

桑树/大豆间作对植物生长及根际土壤微生物数量和酶活性的影响*

胡举伟¹ 朱文旭² 张会慧¹ 许楠¹ 李鑫¹ 岳冰冰¹ 孙广玉^{1**}

(¹东北林业大学生命科学学院, 哈尔滨 150040; ²中国林业科学研究院林业研究所林木遗传育种国家重点实验室, 北京 100091)

摘要 利用根系分隔试验的方法, 研究了桑树/大豆间作体系中植株生长、根际土壤酶和土壤微生物的变化。结果表明: 根系不分隔处理的桑树和大豆的株高、叶片数、根长和根冠比等生长指标均高于塑料膜分隔和尼龙网分隔处理, 大豆有效根瘤数较多。不分隔、尼龙网分隔处理的桑树和大豆的根际土壤磷含量比塑料膜分隔分别高 10.3%、11.1% 和 5.1%、4.6%。不分隔和尼龙网分隔处理的桑树和大豆根际微生物数量、微生物多样性和土壤酶活性均高于塑料膜分隔处理。表明桑树和大豆间作具有明显的种间促进效应。

关键词 桑树/大豆间作 根系分隔 土壤酶活 土壤微生物

文章编号 1001-9332(2013)05-1423-05 **中图分类号** S344.2 **文献标识码** A

Effects of mulberry /soybean intercropping on the plant growth and rhizosphere soil microbial number and enzyme activities. HU Ju-wei¹, ZHU Wen-xu², ZHANG Hui-hui¹, XU Nan¹, LI Xin¹, YUE Bing-bing¹, SUN Guang-yu¹ (¹College of Life Science, Northeast Forest University, Harbin 150040, China; ²State Key Laboratory of Forest Genetics and Tree Breeding, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2013, 24(5): 1423–1427.

Abstract: A root separation experiment was conducted to investigate the plant growth and rhizosphere soil microbes and enzyme activities in a mulberry/soybean intercropping system. As compared with those in plastic barrier and nylon mesh barrier treatments, the plant height, leaf number, root length, root nodule number, and root/shoot ratio of mulberry and soybean in non-barrier treatment were significantly higher, and the soybean's effective nodule number was larger. The available phosphorous content in the rhizosphere soils of mulberry and soybean in no barrier and nylon mesh barrier treatments was increased by 10.3% and 11.1%, and 5.1% and 4.6%, respectively, as compared with that in plastic barrier treatment. The microbial number, microbial diversity, and enzyme activities in the rhizosphere soils of mulberry and soybean were higher in the treatments of no barrier and nylon mesh barrier than in the treatment of plastic barrier. All the results indicated that there was an obvious interspecific synergistic effect between mulberry and soybean in the mulberry/soybean intercropping system.

Key words: intercropping of mulberry and soybean; root separation; soil enzyme; soil microbe.

农林复合经营是在一个土地利用单元中人为地把木本植物与其他栽培植物(农作物、药用植物、经济植物和真菌等)和动物在时空上有机结合起来的土地利用和经营系统^[1], 不但能提高土地利用率、

高产稳产、防治病虫害和杂草, 而且能改善生态环境、维持生态平衡^[2]。农林复合模式多种多样。目前已对植物群体组合的时空搭配、光温和土壤资源利用、生态适应性、土壤肥力和病虫草害等多方面进行了大量基础性研究^[3], 取得了较有成效的研究结果, 充实了农林复合经营研究理论, 为农林复合经营的广泛应用奠定了坚实基础。

在黑龙江省西部干旱半干旱地区, 农林复合经

*“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD08B02-3)、黑龙江省重大科技攻关项目(GA09B201-02)和东北林业大学学术名师支持计划项目资助。

**通讯作者. E-mail: sungy@vip.sina.com

2012-06-27 收稿, 2013-02-18 接受。

营模式多采用桑树与大豆、红小豆、绿豆、甜菜、谷子和中草药等间作或混种,不但改善了脆弱生态区的生态环境,而且具有较高的经济效益。笔者前期研究表明,桑树/大豆在间作共生期间,其地上部的生长特性和光合能力具有明显的种间促进作用^[4]。二者间作能缓解桑树光合午休,增加生物产量^[5]。为了进一步阐述桑树/大豆的增产效应及其种间促进机理,本研究利用根系分隔法,从根际土壤酶活性和微生物种群等方面研究桑树/大豆间作的种间促进效应,以期为明确桑树/大豆间作的农林复合模式的结构和功能,以及合理经营提供技术参数。

