植物遗传资源学报
Journal of Plant Genetic Resources
ISSN 1672-1810,CN 11-4996/S

《植物遗传资源学报》网络首发论文

题目：　国外引进甜菜品种的表型性状遗传多样性分析
作者：　孙博微，邱植，李胜男，吴则东
DOI：　10.13430/j.cnki.jpgr.20250914001
网络首发日期：　2025-11-27
引用格式：　孙博微，邱植，李胜男，吴则东．国外引进甜菜品种的表型性状遗传多样性分析[J/OL]. 植物遗传资源学报. https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250914001

植物遗传资源学报
Journal of Plant Genetic Resources　DOI:10.13430/j.cnki.jpgr.20250914001

国外引进甜菜品种的表型性状遗传多样性分析

孙博微，邳植，李胜男，吴则东

（黑龙江大学现代农业与生态环境学院，哈尔滨 150080）

摘要：为探明现有国外引进甜菜品种的主要表型形状的遗传多样性。本研究以127份国外引进甜菜品种为实验材料，对其的19个农艺性状进行了遗传多样性分析，通过相关性分析探究国外甜菜品种各农艺性状间的关系，根据聚类分析结果筛选出优良甜菜品种。12个质量农艺性状的遗传多样性指数在0.5188~1.2689之间，存在较大的多样性差异。7个数量农艺性状变异系数在9.40%~83.9%之间，其中根腐病发病率的变异系数最大。相关性分析表明，甜菜品种的根头大小与根长、根宽三者之间显著正相关，根腐病发病率与维管束环数呈极显著负相关关系。聚类分析结果表明，127份材料可以分为4个类群，类群Ⅰ中的甜菜品种有较高的含糖率；类群Ⅱ中的甜菜品种产量及含糖率均处于较高水平；类群Ⅲ中甜菜品种的根产量最高，可根据地理条件作为高产甜菜品种进行大面积推广种植；类群Ⅳ中的甜菜品种的根产量和含糖率水平均低于其他三组，无明显优势。本研究结果对于掌握国外引进甜菜品种的表型性状遗传多样性，进一步筛选出高产和含糖量高的优质品种提供参考。

关键词：甜菜；形态学；遗传多样性；育种

Analysis of Phenotypic Trait Genetic Diversity in Foreign Sugar Beet Varieties

SUN Bowei, PI Zhi, LI Shengnan, WU Zedong

(College of Advanced Agriculture and Ecological Environment, Heilongjiang University, Heilongjiang 150080)

Abstract: To elucidate the genetic diversity of the main agronomic traits in existing exotic sugar beet varieties.In this study, 127 exotic sugar beet varieties were used as experimental materials. Genetic diversity analysis was conducted on 19 agronomic traits. The relationships among various agronomic traits of foreign sugar beet varieties were explored through correlation analysis, and excellent sugar beet varieties were screened according to the results of cluster analysis. The genetic diversity indices of the 12 qualitative agronomic traits range from 0.5188 to 1.2689, demonstrating substantial diversity variation. The coefficients of variation for the 7 quantitative agronomic traits range from 9.40% to 83.9%, with the incidence of root rot exhibiting the highest coefficient of variation. Correlation analysis reveals a significant positive correlation among crown size, root length, and root width in sugar beet varieties, while a highly significant negative correlation is observed between disease incidence and the number of vascular bundles. Cluster analysis results demonstrate that the 127 accessions can be classified into four groups: Group I comprises sugar beet varieties with high sugar content, Group II includes varieties with both high yield and sugar content, Group III contains varieties with the highest

第一作者研究方向为甜菜农艺性状及分子育种,E-mail:chuibaodiqiu@163.com
通信作者：吴则东,研究方向为甜菜遗传及分子育种,E-mail:1997009@ hl.juedu.cn
基金项目：国家糖料现代农业产业技术体系（CARS-17）
Foundation project：National Modern Agricultural Industry Technology System for Sugar Crops (CARS-17)

root yield, which can be widely promoted as high-yield sugar beet cultivars based on geographical conditions.Beet varieties in Group Ⅳ exhibited lower root yield and sugar content compared with the other three groups, showing no distinct advantages. The results of this study provide a valuable reference for understanding the phenotypic genetic diversity of exotic sugar beet varieties and further screening high-quality varieties with high yield and high sugar content. classification, and breeding should be carried out to effectively improve the breeding efficiency.

