东北农业科学　2025,50(3):8-18
Journal of Northeast Agricultural Sciences　DOI: 10.16423/j.cnki.1003-8701.2025.03.002

黄淮海地区夏玉米新品种重要农艺性状综合分析与评价

程爱凌,耿金鹏*,鲍同同
(河北工业大学理学院,天津 300401)

摘　要:针对黄淮海地区夏玉米品种的生育期、籽粒含水量及抗病性等关键农艺性状的综合评价需求,本研究以34个夏玉米品种为试验材料,通过变异性分析、相关性分析、因子分析和CRITIC赋权的TOPSIS法,构建多指标综合评价体系,筛选适宜"夏玉米-冬小麦"双季轮作模式的优良品种。结果表明,生育期、产量和籽粒含水量的变异系数较低(0.62%~3.64%),而茎腐病和倒伏率与倒折率之和的变异系数较高(67.39%、65.59%),表明抗病性改良潜力较大。相关性分析结果显示,产量与穗长呈显著正相关,生育期与百粒重、籽粒含水量呈显著正相关,茎腐病与倒伏率倒折率之和呈显著正相关。形态性状分析结果表明,半马齿粒型、短筒型、白轴或粉轴、紧凑型品种的生育期较短;半马齿粒型、红轴型、半紧凑型品种的籽粒含水量较低。基于CRITIC-TOPSIS法的综合评价显示,中博939、郑单5179、中研1601、登海W189、郑泰159和裕育101的综合得分与产量排名均居前列,适宜推广。研究结果为黄淮海地区夏玉米品种选育与种植提供了科学依据,强调了抗病性改良和生育期平衡的重要性,以适配双季轮作需求。

关键词:黄淮海地区;夏玉米;生育期;籽粒含水量;抗病性;综合评价
中图分类号:S513　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:2096-5877(2025)03-0008-11

Comprehensive Analysis and Evaluation of Key Agronomic Traits in New Summer Maize Varieties in the Huang-Huai-Hai Region

CHENG Ailing, GENG Jinpeng*, BAO Tongtong
(*School of Science, Hebei University of Technology, Tianjin* 300401, China)

Abstract: To address the need for a comprehensive evaluation of key agronomic traits such as growth duration, grain moisture content, and disease resistance in summer maize varieties within the Huang-Huai-Hai region, this study utilized 34 summer maize varieties as experimental materials, employing variability analysis, correlation analysis, factor analysis, and the CRITIC-weighted TOPSIS method, constructing a multi-index comprehensive evaluation system to select suitable high-quality varieties for the relay cropping pattern of "summer maize - winter wheat". The results showed that the coefficients of variation for growth period, yield per hectare, and grain moisture content were relatively low (0.62%-3.64%), while those for the sum of stalk rot and lodging rate were relatively high (67.39% and 65.59%), indicating a great potential for improvement in disease resistance. The correlation analysis showed that yield was significantly positively correlated with ear length, growth period was significantly positively correlated with 100-grain weight and grain moisture content, and stalk rot was significantly positively correlated with the sum of lodging rate. The morphological trait analysis indicated that varieties with semi-dent grain type, short ear type, white or pink cob, and compact plant type had shorter growth periods, while those with semi-dent grain type and red cob type had lower grain moisture content. The comprehensive evaluation based on the CRITIC-TOPSIS method showed that the comprehensive scores and yield rankings of Zhongbo 939, Zhengdan 5179, Zhongyan 1601, Denghai W189, Zhengtai 159, and Yuyu 101 were all in the forefront, making them suitable for promotion. The research results provide a scientific basis for the breeding and planting of summer maize varieties in the Huang-Huai-Hai region, emphasizing the importance of improving disease resistance and balancing the growth period to meet the needs

收稿日期:2025-02-27
基金项目:河北省重点研发计划项目(21326312D)
作者简介:程爱凌(2000-),女,在读硕士,主要从事玉米种质资源研究。
通信作者:耿金鹏,E-mail: rocgold@hebut.edu.cn

of relay cropping.

Key words: Huang-Huai-Hai region; Summer maize; Growth period; Grain moisture content; Disease resistance; Comprehensive evaluation

黄淮海地区作为我国主要的农业产区,在玉米生产方面具有重要地位,是保障国内玉米供应的核心区域之一。然而,近年来,受全球气候变化和病虫害加剧的影响,该地区玉米生产面临诸多挑战。极端气候事件导致玉米生长季节内温度、降水分布异常,影响玉米正常的生长发育进程,威胁生育期稳定性;同时,玉米籽粒含水量的控制也面临难题,收获时籽粒含水量过高,不仅增加了储存成本与损耗风险,还可能降低玉米品质,影响市场价值;在抗病性方面,新型病害不断涌现,原有的病害危害程度也在加剧,现有玉米品种难以有效抵御,严重制约了玉米产量与质量的提升,这对玉米品种的综合性状提出了更高的要求[1]。因此,全面、深入地分析玉米品种的生育期、籽粒含水量、抗病性等重要农艺性状,构建一个科学、客观、全面的评价体系至关重要,将有助于筛选出能够适配黄淮海地区"夏玉米-冬小麦"双季轮作种植模式,符合黄淮海地区"高产、早熟、抗病"的玉米育种目标[2],旨在培育出更适应区域环境与生产需求的品种。

现有针对黄淮海地区玉米品种评价研究存在一定的局限性。部分研究仅聚焦于产量指标[3-4],忽略了生育期、籽粒含水量、抗病性等关键因素,难以全面评估品种的综合表现。尽管也有研究分别针对南方锈病[5]、生育期[6]及籽粒含水量[7]等单一性状进行深入剖析,但缺少产量与其他重要农艺性状的综合分析,无法系统地为品种选育提供指导。

