

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

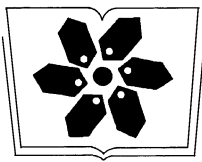
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 22 期 Vol.32 No.22 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 22 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目 次

CO ₂ 浓度和温度升高对噬藻体 PP 增殖的联合作用	牛晓莹,程 凯,荣茜茜,等 (6917)
1956—2009 年内蒙古苏尼特左旗荒漠草原的降水格局	陈 军,王玉辉 (6925)
两个污水处理系统的能值与经济综合分析	李 敏,张小洪,李远伟,等 (6936)
退化草地阿尔泰针茅种群个体空间格局及关联性	赵成章,任 珩 (6946)
地表覆盖栽培对雷竹林凋落物养分及其化学计量特征的影响	刘亚迪,范少辉,蔡春菊,等 (6955)
福州酸雨区次生林中台湾相思与银合欢叶片的 12 种元素含量	郝兴华,洪 伟,吴承祯,等 (6964)
“雨花露”水蜜桃主要害虫与其捕食性天敌的关系	柯 磊,施晓丽,邹运鼎,等 (6972)
大兴安岭林区 10 小时时滞可燃物湿度的模拟	胡天宇,周广胜,贾丙瑞 (6984)
陕北风沙区不同植被覆盖下的土壤养分特征	李文斌,李新平 (6991)
南方型杨树人工林土壤呼吸及其组分分析	唐罗忠,葛晓敏,吴 麟,等 (7000)
黑河下游土壤水盐对生态输水的响应及其与植被生长的关系	鱼腾飞,冯 起,刘 蔚,等 (7009)
树木胸径大小对树干液流变化格局的偏度和时滞效应	梅婷婷,赵 平,倪广艳,等 (7018)
外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及丛枝菌根真菌(AMF)群落的影响	于文清,刘万学,桂富荣,等 (7027)
基于 Landsat TM 的热带精细地物信息提取的模型与方法——以海南岛为例	王树东,张立福,陈小平,等 (7036)
雪被去除对川西高山冷杉林冬季土壤水解酶活性的影响	杨玉莲,吴福忠,杨万勤,等 (7045)
不同土壤水分处理对水稻光合特性及产量的影响	王唯逍,刘小军,田永超,等 (7053)
木蹄层孔菌不同居群间生长特性、木质素降解酶与 SRAP 标记遗传多样性	曹 宇,徐 晔,王秋玉 (7061)
加拿大一枝黄花入侵对土壤动物群落结构的影响	陈 雯,李 涛,郑荣泉,等 (7072)
间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响	张向前,黄国勤,卞新民,等 (7082)
接种 AM 真菌对玉米和油菜种间竞争及土壤无机磷组分的影响	张宇亭,朱 敏,钱岩相注,等 (7091)
大亚湾冬季不同粒级浮游生物的氮稳定同位素特征及其与生物量的关系	柯志新,黄良民,徐 军,等 (7102)
太湖水华期间有毒和无毒微囊藻种群丰度的动态变化	李大命,叶琳琳,于 洋,等 (7109)
锌胁迫对小球藻抗氧化酶和类金属硫蛋白的影响	杨 洪,黄志勇 (7117)
基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究	邱寿丰,朱 远 (7124)
能源活动 CO ₂ 排放不同核算方法比较和减排策略选择	杨喜爱,崔胜辉,林剑艺,等 (7135)
基于生境等价分析法的胶州湾围填海造地生态损害评估	李京梅,刘铁鹰 (7146)
县级生态资产价值评估——以河北丰宁县为例	王红岩,高志海,李增元,等 (7156)
专论与综述	
丛枝菌根提高宿主植物抗旱性分子机制研究进展	李 涛,杜 娟,郝志鹏,等 (7169)
城市土壤碳循环与碳固持研究综述	罗上华,毛齐正,马克明,等 (7177)
基于遥感的光合有效辐射吸收比率(FPAR)估算方法综述	董泰锋,蒙继华,吴炳方 (7190)
光衰减及其相关环境因子对沉水植物生长影响研究进展	吴明丽,李叙勇 (7202)
浮游动物化学计量学稳态性特征研究进展	苏 强 (7213)
研究简报	
2010 年两个航次獐子岛海域浮游纤毛虫丰度和生物量	于 莹,张武昌,张光涛,等 (7220)
基于熵值法的我国野生动物资源可持续发展研究	杨锡涛,周学红,张 伟 (7230)
残落物添加对农林复合系统土壤有机碳矿化和土壤微生物量的影响	王意锟,方升佐,田 野,等 (7239)
人工湿地不同季节与单元之间根际微生物多样性	陈永华,吴晓芙,张珍妮,等 (7247)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-11

封面图说:水杉农田防护林中的小麦熟了——水杉曾广泛分布于北半球,第四纪冰期以后,水杉属的其他种类全部灭绝,水杉却在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存,成为旷世奇珍,野生的水杉是国家一级保护植物。由于水杉耐水,适应力强,生长极为迅速,其树干通直挺拔,高大秀颀,树冠呈圆锥形,姿态优美,自发现后被人们在中国南方广泛种植,不仅成为了湖边、道路两旁的绿化观赏植物,更成为了农田防护林的重要树种。此图中整齐划一的水杉防护林像忠实的哨兵一样,为苏北农村即将成熟的麦田站岗。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201110151526

张向前, 黄国勤, 卞新民, 江学海, 赵其国. 间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响. 生态学报, 2012, 32(22): 7082-7090.

Zhang X Q, Huang G Q, Bian X M, Jiang X H, Zhao Q G. Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(22): 7082-7090.

间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响

张向前¹, 黄国勤^{2,*}, 卞新民¹, 江学海¹, 赵其国³

(1. 南京农业大学农学院, 南京 210095; 2. 江西农业大学生态科学研究中心, 南昌 330045;

3. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要: 为了进一步深入了解禾本科作物和豆科作物间作的优势机理, 研究了在不同施肥条件下玉米单作、玉米 || 花生间作和玉米 || 大豆间作对玉米籽粒品质、单株经济产量和生物产量、产量及土壤中细菌、真菌、放线菌和固氮菌数量及酶活性的影响。结果表明, 在不施肥条件下玉米间作可以显著提高玉米籽粒蛋白质、油分和赖氨酸含量, 但对淀粉含量影响不显著; 在施肥条件下玉米间作可以显著提高淀粉和赖氨酸含量, 但对油分和蛋白质含量的增加却影响不显著; 间作在提高玉米籽粒淀粉、蛋白质和赖氨酸含量方面的效果没有该施氮水平 (50 kg/km²) 显著。间作可以增加玉米产量及其单株经济产量和生物产量, 其中在不施肥和施肥条件下产量分别比单作增加了 3.7%、9.7%、19.0% 和 18.6%, 但间作在增加产量方面的效果没有该施氮水平显著。间作在不同施肥条件下可明显增加土壤中细菌、真菌、放线菌和固氮菌的数量, 且效果达到显著水平。土壤中的酶活性也显著受到间作的影响, 在不施肥条件下玉米间作和单作土壤中的转化酶活性差异达到显著水平, 在施肥条件下间作和单作土壤中转化酶和磷酸酶活性差异达到显著水平。4 种微生物数量和 4 种酶活性之间呈显著或极显著正相关, 玉米籽粒品质、产量及单株生物产量除与转化酶及磷酸酶活性部分相关不显著外, 与土壤中的其它酶活性及微生物数量皆显著或极显著正相关。

