

一季中晚稻的稻菜轮作模式对土壤酶活性及可培养微生物群落的影响

徐培智¹, 解开治¹, 陈建生¹, 唐拴虎¹, 张发宝¹, 黄旭¹, 李康活²

(1 广东省农业科学院土壤肥料研究所, 广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广州 510640;

2 广东省农业科学院, 广州 510640)

摘要:通过不同地点的小区试验, 研究不同轮作模式对土壤酶活性及可培养微生物群落的影响。结果表明, 一季中晚稻的稻菜轮作模式和休闲轮作模式明显提高了土壤蔗糖酶和酸性磷酸酶的活性。其中稻菜轮作模式的效果又优于休闲轮作模式; 与蔬菜连作模式相比, 土壤蔗糖酶和酸性磷酸酶活性平均提高了48.1%和27.2%, 有效降低土壤过氧化氢酶和多酚氧化酶活性。在可培养的土壤微生物群落中, 不同种植模式完成一个周期后, 稻菜轮作模式改善了微生物群落的组成, 明显提高土壤细菌和放线菌数量, 减少真菌数量, 对维持土壤生产能力的可持续性具有显著的现实意义。

关键词:菜地; 轮作模式; 土壤酶活性; 可培养微生物

中国分类号: S154 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2008)05-0923-06

Effect of rice-vegetable cropping system with a mid-late rice on soil enzyme activity and cultured microbial diversity

XU Pei-zhi¹, XIE Kai-zhi¹, CHEN Jian-sheng¹, TANG Shuan-hu¹, ZHANG Fa-bao¹, HUANG Xu¹, LI Kang-huo²

(1 Soil and Fertilizer Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

2 Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A series of field trials were conducted on various locations to investigate the influence of different rotation patterns on soil enzyme activity and cultured microbial diversity. Results indicated that the rotation system of rice-vegetable with mid-late rice and the pattern of summer fallow significantly enhanced the activity of soil invertase and acid phosphatase, between which rice-vegetable pattern was superior to summer fallow. In comparison with successive vegetable cropping, the rice-vegetable pattern increased the activity of soil invertase and acid phosphatase by 48.1% and 27.2% in average, meanwhile, significantly decreased the activity of soil catalase and polyphenol oxidase. After completion of each rotation of the various cropping patterns, the rice-vegetable pattern comparably improved cultured microbial community, where the number of soil bacteria and actinomycetes were significantly enhanced but the number of fungi was reduced, thus benefiting the maintenance and sustainability of land productivity.

Key words: vegetable garden soil; cropping pattern; soil enzyme activity; cultured microbial diversity

水稻和蔬菜是广东省种植面积最大的两种作物。近年来, 广东珠江三角洲地区的城郊型农业快速发展与农业结构不断调整, 水稻面积大幅缩减, 蔬菜等高产作物种植面积不断增加。为追求经济效益最大化, 往往造成耕地土壤的用养失调, 使土壤长

期处于超负荷产出状态, 连作问题日益突出。在连作条件下, 由于作物(蔬菜)和栽培措施的均一性, 导致土壤中特定物质的累积或消耗, 单一作物根系的代谢产物及分泌物的渐进积累影响了土壤微生物及酶活性, 造成土壤生态环境劣变, 土壤连作障碍越来越

收稿日期: 2007-07-23 接受日期: 2008-01-22

基金项目: 广东省科技厅农业攻关项目(2005B20801001); 广东省财政厅项目(中晚稻及配套种植制度试验示范 2005 资助)。

作者简介: 徐培智(1963—)男, 广东饶平人, 研究员, 主要从事土壤肥力与新型肥料研发。Tel: 020-38469594, E-mail: pzxu007@163.com

