

环境因子对岩生植物金发草遗传多样性的影响<sup>\*</sup>

马丹炜, 王胜华, 罗 通, 王文国, 庄国庆, 陈 放  
(四川大学生命科学学院, 四川 成都 610064)

**摘 要:**采用 ISSR 标记技术对四川、云南、重庆、广西等地不同环境条件下 22 个金发草种群的遗传变异进行分析。从 100 条引物中筛选出 14 条引物进行 PCR 扩增, 共扩增出 239 条清晰的条带, 其中 227 条条带具有多态性, 多态位点百分率 (PPB) 达 94.98%, 金发草的观测等位基因数 ( $N_a$ )、有效等位基因数 ( $N_e$ )、 $N_e$ 's 的基因多样性 ( $H$ ) 和 Shannon's 信息指数 ( $I$ ) 分别为  $1.9498 \pm 0.2188$   $1.4298 \pm 0.3204$   $0.2656 \pm 0.1592$  及  $0.4136 \pm 0.2088$ 。揭示了金发草具有丰富的遗传多样性。根据  $N_e$ 's 遗传距离对 22 个种群进行 UPGMA 聚类, 表明金发草种群的遗传距离与其水平地理距离和垂直地理距离有关。Mantel 检验表明金发草种群间的遗传距离与水平地理距离和垂直地理距离均呈显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 随着海拔升高, 金发草的遗传多样性降低, 推测可能是高海拔地区气温低、降水量大在一定程度上影响了金发草种群间的基因交流。生境类型、海拔高度、土壤类型、土壤 pH、年均温度、年均降水量、年均日照时数等环境因子对金发草的遗传分化在一定程度上产生了影响, 相关性分析表明, 其影响均不显著, 说明金发草种群对环境依赖性小, 能分布在各种生境中, 使其具有较高的遗传多样性水平。

**关键词:**金发草; ISSR 遗传多样性; 环境因子; 遗传分化

**中图分类号:** Q16 Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 02-0073-05

岩生植物金发草 *Pogonatherum paniceum* 是禾本科金发草属的多年生草本植物, 分布于华中、华南、西南、印度、马来西亚以及澳大利亚等地<sup>[1-3]</sup>。多生长于干旱贫瘠的岩石表面, 是一种优良的地被植物和观赏植物, 在水土保持、生态边坡防护、绿化等方面具有良好的应用前景, 具有开发为新型国产草坪草种的潜力。

目前国内主要从形态学、生态学及生理特征等方面对金发草进行了研究<sup>[3-7]</sup>。有关金发草遗传结构及遗传分化方面研究的迄今未见报道。本研究采用 ISSR 分子标记技术, 研究了分布于中国西南和华南地区不同环境条件下金发草的遗传分化, 旨在为科学管理和有效地开发金发草资源提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

2003 年 7 月至 2004 年 5 月, 按照集群采样策略, 野外采集金发草新鲜叶片, 装入自封袋带回实验室直接提取 DNA 或放入  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中备用。材料来源于我国四川资阳市 (包括 ZY、BH2 个种群)、峨眉山市 (包括 DL、QYG2 个种群)、仁寿

县 (包括 SX、ZJ、HH、CJ、YD5 个种群)、宜宾市 (YB 种群)、双流县 (HY 种群)、彭州市 (PZ 种群)、盐边县 (PYB 种群); 重庆市綦江县 (QJ 种群)、缙云山 (JYS 种群)、璧山县 (QG 种群); 云南陆良县 (包括 YTZG、DCB、HZG、YTG4 个种群)、广西梧州市 (WZ 种群) 等 22 个样点; 生境类型为田边、荒坡、渠岸、道路石质边坡等, 主要分布在黄壤、黄棕壤、紫色土、紫色砂岩等类型的基质上, 土壤 pH 值在 4.42~8.54 之间; 供试种群分布海拔范围为 50~1 936 m; 根据当地气象资料得知, 分布地年平均温度为  $14.7\sim 21.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 年降水量  $926.5\sim 1\,555.3\text{ mm}$ , 年均日照时数为  $941.8\sim 2\,442.5\text{ h}$ 。

