

65 份落羽杉材料表型性状分析及核心种质筛选

陈若男^{1,2}, 王紫阳^{1,①}, 於朝广¹, 杨颖¹, 殷云龙^{1,①}

[1. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园) 江苏省植物资源保护与利用重点实验室, 江苏 南京 210014;
2. 南京林业大学林草学院、水土保持学院, 江苏 南京 210037]

摘要: 为更好地保存、利用和评价落羽杉(*Taxodium distichum* (Linn.) Rich.) 种质资源, 以 65 份落羽杉为供试材料, 对其 11 个定性性状和 6 个定量性状进行多样性、相关性和聚类分析, 并筛选适宜的取样策略进行核心种质构建。结果表明: 定性性状的 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.23~1.42, 变异系数为 20.48%~132.99%; 定量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.94~2.06, 变异系数为 10.94%~20.00%。脱落性小枝长度与脱落性小枝宽度和针叶长度极显著正相关($P<0.01$), 针叶密度与脱落性小枝长度、脱落性小枝宽度和针叶长度均极显著负相关, 脱落性小枝宽度还与针叶长度和针叶夹角极显著正相关, 针叶夹角还与枝密度显著负相关。聚类分析结果显示: 65 份落羽杉可分为 4 个类群, 第 I 类群的落羽杉多具有抗赤枯病、秋季叶色呈棕红色等性状; 第 II 类群表现为脱落性小枝下垂、针叶夹角较大、落叶期早等; 第 III 类群表现为脱落性小枝长度中等或较长、针叶不在同一平面、芽开放期晚等; 第 IV 类群表现为枝密度和针叶密度较大等。筛选出“欧氏距离-优先取样法-可变类平均法-25% 取样比例”为构建核心种质的最佳策略, 采用此策略筛选出含 16 份落羽杉的核心种质, 均值差异百分率、方差差异百分率、极差符合率和变异系数变化率分别为 0.00%、17.65%、100.00% 和 119.88%, 符合核心种质的构建要求; 此外, 核心种质获得了更大的变异, 与原有种质有良好的异质性。综上所述, 供试 65 份落羽杉材料的表型多样性较为丰富, 筛选出的核心种质能够有效代表原有种质。

关键词: 落羽杉; 表型性状; 核心种质; 取样策略

中图分类号: Q944; S602.4; S791.34 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2025)04-0065-09
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2025.04.08

Phenotypic trait analysis and core collection screening of 65 *Taxodium distichum* materials CHEN Ruonan^{1,2}, WANG Ziyang^{1,①}, YU Chaoguang¹, YANG Ying¹, YIN Yunlong^{1,①} [1. Jiangsu Key Laboratory for Conservation and Utilization of Plant Resources, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences (Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen), Nanjing 210014, China; 2. College of Forestry and Grassland, College of Soil and Water Conservation, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China], *J. Plant Resour. & Environ.*, 2025, 34(4): 65-73

Abstract: To better preserve, utilize, and evaluate germplasm resources of *Taxodium distichum* (Linn.) Rich., 65 *T. distichum* materials were taken as experimental materials, diversity, correlation, and clustering analyses were conducted for 11 qualitative traits and 6 quantitative traits, and appropriate sampling strategies were screened for core collection construction. The results show that the Shannon-Wiener diversity indexes of qualitative traits are 0.23-1.42, and the coefficients of variation are 20.48%-132.99%; the Shannon-Wiener diversity indexes of quantitative traits are 1.94-2.06, and the coefficients of variation are 10.94%-20.00%. The exfoliating branchlet length shows extremely significant positive correlations ($P<0.01$) with exfoliating branchlet width and needle length, while the needle density shows extremely significant negative correlations with exfoliating branchlet length, exfoliating branchlet width,

收稿日期: 2024-11-15

基金项目: 江苏落羽杉属树木育种及培育省级长期科研基地项目[LYKJ(2021)05]

作者简介: 陈若男(2000—), 女, 江苏盐城人, 硕士研究生, 主要从事植物资源与生态环境方面的研究。

① 通信作者 E-mail: wangziyang@jib.ac.cn; yiny1066@sina.com

引用格式: 陈若男, 王紫阳, 於朝广, 等. 65 份落羽杉材料表型性状分析及核心种质筛选[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(4): 65-73.

and needle length, and the exfoliating branchlet width also shows extremely significant positive correlations with needle length and needle angle, whereas the needle angle has a significant negative correlation with branch density. The clustering analysis result shows that the 65 *T. distichum* materials can be divided into four groups, group I of *T. distichum* mostly have traits including resistance to red blight disease, brownish-red leaf color in autumn, etc.; group II displays exfoliating branchlet droop, relatively large needle angles, early defoliation periods, etc.; group III has medium or relatively long exfoliating branchlet length, needles not in the same plane, late bud opening period, etc.; group IV shows relatively large branch density and needle density, etc. The optimal strategy for core collection construction is identified as 'Euclidean distance-priority sampling method-variable average method-25% sampling proportion', a core collection of 16 *T. distichum* materials are screened out by using this strategy, and the mean difference percentage, variance difference percentage, range coincidence rate, and coefficient of variation change rate are 0.00%, 17.65%, 100.00%, and 119.88%, respectively, meeting core collection construction criteria; in addition, the core collection has obtained greater variability, and maintains good heterogeneity compared to the original collection. In conclusion, the phenotypic diversity of the 65 *T. distichum* test materials is relatively rich, and the core collection screened out can effectively represent the original collection.

Key words: *Taxodium distichum* (Linn.) Rich.; phenotypic trait; core collection; sampling strategy

林木种质资源是植物遗传多样性研究与新品种选育的基础材料^[1],建立林木种质资源库是实现种质资源科学保护的重要途径^[2],可为林木育种及遗传学研究奠定良好基础。但林木种质资源往往数量庞大,保存、评价和利用的难度较高^[3]。Frankel等^[4]最早提出了核心种质(core collection)的概念,即以最少数目的种质资源代表最大的遗传多样性,既减少了种质资源收集的工作量、降低了管护成本,又有效提高了种质收集利用的效率。植物表型多样性是遗传多样性的外在体现,利用表型构建植物核心种质是较为简便的途径^[5]。目前,利用表型数据构建核心种质已在云南松(*Pinus yunnanensis* Franch.)^[6]、美洲黑杨(*Populus deltoides* Marsh.)^[7]、樟树(*Camphora officinarum* Nees)^[8]等多种木本植物中应用。

