

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 23 期 Vol.32 No.23 **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 23 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

中国石龙子母体孕期调温诱导幼体表型:母体操纵假说的实验检测	李 宏,周宗师,吴延庆,等 (7255)
同种或异种干扰对花鼠分散贮藏点选择的影响	申 圳,董 钟,曹令立,等 (7264)
曝气充氧条件下污染河道氨挥发特性模拟	刘 波,王文林,凌 芬,等 (7270)
贵州草海越冬斑头雁日间行为模式及环境因素对行为的影响	杨延峰,张国钢,陆 军,等 (7280)
青藏高原多年冻土区积雪对沼泽、草甸浅层土壤水热过程的影响	常 娟,王根绪,高永恒,等 (7289)
长沙城市斑块湿地资源的时空演变	恭映璧,靖 磊,彭 磊,等 (7302)
基于模型数据融合的千烟洲亚热带人工林碳水通量模拟	任小丽,何洪林,刘 敏,等 (7313)
农田氮素非点源污染控制的生态补偿标准——以江苏省宜兴市为例	张 印,周羽辰,孙 华 (7327)
用 PFU 微型生物群落监测技术评价化工废水的静态毒性	李朝霞,张玉国,梁慧星 (7336)
京郊农业生物循环系统生态经济能值评估——以密云尖岩村为例	周连第,胡艳霞,王亚芝,等 (7346)
基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究	冯晓刚,石 辉 (7355)
海南岛主要森林类型时空动态及关键驱动因子	王树东,欧阳志云,张翠萍,等 (7364)
不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响	秦丽杰,靳英华,段佩利 (7375)
黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化	王小林,张岁岐,王淑庆,等 (7383)
密植条件下种植方式对夏玉米群体根冠特性及产量的影响	李宗新,陈源泉,王庆成,等 (7391)
沙地不同发育阶段的人工生物结皮对重金属的富集作用	徐 杰,敖艳青,张璟霞,等 (7402)
增强 UV-B 辐射和氮对谷子叶光合色素及非酶促保护物质的影响	方 兴,钟章成 (7411)
不同产地披针叶茴香光合特性对水分胁迫和复水的响应	曹永慧,周本智,陈双林,等 (7421)
芦芽山林线华北落叶松径向变化季节特征	董满宇,江 源,王明昌,等 (7430)
地形对植被生物量遥感反演的影响——以广州市为例	宋巍巍,管东生,王 刚 (7440)
指数施肥对楸树无性系生物量分配和根系形态的影响	王力朋,晏紫伊,李吉跃,等 (7452)
火烧伤害对兴安落叶松树干径向生长的影响	王晓春,鲁永现 (7463)
山地梨枣树耗水特征及模型	辛小桂,吴普特,汪有科,等 (7473)
两种常绿阔叶植物越冬光系统功能转变的特异性	钟传飞,张运涛,武晓颖,等 (7483)
干旱胁迫对银杏叶片光合系统 II 荧光特性的影响	魏晓东,陈国祥,施大伟,等 (7492)
神农架川金丝猴栖息地森林群落的数量分类与排序	李广良,丛 静,卢 慧,等 (7501)
碱性土壤盐化过程中阴离子对土壤中镉有效态和植物吸收镉的影响	王祖伟,弋良朋,高文燕,等 (7512)
两种绣线菊耐弱光能力的光合适应性	刘慧民,马艳丽,王柏臣,等 (7519)
闽楠人工林细根寿命及其影响因素	郑金兴,黄锦学,王珍珍,等 (7532)
旅游交通碳排放的空间结构与情景分析	肖 潇,张 捷,卢俊宇,等 (7540)
北京市妫水河流域人类活动的水文响应	刘玉明,张 静,武鹏飞,等 (7549)
膜下滴灌技术生态-经济与可持续性分析——以新疆玛纳斯河流域棉花为例	范文波,吴普特,马枫梅 (7559)
高温胁迫及其持续时间对棉蚜死亡和繁殖的影响	高桂珍,吕昭智,夏德萍,等 (7568)
桉树枝瘿姬小蜂虫瘿解剖特征与寄主叶片生理指标的变化	吴耀军,常明山,盛 双,等 (7576)
西南桦纯林与西南桦×红椎混交林碳贮量比较	何友均,覃 林,李智勇,等 (7586)
长沙城市森林土壤 7 种重金属含量特征及其潜在生态风险	方 晰,唐志娟,田大伦,等 (7595)
专论与综述	
城乡结合部人-环境系统关系研究综述	黄宝荣,张慧智 (7607)
陆地生态系统碳水通量贡献区评价综述	张 慧,申双和,温学发,等 (7622)



封面图说: 麋鹿群在过河——麋鹿属于鹿科,是中国的特有动物。历史上麋鹿曾经广布于东亚地区,到 19 世纪时,只剩下在北京南海子皇家猎苑内一群。1900 年,八国联军攻陷北京,麋鹿被抢劫一空。1901 年,英国的贝福特公爵用重金从法、德、荷、比四国收买了世界上仅有的 18 头麋鹿,以半野生的方式集中放养在乌邦寺庄园内,麋鹿这才免于绝灭。在世界动物保护组织的协调下,1985 年起麋鹿从英国分批回归家乡,放养到北京大兴南海子、江苏省大丰等地。这是在江苏省大丰麋鹿国家级自然保护区放养的麋鹿群正在过河。

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

DOI: 10.5846/stxb201111111716

王小林, 张岁岐, 王淑庆, 王志梁. 黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化. 生态学报, 2012, 32(23): 7383-7390.

Wang X L, Zhang S Q, Wang S Q, Wang Z L. The dynamic variation of maize (*Sea mays* L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(23): 7383-7390.

黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化

王小林¹, 张岁岐^{1,2,*}, 王淑庆¹, 王志梁¹

(1. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱作农业国家重点实验室, 杨凌 712100;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要: 不同玉米品种间作, 品种间的竞争对群体结构和产量可能有促进作用。为了明确不同密度下品种间作对不同生育期群体生长特征的影响, 以及在不同生育期的变化规律, 选用郑单 958 和沈单 16 两个不同株型的玉米品种在中、高两种密度条件下进行隔行间作田间试验。研究表明: 不同密度间作群体叶面积指数 (Leaf Area Index, LAI) 显著增加, 同密度不同品种间作 LAI 在生育后期显著增加, 有利于形成合理的冠层结构以获得更多的光照; 中等密度下品种间作单株叶面积较单作显著增加, 而高密度间作显著降低了单株叶面积; 中等密度下, 品种间作地上部干物质积累量显著增加, 郑单 958 尤为突出, 但高密度间作时的增加幅度较小, 这与高密度下株高、茎粗相对减小有关。品种株高、茎粗随间作密度的增加而有所增加, 对间作竞争的响应与品种特性密切相关; 在不同生育期, 郑单 958 和沈单 16 号表现不同的生长规律, 前者在整个营养生长过程中对间作竞争的响应明显、持续和稳定, 而进入生殖期后, 间作的生长优势逐渐消失; 后者在营养生长期干物质积累量大, 但持续时间较短, 表现出较弱的竞争性。品种间作可有效改善群体冠层结构, 增加群体物质生产力, 更好的为增产鉴定基础。

关键词: 玉米; 品种间作; 群体生长特征; 种植密度; 竞争

The dynamic variation of maize (*Sea mays* L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau

WANG Xiaolin¹, ZHANG Suiqi^{1,2,*}, WANG Shuqing¹, WANG Zhiliang¹

1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry Land Farming on the Loess Plateau, Institute of Water and Soil Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling Shaanxi 712100, China

2 Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Institute of Water and Soil Conservation, Yangling Shaanxi 712100, China

Abstract: To improve maize (*Zea mays* L.) yield on the Loess Plateau many researches focused on high density, the water and fertilizer use efficiency, however, increasing productivity by high density is limited, because the influence of population characteristics is various. The corn production is a population process, optimized corn group structure can be helpful to augment production. The objectives of this study were to understand that the effects of maize cultivars intercropping on population growth characteristics in the field, and the dynamic changes of them during different growth stages. The experiment conducted on intercropping cultivation which interlaced with the same row spacing and mulch covered, used the two maize cultivars (zhengdan 958 and shendan 16) and two kinds of densities. Leaf area index (LAI), individual leaf area, plant height, stem diameter and dry matter accumulation were measured as growth characteristics. In contrast with monoculture, LAI of intercropping population showed significant increased when higher density. This may because a reasonable canopy compound structure is helpful for photosynthesis and dry matter production. Low-low density

基金项目: 国家重点基础科学(973)研究发展计划项目(2009CB118604); 国家高技术研究(863)发展计划项目(2011AA100504); 高等学校学科创新引智计划资助(B12007)

收稿日期: 2011-11-11; 修订日期: 2012-05-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sqzhang@ms.iswc.ac.cn

intercropping dramatically increased leaf area per plant. In the model of high-low density intercropping, leaf area per plant of the low density cultivar increased significantly, but high density varieties leaf grew less. High-high density intercropping reduced the individual leaf area significantly, compared with monoculture plants. Plant height and stem diameter of varieties increased slightly with the high intercropping density. The response of competition was correlated to the cultivars characteristics significantly, but the influence of intercropping density was insignificant. Intercropping has significant increase in dry matter accumulation, especially in zhengdan 958. With the increase of density intercropping, the plant height and stem diameter reduced and the quantity of accumulation decreased. The morphological characteristics of zhengdan 958 at the vegetation stage and reproduction stage performed an obvious, sustainable, and stable response to intercropping-competition, but shendan 16 did not. The differences of growth between the intercropping and monoculture minimized gradually at the reproduction stage. Dry matter accumulation of shendan 16 was faster at the vegetation stage but only for a short time, indicated an unstable competitive performance. It is concluded that cultivars-intercropping improves the population's canopy structure and increases the productivity of dry matter effectively, lays the great foundation for the maize yield.

Key Words: maize; cultivars-intercropping; population growth characteristics; planting density; competition

玉米是黄土塬区播种面积和总产量仅次于冬小麦的主要粮食作物,伴随玉米用途的不断广泛,播种面积持续扩大^[1],高产稳产性尤为重要。密度、肥料是影响产量的主要因素,要使玉米显著增产,首先要选择合适的群体密度。黄开健等研究表明玉米产量开始随密度增加而提高,密度增至一定程度产量不再上升^[2]。因为高密度下,产量受群体源特征限制。目前,增加密度是黄土塬区玉米增产栽培的主要途径,但密度增加条件下如何改善玉米群体结构,增加群体内的通风透光条件,是当前玉米增产栽培的关键^[3]。间作作为提高我国玉米产量、传统立体农业的精耕细作技术之一,很久以来在我国农业体系中就被广泛应用^[4]。玉米品种合理间作,种群可形成不同时空生态位互补的复合群体,优化了作物群体结构,增强农田生态系统的稳定性,提高了作物群体对逆境胁迫的适应能力^[5],同时减少了化肥、农药的施用量,具有显著的经济、环境和社会效益^[6]。大量研究证实,不同生态型、基因型的玉米间作能够多层次利用地上的光能资源和地下的水分和养分资源^[7],提高自然资源利用率和作物复合群体的丰产稳产性。生态学理论指出,间作栽培的作物之间存在竞争,间作种群的生长变化规律与单作栽培具有显著差异^[6]。Hauggaard-Nielsen 等研究表明选用竞争适度、光能截获能力较高的品种会提高间作的产量优势^[8]。作物生产是一个群体过程,玉米间作能高效利用生态环境中的光热资源、优化群体生理过程,形成品种间差异互补,实现增产^[1-9]。利用不同株型、生理代谢、资源利用特征及抗逆性玉米品种的间作,确立不同品种玉米的科学间作模式,构建合理的玉米群体结构,协调群体与个体的矛盾,充分发挥个体潜力,利用作物对资源的竞争特性,有效减少成本^[7-10],可以实现增产。目前,玉米间作研究多集中于玉米与其他作物间作的增产效应,个体对间作竞争的响应,以及间作竞争对个别生理特征的影响,不同基因型玉米间作增产研究较少,不同间作密度下玉米各生育期生长特征还不明了,更加符合农作技术要求的间作模式还不成熟,本研究则通过对间作组合各生育期内群体特征的动态监测,探讨玉米间作竞争下的生长发育特征,为指导密植增产、资源高效利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

