36.58±2.80 c
2009	S_{90}	1.02±0.03 ab	0.76±0.06 a	91.27±2.73 b	64.12±2.61 a
	S_{60}	1.08±0.04 a	0.73±0.02 a	89.52±2.05 bc	54.81±3.80 a
	M_{225}	1.03±0.03 ab	0.72±0.07 a	97.30±2.07 a	57.12±2.44 a
	M_{112}	0.93±0.11 ab	0.63±0.07 a	85.82±1.00 c	54.58±4.97 a
	CK	0.92±0.02 b	0.59±0.02 a	77.24±1.73 d	43.45±1.35 b

2.1.3 速效磷、速效钾 表 4 表明,2008 和 2009 年小麦收获后,除了 20~40 cm 土层 M_{112} 处理外,其他各有机培肥处理 0~40 cm 土层速效磷含量均显著高于对照,且随着秸秆和厩肥施用量的增大而增加。2008 年,0~20 cm 土层 S_{90} 、 S_{60} 、 M_{225} 和 M_{112} 处理土壤速效磷含量较对照分别增加 44.47%,25.99%,66.02% 和 46.84%;20~40 cm 土层, M_{112} 处理土壤速效磷含量低于对照。2009 年,0~20 和 20~40 cm 土层 S_{90} 、 S_{60} 、 M_{225} 和 M_{112} 处理土壤速效磷含量较对照分别增加了 46.86%,27.65%,81.19%,33.04% 和 85.44%,64.85%,36.31%,

和 14.68%,14.44%,23.63%,13.51%;2009 年,在 0~20 和 20~40 cm 土层各处理碱解氮含量较对照分别提高了 11.10%~25.97% 和 25.62%~47.58%。

8.74%。

从表 4 还可以看出,2008 年,0~20 cm 土层 S_{90} 、 S_{60} 和 M_{225} 处理速效钾含量与对照差异达到显著水平,增幅分别为 20.25%,25.60%,19.97%, M_{112} 处理与对照差异不显著;20~40 cm 土层,各有机培肥处理与对照差异均不显著。2009 年,各有机培肥处理 0~20,20~40 cm 土层速效钾含量与对照的差异均达到显著水平,各有机培肥处理的速效钾含量较对照分别增加了 16.86%~35.85% 和 11.34%~22.61%,与对照差异均达显著水平。

表 4 有机培肥对不同土层土壤速效磷、速效钾含量的影响

Table 4 Effect of fertilization on soil available P and available K in different soil layers						mg/kg
年份 Year	处理 Treatment	速效磷 Available P		速效钾 Available K		
		0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	
2008	S_{90}	20.79±0.64 ab	9.06±0.81 a	163.22±9.08 a	109.45±2.30 a	
	S_{60}	18.13±1.62 b	8.46±1.29 a	170.49±9.77 a	102.68±5.86 a	
	M_{225}	23.89±1.97 a	9.45±1.72 a	162.85±7.78 a	101.50±3.28 a	
	M_{112}	21.13±1.15 ab	4.46±0.79 b	142.42±2.73 b	100.67±3.52 a	
	CK	14.39±0.23 c	4.83±0.55 b	135.74±8.93 b	100.68±3.37 a	
2009	S_{90}	21.78±0.55 a	9.55±0.58 a	164.41±9.88 ab	108.97±4.73 ab	
	S_{60}	18.93±1.69 b	8.49±0.89 b	176.55±11.08 a	104.66±6.59 ab	
	M_{225}	26.87±0.74 ab	7.02±0.51 bc	167.25±6.79 ab	102.40±3.77 b	
	M_{112}	19.73±1.04 ab	5.60±0.93 cd	151.87±9.08 b	112.76±2.38 a	
	CK	14.83±1.03 c	5.15±0.74 d	129.96±4.58 c	91.97±3.56 c	

2.2 有机培肥对土壤酶活性的影响

2.2.1 土壤脲酶、过氧化氢酶 表 5 表明,从配施比例来看,秸秆和厩肥施用量越大,脲酶活性越高,但是不同施肥量和肥料种类间差异不显著。2008 年,有机培肥处理 0~40 cm 土层土壤脲酶活性均高

