

氮磷钾与有机肥配施对番茄产量品质及土壤酶活性的影响

张恩平, 谭福雷, 王 月, 张淑红*, 段 瑜, 周 芳

(沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110866)

摘 要: 以‘辽园多丽’番茄为试材, 在长期定位施肥条件下研究氮磷钾与有机肥配施对产量、品质及土壤酶活性的影响。研究结果表明: 氮磷钾肥配施有机肥能够提高番茄维生素 C、可溶性固形物、可溶性蛋白和可溶性糖含量并且提高番茄产量; 钾肥对番茄维生素 C 和可溶性固形物含量影响显著, 磷肥对提高可溶性糖含量起着关键作用, 番茄产量受氮肥影响最为显著。氮磷钾肥配施有机肥, 能够提高土壤酶活性, 配施氮肥能显著提高过氧化氢酶活性; 磷肥对提高转化酶、蛋白酶活性具有关键作用。番茄产量、品质与土壤酶活性具有一定的正相关, 土壤转化酶对番茄品质影响最多。

关键词: 番茄; 施肥; 土壤酶活性; 品质; 产量; 相关性分析

中图分类号: S 641.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2015) 10-2059-09

Effects of NPK Fertilizers and Organic Manure on Nutritional Quality, Yield of Tomato and Soil Enzyme Activities

ZHANG En-ping, TAN Fu-lei, WANG Yue, ZHANG Shu-hong*, DUAN Yu, and ZHOU Fang

(College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Effects of organic manure and combined NPK fertilizers on tomato yield, nutrient contents and soil enzyme activities were systematically studied under long-term fertilization condition. Results showed that application of NPK could improve the contents of vitamin C, soluble solids, soluble protein, soluble sugar and total yield as well. Potash application resulted in significant improvement on vitamin C, soluble solids. Significant effects of phosphate and nitrogen on soluble sugar and total tomato yield were also found. Combined applications of NPK fertilizers and organic manure incited the addition of soil enzyme activities. Manure with nitrogen improved the catalase activity significantly. Phosphate played an important role on improvement of invertase and protease activities. Positive correlation between tomato yield, nutritional quality and soil enzyme activities had been found. Soil invertase activity especially contributed on tomato nutritional quality.

Key words: tomato; fertilization; soil enzymatic activity; quality; yield; correspondence analysis

收稿日期: 2015-08-19; **修回日期:** 2015-10-09

基金项目: 国家科技成果转化项目 (2012GB2B000091); 东北老工业地区大学农业科技服务关键技术集成与示范项目 (2013BAD20B08); 辽宁省科技厅项目 (201503023)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: 15040046870@163.com)

番茄果实采收期较长, 土壤养分移出量大, 而生产中盲目以增施肥料 (尤其是化肥) 获得高产已经成为一种普遍现象 (He et al., 2009; Min et al., 2011)。过量施用化肥造成生产成本大幅度增加、肥料资源浪费、土壤质量退化以及环境严重污染等诸多问题 (朱兆良, 2008), 尤其是在设施栽培中, 由于长期不平衡施肥造成土壤理化性质下降, 土壤酶活性降低, 最终导致番茄产量和品质下降 (王俊华 等, 2007)。目前国内外逐渐采用有机、无机肥结合施用的方法来减少化肥的投入量, 以提高土壤肥力, 减轻环境污染 (叶静 等, 2003)。既能改善土壤环境又能保证番茄产量和品质的配方施肥已经引起人们的关注 (马生发和王正旭, 2007)。

研究发现长期配施有机肥不仅可显著提高土壤微生物碳氮量, 而且保持和提高了土壤微生物种的丰富度和分子多样性, 可显著提高水稻土壤的生态系统初级生产力和稳定性 (张平究 等, 2004)。施用有机肥对大多数土壤酶活性有提高作用。施用有机肥能够改变作物根际土壤生物学特性, 提高土壤中脲酶、蛋白酶、纤维素酶活性, 提高根系活力、光合速率, 促进叶片氮代谢和作物对营养物质的吸收, 达到提高产量的目的 (林瑞余 等, 2007)。同时, 合理配方施肥可以提高番茄产量和品质, 改变土壤酶活性, 减小对土壤结构的有害影响 (Jiang et al., 2006)。番茄产量和品质受氮磷钾肥影响, 且番茄对钾需求量大, 合理施钾能提高番茄的产量和品质 (郭熙盛 等, 2004)。随着灌水量、施磷量和施钾量增加, 番茄可溶性糖呈先增加后降低的趋势, 灌水量、施磷量和有机肥用量对番茄红素的影响符合报酬递减规律 (牛晓丽 等, 2011)。土壤酶活性作为评价土壤肥力的主要指标之一 (Monreal & Bergstrom, 2000), 它直接反映土壤管理条件下土壤肥力的现状以及土壤养分形成机理, 还反映了土壤肥力与周围生态环境的耦合效果。施肥可改变土壤酶活性, 影响着土壤理化性质, 已有研究 (马宁宁 等, 2010) 表明施肥对土壤酶活性有一定影响。土壤酶在生态系统的有机质分解和养分循环所必需的催化反应中起重要作用 (Allison et al., 2007)。不同氮、磷、钾肥料配施有机肥对土壤酶活性影响已有一些相关报道。本试验中研究不同元素肥料和有机肥定位配施氮、磷、钾肥对土壤酶活性以及番茄产量和品质的影响, 并且分析了土壤酶活性与番茄产量和品质的相关性, 旨在找出二者的相关性, 通过检测土壤酶活性来调控施肥, 从而保证番茄的产量和品质, 为科学有效的番茄施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理及试验品种