Key words: sugar beet；morphological；genetic diversity；breeding

甜菜（*Beta vulgaris*）属苋科（Amaranthaceae）甜菜属，是一种古老的温带二年生草本作物，其野生祖先是沿海甜菜[1]。甜菜是我国除甘蔗外的最重要的糖料作物，主要种植在我国东北、华北以及西北三大生态区[2]。目前栽培甜菜主要分为饲用甜菜、根用甜菜、叶用甜菜和糖用甜菜，糖用甜菜是其中最重要的商业类型[3]。甜菜因其肥厚膨大的块根，富含汁水与糖分，根部主要用于制糖，叶部可作为蔬菜食用或作饲用[4-5]。除此之外，甜菜还是生物乙醇和动物饲料的重要来源[6]。

作物种质遗传资源及遗传多样性是作物基因发掘、遗传改良及新品种培育等研究的基础[7-8]。进行作物种质资源遗传多样性研究的角度多种多样，目前主要从表型性状、染色体、等位酶、DNA 等不同水平对其进行测算和评价[9]，而其中以表型性状研究最为简便、经济，当作物的种质资源群体较为庞大时，因而被广泛采用。目前，小麦[10]、水稻[11]、玉米[12]、棉花[13]、烟草[14]等作物在遗传多样性研究方面的报道较多，并且相关研究已经深入到分子水平层面。

对甜菜品种进行遗传多样性分析和聚类分析的研究，有助于分析品种间亲缘关系和群体结构的组成成分，同时对今后引种改良、资源的保护和利用、优异基因的挖掘和开发都十分关键。但迄今为止，国内关于甜菜品种遗传多样性的研究较少，其主要原因是我国并非甜菜的起源国，我国的甜菜品种大部分是在 20 世纪 60～70 年代从苏联和波兰引入，还有一部分是后来从欧美等国引入[15]。目前，我国甜菜优异种质资源的遗传基础狭窄，特别是单胚、抗病、丰产等优异种质资源非常匮乏[16]。路运才等[17]对 11 个多倍体甜菜品种骨干亲本的主要农艺性状进行了鉴定，发现它们在根产量、含糖率和产糖量方面差异极显著。四倍体品系的根产量和含糖率均优于二倍体材料，而褐斑病抗性差别不大。遗传相关性分析表明，除褐斑病病情与根产量，含糖率及产糖量呈负相关外，其余 3 个性状间均呈正相关。Liu 等[18]通过相关分析、主成分分析和聚类分析等三个不同的分析方法，对 215 份甜菜种质资源表型性状的遗传变异水平进行了多角度的评价。结果表明，叶片数与百苗重、含糖率呈极负相关。在地下性状方面，根产量与糖产量、钾含量、*α*-N 含量呈极显著正相关。

目前我国销售的甜菜品种几乎 100%都是由国外进口，国产品种占比极低。为了解目前我国现有国外引进甜菜品种的遗传特性，掌握在甜菜品种不同生长时期的形态学差异，更加高效的对不同国家和地区的甜菜品种进行选择。本研究于 2024 年从国外育种公司的中国销售代理处收集了 127 个不同甜菜品种，其中包

括了国外在中国销售和试验的几乎所有甜菜品种。这些品种的含糖率和产量优于国产品种，其余的表型性状还未进行鉴定和研究。因此本研究通过对这些甜菜品种质量性状和数量性状进行遗传分析，了解国外甜菜品种表型性状的遗传多样性。对于今后基于形态学差异对甜菜品种进行鉴别具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本实验中共涉及 127 个国外甜菜品种。这些甜菜品种来自 5 个国家的 6 家甜菜育种公司，材料包括德国 34 份（其中 kws 公司 21 份,strube 公司 13 份），美国 betaseed 公司 12 份，法国 ses vanderhave 公司 43 份，丹麦 mariboseed 公司 31 份，英国 lionseeds 公司 7 份。试验材料的具体信息及比例见表 1。

表 1 试验甜菜品种来源及数量

Table 1 Source and quantity of experimental sugar beet varieties

编号 No.	公司名称	所属国家	品种数量
1	ses vanderhave	法国	43
2	mariboseed	丹麦	31
3	kws saat se	德国	21
4	strube	德国	13
5	betaseed	美国	12
6	lionseeds	英国	7

1.2 实验设计

1.2.1 **田间种植** 本试验中搜集到的 127 个国外甜菜品种均由黑龙江大学现代农业与生态环境学院甜菜分子遗传育种重点实验室提供，于 2024 年在黑龙江大学呼兰校区试验田和附近的农村耕地中进行试验。两种种植地均位于同一生态区，且土壤类型、气候类型以及年平均降水量等种植地相关数据均无明显差异。田间试验采用随机区组设计，每个试验品种在同一地块进行 3 次重复，每个小区两行，每行 10 m 长，行距 0.68 m。每个甜菜品种在每个小区共种植 100 株，播种深度为 3 cm，株距 20 cm。所使用的田间管理方法与甜菜实际生产相同。

1.2.2 **表型性状的采集及方法** 根据《甜菜种质资源质量规范和数据标准》[19]，分别对 127 个国外甜菜品种的质量表型性状和数量表型性状进行数据采集。本研究中所涉及的 12 个质量表型性状包括：叶面皱缩程度（Degree of leaf surface wrinkling）、叶片颜色（Leaf color）、叶片形状（Leaf shape）、叶缘形（Leaf margin morphology）、根部形状（Root shape）、根长（Root length）、根宽（Root width）、根头大小（Crown size）、