越严重^[1]。

利用不同轮作模式对农田生态系统生产力影响的原理,通过影响土壤养分的空间变异和生物活性的变化,充分发挥土壤酶在土壤生态系统的物质循环和能量转化中的重要作用,建立地力常新、农田高产、资源高效、环境质量改善的多目标调控理论,切实解决耕地土壤的一系列利用问题。为此,广东省农业科学院针对广东的气候优势和种植制度特色,更好地提高稻田和蔬菜的综合效益,提出了一种改革稻田和蔬菜种植制度的新模式——一季中晚稻的“稻菜轮作模式(123种植模式)”^[2]。

本试验主要开展了不同轮作模式对广东省规模化老菜地土壤酶和微生物的分布和变化特性的研究,探讨不同轮作制度下规模化老菜地主要土壤酶和微生物的变化规律,以期为指导规模化老菜地的栽培管理及可持续性发展提供依据。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Selected properties of experimental soils

地点 Sites	有机质 OM (g/kg)	碱解氮 Avail. N (mg/kg)	速效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	pH	土壤类型 Soil types
博罗 Boluo	15.1	91.5	159.3	223.3	6.8	水稻土 Paddy soil
东莞 Dongguan	10.0	44.8	89.5	72.3	6.9	水稻土 Paddy soil
增城 Zengcheng	19.5	61.7	39.5	129.0	6.1	水稻土 Paddy soil

试验于 2006 年 4 至 12 月进行,育秧育苗、肥水管理、病虫害防治及其他田间管理等均按照当地农民种植习惯进行。

1.2 样品采集和测定项目及方法

土壤样本在每季作物收获时,即 2006 年 5 月、9 月和 11 月采集。分别取各处理小区耕层土壤 0—15 cm 土层,每个土样由 5~8 个采集点的土壤混合而成。测定土壤微生物的样本用采样器采集后在 4℃ 下保存,当天测定;土壤养分和酶活性测定样本风干制样后测定。

土壤养分测定:有机质用重铬酸钾容量法;碱解氮用碱解扩散法;速效钾用醋酸铵火焰光度法;速效磷用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法;pH 用电位计法测定^[3]。

土壤可培养微生物的测定^[4]:采用梯度稀释法制备土壤悬液,涂抹平板计数法测定细菌、真菌、放线菌的数量,培养基分别为牛肉膏蛋白胨培养基、马丁氏培养基、高氏一号培养基。

1 材料与方法

1.1 试验方法

试验分别设在广东省的博罗会达菜场、东莞种子站试验基地和增城市三江镇,土壤均为连续种植 5 年以上的连片规模化老菜地,土壤性质见表 1。试验共设 3 个处理:休闲轮作模式(菜—荒—菜,菜地在 5~9 月撂荒, Fallow Rotation Cropping System,简称 FRCs);稻菜轮作模式(菜—稻—菜,菜地在 5~9 月轮作一季中晚稻, Rice-Vegetable Cropping System,简称 RVCs);蔬菜连作模式(菜—菜—菜, Vegetable Continuous Cropping System,简称 VCCs)。每个试验点均设 3 次重复,共 9 个小区,小区面积 333.5~667.0 m²,随机区组排列。供试水稻品种为黄华占,蔬菜品种为四九菜心。

土壤酶活性测定:土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、脲酶、酸性磷酸酶和多酚氧化酶活性参照文献[5]进行。土壤过氧化氢酶活性测定用高锰酸钾滴定法,酶活性以 1 g 土壤 1 h 消耗 0.01 mol/L 高锰酸钾“mL”数表示;土壤蔗糖酶活性测定用 3,5-二硝基水杨酸比色法,酶活性以 1 g 土壤在 37℃ 下 24 h 分解蔗糖产生的葡萄糖“mg”数表示;土壤脲酶活性测定用奈氏比色法,酶活性以 1 g 土壤在 37℃ 下培养 24 h 分解尿素产生的 NH₃-N 的“mg”数表示。土壤酸性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,酶活性以 1 g 土壤 37℃ 下 1 h 产生的酚“mg”数表示;土壤多酚氧化酶采用连苯三酚比色法,酶活性以 1 g 土壤 30℃ 下 1 h 生成的红紫鞣精的“mg”数表示。

