

杜佛力,郎正东,庞子健等.不同基因型春小麦种质苗期抗旱性评价[J/OL].大麦与谷类科学,2026,43(2):1-13(2026-04-08).DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.001.

## 不同基因型春小麦种质苗期抗旱性评价

杜佛力,郎正东,庞子健,闫红财,朱致速,吴银盈,沈瀚文,赵 焱,杨 轲,王小玮,党志娟,姚立蓉\*

(省部共建干旱生境作物学国家重点实验室/甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室/甘肃农业大学农学院,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**为了探究干旱胁迫条件下不同基因型春小麦种质苗期的抗旱性,以不同来源的 15 份春小麦种质为材料,在不同程度的干旱胁迫下,测定根长、根体积、根表面积、苗鲜质量、苗长、超氧化物歧化酶活性等指标,综合运用聚类分析、隶属函数分析、相关性分析和主成分分析等多种方法,对春小麦种质的抗旱性进行全面、系统的评价。结果表明:15 份春小麦种质之间的抗旱性差异较大;在轻度干旱胁迫下,各指标的变异系数范围为 7.60%~39.05%;在重度干旱胁迫下,变异系数范围为 8.51%~37.89%;对照条件下变异系数范围为 7.96%~47.84%。相比于对照,所有春小麦种质在干旱胁迫(轻度干旱胁迫和重度干旱胁迫)下的苗长、叶绿素含量、苗鲜质量均有不同程度的降低,过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)活性及丙二醛(MDA)含量均有不同程度的增加。利用主成分分析,13 个苗期指标被划分为 4 个主成分,轻度干旱胁迫下 4 个主成分贡献率分别为 45.98%、16.18%、11.71%、8.69%,重度干旱胁迫下 4 个主成分贡献率分别为 47.88%、14.30%、12.74%、8.72%。依托各生理指标的抗旱系数,并结合主成分分析过程中确定的主成分特征向量,经过系统运算,最终确定综合抗旱系数  $D$  值。依据  $D$  值对 15 个春小麦种质抗旱性进行排序,同时依据  $D$  值进行聚类分析,将供试种质在轻度干旱胁迫和重度干旱胁迫下各分为 4 个群体。筛选出强抗旱春小麦种质 1 份(甘春 0058),干旱敏感型种质 2 份(甘春 33 号、IBWSN 93),确定了苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量、根干质量、根长、根表面积作为春小麦种质苗期抗旱性评价的有效指标。

**关键词:**春小麦;抗旱性;苗期;干旱胁迫;抗旱系数

**中图分类号:**S512.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-6486-20250102

小麦(*Triticum aestivum* L.)作为我国三大粮食作物之一,其产量和品质直接关系到国家的粮食安全。培育高产优质小麦新品种,对于我国小麦产量稳定和粮食安全起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。数据显示,为了充分保障全人类的粮食供给,预测 2005—2050 年全球作物需求将增长 100%~110%<sup>[2]</sup>。如今全球变暖趋势不断加剧,干旱已逐渐成为制约农业生产发展的核

心生态因素,由干旱缺水导致的作物减产,其程度远超其他各类非生物限制因素造成的损失总和<sup>[3]</sup>。Daryanto 等通过试验得出,在干旱胁迫下小麦的减产率可达到 20.6%<sup>[4]</sup>。因而进行小麦抗旱性的鉴定和研究对农业生产具有重要意义<sup>[5]</sup>。

我国西北春小麦种植区多为干旱或半干旱地带,属温带大陆性气候,年降水量通常不足 400 mm,且地表径流少、蒸发强烈,农业生产对灌溉依赖性较高。鉴定、筛选和培育抗旱小麦品种是解决干旱地区农业资源用水短缺、促进小麦产量提高的重要方法<sup>[6-7]</sup>。综上所述,对西北部分地区种植适应性较好的春小麦种质资源实施抗旱能力鉴定,同时从中筛选出兼具抗旱优势与高产潜力的优质春小麦种质,这不仅能助力小麦增产,更是其持续保持高产水平的重要方式。

春小麦在苗期遭遇不同水平的干旱胁迫时,其生理指标所呈现的差异具有较为突出的特征。研究发现,春小麦苗期过氧化物酶活性指标可作为小麦苗期抗旱性鉴定评价的有效指标<sup>[8-9]</sup>。作为植物吸收水分和营养物质的关键器官,根系具有直接从土壤

收稿日期:2025-10-10;修回日期:2026-04-07。

基金项目:甘肃省大学生创新训练项目(S202510733020);甘肃农业大学 SIETP 项目(202501015、202501029);现代寒旱特色农业种业攻关项目(ZYGG-2025-3);甘肃省重点人才项目(2023RCXM70);甘肃省科技厅重点研发项目(25YFNA032);中央引导地方科技发展资金项目(25ZYJA002);甘肃省科技计划(24CXNA038);甘肃省自然科学基金重点项目(24JRRA637);甘肃省教育厅产业支撑计划(2021CYZC-12);甘肃农业大学伏羲英才计划(GAUfx-03Y06、GAUfx-04Y011);省部共建干旱生境作物学国家重点实验室开放基金(GSCS-2021-05)。

作者简介:杜佛力(2004—),男,研究方向为农学。Email:1370429136@qq.com。

\*通信作者:姚立蓉(1988—),女,博士,副教授,研究方向为现代生物技术作物遗传育种中的应用。Email:ylh0384@163.com。

中吸收水分和营养物质并输送到地上部分的功能。与正常的生长环境相比,在干旱胁迫下,植物的根系表现为长度更长、扎根更深<sup>[9]</sup>。吴秀宁等研究表明,与对照相比,干旱处理下叶片净光合速率、苗高、最大根长、根干质量、茎叶干物质的量均有不同程度的下降;脯氨酸、可溶性糖等渗透调节物质的积累水平显著上升,且蛋白质代谢过程中产生的可溶性蛋白,其含量同样出现了较为明显的增长;氧化应激相关指标亦发生显著改变,具体表现为脂质过氧化产物丙二醛(MDA)含量上升,且抗氧化酶系统[过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)与超氧化物歧化酶(SOD)]中各酶的活性均呈增强趋势<sup>[11]</sup>。

目前来看,国内外科研人员围绕春小麦苗期抗旱能力的鉴定及筛选已开展了大量的相关工作,主要是以春小麦苗期干旱条件和正常条件进行对比研究,但对设置不同的干旱梯度(正常处理、轻度干旱和重度干旱)分析鉴定春小麦苗期抗旱性的研究较少。

为全面、系统地评价春小麦苗期抗旱能力,且筛选出能精准体现其苗期抗旱表现的有效指标,本

试验以 15 份春小麦种质为供试材料,种植在甘肃省张掖试验基地(38.85°E、100.35°N),通过获得不同干旱条件下苗期生长指标数据,探究不同干旱胁迫下苗期苗长、根体积和苗鲜质量等 13 个生长指标之间的关系。计算抗旱指数与综合抗旱系数,并采用聚类分析、相关性分析和隶属函数等方法,构建综合评价体系,系统评估小麦苗期的抗旱性,筛选出抗旱性优良的种质资源,为甘肃省干旱区春小麦栽培及高产育种提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为来自不同地区的 15 份春小麦种质,选择这些种质基于其遗传背景多样性、地理分布代表性及在西北干旱区的种植适应性,涵盖了不同抗旱潜力的候选材料。供试材料均由甘肃农业大学干旱生境作物学国家重点实验室麦类作物实验室提供,各种质详细编号及名称见表 1。

表 1 15 份春小麦种质编号及名称

编号	名称	编号	名称	编号	名称
1	武春 3 号	6	罗布 12-122	11	红秃头
2	ZBWSN-158	7	甘春 8 号	12	SMP-7257
3	IBWSN 93	8	甘春 33 号	13	Z8E300YT-22
4	临 B-90	9	永 3257	14	甘春 0058
5	M59	10	永 2901	15	临 86014

### 1.2 试验设计

为评价不同春小麦种质苗期的抗旱性,本研究采用 3 种梯度水分处理(滴灌方式)。对干旱程度的控制采用相对含水量作为标准,在分蘖期进行控水灌溉,自然干旱至预定含水量的范围,每天 7:00 和 19:00 分别测定含水量并控制灌溉量,每个品种设计 3 个水平,分别为重度干旱(SD:土壤含水量为田间持水量的 10%~20%)、轻度干旱(MD:土壤含水量为田间持水量的 50%~60%)及正常处理(CK:土壤含水量为田间持水量的 70%~75%),共 45 个处理,每个处理 3 次重复,共 135 个小区,小区面积 0.6 m<sup>2</sup>(0.6 m × 1.0 m),小区横向间隔 1 m,纵向间隔 0.2 m,采用随机区组排列。

小麦于 2025 年 3 月中旬进行种植,点播,每行

40 粒,行距为 0.2 m。播种前施用复合肥,复合肥 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 质量比为 18:18:5。采取常规田间管理措施,控制害虫和杂草。各小区土壤肥力中等且均匀,地势平坦方便灌溉。研究过程中除灌溉水量不同外,各处理其余田间管理措施均相同。

### 1.3 测定指标及方法

**1.3.1 苗长测定。**在试验处理中,选取 5 株生长状况一致的小麦分蘖期植株作为样本,采用精度为 0.1 cm 的钢卷尺进行测量。以植株基部为起点,垂直测量至植株顶端最远点,所得数值即为苗长。

**1.3.2 苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量、根干质量测定。**使用分析天平分别称量各处理小麦分蘖期植株的地上部鲜质量和根部鲜质量,所得数值分别为小麦苗鲜质量和根鲜质量。将新鲜小麦叶片样品放入

烘箱中,设置烘箱温度为 105 ℃,杀青 30 min,之后设置烘箱温度 80 ℃,烘干至恒质量,称量地上部质量和根部质量,所得数值分别为苗干质量和根干质量。

**1.3.3 根长、根表面积、根体积测定。**在各处理组内分别选取 3 株小麦分蘖期幼苗作为样本,使用 WinRHIZO Program 根系扫描仪完成根系指标的测量操作后,进一步利用其配套的根系分析系统进行数据处理,以此精确测定根长、根表面积与根体积。

**1.3.4 叶绿素含量测定。**叶绿素仪(SPAD-502 Plus)用于快速、非破坏性测定植物叶片叶绿素含量。测定前,确保仪器已校准并处于正常工作状态。选择健壮、无病害的小麦分蘖期叶片,避开叶脉区域,将叶片完全夹入仪器的测量夹口中,确保叶片与夹口紧密接触后按下测量按钮,仪器通过发射特定波长的光并检测透射光强度,计算叶绿素相对含量(SPAD 值)。每个样品重复测定 3 次。

**1.3.5 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性和丙二醛(MDA)含量测定。**称取 4 份(每份 0.1 g)小麦分蘖期叶片置于 4 个离心管中,加入钢珠液氮速冻后利用研磨仪研磨叶片。再分别利用 SOD 试剂盒、CAT 试剂盒、POD 试剂盒、MDA 试剂盒进行样本处理,按照试剂盒上所注明的流程和公式计算 SOD、CAT、POD 活性和 MDA 含量,每个生理指标测定进行 3 次重复。

**1.4 数据处理与分析**

对各生理指标的隶属函数值进行计算后,再进行主成分分析,同时计算抗旱系数(DC)和综合抗旱系数 D 值<sup>[12]</sup>。

1) 苗期各项生理指标的抗旱系数。

抗旱系数(DC)= 干旱胁迫下处理值 / 对照处理值。

2) 进行主成分分析,计算各春小麦种质抗旱综合指标值。

$$F(X_j)=a_{1j}X_{1j}+a_{2j}X_{2j}+\dots+a_{ij}X_{ij}。 \quad (1)$$

式中: $F(X_j)$  为第  $j$  个指标值; $a_{ij}$  为( $i=1,2,\dots,n,j=1,2,\dots,n$ )指标特征值的因子载荷值; $X_{ij}$  为各指标标准化值。

3) 计算不同小麦种质各生理指标抗旱系数的隶属函数值。

$$U(X_j)=\frac{X_j-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \quad (j=1,2,3,\dots,n)。 \quad (2)$$

式中: $U(X_j)$  为第  $j$  个指标的隶属函数值; $X_j$  为第  $j$  个指标抗旱系数值; $X_{\min}$  为第  $j$  个指标抗旱系数的最小值; $X_{\max}$  为第  $j$  个指标抗旱系数的最大值<sup>[13]</sup>。

4) 各综合指标的权重。

$$W_j=\frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}。 \quad (3)$$

式中: $W_j$  为第  $j$  个生理指标的权重; $P_j$  为其贡献率。

5) 综合抗旱系数 D 值。

$$D=\sum_{j=1}^n [U(X_j)W_j] \quad (j=1,2,3,\dots,n)。 \quad (4)$$

采用 Excel 2021 整理和分析数据,根据前述公式,计算综合抗旱系数(D 值),对生理指标进行描述性统计分析;利用 GraphPad Prism 10 绘制“小提琴”图;借助 Origin 2022 软件进行各指标间的相关性分析;综合运用 SPSS 25.0 和 Origin 2022 的统计功能,完成主成分分析和聚类分析。

**2 结果与分析**

**2.1 不同程度干旱胁迫下春小麦苗期各指标统计分析**

分析结果(表 2)显示:对照条件下,各指标的变异系数为 7.96% ~ 47.84%;轻度干旱胁迫条件下,指标变异系数为 7.60% ~ 39.05%;重度干旱胁迫条件下,指标变异系数则为 8.51% ~ 37.89%。

与对照相比,轻度干旱和重度干旱处理条件下的 SOD、CAT、POD 活性及 MDA 含量的最小值、最大值和平均值均大于对照,轻度干旱条件下根干质量的平均值、最大值和最小值均大于对照,表明干旱胁迫对春小麦苗期 SOD、CAT、POD 活性及 MDA 含量的增加具有一定的促进作用;重度干旱条件下根干质量的最大值和对照相等;其余苗期生长指标均低于对照,在干旱胁迫下春小麦的整体生长状况表现出弱化的趋势。重度干旱与轻度干旱相比,重度干旱处理条件下的 SOD、CAT、POD 活性及 MDA 含量的平均值、最大值和最小值均大于轻度干旱处理条件,可见重度干旱胁迫对苗期 SOD、CAT、POD 活性及 MDA 含量的增加具有更大的促进作用;其余所有苗期生长指标均低于轻度干旱,在重度干旱胁迫下春小麦整体生长状况表现出比轻度干旱更为严重的弱化趋势。

表2 对15个春小麦种质13个苗期生长指标的描述性统计

处理	指标	最小值	最大值	均值	标准偏差	变异系数 /%
CK	苗长 /cm	36.90	51.25	44.80	4.54	10.13
	苗鲜质量 /g	1.25	4.24	2.33	1.08	46.30
	苗干质量 /g	0.10	0.31	0.18	0.07	39.73
	根鲜质量 /g	0.25	1.03	0.56	0.26	46.64
	根干质量 /g	0.01	0.04	0.02	0.01	41.52
	根长 /cm	237.17	747.60	445.87	193.20	43.33
	根表面积 /cm <sup>2</sup>	23.97	80.71	45.97	21.02	45.72
	根体积 /cm <sup>3</sup>	0.18	0.70	0.38	0.18	47.84
	叶绿素含量(SPAD 值)	30.50	41.70	35.32	2.81	7.96
	SOD 活性 / (U/g)	108.83	328.79	235.56	75.55	32.07
	CAT 活性 / (U/g)	108.33	224.67	176.56	28.25	16.00
	POD 活性 / (U/g)	53.50	108.67	74.33	17.25	23.21
	MDA 质量摩尔浓度 / (nmol/g)	6.10	12.90	8.79	2.03	23.06
MD	苗长 /cm	36.60	48.63	41.03	3.12	7.60
	苗鲜质量 /g	0.79	1.96	1.26	0.32	25.78
	苗干质量 /g	0.09	0.24	0.15	0.05	33.10
	根鲜质量 /g	0.25	0.85	0.48	0.17	35.70
	根干质量 /g	0.02	0.05	0.03	0.01	39.05
	根长 /cm	192.75	450.03	274.78	70.26	25.57
	根表面积 /cm <sup>2</sup>	20.57	49.40	29.76	7.63	25.62
	根体积 /cm <sup>3</sup>	0.17	0.43	0.26	0.07	27.76
	叶绿素含量(SPAD 值)	27.07	37.07	31.75	2.94	9.27
	SOD 活性 / (U/g)	137.37	406.57	289.17	85.22	29.47
	CAT 活性 / (U/g)	146.67	252.00	211.58	32.22	15.23
	POD 活性 / (U/g)	71.08	126.67	93.74	15.31	16.33
	MDA 质量摩尔浓度 / (nmol/g)	7.07	15.66	11.13	2.22	20.00
SD	苗长 /cm	32.23	45.20	38.60	3.29	8.51
	苗鲜质量 /g	0.52	1.49	0.89	0.29	31.93
	苗干质量 /g	0.06	0.19	0.11	0.04	36.18
	根鲜质量 /g	0.19	0.70	0.40	0.15	37.89
	根干质量 /g	0.01	0.04	0.02	0.01	33.23
	根长 /cm	154.53	423.30	249.60	74.77	29.96
	根表面积 /cm <sup>2</sup>	16.36	38.22	25.29	6.23	24.63
	根体积 /cm <sup>3</sup>	0.14	0.28	0.21	0.05	22.16
	叶绿素含量(SPAD 值)	22.83	33.07	27.39	3.36	12.26
	SOD 活性 / (U/g)	171.61	467.55	345.03	93.36	27.06
	CAT 活性 / (U/g)	169.67	288.67	245.42	31.54	12.85
	POD 活性 / (U/g)	85.00	153.58	114.01	18.64	16.35
	MDA 质量摩尔浓度 / (nmol/g)	10.69	20.72	15.03	2.99	19.86

2.2 不同程度干旱胁迫对春小麦苗期的影响分析

在不同程度干旱胁迫下,对15个春小麦种质的8个形态指标:苗长(图1-A)、苗鲜质量(图1-B)、苗干质量(图1-C)、根鲜质量(图1-D)、根干质量(图1-E)、根表面积(图1-F)、根长(图1-G)和根体积(图1-H)进行比较分析。结果得出,干旱胁迫对不同小麦种质的苗长、苗鲜质量、苗干质量、根表面积、根长和根体积均有抑制作用,对根鲜质量与根干质量的影响因小麦种质而异。

轻度干旱胁迫下,ZBWSN-158、罗布12-122、

甘春8号、永2901、Z8E300YT-22和甘春0058的根鲜质量高于对照;罗布12-122和甘春8号的苗干质量高于对照;武春3号、ZBWSN-158、IBWSN93、罗布12-122、甘春8号、红秃头、SMP-7257和甘春0058的根干质量高于对照;所有种质的苗长和苗鲜质量均低于对照。重度干旱胁迫下,永2901的根鲜质量高于对照;SMP-7257和甘春0058的苗干质量高于对照;武春3号、罗布12-122、甘春8号、红秃头、SMP-7257和甘春0058的根干质量高于对照;所有种质的苗长和苗鲜质量均低于对照。

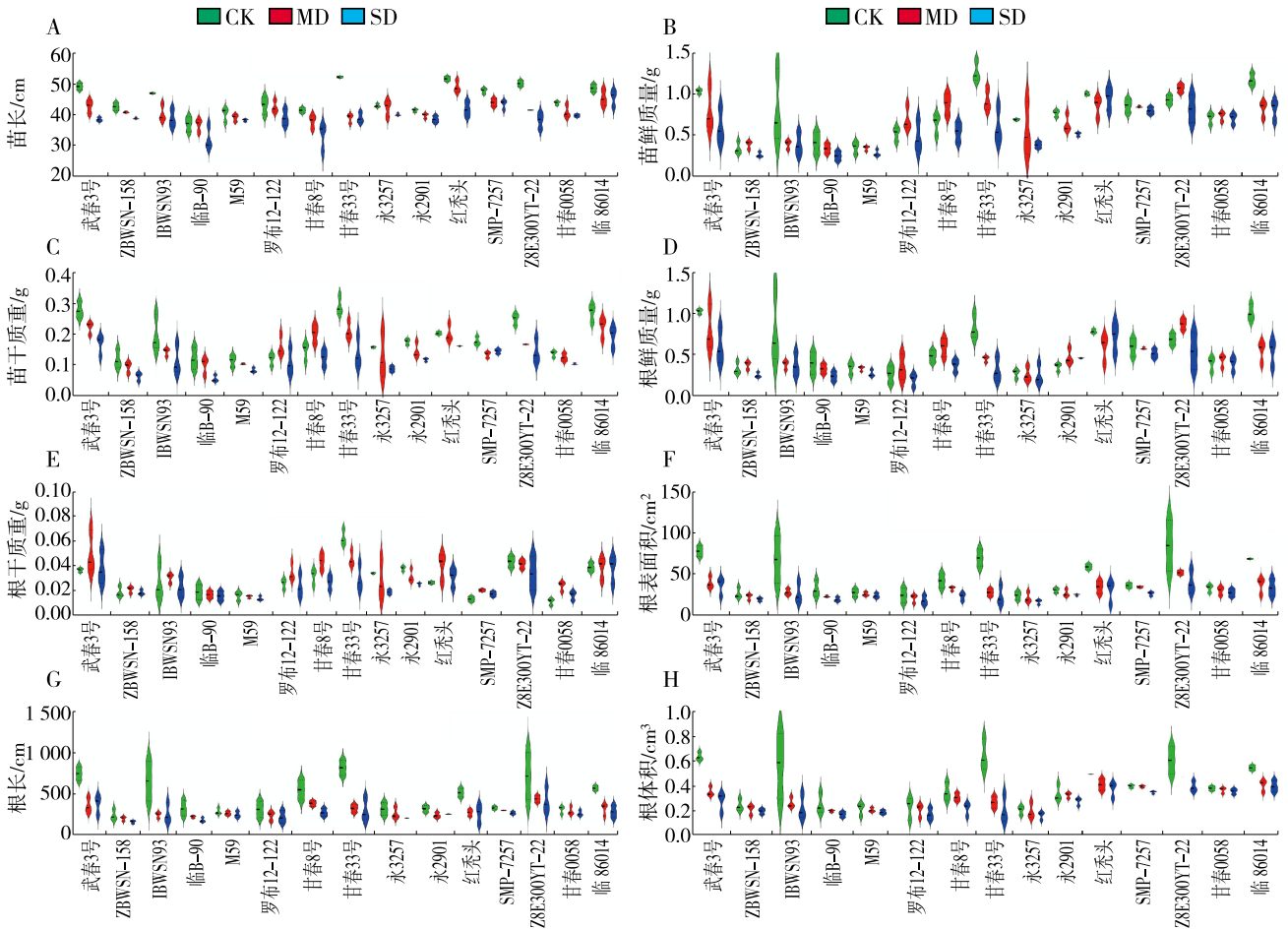


图1 不同程度干旱胁迫对春小麦苗期形态指标的影响

在不同程度干旱胁迫下,进一步对15个春小麦种质的5个生理指标:POD活性(图2-A)、叶绿素含量(图2-B)、SOD活性(图2-C)、CAT活性(图2-D)、MDA含量(图2-E)进行比较分析。结果表明,干旱胁迫对不同基因型春小麦种质POD活性、SOD活性、CAT活性、MDA含量有促进作用,对春小麦叶绿素含量有抑制作用。在轻度干旱胁迫和重度干旱胁迫下,所有种质的POD、CAT、SOD活性及MDA含量均高于对照,所有种质的叶绿素含量均低于对照。

进一步对抗氧化酶活性与MDA含量的比值进

行分析,结果(表3)显示,不同春小麦种质在正常处理、轻度干旱及重度干旱胁迫下,SOD活性、CAT活性、POD活性与MDA含量的比值存在较大差异,该比值的稳定性与品种抗旱性有关。随干旱胁迫强度增加,A(SOD)/b(MDA)、A(CAT)/b(MDA)、A(POD)/b(MDA)值普遍呈下降趋势,重度干旱胁迫下比值降幅更为显著。甘春0058在各胁迫梯度下A(SOD)/b(MDA)、A(CAT)/b(MDA)、A(POD)/b(MDA)波动幅度小,体现出抗旱能力的稳定平衡;IBWSN93、甘春33号比值波动较大,体现出抗旱能力的敏感性。

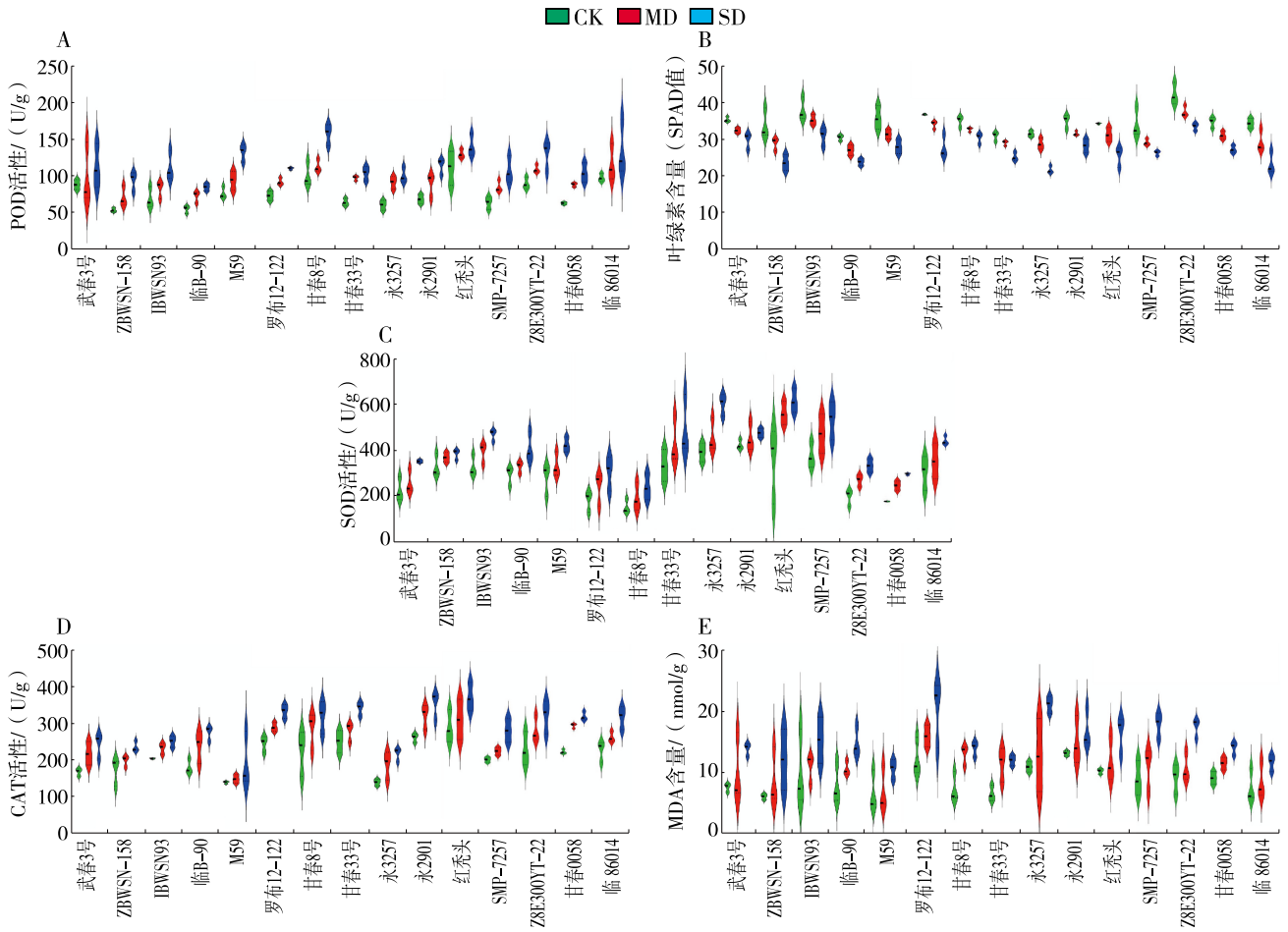


图2 不同程度干旱胁迫对春小麦苗期生理指标的影响

表3 不同程度干旱胁迫下春小麦苗期抗氧化酶活性与MDA质量摩尔浓度的比值

处理	品种	A(SOD)/b(MDA)	A(CAT)/b(MDA)	A(POD)/b(MDA)
CK	武春3号	29.45	22.00	11.55
	ZBWSN-158	53.83	28.34	8.76
	IBWSN93	32.57	20.27	6.87
	临B-90	36.68	22.73	6.89
	M59	41.28	20.59	11.36
	罗布12-122	10.83	16.01	5.92
	甘春8号	15.00	24.13	13.57
	甘春33号	37.56	30.78	9.80
	永3257	26.37	10.10	5.49
	永2901	23.77	15.87	5.18
	红秃头	25.41	22.44	10.86
	SMP-7257	30.98	17.77	7.09
	Z8E300YT-22	15.71	19.80	9.78
	甘春0058	14.13	19.33	6.85
	临86014	29.50	23.62	12.80

表 3 (续)

处理	品种	A(SOD)/b(MDA)	A(CAT)/b(MDA)	A(POD)/b(MDA)
MD	武春 3 号	25.32	21.45	9.65
	ZBWSN-158	41.68	22.45	8.03
	IBWSN93	36.04	21.44	7.60
	临 B-90	30.63	22.40	6.75
	M59	47.09	20.98	13.33
	罗布 12-122	10.99	14.52	5.74
	甘春 8 号	10.79	17.54	8.67
	甘春 33 号	27.77	19.39	8.42
	永 3257	26.50	11.71	7.11
	永 2901	22.41	17.17	5.93
	红秃头	35.04	20.83	10.92
	SMP-7257	31.99	16.23	7.80
	Z8E300YT-22	18.51	20.91	10.19
	甘春 0058	15.69	20.33	7.64
	临 86014	30.66	24.53	13.65
SD	武春 3 号	25.28	17.50	8.06
	ZBWSN-158	31.47	19.44	7.73
	IBWSN93	30.31	16.34	7.29
	临 B-90	27.37	18.44	5.69
	M59	39.60	18.08	12.39
	罗布 12-122	11.06	13.17	5.41
	甘春 8 号	12.54	18.34	11.22
	甘春 33 号	30.44	22.78	8.62
	永 3257	21.07	8.19	4.73
	永 2901	20.77	16.68	6.70
	红秃头	27.73	17.93	8.53
	SMP-7257	22.23	12.51	5.99
	Z8E300YT-22	14.17	14.70	7.46
	甘春 0058	15.55	18.08	7.40
	临 86014	28.06	21.64	11.54

注:表中 A 表示酶活(单位:U/g), b 表示质量摩尔浓度(单位:nmol/g)。

**2.3 不同程度干旱胁迫下春小麦苗期各指标相关性分析**

在正常处理(图 3-A)、轻度干旱胁迫(图3-B)、重度干旱胁迫(图 3-C)下,分别对 13 个小麦苗期指标进行相关性分析。

在对照条件下,苗长与根长、根表面积、根体积、根鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与苗鲜质量呈显著正相关;根长除与根表面积、

根体积、苗鲜质量、根鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关外,还与 SOD 活性呈显著正相关;根表面积与根体积、苗鲜质量、根鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关;根体积与苗鲜质量、根鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与 SOD 活性呈显著正相关;苗鲜质量与根鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与 SOD 活性呈显著正相关;根鲜质量与苗干质量、根干质量呈极

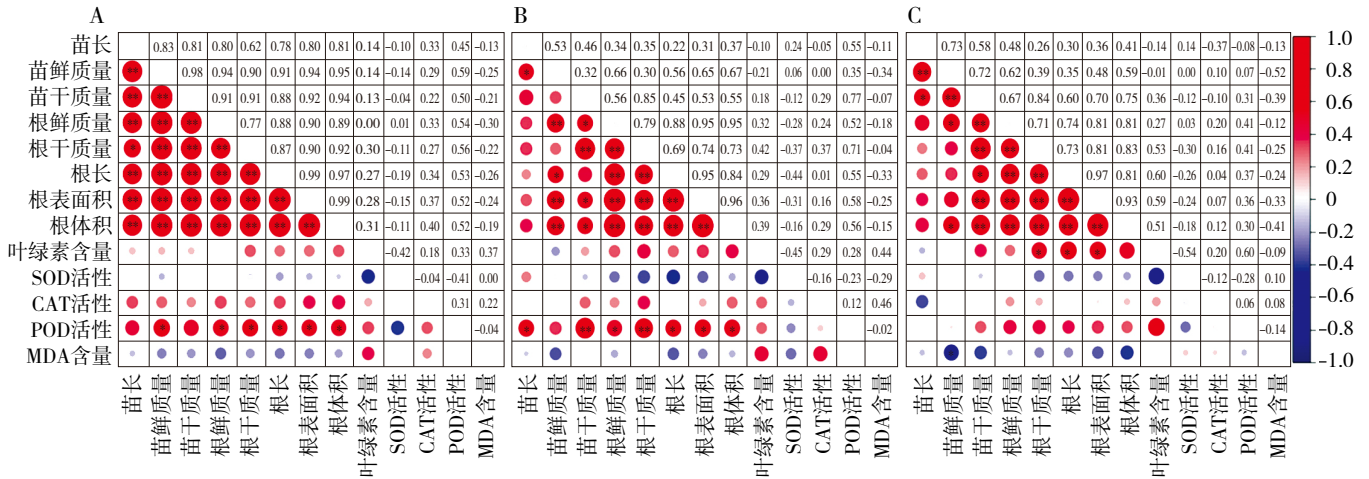
显著正相关,与SOD活性呈显著正相关;苗干质量与根干质量呈极显著正相关,与SOD活性呈显著正相关;根干质量与SOD活性呈显著正相关。

在轻度干旱胁迫下,苗长仅与根长、SOD活性呈显著正相关;根长与根体积、苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与根鲜质量呈显著正相关;根表面积与苗鲜质量、SOD活性呈极显著正相关,与根体积、苗干质量、根干质量呈显著正相关;根体积与苗鲜质量、根鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与SOD活性呈显著正相关;苗鲜质量与根鲜质量、苗干质量、根干质量、SOD活性呈极显著正相关;根鲜质量与苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与SOD活性呈显著正相关;苗干质量与根干质量呈极显著正相关,与SOD活性呈显著正相关;根干质量与SOD活性呈显著正相关。

在重度干旱胁迫下,苗长与根长呈极显著正相关,与根表面积呈显著正相关;根长与根表面积呈

极显著正相关,与根体积、根干质量呈显著正相关,与MDA含量呈显著负相关;根表面积与根体积、苗鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与根鲜质量呈显著正相关;根体积与苗鲜质量、根鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关;苗鲜质量与根鲜质量、苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与叶绿素含量呈显著正相关;根鲜质量与苗干质量、根干质量呈极显著正相关,与叶绿素含量呈显著正相关;苗干质量与根干质量呈极显著正相关,与叶绿素含量呈显著正相关;叶绿素含量则与POD活性呈显著负相关,与SOD活性呈显著正相关。

对照及2种处理条件下,各苗期指标之间大部分存在显著相关性,同时由于小麦抗旱机制具有复杂性和多态性<sup>[4]</sup>,苗期生理指标的测定值难以直接反映春小麦种质的抗旱性。所以,单一指标无法全面、有效地衡量不同种质的抗旱水平。要让小麦抗旱性鉴定更加准确可信,就需要引入综合指标作为评价依据。



A:CK;B:MD;C:SD

\*、\*\* 分别表示显著相关( $P < 0.05$ )、极显著相关( $P < 0.01$ )

图3 3种条件下13个小麦苗期指标相关性分析

### 2.4 不同程度干旱胁迫下春小麦苗期各指标主成分分析

针对15个春小麦种质,通过降维分析得出KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)检验值大于0.6, Bartlett球形度检验显著性小于0.05,表明数据适合进行主成分分析。分别在轻度干旱与重度干旱条件下,对各生理指标抗旱系数的隶属函数值开展主成分分析,筛选出特征值大于1的4个主成分,相关结果如表4所示。

在轻度干旱条件下,4个主成分的特征值依次为5.98、2.10、1.52、1.13,贡献率分别为45.98%、16.18%、11.71%、8.69%。这4个主成分可涵盖13个指标中80%以上的信息,累计贡献率达82.56%。其

中,第一主成分包含苗鲜质量、根表面积、根体积、根长、根鲜质量、苗干质量,根表面积的特征向量最大;第二主成分包含根干质量与叶绿素含量,根干质量的特征向量最大;第三主成分仅含CAT活性,第四主成分仅含POD活性。结合轻度干旱主成分散点图(图4-A)可知:PC1中,SOD活性、苗长对其正向影响较大;PC2中,根干质量、叶绿素、根体积、根长等指标具有较大正向影响;PC3中,苗干质量、MDA含量、CAT活性、POD活性是正向影响较大的主要指标。

在重度干旱条件下,4个主成分的特征值分别为6.23、1.86、1.66、1.13,贡献率依次为47.88%、14.30%、12.74%、8.72%,累计贡献率达83.64%,同

样涵盖 13 个指标中 80% 以上的信息。第一主成分包含根体积、苗鲜质量、根表面积、苗干质量、根长、苗长,根表面积的特征向量最大;第二主成分包含根干质量与 SOD 活性,SOD 活性的特征向量最大;第三主成分包含 CAT 活性、MDA 含量,CAT 活性的特征向量最大;第四主成分仅含叶绿素含量。由重

度干旱主成分散点图(图 4-B)可见:PC1 中,根长、根鲜质量、根体积、苗鲜质量等指标正向影响较大;PC2 中,苗长、根干质量、叶绿素含量具有较大正向影响;PC3 中,MDA 含量正向影响较大,CAT 活性则具有较大负向影响。

表 4 15 份春小麦种质各指标抗旱系数的主成分特征向量及贡献率

处理	指标	因子载荷			
		F1	F2	F3	F4
MD	苗长	0.72	-0.27	-0.14	-0.35
	根长	0.96	0.01	0.01	0.17
	根表面积	0.99	0.05	0.02	0.09
	根体积	0.98	0.09	0.05	0.02
	苗鲜质量	0.87	-0.27	-0.06	0.17
	根鲜质量	0.70	0.22	0.05	-0.24
	苗干质量	0.92	0.29	0.02	0.01
	根干质量	0.36	0.74	-0.40	-0.06
	叶绿素含量	-0.39	0.71	0.21	-0.16
	SOD 活性	0.25	0.01	0.58	0.69
	CAT 活性	0.28	0.28	0.62	-0.50
	POD 活性	-0.07	0.56	-0.63	0.30
	丙二醛含量	-0.27	0.61	0.41	0.18
	特征值	5.98	2.10	1.52	1.13
贡献率 1%	45.98	16.18	11.71	8.69	
累计贡献率 1%	45.98	62.16	73.87	82.56	
SD	苗长	0.81	-0.31	0.06	-0.41
	根长	0.92	0.18	0	0.13
	根表面积	0.97	0.09	0.05	0.07
	根体积	0.95	-0.01	0.10	0.05
	苗鲜质量	0.94	-0.10	-0.16	0.10
	根鲜质量	0.73	0.14	-0.10	0.05
	苗干质量	0.84	0.32	-0.04	0.09
	根干质量	0.48	0.69	0.04	-0.18
	叶绿素含量	-0.26	0.27	-0.35	0.82
	SOD 活性	0.58	-0.57	0.01	0.35
	CAT 活性	0.19	-0.07	0.85	0.15
	POD 活性	-0.21	0.84	0.20	-0.07
	丙二醛含量	-0.20	-0.03	0.84	0.25
	特征值	6.23	1.86	1.66	1.13
贡献率 1%	47.88	14.30	12.74	8.72	
累计贡献率 1%	47.88	62.18	74.92	83.64	

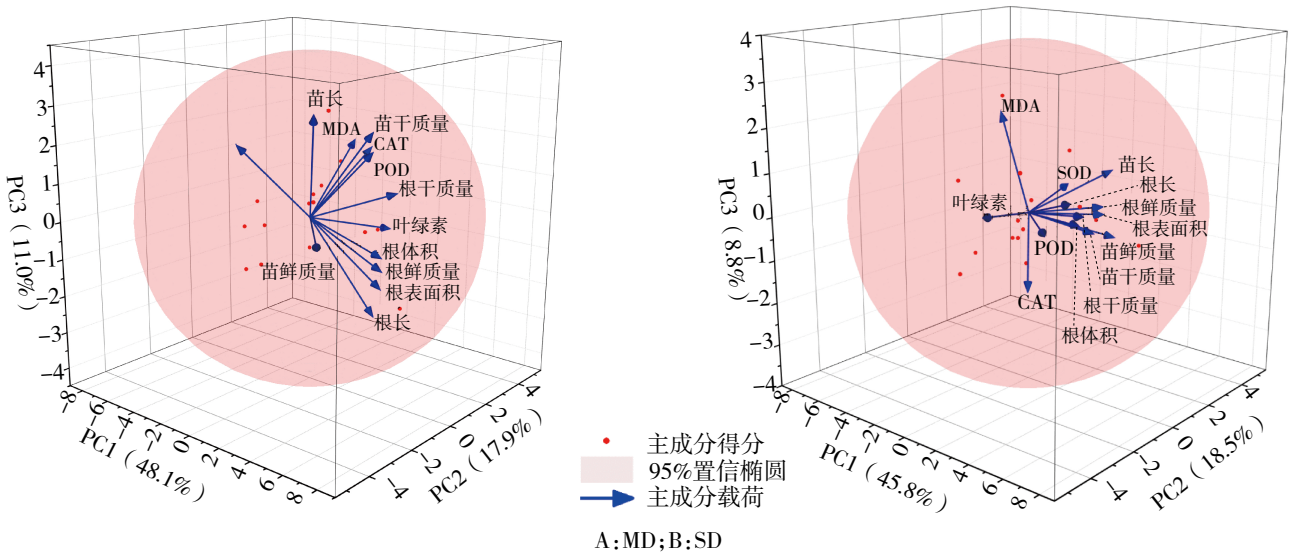


图4 15份春小麦抗旱指标主成分散点图

**2.5 不同基因型春小麦种质苗期抗旱性评价与筛选**  
 不同干旱胁迫条件 *D* 值计算结果显示,在轻度干旱胁迫下,15 份春小麦种质的抗旱系数 *D* 值介于 0.227 ~ 0.868(表 5)。基于 *D* 值使用聚类分析法对 15 个春小麦种质的抗旱性进行聚类(图 5-A),聚类分析将其划分为 4 个群体,分别为高抗旱、抗旱、中等抗旱和敏感种质。其中,第 1 类为高抗旱种质 ( $D \geq 0.868$ ),第 2 类为抗旱种质 ( $0.516 \leq D < 0.868$ ),第 3 类为中等抗旱种质( $0.316 \leq D < 0.516$ ),第 4 类为敏感种质( $0.227 \leq D < 0.316$ )。其中:高抗旱种质 1 份,为甘春 0058,占供试种质的 6.67%;抗旱种质 8 份,为罗布 12-122、ZBWSN-158、甘春 8 号、SMP-7257、临 B-90、永 3257、永 2901、M59,占供试种质的 53.33%;中等抗旱种质 4 份,为武春 3 号、红秃头、甘春 33 号、Z8E300YT-22,占供试种质的 26.67%;敏感种质 2 份,为临 86014、IBWSN 93,占供试种质的 13.33%。

在重度干旱胁迫下(图 5-B),15 份春小麦种质的抗旱系数 *D* 值介于 0.189 ~ 0.883(表 5),聚类分析将其分为 4 个群体,对应高抗旱、抗旱、中等抗旱和敏感种质。其中,第 1 类为高抗旱群体( $D \geq 0.883$ ),第 2 类为抗旱群体( $0.560 \leq D < 0.883$ ),第 3 类为中等抗旱群体( $0.305 \leq D < 0.560$ ),第 4 类为敏感群体 ( $0.189 \leq D < 0.305$ )。其中:高抗旱种质 1 份,为甘春 0058,占供试种质的 6.67%;抗旱种质 5 份,为罗布 12-122、SMP-7257、永 2901、永 3257、M59,占供试种质的 33.33%;中等抗旱种质 7 份,为 ZBWSN-158、甘春 8 号、临 B-90、武春 3 号、红秃头、Z8E300YT-22、

