

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **2013**

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 33 卷 第 20 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁 帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫 伟,余 韵,贾福岩,等 (6462)

个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张 卉,张 芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征 郑艳明,尧 波,吴 琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑 光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响 陈 展,王 琳,尚 鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析 张 莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周 威,龙 成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李 果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性 杨 慧,马建章,戎 可 (6634)

景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘 勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘 平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响 刘 雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

资源与产业生态

近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 李晓萌,孙永华,孟 丹,等 (6694)

三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 李 斌,徐丹丹,王志坚,等 (6704)

研究简报

北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子..... 陈文婧,李春义,何桂梅,等 (6712)

植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 王 鹏,李贤伟,赵安玖,等 (6721)

高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红,易乐飞,徐军田,等 (6730)

学术信息与动态

生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 房学宁,赵文武 (6736)

生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 巩 杰,岳天祥 (6741)

回顾过去,引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介..... 彭少麟,陈宝明,周 婷 (6744)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-10



封面图说: 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属,是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带,集群穴居,挖掘能力甚强,洞道深而复杂,多挖在岩石坡和沟谷灌丛下,从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近,形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分,农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大,往往导致栖息地破碎化,对动植物种产生强烈影响,啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策,是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

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

DOI: 10.5846/stxb201306121690

陶应时, 洪胜春, 廖咏梅, 黎云祥, 廖兴利, 权秋梅. 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益. 生态学报, 2013, 33(20): 6509-6516.

Tao Y S, Hong S C, Liao Y M, Li Y X, Liao X L, Quan Q M. A Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6509-6516.

异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益

陶应时¹, 洪胜春², 廖咏梅^{1,*}, 黎云祥¹, 廖兴利¹, 权秋梅¹

(1. 西华师范大学生命科学学院, 南充 637009; 2. 中南林业科技大学林学院, 长沙 410004)

摘要:在一盆栽实验中,将匍匐茎草本植物狗牙根克隆分株对进行异质性光照处理,对远端分株(幼年)分别进行不同程度的遮荫,并对分株对之间的匍匐茎进行保持连接或是切断处理。结果显示:在中度遮荫时,切断匍匐茎连接显著降低了远端分株的生物量和净光合速率(P_n);在重度遮荫时,切断匍匐茎连接显著降低了远端分株的分株数、叶片数、生物量、净光合速率(P_n)、最大光量子产量(F_v/F_m)和实际光量子产量($\Phi PS II$),克隆整合缓解了遮荫胁迫对远端分株生长的影响。在中度遮荫时,保持匍匐茎连接显著提高了近端分株的净光合速率(P_n);在重度遮荫时,保持匍匐茎连接显著提高了近端分株的最大光量子产量(F_v/F_m)、实际光量子产量($\Phi PS II$)和净光合速率(P_n),克隆整合使得相连未受胁迫近端分株的光合效率表现出补偿性增加。相比于匍匐茎切断处理,当远端分株遭受重度遮荫胁迫时,克隆整合引起近端未受胁迫分株生物量显著降低,而整个克隆片段生物量没有显著变化。因此,当远端分株遭受重度遮荫胁迫时,匍匐茎草本狗牙根可能采取一种风险分摊策略以降低基株死亡风险,这样一种策略对于维持克隆植物在异质性生境中基株适合度具有重要意义。

关键词:狗牙根;异质性光照;克隆整合;风险分摊

Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition

TAO Yingshi¹, HONG Shengchun², LIAO Yongmei^{1,*}, LI Yunxiang¹, LIAO Xingli¹, QUAN Qiumei¹

1 College of Life Science, China West Normal University, Nanchong 637009, China

2 School of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

Abstract: In a pot experiment, the clonal ramets of *Cynodon dactylon*, the stolon herbaceous plant, were treated with heterogeneous lighting. Shade stress was carried out on the distal ramets (younger ramets) to three different degrees, and the stolons between the proximal ramets and distal ramets of each pair were treated in an intact or severed manner. The results show that in moderate shade stress, the stolons severed significantly decreased the biomass and net photosynthetic rate (P_n) of distal ramets, and that in serious shade stress, the stolons severed significantly reduced the number of ramets, the number of leaves, biomass, net photosynthetic rate (P_n), the maximal quantum yield of the photosystem II (F_v/F_m) and the effective quantum yield of PS II ($\Phi PS II$) of the distal ramets, and that clonal integration alleviated the negative effects of shade stress on the growth of distal ramets. In moderate shade stress, the stolons being intact significantly increased the net photosynthetic rate (P_n) of proximal ramets. In the serious shade stress, the stolons being intact effectively improved the maximal quantum yield of the photosystem II (F_v/F_m) and the effective quantum yield of PS II ($\Phi PS II$) of the proximal ramets. Thus, clonal integration drove the photosynthetic rate of the unstressed proximal ramets to compensatory increase. In contrast to the treatment of the stolons severed, clonal integration would significantly reduce the

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31170502);四川省科技厅应用基础项目(2011JYZ021);四川省教育厅重点项目(11ZA033);教育部重点实验室开放基金项目(XNYB11-01);湖南省科技计划一般项目(2012FJ4495)

收稿日期:2013-06-12; 修订日期:2013-09-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lym3326@126.com

biomass of the unstressed ramets, but result in no significant change of the whole clonal fragments when the distal ramets were treated with serious shade stress. Therefore, when the distal ramets suffer from serious shade stress, *Cynodon dactylon*, the stolon herbaceous plant, may take a risk-spreading strategy to reduce the death of genets, which is of vital importance to maintain the fitness of the genets of clonal plants in heterogeneous environments.

