

寿光大棚菜地土壤呼吸强度、酶活性、pH 与 EC 的变化研究

曾路生, 崔德杰, 李俊良*, 金圣爱, 赵秀芬

(青岛农业大学资源与环境学院, 山东青岛 266109)

摘要:以寿光地区露地土壤作对照,研究了连作 1、5、8 和 12 年大棚蔬菜(番茄)土壤有关生物学指标的变化。结果表明,棚内土壤呼吸强度和脱氢酶活性高于棚外,并随连作年限延长开始增强而后减弱,由于管理差异,12 年棚龄土壤又回升。随着连作年限延长,土壤脲酶活性逐渐减弱,而过氧化氢酶活性逐渐增强;土壤呼吸强度和酶活性都由表层向底层逐渐减弱。土壤 pH 随连作年限增加逐渐下降,而 EC 逐渐增加,至 12 年棚龄时,与对照相比,0—20 cm 土层 pH 下降了 1.06 单位,其他土层变化不显著。试验还表明,该地区表层土壤 pH 6.45 ~ 7.51, EC < 0.5 mS/cm,能较好地满足作物生长需要,同时,EC 是影响土壤 pH 及酶活性变化的重要因素。土壤 EC 及过氧化氢酶活性可作为反映大棚菜地土壤质量变化的参考指标。

关键词:土壤呼吸强度;土壤酶活性;pH;EC;大棚菜地

中图分类号:S154.2;S626.5

文献标识码:A

文章编号:1008-505X(2009)04-0865-06

Changes of respiration, enzyme activities, pH and EC in greenhouse vegetable soils in Shouguang

ZENG Lu-sheng, CUI De-jie, LI Jun-liang*, JIN Sheng-ai, ZHAO Xiu-fen

(College of Resource and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: The intensive land use under greenhouse conditions resulted in adverse effect on the soil environmental quality, and soil respiration and enzyme activities are sensitive biological indices to reflect this variance. In order to provide the scientific basis of preventing soils from degradation and promoting agriculture sustainable development, soil respiration, enzyme activities, soil pH and EC were studied in the greenhouse vegetable (tomato) soils under different continuous cropping times (1, 5, 8 and 12 year) in Shouguang, Shandong with the open field soil as control. The result indicated that soil respiration intensity and dehydrogenase activity were higher in greenhouse vegetable soils than that in open field soil. Soil respiration intensity and dehydrogenase activity increased at the beginning, then decreased with the continuous cultivation years, then increased again in the soil of 12 year's continuous cropping. With continuous cultivation, soil urease activity reduced gradually, but catalase activity increased. Soil respiration and all of enzyme activities decreased with soil depths. Soil pH declined with the continuous cropping years while EC increased. Compared with the open field soil, soil pH in 0-20 cm layer under 12 continuous cropping years declined by 1.06 pH unit, however, no notable change was observed in other soil layers. Soil pH of the surface layer in the study area varied from 6.45 to 7.51 and EC values were less than 0.5 mS/cm, which was suitable for crop growth. Soil EC was an important factor affecting soil pH and enzyme activities, consequently, soil EC and catalase activity were proposed as potential indices to reflect the quality of greenhouse vegetable soils.

Key words: soil respiration intensity; soil enzyme activity; soil pH; EC; greenhouse vegetable soil

收稿日期:2008-08-07

接受日期:2009-01-19

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAD17B07),山东省自然科学基金(6208M6)和青岛农业大学高层次人才基金项目(630702)资助。

作者简介:曾路生(1966—),男,江西上犹人,博士,副教授,主要从事土壤肥料的教学和研究工作。E-mail: zengls@163.com

* 通讯作者 E-mail: jlli@qau.edu.cn

由于大棚特殊的建造结构,常处于半封闭状态,具有气温高、湿度大、高蒸发量、无雨水淋洗、复种指数高、肥料投入量大等特点。当大棚使用到一定年限时,造成土壤环境质量退化,甚至污染地下水。刘兆辉等^[1]研究表明,寿光设施蔬菜在大量施肥的情况下,2004年氮、磷、钾肥的表观利用率分别只有31%、11%和低于61%。过剩养分积累土壤中,不但造成肥料资源的浪费,增加生产成本,还造成土壤质量下降。如土壤盐渍化、酸化、重金属积累、土壤生物群落减少,同时引起地下水硝酸盐污染^[2-6]。曾希柏等^[7]研究表明,随着设施菜地种植年限的增加,土壤砷含量呈增加趋势。

