

不同农艺措施下温室土壤酶活性的 动态变化及其相关性分析

田永强¹, 曹之富^{1,2}, 张雪艳¹, 郭文忠³, 梅秀云², 高丽红^{1*}

(1 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094; 2 北京市农业技术推广站, 北京 100101;
3 宁夏农林科学院种质资源研究所, 银川 750002)

摘要: 针对日光温室随种植年限增加, 土壤质量退化的问题, 研究了 5 种不同的农艺处理措施对土壤酶活性的影响。结果表明, 食用菊花和番茄轮作、番茄嫁接 2 个处理对提高不同土壤酶活性的效果显著; 夏季石灰氮消毒处理对提高脲酶、磷酸酶和过氧化物酶活性的效果显著; 夏季填闲大葱对前季作物土壤酶活性的影响大于后季作物。番茄产量与土壤酶活性的变化趋势基本一致。蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、多酚氧化酶和过氧化物酶可以作为设施蔬菜敏感的土壤酶学指标。在难以进行轮作的以番茄生产为主的地区, 采取嫁接栽培能有效提高土壤酶活性; 在有条件轮作地区, 采取食用菊花与番茄轮作, 对提高土壤酶活性和栽培效益方面有积极作用。

关键词: 农艺措施; 土壤酶活性; 相关分析

中图分类号: S154.2 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2009)04-0857-08

Changes of soil enzyme activities under different agricultural treatments in greenhouse and its correlation analysis

TIAN Yong-qiang¹, CAO Zhi-fu^{1,2}, ZHANG Xue-yan¹, GUO Wen-zhong³, MEI Xiu-yun², GAO Li-hong^{1*}

(1 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2 Agricultural Technology Extension Unit, Beijing 100101, China;

3 Institution of Germplasm and Resource, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Science, Yinchuan 750002, China)

Abstract: To solve the problem of soil degradation with the increase of continuous cropping years in the solar greenhouse, changes of soil enzyme activities under five different agricultural treatments were studied. The results suggest that the soil enzyme activities are increased significantly under the rotation between vegetable chrysanthemum and tomato, and grafting tomato treatments. Soil urease, phosphatase and peroxidase activities are increased significantly as well under the calcium cyanamide treatment in summer. Cultivating welsh onion in summer, the soil enzyme activities in autumn are significantly higher than that in spring. The tomato yield coincides with activity variation of soil enzymes, this indicates that sucrase, urease, phosphatase, polyphenoloxidase and peroxidase can be used as sensitive biological indices for vegetable cultivation in greenhouse. In the region in which crop rotation is difficult, grafting cultivation can be used to increase soil enzyme activities, while, the rotation between vegetable chrysanthemum and tomato can play a positive role in maintaining soil enzyme activities and cultivation efficiency when the crop rotation is available.

Key words: agricultural measures; soil enzyme activity; correlation analysis

收稿日期: 2008-07-21 接受日期: 2008-10-22

基金项目: 北京市科委重大项目(D0706003040291); “十一五”国家科技支撑计划(2007BAD0005801 和 2008BADA6B03)资助。

作者简介: 田永强(1984—)男,甘肃甘谷人,博士研究生,主要从事设施蔬菜土壤功能修复方面的研究。E-mail: tianyq1984@gmail.com

* 通讯作者 E-mail: gaolh@cau.edu.cn

土壤酶活性反映了土壤中进行的各种生物化学过程的动向和强度。各种酶在土壤中的积累,是由于土壤微生物、土壤动物和植物根系的生命活动以及生物残体胞溶的结果。土壤酶学的研究与发展一直与农业生产实践密切相关。国内外学者研究表明,不同类型的土壤其酶活性差异较大^[1]。因此,应根据土壤类型确定在肥力形成演变过程中起关键作用的酶活性群体作为肥力评价的参考指标。

设施栽培的土壤常处在半封闭状态下,具有气温高、湿度大、肥料投入量多等特点。随种植年限增加和多年连作,土壤质量退化现象普遍存在,因而如何通过栽培制度、水肥管理等农艺措施影响土壤酶活性、延缓土壤退化、维持土壤健康成为近几年研究的热点。Miller 和 Dick^[2]研究了长期轮作体系下土壤的酶活性变化,认为轮作提高了土壤微生物多样性,促进了土壤酶活性的提高。张华勇等^[3]研究了稻—麦(油菜)轮作体系与露地和大棚连作蔬菜土壤的酶活性,结果表明与轮作相比,蔬菜连作土壤脱氢酶活性都显著降低,大棚连作土壤降低幅度更大;土壤转化酶和中性磷酸酶活性也有不同程度的降低。吴凤芝等^[4]通过设施黄瓜盆栽试验得出,轮作土壤的过氧化氢酶活性、脲酶活性和转化酶活性显著或极显著高于连作土壤。贺丽娜等^[5]认为,设施土壤脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性随连作年限的延长呈先升高后降低的趋势。张雪艳等^[6]研究表明,在日光温室夏季休闲期栽培青蒜处理,土壤多酚氧化酶活性显著高于其他处理;休闲期种植作物的栽培模式其蔗糖酶活性高于休闲处理的栽培模式,但土壤脲酶和酸性磷酸酶活性却低于休闲模式。杜社妮等^[7]通过日光温室施肥试验看出,施有机肥有利于土壤脲酶、磷酸酶活性增加,而对蔗糖酶和过氧化氢酶活性的影响较小。