临 86014,占供试种质的 46.67%;敏感种质 2 份,为甘春 33 号、IBWSN 93,占供试种质的 13.33%。聚类分析是基于供试种质在特定胁迫条件下的相对表现进行的分类,同一种质在不同胁迫条件下 *D* 值不同。同一种质在不同的胁迫条件下被划分为不同的抗旱群体,说明部分种质(临 86014)的抗旱机制的启动具有迟缓性,表现为轻度干旱条件下敏感,重度干旱条件下中等抗旱;部分种质(ZBWSN-158、甘春 8 号、临 B-90)抗旱性具有一定限度,表现为轻度干旱条件下抗旱,重度干旱条件下中等抗旱。

表 5 15 份春小麦种质不同干旱胁迫条件 *D* 值

品种	<i>D</i> 值	
	MD	SD
甘春 0058	0.868	0.883
永 3257	0.628	0.570
罗布 12-122	0.614	0.585
甘春 8 号	0.608	0.493
SMP-7257	0.599	0.687
永 2901	0.578	0.560
ZBWSN-158	0.559	0.486
M59	0.531	0.617
临 B-90	0.516	0.455
Z8E300YT-22	0.383	0.337
甘春 33 号	0.373	0.213
红秃头	0.353	0.418
武春 3 号	0.316	0.361
临 86014	0.244	0.305
IBWSN93	0.227	0.189

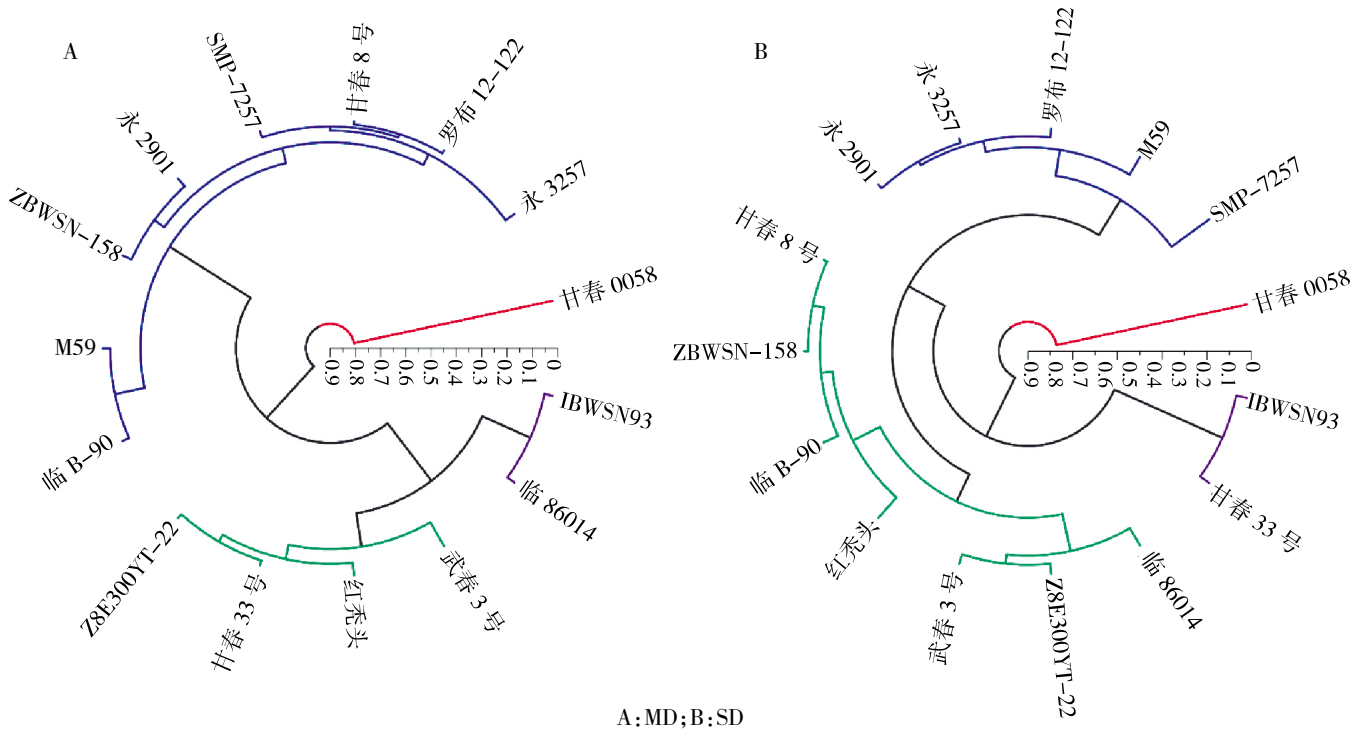


图5 基于D值的15份不同抗旱性小麦种质不同干旱胁迫条件聚类分析

为了综合评价小麦种质的抗旱性并筛选出供试种质中抗旱性最好的种质,对15份春小麦种质在轻度和重度干旱条件下的抗旱系数D值求取平均值,据此对抗旱性进行排序,15份春小麦种质的抗旱性由强到弱依次为:甘春0058 > SMP-7257 > M59 > 罗布12-122 > 永3257 > 永2901 > 甘春8号 > ZBWSN-158 > 临B-90 > 红秃头 > 武春3号 > Z8E300YT-22 > 临86014 > 甘春33号 > IBWSN93。

2.6 D值与苗期抗旱系数相关性分析

对苗期抗旱系数与综合抗旱系数D值进行相关性分析。结果(表6)表明,轻度干旱条件下,综合

抗旱系数D值与苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量、根干质量、根长、根表面积、根体积的抗旱系数均呈现极显著正相关(对应的相关系数分别为0.90、0.93、0.94、0.71、0.68、0.94)。在重度干旱条件下,综合抗旱系数D值与苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量、根干质量、根长及根表面积、根体积的抗旱系数均呈极显著正相关(对应的相关系数分别为0.92、0.94、0.91、0.82、0.70、0.87),与苗长、根体积的抗旱系数呈显著相关(对应的相关系数分别为0.70、0.62)。进而筛选出苗鲜质量、苗干质量、根鲜质量、根表面积、根干质量、根长可以作为苗期抗旱性鉴定的综合指标。

表6 D值与苗期各指标抗旱系数相关性分析

处理	指标	苗长	苗鲜质量	苗干质量	根鲜质量	根干质量	根长	根表面积	根体积	叶绿素含量	SOD活性	CAT活性	POD活性	MDA含量
轻度干旱	D值	0.48	0.90**	0.93**	0.94**	0.71**	0.68**	0.94**	0.48	-0.10	0.45	0.40	0.04	0.07
重度干旱	D值	0.70*	0.92**	0.94**	0.91**	0.82**	0.70**	0.87**	0.62*	-0.12	0.42	0.36	0.08	0.02

注:\*和\*\*分别表示差异具统计学意义(P<0.05)、高度统计学意义(P<0.01)。

3 讨论

本研究以15份春小麦种质为供试材料,苗期抗旱性相关生理指标的测定结果显示,在轻度和重度干旱胁迫下,POD、CAT、SOD活性及MDA含量均高于对照组,而叶绿素含量和苗长则低于对照。这与陈钰等干旱胁迫可以促进POD、CAT、SOD活性

及MDA含量增加的研究结果<sup>[15]</sup>一致,但春小麦抗旱性是受环境影响的复杂性状,单次试验结果可能受当年气候异常的影响,其重复性与代表性有一定的局限。

3.1 苗期生理指标与抗旱机制

MDA是植物过氧化过程的最终产物,在逆境条件下,植物细胞膜会受到一定程度的损伤,MDA的

含量能反映其损伤的严重程度<sup>[6]</sup>。本研究中,MDA 含量在轻度干旱和重度干旱条件下均高于对照。超氧化物歧化酶(SOD)在植物细胞中广泛存在,主要分为 Mn-SOD、Fe-SOD 以及 Cu/Zn-SOD 三大类,它们可以在细胞中发挥不同的防御作用,增强植物的耐受力<sup>[7]</sup>。在本试验中,干旱胁迫条件下,供试种质 SOD、POD 和 CAT 活性都呈现上升趋势,说明干旱条件下自由基的量高于 SOD 的量,抗氧化酶不足以清除植物体内的自由基,且 CAT 的抵抗能力有一定阈值,这与丁龙等的研究结论<sup>[8]</sup>一致,POD 在清除活性氧的过程中起关键作用。叶绿素是影响小麦光合作用的重要色素,是能够反映植物对干旱逆境抵抗性和适应性强弱的关键物质<sup>[9]</sup>。何永涛等研究表明,水分胁迫会促进植物体内叶绿素的降解,使得叶绿素含量下降<sup>[20]</sup>。本试验干旱胁迫下小麦叶绿素含量的降低,可能是因为干旱胁迫下春小麦叶片叶绿体受损,类囊体及类囊体膜损伤,从而导致光合色素含量的降低。

### 3.2 抗旱性评价有效综合指标

利用聚类分析将 15 份春小麦种质在轻度和重度干旱胁迫下各划分为 4 个抗旱群体,筛选出苗期高抗旱种质 1 份。对苗期抗旱系数与综合抗旱系数  $D$  值进行相关性分析后发现,根鲜质量、根干质量、根长、根表面积、苗鲜质量和苗干质量能够作为春小麦苗期抗旱性评价的有效综合指标。白旭瑞研究表明,干旱胁迫会抑制小麦地上部分的生长,促进根系的生长和粗化,增加根冠比<sup>[9]</sup>。景蕊莲等研究表明,小麦苗期的抗旱性与根干质量呈显著正相关<sup>[21]</sup>。

### 3.3 抗旱种质的评价方法

鉴定和评价小麦种质资源的抗旱性,培育抗旱性强的小麦品种对于小麦产业至关重要<sup>[22]</sup>。本研究对 15 个春小麦种质的根体积、根长、SOD 活性、POD 活性等 13 个苗期生理指标进行了测定,并综合运用多种统计分析方法(聚类分析、主成分分析和隶属函数等)对小麦种质抗旱性进行了系统评价。通过隶属函数分析法可获取综合抗旱系数  $D$  值, $D$  值一方面能够表征各指标之间的相关关系,另一方面能切实解决单个指标在评价过程中存在的局限性问题<sup>[23]</sup>,因而可以更加准确地评价供试种质的抗旱性。徐银萍等研究表明, $D$  值为适宜的抗旱鉴定指标<sup>[24]</sup>。周全等研究表明,综合抗旱系数  $D$  值与隶属函数值密切相关,其考虑了各性状指标的权重,而且不同的性状指标对作物抗旱性的贡献是

不同的<sup>[25]</sup>。因此,以综合抗旱系数( $D$  值)对抗旱性进行评价显得更为准确和客观。

## 4 结论

将 15 份春小麦在 2 种不同程度的干旱胁迫条件下各分为 4 个抗旱等级不同的群体,筛选出苗期高抗旱春小麦 1 份(甘春 0058)、干旱敏感型春小麦 2 份(甘春 33 号、IBWSN 93),供试种质中甘春 0058 苗期抗旱性最强,IBWSN 93 苗期抗旱性最弱。苗鲜质量、根鲜质量、根干质量、根长、苗干质量、根表面积可作为春小麦苗期抗旱的有效综合指标。

## 致谢

感谢甘肃农业大学农学院麦类作物实验室对本研究的支持。

## 参考文献:

- [1] 张宴萍,元 斐,徐勤省,等. 抗病小黑麦异染色体系的创制与鉴定[J]. 山东农业科学,2019,51(5):7-12.
- [2] Tilman D,Balzer C,Hill J,et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2011,108(50):20260-20264.
- [3] 张笑笑,潘映红,任富莉,等. 基于多重表型分析的准确评价高粱抗旱性方法的建立[J]. 作物学报,2019,45(11):1735-1745.
- [4] Daryanto S,Wang L X,Jacinto P A. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production[J]. PLoS One,2016,11(5):e0156362.
- [5] 冯举伶,姚立蓉,汪军成,等. 119 份春小麦种质萌发期抗旱性鉴定及抗旱相关基因表达特性分析[J]. 麦类作物学报,2022,42(3):253-263.
- [6] 毛虎德,杜琳颖,康振生. 导读:小麦抗旱性鉴定及基因资源挖掘[J]. 中国农业科学,2024,57(9):1629-1632.
- [7] 王晓东. 转基因小麦抗旱性生理生化及农艺性状鉴定[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016:1.
- [8] 胡雯媚,王思宇,樊高琼,等. 西南麦区小麦品种苗期抗旱性鉴定及其指标筛选[J]. 麦类作物学报,2016,36(2):182-189.
- [9] 白旭瑞. 小麦苗期抗旱性鉴定及抗旱品种筛选[D]. 保定:河北农业大学,2021:23.
- [10] 李梦达,李向东,牛洪斌,等. 小麦品种抗旱性与深根性和深层根系活性的关系[J]. 麦类作物学报,2017,37(5):666-672.

- [11] 吴秀宁,付鑫鑫,陈月星,等. 商洛主栽小麦品种苗期抗旱性综合评价[J]. 西北农业学报,2024,33(7):1225–1234.
- [12] 成越. “晋麦47/偃展4110”RIL群体苗期抗旱性鉴定及其遗传模型分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2023:13.
- [13] 王喜慧,郑婷婷,王丕武. 吉林省玉米骨干自交系苗期耐旱性鉴定[J]. 玉米科学,2016,24(4):35–40.
- [14] 职蕾. 小麦种质资源的抗旱性和耐铅性评价及耐铅性的全基因组关联分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2022:13.
- [15] 陈钰,褚红丽,杜文华. 基于生理生化指标8份饲用小黑麦品种(系)抗旱性评价[J]. 草地学报,2025,33(7):2238–2248.
- [16] 信龙飞,娄闯,冀保毅,等. 干旱胁迫对桔梗光合作用和生理特性的影响[J]. 河南农业科学,2023,52(8):69–77.
- [17] 郭迦南,赵倚澎,杨元植,等. 超氧化物歧化酶在植物响应干旱、盐碱和冷害中的作用[J]. 植物研究,2024,44(4):481–490.
- [18] 丁龙,赵慧敏,曾文静,等. 五种西北旱区植物对干旱胁迫的生理响应[J]. 应用生态学报,2017,28(5):1455–1463.
- [19] 马芳蕾,陈莹,聂晶晶,等. 4种芒属观赏草对干旱胁迫的生理响应[J]. 森林与环境学报,2016,36(2):180–187.
- [20] 何永涛,胡宇,段慧荣,等. 披碱草属4个牧草品种苗期抗旱性综合评价[J]. 中国草地学报,2023,45(1):77–87.
- [21] 景蕊莲,胡荣海,朱志华,等. 冬小麦不同基因型幼苗形态性状遗传力和抗旱性的研究[J]. 西北植物学报,1997,17(2):152–157.
- [22] Khaipho-burch M. Down-to-earth drought resistance[J]. Nature Plants,2024,10(4):525–526.
- [23] 李丰先,罗磊,李亚杰,等. 基于PCA和隶属函数法分析的马铃薯创新种质抗旱性鉴定与分类[J]. 干旱区资源与环境,2022,36(11):141–147.
- [24] 徐银萍,潘永东,刘强德,等. 大麦种质资源成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. 作物学报,2020,46(3):448–461.
- [25] 周全,路秋梅,赵张晨,等. 244份春小麦苗期抗旱性的鉴定[J]. 中国农业科学,2024,57(9):1646–1663.

## Evaluation of Drought Resistance of Spring Wheat Germplasm Resources with Different Genotypes at Seedling Stage

Du Foli, Lang Zhengdong, Pang Zijian, Yan Hongcai, Zhu Zhisu, Wu Yinying, Shen Hanwen, Zhao Xin, Yang Ke, Wang Xiaowei, Dang Zhijuan, Yao Lirong

(State Key Laboratory of Arid Land Crop Science / Gansu Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and Germplasm Innovation / College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** To explore the drought resistance of different genotypes of spring wheat germplasm at the seedling stage under drought stress, 15 spring wheat germplasm resources from different sources were used as materials. Under different degrees of drought stress, the indicators including root length, root volume, root surface area, seedling fresh weight, seedling length, and superoxide dismutase (SOD) were determined. Multiple methods such as cluster analysis, membership function analysis, correlation analysis, and principal component analysis (PCA) were comprehensively applied to conduct a comprehensive and systematic evaluation of the drought resistance of spring wheat germplasm. There were significant differences in drought resistance among the 15 spring wheat germplasm resources. Under mild drought stress, the coefficient of variation (CV) of each indicator ranged from 7.60% to 39.05%. Under severe drought stress, the CV ranged from 8.51% to 37.89%, and under control conditions, the CV ranged from 7.96% to 47.84%. Compared with the control, seedling length, chlorophyll content, and seedling fresh weight of all spring wheat germplasm decreased to varying degrees under drought stress (both mild and severe), while the activities of peroxidase (POD), catalase (CAT), and SOD as well as the content of malondialdehyde (MDA) increased to varying degrees. Through PCA, 13 seedling-stage indicators were divided into 4 principal components. The contribution rates of the 4 principal components under mild drought stress were 45.98%, 16.18%, 11.71%, and 8.69% respectively, while those under severe drought stress were 47.88%, 14.30%, 12.74% and 8.72% respectively. Based on the drought resistance coefficients of each physiological indicator and combined with the principal component eigenvectors determined in the PCA process, the comprehensive drought resistance coefficient (*D* value) was finally obtained through systematic calculations. The drought resistance of the 15 spring wheat germplasm was ranked according to the *D* value, and cluster analysis based on the *D* value divided the tested germplasm into 4 groups respectively under mild and severe drought stress. One highly drought-resistant germplasm (Ganchun 0058) and two drought-sensitive germplasm (Ganchun No.33, IBWSN 93) were screened out. Seedling fresh weight, seedling dry weight, root fresh weight, root dry weight, root length, and root surface area were identified as effective indicators for evaluating the drought resistance of spring wheat germplasm at the seedling stage.

**Key Words:** Spring wheat; Drought resistance; Seedling stage; Drought stress; Drought resistance coefficient

马宇,吕二锁,李涛,等. 大麦种质资源苗期抗旱性评价[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2):14-25(2026-03-27). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.002.

# 大麦种质资源苗期抗旱性评价

马宇<sup>1</sup>,吕二锁<sup>1</sup>,李涛<sup>1</sup>,巴图<sup>1</sup>,渠佳慧<sup>1</sup>,葛明然<sup>1</sup>,吴若晨<sup>1</sup>,李建波<sup>2</sup>,徐广祥<sup>3</sup>,刘志萍<sup>1\*</sup>

(1. 内蒙古自治区农牧业科学院,内蒙古呼和浩特 010031;2. 内蒙古民族大学,内蒙古通辽 028043;

3. 巴彦淖尔市农牧业科学研究院,内蒙古临河区 015000)

**摘要:**干旱是影响大麦生长发育的重要非生物胁迫因素。作为大麦生长的关键时期,苗期遭遇干旱胁迫,将直接影响到后期生长。以 302 个栽培大麦品种为材料,通过鉴定大麦资源材料苗期抗旱性,明确苗期抗旱指标,筛选苗期综合抗旱性能优异的种质资源。结果表明,根长、根冠比、叶面积、干物质含量、株高、叶片相对含水量、叶绿素 SPAD 值均可作为大麦苗期抗旱评价指标,其中根长作为单一指标评价大麦苗期抗旱性可信度较高;以抗旱综合评价方法筛选出强抗旱品种 16 个,分别为 P5、P240、P162、P74、P238、P87、P226、P144、P20、P29、P64、P287、P80、P95、P81、P114。

**关键词:**大麦;苗期;抗旱性;隶属函数

**中图分类号:**S512.3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-6486-20250124

干旱是影响作物生长发育的首要逆境胁迫之一<sup>[1]</sup>。近年来,由于全球水资源分配不均,气候变暖逐年加剧,干旱胁迫严重威胁到农作物的生长发育,充分发掘和利用作物自身的抗旱性能,提高作物抗旱能力现已成为当前研究热点<sup>[2]</sup>。

苗期作为作物形态建成与抗逆能力形成的关键阶段,植株根系尚未充分发育,对土壤水分变化极为敏感,抗旱性强弱直接影响后续生长发育及产量形成<sup>[3]</sup>。小麦苗期干旱胁迫会抑制植株的正常生长发育,植株鲜质量、株高、茎粗、根长降低,抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化物酶(POD)活性及可溶性糖(SS)、脯氨酸(Pro)、丙二醛(MDA)含量增加<sup>[4]</sup>。大麦在幼苗期遭遇干旱胁迫会导致幼苗生长减缓,株高、总干质量、幼叶相对含水量下降,保护酶活性升高等<sup>[5-8]</sup>。大麦作为抗逆性较强的禾谷类作物<sup>[9]</sup>,干旱胁迫导致的减产仍然是限制其产业发展的重要因素,为了能够更全面地评价不同种质资源材料苗期抗旱性,本研究对苗期大麦种质资源材料进行了抗旱性综合评价,通过筛选苗期抗旱种质,为后期

大麦抗旱性育种提供种质支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 参试材料

参试的大麦种质资源材料共计 302 份,均由内蒙古自治区农牧业科学院大麦研究室种质资源库保存繁殖,其中 77 份为加拿大、蒙古国等引进的种质资源,其他材料来自于中国农业科学院种质资源库及内蒙古、甘肃、黑龙江、江苏等地。

### 1.2 试验设计

试验在内蒙古自治区农牧业科学院作物科学研究所温室中进行,温度 25℃左右,湿度 32%左右,光照时间 12 h/d。抗旱鉴定采用盆栽试验,盆口直径 11.7 cm、高 9.5 cm,土壤为营养土,每盆干土质量 100 g,点播 20 粒/盆,播深 2 cm。随机区组设计,设置正常供水(CK)和干旱胁迫 2 个处理(土壤表面铺设陶粒,以减少水分引起的试验误差),3 次重复,幼苗长至 3 叶 1 心时开始胁迫处理,胁迫处理开始后每天测定 1 次土壤含水量。土壤含水量测定方法采用称重法:正常浇水盆栽土壤含水量控制在 15%~20%,干旱胁迫土壤含水量控制在 5%~10%,以对照条件下最高土壤含水量为 20%,胁迫条件下最高土壤含水量为 10%计算每次浇水量,浇水量=(最高土壤含水量-测定土壤含水量)×土壤质量,胁迫处理 15 d 后测定各指标。

收稿日期:2025-12-11;修回日期:2026-02-26。

基金项目:内蒙古农牧业青年创新基金(2023QNJJN04);国家大麦青稞产业技术体系(CARS-05)。

作者简介:马宇(1993—),女,硕士,助理研究员,主要从事大麦遗传育种研究。Email: mayu3991@163.com。

\* 通信作者:刘志萍(1962—),女,硕士,研究员,主要从事大麦育种与栽培技术研究。Email: llz2004@126.com。

1.3 测定项目与方法

株高:利用直尺直接测量茎基部到顶端最高处的长度。

叶面积:利用直尺测量单株叶片长、宽,采用长宽系数法,即叶面积 = 0.75 × 长 × 宽,计算单株叶面积。

叶绿素含量:利用 SPAD 叶绿素仪直接测定。

根长:将根部洗净后用直尺直接测量茎基部到最长根尖的距离。

干物质含量(质量分数):利用万分之一精度天平分别称量植株地上部和地下部,鲜质量直接称量,干质量于 105 °C 杀青 30 min、70 °C 恒温烘干至恒质量后称量。干物质含量 = 干质量 / 鲜质量 × 100%。

根冠比:根冠比 = 地下部干质量 / 地上部干质量。

叶片相对含水量:采用饱和称重法,  $R = (W_t - W_d) / (W_t - W_d) \times 100$ , 式中:  $W_t$  为叶片鲜质量;  $W_d$  为叶片干质量;  $W_t$  为叶片被水充分饱和后的质量。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 2007 对基本数据录入处理, 利用 SPSS 17.0 进行描述统计分析及相关分析等, 抗旱综合评价参照兰巨生的计算方法<sup>[10]</sup>:

$$C_D = \frac{X_i}{X_{CK}}; \tag{1}$$

$$\mu(X) = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}; \tag{2}$$

$$V = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2}}{X}; \tag{3}$$

$$W_j = \frac{V}{\sum_{i=1}^n V}; \tag{4}$$

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(X) \times W_j]. \tag{5}$$

(1)式中:  $C_D$  为抗旱系数,  $X$  为胁迫条件下性状测定值,  $X_{CK}$  为对照条件下性状测定值。(2)式抗旱隶属函数值:  $X_i$  为不同品种各项指标值,  $X_{min}$  为某指标中各品种最小值,  $X_{max}$  为某指标中各品种最大值。(3)式  $V$  为各指标标准差系数, 其中  $\bar{X}$  为全部品种各指标平均值。(4)式  $W_j$  为各项指标权重。(5)式  $D$  为抗旱综合评价  $D$  值。

2 结果与分析

2.1 苗期各项指标抗旱系数对干旱胁迫的响应分析

以抗旱系数平均值 1 作为参考值, 大于 1 时干旱胁迫条件下性状测定值高于对照, 值越大差异越明显; 小于 1 时干旱胁迫条件下性状测定值低于对照, 值越小差异越明显。由表 1 可知, 302 份大麦种质资源叶绿素 SPAD 值、株高、叶面积、叶片相对含水量、干物质含量 5 项指标的抗旱系数均值分别为 0.88、0.76、0.82、0.80、0.78, 表明这些指标在干旱胁迫条件下呈明显下降趋势, 下降幅度(变异幅度)在 42% ~ 63%, 其中叶面积受干旱胁迫影响最为明显, 下降幅度为 63%(变异系数 14.65%); 叶绿素含量(SPAD 值)受干旱胁迫影响最小, 下降幅度为 42%(变异系数 9.98%)。根长和根冠比这 2 项指标的抗旱系数均值分别为 1.33、1.66, 表明在干旱胁迫条件下根长和根冠比均呈明显上升趋势, 其中根长上升趋势最为明显, 上升幅度为 136%(变异系数 18.40%), 根冠比上升幅度为 103%(变异系数 12.29%)。

表 1 苗期 7 项指标抗旱系数统计分析

性状	均值	标准差	变异幅度 /%	变异系数 /%
叶绿素 SPAD 值	0.88	0.09	42	9.98
株高	0.76	0.14	54	17.81
根长	1.33	0.25	136	18.40
叶面积	0.82	0.12	63	14.65
叶片相对含水量	0.80	0.08	50	10.24
根冠比	1.66	0.20	103	12.29
干物质含量	0.78	0.14	61	17.74

2.2 苗期各项指标抗旱系数相关分析

如表 2 所示, 株高与叶面积呈极显著正相关, 相关系数为 0.238, 与叶片相对含水量呈显著正相关, 相关系数为 0.133, 与根冠比呈显著负相关, 相关系数为 -0.138; 根长与根冠比呈极显著正相关,

相关系数为 0.825, 在干旱胁迫条件下具有明显的协同效应; 叶片相对含水量与干物质含量呈显著正相关, 相关系数为 0.123。7 项指标中除了叶绿素 SPAD 值外, 各指标间均存在一定的相关性, 但相关性不一。

表2 苗期7项指标抗旱系数相关分析

	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量
叶绿素 SPAD 值	1						
株高	0.025	1					
根长	0.056	-0.055	1				
叶面积	0.094	0.238**	-0.019	1			
叶片相对含水量	0.081	0.133*	-0.025	0.040	1		
根冠比	0.078	-0.138*	0.825**	-0.039	0.009	1	
干物质含量	0.030	0.098	-0.021	0.030	0.123*	-0.055	1

注:\*表示显著相关( $P < 0.05$ );\*\*表示极显著相关( $P < 0.01$ )。

2.3 抗旱性综合评价

由表3可知,供试材料综合抗旱评价D值范围为0.24~0.88,其中D值在0.30以下的品种有1个,属于干旱敏感品种,为P254;D值在0.70及以上的品种有16个,为强抗旱品种,分别为P5、P240、

P162、P74、P238、P87、P226、P144、P20、P29、P64、P287、P80、P95、P81、P114,其中P114抗旱性最强,综合抗旱性评价D值为0.88,这16个材料可作为后期抗旱优质亲本进行杂交组配。

表3 302个大麦种质资源材料抗旱隶属函数值及抗旱综合评价

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D值
P1	0.79	0.60	0.25	0.92	0.67	0.34	0.85	0.62
P2	0.30	0.84	0.08	0.94	0.59	0.24	0.74	0.55
P3	0.81	0.72	0.14	0.77	0.75	0.28	0.76	0.59
P4	0.90	0.73	0.18	0.98	0.69	0.32	0.36	0.56
P5	0.63	0.79	0.33	0.96	0.72	0.47	0.95	0.70
P6	0.95	0.62	0.16	0.66	0.54	0.35	0.57	0.52
P7	0.89	0.78	0.24	0.84	0.77	0.36	0.62	0.62
P8	0.82	0.38	0.45	0.64	0.61	0.45	0.98	0.61
P9	0.59	0.56	0.34	0.81	0.67	0.41	0.84	0.60
P10	0.46	0.86	0.08	0.70	0.62	0.23	0.70	0.53
P11	0.88	0.87	0.06	0.68	0.52	0.22	0.71	0.55
P12	0.85	0.88	0.08	0.89	0.64	0.25	0.86	0.63
P13	0.77	0.77	0.24	0.84	0.48	0.53	0.35	0.55
P14	0.95	0.99	0.04	0.75	0.54	0.22	0.80	0.60
P15	0.98	0.71	0.35	0.92	0.42	0.76	0.48	0.64
P16	0.78	0.84	0.03	0.85	0.39	0.20	0.71	0.54
P17	0.67	0.83	0.05	0.75	0.64	0.22	0.62	0.53
P18	0.92	0.86	0.00	0.77	0.59	0.20	0.89	0.60
P19	0.86	0.65	0.24	0.80	0.66	0.36	0.99	0.64
P20	0.98	0.59	0.42	0.71	0.68	0.84	0.96	0.72
P21	0.88	0.60	0.09	0.90	0.67	0.26	0.14	0.46
P22	0.99	0.67	0.12	0.81	0.63	0.26	0.47	0.53

表 3 (续)

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D 值
P23	0.72	0.85	0.27	0.87	0.75	0.31	0.78	0.65
P24	0.97	0.81	0.11	0.92	0.76	0.25	0.43	0.57
P25	0.90	0.98	0.20	0.93	0.63	0.25	0.42	0.60
P26	0.37	0.74	0.41	0.21	0.66	0.43	0.89	0.55
P27	0.59	0.93	0.13	1.00	0.34	0.27	0.28	0.51
P28	0.66	0.63	0.23	0.74	0.61	0.56	0.89	0.61
P29	0.97	0.66	0.53	0.88	0.65	0.58	0.96	0.74
P30	0.75	0.37	0.03	0.61	0.62	0.23	0.30	0.38
P31	0.76	0.36	0.09	0.53	0.64	0.24	0.09	0.34
P32	0.69	0.42	0.19	0.72	0.61	0.56	0.53	0.50
P33	0.86	0.66	0.27	0.90	0.28	0.37	0.16	0.48
P34	0.91	0.74	0.11	0.61	0.67	0.24	0.15	0.45
P35	0.79	0.53	0.50	0.77	0.76	0.87	0.62	0.67
P36	0.68	0.92	0.08	0.96	0.71	0.23	0.74	0.61
P37	0.74	0.74	0.11	0.92	0.33	0.24	0.52	0.51
P38	0.83	0.67	0.61	0.91	0.41	0.48	0.47	0.62
P39	0.15	0.83	0.15	0.89	0.38	0.27	0.80	0.53
P40	0.75	0.91	0.13	0.36	0.64	0.24	0.22	0.44
P41	0.91	0.49	0.47	0.71	0.14	0.58	0.13	0.47
P42	0.86	0.98	0.23	0.54	0.66	0.34	0.38	0.55
P43	0.80	0.79	0.12	0.69	0.66	0.25	0.47	0.52
P44	0.83	0.75	0.44	0.99	0.38	0.36	0.79	0.66
P45	0.97	0.66	0.05	0.73	0.38	0.29	0.00	0.40
P46	0.78	0.07	0.33	0.48	0.58	0.38	0.99	0.50
P47	0.78	0.06	0.54	0.34	0.54	0.61	0.44	0.44
P48	0.90	0.13	0.05	0.21	0.68	0.22	0.50	0.33
P49	0.90	0.54	0.17	0.59	0.35	0.47	0.60	0.50
P50	0.93	0.77	0.10	0.55	0.70	0.30	0.96	0.60
P51	0.65	0.76	0.07	0.88	0.58	0.24	0.09	0.44
P52	0.90	0.93	0.52	0.68	0.67	0.44	0.15	0.59
P54	0.69	0.80	0.04	0.75	0.59	0.22	0.66	0.53
P55	0.38	0.65	0.17	0.84	0.66	0.39	0.85	0.57
P56	0.36	0.75	0.13	0.71	0.62	0.26	0.39	0.46
P57	0.40	0.65	0.07	0.26	0.78	0.24	0.82	0.46
P58	0.85	0.99	0.02	0.94	0.78	0.21	1.00	0.68
P59	0.28	0.82	0.04	0.91	0.74	0.22	0.50	0.50
P60	0.58	0.72	0.13	0.92	0.70	0.27	0.91	0.60
P61	0.66	0.98	0.33	0.72	0.65	0.39	0.36	0.58
P62	0.55	0.58	0.16	0.85	0.74	0.26	0.66	0.53

表 3 (续)

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D 值
P63	0.51	0.91	0.10	0.83	0.61	0.23	0.70	0.56
P64	0.36	0.99	0.51	0.92	0.71	0.57	0.94	0.74
P65	0.98	0.66	0.45	0.92	0.64	0.45	0.79	0.69
P66	0.00	0.81	0.04	0.88	0.37	0.20	1.00	0.52
P67	0.95	0.63	0.12	1.00	0.75	0.28	0.52	0.57
P68	0.70	0.97	0.19	0.87	0.67	0.41	0.74	0.65
P69	0.40	0.27	0.01	0.45	0.37	0.20	0.83	0.36
P70	0.79	0.37	0.22	0.79	0.55	0.35	0.52	0.49
P71	0.80	0.46	0.08	0.63	0.59	0.29	0.70	0.49
P72	0.74	0.82	0.10	0.62	0.74	0.27	0.72	0.56
P73	0.93	0.66	0.34	0.62	0.67	0.74	1.00	0.69
P74	0.98	0.62	0.48	0.87	0.70	0.89	0.59	0.70
P75	0.93	0.59	0.12	0.75	0.71	0.26	0.89	0.59
P76	0.48	0.79	0.15	0.92	0.74	0.48	0.45	0.56
P77	0.85	0.54	0.02	0.62	0.62	0.19	0.66	0.48
P78	0.76	0.64	0.08	0.75	0.62	0.35	0.89	0.57
P79	0.65	0.87	0.64	0.78	0.57	0.46	0.65	0.68
P80	0.69	0.86	0.74	0.70	0.56	1.00	0.75	0.76
P81	0.71	0.73	0.72	0.91	0.69	0.97	0.95	0.82
P82	0.89	0.33	0.11	0.75	0.35	0.32	0.80	0.49
P83	0.82	0.71	0.16	0.76	0.69	0.33	0.76	0.59
P84	0.26	0.42	0.42	0.60	0.75	0.84	0.62	0.55
P85	0.88	0.37	0.01	0.64	0.70	0.20	0.80	0.48
P86	0.72	0.90	0.36	0.77	0.62	0.61	0.60	0.65
P87	0.57	0.60	1.00	0.67	0.73	0.78	0.58	0.71
P88	0.99	0.81	0.19	0.70	0.76	0.33	0.98	0.67
P89	0.95	0.90	0.27	0.99	0.54	0.39	0.69	0.67
P90	0.92	0.77	0.15	0.92	0.73	0.41	0.58	0.61
P91	0.95	0.73	0.46	0.59	0.36	0.36	0.96	0.64
P92	0.98	0.40	0.28	0.77	0.35	0.28	0.74	0.53
P93	0.88	0.55	0.04	0.69	0.66	0.22	0.81	0.53
P94	0.94	0.89	0.09	0.99	0.79	0.24	0.84	0.67
P95	0.98	0.95	0.47	0.95	0.54	0.87	0.78	0.79
P96	0.61	0.54	0.43	0.84	0.68	0.62	0.54	0.60
P97	0.92	0.64	0.34	0.74	0.69	0.40	0.81	0.64
P98	0.78	0.70	0.18	0.54	0.62	0.30	0.67	0.53
P99	0.82	0.96	0.07	0.05	0.77	0.32	0.76	0.52
P100	0.57	0.44	0.30	0.64	0.67	0.57	0.68	0.54
P101	0.56	0.89	0.08	0.58	0.78	0.25	0.77	0.55

表 3 (续)

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D 值
P102	0.61	0.29	0.15	0.44	0.76	0.44	0.58	0.43
P103	0.77	0.63	0.31	1.00	0.66	0.53	0.53	0.61
P104	0.68	0.68	0.07	0.69	0.52	0.23	0.62	0.49
P105	0.70	0.63	0.09	0.68	0.61	0.25	0.57	0.49
P106	0.35	0.21	0.19	0.12	0.59	0.28	0.47	0.30
P107	0.21	0.12	0.12	0.34	0.58	0.28	0.53	0.30
P108	0.13	0.21	0.02	0.85	0.53	0.23	0.51	0.35
P109	0.44	0.43	0.10	0.60	0.77	0.32	0.53	0.44
P110	0.40	0.32	0.33	0.33	0.74	0.59	0.58	0.45
P111	0.82	0.50	0.30	0.55	0.66	0.42	0.54	0.52
P112	0.95	0.99	0.59	0.46	0.75	0.65	0.48	0.68
P113	0.56	0.80	0.38	0.77	0.74	0.41	0.56	0.60
P114	0.82	0.83	0.94	0.96	0.74	0.76	1.00	0.88
P115	0.64	0.22	0.24	0.67	0.79	0.49	0.55	0.48
P116	0.78	0.25	0.49	0.78	0.58	0.91	0.54	0.59
P117	0.48	0.32	0.17	0.65	0.88	0.32	0.89	0.51
P118	0.51	0.07	0.36	0.57	0.57	0.67	0.58	0.45
P119	0.87	0.23	0.05	0.78	0.85	0.22	0.60	0.47
P120	0.80	0.80	0.43	0.51	0.75	0.42	0.82	0.64
P121	0.73	0.47	0.35	0.93	0.18	0.49	0.68	0.55
P122	0.72	0.42	0.06	0.72	0.47	0.25	0.66	0.45
P123	0.92	0.75	0.11	0.91	0.76	0.28	0.75	0.62
P124	0.99	0.28	0.01	0.65	0.72	0.17	1.00	0.51
P125	0.34	0.51	0.18	0.61	0.70	0.32	0.68	0.47
P126	0.49	0.51	0.42	0.68	0.87	0.81	0.95	0.67
P127	0.71	0.21	0.36	0.88	0.68	0.37	0.71	0.54
P128	0.66	0.99	0.21	0.91	0.64	0.29	0.95	0.68
P129	0.72	0.81	0.04	0.97	0.78	0.22	0.80	0.61
P130	0.74	0.21	0.30	0.45	0.75	0.49	0.58	0.47
P131	0.73	0.25	0.15	0.85	0.46	0.45	0.21	0.40
P132	0.76	0.23	0.46	0.63	0.57	0.55	0.72	0.54
P133	0.67	0.76	0.35	0.73	0.60	0.46	0.70	0.61
P134	0.70	0.72	0.40	0.74	0.58	0.80	0.43	0.61
P135	0.35	0.96	0.25	0.63	0.64	0.36	0.98	0.62
P136	0.66	0.42	0.10	0.96	0.50	0.31	0.77	0.52
P137	0.49	0.59	0.12	0.56	0.56	0.29	0.72	0.47
P138	0.55	0.48	0.11	0.86	0.75	0.39	0.67	0.52
P139	0.98	0.61	0.07	0.72	0.55	0.24	0.66	0.52
P140	0.98	0.34	0.02	0.60	0.80	0.20	0.28	0.40

表 3 (续)

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D 值
P141	0.94	0.60	0.37	0.95	0.61	0.53	0.85	0.68
P142	0.20	0.68	0.20	0.86	0.68	0.34	0.70	0.54
P143	0.81	0.43	0.33	0.78	0.59	0.40	0.82	0.58
P144	0.71	0.91	0.31	0.94	0.58	0.58	0.95	0.72
P145	0.46	0.41	0.28	0.82	0.62	0.39	0.68	0.52
P146	0.97	0.38	0.37	0.82	0.62	0.42	0.86	0.61
P147	0.50	0.43	0.29	0.78	0.56	0.37	0.93	0.56
P148	0.53	0.67	0.23	0.85	0.65	0.32	0.76	0.57
P149	0.69	0.62	0.26	0.82	0.71	0.32	0.66	0.57
P150	0.65	0.60	0.23	0.63	0.71	0.42	0.76	0.56
P151	0.67	0.39	0.09	0.78	0.83	0.36	0.70	0.51
P152	0.29	0.85	0.08	0.96	0.74	0.31	0.44	0.52
P153	0.90	0.58	0.61	0.66	0.78	0.96	0.35	0.65
P154	0.81	0.40	0.05	0.57	0.81	0.02	0.87	0.48
P155	0.74	0.50	0.04	0.62	0.79	0.26	0.77	0.51
P156	0.87	0.48	0.28	0.64	0.41	0.59	0.93	0.59
P157	0.57	0.80	0.15	0.93	0.72	0.33	0.67	0.59
P158	0.69	0.99	0.14	0.30	0.64	0.37	0.91	0.58
P159	0.66	0.43	0.26	0.80	0.49	0.57	0.71	0.55
P160	0.66	0.39	0.00	0.52	0.52	0.17	0.63	0.39
P161	0.48	0.55	0.07	0.85	0.32	0.24	0.67	0.46
P162	0.31	0.63	0.69	0.81	0.43	0.89	0.92	0.70
P163	0.83	0.11	0.29	0.35	0.49	0.47	0.65	0.43
P164	0.48	0.21	0.14	0.96	0.74	0.38	0.37	0.43
P165	0.58	0.54	0.17	0.54	0.86	0.51	0.86	0.56
P166	0.61	0.55	0.00	0.59	1.00	0.20	0.63	0.48
P167	0.46	0.14	0.38	0.59	0.77	0.52	0.87	0.52
P168	0.99	0.81	0.12	0.83	0.87	0.35	0.96	0.68
P169	0.49	0.09	0.34	0.71	0.72	0.49	0.74	0.49
P170	0.88	0.81	0.18	0.32	0.65	0.35	0.65	0.53
P171	0.04	0.04	0.66	0.34	0.17	0.96	0.57	0.42
P172	0.35	0.43	0.37	0.40	0.81	0.77	0.56	0.51
P173	0.43	0.63	0.23	0.59	0.93	0.45	0.44	0.51
P174	0.63	0.12	0.03	0.40	0.65	0.23	0.49	0.33
P175	0.88	0.49	0.07	0.57	0.28	0.22	0.50	0.41
P176	0.56	0.66	0.15	0.73	0.68	0.44	0.32	0.48
P177	0.82	0.85	0.28	0.87	0.53	0.66	0.64	0.65
P178	0.45	0.80	0.17	0.56	0.64	0.44	0.56	0.51
P179	0.75	0.69	0.37	0.88	0.56	0.57	0.29	0.57

表 3 (续)

