

# 套作棉根际与非根际土壤酶活性和养分的变化\*

孟亚利<sup>1</sup> 王立国<sup>1</sup> 周治国<sup>1\*\*</sup> 王 瑛<sup>1</sup> 张立桢<sup>1,2</sup> 卞海云<sup>1</sup> 张思平<sup>2</sup> 陈兵林<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 南京农业大学农业部作物生长调控重点开放试验室, 南京 210095; <sup>2</sup> 中国农业科学院棉花研究所, 安阳 455112)

**【摘要】** 在棉麦两熟双高产条件下研究了棉花根际与非根际土壤酶活性和养分含量的变化. 结果表明, 套作棉土壤脲酶、蔗糖酶、蛋白酶及过氧化氢酶活性随生育进程的变化趋势与单作棉表现一致, 但整个生育期套作棉根际与非根际土壤各种酶活性均明显高于单作棉. 套作棉根际与非根际土壤养分含量在麦棉共生期低于单作棉或差异较小, 而在麦收后则显著高于单作棉. 套作棉土壤养分含量随生育进程的变化趋势与单作棉大体相同, 但一些养分的吸收高峰晚于单作棉. 无论套作棉还是单作棉, 根际土壤酶活性和养分含量高于非根际. 土壤各养分含量与土壤脲酶、蔗糖酶和蛋白酶活性呈显著 ( $P = 0.05, n = 32$ ) 或极显著 ( $P = 0.01, n = 32$ ) 相关, 与土壤过氧化氢酶活性相关不显著.

**关键词** 麦棉两熟 棉花 根际和非根际 土壤酶活性 土壤养分含量

**文章编号** 1001-9332(2005)11-2076-05 **中图分类号** S154.2 **文献标识码** A

**Dynamics of soil enzyme activity and nutrient content in intercropped cotton rhizosphere and non-rhizosphere.** MENG Yali<sup>1</sup>, WANG Ligu<sup>1</sup>, ZHOU Zhiguo<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>1</sup>, ZHANG Lizhen<sup>1,2</sup>, BIAN Haiyun<sup>1</sup>, ZHANG Siping<sup>2</sup>, CHEN Binglin<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory of Crop Growth Regulation of Agriculture Ministry, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup>Cotton Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang 455112, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(11):2076~2080.

The study with high yield cotton-wheat double cropping system showed that soil urease, invertase, protease and catalase activities in intercropped cotton field had the same changing trends with those in mono-cultured cotton field, but were significantly higher in intercropped than in mono-cultured cotton rhizosphere and non-rhizosphere at all development stages of cotton. During the intergrowth period of wheat and cotton, soil nutrient contents in intercropped cotton rhizosphere and non-rhizosphere were lower than or had little difference with those in mono-cultured cotton rhizosphere and non-rhizosphere, but became significantly higher after wheat harvested. The changing trends of soil nutrient contents in intercropped cotton field had little difference from those in mono-cultured cotton field, but the nutrient absorption peak appeared late. The soil enzyme activities and nutrient contents were generally higher in rhizosphere than in non-rhizosphere of both intercropped and mono-cultured cotton. Soil nutrient contents had significant ( $P < 0.05, n = 32$ ) or very significant ( $P < 0.01, n = 32$ ) correlation with the activities of soil urease, invertase and protease, but had little correlation with soil catalase activity.

**Key words** Wheat-cotton double cropping, Cotton, Rhizosphere and non-rhizosphere zones, Soil enzyme activity, Soil nutrient content.

