

南疆夏播谷子品种主要农艺性状及综合评价

水涌¹, 何宗铃¹, 焦灰敏², 桑玉伟¹, 高小霞¹, 龚丽君¹, 刘泽辉^{2*}

¹新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所, 新疆 阿拉尔

²新疆阿拉尔国家农业科技园区, 新疆 阿拉尔

收稿日期: 2026年9月7日; 录用日期: 2026年10月9日; 发布日期: 2026年10月20日

摘要

为筛选适宜南疆地区夏播的谷子品种, 探究不同谷子种质主要农艺性状与产量之间的关系, 为南疆夏播谷子品种选配、育种改良及配套栽培技术调控提供理论依据。以25份谷子品种(品系)为试验材料, 开展田间试验鉴定, 测定生育期、主要农艺性状及产量, 结合相关性、主成分与聚类分析开展综合评价。结果表明: 13个性状的变异系数范围为5.26%~23.10%, 穗粒重、单穗重变异系数最大; 单穗重与穗粒重呈极显著正相关($P < 0.01$), 产量与出苗 - 抽穗天数呈极显著负相关($P < 0.01$); 提取4个主成分, 累计贡献率70.855%; 聚类将种质划分为早熟紧凑型、轻穗型、晚熟特殊类型3个类群。综合生育期、产量表现与农艺性状主成分得分, 品系10、璐通金香玉为南疆地区夏播优先推广品种(系), 产量分别为6130.45 kg/hm²、5226 kg/hm²。

关键词

南疆, 夏播谷子, 农艺性状, 主成分分析, 聚类分析, 综合评价

Main Agronomic Traits and Comprehensive Evaluation of Summer-Sown Foxtail Millet Varieties in Southern Xinjiang

Yong Shui¹, Zongling He¹, Huimin Jiao², Yuwei Sang¹, Xiaoxia Gao¹, Lijun Gong¹, Zehui Liu^{2*}

¹Institute of Agricultural Sciences, The First Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Alaer Xinjiang

²Aral National Agricultural Science and Technology Park, Alaer Xinjiang

Received: September 7, 2026; accepted: October 9, 2026; published: October 20, 2026

*通讯作者。

文章引用: 水涌, 何宗铃, 焦灰敏, 桑玉伟, 高小霞, 龚丽君, 刘泽辉. 南疆夏播谷子品种主要农艺性状及综合评价[J]. 农业科学, 2026, 16(10): 1497-1507. DOI: 10.12677/hjas.2026.1610179

Abstract

To screen foxtail millet varieties suitable for summer sowing in southern Xinjiang, explore the relationships between major agronomic traits and grain yield of different foxtail millet germplasms, and provide a theoretical basis for variety selection, breeding improvement and regulation of matched cultivation techniques for summer-sown foxtail millet in southern Xinjiang. A field experiment was conducted using 25 foxtail millet varieties (lines) as test materials. The growth period, main agronomic traits and grain yield were measured, and comprehensive evaluation was performed by correlation, principal component and cluster analyses. The results showed that the coefficients of variation of 13 traits ranged from 5.26% to 23.10%, with the highest values for grain weight per panicle and panicle weight. Panicle weight was extremely significantly positively correlated with grain weight per panicle ($P < 0.01$), while grain yield was extremely significantly negatively correlated with the days from seedling emergence to heading ($P < 0.01$). Four principal components were extracted, accounting for a cumulative contribution rate of 70.855%. The germplasms were classified into three groups via cluster analysis: early-maturing compact type, light-panicle type, and special late-maturing type. Based on the comprehensive consideration of growth period, yield performance and principal component scores of agronomic traits, Line 10 and Lutong Jinxiangyu were recommended as the preferred varieties (lines) for summer sowing in southern Xinjiang, with grain yields of 6130.45 kg/hm² and 5226 kg/hm², respectively.

Keywords

Southern Xinjiang, Summer-Sown Foxtail Millet, Agronomic Traits, Principal Component Analysis, Cluster Analysis, Comprehensive Evaluation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

谷子是禾本科狗尾草属作物，发源于中国，栽培历史悠久，具有抗旱耐瘠、粮饲兼用等特点，水分利用效率高、化肥农药用量少，是发展节水农业、生态农业的重要作物，营养价值均衡、附加值突出，可有效填补南疆杂粮产业空白，提升区域种植效益[1]-[5]。新疆南疆凭借其独特的光热资源优势，冬小麦收获后剩余有效积温充足，具备发展夏播种植的优越自然条件，麦后夏播谷子可实现“一年两熟、一地多收”，显著提高土地利用率和单位面积产值[6]。近年来，随着新疆南疆种植结构优化调整，夏播谷子种植面积逐步扩大，夏播谷子已成为提高土地复种指数、增加农民收入的重要途径[7]。

