

# 基于连续14年国家绿豆品种区域试验的 中国绿豆品种产量和性状变化

马智秀<sup>1</sup>, 邱军<sup>2</sup>, 高金锋<sup>1</sup>, 高小丽<sup>1</sup>, 冯佰利<sup>1</sup>, 杨璞<sup>1</sup>

(1. 旱区作物逆境生物学国家重点实验室/西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

**摘要:**利用 GGE 双标图、变异系数法、相关性分析、多元回归和聚类分析等方法, 分析了 2003—2016 年共 14 a 国家绿豆品种区域试验中来自内蒙古自治区、黑龙江省、吉林省、辽宁省、山西省等 12 个绿豆主产省(市、自治区)的 29 个育种单位提供的 130 个参试品种的生育天数、株高、主茎节数、主茎分枝数、荚长、单株荚数、荚粒数、千粒重以及产量在春播组和夏播组的变异, 并比较了性状间的相关性以及不同育种单位选育的绿豆品种的性状差异。结果表明: 2003—2016 年春播组和夏播组绿豆产量分别增加 14.0% 和 25.4%, 年均增幅分别为 1.0% 和 1.8%; 主茎分支数分别减少 12.0% 和 15.9%; 其他性状变化不明显。春播组绿豆主要农艺性状的变异系数为 5.14%~17.01%, 均值为 11.33%; 遗传多样性指数为 1.91~2.08, 平均为 1.99。夏播组绿豆主要农艺性状的变异系数为 5.96%~19.99%, 均值为 12.52%; 遗传多样性指数为 1.98~2.17, 平均为 2.07。相关性和偏相关性分析表明, 春播组中产量与荚长、单株荚数和荚粒数显著正相关, 与其他性状的相关性不明显; 夏播组中产量与单株荚数和荚粒数显著正相关, 与株高、主茎分支数和荚长显著负相关。多元回归分析表明, 春播组绿豆生育天数、株高、主茎分支数、荚长和单株荚数共同决定产量 60.9% 的变异; 夏播组绿豆株高、主茎分支数、单株荚数、荚粒数和千粒重共同决定产量 87.7% 的变异。依托品种选育区域的聚类分析表明, 65 个春播组品种被分为 4 类, 在北京市、河北省、山西省、河南省、山东省、吉林省和陕西省综合表现较好; 65 个夏播组品种被分为 6 类, 在河南省、河北省和山东省综合表现较好。2003—2016 年, 国家每轮区试的绿豆品种产量稳步提升, 表明我国绿豆育种水平有了一定提升; 但品种遗传基础狭窄, 育种方法多样化程度较低, 缺少突破性品种。

**关键词:** 绿豆; 区域试验; 产量; 农艺性状; 品种改良

**中图分类号:** S522; S338 **文献标志码:** A

## Yield and character changes of mung bean varieties in China based on 14 consecutive years of national mung bean variety regional trials

MA Zhixiu<sup>1</sup>, QIU Jun<sup>2</sup>, GAO Jinfeng<sup>1</sup>, GAO Xiaoli<sup>1</sup>, FENG Baili<sup>1</sup>, YANG Pu<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. National Agricultural Technology Extension Service Center, Beijing 100125, China)

**Abstract:** GGE biplot, coefficient of variation, correlation analysis, multiple regression and cluster analysis were used to analyze the variation of growth days, plant height, number of main stem nodes, branch number of main stem, pod length, pod numbers per plant, seeds per pod, 1000-grain weight and yield of 130 mung bean varieties provided by 29 breeding units in 12 main producing provinces (municipalities/autonomous regions) of mung bean of Inner Mongolia Autonomous Region, Heilongjiang Province, Jilin Province, Liaoning Province and Shanxi Province during the 14 years of national mung bean varieties regional trial from 2003 to 2016. The variation of quantity in spring and summer sowing groups was compared, and the correlation between characters and the difference of

收稿日期: 2023-03-23

修回日期: 2023-10-09

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2023-ZDLNY-06); 国家重点研发计划项目(2021YFD1600600, 2021YFD1600605)

作者简介: 马智秀(1998-), 女, 青海海东人, 硕士研究生, 研究方向为谷子产量性状基因定位。E-mail: 2974736437@qq.com

通信作者: 杨璞(1984-), 男, 湖北十堰人, 副教授, 主要从事旱地杂粮作物关键性状基因定位和品种改良。E-mail: yangpu5532@hotmail.com

冯佰利(1966-), 男, 陕西耀州区人, 教授, 主要从事小杂粮栽培、育种、品种资源以及作物优质高产生态生理技术、作物品质生理以及植物资源可持续利用研究。E-mail: 7012766@163.com

characters of mung bean varieties from different breeding institutions were compared. The results showed that the yield of mung bean in spring and summer sowing groups increased by 14.0% and 25.4% respectively from 2003 to 2016, with an average annual increase of 1.0% and 1.8%, respectively. The number of main stem branches decreased by 12.0% and 15.9% respectively. The changes of other traits were not obvious. The coefficient of variation of main agronomic traits of mung bean in spring sowing group ranged from 5.14% to 17.01%, with an average of 11.33%. The genetic diversity index ranged from 1.91 to 2.08, with an average of 1.99. The coefficient of variation of main agronomic traits of mung beans in the summer sowing group ranged from 5.96% to 19.99%, with an average of 12.52%, and the genetic diversity index ranged from 1.98 to 2.17, with an average of 2.07. Correlation and partial correlation analysis showed that yield was positively correlated with pod length, pod numbers per plant and seeds per pod, but not significantly correlated with other traits. In the summer sowing group, the yield was positively correlated with pod numbers per plant and seeds per pod, and negatively correlated with plant height, branch number of main stem and pod length. Multiple regression analysis showed that growth days, plant height, branch number of main stem, pod length and pod numbers per plant together determined 60.9% yield variation of mung bean in spring sowing group. Plant height, branch number of main stem, pod numbers per plant, seeds per pod and 1000-grain weight of mung bean in summer sowing group jointly determined 87.7% variation of yield. The cluster analysis based on the breeding area showed that 65 spring sowing group varieties were divided into 4 categories, and the comprehensive performance was better in Beijing, Hebei, Shanxi, Henan, Shandong, Jilin and Shaanxi provinces. The 65 summer sowing group varieties were divided into 6 categories, and the comprehensive performance was better in Henan Province, Hebei Province and Shandong Province. From 2003 to 2016, the yield of mung bean varieties in each round of national regional trials increased steadily, indicating that the level of mung bean breeding in China improved to a certain extent. However, the genetic foundation of mung bean varieties was narrow, the diversity of breeding methods was low, and there was no breakthrough variety.

**Keywords:** mung bean; regional trial; yield; agronomic trait; variety improvement

绿豆(*Vigna radiata* (Linn.) Wilczek)为豆科豇豆属的一年生草本植物,是我国主要的杂粮作物,在中国的种植面积和总产量分别为 43.52 万  $\text{hm}^2$  和 57.3 万 t,居世界第 2 位<sup>[1]</sup>。我国绿豆分布范围为  $31^{\circ}23' \sim 53^{\circ}23' \text{N}$ ,  $97^{\circ}12' \sim 126^{\circ}04' \text{E}$ ,主要分布在黄淮河流域、长江下游、东北、华北、西北以及华东部分省(市、自治区)的干旱贫瘠或山区丘陵地带。播种时期的气温条件会对绿豆的产量造成显著影响,根据种植地区播期的差异,可将绿豆分为春播绿豆和夏播绿豆。其中春播绿豆主要分布于东北、华北、西北以及华东地区,夏播绿豆主要分布于黄淮河流域和长江下游。优良品种是绿豆产业发展的基础。20 世纪 70 年代末开始,中国农业科学院牵头,组织河南省、山西省、山东省、河北省、湖北省、安徽省、陕西省等 20 多个省(市、自治区)的有关单位,开展了绿豆品种资源的搜集、保存、评价、鉴定及创新利用研究工作,至今共育成绿豆品种 141 个<sup>[2]</sup>,为绿豆品种改良提供了材料保证。品种区域试验是检验育成品种能否在相应区域推广种植的重要依据,一定时期内国家品种区域试验参试品种的产量、品质和农艺性状等表现可以系统反映该阶

段国内总体育种水平和生产能力的高低。研究人员通过剖析大豆产量与农艺性状的关系,发现单株荚数、单株粒数、单株粒重、有效分枝数和生育期天数等都对大豆产量有正向效应<sup>[3-5]</sup>。小豆<sup>[6]</sup>、豇豆<sup>[7-8]</sup>、黑豆<sup>[9-10]</sup>、蚕豆<sup>[11-12]</sup>等豆类作物的研究均表明可以通过改良与产量紧密相关的农艺性状提高产量。1998 年开始,西北农林科技大学组织了相关单位开展国家绿豆品种区域试验,系统鉴定了参试品种的生育天数、株高、主茎节数、主茎分支数、荚长、单株荚数、荚粒数、千粒重和产量等 9 个性状,结果表明生育天数、株高、单株荚数与产量呈显著正相关关系,可以对这些性状直接选择品种,以提高产量<sup>[13-14]</sup>。

对作物农艺性状、经济性状等有针对性地进行研究,有助于利用资源和加快新品种选育的速度。近年来,国内学者利用遗传多样性指数、系统聚类分析、主成分分析<sup>[15-18]</sup>等方法对绿豆资源进行性状评价,为筛选出适宜当地种植的优异绿豆品种提供了重要理论支撑。但长期以来,绿豆品种改良仍未有突破性进展,且生产上受栽培技术等因素影响<sup>[19]</sup>,其产量和品质提升乏力,限制了绿豆产业健