根皮光滑度（Root skin smoothness）、根沟深度（Root groove depth）、根肉色（Root flesh color）、根肉粗糙度（Root flesh roughness）。参照上述书籍中所列出的甜菜叶片以及根部等相关的性状评价标准进行测定和评价，每个品种在调查性状时均取 10 个样本进行观察。为便于对采集到的数据进行统计分析，采用数字 1~7 对质量性状进行分级评价。并对 7 个数量表型性状进行了遗传多样性分析，包括：发病率（Incidence rate）、叶柄宽度（Petiole width）、叶柄长度（Petiole length）、维管束环数（Number of vascular bundles）、根产量（Root yield）、含糖率（Sugar content）。其中叶片长宽，叶柄长和根部的长宽,根头大小采用游标卡尺测量（精度为 0.01）。

本研究所涉及观察的甜菜品种主要变异性状如图 1 所示，其中除甜菜叶片及根部组成部分的图片引用自《甜菜种质资源质量规范和数据标准》一书，其余的农艺性状图片均为本次试验中实际观察所得。

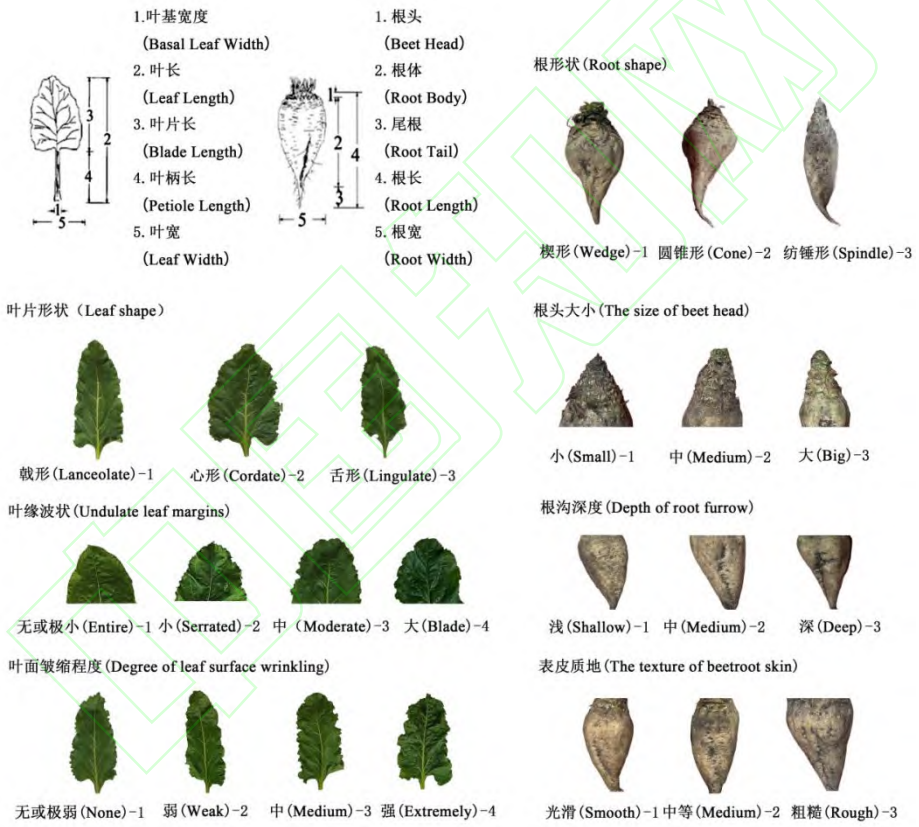

图 1 本实验甜菜品种所涉及的主要变异性状

Fig.1 Principal variability traits of the sugar beet varieties investigated in this experiment

1.3 数据处理

对于本实验的 127 个甜菜品种涉及到的 7 个数量性状，取测定值的算术平均数为每个甜菜品种的最终测定值。使用 Microsoft Excel 对数据进行处理，分别统计不同质量性状在各个品种中的分布数目及分布频率，以及总分布数及频率，并计算其平均值（X）、标准差（S）和变异系数（CV）。采用 Shannon-Wiener 多样性指数（H'）对各质量性状的遗传多样性进行评。

$$H' = -\sum_{i=1}^{n} P_i LnP_i$$

（ln 是自然对数,Pi 是第 i 种变异出现的频率）

利用 SPSS 25.0 软件对 127 个甜菜品种的表型性状统计结果进行遗传多样性分析，相关性分析和聚类分析[20]，并对结果进行双向方差分析，显著性水平为 $P<0.05$ 和 $P<0.01$。

2 结果与分析

2.1 国外甜菜品种的遗传多样性

2.1.1 国外甜菜品种质量性状的统计结果与分析 香农多样性指数（Shannon-Wiener）是评价甜菜品种多样性的重要指标，也是评价各表型性状对甜菜品种多样性检测适用性的重要指标之一。在本研究中，对 127 个国外甜菜品种 12 个质量性状的遗传多样性进行分析（表 2），发现不同的甜菜品种间存在差异。并且不同质量性状在不同的甜菜品种中体现出的显著程度也有所不同。如表 2 所示，这些甜菜品种在叶色上的差异并不显著,表型均表现为不同程度的绿色，其中绿色的叶片占比较大约为 67.94%；叶片的形状大多以犁铧形为主,占比约为 54.06%，舌形次之。叶缘形大部分为大波,叶柄宽度以宽为优势群体，大部分甜菜品种的叶柄长度较长。根部为圆锥形的甜菜品种占比约为 61.07%。不同程度的叶面皱缩程度，根部光滑度，根沟深度和肉色分布较为均匀。果肉粗糙度以较细为主，根头大小为中等占大多数为 78.63%。

