

雨养农业区冬小麦品种灌浆期抗旱耐逆性 评价技术规程

李静雯¹, 白斌², 厚毅清¹, 何瑞², 郭莹², 马瑞², 王红梅¹

(1. 甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院
小麦研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要: 为进一步推进抗旱耐逆小麦品种的快速筛选及其推广应用, 提高耐旱育种效率, 通过半干旱雨养农业区田间生产条件下灌浆期小麦气孔性状多年多点的测定, 明确小麦灌浆期抗旱耐逆性判定规则, 联合主成分分析和隶属函数值方法, 从适用范围、规范性引用文件、术语和定义、技术原理、基本要求、田间管理、气孔性状调查分析、评价指标的计算及评价等级等方面总结出雨养农业区冬小麦品种灌浆期抗旱耐逆性综合评价技术规程。

关键词: 冬小麦; 气孔; 抗旱耐逆性; 技术规程; 雨养农业区

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** B **文章编号:** 2097-2172(2024)09-0871-04

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.09.017

Technical Regulation for Evaluating Drought and Stress Resistance of Winter Wheat Varieties at Filling Stage in Rain-fed Agricultural Areas

LI Jingwen¹, BAI Bin², HOU Yiqing¹, HE Rui², GUO Ying², MA Rui², WANG Hongmei¹

(1. Biotechnology Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China;
2. Wheat Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Gansu Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to further promote the rapid screening and popularization of drought to lerant wheat varieties and improve the efficiency of drought to lerance breeding, the evaluation rules of drought to lerant wheat at filling stage were clarified by multi-year and multi-point determination of wheat stomata characters of flag leaf under field production conditions in semi-arid rain-fed agricultural areas. By combining with the principal component analysis and membership function value method, a comprehensive evaluation method for drought tolerance of winter wheat was summarized from aspects such as the applicable range, normative references, terms and definitions, technical principles, basic requirements, field management, stomatal trait investigation and analysis, calculation of evaluation indicators, and classification of evaluation levels.

Key words: Wheat variety; Stoma; Drought and stress resistance; Technical regulation; Rain-fed agricultural area

小麦是甘肃省第二大粮食作物, 冬小麦种植总面积 54.67 万 hm^2 左右, 占全省小麦的 65.2%^[1], 90%以上的冬小麦在旱地种植^[2], 主要分布于陇东、陇南及甘肃中部麦区。该区降水稀少且时空分布不均, 土壤瘠薄, 为典型的雨养农业区^[3-4], 加之当前气候变化影响日益加剧, 干旱、倒春寒等不利气候频繁发生^[5]。旱地冬小麦一般于 9 月中下旬至 10 月中旬播种, 6 月中下旬成熟收获。在小麦返青期、拔节期至灌浆成熟期极易遭遇季节性干旱和低温灾害, 导致小麦品种产量低而不

稳。

小麦生育期的干旱胁迫, 生产上可通过耕作纳雨、覆盖保墒等途径提高有限降水资源利用率, 实现旱地小麦稳产高产。然而在投入不足的旱地生产中选育耐旱、耐瘠薄、高产、稳产新品种历来是甘肃省小麦首选的增产途径^[6]。简便、可靠、快捷的小麦抗旱性指标对于抗旱耐逆小麦筛选及耐旱品种培育具有重要作用。气孔作为调控植物光合作用和蒸腾作用的关键因素, 在应对干旱胁迫中发挥着重要作用^[7]。近年来对小麦抗

收稿日期: 2024-06-04; 修订日期: 2024-07-05

基金项目: 甘肃省农业科学院农业科技创新专项重点研发计划(2022GAAS11); 国家自然科学基金地区基金项目(31860378)。

作者简介: 李静雯(1979—), 女, 甘肃榆中人, 副研究员, 主要从事作物分子育种研究工作。Email: lj-lg614@163.com。

通信作者: 白斌(1977—), 男, 甘肃庆阳人, 研究员, 主要从事作物分子育种研究工作。Email: baibingaas@gasagr.cn。

旱的外部形态特征、内部生理指标及产量指标等方面开展了大量研究^[8]，但是在抗旱育种实践中利用气孔特性发挥作用的研究较少^[9]。为此，我们在前期研究的基础上^[10]，通过调查旱地冬小麦气孔性状，形成气孔性状综合评价度量值，建立了西北雨养农业区旱地冬小麦品种灌浆期抗旱耐逆性评价技术体系，以期为生产上筛选和推广应用耐旱性小麦品种、提高耐旱育种效率提供技术支持。