康发展。因此,本研究通过对 2003—2016 年连续 14 a(7 轮)国家区域试验参试绿豆品种(春播、夏播)的农艺性状和产量特性进行分析,总结前期绿豆育种工作的进展,探究不同年份和育种单位品种性状之间的差异及其对产量的影响,以期为更好地开展绿豆品种改良、提高绿豆育种水平提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1998—2016 年全国农业技术推广服务中心共组织了 7 轮国家绿豆品种区域试验,分别是:第 1 轮(1998—2000 年)、第 2 轮(2001—2002 年)、第 3 轮(2003—2005 年)、第 4 轮(2006—2008 年)、第 5 轮(2009—2011 年)、第 6 轮(2012—2014 年)和第 7

轮(2015—2016 年)。由于第 1 轮、第 2 轮区域试验方案与后几轮差异较大,数据无法放在一起比较,因此未参与本次数据分析。用于数据分析的绿豆区域试验的品种为全部参试品种,共 130 个,由 12 个省(市、区)的 29 个育种单位提供(表 1)。在这 5 轮绿豆区域试验中,依据播种时间将 4 月下旬~5 月上旬播种的品种定为春播组,将 6 月上中旬播种的品种定为夏播组,春播组和夏播组试验为独立的两组试验,所用的品种不完全相同,对照品种也不同,用于数据分析的性状值为一轮区域试验的均值。试验采用随机区组设计,小区面积 10 m<sup>2</sup>(2 m × 5 m),3 次重复。种植方式为条播,行距 50 cm,各试点根据当地生产情况确定留苗密度 4.8~7.2 万株·hm<sup>-2</sup>,田间管理水平略高于大田生产。

表 1 2003—2016 年区域试验春播组和夏播组绿豆参试品种

Table 1 Spring sowing group and summer sowing group mung bean cultivars tested from 2003 to 2016

序号 No.	育种单位 Breeding institution	省(市、区) Province(municipality/ autonomous region)	品种 Cultivar	
			春播组 Spring sowing group	夏播组 Summer sowing group
1	中国农业科学院作物品种资源研究所 Institute of Crop Variety Resources, Chinese Academy of Agricultural Sciences	北京 Beijing	新育 1 号 Xinyu 1(XY1);9621-10;品绿 2005-353-1 Pinlv 2005-353-1(PL 2005 -353-1)	新育 1 号 Xinyu 1(XY1);9621-10;2002-4-16; 2001-569;品绿 2005-353-1 Pinlv 2005-353-1 (PL 2005-353-1)
2	中国农业科学院作物科学研究所 Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences	北京 Beijing	品绿 08106 Pinlv 08106(PL08106);品绿 0903-150 Pinlv 0903-150(PL0903-150)	品绿 08106 Pinlv 08106(PL08106);品绿 0903- 150 Pinlv 0903-150(PL0903-150)
3	河北省农林科学院粮油作物研 究所 Institute of Grain and Oil Crops, He- bei Academy of Agriculture and For- estry Sciences	河北 Hebei	冀绿 9802-19-2 Jilv 9802-19-2(JL9802 -19-2);冀绿 0308 Jilv 0308(JL0308); 冀绿 0312 Jilv 0312(JL0312);冀绿 0616 -4 Jilv 0616-4(JL 0616-4)	冀绿 9802-19-2 Jilv 9802-19-2(JL9802-19-2); 冀绿 0308 Jilv 0308(JL0308);冀绿 0312 Jilv 0312 (JL0312);冀绿 0616-4 Jilv 0616-4(JL 0616-4) 冀绿 9802 Jilv 9802 (JL9802);冀黑绿 9832 Jiheilv 9832(JHL9832)
4	河北省保定市农业科学研究所 Baoding Institute of Agricultural Sci- ences, Hebei Province	河北 Hebei	保 865-18-13 Bao 865-18-13(B865-18- 13);保 942-40-2 Bao 942-40-2(B942- 40-2);保 956-6 Bao 956-6(B956-6); 保 200330 Bao 200330 (B200330);保 200319 Bao 200319 (B200319);保 绿 200520-2 Baolv 200520-2 (BL200520- 2);保 200017-9 Bao 200017-9(B200017- 9)	保 865-18-13 Bao 865-18-13(B865-18-13);保 942-40-2 Bao 942-40-2(B942-40-2);保 956-6 Bao 956-6 (B956-6);保 200330 Bao 200330 (B200330);保 200319 Bao 200319(B200319);保 绿 200520-2 Baolv 200520-2 (BL200520-2);保 200017-9 Bao 200017-9(B200017-9) 保 9808-16 Bao 9808-16(B9808-16);保 9815- 36 Bao 9815-36(B9815-36)
5	河南省农业科学院粮食作物研 究所 Institute of Food Crops, Henan A- cademy of Agricultural Sciences	河南 Henan	郑绿 98 Zhenglv 98(ZL98);郑绿 9 号 Zhenglv 9(ZL9);郑绿 12 号 Zhenglv 12 (ZL12)	郑绿 98 Zhenglv 98(ZL98);郑 03-94 Zheng 03- 94(Z03-94);郑绿 12 号 Zhenglv 12(ZL12);郑 绿 07-70 Zhenglv 07-70(ZL07-70)
6	河南省安阳市农业科学研究所 Anyang Institute of Agricultural Sci- ences, Henan Province	河南 Henan	安 9910 An 9910(A9910);安 02-1 An 02- 1(A02-1);安 07-3B An 07-3B(A07- 3B);安绿 7 号 Anlv 7(AL7);安绿 8 号 Anlv 8(AL8)	安 9910 An 9910(A9910);安 02-1 An 02-1(A02- 1);安 07-3B An 07-3B(A07-3B);安绿 7 号 Anlv 7(AL7);安绿 8 号 Anlv 8(AL8);安 05-4 An 05-4(A05-4);安 04-9 An 04-9(A04-9)
7	山东省潍坊市农业科学研究所 Weifang Institute of Agricultural Sci- ences, Shandong Province	山东 Shandong	潍 9002-341 Wei 9002-341 (W9002- 341);潍 8901-32 Wei 8901-32(W8901- 32);潍绿 2116 Weilv 2116(WL2116);潍 绿 8 号 Weilv 8(WL8)	潍 9002-341 Wei 9002-341 (W9002-341);潍 8901-32 Wei 8901-32(W8901-32);潍绿 2116 Weilv 2116(WL2116);潍绿 8 号 Weilv 8(WL8)
8	内蒙古农牧业科学研究院 Inner Mongolia Agricultural and Ani- mal Husbandry Research Institute	内蒙古 Inner Mongolia	赤绿 1 号 Chilv 1(CL1);赤绿 5 号 Chilv 5(CL5);赤绿 6 号 Chilv 6(CL6)	赤绿 5 号 Chilv 5(CL5);赤绿 6 号 Chilv 6 (CL6)

续表 1 2003—2016 年区域试验春播组和夏播组绿豆参试品种

Continued table 1 Spring sowing group and summer sowing group mung bean cultivars tested from 2003 to 2016