Key Words: *Cynodon dactylon*; heterogeneous lighting; clonal integration; risk-spreading

克隆生长的显著特征是能够产生基因型一致的分株,这些分株通过匍匐茎或根状茎相互连接^[1-3]。克隆植物分株间的匍匐茎或根状茎等维管束连接可以传输光合产物、水分、矿质养分等资源^[4-5],这一现象被称之为克隆整合^[6-7]。研究显示克隆片段的受胁迫分株可以从相连未受胁迫分株获得光合产物、水分和矿质养分,从而缓解遮荫^[8-10]、干旱^[11-12]、病菌^[13]、去叶^[14]和盐分^[15-16]对其生长的影响。遭受胁迫分株通过反馈调节显著提高了未受胁迫分株的光合速率和叶片光系统Ⅱ中的最大光量子产量(F_v/F_m),使得克隆整合给遭受胁迫分株和整个克隆片段带来显著收益^[17-20]。然而,有研究显示通过影响未遭受胁迫分株生长或使其光化学效率下降,克隆整合也给未遭受胁迫分株带来一定的损耗^[7,21]。因此,克隆整合对未遭受胁迫分株的影响仍存在争议,开展克隆整合耗益分析研究有助于深刻认识异质性环境条件克隆整合的生态适应意义。

以匍匐茎草本克隆植物狗牙根(*Cynodon dactylon*)为对象,采用盆栽实验方法,对远端分株(幼年)分别进行不同程度的遮荫,并对分株对之间的匍匐茎进行保持连接或是切断处理。旨在探讨以下两个问题:1)克隆整合是否缓解远端分株生长所遭受的负面影响?2)克隆整合是否引起近端分株的生长遭受负面影响?克隆整合对克隆植物适应各种生境条件的作用和贡献一直是克隆植物生态研究的热点内容之一,本研究对深刻认识克隆植物的生态适应策略具有重要的意义。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验地位于四川省南充市西华师范大学生命科学学院试验基地内(30°14'—31°16'N, 106°—107°1'E,海拔 276 m),该地区属亚热带季风气候,年降雨量 980—1150 mm,相对湿度 76%—86%,年日照时数 1215—1530 h,年均气温 16.8℃。

1.2 试验材料

狗牙根(*Cynodon dactylon*)属禾本科(Gramineae)画眉草亚科(Eragrostoideae)虎尾草族(Chlorideae)多年生草本植物^[22],匍匐茎平铺地面或埋入土中,匍匐茎一般长 10—110cm,株高 10—30cm,匍匐茎的节向下生不定根,节上腋芽向上发育成地上枝。叶片平展、披针形,长 3.8—8cm,宽 1—3mm。狗牙根适应性强,分布广泛,于热带、亚热带和温带地区均有分布。

1.3 试验设计

2012 年 5 月 4 日,在嘉陵江南充段沿江河滩草地上采集 6 个源株植物进行培养(植株间距>1200m)。然后选取 2 个大小相似分株对作为实验材料,分株对中发育上相对年老的分株称为近端分株,另一个分株称为远端分株。选择一对直径 15cm、高 20cm 的塑料花盆,分别装入等量的沙土(全部采自于嘉陵江河滩),并加水统一压实至 16cm 高,然后沿着每个塑料花盆的边缘从上向下剪一细缝至距离沙土 0.4cm 处,并在细缝下方开一小孔,狗牙根的匍匐茎穿过小孔,这样分株对的近端分株和远端分株分别种植于这样的一对塑料花盆中。然后用塑料胶带把两个塑料花盆的细缝密封,防止漏沙漏水。经过几天的恢复生长,分别对远端分株进行不遮荫处理(全光照)、中度遮荫处理(25%光照)和重度遮荫处理(5%光照),同时对分株对之间的匍匐茎保持连接或切断,实验设计见图 1。每一处理重复 6 次,试验共持续 4 周。

1.4 光化学效率的测定

1.4.1 净光合速率 P_n 的测定

叶片的净光合速率指标于收获前两天测定,在 9:00—11:00 分别选取未受胁迫分株和受胁迫分株相同或

类似部位完全展开叶片,利用 LI-6400 光合仪 (LI-Cor Inc., NE, USA) 进行测量。测定时设定叶室温度为 25℃;气体由 CO₂ 气体钢瓶供给,使用开放气路,设定浓度为 380 μmol/mol;采用 LED 红蓝光源控制光强,光强设置为 1200 μmol m⁻² s⁻¹,通过叶室夹住叶片进行活体测试;测量每片叶片前伴随一次光合仪的匹配,并在测定光强的光下诱导 5—15 min,待叶片净光合速率稳定时记录测量数据,每间隔 3 s 记录 1 次,共记录 6 次,取平均值。为了消除时间上的误差,3 个处理组的叶片交替测量。

1.4.2 叶绿素荧光的测定

叶绿素荧光与净光合速率于同一天测定,用便携式荧光测量仪 (PAM-2100, Walz, Effeltrich, Germany) 分别对受胁迫分株和未受胁迫分株相同或类似部位完全展开叶测量叶绿素荧光参数,6 个重复。在测量前,每一叶片用暗适应夹暗适应 30 min。测量时先打开测量光 (20 kHz, 0.1 μmol m⁻² s⁻¹) 测得最小初始荧光 (F_0),然后打开饱和脉冲光 (0.8 s, 8000 μmol m⁻² s⁻¹) 测得最大荧光 (F_m),并得到最大光量子产量 F_v/F_m 和实际光量子产量 ($\Phi PS II$)。