## 1 引 言

作物根际是作物根系生长发育、营养成分吸收和新陈代谢的场所. 根际土壤酶的种类和活性对土壤养分的有效化产生影响, 从而影响作物的吸收利用. 对间套作物复合根系群体根际、非根际营养状况, 及玉米-小麦、小麦-花生等套作进行了较多研究<sup>[1,3-7,10,15-17,22]</sup>, 对于麦棉套作的研究较少<sup>[12-14,25,27]</sup>. 麦棉两熟是我国粮棉主产区一项成熟的种植制度, 目前生产中以改良 3:1 式(3 行小麦 1 行棉花, 80 cm 一带, 小麦行距 15 cm, 预留棉花套种行 50 cm, 麦收后棉花 80 cm 等行距)为主体的麦棉两熟双高产栽培模式, 实现了麦棉产量的新突破<sup>[17]</sup>, 但麦棉共生期复合群体地上部光竞争和地下

部营养竞争导致的棉花弱苗晚发、晚熟劣质问题依然较为严重. 在麦棉两熟双高产条件下, 探讨麦棉两熟复合根系群体棉花根际与非根际土壤酶活性和土壤养分的变化规律, 为在实践中促进麦棉共生期作物根系的营养吸收及棉苗生长、解决麦套棉弱苗晚发问题提供科学依据.

## 2 材料与方 法

### 2.1 试验设计

试验于 2002 年在中国农业科学院棉花研究所进行(河南安阳), 供试土壤为肥力条件较好的壤质土, 以单作棉(I:

\* 国家自然科学基金项目(30170545 和 30370831)、农业部农业结构调整重大技术研究项目(2003-05-02B)和江苏省自然科学基金资助项目(BK2002109).

\*\* 通讯联系人.

2004-07-26 收稿, 2005-02-28 接受.

行距 80 cm)为对照,设置可以实现棉麦两熟双高产的改良 3:1 式套作方式(II)<sup>[18]</sup>,2 个处理均重复 3 次,随机区组排列。供试小麦品种为鲁麦 15 号,11 月 3 日播种;棉花品种为美棉 33B,4 月 23 日播种。麦棉管理均按改良 3:1 式套作棉双高产栽培模式要求进行<sup>[17]</sup>,单作棉产量 1 387.5 kg·hm<sup>-2</sup>,霜前花率 82%,单作麦产量 6 015 kg·hm<sup>-2</sup>;套作棉产量 1 260 kg·hm<sup>-2</sup>,霜前花率 75%,套作麦产量 5 865 kg·hm<sup>-2</sup>。

## 2.2 测定方法

分别于麦棉共生期(T<sub>1</sub>:6 月 5 日苗期;T<sub>2</sub>:6 月 11 日初蕾期)和小麦收获后(T<sub>3</sub>:7 月 11 日盛蕾期;T<sub>4</sub>:8 月 16 日花铃期;T<sub>5</sub>:9 月 3 日吐絮期)用抖土法取棉花耕层(地面 5 cm 以下)根际和非根际土壤,每处理取 5 点,根际和非根际土分别各自混匀,4 分法取样<sup>[9,19]</sup>。

用 Folin-Ciocalteu 比色法测定土壤蛋白酶活性,用奈氏比色法测定脲酶活性,用 KMnO<sub>4</sub> 滴定法测定过氧化氢酶活性<sup>[20]</sup>,用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性<sup>[20]</sup>,用凯氏定氮法测土壤全 N 含量,用铈还原法测定硝态氮含量,用蒸馏法测定铵态氮含量,用重铬酸钾水合加热法测定土壤有机质含量,用钼锑抗法测定有效磷含量,用火焰光度计法测定速效钾含量<sup>[11]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤酶活性的变化