序号 No.	育种单位 Breeding institution	省(市、区) Province(municipality/ autonomous region)	品种 Cultivar	
			春播组 Spring sowing group	夏播组 Summer sowing group
9	内蒙古赤峰市种子管理站 Chifeng Seed Management Station, Inner Mongolia	内蒙古 Inner Mongolia	赤峰绿豆 Chifenglvdou (CFLD); 天山明绿 2 号 Tianshanminglv 2 (TSML2)	赤峰绿豆 Chifenglvdou (CFLD)
10	内蒙古奈曼旗农技推广中心 Inner Mongolia Naiman Banner Agricultural Technology Extension Center	内蒙古 Inner Mongolia	奈曼绿豆 Naimanlvdou (NMLD); 2180 绿豆 2180 Lvdou (2180LD)	奈曼绿豆 Naimanlvdou (NMLD)
11	内蒙古农业大学农学院 College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University	内蒙古 Inner Mongolia	清水河绿豆 Qingshuihelvdou (QSHLD)	清水河绿豆 Qingshuihelvdou (QSHLD)
12	内蒙古兴安盟农业科学研究所 Xing'an League Institute of Agricultural Sciences, Inner Mongolia	内蒙古 Inner Mongolia	兴绿 1 号 Xinglv 1 (XL1)	兴绿 1 号 Xinglv 1 (XL1)
13	内蒙古兴丰种业有限公司 Inner Mongolia Xingfeng Seed Industry	内蒙古 Inner Mongolia	兴丰绿 1 号 Xingfenglv 1 (XFL1)	兴丰绿 1 号 Xingfenglv 1 (XFL1)
14	内蒙古扎鲁特旗种子分公司 Inner Mongolia Zhalut Banner Seed Company	内蒙古 Inner Mongolia	明绿 1 号 Minglv 1 (ML1)	明绿 1 号 Minglv 1 (ML1)
15	内蒙古通辽市农业科学研究院 Tongliao Academy of Agricultural Sci- ences, Inner Mongolia	内蒙古 Inner Mongolia	通绿 1 号 Tonglv 1 (TL1)	通绿 1 号 Tonglv 1 (TL1)
16	陕西省榆林市农业科学研究所 Yulin Institute of Agricultural Sciences, Shaanxi Province	陕西 Shaanxi	YX-1-04	YX-1-04
17	陕西省神木县农技站 Shenmu County Agricultural Technology Station in Shaanxi Province	陕西 Shaanxi	神木绿豆 Shenmulvdou (SMLD)	神木绿豆 Shenmulvdou (SMLD)
18	西北农林科技大学 Northwest A&F University	陕西 Shaanxi		LD13-20
19	吉林省白城市农业科学研究所 Jilin Province Baicheng Agricultural Research Institute	吉林 Jilin	白绿 935 Bailv 935 (BL935); 白绿 8 号 Bailv 8 (BL8); 白绿 11 号 Bailv 11 (BL11); BL98519; 白绿 10 号 Bailv 10 (BL10)	白绿 935 Bailv 935 (BL935); 白绿 8 号 Bailv 8 (BL8); 白绿 11 号 Bailv 11 (BL11)
20	吉林省农业科学院旱农中心 Dry Farming Center, Jilin Academy of Agricultural Sciences	吉林 Jilin	洮 9531 Tao 9531 (T9531)	
21	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	吉林 Jilin	洮 9947-6 Tao 9947-6 (T9947-6); 吉绿 99036 Jilv 99036 (JL99036); 吉绿 6 号 Jilv 6 (JL6)	洮 9947-6 Tao 9947-6 (T9947-6); 吉绿 6 号 Jilv 6 (JL6)
22	黑龙江省嫩江农业科学研究所 Nenjiang Agricultural Research Institute of Heilongjiang Province	黑龙江 Heilongjiang	嫩绿 1 号 Nenlv 1 (NL1)	嫩绿 1 号 Nenlv 1 (NL1)
23	黑龙江省泰来县经济作物研究所 Cash crop Research Institute of Tailai County, Heilongjiang Province	黑龙江 Heilongjiang	泰来绿豆 Tailailvdou (TLLD)	泰来绿豆 Tailailvdou (TLLD)
24	山西农业大学文理学院 College of Arts and Science, Shanxi Agricultural University	山西 Shanxi	I-159	I-159
25	山西省农业科学院经济作物研究所 Cash Crops Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences	山西 Shanxi	汾绿豆 2 号 Fenlvdou 2 (FLD2); 汾绿豆 3 号 Fenlvdou 3 (FLD3)	汾绿豆 3 号 Fenlvdou 3 (FLD3)
26	山西省农业科学院高寒作物研究所 Institute of Alpine Crops, Shanxi Acad- emy of Agricultural Sciences	山西 Shanxi	大同绿豆 Datonglvdou (DTLD)	大同绿豆 Datonglvdou (DTLD)
27	辽宁省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Liaoning A- cademy of Agricultural Sciences	辽宁 Liaoning	辽绿 7 号 Liaolv 7 (LL7); L2003525-8	L2003525-8
28	江苏省农业科学院蔬菜研究所 Vegetable Research Institute, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences	江苏 Jiangsu	苏绿 04-23 Sulv 04-23 (SL04-23); 苏绿 2 号 Sulv 2 (SL2); 苏绿 11-8 Sulv 11-8 (SL11-8); 苏绿 14-6 Sulv 14-6 (SL14-6)	苏绿 04-23 Sulv 04-23 (SL04-23); 苏绿 2 号 Sulv 2 (SL2); 苏绿 11-8 Sulv 11-8 (SL11-8); 苏绿 14-6 Sulv 14-6 (SL14-6)
29	江西省吉安农业科学研究所 Ji'an Agricultural Science Institute of Jiangxi Province	江西 Jiangxi	吉绿 0106 Jilv 0106 (JL0106); 吉绿 1 号 Jilv 1 (JL1)	吉绿 1 号 Jilv 1 (JL1)

## 1.2 调查指标

参照《绿豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[20]</sup> 调查和测定了绿豆的生育天数、株高、主茎节数、主茎分支数、荚长、单株荚数、荚粒数、千粒重、产量共 9 个性状。

## 1.3 数据统计方法

采用 Excel 2016 软件计算春播组和夏播组绿豆生育天数、株高、主茎节数、主茎分支数、荚长、单株荚数、荚粒数、千粒重和产量等农艺性状数据的均值、标准差、变异系数<sup>[21]</sup> 和遗传多样性指数  $H'$ <sup>[22]</sup>。用 R 语言 x64 4.0.4 绘制各轮区域试验试点的区分力与代表性图<sup>[23]</sup>。用 Origin 2021 软件绘制各轮区域试验中各性状的表型柱状图。用 IBM SPSS Statistics 24 软件进行不同育种单位培育品种间的聚类分析,用 Ward 法进行聚类,区间测量方法选择平方欧氏距离。用 IBM SPSS Statistics 24 软件进行相关性分析以及产量与各农艺性状之间的多元线性回归分析。

## 2 结果与分析

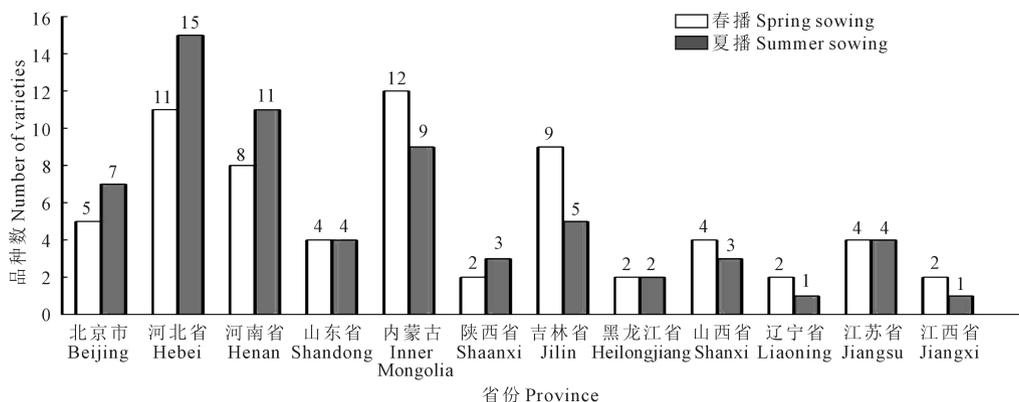
### 2.1 各省(市、区)参试绿豆品种情况统计

2003—2016 年,130 个供试品种由 12 个省(市、区)的 29 个育种单位提供,其中河北省、河南省、内蒙古自治区和吉林省的 15 个育种单位分别提供了 26、19、21 和 14 个绿豆品种,占绿豆区域试验品种总数的 61.5%。由图 1 可知,春播组绿豆供种单位共 65 个,来自 12 个省(市、区),各省(市、区)提供品种数表现为:内蒙古自治区(12)>河北省(11)>吉林省(9)>河南省(8)>北京市(5)>山东省(4)=山西省(4)=江苏省(4)>陕西省(2)=黑龙江省(2)=辽宁省(2)=江苏省(2)。夏播组绿豆供种单位共

28 个,来自 12 个省区,各省(市、区)提供品种数表现为:河北省(15)>河南省(11)>内蒙古自治区(9)>北京市(7)>吉林省(5)>山东省(4)=江苏省(4)>陕西省(3)=山西省(3)>黑龙江省(2)>辽宁省(1)=江西省(1)。通过提供品种的数量可以看出河北省、河南省、内蒙古自治区和吉林省这 4 个省(区)的育种实力较强,为区域试验提供了超过半数的品种。

### 2.2 参试绿豆品种主要农艺性状及产量的多样性分析

2003—2016 年春播组绿豆主要农艺性状的变异系数为 5.14%~17.01%,均值为 11.33%,各性状按变异系数从大到小依次为主茎分支数、株高、产量、单株荚数、主茎节数、荚长、千粒重、荚粒数、生育天数;春播绿豆品种主要农艺性状的遗传多样性指数为 1.91~2.08,均值为 1.99,各性状按遗传多样性指数从大到小依次为荚长、生育天数、千粒重、株高、主茎节数、产量、主茎分支数、单株荚数、荚粒数(表 2)。夏播组绿豆主要农艺性状的变异系数为 5.96%~19.99%,均值为 12.52%,各性状从大到小依次为主茎分支数、产量、单株荚数、株高、主茎节数、千粒重、荚长、生育天数、荚粒数;夏播绿豆品种主要农艺性状的遗传多样性指数为 1.98~2.17,平均为 2.07,各性状从大到小依次为单株荚数、荚长、产量、主茎节数、生育天数、株高、千粒重、荚粒数、主茎分支数(表 3)。春播组和夏播组中生育天数和荚粒数变异系数最小,说明参试品种的这两个性状差异较小;主茎分支数的变异系数最大,说明该性状的变异较为丰富,其他性状的表现中等。其中株高、产量和单株荚数的变异系数较大,说明可通过品种改良和改进耕作栽培方式使这些性状得到提高。



注:柱上数字代表对应的品种数。

Note: The figures in the bars represent number of varieties.

