

不同资源的莲子形态多样性及其变异分析

罗佳琳^{1,2}, 傅阳阳², 刘青青², 吴砚农², 张文丽³, 郑福军³, 杨帆³, 王健^{1*}, 田代科^{2*}

1. 热带特色林木花卉遗传与种质创新教育部重点实验室/海南省热带特色花木资源生物学重点实验室/海南大学热带农林学院, 海南海口 570228; 2. 中国科学院分子植物科学卓越创新中心辰山科研中心/上海辰山植物园, 上海 201602; 3. 西双版纳宝翠香莲生物科技有限公司, 云南勐海 666212

摘要: 为了解不同资源的莲子形态多样性及变异程度, 以 81 份来自不同地点的成熟干莲子 (包括 59 个野生居群, 15 个栽培居群, 7 个子莲品种) 为材料进行形态学测量分析和系统聚类分析。结果表明: (1) 81 份莲子资源形态变异幅度大。其中纵径变化幅度为 12.03~19.58 mm, 横径变化幅度为 7.93~15.72 mm, 纵横径比变化幅度为 1.01~1.97, 单粒重变化幅度为 0.41~2.26 g。(2) 不同来源的莲子形态存在差异。美洲莲莲子平均纵径、横径、纵横径比与单粒重分别为 13.97 mm、11.98 mm、1.17、1.13 g; 野生 (型) 亚洲莲莲子平均纵径、横径、纵横径比与单粒重分别为 16.52 mm、10.51 mm、1.58、0.98 g; 15 个栽培亚洲莲居群平均纵径、横径、纵横径比与单粒重分别为 15.81 mm、11.18 mm、1.42、1.07 g; 7 个子莲品种平均纵径、横径、纵横径比与单粒重分别为 16.71 mm、13.20 mm、1.27、1.53 g。(3) 相关性分析表明, 莲子单粒重与纵径、横径呈显著正相关 ($P<0.05$), 与纵横径比呈显著负相关 ($P<0.05$), 但不同居群来源存在差异。经纬度与美洲莲莲子形态指标相关性均不显著; 经度与亚洲莲莲子纵径和纵横径比呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与横径和单粒重呈负相关, 但相关性不显著; 纬度与亚洲莲莲子纵径呈显著正相关 ($P<0.05$), 与纵横径比呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与横径呈显著负相关 ($P<0.05$), 与单粒重呈负相关, 但相关性不显著。(4) 莲子形态的系统聚类分析表明, 59 份野生莲莲子材料可分为 2~5 个分支。所有的美洲莲和泰国清迈居群莲子聚为一类, 剩余的亚洲莲聚为一类。(5) 不同年份采摘的莲子形态指标存在差异。研究结果为莲资源保护和辅助鉴定、种质创新、莲子生产等提供科学依据。

关键词: 莲子; 种质资源; 形态性状; 变异

中图分类号: S326 文献标志码: A

Morphological Diversity and Variation Analysis of Lotus Fruits from Different Sources

LUO Jialin^{1,2}, FU Yangyang², LIU Qingqing², WU Yannong², ZHANG Wenli³, ZHENG Fujun³, YANG Fan³, WANG Jian^{1*}, TIAN Daike^{2*}

1. Key Laboratory of Genetics and Germplasm Innovation of Tropical Forest Trees and Ornamental Plants, Ministry of Education / Key Laboratory of Germplasm Resources Biology of Tropical Special Ornamental Plants of Hainan / College of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. Chenshan Research Center, CAS Center for Excellence in Molecular Plant Sciences / Shanghai Chenshan Botanical Garden, Shanghai 201602, China; 3. Xishuangbanna Baocui Xianglian Biotechnology Co., Ltd., Menghai, Yunnan 666212, China

Abstract: To understand the morphological diversity and degree of variation in lotus fruits from various sources, 81 dried mature lotus fruits were collected from different locations (including 59 wild populations, 15 cultivated populations, and 7 lotus cultivars) for morphometric measurements and systematic clustering analysis. There was substantial morphological variation among 81 accessions of lotus fruits. The longitudinal diameter ranged from 12.03 mm to

收稿日期 2024-07-30; 接受日期 2024-12-03

基金项目 云南省专家工作站 (No. WKT066)

作者简介 罗佳琳 (1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 风景园林植物与应用。*通信作者 (Corresponding author): 王健 (WANG Jian), E-mail: wjhainu@hainanu.edu.cn; 田代科 (TIAN Daike), E-mail: dktian@cemps.ac.cn。

19.58 mm, the transverse diameter varied from 7.93 mm to 15.72 mm, the aspect ratio spanned from 1.01 to 1.97, and single grain weight fluctuated from 0.41 mm to 2.26 g. The morphology of lotus fruits from different sources was different. The average longitudinal diameter, transverse diameter, longitudinal/transverse diameter ratio, and grain weight of American lotus fruits was 13.97 mm, 11.98 mm, 1.17 and 1.13 g, respectively. For wild Asian lotus fruits, the values was 16.52 mm, 10.51 mm, 1.58 and 0.98 g, respectively. For the 15 cultivated Asian lotus populations, the average values was 15.81 mm, 11.18 mm, 1.42 and 1.07 g, respectively. For the 7 fruit lotus varieties, the average values was 16.71 mm, 13.20 mm, 1.27 and 1.53 g, respectively. The correlation analysis showed that the single fruit weight of lotus fruit was positively correlated with the longitudinal diameter and transverse diameter ($P<0.05$), and negatively correlated with the ratio of transverse diameter ($P<0.05$), but there were differences among different population sources. There was no significant correlation between longitude and latitude and morphological indexes of lotus fruits. The longitude was positively correlated with the ratio of longitudinal diameter and longitudinal diameter ($P<0.01$), but negatively correlated with transverse diameter and single grain weight ($P<0.01$). There was a significant positive correlation between latitude and longitudinal diameter ($P<0.05$), a very significantly positive correlation between latitude and longitudinal diameter ratio ($P<0.01$), a significantly negative correlation between latitude and transverse diameter ($P<0.05$), and a negative correlation between latitude and single grain weight ($P<0.05$). Systematic cluster analysis showed that 59 populations of wild lotus fruits could be divided into 2–5 branches. All lotus fruits of American lotus and the Chiang Mai population of Thai lotus formed the first cluster, and the remaining Asian lotus formed the second cluster. Morphological traits of lotus fruits varied across the different years of collection. The results would provide scientific basis for lotus resource conservation, auxiliary identification, germplasm innovation and lotus fruit production.

Keywords: lotus fruits; germplasm resource; morphological character; variation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.03.009

莲又称荷花、莲花,为莲科(Nelumbonaceae)莲属(*Nelumbo*)的多年生挺水植物,目前仅存美洲莲[*N. lutea* (Willd.) Pers.]和亚洲莲(*N. nucifera* Gaertn.) 2个种。美洲莲分布在美国、墨西哥和加勒比海岛国等地,亚洲莲分布于俄罗斯南部、中国、印度、越南、泰国等亚洲国家及澳大利亚北部^[1-2]。荷花具有重要的观赏价值、经济价值和文化价值。依据不同用途,可分为观赏用的花莲、生产食用莲子为主的子莲和生产莲藕作蔬菜用的藕莲^[3]。

莲子在食品科学、生物医学等方面均被广泛研究。研究证明莲子具有多种利用价值,在抗氧化方面可以清除人体内的自由基^[4-5],莲子所含的莲子多酚与茶多酚对抑制细菌繁殖有显著效果^[6]。近年来也有研究表明莲子所含的活性物质对抗肿瘤、抗癌起到一定的作用^[7-8]。此外,莲子也是我国重要的经济资源,具有丰富的遗传多样性,品质差异较大,如何充分利用该遗传资源,从而在莲子产量、营养品质等方面实现育种上的突破,是实现这一重要经济作物维持国际贸易的关键^[9]。

作为种子植物重要的繁殖器官,种子的表型特征是植物形态学最直观的分类依据,也是物种遗传多样性的基础^[10]。自然界中个体间种子大小变异既受遗传控制,又受环境的影响^[11]。四川牡丹(*Paeonia decomposita* Hand.-Mazz.) 6个种源地的种长、种宽、千粒重等性状在不同种源地间均达到显著水平^[12]。香椿[*Toona sinensis* (A. Juss.)

Roem.]种子长、种子宽、百粒质量等 8 个性状在种源间存在极显著差异,且种子性状与经纬度之间呈显著关系,种子大小有从西南往东北方向减小的趋势^[13]。莲子是莲的重要器官,目前对其形态特征的多样性缺乏系统分析与总结。王玲等^[14]比较了 5 个野生种群莲子形态,结果显示不同种群莲子形态存在较大差异;薛建华等^[15]对黑龙江流域野生莲进行调查观测,发现野生莲的莲子外形未见明显差异;付彦荣^[16]对 9 个野生莲居群莲子形态进行测量比较,结果表明东北三省和内蒙古野生莲居群的莲子较大,河北、山东的莲子偏小,但与湖南的莲子差异不大。前人研究的样本量偏少或局限于某一区域,而莲的分布范围较广,因此,需要广泛收集和整理莲子资源,研究其性状差异,选育良种,以丰富遗传资源。本研究对 81 份不同来源莲子(59 个野生居群,15 个栽培居群,7 个子莲品种)进行形态指标的测量和比较分析,旨在全面了解和掌握不同资源莲子形态特征的多样性和变异规律,为莲的资源保护和辅助鉴定、种质创新、莲子生产等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料中 81 份不同来源莲子为上海辰山植物园观赏植物资源与创新利用课题组 2010~2023 年从国内外各地野外采集及收集的成熟干莲

子，来源涵盖美国中西部、东南部，加拿大，中国东北、华北、华中、华东、西南及华南地区，越南北部及泰国北部。此外，3 个居群不同年份莲子分别采自中国河北白洋淀（2013、2015、2023 年）、中国山东微山湖（2015、2016 年）、中国湖北洪湖（2015、2023 年）（表 1）。

