

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2020.94098

257 份菊芋种质资源表型性状的遗传多样性

赵孟良^{1,2} 王丽慧¹ 任延靖¹ 孙雪梅¹ 侯志强² 杨世鹏¹ 李莉¹
钟启文^{1,2,*}

¹青海大学农林科学院 / 青海省蔬菜遗传与生理重点实验室, 青海西宁 810016; ²青海大学三江源生态和高原农牧业国家重点实验室, 青海西宁 810016

摘要: 为有效利用我国菊芋种质资源的遗传多样性, 分析了 257 份菊芋种质资源, 表明 12 个数量性状的变异系数 (CV) 在 6%~50% 之间, 平均为 24.75%, 单株块茎重的变异系数最大 (50%), 生育期的变异系数最小 (6%), 多样性指数 (H') 分布在 1.24~1.53 之间, 平均为 1.44, 单株块茎数的多样性指数最高 (1.53), 叶宽的多样性指数最低 (1.24); 8 个质量性状的多样性指数在 0.85~1.08 之间, 平均为 0.98, 以块茎习性最大, 块茎整齐度最小, 大部分性状表现出丰富的遗传多样性; 257 份菊芋资源的隶属函数均值介于 0.12~0.58 之间, 其中 JA1095 材料最高 (0.58), 其花数和单株块茎重具有明显优势。菊芋资源 12 个数量性状的相关性分析表明, 茎粗、叶长、花和花盘大小可作为今后选育高产菊芋品种的指导目标性状; 主成分分析结果表明, 7 个主成分因子的累计贡献率达 66.794%, 其中花数量、单株块茎数量、块茎毛根量、块茎表皮光滑程度 4 个性状是构成菊芋种植表型差异的主要因素; 以 20 个性状为基础的聚类分析将 257 份种质材料分为 5 类, 其中, 第 I 类和第 II 类占总资源量的 85%。本研究结果为菊芋种质资源的利用及品种选育等提供了重要参考。

关键词: 菊芋; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性

Genetic diversity of phenotypic traits in 257 Jerusalem artichoke accessions

ZHAO Meng-Liang^{1,2}, WANG Li-Hui¹, REN Yan-Jing¹, SUN Xue-Mei¹, HOU Zhi-Qiang², YANG Shi-Peng¹, LI Li¹, and ZHONG Qi-Wen^{1,2,*}

¹Academy of Agriculture and Forestry, Qinghai University / Key Laboratory of vegetable Genetics and Physiology, Xining 810016, Qinghai, China; ²State Key Laboratory of Plateau Ecology and Agriculture, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China

Abstract: In order to fully understand and effectively utilize the genetic diversity of Jerusalem artichoke accessions in China, 257 Jerusalem artichoke accessions were analyzed. Among them, 12 quantitative traits had 6%–50% of the coefficient of variation, with a mean of 24.75%, which was the highest in tuber weight per plant (50%) and the smallest in growth period (6%). The diversity index (H') of these 12 traits was 1.24–1.53, with a mean of 1.44, which was the highest in tuber number per plant (1.53) and the lowest in leaf width (1.24). The diversity index of the eight quality traits was 0.85–1.08, with a mean of 0.98, which was the highest in tuber habit and the lowest in tuber uniformity, showing rich genetic diversity in most traits. The subordinate function of 257 Jerusalem artichoke accessions was 0.12–0.58, in which the highest was in JA1095 (0.58) with the obvious advantages of flower number and tuber weight per plant. The correlation analysis of 12 quantitative traits indicated that stem diameter, leaf length, flower and disk size could be used as the main target traits for high yield Jerusalem artichoke varieties breeding in the future. The results of principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the seven principal component factors was 66.794%. Among them, the number of flowers, the tuber number per plant, the number of tuber hairs and the smoothness of tuber epidermis were the main factors contributing to the phenotypic difference of Jerusalem artichoke. By cluster analysis,

本研究由国家自然科学基金项目(31660569), 青海省蔬菜遗传与生理重点实验室项目(2020-ZJ-Y02)和2017中国科学院西部之光人才培养计划项目(3-6)资助。

This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (31660569), the Project of Qinghai Key Laboratory of Vegetable Genetics and Physiology (2020-ZJ-Y02), and CAS “Light of West China” Program of the Chinese Academy of Sciences (3-6).

* 通信作者(Corresponding author): 钟启文, E-mail: 13997135755@163.com

第一作者联系方式: E-mail: 8304269@163.com

Received (收稿日期): 2019-07-16; Accepted (接受日期): 2019-12-26; Published online (网络出版日期): 2020-01-15.

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20200115.0918.004.html>

257 accessions materials were divided into five categories based on 20 traits, among them class I and class II accounted for 85% of the total germplasm resources. This results can provide an important reference for the utilization of Jerusalem artichoke accessions and variety breeding.

Keywords: Jerusalem artichoke; accessions; phenotype; genetic diversity

菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)属菊科向日葵属多年生草本植物($2n = 102$), 起源于北美, 18世纪末传入我国, 之后被人们当作蔬菜栽培食用^[1]。菊芋作为一种多功能的新型作物, 在全球种植范围极广, 种质资源较为丰富, 目前全世界30多个研究机构保存了超过2000份的菊芋种质资源, 分别被保存在亚洲的中国、日本、泰国, 欧洲的法国、丹麦、瑞典、捷克、德国、俄罗斯, 美洲的美国、加拿大等地^[2-6]。

种质资源是作物遗传改良和相关基础研究的物质基础^[7]。拥有作物种质资源的数量和质量, 以及种质资源研究和创新的深度和广度, 直接影响种质资源利用效率和现代种业的可持续发展^[8]。种质资源鉴定是种质资源研究的主要工作之一, 通过资源的鉴定能够评价出特异或者优良的种质, 以供育种生产及科研利用^[9]。菊芋种质资源是菊芋遗传改良及育种的重要基因来源。对于菊芋种质资源遗传多样性的准确、合理评价关系新品种选育、种质创新与利用的成败^[10-11]。针对菊芋种质资源的研究已有较多的报道, 主要集中在资源的分子标记^[12-15]、品质多样性^[16-18]、农艺性状^[19-20]、抗性^[21-22]等方面。

目前对我国菊芋种质资源的表型遗传多样性鉴定多限于有限资源和少数性状, 缺乏系统性。本研究在对青海大学农林科学院菊芋种质资源库收集保存的种质资源初步鉴定和筛选的基础上, 初选表型核心材料257份, 利用20个表型性状进行遗传多样性的鉴定评价, 对充分发掘和利用现有的菊芋种质资源、构建菊芋核心种质等具有十分重要的意义, 也为后续菊芋资源的深入研究和品种选育提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

