

# 浙江地方小豆种质资源农艺与品质性状分析

刘秀慧<sup>1</sup>, 刘合芹<sup>1</sup>, 邹桂花<sup>1</sup>, 郑学强<sup>2</sup>, 郑滔<sup>1</sup>, 楼巧君<sup>1</sup>, 陈小央<sup>3</sup>, 陈合云<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>浙江省农业科学院病毒学与生物技术研究所, 杭州 310021; <sup>2</sup>浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所, 杭州 310021;

<sup>3</sup>浙江省种子管理总站, 杭州 310021)

**摘要:**以“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”中浙江省收集的85份地方小豆种质资源为对象,系统分析其农艺与品质性状的遗传多样性。研究发现,这些资源数量性状的变异系数介于6.10%~58.26%,单株产量和单株荚数变异系数最高;Shannon多样性指数处于0.02~2.43之间,其中粗蛋白含量的多样性指数最小,株高的多样性指数最大。相关分析表明,粒长与粒宽、荚长和百粒重均呈极显著正相关;小区产量与单株荚数和单株产量均呈极显著正相关。主成分分析提取出5个主成分,累计贡献率达63.929%。11个质量性状的变异系数介于0~181.15%,幼荚色的变异系数最小,裂荚性的变异系数最大;遗传多样性指数在0~1.18之间,熟性的多样性指数最高,而幼荚色的多样性指数最低。聚类分析将这些资源划分为3大类群,类群I包含17份资源,整体生育期相对较短,株高较矮,粒长、粒宽和百粒重均较大;类群II包含37份资源,熟性中等,植株较高;类群III涵盖31份资源,生育期较长,荚长、荚宽、单株荚数和单荚粒数高,产量和氨基酸含量高。通过综合评分筛选出4份浙江省优异小豆资源。本研究对新收集的浙江小豆种质资源进行了系统分析及评价,为小豆种质创新和优良品种培育提供了重要的理论依据,有助于推动小豆产业的发展。

**关键词:** 小豆;种质资源;农艺性状;品质性状;遗传多样性

## Analysis of Agronomic and Quality Traits of Local Adzuki Bean Germplasm Resources in Zhejiang

LIU Xiuhui<sup>1</sup>, LIU Heqin<sup>1</sup>, ZOU Guihua<sup>1</sup>, ZHENG Xueqiang<sup>2</sup>, ZHENG Tao<sup>1</sup>,  
LOU Qiaojun<sup>1</sup>, CHEN Xiaoyang<sup>3</sup>, CHEN Heyun<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Virology and Biotechnology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021; <sup>2</sup>Institute of Crop and Nuclear Technology Utilization, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021;

<sup>3</sup>Zhejiang Seed Administration Station, Hangzhou 310021)

**Abstract:** This study conducted a genetic diversity analysis of 85 local adzuki bean germplasm resources collected from Zhejiang province, China, during “The Third National Campaign of Crop Germplasm Census and Collection”. These germplasm displayed uneven distribution across the province while exhibiting substantial genetic diversity. Analysis of quantitative traits revealed coefficients of variation ranging from 6.10% to 58.26%, exhibiting the highest variability at yield per plant and the number of pods per plant. The Shannon diversity indices ranged from 0.02 to 2.43, peaking at plant height. The grain length positively correlated with grain width, pod length, and 100-seed weight, and the plot yield positively associated to the number of pods per plant

收稿日期: 2025-02-17 网络出版日期: 2025-04-14

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20250217004>

第一作者研究方向为种质资源鉴定评价与保护利用, E-mail: liuxh@zaas.ac.cn

通信作者: 陈小央, 研究方向为农作物种质资源保护利用, E-mail: caroline1201@163.com

陈合云, 研究方向为种质创制与遗传育种, E-mail: chy21@sina.com

**基金项目:** 浙江省农业农村厅种质资源精准鉴定项目(2023JZJD002); 第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(111821301354052030); 省级种质资源繁殖更新和鉴定评价项目

**Foundation projects:** Precision Identification Project for Agricultural Germplasm Resources by Zhejiang Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs (2023JZJD002); The Third National Campaign of Crop Germplasm Resources Census and Collection (111821301354052030); Provincial Germplasm Bank Project for Propagation, Renewal, Identification, and Evaluation of Germplasm Resources

and yield per plant. Principal component analysis stimulated five principal components, with a cumulative contribution rate of 63.929%. The coefficient variation of 11 qualitative traits ranged from 0% to 181.15%, with the lowest and highest values at the color of young pod and pod dehiscence, respectively. The diversity index ranged from 0 to 1.18, with the highest and lowest values at maturity and the young pod color, respectively. Cluster analysis categorized these resources into three major groups: Group I, with 17 resources, characterized by a relatively short overall growth period, short plant height, as well as large seed length, seed width, and 100-seed weight; Group II, containing 37 resources, characterized by a medium maturity and relatively tall plant; Group III, with 31 resources, characterized by a long growth period, high pod length, pod width, number of pods per plant, and number of seeds per pod, as well as high yield and amino acid content. Four elite germplasm accessions were identified based on comprehensive scoring. Collectively, this study systematically evaluated the newly collected adzuki bean germplasm resources in Zhejiang, providing a theoretical basis for adzuki bean germplasm innovation, breeding, and promoting the development of the adzuki bean industry.

**Key words:** adzuki bean; germplasm resources; agronomic traits; quality traits; genetic diversity

小豆 [*Vigna angularis* (Willd) Ohwi & Ohashi] 是起源于中国的豆科蝶形花亚科豇豆属作物, 主要分布在东亚的中国、日本、韩国等国家, 因而被称为“亚洲作物”, 其中在中国的种植面积最大<sup>[1]</sup>。小豆籽粒含有丰富的微量元素、氨基酸和蛋白质, 不仅具有较高的营养价值, 还具有较高的药用价值, 是一种重要的药食同源作物, 深受消费者的青睐, 近年来市场需求呈现出迅猛增长的态势<sup>[2]</sup>。

新品种的选育是推动产业升级的关键驱动力, 而种质资源的收集保存、精准鉴定评价以及创新利用则是选育优良品种的基石。近年来, 众多科研工作者围绕小豆种质资源开展了大量深入且卓有成效的研究。徐宁等<sup>[3]</sup>利用中国国家种质库保存的4877份小豆种质资源, 结合地理来源分组和表型数据, 构建了包含435份资源的小豆核心种质。薛晨晨等<sup>[4]</sup>对江苏省92份小豆种质资源进行农艺性状鉴定, 发现不同地区品种性状差异较大。武小霞等<sup>[5]</sup>鉴定了126份黑龙江小豆种质资源的农艺性状, 其变异系数为9.31%~58.18%, 多样性指数为1.72~2.05, 具有较大的变异性和多样性。何伟锋等<sup>[6]</sup>对辽宁省农业科学院种质资源库中289份小豆种质资源的50个农艺性状进行鉴定, 筛选出了3个早熟矮秆小粒资源和5个中熟高秆大粒高产优异种质资源。刘长友等<sup>[7]</sup>对河北省385份小豆种质资源的26个性状进行鉴定, 发现其中百粒重15 g以上的大粒资源仅7份, 且缺乏高抗叶斑病、锈病和蚜虫类型。胡亮亮等<sup>[8]</sup>调查和收集了辽宁省的262份小豆野生种及其近缘种, 从中筛选出了2份高抗豆象的资源。龙珏臣等<sup>[9]</sup>对重庆市的59份小豆种质资源进行

