



鲁西北地区间作大豆/玉米品种组合综合性状的灰色关联度分析

曹鹏鹏, 田艺心, 高凤菊

(德州市农业科学研究院, 山东 德州 253015)

摘要:为明确鲁西北地区适宜间作的大豆/玉米组合品种,以9个不同间作大豆/玉米品种组合为研究对象,采用灰色关联度分析法对不同间作组合中的大豆和玉米农艺性状、产量及效益进行综合分析评价。研究结果表明:(大豆)齐黄34×(玉米)登海605、(大豆)冀豆12×(玉米)登海605组合中参试大豆品种与理想参考品种加权关联度分别为0.938 1和0.937 8,大豆产量分别为2 155.17和2 119.54 kg·hm⁻²;参试玉米品种与理想参考品种加权关联度分别为0.987 5和0.939 2,玉米产量分别为5 700.69和5 592.18 kg·hm⁻²,这两个间作组合中大豆、玉米综合性状表现最为优良,且综合产量较高,综合经济效益较好,适宜在鲁西北间作大豆/玉米种植模式中大面积推广种植。

关键词:大豆;玉米;品种;间作;灰色关联度分析

Grey Correlation Analysis of Integrated Traits of Intercropping Soybean/Maize Varieties in Northwest of Shandong

CAO Peng-peng, TIAN Yi-xin, GAO Feng-ju

(Dezhou Academy of Agricultural Sciences, Dezhou 253015, China)

Abstract: Aiming to identify the suitable combination varieties in the northwest of Shandong province, we took nine different intercropping soybean/maize varieties combinations as research objects, and adopted the grey correlation analysis method to comprehensively analyze and evaluate the agronomic characters, yield and economic benefit of soybean and maize. The results showed that: (soybean) Qihuang 34 × (maize) Denghai 605, (soybean) Jidou 12 × (maize) Denghai 605 combination of the tested soybean varieties and the ideal reference varieties of the weighted correlation degree were 0.938 1 and 0.937 8, respectively, the soybean yield were 2 155.17 and 2 119.54 kg·ha⁻¹. The weighted correlation between the tested maize varieties and the ideal reference varieties was 0.987 5 and 0.939 2 respectively, and the maize yield was 5 700.69 and 5 592.18 kg·ha⁻¹, respectively. The comprehensive traits of soybean and maize of the two intercropping combinations were the best, and the yield, economic benefit were both higher, which were suitable for large-scale extension and planting in the intercropping mode of soybean/maize in northwest Shandong.

Keywords: Soybean; Maize; Varieties; Intercropping; Grey correlation analysis

大豆/玉米间套作是中国较为传统的一种种植模式,可充分借助大豆和玉米生态位的差异,实现两种作物生长空间、光照、水分、养分等资源的合理互补,进而提高有限土地的利用率、提升大豆和玉米两种作物产品质量^[1],对于促进中国农业供给侧结构性改革、缓解玉米、大豆供需矛盾、激励农民种植积极性和提高现代化农业种植水平具有重要意义。目前,对于间套作大豆/玉米栽培技术^[2-3]、生理生化^[4-5]、绿色植保^[6-7]、增产增效^[8-10]等方面,众多学者已开展诸多相关研究,但适宜间套作品种筛

选方面的研究较少,且现有研究多针对大豆品种筛选^[11-12],玉米品种筛选或品种间作组合筛选鲜有报道。鉴于不同地区生态环境差异、大豆、玉米种质资源多样化差异,筛选适宜的大豆/玉米品种组合对有效推广大豆/玉米间套作种植模式,促进大豆、玉米种质资源发展均具有重要作用。

由于不同农艺性状对植株表现存在不同程度的影响,因此对农艺性状的研究分析必不可少。常用研究性状的方法有方差分析、相关分析、通径分析、回归分析及主成分分析等,这些分析方法往往

收稿日期:2019-11-11

基金项目:山东省良种工程(2019LZGC004);山东省农业重大应用技术创新项目(2017-粮经饲);中央财政农业生产发展基金(Z175070020002);山东省现代农业产业技术体系杂粮创新团队建设项目(SDAIT-5-01)。

第一作者简介:曹鹏鹏(1983-),男,学士,高级农艺师,主要从事大豆及杂粮杂豆栽培育种研究。E-mail:1983caopeng@163.com。

通讯作者:田艺心(1986-),女,博士,副研究员,主要从事大豆及杂粮杂豆栽培育种研究。E-mail:tyxin213@sina.com。

需要大量的样本数量,且要求数据具有典型的概率分布,在实际中难以普遍有效的应用。灰色关联度分析法,可根据系统内各因素之间发展趋势的相似或相异程度,衡量各因素间的关联程度,并可利用数学手段将一些灰色信息转变为直观信息,从而能够客观反映植株多种性状在生产性能上的综合表现,克服上述分析方法的不足。因此,该方法在农业生产中应用已颇为广泛。

鲁西北地区地处黄淮海平原,是中国大豆和玉米主要种植产区之一,大豆/玉米间作种植模式应用面积较广,大豆和玉米种质资源也比较丰富,但对于适宜本地区间作的大豆、玉米品种选择缺乏科学的研究论证。大豆/玉米间作下,大豆位势上处于矮秆弱勢作物,因此大豆应选择耐阴、抗倒伏、农艺性状及产量等综合性状较高的品种,玉米属于高

