

DOI:10.19462/j.cnki.zgzy.20250218008

# 黄淮旱地不同小麦品种的抗旱性鉴定及 相关农艺性状分析

王胤 张珂 孙军伟 霍红 郭晋太 孟丽梅 杨子光  
(洛阳市农林科学院,河南洛阳 471022)

**摘要:**为给选育黄淮旱地高抗旱级别小麦品种提供参考,利用2014–2024年度黄淮冬麦区旱地组抗旱性鉴定结果,对不同抗旱级别小麦品种产量及相关农艺性状进行了差异分析,并通过相关性分析和通径分析研究了不同抗旱级别产量相关性状对产量的影响大小。结果表明:早肥组年度间各抗旱级别品种占比相对稳定;早薄组参试品种抗旱级别3级品种占比在2014–2018年度逐年减少,2018–2022年度呈增加趋势,4级品种占比在2014–2018年度逐年增加,2018–2024年度呈减少趋势。早肥组干旱胁迫下,有效穗数、穗粒数、株高随抗旱级别降低均有下降趋势,其中有效穗数下降最为明显;早薄组干旱胁迫下穗粒数、千粒重、株高均随抗旱级别的降低而降低,有效穗数变化不明显,非胁迫下有效穗数随抗旱级别降低而降低。抗旱指数低的品种,干旱胁迫条件下其产量降低越多。产量相关性状在干旱胁迫区表现出的差异较非胁迫区大,不同基因型小麦品种抗旱级别产量相关性状对产量的影响不同,高抗旱级别品种穗粒数对产量贡献大。

**关键字:**小麦;干旱;抗旱性;抗旱指数;产量

## Analysis of Drought Resistance and Related Agronomic Traits of Different Wheat Varieties in Huang–Huai Dry Land

WANG Yin, ZHANG Ke, SUN Junwei, HUO Hong, GUO Jintai, MENG Limei, YANG Ziguang  
(Luoyang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Luoyang 471022, Henan)

干旱缺水是限制小麦生产最主要的逆境因子之一<sup>[1]</sup>,干旱胁迫对小麦产量、有效穗数、穗粒数、千粒重、株高等性状有显著影响<sup>[2–4]</sup>。小麦主产区河南、山东、河北等地受干旱影响严重,干旱影响强度可达到15%以上<sup>[5]</sup>。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]</sup>。目前,我国旱地小麦生产主要集中在黄淮冬麦区,因此黄淮冬麦区旱地小麦抗旱性研究对保障粮食安全具有重要意义。

作物的抗旱性指作物在干旱条件下存活下来并保持一定稳定产量的能力<sup>[7]</sup>,抗旱性鉴定主要是

确定不同作物品种对干旱的适应能力。2007年发布国家标准GB/T 21127—2007《小麦抗旱性鉴定评价技术规范》明确了小麦抗旱性鉴定相关试验条件要求,目前国家旱地小麦采用国家标准的全生育期旱棚抗旱性鉴定,以抗旱指数作为评价标准。

利用抗旱指数对小麦抗旱性进行划分已实施多年,但对不同抗旱级别品种产量构成因素的研究较少。为指导选育抗旱级别高的小麦品种,本研究利用多年黄淮冬麦区旱地组抗旱性鉴定数据,对不同抗旱级别小麦品种开展研究,分析不同抗旱级别小麦产量及产量相关性状差异,了解高抗旱级别小麦品种产量性状特点,探讨选育高抗旱级别小麦品种的关键性状。

基金项目:农业部农业技术试验示范专项经费项目(11172130-10640722013)

通信作者:杨子光

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 数据来源为 2014–2024 年度黄淮冬麦区旱肥组、旱薄组抗旱性鉴定试验总结。参试品种及试验类型见表 1、表 2。

**1.2 试验方法** 2014–2024 年度试验均在洛阳市农林科学院抗旱鉴定站进行,每个年度均分为旱肥组、旱薄组 2 个组别,以晋麦 47 为统一抗旱鉴定对照,每个组别还包括各自区域试验对照。依据 GB/T 21127—2007《小麦抗旱性鉴定评价技术规范》,采用旱棚鉴定法。旱肥组和旱薄组试验均包括两种试验处理:干旱棚内全生育期水分胁迫试验和干旱棚外相邻地块水分非胁迫试验。干旱胁迫区、非胁迫区两组试验均设 3 次重复,随机区组排列。干旱胁迫区试验小区长 3.4m,行距 0.2m,3 行区;非胁迫区试验小区长 2.0m,宽 1.6m,6 行区。干旱胁迫区试验在小麦播种后进行全生育期干旱胁迫处理;非胁迫区试验全生育期以自然降雨为主,遇旱进行补充灌溉。为充分发挥参试品种的性状及产量潜力,水分非胁迫区于小麦起身前架设防倒网。其他管理措施以及性状调查记载干旱胁迫区、非胁迫区一致。

