

有机和常规生产模式下菜田土壤酶活性差异研究*

叶俊 王小丽 Gonzalez Perez Pablo 刘晓嵩 黄丹枫**

(上海交通大学农业与生物学院 上海 200240)

摘要 通过对露地及温室环境下有机和常规蔬菜栽培土壤采样,测定分析了5种参与土壤碳氮循环的酶活性,及其与土壤相关理化性质之间的关系。结果显示:温室及露地土壤EC值在有机生产中相应低于常规生产12%和16%;有机生产土壤微生物碳氮含量显著高于常规生产;不同生产模式下土壤酶活性差异显著,有机生产土壤中的蛋白酶、脲酶、脱氢酶、 β -葡萄糖苷酶活性高于常规生产,而硝酸还原酶活性较常规生产低;有机与常规栽培对蛋白酶活性影响极显著($P=0.0068$),对脲酶活性影响程度达显著水平($P=0.0124$)。除脱氢酶以外,不同栽培模式环境对土壤中另外4种酶活性均有显著影响,温室栽培环境中的蛋白酶、脲酶和硝酸还原酶活性高于露地。除硝酸还原酶外,其他4种酶活性与可溶性全氮、微生物碳、微生物氮相关系数达到显著水平。分析表明,土壤酶活性受到栽培方式以及环境的影响,并且有机生产能够提高参与土壤碳氮循环的酶活性。土壤蛋白酶、脲酶、脱氢酶和 β -葡萄糖苷酶活性能够作为表征土壤碳氮循环以及微生物活性的指标。

关键词 菜田土壤 有机栽培 常规栽培 温室 露地 土壤酶活性

中图分类号: S154.2; S19 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)03-0279-06

Soil enzyme activity under organic versus conventional vegetable production systems

YE Jun, WANG Xiao-Li, Gonzalez Perez Pablo, LIU Xiao-Song, HUANG Dan-Feng

(School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract There has been a growing trend in using soil enzymes as indicators for changes in soil quality under different management practices. Although literature on this subject has tremendously grown in the last 10 years, most of the studies have focused on cultivated fields. However, research on cultivated vegetable soils also has significant implications. Experiments were conducted at two close-by fields (one under organic farming and the other under conventional farming) in Shanghai to investigate the influence of different horticultural farm management practices on soil enzyme activities. Four combinations of field type and management system — organic management in greenhouse (GO), conventional management in greenhouse (GC), organic management in open-field (LO) and conventional management in open-field (LC) conditions — were evaluated. Soil sampled at the 0~20 cm depth were analyzed using the traditional soil analysis method. Furthermore, proteinase, urease, dehydrogenase, β -glucosidase and nitrate reductase activities were determined. The results presented here fostered an in-depth understanding of the impacts of management practices on soil enzyme activities. Soil electrical conductivity (EC) under organic managements was less than that under conventional management by averages of 12% and 16% in greenhouse and open-field conditions, respectively. The levels of microbial biomass C and N under organic managements were higher than those under conventional managements. Significant differences were noted in proteinase and prease activities among the different management practices. Proteinase, urease, dehydrogenase and β -glucosidase activities were comparatively high under organic management, while nitrate reductase activity was low. Management practices significantly affected proteinase and urease activities with P values of 0.0068 and 0.0124 respectively. Environmental conditions of cultivation significantly influenced proteinase, urease, β -glucosidase and nitrate reductase activities. Enzyme activities were higher in organic managements under greenhouse conditions than in other treatments. Analysis showed that proteinase, urease,

* 上海市科委设施蔬菜清洁高效生产与环境质量保障技术研究示范项目(09391910400)、上海市农委设施园艺高效生态生产关键技术研究示范项目(上海沪农科攻字 20080803, 沪农推字 20090102)、农业部行业项目(200903056)和上海市蔬菜学重点学科项目(B209)资助

** 通讯作者: 黄丹枫(1956—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事园艺植物生理生态研究。E-mail: hdf@sjtu.edu.cn

叶俊(1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤微生物多样性研究。E-mail: yejun19871113@sjtu.edu.cn

收稿日期: 2011-06-20 接受日期: 2011-09-02

dehydrogenase and β -glucosidase activities were closely correlated (at significant levels) with total dissolved nitrogen, microbial biomass C and microbial biomass N. In summary, organic systems significantly improved soil microbial characteristics and increased soil organic C, which in turn enhanced soil enzyme activities. Moreover, proteinase, urease, dehydrogenase and β -glucosidase activities were suitable indicators for soil fertility. Further studies that focus on determining the relationship between soil microbial diversity and specific enzyme activities under different management systems using the DGGE (denaturing gradient gel electrophoresis) technique were therefore recommended.

