

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **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 13 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07	



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

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

陈文年, 吴彦, 吴宁, 罗鹏, 王乾. 融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响. 生态学报, 2011, 31(13): 3621-3628.

Chen W N, Wu Y, Wu N, Luo P, Wang Q. Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of *Pedicularis davidii* var. *pentodon* on the eastern Tibetan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3621-3628.

融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响

陈文年^{1,2}, 吴彦^{2,*}, 吴宁^{2,*}, 罗鹏², 王乾²

(1. 内江师范学院生命科学系, 四川内江 641112; 2. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

摘要:在青藏高原东部的一个高山雪床, 沿着融雪梯度设置了早融、中间、晚融 3 个融雪部位, 对每个部位的环境因子、大卫马先蒿的个体生长特征及其繁殖特征进行了测量, 并在 3 个部位间对这些特征进行了比较。无雪期长度、土壤水分含量和表土温度的每日变化幅度在部位间有显著的差异, 但土壤营养成分和 pH 并无明显的变化。从早融部位到晚融部位, 大卫马先蒿的株高、单株叶数、单叶面积以及比叶面积显著增加, 地上生物量和总生物量也增加, 而地下生物量以及地下生物量与地上生物产量之比却降低。花序中段和下段的花数、单花种子数和种子千粒重随融雪的推迟而增加, 花序上段的花数、单花种子数和种子千粒重在融雪梯度上没有明显的变化; 就整个花序而言, 这些繁殖特征随融雪的推迟而增加。大卫马先蒿的个体生长及繁殖特征主要受冻融交替的影响。

关键词:生物量; 冻融交替; 叶特征; 夜间低温; 融雪梯度

Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of *Pedicularis davidii* var. *pentodon* on the eastern Tibetan Plateau

CHEN Wennian^{1,2}, WU Yan^{2,*}, WU Ning^{2,*}, LUO Peng², WANG Qian²

1 Department of Life Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, Sichuan, China

2 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: In an alpine snowbed on the eastern Tibetan Plateau, three portions were established along the snowmelt gradient. Environmental factors, individual growth and reproduction of *Pedicularis davidii* var. *pentodon* were measured and compared among the portions. It was found that snow-free period, soil water content and daily range of diurnal soil surface temperature were significantly different among the three portions, whereas soil nutrients and pH did not change significantly. Height, leaves per stem, area per leaf and specific leaf area increased significantly from early- to late-melting portion. From early- to late-melting portion, aboveground and total biomass increased, while belowground biomass and the ratio of below- to aboveground biomass decreased. Number of flowers, seeds per flower and 1000-seed weight increased in the lower and middle section of an inflorescence, whereas they almost kept constant in the upper section of an inflorescence. As for the whole inflorescence, these reproductive parameters increased from early- to late-melting portion. Individual growth and reproduction of *Pedicularis davidii* var. *pentodon* were mainly affected by freeze-thaw alternation.

Key Words: biomass; freeze-thaw alternation; leaf characteristics; low nocturnal temperature; snowmelt gradient

在青藏高原东部的高山地区存在着广泛的季节性雪被^[1-3], 从每年的 10 月中下旬到次年的 3、4 月间积雪往往覆盖着这些地区^[4]。在这些季节性积雪覆盖的区域, 由于地形、风和光照等各种物理因素的作用, 不同

基金项目:国家自然科学基金项目(40971178, 30870396); 国家科技支撑计划课题(2011BAC09B04, 2009BA184B02); 四川省青年基金(09ZQ026-087); 四川省教育厅科研基金(10ZC006); 内江师范学院博士科研基金资助

收稿日期:2010-07-19; **修订日期:**2010-12-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuning@cib.ac.cn; wuyan@cib.ac.cn

位点的积雪的厚度会有很大的不同^[5-6],而积雪厚度的不同又会导致与之相联的融雪时间及植物生长季长度的差异^[7-8],导致雪下光、温、水等因子的再分配^[9-11],以及雪下微生物活动的差异^[12-14]。于是,可以在高山生态系统中创造出多样的生境类型,从而影响雪床植物的生长和繁殖^[15]。长期生长于这种季节性积雪环境中的植物,也会改变其个体生长特性,以适应生态因子的重新组合^[16-17]。

大卫马先蒿(*Pedicularis davidii* var. *pentodon*)是一种多年生草本植物,生活于高山区域尤其是高山雪床中,在青藏高原东部分布很广,对该区高山草甸的群落结构有着重要影响^[18]。在生长季节,它的根状茎能产生2—3根直立茎,花着生在茎的上部,形成总状花序。在9月上旬,植物体停止生长并开始枯黄。到目前为止,对这种植物的个体生长及繁殖特征与雪被之间关系的研究还未见报道。在本研究中,主要考察该种的株高、叶、生物量及繁殖等特征沿着融雪梯度的变化,并提出以下问题:(1)融雪梯度对该种植物的个体生长和繁殖特征会造成怎样的影响?(2)哪些与融雪有关的生态因子可能会对其生长和繁殖特征的变化起主要作用?

