植物遗传资源学报 2016,17(6):984-992
Journal of Plant Genetic Resources
DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.2016.06.004

东北部分地区山荆子种质资源表型多样性及聚类分析

冯章丽,于文全,顾广军,刘　畅,卜海东,程显敏,刘延杰,董雪梅,邢　星
(黑龙江省农业科学院牡丹江分院,牡丹江 157041)

摘要:对我国东北地区收集的239份山荆子资源的树姿、叶形以及果形等19个表型性状多样性进行了研究。结果表明,我国黑龙江省和内蒙古自治区山荆子具有丰富的表型多样性,平均变异系数和平均多样性指数分别为32.65%和1.38,其中树姿、树型以及叶片颜色等13个目测性状的平均变异系数为38.43%,平均遗传多样性指数为0.95,而叶长、叶宽以及叶柄长等6个测量性状的平均变异系数为26.87%,平均遗传多样性指数为1.80。进一步分析发现,不同地区山荆子表型多样性存在差异,以黑龙江温春山荆子多样性水平最高。基于19个表型性状的聚类分析发现,在欧氏距离为2.5时,参试山荆子材料可以划分为2大类,7个亚类,各地区山荆子材料聚类较为分散,没有形成独立的分类群,暗示山荆子材料遗传基础较为复杂。

关键词:山荆子;种质资源;表型多样性;多样性指数;聚类分析

Phenotypic Diversity and Clustering Analysis of *Malus baccata* (L.) Borkh. in Some Areas of Northeast China

FENG Zhang-li, YU Wen-quan, GU Guang-jun, LIU Chang, BU Hai-dong,
CHENG Xian-min, LIU Yan-jie, DONG Xue-mei, XING Xing
(*Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang 157041*)

Abstract: In order to efficiently use *Malus baccata* (L.) Borkh. germplasm, this study analyzed the phenotypic diversity of 19 morphological traits such as tree performance, leaf shape and fruit shape of 239 *M. baccata* (L.) Borkh. germplasm collected in northeast China. The results showed that *M. baccata* (L.) Borkh. in Heilongjiang province and Inner Mongolia autonomous region were rich in phenotypic diversity, with mean variation coefficient (*CV*) of 32.65% and Shannon's diversity index (*H'*) of 1.38. The *CV* and *H'* for 13 visual characters of *M. baccata* (L.) Borkh. such as tree performance, tree shape and leaf color were 38.43% and 0.95, while were 26.87% and 1.80 for 6 measured characters such as leaf length, leaf width and petiole length. Further analysis showed that phenotypic diversity of *M. baccata* (L.) Borkh. existed differences among different regions, which was the highest in Wenchun of Heilongjiang. Cluster analysis based on 19 morphological traits showed that all of materials could be divided into 2 populations, 7 subpopulations at the euclidean distance of 2.5. It implied that there had been complex genetic basis for *M. baccata* (L.) Borkh. because of all of materials were dispersed and did not form a separate population.

Key words: *M. baccata* (L.) Borkh.; genetic resources; phenotypic diversity; diversity index; cluster analysis

山荆子(*Malus baccata* (L.) Borkh.)又称山定子、山丁子、林荆子,属蔷薇科落叶乔木,广泛分布于我国东北、西北以及华北地区,是一种变种类型丰富的野生果树资源[1-3]。调查研究发现,山荆子树姿

收稿日期:2016-01-03　**修回日期**:2016-02-04　**网络出版日期**:2016-10-17
URL:http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20161017.1529.008.html
基金项目:黑龙江省农业科技创新工程项目(2014QN002);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-28)
第一作者研究方向为寒地果树育种。E-mail:ffzzl-0319@163.com
通信作者:于文全,研究方向为寒地果树育种。E-mail:ywq88188@163.com

优雅娴美,花繁叶茂,在海拉尔等地区常用作城市绿化和观赏树种,其果实、种子以及木材等均有很高的经济利用价值。同时,由于野生山荆子的适应性广、抗逆性强,与苹果嫁接后亲和力强,目前也常作为栽培苹果的优良实生砧木,在培育苹果新品种过程中具有重要作用[4-6]。

种质资源多样性是开展育种工作的基础,利用形态性状来研究种质资源的多样性水平已成为当前评价多样性水平的有效途径之一[7-10]。然而,山荆子作为一种分布广泛极具利用价值的野生果树资源,至今为止对其开展的相关研究报道甚少。王骞等[11]调查发现,山西省不同山定子分布点之间及同一山定子分布点内部单株间表型多样性丰富,其叶片性状、枝条皮色、果实性状等方面均存在明显的差异。杨锋等[12]研究表明,东北山定子野生居群集中在119°42′~120°16′E,49°11′~50°40′N之间,树龄以30~50年生为主体,树姿以开张型和直立型为主,果实颜色由黄经红到紫色变异,果实有酸、酸甜和甜酸3种类型,叶形和果形有扁圆、圆、卵圆、长圆等。东北地区作为我国山荆子资源的核心分布区之一[13],具有丰富的山荆子野生资源。本研究对收集于我国东北地区的239份山荆子资源进行了表型多样性分析,旨在深入了解我国东北地区山荆子资源的多样性水平,阐明东北不同地区山荆子之间的亲缘关系,为建立山荆子核心种质资源保护区,更加科学合理的利用山荆子资源奠定基础。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验以在我国东北8个地区收集的239份山荆子资源为材料(表1),其中温春(WC)193份(序号