表 1 莲子采集信息
Tab. 1 Collection information of lotus fruits

编号 No.	居群/品种 Population/Cultivar	类型 Type	采集地点 Collection site	编号 No.	居群/品种 Population/Cultivar	类型 Type	采集地点 Collection site
1	USAAL	野生	美国阿拉巴马	42	HBSS	野生	中国湖北石首
2	USAFL	野生	美国佛罗里达	43	HBTSS	野生	中国湖北团山寺
3	USAMD	野生	美国马里兰	44	HBDZ-1	野生	中国湖北大治 1
4	USAMO	野生	美国密苏里	45	HBDZ-2	野生	中国湖北大治 2
5	CANON	野生	加拿大安大略	46	HBXT	栽培	中国湖北仙桃
6	YNBW	栽培	越南巴维	47	HNYY-1	野生	中国湖南岳阳 1
7	YNSH	栽培	越南顺化	48	HNYY-2	野生	中国湖南岳阳 2
8	YNXL	栽培	越南仙侣	49	HNYY-3	野生	中国湖南岳阳 3
9	TGQM	野生	泰国清迈	50	HNLS	野生	中国湖南龙山
10	HLJDJ	野生	中国黑龙江东极	51	HNXY	野生	中国河南信阳
11	HLJDQ	野生	中国黑龙江大庆	52	HNQX	古代莲	中国河南杞县
12	HLJFZ	野生	中国黑龙江方正	53	SDWSH	野生	中国山东微山湖
13	HLJJMS-1	野生	中国黑龙江佳木斯 1	54	JSGYH	野生	中国江苏高邮湖
14	HLJJMS-2	野生	中国黑龙江佳木斯 2	55	JSHZH-1	野生	中国江苏洪泽湖 1
15	HLJRH	野生	中国黑龙江饶河	56	JSHZH-2	野生	中国江苏洪泽湖 2
16	HLJSC	野生	中国黑龙江双城	57	JSHZH-3	野生	中国江苏洪泽湖 3
17	HLJTJ	野生	中国黑龙江同江	58	JSHZH-4	野生	中国江苏洪泽湖 4
18	HLJWC	野生	中国黑龙江五常	59	JSTH-1	野生	中国江苏太湖 1
19	HLJXK	野生	中国黑龙江逊克	60	JSTH-2	野生	中国江苏太湖 2
20	JLCC	野生	中国吉林长春	61	JSTH-3	野生	中国江苏太湖 3
21	JLSL	野生	中国吉林舒兰	62	AHGYH	野生	中国安徽高邮湖
22	LNDL-1	古代莲	中国辽宁大连 1	63	AHMAS	野生	中国安徽马鞍山
23	LNDL-2	古代莲	中国辽宁大连 2	64	AHTL	野生	中国安徽铜陵
24	LNDL-3	古代莲	中国辽宁大连 3	65	AHWJ	野生	中国安徽望江
25	LNZW	野生	中国辽宁彰武	66	JXPYH-1	野生	中国江西鄱阳湖 1
26	LNTL	野生	中国辽宁铁岭	67	JXPYH-2	野生	中国江西鄱阳湖 2
27	LNPJ	栽培	中国辽宁盘锦	68	JXPYH-3	栽培	中国江西鄱阳湖 3
28	BJYHY-1	栽培	中国北京颐和园 1	69	FJSM	野生	中国福建三明
29	BJYHY-2	栽培	中国北京颐和园 2	70	CQDZ	栽培	中国重庆大足
30	BJYMY-1	栽培	中国北京圆明园 1	71	CQTL	栽培	中国重庆铜梁
31	BJYMY-2	栽培	中国北京圆明园 2	72	SCST	野生	中国四川三台
32	BJZWGY	栽培	中国北京中坞公园	73	GDSZ	野生	中国广东深圳
33	BJBWGY	栽培	中国北京北坞公园	74	GDGZ	栽培	中国广东广州
34	HBBYD-1	野生	中国河北白洋淀 1	75	JX17	子莲品种	中国福建建宁
35	HBBYD-2	野生	中国河北白洋淀 2	76	FJJN	子莲品种	中国福建建宁
36	HBBD	野生	中国河北保定	77	ZSHY	子莲品种	中国广东中山
37	HBHJ	野生	中国河北河间	78	GXSJ	子莲品种	中国广西三江
38	HBHH-1	野生	中国湖北洪湖 1	79	HNXT	子莲品种	中国湖南湘潭
39	HBHH-2	野生	中国湖北洪湖 2	80	HBWH	子莲品种	中国湖北武汉
40	HBLZH-1	野生	中国湖北梁子湖 1	81	TK36	子莲品种	中国浙江龙游
41	HBLZH-2	野生	中国湖北梁子湖 2				

注：1~5 为美洲莲，6~81 为亚洲莲；同一地点不同编号代表不同居群。
Note: 1-5 is American lotus, 6-81 is Asian lotus; The different numbers of same location indicate different populations.

1.2 莲子形态测定

用精度为 0.01 mm 电子游标卡尺分别测量莲子横径、纵径,用精度为 0.0001 g 电子天平称量莲子单粒重,莲子形状用纵横径比表示,每份莲子资源测量粒数不少于 10 粒,所有结果统一保留小数点后 2 位。参照《国际植物新品种保护公约》并参考曾绍校等^[17]的标准确定其形状,纵横径比在 1.000~1.200 定为圆形,在 1.201~1.400 之间,莲子上端小、下端大,两端不对称定为卵圆形,莲子两端对称均匀定为椭圆形,1.400 以上定为长椭圆形。

1.3 数据处理

利用 Excel 2019 和 SPSS 23 软件对所测量数据进行描述性分析,了解各项指标的平均数、标准差和变异系数;同时,根据野生莲莲子的形态

性状进行系统聚类分析;利用 Origin 2022 软件对莲子纵径、横径、纵横径比以及单粒重进行数据分布分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同来源莲子形态差异分析

2.1.1 莲子形态性状分布分析 81 份莲子资源形态性状变异幅度大。纵径变化幅度为 12.03~19.58 mm,主要集中在 15.70~17.05 mm 区间;横径变化幅度为 7.93~15.72 mm,主要集中在 10.21~11.39 mm 区间(图 1A);纵横径比变化幅度为 1.01~1.97,主要集中在 1.40~1.63 区间;单粒重变化幅度为 0.41~2.26 g,主要集中在 0.91~1.14 g 区间(图 1B)。

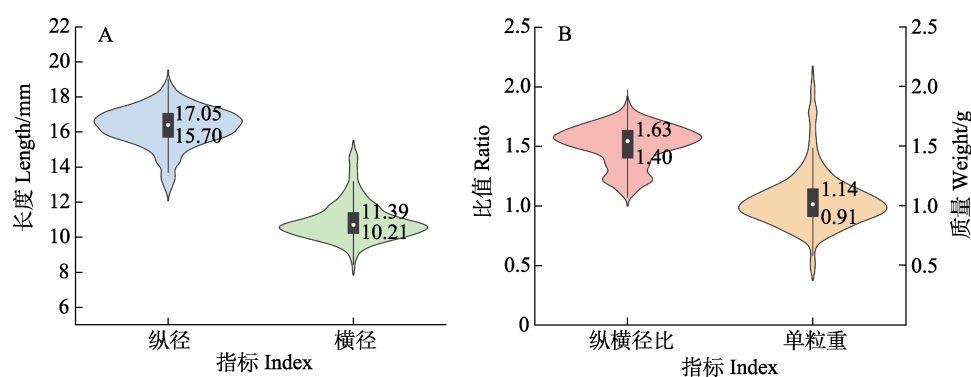


图 1 81 份莲子资源形态性状分布

Fig. 1 Distribution of morphological characters of lotus fruits from 81 accessions

2.1.2 美洲莲的莲子形态差异分析 美洲莲的莲子平均纵径为 (13.97 ± 0.85) mm,平均变异系数为 3.07%;平均横径为 (11.98 ± 0.61) mm,平均变异系数为 3.72%;平均纵横径比为 1.17 ± 0.07 ,平均变异系数为 4.09%;平均单粒重为 (1.13 ± 0.03) g,平均变异系数为 8.89%(表 2)。平均纵径、横径、纵横径比及单粒重的变异系数均小于 10%,说明美洲莲莲子形态性状离散程度较小,具有较好的稳定性。

美洲莲的莲子不同居群间纵径、横径、纵横径比及单粒重之间存在显著差异。纵径、横径和粒重的最大值均出现在加拿大安大略省,分别为 (15.21 ± 0.50) mm、 (12.80 ± 0.39) mm 和 (1.21 ± 0.08) g;最小值皆在美国阿拉巴马州,分别为 (13.18 ± 0.42) mm、 (11.45 ± 0.29) mm 和 (1.01 ± 0.06) g;纵横径比最大值出现在美国佛罗里达州 (1.22 ± 0.07) ,最小值出现在美国密苏里州 (1.09 ± 0.04) (表 2)。

2.1.3 亚洲莲的莲子形态差异分析 野生(型)

亚洲莲的莲子平均纵径为 (16.52 ± 0.88) mm,平均变异系数为 3.48%;平均横径为 (10.51 ± 0.72) mm,平均变异系数为 4.02%;平均纵横径比为 1.58 ± 0.11 ,平均变异系数为 3.99%;平均单粒重为 (0.98 ± 0.17) g,平均变异系数为 9.80%(表 3)。其中,纵径、横径、纵横径比和粒重最大值分别在中国湖南岳阳居群 2 $[(17.92 \pm 0.58)$ mm],中国江苏太湖居群 2 $[(12.16 \pm 0.57)$ mm],中国黑龙江方正 (1.75 ± 0.07) 和中国河南信阳 $[(1.40 \pm 0.12)$ g]。纵径和粒重最小值在中国四川三台,分别为 (15.19 ± 0.77) mm、 (0.54 ± 0.07) g,横径和纵横径比最小值在泰国清迈,分别为 (14.27 ± 0.31) mm、 1.22 ± 0.04 。

不同地区野生(型)莲的莲子间纵径、横径、纵横径比及单粒重存在显著差异(表 3)。中国东北地区莲子纵径和纵横径比最大值在中国黑龙江方正,分别为 (17.66 ± 0.53) mm、 1.75 ± 0.07 ;横径和粒重最大值在中国黑龙江双城,分别为 (10.78 ± 0.30) mm、 (1.10 ± 0.10) g;纵径和纵横径比最小值分

