

糖用甜菜种质资源多样性分析

王良^{1,3}, 付增娟^{1,3}, 张自强^{1,3}, 赵尚敏^{1,3}, 鄂圆圆^{1,3}, 张惠忠^{1,3}, 白晨^{1,3},
李晓东^{2,3}, 郑文哲^{1,3}, 张辉^{1,3}, 张必周^{1,3}, 韩平安^{2,3}

(¹内蒙古自治区农牧业科学院特色作物研究所, 呼和浩特 010030; ²内蒙古自治区农牧业科学院生物技术研究所, 呼和浩特 010030; ³内蒙古自治区甜菜品种遗传改良与种质创制重点实验室, 呼和浩特 010030)

摘要: 为探明现有国内甜菜种质资源材料和国外引进资源材料的主要农艺性状的遗传多样性, 本研究对679份国内外甜菜种质资源材料的12个农艺性状进行了遗传多样性分析。结果表明, 9个描述型农艺性状的遗传多样性指数在0.5876~1.4250之间。3个数值型农艺性状变异系数在33.96%~50.33%之间, 其中块根产量和蔗糖含量极差最大的材料均来自中国内蒙古, 块根产量变异系数最大的材料来自荷兰安地公司, 蔗糖含量变异系数最大的材料来自法国。在产糖量方面, 变异系数最高和极差最大的是英国莱恩公司引进的资源材料。聚类分析结果表明, 679份材料可以分为4个类群, 类群I主要表现为叶丛斜立, 类群II有较高的蔗糖含量, 类群III产糖量最高, 类群IV的经济类型主要表现为低产低糖型。经过种质资源鉴定和综合评价, 在679份材料中鉴定出超高糖型材料6份, 高糖型材料2份, 丰产型材料138份, 标准型材料39份, 丰产兼高糖型材料1份, 标准偏丰产型材料3份, 标准偏高糖型材料3份, 低产低糖型材料223份。

关键词: 糖用甜菜; 种质资源; 农艺性状

Diversity Analysis of Sugar Beet Germplasm Resources

WANG Liang^{1,3}, FU Zengjuan^{1,3}, ZHANG Ziqiang^{1,3}, ZHAO Shangmin^{1,3}, E Yuanyuan^{1,3}, ZHANG Huizhong^{1,3},
BAI Chen^{1,3}, LI Xiaodong^{2,3}, ZHENG Wenzhe^{1,3}, ZHANG Hui^{1,3}, ZHANG Bizhou^{1,3}, HAN Pinan^{2,3}

(¹Special Crops Institute, Inner Mongolia Academy of Agriculture & Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010030;

²Research Institute of Biotechnology, Inner Mongolia Academy of Agriculture & Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010030;

³Inner Mongolia Key Laboratory of Sugarbeet Genetics & Germplasm Enhancement, Hohhot 010030)

Abstract: To explore the genetic diversity of key agronomic traits of domestic and imported sugar beet germplasm resources, a genetic diversity analysis of 12 agronomic traits in 679 accessions was conducted in this study. The results showed that the nine descriptive agronomic traits exhibited genetic diversity ranging from 0.5876 to 1.4250. The coefficient of variation at the three numerical agronomic traits ranged from 33.96% to 50.33%. The germplasm resources with the most significant range differences in root yield and sucrose content were collected from Inner Mongolia, China. These samples with the highest coefficients of variation in root yield were collected from SES Vander Have, and these samples with the highest coefficients of variation in sucrose content were imported from France. The introduced material from Britain Ryan Company showed the highest coefficient of variation and range in sugar yield. The cluster analysis categorized the 679 materials into four clusters: Group I mainly showed oblique standing margin shape of the leaf, Group II had higher sucrose

收稿日期: 2024-01-31 网络出版日期: 2024-09-12

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240131006>

第一作者研究方向为甜菜遗传育种与种质资源, E-mail: 515009895@qq.com

通信作者: 鄂圆圆, 研究方向为甜菜遗传育种与种质资源, E-mail: 50574081@qq.com

基金项目: 国家糖料产业技术体系(CARS-170110); 内蒙古自治区“揭榜挂帅”项目(2022JBGS0029); 内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0026)

Foundation projects: Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-170110); Inner Mongolia Autonomous Region “The Open Competition Mechanism to Select the Best Candidates” Project (2022JBGS0029); Science and Technology Programme of Inner Mongolia Autonomous Region(2021GG0026)

content, Group III had the highest sugar yield, and Group VI mainly showed the economic type of low yield and low sugar type. Following the identification and comprehensive evaluation of the germplasm resources, a total of 6 super-high-sugar materials, 2 high-sugar materials, 138 high-yield materials, 39 standard materials were identified. One high-yield and high-sugar material, three standard-biased high-yield materials, three standard-biased high-sugar materials, and 223 low-yield and low-sugar materials were identified.

Key words: sugar beet; germplasm resources; agronomic trait

甜菜是我国除甘蔗以外的第二大糖料作物,是我国北方东北、华北、西北三大生态区主要的糖料作物。甜菜种质资源是我国甜菜基础科研和改良育种的重要物质基础^[1-2]。世界各国的甜菜研究机构都在积极地进行甜菜种质资源的收集、保存、繁殖、评价及遗传多样性分析^[3-5]。对甜菜种质资源进行遗传多样性分析和聚类分析的研究,有助于分析种质间亲缘关系和群体结构的组成^[6],同时对拓展甜菜种质基础、引种改良、资源的保护和利用、优异基因的发掘都具有重要意义^[7-8]。

目前,水稻^[9]、小麦^[10]、烟草^[11]、棉花^[12]、马铃薯^[13]等主要经济作物和模式植物在遗传多样性研究方面的报道较多,并且已经从表型研究深入到分子层面。但迄今为止,国内关于甜菜种质资源遗传多样性的研究较少,其主要原因是我国不是甜菜的起源国,我国的甜菜种质资源大部分是在20世纪60-70年代从前苏联和波兰引入,后来也从欧美等国引入了一些^[14]。目前,我国甜菜优异种质资源狭窄,特别是单胚、抗病、丰产等优异种质资源非常匮乏^[15]。

为了解目前我国部分自育种质资源和现有的国外引进品种的遗传特性,确保在甜菜种质资源创新过程中可以有针对性地对不同国家和地区的甜菜种质资源进行利用,以及更好地构建和完善甜菜种质资源库,本研究选择了679份国内外甜菜种质资源,通过对我国自育种质资源以及不同国家引进的甜菜种质资源的描述型性状和数值型性状进行

遗传分析,研究甜菜种质资源遗传多样性及其遗传变异特点,为甜菜新品种创制和繁育、种质资源的收集利用提供支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所用的甜菜种质资源材料由内蒙古自治区农牧业科学院提供,共679份材料,以KWS1197为对照品种。材料包括德国181份(其中科沃施公司66份,斯特儒博公司115份),美国贝塔公司55份,瑞士先正达集团36份,荷兰安地公司135份,丹麦麦瑞博公司72份,英国莱恩公司54份,法国2份,中国内蒙古115份、黑龙江23份、吉林2份、新疆4份(图1,表1)。

