

马文宝, 姬慧娟, 代林利, 等. 梓叶槭和五小叶槭果实形态特征和扩散特性[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(1): 150-154.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.01.019

## 梓叶槭和五小叶槭果实形态特征和扩散特性

马文宝<sup>1</sup>, 姬慧娟<sup>1</sup>, 代林利<sup>2</sup>, 张宇阳<sup>3</sup>, 帅伟<sup>4</sup>, 姜欣华<sup>4</sup>, 于涛<sup>3</sup>

(1. 森林和湿地生态恢复与保育四川省重点实验室/四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 3. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 4. 甘孜州林业科学研究所, 四川 康定 626001)

**摘要:** 以梓叶槭(*Acer catalpifolium* Rehd.)和五小叶槭(*A. pentaphyllum* Diels)的果实为材料,对2种植物果实形态特征与扩散特性进行比较研究。结果表明:(1)梓叶槭果实的翅长、翅宽、果翅面积和种子面积显著大于五小叶槭,为五小叶槭的2.01倍、1.40倍、2.42倍和1.79倍,五小叶槭的千粒质量和种子厚度显著高于梓叶槭,为梓叶槭的1.64倍和2.83倍;(2)在200 cm高的静止空气中,梓叶槭的降落速度显著小于五小叶槭的降落速度,在水平风速4 m/s的情况下,梓叶槭水平扩散距离显著高于五小叶槭的水平扩散距离,梓叶槭垂直降落速度慢,水平扩散距离远;(3)垂直降落速度与千粒质量呈极显著正相关,与翅长和果翅面积呈极显著负相关;水平扩散距离与千粒质量呈极显著负相关,与翅长、果翅面积和种子长呈显著或极显著正相关,表明槭属植物的果实千粒质量、翅长、翅果面积等形态特征与其扩散能力密切相关。从梓叶槭和五小叶槭果实的扩散特性来看,梓叶槭扩散距离更远,分布范围更易扩大,对其种群更新和演替具有重要意义。

**关键词:** 极小种群; 梓叶槭; 五小叶槭; 翅果; 降落速度; 水平扩散

**中图分类号:** S792.35 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)01-0150-05

## Fruit morphological and dispersal characteristics of *Acer catalpifolium* Rehd. and *A. pentaphyllum* Diels

MA Wen-bao<sup>1</sup>, JI Hui-juan<sup>1</sup>, DAI Lin-li<sup>2</sup>, ZHANG Yu-yang<sup>3</sup>, SHUAI Wei<sup>4</sup>, JIANG Xin-hua<sup>4</sup>, YU Tao<sup>3</sup>

(1. Ecological Restoration and Conservation for Forests and Wetlands Key Laboratory of Sichuan Province/Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China; 2. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, 350002, China; 3. Province-Ministry Co-construct Key Laboratory of Forest Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 4. Ganzi Institute of Forestry Research, Kangding 626001, China)

**Abstract:** Fruits of *Acer catalpifolium* Rehd. and *A. pentaphyllum* Diels were used as the testing materials to compare and study their morphological characteristics and dispersal properties. The results showed that, firstly, the length, width, area of winged perianth and seed area of *A. catalpifolium* Rehd. fruits were 2.01 times, 1.40 times, 2.42 times and 1.79 times of the data of *A. pentaphyllum* Diels respectively, and the differences were significant. The thousand-seed weight and seed thickness of *A. pentaphyllum* Diels were 1.64 times and 2.83 times of the data of *A. catalpifolium* Rehd. respectively. Secondly, in the

收稿日期: 2020-07-01

基金项目: 四川省科技支撑项目(2020YJ470、2017JY0279); 国家重点研发计划项目(2016YFC0503106)

作者简介: 马文宝(1981-),男,安徽亳州人,博士,副研究员,主要研究方向为珍稀濒危植物、高山景观植物种子生态学,繁殖生态学。(E-mail) 125697128@qq.com