试验于 1998 年开始, 在沈阳农业大学蔬菜基地 21 号长期定位施肥日光温室内进行, 基地位于 123°38'E, 41°20'N, 为半湿润大陆性气候, 土壤类型为草甸土。原始土壤理化性质为: 土壤有机质含量 24.3 g · kg⁻¹, 全氮 1.164 g · kg⁻¹, 全磷 1.374 g · kg⁻¹, 碱解氮 86.41 mg · kg⁻¹, 速效磷 70.80 mg · kg⁻¹, 速效钾 56.14 mg · kg⁻¹, pH 6.75。每年番茄定植前施入马粪, 马粪有机质含量为 22.3%, 氮 0.47%, 磷 0.26%, 钾 0.31%。试验地各处理从 1998 年至今, 各处理一直保持相同施肥方式。种植模式为每年两茬番茄, 夏季休闲, 番茄品种为 '辽园多丽'。本试验测量的番茄产量为 2005 年到 2013 年每年春茬产量, 其他指标来自 2013 年 3 月定植的番茄。

设 10 个施肥处理, 分别为施用有机肥 (M) 配施氮、磷、钾肥的处理 MN、MP、MK 以及 MNPK, 只施用氮、磷、钾肥的 N、P、K、NPK 处理, 只施有机肥的 M 处理和不施肥对照。为防止肥料相互渗透影响, 将每个小区建成面积为 1.5 m², 0.8 m 深的无底水泥池, 采用 3 次重复完全随机区组设计。定植前将施用的有机肥和磷、钾肥一次性施入, 氮肥在生长季节内分两次追施。施肥处理及肥

料施用量见表 1。经过 16 年连续处理和栽培之后, 2013 番茄定植前各处理土壤理化性质见表 2。‘辽园多丽’番茄育苗 60 d, 2013 年 3 月 2 日定植, 每小区定植 8 株番茄, 分两垄定植。于 6 月 25 日到 7 月 5 日收获取样。

表 1 有机肥 (M) 和 N、P、K 肥处理及施肥量
Table 1 Organic manure (M) and N, P, K treatments and fertilize quantity

处理 Treatment	马粪/ (kg · plot ⁻¹ · year ⁻¹) Horse manure	尿素/ (g · plot ⁻¹ · year ⁻¹) Urea	过磷酸钙/ (g · plot ⁻¹ · year ⁻¹) Calcium superphosphate	硫酸钾/ (g · plot ⁻¹ · year ⁻¹) Potassium sulfate
MNPK	11.25	97.8	720	53.79
MN	11.25	97.8	0	0
MP	11.25	0	720	0
MK	11.25	0	0	53.79
M	11.25	0	0	0
对照 Control	0	0	0	0
NPK	0	97.8	720	53.79
N	0	97.8	0	0
P	0	0	720	0
K	0	0	0	53.79

表 2 2013 年定植前有机肥 (M) 和 N、P、K 肥处理土壤基本理化性质
Table 2 Before the 2013 planting soil basic physical and chemical properties of organic manure (M) and N, P, K treatment

处理 Treatment	有机质/ (g · g ⁻¹) Organic matter	pH	电导率/ (μS · cm ⁻¹) Conductivity	土壤呼吸/ (g · kg ⁻¹) Soil respiration	速效磷/ (mg · g ⁻¹) Available phosphorus	速效钾/ (mg · kg ⁻¹) Available potassium	速效氮/ (mg · kg ⁻¹) Available nitrogen
MNPK	36.5	6.7	298	1.70	159.60	303.0	145.5
MN	36.1	7.3	266	1.25	80.61	175.0	144.5
MP	34.2	6.7	401	1.45	137.60	148.0	134.7
MK	38.4	7.1	281	1.02	77.40	275.0	128.3
M	37.8	7.2	245	1.45	78.90	234.0	107.4
对照 Control	20.1	7.4	214	0.50	49.50	49.9	60.1
NPK	19.2	6.3	254	0.65	103.40	60.6	94.7
N	19.4	6.7	391	0.80	50.50	47.4	91.3
P	17.3	6.4	282	0.54	97.80	48.8	67.7
K	19.2	6.5	247	0.49	66.70	53.2	67.4