2021年以来，新疆谷子种植面积呈现逐年增长的态势，目前年均 1.33×10^4 hm² (20万亩)以上，种植区域主要分布在北疆的昌吉、塔城、伊犁、博州、阿勒泰等地区，南疆的巴州、喀什、阿克苏等地区[8]。2025年南疆地区夏播谷子面积约为 6.67×10^3 hm²左右，目前在夏播谷子生产中，缺乏适宜的夏播谷子品种资源，生产上盲目引种问题突出，制约了产量提升与效益增加。针对南疆地区夏播谷子品种筛选研究匮乏，生产上迫切需要适合当地条件的优良品种。本研究从各地引进优良谷子品种，在南疆地区进行田间试验鉴定，筛选适应当地气候的高产品种，并对农艺性状进行相关分析、主成分分析、聚类分析及综合评价，为当地夏播谷子生产提供优良品种，同时为夏播谷子品种筛选、性状改良及配套栽培调控提供理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料与试验地概况

试验 2025 年在新疆阿拉尔 12 团 21 连(E 81°37', N 40°53')进行, 海拔 1008 m。属温带大陆性干旱荒漠气候区, 年均降水量 40.1~82.5 mm, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 4000~4500 $^{\circ}\text{C}$, 年均气温 10.7 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 220 d。土壤为壤土, 土壤肥力中等偏上, 有机质 12.4 g $\cdot\text{kg}^{-1}$ 、水解性氮 54.1 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有效磷 77.3 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 168 mg $\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全盐 3.35 g $\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH 8.14。供试材料为 25 个谷子品种(品系), 包括 23 个常规品种(系)和 2 个杂交种(表 1)。

Table 1. Tested summer-sown foxtail millet varieties (lines)
表 1. 夏播谷子参试品种(系)

编号	品种(系)类型	名称	来源
1	常规种	中谷 9 号	河北鼎一种业有限公司
2	常规种	陕豫谷 3 号	西北农林科技大学
3	常规种	金苗 K7	西北农林科技大学
4	常规种	鼎香谷 10 号	河北鼎一种业有限公司
5	常规种	鼎香谷 18 号	河北鼎一种业有限公司
6	常规种	璐通金香玉	河北省永年县璐通种业有限公司
7	常规种	金吨谷 3 号	山西晋中市太谷区绿宝种业有限公司
8	常规种	金米 27	河北农科院
9	杂交种	张杂 13	河北农科院
10	常规种	金苗 K1	河北农科院
11	杂交种	冀杂 3 号	河北农科院
12	常规种	太禾 02	山西农业大学
13	常规种	太禾 07	山西农业大学
14	常规种	太选谷 35	山西农业大学
15	常规种	太选谷 38	山西农业大学
16	常规品系	品系 1	山西农业大学
17	常规品系	品系 2	山西农业大学
18	常规品系	品系 3	山西农业大学
19	常规品系	品系 4	山西农业大学
20	常规品系	品系 5	山西农业大学
21	常规品系	品系 6	山西农业大学
22	常规品系	品系 7	山西农业大学
23	常规品系	品系 8	山西农业大学
24	常规品系	品系 9	山西农业大学
25	常规品系	品系 10	山西农业大学

2.2. 试验设计

采用完全随机区组设计, 3 次重复。小区面积 10.25 m^2 ($5 \text{ m} \times 2.05 \text{ m}$)。采用膜下滴灌滴水出苗技术。一膜六行三带, 窄行布管, 行距($20 + 55 + 20 + 55 + 20$) cm, 膜距 40 cm, 株距 14 cm。

2025 年 6 月 19 日膜上点种, 播深 2 cm, 每穴 5 粒左右, 不覆土。有效亩株数 5.5 万左右。6 月 20 日滴水, 10 月 2 日~22 日收获。生育期滴水 11 次, 总用水量 $2700 \sim 3000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。水肥一体化滴施尿素 $390 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、磷酸一铵 $240 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、硫酸钾 $240 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。其他管理措施同大田。

2.3. 测定指标与方法

生育期: 记载播种期、出苗期、拔节期、抽穗期、成熟期。

农艺性状: 成熟期每小区选 5 株, 测定主茎高、穗长、穗粗、茎粗、穗颈长、节数、倒二叶长、宽等。

产量性状: 测定单穗重、穗粒重、千粒重等。小区实打实收, 折算亩产量。

2.4. 主成分综合得分计算方法

以各农艺性状主成分对应特征值为权重构建谷子品种(系)综合得分模型:

$$F_{\text{综}} = (\lambda_1 \text{FAC1_1} + \lambda_2 \text{FAC2_1} + \lambda_3 \text{FAC3_1} + \lambda_4 \text{FAC4_1}) / (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)$$

式中: λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 为主成分的特征值, 依次为 4.063、2.643、1.329、1.175 (见表 4)。

