

不同植烟模式对烤烟产质量、土壤养分和酶活性的影响

张科¹, 袁玲^{1*}, 施娴¹, 梁永江²

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 贵州省遵义市烟草公司, 遵义 563000)

摘要:在贵州烟区具有代表性的第四纪黄壤上,进行了连续6年的田间定位试验,研究了烤烟连作、烤烟-玉米轮作和玉米-烤烟-烤烟轮作三种种烟模式对烤烟的产量和品质、土壤养分以及酶活性的影响。结果表明,烤烟连作降低烤烟的产量、质量和土壤pH,提高有效磷和速效钾含量,抑制脲酶和蔗糖酶活性,增加过氧化氢酶活性。相反,烤烟-玉米轮作和玉米-烤烟-烤烟轮作有益于提高烤烟的产量和质量,是值得推广的种烟模式。

关键词:烤烟;植烟模式;土壤养分;土壤酶

中图分类号:S572.047;S158

文献标识码:A

文章编号:1008-505X(2010)01-0124-05

Effects of cropping patterns on yield and quality of flue-cured tobacco, soil nutrients and enzyme activities

ZHANG Ke¹, YUAN Ling^{1*}, SHI Xian¹, LIANG Yong-jiang²

(1 College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2 Zunyi Tobacco Company, Zunyi, Guizhou 563000, China)

Abstract: A 6-year fixed field experiment was carried out to study the effects of different cropping patterns on the yield and quality of flue-cured tobacco, soil nutrient and enzyme activities on a typical Loess Soil. Three cropping patterns were adopted: Continuous tobacco cropping, tobacco-corn cropping and corn-tobacco-tobacco cropping. The results showed that continuous tobacco cropping resulted in a poorer yield and quality of tobacco, lower pH, activities of urease and invertase in soil were observed under compared to tobacco-corn and corn-tobacco-tobacco cropping pattern, but a higher available P and available K as well as activity of catalase in soils. Crop rotation was recommended in the local area because it could increase the yield and improved the quality of tobacco.

Key words: flue-cured tobacco; tobacco cropping modal; soil nutrients; soil enzymes

烤烟连作现象十分普遍。由于长期连作,导致产质量降低,病虫害严重、土壤养分失调、微生物种群结构改变、土壤生物化学反应受到抑制等^[1-3]。在我国西南烟区,烤烟连作后烟苗的生长、产量、产值和烟叶的化学成分均发生了较大变化,逐渐失去原有的风味^[4]。王连君^[5]研究表明,黑龙江白浆土连作年限越长,植烟土壤的全氮含量降低,有效养分却出现积累,养分比例明显失调。

贵州是我国主产烟区,烤烟长期连作。连作条件下对烤烟产量和土壤养分影响的研究较多^[6-7],

但关于连作对烟叶化学成分和土壤酶的报道较少。烟叶化学成分是烤烟品质的关键,土壤酶参与土壤中的各种生物化学反应,对土壤养分的供应、转化和吸收极为重要^[8]。为此,在黔北遵义县的黄壤烟区,进行了6年的田间试验,研究了烤烟连作、烤烟-玉米轮作和玉米-烤烟-烤烟轮作三种种植方式对烤烟产质量、土壤养分和酶活性的影响,旨在探索烤烟连作障碍的发生机理,并为减轻烤烟连作障碍寻找有效途径。

收稿日期:2008-10-23

接受日期:2009-05-19

基金项目:国家烟草专卖局项目(国烟科[2004]615);贵州省烟草专卖局项目(黔烟科[2006-04]);贵州省烟草公司遵义市公司资助。

作者简介:张科(1983—),男,重庆人,硕士研究生,主要从事植物营养方面的研究。E-mail: zhangke-a117@163.com

* 通讯作者 Tel: 023-68251249, E-mail: lingyuanh@yahoo.com.cn

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在贵州省遵义县中心烟草科技示范园进行。供试品种为西南烟区广泛种植的 K326,供试土壤为贵州烟区具有代表性的第四纪黄壤,前作小麦,其土壤基础养分含量为有机质 28.9 g/kg,全氮 1.7 g/kg,全磷 0.4 g/kg,全钾 18.0 g/kg,碱解氮 150.0 mg/kg,有效磷 14.7 mg/kg,速效钾 271.8 mg/kg。