图 1 2003—2016 年各省(市、区)提供的春播和夏播绿豆品种数

Fig.1 Number of spring and summer sowing mung bean varieties provided by different provinces (municipalities/autonomous regions) from 2003 to 2016

表 2 2003—2016 年春播组绿豆产量和农艺性状的变异及遗传多样性指数

Table 2 Variation of yield and agronomic traits and genetic diversity index of mung bean in spring sowing group from 2003 to 2016

性状 Trait	生育天数 Growing duration/d	株高 Plant height/cm	主茎节数 Node numbers	主茎分支数 Branch numbers	荚长 Pod length/cm	单株荚数 Pod numbers per plant	荚粒数 Seeds per pod	千粒重 1000-grain weight/g	产量 Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
最小值 Min	75.00	34.80	6.20	2.10	8.10	19.20	9.40	46.60	855.40
最大值 Max	97.00	74.75	11.60	5.80	12.30	42.00	13.30	74.20	1929.10
平均值 Mean	85.89	54.84	9.09	3.84	10.20	28.34	11.05	60.80	1365.79
极差 Range	22.00	39.95	5.40	3.70	4.20	22.80	3.90	27.60	1073.70
标准差 SD	4.41	8.37	1.00	0.65	0.99	3.91	0.69	5.68	195.81
变异系数 CV%	5.14	15.20	11.05	17.01	9.75	13.80	6.24	9.34	14.33
遗传多样 性指数 H'	2.05	2.01	2.01	1.94	2.08	1.92	1.91	2.04	1.98

表 3 2003—2016 年夏播组绿豆产量和农艺性状的变异及遗传多样性指数

Table 3 Variation of yield and agronomic traits and genetic diversity index of mung bean in summer sowing group from 2003 to 2016

性状 Trait	生育天数 Growing duration/d	株高 Plant height/cm	主茎节数 Node numbers	主茎分支数 Branch numbers	荚长 Pod length/cm	单株荚数 Pod numbers per plant	荚粒数 Seeds per pod	千粒重 1000-grain weight/g	产量 Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
最小值 Min	55.00	42.50	7.90	1.70	8.40	14.60	8.70	44.90	833.70
最大值 Max	79.00	87.50	13.70	4.60	11.70	32.50	12.00	72.20	2108.80
平均值 Mean	68.10	60.39	10.62	2.85	9.81	23.58	10.45	60.77	1474.45
极差 Range	24.00	45.00	5.80	2.90	3.30	17.90	3.30	27.30	1275.10
标准差 SD	5.01	9.80	1.17	0.57	0.74	4.12	0.62	5.17	273.33
变异系数 CV/%	7.35	16.22	11.01	19.99	7.59	17.47	5.96	8.51	18.53
遗传多样 性指数 H'	2.06	2.04	2.08	1.98	2.16	2.17	2.00	2.02	2.13

春播组绿豆中,荚长、生育天数、千粒重、株高和主茎节数的遗传多样性指数高于平均值,说明该组别农艺性状的遗传多样性受这 5 个性状遗传变异的影响较大;夏播组中单株荚数、荚长、产量和主茎节数的遗传多样性指数高于平均值,说明该组别绿豆农艺性状遗传多样性受这 4 个性状遗传变异的影响较大。

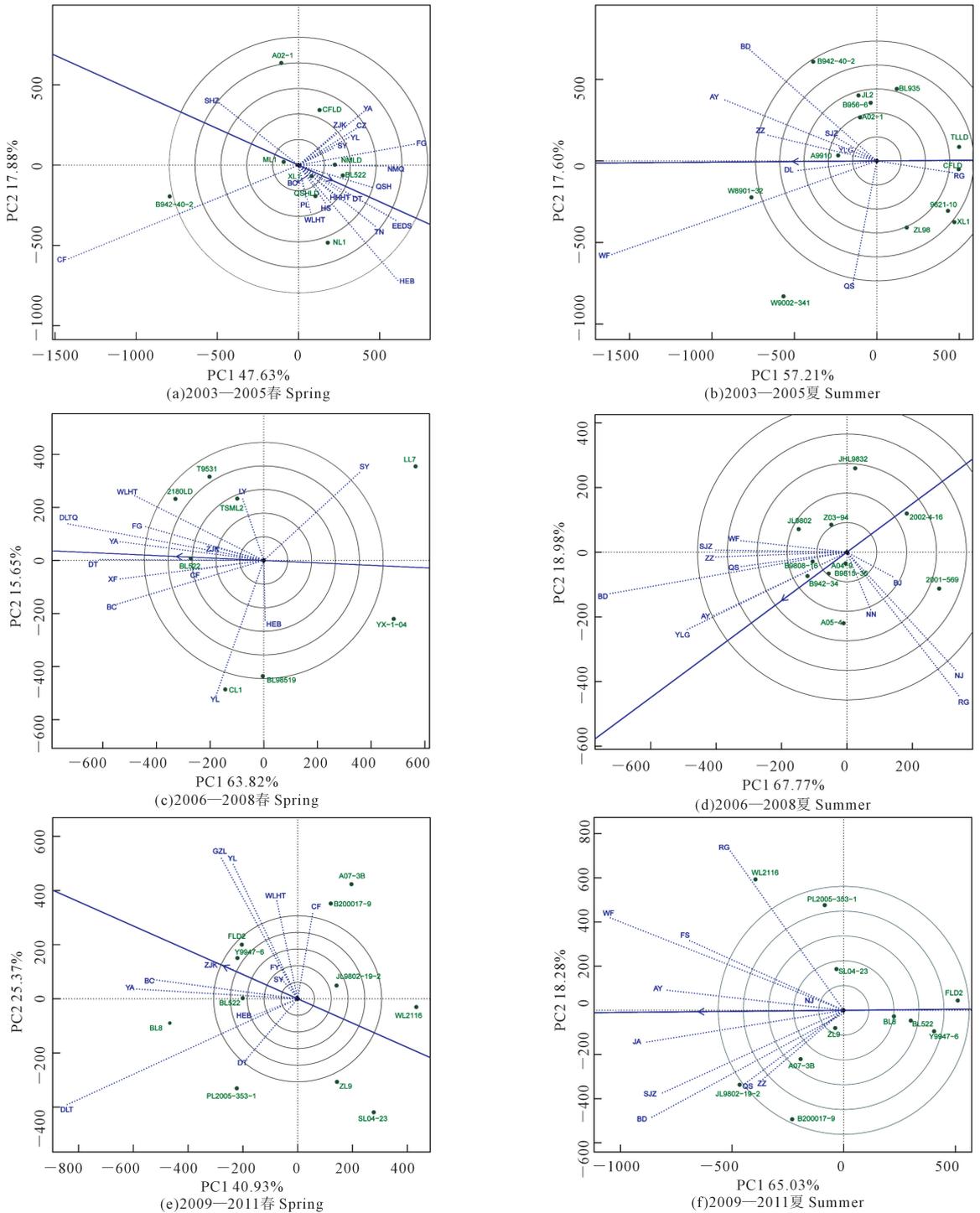
### 2.3 试验点区分度分析

利用 GGE 双标图法对第 3~7 轮区域试验试点的区分力和代表性进行比较分析,图 2 中试点线段长短代表试点区分力的大小,线段越长,区分力越大;试点线段与平均环境轴(带箭头的直线)的夹角表示该试点对目标环境的代表性,夹角越小,代表性越强。区分力和代表性均表现好的试点才能筛选出高产稳产的品种。在不同年份的区域试验中,各试点表现有所不同。第 3 轮区域试验春播组中鄂尔多斯、哈尔滨和洮南区分力和代表性最好,夏播组中郑州、潍坊、大荔和安阳表现最好(图 2a、b)。

第 4 轮区域试验春播组中大同、延安、达拉特旗、白城和西峰区分力和代表性最好,夏播组中杨凌和安阳表现最好(图 2c、d)。第 5 轮区域试验春播组中张家口、白城、延安、公主岭和榆林的区分力和代表性最好,夏播组中安阳、吉安和潍坊表现最好(图 2e、f)。第 6 轮区域试验春播组中安阳、榆林和白城区分力和代表性最好,夏播组中吉安、如皋和郑州表现最好(图 2g、h)。第 7 轮区域试验春播组中哈尔滨、乌鲁木齐、白城、张家口和榆林的区分力和代表性最好,夏播组中潍坊、安阳和郑州表现最好(图 2i、j)。

### 2.4 春播和夏播绿豆区试产量趋势分析

将 2003—2016 年参加区域试验的所有绿豆品种根据播种日期分成了春播组和夏播组,对参试品种的 9 个性状进行分析。春播组各品种的生育天数为平均为 85.9 d,株高平均为 54.8 cm,主茎节数平均为 9.1 节,主茎分枝数平均为 3.8 个,荚长平均为 10.2 cm,单株荚数平均为 28.3 个,荚粒数平均为 11.0 粒,

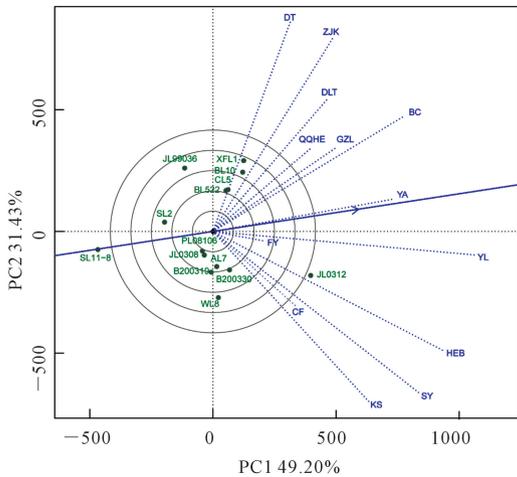


注: 图中各点为参试品种的缩写, 对应品种名称见表 1。BL522 (白绿 522)、B942-34 (保 942-34)、BL942 (保绿 942)、JL2 (冀绿 2 号) 为对照品种。HEB: 哈尔滨; BC 白城; TN: 洮南; SY: 沈阳; CF: 赤峰; WLHT: 乌兰浩特; NMQ: 奈曼旗; ZJK 张家口; DT: 大同; CZ: 长治; HHHT: 呼和浩特; EEDS: 鄂尔多斯; QSH: 清水河; YL: 榆林; FG: 府谷; HS: 衡山; YA: 延安; SHZ: 石河子; PL: 平凉; BD: 保定; SJZ: 石家庄; YLG: 杨凌; QS: 岐山; DL: 大荔; RG: 如皋; WF: 潍坊; ZZ: 郑州; AY: 安阳; LY: 辽阳; DLT: 达拉特旗; XF: 西峰; NN: 南宁; NJ: 南京; GZL: 公主岭; FY: 汾阳; KS: 克山; QQHE: 齐齐哈尔; FS: 房山; JA: 吉安; TL: 通辽; WLMQ: 乌鲁木齐; BJ: 北京; LY: 洛阳; ZB: 淄博。