实验在中国科学院水利部水土保持研究所武生态农业试验站进行。试验站位于黄土高原中南部陕甘交界处,陕西省长武县洪家镇王东村(107°40'E, 35°12'N),海拔 1200 m,属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,光照充足,昼夜温差较大;年均降水量 584 mm 左右,且多集中于 6、7 和 8 月份;年均气温 9.1 °C,无霜期 171 d,作物种植多为一年一季;地下水埋深 50—80 m,属典型旱作农业区;地貌属高原沟壑区,塬面和沟壑两大地貌单元各占 35% 和 65%;地带性土壤为黑垆土,土体结构均匀疏松,是黄土高原沟壑区典型性土壤。

1.2 试验方法

1.2.1 品种选择与特性

试验选用郑单 958、沈单 16 号黄土塬区普遍种植、株型不同的高产品种。两品种生育期相近,适应范围广、耐密植、抗倒性强、高抗病性;株型及株高差异,形成对光、水和营养物质的生态位互补,对提高资源利用效率具有促进作用。适宜种植密度如下:郑单 958 密度范围 60000—82500 株/hm²;沈单 16 号适宜密度为 52500—67500 株/hm²。

1.2.2 实验设计

试验于 2011 年 4 月—10 月进行。紧凑型玉米品种郑单 958(A)和半紧凑型玉米品种沈单 16 号(B),进行两个密度层次(1 代表密度 4.5 万株/hm²,2 代表密度 7.5 万株/hm²)的双行间作试验。不同密度、不同品种的间作为主试验,共 4 个处理(A1B1, A2B1, A1B2, A2B2),3 次重复,间作行比 1:1,采用 50 cm 等行距覆膜种植;不同品种、不同密度单作为对照试验,4 个处理(CK-A1, CK-A2, CK-B1, CK-B2),50 cm 等行距覆膜种植,小区面积为 15 m²,不同试验处理采取随机区组试验。播前施用底肥 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 90 kg/hm²并结合有机肥(牛粪)1500 kg/hm²;各处理于拔节期雨后追施 N 180 kg/hm²,其余操作皆于当地农户相同。

1.2.3 叶面积指数(LAI)与单株叶面积测定

分别于拔节期、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期和乳熟期,多云阴天里利用 LAI-2000 Plant Canopy Analyzer 进行群体叶面积指数的测定;单株总体叶面积测定,各生育期中随机选择代表性植株 3 棵,折取全部展开叶片,测定叶长、最大叶宽,根据公式:叶面积=L(叶长)×D(叶宽)×0.75(叶面积系数),得出叶面积值。

1.2.4 株高、茎粗的测定

游标卡尺对各处理所选 3 棵代表性植株,在地上部分茎秆第二节进行茎粗测定;株高是在处理内选择 3 棵代表性植株,用卷尺自地上根茎结合处至茎秆最高处测定。

1.2.5 茎叶干物质采集、积累量配比

分别于大喇叭口期、抽雄期、灌浆期和乳熟期,各处理随机选择代表性植株 3 棵,将叶片、茎秆分别采集,于 105 ℃杀青 0.5 h,并在 80 ℃烘至恒重,称量统计。

1.3 数据分析

数据整理采用 Microsoft excel 2003;数据将不同间作组合分别与单作进行对比,SPSS17.0 进行单因素显著性分析。

2 结果与分析

2.1 玉米群体叶面积指数(LAI)的变化

LAI 显示了玉米群体对光的接受面积的变化,直接影响叶片光合速率,进而影响同化物合成,制约玉米产量。拔节期,LAI 增长主要受密度增加影响(图 1)。从大喇叭口期开始,A1B2、B1A2 组合 LAI 极显著增加($P<0.05$);抽雄期开始,间作群体 LAI 相对单作极显著增加($P<0.01$)。A1B1 和 A2B2 间作组合群体 LAI 都在生育后期出现显著增长。A2、B2 与高低密度组合间作,LAI 值都显著增加。间作有助于群体 LAI 增长,但不同组合作用和持续时间不同。

2.2 单株叶面积的动态变化

单株叶面积在抽雄期达到最大值(图 2)。低密度间作对叶面积增长有促进作用,较单作显著增加。A1B2、A2B1 间作处理下,低密度品种叶面积相对于单作处理极显著增加;高密度品种在大喇叭口期、抽雄期叶面积显著增加($P<0.05$);各间作处理对单株叶面积影响程度不同;随间作密度的增加,对应品种单株叶面积不断减小,总体呈现出:低密度间作>高低密度间作>高密度间作。

2.3 株高随生育期的动态变化

从大喇叭口期开始(表 1),间作与单作的株高开始出现显著性差异。B1、B2、A2 各间作组合株高相对单

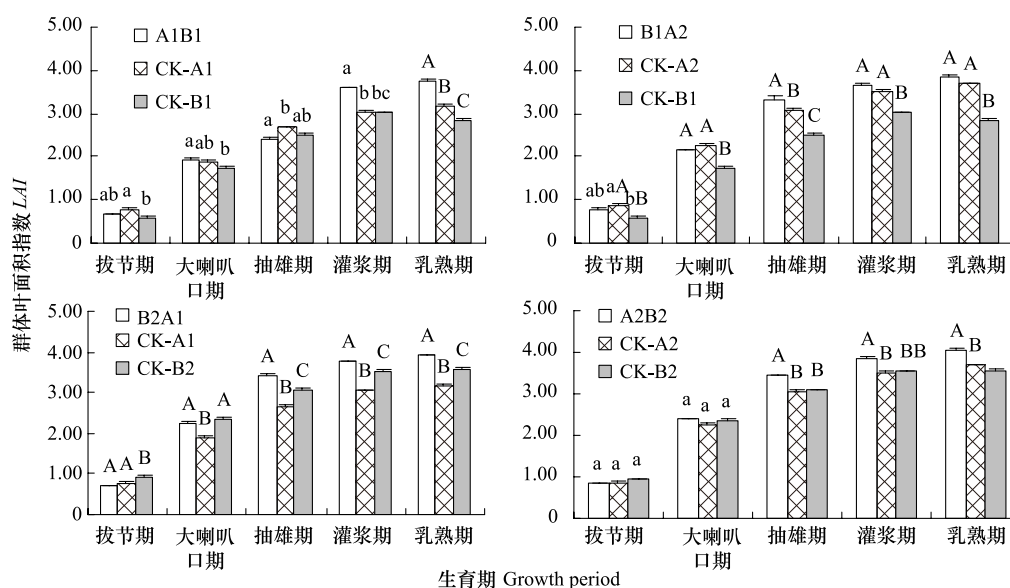


图1 间作条件下玉米种群叶面积指数变化规律

Fig. 1 The LAI regularity for the different maize population under intercropping

同品种同密度下,不同间作组合与单作进行显著性检验;a、b、c 分别表示显著性差异 $P < 0.05$;A、B、C 分别表示极显著差异 $P < 0.01$;A1B1, B1A2, B2A1, A2B2 代表两品种两密度间作模式,CK-A1,CK-A2,CK-B1,CK-B2 代表两品种在两种密度下的单作对照