FAC1_1、FAC2_1、FAC3_1、FAC4_1 分别为各品种(系)主成分得分(见表 5), 其中基于(表 4)各农艺性状对应特征向量值得到以下关系式:

$$\text{FAC1_1} = 0.8\text{X}_1 + 0.764\text{X}_2 + 0.675\text{X}_3 + 0.645\text{X}_4 + 0.639\text{X}_5 + 0.59\text{X}_6 + 0.558\text{X}_7 + 0.528\text{X}_8 + 0.349\text{X}_9 + 0.405\text{X}_{10} + 0.436\text{X}_{11} - 0.232\text{X}_{12} - 0.303\text{X}_{13};$$

$$\text{FAC2_1} = -0.447\text{X}_1 - 0.233\text{X}_2 - 0.464\text{X}_3 + 0.062\text{X}_4 + 0.077\text{X}_5 + 0.354\text{X}_6 + 0.397\text{X}_7 + 0.096\text{X}_8 + 0.808\text{X}_9 + 0.798\text{X}_{10} + 0.582\text{X}_{11} + 0.454\text{X}_{12} + 0.191\text{X}_{13};$$

$$\text{FAC3_1} = 0.194\text{X}_1 - 0.02\text{X}_2 + 0.254\text{X}_3 - 0.258\text{X}_4 + 0.502\text{X}_5 - 0.001\text{X}_6 - 0.435\text{X}_7 + 0.069\text{X}_8 - 0.099\text{X}_9 - 0.071\text{X}_{10} + 0.131\text{X}_{11} + 0.795\text{X}_{12} + 0.223\text{X}_{13};$$

$$\text{FAC4_1} = -0.182\text{X}_1 - 0.143\text{X}_2 - 0.197\text{X}_3 + 0.158\text{X}_4 + 0.006\text{X}_5 + 0.218\text{X}_6 + 0.292\text{X}_7 + 0.485\text{X}_8 - 0.392\text{X}_9 - 0.372\text{X}_{10} + 0.384\text{X}_{11} - 0.017\text{X}_{12} + 0.5\text{X}_{13}.$$

2.5. 统计分析方法

采用 Excel 整理数据, SPSS 25.0 数据处理系统进行方差分析、相关统计分析、主成分分析、聚类分析。

3. 结果分析

3.1. 不同夏播谷子品种(系)主要农艺性状差异性分析

不同夏播谷子品种(系)主要农艺性状差异性分析(表 2), 各夏播谷子品种生育期平均为(108.68 ± 6.91) d, 株高平均为(134.59 ± 15.31) cm, 穗长平均为(22.50 ± 1.88) cm, 茎粗平均为(8.43 ± 0.88) mm, 穗颈长平均为(23.20 ± 3.17) cm, 单穗重平均为(23.69 ± 5.19) g, 单穗粒重平均为(20.09 ± 4.64) g, 产量平均为(4800.66 ± 699.95) kg/hm^2 。从变异系数来看, 不同夏播谷子品种(系)各性状间大小为: 穗粒重、单穗重、产量、穗颈长、倒二叶宽、株高、茎粗、节数、抽穗 - 成熟期、穗长、倒二叶长、生育期、出苗 - 抽穗期。穗粒重和单穗重的变异系数最大分别为 23.1%、21.92%, 产量的变异系数 14.58%, 产量构成因子变

异系数较大，说明表型变异丰富，单穗重、穗粒重是产量变异的核心来源。抽穗－成熟期是全生育期变异的主要来源，该阶段对环境最敏感，是田间管理和生育期调控的重点阶段。

Table 2. Differences in main agronomic traits among different summer-sown foxtail millet varieties (lines)
表 2. 不同夏播谷子品种(系)主要农艺性状差异性

指标	出苗－ 抽穗 d	抽穗－ 成熟 d	生育期 d	株高 cm	穗长 (cm)	茎粗 (mm)	穗颈长 (cm)	节数	倒二叶 长(cm)	倒二叶 宽(cm)	单穗重	穗粒重	产量 kg·hm ⁻²
最小值	42.50	50.50	97.00	96.40	18.40	6.20	16.00	10.80	26.40	2.50	14.64	11.86	3147.90
最大值	56.00	66.00	122.00	185.60	27.80	10.40	29.40	16.80	41.20	4.80	38.86	32.89	6480.90
均值	49.02	55.74	108.68	134.59	22.50	8.43	23.20	13.30	35.93	3.22	23.69	20.09	4800.66
标准差	2.58	4.90	6.91	15.31	1.88	0.88	3.17	1.25	2.98	0.37	5.19	4.64	699.95
变异系数 (%)	5.26	8.80	6.36	11.37	8.37	10.50	13.68	9.41	8.29	11.53	21.92	23.10	14.58

