

DOI:10.12171/j.1000-1522.20190279

蓝莓种质资源表型多样性研究

李伟¹ 王攀¹ 其其格¹ 张启昌¹ 黄兵军² 肖泽军²

(1. 北华大学林学院, 吉林 吉林 132013; 2. 吉林省敦化林业局, 吉林 敦化 133714)

摘要:【目的】以山东和吉林两地的蓝莓品种为研究对象, 探究蓝莓种质资源表型性状遗传多样性, 为种质资源保存和基因改良提供理论依据。【方法】对47个蓝莓品种表型性状进行测量, 结合主成分分析、相关分析及聚类分析等方法, 探讨蓝莓品种间的表型多样性。【结果】主成分分析表明, 前4个主成分特征根值大于0.5的包含25个性状, 累计贡献率达53.48%, 占调查指标的67.57%。表型数量性状间呈极显著相关的有62对, 显著相关的有40对。蓝莓品种种质资源表型性状变异丰富, 质量性状与数量性状的香浓维纳多样性指数分布在0.32~1.36(平均0.87)和0.22~2.06(平均1.8)。其中质量性状15个, 包含52个变异类型, 数量性状22个, 变异系数在11.39%~46.98%之间。说明蓝莓表型数量性状相对于质量性状表现出更广泛的变异。对调查性状降维后, 保留25个主要性状做Q型聚类分析, 当欧式距离为17时, 将47个蓝莓品种分为5个组群, 各组群与栽培生境和栽培类群有一定相关性。【结论】本研究明确了吉林、山东两地的40个蓝莓品种表型多样性与亲缘关系, 今后在培育蓝莓新品种选择亲本时, 应着重考虑树冠型、灌丛高度、树冠长径、果粉厚度、果实萼片着生姿势、果实硬度、果实萼片长宽比、果实萼片类型、长势等指标。研究结果可为优良种质资源评价与筛选提供参考。

关键词: 蓝莓; 表型性状; 遗传多样性

中图分类号: S633.9; S722.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2020)02-0124-11

引文格式: 李伟, 王攀, 其其格, 等. 蓝莓种质资源表型多样性研究 [J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(2): 124-134. Li Wei, Wang Pan, Qiqige, et al. Phenotypic diversity analysis of blueberry germplasm resources [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(2): 124-134.

Phenotypic diversity analysis of blueberry germplasm resources

Li Wei¹ Wang Pan¹ Qiqige¹ Zhang Qichang¹ Huang Bingjun² Xiao Zejun²

(1. College of Forestry, Beihua University, Jilin 132013, Jilin, China;

2. Forestry Bureau of Dunhua, Dunhua 133714, Jilin, China)

Abstract: [Objective] The genetic diversity of phenotypic traits of blueberry germplasm resources was studied in Shandong and Jilin provinces to provide theoretical basis for the conservation and genetic improvement of the germplasm resources. [Method] The phenotypic traits of 47 blueberry varieties were measured, and the phenotypic diversity among blueberry varieties was discussed by principal component analysis, correlation analysis and cluster analysis. [Result] Principal component analysis showed that the first four principal component characteristic root values greater than 0.5 contained 25 traits, with a cumulative contribution rate of 53.477%, accounting for 67.57% of the survey indicators. 62 pairs were significantly correlated with the number of phenotypic traits, 40 pairs were significantly correlated. Blueberry varieties, phenotypic trait variation of rich germplasm resources, quality traits and aromatic wiener diversity index distribution of quantitative traits ranged in 0.32-1.36 (average 0.87) and 0.22-2.06 (average 1.8), the quality characters of 15, contained 52 mutation types. There were 22 quantitative traits,

收稿日期: 2019-07-12 修回日期: 2019-09-10

基金项目: 吉林省重点科技研发项目(20180201005NY), 国家林业局测试指南编制项目(2015009)。

第一作者: 李伟。主要研究方向: 森林培育。Email: liwei930201@163.com 地址: 132013 吉林省吉林市丰满区滨江东路 3999 号北华大学林学院。

责任作者: 张启昌, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 森林培育。Email: zqc1212@sina.com 地址: 同上。

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

and the coefficient of variation ranged from 11.39% to 46.98%. This indicated that the quantitative traits of blueberry phenotype showed more extensive variation than the qualitative traits. When the Euclidean distance was 17, 47 blueberry varieties were divided into 5 groups. Each group had a certain correlation with the cultivated habitat and cultivated group. [Conclusion] In this study, we identified 40 blueberry varieties of Jilin Province and Shandong Province both phenotypic diversity and genetic relationship, the choice in cultivating blueberry new varieties, parents should focus on canopy, shrub height, canopy length to diameter, thickness of fruit powder, fruit sepals by posture, fruit hardness, fruit sepals length-width ratio, looks like the fruit sepals type, such as index, the results can provide reference for excellent germplasm resource evaluation and selection.

Key words: blueberry; phenotypic character; genetic diversity

蓝莓为越橘属 (*Vaccinium*) 植物, 世界范围广泛分布, 种质资源十分丰富。作为重要的小浆果树种之一, 享有“黄金浆果”“神奇果”的赞誉^[1]。蓝莓果实中含有较高的具有抗氧化、保护眼睛等功效的营养物质, 如黄酮、花青素等^[2-5], 且不同蓝莓品种在抗氧化物质含量、出汁率等品质特性存在差异^[6]。根据蓝莓长势特点和生物生态学特性, 有学者将蓝莓种群划分为 5 个栽培类型, 包括北高丛蓝莓、南高丛蓝莓、半高丛蓝莓、矮丛蓝莓及兔眼蓝莓^[7-8]。丰富的种质资源是基因改良的重要基础, 能为蓝莓遗传育种研究提供充足的材料。对种质资源的遗传多样性进行研究有助于探索该物种的进化潜力及稳定性, 明确它的进化史, 并预测其生态适应性, 对种质的高效利用和创新研究具有重要意义。表型性状多样性受到基因和环境的双重调控是植物多样性的直观体现, 以植物表型性状为对象已被用于多种经济树种或观赏花卉的种质鉴定与分析、新品种培育、遗传多样性分析当中, 如核桃 (*Juglans regia*)^[9]、芍药 (*Paeonia lactiflora*)^[10]、杜鹃 (*Rhododendron simsii*)^[11] 等。近年来在蓝莓果实品质与理化性质分析^[12]、栽培生境^[13]等方面已有报道, 也有学者将分子标记技术运用到蓝莓栽培品种的亲缘关系与遗传多样性研究中^[14-15], 但在蓝莓种质资源表型遗传多样性方面未见报道。本研究以山东、吉林两地的 47 个蓝莓品种为调查对象, 通过对 22 个数量性状与 15 个质量性状进行测定与评价, 揭示不同品种蓝莓表型特征与多样性, 为种质资源保存和基因改良提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