由青海大学农林科学院菊芋研发中心提供257份菊芋材料, 包括来自中国的186份、丹麦的16份、法国的27份、加拿大的1份、泰国的27份, 具体材料信息见表4。

1.2 试验地情况

青海大学农林科学院园艺研究所实验基地, 地理坐标为101°45'E、36°42'N, 海拔2320 m, 该地区属

湟水流域灌溉区, 土壤为栗钙土, pH 8.12, 含有机质20.28 g kg⁻¹、全氮1.17 g kg⁻¹、全磷2.18 g kg⁻¹、全钾22.5 g kg⁻¹、速效氮69 mg kg⁻¹、速效磷65 mg kg⁻¹、速效钾229.0 mg kg⁻¹。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 采用随机区组设计, 小区面积为24 m²。每个小区种植50株, 5个资源类型, 每个资源类型10株, 3次小区重复。从每小区每份资源各选3株, 即每种资源选9株采集数据。种植前大水漫灌, 待土壤达到适宜墒情时进行机械深耕, 植株生长依靠自然降水。分别于2017、2018年4月播种, 8月中旬采集地上部分数据, 10月收获地下部分块茎果实, 采集数据。

1.3.2 性状调查 参照《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南: 菊芋》的方法^[23]观测开花期每份材料的12个数量性状(生育期、株高、茎粗、分枝数、叶长、叶宽、花大小、花盘大小、平均单株块茎数、平均单株块茎重、平均干物率、平均单果重)和8个质量性状(花多少、块茎习性、块茎毛根多少、大小整齐度、形状整齐度、块茎形状、块茎皮光滑率、块茎皮色)。用游标卡尺和卷尺测定数量性状, 并对相关质量性状赋值(表1)。

1.4 数据处理

通过Microsoft Excel 2017处理各性状的数据, 并计算各性状的最大值、最小值、平均值和变异系数。采用SPSS 20.0软件进行主成分分析; 采用UPGMA法进行聚类分析, 并绘制分类树状图。根据 $(\bar{X} - 1.2818S)$ 、 $(\bar{X} - 0.5426S)$ 、 $(\bar{X} + 0.5426S)$ 和 $(\bar{X} + 1.2818S)$ 四分点原则和前人的分级标准^[24-25], 对各性状数量分级并整理, 通过公式 $H' = -\sum \ln P_i$ (其中 P_i 为某一性状在第 i 个级别出现的频率)计算各性状的Shannon-Weiner多样性指数(H')。

$$\text{隶属函数 } R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

式中, X_i 为指标测定值; X_{\max} 、 X_{\min} 为所有参试材料某一指标的最大值和最小值^[26]。

2 结果与分析

2.1 菊芋资源数量性状多样性分析

在257份供试的菊芋资源中, 各数量性状差异

表 1 菊芋种质资源 8 个质量性状分级和赋值

Table 1 Description and data standard for Jerusalem artichoke germplasm

形态形状 Morphological character	级别 Grade	赋值标准 Assignment criterion
块茎毛根量 Number of tuber root	多 More	1
	中 Middle	2
	少 Few	3
大小整齐度 Size uniformity	整齐 Regular	1
	较整齐 Little orderly	2
	不整齐 Irregular	3
形状整齐度 Shape uniformity	整齐 Regular	1
	较整齐 Little orderly	2
	不整齐 Irregular	3
块茎皮色 Tuber skin color	白或黄 White or yellow	1
	粉 Pink	2
	浅紫 Light purple	3
	紫色 Purple	4
花数量 Number of flowers	少 Few	1
	中 Middle	2
	多 More	3
块茎习性 Tuber habits	集中 Concentrate	1
	较集中 Little concentrate	2
	分散 Disperse	3
块茎皮光滑度 Tuber skin smoothness	光滑 Smooth	1
	较光滑 Little smooth	2
	不光滑 Rough	3
块茎形状 Tuber shape	纺锤形 Fusiform	1
	棒状 Rod like	2
	瘤状 Warty	3

明显。12个数量性状的多样性指数分布在1.24~1.53之间, 平均多样性指数值为1.44。其中单株块茎重的多样性指数最高(1.53), 其次是单果重、花大小、干物质率、茎粗、花盘大小、叶长、分枝数、株高、生育期、单株块茎数、叶宽, 多样性指数值均大于1。

12个数量性状存在不同程度的变异, 变异系数在6%~50%之间, 平均为24.75%, 其中单株块茎重、单株块茎数和单果重具有较大的离散程度, 单株块茎重的变异系数最大(50%), 其他性状的变异系数较小、变异程度较低, 变异程度最小的性状为生育期, 为6%。综合各数量性状的变异系数、极差和多样性指数, 数量性状中单株块茎重和单果重呈现出

明显的遗传差异(表2)。

2.2 菊芋资源质量性状多样性分析

8个质量性状中花数量多的占总资源的34.24%, 块茎习性中较集中的占总资源的37.35%, 块茎毛根量最少的占总资源的21.40%, 块茎大小整齐的占总资源的40.86%, 块茎形状整齐的占总资源量的50.97%, 块茎形状中棒状形状的占62.26%, 有63.04%的资源块茎表皮是光滑的, 62.26%的块茎表皮颜色为白或者黄色。质量性状的多样性指数反应了性状在不同级别上的分布情况, 8个质量性状的多样性指数在0.85~1.08之间, 平均为0.98, 以块茎习性最大, 块茎形状最小, 大部分性状表现了丰富的遗传多样性(表3)。

表2 菊芋资源不同类群性状的平均值与变异系数

Table 2 Mean and coefficient of variation of different traits in Jerusalem artichoke resources

性状 Trait	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	变异系数 CV (%)	多样性指数 <i>H'</i>
生育期 Plant period (d)	149.51	9.28	166	109	57	6.00	1.35
株高 Plant height (cm)	228.21	36.60	323.1	94.03	229.07	16.00	1.44
茎粗 Stem thickness (mm)	24.78	4.56	37.91	11.7	26.21	18.00	1.47
分枝数 Branch number	3.25	1.33	7.67	1	6.67	41.00	1.45
叶长 Leaf length (cm)	22.53	2.67	30.4	11.3	19.1	12.00	1.46
叶宽 Leaf width (cm)	14.67	1.95	20.1	6.2	13.9	13.00	1.24
花大小 Flower size (cm)	4.66	1.40	10.80	4.66	6.14	17.00	1.50
花盘大小 Disk size (mm)	12.27	2.20	20.93	7.25	13.68	18.00	1.47
单株块茎数 Tuber number per plant	50.61	23.77	138	9	129	47.00	1.35
单株块茎重 Tuber weight per plant (kg)	2.94	1.47	6.872	0.18	6.692	50.00	1.53
干物质率 Dry matter rate	0.22	0.03	0.3072	0.1582	0.149	13.00	1.48
单果重 Single fruit weight (g)	95.29	43.89	239.65	15.73	223.92	46.00	1.50

表3 菊芋资源质量性状的分布与多样性

Table 3 Diversity index and distribution of descriptive traits in Jerusalem artichoke