土壤质量不仅影响到农业的可持续发展,还关系到食品安全和人类健康。土壤质量的变化可从土壤物理、土壤化学和土壤生物学指标反映出来。土壤酶活性是土壤生物学活性的总体现,不但与土壤肥力和生产力密切相关,还是反映土壤环境变化的重要微生物学指标。土壤酶主要存在于土壤微生物和植物根系表面、土壤中死亡的机体碎片、生物代谢产物和土壤颗粒上;主要以游离态存在于土壤悬浮液中或以物理或化学结合的形式吸附在土壤有机或无机颗粒上或与腐殖质络合而长期地积累于土壤中^[8]。土壤酶存在于土壤中吸附性较强的部位,脲酶主要吸附在粘粒上,固定在有机-无机复合体的有机胶粒中。胶粒之间有足够大的孔隙,使反应底物(尿素和水)和分解产物(氨和二氧化碳)能够自由通过,却不能使蛋白酶进入或脲酶本身逸出。脱氢酶有利于土壤有机物质的脱氢作用。过氧化氢酶能破坏土壤中生化反应生成的过氧化氢,减轻对植物的危害,其活性与作物生长和土壤微生物活动密切相关^[9]。开展不同种植年限大棚土壤酶活性、pH与EC等指标的动态变化研究,可为防治土壤退化,促进农业生产的可持续发展提供理论依据^[10]。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土样采自寿光市种植番茄的大棚土壤,主要为河流相冲积物上发育的潮土。表土层质地为中壤至粘壤。随着种植业结构的调整,寿光大棚兴起于上世纪80年代后期。第二次全国土壤普查资料^[11]表明,建棚前的土样基本理化性质具有相似性(表1)。为了便于产业化和管理方便,番茄种植相对集中,为1年2~3茬,2茬作物都为番茄,3茬种植时换茬作物主要为芸豆、黄瓜、辣椒和茄子。10年以下大棚管理水平相似,肥料投入主要为化肥和有机肥。其中,化肥以氮、磷、钾复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)为主,其次为磷酸二铵、碳酸氢铵、普钙、尿素等,投入量年平均为11000 kg/hm²;有机肥投入量达200000 kg/hm²,80%为鸡粪,其次为猪粪和豆饼。灌水主要以沟灌形式。当大棚连续种植10年左右时,多数大棚土壤连作障碍严重,影响蔬菜产量和质量。当地多采用“换土法”,即把大棚内耕层土壤运出棚外,再把露天大田土壤运回棚内。露地对照为小麦玉米轮作体系的麦田土壤,肥料用复合肥(15-15-15),底肥为750 kg/hm²,灌浆前追肥375 kg/hm²,小麦播种后、苗期及灌浆期进行浇水,如雨水丰沛则减少水量。

1.2 采样和测定项目与方法

2007年6月采样。选择棚龄分别为1、5、8、12a以及临近地块的大田麦地为对照土壤(CK)。每个棚龄取3个棚,每棚按0—20、20—40、40—60 cm分别走“S”形用土钻取5点土样混合;混合土样采用“四分法”,保留2 kg左右用无菌塑料袋保存,一部分土样立即过2 mm尼龙筛,用以测定土壤呼吸强度和酶活性;另一部分风干后过2 mm筛,用以测定土壤pH和EC。

表1 第二次全国土壤普查时试验地区土壤基本理化性质(1986)

Table 1 Soil physical and chemical properties of the tested area in the second national soil investigation