在玉米形态性状研究领域,目前仍存在诸多争议。轴色、粒型等形态性状对玉米生产的影响,大多依据农民的实践经验判断,缺乏科学依据。虽然有研究提出红轴玉米在含水量控制上更具优势,更适宜机械收获[8],也有研究发现穗部结构会对玉米籽粒脱水过程产生作用[9],但这些研究尚不够深入全面,不同研究之间的结论也存在差异,难以形成统一的认知,无法为玉米品种选育提供精准的形态性状选择依据。

在多指标综合评价方面,聚类分析、灰色关联分析、逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)和主成分分析等方法得到了广泛应用[10-13],不过,这些方法各自存在一定缺陷。在赋权方法方面,因子分析赋权法侧重于指标的相关性特征,却忽视了指标变异性对评价结果的影响,熵值赋权法虽能考量信息量,但未能兼顾指标间的相关性,而基于准则间相关性的准则重要性确定方法(Criteria Importance Through Intercriteria Correlation, CRITIC)融合了因子分析与熵值法的优势,既能反映指标之间的相关性,又能体现变异性,能够更全面、精准地反映原始指标特征[14]。遗憾的是,该方法在玉米品种评价领域的应用相对较少,其优势尚未得到充分发挥。

本研究以CRITIC赋权的TOPSIS法为核心,构建多维度、多指标的综合评价体系。不仅聚焦玉米产量,更将生育期、籽粒含水量以及抗病性这3个关键农艺性状作为重点评价指标,力求为黄淮海地区玉米的精准种植与科学管理提供全面、可靠的理论依据,助力解决该地区玉米生产面临的实际问题,推动玉米产业的高质量发展。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

黄淮海地区包括河北、河南、山东、安徽、江苏、陕西、山西和湖北8个省份,是我国重要的粮食生产区,2021年黄淮海地区的玉米总产量达66.7万t,占全国玉米总产量的28.7%[1]。2024年黄淮海地区气候总体呈"暖干湿并存"的特征。年均气温较常年偏高,夏季高温日数增多,河南、河北中南部及山东等地极端高温超40 ℃,春季回暖偏早但4-5月存在阶段性低温。降水总量接近常年,但时空分异显著,7-8月黄淮海南部区域性暴雨洪涝风险较高,低洼农田易渍害,而华北北部出现伏旱,台风北抬影响山东、河南,导致强降水与倒伏。光照条件总体稳定,但夏季连阴雨削弱拔节期光合效率。

1.2　数据来源与指标说明

本研究所采用的数据来源于2021年国家玉米区域试验平台系统中黄淮海夏玉米组品种区域试验数据,选用黄淮海夏玉米区域普通籽粒组的34个试验品种,包括中博939、郑单611、北科15、甘玉716、金来705、郑单5179、裕育101、正弘1823、福婴201、庐玉818、鑫研2020、好日子738、

万盛189、LY1825、百玉808、郑单958、ZM76、农研2108、百玉109、京科3911、中研1601、登海W189、高玉99、郑泰159、青农1801、汉单235、五岳365、金玉818、隆平6381、石玉191、怀川512、万盛183、邯玉463、泽奥718，对照品种为郑单958。

试验采用随机区组设计，3次重复取平均值，5行区，种植密度为67 500株/hm^2，播种期同当地生产实际，田间管理略高于大田生产，所有参试品种的试验设计、田间管理和数据采集保持一致，共设33个试验点，涉及河北、河南、山东、安徽、江苏、陕西、山西和湖北8个省份。

本研究构建了适用于黄淮海地区夏玉米的综合评价指标体系（表1），共有17个评价指标，包括产量、生育期、果穗品质、病害、抗性、植株稳定性及形态7个方面，其中相对穗位表示穗位与株高的比值，即玉米植株的重心，影响玉米植株稳定性，病害指标按照《玉米抗病虫性鉴定技术规范（2021版）》方法执行，HR代表高抗，R代表抗病，MR代表中抗，S代表感病，HS代表高感。

表1 夏玉米综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index system for summer maize

一级指标 First-level indicator	指标 Indicator	指标名称 Indicator name	单位 Unit	指标性质 Nature of the indicator
产量	x1	产量	kg/hm^2	正向
生育周期指标	x2	生育期	d	逆向
果穗品质指标	x3	穗长	cm	正向
	x4	百粒重	g	正向
	x5	籽粒含水量	%	逆向
	x6	秃尖长	cm	逆向
病害指标	x7	小斑病	级	逆向
	x8	茎腐病	%	逆向
	x9	弯孢叶斑病	级	逆向
	x10	南方锈病	级	逆向
	x11	穗腐病	%	逆向
抗性指标	x12	倒伏率倒折率之和	%	逆向
植株稳定性指标	x13	相对穗位	-	逆向
形态指标	x14	粒型	-	-
	x15	穗型	-	-
	x16	轴色	-	-
	x17	株型	-	-

1.3 研究方法

主成分分析是一种通过线性变换并舍弃一些冗余信息来降低数据维度的多元统计方法，因子分析作为主成分分析的补充方法，在其基础上增加了旋转的步骤，目的是增加所提取成分的可解释性[15]。为消除原始数据不同量纲的影响，采用极差法对指标进行无量纲化处理，计算公式为：

$$\text{正向指标：}x'_{ij}=\frac{x_{ij}-\min(x_j)}{\max(x_j)-\min(x_j)} \cdots\cdots (1)$$

$$\text{负向指标：}x'_{ij}=\frac{\max(x_j)-x_{ij}}{\max(x_j)-\min(x_j)} \cdots\cdots (2)$$

其中x_{ij}代表第i个品种的第j个指标的数值，x'_{ij}代表无量纲化处理后的数值。$\max(x_j)$代表第j个指标的最大值，$\min(x_j)$代表第j个指标的最小值。

