

优化施肥对设施番茄根际与非根际土壤养分及酶活性的影响

高 岩¹, 曾路生¹, 李俊良¹, 陈 清²

(1. 青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 青岛 266109; 2. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 为了提高土壤养分利用率, 保护农田生态环境。以山东寿光种植番茄的大棚土壤为材料, 研究了优化施肥下番茄根际与非根际土壤养分及酶活性的变化。结果表明, 有机肥 8 t/hm² + 秸秆 4 t/hm² 生育期追施 150 kg/hm² 化学氮肥处理是较优的施肥模式, 宜在实践中推荐运用。番茄根际中土壤有机质平均含量要高于非根际, 而土壤速效磷含量低于非根际, 碱解氮与速效钾在根际与非根际中差异不大。试验同时表明, 脲酶和蔗糖酶对施肥影响比较敏感, 其次是脱氢酶和磷酸酶, 而过氧化氢酶则不敏感。番茄长期连作对多数土壤酶活性产生抑制作用。其中, 对脱氢酶和磷酸酶影响较大, 其次是脲酶和蔗糖酶, 而对过氧化氢酶影响小。相关分析表明, 土壤有机质是影响其他养分因子和土壤酶活性的关键因素, 须采取各种有效措施增加土壤有机质含量, 有利于改善作物生长环境, 防治土壤质量退化。

关键词: 土壤养分; 酶活性; 优化施肥; 设施农业

中图分类号: S158.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2013)增刊-0347-06

Effect of Optimized Fertilization on Soil Nutrient and Enzyme Activity in Tomato Rhizosphere and Non Rhizosphere in Greenhouse Field

GAO Yan¹, ZENG Lu-sheng¹, LI Jun-liang¹, CHEN Qing²

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to improve the soil nutrient use efficiency and protect the farmland ecological environment, soil nutrient and enzyme activity in tomato rhizosphere and non rhizosphere under optimized fertilization conditions were studied by taking Greenhouse soils as research materials in Shouguang, Shandong Province. The results indicated that the treatment of 8 t/ha of organic fertilizer plus 4 t/ha of straw and 150 kg/ha of chemical nitrogen added in tomato growth period was the better fertilization mode and should be recommended appropriately in practice. The average content of soil organic matter in tomato rhizosphere was higher than that of non rhizosphere. However, soil available phosphorus content was on the contrary, and available nitrogen and available potassium were with little difference in rhizosphere and non rhizosphere. The test also indicated that urease and sucrase were more sensitive to fertilization than dehydrogenase and phosphatase and catalase was not sensitive to fertilization. Continuous planting of tomato in Greenhouse field inhibit most soil enzymatic activities. Among which, the influence on dehydrogenase and phosphatase was greater than urease and sucrase, and a little effect on catalase. Correlation analysis indicated that soil organic matter was a key factor affecting other soil nutrients and soil enzyme activities. Accordingly, various effective measures should be taken to increase soil organic matter content, to improve the crop growth environment and prevent soil quality from degradation.

Key words: Soil nutrient; Soil enzymatic activity; Optimized fertilization; Facility agriculture

大棚蔬菜生产过程中普遍出现施肥过剩、养分 利用率低等现象, 造成土壤质量退化和地下水污染

收稿日期: 2013-08-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103003); 山东省自然科学基金项目(Y2008E19)

作者简介: 高 岩(1987-), 女, 山东临朐人, 在读硕士, 主要从事农业资源与环境研究。

通讯作者: 曾路生(1966-), 男, 江西上犹人, 副教授, 博士, 主要从事土壤与肥科学的教学与研究。

等环境问题。据报道,从上世纪 80 年代以来,氮肥的大量施用而导致菜地土壤 pH 值下降了 0.3 ~ 0.8 个单位,引起土壤酸化^[1]。因施入土壤中的无机肥料易形成盐类随灌溉水淋洗损失,而有机肥料中主要为鸡粪和猪粪,在大棚高温环境中易矿化分解变成无机养分。因此,大棚土壤有机质积累少,C/N 低,土壤保肥能力减弱^[2]。人们试图通过优化施肥,减少氮肥施用量,同时增加秸秆还田等措施,以补充土壤有机质,调节 C/N 比值,促进土壤微生物生长,使土壤中无机氮、磷等养分转化为微生物氮磷而保存在土体中,以便提高养分利用率,促进大棚生产可持续发展。