吉林省调查点在松江河林业局蓝莓苗圃 (127°30'27"E、42°10'13"N), 位于长白山西坡, 年降水量 700 ~ 1 000 mm, 年平均温在 3.5 °C 左右, 无霜期约为 75 ~ 120 d。山东省调查点位于青岛胶南佳沃蓝莓园内 (119°53'44"E、35°45'32"N), 年降水量约

1 000 mm, 年平均气温 11.5 °C 左右, 无霜期约 180 d。均常规管理。

1.2 试验材料

试验蓝莓品种包含 7 个栽培类群共 47 个品种, 除‘布里吉塔’来自澳大利亚, ‘斯韦克’来自加拿大, 笃斯越橘 (*Vaccinium uliginosum*) 为中国野生种外, 其他品种均来自美国。包括北高丛蓝莓 (*Vaccinium corymbosum*) 品种 32 个、南高丛蓝莓 (*Vaccinium australe*) 品种 2 个、狭叶蓝莓 (*Vaccinium angustifolium*) 品种 1 个、绒叶蓝莓 (*Vaccinium myrtilloides*) 品种 3 个半高丛蓝莓无拉丁名笃斯越橘品种 1 个、未知品种 2 个 (见表 1)。

1.3 数据调查

吉林省与山东省调查在 2016 年进行, 在 2 个调查点中分别划分 3 个调查区, 各调查区中每个品种随机选取 2 株树作为样株, 共 6 个重复。要求样株生长正常, 无明显缺陷, 无病虫害。

1.3.1 数量性状测量

样穗的选取: 在植株树冠的中上部, 按东西南北和内膛 5 个方向选取 6 个生长良好的枝条作为样穗。

(1) 植株: 灌丛短径、灌丛长径、灌丛高度用卷尺测量。

(2) 果实: 每个品种 6 个平行样, 取果时在各样穗中选择成熟且无病虫害的果实共 48 个, 测量时 3 次重复。果穗长度、果实横径、果实纵径、果柄长度用数显游标卡尺测量, 计算果形指数 (纵径/横径); 用硬度计测量果实的硬度; 用千分之一天平测定单果质量。

(3) 叶片: 每个品种 6 个平行样, 在样穗的中部选取成熟的叶片共 48 片用于测定叶的各项指标。叶片长度、叶片宽度、叶片厚度和叶柄长度用数显卡尺测量, 计算叶形指数 (叶片长度/叶片宽度)。

1.3.2 质量性状观测与分级

质量性状参照越橘属 DUS 测试指南 (内部资料) 进行描述与分类, 本研究中所涉及的质量性状均与测试指南中相应性状的描述或标准图片进行参考

表1 47个蓝莓品种名录

Tab. 1 Directory of 47 kinds of blueberries

代码 Code	栽培类群 Cultivating group	品种名称 Variety	来源 Source
S01	兔眼蓝莓 <i>Vaccinium ashei</i>	蓝美人 Bluebell	山东 Shandong
S02	兔眼蓝莓 <i>Vaccinium ashei</i>	奥斯汀 Austin	山东 Shandong
S03	南高丛蓝莓 <i>Vaccinium australe</i>	阳光蓝 Sunshineblue	山东 Shandong
S04	南高丛蓝莓 <i>Vaccinium australe</i>	奥尼尔 O'neal	山东 Shandong
J01	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	兰作 Bluecrop	吉林 Jilin
J02	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	兰乐 Bluejay	吉林 Jilin
J03	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	布鲁塔 Bluetta	吉林 Jilin
J04	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	达罗 Darrow	吉林 Jilin
J05	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	纳尔逊 Nelson	吉林 Jilin
J06	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	斯巴达 Spartan	吉林 Jilin
S05	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	伯克利 Berkeley	山东 Shandong
S06	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	埃利奥特 Elliot	山东 Shandong
S07	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	泽西 Jersey	山东 Shandong
J07	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	蓝线 Blueary	吉林 Jilin
S08	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	蓝金 Bluegold	山东 Shandong
J08	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	爱国者 Patriot	吉林 Jilin
S09	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	达柔 Darrow	山东 Shandong
S10	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	公爵(都克) Duke	山东 Shandong
J09	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	北村 Northcountry	吉林 Jilin
J10	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	北空 Northsky	吉林 Jilin
S11	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	康维尔 Coville	山东 Shandong
S12	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	钱德勒 Chandler	山东 Shandong
S13	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	布里吉塔 Brigitta	山东 Shandong
S14	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	蓝鸟 Bluejay	山东 Shandong
S15	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	蓝丰 Berkeley	山东 Shandong
S16	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	红利 Bonus	山东 Shandong
S17	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	日出 Sunrise	山东 Shandong
S18	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	塞拉Sierra	山东 Shandong
S19	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	鲁贝尔 Rubel	山东 Shandong
S20	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	瑞卡 Reka	山东 Shandong
S21	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	努努益 Nui	山东 Shandong
S22	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	尼尔森 Nelson	山东 Shandong
S23	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	卡德 Meader	山东 Shandong
S24	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	莱格西 Legacy	山东 Shandong
S25	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	晚蓝 Lateblue	山东 Shandong
S26	北高丛蓝莓 <i>Vaccinium corymbosum</i>	艾克塔 Echota	山东 Shandong
J11	狭叶蓝莓 <i>Vaccinium angustifolium</i>	7917	吉林 Jilin
J12	绒叶蓝莓 <i>Vaccinium myrtilloides</i>	美登 Blomidon	吉林 Jilin
J13	绒叶蓝莓 <i>Vaccinium myrtilloides</i>	芬蒂 Fundy	吉林 Jilin
J14	绒叶蓝莓 <i>Vaccinium myrtilloides</i>	斯韦克 Brunswick	吉林 Jilin
J15	笃斯蓝莓 <i>Vaccinium uliginosum</i>	笃斯越橘 <i>Vaccinium uliginosum</i>	吉林 Jilin
J16	半高丛蓝莓 Half-high blueberry	奇伯 瓦Chippwa	吉林 Jilin
J17	半高丛蓝莓 Half-high blueberry	北陆 Northland	吉林 Jilin
J18	半高丛蓝莓 Half-high blueberry	北青 Northblue	吉林 Jilin
J19	半高丛蓝莓 Half-high blueberry	北极星 Polaris	吉林 Jilin
J20	未知蓝莓 Unknown blueberry	白河未知 Baihe unknown	吉林 Jilin
J21	未知蓝莓 Unknown blueberry	松江河未知 Songjianghe unknown	吉林 Jilin