关于不同农艺措施对设施蔬菜土壤酶活性影响

的报道较少,且前人的研究多局限于单一栽培制度对土壤酶活性的影响,研究结果难以确定不同栽培体系或农艺措施下敏感的土壤酶学指标。因此,本试验选择多年以番茄生产为主、种植年限在 10 年以上的日光温室土壤为研究对象,设计了以番茄栽培为主的不同农艺措施,研究在不同农艺措施下,温室土壤主要酶活性的变化及其相互关系,探讨不同农艺措施在提高土壤酶活性、改善生态环境等方面的作用以及不同土壤酶作为评价土壤质量指标的灵敏性及可行性,为温室土壤健康可持续利用栽培措施的制定提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006 年 7 月至 2008 年 2 月在北京小汤山特菜基地日光温室内进行。供试土壤为砂壤土,基础肥力为有机质 14.51 g/kg,全氮 1.04 g/kg,速效氮 47.98 mg/kg,有效磷 50.14 mg/kg,速效钾 185.59 mg/kg,EC 0.42 mS/cm,pH 7.69。试验地以番茄生产为主,种植年限在 10 年以上。种植模式为一年两茬番茄,夏季休闲。

试验设 5 个处理(表 1)。每小区面积为 16.38 m²,3 次重复,随机区组排列。各小区之间用保护行隔开,保护行为一畦两行,占地面积 2.10 m²。供试番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)品种为千禧,春秋茬品种相同;食用菊(*Chrysanthemum nankingense* Hand.)品种为食用菊一号;大葱(*Allium fistulosum* L.)品种为掖幅一号;嫁接番茄接穗品种为千禧,砧木为 TRS-401;消毒处理为施石灰氮 1275 kg/hm²,秸秆 15000 kg/hm²。供试前,各处理基肥一致,所有处理在 2006 年和 2007 年 7 月至 8 月间均不施肥,只根据作物的生长需要浇水。食用菊花于 8 月 12 日定植,秋茬番茄于 8 月 19 日定植,基肥于 8 月 19 日

表 1 试验设计
Table 1 Design of experiment

处理 Treatments	春茬作物(2~6月) Spring crop(Feb. to Jul.)	夏季休闲期(7~8月) Summer fallow period(Jul. to Aug.)	秋茬作物(9月~翌年2月) Autumn crop(Sep. to next year Feb.)
轮作 Crop rotation	番茄 Tomato	休闲 Fallowing	食用菊花 Vegetable chrysanthemum
嫁接 Grafting	嫁接番茄 Grafting tomato	休闲 Fallowing	嫁接番茄 Grafting tomato
消毒 Sterilization	番茄 Tomato	石灰氮消毒 Calcium cyanamide	番茄 Tomato
填闲 Catch crop	番茄 Tomato	大葱 Welsh onion	番茄 Tomato
对照 CK	番茄 Tomato	休闲 Fallowing	番茄 Tomato

按小区施用‘一特’有机肥 $4.36 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$,生物有机肥 $1.77 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$;绿莹高‘专用有机肥 $2.21 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$,追肥于番茄初花期和盛果期根据番茄的生长需要按照正常的肥水管理进行,各小区的肥水使用量一致。番茄的栽培方式为传统的畦栽,畦宽 0.5 m ,沟宽 0.8 m。每畦两行,行内株距 0.4 m ,畦内行距 0.4 m ,畦间行距 0.9 m ,种植密度 38912 株/hm²。

1.2 样品采集及分析方法

在试验前及供试作物生长的几个关键时期(秋茬番茄营养生长期、盛果期及拉秧期;春茬番茄盛果期及拉秧期)采取土壤样品,测量与土壤质量相关的酶活性。取土深度 0—30 cm ,每个小区 6 个样点均匀混合。

土壤过氧化氢酶采用 0.1 mol/L KMnO₄ 滴定法^[8];蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,脲酶采用苯酚-次氯酸钠比色法,磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法,过氧化物酶采用邻苯三酚比色法^[9]测定。