12 个不同质量性状的遗传多样性水平差异明显，遗传多样性指数在 0.5188~1.2689 之间，平均值为 0.9289。其中叶面皱缩程度的遗传多样性指数最大，为 1.2689。大部分甜菜品种的根沟深度不明显或较浅，总占比约为 74.05%，说明该性状的遗传多样性较高，遗传基础较广。127 个甜菜品种的质量性状遗传多样性指数大小排列如下：叶面皱缩程度（1.2689）＞根沟深度（1.2685）＞叶缘形（1.2228）＞根粗糙度（1.0749）＞果肉粗糙度（1.0469）＞叶形（1.036）＞叶色（0.9334）＞根部形状（0.8376）＞肉色（0.6929）＞根头大小（0.6616）＞叶柄长度（0.5898）＞叶柄宽度（0.5188）。

表 2　甜菜品种质量性状及遗传多样性指数

Table 2　Quality traits and genetic diversity indices of sugar beet varieties

质量性状 Qualitative traits	分布频率/ % Distribution frequency							遗传多样性指数 Index of genetic diversity (H')
	1	2	3	4	5	6	7	
叶色 Leaf colour	淡绿 （6.11）	绿 （67.94）	浓绿 (19.08）	黄 （6.87）	粉 （0）	红 （0）	紫红 （0）	0.9334

叶形	犁铧形	舌形	心形	柳叶形	戟形	披针形	箭形	1.036
Leaf shape	(54.06）	（33.94）	（5.37）	（6.63）	（0）	（0）	（0）	
叶缘型	全缘	小波	中波	大波				1.2228
Leaf margin shape	（9.92）	（21.38）	（19.08）	（49.62）				
叶面皱缩程度								
Leaf surface wrinkling degree	无	轻度	中度	重度				1.2689
	（11.4）	（33.52）	（39.67）	（15.41）				
叶柄宽度	窄	中	宽					0.5188
Petiole width	（0）	（21.37）	（78.63）					
叶柄长度	短	中	长					0.5898
Petiole length	（23.67）	（75.57）	（0.76）					
根部形状	圆锥形	楔形	纺锤形	近圆形				0.8376
Root shape	(61.07)	(32.82)	(6.11)	(0)				
根粗糙度	光滑	较光滑	粗糙					1.0749
Root roughness	(23.66)	(40.46)	(35.88)					
根沟深度	无	不明显	浅	深				1.2635
Root groove depth	(14.50)	(35.88)	(38.17)	(11.45)				
果肉颜色	白色	浅黄	粉	红				0.6929
Flesh color	(48.85)	(51.15)	（0）	（0）				
果肉粗糙度								
Flesh coarseness	细腻	中等	粗糙					1.0469
	(48.85）	（26.72）	（24.43）					
根头大小	小	中	大					0.6616
Crown size	(3.05)	(78.63)	(18.32)					

2.1.2 国外甜菜品种数量性状统计结果与分析 127 个甜菜品种的 7 个数量性状的变异系数和变异范围存在显著差异，多样性较为丰富（表 3）。在试验所涉及的所有甜菜品种中，7 个数量性状的 CV 值为 9.40%～83.9%,平均值为 25.72%。其中根腐病发病率的变异系数最大，高达 83.9%，表明发病率是变异性最为显著的数量性状。CV 的最小值为 9.40%，平均含糖率为 16.28%，说明含糖率在 127 个甜菜品种间存在的差异并不显著。

CV 值从低到高排列依次为：含糖率（9.40%）<根长（9.96%）<维管束环数（9.99%）<根宽（11.11%）<根产量（26.38%）<根头大小（29.32%）<发病率（83.9%）。可见 127 个甜菜品种的变异性差异显著，多样性较为丰富。

表 3 甜菜品种数量性状的统计分析

Table 3 Statistical analysis of quantitative traits of sugar beet varieties

数量性状 Quantitative trait	最大值 Max	最小值 Min	范围 Range	平均值±标准差 Mean±SD	变异系数 CV%
根头大小 Root end size	8.478	1.841	6.637	4.051±1.188	29.32
根长/cm Root length	31.529	18.707	12.822	24.080±2.397	9.96
根宽/cm Root width	13.731	7.418	6.313	9.934±1.104	11.11
维管束环数 Number of vascular bundles	8.200	4.800	3.400	6.321±0.632	9.99
根产量(10m) Root yield(10m)	95.800	28.150	67.650	55.370±14.607	26.38
含糖率/% Sugar content rate	16.280	10.230	6.050	13.090±1.230	9.40
发病率/% Incidence rate	0	100%	1	24.152%±20.266%	83.9