秆优势作物,为避免对大豆过于遮阴,应选择株型紧凑型品种。因此,本研究选用该地区常用大豆和玉米品种进行组合,通过灰色关联度分析方法,对不同间作大豆/玉米组合主要农艺性状及产量进行综合评价,以期筛选出适宜在鲁西北地区间作种植的大豆、玉米品种,为大豆/玉米间作种植模式的推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种均为在黄淮海区域种植面积较广的品种。大豆品种分别为齐黄 34、冀豆 12 和 荷豆 12,均为株型收敛、有限结荚习性。玉米品种分别为登海 618、登海 605 和 郑单 958,均为紧凑型。各品种相关情况如表 1 所示。

表 1 供试品种具体信息

Table 1 The detailed information of plant materials used in the study

| 品种 Variety | 性状 Character | 来源 Source | 提供单位 Provide unit |
|---------------------|--------------|---------------------|-------------------|
| 齐黄 34 Qihuang 34 | 有限结荚 | 诱处 4 号 × 86573-16 | 山东省农业科学院作物研究所 |
| 冀豆 12 Jidou 12 | 有限结荚 | 油 83-14 × 晋大 7826 | 河北省农林科学院粮油作物研究所 |
| 荷豆 12 Hedou 12 | 有限结荚 | 跃进 5 号 × 荷 7513-1-3 | 菏泽市农业科学研究院 |
| 登海 618 Denghai 618 | 紧凑型 | 521 × DH392 | 山东省登海种业公司 |
| 登海 605 Denghai 605 | 紧凑型 | DH351 × DH382 | 山东省登海种业公司 |
| 郑单 958 Zhengdan 958 | 紧凑型 | 郑 58 × 昌 7-2 | 河南农业科学院粮食作物研究所 |

1.2 试验地概况

试验于 2019 年在山东省德州市农业科学研究院科技园试验基地进行。该试验区属温带大陆性季风气候,平均海拔 22 m,年均气温 12.9 ℃,年均降水量 547.5 mm,年均无霜期 208 d,年均日照时数 2 592 h。土壤类型为壤土,pH7.2,有机质含量 13.11 g·kg⁻¹,全氮含量 0.98 g·kg⁻¹,速效氮含量 52 mg·kg⁻¹,有效磷含量 11.23 mg·kg⁻¹,速效钾含量 101 mg·kg⁻¹。试验地前茬作物为冬小麦,小麦收获后,机械灭茬,人工铲出麦秸后机械开沟浇水造墒。

1.3 试验设计

试验采用裂区设计,大豆品种为主区,玉米品种为副区。每个试验小区面积 46.4 m²(长 8.0 m,宽 5.8 m)。每小区包含 2 带,每带 2 行玉米间种 4 行大豆,复合带状种植模式。玉米行距 0.4 m,株距 15.0 cm,种植密度为 4.6 万株·hm⁻²,大豆行距 0.4 m,株距 12 cm,种植密度为 11.49 万株·hm⁻²。共设置

9 个处理,各处理的组合方式如表 2 所示,每个处理 3 次重复。田间管理均同当地大田生产一致。

表 2 不同大豆/玉米组合处理

Table 2 Treatments of different soybean and maize combination

| 组合 Combination | 大豆 × 玉米 Soybean × Maize |
|----------------|-------------------------|
| X1 | 齐黄 34 × 登海 618 |
| X2 | 齐黄 34 × 登海 605 |
| X3 | 齐黄 34 × 郑单 958 |
| X4 | 冀豆 12 × 登海 618 |
| X5 | 冀豆 12 × 登海 605 |
| X6 | 冀豆 12 × 郑单 958 |
| X7 | 荷豆 12 × 登海 618 |
| X8 | 荷豆 12 × 登海 605 |
| X9 | 荷豆 12 × 郑单 958 |

1.4 测定项目与方法

1.4.1 农艺性状及产量指标 作物成熟后对各处理小区进行随机取样,各小区大豆、玉米各取 10 株,进行农艺性状考查及产量指标测定。大豆农艺性状测定项目主要为:株高、底荚高、分枝、节数、有效荚数、无效荚数、单株粒数、百粒重、单株粒重、生育期。对各小区测产,并折算成公顷产量。玉米农艺性状测定项目主要为:株高、穗位高、直径长、穗长、秃尖长、穗行数、行粒数、单穗重、空秆率、生育期。

1.4.2 农艺性状及产量指标的灰色关联度分析 确定参考数列和比较数列:参照灰色关联度分析法,把 9 个不同大豆/玉米组合看作 1 个灰色系统,每个组合看作系统的 1 个因素。设参考数列为 X_0 ,被比较数列为 $X_i(i=1,2,\cdots,m)$, m 为不同组合处理数。性状用 k 表示($k=1,2,\cdots,n$),其中 n 为性状数量。