了表型和白粉病抗性鉴定, 筛选出6份高抗材料和4份抗病材料。单云鹏等<sup>[10]</sup>对235份小豆种质资源进行苗期抗旱性评价, 筛选出15份耐旱资源。白鹏等<sup>[11]</sup>对来自国内的257份和日本引进的5份小豆种质的16个形态学性状进行鉴定, 发现均具有丰富的遗传变异类型。张明媛等<sup>[12]</sup>发现利用26个SNP分子标记结合6个质量性状可准确鉴别102份小豆种质资源。

浙江省作为中国的农业大省, 拥有山地、丘陵、平原、湖泊和海滨等多样化的地貌类型, 在长期的自然选择和人工选育过程中, 孕育出了独具地域特色、表型变异极为丰富的小豆种质资源。但以前的研究中并未涵盖浙江小豆资源。仅吕学高等<sup>[13]</sup>曾对30份浙江地方小豆种质资源的农艺性状进行了鉴定。因此, 针对浙江地方小豆种质资源的农艺与品质性状的系统分析仍存在明显不足。依托“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”, 以及“浙江省特色杂豆种质资源表型精准鉴定”项目, 本团队对浙江省小豆种质资源进行了系统的普查、收集, 共获得85份资源, 本研究旨在对这些种质资源的农艺与品质性状进行分析和综合评价, 揭示其遗传多样性和潜在的优良性状, 筛选优异种质资源, 以期促进浙江地区小豆种质创新和优良品种的培育, 推动小豆产业的可持续健康发展。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试小豆种质资源共85份, 均按照“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”技术规范, 由浙江省内各地普查收集而来, 具体来源和信息见表1。

表1 85份小豆种质资源基本信息表

Table 1 General information of 85 adzuki bean germplasm resources

序号 No.	种质编号 Germplasm number	种质名称 Germplasm name	收集地点 Collection position	序号 No.	种质编号 Germplasm number	种质名称 Germplasm name	收集地点 Collection position
X01	2017331086	小粒赤豆	杭州市淳安县	X38	2018334323	赤豆	台州市仙居县
X02	2017332043	赤豆	杭州市建德市	X39	2018335443	赤豆	嘉兴市嘉善县
X03	2018331031	大粒赤豆	金华市武义县	X40	P330824008	赤豆	衢州市开化县
X04	2017332088	红绿豆	杭州市建德市	X41	P331082023	临海赤豆	台州市临海市
X05	2018333226	赤豆(大赤豆)	衢州市衢江区	X42	P331102008	赤豆	丽水市莲都区
X06	2018333406	赤豆	金华市磐安县	X43	2018331415	大粒赤豆	嘉兴市桐乡市
X07	2018333424	红豆	金华市磐安县	X44	2018332273	赤豆	衢州市衢江区
X08	P330281037	红小豆	宁波市余姚市	X45	2018334220	大红袍	绍兴市诸暨市
X09	P330329008	赤豆	温州市泰顺县	X46	2018334413	赤豆	杭州市临安区
X10	P330381003	红豆	温州市瑞安市	X47	2018334440	赤豆	杭州市临安区
X12	P330483009	家赤豆	嘉兴市桐乡市	X48	P330502011	赤豆	湖州市吴兴区
X13	P330523022	赤豆	湖州市安吉县	X49	P331124002	松阳大红袍	丽水市松阳县
X14	P330726042	黄赤豆	金华市浦江县	X50	P331082023	白赤豆	台州市临海市
X15	P330726051	红珠豆	金华市浦江县	X51	2018331264	赤豆	湖州市长兴县
X16	P330726053	黑荚赤豆	金华市浦江县	X52	2019334497	赤豆	杭州市临安区
X17	P330726067	黄荚赤豆	金华市浦江县	X53	2019334491	赤豆	杭州市临安区
X18	P330822009	大红袍	衢州市常山县	X54	2018331069	赤豆	金华市武义县
X19	P330825028	土赤豆	衢州市龙游县	X55	2018333617	赤豆	台州市黄岩区
X20	P331022011	红细豆	台州市三门县	X56	ZJ00034	常山大红袍	衢州市常山县
X21	P331023005	赤豆	台州市天台县	X57	ZJ00035	常山大红袍	衢州市常山县
X22	P331102008	赤豆	丽水市莲都区	X58	ZJ00036	大粒赤豆	杭州市淳安县
X25	P330723017	土赤豆	金华市武义县	X59	ZJ00041	昌北大红袍	杭州市临安区
X26	P330825008	社阳赤豆	衢州市龙游县	X60	ZJ00046	大珠赤	丽水市遂昌县
X27	2017331089	大粒赤豆	杭州市淳安县	X61	ZJ00049	上等赤豆	丽水市遂昌县
X28	2017331090	黑赤豆	杭州市淳安县	X62	ZJ00050	红赤豆	温州市文成县
X29	2018331016	土赤豆	金华市武义县	X63	ZJ00055	小粒赤豆	杭州市淳安县
X30	2018332228	黄田赤豆	丽水市庆元县	X64	ZJ00057	开化小赤豆	衢州市开化县
X31	2018332275	花赤豆	丽水市庆元县	X66	ZJ00136	红赤豆	金华市浦江县
X32	2018334467	岛石赤豆	杭州市临安区	X67	ZJ00137	浦江大红袍	金华市浦江县
X33	2018331094	武义赤豆	金华市武义县	X68	ZJ00274	松阳大红袍	丽水市松阳县
X34	2018334222	双条赤	绍兴市诸暨市	X69	ZJ00275	松阳大红袍赤豆	丽水市松阳县
X35	2018334450	细赤豆	杭州市临安区	X70	ZJ00276	松阳大红袍赤豆	丽水市松阳县
X36	2018332284	红豆	丽水市庆元县	X71	ZJ00345	土赤豆(大红袍)	金华市武义县
X37	2018332273	赤豆	衢州市衢江区	X72	ZJ00347	赤豆	温州市瑞安市

表1(续)