土壤酶和土壤微生物一起共同推动土壤的代谢过程,土壤酶活性的高低不仅可以评价土壤肥力水平,还是敏感地指示土壤环境微小变化的微生物指标,因此,对土壤酶的研究一直受到人们的关注。王树起等^[3]报道,种植苜蓿和土地休闲 2 种方式可提高土壤酶活性和显著增加土壤养分。杜社妮等^[4]研究表明,日光温室中施用有机肥可增强土壤呼吸强度和酶活性。张奇春等^[5]研究了不同施肥处理对水稻长期肥料试验中土壤酶活性及微生物群落结构的变化,表明施用有机肥的效果明显大于单施化肥。申卫收等^[6]报道,与传统施肥相比,配方施肥下塑料大棚黄瓜土壤脱氢酶活性提高了 36.5%,番茄土壤脱氢酶活性则提高了 66.5%,且达到了显著水平。

植物生长过程中形成了根际与非根际 2 种不同的微生态环境,影响到土壤养分转化和土壤酶活性变化。李俊华等^[7]报道,棉花根际土壤中的酶活性普遍高于非根际,根际碱解氮呈显著降低,速效磷呈增加趋势。孟亚利等^[8]研究表明,麦棉复合群体对根际和非根际土壤酶活性和土壤养分状况均有不同程度改善。以上研究多数集中在大田环境条件下,

而大棚长期连作并优化施肥的情况下,根际和非根际土壤养分和酶活性变化方面的研究鲜有报道。

本项目研究优化施肥条件下,大棚番茄根际与非根际土壤养分和酶活性变化,旨在为推荐优化施肥模式,减少养分淋失,减缓土壤退化,促进日光温室可持续利用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验地位于山东寿光古城街办罗庄村,该村为当地典型的设施番茄生产基地,试验选用的日光温室为典型的水泥柱和钢架结构。0 ~ 30 cm 土壤的机械组成为砂粒 1.34%,粉粒 63.96%,粘粒 34.7%,土壤容重为 1.31 g/cm³;供试作物为番茄 (*Solanum lycopersicum* L.),品种为粉安娜,一年 2 季,试验已进行了 9 年。

1.2 试验设计

试验设 6 个处理,具体施肥见表 1。每个处理均重复 3 次,随机区组排列,即① NN,不施用有机肥和化学氮肥的空白;② MN + S,有机肥 + 秸秆处理,生育期不追施化学氮肥;③ SN,调控氮肥处理,施用有机肥的基础上冬春季在番茄的第 2 3 4 穗膨大时进行追施化学氮肥,每次化学氮肥的施用量为 50 kg/hm²;从 3 月份到 5 月份共施用 3 次;④ SN + S,调控氮肥 + 秸秆处理,施用时将风干鸡粪与粉碎成 5 ~ 10 cm 的小麦秸秆均匀撒施后翻耕,化学氮肥的施用同③。⑤ CN,农民传统处理,冬春季施用 8 t/hm² 风干鸡粪,追施氮肥每次用量 120 kg/hm²,从 3 月份到 5 月份共施肥 6 次;⑥ CN + S,农民传统有机肥 + 秸秆处理,在传统施肥基础上,施用干燥的小麦秸秆。