间作组合中大豆参考数列值采用分枝数(k_3)、主茎节数(k_4)、单株有效荚(k_5)、单株粒数(k_7)、百粒重(k_8)、单株粒重(k_9)、产量(k_{11})的极大值效果测度计算;株高(k_1)、底荚高(k_2)、生育(k_{10})期采用适中性效果测度计算;单株无效荚(k_6)采用极小值效果测度计算。间作组合中玉米参考数列值采用穗长(k_3)、穗行数(k_5)、行粒数(k_6)、直径长(k_7)、单穗重(k_8)、产量(k_{11})的极大值效果测度计算;株高(k_1)、生育期(k_9)采用适中性效果测度计算;穗位高(k_2)、秃顶长(k_4)、空秆率(k_{10})采用极小值效果测度计算。

数据无量纲化处理:由于原始数据中各性状的量纲不同,采用初值化方法,即 X_i 数值分别处以 X_0 ,将原始数据进行无量纲化处理。

计算灰色关联系数:求出参考序列 X_0 与 9 个试验组合品系中参试品种相应的绝对差值,即 $\Delta i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$,求出关联系数 $\xi_i(k)$,计算公式为:

$$\xi_i(k) = \frac{\min\min|X_0(k) - X_i(k)| + \rho\max\max|X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho\max\max|X_0(k) - X_i(k)|},$$

其中, $|X_0(k) - X_i(k)| = \Delta i(k)$,表示 X_0 数列与 X_i 数列在第 k 点的绝对差。 ρ 为分辨系数,其取值范围为 0~1,一般取 0.5。

计算灰色关联度:将大豆、玉米各性状赋予不同的权重计算加权关联度。计算公式为: $\gamma_i = \sum_{k=1}^n W_k \xi_i(k)$ 。 γ_i 为关联度, W_k 为权重系数,由大豆、玉米专家根据当地生产需求对品种各指标的要求制

定。各参试品种与参考品种的关联度越大,说明其综合表现越好。

1.4.3 组合产量及经济效益分析 大豆/玉米组合产量即为大豆产量和玉米产量之和;大豆/玉米组合经济效益 = 大豆产量 \times 大豆市场价格 + 玉米产量 \times 玉米市场价格,其中玉米市场价格以近两年来玉米价格均值 1.8 元 \cdot kg⁻¹ 计算,大豆市场价格以近两年来大豆价格均值 4.0 元 \cdot kg⁻¹ 计算。

1.5 数据分析

利用 SPSS 15.0 数据处理系统及 Excel 2007 软件对所得数据进行统计分析,采用 LSD ($P < 0.05$) 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 大豆/玉米间作组合中大豆品种的灰色关联度分析

2.1.1 农艺性状及产量表现 由表 3 可知,与登海 605 间作的齐黄 34 (X2) 主茎节数、单株有效荚数、百粒重、单株粒重、产量均显著高于其它间作组合,株高、底荚高和无效荚数显著低于其它间作组合,大豆分枝数和生育期在 3 个间作组合之间无显著差异;齐黄 34 与登海 618 间作 (X1) 的底荚高、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重及产量显著高于与郑单 958 间作 (X3),其它性状与郑单 958 间作下无显著差异。冀豆 12 与不同玉米间作下,底荚高、生育期无显著差异,与登海 605 间作 (X5) 的分枝数、主茎节数、有效荚数、百粒重均显著高于其它间作组合,但与登海 618 间作 (X4) 的单株粒数显著高于与登海 605 组合,因此两者产量无显著差异,均显著高于与郑单 958 组合 (X6)。不同玉米品种间作下,菏豆 12 分枝数、单株粒数、生育期之间无显著差异,与登海 605 间作 (X8) 的主茎节数、有效荚数、百粒重、单株粒重及产量均显著高于其它间作组合,株高和无效荚数均显著低于其它间作组合。菏豆 12 与登海 618 (X7) 和郑单 958 间作 (X9) 的大豆各性状均无显著差异。总体分析来看,3 个大豆品种与登海 605 间作组合的大豆总体性状及产量表现最好,其次与登海 618 间作,与郑单 958 间作大豆总体性状及产量略低。

2.1.2 灰色关联度分析 原始数据无量纲化处理后,求得参考数列 X_0 与比较数列 X_i 的绝对差值,其中 $\min\min|X_0(k) - X_i(k)| = 0$, $\max\max|X_0(k) - X_i(k)| = 1.4510$ 。将各绝对差值代入公式 (1) 计算出 X_i 与 X_0 的关联系数 (表 4)。

表 3 大豆参考数列与各组合参试品种各性状平均值
Table 3 The average value of each character of each combination