土壤基本性状测定:有机质采用铬酸氧还滴定的稀释热法;全氮采用半微量开氏法;土壤速效氮、磷、钾分别用流动分析仪、0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法、1 mol/L NH₄Ac 浸提—火焰光度法测定;土壤 EC 值采用 1:5 土壤悬液电导法(电导仪法);土壤 pH 值采用电位计法^[10]测定。

植株干物质测定:在番茄拉秧期按小区采收植株样,每个小区取 9 株,用去离子水清洗干净后于 105℃ 杀青 30 min ,然后 70℃ 烘干至恒重。同时通过果实含水量和产量换算果实干物质积累量。

所有数据均为 3 个重复 9 个平行样本的平均值,结果采用 SPSS11.5 软件进行统计分析。方差分析采用新复极差法(SSR),相关性分析采用 Pearson 分析法。

2 结果与分析

2.1 土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和多酚氧化酶活性的动态变化

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,一般情况下,土壤肥力越高,蔗糖酶活性越强^[9]。表 2 看出,供试前(2006-07-04)土壤蔗糖酶活性差别很小,其他 5 种酶也无明显差异,表明温室中不同地块土壤质量是比较均匀的。2 个月(2006-09-04),嫁接处理明显高于 CK($p < 0.01$)轮作和消毒处理高于 CK($p <$

0.05),而填闲处理与 CK 差异不显著。2006 年秋茬番茄定植后,随着番茄根系活动加强、分泌物增多,各处理土壤蔗糖酶活性均不同程度地升高。在 2006 年秋茬番茄盛果期(2006-11-04)轮作、嫁接和消毒 3 个处理土壤蔗糖酶活性极显著高于其他处理,其中嫁接最高,为 4.05 mg/g。在 2007 年春茬番茄盛果期(2007-06-04),各处理土壤蔗糖酶活性显著高于 CK,其中轮作和嫁接分别为 4.52 和 4.86 mg/g,与对照相比,差异极显著。说明食用菊/番茄轮作、嫁接番茄引起的植被和经营土地过程的改变使土壤蔗糖酶活性发生了较大的变化。在第二年重复试验中(2007-07-04 至 2008-02-04),相较于 CK 处理,不同农艺措施处理的优势更加明显。总体来说,嫁接处理仍然最优,而填闲处理也由第一年与 CK 无显著差异变为显著高于 CK。

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^[11]。供试 2 个月(2006-09-04)后,除嫁接处理外,其他各处理脲酶活性与 CK 差异均不显著。在 2006 年秋茬番茄盛果期,轮作、嫁接和消毒 3 个处理土壤脲酶活性显著高于其他处理,其中消毒处理最高,为 0.53 mg/g。秋茬番茄拉秧后,各处理土壤脲酶活性均不同程度地降低,嫁接和消毒 2 个处理降低幅度最大。在 2007 年春茬番茄盛果期,除填闲处理外,各处理土壤脲酶活性极显著高于 CK,其中轮作最高,为 0.51 mg/g。春茬番茄拉秧后,各处理土壤脲酶活性均不同程度地降低,以消毒处理降低幅度最大。在第二年的重复试验中结果类似。不同时期轮作、嫁接和消毒 3 个处理的土壤脲酶活性均极显著高于 CK,但 3 个处理间没有显著差异(表 2)。

大部分土壤磷是以有机磷化合物的形式存在的,磷酸酶能酶促磷酸酯水解。表 2 还可看出,供试 2 个月(2006-09-04)后,轮作、嫁接和消毒 3 个处理磷酸酶活性显著高于 CK,填闲处理与 CK 无明显差异。在 2006 年秋茬番茄盛果期,除轮作处理外,其他各处理土壤磷酸酶活性显著高于 CK,其中嫁接和消毒 2 个处理分别为 1.11 和 1.32 mg/g,差异显著;秋茬番茄拉秧后,各处理土壤磷酸酶活性均不同程度地降低。在 2007 年春茬番茄盛果期,除填闲处理外,其余各处理土壤磷酸酶活性显著高于 CK,其中轮作处理最高,为 0.73 mg/g。第二年重复试验中,不同时期轮作和消毒 2 个处理的土壤磷酸酶活性比第一年有所下降,但仍显著高于 CK;嫁接和填闲 2 个处理的优势更加明显,说明这 2 个处理在保持和提高土壤磷

酸酶活性方面优势明显。

多酚氧化酶是一种腐殖化的媒介^[9]。土壤多酚氧化酶能把土壤中芳香族化合物氧化成醌,醌与土壤中蛋白质、氨基酸、糖类、矿物质等物质反应生成有机质和色素,完成土壤芳香族化合物循环^[12-14]。从 9 次测量结果(表 2)的总趋势看,2006 年秋茬番茄种植期间各处理间差异不显著;2007 年春茬番茄