关键词: 间作; 土壤微生物; 籽粒品质; 酶活性

Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils

ZHANG Xiangqian¹, HUANG Guoqin^{2,*}, BIAN Xinmin¹, JIANG Xuehai¹, ZHAO Qiguo³

1 Agricultural College, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Research Centre on Ecological Sciences, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

3 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract: To increase our understanding of the advantages of intercropping gramineae crops with legume crops, we conducted a field trial comparing a maize monoculture system, a maize-peanut intercropping system, and a maize-soybean intercropping system with or without application of fertilizer. For each system, we determined maize grain quality (starch, protein, oil, and lysine content), economic and biological yields per plant, crop yield per km², abundance of microorganisms (bacteria, fungi, actinomycetes, and nitrogen-fixing bacteria) and activities of various enzymes (invertase, dehydrogenase, urease, and phosphatase) in soils (pH=6.2). The field experiment was carried out on upland red soil at the Experimental Station of Jiangxi Agricultural University (latitude 28° 46'N, longitude 115° 36'E, altitude 22.1 m above sea level) from 9 April 2011 to 25 July 2011. The experimental plan comprised six treatments (i. e., 3 × 2) and each

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (U1033004)

收稿日期: 2011-10-15; 修订日期: 2012-04-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hgqjnc@sina.com

treatment was replicated three times. Each plot area was 33 m² (6 m × 5.5 m) and the field experiment had a total of 18 plots. Crop management was the same as that used for local agricultural production. The results showed that maize intercropping significantly increased protein, oil, and lysine content of maize grains when no fertilizer was applied. However, there was no significant effect on starch content of maize grains. When fertilizer was applied, maize intercropping significantly increased starch and lysine content of maize grains, but did not significantly affect oil and protein content. The effect of intercropping on increasing the contents of starch, protein, and lysine in maize grains was not greater than that of nitrogen fertilizer applied at a rate of 50 kg/km². Intercropping also increased the maize yield (square kilometers) and the biological and economic yield per plant. Compared to the yield from the maize monoculture, that from the maize-peanut and maize-soybean mixed cropping systems was increased by 3.7% and 9.7%, respectively, under unfertilized conditions and by 19.0% and 18.6%, respectively, under fertilized conditions. However, the effect of intercropping on increasing the yield of maize was not greater than that of nitrogen fertilization. Intercropping significantly increased the quantities of soil bacteria, fungi, actinomycetes, and nitrogen-fixing bacteria under different fertilization conditions. Soil enzyme activities were also significantly affected by intercropping. The activity of soil invertase differed significantly between the maize intercropping and monoculture systems in unfertilized conditions, and the activities of soil invertase and phosphatase significantly differed between maize intercropping and monoculture systems under fertilized conditions. A correlation analysis showed that the abundance of the four kinds of microorganisms and the activities of four soil enzymes were significantly ($P < 0.05$) or highly significantly ($P < 0.01$) positively correlated with each other. The maize grain quality, yield, and biological yield per plant were significantly or highly significantly positively correlated with the abundance of microorganisms in soils and with enzyme activities, except for invertase and phosphatase activities.

Key Words: Intercropping; soil microorganism; grain quality; enzyme activities

生态位分离是间作优势产生的主要生态机制,间作中由于两种作物所占据的地上部和地下部生态位发生了分离,在时间生态位和空间生态位上互补扩大,从而使地上部的光、热和地下部的营养资源在时间上前后分离在空间上互补扩大,实现了资源最大限度的利用^[1-3]。玉米和豆科作物间作是我国北方普遍实施的一种重要种植方式,与单作相比,玉米的产量和品质都会有较大改善。间作对作物产量和品质的影响主要缘于作物系统内环境和土壤环境的改变^[4-5]。土壤微生物和酶一起作用于土壤物质转化和能量流动,并参与许多重要的生物化学反应过程^[6-7],反映着土壤中物质代谢的旺盛程度,是评价土壤肥力的重要指标之一^[8]。如何在减少氮肥施用量保护环境的基础上,在确保土壤肥力和作物产量不下降的同时改善作物营养品质提高人们营养条件,已经成为当今社会研究的热点问题。为此本研究以玉米、大豆和花生为间作作物,研究了低施氮量条件下间作对玉米营养品质、产量、土壤微生物数量和酶活性的影响,其目的在于(1)探讨低施氮量条件下间作是否有利于改善作物营养品质和产量;(2)阐述间作是否有利于提高土壤微生物数量和酶活性进而改善土壤微生态环境和肥力;(3)明确土壤微生物数量和酶活性与作物产量和品质存在的内在关系。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在江西农业大学附近红壤旱地试验站进行,该试验田位于东经 115°36',北纬 28°46',海拔 22.1 m。试验田地势平坦,年平均温度约为 17.7 °C,日平均温度 ≥10 °C 的活动积温达 5640 °C,持续天数约为 256 d,年平均日照时数为 1820.4 h,无霜期约 273 d,多年平均降水量 1624.6 mm。其成土母质为第四纪红色粘土,排灌方便,地力均匀,耕层土壤含有机质 17.1 g/kg,碱解氮 69.4mg/kg,速效磷 14.6mg/kg,速效钾 167.4mg/kg,pH 值 6.2。

试验采用随机区组设计,3×2 双因素试验(两因素为间作方式和施肥,其中 3 种间作方式、2 种施肥水平),3 次重复,共 18 个小区,小区面积为 6 m×5.5 m(33 m²)。供试玉米品种为“科糯 986”(用 KN986 表示)、

花生品种为“奥油 116”、大豆品种为“早 50”。玉米、大豆和花生同时于 4 月 9 日播种,玉米于 7 月 25 日收获。种植模式为南北行种植,从东向西先种玉米带后种大豆或花生带,每个小区种 3 个玉米带和 2 个大豆或花生带,玉米每带种 2 行,大豆和花生每带种 4 行。玉米单间作行株距一致,其中行距为 40 cm 株距为 30 cm;大豆与花生单间作行株距亦一致,行距和株距分别为 40 cm 和 20 cm,此外玉米与大豆或花生间作的行距亦为 40 cm。玉米每行种 20 株,每个小区为 120 株。单作用 S 表示,间作用 || 表示。玉米间作组合分别标记为 KN986S(玉米单作)、KN986I(玉米 || 花生)和 KN986 II(玉米 || 大豆)。