1 样地概况和研究方法

1.1 样地概况

本研究地点选在位于青藏高原东部的四川省松潘县章腊乡卡卡山(32°59' N, 103°40' E),海拔3980m,该区是岷山山脉的一部分,距松潘县城及九寨沟风景区将近40 km(图1)。根据文献^[4],该区年均温2.8℃,1月均温-7.6℃,7月均温9.7℃,无绝对无霜期,年均日照时数1827.5 h,年降雨量为634.8 mm,其中的72%发生在6—8月的夏季。土壤类型为黑毡土。传统放牧是该区主要的人为干扰方式。在卡卡山北坡靠近山脊处,有一个天然的低洼雪床生境,该雪床被选作研究样地。从样地的上端(靠近山脊处)到样地的下端长近70 m,样地宽近40 m,样地的坡度变化于8—15°之间。从雪床的上端(接近山脊处)到下端(远离山脊处),雪厚度自然增加,融雪时间逐渐推迟,形成了一个自然的融雪梯度。

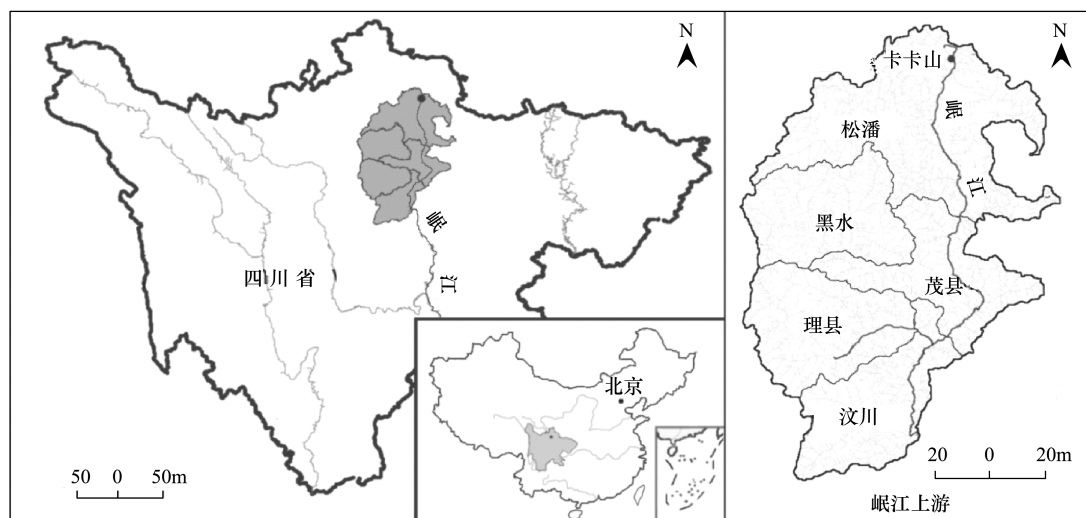


图1 岷江上游图,示研究区域卡卡山位置

Fig. 1 Map of the upper reaches of the Min River, showing the location of the study site (Mount Kakao)

1.2 研究内容 and 研究方法

在这个天然雪床中沿着积雪从浅到深的顺序设置早融、中间、晚融3个融雪部位,部位之间的距离为25m左右。在每个部位中,分别设置2条长30m宽1m的与山脊平行的样带。每个部位内的两条样带间的距离是1m。在每条样带上每隔1m设置一个1m×1m的样方,每条样带包含15个这样的样方。每个部位包含两条样带共有1m×1m的样方30个。

在2006年与2007年每年的3月上旬到5月中旬,记录每个样方中的积雪融化完的日期,并换算成儒略

日 (Julian date)。

在 2006 年与 2007 年两年的 5 月底 (此时雪已融化完和冻土已经解冻) 开始到 8 月底, 用便携式水份测量仪 (型号: Mpkit-B) 测量每个样方中的土壤含水量, 每周 1 次。

