

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **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 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊, 王笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川, 王金旺, 郑坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王鑫, 等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾, 李蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流域河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜, 邵晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强, 胡聃, 肖洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾, 徐德琳, 徐驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔, 高阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一,它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧,延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中,海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下,来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升,给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时,山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布,翠峰直插云霄,森林茂密苍郁,溪流碧澄清澈,奇花异葩繁多,风景美如画卷,气势壮丽非凡。

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

DOI: 10.5846/stxb201105250689

全杜娟, 魏岩, 周晓青, 严成. 角果藜的生长动态及其生殖配置. 生态学报, 2012, 32(11): 3352-3358.

Quan D J, Wei Y, Zhou X Q, Yan C. Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in *Ceratocarpus arenarius* L. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3352-3358.

角果藜的生长动态及其生殖配置

全杜娟¹, 魏 岩¹, 周晓青², 严 成^{3,*}

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆草地资源与生态重点实验室, 乌鲁木齐 830052;

2. 宝鸡石油中学生物组, 宝鸡 721001; 3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要:通过对角果藜(*Ceratocarpus arenarius* L.)的地上与地下部分生长动态以及生物量配置进行研究,结合其生活周期内土壤含水量变化规律,分析了角果藜的生态适应对策。结果表明:①角果藜植株高度生长速率随时间变化呈“增加—减缓—增加”的模式,而根的生长速率呈“逐渐减缓”的模式。角果藜株高、垂直根的生长速率变化同土壤水分的变化密切相关。②地上部分生物量在5月果实初形成时期和8月至9月的果实成熟期形成两个高峰值。地下部分生物量在3月至5月增长缓慢,随后以最大增长速率迅速达到地下生物量的最大值。角果藜地上、地下生物量的积累动态体现了其与季节变化相吻合的生长发育特点。③具有地上地下结果性的角果藜的生殖配置高达40%以上,高于一次结实的草本植物的生殖投入。这些特性是角果藜适应荒漠生境生长策略选择的综合表现。

关键词:生长动态;生殖配置;生态适应

Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in *Ceratocarpus arenarius* L.

QUAN Dujuan¹, WEI Yan¹, ZHOU Xiaoqing², YAN Cheng^{3,*}

1 Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology, College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

2 Biological Group, Baoji Petrol Middle School, Baoji 721001, China

3 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Abstract: Plant biomass results from a combination of plant and environmental factors. It not only reflects the plant's ability to adapt to the environment and grow, it also reflects the effect of environmental conditions on the plant. The study of a plant's dynamic life processes is important, such as studying its relationships to and the influence of environmental conditions. This information can then be used in analyzing the ecological aspects of a plant's ability to adapt to the environment and in understanding the tactics a plant uses to survive. *Ceratocarpus arenarius* L. (Chenopodiaceae) is an endemic annual species of central Asia and is widespread in the central Asiatic desert. In China, it grows only in the Junggar Basin, is able to form synusia in parts of Junggar Basin, and is very ecologically important. This amphicarpic species produces both aerial and subterranean fruits. We investigated above and below ground biomass growth dynamics, plant height and root depth of *C. arenarius*, and analyzed the plant's strategies for ecological adaptation including a study of the soil water content at different stages of its life cycle to better understand how the plants adapt to their desert habitat. During its life, the plant's growth rate in height had an annual pattern of increasing-decreasing-increasing. In April it grows slowly at first and then increases its rate of growth reaching a maximum plant height in May. The growth rate decreases in

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30770374,30660033)