落羽杉(*Taxodium distichum* (Linn.) Rich.)是柏科(Cupressaceae)落羽杉属(*Taxodium* Rich.)落叶或半常绿乔木^[9],原产于北美和墨西哥^[10],目前主要分布在美国东南部和墨西哥^[11],具有生长快、干形直、耐腐朽、耐水湿和适应性广等特点,是世界上著名的湿地造林树种^[12]。中国于1917年开始引种落羽杉,主要在长江流域、东南沿海以及内陆湿地广泛栽培种植^[13]。虽然中国目前收集保存的落羽杉种质资源已有一定规模,但在种质收集过程中存在重复收集问题,且部分材料引种时间久远导致遗传背景等不明确。核心种质资源的筛选是优良亲本选择的基础,也是育种工作有效开展的重要保障。迄今为止,关于落羽杉属种质资源的研究已有相关报道,如杨美凌

等^[14]对21个中山杉(Zhongshanshan)、1个墨西哥落羽杉(*T. mucronatum* Ten.)、2个池杉[*T. distichum* var. *imbricarium* (Nutt.) Croom]和3个落羽杉基因型的外部形态特征的变异状况进行了观察和比较,并对这27份材料进行了聚类分析;段豪等^[15]利用简单重复序列(SSR)分子标记技术对40个中山杉、15个池杉、23个墨西哥落羽杉和18个落羽杉单株进行了指纹图谱构建和遗传关系分析;周冬琴等^[16]利用相关序列扩增多态性(SRAP)分子标记技术分析了18个墨西哥落羽杉单株的遗传多样性,结果表明供试材料存在丰富的遗传变异。上述研究结果虽有助于揭示落羽杉属植物亲缘归属关系,但涉及的落羽杉种质相对较少。随着种质资源的不断更新补充,为了更好地理清落羽杉种质资源的状况,促进落羽杉优良种质的有效利用,笔者以65份落羽杉为材料,对其11个定性性状和6个定量性状进行观测和分析,并基于这17个性状进行核心种质构建,以期落羽杉种质资源的科学管理、高效利用和有效保护提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的65份落羽杉材料来自于南京中山植物园、河南鸡公山国家级自然保护区和连云港东海县李埏林场,其中7份材料原产地不详(编号D-Z12至D-Z16、D-JGS4、D-JGS5),其余58份材料的原产地为美国的7个州,分别为肯塔基州2份(编号D-

LYG2-1、D-LYG2-2)、阿肯色州 20 份(编号 D-LYG3-1 至 D-LYG3-3、D-LYG4-1 至 D-LYG4-6、D-LYG5-1、D-LYG6-1 至 D-LYG6-5、D-LYG7-1 至 D-LYG7-5)、密西西比州 13 份(D-LYG8-1 至 D-LYG8-4、编号 D-LYG9-1 至 D-LYG9-4、D-LYG10-1 至 D-LYG10-5)、佛罗里达州 4 份(编号 D-LYG12-1 至 D-LYG12-4)、路易斯安那州 6 份(编号 D-LYG13-1、D-LYG13-2、D-LYG14-1 至 D-LYG14-3、D-LYG15-1)、田纳西州 12 份(编号 D-LYG16-1 至 D-LYG16-5、D-LYG17-1 至 D-LYG17-7)、德克萨斯州 1 份(编号 D-CHUILUO)。供试植株均为株龄 4 a 的嫁接苗,砧木为株龄 4 a 的‘中山杉 406’(‘Zhongshanshan 406’),种植于江苏省落羽杉国家林木种质资源库(北纬 32°03′、东经 118°49′),每份材料均为 20 株。

1.2 性状调查及分析

观测性状共 17 个,其中,定性性状 11 个,定量性状 6 个。

参考杨美凌等^[14]和徐光余等^[17]的方法对定性指标进行赋值:主枝伸展方向分为斜展、近平展、下垂,分别赋值 1、2、3;脱落性小枝下垂的“否”和“是”分别赋值 1 和 9;脱落性小枝排列呈 2 列的“否”和“是”分别赋值 1 和 9;脱落性小枝姿态分为近直立、斜展、近平展,分别赋值 1、2、3;针叶螺旋状排列的“否”和“是”分别赋值 1 和 9;针叶在同一平面的“否”和“是”分别赋值 1 和 9;生长期叶色分为浅绿色、中绿色、深绿色、黄绿色、墨绿色、黄色、黄褐色、棕褐色,分别赋值 1、2、3、4、5、6、7、8;秋季叶色分为中绿色、深绿色、黄绿色、墨绿色、黄褐色、橙色、棕红色、棕褐色,分别赋值 1、2、3、4、5、6、7、8;芽开放期的早(3月上旬)、中(3月中旬)、晚(3月下旬)分别赋值 1、2、3;落叶期的早(11月上旬)、中(11月中旬)、晚(11月下旬)分别赋值 1、2、3;赤枯病发病程度分为无病或近无病、较轻(1/4 及以下枝叶发病)、中等(1/4~1/2 枝叶发病)、较重(1/2~3/4 枝叶发病)、重(3/4 以上枝叶发病),分别赋值 1、2、3、4、5。

采用直尺(精度 1 mm)测量脱落性小枝长度(脱落性小枝两端的最长距离)、脱落性小枝宽度(脱落性小枝两端的最宽距离);选择脱落性小枝最宽处的成熟定型叶片,采用直尺测量针叶长度,采用量角器(精度 1°)测量针叶夹角(针叶叶柄与脱落性小枝的夹角),并统计针叶密度(脱落性小枝每厘米的叶片

数)以及枝密度(植株树冠中部每米的枝条数)。按照李嘉伟等^[18]的方法,利用平均值(\bar{X})和标准差(σ)对每个性状的数值进行等级划分,1 级为 $\bar{X}_1 \leq \bar{X} - 2\sigma$,10 级为 $\bar{X}_{10} \geq \bar{X} + 2\sigma$,每 0.5σ 为一级,共 10 级。每份材料选 3 株,每株选取 10 个脱落性小枝进行测量,结果取平均值。

使用 EXCEL 2010 软件计算最大值、最小值、极差、均值、标准差、变异系数^[19]、Shannon-Wiener 多样性指数^[20]。使用 SPSS 27 软件进行 Pearson 相关性分析;对表型性状数据进行标准化,并采用非加权组平均法(UPGMA)进行聚类分析^[18]。

1.3 核心种质构建

利用 QGACnX64 软件构建核心种质^[21]:遗传距离分为欧氏距离和马氏距离,取样方法包含随机取样法、优先取样法和偏离度取样法,聚类方法包含最短距离法、最长距离法、中间距离法、重心法、不加权类平均法、可变类平均法、可变量和离差平方和法,设置取样比例为 15%、20%、25%、30%。对不同遗传距离、取样方法、聚类方法和取样比例进行组合,计算每组核心种质的均值差异百分率(mean difference percentage, MD)、极差符合率(range coincidence rate, CR)、方差差异百分率(variance difference percentage, VD)和变异系数变化率(coefficient of variation change rate, VR)。