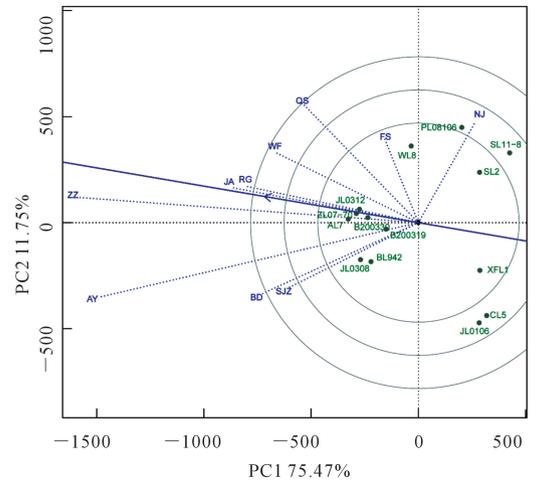
Note: The dots in the figure are the abbreviations of the participating varieties, and the corresponding variety names are shown in Table 1. BL522 (Baolv 522), B942-34 (Bao 942-34), BL942 (Baolv 942), and JL2 (Jilv 2) are the control varieties. HEB: Harbin; BC: Baicheng; TN: Taonan; SY: Shenyang; CF: Chifeng; WLHT: Ulanhot; NMQ: Naiman Banner; ZJK: Zhangjiakou; DT: Datong; CZ: Changzhi; HHHT: Hohhot; EEDS: Ordos; QSH: Qingshuihe; YL: Yulin; FG: Fugu; HS: Hengshan; YA: Yan'an; SHZ: Shihezi; PL: Pingliang; BD: Baoding; SJZ: Shijiazhuang; YLG: Yangling; QS: Qishan; DL: Dali; RG: Rugao; WF: Weifang; ZZ: Zhengzhou; AY: Anyang; LY: Liaoyang; DLT: Dalat Banner; XF: Xifeng; NN: Nanning; NJ: Nanjing; GZL: Gongzhuling; FY: Fenyang; KS: Keshan; QQHE: Qiqihar; FS: Fangshan; JA: Ji'an; TL: Tongliao; WLMQ: Urumqi; BJ: Beijing; LY: Luoyang; ZB: Zibo.

图 2 2003—2016 年春播组和夏播组试点的区分力和代表性

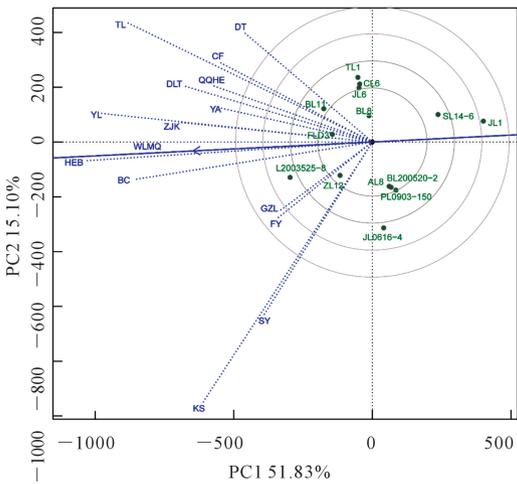
Fig.2 Discriminativeness and representativeness of spring and summer sowing groups from 2003 to 2016



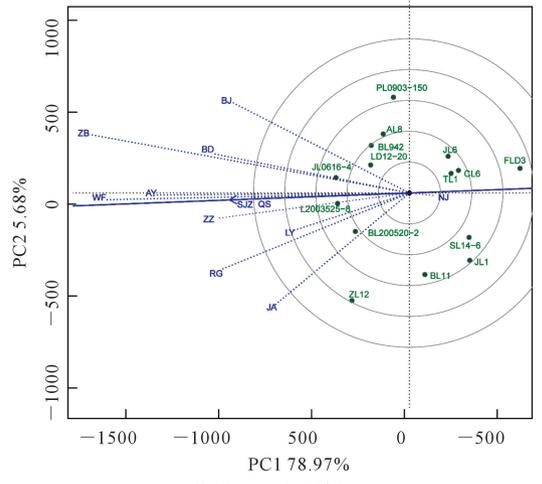
(g)2012—2014春 Spring



(h)2012—2014夏 Summer



(i)2015—2016春 Spring



(j)2015—2016夏 Summer

续图 2 2003—2016 年春播组和夏播组试点的区分力和代表性

Continued fig.2 Discriminateness and representiveness of spring and summer sowing groups from 2003 to 2016

千粒重平均为 60.8 g,产量平均为 1 365.8 kg · hm<sup>-2</sup> (表 2)。2003—2016 年,春播绿豆产量随着年份的推移增加了 14.0%,产量年增量为 1.0%(图 3)。夏播组各品种的生育天数平均为 68.1 d,株高平均为 60.4 cm,主茎节数平均为 10.6 节,主茎分枝数平均为 2.9 个,荚长平均为 9.8 cm,单株荚数平均为 23.6 个,荚粒数平均为 10.5 粒,千粒重平均为 60.8 g,产量平均为 1 474.5 kg · hm<sup>-2</sup>(表 3)。2003—2016 年,夏播绿豆的主茎节数、单株荚数和产量随着年份的推移持续增加,主茎节数、单株荚数和产量分别增加 19.9%、30.7%和 25.4%,产量年增量为 1.8%(图 3)。

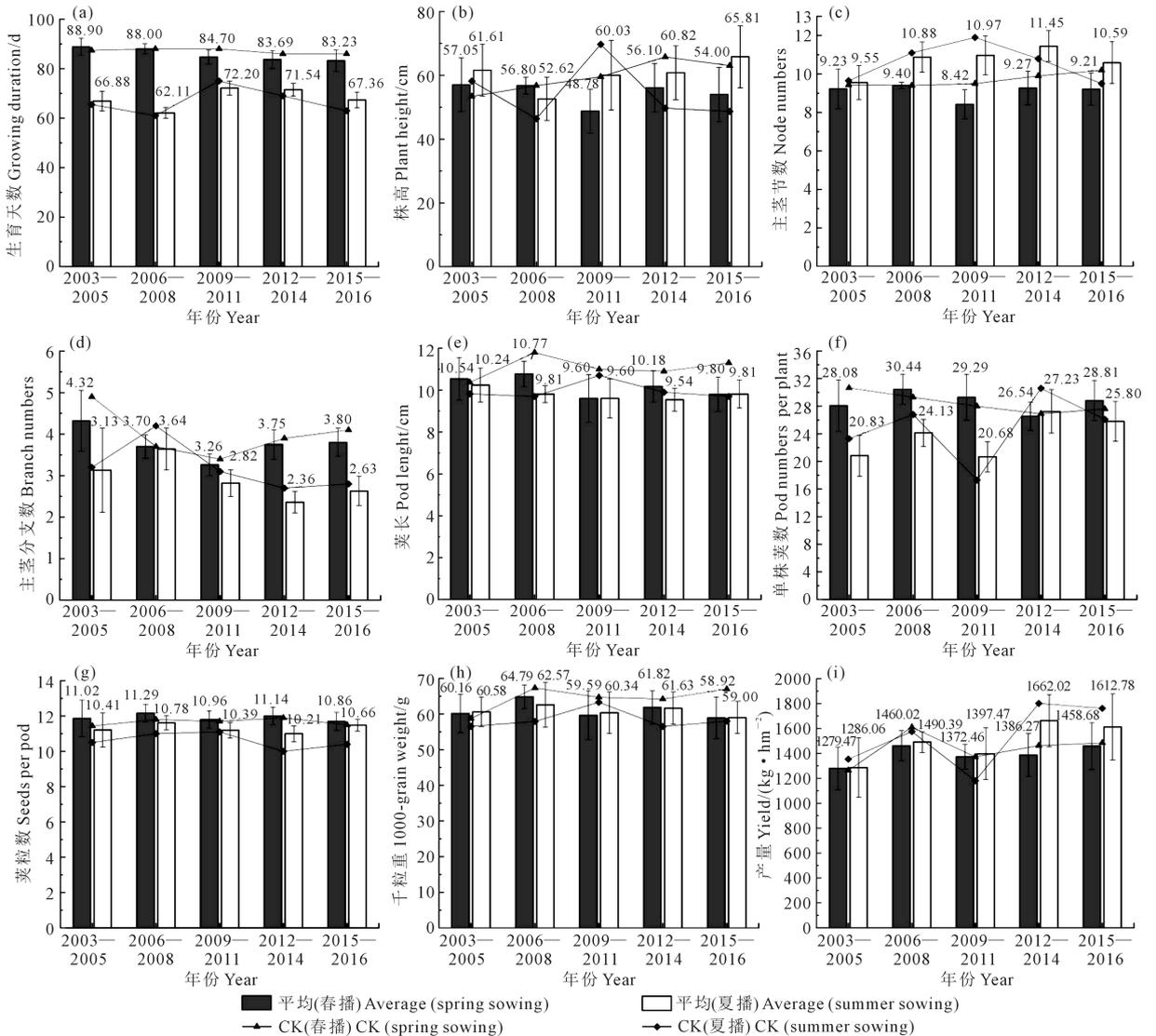
以生育天数( $X_1$ )、株高( $X_2$ )、主茎节数( $X_3$ )、主茎分枝数( $X_4$ )、荚长( $X_5$ )、单株荚数( $X_6$ )、荚粒数( $X_7$ )、千粒重( $X_8$ ) 8 个农艺性状为自变量,单位面积产量作为因变量( $Y$ )进行多元回归分析,分别建立了春播组绿豆和夏播组绿豆产量与其他性状