**3.1.1 脲酶活性** 由图 1 可以看出,单作棉和套作棉根际和非根际土壤脲酶活性均呈苗期到初蕾期迅速升高,初蕾期到花铃期趋于稳定,之后大幅度降低的趋势。在整个生育期间,套作棉土壤脲酶活性都显

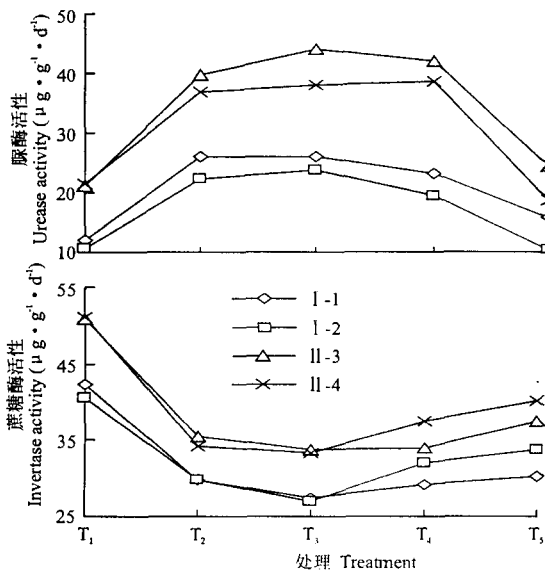


图 1 棉花土壤脲酶和蔗糖酶活性的变化

Fig. 1 Changes of urease and invertase activity in cotton field soil.

I-1:单作棉根际 Rhizosphere soil of monocropping cotton; I-2:单作棉非根际 Non-rhizosphere soil of monocropping cotton; II-1:套作棉根际 Rhizosphere soil of double cropping cotton; II-2:套作棉非根际 Non-rhizosphere soil of double cropping cotton. 下同 The same below.

著高于单作棉,两者差异在盛蕾期到花铃期达到最大,这一阶段恰是棉株的旺盛生长期。棉花根际与非根际土壤脲酶活性的差异在苗期较小,之后根际一直高于非根际,套作棉在花铃期和吐絮期达最大,但单作棉在盛蕾期和吐絮期最大。

**3.1.2 蔗糖酶活性** 单作棉和套作棉根际与非根际土壤蔗糖酶活性变化趋势一致(图 1),从苗期到初蕾期迅速下降,从初蕾期到盛蕾期缓慢下降至最低,之后缓慢升高,在整个生育期套作棉土壤蔗糖酶活性均显著高于单作棉。

无论是单作棉,还是套作棉,棉花根际和非根际土壤蔗糖酶活性差异在盛蕾期前较小,到花铃期和吐絮期非根际土壤蔗糖酶活性显著高于根际。

**3.1.3 蛋白酶活性** 由图 2 可以看出,单作棉和套作棉土壤过氧化氢酶活性变化趋势一致,从苗期到盛蕾期迅速下降至最低,之后快速升高。套作棉根际和非根际土壤过氧化氢酶活性在苗期、花铃期和吐絮期显著高于单作棉,在初蕾期和盛蕾期差异较小。无论单作棉还是套作棉,棉花根际与非根际土壤过氧化氢酶活性差异在苗期最大,花铃期和吐絮期次之,在初蕾期和盛蕾期最小。

**3.1.4 过氧化氢酶活性** 单作棉和套作棉土壤过氧化氢酶活性随棉花发育进程的变化也表现出一致的趋势,套作棉根际与非根际土壤过氧化氢酶活性始终高于单作棉(图 2)。无论单作棉还是套作棉,各生育时期根际土壤过氧化氢酶活性均高于非根际,二者之间的差异在苗期最大,随生育期的延后逐渐缩小,至吐絮期差异最小。

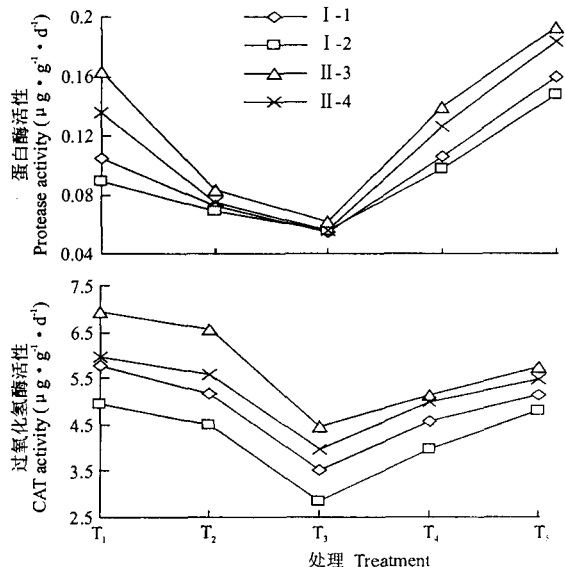


图 2 棉田土壤蛋白酶和过氧化氢酶活性的变化

Fig. 2 Changes of protease and CAT activity in cotton field soil.

