

橡胶草及其同域近缘种表型多样性研究

李英霜¹, 陆璐², 陆婷^{1*}, 康健¹

(1 新疆农业大学 林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2 西北师范大学 生命科学学院, 兰州 730070)

摘要:对蒲公英属橡胶草及其同域 10 个近缘种共 13 份材料的 59 个表型性状(数量性状 24 个, 质量性状 35 个)进行了观测, 通过方差分析、因子分析和聚类分析对其形态性状多样性和种间亲缘关系进行研究, 以明确各表型性状对种质分类的重要性及其贡献, 为橡胶草品种选育及蒲公英属植物的分类和种质资源保存利用提供依据。结果显示: (1) 13 份蒲公英属种质资源在数量性状上变异系数在 7.50%~55.00% 之间, 平均为 28.25%, 多样性指数在 1.157~2.032 之间, 平均为 1.663, 具有丰富的表型多样性。 (2) 质量性状方面, 变异系数的变化范围在 20.40%~67.44% 之间, 多样性指数变化范围在 0.271~1.672 之间, 平均为 1.136, 总体上是数量性状形态多样性指数大于质量性状。 (3) 59 个性状的主成分分析中前 7 个主成分的累计贡献率为 84.767%, 花部形态变异是蒲公英属植物表型分化的主要因素。 (4) 利用欧氏距离进行的 Ward's 聚类分析结果表明, 13 份材料可分为 4 大类群, 同一地区的大部分种聚在一起, 呈现出一定的地域性, 亲缘关系较近; 但来源于 3 个居群的橡胶草却被划分在 2 个类群中, 表现出较远的亲缘关系。研究表明, 蒲公英属植物种质材料具有丰富的质量和数量性状变异, 表型多样性丰富。

关键词: 橡胶草; 蒲公英属; 表型多样性; 因子分析; 聚类分析

中图分类号: Q944.1; Q349

文献标志码: A

Study on Phenotypic Diversity of *Taraxacum kok-saghyz* and Its Sympatric Relative Species

LI Yingshuang¹, LU Lu², LU Ting^{1*}, KANG Jian¹

(1 Xinjiang Agricultural University, College of Forestry and Horticulture, Urumqi 830052; 2 Northwest Normal University, College of Life Sciences, Lanzhou 730070)

Abstract: The observation data of 59 phenotypic (Quantity traits 24, Quality traits 35) of *Taraxacum kok-saghyz* and its 10 sympatric species were analyzed through Variance Analysis, Factor Analysis and Cluster Analysis to reveal the phenotypic diversity of genus *Taraxacum* and the relationship between the species was also studied. The results showed that: (1) the coefficient of variation of quantitative characters of 13 germplasm resources was 7.50%–55.00%, and the average value was 28.25%, and the diversity index was between 1.157–2.032, with an average of 1.663. (2) The variation range of the coefficient of variation was between 20.40%–67.44%, and the variation range of diversity index was between 0.271–1.672, with an average of 1.136. The morphological diversity index of quantitative traits was greater than that of quality traits; (3) the cumulative contribution rate of the first 7 principal components is 84.767%, in the principal component analysis of 59 traits, and traits the floral morphological variation was a major factor contributing to the phenotypic differentiation of *Taraxacum*. (4) The results of Ward's cluster anal-

收稿日期: 2017-02-19; 修改稿收到日期: 2017-06-05

基金项目: 国家自然科学基金(31460631)

作者简介: 李英霜(1991–), 女, 在读硕士研究生, 主要从事野生观赏植物资源开发与利用研究。E-mail: 352772852@qq.com

* 通信作者: 陆婷, 副教授, 硕士生导师, 主要从事植物繁殖生物学研究。E-mail: luting0909@126.com

ysis using Euclidean distance, 13 collections were divided into 4 groups at a genetic distance 7. 5. The species collected from the same region tended to be clustered into the same groups, indicating close relationship, while the 3 collections of *T. kok-saghyz* were clustered into 2 different groups showing distant relationships. The results showed that *Taraxacum* was a genus rich in both quality and quantitative trait variation, resulting phenotypic diversity.

Key words: *Taraxacum kok-saghyz*; *Taraxacum*; phenotypic diversity; factor analysis; cluster analysis

橡胶草(*Taraxacum kok-saghyz* Rodin)又称为俄罗斯蒲公英、青胶蒲公英,是菊科蒲公英属多年生草本植物,原产于哈萨克斯坦,在中国仅发现在新疆有分布,是一种天然的产胶植物^[1-2]。橡胶草的根系胶含量可达 20% 以上,且橡胶品质优良,是除了橡胶树以外最理想的天然橡胶植物资源,具有很高的经济价值^[3-4]。橡胶草的含胶量是衡量其经济价值的重要标准,不同地区来源的橡胶草含胶量差异明显^[5],另有研究表明,种间杂交种能获得更高含胶量的后代,有学者预测将橡胶草与药蒲公英(*T. officinale*)杂交可获得 1 200~1 800 kg/hm² 的产量^[6],因此,收集和研究橡胶草近缘种可为杂交育种与种质资源创新提供基础材料,对培育高胶橡胶草种具有重要意义。

由于蒲公英属演化关系复杂,区系地理特殊,植物染色体倍性复杂,导致该属植物的繁育方式也较为复杂,多个物种常混生在同一区域,种间杂交现象普遍,使得该属植物表现出丰富的遗传多样性^[7],分类问题突出。植物的表型性状是物种分类鉴定的主要依据,而描述蒲公英表型的性状较多,且带有一定的主观色彩,给橡胶草种质资源的鉴定带来了困难,例如舌片的黄色和亮黄色、瘦果的褐色和浅褐色、冠

毛白色和雪白色、总苞片的暗绿色和绿色等性状的区分难以界定,影响了物种鉴定的准确性。数量分类学将传统的形态学研究与计算机技术相结合,推动生物分类学向定量的、精确的水平发展,被越来越多地运用在生物分类和系统学研究中^[8],本研究利用数量分类学的方法对橡胶草不同居群及与其同域分布的同属物种的表型多样性进行了调查,并做了主成分分析和聚类分析,以期了解这些类群间的遗传多样性及亲缘关系,并探讨各表型性状对种质分类的重要性及贡献大小,为橡胶草品种选育及蒲公英属植物的分类、种质资源保存和利用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料及采集地概况

供试材料为 11 种蒲公英属植物,共 13 份材料,来源及生境详见表 1。供试材料分别采集于 4 个地点。采集地 1 位于中亚内陆腹地伊犁河上游特克斯河流域昭苏县,地理坐标为 42°52'1"N、81°4'54"E,海拔 1 744 m,年平均温度 2.9 ℃,年最高温度 33.5 ℃,最低温度-32 ℃,年平均降水量 511.8 mm,冬长无夏,春秋相连,属高山半湿润性草原气候,土壤类