通讯作者: 姬慧娟, (E-mail) 117615071@qq.com

200 cm high static air, the falling speed of *A. catalpifolium* Rehd. was significantly lower than that of *A. pentaphyllum* Diels. The horizontal dispersal distance of *A. catalpifolium* Rehd. was significantly less than that of *A. pentaphyllum* Diels when the horizontal wind speed was 4 m/s, and *A. catalpifolium* Rehd. had slow vertical falling speed and long horizontal dispersal distance. Thirdly, vertical falling speed

was significantly positive correlated with thousand-seed weight, and was significantly negative correlated with winged perianth length and winged perianth area. Horizontal dispersal distance was significantly negative correlated with the thousand-seed weight, and was significantly or highly significantly positive correlated with winged perianth length, winged perianth area and seed length, indicating that morphological characteristics such as thousand-seed weight, perianth length, winged perianth area were closely related to the dispersal ability in *Acer* plants. It can be seen from the fruits dispersal characteristics of *Acer catalpifolium* Rehd. and *A. pentaphyllum* Diels that, *A. catalpifolium* Rehd. can disperse further and can easily expand the distribution scope, which is of important significance to its population renewal and succession.

**Key words:** minimal population; *Acer catalpifolium* Rehd.; *A. pentaphyllum* Diels; samara; falling speed; horizontal diffusion

植物果实形态和生理等特征与种子的生产、扩散、萌发、休眠、定居等生活史过程密切相关<sup>[1]</sup>。果实(种子)扩散是植物生活史经历的一个关键过程,对植物种群维持和分布有重要影响<sup>[2]</sup>。果实(种子)随风扩散是植物繁殖体传播的一种常见途径<sup>[3]</sup>,果实(种子)的扩散方式由扩散媒介及与扩散相关的果实(种子)形态特征所决定<sup>[4]</sup>,其中果实(种子)大小、果皮或果实结构等对扩散起决定作用<sup>[5]</sup>。果实扩散特征对了解植物种子库、种群和群落结构、更新演替以及生态适应对策都有重要意义<sup>[4-6]</sup>。

梓叶槭和五小叶槭均是属于无患子科(Sapindaceae)槭属(*Acer* L.)的落叶乔木,果实均为翅果,是中国特有的极小种群野生植物<sup>[7]</sup>,具有重要的景观应用价值。目前,研究者开展了梓叶槭极小种群结构及动态特征,种内和种间竞争关系<sup>[8-11]</sup>,种子萌发和播种育苗<sup>[12-14]</sup>,生长与光合特征差异<sup>[15]</sup>,以及五小叶槭的种质资源<sup>[16]</sup>,群落物种多样性与主要优势种生态位特征<sup>[17]</sup>,种子萌发特性<sup>[18]</sup>,ISSR-PCR反应体系的建立和优化<sup>[19]</sup>,播种育苗<sup>[20]</sup>和造林技术<sup>[21]</sup>等方面的研究,但未见梓叶槭和五小叶槭果实特征及其扩散能力强弱的研究。

本研究在不考虑外界环境影响的条件下,探讨梓叶槭和五小叶槭果实垂直降落速度和水平扩散距离,以及与果实形态特征之间的相关性,从而揭示梓叶槭和五小叶槭果实特征与扩散能力之间的相互关系,为极小种群植物保护研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2017年10-11月,梓叶槭(*Acer catalpifolium* Rehd.)果实采于四川省都江堰市(经度103°32′37.80″,纬度30°57′22.85″,海拔814 m),五小叶槭(*Acer pentaphyllum* Diels)果实采于四川省甘孜州九

龙县(经度101°34′29″,纬度28°52′45″,海拔2 793 m)。于2017年12月在四川省林科院实验室测定果实形态特征、垂直降落速度及水平扩散距离。

### 1.2 试验方法

1.2.1 果实形态特征观测 选择梓叶槭和五小叶槭果实各50粒,用CanoScan 5600 F扫描仪对果实进行扫描,分辨率设为300 dpi,扫描页的面积为 $2.867 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ,输入二者果实图像,对图像进行预处理,利用ImageJ软件提取完整饱满果实和种子的形态图像值(图1),进行参数转换得到二者果实的翅长、翅宽、果翅面积、种子长和种子面积,具体试验操作见ImageJ软件测定番茄叶面积的方法<sup>[22]</sup>;用游标卡尺测量种子厚度。