1.4.3 叶绿素含量测定

采用便携式叶绿素测定仪 (SPAD-502, Minolta Co., Japen) 分别对未受胁迫分株和受胁迫分株的相同或类似部位叶片测定叶绿素含量 (SPAD values)。

1.5 生长和形态指标的测定

试验结束时,清点每一近端分株和远端分株在实验期间所新产生的分株数 (分株至少有一片绿叶) 和叶片数;将每一近端分株和远端分株拉直后用游标卡尺测量其匍匐茎长度,数出并记录其节间数,并计算出平均节间长。然后分别清洗每一克隆片段受胁迫分株和未受

胁迫分株,标号并用信封分装好后,置于 70℃ 烘箱中烘 48 h 至恒重,材料干重在精度 0.0001 g 的天平下称重。

1.6 统计分析方法

使用 SPSS 17.0 软件进行数据分析,用双因素方差分析 (Two-way ANOVA) 比较匍匐茎连接或切断和不同遮荫处理对各指标的影响及其它们之间的交互作用,用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 比较同一指标不同处理之间的差异显著性,并用 Bonferroni 法对均值进行多重比较。显著性水平设定为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 远端分株的表现特征

遮荫和切断处理的交互作用对匍匐茎长度、分株数和生物量有显著影响,但对叶片数无显著影响 (表 1)。遮荫胁迫、匍匐茎切断及二者的交互作用对远端分株的净光合速率 (P_n)、最大光量子产量 (F_v/F_m)、实际光量子产量 ($\Phi PS II$) 和叶绿素含量 (SPAD values) 有显著影响 (表 2)。遮荫胁迫和匍匐茎切断均显著影响远端分株的匍匐茎长度、分株数、叶片数、生物量、最大光量子产量 (F_v/F_m)、实际光量子产量 ($\Phi PS II$)、净光合速

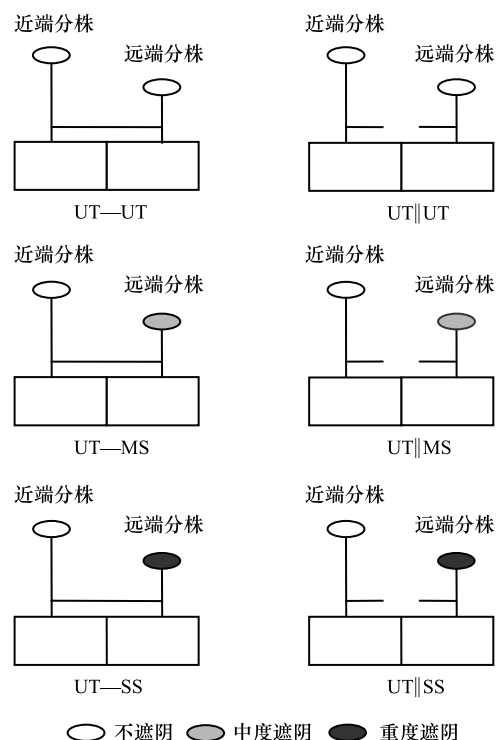


图 1 实验设计的图式表征

Fig.1 Schematic representation of the experimental design

UT—UT: 匍匐茎保持连接且对远端分株不遮荫; UT || UT: 匍匐茎切断且对远端分株不遮荫; UT—MS: 匍匐茎保持连接且对远端分株进行中度遮荫; UT || MS 匍匐茎切断且对远端分株进行中度遮荫; UT—SS: 匍匐茎保持连接且对远端分株进行重度遮荫; UT || SS: 匍匐茎切断且对远端分株进行重度遮荫

UT—UT: stolon connections are kept intact and distal ramets treated with no shade stress; UT || UT stolon connections are kept severed and distal ramets treated with no shade stress; UT—MS: stolon connections are kept intact and distal ramets treated with moderate shade stress; UT || MS: stolon connections are kept severed and distal ramets treated with moderate shade stress; UT—SS: stolon connections are kept intact and distal ramets treated with serious shade stress; UT || SS: stolon connections are kept severed and distal ramets treated with serious shade stress

率(P_n)和叶绿素含量(SPAD values)(表1,表2)。中度遮荫时,匍匐茎连接显著降低了遮荫胁迫对生物量和净光合速率的影响(图2,图3)。重度遮荫胁迫时,匍匐茎连接显著降低了遮荫胁迫对分株数、叶片数、生物量、最大光量子产量(F_v/F_m)、实际光量子产量($\Phi PS II$)、净光合速率(P_n)的影响(图2,图3)。无论连接或是切断,中度遮荫均使匍匐茎显著增长,但重度遮荫时,保持连接的匍匐茎显著增长,而切断却显著降低了匍匐茎长度(图2)。

表1 匍匐茎切断(Se)和遮荫胁迫(Sh)及其交互作用(Se×Sh)对狗牙根近端分株、远端分株和(或)整个克隆片段匍匐茎长度、分株数、叶片数和生物量的双因素方差分析

Table 1 Results of two-way analysis of variance on the effects of stolon severing (Se), shade (Sh) and their interaction (Se×Sh) on Length of stolons, Number of ramets, Number of leaves and biomass of the proximal, distal ramets and /or the whole clonal fragments of *Cynodon dactylon*