表 2 不同地点美洲莲的莲子形态差异
Tab. 2 Morphological differences of American lotus fruits from different locations

来源 Source	居群 Population	粒数 Number	纵径 Longitudinal diameter				横径 Transverse			
			均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异系数 CV/%	均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Ma/mm x	变异系数 CV/%
美国	USAAL	49	13.18±0.42 ^c	12.19	13.98	3.15	11.45±0.29 ^c	10.80	11.99	2.55
	USAFL	44	14.48±0.40 ^b	13.67	15.32	2.76	11.91±0.74 ^b	10.53	13.28	6.18
	USAMD	46	14.52±0.45 ^b	13.74	15.44	3.12	12.17±0.45 ^b	11.42	13.09	3.69
	USAMO	41	13.19±0.40 ^c	12.03	13.80	3.03	12.09±0.38 ^b	11.24	12.92	3.13
加拿大	CANON	18	15.21±0.50 ^a	14.29	16.00	3.29	12.80±0.39 ^a	11.79	13.34	3.07
均值			13.97±0.85			3.07	11.98±0.61			3.72

来源 Source	居群 Population	粒数 Number	纵横径比 L-T ratio				单粒重 Weight per grain			
			均值 Mean	最小值 Min	最大值 Max	变异系数 CV/%	均值 Mean/g	最小值 Min/g	最大值 Max/g	变异系数 CV/%
美国	USAAL	49	1.15±0.05 ^b	1.07	1.26	3.92	1.01±0.06 ^b	0.87	1.14	5.99
	USAFL	44	1.22±0.07 ^a	1.10	1.37	5.57	1.18±0.17 ^a	0.90	1.40	14.43
	USAMD	46	1.19±0.05 ^a	1.09	1.33	4.17	1.18±0.10 ^a	1.02	1.42	8.72
	USAMO	41	1.09±0.04 ^c	1.01	1.19	3.30	1.13±0.10 ^a	0.98	1.37	8.58
加拿大	CANON	18	1.19±0.04 ^{ab}	1.12	1.24	3.51	1.21±0.08 ^a	1.07	1.36	6.73
均值			1.17±0.07			4.09	1.13±0.03			8.89

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

别在中国辽宁大连居群 2[(15.97±0.62)mm]和中国黑龙江逊克 (1.55±0.06)；横径和单粒重最小值在中国辽宁大连居群 3，分别为(9.51±0.28)mm、(0.79±0.05)g。中国华北地区莲子纵径和纵横径比最大值分别在中国河北白洋淀居群 1[(17.03±0.63)mm]、中国河北保定 (1.58±0.07)，横径和单粒重最大值在中国河北河间，分别为(11.71±0.40)mm、(1.29±0.05)g；纵径、横径和单粒重最小值在中国河北白洋淀居群 2，分别为(15.88±0.46)mm、(10.19±0.40)mm、(0.98±0.07)g；纵横径比最小值在中国河北河间，为 1.41±0.06。中国华中地区莲子纵径和纵横径比最大值分别在中国湖南岳阳居群 2[(17.92±0.58)mm]和中国湖北团山寺 (1.70±0.05)，横径和单粒重最大值在中国河南信阳，分别为(12.09±0.52)mm、(1.40±0.12)g；纵径和纵横径比最小值分别在中国湖北石首[(15.56±0.53)mm]和中国河南信阳 (1.37±0.06)，横径和单粒重最小值在中国湖北梁子湖居群 2，分别为(9.97±0.42)mm、(0.86±0.08)g。中国华东地区莲子纵径和纵横径比最大值分别在中国江西鄱阳湖居群 2[(17.83±0.23)mm]、中国江苏洪泽湖居群 1 (1.69±0.09)，横径、单粒重最大值在中国江苏太湖居群 2，分别为(12.16±0.57)mm、(1.36±0.16)g；纵径、横径、单粒重最

小值在中国江苏洪泽湖居群 2，分别为(15.79±0.64)mm、(9.68±0.47)mm、(0.80±0.09)g，纵横径比最小值在中国江苏太湖居群 2 (1.38±0.05)。

15 个栽培居群亚洲莲的莲子平均纵径为 (15.81±1.21)mm，平均变异系数为 3.81%；平均横径为(11.18±0.89)mm，平均变异系数为 4.62%；平均纵横径比为 1.42±0.14，平均变异系数为 4.83%；平均单粒重为(1.07±0.18)g，平均变异系数为 10.40%（表 4）。15 个栽培亚洲莲莲子间纵径、横径、纵横径比及单粒重存在显著差异。纵径和纵横径比最大值分别在中国重庆铜梁[(17.07±0.78)mm]、中国北京圆明园居群 2 (1.64±0.10)，最小值在越南仙侣，分别为(13.65±0.54)mm、1.23±0.54；横径和单粒重最大值在中国江西鄱阳湖居群 3，分别为(13.44±0.45)mm、(1.49±0.10)g，最小值分别在中国北京圆明园居群 2[(10.08±0.52)mm]、越南顺化[(0.83±0.08)g]。

7 个子莲品种的莲子平均纵径为(16.71±0.94)mm，变异系数为 4.20%；平均横径为(13.20±1.24)mm，变异系数为 3.85%；平均纵横径比为 1.27±0.08，变异系数为 3.79%；平均单粒重为(1.53±0.33)g，变异系数为 11.27%（表 5）。7 个子莲品种莲子间纵径、横径、纵横径比及单粒重存

表 3 不同地点亚洲野生（型）莲的莲子形态差异
Tab. 3 Morphological differences of Asian wild lotus fruits from different locations

来源 Source	居群 Population	粒数 Number	纵径 Longitudinal diameter				横径 Transverse				纵横径比 L-T ratio				单粒重 Weight per grain			
			均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异 系数 CV/%	均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异 系数 CV/%	均值 Mean	最小值 Min	最大值 Max	变异 系数 CV/%	均值 Mean/g	最小值 Min/g	最大值 Max/g	变异 系数 CV/%
泰国	TGQM	28	14.27±0.31	13.47	14.86	2.16	11.74±0.45	10.41	12.34	3.81	1.22±0.04	1.16	1.33	3.26	1.13±0.11	0.91	1.29	9.70
中国	HLJDJ	98	16.97±0.70 ^{bc}	15.43	19.46	4.13	10.41±0.44 ^b	9.20	11.30	4.24	1.63±0.06 ^{cd}	1.52	1.75	3.47	1.01±0.10 ^b	0.81	1.30	10.10
东北	HLJDQ	49	16.56±0.82 ^{defg}	15.11	18.34	4.93	10.12±0.55 ^{cd}	8.84	11.12	5.41	1.64±0.12 ^{cd}	1.45	1.97	7.15	0.90±0.12 ^{def}	0.71	1.18	12.85
	HLJFZ	21	17.66±0.53 ^a	16.84	18.84	3.02	10.11±0.42 ^{abcd}	9.36	11.14	4.13	1.75±0.07 ^a	1.64	1.87	4.10	0.99±0.10 ^{bc}	0.77	1.15	9.85
	HLJJMS-1	50	16.66±0.48 ^{cd}	15.84	18.07	2.88	10.23±0.33 ^{bc}	9.61	11.16	3.27	1.63±0.05 ^{cd}	1.47	1.72	3.08	0.89±0.07 ^{ef}	0.74	1.01	8.00
	HLJJMS-2	40	16.96±0.49 ^{bd}	15.89	18.66	2.91	10.43±0.38 ^{ab}	9.41	11.10	3.62	1.63±0.06 ^{cde}	1.50	1.81	3.63	0.98±0.10 ^{bc}	0.74	1.22	10.13
	HLJRH	21	17.22±0.62 ^{abc}	15.55	17.95	3.58	10.30±0.46 ^{bcd}	9.37	11.09	4.51	1.67±0.06 ^{bc}	1.55	1.78	3.36	1.01±0.10 ^{abc}	0.77	1.16	10.20
	HLJSC	22	17.27±0.55 ^{ab}	16.31	18.46	3.17	10.78±0.30 ^a	10.28	11.45	2.77	1.60±0.06 ^{cde}	1.51	1.73	3.68	1.10±0.10 ^a	0.91	1.29	8.80
	HLJTJ	21	16.73±0.62 ^{bd}	15.68	18.00	3.73	10.35±0.34 ^{abc}	9.84	11.01	3.29	1.62±0.06 ^{cde}	1.45	1.71	3.84	0.99±0.09 ^{bc}	0.82	1.21	9.54
	HLJWC	21	16.36±0.67 ^{efgh}	14.98	17.53	4.10	10.11±0.35 ^{bcd}	9.35	10.57	3.47	1.62±0.07 ^{cde}	1.50	1.78	4.61	0.94±0.07 ^{bde}	0.82	1.07	7.63
	HLJXK	100	16.07±0.52 ^b	14.27	17.56	3.24	10.41±0.40 ^b	9.54	11.39	3.81	1.55±0.06 ^f	1.39	1.69	3.60	0.86±0.08 ^f	0.68	0.99	9.26
	HLCC	26	16.29±0.78 ^{fgh}	14.99	17.60	4.76	9.88±0.59 ^{de}	8.87	10.87	5.93	1.65±0.07 ^c	1.56	1.79	4.11	0.94±0.13 ^{bode}	0.77	1.12	13.68
	HLSL	18	16.97±0.65 ^{abcde}	15.51	17.79	3.83	10.36±0.35 ^{abc}	9.72	10.83	3.39	1.64±0.05 ^{cde}	1.54	1.73	2.92	0.98±0.11 ^{bd}	0.78	1.18	11.35
	LNDL-1	20	16.03±0.67 ^{gh}	14.66	16.84	4.17	10.24±0.37 ^{bcd}	9.64	10.78	3.58	1.57±0.05 ^{ef}	1.50	1.68	3.08	0.92±0.10 ^{cd}	0.75	1.05	11.13
	LNDL-2	20	15.97±0.62 ^h	15.00	17.63	3.88	10.12±0.29 ^{bd}	9.52	10.62	2.83	1.58±0.07 ^{def}	1.49	1.72	4.26	0.93±0.08 ^{cd}	0.77	1.09	8.57
	LNDL-3	29	16.38±0.54 ^{efgh}	15.31	17.29	3.28	9.51±0.28 ^e	8.95	9.91	2.94	1.72±0.06 ^{ab}	1.61	1.87	3.53	0.79±0.05 ^g	0.66	0.86	6.46
	LNZW	30	16.85±0.59 ^{bcd}	15.74	18.05	3.53	10.38±0.45 ^{abc}	9.39	11.81	4.34	1.62±0.06 ^{cde}	1.50	1.77	3.77	0.98±0.09 ^{bc}	0.79	1.20	8.88
	LNTL	50	16.78±0.67 ^{bd}	15.53	18.48	3.99	10.38±0.39 ^{bc}	9.62	11.26	3.78	1.62±0.07 ^{cde}	1.49	1.83	4.38	1.00±0.09 ^{bc}	0.83	1.21	8.69
中国	HBBD	46	17.03±0.63 ^a	15.30	17.97	3.71	11.52±0.51 ^a	10.41	12.47	4.41	1.48±0.06 ^b	1.37	1.63	3.75	1.27±0.14 ^a	1.01	1.51	10.93
华北	HBYYD-1	46	17.03±0.63 ^a	15.30	17.97	3.71	11.52±0.51 ^a	10.41	12.47	4.41	1.48±0.06 ^b	1.37	1.63	3.75	1.27±0.14 ^a	1.01	1.51	10.93
	HBYYD-2	50	15.88±0.46 ^c	14.66	16.75	2.88	10.19±0.40 ^b	9.50	11.09	3.94	1.56±0.07 ^a	1.43	1.74	4.48	0.98±0.07 ^b	0.86	1.14	7.17
	HBBD	50	16.42±0.67 ^b	14.85	17.92	4.10	10.42±0.40 ^b	9.44	11.18	3.88	1.58±0.07 ^a	1.44	1.71	4.64	1.01±0.12 ^b	0.74	1.24	11.89
	HBHJ	20	16.52±0.36 ^b	15.93	17.27	2.16	11.71±0.40 ^a	10.94	12.79	3.39	1.41±0.06 ^c	1.31	1.50	3.90	1.29±0.05 ^a	1.19	1.38	4.17
中国	HBHH-1	96	17.01±0.79 ^{bc}	15.57	19.10	4.65	10.24±0.38 ^e	9.07	10.96	3.76	1.66±0.10 ^{ab}	1.54	1.81	3.82	0.99±0.10 ^{ef}	0.77	1.23	10.34
华中	HBHH-2	50	16.46±0.51 ^e	15.04	17.37	3.07	10.26±0.47 ^{ef}	9.27	11.22	4.61	1.61±0.08 ^{cd}	1.43	1.78	4.91	1.01±0.09 ^{def}	0.79	1.21	8.88
	HBLZH-1	88	16.03±0.67 ^f	14.76	17.46	4.18	10.58±0.38 ^{cd}	9.73	11.34	3.63	1.51±0.05 ^g	1.41	1.61	3.08	0.98±0.11 ^f	0.70	1.18	11.11
	HBLZH-2	44	15.65±0.37 ^g	15.08	16.54	2.38	9.97±0.42 ^f	9.20	11.21	4.25	1.57±0.05 ^{cde}	1.42	1.73	3.45	0.86±0.08 ^h	0.71	1.08	8.83
	HBSS	50	15.56±0.53 ^g	14.48	16.97	3.38	10.21±0.52 ^{ef}	9.37	11.80	5.12	1.53±0.06 ^{fg}	1.32	1.61	3.62	0.91±0.08 ^{gh}	0.74	1.10	9.19
	HBTSS	50	17.35±0.57 ^b	16.15	18.71	3.29	10.24±0.39 ^{ef}	9.50	11.02	3.80	1.70±0.05 ^a	1.59	1.80	2.97	0.96±0.09 ^{fg}	0.75	1.14	9.55
	HBDZ-1	53	16.20±0.45 ^{ef}	15.16	17.09	2.79	10.88±0.38 ^b	10.08	11.68	3.53	1.49±0.04 ^g	1.41	1.60	2.74	1.04±0.08 ^{cde}	0.89	1.24	8.12