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D 值
P180	0.29	0.96	0.05	0.34	0.62	0.30	0.79	0.49
P181	0.70	0.83	0.09	0.94	0.75	0.34	0.52	0.58
P182	0.47	0.62	0.07	0.47	0.67	0.25	0.68	0.45
P183	0.46	0.32	0.15	0.93	0.68	0.30	0.50	0.46
P184	0.81	0.65	0.37	0.96	0.82	0.48	0.34	0.60
P185	0.58	0.92	0.15	0.35	0.54	0.38	0.97	0.57
P186	0.50	0.81	0.27	0.88	0.42	0.40	0.82	0.60
P187	0.89	0.32	0.34	0.27	0.77	0.67	0.76	0.54
P188	0.29	1.00	0.01	0.87	0.46	0.00	0.52	0.47
P189	0.88	0.80	0.14	0.78	0.63	0.32	0.91	0.63
P191	0.85	0.51	0.00	0.60	0.63	0.19	0.88	0.50
P192	0.77	0.83	0.01	0.84	0.77	0.20	0.69	0.57
P193	0.69	0.48	0.01	0.85	0.62	0.19	0.67	0.48
P194	0.58	0.32	0.08	0.73	0.73	0.26	0.91	0.50
P196	0.52	0.63	0.04	0.59	0.62	0.27	0.55	0.45
P197	0.57	0.68	0.28	0.62	0.61	0.42	0.44	0.51
P198	0.52	0.33	0.06	0.96	0.57	0.28	0.85	0.50
P199	0.82	0.35	0.29	0.46	0.61	0.43	0.70	0.50
P200	0.96	0.47	0.29	0.22	0.14	0.37	0.75	0.45
P201	0.80	0.31	0.59	0.57	0.74	0.85	0.62	0.61
P202	0.55	0.59	0.13	0.50	0.52	0.36	0.61	0.46
P203	0.41	0.69	0.14	0.85	0.74	0.26	0.75	0.55
P204	0.73	0.41	0.18	0.77	0.64	0.35	0.96	0.56
P205	0.71	0.67	0.32	0.82	0.54	0.75	0.75	0.64
P206	0.54	0.47	0.13	0.93	0.77	0.40	0.79	0.56
P207	0.66	0.29	0.25	0.68	0.64	0.48	0.96	0.55
P208	0.94	0.50	0.34	0.65	0.77	0.38	0.72	0.59
P209	0.83	0.50	0.31	0.57	0.00	0.53	0.58	0.48
P210	0.90	0.24	0.26	0.61	0.77	0.49	0.33	0.46
P211	0.88	0.60	0.34	0.80	0.79	0.44	0.08	0.52
P212	0.68	0.33	0.69	0.40	0.55	0.68	0.60	0.55
P213	0.96	0.38	0.34	0.46	0.62	0.77	0.46	0.53
P214	0.71	0.10	0.38	0.92	0.39	0.72	0.35	0.48
P215	0.70	0.40	0.64	0.91	0.77	0.95	0.54	0.67
P216	0.85	0.43	0.29	0.92	0.49	0.48	0.53	0.55
P217	0.34	0.51	0.11	0.45	0.07	0.28	0.43	0.33
P218	0.94	0.41	0.61	0.55	0.08	0.59	0.56	0.53
P219	0.32	0.05	0.44	0.35	0.13	0.74	0.39	0.34
P220	0.62	0.29	0.71	0.69	0.76	0.59	0.55	0.59

表 3 (续)

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D 值
P221	0.72	0.49	0.22	0.36	0.67	0.29	0.23	0.39
P222	0.92	0.35	0.46	0.98	0.33	0.85	0.39	0.58
P223	0.67	0.43	0.22	0.92	0.54	0.48	0.44	0.50
P224	0.62	0.51	0.12	0.86	0.71	0.33	0.24	0.45
P225	0.50	0.30	0.11	0.78	0.47	0.27	0.49	0.40
P226	1.00	0.60	0.47	0.83	0.74	0.78	0.79	0.72
P227	0.93	0.92	0.09	0.73	0.69	0.31	0.84	0.63
P228	0.60	0.70	0.01	0.75	0.33	0.18	0.90	0.51
P229	0.93	0.63	0.02	0.56	0.76	0.20	0.60	0.49
P231	0.95	0.55	0.13	0.74	0.62	0.33	0.55	0.52
P232	0.89	0.84	0.09	0.54	0.56	0.36	0.91	0.59
P233	0.49	0.51	0.19	0.64	0.52	0.32	0.64	0.47
P234	0.82	0.87	0.10	0.94	0.82	0.31	0.61	0.62
P235	0.67	0.63	0.44	0.78	0.57	0.74	0.65	0.63
P236	0.60	0.37	0.10	0.69	0.58	0.27	0.38	0.40
P237	0.77	0.71	0.45	0.70	0.77	0.83	0.49	0.65
P238	0.83	0.81	0.24	0.90	0.73	0.48	0.98	0.70
P239	0.66	0.76	0.15	0.76	0.52	0.40	0.29	0.49
P240	0.84	0.89	0.34	0.87	0.76	0.75	0.59	0.70
P241	0.90	0.78	0.18	0.86	0.68	0.28	0.53	0.58
P242	0.88	0.31	0.17	0.70	0.76	0.34	0.28	0.44
P243	0.60	0.36	0.03	0.95	0.71	0.25	0.32	0.43
P244	0.67	0.25	0.31	0.50	0.57	0.68	0.57	0.48
P246	0.29	0.83	0.13	1.00	0.79	0.34	0.29	0.51
P247	0.70	0.07	0.38	0.63	0.60	0.56	0.28	0.42
P248	0.69	0.83	0.03	0.48	0.32	0.22	0.31	0.40
P250	0.36	0.43	0.13	0.83	0.16	0.36	0.31	0.37
P251	0.47	0.36	0.17	0.63	0.45	0.47	0.29	0.39
P252	0.57	0.58	0.12	0.74	0.45	0.41	0.47	0.46
P253	0.79	0.45	0.24	0.86	0.62	0.57	0.42	0.53
P254	0.09	0.17	0.01	0.47	0.24	0.19	0.46	0.24
P256	0.93	0.55	0.08	0.93	0.66	0.25	0.42	0.51
P257	0.82	0.49	0.02	0.73	0.57	0.24	0.74	0.49
P258	0.68	0.54	0.02	0.60	0.67	0.19	0.99	0.52
P259	0.94	0.82	0.16	0.76	0.62	0.49	0.16	0.53
P260	0.57	0.35	0.14	0.59	0.66	0.29	0.54	0.42
P261	0.97	0.27	0.20	0.78	0.65	0.48	0.53	0.51
P264	0.70	0.62	0.31	0.95	0.64	0.38	0.70	0.61
P265	0.72	0.32	0.05	0.58	0.62	0.23	0.35	0.37

表 3 (续)

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D 值
P267	0.91	0.48	0.02	0.61	0.56	0.20	0.56	0.45
P268	0.89	0.42	0.04	0.94	0.31	0.22	0.78	0.50
P269	0.80	0.52	0.15	0.88	0.57	0.30	0.68	0.54
P270	0.83	0.63	0.06	0.99	0.37	0.27	0.18	0.45
P271	0.70	0.65	0.22	0.89	0.70	0.42	0.89	0.63
P272	0.76	0.59	0.12	0.50	0.68	0.30	0.89	0.54
P274	0.85	0.67	0.37	0.68	0.73	0.63	0.78	0.65
P275	0.97	0.28	0.30	0.77	0.53	0.48	0.52	0.51
P276	1.00	0.77	0.02	0.68	0.35	0.19	0.95	0.56
P277	0.69	0.57	0.73	0.82	0.56	0.98	0.11	0.61
P278	0.93	0.47	0.45	0.66	0.53	0.50	0.79	0.61
P279	0.76	0.05	0.44	0.85	0.53	0.37	0.27	0.44
P280	0.85	0.13	0.05	0.66	0.48	0.23	0.95	0.45
P281	0.94	0.30	0.16	0.95	0.44	0.44	0.66	0.53
P282	0.99	0.19	0.17	0.47	0.30	0.49	0.82	0.47
P283	0.83	0.33	0.33	0.86	0.83	0.74	0.71	0.62
P284	0.84	0.46	0.39	0.70	0.36	0.66	0.79	0.59
P285	0.80	0.50	0.09	0.98	0.79	0.34	0.85	0.60
P286	0.99	0.27	0.30	0.88	0.46	0.69	0.93	0.62
P287	0.83	0.89	0.47	0.74	0.77	0.75	0.83	0.75
P289	0.98	0.19	0.16	0.74	0.40	0.45	0.94	0.53
P290	0.91	0.14	0.41	0.00	0.70	0.81	0.68	0.48
P291	0.99	0.00	0.27	0.83	0.43	0.66	0.50	0.48
P292	0.67	0.35	0.24	0.95	0.87	0.36	0.85	0.59
P293	0.81	0.13	0.22	0.47	0.72	0.57	0.25	0.40
P294	0.79	0.30	0.10	0.95	0.67	0.32	0.83	0.54
P295	0.84	0.39	0.05	0.94	0.74	0.23	0.91	0.56
P296	0.95	0.31	0.12	0.88	0.69	0.39	0.77	0.55
P297	0.73	0.15	0.04	0.84	0.51	0.21	0.57	0.41
P298	0.87	0.89	0.36	0.55	0.52	0.71	0.62	0.64
P299	0.85	0.77	0.08	0.70	0.67	0.27	0.76	0.57
P300	0.77	0.00	0.08	0.67	0.66	0.34	0.97	0.47
P301	0.63	0.20	0.12	0.63	0.32	0.28	0.29	0.33
P302	0.91	0.02	0.04	0.92	0.72	0.29	0.86	0.49
P303	0.78	0.20	0.16	0.72	0.75	0.41	0.77	0.50
P304	0.76	0.17	0.29	0.83	0.58	0.46	0.55	0.49
P305	0.98	0.37	0.19	0.38	0.67	0.53	0.54	0.48
P306	0.81	0.58	0.06	0.78	0.56	0.29	0.25	0.44
P308	0.96	0.52	0.64	0.72	0.84	0.97	0.45	0.69

表3(续)

编号	叶绿素 SPAD 值	株高	根长	叶面积	叶片相对含水量	根冠比	干物质含量	D 值
P310	0.47	0.27	0.30	0.58	0.75	0.67	0.32	0.45
P311	0.88	0.00	0.31	0.85	0.59	0.38	0.82	0.52
P312	0.96	0.29	0.27	0.84	0.73	0.62	0.94	0.63
P313	0.99	0.57	0.04	0.53	0.79	0.22	0.96	0.56
P314	0.14	0.45	0.44	0.67	0.16	0.35	0.98	0.50
P315	0.89	0.71	0.59	0.45	1.01	0.55	0.32	0.61
P316	0.96	0.36	0.05	0.74	0.83	0.23	0.89	0.54

### 3 讨论

抗旱关键指标的确定是抗旱性评价的重要环节,本研究通过对 302 份大麦种质资源的苗期抗旱性评价,系统分析了干旱胁迫下 7 项生理生态指标的变化特征。结果表明,各指标对干旱胁迫的响应存在显著差异,其中根长与根冠比对水分亏缺最为敏感,这与徐银萍等的研究结论<sup>[11]</sup>高度一致,徐银萍等研究指出,根长是干旱胁迫下反应最敏感的指标,其次为根干质量、总干质量等指标。根系的快速伸长是植物“避旱”策略的重要体现,在干旱胁迫期间,植物会通过加快根系伸长生长来适应土壤水分亏缺<sup>[12]</sup>,根冠比的增大是植物在水分胁迫下将更多光合产物(生物量)优先分配给根系,以维持生理平衡的适应性调整<sup>[13]</sup>。

王秋兰等研究发现,苗期相对株高与叶面积相关性最大,说明其大小在一定程度上可以代表品种抗旱性的强弱,可作为鉴定玉米品种苗期抗旱能力的重要指标<sup>[14]</sup>。本研究中叶面积、干物质含量、株高、叶片相对含水量和叶绿素 SPAD 值等指标也表现出对干旱胁迫的显著响应,但敏感程度相对较低,因此单一指标作为大麦苗期抗旱性评价的可靠性较低。干旱胁迫是一个由多基因控制的复杂性状,涉及形态建成、生理代谢及分子调控等多个层面,单一指标评价往往难以全面反映品种的抗旱能力,甚至可能出现相互矛盾的结果<sup>[15-17]</sup>。因此,采用叶绿素含量(SPAD 值)、株高、根长、叶面积、叶片相对含水量、根冠比及干物质含量等多指标综合评价体系,能够从形态特征、生理响应及生物量分配等维度全面解析大麦种质的抗旱特性,提高评价的准确性和可靠性。

### 4 结论

本研究在分析各指标间内在关联的基础上,引入隶属函数法对原始数据进行标准化处理,将多项

指标的抗旱信息整合为抗旱综合评价 D 值,从而更加客观、准确地评估不同大麦品种的抗旱性强弱。研究筛选出强抗旱品种 16 个,分别为 P5、P240、P162、P74、P238、P87、P226、P144、P20、P29、P64、P287、P80、P95、P81、P114,这些抗旱种质的确定,可为后期种质资源利用提供明确的种源支撑。

### 参考文献:

- [1] 王彬,陈敏氢,林亮,等. 植物干旱胁迫的信号通路及相关转录因子研究进展[J]. 西北植物学报,2020,40(10):1792-1806.
- [2] 张建,池宝亮,黄学芳,等. 玉米萌芽期水分胁迫的抗旱性分析[J]. 山西农业科学,2007,35(2):34-38.
- [3] 赵佳佳,乔玲,武棒棒,等. 山西省小麦苗期根系性状及抗旱特性分析[J]. 作物学报,2021,47(4):714-727.
- [4] 张婷婷,薛帆,刘洋,等. 基于隶属函数法和主成分分析的小麦苗期抗旱性评价[J]. 种子,2025,44(11):179-187,196.
- [5] 汪军成,孟亚雄,徐先良,等. 大麦苗期抗旱性鉴定及评价[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(4):135-143.
- [6] 鞠乐,齐军仓,成禄艳,等. 大麦种子萌发期对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性评价[J]. 西南农业学报,2013,26(1):93-98.
- [7] 蒋花,王占红,张小燕. PEG 渗透胁迫下 3 份大麦材料幼苗叶片抗旱生理特性分析[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(5):100-105.
- [8] 周元成,陈爱萍,董双全,等. 壳聚糖包衣对不同大麦种子萌发及幼苗抗旱性的影响[J]. 山西农业科学,2015,43(2):142-145.
- [9] 鞠乐,齐军仓,贺雪,等. 大麦种子萌发期抗旱性鉴定指标的筛选及抗旱性评价[J]. 新疆农业科学,2016,53(11):2008-2014.
- [10] 兰巨生. 农作物综合抗旱性评价方法的研究[J]. 西北农业学报,1998,7(3):85-87.
- [11] 徐银萍,潘永东,张廷红,等. 30 份大麦种质资源的苗期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. 甘肃农业科技,2021,52(9):56-67.
- [12] 杨彪生,单立山,马静,等. 红砂幼苗生长及根系形态特

- 征对干旱-复水的响应[J]. 干旱区研究, 2021, 38(2): 469-478.
- [13] 单长卷, 杨文平, 张胜利. 土壤干旱对小麦 21 根、冠生长的影响[J]. 河南农业科学, 2009(2): 31-33.
- [14] 王秋兰, 靳鲲鹏, 刘永忠, 等. 玉米苗期抗旱性鉴定指标及综合评价[J]. 山西农业科学, 2019, 47(3): 319-322, 365.
- [15] 陈雷, 张枫叶, 贺群岭, 等. 基于隶属函数法和主成分分析评价花生品种花针期抗旱性[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(14): 87-94.
- [16] 彭民贵, 张继, 陈学林, 等. 聚乙二醇模拟干旱胁迫下紫斑牡丹的抗旱性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(4): 179-186.
- [17] 景蕊莲. 作物抗旱节水研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 1-5.

## Evaluation of Drought Resistance in Barley Germplasm Resources at Seedling Stage

Ma Yu<sup>1</sup>, Lyu Ersuo<sup>1</sup>, Li Tao<sup>1</sup>, Ba Tu<sup>1</sup>, Qu Jiahui<sup>1</sup>, Ge Mingran<sup>1</sup>, Wu Ruochen<sup>1</sup>, Li Jianbo<sup>2</sup>, Xu Guangxiang<sup>3</sup>, Liu Zhiping<sup>1</sup>

(1. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China; 2. Inner Mongolia Minzu University, Tongliao 028043, China; 3. Bayannur Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Linhe 015000, China)

**Abstract:** Drought is a significant abiotic stress factor affecting the growth and development of barley. As a critical stage in barley growth, drought stress at the seedling stage directly impacts later growth. This paper utilized 302 cultivated barley varieties as materials, identifying drought resistance at the seedling stage, clarifying drought resistance indicators, and screening germplasm resources with excellent comprehensive drought resistance performance. The results indicate that root length, root-shoot ratio, leaf area, dry matter content, plant height, relative leaf water content and chlorophyll content can all serve as drought resistance evaluation indicators for barley seedlings. Among these, root length has high reliability as a single indicator for assessing drought resistance at seedling stage. Through comprehensive drought resistance evaluation, 16 highly drought-resistant varieties were selected, including P5, P240, P162, P74, P238, P87, P226, P144, P20, P29, P64, P287, P80, P95, P81 and P114.

**Key Words:** Barley; Seedling stage; Drought resistance; Membership function

## 欢迎订阅 2026 年《大麦与谷类科学》

《大麦与谷类科学》是《中国期刊全文数据库》《中文科技期刊数据库》《中国核心期刊(遴选)数据库》全文收录期刊、超星域出版平台全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、国家科技学术期刊开放平台全文收录期刊、原国家新闻出版广电总局首次认定 A 类学术期刊。江苏省一级期刊、2017 年度江苏省精品科技期刊, CACJ 中国应用型扩展期刊(2023、2025 版), OA 开放获取典范期刊(维普资讯)。

《大麦与谷类科学》由江苏省农业科学院主管、江苏沿海地区农业科学研究所主办, 是中国作物学会大麦专业委员会与江苏省农学会学术性期刊, 内容具有创新性、应用性、系统性、导向性, 主要报道大麦、小麦、水稻、玉米、高粱、谷子等谷类作物的研究动态和科研成果, 内设栏目有: 综述与报告(专家视点)、生理与生态、栽培与育种、土肥与植保、贮藏与加工、资源与环境、种业创新、现代大农业、乡村振兴、简讯与信息、人物介绍等。主要作者与读者为从事农业科研与农技推广的科技人员、农业企业经营管理人员、农业大中专院校师生等。

本刊为双月刊, 大 16 开本。国内外公开发行, 中国标准连续出版物号 CN32-1769/S、ISSN 1673-6486。国内每期定价 15.00 元, 全年 6 期共 90.00 元, 自办发行。

欢迎赐稿, 欢迎订阅。可随时直接与本编辑部联系。

电 话: 0515-88330625

电子信箱: damkx@163.com

邮局汇款: 《大麦与谷类科学》杂志编辑部

银行汇款: 江苏沿海地区农业科学研究所

账 号: 10-400901040004637

网 址: <http://dmkx.cbpt.cnki.net>

邮 编: 224002

地 址: 江苏省盐城市开放大道北路 9 号

开户行: 盐城市农行建中支行

用 途: 订阅费或编审费

李欣,于泽涛,张富国,等. 敖汉旗 35 份谷子品种筛选和综合评价[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2):26–32,45 (2026–03–26). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.02.003.

## 敖汉旗 35 份谷子品种筛选和综合评价

李欣<sup>1</sup>,于泽涛<sup>1</sup>,张富国<sup>1</sup>,冯彬<sup>1</sup>,洪钟<sup>1</sup>,李菲<sup>1</sup>,赵铁锋<sup>1</sup>,李海东<sup>1</sup>,闫立伟<sup>1</sup>,李小平<sup>1</sup>,张葳葳<sup>1</sup>,黄硕<sup>1</sup>,周泽艳<sup>1</sup>,胡舒凯<sup>1</sup>,徐振兴<sup>1</sup>,赵利<sup>1</sup>,侯长江<sup>1</sup>,张小明<sup>2</sup>,李超<sup>3</sup>,周璇<sup>4</sup>,杨思敏<sup>4</sup>,融晓萍<sup>4</sup>

(1. 赤峰市农牧技术推广中心,内蒙古赤峰 024000; 2. 呼和浩特市农牧技术推广中心,内蒙古呼和浩特 010010;

3. 威海海洋职业学院,山东威海 264300; 4. 内蒙古自治区农牧业技术推广中心,内蒙古呼和浩特 010010)

**摘要:**为研究不同谷子品种的农艺性状特性和差异、主要农艺性状与产量的关系,筛选优质高产的谷子品种,对敖汉旗种植的 35 个谷子品种进行方差分析、相关性分析及主成分分析。相关性分析结果显示,谷子产量与单穗粒质量呈显著正相关,相关系数为 0.426;穗长与茎长呈极显著正相关,相关系数为 0.489;株高与穗粗呈显著正相关,相关系数为 0.376;单穗粒质量与穗长呈显著正相关,相关系数为 0.362;说明生长因子与产量形成因子关系紧密,共同决定产量的形成。主成分分析显示,主成分主要集中在前两个主成分,累计贡献率为 83.09%。经综合评价可知,蒙红谷 2 号、金苗 k7、金苗 k4、金苗 k8、赤谷 k6、张杂谷 29、雷谷 GK33 可作为综合性状优良、产量较高的品种在敖汉旗推广种植。

**关键词:**谷子; 高产; 优良; 相关分析; 主成分分析

**中图分类号:**S515

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673–6486–20250117

谷子[*Setaria italica*(L.) Beauv.]为一年生旱地作物,已有近万年栽培和驯化历史<sup>[1–2]</sup>,促进了农业种植结构和饮食的发展。谷子具有抗旱抗逆性,在农业可持续发展中发挥不可替代的作用。谷子脱壳后为小米,小米因具有丰富的亚油酸、不饱和脂肪酸、粗纤维、必需氨基酸等,对心血管保健、抗疲劳、降血糖和膳食调整具有促进作用,被广泛应用于粗粮和食品市场<sup>[3–4]</sup>。谷子庞大的根系可增加土壤的通透性、保水性,增强土壤稳定性<sup>[5]</sup>。谷子主要集中在华北、西北旱作区和东北地区种植<sup>[6]</sup>。赤峰因具有气候优势,作为谷子主要生产地区,属地敖汉旗商品小米行销全国各地,广受青睐。因此,谷子品种的筛选、产量提升的基础研究等,对敖汉旗优质谷子品种的选择种植具有十分重要的意义。

本文以 35 个当地和引进的谷子品种为试验材料,运用方差分析法分析不同品种的主要农艺性状和产量性状差异,以相关性分析法分析产量相关因子与各性状因子间的关系,通过主成分分析法综合评价各品种性状,筛选适合敖汉旗推广种植的谷子品种,并为谷子品种性状与产量关系、谷子的高产

高效栽培提供理论依据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 试验地概况

2025 年 5 月 10 日,在赤峰市敖汉旗试验点将 35 个谷子品种材料播种,土壤以砂质壤土、山坡旱地为主,土壤保水保肥能力适中,采取半膜覆盖方式,底肥选用复合肥,总养分(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 质量分数均为 17%)≥45%,施用量为 30 kg/667 m<sup>2</sup>,有机肥 20 kg/667 m<sup>2</sup>,生物菌肥(有效活菌数≥2.5 亿/g,有机质质量分数≥20%,活性氨基酸质量分数≥7.5%,腐植酸钾质量分数≥30%)7.5 kg/667 m<sup>2</sup>。播种后滴出苗水。

#### 1.2 试验设计与方法

采用完全随机设计,设 3 次重复,每个处理(小区)占地 200 m<sup>2</sup>,地势平坦,大垄行距 60 cm、小垄行距 40 cm。试验统一使用国标 0.010 mm 地膜,常规覆膜地膜幅宽 75 cm。田间管理结合中耕 1 次,根据水分需求,分别于抽穗期、灌浆期、成熟期灌水 3 次。拔节—孕穗期、灌浆期、成熟期分别施用复合肥 10 kg/667 m<sup>2</sup> 配合叶面喷施磷酸二氢钾 60 g/667 m<sup>2</sup>。穗期、灌浆期叶面喷施磷酸二氢钾复合微量元素肥

收稿日期:2025–11–22;修回日期:2026–03–05。

作者简介:李欣(1987—),女,硕士,农艺师,主要从事大田作物栽培技术研究。Email: 670616164@qq.com。

1 000 ~ 1 300 倍液 0.02 L/667 m<sup>2</sup>, 对水 15 L 分别喷施 2、3 次。全生育期根据降雨时期和气候变化, 灌浆前后叶面喷施 20% 的春雷霉素·稻瘟灵 600 ~ 800 倍液 0.1 L/667 m<sup>2</sup> (对水 60 ~ 70 L) 和四氯虫酰胺 1 500 ~ 2 000 倍液 0.04 ~ 0.05 L/667 m<sup>2</sup> (对水 50 ~ 60 L), 喷施 1 ~ 2 次防治谷瘟病、粟叶甲等主要病虫害。2025 年 9 月 30 日, 收获前在每个处理小区, 选取中间段 15 株 (取主茎株) 实收测产, 分别记录不同品种的主要农艺性状, 取平均值<sup>[7-8]</sup>。

1.3 测试指标和方法

植株高 (cm): 谷子成熟后测量分蘖节至谷穗顶端的长度。

茎长 (cm): 谷子成熟后测量分蘖节至主茎穗基部的长度。

穗长 (cm): 谷子成熟后用直尺测量主茎穗从基部第一码到尖端的长度。

穗粗 (cm): 用游标卡尺测量主茎穗最粗处的直径。

穗数: 收获前在每个处理 (小区) 选取 3 个代表性样点 (≥ 2 m<sup>2</sup>), 调查每个样点的成穗数, 再据此计

算 667 m<sup>2</sup> 的成穗数。

单穗粒质量 (g): 谷子成熟后在每个处理 (小区) 选取 10 个代表性植株 (整株取样) 主茎穗脱粒, 称取其总质量。

产量 (g): 谷子成熟后在每个处理 (小区) 随机选取 15 个代表性谷穗, 在室内风干后脱粒称质量, 最后折算 667 m<sup>2</sup> 的谷子产量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据整理, 运用 SPSS 27.0 进行数据分析、方差分析、相关性分析和主成分分析<sup>[9-10]</sup>。结果差异以  $P < 0.05$  为具统计学意义。

2 结果与分析

2.1 不同谷子品种各性状指标的差异性分析

由表 1 可知, 各农艺性状的方差均在 0.01 水平上表现出高度统计学意义。可见, 各谷子品种之间表现差异明显, 可进行下一步的各农艺性状间差异性分析。

表 1 各谷子品种农艺性状的方差分析

性状	组间	平方和	df	均方	F	显著性 (P 值)
株高	105	21 457.051	34	631.090	30.252	0
穗长	105	1 077.861	34	31.702	6.498	0
穗粗	105	14.221	34	0.418	3.084	0
茎长	105	2 005.498	34	58.985	17.721	0
穗数	105	166.359	34	4.893	60.569	0
单穗粒质量	105	901.878	34	26.526	43.211	0
产量	105	557 368.366	34	16 393.187	176.079	0

由表 2 可以看出, 各性状指标之间差异明显。株高是谷子主要农艺性状之一, 是谷子长势和前期营养生长以及与生育期有影响关系的指标, 对谷子生长发育起主要作用。株高在 123.67 ~ 177.83 cm, 中谷 32 株高最高, 与金苗 k8、赤金谷 16、中杂谷 90、张杂谷 10、中谷 303、蒙谷 2 号、蒙红谷 2 号差异无统计学意义, 与其他品种间的差异具统计学意义。穗长在 16.43 ~ 29.30 cm, 其中: 蒙红谷 2 号为 29.30 cm, 与张杂谷 27、张杂谷 29、九谷 45、金苗

k7、金苗 k8、赤金谷 16、WZG2023、嫩选 19、中谷 19、中谷 32、蒙谷 4 号、金苗 k7 差异无统计学意义, 与其他谷子品种间的差异具统计学意义。穗粗范围在 2.67 ~ 4.37 cm, 中谷 32 的穗粗为最大值, 与金苗棒棒、中谷 19 差异无统计学意义, 与其他品种差异具统计学意义。茎长在 16.70 ~ 30.83 cm, 金苗 k11 与中谷 19、蒙红谷 2 号、赤金谷 16、通谷 1 号、金苗 k8 和 WZG2023 差异无统计学意义, 但与其他品种茎长间的差异具统计学意义。

表2 2024年敖汉旗谷子试验品种不同性状差异性分析

品种	株高/cm	穗长/cm	穗粗/cm	茎长/cm	穗数/ (万个/667 m <sup>2</sup> )	单穗粒质量/g	折水14%产量/ (kg/667 m <sup>2</sup> )
赤谷 k6	123.67 ± 5.69 l	19.63 ± 1.34 hijk	3.53 ± 0.55 bcde	21.03 ± 1.01 ghi	3.73 ± 0.21 mno	16.93 ± 1.78 a	598.97 ± 12.41 b
赤金谷 16	172.23 ± 6.29 abcd	28.90 ± 1.06 ab	3.57 ± 0.49 bcd	29.03 ± 1.00 abc	3.26 ± 0.55 op	16.68 ± 1.45 a	545.14 ± 19.29 d
金苗 k11	137.53 ± 3.17 k	23.00 ± 3.48 cdefgh	2.70 ± 0.10 f	30.83 ± 1.30 a	3.40 ± 0.17 nop	13.20 ± 0.68 de	445.43 ± 9.56 j
金苗 k12	142.20 ± 6.65 ijk	22.93 ± 2.94 cdefgh	2.80 ± 0.26 ef	22.50 ± 3.92 fgh	5.03 ± 0.12 hi	8.40 ± 0.45 lm	429.10 ± 14.46 jk
请赤金谷 29	150.50 ± 0.36 fghi	17.73 ± 3.07 jk	3.40 ± 0.36 cdef	19.33 ± 1.15 ghijk	5.78 ± 0.35 efg	7.43 ± 0.49 mn	421.01 ± 2.82 kl
WZG2023	153.90 ± 3.25 fgh	26.20 ± 2.84 abcd	3.10 ± 0.20 cdef	27.97 ± 0.76 abcde	4.50 ± 0.35 ijkl	12.03 ± 1.63 efgh	537.34 ± 7.32 def
通谷 1号	158.57 ± 9.70 ef	23.17 ± 2.55 cdefgh	3.20 ± 0.26 cdef	28.67 ± 1.99 abc	4.97 ± 0.21 hij	10.77 ± 0.78 ghij	540.75 ± 8.71 de
嫩选 20	146.73 ± 4.46 hij	23.10 ± 1.80 cdefgh	3.10 ± 0.20 cdef	21.30 ± 2.02 ghi	6.13 ± 0.31 de	8.00 ± 0.26 lm	496.79 ± 17.54 i
嫩选 19	168.93 ± 6.00 bcd	25.27 ± 1.19 abcdef	2.93 ± 0.12 def	24.90 ± 0.56 ef	5.30 ± 0.27 gh	8.03 ± 0.13 lm	433.33 ± 8.50 jk
九谷 45	153.90 ± 3.25 fgh	25.97 ± 0.32 abcde	3.27 ± 0.25 cdef	17.00 ± 1.61 jk	3.50 ± 0.10 nop	12.20 ± 0.40 defg	430.48 ± 4.44 jk
金苗 k8	175.03 ± 4.90 abc	25.97 ± 0.32 abcde	3.53 ± 0.55 bcde	28.33 ± 1.25 abcde	4.71 ± 0.40 ijk	12.64 ± 0.65 def	583.70 ± 10.71 bc
冀杂金苗 5号	158.80 ± 4.77 ef	16.60 ± 2.85 k	3.53 ± 0.46 bcde	21.47 ± 2.22 ghi	5.64 ± 0.43 efg	10.66 ± 0.67 hijk	597.64 ± 5.86 b
冀杂金苗 3号	158.90 ± 5.48 ef	22.50 ± 0.44 cdefghi	3.37 ± 0.31 cdef	17.00 ± 1.61 jk	6.13 ± 0.11 de	10.16 ± 0.83 jk	589.72 ± 9.76 bc
朝谷 26	158.30 ± 2.01 ef	19.43 ± 1.07 hijk	3.00 ± 0.20 def	18.37 ± 0.85 ijk	4.85 ± 0.35 hij	11.72 ± 0.41 fghi	583.83 ± 4.89 bc
朝杂谷 2	147.50 ± 1.51 ghij	18.67 ± 1.17 ijk	3.30 ± 0.20 cdef	17.23 ± 2.87 jk	6.94 ± 0.25 b	7.47 ± 0.47 mn	517.67 ± 4.51 gh
雷谷 GK33	142.20 ± 8.05 ijk	22.37 ± 2.01 defghi	3.33 ± 0.29 cdef	18.37 ± 0.85 ijk	4.69 ± 0.34 ijk	13.32 ± 1.71 de	616.47 ± 7.67a
金苗棒棒	164.37 ± 3.66 de	21.10 ± 0.90 fghij	3.77 ± 0.25 abc	18.67 ± 0.46 ijk	4.09 ± 0.12 lm	15.12 ± 0.34 c	592.33 ± 15.28 bc
张杂谷 10	169.30 ± 1.01 abcd	23.17 ± 2.55 cdefgh	3.57 ± 0.49 bcd	20.30 ± 1.61 ghij	6.77 ± 0.42 bc	7.40 ± 0.20 mn	502.67 ± 6.43 hi
张杂谷 13	123.83 ± 2.08 l	16.43 ± 2.64 k	2.67 ± 0.29 f	16.70 ± 1.97 k	8.26 ± 0.06 a	7.60 ± 0.43 mn	599.00 ± 8.19 b
张杂谷 27	140.13 ± 6.62 jk	25.83 ± 1.93 abcde	3.53 ± 0.46 bcde	16.70 ± 1.97 k	4.19 ± 0.17 klm	13.02 ± 0.24 def	544.33 ± 12.10 d
张杂谷 29	150.20 ± 3.58 fghi	26.83 ± 2.83 abc	3.5 ± 0.30 cde	18.97 ± 1.16hij	5.97 ± 0.21 def	10.55 ± 1.27 hijk	590.80 ± 12.56 bc
中杂谷 90	172.70 ± 3.95 abcd	23.53 ± 3.03 cdefgh	3.27 ± 0.64 cdef	20.57 ± 1.46 ghij	4.85 ± 0.27 hij	11.90 ± 0.79 efgh	585.20 ± 7.89 bc
中谷 19	168.00 ± 2.61 bcd	25.30 ± 0.89 abcdef	4.23 ± 0.51 ab	30.33 ± 0.74 ab	4.70 ± 0.17 ijk	10.29 ± 0.61 ijk	417.67 ± 2.52 kl
冀杂金苗 6号	168.10 ± 1.93 bcd	23.27 ± 3.27 cdefgh	3.50 ± 0.26 cde	25.03 ± 4.92 def	3.44 ± 0.49 nop	16.50 ± 0.53 ab	578.33 ± 6.51 c
中谷 29	166.50 ± 1.57 cde	20.80 ± 2.99 ghij	2.93 ± 0.12 def	19.70 ± 0.56 ghijk	5.60 ± 0.25 fg	11.00 ± 1.00 ghij	588.00 ± 8.19 bc
中谷 30	165.00 ± 5.00 de	21.77 ± 1.56 defghij	3.00 ± 0 def	19.23 ± 0.71 ghijk	4.47 ± 0.25 jkl	13.50 ± 0.66 d	587.33 ± 8.33 bc
中谷 32	177.83 ± 2.37 a	26.13 ± 1.15 abcd	4.37 ± 0.21 a	21.10 ± 1.41 ghi	3.07 ± 0.15 p	12.00 ± 0.72 efgh	380.00 ± 12.00 n
中谷 33	134.07 ± 3.90 k	24.83 ± 3.09 bcdef	2.97 ± 0.15 def	19.23 ± 2.22 ghijk	6.89 ± 0.20 b	7.70 ± 0.20 mn	524.67 ± 11.02 efg
中谷 303	175.40 ± 4.55 ab	17.97 ± 2.04 jk	3.07 ± 0.49 cdef	18.73 ± 1.46 ijk	6.33 ± 0.15 cd	6.29 ± 0.20 n	397.00 ± 9.85 m
蒙谷 2号	172.67 ± 2.82 abcd	23.40 ± 1.04 cdefgh	3.30 ± 0.44 cdef	21.43 ± 2.70 ghi	4.01 ± 0.24 lm	10.27 ± 0.71 ijk	410.67 ± 11.59 lm
蒙谷 4号	153.27 ± 2.90 fgh	25.80 ± 4.27 abcde	2.93 ± 0.12 def	22.63 ± 1.17 fg	6.80 ± 0.30 bc	7.68 ± 0.29 mn	521.00 ± 3.61 fg
蒙红谷 2号	169.53 ± 3.23 abcd	29.30 ± 1.65 a	3.53 ± 0.46 bcde	29.87 ± 0.35 ab	3.88 ± 0.30 mn	15.34 ± 0.81 bc	587.00 ± 6.56 bc
金苗 k1	151.13 ± 5.32 fgh	21.67 ± 1.01 efghij	3.53 ± 0.46 bcde	25.80 ± 1.25 cdef	6.72 ± 0.40 bc	9.26 ± 0.36 kl	596.00 ± 8.00 bc
金苗 k4	141.37 ± 6.83 jk	23.53 ± 2.68 cdefgh	3.63 ± 0.71 bcd	27.27 ± 0.15 bcde	5.87 ± 0.21 def	10.61 ± 0.45 hijk	597.67 ± 4.51 b
金苗 k7	155.47 ± 3.56 fg	26.13 ± 0.25 abcd	3.27 ± 0.31 cdef	25.27 ± 2.59 def	4.09 ± 0.24 lm	15.04 ± 0.23 c	599.67 ± 4.16 b
标准差	14.5	3.25	0.37	4.43	1.28	2.97	73.92
变异系数(CV)/%	9.28	14.08	11.14	19.86	25.1	26.61	13.93

注: Duncan 多重比较后, 同列数据后不同小写字母代表差异具有统计学意义(P < 0.05)。

对产量相关组成因子进行考察(表2),单穗粒质量是重要的谷子产量相关因子,单穗粒质量越大,产量会相应地增高;单穗粒质量在6.29~16.93 g,且赤谷k6与赤金谷16、冀杂金苗6号差异无统计学意义,但与其他品种间的差异具统计学意义。穗数在3.06万~8.26万个/667 m<sup>2</sup>,张杂谷13种植密度最大,与其他品种间的差异均具统计学意义。产量在380.00~616.47 kg/667 m<sup>2</sup>,雷谷GK33为616.47 kg/667 m<sup>2</sup>,与其他品种间的差异均具统计学意义。因此,在所有谷子品种中,长势较强的谷子品种为中谷32、赤金谷16、金苗k8、蒙红谷2号、中杂谷90和张杂谷10;而产量较高的谷子品种为雷谷GK33、金苗K7、赤谷k6、金苗k4、金苗棒棒、冀杂金苗5号、冀杂金苗3号、金苗k1和张杂谷29。可加大种植密度的谷子品种为张杂谷13、金苗k1、中谷33、朝杂谷2。

通过各品种的变异系数(表2)可知,不同品种的各性状变异系数范围为9.28%~26.61%。变异系数大小为单穗粒质量>穗数>穗茎长>谷穗长>产量>谷穗粗>株高。由综合结果可以看出,株高变异系数较小,说明各品种间株高数据离散程度较小,性状变化较小较稳定,适应性较好,较少受外界因素而改变;而单穗粒质量变异系数较高,说明品种资源产量多样性丰富,不同品种产量差异较大,生产上可选品种跨度较大。

## 2.2 不同谷子品种的相关性分析

如表3所示,谷子不同性状间的相关系数差异明显。其中,产量与单穗粒质量呈显著正相关,说明随着产量相关因子单穗粒质量的增加,产量也会随之提高。因此,在提高谷子产量时,在田间栽培管理

后期,可以从提高单穗粒质量来增加谷子产量。此外,单穗粒质量与穗长呈显著正相关,作为共同构成产量的主要产量因子,说明单穗越长,单穗粒质量越高;穗长与茎长呈极显著正相关,株高与穗粗呈显著正相关,说明茎长越长、株高越高,穗长越大、穗越粗。谷子的营养生长与干物质积累,直接影响穗的发育和最终产量的形成,因此,植株前期的长势十分重要。穗数与穗粗和茎长呈显著负相关,与穗长和单穗粒质量呈极显著负相关,说明随着种植密度的增加,穗粗、茎长、穗长、单穗粒质量都会随之降低。因此,在谷子栽培中,可根据谷子品种的自身特性和群体最佳生长势,确定符合最高产量的谷子种植密度。

以35个品种的6个性状和产量作为1个灰色系统,设产量为参考序列,株高、穗长、穗粗、茎长、穗数、单穗粒质量为比较数列,原始数据采用均值化、无量纲化处理,各农艺性状与产量的关联度和排序如表4。由表4可看出,6个农艺性状与谷子产量的关联度大小顺序为:单穗粒质量(0.896)>穗长(0.873)>穗粗(0.851)>穗数(0.835)>株高(0.798)>茎长(0.762)。其中单穗粒质量、穗长、穗粗与产量的关联度均大于0.8,关联性较强。可见,单穗粒质量作为产量形成的关键因子,直接反映籽粒充实度,是影响谷子产量的首要因素;穗长、穗粗、穗数也可作为在生产中提高产量的关键因素,与相关性分析结果类似。

综上,谷子各性状之间具有相互促进和制约的作用,生长因子之间、产量因子之间、生长因子与产量因子之间相互影响,协同生长构成一个有机整体。

表3 敖汉旗谷子试验品种各性状相关性分析

性状	植株高	谷穗长	谷穗粗	穗茎长	穗数	单穗粒质量	产量
株高	1						
穗长	0.294	1					
穗粗	0.376*	0.268	1				
茎长	0.226	0.489**	0.168	1			
穗数	-0.316	-0.461**	-0.350*	-0.358*	1		
单穗粒质量	0.108	0.362*	0.317	0.306	-0.813**	1	
产量	-0.230	-0.077	-0.048	-0.052	0.130	0.426*	1

注:\*表示在0.05水平(双侧)显著相关;\*\*表示在0.01水平(双侧)极显著相关。

表4 敖汉旗谷子产量及各性状的关联度及排序

性状	关联度	排序
单穗粒质量	0.896	1
穗长	0.873	2
穗粗	0.851	3
穗数	0.835	4
株高	0.798	5
茎长	0.762	6

2.3 不同谷子品种的主成分分析

不同的谷子品种在其生育期、产量和农艺性状上存在着诸多差异,科学评价不同品种(系)的优劣是筛选适宜品种的关键。为了精准且全面地评价谷子种质资源的农艺特性,本试验采用主成分分析法,对35份谷子材料的7个农艺性状进行综合评估。结果如表5所示,在所有的主成分中,前两个主成分特征值大于1,可反映所测指标的大部分信息,累计贡献率达83.09%,其中,第一主成分的贡献率为50.12%,单穗粒质量、穗长、穗数的载荷值较大,反映产量相关性状信息,单穗粒质量和穗长载荷为正值,穗数为负值,说明产量相关因子单穗粒质量、穗长与穗数的作用相反;第二主成分的贡献率为32.97%,产量和株高的载荷值较大,反映产量和生长信息。其他成分信息分别为茎长和穗粗,贡献率分别为6.02%和3.98%,各成分与具体指标间存在紧密联系。

表5 主成分初始载荷矩阵和方差贡献率

性状	第一主成分(PC1)	第二主成分(PC2)
穗数	-0.512	0.489
单穗粒质量	0.458	-0.112
穗长	0.426	-0.084
茎长	0.367	-0.138
穗粗	0.343	-0.166
产量	-0.005	0.723
株高	0.306	-0.438
特征值	2.763	1.867
方差百分比 /%	50.12	32.97
累计贡献率 /%	50.12	83.09

将原始数据标准化,得到标准化序列穗数、单穗粒质量、穗长、茎长、穗粗、产量、株高,标记为 $X_1$ — $X_7$ ,

根据系数得分矩阵,可得出35份谷子材料农艺性状主要成分 $Y_1$ 、 $Y_2$ 的得分,线性方程得分公式: $Y_1 = -0.512 X_1 + 0.458 X_2 + 0.426 X_3 + 0.367 X_4 + 0.343 X_5 - 0.005 X_6 + 0.306 X_7$ ;  $Y_2 = 0.489 X_1 - 0.112 X_2 - 0.084 X_3 - 0.138 X_4 - 0.166 X_5 + 0.723 X_6 - 0.438 X_7$ ,利用公式 $Y = 0.6599 Y_1 + 0.3401 Y_2$ 可计算出35个谷子品种主要性状的最终得分(表6),从而可筛选出综合性状表现较好的品种材料。

