

---

## 基于表型性状的蒙古栎种源遗传多样性分析

李海霞<sup>1</sup>, 白卉<sup>2</sup>, 王艳敏<sup>3</sup>, 李静<sup>4</sup>, 李正华<sup>5</sup>, 郭成博<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> 黑龙江省林业科学研究所 黑龙江省速生林木培育重点实验室  
黑龙江 哈尔滨  
[lsbqf@163.com](mailto:lsbqf@163.com)

**摘要**：以黑龙江省带岭林业局蒙古栎种质资源为研究对象，通过测定 8 个表型性状，采用遗传多样性分析、聚类分析和主成分分析对 25 个蒙古栎种源进行遗传多样性评价。结果表明：25 个种源 8 个表型性状的遗传多样性指数 ( $H'$ ) 为  $0.81 \sim 1.93$ ，变异系数为  $13.66\% \sim 66.72\%$ 。 $H'$  最高的为叶长，变异系数最高的为当年生枝条长度。当年生枝条长度与叶片数量、叶面积与叶长叶宽、叶形指数与叶柄长度都呈极显著正相关 ( $\text{Sig.} < 0.01$ )；叶形指数与叶宽、叶面积呈极显著负相关 ( $\text{Sig.} < 0.01$ )。聚类分析将 25 个种源分成 3 类，其中第Ⅲ类叶长、叶宽、叶脉数、叶面积显著高于其他两类 ( $\text{Sig.} < 0.05$ )。主成分分析提取的 3 个主成分累计贡献率达 83.68%，根据综合评价模型，计算综合得分最高的种源为东方红种源，其次是汪清、新青、临江、穆棱种源，最低的是白石砬子种源。该结果为蒙古栎优良种质资源的选育和推广提供了重要依据。

**监测**: 蒙古栎, 表型性状, 多样性指数, 遗传多样性分析, 综合评价

УДК 582  
EDN JQLJXZ  
<https://doi.org/10.22450/978-5-9642-0639-2-127-141>

## Анализ генетического разнообразия дуба монгольского на основе фенотипических признаков

Ли Хайся<sup>1</sup>, Бай Хуэй<sup>2</sup>, Ван Яньминь<sup>3</sup>,  
Ли Цзин<sup>4</sup>, Ли Чжэнхуа<sup>5</sup>, Го Чэнбо<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Институт лесного хозяйства провинции Хэйлунцзян  
Ключевая лаборатория быстрорастущего лесоразведения  
провинции Хэйлунцзян, провинция Хэйлунцзян, Харбин, Китай  
[lsbqf@163.com](mailto:lsbqf@163.com)

**Аннотация.** Генетическое разнообразие 25 образцов происхождения дуба монгольского (*Quercus mongolica*) было оценено с помощью анализа генетического разнообразия, кластерного анализа и анализа главных компонент на основе 8 фенотипических признаков. Результаты показали, что индекс генетического разнообразия по 8 фенотипическим признакам у 25 видов варьировал от 0,81 до 1,93, а коэффициент вариации – от 13,66 до 66,72 %. Наблюдались очень значительные положительные корреляции между длиной ветви и количеством листьев, площадью листа и длиной листа, шириной листа. Листовой индекс и длина черешка также показали очень значительную положительную корреляцию. В тоже время индекс листа и ширина листа имели крайне значительную отрицательную корреляцию с площадью листа. 25 сортов были разделены на 3 группы в соответствии с кластерным анализом. Длина листа, ширина листа, количество жилок и площадь листа в группе II были значительно выше, чем в других группах. Были выделены три главных компонента, а суммарный коэффициент вклада достиг 83,68 %. Результаты данного исследования заложили важную основу для селекции и продвижения лучших ресурсов зародышевой плазмы *Quercus mongolica*.

**Ключевые слова:** дуб монгольский, фенотипические признаки, индекс разнообразия, анализ генетического разнообразия, комплексная оценка

### Analysis of the genetic diversity of *Quercus mongolica* based on phenotypic features

**Li Hai-xia<sup>1</sup>, Bai Hui<sup>2</sup>, Wang Yan-min<sup>3</sup>,  
Li Jing<sup>4</sup>, Li Zheng-hua<sup>5</sup>, Guo Chengbo<sup>6</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Heilongjiang Forest Institute

Key Laboratory of Fast-Growing Tree Cultivating of Heilongjiang Province  
Heilongjiang Province, Harbin, China

[lsbqf@163.com](mailto:lsbqf@163.com)

**Abstract.** The genetic diversity of 25 samples of the origin of *Quercus mongolica* was assessed using genetic diversity analysis, cluster analysis and principal component analysis based on 8 phenotypic traits. The results showed that the index of genetic diversity for 8 phenotypic traits in 25 species ranged from 0.81 to 1.93, and the coefficient of variation ranged from 13.66 to 66.72%. There were very significant positive correlations between the length of the branch and the number of leaves, leaf area and leaf length, leaf width. Leaf index and petiole length also showed a very significant positive correlation. At the same time, the leaf index and leaf width had an extremely significant negative correlation with the leaf area. 25 varieties were divided into 3 groups according to cluster analysis. Leaf length, leaf width, number of veins and leaf area in group II were significantly higher than in other groups. Three main components were identified, and the total contribution coefficient

reached 83.68%. The results of this study have laid an important foundation for the selection and promotion of the best germplasm resources of *Quercus mongolica*.