从 2006 和 2007 两年的 3 月初到 5 月中旬 (这一时间段是积雪融化期, 也是植物的开始生长期), 在雪床的 3 个部位的地表处, 分别放置一个自动温度记录仪, 以测定这一时间段内地表温度的变化, 设定为每 2h 自动记录 1 次。

于 2007 年 8 月进行土壤的取样。移开凋落物, 取地表下 10—15cm 的土样, 每个样方中取一个土样。土样带回实验室自然风干测量土壤物理性质: pH、N、P、K 等营养成份。

2007 年 8 月底 (样地各部位的大卫马先蒿都已充分生长并接近生长末期), 在每个 1m×1m 的样方中随机选择 3 个个体 (一个地上茎算一个个体), 用数显游标卡尺 (型号: SM208-1) 测量每个体株高, 计数每个体上叶片的数目, 用叶面积仪 (型号: CI-203) 测定每个个体的单株总叶面积, 然后摘下每株全部叶片带回实验室 65℃ 恒温下烘 48h, 用电子天平 (型号: PB303-E) 称量单株干叶重量, 并进一步计算比叶面积。比叶面积 (SLA) 定义为鲜叶面积与叶干重的比值^[19]。最后, 将每个样方中随机选择的这 3 个个体的花序分成相等的上、中、下三部分, 计数每部分的花数和每花种子数, 将每部分的种子带回实验室 65℃ 恒温下烘 48h, 用电子天平 (型号: PB303-E) 称量花序各部分的种子重量, 计算花序 3 个部分的种子千粒重。

2007 年 8 月底, 在上述指标测定的基础上, 用收割法测量大卫马先蒿生物量在各部位间的变化。在每个融雪部位各随机选择 8 个 1m×1m 的样方, 在其中收割大卫马先蒿的地上部份 (包含茎叶果种), 并小心收集其地上的凋落物; 然后小心挖出地下的根系部分并在清水中洗净泥土。然后将地上部分与地下部分带回实验室在 65℃ 恒温下烘 48h, 然后用电子天平 (型号: PB303-E) 称量。由于“地上生物量”的概念仅指“现存量”, 不包括凋落与立枯部分, 故采用“地上生物产量”来表达本研究中所涉及到的地上部分的有机体质量。

计数每一融雪部位的 30 个样方中的大卫马先蒿的个体总数, 并换算成种群密度。

1.3 室内数据分析

融雪部位间环境因子及个体特征方面差异的显著性由单因素资料的方差分析 (ANOVA) 来考察, 在不同融雪部位之间进行多重比较 (Duncan's test)。

2 结果

2.1 融雪梯度上非生物因子的变化

从表 1 可以看出, 不同部位之间的积雪消融日期有显著的不同。从积雪早融部位到积雪晚融部位, 随着雪厚度的增加, 积雪融化完的日期逐渐推迟。和早融部位相比, 晚融部位的积雪融化完的日期延迟了将近

表 1 融雪梯度上非生物因子 ($x \pm s$) 的比较

Table 1 Comparison of abiotic factors ($x \pm s$) among three sites of the snowbed on the Qinghai-Tibetan Plateau

样地部位 Portions	融雪时间 Snow melting time/d	土壤含水量 Soil water content/%	速效 N Available N / (mg/kg)	水溶性 P Soluble P / (mg/kg)	水溶性 K Soluble K / (mg/kg)
早融部位 Early-melting portion	99.5±9.1c	41.5±6.2c	19.2±2.6 a	0	6.7±0.9 a
中间部位 Intermediateportion	116.8±11.2b	48.5±5.7b	17.4±2.2 a	0	3.6±0.7 b
晚融部位 Late-melting portion	130.7±10.9a	61.4±8.1a	16.9±1.9 a	0	4.3±0.4 b
样地部位 Portions	pH	白天最高温度 Maximal temperature in daytime	夜间最低温度 Minimal temperature at night	温度日较差 Daily range of soil surface temperature	
早融部位 Early-melting portion	5.3a	17.2±3.2℃ a	-6.1±1.1℃ a	23.1±2.5℃ a	
中间部位 Intermediate portion	5.0 a	9.4±2.3℃ b	-3.4±1.2℃ b	12.8±2.5℃ b	
晚融部位 Late-melting portion	5.4a	4.8±1.6℃ c	-0.8±0.6℃ c	5.6±2.1℃ c	