试验数据采用 Duncan 方法进行显著性检验。

2 结果与讨论

2.1 不同轮作模式对土壤酶活性的影响

土壤酶是土壤中的生物催化剂,是具有加速土

壤生化反应速率功能的一类蛋白质。土壤酶参与各种元素的生物循环、土壤有机物质的分解转化、腐殖质的形成等,其活性的高低可以反映土壤养分,尤其是氮、磷养分转化的强弱^[6]。在众多土壤酶中,研究较多的是脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、多酚氧化酶等^[7-9]。

综合3个试验点的结果(表2)看出,不同轮作模式对土壤酶活性的影响很大。稻菜轮作模式和休闲轮作模式明显提高了土壤蔗糖酶和酸性磷酸酶的活性,且以稻菜轮作模式的效果最好。与蔬菜连作模式相比,博罗试验点0—15 cm土层土壤蔗糖酶和酸性磷酸酶的活性分别提高32.6%和12.5%;东莞试验点分别提高29.9%和31.6%;增城试验点分别提高81.9%和37.6%。

蔗糖酶活性高,说明土壤生物活性好,土壤肥力高,土壤状况良好^[10];土壤磷酸酶可催化水解有机磷类化合物为可被植物利用的有效态磷^[11]。近年来在广州市郊、花都、博罗、增城和肇庆等地的蔬菜产区土壤样品的测定结果表明^[12],土壤速效磷(P)含量属高含量水平或极高水平,>100 μg/mL的样品数占34.9%。而在某些连作菜地的高磷土壤上蔬菜苗期往往出现阶段性缺磷现象,通过稻—菜轮作措施提高土壤磷酸酶活性对提高土壤磷素的生物有效性,实现磷肥减量施用具有积极的现实意义。

表2还看出,蔬菜连作模式土壤过氧化氢酶和多酚氧化酶活性最高,休闲轮作模式最低,稻菜轮作模式次之。过氧化氢酶活性大小反映了土壤生态环境的胁迫程度^[13-14]。多酚氧化酶专一性很强,它的活性高会阻碍有机质矿化过程中产生的酚类中间产物进一步合成腐殖质,导致酚类化合物的积累^[15],从而引起中毒^[16]。张淑香^[17]、何光训^[18-19]等认为,连作提高土壤中多酚氧化酶的活性,这由于土壤中酚酸物质经过诱导作用而使土壤中多酚氧化酶的活性增强^[18-19],从而引起作物体内生长素氧化酶的活性随之增强,生长素因此分解,影响作物的生长发育^[17]。本研究中,在完成一个试验周期后,蔬菜连作模式土壤多酚氧化酶平均为1.46 mg/(g·h),比其他两种轮作模式提高0.18 mg/(g·h)。然而土壤中酚类物质的积累状况以及对后作的影响尚待进一步

研究与探讨。不同轮作模式对土壤脲酶活性的影响规律性不强。

2.2 不同轮作模式对土壤可培养微生物群落结构的影响

近年研究发现,土壤微生物在土壤肥力和农业生产能力上的重要性不可或缺^[20-24],其生物过程对土壤的物理、化学特性起到良好的促进和维持作用。表3表明,在可培养微生物中,以细菌数量最多,占可培养微生物的60%~70%,其次是放线菌,真菌数量居三。不同种植模式完成一个周期后,在耕作层0—15 cm土壤细菌数量稻菜轮作模式>休闲轮作模式>蔬菜连作模式,其中稻菜轮作模式比蔬菜连作模式提高28%。土壤放线菌数量稻菜轮作模式>蔬菜连作模式>休闲轮作模式,其中稻菜轮作模式比蔬菜连作模式和休闲轮作模式分别提高11%、17%。土壤真菌数量蔬菜连作模式>休闲轮作模式>稻菜轮作模式,其中稻菜轮作模式比蔬菜连作模式降低128%,休闲轮作模式比蔬菜连作模式降低36%。