试验设 3 个处理,即:烤烟连作;烤烟-玉米轮作(烤烟-玉米-烤烟);玉米-烤烟-烤烟轮作,3 次重复。小区面积 72 m²,小区内种烟 6 行,每行 21 株,行距×窝距为 110 cm×60 cm。试验于 2002 年开始,2007 年结束,共计 6 年 2 个轮作周期。

烟苗移栽前基施烟草专用肥(10-10-25)750 kg/hm²,烟苗移栽后第 9 天和第 19 天分别追施烟草专用肥(15-0-30)75 和 150 kg/hm²。栽后 40 d 左右打脚叶,50%的烟株中心花开放后打顶,采用化学抑芽剂抹杈,七月上旬开始采收,共 5 次,按当地工艺烘烤。玉米施肥和管理同当地大田。

1.2 采样与测定

分别于移栽前、旺长期、收获后在靠近植株根部 10 cm 处,采集 0—20 cm 的耕层土壤。土壤全氮、全磷、全钾、缓效钾、碱解氮、有效磷、速效钾、有机质和 pH 按常规方法^[9]。过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法测定,以 20 min 后每克土消耗的 0.1 mol/L 高锰酸钾的毫升数表示;脲酶用靛酚蓝比色法测定,以 24

h 后每克土壤的 NH₃-N 的毫克数表示;蔗糖酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,以 24 h 每克土壤的葡萄糖毫克数表示^[10]。

烟叶初烤后,按照国家 42 级烤烟分级标准^[11],分为上等、中等、下等三个大等级。其中,上等烟包括 C₁F、C₂F、C₃F、C₁L、C₂L、B₁F、B₂F、B₁L、B₁R、H₁F、X₁F;中等烟包括 C₃L、C₄L、C₄F、X₂F、X₃F、X₁L、X₂L、B₃F、B₄F、B₂L、B₃L、B₂R、B₃R、H₂F、X₂V、C₃V、B₂V、B₃V、S₁;下等烟包括 B₄L、X₃L、X₄L、X₄F、S₂、CX₁K、CX₂K、B₁K、B₂K、B₃K、GY₁、GY₂。分处理称重,计算产量和中上等烟比例。分处理取等级 C₂F 烟叶,测定化学成分,测定方法为:总氮用过氧化氢-硫酸消化法;总糖用蒽酮比色法;还原糖用沸水浸提—铜还原—直接滴定法;烟碱用紫外分光光度法^[12]。

本论文数据为 2007 年的试验结果,该年度三个处理皆种植烤烟。采用 Excel 和 DPS v3.01 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同植烟模式对烤烟产量和中上等烟比例的影响

图 1 可见,烤烟连作、烤烟-玉米轮作和玉米-烤烟-烤烟轮作的产量分别为 1611.2、2134.6 和 2196.6 kg/hm²,前者显著低于后两者;中上等烟比例连作为 72.01%,也显著低于烤烟-玉米轮作(84.45%)和玉米-烤烟-烤烟轮作(86.69%)。

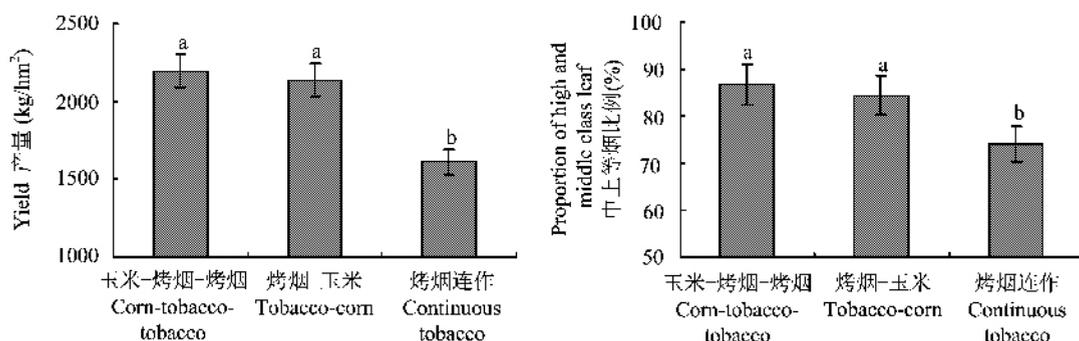


图 1 不同植烟模式对烤烟产量和中上等烟比例的影响

Fig.1 Effects of different tobacco cropping modal on yield and proportion of high and middle class leaf of flue-cured tobacco