1.3.1 CRITIC赋权法

CRITIC分析法是一种客观的赋权方法，根据指标之间的冲突性与变异性来确定指标的信息量，进而计算指标权重。冲突性是指指标之间的

相关程度，通过公式(3)相关系数来计算，其中r_{ij}表示第i和第j个指标之间的相关系数，相关系数大的指标，与其他指标的重复程度高，冲突性小；变异性反映了指标在不同样本之间的取值波动，通常用公式(4)标准差表示，S_j表示第j个指标的标准差；综合冲突性与变异性共同反映信息量，用公式(5)计算，信息量越大的指标在评价体系中的贡献越大，指标权重越大，通过公式(6)计算指标权重。

$$R_j = \sum_{i=1}^{p}\left(1 - r_{ij}\right) \quad (3)$$

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij} - \overline{x_j}\right)^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$C_j = S_j \times R_j \quad (5)$$

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^{p} C_j} \quad (6)$$

1.3.2　TOPSIS综合评价法

在计算得到各指标权重后，可以将指标权重输入到综合评价方法中构建玉米评价体系。收集每个指标相对于每个玉米品种的数据，构成一个决策矩阵。假定原始决策矩阵X由m个玉米品种、n个玉米指标构成，$X = \left(X_{ij}\right)_{m\times n}$，无量纲化处理后得到标准化决策矩阵R，将因子分析得到的权重向量与决策矩阵相乘得到加权决策矩阵V，然后根据公式(7)(8)计算各指标的理想解X^+和负理想解X^-：

$$X^+ = \max\left(V_{ij}\right) = \left\{V_1^+, V_2^+, \cdots, V_n^+\right\} \quad (7)$$

$$X^- = \min\left(V_{ij}\right) = \left\{V_1^-, V_2^-, \cdots, V_n^-\right\} \quad (8)$$

使用欧几里得范数公式计算各品种性状与最佳性状之间的距离S_j^+及与最差性状间的距离S_j^-，并计算各个品种与理想材料的接近度C_i。

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - X_j^+\right)^2},\ S_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - X_j^-\right)^2} \quad (9)$$

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (10)$$

1.4　数据处理

采用Microsoft Excel 2019对各试验点的数据取平均值，使用SPSS 24.0进行变异性分析及相关性分析，采用极差法进行正向化处理，将负向指标转化为正向指标，用因子分析赋权的TOPSIS法进行综合评价与排序；利用Tableau 2023.1对生育期与形态性状、籽粒含水量与形态性状进行分析，病害分析用定圃中最高发病级别代表接种抗病性，试验点中最高发病率代表田间抗病性。

2　结果与分析

2.1　夏玉米重要农艺性状综合分析

2.1.1　变异性分析

由表2可知，变异系数的范围为0.62%~

表2　玉米主要农艺性状统计分析

Table 2 Statistical analysis of major agronomic traits in maize

指标 Indicator	最小值 Minimum	最大值 Maximum	极差 Range	平均值 Average	标准差 Standard deviation	中位数 Median	变异系数 Coefficient of variation
x1	500.40	596.00	95.60	566.64	20.59	570.30	3.63%
x2	99.00	101.90	2.90	100.99	0.62	101.20	0.62%
x3	16.10	19.20	3.10	17.47	0.82	17.40	4.69%
x4	26.50	33.20	6.70	30.97	2.08	31.90	6.73%
x5	27.60	31.50	3.90	29.80	1.09	29.80	3.64%
x6	0.70	2.21	1.51	1.28	0.40	1.30	31.52%
x7	1.85	3.00	1.15	2.40	0.27	2.39	11.18%
x8	0.50	8.14	7.64	2.74	1.85	2.47	67.39%
x9	1.61	2.21	0.60	1.90	0.13	1.91	6.64%
x10	2.09	6.15	4.06	4.27	0.91	4.15	21.24%
x11	0.04	0.26	0.22	0.13	0.06	0.12	42.49%
x12	0.40	3.40	3.00	1.19	0.78	0.90	65.59%
x13	0.33	0.43	0.09	0.38	0.02	0.38	6.14%

67.39%，性状之间存在很大差异，其中变异系数较大的是茎腐病(x8)和倒伏率倒折率之和(x12)，说明品种之间在抗茎腐病和抗倒伏倒折能力上差异显著，这两个指标可成为品种改良和进一步筛选的重点考察指标；变异系数较小的性状为生育期(x2)、产量(x1)和收获时的籽粒含水量(x5)，说明各品种间的生育期、产量及籽粒含水量差异相对较小，整体的稳定性较好，这3个指标的育种提升空间较小。

2.1.2 皮尔逊相关系数分析

由表3可知，玉米的产量(x1)与穗长(x3)呈显著正相关，与茎腐病(x8)和南方锈病(x10)呈显著负相关，说明提高穗长益于提高产量，病害对产量有显著抑制作用，抗病性较强的品种更有潜力实现高产；生育期(x2)与百粒重(x4)、籽粒含水量(x5)呈极显著正相关，与小斑病(x7)、茎腐病(x8)和南方锈病(x10)呈显著和极显著负相关，说明生育期越长的品种，果穗品质越好，抗病能力较强；籽粒含水量(x5)与相对穗位(x13)呈极显著正相关，玉米籽粒干燥程度与植株的重心有关；小斑病(x7)、茎腐病(x8)、弯孢叶斑病(x9)及南方锈病(x10)之间均存在多对显著正相关，这表明品种在对多种病害的抗性上存在协同作用，若某一病害抗性较差，其他病害的抗性也较弱，需要特别注意防治；倒伏率倒折率之和(x12)与茎腐病(x8)呈显著正相关，表明茎腐病与倒伏倒折容易同时发生。