于对照,但差异不显著, S_{90} 、 S_{60} 、 M_{225} 和 M_{112} 处理 0~20 和 20~40 cm 土层脲酶活性较对照分别增加 0.85,0.68,0.87,0.76 mg/(g·h) 和 1.09,0.60,1.74,0.06 mg/(g·h)。2009 年土壤脲酶活性较 2008 年有降低趋势,在 0~20 cm 土层,除 M_{225} 处理

脲酶活性较对照增加外,其他处理脲酶含量均低于对照;20~40 cm 土层各有机培肥处理脲酶活性均较对照增加,增加幅度为 4.66%~9.32%。

表 5 还表明,2008 年,有机培肥降低了土壤过氧化氢酶含量,各有机培肥处理 0~40 cm 土层土壤

过氧化氢酶含量均值均低于对照,但差异不显著;2009 年,0~40 cm 土层土壤过氧化氢酶含量变化规律不明显,各处理间差异不显著;2008 与 2009 年的土壤过氧化氢酶活性差异不大。

表 5 有机培肥对不同土层土壤脲酶、过氧化氢酶活性的影响

Table 5 Effect of fertilization on urease and catalase activity in different soil layers					
年份 Year	处理 Treatment	脲酶/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Urease		过氧化氢酶/(mL·g ⁻¹ ·min ⁻¹) Catalase	
		0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
2008	S ₉₀	11.72±1.56 a	11.83±1.03 a	4.95±0.06 a	5.05±0.03 a
	S ₆₀	11.55±0.80 a	11.34±0.57 a	4.98±0.09 a	5.05±0.04 a
	M ₂₂₅	11.74±1.04 a	12.48±1.25 a	4.93±0.08 a	4.96±0.07 a
	M ₁₁₂	11.63±1.21 a	10.80±1.05 a	4.92±0.07 a	4.94±0.07 a
	CK	10.87±0.44 a	10.74±1.25 a	5.08±0.07 a	5.07±0.04 a
2009	S ₉₀	10.67±0.49 a	9.21±0.61 a	4.40±0.01 a	4.41±0.02 a
	S ₆₀	10.85±0.51 a	9.38±0.52 a	4.43±0.02 a	4.43±0.02 a
	M ₂₂₅	11.33±1.10 a	9.08±1.10 a	4.42±0.02 a	4.43±0.00 a
	M ₁₁₂	10.56±0.44 a	8.98±0.44 a	4.40±0.01 a	4.39±0.02 a
	CK	10.91±0.20 a	8.58±1.20 a	4.42±0.03 a	4.41±0.01 a

2.2.2 土壤蔗糖酶、磷酸酶 表 6 表明,除了 2008 年 0~20 cm 土层 M₁₁₂ 处理外,其他各有机培肥处理蔗糖酶活性均高于对照,且活性随施肥量的增大而增加。2008 年,0~20 cm 土层 M₂₂₅ 处理的土壤蔗糖酶活性最高,为 1.10 mg/(g·h),其较 S₉₀、S₆₀、M₁₁₂ 和 CK 处理分别提高了 0.05,0.06,0.08 和 0.06 mg/(g·h);其次为 S₉₀,其较 S₆₀、M₁₁₂ 和 CK 处理分别提高了 0.01,0.03 和 0.01 mg/(g·h);20~40 cm 土层,S₉₀ 和 S₆₀ 处理分别较对照提高 0.27 和 0.21 mg/(g·h),差异达到显著水平。2009 年,在 0~20 和 20~40 cm 土层,S₉₀、S₆₀、M₂₂₅ 和 M₁₁₂ 处理蔗糖酶活性较对照分别提高了 0.19,0.18,0.13,0.10 mg/(g·h)和 0.16,0.08,0.17,0.11 mg/(g·h)。