性状 Trait	级别 Grade	赋值标准 Assignment criterion	份数 Accessions	占总数的百分比 Percentage (%)	多样性指数 (<i>H'</i>)
花数量 Number of flower	少 Few	1	37	14.40	0.99
	中 Middle	2	132	51.36	
	多 More	3	88	34.24	
块茎习性 Tuber habits	集中 Concentrate	1	98	38.13	1.08
	较集中 Little concentrate	2	96	37.35	
	分散 Disperse	3	63	24.51	
块茎毛根量 Number of tuber root	多 More	1	55	21.40	1.04
	中 Middle	2	93	36.19	
	少 Few	3	109	42.41	
块茎大小整齐度 Size uniformity	整齐 Regular	1	105	40.86	0.97
	较整齐 Little orderly	2	122	47.47	
	不整齐 Irregular	3	30	11.67	
块茎形状 Tuber shape	整齐 Regular	1	131	50.97	0.95
	较整齐 Little orderly	2	27	10.51	
	不整齐 Irregular	3	99	38.52	
块茎形状整齐度 Shape uniformity	纺锤形 Fusiform	1	78	30.35	0.85
	棒状 Rod like	2	160	62.26	
	瘤状 Warty	3	19	7.39	
块茎表皮光滑度 Tuber skin smoothness	光滑 Smooth	1	63	24.51	0.89
	较光滑 Little smooth	2	161	62.64	
	不光滑 Rough	3	31	12.06	
块茎皮色 Tuber skin color	白或黄 White or yellow	1	161	62.64	1.06
	粉 Pink	2	36	14.01	
	浅紫 Light purple	3	21	8.17	
	紫色 Purple	4	39	15.18	

2.3 菊芋资源隶属函数分析

257份菊芋资源的隶属函数均值介于0.12~0.58之间, 大于等于0.55的材料序号分别为JA3021、JA1087、JA2034、JA1095, 其中JA1095材料最高(0.58), 分析其原因发现该材料在表型性状上极具有优势, 尤其在花的大小、花多少和单株块茎重3个性状上。隶属函数均值介于0.40~0.55之间的材料有

193份, 占总资源量的75.1%; 介于0.3~0.4之间的材料有52份, 占总资源量的20.2%; 介于0.2~0.3之间的材料有5份, 资源名称分别为JA1144、JA2061、JA2066、JA2053、JA2013, 其中1份来自中国, 3份来自泰国, 1份来自丹麦; 介于0.1~0.2之间的材料有3份, 分别为JA2010、JA2011、JA2012, 其表型性状不具优势, 均来自丹麦(表4)。

表4 257份菊芋12个数量性状的隶属函数均值

Table 4 Subordinate function of 12 index in 257 Jerusalem artichoke germplasm resources

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	隶属函数均值 Subordinate function	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	隶属函数均值 Subordinate function
1	JA1001	中国 China	0.401	130	JA1156	中国 China	0.429
2	JA1002	中国 China	0.450	131	JA1157	中国 China	0.521
3	JA1003	中国 China	0.409	132	JA1158	中国 China	0.500
4	JA1004	中国 China	0.402	133	JA1159	中国 China	0.388
5	JA1005	中国 China	0.455	134	JA1160	中国 China	0.468
6	JA1006	中国 China	0.417	135	JA1161	中国 China	0.356
7	JA1007	中国 China	0.501	136	JA1162	中国 China	0.497
8	JA1008	中国 China	0.482	137	JA1163	中国 China	0.449
9	JA1009	中国 China	0.405	138	JA1164	中国 China	0.493
10	JA1010	中国 China	0.440	139	JA1165	中国 China	0.458
11	JA1011	中国 China	0.477	140	JA1166	中国 China	0.409
12	JA1012	中国 China	0.408	141	JA1167	中国 China	0.395
13	JA1013	中国 China	0.466	142	JA1168	中国 China	0.543
14	JA1014	中国 China	0.510	143	JA1169	中国 China	0.501
15	JA1015	中国 China	0.460	144	JA2001	丹麦 Denmark	0.462
16	JA1016	中国 China	0.437	145	JA2002	丹麦 Denmark	0.522
17	JA1017	中国 China	0.492	146	JA2003	丹麦 Denmark	0.379
18	JA1018	中国 China	0.375	147	JA2004	丹麦 Denmark	0.392
19	JA1019	中国 China	0.397	148	JA2005	丹麦 Denmark	0.453
20	JA1020	中国 China	0.420	149	JA2006	丹麦 Denmark	0.373
21	JA1021	中国 China	0.471	150	JA2007	丹麦 Denmark	0.490
22	JA1022	中国 China	0.455	151	JA2008	丹麦 Denmark	0.410
23	JA1023	中国 China	0.365	152	JA2009	丹麦 Denmark	0.479
24	JA1024	中国 China	0.363	153	JA2010	丹麦 Denmark	0.123
25	JA1025	中国 China	0.420	154	JA2011	丹麦 Denmark	0.165
26	JA1026	中国 China	0.341	155	JA2012	丹麦 Denmark	0.180
27	JA1027	中国 China	0.379	156	JA2013	丹麦 Denmark	0.292
28	JA1028	中国 China	0.340	157	JA2014	丹麦 Denmark	0.504
29	JA1029	中国 China	0.441	158	JA2015	丹麦 Denmark	0.465
30	JA1030	中国 China	0.517	159	JA2016	丹麦 Denmark	0.446
31	JA1031	中国 China	0.378	160	JA2017	法国 France	0.504
32	JA1032	中国 China	0.409	161	JA2018	法国 France	0.478

(续表 4)

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	隶属函数均值 Subordinate function	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	隶属函数均值 Subordinate function
33	JA1033	中国 China	0.336	162	JA2019	法国 France	0.488
34	JA1034	中国 China	0.457	163	JA2020	法国 France	0.456
35	JA1039	中国 China	0.483	164	JA2021	法国 France	0.498
36	JA1040	中国 China	0.502	165	JA2022	法国 France	0.496
37	JA1060	中国 China	0.524	166	JA2023	法国 France	0.486
38	JA1061	中国 China	0.428	167	JA2024	法国 France	0.459
39	JA1062	中国 China	0.418	168	JA2025	法国 France	0.472
40	JA1063	中国 China	0.455	169	JA2026	法国 France	0.452
41	JA1064	中国 China	0.497	170	JA2027	法国 France	0.468
42	JA1065	中国 China	0.534	171	JA2028	法国 France	0.358
43	JA1066	中国 China	0.450	172	JA2029	法国 France	0.463
44	JA1067	中国 China	0.514	173	JA2030	法国 France	0.459
45	JA1068	中国 China	0.437	174	JA2031	法国 France	0.459
46	JA1069	中国 China	0.381	175	JA2032	法国 France	0.472
47	JA1070	中国 China	0.419	176	JA2033	法国 France	0.483
48	JA1071	中国 China	0.434	177	JA2034	法国 France	0.564
49	JA1072	中国 China	0.473	178	JA2035	法国 France	0.306
50	JA1073	中国 China	0.451	179	JA2036	法国 France	0.472
51	JA1074	中国 China	0.498	180	JA2037	法国 France	0.423
52	JA1075	中国 China	0.486	181	JA2038	法国 France	0.490
53	JA1076	中国 China	0.498	182	JA2039	法国 France	0.378
54	JA1077	中国 China	0.491	183	JA2040	法国 France	0.481
55	JA1078	中国 China	0.447	184	JA2041	法国 France	0.447
56	JA1079	中国 China	0.530	185	JA2042	法国 France	0.409
57	JA1080	中国 China	0.449	186	JA2043	法国 France	0.437
58	JA1081	中国 China	0.540	187	JA2044	泰国 Thailand	0.383
59	JA1082	中国 China	0.377	188	JA2046	泰国 Thailand	0.382
60	JA1083	中国 China	0.438	189	JA2047	泰国 Thailand	0.528
61	JA1084	中国 China	0.442	190	JA2048	泰国 Thailand	0.387
62	JA1085	中国 China	0.491	191	JA2049	泰国 Thailand	0.471
63	JA1086	中国 China	0.485	192	JA2050	泰国 Thailand	0.328
64	JA1087	中国 China	0.559	193	JA2051	泰国 Thailand	0.524
65	JA1088	中国 China	0.478	194	JA2052	泰国 Thailand	0.537
66	JA1089	中国 China	0.505	195	JA2053	泰国 Thailand	0.290
67	JA1090	中国 China	0.448	196	JA2054	泰国 Thailand	0.437
68	JA1091	中国 China	0.449	197	JA2055	泰国 Thailand	0.469
69	JA1092	中国 China	0.482	198	JA2056	泰国 Thailand	0.421
70	JA1093	中国 China	0.475	199	JA2057	泰国 Thailand	0.384
71	JA1094	中国 China	0.436	200	JA2058	泰国 Thailand	0.446
72	JA1095	中国 China	0.580	201	JA2059	泰国 Thailand	0.330
73	JA1096	中国 China	0.507	202	JA2060	泰国 Thailand	0.458