对比,经综合考量与比较后对观测性状进行记录。分级结果见表2。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Office Excel(2007)软件对调查数据进行汇总与整理,并统计质量性状各级分布情况。计算数量性状统计量的均值、极值、极差、标准差、变异系数、香浓维纳指数。运用统计软件 IBM SPSS(19.0)先对相关原始数据进行 Z 标准化(STD)处理,以消除由不同量纲对分析产生的影响。利用标准化后的数据进行 R 型聚类、主成分及相关性分析,根据分析结果去除相关性较高且特征根值小于 0.5 的指标后,对调查品种以平方欧式距离为标准做 Q 型聚类,并做树状图。

香浓维纳指数(Shannon-Wiener)是描述性状多样性变异程度的量化体现^[16],计算公式为

$$H' = \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中: H' 为多样性指数, P_i 为某一性状第*i*级材料内分布频率的有效百分比。

2 结果与分析

2.1 性状多样性评价

2.1.1 15 个质量性状多样性评价

质量性状表现出 52 个变异类型,平均 3.4 个。叶尖的香浓维纳指数最小为 0.32,果实萼片香浓维

纳指数最大为 1.36,整体平均为 0.87,包括 5 个果实性状、2 个枝条性状、5 个叶片性状和 3 个树体性状(见表 3)。

3 个树体性状中,树冠形分布较为平均,包括扁圆(33.33%)、椭圆(29.41%)、近圆(33.33%),仅有‘蓝金’和‘布里吉塔’两个品种为圆形树冠。在长势方面,仅有‘红利’品种表现出极弱的长势,其他长势弱的为 28%、中等的为 42% 和强的为 28%。树冠密集程度上中密型的为 62%,而稀疏型和繁密型分别为 28% 和 10%。树体长势情况良好,强、中等、弱分别为 28%、42%、28%,唯有红利品种在观察时长势极弱。枝条外观性状中,1 年生枝枝姿开张型的为 29.79%、半开张型的为 63.82%;1 年生枝无绒毛的为 70.21%,密、较密、稀疏分别为 14.88%、8.51% 和 6.40%。

5 个果实性状中,多数品种果实形状为圆形(42.32%)和扁圆形(55.76%),仅伯克利 1 个品种果实形状为椭圆形。果实萼片着生姿势分为直立、直立至半直立、半直立,分别为 25%、26.92%、48.08%。果实萼片类型变异较多,分为内卷、平展、反卷、平展+反卷、内卷+反卷,以前 3 个变异类型为主合计为 88.46%。蓝莓果实表面附着的果粉,可使果实保持新鲜防止病菌侵染,各品种中果粉厚度为厚的或薄的相同为 23.08%,而中的为 53.84%。

5 个叶片外观性状中,叶形以椭圆形为主,为

表 2 质量性状类型及分级

Tab. 2 Type and rank of quality characteristics

序号 No.	性状类型 Characteristic type	分级 Classification
1	树冠型 Crown type	1扁圆、2椭圆、3近圆、4圆 1 Oblate, 2 oval, 3 near circular, 4 round
2	树冠密集度 Crown density	1稀、2中、3密 1 Sparse, 2 medium, 3 dense
3	长势 Growth	1强、2中等、3弱、4极弱 1 Well, 2 medium, 3 weak, 4 very weak
4	一年生枝绒毛 Tomentum of one-year-old shoot	1无、2稀疏、3中密、4密 1 None, 2 sparse, 2 medium-dense, 4 dense
5	一年生枝枝姿 Posture of one-year-old shoot	1直立型、2开张型、3半开张型、4开张或半开张型 1 Upright, 2 Unfolded, 3 semi-unfolded 4 unfolded or semi-unfolded
6	叶片形状 Leaf shape	1卵形、2椭圆形、3长椭圆形、4倒卵至椭圆 1 Ovoid, 2 oval, 3 Long-oval, 4 obovate to oval
7	叶尖形状 Leaf apex shape	1急尖、2渐尖、3钝尖 1 Acuminate, 2 taper, 3blunt
8	叶基形状 Leaf blade base shape	1宽楔形、2楔形、3圆形 1 Wide wedge, 2 wedge, 3 round
9	叶背绒毛 Tomentum of leaf back	1无、2稀疏、3中密、4密 1 None, 2 sparse, 3 medium-dense, 4 dense
10	果实形状 Fruit shape	1椭圆形、2圆形、3扁圆形 1 Oval, 2 round, 3 oblate
11	果实密集程度 Fruit crowded degree	1稀疏、2中等、3繁密 1 Sparse, 2 medium, 3 dense
12	果粉厚度 Fruit powder thickness	1多、2中、3少 1 Much, 2 medium, 3 less
13	果实萼片着生姿势 Posture of fruit sepal	1直立、2直立至半直立、3半直立 1 Upright, 2 upright to semi-erect, 3 semi-erect
14	果实萼片类型 Fruit sepal type	1内卷、2平展、3反卷、4平展+反卷、5内卷+反卷 1 Involute, 2 explanate, 3 deflexed, 4 explanate+deflexed, 5 involute+deflexed
15	叶缘 Leaf margin	1锯齿、2全缘 1 Sawtooth, 2 entire

表3 15个质量性状分级与分布情况

Tab. 3 Classification and distribution of 15 quality traits

质量性状 Quality character	分级的分布 Distribution of classification/%					香浓维纳指数 Shannon-Wiener index (H')
	1	2	3	4	5	
树冠型 Crown type	33.33	29.41	33.33	3.93		1.22
树冠密集度 Crown density	28.00	62.00	10.00			0.88
长势 Growth	28.00	42.00	28.00	2.00		1.16
1年生枝绒毛 Tomentum of one-year-old shoots	70.21	6.40	8.51	18.88		0.92
1年生枝枝姿 Posture of one-year-old shoots	2.13	29.79	63.82	4.26		0.86
果实形状 Fruit shape	1.92	42.32	55.76			0.77
果实密集程度 Fruit crowded degree	38.46	53.85	7.69			0.90
果粉厚度 Fruit powder thickness	23.08	53.84	23.08			1.01
果实萼片着生姿势 Posture of fruit sepal	25.00	26.92	48.08			1.05
果实萼片类型 Fruit sepal type	19.23	28.85	40.38	7.69	3.85	1.36
叶形 Leaf shape	5.77	67.31	25.00	1.92		0.85
叶尖形状 Leaf apex shape	3.85	92.3	3.85			0.32
叶基形状 Leaf blade base shape	13.46	84.62	1.92			0.49
叶背绒毛 Tomentum of leaf back	84.62	7.69	5.77	1.92		0.58
叶缘 Leaf margin	37.25	62.75				0.66