施肥设为施氮肥 50 kg/hm² 和不施氮肥(CK)两个水平。氮肥以尿素计($N \geq 46.5\%$),分别在拔节期和大喇叭口期施用,每次 25 kg/hm²,即每行(0.4 m×6 m)施 6 g 氮肥,施肥时将氮肥溶于等量(2000 mL)水中采用条施的方法,施于 3 种作物各行间并使单间作每行的施氮量一致。钾肥以硫酸钾计($K_2O \geq 50\%$) 300 kg/hm²,磷肥以普钙计($P_2O_5 \geq 16\%$) 700 kg/hm²,播种时磷肥和钾肥作底肥一次施用,试验在大田条件下进行,灌水及其它田间管理按照当地习惯进行,以充分保证作物生长发育需要为基础。

1.2 样品采集与测定

将计产收获的籽粒(以玉米间作籽粒与单作对照)采用 BRURER 公司生产的 MATRIX-1 型近红外光谱分析仪测定籽粒蛋白质、淀粉、脂肪和赖氨酸含量。

单株生物产量(地上部干物重)测定:在每小区随机取 10 株玉米植株样本在 105 °C 下烘 45 min 杀青,再在 85 °C 下烘干至恒重后称取干物重。单株经济产量:为单株收获的籽粒产量。产量(每平方千米经济产量)为单位土地面积上收获的籽粒产量换算为每平方千米的产量。

于玉米灌浆期(7 月 8 号)采集距玉米植株根部 5 cm 处 10—15 cm 深的耕层土壤(玉米与大豆、花生相邻行的土壤),每行采五个点并混匀。土壤微生物活菌数量测定采用文献^[9]的方法;土壤脱氢酶活性(以 TPF 计, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$)采用氯化三苯基四氮唑(TTC)还原法测定^[10];土壤转化酶活性(以 glucose 计, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$)测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[10];脲酶活性(以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 计, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$)采用靛酚蓝比色法测定^[10];土壤磷酸酶活性(以 phenol 计, $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$)的测定采用磷酸苯二钠比色法^[10]。

1.3 统计分析

数据采用 DPS7.05 软件和最小显著差数法(LSD)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥条件下间作对玉米籽粒品质的影响

从表 1 可以看出,施肥处理和间作方式对玉米籽粒淀粉含量、蛋白质含量、油分含量和赖氨酸含量的影响分别达到极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)水平。而施肥处理和间作方式的互作效应对玉米籽粒营养品质的影响则没有达到显著水平($P > 0.05$)。玉米籽粒淀粉含量为 68.17%—73.09%,在不施氮肥条件下,玉米间作和单作的籽粒淀粉含量差异不显著,在施氮肥条件下,间作玉米的籽粒淀粉含量显著高于单作,KN986I(玉米 || 花生)和 KN986 II(玉米 || 大豆)分别比单作增加了 1.98% 和 2.7%;玉米籽粒蛋白质含量为 7.01%—10.51%之间,以施肥条件下 KN986I 间作模式为最高。在不施肥条件下,玉米间作与单作的籽粒蛋白质含量存在显著差异,KN986I 和 KN986 II 分别比单作增加了 23.0% 和 19.3%,而在施肥条件下则差异不显著;玉米籽粒油分的含量为 3.59%—4.49%之间,以施氮肥条件下 KN986 II 间作模式为最高。在不施肥条件下,玉米籽粒油分含量间作显著高于单作,KN986I 和 KN986 II 分别比单作增加了 11.4% 和 17.8%,而在施肥条件下则差异不显著;玉米籽粒赖氨酸含量在 0.16%—0.27%之间,以施肥条件下 KN986 II 间作模式为最高。无论在不施氮肥或施氮肥条件下,间作玉米籽粒赖氨酸含量皆显著高于单作,KN986I 和 KN986 II 分别增加了 25% 和 31.3%、13.0% 和 17.4%,说明玉米籽粒赖氨酸含量显著受到间作的影响。表 1 多重比较结果表明,在不施肥条件下玉米间作可以显著提高玉米籽粒蛋白质、油分和赖氨酸含量,但对淀粉含量影响不显著,在施肥条件下可以显著提高淀粉和赖氨酸含量,但对油分和蛋白质含量的增加却影响不显著。此外施肥条件下单作玉米籽粒的淀粉、蛋白质和赖氨酸的含量皆显著高于不施肥条件下的玉米间作,说明间作在提高

玉米籽粒淀粉、蛋白质和赖氨酸含量方面的效果没有该施氮水平显著。

表 1 不同施肥条件下间作对玉米籽粒品质的影响

Table 1 Effects of intercropping on maize grain quality under different fertilization conditions

氮肥 Fertilization	间作 Intercropping	淀粉 Starch/%	蛋白质 Protein/%	油分 Oil/%	赖氨酸 Lysine/%
不施肥 CK	KN986S	68.17±0.55c	7.01±0.69c	3.59±0.41c	0.16±0.002d
	KN986I	68.48±0.76c	8.62±0.38b	4.00±0.13b	0.20±0.019c
	N986 II	69.40±0.60c	8.36±0.49b	4.23±0.12ab	0.21±0.008c
施肥 Fertilization	KN986S	71.19±0.80b	9.75±0.54a	4.34±0.10ab	0.23±0.012b
	KN986I	72.60±0.66a	10.51±0.40a	4.47±0.12a	0.26±0.005a
	KN986 II	73.09±0.14a	10.45±0.39a	4.49±0.04a	0.27±0.003a
<i>P</i>					
施肥处理 Fertilization		0.0001	0.0001	0.0009	0.0001
间作方式 Intercropping		0.0083	0.0034	0.0216	0.0001
施肥处理×间作方式 Fertilization×Intercropping		0.3890	0.3172	0.1783	0.4291

表中数据为平均数±标准差;各列后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P<0.05$)

2.2 不同施肥条件下间作对玉米单株经济产量和生物产量及大田产量的影响

从图 1 中可以看出,无论在施肥和不施肥条件下,间作玉米的单株经济产量皆高于单作玉米,其中 KN986I 和 KN986 II 在不施肥条件下分别比单作增加了 3.6% 和 7.8%,在施肥条件下分别增加了 12.2% 和 18.9%,但同一施肥条件下差异绝大多数不显著 ($P>0.05$),且施肥条件下的玉米单间作的单株经济产量皆显著高于不施肥条件下的相同种植模式,说明该施氮水平对玉米单株经济产量的影响大于间作。从图 1A 中亦可看出,间作也有利于提高玉米的单株生物产量,其中 KN986I 和 KN986 II 的单株生物产量在不施肥条件下分别比单作增加了 6.9% 和 7.4%,在施肥条件下分别增加 2.4% 和 2.1%,但在施肥条件下两种间作模式的单株生物产量与单作差异皆不显著 ($P>0.05$),在不施肥条件下只有 KN986 II 间作模式与单作存在显著差异,此外施肥条件下的玉米单间作的单株生物产量皆显著高于不施肥条件下的相同种植模式,说明施氮肥在增加玉米单株生物产量方面也发挥着重要作用。还可以看出,无论在施肥和不施肥条件下,间作玉米的产量皆高于单作,其中在不施肥条件下 KN986I 和 KN986 II 的玉米产量分别比单作增加了 3.7% 和 9.7%,在施肥条件下分别增加了 19.0% 和 18.6%,说明了间作有利于提高玉米的大田群体产量。施氮肥在提高玉米大田产量方面也发挥着重要作用,其中施肥条件下玉米单作的大田产量与不施肥条件下的玉米单作和间作的大田产量皆存在显著差异 ($P<0.05$)。

