

•研究简报•

# 龙须草种质资源生境特征与主要经济性状比较

刘 飞<sup>1,2</sup> 邹冬生<sup>1\*</sup> 喻夜兰<sup>2</sup> 朱战强<sup>3</sup> 吴少平<sup>2</sup> 朱育峰<sup>1</sup>

1 (湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128)

2 (湖南农业大学东方科技学院, 长沙 410128)

3 (中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275)

**摘要:** 龙须草(*Eulaliopsis binata*)是一种特色野生生物资源,是优质造纸原料和防止水土流失的优良草种。以往针对龙须草种质资源收集和评价研究近于空白。本文通过对中国内陆龙须草种质资源集中分布的9省20县的实地考察,收集了20个居群的龙须草样本,分析了龙须草种质资源生境的主要特征,并对龙须草种质资源主要经济性状进行比较。结果表明:收集的龙须草种质资源集中分布于22°–34° N、101°–114° E,海拔集中在100–1,000 m,年平均气温在14–22℃,年日照时数在1,112–2,624 h,年平均降水量在642–2,330 mm之间。气候因子主成分分析显示,龙须草分布受温度与降水量影响较大,其次为海拔和日照时数。不同龙须草种质资源叶长、胞壁厚度、腔径、壁径比、产量等主要经济性状呈现出极显著差异。主要经济性状ward聚类可将收集的龙须草种质资源分为3类,其中9个种质资源可优先作为优良龙须草筛选育种的参考对象。

**关键词:** 龙须草; 造纸材料; 生境; 经济性状; 产量

## Habitat features and principal economic characteristics of *Eulaliopsis binata* germplasm resources

Fei Liu<sup>1,2</sup>, Dongsheng Zou<sup>1\*</sup>, Yelan Yu<sup>2</sup>, Zhanqiang Zhu<sup>3</sup>, Shaoping Wu<sup>2</sup>, Yufeng Zhu<sup>1</sup>

1 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128

2 Oriental Science &amp; Technology College of Hunan Agricultural University, Changsha 410128

3 Geography and Planning School of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275

**Abstract:** *Eulaliopsis binata*, a typical wild living resource, is an excellent grass species which is used as material for papermaking and can prevent water loss and soil erosion. Since there are few studies examining the resource collection and assessment of *E. binata*, in this paper we attempt to use field studies on concentrated areas of Chinese *E. binata* germplasm resources in 20 counties in nine provinces, collect 20 kinds of *E. binata* germplasm resources, analyse the principal living environmental characteristics of collection areas of *E. binata* germplasm resources, and compare the principal economic characteristics of *E. binata* germplasm resources. Results showed that the collections of *E. binata* were mainly located in the ranges of 22°–34° N, 101°–114° E, with an elevation of 100–1,000 m, annual average temperatures of 14–22℃, annual sunshine hour ranges of 1,112–2,624 h, and annual average rainfall amounts between 642–2,330 mm. Principal component analysis of climate factors of *E. binata* showed that the distribution of *E. binata* was more influenced by temperature and rainfall, while less so by elevation and sunshine hours. The principal economic characteristics of *E. binata* germplasm resources, such as leaf length, thickness of cell walls, diameter of the cavity, ratio of cell wall and diameter of cavity and yield, show significant differences. Using ward clustering analysis of the principal economic characteristics, the collected *E. binata* germplasm resources can be divided into 3 categories, of which nine *E. binata* germplasm resources can be used as reference species for excellent *E. binata* selection and breeding. The study provides evidence for the selection of improved varieties and utilization of *E. binata* germplasm resources.

**Key words:** *Eulaliopsis binata*; paper making material; habitat; economic characters; yield

收稿日期: 2016-09-02; 接受日期: 2016-11-28

基金项目: 国家“863”计划项目(2011AA100209)和国家自然科学基金(41401166)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zoudongsheng2@sina.com

龙须草(*Eulaliopsis binata*)是禾本科拟金茅属的多年生宿根性草本植物。它不仅是一种优质造纸原料,而且是一种优良的水土保持先锋草种,是山区脱贫致富的一项短、平、快的绿色产业资源。我国有着丰富的龙须草种质资源,早在20世纪50年代,我国不少地区就将其作为优质造纸原料开发利用,并且随着需求量的增加进行了大规模的人工种植,尤其是近年来在我国南方丘陵地区龙须草广泛用于防治荒山坡地水土流失。关于龙须草的研究,国内外已有不少报道,但主要集中在其生育特性(邹冬生等, 1999; 邹冬生和喻夜兰, 2011; 邹典等, 2012; 朱育锋, 2013<sup>①</sup>; 周仁杰等, 2014)、生态效益(黄宇等, 2003; 马定渭等, 2008; Zhang et al, 2010; 刘爱中等, 2011)和人工栽培技术(Dadhwai, 1998; 邹冬生等, 2000; Sur, 2001; 喻夜兰, 2003<sup>②</sup>)等方面。目前有关龙须草种质资源方面的研究报道不多,种质资源收集和评价研究近于空白。加强龙须草种质资源材料的收集和评价,开发出适应性更强、产量更高、纤维品质更优异的品种或种质资源,对于我国龙须草的生产栽

