

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **2011**

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 31 卷 第 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

杨文亭,李志贤,舒磊,王建武. 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响. 生态学报, 2011, 31(20): 6108-6115.
Yang W T, Li Z X, Shu L, Wang J W. Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6108-6115.

甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、 植株及土壤氮素的影响

杨文亭,李志贤,舒磊,王建武*

(华南农业大学热带亚热带生态研究所; 华南农业大学农业部生态农业重点开放实验室;
华南农业大学广东省高等学校农业生态与农村环境重点实验室, 广州 510642)

摘要:通过田间试验探讨了甘蔗//大豆 1:1、1:2 间作模式和施氮(300 kg/hm²、525 kg/hm²)水平对甘蔗鲜重产量、甘蔗单株氮含量、土壤硝态氮、铵态氮以及微生物量氮的影响。结果表明:减量施氮(300 kg/hm²)水平下,间作甘蔗鲜重产量较单作显著下降,但间作的土地当量比均大于 1,且大豆产量为 1.52 和 3.25 t/hm²。不同施氮水平对甘蔗鲜重无显著影响,施氮水平和种植模式对甘蔗单株氮吸收量、甘蔗收获后土壤硝态氮和微生物量氮均无显著影响。土壤氮素随甘蔗大豆的不同生长时期而变化,在甘蔗分蘖末期(大豆收获期)达到最低值,此时期减量施氮水平下甘蔗//大豆间作模式(1:1)土壤硝态氮显著高于单作。综合以上结果,从提高土地利用率和保护农业生态环境考虑,甘蔗//大豆间作模式下减量施氮具有一定的可行性。

关键词:甘蔗//大豆间作;产量;硝态氮;铵态氮;微生物量氮

Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen

YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, WANG Jianwu*

Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University; Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture, South China Agricultural University; Key Laboratory of Agroecology and Rural Environment of Guangdong Regular Higher Education Institutions, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: Sugarcane (*Saccharum sinensis* Roxb) is an important sugar crop in China which mainly produced in subtropical and tropical region of China. Wide row spacing (120 cm) and initial slow growth rate of sugarcane offers a suitable space and resources (water, nutrition, light) niche for intercropping in sugarcane. Meanwhile, over input of nitrogenous fertilizer was also a big problem which results in soil acidification and environmental pollution. How to reduce nitrogen application and design suitable sugarcane intercropping pattern is the key techniques to make the sugarcane production more sustainable in south China.

In order to explore the sugarcane fresh yield and dynamic changes in nitrogen uptake by sugarcane, soil nitrate, ammonium and microbial biomass nitrogen, a field experiments were conducted in 2010 at experimental farm of South China Agricultural University (23°08'N, 113°15'E). The experiments were the randomized block design with two levels of N fertilizer (300 kg/hm², 500 kg/hm²) and four cropping patterns (sugarcane monoculture, soybean (*Glycine max* L.) monoculture, sugarcane//soybean (1:1 rows) intercropping, sugarcane//soybean (1:2 rows) intercropping). All the treatments have three replicates, each plot (4.8×5.5 m) grows four rows of sugarcane except the soybean monoculture

基金项目:国家重大基础研究计划项目(2011CB100400); 国家科技支撑计划项目(2007BAD89B14); 广东省科技计划资助项目(2008A020100011)

收稿日期:2011-06-07; 修订日期:2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangjw@scau.edu.cn

treatment in which grows 16 rows soybean.

The results showed that sugarcane fresh yield significantly decreased in 1:1 and 1:2 rows intercropping systems compared to sugarcane monoculture under reduced N application (300 kg/hm^2), but the LER (land equivalent ratio) of the two intercropping treatments were bigger than 1, and harvested 1.52 and 3.25 t/hm^2 soybean respectively. There is no significant difference between the sugarcane fresh yield of the two nitrogen application levels. Nitrogen rates and cropping patterns did not influence sugarcane's nitrogen uptake, soil nitrate and microbial biomass nitrogen when the sugarcane harvested. Soil nitrogen in the plough layer changed with crops growth, the lowest content appeared at tillering (soybean harvest) growth stage of sugarcane, soil nitrate nitrogen content was remarkably higher in sugarcane//soybean intercropping (1:1 rows) than sole cropping in this stage. In conclusion, intercropping patterns improved the LER, reduced nitrogen application did not notably affected sugarcane fresh yield, and the soil nitrogen content in plough layer was not different in all treatments. Sugarcane//soybean intercropping under reduced nitrogen application is feasible to practice in consideration of improving the utilization rate of land and agricultural environmental protection.

