

# 氨基酸有机肥对棉花根际和非根际土壤酶活性和养分有效性的影响<sup>①</sup>

李俊华<sup>1,2</sup>, 沈其荣<sup>1\*</sup>, 褚贵新<sup>2</sup>, 危常州<sup>2</sup>, 乔旭<sup>2</sup>, 杨兴明<sup>1</sup>

(1 南京农业大学江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室, 南京 210095; 2 石河子大学农学院资环系, 新疆石河子 832003)

**摘要:** 在新疆石河子进行了 2 年不同氨基酸有机肥施用量的大田试验, 测定棉花根际和非根际土壤酶活性和有效养分含量。结果表明, 棉花根际土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、磷酸酶、脲酶、纤维素酶活性高于非根际, 且脲酶、纤维素酶活性达到显著差异。新陆早 8 号根际过氧化氢酶活性高于新陆早 12 号, 但蔗糖酶、磷酸酶、脲酶、纤维素酶活性低于新陆早 12 号。根际碱解 N 呈显著降低, 速效 P 呈增加趋势。膜下滴灌根际和非根际土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶、土壤 pH 及非根际的碱解 N、速效 P、根际的速效 K 较淹灌高, 而土壤蔗糖酶、纤维素酶、根际碱解 N、速效 P、非根际的速效 K 较淹灌低。氨基酸有机肥对棉花根际和非根际土壤酶活性都有增加作用。土壤 pH 随着有机肥施用量的增加呈下降趋势, 根际低于非根际。氨基酸有机肥增加了土壤碱解 N、速效 P、速效 K 含量。

**关键词:** 棉花; 根际; 土壤酶活性; 土壤有效养分; 氨基酸有机肥

**中图分类号:** S141.4; S158.3

新疆是我国最大的产棉区和优质商品棉的生产基地, 但是进入 20 世纪 90 年代后, 新疆棉花播种面积的比例过高, 连作时间长。棉花在连作 5~10 年后, 土壤过氧化氢酶、转化酶、蛋白酶、脲酶和中性磷酸酶活性下降, 连作障碍较明显<sup>[1]</sup>。由于土壤酶作为土壤的组成部分, 在营养物质转化、有机质分解、污染物降解及修复等方面承担着非常重要的作用<sup>[2]</sup>, 土壤酶活性常被作为判定土壤质量的重要指标。有机肥料能提高土壤质量, 在农业可持续发展和生态环境保护方面有重要作用<sup>[3]</sup>。本试验研究氨基酸有机肥对长期连作棉花根际和非根际土壤酶活性和有效养分的影响规律, 分析土壤酶和土壤理化性状的关系, 了解棉花连作栽培中农业管理措施对土壤理化性质、土壤生物活性的影响, 掌握土壤质量演变的规律, 为土壤健康管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与处理

试验于 2006 年和 2007 年在新疆石河子市石河子

大学教学实验农场 4 连 (86.03°E, 44.19°N) 进行, 该棉田已经连作棉花 12 年, 棉花黄萎病发生严重。土壤的基本理化性质为: 土壤为沼泽潮土, 有机质 40.88 g/kg, pH 8.44 (水:土 = 5:1), 总盐 3.4 g/kg, 碱解 N 78.12 mg/kg, 速效 P 37.13 mg/kg (该棉田 2005 年入冬前已经施入 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>), 速效 K 250 mg/kg。

试验采用裂区设计, 主区设 6 个施肥处理, 面积为 5 m×6 m=30 m<sup>2</sup>, 副区为品种 (2 个), 面积为 5 m×3 m=15 m<sup>2</sup>, 试验重复 3 次, 随机排列。施肥处理为: 不施肥 (A); 施有机肥 750 kg/hm<sup>2</sup> (B); 常规氮磷钾肥 (N 225 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 45 kg/hm<sup>2</sup>) (C); 常规氮磷钾肥 + 375 kg/hm<sup>2</sup> 有机肥 (D); 常规氮磷钾肥 + 750 kg/hm<sup>2</sup> 有机肥 (E); 常规氮磷钾肥 + 1500 kg/hm<sup>2</sup> 有机肥 (F)。各小区播前施入全部有机肥、P 肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 46% 重钙)、K 肥 (K<sub>2</sub>O, 60% 硫酸钾) 以及 60% N 肥 (46.3% 尿素) 做基肥, 剩余的 40% N 肥在盛花期追肥施入。有机肥由南京农业大学植物营养与肥料系研制, 江苏新天地氨基酸肥料有限公司生产的氨基酸有机肥, 有机质含量 ≥30%, N 4.4%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

①基金项目: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (200803031) 和农业部“948”重大项目 (2006-G62) 资助。

\* 通讯作者 (shenqirong@njau.edu.cn)

作者简介: 李俊华 (1972—), 男, 陕西汉中, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向为有机肥与植物土传病害防治。E-mail: ljh630703@163.com