	自由度 df	匍匐茎长度 Length of stolons	分株数 Number of ramets	叶片数 Number of leaves	生物量 Biomass
近端分株 Proximal ramets					
Se	1,30	0.012 ^{ns}	2.035 ^{ns}	0.033 ^{ns}	1.061 ^{ns}
Sh	2,30	0.571 ^{ns}	2.513 ^{ns}	0.450 ^{ns}	1.331 ^{ns}
Se×Sh	2,30	0.030 ^{ns}	0.302 ^{ns}	0.907 ^{ns}	1.347 ^{ns}
远端分株 Distal ramets					
Se	1,30	153.518 ^{***}	6.806 [*]	16.213 ^{***}	31.434 ^{***}
Sh	2,30	238.778 ^{***}	140.000 ^{***}	193.478 ^{***}	279.730 ^{***}
Se×Sh	2,30	112.898 ^{***}	3.472 [*]	2.956 ^{ns}	7.443 ^{**}
克隆片段 Whole clonal fragments					
Se	1,30	88.765 ^{***}	0.442 ^{ns}	10.087 ^{**}	6.58 ^{**}
Sh	2,30	146.977 ^{***}	89.965 ^{***}	133.032 ^{***}	129.081 ^{***}
Se×Sh	2,30	63.104 ^{***}	0.919 ^{ns}	0.463 ^{ns}	1.818 ^{ns}

***, $P < 0.001$, **, $P < 0.01$, *, $P < 0.05$; ns, $P > 0.05$

2.2 近端分株的表现

遮荫和切断处理及其二者的交互作用对近端分株的最大光量子产量(F_v/F_m)、实际光量子产量($\Phi PS II$)和净光合速率(P_n)影响显著(表2),但对近端分株叶绿素含量影响不显著(表2)。中度和重度遮荫时,匍匐茎连接均显著提高了近端分株的最大光量子产量(F_v/F_m)和实际光量子产量($\Phi PS II$)(图3)。中度遮荫时,匍匐茎连接对近端分株的净光合速率无显著影响但重度遮荫时,匍匐茎连接显著提高了近端分株的净光合速率(图3)。遮荫胁迫、匍匐茎切断对近端分株的匍匐茎长度、分株数、叶片数均无显著影响,但重度遮荫显著降低了近端分株的生物量(图2)。

表2 匍匐茎切断(Se)和遮荫胁迫(Sh)及其交互作用(Se×Sh)对狗牙根近端分株、远端分株和(或)整个克隆片段净光合速率、最大光量子产量、实际光量子产量和叶绿素含量的双因素方差分析

Table 2 Results of two-way analysis of variance on the effects of stolon severing (Se), shade (Sh) and their interaction (Se×Sh) on P_n , F_v/F_m , $\Phi PS II$ and SPAD values of the proximal, distal ramets and /or the whole clonal fragments of *Cynodon dactylon*

	自由度 df	净光合速率 P_n	最大光量子产量 F_v/F_m	实际光量子产量 $\Phi PS II$	叶绿素含量 SPAD values
近端分株 Proximal ramets					
Se	1,30	44.517 ^{***}	55.645 ^{***}	12.520 ^{**}	1.107 ^{ns}
Sh	2,30	10.655 ^{***}	10.190 ^{***}	5.653 ^{**}	4.020 ^{ns}
Se×Sh	2,30	10.684 ^{***}	10.450 ^{***}	5.943 ^{**}	0.038 ^{ns}
远端分株 Distal ramets					
Se	1,30	30.582 ^{***}	10.748 ^{**}	8.190 ^{**}	27.286 ^{***}
Sh	2,30	1352.318 ^{***}	549.118 ^{***}	111.053 ^{***}	359.895 ^{***}
Se×Sh	2,30	7.667 ^{**}	6.517 ^{**}	7.228 ^{**}	4.767 [*]

***, $P < 0.001$, **, $P < 0.01$, *, $P < 0.05$; ns, $P > 0.05$

2.3 整个克隆片段的表现

匍匐茎切断与遮荫胁迫两者的交互作用显著影响了整个克隆片段的匍匐茎长度,但对分株数、叶片数和生物量影响不显著(表1)。遮荫胁迫显著降低了整个克隆片段的分株数、叶片数和生物量;匍匐茎切断显著降低了整个克隆片段的叶片数和生物量,但对分株数影响不显著(图2)。在中度遮荫时,无论连接或切断,整个克隆片段的匍匐茎均显著增长,但重度遮荫时,切断显著降低了整个克隆片段的匍匐茎长度。