### 3.2 土壤养分的变化

**3.2.1 土壤有机质含量** 单作棉和套作棉根际与非根际土壤中有机质含量皆随生育时期的延后呈上升趋势(图3),且根际土壤有机质含量始终高于非根际,但单作棉变化比较平稳,套作棉上升幅度较大.套作棉根际与非根际土壤有机质含量在苗期显著低于单作棉,之后快速增加,在麦收后各时期均高于单作棉,这可能与小麦根系的腐殖质化有关.

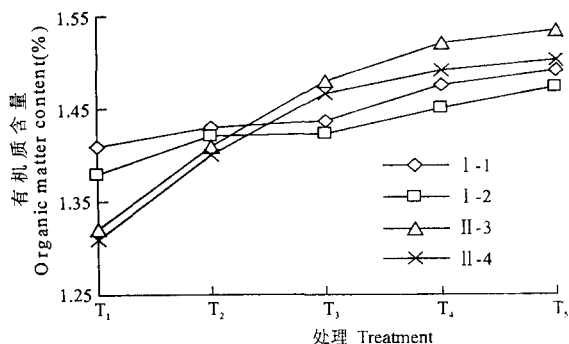


图3 棉田土壤有机质含量的变化  
Fig.3 Change of organic matter content in cotton field soil.

**3.2.2 土壤全N、铵态氮、硝态氮含量** 与土壤铵态氮和硝态氮相比,土壤全N含量在整个生育期间变化较平稳,且单作棉和套作棉间的差异也较小(表1).套作棉和单作棉根际与非根际土壤全N含量随生育进程的变化趋势基本一致,均呈先下降后上升的趋势.无论根际还是非根际,套作棉土壤全N含量在苗期与单作棉差异不显著,在其他各期均明显高于单作棉,盛蕾期二者差异最大,达显著水平.由苗期至盛蕾期,单作棉土壤全N含量下降幅度较大,套作棉降幅较小;由盛蕾期到花铃期,套作棉降幅较大,单作棉趋于平稳.由此可见,套作棉的吸N高峰要晚于单作棉.

单作棉和套作棉根际与非根际土壤铵态氮和硝态氮含量均随生育进程呈先上升后下降的趋势,单作棉的峰值均出现在花铃期,套作棉的峰值出现在盛蕾期,同样可以说明套作棉的吸收高峰晚于单作棉.套作棉根际、非根际土壤铵态氮和硝态氮含量在苗期和初蕾期(麦棉共生期内)均显著低于单作棉,麦收后则显著高于单作棉,反映了此时套作棉在铵态氮和硝态氮的吸收量上小于单作棉.在各生育时期,单作棉与套作棉根际土壤铵态氮和硝态氮含量基本上始终高于非根际,但差异均较小,多数时期未达到显著水平.由于 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 可被硝化细菌作用生成 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,所以根际与非根际铵态氮和硝态氮含量的差异也反应了养分扩散、养分形态的转化及根系

表1 棉田土壤全N、铵态氮、硝态氮含量的变化

Table 1 Changes of total nitrogen,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  content in cotton field soil