67.31%；叶尖性状中急尖和钝尖相同为 3.85%，渐尖最多为 92.30%。叶基以楔形为主占 84.62%，然后是款楔形为 13.46%，圆形最少为 1.92%。叶缘为锯齿状占 37.25%。全缘状为 62.75%。叶片背部主要为无毛，占 84.62%。

2.1.2 数量性状多样性评价

如表 4 所示，22 个数量性状的变异系数介于 4.74%~46.98% 之间，单果质量变异系数最大，果实萼片数变异系数最小。变异系数大于 35% 的性状有 3 个，从小到大排序分别是果柄长度 39.54%、果穗长度 40.21%、单果质量 46.98%。其他性状变异系数较为集中。果实的相关性状作为重要的农艺评价性状受到广泛关注^[6]，本研究中变异系数较大的指标均为果实性状，说明蓝莓果实具有丰富的遗传多样性。另一方面，数量性状香浓维纳指数在 0.22~2.06 之间，平均为 1.8。说明蓝莓数量性状具有多样性，且差异性较大的品种应格外关注。

2.2 数量性状相关性分析

对蓝莓 22 个数量性状进行相关分析，按照树体性状、叶片性状和果实性状分别进行讨论，其中呈极显著相关的有 62 对，显著相关的有 40 对。树体性状有 3 个包括灌丛高度、树冠长径和树冠短径，两两间呈极显著正相关。说明随着灌丛高度的增加树冠的大小也会增加。叶片性状有 5 个，其中叶柄长与叶片长和叶片宽度呈极显著正相关，与叶型指数呈显著负相关。叶片长度与叶片宽度呈极显著正相

关，与叶片厚度呈显著正相关，与叶形指数呈显著负相关。叶片宽度与叶形指数呈极显著负相关，与叶片厚度呈显著相关。果实相关性状有 14 个，其中呈极显著相关的有 24 对，呈极显著负相关的有 6 对；呈显著相关的有 9 对，呈显著负相关的有 7 对。综上所述，蓝莓表型数量性状间大多关系较为密切，当某一指标发生变化时可能会伴随着其他指标数值上的增大或减小。

2.3 37 个测试性状主成分分析

主成分分析结果见表 5。前 4 个主成分累计贡献率达 53.48%，前 11 个主成分累计贡献率为 79.74%，前 4 个主成分中特征根绝对值大于 0.5 的包含 25 个性状。第 1 主成分单独贡献率为 20.64%，特征根绝对值大于 0.5 的有灌丛高度、叶背绒毛、果实横径等 12 个性状，能够反映出灌丛高度、叶形、长势等表型情况。第 2 个主成分单独贡献率为 19.33%，特征根绝对值大于 0.5 的有树冠叶片厚度、果穗长度、树冠长径等 10 个性状，主要反映了叶形、果实、树冠等表型情况。第 3 个主成分单独贡献率为 7.20%，特征根绝对值大于 0.5 的有果实硬度、可溶性固形物、叶形指数 3 个指标，能够反映出果实和叶片相关性状的表型情况。第 4 主成分单独贡献率为 6.31%，其中特征根绝对值大于 0.5 的果实性状和果实横径 2 个指标，主要反映了果实的相关性状。各主成分中特征根绝对值较大的性状是蓝莓表型差异的主要因素，今后在新品种选育时可作为重点观测对象。

表 4 22 个蓝莓数量性状的变异情况

Tab. 4 Variation conditions of 22 quantitative characters of blueberry

性状 Character	平均值 Average	标准差 Standard deviation	极差 Range	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数 Coefficient of variation	香浓维纳指数 Shannon-Weiner index
灌丛高度 Shrub height/m	0.98	0.28	1.18	1.57	0.39	28.57	2.03
树冠长径 Crown long diameter/m	1.35	0.29	1.51	2.07	0.56	21.48	2.06
树冠短径 Crown short diameter/m	1.17	0.29	1.39	1.82	0.43	24.79	1.98
叶柄长 Petiole length/mm	2.58	0.69	3.13	4.49	1.36	26.74	1.87
叶片长度 Leaf length/mm	52.77	10.57	50.36	76.72	26.36	20.03	1.90
叶片宽度 Leaf width/mm	26.56	6.68	30.11	40.73	10.62	25.15	1.97
叶形指数 Leaf shaped index	2.07	0.33	1.81	3.49	1.68	15.94	1.67
叶片厚度 Leaf thickness/mm	0.4	0.13	0.43	0.63	0.2	32.5	1.95
果实纵径 Fruit longitudinal diameter/mm	11.02	1.84	10.05	16.53	6.48	16.7	1.99
果实横径 Fruit vertical diameter/mm	14.16	2.44	9.89	18.75	8.86	17.23	1.98
果型指数 Fruit type index	0.79	0.09	0.452 1	1.132 1	0.68	11.39	1.74
果柄长度 Fruit handle length/mm	7.03	2.78	11.59	14.3	2.71	39.54	2
果穗长度 Ear length/mm	23.25	9.35	41.94	48.37	6.43	40.21	1.93
单果质量 Single fruit mass/g	1.49	0.7	2.6	2.89	0.29	46.98	0.54
果实硬度 Fruit hardness ($\times 10^5$ Pa)	2.84	0.56	2.21	4	1.79	19.72	2.01
可溶性固形物 Soluble solid/%	11.46	2.48	14.17	16.67	2.5	21.64	1.97
果实萼洼直径 Diameter of calyx depressions/mm	6.8	1.12	6.4	8.39	1.99	16.47	1.84
果实萼洼深度 Depth of calyx depressions/mm	1.71	0.47	2.21	3	0.79	27.49	1.94
果实萼片长度 Fruit sepal length/mm	2.02	0.44	2.13	3.17	1.04	21.78	1.99
果实萼片宽度 Fruit sepal width/mm	3.32	0.46	2.09	4.3	2.21	13.86	2.05
果实萼片长宽比 Fruit sepal length-width ratio	0.62	0.12	0.671 2	1.05	0.378 8	19.35	2.05
果实萼片数 Number of sepals	5.06	0.24	1	6	5	4.74	0.22

2.4 表型性状 R 型聚类分析

通过 R 型聚类能够对蓝莓各性状间的关联性进行分析与讨论, 而且能够为 Q 型聚类性状的选取提供合理参考。由图 1 可知, 当欧式距离为 5 时有 4 组相关性较强的指标, 分别为树冠长径与树冠短径, 叶片长度与叶片宽度, 果实纵径、单果质量与果实横径, 果实萼洼直径与果实萼片宽度。当欧式距离为 10 时加入 5 组共 9 个性状, 分别为灌丛高度与果穗长度, 叶柄长, 1 年生枝绒毛与叶背绒毛, 果实硬度与可溶性固形物, 果实萼片长度与果实萼片长宽比。

