

不同国家甜菜种质资源遗传多样性研究

兴旺^{1,2,3}, 崔平^{1,2,3}, 潘荣^{1,2,3}, 苏宝忠⁴

(¹ 黑龙江大学农作物研究院/中国农业科学院甜菜研究所, 哈尔滨 150080; ² 黑龙江省普通高校甜菜遗传育种重点实验室/黑龙江大学, 哈尔滨 150080; ³ 中国农业科学院北方糖料作物资源与利用重点开放实验室, 哈尔滨 150080; ⁴ 黑龙江大学校区管理处, 哈尔滨 150080)

摘要:通过对来自 12 个国家的 247 份甜菜种质资源的 16 个描述型性状及 10 个数值型性状的遗传多样性进行分析, 结果表明: 16 个描述型性状均表现出不同程度的遗传差异, 多样性指数在 0.4806 ~ 1.5230 之间, 平均值为 0.8608, 其中根肉色多样性指数最小, 生长势的多样性指数最大; 10 个数值型性状的变异系数在 1.29% ~ 7.08% 之间, 平均为 3.57%, α -氮含量最小, 叶片数最大; 不同国家甜菜种质资源的表型遗传差异大小为中国 > 荷兰 > 美国 > 瑞典 > 日本 > 德国 > 匈牙利 > 波兰 > 俄罗斯 > 丹麦 > 法国 > 比利时。对 247 份材料表型进行聚类分析表明, 在阈值为 7.5 时把材料分为 5 类, 每个国家在 5 个分类中所占的比例均不同。鉴定筛选出的 15 份丰产资源和 15 份高糖资源, 可在育种中做为品种产量改良及提高含糖率的亲本材料。

关键词:甜菜; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性

Genetic Diversity of Sugar Beet from Different Countries

XING Wang^{1,2,3}, CUI Ping^{1,2,3}, PAN Rong^{1,2,3}, SU Bao-zhong⁴

(¹ Crop Academy of Heilongjiang University / Sugar Beet Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150080; ² The Key Laboratory of Sugar Beet Genetic Breeding, Colleges of Heilongjiang Province/Heilongjiang University, Harbin 150080; ³ Key Laboratory of North Sugar Crop Resource and Utilization, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150080; ⁴ Management office of Heilongjiang University, Harbin 150080)

Abstract: A total of 247 accessions of sugar beet were collected from 12 countries and 26 traits including 16 descriptive and 10 numerical characteristics were tested. The results indicated that 16 descriptive properties had showed the genetic differences and the genetic diversity index ranged from 0.4806 to 1.5230 with the average of 0.8608. The smallest and the largest diversity index values were observed in root nude and growth vigor, respectively. The coefficient of variation of 10 numerical characters was between 1.29% and 7.08% with the average of 3.57%, the content of α -N was the smallest and the number of leaves was the largest. The genetic differences of phenotypes were analyzed between different countries. The genetic diversity and CV of phenotypic traits showed a tendency of China > Netherlands > America > Sweden > Japan > Germany > Hungary > Poland > Russia > Denmark > France > Belgium. 247 sugar beet varieties were divided into 5 groups by cluster analysis of phenotype traits at 7.5 genetic distances by software SPSS 22.0. Every country showed difference in the proportion of the five classifications. 15 high-yield resources and 15 high sugar resources were screened out, which could be used as the parent material for improving yield and sugar content in breeding.

Key words: sugar beet; germplasm resource; phenotypic characteristics; genetic diversity

收稿日期: 2017-05-02 修回日期: 2017-07-17 网络出版日期: 2017-12-26

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20171226.1502.006.html>

基金项目: 农业部物种资源保护费项目(111721301354052025); 科技部、财政部国家科技基础条件平台项目(NICGR2017-017)

第一作者研究方向为作物遗传育种与种质资源。E-mail: xwhlju@163.com

通信作者: 崔平, 研究方向为甜菜种质资源。E-mail: cuiping504@sohu.com

甜菜(*Beta vulgaris* L.)属藜科(Chenopodiaceae),二年生异花授粉作物,是世界两大糖料作物之一,现有多个国家进行种植^[1-2]。甜菜作为中国主要经济作物,不仅是主要的制糖工业原料,也是发展畜牧业的优良饲料,更是新兴的能源作物,在农业产业结构调整和发展地方经济中占有重要地位^[3]。

种质资源是作物遗传改良和相关基础研究的物质基础。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,直接影响到种质资源利用效率和现代种业的可持续发展^[4]。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^[5]。因此,世界各国都十分重视种质资源的保护和利用^[6-7],甜菜种质资源是甜菜遗传改良及育种的重要基因来源,也是培育高糖、高产、优质、抗病新品种的重要物质基础^[8]。世界甜菜先进生产国在甜菜种质资源的收集、繁种、保存和遗传多样性分析研究方面都已做了很多工作。我国在甜菜种质资源的收集、繁种、保存方面也取得了一定的成就,但在多样性分析方面还是落后于其他国家。

甜菜育种工作要想取得明显的突破,其关键因素之一在于优质种质资源的开发和利用,而其前提是加强种质资源的分类和亲缘关系的研究。通过对甜菜种质资源进行鉴定,充分掌握每份甜菜种质的表型特征,以便挖掘出更多的优异甜菜种质并进行