**Keywords:** *Quercus mongolica*, phenotypic features, diversity index, analysis of genetic diversity, comprehensive assessment

蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 是我国东北地区和华北山地天然次生林的主要成林树种，作为东北林区重要用材树种，广泛分布于大、小兴安岭、张广才岭及三江平原 [1, 2]。由于其木材坚硬耐腐、纹理美观，常被用做建筑材料、制造高级家具，是优质的经济用材 [3, 4]；有研究显示，蒙古栎叶片、树皮具有清热解毒的功效，有很高药用价值，在药用方面有很大的开发潜力[5-7]；再者，蒙古栎作为次生林中的优势树种，根系发达，适应性强、抗性强，在涵养水源、维持地域生态平衡和生态系统稳定中发挥重要作用，所以蒙古栎是一种多用途生态型用材树种 [8-10]，具有很大的研究和开发利用价值。

目前，由于蒙古栎分布区内生态环境差异较大，使得同一树种在不同的生态环境下生长差异较大，对于优质蒙古栎种质资源的评价就尤为重要 [11, 12]。种质资源遗传多样性研究中，基于表型性状的评价分析是最经济、最直接和最快速的方法。关于蒙古栎遗传变异的研究，张桂芹 [13] 研究了不同种源蒙古栎生长性状变异情况，结果发现这种变异主要是由遗传因素引起的。黄秦军 [14] 研究了 5 个种源苗期生长生理的差异，结果显示遗传资源变异丰富。王娜 [15] 研究了 6 个蒙古栎天然种群的表型性状变异，发现不同种群间同一表型性状的变异不同。

本研究以 25 个蒙古栎种源为材料，以当年生枝长、叶长、叶宽、叶形指数、叶柄长、叶片数量、叶脉数及叶片面积等 8 个指标为原始指标体系，采用变异系数、相关性分析、聚类分析、主成分分析进行蒙古栎表型性状综合评价，旨在建立蒙古栎表型性状综合评价体系，筛选优良蒙古栎种源，为选育优异蒙古栎种质资源提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

黑龙江省带岭林业局蒙古栎种源试验林于 2001 年春季造林，完全随机区组设计，3 个重复小区，初植密度为  $1 \times 0.75$  m, 2009 年隔一行伐一行，现株行距  $1 \times 1.5$  m. 供试的 25 个蒙古栎种源分别为带岭、绥陵、沾河、嘉荫、乌伊岭、新青、美溪、苇河、东京城、绥阳、穆陵、东方红、白石山、松花湖、磐石、集安、汪清、临江、长白市、敦化、抚顺、湾甸子、白石砬子、岫岩、宽甸，25 个种源共保存 361 株样树。

### 1.2 试验方法

每个种源随机选取长势良好的样树各 15 株，每一样株在不同方位随机选取 5 个小枝，调查当年生叶片数量，测量当年生枝条长度；选取 30 片健康、无病虫害且完整的叶片测量叶片长度、叶片宽度、叶柄长度；利用叶片长度和叶片宽度计算叶形指数，调查叶脉对数；用 ImageJ 软件测量叶片面积。

多样性指数：蒙古栎各数量性状根据平均数、标准差分为 10 级，从第 1 级  $X_i < (\bar{x} - 2s)$  到第 10 级  $X_i \geq (\bar{x} \pm 2s)$ ，每  $0.5s$  为 1 级，每一级的相对频率用于计算多样性指数 [16–20].

### 1.3 数据处理

利用 Excel 2021 进行数据整理；利用 Origin Pro 2021 对 8 个表型性状进行相关性分析，利用 IBM SPSS Statistics 26 对各表型性状进行聚类分析与主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 25 个种源表型性状观测结果

25 个种源的当年生枝长、叶长、叶宽、叶形指数、叶柄长、叶片数量、叶脉数及叶片面积等表型性状测量结果见表 1，对其进行方差分析，结果显

示, 蒙古栎表型性状叶长、叶宽、叶形指数、叶柄长、叶面积各种源间均有显著差异 ( $\text{Sig.} < 0.05$ ) , 而当年生枝条长度、叶片数量、叶脉数种源间差异不显著 ( $\text{Sig.} > 0.05$ ) 。东方红种源叶长 (17.94 cm) 、叶面积 ( $132.76 \text{ cm}^2$ ) 均最大, 显著大于其余 24 个种源。宽甸种源的叶柄长度和叶形指数最大, 显著高于其余 24 个种源。

## 2.2 25 个种源表型性状的变异分析与遗传多样性指数

供试 25 个蒙古栎种源 8 个表型性状的变异系数见表 2. 由表 2 可见, 当年生枝条长度变异系数最大 (66.72%) , 其次为叶柄长 (39.42%) 、叶面积 (28.61%) 、当年生叶片数量 (24.81%) 、叶形指数 (19.95%) 、叶宽 (19.29%) 、叶脉数 (16.18%) 、叶长 (13.66%) 。

