文章编号:1000-7601(2025)03-0191-09 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2025.03.20

北疆地区不同复种大豆品种农艺性状与产量关联分析

陈志华, 马 荣, 卢静静, 孙婷婷, 周丽萍,
姜 涛, 唐江华, 徐文修

(新疆农业大学农学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要:为应对北疆热量资源不断增加的现状,筛选出适宜北疆地区种植的早熟高产复种大豆品种,采用单因素随机区组试验,以‘黑河 45 号’为对照品种,通过灰色关联度分析方法,对供试 17 个复种大豆品种进行生育进程、农艺性状、干物质积累及产量关系进行研究。结果表明:‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’、‘合交 02-69’和‘合农 114’生育时期天数为 95~98 d,比对照品种延长 13~16 d;株高和主茎节数显著高于对照品种,分别增加 18.52%~37.85%和 6.47%~17.80%;干物质积累量和产量均较高,平均产量为 3 576.13 kg·hm^{-2},比对照品种增加 3.83%。通过灰色关联分析发现,各品种农艺性状与产量的权重系数表现为主茎节数(0.1336)>株高(0.1325)>百粒重(0.1313)>单株粒数(0.1305)>单株荚数(0.1278)>茎粗(0.1272)>底荚高度(0.1116)>空腔数(0.1065),加权关联度的综合排名结果为‘合交 02-69’>‘来豆 1 号’>‘合农 114’>‘合丰 51 号’>‘合农 77’>‘黑河 45’>‘贺豆 9 号’>‘佳豆 30’。从各品种的综合表现来看,‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’、‘合交 02-69’和‘合农 114’在早霜来临前能够成熟且获得较高产量,适合在北疆地区种植。

关键词:复种大豆;农艺性状;干物质积累;产量;灰色关联度

中图分类号:S565.1 **文献标志码**:A

Analysis of the correlation between agronomic traits and yield of various multiple-cropping soybean varieties in northern Xinjiang

CHEN Zhihua, MA Rong, LU Jingjing, SUN Tingting, ZHOU Liping,
JIANG Tao, TANG Jianghua, XU Wenxiu

(*College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang* 830052, *China*)

Abstract: To address the increasing heat resources in northern Xinjiang, early-maturing, high-yielding multiple-cropping soybean varieties suitable for the region were selected. The growth process, agronomic traits, dry matter accumulation, and yield relationships of 17 multiple-cropping soybean varieties were examined using a single-factor randomized block design, with ‘Heihe 45’ as the control variety. Grey correlation analysis was applied to analyze the data. The results showed that the growth period days of ‘Laidou 1’, ‘Hefeng 51’, ‘Hejiao 02-69’ and ‘Henong 114’ were 95~98 days, 13~16 days longer than the control variety. The plant height and the number of main stem nodes were significantly higher than those of the control varieties, increased by 18.52%~37.85% and 6.47%~17.80%, respectively. The average yield was 3 576.13 kg·hm^{-2}, which was 3.83% higher than the control variety. The weight coefficient of agronomic traits and yield of each variety showed as follows: number of main stem nodes (0.1336)>plant height (0.1325)>100-seed weight (0.1313)>seeds per plant (0.1305)>pods per plant (0.1278)>stem diameter (0.1272)>bottom pod height (0.1116)>number of cavities (0.1065). The comprehensive ranking results by weighted correlation degree were: ‘Hejiao 02-69’>‘Laidou 1’>‘Henong 114’>‘Hefeng 51’>‘Henong 77’>‘Heihe 45’>‘Hedou 9’>‘Jiadou 30’. Based on the overall performance of each va-

收稿日期:2024-08-25 **修回日期**:2024-12-25

基金项目:新疆维吾尔自治区重大科技专项计划项目(2022A02008-2);国家自然科学基金(32360549);新疆农业大学大学生创新项目(dxscx2024300)

作者简介:陈志华(2000-),男,河南信阳人,硕士研究生,研究方向为作物高产栽培理论与技术。E-mail:czh15039733409@163.com

通信作者:徐文修(1962-),女,河北蠡县人,教授,主要从事绿洲耕作制度及资源高效利用研究。E-mail:xjxwx@sina.com

riety, 'Laidou 1', 'Hefeng 51', 'Hejiao 02-69', and 'Henong 114' can mature and achieve high yields before the early frost, making them suitable for planting in northern Xinjiang.

Keywords: multiple cropping soybean; agronomic trait; dry matter accumulation; yield; grey correlation

大豆是我国重要的粮油作物,迄今已有5000多年的栽培历史。1996年以来我国由大豆出口国转为大豆进口国且需求持续增长,2022年大豆进口量9 108万t,对外依存度高达80%以上[1]。目前单纯依靠种植春大豆已无法满足国内日益增长的大豆需求,发展复种大豆逐渐成为缓解作物争地矛盾、促进土地高效利用,同时是提高大豆产能的重要措施。大豆是新疆主要的经济作物,在全球气温不断增加的大背景下,新疆气候呈暖湿化变化,尤其是北疆气温增加显著,为发展复种大豆提供了良好机遇[2];加之近年来国家和新疆维吾尔自治区发展大豆政策的大力支持,北疆麦区复种大豆发展较快,种植面积有逐步扩大的趋势。由于复种大豆起步较晚,其品种选育研究相对滞后,北疆缺乏适宜的早熟高产主栽品种,使得生产中复种大豆品种多而杂乱,且产量低而不稳,极大地影响了北疆地区复种大豆的持续发展。因此,积极开展复种大豆的引种工作,筛选出适合北疆种植的复种大豆早熟高产品种,已成为亟待解决的问题。