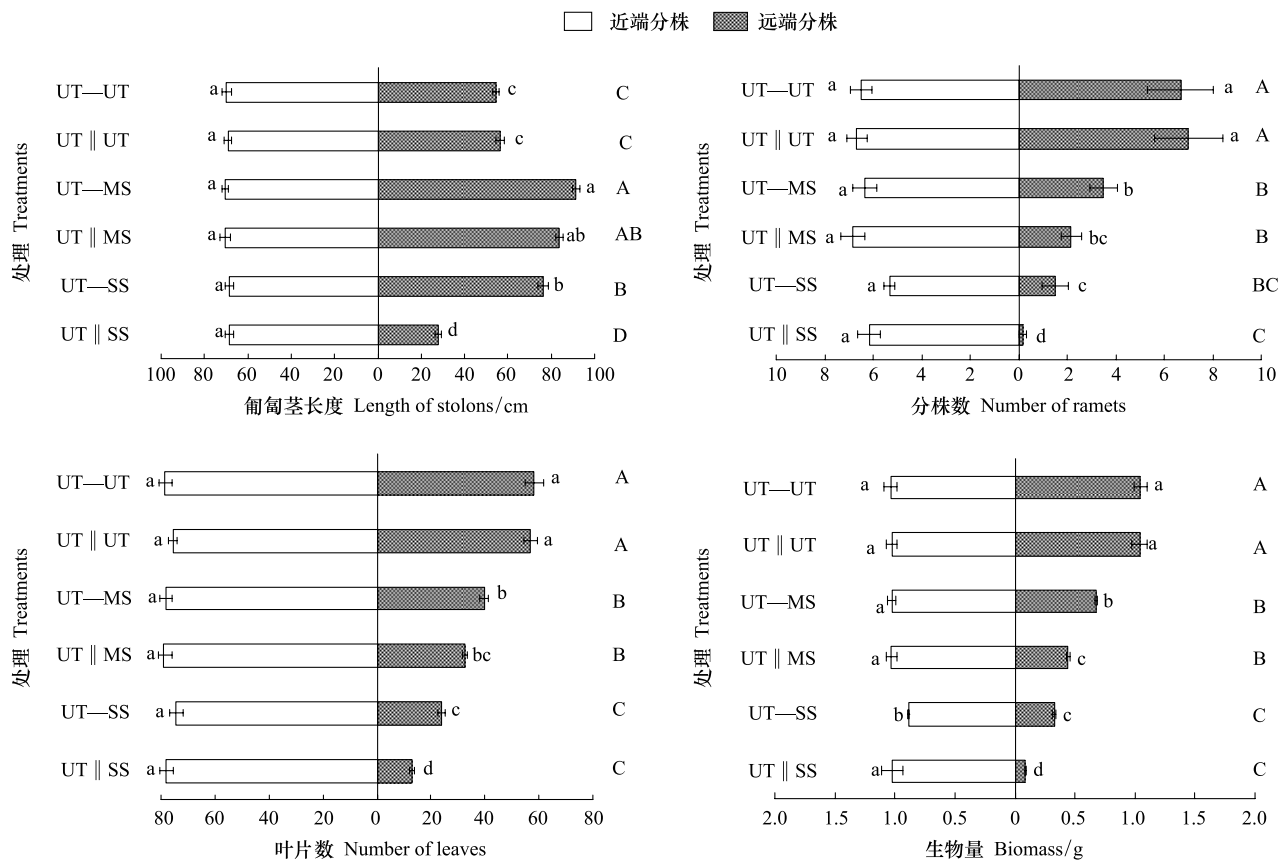


图2 近端分株、远端分株和整个克隆片段的匍匐茎长度、分株数、叶片数和生物量(平均值 $\pm$ 标准误差)

Fig.2 Length of stolons, number of ramets, number of leaves and biomass of the proximal ramets, distal ramets and clonal fragments (mean $\pm$ se)

对于近端分株和远端分株,相同的小写字母表示各处理间在 $P<0.05$ 水平上差异不显著;对于整个克隆片段,右侧相同的大写字母表示各处理间在 $P<0.05$ 水平上差异不显著。处理代码同图1

3 讨论

研究结果显示:中度遮荫时,匍匐茎切断显著降低了受胁迫远端分株的生物量和净光合速率,在重度遮荫下,匍匐茎切断显著降低了受胁迫远端分株的分株数、叶片数、生物量、最大光量子产量(F_v/F_m)、实际光量子产量(Φ_{PSII})和净光合速率(P_n)。这说明克隆整合有利于遮荫胁迫下远端分株的生长,提高了适合度和生态适应性。上述研究结果表明克隆整合可以抵御环境胁迫对克隆分株生长的负面效应^[23-25]。其次,当保持匍匐茎连接时克隆整合还缓解了光照胁迫对远端分株的光合生理特性的负面影响。原因可能是未受胁迫的近端分株经维管组织将部分资源和能量传送至受胁迫的远端分株,缓解了遮荫胁迫对远端分株光合系统的破坏,提高了远端分株的光合和光化学效率。最后,研究结果显示,在重度遮荫胁迫下,保持匍匐茎连接显著增长了远端分株的匍匐茎长(76.5 ± 2.43)和匍匐茎节间长(6.42 ± 0.6),分别是匍匐茎切断受胁迫远端分株的2.75倍和1.35倍(未发表数据)。克隆整合能使遮荫胁迫下远端分株的匍匐茎伸长,通过自身生长的可塑性反应对遮荫胁迫作出响应,从而使其有利于逃避弱光环境,能更有效地摄取异质性分布资源,增加了对光资源