Key Words: sugarcane-soybean intercropping; yield; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; microbial biomass nitrogen

甘蔗(*Saccharum sinensis* Roxb)为热带、亚热带的主要糖料作物,我国是世界第3大甘蔗种植国,2007年种植面积为 $1.23 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[1]。甘蔗前期生长缓慢,种植行距较宽(120cm),苗期长时间土地裸露期、光照和土地资源利用不充分^[2]。同时,蔗田普遍存在偏施氮肥的现象^[3-4],我国蔗田的氮肥施用量为巴西蔗区的4—8倍^[5],氮肥的大量施用不仅提高了生产成本,造成肥料浪费,也引起了土壤酸化、地力退化和环境污染^[6]。因此探讨甘蔗合理的种植模式以及减量施氮水平成为甘蔗生产中需要解决的关键问题。研究表明间作能提高水分^[7]、养分^[8]和光能^[9]的利用效率,还可以减少杂草和病虫害的发生^[10-11],提高土地利用效率^[12]。禾本科与豆科间作,可以通过豆科作物生物固氮而提高禾本科作物的产量^[13-14]。甘蔗//大豆间作的优势在甘蔗经济效率和土地利用上已经得到体现^[15-16],但是甘蔗//大豆间作模式下减量施氮对土壤氮素影响的研究报道还很少见。为此,本文以不同的甘蔗//大豆间作体系为对象,研究不同施氮水平,不同种植模式对甘蔗产量和土壤氮素的影响,旨在为甘蔗种植过程中合理施氮提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2010年3月至2010年12月在华南农业大学农场(23°08'N, 113°15'E)进行,2010年广州年平均降水量为2145.3 mm,年日照时数在1175—1643 h,年极端最高气温在36.6—37.3℃,年极端最低气温在-1.6—3.0℃。甘蔗生长期间(2010年3月—2010年12月)平均气温为23.56℃,降水量为1948.2 mm,各月具体情况见图1(资料来源于2010年广州市气候公报)。试验地土壤为赤红壤,耕层有机质含量21.08 g/kg,碱解氮75.38 mg/kg,速效磷75.04 mg/kg,速效钾61.71 mg/kg。

1.2 试验材料与田间试验设计

试验供试甘蔗品种为粤糖00-236(*Saccharum sinensis* Roxb. cv. Yuetang00-236),其特点是特早熟、高糖、高产、萌芽快而整齐、萌芽率高、分蘖力强、成茎率高。供试大豆品种为毛豆3(*Glycine max* L. cv. Maodou No. 3),为早熟品种,生育期约为100d。

根据当地甘蔗施氮量设置施氮水平,常规施氮为 525 kg/hm^2 ,减量施氮为 300 kg/hm^2 。本试验采用施氮

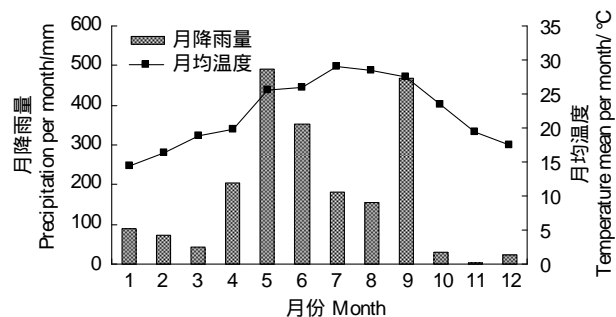


图1 2010广州月降雨量和月均温度图

Fig. 1 The data of precipitation and average temperature per month in 2010 Guangzhou

水平、种植模式二因素设计,两种施氮水平,3种甘蔗种植模式,一个不施肥的大豆单作为对照,共设7个处理(表1)。试验采取随机区组设计,3次重复,小区长为5.5 m,宽为4.8 m,小区面积为26.4 m²,甘蔗行距120 cm,大豆行距30 cm,株距20 cm。甘蔗单作和间作每小区均种植4行,大豆单作16行,每行种25穴,每穴在苗期定植2株。甘蔗//大豆(1:1)和甘蔗//大豆(1:2)种植分别种植4行和8行大豆。

表1 甘蔗//大豆间作田间试验设计

Table 1 Field experiment design of sugarcane//soybean intercropping

处理 Treatment	施氮水平 Nitrogen rate/(kg/hm ²)	种植方式 Cropping patterns
SsN ₁	300	单作甘蔗 Sole sugarcane
IsbN ₁	300	甘蔗//大豆(1:1) Sugarcane/soybean
Is2bN ₁	300	甘蔗//大豆(1:2) Sugarcane/soybean
Sb	0	单作大豆 Sole soybean
SsN ₂	525	单作甘蔗 Sole sugarcane
IsbN ₂	525	甘蔗//大豆(1:1) Sugarcane/soybean
Is2bN ₂	525	甘蔗//大豆(1:2) Sugarcane/soybean