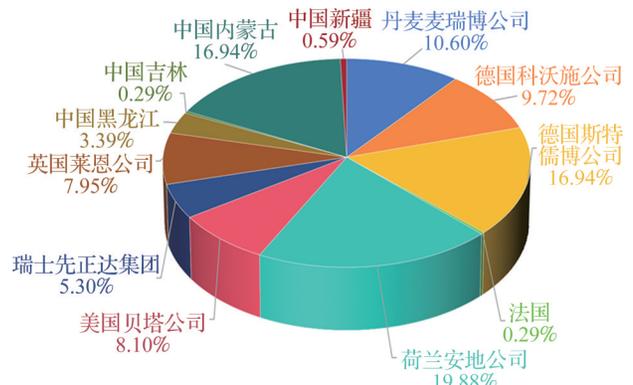


图1 试验材料来源与比率信息

Fig. 1 Source and ratio information of experimental materials

表1 供试的679份甜菜种质资源种质的来源和名称

Table 1 Origin and name of 679 sugarbeet germplasm resources tested

来源 Source	种质名称 Germplasm name							
德国科沃施公司 KWS SAAT SE, Germany	KWS0190	KWS0113	KWS117	KWS0120	KWS0133	KWS0143	KWS0467	KWS0468
	KWS0469	KWS1176	KWS1197	KWS1198	KWS1231	KWS1232	KWS1233	KWS1237
	KWS1478	KWS1479	KWS1480	KWS2287	KWS1214	KWS2323	KWS2463	KWS2479
	KWS3354	KWS3398	KWS3410	KWS3418	KWS3432	KWS3928	KWS3935	KWS4121
	KWS4125	KWS4501	KWS4502	KWS4503	KWS4511	KWS4966	KWS4981	KWS5145
	KWS5436	KWS5440	KWS5599	KWS6167	KWS6661	KWS6693	KWS6694	KWS7106

表 1 (续)

来源 Source	种质名称 Germplasm name							
德国科沃施公司 KWS SAAT SE, Germany	KWS7125	KWS7156	KWS7727	KWS7748	KWS7772	KWS8119	KWS8120	KWS8126
	KWS8412	KWS9143	KWS9145	KWS9146	KWS9147	KWS9148	KWS9149	KWS9440
	KWS9441	KWS9442						
德国斯特儒博公司 STRUBE GmbH & Co.KG, Germany	CN0117	CN0118	CN0217	CN0218	CN0317	CN0417	CN0517	CN0617
	CN0717	CN0817	CN0917	CN1017	CN1117	CN12528	CN1801	CN1802
	CN1803	CN1804	CN1805	CN1806	CN1807	CN1808	CN1809	CN1810
	CN1811	CN1812	N01	N02	N03	N04	N05	N06
	N07	N08	N09	N10	N11	N12	N13	SD12826
	SD12830	SD13092	SD13806	SD13812	SD13829	SD14631	SD21816	ST12024
	ST12101	ST12161	ST12214	ST12237	ST12261	ST12423	ST12514	ST12527
	ST12528	ST12530	ST12542	ST12583	ST12610	ST12614	ST12655	ST12705
	ST12726	ST12792	ST12826	ST12850	ST12937	ST12941	ST13029	ST13039
	ST13092	ST13105	ST13112	ST13130	ST13139	ST13212	ST13429	ST13439
	ST13506	ST13512	ST13529	ST13539	ST13606	ST13778	ST13789	ST13790
	ST13912	ST13929	ST14009	ST14563	ST14650	ST14909	ST14991	ST14992
	ST15140	ST15241	ST15340	ST15381	ST19449	ST21015	ST21016	ST21115
	ST21116	ST21915	ST21916	ST127102	ST127106	ST137117	ST137118	ST147109
	1122	18013	18014					
美国贝塔公司 BETASEED, America	Beta064	Beta065	Beta165	Beta175	Beta176	Beta218	Beta237	Beta240
	Beta311	Beta356	Beta377	Beta378	Beta379	Beta381	Beta382	Beta402
	Beta414	Beta462	Beta463	Beta464	Beta467	Beta468	Beta580	Beta796
	Beta807	Beta812	Beta855	Beta866	Beta957	BTS655	BTS2860	BTS4770
	BTS6680	BTS6990	BTS7105	BTS8125	BTS8126	BTS8430	Beta1651	Beta5041
	Beta5043	Beta5044	Beta5045	Beta5046	Beta6082	Beta6083	BTS6872	B1801
	B1802	B1803	B1804	B1805	B1806	B1807	B1808	
瑞士先正达集团 Syngentagroup, Switzerland	巴士森	HI0024	HI0305	HI0466	HI0474	HI0479	HI0554	HI0555
	HI0556	HI0871	HI0936	HI0937	HI0940	HI0941	HI1003	HI1004
	HI1057	HI1059	HI1063	HI1122	HI1145	HI1177	HI1240	HI1260
	HI1268	HI1355	HI1356	HI1357	HI1381	HI1383	HI1389	HI1420
	HI1442	HI1455	HI1456	RSI1357				
荷兰安地公司 SES Vander Have, Dutch	普莱诺	普瑞宝	瑞玛	ADV0420	AMOS	AS0472	AS0750	AS0788
	AS0905	AS0906	H7IM15	H7IM16	H002	H003	H004	H008
	H809	H5304	IM007	IM802	IM813	IM901	IM902	IM903
	IM904	IM905	IM906	IM1103	IM1104	IM1105	IM1106	IM1107
	IM1108	IM1109	IM1112	IM1113	IM1128	IM1151	IM1152	IM1153
	IM1154	IM1155	IM1156	IM1157	IM1158	IM1159	IM1161	IM1162
	IM1163	IM1164	IM1165	IM1193	JKF08-6	KUHN1176	KUHN1177	KUHN1260
	KUHN1357	KUHN1387	KUHN4062	MK4180	MK4181	MK4182	MK4183	MK4184
	MK4185	MK4186	MK4187	MK4202	MK4203	MK4204	MK4205	MK4206
	MK4207	ND2K114	SM-412	SR-411	SR-496	SR-720	SR-72	SV893
	SV894	SV895	SV896	SV897	SV898	SV899	SV908	SV909

表1(续)