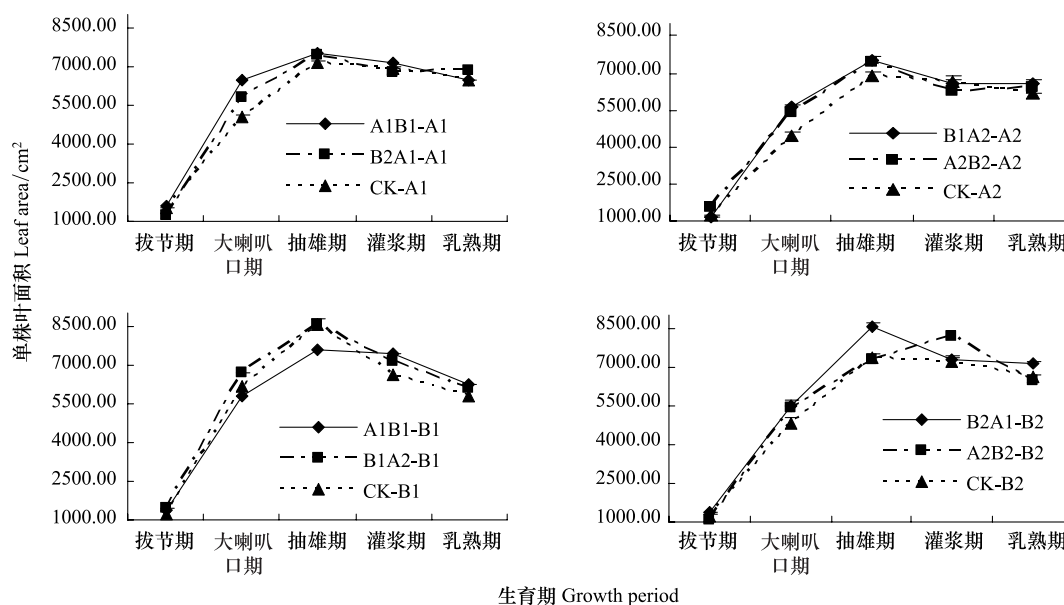


图2 单株叶面积的动态变化

Fig. 2 The dynamic changing of the single plant leaf area

同品种同密度下,不同间作组合与单作进行显著性检验;a、b、c 分别表示显著性差异 $P < 0.05$;A、B、C 分别表示极显著差异 $P < 0.01$. A1B1-A1, B2A1-A1, B1A2-A2, A2B2-A2, A1B1-B1, B1A2-B1, B2A1-B2, A2B2-B2 分别代表间作模式下 A、B 品种的叶面积变化,CK-A1,CK-A2,CK-B1,CK-B2 代表两品种在两种密度下的单作对照

作都有显著增长($P < 0.05$)。在 B1A2 间作处理下,两品种株高都极显著增加($P < 0.01$)。郑单 958 在所有间作模式下,株高都较对照有所增加;而沈单 16 号在低密度时株高增加,高密度时减小;两个品种高低密度组合中(A1B2、A1B1、B1A2)低密度品种株高显著增加,高密度品种 A2 增长显著,B2 不显著;高密度间作(A2B2)两品种株高有显著增加。

2.4 茎粗随生育期的变化规律

玉米间作,茎粗在拔节期至抽雄期相对于单作出现显著变化(图3),大喇叭口期和抽雄期,郑单958单作时茎粗大于间作处理,沈单16号则是间作处理大于单作处理,都无显著差异。拔节期、大喇叭口期和抽雄期受间作条件下品种竞争力不同的影响,低密度组合A1B1、A1B2、B1A2中的A1、B1茎粗都较单作显著减小;沈单16号拔节期间作处理茎粗显著小于单作处理,直到抽雄期才出现间作茎粗大于单作的转折;乳熟期后各处理茎粗之间差异不显著。在A1B2、A2B1、A2B2间作处理中A2的茎粗变化平缓,B2间作茎粗都显著大于单作。茎粗随间作密度的增加而显著减小。

表1 间作条件下株高随生育期的差异变化

Table 1 The changing of plant height in different duration under intercropping

株高/cm Plant height	拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 9 th -leaves stage	抽雄期 Tasseling stage	灌浆期 Grain filling stage	乳熟期 Milk stage
A1B1-A1	81.00±1.00a	168.7±1.55a	230.17±2.24aA	229.17±1.17aA	225.67±4.17a
B2A1-A1	72.27±0.89b	175.4±2.84a	219.00±3.55bB	230.43±1.55aA	225.93±6.93a
CK-A1	73.67±0.88ab	171.1±1.43a	221.33±1.09ab	239.17±1.20bB	230.83±1.43a
A1B1-B1	76.77±2.39a	173.7±1.37ab	217.6±0.42aA	237.83±0.44a	236.50±6.96a
B1A2-B1	78.1±0.06a	180.83±1.01aA	238.23±0.96bB	235.70±1.35a	232.77±2.98a
CK-B1	71.17±0.73a	169.13±0.84bB	227.17±1.88cA	233.83±1.01a	237.10±2.01a
B1A2-A2	76.43±2.36a	169.37±1.62aA	216.4±2.31aA	227.90±1.10a	232.83±2.46a
A2B2-A2	81.67±0.33a	175.6±2.22aA	234.17±1.92bB	227.50±2.18a	231.17±4.53a
CK-A2	78.83±1.79a	157.17±1.83bB	214.23±1.76aA	234.33±1.33a	234.57±6.19a
B2A1-B2	79.63±1.82a	175.53±1.75ab	217.6±0.42aA	234.00±1.04aA	242.87±2.03a
A2B2-B2	72.67±2.67a	172.97±2.38a	224.33±0.33aA	234.17±1.17aA	230.80±10.49a
CK-B2	74.60±1.87a	182.83±1.20b	243.33±1.64bB	265.67±1.88bB	244.83±3.11a