取样地点 Sampling sites	pH	OM	TN	TP	HN	AP	AK	机械组成 Mechanical composition(%)			CEC (cmol/kg)	BD (g/cm ³)	AeP (%)
		(g/kg)			(mg/kg)			2~ 0.02 mm	0.02~ 0.002 mm	<0.002 mm			
古城 Gucheng	7.8	11.7	0.65	0.60	56	3.7	102	61.13	21.68	17.18	12.07	1.34	16.16
田柳 Tianliu	7.7	10.7	0.67	0.57	60	5.1	110	47.54	29.74	22.72	15.02	1.30	14.61
营里 Yingli	8.0	12.0	0.73	0.45	46	4.1	111	51.73	26.88	21.38	17.78	1.24	12.81

注(Note): OM—有机质 Organic matter; TN—全氮 Total N; TP—全磷 Total P; HN—碱解氮 Hydrolyzable N; AP—有效磷 Available P; AK—有效钾 Available K; BD—容重 Bulk density; AeP—通气孔度 Aeration porosity.

用新鲜土样测定土壤微生物活性时,同时测定土壤含水量以求得烘干土重。

土壤呼吸强度采用室内密闭培养,0.1 mol/L NaOH 吸收法测定,以 $\text{CO}_2 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 表示;脱氢酶活性采用氯化三苯基四氮唑(TTC)比色法测定,以 $\text{TPF} \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$ 表示;土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定,以 $\text{NH}_3\text{-N} \text{mg}/(\text{g}\cdot\text{d})$ 表示。过氧化氢酶活性用 KMnO_4 容量法测定,以 0.1 mol KMnO_4 , $\text{mL}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 表示。pH 值用 PHS-3C 精密 pH 计测定(水土比为 2.5:1);EC 用 DDSJ-308A 型电导率仪测定。

数据用 Excel 2000 及 SPSS 11.5 进行分析。

2 结果与讨论

2.1 土壤呼吸强度的变化

大棚内土壤呼吸强度比大棚外有了明显的提高。图 1 看出,1a 棚龄的土壤呼吸强度显著增强,3a 棚龄时达最高值,以后随连作年限延长而逐年减弱,但在连作 12a 的大棚中,0—40 cm 土层的呼吸强度又有所回升。这与菜地有机碳投入较高,碳源物质丰富,促进了土壤微生物的生长,呼出了较多的 CO_2 量有关。连作 3a 后可能开始出现连作障碍现象,养分过剩等促使土壤理化性质变差,对土壤微生物的新陈代谢作用产生抑制作用,使呼吸强度减弱。12a 的大棚主要分布在边远地区,施肥水平相对较低,连作障碍较轻,使 0—40 cm 土层呼吸强度高于 8a 大棚。在逆境条件下,微生物为了抵御不利环境,需要消耗更多的能量,产生较多的 CO_2 ,因此,微生物对有机碳源利用将由数量增长型向能量释放型转变,使微生物商减小,而代谢商提高。

图 1 还看出,0—20 cm 土层呼吸强度最高,而

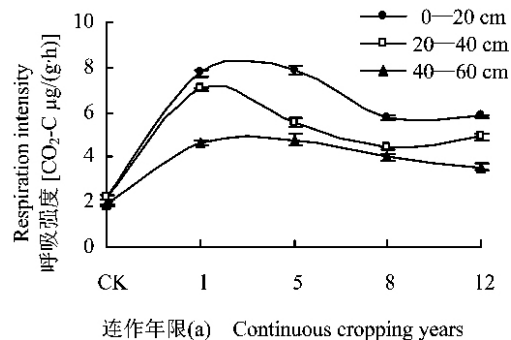


图 1 不同连作年限土壤呼吸作用强度的变化

Fig.1 Soil respiration intensity in different continuous cropping years

40—60 cm 土层较低。说明了表土层微生物活跃,有利于土壤有机物质的分解和腐殖质的合成以及 N、C、P、S 等元素的循环,使表土具有较高的肥力^[12]。由表土向下,微生物活性减弱,土壤肥力水平也逐渐降低。