构建的核心种质需同时满足 MD 值小于 20%且 CR 值大于 80%的构建要求。MD 值越小,CR、VD、VR 值越大,则核心种质对原有种质群体的代表性越强。对核心种质和原有种质 17 个表型性状的均值、方差、极差和变异系数标准化后进行比较,验证核心种质的有效性^[22]。

2 结果和分析

2.1 落羽杉表型多样性分析

2.1.1 定性性状多样性分析 在 65 份落羽杉材料的 11 个定性性状中共检测到 35 个变异类型,不同变异类型的分布频率不同,结果见表 1。结果显示:主枝伸展方向以斜展为主(分布频率为 78.46%),仅 3.08%为下垂。脱落性小枝基本不下垂,下垂的仅 7.69%。脱落性小枝排列呈 2 列和不呈 2 列的分布频率接近,分别为 53.85%和 46.15%。脱落性小枝姿态多数为斜展(分布频率为 55.38%)。针叶以非螺旋状

排列为主(分布频率为93.85%)。69.23%的针叶不在同一平面。生长期叶色以中绿色为主(分布频率为43.08%),深绿色和黄褐色的分布频率均为20.00%,棕褐色和黄绿色较少(分布频率分别为9.23%和7.69%),无浅绿色、墨绿色和黄色。秋季叶色以棕红色为主(分布频率为72.31%),中绿色、深绿色、黄绿色、黄褐色、橙色和棕褐色的分布频率均低于10%,无墨绿色。芽开放期多数在3月下旬(分布频率为64.61%),也有一部分在3月上旬(分布频率为30.77%),在3月中旬的仅4.62%。半数以上的落叶

期在11月上旬(分布频率为50.76%),落叶期在11月中旬和11月下旬的分布频率均为24.62%。赤枯病发病程度为无病或近无病的分布频率为60.00%,较轻的分布频率为33.85%,中等和较重的分布频率仅4.62%和1.53%。

各性状的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')为0.23~1.42,其中,针叶螺旋状排列的 H' 值最小,生长期叶色的 H' 值最大。各性状的变异系数为20.48%~132.99%,其中,脱落性小枝姿态的变异系数最小,脱落性小枝下垂的变异系数最大。

表1 65份落羽杉材料11个定性性状的各级分布频率和多样性分析¹⁾

Table 1 Analyses of distribution frequency of each grade and diversity of 11 qualitative traits of 65 *Taxodium distichum* (Linn.) Rich. materials¹⁾

| 性状 Trait | 各级分布频率/% Distribution frequency of each grade | | | | | | | | | H' | CV/% |
|---|---|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | |
| 主枝伸展方向 Main branch extension direction | 78.46 | 18.46 | 3.08 | | | | | | | 0.61 | 40.20 |
| 脱落性小枝下垂 Exfoliating branchlet droop | 92.31 | | | | | | | | 7.69 | 0.27 | 132.99 |
| 脱落性小枝排列呈2列 Exfoliating branchlet arranged in two rows | 46.15 | | | | | | | | 53.85 | 0.69 | 75.72 |
| 脱落性小枝姿态 Exfoliating branchlet posture | 0.00 | 55.38 | 44.62 | | | | | | | 0.69 | 20.48 |
| 针叶螺旋状排列 Needles arranged in a spiral pattern | 93.85 | | | | | | | | 6.15 | 0.23 | 129.83 |
| 针叶在同一平面 Needles in the same plane | 69.23 | | | | | | | | 30.77 | 0.62 | 107.50 |
| 生长期叶色 Leaf color at growth stage | 0.00 | 43.08 | 20.00 | 7.69 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 9.23 | | 1.42 | 58.76 |
| 秋季叶色 Leaf color in autumn | 4.61 | 3.08 | 3.08 | 0.00 | 9.23 | 3.08 | 72.31 | 4.61 | | 1.06 | 27.09 |
| 芽开放期 Bud opening period | 30.77 | 4.62 | 64.61 | | | | | | | 0.78 | 39.48 |
| 落叶期 Defoliation period | 50.76 | 24.62 | 24.62 | | | | | | | 1.03 | 47.99 |
| 赤枯病发病程度 Incidence of red blight | 60.00 | 33.85 | 4.62 | 1.53 | 0.00 | | | | | 0.88 | 44.96 |

¹⁾ 主枝伸展方向的1、2、3级分别代表斜展、近平展、下垂 Grade 1, 2, and 3 of main branch extension direction represent diagonal spread, nearly flattened, and droop, respectively; 脱落性小枝下垂的1和9级分别代表“否”和“是” Grade 1 and 9 of exfoliating branchlet droop represent ‘no’ and ‘yes’, respectively; 脱落性小枝排列呈2列的1和9级分别代表“否”和“是” Grade 1 and 9 of exfoliating branchlet arranged in two rows represent ‘no’ and ‘yes’, respectively; 脱落性小枝姿态的1、2、3级分别代表近直立、斜展、近平展 Grade 1, 2, and 3 of exfoliating branchlet posture represent nearly erect, diagonal spread, and nearly flattened, respectively; 针叶螺旋状排列的1和9级分别代表“否”和“是” Grade 1 and 9 of needles arranged in a spiral pattern represent ‘no’ and ‘yes’, respectively; 针叶在同一平面的1和9级分别代表“否”和“是” Grade 1 and 9 of needles in the same plane represent ‘no’ and ‘yes’, respectively; 生长期叶色的1、2、3、4、5、6、7、8级分别代表浅绿色、中绿色、深绿色、黄绿色、墨绿色、黄色、黄褐色、棕褐色 Grade 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8 of leaf color at growth stage represent light green, medium green, dark green, yellow-green, blackish green, yellow, yellowish-brown, and sepia, respectively; 秋季叶色的1、2、3、4、5、6、7、8级分别代表中绿色、深绿色、黄绿色、墨绿色、黄褐色、橙色、棕红色、棕褐色 Grade 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8 of leaf color in autumn represent medium green, dark green, yellow-green, blackish green, yellowish-brown, orange, brownish red, and sepia, respectively; 芽开放期的1、2、3级分别代表早(3月上旬)、中(3月中旬)、晚(3月下旬) Grade 1, 2, and 3 of bud opening period represent early (early March), middle (mid-March), and late (late March), respectively; 落叶期的1、2、3级分别代表早(11月上旬)、中(11月中旬)、晚(11月下旬) Grade 1, 2, and 3 of defoliation period represent early (early November), middle (mid-November), and late (late November), respectively; 赤枯病发病程度的1、2、3、4、5级分别代表无病或近无病、较轻(1/4及以下枝叶发病)、中等(1/4~1/2枝叶发病)、较重(1/2~3/4枝叶发病)、重(3/4以上枝叶发病) Grade 1, 2, 3, 4, and 5 of incidence of red blight represent disease-free or near-disease-free, lighter (1/4 or less of the branches and leaves are attacked), medium (1/4~1/2 of the branches and leaves are attacked), heavier (1/2~3/4 of the branches and leaves are attacked), and severe (more than 3/4 of the branches and leaves are attacked). H' : Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener diversity index; CV: 变异系数 Coefficient of variation.

