

DOI:10.12171/j.1000-1522.20190422

西藏光核桃果实表型性状变异分析与种质资源筛选

魏丽萍¹ 韩艳英¹ 大布穷¹ 巩文峰² 邓公甫¹ 呼杰¹

(1. 西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏 林芝 860000; 2. 西藏农牧学院植物科学学院, 西藏 林芝 860000)

摘要:【目的】本研究是探究西藏野生光核桃果实表型性状种群变异规律, 结合主成分分析筛选优良种质资源, 探明生态因子对果实表型性状的影响, 为光核桃良种选育和推广提供参考。【方法】根据西藏野生光核桃的集中分布区, 兼顾种群生长海拔、气候和成熟期的差异, 对5个地级市18个种群(SYD、AR、LD、JT、DB、QD、MX、LK、BM、GY、SZ、BJ、ZR、PZ、QN、BH、LZ、CN)进行实地调查采样, 每个种群选取13株长势良好的光核桃, 各单株间距大于50 m, 每株分阴面、阳面和上、下4个方位采集成熟果实, 从每方位的果实中随机选择5枚, 共20枚, 测量其表型性状。【结果】光核桃果实表型性状种群间和种群内均存在极显著差异; 种群间表型分化系数均值为67.99%, 表型变异主要来源于种群间; 根据PCA分析结合利用部位果肉和果核, 筛选出果实大、果核小、果肉厚、出核率低的果用型光核桃, 代表种群为山南贡嘎县江塘镇、林芝米林县羌纳乡、林芝朗县朗镇; 果实小、果核大、果肉薄、高出核率的核用型光核桃, 代表种群有林芝察隅县古玉乡、日喀则亚东县上亚东乡、昌都芒康县曲登乡。RDA分析5个生态因子共解释56.00%的果实性状变异, 仅年均温对果实性状的总体变异影响显著($P=0.049$); 两个特征性果肉厚和出核率与生态因子的多元回归方程均回归显著($P<0.01$), 调整后判定系数分别为0.599 3、0.798 1。果肉厚与经度、海拔、年均降雨量呈负相关, 与纬度和年均温呈正相关; 出核率与经度、海拔、年均降雨量和年均温呈正相关, 与纬度呈负相关; 5个生态因子中经度、纬度、海拔对果肉厚和出核率的影响极显著。【结论】光核桃果实表型性状变异主要来源于种群间; 根据表型性状筛选出了果用型和核用型光核桃及其代表种群, 其特征性状主要受经纬度、海拔的影响。

关键词: 光核桃; 表型性状; 种群; 变异; 种质资源

中图分类号: S722.3⁺3; S664.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2020)07-0048-10

引文格式: 魏丽萍, 韩艳英, 大布穷, 等. 西藏光核桃果实表型性状变异分析与种质资源筛选 [J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(7): 48-57. Wei Liping, Han Yanying, Dabuqiong, et al. Analysis on phenotypic variation and germplasm resource selection of wild *Amygdalus mira* in Tibet of southwestern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(7): 48-57.

Analysis on phenotypic variation and germplasm resource selection of wild *Amygdalus mira* in Tibet of southwestern China

Wei Liping¹ Han Yanying¹ Dabuqiong¹ Gong Wenfeng² Deng Gongfu¹ Hu Jie¹

(1. Resources & Environment College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, Tibet, China;

2. Plant Sciences College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, Tibet, China)

Abstract: [Objective] This study aims to explore the variation of fruit phenotypic traits of the wild *Amygdalus mira* populations in Tibet of southwestern China and to screen the good germplasm resources by the principal component analysis, and also to ascertain the effects of ecological factors on phenotypic traits of fruits for fine breeding and generalizing of *Amygdalus mira*. [Method] The 18 populations (SYD, AR, LD, JT, DB, QD, MX, LK, BM, GY, SZ, BJ, ZR, PZ, QN, BH, LZ, CN) in 5 regions were surveyed and sampled according to the concentration distribution area combined with the differences in altitude, climate and maturity of wild *A. mira* in Tibet. In each population, 13 trees with good growth potential were selected,

收稿日期: 2019-11-05 修回日期: 2020-03-30

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目“非生物胁迫对西藏光核桃遗传稳定性的影响”(31560208), 西藏农牧学院林学学科创新团队建设(藏财预指 2020-11)。

第一作者: 魏丽萍, 副教授。主要研究方向: 植物资源利用及经济林栽培的研究。Email: 34984262@qq.com 地址: 860000 西藏林芝市巴宜区育才西路100号。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

and the spacing of each individual plant was greater than 50 m. The ripe fruits were collected from the dark, sunny and the upper, lower four directions of each plant, 5 fruits were randomly selected from each direction, 20 in total, and then the phenotypic traits were measured. [Result] The fruit phenotypic traits were highly significantly different in population and among populations of *A. mira*. The mean of phenotypic differentiation coefficient was 67.99%, and the fruit phenotypic variations were mainly derived from populations. According to the results of PCA analysis and the use of pulp and core, the representative populations with large fruit, small nut, thick pulp and low nuclear rate were selected, and they were the Jiangtang Township, Qiangna Township and Lang Township. While the representative populations with small fruit, large nut, thin pulp and high nuclear rate were the Guyu Township, Shangyadong Township and Qudeng Township. The 5 ecological factors explained 56.00% of the fruit character variation through RDA analysis, and only the annual average temperature had a significant effect on the overall variation of fruit traits ($P = 0.049$). The multiple regression equation of the two characteristics of the pulp thickness and the nuclear rate with the ecological factors were all significant ($P < 0.01$), and the adjusted R^2 was 0.5993 and 0.7981, respectively. The thickness of pulp was negatively correlated with longitude, altitude and average annual rainfall, and was positively correlated with latitude and average annual temperature. The nuclear rate was positively correlated with longitude, altitude, average annual rainfall and annual temperature, and was negatively correlated with latitude. The effects of longitude, latitude and altitude on the thickness of pulp and the nuclear rate were highly significant. [Conclusion] The phenotypic variation of *A. mira* mainly comes from populations. According to the phenotypic traits, fruit type and nut type of *A. mira* and its representative populations were screened. The effects of longitude, latitude and altitude of 5 ecological factors on the thickness of pulp and the nuclear rate were the most significant.