**1.3 测量指标及方法** 试验测量每品种在干旱胁迫区与水分非胁迫区的有效穗数、穗粒数、千粒重、株高和产量,并计算相应的抗旱指数。抗旱指数依照 GB/T 21127—2007《小麦抗旱性鉴定评价技术

规范》的计算方法。计算公式如下。

$$DI = \frac{GYS.T^2 \cdot GYS.W}{GYCK.W \cdot GYCK.T^2}$$

式中:DI 为抗旱指数,GYS.T 为待测品种棚内籽粒产量,GYS.W 为待测品种棚外籽粒产量,GYCK.W 为对照品种棚外籽粒产量,GYCK.T 为对照品种棚内籽粒产量。

**1.4 数据统计分析** 用 Excel 和 R 语言对试验数据进行分析、做图,文中所有统计数据均按照当年度参试品种数量进行,重复品种不进行删减,区域试验对照品种与抗旱性鉴定对照品种数据不纳入分析。

## 2 结果与分析

**2.1 2014–2024 年度黄淮冬麦区旱地组抗旱性鉴定参试品种抗旱级别** 2014–2024 年度黄淮冬麦区旱地组抗旱性鉴定参试品种抗旱级别如表 3 所示,抗旱级别 3 级的品种抗旱指数在 0.900~1.092 之间,抗旱评价为中等,抗旱级别 4 级的品种抗旱指数在 0.701~0.898 之间,抗旱评价为较弱,抗旱级别 5 级的品种抗旱指数在 0.504~0.639 之间,抗旱评价为弱。去除同组重复品种及对照晋麦 47 后,旱肥组试验中,抗旱级别为 3 级的品种有 38 个,4 级的品种有 127 个,5 级的品种有 12 个;旱薄组试验中,抗旱级别为 3 级的品种有 39 个,4 级的品种有 38 个,5 级的品种有 1 个。

表 1 2014–2018 年度抗旱性鉴定试验参试小麦品种及试验类型

年度	试验类型	品种
2014–2015	旱肥组	众信 5199、垦星 1 号、农大 5181、洛早 22、众信 5128、阳光 578、洛早 20、石 09–4276、轮选 199、冀麦 485、河农 6331、山农 25、洛早 7 号(CK2)、晋麦 47 (CK1)
	旱薄组	金麦 5295、临早 5055、临 Y8161、中麦 36、中地 458、运早 1411、长 5295、惠麦 817、铜麦 6 号、洛早 25、晋麦 47 (CK)
2015–2016	旱肥组	轮选 149、洛早 6 号、洛早 7 号(CK2)、洛早 22、众信 5128、泰科麦 30、石 12–4025、冀麦 485、惠麦 818、阳光 578、众信 8678、济麦 262、山农 25、婴泊 700、子麦 658、晋麦 47 (CK1)
	旱薄组	中麦 36、运早 137、洛早 25、长 6990、惠麦 817、临 Y8155、中麦 37、惠麦 5715、众信 6178、铜麦 6 号、晋麦 47 (CK)
2016–2017	旱肥组	众信 8678、石 12–4025、济麦 262、泰科麦 30、轮选 149、衡 H1217、金禾 7183、冀麦 161、ZH4261、垦星 5 号、临 091、圣麦 105、泰田麦 118、金麦 1408、洛早 7 号(CK2)、晋麦 47 (CK1)
	旱薄组	长 6990、铜麦 6 号、临 Y8155、运早 137、众信 6178、临早 5325、兰天 34 号、沧麦 2013–1、秦农 30、徽研 56、鲁农 188、晋麦 47 (CK)
2017–2018	旱肥组	ZH4261、垦星 5 号、泰田麦 118、衡 H1217、圣麦 105、石 114195、冀麦 325、冀麦 659、冀麦 665、洛早 21、洛早 26、泰科麦 35、登海 202、圣麦 15、新麦 28、洛早 7 号(CK2)、晋麦 47 (CK1)
	旱薄组	临早 5325、鲁农 188、徽研 56、众信 4899、临 Y8167、邯 115272、中麦 35、运早 1512、长 5553、长 7080、长 9499、渭麦 9 号、晋麦 47 (CK)