1 材料与方法

1.1 材料及处理方法

供试桑树(*Morus alba*)品种为青龙桑(种子由黑龙江省蚕业研究所提供),大豆(*Glycine max*)品种为“黑农41”(种子由黑龙江省农业科学院大豆研究所提供)。供试土壤为草炭土。2010年4月初培育桑树幼苗,培养基质采用充分混匀的1:1(V/V)草炭土与石英砂,混合后的培养基质中含有:速效氮141.3 mg·kg⁻¹、速效磷43.6 mg·kg⁻¹、速效钾191.4 mg·kg⁻¹。2010年8月待桑树长到10 cm高时,选取长势一致的苗木,移栽到培养室内,每室装土2 kg,种植2株植株。待桑树成活后,在另一室内分别播种预先催芽的大豆种子并覆土,每室种植4粒,大豆出苗后,每室保留2株长势均匀、健壮的植株。作物生长期供水充足,以满足其对水分的需求。

按照Li等^[6]的方法进行3种根系分隔方式处理:1)塑料膜分隔,简称膜隔(plastic barrier,PB);2)尼龙网分隔,简称网隔(mesh barrier,MB);3)不分隔,简称无隔(no barrier,NB)。每处理3次重复。具体方法:将体积为4 L的营养盆从中间切割开,再用聚氯乙烯粘合剂将尼龙网或塑料膜夹在中间,并用密封胶涂抹使其不漏水,使营养盆被分隔为两室。中间用塑料膜隔开时,两种植物根系、养分和水分不能穿过,植物种间的养分竞争作用和促进作用均被消除;中间用37.5 μm尼龙网分隔时,两种植物根系被隔开,水分和养分均能通过;当根系不分隔时,两种植物的根系可相互作用,通过无分隔间作和尼龙网分隔间作的比较,说明间作系统中两种植物根系接触效应的大小;通过尼龙网分隔间作和塑料膜分隔间作的比较,说明两种植物根系的非接触效应,即根区物质交流的效应大小。为排除外源养分的干扰,

各处理均不施肥。

1.2 测定方法

2010年9月中旬收获各处理的植株。此时大豆处于开花期,将植株连同土壤从盆中取出,用取样刀剥去外层土壤后,轻轻剥下粘附在根系附近的土壤,然后将土壤混匀,并装入灭菌牛皮纸袋内带回实验室。根据测定内容的要求将土壤干样过不同孔径的筛。分别测定植株的株高、根长、叶片数量、植株的鲜质量和干质量,每处理3次重复,数据取平均值。

细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基培养法、真菌采用马丁氏培养基培养法、放线菌采用改良的高氏一号培养基培养法测定;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法(0.1 mol·L⁻¹ KMnO₄·g⁻¹)、脲酶采用苯酚钠次氯酸钠显色法、酸性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定^[7]。土壤有效磷采用0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃浸提-钼锑抗分光光度法。大豆植株取回后,将大豆根系放在100目的筛中流水冲洗,用镊子小心摘取有效根瘤,统计根瘤数。

采用Shannon多样性指数(H')计算微生物多样性指数(DI)^[8]:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

式中:P_i为第*i*个物种在全部样品中的比例,P_i=*n_i*/*N*,*n_i*为第*i*个物种的个体数,*N*为物种数。每处理3次重复,数据取平均值。

1.3 数据处理

运用Excel和SPSS软件对试验数据进行统计分析,图表中数据为3次重复的平均值±标准差,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 根系分隔方式对植株生长的影响

由表1可以看出,桑树和大豆共生(间作)期间,根系不分隔处理的桑树叶片的干质量、单株叶片数、株高、根系长度和根冠比等指标分别比塑料膜分隔处理增加了13.8%、6.4%、11.1%、25.3%和12.8%,其中叶片干质量、株高、根长、根冠比显著增加;大豆植株的干质量、根瘤数、株高、根系长度和根冠比等指标分别比塑料膜分隔处理增加了12.7%、93%、5.2%、14.3%和8.7%,均达到差异显著水平。而尼龙网分隔处理的结果介于根系不分隔和塑料膜分隔处理之间。说明桑树和大豆间作在生长上表现出明显的种间促进作用。