表 1 冬春季 3 ~ 5 月不同处理施肥

Tab. 1 Different fertilizations from March to May in winter and spring

施肥处理 Treatments	小区面积 /m ² Plot	有机肥 /(t/hm ²) Manure	秸秆 /(t/hm ²) Straw	五氧化二磷 /(kg/hm ²) P ₂ O ₅	氮肥 /(kg/hm ²) Nitrogen fertilizer	氧化钾 /(kg/hm ²) K ₂ O
NN	21.84	0	0	90	0	260
MN + S	32.76	8	4	90	0	260
SN	21.84	8	0	90	150	260
SN + S	32.76	8	4	90	150	260
CN	21.84	8	0	90	720	260
CN + S	32.76	8	4	90	720	260

其中,有机肥的施用量为冬春季 8 t/hm² 风干鸡粪,其全氮含量为 1.59%,干燥的小麦秸秆 4 t/hm²,其全氮含量为 1.88%,将其均匀撒施后翻

耕。氮肥品种为尿素(46%),施肥时将尿素分别溶化于塑料桶中,然后随水冲施;钾肥的施用量为 260 kg/hm² 的 K₂O,所选用的肥料品种为硫酸钾(52%

K₂O) ,每次施肥时在地头随水冲施; 磷肥的施用量为 90 kg/hm² 的 P₂O₅ ,作底肥施用,所选用的肥料品种为过磷酸钙(12% P₂O₅)。

1.3 测定方法

于番茄收获后的 6 月底采集土样,每个处理选择 6 株番茄,用铁锹轻轻挖起,捏碎大块土壤,采用“抖落法”收集根际土样于干净塑料袋中,混合均匀。同时,在番茄植株的中间收集 0~20 cm 土层的非根际土样。将土样带回实验室过 2 mm 筛后立即进行土壤酶活性的分析,或储存于 4℃ 冰箱备用。部分土样风干用以测定土壤养分。

土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾分别采用重铬酸钾容量法、碱解扩散法、Olsen 法和火焰光度计法测定。土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定,单位以 24 h 后 1 g 土壤中 NH₃-N 的毫克数表示;磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定,以 24 h 后 1 g 土壤中酚的毫克数表示;脱氢酶活性用氯化三苯基四氮唑(TTC)比色法测定,以 24 h 后 1 g 土壤中

TPF 微克数表示;蔗糖酶活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,24 h 释放出的葡萄糖毫克数表示;过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定,以每小时单位土重消耗 0.1 mol/L KMnO₄ 的毫升数表示。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 进行作图,SPSS 13.0 进行数据计算和方差分析,多重比较采用 LSD 方法。

2 结果与分析

2.1 番茄根际与非根际中土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的变化

图 1 表明,与不施肥的空白对照 NN 比较,施用有机肥的各处理土壤有机质均高于对照,说明增施有机肥是补充土壤有机质的重要途径。在施用有机肥的处理中,增施氮肥处理的土壤有机质反而低于不施氮肥的处理,可能是氮肥的施用为土壤微生物提供营养,促进了对土壤有机质的分解。而氮肥的施用可增加土壤碱解氮含量,但与施氮量不成正比例。