品种是作物增产的内因,有研究表明,品种对作物产量的贡献率可达到30%~40%[3]。从上世纪80年代起,北疆就开始了复种大豆的引种工作,但由于复种大豆面积小,麦后剩余可用≥10℃积温为1 700~1 900℃,且引进的多为极早熟复种大豆品种,生育时期介于75~85 d之间[4-5],产量仅为975~1 395 kg·hm^{-2}。从2000年开始,热量资源增加,复种大豆新品种不断涌现,'黑河45号'、'黑河43号'、'华疆2号'等生育时期小于90 d的品种被筛选出在北疆地区种植,大豆产量可达1 500~1 650 kg·hm^{-2}[6]。随着近年来北疆气温的不断增加,适合种植复种大豆的区域逐步扩大,且因秋季早霜推迟,作物生长季延长,进一步筛选出早熟高产复种大豆品种以充分挖掘气候变暖带来的增产潜力,对于进一步提高北疆复种大豆生产能力具有重要的实践意义。基于此,本研究从新疆内外引进17个复种大豆品种,通过分析比较不同品种的生育进程、农艺性状、干物质积累及产量等性状和指标差异,揭示复种大豆农艺性状与产量的关系,进而筛选出适合在北疆地区种植的早熟高产复种大豆品种,以期为应对增温背景下北疆复种大豆高产高效品种的选择提供理论参考和实践探索。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

该试验于2023年在新疆农业大学三坪实习基地(43°56′N,87°20′E)进行,该地区属中温带大陆性干燥气候,年平均日照可达2 829.4 h,年平均气温7.2℃,年均降水量228.8 mm,全年无霜期163 d。试验地土壤类型为壤土,0~20 cm耕层有机质含量29.42 g·kg^{-1},速效氮含量84.73 mg·kg^{-1},速效磷含量18.19 mg·kg^{-1},速效钾含量95.03 mg·kg^{-1}、pH值7.64。大豆生育时期气温数据如图1(见197页)所示。

1.2 试验材料

供试大豆品种共17个,其来源和审定区域如表1所示。对照品种为北疆多年种植的复种品种'黑河45号'。

1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,每个大豆品种为一个处理,以'黑河45号'为对照,共设17个处理,3次重复,共54个小区,小区面积6.6 m^2。大豆播种时间为7月1日,采用地膜栽培,膜宽为90 cm,交接行间距为40 cm,株距7.6 cm,一膜种植四行大豆,膜上窄行平均行距为20 cm,理论密度为47.6万株·hm^{-2};收获时间为10月5日—14日。灌溉方式为膜下滴灌,滴灌带采用一膜二管四行的铺设方式,滴灌带置于窄行行间(图2)。全生育期灌水6次,总滴灌量为2 400 m^3·hm^{-2}。结合翻耕施入磷酸二铵225 kg·hm^{-2}(总磷≥46%)、硫酸钾75 kg·hm^{-2}(K_2O≥52%)、尿素75 kg·hm^{-2}(总氮≥46%);开花期随水滴施尿素150 kg·hm^{-2},鼓粒期随水滴施硫酸钾75 kg·hm^{-2}。全生育期中耕培土除草两次(出苗期、封行前),其他管理措施同大田。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 生育进程调查 参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》[7],记录大豆出苗期、开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期天数。

1.4.2 单株干物质测定 自大豆出苗后20 d起,每10 d于各小区选择长势均匀一致且有代表性的大豆植株3株,取样后立即装入样品袋带回实验室,自子叶节处剪去根系,将地上部分植株装袋,置于烘箱中105℃杀青30 min后80℃烘干直至恒重,冷却后取出称重。

表 1　供试大豆品种来源与审定区域

Table 1　Source and approval area of the tested soybean varieties

序号 Number	品种 Variety	育种(供种)单位 Breeding (providing) institute	审定区域 Validation area
1	来豆 1 号 Laidou 1	黑龙江薯丰农业科技有限公司 Heilongjiang Shufeng Agricultural Technology Co., Ltd	东北地区 Northeast region
2	合丰 51 号 Hefeng 51	巴彦县丰泰农业发展有限公司 Bayan County Fengtai Agricultural Development Co., Ltd	东北地区 Northeast region
3	合交 02-69 Hejiao 02-69	巴彦县丰泰农业发展有限公司 Bayan County Fengtai Agricultural Development Co., Ltd	东北地区 Northeast region
4	佳豆 30 Jiadou 30	黑龙江省农业科学院佳木斯分院 Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences	东北地区 Northeast region
5	黑河 45 号 Heihe 45	黑龙江省农业科学院黑河农科所 Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heihe Institute of Agricultural Sciences	东北地区 Northeast region
6	山宁 17 号 Shanning 17	山东省济宁市农业科学研究院 Jining Academy of Agricultural Sciences, Shandong Province	黄淮海地区 Huanghuaihai region
7	贺豆 9 号 Hedou 9	北安市昊疆农业科学技术研究所 Bei´an Haojiang Institute of Agricultural Science and Technology	东北地区 Northeast region
8	合农 77 Henong 77	巴彦县丰泰农业发展有限公司 Bayan County Fengtai Agricultural Development Co., Ltd	东北地区 Northeast region
9	合农 114 Henong 114	巴彦县丰泰农业发展有限公司 Bayan County Fengtai Agricultural Development Co., Ltd	东北地区 Northeast region
10	来豆 2 号 Laidou 2	黑龙江薯丰农业科技有限公司 Heilongjiang Shufeng Agricultural Technology Co., Ltd	东北地区 Northeast region
11	黑农 54 Heinong 54	黑龙江省农业科学院大豆研究所 Soybean Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences	东北地区 Northeast region
12	垦丰 22 Kenfeng 22	垦丰种业股份有限公司 Kenfeng Seed Industry Co., Ltd	东北地区 Northeast region
13	新大豆 21 号 Xindadou 21	新疆农垦科学院作物研究所 Crop Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Sciences	西北地区 Northwest Territories
14	绥农 54 号 Suinong 54	巴彦县丰泰农业发展有限公司 Bayan County Fengtai Agricultural Development Co., Ltd	东北地区 Northeast region
15	陕垦豆 4 号 Shankendou4	陕西农垦大华种业有限责任公司 Shaanxi Agricultural Reclamation Dahua Seed Industry Co., Ltd	黄淮海地区 Huanghuaihai region
16	中黄 13 Zhonghuang 13	中国农业科学院作物科学研究所 Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences	黄淮海地区 Huanghuaihai region
17	齐黄 34 Qihuang 34	山东省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences	黄淮海地区 Huanghuaihai region