种植期间各处理间土壤多酚氧化酶差异较大,轮作处理极显著高于其他处理;嫁接与填闲 2 个处理显著高于 CK 但与消毒处理差异不显著。说明食用菊花/番茄轮作最有利于提高土壤多酚氧化酶活性。第二年重复试验中,各处理间的差异趋于明显,以嫁接处理最优,但与消毒处理间差异不显著。

表 2 不同处理下土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和多酚氧化酶活性的动态变化

Table 2 Changes of soil sucrase , urease , phosphatase and polyphenol oxidase activities under the different treatments									
处理 Treatments	取样时间(年-月-日) Sampling time (Year-Month-Day)								
	2006-7-4	2006-9-4	2006-11-4	2007-2-4	2007-6-4	2007-7-4	2007-9-4	2007-11-4	2008-2-4
蔗糖酶活性 Sucrase activities (Glucose mg/g)									
轮作 Crop rotation	2.17 aA	2.78 bAB	3.66 bA	2.64 aAB	4.52 aA	3.52 abAB	4.23 bB	5.87 bAB	3.96 cB
嫁接 Grafting	2.15 aA	3.46 aA	4.05 aA	3.05 aA	4.86 aA	4.17 aA	5.68 aA	7.51 aA	5.36 aA
消毒 Sterilization	2.14 aA	2.26 bcB	3.34 bA	2.75 aA	3.31 cBC	3.05 bAB	3.65 cBC	5.22 bB	4.72 abA
填闲 Catch crop	2.13 aA	2.17 cB	2.47 cB	1.90 bB	3.95 bB	2.80 bcBC	4.33 bB	6.37 aA	2.34 dBC
对照 CK	2.17 aA	2.06 cB	2.40 cB	1.57 bB	2.66 dC	2.12 cC	2.32 dC	2.82 cC	1.25 dC
脲酶活性 Urease activities (NH ₃ -N mg/g)									
轮作 Crop rotation	0.30 aA	0.33 abA	0.49 abA	0.38 aA	0.51 aA	0.46 aA	0.43 aA	0.60 aA	0.42 aA
嫁接 Grafting	0.31 aA	0.36 aA	0.48 abA	0.30 bAB	0.47 aA	0.43 aA	0.47 aA	0.58 aA	0.39 abA
消毒 Sterilization	0.30 aA	0.32 abA	0.53 aA	0.32 bAB	0.44 aA	0.32 aAB	0.45 aA	0.57 aA	0.44 aA
填闲 Catch crop	0.32 aA	0.34 abA	0.41 bAB	0.40 aA	0.34 bAB	0.30 bAB	0.36 bAB	0.47 bA	0.31 bAB
对照 CK	0.30 aA	0.28 bA	0.32 cB	0.25 cB	0.30 bB	0.26 bB	0.28 bB	0.30 cB	0.22 cB
磷酸酶活性 Phosphatase activities (Phenol mg/g)									
轮作 Crop rotation	0.52 aA	0.92 aA	0.95 bB	0.38 aA	0.73 aA	0.46 abA	0.53 cB	0.74 cBC	0.39 bB
嫁接 Grafting	0.51 aA	1.01 aA	1.11 aA	0.57 aA	0.67 aA	0.50 abA	1.12 aA	1.68 aA	0.74 aA
消毒 Sterilization	0.50 aA	1.02 aA	1.32 aA	0.32 abA	0.65 aA	0.52 aA	0.78 bAB	1.07 bB	0.26 cB
填闲 Catch crop	0.53 aA	0.57 bA	1.01 aAB	0.38 aA	0.50 bB	0.42 abA	1.02 aA	1.79 aA	0.65 aA
对照 CK	0.53 aA	0.68 bA	0.76 bB	0.22 bA	0.44 bB	0.39 bA	0.41 dB	0.53 dC	0.15 cB
多酚氧化酶活性 Polyphenol oxidase activities (Gallicin mg/g)									
轮作 Crop rotation	0.47 aA	0.66 aA	0.69 aA	0.63 aA	0.88 aA	0.72 aA	0.63 bA	0.66 bAB	0.59 aAB
嫁接 Grafting	0.47 aA	0.63 abA	0.69 aA	0.46 bcB	0.72 bB	0.61 bA	0.71 aA	0.78 aA	0.53 bB
消毒 Sterilization	0.48 aA	0.65 aA	0.67 aA	0.61 aA	0.66 cBC	0.63 abA	0.67 abA	0.72 abA	0.64 aA
填闲 Catch crop	0.49 aA	0.64 aA	0.62 aA	0.50 bB	0.74 bB	0.66 aA	0.43 cB	0.59 cB	0.42 cBC
对照 CK	0.51 aA	0.56 aA	0.63 aA	0.39 cB	0.60 dC	0.37 cB	0.32 dC	0.39 dC	0.33 dC

注：06-07-04 供试前；06-09-04 供试 2 个月后；06-11-04 秋茬番茄盛果期；07-02-04 秋茬番茄拉秧期；07-06-04 春茬番茄盛果期；07-07-04 春茬番茄拉秧期。07-09-04 至 08-02-04 同前。数值后不同大小写字母表示差异分别达 1% 和 5% 显著水平，下同。

Note：06-07-04 before tested，06-09-04 two months later，06-11-04 harvest period of autumn crops，07-02-04 autumn crops were cleared from soil，07-06-04 harvest period of spring crops，07-07-04 spring crops were cleared from soil. 07-09-04 to 08-02-04 same as before. Values followed by different capital and lowercase letters are significant at 1% and 5% levels，respectively. The same bellow.