表 1 供试材料信息
Table 1 Material information

居群 Population	种名 Specific name	来源 Origin	生境 Environment
1	红果蒲公英 <i>T. erythrospermum</i>	昭苏 Zhaosu	路边、灌草丛 Roadside, Shrub grass
2	小果蒲公英 <i>T. lipskyi</i>	昭苏 Zhaosu	路边、灌草丛 Roadside, Shrub grass
3	长锥蒲公英 <i>T. longipyramidatum</i>	伊宁 Yining	路边、灌草丛 Roadside, Shrub grass
4	药蒲公英 <i>T. officinale</i>	昭苏 Zhaosu	河漫滩草甸 Floodplain meadow
5	寒生蒲公英 <i>T. subglaciale</i>	昭苏 Zhaosu	路边、灌草丛 Roadside, Shrub grass
6	深裂蒲公英 <i>T. stenolobum</i>	昭苏 Zhaosu	路边、灌草丛 Roadside, Shrub grass
7	多葶蒲公英 <i>T. multiscaposum</i>	昭苏 Zhaosu	路边、灌草丛 Roadside, Shrub grass
8	多裂蒲公英 <i>T. dissectum</i>	莫索湾 Mosuowan	路边、灌草丛 Roadside, Shrub grass
9	荒漠蒲公英 <i>T. monochlamydeum</i>	伊宁 Yining	路边、灌草丛 Roadside, Shrub grass
10	存疑种 <i>T. sp</i>	昭苏 Zhaosu	路边、河漫滩草甸 Roadside, Floodplain meadow
11	橡胶草 <i>T. kok-saghyz</i>	昭苏 Zhaosu	河漫滩草甸 Floodplain meadow
12	橡胶草 <i>T. kok-saghyz</i>	五家渠 Wujiaqu	水边、林下 Waterside, Undergrowth
13	橡胶草 <i>T. kok-saghyz</i>	莫索湾 Mosuowan	水边、林下 Waterside, Undergrowth

表 2 蒲公英属形态性状及特征值

Table 2 Morphological characters and characteristic value of *Taraxacum*

序号 No.	性状 Character	记载标准及分级 Criteria for recording and classification
1	根颈部残存叶基 Residual leaf base of root crown	1 无 Absent;2 浅褐色 Light brown;3 深褐色 Dark brown
2	叶基腋部毛 Hair on leaf axil	1 无毛 Glabrous;2 有毛 Hairy
3	叶片颜色 Colour of leaf	1 绿色 Green;2 灰绿色 Grey green
4	叶片形状 Shape of leaf	1 条形至披针形 Bar to lanceolate;2 倒披针形至椭圆形 Inverted lanceolate to lliptic;3 长椭圆形 Long oval;4 矩圆状条形 Rectangular bar;5 倒卵圆形 Inverted oval
5	主脉颜色 Colour of main vein	1 紫红色 Purple red;2 非紫红色 Non purple red
6	叶片表面 Surface of leaf	1 无毛 Glabrous;2 有毛 Hairy
7	叶裂 Leaf lobes	1 全缘至浅裂 Entire to lobed;2 羽状浅裂 Pinnatilobate;3 羽状深裂 Pinnatipartite;4 羽状全裂 Pinnatisect
8	顶端裂片形态 Apical lobes shape	1 无顶端裂片 No apical lobes;2 三角状戟形 Triangular hastate;3 长戟形 Halberd shaped;4 狭戟形 Narrow hastate;5 长三角形 Long triangle;6 宽三角形 Wide triangle
9	侧裂片形态 Lateral lobes shape	1 无侧裂片 Absent lateral lobes;2 三角状条形 Triangular bar;3 三角形 Triangle
10	侧裂片边缘 Lateral lobes edges	1 无侧裂片 Absent Lateral lobes;2 全缘 Entire;3 有裂 LobulateToothlet
11	裂片状态 Lobe form	1 无裂片 Absent lobes;2 平展 Flat;3 倒向 Backward
12	裂片间齿 Teeth between lobes	1 无裂片 Absent lobes;2 无齿 Absent;3 有齿 Exist
13	叶基颜色 Colour of leaf base	1 紫红色 Purple red;2 非紫红色 Non purple red
14	花葶基部颜色 Colour of scape base	1 紫红色 Purple red;2 非紫红色 Non purple red
15	花葶顶端附毛 Hair on scape top	1 无毛 Glabrous;2 稀疏蛛丝状毛 Sparse arachnoid;3 密被蛛丝状毛 Densely arachnoid
16	总苞形状 Shape of involucre	1 钟状 Bell;2 窄钟状 Narrow bell;3 宽钟状 Wide bell
17	外苞片颜色 Colour of outer involuclral	1 浅绿色 Light green;2 绿色 Green
18	外苞片形状 Shape of outer involuclral	1 卵圆形至卵状披针形 Ovate to ovate lanceolate;2 披针状卵圆形 Lanceolate ovoid;3 卵状披针形至披针状条形 Ovate lanceolate to lanceolate;4 宽披针形 Broad lanceolate
19	外苞片先端颜色 Colour of outer involuclral tip	1 紫红色 Purple red;2 粉红色 Pink
20	花期外层总苞片 The outer involuclral of flowering	1 直立 Erect;2 反卷 Friz;3 开展 Spread
21	外层总苞片角状突起 Angular protuberance of outer bracts	1 无角 Absent;2 较钝的角 A blunt angle. ;3 细长的角 Slender angle;4 仅增厚 Only thickening
22	内苞片颜色 Colour of inner involuclral	1 浅绿色 Light green;2 绿色 Green
23	内苞片形状 Shape of inner involuclral	1 线形 Linear;2 披针形 Lanceolate
24	内苞片先端颜色 Colour of inner involuclral tip	1 紫红色 Purple red;2 粉红色 Pink
25	内层总苞片角状突起 Angular protuberance of inner bracts	1 无角 Absent;2 较钝的角 A blunt angle. ;3 细长的角 Slender angle
26	舌状花颜色 Colour of ray floret	1 黄色 Yellow;2 亮黄色 Bright yellow
27	花冠喉部 Corolla throat	1 无毛 Glabrous;2 有毛 Hairy
28	舌状花背面颜色 Colour of ray floret back	1 浅紫红色 Purplish red;2 深紫红色 Deep purple red
29	柱头颜色 Colour of stigma	1 黄色 Yellow;2 深黄色 Dark yellow;3 黄褐色 Yellowish-brown
30	瘦果颜色 Colour of achene	1 红褐色 Reddish brown;2 浅褐色 Light brown;3 深褐色 Dark brown
31	瘦果形状 Shape of achene	1 圆柱形 Cylindrical;2 倒锥形 Inverted cone
32	喙基渐骤缩 Cone gradually or sudden contraction	1 突然缢缩 Sudden constriction;2 逐渐缢缩 Gradually constriction
33	果体上部刺疣 Acanth-protuberance of upper achene	1 光滑 Smooth;2 大量小刺 A large number of thorn;3 瘤状突起 Tuberculate protuberance
34	果体下部刺疣 Acanth-protuberance of lower achene	1 无钝瘤 No blunt tumor;2 瘤状突起 Tuberculate protuberance
35	冠毛颜色 Colour of pappus	1 白色 White;2 污白色 Dirty white