表3 玉米主要农艺性状皮尔逊相关系数

Table 3 Pearson's correlation coefficient for major agronomic traits in maize

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12
x2	0.32											
x3	0.47*	0.05										
x4	0.19	0.50**	0.24									
x5	0.07	0.54**	−0.15	−0.05								
x6	0.20	0.25	0.72**	0.44*	−0.07							
x7	−0.05	−0.41*	−0.12	−0.10	−0.21	−0.05						
x8	−0.37*	−0.66**	0.16	−0.39*	−0.30	−0.05	0.09					
x9	−0.18	−0.29	−0.38*	−0.04	−0.01	−0.26	0.41*	0.02				
x10	−0.45*	−0.64**	−0.37*	−0.20	−0.33	−0.23	0.48**	0.35	0.44*			
x11	−0.08	−0.17	0.10	0.27	−0.11	0.04	−0.11	0.12	−0.06	0.15		
x12	−0.14	0.17	0.20	0.13	0.23	0.11	−0.31	0.49**	−0.29	−0.13	0.08	
x13	0.04	0.18	−0.13	−0.32	0.52**	−0.15	−0.23	0.09	−0.06	0.01	−0.10	0.42*

注："*"表示显著相关(P<0.05)，"**"表示极显著相关(P<0.01)。

Note: * indicates a significant correlation (P<0.05), and ** indicates a highly significant correlation (P<0.01).

2.1.3 病害分析

对34个玉米品种进行了小斑病、弯孢叶斑病、茎腐病和南方锈病的田间自然病害和人工接种病害抗性鉴定，由图1可以看出，小斑病在接种病株后表现出较高的抗病性，38.24%表现为抗病，50%表现为中抗，没有高感品种，而田间表现的抗病性有所下降，抗病品种的比例降低，感病品种的比例增高，从11.76%提高到50%；弯孢叶斑病在接种后表现出较高的感病性，其中高感品种达到29.41%，感病品种达到52.94%，抗病和高抗品种比例较低，田间表现为感病的比例进一步上升，高抗和高感比例下降，品种间的差异缩小；茎腐病在接种时表现出较好的抗病性，高感和感病品种比例较低，仅为8.83%，田间表现抗病性稍有降低，感病比例增加；南方锈病在接种时表现出更高的抗病性，仅有5.88%的品种高感，抗病和中抗比例较低，田间表现高感比例显著增加，感病比例略微下降。

2.1.4 生育期与形态指标

由图2可知，黄淮海地区半马齿型粒型的玉米品种数量最多，硬粒和马齿型的生育期偏短，半马齿型生育期偏长；穗型也与生育期有一定的相关性，短筒型生育期偏短，均小于101.5 d，长筒型玉米有38.46%的生育期大于101.5 d；在轴色上，红轴玉米品种数量最多，但生育期较长，

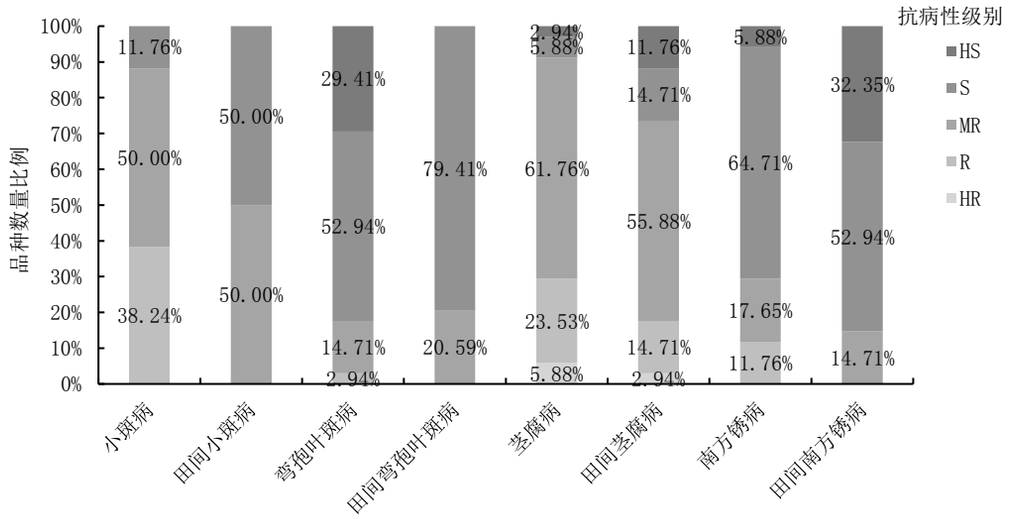

图1　4种病害在接种及田间的抗病性表现

Fig.1 Resistance performance of four diseases in inoculation and field trials

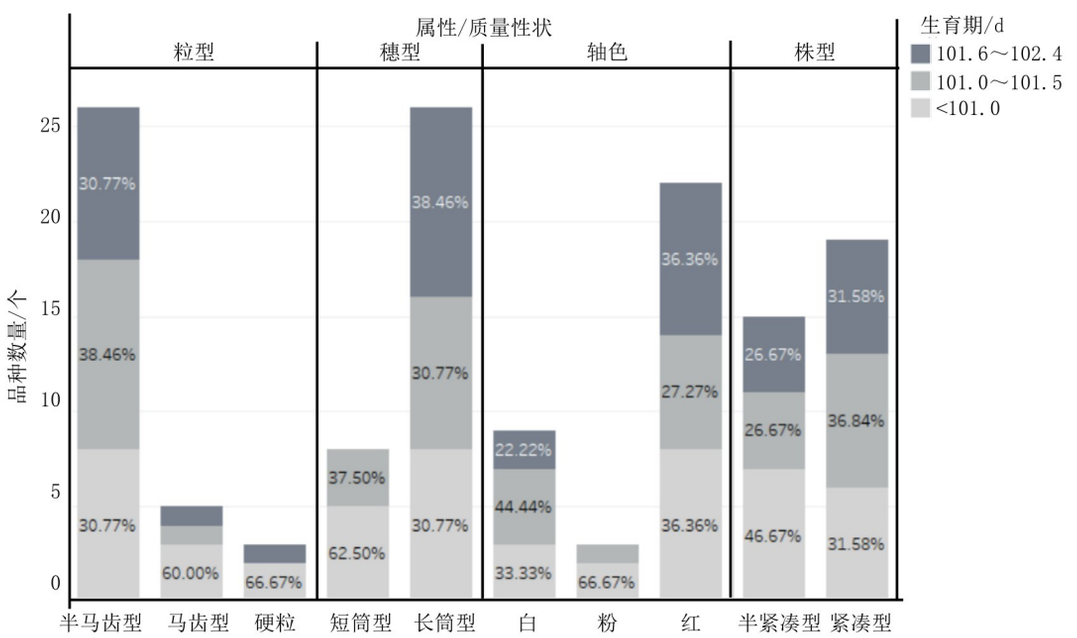

图2　玉米生育期与粒型、穗型、轴色和株型分析

Fig.2 Analysis of maize growth period, kernel type, ear type, cob color, and strain