2.3%,  $K_2O$  0.7%, 氨基酸含量 $\geq 8\%$ 。棉花品种为易感病品种新陆早 8 号 (XLZ-8) 和耐病品种新陆早 12 号 (XLZ-12)。棉花株距为 13 cm, 行距为 60 cm + 15 cm 宽窄行配置, 覆膜栽培, 4 行 1 膜。2006 年采用淹灌, 2007 年滴灌, 滴灌毛管带位于窄行中间, 1 膜 2 管。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 取样方法

土壤取样时期为盛铃期, N 肥追肥后 20 天左右, 2006 年于 8 月 5 日, 2007 年于 7 月 27 日取样。非根际土壤 (bulk soil, BS) 样品采集按主区每小区 8 个样点 (2 副区各 4 点, 即宽行的膜内和膜间各 2 点), 采样深度 0 ~ 20 cm, 土钻取样, 各样点混合。新陆早 8 号根际土壤 (rhizosphere-8, RS-8) 和新陆早 12 号根际土壤 (RS-12), 每品种采集 5 个样点, 每点用铁锹取出 2 ~ 3 株棉花根系, 捏碎大土块, 采用抖根法<sup>[4]</sup>收集根际土壤, 各样点混合。样品自然风干后过 1 mm 筛保存备用。

### 1.2.2 测定项目与方法

基础土样性质和试验处理土样养分按鲍士旦《土壤农化分析》<sup>[5]</sup>测定。土壤酶测定方法<sup>[6]</sup>: 过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定, 结果以单位土重消耗的 0.1 mol/L  $KMnO_4$  的毫升数表示; 蔗糖酶活性用 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定,

结果以 1 h 后 1 g 土壤中的葡萄糖的毫克数表示; 碱性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定, 结果以 2 h 后 100 g 土壤中的  $P_2O_5$  的毫克数表示; 脲酶活性用 pH 6.7 柠檬酸缓冲液比色法测定, 结果以 24 h 后 1 g 土壤中的  $NH_3-N$  的毫克数表示; 纤维素酶活性用硝基水杨酸比色法测定, 结果以 72 h 后 1 g 土壤中的葡萄糖的毫克数表示。

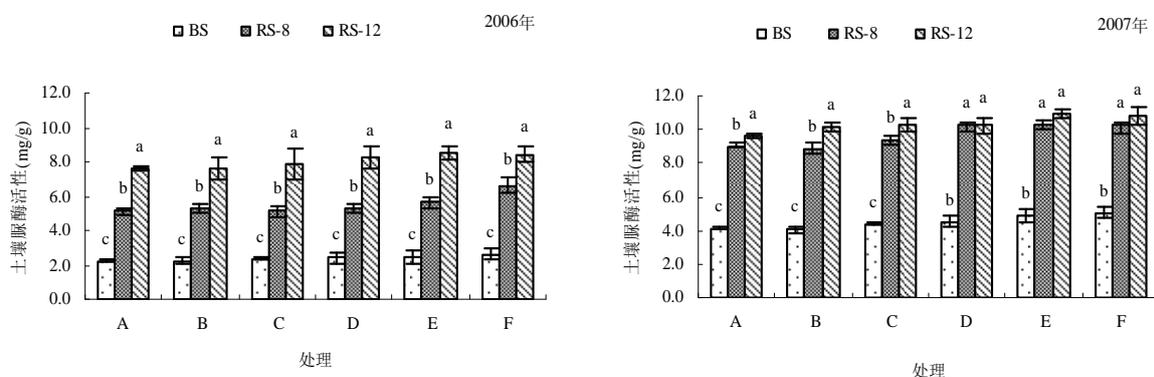
所有数据采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 氨基酸有机肥对棉花根际土壤酶活性的影响

#### 2.1.1 对土壤脲酶活性的影响

由图 1 可以看出, 两年的试验中, 根际土壤脲酶活性都显著高于非根际。2006 年, 与 BS 相比, RS-8 增加 116% ~ 152%, RS-12 增加 136% ~ 236%。施肥与对照相比, 脲酶活性增加 3% ~ 29%。2007 年, 与 BS 相比, RS-8 脲酶活性增加 104% ~ 128%, RS-12 增加 114% ~ 151%。施肥处理与对照相比土壤脲酶增加 4% ~ 23%。2007 年滴灌土壤脲酶活性明显高于 2006 年淹灌土壤, 平均增加 54%。



(图中不同字母表示同一处理根际与非根际间差异达到显著水平 ( $p < 0.05$ ), 下同)

图 1 施肥处理对棉花根际和非根际土壤脲酶活性的影响

Fig. 1 Effects of application fertilizer on soil urease activity in cotton rhizosphere and bulk soils

#### 2.1.2 对土壤纤维素酶活性的影响

图 2 表明, 两年的试验中, 根际土壤纤维素酶活性都显著高于非根际。2006 年除 F 处理外, 其他处理的 RS-12 纤维素酶活性显著高于 RS-8。2006 年, 与 BS 相比, RS-8 增加 48% ~ 79%, RS-12 增加 85% ~ 123%。所有施肥处理纤维素酶活性显著高于对照, 增加 1% ~ 49%。2007 年, 根际与非根际土壤相比, 纤维素酶活性增加 34% ~ 71%。两品种处理间根际土壤纤维