培、育种具有重要意义。我们在前人研究的基础上,从我国龙须草种质资源主要分布区域收集了20个居群的龙须草样本,对其主要经济性状进行比较研究,结合实地考察分析了其生境特征,以期龙须草进一步开发和良种选育研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 生境调查

据有关记载,中国龙须草在湖南南部、西南部,湖北北部、西北部,贵州南部、东南及西南部,云南大部分地区,广西西部、西南及西北部,广东北部地区有大量分布。在上述省自治区其他地区和川、赣、闽、台、甘、青、宁等省(自治区)局部地区也有少量分布(邹冬生和喻夜兰, 2011; 朱育锋, 2013)。根据多年的研究和掌握的信息,选择中国龙须草种质资源集中分布的广东、广西、云南、贵州、重庆、湖南、湖北、河南、陕西9省(市)20县进行实地考察,收集到20份龙须草种质资源植株样本(每份样本不少于15莖),并从群落类型、气候类型、土

表1 中国龙须草种质资源收集区域  
Table 1 Collecting area of germplasm resources for *Eulaliopsis binata* in China

收集区域 Collecting area	采集地(乡、镇) Site (Township)	采集地地理坐标 Geographical coordinates of resource land
云南元谋 Yuanmou, Yunnan	姜驿乡 Jiangyi	26°04'28" N, 101°55'01" E
云南金平 Jinping, Yunnan	金河镇 Jinhe	22°47'28" N, 103°14'13" E
贵州麻江 Majiang, Guizhou	下司镇 Xiasi	26°31'23" N, 107°48'42" E
贵州黄平 Huangping, Guizhou	新洲镇 Xinzhou	26°54'09" N, 107°54'42" E
贵州安龙 Anlong, Guizhou	万峰湖镇 Wanfenghu	24°56'29" N, 105°05'55" E
贵州兴义 Xingyi, Guizhou	下五屯镇 Xiawutun	25°04'18" N, 104°53'57" E
广西河池 Hechi, Guangxi	河池镇 Hechi	24°42'04" N, 107°51'08" E
广西田东 Tiandong, Guangxi	那拔镇 Naba	23°51'26" N, 107°09'13" E
广西柳城 Liucheng, Guangxi	龙头乡 Longtou	24°45'43" N, 109°11'11" E
广西大化 Dahua, Guangxi	都阳镇 Duyang	23°59'03" N, 107°39'46" E
广东连州 Lianzhou, Guangdong	大路边镇 Dalubian	25°02'32" N, 112°38'36" E
湖南衡阳 Hengyang, Hunan	栏垌乡 Lanlong	27°03'18" N, 112°20'21" E
湖南慈利 Cili, Hunan	零阳镇 Lingyang	29°25'36" N, 111°08'02" E
重庆巫山 Wushan, Chongqing	龙井乡 Longjing	31°05'47" N, 109°54'04" E
湖北丹江 Danjiang, Hubei	龙山镇 Longshan	32°35'16" N, 111°15'59" E
湖北郧县 Yunxian, Hubei	大柳乡 Daliu	33°01'08" N, 110°45'04" E
湖北郧西 Yunxi, Hubei	土门镇 Tumen	33°03'39" N, 110°21'05" E
河南淅川 Xichuan, Henan	毛堂乡 Maotang	33°13'25" N, 111°23'17" E
河南西峡 Xixia, Henan	军马河乡 Junmahe	33°31'29" N, 111°29'54" E
陕西洋县 Yangxian, Shaanxi	磨子桥镇 Moziqiao	33°11'33" N, 107°31'43" E

① 朱育锋 (2013) 不同种质资源龙须草叶片光合特性及解剖结构比较研究. 硕士学位论文, 湖南农业大学, 长沙.  
② 喻夜兰 (2003) 栽培生态条件对龙须草生长性能及产量形成的影响. 硕士学位论文, 湖南农业大学, 长沙.

表2 龙须草种质资源主要生境特征  
Table 2 Main habitat characteristics of *Eulaliopsis binata* germplasm resources