序号 No.	种质编号 Germplasm number	种质名称 Germplasm name	收集地点 Collection position	序号 No.	种质编号 Germplasm number	种质名称 Germplasm name	收集地点 Collection position
X73	ZJ00348	小豆	金华市婺城区	X84	ZJ00774	赤豆	嘉兴市平湖市
X74	ZJ00482	松阳大红袍	丽水市松阳县	X85	ZJ00775	松门赤豆	台州市温岭市
X75	ZJ00562	红赤豆	金华市浦江县	X86	ZJ01175	赤豆	嘉兴市海宁市
X76	ZJ00563	浦江大红袍	金华市浦江县	X87	ZJ01617	李宅红赤豆	金华市东阳市
X79	ZJ00635	赤豆	杭州市建德市	X88	ZJ01618	胡村红赤豆	金华市东阳市
X80	ZJ00637	松阳大红袍	丽水市松阳县	X89	ZJ01622	东阳江红赤豆	金华市东阳市
X81	ZJ00765	红赤豆	绍兴市上虞区	X96	P330421024	西塘赤豆	嘉兴市嘉善县
X82	ZJ00767	野生赤豆(大)	绍兴市上虞区	X97	P330421003	红赤豆	嘉兴市嘉善县
X83	ZJ00771	赤豆(株株升)	温州市乐清市				

## 1.2 试验方法

试验材料于2023年播种于浙江省农业科学院杨渡科研创新基地(嘉兴海宁, 30°26'N, 120°24'E)及浙江省农业科学院玉米所(金华东阳, 29°16'N, 120°19'E), 两地均采用随机区组试验设计, 3次重复, 每次重复2行, 行长4 m, 行距60 cm, 株距20 cm, 常规大田管理。按照《小豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[14]</sup>在田间调查记载每份资源的开花期、成熟期、全生育期、株高、荚长、荚宽、单株荚数、单荚粒数、单株产量、小区产量、熟性、幼茎色、花色、主茎色、生长习性、结荚习性、幼荚色、荚形、裂荚性、粒色和粒形等性状。粒长、粒宽和百粒重使用SC-A种子自动考种仪(杭州万深检测科技有限公司)测量。分别使用杭州欢然生物技术有限公司的氨基酸含量测定试剂盒和植物淀粉含量试剂盒测定小豆种子氨基酸含量和淀粉含量。使用NAI-ST/6脂肪测定仪(上海那艾实验仪器有限公司)测定粗脂肪含量, 粗蛋白含量使用凯式定氮法测定。每份资源每个重复随机选取10株进行调查, 小区产量收取小区内所种植株种子进行称重, 所有数据均取两地的平均值进行后续分析。

## 1.3 数据分析

使用Microsoft Excel 2016进行表型和品质数据的整理, 对质量性状按照表2进行赋值, 根据平均值和标准差将数量性状分为10级, 使用每级的相对频率计算Shannon多样性指数<sup>[15]</sup>, 使用R语言进行性状的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数、主成分、相关性等分析。

按照孟珊等<sup>[16]</sup>所述的方法, 将每份资源的标准化合表型性状数据与对应的主成分因子系数做乘积

和运算, 从而得到每份种质各个主成分的得分( $F_n$ ), 然后将其与主成分因子的贡献率权重( $V_n$ )进行乘积和运算, 最终得出每份种质的综合得分(F值), 其计算公式为 $F=V_1F_1+V_2F_2+\dots+V_nF_n$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 小豆种质资源在浙江省的分布情况分析

85份小豆种质资源从浙江省除舟山外的10个地级市收集而来(表1), 其中金华市、杭州市和丽水市的小豆种质资源份数最多, 分别为20份、15份和13份; 而宁波市的资源仅1份。由此可见, 浙江省的小豆种质资源分布并不均衡(图1)。

### 2.2 小豆种质资源数量性状的变异及遗传多样性分析

17个数量性状的变异和遗传多样性分析发现(表3), 浙江省小豆种质资源的遗传多样性丰富。各性状的变异系数在6.10%~58.26%之间, 差异较大, 其中单株产量变异系数最大; 其次是单株荚数(42.47%)、小区产量(38.45%)、株高(28.49%)和百粒重(24.33%), 而粗蛋白含量(6.10%)、开花期(6.34%)、淀粉含量(6.85%)和粒宽(9.18%)的变异系数较小, 性状相对稳定。数量性状的Shannon多样性指数在0.02~2.43之间, 其中粗蛋白含量的多样性指数最小, 说明小豆种质资源中粗蛋白含量的遗传变异程度很低, 相对较为稳定; 而株高的多样性指数最大, 表明小豆种质资源在该性状上的遗传变异程度较大, 存在较为丰富的遗传多样性; 此外, 全生育期、单株荚数、成熟期、百粒重、单株产量和小区产量也具有较大的遗传多样性指数, 分别为1.95、2.02、2.11、2.19、2.28和2.37。

表2 小豆种质资源质量性状赋值

Table 2 The qualitative traits and their evaluation criteria of adzuki bean germplasm resources

性状 Traits	赋值 Evaluation criteria
熟性 Maturing characteristic	1:极早(<80 d),2:早(80~100 d),3:中(100~120 d),4:晚(120~140 d),5:极晚(≥140 d)
幼茎色 Young stem color	1:绿,2:紫
主茎色 Main stem color	1:绿,2:绿紫,3:紫
花色 Flower color	1:浅黄,2:黄,3:黄带紫
生长习性 Growth habit	1:直立,2:半蔓生,3:蔓生
结荚习性 Pod-setting habit	1:无限,2:有限
幼荚色 Young pods color	1:绿,2:绿带紫
荚形 Pod shape	1:圆筒形,2:镰刀型,3:弓形
裂荚性 Pod-dehiscence property	0:无,1:中,2:强
粒色 Seed color	1:白,2:黄,3:绿,4:红,5:褐,6:黑,7:花纹,8:花斑(双色)
粒形 Seed shape	1:短圆柱,2:长圆柱,3:球形



红色标记的大小代表该区域小豆种质资源的采集数量的多少

The size of red markers indicate the number of adzuki bean germplasm resources collected in each region

图1 85份小豆种质资源采集地点分布

Fig. 1 Geographical distribution of collection sites of 85 adzuki bean germplasm resources

表3 小豆种质资源数量性状的遗传多样性分析

Table 3 Genetic diversity analysis of quantitative traits of adzuki bean germplasm resources