Key words: *Amygdalus mira*; phenotypic character; population; variation; germplasm resource

光核桃(*Amygdalus mira*)是蔷薇科(Rosaceae)、桃属(*Amygdalus*)的西藏野生桃种,抗旱、抗寒、结果力强,年产量约 500 万 kg^[1],是西藏分布最广的野生果树之一。光核桃的分布覆盖 20 多个县,生长环境变化大,适应性强,主要集中分布在海拔为 2 000~4 000 m 雅鲁藏布江河谷、帕隆藏布和尼洋河流域^[2]。

目前,对光核桃的研究多集中在生理特征^[3-4]、生物遗传多样性^[2,5-7]及加工利用^[1,8-9]等方面。光核桃抗旱^[3]、抗寒^[10],遗传多样性高且与其他桃种遗传关系较远^[6-7],是筛选抗旱、抗寒等性状的优良桃树种质资源。光核桃果肉(外果皮和中果皮)研究开发出果酒、果醋等产品^[1,9];种仁作中药^[11],且含油量高^[12];桃核可做活性炭、生物吸附剂^[13]等,因此,光核桃的果实具有综合开发利用的价值。根据前人的研究结果,对光核桃果实的开发主要分为果肉和果核两个部分,但目前未形成大规模的综合开发利用,主要原因是野生的光核桃多分布在地、沟壑中,采集果实较为困难,且育种技术薄弱,到目前为止没有真正意义上的栽培新品种。此外,由于生境片段化的形成,光核桃资源及更新苗均受到破坏,不利于种质资源的保存。依据果肉厚度及果核的大小选育不同利用目的优良种质资源,对光核桃资源的保护及开发利用等方面尤为重要。在优良种质资源选育过程

中,对光核桃种群果实表型性状的系统研究是必不可少的。

包文泉等^[14]对光核桃表型性状做了初步的研究,但采样的地理范围未能覆盖全分布区。光核桃果实表型差异是筛选种质资源的主要根据,表型差异是通过基因与环境相互作用实现的,也是其对环境条件适应性的表现^[15],而研究生态因子对表型的影响规律是种植、推广优良种质的主要依据。因此,本文对 18 个种群光核桃果实表型性状进行研究,分析种群间与种群内的变异,根据利用部位筛选优良果实性状及其主要分布区,为光核桃优良种质的选择和良种选育提供依据;研究生态因子对果实表型性状及特征性状的影响规律,为光核桃良种推广提供参考。

1 材料与方 法

1.1 调查与采样

根据西藏野生光核桃的自然集中分布区,兼顾其生长的海拔、气候和成熟期的差异性,对西藏光核桃的 5 个地级市 18 个种群进行实地调查采样,调查采样点覆盖了光核桃的主要分布区。通过实地调查,采用 GPS 定位记录采样地的经纬度和海拔,根据光核桃褪去绿色,着黄、粉红色和形态判断成熟,

并根据开始成熟时间记录各种群光核桃的成熟期。从每个种群中选取 13 株长势良好的光核桃,各单株间距大于 50 m,种群间距离大于 3 km^[16]。分别从每个植株的阴面上、阴面下、阳面上和阳面下 4 方位采集成熟果实,从每个方位采集的成熟果实中随机选择 5 枚,共 20 枚,测量其表型性状。18 个种群的位置及概况信息见图 1 和表 1,其中年降雨量和年均温数据来自中国气象网及当地的气象局。

1.2 果实表型性状测量

光核桃果实表型性状中果实质量(FWT)和果核质量(NWT)用电子天平(精度 0.01 g)测得,果实的纵径(FL)、横径(FWH)、侧径(FT)及果核的长(NL)、宽(NWH)、厚(NT)用电子游标卡尺(精度 0.01 mm)测得。纵径为果实基部到顶部的距离;横径为果实腹缝线到果实边缘最大宽度;侧径为垂直于纵径、横径处的最厚距离,果核的长、宽、厚取值方式同果实纵径、横径和侧径。果实的果肉厚(PT)=FT-NT,出核率(NR)=NWT/FWT×100%。

1.3 数据统计分析

通过巢式方差分析、方差分量及种群间表型分化系数(V_{ST})的计算^[17],研究 18 个种群光核桃果实表型性状种群间与种群内变异;使用均值、变异系数(coefficient of variation, CV)分析光核桃种群间与种群内表型性状的离散程度。

$$V_{ST} = \sigma_{\frac{t}{s}}^2 / \left(\sigma_{\frac{t}{s}}^2 + \sigma_s^2 \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: s 为种群数目; t 为种群内的株数; $\sigma_{\frac{t}{s}}^2$ 为种群间方差分量; σ_s^2 为种群内方差分量。

$$CV = S/X \quad (2)$$

式中: S 为标准差, X 为平均值。

采用 Pearson 相关系数分析果实性状间的相关性。采用主成分分析(principal component analysis, PCA)果实表型性状与种群的相对关系,根据排序图筛选优良性状的主要代表种群。冗余分析(redundancy analysis, RDA)生态因子对果实表型性状总体变异的影响,并采用多元回归分析生态因子对特征性状的影响规律。PCA、RDA 使用 R 语言 vegan 软件包分析,其它使用 SAS 及 EXCEL 软件分析。

2 结果与分析

2.1 光核桃的成熟期

实地调查 18 个种群光核桃的成熟期,发现种群间有明显差异(表 1)。光核桃的成熟期主要从 8 月中旬到 9 月下旬,林芝市朗县朗镇(海拔 3 118 m)光核桃成熟最早,日喀则亚东县上亚东乡(海拔 3 218 m)成熟较晚。即使在同一地区不同的种群间也存在差异,如山南市贡嘎县江塘镇(海拔 3 770 m)光核桃的成熟期比山南市其他种群的成熟期晚;昌都市芒康县木许乡(海拔 2 280 m)和八宿县林卡乡(海拔 2 984 m)与山南市加查县的安绕镇(海拔 3 265 m)和冷达乡(海拔 3 168 m)属于不同地区,海拔相差也较