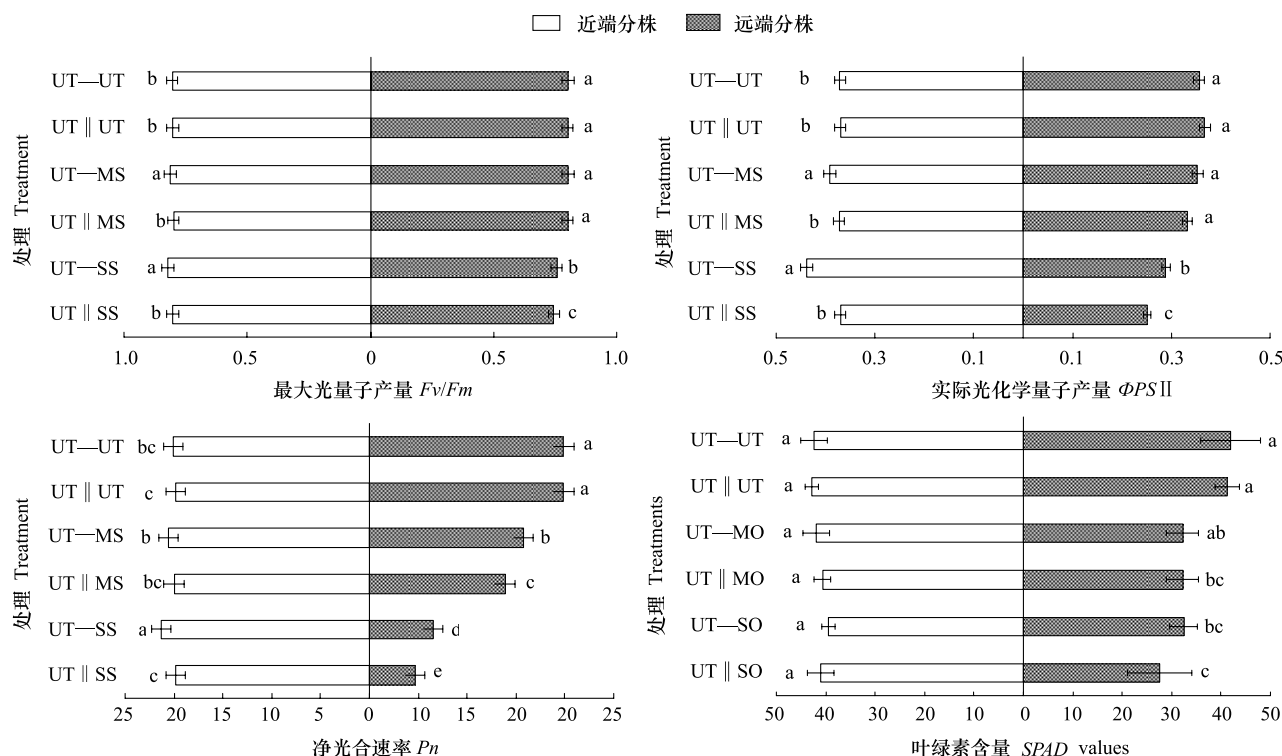


图3 近端分株、远端分株的最大光量子产量 (F_v/F_m)、实际光量子产量 (Φ_{PSII})、净光合速率 (P_n) 和叶绿素含量 (平均值 $\pm$ 标准误差)

Fig.3 F_v/F_m , Φ_{PSII} , P_n and SPAD values of the proximal ramets and distal ramets (mean $\pm$ se)

对于近端分株和远端分株,相同的小写字母表示各处理间在 $P<0.05$ 水平上差异不显著;处理代码同图1

的摄取^[26-27]。而在重度遮荫情况下,切断匍匐茎连接却显著抑制了远端分株匍匐茎和匍匐茎节间的伸长。可以设想,可能的原因是由于重度遮荫使得远端分株只能进行极其微弱的光合作用,所合成的物质和产生的能量极少,另一个原因是切断了匍匐茎连接,得不到来自近端分株的物质和能量支援。因而也就失去了伸长匍匐茎和匍匐茎节间逃避胁迫环境的能力。

由于本实验持续时间为4周,当切断匍匐茎连接后,没有观察遮荫处理下远端分株的死亡现象。Hartnett 和 Bazzaz 1983 年的研究发现,当切断与高光照下分株相连的匍匐茎连接时,遭受光照胁迫加拿大一枝黄花的分株死亡率逐渐增加,这一现象在实验进行到 60d 时仍能观察到^[28]。保持匍匐茎连接会显著降低遮荫胁迫下狗牙根远端分株的死亡率。克隆生长将克隆分株放置到不同的水平空间位置从而实现强的水平扩展,生境条件异质性在小尺度也会存在,所以同一基株的分株常常处于不同条件的小生境中。伴随着克隆生长,基株的死亡风险概率被分摊到各个克隆分株或分株系统,降低了基株死亡的风险,从而具有进化上的优势^[29]。

同时本研究结果显示:在中度遮荫时,匍匐茎连接显著提高了近端分株的净光合速率,在重度遮荫时,匍匐茎连接显著提高了近端分株的最大光量子产量 (F_v/F_m)、实际光量子产量 (Φ_{PSII}) 和净光合速率。这说明匍匐茎连接由于源-汇反馈调节机制引起了近端分株光合效率的补偿性增加^[30-31]。然而,本研究中当与遭受重度遮荫胁迫的远端分株相连时,却显著降低了相连的未遭受遮荫胁迫的近端分株的生物量,这说明克隆整合可能对未受胁迫近端分株有明显的耗费,这与其他一些试验结果类似^[32-34]。导致这一现象的原因可能是,尽管近端分株存在“源库补偿效应”,光合能力增强,但由于克隆整合存在许多潜在的成本,如维持匍匐茎连接所需要的组织和能量成本^[1]、资源传递所需要的能量成本^[35-36]、资源和能量供给带给分株的耗费^[37]以及克隆整合使得受胁迫远端分株匍匐茎伸长所需要的高可塑性成本和发育非稳定性成本^[38-39]等。在远端分株遭受重度遮荫胁迫时,近端分株补偿生长的收益仍显著少于各成本所需耗费之总和。因此,重度遮荫显著降低了近端分株的生物量。

在逆境胁迫下,克隆整合对远端胁迫分株有显著收益,提高了远端分株的生物量、叶片数和分株数等;在远端分株遭受重度胁迫时,对近端非胁迫分株有显著耗费,降低了近端分株的生物量。然而,尽管克隆整合提高了远端和近端光合及光化学效率,但并未显著提高整个克隆片段的生物量、分株数等。这说明克隆整合对整个克隆片段既无收益,也无损耗。这可能是由于克隆整合所需诸多潜在成本导致的。出现这一现象的原因,可能是在生境条件异质性情况下克隆分株间的相互作用格局,克隆植物所采取的一种风险分摊形式和机制或对策。克隆植物通过克隆生长将分株放置于不同的水平空间位置,因此同一基株的分株常常处于不同条件的小生境中,并且呈现不同的表型,伴随克隆生长,保持形体上的连接,基株的有害风险可能被分摊到近端分株系统和远端分株系统^[40],缓冲资源分布的空间异质性和时间异质性,通过因形体连接产生的克隆整合作用,将资源传输至受胁迫的分株,维持整个基株的生长,从而维持或提高基株的适合度,降低基株的有害风险。本实验的缺陷是实验时间不长,假定实验时间较长,重度遮荫胁迫可能使与近端分株不相连的远端分株致死。然而,与未受胁迫近端分株相连的远端分株,由于得到未受胁迫近端分株的资源供给而可能继续存活,近端分株系统和远端分株系统均存活可能使得基株的死亡风险得到了极大的降低。但不同的克隆植物由于克隆生长类型不同和(或)所遭遇的生境异质性不同,可能具有不同的风险分摊方式。