(续表 4)

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	隶属函数均值 Subordinate function	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	隶属函数均值 Subordinate function
74	JA1097	中国 China	0.463	203	JA2061	泰国 Thailand	0.263
75	JA1098	中国 China	0.493	204	JA2062	泰国 Thailand	0.329
76	JA1099	中国 China	0.504	205	JA2063	泰国 Thailand	0.342
77	JA1100	中国 China	0.449	206	JA2064	泰国 Thailand	0.373
78	JA1101	中国 China	0.419	207	JA2065	泰国 Thailand	0.362
79	JA1102	中国 China	0.475	208	JA2066	泰国 Thailand	0.286
80	JA1103	中国 China	0.488	209	JA2067	泰国 Thailand	0.410
81	JA1104	中国 China	0.462	210	JA2068	泰国 Thailand	0.355
82	JA1105	中国 China	0.517	211	JA2069	泰国 Thailand	0.340
83	JA1106	中国 China	0.394	212	JA2070	泰国 Thailand	0.468
84	JA1108	中国 China	0.445	213	JA2071	泰国 Thailand	0.390
85	JA1109	中国 China	0.426	214	JA2072	加拿大 Canada	0.506
86	JA1111	中国 China	0.460	215	JA2074	中国 China	0.474
87	JA1112	中国 China	0.514	216	JA2076	中国 China	0.445
88	JA1113	中国 China	0.427	217	JA2077	中国 China	0.434
89	JA1114	中国 China	0.428	218	JA2080	中国 China	0.514
90	JA1115	中国 China	0.376	219	JA3001	中国 China	0.417
91	JA1116	中国 China	0.452	220	JA3003	中国 China	0.496
92	JA1117	中国 China	0.488	221	JA3013	中国 China	0.435
93	JA1118	中国 China	0.485	222	JA3014	中国 China	0.445
94	JA1119	中国 China	0.445	223	JA3021	中国 China	0.551
95	JA1120	中国 China	0.485	224	JA3022	中国 China	0.494
96	JA1121	中国 China	0.454	225	JA3034	中国 China	0.386
97	JA1122	中国 China	0.464	226	JA3035	中国 China	0.395
98	JA1123	中国 China	0.451	227	JA3036	中国 China	0.391
99	JA1124	中国 China	0.423	228	JA3052	中国 China	0.459
100	JA1125	中国 China	0.485	229	JA3053	中国 China	0.481
101	JA1126	中国 China	0.432	230	JA3055	中国 China	0.416
102	JA1127	中国 China	0.393	231	JA3061	中国 China	0.380
103	JA1128	中国 China	0.457	232	JA3062	中国 China	0.425
104	JA1129	中国 China	0.511	233	JA3063	中国 China	0.349
105	JA1130	中国 China	0.456	234	JA3065	中国 China	0.404
106	JA1131	中国 China	0.443	235	JA3071	中国 China	0.441
107	JA1132	中国 China	0.532	236	JA3073	中国 China	0.468
108	JA1133	中国 China	0.382	237	JA3082	中国 China	0.342
109	JA1134	中国 China	0.465	238	JA3087	中国 China	0.396
110	JA1136	中国 China	0.430	239	JA3088	中国 China	0.439
111	JA1137	中国 China	0.339	240	JA3090	中国 China	0.448
112	JA1138	中国 China	0.480	241	JA4001	中国 China	0.445
113	JA1139	中国 China	0.480	242	JA4002	中国 China	0.447
114	JA1140	中国 China	0.422	243	JA4003	中国 China	0.363

(续表 4)

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	隶属函数均值 Subordinate function	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Origin	隶属函数均值 Subordinate function
115	JA1141	中国 China	0.522	244	JA4004	中国 China	0.353
116	JA1142	中国 China	0.480	245	JA4005	中国 China	0.403
117	JA1143	中国 China	0.520	246	JA4006	中国 China	0.457
118	JA1144	中国 China	0.215	247	JA4007	中国 China	0.463
119	JA1145	中国 China	0.481	248	JA4008	中国 China	0.388
120	JA1146	中国 China	0.495	249	JA4009	中国 China	0.407
121	JA1147	中国 China	0.487	250	JA4010	中国 China	0.484
122	JA1148	中国 China	0.506	251	JA2082	中国 China	0.467
123	JA1149	中国 China	0.401	252	JA3091	中国 China	0.482
124	JA1150	中国 China	0.522	253	JA3092	中国 China	0.396
125	JA1151	中国 China	0.405	254	JA3094	中国 China	0.325
126	JA1152	中国 China	0.454	255	JA3095	中国 China	0.329
127	JA1153	中国 China	0.491	256	JA4011	中国 China	0.444
128	JA1154	中国 China	0.473	257	JA4012	中国 China	0.439
129	JA1155	中国 China	0.383				

2.4 菊芋资源数量性状的相关性分析

菊芋地上部及块茎是菊芋加工利用的主要部位,对菊芋育种来说,选育生育期短、单株块茎数多、单果重及花多且大的资源具有重要意义。从表 6 可以看出,生育期与株高、茎粗、叶长、花大小、单株块茎重、平均单果重存在极显著正相关,与干物质率存在极显著负相关;单株块茎数与单株块茎重呈极显著正相关,与单果重呈极显著负相关;单株块茎重与干物质率呈极显著负相关,与单果重呈极显著正相关;花大小与花盘大小、单株块茎重呈极显著正相关,与干物质率呈极显著负相关。其中叶长与叶宽的相关系数最大(0.735),其次株高和叶宽的相关系数为 0.661;另外株高与花大小、茎粗与分枝数和干物质率,分枝数与花盘大小,叶宽与花盘大小之间均存在极显著负相关,其中干物质率与单果重之间的负相关系数最大为-0.58,其次为干物质率与单株块茎重为-0.55(表 5)。在今后实际生产中可以用花大小衡量单株块茎的重量,用生育期长短及花盘大小衡量干物质率的高低,用茎粗和叶长衡量单果重量,从直观的农艺学性状就可以预判菊芋地下部产量和品质。

