

极端干旱对贵州省喀斯特地区植物的影响*

熊红福^{1,2,3} 王世杰^{1,3,*} 容 丽^{1,3,4} 程安云^{1,3} 李阳兵⁴

(¹ 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049; ³ 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州普定 562100; ⁴ 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001)

摘 要 基于2010年贵州省旱灾中喀斯特地区受损植被的调查资料, 分析受损植被的物种组成、植物区系、生活型、叶质及其立地环境条件。结果表明: 调查的6个样地中, 因旱受损植物达31种, 杉木、南蛇藤、密花树、齿叶铁仔、青冈和云南樟的受损数量最多, 受损物种以热带中型革质单叶的常绿小乔木为主。受损植物主要分布在坡度较陡的顺倾坡中上部和水平产状碳酸盐岩发育的薄层石灰土上, 土厚 < 30 cm 和石土面小生境植物受损最多, 分别占87.4%和40.0%。建议喀斯特地区适当增加温带性质小型叶耐旱落叶乔木及灌木的种植面积, 植树造林应选择石沟和土面等土层较厚、立地条件较好的小生境。

关键词 极端干旱 喀斯特 植被 贵州省

文章编号 1001-9332(2011)05-1127-08 中图分类号 Q948.1 文献标识码 A

Effects of extreme drought on plant species in Karst area of Guizhou Province, Southwest China. XIONG Hong-fu^{1,2,3}, WANG Shi-jie^{1,3,*}, RONG Li^{1,3,4}, CHENG An-yun^{1,3}, LI Yang-bing⁴

(¹ State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; ² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ³ Puding Karst Ecosystem Research Station, Chinese Academy of Sciences, Puding 562100, Guizhou, China; ⁴ School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2011 22(5): 1127-1134.

Abstract: Based on the investigation data of damaged vegetations in Karst areas of Guizhou Province during the extreme drought in 2010, an investigation was made on the species composition, floristic composition, life form, leaf characteristics, and environmental conditions of drought-damaged plants at six sampling plots. At these plots, there were 31 plant species drought-damaged, among which, *Cunninghamia lanceolata*, *Celastrus orbiculatus*, *Rapanea neriifolia*, *Myrsine semiserrata*, *Cyclobalanopsis glauca*, and *Cinnamomum glanduliferum* damaged most, and the tropical evergreen arbors with mesophyllous, leathery, and simple leaf suffered more seriously. The damaged plants mainly located on the middle or upper part of steep slopes, and on the thin limestone soils originated from horizontal attitude carbonate rocks. The plants in the microhabitats with soil layer < 30 cm and rock-soil were damaged most, accounting for 87.4% and 40.0% of the total, respectively. It was suggested that the temperate deciduous trees with microphyll could be more planted in Karst areas, and that the microhabitat for the afforestation could be in gully and with thicker soil layer and good site condition.

Key words: extreme drought; Karst; vegetation; Guizhou Province.

2009年7月—2010年5月, 贵州省发生自有气

象仪器观测记录以来最严重的夏秋连旱叠加冬春旱, 干旱范围和强度均突破气象记录历史极值。对中国科学院地球化学研究所普定县陈旗小流域水文观测站气象资料进行统计, 发现2008年7月—2009年5月该站降水量为1037 mm, 2009年7月—2010年5月降水量仅为444 mm, 降水量距平百分率

* 国家自然科学基金项目(30872007, 40721002)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-306)、贵州省优秀科技教育人才省长专项资金项目(2007-33)和贵州省自然科学基金项目(2008-2063)资助。

** 通讯作者。E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn
2010-09-30 收稿, 2011-03-05 接受。

达 -57.2% (以陈旗站 2008 年 7 月—2009 年 5 月降水量代表该站常年同期降水量)。依据中华人民共和国国家标准(GB/T 20481-2006)^[1] 关于气象干旱等级的划分,年尺度降水量距平百分率 $\leq -45\%$ 为特旱,故本次贵州大旱可定级为特旱(极端干旱)。此次特旱导致人畜饮水困难,农作物减产绝收,植被受损并引发森林火灾。据贵州省林业厅统计,贵州省林业受灾面积达 $6.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$,造成经济损失 16.5 亿元。全省发生森林火灾 1740 起,过火面积 $1.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$,受害森林面积 $0.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$,经济损失 1.4 亿元^[2]。

