植物营养与肥料学报 2006,12(4):554-558
Plant Nutrition and Fertilizer Science

设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究

吴凤芝，孟立君，王学征
(东北农业大学园艺学院,黑龙江哈尔滨 150030)

摘要：采用盆栽试验,研究大棚蔬菜(津优1号黄瓜)在轮作(15、18和21年)和连作(2、7年)条件下,对土壤过氧化氢酶、脲酶、转化酶和多酚氧化酶活性的影响。结果表明,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($P < 0.05$)；随着连作年限的增加,过氧化氢酶、脲酶和转化酶的活性显著地降低($P < 0.05$),多酚氧化酶的活性显著升高($P < 0.05$)。通过对产量的分析表明,连作2年、7年土壤的黄瓜产量分别为每3盆7.91和3.14 kg,两者差异显著；轮作15、18和21年土壤的黄瓜产量分别为6.65、6.85和7.16kg/3盆,差异不显著；连作2年土壤的黄瓜产量显著高于其它处理($P < 0.05$),连作7年土壤的黄瓜产量显著低于其它处理,黄瓜产量与土壤酶活性的变化趋势基本一致。过氧化氢酶、脲酶、转化酶和多酚氧化酶可以作为设施蔬菜敏感的土壤酶学指标。

关键词：设施蔬菜；轮作；连作；土壤酶
中图分类号：S626；S154.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)04-0554-06

Soil enzyme activities in vegetable rotation and continuous cropping system of under Shed Protection

WU Feng-zhi, MENG Li-jun, WANG Xue-zheng
(*Horticulture College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China*)

Abstract: The use of enzymatic activities as a microbial index of changes in soil biological properties and fertility is widely recognized. Enzyme activities are strongly affected by different cropping systems. A pot experiment was carried out using Jinyou 1 cucumber as the test plant to study effects of vegetable rotation and continuous cropping system on activities of Catalase, Urease, Invertase and Polyphenol oxidase under shed protection. The test soil was collected from the cucumber greenhouse with 2 years and 7 years continuous cropping and the greenhouse soil with 15 years, 18 years and 21 years rotation, respectively. The results showed, the activity of Catalase, Urease and Invertase of rotating soil is higher than that of continuous cropping 7 years soil at the significant level($P < 0.05$); with the increasing of continuous cropping years, the activity of Catalase, Urease and Invertase decreased markedly, but the activity of Polyphenol oxidase increased pronouncedly ($P < 0.05$). The cucumber yield growing on continuous cropping 2 years and 7 years soil was 7.91 kg and 3.14 kg per pot respectively with statistical difference. The yield of cucumber growing on rotating 15 years, 18 years and 21 years soil was 6.65 kg, 6.85 kg and 7.16 kg per pot respectively with no statistical difference. The yield cucumber growing on the soil with 2 years continuous cropping was significant higher than other treatments, while the yield with the soil under 7 years continuous cropping was the significant lower($P < 0.05$). The cucumber yield coincided with activity variation of soil enzymes indicating that Catalase, Urease, Invertase and Polyphenol oxidase can be used as sensitive biological indexes for cultivation practicesmode.

Key words: vegetable; hed protection; rotation; continuous cropping; soil enzymes

---

收稿日期：2005-02-20　　**修改稿收到日期**：2006-01-09
基金项目：国家自然科学基金项目(30230250)；黑龙江省自然科学基金项目(C0215)资助。
作者简介：吴凤芝(1963—),女,黑龙江省勃利县人,博士,教授,主要从事设施园艺和土壤微生物生态学研究。