收稿日期:2011-05-25; 修订日期:2011-09-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yancheng@ms.xjb.ac.cn

summer until it quickly increases again in August reaching a second peak in plant height during September. During its entire life cycle, the root length increases most rapidly between April and June, peaking in April, and then decreases. Maximum root depth is achieved in August and then decreases gradually. The root depth is closely correlated to soil water content in different stages of the plant's life history. Soil water content peaks in April, and then decreases rapidly, reaching a minimum in July. Although soil water content rises gradually between August and October, the increase is $< 10\%$. The above ground biomass has two similar peaks, first in May during the initial fruiting stage and later in August to September as the fruit ripens a second time. The below ground biomass increases slowly between March and May and then rapidly peaks during the period of maximum growth. The cumulative dynamics of *C. arenarius*' amphicarpic biomass reflects its growth characteristics which coincide with its annual life cycle. Reproductive allocation balances the plant's needs to both reproduce and survive. During its entire life cycle, *C. arenarius* continuously adjust the biomass distribution ratio between its vegetative and reproductive organs, and ultimately reaches a point of high reproductive allocation. *C. arenarius* begins to flower and fruit about 30 days after germination, at which point it begins its reproductive investment. Later, the reproductive investment increases rapidly, reaching a peak when the fruit ripens. Reproductive allocation exceeds 40%, higher than typical monocarpic herbaceous plants. During a two year investigation into the growth dynamics and biomass allocations of *C. arenarius*, the above and below ground biomass, root depth and plant height varied from year to year because annual rainfall varied, but the patterns of growth and change were similar. These traits correlate well with an unpredictable desert environment and may increase fitness of the populations. These strategies ensure the species continuously colonizes the ever-changing desert landscape, and are very important in protection against wind and in sand fixation, allowing this species to sustain and restore the local ecosystem, and helping it green the desert landscape.

Key Words: growth dynamics; reproductive allocation; ecological adaptation

植物个体构件生物量是植物与环境因素共同作用的结果,既反映了植物对环境条件的适应能力和生长发育规律,也反映了环境条件对植物的影响程度^[1-2]。有关植物生物量的研究主要集中在植物地上/地下生物量的动态变化规律^[3-5]以及降水和温度等条件对植物地上/地下生物量的影响^[6-8]。它们的动态过程、相互关系以及环境条件对它们的影响,是分析植物生态学特性,认识其环境适应方式与能力的重要途径。

生殖配置(reproductive allocation, RA)指植物在生长发育过程中,同化产物向其生殖器官分配的比例,即分配到生殖器官中的有机物数量。它控制着植物生殖与生存的平衡^[9]。植物种群的更新和种群中植物个体生活史的完成依赖于生殖过程。在生殖过程中的生殖分配格局以及植物如何调节其生殖分配以适应特定生存环境,是生殖生态学研究的重要任务^[10]。

角果藜(*Ceratocarpus arenarius* L.), 为中亚荒漠特有种,广泛分布于亚洲中部的荒漠和沙漠中^[11]。在我国仅生长在准噶尔盆地,并能在准噶尔盆地的局部地区形成层片或群聚^[11],具有重要的生态价值。那么角果藜是以怎样的生殖策略来实现其在严酷的荒漠环境中的繁殖成功的?为此,本文通过对角果藜的地上和地下的生长动态以及生殖分配策略进行研究,结合其生活周期内土壤水分变化规律,揭示其特殊的生态适应对策,以深入了解荒漠植物的进化规律及生态适应机制。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与材料

研究区位于新疆准噶尔盆地南缘低山砾质荒漠的自然种群(43°48' N, 87°40' E, 海拔 750—850 m)。该地区属中温带荒漠区,春秋季节较湿润,夏季干旱,热量充足,冬季漫长而寒冷。 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 初日温度出现在 3 月下旬, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 初日温度出现在 4 月下旬;高温出现在 7 月,平均最高气温为 $29.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[12]。植被类型为小半灌木荒漠小蓬群系,天然植被以小蓬(*Nanophyton erinaceum*)、角果藜、散枝猪毛菜(*Salsola brachiata*)、紫翅猪毛菜(*S. affinis*)为主,盖度为 20%—30%,其中,角果藜的盖度为 4%—5%,密度为 40 株/ m^2 ,高度为 5—30cm^[13];