素酶活性没有显著差异。施肥处理纤维素酶活性显著高于对照, 增加 1% ~ 22%。2007 年滴灌土壤纤维素酶活性明显低于 2006 年淹灌土壤, 平均降低 23%。

#### 2.1.3 对土壤蔗糖酶活性的影响

图 3 显示, 棉花根际土壤蔗糖酶活性高于非根际土壤, 其中 RS-12 明显高于 RS-8。施肥及随着有机肥施用量增加, 土壤蔗糖酶活性有增加的趋势。2006 年, 施肥增加酶活性 1%

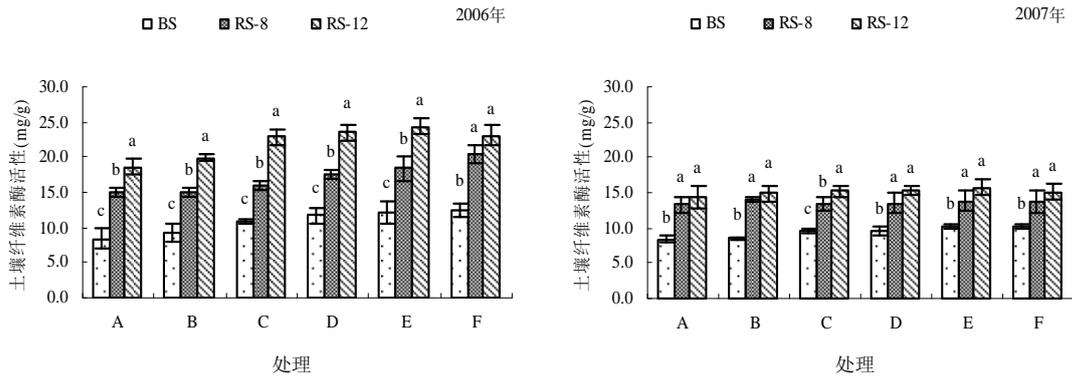


图 2 施肥处理对棉花根际和非根际土壤纤维素酶活性的影响

Fig. 2 Effects of application fertilizer on soil cellulase activity in cotton rhizosphere and bulk soils

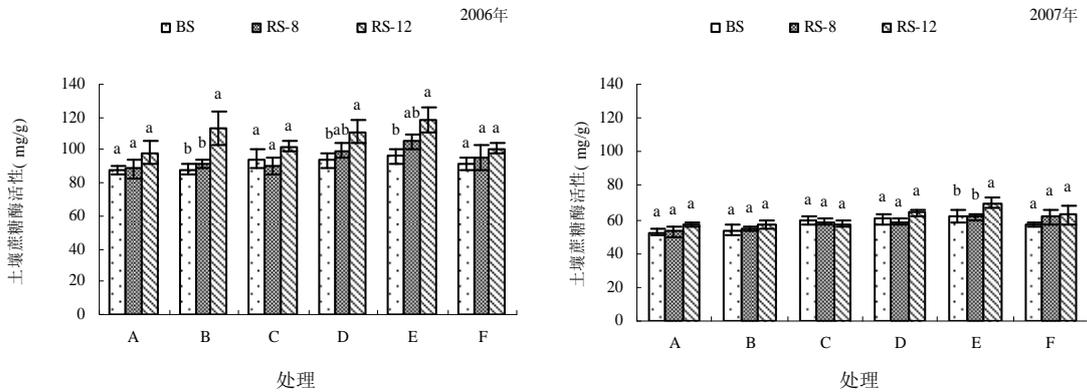


图 3 施肥处理对棉花根际和非根际土壤蔗糖酶活性的影响

Fig. 3 Effects of application fertilizer on soil invertase activity in cotton rhizosphere and bulk soils

~ 20%。根际与非根际相比，酶活性增加 1% ~ 28%。2007 年，非根际不同有机肥配施氮钾肥处理显著高于对照和单施有机肥处理。施肥增加酶活性 3% ~ 23%。根际与非根际相比，RS-8 的差异较小，RS-12 增加 7% ~ 12%。2007 年滴灌土壤蔗糖酶活性明显低于 2006 年淹灌土壤，平均降低 40%。

2.1.4 对土壤磷酸酶活性的影响 图 4 显示，棉花根际土壤磷酸酶活性高于非根际土壤。2006 年，其中 RS-12

明显高于 RS-8。与 BS 相比，RS-8 略有增加，RS-12 增加 5% ~ 13%。施肥及随着有机肥施用量增加，土壤磷酸酶活性有增加的趋势，但没有明显差异。施肥与对照相比，土壤磷酸酶活性增加 5% ~ 17%。2007 年，B、C、D 处理 RS-8 显著高于 BS，其他各处理的根际和非根际没有显著差异，酶活性增加 2% ~ 20%。两品种根际磷酸酶活性各处理没有显著差异。2007 年滴灌土壤磷酸酶活性明显高于 2006 年淹灌土壤，平均增加 39%。