贵州省位于我国西南云贵高原东侧斜坡地带,受季风影响,气候多变,旱涝灾害频发^[3]。其中以旱灾出现频率最大,影响范围广,持续时间长。根据《中国近五百年旱涝分布图集》^[4],1470—1949 年的 480 年间,贵州省共发生旱灾 155 次(不同县市同一年发生的旱灾记为一次),其中全省性旱灾 23 次,占旱灾总数的 15%。旱灾尤其是极端干旱会造成水资源短缺和粮食减产,植物枯梢或枯死,次生灾害频发,生态环境退化^[5]。干旱对该区原本脆弱的喀斯特生态系统构成严重威胁与破坏,同时贵州省地处长江和珠江上游,其生态环境问题直接关系到两江下游的生态安全^[6-7],因此研究本区的干旱对喀斯特植被的影响具有十分重要的意义。对于贵州省干旱的时空分布特征、成因及其对粮食生产的影响等方面已有较多研究^[5,8-12],但关于干旱对喀斯特植被影响的研究鲜见报道。本文基于 2010 年贵州省旱灾中喀斯特地区受损植被的调查资料,研究了受损植被的物种组成、植物区系、生活型、叶质及其立地环境条件,并对如何应对极端干旱提出了建议。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站位于贵州省普定县,属于典型的喀斯特高原地貌区。全县面积 1090 km^2 ,其中喀斯特地貌占 84.6%,石漠化严重。岩石主要为三叠系灰岩及白云岩,土壤以石灰土为主。全县海拔 1042 ~ 1846 m,气候属于亚热带高原季风湿润气候,年均温 $15.1 \text{ }^\circ\text{C}$,年均降水量 1378 mm,降水时空分布不均,5—9 月降水量占全年降水量的 70% 以上^[13-14]。

调查的 6 个研究样地位于中国科学院地球化学研究所普定县陈旗小流域气象水文观测站、陈家寨石漠化治理试验示范区和普定县马官镇,样地面积共计 1570 m^2 ,地理范围 $105^\circ 44' 32''$ — $105^\circ 49' 0'' \text{ E}$, $26^\circ 13' 8''$ — $26^\circ 20' 40'' \text{ N}$,海拔 1294 ~ 1457 m。研究样地的基本概况见表 1。6 个样地均为次生林,植被类型为典型的喀斯特常绿落叶阔叶混交林,植被盖度平均为 77.5%,以无石漠化和轻度石漠化为主。主要物种有:青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、圆果化香树(*Platycarya longipea*)、贵州鹅耳枥(*Carpinus pubescens*)、窄叶石栎(*Lithocarpus confinis*)、云南樟(*Cinnamomum glanduliferum*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、苦楝(*Melia azedarace*)、云南鼠刺(*Itea yunnanensis*)、安顺木姜子(*Litsea kobuskiana*)、密花树(*Rapanea neriifolia*)、齿叶铁仔(*Myrsine semiserrata*)、竹叶椒(*Zanthoxylum planispinum*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)、细叶薹草(*Carex lanceolata*)、

表 1 研究样地基本概况

Table 1 General situation of the sampling plots

| 样地号 Plot No. | 地点 Site | 样地面积 Plot size (m) | 坡位 Slope position | 坡向 Slope aspect | 坡度 Slope grade ($^\circ$) | 植被盖度 Vegetation coverage (%) | 石漠化程度 Karst degree |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1 | 陈旗 Chenqi | 20 × 6 | 中部 Middle | NE 315 $^\circ$ | 37 | 80 | 无 No |
| 2 | 陈旗 Chenqi | 40 × 2 | 上部 Upper | NE 120 $^\circ$ | 45 | 60 | 轻 Mild |
| 3 | 马官凤霞山 Maguan Fengxiashan | 20 × 26 | 中部 Middle | NE 215 $^\circ$ | 37 | 85 | 无 No |
| 4 | 陈家寨 Chenjiazhai | 6 × 15 | 上部 Upper | NE 0 $^\circ$ | 70 | 70 | 轻 Mild |
| 5 | 马官号云 Maguan Haoyun | 6 × 60 | 中部 Middle | NE 120 $^\circ$ | 41 | 85 | 无 No |
| 6 | 马官号云 Maguan Haoyun | 20 × 20 | 下部 Lower | NE 335 $^\circ$ | 45 | 85 | 无 No |

地果(*Ficus tikoua*) 和蜈蚣草(*Pteris vittata*) 等.

1.2 研究方法

当植株叶片的枯死数量 ≥20% ,定义该植株受损 ,其受损程度用枯死叶片的数量百分比表示. 于旱期结束、雨季来临前的 2010 年 5 月 ,调查研究区内植被受损较为严重且受损植被集中分布的 6 个样地中受损乔木、灌木和木质藤本植物 ,调查每株受损植物的种名、生长状况、生活型、高度、胸径、叶面积、叶质、叶型 ,以及土壤厚度和小生境情况 ,同时记录主要未受损乔木、灌木和木质藤本植物的种名、生活型、叶质和叶型等指标. 受旱前的植被资料来源于陈旗小流域调查的 1200 余株植物^[15] ,统计分析其中 81 种乔木、灌木和木质藤本的地理区系特征.

1.3 数据处理

采用 SPSS 13.0 和 Excel 2003 软件对数据进行

统计分析.