不同种源同一性状的变异系数差异程度不同。当年生枝条长度、叶长、叶宽、叶形指数、叶柄长、当年生叶片数量、叶脉数、叶面积的变异系数分别  $34.97\% \sim 110.88\%$  、  $8.54\% \sim 20.91\%$  、  $11.92\% \sim 29.03\%$  、  $8.34\% \sim 100.71\%$  、  $24.61\% \sim 74.09\%$  、  $12.63\% \sim 48.03\%$  、  $8.41\% \sim 21.32\%$  、  $19.02\% \sim 40.98\%$  , 说明不同蒙古栎种源的表型性状变异较大。在 25 个种源中, 穆棱种源各表型性状的平均变异系数最小, 仅为 21.53%; 而宽甸种源各表型性状的平均变异系数最大, 为 43.93%。

为了研究表型性状的遗传多样性和分布频率的平衡性, 采用 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 比较 25 个蒙古栎种源的 8 个表型性状的多样性指数。由表 2 可知, 8 个表型性状的遗传多样性指数 ( $H'$ ) 差异较大, 变化在 0.81 (叶宽) 和 1.93 (叶长) 之间。叶长 (1.93) 、叶脉数 (1.89) 、叶面积 (1.86) 、当年生叶片数量 (1.85) 、当年生枝条长度 (1.76) 的  $H'$  值居表型性状前列, 说明这些表型性状在种质资源中具有较高的遗传多样性。

Экологическая защита и восстановление лесов и степей  
Ecological protection and restoration of forests and steppes

表1 25个蒙古栎种质类型性状测量结果

种源	编号	当年生枝条长 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	叶形指数	叶柄长 (cm)	当年生叶片数量	叶片数(对)	叶面积 (cm <sup>2</sup> )
带岭	H1	5.90±0.68	16.12±0.76	11.38±1.58	1.45±0.13	0.50±0.08	6 ±1.40	10±0.87	109.57±19.31
绥棱	H2	5.04±0.09	15.15±0.10	11.66±0.94	1.33±0.10	0.49±0.05	5 ±0.90	11±0.28	103.44±8.10
沾河	H3	4.52±0.35	15.97±1.39	9.19±0.76	1.75±0.01	0.64±0.14	5 ±0.00	10±0.35	84.71±13.15
黑河	H5	6.29±2.54	16.06±1.98	10.71±2.15	1.54±0.15	0.55±0.23	7 ±1.58	10±0.93	96.64±33.48
乌伊岭	H6	5.17±2.53	16.32±1.39	11.69±2.96	1.46±0.23	0.57±0.12	5 ±1.15	9±1.27	108.60±33.28
新青	H7	4.56±1.47	16.65±1.82	13.03±1.27	1.29±0.02	0.54±0.09	5 ±0.12	10±2.12	129.61±14.81
美溪	H8	8.16±3.8	15.18±1.13	10.24±0.98	1.52±0.07	0.50±0.10	6±1.85	9±1.75	89.58±15.96
苇河	H9	5.38±2.81	14.54±0.72	9.79±0.36	1.51±0.12	0.40±0.10	6±0.90	10±0.75	78.11±0.88
东京城	H10	6.25±3.05	13.58±0.70	8.86±1.58	1.57±0.19	0.66±0.23	6±1.10	9±1.16	67.03±12.85
绥阳	H11	5.74±0.64	15.79±1.07	10.78±0.73	1.49±0.16	0.58±0.09	5±0.33	9±1.42	95.02±8.21
穆棱	H12	7.29±2.23	16.51±0.99	11.14±0.03	1.50±0.09	0.53±0.07	6±0.50	10±0.45	103.23±4.66
东方红	H13	8.56±3.15	17.94±0.09	12.68±0.65	1.44±0.10	0.56±0.04	6±0.90	12±0.90	132.76±9.25
白石山	J4	11.34±5.39	15.35±0.91	9.46±0.70	1.65±0.04	0.47±0.14	7±1.78	10±1.31	82.81±10.91
松花湖	J14	6.85±4.55	16.25±3.41	11.28±2.37	1.45±0.02	0.47±0.07	6±0.15	10±1.25	106.35±43.41
磐石	J15	6.01±2.21	13.73±0.25	9.16±0.19	1.51±0.01	0.49±0.04	5±0.40	11±0.25	72.11±3.03
集安	J16	6.27±2.73	14.01±1.95	9.48±1.28	1.49±0.08	0.47±0.05	6±0.46	10±1.01	80.58±23.29
汪清	J17	13.14±6.66	15.31±0.58	10.39±0.31	1.50±0.07	0.58±0.06	8±3.42	10±1.33	94.47±4.83
临江	J18	11.64±5.57	15.77±1.51	9.69±0.43	1.64±0.20	0.46±0.08	8±1.73	10±1.40	82.87±7.67
长白市	J19	12.35±3.19	14.59±0.63	9.80±0.34	1.50±0.04	0.40±0.04	6±0.13	10±1.14	79.14±2.36
敦化	J25	6.02±2.51	14.04±1.71	9.43±1.02	1.52±0.03	0.65±0.16	6±0.60	10±1.57	78.99±21.55
弯甸子	J20	10.46±3.46	14.64±2.10	9.22±0.88	1.80±0.44	0.46±0.13	8±0.15	9±1.48	75.26±12.18
白石砬子	J21	3.85±1.92	14.63±1.54	9.61±1.25	1.54±0.08	0.39±0.01	5±0.62	9±1.47	79.37±15.65
宽甸	J22	7.38±2.06	14.70±0.22	8.34±1.34	2.23±0.72	1.02±0.37	5±1.20	11±1.70	71.66±8.39
岫岩	J23	8.22±3.08	16.08±0.45	10.51±0.06	1.55±0.05	0.49±0.16	7±1.80	9±0.75	92.60±2.65
抚顺	J24	8.29±2.56	14.76±0.43	9.99±1.37	1.54±0.25	0.47±0.12	5±1.00	9±0.90	80.21±11.00