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，尽管数量较少，但作用颇大[1]。它们参与各种元素的生物循环、有机质的转化、腐殖质和有机无机胶体的形成等。有研究表明，磷酸酶、脲酶和β-葡糖苷酶的活性与作物产量呈正相关[2]；菜园土壤的磷酸酶、过氧化氢酶、转化酶和脲酶活性与黄瓜产量呈显著或极显著正相关[3]；土壤酶活性可作为衡量土壤生物学活性和土壤生产力的指标[4-5]；不同的栽培方式和作物茬口对土壤酶的活性产生影响[6-10]。此外，土壤酶对环境很敏感，其活性可以作为重金属和农药等污染的敏感指标[11-15]。我国是设施园艺面积最大的国家，但由于长期以来人们过度追求产量和设施的利用率导致连作现象普遍，而且多年来大量农药和化肥的使用，使土壤环境恶化。关于设施蔬菜连作和轮作对土壤酶活性的影响尚未见报道。本试验采用盆栽试验，研究轮作和连作对土壤酶活性的影响，旨在为制定合理的栽培制度提供敏感的土壤酶学指标。

1　材料与方法

1.1　试验设计

盆栽试验设5个处理，分别为连作2、7年和轮作15、18、21年，3次重复，每个重复8盆，每个处理24盆，随机排列。供试品种为津优1号黄瓜（*Cucumis. sativus* L），由东北农业大学提供。供试土壤为黑土，取自哈市香坊区同一自然村连续种植2年和7年黄瓜的大棚土壤（称为连作土壤，取自同一种植户，栽培管理方式相同）和黄瓜、番茄和菜豆轮作15年、18年和21年的大棚土壤（称为轮作土壤，同一种植户，栽培管理方式相同）。其理化性状见表1。

每个处理（24盆）土壤中加0.75 kg NPK，比例为16:16:8的撒可富复合肥，每盆土壤7 kg。6月28日播种，子叶展开后移苗，两叶一心时定植，每盆1株。定植前测定各土壤酶活性，以后分别在苗期（四叶一心）、根瓜期（初果期）、盛瓜期（盛果期）和拉秧期取样，每个处理取3盆，进行土壤酶活性的测定；每个重复取3盆进行产量测定。

1.2　测定项目及方法

将采集的土壤样品，放在荫凉处，摊开晾干，然后剔出植物残体、石块和其它的杂物。将风干的土样磨碎，通过1 mm和0.25 mm筛孔的土样用于土壤化学分析，过1 mm筛孔的土样用于测定土壤酶活性。

不同酶活性参照严昶升[16]的方法。过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法；过氧化物酶采用邻苯三酚比色法；多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法；转化酶采用硫代硫酸钠滴定法；脲酶采用苯酚一次氯酸钠比色法；蛋白酶采用茚三酮比色法。土壤理化性质的测定采用常规方法。

原始数据的整理采用Excel软件完成；差异显著性测验采用SAS软件完成。

表1　供试土壤的理化性状

Table 1　The physico-chemical properties of selected soils

栽培模式 Cultural pattern	年限 Years	有机质 OM (g/kg)	全氮 Tot. N (g/kg)	碱解氮 Alkal. N (mg/kg)	全磷 Tot. P (g/kg)	速效磷 Avai. P (mg/kg)	缓效钾 Slowly avai. K (mg/kg)	速效钾 Avai. K (mg/kg)	pH
连作	2	42.9	2.79	214.5	1.92	320.6	1042.5	318.4	7.13
Continuous cropping	7	42.6	2.03	169.9	1.97	289.6	1049.3	189.3	7.08
轮作	15	67.9	3.53	247.7	2.91	372.3	1116.2	417.9	6.42
Rotation	18	61.7	3.92	250.5	3.31	376.4	1080.4	189.2	7.21
	21	67.2	4.14	241.9	3.91	459.1	976.2	336.1	7.08

2　结果与分析

2.1　对土壤过氧化氢酶和过氧化物酶活性的影响

表2结果表明，在苗期，连续种植2年的土壤过氧化氢酶活性显著高于其它各种土壤，而连作7年的土壤显著低于其它土壤；不同轮作年限的土壤差异不显著。随着连作和轮作年限的增加，过氧化氢酶有下降的趋势。在初果期，轮作18年与15年、21年的酶活性差异没有达到极显著水平，但与连作2年和7年的过氧化氢酶活性差异达到显著水平，连作2年的过氧化氢酶显著高于连作7年的土壤；盛果期，连作2年与轮作15年、18年和21年的过氧化