紫翅猪毛菜的盖度为 6%—7%, 密度为 20 株/m², 高度为 10—40 cm^[13]。

角果藜为藜科角果藜属 1 年生草本植物, 花单性, 雌雄同株, 具有地上地下结果特性, 地下果实仅有 2 个, 是由主茎第 1 节(即第 1 对真叶)对生的叶腋处的 2 个雌花发育来的; 4 月下旬雌花在地上开花授粉, 5 月中上旬苞片完全愈合后, 于 6 月中下旬进入土中继续发育, 9 月中下旬成熟; 地上果实单生于叶腋内, 数量随着分枝次数的增加而增多, 10 月成熟^[14]。对照材料紫翅猪毛菜为藜科猪毛菜属 1 年生草本, 3 月种子萌发, 7 月开花, 10 月果实成熟。

1.2 根长、株高的生长动态及生物量的测定

于 2006、2007 年, 在自然种群中目测随机选取 20 株角果藜, 采用挖掘法和水冲法取完整植株, 分别测定植株高度及根长; 在实验室分割角果藜植株为根、茎、叶、花、地上果和地下果 6 部分, 烘箱内(75 °C, 24 h)烘干称重^[15], 测定各部分生物量, 计算生物量配置、生殖配置及净生长速率。4 月至 5 月每 7 d 测定 1 次, 6 月至 9 月每月测定 1 次。同时, 于 2007 年对同一生境中的紫翅猪毛菜进行相同处理, 作为对照。为表述简练, 文中将角果藜和紫翅猪毛菜的生物产量称之为生物量:

生物量配置 = 各构件生物量 / 总生物量

生殖配置 = 繁殖器官生物量 / 总生物量

净生长速率(包括株高、根长和生物量) = (后一测定月的生长量 - 前一测定月的生长量) / 生长天数

1.3 土壤含水量的测定

在角果藜样本的采集区域, 随机选取样点 4 个, 于 2007 年 4—10 月的 1、11、21 日, 分别取 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm 土样, 采用烘干称重法(75 °C, 24 h)测定土壤含水量。

2 结果与分析

2.1 生长动态

2006、2007 连续两年角果藜在株高、根长以及地上地下生物量上有一定的差异, 但是其生长规律和变化趋势是一致的, 这种差异可能是荒漠不同年际间的降水造成的(表 1)。

表 1 2006、2007 年角果藜生长季(3—10 月)内的月降水量

Table 1 Monthly rainfall in 2006 and 2007

	降水量 Rainfall/mm							
	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.
2006 年	10.2	19.3	50.7	16.3	12.2	7.2	7.4	15.5
2007 年	7.6	33.3	107.7	16.8	107.6	53.5	27.1	15.3

2006、2007 年的月降水量数据来自于新疆统计年鉴

2.1.1 株高和根长动态变化

角果藜的植株高度在 4 月生长缓慢, 之后呈上升趋势, 5 月其生长速率达到最大值(表 2), 随后逐渐减

表 2 角果藜地上和地下部分的增长速率

Table 2 Increase speed of *Ceratocarpus arenarius*

	增长速率 Increase speed							
	株高 Plant height /(cm/d)		地上生物量 Aboveground biomass /(g·d ⁻¹ ·20 株 ⁻¹)		根长 Root length /(cm/d)		地下生物量 Belowground biomass /(g·d ⁻¹ ·20 株 ⁻¹)	
	2006 年	2007 年	2006 年	2007 年	2006 年	2007 年	2006 年	2007 年
4 月 Apr.	0.089±0.006	0.110±0.008	0.018±0.006	0.054±0.012	0.260±0.024	0.323±0.024	0.004±0.003	0.009±0.002
5 月 May	0.308±0.010	0.201±0.017	0.090±0.011	0.153±0.050	0.212±0.045	0.185±0.042	0.007±0.004	0.000
6 月 Jun.	0.061±0.026	0.145±0.036	0.071±0.013	0.039±0.015	0.240±0.060	0.187±0.066	0.004±0.003	0.025±0.004
7 月 Jul.	0.039±0.039	0.118±0.038	0.235±0.028	0.087±0.025	0.051±0.041	0.048±0.045	0.012±0.003	0.002±0.004
8 月 Aug.	0.165±0.036	0.158±0.041	0.057±0.010	0.325±0.021	0.000	0.000	0.006±0.006	0.045±0.006
9 月 Sep.	0.000	0.000	0.600±0.056	0.009±0.053	0.000	0.000	0.005±0.005	0.000