2.5 主成分分析

以特征值大于 1.0 为标准提取主成分显示,在 20 个主成分中,前 7 个累计贡献率达 66.794%(表 6),说明前 7 个主成分基本可以代表原始变量的大部分

信息。主成分中各变量的系数是该性状作用大小的一个主要指标。第 1 主成分的特征值为 3.763,方差贡献率最大,占主导地位,为 18.816%,作用最大的性状包括单株块茎重(0.183)、茎粗(0.178)、叶长(0.172)、平均单果重(0.168);第 1 主成分主要反映的是 2 个块茎性状指标和 2 个植株性状指标。第 2 主成分特征值为 2.664,贡献率为 13.318%,作用最大的性状分别为块茎干物质率(0.238)、块茎皮色和叶宽(0.225)、株高(0.192)、块茎整齐度(-0.207)、单果重(-0.182)、叶长(0.164);第 2 主成分主要反映的是 4 个块茎性状指标和 3 个植株性状指标。第 3 主成分特征值为 1.976,贡献率为 9.878%,主要性状分别为分枝数(-0.308)、块茎大小整齐度(0.287)、块茎形状整齐度(0.278)。第 3 主成分反映的是 2 个块茎性状指标和 1 个植株性状指标。第 4 主成分特征值为 1.600,贡献率为 7.998%,主要性状为单株块茎数(0.384)、块茎毛根量(0.340)、块茎性状(0.290)、块茎习性(0.259)。第 4 主成分主要反映的是地下部块茎性状。第 5 主成分特征值为 1.234,贡献率为 6.170,主要性状为块茎毛根量(-0.458)、单株块茎数(0.421)、生育期(-0.268);第 5 主成分主要反映了 2 个块茎指标和 1 个物候期指标。第 6 主成分特征值为 1.122,贡献率为 5.612%,主要性状为块茎表皮光滑度(0.621)、花数量(0.355)、块茎性状整齐度(-0.267);第 6 主成分主要反映的是 2 个块茎性状和

表 5 菊芋资源数量性状的相关分析
Table 5 Correlation coefficient among quantitative characters of Jerusalem artichoke germplasm resources

	生育期 Growing period duration	株高 Plant height	茎粗 Stem thickness	分枝数 Branch number	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	花大小 Flower size	花盘大小 Disk size	单株块茎数 Tuber number per plant	单株块茎重 Tuber weight per plant	干物质率 Dry matter rate	单果重 Single fruit weight
生育期 Growing period duration	1											
株高 Plant height	0.195**	1										
茎粗 Stem thickness	0.435**	0.421**	1									
分枝数 Branch number	-0.028	0.050	-0.170**	1								
叶长 Leaf length	0.305**	0.570**	0.367**	0.049	1							
叶宽 Leaf width	0.312	0.661**	0.322**	0.064	0.735**	1						
花大小 Flower size	0.194**	-0.217**	0.249**	0.304**	0.280**	0.227**	1					
花盘大小 Disk size	-0.126*	-0.038	-0.113	-0.279**	-0.081	-0.167**	0.166**	1				
单株块茎数 Tuber number per plant	-0.012	0.028	-0.106	0.189**	-0.119	0.087	0.030	-0.039	1			
单株块茎重 Tuber weight per plant	0.272**	0.130*	0.425	0.246**	0.220**	0.131*	0.294**	-0.275**	0.294**	1		
干物质率 Dry matter rate	-0.235**	0.106	-0.338**	-0.115	-0.068	0.100	-0.174**	0.371**	0.120	-0.549**	1**	
单果重 Single fruit weight	0.212**	0.167**	0.382**	0.086	0.232**	0.097	-0.156*	-0.224**	-0.222**	0.574**	-0.576**	1

*和**表示在 5%和 1%水平上差异显著。* and ** denote significant difference at the 5% and 1% probability levels, respectively.

表6 菊芋种植表型性状的主成分分析表

Table 6 Principle components analysis of morphological traits of Jerusalem artichoke germplasm resources

	主成分特征 Eigenvector of the principal component						
	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆	PC ₇
生育期 Growing period duration	0.133	-0.007	0.144	0.131	-0.268	0.097	-0.249
株高 Plant height	0.138	0.192	0.190	0.063	0.102	-0.118	0.015
茎粗 Stem thickness	0.178	-0.027	0.188	-0.010	-0.134	0.145	0.006
分枝数 Branch number	0.063	0.020	-0.308	0.186	0.165	-0.237	0.018
叶长 Leaf length	0.172	0.164	0.143	-0.028	-0.001	-0.142	0.141
叶宽 Leaf width	0.155	0.225	0.118	0.040	0.073	-0.157	-0.044
花大小 Flower size	0.134	0.064	-0.166	0.173	-0.213	0.143	0.345
花盘大小 Disk size	-0.112	0.059	0.183	-0.054	-0.020	0.169	0.254
花数量 Number of flower	0.025	0.095	-0.177	0.062	0.127	0.355	0.606
块茎习性 Tuber habits	-0.098	0.065	0.078	0.259	-0.100	0.045	-0.246
块茎毛根量 Number of tuber root	-0.028	0.001	-0.088	0.340	-0.458	-0.110	0.104
块茎大小整齐度 Size uniformity	-0.103	-0.097	0.287	0.211	0.128	0.010	0.260
块茎形状 Tuber shape	-0.051	-0.136	0.278	0.290	0.169	0.002	0.208
单株块茎数 Tuber number per plant	-0.009	0.042	-0.092	0.384	0.421	0.145	-0.290
单株块茎重 Tuber weight per plant	0.183	-0.137	-0.058	0.146	0.227	0.118	-0.130
块茎形状整齐度 Shape uniformity	0.035	-0.207	0.017	-0.123	0.229	-0.267	0.173
块茎表皮光滑度 Tuber skin smoothness	0.027	0.084	0.023	-0.155	0.130	0.621	-0.185
块茎皮色 Tuber skin color	-0.024	0.225	-0.008	-0.057	0.207	-0.243	0.096
干物质率 Dry matter rate	-0.142	0.238	0.052	-0.011	0.070	-0.062	-0.012
单果重 Single fruit weight	0.168	-0.182	0.057	-0.086	0.072	-0.046	0.090
特征值 Eigenvalue	3.763	2.664	1.976	1.600	1.234	1.122	1.000
方差贡献率 Variance contribution	18.816	13.318	9.878	7.998	6.170	5.612	5.001
累计贡献率 Accumulative contribution	18.816	32.134	42.012	50.010	56.180	62.350	67.960