2.5 47 个蓝莓品种 Q 型聚类分析

依照上述分析结果, 对所调查性状进行简化、降维, 最终筛选出 25 个性状做 Q 聚类分析(图 2)。可见当欧式距离为 17 时, 能够依据表型性状将 47 个品种分为 5 类。第 1 类包括‘泽西’‘斯巴达’‘兰作’等 14 个品种, 主要特征是叶片背部无绒毛, 中等的树冠密集程度, 果实萼片有近似的着生姿势。第 2 类包括‘蓝美人’‘奥斯汀’‘康维尔’等 23 个品种, 主要特征为果实形状扁圆形占多数, 果实密集程度较低为

稀疏或者中等水平, 叶片背部大多无绒毛。第 3 类仅有‘伯克利’一个品种, 主要特征为灌丛高度最大。第 4 类有两个品种为‘公爵’‘艾克塔’, 主要特征为叶片厚度大。第 5 类群包括‘斯卫克’在内的 6 个品种, 主要特征为果实小、树体矮。

3 讨 论

3.1 蓝莓表型性状变异特征

丰富的表型性状对育种时亲本选择和探讨种质资源多样性具有重要的参考价值^[17]。本研究对吉林、山东两地蓝莓的主要栽培品种进行表型调查、统计与分析, 品种涵盖 7 个栽培类群, 涉及叶片、果实和植株的 37 个性状, 能够反应出我国黄河以北地区主栽蓝莓的表型特点。结果表明, 在各品种间蓝莓的质量性状与数量性状均存在不同程度的变异。香浓维纳多样性指数能够直观的反映出植物性状的分级与分布情况, 数值的大小能够反映出表型的均匀度与丰富度^[16,18]。研究发现蓝莓表型性状中数量性状香浓维纳指数平均为 $H'=1.82$ 远大于质量性状

表5 37个性状指标主成分分析特征根、贡献率和累计贡献率

Tab. 5 Characteristic root contribution rate and accumulative contribution rate of 37 trait indexes analyzed by principal component analysis

性状 Character	主成分 Principal component										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
灌丛高度 Shrub height	0.64	0.25	0.27	-0.34	-0.25	0.24	0.09	-0.19	0.19	0.09	0.03
树冠长径 Crown long diameter	0.27	0.61	0.27	-0.48	-0.30	0.24	0.05	-0.11	0.14	0.07	-0.13
树冠短径 Crown short diameter	0.26	0.64	0.28	-0.46	-0.28	0.21	0.02	-0.04	0.02	0.02	-0.01
树冠型 Crown type	0.24	-0.31	0.04	0.10	-0.58	-0.15	-0.07	0.29	0.05	0.07	0.49
树冠密集度 Crown crowded degree	-0.34	0.65	-0.03	-0.12	-0.12	0.16	0.06	0.18	0.06	0.01	0.11
长势 Growth	-0.64	-0.31	0.09	0.22	0.12	0.00	-0.01	-0.05	0.09	-0.03	-0.13
1年生枝绒毛 Tomentum of one-year-old shoots	-0.46	0.32	-0.30	-0.08	-0.19	0.21	0.60	0.07	-0.02	-0.07	0.09
1年生枝枝姿 Posture of one-year-old shoots	0.08	0.42	-0.33	-0.05	0.06	0.00	0.56	0.26	0.05	0.02	0.03
叶柄长 Petiole length	0.68	0.30	-0.05	-0.19	0.26	-0.27	0.05	0.05	0.30	0.04	-0.20
叶片长度 Leaf length	0.82	-0.06	-0.06	-0.18	0.09	0.00	0.13	-0.18	0.10	0.20	-0.08
叶片宽度 Leaf width	0.86	-0.07	-0.26	-0.20	0.00	-0.11	0.11	-0.13	0.01	0.11	0.01
叶形指数 Leaf shaped index	-0.44	0.04	0.59	-0.04	0.23	0.31	-0.08	-0.14	0.07	0.25	-0.17
叶片厚度 Leaf thickness	0.18	-0.84	-0.01	-0.02	-0.26	0.08	-0.01	0.01	0.20	0.03	0.01
叶片形状 Leaf shape	-0.30	0.52	0.01	-0.05	0.13	-0.04	-0.28	0.33	0.08	0.51	-0.01
叶尖形状 Leaf apex shape	-0.32	0.29	0.13	-0.07	0.49	0.40	0.01	0.36	-0.09	0.08	-0.02
叶基形状 Leaf blade base shape	-0.32	-0.07	-0.01	0.15	0.31	0.25	0.09	-0.44	0.24	-0.14	0.43
叶背绒毛 Tomentum of leaf back	-0.51	0.23	0.08	0.06	-0.01	0.18	0.48	-0.04	-0.18	-0.22	-0.17
叶缘 Leaf margin	0.39	-0.22	0.10	0.00	0.34	0.50	-0.14	0.23	0.06	-0.21	0.16
果实纵径 Fruit vertical diameter	0.41	0.72	0.16	0.22	0.24	-0.21	-0.05	-0.01	0.09	-0.11	0.08
果实横径 Fruit transverse diameter	0.63	0.50	0.11	0.52	0.05	-0.02	0.00	-0.09	0.03	0.03	0.01
果型指数 Fruit type index	-0.40	0.41	0.08	-0.46	0.34	-0.33	-0.09	0.17	0.13	-0.17	0.12
果柄长度 Fruit handle length	0.61	-0.46	0.19	-0.17	0.13	0.02	0.11	0.33	-0.06	-0.07	0.12
果穗长度 Ear length	0.42	0.56	-0.36	-0.03	0.16	-0.07	-0.02	-0.15	-0.30	0.18	0.08
单果重量 Fruit mass	0.35	0.21	0.20	0.32	-0.01	0.13	0.01	0.16	0.48	-0.08	0.20
果实形状 Fruit shape	0.18	-0.23	-0.12	0.54	-0.12	0.56	0.00	-0.01	0.01	0.36	-0.08
果实密集程度 Fruit crowded	0.24	0.59	0.14	0.40	-0.06	0.01	0.10	-0.23	-0.04	0.02	0.11
果粉厚度 Fruit powder thickness	0.34	0.04	-0.47	0.15	0.26	0.09	0.02	-0.01	0.42	-0.22	-0.21
果实硬度 Fruit hardness	0.17	-0.36	0.63	0.08	0.20	-0.27	0.25	-0.09	-0.06	-0.01	0.16
可溶性固形物 Soluble solid	0.12	-0.61	0.54	-0.09	0.04	0.02	0.28	0.21	0.08	0.07	0.01
果实萼片着生姿势 Posture of fruit sepal	0.11	0.71	0.00	0.37	-0.08	-0.04	0.04	0.23	-0.23	0.08	0.11
果实萼片类型 Fruit sepal type	0.00	-0.40	0.16	0.28	-0.32	-0.12	0.11	0.21	0.13	-0.08	-0.42
果实萼洼直径 Diameter of calyx depression	0.71	0.27	0.35	0.12	-0.01	0.10	-0.06	0.00	-0.36	-0.14	-0.04
果实萼洼深度 Depth of calyx depression	0.66	-0.20	-0.47	0.10	0.08	0.07	0.03	0.20	0.05	0.07	-0.07
果实萼片长度 Fruit sepal length	0.52	-0.67	-0.10	-0.17	0.25	0.12	0.07	0.01	-0.27	0.03	0.06
果实萼片宽度 Fruit sepal width	0.78	-0.02	0.29	0.10	0.08	0.03	0.02	0.09	-0.25	-0.25	-0.16
果实萼片长宽比 Fruit sepal length-width ratio	0.05	-0.70	-0.28	-0.28	0.20	0.15	0.09	-0.12	-0.13	0.22	0.14
果实萼片数 Number of sepals	0.12	0.15	-0.26	-0.21	-0.26	0.41	-0.44	0.05	-0.09	-0.42	-0.01
合计 Aggregate	7.07	2.89	1.56	0.06	1.23	2.86	2.11	1.41	0.98	0.34	0.65
单独贡献率 Individual contribution rate	20.64	19.33	7.20	6.31	5.21	4.70	3.96	3.37	3.28	3.00	2.74
累计贡献率 Cumulative contribution rate	20.64	39.97	47.17	53.48	58.69	63.39	67.34	70.72	74.00	77.00	79.74