| 组合 Combination | k1 /cm | k2 /cm | k3 | k4 | k5 | k6 | k7 | k8 /g | k9 /g | k10 /d | k11 /(kg·hm ⁻²) |
|-------------------|-----------|-----------|---------|----------|----------|--------|---------|----------|----------|-----------|--------------------------------|
| X0 | 88.59 | 17.46 | 2.21 | 17.89 | 34.58 | 1.02 | 75.20 | 27.55 | 18.75 | 108.67 | 2155.17 |
| X1 | 87.63 c | 23.17 b | 1.02 c | 16.20 bc | 30.20 c | 1.33 d | 60.20 e | 26.80 b | 17.35 bc | 109.00 a | 1994.25 bc |
| X2 | 84.07 d | 20.47 c | 1.20 c | 16.78 ab | 33.21 b | 1.02 e | 61.28 e | 27.55 a | 18.75 a | 109.00 a | 2155.17 a |
| X3 | 86.45 c | 28.03 a | 1.02 c | 15.23 c | 28.75 d | 1.25 d | 57.83 f | 26.30 b | 16.16 cd | 109.00 a | 1857.47 cde |
| X4 | 85.67 cd | 15.52 d | 2.00 b | 16.77 ab | 32.83 b | 2.34 a | 75.20 a | 24.35 d | 18.25 ab | 107.00 b | 2097.70 ab |
| X5 | 83.55 d | 15.21 d | 2.21 a | 17.89 a | 34.58 a | 1.80 b | 71.10 b | 25.72 c | 18.44 ab | 107.00 b | 2119.54 ab |
| X6 | 90.23 b | 16.23 d | 2.03 ab | 15.60 bc | 33.40 ab | 2.50 a | 67.50 c | 24.50 d | 16.54 cd | 107.00 b | 1900.86 cd |
| X7 | 93.58 a | 12.73 e | 1.00 c | 16.25 bc | 28.82 d | 1.55 c | 63.89 d | 23.30 e | 14.82 e | 110.00 a | 1703.85 ef |
| X8 | 90.92 b | 12.58 e | 1.01 c | 17.86 a | 30.85 c | 1.25 d | 65.30 d | 24.32 d | 15.88 de | 110.00 a | 1825.40 def |
| X9 | 95.21 a | 13.17 e | 1.20 c | 15.87 bc | 27.75 d | 1.58 c | 63.62 d | 23.00 e | 14.69 e | 110.00 a | 1689.05 f |

X0:参考数列; X1~X9:各组合数列。小写字母表示显著差异达 5% 显著水平。下同。
X0:The reference sequence; X1-X9:The combination sequence. Lowercase indicate significant difference at 5% level. The same below.

表 4 各组合大豆参试品种与参考品种的关联系数

| Table 4 The correlation coefficients of the tested soybean varieties and the reference varieties of each combination | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\xi_i(k)$ | k1 | k2 | k3 | k4 | k5 | k6 | k7 | k8 | k9 | k10 | k11 |
| $\xi_1(k)$ | 0.9853 | 0.6893 | 0.5740 | 0.8848 | 0.8514 | 0.7048 | 0.7844 | 0.9638 | 0.9067 | 0.9958 | 0.9067 |
| $\xi_2(k)$ | 0.9343 | 0.8080 | 0.6135 | 0.9212 | 0.9482 | 1.0000 | 0.7967 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9958 | 1.0000 |
| $\xi_3(k)$ | 0.9678 | 0.5451 | 0.5740 | 0.8299 | 0.8114 | 0.7629 | 0.7585 | 0.9411 | 0.8401 | 0.9958 | 0.8401 |
| $\xi_4(k)$ | 0.9565 | 0.8672 | 0.8842 | 0.9206 | 0.9348 | 0.3592 | 1.0000 | 0.8620 | 0.9645 | 0.9793 | 0.9645 |
| $\xi_5(k)$ | 0.9273 | 0.8492 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.4868 | 0.9301 | 0.9161 | 0.9777 | 0.9793 | 0.9777 |
| $\xi_6(k)$ | 0.9751 | 0.9115 | 0.8991 | 0.8500 | 0.9551 | 0.3333 | 0.8763 | 0.8676 | 0.8601 | 0.9793 | 0.8601 |
| $\xi_7(k)$ | 0.9280 | 0.7281 | 0.5699 | 0.8878 | 0.8133 | 0.5827 | 0.8283 | 0.8247 | 0.7760 | 0.9834 | 0.7760 |
| $\xi_8(k)$ | 0.9650 | 0.7219 | 0.5719 | 0.9977 | 0.8706 | 0.7629 | 0.8464 | 0.8609 | 0.8258 | 0.9834 | 0.8258 |
| $\xi_9(k)$ | 0.9066 | 0.7470 | 0.6135 | 0.8653 | 0.7860 | 0.5692 | 0.8249 | 0.8146 | 0.7703 | 0.9834 | 0.7703 |
| 权重 Weight | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.30 |

大豆/玉米间作组合中大豆参试品种与参考品种的关联度如表 5 所示。根据灰色关联分析理论,关联度越大的品种,其综合性状越好,越符合品种筛选目标的要求。由表 5 可知,加权关联度排序前三的组合依次为组合 2($\gamma=0.9381$)、组合 5($\gamma=0.9378$)、组合 4($\gamma=0.9138$),且组合 2、5、4 产量排序依次为第一、二、三位,表明这 3 个组合大豆综合性状表现较好。其它组合大豆品种加权关联度值均比较小,尤其组合 9 加权关联度($\gamma=0.7849$)均排在最后一位,产量值也几乎最低,大豆综合性状表现最差。

表 5 各组合大豆参试品种与参考品种的关联度
Table 5 The correlation degree of the tested and the reference varieties of each combination soybean

| 组合 Combination | 加权关联度 Weighted correlation | 排序 Rank | 大豆产量排序 Rank of soybean yield |
|-------------------|-------------------------------|------------|---------------------------------|
| X1 | 0.8643 | 4 | 4 |
| X2 | 0.9381 | 1 | 1 |
| X3 | 0.8209 | 7 | 6 |
| X4 | 0.9138 | 3 | 3 |
| X5 | 0.9378 | 2 | 2 |
| X6 | 0.8614 | 5 | 5 |
| X7 | 0.7910 | 8 | 8 |
| X8 | 0.8383 | 6 | 7 |
| X9 | 0.7849 | 9 | 9 |