2 结果与分析

2.1 植物物种组成

6 个样地中 ,受损植物有 208 株 ,约占样地调查总株数的 70% ,其中完全枯死的有 137 株 ,另 71 株的平均受损程度为 61.5% . 由表 2 可以看出 ,受损植物种类达 31 种 ,隶属于 14 科 26 属. 其中 ,受损最多的为壳斗科 ,有 6 种 ,其次为蔷薇科 5 种 ,樟科和芸香科各有 4 种 ,紫金牛科有 3 种 ,其他 9 科各有 1 种. 花椒属(*Zanthoxylum*)、青冈属(*Cyclobalanopsis*)、山胡椒属(*Lindera*)、石栎属(*Lithocarpus*)和樟属(*Cinnamomum*)均含受损植物 2 种 ,其他 21 属各有 1 种.

由表2可以看出 ,此次旱灾主要受损植物为杉

表 2 31 种受损植物基本特征
Table 2 Basic characteristics of the 31 damaged plant species

| 种名 Species | 科 Family | 生活型 Life form | 叶质 Leaf texture | 叶型 Leaf form | 株数 Plant number |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| 板栗 <i>Castanea mollissima</i> | 壳斗科 Fagaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 1 |
| 青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> | 壳斗科 Fagaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 15 |
| 窄叶石栎 <i>Lithocarpus confinis</i> | 壳斗科 Fagaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 1 |
| 石栎 <i>Lithocarpus glaber</i> | 壳斗科 Fagaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 7 |
| 细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i> | 壳斗科 Fagaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 2 |
| 白栎 <i>Quercus fabri</i> | 壳斗科 Fagaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 7 |
| 石楠 <i>Photinia serrulata</i> | 蔷薇科 Rosaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 9 |
| 扁核木 <i>Prinsepia uniflora</i> | 蔷薇科 Rosaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple | 1 |
| 火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> | 蔷薇科 Rosaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple | 1 |
| 小果蔷薇 <i>Rosa cymosa</i> | 蔷薇科 Rosaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 纸质 Papery | 复叶 Compound | 2 |
| 红毛悬钩子 <i>Rubus pinfaeusis</i> | 蔷薇科 Rosaceae | 落叶藤本 Deciduous vine | 纸质 Papery | 单叶 Simple | 1 |
| 樟 <i>Cinnamomum camphora</i> | 樟科 Lauraceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 1 |
| 云南樟 <i>Cinnamomum glanduliferum</i> | 樟科 Lauraceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 10 |
| 香叶树 <i>Lindera communis</i> | 樟科 Lauraceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 4 |
| 川钓樟 <i>Lindera pulcherrima</i> | 樟科 Lauraceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple | 3 |
| 齿叶黄皮 <i>Clausena dunniana</i> | 芸香科 Rutaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 复叶 Compound | 1 |
| 飞龙掌血 <i>Toddalia asiatica</i> | 芸香科 Rutaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 复叶 Compound | 2 |
| 花椒筋 <i>Zanthoxylum cuspidatum</i> | 芸香科 Rutaceae | 常绿藤本 Evergreen vine | 革质 Conace | 复叶 Compound | 1 |
| 竹叶椒 <i>Zanthoxylum planispinum</i> | 芸香科 Rutaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 纸质 Conace | 复叶 Compound | 1 |
| 紫金牛 <i>Ardisia japonica</i> | 紫金牛科 Myrsinaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple | 3 |
| 齿叶铁仔 <i>Myrsine semiserrata</i> | 紫金牛科 Myrsinaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple | 21 |
| 密花树 <i>Rapanea nerifolia</i> | 紫金牛科 Myrsinaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple | 25 |
| 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> | 杉科 Taxodiaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 复叶 Compound | 33 |
| 圆果化香树 <i>Platycarya longipea</i> | 胡桃科 Juglandaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 革质 Conace | 复叶 Compound | 7 |
| 胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i> | 胡颓子科 Elaeagnaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple | 2 |
| 云南鼠刺 <i>Itea yunnanensis</i> | 虎耳草科 Saxifragaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple | 8 |
| 菝葜 <i>Smilax china</i> | 百合科 Liliaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple | 5 |
| 香椿 <i>Toona sinensis</i> | 楝科 Meliaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 复叶 Compound | 1 |
| 南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i> | 卫矛科 Celastraceae | 落叶藤本 Deciduous vine | 纸质 Papery | 单叶 Simple | 26 |
| 刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i> | 五加科 Araliaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple | 6 |
| 榉树 <i>Zelkova serrata</i> | 榆科 Ulmaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple | 1 |

木、南蛇藤 (*Celastrus orbiculatus*)、密花树、齿叶铁仔、青冈栎和云南樟, 受损株数均 ≥ 10 , 共计 130 株, 占有受损株数的 62.5%。其余受损树种的数量和分布范围较小, 这可能与植物自身特性差异和生境异质性有关。31 种受损植物中, 云南鼠刺和密花树出现在 5 个样地中, 云南樟和齿叶铁仔出现在 4 个样地中, 石楠 (*Photinia serrulata*) 和川钓樟 (*Lindera pulcherrima*) 出现在 3 个样地中, 圆果化香树、胡颓子 (*Elaeagnus pungens*)、窄叶石栎、杉木、南蛇藤和菝葜 (*Smilax china*) 出现在 2 个样地中, 其余 19 种植物仅出现在 1 个样地中。

