

# 不同品种冬小麦的抗旱性鉴定与分析

李 云<sup>1,2</sup>, 李维平<sup>1</sup>, 李秀峰<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 汉中市农业科学研究所, 陕西 汉中 723000)

**摘 要:** 以 13 个抗旱等级不同的冬小麦品种为材料, 设旱地和水地两种处理, 在冬小麦起身期、拔节期、挑旗期、抽穗开花期、灌浆期、乳熟期测定了叶片相对含水量、叶绿素含量、叶片渗透调节能力、脯氨酸含量、丙二醛含量、SOD 活性、POD 活性等 7 个与抗旱相关的生理指标。计算各指标旱、水地差值绝对值, 并与抗旱指数分别进行相关、逐步回归、通径、灰色关联分析。结果表明, 挑旗期叶绿素含量差值、拔节期叶片渗透调节能力、起身期脯氨酸含量差值、拔节期丙二醛含量差值、灌浆期 SOD 活性差值等 5 个生理指标与冬小麦抗旱性显著相关, 可作为抗旱鉴定指标。

**关键词:** 冬小麦; 抗旱性; 生理生化指标

**中图分类号:** S512.1; S332.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0017-05

小麦作为我国主栽粮食作物, 在我国粮食生产, 粮食安全及农业的可持续发展中有着举足轻重的地位。水分不足是限制我国北方小麦生产的瓶颈因素。因此, 研究小麦的抗旱性鉴定指标, 对于选育抗旱小麦品种, 提高粮食产量有着非常重要的作用。目前进行抗旱鉴定所用的方法有以下几种: 田间直接鉴定法、干旱棚法、抗旱池法、人工气候室法、盆栽法、室内模拟干旱条件法。这些方法各有优缺点, 适用于不同时期、不同目的的抗旱性鉴定与研究。在干旱的条件下, 作物要持续生长, 必然会导致其生理生化方面的变化。前人采用主成分分析<sup>[1]</sup>、相关和回归分析<sup>[2,3]</sup>、灰色关联度分析<sup>[4]</sup>等统计方法从生理生化方面对小麦抗旱性鉴定指标作了大量研究, 并取得了较大进展。但各人的研究大多是针对小麦某一个或某几个生育期进行的, 而综合小麦各个生育期生理生化性状进行抗旱鉴定研究的极少。鉴于此, 本试验在自然干旱条件下, 设置灌水与不灌水两个处理, 选取不同抗旱性的冬小麦品种为材料, 研究了冬小麦全生育期部分生理生化指标, 并应用逐步回归和通径分析以阐明其与抗旱性的关系, 旨在综合评定某些特定指标对抗旱选择的意义, 为大田自然生态条件下重点选取抗旱选择指标提供一些依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

根据品种特性鉴定结果, 选取 13 个抗旱性不同

的小麦品种为材料, 分别是: 晋麦 47, 武农 148, 陕 757, 西农 979, 周麦 18, 晋麦 67, 长旱 58, 山农 1288, 冬丰 1 号, 山农 9801, 小偃 6 号, 京 841, 小偃 22 号, 均是目前我国北方冬麦区生产上大面积推广或新审定或新育成的新品种(系)。其中晋麦 47、晋麦 67、周麦 18、长旱 58、小偃 22 号是不同程度的抗旱品种, 西农 979、山农 9801、武农 148、陕 757、山农 1288 是典型的水地丰产品种, 京 841 作对照品种。

### 1.2 试验设计

试验于 2006 ~ 2007 年度在陕西省杨凌区大寨乡政府的试验田内(陕西省品种区域试验基地对面)进行。该试验地位于渭河三道台塬地区(东经 108° 24', 北纬 34° 20', 海拔 521 m), 土壤质地为棕壤土, 小麦播前测定土壤(0 ~ 40 cm)的基本肥力状况为: 土壤有机质 9.28 g/kg, 速效氮 11.53 mg/kg, 速效钾 113.48 mg/kg, 速效磷 6.32 mg/kg, pH 7.4。

试验地前茬为夏玉米。播前施有机肥(干鸡粪) 225 g/m<sup>2</sup>, 磷酸二铵 22 g/m<sup>2</sup>。于 2006 年 10 月 6 日人工点播, 小区行长 1.4 m, 行距 0.23 m, 株距 0.033 m, 每个小区为 5 行, 南北行向种植。试验采用随机裂区设计, 水分处理为主区, 设置为冬春季灌溉(对照)和自然条件下的干旱胁迫两个处理, 品种为副区, 3 次重复。其中对照浇水两次, 在 2006 年 11 月 20 日灌溉冻水 750 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 拔节期到抽穗期间(2007 年 4 月 2 日)再灌水 850 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 干旱胁迫处理即在小麦生长的全生育期内除自然降水外不再进行补水, 播种时播层土壤含水量约为 13%。据西北农林

收稿日期: 2009-09-21

基金项目: 中国科学院黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室项目(10501-148)

作者简介: 李 云(1982—), 男, 山西忻州人, 硕士研究生, 主要从事冬小麦抗旱性研究。

通讯作者: 李维平(1956—), 男, 博士, 教授, 主要从事作物种质资源及蛋白质组学研究。

科技大学气象站提供的数据,2006~2007年冬小麦全生育期降雨31次,总降雨量为76.5 mm,属少雨年,未能满足小麦正常生长的需要。对照区设置1 m保护行,干旱胁迫区四周各设置3 m防侧渗隔离区,以减少其它地块灌溉过程对于干旱处理的影响,不再单独设置保护行。除水分外,对照灌溉和胁迫处理管理措施保持一致,除了施有机底肥,拔节期另施尿素53 g/m<sup>2</sup>,其它管理同一般生产麦田。全部材料于2007年6月7日收获。