来源 Source	种质名称 Germplasm name							
荷兰安地公司 SES Vander Have, Dutch	SV910	SV911	SV912	SV914	SV915	SV916	SV1357	SV1358
	SV1361	SV1365	SV1366	SV1367	SV1368	SV1369	SV1376	SV1377
	SV1378	SV1381	SV1433	SV1434	SV1555	SV1588	SV1752	SV2078
	SV2079	SV2080	SV2081	SV2082	SV2083	SV2084	SV2085	SV2220
	SV2221	SV2222	SV222	SV2224	SV2225	SX1511	SX1512	SX1513
	SX1516	SX1517	SX1518	SX1520	SX1521	SX1522	SX1523	
丹麦麦瑞博公司 MariboHilleshög ApS Denmark	FLORES	HM1629	HM1631	MA095	MA096	MA097	MA098	MA2025
	MA2070	MA3001	MA3005	MA3014	MA3015	MA3016	MA3018	MA3019
	MA3021	MA3022	MA3025	MA10-1	MA10-2	MA10-3	MA10-4	MA10-5
	MA10-6	MA10-7	MA10-8	MA10-9	MA10-10	MA10-11	MA10-51	MA10-54
	MA11-2	MA11-3	MA11-4	MA11-5	MA11-7	MA11-8	MA11-50	MA11-51
	MA11-52	MA11-53	MA11-54	MA13-1	MA13-2	MA13-3	MA13-4	MA13-5
	MA13-6	MA13-7	MA13-8	MA13-9	MA13-10	MA13-11	MA13-12	MA13-13
	MA1601	MA1602	MA1603	MA1604	MA1605	MA1606	MA1607	MA1701
	MA1702	MA1703	MA1704	MA1705	MA1706	MA1707	MA1708	MA1709
英国莱恩公司 Britain Ryan Company Britain	CL10141	CL14101	CS19508	CS19542	CS24591	CS80591	LN16183	LN17101
	LN17102	LN17103	LN17104	LN17105	LN17106	LN17107	LN19808	LN38161
	LN80891	LN80892	LN90905	LS2001	LS2002	LS2003	LS2004	LS2005
	LS2006	LS2007	LS2008	LS1210	LS1318	LS1320	LS1321	LS1322
	LS1801	LS1802	LS1803	LS1804	LS1805	LS1806	LS1807	LS1808
	LS1809	LS1810	LS1811	LS1812	LS1901	LS1902	LS1903	LS1904
	LS1905	LS1906	LS1907	LS1908	LS1909	LS1910		
法国 French	RG7001	RG7002						
中国新疆 Xinjiang, China	ST0715	STC396	STM7156	STN2827				
中国黑龙江 Heilongjiang, China	中单0701	中多0704	中单0819	中单0871	甜单0701	甜单0702	甜多0704	2008-1
	2008-13	04D47	H601	H912	HD09-39	HT1007	HT1008	HT1010
	HT1015	HT1021	HT1029	HT1030	HT1033	ZM202	ZD204	
中国内蒙古 Inner Mongolia, China	838	10320	2068B-2	5075×(甜×晋)-4	79221	79262	960764	960766
	960767	960784-1	AB8301	AB19/120-19E-1-4T-8	包育302	BS301-13-9	C-15	C28
	丛2-1	FC220	FC221	FC709	FC712	FC718	FC719	FC728
	FC1018	FC1019	FC1020	FC1022	FC1028	FC1037	大G08-3	G9305
	GW8801	HB129	HB2-43	HB3-7	HB4-31	HB5-1	HB7-4	HB9-51
	HB22-1	HB22-6	HB34-7	HB93-5	HB205B	HB891	HBA4-1	HBB-3-23
	HBB-1-C281-25	HBI-1	HBI-65	HB内-3	HB五	HBX-1	HBX-5	HBX-94
	酒引抗	KAW-9	母本抗	MS117-3	MS137	MS151-1	MS301	MS313
	MS323	N9801	N9808	N9812	N98109	N98113	N98116	N98119
	N98122	N98136	N98144	N98160	N98167	N98183	N98196	N98196×HBX-5
	N98203	N98208	N98215	N98221	N9849-17	N9857-5	N9865	内C401
	内28102	内2963	内甜单1	NT39106	OT110	OT116-2	OT118	OT152
	OT152-C301	OT302	OT314	OT324	RZ1	RZ1×HBB-1	RZ3	甜301-1
	甜3×晋甜-13	甜3×晋甜-14	乌审旗	Wy04	Wy17	Wy25	Wy26	Wy28
	Wy31	Wy44	Wy62					
中国吉林 Jilin, China	吉Dms208-1	吉Dms208-24						

1.2 试验方法

1.2.1 田间种植 所有材料在中国华北生态区内蒙古呼和浩特市内蒙古自治区农牧业科学院的试验基地种植(111°39' E, 40°46' N, 海拔 1050 m)。采用随机区组排列, 每 7 份材料种植一份对照材料, 每份材料 2 次重复, 每重复种 2 行, 行长 6 m, 行间距 0.60 m, 株距 0.25 m。条播, 播后镇压, 采用滴灌浇水。在甜菜幼苗 2~4 片真叶时进行疏苗, 6~8 片真叶时进行间苗, 10 片真叶时进行田间定苗, 每个小区定苗 50 株左右。采用常规方法及时进行施肥及病虫害的防控。

表 2 甜菜种质资源表型性状赋值表

Table 2 Phenotypic trait assignment table of sugar beet germplasm resources

性状 Traits	表型性状赋值 Assignment of phenotypic traits				
	1	2	3	4	5
苗期生长势 Seedling growth vigor	弱	较弱	中	较旺	旺
繁茂期生长势 Flourishing growth vigor	弱	较弱	中	较旺	旺
叶色 Leaf colour	淡绿	绿	浓绿		
叶形 Leaf shape	犁铧形	舌形	圆扇形	柳叶形	
叶丛型 Margin shape of leaf	匍匐型	斜立型	直立型		
叶柄长 Petiole length	短	中	长		
根形 Root shape	楔形	圆锥形	纺锤形	近圆形	
根头大小 Crown size	小	中	大		
根沟深浅 Root groove depth	不明显	浅	深		

根据《甜菜种质资源描述规范和数据标准》^[16], 按照块根产量和蔗糖含量将种质资源分为 8 类: (1) 超高糖型: 块根含糖率比当地主栽品种高 2.0 度以上; (2) 高糖型: 块根含糖率比当地主栽品种高 1.5 度以上; (3) 丰产型: 蔗糖含量较低, 块根产量比当地主栽品种增产 20% 以上; (4) 标准型: 块根产量和蔗糖含量介于丰产型和高糖型品种之间, 块根产量和含糖率都与当地主栽品种相仿; (5) 丰产兼高糖型: 块根产量比当地主栽品种增产 20% 以上、含糖率比当地主栽品种高 1.5 度以上, 具有丰产和高糖两种优异性状; (6) 标准偏丰产型: 块根产量较高, 蔗糖含量中等, 块根产量比当地主栽品种增产 20% 以上, 含糖率与当地主栽品种相仿; (7) 标准偏高糖型: 块根产量中等, 蔗糖含量较高, 块根含糖率比当地主栽品种高 1.5 度以上, 块根产量与当地主栽品种相仿; (8) 低产低糖型: 块根产量和蔗糖含量均较低, 但具有某一方面特殊性状, 块根产量和含糖率均比当地主栽品种低 10% 和 1.0 度以下。

1.2.2 表型数据采集 选择 9 个描述型性状(苗期生长势、繁茂期生长势、叶色、叶形、叶丛型、叶柄长、根形、根头大小、根沟深浅)和 3 个数值型性状(块根产量、蔗糖含量、产糖量)分析甜菜的表型遗传多样性。试验材料的农艺性状收集于 2018-2021 年, 对照品种为当年主推品种之一的 KWS1197。调查标准参照《甜菜种质资源描述规范和数据标准》^[16]进行田间调查和测定, 并按照其标准进行分级与赋值(表 2)。描述型性状经过至少两年的重复观测, 数值型性状至少为两年的平均值。

1.3 数据分析

利用 Excel 进行数据整理, 用 SPSS 26.0 进行表型遗传多样性分析、主成分分析和聚类分析^[17-18]。本研究样本数据既有连续性变量也有分类变量, 因此选择二阶聚类分析方法。

遗传多样性香农-威纳指数(Shannon Wiener Diversity Index)计算公式为: $H' = -\sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$, 式中, P_i 为某一性状的第 i 个表型的材料份数, 占这一性状总份数的百分比, \ln 为自然对数。

2 结果与分析

2.1 甜菜种质资源描述型表型性状遗传多样性分析

由表 3 看出, 供试材料的描述型性状表现出不同程度的遗传多样性。大多数材料的叶色呈现出绿色(63.50%); 叶形以犁铧形(52.87%)为主, 舌形(38.88%)次之。大多数材料叶丛型呈现出直立型(73.49%); 叶柄长多数集中在中等长度(55.96%); 根

形以楔形(45.80%)为主,圆锥形(38.73%)次之;根头大小多数表现为中等大小(52.14%);根沟深浅表现为不明显(68.19%)的材料居多。

9个不同描述型性状的遗传多样性水平差异明显,遗传多样性指数在0.5876~1.4250之间,平均值为1.0058,其中苗期生长势的遗传多样性指数最大,

叶丛型的遗传多样性指数最小。9个描述型性状的多样性指数从大到小进行依次为苗期生长势(1.4250)>繁茂期生长势(1.2498)>根形(1.1172)>根头大小(1.0118)>叶柄长(0.9656)>叶形(0.9629)>叶色(0.8865)>根沟深浅(0.8460)>叶丛型(0.5876)。