总之,在异质性光照条件下,克隆整合对遮荫胁迫下的远端分株有显著的净收益,缓解了遮荫胁迫对远端分株的伤害。在远端分株遭受重度遮荫胁迫时,克隆整合对近端分株有显著的耗费。异质性光照下,匍匐茎草本狗牙根可能采取的一种风险分摊策略,进而降低基株死亡风险,这样一种风险分摊策略对于维持克隆植物基株适合度有重要意义,本研究有助于加深对克隆整合生态适应意义的认识,进一步丰富克隆植物的生长及其生态适应对策研究。

References:

- [1] Pitelka L F, Ashmun J W. Physiology and integration of ramets in clonal plants // Jackson J B C, Buss L W, Cook R E, eds. Population biology and evolution of clonal organisms. Yale University Press: New Haven, 1985: 339-437.
- [2] Kliměš L, Kliměšova J, Hendriks R, van Groenendael J. Clonal plant architecture: a comparative analysis of form and function // de Kroon H, van Groenendael J eds. The ecology and evolution of clonal plants. Backhuys: Leiden, 1997:1-29.
- [3] Price E A C, Marshall C. Clonal plants and environmental heterogeneity. New York: Wiley, 1999:207-249.
- [4] de Kroon H, Hutchings M J. Morphological plasticity in clonal plants: The foraging concept reconsidered. Journal of Ecology, 1995. 83(1): 143-152.
- [5] Hutchings M J, Wijesinghs D K. Patchy habitats, division of labor and growth dividends in clonal plants. TREE, 1997, 12(10): 390-394.
- [6] Stuefer J F, Hutchings M J. Environmental heterogeneity and clonal growth: A study of the capacity for reciprocal translocation in *Glechoma hederacea* L. Oecologia, 1994, 100(3):302-308.
- [7] Alpert P. Effects of clonal integration on plant plasticity in *Fragaria chiloensis*. Plant Ecology, 1999, 141(1/2):99-106.
- [8] Alpert P, Mooney H A. Resource sharing among ramets in the clonal herb *Fragaria chiloensis*. Oecologia, 1986, 70(2): 227-233.
- [9] Evans J P. The effect of resource integration on fitness related traits in a clonal dune perennial, *Hydrocotyle bonariensis*. Oecologia, 1991, 86(2): 268-275.
- [10] Van Kleunen M, Stuefer J F. Quantifying the effects of reciprocal assimilate and water translocation in a clonal plant by the use of steam-girdling. Oikos, 1999, 85(1): 135-145.
- [11] Stuefer J F, de Kroon H, During H J. Exploitation of environmental heterogeneity by spatial division of labour in a clonal plant Functional Ecology, 1996, 10(3):328-334.
- [12] Dong M, Alaten B. Clonal plasticity in response to rhizome severing and heterogeneous resource supply in the rhizomatous grass *Psammochloa villosa* in an Inner Mongolian dune, China. Plant Ecology, 1999, 141(1/2):53-58.
- [13] D'Hertefeldt T, van der Putten W H. Physiological integration of the clonal plant *Carex arenaria* and its response to soil-borne pathogens. Oikos, 1998, 81(2):229-237.
- [14] Jónsdóttir I S, Callaghan T V. Localized defoliation stress and the movement of ¹⁴C-photoassimilates between tillers of *Carex bigelowii*. Oikos, 1989, 54: 211-219.
- [15] Salzman A G, Parker M A. Neighbors ameliorate local salinity stress for a rhizomatous plant in a heterogeneous environment. Oecologia, 1985, 65(2): 273-277.
- [16] Evans J P, Whitney S. Clonal integration across a salt gradient by a nonhalophyte, *Hydrocotyle bonariensis* (Apiaceae). American Journal of Botany, 1992, 79(12): 1344-1347.
- [17] Roiloa S R, Retuerto R. Development, photosynthetic activity and habitat selection of the clonal plant *Fragaria vesca* growing in copper-polluted