表2 2018–2024年度抗旱性鉴定试验参试小麦品种及试验类型

年度	试验类型	品种
2018–2019	旱肥组(A组)	石114195、冀麦325、登海202、泰科麦38、烟农679、冀麦520、冀麦825、石14–6111、ZH5169、SND184、济麦60、济麦52、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱肥组(B组)	品育8183、衡14–K2–3、衡H15–4229、中信麦48、秦农23、中麦570、徽研1515、河农9204、洛早28、圣麦127、西农198、中麦132、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱薄组	邯115272、运早1512、渭麦9号、临Y8167、中麦35、长5553、长7080、长9499、运早139–2、中麦41、品育8230、秦农27、沧麦2015–19、晋麦47(CK)
2019–2020	旱肥组(A组)	济麦60、济麦52、泰科麦38、石14–6111、众信6186、LPM8号、垦星7号、LS3666、济麦416、存麦618、泛麦25、兰天39号、SH5243、山农22469、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱肥组(B组)	河农9204、洛早28、圣麦127、西农198、衡H15–4229、徽研1515、翔麦518、金禾14219、金禾13234、河农6135、衡S157001、衡H15观126、衡Y165305、冀麦469、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱薄组	运早139–2、中麦40、中麦42、中麦44、临早6057、长6794、普冰115、新世纪1616、中麦36(CK2)、晋麦47(CK1)
2020–2021	旱肥组(A组)	存麦618、SH5243、垦星7号、LS3666、徽研912、济麦5208、JM804、山农F4012、LS2612、LS2562、山农651545、垦星203、泰科麦42、JK60568、SH6068、QW121、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱肥组(B组)	冀麦469、衡H15观126、衡Y165305、河农6135、冀麦18671、冀麦255、金禾15460、金禾17341、品育8175、洛早32、洛早31、豫农911、秦育二号、西农929、中麦836、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱薄组	西农939、普冰167、运早1816、运早1818、临早11号、长7425、新世纪129、国科6号、中麦46、航麦833、颍麦1705、众信958、泰科麦43、中麦36(CK2)、晋麦47(CK1)
2021–2022	旱肥组(A组)	山农651545、徽研912、LS2562、泰科麦42、JK60568、QW121、山农611436、JK64628、泰科麦49、山农442、山农F3530、农大162、山农678、BC17PT161、阳光588、泰科麦40、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱肥组(B组)	洛早31、品育8175、冀麦255、洛早35、长优173、西农631、河农8178、西农1109、西农711、CA16087、石17T5252、洛早34、品育8177、秦育5号、偃亳1886、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱薄组	运早1818、临早11号、西农908、中原国科11、西农712、运早1923、衡H1914、渭麦15号、小偃155、沧麦15、中麦36(CK2)、晋麦47(CK1)
2022–2023	旱肥组(A组)	山农611436、JK64628、山农F3530、农大162、山农678、阳光588、TKM6749、LS6213、山农711641、山农1457、济麦569(济麦56)、JK64624、山农P6175、济麦1806、SH4103、新世纪264、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱肥组(B组)	洛早35、河农8178、石17T5252、品育8177、偃亳1886、西农631、冀麦342、石麦32(石156375)、金禾19459、金禾19428、衡麦Z1033、河农085、小偃156、洛早36、品育8179、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱薄组	兰天1085、中麦49、普冰017、临早16号、中原国科23、中麦36(CK2)、晋麦47(CK1)
2023–2024	旱肥组(A组)	JK64624、济麦569、济麦1806、济农麦CH05、JK830692、QM1301、烟农37、泰科麦5632、垦星207、TKM6151、W19Y5393、农大968、中麦30、科选81、徽研1号、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱肥组(B组)	金禾19459、衡麦Z1033、河农085、洛早39、石168241、冀麦419、滑昌麦22、衡麦H204017、衡麦T204002、西农2026、西农353、17CA42、河农9209、京丰麦1号、洛早7号(CK2)、晋麦47(CK1)
	旱薄组	临早16号、中麦49、渭麦30、西农27、洛早40、长7785、晋麦111号、中麦36(CK2)、晋麦47(CK1)

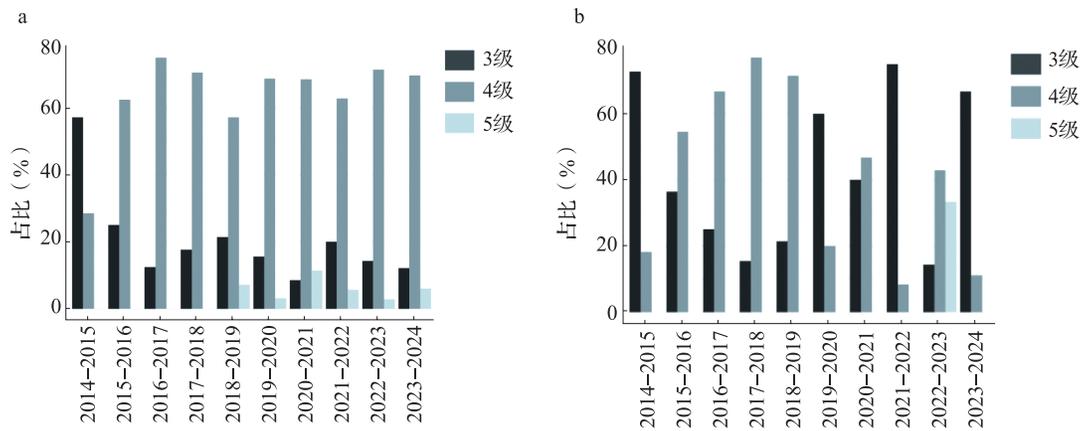
各年度试验中,抗旱级别为3级的品种以2021–2022年度旱薄组试验最多,为9个;4级品种以2022–2023年度旱肥组试验最多,为25个;5级品种以2020–2021年度旱肥组试验最多,为4个。旱肥组抗旱级别4级的参试品种数量年度间整体呈增加趋势,3级、5级品种数量呈波动变化;旱薄组抗旱级别3级的品种数量在2014–2018年度逐年减少,2018–2022年度呈增加趋势;总体来说,抗旱级