引起这种土壤微生物多样性变化趋势的因素可能与种植作物的种类、栽培措施有关。蔬菜连作容易造成前茬蔬菜根系分泌物对后茬作物生长的障碍作用,以及使土壤养分发生非均衡性变化。蔬菜连作现象也显著制约着土壤酶的活性,从而影响土壤微生物多样性,使土壤微生物的生态功能大大减弱。稻菜轮作则明显地改善了蔬菜连作的不足,有利于土壤微生物生态功能的发挥。有研究表明,蔬菜连作使微生物种类和数量减少,但有害真菌如镰刀菌、腐霉菌、疫霉菌等的数量增加^[26]。真菌数量增加,意味着病虫害加重,因为真菌容易引起一些土传病害^[27]。连作可使某些特定的微生物群得到富集,特别是植物病原真菌不利于土壤中微生物种群的平衡,加剧植物根部病害的发生^[28]。增城试点的结果表明,稻菜轮作模式有利于减少后作病虫害的发生^[29]。这可能与土壤放线菌数量大增、真菌数量大幅度降低有关。本试验结果显示,稻菜轮作模式有利于提高土壤放线菌数量,减少土壤真菌数量,是突破作物连作障碍因子的一种有效耕作制度。

表 2 不同轮作模式对土壤酶活性的影响

Table 2 Effect of different rotation systems on soil enzyme activity

地点 Sites	处理 Treat.	蔗糖酶 Invertase [Glu mg/(g·d)]		过氧化氢酶 Catalase [KMnO ₄ mL/(g·h)]		脲酶 Urease [NH ₃ -N mg/(g·d)]		酸性磷酸酶 Phosphatase [Phen. mg/(g·h)]		多酚氧化酶 Polyphenoloidas [Purp. mg/(g·h)]					
		V	X	V	X	V	X	V	X	V	X				
博罗	FRCs	21.6 eD	37.2 dC	6.44 aA	6.48 aA	0.18 bB	0.476 aA	0.269 dD	0.098 IE	0.53 cB	0.67 cB	9.55 aA	1.41 cB	5.18 aA	1.73 cB
	RVCs	21.6 eD	66.0 bB	6.44 aA	6.36 aA	0.20 bB	0.476 aA	0.431 bB	0.111 FE	0.53 cB	1.28 cB	10.06 aA	1.41 cB	5.18 aA	1.46 cB
	VCCs	21.6 eD	19.5 eD	6.44 aA	6.49 aA	0.46 bB	0.476 aA	0.354 cC	0.150 eE	0.53 cB	0.99 cB	8.94 bA	1.41 cB	4.38 bA	1.73 cB
东莞	FRCs	13.7 cC	42.4 bB	6.62 aA	6.23 aA	1.69 cB	0.257 aA	0.388 aA	0.080 bB	1.26 cC	1.40 cC	6.39 aAB	2.97 bA	2.84 bA	0.95 bB
	RVCs	13.7 cC	7.5 dC	6.62 aA	6.62 aA	0.81 cB	0.257 aA	0.293 aA	0.034 bB	1.26 cC	1.28 cC	7.20 aA	2.97 bA	3.06 aA	1.02 cB
	VCCs	13.7 cC	4.4 eCD	6.62 aA	5.39 bA	0.31 dB	0.257 aA	0.280 aA	0.053 bB	1.26 cC	1.18 dC	5.47 bB	2.97 bA	3.07 C	1.02 bB
增城	FRCs	11.5 eC	16.0 dC	6.35 aA	6.58 aA	1.02 bBC	0.723 aA	0.403 bB	0.147 cC	1.28 cC	1.38 cC	9.24 bB	3.36 bB	3.52 bA	1.17 cC
	RVCs	11.5 eC	31.1 bB	6.35 aA	6.49 aA	0.30 dC	0.723 aA	0.461 bB	0.165 cC	1.28 cC	1.24 cC	13.42 aA	3.36 bB	3.99 aA	1.33 cC
	VCCs	11.5 eC	15.5 dC	6.35 aA	1.56 eBC	2.4 bB	0.723 aA	0.141 cC	0.149 cC	1.28 cC	1.05 cC	9.75 bB	3.36 bB	4.85 aA	1.62 cC