田间试验于2010年3月15日播种甘蔗,3月16日播种大豆,6月20日大豆收获,12月26日甘蔗收获。2010年3月13日施基肥(氯化钾150 kg/hm²,过磷酸钙1050 kg/hm²,复合肥(N:P:K=15:15:15)750 kg/hm²),5月8日追施攻蘖肥,追施氯化钾300 kg/hm²,常规施氮处理追施尿素225 kg/hm²、减量施氮处理追施尿素113 kg/hm²;7月1日施攻茎肥,常规施氮处理追施尿素672 kg/hm²,减量施氮处理追施尿素295 kg/hm²。施肥量和其他田间管理与2009年种植保持一致。

1.3 取样和分析方法

1.3.1 本试验样品采自2010年3月到2010年12月甘蔗生长期

分别在甘蔗分蘖初期(大豆开花)(5月5日)、甘蔗分蘖末期(大豆收获)(6月20日)、甘蔗伸长期(9月24日)和甘蔗收获期(12月26日)在每小区选取有代表性的甘蔗植株3株,茎、叶于105℃下杀青30 min,80℃烘至恒重,测定其干物质质量,用粉碎机全部磨碎备用。甘蔗和甘蔗鲜重产量的测定是在成熟期分别取每小区第3行实收、取单株平均值,依据小区大豆株数和蔗茎数换算每公顷的产量。土壤取样是在甘蔗种植前、分蘖初期、分蘖末期、伸长期和收获期进行,在小区的第2行利用S形取样法用土钻($d=5$ cm)取0—30 cm的3个样点,混合均匀,过2 mm筛,放4℃冷柜保存,用于检测土壤硝态氮、铵态氮和土壤微生物量氮。

1.3.2 土地当量比(Land equivalent ratio, LER)用来衡量间作产量优势,其计算公式^[17]为:

$$LER = Y_{ib} / Y_{sb} + Y_{is} / Y_{ss}$$

式中, Y_{ib} 、 Y_{is} 分别为间作大豆和甘蔗产量(t/hm²); Y_{sb} 、 Y_{ss} 分别为单作大豆和单作甘蔗产量(t/hm²)。

1.3.3 植株全氮分析用H₂SO₄-H₂O₂消煮-凯氏定氮法测定^[18],土壤硝态氮含量采用紫外分光光度法测定^[19],土壤铵态氮含量采用KCl浸提-靛酚蓝比色法^[20],土壤微生物量氮采用氯仿熏蒸提取-茚三酮比色法^[21]。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2003和SPSS 13.0软件进行数据处理和统计分析,用LSD(Least Significant Difference)法检验差异显著性($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同种植制度对甘蔗和甘蔗鲜重产量的影响

减量施氮下,Isb和Is2b种植模式下甘蔗鲜重产量比单作分别显著下降了16.92%和16.01%(表2);但在常规施氮水平时,间作与单作间的甘蔗鲜重产量则没有显著差异。不同的施氮水平对大豆鲜重产量没有产生显著影响,这可能与大豆本身具有生物固氮作用有关。由于相同种植面积内单作大豆种植的株数是Is2b

和 Isb 处理的 2 和 4 倍,所以大豆鲜荚产量才有显著差异,平均单株鲜荚产量并没有显著差异。从土地当量比来看,两种施氮水平的间作 LER 均大于 1,处于 1.08—1.38 之间。

表 2 不同种植制度的甘蔗和大豆鲜荚产量

Table 2 The sugarcane and soybean pod fresh weight yield of different cropping systems

施氮水平/(kg/hm ²) Nitrogen rate	种植模式 Cropping pattern	甘蔗鲜重产量/(t/hm ²) Sugarcane fresh weight yield	大豆鲜荚产量/(t/hm ²) Soybean pod fresh weight yield	土地当量比 LER
300	Ss	125.07±4.54a	—	1
300	Isb	103.91±6.92b	1.52±0.35c	1.08
300	Is2b	105.04±3.05b	3.25±0.27b	1.38
525	Ss	117.65±5.55ab	—	1
525	Isb	107.83±6.20b	2.01±0.35c	1.25
525	Is2b	114.71±2.60ab	2.40±0.34bc	1.37
0	Sb	—	6.03±0.44a	1

同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平 (P<0.05)