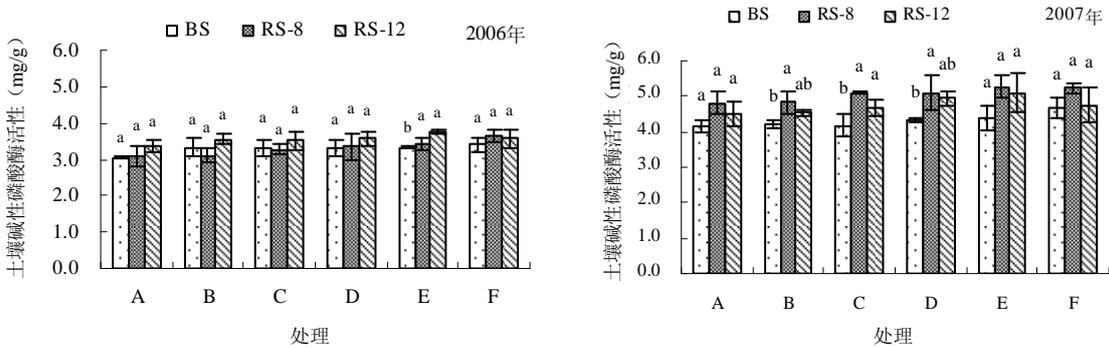


图 4 施肥处理对棉花根际和非根际土壤碱性磷酸酶活性的影响

Fig. 4 Effects of application fertilizer on soil alkaline phosphatase activity in cotton rhizosphere and bulk soils

2.1.5 对土壤过氧化氢酶活性的影响 由图 5 看出, 棉花根际土壤过氧化氢酶活性一般高于非根际土壤, 并且RS-8 高于RS-12。施用有机肥或随着有机肥施用量增加, 过氧化氢酶活性有增加的趋势, 但没有达到显著水平。2007 年滴灌土壤过氧化氢酶活性明显高于 2006 年淹灌土壤, 平均增加 57%, 但处理间和根际与非根际间差异不显著。过氧化氢酶广泛存在于土

壤中和生物体内, 能有效地防止土壤代谢过程中产生的过氧化氢对生物体造成的毒害。张丽萍等<sup>[7]</sup> 2 年黄萎病圃试验发现滴灌条件利于棉花黄萎病的发生, 特别是在 7 月底 8 月初, 滴灌条件下的棉花黄萎病开始迅猛发展。本研究中易感病品种和滴灌条件下土壤过氧化氢酶活性增加, 可能与黄萎病发生时棉花产生较多自由基, 激发了过氧化氢酶活性有关。

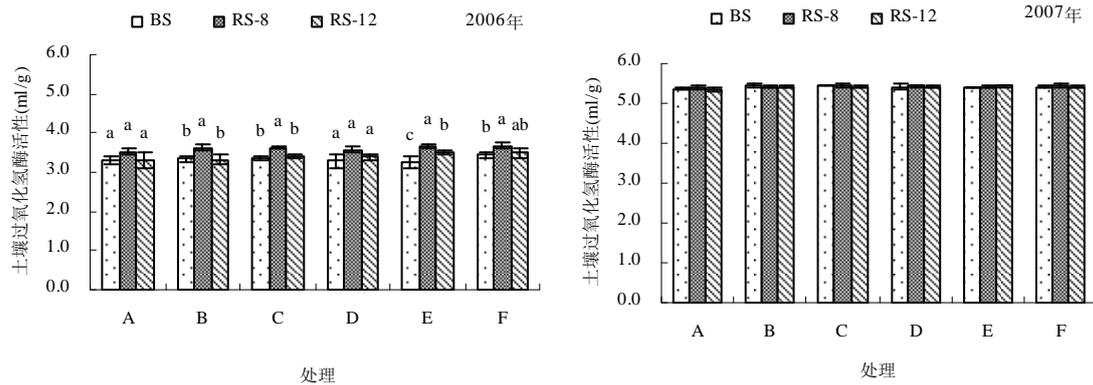


图 5 施肥处理对棉花根际和非根际土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig. 5 Effects of application fertilizer on soil catalase activity in cotton rhizosphere and bulk soils

## 2.2 氨基酸有机肥对棉花根际土壤有效养分的影响

2.2.1 对土壤pH的影响 2 年试验表明, 氨基酸有机肥能降低土壤pH (表 1), 但差异不显著。各处理根际土壤pH小于非根际, 除了 2006 年E处理RS-8 土壤pH显著低于非根际外, 其他处理都没有显著差异。总体来看, RS-8 土壤pH低于RS-12。2006 年土壤pH明显低

于 2007 年, 主要是因为灌溉方式的变化引起的。该土壤盐分含量较高, 每年都有季节性返盐。2006 年采用淹灌, 灌溉量较大, 盐分被淋洗到下层土壤, 土壤pH值下降。2007 年膜下滴灌灌水量比常规灌灌水量减少使表土积盐强度加强<sup>[8]</sup>, 土壤盐分表聚, 其中的碱性盐造成土壤pH值升高。

表 1 施肥处理对棉花根际和非根际土壤 pH 的影响

Table 1 Effects of application fertilizer on soil pH in cotton rhizosphere and bulk soils