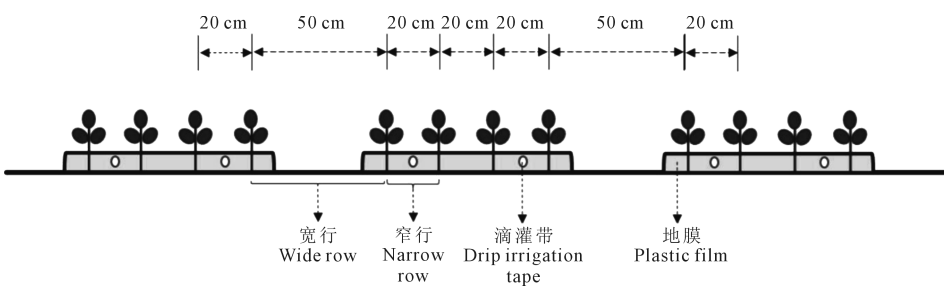


图 2　大豆种植模式图

Fig.2　Soybean planting pattern

1.4.3　*测产及考种*　大豆成熟期,分别在各小区选取植株长势均匀一致的样点(样点面积为 1.1 m×1.0 m),进行实收并计产;同时在每个小区选取具有代表性的大豆 10 株进行室内考种,测量其株高、茎粗、主茎节数、底荚高度、空腔数、单株荚数、单株粒数、百粒重,并计算各指标的平均数。空腔数参照杜亚敏[8]的方法进行测定。

1.4.4　*数据统计*　采用 Microsoft Excel 2007 软件对数据进行初步处理,采用 DPS 7.05 软件进行处理各指标的显著差异性分析和农艺性状与产量的灰色

关联分析。

1.4.5 相关参数计算 灰色关系分析是运用灰色系统理论的原理与方法[9],将 8 个大豆品种的所有性状作为一个灰色系统,每个材料设为该系统的一个变量,把产量设为参考序列(X_0),其他性状设为比较序列(X_i),分别为株高(X_1)、茎粗(X_2)、空腔数(X_3)、主茎节数(X_4)、单株荚数(X_5)、单株粒数(X_6)、百粒重(X_7)、底荚高度(X_8)。用各性状数据列的平均值除该数列的全部数据,得到无量纲化的全部数据。关联度计算公式如下:

$$\zeta_i(k)=\frac{\min\limits_i\min\limits_k|x_0(k)-x_i(k)|+\rho\max\limits_i\max\limits_k|x_0(k)-x_i(k)|}{|x_0(k)-x_i(k)|+\rho\max\limits_i\max\limits_k|x_0(k)-x_i(k)|} \quad (1)$$

式中,X_0 为参考数量;X_i 为各指标数列;$\min\limits_i\min\limits_k=|X_0(k)-X_i(k)|$和$\max\limits_i\max\limits_k|X_0(k)-X_i(k)|$分别为最小二阶差和最大二阶差;$|X_0(k)-X_i(k)|$为 k 时的值;ρ 为分析系数,$\rho=0.5$。

特征序列与因素序列之间的关联度计算公式为:

等权关联度: $$r_i=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\xi_i(k) \quad (2)$$

权重系数: $$\omega_i=\frac{r_i}{\sum r_i} \quad (3)$$

加权关联度: $$r'_i=\sum_{k=1}^{n}\omega_i(k)\zeta_i(k) \quad (4)$$

式中,r_i 为等权关联度;n 为品种数;r'_i 为加权关联度。加权关联度可用来评价复种大豆品种的综合性状,加权关联度越大,该品种综合表现越好。

2 结果与分析

2.1 不同复种大豆品种生育时期天数

北疆麦豆两熟区要想获得复种大豆高产,首先必须保证大豆在早霜前能正常成熟。从 17 个供试品种的表现来看(表 2),‘佳豆 30’、‘贺豆 9 号’、‘合农 77’、‘合农 114’、‘合交 02-69’、‘黑河 45 号’、‘来豆 1 号’和‘合丰 51 号’这 8 个品种的生育时期天数介于 82~98 d 之间,均于当年 10 月 16 日早霜来临前正常成熟,其中生育时期最长的是‘合丰 51 号’比生育时期最短的‘黑河 45 号’延长 16 d。虽然今年早霜比往年来的晚,但引进的品种中仍有 9 个品种未能正常成熟,其中‘来豆 2 号’、‘黑农 54’、‘垦丰 22’、‘新大豆 21 号’和‘绥农 54 号’这 5 个品种表现为鼓粒期较长,而‘山宁 17 号’、‘陕垦豆 4 号’、‘齐黄 34’和‘中黄 13’表现为营养生长期较长,9 月中旬进入开花期,10 月中旬进入结荚期,是导致早霜来临前未成熟的主要原因。由此可知,除生育时期在 98 d 以内的 8 个品种外,其余品种均不适宜作为北疆复种用种。

2.2 不同复种大豆品种农艺性状

进一步分析正常成熟的 8 个品种的农艺性状(表 3)发现,‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’、‘合交 02-