36.36%的品种生育期超过101.5 d,而白轴和粉轴玉米生育期较短;紧凑型玉米品种稍多于半紧凑型,两种株型在生育期上的表现相差较小,半紧凑型生育期较短。

2.1.5　收获时籽粒含水量与形态指标

从图3可以看出,半马齿型的玉米在收获时籽粒含水量较低,50%的品种籽粒含水量低于29%,硬粒玉米的籽粒含水量相对较高,这表明半马齿型玉米在籽粒脱水速度上表现更优;长筒型玉米比短筒型玉米籽粒含水量稍低,但差异不大;红轴型玉米的籽粒含水量在30%以下的比例最高,为63.63%;半紧凑型玉米籽粒含水量在30%以下的比例高于紧凑型。

2.2　夏玉米品种综合评价体系

2.2.1　因子分析降维结果

在以上分析中,郑单611、百玉109生育期超过102 d,严重不符合黄淮海地区对生育期的要求,农研2108、京科3911、青农1801在人工接种病害试验中出现高感,因此这些品种不再参加综合评价。首先使用因子分析对数据中的病害指标进

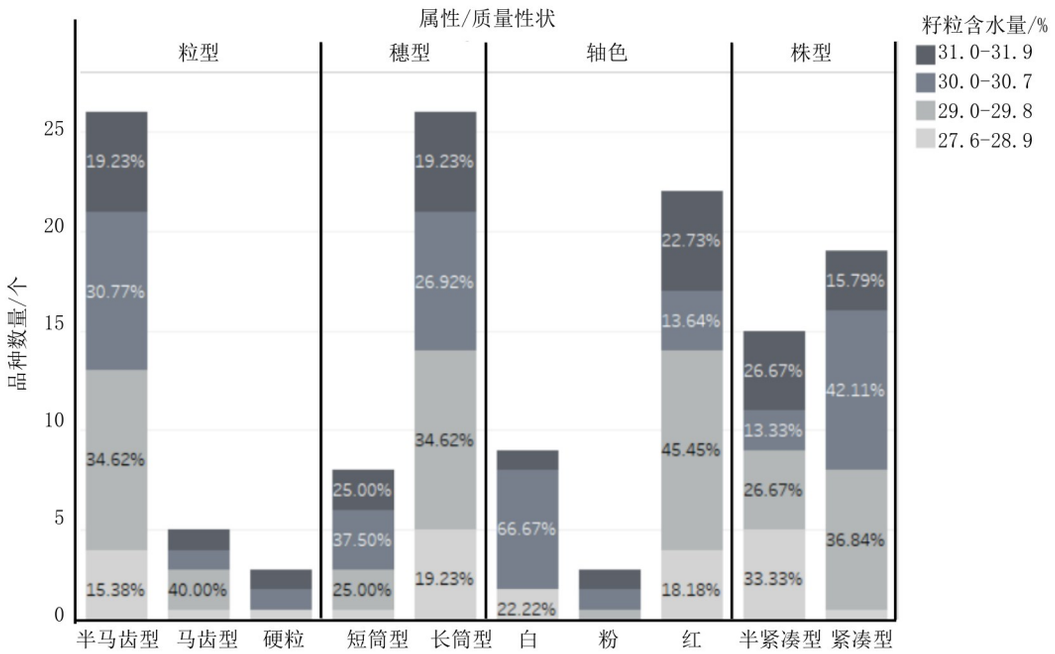

图3 玉米籽粒含水量与粒型、穗型、轴色和株型分析

Fig.3 Analysis of maize seed moisture content, kernel type, ear type, cob color, and strain

行降维处理，将29个品种在33个试验点的数据取均值，用极差法进行正向无量纲化处理，然后使用SPSS 24.0进行KMO和巴特利特检验，结果KMO值为0.582，巴特利特球形度检验显著水平小于0.01，说明变量存在相关关系，适合进行因子降维。无量纲化处理之后提取主成分，采用最大方差法进行因子旋转来简化因子结构，结果如表4和表5所示，前2个因子累积方差贡献率为63.87%，能够较好地解释原始数据中的变异。第一因子(FAC 1)的方差贡献率最高，小斑病、弯孢

表4 因子及方差解释率

Table 4 List of factor and explanatory rate of variance

因子 Factor	旋转前方差解释率 Variance before rotation			旋转后方差解释率 Variance explained after rotation					
	特征根 Eigenvalue	方差解释率/% Variance explained rate	累积/% Accumulation	特征根 Eigenvalue	方差解释率/% Variance explained rate	累积/% Accumulation	特征根 Eigenvalue	方差解释率/% Variance explained rate	累积/% Accumulation
1	1.97	39.48	39.48	1.97	39.48	39.48	1.89	37.84	37.84
2	1.22	24.39	63.87	1.22	24.39	63.87	1.30	26.03	63.87
3	0.85	16.94	80.81	–	–	–	–	–	–
4	0.58	11.60	92.41	–	–	–	–	–	–
5	0.38	7.59	100.00	–	–	–	–	–	–