2.2 不同种植制度下甘蔗氮素吸收动态变化

由图 2 可以看出,甘蔗在早期氮素吸收量较少,随着生育进程的推进,在减量施氮水平下,甘蔗对氮素的吸收在伸长期末期达到高峰,而常规施氮水平下,甘蔗对氮素的吸收一直在增加。无论是减量施氮水平还是在常规施氮水平下,间作模式下的甘蔗单株氮素吸收量与单作相比均没有明显差异;相同种植模式下,不同施氮水平也没有显著影响到甘蔗单株氮素吸收量。

2.3 不同种植制度下甘蔗不同生育时期土壤硝态氮的动态变化

硝酸盐是旱地植株主要摄取的氮素形态,从图 3 可以看出,在甘蔗播前,各处理间没有显著差异,土壤硝态氮平均含量为 10.68 mg/kg。在甘蔗分蘖初期(大豆开花),施氮水平和种植模式对土壤硝态氮均没有产生显著影响。在甘蔗分蘖末期(大豆收获),减量施氮水平下,间作模式 Is2b 的土壤硝态氮含量显著高于 Ss,升高了 27.33%。甘蔗伸长期,相同施氮水平下,种植模式间的土壤硝态氮含量没有显著差异,但是相同的间作模式在不同的施氮水平间表现出显著差异,IsbN1 模式

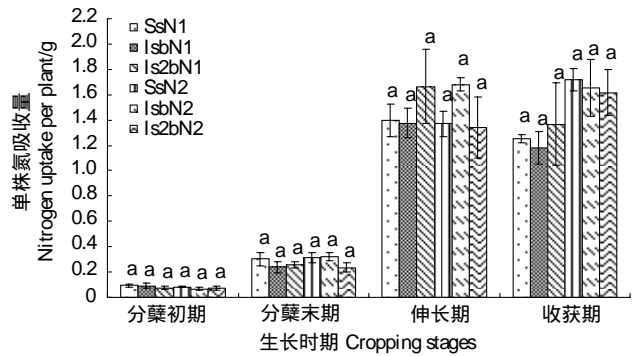


图 2 甘蔗不同生育时期不同种植制度下单株氮素吸收量

Fig. 2 The nitrogen uptake per plant in different sugarcane cropping systems under different growth stages

柱上不同字母表示差异达 5% 显著水平 (P<0.05)

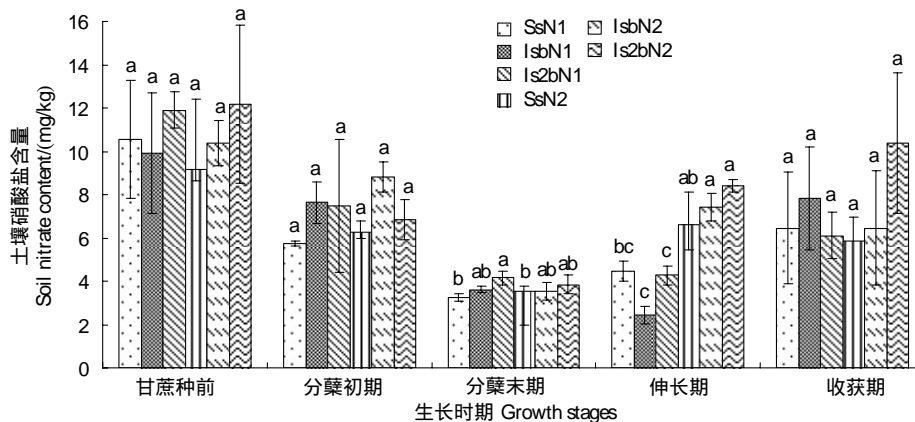


图 3 甘蔗不同生育时期不同种植制度下土壤硝态氮含量

Fig. 3 The soil nitrate nitrogen content in different sugarcane cropping systems under different growth stages

比 IsbN2 降低了 67.27% ,Is2bN1 模式比 Is2bN2 降低了 49.28% 。在甘蔗收获期,各个处理间土壤硝态氮含量都没有显著差异。

2.4 不同种植制度下甘蔗不同生育时期土壤铵态氮的动态变化

对于旱地来说,土壤含水量较低,土壤铵态氮含量相对较小。如图 4 所示,在甘蔗种前,土壤铵态氮含量平均为 2.85 mg/kg,土壤铵态氮含量只有在甘蔗收获期表现出显著差异,减量施氮水平下单作甘蔗的土壤铵态氮含量比两种间作分别高出了 65.09% ,55.30% ;常规施氮水平下间作甘蔗模式下铵盐含量比单作显著增加,分别增加了 69.44% ,53.71% 。其他生育时期内各处理间土壤铵态氮含量无显著差异。