2.1.2 定量性状多样性分析 对65份落羽杉材料的6个定量性状进行统计分析,结果见表2。脱落性小枝长度范围为5.56~15.16 cm, D-LYG16-5脱落性小枝最长, D-Z16脱落性小枝最短。脱落性小枝宽度范围为0.52~3.14 cm, 针叶长度范围为0.51~2.00 cm, 针叶密度范围为7.17~14.24 cm⁻¹, D-LYG3-3脱落性小枝最宽, 针叶最长, 针叶密度最小, 最为稀疏;

D-JGS5的脱落性小枝最窄, 针叶最短, 针叶密度最大。针叶夹角范围为28.7°~50.3°, D-LYG16-2针叶夹角最大, D-JGS5针叶夹角最小。枝密度范围为12.33~32.33 m⁻¹, D-LYG14-2枝密度最大, D-CHUILUO枝密度最小。

65份落羽杉材料定量性状的 H' 值为1.94~2.06, 表明落羽杉材料表型多样性较为丰富;各定量性状的

表 2 65 份落羽杉材料 6 个定量性状的统计量和多样性分析¹⁾
Table 2 Analyses on statistic and diversity of 6 quantitative traits of 65 *Taxodium distichum* (Linn.) Rich. materials¹⁾

| 统计量 Statistic | l_{eb}/cm | b_{eb}/cm | l_n/cm | ND/ cm^{-1} | $\alpha_n/$ $(^\circ)$ | BD/ m^{-1} |
|------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 最大值 Maximum | 15.16 | 3.14 | 2.00 | 14.24 | 50.3 | 32.33 |
| 最小值 Minimum | 5.56 | 0.52 | 0.51 | 7.17 | 28.7 | 12.33 |
| 均值 Mean | 10.00 | 2.15 | 1.37 | 10.68 | 41.5 | 21.98 |
| 极差 Range | 9.60 | 2.62 | 1.49 | 7.07 | 21.6 | 20.00 |
| SD | 1.64 | 0.43 | 0.24 | 1.28 | 4.5 | 3.84 |
| H' | 1.94 | 1.98 | 2.04 | 2.00 | 1.99 | 2.06 |
| CV/% | 16.40 | 20.00 | 17.52 | 11.99 | 10.94 | 17.47 |

¹⁾ l_{eb} : 脱落性小枝长度 Exfoliating branchlet length; b_{eb} : 脱落性小枝宽度 Exfoliating branchlet width; l_n : 针叶长度 Needle length; ND: 针叶密度 Needle density; α_n : 针叶夹角 Needle angle; BD: 枝密度 Branch density. SD: 标准差 Standard deviation; H' : Shannon - Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index; CV: 变异系数 Coefficient of variation.

变异系数为 10.94%~20.00%, 其中, 脱落性小枝宽度的变异系数最大, 针叶夹角的变异系数最小。

2.2 落羽杉定量性状的相关性分析

65 份落羽杉材料 6 个定量性状的相关性分析结果见表 3。脱落性小枝长度与脱落性小枝宽度和针叶长度呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与针叶密度呈极显著负相关; 脱落性小枝宽度与针叶长度和针叶夹角呈极显著正相关, 与针叶密度呈极显著负相关; 针叶长度与针叶密度呈极显著负相关, 针叶夹角与枝密度呈显著负相关 ($P < 0.05$)。

表 3 65 份落羽杉材料 6 个定量性状的相关性分析¹⁾
Table 3 Correlation analysis of 6 quantitative traits of 65 *Taxodium distichum* (Linn.) Rich. materials¹⁾

| 性状 Trait | 相关系数 Correlation coefficient | | | | | |
|-------------|------------------------------|-----------|-----------|--------|------------|-------|
| | l_{eb} | b_{eb} | l_n | ND | α_n | BD |
| l_{eb} | 1.000 | | | | | |
| b_{eb} | 0.447 ** | 1.000 | | | | |
| l_n | 0.492 ** | 0.900 ** | 1.000 | | | |
| ND | -0.523 ** | -0.410 ** | -0.494 ** | 1.000 | | |
| α_n | 0.194 | 0.405 ** | 0.155 | -0.108 | 1.000 | |
| BD | -0.105 | -0.054 | -0.089 | 0.108 | -0.458 * | 1.000 |

¹⁾ l_{eb} : 脱落性小枝长度 Exfoliating branchlet length; b_{eb} : 脱落性小枝宽度 Exfoliating branchlet width; l_n : 针叶长度 Needle length; ND: 针叶密度 Needle density; α_n : 针叶夹角 Needle angle; BD: 枝密度 Branch density. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.3 基于表型性状的落羽杉聚类分析

聚类分析结果 (图 1) 显示: 65 份落羽杉材料可分为 4 个类群, 第 I 类群包含 43 份材料, 主要表现为侧生小枝姿态近直立或斜展、针叶在同一平面、秋季