通过计算主成分综合得分可以看出,蒙红谷2号最高,为1.27;赤金谷16、金苗k4、中谷19、金苗k7、金苗k8、赤谷k6、张杂谷27、张杂谷29、WZG2023得分较高,排名靠前;得分最低的品种为中谷303,得分为-1.88;结合品种产量性状,赤谷k6、金苗k8、冀杂金苗5号、冀杂金苗3号、朝谷26、雷谷gk33、金苗棒棒、张杂谷13、张杂谷29、中杂谷90为产量较高的品种。综合得分和产量性状,蒙红谷2号、金苗k7、金苗k4、金苗k8、赤谷k6、张杂谷29、雷谷GK33为综合性状优良且高产的品种,可在敖汉旗推广种植;中杂谷90、张杂谷13、冀杂金苗5号、冀杂金苗3号、金苗棒棒作为产量较高的品种,可作为储备品种,为后续品种试验研究、增加当地品种选择多样性奠定基础。

3 讨论与结论

谷子籽粒产量是多因素综合作用的结果,与植株形态和产量相关因子密切相关,通过良种选配和改善栽培措施可提高谷子产量。前人研究表明,产量与单穗质量、单穗粒质量、茎粗呈正相关,单穗质量和穗粒质量与产量相关性较高<sup>[11-13]</sup>,该研究得出产量与单穗粒质量呈显著正相关,与前人研究结果类似。主成分分析中,李振姣等将谷子的多个农艺性状影响指标归为5个主要主成分,第一主成分主要信息为单穗质量和单穗粒质量<sup>[14-15]</sup>;孙影等将9个变量指标提取为4个主成分因子,累计贡献率为89.793%,其中第一主成分为单穗质量、单穗粒质量、出谷率和产量<sup>[13]</sup>,本试验提取两个主成分概括主要遗传信息,单穗粒质量和穗长与第一主成分相关系数较高,与前人研究成果<sup>[13-15]</sup>基本一致。作物的营养生长是生殖生长的基础,因此,对谷子的高产高效栽培,除选用良种外,还要通过优化栽培模式、集成配套技术来协调植株高度、茎秆直径、群体数量、穗茎长度等指标来实现。

表6 不同谷子品种主成分分析的因子得分和综合得分

品种	主成分因子得分		综合得分(Y)	排名
	$Y_1$	$Y_2$		
赤谷 k6	0.70	0.76	0.72	7
赤金谷 16	0.65	2.04	1.12	2
金苗 k11	-0.17	1.30	0.33	13
金苗 k12	-0.54	0.14	-0.31	23
赤金谷 29	-0.97	-1.07	-1.01	34
WZG2023	0.60	0.67	0.63	9
通谷 1号	0.33	-0.23	0.14	18
嫩选 20	0.14	-0.54	-0.09	20
嫩选 19	-0.71	0.12	-0.43	26
九谷 45	-0.86	1.58	-0.03	19
金苗 k8	0.59	0.24	0.47	10
冀杂金苗 5号	-0.41	-1.62	-0.82	31
冀杂金苗 3号	-0.04	-0.72	-0.27	22
朝谷 26	-1.13	-0.54	-0.93	33
朝杂谷 2	-0.31	-1.54	-0.73	29
雷谷 GK33	0.32	0.10	0.25	14
金苗棒棒	-0.38	0.30	-0.15	21
张杂谷 10	0	-1.03	-0.35	24
张杂谷 13	0.13	-2.14	-0.64	28
张杂谷 27	0.54	1.01	0.70	8
张杂谷 29	1.15	0	0.76	6
中杂谷 90	-0.57	-0.09	-0.41	25
中谷 19	1.03	0.34	0.79	4
冀杂金苗 6号	-0.22	1.05	0.21	15
中谷 29	-0.97	-0.67	-0.87	32
中谷 30	-1.06	0.21	-0.63	27
中谷 32	-0.41	1.36	0.19	16
中谷 33	0.83	-0.45	0.39	11
中谷 303	-2.20	-1.26	-1.88	35
蒙谷 2号	-1.42	0.59	-0.74	30
蒙谷 4号	0.49	-0.44	0.18	17
蒙红谷 2号	1.17	1.47	1.27	1
金苗 k1	1.22	-1.34	0.35	12
金苗 k4	1.84	-0.66	0.99	3
金苗 k7	0.65	1.07	0.79	5

从作物生物学特性着手,根据群体的自动调节作用,促进影响产量主导要素向着有利于高产高效方向转化,这是育种和栽培专家的首要目标,这对于种植农户科学、高产、高效种植同样重要。本研究发现,单穗粒质量、茎长、穗数等指标变异系数都在20%左右,变异系数较大,变异较丰富,为通过开展良种选配和改良栽培技术提供了进一步研究的可能性。相关性分析显示,单个植株不同生长因子之间、不同产量因子之间、生长因子与产量因子之间以及作物群体与个体之间,均存在相互促进或相互制约的关系,最终形成有机整体并表现出特定的植株形态和产量表现,而提高单穗粒质量是实现谷子高产栽培的关键;由于产量与穗数呈极显著负相关,说明合理增加种植密度可以保证谷子高产高效栽培的实现,但在保证群体数量的同时还要保证个体质量,以适宜密度为基础,注重优化管理模式、配套高效措施,通过提升个体质量有效增加籽粒产量。

本研究利用主成分分析法对不同谷子品种主要农艺性状参数进行分析,研究表明,蒙红谷2号、金苗k7、金苗k4、金苗k8、赤谷k6、张杂谷29、雷谷GK33作为综合得分较高且产量较高的品种可进行推广种植;中杂谷90、张杂谷13、冀杂金苗5号、冀杂金苗3号、金苗棒棒作为产量突出的品种,可进一步进行产量稳定性测试以及作为可种植推广的储备品种。但是,对大面积种植的品种,除考虑产量以及生长因子指标外,还要考虑谷子的其他重要指标如抗倒伏性<sup>[16-18]</sup>、抗病性<sup>[19]</sup>、耐旱性,这对谷子的生长与产量的影响以及可推广性也具有十分重要的意义。另不同品种对地域、气候的敏感性和适应性不同,本研究只测定敖汉旗试验点当年种植数据,故对于生产实践中品种种植推广还具有一定的局限性。今后还须进一步对参试品种于不同地点、不同年份多年种植,综合考虑产量及重要性状表现,进而筛选出适宜当地稳定种植推广的品种。

#### 参考文献:

- [1] Yang X Y, Wan Z W, Perry L, et al. Early millet use in northern China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(10):3726-3730.
- [2] 赵美承,刁现民. 谷子近缘野生种的亲缘关系及其利用研究[J]. 作物学报, 2022, 48(2):267-279.
- [3] Mahajan P, Bera M B, Panesar P S, et al. Millet starch: a review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 180(3):61-79.
- [4] 罗世武,李凯,来幸樑,等. 宁夏扬黄灌区谷子品种主要农艺性状及产量的相关分析[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(7):13-17.
- [5] 牛倩云,韩彦莎,徐丽霞,等. 作物轮作对谷田土壤理化性质及谷子根际土壤细菌群落的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(12):2802-2809.
- [6] 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]. 农学报, 2020, 10(10):19-23.
- [7] 王欢欢,贾亚涛,许鹏飞,等. 谷子主要农艺性状与产量的关系[J]. 山西农业科学, 2014, 42(7):657-659.
- [8] 张霞,冯永忠. 神木县不同谷子品种主要农艺性状及产量分析[J]. 西北农业学报, 2017, 26(1):32-37.
- [9] 戴丽君,周花,李永平,等. 11个谷子新品种渗水地膜穴播种植主要农艺性状的主成分分析[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(14):43-47.
- [10] 邓维斌,周玉敏,刘进,等. SPSS 23(中文版)统计分析实用教程[M]. 2版. 北京:电子工业出版社, 2017:222-232.
- [11] 相吉山,张恒儒,刘涵,等. 不同生态区谷子种质资源表型比较分析[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(9):31-41.
- [12] 刘鹏,杨刚,赵世伟,等. 宁南山区旱地谷子适栽品种筛选[J]. 山西农业科学, 2019, 47(4):602-606.
- [13] 孙影,叶录,王维娟,等. 基于隶属函数分析的谷子品种综合评价[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(10):25-29.
- [14] 李振姣. 200份谷子种质资源表型遗传多样性分析及综合评价[J]. 中国农学通报, 2025, 41(17):13-18.
- [15] 黄蕊,阳世杰,王杨,等. 山西谷子种质资源表型性状鉴定及综合评价[J]. 核农学报, 2024, 38(10):1887-1902.
- [16] 田伯红. 禾谷类作物抗倒伏性的研究方法以及谷子抗倒性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(02):265-269.
- [17] Tian B, Liu Y, Zhang L, et al. Stem lodging parameters of the basal three internodes associated with plant population densities and developmental stages in foxtail millet (*Setaria italica*) cultivars differing in resistance to lodging[J]. Crop & Pasture Science, 2017, 68(4):349-357.
- [18] Tian B, Wang J, Zhang L, et al. Assessment of resistance to lodging of landrace and improved cultivars in foxtail millet[J]. Euphytica, 2010, 172(3):295-302.
- [19] 郝俊丽. 谷子锈病的发生与防治[J]. 现代农村科技, 2017(2):32.

(下转第45页)

杨玉恒,张玉娟,唐源,等.不同品种和密度对酿酒高粱农艺性状、产量及品质的影响[J/OL].大麦与谷类科学,2026,43(2):33-38(2026-03-26).DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.004.

# 不同品种和密度对酿酒高粱农艺性状、产量及品质的影响

杨玉恒<sup>1</sup>,张玉娟<sup>1</sup>,唐源<sup>1</sup>,刘利<sup>2</sup>,王梅<sup>1</sup>,肖立<sup>3</sup>,陈胜荣<sup>1</sup>,李泽林<sup>1\*</sup>

(1.南充市农业科学院,四川南充637000;2.南充市农业农村局,四川南充637000;3.嘉陵区农业农村局,四川南充637005)

**摘要:**为探明不同品种和密度对四川丘陵区主栽常规酿酒高粱主要农艺性状、产量及籽粒品质的影响,本文设计酿酒高粱品种、密度两因素随机区组田间试验。结果显示:参试酿酒高粱品种全生育期随着密度增加有缩短趋势,缩短幅度为1~3d;6个主要农艺性状中只有穗粒质量在不同密度间差异具统计学意义( $P<0.05$ ),叶片数在品种×密度间交互差异具统计学意义( $P<0.05$ );偏相关分析发现,产量与千粒质量、穗粒质量呈显著正相关;产量在品种间、密度间及品种×密度间的差异均具高度统计学意义( $P<0.01$ ),品种以南糯红1号产量最高,与郎糯红19号和嘉酿红7号间的差异具高度统计学意义( $P<0.01$ );密度以15万株/hm<sup>2</sup>产量最高,与12万株/hm<sup>2</sup>产量间的差异具统计学意义( $P<0.05$ ),与18万株/hm<sup>2</sup>产量间的差异具高度统计学意义( $P<0.01$ );南糯红1号品种需用12万株/hm<sup>2</sup>密度,嘉酿红7号、郎糯红19号品种需用15万株/hm<sup>2</sup>密度,才能取得最高产量,其中南糯红1号12万株/hm<sup>2</sup>(A2B1)密度处理的产量最高达4558.50 kg/hm<sup>2</sup>。品质指标方面,蛋白质含量在品种间差异具统计学意义( $P<0.05$ ),以郎糯红19号(A3)品种最高;直链淀粉含量在品种间差异具高度统计学意义( $P<0.01$ ),以南糯红1号(A2)品种最高,其余5个性状差异均无统计学意义;7个品质性状在密度间、品种×密度间差异均无统计学意义。

**关键词:**酿酒高粱;种植密度;农艺性状;产量;品质

中图分类号:S514

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20250131

高粱是全球第五大粮食作物,具有抗旱、耐涝、耐贫瘠和耐盐碱等抗逆特性,在限氮条件下高粱有更高的氮吸收和利用效率,可获得较高产量<sup>[1]</sup>,并拥有不可替代的利用价值<sup>[2]</sup>。高粱籽粒用途广泛,可作口粮、饲料、酿造和生物燃料等,在我国高粱籽粒是酿造白酒的主要原料<sup>[3]</sup>。四川为南方高粱主产区之一,当地酒企多以常规品种高粱为酿酒原料,随着白酒企业提质增效推进以及酿酒产品向专用、定制化方向发展,酒企对当地糯高粱需求不断增加,但是,关于品种和种植密度(下文简称密度)对当地主栽酿酒高粱农艺性状、产量及品质的影响研究鲜有报道,本研究旨在为当地高粱生产合理群体构建、籽粒品质提高以及品种生产潜能挖掘等方面提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2024年5月8日—8月9日在南充市农业科学院芦溪科研基地(106°02'48"E、30°52'54"N)试验田进行,试验地前茬为土豆,土壤为砂壤土,pH值为8.28,有机质含量(质量分数,下同)8.92 g/kg、总氮含量1.08 g/kg、速效磷含量5.47 mg/kg、速效钾含量122.88 mg/kg。机器旋耕整地开厢后,施稳定性复合肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O质量比为15:15:15)50 kg/667 m<sup>2</sup>做基肥,无追肥。

### 1.2 试验设计

试验采用两因素随机区组设计,A因素为品种,设A1(嘉酿红7号)、A2(南糯红1号)、A3(郎糯红19号)3个水平;B因素为密度,设B1(12万株/hm<sup>2</sup>)、B2(15万株/hm<sup>2</sup>)、B3(18万株/hm<sup>2</sup>)3个水平,3次重复。共27个小区,每个小区种植10行,行距0.5 m,株距分别为0.16、0.13、0.11 m,小区长5.0 m、宽4.0 m,小区面积20.0 m<sup>2</sup>。供试品种郎糯红19号由四川省农业科学院水稻高粱所提供,嘉酿红7号和南糯红1号为南充市农业科学院自育常规高粱新品系。

收稿日期:2025-12-22;修回日期:2026-03-04。

基金项目:南充市应用基础研究项目(23YYJCYJ0011)。

作者简介:杨玉恒(1982—),男,硕士,副研究员,研究方向为杂粮育种与栽培。Email:89105004@qq.com。

\*通信作者:李泽林(1996—),男,硕士,研究实习员,研究方向为杂粮育种与栽培。Email:2451144325@qq.com

1.3 测定项目及方法

生育期调查记载及株高、穗长、穗粒质量、角质率、叶片数等性状测量均按照 NY/T 3923—2021《农作物品种试验规范 粮食作物》进行。各处理蜡熟期随机在每小区同一行取 10 株进行考种,用卷尺(精度 1 mm)测量株高、穗长,株高是测量植株基部到穗顶的高度;穗长是测量植株穗下端枝梗叶痕处到穗尖的长度;角质率是籽粒横切后横断面角质含量的占比,用百分比表示。用电子天平(精度 0.01 g)称量晒干脱粒后穗粒质量,以平均值进行统计分析。成熟期收获后测量千粒质量及小区实际产量。品质指标(脂肪、蛋白质、直链淀粉、支链淀粉、总淀粉、单宁)采用丹麦福斯(FOSS)集团公司生产的 DS2500 型近红外光谱分析仪测定,样品处理方法:高粱籽粒筛选除杂;波长范围:850~2 500 nm。

1.4 数据统计分析

试验数据统计分析采用 Excel 2024、SPSS 27.0 软件处理完成。

2 结果与分析

2.1 各处理组合生育期表现

由表 1 可知,抽穗期、初花期受品种特性影响,其中 A1 品种抽穗期和初花期均最早,A2 品种初花期最晚。抽穗期 A1 品种比 A2 品种早 1 d,比 A3 品种早 3 d,A2 品种比 A3 品种早 2 d;初花期 A1 品种比 A2 品种早 2 d,比 A3 品种早 1 d,A2 品种比 A3 品种晚 1 d,抽穗期和初花期在不同密度间没有表现出差异。成熟期随着密度增加呈缩短趋势,全生育期随着密度增加有缩短趋势,缩短幅度为 1~3 d。

表 1 各处理酿酒高粱主要生育期

处理	播种期 (月-日)	出苗期 (月-日)	抽穗期 (月-日)	初花期 (月-日)	成熟期 (月-日)	收获期 (月-日)	全生育期/ d
A1B1	05-08	05-13	07-15	07-20	08-06	08-09	86
A1B2	05-08	05-13	07-15	07-20	08-05	08-09	85
A1B3	05-08	05-13	07-15	07-20	08-03	08-09	83
A2B1	05-08	05-13	07-16	07-22	08-06	08-09	86
A2B2	05-08	05-13	07-16	07-22	08-06	08-09	86
A2B3	05-08	05-13	07-16	07-22	08-04	08-09	84
A3B1	05-08	05-13	07-18	07-21	08-05	08-09	85
A3B2	05-08	05-13	07-18	07-21	08-04	08-09	84
A3B3	05-08	05-13	07-18	07-21	08-03	08-09	83

2.2 不同处理下酿酒高粱主要农艺性状表现

由表 2、表 3、表 4、表 5 可知,株高、叶片数两个性状在品种间差异具高度统计学意义( $P < 0.01$ ),千粒质量在品种间差异具统计学意义( $P < 0.05$ ),穗长和穗粒质量在品种间差异无统计学意义。不同密度

间只有穗粒质量差异具统计学意义( $P < 0.05$ ),其余性状均无统计学意义。叶片数在品种×密度间差异具统计学意义( $P < 0.05$ ),说明叶片数受品种和密度互作的影响。

表 2 不同处理下酿酒高粱主要农艺性状方差分析

变异来源	自由度	F 值					
		株高	穗长	穗粒质量	千粒质量	角质率	叶片数
区组间	2	4.037	0.599	0.498	3.152	0.015	3.570
品种间	2	180.720**	0.883	1.075	5.471*	2.253	7.565**
密度间	2	0.945	0.978	4.005*	1.532	3.304	0.440
品种×密度	4	1.145	0.252	1.314	0.832	1.786	3.507*
误差	16						
总变异	26						

注: \* 表示差异具统计学意义( $P < 0.05$ ); \*\* 表示差异具高度统计学意义( $P < 0.01$ )。表 10 同。

表3 酿酒高粱品种间各农艺性状的 Tukey HSD 多重比较

品种	株高 /cm	穗长 /cm	穗粒质量 /(g/穗)	千粒质量 /g	角质率 /%	叶片数 /片
A1	237.73 ± 7.027 cC	32.69 ± 0.641 aA	48.689 ± 6.961 aA	14.624 ± 0.697 bA	61.22 ± 5.357 aA	9.47 ± 0.536 bB
A2	268.80 ± 7.428 bB	32.38 ± 0.987 aA	46.754 ± 5.437 aA	15.809 ± 1.547 abA	58.56 ± 5.769 aA	9.77 ± 0.638 abAB
A3	315.47 ± 14.338 aA	33.00 ± 1.049 aA	50.757 ± 6.993 aA	16.467 ± 1.505 aA	64.78 ± 9.107 aA	10.30 ± 0.725 aA

注:表中数据为“平均值 ± 标准差”。同列数据后不同小写字母表示处理间差异具统计学意义( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示处理间差异具高度统计学意义( $P < 0.01$ )。表4、表5、表7、表11同。

表4 酿酒高粱密度间各农艺性状的 Tukey HSD 多重比较

密度	株高 /cm	穗长 /cm	穗粒质量 /(g/穗)	千粒质量 /g	角质率 /%	叶片数 /片
B1	273.16 ± 40.090 aA	32.76 ± 1.029 aA	51.850 ± 7.006 aA	16.156 ± 1.183 aA	63.00 ± 5.357 aA	9.93 ± 0.832 aA
B2	271.69 ± 30.266 aA	32.98 ± 0.962 aA	49.940 ± 4.884 aA	15.173 ± 1.438 aA	64.33 ± 5.613 aA	9.87 ± 0.614 aA
B3	277.16 ± 34.834 aA	32.33 ± 0.693 aA	44.410 ± 5.422 bA	15.571 ± 1.757 aA	57.22 ± 6.078 aA	9.73 ± 0.726 aA

表5 不同处理下酿酒高粱主要农艺性状的多重比较

处理	株高 /cm	穗长 /cm	穗粒质量 /(g/穗)	千粒质量 /g	角质率 /%	叶片数 /片
A1B1	233.00 ± 8.185 cC	33.07 ± 0.702 aA	54.427 ± 3.515 aA	14.760 ± 0.072 bA	66.67 ± 2.082 aA	9.40 ± 0.400 bcB
A1B2	239.07 ± 6.543 cC	32.67 ± 0.611 aA	48.800 ± 6.130 aA	14.840 ± 0.295 bA	62.00 ± 2.000 aA	9.90 ± 0.100 bcAB
A1B3	241.13 ± 5.839 cC	32.33 ± 0.611 aA	42.840 ± 6.570 aA	14.273 ± 1.253 bA	55.00 ± 1.732 aA	9.10 ± 0.700 cB
A2B1	265.47 ± 7.842 bB	32.20 ± 1.386 aA	44.987 ± 7.701 aA	16.347 ± 0.358 abA	54.00 ± 3.464 aA	9.50 ± 0.700 bcB
A2B2	268.80 ± 9.776 bB	32.80 ± 1.000 aA	49.193 ± 4.307 aA	14.760 ± 1.460 bA	63.00 ± 6.245 aA	9.90 ± 0.700 bcAB
A2B3	272.13 ± 5.508 bB	32.13 ± 0.757 aA	46.083 ± 5.108 aA	16.320 ± 2.200 abA	58.67 ± 4.619 aA	9.90 ± 0.700 bcAB
A3B1	321.00 ± 18.956 aA	33.00 ± 1.058 aA	56.137 ± 4.060 aA	17.360 ± 0.555 aA	68.33 ± 8.020 aA	10.90 ± 0.100 aA
A3B2	307.20 ± 5.032 aA	33.47 ± 1.332 aA	51.827 ± 5.582 aA	15.920 ± 2.190 abA	68.00 ± 7.211 aA	9.80 ± 1.000 bcAB
A3B3	318.20 ± 16.675 aA	32.53 ± 0.924 aA	44.307 ± 6.358 aA	16.120 ± 1.458 abA	58.00 ± 10.583 aA	10.20 ± 0.400 abAB

### 2.3 产量结果与分析

由表6方差分析结果可知,产量在品种间、密度间及品种 × 密度间的差异均具高度统计学意义( $P < 0.01$ )。通过多重比较结果(表7)可知,品种以A2产量最高,与A3和A1间的差异具高度统计学意义( $P < 0.01$ ),密度以B2产量最高,与B1间差异

具统计学意义( $P < 0.05$ ),与B3间差异具高度统计学意义( $P < 0.01$ )。由各处理间的多重比较结果(表8)可知,A2品种需用B1密度,A1、A3品种需用B2密度,才能取得最高产量,本试验中以A2B1处理产量最高,达4558.50 kg/hm<sup>2</sup>。

表6 小区产量的方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
区组间	2.419	2	1.209	5.658	0.2139
品种间	5.778	2	2.889	13.516	0.0004
密度间	3.938	2	1.969	9.212	0.0020
品种 × 密度	7.057	4	1.764	8.254	0.0008
误差	3.420	16	0.214		
总变异	22.613	26			

表7 酿酒高粱品种与密度 Tukey HSD 多重比较

品种	小区产量 /kg	密度	小区产量 /kg
A1	7.159 ± 0.761 bB	B1	7.590 ± 1.200 bA
A2	8.279 ± 0.726 aA	B2	8.173 ± 0.682 aA
A3	7.572 ± 0.999 bB	B3	7.248 ± 0.656 bB

表8 酿酒高粱各处理产量的 Tukey HSD 多重比较

处理	20.0 m <sup>2</sup> 小区产量 /kg			小区平均 产量 /kg	折合产量 / (kg/hm <sup>2</sup> )	产量排位	差异显著性	
	I	II	III				0.05	0.01
A2B1	9.238	8.978	9.132	9.116	4 558.50	1	a	A
A3B2	9.775	7.917	8.254	8.649	4 324.50	2	ab	AB
A2B2	8.446	7.826	7.912	8.061	4 030.50	3	bc	ABC
A1B2	8.337	7.543	7.546	7.809	3 904.50	4	cd	BC
A2B3	8.253	7.510	7.220	7.661	3 831.00	5	cd	BCD
A1B3	7.986	6.388	6.965	7.113	3 556.50	6	de	CD
A3B1	7.100	7.012	7.182	7.098	3 549.00	7	de	CD
A3B3	7.675	6.527	6.706	6.970	3 484.50	8	de	CD
A1B1	5.955	6.807	6.905	6.556	3 277.50	9	e	D

2.4 各主要农艺性状与产量偏相关分析

由表9可知,产量与穗粒质量、千粒质量呈显著正相关,产量与穗长呈正相关,与株高、叶片数呈负相关,千粒质量与叶片数呈极显著正相关。与产量呈正相关的农艺性状表现为千粒质量>穗粒质量>穗长。

2.5 品质性状方差分析

由表10、表11可知,7个品质性状在密度间、

品种×密度间差异均无统计学意义,表明品质性状主要受品种特性决定,在本试验中不受种植密度及品种×密度互作的影响。蛋白质含量在品种间差异具统计学意义( $P < 0.05$ ),以A3品种最高;直链淀粉含量在品种间差异具高度统计学意义( $P < 0.01$ ),以A2品种最高;其余5个性状均无统计学意义。

表9 酿酒高粱主要农艺性状与产量的偏相关分析

相关系数	株高	穗长	穗粒质量	千粒质量	叶片数	产量
株高	1					
穗长	0.171	1				
穗粒质量	0.085	0.268	1			
千粒质量	0.287	-0.099	-0.250	1		
叶片数	0.310	0.006	0.147	0.573**	1	
产量	-0.083	0.099	0.465*	0.524*	-0.390	1

注: \* 表示显著相关( $P < 0.05$ ); \*\* 表示极显著相关( $P < 0.01$ )。

表10 酿酒高粱品质性状的方差分析

变异来源	自由度	F值						
		脂肪 含量	蛋白质 含量	直链淀粉 含量	支链淀粉 含量	总淀粉 含量	单宁 含量	支链淀粉含量/ 总淀粉含量
区组间	2	2.754	1.302	0.035	1.416	1.316	2.280	1.581
品种间	2	3.645	4.866*	20.462**	2.089	2.149	3.476	1.990
密度间	2	1.284	0.931	0.607	0.543	0.481	1.198	0.584
品种×密度	4	1.469	1.465	0.355	1.311	1.195	1.360	1.390
误差	16							
总变异	26							

注:含量均指质量分数。

表 11 3个酿酒高粱新品种蛋白质、直链淀粉含量 Tukey HSD 多重比较

品种	蛋白质质量分数 /%	直链淀粉质量分数 /%
A1	10.414 ± 0.294 bA	23.989 ± 1.140 bB
A2	10.454 ± 0.222 bA	27.563 ± 1.835 aA
A3	10.732 ± 0.217 aA	22.422 ± 1.572 bB

### 3 讨论与结论

#### 3.1 酿酒高粱生育期与品种和密度的关系

酿酒糯高粱品种关键生育期主要受品种特性的影响,在不同密度间没有表现出差异。抽穗期早的品种,初花期不一定早;各品种的成熟期随着密度增加呈缩短趋势,全生育期随着密度增加有缩短趋势,缩短幅度为1~3 d,这一结果与张林等研究<sup>[4]</sup>相符合。

#### 3.2 酿酒高粱主要农艺性状与品种和密度的关系

本试验酿酒高粱6个主要农艺性状中,品种间差异具统计学意义(或高度统计学意义)的性状有株高、千粒质量和叶片数3个,占比为50.0%;密度间差异具统计学意义的性状只有穗粒质量,占比为16.7%。可见酿酒高粱的主要农艺性状主要与品种特性有关,受种植密度的影响较小,6个性状中穗粒质量最易受到密度的影响,且不同品种随着密度的增加变化不尽相同,这一结果与周棱波等的研究结果<sup>[5]</sup>基本一致;A1、A2品种的株高随着密度的增加而升高,与刘晓飞等在玉米研究中的结论<sup>[6]</sup>一致,但升高幅度不大。

#### 3.3 酿酒高粱产量与品种和密度的关系

本试验中,与产量呈正相关的农艺性状表现为千粒质量>穗粒质量>穗长,产量在品种间、密度间及品种×密度间的差异均具高度统计学意义( $P<0.01$ ),品种以南糯红1号产量最高,与郎糯红19号和嘉酿红7号间的差异均具高度统计学意义( $P<0.01$ );密度以15万株/hm<sup>2</sup>处理产量最高,与12万株/hm<sup>2</sup>差异具统计学意义( $P<0.05$ ),与18万株/hm<sup>2</sup>差异具高度统计学意义( $P<0.01$ );南糯红1号品种需用12万株/hm<sup>2</sup>密度,嘉酿红7号、郎糯红19号品种需用15万株/hm<sup>2</sup>密度,才能取得最高产量,其中以南糯红1号12万株/hm<sup>2</sup>(A2B1)处理产量最高,达4 558.50 kg/hm<sup>2</sup>。可见不同的酿酒高粱品种生产力不同,且不同品种有其适宜的种植密度,只有品种和农艺措施相互配套才能发挥品种的

产量潜力。

#### 3.4 品质性状与品种和密度的关系

据前人研究,高粱籽粒成分中与酿酒出酒率、风味密切相关的指标包括淀粉、单宁和蛋白质,总淀粉含量与出酒率为极显著正相关,直链淀粉和支链淀粉含量与出酒率有一定的正相关,但未达到显著水平;单宁含量与出酒率为负相关;蛋白质含量与出酒率为正相关<sup>[7]</sup>。本试验中总淀粉、单宁在不同品种和密度间差异无统计学意义,总淀粉和单宁含量的变化对出酒率没有构成影响;蛋白质和直链淀粉含量在不同品种间差异具统计学意义或高度统计学意义,可见3个高粱品种在出酒率上具有差异,在不同密度间差异无统计学意义,与崔向华等的研究结果<sup>[8]</sup>一致,但这是否与密度变化范围较小有关,后续需进一步扩大密度范围进行试验。

合理的种植密度是保证高产的重要因素之一,适当增加种植密度可以提高作物冠层的生产力,进而增加作物的生物量,但密度过高群体光合能力反而降低。密度通过影响群体光合作用从而影响高粱生理特性。陈许兵研究发现,种植密度对脯氨酸、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)没有显著影响;低密度有利于高粱拔节期、旗叶期和孕穗期N、P、K含量的积累,中等密度有利于叶绿素含量的积累<sup>[9]</sup>。

酿酒高粱主要农艺性状与品种特性有关,受密度、品种与密度互作影响较小;产量受品种、密度及品种与密度互作三个方面的影响;品质指标中蛋白质、直链淀粉含量受品种特性影响,但在不同密度间没有呈现出显著差异。

#### 参考文献:

- [1] 张福耀,平俊爱,焦晓燕. 高粱的耐瘠性与养分高效利用研究现状与展望[J]. 作物杂志,2023(6):26-34.
- [2] 朱振兴,张丽霞,李金红,等. 高粱生物育种进展与展望[J]. 中国基础科学,2022,24(4):42-52.

- [3] 李伟,陈冰,于森,等. 国内外高粱生产和贸易概况及我国高粱生产面临的挑战与措施[J]. 现代农业科技,2020(11):47-48.
- [4] 张林,殷勇,张德银,等. 播期和密度对酿酒高粱生长发育、主要农艺性状和产量的影响[J]. 天津农业科学,2022,28(7):18-23,43.
- [5] 周棱波,汪灿,张国兵,等. 播期、密度和施肥水平对糯高粱黔高7号产量及构成因素的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):84-88.
- [6] 刘晓飞,丁翊东,崔小平,等. 种植密度、氮肥对玉米产量构成及农艺性状的影响[J]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):28-35.
- [7] 卢庆善,邹建秋. 高粱学[M]. 2版.北京:中国农业出版社,2023:555-557.
- [8] 崔向华,隗正阳,周霞丽,等. 不同种植密度下芝麻宜机收品种的产量表现和农艺性状分析[J]. 农业科技通讯,2025(9):89-92,110.
- [9] 陈许兵. 栽培密度与施氮量对沿海盐碱地饲草高粱生长的影响[D]. 扬州:扬州大学,2020:55-60.

## Effects of Different Varieties and Planting Densities on Agronomic Traits, Yield and Quality of Brewing Sorghum

Yang Yuheng<sup>1</sup>, Zhang Yujuan<sup>1</sup>, Tang Yuan<sup>1</sup>, Liu Li<sup>2</sup>, Wang Mei<sup>1</sup>, Xiao Li<sup>3</sup>, Chen Shengrong<sup>1</sup>, Li Zelin<sup>1</sup>

(1. Nanchong Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, China; 2. Nanchong Agricultural and Rural Bureau, Nanchong 637000, China; 3. Jialing District Agricultural and Rural Bureau in Nanchong City, Nanchong 637005, China)

**Abstract:** To investigate the effects of different densities and varieties on the major agronomic traits, yield and grain quality of the primary conventional sorghum varieties cultivated in the hilly regions of Sichuan Province, this field trial employed a randomized block design with two factors of sorghum variety and planting density. The results showed that the total growth period of the tested brewing sorghum varieties tended to decrease with increasing density, with a reduction range of 1-3 days. Among the six major agronomic traits, only panicle grain weight showed significant differences across densities, while leaf number exhibited significant interaction effects between variety and density. Partial correlation analysis indicated significant positive correlations between yield and both thousand-grain weight and panicle grain weight. Yield differences among varieties, densities, and variety× density interactions reached extremely significant levels. Nannuohong No.1 exhibited the highest yield, showing extremely significant differences compared to Langnuohong No.19 and Jianianghong No.7. The density of 150 000 plants/hm<sup>2</sup> yielded the highest output, with significant differences at 120 000 plants/hm<sup>2</sup> and extremely significant differences at 180 000 plants/hm<sup>2</sup>. The Nannuohong No.1 variety requires a density of 120 000 plants/hm<sup>2</sup> to achieve maximum yield, while the Jianianghong No.7 and Langnuohong No.19 varieties require 150 000 plants/hm<sup>2</sup>. In this trial, the Nannuohong No.1 variety at 120 000 plants/hm<sup>2</sup> (A2B1) treatment yielded the highest at 4 558.50 kg/hm<sup>2</sup>. Regarding quality indicators, protein content showed significant differences among varieties, with Langnuohong No.19 (A3) exhibiting the highest level. Amylose content exhibited extremely significant differences among varieties, with Nannuohong No.1 (A2) having the highest level. The remaining five traits showed no significant differences. No significant differences were observed for any of the seven quality traits between planting densities or between varieties and planting densities.

**Key Words:** Brewing sorghum; Planting density; Agronomic trait; Yield; Quality

### 本刊加入有关数据库的特别声明

为了适应我国期刊信息化建设的需要和扩大作者学术交流渠道,实现期刊编辑、出版工作的网络化与数字化,提高作者所发表论文的被引频次与影响力,本刊已加入《中国学术期刊(光盘)》、“中国期刊网”“万方数据—数字化期刊群”、重庆维普“中文期刊数据库”、超星期刊“域出版”平台和国家科技学术期刊开放平台等。作者无需另外支付网络编审费。作者著作权使用费与本刊稿酬由本刊编辑部一次性给付作者。如作者不同意编入上述数据库,请务必提供书面说明。所刊载文献被以各种形式转载时请注明来源于本刊。

《大麦与谷类科学》杂志编辑部

左妍妍,琦明玉,李志光,等. 基于熵权的 DTOPSIS 法综合评价赤峰市糜子区域试验品种[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2):39–45 (2026-03-30). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.005.

## 基于熵权的 DTOPSIS 法综合评价赤峰市糜子区域试验品种

左妍妍<sup>1</sup>,琦明玉<sup>1</sup>,李志光<sup>1</sup>,范文琦<sup>1</sup>,冯婧涵<sup>1</sup>,马俊玲<sup>1</sup>,赵敏<sup>1</sup>,代旭<sup>2</sup>,张立媛<sup>1\*</sup>

(1. 赤峰市农牧科学院,内蒙古赤峰 024000;2. 内蒙古自治区农牧业技术推广中心,内蒙古呼和浩特 010011)

**摘要:**以 2024 年第十五轮国家糜子(糯性)品种区域试验的 13 个参试品种为材料,选取生育期、株高、主茎节数、有效分蘖数、主穗长、穗粒质量、千粒质量及产量 8 个有代表性的指标构建评价体系,进而采用熵权法赋权的 DTOPSIS 法,对赤峰市该轮糜子区域试验品种开展综合评价,为优良品种筛选提供科学依据。权重计算表明,有效分蘖数(权重系数 0.508 37)是决定糜子产量水平的关键指标,生育期(权重系数 0.000 77)和主茎节数(权重系数 0.000 90)对产量的影响相对较低。通过 DTOPSIS 法计算各品种综合评价  $C_i$  值由高至低依次为伊黍 13 号、冀黍 4 号、赤黍 10 号、晋黍 15 号、4652(2–30)、NM18–03、1651(5–33)、伊黍 10 号、2013FMZ3–1–3、19–174、赤黍 11 号、白糜 1 号、2023–Y–1,其中:表现最好的品种伊黍 13 号的  $C_i$  值为 0.883 38,表现最差的 2023–Y–1 的  $C_i$  值为 0.076 34,二者差异较大。综合评价方法可兼顾糜子品种的产量潜力与农艺性状协调性,规避单一指标评价的片面性,实现对参试品种的系统评估。

**关键词:**熵权法;DTOPSIS 法;糜子;区域试验;赤峰

**中图分类号:**S516

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673–6486–20260013

糜子(*Panicum miliaceum* L.)为禾本科黍属一年生草本作物。在生产实践中,糜子常与黍、稷、谷子并列提及,其中糜子为糯性黍,稷为粳性黍,二者同为黍属(*Panicum*),而谷子为狗尾草属(*Setaria*),与糜子分属不同物种,在形态、籽粒特性与用途上差异明显。糜子凭借 C4 光合途径、叶片气孔小而少、根系发达以及生育周期短等特点,成为禾谷类中较耐旱的作物之一,在我国有超过 1 万年的栽培历史<sup>[1]</sup>,是北方干旱、半干旱地区的重要粮食作物<sup>[2]</sup>。糜子的核心产区包括内蒙古、陕西、甘肃、山西四省,合计种植面积占全国的 70%以上,这些区域降水少、光照足,完全契合糜子的生长特性。糜子的应用非常广泛,营养价值丰富均衡,具有低血糖指数、高蛋白和无谷蛋白等特点,是兼具食用口感与健康益处的杂粮<sup>[3]</sup>。在内蒙古地区,糜子是东西部农村牧区的传统口粮,同时因为糜子秸秆粗蛋白质量分数在 8%~

12%,也是优质的牛羊饲料,冬季可缓解牧草短缺问题。此外,糜子还可以作为荒坡治理、沙地修复的先锋作物,在通辽、赤峰沙化土地改良中,既能减少水土流失,又能通过根系改善土壤结构,与牧草轮作种植兼顾生态效益与短期收益。良种培育与推广是推动糜子产业高质量发展的核心前提,国家糜子品种区域试验可以为糜子品种鉴定、推广提供科学依据<sup>[4]</sup>。

传统评价方法(如产量比较法、形状比较法)多聚焦单一产量指标,易忽视农艺性状、品质、抗性等相关因素。近年来综合评价方法被广泛用于品种比较试验<sup>[5–6]</sup>,其中 DTOPSIS 法(Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution,逼近理想解排序法)可同时整合正向、负向及中性指标,适配作物品种评价中产量、株高、抗病性、品质成分等多维度指标的综合分析,避免单一指标评价的片面性。在烤烟评价中,通过中性指标处理株高、叶数,正向指标处理产量、钾含量,实现多类型指标的科学化<sup>[7]</sup>。余本勋等运用 DTOPSIS 法对贵州省粳稻区域试验品种进行评价,整合 9 个性状指标,实现从单一产量评价到多性状综合评价的转变,评价结果更能体现生产实际<sup>[8]</sup>。结合灰色关联度与 DTOPSIS 法,张晓申等对 11 个谷子品种的 9 个农艺性状进

收稿日期:2026-01-20;修回日期:2026-03-15。

基金项目:内蒙古自治区重点实验室建设项目(2023KYPT0026)。

作者简介:左妍妍(1995—),女,硕士,助理研究员,主要从事谷子、糜黍种质资源收集与生物技术研究。Email: yanyanzuo2022@163.com。

\* 通信作者:张立媛(1985—),女,硕士,副研究员,主要从事谷子、糜黍新品种选育及高产栽培技术研究推广。Email: zhangliyuan-168@163.com。

行评价,区域试验前三名与产量前三名排序一致,验证了该方法在谷子品种审定中的可靠性<sup>[9]</sup>。崔新菊等通过采用信息熵与特尔非法组合赋权,兼顾指标固有信息与生产实际需求,提升了评价的科学性<sup>[10]</sup>。宋中强等对比发现,DTOPSIS法的相对接近度( $C_i$ 值)变异系数达30.11%,远高于模糊评价法的8.58%,能更精准区分品种优劣<sup>[11]</sup>。

因此,DTOPSIS法能整合糜子区域试验中产量、农艺性状、品质及抗性等多个指标,解决不同类型指标量化难题,且在水稻、谷子等作物中已验证可靠,因此本研究用该方法分析糜子区域试验品种,实现对其综合性状的客观评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及栽培条件

试验材料为2024年第十五轮国家糜子(糯性)

品种区域试验,共有来自10个供种单位的13个糜子品种。品种编号、名称及供种单位见表1。

试验地点位于内蒙古赤峰市(117°E、42°N),海拔高度约700 m,中等地力。试验采用随机区组排列,重复3次,小区面积10 m<sup>2</sup>(2 m×5 m),行距33 cm,留苗密度6万~8万株/667 m<sup>2</sup>。春季播种前施有机肥1 000~2 000 kg/667 m<sup>2</sup>,并配施氮肥6 kg/667 m<sup>2</sup>、磷肥3 kg/667 m<sup>2</sup>、钾肥2 kg/667 m<sup>2</sup>。结合施肥进行春季整地,当5 cm土层地温稳定在12℃时播种。本次试验在2024年5月17日全部播种完毕,5月26日均出苗。

### 1.2 品种评价指标

按照国家糜子(糯性)品种区域试验要求,调查生育期、株高、主茎节数、有效分蘖数、主穗长、穗粒质量、千粒质量及产量8个有代表性的性状作为评价指标。这些性状能够充分反映品种的生物特性、产量表现及品种之间的差异,具体原始调查数据见表2。

表1 供试材料信息

品种编号	品种名称	供种单位
NM15-01	赤黍10号	赤峰市农牧科学研究所
NM15-02	赤黍11号	赤峰市农牧科学研究所
NM15-03	伊黍10号	鄂尔多斯市农牧业科学研究院
NM15-04	伊黍13号	鄂尔多斯市农牧业科学研究院
NM15-05	白糜1号	吉林省白城市农业科学院
NM15-06	冀黍4号	河北省农林科学院谷子研究所
NM15-07	2013FMZ3-1-3	甘肃省农业科学院作物研究所
NM15-08	19-174	宁夏农林科学院固原分院
NM15-09	晋黍15号	山西农业大学高寒区作物研究所
NM15-10	2023-Y-1	杨凌职业技术学院
NM15-11	NM18-03	延安市农业科学研究院
NM15-12	1651(5-33)	西北农林科技大学
NM15-13	4652(2-30)	西北农林科技大学

表2 糜子(糯性)品种主要评价指标

品种编号	生育期/ d	株高/ cm	主茎节数/ (节/株)	有效分蘖/ (个/株)	主穗长/ cm	穗粒质量/ (g/穗)	千粒质量/ g	产量/ (kg/667 m <sup>2</sup> )
NM15-1	89	169.3	8.0	4.0	36.5	15.5	7.2	240.01
NM15-2	100	186.6	9.0	3.0	40.5	18.7	6.7	264.01
NM15-3	100	201.0	8.0	3.0	44.9	20.9	7.9	305.35
NM15-4	100	204.2	9.0	4.0	45.1	18.9	7.8	307.13
NM15-5	93	158.0	8.0	3.0	41.5	18.5	6.4	240.68
NM15-6	99	191.9	9.0	4.0	43.1	16.7	7.5	209.79
NM15-7	101	242.3	8.0	3.0	48.7	18.1	7.9	254.23