- soil. *Functional Plant Biology*, 2006a, 33(10): 961-971.
- [18] Roiloa S R, Retuerto R. Small-scale heterogeneity in soil quality influences photosynthetic efficiency and habitat selection in a clonal plant. *Annals of Botany*, 2006b, 98(5): 1043-1052.
- [19] Roiloa S R, Retuerto R. Responses of the clonal *Fragaria vesca* to microtopographic heterogeneity under different water and light conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 61(1): 1-9.
- [20] Wang H, Zhao S C, Xia W J, Wang X B, Fan H L, Zhou W. Effect of cadmium stress on photosynthesis, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in maize (*Zeamays* L.) seedlings. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(1): 36-42.
- [21] Sergio R. Roiloa, Rubén R. Clonal integration in *Fragaria vesca* growing in metal-polluted soils: parents face penalties for establishing their offspring in unsuitable environments. *Ecological Research*, 2012, 27(1): 95-106.
- [22] Garschet M J, Taliaferro C M, Anderson J A, Porter D R, Anderson M P. Cold acclimation and alterations in proteins synthesis in bermudagrass crowns. *Horticultural Science*, 1994, 119(3): 477-480.
- [23] Liu F H, Ye X H, Yu F H, DONG M. Clonal integration modifies responses of *Hed Ysarum Leave* to local sand burial in Mu Us Sandland. *J ournal of Plant Ecology*, 2006, 30(2): 278-285.
- [24] Zhang X Y, Fan D Y, Xie Z Q, Xiong G M, Li Z J. Clonal integration enhances performance of *Cynodon dactylon* subjected to submergence. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(9): 1075-1083.
- [25] Liu F J, Li Y X, Liao Y M, Chen J S, Quan Q M, Gong X Y. Effects of clonal integration on growth of stoloniferous herb *Centella asiatica* suffering from heterogeneous heavy metal Cd^{2+} stress. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(8): 864-871.
- [26] Bartlett N R, Noble J C. The population biology of plant with clonal growth III. Analysis of tiller mortality in *Carex arenaria*. *Journal of Ecology*, 1985, 73(1): 1-10.
- [27] Bell A D, Tomlinson P B. Adaptative architecture in rhizomatous plants. *Botanical Journal of the linnean Society*, 1980, 80(2): 125-160.
- [28] Hartnett D C, Bazzaz F A. Physiological integration among intraclonal ramets in *Solidago Canadensis*. *Ecology*, 1983, 64(4): 779-788.
- [29] Dong M. Plant clonal growth in heterogeneous habitats: Risk-spreading. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(6): 543-548.
- [30] Roiloa S R, Retuerto R. Physiological integration ameliorates effects of serpentine soils in the clonal herb *Fragaria vesca*. *Physiologia Plantarum*, 2006c, 128(4): 662-676.
- [31] Chen J S, Lei N F, Dong M. Clonal integration improves the tolerance of *Carex praeclara* to sand burial by compensatory response. *Acta Oecologica*, 2010, 36(1): 23-28.
- [32] Salzman A, Parker M A. Neighbors ameliorate local salinity stress for a rhizomatous plant in a heterogeneous environment. *Oecologia*, 1985, 65(2): 273-277.
- [33] Wang N, Yu F H, Li P X, He W M, Liu J, Yu G L, Song Y B, Dong M. Clonal integration supports the expansion from terrestrial to aquatic environments in the amphibious stoloniferous herb *Alternanthera philoxeroides*. *Plant Biology*, 2009, 11(3): 483-489.
- [34] Sergio R, Roiloa, Rubén R. Clonal integration in *Fragaria vesca* growing in metal-polluted soils: parents face penalties for establishing their offspring in unsuitable environments. *Ecol Res*, 2012, 27(1): 95-106.
- [35] Wennstrom A, Ericson L. Environmental heterogeneity and disease transmission within clones of *Lactuca sibirica*. *Journal of Ecology*, 1992, 80(1): 71-77.
- [36] Piqueras J. Infection of *Trientalis europaea* by the systemic smut fungus *Urocystis*: Disease incidence, transmission and effects on performance of host ramets. *Journal of Ecology*, 1999, 87(6): 995-1004.
- [37] Caraco T, Kelly C K. On the adaptive value of physiological integration in clonal plants. *Ecology*, 1991, 72(1): 81-91.
- [38] Dewitt T, Sih A, Wilson D. Costs and limits of phenotypic plasticity. *Trends in Ecology and Evolution*, 1998, 13(2): 77-81.
- [39] van Kleunen M, Fischer M, Schmid B. Costs of plasticity in foraging characteristics of the clonal plant *Ranunculus reptans*. *Evolution*, 2000, 54(6): 1947-1955.
- [40] Cook R E. Growth and development in clonal plant population // Jackson J B C, Buss L W, Cook R E, eds. *Population Biology and Evolution of Clonal Organism*. New Haven: Yale University Press, 1985: 259-296.

参考文献:

- [20] 汪洪, 赵士诚, 夏文建, 王秀斌, 范洪黎, 周卫. 不同浓度镉胁迫对玉米幼苗光合作用、脂质过氧化和抗氧化酶活性的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(1): 36-42.
- [23] 刘凤红, 叶学华, 于飞海, 董鸣. 乌素沙地游击型克隆半灌木羊柴对局部沙埋的反应. *植物生态学报*, 2006, 30(2): 278-285.
- [24] 张想英, 樊大勇, 谢宗强, 熊高明, 李兆佳. 克隆整合有助于狗牙根抵御水淹. *植物生态学报*, 2010, 34(9): 1075-1083.
- [25] 刘富俊, 黎元祥, 廖咏梅, 陈劲松, 权秋梅, 龚新越. 异质性重金属镉胁迫下克隆整合对匍匐茎草本植物积雪草生长的影响. *植物生态学报*, 2011, 35(8): 867-871.
- [29] 董鸣. 异质性生境中的植物克隆生长: 风险分摊. *植物生态学报*, 1996, 20(6): 543-554.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.20 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koeleria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed: the influence of environment and phylogenetic background ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

- Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk
 YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China
 LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
- Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method
 HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
- An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China
 HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
- Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau
 LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
- Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai
 TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)

Resource and Industrial Ecology

- Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent
 ten years of Beijing LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
- Stable isotope (^{13}C and ^{15}N) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir
 LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)

Research Notes

- Dynamics of CO_2 exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park
 CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
- Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years
 WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
- Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda under high salinity
 ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 宋金明

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 33 卷 第 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 20 (October, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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 90.00 元