1.2 基因组 DNA 的提取

将每个种群 15 个个体的新鲜嫩叶等量混合后采用稍加改进的 CTAB 法<sup>[8]</sup>提取基因组 DNA。

1.3 ISSR PCR 扩增与电泳

从 100 条 ISSR 引物 (UBC set No. 9 加拿大哥伦比亚大学) 筛选出扩增条带清晰、重复性较好的引物用于 PCR 扩增。扩增反应在 PTC<sup>100TM</sup> [(Programmable Thermal Controller (MJ Research Inc. 美国))] PCR 扩增仪上进行; PCR 反应程序

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2005-11-07  
基金项目: 教育部“973”预研资助项目 (104255)  
作者简介: 马丹炜 (1963 年生), 女, 博士研究生, 副教授, 通讯联系人: 陈放; E-mail: cfang@263.net  
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为: 94 ℃预变性 5 min; 94 ℃变性 30 s; 48 ~ 52 ℃退火 45 s; 72 ℃延伸 2 min, 共计 45 个循环; 72 ℃延伸 7 min; 4 ℃ 10 min 终止反应; 扩增反应结束后, 以 100 bp Ladder marker 作参照, 用  $w=2\%$  琼脂糖凝胶电泳 ( $0.5\times TBE$ ), 电压 100 V, 电泳时间 4 h, 然后用 EB 染色, 凝胶成像系统照相, 观察扩增结果。

### 1.4 统计分析

1.4.1 种群遗传多样性及遗传结构分析 将扩增产物有带记做“1”, 无带记做“0”, 只记载清晰易辨的扩增带, 数据输入数据矩阵, 应用 POPGENE 1.31 软件, 假定种群在这些 ISSR 标记位点处于 Hardy Weinberg 平衡状态, 对全部种群和不同环境中的群体分别计算下列遗传参数<sup>[9]</sup>: ①多态位点百分率  $[PPB, PPB = (\text{具有多态的位点数} / \text{检测到的位点数}) \times 100\%]$ ; ②观测等位基因数 ( $N_a$ ); ③有效等位基因数 ( $N_e$ ); ④ Nei's 基因多样性; ⑤ shannon's 信息指数 (1972) ( $I$ ); ⑥群体总基因多样性 ( $H_t$ ) 和群体内基因多样性 ( $H_s$ ); ⑦基因分化系数 ( $G_{st}$   $G_{st} = 1 - H_s / H_t$ ); ⑧基因流  $[Nm, Nm = 0.5 (1 - G_{st}) / G_{st}]$ ; ⑨ Nei's 遗传距离 (1972) ( $D$ ); ⑩遗传一致度 ( $I$ )。

1.4.2 聚类分析 根据 Nei 的遗传距离采用 UPGMA 法对种群进行聚类分析。

1.4.3 相关性分析 用 TFPGA 软件<sup>[10]</sup>的 Mantel 统计学检验, 分别进行种群间遗传距离与垂直地理距离和水平地理距离之间的相关性分析; 用 SPSS 11.5 软件分析群体的遗传多样性水平与环境间的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种水平的遗传多样性

从 100 个 ISSR 引物中, 筛选出扩增条带清晰, 重复性较好的 14 条引物 (表 1)。分别用 14 条引物对 22 个金发草种群进行 PCR 扩增, 14 条引物共扩增出 239 条条带, 平均每条引物扩增出 17.07 条条带。片段分子大小为 450 ~ 2 000 bp, PPB 为 94.98% (227 条)。在物种水平上,  $N_a$  为  $1.949 8 \pm 0.218 8$ ,  $N_e$  为  $1.429 8 \pm 0.320 4$ ,  $H$  为  $0.265 6 \pm 0.159 2$ ,  $I$  为  $0.413 6 \pm 0.208 8$ , 揭示了金发草具有丰富的遗传多样性。

### 2.2 金发草遗传距离与地理距离的相关性分析

22 个金发草种群间的  $D$  介于 0.198 3 ~ 0.601 3 之间, 平均为 0.397 6,  $I$  介于 0.548 1 ~ 0.820 1, 平均为 0.673 5。根据 Nei 的遗传距离将所有种群进行 UPGMA 聚类, 聚类结果显示种群间的遗传距