续表 3 不同地点亚洲野生（型）莲的莲子形态差异
Tab. 3 Morphological differences of Asian wild lotus fruits from different locations (continued)

来源 Source	居群 Population	粒数 Number	纵径 Longitudinal diameter				横径 Transverse				纵横径比 L-T ratio				单粒重 Weight per grain			
			均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异 系数 CV/%	均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异 系数 CV/%	均值 Mean	最小值 Min	最大值 Max	变异 系数 CV/%	均值 Mean/g	最小值 Min/g	最大值 Max/g	变异 系数 CV/%
中国 华中	HBDZ-2	99	16.31±0.42 ^e	15.20	17.15	2.59	10.76±0.41 ^{bc}	9.69	11.82	3.77	1.52±0.07 ^g	1.40	1.77	4.60	1.06±0.08 ^{cd}	0.91	1.28	7.42
	HNYY-1	64	16.88±0.48 ^{cd}	15.69	18.25	2.84	10.42±0.39 ^{de}	9.62	11.21	3.72	1.62±0.08 ^c	1.48	1.77	4.86	0.98±0.09 ^{ef}	0.73	1.16	9.46
	HNYY-2	47	17.92±0.58 ^a	16.90	18.97	3.23	10.93±0.37 ^b	10.02	11.64	3.40	1.64±0.07 ^{bc}	1.50	1.86	4.37	1.10±0.12 ^c	0.83	1.30	10.99
	HNYY-3	49	17.03±0.55 ^{bc}	16.10	18.7	3.21	10.92±0.42 ^b	10.18	11.89	3.87	1.56±0.07 ^{ef}	1.38	1.68	4.54	1.18±0.09 ^b	1.00	1.45	7.50
	HNLS	27	16.51±0.61 ^{de}	15.66	17.93	3.69	12.00±0.50 ^a	11.23	13.40	4.14	1.38±0.05 ^h	1.29	1.51	3.74	1.05±0.17 ^{cde}	0.82	1.38	16.16
中国 华东	HNXY	19	16.55±0.60 ^{de}	15.46	17.58	3.65	12.09±0.52 ^a	11.13	12.95	4.29	1.37±0.06 ^h	1.26	1.50	4.31	1.40±0.12 ^a	1.18	1.62	8.37
	HNQX	15	16.36±0.59 ^{def}	15.50	17.67	3.61	10.19±0.40 ^{ef}	9.41	10.78	3.94	1.61±0.06 ^{bde}	1.51	1.69	3.91	0.96±0.08 ^{efg}	0.84	1.11	7.97
	SDWSH	45	16.22±0.99 ^{ef}	14.70	19.45	6.13	10.08±0.58 ^{gh}	8.97	11.45	5.80	1.61±0.07 ^{cde}	1.43	1.75	4.62	0.86±0.11 ^{efg}	0.70	1.15	13.06
	JSGYH	96	16.38±0.53 ^{de}	15.15	17.62	3.24	10.52±0.39 ^e	9.30	11.76	3.73	1.56±0.05 ^{fg}	1.40	1.69	3.45	0.91±0.10 ^{de}	0.70	1.14	10.97
	JSHZH-1	48	17.22±0.75 ^{ab}	15.57	18.85	4.35	10.18±0.61 ^{gh}	8.70	12.30	5.95	1.69±0.09 ^a	1.40	1.86	5.13	0.98±0.11 ^c	0.76	1.15	10.96
	JSHZH-2	29	15.79±0.64 ^f	14.77	17.75	4.07	9.68±0.47 ⁱ	9.00	10.66	4.83	1.63±0.06 ^{bcd}	1.52	1.76	3.72	0.80±0.09 ^g	0.69	1.07	11.85
	JSHZH-3	33	15.81±0.21 ^f	15.30	16.14	1.30	9.90±0.28 ^{hi}	9.32	10.62	2.87	1.60±0.05 ^{cdef}	1.47	1.71	3.05	0.82±0.07 ^{fg}	0.70	0.96	7.98
	JSHZH-4	51	17.06±0.49 ^{bc}	15.87	18.06	2.87	10.89±0.35 ^c	10.15	11.58	3.20	1.57±0.03 ^{efg}	1.49	1.64	2.05	1.13±0.10 ^b	0.90	1.32	8.99
	JSTH-1	30	17.31±0.34 ^{ab}	16.50	18.36	1.96	11.30±0.44 ^b	10.06	11.96	3.92	1.53±0.07 ^{gh}	1.45	1.77	4.84	1.02±0.09 ^e	0.81	1.17	8.57
	JSTH-2	50	16.72±0.62 ^{cd}	15.38	18.01	3.70	12.16±0.57 ^a	11.04	13.42	4.65	1.38±0.05 ^j	1.24	1.48	3.75	1.36±0.16 ^a	1.11	1.67	11.78
	JSTH-3	48	16.02±0.52 ^{ef}	15.02	17.55	3.25	10.86±0.48 ^{cd}	9.73	11.94	4.41	1.48±0.06 ⁱ	1.37	1.58	3.77	0.88±0.10 ^{ef}	0.76	1.14	10.97
	AHGYH	50	17.51±0.50 ^a	16.49	18.71	2.87	10.86±0.45 ^{cd}	9.20	11.80	4.14	1.61±0.06 ^{cd}	1.51	1.83	3.98	0.99±0.07 ^e	0.77	1.13	6.94
	AHMAS	45	17.01±0.55 ^{bc}	15.99	17.85	3.21	10.58±0.33 ^{cde}	9.82	11.47	3.16	1.61±0.07 ^{cde}	1.46	1.73	4.35	0.97±0.05 ^{cd}	0.86	1.11	5.45
	AHTL	44	16.44±0.72 ^{de}	14.18	17.85	4.38	10.40±0.50 ^{efg}	9.40	11.51	4.82	1.58±0.09 ^{defg}	1.33	1.79	5.56	0.85±0.12 ^{efg}	0.70	1.21	14.53
	AHWJ	25	17.39±0.70 ^{ab}	16.43	18.62	4.04	10.48±0.38 ^{def}	9.89	11.33	3.60	1.66±0.05 ^{abc}	1.60	1.83	3.27	1.00±0.14 ^e	0.73	1.24	14.36
中国 西南	JXPYH-1	50	17.06±0.48 ^{bc}	16.18	18.17	2.81	10.15±0.43 ^{gh}	9.47	11.39	4.28	1.68±0.07 ^{ab}	1.52	1.80	3.91	1.01±0.09 ^e	0.82	1.24	9.34
	JXPYH-2	12	17.83±0.23 ^a	17.37	18.12	1.28	10.54±0.37 ^{cdefg}	10.12	11.25	3.53	1.69±0.08 ^{ab}	1.57	1.77	4.52	1.03±0.05 ^{bc}	0.91	1.08	5.13
	FJSM	47	15.95±0.51 ^f	15.08	17.29	3.20	10.57±0.43 ^{de}	9.51	11.40	4.04	1.51±0.06 ^{hi}	1.42	1.71	3.79	0.91±0.09 ^{de}	0.75	1.18	10.33
	SCST	61	15.19±0.77	13.61	16.89	5.05	8.79±0.45	7.93	9.99	5.13	1.73±0.07	1.58	1.93	4.05	0.54±0.07	0.41	0.67	13.96
	GDSZ	50	15.20±0.64	14.23	16.61	4.23	11.14±0.49	10.15	12.34	4.44	1.37±0.07	1.26	1.56	5.28	1.09±0.12	0.90	1.49	11.29
中国 华南																		
均值			16.52±0.88			3.48	10.51±0.72			4.02	1.58±0.11			3.99	0.98±0.17			9.80