温度系指 3—5 月份土壤表面温度, 融雪儒略日 2a 的观测数 $N=60$, 土壤水分含量 2a 的观测数 $N=840$, 温度 2a 的观测数 $N=180$, 其他指标的取样数 $N=30$; 不同的小写字母 a, b, c 表示部位间有显著的差异性 ($P<0.05$)

30d。土壤水份含量也有明显的不同,从早融部位到晚融部位,水份含量增加了 54.3%。但是,土壤的营养成份却变化不大,3 个部位的氮、磷以及土壤 pH 皆无明显的差异。另外,地表最高温度、地表最低温度以及地表温度的日较差都有明显的变化。以日较差为例,在所测定的 3—5 月份,地表平均日较差从早融部位到晚融部位降低了 17.5℃。这表明在积雪早融部位,昼夜温差变化剧烈,冻融交替明显,植物遭受冻害的可能性大大增加;而在晚融部位昼夜温差变化和冻融交替相对较弱,植物遭受冻害的可能性相对较小。

2.2 融雪时间对大卫马先蒿形态特征和种群特性的影响

大卫马先蒿形态特征在融雪梯度上的变化如表 2 所示。从早融部位到晚融部位,各形态特征都呈现出逐渐增加的趋势。其中,株高增加了 35.1%,单株叶数增加了 22%,单叶面积增加了 12.3%,比叶面积增加了 39.4%。种群密度的变化和形态特征的变化类似,从早融部位到晚融部位增加了 125%。

表 2 大卫马先蒿在 3 个融雪部位上的形态和种群特征 (x±s)

部位 Portions of the snowbed	早融部位 Early-melting portion	中间部位 Intermediate portion	晚融部位 Late-melting portion
株高 Height/cm	15.1±2.5 ^c	17.2±2.2 ^b	20.4±3.6 ^a
种群密度 Population density/(株/m ²)	5.2±1.05 ^c	8.2±1.5 ^b	11.7±1.8 ^a
单叶面积 Mean area per leaf/(×10 ⁻⁶ m ²)	633.5±60.8 ^c	665.5±38.4 ^b	701.5±53.7 ^a
单株叶数 Leaf number per individual	10.9±2.2 ^c	11.4±2.8 ^b	13.3±2.6 ^a
比叶面积 Specific leaf area/(×10 ⁻⁶ m ² /g)	174.7±58.3 ^c	211.8±48.5 ^b	243.5±54.8 ^a

不同的字母 a,b,c 代表部位间差异的显著性, $P<0.05$

2.3 融雪时间对大卫马先蒿生物量的影响

大卫马先蒿的地上生物产量、地下生物量、总生物量、以及地下生物量与地上生物产量之比在各部位间有显著的差异(图 2)。从早融部位到晚融部位,地上生物产量从 0.77g/m², 增到 6.08g/m²,增加了 6.9 倍。显然,地上生物产量的变化趋势和株高、单株叶数和单叶平均面积的变化趋势相一致。而地下生物量却依次降低,从 5.62 g/m²降到 3.08 g/m²,降低了 45.2%。总生物量从样地早融部位的 6.39 g/m²增加到 9.76 g/m²,增加了 52.7%。地下生物量与地上生物产量之比呈明显下降的趋势,从早融部位的 7.2 降到了晚融部位的