1.2 测定项目与方法

在番茄果实转红期, 每个小区采用“S”法随机取 5 点混合组成 1 个土样, 迅速放入 4 ℃冰箱中保存备用。测定前剔除土样中的石块和植物残根等杂物后风干, 磨细, 过 2 mm 筛。土壤脲酶活性采用苯酚一次氯酸钠比色法, 过氧化氢酶活性采用 0.1 mol · L⁻¹ KMnO₄ 滴定法(李振高 等, 2008); 蔗糖酶活性采用 3,5 - 二硝基水杨酸比色法, 蛋白酶活性采用茆三酮比色法测定。

在番茄果实成熟期, 各处理选取长势均匀的植株, 摘取红熟番茄用于番茄品质测定。维生素 C 含量用改进的 2,6 - 二氯酚酚滴定法测定(黄晓钰和刘邻渭, 2002), 番茄红素测定采用分光光度法, 可溶性蛋白含量用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定(张志良, 2010), 可溶性糖含量用蒽酮比色法测定(姜勇, 2004), 可溶性固形物采用手持式折光仪测定; 从始收期到拉秧期分别测定每个小区的番茄产量, 每个处理的产量为 3 次重复的平均值。

试验数据采用 EXCEL2010 和 SPSS20.0 进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾肥配施有机肥对番茄产量的影响

如表 3 显示, 2005—2013 年每年春茬各处理番茄产量, 各施肥处理均高于对照, MNPK 和 MN 处理的番茄产量高于 MP 和 MK 处理, 并且呈逐年升高的趋势; NPK 和 N 处理番茄产量高于 P 和 K 处理; MN、MP、MK 处理分别高于 N、P、K 处理。说明配施氮肥处理的番茄产量较高, 施用有机肥处理的番茄产量高于单施化肥的处理, 并且含氮肥的处理在有机肥的作用下产量成上升趋势。氮肥对番茄产量有显著影响, 氮磷钾肥配施有机肥可以提高番茄产量。

表 3 番茄产量变化
Table 3 Tomato production change kg · plot⁻¹ · Yield⁻¹

处理 Treatment	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
MNPK	18.44 a	19.45 a	21.33 a	22.21 a	23.19 a	23.44 a	23.87 a	23.89 a	23.99 a
MN	20.33 a	21.31 a	22.21 a	22.43 a	23.01 a	23.57 a	23.98 a	23.67 a	23.57 a
MP	16.21 b	16.42 b	16.87 b	16.81 c	16.77 c	16.66 c	16.37 c	16.57 c	16.77 c
MK	15.95 b	16.77 b	17.03 b	17.01 c	16.98 c	16.81 c	16.76 c	16.44 c	16.11 c
M	15.39 bc	15.54 bc	15.79 bc	15.70 cd	15.04 cd	15.37 cd	15.45 cd	15.50 cd	15.56 cd
对照 Control	11.61 d	11.56 d	10.51 d	10.44 e	10.07 e	10.01 e	9.74 e	9.70 e	9.66 e
NPK	19.05 a	19.01 a	21.07 a	20.99 b	20.97 b	20.24 b	19.19 b	19.11 b	19.01 b
N	17.13 ab	17.21 b	18.33 b	18.21 c	17.91 c	17.80 c	19.19 c	17.56 c	17.02 c
P	14.63 c	14.62 c	14.45 c	14.32 d	14.01 d	13.91 d	19.19 d	13.54 d	17.02 d
K	14.84 c	14.90 c	15.76 c	15.67 d	14.98 d	14.96 d	19.19 d	14.66 d	17.02 d

注: 同列中不同字母表示处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。
Note: Different letters in the same column mean significant among treatments at 0.05 level.