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

表 4 不同地点栽培亚洲莲的莲子形态差异
Tab. 4 Morphological differences of cultivated Asian wild lotus fruits from different locations

来源 Source	居群 Population	粒数 Number	纵径 Longitudinal diameter				横径 Transverse			
			均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异系数 CV/%	均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异系数 CV/%
越南	YNBW	49	15.65±0.57 ^{de}	14.14	16.96	3.65	11.66±0.45 ^c	10.61	12.73	3.87
	YNSH	32	14.52±0.61 ^f	13.28	15.57	4.18	10.77±0.54 ^{ef}	9.78	11.82	5.02
	YNXL	50	13.65±0.54 ^g	12.57	14.97	3.92	11.13±0.51 ^{de}	10.05	14.97	4.60
中国	LNPJ	48	15.68±0.59 ^{de}	14.15	17.23	3.76	10.74±0.70 ^f	9.31	12.36	6.53
	BJYHY 1	10	16.53±0.80 ^{abc}	15.18	17.73	4.87	10.90±0.30 ^{def}	10.43	11.49	2.77
	BJYHY 2	29	17.04±0.49 ^a	16.15	17.91	2.89	10.84±0.42 ^{ef}	10.00	11.76	3.85
	BJYMY 1	10	17.07±0.52 ^{ab}	16.38	18.37	3.06	10.69±0.57 ^{efg}	10.05	11.91	5.37
	BJYMY 2	29	16.46±0.61 ^{bc}	14.99	17.52	3.70	10.08±0.52 ^g	9.11	11.21	5.15
	BJZWGY	30	16.33±0.85 ^{bc}	14.05	17.37	5.22	10.69±0.44 ^f	9.84	11.78	4.12
	BJBWGY	28	15.97±0.80 ^{cd}	14.32	17.79	5.04	11.91±0.78 ^c	10.33	13.01	6.59
	HBXT	15	15.17±0.41 ^{ef}	14.45	15.82	2.72	12.65±0.62 ^b	11.75	13.74	4.90
	JXPYH-3	14	16.44±0.52 ^{abc}	15.68	17.69	3.15	13.44 ± 0.45 ^a	12.95	14.65	3.37
	CQDZ	15	16.88±0.36 ^{ab}	16.11	17.66	2.14	11.47±0.28 ^{cd}	10.89	11.99	2.40
	CQTL	50	17.07±0.78 ^a	15.64	18.83	4.57	11.68±0.64 ^c	10.38	13.36	5.45
	GDGZ	49	15.59±0.67 ^{de}	14.47	17.17	4.28	10.62±0.57 ^f	9.10	11.69	5.33
均值			15.81±1.21			3.81	11.18±0.89			4.62
来源 Source	居群 Population	粒数 Number	纵横径比 L-T ratio				单粒重 Weight per grain			
			均值 Mean	最小值 Min	最大值 Max	变异系数 CV/%	均值 Mean/g	最小值 Min/g	最大值 Max/g	变异系数 CV/%
越南	YNBW	49	1.34±0.06 ^c	1.22	1.46	4.20	1.16±0.11 ^{bcd}	0.94	1.36	9.61
	YNSH	32	1.35±0.07 ^c	1.20	1.52	5.28	0.83±0.08 ^g	0.64	0.95	9.85
	YNXL	50	1.23±0.54 ^f	1.11	1.35	4.30	0.94±0.10 ^f	0.77	1.16	11.05
中国	LNPJ	48	1.46±0.09 ^d	1.31	1.66	6.08	0.99±0.11 ^{ef}	0.80	1.24	11.26
	BJYHY 1	10	1.52±0.10 ^{bcd}	1.38	1.69	6.82	1.12±0.06 ^{bcdde}	1.05	1.22	5.61
	BJYHY 2	29	1.57±0.06 ^{ab}	1.45	1.74	3.93	1.13±0.11 ^{bcd}	0.97	1.30	9.87
	BJYMY 1	10	1.60±0.07 ^{ab}	1.45	1.68	4.49	1.07±0.15 ^{cdef}	0.92	1.45	13.90
	BJYMY 2	29	1.64±0.10 ^a	1.42	1.87	5.94	0.93±0.09 ^{fg}	0.76	1.20	10.17
	BJZWGY	30	1.53±0.06 ^{bc}	1.41	1.64	3.95	1.09±0.13 ^d	0.78	1.29	11.55
	BJBWGY	28	1.35±0.14 ^e	1.19	1.68	10.25	1.22±0.16 ^{bc}	0.91	1.46	13.13
	HBXT	15	1.20±0.04 ^f	1.12	1.25	3.29	1.24±0.12 ^b	1.09	1.51	9.91
	JXPYH-3	14	1.22±0.04 ^f	1.16	1.27	2.98	1.49 ± 0.10 ^a	1.37	1.76	6.84
	CQDZ	15	1.47±0.03 ^{cd}	1.42	1.52	2.20	1.16±0.08 ^{bcd}	0.99	1.31	7.30
	CQTL	50	1.46±0.06 ^d	1.37	1.59	4.01	1.15±0.14 ^{bcd}	0.91	1.45	12.07
	GDGZ	49	1.47±0.07 ^{cd}	1.34	1.65	4.74	0.99±0.14 ^{ef}	0.75	1.26	13.85
均值			1.42±0.41			4.83	1.07±0.18			10.40

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

在显著差异。其中,建选 17 号纵径和单粒重最大,分别为(17.93±0.50)mm、(1.99±0.09)g;中国福建建宁子莲横径[(14.84±0.30)mm]最大,纵横径比(1.19±0.06)最小;中山红叶纵横径比最大,为1.36±0.07;纵径、横径和单粒重最小,分别为(15.95±0.59)mm,(11.78±0.50)mm,(1.18±0.10)g。

2.2 不同来源莲子形态性状相关性分析

为了解莲子的单粒重与纵径、横径及纵横径

比之间的关系,对所有莲子的单粒重、纵径、横径、纵横径比进行相关性分析,结果显示:莲子单粒重与纵径($y=-0.08+0.07x$, $R^2=0.11$, $P<0.05$)、横径($y=-1.03+0.19x$, $R^2=0.80$, $P<0.05$)呈显著正相关,与纵横径比($y=2.23-0.78x$, $R^2=0.30$, $P<0.05$)呈显著负相关(图 2)。

不同来源的美洲莲莲子粒重相关性存在一定差异。所有居群莲子横径与单粒重之间均呈极显

表 5 不同子莲品种的莲子形态差异
Tab. 5 Morphological difference of lotus fruits from different cultivars

来源 Source	居群 Population	粒数 Number	纵径 Longitudinal diameter				横径 Transverse			
			均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异系数 CV/%	均值 Mean/mm	最小值 Min/mm	最大值 Max/mm	变异系数 CV/%
子莲	JX17	20	17.93±0.50 ^a	17.13	19.10	2.80	14.57±0.04 ^{ab}	13.95	15.18	1.96
	FJJN	20	17.66±0.83 ^{ab}	16.38	19.58	4.69	14.84±0.30 ^a	14.41	15.42	2.02
	ZSHY	92	15.95±0.59 ^c	12.74	17.17	3.71	11.78±0.50 ^c	10.66	12.89	4.28
	GXSJ	98	17.08±0.65 ^c	15.55	18.38	3.81	13.89±0.69 ^c	12.27	15.72	5.00
	HNXT	18	16.60±0.80 ^{cd}	14.81	17.98	4.82	13.67±0.68 ^c	12.54	14.64	4.94
	HBWH	15	17.09±0.61 ^{bc}	16.13	18.02	3.55	14.00±0.56 ^{bc}	12.43	14.78	3.99
	TK36	28	16.24±0.97 ^{de}	14.92	17.97	6.00	12.54±0.59 ^d	11.41	13.80	4.73
均值			16.71±0.94			4.20	13.20±1.24			3.85

来源 Source	居群 Population	粒数 Number	纵横径比 L-T ratio				单粒重 Weight per grain			
			均值 Mean	最小值 Min	最大值 Max	变异系数 CV/%	均值 Mean/g	最小值 Min/g	最大值 Max/g	变异系数 CV/%
子莲	JX17	20	1.23±0.04 ^{cd}	1.17	1.30	3.08	1.99±0.09 ^a	1.82	2.17	4.33
	FJJN	20	1.19±0.06 ^d	1.10	1.35	4.87	1.86±0.16 ^{ab}	1.55	2.21	8.62
	ZSHY	92	1.36±0.07 ^a	1.10	1.55	4.96	1.18±0.10 ^c	1.00	1.39	8.62
	GXSJ	98	1.23±0.04 ^c	1.13	1.36	3.50	1.70±0.19 ^c	1.28	2.26	11.28
	HNXT	18	1.21±0.04 ^{cd}	1.14	1.30	3.61	1.58±0.23 ^c	1.24	2.01	14.73
	HBWH	15	1.22±0.04 ^{cd}	1.17	1.30	2.96	1.75±0.17 ^{bc}	1.39	1.99	9.88
	TK36	28	1.30±0.50 ^b	1.21	1.42	3.55	1.37±0.29 ^d	1.01	1.89	21.46
均值			1.27±0.08			3.79	1.53±0.33			11.27