1个花性状。第7主成分特征值为1.000, 贡献率为5.001%, 主要性状为花数量(0.606)、花大小(0.345); 第7主成分主要反映的是2个花的性状。

2.6 聚类分析

依据20个表型性状数据, 采用K-means对257份菊芋种质进行聚类分析, 可以看出在相似系数为12处, 257份材料可被分为5类(附图1)。

第I类包括100份资源, 其中丹麦资源5份、加拿大资源1份、法国资源15份、泰国资源6份、中国资源73份。该类资源的生育期分布在114~163 d之间, 其中生育期低于130 d的仅有JA1094, 为114 d; 株高分布在187~315 cm之间, 其中大于250 cm的有33份; 茎粗分布在18~38 cm之间, 其中大于30 cm的有22份; 花大小分布在5~11 cm之间, 其中大于10 cm的有10份; 花盘大小分布在7~18 cm之间, 其中大于10 cm的有87份, 占该类

资源总数的87%; 单株块茎数分布在16~99个之间, 其中超过80的有5份; 单株块茎重分布在1.0~6.5 kg, 其中超过5.0 kg的有10份; 数量性状中以分枝数的变异系数最大(40%), 其次单株块茎数为39%, 变异系数最小的是生育期, 为5%, 其次是叶长和叶宽, 均为9%。平均隶属函数为0.47。

第II类, 包括140份资源, 其中丹麦资源7份、法国资源9份、泰国资源19份、中国资源105份。生育期分布在120~166 d之间, 生育期低于130 d的有5份; 株高分布在148~324 cm之间, 其中低于180 cm的有12份, 高于250 cm的有31份, 高于300 cm的只有一份, 即323.1 cm (JA1157); 茎粗分布在14~34 cm之间, 其中大于30 cm的有13份; 分枝数分布在1~7.7个之间, 其中大于5的有16份; 花大小分布在4.6~11.0 cm之间, 其中大于10 cm的有14份; 花盘大小分布在7.2~21.0 cm之间, 其中大于

10 cm 的有 121 份, 占该类总资源量的 86.4%; 单株块茎数分布在 9~116 个, 其中超过 80 的有 28 份; 单株块茎重分布在 0.18~6.00 kg 之间, 其中超过 5.0 kg 的有 11 份; 平均单果重分布在 15.7~124.0 g 之间, 其中超过 100 g 的有 11 份。该分类中变异系数最大的是平均单株块茎数, 为 46%, 其次是分枝数为 42%, 变异系数最小的是生育期, 为 6%, 其次叶长为 11%。平均隶属函数为 0.42。

第 III 类, 包括 JA1021 和 JA1146 两份来自中国的资源。主要特点为花很多, 块茎大小整齐, 块茎性状为纺锤形, 块茎表皮较光滑, 平均单株块茎数超过 100 个, 平均隶属函数为 0.48。

第 IV 类, 包括 2 份中国资源、4 份丹麦资源、1 份法国资源、1 份泰国资源。平均隶属函数为 0.24, 平均生育期为 130 d, 平均株高为 128 cm, 块茎皮色为白或黄色, 花较小, 花数量中等, 块茎大小整齐。

第 V 类, 包括 4 份中国资源、2 份法国资源、1 份泰国资源。平均隶属函数为 0.51, 该类群的主要特征是生育期在 150 d 左右, 株高在 220 cm 左右, 平均花盘大于 10 cm, 块茎大小整齐, 块茎性状为瘤形, 干物质率为 20% 左右。

3 讨论

对菊芋种质资源的形态学性状进行调查和分析, 既是对种质资源研究的首要工作, 也是菊芋育种的基础工作, 同时也是一种简便有效的方法。本研究从初选出的 257 份菊芋种质资源入手, 从表型性状的角度系统分析, 为有效利用现有菊芋资源提供了理论依据。变异系数和多样性指数都是反映遗传多样性的指标。多样性指数不仅能够反映变异范围的大小, 而且还能反映出基因型频率的分布, 在形态多样性的研究中, 多样性指数越高, 表明形态性状的多样性越丰富, Shannon-Weiner 多样性指数被广泛应用于表型性状中质量性状的多样性评价^[27]。本研究分别利用变异系数和多样性指数对以往鲜有的大规模菊芋资源进行遗传多样性分析, 通过表型变异简便经济地对菊芋的遗传多样性做出了评价。

3.1 菊芋种质资源性状的差异分析

形态标记是指生物特定的、肉眼可见或仪器测量的能够明确显示遗传多样性的外部特征^[28]。从表型性状对植物的遗传多样性进行研究是最直接、简易的方法^[29]。本文分析了 257 份菊芋资源的 12 个数量性状和 8 个质量性状, 数量性状分别描述了菊芋

的生育期、植株地上部农艺性状和地下部农艺性状。其中变异系数大于 40% 的性状有 4 个, 依次为单株块茎重(50%)、单株块茎数(47%)、平均单果重(46%)和分枝数(41%), 单株块茎重最小值为 0.18 kg, 最大值为 6.872 kg, 多样性指数 1.53, 表现出了极其丰富的多样性; 变异系数最小的性状为生育期(6%), 多样性指数为 1.35, 表现出不明显的多样性。质量性状主要描述了花以及块茎的性状, 其中块茎习性的多样性指数最高, 为 1.08, 而块茎形状多样性指数最低。

3.2 国内外种质资源的遗传多样性

遗传多样性是指种内不同的个体间或一个群体内不同个体间遗传变异的总和^[30], 是生物多样性的基本组成部分, 是植物抵抗不良气候和防御毁灭性害虫的安全因素^[31]。

本研究对来自 5 个国家的 257 份菊芋资源统计分析发现, 各国资源之间差异较大, 其中菊芋生育期小于 135 d 的资源有 23 份, 仅有 7 份来自中国, 其他的分别来自丹麦、泰国和法国等国家, 所以在无霜期短的区域种植时可以选择引进这些国家的资源。最短叶长为 11.30 cm, 小于 19.03 cm 的资源有 15 份, 其中仅 2 份来自中国, 其他主要来自丹麦和泰国; 同叶长相似, 最短叶宽为 6.20 cm, 其中小于 11.70 cm 的材料有 13 份, 仅 1 份来自中国, 其他主要来自丹麦和泰国, 说明丹麦和泰国资源在叶长、叶宽性状上不具有明显的优势, 而且这些材料的分枝均小于 3 个, 说明这些材料的地上部生物量较小, 适合合理的密植。在花大小性状上, 来自国外的资源均表现为花较小, 且在花大小表型上变异不大。在其他性状上, 国内外的资源均差异较大。评价国内外的菊芋种质资源, 不仅有利于在性状改良上选择合适的资源, 同时可以丰富我国的菊芋资源并及时调整育种策略。