6 个样地内未受损的种子植物主要有 35 种 (表 3), 隶属于 24 科 35 属。其中, 豆科植物 6 种, 桦木科

3 种, 漆树科、蔷薇科、樟科和鼠李科各 2 种, 其余 18 科各含 1 种。未受损的植物主要有山合欢 (*Albizia kalkora*)、贵州鹅耳枥、麻栎 (*Quercus acutissima*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、十大功劳 (*Mahonia fortunei*)、马桑 (*Coriaria nepalensis*)、绣线菊 (*Spiraea salicifolia*) 和小叶女贞 (*Ligustrum quihoui*) 等喀斯特适生耐旱树种, 其余部分物种可能因其分布的局地小生境条件优越而未受损。

2.2 植被地理区系特征

根据《中国种子植物属的分布区类型》^[16], 对 81 种受旱前该区植物、35 种主要未受损植物以及 31 种受损植物分布区类型进行统计分析。

由表 4 可以看出, 受旱前该区共有 81 种植物,

表 3 35 种未受损植物基本特征

Table 3 Basic characteristics of the 35 undamaged plant species

| 种名 Species | 科 Family | 生活型 Life form | 叶质 Leaf texture | 叶型 Leaf form |
|--|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| 刺桐 <i>Erythrina variegata</i> | 豆科 Leguminosae | 落叶乔木 Deciduous tree | 膜质 Membranous | 复叶 Compound |
| 葛藤 <i>Pueraria lobata</i> | 豆科 Leguminosae | 落叶藤本 Deciduous vine | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> | 豆科 Leguminosae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 槐 <i>Sophora japonica</i> | 豆科 Leguminosae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 紫藤 <i>Wisteria sinensis</i> | 豆科 Leguminosae | 落叶藤本 Deciduous vine | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 山合欢 <i>Albizia kalkora</i> | 豆科 Leguminosae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 贵州鹅耳枥 <i>Carpinus kweichowensis</i> | 桦木科 Betulaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 川榛 <i>Corylus heterophylla</i> var. <i>sutchuenensis</i> | 桦木科 Betulaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 亮叶桦 <i>Betula luminifera</i> | 桦木科 Betulaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> | 漆树科 Anacardiaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i> | 漆树科 Anacardiaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 山杏 <i>Armeniaca sibirica</i> | 蔷薇科 Rosaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i> | 蔷薇科 Rosaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 安顺木姜子 <i>Litsea kobuskiana</i> | 樟科 Lauraceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 安顺润楠 <i>Machilus cavaleriei</i> | 樟科 Lauraceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 异叶鼠李 <i>Rhamnus heterophylla</i> | 鼠李科 Rhamnaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 雀梅藤 <i>Sageretia thea</i> | 鼠李科 Rhamnaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 构树 <i>Broussonetia papyifera</i> | 桑科 Moraceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 滇楸 <i>Catalpa fargesii</i> f. <i>duclouxii</i> | 紫葳科 Bignoniaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 朴树 <i>Celtis sinensis</i> | 榆科 Ulmaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 马桑 <i>Coriaria nepalensis</i> | 马桑科 Coriariaceae | 落叶灌木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 川鄂山茱萸 <i>Cornus chinensis</i> | 山茱萸科 Cornaceae | 落叶灌木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i> | 杜仲科 Eucommiaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 梧桐 <i>Firmiana platanifolia</i> | 梧桐科 Sterculiaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 单叶 Simple |
| 冬青 <i>Ilex chinensis</i> | 冬青科 Aquifoliaceae | 常绿乔木 Evergreen tree | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 多花木蓝 <i>Indigofera amblyantha</i> | 木兰科 Magnoliaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 大叶鼠刺 <i>Itea macrophylla</i> | 虎耳草科 Saxifragaceae | 常绿乔木 Deciduous tree | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i> | 木犀科 Oleaceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i> | 小檗科 Berberidaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 复叶 Compound |
| 苦楝 <i>Melia azedarach</i> | 楝科 Meliaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 纸质 Papery | 复叶 Compound |
| 毛白杨 <i>Populus tomentosa</i> | 杨柳科 Salicaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 麻栎 <i>Quercus acutissima</i> | 壳斗科 Fagaceae | 落叶乔木 Deciduous tree | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 野扇花 <i>Sarcococca ruscifolia</i> | 黄杨科 Buxaceae | 常绿灌木 Deciduous shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 六月雪 <i>Serissa japonica</i> | 茜草科 Rubiaceae | 常绿灌木 Evergreen shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple |
| 中国旌节花 <i>Stachyurus chinensis</i> | 旌节花科 Stachyuraceae | 落叶灌木 Deciduous shrub | 革质 Conace | 单叶 Simple |