表 2 不同复种大豆品种生育阶段天数/d

Table 2 Growth stage days of different multi-cropping soybean varieties

品种 Variety	出苗~开花期 Emergence~flowering stage	开花~结荚期 Flowering~pod stage	结荚~鼓粒期 Pod~drumming stage	鼓粒~成熟期 Drum grain~maturity stage	全生育期 Whole growth period
来豆 1 号 Laidou 1	26	13	38	20	97
合丰 51 号 Hefeng 51	27	17	34	20	98
合交 02-69 Hejiao 02-69	27	16	34	20	97
佳豆 30 Jiadou 30	24	14	34	18	90
黑河 45 号 Heihe 45	26	14	27	15	82
贺豆 9 号 Hedou 9	21	15	33	19	88
合农 77 Henong 77	25	17	33	18	93
合农 114 Henong 114	25	17	33	19	94
来豆 2 号 Laidou 2	27	18	32		
黑农 54 Heinong 54	25	16	33		
垦丰 22 Kenfeng 22	28	16	32		
新大豆 21 号 Xindadou 21	22	16	35		
绥农 54 号 Suinong 54	27	16	32		
山宁 17 号 Shanning 17	80	20			
陕垦豆 4 号 Shankendou4	78	22			
齐黄 34 Qihuang 34	74	19			
中黄 13 Zhonghuang 13	79	19			

69'、'合农 77'这 4 个品种的株高、主茎节数、底荚高度基本上显著高于其他品种。其中,'来豆 1 号'的株高最高,显著高于其他品种,较最矮的'黑河 45 号'增高 37.86%;其次为'合丰 51 号'、'合交 02-69'和'合农 77',但这 3 个品种间差异不显著。'合交 02-69'的茎粗最粗、主茎节数最多,分别比'黑河 45 号'增粗 25.94%和增加 17.8%,主茎节数较其他各品种均有显著提高。底荚高度为'合丰 51 号'最高(15.47 cm),比'黑河 45 号'显著增加 191.89%,更有利于机械收获。'合交 02-69'的空腔数最多(22.07 个),显著高于'黑河 45 号','合丰 51 号'空腔数最少(14.27 个),有利于增加单株粒数。由此可见,'来豆 1 号'、'合丰 51 号'、'合交 02-69'和'合农 77'这 4 个品种不仅株高较高,且主茎节数多,有利于增加结荚空间,从而促进大豆产量形成。

2.3　不同复种大豆品种产量及产量构成因素

产量是评价品种的优劣的重要指标。由表 4 可知,产量表现较好的品种是'来豆 1 号'、'合丰 51 号'、'合交 02-69'和'合农 114',平均产量为 3 576.13 kg·hm^{-2},品种间产量差异不显著;其次是'黑河 45 号'和'合农 77',平均产量为 3 448.0 kg·hm^{-2},两品种产量差异也不显著。进一步分析各品种产量构成因素可知,'合交 02-69'的单株荚数高达 38.07 个,较'黑河 45 号'、'合农 77'、'来豆 1 号'、'佳豆 30'分别显著提高 7.07%、16.89%、17.86%、21.36%;'合丰 51 号'的单株粒数最多(105.43 粒),较对照品种'黑河 45 号'增加 21.66 个,且与其他品种差异显著;'合交 02-69'的百粒重最大(20.88 g),分别较'来豆 1 号'、'合丰 51 号'、'合农 114'显著提高 5.13%、6.42%、19.18%。由此可知,单株粒数和百粒重是品种间产量差异的主要因素。

表 3　不同复种大豆品种农艺性状

Table 3　Agronomic traits of different multi-cropping soybean varieties

品种 Variety	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem thickness /mm	主茎节数 Nodes of main stem	底荚高度 Lowest pods height/cm	空腔数 Number of cavities
来豆 1 号 Laidou 1	95.11±1.13a	6.92±0.05ab	16.43±0.21b	15.36±0.16a	18.16±0.15c
合丰 51 号 Hefeng 51	89.49±1.08b	6.87±0.02ab	15.97±0.05b	15.47±0.87a	14.27±0.60e
合交 02-69 Hejiao 02-69	91.30±0.77b	7.32±0.20a	17.67±0.48a	12.01±2.04bc	22.07±0.06a
佳豆 30 Jiadou 30	73.10±1.59e	6.71±0.12abc	14.07±0.49d	11.49±1.08bc	17.50±0.41c
黑河 45 号 Heihe 45	68.99±0.78f	5.81±0.06d	15.00±0.50c	5.30±0.56d	17.27±0.60c
贺豆 9 号 Hedou 9	78.41±1.86d	6.53±0.12bc	14.43±0.29cd	10.62±0.54c	21.10±0.90ab
合农 77 Henong 77	90.11±0.49b	6.16±0.14cd	14.80±0.45cd	13.60±0.82ab	15.80±0.16d
合农 114 Henong 114	81.77±0.52c	6.99±0.08ab	16.03±0.26b	11.18±0.76c	20.02±0.80b

注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异显著(P<0.05),下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference (P<0.05). The same below.

表 4　不同复种大豆品种产量和产量构成因素

Table 4　Yield and yield components of different multi-cropping soybean varieties

品种 Variety	收获株数 Number of harvested plants	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	百粒重/g 100-seed weight	产量 Yield /(kg·hm^{-2})
来豆 1 号 Laidou 1	39.7a	32.3±0.85e	94.1±0.06d	19.86±0.22b	3554.30±39.99a
合丰 51 号 Hefeng 51	37.7a	37.3±0.66b	105.4±0.42a	19.60±20.57bc	3592.29±17.37a
合交 02-69 Hejiao 02-69	36.7a	39.7±0.16a	97.1±0.76b	20.88±0.34a	3572.51±60.24a
佳豆 30 Jiadou 30	36.7a	30.8±0.57f	82.2±0.46g	17.61±0.25e	2478.67±75.55d
黑河 45 号 Heihe 45	37.0a	35.3±0.12d	83.8±0.78f	17.84±0.14e	3444.33±38.36b
贺豆 9 号 Hedou 9	36.7a	36.9±0.70bc	92.1±0.61e	18.53±0.05d	2775.69±83.86c
合农 77 Henong 77	38.7a	32.6±0.52e	91.4±0.47e	19.25±0.06c	3451.68±39.89b
合农 114 Henong 114	38.7a	35.9±0.64cd	95.8±0.79c	17.52±0.23e	3585.41±39.73a