*Oхрана и рациональное использование лесных ресурсов*  
*Protection and rational use of forest resources*

表2 25个蒙古栎种源表型性状的变异系数与遗传多样性指数

种源	编号	各性状变异系数 (%)							均值	
		当年生枝条长	叶长	叶宽	叶形指数	叶柄长	当年生叶片数量	叶脉数		
带岭	H1	47.12	11.92	21.25	14.64	40.00	26.05	15.09	29.97	25.75
绥棱	H2	35.56	11.00	19.74	15.58	32.96	26.63	11.04	24.76	22.16
沾河	H3	77.54	16.76	17.14	11.03	40.32	15.17	12.61	29.13	27.46
嘉荫	H5	67.68	15.76	23.85	15.01	63.98	32.55	20.70	38.17	34.71
乌伊岭	H6	58.48	14.46	28.28	19.79	33.01	26.75	17.46	39.51	29.72
新青	H7	62.76	18.95	18.60	18.13	24.61	15.31	21.32	25.75	25.68
美溪	H8	69.82	17.65	22.25	18.82	37.07	32.20	19.82	38.90	32.07
苇河	H9	75.27	8.83	16.35	13.18	39.94	24.88	12.34	19.02	26.23
齐京城	H10	72.04	11.09	19.73	15.43	59.81	25.31	15.71	23.97	30.39
绥阳	H11	34.97	15.04	17.18	15.37	31.50	12.63	20.48	27.50	21.83
绥棱	H12	57.06	13.19	14.36	13.06	28.24	12.86	11.05	22.46	21.53
东方红	H13	86.61	13.32	17.20	14.96	27.71	29.98	13.38	27.27	28.80
白石山	J4	54.61	10.14	16.80	12.62	37.04	35.56	17.06	23.98	25.98
松花湖	J14	89.50	20.91	22.48	9.67	26.57	14.33	15.08	40.98	29.94
磬石	J15	81.63	8.54	11.92	8.34	30.99	19.91	8.41	19.13	23.61
集安	J16	70.49	19.70	21.99	13.07	34.38	20.97	17.35	38.94	29.61
汪清	J17	70.57	10.66	16.85	12.85	26.03	48.03	19.09	35.77	29.98
临江	J18	82.21	14.15	12.97	14.19	34.35	29.34	16.44	22.99	28.33
长白市	J19	65.89	12.91	16.46	9.62	40.47	21.71	15.55	24.64	25.90
敦化	J25	56.92	15.34	19.51	14.38	40.70	19.57	18.99	32.90	27.29
弯甸子	L20	56.51	14.75	21.04	75.73	42.18	19.47	16.73	22.21	33.58
白砬子	L21	68.69	13.28	19.06	11.27	58.94	19.32	19.76	31.13	30.18
宽甸	L22	64.77	11.25	29.03	100.71	74.09	29.79	18.92	22.89	43.93
岫岩	L23	80.64	12.86	16.05	10.67	41.39	36.89	13.36	24.28	29.51
抚顺	L24	80.65	9.09	22.12	20.58	39.11	25.00	16.77	28.93	30.28
均值		66.72	13.66	19.29	19.95	39.42	24.81	16.18	28.61	—
多样性指数		1.76	1.93	0.81	1.50	1.73	1.85	1.89	1.86	—

### 2.3 25个种源表型性状的相关性分析

由图 1 可知, 25 个蒙古栎种源表型性状间存在一定的相关关系。其中, 当年生枝条与叶片数量存在着显著的正相关关系 (Sig.<0.01)。叶长与叶宽、叶面积 2 个性状存在着显著正相关关系 (Sig.<0.01)。叶宽与叶面积存在显著的正相关关系, 而与叶形指数之间表现为显著负相关关系 (Sig.<0.01)。叶形指数叶柄长度存在呈极显著正相关关系 (Sig.<0.01), 而与叶面积表现为显著负相关关系 (Sig.<0.01)。综上所述, 各蒙古栎种源相关性状大多关系紧密, 当其中一个性状指标发生变化时可能会引起其他性状指标的变化。