表 1 用于 ISSR 扩增的引物  
Tab. 1 Primers used for ISSR amplification

| 引物  | 引物序列                           | 扩增条带数 | 多态带数  |
|-----|--------------------------------|-------|-------|
| 801 | (AG) <sub>8</sub> T            | 18    | 18    |
| 808 | (AG) <sub>8</sub> C            | 14    | 14    |
| 809 | (AG) <sub>8</sub> G            | 18    | 17    |
| 810 | (GA) <sub>8</sub> T            | 19    | 19    |
| 816 | (CA) <sub>8</sub> T            | 11    | 11    |
| 817 | (CA) <sub>8</sub> A            | 18    | 17    |
| 835 | (AG) <sub>8</sub> YC           | 21    | 20    |
| 856 | (AC) <sub>8</sub> YA           | 17    | 16    |
| 860 | (TG) <sub>8</sub> RA           | 16    | 15    |
| 861 | (ACC) <sub>6</sub>             | 16    | 13    |
| 887 | DVD (TC) <sub>7</sub>          | 19    | 17    |
| 888 | BDB (CA) <sub>7</sub>          | 24    | 23    |
| 891 | HVH (TG) <sub>7</sub>          | 13    | 12    |
| 900 | ACT TCC CCA CAG<br>GTT AAC ACA | 15    | 15    |
| 平均数 |                                | 17.07 | 16.21 |
| 总数  |                                | 239   | 227   |

B C G E D A G E H A C E R A G; V A C G Y C T

离与水平地理距离和垂直地理距离具有一定的相关性 (图 1)。Mantel 统计学表明, 种群间的遗传距离与垂直地理距离呈显著正相关 ( $r=0.318 8$ ,  $P=0.005$ ), 与水平地理距离呈极显著正相关 ( $R=0.155$ ,  $P=0.001 0$ ), 金发草的遗传距离表现出与地理分布格局相一致的模式。

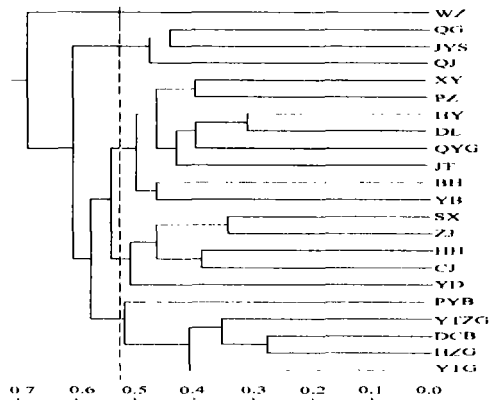


图 1 金发草种群基于 Nei 遗传距离的聚类分析

Fig. 1 Dendrogram of UPGMA Based on Nei's (1972) Genetic distance among populations of *P. panicum*

### 2.3 环境对金发草遗传多样性的影响

将 22 个金发草种群按其分布区的环境因子进行归类并分析各类群之间遗传多样性的变化 (表 2), 相关性分析表明, 随着种群数量的增加, 遗传多样性有所增加, 但未达到显著性相关水平 ( $P>0.05$ ), 说明种群数量对分析结果的影响不显著。

#### 2.3.1 生境类型对金发草遗传多样性的影响 供

试种群分别分布于道路石质边坡、田边、河流与水渠的岸边以及荒坡等生境中。不同生境中，金发草群体的遗传结构具有一定的差异性，群体的  $PPB$  在 59.00% ~76.15%之间， $H$  在 0.210 7 ~0.225 6  $I$  在 0.318 1 ~0.351 3之间，种群遗传多样性的变化趋势为荒坡>农田>河岸>石质边坡（表 2）。

2.3.2 土壤类型及土壤 pH 对金发草遗传多样性的影响 在不同土壤类型的作用下，种群产生了一定的遗传分化。不同土壤基质上的群体  $PPB$  在 41.42% ~78.38%之间； $H$  为 0.212 3 ~0.247 3  $I$  为 0.213 2 ~0.374 1，遗传多样性的变化趋势为黄壤>紫色土>紫色砂岩>黄棕壤（表 2）。

22个供试种群土壤 pH 值在 4.42 ~8.54之间，表明金发草具有较大的酸碱耐受范围，在酸性土（pH<6）、中性土（pH 6~7）及碱性土（pH>8）均能生长。分析表明，群体  $PPB$  分别为酸性土 69.04%、中性土 70.29%、碱性土 79.92%；各遗传多样性参数变化趋势均为酸性土<中性土<碱性土（表 2）。