表5 旋转后因子载荷矩阵

Table 5 Rotated component matrix

指标 Indicator	因子载荷矩阵 Component matrix		公因子方差 Communal variance
	因子1 Factor 1	因子2 Factor 2	
x7	0.81	−0.04	0.66
x8	0.18	0.72	0.55
x9	0.78	−0.09	0.62
x10	0.75	0.47	0.77
x11	−0.18	0.75	0.59

叶斑病和南方锈病的载荷系数最大,主要反映玉米的斑病和锈病特征,因此命名为“斑病与锈病因子”;第二因子(FAC 2)反映了玉米腐病特征,可以命名为“腐病因子”。

2.2.2　CRITIC赋权

由表6可以看出,各指标的权重值从高到低依次为:百粒重>秃尖长>穗长>FAC2>倒伏倒折率之和>籽粒含水量>产量>相对穗位>FAC1>生育期。

表6　CRITIC计算权重结果

Table 6 The weight calculation results obtained by the CRITIC method

指标 Indicator	指标变异性 Variability	指标冲突性 Conflictuality	信息量 Information content	权重 Weight
x1	0.22	9.27	2.00	9.21%
x2	0.21	7.74	1.66	7.65%
x3	0.26	9.20	2.43	11.19%
x4	0.31	9.45	2.94	13.55%
x5	0.28	7.22	2.01	9.27%
x6	0.26	9.71	2.56	11.80%
x12	0.26	8.17	2.09	9.61%
x13	0.25	7.43	1.88	8.65%
FAC1	0.21	8.33	1.78	8.22%
FAC2	0.26	8.99	2.36	10.86%

2.2.3　基于CRITIC-TOPSIS综合评价得分及排名

综合得分是基于多性状的综合评价,反映了品种在产量、抗病性、抗倒伏性、果穗品质等多方面的综合表现。将CRITIC法计算得到的权重作为TOPSIS综合评价法的输入权重值,得到CRITIC-TOPSIS玉米综合评价体系,最终综合得

表7　玉米品种综合评价结果

Table 7 Results of the comprehensive evaluation of maize varieties

品种 Variety	理想解距离D+ Ideal solution distance	负理想解距离D- Negative ideal solution distance	相对接近度Ci Relative proximity	综合排名 Comprehensive sorting	产量排名 Production sorting
中博939	0.46	0.74	0.62	6	1
北科15	0.59	0.66	0.53	17	3
甘玉716	0.68	0.52	0.44	27	5
金来705	0.49	0.65	0.57	13	6
郑单5179	0.42	0.69	0.62	4	7
裕育101	0.43	0.67	0.61	7	10
正弘1823	0.39	0.70	0.64	2	11
福婴201	0.51	0.59	0.53	15	12
庐玉818	0.67	0.49	0.42	29	14
鑫研2020	0.38	0.66	0.64	3	17
好日子738	0.60	0.50	0.46	24	21
万盛189	0.56	0.62	0.52	19	22
LY1825	0.68	0.55	0.45	26	23
百玉808	0.48	0.72	0.60	8	25

续表 7
Table 7 continued

品种 Variety	理想解距离 D+ Ideal solution distance	负理想解距离 D− Negative ideal solution distance	相对接近度 Ci Relative proximity	综合排名 Comprehensive sorting	产量排名 Production sorting
郑单 958	0.61	0.58	0.49	22	26
ZM76	0.60	0.57	0.49	23	27
中研 1601	0.45	0.68	0.60	9	2
登海 W189	0.44	0.72	0.62	5	4
高玉 99	0.54	0.52	0.49	21	8
郑泰 159	0.35	0.70	0.67	1	9
汉单 235	0.53	0.59	0.53	18	13
五岳 365	0.43	0.62	0.59	11	15
金玉 818	0.44	0.64	0.59	12	16
隆平 6381	0.49	0.56	0.53	16	18
石玉 191	0.57	0.61	0.52	20	19
怀川 512	0.52	0.62	0.54	14	20
万盛 183	0.64	0.53	0.45	25	24
邯玉 463	0.63	0.47	0.43	28	28
泽奥 718	0.50	0.74	0.60	10	29

分排名和产量排名情况见表7。

中博 939、郑单 5179、中研 1601、登海 W189、郑泰 159 和裕育 101 的综合排名和产量排名均非常优异，这类品种适合大面积推广；正弘 1823、鑫研 2020 和百玉 808 虽然产量排名一般，但综合表现较好，在其他性状上表现突出，即便产量不是最优，也具有推广价值。

3 结论与讨论

本研究的结果表明，黄淮海地区夏玉米品种在籽粒含水量、生育期和产量等方面的变异性较小，而在百粒重、秃尖长和抗病性上表现出较高的变异性，尤其是茎腐病的变异系数较大，提示不同品种在抗病性能上的显著差异。陈国立等[11]的研究中变异系数从大到小依次为：秃尖长>百粒重>产量>穗长>生育期，秃尖长的变异系数远高于其他农艺性状，生育期的变异系数最小，仅为 0.63%，郑秋道等[16]的研究中变异系数从大到小的排序为：千粒重>秃尖长>倒伏率>生育期，本研究与郑秋道等的研究结果一致，玉米品种差异导致与之前的结论稍有差别，但总体来看都是玉米百粒重和秃尖长变异系数显著高于生育期。

相关性分析中，玉米产量与穗长、百粒重和生育期呈正相关，与秃尖长及所有病害指标呈负相关，生育期与籽粒含水量呈显著正相关，这与冯健英[2]、李璐璐[17]、陈冰洁[18]、王怡[19]等的研究结论一致，也有研究表明，玉米生育期延长会获得更高的产量和籽粒含水量[20]。对于病害抗性，本研究发现田间病害指数普遍高于接种病害指数，这与章慧玉等[5]的研究结果相符，由于缺少抗锈病品种，我国大部分玉米种质为感病或高感材料。玉米不同病害之间存在关联性，一种病害的发生会导致多种病害共发，此外，不同病害对产量均有显著负面影响，特别是茎腐病与产量、百粒重、生育期显著负相关，与倒伏率倒折率之和显著正相关，进一步支持了关于病害对玉米产量影响的研究结果[21-24]，生育期长的玉米更不容易感病，与王振南等[24]的研究结果相符。