别为4级的品种较多。由图1可知,旱肥组年度间各抗旱级别品种占比相对稳定,无明显增加或减少趋势;旱薄组3级品种占比在2014–2018年度逐年减少,2018–2022年度呈增加趋势,4级品种占比在2014–2018年度逐年增加。

**2.2 不同抗旱级别品种产量相关性状变化** 由图2可知,旱肥组胁迫条件下不同抗旱级别品种的有效穗数、穗粒数、株高存在显著差异,非胁迫条件下

表3 2014–2024年度黄淮冬麦区旱地组抗旱性鉴定参试品种抗旱级别

试验类型	抗旱级别	2014–2015年度	2015–2016年度	2016–2017年度	2017–2018年度	2018–2019年度	2019–2020年度	2020–2021年度	2021–2022年度	2022–2023年度	2023–2024年度	总计
旱肥组	3级	8	4	2	3	6	5	3	7	5	4	47
	4级	4	10	12	12	16	22	24	22	25	23	170
	5级	0	0	0	0	2	1	4	2	1	2	12
	合计	12	14	14	15	24	28	31	31	31	29	229
旱薄组	3级	8	4	3	2	3	6	6	9	1	6	48
	4级	2	6	8	10	10	2	7	1	3	1	50
	5级	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	合计	10	10	11	12	13	8	13	10	5	7	99