表 4 研究样地植物的地理区系组成

Table 4 Floristic composition of the plant species in the sampling plots

| 分布区类型 Areal type | 受损植物 Damaged species | | 未受损植物 Undamaged species | | 受旱前植物 Species before drought | |
|---|-------------------------|------------|----------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| | 种数 | 比例 | 种数 | 比例 | 种数 | 比例 |
| | Species number | Percentage | Species number | Percentage | Species number | Percentage |
| I 世界分布性质 Cosmopolitan element | 1 | 3.2 | 3 | 8.6 | 11 | 13.6 |
| 世界分布 Cosmopolitan | 1 | 3.2 | 3 | 8.6 | 11 | 13.6 |
| II 热带分布性质 Tropical element | 15 | 48.4 | 9 | 25.7 | 23 | 28.4 |
| 泛热带分布 Pantropic | 6 | 19.4 | 3 | 8.6 | 11 | 13.6 |
| 热带亚洲和热带美洲间断分布 Tropical Asia & tropical America | 0 | 0 | 1 | 2.9 | 4 | 4.9 |
| 旧世界热带分布 Old world tropic | 1 | 3.2 | 2 | 5.7 | 3 | 3.7 |
| 热带亚洲至热带大洋洲分布 Tropical Asia & tropical Australasia | 3 | 9.7 | 0 | 0 | 1 | 1.2 |
| 热带亚洲至热带非洲分布 Tropical Asia to tropical Africa | 2 | 6.5 | 0 | 0 | 1 | 1.2 |
| 热带亚洲(印度-马来西亚)分布 Tropical Asia (Indo-Malesia) | 3 | 9.7 | 3 | 8.6 | 3 | 3.7 |
| III 温带分布性质 Temperate element | 14 | 45.2 | 22 | 62.9 | 45 | 55.6 |
| 北温带分布 North temperate | 5 | 16.1 | 10 | 28.6 | 21 | 25.9 |
| 东亚和北美间断分布 East Asia & North America | 4 | 12.9 | 7 | 20.0 | 10 | 12.3 |
| 旧世界温带分布 Old world temperate | 2 | 6.5 | 1 | 2.9 | 5 | 6.2 |
| 温带亚洲分布 Temperate Asia | 0 | 0 | 1 | 2.9 | 1 | 1.2 |
| 东亚分布 East Asia | 3 | 9.7 | 3 | 8.6 | 8 | 9.9 |
| IV 中国特有分布性质 Chinese endemic element | 1 | 3.2 | 1 | 2.9 | 2 | 2.5 |
| 中国特有分布 Endemic to China | 1 | 3.2 | 1 | 2.9 | 2 | 2.5 |
| 合计 Total | 31 | 100.0 | 35 | 100.0 | 81 | 100.0 |

分属 13 种地理区系类型,其中属于世界分布性质的有 11 种,占 13.6%,热带分布性质的有 23 种,占 28.4%,温带分布性质的有 45 种,占 55.6%,中国特有性质的有 2 种,占 2.5%。35 种主要未受损植物分属于 11 种地理区系类型,其中属于世界分布性质的有 3 种,占 8.6%,热带分布性质的有 9 种,占 25.7%,温带分布性质的有 22 种,占 62.9%,中国特有分布性质的有 1 种,占 2.9%。31 种受损植物分属 11 种地理区系类型,其中属于世界分布性质的有 1 种,占 3.2%,热带分布性质的有 15 种,占 48.4%,温带分布性质的有 14 种,占 45.2%,中国特有分布性质的有 1 种,占 3.2%。可见,受损植物的地理区系类型以热带分布性质为主,受旱前植物和主要未受损植物的地理区系类型以温带分布性质为主。

2.3 受损植物的生活型

由表 2 可以看出,208 株受损植物中,常绿植物 150 株,占总株数的 72.1%,落叶植物 58 株,占 27.9%。从物种水平来看,31 种受损植物中,常绿植物占 64.5%,其中,受损最多的 6 种植物中除南蛇藤外均为常绿植物;而 35 种主要未受损植物中,落叶植物占 82.5%(表 3)。例如,圆果化香树为落叶乔木,在 6 个样地中共计 47 株,受损 7 株,受损率为 14.9%;而齿叶铁仔为常绿灌木,共计 33 株,受损

21 株,受损率为 63.6%。208 株受损植物中,乔木 108 株,占总株数的 51.9%,灌木 72 株,占 34.6%,藤本 28 株,占 13.5%;针叶树 33 株,占总株数的 15.9%,阔叶树 175 株,占 84.1%。可以看出,6 个样地中受损植物主要为常绿阔叶乔木树种。

2.4 受损植物叶的性质

按照 Raunkaer 的划分方法^[17],将 208 株受损植物的叶性质分为革质叶和纸质叶。由表 2 可以看出,受损植物以革质叶为主,共 170 株,占总株数的 81.7%。从物种水平来看,31 种受损植物中,革质叶占 77.4%。在受损最多的 6 种植物中,除南蛇藤外均为革质叶;而 35 种未受损植物中革质叶占 37.1%,纸质叶占 60.0%,膜质叶占 2.9%(表 3)。可以看出,受损植物以革质叶(多常绿性质)占绝大多数,而未受损植物以纸质叶(多落叶性质)较多。

由表 2 可以看出,受损植物中单叶占绝对优势,达到 160 株,占总株数的 76.9%。从物种水平来看,31 种受损植物中单叶植物种数占 80.0%,受损最多的 6 种植物中,除杉木外均为单叶植物;而 35 种未受损植物中单叶植物只占 71.4%(表 3)。

208 株受损植物中,除去部分没有长出新叶的落叶植物、受损叶子脱落的常绿植物,以及生长在陡崖边无法采集叶片的植物外,对其余 111 株受损植

物按叶面积划分叶级大小,可以分为中型叶、小型叶和微型叶.其中,中型叶受损最多,共101株,占91.0%.