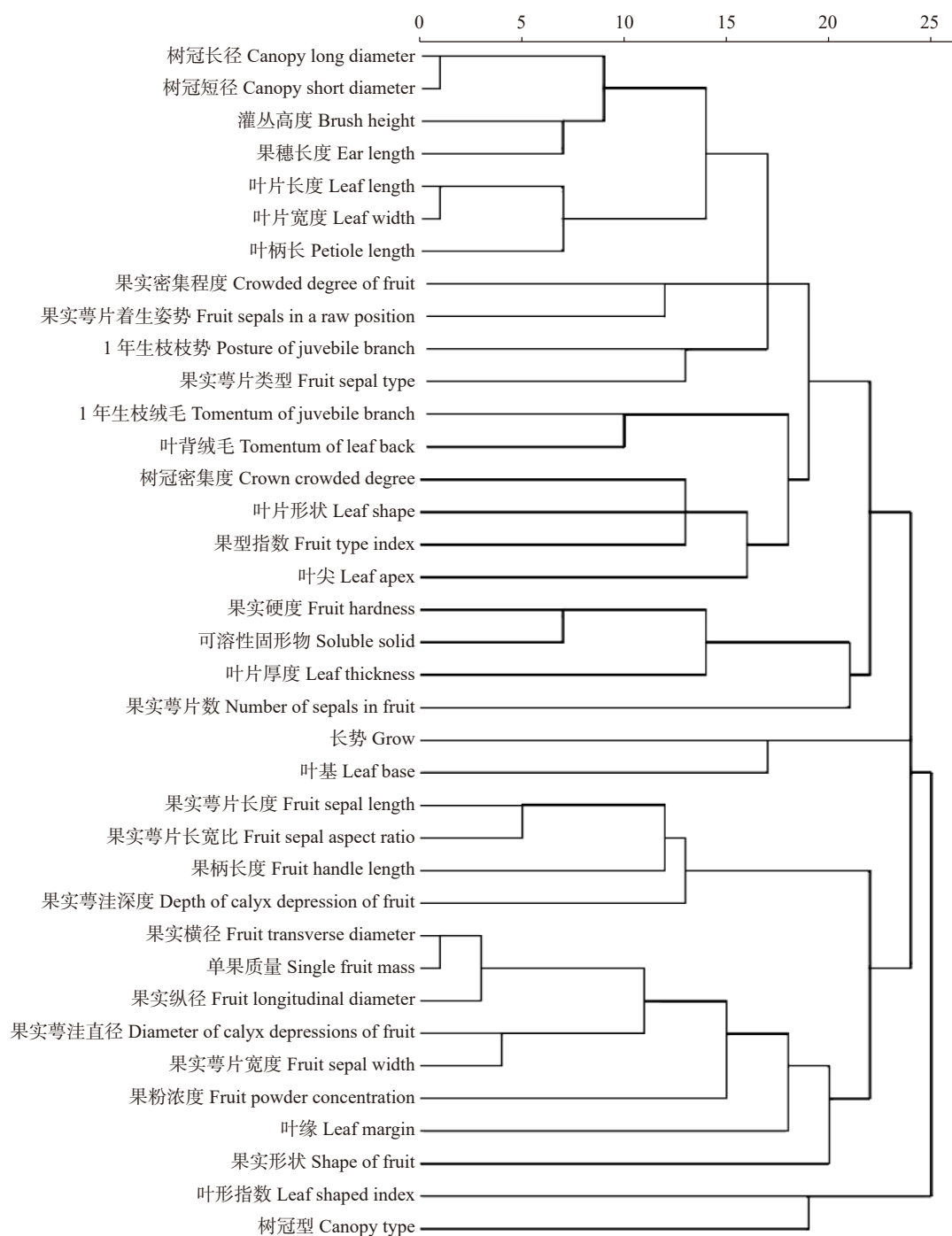


图 1 蓝莓 37 个性状指标的 R 型聚类图

Fig. 1 R-type cluster analysis of 37 trait indexes of blueberry

($H^2=0.87$)。且数量性状香浓维纳指数大于 2 的有 6 项, 说明不同种植区的蓝莓品种表型数量性状多样性程度更高, 质量性状也有一定变异但相对较小。蓝莓表型性状中的植株性状和果实性状变异更为丰富, 这是不同栽培类群本身所存在的遗传差异所致。本研究对蓝莓表型数量性状的相关性进行分析, 相关性较高的性状在观测不便时可适当精简, 这有助于对种植资源的快速评价。研究结果与番茄 (*Solanum lycopersicum*)^[18]和芍药^[9]的结论有一定的一致性。