2.3.3 气候因子及海拔高度对金发草遗传多样性的影响 年均温度、年均降水量、年均日照时数及海拔高度对金发草的遗传多样性均具有一定的影响（表 2）。遗传多样性随着海拔升高和降水量增大而逐渐降低，随着温度的降低而下降；在不同的年均日照时数影响下，遗传多样性的变化规律不明显，本研究结果显示，年均日照时数为 1 000 ~2 000 h 时，金发草具有较高遗传多样性水平。

2.3.4 金发草遗传多样性与环境因子间的相关性分析 相关性分析表明，金发草遗传多样性参数与土壤 pH 值、年平均温度呈正相关，与年均降水量、年均日照时数和海拔呈负相关，关联均不显著（表 3），说明遗传分化对环境因子依赖性较小，其多样性的产生主要来自于金发草本身的遗传分化。

2.4 金发草的遗传分化

从生境的角度来看，金发草  $H_t$  为 0.262 5 在同一生境中  $H_s$  为 0.220 5 不同生境间的  $G_{st}$  为 0.159 9 即在不同生境选择下，金发草种群间产生了一定程度的遗传分化，生境间的遗传变异占总

表 2 环境因子对金发草遗传多样性的影响

| Tab.2 Effects of environmental factors on the genetic diversity of <i>Pogonatherum panicum</i> |           |         |        |        |        |       |                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|-------|---------------------------------------------------|
| 环境因子                                                                                           | 环境亚因子     | $N_a$   | $N_e$  | $H$    | $I$    | $PPB$ | 种群编号                                              |
| 生境                                                                                             | 荒坡        | 1.7615  | 1.3599 | 0.2256 | 0.3513 | 76.15 | WZ、JYS YD、PYB、YTZG、DCB、HZG、YTG                    |
|                                                                                                | 石质边坡      | 1.6109  | 1.3542 | 0.210  | 0.3181 | 61.09 | QG、YB HY、JT、QYG                                   |
|                                                                                                | 河岸        | 1.5900  | 1.3830 | 0.2205 | 0.3272 | 59.00 | QJ PZ、SX、CJ                                       |
|                                                                                                | 农田        | 1.6611  | 1.3795 | 0.2253 | 0.3407 | 66.11 | XY、BH、DL ZJ、HH                                    |
| 土壤类型                                                                                           | 黄壤        | 1.7238  | 1.4142 | 0.2473 | 0.3741 | 72.38 | WZ、JYS QJ、PZ、PYB                                  |
|                                                                                                | 黄棕壤       | 1.4142  | 1.2295 | 0.1400 | 0.2132 | 41.42 | YTZG、DCB、HZG、YTG                                  |
|                                                                                                | 紫色土       | 1.7448  | 1.4036 | 0.2391 | 0.3636 | 74.48 | XY、BH、DL SX、ZJ HH、CJ YD                           |
|                                                                                                | 紫色砂岩      | 1.6276  | 1.3573 | 0.2123 | 0.3215 | 62.76 | QG、YB HY、JT、QYG                                   |
| 土壤 pH                                                                                          | <6        | 1.69043 | 1.3483 | 0.2139 | 0.3296 | 69.04 | QG、JYS PZ、YTZG、HZG、YTG、DCB                        |
|                                                                                                | 6~7       | 1.7029  | 1.409  | 0.2442 | 0.3689 | 70.29 | WZ、QJ YB、PYB                                      |
|                                                                                                | >8        | 1.7992  | 1.4040 | 0.2425 | 0.3719 | 79.92 | XY、BH、HY、JT、DL、QYG、SX、ZJ HH、CJ YD                 |
| 海拔 $m$                                                                                         | 50~500    | 1.8368  | 1.4239 | 0.2557 | 0.3920 | 83.68 | WZ、QG、JYS、QJ XY、BH、PZ、HY、JT、DL、SX、ZJ              |
|                                                                                                | 500~1000  | 1.6192  | 1.3649 | 0.2153 | 0.3241 | 61.92 | YB、QYG、HH、CJ、YD                                   |
|                                                                                                | >1000     | 1.5397  | 1.2683 | 0.1671 | 0.2589 | 53.97 | PYB、YTZG、DCB、HZG、YTG                              |
| 温度 $^{\circ}C$                                                                                 | 14~15.9   | 1.4142  | 1.2295 | 0.1400 | 0.2132 | 41.42 | YTZG、DCB、HZG、YTG                                  |
|                                                                                                | 16~16.9   | 1.3849  | 1.2570 | 0.1485 | 0.2194 | 38.49 | PZ、HY、JT                                          |
|                                                                                                | 17~17.4   | 1.7615  | 1.3990 | 0.2386 | 0.3645 | 76.15 | XY、BH、DL QYG、SX、ZJ HH、CJ YD                       |
|                                                                                                | 17.5~21.1 | 1.7866  | 1.4174 | 0.2530 | 0.3871 | 78.66 | WZ、QG、JYS QJ、YB、PYB                               |
| 降水量 $mm$                                                                                       | >1500     | 1.4310  | 1.2679 | 0.1591 | 0.2379 | 43.10 | WZ、DL QYG                                         |
|                                                                                                | 1000~1500 | 1.6109  | 1.3667 | 0.2164 | 0.3252 | 61.09 | QG、JYS QJ PYB                                     |
|                                                                                                | <1000     | 1.8703  | 1.4087 | 0.2503 | 0.3876 | 87.03 | XY、BH、PZ、YB、HY、JT、SX、ZJ HH、CJ、YD、YTZG、DCB、HZG、YTG |
| 日照时数 $h$                                                                                       | <1000     | 1.4226  | 1.2863 | 0.1645 | 0.2425 | 42.26 | YB、DL、QYG                                         |
|                                                                                                | 1000~2000 | 1.8870  | 1.4446 | 0.2689 | 0.4125 | 88.70 | WZ、QG、JYS QJ、XY、PZ、HY、JT SX、ZJ、HH、CJ、YD           |
|                                                                                                | >2000     | 1.5397  | 1.2683 | 0.1671 | 0.2589 | 53.97 | PYB、YTZG、DCB、HZG、YTG                              |