处理	2006 年			2007 年		
	BS	RS-8	RS-12	BS	RS-8	RS-12
A	8.49 a A	8.48 a A	8.49 a A	8.80 a A	8.76 a A	8.78 a A
B	8.48 a A	8.47 a A	8.48 a AB	8.80 a A	8.72 a A	8.77 a AB
C	8.47 a A	8.46 a A	8.47 a AB	8.80 a A	8.71 a A	8.78 a A
D	8.46 a A	8.42 a A	8.43 a AB	8.77 a A	8.72 a A	8.75 a AB
E	8.46 a A	8.40 b A	8.42 ab B	8.75 a A	8.72 a A	8.72 a AB
F	8.44 a A	8.36 a A	8.43 a AB	8.73 a A	8.70 a A	8.71 a B

注: 表中不同字母均表示差异达到  $p < 0.05$  显著性水平, 小写字母为同一处理根际与非根际间比较, 大写字母为不同处理间比较, 下同。

2.2.2 对土壤碱解 N 的影响 表 2 显示, 两年的试验中, 两品种根际土壤碱解 N 都显著低于非根际, 两品种之间没有显著差异, 总体来看 RS-8 略高于 RS-12。

2006 年, 与 BS 相比, RS-8 碱解 N 降低 25% ~ 30%, RS-12 降低 23% ~ 30%。施有机肥与对照相比增加 3% ~ 17%。2007 年与 BS 相比, RS-8 降低 46% ~ 58%,

RS-12 降低 44% ~ 62%。施有机肥与对照相比增加 11% ~ 64%。2007 年滴灌非根际土壤碱解 N 明显高于 2006 年淹灌土壤, 平均增加 55%, RS-8 增加 5%, RS-12 降低 3%。

表 2 施肥处理对棉花根际和非根际土壤碱解 N 的影响 (mg/kg)

Table 2 Effects of application fertilizer on soil available N in cotton rhizosphere and bulk soils

处理	2006 年			2007 年		
	BS	RS-8	RS-12	BS	RS-8	RS-12
A	65.7 a A	49.3 b A	50.8 b A	94.5 a B	46.6 b A	36.2 b B
B	68.2 a A	48.0 b A	48.3 b A	109.1 a AB	53.9 b A	46.5 b AB
C	71.3 a A	51.8 b A	51.0 b A	119.3 a A	57.2 b A	53.7 b AB
D	74.2 a A	54.2 b A	52.8 b A	116.4 a AB	54.9 b A	47.0 b AB
E	74.0 a A	55.8 b A	52.1 b A	121.0 a A	55.5 b A	58.5 b AB
F	77.0 a A	54.1 b A	54.6 b A	105.3 a AB	61.3 b A	59.3 b A

2.2.3 对土壤速效 P 的影响 从表 3 可以看出, 两年的试验中, 两品种根际土壤速效 P 都高于非根际, 两品种之间没有显著差异, 总体来看 RS-8 略高于 RS-12。2006 年, 与 BS 相比, RS-8 的土壤速效 P 增加 16% ~ 74%, RS-12 增加 17% ~ 62%。根际和非根际所有施肥处理与对照相比都没有显著差异, 增加 3%

~ 34%。2007 年根际与非根际相比, RS-8 增加 9% ~ 19%, RS-12 增加 6% ~ 18%, 两品种根际土壤速效 P 没有显著差异。施肥处理土壤速效 P 增加 4% ~ 37%。2007 年滴灌非根际土壤速效 P 明显高于 2006 年淹灌土壤, 平均增加 22%, RS-8 和 RS-12 平均降低 7% 和 1%。

表 3 施肥处理对棉花根际和非根际土壤速效 P 的影响 (mg/kg)

Table 3 Effects of application fertilizer on soil rapid available P in cotton rhizosphere and bulk soils

处理	2006 年			2007 年		
	BS	RS-8	RS-12	BS	RS-8	RS-12
A	14.7 b A	22.2 a A	21.2 a A	16.9 a B	20.1 a A	19.9 a A
B	19.7 a A	22.8 a A	23.4 a A	18.2 a AB	20.9 a A	20.1 a A
C	16.5 a A	22.1 a A	19.4 a A	22.2 a AB	24.2 a A	23.0 a A
D	16.8 a A	24.9 a A	23.6 a A	21.2 a AB	24.4 a A	23.7 a A
E	17.3 a A	29.4 a A	21.7 a A	23.2 a A	24.9 a A	24.5 a A
F	16.5 b A	28.7 a A	26.7 a A	22.6 a A	25.6 a A	24.2 a A

2.2.4 对土壤速效 K 的影响 表 4 显示, 2006 年土壤速效 K 根际和非根际没有显著差异, 根际低于非根际, 降低 1% ~ 11%。2007 年两品种根际土壤速效 K 都显著高于非根际, 增加 22% ~ 53%。两品种之间没有显著差异, RS-8 略高于 RS-12。2007 年滴灌与 2006 年淹灌相比, 非根际土壤速效 K 降低 2%, RS-8 和 RS-12 平均增加 34% 和 37%, 滴灌根际土壤速效 K 增加可能是滴灌产生的干湿交替造成的。