有效的利用。

由此可见对种质资源进行遗传多样性分析和聚类研究对作物品种改良和种质资源创新有着至关重要的作用,大豆^[7]、水稻^[9]、玉米^[10]、小麦^[11]、马铃薯^[12]、燕麦^[13]、辣椒^[14]、芝麻^[15]、烟草^[16]等作物在遗传多样性研究方面报道较多,并且已从表型深入到分子层面,但目前关于国内外甜菜种质资源遗传多样性的研究较少,为了掌握每个国家甜菜种质资源的特性,在甜菜种质资源创新过程中可以有针对性地对不同国家的甜菜种质资源进行利用,以及更好地建设和完善甜菜种质资源服务共享平台,本文从国家甜菜种质资源中期库选用了近 10 年收集整理国内外甜菜种质资源进行研究,通过对不同国家来源的甜菜种质资源的描述型性状和数量性状进行遗传分析,基本掌握了甜菜种质资源遗传多样性和遗传变异特点,同时可为甜菜品种改良、挖掘优异种质材料、新品种繁育及种质资源的收集利用提供支撑^[1]。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用国内外甜菜材料均由国家甜菜种质资源中期库提供,共 247 份材料,包括波兰 28 份,德国 19 份,荷兰 22 份,美国 26 份,俄罗斯 28 份,日本 17 份,瑞典 13 份,匈牙利 9 份,比利时 8 份,法国 6 份,丹麦 5 份,中国 66 份,具体材料信息见表 1。

表 1 供试的 247 份甜菜种质资源

Table 1 247 sugar beet germplasms tested in the study

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin
1	A. janasz-Aj1	波兰	14	IHAR-K	波兰	27	Rogow-C	波兰
2	Udycz-AB	波兰	15	Mono-IHAR	波兰	28	Sandomersko-N	波兰
3	PZHR4	波兰	16	P51	波兰	29	Kleinwanzeleben N	德国
4	Schreiber	波兰	17	Udycz-B	波兰	30	Kleinwanzeleben Z	德国
5	Buszczynski-p	波兰	18	Sandomerska-C	波兰	31	Kleinwanzeleben E	德国
6	A. janasz-Aj3	波兰	19	Sandomerska-P	波兰	32	费莫纳-高糖甜菜	德国
7	Polanowice-P	波兰	20	SWHN-C	波兰	33	Kleinwanzeleben AA	德国
8	Buszczynski-CLR	波兰	21	Rogow-L	波兰	34	S8238CR	德国
9	Ajanasz-Aj2	波兰	22	Rogow-P	波兰	35	Kleinwanzeleben CR	德国
10	A. janasz-Aj4	波兰	23	Rogow-N	波兰	36	KWS 051	德国
11	Buszczynski-MLR	波兰	24	Ajpolycama	波兰	37	1168	德国
12	Polanowice-N	波兰	25	monogllHNong	波兰	38	KWS 080	德国
13	PZHR1	波兰	26	Monoyidmono-19	波兰	39	S8234CR	德国

表 1(续)

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin
40	德国甜菜 060	德国	80	American1-314	美国	120	В. ЛскаЯ-1612	俄罗斯
41	1169" ms"	德国	81	GW65	美国	121	Я 杂种 (Яоргб)	俄罗斯
42	1169" o"	德国	82	GW87	美国	122	ЛоссуЛс431	俄罗斯
43	1172	德国	83	GW267	美国	123	ЛоссуЛс484	俄罗斯
44	1164	德国	84	Holly Hybrid21	美国	124	本育 132	日本
45	KWS0132	德国	85	Holly Hybrid25	美国	125	导入一号	日本
46	Kaumegamono (D)	德国	86	Mono HyA1	美国	126	导入二号	日本
47	西德一号 (D)	德国	87	Mono HyA2	美国	127	KWE	日本
48	ZWAANESS	荷兰	88	Mono HyD2	美国	128	月撒布	日本
49	ZWAANESSI	荷兰	89	Mono HyE1	美国	129	JV819	日本
50	ZWAANESS III	荷兰	90	Mono HyE2	美国	130	T1007	日本
51	Gro	荷兰	91	Mono HyE4	美国	131	本育 192	日本
52	Nemee (红)	荷兰	92	84121-00	美国	132	本育 390	日本
53	Hilleshoegs	荷兰	93	Inbned	美国	133	本育 400	日本
54	880261	荷兰	94	BGRC 16135	美国	134	合成二号	日本
55	880263	荷兰	95	GW62 丰	美国	135	キタマサリ	日本
56	ALba	荷兰	96	РамоНска я 632	俄罗斯	136	本育 401	日本
57	Kuhup	荷兰	97	РамоНска я 1537	俄罗斯	137	Mono Hope	日本
58	868877	荷兰	98	первомайская 475	俄罗斯	138	单粒光	日本
59	870842	荷兰	99	Фрунедя786	俄罗斯	139	本育 398-1	日本
60	880267	荷兰	100	РамоНска я 06	俄罗斯	140	本育 401 (X)	日本
61	880274 (红)	荷兰	101	В. ЛскаЯ-031	俄罗斯	141	Hilleshog4200	瑞典
62	880276	荷兰	102	C1	俄罗斯	142	Mono DoRo	瑞典
63	880277	荷兰	103	苏联种	俄罗斯	143	Hilleshog4209 (D)	瑞典
64	DUTCH (D)	荷兰	104	A2	俄罗斯	144	Nomo " ms"	瑞典
65	880266	荷兰	105	C2	俄罗斯	145	Nomo" o"	瑞典
66	Cremono	荷兰	106	USSR	俄罗斯	146	Carina	瑞典
67	Nemee	荷兰	107	M2	俄罗斯	147	Primahill	瑞典
68	880260	荷兰	108	ТДО	俄罗斯	148	Marika	瑞典
69	880279	荷兰	109	БНЙскаЯ541	俄罗斯	149	ZUMO	瑞典
70	GW49	美国	110	Верхняцкая 020	俄罗斯	150	Regina	瑞典
71	Mono Hy6	美国	111	Верхняцкая 023	俄罗斯	151	H. polyploid (D)	瑞典
72	GW64	美国	112	Л-BNP 杂种	俄罗斯	152	Primahill" o"	瑞典
73	Holly Hybrid22	美国	113	уладовская 752	俄罗斯	153	Primahill" ms"	瑞典
74	US200x215	美国	114	РамоНска я 023	俄罗斯	154	Beta 242C	匈牙利
75	GW2	美国	115	Я. скаЯ 116	俄罗斯	155	Beta c242/53	匈牙利
76	FC701	美国	116	УкраНа	俄罗斯	156	BetaC 242/53/27	匈牙利
77	70103	美国	117	РамоНска я 931	俄罗斯	157	Beta c	匈牙利
78	GW674	美国	118	Урадовская1030	俄罗斯	158	Betay-19	匈牙利
79	S-P-L-1-800 (D)	美国	119	Первомайская 028	俄罗斯	159	Daunbia-E	匈牙利