缓,8 月内又迅速增加,至 9 月达到植株高度的最大值(图 1);角果藜根的垂直生长在 4—6 月最为迅速,增长速率在 4 月达到整个生活周期内的最大值(表 2),之后增长缓慢,8 月达到根长的最大值(图 1),垂直根在整个生活周期内呈逐渐减缓的增长趋势(图 1、表 2)。紫翅猪毛菜株高动态变化与角果藜相同;根长动态变化在 8 月前与角果藜相同,之后不再增加(图 1)。

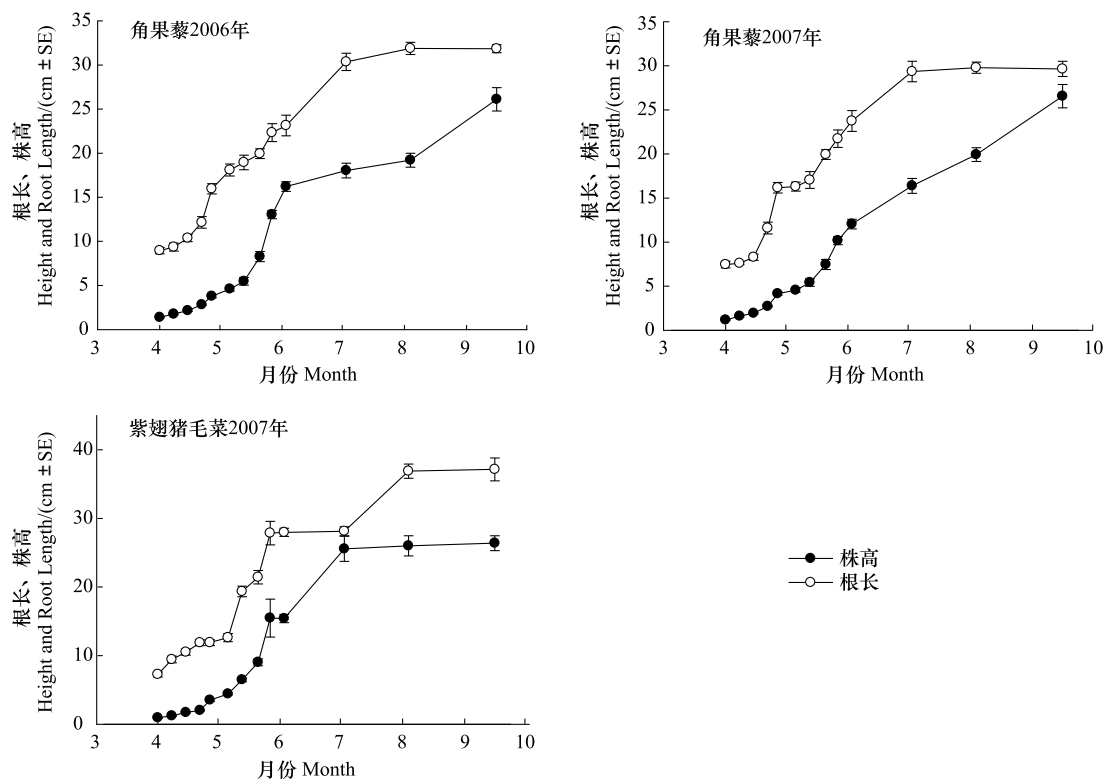


图 1 角果藜的株高和根长动态(2006、2007 年)

Fig. 1 Plant height and root length of *Ceratocarpus arenarius* in different stages

2.1.2 地上部分与地下部分生物量动态变化

地上部分生物量在生长季内(3—10 月)有两个明显的增值过程,即 5 月果实初形成时期累积速率加快,形成第一个高峰值(表 2);在 8 月至 9 月的果实成熟期形成第二个高峰值(表 2);地下部分生物量在 3 月至 5 月增长缓慢,随后以最大增长速率(表 2)迅速达到地下生物量的最大值(图 2)。紫翅猪毛菜地上、地下生物量动态变化表现出与角果藜相同的变化趋势(图 3)。