型是草甸土。采集地 2 位于天山西段伊犁河谷盆地中央的伊宁市,地理坐标为 43°55′54″N、81°23′15″E,海拔 660 m,年均温度 9℃,年均降水量 340 mm,年均蒸发量为 1 621 mm,属温带大陆性气候,土壤类型为灰钙土。采集地 3 位于天山山脉博格达峰北麓,准噶尔盆地南缘的五家渠猛进水库边林地,地理坐标为 44°7′57″N、87°33′6″E,海拔 467 m,年均气温 7℃,最高气温 42℃,最低气温－40℃,年均降水量为 190 mm,属温带大陆性气候,盐渍化土壤。采集地 4 在石河子莫索湾蘑菇湖水库边林地,地处天山北麓中段、准噶尔盆地南缘,地理坐标 44°15′33″

N、86°12′8″E,海拔 376 m,年均气温 8℃,年均降水量 167 mm,属温带大陆性气候,盐渍化土壤。

1.2 方 法

对供试的 13 份蒲公英属材料进行形态学观察与测量,每份材料随机选取 15 株进行指标测定。性状的划分标准参照《中国植物志》和《新疆植物志》,除种子的观测在结实期外,其余性状均在开花期进行观察测量。待测表型性状包括数量性状和质量性状两种,其中数量性状 24 个,质量性状 35 个。随机挑选干净完整的叶片,用直尺或游标卡尺测量叶长、叶宽、花葶长度,并统计叶片数目、裂片数目及花葶

数目;选取 5~10 个花序统计舌状花数目及内、外层苞片数目,并随机选择 10~20 朵花测量头状花序直径,内、外层总苞片长、宽、膜质边缘宽,舌状花长、宽,舌状花管筒长;随机挑选 10~30 个果实进行瘦果长、宽,冠毛长、喙长、喙基长的测量。质量性状除用肉眼直接观测外还借助放大镜、体式显微镜等进行观测。为便于数量化和统计分析,对各质量性状进行赋值(表 2)。

1.3 数据处理

将每一份蒲公英材料作为 1 个分类运算单位(OTU)。数据在进行运算之前,以标准差标准化法对原始数据进行处理^[9]。数量性状等级划分根据各性状的平均值(X)和标准差(δ)分为 10 级,1 级<X-2δ,10 级≥X+2δ,中间每级相差 0.5δ^[10]。各性状的遗传多样性采用 Shannon's 信息指数(H')进行

评价, $H' = -\sum P_i \ln P_i$, P_i 表示第 i 种变异类型出现频率^[11],变异系数(CV)表示性状的离散程度。试验数据采用 Excel 统计并计算各个性状的最大值、最小值、平均值、标准差及极值。最后采用 SPSS20.0 对供试材料进行方差分析、主成分分析和聚类分析,种质间距为欧氏距离(Euclidean distance),聚类方法采用 Ward 法。

2 结果与分析

2.1 数量性状多样性

通过对 13 份蒲公英属种质资源的性状测定,对其数量性状进行方差分析,结果显示(表 3):外层总苞片膜质边缘宽、内层总苞片膜质边缘宽、舌状花宽、瘦果宽,这 4 个数量性状在不同蒲公英种间变异达到显著水平($P<0.05$),其余 20 个数量性状的变

表 3 蒲公英属种质资源数量性状的变异及遗传多样性指数

Table 3 Variation of quantitative characters and genetic diversity index of the germplasm resources of *Taraxacum*

性状 Character	平均数 Mean	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	标准差 SD	变异系数 CV/%	F	多样性指数 H'
叶片长度 Length of leaf/cm	11.21	25.33	6.63	18.70	4.65	41.48	47.169**	1.378
叶片宽度 Width of leaf /cm	2.67	4.37	1.39	2.98	0.88	32.96	28.368**	1.672
叶片数目(片)The number of leaf	5.31	8.00	2.00	6.00	1.80	33.90	3.570**	1.672
裂片数目(裂)The number of lobes	3.46	6.00	1.00	5.00	1.20	34.68	11.098**	1.311
花葶数目(个)The number of scape	3.00	5.00	2.00	3.00	1.07	35.67	10.146**	1.157
花葶长度 The length of scape/cm	15.98	30.43	4.06	26.37	7.79	48.75	37.889**	1.845
头状花序直径 Capitulum diameter/mm	25.80	36.44	20.29	16.15	4.55	17.64	16.710**	1.672
舌状花数(朵)The number of ray floret	5.00	8.00	3.00	5.00	1.85	37.00	14.520**	1.231
外层总苞片长 The length of outer involucrel/mm	5.52	7.84	4.16	3.68	1.12	20.29	13.042**	1.885
外层总苞片宽 The width of outer involucrel/mm	2.19	3.65	1.41	2.24	0.61	27.85	17.164**	1.712
外层总苞片膜质边缘宽 The width of outer involucrel membranous edges/mm	0.20	0.41	0	0.41	0.11	55.00	13.565*	1.484
内层总苞片长 The length of inner involucrel/mm	9.96	14.66	6.67	7.99	2.15	21.59	22.712**	1.631
内层总苞片宽 The width of inner involucrel/mm	1.84	2.82	1.27	1.55	0.38	20.65	5.605**	1.626
内层总苞片膜质边缘宽 The width of inner involucrel membranous edges/mm	0.22	0.39	0.14	0.25	0.07	31.82	3.259*	1.631
舌状花长 Length of ray floret/mm	7.74	9.55	6.51	3.04	0.97	12.53	9.317**	1.818
舌状花宽 Width of ray floret/mm	1.33	1.76	1.03	0.73	0.21	15.79	5.376*	1.818
舌状花管筒长 Length of corolla tube/mm	3.87	4.68	3.09	1.59	0.47	12.14	7.508**	1.621
瘦果长 Length of achene/mm	2.80	3.23	2.47	0.76	0.21	7.50	10.657**	1.672
瘦果宽 Width of achene/mm	0.69	0.83	0.56	0.27	0.08	11.59	11.082*	1.818
冠毛长 Length of pappus/mm	5.03	6.31	4.10	2.21	0.62	12.33	14.381**	1.925
喙长 The length of beak/mm	7.49	10.02	3.59	6.43	1.84	24.57	24.023**	1.818
喙基长 Length of cone/mm	0.87	1.48	0.47	1.01	0.33	37.93	30.499**	1.778
外苞片数目 The number of outer involucrel	5.00	9.00	1.00	8.00	2.28	45.60	10.209**	2.032
内苞片数目 The number of inner involucrel	5.00	8.00	1.00	7.00	1.94	38.80	12.347**	1.698