### 2.3 根际和非根际土壤有效养分与酶活性的相关分析

2 年试验结果相关分析表明 (表 5), 土壤 pH 显著

影响着土壤酶活性。土壤 pH 与土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶呈极显著正相关; 除非根际纤维素酶外, 土壤 pH 与土壤蔗糖酶、纤维素酶呈极显著负相关。非根际的土壤碱解 N 和土壤速效 P 与土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶呈极显著正相关。根际土壤速效 K 与土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶呈极显著正相关, 与土壤蔗糖酶、纤维素酶呈极显著负相关。根际蔗糖酶、纤维素酶与土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶呈极显著负相关, 蔗糖酶与纤维素酶极显著正相关。无论根际与非根际, 土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶之间相互呈极显著正相关。

表 4 施肥处理对棉花根际和非根际土壤速效 K 的影响 (mg/kg)

Table 4 Effects of application fertilizer on soil rapid available K in cotton rhizosphere and bulk soils

处理	2006 年			2007 年		
	BS	RS-8	RS-12	BS	RS-8	RS-12
A	248 a A	257 a A	237 a A	263 b A	340 a A	348 a A
B	252 a A	243 a A	247 a A	272 b A	330 a A	332 a A
C	263 a A	235 a A	233 a A	232 b A	356 a A	338 a A
D	257 a A	253 a A	250 a A	250 b A	327 a A	337 a A
E	253 a A	243 a A	243 a A	239 b A	342 a A	325 a A
F	265 a A	262 a A	252 a A	248 b A	332 a A	327 a A

表 5 根际和非根际土壤有效养分与酶活性的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between available nutrients and enzyme activity in rhizosphere and bulk soils

		pH	碱解 N	速效 P	速效 K	蔗糖酶	过氧化氢酶	磷酸酶	脲酶
碱解 N	BS	0.917 **							
	RS-8	0.182	1						
	RS-12	-0.238							
速效 P	BS	0.639 *	0.800 **						
	RS-8	-0.487	0.580 *	1					
	RS-12	-0.134	0.604 *						
速效 K	BS	-0.252	-0.402	-0.649 *					
	RS-8	0.943 **	0.344	-0.258	1				
	RS-12	0.975 **	-0.207	-0.002					
蔗糖酶	BS	-0.985 **	-0.871 **	-0.603 *	0.180				
	RS-8	-0.984 **	-0.163	0.494	-0.948 **	1			
	RS-12	-0.975 **	0.169	0.091	-0.957 **				
过氧化氢酶	BS	0.988 **	0.945 **	0.701 **	-0.256	-0.980 **			
	RS-8	0.968 **	0.359	-0.282	0.977 **	-0.965 **	1		
	RS-12	0.973 **	-0.098	-0.012	0.986 **	-0.962 **			
磷酸酶	BS	0.918 **	0.921 **	0.787 **	-0.256	-0.924 **	0.964 **		
	RS-8	0.917 **	0.483	-0.129	0.968 **	-0.916 **	0.983 **	1	
	RS-12	0.912 **	0.031	0.115	0.941 **	-0.879 **	0.970 **		
脲酶	BS	0.925 **	0.945 **	0.793 **	-0.357	-0.921 **	0.967 **	0.987 **	
	RS-8	0.900 **	0.473	-0.095	0.951 **	-0.904 **	0.970 **	0.992 **	1
	RS-12	0.862 **	0.173	0.180	0.910 **	-0.867 **	0.952 **	0.972 **	
纤维素酶	BS	-0.583	-0.301	-0.110	0.088	0.615 *	-0.488	-0.326	-0.334
	RS-8	-0.883 **	0.027	0.684 **	-0.722 **	0.834 **	-0.756 **	-0.666 *	-0.651 *
	RS-12	-0.955 **	0.230	0.113	-0.903 **	0.932 **	-0.898 **	-0.831 **	-0.769 **

注: \*\* 表示相关性达到  $p < 0.01$  水平; \* 表示相关性达到  $p < 0.05$  水平,  $n = 12$ 。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 新疆棉花根际与非根际土壤酶活性差异明显

本研究结果表明,新疆棉花根际土壤酶活性高于非根际,与棉花根系分泌物有关。土壤酶包括游离酶、胞内酶和胞外酶,植物根系分泌物会影响植物释放酶的多少,影响根际微生物的数量和种类,从而影响它

们产生酶和死亡后释放酶的能力,所以会影响根际和非根际酶活性的差异。孟亚利等<sup>[9]</sup>发现套作的棉花非根际土壤酶的活性高于单作棉。在麦棉两熟复合根系群体中,非根际土壤酶的活性也高于单一的根系,张学利等<sup>[10]</sup>认为樟子松根际土壤中酶类的活性均高于非根际土壤。弋良朋等<sup>[11]</sup>研究了 6 种植物的过氧化氢酶、