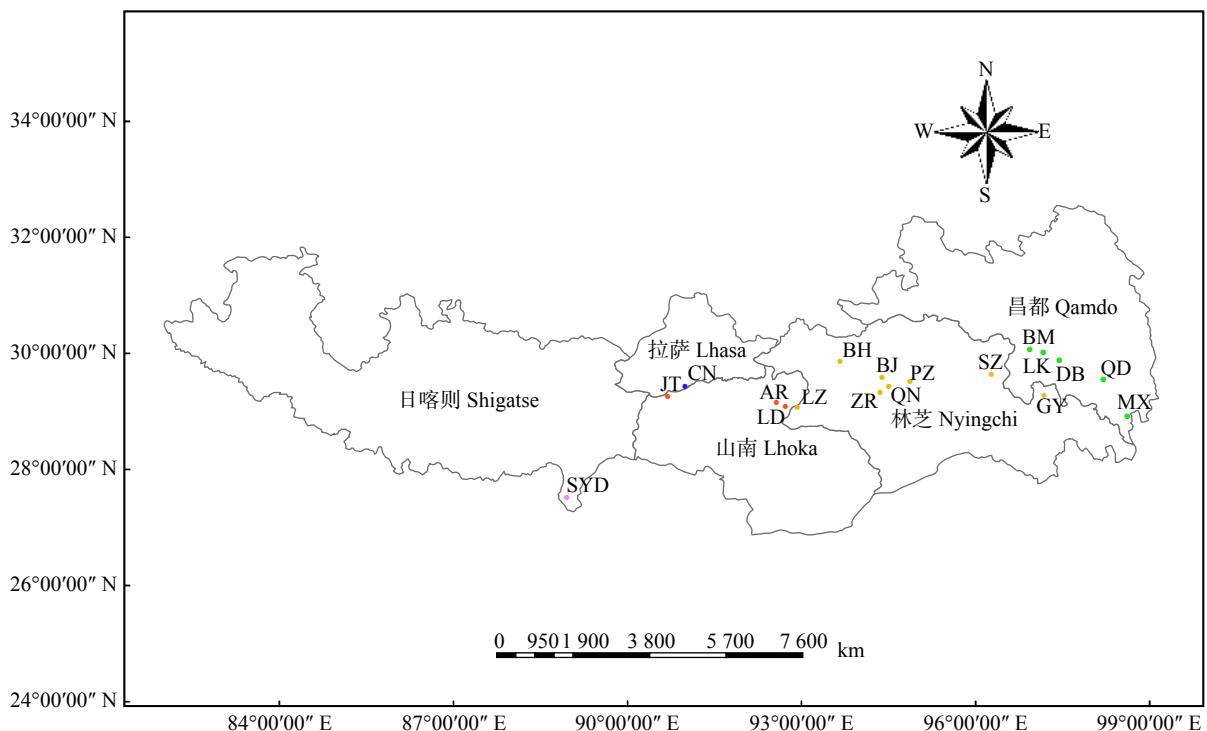


图 1 光核桃 18 个种群的分布图

Fig. 1 Distribution of the 18 *Amygdalus mira* populations

表 1 光核桃 18 个种群的基本信息及成熟期

Tab. 1 Basic information and maturity stage of the 18 *A. mira* populations investigated in this study

种群及代码 Population and code	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Elevation (H)/m	年均降水量 Average annual rainfall(R)/mm	年均温 Mean temperature (T)/°C	成熟期 Maturity stage
日喀则亚东县上亚东乡 Shangyadong Township, Shigatse City(SYD)	88°57'17"E	27°30'40"N	3 218	873.0	8.5	9月下旬 Late September
山南加查县安绕镇 Anrao Township, Lhoka(AR)	92°33'59"E	29°09'00"N	3 265	492.7	8.9	8月中下旬 Mid-late August
山南加查县冷达乡 Lengda Township, Lhoka(LD)	92°43'19"E	29°04'38"N	3 168	492.7	8.9	8月中下旬 Mid-late August
山南贡嘎县江塘镇 Jiangtang Township, Lhoka(JT)	90°41'42"E	29°15'43"N	3 770	356.6	9.2	9月中下旬 Mid-late September
昌都左贡县东坝乡 Dongba Township, Qamdo City(DB)	97°26'35"E	29°52'40"N	3 153	405.0	4.2	9月上旬 Early September
昌都芒康县曲登乡 Qudeng Township, Qamdo City(QD)	98°12'18"E	29°33'23"N	3 654	350.0	10.0	9月上旬 Early September
昌都芒康县木许乡 Muxu Township, Qamdo City(MX)	98°37'02"E	28°54'27"N	2 280	450.0	10.5	8月中下旬 Mid-late August
昌都八宿县林卡乡 Linka Township, Qamdo City(LK)	97°10'04"E	30°00'39"N	2 984	233.3	10.4	8月中下旬 Mid-late August
昌都八宿县白马镇 Baima Township, Qamdo City(BM)	96°55'56"E	30°03'47"N	3 240	233.3	10.4	9月上旬 Early September
林芝察隅县古玉乡 Guyu Township, Nyingchi(GY)	97°10'44"E	29°16'31"N	3 310	793.9	13.3	9月中下旬 Mid-late September
林芝波密县松宗镇 Songzong Township, Nyingchi(SZ)	96°16'20"E	29°37'49"N	3 230	900.0	8.5	8月下旬 Late August
林芝林芝县布久乡 Bujiu Township, Nyingchi(BJ)	94°23'30"E	29°35'24"N	2 927	654.0	8.5	9月中下旬 Mid-late September
林芝米林县扎绕乡 Zharao Township, Nyingchi(ZR)	94°21'17"E	29°19'28"N	2 912	641.0	8.2	9月中下旬 Mid-late September
林芝米林县派镇 Paizhen Township, Nyingchi(PZ)	94°52'26"E	29°30'54"N	2 864	641.0	8.2	9月中下旬 Mid-late September
林芝米林县羌纳乡 Qiangna Township, Nyingchi(QN)	94°30'17"E	29°25'34"N	2 881	641.0	8.2	9月中下旬 Mid-late September
林芝工布江达县巴河镇 Bahe Township, Nyingchi(BH)	93°39'47"E	29°51'35"N	3 125	808.0	8.3	9月中下旬 Mid-late September
林芝朗县朗镇 Lang Township, Nyingchi(LZ)	92°55'44"E	29°04'08"N	3 118	600.0	8.2	8月中旬 Mid August
拉萨曲水县才纳乡 Caina Township, Lhasa City(CN)	90°59'44"E	29°26'07"N	3 740	440.0	7.4	9月中下旬 Mid-late September

大, 但却有相近的成熟期。

2.2 光核桃果实表型性状多样性

对 18 个种群的光核桃果实表型性状进行了巢式方差分析、方差分量及 V_{ST} 的计算(表 2、3), 结果显示 10 个果实表型性状在种群间和种群内均是极显著差异($P < 0.01$); 种群间的表型变异占总体变异的 60.98%, 种群内的占 28.09%; 表型分化系数为 40.48% ~ 87.46%, 果核厚表型分化系数最大, 果核质量表型分化系数最小。表型分化系数的平均值为 67.99%, 表明光核桃果实表型变异主要来源于种群间。

2.3 光核桃果实表型性状的相关性

对 18 个种群光核桃的果实表型性状进行相关性分析(表 4), 结果显示果实质量、纵径、横径、侧径、果肉厚相互之间存在显著性正相关; 果实质量、纵径、横径、侧径、果肉厚与出核率呈显著负相关, 果实的大小与果核的大小相关性不显著($r = -0.13 \sim 0.20$),

表明果核的大小受果实大小的影响较小。

2.4 18 个种群光核桃果实表型性状变异系数

变异系数(CV)反映了果实表型性状种群内与种群间的离散程度^[18], 结果种群内各果实表型性状变异系数的平均值 DB 最大, 为 18.53%; BM 最小, 为 8.43%。果实表型性状种群间平均变异系数为 7.86% ~ 25.25%, 果实质量最大, 果实纵径最小(表 5)。