种源 Origin	群落类型 Community type	气候类型 Climate type	土壤 Soil	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude (m)	年均降水量 Mean annual precipitation (mm)	年平均温度 Mean annual temperature (°C)	日照时数 Sunshine hours (h)
云南金平 Jinping, Yunnan	乔灌木 Arbor-bush-grass	亚热带季风气候 Dry heat south subtropical monsoon	山坡地石灰土 Hillside land limestone soil	101°35'–102°06' E	25°23'–26°06' N	700–800	642.2	21.7	2,624
贵州麻江 Majiang, Guizhou	草丛 Grass	热带季风气候 Tropical monsoon	山坡地紫色土 Hillside land purple soil	102°31'–103°38' E	22°26'–23°04' N	300–400	2,330	18	2,397
贵州黄平 Huangping, Guizhou	草丛 Grass	亚热带季风性湿润气候 Humid subtropical monsoon	丘陵地红壤 Hilly land red soil	107°18'–107°53' E	26°17'–26°37' N	600–700	1,200–1,500	14–16	1,200
贵州安龙 Anlong, Guizhou	草丛 Grass	亚热带季风气候 Subtropical monsoon	丘陵地红壤 Hilly land red soil	107°38'–108°12' E	26°17'–27°14' N	600–700	1,150	14	1,104.7
贵州兴义 Xingyi, Guizhou	灌木 Shrub and grass	亚热带季风性湿润气候 Humid subtropical monsoon	喀斯特地貌石灰土 Karst landform limestone soil	104°59'–105°41' E	24°55'–25°33' N	900–1,000	1,356.1	15.6	1,504.7
广西河池 Hechi, Guangxi	灌木 Shrub and grass	亚热带季风气候 Subtropical monsoon	喀斯特地貌石灰土 Karst landform limestone soil	104°51'–104°55' E	24°38'–25°23' N	800–900	1,516.7	16.8	1,616.2
广西田东 Tiandong, Guangxi	乔灌木 Arbor-bush-grass	亚热带季风气候 Subtropical monsoon	喀斯特地貌石灰土 Karst landform limestone soil	106°34'–109°09' E	23°41'–25°37' N	120–180	1,400	19.2	1,523.5
广西柳州 Liucheng, Guangxi	灌木 Shrub and grass	亚热带季风气候 Subtropical monsoon	河谷土山冲积土 Mountain valley alluvial soil	106°53'–107°26' E	23°16'–24°01' N	100–180	1,172.3	21.9	1,945.7
广西大化 Dahua, Guangxi	乔灌木 Arbor-bush-grass	亚热带季风气候 Subtropical monsoon	岩溶低山丘陵石灰土 Karst low mountain and hill limestone soil	108°50'–109°36' E	24°26'–24°50' N	130–170	1,334.3	20.2	1,680.8
广东连州 Lianzhou, Guangdong	灌木 Shrub and grass	亚热带季风气候 Subtropical monsoon	低山丘陵石灰土 Low mountain and hill limestone soil	107°09'–108°02' E	23°33'–24°22' N	201–230	1,461	19.9	1,945.7
湖南衡阳 Hengyang, Hunan	草丛 Grass	亚热带季风气候 Subtropical monsoon	岩溶低山丘陵石灰土 Karst low mountain and hill limestone soil	112°07'–112°47' E	24°37'–25°12' N	600	1,334.3	20.2	1,680.8
湖南慈利 Cili, Hunan	草丛 Grass	亚热带季风气候 Subtropical monsoon	丘陵紫色土 Hilly land purple soil	110°32'–113°16' E	26°07'–27°27' N	320	1,452	17.9	1,730.5
重庆巫山 Wushan, Chongqing	草丛 Grass	亚热带季风性湿润气候 Humid mid subtropical monsoon	低山坡地石灰土 Low mountain slope land limestone soil	110°27'–111°20' E	29°04'–29°41' N	580	1,390	16.8	1,563.3
湖北丹江 Danjiang, Hubei	灌木 Shrub and grass	亚热带季风性湿润气候 Humid mid subtropical monsoon	高山坡地石灰土 High mountain slope land limestone soil	109°11'–110°11' E	30°45'–32°28' N	700–800	1,041	18.4	1,112
			低山坡地石灰土 Low mountain and hill yellow cinnamon soil	110°47'–111°35' E	32°14'–32°58' N	320	834	15.9	1,950

湖北郧县 Yunxian, Hubei	灌木 Shrub and grass	北亚热带大陆性季风气候 North subtropical continental monsoon	低山丘陵黄泥土 Low mountain and hill yellow soil	110°07'–111°16' E	32°25'–33°16' N	350	816	15.9	1,984
湖北郧西 Yunxi, Hubei	灌木 Shrub and grass	北亚热带大陆性季风气候 North subtropical continental monsoon	低山坡地石灰土 Low mountain slope land limestone soil	109°25'–110°40' E	32°47'–33°16' N	580	769	15.4	1,874
河南淅川 Xichuan, Henan	禾灌木 Arbor-bush-grass	北亚热带向暖温带过渡的季风性气候 Monsoon climate of north sub-tropical transition to warm temperate	低山丘陵黄棕壤土 Low mountain and hill yellow brown soil	110°58'–111°53' E	32°55'–33°23' N	567	817.3	15.7	1,994.4
河南西峡 Xixia, Henan	灌木 Shrub and grass	暖温带大陆性季风气候 Warm temperate continental monsoon	低山丘陵棕壤土 Low mountain and hill brown soil	110°01'–111°44' E	33°05'–33°48' N	567	650	13.9	2,354.3
陕西洋县 Yangxian, Shaanxi	草丛 Grass	北亚热带大陆性季风气候 North subtropical continental monsoon	低山丘陵黄棕壤土 Low mountain and hill yellow brown soil	107°11'–108°33' E	33°02'–33°43' N	675	839.7	14.5	1,752.2