表1 不同处理桑树和大豆的生长指标

Table 1 Plant growth indices of mulberry in different treatments

作物 Crop	处理 Treatment	叶片干质量 Leaf dry mass (g)	植株干质量 Plant dry mass (g)	单株叶数 per plant	根瘤数 Root nodule number	株高 Plant height (cm)	根长 Root length (cm)	根冠比 Root/shoot ratio
A	I	1.35±0.06b		15.7±0.6a		30.4±0.8b	11.6±0.9b	0.38±0.03b
	II	1.43±0.08ab		16.0±0.6a		31.4±0.9b	13.4±0.6ab	0.43±0.02a
	III	1.54±0.08a		16.7±0.6a		33.7±1.5a	14.5±0.7a	0.43±0.00a
B	I		2.71±0.07b		12.5±1.3c	23.9±0.3b	11.2±0.3b	0.47±0.01b
	II		2.98±0.10a		20.7±3.2b	25.0±0.5a	12.3±0.7a	0.49±0.02ab
	III		3.05±0.11a		24.1±3.1a	25.2±0.5a	12.8±0.4a	0.50±0.01a

A:桑树 Mulberry; B:大豆 Soybean. I:塑料膜分隔处理 Plastic barrier treatment; II:尼龙网分隔处理 Nylon mesh barrier treatment; III:不分隔处理 Non-barrier treatment. 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$) Different letters meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

2.2 根系分隔方式对根际土壤有效磷含量的影响

桑树/大豆间作使土壤中有效养分提高。由图1可以看出,桑树和大豆共生期间,不分隔和尼龙网分隔处理的桑树根际土壤有效磷含量比塑料膜分隔处理分别增加了10.3%和11.1%;不分隔处理的大豆根际土壤有效磷含量比塑料膜分隔处理增加5.1%,尼龙网分隔处理的结果介于根系不分隔和塑料膜分隔处理之间,但均未达到差异显著水平。这说明间作有助于提高桑树和大豆根际的有效磷含量,但作用并不显著。而在塑料膜分隔、尼龙网分隔和不分隔处理中,大豆根际的土壤速效磷含量分别比桑树根际土壤高42.6%、34.3%、35.9%,均达到差异显著水平。这主要是由于大豆根际土壤酸性磷酸酶活性高于桑树。

2.3 根系分隔方式对根际土壤微生物数量和多样性的影响

由表2可以看出,桑树和大豆根际土壤的细菌、真菌、放线菌数量变化趋势均表现为不分隔>尼龙

网分隔>塑料膜分隔处理。除大豆不分隔处理中根际放线菌数量显著高于尼龙网分隔处理外,不分隔与尼龙网分隔处理之间差异不显著,而尼龙网分隔与塑料膜分隔处理之间差异均未达到显著水平。其中,不分隔处理的桑树和大豆土壤中的细菌、放线菌、真菌数量分别比塑料膜分隔处理增加26.8%、42.3%、59.1%和13.9%、86.5%、30.6%,而尼龙网分隔处理的结果介于根系不分隔和塑料膜分隔处理之间。说明间作有利于提高桑树和大豆根际的微生物数量。3种分隔处理中,间作期间大豆根际土壤的细菌、真菌、放线菌数量都高于桑树根际土壤。

桑树和大豆根际土壤微生物总数变化趋势相同,表现为不分隔>尼龙网分隔>塑料膜分隔处理,不分隔处理桑树和大豆分别比尼龙网分隔、塑料膜分隔处理高5.9%、26.9%和12.0%、14.5%。而在塑料膜分隔、尼龙网分隔和不分隔处理中,间作期间,大豆根际土壤微生物总数分别比桑树根际土壤高42.1%、21.3%和28.2%。间作(根系不分隔)提高了桑树根际和大豆根际放线菌的比例。

多样性指数(DI)反映了群落所含物种的多寡(物种丰富度),微生物多样性的增加有利于提高系统稳定性。不同处理间微生物多样性的差异与土壤微生物总数相似。不分隔处理桑树和大豆的DI比塑料膜分隔处理分别高10.7%和45.1%,而尼龙网分隔处理的结果介于根系不分隔和塑料膜分隔处理之间。这表明间作提高了桑树和大豆的根际微生物群体的多样性,而且对大豆根际微生物多样性的影响更大。