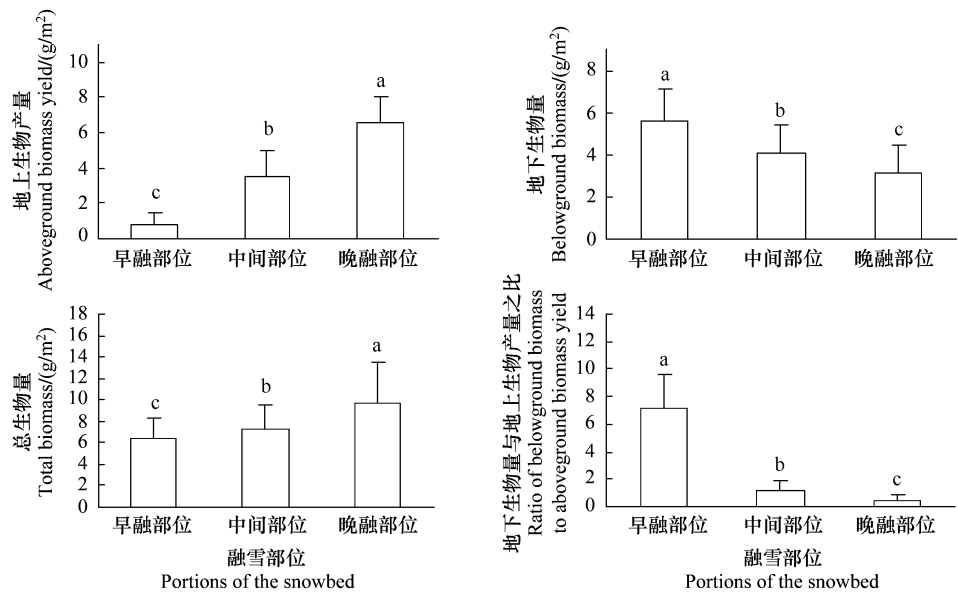


图 2 大卫马先蒿生物量 (g/m²) 在融雪梯度上的变化

Fig. 2 Variance of biomass (g/m²) among portions of the snowbed

a, b, c 表示部位间的显著差异, $p<0.05$

0.46。这说明,在积雪早融的部位,地下根系部分远比地上的茎叶部分发达,而到了样地的下部,却是地上的茎叶部分相对发达(图2)。也就是说,早融部位地下生物量的积累要明显地优于地上部分的生长,而在晚融部位却是地上部分的生长大于地下部分的积累。显然,早融部位的个体为了适应早春强烈的日交替冻融,选择了强根系、少茎叶的发展方向,这样可以减轻低温带来的危害。

2.4 融雪时间对大卫马先蒿生殖特性的影响

大卫马先蒿花序上、中、下3段以及整个花序的花数、单花种子数和种子的千粒重如表3所示。从整个花序来看,单株花数、单花种子数和种子的千粒重都呈逐渐增加的趋势,从早融部位开始到晚融部位,三者分别增加了46.8%,40.7%和27.5%。从花序的下段(下1/3)和中段(中1/3)来看,花数、单花种子数和种子的千粒重从早融部位到晚融部位也呈逐渐增加的趋势;而花序上段(上1/3)的花数、单花种子数和种子千粒重无明显的变化。

表3 大卫马先蒿的繁殖特征($\bar{x}\pm s$)在融雪梯度上的变化
Table 3 Changes of reproductive characteristics($\bar{x}\pm s$) along the gradient of snowmelt

花序节段 Sections of an inflorescence	测量特征 Measured characters	早融部位 Early-melting portion	中间部位 Intermedium portion	晚融部位 Late-melting portion
花序上段(上1/3) Upper section of an inflorescence (Upper 1/3)	花数 Number of flowers	9.6 ± 1.8 a	9.8 ± 1.3 a	10.1 ± 2.4 a
	单花种子数 Seeds per flower	2.7 ± 0.8 a	2.8 ± 1.2 a	2.9 ± 1.1 a
	种子千粒重 1000-seed weight/g	1.11 ± 0.12 a	1.16 ± 0.15 a	1.18 ± 0.13 a
花序中段(中1/3) Medium section of an inflorescence (Medium 1/3)	花数 Number of flowers	7.2 ± 1.1 c	9.5 ± 2.1 b	11.7 ± 2.5 a
	单花种子数 Seeds per flower	4.2 ± 1.3 c	4.5 ± 1.2 b	5.1 ± 1.5 a
	种子千粒重 1000-seed weight/g	1.09 ± 0.09 c	1.26 ± 0.14 b	1.43 ± 0.18 a
花序下段(下1/3) Lower section of an inflorescence (Lower 1/3)	花数 Number of flowers	5.4 ± 0.6 c	8.1 ± 0.8 b	10.5 ± 1.4 a
	单花种子数 Seeds per flower	1.8 ± 0.4 c	2.6 ± 0.8 b	3.3 ± 0.7 a
	种子千粒重 1000-seed weight/g	0.93 ± 0.15 c	1.19 ± 0.11 b	1.42 ± 0.16 a
整个花序 Whole inflorescence	花数 Number of flowers	22.2 ± 2.9 c	27.4 ± 2.8 b	32.6 ± 3.7 a
	单花种子数 Seeds per flower	2.7 ± 0.9 c	3.3 ± 1.1 b	3.8 ± 1.2 a
	种子千粒重 1000-seed weight/g	1.04 ± 0.17 c	1.21 ± 0.12 b	1.33 ± 0.14 a