2.3 不同施肥条件下间作对土壤微生物数量的影响

从图 2 中可以看出,无论在施肥和不施肥条件下,玉米间作相对于单作均能显著增加土壤中细菌的数量,在施肥和不施肥条件下 KN986I 和 KN986 II 分别比单作增加了 86.4% 和 81.2%、25.9% 和 29.8%,此外施肥也能明显提高土壤中细菌数量,同一间作处理施肥量之间的差异达显著水平 ($P<0.05$)。可以得出,施肥和间作均可以显著提高土壤中真菌的数量并以施肥条件下 KN986 II 间作模式土壤中真菌的数量为最高,在施肥和不施肥条件下 KN986I 和 KN986 II 分别比单作土壤中真菌的数量增加了 17.3% 和 20.0%、13.2% 和 16.3%,差异显著。施肥和间作对土壤中放线菌数量的影响与对真菌的影响相类似,具有相同的变化规律,其中施肥条件下的间作与不施肥条件下的间作差异达到显著水平。土壤中固氮菌的数量也显著受到施肥和间作的影响,并以施肥条件下 KN986I 间作模式下土壤中的放线菌数量为最多,在施肥和不施肥条件下 KN986I 和 KN986 II 分别比相应的单作增加了 53.1% 和 48.7%、124.1% 和 132.8%,且间作的效果在不施肥条件下大于施肥条件下的效果。

2.4 不同施肥条件下间作对土壤酶活性的影响

从表 2 中可以看出施肥处理对土壤中转氨酶、脱氢酶、脲酶和磷酸酶活性的影响皆达到显著水平

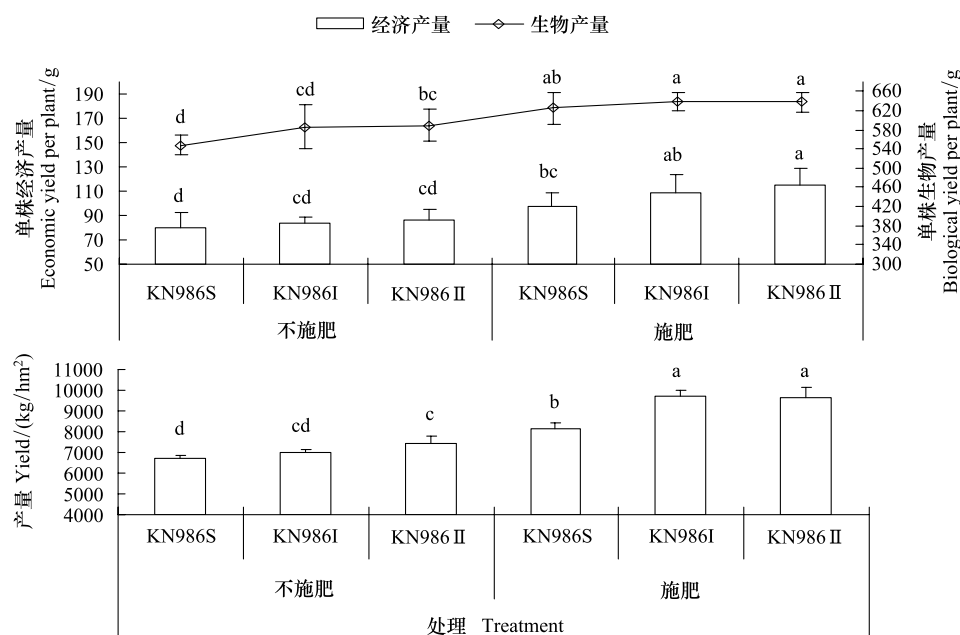


图1 不同施肥条件下间作对玉米产量的影响

Fig. 1 Effects of intercropping on maize yields under different fertilization conditions

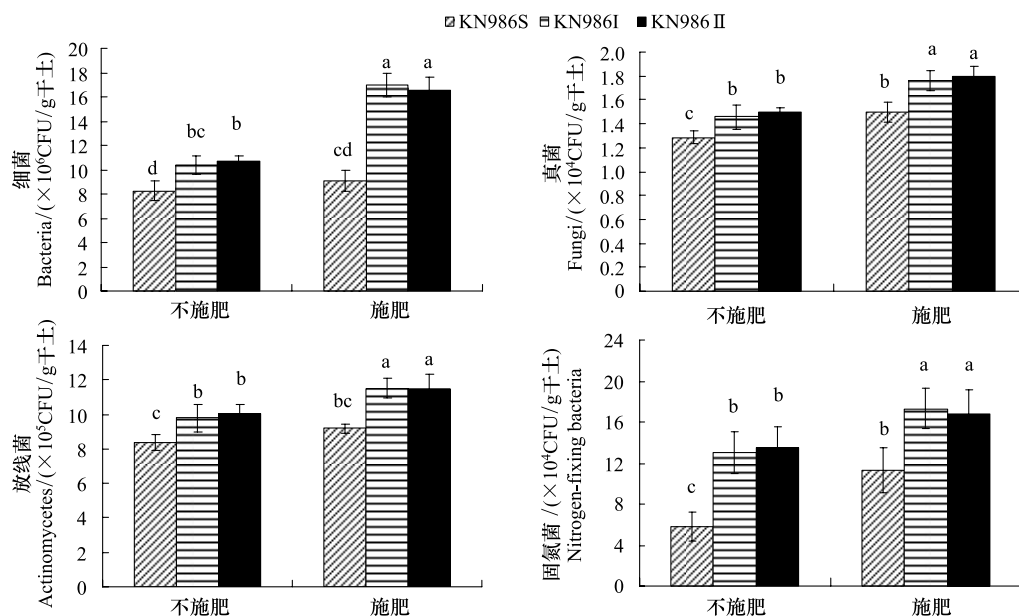
柱状图上的不同字母代表差异达到显著水平 ($P < 0.05$)

图2 不同施肥条件下间作对土壤中细菌、真菌、放线菌和固氮菌数量的影响

Fig. 2 Effects of intercropping on the quantity of bacteria, fungi, actinomycetes and nitrogen-fixing bacteria in soils under different fertilization conditions