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

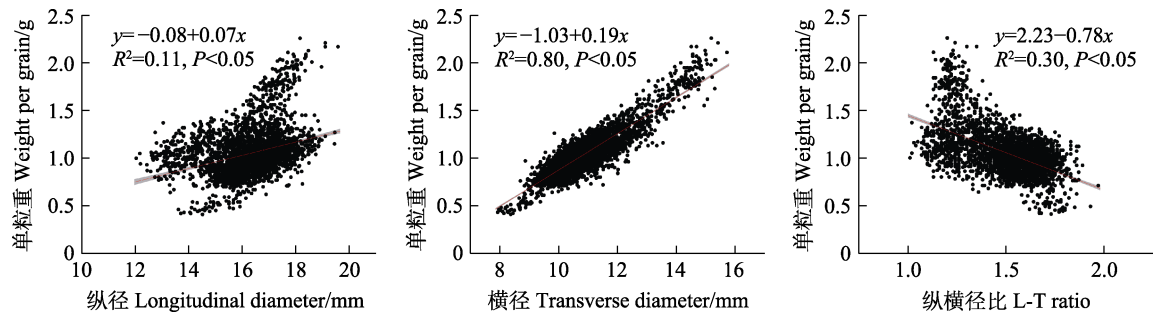


图 2 莲子形态性状与粒重相关性分析
Fig. 2 Correlation analysis between morphological traits and grain weight of lotus fruits

著正相关；美国佛罗里达州 ($r=0.306^{**}$)、美国密苏里州 ($r=0.637^{**}$) 来源的莲子纵径与单粒重之间呈极显著正相关，美国阿拉巴马州 ($r=0.306^{*}$)、美国马里兰州 ($r=0.375^{*}$) 来源莲子纵径与单粒重之间呈显著正相关，而加拿大安大略省来源的莲子纵径与单粒重间相关性未达到显著水平；美国佛罗里达州 ($r=-0.722^{**}$) 和美国马里兰州 ($r=-0.415^{**}$) 来源的莲子纵横径比与单粒重之间呈极显著负相关，其他 3 个地区的莲子纵横径比与单粒重之间未达到显著水平 (图 3)。

不同来源的亚洲莲莲子粒重相关性存在差异。莲子纵径与单粒重呈显著相关 ($P<0.05$) 或

极显著相关 ($P<0.01$) 有 70 个，占总数的 92.11%，其中呈极显著正相关的居群 64 个，呈显著正相关的居群 6 个，相关性最强的居群为北京中坞公园莲子 ($r=0.916^{**}$)；莲子横径与单粒重呈显著相关 ($P<0.05$) 或极显著相关 ($P<0.01$) 有 72 个，占总数的 94.74%，其中呈极显著正相关的居群 71 个，显著正相关的居群 1 个，相关性最强的是太空 36 ($r=0.926^{**}$)；莲子纵横径比与单粒重呈显著相关 ($P<0.05$) 或极显著相关 ($P<0.01$) 有 22 个，占总数的 28.95%，其中呈极显著负相关的居群 14 个，呈极显著正相关的居群 2 个，显著负相关的居群 6 个，相关性最强的居群是福建

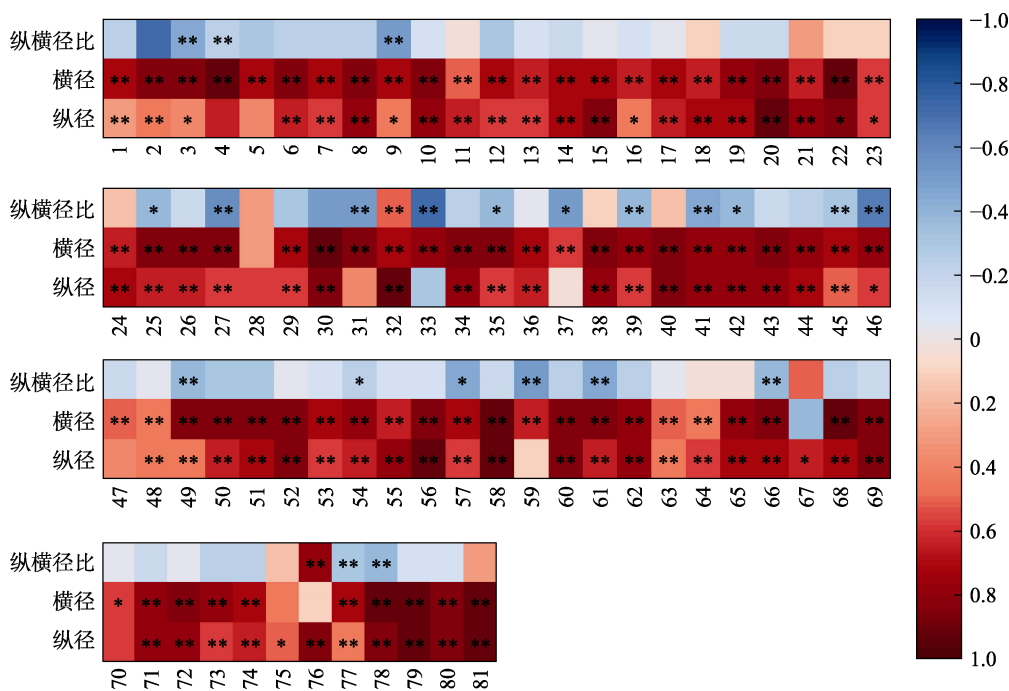
建宁子莲 ($r=0.768^{**}$) (图 3)。以上结果表明亚洲莲莲子形态与单粒重之间相关性较大,不同来源的亚洲莲莲子形态与单粒重之间相关性具有差异性,纵径、横径和单粒重之间相关性大都显著。

2.3 野生莲的莲子形态性状与经纬度的相关性

美洲莲莲子的形态性状与其分布地的经纬度之间相关性不显著。经度与美洲莲莲子纵径 ($r=-0.603$)、横径 ($r=-0.093$)、纵横径比 ($r=-0.805$) 和单粒重 ($r=-0.420$) 呈负相关,相关性均不显著;纬度与美洲莲莲子纵径 ($r=0.518$)、横径 ($r=0.864$) 和单粒重 ($r=0.462$) 呈正相关,与纵横径比 ($r=-0.066$) 呈负相关,相关性皆不显著 (表 6)。

亚洲莲莲子的形态性状与其分布地的经纬度之间的相关性较强。经度与亚洲莲莲子纵径 ($r=0.380^{**}$) 和纵横径比 ($r=0.410^{**}$) 呈极显著正相关性,与横径 ($r=-0.224$) 和单粒重 ($r=-0.092$) 呈负相关,相关性不显著;纬度与亚洲莲莲子纵径 ($r=0.274^{*}$) 呈显著正相关,与纵横径比 ($r=0.420^{**}$) 呈极显著正相关,与横径呈显著负相关 ($r=-0.295^{*}$),与单粒重 ($r=-0.126$) 呈负相关,相关性不显著 (表 6)。

以上结果表明,在经度相同时,亚洲莲莲子随着纬度的降低纵径变短横径变宽,莲子形状呈短粗;在纬度相同时,随着经度的增加纵径变长横径变窄,莲子形状呈细长。该结果与王玲等^[14]



*表示显著相关 ($P<0.05$); **表示极显著相关 ($P<0.01$)。1~5 为美洲莲; 6~81 为亚洲莲。
* indicates significant correlation ($P<0.05$); ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$). 1–5 is American lotus; 6–81 is Asian lotus.

图 3 不同来源莲子形态性状与粒重相关性热图
Fig. 3 Heat map of correlation between morphological traits and grain weight from different accessions

表 6 野生莲的莲子形态性状与经纬度的相关性
Tab. 6 Correlation between the morphological traits of wild lotus seeds and latitude and longitude

来源 Source	性状 Character	纵径 Longitudinal diameter	横径 Transverse diameter	纵横径比 L-T ratio	单粒重 Weight per grain
美洲莲	经度	-0.603	-0.093	-0.805	-0.420
	纬度	0.518	0.864	-0.066	0.462
亚洲莲	经度	0.380**	-0.224	0.410**	-0.092
	纬度	0.274*	-0.295*	0.420**	-0.126

注: *表示显著相关 ($P<0.05$); **表示极显著相关 ($P<0.01$)。
Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$); ** indicates extremely significant correlation ($P<0.05$).

