

山西省“三普”食用豆种质资源调查分析

郝晓鹏¹, 邱傅懿², 杨彩玉², 李 佳², 赵 敏², 王 燕¹, 董 雪¹, 赵建栋¹, 秦慧彬¹,
李 萌¹, 侯 森¹, 畅建武¹, 王海岗¹, 穆志新¹

(¹ 山西农业大学农业基因资源研究中心/农业农村部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室/中国农业科学院杂粮研究中心(太原), 太原

030031; ² 山西农业大学农学院, 太谷 030801)

摘要: 山西省地处黄河中游、黄土高原东翼, 是我国农耕文明的发源地, 素有“小杂粮”王国的美誉。山西的食用豆种质资源种类多样、类型丰富, 具有重要的研究和利用价值。本研究基于第三次全国农作物种质资源普查与收集行动所获得的数据信息, 开展了调查分析。结果表明, 山西省“三普”共收集食用豆资源 1907 份, 隶属于 1 科、8 属、14 种。依据对环境适应性和生态习性, 将 1907 份食用豆资源划分为冷季豆类、暖季豆类和热季豆类 3 类; 依据用途和利用方式, 划分为 6 类。11 个地级市种质资源收集数量由多到少依次为: 临汾、忻州、吕梁、运城、大同、晋中、长治、晋城、太原、朔州和阳泉。普通菜豆在 11 个地市当中均有种植且占明显优势, 其次为豇豆、绿豆和豌豆。从南北地理分布来看, 14 个豆种当中冷季豆多种植于中北部地区, 而暖季豆主要种植于山西省中南部地区, 热季豆则南北均有种植; 从海拔范围的资源分布来看, 801~1200 m 资源数量最多(863 份), 其次为 1201~1600 m (594 份), 0~400 m 和 >2000 m 资源数量最少, 分别为 23 份和 4 份; 从种质资源来源地土壤类型来看, 将 1907 份资源来源地土壤类型分为 7 个土纲、10 个土类、21 个亚类。10 个土壤类型当中以褐土占据绝对优势, 共计 1247 份资源来源于该土壤类型, 其次为栗褐土、黄绵土, 来源于棕壤的资源数量最少(1 份)。此外, 以豌豆为例开展了资源多样性分析, 基于收集的 87 份豌豆资源表型数据, 通过聚类分析, 将这些资源划分为 6 组, 主成分分析将 13 个表型性状转换为 4 个主成分, 累计贡献率为 76.94%, 表型性状相关性分析和聚类则将 13 个性状划分为 5 类。通过对上述 1907 份山西省食用豆种质资源调查分析和田间鉴定评价, 能够对山西省“三普”当中普查和收集资源的总体情况有充分了解和认识, 可为山西省食用豆种质资源的研究、利用和保护提供科学依据。

关键词: 食用豆; 农作物普查; 优异资源; 种质资源; 主成分分析

Investigation and Analysis of Food Legumes Germplasm Resources of Third Crop Germplasm Resources Census in Shanxi Province

HAO Xiaopeng¹, QIU Fuyi², YANG Caiyu², LI Jia², ZHAO Min², WANG Yan¹, DONG Xue¹, ZHAO Jiandong¹,
QIN Huibin¹, LI Meng¹, HOU Sen¹, Chang Jianwu¹, WANG Haigang¹, MU Zhixin¹

收稿日期: 2025-02-16 网络出版日期:

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250216001>

第一作者研究方向为食用豆种质资源和遗传育种, E-mail: hxp9802@163.com

通信作者: 郝晓鹏, 研究方向为食用豆种质资源和遗传育种, E-mail: hxp9802@163.com

基金项目: 山西省基础研究计划(2021030212341); 国家现代农业产业技术体系-食用豆(CARS-08); 国家重点研发计划(2021YFD1600600); 山西农业大学生物育种工程(YZGC148); 山西省农作物种质资源保护与利用项目(sxzyk202301)

Foundation projects: China Agriculture Research System of MOF and MARA-Food Legumes (CARS-08); Fundamental Research Program of Shanxi Province (20210302123417); National Key Research and Development Program of China (2021YFD1600600); Biological Breeding Engineering of Shanxi Agricultural University (YZGC148); Shanxi Crop Germplasm Resources Conservation and Utilization Projects (sxzyk202301)

Abstract: Shanxi province is located in the middle reaches of the Yellow River and the eastern wing of the Loess Plateau. It is the birthplace of China's agricultural civilization and is known as the "minor crop" kingdom. Food legume germplasm resources are diverse and rich in types and numbers, and have important research and utilization value in Shanxi province. In this study, we conducted an investigation and analysis based on the data obtained from the third national crop germplasm resource census and collection action. The results showed that 1907 collections of food legumes from Shanxi Province, were belonged to 1 family, 8 genera, and 14 species. Based on environmental adaptability and ecological habits, 1,907 food legumes are divided into three categories: Cool-season legumes, warm-season legumes and hot-season legumes. According to their use and utilization methods, they are divided into six categories. The number of germplasm resources collected in 11 prefecture-level cities from more to less is as follows: Linfen, Xinzhou, Lvliang, Yuncheng, Datong, Jinzhong, Changzhi, Jincheng, Taiyuan, Shuozhou and Yangquan. Common bean is grown in 11 prefecture-level cities and have a significant advantage in the numbers of germplasm, followed by cowpea, mung bean and pea. From the perspective of geographical distribution, among the 14 food legumes, cool-season legumes are planted in the central and northern regions of Shanxi Province, while warm-season legumes in the central and southern, with hot-season legumes in the north and south. From the perspective of resource distribution in altitude, 863 collections were collected between 801 and 1200 m, followed by 594 (1201-1600 m), 23 (0-400 m) and 4 (> 2000 m). From the perspective of soil types of the source of germplasm resources, the source of 1907 resources are divided into 7 soil classes, 10 soil great groups, and 21 sub-categories. Among the 10 soil great groups, cinnamon soil has an absolute advantage, with a total of 1247 resources from this soil great group, followed by chestnut cinnamon soil and loessial soil. The number of brown soil resources is the smallest, with only 1 collection. In addition, a resource diversity analysis was carried out with pea as an example. Based on pea resources phenotype data collected, 87 pea resources were divided into 6 groups through clustering analysis. Thirteen phenotype traits were transformed into 4 principal components with the principal component analysis (cumulative contribution rate of 76.94%), as well as were divided into 5 categories based on the phenotype trait correlation and cluster analysis. Through the above 1907 food legumes germplasm resources survey and field appraisal evaluation, we can have a full understanding of collections from the third crop germplasm resource census and collection actions in Shanxi Province, and can provide a scientific basis for the research, utilization and protection of food legumes.

Key words: food legume; crop census; excellent resources; germplasm resources; principal component analysis

食用豆是指除大豆和花生以外,以食用干、鲜籽粒或嫩荚为主的豆类作物的总称^[1]。山西省主要栽培种植食用豆有 14 个豆种,隶属于菜豆属、扁豆属、豇豆属、豌豆属、兵豆属、鹰嘴豆属、山黧豆属和野豌豆属 8 个属^[2-3]。从对环境的适应性划分,山西食用豆分为冷季豆、暖季豆和热季豆 3 类^[4]。食用豆在山西省不仅种类繁多、种质资源也非常丰富,在 117 个市县区均有分布,是仅次于糜子、谷子的第三大类杂粮作物。

山西省食用豆种质资源系统性收集保存工作最早可追溯到解放初期,分别是于 1956 年开始的第一次农作物品种征集、1981 年开始的第二次品种补充征集、2011-2015 年基于科技部科技基础性行业专项的系统调查和 2019 年启动第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(简称“三普”)。其中第一次普查因年代久远,资源数量、种类均无从考证,且因文革时期贮存管理不善,这些收集的地方品种许多丧失发芽率,造成不应有的损失,但仍有 818 份资源被编目入库^[5];第二次普查,共征集食用豆种质资源 2571 份,在对收集到的食用豆种质资源进行了整理、研究,对同名同种、异名同种的种质以县为单位进行了归并和鉴定繁殖,最终 1865 份种质进行了编目,同时入国家种质资源长期库、中期库和国家特色杂粮作物种质资源中期