表1　239份参试材料编号及名称

Table 1　Name and number of 239 materials in experiment

序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name	序号 No.	名称 Name
1	WC1	36	WC36	71	WC71	106	WC106	141	WC141	176	WC176	211	LK3
2	WC2	37	WC37	72	WC72	107	WC107	142	WC142	177	WC177	212	LK4
3	WC3	38	WC38	73	WC73	108	WC108	143	WC143	178	WC178	213	LK5
4	WC4	39	WC39	74	WC74	109	WC109	144	WC144	179	WC179	214	LK6
5	WC5	40	WC40	75	WC75	110	WC110	145	WC145	180	WC180	215	LK7
6	WC6	41	WC41	76	WC76	111	WC111	146	WC146	181	WC181	216	LK8
7	WC7	42	WC42	77	WC77	112	WC112	147	WC147	182	WC182	217	LK9
8	WC8	43	WC43	78	WC78	113	WC113	148	WC148	183	WC183	218	LK10
9	WC9	44	WC44	79	WC79	114	WC114	149	WC149	184	WC184	219	HYZ1
10	WC10	45	WC45	80	WC80	115	WC115	150	WC150	185	WC185	220	HYZ2
11	WC11	46	WC46	81	WC81	116	WC116	151	WC151	186	WC186	221	HYZ3
12	WC12	47	WC47	82	WC82	117	WC117	152	WC152	187	WC187	222	HYZ4
13	WC13	48	WC48	83	WC83	118	WC118	153	WC153	188	WC188	223	HYZ5
14	WC14	49	WC49	84	WC84	119	WC119	154	WC154	189	WC189	224	HYZ6
15	WC15	50	WC50	85	WC85	120	WC120	155	WC155	190	WC190	225	HYZ7
16	WC16	51	WC51	86	WC86	121	WC121	156	WC156	191	WC191	226	HYZ8
17	WC17	52	WC52	87	WC87	122	WC122	157	WC157	192	WC192	227	HK1
18	WC18	53	WC53	88	WC88	123	WC123	158	WC158	193	WC193	228	HK2
19	WC19	54	WC54	89	WC89	124	WC124	159	WC159	194	HDHZ1	229	HK3
20	WC20	55	WC55	90	WC90	125	WC125	160	WC160	195	HDHZ2	230	HK4
21	WC21	56	WC56	91	WC91	126	WC126	161	WC161	196	HDHZ3	231	HK5
22	WC22	57	WC57	92	WC92	127	WC127	162	WC162	197	HDHZ4	232	HK6
23	WC23	58	WC58	93	WC93	128	WC128	163	WC163	198	JY1	233	HK7
24	WC24	59	WC59	94	WC94	129	WC129	164	WC164	199	JY2	234	HK8
25	WC25	60	WC60	95	WC95	130	WC130	165	WC165	200	JY3	235	HK9
26	WC26	61	WC61	96	WC96	131	WC131	166	WC166	201	JY4	236	HK10
27	WC27	62	WC62	97	WC97	132	WC132	167	WC167	202	JY5	237	HLESQ1
28	WC28	63	WC63	98	WC98	133	WC133	168	WC168	203	JY6	238	HLESQ2
29	WC29	64	WC64	99	WC99	134	WC134	169	WC169	204	YC1	239	HLESQ3
30	WC30	65	WC65	100	WC100	135	WC135	170	WC170	205	YC2		
31	WC31	66	WC66	101	WC101	136	WC136	171	WC171	206	YC3		
32	WC32	67	WC67	102	WC102	137	WC137	172	WC172	207	YC4		
33	WC33	68	WC68	103	WC103	138	WC138	173	WC173	208	YC5		
34	WC34	69	WC69	104	WC104	139	WC139	174	WC174	209	LK1		
35	WC35	70	WC70	105	WC105	140	WC140	175	WC175	210	LK2		

为 1 ~ 193),横道河子(HDHZ)4 份(序号为 194 ~ 197),嘉阴(JY)6 份(序号为 198 ~ 203),伊春(YC)5 份(序号为 204 ~ 208),林口(LK)10 份(序号为 209 ~ 218),黑羊站(HYZ)8 份(序号为 219 ~ 226),哈克(HK)10 份(序号为 227 ~ 236)以及海拉尔市区(HLESQ)3 份(序号为 237 ~ 239)。

1.2 试验方法

于 2015 年 8 月下旬开始,在山荆子果实成熟期进行表型性状调查。调查过程中,每株山荆子材料调查 3 个方位,每个方位随机选择 3 次重复进行。19 个形态指标中,树姿、树型以及叶片颜色等 13 个目测性状直接在野外进行目测调查,记录每个性状每株山荆子材料的赋值,而叶长、叶宽以及叶柄长等 6 个测量性状分别取回叶片和果实在室内利用游标卡尺进行测定。调查标准参照王昆等[14]编著的《苹果种质资源描述规范和数据标准》。

1.3 数据分析

按照表 2 标准对目测性状均进行赋值标准化处理以便于统计分析,测量性状根据平均值(X)和标准差(δ)分为 10 等级,1 级 $< X - 2\delta$,10 级 $\geq X + 2\delta$,中间每级相差 0.5δ[15-18]。通过计算每 1 级的相对频率(P_i)来计算 Shannon′s 多样性指数(H'),其计算公式为:

$H' = -\Sigma P_i \ln P_i$,式中 P_i 表示第 i 级别内材料份数占总份数的百分比[19]。

表 2 山荆子形态性状鉴定标准及测量方法

Table 2 Identification standard and measuring method of *Malus baccata* (L.) Borkh.