由表 6 可以看出,2008 年,0~20 cm 土层各有机培肥处理土壤磷酸酶活性与对照差异均达到显著水平,S₉₀、S₆₀、M₂₂₅ 和 M₁₁₂ 处理较对照分别提高了 0.53,0.43,0.36 和 0.26 mg/(g·h),其中 S₉₀ 处理的土壤磷酸酶活性最高,与 M₁₁₂ 处理差异达显著水平;20~40 cm 土层各有机培肥处理土壤磷酸酶活性与对照差异不显著。2009 年,0~20 cm 土层各有机培肥处理土壤磷酸酶活性与对照差异不显著;20~40 cm 土层,除 M₁₁₂ 处理外,其他 3 个有机培肥处理与对照差异均达到显著水平,S₉₀、S₆₀、M₂₂₅ 和 M₁₁₂ 较对照分别增加 0.20,0.09,0.23 和 0.03 mg/(g·h),其中 S₉₀ 与 S₆₀ 处理间及 M₂₂₅ 与 M₁₁₂ 处理间差异均达到显著水平。

表 6 有机培肥对不同土层土壤蔗糖酶、磷酸酶活性的影响

Table 6 Effect of fertilization on invertase and alkaline phosphates activity in different soil layers mg/(g·h)					
年份 Year	处理 Treatments	蔗糖酶 Invertase		磷酸酶 Alkaline phosphates	
		0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
2008	S ₉₀	1.05±1.10 ab	0.83±0.07 a	1.57±0.12 a	0.69±0.08 a
	S ₆₀	1.04±0.04 ab	0.77±0.09 a	1.47±0.07 ab	0.70±0.01 a
	M ₂₂₅	1.10±0.03 a	0.72±0.10 ab	1.40±0.14 ab	0.65±0.22 a
	M ₁₁₂	1.02±0.03 b	0.58±0.09 b	1.33±0.01 b	0.70±0.08 a
	CK	1.04±0.03 ab	0.56±0.15 b	1.04±0.01 c	0.67±0.07 a
2009	S ₉₀	1.11±0.03 a	0.80±0.06 a	1.31±0.14 a	1.15±0.05 a
	S ₆₀	1.10±0.01 a	0.72±0.08 ab	1.35±0.10 a	1.04±0.04 b
	M ₂₂₅	1.05±0.07 a	0.81±0.11 a	1.42±0.16 a	1.18±0.02 a
	M ₁₁₂	1.02±0.10 ab	0.75±0.07 ab	1.36±0.12 a	0.98±0.04 bc
	CK	0.92±0.08 b	0.64±0.04 b	1.36±0.04 a	0.95±0.02 c

2.3 土壤酶活性与土壤养分含量之间的相关分析
综合以上研究可以看出,与 CK 相比,除过氧化氢酶外,4 个施肥处理的土壤养分含量和 3 种土壤

酶的活性均有明显的提高,这些指标在不同处理间的变化趋势基本趋于一致,说明它们之间存在一定的相关性。从表 7 可以看出,脲酶、蔗糖酶以及碱性

磷酸酶活性与有机质、全氮、速效钾、速效磷和碱解氮含量均呈极显著正相关;而过氧化氢酶除与全氮、

碱解氮分别呈显著和极显著负相关外,与土壤其他各养分因子之间无明显的相关性。

表 7 土壤酶活性与土壤养分含量的相关性

Table 7 Correlation coefficient between soil enzyme activities and soil nutrients

项目 Item	有机质 TOC	全氮 Total N	速效磷 Aval. P	速效钾 Aval. K	碱解氮 Aval. N
脲酶 Urease	0.740 3**	0.668 9**	0.690 7**	0.650 0**	0.577 1**
过氧化氢酶 Catalase	−0.055 6	−0.188 6*	−0.073 0	−0.132 5	−0.252 0**
蔗糖酶 Invertase	0.889 3**	0.886 3**	0.854 6**	0.795 0**	0.801 1**
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.739 8**	0.856 4**	0.794 0**	0.728 0**	0.777 8**

注:**和*分别表示相关性达1%和5%显著水平。
Note:** and * mean significant at 1% and 5% levels respectively.