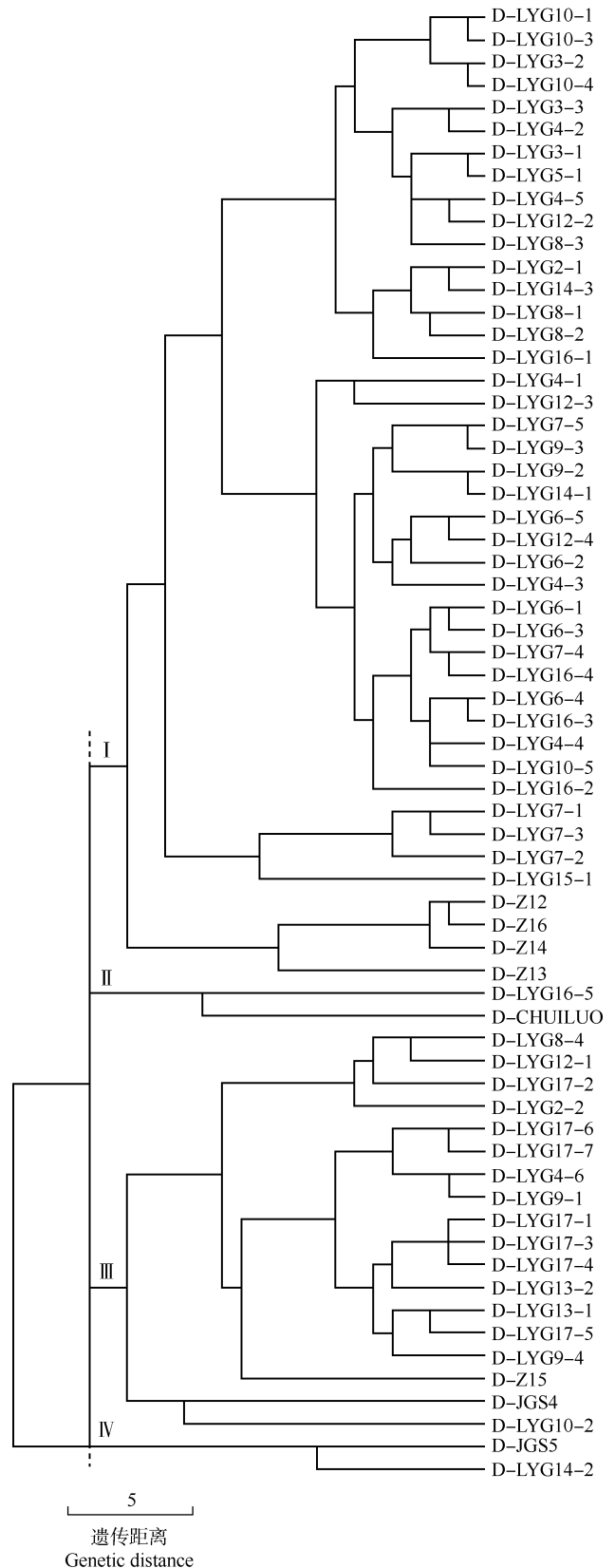


图 1 基于表型性状的 65 份落羽杉材料的聚类图
Fig. 1 Clustering diagram of 65 *Taxodium distichum* (Linn.) Rich. materials based on phenotypic traits

叶色多为棕红色、多数未感染赤枯病或症状较轻、脱落性小枝长度中等或较长、针叶夹角角度中等;第Ⅱ类群包含 D-LYG16-5 和 D-CHUILUO 2 份材料,主要表现为脱落性小枝下垂、针叶在同一平面、针叶夹角较大、秋季叶色呈棕红色、落叶期早。第Ⅲ类群包含 18 份材料,主要表现为脱落性小枝长度中等或较长、针叶不在同一平面、针叶密度中等或较密、秋季叶色多呈棕红色、芽开放期晚、植株感染赤枯病症状较轻。第Ⅳ类群包含 D-JGS5 和 D-LYG14-2 2 份材料,主要表现为脱落性小枝排列不呈 2 列、枝较密、叶在同一平面、生长期叶色为中绿色、针叶密度较大、落叶期晚、未感染赤枯病。

2.4 落羽杉核心种质构建

2.4.1 遗传距离、取样方法和聚类方法筛选 基于 25% 的取样比例,采用 2 种遗传距离、3 种取样方法和 8 种聚类方法构建落羽杉核心种质。结果(表 4)表明:2 种遗传距离下的核心种质均满足均值差异百分率(MD)小于 20%且极差符合率(CR)大于 80%的构建要求;8 种聚类方法构建的核心种质 CR 值在优先取样法下均达到最大;在优先取样法下,采用欧氏距离构建的核心种质的方差差异百分率(VD)和变异系数变化率(VR)多数大于采用马氏距离构建的核心种质;在欧氏距离结合优先取样法下,可变类平均法的 MD 值最小,且 VR 值最大。因此,在落羽杉的核

表 4 25%取样比例下不同遗传距离、取样方法和聚类方法构建的落羽杉核心种质比较¹⁾

Table 4 Comparison of *Taxodium distichum* (Linn.) Rich. core collection constructed by different genetic distances, sampling methods, and clustering methods at sampling proportion of 25%¹⁾

| 聚类方法 ²⁾ Clustering method ²⁾ | 欧氏距离下的参数比较 Comparison of parameters under Euclidean distance | | | | 马氏距离下的参数比较 Comparison of parameters under Mahalanobis distance | | | |
|---|---|-------|--------|--------|---|-------|--------|--------|
| | MD/% | VD/% | CR/% | VR/% | MD/% | VD/% | CR/% | VR/% |
| 随机取样法 Random sampling method | | | | | | | | |
| SLM | 0.00 | 11.76 | 96.73 | 115.34 | 0.00 | 5.88 | 93.09 | 106.64 |
| CLM | 0.00 | 5.88 | 90.50 | 109.50 | 0.00 | 0.00 | 92.36 | 110.58 |
| MM | 0.00 | 5.88 | 88.66 | 107.01 | 0.00 | 5.88 | 90.58 | 99.77 |
| CM | 0.00 | 11.76 | 90.50 | 106.44 | 0.00 | 5.88 | 87.13 | 103.54 |
| UAM | 0.00 | 5.88 | 95.10 | 112.03 | 5.88 | 5.88 | 91.23 | 113.80 |
| VAM | 0.00 | 5.88 | 96.36 | 110.01 | 5.88 | 5.88 | 89.58 | 98.26 |
| LM | 0.00 | 5.88 | 93.85 | 109.10 | 0.00 | 0.00 | 93.95 | 103.59 |
| WM | 0.00 | 5.88 | 96.36 | 111.32 | 0.00 | 0.00 | 93.95 | 103.59 |
| 优先取样法 Priority sampling method | | | | | | | | |
| SLM | 0.00 | 17.65 | 100.00 | 118.21 | 5.88 | 11.76 | 100.00 | 118.69 |
| CLM | 0.00 | 17.65 | 100.00 | 118.10 | 5.88 | 11.76 | 100.00 | 118.74 |
| MM | 5.88 | 11.76 | 100.00 | 119.88 | 5.88 | 23.53 | 100.00 | 120.78 |
| CM | 5.88 | 17.65 | 100.00 | 119.88 | 5.88 | 11.76 | 100.00 | 117.87 |
| UAM | 5.88 | 17.65 | 100.00 | 119.75 | 0.00 | 11.76 | 100.00 | 117.96 |
| VAM | 0.00 | 17.65 | 100.00 | 119.88 | 5.88 | 29.41 | 100.00 | 117.86 |
| LM | 5.88 | 17.65 | 100.00 | 118.86 | 5.88 | 11.76 | 100.00 | 116.94 |
| WM | 5.88 | 17.65 | 100.00 | 117.88 | 5.88 | 11.76 | 100.00 | 118.69 |
| 偏离度取样法 Deviation sampling method | | | | | | | | |
| SLM | 0.00 | 17.65 | 99.35 | 121.14 | 0.00 | 17.65 | 98.04 | 117.91 |
| CLM | 0.00 | 11.76 | 95.16 | 121.53 | 0.00 | 17.65 | 99.35 | 122.62 |
| MM | 0.00 | 23.53 | 96.36 | 113.76 | 0.00 | 17.65 | 100.00 | 121.02 |
| CM | 0.00 | 17.65 | 98.04 | 120.24 | 0.00 | 11.76 | 100.00 | 121.69 |
| UAM | 5.88 | 5.88 | 96.00 | 118.97 | 0.00 | 11.76 | 98.69 | 122.31 |
| VAM | 0.00 | 11.76 | 98.69 | 122.82 | 0.00 | 11.76 | 98.69 | 122.31 |
| LM | 0.00 | 5.88 | 97.71 | 119.35 | 0.00 | 11.76 | 98.69 | 122.31 |
| WM | 0.00 | 11.76 | 98.69 | 122.82 | 0.00 | 11.76 | 98.69 | 122.31 |