表 1(续)

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin	序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源国 Origin
160	Beta c242/D	匈牙利	190	顺天根	中国	220	15/85-41/89	中国
161	Betapoly/102	匈牙利	191	双丰十号	中国	221	15/85-89/89	中国
162	Beta K91	匈牙利	192	六八六-14	中国	222	22/85-16/89	中国
163	SB236	比利时	193	玛拉斯白色(D)	中国	223	22/85-47/89	中国
164	RIEOR	比利时	194	昌七	中国	224	25/85-55/89	中国
165	SB14623	比利时	195	晋甜三号	中国	225	64A	中国
166	S912	比利时	196	双丰三号	中国	226	64B	中国
167	S913	比利时	197	双丰八号	中国	227	735A	中国
168	S914	比利时	198	六八六-06	中国	228	735B	中国
169	S915	比利时	199	呼兰二号	中国	229	484-3784	中国
170	SB243	比利时	200	晋甜二号	中国	230	US-8916	中国
171	Refer-N	法国	201	呼兰九号	中国	231	162-1128	中国
172	Refer-z	法国	202	范 29-7	中国	232	4-8-9007	中国
173	Refer-zz	法国	203	7412/82 3-3	中国	233	CT34-洮	中国
174	法国甜菜 059	法国	204	林甸白家甜菜	中国	234	六八六优	中国
175	Monoval	法国	205	系选六号	中国	235	7301/83-1	中国
176	Refer-E	法国	206	780024B	中国	236	7412/合	中国
177	5256Type	丹麦	207	甜 402	中国	237	7501A/BCE	中国
178	5030Type-E	丹麦	208	甜 405	中国	238	78005A	中国
179	丹麦 061	丹麦	209	甜 408	中国	239	78006A	中国
180	Maribmagnamono	丹麦	210	742 新选系	中国	240	780016B/16	中国
181	5030TypE(x)	丹麦	211	8803	中国	241	780020B/3	中国
182	范 443-12	中国	212	河套种	中国	242	780020B/10	中国
183	林甸红大个	中国	213	87-83	中国	243	780024A/合	中国
184	延寿中和公社	中国	214	新农 II	中国	244	780027	中国
185	丰光	中国	215	X3	中国	245	780029A	中国
186	甜研三号	中国	216	2/85-65/89	中国	246	82005X7	中国
187	甜研四号	中国	217	5/85-13/89	中国	247	8206/8	中国
188	晋甜一号	中国	218	8/86-81/90	中国			
189	范 22	中国	219	12/85-14/89	中国			

1.2 试验设计

试验在黑龙江大学呼兰实验基地进行,田间设计采用随机区组排列,2 行区,3 次重复。行长 10 m,行距为 0.67 m,株距 0.25 m。前茬为黄豆,秋翻秋打垄,播前喷灌,4 月 26 日播种,每穴播 10~15 粒种子,施种肥磷酸二铵 215 kg/hm²。1 对真叶时疏苗,3~4 对真叶间苗,5 对真叶定苗,生育期间及时防治病虫害。

1.3 试验方法

选用 16 个描述型性状(株型、子叶大小、下胚轴

色、叶形、叶色、叶柄宽、叶柄长、叶丛型、根型、根头大小、根沟深浅、根皮光滑度、根肉色、肉质粗细、生长势、经济类型),10 个数值型性状(叶片数、维管束环、幼苗百株重、结实密度、根产量、含糖量、产糖量、钾含量、钠含量以及 α -氮含量)分析甜菜的表型遗传多样性。试验材料的描述型性状于 2014-2016 年观测和测定,对每份材料描述型性状重复观测 10 次,数值型性状为 2015 年、2016 年 2 年的平均值,调查标准参照《甜菜种质资源描述规范和数据标准》^[17]进行观测和测定,按其标准分级赋值(表 2)。

表 2 国内外甜菜描述型性状的频率分布及多样性指数

Table 2 Diversity index and frequency distribution of descriptive characteristics in sugar beet all over the world