2.2 生殖配置

在整个生活周期内,角果藜植株不断调节营养器官与繁殖器官的生物量分配比率,最终达到较高的生殖配置。生物量分配动态见图 4。

萌动期植物体根、叶比重最大,随后逐渐减小。角果藜从萌发后约 30 d 开始开花结实,即开始生殖投入。之后,生殖投入迅速增加,到果熟期生殖分配的投入达到高峰(图 4)。将生殖期内的生殖配置值按现蕾期、开花期、果熟期 3 个阶段求其平均值分别为:2006 年(21.96 ± 1.08)%、(34.74 ± 3.95)%、(44.74 ± 5.94)%;2007 年(5.32 ± 1.13)%、(25.49 ± 1.36)%、(44.46 ± 1.76)%,果熟期生殖配置值高于其它两个时期,表明生殖期内生生殖配置逐渐由花转向果实。

2.3 土壤含水量

在调查的时间内,2007 年 4 月 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm 的土壤含水量最高,分别为(16.29 ± 4.97)%、(16.83 ± 4.58)%、(15.08 ± 3.27)%,之后迅速下降。7 月表层 0—10 cm 的土壤含水量达到(2.25 ± 0.32)%的最

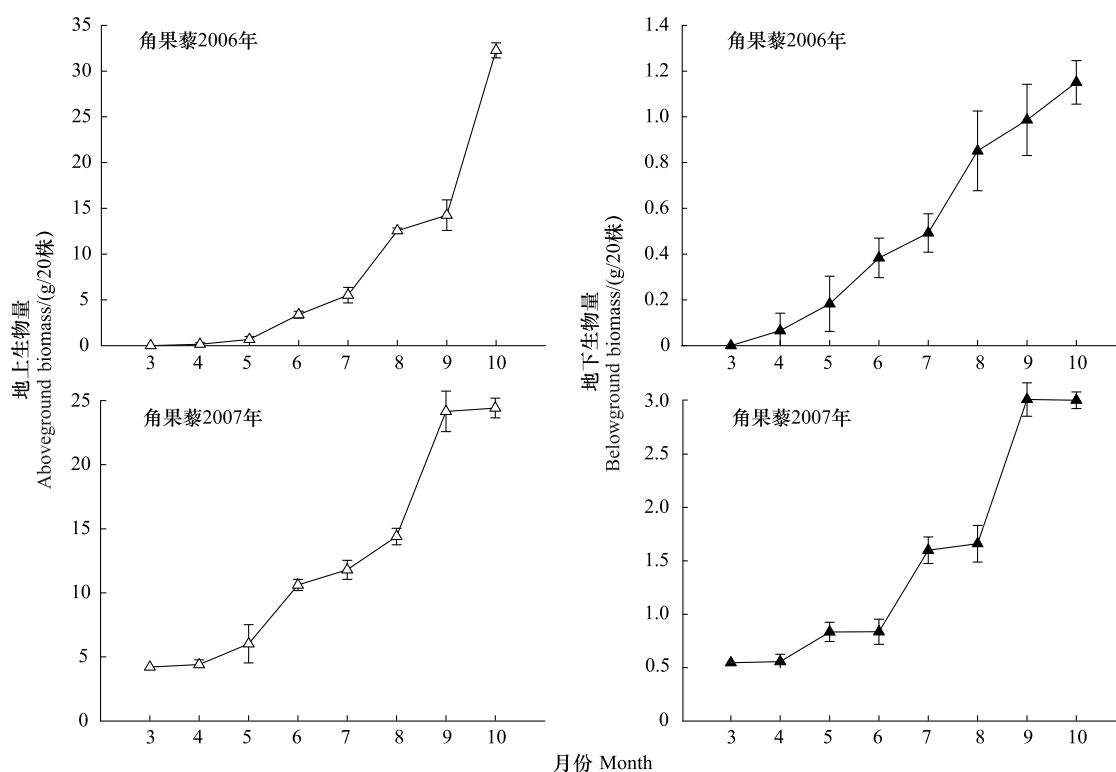


图2 角果藜地上和地下生物量动态(2006、2007年)