2.2 土壤酶活性的变化

图 2 表明,土壤脱氢酶活性与土壤的呼吸作用相似,即大棚内 0—40 cm 土层脱氢酶活性平均比露地对照土壤要高,并随大棚连作年限增加而呈降低趋势;而 12a 大棚反而回升。40—60 cm 土层脱氢酶活性 1a 棚龄低于对照,但随连作年限延长而增加。同时还看出,表层土壤的脱氢酶活性要高于底层。由于大棚内施肥量多于大田,为微生物提供了丰富营养;棚内作物生物量大,根系分泌物丰富,主要集中在表层^[13],使土壤脱氢酶活性强。随连作年限增加,由于高强度地利用土地,使土壤生态环境遭到破坏,影响脱氢酶的活性,但 12a 棚龄土壤,可能管理水平较低,较为合适的养分状况促进了脱氢酶活性的增强。

土壤脲酶活性与脱氢酶活性的变化类似,都是自表层土壤向底层土壤递减(图 2)。但与对照相比,大棚土壤脲酶活性随着棚龄的增加有递减的趋势;其中 1a 棚与对照无显著差异,而 5a 以上棚龄与对照差异显著。5a 以上棚龄的土壤,0—20 cm 的脲酶活性差异较小,而 20—40、40—60 cm 土层脲酶活性约下降到对照土壤的一半左右。脲酶为胞外酶,受外界环境因素变化影响大^[14]。既受施肥影响,也受灌溉和作物生长影响,同时还受土壤质量变化的制约。而土壤表层施肥量多于下层,且根系分泌物丰富,微生物活跃,为脲酶提供了丰富的基质,使脲酶活性相对较高。土壤脲酶活性随连作年限增加而下降,可能是土壤环境质量下降所致。

同为胞外酶,土壤过氧化氢酶活性变化与脲酶活性相反,即随着连作年限的增加其活性有增强的趋势(图 2)。与对照土壤比,大棚土壤 0—20 cm 过氧化氢酶活性差异显著,而 20—60 cm 土层差异不显著,并且由表层向底层递减。这进一步说明了表层土壤酶活性受外界环境和人类影响较大。土壤中过氧化氢积累过多,能较严重地危害作物生长,引起土壤环境质量退化。而过氧化氢酶能有效地分解过氧化氢,对土壤微生物和作物生长起保护作用。土壤过氧化氢酶活性可用于表征土壤微生物学过程的强度^[15]。