注 (Note): V—Vegetable; X—Fallow or rice or vegetable. FRCs—休闲轮作模式 Fallow Rotation Copping System(菜—荒—菜 Vegetable-Fallow-Vegetable); RVCs—稻菜轮作模式 Rice-Vegetable Copping System (菜—稻—菜 Vegetable-Rice-Vegetable); VCCs—蔬菜连作模式 Vegetable Continuous Copping System(菜—菜—菜 Vegetable-Rice-Vegetable). Glu—葡萄糖 Glucose; Phen—酚 Phenol; Purp—红紫精 Purpurogallin. 数据后不同大、小写字母分别表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$) 水平, 下同。Values followed by difference capital and small letters are significant among treatments at 1% and 5% levels, respectively. The same below.

表 3 不同轮作模式对土壤可培养微生物群落结构的影响

Table 3 Effect of different rotation systems on cultured microbial community structure in soil

地点 Sites	处理 Treat.	细菌 Bacteria ($\times 10^6$ CFU/g)			放线菌 Actinomyces ($\times 10^5$ CFU/g)			真菌 Fungi ($\times 10^3$ CFU/g)		
		V	X	V	V	X	V	V	X	V
博罗	FRCs	16.47 aA	0.50 dC	4.09 bcB	2.09 aA	0.89 cC	0.84 cC	73.67 aA	0.83 bB	4.85 bB
Boluo	RVCs	16.47 aA	0.83 dBC	4.32 bB	2.09 aA	0.94 cC	0.99 cC	73.67 aA	3.24 bB	2.89 bB
	VCCs	16.47 aA	1.71 cdBC	3.35 bcBC	2.09 aA	1.46 bB	0.89 cC	73.67 aA	3.89 bB	6.60 bB
东莞	FRCs	0.99 bcBC	0.51 dD	0.86 cC	1.21 cBC	0.87 dD	1.01 dCD	14.59 aA	0.61 cC	3.69 bBC
Dongguan	RVCs	0.99 bcBC	0.92 cBC	1.10 bB	1.21 cBC	0.93 dD	1.18 cC	14.59 aA	3.38 bBC	3.39 bBC
	VCCs	0.99 bcBC	1.58 aA	0.95 bcBC	1.21 cBC	1.44 bAB	1.67 aA	14.59 aA	5.05 bBC	4.32 bBC
增城	FRCs	19.94 aA	0.51 bB	1.69 bB	1.12 cC	0.91 cC	1.87 aA	17.18 aA	0.85 dD	6.55 bBC
Zengcheng	RVCs	19.94 aA	0.89 bB	1.62 bB	1.12 cC	1.00 cC	1.56 bB	17.18 aA	3.46 cCD	4.82 bcBC
	VCCs	19.94 aA	1.69 bB	1.35 bB	1.12 cC	1.45 bB	1.55 bB	17.18 aA	3.89 cCD	7.06 bB

3 结论

在广东省博罗、东莞和增城老菜地开展不同种植模式研究表明,不同种植模式完成一个周期后,稻菜轮作模式明显提高土壤蔗糖酶和酸性磷酸酶活性,且有效降低土壤过氧化氢酶和多酚氧化酶活性;有利于提高土壤细菌和放线菌数量,减少土壤真菌数量;对维持土壤生产能力的可持续性具有一定的现实意义。

参考文献:

[1] 吴凤芝, 梁非时, 王东凯, 等. 大棚黄瓜连作对根系活力及其根际土壤酶活性影响的研究[J]. 东北农业大学学报, 1996, 27(3): 255-258.