表 2 (续)

品种编号	生育期 / d	株高 / cm	主茎节数 / (节 / 株)	有效分蘖 / (个 / 株)	主穗长 / cm	穗粒质量 / (g / 穗)	千粒质量 / g	产量 / (kg/667 m <sup>2</sup> )
NM15-8	102	215.2	9.0	3.0	47.8	19.6	7.3	239.35
NM15-9	98	196.0	8.0	4.0	44.0	15.7	6.8	245.57
NM15-10	101	153.3	9.0	3.0	24.6	14.2	6.2	203.79
NM15-11	114	226.8	8.0	4.0	42.2	15.1	6.1	131.12
NM15-12	100	197.6	9.0	3.0	45.6	18.0	8.6	313.13
NM15-13	114	217.3	9.0	4.0	35.7	13.4	7.2	151.79

1.3 分析方法

1.3.1 数据标准化。因调查的品种性状属于不同生理指标,无法直接进行综合比对,因此需要对以上8个性状的原始调查数据进行标准化处理。根据生产需求,生育期、株高及主茎节数在糜子品种评价中没有绝对优劣趋势,生育期过长/过短、株高过高/过矮、主茎节数过多/过少均不利于品种稳产、抗倒,属于中性指标,因此设定该类数据的中位数为最优值,使用中性指标计算方法进行标准化(公式1);其余指标均与品种优良品质正相关,因此使用正向指标计算方法进行标准化(公式2),具体计算方法如下:

$$\text{中性指标: } Z_{ij} = \frac{X_0}{X_0 + |X_0 - X_{ij}|}; \quad (1)$$

$$\text{正向指标: } Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}。 \quad (2)$$

式中: $Z_{ij}$ 为标准化后的值; $X_{ij}$ 为标准化前的值( $i$ 为参试品种, $i=1,2,3,\dots,13$ ; $j$ 为调查的不同性状, $j=1,2,3,\dots,8$ ,下同); $X_0$ 为最优值; $X_{\min}$ 为各性状标准化前的最小值; $X_{\max}$ 为各性状标准化前的最大值。

1.3.2 基于熵权法赋权的权重计算。1)计算各品种不同评价指标的比重  $P_{ij}$ ,见公式3:

$$P_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{i=1}^m Z_{ij}}。 \quad (3)$$

式中: $m$ 为参试品种总数, $m=13$ (为后续计算方便,平移处理上述标准化后的数值,以上公式中  $Z_{ij}$  为平移后数值)。

2)计算各评价指标的熵权  $e_{ij}$ :

$$K = \ln \frac{1}{m}; \quad (4)$$

$$e_{ij} = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}。 \quad (5)$$

3)计算各项评价指标的权重  $w_j$ :

$$g_j = 1 - e_{ij}; \quad (6)$$

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}。 \quad (7)$$

1.3.3 DTOPSIS 法。1)构建决策矩阵:利用熵权法得到各项评价指标的权重,利用权重构建决策矩阵;

$$R_{ij} = w_j \times Z_{ij}。 \quad (8)$$

2)计算品种各评价指标与正理想解和负理想解的欧式距离。其中  $D_i^+$  为各指标与最佳指标的距离,  $D_i^-$  为各指标与最差指标的距离:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (R_{ij} - R_j^+)^2}; \quad (9)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (R_{ij} - R_j^-)^2}。 \quad (10)$$

3)计算各品种与理想解的相对接近度  $C_i$ ,  $C_i$  值越高,则表明品种的综合性状越优秀。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}。 \quad (11)$$

2 结果与分析

2.1 评价指标的标准化

本研究涉及的8个品种性状对应不同类型的生理指标,原始调查数据间缺乏直接可比性。为实现多性状的综合评价与比对,对全部原始数据进行标准化处理,为后续综合分析提供统一可比的数据基础,处理结果见表3。

2.2 基于熵权法赋权的权重

通过公式(3)~(7)计算得出各性状指标的权重系数(图1),结果显示,不同性状在综合评价体系中所占权重存在明显差异。其中,有效分蘖数的权

重系数高达 0.508 37,显著高于其他指标,在综合评价中贡献最为突出;千粒质量、穗粒质量、产量权重依次为 0.175 96、0.135 64 和 0.108 92,对综合评价结果也具有重要影响。而生育期、株高和主茎节数作为中性指标,无明显优劣趋势,因此权重系数分

别仅为 0.000 77、0.001 66 和 0.000 90,在综合评价中贡献相对较小。整体权重分布与品种选育的核心目标保持一致,能够客观反映各性状在品种综合表现中的差异程度,可为后续综合评价提供可靠依据。

表 3 数据标准化后数值

品种编号	生育期	株高	主茎节数	有效分蘖	主穗长	穗粒质量	千粒质量	产量
NM15-1	0.900 90	0.874 61	0.900 00	1.000 00	0.493 14	0.277 11	0.426 29	0.598 29
NM15-2	1.000 00	0.947 27	1.000 00	0	0.661 82	0.705 49	0.219 12	0.730 16
NM15-3	1.000 00	0.983 08	0.900 00	0	0.842 13	1.000 00	0.709 16	0.957 26
NM15-4	1.000 00	0.967 68	1.000 00	1.000 00	0.852 93	0.740 29	0.649 40	0.967 03
NM15-5	0.934 58	0.833 05	0.900 00	0	0.703 37	0.686 75	0.127 49	0.601 95
NM15-6	0.990 10	0.972 11	1.000 00	1.000 00	0.767 35	0.437 75	0.537 85	0.432 23
NM15-7	0.990 10	0.815 62	0.900 00	0	1.000 00	0.633 20	0.725 10	0.676 43
NM15-8	0.980 39	0.918 22	1.000 00	0	0.963 86	0.829 99	0.466 14	0.594 63
NM15-9	0.980 39	0.991 97	0.900 00	1.000 00	0.805 98	0.311 91	0.270 92	0.628 82
NM15-10	0.990 10	0.816 97	1.000 00	0	0	0.107 10	0.027 89	0.399 27
NM15-11	0.877 19	0.871 25	0.900 00	1.000 00	0.731 20	0.228 92	0	0
NM15-12	1.000 00	1.000 00	1.000 00	0	0.872 46	0.615 80	1.000 00	1.000 00
NM15-13	0.877 19	0.909 47	1.000 00	1.000 00	0.459 91	0	0.434 26	0.113 55

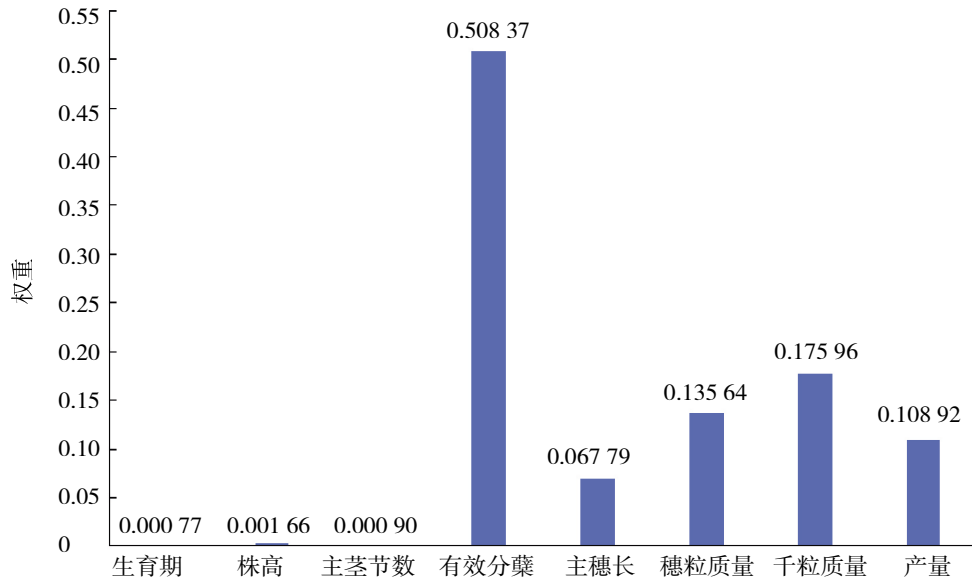


图 1 各指标权重系数

2.3 DTOPSIS 法综合评价品种

通过公式(8)—(11)计算得到各品种与理想解的相对接近度  $C_i$ ,计算结果如表 4 所示。各品种综合评价由高至低依次为伊黍 13 号、冀黍 4 号、赤黍 10 号、晋黍 15 号、4652(2-30)、NM18-03、1651(5-33)、伊黍 10 号、2013FMZ3-1-3、19-174、赤黍 11 号、白

糜 1 号、2023-Y-1。表现最好的品种伊黍 13 号  $C_i$  值为 0.883 38,表现最差的 2023-Y-1 的  $C_i$  值为 0.076 34,二者差异较大。

2.4 品种 DTOPSIS 法分析综合评价与产量性状单一评价的对比

如表 4 所示,熵权法赋权的 DTOPSIS 法综合评

价品种特性与单一产量评价结果具有一定相似性,但也有部分差异,未完全相同。图2更加直观地展示二者之间的对比,使用DTOPSIS法综合分析发现伊糜13号综合表现最好,2023-Y-1表现最差;而仅用产量分析结果表明,1651(5-33)表现最好,NM18-03表现最差,2种分析方法的结果有所不同。但是19-174、晋黍15号、2023-Y-1这3个品种使用两种方法分析的排名差别不大,说明这3个品种在产量表现与综合农艺性状上具有较好的一致

性,无论是产量水平还是株高、有效分蘖数等特性均处于相对稳定的区间。而排名差异较大的品种,如赤黍11号、冀黍4号等,反映出其在产量与其他农艺性状间存在一定的权衡关系,例如冀黍4号虽产量未达最优,但在株高、有效分蘖等性状上表现突出,综合适配性更强;赤黍11号则属于典型的高产型品种,但在有效分蘖、主穗长等方面存在短板,导致综合评价排名下降。

表4 糜子各品种DTOPSIS法、产量比较法排名

品种编号	品种名称	DTOPSIS法		产量比较	
		$C_i$	排名	产量/(kg/667 m <sup>2</sup> )	排名
NM15-1	赤黍10号	0.774 73	3	240.01	8
NM15-2	赤黍11号	0.206 49	11	264.01	4
NM15-3	伊黍10号	0.300 27	8	305.35	3
NM15-4	伊黍13号	0.883 38	1	307.13	2
NM15-5	白糜1号	0.190 05	12	240.68	7
NM15-6	冀黍4号	0.803 48	2	209.79	10
NM15-7	2013FMZ3-1-3	0.262 99	9	254.23	5
NM15-8	19-174	0.243 22	10	239.35	9
NM15-9	晋黍15号	0.759 89	4	245.57	6
NM15-10	2023-Y-1	0.076 34	13	203.79	11
NM15-11	NM18-03	0.687 52	6	131.12	13
NM15-12	1651(5-33)	0.311 15	7	313.13	1
NM15-13	4652(2-30)	0.722 97	5	151.79	12

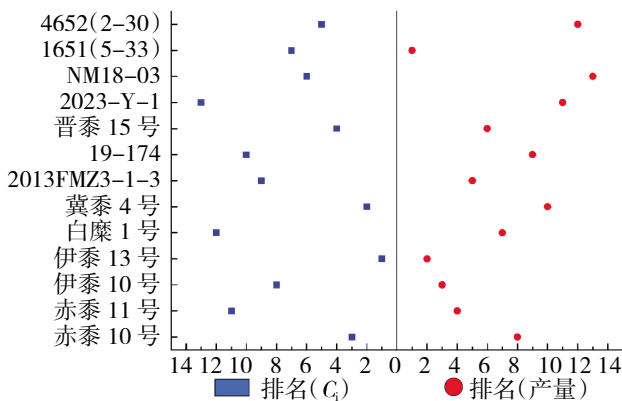


图2 糜子各品种DTOPSIS法、产量比较法排名比较

### 3 讨论

传统糜子品种评价多以产量为核心,再结合株高、成熟期等农艺性状进行直观判断,主观干扰较强且片面性突出,容易忽视各农艺性状之间的协调

性与品种稳产性,难以客观反映品种综合表现,进而导致筛选结果与生产实际需求存在偏差。例如,部分传统评价中被认定为“高产优良”的品种,在生产推广过程中常因抗倒性差、适应性较弱而难以实现稳产,这也反映出单一评价体系存在明显局限。本文中NM15-2(赤黍11号)虽然产量较高,但是千粒质量较低,表明该品种虽然结实性较好,但籽粒偏小,在商品品质、市场收购等级方面不占优势。同时该品种籽粒充实度相对较低,若灌浆期遭遇逆境胁迫,易出现籽粒饱满度下降、品质变差等问题,对后期田间管理及气候条件具有相对较高的要求。

与传统单一产量评价法相比,使用综合评价方法能够兼顾产量潜力与农艺性状协调性,实现对品种特性的系统、客观评估。本研究采用的熵权法赋权DTOPSIS法,一方面通过熵权法对8个关键农艺性状进行客观赋权,避免了主观经验对评价结果的

干扰;另一方面,DTOPSIS法通过计算各品种与最优解、最劣解的相对贴近度( $C_i$ 值),实现了多指标的量化综合排序,能够清晰呈现品种间的综合差异,弥补了传统单一评价方法的片面性。

赤峰地区作为我国糜子主产区之一,种植模式以雨养农业为主,农户对品种的核心需求是“稳产优先、兼顾高产”。以本研究综合评价方法筛选出的优良品种,恰好契合这一需求:伊黍13号、冀黍4号、赤黍10号等品种的有效分蘖数较多、主穗较长,在干旱条件下可通过增加有效穗数来保障产量稳定性;千粒质量较高则确保了在灌浆期受干旱影响时仍能保持较高的籽粒饱满度,这一特性与赤峰地区灌浆期常出现干旱的生态特点相匹配。尽管如此,熵权法仍具有一定的局限性,它对原始数据的数量与质量依赖性较强,计算流程相对复杂,而且评价指标的选取与设定仍易受人为因素影响。在实际生产中还需要结合当地气候与栽培条件,适当选择不同的评价方法,避免因人为因素导致分析结果与实际生产不符。未来,优化调查方案设计、建立更具客观性的指标筛选方法,进一步构建更为完善的综合评价体系,将为推动农业良种化进程提供有力支撑。

#### 4 结论

本研究以2024年第十五轮国家糜子(糯性)品种区域试验的13个参试品种为材料,选取8个有代表性的指标构建评价体系,采用熵权法赋权的DTOPSIS法对赤峰市糜子区域试验品种开展综合评价,主要结论如下:

1) 权重分析表明,影响糜子产量的关键指标由高至低依次为:有效分蘖 > 千粒质量 > 穗粒质量 > 产量 > 主穗长 > 株高 > 主茎节数 > 生育期。

2) 通过DTOPSIS法综合评价各品种,排名由高至低依次为:伊黍13号、冀黍4号、赤黍10号、晋黍15号、4652(2-30)、NM18-03、1651(5-33)、伊黍10号、2013FMZ3-1-3、19-174、赤黍11号、白糜1号、2023-Y-1。

3) 基于熵权法赋权的DTOPSIS法可整合多维度指标、客观区分品种优劣,比单一产量评价更全面、可靠,适用于糜子区域试验品种综合筛选与科学鉴定。

4) 伊黍13号、冀黍4号、赤黍10号综合表现突出,适配赤峰雨养农业区生产需求,可作为该地区优先示范推广的糜子优良品种。

#### 参考文献:

- [1] Zou C S, Li L T, Miki D, et al. The genome of broomcorn millet[J]. *Nature Communications*, 2019(10):436.
- [2] 李强,高志军,李俊,等.基于SSR标记的糜子种质资源DNA指纹图谱构建[J]. *江苏农业科学*, 2025, 53(21):104-110.
- [3] 杨清华,王洪露,冯佰利.糜子品质研究进展与展望[J]. *植物学报*, 2023, 58(1):22-33.
- [4] 杨璞, Rabia B P, 李境, 等.基于国家品种区域试验数据的中国糜子品种产量和性状变化[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(23):4517-4530.
- [5] 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.
- [6] 程瑞宝,温雅辉,张杰,等.基于灰色关联度分析的特定糜子品种(系)选育侧重性指标研究[J]. *内蒙古民族大学学报(自然科学版)*, 2025, 40(3):46-54.
- [7] 程君奇,曹景林,李亚培,等.基于熵权-DTOPSIS法的八个湖北省烤烟区域试验品种的综合评价[J]. *中南农业科技*, 2025, 46(12):47-50.
- [8] 余本勋,张时龙,何友勋,等. DTOPSIS法在水稻区试品种综合评价中的应用研究[J]. *现代农业科技*, 2010(5):37-38, 41.
- [9] 张晓申,韩燕丽,樊永强,等.基于灰色关联度和DTOPSIS法对谷子区域试验的综合评价[J]. *种子*, 2022, 41(9):121-126, 133.
- [10] 崔新菊,董世磊,任红松,等.基于组合权重的DTOPSIS法在棉品种(系)综合评价中的应用[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(27):10-12, 17.
- [11] 宋中强,张文川,王帅,等.基于熵权法赋权的DTOPSIS法和模糊评价法综合评价谷子区试品种[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(16):49-54.

## Comprehensive Evaluation of Broomcorn Millet Varieties in Regional Trials of Chifeng City by DTOPSIS Method Based on Entropy Weight

Zuo Yanyan<sup>1</sup>, Qi Mingyu<sup>1</sup>, Li Zhiguang<sup>1</sup>, Fan Wenqi<sup>1</sup>, Feng Jinghan<sup>1</sup>, Ma Junling<sup>1</sup>, Zhao Min<sup>1</sup>, Dai Xu<sup>2</sup>,  
Zhang Liyuan<sup>1</sup>

(1. Chifeng Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Chifeng 024000, China; 2. Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010011, China)

**Abstract:** In this study, 13 varieties from the 15th National Regional Trial of Broomcorn Millet (Glutinous) Varieties in 2024 were used as experimental materials. An evaluation system was constructed using 8 representative agronomic and yield-related indicators: growth period, plant height, number of main stem nodes, effective tiller number, main panicle length, grain weight per panicle, 1 000-grain weight and grain yield. The DTOPSIS method integrated with entropy weight assignment was then employed to conduct a comprehensive evaluation of the tested varieties in Chifeng City, aiming to provide a scientific basis for elite variety selection. Weight calculation results revealed that effective tiller number (weight coefficient = 0.508 37) was the key determinant of broomcorn millet yield. In contrast, growth period (0.000 77) and number of main stem nodes (0.000 90) had relatively minor effects on yield. The comprehensive evaluation rankings of the varieties by the DTOPSIS method from highest to lowest were as follows: Yishu No.13, Jishu No.4, Chishu No.10, Jinshu No.15, 4652 (2-30), NM18-03, 1651 (5-33), Yishu No.10, 2013FMZ3-1-3, 19-174, Chishu No.11, Baimi No.1, and 2023-Y-1. The top-performing variety, Yishu No.13, achieved a  $C_i$  value of 0.883 38, while the poorest-performing variety, 2023-Y-1, had a  $C_i$  value of 0.076 34, indicating a substantial difference between the two. This comprehensive evaluation method balances yield potential and agronomic trait coordination in broomcorn millet varieties, overcoming the one-sidedness of single-indicator evaluation and enabling a systematic assessment of the tested varieties.

**Key Words:** Entropy weight method; DTOPSIS method; Broomcorn millet; Regional trial; Chifeng City

(上接第 32 页)

## Screening and Comprehensive Evaluation of 35 Millet Varieties in Aohan Banner

Li Xin<sup>1</sup>, Yu Zetao<sup>1</sup>, Zhang Fuguo<sup>1</sup>, Feng Bin<sup>1</sup>, Hong Zhong<sup>1</sup>, Li Fei<sup>1</sup>, Zhao Tiefeng<sup>1</sup>, Li Haidong<sup>1</sup>, Yan Liwei<sup>1</sup>,  
Li Xiaoping<sup>1</sup>, Zhang Weiwei<sup>1</sup>, Huang Shuo<sup>1</sup>, Zhou Zeyan<sup>1</sup>, Hu Shukai<sup>1</sup>, Xu Zhenxing<sup>1</sup>, Zhao Li<sup>1</sup>,  
Hou Changjiang<sup>1</sup>, Zhang Xiaoming<sup>2</sup>, Li Chao<sup>3</sup>, Zhou Xuan<sup>4</sup>, Yang Simin<sup>4</sup>, Rong Xiaoping<sup>4</sup>

(1. Chifeng Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center, Chifeng 024000, China; 2. Hohhot Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center, Hohhot 010010, China; 3. Weihai Ocean Vocational College, Weihai 264300, China; 4. Inner Mongolia Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center, Hohhot 010010, China)

**Abstract:** To study the agronomic traits and difference of different millet varieties, and the relationship between the main agronomic traits and yield of millet, and screen out high-quality and high-yield millet varieties, variance analysis, correlation analysis and principal component analysis were conducted on 35 millet varieties in Aohan Banner respectively. The results showed that yield was significantly positively correlated with the single ear weight, with a correlation coefficient of 0.426. Ear length is extremely significantly positively correlated with stem length, with a correlation coefficient of 0.489. Plant height is significantly positively correlated with ear diameter, with a correlation coefficient of 0.376. The single ear weight is significantly positively correlated with ear length, with a correlation coefficient of 0.362. The findings indicated close relationships between growth factors and yield formation factors, which collectively determine final yield. The yield promotion can focus on enhancing nutrient accumulation in the early stage and optimizing cultivation measures. Principal component analysis reduced to the main two components, with a cumulative contribution rate of 83.09%. Further, based on the comprehensive scores and yield traits, it can be known that Menghonggu No.2, Jinmiao k7, Jinmiao k4, Jinmiao k8, Chigu k6, Zhongzagu 29, and LeiguGK33 were suitable to be cultivated and spreaded as millet varieties with good comprehensive traits in Aohan Banner.

**Key Words:** Millet; High yield; Excellence; Correlation analysis; Principal component analysis

孙钰晨,周粉山,王立坤,等. 15%吡氟酰草胺 OD 与不同药剂复配对水稻移栽田杂草防效及安全性[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2):46-51(2026-03-26). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.006.

# 15%吡氟酰草胺 OD 与不同药剂复配对水稻移栽田杂草防效及安全性

孙钰晨<sup>1</sup>,周粉山<sup>2</sup>,王立坤<sup>1</sup>,葛晓琴<sup>1</sup>,周金鑫<sup>1\*</sup>

(1. 兴化市现代农业发展服务中心,江苏 泰州 225700;2. 兴化市大垛镇农村工作办公室,江苏 泰州 225700)

**摘要:**15%吡氟酰草胺 OD 与不同药剂复配(在水稻移栽前 1 d 施药)对多种杂草的防效及对水稻的安全性田间试验,为水稻移栽田杂草防除提供理论依据和数据支撑。结果表明,药后 20 d 15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>+35%丙炔草酮·丁草胺 EW 100 mL/667 m<sup>2</sup>和 15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>+40%丙草胺 EC 80 mL/667 m<sup>2</sup>对杂草防效较高,分别为 98.08%、97.12%。药后 40 d 15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>+35%丙炔草酮·丁草胺 EW 100 mL/667 m<sup>2</sup>对杂草防效最高,为 84.46%。15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>和 160 mL/667 m<sup>2</sup>用量单剂和复配剂处理的水稻在药后 10 d 有药害症状,药后 20 d 调查水稻恢复正常,各处理在水稻移栽前施药对水稻安全,具有应用前景。

**关键词:**15%吡氟酰草胺 OD;复配;防效;安全性

**中图分类号:**S482.4+6

**文献标志码:**B

**文章编号:**1673-6486-20260002

近年来,随着水稻的机插秧技术成熟化、标准化、高效化,机插秧水稻已经成为长江中下游稻区的主流栽培模式。然而机插秧稻田秧苗小、成活慢、封行晚,导致利于杂草生长的真空期较大<sup>[1]</sup>。再加上近年来夏季连续高温、降水量少,干湿交替下杂草出草期加长,在水稻分蘖末期仍会有大量千金子(*Leptochloa chinensis*)和马唐(*Digitaria sanguinalis*)出苗,且可正常结实<sup>[2]</sup>。常年单一除草剂的使用导致杂草抗性水平上升<sup>[3]</sup>,封闭效果大幅度下降,常规封闭除草剂已无法满足稻田除草需求。而且当前水稻田除草剂虽然登记产品较多,但有效成分相似度高,实际可选择的新产品较少<sup>[4]</sup>,因此需要研究新的除草剂配方来缓解稻田除草压力。目前吡氟酰草胺多用于麦田杂草防除,于水稻田上的应用较少,本研究将吡氟酰草胺和多种稻田常用封闭除草剂复配,探索封闭除草的新配方及使用技术以保证水稻的高效生产。

吡氟酰草胺属于酰胺类除草剂,一般于杂草出芽前及出芽后早期使用,其作用机理是阻碍杂草体内类胡萝卜素的合成,使吸收药剂的杂草中类胡萝卜素含量下降,导致叶绿素被破坏,细胞膜破裂,表

现为幼芽脱色或白色,最后整株萎蔫死亡,可防除玉米、大豆、小麦等作物田一年生禾本科和阔叶类杂草<sup>[5]</sup>。目前关于吡氟酰草胺在水稻田杂草防除上的应用报道较少,本研究通过田间小区试验,探索了 15%吡氟酰草胺 OD 与不同药剂复配对水稻移栽田杂草的防效及其对水稻的安全性。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验地概况

试验位于兴化市大垛镇管阮村麦茬稻田(120°2'25"E、32°54'59"N),秸秆全量还田,田块地势平坦,土壤类型为黏泥土,有机质含量(质量分数,下同)15.50 g/kg、氮含量 1.43 g/kg、有效磷含量 16 mg/kg、速效钾含量 74 mg/kg,pH 值为 6.8,肥力中等,沟渠配套,各处理区栽培条件一致(统一品种、统一播种、统一管理)。

### 1.2 试验材料

**1.2.1 作物。**水稻品种为当地主流栽培品种南粳 9108,为迟熟中粳品种,于 2025 年 6 月 27 日移栽。

**1.2.2 杂草。**试验田草相为稗属杂草(*Echinochloa Beauv.*)、千金子(*Leptochloa chinensis*)、耳叶水苋(*Ammannia arenaria*)、鸭舌草(*Monochoria vaginalis*)、异型莎草(*Cyperus difformis*)。

**1.2.3 供试药剂。**15%吡氟酰草胺 OD,安道麦辉丰(江苏)有限公司提供;41%氟噻草胺 SC,迈克斯(如

收稿日期:2026-01-04;修回日期:2026-03-04。

作者简介:孙钰晨(1996—),男,硕士,助理农艺师,主要从事病虫害预测预报及防治研究。Email: 422787128@qq.com。

\* 通信作者:周金鑫(1986—),男,硕士,高级农艺师,主要从事病虫害预测预报及防治研究。Email: 707444415@qq.com。

东)化工有限公司提供;48%异噁草松 SC,江苏辉丰生物农业股份有限公司提供;35%丙嘧·丁草胺 EW,安道麦辉丰(上海)农业技术有限公司提供;

40%丙草胺 EC,市售;40%苄嘧·丙草胺 OD,市售。

1.3 试验处理

具体试验处理见表1。

表1 试验处理

编号	处理	用量/(g 或 mL/667 m <sup>2</sup> )	施药时间	
1	15%吡氟酰草胺 OD	80	移栽前 1 d	
2	15%吡氟酰草胺 OD	160		
3	15%吡氟酰草胺 OD+40%丙草胺 EC	80+80		
4	15%吡氟酰草胺 OD+41%氟噻草胺 SC	80+10		
5	15%吡氟酰草胺 OD+35%丙炔噁草酮·丁草胺 EW	80+100		
6	48%异噁草松 SC	30		
7	15%吡氟酰草胺 OD+48%异噁草松	80+30		
8	15%吡氟酰草胺 OD+40%丙草胺 EC	50+80		
9	15%吡氟酰草胺 OD+41%氟噻草胺 SC	50+10		
10	15%吡氟酰草胺 OD+35%丙炔噁草酮·丁草胺 EW	50+100		
11	15%吡氟酰草胺 OD+48%异噁草松 SC	50+30		
12	40%苄嘧·丙草胺 OD	80		
13	人工除草	—		—
14	清水对照	—		—

注:表中药剂用量基准为该药剂说明书推荐用量。

1.4 试验设计

试验不同处理小区采用随机区组排列。小区面积 20 m<sup>2</sup>(长 5 m、宽 4 m),每处理 3 次重复,共 42 个小区。每小区筑田埂,单排单灌,小区之间不串灌、渗水。

1.5 试验方法

试验于 2025 年 6 月 26 日用药,施药时田间有 1~3 cm 浅水层,对水 30 L/667 m<sup>2</sup> 均匀喷雾,药后保水 5~7 d。药后 1 d 进行人工移栽水稻秧苗。人工除草处理:分别于 2025 年 7 月 3 日、7 月 17 日、7 月 31 日及 8 月 14 日进行人工拔除杂草,共 4 次。

1.6 调查方法

施药 10、20 d 后每个小区取 4 点调查,每点 1 m<sup>2</sup>,分种类调查杂草茎蘖数;施药 45 d 后,调查杂草茎蘖数和地上部分鲜质量。分别于施药 7、15 d 后目测各处理对水稻的安全性。施药 45 d 后,每个小区取 4 点,每点 10 株,调查水稻的株高和茎蘖数。水稻收获前测产。

防效计算方式如下:

$$\text{防效} = \frac{\text{对照区杂草茎蘖数(鲜质量)} - \text{处理区杂草茎蘖数(鲜质量)}}{\text{清水对照区杂草茎蘖数(鲜质量)}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 防效

由表 2 可知,药后 10 d 调查,各处理未查见杂草,株防效均为 100%。

由表 3 可知,药后 20 d 调查,各处理均表现出较高防效,其中 15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>+35%丙炔噁草酮·丁草胺 EW 100 mL/667 m<sup>2</sup>、15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>+40%丙草胺 EC 80 mL/667 m<sup>2</sup> 处理的总草株防效较高,分别为 98.08%、97.12%,15%吡氟酰草胺 OD 160 mL/667 m<sup>2</sup>、15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>+41%氟噻草胺 SC 10 mL/667 m<sup>2</sup>、15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>+48%异噁草松 SC 30 mL/667 m<sup>2</sup> 处理的总草株防效也均高于 85%。而 15%吡氟酰草胺 OD 50 mL/667 m<sup>2</sup> 与其他药剂复配,总草株防效低于单剂 15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>,高于对照药剂 40%苄嘧·丙草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>。

由表 4 可知,药后 45 d 调查,各处理总草防效均有所下降,其中 15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>+35%丙炔噁草酮·丁草胺 EW 100 mL/667 m<sup>2</sup> 处理的

总草株防效最高,为 85.32%,其他处理防效也均高于对照药剂 48%异噁草松 SC 30 mL/667 m<sup>2</sup> 和 40% 苄嘧·丙草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup> 处理(表 4)。

表 2 不同处理对水稻移栽田杂草防效(药后 10 d)

编号	株防效 /%					
	稗属杂草	千金子	鸭舌草	耳叶水苋	异型莎草	总草
1	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
2	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
3	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
4	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
5	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
6	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
7	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
8	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
9	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
10	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
11	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
12	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a	100 a
14(CK)	(3.33)	(2.33)	(0.33)	(0.67)	(0.33)	(7.00)

注:清水对照(CK)数据为杂草茎蘖数,单位为个/m<sup>2</sup>。同列数据后相同小写字母表示处理间差异不具统计学意义( $P > 0.05$ )。

表 3 不同处理对水稻移栽田杂草防效(药后 20 d)

编号	株防效 /%					
	稗属杂草	千金子	鸭舌草	耳叶水苋	异型莎草	总草
1	87.50 bc	87.88 ab	72.73 c	81.82 b	88.89 ab	85.58 cd
2	92.50 ab	90.91 ab	81.82 b	90.91 ab	100.00 a	91.35 bc
3	97.50 a	96.97 a	90.91 ab	100.00 a	100.00 a	97.12 a
4	95.00 ab	93.94 ab	81.82 b	100.00 a	100.00 a	94.23 ab
5	97.50 a	96.97 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	98.08 a
6	85.00 bc	84.85 ab	63.64 d	72.73 d	88.89 ab	81.73 d
7	87.50 bc	87.88 ab	72.73 c	90.91 ab	100.00 a	87.50 bc
8	85.00 bc	87.88 ab	72.73 c	81.82 b	88.89 ab	84.62 cd
9	82.50 cd	84.85 ab	81.82 b	81.82 b	88.89 ab	83.65 cd
10	82.50 cd	84.85 ab	81.82 b	81.82 b	100.00 a	84.62 cd
11	82.50 cd	81.82 b	72.73 c	81.82 b	77.78 b	80.77 d
12	80.00 d	84.85 ab	72.73 c	72.73 c	66.67 c	78.85 e
14(CK)	(13.33)	(11.00)	(3.67)	(3.67)	(3.00)	(34.67)

注:清水对照(CK)数据为杂草茎蘖数,单位为个/m<sup>2</sup>。同列数据后不同小写字母表示处理间差异具统计学意义( $P < 0.05$ )。下表同。

表4 不同处理对水稻移栽田杂草防效(药后45 d)

编号	株防效 /%					
	稗属杂草	千金子	鸭舌草	耳叶水苋	异型莎草	总草
1	70.59 abc	73.56 ab	79.59 bc	74.29 bc	75.68 b	74.06 e
2	72.94 abc	78.16 ab	83.67 ab	85.71 ab	78.38 ab	78.50 bed
3	76.47 ab	80.46 ab	89.80 a	82.86 ab	83.78 ab	81.57 ab
4	77.65 ab	81.61 ab	83.67 ab	77.14 bc	86.49 ab	80.89 abc
5	84.71 a	87.36 a	85.71 ab	77.14 bc	89.19 a	85.32 a
6	55.29 cd	70.11 bc	73.47 cd	74.29 bc	75.68 b	67.58 f
7	78.82 ab	81.61 ab	77.55 bc	77.14 bc	83.78 ab	79.86 bed
8	68.24 abc	70.11 bc	81.63 abc	77.14 bc	81.08 ab	73.72 e
9	65.88 bc	73.56 ab	85.71 ab	85.71 ab	81.08 ab	75.77 cde
10	69.41 abc	75.86 ab	85.71 ab	91.43 a	86.49 ab	78.84 bed
11	70.59 abc	71.26 bc	81.63 abc	77.14 bc	81.08 ab	74.74 de
12	49.41 d	57.47 c	67.35 d	65.71 c	62.16 c	58.36 g
14(CK)	(28.33)	(29.00)	(16.33)	(11.67)	(12.33)	(97.67)

注:清水对照(CK)数据为杂草茎蘖数,单位为个/m<sup>2</sup>。

鲜质量防效调查结果(表5)表明,15%吡氟酰草胺 OD 80+35%丙炔噁草酮·丁草胺 EW 100 mL/667 m<sup>2</sup>处理的总草防效最高,为84.46%,其他处理防效也

均高于对照药剂 48%异噁草松 SC 30 mL/667 m<sup>2</sup>和 40%苄嘧·丙草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup>处理。

表5 不同处理对水稻移栽田杂草防效(药后45 d)

编号	鲜质量防效 /%					
	稗属杂草	千金子	鸭舌草	耳叶水苋	异型莎草	总草
1	71.76 abc	73.64 ab	79.45 abc	74.80 bc	75.63 b	75.22 c
2	73.58 ab	78.50 ab	83.16 abc	85.86 ab	78.29 ab	80.32 abc
3	77.88 ab	80.63 ab	89.11 a	82.41 ab	84.15 ab	83.01 a
4	77.63 ab	81.90 ab	83.37 abc	77.25 bc	85.54 ab	80.70 abc
5	84.62 a	87.84 a	85.68 ab	77.56 bc	89.60 a	84.46 a
6	55.88 cd	70.21 bc	73.83 cd	74.70 bc	75.52 b	69.67 d
7	78.94 ab	81.58 ab	77.81 bc	77.17 bc	83.66 ab	79.24 abc
8	68.90 abc	70.71 bc	81.66 abc	77.54 bc	81.39 ab	75.74 bc
9	66.04 bc	74.30 ab	85.69 ab	85.76 ab	81.51 ab	78.81 abc
10	69.76 abc	76.03 ab	85.48 ab	91.47 a	86.42 ab	81.63 ab
11	70.76 abc	71.81 bc	81.43 abc	77.36 bc	79.59 ab	76.10 bc
12	48.49 d	57.22 c	67.23 d	65.92 c	62.70 c	60.49 e
14(CK)	(50.70)	(50.92)	(63.75)	(54.25)	(22.75)	(242.38)

注:清水对照(CK)数据为杂草鲜质量,单位为 g/m<sup>2</sup>。

## 2.2 安全性及产量

药后 10 d 调查,各处理中,15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup> 单剂及与其他药剂复配处理的水稻叶尖均有发黄,少部分基部出现白化;15%吡氟酰草胺 OD 160 mL/667 m<sup>2</sup> 处理的水稻药害症状重于其他处理;其余各处理水稻无药害症状,与清水对照处理无明显差异。

药后 20 d 调查,各处理药害症状有所缓解,水

稻长势趋于正常,与清水对照相比无明显差异。

药后 45 d 调查,各处理水稻株高略低于人工除草和清水对照,差异无统计学意义。各处理茎蘖数略低于人工除草,略高于清水对照(表 6)。

测产结果表明,各处理产量均高于清水对照,略低于人工除草,各处理间产量差异无统计学意义(表 6)。

表 6 不同处理对水稻安全性及产量

编号	株高 /cm	茎蘖数/(个/株)	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )
1	37.44 a	12.83 ab	9 229.61 a
2	37.26 a	12.87 ab	9 334.67 a
3	37.16 a	12.73 ab	9 354.68 a
4	36.85 a	13.03 a	9 379.69 a
5	36.91 a	13.03 a	9 404.70 a
6	36.55 a	12.87 ab	9 279.64 a
7	36.67 a	13.10 a	9 329.66 a
8	36.84 a	12.83 ab	9 429.71 a
9	37.32 a	13.07 a	9 304.65 a
10	36.78 a	12.63 ab	9 329.66 a
11	36.91 a	12.83 ab	9 479.74 a
12	37.53 a	13.07 a	9 429.71 a
13	38.58 a	13.40 a	9 679.84 a
14(CK)	38.38 a	11.63 b	7 928.96 b

## 3 讨论与小结

近年来,稻田恶性杂草抗性水平上升严重。有研究发现,长江中下游稻区稗属杂草对目前主流的乙酰乳酸合成酶(ALS)、乙酰辅酶 A 羧化酶(ACCase)等抑制类除草剂均有不同水平的抗性<sup>[6]</sup>,千金子对氰氟草酯呈极高水平抗性<sup>[7]</sup>,耳叶水苋对苄嘧磺隆有极高抗性,抗性倍数达 120<sup>[8]</sup>。杂草抗性的治理一般是将不同作用机理的除草剂进行轮换使用,从而降低选择压,延缓或控制杂草抗性的进一步增强<sup>[9]</sup>。且当前杂草抗性多集中于茎叶处理的除草剂,所以采用封闭及封杀的策略有利于对杂草抗性的治理<sup>[10]</sup>。有研究发现,3%吡氟酰草胺颗粒剂在水稻移栽前施药,对丁香蓼、鸭舌草和鳢肠具有较高防效且对水稻安全<sup>[11]</sup>。五氟磺草胺与吡氟酰草

胺复配于杂草 2—3 叶期施药,对稗、马唐、异型莎草和鳢肠具有较高防效<sup>[12]</sup>。本研究将 15%吡氟酰草胺 OD 与不同药剂复配,探索了不同配方对水稻移栽田杂草防效及对水稻安全性的影响,扩大了杀草谱,为进一步推广应用提供了理论依据和数据支撑。

试验结果表明,15%吡氟酰草胺 OD 与其他药剂复配对稻田多种恶性杂草(稗属杂草、千金子、耳叶水苋、鸭舌草、异型莎草)均有较高的防除效果,且对水稻安全性较高,对产量无明显影响。15%吡氟酰草胺 OD 80 mL/667 m<sup>2</sup> 与不同药剂复配对杂草防效高于 80%,15%吡氟酰草胺 OD 50 mL/667 m<sup>2</sup> 与不同药剂复配对杂草防效高于 70%,且通过与其他药剂复配降低用药量,可以降低吡氟酰草胺初期的药害现象,同时对治理杂草抗性水平有重要作用。

## 参考文献:

- [1] 高 婷. 水稻机插秧田杂草发生及防除研究[D]. 南京:南京农业大学,2014:1.
- [2] 王红春,徐 蓬,孙钰晨,等. 江苏省稻田杂草的发生现状与防控建议[J]. 杂草学报,2019,37(4):1-5.
- [3] 谷 涛,张自常,曹晶晶,等. 细胞色素 P450 介导的杂草抗药性研究进展[J]. 植物保护,2024,50(4):1-15.
- [4] 朱阿秀,朱先敏,牟文雅,等. 水稻田除草剂登记现状及生产适用分析[J]. 农药科学与管理,2026,47(2):25-30.
- [5] 刘长令,李慧超,芦志成. 世界农药大全 - 除草剂卷, Herbicide:除草剂卷 Herbicide[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,2022:405-408.
- [6] 孙鹏雷. 稗对五氟磺草胺、氰氟草酯的抗性机理研究[D]. 北京:中国农业科学院,2023:5.
- [7] 安 楷. 江苏水稻田千金子种群生物学及其飞防技术研究[D]. 扬州:扬州大学,2025:3-5.
- [8] 董立尧,高 原,房加鹏,等. 我国水稻田杂草抗药性研究进展[J]. 植物保护,2018,44(5):69-76.
- [9] 刘兴林,孙 涛,付声姣,等. 水稻田除草剂的应用及杂草抗药性现状[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2015, 43(7):115-126.
- [10] 薛 静,曹晶晶,朱早兵,等. 2次封闭化除对旱直播稻田杂草防效及对水稻的安全性[J]. 现代农药,2025,24(5):47-51.
- [11] 李君君,戴玲玲,柏新盛,等. 3%吡氟酰草胺颗粒剂防除水稻移栽田阔叶杂草田间药效试验[J]. 湖北农业科学,2020, 59(6):88-91.
- [12] 许勇华,赵恒科,赵灵杰,等. 五氟磺草胺与吡氟酰草胺的联合作用及对水稻移栽田杂草的防效[J]. 农药学报,2022, 24(4):812-818.

## Efficacy and Safety of 15% Diflufenican OD Combined with Different Adjuvants for Weed Control in Transplanted Rice Fields

Sun Yuchen<sup>1</sup>, Zhou Fenshan<sup>2</sup>, Wang Likun<sup>1</sup>, Ge Xiaoqin<sup>1</sup>, Zhou Jinxin<sup>1</sup>

(1. Xinghua Modern Agricultural Development Service Center, Taizhou 225700, China;

2. Rural Work Office of Daduo Town, Xinghua City, Taizhou 225700, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted to determine the rice safety and control efficacy against various weeds of 15% diflufenican OD combined with different herbicides applied one day before rice transplanting, providing theoretical basis and data support for weed control in transplanted rice fields. The results showed that at 20 days after application, the combinations of 15% diflufenican OD 80 mL/667 m<sup>2</sup> + 35% oxadiargyl·butachlor EW 100 mL/667 m<sup>2</sup> and 15% diflufenican OD 80 mL/667 m<sup>2</sup> + 40% pretilachlor EC 80 mL/667 m<sup>2</sup> exhibited high weed control efficacy, reaching 98.08% and 97.12%, respectively. At 40 days after application, the combination of 15% diflufenican OD 80 mL/667 m<sup>2</sup> + 35% oxadiargyl·butachlor EW 100 mL/667 m<sup>2</sup> achieved the highest weed control efficacy of 84.46%. Rice treated with 15% diflufenican OD alone (80 mL/667 m<sup>2</sup> and 160 mL/667 m<sup>2</sup>) and its combinations showed phytotoxicity symptoms at 10 days after application, but recovered to normal by 20 days after application. All treatments applied before rice transplanting were safe for rice and had good application prospects.