2.2 国外甜菜品种农艺性状间的相关性分析

对 127 个国外甜菜品种的 7 个数量性状进行相关性分析（表 4），结果显示：4 对表现出极显著相关，根头大小、根宽和根长三者互相之间均呈极为显著正相关，根腐病发病率和维管束环数呈极显著负相关。此外，含糖率与根头大小，发病率与根产量均呈显著负相关。

试验中所研究的 7 个数量性状均为甜菜品种的地下性状，其中根头大小与根长的正相关性最强，相关系数高达 0.621；维管束环数和发病率的负相关性最强，相关系数为-0.378。127 个甜菜品种中，除了发病率与根产量并不是极显著的正相关，其他正相关的性状相关性都极为显著。此外，性状负相关的程度各有不

同，各个性状间的关系密切，互相影响。结果表明，在一定程度上，根头大小越大的甜菜品种根长和根宽也相对较长，发病率呈上升趋势；相应地，维管束环数和根产量都略有降低，且含糖率下降较为显著。

表 4 甜菜品种 7 个数量性状的相关性分析

Table 4　Correlation analysis of 7 quantitative characteristics of sugar beet germplasm resources

数量性状 Quantitative trait	根头大小	根长	根宽	维管束环数	根产量(10 m)	含糖率	发病率
根头大小 Root end size	1						
根长 Root length	0.621**	1					
根宽 Root width	0.471**	0.560**	1				
维管束环数 Number of vascular bundles	-0.099	-0.136	-0.058	1			
根产量(10m) Root yield(10m)	-0.019	-0.043	-0.121	-0.140	1		
含糖率 Sugar content rate	-0.200*	-0.092	-0.133	-0.031	-0.018	1	
发病率 Incidence rate	0.169	0.059	0.098	-0.378**	-0.234*	0.010	1

*、**分别表示在 *P<0.05*、*P<0.01* 水平上显著相关

*，** indicates significant correlation at *P<0.05,P<0.01* level, respectively

2. 3 国外甜菜品种的聚类分析结果

通过对 7 个数量性状进行聚类分析，当平方欧氏距离为 5 时 127 个甜菜品种被划分为 4 个主要的聚类群组，依次对应图三中的四种颜色,分别为浅蓝色、红色、深蓝色，绿色。各群组的性状特征见表 5 及图 2。

第一组共有 33 个甜菜品种，约占总数的 30.6%，该组的含糖率在四组中最高，但根头大小，根长，根宽这三种数量性状最低。说明该组中的甜菜品种大都含糖率较高，大多数为 ses vanderhave 公司的甜菜品种。

第二组共包括 4 个甜菜品种，主要来自 ses vanderhave 公司，约占总数的 5.3%，从数量特征上看该组的含糖率，根产量，在四个群组中都处于较高水平，属于高产优质的甜菜品种。鉴于以上特点，该组中的甜菜品种可作为能源甜菜和高糖甜菜品种进行种植。

第三组中包含了 60 个甜菜品种，主要来自 ses vanderhave 和 mariboseed 两家公司，占总数的 32.8%。该组中的甜菜品种根产量最高，属于高产甜菜品种。

第四组有 30 个甜菜品种，大多数来自 ses vanderhave，mariboseed 和 kws saat se 约占总数的 31.3%。该组中的甜菜品种的根头大小，根长，根宽都比其他三个群组大，但是根产量和含糖率在所有群组中处于最低水平。

表 5 聚类各群组的性状特征及平均值

Table 5 Cluster Characteristics and Mean Values of Each Group

群组 Population	品种总数 Number of Varieties	根头大小 Crown size	根长/cm Root length	根宽/cm Root width	维管束环数 Number of vascular bundles	根产量(10m) Root yield	含糖率(%) Sugar content
GroupI	33	3.869	23.575	9.771	6.245	68.505	13.160
GroupII	4	3.914	24.108	9.838	6.330	54.178	13.115
GroupIII	60	4.304	24.426	9.969	6.271	85.436	12.693
GroupIV	30	4.213	24.484	9.191	6.395	38.679	13.067

图 2 127 个甜菜品种的聚类分析结果

Fig.2 Cluster analysis results of 127 sugar beet varieties

3 讨论

形态学性状的评价是种质资源鉴定和保护的重要步骤[21]，形态多样性评价在确定地方种质资源适应性、综合农艺性状潜力及育种价值方面也起到关键作用[22]。而且大量的研究证明作物品种表型性状多样性是资源收集、评价、鉴定的重要方法,已经成功应用于很多植物的研究中，如小麦[23]、梨[24]、板栗[25]、菊花[26]等。尽管国外有对栽培甜菜和野生甜菜 [*B. vulgaris* subsp. *maritima* （L.）Arcang.] 杂交的甜菜品种以及亚得里亚海沿岸的甜菜种质的表型多样性的研究[27-28]，但对来自不同国家育种公司甜菜品种的相关研究较少。