2.4 不同根系分隔方式对根际土壤酶活性的影响

由表3可以看出,桑树和大豆共生期间,根系不分隔处理的桑树根际土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶的活性分别比塑料膜分隔处理提高

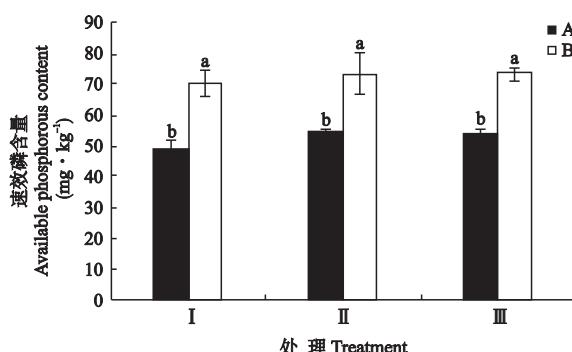


图1 根系分隔方式对根际土壤速效磷含量的影响

Fig. 1 Effects of root separation on available phosphorous content in rhizosphere soil.

A:桑树 Mulberry; B:大豆 Soybean. I:塑料膜分隔处理 Plastic barrier treatment; II:尼龙网分隔处理 Nylon mesh barrier treatment; III:不分隔处理 Non-barrier treatment. 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$) Different letters meant significant difference at 0.05 level.

表2 不同处理土壤微生物种群结构和多样性指数

Table 2 Soil microbial population structure and diversity index under different treatments

作物 Crop	处理 Treatment	总数 Total (10^6 CFU $\cdot g^{-1}$ dry soil)	细菌 Bacteria		放线菌 Fungi		真菌 Actinomycetes		多样性指数 DI
			10^6 CFU $\cdot g^{-1}$ dry soil	%	10^4 CFU $\cdot g^{-1}$ dry soil	%	10^3 CFU $\cdot g^{-1}$ dry soil	%	
A	I	23.92	23.67±3.79a	98.9	23.67±4.16b	1.0	14.67±2.52b	0.06	0.061
	II	28.66	28.33±5.03a	98.8	30.67±5.51ab	1.1	19.67±3.51ab	0.07	0.065
	III	30.36	30.00±4.58a	98.8	33.67±4.51a	1.1	23.33±3.06a	0.08	0.067
B	I	33.99	33.67±4.04a	99.0	29.67±4.04a	0.9	24.00±4.36a	0.07	0.056
	II	34.76	34.33±7.02a	98.7	39.33±3.51b	1.1	28.67±3.21a	0.08	0.069
	III	38.92	38.33±6.11a	98.4	55.33±10.07a	1.4	31.33±3.79a	0.08	0.081

表3 不同处理的根际土壤酶活性

Table 3 Soil enzyme activity of rhizosphere in different treatments

作物 Crop	处理 Treatment	蔗糖酶	酸性磷酸酶	过氧化氢酶	脲酶
		Invertase ($mg \cdot g^{-1}$)	Phosphates ($mg \cdot g^{-1}$)	Catalase ($0.1 mol \cdot L^{-1}$ $KMnO_4 \cdot g^{-1}$)	Urease ($mg \cdot 100 g^{-1} \cdot d^{-1}$)
A	I	6.88±0.74b	0.58±0.09a	0.80±0.01b	32.25±2.56b
	II	6.52±2.13b	0.58±0.04a	0.84±0.12ab	36.18±2.30b
	III	11.88±1.51a	0.63±0.01a	0.98±0.04a	43.77±3.37a
B	I	10.20±1.58c	0.64±0.02b	0.92±0.13b	44.11±2.49c
	II	16.16±1.36b	0.71±0.01ab	1.05±0.06ab	51.20±1.63b
	III	19.58±1.89a	0.84±0.24a	1.15±0.05a	65.31±3.14a

72.6%、9.3%、22.6% 和 35.7%，其中蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶的活性显著提高；根系不分隔处理的大豆根际土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶活性分别比塑料膜分隔处理提高 92%、31.3%、24.9% 和 48.1%，均达到差异显著水平。除塑料膜分隔的蔗糖酶活性高于尼龙网分隔处理外，其他尼龙网分隔处理的结果介于根系不分隔和塑料膜分隔处理之间。表明桑树和大豆间作有利于提高桑树、大豆根际的土壤酶活性和养分活化效率。而在塑料膜分隔、尼龙网分隔和不分隔处理中，大豆根际土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶的活性均高于桑树。