的最优回归模型:

春播组绿豆:  $Y = 1591.004 - 32.274X_1 + 11.710X_2 - 87.376X_4 + 72.026X_5 + 37.080X_6$  ( $r = 0.780$ ,  $R^2 = 0.609$ ,  $F = 13.082$ ,  $P = 0.000$ )

夏播组绿豆:  $Y = -933.942 - 6.690X_2 - 108.609X_4 + 54.311X_6 + 156.723X_7 + 11.743X_8$  ( $r = 0.936$ ,  $R^2 = 0.877$ ,  $F = 58.757$ ,  $P = 0.000$ )

以上结果表明,春播组绿豆中,生育天数、株高、主茎分枝数、荚长、单株荚数共同决定了产量 60.9%的变异;夏播组绿豆中,株高、主茎分枝数、单株荚数、荚粒数和千粒重共同决定了产量 87.7%的变异。可见,决定春播绿豆和夏播绿豆产量的因素并不完全相同,春播绿豆区可以通过增加株高、荚长、单株荚数,降低生育天数和主茎分支数来提高产量,夏播绿豆区可以通过增加单株荚数、荚粒数、千粒重,降低株高和主茎分支数来提高产量。



注: CK (春播) 和 CK (夏播) 分别代表对照品种在 8 轮区试中的变化。柱上数字为每一轮区域试验中性状的平均值。

Note: CK (spring sowing) and CK (summer sowing) represent the changes of the control variety in eight rounds. The numbers above the columns in the bar chart are the average values of the traits in each round of regional trials.

图 3 2003—2016 年春播组和夏播组绿豆各性状在不同年份中的表现

Fig.3 Performance of various mung bean characters in spring sowing group and summer sowing group in each round of regional trials from 2003 to 2016

## 2.5 绿豆性状的相关性分析和品种聚类分析

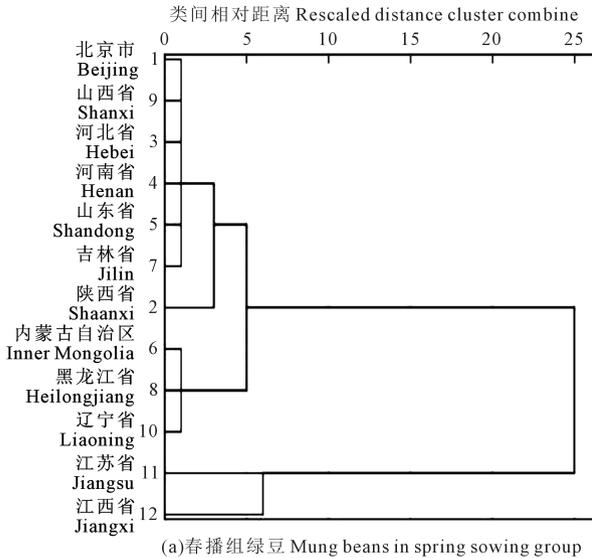
将不同供种单位提供的绿豆参试品种的农艺性状进行聚类分析,由图 4 可知,在相对遗传距离为 5 时,春播组绿豆品种被分为 4 组,其中内蒙古自治区、黑龙江省和辽宁省为一组,这组品种单株荚数多、荚粒数多、千粒重大,具有较高的产量和很好的利用价值;北京市、河北省、山西省、河南省、山东省、吉林省和陕西省为一组,这组的品种数最多,单株荚数、荚粒数、千粒重和产量都表现较好,可作为推广品种利用;江苏省和江西省的品种各自被分为一组,这两组的品种在产量方面表现较差。夏播组绿豆品种被分为 6 组,其中辽宁省为一组,仅 1 个参试品种,该品种在单株荚数、荚粒数和千粒重等性

状上表现突出,具有较高的利用价值;河南省、河北省和山东省为一组,这组的品种数最多,株高矮、主茎分支数适中、单株荚数多、荚粒数多、千粒重大,产量高且稳定,具有较好的推广利用价值;内蒙古自治区、吉林省、江苏省为一组,北京市、陕西省、黑龙江省为一组,这两组的品种虽然千粒重大,但主茎节数多,单株荚数少,产量表现较差;山西省和江西省各为一组,这两组的品种生育天数长、株高高、主茎节数多,可作为育种材料加以利用。

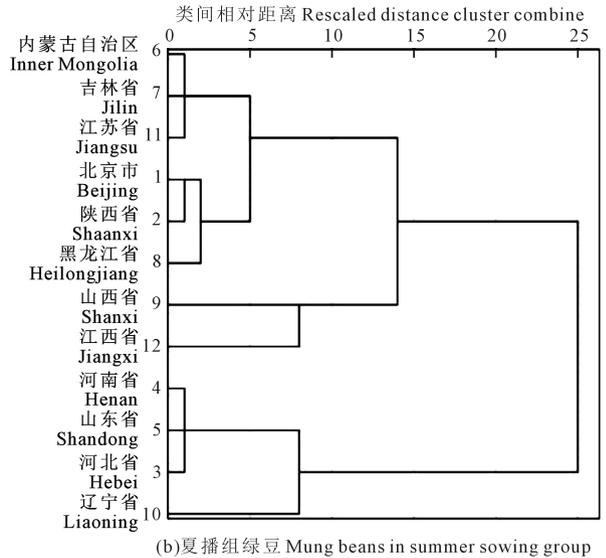
分别对 14 a 春播组绿豆和夏播组绿豆参试品种的主要农艺性状进行相关性分析和偏相关性分析(表 4、表 5)。相关性分析结果表明,春播组中,产量与单株荚数( $r=0.367$ )、荚粒数( $r=0.244$ )和荚

长( $r=0.242$ )极显著正相关;产量三要素之间,单株荚数与千粒重极显著负相关,与荚粒数显著正相关。夏播组中,产量仅与单株荚数极显著正相关( $r=0.783$ ),与株高( $r=-0.392$ )、主茎分支数( $r=$

$-0.310$ )、荚长( $r=-0.305$ )和生育天数( $r=-0.228$ )极显著负相关;产量三要素之间,单株荚数与千粒重极显著负相关(表 4)。偏相关性分析表明,春播组中,产量与单株荚数( $r=0.488$ )和荚长( $r=0.331$ )



(a)春播组绿豆 Mung beans in spring sowing group



(b)夏播组绿豆 Mung beans in summer sowing group

注:各省(市、区)后的数字表示该省(市、区)的编号。

Note: The number after each province (municipality/autonomous region) is the serial number of that province (municipality/autonomous region).

图 4 不同省(市、区)绿豆品种聚类分析

Fig.4 The cluster analysis of mung beans cultivars in different provinces (municipalities/autonomous regions)

表 4 春播组和夏播组绿豆主要性状之间的相关性

Table 4 The correlation between main characters of mung bean in spring and summer sowing groups

性状 Trait	生育天数 Growing duration	株高 Plant height	主茎节数 Node numbers	主茎分支数 Branch numbers	荚长 Pod length	单株荚数 Pod numbers per plant	荚粒数 Seeds per pod	千粒重 1000-grain weight	产量 Yield
生育天数 Growing duration		0.552 **	0.445 **	-0.265 **	0.016	-0.182 *	-0.233 **	0.096	-0.228 **
株高 Plant height	<b>0.645 **</b>		0.548 **	-0.071	0.261 **	-0.394 **	0.263 **	0.142	-0.392 **
主茎节数 Node numbers	<b>0.460 **</b>	<b>0.802 **</b>		-0.016	-0.110	-0.024	0.250 **	0.090	-0.111
主茎分支数 Branch numbers	<b>0.285 **</b>	<b>0.349 **</b>	<b>0.507 **</b>		0.219 **	-0.224 **	0.311 **	-0.125	-0.310 **
荚长 Pod length	<b>0.348 **</b>	<b>0.436 **</b>	<b>0.380 **</b>	<b>0.314 **</b>		-0.341 **	0.266 **	0.437 **	-0.305 **
单株荚数 Pod numbers per plant	<b>0.022</b>	<b>-0.096</b>	<b>-0.025</b>	<b>0.167 *</b>	<b>-0.138</b>		-0.120	-0.305 **	0.783 **
荚粒数 Seeds per pod	<b>0.279 **</b>	<b>0.272 **</b>	<b>0.467 **</b>	<b>0.452 **</b>	<b>0.457 **</b>	<b>0.196 *</b>		-0.073	0.022
千粒重 1000-grains weight	<b>0.169 *</b>	<b>0.289 **</b>	<b>0.199 **</b>	<b>0.039</b>	<b>0.615 **</b>	<b>-0.319 **</b>	<b>0.136</b>		-0.126
产量 Yield	<b>-0.145</b>	<b>0.089</b>	<b>0.117</b>	<b>-0.082</b>	<b>0.242 **</b>	<b>0.367 **</b>	<b>0.244 **</b>	<b>0.039</b>	

注:粗体数字为春播组绿豆性状之间相关系数;非粗体数字为夏播组绿豆性状之间相关系数。\*表示在 $P<0.05$ 水平差异显著,\*\*表示在 $P<0.01$ 水平差异显著。

Note: Bold numbers indicate the coefficients of correlation between traits of spring sowing group mung bean; non-bold numbers indicate the correlation coefficient between traits of summer sowing group mung bean. \* indicates significant level at  $P<0.05$ , \*\* indicates significant level at  $P<0.01$ .