3.2 蓝莓不同品种地理变异规律

植物表型性状的变化模式是遗传多样性研究的前导与基础, 受到遗传基因及环境因素等多方面调控, 因此会出现表型性状的变异性与稳定性^[13,19-20]。对蓝莓表型性状进行降维, 从 37 个测试性状中筛选出的 25 个代表性状进行 Q 型聚类分析, 结果显示当欧式距离为 17 时将所有品种划分为 5 个类群。从栽培类群的角度看, 不同类群在聚类时有所交叉, 但矮丛蓝莓由于性状表现与其他栽培类群间有明显差异因此被单独划分出来。从地理位置上看, 东北吉林

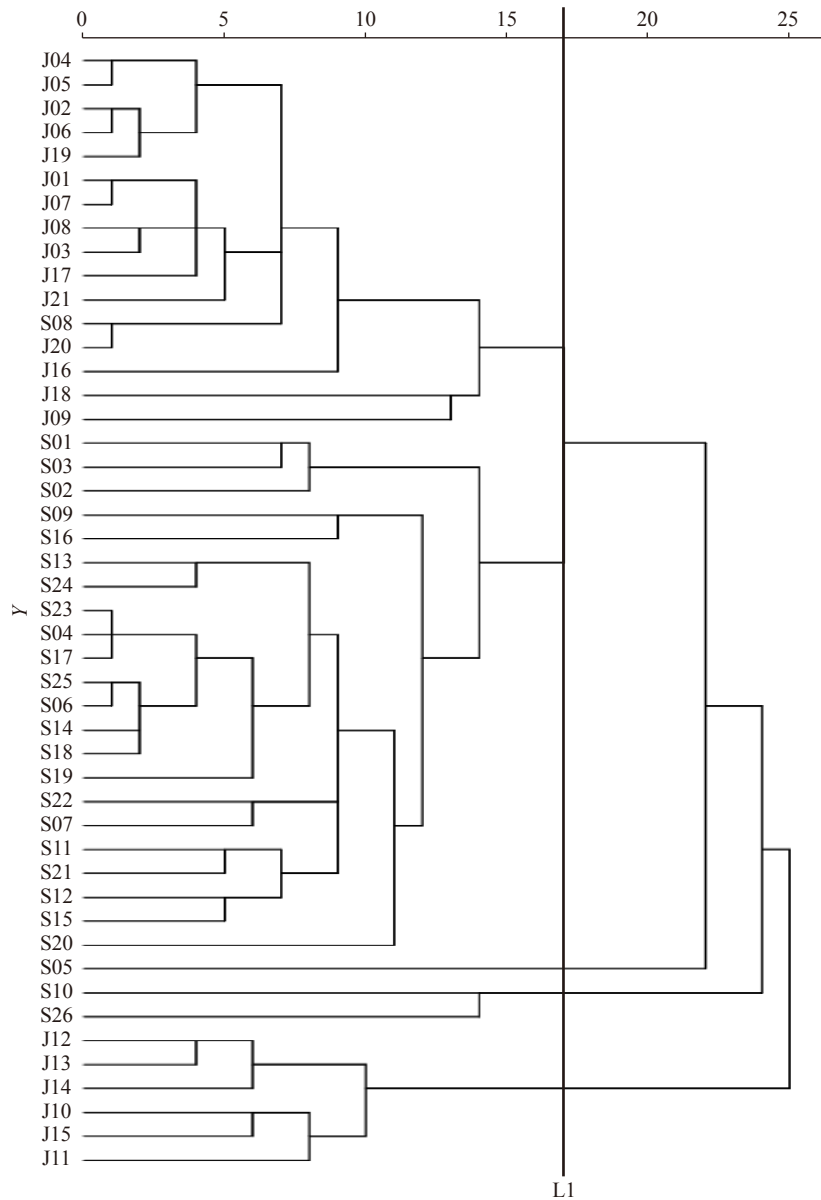


图2 47份材料基于25个形态性状聚类

Fig. 2 47 materials clustered based on 25 morphological characters

省栽种的品种聚为2类,山东省栽种的品种聚为3类。这两个地理位置的温度、土壤、年降水量等非生物因素的差异可能会对蓝莓表型性状尤其是数量性状产生较大影响。植物数量性状与质量性状的变异规律十分复杂,基因型、环境饰变、管理模式等都会对其造成影响,这种情况在植物中广泛存在,如野生玫瑰(*Rosa rugosa*)^[21]、枣(*Ziziphus jujuba*)^[16]等。因此,在进行地域性引种时可对蓝莓主要表型性状和栽培类型进行综合考量,这样能够确保植株正常发育及提高产量,如吉林省适宜栽培树体矮小,树冠型偏向于扁圆或椭圆,果实硬度相对于山东省蓝莓较小的品种,如‘北极星’‘美登’‘爱国者’‘北陆’‘奇伯瓦’等品种。

3.3 蓝莓种质资源的保护与建议

蓝莓品种遗传背景复杂,杂合度高,不利于对其

亲本来源进行准确判断^[22]。因此有学者提出可利用分子标记的方法来解决这一问题,如CDDP、SRAP、EST-SSR^[23]。虽然分子标记技术存在一定的局限性,但能够从分子水平上对遗传多样性进行验证与分析。这些研究结果表明,在对不同蓝莓品种的亲缘关系和遗传多样性研究时,需要将不同栽培类群、表型性状和生态适应性进行分析,这样才能更准确的明确品种的遗传背景,对保护蓝莓种质资源、培育蓝莓新品种有重要意义。因此,笔者建议今后可通过不同的分子标记技术与表型形状多样性研究相结合,建立相应的分子及形态数据库,进一步推动和发展我国蓝莓产业。

4 结 论

综上所述,本研究所选择的蓝莓种质资源表型

变异丰富,能够代表蓝莓种质遗传多样性。明确了吉林、山东两地40个蓝莓品种表型多样性与亲缘关系。通过主成分分析、相关分析、R聚类分析筛选出树冠形状、果粉厚度、果实萼片着生姿势、果实萼片类型、长势这5个质量性状和灌丛高度、树冠长径、叶片长度、果实硬度、果实萼片长宽比、单果质量6个数量性状作为重要的蓝莓表型指标。另一方面,Q聚类显示出较高形态地域性特征,表型性状与生境条件结合育种是蓝莓品种选育的一个新途径。