2.5 主成分分析

2.5.1 果实表型性状的 PCA 分析

PCA 分析通过降维形式直观的表现光核桃果实表型性状与种群的相对关系^[19], 结果显示 PC_1 、 PC_2 共解释了 90.81% 观测到的果实表型性状变异, PC_1 和 PC_2 分别解释 58.54% 和 32.27%(表 6)。 PC_1 主要解释果实质量、纵径、横径、侧径、果肉厚和出核率; PC_2 主要解释果核长、果核宽和果核厚。根据主

表2 18个种群光核桃果实表型性状方差分析

Tab. 2 ANOVA results of fruit phenotypic characters of *A. mira* from 18 populations

表型性状 Phenotypic trait	均方 Mean square			F	
	种群间 Between populations	种群内 Within population	随机误差 Random error	种群间 Between populations	种群内 Within population
果实质量 Fruit mass(FWT)	5301.46	247.52	6.94	21.42**	35.66**
纵径 Fruit length(FL)	1273.28	65.70	2.68	19.38**	24.50**
横径 Fruit width(FWH)	2245.02	87.78	2.53	25.58**	34.70**
侧径 Fruit thickness(FT)	2642.09	89.83	2.77	29.41**	32.47**
果核质量 Nut mass(NWT)	10.48	1.10	0.04	9.50**	26.06**
果核长 Nut length(NL)	728.61	27.23	1.32	26.76**	20.70**
果核宽 Nut width(NWH)	518.54	17.72	0.79	29.26**	22.43**
果核厚 Nut thickness(NT)	527.29	6.07	0.32	86.92**	19.24**
果肉厚 Pulp thickness(PT)	3237.64	68.85	2.38	47.03**	28.89**
出核率 Nuclear rate(NR)	1935.73	38.61	1.46	50.14**	26.39**

注: 种群间自由度(df)为17; 种群内的自由度(df)为216; 随机误差的自由度(df)为4446。**代表差异极显著, $P < 0.01$; *代表差异显著, $P < 0.05$ 。
Notes: the degree of freedom (df) among populations is 17, the degree of freedom (df) within population is 216, the degree of freedom (df) of the random error is 4446. ** represents very significant difference, $P < 0.01$; * represents significant difference, $P < 0.05$.

表3 光核桃果实表型性状种群间和种群内方差分量与种群间表型分化系数 (V_{ST})Tab. 3 Variance components and phenotypic differentiation coefficients (V_{ST}) of fruit phenotypic traits among *A. mira* populations and within population

表型性状 Phenotypic trait	方差分量 Variance component			方差分量百分比 Percentage of variance component/%		$V_{ST}/\%$
	种群间 Between populations	种群内 Within population	随机误差 Random error	种群间 Between populations	种群内 Within population	
FWT	38.88	24.06	6.94	55.64	34.43	61.77
FL	9.29	6.30	2.68	50.84	34.49	59.58
FWH	16.59	8.53	2.53	60.02	30.83	66.06
FT	19.63	8.71	2.77	63.12	27.99	69.28
NWT	0.07	0.11	0.04	32.71	48.10	40.48
NL	5.40	2.59	1.32	58.00	27.86	67.55
NWH	3.85	1.69	0.79	60.81	26.72	69.47
NT	4.01	0.58	0.32	81.83	11.74	87.46
PT	24.38	6.65	2.38	72.97	19.90	78.58
NR	14.59	3.71	1.46	73.81	18.79	79.71
平均 Mean	—	—	—	60.98	28.09	67.99

成分 PC_1 和 PC_2 绘制线性排序图, 结合利用部位果肉和果核, 可以看出果实大、果核小、果肉厚、出核率低的代表种群为 JT、QN、LZ, 其表型性状果实质量 24.43 ~ 28.48 g, 纵径 33.14 ~ 36.56 mm, 横径 34.55 ~ 36.76 mm, 侧径 33.34 ~ 36.17 mm, 果核质量 1.77 ~ 1.88 g, 果核长 14.94 ~ 20.93 mm, 果核宽 11.19 ~ 17.05 mm, 果核厚 5.24 ~ 11.07 mm, 果肉厚 25.10 ~ 28.10 mm, 出核率 6.87% ~ 7.56%; 果实小、果核大、果肉薄、高出核率代表种群有 GY、SYD、QD, 其表型性状果实质量 8.37 ~ 9.30 g, 纵径 27.39 ~ 28.24 mm,

横径 23.25 ~ 25.54 mm, 侧径 22.84 ~ 23.99 mm, 果核质量 1.31 ~ 1.57 g, 果核长 19.99 ~ 22.11 mm, 果核宽 15.68 ~ 15.93 mm, 果核厚 11.10 ~ 11.43 mm, 果肉厚 11.41 ~ 12.89 mm, 出核率 15.60% ~ 19.33% (图 2, 表 5)。

2.5.2 5个生态因子与光核桃果实表型性状的 RDA 分析

RDA 分析结果显示, 5个生态因子共解释 56.00% 的果实表型性状变异, RDA_1 、 RDA_2 分别解释 44.82% 和 9.20%, 共 54.02% (表 7, 图 3)。生态因

表 4 光核桃果实表型性状的相关系数

Tab. 4 Correlation coefficients between fruit phenotypic traits of *A. mira*

表型性状 Phenotypic trait	FWT	FL	FWH	FT	NWT	NL	NWH	NT	PT	NR
FWT	1	0.94**	0.99**	0.99**	0.54*	-0.07	0.12	-0.06	0.91**	-0.87**
FL		1	0.94**	0.94**	0.54*	0.10	0.20	0.06	0.83**	-0.78**
FWH			1	0.99**	0.51*	-0.13	0.08	-0.09	0.93**	-0.89**
FT				1	0.48*	-0.08	0.11	-0.03	0.92**	-0.90**
NWT					1	0.40	0.47*	0.23	0.34	-0.15
NL						1	0.90**	0.90**	-0.44	0.35
NWH							1	0.94**	-0.28	0.16
NT								1	-0.43	0.26
PT									1	-0.92**
NR										1

注：**表示在0.01水平下显著相关；*代表在0.05水平下显著相关。Notes: ** means the correlation is significant at 0.01 level; * means the correlation is significant at 0.05 level.