表3 不同来源甜菜种质资源材料性状的频率分布及遗传多样性指数

Table 3 Frequency distribution and genetic diversity index of different characters of sugarbeet germplasm resources

性状 Traits	性状分级分布频次/占比(%) Frequency/ percentage of trait scores					遗传多样性 指数 H'
	1	2	3	4	5	
苗期生长势 Seedling growth vigor	30/4.42	73/10.75	242/35.64	201/29.60	133/19.59	1.4250
繁茂期生长势 Flourishing growth vigor	11/1.62	24/3.53	180/26.51	289/42.56	175/25.77	1.2498
叶色 Leaf colour	80/11.87	428/63.50	166/24.63			0.8865
叶形 Leaf shape	359/52.87	264/38.88	37/5.45	19/2.80		0.9629
叶丛型 Margin shape of leaf	1/0.15	179/26.36	499/73.49			0.5876
叶柄长 Petiole length	99/14.58	380/55.96	200/29.46			0.9656
根形 Root shape	311/45.80	263/38.73	64/9.43	41/6.04		1.1172
根头大小 Crown size	199/29.31	354/52.14	126/18.56			1.0118
根沟深浅 Root groove depth	463/68.19	108/15.91	108/15.91			0.8460

2.2 甜菜种质资源数值型性状的遗传变异分析

679份材料的平均块根产量为61617.28 kg/hm²,平均蔗糖含量为14.43%,平均产糖量为9177.88 kg/hm²(表4)。从变异系数看,块根产量和蔗糖含量的变异系数相近,分别为38.56%和33.96%,而产糖量的变异系数最高,达50.33%。679份资源块根产量的

最大值为103338.50 kg/hm²,最小值为3636.55 kg/hm²;蔗糖含量的最大值为20.98%,最小值为4.87%;产糖量的最大值为65328.00 kg/hm²,最小值为177.10 kg/hm²,可见甜菜资源在块根产量、蔗糖含量和产糖量变异幅度均较大,多样性丰富。

表4 不同来源甜菜种质资源材料数值型性状统计分析

Table 4 Statistical analysis of numerical traits in different characters of beet germplasm resources

性状 Traits	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	平均值 Average value	标准差 SD	变异系数 (%) CV
块根产量(kg/hm ²)Root yield	103338.50	3636.55	99701.95	61617.28	23757.43	38.56
蔗糖含量(%)Sucrose content	20.98	4.87	16.11	14.43	4.90	33.96
产糖量(kg/hm ²)Sugar yield	65328.00	177.10	65150.90	9177.88	4619.54	50.33

2.3 不同来源甜菜种质资源的表型遗传多样性分析

从表5可以看出,中国内蒙古的种质资源在苗期生长势、繁茂期生长势和叶色3个性状上的遗传多样性较为丰富。德国科沃施公司的种质资源在叶形和根形性状上具有丰富的遗传多样性;德国斯特儒博、美国贝塔公司和荷兰安地3家公司的种质

资源在叶柄长、根形和根头大小3个性状上具有丰富的遗传多样性。不同来源的种质资源在苗期生长势和繁茂期生长势的遗传多样性最为丰富,在叶丛型性状中多样性最低。中国黑龙江、新疆、吉林和法国由于资源材料少,表现出较低的遗传多样性,而德国斯特儒博公司和美国贝塔公司的种质资源的遗传多样性相对丰富。

表5 不同来源甜菜种质资源9个描述型性状多样性指数
Table 5 Diversity index of 9 descriptive traits of beet germplasm resources from different origins

性状 Traits	德国 科沃施 公司 KWS SAAT SE, Germany	德国 斯特儒博 公司 STRUBE GmbH & Co.KG, Germany	美国 贝塔公司 BETASEED, America	瑞士 先正达集团 Syngentagroup, Switzerland	荷兰 安地公司 SES Vander Have, Dutch	丹麦 麦瑞博公司 MariboHilleshög ApS, Denmark	英国 莱恩公司 Britain Ryan Company, Britain	中国 新疆 Xinjiang, China	中国 黑龙江 Heilongjiang, China	中国 内蒙古 Inner Mongolia, China	中国 吉林 Jilin, China	法国 French
苗期生长势 Seedling growth vigour	1.3112	1.3320	1.3911	1.3922	1.2489	1.0106	1.2383	0.5623	0.9772	1.3910	0	0
繁茂期生长势 Flourishing growth vigour	1.0340	1.0747	1.1531	1.0379	1.1343	1.0862	1.3446	0.5623	0.9273	1.3990	0	0.6931
叶色 Leaf colour	0.8455	0.8617	0.8946	0.7867	0.8071	0.6566	0.8593	0.6931	0.7393	1.0429	0.6931	0
叶形 Leaf shape	1.0146	0.7953	0.9690	0.7702	0.8495	0.7298	0.8277	0	0.8762	0.4017	0.6365	0
叶丛型 Margin shape of leaf	0.3983	0.4034	0.4741	0.5297	0.6257	0.7488	0.6870	0	0.4620	0.1788	0	0
叶柄长 Petiole length	0.3382	1.0542	1.0222	0.8277	1.0339	0.7501	0.8680	0.5623	0.7771	0.9572	0.6931	0
根形 Root shape	1.2025	1.1664	1.1370	0.9218	1.1751	0.9798	1.2202	0	0.6699	0.9139	0	0
根头大小 Crown size	0.9938	1.0427	1.0864	0.9886	0.9222	1.0401	0.9282	0.5623	0.9724	0.8230	0.6931	0.6931
根沟深浅 Root groove depth	0.5263	0.6540	0.6930	0.5723	0.6994	0.6566	0.5394	0.5623	1.0850	0.8467	0.6931	0

由表6可见,在块根产量方面,极差最大的是中国内蒙古地区的材料,变异系数最大的是来自荷兰安地公司的国外引进材料;块根产量最高的材料来自德国科沃施公司,最低的材料来自中国内蒙古。在蔗糖含量方面,极差最大的是中国内蒙古的材

料,变异系数最大的是自法国引进的材料;蔗糖含量最高的材料来自中国黑龙江(20.98%),其次来自荷兰安地(20.32%),最低的材料来自中国内蒙古(4.87%)。在产糖量方面,变异系数最高、极差最大的均为英国莱恩公司的材料。

表6 不同来源甜菜种质资源数值型性状比较分析

Table 6 Comparative analysis of numerical traits of sugarbeet germplasm resources from different origins

材料来源 Material source	统计参数 Statistical parameters	块根产量(kg/hm ²) Root yield	蔗糖含量(%) Sucrose content	产糖量(kg/hm ²) Sugar yield
德国科沃施公司 KWS SAAT SE, Germany	最大值	103338.50	18.76	14822.46
	最小值	44400.00	12.47	6970.45
	极差	58938.50	6.29	7852.01
	中位数	71893.50	15.50	11193.42
	平均值	70874.32	15.42	10851.31
	标准差	16866.42	1.39	2405.94
	变异系数(%)	23.80	9.01	22.17
德国斯特儒博公司 STRUBE GmbH & Co.KG, Germany	最大值	103113.00	18.85	14419.50
	最小值	42450.00	10.96	6380.25
	极差	60663.00	7.89	8039.25
	中位数	71189.81	15.14	10648.21
	平均值	70151.14	15.04	10449.03
	标准差	14563.32	1.46	1928.08
	变异系数(%)	20.76	9.71	18.45
美国贝塔公司 BETASEED, America	最大值	101643.00	17.67	15258.00
	最小值	42075.00	7.91	4928.96
	极差	59568.00	9.76	10329.04
	中位数	75774.48	15.13	11329.05
	平均值	73427.71	14.93	10932.66
	标准差	14776.28	1.82	2401.87
	变异系数(%)	20.12	12.19	21.97
瑞士先正达集团 Syngentagroup, Switzerland	最大值	92004.60	18.08	13265.02
	最小值	41919.00	12.68	5906.40
	极差	50085.60	5.40	7358.62
	中位数	70567.90	15.18	10708.33
	平均值	69997.42	15.29	10683.91
	标准差	10002.20	1.26	1613.80
	变异系数(%)	14.29	8.24	15.10
荷兰安地公司 SES Vander Have, Dutch	最大值	96360.00	20.32	14409.10
	最小值	32032.85	8.85	3492.38
	极差	64327.15	11.47	10916.72
	中位数	68791.32	15.38	10370.40
	平均值	67924.97	15.29	10323.47
	标准差	64327.15	1.70	2135.46
	变异系数(%)	94.70	11.11	20.69