2.4 不同复种大豆品种的相关性分析

对复种大豆主要农艺性状与产量之间进行相关性分析(图 3)表明,产量与主茎节数呈显著正相关($P<0.05$)关系,相关系数为 0.74,表明主茎节数的增加有利于增加复种大豆产量。百粒重与主茎节数呈极显著正相关($P<0.01$)关系,相关系数为 0.72。株高与底荚高度呈极显著正相关($P<0.01$)关系、与百粒重和单株粒数呈显著正相关($P<0.05$)关系,相关系数分别为 0.85、0.83 和 0.72,表明株高的增加会影响到产量构成因素,进而促进产量增加。

2.5 不同复种大豆品种农艺性状与产量的灰色关联度及加权分析

由表 5 可知,采用灰色关联度对引进的 8 个复种大豆品种进行综合评价,选取具有代表性的 8 个性状指标,采用均值化将数据进行无量纲化处理。根据公式(2)和公式(3)确定各个指标的等权关联度和权重系数,其排序结果为:主茎节数(0.1336)>株高(0.1325)>百粒重(0.1313)>单株粒数(0.1305)>单株荚数(0.1278)>茎粗(0.1272)>底荚高度(0.1116)>空腔数(0.1065)。

根据加权关系度公式(4)计算 8 个复种大豆品种各性状指标的加权关联度(表 6)。8 个品种的加权关联度值显示,加权排名表现为‘合交 02-69’>‘来豆 1 号’>‘合农 114’>‘合丰 51 号’>‘合农 77’>‘黑河 45’>‘贺豆 9 号’>‘佳豆 30’,排名前四位品种分别为‘合交 02-69’、‘来豆 1 号’、‘合农 114’、‘合丰 51 号’,其成熟期株高、主茎节数、茎粗、底荚高度、产量均高于对照品种,综合表现优于其他品种。

2.6 不同复种大豆品种单株干物质积累

由图 4 可知,不同复种大豆品种的单株干物质积累量动态变化趋势基本一致,均随生育进程的推进呈现先增后降的变化规律。各品种的干物质积累动态变化规律不同,苗后 40 d 之前,各品种间干物质积累量差异不显著;自苗后 50 d(结荚期)起,各品种的干物质积累量均快速积累,其中‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’、‘合交 02-69’、‘合农 114’、‘合农 77’、‘贺豆 9 号’干物质积累增长迅速。各品种达到干物质积累量峰值的时间不同,‘佳豆 30’、‘黑河 45 号’、‘贺豆 9 号’和‘合农 77’在苗后 70 d(鼓粒期)达到最大值,而‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’、‘合交 02-69’、‘合农 114’在苗后 80 d(鼓粒期)达到最大值且下降速率慢,为高产奠定基础。

进一步对不同复种大豆品种地上干物质积累进行 Logistic 方程模拟,其 Logistic 模型及特征值由表 7 所示,模拟方程的系数 R^2 均高于 0.95,说明 Logistic 生长曲线方程能较好地反映作物生长情况。进一步分析可知,不同复种大豆总干物质积累最快时期出现在出苗后 32.8~62.6 d,干物质快速积累持续天数以‘合农 114’最大(25.60 d),比‘黑河 45 号’延长 2.7 d。‘合农 77’、‘合丰 51 号’、‘来豆 1 号’的干物质最大积累速率分别为 1.52、1.48、1.35 mg·plant^{-1}·d^{-1},较其他品种有提高,说明‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’、‘合交 02-69’和‘合农 114’苗后 40~80 d 的干物质积累速率高,且苗后 80 d 仍保持较高的干物质积累速率,具有较长的时间促进籽粒形成,为产量提高奠定了物质基础。

3 讨 论

大豆是短日照作物,对光周期比较敏感,从同纬度的引种的成功率较大,品种的生育期也较为相似,但从纬度较低的黄淮海地区引种到北疆(南种北引),品种表现为开花推迟,难以正常成熟[10]。赵国龙等[11]研究发现,从纬度较高的东北及内蒙地区引进 4 个早熟品种到南疆地区种植,其生育期缩短。李晟涵等[12]研究发现,黄淮海北部夏播品种引种到华南地区种植,其生育期显著缩短 2.9 d。本研究也

表 5 各性状指标的权重系数及排序

Table 5 Ranking of equal weight correlation degree of each trait index

生长性状 Growth trait	权重系数 Weight coefficient	排序 Ranking
主茎节数 Nodes of main stem	0.1336	1
株高 Plant height	0.1325	2
百粒重 100-seed weight	0.1313	3
单株粒数 Seeds per plant	0.1305	4
单株荚数 Pods per plant	0.1278	5
茎粗 Stem thickness	0.1272	6
底荚高度 Lowest pods height	0.1116	7
空腔数 Number of cavities	0.1065	8

表 6 不同复种大豆品种的加权关联度值及排名

Table 6 Weighted correlation value and ranking of different multiple cropping soybean varieties

品种 Variety	加权关联度值 Weighted correlation value	综合排序 Comprehensive ranking
来豆 1 号 Laidou 1	0.8427	2
合丰 51 号 Hefeng 51	0.8367	4
合交 02-69 Hejiao 02-69	0.9060	1
佳豆 30 Jiadou 30	0.6618	8
黑河 45 号 Heihe 45	0.7145	6
贺豆 9 号 Hedou 9	0.7098	7
合农 77 Henong 77	0.8135	5
合农 114 Henong 114	0.8387	3