柱状图上的不同字母代表差异达到显著水平 ($P < 0.05$)

($P < 0.05$) 或极显著水平 ($P < 0.01$), 间作方式除对土壤中脱氢酶活性的影响不显著外 ($P > 0.05$), 对另外 3 种酶活性的影响皆达到显著或极显著水平, 而施肥处理和间作方式的互作对四种酶活性没有显著影响 ($P > 0.05$)。土壤中转化酶活性在 $5.38-10.26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 24\text{h}^{-1}$ 之间, 以施氮肥条件下 KN986I 间作模式为最高。无论在施肥或不施肥条件下, 间作玉米土壤中的转化酶活性皆高于玉米单作, 并存在显著差异。此外施肥条件

下的玉米单作土壤中的转化酶活性显著高于不施肥条件下的玉米单作,增加了 22.1%,说明了施肥对提高玉米单作土壤中转化酶活性有显著作用。土壤中脱氢酶活性在 $0.83\text{—}1.24\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ 之间,以施氮肥条件下 KN986I 间作模式为最高,无论在施肥或不施肥条件下,玉米间作土壤中脱氢酶活性皆高于单作但差异不显著。土壤中脲酶的活性在 $0.34\text{—}0.74\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ 之间,且其活性在间作模式下皆显著高于单作,在不施肥和施肥条件下 KN986I 和 KN986 II 分别比单作增加了 50.0% 和 44.1%、14.0% 和 29.8%。土壤中磷酸酶活性在 $1.63\text{—}2.01\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$ 之间,其中施肥条件下的 KN986I 和 KN986 II 分别比单作增加了 17.2% 和 18.9%,差异显著。可见施肥和间作可以明显增加土壤中的酶活性,除间作对土壤中脱氢酶活性影响不显著外,其余影响皆达到显著水平。

表 2 不同施肥条件下间作对土壤中酶活性的影响

Table 2 Effects of intercropping on soil enzyme activities under different fertilization conditions

氮肥 Fertilization	间作 Intercropping	转化酶活性 Invertase $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$	脱氢酶活性 Dehydrogenase $/(\text{ug}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$	脲酶活性 Urease $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$	磷酸酶活性 Phosphatase $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1})$
不施肥 CK	KN986S	$5.38\pm 0.35\text{d}$	$0.83\pm 0.09\text{c}$	$0.34\pm 0.08\text{d}$	$1.63\pm 0.23\text{c}$
	KN986I	$8.81\pm 0.55\text{b}$	$0.90\pm 0.14\text{bc}$	$0.51\pm 0.09\text{bc}$	$1.85\pm 0.08\text{ab}$
	KN986 II	$9.42\pm 0.96\text{ab}$	$0.93\pm 0.14\text{abc}$	$0.49\pm 0.06\text{cd}$	$1.83\pm 0.11\text{abc}$
施肥 Fertilization	KN986S	$6.57\pm 0.46\text{c}$	$1.11\pm 0.22\text{abc}$	$0.57\pm 0.07\text{bc}$	$1.69\pm 0.26\text{bc}$
	KN986I	$10.26\pm 0.29\text{a}$	$1.24\pm 0.13\text{a}$	$0.65\pm 0.12\text{ab}$	$1.98\pm 0.17\text{a}$
	KN986 II	$10.08\pm 0.71\text{a}$	$1.15\pm 0.20\text{ab}$	$0.74\pm 0.12\text{a}$	$2.01\pm 0.13\text{a}$
<i>P</i> 值					
施肥处理 Fertilization		0.0035	0.0067	0.0006	0.0370
间作方式 Intercropping		0.0001	0.6018	0.0281	0.0031
施肥处理×间作方式 Fertilization×Intercropping		0.5498	0.8385	0.5449	0.6436

表中数据为平均数±标准差;各列后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著($P<0.05$)

2.5 微生物数量、酶活性与玉米籽粒品质、单株生物产量及产量的相关性分析

表 3 显示了上述土壤中四种微生物数量、四种酶活性及玉米 4 种品质指标、单株生物产量和产量(每平方千米经济产量)彼此之间皆存在正相关关系,说明了彼此之间存在正的相互促进作用。除细菌与油分、转化酶与脱氢酶、转化酶与脲酶、转化酶与淀粉、转化酶与蛋白质、转化酶与赖氨酸、转化酶与单株生物产量、转化酶与产量、脱氢酶与磷酸酶、磷酸酶与淀粉、磷酸酶与蛋白质、磷酸酶与单株生物产量之间的相关性不显著外($P>0.05$),其余各指标两两之间皆达到显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)水平。从单株生物产量与淀粉、蛋白质、油分、赖氨酸及产量的相关系数可以得出,生物产量不仅是玉米产量形成的基础,而且对玉米籽粒品质的影响很大。从表中亦可看出,土壤中的微生物数量与土壤中的酶活性之间的关系极为密切,二者之间皆达到显著或极显著正相关,同时由于二者在一定程度上反映着土壤的肥力水平,因此通过提高土壤中微生物数量和酶活性可以改善玉米的籽粒品质及增加玉米的单株生物产量和产量。土壤微生物数量和酶活性与玉米单株生物产量、籽粒品质及产量的关系极为密切,并存在正的促进作用。

3 讨论

合理的间作,由于株型及生理生态方面的差异,使时空与水肥利用产生互补作用,不仅比单作明显提高了产量,而且能显著改善作物的营养品质^[11-12]。Li 等^[13]在研究中发现玉米 || 蚕豆间作时,种间竞争较弱,玉米和蚕豆品质都能得到明显的改善。刘天学^[14]在对不同基因型玉米间作研究中发现间作可以提高玉米的产量,改善玉米的营养品质。但是不同品种间产量的提高和品质的改善未必是同步的,沈其荣^[15]通过对旱作水稻与花生间作系统的研究表明,水稻 || 花生间作具有显著的产量优势,间作水稻产量可以提高 18%—41%。本研究中同样表明,当玉米与大豆、花生豆科作物间作时,无论在施肥和不施肥条件下不仅明显增加了玉米的单株经济产量和生物产量,而且大田经济产量也显著提高,同时亦显著改善了玉米籽粒的营养品质,这与焦念

元等^[16]的研究结果相一致。此外本研究还表明间作在增加玉米产量、提高玉米籽粒淀粉、蛋白质和赖氨酸含量方面的效果没有施氮水平的影响效果显著。

表 3 土壤中微生物数量、酶活性与玉米籽粒品质、产量及单株生物产量的相关性

Table 3 Correlation matrix between the quantity of microorganisms, enzyme activities and maize grain quality, maize yield and biological yield per plant