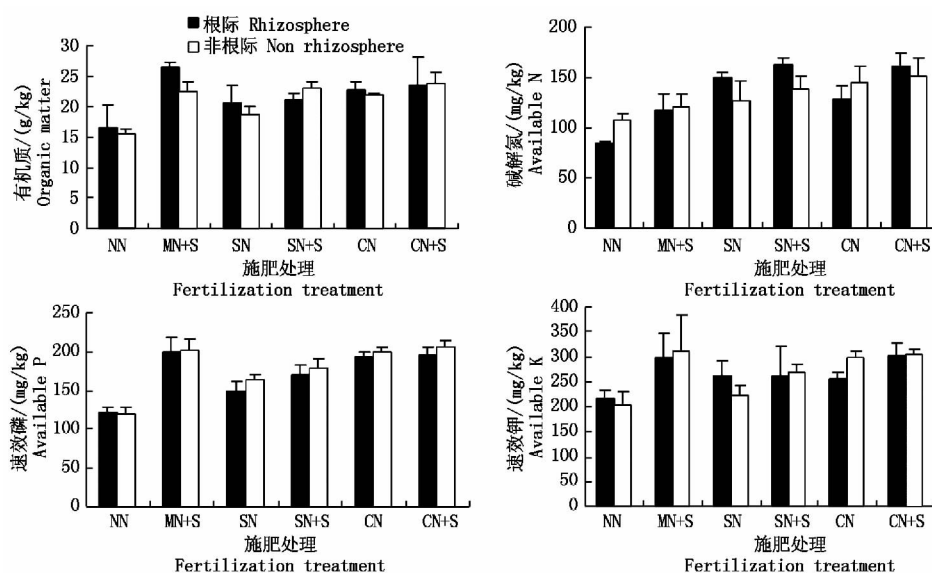


图 1 优化施肥下番茄根际与非根际土壤养分的变化

Fig. 1 Soil nutrient in tomato rhizosphere and non rhizosphere under optimized fertilization conditions

各处理具有相同的磷肥和钾肥施用量,而土壤速效磷和速效钾含量以不施有机肥和氮肥的对照 NN 处理最低,以施有机肥和不施氮肥同时加秸秆处理的 MN+S 含量最高,其余处理介于二者之间。说明增施有机肥具有补充和保持土壤速效磷和速效钾的作用,而氮肥可促进作物生长,从而加速对土壤速效磷和速效钾的消耗。

2.2 番茄根际与非根际土壤养分的比值

不同施肥处理中,番茄根际与非根际土壤养分含量也存在差异(图 2)。根际土壤的有机质含量平均高于非根际,比值为 1.05。因作物残茬和根系分泌的各种有机酸等物质可导致根际土壤有机碳的增

加。根际与非根际土壤中碱解氮和速效钾的平均比值分别为 1.01 和 1.00,而速效磷的平均比值为 0.96。由于速效氮和速效钾移动性比较强,当作物吸收后能从周围土体中较快得到补充,导致在根际和非根际中含量差异不大。而速效磷的移动性比较弱,补充慢,作物吸收后可导致根际土壤速效磷含量低于非根际土壤。

2.3 番茄根际与非根际土壤酶活性的变化

表 2 分析可知,施用有机肥的 5 种施肥处理中,根际土壤与非根际土壤的蔗糖酶活性平均值为 20.14、22.28 mg/(g·d),分别比空白处理高 62.42%、71.38%,这表明施用有机肥能显著提高蔗糖酶的活

性。可能是由于有机肥的施用提高了土壤有机碳的含量,为土壤微生物提供了较丰富的碳源,分泌了较多的土壤酶。与单纯施用有机肥和化学肥料相比,施用有机肥+适量化学氮肥+秸秆处理具有较高的蔗糖酶活性。可能是较适宜的土壤 C/N 比值,为微生物活动和番茄生长创造了良好的条件,提高了土

壤酶活性^[9]。

与土壤蔗糖酶活性相似,施用有机肥+适量化学氮肥+秸秆处理具有较高的土壤脲酶活性。由于土壤脲酶是一种水解酶类,可水解尿素为氨和二氧化碳,加速土壤中潜在养分的有效化,增强土壤供肥能力^[10]。

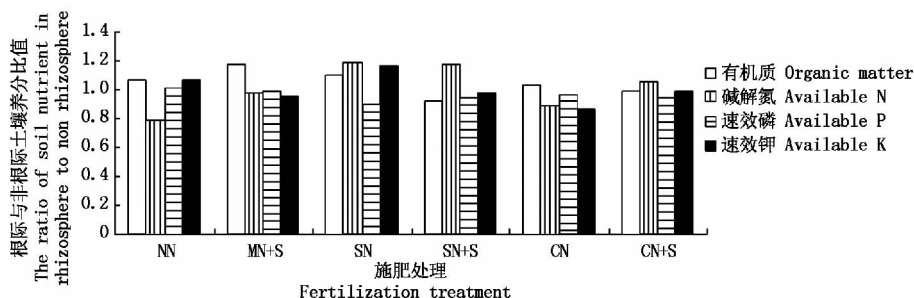


图2 优化施肥下番茄根际与非根际土壤养分的比值

Fig.2 The ratio of soil nutrient in tomato rhizosphere to non rhizosphere under optimized fertilization conditions