数字后不同字母表示差异显著

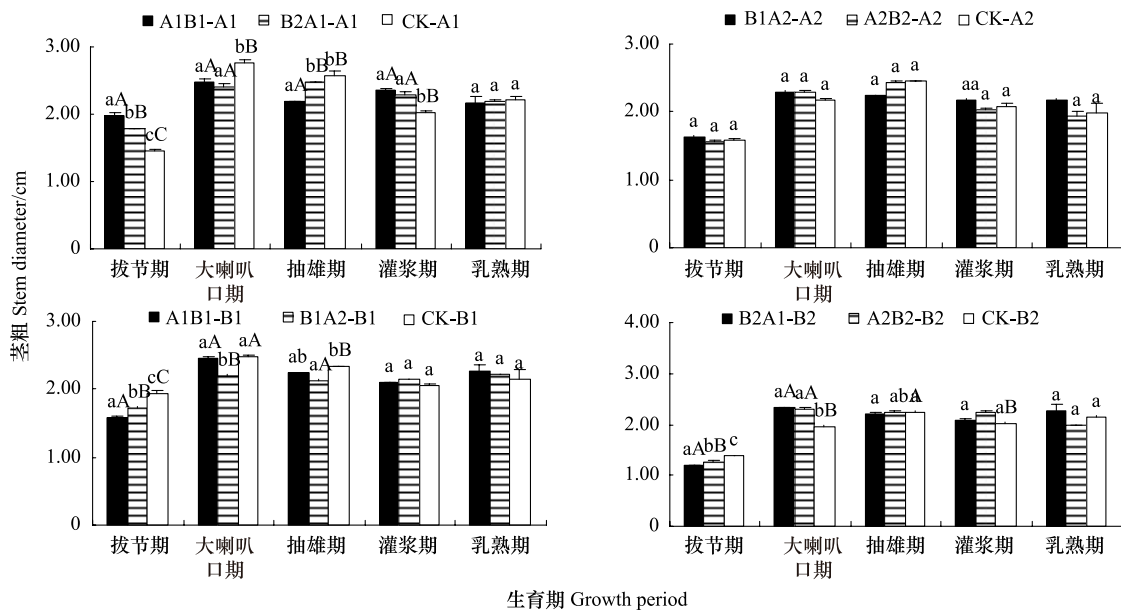


图3 不同基因型玉米间作下茎粗随生育期变化规律

Fig. 3 The changing of stem diameter under different maize genotypes intercropping

不同字母间表示差异显著

2.5 玉米生物量积累动态变化

从大喇叭口期开始,间作生物量积累出现显著变化(表2)。低密度间作A1B1在营养生长阶段生物量积

累相对于单作降低,郑单 958 不显著,沈单 16 号显著。B1A2、B2A1 间作模式下,A1、B1 在大喇叭口期、抽雄期生物量积累量显著大于单作,A2 降低,B2 显著增加;高密度间作 A2B2 中,A2 相比单作增加显著,生育后期差异消失;B2 生育前期出现较强的物质积累能力,生育后期平稳增长,且各生育期较单作显著增加。

表 2 间作条件下干物质积累变化

Table 2 The allocation regularity for dry matters under different maize-intercropping

总生物量/g Dry matter	拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 9 th -leaves stage	抽雄期 Tasseling stage	灌浆期 Grain filling stage	乳熟期 Milk stage
A1B1-A1	14.24±0.27a	66.73±2.46a	107.10±1.29aA	211.58±2.12aA	257.57±3.38a
B2A1-A1	9.73±0.40b	72.73±2.48b	134.71±0.72bB	214.41±3.07aA	232.70±1.93a
CK-A1	11.71±0.68b	66.21±0.42a	112.10±0.73aA	151.96±1.28bB	262.29±4.34a
A1B1-B1	10.64±0.63a	65.32±1.99aA	98.02±1.50A	189.13±2.17A	281.95±6.67aA
B1A2-B1	12.78±0.62a	72.57±2.44bB	134.83±0.87B	167.81±2.45B	256.46±3.13aA
CK-B1	11.03±1.30a	81.71±1.43cB	113.13±1.57C	159.75±1.75C	194.88±5.41bB
B1A2-A2	10.06±0.33a	70.78±0.61aA	92.53±0.54A	142.84±0.37A	252.16±1.12a
A2B2-A2	11.90±0.10b	74.63±1.60aA	116.38±1.98B	134.55±1.36B	205.01±1.73b
CK-A2	10.38±0.31a	56.70±1.20bB	104.37±1.45C	168.20±1.87C	214.55±16.80ab
B2A1-B2	11.61±0.47a	57.57±1.94a	124.19±2.41aA	151.84±1.27aA	269.25±14.94a
A2B2-B2	8.64±0.68b	57.23±1.82a	129.98±5.02aA	180.23±2.77bB	231.51±8.52a
CK-B2	8.39±0.29b	51.29±2.36a	105.41±1.72bB	182.80±1.98bB	269.77±7.61a

3 讨论与结论

品种、肥料和密度是影响玉米产量的主要因子。新品种的增产作用已被广泛接受,在黄土塬区确定优秀品种的适宜密度来提高产量也是一个可行的途径^[11]。玉米不同密度的产量效应表现为随着密度增加产量不断提高,但密度增加到一定程度时,由于个体与群体的协调关系发生变化,群体生产力因密度增加而降低,产量下降^[2-12]。作物产量是单位面积上所有个体繁殖输出的总和,属于种群水平上的一个生物学指标,追求单位面积上最大产量即是实现最佳的作物种群结构。因此,农业生产必须树立作物的群体观念^[13]。生态学竞争理论认为,植株通过调整形态和生理行为特征的可塑性反应进行群体结构优化,有利于植物对光、水、养分的有效利用,种间竞争是决定植物群落特征的重要因素^[14]。李博研究表明不同品种不同密度间作的群体特征变化规律非常重要^[15]。因为,了解植物对密度的反应是认识植物种群随时间的调节及种群动态变化的关键,也是认识种植密度对作物产量影响的关键^[16]。杜峰等研究认为,在间作处理中植株的形态生长规律、资源分配模式是植株长期竞争和进化的结果,植物受竞争影响程度取决于自身及相邻植物大小、数量、植物利用资源的特性和空间影响区域,同时受环境因素的影响^[17]。间作品种的 *LAI*、单株叶面积、株高、茎粗、和干物质积累等形态生长特征随生育期的变化规律,可以说明玉米间作模式下形态特征的动态变化对竞争的适应。以栽培密度、基因型和表现型为基础^[18],进行科学的品种组合,可以实现玉米的高产。