3.2. 不同夏播谷子品种(系)农艺性状相关性分析

不同夏播谷子品种(系)农艺性状相关性分析见表 3，多个性状间极显著/显著相关。株高与主茎节数、单穗重、穗粒重、穗长均极显著正相关。株高增加，节数增多，利于形成大穗、更高穗粒重；但株高与产量无显著相关，仅依靠增加株高无法实现增产。穗长与茎粗、倒二叶长、倒二叶宽极显著正相关，说明粗壮茎秆、功能叶更大有利于穗部伸长。穗茎长与出苗－抽穗极显著负相关；和株高极显著正相关；和产量无显著相关，穗茎长短不直接决定产量。倒二叶长、倒二叶宽与大部分生育期性状及茎粗呈显著或极显著正相关，说明营养生长阶段持续时间越长，功能叶面积越大；但倒二叶长、倒二叶宽与产量均无显著相关，仅单靠增加倒二叶长宽不能提高夏播谷子产量。单穗重与穗粒重呈极显著正相关；单穗重、穗粒重与株高、节数极显著正相关；但单穗重、穗粒重与产量无显著相关，说明在夏播环境下，单穗重、穗粒重的提升并不能直接转化为群体产量，影响夏播谷子产量因素受群体密度、后期光温等条件限制。产量仅与出苗－抽穗天数极显著负相关和株高、穗长、茎粗、穗粒重、功能叶大小等其他农艺性状均无显著相关，说明在南疆夏播积温有限的条件下，营养生长期耗时越长，留给后期灌浆成熟的光热资源越有限，不利于产量提升。全生育期与出苗－抽穗天数、抽穗－成熟天数极显著正相关，与抽穗－成熟天数相关系数高达 0.931，说明夏播谷子生育期长短主要由抽穗－成熟天数决定。出苗－抽穗天数、全生育期分别与产量呈极显著、显著负相关。说明夏播谷子不宜选用生育期过长品种，过长生育进程易遭遇后期低温，不利于高产。

Table 3. Correlation analysis of agronomic traits among different summer-sown foxtail millet varieties (lines)
表 3. 不同夏播谷子品种(系)农艺性状相关性分析

性状	出苗－ 穗 d	抽穗－ 成熟 d	生育期 d	株高 cm	穗长 cm	茎粗 mm	穗茎长 cm	节数	倒二叶 长 cm	倒二叶 宽 cm	单穗重 g	穗粒重 g	产量 kg·hm ⁻²
出苗－ 抽穗 d	1												
抽穗－ 成熟 d	0.489**	1											
生育期 d	0.759**	0.931**	1										
株高 cm	0.211	0.009	0.114	1									

续表

穗长 cm	0.268*	0.171	0.235*	0.386**	1								
茎粗 mm	0.401**	0.245*	0.337**	0.13	0.362**	1							
穗茎长 cm	-0.301**	-0.184	-0.238*	0.296**	-0.052	-0.254*	1						
节数	0.288*	0.121	0.201	0.593**	0.265*	0.415**	-0.283*	1					
倒二叶长 cm	0.457**	0.397**	0.467**	0.222	0.374**	0.397**	0.216	0.196	1				
倒二叶宽 cm	0.356**	0.504**	0.519**	0.146	0.306**	0.370**	-0.267*	0.149	0.268*	1			
单穗重 g	0.14	-0.012	0.018	0.444**	0.136	0.265*	0.186	0.404**	0.250*	-0.036	1		
穗粒重 g	0.085	-0.048	-0.029	0.391**	0.091	0.254*	0.18	0.389**	0.21	-0.087	0.988**	1	
产量 kg·hm ⁻²	-0.300**	-0.191	-0.270*	0.055	-0.135	-0.085	0.212	-0.011	-0.074	-0.156	-0.088	-0.062	1

** 在 0.01 级别(双尾), 相关性显著, *在 0.05 级别(双尾), 相关性显著。

3.3. 不同夏播谷子品种(系)主要性状主成分分析

对不同夏播谷子品种(系)主要农艺性状进行主成分分析, 提取出 4 个主成分, 累积贡献率为 70.855% (表 4)。PC1 (第一主成分)特征值为 4.063, 贡献率 31.255%, PC1 高载荷性状有出苗 - 抽穗天数、抽穗 - 成熟天数、生育期、株高、穗长、茎粗等, PC1 特征值可称为生长发育综合因子/植株形态与生育期因子。PC1 集中反映作物全生育进程长短与地上部植株形态建成特征。载荷全部为正值, 代表生育期越长、营养生长阶段持续越久, 植株越高、茎秆越粗、穗越长、节数越多。该主成分主要区分不同品种营养生长强弱、生育期长短、株型大小, 代表作物基础生长潜力。但是产量和穗粒重在 PC1 上呈负载荷, 说明营养生长与生殖生长之间存在资源竞争关系, 即存在“徒长”导致减产。

Table 4. Principal component analysis of agronomic traits among different summer-sown foxtail millet varieties (lines)
表 4. 不同夏播谷子品种(系)农艺性状主成分分析