表 6 (续)

材料来源 Material source	统计参数 Statistical parameters	块根产量(kg/hm ²) Root yield	蔗糖含量(%) Sucrose content	产糖量(kg/hm ²) Sugar yield
丹麦麦瑞博公司 MariboHillehög ApS, Denmark	最大值	98550.38	17.40	14513.19
	最小值	49002.00	8.93	5380.49
	极差	49548.38	8.47	9132.70
	中位数	76843.81	13.87	10891.76
	平均值	76576.44	13.68	10475.01
	标准差	12210.63	1.67	1993.05
	变异系数(%)	15.95	12.20	19.03
英国莱恩公司 Britain Ryan Company, Britain	最大值	99672.00	17.78	65328.00
	最小值	44100.00	10.35	7114.80
	极差	55572.00	7.43	58213.20
	中位数	73691.09	14.11	10313.75
	平均值	72823.26	13.95	11957.17
	标准差	14585.68	1.69	10103.30
	变异系数(%)	20.02	12.11	84.50
中国新疆 Xinjiang, China	最大值	58857.11	16.56	8179.67
	最小值	30626.53	13.07	4115.44
	极差	28230.58	3.49	4064.23
	中位数	45575.20	13.67	6732.52
	平均值	45158.51	14.24	6440.04
	标准差	11573.01	1.58	1768.72
	变异系数(%)	25.63	11.10	27.46
中国黑龙江 Heilongjiang, China	最大值	70211.84	20.98	12467.47
	最小值	15729.95	11.63	1855.35
	极差	54481.89	9.35	10612.13
	中位数	44002.20	14.13	6400.67
	平均值	45164.85	14.76	6887.72
	标准差	15928.58	2.77	3150.90
	变异系数(%)	35.27	18.77	45.75
中国内蒙古 Inner Mongolia, China	最大值	94550.18	19.85	13895.69
	最小值	3636.55	4.87	177.10
	极差	90913.64	14.98	13718.59
	中位数	19637.35	12.70	2470.49
	平均值	21858.80	12.44	2834.61
	标准差	15312.89	2.96	2158.30
	变异系数(%)	70.05	23.79	76.14
中国吉林 Jilin, China	最大值	38335.25	12.09	4550.39
	最小值	28230.58	11.87	3411.67
	极差	10104.67	0.22	1138.73
	中位数	33282.91	11.98	3981.03
	平均值	33282.91	11.98	3981.03
	标准差	7145.08	0.15	805.20
	变异系数(%)	21.47	1.25	20.23

表 6 (续)

材料来源 Material source	统计参数 Statistical parameters	块根产量(kg/hm ²) Root yield	蔗糖含量(%) Sucrose content	产糖量(kg/hm ²) Sugar yield
法国 French	最大值	70938.00	17.19	12194.24
	最小值	48093.00	8.66	4164.85
	极差	22845.00	8.53	8029.39
	中位数	59515.50	12.93	8179.55
	平均值	59515.50	12.93	8179.55
	标准差	16153.85	6.03	5677.63
	变异系数(%)	27.14	46.64	69.41

2.4 不同国家甜菜种质资源的表型主成分分析

主成分分析要求所提取的成分累计贡献率要达到 85% 以上,以保证损失信息不多,能对所有样本进行很好地解释^[19-20]。本研究提取 9 个主成分,

累计贡献率达到了 89.307%,说明 12 个表型性状的绝大部分信息可由这 9 个主成分进行概括(表 7)。前 4 个主成分的特征值大于 1,所以以前 4 个主成分为例进行分析。

表 7 前 9 个主成分的因子负荷量、特征值、贡献率和累积贡献率

Table 7 The factor load, eigenvalues, contribution rates, and cumulative contribution rates of the first 9 principal components

性状 Traits	主成分 1 PC 1	主成分 2 PC 2	主成分 3 PC 3	主成分 4 PC 4	主成分 5 PC 5	主成分 6 PC 6	主成分 7 PC 7	主成分 8 PC 8	主成分 9 PC 9
苗期生长势 Seedling growth vigour	-0.545	0.547	-0.144	0.073	0.218	0.297	-0.089	-0.041	-0.077
繁茂期生长势 Flourishing growth vigour	-0.538	0.299	-0.399	0.076	0.274	0.026	-0.286	0.104	0.418
叶色 Leaf colour	-0.042	-0.098	0.614	-0.177	0.470	-0.231	-0.316	0.445	-0.049
叶形 Leaf shape	-0.487	-0.517	0.120	0.249	0.085	-0.181	-0.039	-0.271	0.013
叶丛型 Fascicled leaves type	0.091	0.358	-0.311	-0.416	0.381	-0.513	0.321	-0.143	-0.213
叶柄长 Petiole length	0.197	0.075	0.408	-0.528	0.214	0.546	0.226	-0.171	0.151
根形 Root shape	-0.024	-0.552	-0.356	0.134	0.379	0.144	0.481	0.314	0.171
根头大小 Crown size	-0.003	0.279	0.505	0.519	0.218	-0.194	0.282	-0.317	0.267
根沟深浅 Root groove depth	0.345	0.453	0.107	0.487	-0.103	0.076	0.246	0.418	-0.147
块根产量 Root yield	0.867	0.059	-0.123	-0.081	-0.062	-0.093	-0.072	0.039	0.266
蔗糖含量 Sucrose content	0.488	-0.139	-0.166	0.351	0.471	0.279	-0.228	-0.216	-0.387
产糖量 Sugar yield	0.824	0.006	-0.142	0.088	0.145	-0.075	-0.251	-0.119	0.232
特征值 Eigenvalue	2.662	1.408	1.290	1.219	0.990	0.893	0.837	0.770	0.648
贡献率(%)Contribution rate	22.181	11.733	10.752	10.157	8.248	7.441	6.976	6.417	5.402
累计贡献率(%) Cumulative contribution rate	22.181	33.914	44.666	54.823	63.071	70.512	77.488	83.905	89.307

PC: Principal component

第1主成分特征值为2.662,贡献率为22.181%,影响最大的性状是块根产量(0.867),其次是产糖量(0.824)、蔗糖含量(0.488),因此可以将第1主成分看作是产量因子。增大第1主成分值,可以使产量和蔗糖含量同时增加。

第2主成分特征值为1.408,贡献率为11.733%,影响最大的性状是苗期生长势(0.547),其次是根沟深浅(0.453)。在提高第2主成分的时候,会提高植株苗期生长势,降低根沟深度,在收获过程中减少泥土的携带。

第3主成分特征值为1.290,贡献率为10.752%,影响最大的性状是叶色(0.614),其次为根头大小(0.505)。在提高第3主成分时,会对叶片颜色和根

部青头的大小产生影响,深绿的叶色会增加营养物质的积累,根头小的根部会有更高的含糖量。

第4主成分特征值为1.219,贡献率为10.157%,影响最大的性状是根头大小(0.519),其次是根沟深浅(0.487),这个主成分主要影响了根在适配机械化生产时的部分农艺性状。