性状 Trait	性状描述(频率分布) Characters description(Ratio of distribution)								遗传多样性 指数 H'
	1	2	3	4	5	6	7	8	
株型 Plant type	单茎型 (0.2955)	多茎型 (0.4251)	混合型 (0.2794)						1.0801
子叶大小 Cotyledon size	小 (0.2672)	中 (0.3320)	大 (0.4008)						1.0852
下胚轴色 Hypocotyl colour	绿 (0.0607)	红 (0.1417)	混 (0.7976)						0.6274
叶形 Leaf shape	犁铧形 (0.8381)	舌形 (0.1417)	圆扇形 (0.0202)	柳叶形 (0)	戟形 (0)	披针形 (0)	箭形 (0)		0.5039
叶色 Leaf colour	淡绿 (0.1660)	绿 (0.6518)	浓绿 (0.1781)	黄绿 (0)	粉红 (0)	红 (0)	紫红 (0)		0.8844
叶柄宽 Petiole width	窄 (0.0567)	中 (0.6235)	宽 (0.3198)						0.8218
叶柄长 Petiole length	短 (0.1336)	中 (0.5628)	长 (0.3036)						0.9544
叶丛型 Fascicled leaves type	直立型 (0.1174)	斜立型 (0.8259)	匍匐型 (0.0567)						0.5722
根型 Root shape	圆锥形 (0.6356)	楔形 (0.1862)	纺锤形 (0.1741)	近圆形 (0.0040)					0.9277
根头大小 Crown size	小 (0.3482)	中 (0.2591)	大 (0.3927)						1.0843
根沟深浅 Root groove depth	不明显 (0.0405)	浅 (0.5668)	深 (0.3927)						0.8187
根皮光滑度 Skin roughness	光滑 (0.7247)	较光滑 (0.1538)	不光滑 (0.1215)						0.7774
根肉色 Flesh colour	白 (0.8381)	浅黄 (0.1538)	粉红 (0.0040)	红 (0.0040)					0.4806
肉质粗细 Flesh coarseness	细 (0.7935)	中 (0.0162)	粗 (0.19030)						0.5660
生长势 Growth vigour	旺 (0.0769)	较旺 (0.2105)	中 (0.2915)	较弱 (0.2713)	弱 (0.1498)				1.5230
经济类型 Economy type	丰产型 (0.1012)	标准型 (0.2105)	高糖型 (0.0243)	超高糖型 (0.0243)	丰产兼高糖型 (0.0162)	标准偏丰产型 (0.1093)	标准偏高糖型 (0.0810)	低产低糖型 (0.4332)	1.0651

计算公式为: $H' = -\sum P_i \ln P_i$, 式中 P_i 为某性状第 i 级内材料份数占总份数的百分比, \ln 为自然对数, 聚类分析运用软件 SPSS 22.0, 对描述性性状采用系统聚类组间聚合的方法进行聚类, 为便于数量化和统计分析, 数值要进行标准化转换 (Z 得分), 描述型性状要予以赋值。

2 结果与分析

2.1 甜菜种质资源描述型性状的多样性分析

由表 2 可以看出, 在供鉴定的甜菜种质中, 来自不同国家的不同种质中描述型性状变化范围较大, 不同的描述型性状在不同材料间也表现出了不同程度的多样性。株型以多茎型为主, 子叶大小以大子叶为主, 下胚轴色以混合色为主, 叶型以犁铧形为主, 叶色以绿色为主, 叶柄宽以中宽为主, 叶柄长以中长为主, 叶丛型以斜立型为主, 根型在 4 种类型中均有分布但以圆锥形居多, 根头大小分布较为均匀, 根沟少数不明显, 根皮以光滑为主, 根肉色在 4 个级别均有分布但以白色居多, 肉质以细为主, 生长势在 5 个级别均有分布且分布相对均匀, 经济类型是描述型性状中多样性最丰富的性状, 共有 8 种类型, 且本研究材料在 8 种类型中均有分布。

从调查的 16 个描述型性状可以看出不同性状遗传多样性水平有所不同, 其多样性指数在 0.4806 ~ 1.5230 之间, 平均值为 0.8608, 其中根肉色多样性指

数最小, 生长势的多样性指数最大, 多样性指数从小到大排列依次为根肉色 (0.4806) < 叶形 (0.5039) < 肉质粗细 (0.5660) < 叶丛型 (0.5722) < 下胚轴色 (0.6274) < 根皮光滑度 (0.7774) < 根沟深浅 (0.8187) < 叶柄宽 (0.8218) < 叶色 (0.8844) < 根型 (0.9277) < 叶柄长 (0.9544) < 经济类型 (1.0651) < 株型 (1.0801) < 根头大小 (1.0843) < 子叶大小 (1.0852) < 生长势 (1.5230)。

2.2 甜菜种质资源数值型性状的遗传变异

从表 3 可以看出, 国内外甜菜种质资源数值型性状具有一系列差异, 10 个数值型性状的变异系数在 1.29% ~ 7.08% 之间, 平均为 3.57%, α -氮含量最小, 叶片数最大, 变异程度大小依次为叶片数 (7.08) > 结实密度 (5.91) > 维管束环 (5.18) > 含糖量 (5.15) > 幼苗百株 (2.98) > 根产量 (2.09) > 钾含量 (2.07) > 钠含量 (2.06) > 产糖量 (1.91) > α -氮含量 (1.29)。10 个数值型性状的变异幅度也相对较大, 叶片数为 20.50 ~ 49.20, 维管束环为 4 ~ 11, 幼苗百株重为 360 ~ 2400 g, 结实密度为 11.30 ~ 35.70 10^{-1} 粒/cm, 根产量为 2946.97 ~ 51068.18 kg/hm^2 , 含糖量为 2.26% ~ 20.24%, 产糖量为 194.50 ~ 9473.15 kg/hm^2 , 钾含量为 0.87 ~ 10.42 10^{-2} meq/cm, 钠含量为 0.17 ~ 11.18 10^{-2} meq/cm, α -氮含量为 0.05 ~ 8.43 10^{-2} meq/cm。本研究所用材料来源不同国家, 所以变异范围较大, 多样性较丰富。

表 3 国内外甜菜资源数值型性状统计分析

Table 3 Statistical analysis of numerical characteristics in world sugar beet germplasm

性状 Trait	最小值 Min.	最大值 Max.	变异幅度 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV
叶片数 Leaf number	20.50	49.20	28.70	36.06	5.09	7.08
维管束环数 Ring number of Bundle	4.00	11.00	7.00	7.02	1.36	5.18
幼苗百株重 (g) 100-seed-lights weight	360.00	2400.00	2040.00	866.78	290.94	2.98
结实密度 (10^{-1} 粒/cm) Density of seed setting	11.30	35.70	24.40	20.98	3.55	5.91
根产量 (kg/hm^2) Root yield	2946.97	51068.18	48121.21	18892.11	9044.51	2.09
含糖量 (%) Sugar content	2.26	20.24	17.98	14.46	2.81	5.15
产糖量 (kg/hm^2) Sugar yield	194.50	9473.15	9278.65	2753.66	1439.98	1.91