a 为黄淮冬麦区旱肥组, b 为黄淮冬麦区旱薄组

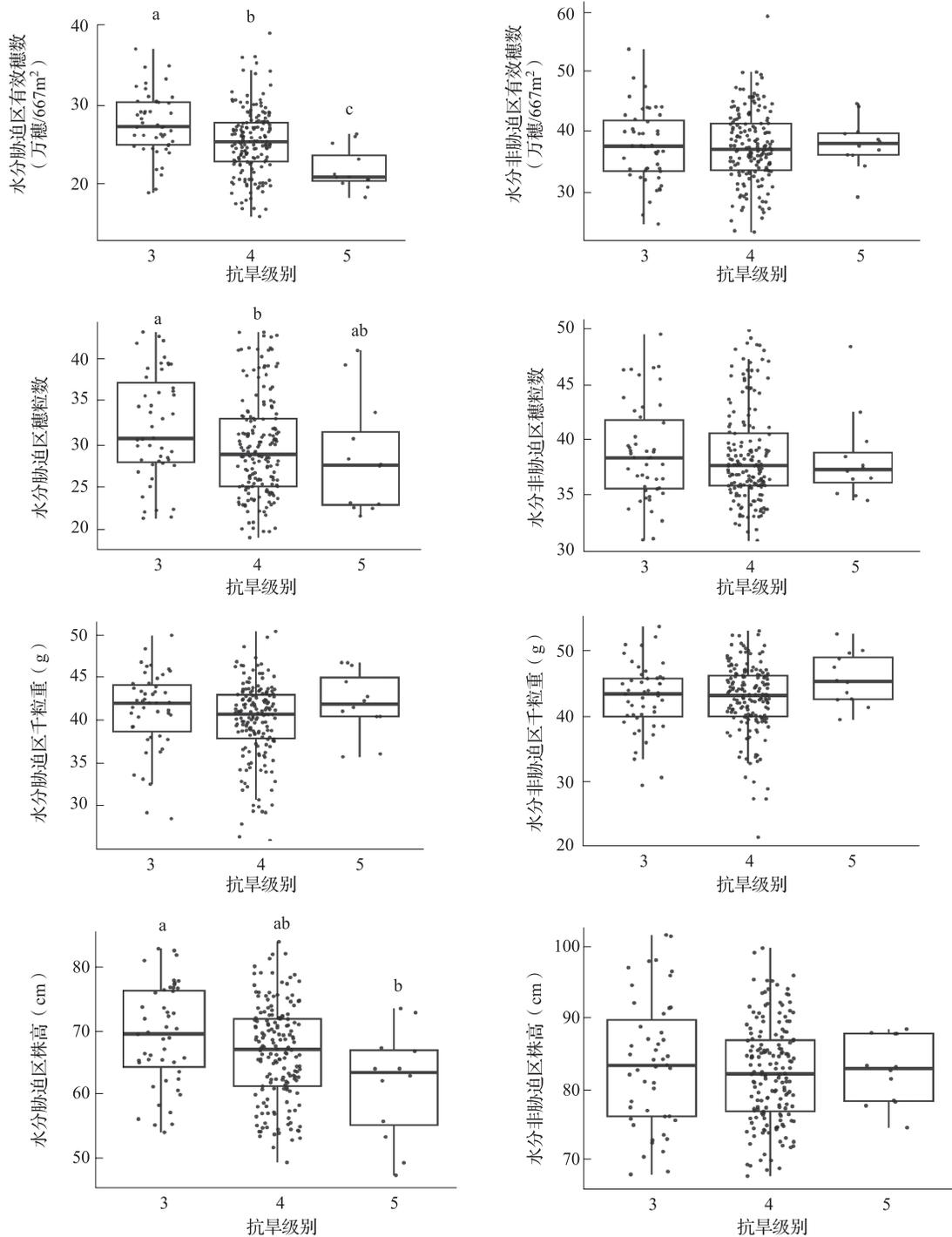
图1 2014–2024年度黄淮冬麦区旱地组抗旱性鉴定各抗旱级别品种占比

不同抗旱级别品种的产量相关性状差异不显著。胁迫条件下旱肥组抗旱级别3级的品种每667m<sup>2</sup>有效穗数为18.9万~37.0万穗,4级品种的有效穗数为14.2万~39.0万穗,5级品种的有效穗数为18.3万~26.3万穗;3级品种的穗粒数为21.4~43.0粒,4级品种的穗粒数为19.2~43.0粒,5级品种的穗粒数为21.7~40.9粒;3级品种的千粒重为28.8~49.9g,4级品种的千粒重为26.3~50.4g,5级品种的千粒重为35.9~46.8g;3级品种的株高为54.1~83.0cm,4级品种的株高为49.4~84.1cm,5级品种的株高为47.4~73.6cm。干旱胁迫下,有效穗数、穗粒数、株高随抗旱级别降低均有下降趋势,其中有效穗数下降最为明显。

由图3可知,旱薄组胁迫条件下不同抗旱级别品种的穗粒数、千粒重、株高有显著差异,有效穗数差异不显著,非胁迫条件下仅有效穗数差异

显著。胁迫条件下旱薄组抗旱级别3级的品种每667m<sup>2</sup>有效穗数为21.0万~39.1万穗,4级品种的有效穗数为15.7万~38.3万穗;3级品种的穗粒数为21.7~44.5粒,4级品种的穗粒数为20.7~40.1粒;3级品种的千粒重为27.9~49.3g,4级品种的千粒重为25.5~47.0g;3级品种的株高为57.3~91.5cm,4级品种的株高为53.7~92.6cm。干旱胁迫下穗粒数、千粒重、株高均随抗旱级别的降低而降低,有效穗数变化不明显,非胁迫下有效穗数随抗旱级别的降低而降低。

由图4可知,旱肥组和旱薄组仅胁迫区产量在不同抗旱级别间有显著差异。旱肥组在胁迫条件下随着抗旱级别的降低,产量有降低趋势;抗旱级别4级较抗旱级别3级品种产量显著降低,但抗旱级别5级较抗旱级别4级品种产量差异不显著;胁迫条件下,3级品种每667m<sup>2</sup>产量为193.9~341.5kg,



不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著差异,下同

图2 旱肥组品种产量相关性状

金禾 19459、河农 8178、西农 711 等产量较高,4 级品种的产量为 168.8~307.7kg,山农 651545、山农 F3530、CA16087 等产量较高,5 级品种的产量为 206.4~257.6kg,LS6213、山农 442、泰科麦 49 等产量较高。旱肥组非胁迫条件下,抗旱级别 5 级产量高于抗旱级别 4 级。旱薄组在胁迫条件下抗旱级别 4 级较抗旱级别 3 级品种产量显著降低,非胁迫

胁迫产量有所降低但差异不显著。胁迫条件下,3 级品种每 667m<sup>2</sup> 产量为 194.3~318.6kg,晋麦 111 号、运早 1818、临早 11 号等产量较高,4 级品种的产量为 175.4~276.9kg,长 7080、中原国科 11 号、临早 16 号等产量较高,5 级品种仅 2022~2023 年度参试品种中原国科 23,产量为 223.0kg。以上结果在一定程度上反映了抗旱指数与产量性状的内