表 5 18 个种群光核桃果实表型性状的均值和变异系数

Tab. 5 Means and CV (coefficient of variation) values of 10 phenotypic traits within 18 *A. mira* populations

表型性状 Phenotypic trait		SYD	AR	LD	LZ	DB	QD	MX	LK	BM	GY	SZ	BJ	ZR	JT	CN	PZ	QN	BH	均值 Mean
FWT	\bar{X}/g	8.90	22.44	16.25	24.43	9.68	9.30	19.21	21.48	15.91	8.37	12.70	20.70	23.94	28.48	22.63	20.31	26.90	20.86	18.47
	CV/%	34.16	27.64	17.19	30.77	43.92	21.00	22.38	21.31	16.20	29.60	25.49	19.03	22.26	31.49	22.79	26.61	28.97	13.72	25.25
FL	\bar{X}/mm	27.40	33.48	30.35	33.14	25.49	28.24	32.58	33.59	29.87	27.39	30.53	33.14	34.69	36.56	31.28	32.89	36.36	33.91	31.72
	CV/%	10.05	9.39	6.57	10.99	11.28	5.98	8.39	7.87	6.14	6.76	7.26	6.06	6.21	9.73	6.00	8.83	8.39	5.66	7.86
FWH	\bar{X}/mm	24.97	33.64	30.48	34.55	24.95	25.54	30.80	32.86	28.59	23.25	27.41	32.68	34.41	36.76	33.62	32.98	36.07	33.09	30.92
	CV/%	12.65	9.87	7.13	11.30	14.52	7.36	9.60	8.31	6.76	8.82	8.02	7.31	8.58	12.38	7.69	10.11	10.79	5.53	9.26
FT	\bar{X}/mm	23.63	33.34	29.15	33.34	23.74	23.99	30.71	31.82	28.87	22.84	26.29	33.26	34.71	36.02	33.53	32.85	36.17	33.49	30.43
	CV/%	13.09	10.60	6.97	10.16	14.46	8.69	10.30	14.15	6.80	10.84	8.89	5.16	8.31	11.68	8.06	10.02	9.67	4.99	9.60
NWT	\bar{X}/g	1.31	1.90	1.43	1.77	1.06	1.57	1.61	2.37	1.80	1.55	1.54	1.56	1.49	1.88	1.79	1.48	1.77	1.39	1.63
	CV/%	18.96	25.80	19.51	22.61	35.88	13.47	21.08	15.06	12.76	16.65	24.53	15.87	20.03	19.00	18.88	23.57	18.69	23.58	20.33
NL	\bar{X}/mm	19.99	22.12	13.83	14.94	17.66	21.30	21.09	22.46	21.55	22.11	21.37	19.24	19.93	20.93	18.82	18.93	20.72	19.60	19.81
	CV/%	9.39	8.96	11.94	10.04	10.10	7.18	9.37	5.70	6.69	7.29	6.84	7.34	8.74	10.59	7.42	7.99	6.43	8.47	8.36
NWH	\bar{X}/mm	15.77	17.83	9.99	11.19	13.93	15.93	14.43	17.68	16.11	15.68	16.08	15.14	15.26	17.05	16.52	15.11	16.40	14.88	15.28
	CV/%	7.49	11.19	8.24	13.81	8.29	5.22	6.74	5.79	6.20	6.12	9.60	8.52	8.95	9.08	8.69	10.03	9.13	9.04	8.45
NT	\bar{X}/mm	11.37	11.38	4.48	5.24	9.16	11.10	10.18	11.61	10.78	11.43	10.67	10.81	10.46	10.92	11.22	10.60	11.07	10.28	10.15
	CV/%	5.18	10.08	17.59	16.53	11.11	5.53	7.93	6.03	5.70	4.28	7.83	7.06	5.63	5.90	6.71	7.77	7.56	8.30	8.15
PT	\bar{X}/mm	12.26	21.96	24.68	28.10	14.58	12.89	20.52	20.22	18.09	11.41	15.63	22.45	24.25	25.10	22.31	22.25	25.10	23.21	20.28
	CV/%	21.72	12.87	5.61	10.06	18.37	15.00	16.06	22.15	8.72	19.24	13.87	5.43	10.04	15.25	10.40	12.22	11.47	6.01	13.03
NR/%	\bar{X}	15.60	8.67	8.83	7.56	11.55	17.29	8.95	11.44	11.52	19.33	12.55	7.64	6.33	7.07	8.09	7.43	6.87	6.67	10.19
	CV	19.93	16.93	10.83	19.11	17.33	15.69	35.33	20.23	8.28	17.91	20.36	8.05	13.87	23.97	12.33	11.41	19.86	14.46	16.99
$\overline{CV}/\%$		15.26	14.33	11.16	15.54	18.53	10.51	14.72	12.66	8.43	12.75	13.27	8.98	11.26	14.91	10.90	12.86	13.10	9.98	

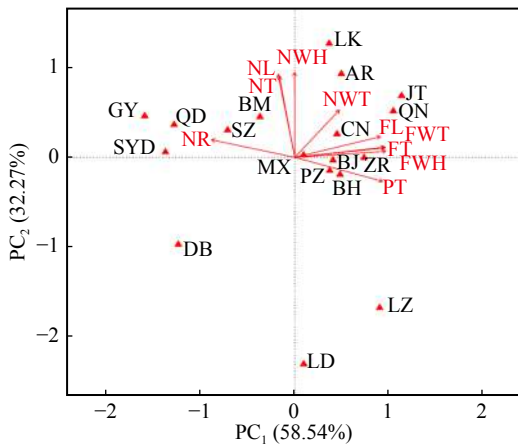
注： \bar{X} 为平均值；CV为变异系数； \overline{CV} 为种群内各表型性状变异系数平均值。Notes: \bar{X} is mean value; CV is coefficient of variation; \overline{CV} is the average variation coefficient of phenotypic traits in the population.

子与主成分的相关性分析结果显示只有年均温对 10 个表型性状的总体变异有显著影响，年均温对果实性状的影响大小顺序为 NR > NL > NWT > NWH > NT > FL > FWT > FT > FWH > PT(表 8, 图 3)。

表 6 PC₁、PC₂ 主成分的载荷

Tab. 6 Main components of load PC₁ and PC₂

表型性状 Phenotypic trait	载荷系数 Load coefficient	
	PC ₁ (λ=58.54%)	PC ₂ (λ=32.27%)
FWT	1.126 2	0.134 2
FL	1.068 1	0.271 7
FWH	1.134 9	0.079 8
FT	1.126 0	0.125 3
NWT	0.556 2	0.621 5
NL	-0.207 7	1.088 6
NWH	-0.002 7	1.114 9
NT	-0.193 1	1.061 5
PT	1.095 1	-0.315 2
NR	-1.038 6	0.230 5



FWT、FL、FWH、FT、NWT、NL、NWH、NT、PT、NR 为表型性状；SYD、AR、LD、LZ、DB、QD、MX、LK、BM、GY、SZ、BJ、ZR、JT、CN、PZ、QN、BH 为种群代码。下同。FWT、FL、FWH、FT、NWT、NL、NWH、NT、PT、NR are phenotypic traits; SYD、AR、LD、LZ、DB、QD、MX、LK、BM、GY、SZ、BJ、ZR、JT、CN、PZ、QN、BH are population codes. The same below.