表 3(续)

性状 Trait	最小值 Min.	最大值 Max.	变异幅度 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV
钾含量(10^{-2} meq/cm) Potassium content	0.87	10.42	9.55	3.97	1.92	2.07
钠含量(10^{-2} meq/cm) Sodium content	0.17	11.18	11.01	4.39	2.13	2.06
α -氮含量(10^{-2} meq/cm) α -N content	0.05	8.43	8.37	2.24	1.73	1.29

2.3 不同国家甜菜种质资源的表型遗传差异

根据 16 个描述型性状计算不同地区甜菜资源的遗传多样性指数(表 4)表明,同一性状在不同国家之间的遗传多样性指数差异较大。波兰种质资源的株型、子叶大小、根头大小、生长势多样性较为丰富,其中株型多样性在 12 个国家中表现为最大,德国种质资源的子叶大小、生长势和经济类型的多样性较为丰富,其中子叶大小居几个国家中第二;荷兰的叶色、根头大小和经济类型多样性较为丰富,其中叶色多样性居第二,根头大小多样性居首位;美国种质资源的株型、子叶大小、叶柄长、根型、生长势和经济类型多样性均较为丰富,其中根型多样性居首位;俄罗斯种质资源的株型、子叶大小和生长势多样性较为丰富,其中株型与荷兰同为首位,生长势居第二;日本种质资源的根头大小、生长势和经济类型多

样性较为丰富,其中经济类型多样性居第二;瑞典种质资源的株型、子叶大小、叶色、叶柄宽、生长势和经济类型多样性均较为丰富,其中叶色居首位;匈牙利种质资源的子叶大小、叶柄长、根皮光滑度和生长势多样性较为丰富,其中子叶大小和叶柄长多样性均居首位;比利时和法国种质资源较其他国家相比丰富性较差,丹麦种质资源的叶柄宽居首位,中国种质资源的生长势和经济类型多样性居 12 个国家的首位。从 16 个描述型性状多样性总体看,中国种质资源多样性最为丰富,比利时多样性指数较小,遗传多样性较低,其他国家依次为荷兰(0.8651) > 美国(0.8284) > 瑞典(0.7921) > 日本(0.7851) > 德国(0.7638) > 匈牙利(0.7587) > 波兰(0.7383) > 俄罗斯(0.7319) > 丹麦(0.6324) > 法国(0.5694)。

表 4 不同国家甜菜资源 16 个描述型性状多样性指数

Table 4 Genetic diversity index of 16 descriptive characteristics of sugar beet germplasm in different countries

性状 Trait	波兰 Poland	德国 Germany	荷兰 Netherlands	美国 America	俄罗斯 Russia	日本 Japan	瑞典 Sweden	匈牙利 Hungary	比利时 Belgium	法国 France	丹麦 Denmark	中国 China
株型 Plant type	1.0974	0.9933	0.9957	1.0382	1.0974	0.9718	1.0579	0.8487	1.0822	0.8676	0.9503	0.9774
子叶大小 Cotyledon size	1.0110	1.0959	0.9957	1.0695	1.0190	0.6775	1.0928	1.0986	0.9003	1.0114	0.9503	0.8750
下胚轴色 Hypocotyl colour	0.4101	0.8247	0.9302	0.1630	0.4087	0.4438	0.4293	0.5297	0.5623	0.0000	0.0000	0.6905
叶形 Leaf shape	0.5196	0.3365	0.3983	0.6172	0.1541	0.5456	0.4293	0.3488	0.0000	0.6365	0.5004	0.5273
叶色 Leaf colour	0.9002	0.8092	1.0098	0.8828	0.7119	0.9587	1.0734	0.9650	0.7356	0.4506	0.0000	0.8158
叶柄宽 Petiole width	0.7679	0.6581	0.7925	0.8819	0.8488	0.3622	1.0123	0.5297	0.6931	0.6365	1.0549	0.8261

表 4(续)

性状 Trait	波兰 Poland	德国 Germany	荷兰 Netherlands	美国 America	俄罗斯 Russia	日本 Japan	瑞典 Sweden	匈牙利 Hungary	比利时 Belgium	法国 France	丹麦 Denmark	中国 China
叶柄长 Petiole length	0.6518	0.9097	0.9576	1.0411	0.7963	0.9560	1.0579	1.0609	0.5623	0.0000	0.6730	0.9474
叶丛型 Fascicled leaves type	0.4087	0.4095	0.1849	0.7436	0.4904	0.6779	0.0000	0.6837	0.3768	0.4506	0.5004	0.5705
根型 Root shape	0.9740	0.6330	0.8368	1.0928	0.7119	0.7530	0.4293	0.3488	0.0000	0.6931	0.5004	0.9880
根头大小 Crown size	1.0898	0.9551	1.0901	0.9012	1.0607	1.0551	1.0101	1.0609	0.9003	1.0114	0.6730	1.0894
根沟深浅 Root groove depth	0.0357	0.9551	0.9302	0.8226	0.5983	0.6914	1.0123	0.5297	0.9003	0.6931	0.6730	0.6596
根皮光滑度 Skin roughness	0.7119	0.4095	0.9576	0.4311	0.8993	0.5783	0.6871	1.0609	0.0000	0.6365	0.6730	0.7804
根肉色 Flesh colour	0.5623	0.3365	0.8789	0.5402	0.3405	0.5456	0.2712	0.3488	0.0000	0.0000	0.6730	0.3382
肉质粗细 Flesh coarseness	0.7059	0.5367	0.4851	0.4896	0.4101	0.7530	0.5402	0.6870	0.0000	0.0000	0.6730	0.4741
生长势 Growth vigour	1.0901	1.1631	1.0729	1.0411	1.4301	1.1961	1.2659	1.4271	0.3768	1.0114	0.6730	1.5888
经济类型 Economy type	0.8765	1.1943	1.3250	1.4978	0.7331	1.3955	1.3039	0.6103	0.9003	1.0114	0.9503	1.7183
平均值 Mean	0.7383	0.7638	0.8651	0.8284	0.7319	0.7851	0.7921	0.7587	0.4994	0.5694	0.6324	0.8667