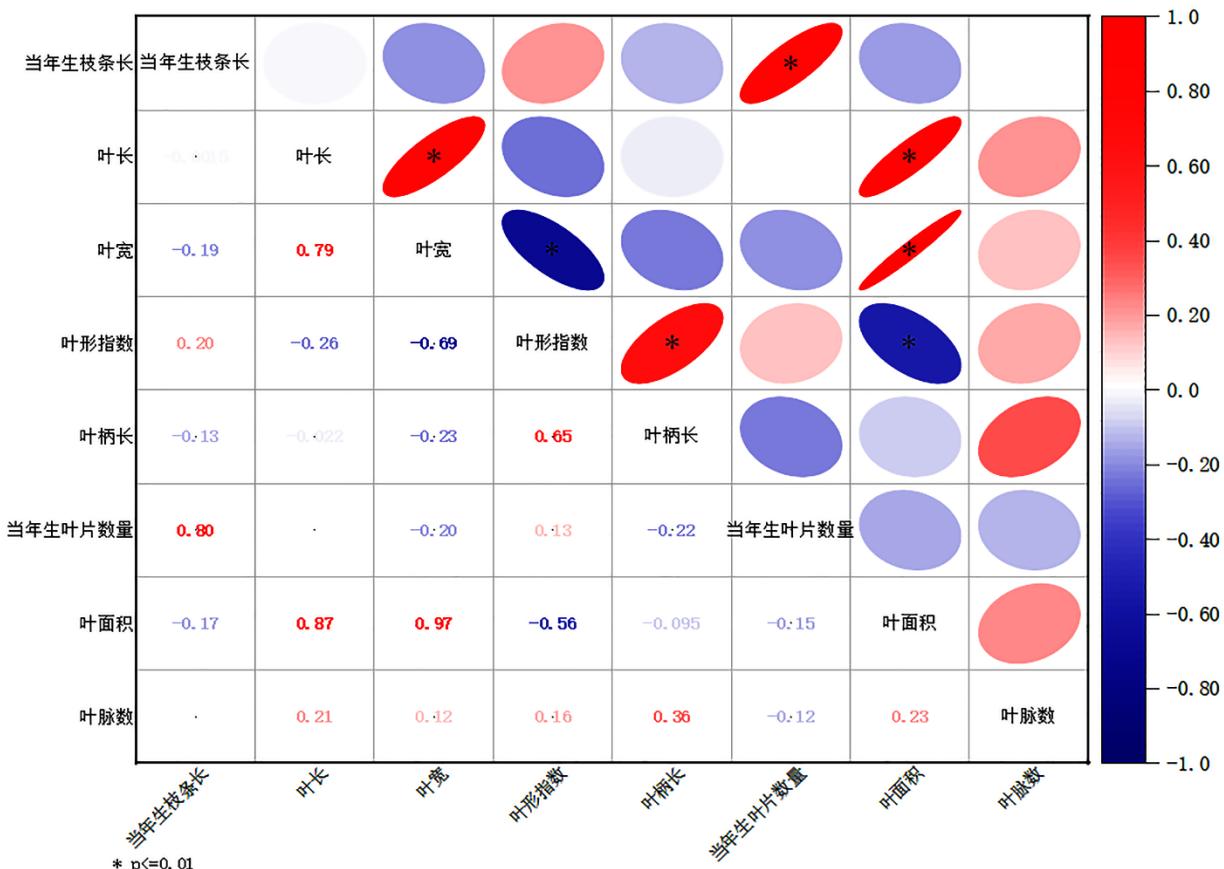


图 1 8个表型性状相关性分析

### 2.4 25个种源表型性状的聚类分析

利用 IBM SPSS Statistics 26 对 25 个蒙古栎种源进行系统聚类, 结果见图 2。25 个蒙古栎种源在欧式距离 10.0 处可分为 3 个类群, 其中第 I 类群包括白石山、

临江、长白市、弯甸子、苇河、敦化、集安、白石砬子、抚顺、沾河、磐石、宽甸、东京城 (J4、J18、J19、L20、H9、J25、J16、L21、L24、H3、J15、L22、H10) 等种源, 这一类的特点是叶长、叶宽、叶面积最小, 而叶形指数显著大于其他两类 ( $\text{Sig.} < 0.05$ )。