¹⁾ MD: 均值差异百分率 Mean difference percentage; VD: 方差差异百分率 Variance difference percentage; CR: 极差符合率 Range coincidence rate; VR: 变异系数变化率 Coefficient of variation change rate.

²⁾ SLM: 最短距离法 Single linkage method; CLM: 最长距离法 Complete linkage method; MM: 中间距离法 Median method; CM: 重心法 Centroid method; UAM: 不加权类平均法 Unweighted average method; VAM: 可变类平均法 Variable average method; LM: 可变法 Lexible method; WM: 离差平方和法 Ward's method.

心种质构建中选用“欧氏距离-优先取样法-可变类平均法”进行后续分析。

2.4.2 取样比例筛选 在“欧氏距离-优先取样法-可变类平均法”下,基于 15%、20%、25% 和 30% 的取样比例分别进行核心种质构建。结果(表 5)表明:4 种取样比例下构建的核心种质均满足 MD 值小于 20% 且 CR 值大于 80% 的构建要求。随着取样比例的增大,CR 值逐步升高,并在 25% 取样比例达到 100%。取样比例为 30% 时,VD 和 VR 值低于其余 3 种取样比例;25% 取样比例时,各评价参数整体优

于其他比例,为最适宜的取样比例。

2.4.3 核心种质验证 采用筛选出的“欧氏距离-优先取样法-可变类平均法-25% 取样比例”策略进行核心种质构建,获得含 16 份落羽杉材料的核心种质,编号分别为 D-Z12、D-Z13、D-Z14、D-Z15、D-JGS5、D-LYG2-1、D-LYG2-2、D-LYG3-3、D-LYG4-3、D-LYG6-2、D-LYG7-1、D-LYG9-4、D-LYG14-2、D-LYG16-1、D-LYG16-2、D-LYG16-5,且构建的核心种质 MD 值为 0.00%, VD 值为 17.65%, CR 值为 100.00%, VR 值为 119.88%,符合核心种质的构建要求。

对核心种质和原有种质 16 个表型性状标准化后的均值、方差、极差和变异系数进行比较,结果(表 6)显示:核心种质与原有种质各表型性状的均值均无显著差异,表明采用的核心种质筛选方法是有效的;核心种质的秋季叶色、赤枯病发病程度、脱落性小枝长度和针叶密度的方差在 0.05 或 0.01 水平上显著高于原有种质,表明核心种质与原有种质有良好的异质性;核心种质与原有种质各表型性状的极差完全一致,表明核心种质较好地保留了原有种质中的特异种质;核心种质各表型性状的变异系数普遍高于原有种质,表明核心种质获得了更大的变异。综合可知,核心种质对原有种质具有良好的代表性。

表 5 “欧氏距离-优先取样法-可变类平均法”下不同取样比例构建的落羽杉核心种质比较¹⁾

Table 5 Comparison of *Taxodium distichum* (Linn.) Rich. core collection constructed by different sampling proportions under ‘Euclidean distance-priority sampling method-variable average method’¹⁾

| 取样比例/% Sampling proportion | MD/% | VD/% | CR/% | VR/% |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|
| 15 | 11.76 | 5.88 | 90.20 | 120.88 |
| 20 | 0.00 | 11.76 | 99.35 | 121.95 |
| 25 | 0.00 | 17.65 | 100.00 | 119.88 |
| 30 | 0.00 | 5.88 | 100.00 | 118.94 |

¹⁾ MD: 均值差异百分率 Mean difference percentage; VD: 方差差异百分率 Variance difference percentage; CR: 极差符合率 Range coincidence rate; VR: 变异系数变化率 Coefficient of variation change rate.

表 6 落羽杉核心种质与原有种质表型性状差异比较¹⁾

Table 6 Comparison of differences in phenotypic traits between core collection and original collection of *Taxodium distichum* (Linn.) Rich.¹⁾

| 性状 Trait | 均值 Mean | | 方差 Variance | | 极差 Range | | CV/% | |
|---|---------|------|-------------|---------|----------|------|--------|--------|
| | OC | CC | OC | CC | OC | CC | OC | CC |
| 主枝伸展方向 Main branch extension direction | 1.25 | 1.31 | 0.25 | 0.36 | 2.00 | 2.00 | 40.20 | 45.87 |
| 脱落性小枝下垂 Exfoliating branchlet droop | 1.62 | 2.00 | 4.62 | 7.47 | 8.00 | 8.00 | 132.99 | 136.63 |
| 脱落性小枝排列呈 2 列 Exfoliating branchlet arranged in two rows | 5.31 | 5.00 | 16.15 | 17.07 | 8.00 | 8.00 | 75.72 | 82.62 |
| 脱落性小枝姿态 Exfoliating branchlet posture | 2.45 | 2.56 | 0.25 | 0.26 | 1.00 | 1.00 | 20.48 | 19.99 |
| 针叶螺旋状排列 Needles arranged in a spiral pattern | 1.49 | 1.50 | 3.75 | 4.00 | 8.00 | 8.00 | 129.83 | 133.33 |
| 针叶在同一平面 Needles in the same plane | 3.46 | 3.50 | 13.85 | 14.67 | 8.00 | 8.00 | 107.50 | 109.42 |
| 生长期叶色 Leaf color at growth stage | 3.91 | 3.63 | 5.27 | 4.52 | 6.00 | 6.00 | 58.76 | 58.63 |
| 秋季叶色 Leaf color in autumn | 6.28 | 5.56 | 2.89 | 6.00 * | 7.00 | 7.00 | 27.09 | 44.02 |
| 芽开放期 Bud opening period | 2.34 | 2.31 | 0.85 | 0.90 | 2.00 | 2.00 | 39.48 | 40.93 |
| 落叶期 Defoliation period | 1.74 | 1.88 | 0.70 | 0.92 | 2.00 | 2.00 | 47.99 | 51.06 |
| 赤枯病发病程度 Incidence of red blight | 1.48 | 1.63 | 0.44 | 1.05 ** | 3.00 | 3.00 | 44.96 | 63.06 |
| 脱落性小枝长度 Exfoliating branchlet length | 5.52 | 5.00 | 3.44 | 8.00 * | 9.00 | 9.00 | 33.59 | 56.57 |
| 脱落性小枝宽度 Exfoliating branchlet width | 5.55 | 5.25 | 3.63 | 5.80 | 9.00 | 9.00 | 34.29 | 45.87 |
| 针叶长度 Needle length | 5.52 | 5.06 | 3.72 | 5.66 | 9.00 | 9.00 | 34.93 | 47.00 |
| 针叶密度 Needle density | 5.46 | 6.56 | 3.81 | 7.33 * | 9.00 | 9.00 | 35.76 | 41.25 |
| 针叶夹角 Needle angle | 5.45 | 5.31 | 3.66 | 4.63 | 8.00 | 8.00 | 35.11 | 40.50 |
| 枝密度 Branch density | 5.55 | 5.75 | 4.13 | 6.20 | 9.00 | 9.00 | 36.57 | 43.30 |