表2 优化施肥处理下番茄根际与非根际土壤酶活性的变化

Tab.2 Soil enzyme activities in tomato rhizosphere and non rhizosphere under optimized fertilization conditions

土壤酶 Soil enzymes		NN	MN+S	SN	SN+S	CN	CN+S	平均值 Mean	变异系数/% CV
蔗糖酶活性/(mg/(g·d)) Sucrase	根际	12.4±2.41b	21.9±2.13a	18.1±2.22ab	22.5±2.23a	18.1±3.14ab	20.1±1.34a	18.9	19.4
	非根际	13.0±3.42b	23.2±1.14a	19.9±1.12a	24.2±3.41a	20.9±3.06a	23.2±2.07a	20.7	19.9
脲酶活性/(mg/(g·d)) Urease	根际	0.15±0.03c	0.28±0.03a	0.23±0.04ab	0.28±0.03a	0.21±0.03b	0.25±0.02ab	0.23	21.1
	非根际	0.17±0.02b	0.29±0.07a	0.32±0.05a	0.32±0.02a	0.27±0.01a	0.31±0.07a	0.28	20.5
磷酸酶活性/(mg/(g·d)) Phosphatase	根际	3.5±0.20c	3.3±0.28c	4.1±0.22b	5.5±0.27a	5.6±0.37a	4.2±0.33b	4.4	22.3
	非根际	4.8±0.23b	5.9±0.31a	5.5±0.33a	5.5±0.19a	5.9±0.21a	6.1±0.42a	5.7	8.2
脱氢酶活性/(μg/(g·d)) Dehydrogenase	根际	10.7±3.52ab	14.8±2.82ab	12.1±0.81b	16.7±3.45a	12.2±3.28ab	13.0±3.23ab	13.3	16.3
	非根际	15.0±2.21b	21.7±3.23ab	21.8±1.91a	23.4±4.13a	17.1±1.74b	18.4±0.34ab	19.6	16.6
过氧化氢酶活性/(mL/(g·d)) Catalase	根际	6.4±0.05b	6.5±0.02a	6.4±0.02b	6.4±0.05ab	6.4±0.04b	6.4±0.12b	6.4	0.5
	非根际	6.3±0.03b	6.5±0.04a	6.4±0.07ab	6.5±0.09a	6.4±0.05ab	6.4±0.01b	6.4	1.2

注:表中数值表示为平均值±标准差(n=3);同一行中不同字母代表 $P\leq 0.05$ 水平上差异显著。

Note: The values in the table are expressed as the mean value ± SD (n=3); Different letters in the same line indicate the significant difference at $P\leq 0.05$ level.

根际土壤平均磷酸酶活性为4.4 mg/(g·d),而变异系数为22.3%;非根际土壤平均磷酸酶活性为5.7 mg/(g·d),而变异系数为8.2%,说明不同施肥对土壤磷酸酶活性的影响根际土壤大于非根际土壤。

土壤脱氢酶是胞内酶,其活性的高低标志着土壤微生物分解代谢能力的强弱,反映了微生物的总活性。表2表明,与对照比,MN+S、SN+S和CN+S处理具有较高的脱氢酶活性,而SN和CN处理下,脱氢酶活性较低。说明大棚中添加秸秆可增加碳源,同时可调节C/N比,促进土壤微生物生长,有助于土壤养分的转化和保持。