的研究结果一致。

2.4 不同来源野生（型）莲莲子形态性状的聚类分析

有研究表明，以亲代特征为指标的地理变异模式与种源试验的结果基本相符，因此对亲代表型性状进行聚类分析对于早期获得种源区划信息具有重要意义^[18-19]。莲子形态是荷花重要的表型性状，以不同来源野生莲莲子的纵径、横径、纵横径比、粒重、颜色、色泽、是否有白粉、是否有纵纹为指标，采用平方欧式距离类平均法进行系统聚类（图 4）。在欧式距离为 25 时，莲子居群聚为 2 大类。所有的美洲莲和泰国清迈居群莲子聚为一类，剩余的亚洲莲聚为第二类；欧式距离为 10 时，莲子居群聚为 5 类。第一类群又被分为 3 个亚类。美国马里兰州、密苏里州以及加拿大安大略省来源莲子聚为一类，美国阿拉巴马州和佛罗里达州来源莲子聚为一类，泰国清迈来源单独一类；亚洲莲中，中国四川三台莲子单独一类，剩余亚洲莲为一类。此外，欧式距离越小聚类越多，但并非按地域规律分布。

2.5 不同年份莲子的性状差异分析

果实大小受多种因素的影响，包括植物本身的遗传特性、生理、形态、营养、激素、环境和栽培等^[20]。为了解莲子性状是否受环境因素影响，对不同时间采摘的同一居群莲子性状进行测量分析，结果显示，不同年份采摘的白洋淀红莲、微山湖红莲和洪湖红莲莲子性状存在差异。白洋淀居群的莲子纵径、横径、纵横径比和单粒重在 2013 年和 2015 年无显著差异，而 2023 年横径和单粒重出现显著差异（图 5A）；微山湖居群的莲子纵径、横径、纵横径比和单粒重在 2 a 内无显著差异（图 5B）；洪湖居群的莲子除纵横比外的其他 3 个性状在不同年份均存在显著差异（图 5C）。

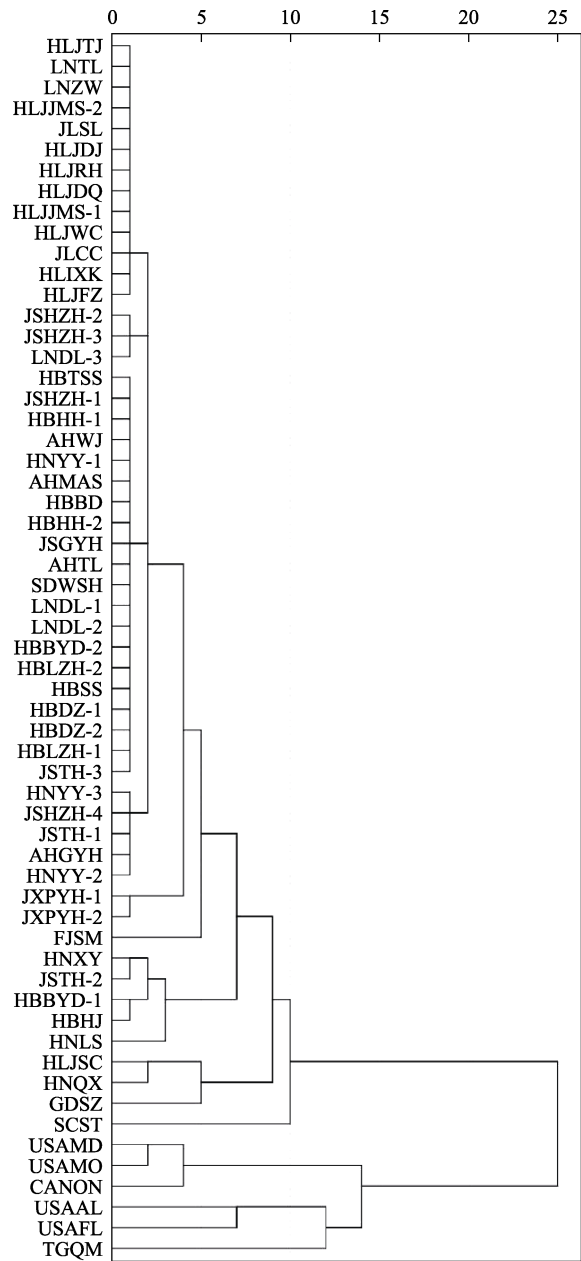


图 4 59 个野生居群莲子聚类分析
Fig. 4 Clustering analysis of lotus fruits from 59 wild populations

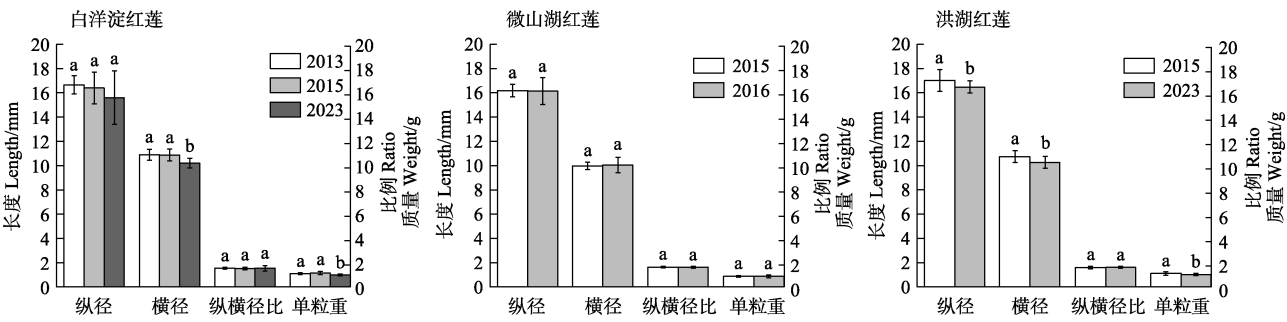


图 5 3 个居群不同年份莲子形态
Fig. 5 Lotus fruits morphology among three populations in different years

3 讨论

3.1 不同来源莲子形态差异

不同来源莲子的纵径、横径、纵横径比和单粒重差异性均达到显著水平。野生(型)莲中,美洲莲莲子与泰国莲莲子纵横径比在 1.000~1.200 之间,为圆形、卵圆形;中国不同地区野生莲的莲子纵横径比在 1.201~1.400 及以上,多为长椭圆形,少数为椭圆形。该结果与王玲等^[14]研究结果稍有差异,可能主要与本研究所用莲子的样本数量更多,涵盖范围更广,种质资源更为丰富有关。一般来说,如果变异系数超过了 10%,则认为参与测试的样本个体之间存在显著差异^[21-22]。从 81 份莲种质资源 4 个表型性状的变异系数来看,莲子的纵径、横径和纵横径比的变异系数均低于 10%,而部分来源的莲子单粒重的变异系数稍大于 10%,说明了莲子不同个体之间的质量存在较大的遗传差异,形状则具有较高的稳定性,这与沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)^[23]果实的研究结果相似。总体来说,莲子形态性状在种质水平上存在着比较丰富的遗传变异,具有较大的遗传改良潜力,对莲种质资源利用等具有重要指导作用,也对莲种质资源的遗传多样性的评价具有一定意义^[24]。

3.2 不同来源莲子形态相关性

莲子的单粒重与纵径、横径呈显著正相关,与纵横径比均呈显著负相关,且横径相关性最大,纵横径比相关性最小,说明莲子的单粒重主要受纵径的限制。该结果与梭梭(*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge)^[25]和刨花润楠(*Machilus pauhoi* Kaneh.)^[26]等物种研究结果相似。表明种子的质量与形态大小相关。

不同植物因对地理因子的适应性差异而表现出不同的地理变异规律^[27]。如高山栲(*Castanopsis delavayi* Franch.)^[28]种子性状均随着经度的减小和海拔的增加呈现不断增大的趋势,构树(*Broussonetia papyrifera* (L.) Vent.)^[29]种子性状的地理变异不仅受经纬度影响,还受海拔因子影响。本研究表明,美洲莲的莲子形态与经纬度相关性均不显著,说明美洲莲的莲子形态性状并不呈明显的地理变异模式,变异可能是随机分布。亚洲莲的莲子纵径、横径和纵横径比均与经纬度之间存在显著或极显著相关性,但与单粒重相关性却不显著,说明亚洲莲的莲子形态大小呈明显的地理

变异,而重量变异则与地理位置因素无关。但是从遗传学角度出发,种源亲代表型性状的变异是自身遗传变异和外界环境综合作用的结果^[30],除了考虑经纬度地理因素外,海拔、降水量、土壤等环境因子也应该考虑在内,单纯基于经纬度因素不能完全辨析莲子的地理变异模式。因此,对于莲子的地理变异模式辨析以及科学的来源区划,还有待于通过栽培试验和分子标记手段进一步研究。

3.3 不同来源野生(型)莲的莲子形态性状聚类分析

59 份不同地点采集的莲子在不同欧式距离下可聚为 2~5 类。按莲的种源分类看,美洲莲与亚洲莲分开无可厚非。泰国莲子与美洲莲莲子在距离远时聚在了一起,可能由于其莲子形态类似,皆为圆形一卵圆形。中国四川三台莲子在欧式距离为 10 时单独聚为一类,可能因该居群莲子与其他居群莲子差异较大,不管是纵径、横径还是单粒重均显著小于其他居群。此外,欧式距离越小聚类越多,但并非按地域规律分布。说明单纯靠莲子性状并不能用于区分荷花来源,需要增加花叶等一些其他相关性状以便更好聚类。且聚类中对于莲子的一些质量性状如莲子色泽的强弱、白粉的多少、纵纹明显程度的判断受主观因素影响可能存在一定的误差,也可能影响聚类结果。

3.4 不同年份采集的莲子形态差异

不同年份的 3 个居群莲子形态指标存在差异。当年份相近时 3 个居群莲子形态均不存在显著差异,当年份相距较大时莲子形态存在显著差异。存在显著差异的原因可能是当地不同年份的气候因素(如光照、水分、温度)存在差异,或因采摘年份过久,受储藏时间和储藏条件影响使得莲子形态存在差异。

4 结论

本研究通过对 81 份不同来源的莲子进行测量与分析,发现不同来源的莲子在纵径、横径、纵横径比及单粒重 4 个形态性状上均存在显著差异,体现出丰富的遗传变异,具有较大的遗传改良潜力;且莲子重量的稳定性弱于形状,亚洲莲莲子的形态与经纬度因子存在显著相关性。研究结果为摸清莲子的资源多样性,为莲资源多样性提供数据支撑,同时对莲资源的鉴定有一定帮助,

为莲开发利用和良种选育奠定基础。但本研究并未从化学成分及分子层面对其进行深入分析, 仅依靠表型性状指标的差异不能充分反映植物自身的遗传变异情况。今后研究中可将形态学研究、营养成分与分子研究相结合, 深入探索莲子性状同资源的关联性, 以及影响其变异的关键要素, 从而进一步揭示莲子的遗传变异规律, 为荷花新品种选育和种质创新开拓更广阔的空间。