3.3 主成分分析、隶属函数分析及聚类分析

主成分分析法可以通过降维的方式将作物各性状间复杂的关系转化为较少的几个主成分, 从而去除冗余信息, 简化评价和筛选资源时的程序, 又可反应大部分性状信息, 具有科学性。本研究将 20 个指标进行主成分分析, 得出前 7 个主成分累计贡献率达 66.794%, 说明前 7 个主成分基本可以代表原始变量的大部分信息。由于材料的复杂多样性, 其他成分方差贡献率小, 且成分多无法起到去除冗余信息的效果, 因此, 选取前 7 个主成分进行分析比较。

本研究隶属函数分析对 257 份菊芋资源进行综合评分, 结果表明评分低的几种资源在表型性状上不具有优势, 聚类分析结果中归于一类的材料来自不同地区, 而来自同一地区的材料并未被归于一类, 说明材料之间的遗传差异性与地区之间并没有相关性, 推测聚类分析结果是由于植物学性状表型受内部遗传与外界环境的共同调节作用。

本研究发现菊芋资源类型丰富, 变异较大, 对丰富我国菊芋种质资源库的多样性和菊芋品种选育具有重要价值。今后应依据菊芋的育种目标, 及主成分指标排序, 具体分析与全面评价每份亲本材料综合指标, 尽快育出理想的菊芋新品种。本研究仅针对菊芋种质资源的形态学性状进行了分析评价, 今后还有待从分子生物学角度深入研究, 以期更加客观地评价菊芋种质资源, 为菊芋核心群体构建和品种选育提供科学依据。

4 结论

茎粗、叶长、花和花盘大小可作为今后选育高产菊芋品种的指导目标性状; 花数量、单株块茎数量、块茎毛根量、块茎表皮光滑程度4个性状是构成菊芋种植表型差异的主要因素。

附图 请见网络版: 1) 本刊网站 <http://zwxb.china-crops.org/>; 2) 中国知网 <http://www.cnki.net/>; 3) 万方数据 <http://c.wanfangdata.com.cn/Periodical-zuowxb.aspx>。

References

- [1] 赵孟良, 孙雪梅, 王丽慧, 李莉. 43 份菊芋种质资源遗传多样性的 ISSR 分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版). 2015, 43(9): 150-156.
Zhao M L, Sun X M, Wang L H, Li L. ISSR based genetic diversity of 43 *Helianthus tuberosus* L. *J Northwest A&F Univ (Nat Sci Edn)*, 2015, 43(9): 150-156 (in Chinese with English abstract).
- [2] Kays S J, Kultur F. Genetic variation in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) flowering date and duration. *HortScience*, 2005, 40: 1675-1678.
- [3] Kays S J, Nottingham F S. Biology and chemistry of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). London: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2007, 478, ISBN-13: 978-1-4200-4495-9.
- [4] Seiler G J. Protein and mineral concentrations in tubers of selected genotypes of wild and cultivated Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, Asteraceae). *Econ Bot*, 1990, 44: 322-335.
- [5] Vasić D, Miladinović J, Marjanović-Jeromela A, Skorić D. Variability between *Helianthus tuberosus* accessions collected in the USA and Montenegro. *Helia*, 2002, 25: 79-84.
- [6] Berenji J, Sikora V. Variability and stability of tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Helia*, 2001, 24: 25-32.
- [7] 兴旺, 崔平, 潘荣, 苏宝忠. 不同国家甜菜种质资源遗传多样性研究. 植物遗传资源学报, 2018, 19: 76-86.
Xing W, Cui P, Pan R, Su B Z. Genetic diversity of sugar beet from different countries. *J Plant Genet Resour*, 2018, 19: 76-86(in Chinese with English abstract).
- [8] 黎裕, 李英慧, 杨庆文, 张锦鹏, 张金梅, 邱丽娟, 王天宇. 基于基因组学的作物种质资源研究: 现状与展望. 中国农业科学, 2015, 48: 3333-3353.
Li Y, Li Y H, Yang Q W, Zhang J P, Zhang J M, Qiu L J, Wang T Y. Genomics-based crop germplasm research: advances and perspectives. *Sci Agric Sin*, 2015, 48: 3333-3353 (in Chinese with English abstract).
- [9] 陈雪燕, 王亚娟, 雒景吾, 吉万全. 陕西省小麦地方品种主要性状的遗传多样性研究. 麦类作物学报, 2007, 27: 456-460.
Chen X Y, Wang Y J, Luo J W, Ji W Q. Genetic diversity in main characters of wheat landraces in Shaanxi province. *J Triticeae Crops*, 2007, 27: 456-460 (in Chinese with English abstract).
- [10] 杨丽娟. 硫代葡萄糖苷标记鉴定萝卜种质资源遗传多样性的研究. 安徽农业大学硕士学位论文, 安徽合肥, 2010.
Yang L J. Studies on Glucosinolates Marker Identify Genetic Diversity of *Raphanus sativus* Germplasm. MS Thesis of Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui, China, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李晓曼, 段蒙蒙, 王鹏, 汪精磊, 张晓辉, 邱杨, 王海平, 宋江萍, 李锡香. 栽培萝卜植株地上部表型多样性分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19: 668-675.
Li X M, Duan M M, Wang P, Wang J L, Zhang X H, Qiu Y, Wang H P, Song J P, Li X X. Phenotypic diversity analysis of cultivated radish (*Raphanus sativus* L.). *J Plant Genet Resour*, 2018, 19: 668-675 (in Chinese with English abstract).
- [12] 赵孟良, 韩睿, 李莉. 24 个菊芋品种(系)遗传多样性的 ISSR 标记分析. 植物资源与环境学报, 2013, 22(4): 44-49.
Zhao M L, Han R, Li L. ISSR marker analysis on genetic diversity of twenty-four cultivars (lines) of *Helianthus tuberosus*. *J Plant Resour Environ*, 2013, 22(4): 44-49 (in Chinese with English abstract).
- [13] 马胜超, 韩睿, 任鹏鸿, 杨世鹏, 李莉. 三十份菊芋资源亲缘关系的 SRAP 分析. 浙江农业学报, 2014, 26: 1212-1217.
Ma S C, Han R, Ren P H, Yang S P, Li L. Analysis of genetic relationship of 30 Jerusalem artichoke germplasm resources by SRAP markers. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2014, 26: 1212-1217 (in Chinese with English abstract).
- [14] 薛志忠, 杨雅华, 李海山, 张国新, 刘淑君. 五十八份菊芋种质资源遗传多样性 SRAP 分析. 北方园艺, 2017, 41(21): 31-36.
Xue Z Z, Yang Y H, Li H S, Zhang G X, Liu S J. Genetic diversity of fifty-eight Jerusalem artichoke germplasm resources revealed by sequence related amplified polymorphism (SRAP). *Northern Hortic*, 2017, 41(21): 31-36 (in Chinese with English abstract).
- [15] 韩睿, 赵孟良, 李莉. 3 个菊芋品种的 ISSR 引物筛选及分子鉴别. 西南农业学报, 2013, 26: 290-293.
Han R, Zhao M L, Li L. Primers screening and identification of three samples in *Helianthus tuberosus* L. by ISSR molecular