库（太原），对食用豆资源进行了有效地保护^[6-9]。

2011-2015 年，科技部科技基础性工作专项“西北干旱区抗逆农作物种质资源调查”项目启动并实施，对山西省食用豆种质资源的保护起到一定的作用，共收集食用豆种质资源 212 份，目前已全部提交国家种质资源库和山西省种质资源库妥善保存^[10]。2019-2022 年开展的山西省“三普”，共收集食用豆种质资源 1907 份，占“三普”所有作物收集总资源量（6177 份）的 30.9%，一批特异、优异食用豆种质资源得到及时有效的保存。

截至目前，山西省食用豆种质资源编目入库共计 4802 份^[5-10]。由于独特的地理气候条件，山西的食用豆产量高、品质优，如怀仁的绿豆、岢岚的红芸豆、左云的豌豆等，均为当地地理标志产品。尽管如此，但到目前为止，山西的食用豆并没有得到有效开发，许多高产、抗逆和富含高功能成分的食用豆种质资源没有得到有效的挖掘和利用。

山西省地处黄河中游，黄土高原东部，国土面积 15.6 万平方公里。山西省域内地形、地貌复杂，山地占本省总国土面积 40%，丘陵占 40.3%，平川、盆地仅占 19.7%。山西省南北跨度大，总体属我国温带大陆性季风气候，地跨中温带和暖温带气候区，四季分明，光照充足、雨热同季。春秋季短，温度变化幅度大，夏季炎热多雨、冬季寒冷漫长。由于受到气候、土壤、地形地貌等因素的影响，山西农田气候类型多样，作物种类繁多，尽管种植面积有限，但在国民经济发展当中具有不可替代的作用。山西是杂粮大省，有小杂粮王国的美誉，其中包括谷子、糜子、食用豆、燕麦、荞麦、高粱和马铃薯等作物，是山西杂粮作物的主要类型^[11]。这些丰富的种质资源，目前已经鉴定挖掘到一些优异种质，如翼城县的珍珠玉米，抗逆性和抗病虫性强，成熟后籽粒硬，利于储存；万荣县的三白瓜，果肉乳白色，肉质紧实，富含氨基酸，耐储存；泽州县的芹菜抗虫性、耐寒性强，可越冬，茎叶提取物可用于生物农药的研发；运城市闻喜县的普通菜豆白不老，不仅豆荚结荚多，荚色绿白，而且肉质肥厚、无筋，营养价值较高^[12-13]。

本研究在山西省“三普”调查基础上，基于种质资源来源地、地理分布、种植地环境、资源利用特点和方式等，以及资源农艺性状鉴定等，对山西省“三普”食用豆资源进行综合分析，以期对山西省食用豆种质资源的研究、保护和利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验材料为“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”在山西收集，来源于山西省 115 个县市区。通过对这些县市区普查的基础上，分别对部分历史上未开展大规模调查的区域进行系统调查，共收集到食用豆种质资源 1907 份。

1.2 试验方法

1.2.1 普查与系统调查方法

依据《山西省农业农村厅关于开展全省农业种质资源普查的通知》（晋农种业发[2021]2号）和《山西省农作物种质资源普查与收集行动实施方案（2021-2023年）》实施方案https://nynct.shanxi.gov.cn/sxnytzwgk/sxsynctxxgk/nynct/gknr/auto1235/zyglc/202112/t20211227_4260354.shtml。由山西省农业农村厅组织，通过利用2020-2022年三年时间，在我省115个县市区开展农作物种质资源的普查征集，其中每个普查县（市、区）由当地农业农村局负责征集地方农作物品种20份以上，并汇交至山西省农作物种质资源库开展鉴定和编目入库。

系统调查由山西农业大学（山西省农业科学院）组织实施，通过在我省30个县开展农作物种质资源系统调查和抢救性收集，调查至少3个乡镇，每个乡镇调查至少3个行政村，每个调查县市区调查收集农作物80份以上。所收集的种质资源要求为地方品种、野生近缘种或种植年代20年以上的育成及引进品种，以期获得一批珍稀濒危、濒临灭绝的农作物种质资源。

在资源征集和系统调查过程当中，需要对资源的经纬度、海拔、土壤等地理信息，作物特征特性、农民认知和栽培要点等进行调查记载，同时对种质资源样本和生长环境等能够反映该种子特点场景进行拍照记录，以尽可能的保存种质资源的所有信息，同时开展鉴定评价、繁种入库和资源编目等工作^[4]。

1.2.2 田间表型性状鉴定评价

2023年在山西省五寨县小河头镇小武洲村进行种植和田间鉴定，每份资源种植面积 $2\times5\text{ m}^2$ 。以“三普”收集的87份豌豆种质资源为研究对象，参考《豌豆种质资源描述规范和数据标准》^[15]，随机选择5株进行性状调查。田间调查性状包括：花色、粒色、复叶叶型、种子表面4个质量性状和生育日数、株高、主茎节数、单株分枝数、单株荚数、单荚粒数、荚长、百粒重和单株产量9个数量性状。其中，对4个质量性状进行赋值（表1）；将数量性状划分为10级，以 0.5δ 为间距（ δ 为某一性状所有数据的标准差， X 为其均值），即1级 $<X-2\delta$ ，10级 $\geq X+2\delta$ ，进行数量性状的多样性计算。在数据整理的基础上，对13个性状进行主成分分析、聚类分析和Pearson相关性分析^[16]。

表1 4个质量性状赋值

Table 1 Assignment of 4 qualitative traits

质量性状	赋值
Quality traits	Assignment
复叶叶型 Leaf type	普通=1；无=2
花色 Flower color	黄=1；紫红=2；浅红=3；白=4
种子表面 Seed surface	光滑=1；凹坑=2
粒色 Seed coat color	绿=1；斑纹=2；淡黄=3

1.2.3 数据整理分析

利用 Microsoft Excel 365、Past 4.16 和 R 4.4.1 软件进行各性状、各项指标的录入和统计分析。其中数

据整理使用 Microsoft Excel 365，计算多样性指数（*I*）使用 Past 4.16，主成分分析、聚类分析（Ward 聚类法）和相关性分析使用 R 4.4.1 当中的 FactoMineR 包、pheatmap 包和 plot 函数。

$$CV = \sigma / \mu \tag{1}$$

其中σ是指某一性状的标准偏差，μ是指某一性状的平均值。

$$I = -\sum P_i \ln P_i \tag{2}$$

其中 *P_i* 表示某一性状的第 *i* 个级别或表型的个体数占总个体数的比值。

2 结果与分析

2.1 山西省食用豆种质资源分类

2.1.1 植物学分类

第三次全国农作物种质资源普查与收集行动，山西省共收集食用豆种质资源 1907 份。依据中国植物志分类系统，1907 份食用豆种质资源隶属于 1 科，8 属，14 种。在 14 个豆种当中，普通菜豆资源最为丰富，占食用豆资源收集总量的 43.2%，其次为小豆，有 343 份，占资源总量的 18.0%，豇豆资源 212 份，占总量的 11.1%。资源数量在 101~200 份的还有绿豆、豌豆，分别为 172 份和 106 份，共占资源总量的 14.6%。蚕豆、箭舌豌豆、小扁豆、山黧豆、鹰嘴豆、多花菜豆、利马豆、扁豆、饭豆等资源数量均在 100 份以下，合计 250 份，占资源总量的 13.1%（表 2）。