注: ** 和 * 分别表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著性
Note: ** and * mean significant difference at 0.01 and 0.05 level, respectively

表 4 蒲公英属种质资源质量性状频率分布及遗传多样性

Table 4 The frequency distribution and genetic diversity of germplasm resources of *Taraxacum*

性状 Character	频率 Frequency/%						CV/%	H'
	1	2	3	4	5	6		
根颈部残存叶基 Residual leaf base of root crown	15.38	7.69	76.92				29.31	0.687
叶基腋部毛 Hair on leaf axil	46.15	53.85					33.70	0.690
叶片颜色 Colour of leaf	69.23	30.77					36.64	0.617
叶片形状 Shape of leaf	46.15	7.69	15.38	7.69	23.08		67.44	1.378
主脉颜色 Colour of main vein	30.77	69.23					28.40	0.617
叶片表面 Surface of leaf	92.31	7.69					25.65	0.271
叶裂 Leaf lobes	15.38	23.08	46.15	15.38			36.68	1.271
顶端裂片形态 Apical lobes shape	7.60	30.77	7.69	15.38	15.38	23.08	48.70	1.672
侧裂片形态 Lateral lobes shape	7.69	76.92	15.38				23.75	0.687
侧裂片边缘 Lateral lobes edges	7.69	53.85	38.46				27.27	0.898
裂片状态 Lobe form	7.69	84.62	7.69				20.40	0.536
裂片间齿 Teeth between lobes	7.69	38.46	53.85				26.83	0.898
叶基颜色 Colour of leaf base	53.85	46.15					35.55	0.690
花葶基部颜色 Colour of scape base	38.46	61.54					31.23	0.666
花葶顶端附毛 Hair on scape top	23.08	53.85	23.08				35.35	1.010
总苞形状 Shape of involucre	30.77	38.46	30.77				40.80	1.010
外苞片颜色 Colour of outer involucral	69.23	30.77					36.64	0.617
外苞片形状 Shape of outer involucral	30.77	53.85	7.69	7.69			44.90	1.091
外苞片先端颜色 Colour of outer involucral tip	53.85	46.15					35.55	0.690
花期外层总苞片 The outer involucral of flowering	61.54	30.77	7.69				45.21	0.859
外层总苞片角状突起 Angular protuberance of outer bracts	46.15	15.38	23.08	15.38			57.12	1.271
内苞片颜色 Colour of inner involucral	30.77	69.23					28.40	0.617
内苞片形状 Shape of inner involucral	23.08	76.92					24.80	0.540
内苞片先端颜色 Colour of inner involucral tip	76.92	23.08					35.69	0.540
内层总苞片角状突起 Angular protuberance of inner bracts	61.54	15.38	23.08				53.70	0.925
舌状花颜色 Colour of ray floret	69.23	30.77					36.64	0.617
花冠喉部 Corolla throat	46.15	53.85					33.70	0.690
舌状花背面颜色 Colour of ray floret back	30.77	69.23					28.40	0.617
柱头颜色 Colour of stigma	46.15	46.15	7.69				40.12	0.911
瘦果颜色 Colour of achene	7.69	69.23	23.08				25.81	0.790
瘦果形状 Shape of achene	30.77	69.23					28.40	0.617
喙基渐骤缩 Cone gradually or sudden contraction	76.92	23.08					35.69	0.540
果体上部刺疣 Acanth-protuberance of upper achene	7.69	84.62	7.69				20.40	0.536
果体下部刺疣 Acanth-protuberance of lower achene	23.08	76.92					24.80	0.540
冠毛颜色 Colour of pappus	23.08	76.92					24.80	0.540

异均达到极显著水平($P<0.01$),表现出丰富的表型多样性。

变异系数从某种程度上反映出数量性状的差异性和多样性,变异系数大则分化程度高、多样性显

著;变异系数小则相对稳定、一致性较高。13 份蒲公英属材料的变异系数介于 7.50%~55.00%之间,平均变异系数为 28.25%。各数量性状按其变异系数由大到小为:外层总苞片膜质边缘宽>花葶

长度>外层总苞片数目>叶片长度>内层总苞片数目>喙基长>舌状花数目>花葶数目>裂片数目>叶片数目>叶片宽度>内层总苞片膜质边缘宽>外层总苞片宽>喙长>内层总苞片长>内层总苞片宽>外层总苞片长>头状花序直径>舌状花宽>舌状花长>冠毛长>舌状花管筒长>瘦果宽>瘦果长,反映舌状花和瘦果大小的性状的变异系数小,说明蒲公英属植物在花序和果实大小等性状上形态性状较稳定、种间相似度高,但在外层苞片膜质边缘、花葶长度、内外层总苞片数目等性状上种间差异较明显。

变异系数主要反映某一表型性状变异的范围大小,而多样性信息指数则反映不同表型性状的分级和数量分布,二者在反映种质资源多样性时具有不同的内涵^[12]。13 份蒲公英属材料的多样性指数变化范围介于 1.157~2.032 之间,平均值为 1.663,其中外层总苞片数目的多样性指数最大为 2.032,花葶数目的多样性指数最小为 1.157。花葶长度、外层总苞片长、舌状花长、舌状花宽、瘦果宽、冠毛长、喙长的多样性指数较高($H'>1.8$),说明这些性状的遗传多样性更丰富。而花葶数目、舌状花数目、裂片数目、叶片长度、外层总苞片膜质边缘宽的多样性指数则相对较低($H'<1.5$)。

2.2 质量性状多样性

表 2 是对 13 份蒲公英属种质资源的 35 个质量性状的分级和赋值,通过统计各性状的频率和多样性指数(表 4)可知,蒲公英属种质资源变异系数的变化范围介于 20.40%~67.44%之间,多样性指数的变化范围介于 0.271~1.672 之间。其中顶端裂片形状多样性指数最高为 1.672,以狭戟形、长三角形为主,表现出较丰富的遗传多样性;其次是叶片形状、叶裂、花葶顶端附毛、总苞片形状、外层总苞片形状、外层总苞片角状突起,多样性指数均大于 1.0,其中叶片形状以条形至披针形、倒卵圆形为主,叶裂以羽状深裂至羽状浅裂为主,花葶顶端有稀疏的蛛丝状毛,总苞为窄钟状,外层总苞片形状以披针状卵圆形为主,外层总苞片先端多无角。多样性指数最低的是叶片表面特征为 0.271。其余性状的多样性指数均在 0.536~0.925 之间。

13 份蒲公英材料中,根颈部叶基以深褐色为主,浅褐色较少;53.85%的种叶基腋部有毛;69.23%的种叶片颜色为绿色、叶脉颜色为非紫红色、外层总苞片颜色为浅绿色、内层总苞片颜色为绿色、舌状花颜色为黄色、舌片花背面条纹为深紫红色、瘦果为倒锥形;叶片表面多无毛、裂片平展;侧裂