2.2 氮磷钾肥配施有机肥对番茄品质的影响

2013 年测定各处理果实品质, 结果 (表 4) 表明, 施用有机肥有效提升了番茄品质。
NPK 肥配施有机肥显著提高维生素 C、番茄红素和可溶性固形物含量; 对于维生素 C 和可溶性固形物含量, MNPK 和 MK 显著高于 MP 和 MN, NPK、K 显著高于 P 和 N, 表明钾肥对维生素 C 和可溶性固形物含量有的影响大于 N 肥和 P 肥; 除 N 处理外, 各施肥处理番茄红素含量都显著高于

表 4 有机肥 (M) 配施 N、P、K 肥对番茄品质的影响
Table 4 Effects of organic fertilizer with N, P and K fertilizer on soil enzyme activity and tomato quality

处理 Treatment	维生素 C/ (mg · kg ⁻¹) Vitamin C	番茄红素/ (mg · kg ⁻¹) Lycopene	可溶性蛋白/ (mg · g ⁻¹) Soluble protein	可溶性糖/% Soluble sugar	可溶性固形物/% Soluble solids
对照 Control	51.17 d	149.29 c	2.38 b	3.02 c	4.4 bc
MNPK	73.13 a	160.57 a	2.57 a	5.51 a	4.7 a
MN	59.92 c	155.28 b	2.44 ab	2.91 c	4.5 b
MP	64.42 bc	158.39 a	2.59 a	3.42 c	4.5 b
MK	66.31 b	157.38 ab	2.48 ab	5.36 a	4.5 b
M	70.21 a	160.61 a	2.42 b	3.56 c	4.7 a
NPK	67.33 b	155.90 b	2.44 ab	4.79 ab	4.5 b
N	59.13 c	151.38 c	2.47 ab	3.70 c	4.3 c
P	61.64 c	153.06 b	2.39 b	4.46 ab	4.3 c
K	66.74 b	155.32 b	2.37 b	3.45 c	4.5 b

注: 同列中不同字母表示处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。
Note: Different letters in the same column mean significant among treatments at 0.05 level.

对照。MNPk、MP、NPK 和 P 处理中可溶性糖含量显著高于其他各处理，说明 P 肥对番茄可溶性糖含量有着关键的作用；MNPk 处理的番茄品质最好，其维生素 C 含量、可溶性固形物含量、可溶性蛋白含量和番茄红素含量均属最高。

2.3 氮磷钾肥配施有机肥对土壤酶活性的影响

脲酶能促进土壤中含氮有机物尿素分子酰胺态氮的水解，生成的氨是植物氮素营养来源之一。2013 年测定各处理土壤酶活性（表 5），结果表明，各施肥处理的土壤脲酶活性均显著高于对照，MNPk、MN、MP、MK 处理的脲酶活性分别高于 NPK、N、P、K 处理，MNPk 和 MN 处理脲酶活性显著高于 MP、MK 处理。氮磷钾配施有机肥能够提高土壤脲酶活性，其中氮肥配施有机肥对提高脲酶活性最为显著。

过氧化氢酶活性与土壤有机质含量有关，也与微生物数量有关。对照和单施有机肥的处理过氧化氢酶活性显著低于其他各处理，有机肥配施氮磷钾肥的处理高于单施氮磷钾肥处理，氮肥配施有机肥处理的最高。

土壤转化酶即为蔗糖酶，土壤蔗糖酶不仅能够表征蔗糖水解活性，也可以作为评价土壤肥力水平的指标。有机肥配施氮磷钾肥处理的转化酶活性高于单施氮磷钾肥处理的转化活性，其中 MP 处理显著高于 MN、MK 处理，P 处理显著高于 N、K 处理，可见磷肥对转化酶的影响显著高于氮肥和钾肥。

蛋白酶参与土壤中的氨基酸、蛋白质等的转化。施用有机肥处理的 MNPk、MN、MP、MK、M 的蛋白酶活性均显著高于对照 NPK、N、P、K、对照处理，MNPk、MP 处理蛋白酶活性高于 MN、MK，NPK 和 P 处理蛋白酶活性高于 N 和 K 处理，说明有机肥对蛋白酶活性影响显著，同时，磷肥对蛋白酶影响显著。

表 5 有机肥 (M) 配施 N、P、K 肥处理对土壤酶活性的影响
Table 5 Effects of organic fertilizer with N, P and K treatments on soil enzyme activities

处理 Treatment	脲酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Urease	过氧化氢酶/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) Catalase	转化酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Invertase	蛋白酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Protease
MNPk	57.98 a	4.77 a	5.82 a	0.58 a
MN	58.71 a	4.70 a	5.42 bc	0.56 a
MP	54.53 b	4.18 bc	5.74 a	0.58 a
MK	54.72 b	4.30 b	5.10 bc	0.53 bc
M	44.52 c	3.41 d	4.90 c	0.56 a
对照 Control	36.31 d	3.05 d	4.54 de	0.44 de
NPK	48.38 c	4.47 b	5.33 bc	0.50 c
N	48.78 c	4.43 b	4.19 e	0.42 e
P	45.71 c	3.91 c	5.38 bc	0.50 c
K	47.19 c	3.79 c	4.43 de	0.46 de

注：同列中不同字母表示处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$)。
Note: Different letters in the same column mean significant among treatments at 0.05 level.