表 5 春播组和夏播组绿豆主要性状之间的偏相关性

Table 5 The partial correlation between main characters of mung bean in spring and summer sowing groups

性状 Trait	生育天数 Growing duration	株高 Plant height	主茎节数 Node numbers	主茎分支数 Branch numbers	荚长 Pod length	单株荚数 Pod numbers per plant	荚粒数 Seeds per pod	千粒重 1000-grain weight	产量 Yield
生育天数 Growing duration		0.341 **	0.355 **	-0.159 *	0.144	-0.111	-0.436 **	-0.158 *	0.050
株高 Plant height	<b>0.516 **</b>		0.392 **	-0.395 **	0.274 **	-0.080	0.324 **	-0.131	-0.227 **
主茎节数 Node numbers	<b>-0.171 *</b>	<b>0.739 **</b>		0.221 **	-0.469 **	0.294 **	0.339 **	0.375 **	-0.147
主茎分支数 Branch numbers	<b>-0.084</b>	<b>-0.047</b>	<b>0.314 **</b>		0.259 **	0.105	0.299 **	-0.207 **	-0.104 **
荚长 Pod length	<b>0.163 *</b>	<b>0.143</b>	<b>-0.149</b>	<b>0.260 **</b>		0.164 *	0.307 **	0.556 **	-0.164 **
单株荚数 Pod numbers per plant	<b>0.216 **</b>	<b>-0.094</b>	<b>-0.098</b>	<b>0.285 **</b>	<b>-0.208 *</b>		-0.354	-0.386 **	0.759 **
荚粒数 Seeds per pod	<b>0.229 **</b>	<b>-0.303 **</b>	<b>0.351 **</b>	<b>0.181 *</b>	<b>0.314 **</b>	<b>0.136</b>		-0.299 **	0.451 **
千粒重 1000-grain weight	<b>-0.058</b>	<b>0.075</b>	<b>-0.010</b>	<b>-0.130</b>	<b>0.557 **</b>	<b>-0.143</b>	<b>-0.101</b>		0.246 **
产量 Yield	<b>-0.382 **</b>	<b>0.176 *</b>	<b>0.045</b>	<b>-0.360 **</b>	<b>0.331 **</b>	<b>0.488 **</b>	<b>0.122</b>	<b>-0.100</b>	

注:粗体数字为春播组绿豆性状之间偏相关系数;非粗体数字为夏播组绿豆性状之间偏相关系数。\*表示在 $P<0.05$ 水平差异显著,\*\*表示在 $P<0.01$ 水平差异显著。

Note: Bold numbers indicate the coefficients of partial correlation between traits of spring sowing group mung bean; non-bold numbers indicate the partial correlation coefficient between traits of summer sowing group mung bean. \* indicates significant level at  $P<0.05$ , \*\* indicates significant level at  $P<0.01$ .

极显著正相关,与株高显著正相关( $r=0.176$ ),与生育天数( $r=-0.382$ )和主茎分支数( $r=-0.360$ )极显著负相关。夏播组中,产量与单株荚数( $r=0.759$ )、荚粒数( $r=0.451$ )和千粒重( $r=0.246$ )极显著正相关,与株高( $r=-0.227$ )、荚长( $r=-0.164$ )和主茎分支数( $r=-0.104$ )极显著负相关;产量三要素之间,千粒重与单株荚数、荚粒数极显著负相关(表 5)。

综上所述,无论在春播组还是在夏播组中,产量都与单株荚数极显著正相关且相关系数最大,可见绿豆新育成品种中单株荚数对产量影响最大,两个组别均可通过增加单株荚数来增加绿豆产量。产量与主茎分支数极显著负相关,说明主茎分支数仍是限制新育成品种产量提高的关键因素。在产量三要素的相关性和偏相关性分析中,千粒重与单株荚数极显著负相关,说明两者不能同时提高,育种时应该通过探索两要素之间的平衡点实现产量增加。

### 3 讨论

#### 3.1 中国绿豆品种改良进程缓慢

中国绿豆育种始于 20 世纪 70 年代,中国农科院植物资源研究所组织各省(市、区)有关科研机构

对绿豆资源进行收集、鉴定、保存和利用,从 20 个省(市、区)共收集绿豆资源 6 000 余份,完成了逾 5 600 份品种农艺性状的鉴定,并列入了《中国食用豆类品种资源目录》<sup>[24-25]</sup>,为绿豆品种改良提供了基础。然而能大面积推广的优异品种选育工作仍进展缓慢。2001 年新种子法实施以来,绿豆被纳入非审定作物,其相关研究日益增多,但也仅有 29 个育种单位为绿豆区域试验提供了品种。来自河北、河南、内蒙古和吉林的 15 个育种单位共提供了 80 个绿豆品种,占绿豆区域试验品种总数的 61.5%,这是中国绿豆育种的核心力量。在主粮作物中,2016—2021 年河南省审定小麦品种 324 个<sup>[26]</sup>;1999—2021 年水稻品种权总申请量为 12 838 个<sup>[27]</sup>;1999—2018 年国家审定的玉米品种总数为 1 271 个<sup>[28]</sup>;2015—2019 年,有 244 个棉花品种参加了河南省品种审定<sup>[29]</sup>。由此可见,相同时期内主粮作物及主要经济作物的品种选育数量和审定数量均远超绿豆。其中,最重要的原因在于绿豆研究基础较弱,投入的科研力量不足。

#### 3.2 不同年份试点区分度存在差异

本研究利用 GGE 双标图分析参与区域试验试

点的区分力和代表性,结果发现除个别试点外,其余试点线段均与平均环境轴呈锐角,都适宜作为区域试验的试点。不同年份的区域试验中每个试点的表现存在差异。春播组中,内蒙古的鄂尔多斯、达拉特旗在 2003—2008 年的区域试验中表现出较好的区分力和代表性,而在 2012—2016 年的区域试验中表现一般;陕西延安在 2003—2005 年的区域试验中表现一般,但在 2006—2016 年表现较好;陕西榆林在 2006—2008 年的试验中表现较差,但在 2009—2016 年的试验中表现较好。夏播组中,陕西榆林在 2003—2005 年的试验中区分力表现较差,但在 2006—2008 年的试验中表现出较好的区分力和代表性;山东潍坊仅在 2006—2008 年区分力和代表性表现较差,其余年份的试验中均表现较好;河南郑州在 2012—2016 年表现出较好的区分力和代表性。张海斌等<sup>[30]</sup>对 2016—2020 年内蒙小麦区域试验试点的鉴别力进行分析时,发现不同年份中试点的鉴别力不同。这与本研究结论较为一致,可能是气候、土壤条件以及病虫害等因素的影响所致。本研究中,春播组中区分力和代表性都较好的试点是哈尔滨、延安、榆林和白城,夏播组中区分力和代表性都较好的试点是潍坊、郑州、吉安和安阳,可在今后的研究中重点关注。

### 3.3 绿豆产量等性状改良取得成效

本研究通过对 1998—2016 年国家绿豆品种区域试验参试品种进行分析,发现春播绿豆和夏播绿豆品种的产量和主要农艺性状在不同年份中均存在显著差异,且春播绿豆中的产量、单株荚数和荚粒数以及夏播绿豆中的产量、主茎节数和单株荚数均随年份的增长而持续增加。14 年间春播绿豆和夏播绿豆的产量分别增加 14.0% 和 25.4%,主茎分支数减少 12.0% 和 15.9%,说明绿豆品种产量和产量关联性状的改良取得了显著的成效,且夏播品种的改良效果优于春播品种。春播绿豆和夏播绿豆产量的年均增幅分别为 1.0% 和 1.8%,与同时期大豆和红小豆的增幅相近<sup>[31]</sup>,与水稻、玉米等作物 40 多年间 4%~5% 的年均产量增幅相比仍存在较大差距。在禾本科作物的遗传改良过程中,优异种质资源如矮秆材料<sup>[32]</sup>、雄性不育材料<sup>[33]</sup>等发挥了极大作用,而绿豆等豆科作物中还未见相关报道。因此,优质种质资源的创制和发现是发挥绿豆生产潜力的有效途径。

本研究通过相关性和偏相关性分析发现单株荚数与产量极显著正相关,主茎分支数与产量极显著负相关,产量三要素中的千粒重与单株荚数极显

著负相关,可见在尽可能增加单株荚数、减少主茎分支的基础上,如何调控单株荚数、千粒重和其他产量性状间的相互关系也非常关键。无论在春播组还是夏播组,单株荚数与产量都表现出强正相关关系,说明在绿豆改良过程中单株荚数是不可忽略和需要重点关注的性状。