壤、经纬度、海拔、年降水量、年平均温度、日照时数等方面,分析其主要生境特征。

1.2 主要经济性状

1.2.1 大田栽培实验

实验地位于湖南省长沙市芙蓉区湖南农业大学耘园基地,属中亚热带季风性湿润气候。多年平均气温为16.8–17.2℃,多年平均降雨量1,400 mm,土壤为第四纪红色粘土母质发育成的红壤,土层厚度35 cm左右。将收集到的20份龙须草种质资源活体植株样本,采取分茺繁殖方式,将20份种质资源于同一大田栽培。实验于2010–2012年进行,初次定植时间为2010年3月下旬,每个小区面积18 m<sup>2</sup>,单行定植,行株距为33.3 cm × 66.6 cm,3次重复,共60个小区,随机区组排列。田间接邹冬生和喻夜兰(2011)开发的龙须草速生丰产栽培技术规程统一管理。

1.2.2 指标测定

2012年11月下旬,在田间测定不同种质资源龙须草的成熟新鲜叶片的倒三叶的叶长、叶宽(测定20株,取平均值,叶宽统一测定叶中部)(邹冬生和喻夜兰,2011;周仁杰等,2014)。选择不同种质资源的成熟新鲜叶片的倒三叶,用刷子将叶片上的杂质去除,取2 mm × 2 mm左右的中部叶脉(各取样部位保持一致),严格按照石蜡切片法(王静等,2011)程序制成样品。将样品在SEM-6380LV型扫描电子显微镜下观察照相并用显微镜测微尺测定纤维细胞胞壁厚度(T)、腔径(W)并计算壁腔比(2T/W)。每项指标重复测定20次,取平均值(邹冬生和喻夜兰,2011;周仁杰等,2014)。产量测定于2012年12月下旬进行,由于天气好,加上植株叶片已脱水枯黄,采取现场按重复小区分别收割(留茺15 cm刈割),即时称取鲜重。

1.3 数据分析

对调查区气候因子进行主成分分析,探讨龙须草种质资源分布的影响因素。主成分分析是利用少数几个互不相关的综合变量来尽可能地反映原来数据所含有的绝大部分信息的多元统计方法(杨志香等,2014;李蒙等,2014)。采用SPSS软件,选取年平均温度、年均降水量、海拔、纬度、经度、日照时数6个气候因子进行主成分分析。种质资源主要经济性状差异采用LSD多重比较法,采用Ward法进行聚类。

## 2 结果

### 2.1 龙须草种质资源主要生境特征

龙须草种质资源收集实地考察区域见表1,各地的主要生境特征见表2。从表2可知,龙须草群落主要以草丛、灌草、乔灌草3种形式存在,主要生长在地、丘陵地带。20份龙须草种质资源分布于22°–34° N、101°–114° E区域,经度、纬度相差幅度均在12°左右,分布区域相对比较集中。从海拔来看,龙须草种质资源收集区海拔高度在100–1,000 m,最低为广西田东,最高为贵州安龙,平均海拔460 m,显示龙须草比较适宜中低海拔区域。从温度来看,年平均气温在14–22℃,其中最低温度出现在贵州麻江、贵州黄平、河南西峡、陕西洋县等区域,年平均气温约14℃,贵州安龙、湖北丹江、湖北郧县、湖北郧西、河南淅川等地年平均温度也相对较低,约16℃,分布区域年平均温度最高的为云南元谋和广西田东,近22℃。龙须草对温度的适应范围大,在日平均气温大于22℃甚至达到50℃时也能生长,只是生长较慢或者受限,一般情况下只要气温不低于10℃的春、夏、秋季节都能生长(邹冬生和喻夜兰, 2011)。从年日照时数来看,收集区年日照时数介于1,104.7–2,624 h之间,其中河南西峡、云南金平、云南元谋的年日照时数分别达到2,354.3 h、2,397 h、2,624 h,其余地区都在2,000 h以下,日照时数最低值出现在贵州黄平和重庆巫山,约1,100 h。由此可见,龙须草对日照条件要求不高,国内大部分地区的日照条件都能满足其生长的需要。从降水量来看,收集区年平均降水量变化范围较大,在642–2,330 mm之间,平均降水量为1,175.3 mm,年均降水量最少的是云南元谋(642.2 mm)和河南西峡(650 mm),降水量最丰富的是云南金平(2,330 mm左右),说明龙须草生长对降水量有一定要求,在品种选育时需考虑。

### 2.2 龙须草种质资源收集区气候因子主成分分析

气候因子主成分分析结果见表3。当 $m = 3$ 时,主成分的累积贡献率达到了84.63%,说明少数几个因子能够代表原始因子所代表的大部分信息,因此主成分分析方法运用于龙须草分布区生境数据相关性分析是可行的(杨志香等, 2014; 李蒙等, 2014)。从分析结果来看(表3),第一主成分的贡献率是41.84%,主要指数是纬度(0.94)、年平均温度