性状 Traits	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV	多样性指数 H'
开花期(d) Flowering period	65.00	52.00	57.52	3.65	6.34	1.89
成熟期(d) Maturity period	135.00	84.00	109.13	13.96	12.79	2.11
全生育期(d) Whole growth period	145.00	94.00	115.00	11.93	10.37	1.95
株高(cm) Plant height	146.33	31.08	87.96	25.06	28.49	2.43
荚长(cm) Pod length	12.50	5.20	8.85	1.23	13.91	1.67
荚宽(cm) Pod width	0.75	0.42	0.59	0.07	12.25	1.55
单株荚数 Number of pods per plant	80.00	5.40	31.71	13.47	42.47	2.02
单荚粒数 Number of seeds per pod	10.40	5.50	8.24	0.95	11.57	1.43
粒长(mm) Seed length	7.73	4.55	6.24	0.67	10.80	1.82
粒宽(mm) Seed width	5.68	3.20	4.72	0.43	9.18	1.61
百粒重(g) 100-seed weight	18.40	4.50	11.03	2.68	24.33	2.19
单株产量(g) Yield per plant	49.30	2.80	14.01	8.16	58.26	2.28
小区产量(g) Plot yield	994.30	59.50	475.90	182.97	38.45	2.37
氨基酸含量( $\mu\text{g/g Dw}$ ) Amino acid content	12053.77	7889.59	8922.82	953.14	10.68	1.92
淀粉含量( $\text{mg/g Dw}$ ) Starch content	650.45	485.08	573.37	39.29	6.85	1.38
粗蛋白含量(%) Crude protein content	29.11	20.49	24.19	1.47	6.10	0.02
粗脂肪含量(%) Crude fat content	0.01	0	0.01	0	11.96	1.75

Dw: 干重;下同

Dw: Dry weight; The same as below

### 2.3 小豆种质资源数量性状的相关性分析

17个数量性状相关分析结果表明(图2),小区产量与单株荚数和单株产量极显著正相关;全生育期与开花期和成熟期极显著正相关;粒长与粒宽、荚长和百粒重极显著正相关;粒宽与单株产量、荚长和百粒重极显著正相关;开花期与成熟期极显著正相关;荚长与单荚粒数和百粒重极显著正相关;单株产量与单株荚数、粒宽和百粒重极显著正相关;单荚粒数与单株荚数显著正相关,与荚长和株高极显著正相关;成熟期与开花期、全生育期和株高极显著正相关(图2)。

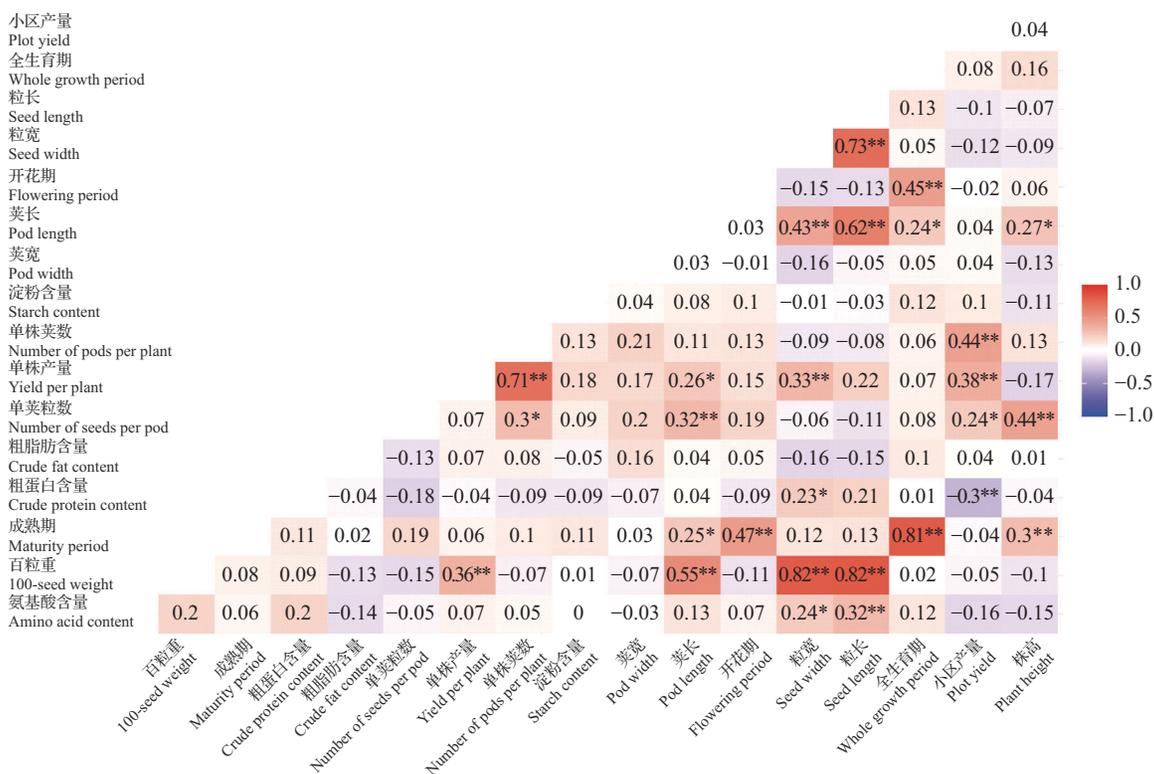
### 2.4 小豆种质资源数量性状的主成分分析

17个数量性状的主成分分析表明,前5个主成分的特征值均大于1,累计贡献率达63.929%(表4),说明这5个主成分可以综合概括17个数量性状的信息。第1主成分的特征值为3.241,贡献率为19.065%,主要与粒长、粒宽、百粒重、荚宽等籽粒大小和产量有关性状相关;第2主成分的特征值为2.737,贡献率为16.100%,主要与成熟期、全生育期、单株产量、开花期等性状相关,该主成分综合体

现了小豆的生育期和产量相关特征,对小豆的种植规划和产量评估具有重要意义;第3主成分的特征值为2.038,贡献率为11.986%,主要与单株产量、单株荚数、小区产量、荚长和单荚粒数等性状相关,主要反映了小豆的产量构成要素;第4主成分的特征值为1.552,贡献率为9.130%,主要与粗脂肪含量、荚长等性状相关,综合体现了小豆的品质和部分荚果特征;第5主成分的特征值为1.300,贡献率为7.648%,主要与株高性状相关,反映了小豆的植株形态特征。

### 2.5 小豆种质资源质量性状的变异及遗传多样性分析

11个质量性状的变异系数在0~181.15%之间(表5)。由于82%的资源裂荚性为0级,使得性状均值较低,导致变异系数最大。11个质量性状的多样性指数在0~1.18之间,熟性的多样性指数最高,其次为生长习性(0.98)和粒形(0.78);而幼荚色的多样性指数最低。此外,主茎色、幼茎色和花色的多样性指数也较低,均为0.06。虽然裂荚性的变异系数最大,但其多样性指数仅为0.55。



\*和\*\*分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平下显著相关  
 \* and \*\* indicate significant correlations at the levels of  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively

图2 小豆种质资源数量性状的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of quantitative traits in adzuki bean germplasm resources

表4 小豆种质资源数量性状的主成分分析

Table 4 Principal component analysis of morphological traits of adzuki bean germplasm resources