2.4 番茄品质、产量和土壤酶活性的相关性分析

相关性分析发现，番茄维生素 C 含量与转化酶、蛋白酶活性呈极显著正相关；番茄红素与脲酶呈极显著正相关，与蛋白酶有显著相关性；可溶性蛋白只与转化酶显著相关；可溶性糖与脲酶和过氧化氢酶显著性相关，与转化酶极显著性相关；番茄可溶性固形物含量与转化酶活性极显著相关，与蛋白酶显著相关；番茄产量与过氧化氢酶活性和脲酶活性呈极显著正相关（表 6）。

表 6 番茄品质、产量与土壤酶活性之间的关系
Table 6 The correlations between the tomato's quality and yield and soil enzyme activities

相关系数 Correlation coefficient	维生素 C Vitamin C	番茄红素 Lycopene	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性固形物 Soluble solids	产量 Yield
脲酶 Urease	0.647	0.914**	0.291	0.752*	0.516	0.993**
过氧化氢酶 Catalase	0.295	0.580	- 0.133	0.762*	0.136	0.984**
转化酶 Invertase	0.975**	0.588	0.763*	0.928**	0.947**	0.316
蛋白酶 Protease	0.880**	0.750*	0.568	0.132	0.801*	0.307

注：*和** 表示 5%和 1%水平显著相关。
Note: * and **: Significantly correlated at 5% and 1% probability level, respectively.

3 讨论

3.1 氮磷钾肥配施有机肥对番茄品质、产量的影响

不同元素肥料和施肥处理对果实品质有不同影响，本试验中，氮磷钾肥配施有机肥处理中番茄品质优于单施氮磷钾肥，这与赵明等（2010）施用有机肥、无机肥及有机肥无机肥配施对番茄产量、品质的影响研究结果相似，有机肥配施无机肥处理产量最高，施用无机肥处理的可溶性糖含量较高。马跃等（2011）研究了氮肥、磷肥和钾肥对温室番茄品质的影响，增施磷肥会提高番茄果实中可溶性糖含量，在不施磷肥的条件下番茄的甜度和酸度都会有明显下降。本试验中，MNPK、MP、NPK 和 P 处理中可溶性糖含量显著高于其他各处理，同样说明磷肥对番茄可溶性糖有着重要影响。MNPK、MK 处理维生素 C 和可溶性固形物含量显著高于 MP 和 MN 处理，而 NPK、K 处理维生素 C 和可溶性固形物显著高于 P 和 N 处理，说明钾肥对维生素 C 和可溶性固形物含量有明显影响，这与阎献芳和廖永德（2005）施钾可提高番茄维生素 C、可溶性糖、可溶性固形物含量，改善番茄的营养价值和风味的报道相似。

研究表明氮对番茄果实还原糖含量的影响最大，磷钾肥也显著影响番茄产品品质，其中氮肥是影响番茄产量及品质的主要限制因子，适量施氮明显增产，而施氮过量则会降低产量（Teresa et al., 2014）。本试验中含氮肥处理的番茄产量高于对应不含氮肥的处理，同样说明氮肥对番茄产量影响显著，并且氮磷钾肥配施有机肥处理的番茄产量较高，而且配施有机肥的氮肥处理番茄产量逐年增高，进一步说明有机肥在长期施用下有利于提高产量，改善土壤环境，有利于植物吸收养分。

3.2 氮磷钾肥与有机肥配施对土壤酶活性的影响

土壤酶作为土壤生物活性及土壤肥力的重要组成部分，在土壤物质循环和能量转化中起着重要的催化作用，其活性可以反映土壤中各种生物化学反应的强度和方向。本研究结果表明，长期施肥对土壤酶活性影响很大，土壤酶活性大小综合排序是氮、磷、钾配施有机肥 > 单施氮、磷、钾肥 > 不施肥处理，这与李东坡等（2004）的研究相似。土壤有机肥能够提高土壤酶活性，原因可能是有机肥和化肥配施有利于改善土壤理化性质，调节土壤 C/N，促进作物和土壤微生物的生长，提高土壤酶活性；有机肥的施用可以为土壤酶提供更多、更丰富的酶促基质，发挥底物诱导作用；施用有机肥可以提高土壤腐殖质含量，而腐殖质能够通过离子交换、离子键或共价键等与土壤酶结合，固定土壤酶（Eivazi & Bayan, 2003）。

不同的施肥处理，不同的肥料元素对土壤酶活性有不同的影响，脲酶与土壤供氮能力有密切关系，能够表征土壤氮素的供应程度，土壤脲酶活性理应随氮肥追施量的增加而增加（王灿 等, 2008），这与本试验中，氮磷钾肥配施的有机肥能够提高土壤脲酶活性，其中氮肥配施有机肥对提高脲酶活