Key words Vegetable field soil, Organic farming, Conventional farming, Greenhouse, Open-field, Soil enzyme activity

(Received Jun. 20, 2011; accepted Sep. 2, 2011)

近年来有机农业因其对环境的友好性以及有机农产品食用安全性备受瞩目。世界有机农业法规规定在有机生产中禁止施用化学肥料和杀虫剂, 强调合理的种植制度和病虫害的生态学管理^[1]。相对于常规农业, 这些方法能够减少负面效应, 为优化土壤结构, 增加土壤肥效提供条件。目前, 关于有机生产模式下土壤质量变化有诸多研究^[2-4], 但针对有机菜田土壤酶活性的研究却较少^[5]。土壤酶主要来自动植物残体、土壤微生物以及植物根系分泌物^[6], 能够促进土壤中微生物生长以及碳、氮等元素矿化^[7]。土壤酶对土壤环境变化非常敏感, 通过土壤酶活性的变化反映土壤有机质降解以及其他营养元素的含量水平, 是评价耕作制度是否合理的一项有力指标。例如, Bandick 等^[8]指出土壤耕作方式显著影响土壤酶活性; 杜社妮等^[9]研究指出, 施用有机肥能够增加土壤脲酶活性。另据 Ferreras 等^[10]报道, 有机栽培减少土壤盐分积累与其改变土壤酶活性有一定关联。鉴于土壤酶在土壤养分代谢中的指示作用, 以及蔬菜栽培土壤养分代谢相对迅速的特点, 研究不同生产模式下蔬菜土壤酶活性对于合理规划蔬菜栽培制度, 减少土壤养分流失具有重要意义。本研究测定了有机和常规蔬菜栽培在温室和露地条件下 5 种参与土壤碳氮循环的酶活性以及相关土壤理化指

标, 以期深化理解土壤酶与蔬菜栽培模式的相互关系, 通过土壤酶活性预测土壤养分的转化以及土壤肥力的演变, 为菜田土壤保育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查地点

本试验有机土壤取自上海崇本堂有机生态农场, 经南京国环有机产品认证中心认证, 已有 5 年有机蔬菜栽培历史。常规栽培土壤取自上海叶榭蔬菜园艺场, 蔬菜种植历史 10 年。两农场相距约 500 m, 位于东经 121°21', 北纬 30°57'。北距黄浦江约 2.5 km, 南距杭州湾约 23 km, 海拔 4 m。属亚热带湿润气候, 年平均降雨量为 1 550 mm, 70% 发生在 5—9 月之间。年平均气温为 17.5 °C, 年平均日照时间为 1 778 h。土壤由冲击土发育演变而来, 40 cm 以上土层成分为: 9.3% 沙质、70.7% 淤泥、20% 黏土。

1.2 取样及土壤分析

采样分为有机温室、常规温室、有机露地、常规露地 4 种类型土壤, 同一类型选取 3 畦地。每畦地面积 45 m×2 m, 地块间有 0.5 m 隔离带, 所定植蔬菜行间距按照当地传统进行, 各地块详细情况参见表 1。于 2010 年 11 月 10 日蔬菜收获期采样, 每个小区采用取土器(内径 4 cm)按 S 形取 0~15 cm 土

表 1 试验所设不同处理的取样地块基本情况

Table 1 Basic characteristics of soil sampling fields of different treatments in the experiment