氢酶活性没有显著差异，但连作2年、轮作15年、18年和21年的土壤与连作7年的过氧化氢酶活性均达到差异显著水平，轮作年限间差异不显著；拉秧期，种植18年的土壤过氧化氢酶活性显著高于种植2年、7年、21年的过氧化氢酶活性，轮作15年的土壤与21年土壤达到显著差异，连作2年与7年达到显著差异。

表2还看出，不同生育期连作7年的土壤的过氧化物酶活性均高于其它土壤，但不同种植年限的过氧化物酶活性在同一生育期内存在差异。在苗期，除15年和21年间的过氧化物酶活性差异不显著外，其它土壤间的过氧化物酶活性均达到显著水平；在初果期，7年的过氧化物酶活性显著高于其它土壤的酶活性；在盛果期和拉秧期，各土壤的过氧化物酶活性均达到显著水平。在连作区中，以7年的过氧化物酶活性最高，在轮作区中，以种植21年的过氧化物酶活性最高。

表2 轮作和连作土壤过氧化氢酶和过氧化物酶活性的差异

Table 2 Variance of catalase and peroxidase activities in rotation and continuous cropping soils

栽培模式 Cultural patterns	年限 Years	苗期 Seedling stage	初果期 First fruit stage	盛果期 Full fruit stage	拉秧期 Wane period
		过氧化氢酶活性 Catalase activity (mL/g)			
连作	2	1.60 ± 0.03 a	0.98 ± 0.08 b	1.27 ± 0.02 a	1.13 ± 0.05 bc
Continuous cropping	7	0.97 ± 0.03 d	0.78 ± 0.03 c	0.97 ± 0.03 b	0.96 ± 0.03 d
轮作	15	1.45 ± 0.10 b	1.08 ± 0.06 ab	1.28 ± 0.03 a	1.19 ± 0.03 ab
Rotation	18	1.33 ± 0.08 c	1.17 ± 0.03 a	1.26 ± 0.05 a	1.23 ± 0.05 a
	21	1.25 ± 0.12 cd	1.02 ± 0.12 b	1.31 ± 0.10 a	1.08 ± 0.05 c
		过氧化物酶活性 Peroxidase activity (μg/g)			
连作	2	143.70 ± 7.10 b	52.00 ± 0.00 b	22.70 ± 1.50 d	108.5 ± 3.00 b
Continuous cropping	7	224.00 ± 15.10 a	92.30 ± 7.50 a	72.30 ± 1.50 a	174.50 ± 4.00 a
轮作	15	119.00 ± 16.10 c	33.70 ± 0.60 c	27.00 ± 2.00 c	48.50 ± 1.70 e
Rotation	18	46.30 ± 9.90 d	62.00 ± 14.70 b	14.30 ± 4.00 e	71.20 ± 0.60 d
	21	118.30 ± 7.60 c	55.00 ± 5.00 b	40.00 ± 3.00 b	95.50 ± 0.00 c

注：同一列中不同字母代表差异达5%显著水平，下同。

Note: Different letters in the same column mean significant at 5% level, same as follows.

2.2 对土壤多酚氧化酶，脲酶和转化酶活性的影响

结果(表3)表明，连作7年的土壤在黄瓜苗期、初果期和盛果期的多酚氧化酶的活性均高于其它土壤。进一步的方差分析结果表明，在苗期、初果期和盛果期，种植7年土壤的多酚氧化酶活性显著高于其它各土壤，说明种植7年时土壤中的腐殖化程度最低；初果期，7年的土壤多酚氧化酶活性显著高于其它各土壤，连作2年和轮作21年的土壤多酚氧化酶活性没有达到显著水平；在拉秧期，轮作18年的多酚氧化酶活性显著高于2年、7年和21年的土壤酶活性，2年、7年、21年的土壤酶活性没有达到显著水平，15年和18年的土壤酶活性没有达到显著水平。