Fig. 2 Dynamic of aboveground and belowground biomass of *Ceratocarpus arenarius*

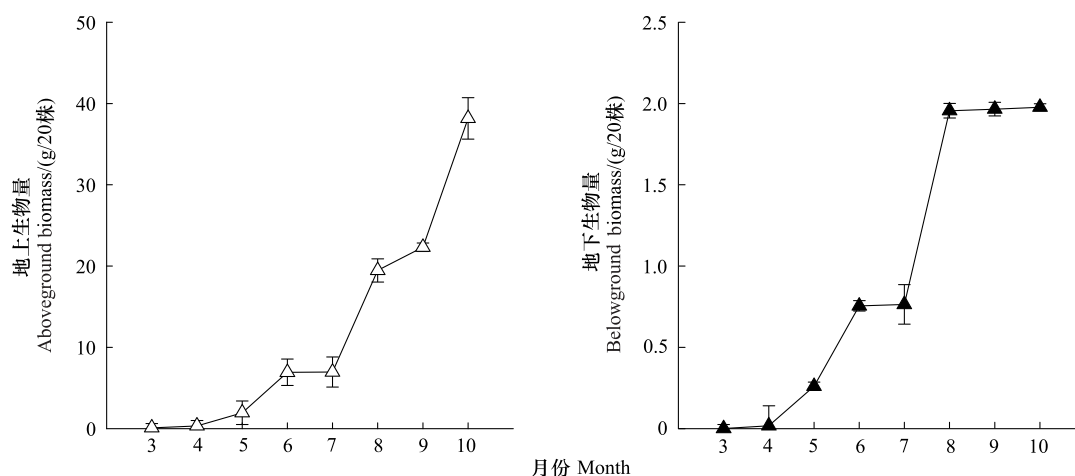


图3 紫翅猪毛菜地上和地下生物量动态(2007年)

Fig. 3 Dynamic of aboveground and belowground biomass of *Salsola affinis*

低值。8—10月土壤含水量逐渐回升,但仍低于10%(图5)。

3 讨论

3.1 水是荒漠植物最主要的短缺资源,土壤水分是控制植物吸收根垂直分布的关键因子。通过连续两年研究表明,角果藜根的生长速率呈“逐渐减缓”的模式;而植株高度生长速率随时间变化呈“增加—减缓—增加”的模式。根的这种变化规律正好同土壤水分的变化呈现较好的呼应关系。很多研究表明:生长季早期,垂直根在适宜的温度下生长速度较快^[16],增加垂直根生长可以明显的增加水分吸收^[17],同时在夏季可以有效的利用深层土壤水^[18],这样有利于幼苗在干旱期利用地下资源维持其成活和生长^[19]。植物体根系快

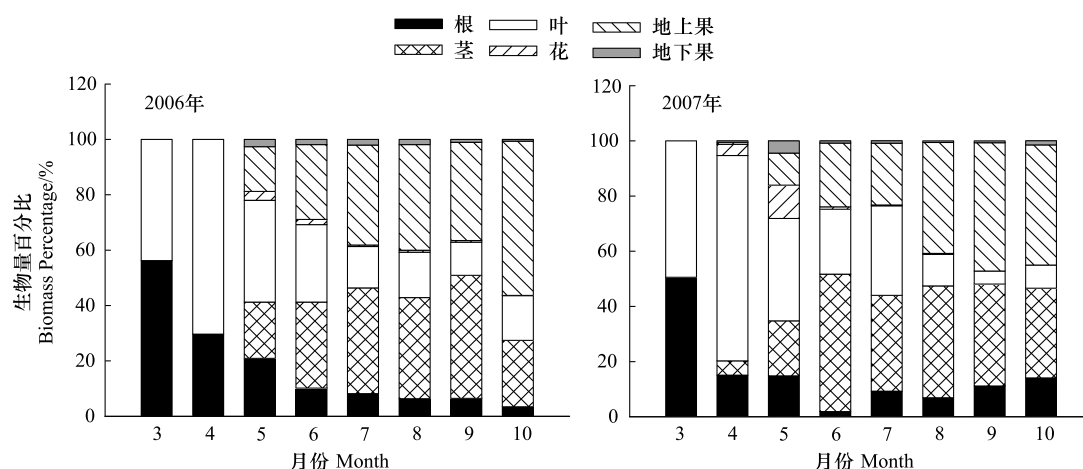


图4 角果藜的生物量分配(2006、2007年)