1 范围

本规程规定了小麦品种灌浆期抗旱耐逆性的术语和定义、技术原理、试验方法及计算与评价要求。

本规程适用于甘肃省年降水量 300 ~ 550 mm 的雨养农业小麦种植区，其他地区可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 4404.1—2008 粮食作物种子 第 1 部分：禾谷类^[11]

NY/T 1276—2007 农药安全使用规范 总则^[12]

GB/T 8321.10—2018 农药合理使用准则(十)^[13]

NY/T 496—2010 肥料合理使用准则 通则^[14]

DB62/T 2476—2014 旱地冬小麦栽培技术规程^[15]

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规程。

3.1 雨养农业区

光照充足，热量适中，肥力可控，满足一年一季作物生长，仅依靠天然降水种植农作物区域^[16]。

3.2 抗旱耐逆性

指作物生长发育和产量对于干旱胁迫的反应及适应性。

3.3 抗旱耐逆冬小麦品种

指半干旱雨养农业区气孔性状综合评价度量值大的冬小麦品种(品系)。

3.4 气孔性状综合指标值

反映冬小麦品种对于干旱胁迫耐受程度的指标，

以同一小麦品种各气孔性状表型标准化数据及其特征向量乘积之和表示。

3.5 气孔性状综合度量值

以气孔反映雨养农业区灌浆期冬小麦品种对于干旱胁迫耐受程度的指标，以同一小麦品种气孔性状综合指标的隶属函数值及其权重乘积之和表示。

3.6 抗旱耐逆性级别

采用气孔性状隶属函数综合度量值 D 分级，从强到弱分 3 级，依次为 I 级(强抗旱耐逆)、II 级(中度抗旱耐逆)、III 级(不抗旱耐逆)。

4 技术原理

4.1 干旱胁迫对小麦灌浆期的影响

小麦灌浆期是小麦水分临界期之一，小麦产量的 70% ~ 80% 形成于灌浆期，其中 10% ~ 30% 由旗叶供给^[17-18]。在轻度和中度干旱条件下，气孔因素对光合作用的影响最大。面对干旱胁迫小麦灌浆期旗叶首先会关闭气孔来应答逆境，最终导致小麦旗叶的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)降低，胞间 CO_2 浓度(C_i)含量升高，很大程度上阻碍了光合产物的积累及转运，最终影响小麦产量的提高^[18]。

4.2 灌浆期抗旱耐逆性与评价原理

冬小麦灌浆期旗叶气孔性状与光合生理、农艺性状等分析表明，灌浆期的气孔指数、气孔宽与气孔导度正相关，气孔分布频率(气孔指数与气孔密度)、气孔宽和蒸腾速率正相关，气孔分布频率与叶绿素含量正相关，气孔指数与叶片水分利用率负相关，气孔宽与影响产量构成因素的株高、穗下节长显著负相关。验证了灌浆期选用基于气孔性状的品种抗旱耐逆性评价指标与旱地冬小麦应对雨养农业区干旱胁迫能力及其适应性之间存在相关性。试验结果可为评价在生产中推荐、应用抗旱耐逆冬小麦品种等提供依据。

5 基本要求

5.1 试验用种

评价用的小麦种子质量应符合 GB 4404.1—2008 中的要求。

5.2 产地环境

雨养农业区冬小麦品种及资源的抗旱耐逆性评价在田间生产条件下进行。全生育期依靠天然

降水。化肥使用原则应符合 NY/T 496—2010 的规定。

5.3 田间试验设计

5.3.1 小区设计 试验设 3 次重复,随机区组排列。参试各小麦品种为 1 个小区,小区面积 15 m²。试验区周围设置宽度大于 1.5 m 的保护区。

5.3.2 对照品种设置 试验共设对照品种 3 个,分别为冬小麦品种晋麦 47 号(全国旱地小麦区域试验对照品种)、矮抗 58(表现矮秆、高产、抗病,是黄淮麦区南片种植面积最大的品种之一)、周麦 22 号(黄淮冬麦区南片主要推荐种植品种)。以对照品种和待测冬小麦品种(系)气孔综合度量值 D 来综合判定待测品种抗旱耐逆性级别。