表 2 山西省 14 个豆种植物学分类

Table 2 Botanical classification of 14 food legumes in Shanxi Province

生态习性 Ecology habit	属 Genus	种 Species	数量 Number	比例(%)Proportion
冷季豆 cool-season legumes	豌豆属	豌豆	106	5.6
	野豌豆属	蚕豆	38	2.0
		箭舌豌豆	27	1.4
	兵豆属	小扁豆	46	2.4
	山黧豆属	山黧豆	17	0.9
	鹰嘴豆属	鹰嘴豆	2	0.1
暖季豆 warm-season legumes	菜豆属	普通菜豆	824	43.2
		多花菜豆	22	1.2
		利马豆	10	0.5
	扁豆属	扁豆	22	1.2
热季豆 hot-season legumes	豇豆属	绿豆	172	9.0
		小豆	343	18.0
		豇豆	212	11.1
		饭豆	66	3.5
合计 Totals	8	14	1907	100.0

2.1.2 生态习性分类

依据食用豆不同的生态习性，将 1907 份食用豆资源划分为冷季豆类、暖季豆类和热季豆类 3 类。三类豆种中，冷季豆共 236 份，隶属于 5 属 6 种，分别为豌豆、蚕豆、箭舌豌豆、小扁豆、山黧豆、鹰嘴豆。其中，豌豆资源数量最多，为 106 份，蚕豆、小扁豆资源量分别为 38 份和 46 份。箭舌豌豆和山黧豆资源量较少，主要作为北部地区牧草类资源使用；暖季豆类共 878 份，隶属于 2 属 4 种，包括普通菜豆、多花菜豆、扁豆、利马豆。其中，普通菜豆资源量最大，种质资源类型最为丰富。普通菜豆当中的直立矮生型品种红芸豆，生育期短，抗逆性强，是目前晋西北地区种植面积最大的普通菜豆品种。此外，多花菜豆、扁豆、利马豆主要种植于我省南部地区，多花荚，以菜用为主；热季豆类共 793 份，隶属于 1 属 4 种，分别为绿豆、小豆、豇豆、饭豆，在我省南北各县市区均有分布。其中，绿豆种植面积最大，适应性最广，其次为小豆，也有一定的种植面积，豇豆、饭豆则为零星种植（表 2）。

2.1.3 使用用途分类

按照食用豆用途分类，可将 14 个豆种分为 6 类，即粮用、菜用、饲用、药用、绿肥和观赏园艺。这 14 个豆种中，大多以粮用和菜用为主，部分兼有多种用途。其中，粮用食用豆为 12 种（除箭舌豌豆和扁豆），加工利用方式以面粉、糕点、蒸煮炖和油炸为主；菜用食用豆包括 5 种，分别为豌豆、山黧豆、普通菜豆、扁豆和绿豆，以苗期芽菜或结荚期嫩荚利用为主；药用食用豆有 3 种，其中山黧豆当中三七素（ β -ODAP, β -N-oxalyl-L- α,β -diaminopropionic acid）具有凝血和活血功效、绿豆当中的牡荆素和异牡荆素是清热解毒的主要功能成分，饭豆富含磷、铁、锌以及维生素 B1、B2 和烟酸，这些营养元素对于人体能量代谢、血红蛋白合成和提高免疫功能具有重要作用；由于箭舌豌豆和山黧豆由于生物量较大，叶片富含蛋白质，因而具有饲草和绿肥功能。近年来，赏食两用豌豆、蚕豆及山黧豆等作物也被广泛种植（表 3）。上述 14 个食用豆，许多兼具多种用途，如山黧豆，是兼具粮用、菜用、饲用、药用、绿肥和观赏园艺的多功能食用豆作物。

表 3 14 个食用豆利用方式

Table 3 Utilization types of 14 food legumes

物种名称 Species name	粮用 Grain	菜用 Vegetable	饲用 Feed	药用 Medicinal	绿肥 Green manure	观赏园艺 Ornamental gardening
豌豆 <i>Pisum sativum</i> L.	豆面、豌豆黄、凉粉	芽苗菜				观赏
蚕豆 <i>Vicia faba</i> L.	油炸蚕豆					观赏
箭舌豌豆 <i>Vicia sativa</i> L.			饲草		绿肥	
小扁豆 <i>Lens culinaris</i> M.	凉粉、糕点					
山黧豆 <i>Lathyrus sativus</i> L.	南欧特色美食 Chicharada	芽苗菜	饲草	活血、凝血成分提取	绿肥	观赏
鹰嘴豆 <i>Cicer arietinum</i> L.	凉菜					
普通菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	凉菜、罐头、月饼、豆馅	菜用				
多花菜豆 <i>Phaseolus multiflorus</i> L.	煲汤					观赏
利马豆 <i>Phaseolus lunatus</i> L.	煲汤					

扁豆 <i>Lablab purpureus</i> (L.) Sweet		菜用				观赏
绿豆 <i>Vigna radiata</i> (L.) Wilczek	糕点、绿豆汤、豆面	芽苗菜		清热解毒		
小豆 <i>Vigna angularis</i> (wild)	糕点、豆面、豆馅					
Ohwi&Ohashi						
豇豆 <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	豆面、豆馅					
饭豆 <i>Vigna umbellata</i> (Thunb.)	饭豆汤			补血		
Ohwi & Ohashi						
合计 Totals	12	5	2	3	2	5

2.2 山西省食用豆种质资源分布特征和多样性分析

2.2.1 行政区域分布特征和多样性分析

山西省食用豆种质资源分布区域广泛，经普查和系统调查，共收集到食用豆种质资源 1907 份。这些食用豆资源分布区域覆盖山西省内 11 个地级市的 115 个县（市、区），其中临汾 276 份、忻州 261 份、吕梁 247 份、运城 205 份、大同 199 份、晋中 190 份、长治 162 份，其他 4 个地级市食用豆资源数量相对较少，均在 150 份以下（表 4）。

不同食用豆在各地级市多样性分析表明，普通菜豆在 11 个地级市，除阳泉外，均占明显优势，占资源总量的 43.2%；其次为小豆，除朔州、忻州和大同外，总体占资源总量的 18.0%；此外，总体在 101~200 份以上的资源还包括豇豆、绿豆、豌豆等资源，其中豇豆资源适应性较广泛，在我省 11 个地市均有种植，绿豆资源除阳泉外均有种植，豌豆主要在山西省中北部地区的大同、忻州、朔州、吕梁等市，太原、晋中、临汾、运城收集资源量较少，长治仅收集到 1 份；其余 9 个食用豆资源数量在我省均不占优势。冷季豆类多分布于山西省北部地区，南部地区较少，热季豆类和暖季豆类当中的普通菜豆、绿豆、小豆、豇豆等在山西省各地均有分布，多花菜豆、利马豆、扁豆和饭豆则主要种植于我省中南部地区（表 4）。

表 4 11 个地级市 14 个食用豆数量分布统计

Table 4 Distribution statistics of 14 food legumes in 11 prefecture-level cities

作物类别	大同	朔州	忻州	太原	晋中	吕梁	临汾	运城	阳泉	长治	晋城	合计
Crop types	Datong	Shuozhou	Xinzhou	Taiyuan	Jinzhong	Lvliang	Linfen	Yuncheng	Yangquan	Changzhi	Jincheng	Totals
豌豆 <i>Pisum sativum</i> L.	21	10	26	5	4	23	8	8	0	1	0	106
蚕豆 <i>Vicia faba</i> L.	14	5	12	2	0	4	0	0	0	1	0	38
箭舌豌豆 <i>Vicia sativa</i> L.	6	8	9	0	0	4	0	0	0	0	0	27
小扁豆 <i>Lens culinaris</i> M.	18	5	7	1	1	2	1	8	0	3	0	46
山黧豆 <i>Lathyrus sativus</i> L.	10	2	2	2	0	1	0	0	0	0	0	17
鹰嘴豆 <i>Cicer arietinum</i> L.	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
普通菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	93	39	94	60	92	124	125	37	22	86	52	824
多花菜豆 <i>Phaseolus multiflorus</i> L.	4	1	5	1	2	0	3	0	1	4	1	22
利马豆 <i>Phaseolus lunatus</i> L.	0	0	0	2	0	0	2	6	0	0	0	10
扁豆 <i>Lablab purpureus</i> (L.) Sweet	0	0	4	4	0	0	1	7	1	4	1	22
绿豆 <i>Vigna radiata</i> (L.) Wilczek	14	4	25	4	19	17	38	33	0	10	8	172
小豆 <i>Vigna angularis</i> (wild)	7	5	33	15	56	42	53	45	25	33	29	343