处理 Treatment	前茬作物 Proceeding crop	当季蔬菜 Vegetable type	施肥类型 Type of fertilizer	施肥量 Fertilization rate (kg·hm ⁻²)	生产模式 Manage mode	栽培年限 Cultivation year	栽培环境 Condition
GO	香菜 <i>Herba coriandri</i>	小白菜 <i>Brassica rapa chinensis</i>	有机肥 Organic fertilizer	10 500	有机栽培 Organic cultivation	5 年 5 years	温室 Greenhouse
GC	辣椒 <i>Capsicum annuum</i>	小白菜 <i>B. rapa chinensis</i>	复合肥 Complex fertilizer (N P K=14 16 15)	750	常规栽培 Conventional cultivation	10 年 10 years	温室 Greenhouse
LO	大葱 <i>Allium fistulosum</i>	结球甘蓝 <i>B. oleracea L. var. capitata</i>	有机肥 Organic fertilizer	10 500	有机栽培 Organic cultivation	5 年 5 years	露地 Open field
LC	大葱 <i>A. fistulosum</i>	油菜 <i>B. chinensis</i>	复合肥 Complex fertilizer (N P K=4 16 15)	750	常规栽培 Conventional cultivation	10 年 10 years	露地 Open field
			尿素 Urea	225			

GO: 有机温室 Organic management in greenhouse; GC: 常规温室 Conventional management in greenhouse; LO: 有机露地 Organic management in open field; LC: 常规露地 Conventional management in open field. 下同 The same below.

层 8 点混合。取样后去除可见植物残渣, 立刻存于自封袋内, 放于事先准备好的冰盒中带回实验室。将新鲜土壤混匀过 2 mm 筛, 一部分存于 -80 °C 冷柜备用, 一部分自然风干。

土壤 pH 测定: 用风干土按照土液比 1 : 2 加 20 mL 0.01 mol·L⁻¹CaCl₂ 浸提 30 min, 静置 1 h 后用 pH 计测定悬浮液 pH^[9]; 土壤 EC 测定: 用风干土按照土液比 1 : 5 加 50 mL 超纯水震荡 3 min 后, 采用 EcoScan 便携式电导率仪(Eutech, 新加坡)测定; 土壤含水率测定: 采用双极平衡法, 每个样品分别称量 1 g 和 10 g 置于 105 °C 烘箱中至恒重, 计算每个样品损失重量, 两级相加求平均值, 此为土壤含水率^[10]; 土壤全碳及全氮含量的测定: 使用风干土(过 0.25 mm 筛), 采用元素分析仪(Elementar Vario EL III, 德国)测定; 土壤有机质含量测定: 使用风干土(过 0.25 mm 筛), 采用重铬酸钾氧化还原滴定法测定^[11]; 土壤有效氮含量测定: 使用鲜样, 5 g 土壤(按照含水率换算所需鲜样重)加入 25 mL 2 mol·L⁻¹KCl 浸提 2 h 后, 采用碱性过硫酸钾氧化法处理浸提液, 使用 Smartchem 全自动间断分析仪(WESTCO, 法国)测定 NO₃⁻含量, 经换算即为有效氮含量; 土壤微生物碳、微生物氮含量的测定: 使用鲜样, 采用氯仿熏蒸提取法测定^[12]。土壤酶的测定: 脲酶和硝酸还原酶活性根据 Kandeler 等^[13]和 Abdelmagid 等^[14]所述方法, 并结合 Smartchem 全自动间断分析仪(WESTCO, 法国)测定; 蛋白酶^[15]、脱氢酶^[16-17]以及 β-葡糖苷酶^[18]活性使用比色法测定。

1.3 数据处理

所有指标皆使用 3 次平行测定, 数据表示为平均数±标准差。试验数据使用 Excel 2007 整理, 数据分析使用 SAS V8 软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同蔬菜生产模式对土壤理化性质的影响