**Key Words:** 15% diflufenican OD; Compound; Control effect; Safety

### 本刊常用计量单位符号简介

为执行国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》的规定,根据中华人民共和国“量和单位”系列国家标准(GB3100—1993、GB/T3101—1993和GB/T3102.1~3102.13—1993),现将本刊常用的计量单位符号介绍如下,希广大作者遵照执行。

时间:日(天)—d;表格中(月/日)应用(月-日),如2/30应用02-30;时—h;分—min;秒—s。质量:吨—t;公斤(千克)—kg;克—g;毫克—mg;微克—μg;纳克—ng。体积:升—L;毫升—mL;微升—μL。浓度:通常指物质的量浓度,克分子浓度(M)废用,改为mol/L;当量浓度(N)废用,换算成相应的mol/L;质量浓度单位为kg/L;质量摩尔浓度单位为mol/kg;ppm换算为相应的mg/kg(质量分数)、μL/L(体积分数)、μmol/mol(摩尔分数)等。面积:亩—667 m<sup>2</sup>,万亩换算为万hm<sup>2</sup>等。

刘 燕,陈李一凡,郑昊文,等. 青稞鞘腐病菌室内药剂筛选及咪鲜胺、啶氧菌酯的敏感性测定[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2): 52-57,62(2026-03-27). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.007.

## 青稞鞘腐病菌室内药剂筛选及咪鲜胺、啶氧菌酯的敏感性测定

刘 燕,陈李一凡\*,郑昊文,贺翠萍,姚 强\*

(青海大学农林科学院 / 青海省农业有害生物综合治理重点实验室,青海 西宁 810003)

**摘要:**青稞鞘腐病是近年危害日趋严重的新兴病害,当前尚无登记防治药剂,生产防控面临困境。以青稞鞘腐病菌(*Dactylobotrys graminicola*)为对象,采用菌丝生长速率法筛选确认 8 种杀菌剂的抑菌活性,并据此针对青海省 11 个市县的 81 株病菌开展优势药剂的敏感性测定。结果显示:咪鲜胺、啶氧菌酯抑菌效果较优,EC<sub>50</sub> 值分别为 0.119 4、0.360 5 μg/mL;敏感性测定中,咪鲜胺 EC<sub>50</sub> 值范围 0.052 6 ~ 0.509 7 μg/mL(平均 0.192 8 μg/mL,敏感性差异倍数 9.690),啶氧菌酯 EC<sub>50</sub> 值范围 0.108 3 ~ 0.914 9 μg/mL(平均 0.260 6 μg/mL,敏感性差异倍数 8.448)。2 种药剂的病菌种群敏感性频次分布均呈连续单峰型且符合正态分布,可作为敏感性基线。

**关键词:**青稞鞘腐病菌;药剂筛选;咪鲜胺;啶氧菌酯;敏感性

**中图分类号:**TQ450.2

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-6486-20260004

青稞(*Hordeum vulgare* var. *nudum*)作为禾本科大麦属 1 年生草本植物,是青藏高原特有的优势粮食作物,不仅在酿造、食品加工及医药领域具有重要经济价值,更为当地口粮安全与民生保障提供核心支撑,其独特的生态适应性与不可替代的农业战略地位,使其成为高原农业系统的关键组成部分<sup>[1-2]</sup>。

近年来,一种危害青稞穗部的新型真菌病害——青稞鞘腐病,在青藏高原及周边农区持续暴发,已对青稞产业造成严重威胁。该病害病原菌初步被鉴定为丛梗丝孢菌,模式种为禾生指葡孢霉(*Dactylobotrys graminicola*)<sup>[3]</sup>。其典型症状表现为镰刀状病斑,外围常伴随淡黄色或黄褐色晕圈,主要侵染青稞叶鞘与穗部,不仅阻碍植株正常抽穗、导致枯孕穗造成显著减产,还能产生单端孢霉烯类毒素,严重降低青稞品质与食用安全性<sup>[4]</sup>。目前,该病已在青海、西藏、甘肃、云南等青稞主产区广泛蔓延,一般田块病穗率达 1% ~ 5%,重病田块病穗率更是突破 30%,发生范围与危害程度仅次于青稞条纹

病,已跃升为威胁青稞生产的第二大病害<sup>[5]</sup>。

尽管青稞鞘腐病危害日趋严重,但当前关于该病害的防控研究却鲜见报道:既无成熟的防治技术体系,也无登记用于该病害的专用药剂,导致生产上面临防控效果不佳,还可能增加病原菌抗药性风险<sup>[6-7]</sup>。在此背景下,筛选高效、安全的候选药剂并明确病原菌对药剂的敏感性特征,成为开展病害科学防控的首要任务。其中,咪鲜胺作为咪唑类甾醇生物合成抑制剂,具有广谱内吸特性,对镰孢菌、炭疽菌等引起的子囊菌纲、半知菌纲病害兼具保护与治疗作用<sup>[8-9]</sup>;啶氧菌酯作为甲氧基丙烯酸酯类(QoI 类)杀菌剂的核心品种,凭借高效广谱、内吸传导性强的优势,可抑制病原菌侵染菌丝扩展,对已侵入植物组织的病菌仍有防效<sup>[10-11]</sup>,二者均为作物真菌病害防治的主流药剂,具备成为青稞鞘腐病候选防控药剂的潜力。

测定病原菌对药剂的敏感性是科学筛选药剂、优化施药方案、延缓抗药性演化的关键前提<sup>[12]</sup>。目前,关于青海省青稞鞘腐病菌对咪鲜胺、啶氧菌酯等主流杀菌剂的敏感性特征尚未见报道。基于此,本研究以 2024 年从青海省 11 个县市分离的 81 株青稞鞘腐病菌为研究对象,采用菌丝生长速率法测定其对咪鲜胺、啶氧菌酯的敏感性并构建敏感性基线,同时分析不同地理来源菌株的敏感性差异<sup>[13]</sup>。研究结果旨在为青稞鞘腐病防治药剂的登记提供基础数据,为田间抗药性监测与科学用药策略制定提

收稿日期:2026-01-08;修回日期:2026-03-17。

基金项目:青海省杰出青年基金(2023-ZJ-944J)。

作者简介:刘 燕(1998—),女,硕士研究生,专业为植物病理学。

Email: 13619710135@126.com。

\* 通信作者:姚 强(1983—),男,博士,研究员,主要从事作物病害综合治理研究,Email: yaoqiang2010@126.com;陈李一凡(1997—),男,博士,助理研究员,主要从事作物病害综合治理研究,Email: 2025990124@qhu.edu.cn。

供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试菌株

2024年4—7月从青海省海北藏族自治州门源回族自治县、海南藏族自治州贵南县、海南藏族自治州兴海县、海东市乐都区、海西蒙古族藏族自治州格尔木市、西宁市城北区、西宁市湟源县、西宁市湟中区、西宁市大通回族土族自治县、海南藏族自治州共和县、海南藏族自治州同德县共11个县市大面积种植青稞的乡镇采集病穗标本,每个县市至少选取1个乡镇作为采样点,每个采样点选取多块青稞田。采集时通过五点取样法采样,选取鞘腐病发病典型的青稞,其症状表现为叶鞘处出现淡褐

色、紫褐色小斑或呈云纹状大斑,外围常伴有淡黄色或黄褐色晕圈<sup>[14-15]</sup>。采集后用组织分离法对所采集的病穗进行病原菌的分离与纯化,通过形态学鉴定并结合测序结果确定其所属种为禾生指葡孢霉(*D. graminicola*)。菌株编号参考菌株分离的地级市及县市汉语拼音首字母,形成2—4个字母的组合,然后以同一县市分离的顺序依次编号,选取菌株DG-11进行室内药剂筛选,选取其中的81株用于对药剂敏感性测定。

### 1.2 供试药剂

供试药剂均先以丙酮为溶剂进行预溶解,配制为质量浓度 $1.0 \times 10^4 \mu\text{g/mL}$ 的母液;母液分装后置入 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中避光保存备用。供试药剂的具体种类、生产厂商及后续梯度稀释浓度详见表1。

表1 8种杀菌剂室内抑菌活性生物测定所设质量浓度

杀菌剂	质量浓度/( $\mu\text{g/mL}$ )	生产厂商
二氰蒽醌	6、12、18、24	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
咪鲜胺	0.050、0.075、0.100、0.150	上海麦克林生化科技股份有限公司
戊唑醇	1、2、3、4	上海麦克林生化科技股份有限公司
氰霜唑	30、60、90、120	上海麦克林生化科技股份有限公司
啉氧菌酯	0.30、0.50、0.75、1.00	上海麦克林生化科技股份有限公司
二硫化四甲基秋兰姆	16、24、36、48	上海麦克林生化科技股份有限公司
啉酰菌胺	4.5、6.0、9.0、12.0	上海麦克林生化科技股份有限公司
恶霉灵	1、2、3、4	上海麦克林生化科技股份有限公司

注:表中杀菌剂质量浓度参照菌剂使用说明书设定。

### 1.3 供试培养基

马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基:马铃薯200g、琼脂20g、葡萄糖20g,以蒸馏水定容至1L,用于菌株的分离、培养与保存、室内药剂筛选及药剂敏感性测定。

### 1.4 抑菌测定及数据分析

**1.4.1** 8种杀菌剂对青稞鞘腐病菌DG-11的毒力测定。采用菌丝生长速率法<sup>[16]</sup>测定8种杀菌剂对青稞鞘腐病菌菌株DG-11的抑菌活性,具体操作如下:将供试菌株接种于PDA平板,在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温条件下培养4d;待菌落稳定生长后,用直径5mm的无菌打孔器在菌落边缘打取均匀菌饼,将菌饼菌丝面朝下分别接入含不同种类、不同浓度梯度药剂的PDA平板中,同时以不含药剂的空白PDA平板作为对照。每个处理设置3次生物学重复,所有平板均

置于 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温培养箱中倒置培养4d。培养结束后,采用十字交叉法测量各处理组的菌落直径(mm),并参照公式计算菌丝生长抑制率,计算各药剂对菌株DG-11的有效抑制中浓度 $\text{EC}_{50}$ 值。其中,菌丝生长抑制率计算公式如下:

菌丝生长抑制率 = (对照菌落直径平均值 - 处理菌落直径平均值) / (对照菌落直径平均值 - 菌饼直径)  $\times 100\%$ 。

**1.4.2** 青稞鞘腐病菌对咪鲜胺、啉氧菌酯的敏感性测定及敏感性基线的建立。参照“1.4.1”节的方法,分别测定81株青稞鞘腐病菌对咪鲜胺、啉氧菌酯的敏感性,通过概率单位法拟合毒力回归方程<sup>[17]</sup>;采用DPS v7.05数据处理系统进行统计分析,计算方程相关系数( $r$ )及有效中浓度( $\text{EC}_{50}$ )值。以全省菌株 $\text{EC}_{50}$ 均值为基准(设为1),以不同区域菌株 $\text{EC}_{50}$ 均

值与全省菌株  $EC_{50}$  均值之比计算不同地区敏感性指数。依据野生型敏感病原菌群体对药剂的敏感性呈正态分布的原理<sup>[18]</sup>,在供试菌株对 2 种药剂的  $EC_{50}$  取值范围内,以 0.002  $\mu\text{g/mL}$  为组距对  $EC_{50}$  进行区间划分,统计各区间内的菌株出现频率。以每个  $EC_{50}$  区间的中值为横坐标、对应区间的菌株数量为纵坐标,绘制青稞鞘腐病菌对咪鲜胺、啮氧菌酯的敏感性频次分布图,进而建立相应药剂的敏感性基线。同时,对频次分布数据进行正态性检验与方差分析,采用最小显著差数(LSD)法进行多重比较,以验证不同区间菌株敏感性差异的统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 8 种杀菌剂对青稞鞘腐病菌 DG-11 的毒力

8 种杀菌剂对青稞鞘腐病菌的室内毒力测定结果(表 2)表明,这些不同作用机制的杀菌剂对青稞鞘腐病菌(DG-11)菌丝生长的抑制活性差异明显。甾醇

合成抑制剂类中,咪鲜胺(咪唑类)抑菌活性最强, $EC_{50}$  值仅为 0.119 4  $\mu\text{g/mL}$ ,而同属该类的戊唑醇(三唑类)、氰霜唑(咪唑类)活性较弱, $EC_{50}$  值分别为 3.192 4、88.280 7  $\mu\text{g/mL}$ ,体现出同类药剂不同结构的作用效率差异;QoI 类呼吸抑制剂啮氧菌酯(甲氧基丙烯酸酯类)活性仅次于咪鲜胺, $EC_{50}$  值为 0.360 5  $\mu\text{g/mL}$ ;其他机制药剂中,恶霉灵(细胞壁合成抑制)活性中等( $EC_{50}$ =2.033 5  $\mu\text{g/mL}$ ),二氟蒽醌(多靶点氧化胁迫)、啮酰菌胺[琥珀酸脱氢酶抑制剂(succinate dehydrogenase inhibitor,SDHI),类呼吸抑制]活性较弱( $EC_{50}$  值分别为 15.025 0、12.417 9  $\mu\text{g/mL}$ ),二硫化四甲基秋兰姆(多靶点酶抑制)活性最差( $EC_{50}$ =31.711 0  $\mu\text{g/mL}$ )。所有药剂毒力回归方程的相关系数( $r$ ) > 0.95,且  $P < 0.05$ ,数据可靠。综上,咪鲜胺、啮氧菌酯对该病菌的抑制活性较优,可作为后续防治的核心候选药剂,进一步开展田间与敏感性研究。

表 2 8 种杀菌剂室内毒力测定结果

杀菌剂	毒力回归方程	$EC_{50}$ 值 / ( $\mu\text{g/mL}$ ) (95%置信区间)	相关系数( $r$ )	$P$ 值
二氟蒽醌	$y = 0.832 0 x - 0.479 1$	15.025 0 (13.538 4 ~ 16.884 2)	0.996 7	0.003 3
咪鲜胺	$y = 0.647 8 x + 1.097 9$	0.119 4 (0.103 9 ~ 0.135 8)	0.991 3	0.008 7
戊唑醇	$y = 0.505 2 x + 0.245 3$	3.192 4 (2.678 3 ~ 3.816 5)	0.984 1	0.015 9
氰霜唑	$y = 0.839 6 x - 1.133 7$	88.280 7 (54.871 6 ~ 141.720 6)	0.954 3	0.045 7
啮氧菌酯	$y = 0.523 1 x + 0.731 8$	0.360 5 (0.295 7 ~ 0.438 4)	0.982 7	0.017 3
二硫化四甲基秋兰姆	$y = 1.177 2 x - 1.267 2$	31.711 0 (26.940 9 ~ 37.621 3)	0.994 2	0.005 8
啮酰菌胺	$y = 1.121 1 x - 0.726 5$	12.417 9 (11.265 8 ~ 12.782 0)	0.999 6	0.000 4
恶霉灵	$y = 1.780 4 x + 4.451 2$	2.033 5 (1.791 2 ~ 2.308 7)	0.985 3	0.014 7

### 2.2 青稞鞘腐病菌对咪鲜胺、啮氧菌酯的敏感性

采用菌丝生长抑制法测定 81 株青稞鞘腐病菌对咪鲜胺的敏感性,结果显示:不同县市菌株的敏感性存在差异,其  $EC_{50}$  范围为 0.052 6 ~ 0.509 7  $\mu\text{g/mL}$ ,菌株间敏感性差异达 9.690 倍,平均  $EC_{50}$  为 0.192 8  $\mu\text{g/mL}$ 。其中,西宁市湟中区菌株的敏感性最高( $EC_{50}$  均值 0.133 5  $\mu\text{g/mL}$ ),西宁市湟源县菌株的敏感性最低( $EC_{50}$  均值 0.272 5  $\mu\text{g/mL}$ ),二者差异达 2.04 倍。以全省菌株  $EC_{50}$  均值(0.192 8  $\mu\text{g/mL}$ )为基准(设为 1)进行区域比较:海南州兴海县、海南州共和县、西宁大通县、西宁湟中区、海北门源县的菌株敏感性高于全省平均水平;海东乐都区菌株敏感性处于中等;其余 5 个县(市)菌株的敏感性低于

全省平均水平(表 3)。

对 80 株青稞鞘腐病菌的啮氧菌酯敏感性测定结果显示:不同县市菌株的  $EC_{50}$  范围为 0.108 3 ~ 0.914 9  $\mu\text{g/mL}$ ,菌株间敏感性差异为 8.448 倍,平均  $EC_{50}$  为 0.260 6  $\mu\text{g/mL}$ 。其中,海南州共和县菌株的敏感性最高( $EC_{50}$  均值 0.142 8  $\mu\text{g/mL}$ ),海南州贵南县菌株的敏感性最低( $EC_{50}$  均值 0.314 2  $\mu\text{g/mL}$ ),二者差异达 2.20 倍。以全省菌株  $EC_{50}$  均值(0.260 6  $\mu\text{g/mL}$ )为基准(设为 1)比较:海南州兴海县、海南州共和县、西宁湟源县、西宁大通县的菌株敏感性高于全省平均水平;海西格尔木市、西宁湟中区菌株敏感性处于中等;其余 5 个县(市)菌株的敏感性低于全省平均水平(表 3)。



**2.3 青稞鞘腐病菌种群菌丝生长对咪鲜胺、啮氧菌酯的敏感性频次分布**

对采自 11 个县市的 81 株青稞鞘腐病菌进行咪鲜胺敏感性测定,结果显示:供试菌株对咪鲜胺的敏感性呈连续分布(图 1-A), $EC_{50}$  最高值为  $0.5097 \mu\text{g/mL}$ (对应毒力回归方程  $y=0.4541x+0.6329$ , 相关系数  $r=0.9843$ ),最低值为  $0.0526 \mu\text{g/mL}$ (对应毒力回归方程  $y=0.3258x+0.9167$ , 相关系数

$r=0.9907$ ),平均  $EC_{50}$  为  $0.1928 \mu\text{g/mL}$ 。以  $0 \mu\text{g/mL}$  为下限、 $0.55 \mu\text{g/mL}$  为上限,将咪鲜胺  $EC_{50}$  划分为 11 组(组距  $0.05 \mu\text{g/mL}$ ),统计各组菌株数量并绘制敏感性频次分布图(图 1-B),结果显示该病菌种群对咪鲜胺的敏感性频次分布曲线呈连续单峰型,且符合正态分布,可作为青稞鞘腐病菌对咪鲜胺的敏感性基线。

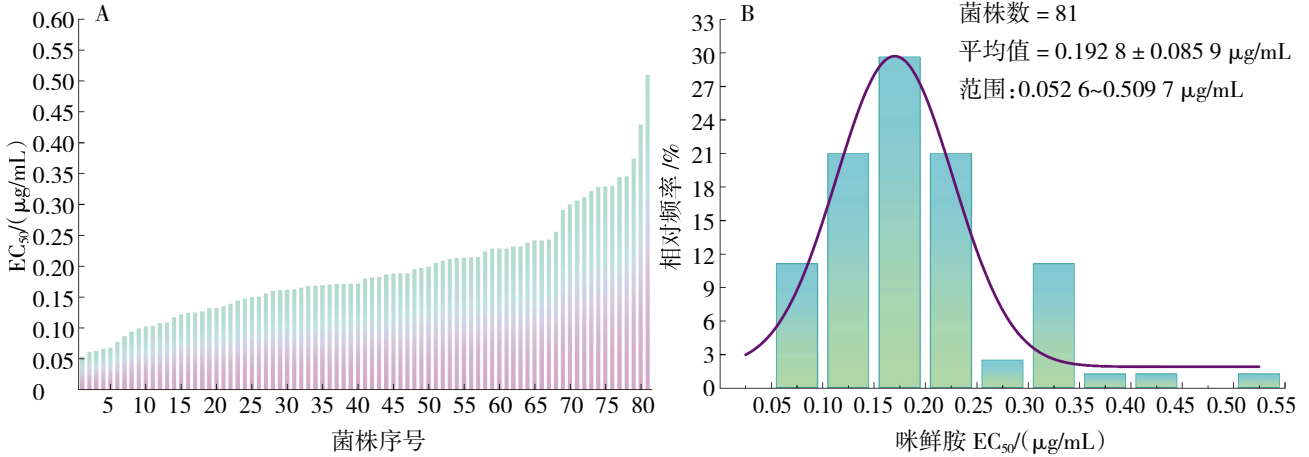


图 1 青稞鞘腐病菌对咪鲜胺的敏感性(A)及频次分布(B)

对上述 11 个县市的 80 株青稞鞘腐病菌进行啮氧菌酯敏感性测定,结果显示:供试菌株对啮氧菌酯的敏感性同样呈连续分布(图 2-A), $EC_{50}$  最高值为  $0.9149 \mu\text{g/mL}$ (对应毒力回归方程  $y=0.1956x+0.5076$ , 相关系数  $r=0.9890$ ),最低值为  $0.1083 \mu\text{g/mL}$ (对应毒力回归方程  $y=0.2046x+0.6975$ , 相关系数  $r=0.9959$ ),平均  $EC_{50}$  为  $0.2606 \mu\text{g/mL}$ 。以  $0 \mu\text{g/mL}$

为下限、 $0.975 \mu\text{g/mL}$  为上限,将啮氧菌酯  $EC_{50}$  划分为 13 组(组距  $0.075 \mu\text{g/mL}$ ),统计各组菌株数量并绘制敏感性频次分布图(图 2-B),结果显示该病菌种群对啮氧菌酯的敏感性频次分布曲线同样呈连续单峰型,且符合正态分布,可作为青稞鞘腐病菌对啮氧菌酯的敏感性基线。

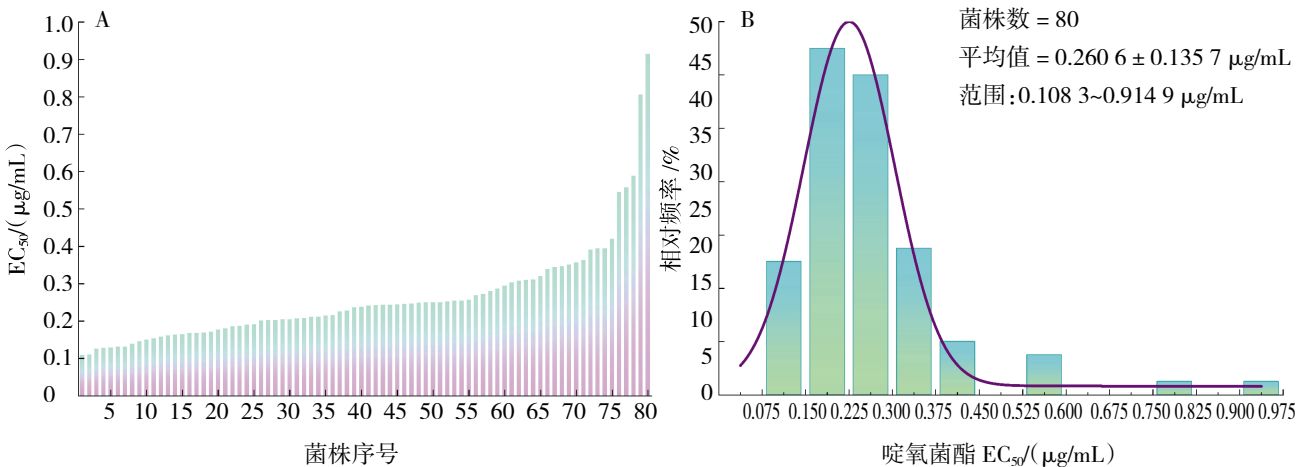


图 2 青稞鞘腐病菌对啮氧菌酯的敏感性(A)及频次分布(B)

### 3 讨论与结论

青稞鞘腐病作为危害青稞穗部的重要真菌性病害,严重威胁青稞产量与品质,化学防治因高效快捷的特点,仍是当前生产中防控该病害的核心手段之一,而筛选高效低毒的杀菌剂是提升防治效果的关键前提<sup>[19]</sup>。本研究通过室内毒力测定,对二氰葱醌、百菌清、戊唑醇等8种不同作用机制的杀菌剂进行活性筛选,结果明确咪鲜胺(甾醇合成抑制剂)与啮氧菌酯(QoI类呼吸抑制剂)对青稞鞘腐病菌的抑制活性较优,二者在室内条件下能高效抑制病菌菌丝生长,为后续田间防治提供了核心候选药剂;从生产应用角度看,未来可进一步探索这2种药剂与其他作用机制杀菌剂的混配方案,通过协同作用扩大防治谱、提升防效,同时降低单一药剂的选择压力。

对青海省11个县市81株青稞鞘腐病菌的敏感性测定结果显示,咪鲜胺与啮氧菌酯对该区域病菌种群均表现出强抑制作用,尽管不同地理来源的菌株对2种药剂的敏感性存在一定差异(咪鲜胺 $EC_{50}$ 差异倍数9.690倍,啮氧菌酯 $EC_{50}$ 差异倍数8.448倍),但多数菌株仍保持较高敏感性,且种群敏感性频次分布呈连续单峰型并符合正态分布,表明当前青海省青稞鞘腐病菌尚未对这2种药剂产生明显抗药性,药剂仍具备良好的应用潜力。

在病害综合防控体系中,农业管理措施(如合理轮作、田间清洁)与抗病品种选育是预防病害发生的重要手段,但当病害暴发后,化学药剂仍是最高效、快捷的应急防控方式<sup>[20]</sup>。需注意的是,长期单一使用某类杀菌剂易导致病原菌定向选择并产生抗药性,因此开展持续的抗药性监测至关重要。本研究建立的青稞鞘腐病菌对咪鲜胺、啮氧菌酯的敏感性基线,为后续动态监测田间病菌敏感性变化、及时预警抗药性风险提供了关键参照标准,可据此调整防控方案(如优化用药剂量、更换药剂种类),避免盲目用药导致防效下降。

综上,本研究筛选出咪鲜胺与啮氧菌酯两种对青稞鞘腐病菌具有高效抑制活性的药剂,同时建立了青稞鞘腐病菌对这两种药剂的敏感性基线。上述研究结果为青稞鞘腐病的科学防控提供了核心药剂选择依据与动态监测参照标准,可有效指导田间合理用药、延缓抗药性产生,对保障青稞生产安全具有重要的理论与实践意义。

### 参考文献:

- [1] 杨春葆,刘仁健. 青藏高原青稞抗白粉病 SSR 标记分析[J]. 安徽农业科学,2021,49(23):137-139.
- [2] 康琳,但沁,季成军,等. 不同品种青稞全粉品质特性[J]. 食品研究与开发,2025,46(5):72-79.
- [3] 何苏琴,文朝慧,王生荣,等. 引起青稞和燕麦鞘腐病的无性型菌物新属种:禾生指葡萄孢霉[J]. 菌物学报,2015,34(3):331-340.
- [4] Chen L,Zheng H W,Li Y,et al. Genome assembly of *Dactylobostry graminicola* reveals the terpene toxin biosynthesis gene cluster that uncovers 4,15-diacetylverrucarol as a phytotoxin with virulence and herbicidal activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2025,73(24):15067-15077.
- [5] 董瑞芳,陈李一凡,刘燕,等. 青稞鞘腐病菌产毒培养基的筛选及发酵产物对植物毒性的探究[J]. 大麦与谷类科学, 2025,42(1):51-59.
- [6] 郑研,王理想,吴怡燃,等. 不同杀菌剂对小麦赤霉病的室内毒力测定及配比试验[J]. 湖北农业科学,2022,61(9):81-84.
- [7] 王三喜,何苏琴,荆卓琼,等. 禾生指葡萄孢生物学特性及室内药剂筛选[J]. 麦类作物学报,2017,37(2):281-286.
- [8] Sun Y,Jin B B,Yang J W,et al. Risk assessment of resistance to prochloraz in *Phoma arachidicola* causing peanut web blotch[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology,2024,203:106025.
- [9] Peng Q,Waqas Younas M,Yang J K,et al. Characterization of prochloraz resistance in *Fusarium fujikuroi* from Heilongjiang Province in China[J]. Plant Disease,2022,106(2):418-424.
- [10] Shi N N,Lian J P,Qiu D Z,et al. Resistance risk and molecular mechanism associated with resistance to picoxystrobin in *Colletotrichum truncatum* and *Colletotrichum gloeosporioides* [J]. Journal of Integrative Agriculture,2023,22(12):3681-3693.
- [11] Ren L,Wang S F,Shi X J,et al. Characterisation of sensitivity of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Colletotrichum capsici*, causing pepper anthracnose,to picoxystrobin[J]. Journal of Plant Diseases and Protection,2020,127(5):657-666.
- [12] 吴小美,王海霞,云英子,等. 植物病原真菌对杀菌剂抗性的研究进展[J]. 植物保护,2023,49(5):243-259.
- [13] 范子耀,孟润杰,韩秀英,等. 马铃薯早疫病病原对咯菌腈的敏感基线及其对不同药剂的交互抗性[J]. 植物保护学报, 2012,39(2):153-158.
- [14] Zhang H Q,Chen L,Dong R F,et al. Establishment of recombinase polymerase amplification detection method for *Dactylobostry graminicola*[J]. Scientific Reports,2024,14:25079.
- [15] 徐汉虹. 植物化学保护学[M]. 4版. 北京:中国农业出版社,2007:340.
- [16] 徐建强,平忠良,马世闯,等. 河南省小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性[J]. 植物保护学报,2018,45(6):1367-1373.

(下转第62页)

黄萍霞,陈昌银,吉学成,等. 射阳县糯稻产业发展现状及对策分析[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2):58-62(2026-03-20). DOI: 10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.008.

# 射阳县糯稻产业发展现状及对策分析

黄萍霞<sup>1</sup>,陈昌银<sup>2</sup>,吉学成<sup>1</sup>,张晶晶<sup>1</sup>,白旭鹏<sup>1</sup>

(1. 射阳县作物栽培指导站,江苏 射阳 224300;2. 射阳县粮食行业协会,江苏 射阳 224300)

**摘要:**射阳县作为江苏省重要的糯稻生产基地,依托独有的自然条件和区位优势,近年来在产业规模、品种改良和品牌建设等方面取得显著进展。通过分析射阳糯稻产业发展现状,系统梳理其在种植、加工、品牌建设及产业链融合等方面取得的成就。针对当前产业面临种植效益波动、精深加工转化率不足、品牌溢价能力弱等瓶颈,建议构建“良种+标准化种植+精深加工+文旅融合”的全产业链体系,强化科技赋能与三产融合,以期射阳县乃至同类地区的糯稻产业转型升级提供理论参考和实践路径。

**关键词:**射阳;糯稻产业;全产业链;品牌建设;三产融合

中图分类号:S511.2+3

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250125

射阳县地处江苏沿海中部,是全国粮食生产大县<sup>[1]</sup>,也是全国优质粳米、粳糯米生产基地。经过多年的培植发展,射阳作为糯稻主产区,糯稻产业已成为江苏地方农业特色产业,由此该县正在创建中国“香糯稻米之乡”。由射阳糯稻加工生产的“射饌千年”射阳香糯米香飘四方,产销两旺。然而,产业发展也同时面临一系列内外部的挑战。因此,科学分析当前射阳地区糯稻生产发展现状与存在问题,并提出有效的建议与措施,对巩固射阳糯稻发展、提升产业竞争力具有重要意义。

## 1 射阳县糯稻生产概况

射阳县位于黄海之滨,属亚热带季风气候,光热水资源充沛,土壤肥沃,非常适宜糯稻生长。境内河流纵横,“一河两港”(射阳河、黄沙港、新洋港)与16条骨干河道以及2000余条大、中沟互为沟通,纵横交错,灌排体系完善。每年9、10月份射阳县域温度、光照条件适中,糯稻抽穗扬花期避开了高温时段,利于安全齐穗、充分灌浆、及时成熟,进而形成籽粒饱满、出米率更高的品质特征。该地区为海相沉积平原,矿物质含量丰富,土壤pH值范围为7~8,速效钾质量分数达125~250 mg/kg,能够有效

提升营养,改善口感食味。特有的气候带环境和弱碱性富钾土壤条件成就了独有的糯米品质。

据射阳县志(1942—1988)记载:“明朝中叶,境内西部沿射阳河、新洋港畔的汪田种稻,一年一熟。1956年,县内第一次旱改水,将原种旱谷、棉花的低洼田改种水稻,到1962年,水稻面积增加到3.39万hm<sup>2</sup>左右”<sup>[2]</sup>。射阳糯稻开始是零星种植,20世纪80年代中后期种植规模不断扩大,2020年之前,射阳县域范围糯稻面积稳定在0.33万hm<sup>2</sup>左右。近几年,随着新品种的引进推广、糯稻价格的上涨以及射阳区域糯米品质的提升,射阳糯稻种植面积进一步增大,至2025年已达到0.45万hm<sup>2</sup>左右(图1),逐步发展成全国优质粳米、粳糯米生产基地。2020年之前,射阳县种植糯稻品种多为糯稻99-25,且种植户习惯自留种,品种存在优异性状退化、抗病差、产量低的问题,以致糯99-25种植面积逐年下降;之后射阳逐步引进以圣香糯1号为主的糯稻新品种,种植结构逐步优化,单产水平逐年提高,出米率高,整精米率也有了明显提高,品质明显提升,该品种是生产年糕、阜宁大糕、粽子等食品的优质原料,其市场前景广阔。

当前,射阳县糯稻种植由原来的小而散逐步转变为规模化种植、标准化生产的格局。近年来,射阳县以重点农作物高质高效行动、水稻单产提升、稻麦产业技术体系等项目为抓手,主推水稻“上毡下钵”毯式钵苗机插技术、水稻绿色高效种植技术等,强化技术集成示范与推广,形成了较为完善的、可

收稿日期:2025-12-12;修回日期:2026-03-09。

基金项目:射阳县粮油高产优质片区建设项目(SYNY2025026)。

作者简介:黄萍霞(1981—),女,硕士,正高级农艺师,研究方向为作物栽培。Email:17158682@qq.com。

复制的适宜射阳区域生产的糯稻优质高产高效的生产技术模式,糯稻产量稳定在 $620\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 左右<sup>[3]</sup>,

比原来种植的糯 99-25 产量高出 $50\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 左右。

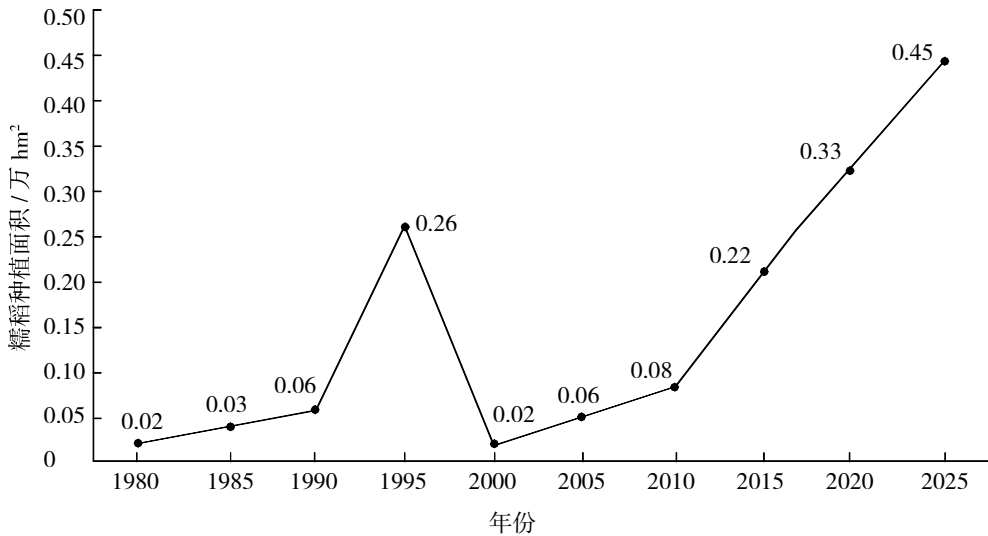


图 1 1980 年以来射阳县糯稻种植面积比较(数据来源于历年“射阳统计年鉴”)

## 2 射阳糯稻产业发展现状

### 2.1 优良品种助力射阳糯稻品质、产量双提升

糯稻属于小宗粮食作物,全国种植面积相对常规粳稻、籼稻面积较小,新品种的推出较为缓慢,加之没有主体企业,所以射阳县糯稻种植品种长期以糯稻 99-25 为主,品种更新慢,产量较常规粳稻低。自圣香糯 1 号在射阳县引进试验示范后,其种植面积逐年扩大。品种结构逐步优化,边际收益递增,圣香糯 1 号较传统糯 99-25 单产提升 8.77%, 出米率提高 3~5 个百分点。目前以圣香糯 1 号为当家品种的射阳糯稻,不但单产和普通粳稻没有差异,而且出米率高、整精米率高,且对稻瘟病达到中抗标准。2025 年,江苏海缘种业科技有限公司引进国审品种苏缘糯 879 开始示范种植。不断引进研发、培育新品种,奠定了射阳地区可持续发展糯稻产业的坚实基础。

### 2.2 种植规模标准化实现订单生产、优质优价

近年来,射阳县累计投入项目资金数十亿元,重点建设高标准农田,改造中低产田,同时结合农村道路改造,做好农田路、桥、涵等设施规划,建设机耕道路,保证大中型农机安全、畅通转移。结合农田水利工程项目,做好农田水利工程建设,保证农田涝可排、旱可灌<sup>[4]</sup>。规模化种植、标准化管理使得射阳糯稻品质得到了提升,价格优势进一步体现。近几年射阳优质糯稻采用“公司+基地+农户”的订

单农业模式,稻麦规模种植比例超 75%。实现“优质优价”机制——射阳糯稻较安徽产区溢价 0.2 元/kg,较普通粳稻溢价 0.5~1.0 元/kg,射阳香糯米的价格同样高于普通糯米价格 10%左右,极大地提升了农户种植糯稻的积极性。

### 2.3 龙头企业引领推动加工能力逐年提升

市场需求是种植结构调整的作用力,需求增加和价格的提升,促进射阳县糯稻种植面积进一步扩大。从前期调研情况来看,糯稻种植规模扩大,对糯稻加工企业进一步提升和拓展有极大的促进作用。在糯米生产过程中,射阳通过招商引资、产业提升等,引进或鼓励加工企业建设糯米生产加工线,大力推进稻米产业化发展和标准化生产。通过调整种植结构和资源整合,射阳县已培育和引进了多家稻米精深加工企业,如江苏必新大米集团有限公司、益海(盐城)粮油工业有限公司、江苏省农垦米业集团淮海有限公司、江苏省农垦米业集团有限公司临海分公司、沈氏米业有限公司、射阳县玉成米业有限公司、盐城市泓欣米业有限公司等,这些企业均具备较强的烘干、仓储、加工能力,能够将原粮加工成糯米粉、糙糯米、真空包装米等初加工产品。龙头企业以“公司+基地+农户”的模式,通过订单农业的方式,与种植大户、家庭农场等种植主体建立了紧密的联系,既能确保种植收益,又通过标准化种植,使原料品质得到了保证,同时带动全产业链发展。以射阳香糯米为主要原料的射阳长荡镇(原长

荡乡)年糕生产已有30多年历史,其口感细腻,味道纯正;年糕原来主要是节日消费,现如今是常年消费、兴趣消费,前景看好。另外,射阳糯稻与“阜宁大糕”形成了长期的订单种植合作关系,是“阜宁大糕”原材料的重要保障。目前,仍有江苏射阳大米集团有限公司、江苏时和年丰农业发展有限公司、粮之星食品(江苏)集团有限公司等多家加工企业计划新建糯米生产加工年糕、汤圆等食品生产线。

#### 2.4 品牌建设显成效促进市场认可度提升

射阳县委、县政府高度重视品牌建设,21世纪初,就着力打造大米品牌,2005年,“射阳大米”被注册为全国首个米类集体商标,2010年,该县将“射阳大米”品牌建设列入射阳十大特色产业之首。通过各类农产品博览会、推荐会等活动,淘宝、京东等电商平台,华润苏果、大润发、盒马鲜生等大型超市联合推广,“射阳大米”品牌知名度和美誉度不断提升,其品牌价值达357.23亿元(浙江大学CARD中国农业品牌研究中心评估),产品覆盖江苏,远销上海、浙江,辐射国内各大城市。依托“射阳大米”国家地理标志品牌,射阳香糯米逐步发展,目前已经形成了从“种源到餐桌”的全产业链质量控制体系。

### 3 射阳县糯稻产业存在的问题

#### 3.1 种植环节效益不稳,抵抗风险能力较弱

近年来,农户种植糯稻仍然存在来自自然与市场的双重风险。一方面,糯稻种植属于露天作业,种植户资金有限,也缺乏应对气象灾害的经验,如近几年频发的播栽期高温干旱、搁田期连阴雨、灌浆期极端低温和收获期的连阴雨,再加之不定时发生的台风暴雨等,这些异常天气对水稻产量与品质产生了威胁,从而影响种植户经济收入。另一方面,农药、肥料等农资成本逐年上涨,人工成本越来越高,种植户经济效益下降。因糯稻不属于水稻主粮范畴<sup>[9]</sup>,未被列入国家粮食最低收购价保护行列,缺乏较为稳定的价格保护机制,其销售价格与市场行情密切相关,且种植户在议价过程中处于弱势地位,这种不确定性带来较高风险,影响糯稻产业发展,进而影响整个糯稻产业的抗风险能力。

#### 3.2 加工环节深度不足,副产品综合利用率低

当前射阳县稻米加工企业多为中小规模,大型龙头企业仅有4家,糯稻加工仍以烘干、抛光、色选

等初级加工为主,对糯稻的功能成分提取和应用尚未起步,较高附加值产品研发力度不足。此外,产品同质化较为突出,多以传统米面制品为主,如肉圆、粽子、年糕、汤圆等,部分企业尝试开发糯米酒、糯米点心等,但仍停留在简单配方组合,市场竞争力不强,规模难以扩大。另外,糯稻加工副产物如稻壳、米糠等综合利用率不足,大多作为废弃物处理,这在浪费资源的同时,还可能造成环境污染,仅江苏必新大米集团有限公司、江苏射阳大米集团有限公司等个别大型企业将其转化为生物质能源、膳食纤维等具有经济价值的产品。糯稻产业发展仍需延长产业链,向精深加工领域迈进,进一步挖掘糯稻产业价值,扩大射阳香糯米产业利润空间。

#### 3.3 品牌认知度低,溢价能力弱

“射阳大米”是国家地理标志产品,在其品牌带动下,射阳糯稻在市场上逐渐占据了一席之地,获得了一定的市场基础,但消费者的认知仍局限在“优质原料”范畴,缺乏对生长环境、地理优势等的深度了解。而“射饌千年”区域公用品牌是“射阳大米”进军中高端市场,特别是上海、苏州等城市所推出的粮食类区域公用品牌,该品牌已开始使用,但包装仍延续通用设计,消费者对品牌印象不深,且宣传渠道相对单一,仍然是以农产品展销会、推荐会为主,仅个别米企通过抖音、快手等电商平台宣传推广,品牌知名度提升缓慢。射阳糯稻未能将产品品质优势有效转化为市场价格优势,销售价格与普通糯米相差无几,品牌的高附加值难以实现,直接影响了产业整体的经济效益和农民的增收空间。

#### 3.4 三产融合度低,产业链协同机制缺失

目前,射阳糯稻产业仍集中于种植、加工与销售等基础环节,第三产业发展相对滞后。近年来,该县虽已举办丰收节、开镰节等活动,“芯谷里”现代农业基地也设立了农业研学中心,射阳金戈米业科技有限公司、江苏射阳大米集团有限公司等企业还建设了稻米文化馆,但休闲农业、乡村旅游等发展仍较为缓慢。现有的“鹤乡菊海”“四季果香”“桑乐田园”等均属于特色农旅项目,而糯稻作为传统种植品类,难以形成具有吸引力和竞争力的文旅品牌。在产业链协同层面,种植户、加工企业、销售商、旅游服务商等主体间联动性不足。种植户对加工企业的原料需求缺乏清晰认知,部分加工企业则面临优质糯米原料短缺的问题,优质糯稻的利用率仍有

待提升;同时,加工企业的产品与旅游市场、电商平台等营销渠道的结合不够紧密,尚未形成“以产促旅、以旅带销、以销强产”的良性循环。

#### 4 推动射阳糯稻产业高质量发展的对策建议

##### 4.1 强化科技赋能,稳固产业基础

大力推广“物联网+四情监测”精准农业技术体系,利用射阳大米集团可视化平台、大米产业园大数据平台,通过苗情、虫情、墒情、肥情等“四情”监测仪器实时监测农田数据,分析农业生产情况,为农户提供精准灌溉、施肥方案,实现对病虫害、土壤墒情、作物长势的智能监测和预警,提升生产管理的精准化和抗风险能力。同时,针对种植主体面临的自然风险和市场风险,通过与保险机构合作,科学设计保险方案,将天气灾害、病虫害等自然风险纳入保障范围,确保农户在遭遇风险时能够获得较为稳定的收入补偿,增强农户抵御风险的能力和种植糯稻的信心。

##### 4.2 延伸产业链条,提升产品附加值

进一步发展糯稻精深加工,整合现有资源支持与鼓励龙头企业持续研发,改进或引进技术,改造或提升现有设备,开发以糯米为原料的功能性食品或休闲食品,如米酒、米醋、糯米糍、米花糖等。同时依托年加工150万t的产能基础,进一步强化优质稻米产业集群效应,推动糯稻从初级加工向精深加工转变。同时,加强对糯稻加工副产物的综合利用,如利用稻壳生产生物质燃料、稻壳炭,利用米糠提取米糠油、谷维素及膳食纤维等,实现资源的高效循环利用,提升产业整体经济效益。

##### 4.3 打造强势品牌,增强市场竞争力

参照“射阳大米”双码溯源体系,在糯稻生产过程中全程记录品种、育秧、移栽、施肥、喷药、收割、仓储等环节农机农艺措施,制作成可喷塑在产品外包装上的二维码,消费者通过手机可查看糯米种植过程,从源头上建立品牌信任感。同时,深度挖掘射阳糯稻的历史,利用现有资源开展年糕、粽子等传统糯米制作体验,通过新媒体、纪录片、文化节等形式,传递品牌独特价值,塑造品牌形象。另外继续支持电商、直播带货等新型业态发展,进一步拓宽销售渠道,并与大型商超、高端餐饮、食品制造商建立战略

合作,开拓特供、定制等高端市场,提升品牌溢价。

##### 4.4 促进三产融合,激发产业新动能

近几年,射阳县建成集稻米种植、观光旅游、农事体验、美食制作、文化展示于一体的“农旅一号线”,建成四明、海河、新坍等“味稻小镇”4个,未来要继续开发贯穿“鹤乡菊海”、丹顶鹤保护区、安徒生童话乐园等旅游精品线路,将“产地”变为“景区”。同时,深度结合“射饌千年”品牌文化,开发系列研学课程,针对不同年龄段学生群体设计“一粒米的旅行”主题实践活动,通过观察糯稻生长、参与农事劳作、动手制作糯米点心等环节,使青少年深入了解糯稻文化的历史渊源和科学知识。此外,依托射阳良好的生态环境,开发以糯米膳食为特色的养生餐饮、乡村旅游等产品,形成“夏赏麦浪、秋品新米、冬做年糕”的季节特色农旅体验,有效延伸产业链条,拓宽农民增收渠道。

#### 5 结论与展望

射阳糯稻产业经过多年发展,已形成了规模种植、加工转化和品牌营销的基础框架,成为区域经济的优势特色产业。然而,要实现从“大”到“强”的转变,必须正视其在抗风险能力、加工深度、品牌溢价和产业融合方面存在的短板。未来可通过“射阳大米”品牌价值,将“射饌千年”射阳香糯米打造为全国高端糯米代名词,真正实现“一粒米富一方人”的产业愿景。

#### 参考文献:

- [1] 吉学成,陈昌银,魏勇,等.江苏射阳县啤麦发展优势及产业链构建探索[J].农业工程技术,2023,43(13):9-10.
- [2] 射阳县地方志编纂委员会.射阳县志(1942—1988)[M].南京:江苏科学技术出版社,1997:152.
- [3] 黄萍霞,钱朝阳,吉学成,等.大米产业品牌发展模式初探:以射阳大米为例[J].大麦与谷类科学,2021,38(4):47-49.
- [4] 陈锡斌,黄萍霞,陈震.射阳县稻麦周年高产现状、制约因素及其发展对策[J].园艺与种苗,2023,43(5):90-92.
- [5] 孙统庆,李杰,杨洪建,等.江苏省糯稻发展现状及对策探讨[J].江苏农业科学,2014,42(11):13-16.