Ohwi&Ohashi												
豇豆 <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	12	8	42	10	12	25	23	45	5	16	14	212
饭豆 <i>Vigna umbellata</i> (Thunb.)	0	0	1	0	4	5	22	16	1	4	13	66
Ohwi & Ohashi												
资源数 Resources number	199	88	261	106	190	247	276	205	55	162	118	1907
种类数 Species number	10	11	13	11	8	10	10	9	6	10	7	14

2.2.2 海拔分布特征和多样性分析

山西省食用豆种植海拔范围较为广泛，主要种植范围为 322~2539 m 之间，资源分布数量随着海拔的升高呈先增加后减少的趋势。其中分布资源量最多的海拔为 801~1200 m 范围内，共收集资源 863 份，占总资源量的 45.25%，这些资源当中以普通菜豆资源最为丰富，其次为小豆、豇豆和绿豆；在 1201~1600 m，共收集食用豆种质资源 594 份，占总量的 31.15%，资源类型同样为普通菜豆和小豆占优势，豌豆资源数量有所增加，豇豆、饭豆等资源数量减少；401~800 m 范围内，共收集资源 306 份，占总量的 16.05%，热季豆和暖季豆仍旧占有明显优势；其他分布在 0~400 m、1601~2000 m、>2000 m 范围内的食用豆资源数量依次为 23 份、117 份、4 份，占比分别为 1.21%、6.14%和 0.21%。1601~2000 m 范围海拔较高，气候冷凉，收集资源数量偏少，其中以冷季豆为主，0~400 m 和>2000 m 的资源量较少，仅有 27 份，由于自然条件较差，人类活动稀少，导致资源分布数量有限（表 5）。

表 5 六个海拔范围食用豆数量分布统计

Table 5 Distribution statistics of 14 food legumes at 6 altitude ranges

作物类别 Crop types	0~400 (m)	401~800 (m)	801~1200 (m)	1201~1600 (m)	1601~2000 (m)	>2000 (m)	合计 Totals
豌豆 <i>Pisum sativum</i> L.	1	8	29	41	26	1	106
蚕豆 <i>Vicia faba</i> L.	0	2	4	16	15	1	38
箭舌豌豆 <i>Vicia sativa</i> L.	0	0	0	21	6	0	27
小扁豆 <i>Lens culinaris</i> M.	2	7	9	22	6	0	46
山黧豆 <i>Lathyrus sativus</i> L.	0	0	1	16	0	0	17
鹰嘴豆 <i>Cicer arietinum</i> L.	0	0	1	0	1	0	2
普通菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	2	75	377	309	60	1	824
多花菜豆 <i>Phaseolus multiflorus</i> L.	0	2	6	13	1	0	22
利马豆 <i>Phaseolus lunatus</i> L.	0	8	1	1	0	0	10
扁豆 <i>Lablab purpureus</i> (L.) Sweet	2	11	9	0	0	0	22
绿豆 <i>Vigna radiata</i> (L.) Wilczek	4	44	94	29	1	0	172
小豆 <i>Vigna angularis</i> (wild) Ohwi&Ohashi	3	65	184	89	1	1	343
豇豆 <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	7	60	110	35	0	0	212
饭豆 <i>Vigna umbellata</i> (Thunb.) Ohwi & Ohashi	2	24	38	2	0	0	66
资源数 Resources number	23	306	863	594	117	4	1907
种类数 Species number	8	11	13	12	9	4	14

2.2.3 土壤类型特征和多样性

山西省“三普”食用豆资源来源地土壤类型较为丰富，经普查和调查得出，1907 份食用豆种质资源来

源地土壤类型可分为 7 个土纲、10 个土类、21 个亚类。10 个土类当中，种植来源地土壤类型占比最高的土类为褐土，共有 1247 个，占总数的 65.39%；占比最低的为棕壤，仅有 1 份资源；超过总资源数量 5%的土壤类型分别是：栗褐土（占 16.2%）、黄绵土（占 5.98%）。其余栗钙土、潮土、粗骨土、红粘土、石质土和草甸盐土等土类获取的资源较少，资源量均低于 5%以下（表 6）。

褐土是山西省食用豆种植区主要的土种类型，从褐土分布区收集的食用豆资源共计 1247 份，占总收集资源数量的 65.39%，该土种除鹰嘴豆外，其余 13 个豆种均有收集。其次为栗褐土，共收集食用豆种质资源 309 份；收集到 100 份以上的土壤类型还有黄绵土，其中该土种冷季豆收集较少，主要收集资源以热季豆和暖季豆为主；草甸盐土和棕壤收集资源较少，分别只有 2 份和 1 份。总体来看，山西省食用豆种植的土壤类型种类较多，但各土种种植的食用豆数量分布很不均匀（表 6）。

表 6 10 个土种类型的 14 个食用豆数量分布统计
Table 6 Distribution statistics of 14 food legumes germplasm resources in 10 soil great groups

作物类别 Crop types	草甸盐土 Meadow solonchaks	潮土 Fluvo-aquic soils	粗骨土 Skeletol soils	褐土 Cinnamon soil	红粘土 Red clay soils	黄绵土 Cultivated loessial soils	栗钙土 Castanozemms	栗褐土 Castano-cinna mon soils	石质土 Litho soils	棕壤 Brown earths	合计 Totals
豌豆 <i>Pisum sativum</i> L.	0	3	2	44	0	10	5	42	0	0	106
蚕豆 <i>Vicia faba</i> L.	0	0	3	14	0	0	3	17	0	1	38
箭舌豌豆 <i>Vicia sativa</i> L.	0	0	0	18	0	0	2	7	0	0	27
小扁豆 <i>Lens culinaris</i> M.	0	3	0	15	0	0	14	14	0	0	46
山豆 <i>Lathyrus sativus</i> L.	0	0	0	3	0	1	9	4	0	0	17
鹰嘴豆 <i>Cicer arietinum</i> L.	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
普通菜豆 <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	0	27	38	550	4	41	27	130	7	0	824
多花菜豆 <i>Phaseolus multiflorus</i> L.	0	0	1	14	0	0	3	4	0	0	22
利马豆 <i>Phaseolus lunatus</i> L.	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	10
扁豆 <i>Lablab purpureus</i> (L.) Sweet	0	3	0	18	0	0	0	1	0	0	22
绿豆 <i>Vigna rabiata</i> (L.) Wilczek	1	5	4	112	2	16	6	26	0	0	172
小豆 <i>Vigna angularis</i> (wild) Ohwi&Ohashi	0	18	9	253	6	20	4	28	5	0	343
豇豆 <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	1	4	0	139	1	22	12	33	0	0	212
饭豆 <i>Vigna umbellata</i> (Thunb.) Ohwi & Ohashi	0	2	0	58	0	4	0	2	0	0	66
资源数 Resources number	2	66	57	1247	13	114	86	309	12	1	1907
种类数 Species number	2	9	6	13	4	7	11	13	2	1	14

2.3 豌豆种质资源多样性分析

山西省食用豆种质资源类型丰富。豌豆作为山西省传统食用豆作物，具有抗寒性、抗旱性强，耐瘠薄的特点。此外豌豆还是汾酒酿造产业的重要原材料，因此具有重要的经济价值和生态价值。本研究以豌豆为例，对“三普”收集的来源于山西省中北部的大同、朔州、忻州、吕梁等北部地区的 87 份豌豆资源，开展资源多样性分析，以期了解山西省豌豆种质资源的类型和多样性特征。