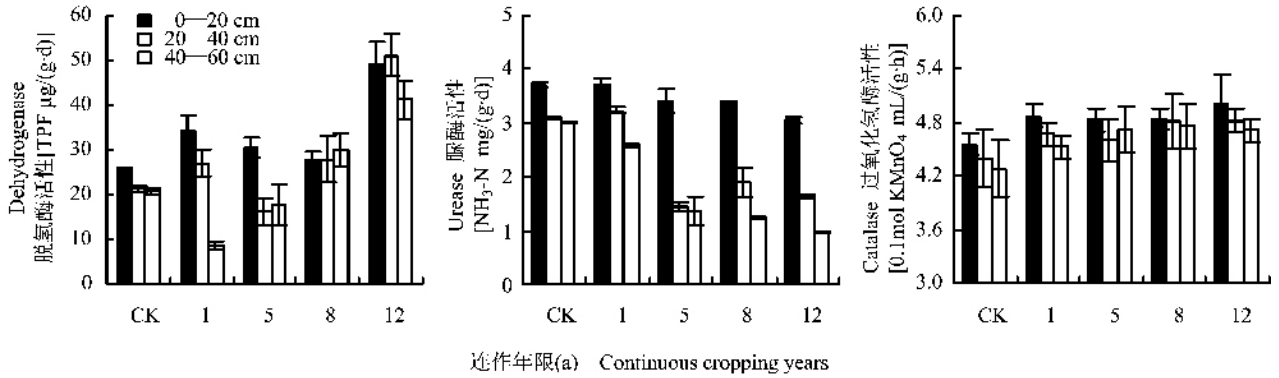


图2 不同连作年限土壤酶活性的变化

Fig.2 Soil enzyme activities in different continuous cropping years

2.3 土壤 pH 与 EC 的变化

随连作年限的增加,0—20 cm 土层 pH 趋于下降,与对照比,连作 8a 和 12a 的大棚土壤 pH 分别下降了 0.94 和 1.06 个单位;20—40、40—60 cm 土层差异不大(表 2)。就剖面分布看,CK 和 1、5a 棚龄土壤 pH 表层与底层差异不明显,而连作 8 和 12a 土壤 pH 表层与底层差异约为 0.8~0.9 单位。由于大量施用肥料,灌溉时淋洗作用以及大棚作物的高产量从土壤中带走了过多的钾、钙、镁等碱基元素,同时作物生长过程中根系产生大量有机酸等因素,使表层土壤呈逐渐酸化的趋势。对大多数作物,目前该地区大棚土壤 pH 为 6.45~7.45,只要防治土壤进一步酸化,仍适合于蔬菜生长的需要。

表 2 还看出,EC 变化与土壤 pH 相反,随连作年限的延长而增加,0—20 cm 土层尤为明显,说明表层盐分逐渐积累。超量施用化肥和鸡粪,而鸡粪易分解使有机质不易积累,加上缺乏雨水淋洗等原因引起土壤次生盐渍化。寿光大棚菜地的 N、P、K 用量一般是大田的 4~10 倍,是蔬菜生长需要量的 6~8 倍^[16]。设施菜地土壤 C、N 含量的增加和 C/N 比的下降,伴随着菜田土壤明显的酸化、盐渍化和土壤 N、P、K 养分的富集^[17]。据报道,EC < 0.5 mS/cm,其值越大,蔬菜生长越好,EC > 0.5 mS/cm 时,植株吸收水分、养分开始受阻^[18]。本试验表明,该地区土壤 EC < 0.5 mS/cm,能较好地满足作物生长需要。如不采取有效措施,防治大棚土壤酸化与盐分的不断积累,将会引起土壤理化性质的变化,从而影响土壤微生物、酶活性及作物生长,并影响该地区大棚生产的可持续发展。有关研究认为,寿光日光温室自休闲至番茄第一次追肥前土壤硝态氮的大量积累与频繁灌溉导致了整个生产体系氮素大量损失,可通过种植填闲作物或者施用高 C/N 比作物秸

表 2 不同连作年限土壤 pH 和 EC 的变化

Table 2 Soil pH and EC in different continuous cropping years

连作年限 (a) Continuous cropping years	土层深度 Soil depths (cm)	pH	EC (mS/cm 25°C)
CK	0—20	7.51	0.308
	20—40	7.68	0.274
	40—60	7.70	0.243
1	0—20	7.34	0.315
	20—40	7.35	0.309
	40—60	7.45	0.282
5	0—20	7.28	0.320
	20—40	7.26	0.242
	40—60	7.35	0.214
8	0—20	6.57	0.403
	20—40	7.28	0.227
	40—60	7.40	0.299
12	0—20	6.45	0.398
	20—40	7.25	0.275
	40—60	7.37	0.278

秆等可能的方法来控制土壤氮素转化,减少该时期的氮素损失^[19]。

2.4 土壤呼吸强度、酶活性与土壤 pH、EC 变化的相关分析

相关分析(表 3)表明,土壤 pH 与 EC 及过氧化氢酶活性表现出极显著的负相关性,而与其他参数表现出负相关趋势,但达不到显著水平。EC 与 3 种土壤酶活性呈显著或极显著的正相关性;过氧化氢酶活性与土壤呼吸强度、脱氢酶活性、pH 及 EC 的变化都是表现出极显著相关性。关连珠等^[20]研究了不同植烟年限土壤 pH 和酶活性的变化,表明土壤 pH 是影响亚表层土壤酶活性的重要因素。本研究