本研究利用来自六家国外育种公司的 127 个甜菜品种，对 12 个质量性状和 7 个数量性状进行遗传多样性分析，结果表明，各农艺性状的遗传多样性指数在 0.5188～1.2689 之间，其中叶面皱缩程度的遗传多样性指数最大。使用变异系数（CV）来描述性状的变异程度，当某一特定性状的 CV 大于 10%，则该性状在不同的品种之间存在很大差异。本试验涉及的 7 个数量性状的 CV 值为 9.40%～83.9%，表现出丰富的遗传多样性。姚祝芳等[29]在研究了我国甘薯地方资源的遗传多样性，分析不同时期收集的甘薯地方资源表型上的差异。揭示了甘薯性状特征的大范围变异，将生长势性状的变异用于高产品种的开发[30]。

不同农艺性状之间存在不同程度的相关性，一种性状的变化会导致其他性状的变化。罗彦长等[31]对相关不育系和父本的主要农艺性状的表现、变异和相关性进行分析，提出中籼杂交水稻主要的农艺性状选育指标，为进一步利用该不育系和父本及高产杂交水稻品种选育提供参考。本研究中对 127 个甜菜品种的 7 个数量性状进行相关性分析，其中有 4 对表型形状表现出极显著相关。此外，后续对于甜菜根腐病发病率和维管束环数的相关的调控机制研究，可引入分子标记技术如 SNP 定位与两者相关的 QTL 位点，明确调控维管束发育及抗病性的关键基因。在应用不同的甜菜品种进行种质资源创新工作中，要注意各性状之间的影响，考虑到不同性状之间的关系，促进各项优良性状的协调发展。

基于农艺性状对不同来源的甜菜品种进行聚类分析，将具有优良性状的甜菜品种聚为一类，有针对性的将具有互补性状的甜菜品种用于将来甜菜种质资源改良工作中，更加科学合理,高效便捷[32-33]。刘蕊[34]利用了 Indel 和 SSR 分子标记，对 21 份红甜菜遗传多样性进行研究，结果表明红甜菜品种大多因亲缘关系较近，因此在选育新品种时,建议尽量选择遗传距离较远的品种作为亲本。褚明月等[35]以 135 份甜菜种质资源为材料，对 28 个农艺性状进行遗传多样性分析，通过聚类分析筛选出优异种质，结合最优回归方程对甜菜的产量和产糖量进行预测。

表型性状鉴定的精准度是作为作物进行遗传多样性，群体结构等分析的关键。表型数据的客观性直接影响遗传分析是否准确。目前多数作物的表型形状统计较为依赖人工，在人工鉴定的模式下，某些表型性状区分标界限准较为模糊且人为判断存在差异，易在统计表型数据时出现偏差，进而影响分析的准确性。因此，在后续研究工作中需建立更为细化的表型鉴定规范体系，明确各性状的分级标准与判定阈值，同时引入高精度表型测量仪器（如激光叶面积仪、光谱分析仪）及自动化数据采集与分析软件，通过技术手段减少人为主观误差，提升表型数据的可靠性，为遗传分析提供更可靠的表型基础。

4 结论

本研究以 127 个国外甜菜品种为研究材料，对其农艺性状进行遗传多样性分析、相关性分析和聚类分析。结果表明，127 个甜菜品种的 12 个质量农艺性状遗传多样性指数在 0.5188～1.2689 之间，叶面皱缩程度和根沟深度较高，在叶柄长度和宽度上较低。7 个数量农艺性状变异系数在 9.40%～83.9%之间，其中根腐病发病率的变异系数最大，含糖率的变异系数较低。相关性分析得出了 4 对表现极显著相关的农艺性状，其中根头大小、根宽和根长三者互相之间均呈极为显著正相关，根腐病发病率和维管束环数呈极显著负相关。聚类结果表明，第二组中的甜菜品种可作为能源甜菜和高糖甜菜品种进行种植，第三组中甜菜品种的根头较大，平均产量为四组中最高,可选择适宜的种植环境进行大面积推广。在实际育种过程中根据育种目标，分别以高产、高含糖率、高抗病性等其他性状为侧重点,进行引种改良、分类选育，从而有效提高育种效率。

参考文献

[1] The Amaranth Genome: Genome, Transcriptome, and Physical Map Assembly.The Plant Genome,2016,9(3):1

[2] 陈艺文，李用财，余凌羿，王叶琼，倪虹涛. 中国三大主产区甜菜糖业发展分析.中国糖料,2017,39(04):74-76,80

Chen Y W, Li Y C,Yu L Y, Wang Y Q, Ni H T. Analysis of the Development of Beet Sugar Industry in China's Three Major Production Regions. Sugar Crops of China, 2017,39 (04):74-76,80

[3] 刘乃新，马龙彪，赵雨，吴则东.利用 PCR 仪快速提取甜菜基因组 DNA.中国农学通报,2016,32(35):15-18

Liu N X, Ma L B, Zhao Y, Wu Z D. Rapid Extraction of Genomic DNA from Sugar Beet Using PCR Instrument.Chinese Agricultural Science Bulletin,2016,32(35):15-18