	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	固氮菌 Nitrogen-fixing bacteria	转化酶 Invertase	脱氢酶 Dehydrogenase	脲酶 Urease	磷酸酶 Phosphatase
细菌 Bacteria	0.95 **	0.97 **	0.88 **	0.83 *	0.80 *	0.85 *	0.94 **
真菌 Fungi		0.96 **	0.93 **	0.82 *	0.89 **	0.96 **	0.91 **
放线菌 Actinomycetes		0.97 **	0.93 **	0.77 *	0.89 **	0.98 **	
固氮菌 Nitrogen-fixing bacteria		0.95 **	0.77 *	0.89 **	0.95 **		
转化酶 Invertase			0.55	0.74	0.96 **		
脱氢酶 Dehydrogenase				0.88 **	0.65		
脲酶 Urease					0.84 *		
磷酸酶 Phosphatase							
淀粉 Starch							
蛋白质 Protein							
油分 Oil							
赖氨酸 Lysine							
单株生物产量 Biological yield per plant							
	淀粉 Starch	蛋白质 Protein	油分 Oil	赖氨酸 Lysine	单株生物产量 Biological yield per plant	产量 Yield	
细菌 Bacteria	0.84 *	0.80 *	0.74	0.83 *	0.77 *	0.91 **	
真菌 Fungi	0.93 **	0.90 **	0.96 **	0.91 **	0.96 **		
放线菌 Actinomycetes	0.80 *	0.83 *	0.83 *	0.86 *	0.80 *	0.87 *	
固氮菌 Nitrogen-fixing bacteria	0.77 *	0.86 *	0.91 **	0.88 **	0.85 *	0.81 *	
转化酶 Invertase	0.57	0.66	0.76 *	0.7	0.64	0.65	
脱氢酶 Dehydrogenase	0.96 **	0.96 **	0.87 *	0.94 **	0.96 **	0.95 **	
脲酶 Urease	0.93 **	0.96 **	0.92 **	0.98 **	0.95 **	0.92 **	
磷酸酶 Phosphatase	0.7	0.75	0.76 *	0.78 *	0.71	0.77 *	
淀粉 Starch		0.94 **	0.86 *	0.96 **	0.94 **	0.98 **	
蛋白质 Protein			0.94 **	0.98 **	0.99 **	0.92 **	
油分 Oil				0.96 **	0.96 **	0.84 *	
赖氨酸 Lysine					0.98 **	0.95 **	
单株生物产量 Biological yield per plant						0.92 **	

* 为显著相关 ($P < 0.05$), ** 为极显著相关 ($P < 0.01$)

土壤微生物是土壤生态系统的重要组成部分,土壤微生物数量与作物地下部及地上部生长有密切联系,土壤-作物系统与土壤微生物之间存在相互作用、互为条件的关系。宋亚娜^[17]在小麦 || 蚕豆、玉米 || 蚕豆和小麦 || 玉米间作中发现间作相对于单作能够提高作物根系细菌群落多样性,改变根际细菌群落结构组成;柴强^[18]在玉米 || 蚕豆和玉米 || 鹰嘴豆间作中同样证明了间作作物根际微生物多样性显著高于相应单作,间作能提高土壤中的细菌、真菌和放线菌的数量相对于单作。本研究表明,无论在施肥和不施肥条件下间作相对于单作可以明显增加土壤中的细菌、真菌、放线菌和固氮菌的数量并达到显著水平,与吴凤芝等^[19]的研究结果相一致。这可能是由于施氮肥增加了土壤中的氮素,可以为微生物提供更多的氮源,而间作中作物根系的互作可以使根系土壤中含有更多的维生素、碳水化合物、氨基酸和有机酸等,从而明显提高了土壤中微生物的数量^[17,20]。

土壤酶活性反映了土壤中各种生物化学过程的强度和方向,它与土壤理化特性、肥力状况和农业措施有着显著的相关性,是土壤肥力评价的重要指标之一^[21]。柴强等^[18]通过玉米||蚕豆间作发现种植模式对土壤过氧化氢酶和磷酸酶活性具有极显著影响;刘均霞^[22]等通过盆栽试验表明间作体系中玉米、大豆根际土壤中的脲酶和磷酸酶活性均显著高于相应单作。在本试验中我们同样发现无论在施肥和不施肥条件下间作除对脱氢酶活性的影响没有达到显著水平外,对转化酶、脲酶和磷酸酶活性的影响都达到显著水平,与姜莉等^[8]的研究结果相一致。

土壤微生物参与土壤的物质循环和能量转化,而土壤酶参与土壤的许多重要的生物化学过程,二者共同成为评价土壤肥力的重要指标。本试验通过相关分析得出,土壤中微生物数量和土壤酶活性之间有显著或极显著的正相关关系,与张继光等^[23]的研究结果相一致,证明了土壤微生物数量和酶活性关系极为密切并相互影响。符冠富等^[24]在研究中发现水稻灌浆中后期的土壤酶活性与水稻产量及干物质量的相关性皆达到显著水平。马冬云等^[25]在研究证实土壤中微生物数量和酶活性的增加有利于小麦产量的增加,证明他们之间存在正的相关关系。本研究同样表明,玉米单株生物产量、产量及其籽粒品质除与土壤中转氨酶及磷酸酶活性相关不显著外,与该试验中的土壤微生物数量和其它相关酶活性之间皆显著或极显著相关,说明了土壤微生物数量和酶活性通过影响土壤肥力进而影响到玉米的品质、单株生物产量和大田产量,且彼此之间存在正的相互促进作用。因此在红壤旱地上采用禾本科作物和豆科作物间作,可以充分利用间作作物生态位分离的原理,并通过合理的施肥可以增加土壤中微生物数量和酶活性,有效提高土壤肥力改善作物的生长发育和营养状况,进而达到改善作物营养品质、提高作物产量的目的。

References:

- [1] Xiao Y B, Li L, Zhang F S. The interspecific nitrogen facilitation and the subsequent nitrogen transfer between the intercropped wheat and fababean. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(5): 965-973.
- [2] Xiao Y B, Li L, Zhang F S. The enhancement of growth and nutrients uptake by crops with inoculating rhizobium strain NM353 in wheat and faba bean intercropping system. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(1): 89-96.
- [3] Li L. Interspecific Facilitative and Competitive Interactions Between Intercropped Species [D]. Beijing: China Agricultural University, 1999.
- [4] Chu G X, Shen Q R, Zhang J, Xiao L Y, Mao Z S. Comparison of two methods used to study the biological nitrogen fixation and nitrogen transfer from peanut to rice in aerobic soil of intercropping system. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(4): 385-389.
- [5] Lesoing G W, Francis C A. Strip intercropping effects on yield and yield components of corn, grain sorghum, and soybean. *Agronomy Journal*, 1999, 91(5): 807-813.
- [6] Miao L, Wang L, Huang G B, Luo Z Z, Li D H. Effects of conservation tillage on soil enzymatic activities in rainfed wheat field. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(1): 6-11.
- [7] Sun J, Liu M, Li L J, Liu J H, Zhang X J. Influence of non-tillage and stubble on soil microbial biomass and enzyme activities in rain-fed field of inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5509-5515.
- [8] Jiang L, Chen Y Q, Sui P, Luan C, Zhang M, Wang H J, Li Y Y, Gao W S. The rhizosphere soil enzyme activities of different corn intercropping system. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(9): 326-330.
- [9] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Methods for Studying Soil Microbial*. Beijing: Science Press, 1985: 12-36.
- [10] Guan S Y. *Soil Enzymes and the Research Methods*. Beijing: Agriculture Press, 1983: 23-47.
- [11] Liu X Z, Zhang Y J, Du H L. Effects of moisture-fertilizer interaction on the yields of maize and soybean under the condition of intercropping. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(3): 75-77.
- [12] Sekamatte B M, Ogenga-Latigo M, Russell-Smith A. Effects of maize-legume intercrops on termite damage to maize, activity of predatory ants and maize yields in Uganda. *Crop Protection*, 2003, 22(1): 87-93.
- [13] Li L, Yang S C, Li X L, Zhang F S, Christie P. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean. *Plant and Soil*, 1999, 212(2): 105-114.
- [14] Liu T X, Li C H, Ma X M, Zhao X, Liu S Y. Effects of maize intercropping with different genotypes on leaf senescence and grain yield and quality. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(4): 914-921.
- [15] Shen Q R, Chu G X, Cao J L, Cao Y, Yin X X. Yield advantage of groundnut intercropped with rice cultivated in aerobic soil from the viewpoint of plant nitrogen nutrition. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(8): 1177-1182.
- [16] Jiao N Y, Ning Y T, Zhao C, Wang Y, Shi Z Q, Hou L T, Fu G Z, Jiang Z D, Li Z J. Characters of photosynthesis in intercropping system of maize and peanut. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(6): 917-923.

- [17] Song Y N, Marschner P, Zhang F S, Bao X G, Li L. 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*, 2006, 26(7): 2268-2274.
- [18] Chai Q, Huang P, Huang G B. Effect of intercropping on soil microbial and enzyme activity in the rhizosphere. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(5): 105-110.
- [19] Wu F Z, Zhou X G. Effect of intercropping of cucumber with different crops on cucumber diseases and soil microbial community diversity. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(5): 899-906.
- [20] Liu G C. Difference and Its Mechanism of Interspecific Nutrition Competition in Different Intercropping Systems [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2005.
- [21] Li C F, Cao C G, Xu Y H, Wang J P, Zhan M, Yang X W, Pang H D. Dynamics of soil microbial biomass N and soil enzymes activities in rice-duck and rice-fish ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3905-3912.
- [22] Liu J X, Lu Y G, Yuan H W, Jiao X M, Cui B W. Effects of intercrop maize and soybean on rhizosphere soil microbes and enzyme activity. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2007, 35(2): 60-61.
- [23] Zhang J G, Qin J T, Yao W Q, Zhou R, Zhang B. Effects of long-term fertilization on soil active organic carbon and soil enzyme activities in upland red soils. *Soils*, 2010, 42(3): 364-371.
- [24] Fu G F, Wang D Y, Xu C M, Peng J, Han B, Tao L X, Zhang X F. Relationships between soil enzyme activities and rice grain yield, leaf senescence during grain filling under winter conservation tillage in paddy field. *Chinese Journal of Rice Science*, 2009, 23(1): 43-50.
- [25] Ma D Y, Guo T C, Song X, Wang C Y, Zhu Y J, Wang Y H, Yue Y J, Cha F N. Effects of urea application rate on the quantity of microorganisms and activity of enzymes in wheat rhizosphere. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5222-5228.

参考文献:

- [1] 肖焱波, 李隆, 张福锁. 小麦/蚕豆间作体系中的种间相互作用及氮转移研究. *中国农业科学*, 2005, 38(5): 965-973.
- [2] 肖焱波, 李隆, 张福锁. 根瘤菌菌株 NM353 对小麦/蚕豆间作体系中作物生长及养分吸收的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(1): 89-96.
- [3] 李隆. 间作物种间促进与竞争作用研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 1999.
- [4] 褚贵新, 沈其荣, 张娟, 肖龙云, 崑泽圣. 用 N 富集标记和稀释法研究旱作水稻/花生间作系统中氮素固定和转移. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(4): 385-389.
- [6] 苗琳, 王立, 黄高宝, 罗珠珠, 李登航. 保护性耕作对旱地麦田土壤酶活性的影响. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(1): 6-11.
- [7] 孙建, 刘苗, 李立军, 刘景辉, 张星杰. 免耕与留茬对土壤微生物量 C、N 及酶活性的影响. *生态学报*, 2009, 29(10): 5509-5515.
- [8] 姜莉, 陈源泉, 隋鹏, 栾琛, 张敏, 汪洪焦, 李媛媛, 高旺盛. 不同间作形式对玉米根际土壤酶活性的影响. *中国农学通报*, 2010, 26(9): 326-330.
- [9] 中国科学院南京土壤所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985: 12-36.
- [10] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1983: 23-47.
- [11] 刘秀珍, 张阅军, 杜慧玲. 水肥交互作用对间作玉米、大豆产量的影响研究. *中国生态农业学报*, 2004, 12(3): 75-77.
- [14] 刘天学, 李潮海, 马新明, 赵霞, 刘士英. 不同基因型玉米间作对叶片衰老、籽粒产量和品质的影响. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 914-921.
- [15] 沈其荣, 褚贵新, 曹金留, 曹云, 殷晓燕. 从氮素营养的角度分析旱作水稻与花生间作系统的产量优势. *中国农业科学*, 2004, 37(8): 1177-1182.
- [16] 焦念元, 宁堂原, 赵春, 王芸, 史忠强, 侯连涛, 付国占, 江晓东, 李增嘉. 玉米花生间作复合体系光合特性的研究. *作物学报*, 2006, 32(6): 917-923.
- [17] 宋亚娜, Marschner P, 张福锁, 包兴国, 李隆. 小麦/蚕豆, 玉米/蚕豆和小麦/玉米间作对根际细菌群落结构的影响. *生态学报*, 2006, 26(7): 2268-2274.
- [18] 柴强, 黄鹏, 黄高宝. 间作对根际土壤微生物和酶活性的影响研究. *草业学报*, 2005, 14(5): 105-110.
- [19] 吴凤芝, 周新刚. 不同作物间作对黄瓜病害及土壤微生物群落多样性的影响. *土壤学报*, 2009, 46(5): 899-906.
- [20] 刘广才. 不同间套作系统种间营养竞争的差异性及其机理研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [21] 李成芳, 曹湊贵, 徐拥华, 汪金平, 展茗, 杨学伟, 庞海东. 稻鸭与稻鱼生态系统土壤微生物量 N 和土壤酶活性动态. *生态学报*, 2008, 28(8): 3905-3912.
- [22] 刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 焦学梅, 崔保伟. 玉米、大豆间作对根际土壤微生物数量和酶活性的影响. *贵州农业科学*, 2007, 35(2): 60-61.
- [23] 张继光, 秦江涛, 要文倩, 周睿, 张斌. 长期施肥对红壤旱地土壤活性有机碳和酶活性的影响. *土壤*, 2010, 42(3): 364-371.
- [24] 符冠富, 王丹英, 徐春梅, 彭建, 韩博, 陶龙兴, 章秀福. 稻田冬季保护性耕作条件下的土壤酶活性与水稻成熟期叶片衰老和籽粒产量之间的关系. *中国水稻科学*, 2009, 23(1): 43-50.
- [25] 马冬云, 郭天财, 宋晓, 王晨阳, 朱云集, 王永华, 岳艳军, 查菲娜. 尿素施用量对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响. *生态学报*, 2007, 27(12): 5222-5228.