1.2.2 果实千粒质量 随机选取二者果实各100粒,用Statorius BS210S(max210 g,  $d=0.0001 \text{ g}$ )电子天平分别称其质量,重复8次,计算其平均值,以测定果实的千粒质量。

1.2.3 果实扩散特性 垂直扩散特性测定,即果实在静止空气中的降落时间和速度测定。采用果实降落速度装置并稍作改动,在200 cm高的封闭空间把一根木杆固定在方形底座旁边,木杆上标有释放点距底座的距离,底座上贴有白纸片,以便与种子形成颜色反差,易于观察,用秒表测定果实从顶部到底部的降落时间,以确定其在静止空气中的降落速度。每种果实重复50次。

果实在水平方向的扩散距离测定:将2种果实分别在100 cm高处释放,在由电风扇产生的水平气流中降落,在1 m/s、2 m/s和4 m/s 3种风速下进行测定,记录每种果实在水平方向上的扩散距离,重复50次。

### 1.3 数据分析

用SPSS25.0进行数据分析,Tukey's LSD用于检验处理间多重比较的差异显著性,并对果实形态

特征(翅长、翅宽、果翅面积、种子面积、种子厚度、种子长)与降落时间、降落速度和 3 种风速下的水平扩散距离进行了双变量分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实形态特征与千粒质量

梓叶槭和五小叶槭均有 2 枚相连的小坚果(果实)组成,侧面均有翅;梓叶槭种子部分扁平,而五小叶槭种子部分凸起(图 1)。

梓叶槭果实的翅长、翅宽、果翅面积和种子面积均显著大于五小叶槭( $P<0.01$ ),分别是五小叶槭的 2.01 倍、1.40 倍、2.42 倍和 1.79 倍,五小叶槭的种子厚度显著高于梓叶槭( $P<0.05$ ),是梓叶槭种子厚度的 2.84 倍,但二者种子长无显著差异( $P>0.05$ )(表 1)。

表 1 梓叶槭和五小叶槭果实形态特征

Table 1 Morphological characteristics of *Acer catalpifolium* Rehd. and *A. pentaphyllum* Diels fruits

树种	翅长 (mm)	翅宽 (mm)	果翅面积 (mm <sup>2</sup> )	种子面积 (mm <sup>2</sup> )	种子长 (mm)	种子厚度 (mm)
梓叶槭	52.00±3.28a	14.09±1.02a	4.75±0.59a	0.52±0.09a	5.30±0.23a	1.77±0.14a
五小叶槭	25.84±1.98b	10.08±0.79b	1.96±0.27b	0.29±0.05b	5.37±0.46a	5.02±0.44b

表 2 梓叶槭和五小叶槭果实垂直降落时间和速度

Table 2 Vertical falling time and speed of *Acer catalpifolium* Rehd. and *A. pentaphyllum* Diels fruits

树种	降落时间 (s)	降落速度 (cm/s)
梓叶槭	1.91±0.20a	105.77±11.40a
五小叶槭	1.07±0.18b	192.84±34.17b

### 2.3 果实在水平方向上的扩散距离

梓叶槭和五小叶槭果实水平扩散距离随风速增加呈现出增大趋势。在 1 m/s、2 m/s 和 4 m/s 风速下,梓叶槭扩散距离分别比五小叶槭的远 18.38%、19.52% 和 25.32%,均呈显著差异( $P<0.05$ )(图 2)。

### 2.4 果实形态特征与扩散能力的相关性

从表 3 可以看出,梓叶槭果实的降落速度分别与千粒质量和种子厚度呈极显著正相关( $P<0.01$ ),分别与果实翅长、翅宽、果翅面积、种子面积以及种子长呈极显著负相关( $P<0.01$ );在模拟 1 m/s、2 m/s 和 4 m/s 水平风速下,梓叶槭果实的水平扩散距