脲酶和蛋白酶在两种土壤的植物根际表现出相反的变化, 荒漠盐土中, 根际土3种酶的活性均高于非根际土; 而灌耕灰漠土的根际土3种酶活性均低于非根际土。本研究中, 2个棉花品种间根际土壤酶活性的差异, 可能是感病品种分泌物中氨基酸含量和种类较多<sup>[12]</sup>。李振高等<sup>[13]</sup>研究了不同基因型小麦根际脲酶活性, 宝丰7228根际大于非根际, 而郑引1号非根际大于根际。

氨基酸有机肥对棉花根际和非根际土壤酶活性都有增加作用, 这与罗安程等<sup>[14]</sup>、林天等<sup>[15]</sup>的结果一致, 研究表明所有的土壤酶对有机肥都有积极的响应。但不是随着施肥量增加而增加, RS-12土壤酶活性在1500 kg/hm<sup>2</sup>有所下降。郭天财等<sup>[16]</sup>研究表明, 在同一生育时期内, 随着施N水平的提高, 蛋白酶活性呈先增加后降低的变化趋势。有机肥对土壤酶活性的贡献主要来自以下3个方面: ①有机肥含有丰富的酶, 它对土壤有“加酶”作用; ②有机肥改善了土壤的理化性质, 有利于作物和土壤生物的生长, 使更多的酶伴随着旺盛的根系活动和土壤动物、微生物的生命活动而进入土壤; ③它能为土壤酶创造良好的反应环境, 如充足的底物。

本试验只对棉花盛铃期根际土壤酶活性进行了研究, 在不同生育时期土壤酶活性有不同的变化规律<sup>[1]</sup>, 棉花根际土壤酶活性的生育周期变化有待于进一步研究。

### 3.2 棉花根系明显影响土壤养分的有效性

本研究根际土壤pH低于非根际, 且随着有机肥施用量的增加呈下降趋势。根际碱解N呈显著下降, 速效P呈上升趋势。根际速效K在淹灌条件下降而在滴灌条件下上升。根际pH值的变化是根系呼吸作用释放CO<sub>2</sub>以及在离子的主动吸收和根尖胞伸长过程中分泌质子和有机酸所致, 张学利等<sup>[17]</sup>认为大多数根际土壤的pH值低于非根际土壤。郭朝晖等<sup>[18]</sup>用根箱法研究得出根际速效N、P呈耗竭状态, 而孟亚利等<sup>[9]</sup>研究表明麦棉自然根系复合群体中棉花根际比非根际土壤的有效养分含量降低, 而纱网和塑膜隔根处理棉花根际有效P含量明显高于非根际。本研究中根际速效P含量增加, 可能是该棉田长期大量施用P肥, 土壤P水平高, 根际土壤磷酸酶活性高。另外棉花根系及根际微生物分泌有机酸<sup>[19]</sup>也可能是其中原因。氨基酸有机肥能提高土壤速效养分, 一方面它本身提供养分, 另外能活化土壤养分<sup>[14,20]</sup>。

### 3.3 灌溉方式影响着土壤酶活性和养分有效性

膜下滴灌是新疆石河子垦区最重要的灌溉方式, 试验棉田由2006年的淹灌建设成为滴灌。滴灌是一种不均匀灌溉, 使得土壤水分及溶质呈不均匀分布状态。土壤中的盐分、养分等随着滴头供应水分的运动而变化, 一般使盐分向湿润锋边缘聚集, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N浓度在一定深度和滴头距离出现峰值<sup>[8,21-22]</sup>。本研究膜下滴灌根际和非根际土壤过氧化氢酶、磷酸酶、脲酶、土壤pH及非根际的碱解N、速效P、根际的速效K较淹灌高, 而土壤蔗糖酶、纤维素酶、根际碱解N、速效P、非根际的速效K较淹灌低。这些结果部分与范君华等<sup>[23]</sup>一致, 她的研究表明膜下滴灌方式下棉田的微生物数量及根际、根外微生物数量均多于细流沟灌, 土壤酶活性没有明显增加。本研究中棉株离滴灌带8 cm左右, 水分充足, 干湿交替, 而非根际土壤离滴灌带38 cm左右, 水分较少, 盐分聚集。这可能是本研究滴灌条件下根际土壤速效K增加, 土壤酶活性和养分有效性产生差异的原因。

#### 参考文献:

- [1] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 孙艳艳, 卞新民. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响. 中国农业科学, 2009, 42(2): 725-733
- [2] Gianfreda L, Sannino F, Vtoante A. Pesticide effects on the activity of tree immobilized and invertase. Soil Bio. & Biochem., 1995, 27(9): 1201-1208
- [3] 杨兴明, 徐阳春, 黄启为, 徐茂, 梁永红, 胡江, 冉炜, 沈其荣. 有机(类)肥料与农业可持续发展和生态环境保护. 土壤学报, 2008, 45(5): 925-932
- [4] Riley D, Barber SA. Salt accumulation at the soybean root soil interface. Soil Sci. Soc. Am Proc., 1970, 34: 154-155
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [6] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986
- [7] 张丽萍, 李国英, 刘政. 不同灌水方式对棉花黄萎病发病的影响. 石河子大学学报, 2006, 24(2): 191-192
- [8] 张伟, 吕新, 李鲁华, 刘建国, 孙肇君, 张小伟, 杨忠平. 新疆棉田膜下滴灌盐分运移规律. 农业工程学报, 2008, 24(8): 115-119
- [9] 孟亚利, 王立国, 周治国, 陈兵林, 王瑛, 张立楨, 卞海云, 张思平. 麦棉两熟复合根系群体对棉花根际非根际土壤酶活性和土壤养分的影响. 中国农业科学, 2005, 38(5): 904-910
- [10] 张学利, 杨树军, 张百习, 白雪峰. 不同感病等级樟子松根际与非根际土壤性质对比研究. 林业科学研究, 2006, 19(1):