基于甜菜种质资源主成分分析结果,选择特征值大于1、累计贡献率大于10%的前4个主成分为指标,以第1主成分为横坐标,第2、3和4主成分分别为纵坐标,绘制主成分得分及载荷二维分布图(图2)。可以看出样本之间不具备明显的亚群分化,说明供试材料的遗传多样性好。

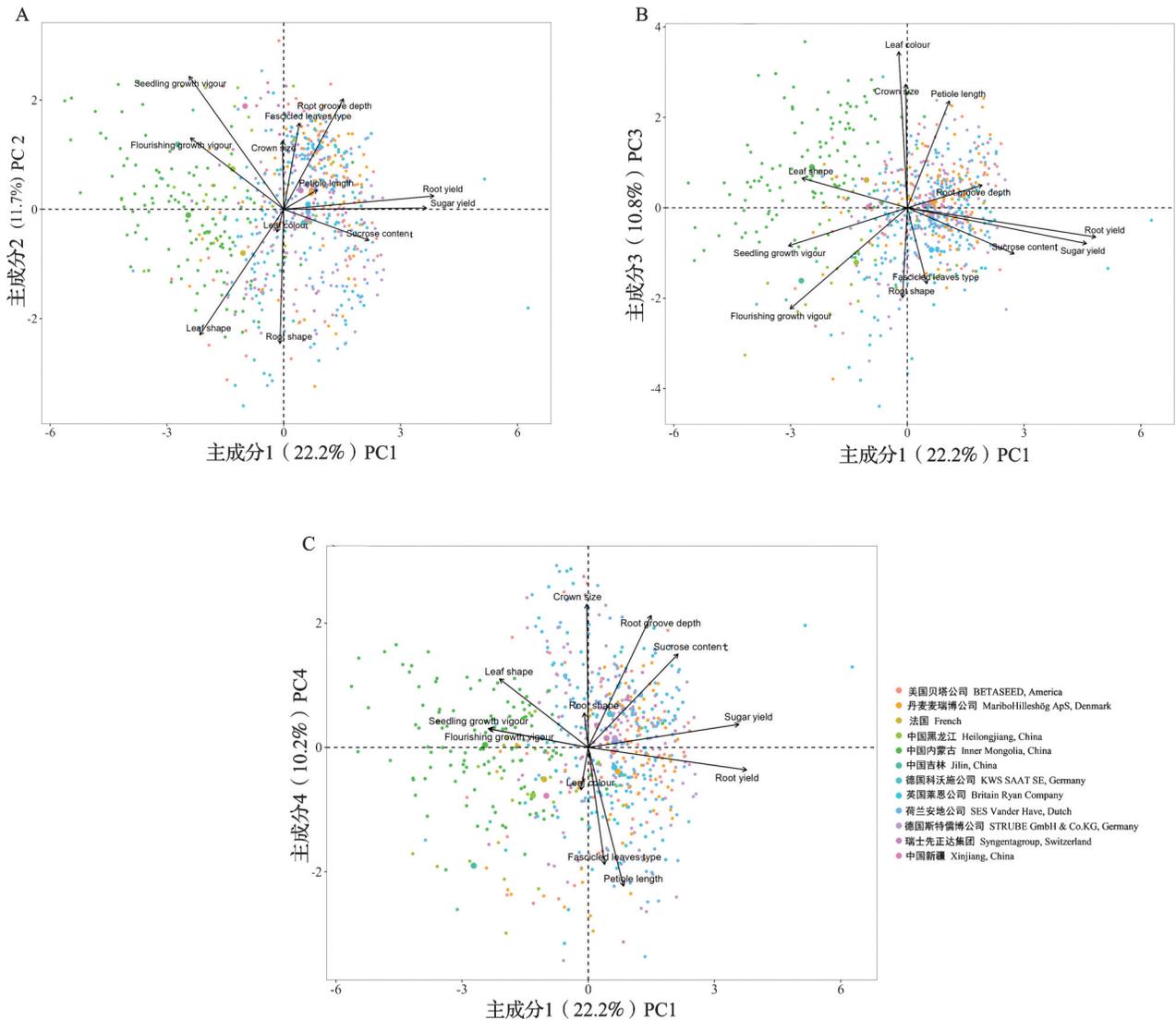


图2 甜菜种质资源主成分得分二维排序图

Fig.2 Two-dimensional ranking plot of PCA for sugar beet germplasm resources

第1主成分是以块根产量和产糖量为主的产量因子,第2主成分是以苗期生长势为主的生长因子。在以第1主成分和第2主成分分别为横、纵坐标的二维分布图中(图2A),块根产量、产糖量的因子载荷投影在第一象限,第一象限包括 Beta468、Beta165、Beta1808等材料,这些材料以丰产型材料为主。第3主成分中贡献较大的性状为叶色和根头大小,以第3主成分为纵坐标,叶色和根头大小的因子载荷投影在第二象限(图2B),第二象限包括 HT1010、HT1008、HT1029等材料,其共同特征是根头较小,这些材料大多偏向于标准型材料。第4主成分中贡献值较高的性状为根部表型的根头大小,以第4主成分为纵坐标,根头大小的因子载荷量主要投影在第二象限靠近y轴(图2C),y轴附近主要以德国斯特儒博公司、荷兰安地公司和瑞士先正达公司的材料为主,这些材料大多根头相对较小。

2.5 不同国家甜菜种质资源的表型聚类分析

通过聚类分析,可将679份材料分为4类(表8)。二阶聚类分析对12个表型性状进行变量重要性预测,结果表明,在区分不同类群时,产糖量影响最大,块根产量和叶丛型分别为第二和第三。4个类群在产糖量和块根产量方面,差距明显。类群I以丹麦麦瑞博公司、荷兰安地公司和英国莱恩公司材料为主,该类群的叶丛型与其他3个类群不同,以斜立为主。类群II以德国斯特儒博公司和荷兰安地公司的材料为主,与其他3个类群相比,蔗糖含量最高。类群III以德国科沃施公司、德国斯特儒博公司和荷兰安地公司的材料为主,产糖量最高。类群IV以中国内蒙古的材料为主,有2份黑龙江材料和1份法国材料,该类群的产糖量远远低于其他3个类群(表8,表9)。

表8 不同来源甜菜种质资源材料聚类分析

Table 8 Cluster analysis of sugarbeet germplasm resources from different origins

来源 Source	份数 Number	类群 I Group I		类群 II Group II		类群 III Group III		类群 IV Group IV	
		份数 Number	占比(%) Proportion	份数 Number	占比(%) Proportion	份数 Number	占比(%) Proportion	份数 Number	占比(%) Proportion
		德国科沃施公司 KWS SAAT SE, Germany	66	6	9.09	29	43.94	31	46.97
德国斯特儒博公司 STRUBE GmbH & Co.KG, Germany	115	4	3.48	61	53.04	50	43.48	0	0
美国贝塔公司 BETASEED, America	55	9	16.36	23	41.82	21	38.18	0	0
瑞士先正达集团 Syngentagroup, Switzerland	36	5	13.89	8	22.22	21	58.33	0	0
荷兰安地公司 SES Vander Have Dutch	135	26	19.26	61	45.19	48	35.56	0	0
丹麦麦瑞博公司 MariboHilleshög ApS, Denmark	72	28	38.89	19	26.39	24	33.33	0	0
英国莱恩公司 Britain Ryan Company, Britain	54	23	42.59	29	53.70	0	0	0	0
中国新疆 Xinjiang, China	4	2	50.00	1	25	0	0	0	0
中国黑龙江 Heilongjiang, China	23	15	65.22	3	13.04	1	4.35	2	8.70
中国内蒙古 Inner Mongolia, China	115	1	0.87	0	0	0	0	114	99.13
中国吉林 Jilin, China	2	1	50.00	1	50.00	0	0	0	0
法国 French	2	0	0	1	50.00	0	0	1	50.00