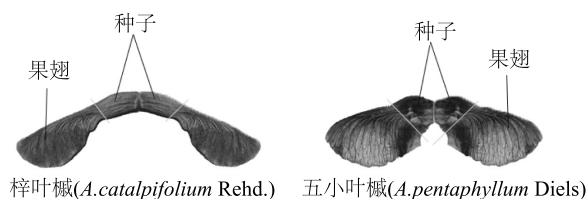


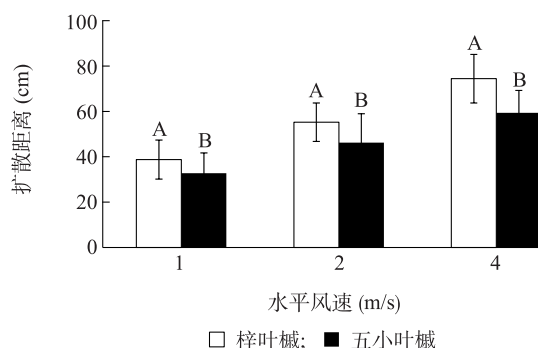
图 1 梓叶槭和五小叶槭果实

Fig.1 Fruits of *Acer catalpifolium* Rehd. and *A. pentaphyllum* Diels

五小叶槭和梓叶槭的千粒质量分别为 60.03 g 和 36.57 g,差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.2 果实在静止空气中降落时间和速度

五小叶槭果实的降落速度为梓叶槭的 1.82 倍,呈显著差异( $P<0.05$ )(表 2),其降落速度快,在空中停留时间短,扩散距离近。



图中同一风速下不同的大写字母表示梓叶槭和五小叶槭水平扩散距离差异极显著。

图 2 水平条件下梓叶槭和五小叶槭的扩散距离

Fig.2 Horizontal dispersal distance of *Acer catalpifolium* Rehd. and *A. pentaphyllum* Diels

离与千粒质量呈极显著负相关( $P<0.01$ ),与翅长、翅宽、果翅面积、种子面积以及种子长均呈极显著正相关( $P<0.01$ ),但与种子厚度均无显著相关性。

由表 4 可知,五小叶槭降落速度与千粒质量和种子厚度呈极显著正相关( $P<0.01$ ),分别与果实翅长、果翅面积以及种子长呈极显著负相关( $P<$

0.01),与翅宽和种子面积相关性不显著;在模拟 1 m/s、2 m/s以及 4 m/s水平风速下,五小叶槭果实的水平扩散距离与千粒质量呈极显著负相关( $P<$

0.01),与果实翅长、果翅面积和种子长呈显著或极显著正相关。五小叶槭种子面积和翅宽与五小叶槭果实水平扩散距离无显著相关性。

表 3 梓叶槭果实形态特征与果实扩散能力的相关性

Table 3 Correlation between fruit morphological characteristics and dispersal ability of *A. catalpifolium* Rehd. fruits

项目	千粒质量	翅长	翅宽	果翅面积	种子面积	种子厚度	种子长
降落时间	-0.886 **	0.986 **	0.751 **	0.871 **	0.582 **	-0.295 *	0.477 **
降落速度	0.878 **	-0.968 **	-0.707 **	-0.833 **	-0.614 **	0.323 **	-0.956 **
1 m/s水平风速下扩散距离	-0.795 **	0.985 **	0.729 **	0.871 **	0.592 **	-0.256	0.476 **
2 m/s水平风速下扩散距离	-0.797 **	0.987 **	0.730 **	0.878 **	0.591 **	-0.246	0.471 **
4 m/s水平风速下扩散距离	-0.819 **	0.979 **	0.784 **	0.899 **	0.547 **	-0.265	0.471 **

\*\*表示相关性极显著( $P<0.01$ );\*表示相关性显著( $P<0.05$ )。

表 4 五小叶槭果实形态特性与果实扩散能力的相关性

Table 4 Correlation between fruit morphological properties and dispersal ability of *A. pentaphyllum* Diels fruits