2.3.1 四个质量性状的分布分析

通过 87 份豌豆资源 4 个质量性状的种类数量分析表明（图 1），4 个质量性状的性状类别为 2~4 个。4 个质量性状除种子表面光滑（45 份）和凹坑（42 份）大致相等外，其余均表现为某一个性状数量占绝对优势。如复叶叶型为无叶（82 份），花色为紫红（66 份），粒色为斑纹（65 份）。

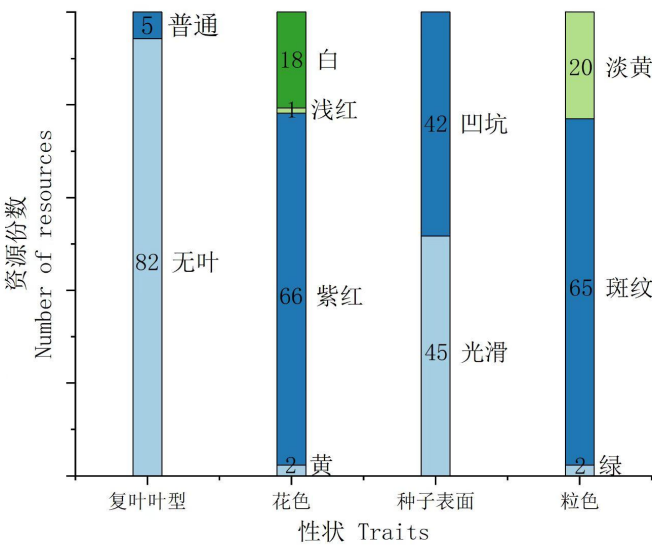


图 1 四个质量性状各性状类型分布
Fig.1 Distribution of types of 4 quality traits

2.3.2 九个数量性状的变异分析

9 个数量性状当中，生育日数、荚长变幅较小，如生育日数在 88~108 d，平均值在 96.4 d，极差在 20.0 d，变异系数仅有 5.1%。荚长在 3.5~5.4 cm 之间，变异系数为 7.8%；单株分枝数和单株荚数变异系数较大，其中单株分枝数范围在 0~7.2 个之间，变异系数在 117.0%，单株荚数在 2.4~70.8 个之间，平均值在 7.3 个，变异系数达到 112.4%；生育日数、株高、主茎节数、单荚粒数和百粒重的变异系数均低于 40.0%，如株高在 36.1~127.8 cm 之间，极差在 91.8 cm，变异系数 28.8%。主茎节数变幅在 13.2~27.4 个之间，平均值 21.7 个，变异系数在 14.9%。单荚粒数变异系数较小，为 19.3%，而百粒重变异系数稍大，为 37.1%，这与豌豆大、中、粒均存在和多样性丰富有关；9 个数量性状当中单株产量变异系数也较大，为 93.8%，变幅在 1.2~30.0 g 之间，平均值在 4.5 g（表 7）。

表 7 9 个数量性状的变异统计

Table 7 Variation statistics of 9 quantitative traits

数量性状	极小值	极大值	极差	平均值	标准差	变异系数 (%)
Quantity traits	Min.	Max.	Rang	Mean	SD	CV
生育日数(d)Growth period	88.0	108.0	20.0	96.4	4.89	5.1
株高(cm)Plant height	36.1	127.8	91.8	78.2	22.45	28.8

主茎节数	13.2	27.4	14.2	21.7	3.28	14.9
Nodes number of the main stem						
单株分枝数	0	7.2	7.2	1.1	1.17	117.0
Number of primary branches						
单株荚数 Pods per plant	2.4	70.8	68.4	7.3	7.87	112.4
荚长(cm)Pod length	3.5	5.4	1.9	4.6	0.39	7.8
单荚粒数 Seeds per pod	2.9	6.2	3.3	4.1	0.77	19.3
百粒重(g)100 seed weight	8.5	29.4	20.9	16.2	5.93	37.1
单株产量(g)Seed weight per plant	1.2	30.0	28.9	4.5	3.75	93.8

2.3.3 87 份豌豆资源主成分分析

主成分分析显示前 4 个主成分特征值均大于 1.0, 其中第一主成分特征值为 4.19, 方差贡献率为 32.19%; 第二主成分特征值为 2.5, 方差贡献率为 19.27%; 第三主成分特征值为 1.89, 方差贡献率为 14.57%; 第四主成分特征值为 1.42, 方差贡献率为 10.91%, 其中前 4 个主成分累计贡献率达到 76.94% (表 8)。

由主成分分析的各性状载荷因子矩阵可知, 第一主成分主要与生育日数、株高、主茎节数、单株分枝数、单株荚数、荚长、单株产量等因子有关, 为株型及产量主成分; 第二主成分代表了花色、粒色、单荚粒数和百粒重等因子, 为种子形成相关主成分; 第三主成分代表了复叶叶型因子; 第四主成分代表了种子表面因子。上述四个主成分, 特征值均大于 1, 方差累计贡献率为 76.94%, 代表了 13 个性状因子 (表 8)。

表 8 前四个主成分各性状载荷因子矩阵

Table 8 Loading factor matrix of traits in the first four principal components

表型性状	主成分 Principal component			
Phenotypic traits	PC1	PC2	PC3	PC4
生育日数(d)Growth period	0.827	-0.049	-0.388	0.059
复叶叶型 Leaf type	-0.137	0.461	0.454	-0.103
花色 Flower color	0.301	0.731	0.056	-0.408
种子表面 Seed surface	0.102	-0.208	0.190	0.698
粒色 Seed coat color	0.292	0.745	-0.014	-0.375
株高(cm)Plant height	0.806	-0.126	-0.435	0.105
主茎节数	0.798	0.076	-0.496	0.020
Nodes number of the main stem				
单株分枝数	0.684	-0.516	0.273	-0.271
Number of primary branches				
单株荚数 Pods per plant	0.735	-0.324	0.491	-0.193
荚长(cm) Pod length	0.583	0.276	0.297	0.365
单荚粒数 Seeds per pod	-0.427	-0.502	0.275	-0.267
百粒重(g)100 seed weight	0.068	0.644	0.342	0.529
单株产量(g)Seed weight per plant	0.689	-0.146	0.683	-0.054
特征值 Eigenvalue	4.19	2.5	1.89	1.42
方差贡献率 (%)	32.19	19.27	14.57	10.91

Contribution rate				
累计方差贡献率（%）	32.19	51.46	66.03	76.94
Accumulated contribution rate				

2.3.4 87 份豌豆资源聚类分析

在主成分分析基础上，基于主成分分析得到的特征向量和 Z-score 标准化后的表型性状数据，依据下列公式计算 87 份豌豆种质资源各主成分表型性状得分（表 9）。

表 9 13 个性状与主成分换算公式

Table 9 Mathematical formula for translating 13 traits into principal components

13 个性状与主成分换算公式	编号
Mathematical formula for translating 13 traits into principal components	Number
$y_1=0.4042x_1-0.0668x_2+0.1472x_3+0.0496x_4+0.1429x_5+0.394x_6+0.3902x_7+0.3345x_8+0.3591x_9+0.285x_{10}-0.2085x_{11}+0.0335x_{12}+0.337x_{13}$	(1)
$y_2=-0.0239x_1+0.2254x_2+0.3571x_3-0.1017x_4+0.3644x_5-0.0617x_6+0.0373x_7-0.2523x_8-0.1582x_9+0.1348x_{10}-0.2454x_{11}+0.3147x_{12}-0.0713x_{13}$	(2)
$y_3=-0.1899x_1+0.222x_2+0.0272x_3+0.0928x_4-0.0069x_5-0.2124x_6-0.2425x_7+0.1337x_8+0.2399x_9+0.1451x_{10}+0.1346x_{11}+0.167x_{12}+0.3338x_{13}$	(3)
$y_4=0.0286x_1-0.0504x_2-0.1996x_3+0.3414x_4-0.1832x_5+0.0514x_6+0.0097x_7-0.1324x_8-0.0945x_9+0.1787x_{10}-0.1304x_{11}+0.2584x_{12}-0.0264x_{13}$	(4)