2.2 大豆/玉米间作组合中玉米品种的灰色关联度分析

2.2.1 农艺性状及产量表现 与不同大豆品种间作条件下,登海 618 与登海 605 穗位高、穗行数、直径长、生育期之间均无显著差异。且与齐黄 34 间作下(X1、X2)玉米穗长、行粒数、单穗重及产量均显著高于其它间作处理,空杆率显著低于其它间作处理;与冀豆 12 间作下(X4、X5)玉米穗长、行粒数、单穗重及产量均显著高于与荷豆 12 间作(X7、X8)。郑单 958 与不同大豆品种间作,穗行数、直径长、生育期之间均无显著差异;与齐黄 34 间作(X3)穗位

高、单穗重、产量显著高于其它间作处理;与冀豆 12 间作下(X6)株高、穗位高、秃顶长、行粒数、单穗重、产量均显著高于与荷豆 12 间作(X9)(表 6)。总体分析可知,间作对玉米穗行数、直径长、生育期影响较小,基本无显著差异,但对玉米其它性状及产量影响较为明显。

2.2.2 灰色关联度分析 原始数据无量纲化处理后,求得参考数列 X_0 与比较数列 X_i 的绝对差值,其中 $\min\min |X_0(k) - X_i(k)| = 0$, $\max\max |X_0(k) - X_i(k)| = 1.6667$ 。将各绝对差值代入公式(1)计算出 X_i 与 X_0 的关联系数(表 7)。

表 6 玉米参考数列与各组合参试品种各性状平均值

Table 6 The mean value of reference sequence of maize and each character of each combination

| 组合 | k_1/cm | k_2/cm | k_3/cm | k_4/cm | k_5 | k_6 | k_7/cm | k_8/g | k_9/d | k_{10} | k_{11} $/(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$ |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-----------|-----------------|----------------|----------------|----------|---|
| X0 | 256.57 | 93.33 | 17.62 | 1.25 | 15.91 | 26.38 | 4.85 | 123.99 | 104.33 | 0.60 | 5700.69 |
| X1 | 250.13 e | 94.28 e | 16.97 bc | 1.68 bc | 15.57 a | 25.88 ab | 4.81 a | 121.41 b | 106.00 a | 1.10 c | 5582.07 ab |
| X2 | 262.43 ab | 104.53 d | 17.62 a | 1.33 ef | 15.91 a | 26.38 a | 4.85 a | 123.99 a | 102.00 c | 0.60 d | 5700.69 a |
| X3 | 253.23 cde | 118.03 a | 15.59 e | 1.46 de | 14.17 b | 24.83 bc | 4.69 a | 119.75 c | 105.00 b | 1.60 a | 5505.75 bc |
| X4 | 252.98 de | 93.33 e | 16.07 cd | 1.45 de | 15.13 a | 23.93 cd | 4.78 a | 119.37 c | 106.00 a | 1.40 ab | 5488.28 bc |
| X5 | 263.38 a | 104.38 d | 17.40 ab | 1.38 def | 15.51 a | 25.33 abc | 4.81 a | 121.63 b | 102.00 c | 0.80 d | 5592.18 ab |
| X6 | 255.33 cd | 114.13 b | 15.73 d | 1.74 ab | 14.03 b | 24.63 bc | 4.56 a | 117.21 d | 105.00 b | 1.40 ab | 5388.97 c |
| X7 | 258.03 bc | 95.13 e | 16.30 c | 1.25 f | 15.11 a | 24.33 bc | 4.81 a | 114.20 e | 106.00 a | 1.50 a | 5250.57 d |
| X8 | 260.23 ab | 102.03 d | 17.08 b | 1.87 a | 15.26 a | 24.58 bc | 4.74 a | 116.96 d | 102.00 c | 1.20 bc | 5377.47 c |
| X9 | 253.38 cde | 111.33 c | 15.82 d | 1.54 cd | 13.66 b | 22.83 d | 4.64 a | 112.59 f | 105.00 b | 1.50 a | 5176.55 d |

表 7 各组合玉米参试品种与参考品种的关联系数

Table 7 Correlation coefficients between the tested varieties and the reference varieties of each combination of maize