# Development Status and Countermeasures of Glutinous Rice Industry in Sheyang County

Huang Pingxia<sup>1</sup>, Chen Changyin<sup>2</sup>, Ji Xuecheng<sup>1</sup>, Zhang Jingjing<sup>1</sup>, Bai Xupeng<sup>1</sup>

(1. Sheyang Crop Cultivation Guidance Station, Sheyang 224300, China;

2. Sheyang Grain Industry Association, Sheyang 224300, China)

**Abstract:** As an important glutinous rice production base in Jiangsu Province, Sheyang County has made remarkable progress in industrial scale, variety improvement and brand building in recent years, relying on its unique natural conditions and location advantages. By analyzing the development status of the glutinous rice industry in Sheyang, this paper systematically sorts out the achievements in planting, processing, brand building and industrial chain integration. In view of the current industry facing bottlenecks such as fluctuations in planting efficiency, insufficient conversion rate of deep processing, and weak brand premium ability. It is recommended to build a whole industrial chain system of “good seeds + standardized planting + deep processing + cultural tourism integration”, and strengthen scientific and technological empowerment and three-industrial integration, in order to provide theoretical reference and practical path for the transformation and upgrading of the glutinous rice industry in Sheyang County and even similar areas.

**Key Words:** Sheyang County; Glutinous rice industry; Full industrial chain; Brand building; Integration of three industries

(上接第 57 页)

[17] 武怀恒, 万 鹏, 黄民松. 毒力回归计算方法及相应软件使用介绍[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(27): 9335–9338, 9340.

[18] 王林栋, 张世芸, 杨雯钰, 等. 我国稻曲病菌对常用杀菌剂的抗药性监测[C]// 中国植物病理学会 2024 年学术年会. 重庆: 西南大学, 2024: 1.

[19] 肖武琴. 不同杀菌剂防治水稻稻曲病的防效试验[J]. 种子科技, 2025, 43(5): 42–44.

[20] 禾丽菲, 陈乐乐, 肖 斌, 等. 番茄叶霉病菌对啞菌腈敏感基线的建立及田间防治效果评价[J]. 中国农业科学, 2018, 51(8): 1475–1483.

## Screening of Fungicides and Sensitivity of *Dactylobotrys graminicola* to Prochloraz and Picoxystrobin

Liu Yan, Chen Li Yifan, Zheng Haowen, He Cuiping, Yao Qiang

(Qinghai Provincial Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management / Academy of Agricultural and Forestry Sciences,

Qinghai University, Xining 810003, China)

**Abstract:** *Dactylobotrys graminicola*, an emerging fungal disease with increasing damage to hullless barley (*Hordeum vulgare* var. *nudum*), currently lacks registered fungicides for control. We screened 8 fungicides against its causal agent *Dactylobotrys graminicola* via mycelial growth rate method, then tested sensitivity of 81 strains (from 11 counties of Qinghai) to top-performing ones. Prochloraz and picoxystrobin showed optimal activity ( $EC_{50}$ : 0.119 4  $\mu\text{g/mL}$ , 0.360 5  $\mu\text{g/mL}$ ). Prochloraz  $EC_{50}$  ranged from 0.052 6  $\mu\text{g/mL}$  to 0.509 7  $\mu\text{g/mL}$  (mean: 0.192 8  $\mu\text{g/mL}$ , 9.690-fold sensitivity difference). Picoxystrobin  $EC_{50}$  ranged from 0.108 3  $\mu\text{g/mL}$  to 0.914 9  $\mu\text{g/mL}$  (mean: 0.260 6  $\mu\text{g/mL}$ , 8.448-fold sensitivity difference). Their sensitivity frequency distributions were continuous unimodal and normal, serving as baselines.

**Key Words:** *Dactylobotrys graminicola*; Fungicide screening; Prochloraz; Picoxystrobin; Sensitivity

包奇军,柳小宁,赵 锋,等. 黑色勾芒粮草兼用青稞品种陇青 5 号选育及栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2):63–66(2026–04–08). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.02.009.

# 黑色勾芒粮草兼用青稞品种陇青 5 号选育及栽培技术

包奇军<sup>1</sup>,柳小宁<sup>1</sup>,赵 锋<sup>1</sup>,张华瑜<sup>1</sup>,潘永东<sup>1</sup>,郭刚刚<sup>2</sup>,汪军成<sup>3</sup>,孟亚雄<sup>3</sup>,王春超<sup>2</sup>,孙 晶<sup>2</sup>

(1. 甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所,甘肃 兰州 730070;2. 中国农业科学院作物研究所,北京 10081;

3. 甘肃农业大学,甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 陇青 5 号由甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所、中国农业科学院、甘肃农业大学以甘垦 5 号为母本、甘垦 5 号 × ZDM8082 杂交后代为父本,经南繁选育而成的优质、高产、黑色、粮草兼用青稞新品种,2023 年通过国家非主要农作物品种登记[GPD 大麦(青稞)(2023)620036],2025 年获植物新品种权(CNA20211007792)。该品种生育期 114 d、株高 83.1 cm、穗长 5.3 cm、穗粒数 35.9 粒/穗;籽粒粗蛋白含量(质量分数,下同)11.3%、脂肪含量 1.85%、粗纤维含量 2.58%、总淀粉含量 58.62%、β-葡聚糖含量 5.65%、赖氨酸含量 1.24%;在全省区域试验中平均产量 4 654.56 kg/hm<sup>2</sup>,适宜在甘肃青稞产区种植。

**关键词:** 黑青稞;粮草兼用;优质高产

中图分类号:S512.3

文献标志码:B

文章编号:1673–6486–20250088

青稞别名裸大麦、元麦、米大麦,是古老的禾谷类作物,是我国西藏、青海、甘肃等高海拔地区重要的粮食作物,又是当地酿造青稞酒的主要原料<sup>[1–3]</sup>。伴随着现代工业的发展,青稞还可制成很多美食,如青稞米、青稞酥、青稞饼干、青稞脆片,甚至还可以做成奶茶中的小料等<sup>[4–5]</sup>。

青稞作为一种富含营养的原料,不仅能满足人们对能量的需求,还拥有丰富的膳食纤维和微量元素,是一种低 GI(Glycemic Index,血糖生成指数)食物<sup>[6]</sup>,被誉为“低 GI 食物中的王者”。目前,随着生活水平提高和技术的进步,人们对青稞的认知不断提升,青稞的种植范围逐渐扩大,越来越多的产品也在开发中涌现,青稞迎来更广阔的发展前景,在食品、保健品以及其他领域发挥重要作用。为适应产业发展需求,甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所依托国家大麦青稞产业体系联合中国农业科学院、甘肃农业大学,通过资源筛选、组配杂交、南繁加代等育种手段,选育出优质黑色、勾芒、粮草兼用的青稞品种陇青 5 号。

## 1 陇青 5 号品种来源及选育过程

陇青 5 号(原系号 1747–8)是 2017 年甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所、中国农业科学院、甘肃农业大学以甘垦 5 号为母本、甘垦 5 号 × ZDM8082 杂交后代为父本组配杂交组合,经 2017–2019 年南繁北育系统选择,2020 年品系鉴定试验和抗旱鉴定试验,2021–2022 年参加甘肃省区域试验,2022 年参加生产对比试验和生产示范,2023 年通过国家非主要农作物品种登记[GPD 大麦(青稞)(2023)620036],2025 年获植物新品种权(CNA20211007792)。其选育程序如图 1 所示。



图 1 陇青 5 号选育程序

收稿日期:2025–09–06;修回日期:2026–03–25。

基金项目:国家大麦青稞产业体系(CARS–05–01A–03);科技成果转化引导专项(25ZDCG001);科技重大专项(25ZDNA002);科技特派员专项(22CX8NA037)。

作者简介:包奇军(1978–),男,硕士,研究员,主要从事大麦遗传育种及种子扩繁与生产技术研究。Email: baoqijun78@163.com。

## 2 陇青5号主要特征

### 2.1 植物学特征

陇青5号春性、多棱、黑色,生育期114 d左右,属中晚熟品种。该品种幼苗半匍匐,叶色绿,株高83.1 cm,穗长5.3 cm,穗粒数35.9粒/穗,千粒

质量38.6 g。一般密度条件下,该品种成穗数32万个/667 m<sup>2</sup>,单株有效分蘖2.2个,茎秆黄色、粗壮,基部节间较短,弹性较好,株型松紧中等,穗全抽;灌浆后期茎弯曲,穗层整齐,勾芒,籽粒黑色、椭圆形、饱满、粉质(图2)。



图2 陇青5号全株(A)、穗(B)与籽粒(C)

### 2.2 食用品质

甘肃省农业科学院西北啤酒大麦及麦芽品质检测实验室检测结果显示,陇青5号籽粒粗蛋白含量(质量分数,下同)11.3%、脂肪含量1.85%、总淀粉含量58.62%、粗纤维含量2.58%、 $\beta$ -葡聚糖含量5.65%、赖氨酸含量1.24%;乳熟期干草粗蛋白含量11.87%、酸性洗涤纤维含量29.6%、中性洗涤纤维含量52.0%、可溶性碳水化合物含量0.54%、粗灰分含量9.1%。以上结果表明陇青5号是一个优质食草兼用青稞品种。

### 2.3 抗逆抗病性

陇青5号平均株高83 cm,基部节间较长,茎秆弹性好,较抗倒伏,抗条纹病及根腐病。

## 3 陇青5号产量结果

### 3.1 甘肃省青稞区域试验

陇青5号于2021—2022年在甘肃省山丹马场三场(101.03°E,38.33°N)、山丹县(100.41°E,37.50°N)、

凉州区(101.59°E,37.23°N)、天祝县(102.07°E,36.31°N)、安定区(104.61°E,35.58°N)进行青稞区域试验,结果见表1、表2。在2年10点次试验中,陇青5号6点次增产(增幅在2.2%~18.0%),1点次平产,4点次减产(减幅在1.2%~6.9%),平均折合产量4654.56 kg/hm<sup>2</sup>,较对照甘青4号增产4.2%。

2021年5点次试验中,陇青5号平均产量为4578.90 kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产2.7%。其中:山丹马场三场陇青5号平均产量2700.15 kg/hm<sup>2</sup>,比对照减产6.9%;安定区平均产量为2100.15 kg/hm<sup>2</sup>,与对照平产;在凉州区平均产量为6993.75 kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产3.1%;山丹县平均产量为6183.60 kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产8.4%;在天祝县平均产量为4916.85 kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产2.2%。

2022年5点次试验中,陇青5号平均产量为4730.22 kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产5.8%。其中:山丹马场三场陇青5号平均产量2400.15 kg/hm<sup>2</sup>,比对照增产18.0%;安定区平均产量为2800.20 kg/hm<sup>2</sup>,较对照减产1.2%;在凉州区平均产量为7333.65 kg/hm<sup>2</sup>,

较对照减产 1.8%;山丹县平均产量为 6 380.25 kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产 11.9%;在天祝县平均产量为 4 736.85 kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产 9.6%。

### 3.2 甘肃省生产对比试验和示范

陇青 5 号 2022 年在山丹马场三场、山丹县、凉

州区、天祝县、安定区进行生产对比试验,以甘青 4 号为对照(表 3)。2022 年生产对比试验中,陇青 5 号在 3 点次中均较甘青 4 号增产(增幅在 0.4%~4.9%),2 点次较甘青 4 号减产(减幅在 0.3%~2.9%),平均折合产量 4 366.02 kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产 1.8%。

表 1 2021 年陇青 5 号在区域试验中的产量表现

地点	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )		较对照增产/%
	陇青 5 号	甘青 4 号(对照)	
山丹马场三场	2 700.15	2 900.10	-6.9
安定区	2 100.15	2 100.15	0
凉州区	6 993.75	6 783.60	3.1
山丹县	6 183.60	5 706.90	8.4
天祝县	4 916.85	4 810.20	2.2
平均	4 578.90	4 460.19	2.7

表 2 2022 年陇青 5 号在区域试验中的产量表现

地点	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )		较对照增产/%
	陇青 5 号	甘青 4 号(对照)	
山丹马场三场	2 400.15	2 033.40	18.0
安定区	2 800.20	2 833.50	-1.2
凉州区	7 333.65	7 467.00	-1.8
山丹县	6 380.25	5 700.30	11.9
天祝县	4 736.85	4 323.60	9.6
平均	4 730.22	4 471.56	5.8

表 3 2022 年陇青 5 号在生产对比试验中的产量表现

试验地点	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )		较对照增产/%
	陇青 5 号	甘青 4 号(对照)	
山丹马场三场	2 228.40	2 234.55	-0.3
山丹县	5 744.25	5 475.90	4.9
凉州区	6 650.40	6 627.00	0.4
天祝县	4 570.20	4 382.40	4.3
安定区	2 636.85	2 715.75	-2.9
平均	4 366.02	4 287.12	1.8

## 4 陇青 5 号适应地区和推广前景

通过甘肃省区域试验及生产试验,表明陇青 5 号适宜在甘肃省海拔 1 500~2 800 m 青稞产区种植。

## 5 陇青 5 号栽培技术

### 5.1 选择茬口

前茬尽量选择中耕作物,如马铃薯、玉米、甜

菜、油菜、豆类及瓜类等作物,尽量避免麦类连作和青稞重茬。

### 5.2 土地准备

前茬作物收获后,应及时深耕晒垡(耕深 25~30 cm),做好接纳雨水蓄墒。平整土地,破碎土块,达到地平墒足、上虚下实,为保证全苗、齐苗和壮苗创造良好的土壤环境。

### 5.3 播期

陇青 5 号适宜在 3 月下旬至 4 月中旬播种。

#### 5.4 播种量

陇青5号在山旱地播种量为195~300 kg/hm<sup>2</sup>；在水浇地播种量为262.5~337.5 kg/hm<sup>2</sup>。当土壤肥力高、墒情好，按中下限播种；当土壤瘠薄、墒情差时，按上限播种。

#### 5.5 施肥

陇青5号施肥按地力条件科学施肥，山地、旱地按照磷酸二铵225~300 kg/hm<sup>2</sup>、尿素150 kg/hm<sup>2</sup>施用；水浇地按照磷酸二铵300~450 kg/hm<sup>2</sup>、尿素225 kg/hm<sup>2</sup>施用，N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>质量比以1:(0.9~1.1)为宜。

#### 5.6 灌溉

在井灌区和灌区适宜在2叶1心到3叶1心浇第一水，不宜迟于分蘖初期，在灌浆期浇第二水。

#### 5.7 种子处理

可用“敌委丹”按种子量的0.1%拌种和包衣，以防治大麦条纹病、黑穗病和其他病害。

#### 5.8 防杂除草

在苗期按说明喷施2,4-D丁酯和苯磺隆防除双子叶杂草、喷施“爱秀”(唑啉草酯)防除野燕麦。

#### 5.9 收获晾晒

成熟后，及时收获、脱粒、晾晒，当籽粒含水量低于13%时精选、包装、入库。

#### 参考文献:

- [1] 包奇军,潘永东,郭刚刚,等. 优质、高产、广适粮草双高型二棱青稞新品种:陇青1号[J]. 大麦与谷类科学,2022,39(1):58-61.
- [2] 汪军妹,巫小建,岳文浩,等. 裸大麦新品种:米麦09109[J]. 大麦与谷类科学,2020,37(4):58-60.
- [3] 蔡明孝,俄日格力,韩建琪. 青海省青稞产业现状与发展对策[J]. 中国种业,2016(3):8-9.
- [4] 邓俊琳,夏陈,杨开俊,等. 青稞全谷物、青稞米和青稞麸皮中多酚化合物的定量分析及抗氧化活性评价[J]. 食品工业科技,2024,45(21):246-253.
- [5] 高钰,耿得蓉,段丽丽,等. 发酵工艺对青稞发酵饼干品质的影响[J]. 农产品加工,2025(9):53-56.
- [6] 林艳平,吴旭丽,苏枫,等. 一种高青稞含量的低GI面条研制[J]. 农产品加工,2025(15):29-34.

## Breeding and Cultivation Techniques of Black, Hooked-awn and Dual-purpose Highland Barley Variety Longqing No.5

Bao Qijun<sup>1</sup>, Liu Xiaoning<sup>1</sup>, Zhao Feng<sup>1</sup>, Zhang Huayu<sup>1</sup>, Pan Yongdong<sup>1</sup>, Guo Ganggang<sup>2</sup>, Wang Juncheng<sup>3</sup>,  
Meng Yaxiong<sup>3</sup>, Wang Chunchao<sup>2</sup>, Sun Jing<sup>2</sup>

(1. Institute of Economic Crops and Malting Barley Material, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;  
2. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Gansu Agricultural University,  
Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Longqing No.5 is a new high-quality, high-yield, black-hulled and dual-purpose highland barley variety developed through southern breeding. It was jointly developed by Institute of Economic Crops and Malting Barley Material, Gansu Academy of Agricultural Sciences, in collaboration with Chinese Academy of Agricultural Sciences and Gansu Agricultural University. Ganken No.5 was used as the maternal parent and a hybrid progeny of Ganken No.5 × ZDM8082 as the paternal parent. In 2023, it passed the national non-major crop variety registration [GPD Barley (Highland Barley) (2023) 620036]. In 2025, it was granted for the plant new variety right (CNA20211007792). This variety has an approximate growth period of 114 days and an average plant height of 83.1 cm. The ears are approximately 5.3 cm long and contain an average of 35.9 kernels. The grain has the following nutritional content: crude protein (11.3%), fat (1.85%), crude fibre (2.58%), total starch (58.62%), β-glucan (5.65%) and lysine (1.24%). With an average yield of 4 654.56 kg/hm<sup>2</sup> across multiple trial sites in the province, it is well suited to cultivation in Gansu's highland barley production areas.

**Key Words:** Black highland barley; Dual use of grain and forage; High quality and high yield

张丹,相志国,左志丹,等. 矮秆大穗小麦品种郑麦 920 的选育及提质增效栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2):67-71 (2026-03-05). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.010.

# 矮秆大穗小麦品种郑麦 920 的选育及提质增效栽培技术

张丹,相志国,左志丹,李盼盼,柳东阳,杨红珊,赵献林,赵永英\*

(河南省农业科学院小麦研究所,河南 郑州 450002)

**摘要:**郑麦 920 是河南省农业科学院小麦研究所于 2013 年根据育种目标配制杂交组合:郑麦 1290/ 存麦 15,经夏季加代和连续 6 年系谱法选育而成的矮秆、大穗、高产、稳产小麦新品种,于 2025 年通过河南省农作物品种审定委员会审定,审定编号为豫审麦 20252047。2021—2024 年度该品种参加河南省小麦产业技术创新战略联盟联合体水地组区域试验、生产试验,株高连年稳定在 72.7 ~ 75.4 cm,3 年平均折合产量 8 382.0 kg/hm<sup>2</sup>,较对照百农 207 平均增产 6.39%,且增产 ≥ 3.0%、增产点率达 90% 以上,高产稳产性较好。郑麦 920 的选育过程、品种特性、产量表现以及提质增效栽培技术要点,能为加快该品种的示范推广和开发利用提供技术支撑。

**关键词:**小麦;郑麦 920;选育过程;技术要点

**中图分类号:**S512.1

**文献标志码:**B

**文章编号:**1673-6486-20250121

小麦是我国重要的口粮作物和战略资源,是社会稳定和民生保障的基石。培育高产稳产的小麦品种是第一育种目标<sup>[1]</sup>。随着全球气候变暖,极端天气频繁发生,针对目前河南省小麦生产区在灌浆中后期时常遇到大风的侵扰,高产型品种大都存在倒伏的风险,致使稳产性较差,因此选育矮秆抗倒伏品种是应对恶劣气候的首选。但矮秆型小麦品种在生产上存在群体较小、千粒质量较低的缺陷,为进一步克服此类问题,协调产量、株高与倒伏等性状的关系,笔者所在团队以矮秆、抗性好的郑麦 1290 品系为母本,以高产、耐后期高温的存麦 15 品系为父本组配杂交,采用系谱法选育,经定向选择、抗性鉴定、品质分析、品系鉴定、优中选优,于 2019 年 6 月选育出矮秆、大穗、稳产型新品系,定名为郑麦 920。

## 1 郑麦 920 来源及选育过程

### 1.1 品种来源

母本郑麦 1290(新麦 18/周麦 16)为河南省农

业科学院小麦研究所培育的矮秆型小麦品系。该品系幼苗半匍匐,分蘖力强,苗相好,成穗率高,株高较低,长相清秀,综合抗性好,落黄好;其缺点是群体较小、丰产性不足。

父本存麦 15(良星 66/石麦 14)为河南丰德康种业有限公司选育的小麦品系。该品系半冬性,幼苗半匍匐,苗势壮,分蘖力强,群体大,冬季抗寒性较好;株高较高,抗倒性一般;穗层整齐,叶功能期长,较耐后期高温;籽粒饱满,丰产性较好;其缺点是熟期较晚,对纹枯病和赤霉病敏感。

两亲本组配,双亲优缺点互补性强,通过 6 年系谱法选择及 1 年的夏季加代,最终获得小麦新品种郑麦 920。其系谱图见图 1。

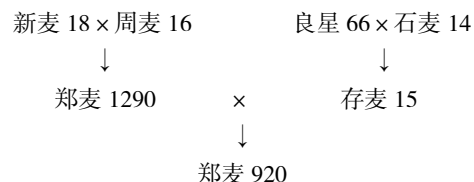


图 1 郑麦 920 系谱图

### 1.2 选育过程

2013 年春季配制郑麦 1290/ 存麦 15 杂交组合。2013 年夏季对 F<sub>0</sub> 进行加代种植,该组合代号为 1397。F<sub>1</sub> 表现长相清秀,群体较大,株高特低,穗层整齐,穗较大,籽粒饱满,是矮秆大穗育种目标的理想类型,将其定为一类组合。2013 年秋播 F<sub>2</sub> 种植

收稿日期:2025-11-27;修回日期:2026-01-19。

基金项目:河南省农业科学院新兴学科项目(2024XK08);河南省农业科学院自主创新项目(2025ZC04)。

作者简介:张丹(1980—),女,助理研究员,研究方向为小麦遗传育种。Email:1293142368@qq.com。

\* 通信作者:赵永英(1974—),女,博士,副研究员,研究方向为作物遗传育种。Email:yongying001@126.com。

1 200 粒,田间表现幼苗半匍匐,苗势壮,整体组合株高适中偏低,穗层整齐,通过田间农艺性状筛选与室内籽粒考种相结合最终选中 82 株;2014 年秋播 F<sub>3</sub>,82 个单株全部种植,2 m 双行、株距 10 cm。株系整体表现矮秆,成穗多,穗大,熟相好,综合抗病性、抗逆性、籽粒性状表现好,最后选留 26 个株系,其中 1397-18 株系优选 10 株;2015—2018 年度继续系谱选择,优系中选优株,同时进行株系间的产

量鉴定,其中 1397-18-1-1 株系综合评价位列第一;2018—2019 年度该株系参加内部品系比较试验,结果比对照周麦 18 增产 5.9%,定名郑麦 920。该品种在参加河南省小麦产业技术创新战略联盟联合体冬水组品比试验、区域试验、生产试验中,均表现优异,于 2025 年通过河南省农作物品种审定委员会审定,审定编号:豫审麦 20252047。其选育过程见图 2。

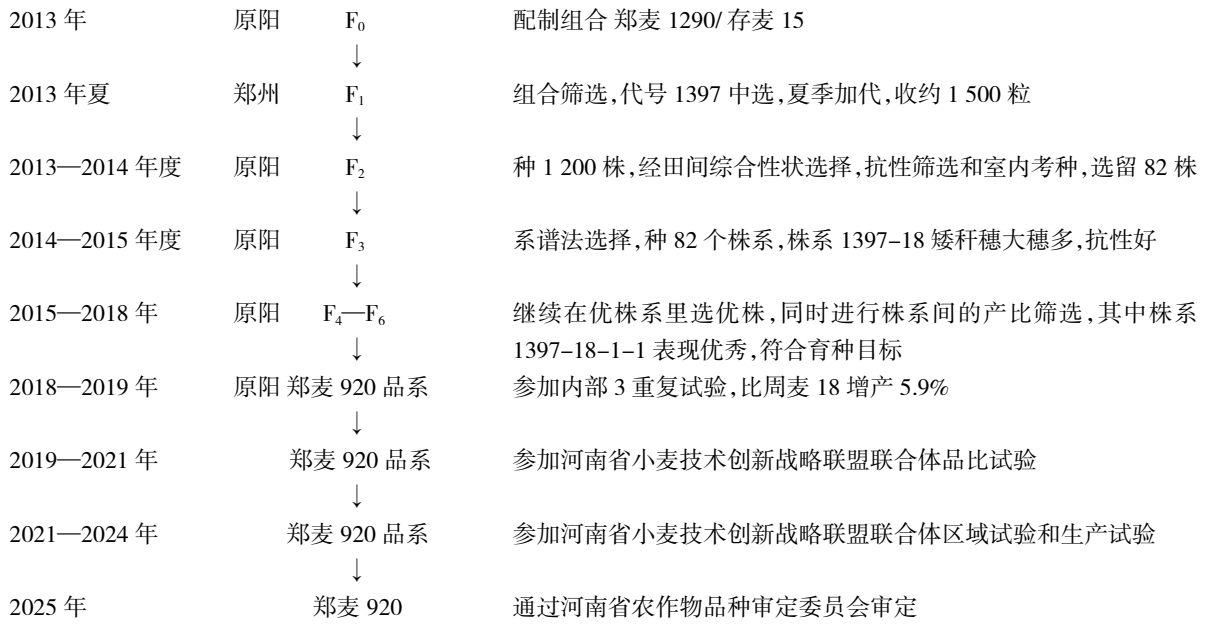


图 2 郑麦 920 选育过程

## 2 郑麦 920 品种特征特性

### 2.1 农艺性状

郑麦 920 属半冬性品种,全生育期 229 d,平均熟期比对照品种百农 207 早熟 1 d。该品种幼苗半匍匐,长势健壮,叶色绿,分蘖力较强,成穗率较高,冬季抗寒性较好;春季拔节较迟,两极分化快,较抗倒春寒。郑麦 920 株高 72.7 ~ 75.4 cm,抗倒性好;株型紧凑,长相清秀,后期落黄好,熟相比较好;穗纺锤形,穗层整齐,穗中长,小穗排列密,结实性好,长芒,白壳,卵圆白粒,籽粒半角质,饱满度较好。郑麦 920 单位面积穗数 610.5 万 ~ 628.5 万个 /hm<sup>2</sup>,穗粒数 36.8 ~ 38.5 粒 / 穗,千粒质量 39.8 ~ 44.6 g。

### 2.2 品质分析

2021—2022 年度、2022—2023 年度经农业农村部农产品质量监督检验测试中心(郑州)检测,郑麦

920 容重均为 808 g/L,平均蛋白质含量(干基)(质量分数,下同)分别为 14.4%、13.5%,湿面筋含量分别为 35.0%、31.4%,吸水量分别为 606、581 mL/kg,稳定时间分别为 2.8、3.0 min,拉伸面积分别为 35、31 cm<sup>2</sup>,最大拉伸阻力分别为 197、170 E.U.(表 1),属中筋类型,适合制作馒头、包子、面条等我国传统面食制品<sup>[9]</sup>。

### 2.3 抗病性鉴定

2021—2022 年度、2022—2023 年度经河南省农业科学院植物保护研究所抗病性(接种)鉴定,郑麦 920 均表现为中抗条锈病,中感叶锈病、白粉病和纹枯病,高感赤霉病(表 2)。

### 2.4 产量表现

2021—2022 年度郑麦 920 参加河南省小麦技术创新战略联盟区域试验 A 组,14 点汇总,平均产量达 8 514.0 kg/hm<sup>2</sup>,比对照百农 207 增产 7.00%,比对照增产率 ≥ 3.0% 的试点率达 85.7%,居 A 组 11 个

参试品种的第6位;2022—2023年度续试,14点汇总,平均产量达7782.0 kg/hm<sup>2</sup>,比对照百农207增产5.60%,比对照增产率≥3.0%的试点率92.9%。2023—2024年度该品种参加生产试验,平均产量达8850.0 kg/hm<sup>2</sup>,比对照百农207增产6.58%,14点汇总,13点比对照增产≥3.0%,增产点率92.9%(表3)。

从表3可以看出,郑麦920平均株高为73.7 cm,

变幅在72.7~75.4 cm;千粒质量变幅在39.8~44.6 g,一般稳定在42.1~44.6 g(由于2023年的烂场雨,造成2023年的千粒质量下降)<sup>[4]</sup>。该品种平均成穗数619.0万个/hm<sup>2</sup>,平均穗粒数37.1粒/穗。3年及42点的试验汇总数据表明,郑麦920产量三要素受环境、地域及土壤结构的影响较小,具有良好的丰产性和稳产性。

表1 郑麦920主要品质指标

年度	蛋白质含量/ %	容重/ (g/L)	湿面筋含量/ %	吸水量/ (mL/kg)	稳定时间/ min	拉伸面积/ cm <sup>2</sup>	最大拉伸阻力/ E.U.
2021—2022	14.4	808	35.0	606	2.8	35	197
2022—2023	13.5	808	31.4	581	3.0	31	170
平均	14.0	808	33.2	594	2.9	33	184

表2 郑麦920抗病鉴定结果

年度	条锈病	叶锈病	白粉病	纹枯病	赤霉病
2021—2022	中抗	中感	中感	中感	高感
2022—2023	中抗	中感	中感	中感	高感
汇总	中抗	中感	中感	中感	高感

表3 郑麦920产量构成三要素指标及增产点率

年度	株高/ cm	穗数/ (万个/hm <sup>2</sup> )	穗粒数/ (粒/穗)	千粒质量/ g	平均产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	比百农207增产/ %	≥3.0%增产点率/ %
2021—2022	72.9	610.5	36.8	44.6	8514.0	7.00	85.7
2022—2023	72.7	618.0	37.1	39.8	7782.0	5.60	92.9
2023—2024	75.4	628.5	37.3	42.4	8850.0	6.58	92.9
平均	73.7	619.0	37.1	42.3	8382.0	6.39	90.5

### 3 郑麦920提质增效技术要点

#### 3.1 适宜播期、播量

郑麦920属于半冬性品种,在河南省除信阳外冬小麦区水浇地均可种植,适宜播期为10月8—18日,最佳播期为10月10—15日,可以根据天气情况、整地质量及地力水平来制定播量<sup>[5]</sup>。一般高肥力地块机条播量以120~135 kg/hm<sup>2</sup>为宜,中等肥力水平以150~180 kg/hm<sup>2</sup>为宜,低肥力水平以180~225 kg/hm<sup>2</sup>为宜。一般冬前分蘖数达到1275万~1575万个/hm<sup>2</sup>为宜,若在适播期内遇到连阴雨天气,播种较迟则适当增加播量,力争适墒播种、一播全苗<sup>[6]</sup>。

#### 3.2 水肥管理

在小麦的生育期中,科学用肥直接关系到小麦

产量及品质的提升。前期施足底肥,有机肥与化肥配合。起身拔节期根据苗情、墒情及天气状况进行水肥管理,既可预防倒春寒,也可促进分蘖成穗和小穗小花发育。高肥力地块追施尿素150 kg/hm<sup>2</sup>左右,中低等肥力地块追施尿素225 kg/hm<sup>2</sup>左右。在灌浆初期可以用98%磷酸二氢钾150 g/667 m<sup>2</sup>和芸苔素内酯10 mL/667 m<sup>2</sup>,对水15 kg/667 m<sup>2</sup>进行叶面喷雾,间隔10 d可进行2次喷施,期间若有蚜虫发生,也可同时加入4.5%高效氯氰菊酯乳油80 mL/667 m<sup>2</sup>进行防治,可显著提高小麦的千粒质量和品质<sup>[7]</sup>。

#### 3.3 病害防治

郑麦920的综合抗病性较好,但仍须重点防治赤霉病。小麦赤霉病是一种典型的气候型病害,在小麦的各个生育时期都有可能发生,其中在穗部危害最重<sup>[8]</sup>,直接影响小麦的产量和品质,减产严重程

度可达到80%以上,甚至绝收。生产上可采取农业防治、生物防治和化学防治等措施,化学防治效果最明显,按照“见花打药”的原则进行喷雾防治。小麦在抽穗扬花期相对湿度高于70%、气温15℃以上时就会发病,或遇连阴雨天气3d以上就必须在降雨前喷药防治赤霉病,如果喷药后24h内遇雨,2~3d内可根据天气情况选择晴朗无风的时间再喷1次。生产上一般选用氰烯菌酯、戊唑醇、丙硫菌唑、氟唑菌酰胺等高效药剂防治,也可采取轮换用药等措施,以延缓抗药性产生。

### 3.4 适时收获

根据天气情况和地理位置灵活调整收获时期,一般小地块需要人工收割,收获时间在蜡熟末期,能够使用大型联合收割机的地块可以在完熟期适时收获,避免导致籽粒发芽霉变等烂场雨的发生,及时晒干、扬净,存入干燥、有防潮设施且无虫、鼠危害的仓库贮藏。

## 4 提纯复壮技术

提纯复壮是小麦种子生产推广过程中的重要组成部分,其目的是保证品种种性,为生产提供纯度高、质量好的小麦良种。“三圃田”是品种提纯复壮过程中的重要环节,“三圃田”主要包括穗行圃(育种家种子)、穗系圃(原原种)和原种圃3个主要部分<sup>[9]</sup>。

### 4.1 穗行圃

在小麦收获期选择符合本品种典型特征、生长健壮整齐、穗大粒多和穗型一致的单穗,采取单穗脱粒。淘汰具有黑胚、瘪瘦小种子的单穗整穗,脱粒后对种子质量进一步筛选,选择种子饱满度好、粒大粒匀等性状的单穗播种。利用点播机实行单穗种植,田间设计是行长3m、行距25cm,留50cm的走道,以便于管理。播种后对苗期、抽穗期、成熟期等整个生育期的记载,要与该品种典型性状比较,发现变异行、混杂行及时拔除淘汰,选择符合该品种性状的典型株,采取挂牌标记单独收获,并进行后续纯系鉴定。

### 4.2 穗系圃

穗系圃种植主要来源于穗行圃中选取的典型穗行。选取的典型穗行要进行纯度鉴定,确保种子遗传一致性。在苗期、抽穗期和成熟期,仍根据植株的典型性状进行筛选,严格去杂去劣,淘汰生长不良的穗系。挑选符合要求的穗系进行人工收获,单独脱粒保存,种袋内外设标签挂牌,严防混杂,用于

下一年原种圃繁殖。

### 4.3 原种圃

先将选中的穗系进行纯度检测之后(符合国家原种标准GB 4404.1—2008《粮食作物种子第1部分:禾谷类》的规定和要求,其纯度不低于99.9%),再进行稀播繁殖,所生产的种子即为原种。对原种圃采取高产栽培管理措施,以获得粒大饱满、品质好的种子,并在抽穗期和收获前进行田间纯度鉴定,完熟期及时收获、入仓。

通过“三圃田”的提纯复壮,可以保持和提升郑麦920的优良特性,避免因种性退化造成生产效益损失,对实现小麦单产提升、延长品种生产利用年限、促进农业持续增产增效具有重要意义。

## 5 结语

培育高产、稳产、优质、抗逆的小麦品种是本团队长期以来坚持的育种目标,选育优异新品种以保障国家粮食安全是每个“小麦人”的责任。以优势杂交组合郑麦1290/存麦15为基础,经过连续多年的性状筛选、分析、鉴定,选育出综合性状优于双亲的优良小麦新品种郑麦920,实现了矮秆、高产的育种目标,打破了矮秆不高产的壁垒,在小麦种质利用上增添了很好的矮秆资源。

根据区域试验及生产试验数据汇总分析,郑麦920穗大小均匀,成穗率高,产量三要素协调:平均成穗数、穗粒数、千粒质量分别达到619.0万个/hm<sup>2</sup>、37.1粒/穗、42.3g,连续3年比对照百农207平均增产6.39%,产量潜力较大,适应性广,具有稳产基础。该品种平均株高73.7cm,抗倒性好,倒伏程度≥4级且倒伏面积≥30%的试点率为0,是生产上的理想矮秆类型;综合抗病能力强,除了赤霉病高感之外,其他4种主要病害均达到中感以上水平。郑麦920综合表现矮秆、高产、抗逆、抗病性优势,是生产推广应用中规避风险的理想品种。该品种在河南省除信阳地区外其他区域均可种植,属同一生态区域的黄淮冬麦区南片的安徽北部、江苏北部、陕西关中地区高水肥地早中茬麦田也适宜,现已参加黄淮冬麦区南片水地组区域试验,为该品种的进一步推广利用、农业增产增效和促进成果转化奠定基础。

### 参考文献:

- [1] 蒋和平,蒋黎,王有年,等. 国家粮食安全视角下我国种业发展的思路与政策建议[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会

- 科学版),2022,43(4):77-88,2.
- [2] 王 鹏. 高产稳产小麦新品种选育及栽培技术革新的深入研究[J]. 种子世界,2024(12):150-152.
- [3] 刘媛媛,雷振生,林作楫,等. 小麦品质对面条品质影响的研究[J]. 中国粮油学报,2004(3):18-20.
- [4] 张 丹,相志国,赵献林,等. 高产广适多穗型小麦新品种郑麦 919[J]. 中国种业,2025(11):173-175,179.
- [5] 王康君,郭明明,张广旭,等. 小麦新品种连麦 11 特征特性及高产栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2022,39(5):67-70.
- [6] 郭园园,田香伟,李青燕,等. 高产、稳产小麦新品种昌麦169的选育及栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2025,42(5):52-56.
- [7] 赵志涛,程玉红,杨国立,等. 高产大穗小麦新品种鹤麦 915 的选育及栽培技术要点[J]. 农业科技通讯,2024(10):164-166.
- [8] 李学军,刘媛媛,沈新磊. 小麦赤霉病发病症状及防治措施[J]. 河南农业,2023(1):27.
- [9] 张珂珂,郭志军,马宝玲,等. 应用“三圃田”技术对小麦品种提纯复壮的实践[J]. 中国种业,2021(10):123-124.

## Breeding of Dwarf and Large-spike Wheat Cultivar Zhengmai 920 and Its Cultivation Techniques for Quality Improvement and Efficiency Enhancement

Zhang Dan, Xiang Zhiguo, Zuo Zhidan, Li Panpan, Liu Dongyang, Yang Hongshan, Zhao Xianlin, Zhao Yongying

(Wheat Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Zhengmai 920 is a new wheat cultivar developed by Wheat Research Institute of Henan Academy of Agricultural Sciences in 2013 using the cross combination Zhengmai 1290× Cunmai 15, designed based on specific breeding objectives. Through accelerated summer generation advancement and six consecutive years of selection and evaluation, the line was developed through the pedigree method into a dwarf, large-spike, high-yield and stable-yield cultivar. The cultivar was officially approved in 2025 by Henan Provincial Crop Variety Approval Committee, with the registration number of Yushenmai 20252047. From 2021 to 2024, the wheat cultivar Zhengmai 920 was evaluated in regional and production trials conducted by the irrigated-field group of Henan Wheat Industry Technology Innovation Strategic Alliance. Plant height of Zhengmai 920 remained stable across years, ranging from 72.7 to 75.4 cm. The three-year mean adjusted yield reached 8 382.0 kg/hm<sup>2</sup>, representing an average increase of 6.39% compared with the control cultivar Bainong 207. Moreover, over 90% of the test sites exhibited yield increases of  $\geq 3.0\%$ , indicating high yield potential and stable performance. This paper summarizes the breeding process, characteristics, yield performance, and cultivation techniques for enhancing quality and production efficiency of Zhengmai 920, providing technical support for its demonstration, promotion, development and utilization.