性状 Traits	主成分 Principal components				
	1	2	3	4	5
开花期 Flowering period	0.196	0.287	-0.167	-0.118	-0.246
成熟期 Maturity period	0.106	0.440	-0.333	-0.218	-0.054
全生育期 Whole growth period	0.127	0.421	-0.279	-0.153	-0.202
株高 Plant height	0.157	0.133	-0.138	-0.284	0.606
荚长 Pod length	-0.113	-0.248	0.148	-0.577	-0.177
荚宽 Pod width	-0.350	-0.059	0.093	-0.104	0.188
单株荚数 Number of pods per plant	0.170	0.249	0.440	-0.019	-0.029
单荚粒数 Number of seeds per pod	0.179	0.194	0.139	-0.224	0.478
粒长 Seed length	-0.443	0.215	-0.029	-0.048	0.068
粒宽 Seed width	-0.458	0.206	0.031	-0.046	0.111
百粒重 100-seed weight	-0.439	0.259	0.084	0.031	0.114
单株产量 Yield per plant	-0.080	0.337	0.448	0.056	-0.235
小区产量 Plot yield	0.179	0.171	0.438	-0.016	0.008
氨基酸含量 Amino acid content	-0.192	0.127	-0.081	0.090	-0.166
淀粉含量 Starch content	0.090	0.172	0.107	0.140	-0.142
粗蛋白含量 Crude protein content	-0.164	0.024	-0.306	0.045	-0.130

表 4 (续)

性状 Traits	主成分 Principal components				
	1	2	3	4	5
粗脂肪含量 Crude fat content	-0.068	-0.141	0.085	-0.634	-0.288
特征值 Eigenvalue	3.241	2.737	2.038	1.552	1.300
贡献率(%)Contribution rate	19.065	16.100	11.986	9.130	7.648
累计贡献率(%)Cumulative contribution rate	19.065	35.165	47.151	56.281	63.929

表 5 小豆种质资源质量性状的遗传多样性分析

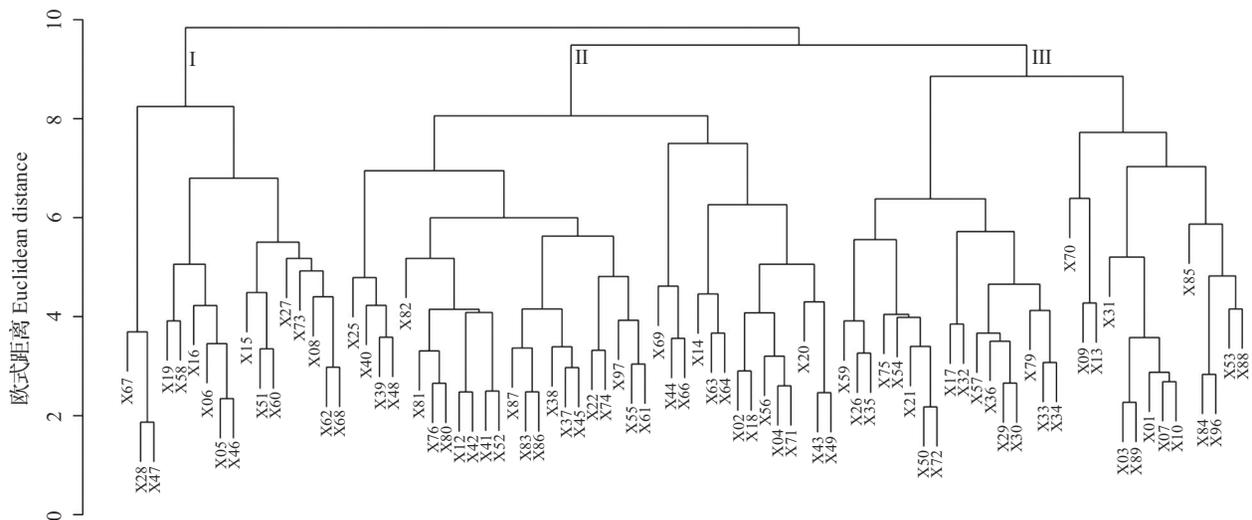
Table 5 Genetic diversity analysis of qualitative traits of adzuki bean germplasm resources

性状 Traits	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV	多样性指数 H'
熟性 Maturing characteristic	5	1	3.09	0.81	26.17	1.18
幼茎色 Young stem color	2	1	1.01	0.11	10.43	0.06
主茎色 Main stem color	3	2	2.01	0.11	5.24	0.06
花色 Flower color	2	1	1.01	0.11	10.43	0.06
生长习性 Growth habit	3	1	1.77	0.67	38.00	0.98
结荚习性 Pod-setting habit	2	1	1.44	0.50	34.68	0.68
幼荚色 Young pods color	1	1	1.00	0.00	0	0
荚形 Pod shape	2	1	1.58	0.50	31.30	0.68
裂荚性 Pod-dehiscence property	1	0	0.24	0.43	181.15	0.55
粒色 Seed color	8	3	4.09	0.53	13.04	0.29
粒形 Seed shape	3	1	1.51	0.55	36.11	0.78

## 2.6 小豆种质资源的聚类分析

聚类分析可将 85 份小豆种质资源划分为 3 大集群,不同集群的淀粉含量、粗脂肪含量、粗蛋白含量、幼茎色、主茎色、花色、幼荚色和粒色性状无明显

差异(图 3、表 6)。类群 I 包含 17 份资源,其开花期平均值为 54.24 d,成熟期和全生育期平均值分别为 94.06 d 和 101.94 d,整体生育期相对较短;平均株高 68.89 cm,相对较矮,适宜筛选矮化抗倒伏材料;