3 结论与讨论

吴光磊^[12]和杨希^[13]研究发现,增施有机肥可显著提高土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾的含量。林治安等^[14]认为,有机肥和化肥在提高土壤速效养分含量方面的差异,表现为化肥可以迅速提高速效养分含量并在一定水平上保持相对稳定,而有机肥则具有持续提高土壤速效养分含量的作用。本试验结果表明,有机肥能显著提高土壤有机质和速效养分的含量,对于保持土壤养分基本平衡、提高养分有效性有显著的作用;土壤养分含量随有机肥施用量的增加而增大,但秸秆还田处理与厩肥处理间差异不显著,具体原因还有待于进一步研究。

有研究认为,施用有机肥料可以显著地提高土壤微生物量碳、氮的含量以及土壤酶活性,并且随着有机肥施用量的增大,效果更加明显^[15-17]。张辉等^[18]的试验结果表明,有机肥施入土壤后能够显著提高土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性,并促进土壤有机质的分解转化和速效养分的释放。本研究中,施用厩肥和秸秆还田对土壤脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶活性有显著的改善作用,其原因可能是有机肥一方面能显著提高各类微生物的数量,为微生物提供了新的能源;另一方面有机肥本身也带入大量活的微生物,而土壤酶主要来自微生物和植物根系的分泌作用。本研究结果还表明,施用有机肥未能增强土壤过氧化氢酶活性,这与孙瑞莲等^[19]和袁玲等^[20]的研究结果一致,但与任祖淦等^[21]、李娟等^[22]、朱同彬等^[23]研究得出的长期施肥可以提高土壤过氧化氢酶活性的结果不同,这可能是由于所研究的土壤类型、试验地区、施肥方式及肥料用量不同所致。

本研究结果表明,脲酶、蔗糖酶以及磷酸酶活性与有机质、全氮和速效养分含量均呈极显著正相关,而过氧化氢酶与土壤全氮、碱解氮呈显著和极显著

负相关,与土壤其他各养分因子之间相关性不明显。说明土壤中脲酶、蔗糖酶及碱性磷酸酶活性是土壤生物活性和土壤肥力的重要指标。

[参考文献]

[1] 方志权. 有机农业初探 [J]. 上海农业学报,2000,16(4):1-5.
Fang Z Q. Preliminary approach to organic agriculture [J]. Acta Agriculturae Shanghai,2000,16(4):1-5. (in Chinese)

[2] Yuan L, Huang J, Yu S. Responses of nitrogen and relate enzyme activities to fertilization in photosphere of wheat [J]. Pedosphere,1997,7(2):141-148.

[3] 杨青华,韩锦峰. 棉田不同覆盖方式对土壤微生物和酶活性的影响 [J]. 土壤学报,2005,42(2):348-351.
Yang Q H, Han J F. Effects of mulching on soil micro organisms and enzyme activities in cotton field [J]. Acta Pedologica Sinica,2005,42(2):348-351. (in Chinese)

[4] 李菊梅,徐明岗,秦道珠,等. 有机肥无机肥配施对稻田氮挥发和水稻产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(1):51-56.
Li J M, Xu M G, Qin D Z, et al. Dynamic of active organic matter fractions in fluvio-aquic soil after application of organic fertilizers [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2005, 11 (1):51-56. (in Chinese)

[5] 周礼恺. 土壤酶学 [M]. 北京:科学出版社,1987.
Zhou L K. Soil enzymology [M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese)

[6] 李科江,张素芳,贾文竹,等. 半干旱区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(1):21-25.
Li K J, Zhang S F, Jia W Z, et al. Effect of long-term fertilization on crop yield and siol fertility in semi-arid area [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 1999, 5(1):21-25. (in Chinese)

[7] 宋永林. 长期定位施肥对作物产量和褐潮土肥力的影响研究 [D]. 北京:中国农业科学院,2006.
Song Y L. The effects of long-term fertilization on crop yield and aqui-cinnamon soil fertility [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2006. (in Chinese)