参考文献

- [1] 田代科, 张大生. 莲叶何田田——世界荷花研究进展[J]. 生命世界, 2014(6): 40-45.
TIAN D K, ZHANG D S. Luxuriant lotus leaves: research progress of world lotus[J]. Life World, 2014(6): 40-45. (in Chinese)
- [2] 陈丹丹, 季群, 柯卫东. 莲的起源、分布及分类研究[J]. 长江蔬菜, 2017(18): 36-40.
CHEN D D, JI Q, KE W D. Study on origin, distribution and classification of lotus[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2017(18): 36-40. (in Chinese)
- [3] 闵捷, 刘凤栾, 田代科. 夏日荷花别样美[J]. 园林, 2017(10): 33-35.
MIN J, LIU F L, TIAN D K. Lotus is very beautiful in summer[J]. Landscape Architecture Academic Journal, 2017(10): 33-35. (in Chinese)
- [4] YEN G C, DUH P D, SU H J. Antioxidant properties of lotus seed and its effect on DNA damage in human lymphocytes[J]. Food Chemical, 2005, 89(3): 379-385.
- [5] RAI S, WAHILE A, MUKHERJEE K, SAHA B P, MUKHERJEE P K. Antioxidant activity of *Nelumbo nucifera* (sacred lotus) seeds[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 104(3): 322-327.
- [6] 黄素英. 莲子多酚提取及其抗氧化抑菌活性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
HUANG S Y. Study on the extraction technology, antioxidant and antibacterial activity of lotus-seed polyphenols[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010. (in Chinese)
- [7] TAPIERO H, TEW K D. Polyphenols: do they play a role in the prevention of human pathologies[J]. Biomed Pharmacother, 2002, 56(1): 200-207.
- [8] ZHENG Y, LUO X P, CONG J L, ZHANG H H, MA H L, DUAN Y Q. Subcritical water extraction, identification and antiproliferation ability on HepG2 of polyphenols from lotus seed epicarp[J]. Industrial Crops & Products, 2019, 129: 472-479.
- [9] 郑宝东. 中国莲子 (*Nymphaeaceae Nelumbo* Adans) 种质资源主要品质的研究与应用[D]. 福州: 福建农林大学, 2004.
ZHENG B D. Study on the main quality of Chinese lotus-seed germplasm resources and its applicaitons[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2004. (in Chinese)
- [10] MEIRELES J E, DE A TOZZI A M G. Seed and embryo morphology of *Poecilanthe* (Fabaceae, Papilionoideae, Brongniartieae)[J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2010, 158(2): 249-256.
- [11] 张世挺, 杜国祯, 陈家宽. 种子大小变异的进化生态学研究现状与展望[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 353-364.
ZHANG S T, DU G Z, CHEN J K. The present situation and prospect of studies on evolutionary ecology of seed size variation[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(2): 353-364. (in Chinese)
- [12] 谭利平, 曹莹, 彭培好. 不同种源地四川牡丹种子质量差异[J]. 中国野生植物资源, 2023, 42(8): 1-9.
TAN L P, CAO Y, PENG P H. Study on the seed quality difference of *Paeonia decomposita* from different provenances[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2023, 42(8): 1-9. (in Chinese)
- [13] 周祥斌, 周玮, 周鹏, 吴林瑛, 林玮, 陈晓阳. 香椿种源间种子性状地理变异研究[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(5): 105-110.
ZHOU X B, ZHOU W, ZHOU P, WU L Y, LIN W, CHEN X Y. A study of geographic variations in seed traits of *Toona sinensis*[J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(5): 105-110. (in Chinese)
- [14] 王玲, 王硕, 薛建华, 周世良. 中国野生莲莲子的形态变异[J]. 河北农业大学学报, 2013, 36(1): 16-20.
WANG L, WANG S, XUE J H, ZHOU S L. Morphological variation of wild lotus fruits in China[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2013, 36(1): 16-20. (in Chinese)
- [15] 薛建华, 曹晓青, 科鲁高娃 MV, 卢波措娃 TA. 黑龙江流域野生莲及其生物学特性[J]. 国土与自然资源研究, 2010(5): 66-68.
XUE J H, CAO X Q, KRYUKOVA M V, RUBTSOVA T A. Wild lotus in the Heilongjiang river valley and its biological characteristics[J]. Territory & Natural Resources Study, 2010(5): 66-68. (in Chinese)
- [16] 付彦荣. 中国北方野生莲 (*Nelumbo nucifera*) 种质多样性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2021.
FU Y R. The Study on the germplasm diversity of wild Asian lotus (*Nelumbo nucifera*) from northern China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2021. (in Chinese)
- [17] 曾绍校, 张怡, 梁静, 郑宝东. 中国 22 个莲子品种外观品质和淀粉品质的研究[J]. 中国食品学报, 2007(1): 74-78.
ZENG S X, ZHANG Y, LIANG J, ZHENG B D. Study on

- the appearance quality and starch quality of 22 lotus seed varieties in China[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2007(1): 74-78. (in Chinese)
- [18] 徐化成, 孙肇凤. 油松种群地理分化的多变量分析[J]. 林业科学, 1984, 20(1): 9.
XU H C, SUN Z F. Multivariate analysis of geographic differentiation of *Pinus tabulaeformis*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1984, 20(1): 9. (in Chinese)
- [19] 魏胜利, 王文全, 秦淑英, 刘长利, 张兆英, 邸明. 甘草种源种子形态与萌发特性的地理变异研究[J]. 中国中药杂志, 2008(8): 869-873.
WEI S L, WANG W Q, QIN S Y, LIU C L, ZHANG Z Y, DI M. Study on geographical variation of seed morphology and germination characteristics of *Glycyrrhiza licorice*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2008(8): 869-873. (in Chinese)
- [20] 宋志海, 高飞飞, 陈大成. 果实大小相关性及其影响因素研究进展[J]. 福建果树, 2002(3): 9-12.
SONG Z H, GAO F F, CHEN D C. Research progress on correlation and influencing factors of fruit size[J]. Fujian Fruits, 2002(3): 9-12. (in Chinese)
- [21] 白史旦, 苟文龙, 张新全, 张新跃, 高荣, 刘世贵. 假俭草种群变异与生态特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2002(4): 97-101.
BAI S Q, GOU W L, ZHANG X Q, ZHANG X Y, GAO R, LIU S G. Ecological characteristics and morphological variations of centipedegrass in different populations[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002(4): 97-101. (in Chinese)
- [22] 董博文, 李继东, 郑先波, 谭彬, 陈延惠, 冯建灿, 杨奎红. 山茱萸种质资源表型性状多样性及相关性分析[J]. 经济林研究, 2014, 32(2): 163-166.
DONG B W, LI J D, ZHENG X B, TAN B, CHEN Y H, FENG J C, YANG K H. Diversity and correlation analysis of phenotypic characteristics in *Cornus officinalis* germplasm resources[J]. Non-wood Forest Research, 2014, 32(2): 163-166. (in Chinese)
- [23] 赵鑫丹, 张东为, 戈素芬, 李前, 阮成江. 沙棘果实和种子表型性状及变异分析[J]. 种子, 2023, 42(9): 105-112.
ZHAO X D, ZHANG D W, GE S F, LI Q, RUAN C J. Analysis on variation and phenotypic characters in berries and seeds of *Hippophae rhamnoides*[J]. Seed, 2023, 42(9): 105-112. (in Chinese)
- [24] 文珊珊, 姜清彬, 仲崇禄, 陈羽, 张勇, 陈珍, PINYOPUSARERK K. 灰木莲不同种源种子形态变异分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(7): 7-11.
WEN S N, JIANG Q B, ZHONG C L, CHEN Y, ZHANG Y, CHEN Z, PINYOPUSARERK K. Seed morphology variation analysis of different provenances in *Manglietia conifera*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016, 36(7): 7-11. (in Chinese)
- [25] 何权, 蒋瑞娟, 朱军, 石书兵, 李晓瑾. 新疆梭梭种子表型性状变异分析及相关研究[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(3): 26-32.
HE Q, JIANG R J, ZHU J, SHI S B, LI X J. Variation analysis on seed phenotypic traits of *Haloxylon ammodendron* in Xinjiang and related research[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2019, 28(3): 26-32. (in Chinese)
- [26] 赵梦秋, 陈怡佳, 周鹏, 朱芹, 陈晓阳, 邓小梅. 刨花润楠不同种源种子性状的变异分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2017, 37(2): 47-52.
ZHAO M Q, CHEN Y J, ZHOU P, ZHU Q, CHEN X Y, DENG X M. The analysis on seed character variation in *Machilus pauhoi* of different provenances[J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2017, 37(2): 47-52. (in Chinese)
- [27] 孙荣喜, 潘昕昊, 仲小茹, 李桂盛. 不同种源米楮种子形态特征与营养成分变异分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(2): 27-34.
SUN R X, PAN X H, ZHONG X R, LI G S. Variations in seed morphological characteristics and nutritional content of *Castanopsis carlesii* from different provenances[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(2): 27-34. (in Chinese)
- [28] 田瑞杰, 巩合德, 雷晨雨, 冯德枫, 张春华, 孙永玉. 不同种源高山栲种子性状特征及其变异[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(9): 88-95, 126.
TIAN R J, GONG H D, LEI C Y, FENG D F, ZHANG C H, SUN Y Y. Characteristic and variation in seed traits of *Castanopsis delavayi* from various provenances[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2021, 41(9): 88-95, 126. (in Chinese)
- [29] 邹金拓, 王鑫, 周玮, 林孟飞, 闫东方, 崔思明, 陈周超, 陈晓阳. 构树不同种源种子性状地理变异及其趋势分析[J]. 种子, 2020, 39(3): 62-67.
ZOU J T, WANG X, ZHOU W, LIN M F, YAN D F, CUI S M, CHEN Z C, CHEN X Y. Analysis of geographical variation and variation trend of seed characters of different *Broussonetia papyrifera* provenance[J]. Seed, 2020, 39(3): 62-67. (in Chinese)
- [30] 王旭军, 彭翠英, 张玉荣, 梁军生, 周易楠森. 多花黄精不同种源种实形态性状遗传变异研究[J]. 中国农学通报, 2020, 36(12): 39-45.
WANG X J, PENG C Y, ZHANG Y R, LIANG J S, ZHOU Y X S. Study on genetic variation of seed morphological traits of *Polygonatum cyrtoneura* Hua from different provenances[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(12): 39-45. (in Chinese)