片多为全缘有小齿,形状以三角状条形为主;53.85%的种叶基、外层总苞片先端为紫红色、花冠喉部有毛;花期外层总苞片以直立最多,反卷次之,平展最少;76.92%的种内层总苞片为披针形、先端紫红色,瘦果先端突然缢缩、果体下部有瘤状突起、冠毛白色;内层总苞片先端多无角,少有较钝的角;柱头颜色多为黄色、深黄色,少为黄褐色;瘦果多为浅褐色,深褐色次之,红褐色最少;果体上部有大量小刺,少数光滑或有瘤状突起。通过以上 35 个性状的变异系数及多样性指数说明蒲公英属种质资源在质量性状上变异较大,表现出显著的形态多样性。

13 份蒲公英属种质资源的质量性状平均多样性指数为 0.776,数量性状平均多样性指数为 1.136,总体上是数量性状形态多样性指数大于质量性状,由此说明数量性状比质量性状更易受到基因型或种质类型的影响,这与 Stepansky、Szamosi 等的结论一致^[13-15]。

2.3 蒲公英属形态多样性的主成分分析

影响蒲公英属各物种的形态性状多样性的因素较多,为了能更清楚地显示各性状在形态多样性构成中的主导作用,对蒲公英属 59 个表型性状进行主成分分析,并计算出相关矩阵的特征根及特征根的累积贡献率,根据累积贡献率 $\geq 80\%$ 的标准^[16],有 7 个主成分因子入选,其累积贡献率为 84.767%,包含了全部指标的绝大部分信息(表 5),表明这 7 个主成分能反映 59 个性状的基本特征(表 6)。

第 1 主成分的特征值为 17.778,贡献率为 30.131%,主要由内层总苞片角状突起、先端颜色、形状、舌状花数目、舌状花背面条纹等性状决定。第 2 主成分的特征值为 7.643,贡献率为 12.954%,主要由叶片表面、内外苞片膜质边缘宽、叶片形状、总苞

表 5 蒲公英属形态多样性主成分的特征根及贡献率
Table 5 The characteristic root and contribution rate of the principal components of the species diversity of *Taraxacum*

变量序号 Variable number	特征根 Characteristic root	贡献率 Contribution rate/%	累积贡献率 Accumulation contribution rate/%
PR1N1	17.778	30.131	30.131
PR1N2	7.643	12.954	43.058
PR1N3	6.820	11.558	54.644
PR1N4	4.943	8.379	63.022
PR1N5	4.654	7.888	70.910
PR1N6	4.484	7.600	78.510
PR1N7	3.692	6.257	84.767

形状等性状决定。第 3 主成分的特征值为6.820,贡献率为 11.558%,主要由舌状花长、舌状花管筒长、花萼基部颜色、花冠喉部有无毛等性状决定。前 3 个主成分中,贡献较大的多为描述植物花部结构的性状,可概括为花部形态因子。第 4 主成分的特征值为 4.943,贡献率为 8.379%,第 5 主成分的特征值为 4.654,贡献率为 7.888%,这 2 个主成分主要由叶基腋部毛、花萼顶端附毛、花冠喉部、柱头颜色、花萼数目等性状决定,作为花部形态因子的补充说明。第 6 主成分的特征值为 4.484,贡献率为

7.600%,第 7 主成分的特征值为 3.692,贡献率为 6.257%,这 2 个主成分主要由喙长、冠毛长、喙基骤缩程度、瘦果形状、果体刺疣等性状决定,可看作为果实因子。在提取的 7 个主成分中,前 3 个因子的累积贡献率达到 54.644%,涵盖了蒲公英属植物的主要形态特征,可以将其看作是蒲公英属植物表型分化的主要因子,且发现具有较大载荷的这些性状均与花部形态有关,可见花部形态性状对蒲公英属种质分类具有重要贡献,可作为该属植物分类的重要依据。

表 6 蒲公英属形态多样性的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of morphological diversity of *Taraxacum*

性状 Character	PRIN1	PRIN2	PRIN3	PRIN4	PRIN5	PRIN6	PRIN7
根颈部残存叶基 Residual leaf base of root crown	-0.468	0.346	-0.222	0.250	-0.177	0.517	0.232
叶基腋部毛 Hair on leaf axil	-0.568	0.371	-0.061	0.191	0.559	-0.105	-0.006
叶片颜色 Colour of leaf	-0.783	-0.016	0.477	-0.126	-0.158	0.209	-0.215
叶片形状 Shape of leaf	0.644	-0.67	0.139	0.201	0.002	-0.047	-0.035
主脉颜色 Colour of main vein	0.783	0.016	-0.477	0.126	0.158	-0.209	0.215
叶片表面 Surface of leaf	0.279	0.828	0.226	0.203	0.172	-0.049	0.038
叶裂 Leaf lobes	0.788	0.152	-0.168	0.199	0.003	0.335	-0.164
顶端裂片形态 Apical lobes shape	0.256	-0.379	0.304	0.077	-0.036	-0.085	0.451
侧裂片形态 Lateral lobes shape	0.104	0.205	-0.047	-0.092	-0.372	0.190	0.425
侧裂片边缘 Lateral lobes edges	0.567	-0.249	-0.056	0.389	-0.206	0.460	-0.288
裂片状态 Lobe form	0.385	-0.004	-0.318	0.228	-0.169	0.160	0.093
裂片间齿 Teeth between lobes	0.711	-0.416	-0.122	0.196	-0.086	0.385	-0.174
叶基颜色 Colour of leaf base	-0.358	0.176	-0.405	-0.114	0.093	0.307	0.144
花萼基部颜色 Colour of scape base	0.143	0.432	-0.617	0.334	0.068	-0.180	-0.114
花萼顶端附毛 Hair on scape top	0.186	0.074	0.303	0.525	0.657	-0.102	0.263
总苞形状 Shape of involucre	0.166	-0.656	0.133	0.238	0.071	-0.336	0.423
外苞片颜色 Colour of outer involucre	0.566	0.232	0.254	-0.178	-0.081	-0.087	0.671
外苞片形状 Shape of outer involucre	0.057	-0.636	0.008	0.438	0.061	0.325	0.328
外苞片先端颜色 Colour of outer involucre tip	-0.506	-0.424	0.26	0.546	-0.107	-0.260	0.18
花期外层总苞片 The outer involucre of flowering	0.463	-0.387	0.305	-0.130	-0.435	0.319	-0.435
外层总苞片角状突起 Angular protuberance of outer bracts	-0.305	-0.426	0.547	0.452	-0.213	-0.264	-0.038
内苞片颜色 Colour of inner involucre	0.806	-0.115	-0.124	0.154	0.165	0.116	-0.389
内苞片形状 Shape of inner involucre	0.904	0.026	-0.343	-0.012	-0.122	-0.011	-0.118
内苞片先端颜色 Colour of inner involucre tip	-0.904	-0.026	0.343	0.012	0.122	0.011	0.118
内层总苞片角状突起 Angular protuberance of inner bracts	-0.888	0.007	0.38	-0.149	0.018	0.018	-0.131
舌状花颜色 Colour of ray floret	0.384	0.37	-0.059	0.296	0.082	0.078	0.526
花冠喉部 Corolla throat	-0.207	0.038	0.559	0.106	0.611	0.187	0.421
舌状花背面颜色 Colour of ray floret back	0.783	0.016	-0.477	0.126	0.158	-0.209	0.215
柱头颜色 Colour of stigma	0.604	-0.151	-0.25	0.415	0.523	0.190	0.015
瘦果颜色 Colour of achene	0.404	-0.427	0.463	-0.010	-0.302	-0.341	0.167