2.2 土壤过氧化氢酶和过氧化物酶活性的动态变化

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^[9]。不同处理下土壤过氧化氢酶活性的变化(表 3)表明,第一年,与对照相比,多数时期各处理土壤过氧化氢酶活性没有达到显著差异水

平,仅在 2006 年秋茬番茄盛果期,消毒处理与 CK 差异显著;在 2007 年春茬番茄盛果期,嫁接处理与 CK 差异显著。第二年重复试验中,消毒和填闲 2 个处理与 CK 相比,过氧化氢酶活性均达到了显著差异水平,但 2 个处理间没有显著差异。

过氧化物酶在腐殖质的形成过程中具有重要作

用。从两年试验不同取样时期土壤过氧化物酶的活性(表 3)可以看出,在番茄盛果期嫁接、消毒和轮作 3 个处理的土壤酶活性均显著高于 CK,尤其是消毒处理与对照相比达到极显著差异水平。轮作处理对

过氧化物酶的影响,前茬效果不如后茬明显,但随着处理时间延长(第二年),效果更加明显。在整个试验期,填闲处理与 CK 无显著差异。

表 3 不同处理下土壤过氧化氢酶和过氧化物酶活性的动态变化
Table 3 Changes of soil catalase and peroxidase activities under the different treatments

处理 Treatments	取样时间(年-月-日) Sampling time(Year-Month-Day)								
	2006-7-4	2006-9-4	2006-11-4	2007-2-4	2007-6-4	2007-7-4	2007-9-4	2007-11-4	2008-2-4
过氧化氢酶 Catalase activities (0.1 mol/L KMnO ₄ mL/g)									
轮作 Crop rotation	3.32 aA	3.27 aA	3.95 abA	3.33 abA	3.40 bA	3.20 aA	3.14 bA	3.90 bAB	3.30 bAB
嫁接 Grafting	3.33 aA	3.60 aA	4.00 abA	3.15 bA	3.80 aA	3.44 aA	3.58 abA	3.71 bcAB	3.12 bcAB
消毒 Sterilization	3.32 aA	3.67 aA	4.32 aA	3.60 aA	3.67 abA	3.55 aA	3.95 aA	4.40 aA	3.73 aA
填闲 Catch crop	3.35 aA	3.53 aA	4.01 abA	3.10 bA	3.28 bA	3.15 aA	4.03 aA	4.55 aA	3.89 aA
对照 CK	3.34 aA	3.36 aA	3.61 bA	3.00 bA	3.35 bA	3.17 aA	3.42 bA	3.55 cB	2.85 cB
过氧化物酶 Peroxidase activities (Gallicin mg/g)									
轮作 Crop rotation	0.42 aA	0.70 aA	0.76 bB	0.70 aA	1.06 bAB	0.81 aA	0.95 aA	1.13 aAB	0.75 abA
嫁接 Grafting	0.46 aA	0.64 aA	1.00 aAB	0.73 aA	1.07 bAB	0.95 aA	1.03 aA	1.22 aA	0.82 aA
消毒 Sterilization	0.45 aA	0.47 bA	1.20 aA	0.76 aA	1.32 aA	0.86 aA	0.97 aA	1.01 aAB	0.74 abA
填闲 Catch crop	0.43 aA	0.68 aA	0.77 bB	0.71 aA	0.86 cB	0.50 bA	0.77 abA	0.96 bAB	0.65 abA
对照 CK	0.43 aA	0.56 abA	0.75 bB	0.70 aA	0.85 cB	0.46 bA	0.51 bA	0.63 bB	0.53 bA

2.3 土壤酶活性之间的相关性分析

为探讨不同农艺措施处理下土壤酶活性之间的关系,对 6 种土壤酶活性进行了逐步回归分析。结果表明,蔗糖酶与脲酶、磷酸酶、多酚氧化酶和过氧化物酶均呈极显著正相关;脲酶与磷酸酶、多酚氧

化酶和过氧化物酶呈极显著正相关;磷酸酶与多酚氧化酶显著正相关,与过氧化物酶极显著相关;多酚氧化酶与过氧化物酶极显著正相关;过氧化氢酶与其他酶均无显著相关性(表 4)。