不同的字母 a,b,c 代表部位间差异的显著性, $P<0.05$

3 讨论

在高山生境中,大多数的高山植物要受高山地区晚春和早夏雪况的影响^[15,20-22],本研究中大卫马先蒿个体生长和繁殖在融雪梯度上的改变正属于这种情况。

单株叶数和单叶面积随融雪的推迟而增加,这种特征对于雪床植物的生长和繁殖具有极为重要的意义,使其在较短的时间迅速完成生长周期,可被看作是雪床植物对积雪环境的一种适应。由于叶面积的增加,植物可制造更多的营养物质,为积雪晚融的部位植株高度和生物产量的增加、种子数量和重量的增加奠定了物质基础。其原因可能与本研究中融雪梯度上的土壤水分和温度的改变有关。在深雪区,尽管融雪时间推迟,生长时间相对缩短,但深雪区土壤水分相对充足(表1);而且由于融雪推迟,植物的生长基本上都处于温度的

较适期,短期内可以完成迅速生长。其他研究表明,在积雪浅的区域,由于融雪的提前会使高山植物的生长活动降低,并认为这是由于融雪后,植物失去了雪被的保护,会增加霜冻损害和水分胁迫的缘故^[23-25]。Molau 也报道^[7],在浅雪样地中,由于积雪的早融,常绿垫状灌木 *Diapensia laponica* 的生物量由于霜冻而降低了 22%,而在深雪的样地中却受影响极小。Walker^[15] 及 Kudo^[16] 等人的研究也得出了类似的结论。我们的结论与这些学者的研究基本一致。

大卫马先蒿在样地的早融部位生长和繁殖相对较弱,这跟样地早融部位生长季节明显的冻融交替有关。在本研究区域中,早融部位的平均夜间地表温度(以 3、4、5 月份为例)可降到 -6°C ;而其白天平均地表温度可以升高达 17°C 左右(表 1)。在早融部位,白天较高的温度可导致植物的萌动生长,而夜间的低温又可使其遭受冻害,这种日交替冻融现象对植物是十分有害的。相对而言,晚融部位的温度日较差较小,冻融交替不那么明显,于是在一定程度上可避免冻害的形成。Billings 认为^[26],由于北极和高山植物的繁殖器官对零下低温十分敏感,植物体从雪被中过早地暴露会增加霜冻的风险。因此,在积雪早融的情况下,生长季早期积雪隔热层的丧失会引起雪床样地中植物严重的冻害^[23]。而且,在少雪的年份,积雪对开花的影响也是通过增加的霜冻造成的^[23]。可见这种日交替冻融是引起早融部位冻害的主要原因,也是妨碍大卫马先蒿生长和繁殖的重要原因之一。

尽管积雪早融导致的低温与植物的生长和繁殖有密切的关系,但也有报道认为,在积雪环境中,无雪期长度才是决定植物生长的主要因素^[5,27]。生活在温带地区的高山植物,更多地是受无雪期长度的影响,而不是受温度本身的影响^[28]。在积雪晚融的区域,无雪期长度的缩短限制了植物积累更多的营养物质,而这些营养物质是来年生长和繁殖所必须的^[6]。可以看出,这些研究结果都认为是无雪期长度的缩短限制了植物的生长。按照这些研究结果,植物在早融的部位应该生长的更好一些,而在晚融雪的部位应该生长相对较差,显然这又与我们的研究结果不一致。这种差异主要跟研究区域地理类型的不同有关。本研究所在的青藏高原东部为低纬度高海拔地区,其冻融现象为日交替冻融,积雪融化相对较早,无雪期的长度相对较长;而上述的其他研究多在高纬度地区,其冻融属于年交替冻融,积雪融化相对较迟,地表日交替冻融相对不明显,无雪期的长度对植物能否完成生长周期有重要影响。

根据 2006 和 2007 两年的观察,大卫马先蒿花序同一节段的花期在 3 个部位间无明显差异,而且其花序下段和中段的花的发育较早,一般在 4 月中下旬,此时早融部位的夜间地表温度仍然很低,冻融交替明显(表 1);而晚融部位由于雪被的保护,夜间地表温度相对不是太低,冻融交替不显著。早融部位和中间部位较强的冻融交替会给花序下段和中段的花的发育造成较大的负面影响,导致出现表 3 的结果。但是,花序上段的花的发育一般在 5 月中下旬以后,这时所有部位的积雪都已融化,部位间已无冻融因素差异。这可能就是花序上段的花在各融雪部位间没有表现出明显差异的主要原因。