土壤脲酶活性在苗期和盛果期，轮作18年的脲酶活性显著高于其它土壤；初果期，轮作18年和21年的土壤脲酶活性显著高于其它各个处理；在拉秧期以连作2年的脲酶活性最高，连作7年的最低。综合结果看出，以连作2年、轮作18年(拉秧期除外)的脲酶活性最高，说明土壤中的氮素水平高(表3)。

表3还表明，整个生育期内连作7年土壤的转化酶活性显著低于其它土壤，其次，整个生育期内，连作2年土壤的转化酶显著高于连作7年的土壤。在苗期，21年土壤极显著低于15年和18年的土壤，15年和18年土壤的转化酶活性差异不显著；在初果期，连作15、18和21年的土壤的转化酶活性差异不显著；在盛果期，轮作15和21年土壤的转化酶活性达差异显著水平，15年和18年之间差异不显著；在拉秧期，轮作18年土壤的转化酶活性显著高于连作15年和21年的土壤，15年和21年土壤的转化酶活性没有显著差异。

表 3　轮作和连作土壤多酚氧化酶、脲酶和转化酶活性的差异

Table 3　Varianc of polyphenol oxidase, urease and invertase activities in rotation and continuous cropping soils

栽培方式 Cultural patterns	年限 Years	苗期 Seedling period	初果期 First fruit period	盛果期 Full fruit period	拉秧期 Wane period
		多酚氧化酶活性 Polyphenol oxidase (μg/g)			
连作	2	38.20 ± 0.80 bc	40.80 ± 0.80 bc	28.10 ± 2.60 b	8.50 ± 1.30 d
Continuous cropping	7	45.10 ± 2.30 a	62.60 ± 0.80 a	39.90 ± 0.00 a	11.10 ± 1.30 cd
轮作	15	29.00 ± 0.80 c	24.70 ± 3.80 d	22.50 ± 4.00 c	16.80 ± 1.30 ab
Rotation	18	25.50 ± 0.00 d	21.20 ± 5.30 d	22.90 ± 0.00 c	20.30 ± 1.30 a
	21	38.60 ± 1.30 b	37.70 ± 3.30 c	17.20 ± 0.80 d	8.10 ± 1.30 d
		脲酶活性 Urease activities (mg/g)			
连作	2	7.35 ± 0.95 b	9.88 ± 0.34 c	13.13 ± 0.21 b	17.01 ± 0.27 a
Continuous cropping	7	3.42 ± 0.55 c	0.66 ± 0.08 d	3.33 ± 0.54 d	7.62 ± 0.56 d
轮作	15	6.58 ± 0.36 b	11.14 ± 1.09 b	9.51 ± 0.41 c	15.88 ± 0.88 b
Rotation	18	15.79 ± 0.36 a	14.57 ± 0.87 a	14.66 ± 0.16 a	14.80 ± 0.48 c
	21	4.46 ± 1.02 c	13.31 ± 0.21 a	9.70 ± 0.62 c	13.44 ± 0.79 c
		转化酶活性 Invertase activities (mL/g)			
连作	2	11.40 ± 0.05 a	11.70 ± 0.13 b	12.25 ± 0.00 bc	12.10 ± 0.20 c
Continuous cropping	7	8.25 ± 0.18 c	9.48 ± 0.48 c	9.64 ± 0.19 d	9.52 ± 0.03 d
轮作	15	11.23 ± 0.03 a	12.13 ± 0.10 ab	12.32 ± 0.21 bc	12.25 ± 0.05 bc
Rotation	18	11.30 ± 0.13 a	12.42 ± 0.20 a	12.53 ± 0.19 ab	13.20 ± 0.30 a
	21	10.77 ± 0.20 b	12.12 ± 0.25 ab	12.18 ± 0.15 c	12.47 ± 0.03 b

2.3　对黄瓜产量的影响

图 1 看出，连作 2 年土壤的黄瓜产量最高，连作 7 年的产量最低，与其它处理均达到了差异显著水平。连作土壤有随着连作年限的增加产量下降的趋势，而轮作土壤间的黄瓜产量差异不显著。