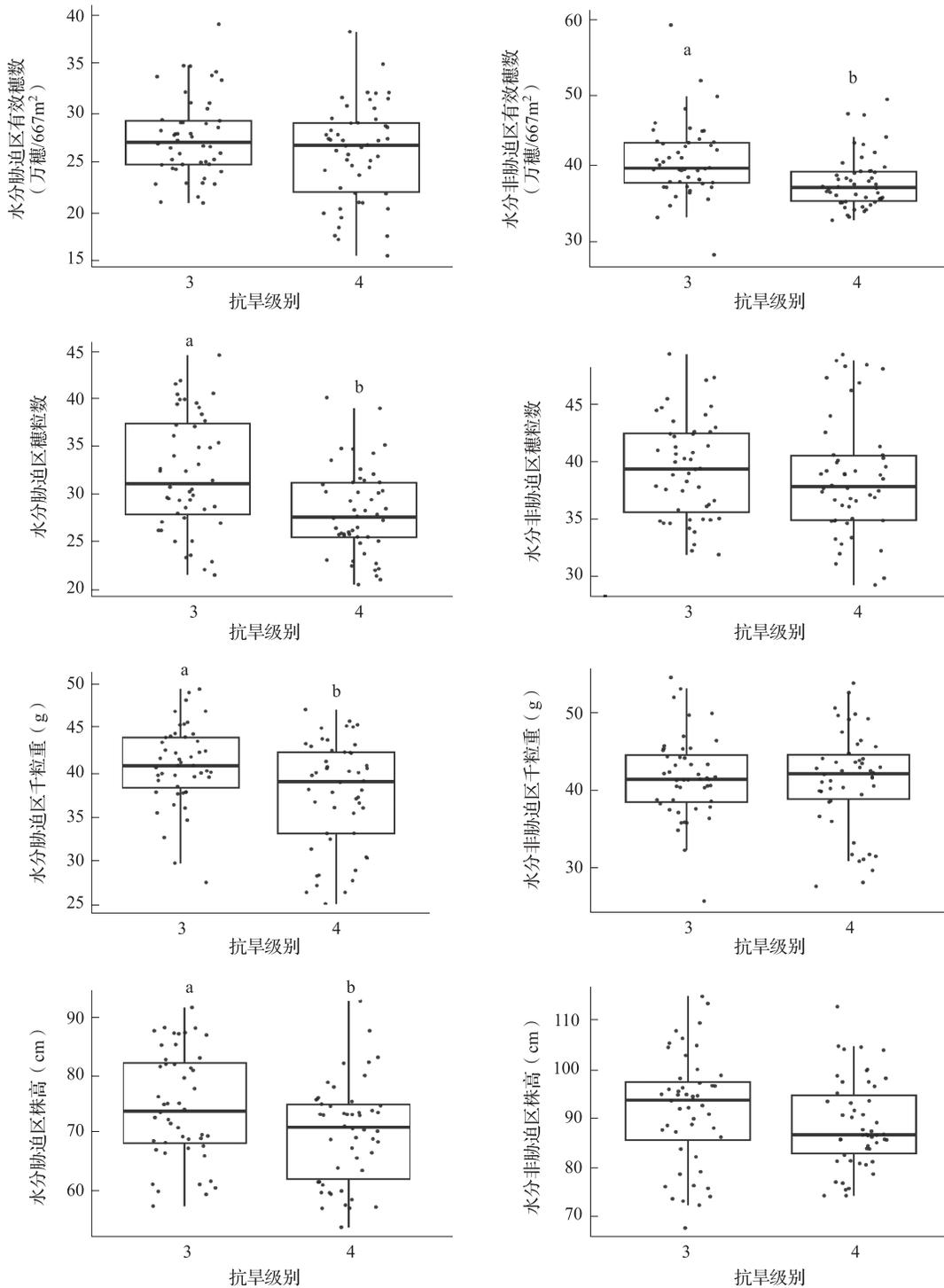
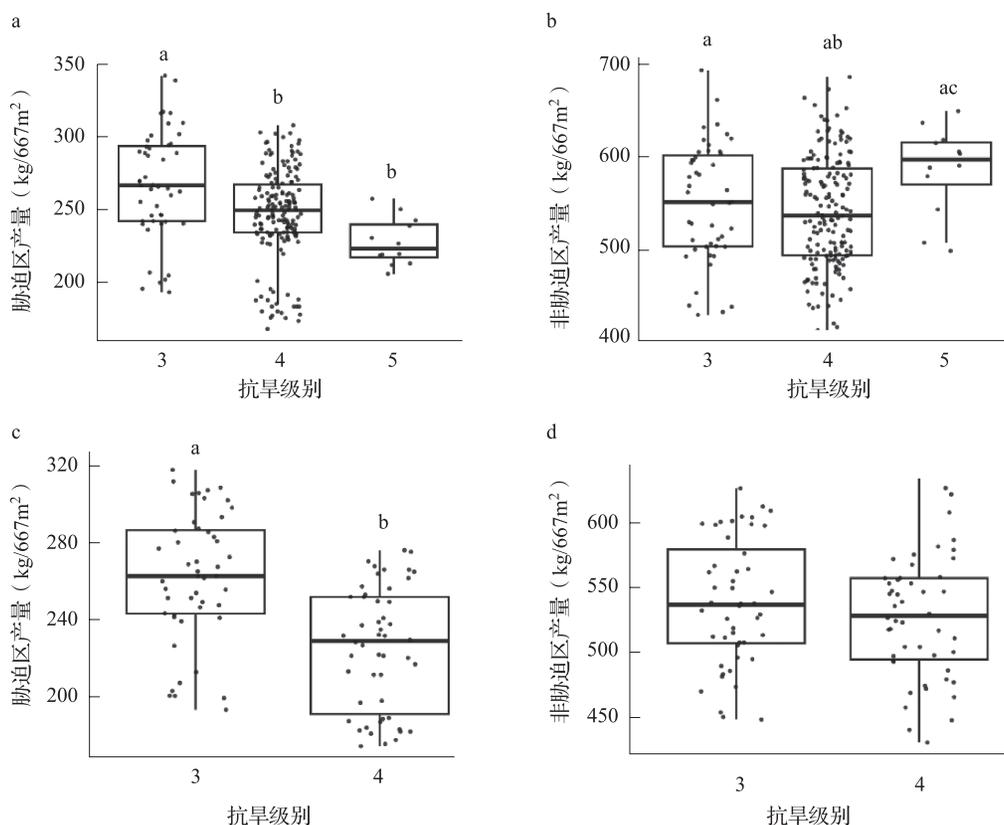