2.5 受损植物的高度和胸径

208株受损植物中,除去部分生长在陡崖边不能测量其高度的植株外,其余196株受损植物的平均高度为 (2.8 ± 2.5) m,最大值15.0 m,最小值0.4 m.其中,高度 <3 m的有138株,占70.4%,受损植物主要以小乔木、灌木和藤本植物为主.

203株受损植物的平均胸径为 (2.8 ± 2.7) cm,最大值15.2 cm,最小值0.1 cm,其中,胸径 <5.0 cm的有171株,占84.2%,受损植物以幼树为主.

2.6 受损植被的立地环境

极端干旱条件下,植物受损一方面与植物种自身的生物学特性直接相关,另一方面也与植物的立地条件相关.6个样地均为峰丛洼地,平均坡度为 $(46 \pm 12)^\circ$,最大值 70° ,最小值 37° ,多为陡坡(表1).受损植物主要分布在坡位的中上部,岩层产状近水平,土壤均为石灰岩发育的石灰土.

所调查到的190株受损植物的平均土厚只有 (13.8 ± 10.0) cm,最大值55.0 cm,最小值0 cm,其中土厚 <30.0 cm的有166株,占87.4%,土厚 ≥ 30.0 cm的有24株,占12.6%.190株受损植物的小生境类型可以分为石缝、石土面、石沟和土面.其中,石土面小生境中的受损植物最多,为76株,占总株数的40.0%,石沟小生境的最少,仅为22株,占11.6%.石土面的平均土厚为9.9 cm,石沟的平均土厚为19.3 cm,反映出厚层土壤的保水缓冲作用对植物的存活起着重要作用.

3 讨论

从地理区系来看,受旱前植物和35种主要未受损植物的地理成分以温带分布性质为主,热带分布性质分别占28.4%和25.7%,而31种受损植物的地理成分以热带分布性质为主,占48.4%.这说明热带分布性质为该地理区系组成的非优势成分,在极端干旱条件下更易受损.

因旱受损的31种植物以常绿植物为主,占植物种数的64.5%,共有150株,占总株数的72.1%,其中杉木、密花树、齿叶铁仔、青冈栎和云南樟等常绿植物受损数量最多;而35种主要未受损植物中,落叶植物占优势,占植物种数的82.9%.生活型是生物对特定生境长期适应而在外貌上的反映.落叶植

物是由常绿植物进化而来的,是对不利环境(如干旱等)的一种适应.落叶植物在旱季逐步落去受环境影响最大的器官——叶,因此其受干旱的影响小于常绿植物,受损数少于常绿植物^[18].同时,反映出喀斯特地区常绿树种抵御严重干旱的能力相对较弱,也从侧面印证了喀斯特地区植被长期发育过程中,常绿树种发展受限,在亚热带常绿林区域形成常绿落叶阔叶混交林的适应发展过程.针叶树比阔叶树受损数量少,一方面反映出干旱胁迫下针叶树控制蒸腾失水的能力和耐旱性比阔叶树更强^[19-20],同时也与研究区受旱前针叶树种所占比例较低有关.

植物叶片的质地主要与生境水分条件有关,不同质地的叶片反映出植物对生境水分的适应情况^[21].植物叶片的大小与温度及湿度的有效性密切相关,叶的分化程度或外形在一定程度上能反映植物与该地环境条件的关系^[21-22].一般情况下,大型叶片经常出现在暖湿地区,小型叶片多出现在比较冷干的环境^[21-23].较小叶片的能量负荷小,有利于抗高温、干旱,减少蒸腾失水和增加水分利用效率^[24-25].本研究中,受损植物以中型叶、革质叶和单叶为主,而35种主要未受损植物以纸质叶为主.小型叶的落叶植物(多为纸质叶)能更好地适应喀斯特干旱环境.复叶是由单叶经过不同程度的缺裂演化而来,是植物叶片对空气水分条件适应的结果,这可能是复叶植物因旱受损数少于单叶植物的原因.

植物因旱受损除了与植物种自身的生物学特性直接相关外,还受地质地貌、小生境类型和土厚等立地条件的影响.所调查的208株受损植物均分布于坡度较陡的顺倾坡和水平产状碳酸盐岩发育的石灰土,这种地质地貌类型导致土壤难以保存、土层浅薄^[26],而且垂直发达的裂隙使水分易于漏失,导致立地条件更为恶劣.同时,喀斯特地区生境异质性比较明显,不同类型小生境间的土壤性质存在较大差异^[27-28],土壤厚度与小生境类型直接相关^[29].本研究中,土厚 <30 cm、石土面小生境受损植物最多,而各种负地形,如石沟、石缝等受损植物较少,这一方面反映出土壤厚度是影响植物响应极端干旱的重要因素,薄层土壤持水能力差,植物易因旱缺水枯稍或旱死;同时也反映出喀斯特区植被对小生境利用的特殊性,正地形所形成的微环境尽管能生长植物,但容易受极端干旱影响.