(–0.76)、年降水量(–0.74),显示在纬度梯度的影响下,温度和降水量对龙须草的分布影响较大。第二主成分的贡献率是23.04%,主要指标是海拔(–0.72)和日照时数(0.64),显示了海拔和日照时数对龙须草分布也有重要影响。第三主成分的贡献率是19.76%,主要指标是日照时数(0.67)和经度(–0.66),说明配合经度的变化,日照时数对龙须草生长分布有着重要影响。其他主成分的贡献率仅占总贡献率的15.37%,说明对最终结果没有太大影响。

### 2.3 龙须草种质资源主要经济性状比较

龙须草作为造纸原料的部分主要是叶片,因此就其经济性状而言主要体现在叶片的性状上。将龙须草种质资源主要经济性状比较结果列于表4。叶长是影响龙须草产量的重要因素(邹冬生和喻夜兰, 2011),不同种质资源差异极显著( $P < 0.01$ ),变幅为75.00–107.83 mm,平均89.51 mm,湖北丹江种质最长,云南元谋种质最短。而从叶宽来看,不同龙须草种质资源间虽存在差异,但不显著,叶宽变幅为0.23–0.47 mm,平均宽度0.37 mm。

从表4中还可以看出,龙须草种质资源平均产量7.92 t/ha,其中单位面积产量最高的为广西河池,达到10.94 t/ha,最低的为重庆巫山,仅为4.69 t/ha。方差分析显示,龙须草种质资源之间的产量达到极显著差异( $P < 0.01$ )。多重比较(LSD)显示,广西河池、广西田东、河南淅川、云南金平、陕西洋县、贵州安龙、湖北郧县、广西大化、湖北丹江、贵州麻江、广西柳城等种质资源产量之间差异不显著,产量相对较高。按单位面积产量高低排序:广西河池>广西田东>河南淅川>云南金平>陕西洋县>贵州安龙>湖北郧县>广西大化>湖北丹江>贵州麻江>广西柳城>河南西峡>湖南慈利>湖南衡阳>贵州黄平>湖北郧西>贵州兴义>广东连州>云南元谋>重庆巫山。

龙须草叶片纤维细胞特征反映龙须草纤维自身的理化特征,能够为优化和选育优质龙须草提供依据。从表4中看出,龙须草种质资源的纤维细胞胞壁厚度变幅为1.80–4.80  $\mu\text{m}$ ,平均3.14  $\mu\text{m}$ ,湖南慈利种质最厚,云南元谋种质最薄;腔径变幅为0.80–12.10  $\mu\text{m}$ ,平均3.10  $\mu\text{m}$ ,广西柳城种质最长,贵州兴义种质最短;壁腔比变幅为0.30–5.64,平均2.95,贵州黄平种质最大,广西柳城种质最小。方差分析显示,龙须草种质资源之间的叶片纤维细胞胞壁厚度、腔径、壁腔比均存在极显著差异( $P < 0.01$ )。

表3 龙须草气候因子主成分分析  
Table 3 Principal component analysis of climatic factor to *Eulaliopsis binata*

主成分 Principal component	均值 Mean value	标准差 Standard deviation	Axis1	Axis2	Axis3	Axis4	Axis5	Axis6
年平均温度 Mean annual temperature	17.35	2.50	-0.76	0.39	0.02	-0.49	0.13	0.12
年均降水量 Mean annual precipitation	1,182.80	400.50	-0.74	-0.35	-0.32	0.43	0.19	0.12
海拔 Altitude	508.25	242.91	0.39	-0.72	0.45	-0.20	0.29	0.00
纬度 Latitude	28.08	4.02	0.94	0.22	0.10	0.10	-0.02	0.23
经度 Longitude	108.40	2.90	0.58	0.36	-0.66	-0.04	0.30	-0.07
日照时数 Sunshine hours	1,776.89	402.61	-0.16	0.64	0.67	0.30	0.19	-0.05
特征根 Characteristic root			2.51	1.38	1.19	0.57	0.27	0.09
贡献率 Contribution rate			41.84	23.04	19.76	9.43	4.43	1.51
累积贡献率 Cumulative contribution rate			41.84	64.88	84.63	94.06	98.49	100.00

表4 龙须草种质资源主要经济性状差异  
Table 4 Comparison of the main economic characters among the germplasm resources of *Eulaliopsis binata*