性状	PC1	PC2	PC3	PC4
出苗 - 抽穗 d (x1)	0.8	-0.447	0.194	-0.182
抽穗 - 成熟 d (x2)	0.764	-0.233	-0.02	-0.143
生育期 d (x3)	0.675	-0.464	0.254	-0.197
株高 cm (x4)	0.645	0.062	-0.258	0.158
穗长 cm (x5)	0.639	0.077	0.502	0.006
茎粗 mm (x6)	0.59	-0.354	-0.001	0.218
穗茎长 cm (x7)	0.558	0.397	-0.435	0.292
节数(x8)	0.528	0.096	0.069	0.485
倒二叶长 cm (x9)	0.349	0.808	-0.099	-0.392
倒二叶宽 cm (x10)	0.405	0.798	-0.071	-0.372
单穗重 g (x11)	0.436	0.582	0.131	0.384
穗粒重 g (x12)	-0.232	0.454	0.795	-0.017

续表

产量 kg·hm ⁻² (x13)	-0.303	0.191	0.223	0.5
特征值 λ	4.063	2.643	1.329	1.175
方差百分比	31.255	20.333	10.226	9.041
累积贡献率%	31.255	51.588	61.814	70.855

注：PC1 第一主成分，PC2 第二主成分，PC3 第三主成分，PC4 第四主成分。

PC2 (第二主成分)特征值为 2.643，贡献率为 20.333%，PC2 高载荷性状有倒二叶长、倒二叶宽、单穗重。PC2 特征值可称为叶片光合与穗部重量因子/叶穗发育因子。PC2 主要由倒二叶形态和单穗重主导。载荷为正，说明叶片光合面积越大，越有利于穗部干物质积累。出苗 - 抽穗天数和生育期呈负载荷，说明叶片宽大的类型往往对应较早熟的品种(营养生长期较短)，这与早熟品种需要更大的叶片面积来补偿较短生育期、保障充足的光合产物。

PC3 (第三主成分)特征值为 1.329，贡献率为 10.226%，PC3 高载荷性状有穗粒重。PC3 特征值可称为穗粒重因子/籽粒库因子。PC3 的核心载荷是穗粒重远高于其他性状，代表穗上籽粒形成与灌浆充实能力，直接反映籽粒库大小。重点表征籽粒灌浆效率、结实能力，是决定籽粒产出潜力的关键组分。

PC4 (第四主成分)特征值为 1.175，贡献率为 9.041%，PC4 高载荷性状有产量。PC4 特征值可称为产量协同因子/最终产量因子。PC4 核心载荷代表群体水平下最终收获产出。PC4 体现群体栽培条件下的实际产能，综合反映品种在群体环境下的产量实现能力。出苗 - 抽穗天数和生育期呈弱负载荷，说明茎秆节数适中、结构紧凑的类型不一定需要很长的营养生长期即可实现较高产量。

3.4. 不同夏播谷子品种(系)主成分得分排序及综合评价

部分综合得分较高的品种因生育期过长，在南疆夏播条件下无法正常成熟，说明仅依靠主成分综合得分难以实现有效品种筛选，必须结合生育期、产量开展综合评判。主成分得分排序及产量排序见表 5。品种编号为 25、14、6、1、5 综合排序靠前，但品种编号为 14 生育期 122 天，在本地夏播不能成熟，不适合在本地夏播；品种编号为 25、6、1、5 生育期适合，产量较高可作为本地夏播品种。这些品种生育期平均 104~111 d，株高平均 121.53~149.2 cm，穗长平均为 20.27~24.07 cm，茎粗平均为 8.01~9.24 mm，穗颈长平均为 22.0~27.13 cm，单穗重平均为 21.53~25.43 g，单穗粒重平均为 18.60~21.90 g，产量平均为 5226.20~6130.45 kg/hm²。其中 25 的株高较高 149.2 cm，种植管理时需要注意及时化控防倒伏。

Table 5. Principal component score ranking and yield ranking of different summer-sown foxtail millet varieties (lines)
表 5. 不同夏播谷子品种(系)主成分得分排序及产量排序

品种编号	FAC1_1	FAC2_1	FAC3_1	FAC4_1	综合得分	排序	产量排序
1	-0.8188	0.4657	0.7333	-0.7070	-0.2119	19	3
2	-0.0280	0.8594	0.5211	-1.0107	0.1805	7	15
3	0.0828	0.6372	-1.1044	0.4670	0.1196	9	14
4	0.1096	-0.3083	-0.2543	0.0114	-0.0753	16	11
5	-0.3047	-0.1804	-0.4766	-0.2761	-0.2902	20	2
6	-0.1886	0.9762	-0.1974	-0.2754	0.1333	8	6
7	-1.1337	-1.2107	-0.9306	-0.0133	-0.9835	24	7