2.2 不同植烟模式对烤烟烟叶化学成分的影响

连作处理,烟叶总氮、蛋白质和烟碱含量最高,烤烟-玉米轮作次之,玉米-烤烟-烤烟轮作最低。相反,连作烟叶中的总糖、还原糖含量、施木克值和糖

碱比最低,烤烟-玉米轮作次之,玉米-烤烟-烤烟轮作最高(表 1)。

施木克值是可溶性总糖和蛋白质含量的比值。卷烟产品中可溶性糖量随等级提高而增加,而蛋白

表 1 不同植烟模式对烤烟烟叶化学成分的影响

Table 1 Effects of different tobacco cropping models on chemical contents in flue-cured tobacco

处理 Treatment	总氮	蛋白质	烟碱	总糖	还原糖	施木克值	糖碱比
	Total N	Protein	Nicotine	Total sugar	Reducing sugar	Shumck value	Sug./Nic.
烤烟连作 Continuous tobacco	2.24 a	11.89 a	3.80 a	20.62 a	17.42 a	1.73 b	5.52 b
烤烟-玉米 Tobacco-corn rotation	2.12 ab	11.23 ab	3.49 a	23.47 a	20.12 a	2.09 ab	7.05 a
玉米-烤烟-烤烟 Corn-tobacco-tobacco	1.98 b	10.47 b	3.34 a	25.84 a	22.03 a	2.49 a	7.85 a

注 (Note): 同数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同 Values followed by different letters in same column means significant at 5% level, the same for the tables 2.

质量随等级提高而减少, 因此, 施木克值较大, 烟质较好。糖碱比是可溶性总糖与烟碱含量的比值, 用于反应烟叶的酸碱协调性。一般烟叶的糖碱比在 6~10 的范围内较佳。表 1 看出, 玉米-烤烟-烤烟轮作的施木克值和糖碱比分别为 2.49 和 7.85, 烤烟-玉米轮作为 2.09 和 7.05, 烤烟连作为 1.73 和 5.52, 轮作处理显著高于烤烟连作。可见, 烤烟连作后, 烟叶不仅产量和外观等级较低, 其化学品质也不好; 实施烤烟-玉米轮作和玉米-烤烟-烤烟轮作既有益于提高烤烟产量, 又能显著改善烤烟品质, 生产中可以考虑推广。

2.3 不同植烟模式对土壤 pH 和养分的影响

烤烟收获后, 连作土壤 pH 从 5.81 降至 5.23; 而烤烟-玉米和玉米-烤烟-烤烟轮作 pH 无显著变化 (表 2)。说明土壤长期连作烤烟之后, pH 缓冲能力降低。烤烟适宜生长的土壤 pH 范围在 5.5~6.5 之间^[13], 经过 6 年连作, 土壤 pH 已低于适宜范围。

土壤 pH 与土壤化学和生物化学反应, 以及微生物活动密切相关, 进而影响土壤养分的转化和生

物有效性^[14]。因此, 烤烟连作降低土壤 pH 缓冲能力, 不利于土壤养分供应和烟株对养分的吸收, 从而影响了其生长发育和产质量形成。

表 2 还看出, 无论是烤烟连作还是轮作, 栽前收后土壤有机质和全量养分含量无显著差异。但是, 无论是烤烟连作还是轮作, 土壤碱解氮含量均出现栽前~旺长期增加, 旺长期~收获后降低的趋势。两种轮作处理中, 烤烟各生育期土壤有效磷、钾无显著变化, 但在烤烟连作处理, 有效磷、钾在生育后期有所增加, 即: 有效磷从栽前的 13.33 mg/kg 增至收后的 17.54 mg/kg; 速效钾从栽前的 233.09 mg/kg 增至收后的 285.19 mg/kg。本试验烤烟的施肥量相同, 连作烤烟产量显著低于轮作, 因而其吸收磷、钾的量也少, 可能导致土壤有效磷, 速效钾累积, 造成土壤养分失衡。

土壤养分失衡是导致连作障碍的重要因素, 合理轮作是缓解养分失衡的有效手段。作物不同, 吸收营养物质的种类和数量就不同, 收获后土壤中残留的有效养分也不同。烤烟生长早期需要大量氮素