种源 Origin	叶片外形 Leaf shape		叶片纤维细胞解剖特征 Anatomical characteristics of leaf fibers			产量 Yield (t/ha)
	叶长 Leaf length (mm)	叶宽 Leaf width (mm)	胞壁厚度 Cell wall thickness (μm)	腔径 Cavity diameter (μm)	壁腔比 The ratio of wall to cavity	
云南元谋 Yuanmou, Yunnan	75.00±14.04bAB	0.23±0.04aA	1.80±0.58dC	1.80±0.41aA	2.89±1.26deD	5.34±1.85bcB
云南金平 Jinping, Yunnan	81.17±18.43bB	0.36±0.07aA	3.05±0.76cdC	1.40±0.53bB	4.36±0.41bcBC	9.53±0.32abAB
贵州麻江 Majiang, Guizhou	88.50±25.21bB	0.37±0.07aA	2.74±0.31dC	3.57±0.31bBC	1.55±0.28efE	7.98±2.86abAB
贵州黄平 Huangping, Guizhou	100.83±3.19abAB	0.37±0.10aA	3.41±0.53cdBC	1.21±0.66bBC	5.64±0.19aA	6.91±2.29bcAB
贵州安龙 Anlong, Guizhou	76.17±8.11bB	0.31±0.06aA	3.28±0.39cdBC	1.84±0.50cBC	3.76±0.99cCD	8.81±0.76abAB
贵州兴义 Xingyi, Guizhou	88.17±15.25bB	0.36±0.07aA	3.20±0.47cdC	0.80±0.21cdBC	4.00±0.88cC	6.37±1.52bcB
广西河池 Hechi, Guangxi	100.50±8.76abAB	0.42±0.07aA	2.04±0.64dC	1.30±0.42cdBC	3.14±0.22dD	10.94±3.47aA
广西田东 Tiandong, Guangxi	84.33±12.49bB	0.40±0.03aA	4.24±0.67bAB	4.90±1.89cdC	1.73±0.37efE	10.50±1.89abAB
广西柳城 Liucheng, Guangxi	95.50±6.29bB	0.33±0.06aA	1.80±0.44dC	12.10±3.12cdC	0.30±0.04fE	7.94±3.46abAB
广西大化 Dahua, Guangxi	78.50±13.93bB	0.47±0.04aA	2.38±0.62dC	4.48±1.72cdC	1.29±0.72efE	8.31±1.95abAB
广东连州 Lianzhou, Guangdong	94.83±14.91bB	0.44±0.08aA	4.10±1.16bcB	2.10±0.77cdC	3.90±0.53cCD	6.27±1.61bcB
湖南衡阳 Hengyang, Hunan	89.33±13.71bB	0.37±0.07aA	3.57±1.05cBC	2.30±0.59cdC	3.10±0.63dD	7.53±1.91bcAB
湖南慈利 Cili, Hunan	92.50±6.06bB	0.40±0.01aA	4.80±0.20aA	2.40±0.83cdC	4.00±0.44cC	7.56±2.01bcAB
重庆巫山 Wushan, Chongqing	85.83±9.52bB	0.38±0.56aA	1.95±1.06dC	2.15±1.92cdC	2.29±1.06eDE	4.69±0.20cB
湖北丹江 Danjiang, Hubei	107.83±18.07aA	0.36±0.04aA	3.83±0.94bcBC	1.60±0.43cdC	4.79±0.78bB	8.24±1.71abAB
湖北郧县 Yunxian, Hubei	83.67±14.14bB	0.32±0.04aA	3.90±0.87bcBC	3.50±1.21dC	2.23±0.26eDE	8.70±2.44abAB
湖北郧西 Yunxi, Hubei	107.00±18.16aAB	0.39±0.07aA	3.83±1.51bcBC	2.87±0.68dC	2.96±1.88deD	6.63±2.15bcAB
河南淅川 Xichuan, Henan	83.67±14.14bB	0.32±0.04aA	2.29±0.55dC	5.95±1.51dC	1.35±0.82efE	9.69±1.79abAB
河南西峡 Xixia, Henan	90.67±8.85bB	0.35±0.05aA	3.76±0.65bcBC	2.10±0.57dC	3.63±0.36cdCD	7.62±1.74bAB
陕西洋县 Yangxian, Shaanxi	86.17±17.02bB	0.36±0.05aA	2.89±0.75cdC	3.62±1.62dC	2.12±1.57eDE	8.89±1.07abAB
平均 Average	89.51	0.37	3.14	3.10	2.95	7.92

数据为平均值±标准差。同列数值后小写字母表示0.05显著性水平, 大写字母表示0.01显著性水平。  
Data is the mean plus or minus standard deviation. Different lower case letters within the same column show significant difference among different germplasm resources at 0.05 level. Different capital letters within the same column show significant difference among different germplasm resources at 0.01 level.