图中材料编号同表 1

The material numbers in the figure are the same as those in table 1

图 3 85 份小豆种质资源的聚类分析

Fig. 3 Clustering dendrogram of 85 adzuki bean germplasm resources

表6 不同类群小豆种质资源的性状分析

Table 6 Trait analysis of adzuki bean germplasm resources in different groups

性状 Traits	类群I Cluster I			类群II Cluster II			类群III Cluster III		
	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean
开花期(d) Flowering period	52.00	60.00	54.24	52.00	65.00	58.08	52.00	65.00	58.65
成熟期(d) Maturity period	84.00	103.00	94.06	84.00	134.00	111.84	93.00	135.00	114.16
全生育期(d) Whole growth period	94.00	113.00	101.94	94.00	144.00	116.49	95.00	145.00	120.39
株高(cm) Plant height	42.00	90.00	68.89	31.08	144.17	96.95	52.88	146.33	85.94
荚长(cm) Pod length	5.20	11.39	8.74	6.30	11.20	8.64	7.20	12.50	9.15
荚宽(cm) Pod width	0.53	0.75	0.64	0.42	0.75	0.57	0.47	5.23	0.78
单株荚数 Number of pods per plant	8.00	49.20	26.34	5.40	45.00	25.60	17.00	80.00	41.46
单荚粒数 Number of seeds per pod	5.50	8.80	7.55	5.50	9.80	8.18	6.20	10.40	8.61
粒长(mm) Seed length	5.59	7.57	6.60	4.55	7.55	6.08	5.16	7.73	6.27
粒宽(mm) Seed width	4.50	5.65	5.06	3.20	5.22	4.54	3.77	5.68	4.76
百粒重(g) 100-seed weight	9.60	17.30	13.38	4.50	14.40	9.99	7.20	18.40	11.21
单株产量(g) Yield per plant	4.30	36.40	16.89	3.00	15.50	8.33	2.80	49.30	19.37
小区产量(g) Plot yield	255.60	790.80	442.64	59.50	776.30	412.21	179.20	994.30	569.25
氨基酸含量( $\mu\text{g/g Dw}$ ) Amino acid content	8102.77	10591.13	8777.33	7889.59	10659.61	8607.31	7897.07	12053.77	9379.18
淀粉含量( $\text{mg/g Dw}$ ) Starch content	485.08	650.45	579.43	504.40	646.87	564.57	503.76	647.58	580.54
粗脂肪含量(%) Crude fat content	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
粗蛋白含量(%) Crude protein content	21.33	26.42	24.35	22.35	26.66	24.06	20.49	29.11	24.27
熟性 Maturing characteristic	1	3	2.53	2	4	3.31	2	5	3.45
幼茎色 Young stem color	1	1	1.00	1	1	1.00	1	2	1.03
主茎色 Main stem color	1	1	1.00	1	1	1.00	1	2	1.03
花色 Flower color	2	2	2.00	2	2	2.00	2	2	2.00
生长习性 Growth habit	1	3	1.76	1	3	1.97	1	3	1.58
结荚习性 Pod-setting habit	1	2	1.35	1	2	1.28	1	2	1.55
幼荚色 Young pods color	1	1	1.00	1	1	1.00	1	1	1.00
荚形 Pod shape	1	2	1.35	1	2	1.39	1	2	1.55
裂荚性 Pod-dehiscence property	0	1	0.25	0	1	0.19	0	1	0.10
粒色 Seed color	4	6	4.12	3	5	4.00	4	8	4.13
粒形 Seed shape	1	2	1.53	1	2	1.51	1	3	1.61

粒长、粒宽和百粒重均较大,大粒种质资源较多;裂荚性均值高于其他两个类群。类群II包含37份资源,熟性中等,平均株高达96.95 cm,但粒长、粒宽、百粒重、单株产量、小区产量、氨基酸含量均值均低于其他两个类群。类群III涵盖31份资源,成熟期和全生育期平均值分别为114.16 d和120.39 d,生育期较长;荚长、荚宽、单株荚数和单荚粒数均值均高于其他类群;粒长、粒宽和百粒重介于其他两个类

群中间;单株产量、小区产量和氨基酸含量高,具有明显的产量和品质优势。虽然类群III的百粒重平均值(11.21 g)低于类群I(13.38 g),但单株荚数(41.46个)和单荚粒数(8.61粒)多,使得小区产量明显高于类群I和类群III,达569.25 g,说明该类群在产量构成上依靠较多的单株荚数弥补了百粒重的不足,实现了较高的小区产量,是高产型的种质资源类群,在以追求产量为目标的育种中具有重要价值。

## 2.7 小豆种质资源的综合评价

将小豆种质资源标准化的17个数量性状表型值与5个主成分中每个指标所对应的特征向量相乘,获得每份资源5个主成分因子得分,之后以每个主成分因子的贡献率作为权重,分别与5个主成分因子得分相乘,获得每份种质的综合得分(F值),即 $F=0.19065F_1+0.16100F_2+0.11986F_3+0.0913F_4+0.07648F_5$ 。根据F值对85份小豆进行表型性状的综合评价,得

分越高表明该种质综合表型越好,筛选获得综合得分最高的4份优异资源(表7),均属于第III类群,主要特点是单株荚数(43.4~53.8个)和单荚粒数(9.3~10.4粒)多,小区产量高(798.1~994.3 g),其中收集自绍兴市诸暨市的双条赤得分最高,其小区产量达994.3 g,为本研究所有资源之首。后续可利用这4份优异资源进行高产育种。

表7 综合得分前4名的小豆种质资源

Table 7 Adzuki bean germplasm resources with the top 4 comprehensive scores

序号 No.	种质编号 Germplasm number	种质名称 Germplasm name	收集地点 Collection position	单株荚数 Number of pods per plant	单荚粒数 Number of seeds per pod	百粒重(g) 100-seed weight	小区产量 (g) Plot yield
X34	2018334222	双条赤	绍兴市诸暨市	53.8	9.4	10.7	994.3
X33	2018331094	武义赤豆	金华市武义县	49.0	9.3	8.5	889.7
X57	ZJ00035	常山大红袍	衢州市常山县	43.4	10.2	7.9	798.1
X32	2018334467	岛石赤豆	杭州市临安区	51.2	10.4	10.3	987.2

## 3 讨论

小豆作为一种重要的药食同源作物,其种质资源的研究对于品种改良和产业发展至关重要<sup>[17]</sup>。因此,近年来小豆种质资源的遗传多样性和优异种质的筛选研究获得了研究者的广泛关注<sup>[18]</sup>,但浙江省内小豆种质资源尚未见系统的收集和评价的报道<sup>[13]</sup>,制约了地方优异种质的挖掘、利用和品种改良进程。基于此,本研究依托“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”和“浙江省特色杂豆种质资源表型精准鉴定”项目,对浙江地方小豆种质资源进行了系统的收集、鉴定和分析。本研究发现浙江省的小豆种质资源丰富但分布不均衡,85份小豆种质资源中有20份来自金华市、15份来自杭州市、13份来自丽水市,这3个市的资源数量占总资源数的比例达56.47%;但收集自宁波市的资源仅1份,且未在舟山市发现小豆种质资源。这种分布差异在其他作物研究中也发现,如孟珊等<sup>[16]</sup>收集的203份江苏地方大豆种质资源中苏州市、南通市、泰州市和淮安市的资源达收集总资源数的56%,可能与各地的自然环境、种植传统及农业发展重点有关。资源分布的不均衡提示在后续的种质资源保护和利用中,需加强对资源较少地区的调查和收集,确保种质资源的完整性和多样性。