[4] 罗振福,贺建华,谭碧娥. 甜菜粕的资源化利用及其在猪营养中的应用.家畜生态学报, 2020, 41(1): 81-85

Luo Z F, He J H, Tan B E. Review of Utilization of Sugar Beet Pulp and Its Application on Pigs.Journal of Domestic Animal Ecology,2020,41(1): 81-85

[5] 刘华君,王燕飞，张立明，杨洪泽. 栽培甜菜的种类及利用价值. 中国糖料, 2004(4): 46-49

Liu H J, Wang Y F, Zhang M L, Yang H Z. Cultivation Varieties and Utilization Value of Sugar Beet, Sugar Crops of China,2004(4): 46-49

[6] 金英姿. 甜菜粕的深层次开发.中国甜菜糖业,2004(3):16-18

Jin Y Z. Depth development on beet pulp.China Beet & Sugar,2004(3):16-18

[7] Zhao K, Tung C W, Eizenga G C, Wright M H, Ali M L, Price A H, Norton G J, Islam M R, Reynolds A, Mezey J, McClung A M, Bustamante C D, McCouch S R. Genome-wide association mapping reveals a rich genetic architecture of complex traits in Oryza sativa. Nature communications,2011,2(1):467

[8] Glaszmann J C, Kilian B, Upadhyaya H D, Varshney K V. Accessing genetic diversity for crop improvement. Current Opinion in Plant Biology, 2010,13(2):167-173

[9] Chen P,Chen S Y,Pi Z, Wu Z D. Genetic diversity analysis of monogerm cytoplasmic male sterile and maintainer lines of sugar beet . Agronomy, 2024,14(10): 2217-2217

[10] Amit K M,Neeraj B,Manjeet K,Anjan K P,Sundeep K,Prashanth B,Rajbir Y,Kiran B G. Exploring the genetic diversity and population structure of anancient hexaploid wheat species Triticum sphaerococcum using SNP markers . BMC Plant Biology, 2024, 24(1): 1188

[11] 严志琴, 章孟臣, 陈小央, 李燕, 徐群, 王珊, 冯跃, 魏兴华, 杨窑龙.浙江省水稻种质资源的遗传相似度分析.植物遗传资源学报, 2025,26(9),1734-1743

Yan Z Q, Zhang M C, Chen X Y, Xu Q, Wang S, Feng Y, Wei X H.Genetic similarity analysis of rice germplasm resources in Zhejiang province.Journal of Plant Genetic Resources,2025,26(9),1734-1743

[12] Carlos I A, Isamar B S, Joel F, Rodomiro O, Raul B, Pedro J, García M, Ricardo S, José C, Alexander G. Genotyping by sequencing reveals the genetic diversity and population structure of Peruvian highland maize races. Frontiers in Plant Science, 2025, 16: 1526670-1526670

[13] Seyoum M, Du X M, He S P, Jia Y H, Pan Z, Sun J L. Analysis of genetic diversity and population structure in upland cotton (*Gossypium hirsutum L.*) germplasm using simple sequence repeats. Journal of genetics, 2018, 97(2): 513-522

[14] 屈旭, 焦禹顺, 李毅君, 王同华, 刘少云, 刘国祥, 张兴伟. 湖南地区新收集烟草种质资源的鉴定与遗传多样性分析.植物遗传资源学报 2018,19(6):1117-1125

Qu X, Jiao Y S, Li Y J, Wang T H, Liu S Y, Liu G X, Zhang X W. Identification and genetic diversity analysis of newly collected tobacco germplasm resources in Hunan province. Journal of Plant Genetic Resources, 2018,19(6):1117-1125

[15] 李满红, 王秀荣.内蒙古甜菜育种五十年回眸.中国糖料, 2007(3): 4

Li M H, Wang X R. Fifty years of sugar beet breeding in inner mongolia: A retrospective analysis. Sugar Crops of China, 2007(3): 4

[16] 鄂圆圆,白晨,张惠忠, 李晓东, 付增娟, 赵尚敏, 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, Zheng W Z. The collection, identification and evaluation of beet germplasm in the north China. Journal of Northern Agriculture, 2015, 43(1): 17-18,46

[17] 路运才,王华忠.甜菜多倍体品种骨干亲本的重要农艺性状鉴定与评价. 中国糖料, 2006 (2): 3

Lu Y C, Wang H Z.Identification and evaluation of key agronomic traits in sugar beet polyploid elite parental lines. Sugar Crops of China,2006 (2): 3.