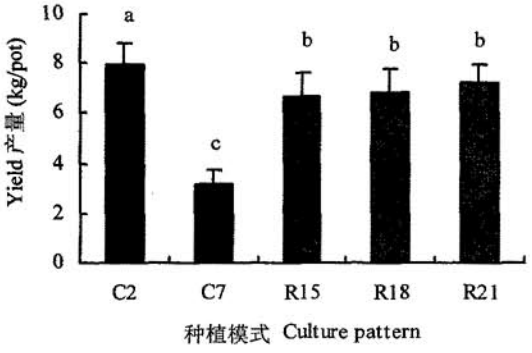

图 1　设施蔬菜轮作和连作对黄瓜产量的影响

Fig.1　Effects of rotation and continuous cropping on cucumber yield under shed protection

(L2、L7 和 R15、R18、R21 分别表示连作 2、7 年和轮作 15、18、21 年

L2、L7 和 R15、R18、R21 mean continuous cropping 2 and 7 years and rotation 15, 18 and 21years, respectively)

3　讨论

过氧化氢的积累会对生物和土壤产生毒害作用，而在生物体和土壤中存在着过氧化氢酶，它能酶促过氧化氢分解为水和氧，解除过氧化氢的毒害作用。本试验结果表明，连作 2 年的土壤过氧化氢酶活性显著高于连作 7 年的土壤，说明种植 2 年土壤的解毒作用较强。随着连作年限的增加，过氧化氢酶活性下降，说明土壤中氧化作用变弱，过氧化氢的分解受抑制，而使根系的毒害作用加重而引起连作障碍[17-18]。

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[19]，从而引起中毒。有研究认为，杉木林地土壤中酚类物质特别是游离酚类是造成杉木生长量下降和土壤肥力退化的重要原因[20]。黄瓜连作后根系分泌的酚酸类物质可导致自毒作用[21]。本试验连作 7 年的土壤多酚氧化酶活性较高，但土壤中酚类物质的积累状况如何有待进一步研究和证实。

转化酶是表征土壤生物学活性的重要酶，转化酶活性高，说明土壤生物活性高，土壤状况良好[9,16]。本试验连作 7 年的土壤转化酶活性较低，说明其生物活性较低，可能是连作造成的土壤微生物种类和数量减少、活性降低所致。

与连作相比，长期轮作有利于植物多样性的增

加,通常对土壤酶有较好的影响[4,22]。本试验中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,可能是轮作使土壤的微生物多样性增加,从而增加了土壤酶的活性。因此,生产上应该尽可能采用轮作的栽培方式。

影响土壤酶活性的因素很多,除栽培方式和种植年限外,土壤类型,管理方式等均影响土壤的酶活性。本试验是在土壤类型和管理方式基本相似的情况下,研究其轮作和连作对土壤酶活性的影响。由于生产中典型样本数量有限,不可能设计出完全理想的栽培方式和种植年限的试验,这可能是本研究的不足之处。

参考文献:

[1] 关松荫.土壤酶与土壤肥力[J].土壤通报,1980,1(6):41-44.
Guan S Y. Soil enzyme and soil fertility[J]. Chinese J. of Soil Sci., 1980, 1(6): 41-44.

[2] Verstraete W. Soil microbial and biochemical characteristics in relation to soil management and fertility[J]. Soil Biol. and Bioch., 1977, 9: 253-258.

[3] 杨丽娟,须晖,丘忠祥,等.菜田土壤酶活性与黄瓜产量之间的关系[J].植物营养与肥料学报,2000,6(1):113-116.
Yang L J, Xu H, Qiu Z X *et al*. Relationship between activities of enzyme and cucumber yield in vegetable soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(1): 113-116.

[4] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987.106-221.
Zhou L K. Soil enzymes[M]. Beijing: Science Press, 1987. 106-221.

[5] 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 Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(3): 277-280.

[6] 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 batch on soil activity and microorganism[J]. Soils and Fertilizers, 1993(5): 12-14.

[7] 孙秀山,封海胜,万书波,等.连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用[J].作物学报,2001,27(5):617-620.
Sun X S, Feng H S, Wan S B *et al*. Changes of main microbial strains and enzymes activities in Peanut continuous cropping soil and their interactions[J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(5): 617-620.