图3 旱薄组品种产量相关性状

在联系,抗旱指数小或抗旱级别低的品种,通常在干旱胁迫下产量低,产量下降较多,有效穗数降低较多。

**2.3 不同抗旱级别品种产量性状的相关性分析及通径分析** 由表4可知,胁迫区中不同抗旱级别的产量与有效穗数、穗粒数、千粒重、株高均呈正相关,但不同抗旱级别相关性不同。旱肥组抗旱级别3级

品种的产量与穗粒数呈极显著正相关;抗旱级别4级品种的产量与有效穗数、穗粒数、千粒重、株高均呈极显著正相关;抗旱级别5级品种的产量与有效穗数、穗粒数呈极显著正相关,与株高呈显著正相关。为明确产量相关性状对产量影响的重要性,对产量和相关性状进行通径分析(表5)。通径分析显示,旱肥组胁迫区不同抗旱级别中均为穗粒数对胁



a 和 b 为早肥组产量, c 和 d 为早薄组产量

图 4 不同试验类别品种产量

表 4 胁迫区产量性状相关性分析

试验类别	性状	有效穗数			穗粒数			千粒重			株高		
		3级	4级	5级	3级	4级	5级	3级	4级	5级	3级	4级	5级
早肥组	产量	0.10	0.31**	0.85**	0.43**	0.59**	0.92**	0.19	0.31**	0.13	0.19	0.41**	0.73*
	有效穗数				0.42**	0.52**	0.91**	-0.03	-0.30**	-0.19	0.21	0.41**	0.55
	穗粒数							0.31*	-0.04	-0.13	0.42**	0.36**	0.58*
	千粒重										0.37*	0.22**	0.55
早薄组	产量	0.13	0.21		0.41**	0.20		-0.01	0.32*		-0.10	0.48**	
	有效穗数				0.61**	0.48**		-0.07	-0.45*		0.41**	0.58**	
	穗粒数							-0.17	-0.31*		0.33*	0.55**	
	千粒重										0.06	0.10	

\*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上存在显著、极显著相关性

胁迫区产量直接影响最大,千粒重为影响胁迫区产量的第二大性状。

早薄组胁迫区抗旱级别 3 级品种的产量与穗粒数呈极显著正相关,与有效穗数呈正相关但不显著,与千粒重、株高均呈负相关;抗旱级别 4 级品种的产量与千粒重呈显著正相关,与株高呈极显著正相关,

与有效穗数、穗粒数呈正相关但不显著。通径分析显示,抗旱级别 3 级的品种穗粒数对产量影响最大,抗旱级别 4 级的品种千粒重对产量影响最大。由此可见,无论是早肥类型或是早薄类型小麦品种,穗粒数对产量的影响都很显著,在进行抗旱小麦品种选育时,应选择结实性好的品种。

表5 产量与产量相关性状通径分析

试验类别	性状	胁迫区直接通径系数		
		3级	4级	5级
早肥组	X1	-0.090	0.092	0.153
	X2	0.450	0.515	0.756
	X3	0.042	0.330	0.200
	X4	0.011	0.118	0.096
早薄组	X1	-0.111	0.186	
	X2	0.574	0.070	
	X3	0.095	0.397	
	X4	-0.249	0.296	