不同蔬菜生产模式对土壤理化性质的影响非常

明显(表 2)。有机露地(LO)土壤 pH 最高, 有机温室(GO)次之, 常规温室(GC)和常规露地(LC)最低, LO 土壤 pH 与 GC 和 LC 存在显著差异, 但 4 种土壤 pH 都趋于中性, 并不存在酸性与碱性的差异。GC 土壤的 EC 与其他 3 种处理存在显著性差异, 表现为最高; 其次为 GO 土壤。这表明在温室中长期缺少自然淋溶、湿度长期偏高、复种指数高造成了土壤的次生盐渍化。LO 土壤 EC 最低, 表明有机露地栽培在一定程度上能够缓解土壤盐渍化问题。对于总碳和总氮含量, 温室栽培土壤与露地栽培土壤存在显著差异。GO 土壤总碳和总氮含量最高, LO 土壤总碳和总氮含量最低。说明温室栽培可能对土壤碳、氮降解有一定的减缓效果, 同时施肥量、作物产量也影响着土壤养分总量的变化。4 种处理土壤的 C/N 趋于相同, 无显著差异。这说明土壤整体碳氮含量趋于稳定。有效氮含量为 GO>LO>LC>GC, 有机栽培土壤的有效氮含量显著高于常规栽培土壤, 而且在施肥水平相当的各处理间, GC 土壤在作物成熟后其有效氮含量最低, 而 GO 和 LO 土壤则仍保持在较高水平。这与有机肥施用从而给土壤带来大量氮营养密切相关。GO 土壤有机质含量显著高于其他 3 个处理, GC 土壤有机质含量最低。有机栽培中温室土壤有机质显著高于露地土壤。

2.2 不同蔬菜生产模式对土壤微生物碳、氮含量的影响

土壤微生物碳含量为 GO>LO>LC>GC, 有机栽培土壤微生物碳显著高于常规栽培土壤。微生物氮含量 GO 土壤最高, 且与其他 3 个处理存在显著差异, 其他 3 个处理间无显著差异。表明有机栽培土壤较常规栽培土壤存在更多微生物, 这从另一方面反映了有机栽培土壤环境适合微生物生长代谢。通过比较微生物 C/N(MBC/MCN), 发现露地栽培显著高于温室栽培, 均处于 8~9 之间。但常规与有机栽培在 MBC/MBN 方面无显著差异。GO 土壤 MBC/MBN 最低, 为 2.90±0.70。

表 2 不同环境及生产模式下土壤理化性质及微生物碳、氮含量的影响

Table 2 Physical and chemical properties and microbial biomass C, N of soil under different vegetable cultivation management systems

处理 Treatment	pH	电导率 EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	含水率 Moisture (%)	有机质 Organic matter ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	总碳 Total C ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	总氮 Total N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C/N	有效氮 Available N ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	微生物碳 MBC ¹⁾ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	微生物氮 MBN ²⁾ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	微生物 C/N MBC/MBN
GO	7.3±0.1ab	845.0±54.9b	20.1±3.3a	17.1±1.7a	29.2±0.1a	3.3±0.1a	8.8±0.2a	78.9±17.2a	125.9±18.8a	44.8±11.3a	2.90±0.70b
GC	7.0±0.3b	965.0±21.2a	20.2±2.1a	8.9±1.9c	24.6±0.3a	2.8±0.2ab	8.7±0.3a	34.1±10.4c	44.3±9.5b	8.9±1.6b	5.13±1.55b
LO	7.4±0.1a	552.8±186.0c	20.4±1.1a	13.8±1.4b	16.3±0.3b	2.0±0.6c	8.2±0.6a	71.6±18.2ab	99.4±17.5a	11.6±1.3b	8.63±1.59a
LC	7.0±0.5b	660.7±45.0c	19.3±0.8a	10.2±0.7c	19.1±0.3b	2.4±0.3bc	8.0±0.4a	61.6±13.7b	53.4±10.4b	6.3±1.2b	8.77±2.70a

不同小写字母表示处理间 0.05 水平上差异显著, 下同。Different small letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level. 1) MBC: Microbial biomass C; 2) MBN: Microbial biomass N. The same below.