目前，对玉米形态性状的研究相对较少。Liang 等[8]研究发现，玉米轴色与籽粒含水量密切相关，发现红轴玉米品种脱水速度更快，李国生等[25]认为选择半马齿型、红轴玉米品种有助于降低玉米籽粒含水量，梁星伟等[26]通过分析 1992-2020 年国审普通玉米品种发现，白轴玉米的生育期更短，在李璐璐等[17]的研究中，果穗长度与脱水速度相关性并不显著，但果穗长度/行粒数与籽粒脱水

速率呈极显著正相关，即长轴行粒数少的玉米脱水速度更快，与本研究结论相一致。对于籽粒含水量与粒型的关系还需进一步研究，有研究认为硬粒品种含水量更低[27]，也有研究认为马齿型品种含水量更低[28]，本研究结果显示马齿型和半马齿型籽粒比硬粒品种籽粒含水量更低。

本研究结果不仅验证了关于黄淮海地区玉米品种的生育期、籽粒含水量及抗病性与形态性状关系的研究结论，而且指出了在该地区开展抗病性育种的重要性和迫切性，特别是针对茎腐病的抗性改良。此外，本研究还强调了适合双季种植模式的玉米品种选择标准，中博939、郑单5179、中研1601、登海W189、郑泰159和裕育101等品种在综合评价中表现优异，适宜在黄淮海地区推广种植，为今后黄淮海地区的玉米育种提供了科学依据。本研究的局限性在于试验数据仅覆盖2021年单一年份，未能分析年际间气候波动对品种性状稳定性的影响，未来需结合多年度数据进一步验证品种的适应性。

参考文献：

[1] 陈永强，王雅菲，谢惠玲，等. 黄淮海地区夏玉米育种目标与策略[J]. 作物学报，2024，50(12)：2917-2924.
CHEN Y Q, WANG Y F, XIE H L, et al. Breeding objectives and strategies for maize in the Huang-Huai-Hai region[J]. Acta Agronomica Sinica, 2024, 50(12): 2917 -2924. (in Chinese)

[2] 冯健英，陈莉，许洛，等. 黄淮海地区夏玉米生产现状育种目标及育种途径[J]. 河北农业科学，2012，16(10)：35-39.
FENG J Y, CHEN L, XU L, et al. Production status, breeding objectives and breeding ways of summer corn in the Huang-Huai-Hai region[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2012, 16(10): 35-39. (in Chinese)

[3] 刘春光，岳玉兰，马襄鸿，等. 堆肥与化肥减量配施对春玉米产量及品质的影响[J]. 东北农业科学，2024，49(3)：25-29.
LIU C G, YUE Y L, MA X H, et al. Effects of compost and chemical fertilizer reduction on yield and quality of spring maize [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(3): 25-29. (in Chinese)

[4] 岳海旺，魏建伟，刘朋程，等. 基于AMMI模型和GGE双标图对玉米品种产量稳定性和适应性选择评价[J]. 中国农业大学学报，2024，29(9)：24-37.
YUE H W, WEI J W, LIU P C, et al. stability and adaptability assessment for the selection of elite maize cultivars based on AMMI model and GGE-biplot[J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(9): 24-37. (in Chinese)

[5] 章慧玉，张香粉，张留声，等. 46份黄淮海玉米新品种南方锈病抗性剖析[J]. 种子，2024，43(9)：109-115.
ZHANG H Y, ZHANG X F, ZHANG L S, et al. Analysis of resistance to southern rust of 46 new maize varieties from the Huang-Huai-Hai region[J]. Seed, 2024, 43(9): 109-115. (in Chinese)

[6] 王晓伟，李晓玉，史雯琪，等. 黄淮海地区玉米生育期制图研究[J]. 江苏农业科学，2023，51(4)：105-113.
WANG X W, LI X Y, SHI W Q, et al. Study on the mapping of maize growth period in the Huang-Huai-Hai region[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(4): 105-113. (in Chinese)

[7] 刘红兵，李婷婷，吴占清，等. 黄淮海玉米籽粒含水量主要影响因素分析及测定方法[J]. 中国种业，2021，40(11)：14-17.
LIU H B, LI T T, WU Z Q, et al. Main influencing factors and measuring methods of content in maize kernels in Huang-Huai-Hai region[J]. China Seed Industry, 2021, 40(11): 14-17. (in Chinese)

[8] LIANG X G, GAO Z, SHEN S, et al. Cob color, an indicator of grain dehydration and agronomic traits in maize hybrids[J]. The Crop Journal, 2022, 10(2):582-586.

[9] 赵小强，陆晏天，白明兴，等. 不同株型玉米基因型对干旱胁迫的响应分析[J]. 草业学报，2020，29(2)：149-162.
ZHAO X Q, LU Y T, BAI M X, et al. Response of maize genotypes with different plant architecture to drought stress[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(2): 149-162. (in Chinese)

[10] 郭益洋，郭书磊，张君，等. 429份玉米种质籽粒物理及品质性状综合评价[J]. 干旱地区农业研究，2024，42(5)：25-33.
GUO Y Y, GUO S L, ZHANG J, et al. Identification and comprehensive evaluation of seed physical and quality traits of 429 maize germplasm resources[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2024, 42(5): 25-33. (in Chinese)

[11] 陈国立，徐超峰，许卫猛，等. 河南省玉米新品种产量与主要农艺性状综合分析及评价[J]. 种子，2024，43(9)：53-58，77.
CHEN G L, XU C F, XU W M, et al. Comprehensive analysis and evaluation of yield and main agronomic traits of new maize varieties in Henan Province[J]. Seed, 2024, 43(9): 53-58, 77. (in Chinese)