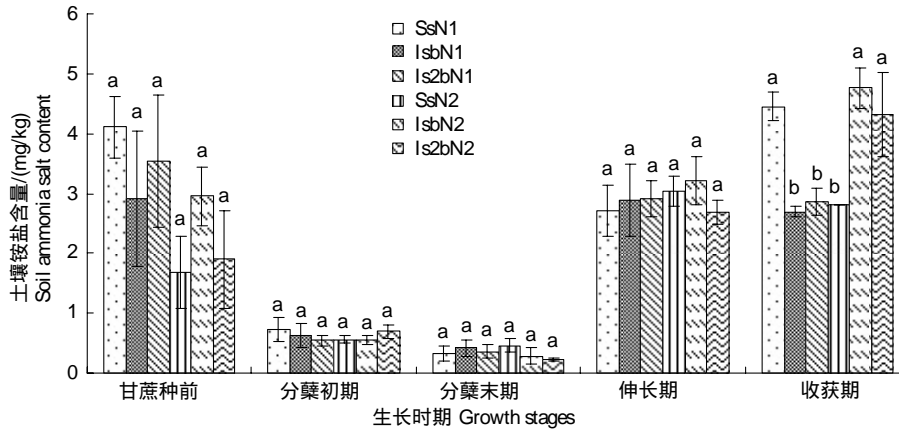


图 4 甘蔗不同生育时期不同种植制度下土壤铵态氮含量

Fig. 4 The soil ammonium nitrogen content in different sugarcane cropping systems under different growth stages

2.5 不同种植制度下甘蔗不同生育时期土壤微生物生物量氮的动态变化

土壤微生物生物量氮作为土壤有机氮素最活跃的一部分,是表征土壤肥力的一个重要指标。如图 5 表明:土壤微生物生物量氮含量在甘蔗种植前并不一致,减量施氮水平下,不同种植模式间均无显著差异;但是在常规施氮水平下,Isb 模式下比 Ss 高 61.51% ,表现出显著差异。在整个甘蔗生育期,无论是减量施氮还是在常规施氮,甘蔗间作模式下的土壤微生物生物量氮含量与甘蔗单作相比均没有显著差异;相同种植模式下,不同施氮水平也没有显著影响到土壤微生物生物量氮。

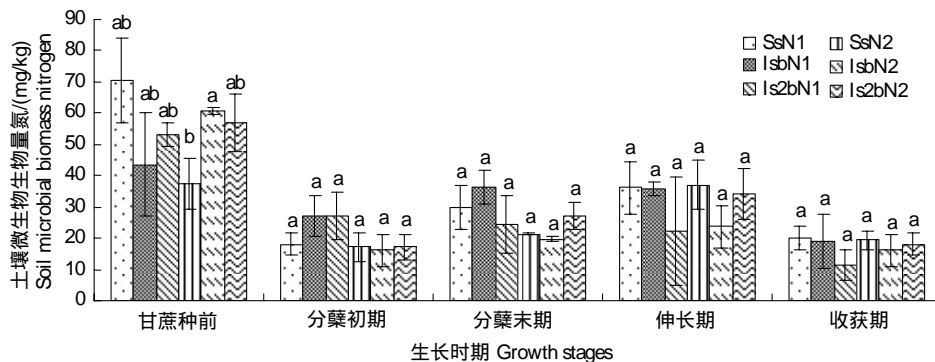


图 5 甘蔗不同生育时期不同种植制度下土壤微生物生物量氮含量

Fig. 5 The soil microbial biomass nitrogen content in different sugarcane cropping systems under different growth stages

3 讨论

间作是中国传统精细农业的一部分,国内外很多研究表明,豆科和禾本科间作能提高禾本科作物的产量,提高土地利用率^[22-23]。从本研究结果来看,甘蔗间作大豆条件下,甘蔗鲜重产量在减量施氮条件下和常规施氮条件下没有显著差异,表明 300 kg/hm² 的施氮量并不会影响甘蔗鲜重产量,这与同一试验地 2009 季的鲜

重产量结果相似^[16]。表明 300 kg/hm² 的施氮量能够满足甘蔗生长对氮素的需求,过多的氮素并不会增加甘蔗鲜重产量。类似的现象也发生在黑小麦//大豆间作体系中^[24]。在减量施氮水平下,间作模式甘蔗鲜重产量降低了 16.92% 和 16.01%,但土地当量比均高于单作,表明间作可以提高土地单位面积的生产力,同时有研究表明,间作大豆可以降低甘蔗分蘖,使甘蔗有效茎数减少^[25],这可能也是甘蔗鲜重产量下降的原因之一。常规施氮水平下,间作模式较单作无显著差异。可能是由于 525 kg/hm² 的施氮量,氮肥供应量充足,大豆对甘蔗吸收养分影响较少。总的来说,甘蔗//大豆间作提高了土地利用效率,两种施氮水平下间作模式的 LER 均大于 1,体现了一定的间作优势。