编号 Code	形态性状 Morphological character	记载标准及分级 Criteria for recording and classification	测定方法 Measurement method
1	树姿 TP	1:抱合;2:直立;3:开张;4:下垂	目测
2	树型 TS	1:柱形;2:分支	目测
3	叶片颜色 LC	1:黄绿;2:淡绿;3:绿;4:浓绿;5:紫红	目测(比色卡)
4	叶尖形状 LTS	1:渐尖;2:钝尖;3:锐尖;4:长尾尖	目测
5	叶缘 LM	1:钝锯齿;2:锐锯齿;3:复锯齿	目测
6	叶姿 LP	1:斜向上;2:水平;3:斜向下	目测
7	叶面状态 FF	1:平展;2:抱合;3:反卷;4:多皱	目测
8	果形 FS	1:近圆形;2:扁圆形;3:长圆形;4:椭圆形;5:卵圆形;6:圆锥形;7:短圆锥形;8:长圆锥形;9:圆柱形;10:偏斜形	目测
9	果实底色 FC	1:淡绿;2:黄绿;3:绿;4:绿黄;5:黄白;6:淡黄;7:黄;8:橙黄	目测(比色卡)
10	着色程度 CD	3:部分着色;5:全部着色	目测(比色卡)
11	棱起 W	0:无;1:有	目测
12	萼片状态 SS	1:宿存;2:残存;3:脱落	目测
13	丰产性 YA	3:不丰产;5:丰产;7:极丰产	目测
14	叶长 LL	平均值	游标卡尺
15	叶宽 LW	平均值	游标卡尺
16	叶柄长 PL	平均值	游标卡尺
17	果实横径 EDF	平均值	游标卡尺
18	果实纵径 LDF	平均值	游标卡尺
19	果柄长 PL	平均值	游标卡尺

TP:Tree performance, TS:Tree shape, LC:Leaf color, LTS:Leaf tip shape, LM:Leaf margin, LP:Leaf pose, FF:Foliar form, FS:Fruit shape, FC:Fruit color, CD:Coloring degree, W:Wrinkle, SS:Sepals state, YA:Yielding ability, LL:Length of leaf, LW:Leaf width, PL:Petiole length, EDF:Equatorial diameter of fruit, LDF:Longitudinal diameter of fruit, PL:Peduncle long, the same as below

试验数据采用 Excel 统计并计算各性状的平均值、标准差和变异系数等。按照丁健等[20]和蔺经等[21]的方法分别计算叶形指数(LSI, leaf shape index)和果形指数(FSI, fruit shape index)。使用 IBM SPSS statistics 20 软件对表型数据进行聚类分析,在聚类过程中,种质间距为欧氏距离,聚类方法采用离

差平方和法(Ward′s method)。

2　结果与分析

2.1　山荆子种质资源形态多样性分析

对参试 239 份材料的树姿、树型以及叶片颜色等 13 个目测性状进行调查。由表 3 可知,我国东北地区山荆子表型变异丰富,平均变异系数为 38.43%,平均多样性指数为 0.95,其中以果形的变异系数和多样性指数最高,分别为 75.00% 和 1.92,而着色程度的变异系数和多样性指数最低,分别为 14.61% 和 0.21。进一步分析发现,树姿 4 种类型中,收集的 239 份材料中抱合 1 份,直立和开张树姿较为普遍;树型 2 种类型,其中柱形材料略少于分支材料;叶片颜色以浓绿最多,淡绿较少,尚未发现紫叶山荆子材料;叶尖形状多为渐尖,锐尖次之;叶缘多为复锯齿,锐锯齿次之,钝锯齿最少仅占选材的 18.41%;叶姿以斜向下最多,水平较少;叶面状态多为平展,少数为多皱,所调查材料中仅有 4 份为多皱叶片;果形以近圆形、扁圆形和卵圆形较多,长圆形、椭圆形、圆柱形和偏斜形材料也较为普遍,圆锥形、长圆锥形和短圆锥形果实比较少见;果实底色中,239 份材料中绿黄色较为普遍,黄白、黄绿和淡黄次之,绿、淡绿、橙黄和黄材料较少,尤其是发现了 2 份黄果色材料,是极为特殊的野生资源(图 1);果实着色程度由于着光不同,多为部分着色;果实有棱起的材料较多;萼片状态多数为脱落,部分为残存,少数为宿存;从丰产性上看,少数材料为极丰产材料,47.70% 的材料均表现为不丰产。

表 3　山荆子目测性状频率分布及多样性

Table 3　Frequency distribution and diversity of visual characters of *Malus baccata*(L.)Borkh.