| $\xi_i(k)$ | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_5 | k_6 | k_7 | k_8 | k_9 | k_{10} | k_{11} |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| $\xi_1(k)$ | 0.9708 | 0.9879 | 0.9576 | 0.7078 | 0.9750 | 0.9778 | 0.9902 | 0.9756 | 0.9812 | 0.5000 | 0.9756 |
| $\xi_2(k)$ | 0.9733 | 0.8741 | 1.0000 | 0.9287 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9739 | 1.0000 | 1.0000 |
| $\xi_3(k)$ | 0.9846 | 0.7590 | 0.8785 | 0.8322 | 0.8840 | 0.9341 | 0.9619 | 0.9606 | 0.9924 | 0.3333 | 0.9606 |
| $\xi_4(k)$ | 0.9835 | 1.0000 | 0.9045 | 0.8389 | 0.9444 | 0.8997 | 0.9830 | 0.9572 | 0.9812 | 0.3860 | 0.9572 |
| $\xi_5(k)$ | 0.9691 | 0.8756 | 0.9852 | 0.8890 | 0.9707 | 0.9544 | 0.9902 | 0.9777 | 0.9739 | 0.7143 | 0.9777 |
| $\xi_6(k)$ | 0.9942 | 0.7890 | 0.8860 | 0.6801 | 0.8758 | 0.9263 | 0.9331 | 0.9384 | 0.9924 | 0.3846 | 0.9384 |
| $\xi_7(k)$ | 0.9932 | 0.9774 | 0.9175 | 1.0000 | 0.9431 | 0.9147 | 0.9902 | 0.9135 | 0.9812 | 0.3571 | 0.9135 |
| $\xi_8(k)$ | 0.9832 | 0.8994 | 0.9645 | 0.6269 | 0.9533 | 0.9243 | 0.9735 | 0.9363 | 0.9739 | 0.4546 | 0.9363 |
| $\xi_9(k)$ | 0.9853 | 0.8121 | 0.8908 | 0.7822 | 0.8549 | 0.8610 | 0.9506 | 0.9006 | 0.9924 | 0.3571 | 0.9006 |
| 权重 Weight | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.10 | 0.30 |

由表 8 可知,组合 2 玉米参试品种与参考品种加权关联度($\gamma = 0.987\ 5$)和玉米产量综合表现最好;其次是组合 5,加权关联度($\gamma = 0.939\ 2$)和玉米产量均排序第二;组合 1 加权关联度($\gamma = 0.915\ 3$)和产量均排序第三。其它组合关联度均比较低,表明玉米综合性状表现较弱,组合 9 加权关联度($\gamma = 0.838\ 2$)和产量均较低,玉米综合表现最差。

表 8 各组合玉米参试品种与参考品种的关联度

| 组合 Combination | 加权关联度 Weighted correlation | 排序 Rank | 玉米产量排序 Rank by maize yield |
|-------------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|
| X1 | 0.9153 | 3 | 3 |
| X2 | 0.9875 | 1 | 1 |
| X3 | 0.8698 | 7 | 4 |
| X4 | 0.8903 | 4 | 5 |
| X5 | 0.9392 | 2 | 2 |
| X6 | 0.8578 | 8 | 6 |
| X7 | 0.8798 | 5 | 8 |
| X8 | 0.8788 | 6 | 7 |
| X9 | 0.8382 | 9 | 9 |

2.3 大豆/玉米间作组合产量及经济效益分析

由图 1 可知,不同大豆/玉米间作组合中,大豆和玉米综合产量排序为组合 2 > 组合 5 > 组合 4 > 组合 1 > 组合 3 > 组合 6 > 组合 8 > 组合 7 > 组合 9,组合 2 和组合 5 综合产量较高,两者呈较显著差异,综合产量分别为7 855.86和7 711.72 kg·hm⁻²;其次,组合 4 和组合 1 产量较高,两者之间差异不显著,但均显著高于组合 3;组合 3 产量较显著高于组合 6,显著高于组合 7、8、9,由于组合 7~9 大豆品种均为菏豆 12,因此,齐黄 34 和冀豆 12 与玉米品种

组合产量高于菏豆 12。另外,登海 605 与大豆品种组合产量要高于登海 618 和郑单 958。

大豆和玉米综合经济效益排序与综合产量相一致,其中组合 2 经济效益最高,为18 881.93元·hm⁻²,其次为组合 5,综合经济效益为18 544.09元·hm⁻²,组合 7~9 综合经济效益显著低于其它处理。因此,本研究 9 个大豆玉米间作组合中,齐黄 34 × 登海 605 和冀豆 12 × 登海 605 间作组合综合产量和经济效益最佳,这两个品种组合在鲁西北间作大豆/玉米种植模式中可进行大面积推广种植(图 1)。

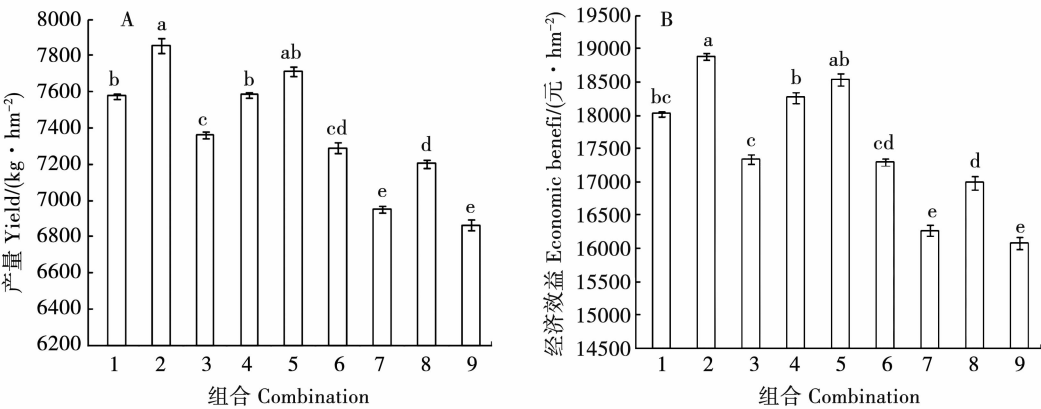


图 1 不同大豆/玉米组合综合产量(A)及综合经济效益(B)