土壤养分含量 Soil nutrient	处理 Treatment	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
全N	I-1	0.082 <sup>a</sup>	0.071 <sup>a</sup>	0.066 <sup>b</sup>	0.065 <sup>ab</sup>	0.076 <sup>a</sup>
Total nitrogen (%)	I-2	0.079 <sup>a</sup>	0.069 <sup>ab</sup>	0.064 <sup>b</sup>	0.063 <sup>b</sup>	0.071 <sup>ab</sup>
	II-1	0.081 <sup>a</sup>	0.079 <sup>a</sup>	0.077 <sup>a</sup>	0.075 <sup>a</sup>	0.083 <sup>a</sup>
	II-2	0.080 <sup>a</sup>	0.075 <sup>a</sup>	0.074 <sup>a</sup>	0.070 <sup>a</sup>	0.081 <sup>a</sup>
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	I-1	17.32 <sup>a</sup>	17.17 <sup>a</sup>	30.26 <sup>c</sup>	38.07 <sup>a</sup>	24.75 <sup>a</sup>
	I-2	16.12 <sup>a</sup>	15.89 <sup>a</sup>	28.66 <sup>c</sup>	33.70 <sup>c</sup>	15.27 <sup>c</sup>
	II-1	12.07 <sup>b</sup>	12.69 <sup>b</sup>	44.26 <sup>a</sup>	38.50 <sup>a</sup>	23.77 <sup>a</sup>
	II-2	11.21 <sup>b</sup>	10.63 <sup>c</sup>	40.12 <sup>b</sup>	36.00 <sup>b</sup>	17.22 <sup>b</sup>
$\text{NO}_3^-\text{-N}$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	I-1	1.67 <sup>a</sup>	1.72 <sup>a</sup>	2.80 <sup>b</sup>	3.14 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>
	I-2	1.60 <sup>a</sup>	1.52 <sup>a</sup>	2.53 <sup>b</sup>	2.83 <sup>ab</sup>	0.66 <sup>a</sup>
	II-1	0.98 <sup>b</sup>	1.18 <sup>b</sup>	3.52 <sup>a</sup>	3.29 <sup>a</sup>	1.28 <sup>a</sup>
	II-2	0.86 <sup>b</sup>	1.20 <sup>b</sup>	3.71 <sup>a</sup>	3.57 <sup>a</sup>	1.29 <sup>a</sup>

不同字母间差异显著 Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

吸收量的变化.

**3.2.3 土壤有效磷含量** 由图4可以看出,套作棉土壤有效磷含量随生育进程的变化趋势与单作棉有较大差异.单作棉根际与非根际土壤有效磷含量从苗期(3、4真叶期)开始就明显降低,而套作棉的变化趋势较平缓,并且在整个生育期套作棉根际与非根际土壤有效磷含量始终高于单作棉.无论单作棉还是套作棉,根际有效磷含量均高于非根际,且初蕾期后有效磷在根际明显富集,这与P主要以扩散作用运输、转运速率低有关<sup>[9,12]</sup>.

**3.2.4 土壤速效钾含量** 由图4可以看出,单作棉和套作棉根际与非根际土壤速效钾含量随生育期的变化趋势大体一致,苗期到初蕾期迅速下降,初蕾期到盛蕾期缓慢下降,盛蕾期到花铃期迅速上升,花铃

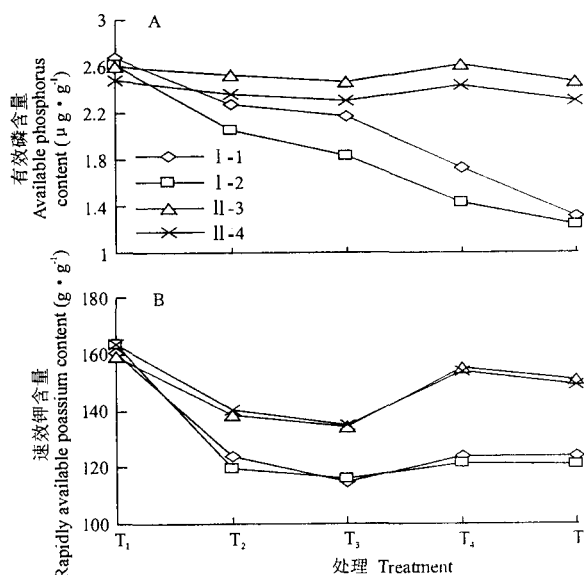


图4 棉田土壤有效磷和速效钾含量的变化

Fig.4 Changes of available phosphorus and rapidly available potassium content in cotton field soil.