土壤过氧化氢酶能促进过氧化氢分解为氧气和水,有利于防止土壤及生物体在新陈代谢过程中产生的过氧化氢对生物体的毒害作用。试验表明,土

壤过氧化氢酶活性受施肥和番茄生长的影响变化都不明显。

变异系数的大小反映了各种土壤酶活性对大棚土壤环境变化的敏感程度。从平均状况看,脲酶和蔗糖酶对施肥影响比较敏感,其次是脱氢酶和磷酸酶,而过氧化氢酶则不敏感。

2.4 番茄根际与非根际酶活性比值的变化

土壤中酶活性的强弱除受土壤养分影响外还受到作物生长的影响。图3分析可知,土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、脱氢酶和过氧化氢酶活性在根际与非根际土壤中的平均比值分别为0.91、0.84、0.77、0.68、1.00。说明在大棚环境条件下,长期番茄连作将对多数土壤酶活性产生抑制作用。其中,对脱氢酶和磷酸酶影响较大,其次是脲酶和蔗糖酶,而对过氧化氢酶影响小。

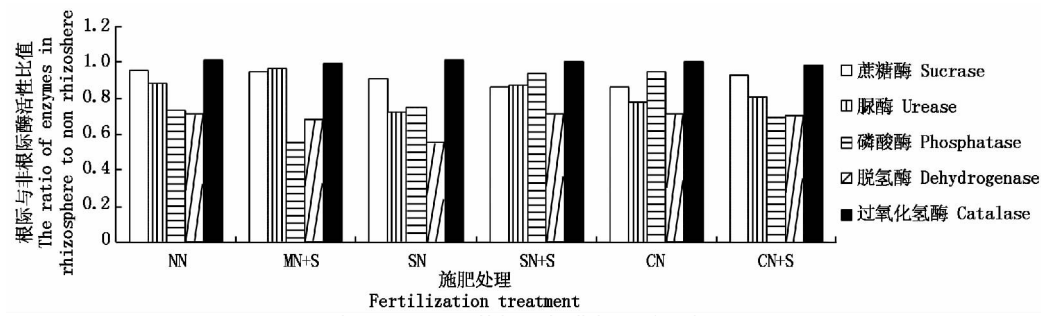


图3 优化施肥下番茄根际与非根际酶活性的比值

Fig.3 The ratio of enzyme activities in tomato rhizosphere to the non rhizosphere under optimized fertilization conditions

2.5 土壤养分与酶活性的相关性

相关性分析表明,土壤养分和土壤酶活性之间都表现出正相关性(表3),说明两者之间具有相互促进作用。其中,土壤有机质与土壤速效磷、速效钾、蔗糖酶和过氧化氢酶表现出极显著的正相关性,与脲酶有显著相关性。碱解氮除与蔗糖酶有显著相

关外,与其他土壤养分和酶活性之间达不到显著水平。速效磷和速效钾与其他土壤养分和酶活性间多数具有显著或极显著相关性。蔗糖酶和脱氢酶与其他酶之间表现出较显著的正相关性。磷酸酶与土壤养分和其他酶活性间表现出较弱的相关性。

表3 土壤养分与土壤酶活性之间的相关性

Tab.3 Correlation between soil nutrient and soil enzyme activity								
土壤参数 Soil factor	碱解氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	蔗糖酶 Sucrase	脲酶 Urease	磷酸酶 Phosphatase	脱氢酶 Dehydrogenase	过氧化氢酶 Catalase
有机质 Organic matter	0.516	0.898 **	0.876 **	0.840 **	0.609 *	0.290	0.273	0.762 **
碱解氮 Available N		0.540	0.547	0.652 *	0.558	0.390	0.268	0.296
速效磷 Available P			0.893 **	0.895 **	0.694 *	0.419	0.358	0.729 **
速效钾 Available K				0.856 **	0.570	0.216	0.224	0.816 **
蔗糖酶 Sucrase					0.891 **	0.447	0.593 *	0.769 **
脲酶 Urease						0.534	0.806 **	0.602 *
磷酸酶 Phosphatase							0.687 *	0.281
脱氢酶 Dehydrogenase								0.422

注: ** . $P\leq0.01$; * . $P\leq0.05$; n = 12.