Fig.1 Comprehensive yield (A) and comprehensive economic benefit (B) of different soybean/corn combinations

3 讨 论

耐荫型大豆和紧凑型玉米间作种植对改变当前大田单作玉米或单作大豆效益偏低的情况及大豆面积的恢复具有重要意义,可以有力地促进农业供给侧结构改革,振兴中国大豆产业。鲁西北地区地处平原地带,常年种植玉米和大豆,但由于大豆/玉米间作种植操作程序相比单作复杂,且缺乏相应的种植经验,农民对于大豆玉米间作种植积极性不高。本研究表明,齐黄 34 × 登海 605 和冀豆 12 × 登海 605 间作组合综合产量分别为 7 855.86 和 7 711.72 kg · hm⁻²,综合经济效益值分别为 18 881.93 和 18 544.09 元 · hm⁻²,相比传统等密度玉米单作种植,增加大豆收益分别为 8 620.68 和 8 478.16 元 · hm⁻²,这对于促进农民增收,提高农民种植积极性具有重要意义。

灰色关联度分析是一种多因素统计分析方法,是依据数列的可比性和相近性,确定相关程度最大因素的方法^[13-14]。若样本数据反映出的两因素变化的态势基本一致,则它们之间的关联度较大,反之,关联度较小。本研究利用灰色关联度分析法对鲁西北间作大豆/玉米品种进行品种组合筛选研究,结果表明,组合 2(齐黄 34 × 登海 605)、组合 5(冀豆 12 × 登海 605)、组合 4(冀豆 12 × 登海 618)中参试大豆品种综合表现较好,与理想参考品种加权关联度分别为 0.938 1、0.937 8、0.913 8。组合 2(齐黄 34 × 登海 605)、组合 5(冀豆 12 × 登海 605)、组合 1(齐黄 34 × 登海 618)中参试玉米品种综合表现较好,与理想参考品种加权关联度分别为 0.987 5、0.939 2、0.915 3。对大豆和玉米品种综合分析可知,组合 2(齐黄 34 × 登海 605)和组合 5(冀豆 12 × 登海 605)中大豆和玉米品种综合性状表现优良,且产量较高,表明这两个品种组合在鲁西北间作大豆/玉米种植模式中可进行大面积推广种植。

另外,由大豆和玉米产量高低排序对比可知,关联度综合表现较好的品种产量水平都较高,如组合 2 和组合 5 中大豆和玉米品种产量均较高。但产量高的品种不能保证其综合表现好,如组合 3 中的大豆产量为 1 857.47 kg · hm⁻²,玉米产量为 5 505.75 kg · hm⁻²,产量指标均排序较高,但关联系数均排序较低,综合表现较差。因此,传统单一用产量衡量品种(系)优劣是不科学的,利用灰色关联分析对间作大豆/玉米品种进行评价,解决了仅依靠产量评价品种(系)的弊端,克服了数据不充足的困难,保

证了品种(系)评价的综合性、客观性和完整性。值得注意的是,灰色关联度分析在使用时,参考品种的构造、选取对品种优劣影响力较大的性状及各个性状权重的确定是品种综合评价的关键^[15-16],需要育种专家根据育种目标、生产实际和市场需求,因地制宜的制定这几个关键点。

由于加权关联度考虑到生产实际中各性状的不同权重,因此,加权关联度相比传统等权关联度分析更具有实际应用效果。本研究中,大豆品种加权关联度大小依次为组合 2 > 组合 5 > 组合 4 > 组合 1 > 组合 6 > 组合 8 > 组合 3 > 组合 7 > 组合 9;玉米品种加权关联度大小依次为组合 2 > 组合 5 > 组合 1 > 组合 4 > 组合 7 > 组合 8 > 组合 3 > 组合 6 > 组合 9,从中可以看出,同一组合在大豆和玉米品种中关联度有所差异,因此仅从大豆或玉米单一品种方面筛选间作组合容易导致偏差,需同时对两作物综合考虑才能筛选到适宜的间作模式组合品种,这也是相关研究应当注意的地方,同时也表明种质资源丰富多样化更有利于筛选出适宜的间作模式品种。

4 结 论

本研究结果表明,大豆品种齐黄 34 与玉米品种登海 605 品种组合、大豆品种冀豆 12 与玉米品种登海 605 组合综合表现比较优异,综合产量值分别为 7 855.86 和 7 711.72 kg · hm⁻²,综合经济效益值分别为 18 881.93 和 18 544.09 元 · hm⁻²,其间作种植模式适宜在鲁西北地区及其生态相似地区大面积推广种植,这为大豆/玉米间作模式品种筛选提供了新的理论依据,同时也为其它作物间作种植提供了借鉴方法。通过灰色关联度分析,实现了间作大豆/玉米品种组合的准确筛选,对当前大豆/玉米间作模式的推广起到了积极的推动作用。

参考文献

[1] 李河旺,张冬菊,李向涛,等. 粮豆间作 - 中国大豆面积恢复的有效途径[J]. 大豆科技, 2013(6): 37-39. (Li H W, Zhang D J, Li X T, et al. Intercropping between grain and soybean-an effective way to recover soybean acreage in China[J]. Soybean Science and Technology, 2013(6): 37-39.)