续表

8	0.9635	-1.3414	-0.0173	0.3592	0.0834	11	19
9	-2.3263	-0.3667	-0.1465	0.1741	-1.1304	25	12
10	-1.1981	-0.0316	-0.1709	0.7982	-0.4605	22	5
11	-0.4225	1.0623	0.1689	-1.1652	-0.0058	13	9
12	2.1646	-0.4726	-0.8084	-1.2522	0.5429	5	25
13	0.9669	-2.2359	0.0528	-0.8377	-0.3143	21	24
14	1.5886	0.0636	0.9039	0.1282	0.8659	2	10
15	-0.3322	0.6380	-1.1280	0.0447	-0.1205	17	13
16	-0.4624	0.3801	-0.0503	0.6102	-0.0243	14	8
17	-0.2416	-0.0347	0.6963	0.8172	0.0882	10	21
18	0.8635	2.7274	-1.2118	-0.1310	0.9721	1	20
19	0.3799	-0.6609	-2.2044	1.0056	-0.2119	18	23
20	-0.4042	-1.1838	-0.2232	0.5580	-0.4790	23	4
21	-0.2035	0.2210	1.0856	-0.7989	0.0284	12	17
22	1.3452	-0.4048	0.9978	-0.4798	0.5601	4	18
23	0.0649	-0.0172	0.9802	0.4872	0.2273	6	22
24	-0.7044	0.0742	1.3898	0.2684	-0.0547	15	16
25	0.2393	0.3439	1.3941	1.2178	0.5608	3	1

注：FAC1_1 主成分 1 得分，FAC2_1 主成分 2 得分，FAC3_1 主成分 3 得分，FAC4_1 主成分 4 得分。

3.5. 不同夏播谷子品种(系)各性状聚类分析

对不同夏播谷子品种(系)主要农艺性状进行系统聚类分析，谱系图(图 1)表明：当欧氏距离为 10 时，供试品种可划分为 3 个类群，不同类群间农艺性状整体差异明显，同类群内部品种性状相似度较高，说明夏播谷子种质存在明显的遗传分化。第 I 类群(早熟紧凑型，品种编号：1、6、5、10、7、20、17、23、4、24、16、11、21、2、15、25)样本数量最多，集中在图谱上半部分，品种间聚合距离小，农艺性状整体相似度高。这类夏播谷子品种大多出苗 - 抽穗期较短、全生育期偏短，适配夏播早熟需求；株高、穗长、茎粗、单穗重中等，属于夏播适配型材料。第 II 类群(轻穗型，品种编号：9、3、19)表现为单穗重、穗粒重更小，属于轻穗型材料。第 III 类群(晚熟特殊类型，品种编号：14、22、8、13、12、18)特征多为全生育期偏长、抽穗至成熟持续时间更长的晚熟材料；此类夏播谷子品种生育期偏长，不易成熟，产量潜力偏低，不适宜在本地夏播种植。

总之，第 I 类品种数量最多，以早熟、综合性状均衡为特点，适配夏播光温紧凑的生产条件，可作为夏播谷子育种的核心亲本；第 II 类属于轻穗类型，单穗重、穗粒重小，可用于种质资源保存；第 III 类多为晚熟材料，整体生育期偏长，在夏播生态下产量潜力受限，适合作为特异种质保存。

4. 讨论

南疆夏播谷子以麦后夏播为主，当地缺少生育期适配的高产夏播谷子品种。麦后夏播谷子受麦收后剩余积温约束，生育期是品种筛选的首要制约条件，这与赵云等(2023)在新疆喀什麦后复播谷子研究结论一致，麦收后热量资源有限，品种筛选需匹配区域热量条件[5]。本研究 25 份供试材料中 16 个品种生育期 ≤ 111 d，基本满足当地夏播熟期需求。