其中，y1~y4 表示某一种质资源在某一主成分的得分，x1~x13 分别表示生育日数、复叶叶型、花色、种子表面、粒色、株高、主茎节数、单株分枝数、单株荚数、荚长、单荚粒数、百粒重、单株产量 13 个性状的标准化值。

基于 87 个豌豆资源前 4 个主成分表型性状得分和聚类分析表明，87 个豌豆资源可划分为 6 个大类。通过聚类组资源性状变异情况分析，6 个类群划分依据为花色、粒色、复叶叶形、株高、百粒重、单株荚数和单株产量。其中聚类组 I 以小籽粒、低产量资源为主，资源数量较多，占资源总量的 37.9%；聚类组 II 为大粒型品种类型，资源数量相对较少；聚类组 III 为矮生型豌豆品种，粒型较小。聚类组 IV 种皮为淡黄色、花白色，株高较高。聚类组 V 资源数量较少，大多为无叶豌豆品种，具有直立抗倒的特点。聚类组 VI 资源数量仅 2 份，株高较高，平均值 123.1 cm，尽管百粒重较低，但单株荚数较高，导致产量明显增加（表 10、图 2）。87 份种质的主成分二维排序图显示，6 个类别分别被划分在不同的区域（图 3）。

表 10 6 个聚类组资源数量和性状统计

Table 10 Resource number and trait statistics in 6 cluster groups

性状 Traits	I	II	III	IV	V	VI
数量 Number	33	13	18	15	6	2
花色 Flower color	紫红	紫红	紫红	白	白	紫红
粒色 Seed coat color	斑纹	斑纹	斑纹	淡黄	淡黄	斑纹
复叶叶形 Leaf type	普通	普通	普通	普通	无叶	普通
株高(cm)Plant height	88.0	82.6	53.2	91.7	41.3	123.1
百粒重(g)100 seed weight	12.7	26.1	11.7	18.8	22.1	12.5
单株荚数 Pods per plant	5.9	5.6	5.5	5.3	7.3	51.5
单株产量(g)Seed weight per plant	2.9	5.3	3.3	5.1	6.3	24.2
多样性指数 I	0.972	0.792	1.044	1.099	0.959	0.388

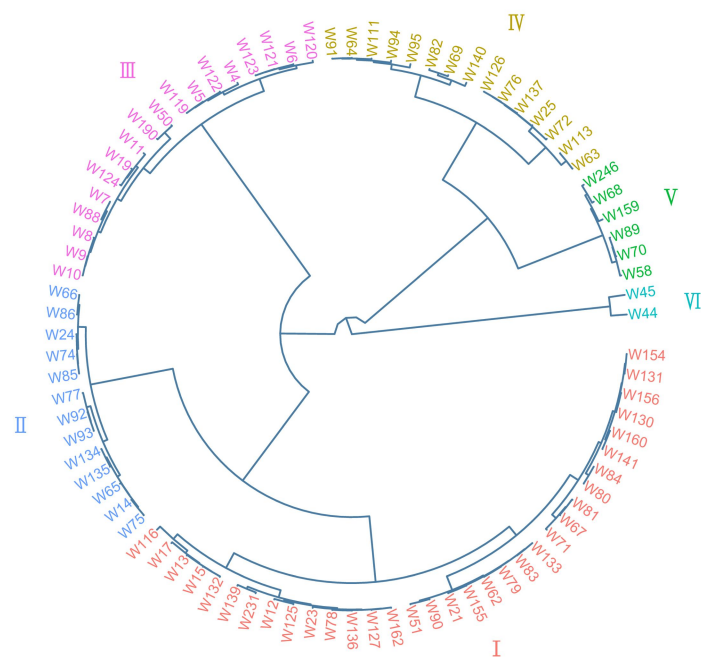


图 2 87 个豌豆资源聚类
Fig. 2 Clustering of 87 peas

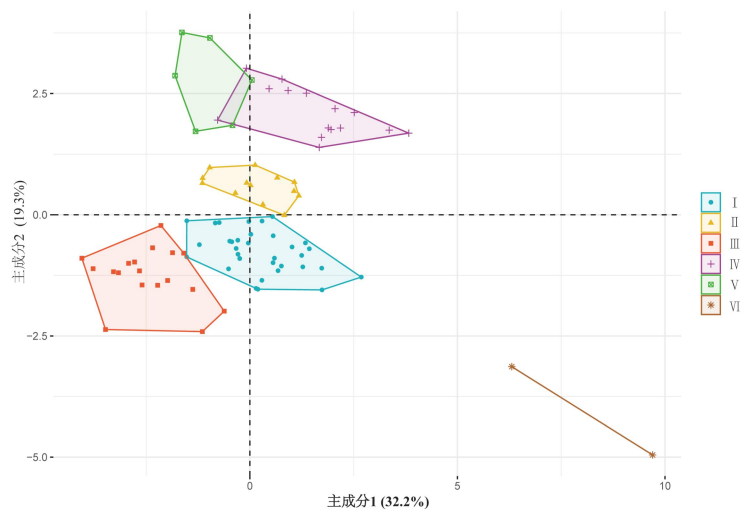


图 3 87 份豌豆 13 个性状主成分二维排序

Fig.3 Two-dimensional ordination of principal components of 13 traits of 87 peas

2.3.5 13 个性状相关性分析

基于 87 份豌豆资源，13 个农艺性状的二维矩阵数据，对 13 个表型性状进行 Pearson 相关性和聚类。相关性分析表明：单株分枝、单株荚数和单株产量之间相关系数较高 ($r > 0.7$)。同样，株高、生育日数和

主茎节数之间的相关系数也较高 ($r > 0.7$)，花色和粒色同样相关系数较高 (0.77)。总体来看，相关系数较高性状间均为正相关。通过聚类分析，将 13 个性状划聚为 5 类。其中生育日数、株高、主茎节数和荚长聚为一类；复叶叶型、花色、粒色和百粒重聚为一类；单株分枝数、单株荚数和单株产量聚为一类；种子表面和单荚粒数各自划分为一类（图 4）。