3 讨论

3.1 桑树/大豆间作的生长优势

在农林复合间作系统中，种间相互作用主要包括相互促进和竞争，两种作用相伴存在。当竞争作用大于促进作用时，表现为间作劣势；当竞争作用小于促进作用时，则表现为间作优势^[9]。豆科植物和非豆科植物之间的间作多表现为种间促进作用大于种间竞争作用。研究表明，茶树和大豆间作能有效地促进茶树生长，增加茶叶和大豆产量^[10]；而白桑和花

生间作表现出较高的生产力，不但提高产量而且可获得较好的经济效益^[11]。在本试验中，根系不分隔处理的桑树和大豆的干质量、叶片数、株高、根长、根冠比、土壤有效磷含量均高于尼龙网根系分隔和塑料膜根系分隔处理，说明桑树和大豆间作具有明显的种间促进作用。这与苗锐等^[12]的研究结果相似。桑树和大豆间作，促进了大豆根瘤的增加，其中根系不分隔处理的根瘤数分别比尼龙网分隔和塑料膜分隔处理增加了 92.8% 和 16.4%，使大豆的固氮能力增强，从而促进了间作体系中生物量的增加。这与李玉英等^[13]的研究结果类似。

3.2 桑树/大豆间作对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响

土壤微生物和土壤酶是衡量土壤肥力和养分转化的重要指标^[14]。本试验中，间作土壤根际细菌、真菌、放线菌数量以及根际微生物总量和微生物多样性均表现为不分隔处理>尼龙网分隔处理>塑料膜分隔处理，说明桑树和大豆间作增加了根际土壤微生物数量，改善了根际微生物多样性，为根际土壤有效养分的释放提供了基础条件。在农作物间作体系中，小麦-棉花间作^[15]、玉米-花生间作^[16]也得到了类似结果，而且玉米-蚕豆、小麦-蚕豆和小麦-玉米间作不仅能够提高作物根际细菌群落多样性，同时改变了根际细菌群落结构组成^[17]。进一步分析桑树和大豆间作使根际土壤微生物增加的原因，可能是桑树和大豆的根系分泌物的交流。根系分泌物是根际微生物的主要碳源和能源，其种类和数量决定了根际微生物的种类和数量，影响着微生物的代谢^[18]，从而有助于提高桑树和大豆根际各种微生物数量和微生物多样性^[19]。同时，桑树和大豆间作期间，不同根系分隔处理对桑树和大豆根际土壤蔗糖酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶活性的影响均表现为不分隔处理>尼龙网分隔处理>塑料膜分隔处理，说明桑

树和大豆间作有助于提高土壤酶活性。这在农作物间作的研究中得到了证实。例如,小麦-大豆间套作能提高土壤中磷酸酶活性^[20],麦-棉套作能显著提高土壤脲酶、蔗糖酶和蛋白酶的活性^[21]。土壤酶活性的提高能改善土壤养分状况,提高植物共生期间的养分转化,促进植物对有效养分的吸收,从而保证了间作期间的土壤养分供应。

综上所述,桑树和大豆间作具有明显的种间促进作用,通过土壤微生物种类和数量的增加,土壤酶活性提高,有效改善了土壤养分条件,从而促进了地上部植株的生长和叶片数的增加,以及根系的生长和土壤的供氮能力。