Wu F Z, Luan F S, Wang D K *et al.* Effects of the continuous cropping on the vitality of root system and the enzyme activity in the periroot soil of the plastic greenhouse cucumbers[J]. J. Northeast Agric. Univ., 1996, 27(3): 255-258.

[2] 李康活. 广东农业产业化的几个科技问题探讨[J]. 广东农业科学, 2004(2): 46-49.

Li K H. Discussion on some problems of several issues concerning the industrialization of agriculture in Guangdong[J]. Guangdong Agric. Sci., 2004, (2): 46-49.

[3] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981. 62-142.

Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Analytical methods of soil physics and chemistry[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1981. 62-142.

[4] 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. Manual of on soil microbiological analytical method[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986. 249-251.

[5] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 106-221.

Zhou L K. Soil enzymology[M]. Beijing: Science Press, 1988. 106

-221.

[6] 程国华, 郭树凡, 薛景珍, 等. 长期施用含氯化肥对土壤酶活性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1994, 25(4): 360-365.

Cheng G H, Guo S F, Xue J Z *et al.* Effect of the long-term application of chloride-containing fertilizers on the activities of enzymes in soil[J]. J. Shenyang Agric. Univ., 1994, 25(4): 360-365.

[7] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 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 *et al.* 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.

[8] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 89-96.

Xu Y C, Shen Q R, Ran W *et al.* Effects of zero-tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P after sixteen years of cropping[J]. Acta Pedol. Sin., 2002, 39(1): 89-96.

[9] Roy S, Singh J S. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest[J]. J. Ecol., 1994, 82: 503-509.

[10] 张丽莉, 张玉兰, 陈利军, 等. 稻-麦轮作系统土壤水解酶及氧化还原酶活性对开放式空气 CO₂ 浓度增高的响应[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1019-1024.

Zhang L L, Zhang Y L, Chen L J *et al.* Response of soil saccharidase activities to free-air carbon dioxide enrichment (FACE) under rice-wheat rotation[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(6): 1019-1024.

[11] 沈菊培, 陈利军. 土壤磷酸酶活性对施肥-种植-耕作制度的响应[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 622-627.

Shen J P, Chen L J. Response of soil phosphatase activities to fertilization, planting and tillage systems[J]. Chin. J. Soil Sci., 2005, 36(4): 622-627.

[12] 谢春生, 周修冲, 姚丽贤. 广东省土壤磷素状况及磷肥需求预测[J]. 土壤肥料, 2003(1): 13-15.

Xie C S, Zhou X C, Yao L X *et al.* Phosphorous situation in soil and demand prediction for P fertilizer of Guangdong Province[J]. Soils