6 田间管理

按照试验评价需要选择品种。田间种植和栽培管理按照 DB62/T 2476—2014 标准执行。病虫害防治药剂使用应符合 NY/T 1276—2007、GB/T 8321·10—2018 的规定。

7 气孔性状调查

灌浆初期及时调查气孔密度、气孔指数、气孔长、气孔宽、气孔长/气孔宽及表皮细胞数等 6 个气孔性状。

7.1 气孔印迹获取

花后 10 d 9:00~12:00 时选取各参试冬小麦品种 3~4 株生长一致植株,在旗叶远轴面(下表皮)中部平整部位选取 2 cm² 的区域采用牙齿合成树脂获取旗叶远轴面气孔印迹。牙齿合成树脂印迹法具体步骤为将混合速凝的牙齿合成树脂涂抹于小麦旗叶(背面叶)叶中部位,撕下印迹皮,再将其贴在涂有指甲油的载玻片上^[19-20]。小麦旗叶表皮微观结构被二次印迹在载玻片上,待指甲油凝固后,撕去印迹皮,载玻片置于显微镜下观察,镜检。每片旗叶做 3~4 个印迹,每个冬小麦品种 3 个生物学重复。

7.2 气孔表型观察及统计

光学显微镜下观察小麦旗叶下表皮印迹,用 10×10 格(0.062 5 mm²)计数板目镜筒观察和统计,用 Image J 软件测量气孔长(SL, μm)、气孔宽(SW, μm)(图 1),重复 3 次。每个表皮印迹随机选取 10 个视野,统计等面积内的气孔和表皮细胞数目,应用下列公式计算气孔分布频率。气孔

分布频率主要从气孔密度(SD, 个/mm²)和气孔指数(SI)2 方面确定。

气孔密度 = 气孔个数 / 计数视野面积

气孔指数 = 气孔数 / (气孔数 + 表皮细胞数)

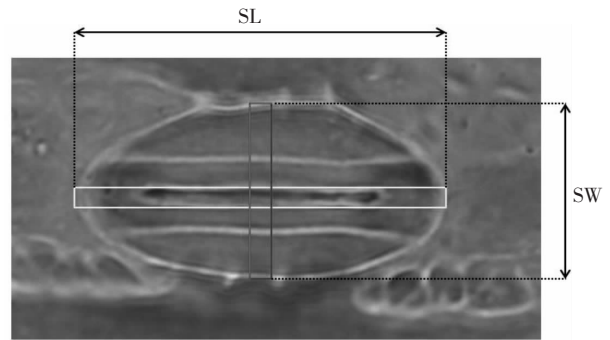


图 1 气孔长宽测量示意图

8 评价指标计算与评价等级

8.1 评价指标计算

对获得的气孔性状表型数据,通过主成分分析获取气孔综合指标值,记为 $\lambda(X_j)$;采用隶属函数值(Y_j)和各单一指标的权重(W_j)计算各小麦品种气孔性状综合度量值(D)。按下列公式(1)、(2)、(3)、(4)、(5)分别计算气孔综合指标值、权重、隶属函数值、气孔性状综合度量值(D)。其中隶属函数值与育种目标一致的性状参照公式(3)计算,与育种目标相反的性状参照公式(4)计算。

$$\lambda_j = m_{1j}X_{1j} + m_{2j}X_{2j} + \dots + m_{ij}X_{ij} \quad (1)$$

$$(i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n)$$

式中, λ_j 为气孔综合指标值; m_{ij} 表示各单一气孔性状的特征值所对应的特征向量; X_{ij} 为各单一气孔性状标准化处理值(Z-score法)。

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中, W_j 表示第 j 个气孔性状在所有气孔性状中的重要程度,即权重; P_j 代表第 j 个气孔性状的信息贡献率。

$$Y_j = (\lambda_j - \lambda_{j\min}) / (\lambda_{j\max} - \lambda_{j\min}) \quad (3)$$

$$Y_j = 1 - (\lambda_j - \lambda_{j\min}) / (\lambda_{j\max} - \lambda_{j\min}) \quad (4)$$