[18] Liu D L,Wang X W Q,Li W S,Li J J, Tan W B, Xing W. Genetic diversity analysis of the phenotypic traits of 215 sugar beet germplasm resources. Sugar Tech, 2022, 24(6): 1790-1800

[19] 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, 2006,3-18

Cui P. Descriptors and date standard for beet (*Beta vulgaris* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2006,3-18

[20] 宫彦龙, 雷月, 闫志强, 刘雪薇, 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 (05): 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 (05): 71-79

[21] Peng L,Ru M,Wang B Q,Wang Y,Li B, Yu J, Liang Z S. Genetic diversity assessment of a germplasm collection of Salvia miltiorrhiza Bunge. based on morphology, ISSR and SRAP markers . Ecology Environment & Conservation, 2014,55:84-92

[22] Scarano D, Rubio D, Ruiz J J, Rao R, Corrado G. Morphological and genetic diversity among and within common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from the Campania region (Southern Italy) . Scientia Horticulturae, 2014, 180: 72-78

[23] Salsman E, Liu Y, Hosseinirad S A, Kumar A, Manthey F, Elias E, Li X. Assessment of genetic diversity and agronomic traits of durum wheat germplasm under drought environment of the northern Great Plains . Crop Science, 2021, 61(2): 1194-1206

[24] 解亚容, 张向展, 王亚楠, 杨健, 王龙, 王苏珂, 薛华柏. 200 份梨资源萼片表型性状评价.植物遗传资源学报 2025,26(5),891-904

Jie Y R, Zhang X Z, Wang Y N, Yang J, Wang L, Wang S K, Xue H B. Sepal phenotypic evaluation of 200 pear germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2025,26(5),891-904

[25] 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(4): 641-652

Jiang X B, Gong B C, Liu Q Z, Che X, Wu Y K, Deng Q E, Tang D. Phenotypic diversity of important agronomic traits of local cultivars of chinese chestnut . Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(4): 641-652

[26] 任丽华, 高秋美, 刘洪冲, 米真如, 董秋颖, 蒲高斌, 韩加坤. 菊花种质资源遗传多样性分析及综合评价. 南方农业学报, 2025, 56(2): 462-473

Ren L H, Gao Q M, Liu H C, Mi R Z, Dong Q Y, Pu G B,Han J K. Genetic diversity and comprehensive evaluation of chrysanthemum germplasm resources . Journal of Southern Agriculture, 2025, 56(2): 462-473

[27] Piergiorgio S, Daniele T, Enrico B, Giovanni C, Mitchell M J,Massimo S. Evaluation of genetic diversity and root traits of sea beet accessions of the Adriatic Sea coast. Euphytica, 2013, 189(1): 135-146

[28] Karen K F, Larry G C, Giovanny C P, Lorraine R B, Juan Z. Genetic diversity is enhanced in Wild × Cultivated hybrids of sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) despite multiple selection cycles for cultivated traits. Genetic Resources and Crop Evolution, 2021, 68(6): 1-15

[29] 姚祝芳, 张雄坚, 杨义伶, 黄立飞, 陈新亮, 姚肖健, 罗忠霞, 陈景益, 王章英, 房伯平. 177 份甘薯地方资源表型性状的遗传多样性分析. 作物学报, 2022, 48(9): 14

Yao Z F, Zhang X J, Yang Y L, Huang L F, Chen X L,Yao X J, Luo Z X, Chen J Y, Wang Z Y, Fang B P. Genetic diversity of phenotypic traits in 177 sweetpotato landrace . Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(9): 14

[30] Thuy T P M, Craig M H, Mobashwer M A, Henry R J, Topp B L. Phenotypic characterisation for growth and nut characteristics revealed the extent of genetic diversity in wild macadamia germplasm. Agriculture, 2021, 11(7): 680

[31] 罗彦长, 阮新民, 施伏芝, 从夕汉, 杜弘杨, 罗玉祥. 水稻重点不育系和父本主要农艺性状表现及相关性分析. 安徽农业科学,

2025,https://link.cnki.net/urlid/34.1076.S.20250303.1615.002

Luo Y Z, Ruan X M, Shi F Z, Cong X H, Du H Y, Luo Y X. Performance and correlation analysis of major agronomic traits of key sterile lines and paternal parents . Journal of Anhui Agricultural Sciences,2025,https://link.cnki.net/urlid/34.1076.S.20250303.1615.002

[32] Evgenidis G, Traka M E, Koutsika S M. Principal component and cluster analysis as a tool in the assessment of tomato hybrids and cultivars. International Journal of Agronomy, 2011, 2011: 1-7

[33] Lee H Y, Ro N Y, Jeong H J. Genetic diversity and population structure analysis to construct a core collection from a large Capsicum germplasm. BMC genetics, 2016, 17(1): 142

[34] 刘蕊,刘乃新,吴玉梅,吴则东,兴旺,王秋红. 基于 SSR、InDel 分子标记的红甜菜遗传多样性分析. 中国农学通报, 2019,35(22):47-52

Liu R,Liu N X,Wu Y M,Wu Z D,Xing W,Wang Q H. Genetic diversity analysis of red beet: based on ssr and indel molecular markers. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019,35(22):47-52

[35] 褚明月,王皓,刘大丽,李佳璇,陈柯铮,王墨涵,兴旺. 甜菜农艺性状与产量和产糖量的相关性研究.西北农林科技大学学报:自然科学版,2025,53(8):55-65

Chu M Y,Wang H,Liu D L,Li J X,Chen K H,Wang M H,Xing W.Study on the correlation between agronomic characters and yield and sugar yield of sugarbeet.Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition,2025,53(8):55-65