表 4 土壤酶活性之间的相关系数
Table 4 The correlation coefficients between the soil enzyme activities

土壤酶 Soil enzyme	脲酶 Urease	磷酸酶 Phosphatase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	过氧化氢酶 Catalase	过氧化物酶 Peroxidase
蔗糖酶 Sucrase	0.792**	0.666**	0.509**	0.019	0.702**
脲酶 Urease	—	0.601**	0.651**	0.127	0.819**
磷酸酶 Phosphatase	0.601**	—	0.378*	0.082	0.437**
多酚氧化酶 Polyhenol oxidase	0.651**	0.378*	—	0.053	0.582**
过氧化氢酶 Catalase	0.127	0.082	0.053	—	0.127

注(Note): $r_{0.05} = 0.325$ $r_{0.01} = 0.418$ $n = 33$; *, ** 分别表示相关性显著达 5% 和 1% 水平 Significant at 5% and 1% levels, respectively; “—”表示未进行相关分析 Without correlation analysis.

2.4 不同农艺措施对番茄产量及植株干物质积累量的影响

不同农艺措施对番茄产量及其干物质积累的影响不同。两年的试验结果(表 5)看出,秋茬番茄产量和干物质积累,除轮作和填闲处理外,其他处理均显著高于对照;其中食用菊/番茄轮作处理的春茬

番茄产量是最高,与对照差异达到了显著水平,这与土壤酶的变化趋势基本一致。通过相关性分析可知(表 6),土壤酶与番茄产量及植株干物质积累量存在一定正相关性,表明土壤酶不仅能够表征土壤质量,对作物生长也有一定的指示作用。

表 5 不同茬口番茄产量及植株干物质积累量(kg/hm²)

Table 5 Yield of tomato and dry matter accumulation of plants at different periods

处理 Treatments	2006 秋茬 Autumn crops		2007 春茬 Spring crops		2007 秋茬 Autumn crops	
	产量 Yield	干物质 Dry matter	产量 Yield	干物质 Dry matter	产量 Yield	干物质 Dry matter
轮作 Crop rotation	—	—	18012.6 aA	3264.4 aA	—	—
嫁接 Grafting	18971.6 abA	3438.2 aA	17481.3 aA	3168.1 aA	23339.0 aA	4229.7 aA
消毒 Sterilization	20969.0 aA	3523.9 aA	15654.8 abA	2830.9 abA	22795.4 aA	3830.4 aA
填闲 Catch crop	17890.8 bcA	3365.4 abA	13633.0 bA	2488.4 bA	20926.1 aA	3819.5 aA
对照 CK	16510.1 cA	3206.2 bA	14262.2 bA	2556.1 bA	17261.5 bA	3456.7 bA

注 (Note): “—”表示该数据缺失 因为轮作处理的秋茬作物为食用菊 No data to survey due to cultivating vegetable chrysanthemum in autumn.

表 6 番茄产量及植株干物质积累量与土壤酶活性之间的相关系数

Table 6 The correlation coefficients between the yield and dry matter and soil enzyme activities

项目 Items	蔗糖酶 Sucrase	脲酶 Urease	磷酸酶 Phosphatase	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	过氧化氢酶 Catalase	过氧化物酶 Peroxidase
经济学产量 Economic yield	0.610 * *	0.668 * *	0.490 *	0.242	0.388	0.666 * *
干物质积累量 Dry matter	0.586 * *	0.554 * *	0.438 *	0.104	0.299	0.590 * *

$r_{0.05} = 0.388$ $r_{0.01} = 0.496$ $n = 24$.

3 讨论与结论

试验表明 ,农艺措施对土壤中的酶活性产生一定的影响。与 CK 相比 ,食用菊/番茄轮作 ,番茄嫁接 2 个处理对提高不同土壤酶活性效果显著 ,说明轮作与连作 嫁接苗与自根苗相比更有利于土壤功能的保持。Dick 等^[15]、Miller 和 Dick^[2]研究表明 ,轮作方式的土壤转化酶(蔗糖酶) β -葡糖苷酶、磷酸酶和脲酶活性常高于单作方式下的土壤。Bandick 和 Dick^[16]研究了苇状羊茅(*Festuca Arundinacea*)和三叶草轮作系统以及小麦弃耕地只施无机肥、增施绿肥或牛粪处理后对土壤酶活性的影响 ,结果表明 ,轮作、增施绿肥土壤酶活性明显上升 ,葡聚糖酶等是很好的土壤质量指标 ,但脱氨酶不能作为土壤质量指标。国内外有关嫁接苗对土壤酶活性影响的报道不多 ,本试验看出 ,嫁接栽培能够提高部分土壤酶活性。