性最为显著的结果相似。配施磷肥处理的土壤转化酶活性最高, 表明转化酶活性受磷肥影响最为明显, 这与孙瑞莲等(2003)关于磷肥在提高转化酶活性方面起重要作用的结果相一致。土壤蛋白酶参与土壤中存在的氨基酸、蛋白质以及其他含蛋白质氮的有机蛋白化合物的转化, 目前对于土壤蛋白酶相关研究很少, 本试验表明, 氮、磷、钾肥配施有机肥能够提高土壤蛋白酶活性, 磷肥对蛋白酶活性有着重要作用。

3.3 番茄品质、产量与土壤酶活性的相关性

Hofmann 早在 1952 年就提出了用土壤酶活性作为衡量土壤生物学活性和生产力的指标 (Hofmann, 1952)。酶活性和土壤肥力直接相关, 一般情况下, 土壤蛋白酶、蔗糖酶、脲酶、磷酸酶活性与土壤有机 C、全 N 含量有密切关系 (Yang, 2012)。符冠富等(2009)在稻田冬季保护性耕作对土壤酶活性以及稻米品质的影响试验研究表明, 土壤酶活性与水稻一些重要米质指标之间普遍存在显著或极显著相关, 土壤酶活性的改变影响到水稻植株的生长, 进而影响水稻产量与稻米品质的形成。国内对于土壤酶与番茄品质产量相关性研究并不多, 本试验表明转化酶和脲酶活性对番茄品质影响最显著; 可溶性蛋白受土壤酶影响最小。土壤转化酶、蛋白酶活性与番茄维生素 C 含量呈极显著相关; 番茄红素与脲酶极显著相关, 与蛋白酶呈显著相关; 可溶性蛋白只与转化酶呈显著相关; 可溶性糖与脲酶和过氧化氢酶显著相关, 与转化酶极显著相关; 番茄固形物含量与转化酶活性呈极显著相关, 与蛋白酶呈显著相关。番茄产量与过氧化氢酶活性和脲酶活性极显著相关。但是本项研究尚未涉及土壤酶活性对番茄品质影响的机制, 需要进一步研究。

4 结论

(1) 氮磷钾肥配施有机肥能够提高番茄维生素 C、可溶性固形物、可溶性蛋白和可溶性糖含量并且提高番茄产量; 钾肥对番茄维生素 C 和可溶性固形物含量影响显著, 磷肥对提高可溶性糖含量起着关键作用, 番茄产量受氮肥影响最为显著。

(2) 氮磷钾肥配施有机肥, 能够提高土壤酶活性; 不同肥料元素对土壤酶影响不同, 配施氮肥能显著提高过氧化氢酶活性; 磷肥与转化酶、蛋白酶具有正相关性。

(3) 番茄产量、品质与土壤酶活性存在一定的相关性, 土壤转化酶对番茄品质影响最多; 番茄维生素 C 含量与土壤蛋白酶活性具有极显著正相关, 番茄红素和番茄产量与脲酶具有极显著正相关, 过氧化氢酶活性与番茄产量具有极显著正相关, 番茄维生素 C、可溶性糖和可溶性固形物含量与转化酶活性呈极显著正相关。

References

- Allison V, Condron L, Peltzer D A. 2007. Changes in enzyme activities and soil microbial community composition along carbon and nutrient gradients at the Franz Josef chronosequence. *New Zealand Soil Biol Biochem*, 39: 1770 - 1781.
- Eivazi F, Bayan M R. 2003. Select soil enzyme activities in the historic sanborn field as affected by long-term cropping systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34: 2259 - 2275.
- Fu Guan-fu, Wang Dan-ying, Xu Chun-mei, Peng Jian, Han Bo, Tao Long-xing, Zhang Xiu-fu. 2009. Effect of winter conservation tillage in paddy field on soil enzyme activities and grain quality. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 15 (3): 618 - 624. (in Chinese)
- 符冠富, 王丹英, 徐春梅, 彭 建, 韩 博, 陶龙兴, 章秀福. 2009. 稻田冬季保护性耕作对土壤酶活性以及稻米品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 15 (3): 618 - 624.