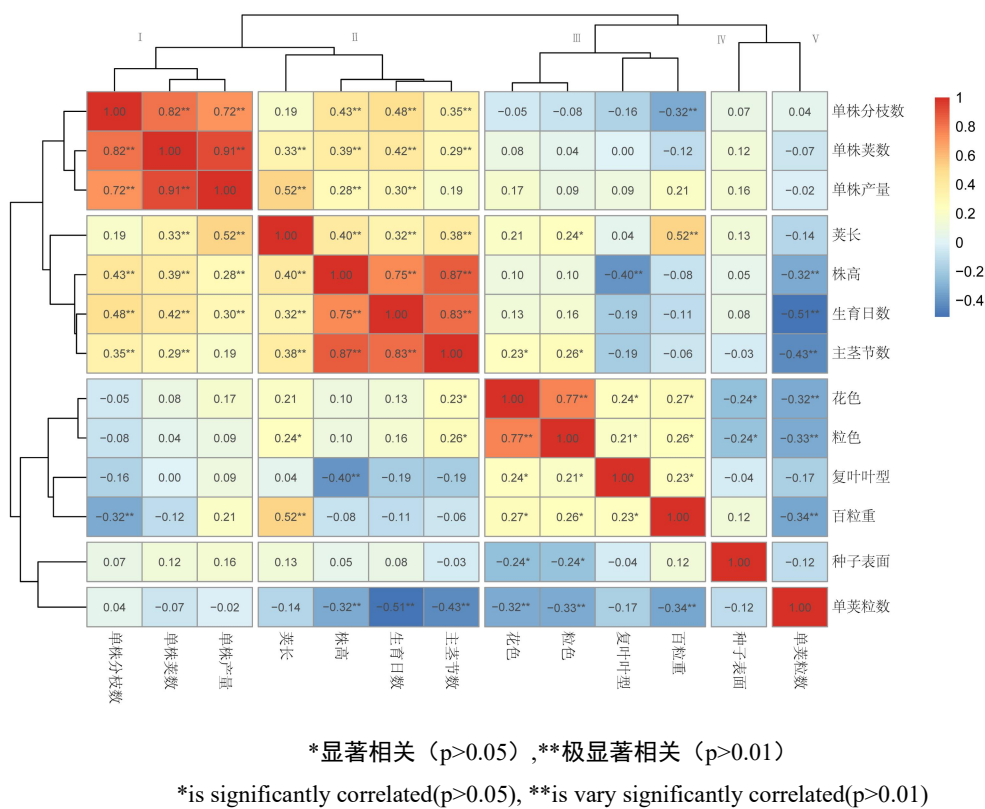


图 4 13 个性状 Pearson 相关性和聚类
Fig. 4 Pearson correlation of 13 traits

3 讨论

3.1 山西省食用豆种质资源收集保存现状

种质资源又称遗传资源、基因资源，是由自然界长期发展演化的结果。农作物种质资源是自然界植物和人类协同进化的结果，是人类几千年驯化形成的宝贵财富。农作物种质资源是种业的芯片，是人类赖以生存的物质基础，对人类的生存和发展具有重要意义。截至目前，我国农作物种质资源保存量在 56 万余份。

山西杂粮资源丰富，其中的食用豆是继糜子、谷子之外的第三大类作物。山西的食用豆种质资源，作物种类繁多、资源类型多样。自 1956 以来，山西省种质资源保护和利用中心共编目食用豆资源 4802 份，包括豌豆、蚕豆、箭舌豌豆、小扁豆、山黧豆、鹰嘴豆、普通菜豆、多花菜豆、扁豆、利马豆、绿豆、小豆、豇豆和饭豆等 14 个豆种。其中普通菜豆当中的白不老、五月鲜为无筋豆角，口感尚佳。绿豆当中的大明绿豆和小明绿豆，种皮浅绿色、煮绿豆汤口感绵密。豌豆当中的麻豌豆，是制作汾酒的主要原料之一。这些已编目入库的食用豆资源均保存于山西省种质资源低温库当中，得到了有效的保护。

第三次全国农作物种质资源普查与收集行动（山西）于 2020 年启动实施。通过对山西省 115 个（市、区）开展普查，对其中的 30 个县开展农作物种质资源系统调查和抢救性收集，以期摸清我省农作物种质资源家底，丰富农作物种质资源基因库，提升农作物种质资源利用效率，促进种质资源共享与利用，切实提升我省种业核心竞争力。通过 2020-2022 年 3 年的紧张工作，目前已经完成 1907 份食用豆种质资源信息采集和数据整理汇交，种子已经提交至中国国家农作物种质资源库保存。

3.2 山西省“三普”食用豆种质资源收集情况及与其他省份的比较

就目前报道来看，江西省、广西省、浙江省、云南省都有关于食用豆种质资源收集、鉴定的相关报道，其中以江西省和广西省最为详细。第三次农作物普查和收集，江西省共获得食用豆种质资源 1307 份，包括蚕豆、豌豆、普通菜豆、利马豆、扁豆、绿豆、小豆、饭豆、豇豆、黎豆和刀豆，隶属于 1 科 7 属 12 种。与我省资源比较，共有资源有蚕豆、豌豆、普通菜豆、利马豆、扁豆、绿豆、小豆、饭豆、豇豆 9 种，刀豆和黎豆我省未发现该类资源^[6]。山西省的箭舌豌豆、小扁豆、山黧豆、鹰嘴豆在该省未发现。就共有资源的数量来看，江西省豇豆资源较为丰富，共收集到 449 份，其次为绿豆、扁豆、豌豆、饭豆、蚕豆和普通菜豆，资源量分别为 150 份、119 份、108 份、105 份、87 份和 84 份。而山西省以普通菜豆资源较为丰富，共 824 份，其他资源在山西省均有，且也占到一定比例，其中又以小豆、豇豆、绿豆和豌豆等抗旱、耐冷等资源占优势，其他资源虽然也有种植，但数量不多、分布区域也较为集中；广西省收集的食用豆资源共 471 份，隶属于 1 科 9 属 16 种。除木豆、黎豆、刀豆、直立刀豆、四棱豆、黑吉豆、箭舌豌豆、小扁豆、山黧豆、鹰嘴豆外，其余豆种在山西省均有分布，与江西省相似，豇豆、饭豆、绿豆、扁豆同样占明显优势，而蚕豆、豌豆等冷季豆较少^[7]；与浙江省比较，与山西省共有的资源包括蚕豆、多花菜豆、利马豆、扁豆、绿豆、小豆、豇豆、饭豆，刀豆和黎豆同样在我省未发现^[8]。与云南省相比较，蚕豆、豌豆、普通菜豆、多花菜豆、利马豆、绿豆、小豆、豇豆、扁豆、饭豆等资源共有外，山西省还有箭舌豌豆、小扁豆、山黧豆、鹰嘴豆等，这些作物多为冷凉区种植，多见于北方地区^[9]。总体来看，南部地区多以热季豆和暖季豆种植为主，而北部地区则冷季豆、热季豆和暖季豆均有种植，由于山西省南北跨度较大、海拔高差明显、地形地貌复杂，非常适合食用豆的种植。刘旭等^[20]指出，作物种质资源协同演变实质上是作物在驯化、传播和改良过程中受到自然选择和人工选择的双重压力，导致形成类型丰富、特色各异的种质资源。山西省地处我国干旱半干旱地区，旱地、瘠薄地占山西省耕地面积的 72.8%。而杂粮大多具有抗旱、耐瘠作物，非常适合山西的农业生态环境，特别是食用豆，不仅种子当中的蛋白质含量丰富、而且富含微量元素和多种必需氨基酸，许多如普通菜豆、豌豆、蚕豆、山黧豆等具有多种用途和功能。山西地处黄河流域，是华夏文明的发源地之一，尧都平阳，舜都蒲坂，禹都安邑，均分别位于山西南部的临汾、运城地区。这些复杂的自然环境与厚重的人文历史，共同促进了食用豆种质资源在山西的孕育和发展，经过长期的人类驯化，使得山西的食用豆种质资源非常丰富^[21]。

3.3 未来山西省食用豆种质资源的保护利用面临的问题与对策

山西省食用豆目前编目入库保存量 4802 份, 这些资源均已入国家长期库、中期库和山西省种质资源库低温保存, 得到了有效的保护。但到目前为止, 许多资源为上世纪 50 年代和 80 年代两次普查收集资源, 目前未进行繁殖更新, 也使得资源丧失的风险增加。此外, 许多资源在收集之初, 仅进行了部分性状的鉴定评价, 而且也缺乏统一的鉴定标准, 导致目前科研人员和育种家等对这些种质资源的认识不够全面, 使得种质资源保护利用难度加大。

十四五以来, 我国国家层面启动了种质资源精准鉴定工作, 围绕种质资源, 按照统一标准开展多年多点鉴定评价, 开展种质资源的重测序和目标表型或功能成分的鉴定, 以进行优异等位变异和优异基因的鉴定和挖掘, 这对于种子资源的保护和利用具有重要意义。因此, 山西省应当适时启动特色资源的精准鉴定工作, 开展资源多年多点的表型性状鉴定, 围绕特定表型性状开展资源的优异基因挖掘, 以期提升食用豆种质资源的保护利用能力和水平。此外, 山西省目前收集资源大多为农家种和育成种, 对于野生种和野生近缘种等种质资源的收集和保护力度不够, 随着近年来大食物观概念的提出, 向自然界要粮食、开拓新的食物来源成为一种重要选择, 而这些野生种和野生近缘种具有非常良好的抗性基因, 对于挖掘优异基因、选育优良品种, 保障我国粮食安全具有重要意义^[22-24]。