表 2 不同植烟模式对土壤养分的影响

Table 2 Effects of different tobacco cropping models on soil nutrients

处理 Treatment	时期 Periods	pH	有机质 OM	全氮	全磷	全钾	碱解氮	有效磷	速效钾
				Total N TN	Total P TP	Total K TK	Avail. N AN	Avail. P AP	Avail. K AK
				(g/kg)			(mg/kg)		
烤烟连作 Continuous tobacco	栽烟前 Pre-planting	5.81 a	28.35 a	1.72 a	0.46 ab	19.22 a	157.20 ab	13.33 b	233.09 b
	旺长期 Vigorous growth	5.50 ab	27.15 a	1.66 a	0.47 ab	16.87 a	162.17 a	16.68 ab	244.22 ab
	收获后 Post harvest	5.23 b	28.59 a	1.67 a	0.50 a	17.31 a	131.48 c	17.54 a	285.19 a
烤烟-玉米 Tobacco-corn rotation	栽烟前 Pre-planting	5.70 a	28.64 a	1.69 a	0.48 ab	19.17 a	147.86 abc	15.34 ab	232.47 b
	旺长期 Vigorous growth	5.95 a	28.23 a	1.67 a	0.43 b	17.65 a	167.38 a	13.20 b	236.14 b
	收获后 Post harvest	5.63 a	28.40 a	1.64 a	0.50 a	18.01 a	136.28 bc	15.29 ab	216.39 b
玉米-烤烟-烤烟 Corn-tobacco-tobacco	栽烟前 Pre-planting	5.74 a	28.28 a	1.59 a	0.42 b	17.18 a	146.37 abc	13.37 b	229.98 b
	旺长期 Vigorous growth	5.83 a	28.05 a	1.71 a	0.44 b	17.52 a	156.68 ab	14.29 ab	256.28 ab
	收获后 Post harvest	5.65 a	29.22 a	1.68 a	0.47 ab	17.68 a	139.07 bc	14.78 ab	214.15 b

供应,打顶后需氮量减少,过高的氮肥供应量会延长氮代谢过程,使营养生长期拖长,叶片落黄延迟,烟叶烟碱含量过高、还原糖及糖碱比低,降低烟叶品质^[15]。因此,选择与烤烟的轮作作物应是需氮量较多,氮素残留少,而消耗磷、钾较少,且与烤烟没有同源病害的旱作物。

2.4 不同植烟模式对土壤酶活性的影响

图2可见,无论是烤烟连作还是轮作,过氧化氢酶和脲酶活性都出现栽烟前~旺长期增强,旺长期

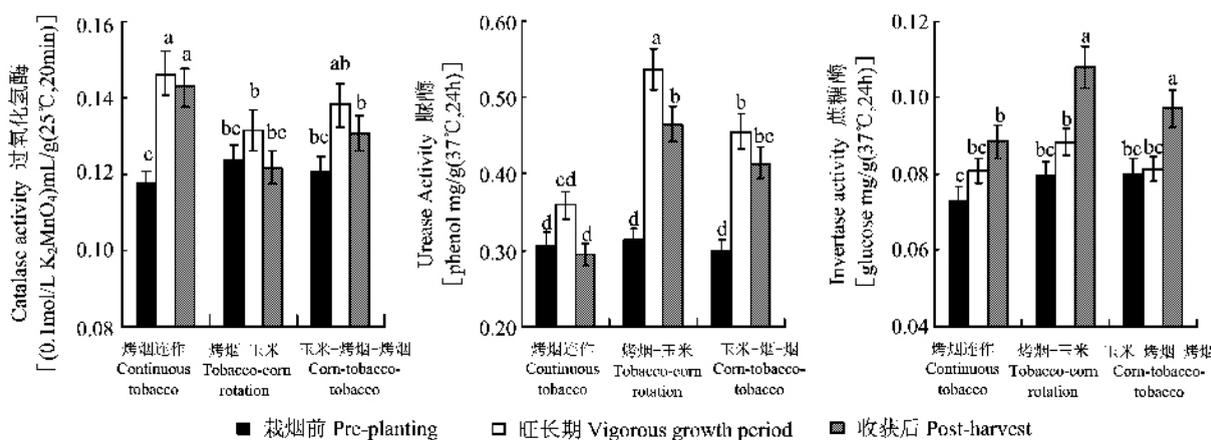


图2 不同植烟模式对土壤酶活性的影响

Fig.2 Effects of different tobacco cropping modalities on activities of soil enzymes