- Guo Xi-sheng, Zhu Hong-bin, Ye Shu-ya, Wu Ji, Wu Li-shu. 2004. Effects of different sources and rates of K on the nutrient uptake and part it ion of cucumber. Journal of Anhui Agricultural University, 31 (4): 398 – 401. (in Chinese)
- 郭熙盛, 朱宏斌, 叶舒娅, 武 际, 吴礼树. 2004. 钾肥品种和用量对黄瓜养分吸收和分配的影响. 安徽农业大学学报, 31 (4): 398 – 401.
- He F F, Jiang R F, Chen Q. 2009. Nitrous oxide emissions from an intensively managed greenhouse vegetable cropping system in Northern China. Environ Poll, 15 (5): 666 – 672.
- Hofmann E. 1952. Enzymreaktionen, undihre Bedeutung fur die Bestirarnung der Bodenfruehtbarkeit. Z. Pflanzenehr, Bodenk, 101: 56 – 68.
- Huang Xiao-yu, Liu Lin-wei. 2002. Comprehensive experimentof food chemistry. Beijing: China Agricultural University Press. (in Chinese)
- 黄晓钰, 刘邻渭. 2002. 食品化学综合实验. 北京: 中国农业大学出版社.
- Jiang D, Hengsdijk H, Dai T B. 2006. Long-term effects of manure and inorganic fertilizers on yield and soil fertility for a winter heat-maize system in Jiangsu, China. Pedosphere, 16 (1): 25 – 32.
- Jiang Yong, Liang Wen-ju, Wen Da-zhong. 2004. Effects of no-tillage on soil biological properties in farmlands: A review. Chinese Journal of Soil Science, 35 (3): 347 – 351. (in Chinese)
- 姜 勇, 梁文举, 闻大中. 2004. 免耕对农田土壤生物学特性的影响. 土壤通报, 35 (3): 347 – 351.
- Li Dong-po, Wu Zhi-jie, Chen Li-jun, Zhu Ping, Ren Jun, Liang Cheng-hua. 2004. Dynamics of phosphatase activity and influencing factors in black soil under long-term fertilization. Plant Nutr Fert Sci, 10 (5): 550 – 553. (in Chinese)
- 李东坡, 武志杰, 陈利军, 朱 平, 任 军, 梁成华. 2004. 长期不同培肥黑土磷酸酶活性动态变化及其影响因素. 植物营养与肥料学报, 10 (5): 550 – 553.
- Li Zhen-gao, Luo Yong-ming, Teng Ying. 2008. Research methods of soil environmental microorganism. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 李振高, 骆永明, 滕 应. 2008. 土壤与环境微生物研究法. 北京: 科学出版社.
- Lin Rui-yu, Lin Hao-sen, Zhang Zhong-yi, Sun Xiao-xia, Peng Chun-hua, Ke Yu-qin, Liang Kang-jing, Lin Wen-xiong. 2007. Effects of different fertilizer application on enzyme activities of rhizospheric soil and root vigors in *Houttuynia cordata* Thunb. Chinese Agricultural Science Bulletin, 23 (1): 280 – 284. (in Chinese)
- 林瑞余, 林豪森, 张重义, 孙小霞, 彭春华, 柯玉琴, 梁康迺, 林文雄. 2007. 不同施肥条件对鱼腥草根际土壤酶活性及根系活力的影响. 中国农学通报, 23 (1): 280 – 284.
- Ma Fa-sheng, Wang Zheng-xu. 2007. Optimization on application amount of controlled releaseN with P_2O_5 and K_2O in tomato of greenhouse. Acta Agric Bor Occid Sin, 16 (6): 267 – 272. (in Chinese)
- 马生发, 王正旭. 2007. 大棚番茄控释氮素与磷、钾肥最佳配合施用量研究. 西北农业学报, 16 (6): 267 – 272.
- Ma Ning-ning, Li Tian-lai, Wu Chun-cheng, Zhang En-ping. 2010. Effects of long term fertilization on soil enzyme activities and soil physicochemical properties of facility vegetable field. Chinese Journal of Applied Ecology, 21 (7): 1766 – 1771. (in Chinese)
- 马宁宁, 李天来, 武春成, 张恩平. 2010. 长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响. 应用生态学报, 21 (7): 1766 – 1771.
- Ma Yue, Tian Jian-quan, Yin Xiao-li, Li Guo-bin, Han Jing, Wang Shu-zhi. 2011. Effects for the different proportion of nitrogen, phosphate and potassium on the quality of greenhouse tomatoes. Northern Horticulture, (18): 57 – 60. (in Chinese)
- 马 跃, 田建全, 尹晓丽, 李国斌, 韩 静, 王树志. 2011. 氮磷钾配比对温室番茄品质的影响. 北方园艺, (18): 57 – 60.
- Min J, Zhao X, Shi W M. 2011. Nitrogen balance and loss in a greenhouse vegetable system in Southeastern China. Pedosphere, 21 (4): 464 – 472.
- Monreal C M, Bergstrom D W. 2000. Soil enzymatic factors expressing the influence of land use, tillage system and texture on soil biochemical quality. Can J Soil Sci, 80: 419 – 425.
- Nui Xiao-li, Zhou Zhen-jiang, Li Rui, Hu Tian-tian. 2011. Effects of water and fertilizer supply on lycopene content in tomato fruit. Acta Horticulturae Sinica, 38 (11): 2111 – 2120. (in Chinese)
- 牛晓丽, 周振江, 李 瑞, 胡田田. 2011. 水肥供应对番茄中番茄红素含量的影响. 园艺学报, 38 (11): 2111 – 2120.
- Sun Rui-lian, Zhao Bing-qiang, Zhu Lu-sheng, Xu Jing, Zhang Fu-dao. 2003. Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and its role in adjusting-controlling soil fertility. Plant Nutr Fert Sci, 9 (4): 406 – 410. (in Chinese)
- 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 徐 晶, 张夫道. 2003. 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. 植物营养与肥料学报,