参考文献

[1] 郑卓杰. 中国食用豆类学. 北京: 中国农业出版社, 1997: 3-4

Zheng Z J. China food legume. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 3-4

[2] 傅立国. 中国高等植物. 青岛: 青岛出版社, 1998

Fu L G. Higher plants of China. Qingdao: Qingdao Publishing House, 1998: 60-69

[3] 庾正平. 山西省农作物品种志. 太原: 山西科学教育出版社, 1985: 395-455

Yu Z P. Shanxi crop cultivars chronicles. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Education Press, 1985: 395-455

[4] Li L, Yang T, Liu R, Redden B, Maalouf F, Zong X X. Food legume production in China. The Crop Journal, 2017, 5(2): 115-126

[5] 山西省农业科学院作物品种资源研究室编. 山西省农作物品种资源目录. 太原: 山西省农业区划委员会, 1980: 788-801

Crop germplasm resources research office, Shanxi academy of agricultural sciences. catalog of crop variety resources in Shanxi province. Taiyuan: Shanxi Agricultural Regional Planning Committee, 1980: 788-801

[6] 山西省农业科学院作物品种资源研究室编. 山西省农业区划成果资料 农作物品种资源目录 (补征部分). 太原: 山西省农业区划委员会, 1983: 824-966

Crop germplasm resources research office, Shanxi academy of agricultural sciences. catalog of crop variety resources in Shanxi province. Taiyuan: Shanxi Agricultural Regional Planning Committee, 1983: 824-966

[7] 中国农业科学院作物品种资源研究所. 中国食用豆类品种资源目录 (第一集). 北京: 中国农业科技出版社, 1987: 278-359

- Institute of crop germplasm resources, Chinese academy of agricultural sciences. Catalog of Chinese food legume varieties (Volume 1). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1987: 278-359
- [8] 中国农业科学院作物品种资源研究所. 中国食用豆类品种资源目录 (第二集). 北京: 中国农业出版社, 1990: 188-234, 516-522
- Institute of crop germplasm resources, Chinese academy of agricultural sciences. catalog of Chinese food legume varieties (Volume 2). Beijing: China Agricultural Press, 1990: 188-234, 516-522
- [9] 中国农业科学院作物品种资源研究所. 中国食用豆类品种资源目录 (第三集). 北京: 中国农业出版社, 1996: 142-204
- Institute of crop germplasm resources, Chinese academy of agricultural sciences. Catalog of Chinese food legume varieties (Volume 3). Beijing: China Agricultural Press, 1996: 142-204
- [10] 王述民, 景蕊莲. 西北地区抗逆农作物种质资源调查. 北京: 科学出版社, 2018: 35-37
- Wang S M, Jing R L. Investigation of stress-tolerant crop germplasm resources in northwest China. Beijing: Science Press, 2018: 35-37
- [11] 李斌. 山西特色农业. 太原: 山西经济出版社, 2019: 1-3
- Li B. Shanxi characteristic agriculture. Taiyuan: Shanxi Economic Press, 2019: 1-3
- [12] 农业农村部新闻办公室. 农业农村部遴选发布 2022 年十大优异农业种质资源. 中华人民共和国农业农村部. (2023-05-22). https://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202305/t20230522_6428124.htm.
- News Office of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Top ten outstanding agricultural germplasm resources selected and released by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (2022). Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. (2023-05-22). https://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202305/t20230522_6428124.htm.
- [13] 师范生, 景鹏飞, 贺春娟, 王永格. 优异种质资源万荣三白瓜性状表现及实用栽培技术. 中国瓜菜, 2024, 37 (5): 187-193
- Shi F S, Jing P F, He C J, Wang Y G. Traits manifestation and practical cultivation technique of excellent. Chinese Cucurbits and Vegetables, 2024, 37 (5): 187-193
- [14] 余应弘. 湖南省农作物种质资源普查与收集指南. 北京: 中国农业大学出版社, 2016: 1-8
- Yu Y Y. Guidelines for investigation and collection of crop germplasm resources in Hunan province. Beijing: China Agricultural University Press, 2016: 1-8
- [15] 宗绪晓. 豌豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2005
- Zong X X. Descriptors and data standard for pea (*Pisum sativum* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2005
- [16] 辛佳佳, 张南峰, 涂玉琴, 张洋, 关峰, 汤洁. 江西食用豆种质资源调查分析与优异资源筛选. 植物遗传资源学报, 26(3):441-454
- Xin J J, Zhang N F, Tu Y Q, Zhang Y, Guan F, Tang J. Investigation and analysis of edible bean germplasm resources in Jiangxi and screening of excellent resources. Journal of Plant Genetic Resources, 26(3):441-454
- [17] 罗高玲, 李经成, 陈燕华. 广西农作物种质资源食用豆类作物卷. 北京: 科学出版社, 2020: 2-4
- Luo G L, Li J C, Chen Y H. Crop germplasm resources of Guangxi: Food legumes volume. Beijing: Science Press, 2020: 2-4
- [18] 陈小央, 牛晓伟, 李国景, 施俊生, 吴早贵. 浙江省农作物种质资源调查收集与多样性分析. 中国种业, 2024(7): 38-45

Chen X Y, Niu X W, Li G J, Shi J S, Wu Z G. Collection and diversity analysis on crop germplasm resources in Zhejiang province. China Seed Industry, 2024(7): 38-45

[19] 周国雁, 陈丹, 徐象国, 杨雅云, 李全衡, 陶祥, 张菲菲, 隆文杰, 刘圆圆, 瞿冲芬, 丁铭, 蔡青. 云南省第三次全国农作物种质资源调查与收集样品多样性分析.中国种业, 2024(11): 109-122

Zhou G Y, Chen D, Xu X G, Yang Y Y, Li Q H, Tao X, Zhang F F, Long W J, Liu Y Y, Zhai C F, Ding M, Cai Q. Investigation, collection and diversity analysis of crop germplasm resources for the third national crop germplasm resources survey in Yunnan province. China Seed Industry, 2024(11): 109-122

[20] 刘旭, 李立会, 黎裕, 谭光万, 周美亮. 作物及其种质资源与人文环境的协同演变学说. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 1-11

Liu X, Li L H, Li Y, Tan G W, Zhou M L. Synergistic evolution theory of crop germplasm resources and cultural environments. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(1):1-11

[21] 王杰瑜, 杨子江. 山西历史地理环境“表里山河”说. 晋阳学刊, 2023(5): 111-116

Wang J Y, Yang Z J. The theory of “Mountains and Rivers Inside and Outside” of Shanxi historical and geographical environment. Academic Journal of Jinyang, 2023(5): 111-116

[22] 赵欣蕊, 任根增, 韩永亮, 杨溥原, 徐晓, 白玉哲, 赵栋婷, 任玉双, 张玲玉, 王志博, 吴盟, 陈东明, 常金华, 崔江慧. 高粱株型表型性状精准鉴定及综合评价. 植物遗传资源学报, 2022, 23(6): 1644-1659

Zhao X R, Ren G Z, Han Y L, Yang P Y, Xu X, Bai Y Z, Zhao D T, Ren Y S, Zhang L Y, Wang Z B, Wu M, Chen D M, Chang J H, Cui J H. Accurate identification and comprehensive evaluation of plant architecture related traits in sorghum. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(6): 1644-1659

[23] 赵美丞, 刁现民. 谷子近缘野生种的亲缘关系及其利用研究. 作物学报, 2022, 48(2): 267-279

Zhao M C, Diao X M. Phylogeny of wild setaria species and their utilization in foxtail millet breeding. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(2): 267-279

[24] 简六梅, 肖英杰, 严建兵. 从头驯化: 作物品种设计与培育的新方向. 遗传, 2023, 45(9): 741-753

Jian L M, Xiao Y J, Yan J B. *De novo* domestication:A new way for crop design and breeding. Hereditas, 2023, 45(9): 741-753