- 76-79
- [11] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际土壤酶活性的变化. 中国生态农业学报, 2009, 17(3): 500-505
- [12] 袁虹霞, 李洪连, 王焯, 房卫平, 王振跃. 棉花不同抗性品种根系分泌物分析及其对黄萎病菌的影响. 植物病理学报, 1999, 6: 109-112
- [13] 李振高, 潘映华, 李良谟. 不同基因型小麦根际细菌及酶活性的动态研究. 土壤学报, 1993, 30(1): 1-8
- [14] 罗安程, Subedi TB, 章永松, 林咸永, 柴容明. 有机肥对水稻根际土壤中微生物酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(4): 321-327
- [15] 林天, 何园球, 李成亮, 杨芳, 徐江兵. 红壤旱地中土壤酶对长期施肥的响应. 土壤学报, 2005, 42(4): 682-686
- [16] 郭天财, 宋晓, 马冬云, 查菲娜, 岳艳军, 张煜, 李耀昭. 氮素营养水平对小麦根际微生物及土壤酶活性的影响. 水土保持学报, 2006, 20(3): 129-132
- [17] 张学利, 杨树军, 刘亚萍, 刘淑玲. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究. 中国沙漠, 2004, 24(1): 72-76
- [18] 郭朝晖, 黄子蔚. 棉花氮磷营养的根际效应. 土壤, 1999, 31(6): 109-112
- [19] 席琳乔, 王静芳, 马金萍, 龚明福, 张利莉. 棉花根际解磷菌的解磷能力和分泌有机酸的初步测定. 微生物学杂志, 2007, 27(5): 70-74
- [20] 王林权, 周春菊, 王俊儒, 李生秀, 邵明安. 鸡粪中的有机酸及其对土壤速效养分的影响. 土壤学报, 2002, 39(2): 268-275
- [21] 侯振安, 李品芳, 吕新, 龚江, 王艳娜. 不同滴灌施肥方式下棉花根区的水、盐和氮素分布. 中国农业科学, 2007, 40(3): 549-557
- [22] 李久生, 杨风艳, 栗岩峰. 层状土壤质地对地下滴灌水氮分布的影响. 农业工程学报, 2009, 25(7): 25-31
- [23] 范君华, 刘明. 膜下滴灌与沟灌海岛棉土壤微生物特性的比较. 节水灌溉, 2005(1): 9-11

## Effects of Application Amino Acid Fertilizer on Soil Enzyme Activity and Available Nutrients in Cotton Rhizosphere and Bulk Soils

LI Jun-hua<sup>1,2</sup>, SHEN Qi-rong<sup>1</sup>, CHU Gui-xin<sup>2</sup>, WEI Chang-zhou<sup>2</sup>, QIAO Xu<sup>2</sup>, YANG Xing-ming<sup>1</sup>

(1 Jiangsu Key Laboratory for Solid Organic Waste Utilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**Abstract:** Field experiments were carried out to study the effects of applying an amino acid fertilizer on enzyme activities and available nutrients in rhizosphere and bulk soils of two varieties of different disease-resistance cotton at Shihezi city in Xinjiang in 2006 with open flooding irrigation and in 2007 with film-covered trickle irrigation. Soil samples were collected at the bolling stage. The results showed that the activities of catalase, alkaline phosphatase, urease and cellulase, urease and cellulase were significantly higher in rhizosphere soils than those in bulk soils. The activities of catalase, alkaline phosphatase, urease and cellulase except catalase in rhizosphere soils of variety Xinluzao-8 were lower than those of variety Xinluzao-12. The contents of available nitrogen increased while available phosphorus decreased in rhizosphere soils in comparison with bulk soils. When compared to the open flooding irrigation, the film-covered trickle irrigation increased the activities of catalase, alkaline phosphatase, urease, and soil pH in both rhizosphere and bulk soils, the contents of available N and P in bulk soils and available K in rhizosphere soils, but decreased the activities of catalase and cellulose, and the contents of available N and P in rhizosphere soils as well as available K in bulk soils. Applying amino acid fertilizer can increase the activities of soil enzymes and the contents of available nutrients either in rhizosphere or bulk soils but decrease soil pH in rhizosphere soil when high dose of the fertilizer is used. In conclusion, agronomical practices such as fertilizer use and irrigation as well as crop variety can affect the soil biological and chemical properties, of which effects on crop growth and health need to be understood.

**Key words:** Cotton, Rhizosphere, Enzyme activity, Nutrients, Amino acid fertilizer