表 5 可知不同国家数值型性状平均值有一定差异,比利时的叶片数、维管束环、结实密度为几个国家中的最大,丹麦的幼苗百株重、钾含量在几个国家中表现最好,中国的含糖量、根产量、产糖量为几个国家中最高,法国的钠含量在几个国家中最高,俄罗斯的 α -氮含量在几个国家中最高,变异系数可代表不同国家种质资源在各个数值型性状的多样程度,12个国家10个数值型性状变异系数的平均值为比利时(5.64%)>俄罗斯(4.77%)>波兰(4.52%)>丹麦(4.43%)>美国(4.25%)>日本(4.21%)>荷兰(4.21%)>法国(4.01%)>德国(3.96%)>匈牙利(3.92%)>中国(3.83%)>瑞典(3.71%)

2.4 不同国家甜菜种质资源的表型聚类分析

根据 16 个描述型性状和 10 个数值型性状对来自 12 个国家的 247 份材料进行了聚类分析(表 6),在遗传距离为 7.5 时可把材料分为 5 类,每个国家在 5 个分类中所占的比例均不同,说明在世界范围内甜菜遗传基础较为宽泛,其中第 IV 类包含了除比利时外的国家的大多数材料,其中波兰、美国、日本、匈牙利、法国、丹麦 50% 以上的材料都归

到此类,说明在甜菜种质资源利用过程中这 6 个国家进行了互相利用。波兰、德国、中国在分类中 5 个类群均有分布,说明这 3 个国家的种质资源遗传基础较为丰富。

2.5 不同国家甜菜种质资源鉴定综合评价

根据《甜菜种质资源描述规范和数据标准》,对来自 12 个国家的 247 份材料通过综合鉴定评价,鉴定出丰产资源 15 份,其中波兰 1 份为 Ajpolycama,德国 1 份为 1169,荷兰 1 份为 Gro,美国 1 份为 70103,日本 2 份为 Mono Hope、本育 401(X),瑞典 2 份为 Marika、ZUMO,中国 7 份为 742 新选系、8803、87-83、5/85-13/89、8/86-81/90、12/85-14/89 和 15/85-41/89。鉴定出高糖资源 15 份,其中波兰 3 份为 A. janasz-Aj1、Udycz-AB 和 Polanowice-N,荷兰 2 份为 Kuhup、880279,美国 2 份为 GW65、Mono HyE1,日本 1 份为本育 400,瑞典 2 份为 Hilleshog4200、Hilleshog4209(D),丹麦 1 份为丹麦 061,中国 4 份为双丰十号、六八六-14、晋甜三号和甜 408。以上材料可在育种中做为品种产量改良及提高含糖率的亲本材料,同时也为甜菜种质资源创新提供了良好的材料。

表5 不同国家种质资源数值型性状的平均数和变异系数

Table 5 Average and variation coefficient of numerical characteristic in different countries

材料来源 Genotype origin	统计参数 Statistic parameters	变异系数 Mean of coefficient variation	叶片数 Leaf number	维管束 环数 Ring number of bundle	幼苗百 株重(g) 100-seed- lights weight	结实 密度 (10 ⁻¹ 粒/cm) Density of seed setting	含糖量 (%) Sugar content	钾含量 (10 ⁻²) meq/cm Potassium content	钠含量 (10 ⁻²) meq/cm Sodium content	α-氮含 量 10 ⁻² α-N content	根产量 (kg/hm ²) Root yield	产糖量 (kg/hm ²) Sugar yield
波兰 Poland	平均数 Mean	—	35.53	6.61	815.57	20.60	14.78	3.62	5.09	2.25	15645.23	2279.87
	变异系数 (%)CV	4.52	10.36	4.27	3.51	5.09	9.51	2.77	2.39	1.27	2.89	3.20
德国 Germany	平均数 Mean	—	37.56	7.05	856.84	21.77	12.75	4.10	4.64	2.18	19641.15	2611.99
	变异系数 (%)CV	3.96	6.97	7.27	4.15	5.77	4.87	3.26	2.15	1.27	2.16	1.71
荷兰 Netherlands	平均数 Mean	—	37.77	7.91	984.44	21.60	12.45	4.53	4.58	2.08	20980.68	2717.24
	变异系数 (%)CV	4.21	8.14	9.11	2.80	6.90	4.21	2.94	2.87	1.34	2.00	1.80
美国 America	平均数 Mean	—	34.83	6.46	747.38	21.00	15.31	3.25	4.59	1.99	15200.27	2332.15
	变异系数 (%)CV	4.25	7.75	4.64	3.98	4.60	8.61	2.84	2.13	1.68	3.46	2.83
俄罗斯 Russia	平均数 Mean	—	36.84	6.86	986.00	19.91	13.80	3.53	5.13	2.61	15620.33	2124.15
	变异系数 (%)CV	4.77	7.16	5.67	5.05	6.66	9.10	3.51	3.63	1.26	2.76	2.93
日本 Japan	平均数 Mean	—	35.69	6.47	855.06	20.53	14.96	3.58	5.11	2.27	18807.41	2761.32
	变异系数 (%)CV	4.21	7.13	6.42	2.65	6.30	9.70	1.95	2.16	1.70	1.97	2.18
瑞典 Sweden	平均数 Mean	—	37.47	7.69	1096.23	21.76	10.49	3.60	4.61	1.32	19581.52	2442.81
	变异系数 (%)CV	3.71	7.09	9.00	2.27	8.35	1.95	2.07	2.65	1.04	1.61	1.11
匈牙利 Hungary	平均数 Mean	—	36.03	7.44	877.00	21.49	14.40	4.20	5.25	1.65	16209.69	2428.78
	变异系数 (%)CV	3.92	9.44	7.34	5.56	4.75	3.48	1.53	3.05	1.09	1.58	1.41
比利时 Belgium	平均数 Mean	—	39.60	8.13	949.00	23.48	13.59	4.39	4.75	1.99	21334.89	2920.71
	变异系数 (%)CV	5.64	7.21	12.68	4.30	5.53	10.90	3.96	3.26	1.89	3.58	3.07
法国 France	平均数 Mean	—	36.32	6.00	844.50	19.15	14.55	3.96	6.23	1.65	14861.74	2098.86
	变异系数 (%)CV	4.01	4.54	5.48	5.35	3.25	7.50	2.94	1.46	1.55	2.99	5.02
丹麦 Denmark	平均数 Mean	—	37.74	6.80	1174.60	19.50	14.74	4.64	5.89	2.08	18365.55	2682.73
	变异系数 (%)CV	4.43	8.44	8.13	1.71	12.43	5.25	1.43	2.73	1.40	1.39	1.38
中国 China	平均数 Mean	—	34.68	7.12	773.77	21.03	16.16	4.41	2.89	2.58	22563.60	3588.90
	变异系数 (%)CV	3.83	6.32	4.52	3.06	7.20	8.10	1.66	1.74	1.25	2.19	2.21