X1为有效穗数,X2为穗粒数,X3为千粒重,X4为株高

### 3 讨论与结论

抗旱指数可以兼顾品种的抗旱性和丰产性,是较为全面的抗旱性评价指标<sup>[8]</sup>。干旱胁迫条件下,早肥组产量相关性状有效穗数、穗粒数、株高在抗旱级别间表现出显著差异,且随抗旱级别降低,性状数据有降低趋势;早薄组产量相关性状穗粒数、千粒重、株高随抗旱级别降低,性状数据有显著降低。非胁迫条件下,早肥组产量相关性状无显著差异,早薄组仅有效穗数在不同抗旱级别间差异显著。表明不同抗旱级别产量相关性状在胁迫区表现出的差异较非胁迫区明显。

本研究通过多年黄淮旱地参试品种胁迫区和非胁迫区抗旱鉴定数据验证了抗旱指数与产量性状的关系,尤其是高抗旱级别品种穗粒数对产量影响显著。这与李超<sup>[9]</sup>对黄土高原旱地小麦研究提出在田块尺度上产量增加主要来源于穗数和穗粒数的增加的结论相一致,建议在选育抗旱小麦品种时,应选择干旱胁迫、非胁迫下穗粒数对产量贡献大的

品种或者通过分子育种手段来提高结实性以达到提高小麦品种的抗旱性。由于分析品种的抗旱级别为3~5级,没有1级、2级的品种,产量性状与抗旱指数是否仅穗粒数影响显著,尚有待进一步进行研究。

通过对2014–2024年度黄淮冬麦区旱地组抗旱性鉴定数据分析发现,目前旱地育种的难点仍在品种抗旱性,近十年没有选育出抗旱性1级与2级的品种,建议育种者在注重丰产性提高的同时,要进一步重视品种的抗旱性及应对旱区自然灾害的抗灾能力,助力粮食安全。

### 参考文献

- [1] 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. 中国农业科学,2024,57(9):1629–1632
- [2] 许海霞,李伟,程西永,董中东,李阳,崔党群. 干旱胁迫对小麦农艺性状的影响. 中国农学通报,2008,24(3):125–129
- [3] 陈卫国,张政,史雨刚,曹亚萍,王曙光,李宏,孙黛珍. 211份小麦种质资源抗旱性的评价. 作物杂志,2020(4):53–63
- [4] 李龙,毛新国,王景一,吕小平,柳玉平,景蕊莲. 小麦种质资源抗旱性鉴定评价. 作物学报,2018,44(7):988–999
- [5] 赵海燕,张文千,邹旭恺,张强,沈子琦,梅平. 气候变化背景下中国农业干旱时空变化特征分析. 中国农业气象,2021,42(1):69–79
- [6] 周全,路秋梅,赵张晨,武宸冉,符笑歌,赵玉娇,韩勇,蔺怀龙,陈微林,牟丽明,李兴茂,王长海,胡银岗,陈亮. 244份春小麦苗期抗旱性的鉴定. 中国农业科学,2024,57(9):1646–1657
- [7] 黎裕. 作物抗旱鉴定方法与指标. 干旱地区农业研究,1993,11(1):91–99
- [8] 宋璐杏,张闪闪,李玟,乔朋放,毕起,陈亮,胡银岗. 小麦高代系的抗旱性状筛选与抗旱性评价. 干旱地区农业研究,2024,42(1):14–22
- [9] 李超. 黄土高原旱地小麦增产提质增效的限制因子与调控措施. 杨凌:西北农林科技大学,2022

(收稿日期:2025-02-18)

(上接第74页)

- [16] Chen A Q, Hu J, Sun S B, Xu G H. Conservation and divergence of both phosphate- and mycorrhiza-regulated physiological responses and expression patterns of phosphate transporters in solanaceous species. *New Phytologist*, 2007, 173(4):817–831
- [17] Veneklaas E J, Lambers H, Bragg J, Finnegan P M, Lovelock C E, Plaxton W C, Price C A, Scheible W R, Shane M W, White P J, Raven J A. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytologist*, 2012, 195(2):306–320
- [18] Ojeda-Rivera J O, Alejo-Jacuinde G, Nájera-González H R, López-Arredondo D. Prospects of genetics and breeding for low-

phosphate tolerance: an integrated approach from soil to cell. *Theoretical and Applied Genetics*, 2022, 135:4125–4150

- [19] Borrill P, Harrington S A, Uauy C. Applying the latest advances in genomics and phenomics for trait discovery in polyploid wheat. *The Plant Journal*, 2019, 97:56–72
- [20] Rasheed A, Xia X C. From markers to genome-based breeding in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 2019, 132:767–784
- [21] 袁园园,朱晓梁,李彪,戴兵,段雪梅,韩丽苹,谢永法,孟昭京. 小麦氮、磷高效新品系的鉴定和评价. 中国种业,2022(8):83–88

(收稿日期:2024-12-26)