从甘蔗吸收氮素过程来看,在甘蔗大豆共生期,单作模式下的单株氮吸收量高于间作模式,这可能是由于试验间作体系是增加型间作,即在保持甘蔗单作密度不变的情况下,在甘蔗行间加种了不同行数的大豆,而没有额外施肥的情况下,间作大豆加剧了植株对氮素的竞争所致。秸秆还田能够提供一定量的氮源,本研究发现在甘蔗伸长期,间作模式的甘蔗单株氮素吸收量有超过单作模式的趋势,这与大豆/玉米替代型间作体系中的结果类似^[14]。而在收获期,在减量施氮水平下,单株氮吸收量和伸长期相差不大,这与前人的研究结果相同^[3],可能是由于植株在成熟后对外界氮素的吸收减少,而对甘蔗叶氮素的二次利用所致。但是在常规施氮水平下,单株含氮量较伸长期有所增长,可能与较高的施氮量有关。前人在盆栽条件下研究小麦和豌豆间作时发现,施氮量从 4 g/m² 增加到 8 g/m² 时,小麦获取氮素的能力有所增加,而小麦产量并没有增加^[26],在本试验中也发现了类似的现象,即在同一种植模式下甘蔗单株氮吸收量随氮肥的增加而呈增加的趋势,但甘蔗产量并无显著增加。

土壤硝态氮是旱地土壤中主要的无机氮形式^[27],也是作物直接吸收的氮素形式。土壤硝态氮和铵态氮含量随着植物的生长逐步降低,在甘蔗分蘖末期(大豆收获)达到最低值,而在伸长期和收获期又有上升现象,这可能与植物的生理特征以及施肥有关。在前期两种植物都处于生长旺季,对氮的需求量较大,而在后期,进行了施肥,同时大豆收获后的秸秆残体以及蔗叶凋落物的微生物分解释放出一部分氮素,加上后期需氮量下降,使土壤中无机氮上升。虽然土壤中无机氮的含量呈现一定的季节变化,但同一生育时期不同的种植模式存在一定的差异,在甘蔗分蘖末期,减量施氮水平下,间作模式土壤硝态氮含量较单作高,表明甘蔗间作大豆有利于土壤保持肥力,可为甘蔗后续生长提供更多的养分,减少硝酸盐淋溶的风险^[28]。5 月份的追肥中常规施氮比减量施氮多施了近 1 倍的尿素((NH₂)₂CO),但是甘蔗吸收的氮素和土壤中无机氮含量均无显著差异,表明常规施氮水平下降低了肥料氮的利用效率,增加了氮素流失的风险。

土壤微生物生物量氮是土壤有机氮重要组成部分,是有机氮中最有活力的一部分,控制着土壤中氮素养分循环,对于氮素的生物固持和矿化起关键作用。在本试验中,由于上一季甘蔗收获后,蔗叶和根系经过一段时间的降解为微生物的生长提供了良好环境,使得甘蔗种植前土壤微生物量氮含量相对较高。在甘蔗不同的生育期,各处理间土壤微生物量氮无显著差异,表明施氮水平和间作模式暂时还没有对土壤微生物量氮产生显著影响。洛桑试验站的长期定位试验也表明施用无机氮不会对土壤微生物量氮含量产生显著影响^[29]。但土壤微生物量氮随甘蔗的生育期呈现先升高后降低的趋势,这与植物的生理特征有关,在前期,植物生长旺盛,需要大量的养分,土壤中大量的氮素被作物吸收,降低了土壤中无机氮素的含量,抑制了土壤微生物的生长^[30-31]。到了甘蔗伸长期,大豆收获秸秆还田,蔗叶的不断脱落,还有 7 月初的施肥后大培土,给土壤提供了大量的氮源和有机质,为微生物的生长繁殖提供了能源和环境,促进了微生物的生长,所以土壤微生物量氮含量有一定程度的增加。而到了甘蔗收获期,甘蔗根系活力下降,根系分泌物减少,冬天的到来,天气变冷,都会导致微生物活性下降,微生物数量的减少。

4 结论

在大田试验条件下,300 kg/hm² 施氮量下的甘蔗鲜重产量也能达到 525 kg/hm² 水平下的鲜重产量。甘蔗//大豆间作可以提高土地当量比,能够提高土地单位面积的生产力。不同施氮水平下甘蔗单株氮吸收量无显著差异,也没有显著影响甘蔗鲜重产量。甘蔗收获后,土壤耕层无机氮和土壤微生物量氮在两种施氮水平