2.3 不同蔬菜生产模式对土壤酶活性的影响

从图 1A 可以看出, 4 个处理中蛋白酶活性范围在 $17.56\sim 63.33 \mu\text{g}(\text{NH}_2)\cdot\text{g}^{-1}(\text{soil})\cdot\text{h}^{-1}$ 之间, GO 土壤蛋白酶活性显著高于其他 3 个处理, LO 土壤蛋白酶活性显著高于 GC 和 LC 土壤。LC 土壤蛋白酶活性较 GO 下降 72.3%, 较 LO 下降 59.3%。GC 土壤蛋白酶活性比 LC 高 19%, 但差异不显著。通过表 3 发现生产模式对蛋白酶活性呈极显著影响, 栽培环境对其影响也达到显著水平, 另外生产模式与栽培环境的交互效应对蛋白酶活性无显著影响。

图 1B 表明, 脲酶活性为 $\text{GO}>\text{GC}>\text{LO}>\text{LC}$ 。GO 土壤脲酶活性显著高于 GC、LO、LC, 达到 $39.20 \mu\text{g}(\text{NH}_4)\cdot\text{g}^{-1}(\text{soil})\cdot\text{h}^{-1}$ 。LC 土壤脲酶活性为 $10.29 \mu\text{g}(\text{NH}_4)\cdot\text{g}^{-1}(\text{soil})\cdot\text{h}^{-1}$, 显著低于其他 3 个处理。GC 与 LO 之间无显著差异。在相同栽培环境中, 有机栽培土壤脲酶活性皆显著高于相应常规栽培土壤; 相同生产模式下, 温室土壤脲酶活性大于露地土壤。由表 3 可知, 生产模式和栽培环境对土壤脲酶活性影响达到显著水平, 但二者交互对土壤脲酶的影响未达到显著水平。

图 1C 表明, GO 土壤脱氢酶活性显著高于其他 3 个处理, 而除 GO 以外的 3 个处理间不存在显著性差异, 并以 GC 土壤脱氢酶活性最低, 为 $9.47 \mu\text{g}(\text{TTF})\cdot\text{g}^{-1}(\text{soil})\cdot\text{h}^{-1}$, 比 GO 低 68.1%。在温室环境中有机栽培土壤脱氢酶活性高于常规栽培, 而在露地栽培中差异并不大。在有机生产模式下, 温室土壤脱氢酶活性高于露地土壤。对比常规生产模式, 却是相反结果。这可能由于 GC 土壤环境相对于其他 3 个处理对微生

物生长要求更苛刻。通过表 3 分析, 不管是生产模式、栽培环境还是二者交互对土壤脱氢酶活性的影响均未达到显著水平。这说明脱氢酶可能不适宜作为体现不同生产模式差异的指示酶类。

图 1D 表明, 土壤 β -葡糖苷酶活性以 LO 最高, 达到 $33.94 \mu\text{g}(\text{PNP})\cdot\text{g}^{-1}(\text{soil})\cdot\text{h}^{-1}$; GO 次之, 2 个处理均显著高于 GC 和 LC; GC 最低, 为 $12.49 \mu\text{g}(\text{PNP})\cdot\text{g}^{-1}(\text{soil})\cdot\text{h}^{-1}$ 。在相同环境中, 有机栽培土壤 β -葡糖苷酶活性显著高于常规栽培。同时通过表 3 双因素方差分析表明, 栽培环境对土壤 β -葡糖苷酶活性影响显著, 而生产模式未达到显著水平。这说明 β -葡糖苷酶更易受到由不同栽培环境造成的差异所影响。

从图 1E 可以看出, 土壤硝酸还原酶活性为 $\text{GC}>\text{LC}>\text{GO}>\text{LO}$, GC 土壤硝酸还原酶活性显著高于其他 3 个处理。这在一定程度上说明常规温室栽培土壤通气性差, 促进反硝化细菌生长, 使得硝酸还原酶主要作用于反硝化过程^[19]。LC 土壤硝酸还原酶活性比 GO 处理高 19%, 但差异不显著。并且在相同环境中, 常规栽培土壤硝酸还原酶活性显著高于有机栽培。对于相同生产方式, 温室环境中土壤硝酸还原酶活性显著高于露地环境。双因素方差分析结果表明(表 3), 栽培环境对土壤硝酸还原酶活性影响显著, 而生产模式对其影响不显著。这进一步说明土壤通气性是影响土壤硝酸还原酶的主要因素。