图 2 18 个种群光核桃果实表型性状 PCA 分析

Fig. 2 Segregation of the 18 populations according to fruit phenotypic traits determined by PCA analysis

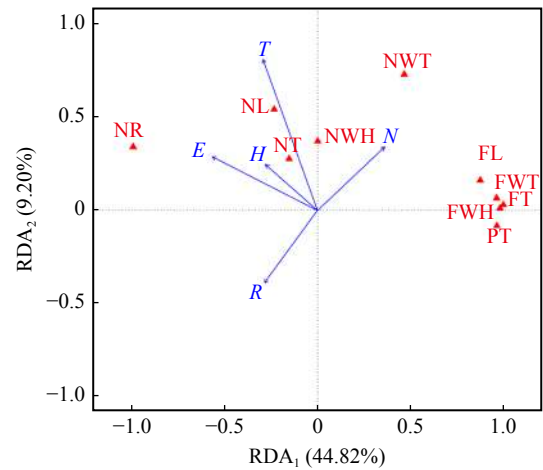
表 7 RDA 主成分的贡献率

Tab. 7 Contribution rates of RDA principal components

项目 Item	RDA ₁	RDA ₂	RDA ₃	RDA ₄	RDA ₅
特征值 Eigenvalue	4.482 4	0.919 9	0.117 9	0.056 1	0.024 3
贡献率 Contribution rate/%	44.82	9.20	1.18	0.56	0.24
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	44.82	54.02	55.20	55.76	56.00

2.6 果肉厚、出核率与生态因子的多元回归分析

根据光核桃果实质量、纵径、横径、侧径与果肉



E 为经度, N 为纬度, H 为海拔; R 为年均降雨量, T 为年均温。下同。E is longitude, N is latitude, H is elevation; R is annual mean rainfall, T is annual mean temperature. The same below.

图 3 5 个生态因子与 18 个种群光核桃果实表型性状 RDA 分析

Fig. 3 RDA analysis of 18 populations phenotypic traits with 5 ecological factors

表 8 生态因子与主成分 RDA₁、RDA₂ 的相关性分析

Tab. 8 Correlation analysis of ecological factors and principal components of RDA₁ and RDA₂

生态因子 Ecological factor	RDA ₁	RDA ₂	R ²	P
E	-0.936 38	0.350 99	0.159 8	0.254
N	0.832 07	0.554 67	0.093 9	0.487
H	-0.847 67	0.530 52	0.056 3	0.653
R	-0.713 40	-0.700 76	0.089 5	0.482
T	-0.481 89	0.876 23	0.302 3	0.049 *

厚存在显著性正相关, 果实的大小与果核的大小相关性不显著, 并结合利用部位果肉和果核, 筛选出果肉厚和出核率两个特征性状。果肉厚和出核率与生态因子进行多元回归分析(表 9), 结果显示两方程调整后判定系数分别为 0.599 3, 0.798 1, F 检验 P 值均小于 0.01, 表明两个方程均回归显著。果肉厚与经度、海拔、年均降雨量呈负相关, 与纬度和年均温呈正相关; 出核率与经度、海拔、年均降雨量和年均温呈正相关, 与纬度呈负相关。两个回归方程中自变量的决定系数通过 t 检验显示 5 个生态因子中经度、纬度、海拔对果肉厚和出核率的影响极显著。

3 讨 论

不同种群光核桃的成熟期存在明显差异, 主要从 8 月中旬到 9 月下旬。植物果实成熟期受环境条件和遗传特性的影响, 经过长期的自然适应每个种群形成相对稳定的成熟期。Dicenta 等人研究表明成熟期是可以遗传的^[20]。因此, 对于成熟期的调查为

表 9 果肉厚、出核率与生态因子的多元回归方程

Tab. 9 Multiple regression equations of pulp thickness, nut rate and geographical meteorological factors

表型性状 Phenotypic trait	回归方程 Regression equation	调整后判定系数 Adjusted R^2	P值 P value
PT	$Y = 58.1049 - 2.1394x_1 + 6.7835x_2 - 0.0108x_3 - 0.0062x_4 + 0.3105x_5$	0.5993	0.0049
NR	$Y = -8.8887 + 1.5348x_1 - 5.4218x_2 + 0.0091x_3 + 0.0035x_4 + 0.3029x_5$	0.7981	0.0001

注: x_1 经度; x_2 纬度; x_3 海拔; x_4 年均降雨量; x_5 年均温。Notes: x_1 is longitude; x_2 is latitude; x_3 is elevation; x_4 is annual mean rainfall; x_5 is annual mean temperature.

早熟或晚熟品种选育提供数据支持, 成熟期的差异有助于满足不同时期桃子的市场需求。

光核桃表型性状在种群间和种群内存在显著差异, 表明光核桃表型多样性丰富。表型分化系数平均为 67.99%, 种群间的变异大于种群内的变异, 光核桃的表型变异主要来源于种群间, 这与包文泉在林芝、山南范围内分析光核桃表型变异的研究结论相一致^[14]。光核桃在西藏分布广泛, 生境多样, 各种群间有山地阻隔或距离较远, 限制了花粉的传播和基因交流, 也反映了地理和生殖隔离对表型变异的影响^[17,21]; 另一方面, 由于种群生境的差异造成了局部适应, 致使不同生境下种群间有效基因流的降低, 从而形成了适应性隔离^[22-24]。种群变异包括表型变异与遗传变异, 表型变异又与遗传变异密切相关, 植物表型变异大表明其具有遗传多样性潜力^[25]。因此, 光核桃果实表型变异大, 可以选育具有特征性状的光核桃。

表型变异系数越小离散程度越小, 性状稳定性越好^[26], 种群内各果实表型性状变异系数的平均值 DB 最大为 18.53%, BM 最小为 8.43%。种群内部环境差异大造成表型变异大, DB 处在海拔变化较大的山谷, 光照、水分等差异明显。种群间 10 个果实表型性状变异系数平均值为 7.86%~25.25%, 果实质量最大, 果实纵径最小, 说明果实纵径较为稳定。

结合光核桃利用部位果肉和果核, 筛选出果实大、果核小、果肉厚、出核率低的果用型和果实小、果核大、果肉薄、高出核率的核用型两种光核桃种质资源。果用型光核桃可用于加工果酒、果醋、果脯等, 或作为水果食用^[1,9], 代表性种群有 JT、QN、LZ; 核用型光核桃桃核可做活性炭、生物吸附剂外; 桃仁有炒制食用和浸泡榨油食用的历史, 其种子可加工或做坚果^[12], 代表种群有 GY、SYD、QD。