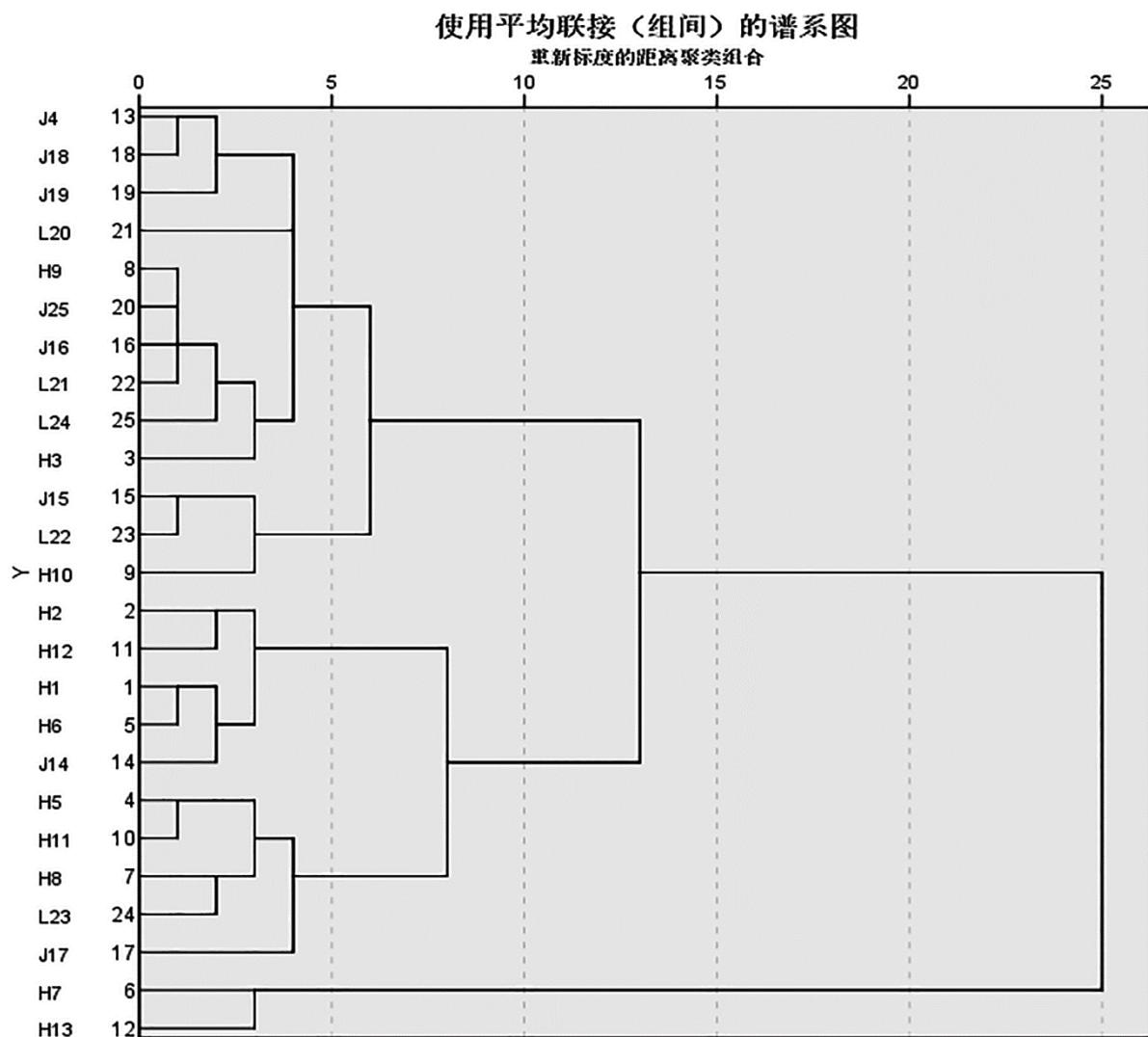


图 2 基于表型性状的 25 个蒙古栎种源的聚类分析结果

第 I 类群在欧式距离 5 处进一步聚为 2 小类。第 1 小类包括白石山、临江、长白市、弯甸子、苇河、敦化、集安、白石砬子、抚顺、沾河 (J4、J18、J19、L20、H9、J25、J16、L21、L24、H3), 共同特征为当年生枝条较长, 叶形指数小于第 2 小类。第 2 小类包括磐石、宽甸、东京城 (J15、L22、

H10），共同特征为叶柄长较长。第Ⅱ类群包括绥棱、穆棱、带岭、乌伊岭、松花湖、嘉荫、绥阳、美溪、岫岩、汪清（H2、H12、H1、H6、J14、H5、H11、H8、L23、J17），这一类的叶脉数最少，其余指标值介于第Ⅰ类和第Ⅲ类之间。这一类在欧式距离5处进一步聚为2小类。第1小类包括绥棱、穆棱、带岭、乌伊岭、松花湖（H2、H12、H1、H6、J14），共同特征是当年生枝条长度较短，叶片面积较大。第2小类包括嘉荫、绥阳、美溪、岫岩、汪清（H2、H12、H1、H6、J14）。第Ⅲ类群包括新青和东方红种源（H7、H13），主要特点是叶长、叶宽、叶脉数、叶面积显著高于其他两类（Sig.<0.05）。

## 2.5 25个种源表型性状的主成分分析

供试蒙古栎种源表型性状变异的主成分分析结果见表3、表4、表5。结果显示：蒙古栎种源表型性状变异的第1、第2、第3主成分的累计贡献率达到了83.68%（表3）。

表3 主成分特征值和贡献率

成分	初始特征值			旋转载荷平方和		
	总计	方差百分比(%)	累积(%)	总计	方差百分比(%)	累积(%)
1	3.311	41.388	41.388	3.118	38.973	38.973
2	1.835	22.940	64.329	1.837	22.961	61.934
3	1.548	19.347	83.675	1.739	21.742	83.675
4	0.744	9.302	92.977	—	—	—
5	0.258	3.229	96.206	—	—	—
6	0.242	3.031	99.236	—	—	—
7	0.051	0.640	99.876	—	—	—
8	0.010	0.124	100.000	—	—	—