[12] 彭伟，曾文兵，孙开利，等. 13个玉米组合产量及产量相关性状的灰色关联度分析[J]. 农业科技通讯，2024，53(9)：91-96.
PENG W, ZENG W B, SUN K L, et al. Grey relational analysis of yield and related traits of 13 maize hybrids[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2024, 53(9): 91 -96. (in Chinese)

[13] 宋秀丽，吴玥，杨锡朗，等. 基于熵值赋权的DTOPSIS法与灰色关联度分析在玉米品种综合评价中的比较[J]. 玉米科学，2020，28(2)：41-46.
SONG X L, WU Y, YANG X L, et al. Comparison of entropy weighted DTOPSIS method and grey relational degree analysis in comprehensive evaluation of maize varieties[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(2): 41 -46. (in Chinese)

[14] DIAKOULAKI D, GEORGE M, LEFTERIS P. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method [J]. Computers & Operations Research, 1995, 22(7): 763-770.

[15] YONG, AN G, SEAN P. A beginner's guide to factor analysis: Focusing on exploratory factor analysis[J]. Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 2013, 9(2): 79-94.

[16] 郑秋道,张培风,孙佩,等.河南省102份玉米地方品种农艺性状综合评价及类群划分[J].中国种业,2024,43(9):58-63.
ZHENG Q D, ZHANG P F, SUN P, et al. Comprehensive evaluation of phenotypic traits and group division of maize local varieties in Henan Province[J]. China Seed Industry, 2024, 43(9): 58-63. (in Chinese)

[17] 李璐璐,明博,谢瑞芝,等.玉米品种穗部性状差异及其对籽粒脱水的影响[J].中国农业科学,2018,51(10):1855-1867.
LI L L, MING B, XIE R Z, et al. Differences of Ear characters in maize and their effects on grain dehydration[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(10): 1855-1867. (in Chinese)

[18] 陈冰洁,吕莹莹,张恩盈,等.鲜食型糯玉米新品种主要农艺性状的相关和主成分分析[J].山东农业科学,2017,49(7):16-20.
CHEN B J, LYU Y Y, ZHANG E Y, et al. Correlation and principal component analysis on main agronomic characters of new fresh waxy corn varieties[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017, 49(7): 16-20. (in Chinese)

[19] 王怡,刘守渠,郭峰,等.山西省不同生态区123份玉米资源8个农艺性状的综合评价[J].山西农业大学学报(自然科学版),2023,43(4):15-24.
WANG Y, LIU S Q, GUO F, et al. Comprehensive evaluation study of eight agronomic characters from 123 maize resources in different ecological regions of Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2023, 43(4): 15-24. (in Chinese)

[20] 吕丽华,董志强,曹洁璇,等.播期、收获期对玉米物质生产及光能利用的调控效应[J].华北农学报,2013,28(增刊):177-183.
LYU L H, DONG Z Q, CAO J X, et al. Effects of planting and harvest date on matter production of summer maize and its utilization of solar and heat resource[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2013, 28(S1): 177 -183. (in Chinese)

[21] 董怀玉,刘可杰,刘晶,等.机收玉米品种收获期田间茎腐病抗性表型和植株倒伏状况调查[J].玉米科学,2021,29(1):170-176.
DONG H Y, LIU K J, LIU J, et al. Investigation of the phenotypic resistance to stalk rot and lodging resistance of maize varieties for mechanical grain-harvest at harvest stage[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(1): 170 -176. (in Chinese)

[22] 孟庆立,师亚琴,杨少伟,等.陕A群、陕B群玉米自交系抗病性鉴定及产量评价[J].中国种业,2024,43(5):88-95.
MENG Q L, SHI Y Q, YANG S W, et al. Disease resistance identification and yield evaluation of maize inbred lines in Shaanxi A group and Shaanxi B group[J]. China Seed Industry, 2024, 43(5): 88 -95. (in Chinese)

[23] 郗小倩,李洪,王瑞军,等.玉米品种的抗病性评价及与农艺性状的灰色关联度分析[J].农学学报,2022,12(4):13-17,95.
XI X Q, LI H, WANG R J, et al. Disease resistance of maize varieties: evaluation and its grey correlation with agronomic characters[J]. Journal of Agriculture, 2022, 12(4): 13-17, 95. (in Chinese)

[24] 王振南,路明,苏义臣,等.十年来吉林省玉米审定品种主要病虫害分析[J].东北农业科学,2024,49(5):19-24.
WANG Z N, LU M, SU Y C, et al. Analysis on main diseases and pests of normal maize varieties approved in Jilin Province in the past 10 years[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(5): 19-24. (in Chinese)

[25] 李国生,华鹤良,王震寰,等.玉米自交系籽粒含水量资源评价及相关性分析[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2016,37(4):71-76.
LI G S, HUA H L, WANG Z H, et al. Evaluation and correlation analysis for grain moisture content in maize inbred lines[J]. Journal of Yangzhou University (Agriculture and Life Sciences Edition), 2016, 37(4): 71-76. (in Chinese)

[26] 梁星伟,杨文亭,金雨,等.玉米穗轴的颜色变化,是偶然还是与农艺性状存在关联?—以历年国审普通品种为例[J].作物学报,2024,50(3):771-778.
LIANG X W, YANG W T, JIN Y, et al. Is the color variation in maize accidental or incidental to any agronomic traits? — An example of nationally approved common hybrids over the years [J]. Acta Agronomica Sinica, 2024, 50(3): 771-778. (in Chinese)

[27] TROYER A F, AMBROSE W B. Plant characteristics affecting field drying rate of ear corn[J]. Crop Science, 1971, 11(4): 529-531.

[28] HUNTER R B, MORTIMORE G, GERRISH E E, et al. Field drying of flint and dent endosperm maize[J]. Crop Science, 1979, 19(3): 401-402.

(责任编辑:范杰英)