表型差异是通过基因与环境的相互作用实现的, 生态因子对植物表型的塑造起着重要的作用^[27]。结合 RDA 分析, 经度、纬度、海拔、年均降雨量、年均温 5 个生态因子解释 56.00% 的表型性状变异, 其他 44.00% 的表型变异可能来自于生物遗传特性^[28]、土壤养分^[29]、光^[30]、昼夜温差^[31] 等条件。5 个因子中

只有年均温对光核桃的 10 个表型性状影响显著, 这与李洪果研究的温度因子在气候因子中对种群表型性状的影响起主导作用的结论相一致^[32], 也同时说明了局部环境的温度受地形、海拔、降雨和光照等因素的影响, 是环境变化的集中表现。

特征性状果肉厚与经度、海拔、年均降雨量呈负相关, 可能与西藏降雨规律有关。光核桃分布区随着经度的增加, 降雨量有所增加, 且降雨集中在 5—10 月^[33], 通过影响温度、光照等进一步影响果实有机物质的积累与生长^[34-35]。此外, 随着海拔的增加, 温度降低, 植物生长缓慢, 从而影响果实的生长。果肉厚与纬度和年均温呈正相关, 随着纬度的升高, 降雨量相对较少^[33], 白天阳光充足, 夜晚温度低, 有利于有机物质的积累^[34]; 年均温的增加也有利于果实有机物质的积累^[35]。出核率与经度、海拔、年均降雨量和年均温呈正相关, 与纬度呈负相关。随着经度、海拔、年均降雨量的增加, 果实果肉厚的减小, 出核率增加; 同时年均温的增加, 果核也增大, 与出核率呈现出正相关; 随着纬度的升高, 果肉厚增加, 出核率降低。生态因子对特征性状的影响规律对光核桃优良种质资源推广种植具有指导意义。

4 结 论

根据西藏野生光核桃的集中分布区, 兼顾其生长的海拔、气候和成熟期的差异性, 对 5 个地级市 18 个种群进行实地调查采样, 研究光核桃果实表型性状种群变异规律, 根据利用部位对光核桃种质资源进行筛选, 得出如下结论: 光核桃果实种群间表型性状多样, 存在丰富的遗传变异潜力。依据光核桃果实利用部位及种群间果实表型性状筛选出果用型和核用型两类种质资源, 山南贡嘎县江塘镇、林芝米林县羌纳乡、林芝朗县朗镇为果用型光核桃的代表种群, 林芝察隅县古玉乡、日喀则亚东县上亚东乡、昌都芒康县曲登乡为核用型光核桃的代表种群。经度、纬度、海拔、年均降雨量、年均温 5 个生态因子中年均温对 10 个果实表型性状的总体影响显著, 其中经度、纬度、海拔对特征性状果肉厚和出核率的影响极显著。研究光核桃果实表型种群变异, 筛选优良

种质资源,为光核桃果实的开发利用提供思路,也为光核桃的良种选育和推广提供参考。

参 考 文 献

- [1] 钟政昌,王婷,高根升,等.自然温度下光核桃果酒主发酵工艺优化[J].食品科学,2012,33(13):197-201.
Zhong Z C, Wang T, Gao G S, et al. Optimization of fermentation process for *Prunus mira* Koehne wine at natural temperature by response surface methodology[J]. Food Science, 2012, 33(13): 197-201.
- [2] 谭江平,曾秀丽,廖明安.西藏光核桃自然居群遗传多样性的SRAP分析[J].草业学报,2012,21(6):213-220.
Tan J P, Zeng X L, Liao M A. Genetic diversity of natural *Prunus mira* populations detected by SRAP[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(6): 213-220.
- [3] 郭其强,罗大庆,王贞红,等.光核桃幼苗光合特性和保护酶对干旱胁迫的响应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(6):138-144.
Guo Q Q, Luo D Q, Wang Z H, et al. Photosynthetic characteristics and protective enzyme activities of *Prunus mira* seedlings to drought stress[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2010, 38(6): 138-144.
- [4] 侯常伟,白涛,王忆,等.Uv-b辐射对光核桃光合作用和内源激素水平的影响[J].中国农学通报,2012,28(22):184-189.
Hou C W, Bai T, Wang Y, et al. Influence of ultraviolet radiation on photosynthesis and hormone levels in *Prunus mira* Koehne[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(22): 184-189.
- [5] 包文泉,乌云塔娜,杜红岩,等.基于SSR标记的西藏光核桃群体遗传多样性和遗传结构分析[J].林业科学,2018,54(2):30-41.
Bao W Q, Wuyuntana, Du H Y, et al. Genetic diversity and population structure of *Amygdalus mira* in the Tibet Plateau in China based on SSR markers[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2018, 54(2): 30-41.
- [6] Guan F, Wang S, Li R, et al. Genetic diversity of wild peach (*Prunus mira* Koehne kov et. kpst) from different altitudes in the Tibetan Plateau by pollen morphous and rapd markers[J]. Hortscience, 2014, 49(8): 1017-1022.
- [7] Peng M, Guan F, Tao L, et al. Analysis of genetic relationship on *Amygdalus mira* (Koehne) ricker with other peach species using simple sequence repeat (SSR)[J]. Biochemical Systematics & Ecology, 2015, 62: 98-105.
- [8] 钟政昌,方江平,钟国辉.土壤因子与西藏光核桃果实品质的关系[J].林业科技开发,2009,23(5):44-47.
Zhong Z C, Fang J P, Zhong G H. Relationship between soil nutrient and *Prunus mira* Koehne fruit quality[J]. China Forestry Science and Technology, 2009, 23(5): 44-47.
- [9] 钟政昌,方江平.液固串淋法生产光核桃果醋的工艺[J].食品研究与开发,2011,32(3):94-96.
Zhong Z C, Fang J P. Liquid & solid cross-sprinkling fermentation in producing *Prunus mira* Koehne vinegar[J]. Food Research and Development, 2011, 32(3): 94-96.
- [10] 郝海平,姜闯道,石雷,等.根系温度对光核桃幼苗光合机构热稳定性的影响[J].植物生态学报,2009,33(5):984-992.
Hao H P, Jiang C D, Shi L, et al. Effects of root temperature on thermostability of photosynthetic apparatus in *Prunus mira* seedlings[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(5): 984-992.
- [11] 罗达尚.中华藏本草[M].北京:民族出版社,1997:122-123.
Luo D S. Chinese Tibetan materia medica[M]. Beijing:The Ethnic Publishing House, 1997:122-123.
- [12] 魏丽萍,钟政昌,李明.光核桃仁脂肪油的提取与其理化性质分析[J].经济林研究,2013,31(3):136-139.
Wei L P, Zhong Z C, Li M. Extraction and physicochemical properties of fatty oil in *Prunus mira* kernel[J]. Nonwood Forest Research, 2013, 31(3): 136-139.
- [13] 刘侠,陈碧,白艳霞.桃核直接作为生物吸附材料对水中亚甲基蓝的吸附研究[J].科学技术与工程,2015,15(12):118-122.
Liu X, Chen B, Bai Y X. Study on adsorption of peach core directly as a biological adsorption material on methylene blue in aqueous solution[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(12): 118-122.
- [14] 包文泉,乌云塔娜,杜红岩,等.西藏光核桃表型性状遗传多样性分析[J].分子植物育种,2018,16(16):5463-5473.
Bao W Q, Wuyuntana, Du H Y, et al. Genetic diversity analysis of *Amygdalus mira* from the Tibet Plateau in China based on phenotypic traits[J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 16(16): 5463-5473.
- [15] Pigliucci M, Murren C J, Schlichting C D. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation[J]. Journal of Experimental Biology, 2006, 209(12): 2362-2367.
- [16] Li M, Zhao Z, Miao X J, et al. Genetic diversity and population structure of Siberian apricot (*Prunus sibirical*) in China[J/OL]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(1), 377. [2019-10-25]. <https://www.mdpi.com/1422-0067/15/1/377/pdf>.
- [17] 张彩霞,明军,刘春,等.岷江百合天然群体的表型多样性[J].园艺学报,2008,35(8):1183-1188.
Zhang C X, Ming J, Liu C, et al. Phenotypic variation of natural populations in *Lilium regale* Wilson[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(8): 1183-1188.
- [18] Jie Z, Zheng H, Gan S, et al. Phenotypic variation in natural populations of *Betula alnoides* in Guangxi, China[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(2): 59-65.
- [19] Cantin C M, Gogorcena Y, Moreno M A. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in peach and nectarine (*Prunus persica* (L.) Batsch) breeding progenies[J]. Euphytica, 2010, 171(2): 211-226.
- [20] Dicenta F, Garcia J E, Carbonell E A. Heritability of fruit characters in almond[J]. Journal of Horticultural Science, 1993, 68(1): 121-126.
- [21] 冯秋红,史作民,徐静茹,等.岷江柏天然种群种实表型变异特征[J].应用生态学报,2017,28(3):748-756.
Feng Q H, Shi Z M, Xu J R, et al. Phenotypic variations in cones and seeds of natural *Cupressus chengiana* populations in