表明,土壤 EC 是影响土壤 pH 和酶活性变化的重要因素。有研究认为,不同培肥措施对土壤过氧化氢酶活性影响较小,而对土壤熟化程度影响较大,这与

土壤中 铁、锰化合物在过氧化氢分解时所起的作用有关^[21]。

表 3 土壤微生物活性与土壤 pH、EC 变化的相关关系

Table 3 Correlations between soil microbial activities and soil pH and EC

变量 Variable	EC	土壤呼吸强度 Soil respiration	脲酶 Urease	脱氢酶 Dehydrogenase	过氧化氢酶 Catalase
pH	-0.721**	-0.248	-0.187	-0.310	-0.495**
EC		0.248	0.560**	0.405*	0.497**
土壤呼吸强度 Soil respiration intensity			0.185	0.296	0.675**
脲酶 Urease				0.275	0.264
脱氢酶 Dehydrogenase					0.634**

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; $n = 30$

3 结论

1) 土壤呼吸强度大棚内明显高于大田,并随连作年限延长开始增强而后减弱;由于管理差异,12 年棚龄土壤又回升。其中,0—20 cm 土层要高于 20—40、40—60 cm 土层。

2) 土壤脱氢酶活性开始随棚龄增加而增强,到一定年限减弱,12 年棚龄时又回升。但脲酶活性随棚龄增加逐渐减弱,而过氧化氢酶活性逐渐增强,各种酶活性都由表层向底层减弱。土壤呼吸强度和酶活性既受大棚连作年限的影响,同时还受管理水平的制约。

3) 随着连作年限延长,0—20 cm 土层 pH 逐渐下降,而 EC 逐渐增加,其他层次变化不显著。EC 是影响土壤 pH 及酶活性变化的重要因素。目前寿光大棚土壤 pH 和 EC 尚能较好地满足蔬菜生长的需要。

4) 相关分析表明,土壤 EC 及过氧化氢酶活性与土壤其他参数变化有较好的相关性。建议将土壤 EC 及过氧化氢酶活性作为反映大棚菜地土壤质量变化的参考指标。

参考文献:

- [1] 刘兆辉,江丽华,张文君,等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报,2008,45(2):296-303.
Liu Z H, Jiang L H, Zhang W J *et al.* Evolution of fertilization rate and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable cultivation in Shandong[J]. Acta Pedol. Sin., 2008, 45(2):296-303.
- [2] 刘兆辉,江丽华,张文君,等. 设施菜地土壤养分演变规律及对地下水威胁的研究[J]. 土壤通报,2008,39(2):293-298.

- Liu Z H, Jiang L H, Zhang W J *et al.* Changes of soil nutrients in vegetable greenhouse and its pollution to underground water[J]. Chin. J. Soil Sci., 2008, 39(2):293-298.
- [3] 甘延东,李俊良,陈永智,等. 寿光市耕层土壤养分现状分析[J]. 中国农学通报,2008,24(7):260-265.
Gan Y D, Li J L, Chen Y Z *et al.* Analysis on the topsoil nutrients status in Shouguang[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2008, 24(7):260-265.
- [4] 刘苹,杨力,于淑芳,等. 寿光市蔬菜大棚土壤重金属含量的环境质量评价[J]. 环境科学研究,2008,21(5):66-71.
Liu P, Yang L, Yu S F *et al.* Evaluation on environmental quality of heavy metal contents in soils of vegetable greenhouse in Shouguang city[J]. Res. Environ. Sci., 2008, 21(5):66-71.
- [5] 董博,张仁陟,荆世杰,等. 寿光市不同棚龄温室土壤动物群落结构[J]. 应用生态学报,2008,19(8):1769-1774.
Dong B, Zhang R Z, Jing S J *et al.* Animal community structure in greenhouse soils with different planting years in Shouguang[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(8):1769-1774.
- [6] 王月明,孙万刚,李红梅,江丽华. 山东寿光日光温室土壤有效钾的研究[J]. 山东农业科学,2008(5):64-66.
Wang Y M, Sun W G, Li H M, Jiang L H. Study on available potassium of greenhouse soil in Shouguang city of Shandong province[J]. Shandong Agric. Sci., 2008(5):64-66.
- [7] 曾希柏,李莲芳,白玲玉,等. 山东寿光农业利用方式对土壤砷累积的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(2):310-316.
Zeng X B, Li L F, Bai L Y *et al.* Arsenic accumulation in different agricultural soils in Shouguang of Shandong Province[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(2):310-316.
- [8] Bhattacharyya P, Chakrabarti K, Chakraborty A. Microbial biomass and enzyme activities in submerged rice soil amended with municipal solid waste compost and decomposed cow manure[J]. Chemosphere, 2005, 60:310-318.
- [9] 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 Z. Soil enzyme activities in vegetable ro-