2.4 土壤酶活性与土壤理化性质的关系

表 4 结果表明, 蛋白酶活性与微生物碳和微生物 C/N 呈显著正相关, 脲酶和脱氢酶活性与微生物氮呈显著正相关, β -葡糖苷酶活性与有效氮含量呈

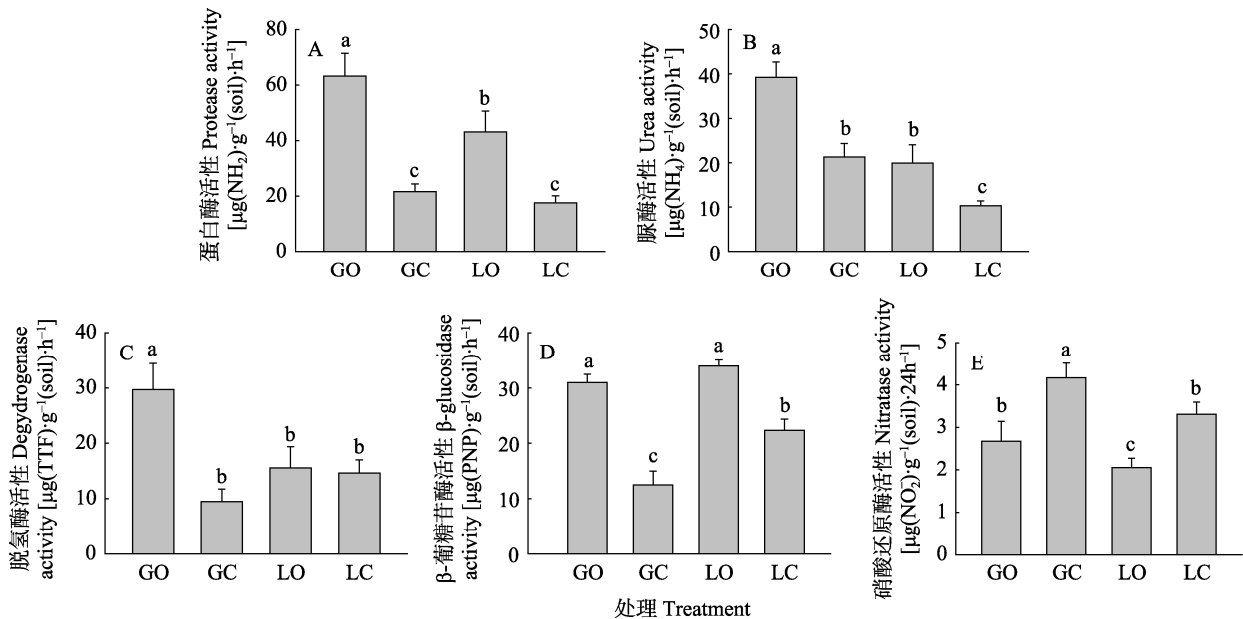


图 1 不同生产模式及环境对土壤蛋白酶(A)、脲酶(B)、脱氢酶(C)、 β -葡糖苷酶(D)和硝酸还原酶(E)活性的影响
Fig. 1 Activities of proteinase (A), urease (B), dehydrogenase (C), β -glucosidase (D) and nitrate reductase (E) under different vegetable cultivation management systems

表 3 有机栽培和常规栽培以及温室、露地环境对土壤酶影响的双因素方差分析
Table 3 Two-way ANOVA of effects of organic versus conventional management and green house versus open field on soil enzymes activities

因素 Factor	蛋白酶 Proteinase	脲酶 Urease	脱氢酶 Dehydrogenase	β -葡糖苷酶 β -glucosidase	硝酸还原酶 Nitrate reductase
A	0.006 8**	0.012 4*	0.093	0.060 5	0.127 3
B	0.048 5*	0.010 3*	0.325	0.011 9*	0.042 6*
A \times B	0.101 5	0.115 5	0.109	0.172 0	0.727 0

*和**分别表示差异达显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)水平,下同。* and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below. A: 有机栽培与常规栽培比较; B: 温室与露地比较。A: Organic versus conventional management; B: Green house versus open field.