表9 不同类群资源的产糖量、块根产量、蔗糖含量和叶丛型比较

Table 9 Comparison of sugar yield, root yield, sucrose content and fascicled leaves type in different resource taxa

性状 Traits	类群 I Group I	类群 II Group II	类群 III Group III	类群 IV Group IV
材料份数 Material number	120	236	196	117
产糖量(kg/hm ²) Sugar yield	9597.02	10095.15	11165.85	2824.44
块根产量(kg/hm ²) Root yield	66525.66	67900.10	75014.54	21969.86
蔗糖含量(%) Sucrose content	14.42	15.06	14.93	12.42
叶丛型 Fascicled leaves type	斜立	直立	直立	直立

2.6 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》^[16], 对来自不同国家和地区的 679 份材料进行综合鉴定评价, 以 KWS1197 为对照(KWS1197 在 2018-2021 年产量均值为 67817.03kg/hm², 蔗糖含量为 17.63%), 将符合鉴定标准的 415 份材料分为 8 类。

其中超高糖型材料 6 份, 高糖型材料 2 份, 丰产型材料 138 份, 标准型材料 39 份, 丰产兼高糖型材料 1 份, 标准偏丰产型材料 3 份, 标准偏高糖型材料 3 份, 低产低糖型材料 223 份。表 10 列出了每个经济类型排名前 5 的材料信息以及块根产量、蔗糖含量。

表 10 不同来源资源材料不同经济类型评价

Table 10 Identifying and evaluating economic types of resources from different sources

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Source	块根产量(kg/hm ²) Root yield	蔗糖含量(%) Sucrose content	经济类型 Economic type
1	甜多0704	中国黑龙江	53002.65	20.98	超高糖型
2	IM902	荷兰安地公司	68003.40	20.32	超高糖型
3	IM901	荷兰安地公司	70503.53	20.05	超高糖型
4	甜单0702	中国黑龙江	44002.20	19.99	超高糖型
5	包育302	中国内蒙古	70003.50	19.85	超高糖型
6	ZD204	中国黑龙江	61003.05	19.36	高糖型
7	Beta468	美国贝塔公司	83061.59	19.14	高糖型
8	KWS1480	德国科沃施公司	103338.50	12.64	丰产型
9	CN0317	德国斯特儒博公司	103113.00	13.98	丰产型
10	KWS1237	德国科沃施公司	102732.41	13.92	丰产型
11	KWS9440	德国科沃施公司	102308.15	13.81	丰产型
12	KWS2287	德国科沃施公司	102126.32	14.05	丰产型
13	甜单0701	中国黑龙江	66003.30	18.89	标准型
14	KWS3418	德国科沃施公司	79003.95	18.76	标准型
15	KWS4121	德国科沃施公司	65003.25	18.71	标准型
16	普瑞宝	荷兰安地公司	67003.35	18.63	标准型
17	SV1358	荷兰安地公司	62178.00	18.17	标准型
18	Beta468	美国贝塔公司	83061.59	19.14	丰产兼高糖型
19	Beta467	美国贝塔公司	82078.67	16.73	标准偏丰产型

表10(续)

序号 No.	种质名称 Germplasm name	来源 Source	块根产量(kg/hm ²) Root yield	蔗糖含量(%) Sucrose content	经济类型 Economic type
20	KWS0120	德国科沃施公司	84125.42	16.52	标准偏丰产型
21	KWS3398	德国科沃施公司	83155.84	16.48	标准偏丰产型
22	IM902	荷兰安地公司	68003.40	20.32	标准偏高糖型
23	IM901	荷兰安地公司	70503.53	20.05	标准偏高糖型
24	包育302	中国内蒙古	70003.50	19.85	标准偏高糖型
25	LS2003	英国莱恩公司	47325.00	16.59	低产低糖型
26	ZM202	中国黑龙江	56773.67	16.58	低产低糖型
27	STC396	中国新疆	44429.30	16.56	低产低糖型
28	KWS6661	德国科沃施公司	44625.00	16.56	低产低糖型
29	甜301-1	中国内蒙古	12364.25	16.56	低产低糖型

3 讨论

作物的种质资源携带该作物的整套遗传物质且在农业生产上具有丰富的利用价值,既是遗传资源,也是基因资源,是新栽培种创制和生物辅助育种的载体^[21-23]。而丰富的种质资源遗传多样性又是种质改良和新品种选育的基础^[24]。经过长时间地自然选择和人工选择,表型性状出现了不同的变异并且在不同的材料中稳定遗传,所以利用表型的多样性可以更为直观且简便经济地对广泛的资源材料进行鉴定和评价^[25]。

本研究利用9个描述型性状和3个数值型性状对来自中国4个不同地区及7个其他国家的7个不同育种公司的679份甜菜种质资源材料进行了遗传多样性分析,9个描述型性状表现出了不同程度的遗传多样性。苗期生长势、繁茂期生长势、根形分5个级别,叶柄长、根头大小、根沟深浅分3个级别,这6个描述性性状的每个表型级别都有多个材料分布,表现出丰富的遗传多样性。

根据《甜菜种质资源描述规范和数据标准》^[16]的描述,糖用甜菜的叶色有4种颜色类型,本研究的资源材料只包含淡绿、绿和浓绿,没有叶片呈黄绿的颜色分布;叶形有犁铧形、舌形、圆扇形、柳叶形4种形态的分布,没有戟形、披针形、箭形的形态;在叶丛型方面,匍匐型的植株只有1株,因为匍匐型的材料不利于机械化收获,所以叶丛型呈匍匐型的材料在选育的过程中被淘汰。但是为了丰富表型数据库,这个表型的资源材料在后续收集的过程中应

着重关注。

遗传多样性指数结果表明,这些材料的9个描述型性状的遗传多样性指数在0.5876~1.4250之间,平均值为1.0058,其中叶丛型的遗传多样性指数最小,苗期生长势的遗传多样性指数最大。利用现有资源,对甜菜的叶部和根部性状进行改良具有重要意义,现有的国外引进资源和国内的种质资源可以在表型的多样性上进行有利的互补,可以根据现有的种质资源进行品种改良,为不同的育种目标提供种质基础。

聚类分析结果表明,679份材料可分为4类,类群I、类群II中各地区的材料都有分布,说明这两类材料进行了比较广泛的相互引进和利用。类群III主要是德国、美国、荷兰等引进的材料,基本没有英国莱恩的材料和中国不同地区的材料,类群IV中中国内蒙古地区的材料占99.13%,并且这个类群的材料主要为低产低糖型。前3个类群主要在块根产量、含糖率和产糖量等方面具有优势,在引种后对中国内蒙古地区资源材料产量、质量的改良育种有积极作用,而且国外材料的引进使中国甜菜表型的资源库更为丰富和完善。

为了使遗传多样性、群体结构和遗传进化分析更为准确和细致,本课题组今后将会有针对性地对这些资源材料进行分子标记层面的分析,将表型和分子标记结合,对资源的遗传多样性开展更深入的研究,为今后的资源引进、遗传改良和分子辅助育种提供更为扎实的理论基础。