形态性状 Morphological character	频率(%)Frequency											变异系数(%) *CV*	多样性指数 *H′*
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
树姿 TP		0.42	38.08	61.50								19.02	0.70
树型 TS		47.28	52.72									32.73	0.70
叶片颜色 LC		18.83	1.67	32.22	47.28							36.14	1.10
叶尖形状 LTS		47.70	14.64	28.45	9.21							53.42	1.21
叶缘 LM		18.41	39.33	42.26								33.16	1.04
叶姿 LP		18.83	7.11	74.06								30.98	0.72
叶面状态 FF		64.44	9.62	23.85	2.09							55.88	0.93
果形 FS		24.69	27.62	6.69	4.60	15.06	0.84	2.09	5.44	10.04	2.93	75.00	1.92
果实底色 FC		2.09	10.46	0.42	42.26	27.20	12.13	3.35	2.09			30.58	1.51
着色程度 CD				94.56		5.44						14.61	0.21
棱起 W	27.62	72.38										61.83	0.59
萼片状态 SS		7.53	20.50	71.97								23.33	0.76
丰产性 YA				47.70		38.08		14.22				32.93	1.00
平均 Mean												38.43	0.95

CV: Variation coefficient, *H′*: Diversity index, the same as below

图 1　山荆子果色多样性

Fig. 1　Diversity of fruit colur of *Malus baccata*(L.)Borkh.

对参试山荆子材料的叶形(叶长、叶宽和叶柄长)和果形(果实横径、果实纵径和果柄长)6 个测量性状进行测定分析。由表 4 可知,239 份山荆子材料的叶形和果形均变异较大,其极差依次分别为 3.30、3.29、1.75、0.93、0.72 和 3.10,且变异系数均大于等于 19.88%;进一步分析发现,在山荆子叶形之中,以叶长的变异系数最大,为 21.58%,而叶宽的变异系数最小,为 19.88%。山荆子果形变异丰富(图 2),以果实横径的变异系数最大,为 40.23%,而果柄长的变异系数最小,为 24.16%。

表 4 山荆子测量性状基本参数及多样性

Table 4 Basic parameter value and diversity of measured characters for *Malus baccata* (L.) Borkh.

形态性状 Morphological character	样本数 Sample size	均值±标准差 Mean ± *SD*	中位数 Median	众数 Mode	极差 Range	变异系数(%) *CV*	多样性指数 *H'*
叶长(cm) LL	239	2.49 ± 0.54	2.56	2.61	3.30	21.58	1.94
叶宽(cm) LW	239	1.49 ± 0.30	1.49	1.52	3.29	19.88	1.88
叶柄长(cm) PL	239	1.27 ± 0.27	1.23	1.24	1.75	21.25	1.96
果实横径(cm) EDF	239	0.40 ± 0.16	0.35	0.35	0.93	40.23	1.50
果实纵径(cm) LDF	239	0.38 ± 0.13	0.34	0.33	0.72	34.12	1.60
果柄长(cm) PL	239	1.27 ± 0.31	1.26	1.30	3.10	24.16	1.91
平均 Mean						26.87	1.80

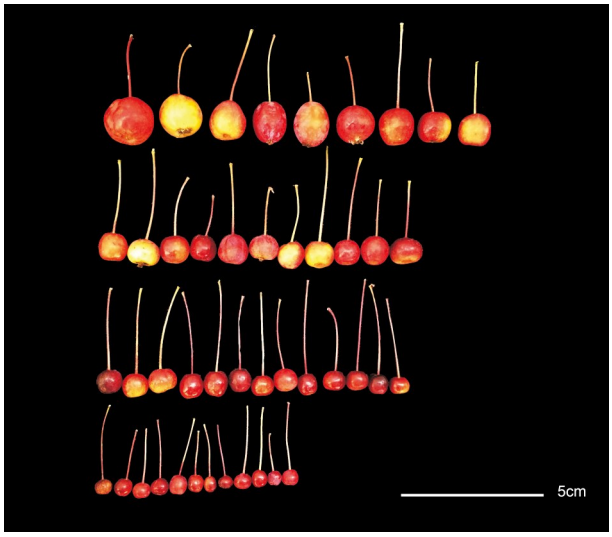

图 2 山荆子果形多样性

Fig. 2 Diversity of fruit shape for *Malus baccata* (L.) Borkh.

2.2 不同地区山荆子表型多样性比较

对不同地区山荆子种群目测性状的多样性水平进行比较分析。由表 5 可知,不同地区山荆子材料的表型性状变异系数和多样性指数均存在差异。就变异系数而言,8 个地区中,山荆子的叶片颜色、果实底色和丰产性的变异系数哈克地区最大,分别为 45.12%、40.05% 和 41.97%;叶面状态和叶姿变异系数温春地区最大,分别为 58.09% 和 32.98%;萼片状态、着色程度以及树姿的变异系数海拉尔市区最大,分别为 61.97%、28.17% 和 22.13%;叶尖形状和叶缘变异系数横道河子的最大,分别为 61.72% 和 37.03%;树型变异系数嘉阴地区的最大,为 36.93%;果形变异系数伊春的最大,为 81.65%;棱起变异系数黑羊站的最大,为 178.89%。对于多样性指数而言,山荆子的表型多样性水平温春最高,其树型、叶尖形状、叶缘、叶姿、果形、果实底色、丰产性 7 个性状的多样性指数均高于其他地区,分别为 0.69、1.22、1.05、0.71、1.79、1.52 和 1.01;叶面状态和萼片状态多样性指数横道河子的最高,分别为 1.04 和 0.69;树姿多样性指数林口的最高,为 0.69;叶片颜色多样性指数嘉阴的最高,为 1.33;着色程度多样性指数黑羊站的最高,为 0.66;棱起多样性指数海拉尔市区的最高,为 0.64。