- Fert. ,2003 ,(1):13-15.
- [13] 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. 173-265.
Zheng H Y, Zhang D S. Research methods of soil dynamic biochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1982. 173-265.
- [14] 樊军 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 I. 长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1):9-13.
Fan J, Hao M D. Study on long-term experiment of crop rotation and fertilization in the Loess Plateau I. Effect of crop rotation and continuous planting on soil enzyme activities [J]. Plant Nutr. Fert. Sci. , 2003, 9(1):9-13.
- [15] Tubeileh A, Groleau-Renaud V, Plantureux S, Guckert A. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system [J]. Soil Till. Res. , 2003, 71:151-161
- [16] 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, 10(4):554-558.
Wu F Z, Meng L J, Wang X Z. Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under Shed Protection [J]. Plant Nutr. Fert. Sci. , 2006, 10(4):554-558.
- [17] 张淑香 高子勤 刘海玲. 连作障碍与根际微生态研究 III. 土壤酚酸物质及其生物学效应 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(5):741-744.
Zhang S X, Gao Z Q, Liu H L. Continuous cropping obstacle and rhizospheric microecology III. Soil phenolic acids and their biological effect [J]. Chin. J. Appl. Ecol. , 2000, 11(5):741-744.
- [18] 何光训. 土壤酚类物质引起植物中毒的植物生理原因 [J]. 浙江林学院学报, 1992 (3):339-344.
He G X. The physi-ological cause of phenol toxicosis in plant [J]. J. Zhejiang For. Coll. , 1992, (3):339-344.
- [19] 何光训. 杉木连栽林地土壤酚类物质降解受阻的内外因 [J]. 浙江林学院学报, 1995 (4):434-437.
He G X. Repressive causes of degradation on phenols from the soil in pure chinese fir successor [J]. J. Zhejiang For. Coll. , 1995, (4):434-437.
- [20] 褚海燕 曹志洪 谢祖彬, 等. 镧对红壤微生物碳、氮及呼吸强度的影响 [J]. 中国稀土学报, 2001, 19(2):158-160.
Chu H Y, Cao Z H, Xie Z B *et al.* Effects of lanthanum on microbial biomass carbon, nitrogen and respiration in red soil [J]. J. Chin. Rare Earth Soc. , 2001, 19(2):158-160.
- [21] 袁玲 杨邦俊 郑兰君, 等. 长期施肥对土壤酶活性和氮磷养分的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 1(4):300-306.
Yuan L, Yang B B, Zheng L J *et al.* Effects of long-term fertilization on enzymatic activities and transformation of nitrogen and phosphorus in soil [J]. Plant Nutr. Fert. Sci. , 1997, 1(4):300-306.
- [22] 蒋和 翁文钰 林增泉. 施肥十年后的水稻土微生物学特性和酶活性的研究 [J]. 土壤通报, 1990, 21(6):265-268.
Jiang H, Weng W Y, Lin Z Q *et al.* Microbiological properties and enzyme activities of paddy soil after ten years of fertilization [J]. Chin. J. Soil Sci. , 1990, 21(6):265-268.
- [23] 任祖淦 陈玉水 唐福钦, 等. 有机无机肥料配施对土壤微生物和酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(3):279-283.
Ren Z G, Chen Y S, Tang F Q *et al.* Effect of inorganic fertilizer combined with organic manure on the microflora and enzyme activities in paddy soil [J]. Plant Nutr. Fert. Sci. , 1996, 2(3):279-283.
- [24] 张为政 祝廷成 张镇媛, 等. 作物茬口对土壤酶活性和微生物的影响 [J]. 土壤肥料, 1993 (5):12-14.
Zhang W Z, Zhu T C, Zhang Z Y *et al.* Effects of crop stubble on soil enzyme activities and microbes [J]. Soils Fert. , 1993, (5):12-14.
- [25] 姜钰 董怀玉 徐秀德, 等. 放线菌在植病生防中的研究进展 [J]. 杂粮作物, 2005 (5):329-331.
Jiang Y, Dong H Y, Xu X D *et al.* Progress on the research of actinomycetes in biocontrol of plant diseases [J]. Rain Fed Crops , 2005, (5):329-331.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 李彩华 靳学慧 台莲梅. 不同农业措施对土壤微生物的影响 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005 (4):31-34.
Li C H, Jin X H, Tai L M. Effects of different agricultural management methods on soil microorganism population in long-term and place-fixing [J]. J. Heilongjiang August First Land Reclam. Univ. , 2005, (4):31-34.
- [29] 李茂禾 陈桂明 何成敏, 等. “123 种植模式”在增城市的示范应用效果 [J]. 广东农业科学, 2006 (6):6-7.
Li M H, Chen G M, He C M *et al.* Application effect on demonstration of “123 farming pattern” in Zengcheng [J]. Guangdong Agric. Sci. , 2006, (6):6-7.