项目	千粒质量	翅长	翅宽	果翅面积	种子面积	种子厚度	种子长
降落时间	-0.834 **	0.953 **	0.095	0.753 **	0.238	-0.297 *	0.347 *
降落速度	0.811 **	-0.901 **	-0.149	-0.665 **	-0.19	0.376 **	-0.389 **
1 m/s水平风速下扩散距离	-0.748 **	0.947 **	0.078	0.767 **	0.249	-0.229	0.358 *
2 m/s水平风速下扩散距离	-0.756 **	0.859 **	0.102	0.681 **	0.227	-0.211	0.306 *
4 m/s水平风速下扩散距离	-0.632 **	0.935 **	0.07	0.709 **	0.261	-0.298 *	0.439 **

\*\*表示相关性极显著( $P<0.01$ );\*表示相关性显著( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

梓叶槭和五小叶槭均为高大落叶乔木,果实通过风力扩散,为典型风力扩散植物<sup>[23]</sup>。在都江堰亚热带常绿阔叶林木本植物占优势的森林中,木本植物的果实特征适合相关动物来传播其种子,并成为该区域的主要种子扩散模式,以风力扩散的种类最少<sup>[24]</sup>,虽然梓叶槭为该区域乔木层分布的物种,但其灌木层和草本层郁闭度大,光照少,腐殖层厚,不利于其果实扩散、种子萌发和幼苗建成<sup>[8]</sup>;而五小叶槭野外自然种群主要分布于雅砻江干热河谷两岸的滑坡带上,扩散面积受限,幼苗建成困难<sup>[16]</sup>。本研究中,梓叶槭和五小叶槭分别为桐状槭组和五小叶槭组的植物,其果实形态特征差别巨大(梓叶槭种子部分扁平而五小叶槭种子部分凸起),经测量分析其翅长、翅宽、果翅面积、种子面积、种子厚度和果实大小(千粒质量)等果实形态特征均呈现出显著差异,这些差异会影响其扩散特性,可能是导致其种群分布不均匀,呈现出片段分布,出现生殖隔离,使之成为极小种群植物的重要原因之一。

对梓叶槭和五小叶槭果实形态特征与降落速度和水平扩散距离相关性分析结果表明,二者的降落速度与千粒质量和种子厚度呈极显著正相关,分别与果实翅长、果翅面积以及种子长呈极显著负相关;水平扩散距离与千粒质量呈极显著负相关,与果实翅长、果翅面积和种子长呈显著或极显著正相关,这与槭属植物红枫和秋火焰的水平扩散距离与其千粒质量、果实长和果翅长等果实形态特征显著相关的结果相一致<sup>[25]</sup>。在其他风力扩散的植物中,扩散能力与果实(种子)形态特征均有密切的相关性,比如菊科植物疏齿千里光(*Senecio sub dentatus*)<sup>[26]</sup>、蒲公英<sup>[27]</sup>、加拿大一枝黄花<sup>[28]</sup>的瘦果饱满度、成熟度、冠毛面积、冠毛张开角度、冠毛长度等形态性状均显著影响果实(瘦果)扩散能力,本研究也发现梓叶槭和五小叶槭的千粒质量、果实翅长、果翅面积和种子长等果实形态特征极大影响其风力传播距离和分布范围。