期后趋于稳定.除苗期差异不显著外,其他生育期套作棉根际与非根际土壤速效钾含量都显著高于单作棉,而根际与非根际土壤速效钾含量差异在整个生育时期均较小.

### 3.3 土壤酶活性与土壤养分之间的相关性

由表 2 可以看出,在大田栽培条件下,虽然脲酶的酶促产物是氨,但土壤脲酶活性却与土壤铵态氮含量相关性却不大,而脲酶活性与土壤全 N、有机质、有效磷和速效钾含量均呈极显著正相关,这可能与脲酶是一种专性较强的酶,酶促底物含量对酶活性有影响,而酶促产物氨溶于水生成铵离子又能被植物吸收或被土壤微生物迅速转化利用有关.土壤蔗糖酶活性与土壤全 N、有机质、有效磷和速效钾含量呈极显著正相关.土壤蛋白酶活性与铵态氮含量呈显著负相关,与硝态氮的含量呈极显著负相关,而与速效钾的含量呈极显著正相关.过氧化氢酶活性与土壤养分含量相关性不显著.

表 2 棉田土壤酶活性与土壤养分含量之间的相关系数  
Table 2 Correlation coefficients of enzyme activity and nutrient content in cotton field soil

土壤养分含量 Soil nutrient content	脲酶 Urease	蔗糖酶 Invertase	蛋白酶 Protease	CAT
有机质 Organic matter	0.5052 **	0.6735 **	0.2526	0.1307
全 N Total nitrogen	0.5515 **	0.6910 **	0.2467	0.1821
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.1686	0.3037	-0.4403 *	0.0419
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	-0.2370	0.2107	-0.5766 **	-0.0691
有效磷 Available phosphorus	0.7777 **	0.4790 **	0.0596	0.0346
速效钾 Rapidly available potassium	0.5730 **	0.5893 **	0.4531 **	0.1013

n=32; \* P<0.05; \*\* P<0.01.

## 4 讨 论

麦棉套作两熟系统由于共生期地上部光的竞争和地下部水分、养分的竞争,造成了不同于单作棉的地下部环境.研究表明,套作棉土壤脲酶、蔗糖酶、蛋白酶及过氧化氢酶活性随生育进程的变化趋势与单作棉表现一致,但在整个生育期套作棉土壤根际与非根际各种土壤酶活性均明显高于单作棉,这主要归因于小麦根系分泌物和残留物的腐解作用,已有研究也表明多熟种植比单播作物土壤酶活性高<sup>[8,27]</sup>.研究还表明,套作棉根际与非根际土壤有机质、全 N、铵态氮、硝态氮、有效磷及速效钾含量在麦棉共生期低于单作棉或差异较小,而在麦收后则显著高于单作棉.虽然套作棉根际与非根际土壤养分含量随生育进程的变化趋势与单作棉大体保持一致,但一些养分的吸收高峰却晚于单作棉.土壤养分含量与土壤多数酶活性之间存在显著或极显著的相关性.

早在 1984 年,Barber 提出了土壤养分生物有效性的概念,即从养分运动的全过程进行研究,将土壤离子库中作物生长期间可移动到作物根表并被吸收的养分称为有效养分<sup>[2,21]</sup>.本研究所测得的土壤根际和非根际养分含量,一方面反映了土壤离子库的大小,另一方面也反映了作物养分利用状况.本试验套作棉根际与非根际土壤养分含量在麦收后高于单作棉,也反映了在麦棉两熟复合群体中尽管解除了小麦的竞争,但套作棉由于根系生长状况劣于单作棉,因此在养分吸收量上要弱于单作棉.而在麦棉共生期间,套作棉根际与非根际土壤养分含量低于单作棉的原因是小麦对养分吸收竞争的结果.