参 考 文 献

- [1] 李艳芳, 聂佩显, 张鹤华, 等. 蓝莓果实花青苷积累与内源激素含量动态变化[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(2): 64-71.
Li Y F, Nie P X, Zhang H H, et al. Dynamic changes of anthocyanin accumulation and endogenous hormone contents in blueberry[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2017, 39(2): 64-71.
- [2] Beaulieu L P, Harris C S, Saleem A, et al. Inhibitory effect of the Cree traditional medicine wiishichimanaanh (*Vaccinium vitis-idaea*) on advanced glycation endproduct formation: identification of active principles[J]. Phytotherapy Research, 2010, 24(5): 741-747.
- [3] Ge Y H, Duan B, Li C Y, et al. γ -Aminobutyric acid delays senescence of blueberry fruit by regulation of reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 240: 303-309.
- [4] Wang H, Guo X, Hu X, et al. Comparison of phytochemical profiles, antioxidant and cellular antioxidant activities of different varieties of blueberry (*Vaccinium* spp.)[J]. Food Chemistry, 2017, 217: 773-781.
- [5] Reque P M, Steffens R S, Jablonski A, et al. Cold storage of blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits and juice: anthocyanin stability and antioxidant activity[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2014, 33(1): 111-116.
- [6] 谢跃杰, 王仲明, 王强, 等. 不同品种和成熟度蓝莓理化特性的主成分分析评价[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 94-99.
Xie Y J, Wang Z M, Wang Q, et al. Assessment of the differences in physical, chemical and phytochemical properties of different blueberry cultivars harvested at different dates using principal component analysis[J]. Food Science, 2017, 38(23): 94-99.
- [7] 顾姻, 贺善安. 蓝浆果与蔓越莓[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
Gu Y, He S A. Blueberry and cranberry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001.
- [8] 孙海悦, 李亚东. 世界蓝莓育种概述[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(9): 116-122.
Sun H Y, Li Y D. Overview of blueberry breeding in the world[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2014, 45(9): 116-122.
- [9] 肖俊良, 吴涛, 贺娜, 等. 怒江州核桃种质资源坚果表型特征及多样性[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(9): 46-49, 64.
Xiao L J, Wu T, He N, et al. Phenotypic traits and diversity of nuts of walnut germplasm resource in Nujiang Prefecture of Yunnan[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2018, 46(9): 46-49, 64.
- [10] 万映伶, 刘爱青, 张孔英, 等. 菏泽和洛阳芍药品种资源表型多样性研究[J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(3): 110-121.
Wan Y L, Liu A Q, Zhang K Y, et al. Phenotype diversity of herbaceous peony variety resources in Heze, Shandong of eastern China and Luoyang, Henan of central China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2018, 40(3): 110-121.
- [11] 徐静静, 赵冰, 申惠翡, 等. 15个杜鹃花品种叶片解剖和表型数量分类研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(1): 142-149.
Xu J J, Zhao B, Shen H F, et al. Leaf anatomical structures and numerical classification of 15 azalea cultivars[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(1): 142-149.
- [12] 白永超, 卫旭芳, 陈露, 等. 笃斯越橘果实、叶片矿质元素和土壤肥力因子与果实品质的多元分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 170-181.
Bai Y C, Wei X F, Chen L, et al. Multivariate analysis of fruit leaf mineral elements, soil fertility factors and fruit quality of *Vaccinium uliginosum* L.[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(1): 170-181.
- [13] Gilbert J L, Guthart M J, Gezan S A, et al. Identifying breeding priorities for blueberry flavor using biochemical, sensory, and genotype by environment analyses[J/OL]. PLoS One, 2015, 10(9): e0138494 (2015-09-17) [2019-06-10]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138494>.
- [14] 刘有春, 刘成, 杨艳敏, 等. 基于 EST-SSR 标记的越橘栽培种和几个中国野生种的遗传结构分析[J]. 果树学报, 2017, 34(8): 956-967.
Liu Y C, Liu C, Yang Y M, et al. Genetic structure analysis of the cultivated blueberry (*Vaccinium* spp.) species and wild species in China based on EST-SSR markers[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(8): 956-967.
- [15] 房文秀, 夏秀英, 安利佳, 等. 越橘种质资源的 CDDP 遗传多样性及聚类分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(28): 136-143.
Fang W X, Xia X Y, An L J, et al. Genetic diversity and clustering analysis of blueberry resources by CDDP markers[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(28): 136-143.
- [16] 王永康, 吴国良, 赵爱玲, 等. 枣种质资源的表型遗传多样性分析[J]. 林业科学, 2014, 50(10): 33-41.
Wang Y K, Wu G L, Zhao A L, et al. Phenotypic genetic diversity of jujube germplasm resources[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, 50(10): 33-41.
- [17] Cui H, Chen C, Huang N, et al. Association analysis of yield, oil and fatty acid content, and main phenotypic traits in *Paeonia rockii* as an oil crop[J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2017, 93(4): 1-8.
- [18] 袁东升, 王晓敏, 赵宇飞, 等. 100份番茄种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 西北农业学报, 2019, 28(4): 594-601.
Yuan D S, Wang X M, Zhao Y F, et al. Genetic diversity analysis of 100 tomato germplasm resources based on phenotypic

- traits[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2019, 28(4): 594–601.
- [19] 裴红霞, 王学梅, 高晶霞, 等. 宁夏自育辣椒品种(系)表型遗传多样性分析[J]. *东北农业大学学报*, 2018, 49(10): 26–33.
- Pei H X, Wang X M, Gao J X, et al. Phenotypic genetic diversity analysis on pepper cultivars(strans)in NingXia[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2018, 49(10): 26–33.
- [20] 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): 69–83.
- 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): 69–83.
- [21] 童冉, 吴小龙, 姜丽娜, 等. 野生玫瑰种群表型变异[J]. *生态学报*, 2017, 37(11): 3706–3715.
- Tong R, Wu X L, Jiang L N, et al. Phenotypic variations in populations of *rosa rugosa*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(11): 3706–3715.
- [22] 尹德洁, 苏淑钗, 刘肖, 等. 蓝莓 SRAP-PCR 反应体系的建立优化及引物筛选[J]. *东北林业大学学报*, 2013, 41(2): 35–39, 64.
- Yin D J, Su S C, Liu X, et al. Establishment and optimization of SRAP-PCR system and primer screening for *Vaccinium* spp.[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2013, 41(2): 35–39, 64.
- [23] 孙英新, 白孝明, 王丹丹. 蓝莓种质资源遗传多样性的 EST-SSR 分析[J]. *辽东学院学报(自然科学版)*, 2018, 25(1): 31–35.
- Sun Y X, Bai X M, Wang D D. Genetic diversity among blueberry cultivars: an EST-SSR analysis[J]. *Journal of Eastern Liaoning University*, 2018, 25(1): 31–35.

(责任编辑 赵 勃
责任编辑 刘桂丰)