夏季石灰氮消毒处理对脲酶、磷酸酶和过氧化物酶活性的提高效果显著。石灰氮消毒处理过程中施入的大量秸秆一方面改善了土壤理化性状^[17] ;另一方面秸秆分解有效改善了土壤微生物环境 ,从而对土壤酶活性产生影响^[18]。孙瑞莲等^[19]通过长期定位施肥试验研究表明 ,玉米秸秆有利于提高土壤转化酶活性。Deng 和 Tabataba^[18]认为 ,作物残体可通过改善土壤水热状况和微生物区系而影响土壤

酶活性。例如 ,小麦和玉米秸秆还田可以提高土壤葡聚糖酶、酸性和碱性磷酸酶、磷酸单酯酶、焦磷酸酶和芳基硫酸酯酶活性。

夏季填闲大葱对前季作物土壤酶活性的影响大于后季作物。随着种植年限的增加 ,填闲改善土壤酶活性效果增强。夏季填闲作物主要利用其根系分泌物来影响土壤-作物系统 ,从而影响后茬作物的生长。根系分泌物是土壤酶的重要来源。Gramss 等^[20]测定了菊科(*Asteraceae*) 百合科(*Liliaceae*)等 12 种陆生植物释放的分泌物对土壤酶活性的贡献 ,结果表明 ,未灭菌土壤种植植物后 ,土壤酶活性比灭菌土壤种植植物后的酶活性高 10% 以上 ;且根系分泌的酶在施用化学肥料、干旱和水分胁迫下增加。Siegel^[21]研究表明 ,水芹、番茄等植物能分泌过氧化物酶。

通过相关分析可知 ,蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、多酚氧化酶和过氧化物酶可以作为农艺措施下设施蔬菜敏感的土壤酶学指标。吴凤芝等^[4]研究表明 ,轮作土壤的过氧化氢酶、脲酶和转化酶的活性显著地高于连作 7 年的土壤 ,过氧化氢酶、脲酶、转化酶(蔗糖酶)和多酚氧化酶可以作为设施蔬菜敏感的土壤酶学指标。邱莉萍等^[22]通过对长期定位试验地中土壤养分和酶活性的测定结果进行相关分析、通径分析和主成分分析看出 ,土壤脲酶和碱性磷酸酶活性可以作为土壤肥力的指标 ,且酶活性大小受到土壤

化学性质和其他酶活性影响。郑洪元和张德生^[23]认为,单独以酶活性单位作为肥力指标有一定的局限性。由于酶专一地作用于某一基质,因此个别酶活性只能反映土壤专一的分解过程或营养循环。如土壤磷酸酶活性可与土壤有机磷酸盐联系起来;蛋白酶活性可反映氮循环;纤维素酶和糖酶可反映枯枝落叶的分解速率^[24]。要运用酶活性来表征土壤肥力需要确定一个酶活性群体作为指标。本研究中这些酶类只是被作为评价设施土壤肥力水平的指标,但在研究土壤肥力水平时,作为评价肥力水平的总体参数是否全面尚需进一步验证。

影响土壤酶活性的因素很多,除栽培模式和种植年限外,土壤类型、管理方式、作物生长阶段等均影响土壤的酶活性。本研究在作物生长盛果期所测的土壤酶活性总体上大于拉秧期。本试验是在土壤类型和管理方式相似的情况下研究不同农艺措施对土壤酶活性的影响,获得的差异主要是由于农艺措施的影响。初步结果表明,从提高土壤酶活性的角度出发,嫁接和消毒处理相对于传统的夏季休闲有较大的优势;在温室休闲期进行秸秆石灰氮消毒处理土壤,一方面可以利用秸秆分解产生的高温对土壤进行消毒,同时在提高土壤酶活性方面也效果显著。在有条件轮作地区,采取食用菊与番茄轮作,对提高土壤酶活性和栽培效益方面有积极作用。由于试验条件所限,本试验没有设计将不同农艺措施相结合的处理,如夏季用石灰氮消毒土壤后再种植嫁接番茄,这可能是本研究的不足之处。

参 考 文 献:

[1] 关松荫.我国主要土壤剖面酶活性状况[J].土壤学报,1984,21(4):368-381.
Guan S Y. Enzyme activities in main soils in China[J]. Acta Pedol. Sin., 1984, 21(4): 368-381.

[2] Miller M, Dick R P. Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crop rotations[J]. Soil Biol. Biochem., 1995, 27: 1161-1166.

[3] 张华勇,尹睿,黄锦法,等. 稻麦轮作田改为菜地后生化指标的变化[J]. 土壤,2005,37(2):182-186.
Zhang H Y, Yin R, Huang J F *et al.* Changes in soil biochemical properties caused by cropping system alteration from rice-wheat rotation to vegetable cultivation[J]. Soils, 2005, 37(2): 182-186.