¹⁾ CV: 变异系数 Coefficient of variation. OC: 原有种质 Original collection; CC: 核心种质 Core collection. * 和 ** 分别表示核心种质与原有种质在 0.05 和 0.01 水平上差异显著 * and ** indicate significant differences between core collection and original collection at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3 讨 论

表型多样性是遗传多样性的可视化体现,通过表型性状对种质资源进行多样性评价是充分利用、深入挖掘、筛选优质种质资源的前提^[23]。变异系数和 Shannon-Wiener 多样性指数是评价表型多样性的重要指标^[24],变异系数在一定程度上反映了性状的离散程度和变异程度,变异系数越大,性状的离散程度越大,即变异越丰富^[25];Shannon-Wiener 多样性指数大于 1,说明性状的多样性较高^[26],供试落羽杉材料 11 个定性性状的变异系数(20.48%~132.99%)高于 6 个定量性状的变异系数(10.94%~20.00%),表明定性性状间差异较大,定量性状较为稳定;定性性状的 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.23~1.42,其中生长期叶色、秋季叶色、落叶期的 Shannon-Wiener 多样性指数大于 1,定量性状的 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.94~2.06,可见,定量性状的多样性高于定性性状。基于表型性状的聚类分析一定程度上反映了种质的亲缘关系,分支距离越小的种质,表型性状差异越小,亲缘关系越近^[27]。聚类分析结果显示:65 份落羽杉种质可分为 4 个类群,各类群间的性状差异明显,如第 I 类群的种质多具有抗赤枯病、秋季叶呈棕红色等性状,可作为秋季特色观赏资源;第 II 类群的种质脱落性小枝下垂、落叶期较早,可与其他常绿树种搭配,增强季节落叶层次;第 III 类群的种质脱落性小枝长度中等或较长,芽开放期较晚,可避开早春霜冻,提高生存率;第 IV 类群种质的枝密度、针叶密度高于其他类群,可作为速生材定向育种的候选亲本。

表型差异是植物遗传多样性最直观的体现^[28]。利用表型数据构建核心种质首先要采用适宜的方法计算种质间遗传距离,进而对种质进行聚类。目前,在核心种质构建过程中,最常见的遗传距离有欧氏距离和马氏距离,相关研究表明苦荞 [*Fagopyrum tataricum* (Linn.) Gaertn.] 和宁夏番茄 (*Solanum lycopersicum* Linn.) 的核心种质构建中,采用欧氏距离的效果优于马氏距离^[29-30],文中也得到相同的结果。取样方法包含随机取样法、优先取样法和偏离度取样法,其中,优先取样法和偏离度取样法均能明显提高核心种质的方差,但优先取样法构建的核心种质能完全保存原群体的极差,有利于保存特异种质,略优于偏离度取样法^[31]。笔者通过对比这 3 种取样方法,

得到与前述一致的结论。常用的聚类方法有最短距离法、最长距离法、中间距离法、重心法、不加权类平均法、可变类平均法、可变法、离差平方和法^[32]。不同的聚类方法在不同的植物中有不同的应用^[33],研究结果显示:采用可变类平均法筛选的核心种质各项参数较优,为适宜的聚类方法。合适的取样比例也是构建核心种质的重要环节。Miao 等^[34]认为合适的取样比例范围在 10%~30%,对于规模较大的农作物而言,取样比例应减少至 5%~15%。通过比较 4 种取样比例(15%、20%、25%、30%),发现 25%取样比例下构建的核心种质数量适中,便于管理且保留了原有种质的遗传多样性,是供试落羽杉材料核心种质构建的适宜取样比例。最终利用“欧氏距离-优先取样法-可变类平均法-25%取样比例”成功筛选出 16 份落羽杉核心种质。检验核心种质是否具有代表性是验证核心种质是否有效构建的关键,合理的核心种质需满足均值差异百分率小于 20%且极差符合率大于 80%^[22]的基本要求,并且在此基础上均值差异百分率越小,方差差异百分率、极差符合率和变异系数变化率越大,则核心种质对原有种质的代表性越强^[35-36]。文中构建的核心种质各参数均满足上述要求,能够代表原有种质的遗传多样性。

表型性状是基因和环境相互作用的结果,仅通过表型性状构建核心种质容易受到环境的影响,可能导致某些遗传变异被忽略^[37]。目前,已有许多利用分子手段(SSR、SRAP 等)进行植物核心种质构建的报道^[38-39],这些分子手段具有高精度性和稳定性,不易受环境的影响,可以弥补单一表型数据构建核心种质的不足。因此,下一步可结合 SSR、单核苷酸多态性(SNP)等分子标记手段进行落羽杉核心种质的进一步研究。

参考文献:

- [1] 郭树杰,毋建军,闫奕心,等. 林木种质资源概念及调查方法研究[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(1): 168-172.
- [2] 安元强,郑勇奇,曾鹏宇,等. 我国林木种质资源调查现状与策略研究[J]. 世界林业研究, 2016, 29(2): 76-81.
- [3] 李洪果,许基煌,杜红岩,等. 基于等位基因最大化法初步构建杜仲核心种质[J]. 林业科学, 2018, 54(2): 42-51.
- [4] FRANKEL O H, BROWN A H D. Plant genetic resources today: a critical appraisal[M] // HOLDEN J H W, WILLIAMS J T. Crop Genetic Resources: Conservation and Evaluation. London: Allen and Unwin, 1984: 249-257.
- [5] 李洪果,杜红岩,贾宏炎,等. 利用表型性状构建杜仲雄性资源