[2] 张晓娜,陈平,杜青,等. 玉米/大豆、玉米/花生间作对作物氮素吸收及结瘤固氮的影响[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(8): 1183-1194. (Zhang X N, Chen P, Du Q, et al. Effects of maize/soybean and maize/peanut intercropping systems on crops nitrogen uptake and nodulation nitrogen fixation[J]. Chinese Jour-

nal of Eco-Agriculture, 2019, 27(8): 1183-1194.)

[3] 王静, 林治安, 李志杰, 等. 鲁西北地区夏玉米间作大豆适宜模式研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 49(8): 24-26. (Wang J, Lin Z A, Li Z J, et al. Study on the suitable model of intercropping soybean with summer maize in northwest Shandong province [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2019, 49(8): 24-26.)

[4] 赵建华, 孙建好, 李伟绮. 玉米播期对大豆/玉米间作产量及种间竞争力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(11): 1634-1642. (Zhao J H, Sun J H, Li W Q. Effect of maize sowing date on yield and inter-specific competition in soybean/maize intercropping system [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(11): 1634-1642.)

[5] 张唯一, 张志亮, 郑彩霞, 等. 玉米-大豆间作系统土壤水分分布特征研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(2): 131-133. (Zhang W Y, Zhang Z L, Zheng C X, et al. Advance of soil moisture distribution characteristics in maize-soybean intercropping system[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(2): 131-133.)

[6] 田艺心, 曹鹏鹏, 高凤菊, 等. 不同除草剂对间作玉米-大豆生长及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(12): 100-104. (Tian Y X, Cao P P, Gao F J. Effects of different herbicides on growth and yield of intercropped maize and soybean[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(12): 100-104.)

[7] 戴炜, 杨继芝, 王小春, 等. 不同除草剂对间作玉米大豆的药剂及除草效果[J]. 大豆科学, 2017, 36(2): 287-294. (Dai W, Yang J Z, Wang X C, et al. The influence of different herbicides on intercropping soybean and maize[J]. Soybean Science, 2017, 36(2): 287-294.)

[8] 刘明, 卜伟召, 杨文钰, 等. 山东间作大豆产量与主要农艺性状关联分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(3): 344-351. (Liu M, Bo W Z, Yang W Y, et al. Correlation analysis of yield and agronomic traits of soybean for intercropping in Shandong[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(3): 344-351.)

[9] 赵志刚, 连金番, 罗瑞萍, 等. 玉豆带状间作对春大豆产量性状的影响[J]. 中国种业, 2016(8): 65-67. (Zhao Z G, Lian J F, Luo R P, et al. Effects of zonal intercropping of jade bean on yield and characters of spring soybean[J]. China Seed Industry, 2016(8): 65-67.)

[10] 范元芳, 刘沁林, 王锐, 等. 玉米-大豆带状间作对大豆生长、光合荧光特性及产量的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(5): 972-978. (Fan Y F, Liu Q L, Wang R, et al. Effects of shading on growth, photosynthetic fluorescence characteristics and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(5): 972-978.)

[11] 赵银月, 黄国贤, 詹和明, 等. 云南省适宜与玉米间作大豆品种的筛选与鉴定[J]. 大豆科学, 2018, 37(1): 75-78. (Zhao Y Y, Huang G X, Zhan H M, et al. Screening and identification of soybean varieties suitable for intercropping with maize in Yunnan province [J]. Soybean Science, 2018, 37(1): 75-78.)

[12] 卜伟召, 刘鑫, 武晓玲, 等. 黄淮海带状间作大豆品种的筛选与鉴定[J]. 大豆科学, 2015, 34(2): 191-194. (Bo W Z, Liu X, Wu X L, et al. Screening and identification of Huanghuaihai strip intercropping soybean varieties[J]. Soybean Science, 2015, 34(2): 191-194.)

[13] 邓杰, 常国伟, 孙丽芳, 等. 利用灰色关联度分析对35份玉米品系的综合评价[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2018, 30(5): 1-6. (Deng J, Chang G W, Sun L F, et al. Comprehensive evaluation of 35 maize strains by gray correlative degree analysis [J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2018, 30(5): 1-6.)

[14] 屈洋, 王可珍, 刘洋, 等. 大豆产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(2): 39-41, 67. (Qu Y, Wang K Z, Liu Y, et al. Grey correlation analysis of soybean yield and main agronomic traits[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2019, 65(2): 39-41, 67.)

[15] 黄松, 高路银, 杨森要, 等. 薄皮甜瓜糖酸含量及其与果实性状的灰色关联度分析[J]. 河南农业科学, 2018, 47(7): 112-115. (Huang S, Gao L Y, Yang S Y, et al. Sugar and acid contents of thin-skinned melons and their grey relational analysis to fruit characters [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2018, 47(7): 112-115.)

[16] 龚娜, 刘国丽, 吕立涛, 等. 采用灰色关联度法评价玉米秸秆栽培的糙皮侧耳菌株[J]. 食用菌学报, 2019, 26(1): 29-34. (Gong N, Liu G L, Lyu L T, et al. Evaluation of pleurotus ostreatus straina cultivated with maize stalk based on grey incidence analysis[J]. Acta Edulis Fungi, 2019, 26(1): 29-34.)