对不同地区山荆子材料测量性状多样性水平进行分析可知,8 个地区山荆子材料的叶形和果形变异系数和多样性指数也均存在差异。从变异系数来看,在叶形变异上,叶长变异系数黑羊站的最大,为 33.44%,而横道河子的变异系数最小,为 6.86%;叶宽变异系数嘉阴的最大,为 27.78%,而海拉尔市区的变异系数最小,为 8.67%;叶柄长变异系数哈克的最大,为 26.13%,而伊春的变异系数最小,为 11.71%;在果形变异上,果实横径和纵径变异系数温春的最大,分别为 39.22% 和 34.14%,而海拉尔市区的变异系数最小,分别为 10.81% 和 3.26%;果柄长变异系数林口的最大,为 38.7%,而海拉尔市区山荆子材料的最小,为 13.87%。就多样性指数而言,温春山荆子材料多样性水平最高,而海拉尔市区山荆子多样性水平较低。具体表现为山荆子材料的叶长、叶宽以及叶柄长多样性指数温春的均最高,分别为 1.99、1.85 和 1.92,而多样性指数最低的分

表 5　不同地区山荆子资源形态性状变异系数和多样性指数

Table 5　Variation coefficient and diversity indexes of morphological characters of *Malus baccata* (L.) Borkh. germplasm in different regions

形态性状 Morphological character	温春 WC		横道河子 HDHZ		嘉阴 JY		伊春 YC		林口 LK		黑羊站 HYZ		哈克 HK		海拉尔市区 HLESQ	
	CV(%)	*H'*	*CV*(%)	*H'*	*CV*(%)	*H'*	*CV*(%)	*H'*	*CV*(%)	*H'*	*CV*(%)	*H'*	*CV*(%)	*H'*	*CV*(%)	*H'*
树姿 TP	18.63	0.69	0	0	21.10	0.64	19.86	0.67	20.40	0.69	19.88	0.56	14.66	0.50	22.13	0.64
树型 TS	33.55	0.69	0	0	36.93	0.64	35.14	0.50	36.17	0.61	0	0	0	0	0	0
叶片颜色 LC	36.27	1.08	42.73	0.56	39.34	1.33	15.19	0.67	37.46	1.05	30.64	0.97	45.12	1.09	30.98	0.64
叶尖形状 LTS	53.54	1.22	61.72	0.56	49.53	1.01	52.70	0.95	55.14	0.80	35.78	0.56	51.30	1.05	0	0
叶缘 LM	33.61	1.05	37.03	0.56	33.13	1.01	19.17	0.50	28.56	0.94	19.05	0.66	34.84	1.03	0	0
叶姿 LP	32.98	0.71	0	0	13.74	0.45	32.43	0.50	31.57	0.50	19.05	0.66	10.61	0.33	22.13	0.64
叶面状态 FF	58.09	0.81	51.78	1.04	39.15	1.01	57.38	0.67	0	0	30.27	0.97	34.20	1.03	19.36	0.64
果形 FS	80.03	1.79	42.83	1.39	61.46	1.01	81.65	0.95	67.01	1.61	45.41	1.08	41.04	1.03	47.33	1.10
果实底色 FC	30.25	1.52	15.12	1.04	21.65	1.33	0	0	33.38	1.36	31.08	1.08	40.05	1.03	11.92	0.64
着色程度 CD	9.38	0.10	20.57	0.56	0	0	0	0	0	0	23.52	0.66	0	0	28.17	0.64
棱起 W	52.81	0.52	0	0	46.71	0.45	52.70	0.50	34.20	0.33	178.89	0.56	0	0	77.46	0.64
萼片状态 SS	18.16	0.61	21.38	0.69	13.74	0.45	19.86	0.67	10.61	0.33	52.28	0.74	31.41	0.67	61.97	0.64
丰产性 YA	32.68	1.01	16.83	0.56	26.86	0.64	18.33	0.50	32.41	0.94	21.02	0.38	41.97	0.90	0	0
叶长 LL	15.30	1.99	6.86	1.04	9.93	1.01	9.79	1.05	24.51	1.83	33.44	1.73	17.64	1.56	7.21	1.10
叶宽 LW	19.08	1.85	14.11	1.39	27.78	1.33	18.65	0.95	21.19	1.61	10.82	1.49	19.75	1.83	8.67	1.10
叶柄长 PL	20.40	1.92	22.92	1.04	16.82	1.56	11.74	1.33	19.62	1.22	19.05	1.73	26.13	1.05	24.03	1.10
果实横径 EDF	39.22	1.44	21.93	1.04	26.10	1.33	12.91	1.33	16.31	1.70	14.97	1.73	12.01	1.50	10.81	1.10
果实纵径 LDF	34.14	1.55	17.17	1.39	23.04	1.01	9.24	1.33	15.47	1.47	7.44	1.49	16.03	1.70	3.26	0.64
果柄长 PL	20.68	1.84	18.59	1.04	22.11	1.56	21.12	1.33	38.70	1.75	32.33	1.73	33.83	1.36	13.87	1.10

别为嘉阴(1.01)、伊春(0.95)以及横道河子(1.04)。果实横径多样性指数林口的最高,为1.70,横道河子多样性指数最低,为1.04;果实纵径多样性指数哈克的最高,为1.70,海拉尔市区多样性指数最低,为0.64;果柄长多样性指数温春的最高,为1.84,横道河子多样性指数最低,为1.04。