变异系数可反映性状的离散程度,研究发现浙江地方小豆种质资源17个数量性状和11个质量性状的变异系数分别在6.10%~58.26%和0~181.15%

之间,不同性状的变异系数差异较大。武小霞等<sup>[5]</sup>发现黑龙江小豆种质资源数量性状的变异系数在9.31%~58.18%之间,本研究结果与其基本一致。在数量性状方面,单株产量和单株荚数等变异系数较大,与刘长友等<sup>[7]</sup>和王晓磊等<sup>[19]</sup>的研究结果一致,表明这些性状在不同种质间差异明显,具有较大的选择潜力,可为高产育种提供丰富素材;而粗蛋白含量、开花期和淀粉含量变异系数较小,性状表现接近或相同,可能是由于这些性状经自然选择而展现出了对浙江省自然条件的较高适应性,遗传改良的潜力相对有限,该结果与何伟锋等<sup>[6]</sup>和高运青等<sup>[20]</sup>的研究结论一致。河北省小豆种质资源的百粒重变异范围为5.0~16.5 g<sup>[7]</sup>,黑龙江省239份小豆地方种质资源百粒重的变异范围为7.9~14.9 g<sup>[21]</sup>,而本研究发现浙江省小豆种质资源的百粒重变异范围为4.50~18.40 g,其中7份种质资源的平均百粒重超过15 g,表明浙江省可能具有更为丰富的大粒小豆种质资源储备,在大粒种质的选育和利用上存在更大的潜力。质量性状中,粒形的变异系数达36.11%,反映出小豆在这一性状上具有丰富的遗传变异类型,对于培育具有特殊外观品质的小豆品种具有重要意义。粒色是小豆的重要外观品质性状,本研究发现浙江省小豆种质资源中表现绿、褐、黑和花斑(双色)粒色的资源各1份,其余资源均为红色。但色泽呈现受植株的生长环境、籽粒的生长部位及采后处理等条件的影响<sup>[22]</sup>,红色的深浅和亮度均会影响小豆的外观品质,该性状后期可利用色彩

色差计进行多年多点的重复鉴定,以筛选稳定优异的小豆种质。

相关性分析有助于了解各性状之间的相互联系,本研究发现浙江省小豆种质资源的小区产量与单株荚数、单荚粒数和单株产量呈显著正相关,与王晓磊等<sup>[19]</sup>研究结果一致,也与实际生产中追求多荚多粒以增产的经验相符,这为高产育种提供了明确的选择方向。全生育期与开花期、成熟期存在一定相关性,反映出小豆生长进程中各阶段的紧密联系。粒长与粒宽、荚长与荚宽分别存在一定相关性,说明小豆种子和荚果的形态发育可能存在协同变化规律,这在小豆的品种特征和进化研究中具有重要意义。白鹏等<sup>[11]</sup>也发现,262份小豆种质资源的荚长与荚宽极显著正相关。

聚类分析将85份小豆种质资源分为3大族群,类群I的材料生育期短,这一特性使其在积温较低或生长季较短的区域具有独特优势,能够有效避开后期不利气候条件,保障作物正常成熟,适合在相应生态区域推广种植;平均株高较矮,为筛选矮化抗倒伏材料提供了丰富的遗传基础,对于易发生倒伏灾害地区的小豆种植具有重要意义;此外,该类群大粒种质资源多,可用于大粒品种的选育。类群II熟性中等,植株较高,整体表现相对中庸,但也可能蕴含一些独特的基因资源,需要进一步地挖掘。类群III生育期较长,荚长、荚宽、单株荚数和单荚粒数均值均较高,且单株产量、小区产量和氨基酸含量高,具有明显的产量和品质优势。尽管类群III百粒重平均值低于类群I,但依靠较多的单株荚数实现了较高的小区产量,是高产型的种质资源类群。综合评分被广泛用于筛选优异种质资源,孟姗等<sup>[16]</sup>从江苏省203份大豆种质中通过综合得分排名筛选出7份优异资源;牛雪婧等<sup>[23]</sup>从136份高粱种质资源中筛选出综合评分前10的优异资源。本研究通过此方法筛选出4份优异资源,均属于类群III,单株荚数、单荚粒数和小区产量均表现优异,但百粒重在7.9~10.7 g之间,籽粒相对较小,因此在高产育种中,可通过与大粒资源杂交,有望培育出高产优质的小豆新品种。

本研究对85份浙江省地方小豆种质资源的农艺和品质性状进行了系统鉴定与分析,为小豆优异资源的利用和新品种的选育奠定了基础,下一步将深入挖掘优良性状的基因资源,结合现代生物技术,提高育种效率和精准度,推动小豆产业的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 颜军,杨旭红,王雨,余子嘉,雷东阳,邓超.我国小豆品种选育与新品种保护进展.种子,2021,40(4):51-58  
Yan J, Yang X H, Wang Y, Yu Z J, Lei D Y, Deng C. Progress in variety breeding and new variety protection of adzuki bean in China. Seed, 2021, 40(4): 51-58
- [2] 王丽侠,程须珍,王素华.小豆种质资源研究与利用概述.植物遗传资源学报,2013,14(3):440-447  
Wang L X, Cheng X Z, Wang S H. Review on genetic study and application of adzuki bean (*Vigna angularis*) germplasm. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(3): 440-447
- [3] 徐宁,程须珍,王素华,王丽侠,赵丹.以地理来源分组和利用表型数据构建中国小豆核心种质.作物学报,2008,34(8):1366-1373  
Xu N, Cheng X Z, Wang S H, Wang L X, Zhao D. Establishment of an adzuki bean (*Vigna angularis*) core collection based on geographical distribution and phenotypic data in China. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(8): 1366-1373
- [4] 薛晨晨,李春,张炯,胡筑兵,张勤雪,袁星星,顾和平,陈新.江苏省小豆地方品种资源农艺性状研究.浙江农业科学,2018,59(10):1770-1773  
Xue C C, Li C, Zhang J, Hu Z B, Zhang Q X, Yuan X X, Gu H P, Chen X. Study on agronomic traits of local adzuki bean varieties resources in Jiangsu province. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2018, 59(10): 1770-1773
- [5] 武小霞,周润南,陈庆山,苏安玉,李思楠,程鹏,白韵旗,孟文凯,赵洪利,赵良,于明珠,马明睿.黑龙江省小豆地方种质农艺性状遗传多样性分析.东北农业大学学报,2019,50(10):1-11  
Wu X X, Zhou R N, Chen Q S, Su A Y, Li S N, Cheng P, Bai Y Q, Meng W K, Zhao H L, Zhao L, Yu M Z, Ma M R. Genetic diversity analysis of agronomic traits of adzuki bean local germplasm in Heilongjiang province. Journal of Northeast Agricultural University, 2019, 50(10): 1-11
- [6] 何伟锋,叶福民,乔辉,赵秋,徐敏.辽宁省小豆种质资源表型鉴定及多样性分析.河北农业大学学报,2022,45(1):20-29  
He W F, Ye F M, Qiao H, Zhao Q, Xu M. Phenotypic identification and diversity analysis of *Vigna angularis* germplasm in Liaoning province. Journal of Hebei Agricultural University, 2022, 45(1): 20-29
- [7] 刘长友,田静,范保杰.河北省小豆种质资源遗传多样性分析.植物遗传资源学报,2009,10(1):73-76  
Liu C Y, Tian J, Fan B J. Genetic diversity analysis of adzuki bean germplasm in Hebei province. Journal of Plant Genetic Resources, 2009, 10(1): 73-76
- [8] 胡亮亮,黄宇宁,薛仁风,陈天晓,曹榕,王素华,葛维德,王丽侠,程须珍,陈红霖.辽宁地区小豆野生种及其近缘种的调查收集与豆象抗性鉴定.植物遗传资源学报,2025,26(3):431-440  
Hu L L, Huan Y N, Xue R F, Chen T X, Cao R, Wang S H, Ge W D, Wang L X, Cheng X Z, Chen H S. Investigation,