Fig. 4 Biomass allocations of *Ceratocarpus arenarius* in different stages

速生长在时间上的优先有利于幼苗的成活与生长,而植株高度在早期生长缓慢,可以防止早春气温骤然降低对幼苗造成的伤害。从植物垂直生长来看,根系在垂直空间上绝对生长量的优势和在时间上最大生长速率出现较早的比较优势,是角果藜适应干旱环境的生长策略。

复杂的环境因子对陆地生态系统植物功能群产生了不同的影响。环境因子在时间上和空间上的变化,表现为植物功能群在生理生态特性上和净初级生产力上的差别^[20]。角果藜地上、地下生物量的积累动态体现了其与季节变化相吻合的生长发育特点。生长季早期(3—4月),平均气温较低,昼夜温差大,此时地上、地下生物量增加缓慢。高温而干旱的6、7月对荒漠植物的生长最为严酷,角果藜地上生物量缓慢增加(此时紫翅猪毛菜表现为“休眠”状态)。随着气温下降、土壤含水量上升,角果藜进入了果实成熟期(8—10月),地上生物量快速增加。

3.2 资源配置是植物繁殖对策的重要组成部分^[21]。在自然界,一次结实的草本植物,它的生殖部分一般占其净同化能量的20%—40%,多次结实植物则占每年净同化能量的20%以下^[22]。而角果藜最终的生殖配置值(2006年(44.74±5.94)%,2007年(44.46±1.76)%)高于一次结实的草本植物的生殖投入;同时,角果藜属风媒同株异花传粉植物,在整个开花期内,花器官始终占很小的比例,既确保繁殖活动的顺利进行,又能使植物个体正常存活和生长。

角果藜对地上果实和地下果实的生物量分配上存在极大差异,具有地上地下结果性的角果藜的地下果实仅为两枚,而地上果实为多枚^[14],果实成熟时地上果实的生物总量是地下果实的29倍;从果实散布角度考虑,地下果实保留在母体附近进行原位萌发,对地下果实的投资为种群在原分布区的繁衍提供了可能,而地上果实借助风力进行传播,为扩展其分布范围提供了机会。角果藜在繁殖上表现出来的这种投资权衡使其能够在荒漠环境达到最大的繁殖成功。

References:

[1] Su Z X, Zhong Z C. Studies on the biomass structure of *Neosinocalamus affinis* population in Jinyun Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1991,