下都无显著差异,说明 300 kg/hm² 的施氮量不会对土壤耕层的氮素养分产生显著负面影响。过多氮素的施入会降低氮肥的利用效率,增加氮素污染农田环境的风险。鉴于甘蔗//大豆间作模式下减量施氮在保持土地的高生产力前提下,能降低氮肥的使用量,节约成本,减少环境污染,因此在甘蔗种植氮素高效利用中具有一定的可行性。

References:

- [1] Zhang Z G. Rank of sugarcane harvest area, unit yield and total yield in global main countries at 2007. *Agricultural Outlook*, 2009, (3): 45-45.
- [2] Lu L S. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1999: 98-106.
- [3] Wang X L, Yang D T. Absorption and distribution of nitrogen phosphorus and potassium in different growth stages of sugarcane. *Journal of Soil Science*, 1994, 25(5): 224-226.
- [4] Zhou X C, Liu G J, Portch S, Zeng Q P, Yao J W, Xu P Z. Effect of fertilizer K, S, Mg and nutrient characteristics of high yield sugarcane. *Soils and Fertilizers*, 1998, (3): 26-28, 32-32.
- [5] Boddey R M, Urquiaga S, Alves B J R, Reis V. Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. *Plant and Soil*, 2003, 252(1): 139-149.
- [6] Ministry of Agriculture. Regional advantages of the layout plan for sugarcane. *Agriculture Engineering Technology*, 2010, (4): 10-11.
- [7] Xu B C, Li F M, Shan L. Switchgrass and milkvetch intercropping under 2:1 row-replacement in semiarid region, northwest China; Aboveground biomass and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 2008, 28(3): 485-492.
- [8] Zhang F S, Li L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil*, 2003, 248(1/2): 305-312.
- [9] Harris D, Natarajan M, Willey R W. Physiological basis for yield advantage in a sorghum/groundnut intercrop exposed to drought. I. Dry-matter production, yield, and light interception. *Field Crops Research*, 1987, 17(3/4): 259-272.
- [10] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, Wang Y Y, Li Y, Chen J B, Fan J X, Yang S S, Hu L P, Leung H, Mew T W, Teng P S, Wang Z H, Mundt C C. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 2000, 406(6797): 718-722.
- [11] Chen B, Wang J J, Zhang L M, Li Z Y, Xiao G L. Effect of intercropping pepper with sugarcane on populations of *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) and its parasitoids. *Crop Protection*, 2011, 30(3): 253-258.
- [12] Ghosh P K. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops Research*, 2004, 88(2/3): 227-237.
- [13] Gooding M J, Kasyanova E, Ruske R, Hauggaard-Nielsen H, Jensen E S, Dahlmann C, Fragstein P V, Dibet A, Corre-Hellou G, Crozat Y, Pristerf A, Romeo M, Monti M, Launay M. Intercropping with pulses to concentrate nitrogen and sulphur in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 2007, 145(5): 469-479.
- [14] Yu C B, Sun J H, Li L. Effect of interspecific interaction on crop growth and nutrition accumulation. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(1): 1-8.
- [15] Manimaran S, Kalyanasundaram D. Influence of planting techniques, intercropping and nutrient management practices on the yield and quality of sugarcane. *Plant Archives*, 2007, 7(1): 247-249.
- [16] Li Z X, Wang J W, Yang W T, Shu Y H, Du Q, Liu L L, Shu L. Effects of reduced nitrogen application on the yield, quality, and economic benefit of sugarcane intercropped with soybean. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(3): 713-719.
- [17] Wiley R W. Intercropping-its importance and research needs part I: competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts*, 1979, 32: 1-10.
- [18] Bao S D. *Analysis of Soil Agrochemistry*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 264-268.
- [19] Yi X L, Li Y K, Hang L F. Determination of soil nitrate nitrogen by ultraviolet spectrophotometry. *Chinese Journal of Soil Science*, 1983, (6): 35-40.
- [20] Li Y K. *Routine Analysis Methods of Soil Agrochemistry*. Beijing: Science Press, 1984: 86-88
- [21] Li Z G, Luo Y M, Teng Y. *Analysis of Soil and Environmental Microorganism*. Beijing: Science Press, 2008: 329-331.
- [22] Ghanbari-Bonjar A, Lee H C. Intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Vicia faba* L.) as a whole-crop forage: effect of harvest time on forage yield and quality. *Grass and Forage Science*, 2003, 58(1): 28-36.
- [23] Song Y N, Zhang F S, Marschner P, Fan F L, Gao H M, Bao X G, Sun J H, Li L. Effect of intercropping on crop yield and chemical and microbiological properties in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), and faba bean (*Vicia faba* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43(5): 565-574.
- [24] Sobkowicz P, Śniady R. Nitrogen uptake and its efficiency in triticale (*Triticosecale* Witt.) - field beans (*Vicia faba* var. *minor* L.) intercrop.