3 讨论

3.1 施肥与土壤养分及酶活性

作物在生长过程中不断从土壤中吸收养分,导致肥力降低和地力逐渐衰退,而施肥是补充土壤养分最直接和有效的手段。试验表明,不管是番茄根际还是非根际土壤,各种施有机肥、秸秆和氮肥处理的土壤养分含量均高于少施肥的对照,与此同时,多数土壤酶活性也高于相应的对照。

试验中,MN+S(有机肥+秸秆处理,生育期不追施化学氮肥)和SN+S(适量的有机肥+秸秆处理,追施少量化学氮肥)处理均有较高的土壤养分和酶活性,值得在实践中推广运用。表明通过调节土壤C/N比,把土壤中较多的无机氮转化为微生物量氮,增强土壤微生物和土壤酶活性,达到增C保N作用,既可减少化肥氮的施用量,节约生产成本,又可减缓土壤退化、减少地下水污染和保护生态环境。

土壤酶的来源有土壤微生物、植物和土壤动物,不同的施肥措施和管理水平影响到土壤酶活性的高

低。赵秋等^[11]报道,随着设施年限延长,多数土壤酶活性开始增强之后减弱。本研究结果证实了韩晓日等^[12]通过长期施用有机肥显著提高土壤酶活性的报道。试验中配合施用有机肥、秸秆和化肥能提高土壤酶活性,一方面,有机肥本身也含有大量活的微生物,同时又增加碳源和氮、磷等养分,促进土壤微生物生长,产生了较多的土壤酶。另一方面,施用有机肥与秸秆能提高土壤有机质和养分含量,促进作物生长,增强根系活力,分泌了较多的土壤酶^[13]。此外,有机肥与秸秆可以改善土壤理化性质,有利于土壤微生物和作物生长,从而提高土壤酶活性。

相关分析表明,土壤有机质与其他土壤养分和多数土壤酶活性之间存在显著或极显著的相关性。说明大棚环境下,土壤有机质是影响土壤质量变化的关键因素。因此,生产实践中须采取各种有效措施增加土壤有机质含量,有利于土壤养分的保持和土壤酶活性的增强,改善作物生长环境。

3.2 作物生长与土壤养分及酶活性

在土壤-作物-微生物相互作用的体系中,作物

通过吸收水分和养分,分泌根系物质,影响土壤微生物和酶的活性,形成了根际和非根际 2 种不同的微生态环境,导致土壤养分和土壤酶活性存在一定差异。研究中发现,番茄根际中土壤有机质平均含量要高于非根际,而土壤速效磷含量低于非根际,速效氮与速效钾在根际与非根际中差异不大。说明土壤养分的差异除与作物生长密切相关外,还与养分本身的性质有很大关系。土壤有机质的变化与土壤酶活性变化关系密切,除过氧化氢酶在根际与非根际土壤中差异不大外,其他酶活性在根际土壤均低于非根际土壤。土壤酶活性弱反映了土壤微生物活性也较弱,因此,对土壤有机质的矿化分解能力降低,使根际土壤中保存的有机质含量略高于非根际。而土壤磷素在土壤中移动性弱,于群英等^[14]研究表明,长期施肥后,土壤磷素主要聚集在表土层。0~20 cm 土层中无机磷含量占土壤磷素总量的 90% 以上,作物吸收土壤磷后导致根际土壤速效磷降低,在短期内难以从非根际土壤得到补充。因此,实践中除补充土壤磷素外,还必须定期翻耕土壤,防治磷素分布不均,影响作物生长。而氮和钾元素移动性较强,作物吸收后能迅速从非根际土壤得到补充,使根际与非根际分布差异小。生产实践中应注意防治大水漫灌,减少碱解氮和速效钾的流失,以提高肥料资源利用率。