3.1 叶面积指数 (*LAI*) 与单株叶面积变化

叶片是植物获取光能的主要器官,叶面积是特定区域内光合表面的测度,与潜在的光截留量相关,因此具有较大叶面积的植物具有竞争优势^[14]。随密度增加,群体叶面积指数显著升高^[3],玉米对高密度的耐受能力是由于冠层结构紧凑,植株较矮,叶片少而直立,使冠层在较高的叶面积指数下能够截获较多的光能^[16],而间作增产的主要原因在于群体的立体结构及波浪式冠层特征,使群体受光面积增大,透光性改善,利于群体内外的气体交换,最终使光合作用增强而产量提高^[19]。本研究表明:不同密度不同品种间作各生育期 *LAI* 都显著增加,抽雄期后同密度不同品种间作显著提高群体 *LAI*,说明间作栽培较单独密植更能提高 *LAI*,优化群体冠层结构。安宏明认为竞争可以使植株叶夹角降低,叶向值增大,叶面积降低,减小光合吸收面积^[20],本研究显示,相对于单作,间作组合单株叶面积在大口期、抽雄期显著增加;而随间作密度的增加,所有处理单株叶面积呈降低趋势,但间作降低速度较慢,有利于玉米群体结构的改善。

3.2 株高、茎粗的变化规律

刘琳在小麦试验中指出,植物的茎伸长是光竞争的反应,最终的结果是光竞争提高植物个体的总高度^[14]。竞争条件下紧凑型玉米品种穗位高/株高降低,茎粗增大,植株抗倒能力增强,具有较强的竞争能力^[20]。株高随竞争力的变化会影响到光合效率和对逆境的适应性。混作后两品种的株高差会发生变化,可能与品种不同的阶段发育特性和生长期间的相互竞争有关^[4]。本实验结果显示:两品种间作株高呈降低趋势,在抽雄期和灌浆期显著降低;郑单 958 在不同间作密度下相对单作株高增加,沈单 16 号降低,有趋同生长、差异互补现象,株高的降低也为群体通风透光创造了条件,为子粒的形成节约了能量^[4];两品种形成明显株高差,是对光和生存空间竞争的结果。生产上玉米要夺取高产需提高群体的整齐度,而间作群体对整齐度的调控是有限的,如果两品种株高悬殊过大则不利于高产稳产^[21]。本研究中,低密度间作郑单 958 茎粗降低,沈单 16 号茎粗增加,品种间作通过个体形态特征的调整,实现群体最优结构,为高产奠定基础。

3.3 玉米间作下的干物质积累

随着玉米的生长发育,干物质积累量逐渐增加,生育前期增加速度较快,生育后期依然增加,有利于玉米穗的形成和籽粒灌浆^[20-21]。本研究中:低密度间作相对于单作降低干物质积累量,郑单 958 不显著,沈单 16 号显著;间作品种存在着对资源的竞争,导致群体受光条件比较差,干物质积累量下降,并且竞争强度随着密度的增加而增加^[13];低密度间作可能是由于对资源的竞争降低了品种对光的吸收,限制干物质积累。随间作密度的增加,不同生育期表现各异,大喇叭口期、抽雄期间作干物质积累量显著增加,进入生殖期差异逐渐消失,郑单 958 干物质积累对间作的适应性较强,而沈单 16 变化较大,生育前期增长迅速,后期平稳而显著增加,对竞争的反应较灵敏,能够通过改变自身的性状获得更多资源,从而获得较高的干物质积累。尤其在营养生长阶段,郑单 958 干物质积累量明显大于沈单 16 号。不同生育期因为不同品种的发育特征不同,所以会表现出不同差异性。间作可以提高干物质积累量,不同间作品种和密度,增长幅度各异。

3.4 结论

间作栽培下相对单作 *LAI* 不同程度的增加,不同间作模式群体 *LAI* 增长规律不同,但间作始终高于单作;间作效应下,郑单 958 在营养期生长单株叶面积显著增加,株高、茎粗始终呈增长趋势,幅度都随密度增加而减小;干物质积累量呈现较高增长,间作优势明显;受单株叶面积略有下降的影响,随间作密度增加干物质积累量增加缓慢。沈单 16 号单株叶面积在生殖生长期显著增加;株高、茎粗与低密度品种间作增加显著,与高密度品种间作,株高显著减小;干物质积累沈单 16 号呈现比较缓和的增长,这与本身特性和间作品种特性有关。两品种间作中,郑单 958 适应性较好,对优化群体结构贡献较大;沈单 16 号适应性不稳定,但总体表现对增产有益。间作栽培可以增加群体叶面积指数,改善群体结构,协调间作品种间竞争向有利于提高产量的方向发展;株高、茎粗因不同间作密度而发生着规律性变化,呈现间作品种优势互补,差异互补现象,有助于干物质积累和提高光合效率;间作在对群体生长特征的影响总体上对增产是有益的,而间作栽培的增产潜力和增产机理还有待深入研究。

References:

- [1] Li J, Shao M A, Zhang X C, Li S Q. Simulation of soil desiccation and yield fluctuation of high yield maize field on rain-fed highland of the Loess Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(2): 54-58.
- [2] Huang K J, Yang H Q, Tan H, Wei G N. Study on fertilizer applying amount and the best density for high yield autumn maize cultivation techniques. *Journal of Maize Sciences*, 2001, 9(1): 57-59.
- [3] Yang J S, Gao H Y, Liu P, Li G, Dong S T, Zhang J W, Wang J F. Effects of planting density and row spacing on canopy apparent photosynthesis of high-yield summer corn. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 36(7): 1226-1233.
- [4] Zhu M, Shi Z S, Li F H, Wang Z B. The initial report about different maize genotypes intercropping. *China Journal of Seeds*, 2010, (8): 63-65.
- [5] Liu T X, Li C H, Fu J, Yan C H. Population quality of different Maize (*Zea mays* L.) genotypes intercropped. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6302-6309.
- [6] Liu T X, Wang Z H, Dong P F, Li C H. Research progress of physiological and ecological effects in maize intercropping system. *Journal of Maize*