- Plant Soil and Environment, 2004, 50(11): 500-506.
- [25] Wu C W, Yang H C, Chen X K, Liu J Y, Lu X, Zhao J, Wang J G. Effect of soybean intercropping on the growth and yield of sugarcane at seedling stage. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2004, 17(5): 645-650.
- [26] Ghaley B B, Hauggaard-Nielsen H, Høgh-Jensen H, Jensen E S. Intercropping of wheat and pea as influenced by nitrogen fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2005, 73(2/3): 201-212.
- [27] Yi F, Mao R Z, Fu B J, Chen M C. Spatial distribution of soil nitrogen in a jujube-crop intercropping ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 325-331.
- [28] Ye Y L, Sun J H, Li L, Zhang F S. Effect of wheat/maize intercropping on plant nitrogen uptake and soil nitrate nitrogen concentration. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(11): 33-37.
- [29] Glendining M J, Powlson D S, Poulton P R, Bradbury N J, Palazzo D, Li X. The effects of long-term applications of inorganic nitrogen fertilizer on soil nitrogen in the Broadbalk Wheat Experiment. *The Journal of Agricultural Science*, 1996, 127(3): 347-363.
- [30] Jimenez M A, Schmid H, von Lützow M, Gutser R, Munch J C. Evidence for recycling of N from plants to soil during the growing season. *Geoderma*, 2002, 105(3/4): 223-241.
- [31] Han X R, Zheng G D, Liu X Y, Sun Z T, Yang J F, Zhan X M. Dynamics, sources and supply characteristic of microbial biomass nitrogen in soil applied with manure and fertilizer. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(4): 765-772.

参考文献:

- [1] 张智广. 2007年世界甘蔗主产国(地区)甘蔗收获面积、单产和总产排序. *农业展望*, 2009, (3): 45-45.
- [2] 卢良恕. 中国立体农业概论. 成都: 四川科学技术出版社, 1999: 98-106.
- [3] 王秀林, 阳代天. 甘蔗不同生育期对氮磷钾的吸收与分配. *土壤通报*, 1994, 25(5): 224-226.
- [4] 周修冲, 刘国坚, Portch S, 曾秋朋, 姚建武, 徐培智. 高产甘蔗营养特性及钾、硫、镁肥效应研究. *土壤肥料*, 1998, (3): 26-28, 32-32.
- [6] 中国农业部. 甘蔗优势区域布局规划(2008—2015年). *农业工程技术(农产品加工业)*, 2010, (4): 10-11.
- [14] 余常兵, 孙建好, 李隆. 种间相互作用对作物生长及养分吸收的影响. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(1): 1-8.
- [16] 李志贤, 王建武, 杨文亭, 舒迎花, 杜清, 刘丽玲, 舒磊. 甘蔗/大豆间作减量施氮对甘蔗产量、品质及经济效益的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 713-719.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 264-268.
- [19] 易小林, 李酉开, 韩琅丰. 紫外分光光度法测定土壤硝态氮. *土壤通报*, 1983, (6): 35-40.
- [20] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1984: 86-88.
- [21] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法. 北京: 科学出版社, 2008: 329-331.
- [25] 吴才文, 杨洪昌, 陈学宽, 刘家勇, 陆鑫, 赵俊, 王建光. 苗期间种黄豆对甘蔗生长及产量的影响. *西南农业学报*, 2004, 17(5): 645-650.
- [27] 尹飞, 毛任钊, 傅伯杰, 陈明灿. 枣粮间作生态系统土壤氮空间分布特性. *生态学报*, 2009, 29(1): 325-331.
- [28] 叶优良, 孙建好, 李隆, 张福锁. 小麦/玉米间作根系相互作用对氮素吸收和土壤硝态氮含量的影响. *农业工程学报*, 2005, 21(11): 33-37.
- [31] 韩晓日, 郑国砥, 刘晓燕, 孙振涛, 杨劲峰, 战秀梅. 有机肥与化肥配合施用土壤微生物量氮动态、来源和供氮特征. *中国农业科学*, 2007, 40(4): 765-772.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 20 October ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security; a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 2011

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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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@espg.net

订 购 全国各地邮局
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

广告经营
许 可 证 京海工商广字第 8013 号

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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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