表明前3个主成分反映了原始变量的绝大部分信息。因此提取前3个主成分代替原8个指标评价种源差异，主成分特征向量的绝对值越大，其对该变量的代表性越大。在第1主成分中，权重系数较大的是叶长、叶宽、叶面积，主要反映叶片大小指标；在第2主成分中，当年生枝条长度和叶片数量

权重系数较大, 主要反映生长量指标; 在第 3 主成分中, 叶柄长和叶脉数权重系数较大 (表 4)。

表 4 成分矩阵

性状	主成分		
	1	2	3
当年生枝条长度	-0.259	0.776	0.444
叶长	0.803	0.084	0.418
叶宽	0.981	0.036	0.038
叶形指数	-0.724	-0.229	0.535
叶柄长	-0.287	-0.615	0.612
叶片数量	-0.195	0.855	0.318
叶脉数	0.255	-0.251	0.603
叶面积	0.963	-0.013	0.221

以  $X_1 \sim X_8$  分别代表 8 个指标的标准化数值, 代入到主成分中, 获得 3 个主成分因子的得分公式如下:

$$F_1 = -0.259X_1 + 0.803X_2 + 0.981X_3 - 0.724X_4 - \\ 0.287X_5 - 0.195X_6 + 0.255X_7 + 0.963X_8,$$

$$F_2 = 0.776X_1 + 0.084X_2 + 0.036X_3 - 0.229X_4 - \\ 0.615X_5 + 0.855X_6 - 0.251X_7 - 0.013X_8,$$

$$F_3 = 0.444X_1 + 0.418X_2 + 0.038X_3 + 0.535X_4 + \\ 0.612X_5 + 0.318X_6 + 0.603X_7 + 0.221X_8$$

由于各个主成分方差贡献率不同, 所以对其评价时, 以各个主成分的贡献率为权重, 由主成分得分和对应的权重相乘求和构建综合评价函数, 得出综合评价模型如下:

$$F = 0.4946 F_1 + 0.2742 F_2 + 0.2312 F_3$$

其中,  $F$  为每个种源的综合评价得分,  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  为每个主成分得分。根据综合评价模型, 计算出不同蒙古栎种源综合得分和排序结果 (表 5)。从表 5 可以看出, 表型性状综合得分最高的东方红种源, 综合得分达到了

1.78, 综合得分最低的是白石砬子种源。

表 5 25 个蒙古栎种源综合评价

种源	编号	综合得分	排序	种源	编号	综合得分	排序
带岭	H1	0.32	8	松花湖	J14	0.34	7
绥棱	H2	0.07	12	磐石	J15	-0.66	23
沾河	H3	-0.17	16	集安	J16	-0.59	21
嘉荫	H5	0.36	6	汪清	J17	0.76	2
乌伊岭	H6	0.00	13	临江	J18	0.52	4
新青	H7	0.53	3	长白市	J19	-0.11	15
美溪	H8	-0.26	17	敦化	J25	-0.45	19
苇河	H9	-0.59	20	弯甸子	L20	-0.10	14
东京城	H10	-0.93	24	白石砬子	L21	-1.07	25
绥阳	H11	-0.27	18	宽甸	L22	0.31	9
穆棱	H12	0.45	5	岫岩	L23	0.14	11
东方红	H13	1.78	1	抚顺	L24	-0.63	22
白石山	J4	0.26	10	-	-	-	-

### 3 讨论

表型性状多样性分析是生物遗传多样性在形态学水平上的表现, 反映了植物自身遗传因素与外界环境共同作用的结果 [21]。表型性状分析是研究遗传多样性最直观、最简便的方法。通过表型性状遗传多样性分析, 不仅可以全面掌握种质资源信息, 挖掘特色资源, 还可以为下一步分子生物学遗传多样性提供可靠的数据参考。本研究通过对 25 个蒙古栎种源 8 个典型性状进行统计分析, 结果发现, 各种源间叶长、叶宽、叶形指数、叶柄长、叶面积差异显著, 而当年生枝条长度、叶片数量、叶脉数未表现出显著差异。李宁等人 [22, 23] 研究显示, 性状的变异系数越大, 则遗传稳定性越小, 越容易受到环境变化的影响。

Shannon-Wiener 多样性指数是用来判断生物群落结构变化或生态系统稳定性的指标, 多样性指数越大, 稳定性越高。本研究结果显示出了同样的规律, 8 个表型指标中当年生枝条长度变异系数最大, 最不稳定, 最容易受到环境的影响; 叶长的变异系数最小, 遗传多样性指数也最高, 稳定性也最高。

25 个种源中, 宽甸种源各表型性状的平均变异系数最大, 穆棱种源各表型性状的平均变异系数最小, 原因可能是在 25 个种源中, 宽甸种源纬度最低, 这一种源种植到高纬度地点, 最容易受环境的影响。

聚类分析结果显示, 25 个蒙古栎种源在欧氏距离为 10 处可分为 3 个类群, 其中第 I 类的特点是叶长、叶宽与叶面积最小, 而叶形指数显著大于其他两类; 第 II 类种源表型性状指标值介于第 I 类和第 III 类之间, 第 III 类的特点是叶长、叶宽、叶脉数、叶面积显著高于其他两类; 进一步明确了不同种源之间的遗传距离, 为蒙古栎种质资源创新奠定了基础。