表 6 12 个国家种质资源材料聚类结果

Table 6 Clustering analysis of all germplasm resources from 12 countries

来源 Origin	材料份数 No. of genotype	种质类群 Germplasms groups									
		I	占比(%) Proportion	II	占比(%) Proportion	III	占比(%) Proportion	IV	占比(%) Proportion	V	占比(%) Proportion
波兰 Poland	28	1	3.57	2	7.14	3	10.71	21	75.00	1	3.57
德国 Germany	19	5	26.32	4	21.05	6	31.58	4	21.05	1	5.26
荷兰 Netherlands	22	4	18.18	5	22.73	10	45.45	2	9.09		
美国 America	26	1	3.85	3	11.54			22	84.62		
俄罗斯 Russia	28			6	21.43	10	35.71	12	42.86		
日本 Japan	17			4	23.53	6	35.29	12	70.59	1	5.88
瑞典 Sweden	13	1	7.69	4	30.77			1	7.69	1	7.69
匈牙利 Hungary	9			1	11.11	1	11.11	5	55.56	1	11.11
比利时 Belgium	8	2	25.00	4	50.00	3	37.50				
法国 France	6			1	16.67			4	66.67		
丹麦 Denmark	5					1	20.00	4	80.00	1	20.00
中国 China	66	18	27.27	2	3.03	5	7.58	26	39.39	15	22.73

3 讨论

种质资源遗传多样性主要指群体内个体间基因组成的差异,不仅是生物进化和育种工作的基础更是生物多样性的核心和重要组成部分,种质资源遗传多样性的丰富程度对品种改良、新品种选育有着直接的作用^[18]。表型性状具有稳定性和变异性,是植物基因型和所处生态环境的综合体现,因此表型变异已成为遗传多样性研究的重要内容,通过表型变异可以简便、经济地对遗传资源做出评价,因此很多研究都在此方面对不同作物进行了分析和评价^[19-25]。

3.1 甜菜种质资源表型性状的遗传差异

本研究选用 16 个描述型性状及 10 个数值型性状对来自 12 个国家的 247 份甜菜种质资源遗传多样性进行了分析,16 个描述型性状均表现出不同程度的遗传差异,其中株型、子叶大小、下胚轴色、叶形、叶色、叶柄宽、叶柄长、叶丛型、根头大小、根沟深浅、根皮光滑度、肉质粗细 12 个描述性状分别有 3 种表现型;根型、根肉色分别有 2 种类型;生长势有 5 种类型;经济类型有 8 种类型;除叶形和叶色外其他 14 个描述型性状在其所描述特征上均有分布,说明各个国家甜菜表型性状遗传变异较为丰富。对 16 个描述型性状的多样性指数分别进行测定发现多样性指数在 0.4806 ~ 1.5230 之间,平均值为

0.8608,其中根肉色多样性指数最小,生长势的多样性指数最大,由此可以看出,利用现有种质资源,根据表型性状特征对甜菜叶部、根部性状进行改良具有重要意义,同时新品种选育有赖于优良基因发现和利用,并且可根据现有种质创新和拓宽新种质,可为不同育种目标提供种质基础^[20-21],来自不同国家的甜菜种质资源在表型性状上遗传差异较大,在其他作物中已有报道,但对于甜菜种质资源表型多样性研究中报道较少。

3.2 国内外甜菜种质资源遗传多样性评价

本研究对不同国家的不同描述型性状的多样性进行了统计,研究表明,波兰种质资源株型多样性在 12 个国家中表现为最大,所以在株型性状改良时可引进波兰种质;荷兰种质资源的根头大小多样性居首位,所以可以选用荷兰种质资源作亲本进行大根头品种的选育;美国种质资源根型多样性居首位,在根型种质创新中可以引进美国种质资源;俄罗斯种质资源的株型多样性与荷兰同为首位,所以在甜菜株型改造中可以引用俄罗斯种质资源,同时荷兰种质资源的根头大小多样性也居几个国家首位,所以在同时改进根头大小和株型时可优先选用荷兰种质。瑞典种质资源叶色居首位,匈牙利种质资源子叶大小和叶柄长多样性均居首位,叶片质量包括叶片大小、厚薄,叶片的形状,叶柄长短以及叶色都