经多重比较(LSD)显示, 以上指标在不同龙须草种质资源间存在不同程度的差异。

2.4 龙须草种质资源主要经济性状聚类分析

将不同种质资源主要经济性状进行聚类分析, 如图1所示以阈值为15, 将20种龙须草分为3类。第1类: 陕西洋县、贵州麻江、湖北郧县、河南淅川、

广西田东、广西大化、云南金平、贵州安龙、广西河池9个种源, 叶长中等、胞壁厚度中等、腔径大、壁腔比偏小、产量高, 此类龙须草种质资源产量高、纤维品质较优, 可优先作为优良龙须草品种选育的对象。第2类: 河南西峡、湖南衡阳、贵州兴义、湖南慈利、广东连州、湖北郧西、湖北丹江、贵州黄

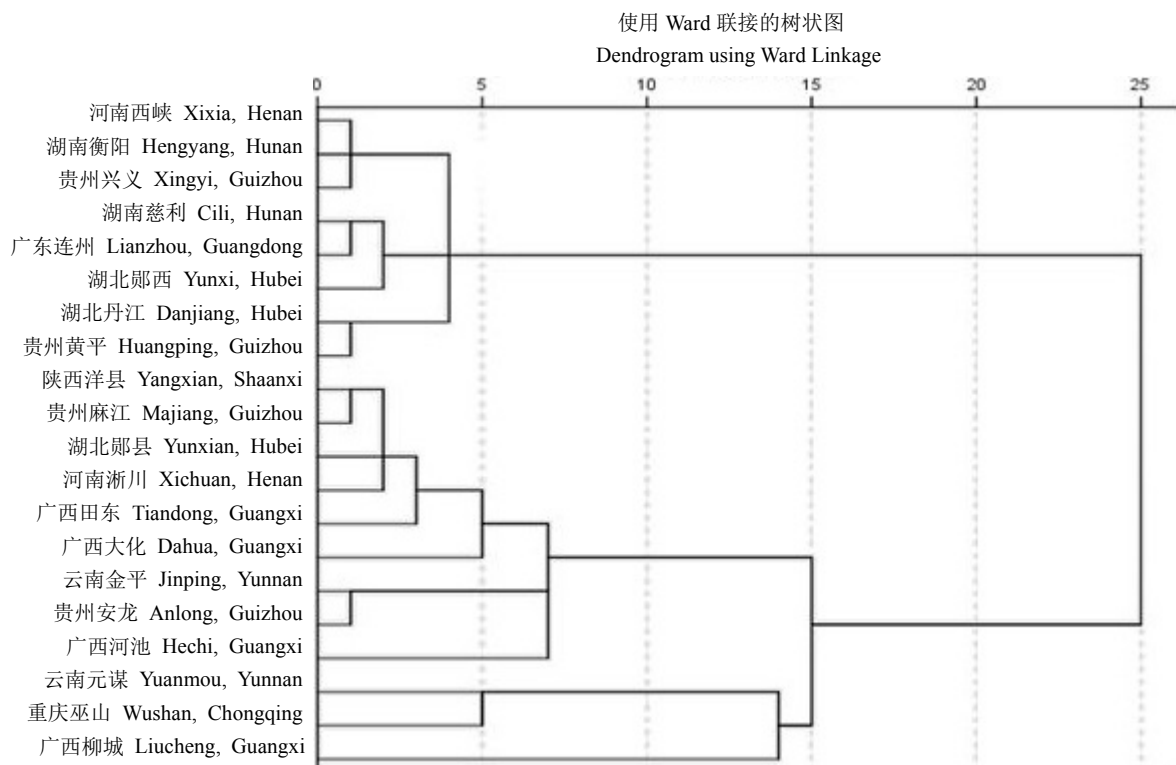


图1 龙须草种质资源主要经济性状聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of the main economic characters for the germplasm resources of *Eulaliopsis binata*

平8个种源, 叶片长、胞壁厚度较厚、腔径小、壁腔比大、产量中等。第3类: 云南元谋、重庆巫山、广西柳城3个种源, 叶片较短、叶片窄、胞壁很薄、壁腔比小、产量低。

### 3 结论

实地调查显示龙须草种质资源集中分布区主要生境特征呈现明显的差异。气候因子主成分分析表明, 影响龙须草分布的重要环境因子为年平均温度、平均降水量、海拔和日照时数, 其中受温度与降水量影响最大, 中国境内温度和降水量与纬度密切相关, 反映出龙须草呈现一定的纬度分布, 是龙须草人工栽培和引种中应重点考虑的因子。20份龙须草种质资源的叶长、胞壁厚度、腔径、壁径比、产量等主要经济性状呈现出极显著差异, 对其主要经济性状进行ward聚类分析可分为3类, 其中陕西洋县、贵州麻江、湖北郧县、河南淅川、广西田东、广西大化、云南金平、贵州安龙、广西河池9个种源, 产量高、纤维品质较优, 可优先作为优良龙须