李春喜^[15]等研究表明,小麦幼苗根际土壤酶活性高于非根际土壤。叶功富等^[16]研究了不同年龄木麻黄林地根际土壤养分含量和酶活性动态,表明根际土壤磷酸酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性均大于非根际土壤。而本研究结果正相反,除过氧化氢酶差异不大外,其余土壤酶活性根际土壤均低于非根际土壤。可能是由于大棚特殊的生态环境,番茄长期连作有毒物质的积累抑制了土壤酶活性。同时,大棚番茄复种指数高、产量高,需大量吸收根际周围养分,与微生物展开竞争,致使植物根际酶促反应需要的底物浓度降低,减弱了根际土壤酶的活性,从而造成根际土壤酶活性低于非根际现象。除深耕土壤,充分混匀外,还可与填闲植物和禾本科作物轮作以及和葱蒜类作物间作或套种,以改善土壤环境,提高土壤质量。孙艳艳等^[17]研究表明,通过活性炭处理可减轻自毒物质对大棚番茄土壤酶和微生物的影响,从而缓解番茄连作产生的障碍。实践中还需进一步研究水肥耦合,环境友好型新型肥料施用和其他农艺综合措施等来提高土壤养分利用率,防治大棚土壤退化,保护农田生态环境。

参考文献:

- [1] Guo J H, Liu X J, Zhang Y *et al.* Significant acidification in major Chinese croplands [J]. *Science* 2010, 327: 1008 - 1010.
- [2] 雷宝坤, 陈清, 范明生, 等. 寿光设施菜田碳、氮演变及其对土壤性质的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(5): 914 - 922.
- [3] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 不同土地利用和施肥方式对土壤酶活性及相关肥力因子的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6): 311 - 316.
- [4] 杜社妮, 梁银丽, 徐福利, 等. 施肥对日光温室土壤微生物与酶活性变化的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2007, 7(4): 68 - 71.
- [5] 张奇春, 王雪芹, 时亚南, 等. 不同施肥处理对长期不施肥区稻田土壤微生物生态特性的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(1): 118 - 123.
- [6] 申卫收, 林先贵, 张华勇, 等. 不同施肥处理下蔬菜塑料大棚土壤微生物活性及功能多样性 [J]. *生态学报*, 2008, 28(6): 2682 - 2689.
- [7] 李俊华, 沈其荣, 褚贵新, 等. 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 [J]. *土壤*, 2011, 43(2): 277 - 284.
- [8] 孟亚利, 王立国, 周治国, 等. 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 [J]. *中国农业科学*, 2005, 38(5): 904 - 910.
- [9] 马宁宁, 李天来, 武春成, 等. 长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(7): 1766 - 1771.
- [10] 周青, 陈新红, 叶玉秀, 等. 生物肥料培肥水稻秧床对土壤酶活性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(7): 26 - 29.
- [11] 赵秋, 高贤彪, 宁晓光, 等. 天津地区不同年限设施土壤 pH 及酶活性变化 [J]. *华北农学报*, 2012, 27(1): 215 - 217.
- [12] 韩晓日, 杨劲峰, 战秀梅, 等. 长期施肥对土壤颗粒有机碳和酶活性的影响 [J]. *土壤通报*, 2008, 39(2): 266 - 269.
- [13] 韦泽秀, 梁银丽, 井上光弘, 等. 水肥处理对黄瓜土壤养分、酶及微生物多样性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20(7): 1678 - 1684.
- [14] 于群英, 李孝良, 陈世勇, 等. 长期施肥对菜地土壤磷素积累的影响 [J]. *华北农学报*, 2012, 27(6): 196 - 201.
- [15] 李春喜, 姜丽娜, 林琳, 等. 低温对小麦幼苗根际土壤酶活性的影响 [J]. *华北农学报*, 2012, 27(6): 92 - 96.
- [16] 叶功富, 侯杰, 张立华, 等. 不同年龄木麻黄林地根际土壤养分含量和酶活性动态 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 86 - 89.
- [17] 孙艳艳, 蒋桂英, 刘建国, 等. 加工番茄连作对农田土壤酶活性及微生物区系的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30(13): 3599 - 3607.