是影响叶片的光合能力的因素,所以在改良甜菜叶部性状时可优先选用瑞典和匈牙利资源。中国种质资源的生长势和经济类型多样性居 12 个国家的首位,生长势和经济类型是甜菜产量和含糖率重要的影响因素,因此我国甜菜种质资源在产糖量方面有着很高优势,要尽量保存优势。评价国内外甜菜种质资源的遗传多样性,有利于弥补我国种质资源某些性状的不足,对丰富中国甜菜种质资源和及时调整育种策略具有重要的意义^[26]。

3.3 甜菜种质资源遗传多样性分布

本研究还根据 16 个描述型性状和 10 个数值型性状对来自 12 个国家的 247 份材料进行了聚类分析,在阈值为 7.5 时可把材料分为 5 个类群,其中波兰、美国、日本、匈牙利、法国、丹麦 50% 以上的材料都归第 IV 类群。就此情况崔艳华等^[27]认为不同来源的品种资源种植在同一环境条件下,有些品种性状上可能出现具有相似的综合生态适应反应,或者尽管地理上相距较遥远但是资源材料产地的生态条件相似,即不同地区的材料聚类呈现一定的地理分布规律,致使来自不同地方的材料因生态条件相似而聚在了一类。本研究出现不同国家材料归为一类,不排除崔艳华等^[27]所述的可能性,但也不能排除在甜菜种质资源利用的过程中这 6 个国家进行了互相利用。

通过表型性状的遗传多样性及聚类分析,虽然可以将不同国家的甜菜资源进行分类进而在育种中应用,但是为了更好、更细致地分类,在今后的研究过程中还应对现有种质资源进行分子鉴定,将表型和分子进行结合研究。

参考文献

- [1] Peleman J D, Jeroen Rouppe V D V. Breeding by design[J]. *Trend Plant Sci*, 2003, 8(7): 330-334
- [2] Simões W L, Yuri J E, Guimarães M J M, et al. Beet cultivation with saline effluent from fish farming[J]. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 2016, 20(1): 62-66
- [3] 兴旺,潘荣,崔平. 甜菜种质资源叶部性状多样性及聚类分析[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(30): 155-161
- [4] 黎裕,李英慧,杨庆文,等. 基于基因组学的作物种质资源研究:现状与展望[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(17): 3333-3353
- [5] 陈雪燕,王亚娟,雒景吾,等. 陕西省小麦地方品种主要性状的遗传多样性研究[J]. *麦类作物学报*, 2007, 27(3): 456-460
- [6] Kumar J, Agrawal V. Analysis of genetic diversity and population genetic structure in *Simarouba glauca* DC. (an important bio-energy crop) employing ISSR and SRAP markers[J]. *Ind Crop Prod*, 2017, 100: 198-207
- [7] Liu Z, Li J, Fan X, et al. Assessing the numbers of SNPs needed to establish molecular IDs and characterize the genetic diversity of soybean cultivars derived from *Tokachi nagaha* [J]. *Crop J*, 2017, 5(4): 326-336
- [8] 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
- [9] Ni J, Colowit P M, Mackill D J. Evaluation of genetic diversity in rice subspecies using microsatellite markers[J]. *Crop Sci*, 2002, 42(2): 601-607
- [10] Marka M. Genetic diversity and improvement of contemporary proprietary north American dent corn[J]. *Crop Sci*, 2008, 48(5): 1686-1695
- [11] Huang Q, Börner A, Röder S, et al. Assessing genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm using microsatellite markers[J]. *Theor Appl Genet*, 2002, 105(5): 699-707
- [12] 唐君,周志林,赵冬兰,等. 76 份特用甘薯种质资源的鉴定评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(2): 195-200
- [13] 陈新,吴斌,张宗文. 燕麦种质资源重要农艺性状适应性和稳定性评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(4): 577-585
- [14] 蓬桂华,张爱民,苏丹,等. 93 份贵州地方辣椒资源品质性状分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(3): 429-435
- [15] 宫慧慧,赵逢涛,裴伟,等. 芝麻种质资源及相关分子生物学研究进展[J]. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(3): 517-522
- [16] 祁建民,梁景霞,陈美霞,等. 应用 ISSR 与 SRAP 分析烟草种质资源遗传多样性及遗传演化关系[J]. *作物学报*, 2012, 38(8): 1425-1434
- [17] 崔平. 甜菜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社, 2006: 49-85
- [18] 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
- [19] 曾列先,陈深,杨健源,等. 国际水稻白叶枯病菌种质资源在华南的抗性评价和利用[J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(5): 930-935
- [20] 蒋会兵,宋维希,矣兵,等. 云南茶树种质资源的表型遗传多样性[J]. *作物学报*, 2013, 39(11): 2000-2008
- [21] 李秀,徐坤,巩彪. 生姜种质遗传多样性和亲缘关系的 SRAP 分析[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(4): 718-726
- [22] 苏龙,徐志健,乔卫华,等. 广西药用野生稻遗传多样性分析及 SSR 引物数量对遗传多样性结果的影响研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(4): 603-610
- [23] 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
- [24] 杨永,王豪杰,张学军,等. 新疆甜瓜地方种质资源遗传多样性的 SRAP 分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(3): 436-448
- [25] 郭丽芬,张跃,徐宁生,等. 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
- [26] Cheng D Y, Yu Y, Kitazaki K, et al. Mitochondrial genome diversity in *Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*, (Leaf and Garden Beet Groups) and its implications concerning the dissemination of the crop[J]. *Genet Res Crop Evol*, 2011, 58(4): 553-560
- [27] 崔艳华,邱丽娟,常汝镇,等. 黄淮夏大豆遗传多样性分析[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(1): 15-22