另外,微生物在根际养分库的形成方面也起着重要作用.根际微生物通过吸持土壤中养分,可以形成近根缓效供应的养分库,而微生物在套作棉和单作棉根际区系和数量上的差异对养分活化以及根系养分吸收的影响尚待进一步研究.

## 参考文献

- Ashokan PK, et al. 1988. Relative uptake of <sup>32</sup>P by cassava, banana, elephant foot yam and groundnut in intercropping system. *Plant Soil*, **109**:23~30
- Barber SA. 1984. Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach. New York: John Wiley.
- Brophy LS. 1987. Nitrogen transfer from forage legumes to grass in a systematic planting design. *Crop Sci*, **27**:753~758
- Cao H-M(曹鸿鸣), He M-R(贺明荣), Wang M-Y(王明友), et al. 1996. Study on N utilization by wheat and cotton under the interplanting condition. *Acta Agric Nucl Sin* (核农学报), **10**(2): 104~108(in Chinese)
- Chen X-S(陈锡时), Guo S-F(郭树凡), Wang J-K(汪景宽). 1998. Effect of mulching cultivation with plastic film on soil microbial population and biological activity. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **9**(4):435~439(in Chinese)
- Diao Z-M(刁治民). 1996. Study of rhizosphere microbial effect of spring wheat soil in Xining region. *Soil Fert* (土壤与肥料), (2): 27~30(in Chinese)
- Fujita K, et al. 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems. *Plant Soil*, **141**:155~175
- Han X-R(韩晓日), Guo P-C(郭鹏程). 1998. Immobilization of fertilizer nitrogen by soil microbes and its changes. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), **35**(3):412~418(in Chinese)
- Institute of Soil Science. Chinese Academy of Sciences(中国科学院南京土壤研究所). 1985. Research Methods for Edaphon. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Kessel CV, et al. 1988. Row spacing effects on N<sub>2</sub>-fixation, N<sub>2</sub>-yield and soil N uptake of intercropped cowpea and maize. *Plant Soil*, **111**:17~23
- Lao J-S(劳家桢). 1985. Handbook of Methods for the Soil Chemistry Analyzing. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- Li H-S(李和生), Wang L-Q(王林权), Zhao C-S(赵春生). 1997. Relationship between phosphatase activity and organic phosphorus in wheat rhizosphere. *Acta Boreal-Occident Agric Univ* (西北农业大学学报), **25**(2):47~45(in Chinese)
- Li L(李 隆), Yang S-C(杨思存), Sun J-H(孙建好), et al. 1999. Interspecific competition and facilitation in wheat/soybean intercropping system. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **10**(2): 197~200(in Chinese)