草新品种培育的利用对象。

### 参考文献

- Dadhwal KS (1998) Performance of some plant species in limestone mine soil. *Indian Forester*, 124, 261–263.
- Huang Y, Zou DS, Wang H (2003) Studies on ecological benefits of *Eulaliopsis binata* planted in purple shale region. *Acta Prataculturae Sinica*, 12(4), 63–68. (in Chinese with English abstract) [黄宇, 邹冬生, 王华 (2003) 紫色页岩地区种植龙须草生态效益研究. *草业学报*, 12(4), 63–68.]
- Li M, Yi XG, Wang HC, Shang T, Gu Y, Wang XR (2014) Studies on the relationship between *Cerasus serrulata* distribution region and the environmental factors. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 38(9), 74–80. (in Chinese with English abstract) [李蒙, 伊贤贵, 王华辰, 商韬, 顾宇, 王贤荣 (2014) 山樱花地理分布与水热环境因子的关系. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 38(9), 74–80.]
- Liu AZ, Zou DS, Liu F (2011) Cadmium tolerance and enrichment characteristics of *Eulaliopsis binata*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22, 473–480. (in Chinese with English abstract) [刘爱中, 邹冬生, 刘飞 (2011) 龙须草对镉的耐受性和富集特征. *应用生态学报*, 22, 473–480.]
- Ma DW, Zou DS, Wu WG, Duan WJ (2008) Effects of *Eulali-*

- opsis binata* on water retaining of purple soil in Hunan. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 34, 150–153. (in Chinese with English abstract) [马定渭, 邹冬生, 吴万刚, 段文君 (2008) 龙须草对湖南紫色土荒山坡地蓄水性能的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 34, 150–153.]
- Sur PR (2001) Taxonomic review of the genus *Eulaliopsis* Honda (Poaceae) in India. Journal of Economic & Taxonomic Botany, 25, 374–378.
- Wang J, Zuo X, Huang ZW (2011) Improvement and application of plant paraffin sectioning. Anhui Agricultural Science Bulletin, 17(11), 36–39. (in Chinese with English abstract) [王静, 左幸, 黄正文 (2011) 常规植物石蜡制片技术的改进及应用. 安徽农学通报, 17(11), 36–39.]
- Yang ZX, Zhou GS, Yin XJ, Jia BR (2014) Geographic distribution of *Larix gmelinii* natural forest in China and its climatic suitability. Chinese Journal of Ecology, 33, 1429–1435. (in Chinese with English abstract) [杨志香, 周广胜, 殷晓洁, 贾丙瑞 (2014) 中国兴安落叶松天然林地地理分布及其气候适宜性. 生态学杂志, 33, 1429–1435.]
- Yao JL, Hong L, Zhang YD, Hu CG, Luo BS (2004) Genetic diversity and classification of ecotypes of *Eulaliopsis binata* via morphological traits and AFLP markers. Scientia Agricultura Sinica, 37, 1699–1704. (in Chinese with English abstract) [姚家玲, 洪柳, 张友德, 胡春根, 骆炳山 (2004) 龙须草生态型的划分及其遗传差异的AFLP分析. 中国农业科学, 37, 1699–1704.]
- Zhang G, Guo G, Hu X (2010) Deep RNA sequencing at single base-pair resolution reveals high complexity of the rice transcriptome. Genome Research, 20, 646–654.
- Zhou RJ, Yu H, Zou DX, Luo YW, Qiao NQ, Yu YL (2014) Comparative study of leaf fiber cells of seven different ecological *Eulaliopsis binata*. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 42, 2841–2842, 2867. (in Chinese with English abstract) [周仁杰, 于辉, 邹登相, 罗毅文, 乔匿戡, 喻夜兰 (2014) 7个不同生态型龙须草纤维细胞的比较研究. 安徽农业科学, 42, 2841–2842, 2867.]
- Zou D, Zhu YF, Yu YL, Jian Y, Dai J (2012) Comparison of photosynthesis abilities and photosynthetic pigment of leaf among populations of *Eulaliopsis binata*. Hunan Agricultural Sciences, (17), 35–39. (in Chinese with English abstract) [邹典, 朱育锋, 喻夜兰, 简燕, 戴菁 (2012) 龙须草居群间叶片光合性能与光合色素比较研究. 湖南农业科学, (17), 35–39.]
- Zou DS, Rong XM, Hu SP, Zhou Q, Hou CS (2000) Cultivation method for seedling production of *Eulaliopsis binata*. Acta Prataculturae Sinica, 9(3), 43–47. (in Chinese with English abstract) [邹冬生, 荣湘民, 胡颂平, 周青, 侯昌生 (2000) 龙须草壮苗培育技术研究. 草业学报, 9(3), 43–47.]
- Zou DS, Yang SY, Jiang JA, Hu SP, Rong XM, Zhou Q (1999) Comparisons of productive properties among various varieties of *Eulaliopsis binata*. Journal of Hunan Agricultural University, 25, 366–369. (in Chinese with English abstract) [邹冬生, 阳树英, 江巨鳌, 胡颂平, 荣湘民, 周青 (1999) 龙须草不同品种间生产性能比较研究. 湖南农业大学学报, 25, 366–369.]
- Zou DS, Yu YL (2011) Research on Growing Ecology of *Eulaliopsis binata* and Its Application. Hunan Science & Technology Press, Changsha. (in Chinese) [邹冬生, 喻夜兰 (2011) 龙须草生育生态学研究与应用. 湖南科学技术出版社, 长沙.]

(责任编辑: 杨庆文 责任编辑: 时意专)