[8] 樊 军,郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究: II. 土壤酶活性与土壤肥力 [J]. 植物营养与肥料学,2003,9

- (2):146-150.
- Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the Loess Plateau: II. Relationship between soil enzymes activities and soil fertility [J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2003, 9(2): 146-150. (in Chinese)
- [9] 程东娟, 刘树庆, 王殿武, 等. 长期定位培肥对土壤酶活性及土壤养分动态变化影响 [J]. *河北农业大学学报*, 2003, 26(3): 33-45.
- Cheng D J, Liu S Q, Wang D W, et al. The effect of long-term experiment improving soil fertility on the dynamical changes of soil nutrient and soil enzyme activities [J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2003, 26(3): 33-45. (in Chinese)
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-34.
- Bao S D. Soil agrichemical analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 30-34. (in Chinese)
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 54-62.
- Guan S Y. Soil enzyme and its methods of research [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1986: 54-62. (in Chinese)
- [12] 吴光磊. 有机无机肥配施对玉米产量和品质的影响及生理基础 [D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2008.
- Wu G L. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on yield and quality of maize and its physiological basis [D]. Taian, Shandong: Shandong Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- [13] 杨 希. 有机无机配施对黑土肥力的影响 [D]. 黑龙江哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
- Yang X. Effects of organic manure and inorganic fertilizer combination on increasing fertility of black soil [D]. Haerbin, Heilongjiang: Northeast Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [14] 林治安, 赵秉强, 袁 亮, 等. 长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2809-2819.
- Lin Z A, Zhao B Q, Yuan L, et al. Effects of organic manure and fertilizers long-term located application on soil fertility and crop yield [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(8): 2809-2819. (in Chinese)
- [15] Kautz T, Wirth S, Ellmer F. Microbial activity in a sandy arable soil is gaveled by the fertilization regime [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2004, 40: 87-94.
- [16] 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: 1577-1585.
- [17] 徐阳春, 沈其荣, 郝泽圣. 长期施用有机肥对土壤及不同粒级中酸解有机氮含量与分配的影响 [J]. *中国农业科学*, 2002, 35(4): 403-409.
- Xu Y C, Shen Q R, Mao Z S. Contents and distribution of forms of organic N in soil and particle size fractions after long-term fertilization [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(4): 403-409. (in Chinese)
- [18] 张 辉, 李维炯, 倪永珍. 一种生物有机无机复合肥的养分释放规律研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1123-1126.
- Zhang H, Li W J, Ni Y Z. Nutrient release law of one biological organic-inorganic compound fertilizer [J]. *Journal of Agro-environmental Science*, 2005, 24(6): 1123-1126. (in Chinese)
- [19] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 长期定位施肥对土壤酶活性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.
- Sun R L, Zhao B Q, Zhu L S, et al. Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and its role in adjusting controlling soil fertility [J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2003, 9(4): 406-410. (in Chinese)
- [20] 袁 玲, 杨邦俊, 郑兰君, 等. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3(4): 300-306.
- Yuan L, Yang B J, Zheng L J, et al. Effects of long-term fertilization on enzymatic activities and transformation of nitrogen and phosphorus in soil [J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 1997, 3(4): 300-306. (in Chinese)
- [21] 任祖淦, 陈玉水, 张逸清, 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.
- Ren Z G, Chen Y S, Zhang Y Q, et al. Effect of inorganic fertilizer combined with organic manure the micro flora and enzyme activities in paddy soil [J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 1996, 2(3): 279-283. (in Chinese)
- [22] 李 娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41(1): 144-152.
- Li J, Zhao B Q, Li X Y, et al. Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on soil microbiological properties and soil fertility [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(1): 144-152. (in Chinese)
- [23] 朱同彬, 诸葛玉平, 刘少军, 等. 不同水肥条件对土壤酶活性的影响 [J]. *山东农业科学*, 2008(3): 74-78.
- Zhu T B, Zhuge Y P, Liu S J, et al. Effects of different fertilizer treatments and water regimes on soil enzyme activities [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2008(3): 74-78. (in Chinese)