[4] 吴凤芝,孟立君,王学征. 设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(4):554-558.
Wu F Z, Meng L J, Wang X C. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under shed protection[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(4): 554-558.

[5] 贺丽娜,梁银丽,高静,等. 设施黄瓜产量和品质及土壤酶活性

的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,35(5):155-159.
He L N, Liang Y L, Gao J *et al.* The effect of continuous cropping on yield, quality of cucumber and soil enzymes activities in solar green house[J]. J. Northwest A & F Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2008, 35(5): 155-159.

[6] 张雪艳,高丽红,李元,等. 栽培模式对黄瓜连作温室土壤酶活性及相关养分的影响[J]. 内蒙古农业大学学报,2007,28(3):113-117.
Zhang X Y, Gao L H, Li Y *et al.* The influence of summer different cultivation patterns to soil enzyme activity and its correlation nutrient[J]. J. Inn. Mong. Agric. Univ., 2007, 28(3): 113-117.

[7] 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.
Du S N, Liang Y L, Xu F L *et al.* Effect of fertilization on soil microorganisms and enzyme activity under greenhouse condition[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2007, 15(4): 68-71.

[8] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986. 249-251.
Xu G H, Zheng H Y. Soil microbial analysis manual[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986. 249-251.

[9] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986. 260-376.
Guan S Y. Soil enzyme and its research[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986. 260-376.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
Bao S D. Agricultural soil analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.

[11] 李春霞,陈阜,王俊忠. 不同耕作措施对土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报,2007,38(3):601-603.
Li C X, Chen F, Wang J C. Effect of different tillage practices on soil enzyme activity[J]. Chin. J. Soil Sci., 2007, 38(3): 601-603.

[12] Han X R, Cuo P C. Immobilization of fertilizer nitrogen by soil microbes its change[J]. Acta Pedol. Sin., 1998, 35(3):142-418.

[13] Trasar-Cepeda C, Leiro 's M C, Seoane S, Gil-Sotres F. Limitations of soil enzymes indicators of soil pollution[J]. Soil Biol. Biochem., 2001, 32: 1867-1875.

[14] Tubeileh A, Groleau Renaud V, Plantureux S *et al.* Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within maize-soil system[J]. Soil Till. Res., 2003, 71: 151-161.

[15] Dick R P, Breakwill D, Turco R. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrating biological indicators[A]. Doran *et al*(eds). Handbook of methods for assessment of soil quality[M]. Madison: SSSA Special Pub. 49. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ., 1996. 247-272.

[16] Bandick A K, Dick R P. Field managements effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biol. Biochem., 1999, 31: 1471-1479.

[17] 牛永志. 秸秆和土壤耕作氮磷动态效应研究及其流失风险评价[D]. 南京农业大学硕士学位论文,2007. 22-35
Niu Y Z. The dynamic effects and loss risk evaluation of nitrogen and phosphorus in soil and surface water under straw and soil tillage[D].

Nanjing : MS dissertation , Nanjing Agricultural University , 2007. 22-35.

[18] Deng S P , Tabatabai M A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils III . phosphatases and arylsulphatases [J]. Biol. Fert. Soils , 1997 , 24 : 141-146.

[19] 孙瑞莲 ,赵秉强 ,朱鲁生. 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[J]. 植物营养与肥料学报 , 2003 , 9 (4): 406-410.

Sun R L , Zhao B Q , Zhu L S. Effects of long term fertilization on soil enzyme activities and its role in adjusting controlling soil fertility [J]. Plant Nutr. Fert. Sci. , 2003 , 9 (4): 406-410.

[20] Gramss G , Voigt K D , Kirsche B. Oxidoreductase enzymes liberated by plant roots and their effects on soil humic material[J]. Chemosphere , 1999 , 38 : 1482-1494.

[21] Siegel B Z. Plant peroxides organic perspective[J]. Plant Growth Regul. , 1993 , 12 : 303-312.

[22] 邱莉萍 ,刘军 ,王益权 ,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报 , 2004 , 10 (3): 277-280.

Qiu L P , Liu J , Wang Y Q *et al.* . Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. Plant Nutr. Fert. Sci. , 2004 , 10 (3): 277-280.

[23] 郑洪元 ,张德生. 土壤动态生物化学研究法[M]. 北京 : 科学出版社 , 1982. 29.

Zheng H Y , Zhang D S. Soil dynamic biochemical research[M]. Beijing : Science Press , 1982. 29.

[24] 张焱华 ,吴敏 ,何鹏 ,等. 土壤酶活性与土壤肥力关系的研究进展[J]. 安徽农业科学 , 2007 , 35 (34): 11139-11142.

Zhang Y H , Wu M , He P *et al.* . Research advance of the relationship between soil enzyme activity and soil fertility[J]. J. Anhui Agric. Sci. , 2007 , 35 (34): 11139-11142.