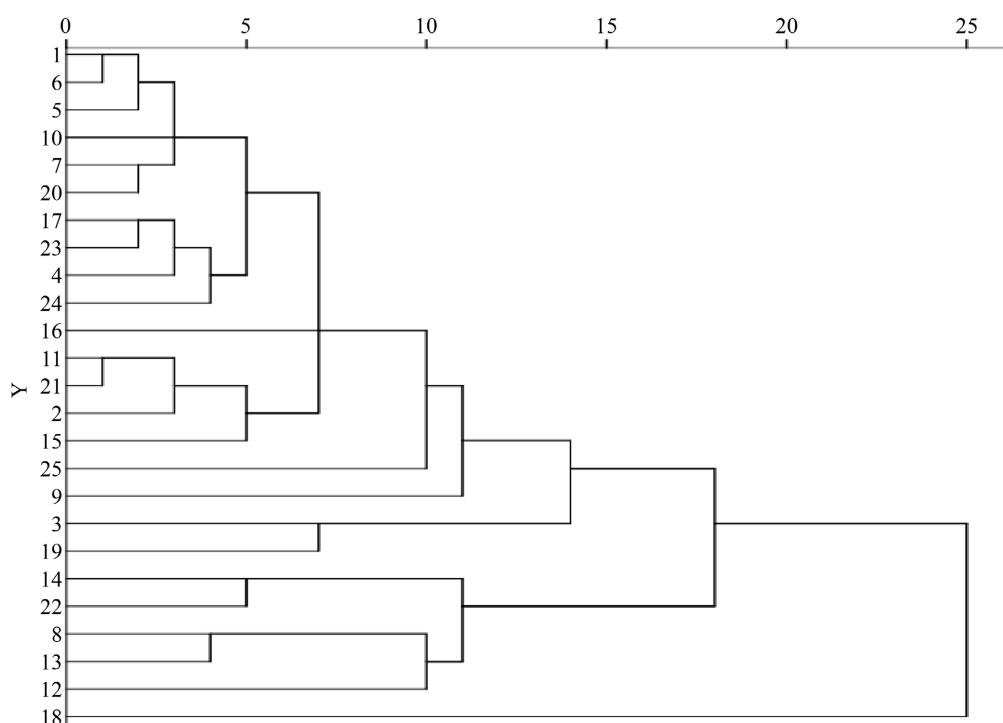


Figure 1. Cluster analysis of various traits among different summer-sown foxtail millet varieties (lines)

图 1. 不同夏播谷子品种(系)各性状聚类分析

诸多学者围绕谷子农艺性状相关性开展研究,探讨了各性状间的关联规律以及调控产量的关键性状;主成分分析、聚类分析等多元统计方法已广泛应用于谷子品种综合评价[9] [10]。本研究结果表明,单穗重和穗粒重的品种间变异系数最大,说明上述性状具有丰富的遗传变异,通过品种筛选实现高产改良的潜力较大,该结果与赵雅杰和吕建珍等的研究基本一致,但各性状具体变异系数存在一定差异[10]-[13]。穗长、茎粗等性状变异程度相对较小,在不同品种间表现较为稳定。抽穗-成熟期是全生育期变异的主要来源,该阶段对环境最为敏感,是田间管理与生育期调控的重点时期,与吕建珍和陶玉娇等研究结论一致,抽穗-成熟阶段易受播期、温度条件扰动,生殖生长期对环境敏感性突出[12] [14]。

南疆夏播条件下,不同谷子品种的生育期、主要农艺性状及产量均存在显著或极显著差异。相关性分析表明,单穗重与穗粒重呈极显著正相关,籽粒重量提升可促进单穗重增加,该规律与赵云、魏萌涵等其他区域研究结果部分一致;但本研究发现二者与群体产量无显著相关,说明夏播环境下单穗优势并不能直接转化为群体产量[7] [15]。出苗-抽穗阶段时长与产量呈显著负相关,缩短出苗至抽穗的持续时间有利于实现高产,这与春播谷子的产量形成特征存在明显差异,与杨慧卿和赵禹凯等研究结论一致[16] [17]。南疆夏播谷子产量主要受群体密度、后期光温条件制约;株高、穗长、茎粗、功能叶大小虽可改善穗部发育,但不宜作为夏播谷子高产的独立评价指标。

主成分分析把 13 项农艺性状归为生育期-植株形态、叶片光合-穗重、穗粒库、群体产量 4 个因子。第一主成分显示营养生长过旺、生育期偏长会造成营养与生殖生长竞争,出现徒长减产现象,这和李彦连和刘艳丽等研究结论一致[18]-[20],植物营养生长与生殖生长存在养分竞争关系,营养生长持续过旺会抑制花芽分化与生殖器官发育,引发旺长减产。聚类分析将 25 份种质分为 3 类,早熟紧凑型适配本地麦后夏播生产;轻穗型、晚熟型生产利用价值低,可作为育种特异种质资源保存。

品种筛选需综合考量生育期、产量表现与综合得分,不宜仅依据主成分综合得分进行评价,这和高

强和徐峰等研究结论一致,品种筛选必须兼顾生育期、产量与综合评价结合判断[6] [21] [22]。综合南疆地区适宜的麦后夏播谷子生育期 ≤ 110 天,产量 $\geq 5200 \text{ kg/hm}^2$ 除去成本约有盈余,株高适中 $\leq 140 \text{ m}$,主成分综合得分排序,据此本研究筛选出表现突出夏播品种(系)有品系 10 生育期平均为 111 d,株高平均为 149.20 cm,穗长平均为 22.13 cm,茎粗平均为 9.24 mm,穗颈长平均为 27.13 cm,节数平均 13.20 节,单穗重平均为 23.11 g,单穗粒重平均为 19.77 g,产量平均为 6130.45 kg/hm^2 ,主成分综合得分排序 3;璐通金香玉生育期平均为 104 d,株高平均为 128.07 cm,穗长平均为 22.93 cm,茎粗平均为 8.82 mm,穗颈长平均为 23.47 cm,节数平均 13.33 节,单穗重平均为 25.43 g,单穗粒重平均为 21.68 g,产量平均为 5226 kg/hm^2 ,主成分综合得分排序 8。但品系 10 株高偏高,生产上需要配套化控防倒伏措施。