遗传变异的 15.99%，同质生境内的遗传变异占总遗传变异的 84.01%；群体间的  $N_m$  为 2.626 9(表 4)。

土壤类型、土壤 pH 值、海拔高度、年均温度、年均降水量和年均日照时数等环境因子对金发草的遗传变异均产生了一定程度的影响。不同环境因子条件下，不同亚环境因子群体间遗传变异仅占总遗传变异的 11.96~24.68%，即 78.42~88.04% 的遗传变异来自于群体内，群体间的基因流在 1.898 3~3.681 6 之间(表 4)。

表 3 金发草遗传多样性与环境因子的相关性

Tab. 3 The correlation between genetic diversity of *Pogonatherum panicum* and environmental factors

| 环境因子  | $N_a$  | $N_e$  | $H$    | $I$    | $PPB$  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 土壤 pH | 0.951  | 0.761  | 0.779  | 0.845  | 0.951  |
| 温度    | 0.828  | 0.903  | 0.890  | 0.879  | 0.828  |
| 降水量   | -0.898 | -0.992 | -0.979 | -0.967 | -0.898 |
| 日照时数  | -0.091 | -0.416 | -0.309 | -0.246 | -0.091 |
| 海拔高度  | -0.833 | -0.983 | -0.972 | -0.944 | -0.833 |

表 4 环境因子对金发草遗传分化的影响

Tab. 4 Effects of environmental factors on the genetic differentiation of *Pogonatherum panicum*

| 环境因子  | $H_t$           | $H_s$           | $G_{st}$ | $N_m$  |
|-------|-----------------|-----------------|----------|--------|
| 生境类型  | 0.2625 ± 0.0256 | 0.2205 ± 0.0191 | 0.1599   | 2.6269 |
| 土壤类型  | 0.2603 ± 0.0247 | 0.2097 ± 0.0159 | 0.1945   | 2.0702 |
| 土壤 pH | 0.2652 ± 0.0235 | 0.2335 ± 0.0189 | 0.1196   | 3.6816 |
| 海拔    | 0.2579 ± 0.0254 | 0.2127 ± 0.0176 | 0.1752   | 2.3539 |
| 温度    | 0.2589 ± 0.0259 | 0.1950 ± 0.0144 | 0.2468   | 1.5257 |
| 降水量   | 0.2631 ± 0.0245 | 0.2086 ± 0.0149 | 0.2071   | 1.9142 |
| 日照时数  | 0.2529 ± 0.0273 | 0.2001 ± 0.0168 | 0.2085   | 1.8983 |