- 核心种质[J]. 分子植物育种, 2018, 16(2): 591-601.
- [6] 李 华, 付朴艳, 闫 熙, 等. 基于材用云南松表型性状构建核心种质策略研究[J]. 西北植物学报, 2024, 44(2): 288-299.
- [7] 陈 存, 丁昌俊, 黄秦军, 等. 美洲黑杨表型核心种质库构建[J]. 林业科学研究, 2021, 34(2): 1-11.
- [8] 钟永达, 刘立盘, 李彦强, 等. 中国樟树初级核心种质取样方法与策略研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2020, 40(4): 1-13.
- [9] MCDONALD G V, DENNY G C, ARNOLD M A, et al. Comparative canopy damage among provenances of baldcypress associated with the presence of *Cercosporidium sequoia* (Ellis and Everth.) W. A. Baker and Partridge[J]. HortScience, 2008, 43(6): 1703-1705.
- [10] TSUMURA Y, TOMARU N, SUYAMA Y, et al. Genetic diversity and differentiation of *Taxodium* in the south-eastern United States using cleaved amplified polymorphic sequences [J]. Heredity, 1999, 83: 229-238.
- [11] DENNY G C, ARNOLD M A, MACKAY W A. Alkalinity tolerance of selected provenances of *Taxodium* Rich. [J]. HortScience, 2008, 43(7): 1987-1990.
- [12] 殷云龙, 於朝广, 华建峰. ‘中山杉’的选育和利用及相关研究进展[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(4): 99-106.
- [13] 王紫阳, 徐建华, 殷云龙, 等. 落羽杉属新品种‘中山杉 111’和‘中山杉 125’[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(2): 243-244.
- [14] 杨美凌, 殷云龙, 方炎明, 等. 落羽杉属种类、栽培变种及杂种的外部形态变异及亲缘关系研究[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(2): 40-47.
- [15] 段 豪, 徐建华, 王紫阳, 等. 落羽杉属种类及其杂交子代‘中山杉’系列品种的 SSR 指纹图谱构建及遗传关系分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(4): 11-18, 44.
- [16] 周冬琴, 莫海波, 芦治国, 等. 基于 SRAP 标记的墨西哥落羽杉优良单株的遗传多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(1): 36-41.
- [17] 徐光余, 杨爱农, 李多祥, 等. 柳杉赤枯病的研究[J]. 农技服务, 2008, 25(7): 159-160.
- [18] 李嘉伟, 苏江硕, 张 飞, 等. 基于表型性状构建传统菊花核心种质[J]. 中国农业科学, 2021, 54(16): 3514-3526.
- [19] 唐佳佳, 李秀珍, 刘小波, 等. 重庆核桃种质资源表型性状多样性分析[J]. 南方农业学报, 2024, 55(6): 1594-1607.
- [20] 王永康, 吴国良, 赵爱玲, 等. 枣种质资源的表型遗传多样性[J]. 林业科学, 2014, 50(10): 33-41
- [21] 孙永强, 陈建华, 张 剑, 等. 基于表型性状的西伯利亚杏核心种质构建[J]. 沈阳农业大学学报, 2022, 53(1): 43-54.
- [22] 胡 晋, 徐海明, 朱 军. 保留特殊种质材料的核心库构建方法[J]. 生物数学学报, 2001, 16(3): 348-352.
- [23] 李 春, 刘锦秀, 刘小俊, 等. 基于表型性状的莴笋种质资源遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2022, 53(12): 3318-3326.
- [24] 钱景扬, 卢莉莉, 李 芹, 等. 中国芍药品种资源表型性状多样性分析[J]. 园艺学报, 2025, 52(2): 349-364.
- [25] ZHOU C, WU H, SHENG Q, et al. Study on the phenotypic diversity of 33 ornamental *Xanthoceras sorbifolium* cultivars [J]. Plants, 2023, 12(13): 2448.
- [26] 李 静, 李海霞, 李正华, 等. 丁香种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 中国农学通报, 2025, 41(4): 74-83.
- [27] 刘子记, 朱 婕, 詹园凤, 等. 小型西瓜核心种质遗传多样性及亲缘关系分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2686-2690.
- [28] MAHMOODI R, DADPOUR R M, HASSANI D, et al. Development of a core collection in Iranian walnut (*Juglans regia* L.) germplasm using the phenotypic diversity [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 249: 439-448.
- [29] 马名川, 赵少迪, 胡传伟, 等. 基于表型性状和品质性状的苦荞核心种质构建[J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25(10): 1637-1647.
- [30] 郑福顺, 王晓敏, 李国花, 等. 基于表型性状的宁夏番茄种质资源核心种质构建[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(2): 171-181.
- [31] 徐海明, 邱英雄, 胡 晋, 等. 不同遗传距离聚类 and 抽样方法构建作物核心种质的比较[J]. 作物学报, 2004, 30(9): 932-936.
- [32] 彭 枫, 李 阳, 戴雨柔, 等. 基于表型性状的菠菜核心种质构建[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2022, 51(1): 9-19.
- [33] 张 莹, 解丰羽, 孙迎坤, 等. 基于表型性状的茶梅初级核心种质构建[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(2): 82-88.
- [34] MIAO L M, WANG S Y, ZOU M H, et al. Review of the studies on core collection for horticultural crops [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(5): 791-800.
- [35] WANG J C, HU J, ZHANG C F, et al. Assessment on evaluating parameters of rice core collections constructed by genotypic values and molecular marker information [J]. Rice Science, 2007, 14(2): 101-110.
- [36] LIU Z C, ZHANG C Y, ZHANG Y M, et al. Study on method of constructing core collection of *Malus sieversii* based on quantitative traits[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(2): 358-370.
- [37] 马洪文, 殷延勃, 王 昕, 等. 利用数量性状构建梗稻核心种质的方法比较[J]. 西北农业学报, 2013, 22(11): 7-14.
- [38] 娄永峰, 朱柯帆, 宋晓琛, 等. 基于 SSR 标记构建江西杉木核心种质及其分子身份证[J]. 林业科学研究, 2023, 36(6): 78-86.
- [39] 邹广权, 王晓丽, 曹现富, 等. 基于 SRAP 分子标记构建云南旱冬瓜核心种质[J]. 西南农业学报, 2024, 37(1): 49-55.

(责任编辑:吴蕊夷)