- China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(3): 748–756.
- [22] Shih K M, Chang C T, Chung J D, et al. Adaptive genetic divergence despite significant isolation-by-distance in populations of Taiwan cow-tail fir (*Keteleeria davidiana* var. *formosana*) [J/OL]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 92 [2019–09–20]. <https://sci-hub.tw/10.3389/fpls.2018.00092#>.
- [23] Zhao Y, Vrieling K, Liao H, et al. Are habitat fragmentation, local adaptation and isolation-by-distance driving population divergence in wild rice *Oryza rufipogon*? [J]. Molecular Ecology, 2013, 22(22): 5531–5547.
- [24] Ruan Y, Huang B H, Lai S J, et al. Population genetic structure, local adaptation, and conservation genetics of *Kandelia obovata* [J]. Tree Genetics & Genomes, 2013, 9(4): 913–925.
- [25] Khadivi-Khub A, Etemadi-Khah A. Phenotypic diversity and relationships between morphological traits in selected almond (*Prunus amygdalus*) germplasm [J]. Agroforest Syst, 2015, 89: 205–216.
- [26] 林玲, 王军辉, 罗建, 等. 砂生槐天然群体种实性状的表型多样性 [J]. 林业科学, 2014, 50(4): 137–143.
- Lin L, Wang J H, Luo J, et al. Phenotypic diversity of seed and fruit traits in natural populations of *Sophora moorcroftiana* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, 50(4): 137–143.
- [27] Bonser S P. Plant phenotypic plasticity in a changing climate [J]. Trends in Plant Science, 2010, 15(12): 684–692.
- [28] 张永兵, 李寐华, 吴海波, 等. 新疆甜瓜地方品种资源的表型遗传多样性 [J]. 园艺学报, 2012, 39(2): 305–314.
- Zhang Y B, Li M H, Wu H B, et al. Genetic diversity of melon landraces (*Cucumis melo* L.) in Xinjiang based on phenotypic characters [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(2): 305–314.
- [29] 社会聪, 蒋雅婷, 田敏, 等. 浙江省野生蜡梅花部形态变异及其与环境因子的相关性 [J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5800–5809.
- Du H C, Jiang Y T, Tian M, et al. Morphological variation in flowers of wild populations of *Chimonanthus praecox* in Zhejiang Province and its correlation with environment factors [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): 5800–5809.
- [30] 杜宁, 张秀茹, 王炜, 等. 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性 [J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6049–6059.
- Du N, Zhang X R, Wang W, et al. Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6049–6059.
- [31] 沈涛, 申仕康, 张霁, 等. 三七表型变异及其对气候因子的响应 [J]. 热带亚热带植物学报, 2017, 25(5): 445–455.
- Shen T, Shen S K, Zhang J, et al. Phenotypic variation of *Panax notoginseng* and response to climatic factors [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2017, 25(5): 445–455.
- [32] 李洪果, 陈达镇, 许靖诗, 等. 濒危植物格木天然种群的表型多样性及变异 [J]. 林业科学, 2019, 55(4): 72–86.
- Li H G, Chen D Z, Xu J S, et al. Phenotypic diversity and variation in natural populations of *Erythrophleum fordii*, an endangered plant species [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(4): 72–86.
- [33] 王晓军, 程绍敏. 西藏主要气候特征分析 [J]. 高原山地气象研究, 2009, 29(4): 81–84.
- Wang X J, Cheng S M. Analysis of major climatic features in Tibet [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2009, 29(4): 81–84.
- [34] 赵玉萍, 邹志荣, 杨振超, 等. 不同温度和光照对温室番茄光合作用及果实品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(5): 125–130.
- Zhao Y P, Zou Z R, Yang Z C, et al. Effect of temperature and light to tomato photosynthesis and quality in greenhouse [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2010, 38(5): 125–130.
- [35] 齐国亮, 苏雪玲, 郑国琦, 等. 气象因子对宁夏枸杞果实生长及多糖含量的影响 [J]. 植物学报, 2016, 51(3): 311–321.
- Qi G L, Su X L, Zheng G Q, et al. Effect of meteorological factor on fruit growth and accumulation of polysaccharides in *Lycium barbarum* [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2016, 51(3): 311–321.

(责任编辑 范娟 崔艳红
责任编辑 康向阳)