参考文献

- [1] Looy TV, Carrero GO, Mathijs E, et al. Underutilized agroforestry food products in Amazonas (Venezuela): A market chain analysis. *Agroforestry Systems*, 2008, **74**: 127–141
- [2] Zhu YY, Chen HR, Fan JH, et al. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 2000, **406**: 718–722
- [3] Zhang F-Y (张凤云), Wu P-T (吴普特), Zhao X-N (赵西宁), et al. Water saving mechanisms of intercropping system in improving cropland water use efficiency. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2012, **23**(5): 1400–1406 (in Chinese)
- [4] Zheng X-Y (郑晓媛), Zhao L (赵莉), Xu N (许楠), et al. Interspecific interaction of below-ground and above-ground indices in mulberry-soybean intercropping system. *Soils* (土壤), 2011, **43**(3): 493–497 (in Chinese)
- [5] Zhang H-H (张会慧), Zhao L (赵莉), Xu N (许楠), et al. Diurnal variation of photosynthesis in leaves of soybean and mulberry in intercropping mode. *Non-wood Forest Research* (经济林研究), 2011, **29**(1): 21–26 (in Chinese)
- [6] Li SM, Li L, Zhang FS, et al. Acid phosphatase role in chickpea/maize intercropping. *Annals of Botany*, 2004, **94**: 297–303
- [7] Zhou L-K (周礼恺). Soil Enzymes. Beijing: Science Press, 1987 (in Chinese)
- [8] Magurran AE. Ecological Diversity and Its Measurement. New Jersey: Princeton University Press, 1988
- [9] Vandermeer J. The Ecology of Intercropping. Cambridge: Cambridge University Press, 1989
- [10] Li J-L (黎健龙), Tu P-F (涂攀峰), Chen N (陈娜), et al. Effects of tea intercropping with soybean. *Scientia Agriculutra Sinica* (中国农业科学), 2008, **41**(7): 2040–2047 (in Chinese)
- [11] Fang L-B (方路斌), Li Y-L (李玉灵), Huang D-Z (黄大庄), et al. Biomass and nutrient accumulation in the *Morus alba* and peanut intercropping ecological system in different habitats. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2008, **44**(1): 13–18 (in Chinese)
- [12] Miao R (苗锐), Zhang F-S (张福锁), Li L (李隆). Effects of root barriers on nodulation of faba bean in maize/faba bean, wheat/faba bean and barley/faba bean intercropping systems. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学报), 2009, **44**(2): 197–201 (in Chinese)
- [13] Li Y-Y (李玉英), Sun J-H (孙建好), Li C-J (李春杰), et al. Effects of interspecific interactions and nitrogen fertilization rates on the agronomic and nodulation characteristics of intercropped faba bean. *Scientia Agriculutra Sinica* (中国农业科学), 2009, **42**(10): 3467–3474 (in Chinese)
- [14] Xiao YB, Li L, Zhang FS. Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and faba bean using direct and indirect ¹⁵N techniques. *Plant and Soil*, 2004, **262**: 45–54
- [15] Zhao Q-L (赵庆龙), Song X-L (宋宪亮), Sun X-Z (孙学振), et al. Studies on soil microorganism quantities and soil enzyme activities in the garlic-cotton and wheat-cotton intercropping systems. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2011, **17**(6): 1474–1480 (in Chinese)
- [16] Zhang J-E (章家恩), Gao A-X (高爱霞), Xu H-Q (许华勤), et al. Effect of maize/peanut intercropping on rhizosphere soil microbes and nutrient contents. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(7): 1597–1602 (in Chinese)
- [17] Song Y-N (宋亚娜), Petra M, Zhang F-S (张福锁), et al. Effect of intercropping on bacterial community composition in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(7): 2268–2274 (in Chinese)
- [18] Liu F (刘峰), Wen X-S (温学森). Progress in relationship between root exudates and rhizospheric microorganism. *Food and Drug* (食品与药品), 2006, **9**(10): 37–40 (in Chinese)
- [19] Zhang Y (张昱), Cheng Z-H (程智慧), Xu Q (徐强), et al. Analysis of soil microorganism and nutrients in corn/garlic sprouts Intercropping. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2007, **38**(6): 1136–1140 (in Chinese)
- [20] Zhang E-H (张恩和), Huang G-B (黄高宝), Huang P (黄鹏). The effects of phosphorus application levels on the root growth and rhizosphere with intercropping system of spring wheat and soybean. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报) 1999, **8**(3): 35–38 (in Chinese)
- [21] Meng Y-L (孟亚利), Wang L-G (王立国), Zhou Z-G (周治国). Effect of the composite root population of wheat-cotton double cropping system on soil enzyme activity and soil nutrient content at the cotton rhizosphere and non-rhizosphere zones. *Scientia Agriculutra Sinica* (中国农业科学), 2005, **38**(5): 904–910 (in Chinese)

作者简介 胡举伟,男,1988年生,硕士研究生。主要从事植物营养生理研究。E-mail: hujuwei1988@yahoo.cn

责任编辑 李凤琴