### 3 讨 论

#### 3.1 金发草的遗传多样性

本研究揭示了金发草高水平的遗传多样性。根据 Nybom 和 Bartish 研究结果，单子叶植物  $N_{ei}$  遗传多样性的平均值为 0.190<sup>[11]</sup>，金发草  $N_{ei}$  总遗传多样性为 0.311 7，明显高于物种平均水平与单子叶植物的平均值，这与其生活史和生物学特性有关。金发草是多年生草本植物，具有风媒传粉、风布果实、分布较广的特点，除了以种子进行繁殖外，还可以进行营养繁殖，具有很强的生命力与竞争力，能够耐受逆境胁迫（干旱、贫瘠等），因此，常常成为许多逆境下的先锋物种。在不同环境因素的选择作用下，金发草产生了较高的遗传多样性水平。

#### 3.2 环境因子对金发草遗传多样性的影响

金发草生活环境复杂多样，分布十分广泛，生活环境的多样性使其具有丰富的遗传多样性。群体

间产生了一定程度的遗传分化，生境间的遗传变异占总遗传变异的 15.99%，生境内的遗传变异占总遗传变异的 84.01%，群体间具有较高水平的  $N_m$  (2.626 9)。不同生境中，遗传多样性的变化趋势为荒坡>农田>河岸>石质边坡。金发草在荒坡生境具有较高的遗传多样性水平，原因可能在于荒坡受人为干扰较小；农田由于经常受到人类耕作行为的干扰，导致其遗传多样性水平下降；渠岸和石质边坡环境条件较为恶劣，土壤基质薄、营养元素极度缺乏，导致遗传多样性水平降低。

金发草的遗传多样性与种群分布的水平地理距离具有一定的相关性。根据 UPGMA 聚类，种群的遗传多样性呈现出一定的地域性分布规律，聚类结果基本上将分布区水平地理距离较近的种群聚在一起。经过 Mantel 统计检验表明金发草种群间的遗传距离与水平地理距离呈极显著的正相关性 ( $R = 0.515 5$   $P = 0.001 0 < 0.01$ )，说明地理隔离对金发草的遗传分化产生了明显的影响。

其次，种群间垂直地理距离越大，种群间的遗传距离就越大，如广西 WZ 种群。与其他供试种群的垂直地理距离差异最大，相应地遗传距离差异最大；垂直地理距离越小，种群间遗传距离越小，如云南陆良县的 DCB 种群与 HZG 种群之间的遗传距离仅为 0.198 3，表明遗传距离与种群间的垂直地理距离具有一定的相关性，Mantel 统计检验结果说明种群间的遗传距离与垂直地理距离呈极显著的正相关性 ( $R = 0.318 8$   $P = 0.005 < 0.01$ )。金发草的遗传多样性与海拔高度呈负相关，原因可能是高海拔地区温度低，降水丰富，在一定程度上限制了花粉及果实的散布，阻碍了种群间基因交流，导致遗传多样性水平降低，通过分析年均温度、年均降水量对遗传分化的影响，也得出了相似的结果，即金发草的遗传多样性与年均降水量呈负相关，与年均温度呈正相关。

土壤类型及土壤 pH 对金发草的遗传分化具有一定的选择作用。分布于不同土壤类型上群体遗传多样性变化趋势为黄壤>紫色土>紫色砂岩>黄棕壤；而且，金发草对土壤酸碱度具有较大的耐受范围，群体遗传多样性的变化趋势为酸性土<中性土<碱性土；相关性分析表明遗传多样性与土壤的 pH 值呈正相关，这可能与碱性土生境类型变化多样（农田、荒坡、道路边坡、裸岩、岸边）有关，在不同生境的选择下，形成了丰富的遗传多样性。

然而，遗传多样性与环境因子的相关性分析表明，金发草的遗传多样性与环境因子的关联不显著，说明金发草对环境依赖性较小，具有较强的竞

争力与生命力，能够忍受各种环境胁迫（干旱、贫瘠等）而成为许多逆境下的先锋物种，同时，金发草形似小竹，外形美观，根系发达，对地面具有较强的覆盖力，具有较强的抗蚀能力，因此，金发草在道路边坡的生态恢复与重建中具有积极的意义。