贵州省61.9%的土地面积为喀斯特地貌,形成特殊的水土二元结构,抵御干旱的能力较低.极端干旱条件下,植被因长期缺水而受损枯死,因旱受损植

被在短期内难以恢复, 从而进一步加剧生态退化, 最终导致水土流失、石漠化加剧, 而石漠化反过来又会加剧旱情, 最终陷入干旱与石漠化的恶性循环。因此, 应该加快该区的喀斯特生态建设和石漠化生态治理进程, 提高喀斯特地区生态环境质量, 以优良的生态环境缓解极端干旱带来的不利影响。另外, 受季风气候影响, 贵州省旱灾频发, 随着石漠化治理范围的扩大, 生态造林面临的气象风险将会更大。因此, 应该加强生态林业气象预报服务工作, 发生极端干旱时, 应停止新造林活动和加强森林火灾等次生灾害预防, 减少不必要损失。在喀斯特地区植树造林时, 应根据地质地貌、土壤和小生境类型等条件, 因地制宜, 选择喀斯特适生树种种植, 适当增加温带性质小型叶的落叶树种和灌木等耐旱树种的种植面积。植树造林时应尽量选择石沟和土面等土层较厚、立地条件较好的小生境。

本文通过对 2010 年贵州省旱灾中喀斯特地区受损植被的抽样调查, 研究了受损植被的物种组成、植物区系、生活型、叶质及其立地环境条件, 但与耐旱性密切相关的根系深浅、根冠比、蒸腾特性、水分利用效率及土壤含水量等指标没有调查; 此外, 样本数较小, 不能代表整个喀斯特地区的植被受损状况, 对于喀斯特受损生态系统尚需进一步的长期定位观测研究, 以期对喀斯特地区石漠化治理和生态恢复提供全面的科学指导意见。

参考文献

- [1] Department of Policy and Regulations of China Meteorological Administration (中国气象局政策法规司). Meteorological Standard Assembly 2005 - 2006. Beijing: China Meteorological Press, 2008 (in Chinese)
- [2] Department of Forestry of Guizhou Province (贵州省林业厅). Emergent notice about further improving the drought disaster fighting and forest fire prevention work [EB/OL]. (2010 - 04 - 01) [2010 - 05 - 30]. http://www.gzforestry.gov.cn/news/20100401/201004011744521600_0.html (in Chinese)
- [3] Zhao S (赵恕). The relationship between monsoon activity and drought and flood in Guizhou // Luo D-Y (罗登义), Li L-Q (李良骥), eds. Advances of Guizhou Science. Guiyang: Association of Science and Technology of Guizhou Province, 1984: 305 - 322 (in Chinese)
- [4] Chinese Academy of Meteorological Science (中国气象科学研究院). Yearly Charts of Dryness/Wetness in China during the Last 500-year Period. Beijing: China Cartographic Publishing House, 1981 (in Chinese)
- [5] Su Y (苏跃), Liao J-L (廖婧琳), Feng Z-W (冯泽蔚), et al. Effects of drought on grain production during 54 years in Guizhou. *Guizhou Agricultural Sciences* (贵州农业科学), 2008, **36**(1): 51 - 53 (in Chinese)
- [6] Wang S-J (王世杰), Li Y-B (李阳兵). Problems and development trends about researches on Karst rocky desertification. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), 2007, **22**(6): 573 - 582 (in Chinese)
- [7] Ding G-J (丁贵杰). Present situation, problems and tactics on ecological environment in Guizhou Province. *Journal of Guizhou University* (Agricultural and Biological Science) (贵州大学学报·农业与生物科学版), 2002, **21**(1): 44 - 50 (in Chinese)
- [8] Jiang Q-F (蒋庆丰), You Z (游珍), Xu G (徐刚). Laws of time-space distribution of historical natural disasters in Guizhou and its comprehensive regionalization. *Areal Research and Development* (地域研究与开发), 2002, **21**(1): 84 - 88 (in Chinese)
- [9] Cen S-L (岑士良). Drought and its preventive measures in Guizhou. *Tillage and Cultivation* (耕作与栽培), 1982(3): 41 - 44 (in Chinese)
- [10] Wang Y-P (王玉萍), Li R (李荣), Yang J (杨静). Drought effects on economic and social development in Guizhou Province. *Water Resources Development Research* (水利发展研究), 2006, **6**(11): 23 - 25 (in Chinese)
- [11] Ni X-B (倪雪波), Liu R-G (刘荣高), Wang S-J (王世杰). Remote sensing of land sensitivity to drought in a Karst region of Southwest China. *Earth and Environment* (地球与环境), 2009, **37**(3): 221 - 226 (in Chinese)
- [12] Yu L-F (喻理飞), Zhu S-Q (朱守谦), Ye J-Z (叶镜中). Preliminary study on the adaptability of tolerate-drought for different species group in Karst forest. *Journal of Nanjing Forestry University* (Natural Science) (南京林业大学学报·自然科学版), 2002, **26**(1): 19 - 22 (in Chinese)
- [13] Wang M-Y (王明云), Chen B (陈波), Rong L (容丽). Indicative research on restoration of the forest vegetation in rocky desertification-affected Karst areas, Puding County, Guizhou Province. *Earth and Environment* (地球与环境), 2010, **38**(2): 202 - 206 (in Chinese)
- [14] Si B (司彬), Yao X-H (姚小华), Ren H-D (任华东), et al. Species composition and diversity in the process of natural succession of Karst vegetation in central Guizhou: Case study of Puding Country in Guizhou. *Forest Research* (林业科学研究), 2008, **21**(5): 669 - 674 (in Chinese)
- [15] Peng T (彭韬), Wang S-J (王世杰), Zhang X-B (张信宝), et al. Results of preliminary monitoring of surface runoff coefficients for Karst slopes. *Earth and Environment* (地球与环境), 2008, **36**(2): 125 - 129 (in Chinese)
- [16] Wu Z-Y (吴征镒). The areal-types of Chinese genera of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), 1991, **13**(suppl. 4): 1 - 139 (in Chinese)
- [17] Mueller-Dombois D, Ellenberg H. Trans. Bao X-C (鲍