[8] 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 Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(1): 9-13.

[9] 吴凤芝,栾非时,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 peri-root soil of the plastic greenhouse cucumbers[J]. J. of Northeast Agric. Univ., 1996, 27(3): 255-258.

[10] 祝廷成,李志坚,张为政,等.东北平原引草入田、粮草轮作的初步研究[J].草业学报,2003,12(3):34-43.
Zhu T C, Li Z J, Zhang W Z *et al*. A preliminary report on the cereal-forage rotation system in the plain of Northeast China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(3): 34-43.

[11] 刘春生,常红岩,孙百晔,等.外源铜对土壤果树系统中酶活性影响的研究[J].土壤学报,2002,39(1):37-41.
Liu C S, Chang H Y, Sun B Y *et al*. Effects of external copper on enzyme activity in soil and apple tree system[J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(1): 37-41.

[12] 孙庆业,田胜尼.尾矿污染与几种土壤酶活性[J].土壤,2000(1):54-56.
Sun Q Y, Tian S N. Gangue pollution and several soil enzyme activities[J]. Soils, 2000(1): 54-56.

[13] 郑巍,刘惠君,刘维屏.吡虫啉及代谢物对土壤过氧化氢酶活性的影响[J].中国环境科学,2000,20(6):524-527.
Zheng W, Liu H J, Liu W P. Influence of pesticide imidacloprid and its metabolities on catalase activity in soil.[J]. China Environ. Sci., 2000, 20(6): 24-527.

[14] 和文祥,蒋新,卞永荣,等.杀虫双对土壤酶活性影响的研究[J].西北农林科技大学学报,2002,30(1):13-17.
He W X, Jiang X, Bian Y R *et al*. Study on soil enzyme activity effected by dimehypo[J]. J. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agric. and For., 2002, 30(1): 13-17.

[15] 张桂山,贾小明,马晓航,等.山东棕壤重金属污染土壤酶活性的预警研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(3):272-276.
Zhang G S, Jia X M, Ma X H *et al*. The warning research of soil enzyme activities on heavy metal-contamination of brown earth in Shandong[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(3): 272-276.

[16] 严昶升.土壤肥力研究法[M].北京:农业出版社,1988.277-279.
Yan C S. Soil fertilizer research ways[M]. Beijing: Agricultural Press, 1988. 277-279.

[17] 傅慧兰,邹永久,韩丽梅,等.大豆连作土壤障碍因素研究Ⅱ.连作土壤酶活性与土壤肥力因素间的相关分析[J].大豆科学,1996,15(4):332-338.
Fu H L, Zou Y J, Han L M *et al*. Effect of continuous soybean cropping on obstacle factors of soil Ⅱ. Correlative analysis between enzyme activity of continuous cropping soil and fertility factors[J]. Soybean Sci., 1996, 15(4): 332-338.

[下转第564页]

(上接第 558 页)

[18] 傅慧兰,杨振明,邹永久,等.大豆连作对土壤酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,1996,2(4): 374-376.

Fu H L, Yang Z M, Zou Y J *et al*. Influence of successive cropping of soybean on soil enzyme activity[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996, 2(4): 374-376.

[19] 张其水,俞新妥.杉木连栽林地混交林土壤酶的分布特征的研究[J].福建林学院学报,1989,9(3): 256-262.

Zhang Q S, Yu X T. Seasonal dynamics of soil microorganisms under various mixtures after Chinese fir replanting in Fujian[J]. J. of Fujian College of Forestry, 1989, 9(3): 256-262.

[20] 何光训.土壤农化性状对土壤酚类物质积累的影响[J].福建林学院学报,1990,10(4): 422-426.

He G X. Effects of the basic soil fertility on the accumulation of soil hydroxybenzene[J]. J. of Fujian College of Forestry, 1990, 10(4): 422-426.

[21] Yu J Q, Matsui Y. Phytotoxic substances in root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. J. Chem. Ecol, 1994, 20: 21-30.

[22] 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.