- 15(3): 240-252.
- [2] Wang B S, Li M G, Peng S L. Phytotopology. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1995: 8-27.
- [3] Wang Q J, Zhou X M, Zhang Y Q, Shen Z X. Community structure and biomass dynamic of the *Kobresia pygmaea* steppe meadow. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19(3): 225-235.
- [4] Wang Y F, Wang S P. Influence of different stocking rates on belowground biomass in Inner Mongolia Steppe. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(3): 198-203.
- [5] Huang M, Ji J J, Cao M K, Li K R. Modeling study of vegetation shoot and root biomass in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4156-4163.
- [6] Menaughton S L. Ecology of a grazing ecosystem: the Serengiti. *Ecological Monographs*, 1985, 55(3): 259-294.
- [7] Caldwell M M, Pearcy R W. Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants: Ecophysiological Processes Above and Below Ground. San Diego: Academic Press, 1994.
- [8] Andr  n O, Paustain K. Barley straw decomposition in the field: a comparison of models. *Ecology*, 1987, 68(5): 1190-1200.
- [9] Jiang H. Population Ecology of Spruce. Beijing: Chinese Forestry Press, 1992.
- [10] Su Z X, Zhang S L, Zhong Z C. Advances in plant reproductive ecology. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(1): 39-46.
- [11] Integrated Scientific Expedition to Xinjiang of the Chinese Academy of Sciences, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. The Vegetation and Its Utilization in Xinjiang. Beijing: Science Press, 1978: 16-22.
- [12] Hu R J. Physical Geography of the Tianshan Mountains in China. Beijing: China Environmental Science Press, 2004.
- [13] Mao Z M. Flora of Xinjiang, 2(1). Urumqi: Xinjiang Science, Technology and Sanitation Press, 1994: 28-98.
- [14] Gao R, Wei Y. Amphicarp of *Ceratocarpus arenarius* (Chenopodiaceae) in Junggar Desert. *Acta Botanica Yunnanica*, 2007, 29(3): 300-302.
- [15] Zhu X W, Huang Z Y, Zhang S M, Dong M. The responses of seed germination, seedling emergence and seedling growth in *Agropyron cristatum* to sand water content in Otindag Sandland, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 364-370.
- [16] Drennan P M, Nobel P S. Temperature influences on root growth for *Encelia farinosa* (Asteraceae), *Pleuraphis rigida* (Poaceae), and *Agave deserti* (Agavaceae) under current and doubled CO₂ concentrations. *American Journal of Botany*, 1996, 83(2): 133-139.
- [17] Kroon H de, Visser E J W. Root Ecology. New York: Springer-Verlag, 2003: 150-191.
- [18] Arroyo M T K, Zedler P H, Fox M D. Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California and Australia. New York: Springer-Verlag, 1995: 177-210.
- [19] Lloret F, Casanovas C, Peñuelas J. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root: shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Functional Ecology*, 1999, 13(2): 210-216.
- [20] Knapp A K, Smith M D. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. *Science*, 2001, 291(5503): 481-484.
- [21] Zhong Z C. Reproductive strategies of plant populations. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, 14(1): 37-42.
- [22] Zu Y G, Zhang W H, Yan X F, Ge S. Conservation Biology of *Adenophora lobophylla* An Endangered Plant. Beijing: Science Press, 1999.

参考文献:

- [1] 苏智先, 钟章成. 缙云山慈竹种群生物量结构研究. *植物生态学报*, 1991, 15(3): 240-252.
- [2] 王伯荪, 李鸣光, 彭少麟. 植物种群学. 广州: 广东高等教育出版社, 1995: 8-27.
- [3] 王启基, 周兴民, 张堰青, 沈振西. 高寒小嵩草草原化草甸植物群落结构特征及其生物量. *植物生态学报*, 1995, 19(3): 225-235.
- [4] 王艳芬, 汪诗平. 不同放牧率对内蒙古典型草原地下生物量的影响. *草地学报*, 1999, 7(3): 198-203.
- [5] 黄玫, 季劲钧, 曹明奎, 李克让. 中国区域植被地上与地下生物量模拟. *生态学报*, 2006, 26(12): 4156-4163.
- [9] 江洪. 云杉种群生态学. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [10] 苏智先, 张素兰, 钟章成. 植物生殖生态学研究进展. *生态学杂志*, 1998, 17(1): 39-46.
- [11] 中国科学院新疆综合考察队, 中国科学院植物研究所. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978: 16-22.
- [12] 胡汝骥. 中国天山自然地理. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [13] 毛祖美. 新疆植物志 (第二卷, 第一分册). 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1994: 28-98.
- [14] 高蕊, 魏岩. 荒漠植物角果藜的地上地下结果性. *云南植物研究*, 2007, 29(3): 300-302.
- [15] 朱选伟, 黄振英, 张淑敏, 董鸣. 浑善达克沙地冰草种子萌发、出苗和幼苗生长对土壤水分的反应. *生态学报*, 2005, 25(2): 364-370.
- [21] 钟章成. 植物种群的繁殖对策. *生态学杂志*, 1995, 14(1): 37-42.
- [22] 祖元刚, 张文辉, 阎秀峰, 葛颂. 濒危植物裂叶沙参保护生物学. 北京: 科学出版社, 1999.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 11 (June, 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:100071	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