运用主成分分析法提取了 3 个特征值大于 1 的主成分因子, 累计贡献率达到 83.675%, 可代表 25 个种源各性状遗传变异的主要信息, 以各主成分对应的贡献率为权重, 基于因子分析法对蒙古栎表型性状进行综合评价, 得到东方红、汪清、新青、临江、穆棱综合表现排名前 5 的优良种源。表型性状评价是研究遗传多样性最为直接有效的方法之一, 本研究中主要是利用数量性状进行评价, 建议在以后的研究中进一步从分子水平对其进行遗传多样性分析。

#### 4 结论

综上所述, 本研究采集了 25 个蒙古栎种源表型性状进行分析, 结果表明, 25 个蒙古栎种源表型性状存在丰富的变异。叶片面积、当年生枝条长度、叶柄长度可作为蒙古栎性状最主要和直观的观测性状。根据综合得分筛选出东方红、汪清、新青、临江、穆棱综合表现排名前 5 的种源, 为蒙古栎育种研究提供一定的参考依据。

#### 参考文献

1. 何亚婷, 何友均, 王鹏, 等. 不同经营模式对蒙古栎林土壤有机碳组分的长效性影响. 生态环境学报, 2023;32(1):11–17.

2. 许学锋. 蒙古栎扦插生根特性研究. 辽宁林业科技, 2020;1:43–45.
3. 李祉漪, 战昊, 张家榕, 等. 不同种源蒙古栎种子及其苗期生长性状变异研究. 西北林学院学报, 2023;38(1):73–79.
4. 张俊, 尚家辉, 程广有, 等. 蒙古栎生长性状种内变异规律初步研究. 北华大学学报(自然科学版), 2020;21(04):447–451.
5. 苏日娜, 莫德格玛, 鲍布日额. 蒙古栎的研究进展. 世界最新医学信息文摘, 2018;18(16):81–82.
6. Ilias M., El K., Nezha S. *In vitro* and *in vivo* antioxidant and anti-hyperglycemic activities of Moroccan oat cultivars. Antioxidants, 2017;6(4):102–105.
7. 袁红艳, 张晔, 王丹, 等. 桉树皮对脂多糖和 D-氨基半乳糖诱导败血症休克小鼠的保护作用. 时珍国医国药, 2011;22(12):2886–2887.
8. 丛沛桐, 王瑞兰. 三江平原蒙古栎次生林效应带生态功能模拟. 广东林业科技, 2007;23(1):14–17.
9. 李晓杰, 金慧, 赵莹, 等. 长白山区低密度中幼蒙古栎林生态恢复技术. 中国野生植物资源, 2014;33(5):31–32.
10. 谢立红, 黄庆阳, 曹宏杰, 等. 五大连池火山蒙古栎种群空间分布格局. 生态与农村环境学报, 2023;39(7):896–906.
11. 郝家臣, 曲晖, 张慧东, 等. 东北地区天然蒙古栎的起源和分布. 辽宁林业科技, 2023;1:50–52.
12. 于海媛, 郑军, 卢庆杰, 等. 蛟河市蒙古栎林资源现状分析与经营建议. 吉林林业科技, 2023;52(4):39–42.
13. 张桂芹, 刘跃杰, 姜秀煜, 等. 蒙古栎种源生长性状的遗传变异及优良种源选择. 东北林业大学学报, 2015;4:5–7,36.
14. 黄秦军, 黄国伟, 苏晓华, 等. 蒙古栎生长及生理特征的种源间差异. 林业科学, 2013;49(09):72–78.
15. 王娜, 杨会娜, 肖健. 蒙古栎主要种群表型性状变异分析及多样性研究. 林业与生态科学, 2023;38(3):269–274.
16. 张斌斌, 蔡志翔, 沈志军, 等. 观赏桃种质资源表型性状多样性评价. 中国农业科学, 2021;54(11):2406–2418.
17. 翟艺兰, 张楚磊, 楚爱香, 等. 二十七种槭属植物表型多样性分析. 浙江农业学报, 2023;35(11):2621–2635.
18. 王业社, 侯伯鑫, 索志立, 等. 紫薇品种表型多样性分析. 植物遗传资源学报, 2015;16(1):71–79.
19. 蔡翠萍, 汪书丽, 权红, 等. 藏药材喜马拉雅紫茉莉种质资源的形态多样性. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013;38(12):61–66.
20. 火艳, 招雪晴, 黄厚毅, 等. 观赏石榴表型遗传多样性分析. 浙江农林大学学报, 2020;37(5):939–949.

- 
21. 林存学, 杨晓华, 刘海荣. 东北寒地 96 份李种质资源表型性状遗传多样性分析. 园艺学报, 2020;47(10):1917–1929.
  22. 李宁, 王飞, 姚明华, 等. 国内外辣椒种质资源表型性状多样性及相关性分析. 辣椒杂志, 2015;13(1):8–13.
  23. 韩畅, 蒋琪, 付彦勇, 等. 线椒主要农艺性状的综合评价及分析. 辣椒杂志, 2020;18(4):8–15.

© 李海霞, 白卉, 王艳敏, 李静, 李正华, 郭成博, 2024