进一步对不同地区山荆子的叶形性状进行比较。由表6可知,参试的239份山荆子资源叶长、叶宽和叶柄长存在差异。8个地区中,叶长变化范围在1.33 ~2.99 cm之间,变异幅度为1.66 cm,其中以嘉阴和伊春山荆子资源最大,哈克和黑羊站最小,且表现出极显著差异水平。叶宽的变化范围为1.16 ~1.70 cm之间,变异幅度为0.54 cm,其中嘉阴地区的山荆子叶宽最大,林口地区山荆子叶宽最小,且差异达到极显著水平。对不同地区叶形指数比较发现,伊春山荆子材料的叶形指数最高为1.79,黑羊站的山荆子材料最低为0.95,进一步分析发现,黑龙江省山荆子材料的叶形指数平均为1.73,高于海拉尔地区1.03。此外,伊春地区山荆子叶柄长与横道河子和海拉尔市区山荆子资源的叶柄长均存在极显著差异。

表6 不同地区山荆子叶形比较

Table 6 Comparision of leaf shape for *Malus baccata*(L.)Borkh. in different regions

地点 Location	叶长(cm) LL	叶宽(cm) LW	叶柄长(cm) PL	叶形指数 LSI
温春 WC	2.62 ±0.4 aAB	1.51 ±0.29 abAB	1.29 ±0.26 abcAB	1.74
横道河子 HDHZ	2.11 ±0.14 bBC	1.27 ±0.18 bAB	0.96 ±0.22 cdBC	1.66
嘉阴 JY	2.99 ±0.3 aA	1.70 ±0.47 aA	1.31 ±0.22 abAB	1.76
伊春 YC	2.70 ±0.26 aAB	1.51 ±0.28 abAB	1.51 ±0.18 aA	1.79
林口 LK	1.98 ±0.49 bCD	1.16 ±0.25 bB	1.20 ±0.24 abcABC	1.71
黑羊站 HYZ	1.41 ±0.47 cDE	1.48 ±0.16 abAB	1.13 ±0.22 bcABC	0.95
哈克 HK	1.33 ±0.23 cE	1.39 ±0.27 abAB	1.18 ±0.31 bcABC	0.96
海拉尔市区 HLESQ	1.71 ±0.12 bcCDE	1.45 ±0.13 abAB	0.82 ±0.2 dC	1.18

大小写字母分别表示不同品种间1%和5%水平差异显著,下同

The capital and lowercase letters indicate significant differences at the 0.01 and 0.05 level probability, the same as below

对不同地区山荆子果形性状进行分析,由表7可知,参试材料果实横径变化范围为0.22 ~0.42 cm之间,变异幅度为0.20 cm,进一步分析发现,果实横径除温春与哈克两地山荆子的存在显著差异外,其他地区之间差异不显著;8个地区山荆子材料的果实纵径变化范围为0.24 ~0.40 cm,变异幅度为0.16 cm,方差分析表明,不同地区山荆子材料果实纵径差异均未达到显著水平;8个地区的果柄长变异范围为0.84 ~1.62 cm,变异幅度较大,为0.78 cm,其中黑羊站分别与嘉阴、伊春和温春3地材料果柄长度存在极显著差异,嘉阴与林口、黑羊站、哈克、海拉尔市区果柄长也均存在极显著差异,嘉阴与横道河子存在显著差异。此外,由果形指数可以看出,海拉尔哈克的果形指数最高,为1.09,而黑龙江嘉阴果形指数最低,为0.88。

表7 不同地区山荆子果形比较

Table 7 Comparision of fruit shape for *Malus baccata*(L.)Borkh. in different regions

地点 Location	果实横径(cm) EDF	果实纵径(cm) LDF	果柄长(cm) PL	果形指数 FSI
温春 WC	0.42 ±0.17 aA	0.40 ±0.13 aA	1.30 ±0.27 abcAB	0.95
横道河子 HDHZ	0.40 ±0.09 abA	0.40 ±0.07 aA	1.24 ±0.23 bcABC	1.00
嘉阴 JY	0.41 ±0.11 abA	0.36 ±0.08 aA	1.62 ±0.36 aA	0.88
伊春 YC	0.35 ±0.04 abA	0.34 ±0.03 aA	1.38 ±0.29 abAB	0.97
林口 LK	0.28 ±0.05 abA	0.30 ±0.05 aA	1.00 ±0.39 cdBC	1.07
黑羊站 HYZ	0.28 ±0.04 abA	0.29 ±0.02 aA	0.84 ±0.27 dcC	1.04
哈克 HK	0.22 ±0.03 bA	0.24 ±0.04 aA	1.00 ±0.34 cdBC	1.09
海拉尔市区 HLESQ	0.31 ±0.03 abA	0.32 ±0.01 aA	1.13 ±0.16 bcdBC	1.03

2.3　聚类分析

根据形态调查结果,利用 SPSS 软件对 239 份山荆子材料进行聚类分析,构建系统聚类图。由图 3 聚类结果可知,在欧氏距离为 7.5 时,参试山荆子材料可以分为Ⅰ和Ⅱ两大类;进一步分析发现,在欧氏距离为 2.5 时,第Ⅰ大类又可以划分为 4 个亚类,第Ⅱ大类又可以划分为 3 个亚类。