- marker. *Southwest China J Agric Sci*, 2013, 26: 290–293 (in Chinese with English abstract).
- [16] 赵孟良, 刘明池, 钟启文, 何洪巨, 季延海, 李莉. 不同来源菊芋种质资源品质性状多样性分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(2): 104–112.
Zhao M L, Liu M C, Zhong Q W, He H J, Ji Y H, Li L. Diversity analysis of quality characters of *Helianthus tuberosus* Linn from different sources. *J Northwest A&F Univ (Nat Sci Edn)*, 2018, 46(2): 104–112(in Chinese with English abstract).
- [17] 赵孟良, 刘明池, 钟启文, 何洪巨, 季延海, 李莉. 29 份菊芋种质资源氨基酸含量和营养价值评价. 种子, 2018, 37(3): 55–59.
Zhao M L, Liu M C, Zhong Q W, He H J, Ji Y H, Li L. 29 Jerusalem artichoke germplasm resources amino acid content and nutritional value evaluation. *Seed*, 2018, 37(3): 55–59 (in Chinese with English abstract).
- [18] 赵孟良, 刘明池, 钟启文, 何洪巨, 季延海, 李莉. 菊芋种质资源主要矿质营养元素含量特征与分析评价. 河北农业大学学报, 2017, 40(4): 31–36.
Zhao M L, Liu M C, Zhong Q W, He H J, Ji Y H, Li L. Content characteristics and analysis valuation of main mineral nutrient elements in 29 *Helianthus tuberosus*. *J Agric Univ Hebei*, 2017, 40(4): 31–36 (in Chinese with English abstract).
- [19] 范君华, 刘明, 吴全忠, 艾买尔江·吾斯曼. 南疆引进的 52 份菊芋品种资源叶片生理性状主成分和聚类分析. 农学学报, 2016, 6(1): 66–72.
Fan J H, Liu M, Wu Q Z, Aimaierjiang W S M. Principal component and cluster analysis of leaf physiological traits of 52 *Helianthus tuberosus* germplasm resources in southern Xinjiang. *J Agric*, 2016, 6(1): 66–72 (in Chinese with English abstract).
- [20] 赵孟良, 钟启文, 刘明池, 李莉. 二十二份引进菊芋种质资源的叶片性状分析. 浙江农业学报, 2017, 29: 1151–1157.
Zhao M L, Zhong Q W, Liu M C, Li L. Leaf traits analysis of 22 *Helianthus tuberosus* germplasm resources introduced from abroad. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2017, 29: 1151–1157 (in Chinese with English abstract).
- [21] 朱菊华, 孙星, 许斌, 梁婷, 刘明, 缪建, 赵耕毛. 不同基因型菊芋耐盐生理及其生态适应性研究. 草业学报, 2018, 27(6): 120–127.
Zhu J H, Sun X, Xu B, Liang T, Liu M, Miao J, Zhao G M. Physiological response and ecological adaptability of different Jerusalem artichoke genotypes to salt stress. *Acta Pratac Sin*, 2018, 27(6): 120–127 (in Chinese with English abstract).
- [22] 王瑞雄. 菊芋种质资源耐盐性筛选及遗传多样性分析. 兰州大学硕士学位论文, 甘肃兰州, 2018.
Wang R X. Salt Tolerance Screening and Genetic Diversity Analysis of *Helianthus tuberosus* L. MS Thesis of Lanzhou University, Lanzhou, Gansu, China, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [23] 韩睿, 熊国富, 钟启文, 李莉, 赵孟良, 李全辉. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南菊芋. NY/T 2503-2013, 2013
Han R, Xiong G F, Zhong Q W, Li L, Zhao M L, Li Q H. Guidelines for the conduct of tests fro distinctness, uniformity and stability-Jerusalem artichoke, *Helianthus tuberosus* L. NY/T 2503-2013, 2013.
- [24] 都真真, 李锡香, 宋江萍, 武亚红, 赵青, 徐婷, 张晓辉, Barbara H, Hu J G, 王海平. 228 份引进大蒜资源的表型多样性分析及适应性初步评价. 植物遗传资源学报, 2019, 20: 1186–1196.
Du Z Z, Li X X, Song J P, Wu Y H, Zhao Q, Xu T, Zhang X H, Barbara H, Hu J G, Wang H P. Phenotypic diversity and adaptability analysis of 228 accessions of introduced garlic genetic resources. *J Plant Genet Resour*, 2019, 20: 1186–1196 (in Chinese with English abstract).
- [25] 梁吉业, 冯晨娇, 宋鹏. 大数据相关分析综述. 计算机学报, 2016, (1): 1–18.
Liang J Y, Feng C Q, Song P. A Survey on correlation analysis of big data. *J Computers*, 2016, (1): 1–18 (in Chinese with English abstract).
- [26] 吴欣明, 郭璞, 池惠武, 方志红, 石永红, 王运琦, 刘建宁, 王赞, 王学敏. 国外紫花苜蓿种质资源表型性状与品质多样性分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19: 103–111.
Wu X M, Guo P, Chi H W, Fang Z H, Shi Y H, Wang Y Q, Liu J N, Wang Z, Wang X M. Diversity analysis of phenotypic traits and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa*) introduced from abroad germplasm resources. *J Plant Genet Resour*, 2018, 19: 103–111 (in Chinese with English abstract).
- [27] 江锡兵, 龚榜初, 刘庆忠, 陈新, 吴开云, 邓全恩, 汤丹. 中国板栗地方品种重要农艺性状的表型多样性. 园艺学报, 2014, 41: 641–652.
Jiang X B, Gong B C, Liu Q Z, Chen X, Wu K Y, Deng Q E, Tang D. Phenotypic diversity of important agronomic traits of local cultivars of Chinese chestnut. *Acta Horti Sin*, 2014, 41: 641–652 (in Chinese with English abstract).
- [28] 马啸. 老芒麦野生种质资源的遗传多样性及群体遗传结构研究. 四川农业大学博士学位论文, 四川雅安, 2006.
Ma X. Studies on Genetic Diversity and Population Structure in Wild Germplasm Collections of *Elymus sibiricus* L. PhD Dissertation of Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan, China, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [29] 文珊珊. 灰木莲种质资源遗传多样性研究. 中国林业科学研究院博士学位论文, 北京, 2017.
Wen S N. Genetic Diversity of Germplasm Resource of *Manglietia conifera* Dandy. PhD Dissertation of Chinese Academy of Forestry, Beijing, China, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [30] 胡志昂, 王洪新. 遗传多样性研究的原则和方法. 北京: 中国科技出版社, 1994. pp 118–122.
Hu Z A, Wang H X. Principles and Methods of Genetic Diversity Research. Beijing: China Science and Technology Publishing House, 1994. pp 118–122 (in Chinese).
- [31] 张永明, 孟令国, 张跃伟. 遗传多样性研究在种质资源保护和利用中的应用. 西藏科技, 2005, (4): 11–13.
Zhang Y M, Meng L G, Zhang Y W. Application of genetic diversity research in the protection and utilization of germplasm resources. *Tibetan Sci Technol*, 2005, (4): 11–13 (in Chinese with English abstract).