式中: Y_j 为第 j 个指标的隶属函数值; λ_j 为气孔综合指标值; $\lambda_{j\max}$ 为第 j 个指标的最大值; $\lambda_{j\min}$ 为第 j 个指标的最小值。

$$D = \sum_{j=1}^n (Y_j \times W_j) \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式中, Y_j 为第 j 个隶属函数值; W_j 表示各单一气孔性状的权重。

8.2 评价等级

基于气孔性状综合度量值(D)来评价冬小麦品种灌浆期抗旱耐逆性, 具体分级见表 1。

表 1 冬小麦品种灌浆期抗旱耐逆性分级

评价等级	气孔性状综合度量值(D)
强抗旱耐逆(Ⅰ)	$0.58 \leq D \leq 0.73$
中度抗旱耐逆(Ⅱ)	$0.43 \leq D < 0.58$
不抗旱耐逆(Ⅲ)	$0.12 \leq D < 0.43$

参考文献:

- [1] 杨长刚, 杨文雄, 王世红, 等. 甘肃省小麦产业发展对策[J]. 中国种业, 2017(11): 1-6.
- [2] 鲁清林, 马忠明, 杨文雄, 等. 甘肃小麦育种现状及对策[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(5): 1-5.
- [3] 杨肃昌, 陈潇湘, 尚明瑞. 基于甘肃寒旱区域划分视角的寒旱农业概念和发展问题研究[J]. 寒旱农业科学, 2024, 3(2): 99-108.
- [4] 杨肃昌, 陈潇湘. 甘肃现代寒旱农业高质量发展研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2023.
- [5] 白斌, 杜久元, 张礼军, 等. 小麦品种兰天 19 号持久抗病、高产与广适性解析[J]. 中国种业, 2019(6): 48-51.
- [6] 杨文雄. 中国西北春小麦[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [7] BERTOLINO L T, CALINE R S, GRAY J E. Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world[J]. Frontiers in Plant Science, 2019(10): 225.
- [8] 刘众, 郑琪, 李杰, 等. 陇东旱塬区小麦主要农艺性状与产量的相关性分析[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(7): 615-620.
- [9] 杨天乐, 吴峰峰, 刘涛, 等. 作物气孔的作用及其影响因素的研究进展[J]. 北方园艺, 2020(3): 143-148.
- [10] 刘耀权, 张晓洋, 白斌. 不同生态型小麦品种叶片气孔密度及形态差异分析[J]. 西北农业学报, 2023, 32(5): 677-684.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 粮食作物种子 第 1 部分: 禾谷类: GB 4404.1—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 中华人民共和国农业部. 农药安全使用规范 总则: NY/T 1276—2007[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2007.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 农药合理使用准则(十): GB/T 8321.10—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [14] 中华人民共和国农业部. 肥料合理使用准则 通则: NY/T 496—2010[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2010.
- [15] 甘肃省质量技术监督局. 旱地冬小麦栽培技术规程: DB62/T 2476—2014[S]. 兰州: 甘肃省质量技术监督局, 2014.
- [16] 程录平, 王立刚, 王迎春, 等. 西北旱区雨养农业可持续发展研究[C]//中国农业资源与区划学会. 2015 年中国农业资源与区划学会学术年会论文集. 西宁: 出版者不详, 2015.
- [17] WANG Z L, YIN Y P, HE M R, et al. Allocation of photosynthates and grain growth of two wheat cultivars with different potential grain growth in response to pre- and post-anthesis shading[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2003, 189(5): 280-285.
- [18] ZHANG Y P, ZHANG Y H, WANG Z M, et al. Characteristics of canopy structure and contributions of non-leaf organs to yield in winter wheat under different irrigated conditions[J]. Field Crops Research, 2011, 123(3): 187-195.
- [19] 周文期, 寇思荣, 连晓荣, 等. 水稻和玉米叶表皮突变体的筛选和鉴定[J]. 植物生理学报, 2020, 56(2): 189-199.
- [20] KAGAN M L, NOVOPLANSKY N, SACHS T. Variable Cell Lineages form the Functional Pea Epidermis[J]. Annals of Botany, 1992, 4: 303-312.