续表 6 Continued Table 6							
性状 Character	PRIN1	PRIN2	PRIN3	PRIN4	PRIN5	PRIN6	PRIN7
瘦果形状 Shape of achene	−0.471	0.439	0.130	0.022	−0.386	−0.503	−0.226
喙基渐骤缩 Cone gradually or sudden contraction	0.347	0.526	0.011	0.205	−0.293	−0.507	0.090
果体上部刺疣 Acanth-protuberance of upper achene	0.043	−0.197	0.043	0.331	0.741	0.329	−0.382
果体下部刺疣 Acanth-protuberance of lower achene	−0.048	−0.038	0.804	0.063	0.416	−0.102	−0.241
冠毛颜色 Colour of pappus	0.904	0.026	−0.343	−0.012	−0.122	−0.011	−0.118
叶片长度 Length of leaf/cm	0.608	−0.014	0.207	−0.542	0.405	0.082	0.184
叶片宽度 Width of leaf/cm	0.847	−0.007	−0.071	−0.247	0.234	−0.017	−0.185
叶片数目/片 The number of leaf	0.089	−0.293	−0.186	−0.759	0.120	−0.198	−0.303
裂片数目/裂 The number of lobes	0.606	−0.014	0.436	−0.299	0.240	0.168	0.156
花葶数目/个 The number of scape	−0.025	−0.282	−0.059	−0.594	0.713	−0.043	−0.051
花葶长度 The length of scape/cm	0.376	0.415	0.259	0.004	0.460	−0.168	−0.258
头状花序直径 Capitulum diameter/mm	0.780	−0.513	0.035	−0.290	0.091	−0.063	−0.022
舌状花数/朵 The number of ray floret	0.830	−0.331	0.223	−0.090	−0.238	−0.059	−0.262
外层总苞片长 The length of outer involucre/mm	0.756	−0.096	0.479	−0.149	0.210	−0.238	−0.111
外层总苞片宽 The width of outer involucre/mm	0.700	0.512	0.210	0.300	−0.191	−0.184	−0.080
外层总苞片膜质边缘宽 The width of outer involucre membranous edges/mm	0.272	0.703	0.185	−0.553	0.011	−0.114	−0.113
内层总苞片长 The length of inner involucre/mm	0.611	0.433	0.504	0.259	−0.228	0.079	−0.203
内层总苞片宽 The width of inner involucre/mm	0.728	0.609	0.130	0.154	−0.068	−0.157	0.052
内层总苞片膜质边缘宽 The width of inner involucre membranous edges/mm	0.398	0.639	0.066	−0.378	0.124	−0.178	0.157
舌状花长 Length of ray floret/mm	0.559	0.150	0.486	0.392	−0.114	−0.282	−0.359
舌状花宽 Width of ray floret/mm	0.466	0.099	0.135	0.345	0.182	−0.647	−0.181
舌状花管筒长 Length of corolla tube/mm	−0.012	0.041	0.744	0.212	−0.173	0.287	−0.053
瘦果长 Length of achene/mm	0.523	−0.007	0.443	−0.220	−0.273	−0.146	0.262
瘦果宽 Width of achene/mm	0.512	−0.082	−0.353	−0.144	−0.240	−0.005	0.341
冠毛长 Length of pappus/mm	0.086	0.689	0.341	−0.003	−0.063	0.573	0.117
喙长 The length of beak/mm	0.583	0.244	0.095	0.057	0.030	0.725	0.040
喙基长 Length of cone/mm	−0.210	0.525	0.292	0.174	−0.003	0.421	−0.242
外苞片数目 The number of outer involucre	0.554	−0.145	0.517	−0.311	−0.014	0.193	0.216
内苞片数目 The number of inner involucre	0.561	−0.039	0.486	−0.333	−0.255	0.379	0.228

2.4 蒲公英属种质资源形态多样性的聚类分析

根据形态性状鉴定结果,利用 SPSS 软件对不同种蒲公英进行聚类分析(图 1),在遗传距离为 7.5 时,可把 13 份材料分为 4 大类群,不同类群蒲公英种质的形态性状具有一定的差异。

第 I 类群包括 5 份材料,分别为 12、13、1、10、2,该类群可分为 2 个亚类群,第 1 亚类是分布在莫索湾和五家渠的橡胶草 2 个的居群,该类群在形态学上表现为根颈部有黑褐色残存叶基,叶倒披针形具波状齿,花葶顶端有蛛丝状毛,总苞钟状,苞片服帖具长而尖的角,舌状花黄色,花冠喉部有毛,瘦果

淡褐色,冠毛雪白色。第 2 亚类为红果蒲公英(*T. erythrospermum*)、小果蒲公英(*T. lipskyi*)和存疑种,该类群叶多为倒披针形至卵圆形,羽状深裂,裂片间具齿,总苞钟状,苞片具有较钝的角。

第 II 类群包括 5 份材料,分别为寒生蒲公英(*T. subglaciale*)、深裂蒲公英(*T. stenolobum*)、荒漠蒲公英(*T. monochlamydeum*)、药蒲公英和橡胶草(昭苏居群),该类群特点为根颈部有残存叶基,叶线形至倒披针形或倒卵圆形至长椭圆形,羽状浅裂或深裂,裂片全缘或具齿,苞片先端无角或有较钝的小角或呈胼胝质增厚(橡胶草具有长而尖的角),舌