第Ⅰ大类群共包括来自于 8 个地区的 146 份材料,其中Ⅰ-a 亚类包括 63 份材料,分别为温春材料 52 份、林口材料 4 份、横道河子材料 2 份、嘉阴材料 2 份、伊春材料 2 份以及黑羊站材料 1 份;Ⅰ-b 亚类包括 25 份材料,分别为温春材料 23 份、哈克材料 1 份以及黑羊站材料 1 份;Ⅰ-c 亚类包含有 21 份材料,分别为温春材料 19 份、海拉尔市区材料 1 份以及伊春材料 1 份;Ⅰ-d 亚类包括 37 份材料,分别为温春材料 33 份、林口材料 2 份、嘉阴材料 1 份以及伊春材料 1 份。第Ⅱ大类群共包括来自于 8 个地区的 93 份山荆子材料,其中Ⅱ-a 亚类包括 32 份材料,分别为来自于温春材料 25 份、林口材料 1 份、黑羊站材料 3 份、哈克材料 2 份以及海拉尔市区材料 1 份;Ⅱ-b 亚类包括 23 份材料,分别为温春材料 11 份、林口材料 1 份、横道河子材料 2 份、嘉阴材料 1 份、黑羊站材料 3 份、哈克材料 4 份以及海拉尔市区材料 1 份;Ⅱ-c 亚类包括 38 份材料,分别为温春材料 30 份、林口材料 2 份、横道河子 1 份、嘉阴材料 1 份、伊春材料 1 份以及哈克材料 3 份。由此可见,不同地区山荆子资源表型变异较大,位于温春的山荆子资源亲缘关系较最为复杂,分布于各类群中,而海拉尔山荆子材料基本聚在一起,位于第Ⅱ大类居多。

3　讨论

种质资源是开展育种工作的基础,丰富的高产、优质、抗病以及耐冷基因源对于品种改良和新品种选育具有重要意义[22]。前人已经对一些地区的山荆子资源进行了遗传多样性研究[2,3-13],认为山荆子资源遗传变异丰富,且其遗传变异主要存在于居群内,但各居群间也存在着较高的遗传分化,这与本研究的结果一致。本研究通过对 239 份山荆子资源的表型多样性进行分析,发现我国东北地区山荆子的平均变异系数和平均多样性指数分别为 32.65% 和 1.38,并且在牡丹江温春和海拉尔分别发现了 1 个黄色果实山荆子材料,表明我国东北地区山荆子形态多样性水平较高,其变异类型丰富。

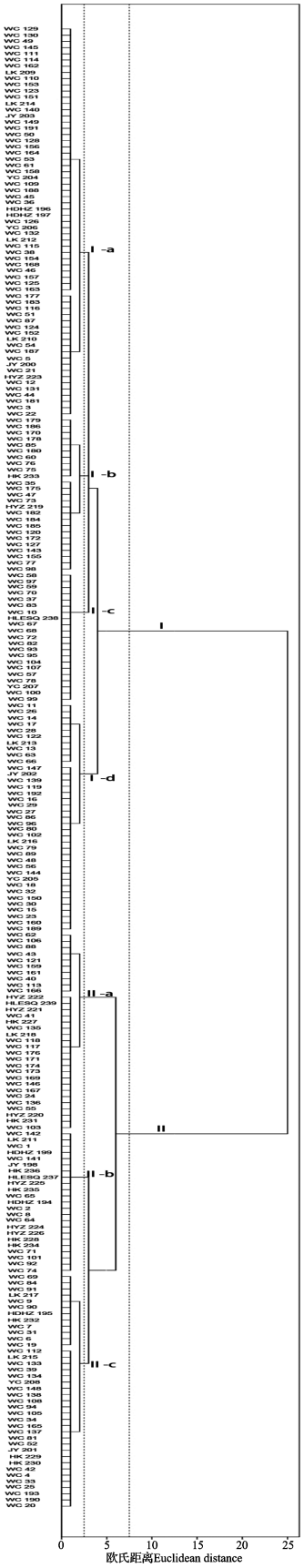

图 3　239 份山荆子资源表型性状聚类分析

Fig. 3　The clustering figure of 239 *Malus baccata* (L.) Borkh. based on phenotypic characters

在本研究中,树姿、树型以及叶片颜色等 13 个目测性状的平均变异系数为 38.43%,平均遗传多样性指数为 0.95,而叶长、叶宽以及叶柄长等 6 个测量性状的平均变异系数为 26.87%,平均遗传多样性指数为 1.80。前者变异系数高于后者,但后者多样性指数又高于前者,看似矛盾的结果其实不然。变异系数和多样性指数是反映物种多样性最常用的两个指标,两种反映的内容有所不同。变异系数越高表明性状的离散程度越大、变异幅度越大;而多样性指数越高表明多样性程度越丰富、种类越多。由此可见,13 个测量性状的变异幅度要高于 6 个测量性状,但后者的种类多样性要较前者丰富。

同时,本研究利用聚类分析方法对参试的 239 份材料进行了聚类,发现山荆子材料可划分为 2 大类 7 亚类,不同地区山荆子资源表型变异较大,同一地区并没有完全聚在一起,尤其是位于温春的山荆子资源,193 份材料分布于各类亚类群中,分析原因可能是样本量分布不均匀导致的结果,温春材料的样本量较多,而其他各地区样本数较少;也可能是温春山荆子资源圃中含有一些早年收集的外地野生资源,虽经本地区气候十几年的自然驯化,但依旧保留了一些原始特征;当然还可能与山荆子异交结实特性有关。