在高寒草甸群落中的研究表明,生物量与降水量有明显的关系,由降水增加而引起的土壤含水量增加往往能使植物地下生物量减少而使地上生物产量增加^[29-30],干旱往往能使地下生物量增加^[31]。在本研究中,晚融部位由于积雪增厚导致土壤水分增多,从而引起地上生物产量增多,与上述的一些研究结果非常相似。另外,大卫马先蒿的比叶面积随着融雪的推迟也呈现出增加的趋势(表 2),这表明随着融雪时间的推迟,大卫马先蒿叶片的密度有降低的趋势,其叶片有变薄的趋势。这主要是在积雪早融的部位,由于早春频繁的夜间低温影响,植物叶片表面会适应性地产生油脂类保护物质,而且蜡粉和密毛等附属物往往增多。因此,和积雪晚融的部位相比,叶片相对较厚一些。同时,在早融部位,植物细胞为了降低冰点,增加抗寒能力,常常会尽量地减少水分,增加糖、脂和色素等有机物含量,故早融部位叶组织密度往往较大。而在水分充足的晚融部位,叶细胞能够吸收更多水分,这可能也是晚融部位叶组织密度降低的原因之一。

随着全球变暖,高山雪床的温度会有所升高,融雪会加快和提前^[32]。根据本研究,提前融雪导致大卫马先蒿生长的减弱和繁殖能力的降低,甚至可能会导致该种的消失。在温度增加积雪提前融化的情况下,大卫马先蒿的生长会受到抑制,其分布区可能会缩小。在高山雪床,大多数植物都可被看成是雪层的指示植

物^[33-34],也就是说,每个物种都分布在被一定雪深覆盖的一定区域中。在全球变暖的情况下,随着大多数植物个体特征的变化和某些物种的消亡,群落中各物种的分布格局可能也将变化,最终可能会导致青藏高原东部植被的分布格局乃至整个高山群落的结构发生改变。

References:

- [1] Zhao H L, Zhou R L, Zhao Y. Advance in snow ecology study in the world. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19(2): 296-304.
- [2] Wu Y. Effects of seasonal snow cover on plant community. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(5): 550-556.
- [3] Wu Y, Onipchenko V G. The impact of snow-cover on alpine vegetation type of different aspects in the west of Sichuan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5120-5129.
- [4] Ma D L. *Songpan County Annals*. Beijing: National Press, 1999: 101-148.
- [5] Billings W D, Bliss L C. An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development, and productivity. *Ecology*, 1959, 40(3): 388-397.
- [6] Wijk S. Performance of *Salix herbacea* in an alpine snow-bed gradient. *Journal of Ecology*, 1986, 74(3): 675-684.
- [7] Molau U. Climatic impacts on flowering, growth, and vigour in an arctic-alpine cushion plant, *Diapensia lapponica*, under different snow cover regimes. *Ecological Bulletins*, 1996, (45): 210-219.
- [8] Totland Ø, Alatalo J M. Effects of temperature and date of snowmelt on growth, reproduction, and flowering phenology in the arctic/alpine herb, *Ranunculus glacialis*. *Oecologia*, 2002, 133(2): 168-175.
- [9] Rixen C, Stoeckli V, Ammann W. Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2003, 5(4): 219-230.
- [10] Rixen C, Haeberli W, Stoeckli V. Ground temperatures under ski pistes with artificial and natural snow. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2004, 36(4): 419-427.
- [11] Taylor R V, Seastedt T R. Short- and long-term patterns of soil moisture in alpine tundra. *Arctic and Alpine Research*, 1994, 26(1): 14-20.
- [12] Brooks P D, Williams M W, Schmidt S K. Microbial activity under alpine snowpacks, Niwot Ridge, Colorado. *Biogeochemistry*, 1996, 32(2): 93-113.
- [13] Lipson D A, Schadt G W, Schmidt S K. Changes in soil microbial community structure and function in an alpine dry meadow following spring snow melt. *Microbial Ecology*, 2002, 43(3): 307-314.
- [14] Uchida M, Mo W H, Nakatsubo T, Tsuchiya Y, Horikoshi T, Koizumi H. Microbial activity and litter decomposition under snow cover in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 134(1/4): 102-109.
- [15] Walker D A, Halfpenny J C, Walker M D, Wessman C A. Long-term studies of snow-vegetation interactions. *BioScience*, 1993, 43(5): 287-301.
- [16] Kudo G. Performance and phenology of alpine herbs along a snow-melting gradient. *Ecological Research*, 1992, 7(3): 297-304.
- [17] Kudo G. Effect of snow-free duration on leaf-span of four alpine plant species. *Canadian Journal of Botany*, 1992, 70(8): 1684-1688.
- [18] Cooperative Group of Sichuan Vegetation. *Sichuan Vegetation*. Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 1980: 225-241.
- [19] Shipley B, Almeida-Cortez J. Interspecific consistency and intraspecific variability of specific leaf area with respect to irradiance and nutrient availability. *Ecoscience*, 2003, 10(1): 74-79.
- [20] Kudo G. Effects of snow-free period on the phenology of alpine plants inhabiting snow patches. *Arctic Alpine Research*, 1991, 23(4): 436-443.
- [21] Heegaard E. A model of alpine species distribution in relation to snowmelt time and altitude. *Journal of Vegetation Science*, 2002, 13(4): 493-504.
- [22] Yamagishi H, Allison T D, Ohara M. Effects of snowmelt timing on the genetic structure of an *Erythronium grandiflorum* population in an alpine environment. *Ecological Research*, 2005, 20(2): 199-204.
- [23] Inouye D W, Morales M A, Dodge G J. Variation in timing and abundance of flowering by *Delphinium barbeyi* Huth (Ranunculaceae): the roles of snowpack, frost, and La Niña, in the context of climate change. *Oecologia*, 2002, 130(4): 543-550.
- [24] Saavedra F, Inouye D W, Price M V, Harte J. Changes in flowering and abundance of *Delphinium nuttallianum* (Ranunculaceae) in response to a subalpine climate warming experiment. *Global Change Biology*, 2003, 9(6): 885-894.
- [25] Walker M D, Ingersoll R C, Webber P J. Effects of interannual climate variation on phenology and growth of two alpine forbs. *Ecology*, 1995, 76(4): 1067-1083.
- [26] Billings W D. Adaptations and origins of alpine plants. *Arctic and Alpine Research*, 1974, 6(2): 129-142.
- [27] Miller P C. Environmental and vegetation variation across a snow accumulation area in montane tundra in central Alaska. *Holarctic Ecology*, 1982,