参考文献

- [1] 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(1): 76-86
Xing W, Cui P, Pan R, Su B Z. Genetic diversity of sugar beet from different countries. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(1): 76-86
- [2] Cui J, Li J L, Dai C H, Li L P. Transcriptome and metabolome analyses revealed the response mechanism of sugar beet to salt stress of different durations. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(17): 9599
- [3] 张自强, 王良, 白晨, 张惠忠, 李晓东, 付增娟, 赵尚敏, 鄂圆圆, 张辉, 张必周. 104份甜菜种质资源主要农艺性状分析. 作物杂志, 2019(3): 29-36
Zhang Z Q, Wang L, Bai C, Zhang H Z, Li X D, Fu Z J, Zhao S M, E Y Y, Zhang H, Zhang B Z. Analysis on main agronomic traits of 104 sugarbeet germplasm resources. Crops, 2019(3): 29-36
- [4] 崔平. 甜菜种质资源遗传多样性研究与利用. 植物遗传资源学报, 2012, 13(4): 688-691
Cui P. Genetic diversity research and utilization of beet germplasm resources in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(4): 688-691
- [5] Peng F, Pi Z, Li S, Wu Z. Genetic diversity and population structure analysis of excellent sugar beet (*Beta vulgaris* L.) germplasm resources. Horticulturae, 2024, 10(2): 120
- [6] Liu D, Tan W, Wang H, Fu J, Li J, Zhou Y, Lin M, Xing W. Genetic diversity and genome-wide association study of 13 agronomic traits in 977 *Beta vulgaris* L. germplasms. BMC Genomics, 2023, 24(1): 413
- [7] Wu Z, Zhang T, Li J, Chen S, Grin R, Dmitry O, Yu B, Li H. Genome-wide analysis of WD40 protein family and functional characterization of BvWD40-82 in sugar beet. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1185440
- [8] Wang L, Zhang Z Q, Han P A, Liang Y H, Zhang H Z, Fu Z J, Zhao S M, E Y Y, Zhang H, Wu X R, Zhang B Z, Chang Y, Tang K G, Zheng W Z, Chen L, Wang R H, Gao W S, Hasi A, Li X D, Bai C. Association analysis of agronomic traits and construction of genetic networks by resequencing of 306 sugar beet (*Beta vulgaris* L.) lines. Scientific Reports, 2023, 13(1): 15422
- [9] 华蕾. 我国水稻主栽品种 SSR 多样性比较及水稻纹枯病抗性遗传分析. 北京: 中国农业科学院, 2007
Hua L. Comparative assessment of SSR diversity in chinese major rice varieties and a preliminary mapping of QTLs for rice sheath blight resistance. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007
- [10] 蒲艳艳, 宫永超, 李娜娜, 田茜, 丁汉凤. 中国小麦作物遗传多样性研究进展. 中国农学通报, 2016, 32(30): 7-13
Pu Y Y, Gong Y C, Li N N, Tian X, Ding H F. A review of genetic diversity of wheat crops in China. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(30): 7-13
- [11] 袁洪. 烟草种质资源遗传多样性分析及地方种质资源评价. 重庆: 西南大学, 2012
Yuan H. Genetic diversity analysis of tobacco germplasm and evaluation of tobacco local germplasm. Chongqing: Southwest University, 2012
- [12] 钱玉源, 刘祎, 崔淑芳, 王广恩, 张曦, 金卫平, 李俊兰. 基于表型的棉花种质资源遗传多样性分析及核心种质的抽提. 华北农学报, 2019, 34(S1): 29-35
Qian Y Y, Liu Y, Cui S F, Wang G E, Zhang X, Jin W P, Li J L. Analysis of genetic diversity of cotton germplasm resources and extraction of core germplasm based on phenotypic traits. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2019, 34(S1): 29-35
- [13] 段艳凤, 刘杰, 卞春松, 段绍光, 徐建飞, 金黎平. 中国 88 个马铃薯审定品种 SSR 指纹图谱构建与遗传多样性分析. 作物学报, 2009, 35(8): 1451-1457
Duan Y F, Liu J, Bian C S, Duan S G, Xu J F, Jin L P. Construction of fingerprinting and analysis of genetic diversity with SSR markers for Eighty-eight approved potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) in China. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(8): 1451-1457
- [14] 李满红, 王秀荣. 内蒙古甜菜育种五十年回眸. 中国糖料, 2007(3): 56-59
Li M H, Wang X R. Review of last fifty year sugarbeet breedings in the Inner Mongolia. Sugar Crops of China, 2007(3): 56-59
- [15] 鄂圆圆, 白晨, 张惠忠, 李晓东, 付增娟, 赵尚敏, 张辉, 郑文哲. 华北区甜菜种质资源的收集、鉴定、评价. 内蒙古农业科技, 2015, 43(1): 17-18, 46
E Y Y, Bai C, Zhang H Z, Li X D, Fu Z J, Zhao S M, Zhang H, Zheng W Z. The collection, identification and evaluation of beet germplasm in the north China. Inner Mongolia Agricultural Science And Technology, 2015, 43(1): 17-18, 46
- [16] 崔平. 甜菜种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006
Cui P. Specification and data standards for the description of sugar beet germplasm resources. Beijing: China Agricultural Press, 2006
- [17] 宫彦龙, 雷月, 闫志强, 刘雪微, 张大双, 吴健强, 朱速松. 不同生态区粳稻资源表型遗传多样性综合评价. 作物杂志, 2020, 36(5): 71-79
Gong Y L, Lei Y, Yan Z Q, Liu X W, Zhang D S, Wu J Q, Zhu S S. Comprehensive evaluation of phenotype genetic diversity in Japonica rice germplasm resources in different ecological zones. Crops, 2020, 36(5): 71-79
- [18] Shalabi L A, Shaaban Z, Kasasbeh B. Data mining: A preprocessing engine. Journal of Computer Science, 2006, 2(9): 735-739
- [19] 谢春霞, 谭学林. 国际水稻所 GUYA 项目引进粳稻品系主成分及聚类分析. 西南农业学报, 2009, 22(2): 252-256
Xie C X, Tan X L. Main component and cluster analysis of japonica lines introduced from IRRI GUYA project. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(2): 252-256

- [20] 伊六喜, 斯钦巴特尔, 张辉, 贾霄云, 高风云, 周宇, 赵小庆, 侯建华. 胡麻核心种质资源表型变异及 SRAP 分析. 中国油料作物学报, 2017, 39(6): 794-804
Yin L X, Siqin B, Zhang H, Jia X Y, Gao F Y, Zhou Y, Zhao X Q, Hou J H. Morphological variation and SRAP analysis of flax core germplasm resources. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2017, 39(6): 794-804
- [21] Ávila C M, Rodríguez-Suárez C, Atienza S G. Tritordeum: Creating a new crop species—the successful use of plant genetic resources. Plants, 2021, 10(5): 1029
- [22] 杨学乐, 何录秋, 张璐, 李志清. 湖南芝麻种质资源农艺性状的遗传多样性. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2019, 45(6): 577-582
Yang X L, He L Q, Zhang L, Li Z Q. Genetic diversity of main characters of sesame germplasm resources in Hunan. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2019, 45(6): 577-582
- [23] 黄艳玲, 张从合, 严志, 王慧, 方玉, 周桂香, 吴浩然, 周乾, 李侠芳, 陈思. 中国农作物种质资源保护的研究进展. 杂交水稻, 2024, 39(1): 11-16
Huang Y L, Zhang C H, Yan Z, Wang H, Fang Y, Zhou G X, Wu H R, Zhou Q, Li X F, Chen S. Research progress of crop germplasm resources protection in china. Hybrid Rice, 2024, 39(1): 11-16
- [24] Wang X X, Wang L, Sun Y Q, Chen J H, Liu Q G, Dong S J. Genetic diversity and conservation of Siberian apricot (*Prunus sibirica* L.) based on microsatellite markers. Scientific Reports, 2023, 13(1): 11245
- [25] Onda Y, Mochida K. Exploring genetic diversity in plants using high-throughput sequencing techniques. Current Genomics, 2016, 17(4): 358-367