- Sciences, 2007, 15(5): 114-116, 124-124.
- [7] Tang Y J. Mathematical analyses on crop competition in mixed cropping. Journal of Biomathematics, 1998, 13(2): 215-218.
- [8] Hauggaard-Nielsen H, Jensen E S. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. Field Crops Research, 2001, 72(3): 185-196.
- [9] Li N, Zhai Z X, Li J M, Duan L S, Li Z H. Effect of sowing date and density on sink/source relationship and canopy light transmission of summer maize (*Zea mays* L.). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(5): 959-964.
- [10] Mushagalusa G N, Ledent J F, Draye X. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. Environmental and Experimental Botany, 2008, 64(2): 180-188.
- [11] Li F H, Zhou F, Wang Z B. Study on the optimal density in the different maize varieties. Seed, 2007, 26(2): 77-80.
- [12] Zhang L X, Ma R X, Liu W C. Effect of plant density on yield and physiological traits in summer maize Zhengdan 7. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2007, 35(1): 79-87.
- [13] Zhang R, Zhang D Y, Yuan B Z, Lin K, Wei H. A study of the relationship between competitive ability and productive performance of spring wheat in semi arid regions of loess plateau. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(3): 205-210.
- [14] Liu L. Respond to Water Stress and Competition of Two Sequences-Replaced Winter Wheat [D]. Yangling: The Research Center of Ecological Environment and Soil-Water Conservation and Chinese Academy of Sciences, 2007: 4-4.
- [15] Li B, Chen J K, Watkinson A R. A literature review on plant competition. Chinese Bulletin of Botany, 1998, 15(4): 18-29.
- [16] An H M, Yang H W, Wang H J, Dong S T. Effects of competitive on yield and nitrogen content of different genotype maize. Tianjin Agricultural Sciences, 2011, 17(2): 1-4.
- [17] Du F, Liang Z S, Hu L J. A review on plant competition. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(4): 157-163.
- [18] Tokatlidis I S, Haş V, Mylonas I, Haş I, Evgenidis G, Melidis V, Copandean A, Ninou E. Density effects on environmental variance and expected response to selection in maize (*Zea mays* L.). Euphytica, 2010, 174(2): 283-291.
- [19] Shi Z S, Zhu M, Li F H, Wang Z B. Research on yield-increasing of different kinds of maize. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(2): 107-109.
- [20] An H M, Li Z, Li L L, Dong S T, Zhang J W, Liu P. Effects of mixed planting on yield and agronomic traits of different genotypes of maize. Shandong Agricultural Sciences, 2010, (7): 29-35.
- [21] Li C H, Su X H, Sun D L. Ecophysiological characterization of different maize (*Zea mays* L.) genotypes under mono-or inter-cropping conditions. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2096-2103.

参考文献:

- [1] 李军, 邵明安, 张兴昌, 李世清. 黄土高原旱塬区高产玉米田土壤干燥化与产量波动趋势模拟研究. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 54-58.
- [2] 黄开健, 杨华铨, 谭华, 韦国能. 秋玉米高产栽培技术的最佳密度和施肥量研究. 玉米科学, 2001, 9(1): 57-59.
- [3] 杨吉顺, 高辉远, 刘鹏, 李耕, 董树亭, 张吉旺, 王敬锋. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响. 作物学报, 2010, 36(7): 1226-1233.
- [4] 朱敏, 史振声, 李凤海, 王志斌. 不同基因型玉米混作研究初报. 中国种业, 2010, (8): 63-65.
- [5] 刘天学, 李潮海, 付景, 闫成辉. 不同基因型玉米间作的群体质量. 生态学报, 2009, 29(11): 6302-6309.
- [6] 刘天学, 王振河, 董朋飞, 李潮海. 玉米间作系统的生理生态效应研究进展. 玉米科学, 2007, 15(5): 114-116, 124-124.
- [7] 唐永金. 混种栽培作物竞争的数学分析. 生物数学学报, 1998, 13(2): 215-218.
- [9] 李宁, 翟志席, 李建民, 段留生, 李召虎. 播期与密度组合对夏玉米群体源库关系及冠层透光率的影响. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 959-964.
- [11] 李凤海, 周芳, 王志斌. 不同玉米品种最佳密度研究. 种子, 2007, 26(2): 77-80.
- [12] 张丽霞, 马瑞霞, 刘文成. 种植密度对夏玉米郑单 958 产量和生理指标的影响. 安徽农业科学, 2007, 35(1): 79-87.
- [13] 张荣, 张大勇, 原保忠, 林魁, 魏虹. 半干旱区春小麦品种竞争能力与产量关系的研究. 植物生态学报, 1999, 23(3): 205-210.
- [14] 刘琳. 两个品种的冬小麦对水分胁迫和竞争的响应 [D]. 杨凌: 中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 2007: 4-4.
- [15] 李博, 陈家宽, 沃金森 R A. 植物竞争研究进展. 植物学通报, 1998, 15(4): 18-29.
- [16] 安宏明, 杨浩文, 王红晶, 董树亭. 竞争对不同基因型玉米产量及氮素含量的影响. 天津农业科学, 2011, 17(2): 1-4.
- [17] 杜峰, 梁宗锁, 胡莉娟. 植物竞争研究综述. 生态学杂志, 2004, 23(4): 157-163.
- [19] 史振声, 朱敏, 李凤海, 王志斌. 玉米不同品种间作的增产效果研究. 玉米科学, 2008, 16(2): 107-109.
- [20] 安宏明, 李振, 李利利, 董树亭, 张吉旺, 刘鹏. 混播对不同基因型玉米产量和农艺性状的影响. 山东农业科学, 2010, (7): 29-35.
- [21] 李潮海, 苏新宏, 孙敦立. 不同基因型玉米间作复合群体生态生理效应. 生态学报, 2002, 22(12): 2096-2103.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 23 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Maternal thermoregulation during gestation affects the phenotype of hatchling Chinese skinks (<i>Eumeces chinensis</i>): testing the maternal manipulation hypothesis	LI Hong, ZHOU Zongshi, WU Yanqing, et al (7255)
Effects of conspecific and interspecific interference competitions on cache site selection of Siberian chipmunks (<i>Tamias sibiricus</i>)	SHEN Zhen, DONG Zhong, CAO Lingli, et al (7264)
Characterization of ammonia volatilization from polluted river under aeration conditions: a simulation study	LIU Bo, WANG Wenlin, LING Fen, et al (7270)
Diurnal activity patterns and environmental factors on behaviors of Bar-headed Geese <i>Anser indicus</i> wintering at Caohai Lake of Guizhou, China	YANG Yanfeng, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (7280)
Impacts of snow cover change on soil water-heat processes of swamp and meadow in Permafrost Region, Qinghai-Tibetan Plateau	CHANG Juan, WANG Gengxu, GAO Yongheng, et al (7289)
Spatial-temporal changes of urban patch wetlands in Changsha, China	GONG Yingbi, JING Lei, PENG Lei, et al (7302)
Modeling of carbon and water fluxes of Qianyanzhou subtropical coniferous plantation using model-data fusion approach	REN Xiaoli, HE Honglin, LIU Min, et al (7313)
Ecological compensation standard for controlling nitrogen non-point pollution from farmland: a case study of Yixing City in Jiang Su Province	ZHANG Yin, ZHOU Yuchen, SUN Hua (7327)
Static toxicity evaluation of chemical wastewater by PFU microbial communities method	LI Zhaoxia, ZHANG Yuguo, LIANG Huixing (7336)
Emergy evaluation of an agro-circulation system in Beijing suburb: take Jianyan village as a case study	ZHOU Liandi, HU Yanxia, WANG Yazhi, et al (7346)
Research on the cooling effect of Xi'an parks in summer based on remote sensing	FENG Xiaogang, SHI Hui (7355)
The dynamics of spatial and temporal changes to forested land and key factors driving change on Hainan Island	WANG Shudong, OUYANG Zhiyun, ZHANG Cuiping, et al (7364)
Impact of different sowing dates on green water footprint of maize in western Jilin Province	QIN Lijie, JIN Yinghua, DUAN Peili (7375)
The dynamic variation of maize (<i>Setaria italica</i> L.) population growth characteristics under cultivars-intercropped on the Loess Plateau	WANG Xiaolin, ZHANG Suiqi, WANG Shuqing, et al (7383)
Effect of different planting methods on root-shoot characteristics and grain yield of summer maize under high densities	LI Zongxin, CHEN Yuanquan, WANG Qingcheng, et al (7391)
Heavy metal contaminant in development process of artificial biological Soil Crusts in sand-land	XU Jie, AO Yanqing, ZHANG Jingxia, et al (7402)
Effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen on photosynthetic pigments and non-enzymatic protection system in leaves of foxtail millet (<i>Setaria italica</i> (L.) Beauv.)	FANG Xing, ZHONG Zhangcheng (7411)
Photosynthetic response of different ecotype of <i>Illicium lanceolatum</i> seedlings to drought stress and rewating	CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin, et al (7421)
Seasonal variations in the stems of <i>Larix principis-rupprechtii</i> at the treeline of the Luya Mountains	DONG Manyu, JIANG Yuan, WANG Mingchang, et al (7430)
Influence of terrain on plant biomass estimates by remote sensing: a case study of Guangzhou City, China	SONG Weiwei, GUAN Dongsheng, WANG Gang (7440)
Effects of exponential fertilization on biomass allocation and root morphology of <i>Catalpa bungei</i> clones	WANG Lipeng, YAN Ziyi, LI Jiyue, et al (7452)
Effects of fire damages on <i>Larix gmelinii</i> radial growth at Tahe in Daxing'an Mountains, China	WANG Xiaochun, LU Yongxian (7463)
A model for water consumption by mountain jujube pear-like	XIN Xiaogui, WU Pute, WANG Youke, et al (7473)
Specificity of photosystems function change of two kinds of overwintering broadleaf evergreen plants	ZHONG Chuanfei, ZHANG Yuntao, WU Xiaoying, et al (7483)

- Effects of drought on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Ginkgo biloba* WEI Xiaodong, CHEN Guoxiang, SHI Dawei, et al (7492)
- Numerical classification and ordination of forest communities in habitat of Sichuan Snub-nosed Monkey in Hubei Shennongjia National Nature Reserve LI Guangliang, CONG Jing, LU Hui, et al (7501)
- Impact of inorganic anions on the cadmium effective fraction in soil and its phytoavailability during salinization in alkaline soils WANG Zuwei, YI Liangpeng, GAO Wenyan, et al (7512)
- Photosynthetic adaptability of the resistance ability to weak light of 2 species *Spiraea* L. LIU Huimin, MA Yanli, WANG Baichen, et al (7519)
- Fine root longevity and controlling factors in a *Phoebe Bournei* plantation ZHENG Jinxing, HUANG Jinxue, WANG Zhenzhen, et al (7532)
- Analysis on spatial structure and scenarios of carbon dioxide emissions from tourism transportation XIAO Xiao, ZHANG Jie, LU Junyu, et al (7540)
- The hydrological response to human activities in Guishui River Basin, Beijing LIU Yuming, ZHANG Jing, WU Pengfei, et al (7549)
- Socio-economic impacts of under-film drip irrigation technology and sustainable assessment: a case in the Manas River Basin, Xinjiang, China FAN Wenbo, WU Pute, MA Fengmei (7559)
- Effects of pattern and timing of high temperature exposure on the mortality and fecundity of *Aphis gossypii* Glover on cotton GAO Guizhen, LÜ Zhaozhi, XIA Deping, et al (7568)
- Physiological responses of *Eucalyptus* trees to infestation of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle WU Yaojun, CHANG Mingshan, SHENG Shuang, et al (7576)
- Carbon storage capacity of a *Betula alnoides* stand and a mixed *Betula alnoides* × *Castanopsis hystrix* stand in Southern Subtropical China: a comparison study HE Youjun, QIN Lin, LI Zhiyong, et al (7586)
- Distribution and ecological risk assessment of 7 heavy metals in urban forest soils in Changsha City FANG Xi, TANG Zhijuan, TIAN Dalun, et al (7595)
- Review and Monograph**
- The relationship between humans and the environment at the urban-rural interface: research progress and prospects HUANG Baorong, ZHANG Huizhi (7607)
- Flux footprint of carbon dioxide and vapor exchange over the terrestrial ecosystem: a review ZHANG Hui, SHEN Shuanghe, WEN Xuefa, et al (7622)

《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 23 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 23 (December, 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