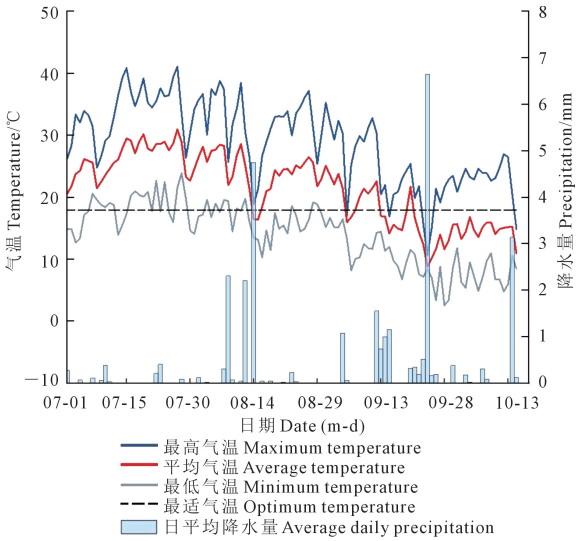
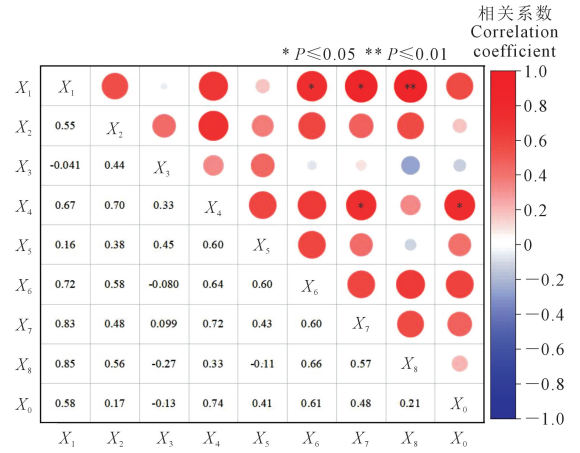


图 1　2023 年大豆生育时期气温变化

Fig.1　Temperature change during soybean growth stage in 2023



注:X_1:株高;X_2:茎粗;X_3:空腔数;X_4:主茎节数;X_5:单株荚数;X_6:单株粒数;X_7:百粒重;X_8:底荚高度;X_0:产量。

Note: X_1: Plant height; X_2: Stem diameter; X_3: Number of cavities; X_4: Nodes of main stem; X_5: Pods per plant; X_6: Seeds per plant; X_7: 100-seed weight; X_8: Lowest pods height; X_0: Yield.

图 3　不同复种大豆品种相关性分析

Fig.3　Correlation analysis of different multiple cropping soybean varieties

表明,从同纬度黑龙江等地引进大豆品种至北疆,其实际的生育时期较理论生育时期显著缩短 14~26 d,这与前人研究结果一致。

大豆产量是一个综合性状,除受产量构成因素直接调控外,还与主茎节数、株高、分枝数等农艺性状有关系[13-14]。王昌陵等[15]研究发现,在不同地区种植高产春大豆品种,产量较高的大豆品种农艺性状也表现良好。李强等[16]通过对 151 个春大豆品种进行相关性分析发现,产量与株高和主茎节数呈极显著正相关关系。何鑫等[17]对 10 个复播大豆品种 15 个性状分析发现,株高与主茎节数呈极显著正相关关系。谭玉荣等[18]通过对 1 033 份大豆种植资源进行鉴定发现,株高与底荚高度、主茎节数呈极显著正相关关系。本研究表明,主茎节数与产量呈显著正相关关系,株高与底荚高度呈极显著正相关关系、与主茎节数呈正相关关系,与前人研究结果基本一致,且认为株高高的品种主茎节数多,同时底荚高度相对较高,不仅为复种大豆搭好了高产架子,且也利于复种大豆机械化采收,降低采收损耗。

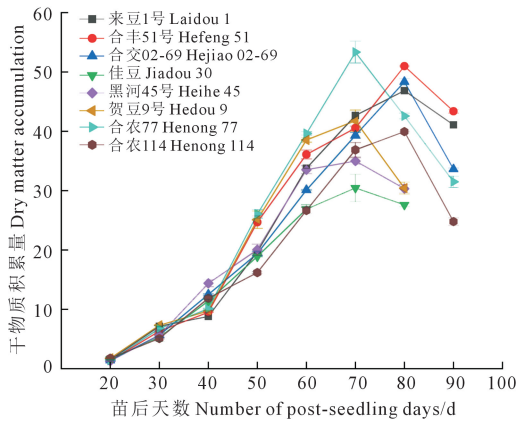


图 4　不同复种大豆品种干物质积累量

Fig.4　Dry matter accumulation of different multi-cropping soybean varieties

表 7　复种大豆地上部分干物质积累的 Logistic 模拟及其特征值

Table 7　Logistic simulation of dry matter accumulation in shoots of multi-cropped soybean and its characteristic values

品种 Variety	方程 Equation	持续时间 Duration/d				V_m /(mg·plant^{-1}·d^{-1})	R^2
		t_m	t_1	t_2	Δt		
来豆 1 号 Laidou 1	$y=45.50/[1+e^{(6.074-0.119t)}]$	51.0	40.0	62.1	22.1	1.35	0.98
合丰 51 号 Hefeng 51	$y=47.11/[1+e^{(5.762-0.116t)}]$	45.7	35.3	56.2	20.9	1.48	0.98
合交 02-69 Hejiao 02-69	$y=42.45/[1+e^{(5.541-0.114t)}]$	48.6	37.1	60.2	23.1	1.21	0.99
佳豆 30 Jiadou 30	$y=29.93/(1+e^{(5.226-0.119t)}]$	43.9	32.8	55.0	22.1	0.89	0.99
黑河 45 号 Heihe 45	$y=34.22/[1+e^{(5.096-0.115t)}]$	44.3	32.9	55.8	22.9	0.98	0.98
贺豆 9 号 Hedou 9	$y=39.87/[1+e^{(6.008-0.133t)}]$	45.2	35.3	55.1	19.8	1.33	0.98
合农 77 Henong 77	$y=41.84/[1+e^{(6.576-0.145t)}]$	45.4	36.3	54.4	18.2	1.52	0.97
合农 114 Henong 114	$y=36.35/[1+e^{(5.126-0.103t)}]$	49.8	37.0	62.6	25.6	0.94	0.98

注 y:复种大豆干物质积累量;V_m:干物质最大生长速率;t_m:干物质积累最大速率出现的时间;t_1 和 t_2 为 Logistic 生长函数的两个拐点;Δt:干物质快速积累持续天数。

Note: y: The dry matter accumulation of summer soybean; V_m: The maximum increase rate of dry matter; t_m: The days of the maximum dry matter accumulation rate occurred; t_1 and t_2 are the two inflexions of the Logistic equations; Δt: The continued days of dry matter rapid accumulation.