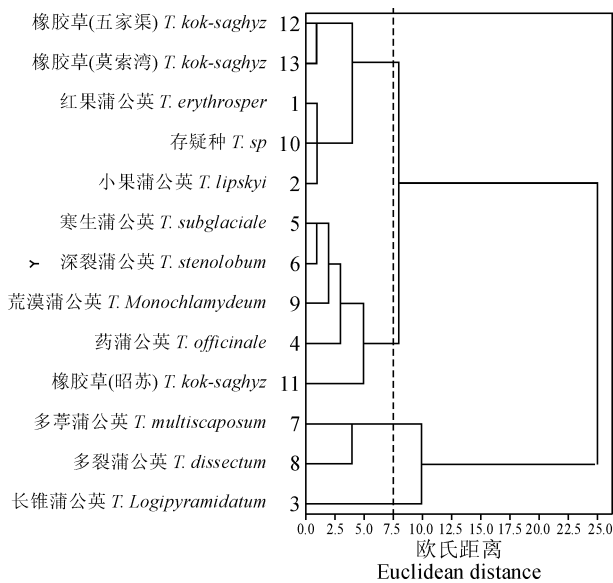


图1 蒲公英属表型性状聚类图

Fig. 1 Cluster of phenotypic characters of *Taraxacum*
状花黄色或亮黄色,舌片花背面有紫色条纹。

第Ⅲ类群包括 2 份材料,分别为多茎蒲公英 (*T. multiscaposum*) 和多裂蒲公英 (*T. dissectum*),该类群主要特征为叶基常显紫红色,外苞片卵圆形,无角,花柱深黄色。

第Ⅳ类群仅有 1 份材料,为长锥蒲公英 (*T. longipyramidatum*),该类群特点为根颈部无残存叶基,叶长椭圆形,顶端裂片较大呈宽三角形,总苞宽钟状,外苞片反卷,先端无角。

3 讨论

表型多样性是遗传多样性与环境多样性的综合体现,表型性状变异往往具有适应和进化上的意义^[17]。本研究数据结果显示供试蒲公英属植物材料具有丰富的表型性状多样性。新疆位于亚欧大陆腹地,隶属温带荒漠区和暖温带荒漠区,地域辽阔,生境多样,是中国蒲公英属植物物种最多的地区^[18]。蒲公英繁殖体扩散单位包括瘦果、喙和冠毛组成,其结构利于其后代借助风和水的力量扩散,也更容易扩散到新的环境,表型变异的蓄积提高了群体适应多种环境的可能性,也为种的形成提供了基础^[19],因此,蒲公英属植物丰富的表型变异很可能是对多变环境的适应对策。

性状变异的变异系数和多样性指数可以反映遗传多样性的大小^[20]。本研究结果显示,外层总苞片角状突起及内层总苞片角状突起的变异系数分别达到 57.12%、53.70%,多样性指数分别为 1.271、0.925,说明这 2 个性状对种间划分有很大影响,是

最重要的分类性状,这与《中国植物志》中蒲公英属分类要点一致。形态多样性研究结果还显示蒲公英属植物具有丰富的表型多样性,植物表型性状繁多,这些性状的取舍,很大程度上影响着分类的最终结果,主成分分析可以简化分析过程,更好的描述变异构成特征,避免过多次要性状的干扰^[19],根据贡献率的大小,共提取出 7 个主成分,贡献率较大的性状包括外层总苞片形状、大小,边缘是否膜质及膜质边缘宽或狭,总苞片在花期直立或伏贴,总苞片先端的背部是否肥厚或有小角及小角大小等,这些是造成蒲公英种间表型差异的主要因素,且这些性状均与花部形态紧密相关,可见花部形态性状对蒲公英属种间划分具有重要作用,这与传统分类学及其他一些分类学研究的观点相一致^[21]。

聚类分析结果显示 13 份供试材料聚为 4 大类群,从一定程度上反映出不同种质的亲缘关系,五家渠和莫索湾 2 个居群的橡胶草首先被聚在一起,它们是同一种的不同居群,其来源地有着相似的生境,均分布于水库边林下盐碱地,相似的地理环境可能决定了其相似的形态特征,使其聚为一类,但分布在昭苏高山草甸的橡胶草却没有与它们聚为一类,原因可能有两个,一是昭苏居群与五家渠和莫索湾居群地理位置相对较远,气候、土壤等环境因子差异较大,性状变异的表现是遗传因素与环境因素共同作用的结果,环境条件的改变有可能使同一物种在适应过程中产生形态上的分化;二是分类鉴定存在问题,昭苏居群的橡胶草形态特征与文献记载^[22-23]完全吻合,而且通过断根法^[24]发现昭苏居群橡胶草的含胶量很高,鲜根中就能拉出丰富的胶丝,其物种鉴定是能够确定的,而五家渠和莫索湾分布的居群,虽然根据《中国植物志》和《新疆植物志》的分类检索表及其他文献^[25-26]都将其归为橡胶草,但形态性状上与昭苏居群的还是有差异的,而且用折根法不能拉出胶丝,聚类分析也显示两类有较远的遗传距离,这意味着昭苏居群橡胶草与五家渠、莫索湾居群橡胶草的亲缘关系和分类地位还需进一步明确。

第一类群中的存疑种分布在昭苏地区特克斯河河漫滩草甸,与五家渠和莫索湾 2 个居群的橡胶草表型性状相似度较高,根据《中国植物志》《新疆植物志》的分类检索表,该种应归类于橡胶草,但与橡胶草相比,其内、外苞片背部角明显小而钝,叶羽状分裂,且含胶量不如橡胶草丰富,其分类地位有待于进一步研究;昭苏居群的橡胶草与其同域分布的寒生蒲公英、深裂蒲公英、荒漠蒲公英、药蒲公英聚为一

类,亲缘关系较近,说明了地理环境对蒲公英物种分布具有很大影响,与赵亚波等^[27]的研究结论相似,但结果同时也显示地理来源一致的种未必能聚在一类,在《中国植物志》中,橡胶草与荒漠蒲公英、多萼蒲公英、小果蒲公英、长锥蒲公英同为大角蒲公英组,而本研究聚类结果显示,橡胶草与这些种遗传距离却相对较远,说明蒲公英类群间的遗传分化与地理分布有联系却又不绝对相关,这些表型变异可能是受自身遗传因素、环境因素以及二者互作关系共同作用的结果。

参考文献:

[1] 仇 键,张继川,罗世巧. 橡胶草的研究进展[J]. 植物学报, 2015,**50**(1):133-141.
QIU J, ZHANG J C, LUO S Q. Research advances and perspectives on rubber-producing *Taraxacum*[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2015,**50**(1):133-141.

[2] KROTKOV G A. Review of literature on *T. kok-saghyz* Rodin rod[J]. *Botanical Rev*, 1945, 9: 417-461.

[3] 安 锋,林位夫,谢贵水. 国内外巴西橡胶树替代作物及技术研发现状[J]. 热带作物学报, 2012, **33**(6):1 134-1 141.
AN F, LIN W F, XIE G S. Development of alternative natural rubber producing crops and techniques[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2012, **33**(6):1 134-1 141.

[4] HALLAHAN DL, KEIPER-HRYNKO NM. Cis-prenyltransferases from the rubber-producing plants Russian dandelion (*Taraxacum Kok-saghyz* Rodin) and sunflower (*Helianthus annus*). United States Patent, 044173. [P]. 2004.