农艺性状的鉴定和描述是研究种质资源的最基本方法和有效途径,许多学者已经在不同种作物中利用种质资源的综合评价构建了核心种质资源库,并成功地提高了育种效率[23-29],但由于表型性状易受环境因素和人为因素的影响,常常会产生一些误选,进一步利用分子标记从 DNA 水平上进行辅助分析将有助于提高育种精度。山荆子作为一种具有极强抗性的野生果树资源,在北方果树抗性育种中具有重要的利用价值。基于现有的表型多样性数据,再利用分子标记技术对其进行遗传多样性水平分析是下一步工作的重点,这也将为有效地利用和保护山荆子优良基因资源奠定基础。

参考文献

[1] 王雷宏. 山荆子(*Malus baccata*(L.)Borkh.)变异式样研究[D]. 南京:南京林业大学,2008

[2] 王雷宏,郑玉红,汤庚国. 基于 SSR 标记的 8 个山荆子居群遗传多样性和遗传关系分析[J]. 植物资源与环境学报,2012,21(1):42-46

[3] 陈曦,汤庚国,郑玉红,等. 苹果属山荆子遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 西北植物学报,2008,28(10):1954-1959

[4] 余德浚,阎振尧,张鹏. 中国果树砧木资源[C]//中国农业科学院郑州果树所. 果树砧木论文集. 西安:陕西科学技术出版社,1985:3-10

[5] 王荣,沈向,黄翠香,等. 关于苹果砧木与自根砧快繁技术的综述[J]. 天津农业科学,2012,18(3):115-119

[6] 刘振良,周学仁. 山西树木志[M]. 北京:中国林业出版社,2001:309-318

[7] 冯涛,张红,陈学森,等. 新疆野苹果果实形态与矿物元素含量多样性以及特异性状单株[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(3):270-276

[8] 刘玉皎,宗绪晓. 青海蚕豆种质资源形态多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2008,9(1):79-83

[9] 聂石辉,彭琳,王仙,等. 鹰嘴豆种质资源农艺性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):64-70

[10] 潘存祥,许勇,纪海波,等. 西瓜种质资源表型多样性及聚类分析[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):59-63

[11] 王骞,弓桂花,侯跃莲,等. 山西省山定子分布多样性调查及利用研究[J]. 山西农业科学,2015,43(3):301-304

[12] 杨锋,刘志,伊凯,等. 东北山定子(*Malus baccata*(L.)Borkh.)野生居群表型遗传多样性分析及生态地理分布研究[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(3):490-496

[13] 王雷宏,郑玉红,汤庚国. 8 个山荆子居群遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 西北植物学报,2010,30(7):1337-1343

[14] 王昆,刘凤之,曹玉芬,等. 苹果种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2005:11-23

[15] 王业社,侯伯鑫,索志立,等. 紫薇品种表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):71-79

[16] 贺晨帮,宗绪晓. 豌豆种质资源形态标记遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(1):42-48

[17] 赵香娜,李桂英,刘洋,等. 国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析[J]. 植物遗传资源学报,2008,9(3):302-307

[18] 张礼凤,李伟,王彩洁. 山东大豆种质资源形态多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(4):450-454

[19] Shannon C E,Weaver W. The mathem atical theory of communication[M]. Urbana:University of Illinois Press,1949:3-14

[20] 丁健,任丽,张洁. 桂花品种群生物学特性调查:以武汉生物工程学院为例[J]. 安徽农业科学,2012,40(30):14844-14845,14866

[21] 蔺经,盛宝龙,熊如意,等. 应用果形剂提高苹果果形指数[J]. 江苏农业科学,2000(5):55-56

[22] Li M M,Cai Y L,Qian Z Q,et al. Genetic diversity and differentiation in Chinese sour cherry *Prunus pseudocerasus* Lindl.,and its implications for conservation[J]. Gene Res Crop Evol,2009,56:455-464

[23] Liu L,Kakihara F,Kato M. Characterization of six varieties of *Cucumis melo* L. based on morphological and physiological characters,including shelf-life of fruit[J]. Euphytica,2004,135:305-313

[24] 王丽侠,程须珍,王素华,等. 中国绿豆应用型核心样本农艺性状的分析[J]. 植物遗传资源学报,2009,10(4):589-593

[25] Szamosi C,Solmaz I,Sari N,et al. Morphological evaluation and comparison of Hungarian and Turkish melon(*Cucumis melo* L.)germplasm[J]. Sci Hortic,2010,124:170-182

[26] 胡建斌,马双武,李建吾,等. 国外甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析[J]. 植物学报,2013,48(1):42-51

[27] 邱丽娟,李英慧,关荣霞,等. 大豆核心种质和微核心种质的构建验证与研究进展[J]. 作物学报,2009,35(4):571-579

[28] 王海飞,关建平,孙雪莲,等. 世界蚕豆种质资源遗传多样性和相似性的 ISSR 分析[J]. 中国农业科学,2011,44(5):1056-1062

[29] Stepansky A,Kovalski I,Perl-Treves R. Intraspecific classification of melons(*Cucumis melo* L.)in view of their phenotypic and molecular variation[J]. Plant Syst Evol,1999,217:313-332