CONTENTS

The combined effects of elevated CO ₂ and elevated temperature on proliferation of cyanophage PP	NIU Xiaoying, CHENG Kai, RONG Qianqian, et al (6917)
Precipitation pattern of desert steppe in Inner Mongolia, Sunite Left Banner: 1956—2009	CHEN Jun, WANG Yuhui (6925)
Emergy and economic evaluations of two sewage treatment systems	LI Min, ZHANG Xiaohong, LI Yuanwei, et al (6936)
Individual spatial pattern and spatial association of <i>Stipa krylovii</i> population in Alpine Degraded Grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6946)
Litter characteristics of nutrient and stoichiometry for <i>Phyllostachys praecox</i> over soil-surface mulching	LIU Yadi, FAN Shaohui, CAI Chunju, et al (6955)
Characteristics of leaf element concentrations of twelve nutrients in <i>Acacia confusa</i> and <i>Leucaena glauca</i> in secondary forests of acid rain region in Fuzhou	HAO Xinghua, HONG Wei, WU Chengzhen, et al (6964)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in “Yuhualu” juicy peach orchard	KE Lei, SHI Xiaoli, ZOU Yunding, et al (6972)
Simulating 10-hour time-lag fuel moisture in Daxinganling	HU Tianyu, ZHOU Guangsheng, JIA Bingrui (6984)
Soil nutrient characteristics under different vegetations in the windy and sandy region of northern Shaanxi	LI Wenbin, LI Xinpeng (6991)
Partitioning of autotrophic and heterotrophic soil respiration in southern type poplar plantations	TANG Luozhong, GE Xiaomin, WU Lin, et al (7000)
Soil water and salinity in response to water deliveries and the relationship with plant growth at the lower reaches of Heihe River, Northwestern China	YU Tengfei, FENG Qi, LIU Wei, et al (7009)
Effect of stem diameter at breast height on skewness of sap flow pattern and time lag	MEI Tingting, ZHAO Ping, NI Guangyan, et al (7018)
Invasion of exotic <i>Ageratina adenophora</i> Sprengel. alters soil physical and chemical characteristics and arbuscular mycorrhizal fungus community	YU Wenqing, LIU Wanxue, GUI Furong, et al (7027)
Models and methods for information extraction of complex ground objects based on LandSat TM images of Hainan Island, China	WANG Shudong, ZHANG Lifu, CHEN Xiaoping, et al (7036)
Effects of snow pack removal on soil hydrolase enzyme activities in an alpine <i>Abies faxoniana</i> forest of western Sichuan	YANG Yulian, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (7045)
Effects of different soil water treatments on photosynthetic characteristics and grain yield in rice	WANG Weixiao, LIU Xiaojun, TIAN Yongchao, et al (7053)
Growth characteristics, lignin degradation enzyme and genetic diversity of <i>Fomes fomentarius</i> by SRAP marker among populations	CAO Yu, XU Ye, WANG Qiuyu (7061)
Effects of the invasion by <i>Solidago canadensis</i> L. on the community structure of soil animals	CHEN Wen, LI Tao, ZHENG Rongquan, et al (7072)
Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils	ZHANG Xiangqian, HUANG Guoqin, BIAN Xinmin, et al (7082)
Influence of mycorrhizal inoculation on competition between plant species and inorganic phosphate forms	ZHANG Yuting, ZHU Min, XIAN Yanxiangwa, et al (7091)
The stable nitrogen isotope of size-fractionated plankton and its relationship with biomass during winter in Daya Bay	KE Zhixin, HUNG Liangmin, XU Jun, et al (7102)
Dynamics of toxic and non-toxic <i>Microcystis</i> spp. during bloom in the large shallow hypereutrophic Lake Taihu	LI Daming, YE Linlin, YU Yang, et al (7109)
Activities of antioxidant enzymes and Zn-MT-like proteins induced in <i>Chlorella vulgaris</i> exposed to Zn ²⁺	YANG Hong, HUANG Zhiyong (7117)
Ecological footprint in Fujian based on calculation methodology for the national footprint accounts	QIU Shoufeng, ZHU Yuan (7124)
The comparison of CO ₂ emission accounting methods for energy use and mitigation strategy: a case study of China	YANG Xiai, CUI Shenghui, LIN Jianyi, et al (7135)
Ecological damage assessment of Jiaozhou Bay reclamation based on habitat equivalency analysis	LI Jingmei, LIU Tieying (7146)
The value assessment of county-level ecological assets: a case in Fengning County, Hebei Province	WANG Hongyan, GAO Zhihai, LI Zengyuan, et al (7156)
Review and Monograph	
Molecular basis for enhancement of plant drought tolerance by arbuscular mycorrhizal symbiosis: a mini-review	LI Tao, DU Juan, HAO Zhipeng, et al (7169)
A review of carbon cycling and sequestration in urban soils	LUO Shanghua, MAO Qizheng, MA Keming, et al (7177)
Overview on methods of deriving fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FPAR) using remote sensing	DONG Taifeng, MENG Jihua, WU Bingfang (7190)
Research progress on influencing of light attenuation and the associated environmental factors on the growth of submersed aquatic vegetation	WU Mingli, LI Xuyong (7202)
The framework of stoichiometry homeostasis in zooplankton elemental composition	SU Qiang (7213)
Scientific Note	
Abundance and biomass of planktonic ciliates in the sea area around Zhangzi Island, Northern Yellow Sea in July and August 2010	YU Ying, ZHANG Wuchang, ZHANG Guangtao, et al (7220)
Research of wildlife resources sustainable development based on entropy method in China	YANG Xitao, ZHOU Xuehong, ZHANG Wei (7230)
Influence of residue composition and addition frequencies on carbon mineralization and microbial biomass in the soils of agroforestry systems	WANG Yikun, FANG Shengzuo, TIAN Ye, et al (7239)
Seasonal changes in microbial diversity in different cells of a wetland system constructed for municipal sewage treatment	CHEN Yonghua, WU Xiaofu, ZHANG Zhenni, et al (7247)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 22 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 22 (November, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元