大豆的干物质生产能力与产量形成密切相关,其转运与分配决定了大豆籽粒产量水平。宋微微等[19]研究发现,随着大豆的生育进程推进,其干物质积累峰值一般出现在结荚期和鼓粒盛期之间,鼓粒盛期之后由于下部叶片逐渐变黄,干物质积累量开始下降。金剑等[20]通过对比不同产量类型的春大豆发现,高产大豆在始粒期后的干物质积累量要高于低产大豆。孙贵荒等[21]研究发现,高产春大豆品种不但生育前期干物质积累量较高,在生长中后期也依然要保持较高的干物质积累量。本研究也表明,不同复种大豆品种干物质积累峰值基本上在苗后 70~80 d(鼓粒期),积累量以‘合农 114’、‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’、‘合交 02-69’最大,且‘佳豆 30’、‘黑河 45 号’、‘贺豆 9 号’和‘合农 77’的干物质积累峰值出现在苗后 70 d,而产量更高的‘合农 114’、‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’和‘合交 02-69’干物质积累峰值出现在苗后 80 d,即大豆干物质积累速率持续时间较长,具有较长的时间促进籽粒形成,从而获得高产。

灰色关联度分析法是将所有参试品种看成一个灰色系统,计算参试品种与参考系列之间的关联系数、各性状指标的权重系数,以及不同品种的加权关联度值和加权排名来反映不同品种与最优系列的差异大小,加权关联度大,排名越靠前,综合表现越优良[22-24]。本研究表明,综合排名第一的品种为‘合交 02-69’,‘来豆 1 号’、‘合农 114’、‘合丰 51 号’次之,这 4 个品种干物质积累量、成熟期株高、主茎节数、茎粗、底荚高度和产量均高于对照品种,综合表现较好。说明这 4 个大豆品种适合在北疆地区引种推广种植。

4 结 论

通过对供试 17 个复种大豆品种的生育进程、农艺性状、干物质积累及产量关系进行研究发现,在早霜来临之前能正常成熟的大豆品种生育时期越长,其增产潜力越大;灰色关联分析结果表明,主茎节数和株高的权重系数排名较高,因此选育高产复播大豆品种需选择生育时期在百天以内且生育时期长、主茎节数和株高表现较优的品种。从各品种的综合表现来看,生育时期在百天以内的 8 个品种均能正常成熟,与特早熟品种‘黑河 45 号’相比,‘来豆 1 号’、‘合丰 51 号’、‘合交 02-69’和‘合农 114’的生育时期延长 13~16 d,株高和主茎节数分别显著增加 18.52%~37.85%和 6.47%~17.80%,平均产量(3 576.13 kg · hm^{-2})增加 3.83%,且综合排名较高,可作为北疆地区适宜的栽培品种。

参 考 文 献:

[1] 国家统计局. 中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计, 2023, (3): 12-29.
National Bureau of Statistics. Statistical communiqué of the people's republic of China on national economic and social development in 2022 [J]. China Statistics, 2023, (3): 12-29.

[2] 杜孝敬, 陈佳君, 徐文修, 等. 膜下滴灌量对复播大豆土壤含水量及产量形成的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(12): 36-44.
DU X J, CHEN J J, XU W X, et al. Amount of drip irrigation under mulch film: effects on soil water content and yield formation of summer soybean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(12): 36-44.

[3] 田凤玲. 黑龙江省大豆产业发展现状与分析[J]. 农民致富之友, 2012, (11): 35.
TIAN F L. Current situation and analysis of soybean industry development in Heilongjiang province[J]. Friends of Farmers Getting Rich, 2012, (11): 35.

[4] 罗赓彤, 陈多方. 准噶尔盆地南缘麦田复播大豆的试验结果[J]. 中国油料, 1984, (4): 46-49.
LUO G T, CHEN D F. Experimental results of replanting soybean in wheat field in southern margin of Junggar Basin[J]. China Oilseeds, 1984, (4): 46-49.

[5] 刘建新. 北疆大豆复播技术[J]. 新疆农业科技, 1994, (4): 35-36.
LIU J X. Xinjiang agricultural science and technology[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 1994, (4): 35-36.

[6] 魏建军, 战勇, 杨相昆, 等. 浅议北疆滴灌小麦麦后免耕复播技术[J]. 新疆农垦科技, 2009, 32(4): 76-77.
WEI J J, ZHAN Y, YANG X K, et al. A brief discussion on the no-tillage reseeding technology of drip irrigation wheat and wheat in northern Xinjiang[J]. Xinjiang Farmland Reclamation Science & Technology, 2009, 32(4): 76-77.

[7] 邱丽娟, 常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
QIU L J, CHANG R Z. Descriptors and data standard for melon (Glycine spp.)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.

[8] 杜亚敏. 播期对滴灌春大豆干物质积累、产量和品质的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2018.
DU Y M. Effects of sowing date on dry matter accumulation, yield and quality of drip irrigation spring soybean[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2018.

[9] 舒文涛, 李金花, 耿臻, 等. 黄淮海夏大豆产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(27): 48-51.
SHU W T, LI J H, GENG Z, et al. Grey correlation degree analysis on main agronomic traits and yield of summer sowing soybean in Huanghuai river region[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(27): 48-51.