本试验仅为单点一年试验,后续还需开展多年多点鉴定,进一步验证品种稳产适应性,完善配套栽培技术。

5. 结论

1) 25 份谷子参试材料农艺性状表型变异丰富,13 个性状的变异系数范围为 5.26%~23.10%,穗粒重、单穗重变异系数最大;单穗重与穗粒重呈极显著正相关($P < 0.01$),产量与出苗-抽穗天数呈极显著负相关($P < 0.01$)。

2) 主成分分析提取 4 个主成分,累计贡献率 70.855%;聚类将 25 份谷子分为 3 个类群,早熟紧凑型适配南疆麦后夏播谷子材料选择。

3) 南疆夏播谷子品种筛选不能仅依据主成分综合得分,必须将生育期作为首要约束条件,综合生育期、产量表现和农艺性状主成分得分,筛选出品系 10、璐通金香玉作为南疆夏播首选推广品种(系);中谷 9 号、鼎香谷 18 号可作为备选品种。

基金项目

新疆生产建设兵团第一师科技攻关计划项目“南疆麦后复播谷子技术集成与示范”(2025MY02)。

参考文献

- [1] 吕厚远. 中国史前农业起源演化研究新方法与新进展[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(2): 181-199.
- [2] 刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011.
- [3] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 等. 中国谷子产业和种业发展现状与未来展望[J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 459-470.
- [4] 刘杰安, 王小慧, 吴尧, 等. 近 30 年我国谷子生产时空变化与区域优势研究[J]. 中国农业科学, 2019, 52(11): 1883-1894.
- [5] 赵云, 冯国郡, 胡相伟, 等. 新疆喀什地区适栽抗除草剂复播谷子品种筛选初报[J]. 作物杂志, 2023(3): 126-133.
- [6] 高强, 张龔, 路子峰, 等. 基于熵值赋权的 DTOPSIS 法综合评价新疆喀什地区夏播谷子品种[J]. 中国农学通报, 2024, 40(6): 42-47.
- [7] 赵云, 冯国郡, 胡相伟, 等. 夏播谷子品种主要农艺性状及产量分析[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(10): 2453-2460.
- [8] 冯国郡, 胡相伟, 赵云, 等. 新疆谷子种质资源评价及产业研究进展[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(8): 1887-1893.
- [9] 王成, 刘梦珂, 全胜利, 等. 豫西优质谷子品种适应性及综合评价[J]. 北方农业学报, 2025, 53(1): 24-37.
- [10] 张晓磊, 王晓明, 范光宇, 等. 基于主成分分析和聚类分析的谷子种质资源主要农艺性状综合评价[J]. 山西农业科学, 2025, 53(1): 1-11.
- [11] 赵雅杰, 温蕊, 贾祎明, 等. 谷子种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 作物杂志, 2025(3): 61-69.
- [12] 吕建珍, 任莹, 王宏勇, 等. 264 份谷子主要育成品种(系)表型多样性综合评价[J]. 作物杂志, 2022(4): 22-31.
- [13] 袁迪, 智慧, 王海岗, 等. 我国谷子登记品种遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物杂志, 2024(4): 14-23.
- [14] 陶玉娇, 朱倩倩, 李晨, 等. 播期对谷子生育期及产量和品质的影响[J]. 核农学报, 2025, 39(6): 1288-1299.

-
- [15] 魏萌涵, 解慧芳, 邢璐, 等. 华北地区谷子产量与农艺性状的综合评价分析[J]. 作物杂志, 2018(4): 42-47.
- [16] 杨慧卿, 王根全, 郝晓芬, 等. 山西谷子品种主要农艺性状的相关和主成分分析[J]. 农学学报, 2020, 10(10): 19-23.
- [17] 赵禹凯, 王显瑞, 陈高勋, 等. 谷子主要农艺性状的相关和通径分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 35-38.
- [18] 李彦连, 张爱民. 植物营养生长与生殖生长辩证关系解析[J]. 中国园艺文摘, 2012, 28(2): 36-37.
- [19] 马金丰, 董晓杰, 李志江, 等. 氮肥施用对谷子产量及小米米色的影响[J]. 山西农业科学, 2024, 52(5): 91-97.
- [20] 刘艳丽, 平文超, 周璐璐, 等. 旱薄地夏播谷子氮肥合理施用量及吸氮参数的研究[J]. 作物杂志, 2025(2): 249-255.
- [21] 徐峰, 索良喜, 孟海龙, 等. 不同来源谷子品种产量比较及综合评价[J]. 中国农业科技导报(中英文), 2018, 20(5): 100-110.
- [22] 曹禹, 阿勒合斯·加尔得木拉提, 玛力帕提·努尔太, 等. 基于主成分分析的谷子种质资源主要农艺性状综合评价[J]. 黑龙江农业科学, 2023(3): 1-7.