- 显诚), Zhang K (张坤), *et al.* Aims and Methods of Vegetation Ecology. Beijing: Science Press, 1986 (in Chinese)
- [18] Xie Y-L (谢义林), Zhou Q (周琼), Li H (黎桦). Similarities and differences of ecological structure of stems and leaves between *Ficus microcarpa* and *Sapium sebiferum* living in Karst environment in southwest of Guangxi. *Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science* (广西农业生物科学), 2006, **25**(1): 65–70 (in Chinese)
- [19] Li J-Y (李吉跃), Zhou P (周平), Zhao L-J (招礼军). Influence of drought stress on transpiring water-consumption of seedlings. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, **22**(9): 1380–1386 (in Chinese)
- [20] Shi J-Y (施积炎), Ding G-J (丁贵杰), Yuan X-F (袁小凤). Ability to maintain water of Masson pine from different family. *Journal of Shanghai Jiaotong University* (Agricultural Science) (上海交通大学学报·农业科学版), 2004, **22**(2): 143–148 (in Chinese)
- [21] Zhang Q (张强). The Photosynthesis Responses to Water Stress and Light-flecks in Tropical Epiphytic and Terrestrial Ferns. PhD Thesis. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2008 (in Chinese)
- [22] Wang B-S (王伯荪), Yu S-X (余世孝), Peng S-L (彭少麟). Experimental Guide of Phytocoenology. Guangzhou: Guangdong Education Publishing House, 1996 (in Chinese)
- [23] Yan Y-H (严岳鸿), Qin X-S (秦新生), Xing F-W (邢福武). The characteristics of fern community in Gudoushan Nature Reserve, Guangdong. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2003, **11**(2): 109–116 (in Chinese)
- [24] Gao Y-B (高玉葆). Adaptive responses of plant to water stress and their ecological significance // Li-B (李博), ed. Lectures in Modern Ecology. Beijing: Science Press, 1995: 10–23 (in Chinese)
- [25] Chang J (常杰), Ge Y (葛滢), Fu H-L (傅华琳), *et al.* Study on the morpho-ecology of leaves of the main species in the evergreen broad-leaved forest dominated by *Cyclobalanopsis glauca*. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 1998, **15**(6): 59–64 (in Chinese)
- [26] Li Y-B (李阳兵), Wang S-J (王世杰), Li R-L (李瑞玲), *et al.* Preliminary study on Karst rocky desertification genesis in Huajiang gorge district. *Hydrogeology and Engineering Geology* (水文地质工程地质), 2004, **31**(6): 37–42 (in Chinese)
- [27] Wang S-J (王世杰), Lu H-M (卢红梅), Zhou Y-C (周运超), *et al.* Spatial variability of soil organic carbon and representative soil sampling method in Maolan Karst virgin forest. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2007, **44**(3): 475–483 (in Chinese)
- [28] Liu F (刘方), Wang S-J (王世杰), Luo H-B (罗海波), *et al.* Micro-habitats in Karst forest ecosystem and variability of soils. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2008, **45**(6): 1055–1062 (in Chinese)
- [29] Zhou Y-C (周运超), Wang S-J (王世杰), Lu H-M (卢红梅). Spatial distribution of soils during the process of Karst rocky desertification. *Earth and Environment* (地球与环境), 2010, **38**(1): 1–7 (in Chinese)

作者简介 熊红福 男, 1985 年生, 博士研究生. 主要从事生态环境地球化学研究. E-mail: xionghongfu@126.com

责任编辑 孙 菊