5(2): 85-98.

- [28] Suzuki S, Kudo G. Short-term effects of simulated environmental change on phenology, leaf traits, and shoot growth of alpine plants on a temperate mountain, northern Japan. *Global Change Biology*, 1997, 3(S1): 108-115.
- [29] Li Y N. Turnover analysis of belowground biomass and its relation to meteorologic conditions in alpine meadow. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1998, 19(1): 36-42.
- [30] Liu W, Zhou H K, Zhou L. Biomass distribution pattern of degraded grassland in alpine meadow. *Grassland of China*, 2005, 27(2): 9-15.
- [31] Falk J H. The primary productivity of lawns in a temperate environment. *Journal of Applied Ecology*, 1980, 17(3): 689-696.
- [32] Whetton P H, Haylock M R, Galloway R. Climate change and snow-cover duration in the Australian Alps. *Climatic Change*, 1996, 32(4): 447-479.
- [33] Dzwonko Z. Assessment of light and soil conditions in ancient and recent woodlands by Ellenberg indicator values. *Journal of Applied Ecology*, 2001, 38(5): 942-951.
- [34] Diekmann M. Relationship between flowering phenology of perennial herbs and meteorological data in deciduous forests of Sweden. *Canadian Journal of Botany*, 1996, 74(4): 528-537.

参考文献:

- [1] 赵哈林, 周瑞莲, 赵悦. 雪生态学研究进展. *地球科学进展*, 2004, 19(2): 296-304.
- [2] 吴彦. 季节性雪被覆盖对植物群落的影响. *山地学报*, 2005, 23(5): 550-556.
- [3] 吴彦, Onipchenko V G. 雪被对川西高山植被坡向性分异的影响. *生态学报*, 2007, 27(12): 5120-5129.
- [4] 马德隆. 松潘县志. 北京: 民族出版社, 1999: 101-148.
- [18] 四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社, 1980: 225-241.
- [29] 李英年. 高寒草甸植物地下生物量与气象条件的关系及周转值分析. *中国农业气象*, 1998, 19(1): 36-42.
- [30] 刘伟, 周华坤, 周立. 不同程度退化草地生物量的分布模式. *中国草地*, 2005, 27(2): 9-15.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG Qihong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabiri</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

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 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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	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 70.00 元