- 14 Long Z-F(龙章富), Liu S-G(刘世贵). 1995. Preliminary study on soil biochemical activities of degenerated grasslands in northwestern Sichuan, China. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 32(2): 221~222 (in Chinese)
- 15 Luo M(罗明), Wen Q-K(文启凯), Zhou Y-Q(周抑强), et al. 1997. Influences of fertilizer practice of coordination of manual with mineral fertilizer on soil microbial and on biochemical specific property in cotton field. *J Xinjiang Agric Univ* (新疆农业大学学报), 20(4): 45~48 (in Chinese)
- 16 Morris RA, Garrity DP. 1993. Resource capture and utilization in intercropping: Non-nitrogen nutrients. *Field Crop Res*, 34: 319~334
- 17 Shen H(沈宏), Cao Z-H(曹志洪), Xu B-S(徐本生). 1999. Dynamics of soil microbial biomass and soil enzyme activity and their relationships during maize growth. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 10(4): 471~474 (in Chinese)
- 18 Shi P(施培), Chen C-R(陈翠容), Zhou Z-G(周治国), et al. 1996. Theory and Practice of High Yielded Cotton-Wheat Double Cropping System. Beijing: Atomic Energy Press. (in Chinese)
- 19 Su B-L(苏宝玲), Han S-J(韩士杰). 2000. Advance in soil sampling methods in rhizosphere microzone study. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(3): 477~480 (in Chinese)
- 20 Wang G-H(王国惠), Yu L-J(于鲁冀). 1999. The study and its ecological significance on physiological groups of bacteria. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 19(1): 128~139 (in Chinese)
- 21 Willey RW. 1997. Intercropping—Its importance and research needs. I. Competition and yield advantages. *Field Crop Res*, 32: 1~10
- 22 Wu L-H(吴龙华), Zhang S-J(张素君). 2000. Rhizosphere effect of nutrients in different maize soil with different fertility levels. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(4): 545~548 (in Chinese)
- 23 Xu G-H(许光辉), Zheng H-Y(郑洪元). 1985. Handbook of Methods for Edaphon Analyzing. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- 24 Xu Y-R(许月蓉). 1995. Microbial biomass and activity in a fluvoaquic soil under various fertilization conditions. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 32(3): 349~352 (in Chinese)
- 25 Zhou L-K(周礼恺). 1987. Soil Enzymology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 26 Zhou Z-G(周治国), Meng Y-L(孟亚利), Shi P(施培). 2000. Relationship between cotton seedling root growth characteristic and aerial part under cotton-wheat double cropping. *Acta Gossypii Sin* (棉花学报), 12(4): 222~224 (in Chinese)
- 27 Zhu L-X(朱连先), Wang Z-F(王志芬), Zhang F-Y(张凤云), et al. 2001. Research on the differences of soil phosphate utilization ratio of the crops in different wheat-cotton polyculture. *J Shandong Agric Univ* (山东农业大学学报), 32(3): 379~380 (in Chinese)

作者简介 孟亚利,女,1965年生,博士,副教授.主要从事作物生理生态学研究,发表论文20余篇. E-mail: giscott@njau.edu.cn

## 《浙江林学院学报》2006年征订启事

《浙江林学院学报》是全国“林业类”核心期刊和“综合性农业科学类”核心期刊之一,荣获第二届国家期刊奖百种重点期刊奖,首届浙江省优秀科技期刊二等奖,第二届浙江省优秀科技期刊一等奖,首届和第二届全国优秀科技期刊三等奖,全国高校优秀科技期刊一等奖.《浙江林学院学报》主要刊登报道林学基础学科、森林培育学、森林经理学、经济林学、林业工程、森林保护学、林木遗传育种学、森林生物学、生态学、生物技术、园林学和园艺学等学科的学术论文、问题讨论和研究简报,适当刊登与农林相关的其他学科的稿件,供农林科技工作者、园林绿化和规划设计人员、大专院校师生、基层干部、农林科技专业户及科技信息人员参阅.双月刊.季末月出版. A4开本,每期112页.国内外公开发行.所刊文章被国内外多种文摘刊物和数据库收录.附英文目次和英文摘要.2006年定价,每期10.00元,全年60.00元/份.欢迎订阅,欢迎投稿.

国内订户请向全国非邮发报刊联合发行部订阅,地址:天津市大寺泉集北里别墅17号.邮政编码:300381,电话:(022)23973378. E-mail: LHZD@public.tpt.tj.cn.也可直接向浙江林学院学报编辑部汇款订购.邮汇:浙江临安浙江林学院学报编辑部,邮政编码311300.电话:(0571)63732749. E-mail: zlx@zjfc.edu.cn. 银行汇款:建行临安市支行营业部.账号:330617335010022304266.户名:浙江林学院.

国外读者请向中国出版对外贸易总公司办理.地址:北京782信箱,邮政编码100011.

浙江林学院学报编辑部