**Key Words:** Wheat; Zhengmai 920; Breeding process; Key techniques

## 总结“十四五”成果 谋划“十五五”发展

——2026年度大麦(青稞)产业技术研讨会在盐城召开

4月25日至26日,2026年度大麦(青稞)产业技术研讨会在江苏省盐城市召开。会议集中展示了“十四五”期间大麦产业在盐碱地利用方面取得的新品种、新技术、新装备及生产模式等显著成效,总结凝练了“盐城模式”——通过“以种适地”全链条发展大麦产业,实现高效种养与盐碱地改良利用的有机结合。会上,“苏啤”“扬农啤”等系列耐盐碱、耐瘠薄、适应性强、稳产性好、宜加工的专用优良品种得到充分展示。“十四五”期间,该产业体系育成的大麦(青稞)品种占全国播种面积的90%以上。在种植模式创新方面,体系研发示范了适于东北产区的“青贮大麦—大豆”轮作模式,以及适于长江中下游地区的“青贮大麦—青贮玉米—大麦若叶”“稻—稻—麦”三熟种植模式等。这些模式不仅提升了生产效率,激发了农户种植积极性,还为盐碱地改良、冬闲田高效利用、一年三熟“吨半粮”目标实现以及种养结合提供了有效解决方案。

会议认为,“十四五”期间,国家大麦(青稞)产业技术体系围绕产业需求,在高产优质绿色多元化新品种培育、提质增效生产关键技术集成与模式构建、安全健康食品加工关键技术创新及产品研制等重点工作上取得了显著成效。对于“十五五”发展,会议提出,要继续针对当前产业面临的实际问题,主动适应市场消费升级及加工产业发展需求,围绕高产种质创新、绿色栽培技术、机械化生产配套、专用品种选育、品质调控技术、产后提质加工等方面加强研发。国家大麦(青稞)产业技术体系首席专家、中国农业科学院作物科学研究所郭刚刚研究员表示,体系将进一步补齐支撑现代育种和生产的应用基础研究短板,加强高水平研发成果的供给与集成推广,深化科企对接,逐步建立和完善产销对接、供需对接、质量控制及成果转化机制,引领带动大麦(青稞)生产与加工提质增效,促进产业高质量发展。

冯伟森,杨 莉,陈艺博,等. 抗旱高产小麦新品种洛早 22 优异特性分析[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(2):72-77(2026-03-10). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.011.

## 抗旱高产小麦新品种洛早 22 优异特性分析

冯伟森<sup>1</sup>,杨 莉<sup>1</sup>,陈艺博<sup>1</sup>,任 健<sup>2</sup>,丁志强<sup>1</sup>,赵 严<sup>1</sup>,张学品<sup>1</sup>,吴少辉<sup>1\*</sup>

(1. 洛阳市农林科学院,河南 洛阳 471022;2. 洛阳市气象局,河南 洛阳 471000)

**摘要:**抗旱高产小麦品种洛早 22 是洛阳市农林科学院 2005 年以周麦 16 为母本、自育抗旱材料洛 9769(洛早 7 号)为父本,采用洛阳市农林科学院所创抗旱高产小麦高效育种技术选育而成,于 2018 年通过审定(审定编号:国审麦 20180058)。自审定以来,对洛早 22 特征及应用进行了诸多研究,其抗旱指数为 0.900~1.130,抗旱性 2~3 级,综合抗旱性较好;株高 75 cm 左右,基部节间短,抗倒伏;弱冬性,抗寒性好;根系发达,下扎深,总根长比对照洛早 7 号高 28.39%;区域及生产试验 3 年平均产量 6 560.0 kg/hm<sup>2</sup>,平均增产点率 97.8%;经连续多年多点大面积生产示范,在生育期降水量低于 300 mm 的欠水年份可实现平均产量 6 716.6 kg/hm<sup>2</sup>,而在生育期降水量高于 500 mm 的丰水年份高产潜力达 9 892.8 kg/hm<sup>2</sup>,充分体现了洛早 22 旱年高产、稳产特性。该品种实现了抗旱性和丰产性的协同提升,解决了黄淮旱肥地及扩灌麦区抗旱与高产难以协调的矛盾,为保证区域粮食安全提供了品种支持和栽培技术保障。

**关键词:**小麦;洛早 22;抗旱性;高产稳产性

**中图分类号:**S512.1

**文献标志码:**B

**文章编号:**1673-6486-20260003

干旱作为影响我国农业生产较为严重的农业气象灾害之一,对农业生产构成了最为直观且显著的威胁,现已成为制约农业发展的首要非生物逆境因素<sup>[1-2]</sup>。在黄淮冬麦区,干旱现象频发,且受灾面积呈逐年扩大之势,加之该区域少雨季节频现,降水量季节分布极不均衡,导致干旱缺水问题日益突出,干旱程度不断加剧,严重制约了旱作区小麦产量的提升<sup>[3-5]</sup>。黄淮冬麦区作为我国重要的小麦生产区,其小麦种植面积及总产量分别占全国总量的 45%和 50%以上,而旱作区小麦的播种面积约为 367 万 hm<sup>2</sup>,占总播种面积的 27%左右,且在提升小麦单产方面面临较大挑战,因此,该区域旱地小麦的播种面积对于保障国家粮食安全具有举足轻重的意义<sup>[6-8]</sup>。2013 年,中央经济工作会议将切实保障国家粮食安全置于首要位置,明确提出保障粮食安全、促进农民增收是发展我国现代农业的主要目

标,并启动了新一轮千亿斤粮食产能提升行动。当前,确保国家粮食安全仍将是首要任务,粮食生产将在稳定种植面积的基础上,着力提升单产和品质,并推动大面积增产。鉴于粮食增产受旱作麦区产量影响显著,未来提高我国小麦总产量的关键在于提升旱地小麦的产量。为此,生产实践要求我们在旱作麦区选用优质抗旱节水品种,并结合高效的旱作栽培技术,这是抵御干旱灾害、提高旱地小麦总产量的重要技术支撑<sup>[9-10]</sup>。

洛阳市农林科学院深耕抗旱小麦育种研究四十余载,构建了抗旱高产小麦高效育种技术体系,成功选育出洛早 2 号、洛早 6 号、洛早 7 号、洛早 19、洛早 22 及洛早 28 等一批具有代表性的旱地小麦新品种<sup>[11-15]</sup>。其中,洛早 22 作为当前生产上推广面积较大且集抗旱、高产、强抗逆性于一体的小麦新品种,自审定以来,在我国黄淮冬麦区旱作及扩灌区域得到了广泛示范与应用,并连续多年被纳入《河南省小麦品种布局利用意见》之中。该品种更是入选农业农村部 2023 年《国家农作物优良品种推广目录》,成为具有推广潜力的品种。为深入探究洛早 22 的优异特性及其增产潜力,本文依据多年多点试验数据,对其抗旱性、高产稳产性及综合抗逆性进行了系统分析,旨在为我国黄淮冬麦区旱作及扩灌区域提供品种支持,并为实现高产栽培提供理

收稿日期:2026-01-07;修回日期:2026-02-24。

基金项目:国家小麦产业技术体系(CARS-03-76);河南省农业(小麦)良种联合攻关项目(2022010101);洛阳市核心技术攻关公益类专项(2302034A)。

作者简介:冯伟森(1980—),男,硕士,副研究员,主要从事旱地小麦新品种选育研究。Email:lynkyfws@126.com。

\* 通信作者:吴少辉(1972—),女,研究员,主要从事旱地小麦新品种选育研究。Email:lywushaohui@126.com。

论依据。

## 1 洛早 22 特性研究

### 1.1 品种遗传特性

根据黄淮旱地气候特征制定育种目标,筛选高产广适水地亲本作母本、抗旱亲本作父本进行杂交;分离世代采用水旱交替选择,适期早播剔除春性苗、病害接种筛选抗病性、近红外扫描籽粒预估抗旱性等鉴定技术;稳定世代采用水旱平行鉴定、异地多点鉴定、全生育期抗旱性鉴定、全根系法测定根系等技术手段,最终育成了国审抗旱高产小麦新品种洛早 22。父本周麦 16 聚合了偃师 4 号<sup>[16]</sup>及周 8425B<sup>[17-18]</sup>的优良基因,具有高产稳产、适应性广、结实性好等优良特点;母本洛 9769(洛早 7 号)聚合了墨西哥外源波塔姆、豫麦 2 号及矮孟牛的血缘,具有抗旱节水、抗干热风、穗粒数多、千粒质量高等特点。二者完美结合,实现了抗旱与高产相结合的特异性,同时也具有广泛的适应性基础。

### 1.2 抗旱特性

抗旱特性是旱地小麦的独有特性,是旱作麦区推广的首要指标。在品种选育过程中洛早 22 采用国家小麦抗旱性评价技术规范进行抗旱性评价<sup>[19]</sup>,常年抗旱指数和抗旱级别如表 1 所示。黄淮冬麦区旱肥组区域试验抗旱性鉴定,洛早 22 抗旱级别均为 3 级,抗旱性和对照品种晋麦 47 相当;其他年度鉴定结果显示,抗旱指数在 1.000 左右,抗旱级别 2~3 级,其中孟雨等于 2017—2021 年对黄淮麦区主推的 23 个小麦品种进行抗旱性鉴定,洛早 22 抗旱指数在 1.100~1.300,抗旱性 2 级,抗旱性较好<sup>[20]</sup>。

表 1 洛早 22 抗旱性鉴定试验结果

试验年度	抗旱指数	抗旱级别 / 级	评价
2014—2015	0.961	3	中等
2015—2016	0.900	3	中等
2017—2018	1.120	2	较好
2018—2019	1.130	2	较好
2020—2021	1.110	2	较好
2021—2022	1.014	3	中等
2022—2023	0.906	3	中等
2023—2024	1.012	3	中等
2024—2025	1.073	3	中等

### 1.3 抗寒特性

在洛早 22 品种参试过程中,抗寒性鉴定试验由区域试验中心统一布局、定点安排,试验在遵化市团瓢庄乡兴隆店村(117.96°E、40.09°N)进行。2 年抗寒性鉴定结果显示,该品种平均死茎率 2.7%,抗寒级别 1 级,抗寒性好<sup>[21]</sup>。每年 3 月初低温发生频繁,倒春寒是危害小麦生产又一重要影响因素。赵国轩等针对倒春寒问题,2018 年从生产实际出发对 35 个小麦新品种进行调查,以受冻穗率为指标评价小麦抗倒春寒能力,调查结果显示洛早 22 受冻穗率为 6%,远小于对照品种百农 207(28%)<sup>[22]</sup>,进而表明洛早 22 具有较强的抗倒春寒能力。

### 1.4 抗病特性

洛早 22 在参加国家区域试验中,由中国农业科学院植物保护研究所人工接种鉴定:2014—2015 年度该品种中抗条锈病、中感叶锈病、高感白粉病和黄矮病;2015—2016 年度高感条锈病和黄矮病、中感叶锈病和白粉病<sup>[21]</sup>。

### 1.5 水分利用效率

水分利用效率会受作物类型、田间气候、土壤条件、降水量及灌溉量等因素的影响而不同<sup>[23]</sup>。He 等在对水分利用效率的计算方式上,全面考虑冬小麦全生育期内水分需求和利用<sup>[24]</sup>。也有研究表明,随着灌水量的不断增加,水分利用效率表现为先增加后下降趋势<sup>[25-27]</sup>。2017—2019 年张学品等通过对黄淮麦区主推品种进行水分利用效率鉴定,如表 2 所示,不同小麦品种的水分利用效率存在差异,在全生育期自然条件(W0)和拔节期浇灌 1 次(W1)条件下,洛早 22 的平均水分利用效率分别为 20.081、17.176 kg/(mm·hm<sup>2</sup>),较其他品种水分利用效率均值分别提高 13.24%和 8.95%,差异极显著;在拔节期+开花期灌溉 2 次水(W2)处理下,洛早 22 的水分利用效率为 13.911 kg/(mm·hm<sup>2</sup>),较其他品种的水分利用效率均值提高 5.27%<sup>[28]</sup>。丁志强等于 2019—2020 年对不同品种小麦在不同灌水模式下主效应、产量和水分利用效率进行了分析研究,如表 3 所示,不同品种不同灌水模式下水分利用效率随着灌水量的增加而降低,同时相同灌水模式下不同品种之间,洛早 22 W0 中水分利用效率最高为 22.00 kg/(mm·hm<sup>2</sup>),W1 中 18.84 kg/(mm·hm<sup>2</sup>)排第二,品种之间水分利用效率存在极显著差异,洛早 22、洛早 30 在 W0、W1 模式下表现优异<sup>[29]</sup>。

表2 不同水分处理下洛早22水分利用效率

kg/(mm·hm<sup>2</sup>)

品种名称	W0			W1			W2		
	2017—2018	2018—2019	平均	2017—2018	2018—2019	平均	2017—2018	2018—2019	平均
洛早22	13.706	26.456	20.081 A	13.128	21.224	17.176 a	9.760	18.062	13.911 a
其他品种均值	11.590	23.876	17.733 B	12.469	19.062	15.765 b	10.173	16.255	13.214 a

注:W0为自然条件,W1为拔节期灌水,W2为拔节期+开花期灌水。不同小写字母表示品种间差异在0.05水平具统计学意义,不同大写字母表示在0.01水平具高度统计学意义。

表3 2019—2020年不同水分处理下洛早22水分利用效率

品种名称	水分利用效率/[kg/(mm·hm <sup>2</sup> )]			0.05水平差异显著性			0.01水平差异显著性		
	W0	W1	W2	W0	W1	W2	W0	W1	W2
洛早22	22.00	18.84	16.78	a	ab	a	A	AB	AB
其他品种均值	19.73	18.10	16.36	ef	de	bc	CDE	CDE	CDE

1.6 根系特性

为挖掘旱地小麦根系与抗旱高产的关系,依托洛阳市农林科学院根池设施,于2022—2025年继续对洛早22进行根系试验研究,用根系扫描分析仪(WinRHizo,加拿大)对其根长、根平均直径、根体积、根表面积等根系指标进行分析。蜡熟期收获5株,单株计算产量。连续3年采用全根系法研究洛早22根系特征(表4),洛早22根干质量3.82g/株、总根长319.3cm、根表面积1266.25cm<sup>2</sup>、根体积8.19cm<sup>3</sup>,分别比对照洛早7号高4.95%、28.39%、9.07%、1.99%;而根平均直径0.28cm,比对照少3.45%;单株产量为35.79g,比对照洛早7号(25.07g)高42.76%。根系特征反映出小麦品种的抗旱节水性,

通过全基因组关联分析,洛早22双亲周麦16和洛9769均携带根深基因TaVSR1-B以及根系发育基因TaMOR-B的优异单倍型<sup>[30]</sup>,为其优异的根系特征奠定了较好的遗传基础。洛早22根系发达,水分吸收能力强,土壤深层水分利用率高,抗旱节水性优势明显。

1.7 耐高温

安徽农业大学李敏等在通过筛选耐热鉴定指标、建立耐热评价模型的过程中,得出洛早22具有SOD活性高、CAT活性低、冠层温度低和MDA含量低等特征,能够在单穗粒质量、千粒质量和产量中保持中等水平,其耐高温的综合评价(D)为0.729,综合评价为耐热型品种<sup>[31]</sup>。

表4 洛早22根系调查指标

年份	根干质量/(g/株)	总根长/cm	根直径/mm	根体积/cm <sup>3</sup>	根表面积/cm <sup>2</sup>	单株产量/g
2022—2023	4.25	318.0	0.27	8.15	1280.32	34.99
2023—2024	3.77	329.0	0.32	8.85	1362.08	37.58
2024—2025	3.45	311.0	0.26	7.56	1156.34	34.81
平均	3.82	319.3	0.28	8.19	1266.25	35.79
洛早7号(CK)	3.64	248.7	0.29	8.03	1160.96	25.07
比CK增/%	4.95	28.39	-3.45	1.99	9.07	42.76

2 洛早22产量特性

2.1 高产稳产性

洛早22从参加国家黄淮冬麦区早肥组区域试验、生产试验,到审定后大面积高产示范推广中,其高产稳产性比较好。区域试验和生产试验(表5)表

明,3年38个点次平均产量6560.0kg/hm<sup>2</sup>,较对照增产7.43%(达极显著水平),平均增产点率97.8%。洛早22在高产方面优势突出,稳产性能明显,作为国审小麦品种,自审定以后进行不同的高产示范创建和试验研究。如表6所示,洛早22在陕西、山西、河南等地连续多年多点大面积生产示范,在生育期

降水量 220 mm 的干旱年份产量高达 6 777.0 kg/hm<sup>2</sup>, 在生育期降水量充足的年份取得高达 9 750 kg/hm<sup>2</sup> 以上的高产记录, 特别是在 2022 年宜阳县柳泉镇千亩示范方专家实打验收获平均产量 9 892.8 kg/hm<sup>2</sup>, 创全国旱地小麦高产纪录, 较洛阳市当年平均产量 (5 262.15 kg/hm<sup>2</sup>) 提高 88.0%。张学品等利用 18 个小麦品种模拟不同灌溉类型农田, 洛早 22 在自然

条件(W0)、拔节期浇灌(W1)等试验中产量比参试品种平均产量分别高 14.41%、7.08%, 进而表明洛早 22 具有较大的抗旱高产潜力<sup>[28]</sup>。这充分说明洛早 22 高产特性突出, 稳产性能明显, 在 2023 年国家黄淮冬麦区主导品种意见中属成长型主推小麦新品种, 更是河南省旱作麦区典型的主推品种。

表 5 国家黄淮冬麦区旱肥组试验洛早 22 产量

试验年度	试验组别	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	位次	比 CK 增/%	增产点率/%	增产点数/个	减产点数/个
2014—2015	区域试验	6 535.5	4	5.6	93.3	15	1
2015—2016	区域试验	6 784.5	2	7.9	100.0	15	0
2016—2017	生产试验	6 360.0	1	8.8	100.0	8	0

表 6 洛早 22 高产示范验收汇总

年度	地点	面积/hm <sup>2</sup>	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	年度	地点	面积/hm <sup>2</sup>	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )
2019	河南洛阳	33.33	7 624.5	2022	山西晋城	33.33	8 019.0
2019	河南洛阳	33.33	7 792.5	2022	河南洛阳	66.67	9 892.8
2020	河南三门峡	20.00	6 883.5	2023	河南三门峡	33.33	7 210.5
2020	河南洛阳	66.67	6 777.0	2023	河南洛阳	133.33	8 349.0
2021	河南南阳	33.33	7 975.5	2023	山西运城	33.33	7 903.5
2021	陕西渭南	33.33	7 678.5	2024	河南洛阳	1.33	8 476.2
2021	河南洛阳	33.33	7 797.0	2025	河南洛阳	66.67	6 716.6

## 2.2 产量结构及性状分析

小麦产量的高低由成穗数、穗粒数和千粒质量决定, 三者的有机结合是实现高产的根本保证。在旱作麦区, 增加穗数是提高旱地小麦最主要的产量手段, 这也是在抗旱育种中的主攻方向<sup>[32]</sup>。如何使得小麦高产, 成穗数是关键。郭天财等研究认为, 成穗数有一定的限度, 在达到一定程度后, 可提高穗粒数和千粒质量, 但穗粒数的贡献大于千粒质量<sup>[33]</sup>。张学品等对洛早 22 国家黄淮旱肥组试验产量构成因素的分析表明, 洛早 22 增产的原因在于穗粒数与成穗数比对照高 (虽然千粒质量比对照低), 进而表明洛早 22 是一个多穗型、结实性好的抗旱小麦新品种<sup>[21]</sup>。另外, 从洛早 22 不同年份高产创建中的产量性状 (表 7) 可以看出, 5 年平均成穗数 604.7 万个/hm<sup>2</sup>, 穗粒数 36.8 粒/穗, 千粒质量 43.9 g, 各点平均产量 8 246.3 kg/hm<sup>2</sup>; 特别是 2021—2022 年

度以 9 892.8 kg/hm<sup>2</sup> 的产量创全国旱地小麦高产纪录, 而在 2024—2025 年度冬春连旱的情况下, 实现 6 716.6 kg/hm<sup>2</sup> 的产量, 进而表明该品种具有很强的生态调节能力。在应对气候变化上, 洛早 22 成穗数在 550 万~650 万个/hm<sup>2</sup> 的基础上, 穗粒数稳定在 35 粒/穗左右, 千粒质量保持 43 g 左右, 实现 6 750~8 250 kg/hm<sup>2</sup> 高产稳产性是有保证的。

张学品等统计得出洛早 22 在黄淮冬麦区区域和生产试验中的平均株高为 75.6 cm, 同时在实际高产创建中使其平均株高稳定在 76.1 cm<sup>[21]</sup>; 且在干旱胁迫和非胁迫环境下, 他们发现洛早 22 的株高构成中基部节间均比晋麦 47 短, 灌水处理下株高增幅比晋麦 47 的增幅要低 20% 左右。适中的株高, 配合较好的茎秆弹性, 大大提高了洛早 22 的抗倒伏能力, 为该品种高产奠定了基础。

表7 洛早22高产创建中的产量性状

年度	成穗数/(万个/hm <sup>2</sup> )	穗粒数/(粒/穗)	千粒质量/g	株高/cm	平均产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	地点
2020—2021	552.0	38.2	43.5	76.3	7 797.0	河南洛阳
2021—2022	637.5	41.5	45.3	78.6	9 892.8	
2022—2023	586.5	38.5	43.5	77.6	8 349.0	
2023—2024	645.8	35.5	43.5	77.3	8 476.2	
2024—2025	601.5	30.2	43.5	70.5	6 716.6	
平均	604.7	36.8	43.9	76.1	8 246.3	

### 3 讨论

随着黄淮冬麦旱作区域气候变暖,水资源匮乏,近年来干旱频发,降水量分布严重不均,且3—4月份倒春寒频发,旱作区域条锈病、叶锈病、茎基腐病等病害发生,加上后期高温、干热风等灾害天气影响,为契合生产实际需求,亟需选育抗旱性强、抗逆性强的洛早22高产小麦新品种<sup>[9,15,34]</sup>。本文通过对洛早22的选育特点、高产稳产性、抗逆适应性和产量结构的分析,全面说明了洛早22具高产稳产、抗旱、抗倒、抗寒及耐热特性等,由点到面反映了洛早22作为旱地小麦新品种的典型特性特征。在未来的育种工作中,要立足国家粮食安全,面对气候变化,着眼生产实际,整合多学科手段,由传统旱地育种向现代旱地育种转化,实现多种前沿技术的集成发展,选育出适用于黄淮旱作及扩灌区种植的更为理想的小麦新品种,遵循“保证分蘖成穗为前提,增加穗粒数,提高千粒质量,促进大穗大粒”的栽培技术原则,发挥其高产、稳产性,进而实现农民增收、农业增效。

### 4 结论

洛早22优异特性显著,是一个集抗旱、高产、稳产、抗逆等于一体的旱地小麦品种,以多年多区域高产示范诠释了“早年抗旱不减产”“平年节水能增产”“丰年高效创高产”的性能,是适合在黄淮冬麦区旱作及扩灌区大面积推广种植的优良品种。

### 参考文献:

[1] 韩兰英,张强,程英,等. 农业干旱灾害风险研究进展及前景分析[J]. 干旱区资源与环境,2020,34(6):97-102.  
 [2] 张蕾,杨冰韵. 北方冬小麦不同生育期干旱风险评估[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(4):274-280,286.

[3] 张玉静,王春乙,张继权. 基于 SPEI 指数的华北冬麦区干旱时空分布特征分析[J]. 生态学报,2015,35(21):7097-7107.  
 [4] 李梦达,李向东,牛洪斌,等. 小麦品种抗旱性与深根性和深层根系活性的关系[J]. 麦类作物学报,2017,37(5):666-672.  
 [5] 柴守玺,杨长刚,张淑芳,等. 不同覆膜方式对旱地冬小麦土壤水分和产量的影响[J]. 作物学报,2015,41(5):787-796.  
 [6] Liu Y,Wang E L,Yang X G,et al. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s[J]. Global Change Biology,2010,16(8):2287-2299.  
 [7] Davidson D. Gaps in agricultural climate adaptation research[J]. Nature Climate Change,2016,6(5):433-435.  
 [8] 冯伟森,张学品,杨莉,等. 黄淮冬麦区不同生态型旱地小麦育种遗传改良分析[J]. 大麦与谷类科学,2025,42(5):26-35.  
 [9] 冯伟森,张学品,丁志强,等. 抗旱节水高产小麦新品种洛早33选育及产量性状分析[J]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):72-79.  
 [10] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等. 水分调控对强筋小麦产量和品质影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(6):25-28.  
 [11] 杨子光,张灿军,王书子,等. 洛早2号特征特性及选育方式分析[J]. 安徽农业科学,2002,30(1):35-37.  
 [12] 吴少辉,张学品,高海涛,等. 国审抗旱高产小麦新品种洛早6号及栽培技术[J]. 农业科技通讯,2007(6):28-29.  
 [13] 吴少辉,高海涛,张学品,等. GS旱地小麦新品种洛早7号的选育[J]. 河南农业科学,2008,37(8):57-60.  
 [14] 冯伟森,张学品,杨莉,等. 抗旱高产小麦新品种洛早19选育及应用[J]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):73-79.  
 [15] 赵严,吕维娜,于新峰,等. 抗旱高产广适小麦新品种洛早28的选育及高产栽培技术[J]. 农业科技通讯,2024(10):188-190,193.  
 [16] 高海涛,张灿军,王书子,等. 偃师4号在河南小麦育种和生产中的重要地位及启示[C]//21世纪小麦遗传育种展望:小麦遗传育种国际学术讨论会文集. 郑州:中国农学会,2001:548-552.  
 [17] 唐建卫,殷贵鸿,高艳,等. 小麦骨干亲本周8425B及其衍生品种(系)的农艺性状和加工品质综合分析[J]. 麦类作物学报,2015,35(6):777-784.

- [18] 张德强,宋晓朋,冯洁,等. 小麦周8425B及其衍生品种与黄淮麦区主栽品种的遗传解析[J]. 麦类作物学报,2016,36(10):1328–1334.
- [19] 冯伟森,吴少辉,孔海燕,等. 利用近红外漫反射光谱快速鉴定小麦抗旱性[J]. 河南农业科学,2015,44(2):28–33.
- [20] 孟雨,田文仲,温鹏飞,等. 基于不同发育阶段协同的小麦品种抗旱性综合评判[J]. 作物学报,2023,49(2):570–582.
- [21] 张学品,冯伟森,王景一,等. 小麦新品种洛旱22的高产稳产性及抗逆性分析[J]. 现代农业科技,2024(23):17–22.
- [22] 赵国轩,赵鹏飞,金建猛,等. 小麦晚霜冻害品种抗性筛选试验研究[J]. 农业科技通讯,2019(8):102–104.
- [23] 王永华,刘焕,辛明华,等. 耕作方式与灌水次数对砂姜黑土冬小麦水分利用及籽粒产量的影响[J]. 中国农业科学,2019,52(5):801–812.
- [24] He G, Wang Z H, Li F C, et al. Soil water storage and winter wheat productivity affected by soil surface management and precipitation in dryland of the Loess Plateau, China[J]. Agricultural Water Management,2016,171:1–9.
- [25] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China[J]. Agricultural Water Management,2005,75(1):71–83.
- [26] Trout T J, Dejonge K C. Water productivity of maize in the US high Plains[J]. Irrigation Science,2017,35(3):251–266.
- [27] 杨程,张德奇,时艳华,等. 不同灌水处理对不同抗旱型小麦品种生长发育和产量的影响[J]. 河南农业科学,2019,48(5):10–15.
- [28] 张学品,冯伟森,丁志强,等. 水分处理对冬小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 山西农业科学,2022,50(12):1654–1661.
- [29] 丁志强,张学品,田文仲,等. 不同灌水模式下小麦品种产量及水分高效利用分析[J]. 信阳农林学院学报,2024,34(4):84–88.
- [30] Wang J Y, Li L, Li C N, et al. A transposon in the vacuolar sorting receptor gene *TaVSR1-B* promoter region is associated with wheat root depth at booting stage[J]. Plant Biotechnology Journal,2021,19(7):1456–1467.
- [31] 李敏,苏慧,李阳阳,等. 黄淮海麦区小麦耐热性分析及其鉴定指标的筛选[J]. 中国农业科学,2021,54(16):3381–3393.
- [32] 王汉民. 华北地区小麦产量构成因素的相关和通径分析[J]. 现代农业科技,2006(7):55–56.
- [33] 郭天财,朱云集,王晨阳,等. 河南省小麦超高产品种产量形成特点及关键栽培技术研究[J]. 中国农业科技导报,2004,6(4):46–50.
- [34] 段国辉,温红霞,顾晶晶,等. 小麦新品种洛麦26选育及遗传特性分析[J]. 山西农业科学,2023,51(1):21–27.

## Excellent Characteristics of New Drought-resistant and High-yield Wheat Variety Luohan 22

Feng Weisen<sup>1</sup>, Yang Li<sup>1</sup>, Chen Yibo<sup>1</sup>, Ren Jian<sup>2</sup>, Ding Zhiqiang<sup>1</sup>, Zhao Yan<sup>1</sup>, Zhang Xuepin<sup>1</sup>, Wu Shaohui<sup>1</sup>

(1. Luoyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Luoyang 471022, China;

2. Luoyang Meteorological Bureau, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** The new wheat variety Luohan 22, characterized by drought resistance and high yield, was developed by the Luoyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences in 2005. Utilizing our innovative high-efficiency breeding technology tailored for drought-resistant and high-yield wheat, it was bred with Zhoumai 16 as the maternal parent and the self-developed drought-resistant line Luo 9769 (Luohan No.7) as the paternal parent. The variety was approved by the state in 2018 (Approval Number: Guoshenmai 20180058). Since its approval, extensive research has been carried out on the characteristics and applications of Luohan 22. Its drought-resistant index ranges from 0.900 to 1.130, with a drought resistance rating of 2 to 3, indicating good overall drought tolerance. The plant height is approximately 75 cm, featuring short basal internodes that confer resistance to lodging. It exhibits weak winter hardiness but possesses excellent cold resistance. The root system is robust and deeply rooted, with a total root length 28.39% greater than that of the control variety Luohan No.7. Over three years of regional and production trials, the average yield reached 6 560.0 kg/hm<sup>2</sup>, with an average yield increase rate of 97.8%. After multiple years of large-scale production demonstrations across various locations, the average yield achieved 6 716.6 kg/hm<sup>2</sup> in drought years with precipitation below 300 mm during the growth period, while demonstrating a high-yield potential exceeding 9 892.8 kg/hm<sup>2</sup> in years with precipitation above 500 mm. This underscores the high and stable yield performance of Luohan 22 under drought conditions. This variety achieves a synergistic enhancement of both drought resistance and high yield, resolving the long-standing challenge of reconciling drought resistance with high productivity in the Huang-Huai dry and fertile lands and expanded irrigation areas, which can provide crucial variety support and cultivation technology guarantees for ensuring food security.

**Key Words:** Wheat; Luohan 22; Drought resistance; High and stable yield

周森平,郭元世,姚金保,等. 中强筋小麦新品种宁麦 918 的选育及特征特性[J/OL]. 大麦与谷类科学, 2026,43(2):78-80(2026-04-14).

DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.02.012.

# 中强筋小麦新品种宁麦 918 的选育及特征特性

周森平<sup>1</sup>,郭元世<sup>2</sup>,姚金保<sup>1</sup>,杨学明<sup>1</sup>,张平平<sup>1</sup>,侯运章<sup>2</sup>,张鹏<sup>1</sup>,何漪<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院粮食作物研究所,江苏南京 210014;2. 江苏中江种业有限公司,江苏南京 211500)

**摘要:**宁麦 918 是江苏省农业科学院粮食作物研究所与江苏中江种业有限公司合作,以济麦 22 为母本、保麦 5 号为父本进行杂交,通过系谱法育成的白粒中强筋小麦新品种,2025 年通过江苏省品种审定委员会审定(审定编号:苏审麦 20251010),适宜在江苏省淮北市种植。该品种产量高,区域试验和生产试验平均产量超过 9 000 kg/hm<sup>2</sup>,区域试验中平均有效穗数 633.8 万个/hm<sup>2</sup>,穗粒数 36.6 粒/穗,千粒质量 45.4 g;抗病性鉴定显示,该品种高抗小麦条锈病,中感赤霉病、叶锈病和小麦黄花叶病毒病。

**关键词:**小麦;宁麦 918;中强筋;赤霉病;条锈病

中图分类号:S512.1

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20260011

江苏淮北麦区地处我国南北气候过渡地带,平原地区居多,小麦常年种植面积近 130 万 hm<sup>2</sup>,平均产量相对较高,可达 6 000 kg/hm<sup>2</sup> 左右,是我国重要的商品粮基地。该地区多种植中筋白皮小麦,近年来随着市场对小麦品质提升的要求,强筋特别是中强筋小麦愈来愈受欢迎<sup>[2-3]</sup>。全球气候变暖,小麦生长季节雨区北移,淮北麦区小麦赤霉病时常发生,提高小麦品种的赤霉病抗性成为该地区小麦育种的重要目标<sup>[1,4-5]</sup>。针对市场需求,江苏省农业科学院粮食作物研究所与江苏中江种业有限公司合作,采用黄淮北片大面积推广品种济麦 22 和江苏省审定品种保麦 5 号作为配组亲本,通过多年选择,育成中感赤霉病的中强筋小麦宁麦 918,2025 年通过江苏省审定(审定编号:苏审麦 20251010)。本文介绍了该品种的选育经过、特征特性以及种植要点,为充分发挥该品种的优点、促进该品种的推广应用提供参考。

## 1 宁麦 918 选育过程

2013 年春,以高产和广适型的济麦 22 为母本<sup>[6]</sup>、综合抗病性好的保麦 5 号<sup>[7]</sup>为父本进行有性杂交,2013 年秋人工点播成 F<sub>1</sub>,2014 年采用机械稀播种植 F<sub>2</sub>,选择矮秆、大穗且抗病单株,种植成株行,2015 年在优异株行里继续单株选择,中选单株于

2016 年种植成株行,挑选农艺性状稳定且表现优秀、综合抗病性较好的 35 个株行于 2017—2018 年连续 2 年进行株系选择,根据株高、产量、抗病性等性状要求,2 个株系晋级 2018—2019 年度产量鉴定,其中 J23 品系平均产量 9 862.5 kg/hm<sup>2</sup>,较相邻对照品种淮麦 20 增产 7.8%。2019—2020 年度该品系以宁 S19023 名称参加自行组织的多点品种比较试验,表现高产、稳产,综合抗病性好,推荐参加 2020—2021 年度江苏省淮北小麦品种比较预备试验,2021—2023 年参加江苏省淮北小麦区域试验,2023—2024 年度参加江苏省淮北小麦生产试验,2025 年 7 月通过江苏省农作物品种审定委员会审定,定名为宁麦 918(图 1)。



图 1 宁麦 918 选育过程

收稿日期:2026-01-19;修回日期:2026-03-20。

基金项目:国家小麦产业体系(CARS-03-57)。

作者简介:周森平(1968—),男,硕士,研究员,主要从事小麦遗传育种研究。Email: mpzhou2000@163.com。

## 2 宁麦 918 特征特性

### 2.1 农艺性状

宁麦 918 为半冬性小麦品种,幼苗半匍匐,长势健壮,分蘖力强。该品种株型半紧凑,穗层较整

齐,熟相较好;穗纺锤形,中大穗,长芒、白壳、白粒,籽粒硬质,饱满度好。江苏省区域试验平均结果:宁麦 918 全生育期 223.0 d,比对照淮麦 20 迟 0.4 d,株高 80.8 cm,有效穗数 633.8 万个 /hm<sup>2</sup>,穗粒数 36.6 粒 /穗,千粒质量 45.4 g(表 1)。

表 1 宁麦 918 部分农艺性状表现

试验类型	年份	全生育期 / d	株高 / cm	产量 / (kg/hm <sup>2</sup> )	有效穗数 / (万个 /hm <sup>2</sup> )	成穗率 / %	穗粒数 / (粒 /穗)	千粒质量 / g
区域试验	2022	221.0	80.7	9 174.0	619.5	39.8	36.8	46.3
	2023	225.0	80.9	8 920.5	648.0	40.7	36.3	44.6
	平均	223.0	80.8	9 047.2	633.8	40.2	36.6	45.4
生产试验	2024	226.1	80.9	9 258.0	634.5	39.4	35.1	45.6

### 2.2 产量表现

2021—2022 年度参加江苏省淮北 B 组小麦品种区域试验,宁麦 918 平均产量为 9 174.0 kg/hm<sup>2</sup>,比对照淮麦 20 增产 5.3%;2022—2023 年度续试,平均产量为 8 920.5 kg/hm<sup>2</sup>,比对照淮麦 20 增产 4.0%;2023—2024 年度参加江苏省淮北 B 组小麦品种生产试验,平均产量为 9 258.0 kg/hm<sup>2</sup>(表 1),比对照淮麦 20 增产 5.5%。

### 2.3 品质性状

2022 和 2023 年经江苏省小麦区域试验抽样,经农业农村部谷物品质监督检验测试中心测定,结果显示:宁麦 918 的容重分别为 832.0、804.0 g/L,蛋白质质量分数(干基)分别为 13.4%、15.2%,湿面筋质量分数分别为 29.2%、32.1%,吸水率分别为 61.5%、61.9%,面团稳定时间分别为 7.8、7.1 min,面团最大拉伸阻力分别为 476.0、251.0 E.U.,面团拉伸面积分别为 84.0、56.0 cm<sup>2</sup>,籽粒硬度指数分别为 64.4、62.0(表 2)。2022 年品质检测结果达到中强筋小麦品种审定标准。

表 2 宁麦 918 品质鉴定结果

检测项目	2022 年	2023 年	2 年平均
容重 / (g/L)	832.0	804.0	818.0
蛋白质质量分数 / (干基, %)	13.4	15.2	14.3
湿面筋质量分数 / %	29.2	32.1	30.6
吸水率 / %	61.5	61.9	61.7
面团稳定时间 / min	7.8	7.1	7.4
面团最大拉伸阻力 / E.U.	476.0	251.0	363.5
面团拉伸面积 / cm <sup>2</sup>	84.0	56.0	70.0
籽粒硬度指数	64.4	62.0	63.2

### 2.4 抗病性

经江苏省农业科学院植物保护研究所、江苏徐淮地区徐州农业科学研究所和江苏里下河地区农业科学研究所鉴定,宁麦 918 中感小麦赤霉病(接种鉴定中感赤霉病,2 年严重度分别为 2.95、2.74;自然发病鉴定中感赤霉病,2 年病指分别为 2.63、2.40),高抗小麦条锈病,中感小麦叶锈病和小麦黄花叶病毒病,感小麦纹枯病,高感小麦白粉病(表 3)。

表 3 宁麦 918 抗病性鉴定结果

检测项目	2022 年	2023 年	2 年综合
赤霉病	MS	MS	MS
条锈病	HR	IM	HR
叶锈病	MR	MS	MS
纹枯病	MS	S	S
白粉病	HS	MS	HS
黄花叶病毒病	MS	MS	MS

注:IM,免疫;HR,高抗;MS,中感;S,感;HS,高感。

## 3 宁麦 918 栽培技术要点

### 3.1 适宜种植区域

宁麦 918 适宜在江苏省淮北麦区种植,也可引种至黄淮南片麦区,如安徽省的沿淮及淮河以北地区、河南省除信阳市(淮河以南稻茬麦区)和南阳市南部部分地区以外的平原灌区、陕西省的西安市、渭南市、咸阳市、铜川市和宝鸡市等。

### 3.2 播种

适期播种,合理密植,优化群体结构。宁麦 918 适宜播期为 10 月 15—25 日,适期播种基本苗控制

在 225 万株 /hm<sup>2</sup> 左右,推迟播种或中低产田适当增加基本苗。坚持适墒和精准播种,推荐药剂拌种,防病壮苗。早茬小麦及秸秆还田稻茬小麦播后要适度镇压,弥合土缝,提墒保温,促进齐苗。

### 3.3 肥水管理

推荐测土配方施肥和机械深施,以产定氮,因缺补缺,增施有机肥。宁麦 918 一般施纯氮 225 ~ 270 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 各 120 ~ 150 kg/hm<sup>2</sup>,为提高小麦产量和籽粒品质,氮肥施用适当后移,氮肥按照基肥、分蘖肥、拔节孕穗肥、穗肥的质量比 5 : 1 : 2 : 2 施用,磷、钾肥按照基肥、拔节孕穗肥质量比 1 : 1 施用,后期适当喷施叶面肥。田间沟系配套,防止明涝暗渍,特别是冬季干旱年份,要浇好越冬水,防止冻害发生。

### 3.4 病虫害防治

对麦田杂草坚持“封杀结合、以封为主、科学用药”的防除策略,根据田间草相选择合适药剂,冬前及早春及时防除田间杂草。

宁麦 918 感小麦纹枯病,高感小麦白粉病,因此要密切关注田间病害发生情况,及时防治。拔节前后注意防治纹枯病;抽穗扬花期做好赤霉病、白

粉病和虫害的防治。

### 参考文献:

- [1] 张善磊,王卫军,吕春华,等. 赤霉病抗性基因 *Fhb1* 和 *Fhb7* 在江苏省淮北小麦新品系中的分布研究[J]. 北方农业学报,2021,49(5):93-99.
- [2] 王龙俊,陈荣振,朱新开,等. 江苏省小麦品质区划研究初报[J]. 江苏农业科学,2002,30(2):15-18.
- [3] 沈业松,王 歆,顾正中,等. 296 份黄淮麦区小麦品种资源在江苏淮北地区的品质分析[J]. 浙江农业学报,2018,30(10):1617-1623.
- [4] 曹淑琳,杨红福,冷苏凤,等. 江苏省主推及新育成小麦品种抗赤霉病评价及毒素积累分析[J]. 麦类作物学报,2022,42(8):958-968.
- [5] 张 勇,杨子博,刘 畅,等. 黄淮麦区小麦抗赤霉病品种(系)的鉴定和遗传分析[J]. 麦类作物学报,2025,45(9):1167-1179.
- [6] 李豪圣,刘建军,宋建民,等. 高产稳产抗病广适型小麦新品种: 济麦 22[J]. 麦类作物学报,2007,27(4):744.
- [7] 袁 平,曹 阳,史忠侠. 优质高产小麦新品种保麦 5 号的选育及应用[J]. 安徽农业科学,2015,43(9):57-58.

## Breeding and Characteristics of New Medium-strong Gluten Wheat Variety Ningmai 918

Zhou Miaoping<sup>1</sup>, Guo Yuanshi<sup>2</sup>, Yao Jinbao<sup>1</sup>, Yang Xueming<sup>1</sup>, Zhang Pingping<sup>1</sup>, Hou Yunzhang<sup>2</sup>, Zhang Peng<sup>1</sup>, He Yi<sup>1</sup>

(1. Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

2. Jiangsu Zhongjiang Seed Industry Co., Ltd., Nanjing 211500, China)

**Abstract:** Ningmai 918 is a new white-grained medium-strong gluten wheat variety, jointly bred by Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences and Jiangsu Zhongjiang Seed Industry Co., Ltd. via the pedigree method, with Jimai 22 as the maternal parent and Baomai No.5 as the paternal parent. It was approved by the Jiangsu Crop Variety Approval Committee in 2025 (Approval Number: Sushenmai 20251010) and is suitable for cultivation in the Huaibei area of Jiangsu Province. This variety features high yield, with the average yield reaching over 9 000 kg/hm<sup>2</sup> in regional and production trials. In regional trials, it showed an average effective panicle number of 6.3 million per hm<sup>2</sup>, 36.6 grains per panicle, and a 1 000-grain weight of 45.4 g. Disease resistance identification results indicated that Ningmai 918 has high resistance to wheat stripe rust, and moderate susceptibility to *Fusarium* head blight, leaf rust and wheat yellow mosaic virus disease.

**Key Words:** Wheat; Ningmai 918; Medium-strong gluten; *Fusarium* head blight; Stripe rust