连作土壤的过氧化氢酶活性较高说明其土壤中氧化作用较强,根际微生物代谢活跃,过氧化氢分解较快,对根系的毒害作用较弱,这在一定程度上可以缓解烤烟连作障碍^[16]。脲酶是土壤中唯一对尿素水解起重要作用的酶类,脲酶的酶促反应产物氨是烤烟重要的氮素来源,其活性可表示烤烟土壤中氮素的供给状况^[17]。在烤烟连作的土壤中,脲酶活性降低,说明土壤中的氮素转化强度有所变化,改变了土壤对烟苗氮素的供应状况,可能不利于烟株吸收氮素,影响烤烟产量和质量。蔗糖酶是参与土壤有机碳循环的酶,对增加土壤中易溶性营养物质起着重要作用。在烤烟连作的土壤中,蔗糖酶活性较低,表明土壤有机碳分解与合成可能也发生了障碍。

土壤酶主要来自微生物细胞和动植物残体,土壤酶的活性与土壤健康及土壤养分转化等有很大的关系,其活性大小可以敏感地反映出土壤中生化反应的方向和强度,是土壤肥力和生产力的重要指标^[18]。据报道,土壤pH与土壤脲酶、蔗糖酶的活性呈显著正相关^[14];褐潮土长期定位试验表明,有机质、速效磷钾等养分的高低与土壤酶活性呈正相

~收获后减弱的趋势。其中,收获后连作土壤过氧化氢酶活性最高,分别比玉米-烤烟-烤烟轮作和烤烟-玉米轮作高出9.08%、17.42%;但土壤脲酶活性最低,显著低于两轮作处理,分别比玉米-烤烟-烤烟轮作和烤烟-玉米轮作下降36.81%、29.04%。在各处理中,土壤蔗糖酶活性从栽烟前到收获后不断增强,收获后连作土壤蔗糖酶活性最低,分别比两种轮作处理低17.89%和8.94%。

关^[19];据万忠梅、吴景贵^[20]研究看出,土壤微生物、根系分泌物和土壤酸碱度等也是酶活性变化的影响因素。在烤烟连作的土壤中,蔗糖酶和脲酶活性下降的原因可能是烤烟根系分泌物积累,改变了微生物的种群结构,细菌减少而真菌增加,从而抑制了它们的活性。此外,烤烟连作使土壤pH的缓冲性降低,也可能进一步降低它们的活性,进而影响它们参与的生化反应^[21]。相反,土壤的过氧化氢酶活性可能受根系分泌物和土壤pH影响较小,其原因有待进一步研究。连作作物产生的自毒物质也抑制了自身的生长^[22-23]。可见连作障碍的产生机理十分复杂,后续的研究应该从更广阔的角度,综合性地探索其发生机理,才能为贵州黄壤烟区缓解连作障碍找到合适的植烟模式。

3 结论

烤烟连作显著降低烟叶的产量和品质;相反,实施烤烟-玉米轮作和玉米-烤烟-烤烟轮作既有益于提高烤烟产量,又能显著改善烤烟品质。

在烤烟连作的土壤中,pH降低,有效磷、速效钾

累积,过氧化氢酶活性提高,脲酶活性和蔗糖酶活性受到抑制;相反,实施烤烟-玉米轮作和玉米-烤烟-烤烟轮作,土壤pH、有效磷、速效钾变化不大。在烤烟生长过程中,土壤酶的变化趋势连作与轮作相似。

综上所述,烤烟-玉米轮作和玉米-烤烟-烤烟轮作烟叶的产量、品质较好,烟叶化学成分协调,也较好地保持了土壤农化和酶学性质,值得推广应用。

参考文献:

- [1] 刘方,何腾兵,刘元生,等. 长期连作黄壤烟地养分变化及其施肥效应分析[J]. 烟草科技, 2002(6): 30-33.
Liu F, He T B, Liu Y S *et al.* Nutrient changes of yellow soil successively planted flue-cured tobacco and its fertilization effect[J]. Tobacco Sci. Tech., 2002, (6): 30-33.
- [2] 胡汝晓,赵松义,谭周进,等. 烟草连作对稻田土壤微生物及酶的影响[J]. 核农学报, 2007, 21(5): 494-497.
Hu R X, Zhao S Y, Tan Z J *et al.* The effect of continuous tobacco cropping on the microbes and enzyme activities in rice soil[J]. J. Nucl. Agric. Sci., 2007, 21(5): 494-497.
- [3] Hati K M, Swarup A, Dwivedi A K *et al.* Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring[J]. Agric., Ecosys. Environ., 2007, 22(1): 127-134.
- [4] 晋艳,杨宇虹,段玉琪,等. 烤烟轮作、连作对烟叶产量质量的影响[J]. 西南农业学报, 2004, 17(1): 267-271.
Jin Y, Yang Y H, Duan Y Q *et al.* Effect of rotational cropping and continuous cropping on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Southwest China J. Agric. Sci., 2004, 17(1): 267-271.
- [5] 王连君. 烤烟连作对土壤养分的影响[J]. 烟草科技, 2004, (9): 40-42.
Wang L J. Effect of succession cropping of flue-cured tobacco on soil nutrients[J]. Tobacco Sci. Tech., 2004, (9): 40-42.
- [6] 张长华,王智明,陈叶君. 连作对烤烟生长及土壤氮、磷、钾养分的影响[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(4): 62-65.
Zhang C H, Wang Z M, Chen Y J. Effect of continuous cropping on tobacco growth and soil nutrients[J]. Guizhou Agric. Sci., 2007, 35(4): 62-65.
- [7] 刘方,卜通达,何腾兵,等. 连作烤烟土壤养分变化分析[J]. 山地农业生物学报, 1997, 16(2): 1-4.
Liu F, Pu D T, He T B *et al.* Analysis of soil nutrients in successive planting of flue-cured tobacco[J]. J. Mountain Agric. Biol., 1997, 16(2): 1-4.
- [8] 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.
Liu J X. Correlative research on the activity of enzyme and soil nutrient in the different types of farmland[J]. Chin. J. Soil Sci., 2004, 35(4): 523-525.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil agricultural analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [10] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1996.
Guang S Y. Soil enzyme and methods for studying soil enzyme[M]. Beijing: Agricultural Press, 1996.
- [11] GB/T18771.1 烟草栽培、调制与分级[S].
GB/T18771.1, Tobacco cultivation, curing and classification[S].
- [12] 肖协忠. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
Xiao X Z. Tobacco chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1997.
- [13] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005. 305.
Tobacco Research Institute, CAAS. China tobacco cultivation[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005. 305.
- [14] 姜翼来,王玲莉,胡克伟. 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, Wang L L, Hu K W. Changes of pH and enzyme activities in soils for different tobacco cropping years[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(3): 531-534.
- [15] 刘贵山,李章海,姚军,等. 不同氮素水平对烤烟生长发育的影响[J]. 烟草科技, 1997(2): 37-39.
Liu G S, Li Z H, Yao J *et al.* Effects of different nitrogen levels on the growth and development of flue-cured tobacco[J]. Tobacco Sci. Tech., 1997, (2): 37-39.
- [16] 张翼,张长华,王振民. 连作对烤烟生长和烟地土壤酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 33(12): 211-215.
Zhang Y, Zhang C H, Wang Z M. The effects on the yields of flue-cured tobacco and activities of main soil enzymes[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2007, 33(12): 211-215.
- [17] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 33(1): 176-182.
Liu E K, Zhao B Q, Li X Y *et al.* Biological properties and enzymatic activity of arable soils affected by long-term different fertilization system[J]. J. Plant Ecol., 2008, 33(1): 176-182.
- [18] 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 *et al.* Research on relationship between soil enzyme activities and soil fertility[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(3): 277-280.
- [19] 孙瑞莲,徐晶,张夫道. 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, Xu J, Zhang F D. 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] 万忠梅,吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展[J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(6): 87-92.
Wan Z M, Wu J G. Study progress of factors affecting soil enzyme activity[J]. J. Northwest Sci-Tech Univ. Agric. For., 2005, 33(6): 87-92.
- [21] Frankenberger J R, Johanson J B, Nelson C O. Urease activity in sewage sludge amended soils[J]. Soil Biol Biochem., 1983, 15: 543-549.
- [22] 吕卫光,余廷国,诸海涛,等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 119-121.
Lü W G, Yu T Y, Zhu H T *et al.* Effects of cucumber continuous cropping on the soil physico-chemical characters and biological activities[J]. Chin. J. Eco-Agric., 2006, 14(2): 119-121.
- [23] Asao T, hasegawa K, Sueda Y *et al.* Auto toxicity of root exudates from taro[J]. Sci. Hort. 2003, 97(3-4): 389-396.