表 4 土壤酶活性与土壤理化性质间的相关系数
Table 4 Correlation coefficients between soil enzyme activities and soil physical and chemical properties

土壤酶 Soil enzyme	pH	EC	有效氮 Available N	微生物碳 MBC	微生物氮 MBN	微生物 C/N MBC/MBN	有机质 Organic matter
蛋白酶 Proteinase	0.792 8	0.641 2	0.752 5	0.977 8*	0.901 3	0.975 6*	0.581 1
脲酶 Urease	0.487 8	0.916 1	0.417 0	0.776 9	0.946 5*	0.791 6	0.887 4
脱氢酶 Dehydrogenase	0.506 0	0.543 5	0.807 9	0.883 7	0.949 8*	0.923 9	0.588 7
β -葡糖苷酶 β -glucosidase	0.886 6	-0.033 6	0.945 1*	0.864 8	0.474 0	0.843 5	0.103 7
硝酸还原酶 Nitrate reductase	-0.905 4	0.127 3	-0.886 4	-0.797 0	-0.344 0	-0.762 7	-0.221 3

显著正相关。由此得出与土壤酶活性密切相关的理化指标是有效氮、微生物碳、微生物氮以及微生物 C/N。有研究也表明有机质通常与土壤酶类保持显著的相关性,尤其是土壤脲酶活性^[20]。但在本试验中有机质含量与土壤酶类之间的相关性未达到显著水平,但其与脲酶活性的相关系数较高,达到 0.88。这可能是由于本试验于蔬菜收获期采样,土壤有机质一部分被蔬菜吸收同化,一部分以微生物碳氮形式存储在微生物中,在一定程度上削弱了其土壤酶活性的相关性。这说明与有机质含量相比,微生物碳、氮含量与土壤酶活性存在更密切的相关性,土壤微生物种类及数量决定了土壤酶活性。并且土壤蛋白酶、脲酶、脱氢酶和 β -葡糖苷酶活性作为评价土壤肥力的指标具有可靠性。

3 讨论与结论

土壤 pH 显著影响土壤的理化及生物学性质,尤其是土壤酸化问题已成为影响土壤生产力的潜在因子^[21]。本试验结果表明常规栽培土壤 pH 低于有机栽培土壤。有研究也指出长期施用尿素,由于硝化作用以及作物根系对 NH_4^+ 的吸收都会导致土壤 pH 下降^[22]。同时,土壤 EC 也是反映土壤盐渍化的一项有价值指标,土壤次生盐渍化是限制保护地蔬菜栽培发展的一大因素。本试验说明短期的有机栽培能够降低土壤 EC,优化土壤微环境,但还需要长期的有机栽培试验来证明其是否能够有效缓解土壤盐渍化问题。微生物是土壤养分循环中的重要部分,土壤中的酶一部分来自植物根系分泌,另一部分则

来自微生物新陈代谢。不同栽培系统能够显著影响土壤微生物量,并且与土壤有机质相比,土壤微生物更易受施肥量以及肥料质量的影响。本试验证明有机栽培对于提高微生物量有显著作用,有研究指出微生物量 C/N 能够作为评估土壤营养缺失的有力工具,从而更快速地预测土壤的缺素情况^[23]。

本研究中所测定的不同蔬菜栽培系统土壤中 5 种酶活性都表现出显著差异,尤其是有机温室栽培土壤中各项酶活性均高于其他处理。Guo 等^[24]在研究有机和无机形态氮对土壤酶活性影响的试验中发现有机氮形式的肥料对土壤酶活性有促进作用,有机肥施入使微生物可以获得更多易吸收的养分。另外有机质微粒能够结合土壤酶,保护其不至于迅速被降解。同时有机质能够缓冲由于耕作等原因对土壤 pH 造成的波动,使土壤 pH 处在适宜的水平^[25]。这也说明土壤酶活性对于环境变化非常敏感,因此土壤酶活性能够作为土壤生物和非生物环境变化的“感应器”。微生物根据土壤养分状况分泌所需的酶以获得自身合适的营养,因此土壤环境的变化改变了土壤微生物新陈代谢状况以及微生物群体结构,进而改变微生物胞外酶分泌水平。并且这一过程的变化速度比土壤有机碳含量响应养分的变化速度要快的多^[10],使得检测土壤酶活性变化以说明土壤质量问题更具实时性。

需要指出的是本研究只针对蔬菜成熟后土壤样品进行分析,并未就其季节性变化进行研究,具有一定的局限性。有研究指出土壤酶活性以及土壤理化性质随季节也会发生明显变化^[6]。由本试验得出:

1)有机栽培能够促进土壤中参与碳氮循环相关酶的活性; 2)对于土壤酶活性, 栽培环境(温室与露地)较之栽培模式(有机与常规栽培)是一种更广泛的影响因素; 3)土壤蛋白酶、脲酶、脱氢酶和 β -葡糖苷酶活性能够作为评价土壤碳氮循环以及微生物活性的指标。后期我们将致力于利用 DGGE 技术研究蔬菜生产系统土壤中微生物种群结构, 并有针对性地研究某些专性微生物与土壤酶活性之间的关系。

参考文献

- [1] Ge T D, Nie S A, Wu J S, et al. Chemical properties, microbial biomass, and activity differ between soils of organic and conventional horticultural systems under greenhouse and open field management: A case study[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2011, 11(1): 25–36
- [2] 杨合法, 范聚芳, 梁丽娜, 等. 长期不同施肥模式对日光温室土壤硝态氮时空分布及累积的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 246–252
- [3] 杨苞梅, 李国良, 姚丽贤, 等. 有机肥施用模式对蔬菜产量、土壤化学性质及微生物的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 716–723
- [4] 杨合法, 范聚芳, 戈志奇, 等. 有机、无公害及常规生产模式番茄病害及防治效果比较研究[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(5): 933–937
- [5] 尤彩霞, 陈清, 任华中, 等. 不同有机肥及有机无机配施对日光温室黄瓜土壤酶活性的影响[J]. *土壤学报*, 2006, 43(3): 521–523
- [6] Aon M 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
- [7] Dick R P, Breakwell D P, Turco R F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators[M]//Doran J W, Jones A J, eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1996, 35: 247–271
- [8] Bandick A K, Dick R P. Field management effects on soil enzyme activities[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999, 31(11): 1471–1479
- [9] 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, 15(4): 68–71
- [10] Ferreras L, Gomez E, Toresani S, et al. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(4): 635–640
- [11] Carter M R, Gregorich E G. Soil sampling and methods of analysis[M]. 2nd ed. Canada: Taylor & Francis Group LLC-CRC Press, 2006
- [12] Witt C, Gaunt J L, Galicia C C, et al. A rapid chloroform-fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 30(5/6): 510–519
- [13] Kandeler E, Gerber H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1988, 6(1): 68–72
- [14] Abdelmagid H M, Tabatabai M A. Nitrate reductase activity of soils[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1987, 19(4): 421–427
- [15] 蔡红, 沈仁芳. 改良茛三酮比色法测定土壤蛋白酶活性的研究[J]. *土壤学报*, 2005, 42(2): 306–313
- [16] Dileep K S, Sunil K. Nitrate reductase, arginine deaminase, urease and dehydrogenase activities in natural soil (ridges with forest) and in cotton soil after acetamiprid treatments[J]. *Chemosphere*, 2008, 71: 412–418
- [17] Camiña F, Trasar-Cepeda C, Gil-Sotres F, et al. Measurement of dehydrogenase activity in acid soils rich in organic matter[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1998, 30(8/9): 1005–1011
- [18] Parham J A, Deng S P. Detection, quantification and characterization of β -glucosaminidase activity in soil[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32(8/9): 1183–1190
- [19] 陈利军, 武志杰, 姜勇, 等. 与氮转化有关的土壤酶活性对抑制剂施用的响应[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1099–1103
- [20] 刘建新. 不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究[J]. *土壤通报*, 2004, 35(4): 523–525
- [21] Albiach R, Canet R, Pomares F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 75(1): 43–48
- [22] Wei X R, Hao M D, Shao M A, et al. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization[J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 91(1/2): 120–130
- [23] Cleveland C C, Liptzin D. C : N : P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass[J]. *Biogeochemistry*, 2007, 85(2): 235–252
- [24] Guo P, Wang C Y, Feng X G, et al. Mixed inorganic and organic nitrogen addition enhanced extracellular enzymatic activities in a subtropical forest soil in east China[J]. *Water Air Soil Pollution*, 2011, 216(1/4): 229–237
- [25] Acosta-Martínez V, Cruz L, Sotomayor-Ramírez D, et al. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(1): 35–45