- collection, and bruchid resistance identification of wild adzuki bean and sibling species in Liaoning province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2025, 26(3): 431-440
- [9] 龙珺臣, 杜成章, 张晓春, 刘剑飞, 王强, 高飞虎, 唐科明, 陈红, 张继君. 重庆小豆种质资源的遗传多样性分析及白粉病抗性鉴定. *四川农业大学学报*, 2022, 40(4): 481-488  
Long J C, Du C Z, Zhang X C, Liu J F, Wang Q, Gao F H, Tang K M, Chen H, Zhang J J. Genetic diversity analysis and powdery mildew resistance identification of adzuki bean germplasm resources in Chongqing. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2022, 40(4): 481-488
- [10] 单云鹏, 陈新慧, 万平, 赵波, 杨凯, 李奕松. 小豆种质资源苗期抗旱性评价及抗旱资源筛选. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(5): 1151-1159  
Shan Y P, Chen X H, Wan P, Zhao B, Yang K, Li Y S. Drought resistance evaluation of adzuki bean germplasm at seedling stage and screening of the drought-resistant resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(5): 1151-1159
- [11] 白鹏, 程须珍, 王丽侠, 王素华, 陈红霖. 小豆种质资源农艺性状综合鉴定与评价. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(6): 1209-1215  
Bai P, Cheng X Z, Wang L X, Wang S H, Chen H L. Evaluation in agronomic traits of adzuki bean accessions. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(6): 1209-1215
- [12] 张明媛, 冷森, 孙伟娜, 柯希望, 徐晓丹, 左豫虎. SNP 分子标记结合表型性状鉴别小豆种质资源. *江苏农业学报*, 2024, 40(6): 975-983  
Zhang M Y, Leng M, Sun W N, Ke X W, Xu X D, Zuo Y H. Identification of adzuki bean (*Vigna angularis*) germplasm resources based on SNP molecular markers and phenotypic traits. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 40(6): 975-983
- [13] 吕学高, 卢华兵, 朱正梅, 陈珊宇, 石丽敏, 宋费玲, 陈一波. 30 份赤豆地方种质资源农艺性状浅析. *浙江农业科学*, 2018, 59(8): 1377-1378  
Lyu X G, Lu H B, Zhu Z M, Chen S Y, Shi L M, Song F L, Chen Y B. Analysis of agronomic traits of 30 local germplasm resources of adzuki beans. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2018, 59(8): 1377-1378
- [14] 程须珍, 王素华, 王丽侠. 小豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006  
Cheng X Z, Wang S H, Wang L X. Descriptors and data standard for adzuki bean [*Vigna angularis* (willd) Ohwi & Ohashi]. Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [15] 刘秀慧, 陈合云, 邹桂花, 刘合芹, 郑学强, 陈小央. 浙江地方高粱种质资源表型鉴定评价分析及利用. *浙江农业科学*, 2022, 63(8): 1887-1890, 1895  
Liu X H, Chen H Y, Zou G H, Liu H Q, Zheng X Q, Chen X Y. Phenotypic identification, evaluation, analysis and utilization of local sorghum germplasm resources in Zhejiang. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2022, 63(8): 1887-1890, 1895
- [16] 孟珊, 徐婷婷, 朱小品, 狄佳春, 朱银, 杨欣, 邹淑琼, 杨雪, 覃翠华, 颜伟. 江苏大豆地方种质资源表型多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(2): 419-436  
Meng S, Xu T T, Zhu X P, Di J C, Zhu Y, Yang X, Zou S Q, Yang X, Qin C H, Yan W. Diversity analysis of soybean landraces collected from Jiangsu province using phenotypic traits. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(2): 419-436
- [17] 袁星星, 陈新, 崔晓艳, 陈华涛, 顾和平, 张红梅. 抗绿豆象小豆筛选与应用研究. *江苏农业科学*, 2013, 41(6): 79-80  
Yuan X X, Chen X, Cui X Y, Chen H T, Gu H P, Zhang H M. Research on screening and application of adzuki beans resistant to *Callosobruchus chinensis*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(6): 79-80
- [18] 陈剑, 薛仁风, 赵阳, 李韬, 葛维德. 抗绿豆象小豆优良品种(系)综合评价及筛选. *南方农业*, 2024, 18(5): 29-34  
Chen J, Xue R F, Zhao Y, Li T, Ge W D. Comprehensive evaluation and screening of excellent varieties (lines) of adzuki beans resistant to *Callosobruchus chinensis*. *South China Agricultural*, 2024, 18(5): 29-34
- [19] 王晓磊, 康泽然, 魏云山, 刘迎春, 周学超, 胡海波, 李峰, 崔智慧, 杨志阁, 裴广利. 20 份小豆种质资源农艺性状鉴定与综合评价. *江苏农业科学*, 2023, 51(2): 98-104  
Wang X L, Kang Z R, Wei Y S, Liu Y C, Zhou X C, Hu H B, Li F, Cui Z H, Yang Z G, Pei G L. Identification and comprehensive evaluation of agronomic traits of 20 adzuki bean germplasm resources. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(2): 98-104
- [20] 高运青, 李姝彤, 尚启兵, 刘虎, 徐东旭. 绿豆种质资源筛选与评价. *种子*, 2020, 39(8): 66-69  
Gao Y Q, Li S T, Shang Q B, Liu H, Xu D X. Screening and evaluation of germplasm resources of mung bean. *Seed*, 2020, 39(8): 66-69
- [21] 魏淑红. 黑龙江省小豆种质资源农艺性状鉴定与评价. *西北农业学报*, 2005, 14(3): 75-77  
Wei S H. Identification and evaluation of agronomical characterin azuki bean germplasm in Heilongjiang province. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(3): 75-77
- [22] 金文林, 濮绍京, 赵波, 王丽英, 吴刚, 苏丽丽. 小豆种质资源子粒品质性状的遗传变异. *作物学报*, 2006, 32(8): 1223-1230  
Jin W L, Pu S J, Zhao B, Wang L Y, Wu G, Su L L. Genetic variation of quality characters of seed in adzuki bean germplasm resources. *Acta Agronomic Sinica*, 2006, 32(8): 1223-1230
- [23] 牛雪婧, 王新栋, 王金萍, 孙娟, 郅彦敏, 王丽娜, 耿立格. 高粱地方种质资源表型多样性分析及综合评价. *植物遗传资源学报*, 2024, 25(4): 562-575  
Niu X J, Wang X D, Wang J P, Sun J, Qie Y M, Wang L N, Geng L G. Genetic diversity and comprehensive evaluation of sorghum germplasm based on phenotypic traits. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2024, 25(4): 562-575