因此,对于这两种极小种群植物而言,梓叶槭果实降落速度慢,果实扩散能力强,而五小叶槭果实扩散能力弱,说明梓叶槭具有更多物种生存和种群



扩大的机会,更易于占据新的生长环境,从而扩大其分布范围。

### 参考文献:

- [1] MOLES A T, WESTOBY M. Seed size and plant strategy across the whole life cycle[J]. *Oikos*, 2006, 113: 91-105.
- [2] HOWE H F, SMALLWOOD J. Ecology of seed dispersal[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1982, 13: 201-228.
- [3] SHULZ B, JOACHIM D, GERHARD G. Apparatus for measuring the fall velocity of anemochorous diaspores with results from two plant communities[J]. *Oecologia*, 1991, 86: 454-456.
- [4] SINHA A, DAVIDAR P. Seed dispersal ecology of a wind dispersed rain forest tree in the western Ghats, India[J]. *Biotropica*, 1992, 24: 519-526.
- [5] WENDER N J, POLISETTY C R, DONOHUE K. Density-dependent processes influencing the evolutionary dynamics of dispersal: a functional analysis of seed dispersal in *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae)[J]. *American Journal of Botany*, 2005, 92(6): 960-971.
- [6] ARBELAEZ M V, PARRADO-ROSSELLI A. Seed dispersal modes of the sand stone plateau vegetation of the middle Caquetariver region, Colombian Amazonia[J]. *Biotropica*, 2005, 37(1): 64-72.
- [7] 国家林业局. 中国重点保护野生植物资源调查[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [8] 张宇阳, 马文宝, 于涛, 等. 梓叶槭的种群结构和群落特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2018, 24(4): 697-703.
- [9] 许恒, 刘艳红. 珍稀濒危植物梓叶槭种群径级结构与种内种间竞争关系[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(6): 1160-1170.
- [10] 许恒, 刘艳红. 极小种群梓叶槭种群结构及动态特征[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(2): 47-54.
- [11] 吴邦利, 龙翠玲, 秦随涛. 茂兰喀斯特森林梓叶槭种群结构与数量动态[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(10): 1918-1926.
- [12] 余道平, 彭启新, 李策宏, 等. 梓叶槭种子生物学特性研究[J]. *中国野生植物资源*, 2008, 27(6): 30-32.
- [13] 马文宝, 许戈, 姬慧娟, 等. 珍稀植物梓叶槭种子萌发特性初步研究[J]. *种子*, 2014, 33(12): 87-90.
- [14] 姬慧娟, 马文宝, 卜晓莉, 等. 梓叶槭播种育苗技术规程: DB51/T 2577-2019[S]. 四川成都: 四川省市场监督管理局, 2019.
- [15] 吕程瑜, 刘艳红. 不同遮荫条件下梓叶槭幼苗生长与光合特征的种源差异[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(7): 2307-2314.
- [16] 孙治宇, 李明富, 李八斤, 等. 四川雅江县珍稀濒危植物五小叶槭[J]. *四川林业科技*, 2010, 31(6): 86-87.
- [17] 罗晓波, 王晓玲, 郝云庆, 等. 五小叶槭群落物种多样性与主要优势种生态位特征研究[J]. *四川林业科技*, 2017, 38(6): 79-83.
- [18] 罗艳, 李裕冬, 罗晓波, 等. 重金属镉4种林木种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *四川林业科技*, 2018, 39(2): 7-12.
- [19] 郝云庆, 罗晓波, 王晓玲. 珍稀濒危植物五小叶槭 ISSR-PCR 反应体系的建立和优化[J]. *四川林业科技*, 2018, 39(5): 17-21.
- [20] 姬慧娟, 马文宝, 毛鑫, 等. 五小叶槭播种育苗技术规程: DB51/T 2253-2016[S]. 四川成都: 四川省质量技术监督局, 2016.
- [21] 沙红. 五小叶槭育苗造林技术[J]. *农业科技与信息*, 2015(14): 100.
- [22] 高建昌, 郭广君, 国艳梅, 等. 平台扫描仪结合 ImageJ 软件测定番茄叶面积[J]. *中国蔬菜*, 2011(2): 73-77.
- [23] 郭志文, 郑景明. 用植物生活史性状预测种子扩散方式[J]. *生物多样性*, 2017, 25(9): 966-971.
- [24] 姚蓓, 余建平, 刘晓娟, 等. 亚热带常绿阔叶林种子性状对木本植物聚集格局的影响[J]. *生物多样性*, 2015, 23(2): 157-166.
- [25] 王爱波. 槭属2种植物果实形态特征与扩散特性的比较[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(4): 271-272.
- [26] 吉乃提汗·马木提, 谭敦炎, 成小军. 一年生短命植物疏齿千里光果实异形性的生态学意义[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(6): 663-671.
- [27] 张健. 蒲公英属植物繁殖生物学研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
- [28] 郝建华, 强胜, 杜康宁, 等. 十种菊科外来入侵种连萼瘦果风力传播的特性[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(8): 957-965.

(责任编辑: 陈海霞)