作物产量是一个复杂性状,产量构成因素性状的改良对产量的提升至关重要。不同作物采用的产量构成因素改良策略有所不同,大豆可通过增加单株荚重和单株粒重、减少主茎节数和主茎分支来实现产量的提高<sup>[19]</sup>;蚕豆采用增加单株粒重、单株荚数和百粒重来增加产量<sup>[34]</sup>;小豆采用增加株高、主茎节数、主茎分枝和单株荚数等来增加产量<sup>[6]</sup>。本研究也发现单株荚数和主茎分支是影响产量的关键性状,且其变异系数较大,说明改良空间较大。因此,绿豆育种过程中,在关注这些性状的基础上结合株高、荚粒数和千粒重等性状的协同改良将对产量提升有较大的促进作用。

## 4 结 论

1) 2003—2016 年共 14 年间,春播绿豆和夏播绿豆的产量和单株荚数随年份的推移不断增加,夏播绿豆产量年增幅高于春播绿豆。通过构建回归模型发现,春播组绿豆中株高、荚长和单株荚数对产量的增加有促进作用,夏播组绿豆中单株荚数、荚粒数和千粒重对产量的增加有促进作用。相关性和偏相关性分析表明,在春播绿豆和夏播绿豆中,产量与单株荚数均显著正相关,其他性状间的相关性表现有所不同,这与回归模型中得出的结论一致。由此可见,春播和夏播绿豆均可以通过增加单株荚数来增加产量。

2) 在提供品种的省(市、区)中,河北省、河南省、内蒙古自治区和吉林省提供了 61.5% 的品种,是绿豆品种改良的主力。相比于其他试点,春播组中哈尔滨、延安、榆林和白城及夏播组中潍坊、郑州、吉安和安阳这 8 个试点区分力和代表性较好,更适宜进行区域试验。聚类分析结果表明,春播组绿豆品种在北京市、河北省、山西省、河南省、山东省、吉林省和陕西省综合表现较好,夏播组绿豆品种在河南省、河北省和山东省综合表现较好,这些地区可作为绿豆产业发展的优势区域。

**致谢:**承蒙国家绿豆品种区域试验试点和育种单位提供了试验品种,参与了试验,提供了翔实的试验资料和数据,在此谨表谢意。

## 参考文献:

- [1] SINGH D P. Breeding for resistance to diseases in greengram and blackgram[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1981, 59(1): 1-10.
- [2] 田静, 程须珍, 范保杰, 等. 我国绿豆品种现状及发展趋势[J]. *作物杂志*, 2021, (6): 15-21.  
TIAN J, CHENG X Z, FAN B J, et al. Current situation and development trend of mung bean varieties in China[J]. *Crops*, 2021, (6): 15-21.
- [3] 常世豪, 杨青春, 舒文涛, 等. 黄淮海夏大豆品种(系)主要农艺性状的综合性分析[J]. *作物杂志*, 2020, (3): 66-72.  
CHANG S H, YANG Q C, SHU W T, et al. Comprehensive analysis of main agronomic traits of summer sowing soybean varieties (lines) in Huang-Huai-Hai region[J]. *Crops*, 2020, (3): 66-72.
- [4] 覃思思, 刘卫国, 程彬, 等. 套作大豆耐荫品种筛选及农艺性状与产量的关系研究[J]. *中国油料作物学报*, 2020, 42(3): 390-400.  
QIN S S, LIU W G, CHENG B, et al. Screening of shade tolerant soybean varieties and the relationship between agronomic characteristics and yield[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2020, 42(3): 390-400.
- [5] 汪宝卿, 张礼凤, 慈敦伟, 等. 黄淮海地区夏大豆农艺性状与产量的相关性及其灰色关联度分析[J]. *山东农业科学*, 2010, (3): 20-25.  
WANG B Q, ZHANG L F, CI D W, et al. Correlation and grey relation analysis of agronomic traits with yield of summer soybean in the Huanghe-Huaihe-Haihe area [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2010, (3): 20-25.
- [6] 葛平珍, 余娟, 何友勋, 等. 基于主成分分析小豆种质资源的农艺性状评价与应用[J]. *贵州农业科学*, 2021, 49(9): 1-7.  
GE P Z, YU J, HE Y X, et al. Agronomic trait evaluation and application of adzuki bean germplasm resource based on principal component analysis[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2021, 49(9): 1-7.
- [7] 张瑜琨, 蔺国仓, 唐勇. 不同豇豆品种性状比较及产量与品质的相关性分析[J]. *黑龙江农业科学*, 2021, (3): 57-61.  
ZHANG Y K, LIN G C, TANG Y. Characters comparison of different cowpea varieties and correlation analysis between yield and qualities [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2021, (3): 57-61.
- [8] 符启位, 黄伟康, 陈积杰, 等. 基于灰色关联与主成分聚类分析综合评价 37 份长荚豇豆种质资源[J]. *广东农业科学*, 2022, 49(2): 24-36.  
FU Q W, HUANG W K, CHEN J J, et al. Comprehensive evaluation of 37 long-podded cowpea germplasm resources based on grey relational analysis and principal component and cluster analysis [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2022, 49(2): 24-36.
- [9] 梁建秋, 于晓波, 张明荣, 等. 化控和密度对套作大豆黑黑豆 20 农艺性状和产量的影响[J]. *大豆科学*, 2018, 37(6): 876-882.  
LIANG J Q, YU X B, ZHANG M R, et al. Effect of various chemical treatments and density on agronomic traits and yield of inter-planting soybean cultivar nanheidou 20[J]. *Soybean Science*, 2018, 37(6): 876-882.
- [10] 徐麟, 任海龙, 李益, 等. 海南黑豆单株产量与主要农艺性状的灰色关联分析[J]. *作物杂志*, 2013, (5): 55-58.  
XU L, REN H L, LI Y, et al. Grey relation analysis of main agronomic characters with yield per plant in black soybean from Hainan [J]. *Crops*, 2013, (5): 55-58.
- [11] 刘玉玲, 张红岩, 韩雪梅, 等. 蚕豆农艺性状的 SSR 标记关联分析[J]. *西南农业学报*, 2022, 35(3): 503-516.  
LIU Y L, ZHANG H Y, HAN X M, et al. Association analysis of agronomic traits infaba bean (*Vicia faba* L.) using SSR markers [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35(3): 503-516.
- [12] 袁璟亚, 李万明, 庞雪芹, 等. 花期不同打尖层数对蚕豆农艺性状及产量的影响[J]. *作物杂志*, 2022, (2): 167-173.  
YUAN J Y, LI W M, PANG X Q, et al. Effects of different top pruning layers at flowering stage on agronomic traits and yield of broad bean [J]. *Crops*, 2022, (2): 167-173.
- [13] NALAJALA S, SINGH N B, JEBERSON M S, et al. Genetic variability, correlation and path analysis in mung bean genotypes (*Vigna radiata* L. Wilczek): an experimental investigation[J]. *International Journal of Environment and Climate Change*, 2022, 12(11): 1846-1854.
- [14] 朱慧珺, 张耀文, 赵雪英, 等. 绿豆品种农艺性状与产量的相关性及其灰色关联度分析[J]. *种子*, 2021, 40(5): 98-104.  
ZHU H J, ZHANG Y W, ZHAO X Y, et al. Correlation and grey correlation analysis of agronomic traits and yield of mung bean varieties [J]. *Seed*, 2021, 40(5): 98-104.
- [15] 陈红霖, 胡亮亮, 杨勇, 等. 481 份国内外绿豆种质农艺性状及豆象抗性鉴定评价及遗传多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2020, 21(3): 549-559.  
CHEN H L, HU LL, YANG Y, et al. Evaluation and genetic diversity analysis of agronomic traits and bruchid resistance using 481 worldwide mungbean germplasms [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(3): 549-559.
- [16] 张毅华, 张耀文, 张泽燕. 绿豆种质资源表型性状多样性分析[J]. *农学报*, 2013, 3(1): 15-19.  
ZHANG Y H, ZHANG Y W, ZHANG Z Y. Phenotypic diversity analysis of mung bean germplasm resources [J]. *Journal of Agriculture*, 2013, 3(1): 15-19.
- [17] 韩粉霞, 李桂英. 绿豆主要农艺性状的相关分析[J]. *华北农学报*, 1998, (4): 67-70.  
HAN F X, LI G Y. Correlation analysis between main agronomical traits of mungbean [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1998, (4): 67-70.
- [18] 杨春玲, 王阔, 关立, 等. 绿豆主要农艺性状间的相关及通径分析[J]. *杂粮作物*, 2005, 25(5): 314-315.  
YANG C L, WANG K, GUAN L, et al. Genetic correlation and path analysis of the main agronomic traits of mung bean [J]. *Rain Fed Crops*, 2005, 25(5): 314-315.
- [19] 赵婧, 邱强, 张鸣浩, 等. 高产大豆品种的生理特征和产量性状研究[J]. *大豆科学*, 2013, 32(4): 482-485, 489.  
ZHAO J, QIU Q, ZHANG M H, et al. Physiological characters and yield components of high-yield soybean cultivars [J]. *Soybean Science*, 2013, 32(4): 482-485, 489.
- [20] 程须珍, 王素华, 王丽侠, 等. 绿豆种质资源描述规范和数据库标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 13-22.  
CHENG X Z, WANG S H, WANG L X, et al. Descriptors and data standard for mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 13-22.
- [21] 胡秉民, 耿旭. 作物稳定性分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1993.  
HU B M, GENG X. Analysis of crop stability [M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [22] 汤翠凤, 张恩来, 董超, 等. 云南新收集水稻地方品种的表型多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(6): 1106-1116.  
TANG C F, ZHANG E L, DONG C, et al. Analysis on phenotypic diversity of rice landraces newly collected in Yunnan province [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(6): 1106-1116.