[10] 张锡玉, 张颖鑫, 陈翠, 等. 从南北引种的实例说起:以潍坊——重庆开州引种为例[J]. 现代园艺, 2022, 45(10): 174-176.

ZHANG X Y, ZHANG Y X, CHEN C, et al. A case study of Weifang-Chongqing Kaizhou introduction[J]. Modern Horticulture, 2022, 45(10): 174-176.

[11] 赵国龙, 艾克然木·巴图尔, 吴洪涛, 等. 新疆南疆冷凉区域不同大豆品种(系)的熟期与产量比较分析[J]. 塔里木大学学报, 2024, 36(2): 54-61.
ZHAO G L, Ai Ke Ran Mu-Ba Tu Er, WU H T, et al. Comparison and analysis of maturity and yield of different soybean varieties (lines) in the cold region of South Xinjiang[J]. Journal of Tarim University, 2024, 36(2): 54-61.

[12] 李晟涵, 韦清源, 汤复跃, 等. 黄淮海夏大豆引种至华南地区的特征研究[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(3): 491-500.
LI S H, WEI Q Y, TANG F Y, et al. Agronomic characteristics of Huang-Huai-Hai summer soybean introduced to South China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2023, 45(3): 491-500.

[13] 田海燕, 战勇, 张恒斌, 等. 8 个新疆大豆主栽品种产量与主要产量性状关联度的研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(11): 2031-2034.
TIAN H Y, ZHAN Y, ZHANG H B, et al. Study of the correlation between eight soybean cultivars in Xinjiang and their main production traits[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(11): 2031-2034.

[14] 咎凯, 王凤菊, 陈亚光, 等. 黄淮海地区夏大豆农艺性状的综合评价及通径分析[J]. 天津农业科学, 2023, 29(10): 18-24.
ZAN K, WANG F J, CHEN Y G, et al. Comprehensive agronomic traits evaluation and path analysis of summer soybean in Huang-Huai-Hai region[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2023, 29(10): 18-24.

[15] 王昌陵, 李盛有, 曹永强, 等. 高产条件下大豆品种辽豆 32 产量构成与干物质分配特性分析[J]. 辽宁农业科学, 2023, (4): 67-70.
WANG C L, LI S Y, CAO Y Q, et al. Analysis of yield composition and dry matter distribution characteristics of soybean variety Liaodou 32 under high yield conditions[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2023, (4): 67-70.

[16] 李强, 高聚林, 苏二虎, 等. 大豆种质表型性状鉴定与分析[J]. 大豆科学, 2015, 34(5): 752-759.
LI Q, GAO J L, SU E H, et al. Identification and analysis of phenotypic traits in soybean[J]. Soybean Science, 2015, 34(5): 752-759.

[17] 何鑫, 闫向前, 孙化军, 等. 运用灰色综合评判法综合评价国家黄淮海夏大豆区试品种[J]. 大豆科技, 2017, (4): 6-12.
HE X, YAN X Q, SUN H J, et al. Evaluation on national summer soybean regional trial varieties in Huanghuaihai region by using grey comprehensive evaluation method [J]. Soybean Science & Technology, 2017, (4): 6-12.

[18] 谭玉荣, 陈东亮, 杨守臻, 等. 南方大豆种质资源的耐荫性鉴定及综合评价[J]. 大豆科学, 2025: 1-14(2025-02-28). http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1227.s.20250228.1120.002.html.
TAN Y R, CHEN D L, YANG S Z, et al. Identification and comprehensive evaluation of shade tolerance of soybean germplasm resources in southern China[J]. Soybean Science, 2025: 1-14(2025-02-28). http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1227.s.20250228.1120.002.html.

[19] 宋微微, 杜吉到, 郑殿峰, 等. 大豆干物质积累、分配规律的研究进展[J]. 大豆科学, 2008, 27(6): 1062-1066.
SONG W W, DU J D, ZHENG D F, et al. Research progress on dry matter accumulation and distribution rules of soy-bean population[J]. Soybean Science, 2008, 27(6): 1062-1066.

[20] 金剑, 刘晓冰, 王光华. 不同熟期大豆 R4-R5 期冠层某些生理生态性状与产量的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(9): 1293-1300.
JIN J, LIU X B, WANG G H. Some eco-physiological characteristics at R4-R5 stage in relation to soybean yield differing in maturities[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(9): 1293-1300.

[21] 孙贵荒, 刘晓丽, 董丽杰, 等. 高产大豆干物质积累与产量关系的研究[J]. 大豆科学, 2002, 21(3): 199-202.
SUN G H, LIU X L, DONG L J, et al. Studies on the relationship between yield and dry matter accumulation in high yield potential soybean[J]. Soybean Science, 2002, 21(3): 199-202.

[22] 杨进, 耿子归, 任梦云, 等. 胶东半岛鲜食大豆种质资源产量及相关农艺性状分析[J]. 大豆科学, 2023, 42(5): 586-594.
YANG J, GENG Z G, REN M Y, et al. Adaptability analysis of different vegetable soybean varieties in Jiaodong peninsula based on their yields and yield-related agronomic traits[J]. Soybean Science, 2023, 42(5): 586-594.

[23] 张钦, 姚单君, 况胜剑, 等. 基于灰色关联度分析法的夏季绿肥资源在贵州山地果园利用潜力综合评价[J]. 中国土壤与肥料, 2022, (9): 94-101.
ZHANG Q, YAO D J, KUANG S J, et al. Comprehensive evaluation of utilization potential for green manure based on grey correlation analysis in Guizhou mountainous orchards in summer[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2022, (9): 94-101.

[24] 梁晓红, 曹雄, 张瑞栋, 等. 不同高粱大豆间作模式对产量及水分养分利用的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(3): 174-184.
LIANG X H, CAO X, ZHANG R D, et al. Effects of different sorghum and soybean intercropping patterns on yield, water and nutrient use efficiency[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2021, 36(3): 174-184.