[5] VOLIS S, UTEULIN K, MILLS D. Russian dandelion (*Taraxacum kok-saghyz*): one more example of overcollecting in the past[J]. *Journal of Applied Botany And Food Quality-Angewandte Botanik*, 2009, **83**(1): 60-63.

[6] VAN BEILEN, JAN B, POIRIER Y. Guayule and Russian dandelion as alternative sources of natural rubber[J]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2007, **27**(4): 217-231.

[7] 龚祝南,张卫明,刘常宏. 中国蒲公英属植物资源[J]. 中国野生植物资源, 2001,3:9-14,+5.
GONG Z N, ZHANG W M, LIU C H. Resources of *Taraxacum* in China[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2001,3:9-14,+5.

[8] 周兰英,王永清,张 丽. 46 种杜鹃花属植物表型性状的数量分类[J]. 林业科学, 2009,(8):67-75.
ZHOU L Y, WANG Y Q, ZHANG L. Mathematic classifica-

从形态学性状进行遗传多样性或变异的评价是最简便和直接的方法,但形态学方法易受环境和人为因素的影响,本研究的植物材料在野外采集于不同生境,因此本研究中基于表型性状的蒲公英属部分种间亲缘关系的推断可能不完全是其遗传关系的真实反映,将来还应更广泛地收集蒲公英属植物资源,在相同条件下栽培,削弱环境因素对形态性状的影响,并结合化学成分分析、细胞学、孢粉学、分子生物学等方法这一类群进行科学分类。

tion of 46 species in *Rhododendron* with the morphologic characters[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009,(8):67-75.

[9] 傅巧娟,李春楠,陈 一. 基于表型性状的孔雀草种质遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015,(5):1 117-1 122, 1 127.
FU Q J, LI C N, CHEN Y. Genetic diversity analysis of *Tagetes patula* germplasm based on phenotypic traits[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, (5): 1 117-1 122, 1 127.

[10] 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.
HE C B, ZONG X X. Genetic diversity of Pea (*Pisum sativum* L.) germplasm resources revealed by morphological traits[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, **12**(1): 42-48.

[11] 陈仕勇,陈智华,周青平. 青藏高原垂穗披碱草种质资源形态多样性分析[J]. 中国草地学报, 2016,**38**(1):27-33.
CHEN S Y, CHEN Z H, ZHOU Q P. Study on morphological diversity of *Elymus nutans* germplasm resources from Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2016,**38**(1):27-33.

[12] 柳唐镜,于海彬,张 棵. 红籽瓜种质资源形态多样性分析[J]. 中国蔬菜, 2010,(20):19-26.
LIU T J, YU H B, ZHANG K. Morphological diversity analysis of Red-seed edible seed watermelon germplasm resources [J]. *China Vegetables*, 2010, (20): 19-26.

[13] STEPANSKY A, KOVALSKI I, PERL-TREVES R. Intraspecific classification of melons (*Cucumis melo* L.) in view of their phenotypic and molecular variation[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 1999, **217**(3): 313-332.

[14] 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.

[15] SZAMOSI C, SOLMAZ I, SARI N, *et al.* Morphological evaluation and comparison of Hungarian and Turkish melon (*Cucumis melo* L.) germplasm[J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, **124**(2): 170-182.

[16] 梁小玉,张新全,白史且. 菊苣主要表型性状的多元统计分析[J]. 草业学报,2013,**22**(6):257-267.

LIANG X Y, ZHANG X Q, BAI S Q. Multiple statistical analysis of the phenotypic characters of *Cichorium Intybus*[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, **22**(6):257-267.

[17] 祁 娟,曹文侠,闫伟钰. 披碱草属野生居群表型多样性及其与环境关系研究[J]. 西北植物学报, 2013, **33**(5): 1 027-1 033.

QI J, CAO W X, YAN W H. Phenotypic diversity and environment relations of wild *Elymus* populations[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, **33**(5): 1 027-1 033.

[18] 葛学军,林有润,翟大彤. 中国蒲公英属植物的初步整理[J]. 植物研究,1998,(4):1-21.

GE X J, LIN Y R, ZHAI D T. A synopsis of *Taraxacum* F. H. WIGG. (Compositae) from China[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 1998,(4):1-21.

[19] 戴小红,孙伟生,贺军军. 我国野牡丹属植物的表型多样性研究[J]. 热带作物学报,2014,**35**(10):2 036-2 042.

DAI X H, SUN W S, HE J J. Phenotypic diversity of *Melastoma* L. in China[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2014,**35**(10):2 036-2 042.

[20] 郭丽芬,张 跃,徐宁生. 红花种质资源形态性状遗传多样性分析[J]. 热带作物学报,2015,**36**(1):83-91.

GUO L F, ZHANG Y, XU N S. The genetic diversity analysis of both morphologic traits and agrinomic traits of safflower(*Carthamus tinctorius* L.)germplasm resources[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2015,**36**(1):83-91.

[21] 王业社,侯伯鑫,索志立. 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.

WANG Y S, HOU B X, SUO Z L. Phenotypic diversity of *Lagerstroemia indica* cultivars[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015,**16**(1):71-79.

[22] 罗士苇,冯 午,吴相钰. 橡胶草的研究部分 I ——新疆产橡胶草的形态观察[J]. 中国科学,1951,(3):373-379.

LUO S W, FENG W, WU X Y. Study on the part of *T. kok-saghyz*: The morphology of *T. kok-saghyz* in Xinjiang[J]. *Scientia Sinica*, 1951,(3):373-379.

[23] 成 言. 橡胶草[J]. 化学世界,1950,(11):10.

CHENG Y. *T. kok-saghyz*[J]. *Chemical World*, 1950,(11):10.

[24] 罗士苇,吴相钰,冯 午. 橡胶草含胶量的简易测定法[J]. 科学通报,1951,**7**(2):733-734.

LUO S W, WU X X, FENG W. A simple method for the determination of gum content of *T. kok-saghyz* [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1951,**7**(2): 733-734.

[25] 罗成华,闫 洁,祝建波. 橡胶草高频再生体系的建立[J]. 北方园艺,2012,(7):115-119.

LUO C H, YAN J, ZHU J B. Establish of high frequency regeneration system of *Taraxacum kok-saghyz* Rodin [J]. *Northern Horticulture*, 2012,(7): 115-119.

[26] 王秀珍. 橡胶草 FPS 和 CPT1 基因的克隆及功能初步分析[D]. 新疆石河子:石河子大学,2015.

[27] 赵亚波,宁 伟,赵 鑫. 11 种蒲公英亲缘关系聚类分析[J]. 沈阳农业大学学报,2010,**41**(4):403-406.

ZHAO Y B, NING W, ZHAO X. Phylogenetic relationships of 11 *Taraxacum* species[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2010,**41**(4): 403-406.

(编辑:潘新社)