- 9 (4): 406 - 410.
- Teresa Hernández, Carmen Chocano, José-Luis Moreno. 2014. Towards a more sustainable fertilization: Combined use of compost and inorganic fertilization for tomato cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 196 (10): 178 - 184.
- Wang Can, Wang De-jian, Sun Rui-juan, Lin Jing-hui. 2008. The relationship between soil enzyme activities and soil nutrients by long-term fertilizer experiments. *Ecology and Environment*, 17 (2): 688 - 692. (in Chinese)
- 王 灿, 王德建, 孙瑞娟, 林静慧. 2008. 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*, 17 (2): 688 - 692.
- Wang Jun-hua, Yin Rui, Zhang Hua-yong, Lin Xian-gui, Chen Rui-rui, Qin Sheng-wu. 2007. Changes in soil enzyme activities, microbial biomass, and soil nutrition status in response to fertilization regimes in a long-term field experiment. *Ecology and Environment*, 16 (1): 191 - 196. (in Chinese)
- 王俊华, 尹 睿, 张华勇, 林先贵, 陈瑞蕊, 钦绳武. 2007. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响. *生态环境*, 16 (1): 191 - 196.
- Yan Xian-fang, Liao Yong-de. 2005. The influence of potash fertilizer on tomato yield and quality. *Farming and Cultivation*, (3): 18 - 19. (in Chinese)
- 阎献芳, 廖永德. 2005. 钾肥对番茄产量及品质的影响, *耕作与栽培*, (3): 18 - 19.
- Yang Jian-jun, Kang En-xiang, Chen Nian-lai. 2012. Variation trends of soil enzyme activity and soil fertility in greenhouses with different planting years. *Journal of Northwest Agriculture and Forestry University*, 141 - 146.
- Ye Jing, Yue Wei, Zheng Ji-ci, Li Zhong-tian, Yu Lin-huo, Yan Zhi-da, Zhang Mei-feng. 2003. The effect of sludge compound fertilizers on the tidal flat cotton. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, (6): 333 - 335. (in Chinese)
- 叶 静, 岳 巍, 郑纪慈, 李中天, 俞林火, 严志达, 章美凤. 2003. 污泥复合肥在海涂棉花上的效应. *浙江农业科学*, (6): 333 - 335.
- Zhang Ping-jiu, Li Lian-qing, Pan Gen-xing, Zhang Jun-wei. 2004. Influence of long-term fertilizer management on topsoil microbial biomass and genetic diversity of a paddy soil from the Tai Lake region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 24 (12): 2818 - 2824. (in Chinese)
- 张平九, 李恋卿, 潘根兴, 张俊伟. 2004. 长期不同施肥下太湖地区黄泥土表土微生物碳氮量及基因多样性变化. *生态学报*, 24 (12): 2818 - 2824.
- Zhang Zhi-liang. 2010. Guide of plant physiology experiment. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 张志良. 2010. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社.
- Zhao Ming, Cai Kui, Sun Yong-hong, Zhao Zheng-yu, Wang Wen-jiao, Chen Jian-mei. 2010. Influence of organic and chemical fertilizers on tomato yield, quality, and the content of available heavy metals in soil. *Journal of Agro-Environment Science*, 29 (6): 1072 - 1078. (in Chinese)
- 赵 明, 蔡 葵, 孙永红, 赵征宇, 王文娇, 陈建美. 2010. 不同施肥处理对番茄产量品质及土壤有效态重金属含量的影响. *农业环境科学学报*, 29 (6): 1072 - 1078.
- Zhu Zhao-liang. 2008. Research on soil nitrogen in China. *Acta Pedol Sinica*, 45 (5): 778 - 783. (in Chinese)
- 朱兆良. 2008. 中国土壤氮素研究. *土壤学报*, 45 (5): 778 - 783.