- tation and continuous cropping system of under shed protection[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2006, 12(4): 554-558.
- [10] 吴凤芝, 于高波, 刘博. 不同基肥对黄瓜根际土壤微生物群落多样性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(3): 576-580.
- Wu F Z, Yu G B, Liu B. Effect of different base fertilizers on soil microbial community diversity in cucumber rhizosphere[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(3): 576-580.
- [11] 山东省土壤肥料工作站. 山东土壤[M]. 北京: 农业出版社, 1994. 166-411.
- Shandong Workstation of Soil and Fertilizer. Shandong soils[M]. Beijing: Agricultural Press, 1994. 166-411.
- [12] 尹睿, 张华勇, 黄锦法, 等. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(1): 57-62.
- Yin R, Zhang H Y, Huang J F *et al.* Comparison of microbiological properties between soils of rice-wheat rotation and vegetable cultivation[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2004, 10(1): 57-62.
- [13] Jackson L E, Calderon F J, Steenwerth K L *et al.* Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality[J]. *Geoderma*, 2003, 114: 305-317.
- [14] Min L, Chen C L, Zeng L S, Huang C Y. Influence of lead acetate on soil microbial biomass and community structure in two different soils with the growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*) [J]. *Chemosphere*, 2007, 66: 1197-1205.
- [15] 郑勇, 高勇生, 张丽梅, 等. 长期施肥对旱地红壤微生物和酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(2): 316-321.
- Zheng Y, Gao Y S, Zhang L M *et al.* Effects of long-term fertilization on soil microorganisms and enzyme activities in an upland red soil [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(2): 316-321.
- [16] 李俊良, 崔德杰, 孟祥霞, 等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. *土壤通报*, 2002, 33(2): 126-128.
- Li J L, Cui D J, Meng X X *et al.* The study of fertilization condition and question in protectorate vegetable in Shouguang, Shandong[J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 2002, 33(2): 126-128.
- [17] 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.
- Lei B K, Chen Q, Fan M S *et al.* Changes of soil carbon and nitrogen in Shouguang intensive vegetable production fields and their impacts on soil properties[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(5): 914-922.
- [18] 杜新民, 吴忠红, 张永清, 裴雪霞. 不同种植年限日光温室土壤盐分和养分变化研究[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(2): 78-80.
- Du X M, Wu Z H, Zhang Y Q, Pei X X. Study on changes of soil salt and nutrient in greenhouse of different planting years[J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2007, 21(2): 78-80.
- [19] 何飞飞, 任涛, 陈清, 等. 日光温室蔬菜的氮素平衡及施肥调控潜力分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 692-699.
- He F F, Ren T, Chen Q *et al.* Nitrogen balance and optimized potential of integrated nitrogen management in greenhouse vegetable system[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(4): 692-699.
- [20] 娄冀来, 关连珠, 王玲莉, 等. 不同植烟年限土壤 pH 和酶活性的变化[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(3): 531-534.
- Lou Y L, Guan L Z, Wang L L *et al.* Changes of pH and enzyme activities in soils for different tobacco cropping years[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2007, 13(3): 531-534.
- [21] 李轶, 刘庆玉, 张玉龙, 等. 沼肥对保护地土壤酶及其呼吸强度的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2007, (5): 44-47.
- Li Y, Liu Q Y, Zhang Y L *et al.* Study on effects of biogas fertilizer on soil enzyme and respiration intensity in protected field[J]. *J. Soil Fert.*, 2007(5): 44-47.