致谢：本研究得到了四川大学生命科学学院贾勇炯教授、唐琳博士、徐莺博士、严钊副教授的大力帮助，谨表谢忱！

参考文献:

[ 1 ] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第 10 卷, 第 2 分册) [ M ]. 北京: 科学出版社, 1997 102 - 104

[ 2 ] 《四川植物志》编辑委员会. 四川植物志 (第 5 卷, 第 2 分册) [ M ]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988 365 - 367

[ 3 ] 王海洋, 彭丽, 李绍才, 等. 岩生植物金发草生长特征研究 [ J ]. 应用生态学报, 2005 16( 8): 1432 - 1436

[ 4 ] 陈红, 李绍才, 彭丽, 等. 金发草构件格局及其环境变异 [ J ]. 广西植物, 2005 25( 1): 18 - 21

[ 5 ] 彭丽, 李绍才, 王海洋, 等. 金发草种群分布格局和种

间关联 [ J ]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2004 26 ( 6): 689 - 692

[ 6 ] 陈红, 王海洋. 不同基质条件下金发草的种群结构差异 [ J ]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2004 26 ( 4): 448 - 451.

[ 7 ] 白景文, 罗承德, 李西, 等. 两种岩生植物的抗旱适应性研究 [ J ]. 四川农业大学学报, 2005 23 ( 3): 290 - 294

[ 8 ] DOYLE J J. DNA protocols for plants - CTAB total DNA isolation [ M ] // HEWITT G M, et al eds. Molecular Techniques in Taxonomy. Berlin Germany: Springer - Verlag 1991: 283 - 293

[ 9 ] YEH F G, BOYLE T, YANG R G, et al. POPGENE, the User Friendly Shareware for Population Genetic Analysis, Version 1. 31 [ M ]. University of Alberta and Centre for International Forestry Research 1999.

[ 10 ] MILLER M P. Tools for Population Genetic Analysis (TFPGA), Version 1. 3 [ M ]. Arizona Department of Biological Sciences, Northern Arizona University 1997.

[ 11 ] 李群, 肖猛, 郭亮, 等. 四川珍稀濒危植物延龄草遗传多样性分析 [ J ]. 北京林业大学学报, 2005 27( 4): 1 - 5

E ffects of Env ironm ental Factors on the G enetic D iversity of *Pogonatherum paniceum*

MA Dan-wei, WANG Sheng-hua, LUO Tong, WANG Wen-gua, ZHUANG Guo-qing, CHEN Fang  
(College of Life Science, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract** Genetic diversity of 22 populations of *Pogonatherum panicum* grown under different environments of Sichuan Province, Yunnan Province, Chongqing City and Guangxi Zhuang Autonomous Region in China was investigated using inter simple sequence repeats (ISSR) markers. Of the 100 primers, 14 were selected to produce highly reproducible ISSR bands. 227 of the 239 amplified bands showed polymorphism, the percentage of polymorphic loci (PPB) is reached to 94.98%. Observed number of alleles ( $N_a$ ), effective number of alleles ( $N_e$ ), Nei's gene diversity ( $H$ ) and Shannon information index ( $I$ ) were  $1.9498 \pm 0.2188$ ,  $1.4298 \pm 0.3204$ ,  $0.2656 \pm 0.1592$  and  $0.4136 \pm 0.2088$  respectively, suggesting that *P. paniceum* has plenty genetic diversity. UPGMA cluster analysis of 22 populations based on Nei's genetic distance showed that the genetic distance of *P. paniceum* is correlated with geographic and elevation distances. Results of Mantel test revealed a significant positive correlation between genetic distances and geographic and elevation distances of populations ( $p < 0.01$ ). The genetic diversity of *P. paniceum* is decreasing along with the rising of elevation, which is probably due to the lower temperature and excessive rainfall in higher elevation areas may limit gene communion of populations of these habitats. In a certain extent, the genetic diversity of this species was influenced by environmental factors, including habitat type, elevation, soil type, soil pH value, annual average temperature, annual average rainfall and annual average sunlight hours in a no significant manner, indicating that *P. paniceum* has low dependence upon environments, which results in the wide distribution of this species in different habitats and the higher genetic diversity.

**Key words** *Pogonatherum panicum*; ISSR; genetic diversity; environmental factors; genetic differentiation  
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>