### 1.3 测定项目与方法

叶片相对含水量采用烘干法测定,具体方法参见高俊凤主编的《植物生理学试验技术》<sup>[5]</sup>。叶片渗透调节能力的测定参照上官周平<sup>[6]</sup>和李德全<sup>[7]</sup>的方法,叶片浸入去离子水中饱和,5100型蒸汽压渗透计测定。叶片叶绿素总含量测定参照陈毓荃等<sup>[8]</sup>80%丙酮浸提法。脯氨酸含量测定参照张殿忠(1990),邹琦(2000)方法<sup>[9,10]</sup>,采用磺基水杨酸提取,酸性茚三酮显色法测定。丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性及过氧化物酶(POD)活性测定参照孙群等(2004)方法<sup>[11]</sup>。丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥酸法测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性按4000lux荧光灯下照光进行光还原反应测定,过氧化物酶(POD)活性用愈创木酚显色法测定。

### 1.4 数据处理与抗旱性评价方法

1.4.1 数据处理及抗旱指标的筛选 运用DPS V6.55数据处理系统对各个指标进行多元相关、逐步回归、灰色关联分析,筛选出抗旱指标。

#### 1.4.2 抗旱性评价及分级标准

①抗旱性的直接评价。利用田间测产结果计算旱地和水地两种水分处理下冬小麦各品种的单位面积产量,并计算各个品种的抗旱系数(DRC)、干旱敏感指数(SSR)、抗旱指数(DRI)、抗旱指数修订式(DI)。

其计算公式如下:  $DRC = Y_a/Y_m$

$$SSR = (1 - Y_a/Y_m)/(1 - \bar{Y}_a/\bar{Y}_m)$$

$$DRI = Y_a(Y_a/Y_m)/\bar{Y}_a$$

$$DI = (Y_a^2/Y_m)(Y_a'/Y_m'^2)$$

其中,  $Y_a$  为某品种旱地平均产量,  $Y_m$  为某品种水地平均产量,  $\bar{Y}_a$  为所有参试品种旱地平均产量,  $\bar{Y}_m$  为所有参试品种水地平均产量,  $Y_a'$  为对照品种旱地产量,  $Y_m'$  为对照品种水地产量。

②抗旱性分级标准。根据农作物综合抗旱指数的定义,参照兰巨生(1998)对作物抗旱性分级标准<sup>[12]</sup>(表1),对供试品种进行抗旱性比较与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 供试品种的抗旱性分级

通过对参试冬小麦抗旱性评价方法的比较(表2),可以看出根据作物抗旱指数评价分级标准,在所有试验品种中,长旱58、周麦18、晋麦47为抗旱性强的冬小麦品种,其中长旱58抗旱性最强;晋麦67、小偃6号、小偃22号为抗旱性较强的小麦品种;山农9801、冬丰1号、山农1288的抗旱性居中,其中本试验将京841作为参照品种;武农148、陕757、西农979抗旱性较差,且西农979抗旱性最差。虽然抗旱系数与抗旱敏感指数在一定程度上反映了冬小麦不同品种间的抗旱性差异,但差异不明显。陕757,抗旱系数高达0.9590,但是其抗旱等级仅为4级;而京841,抗旱系数(0.8254)低于陕757,但其抗旱等级却高于陕757,达到3级。在作物抗旱性鉴定中,抗旱系数与干旱敏感指数反映了作物品种对干旱的适应性,以及品种的稳产性;而抗旱指数既反映了作物品种本身的抗旱性又反映其潜在的旱地产量;抗旱指数修订值以对照品种的表现作为参照,兼顾品种的相对产量(抗旱系数)和绝对产量,便于与品种区域试验和品种产量比较试验结合,可操作性强,是目前最适用于小麦抗旱育种和区域试验的综合性抗旱鉴定指标<sup>[13]</sup>。

表1 冬小麦抗旱指数(DI)评价分级标准<sup>[12]</sup>

Table 1 Estimation and classification standard of winter wheat drought index

抗旱性级别 Drought resistance rank	抗旱指数 Drought index	抗旱性评价 Drought resistance identification
1	≥ 1.30	强 Strongest
2	1.10 ~ 1.29	较强 Stronger
3	0.90 ~ 1.09	中等 Medium
4	0.70 ~ 0.89	较弱 Weaker
5	≤ 0.69	弱 Weakest

### 2.2 冬小麦各生育期各指标的方差分析及其差值对抗旱指数的相关、逐步回归、通径和灰色关联分析

冬小麦不同时期生理生化指标的方差分析表明,各个生育期所有指标在2种水分处理下的差异均达显著水平( $P < 0.05$ ),不同抗旱等级间除灌浆期SOD活性( $F = 3.52, P = 0.039$ )、起身期脯氨酸含量( $F = 3.48, P = 0.04$ )、拔节期渗透调节能力( $F = 5.72, P = 0.02$ )差异显著外,其他生育期的其他指标差异都不显著。

表2 参试冬小麦品种抗旱性评价

Table 2 Drought resistance identification of winter wheat cultivars used in this experiment

品种 Cultivar	抗旱系数 Drought coefficient	抗旱指数 Drought index	干旱敏感指数 Sensitive index of drought	抗旱指数修订式 Revise style of DI	抗旱等级 Drought grade
晋麦 47 Jinmai47	0.9858	1.0710	0.0896	1.2652	3
武农 148 Wunong148	0.6897	0.5404	1.9576	0.6384	5
陕 757 Shan757	0.9590	0.5857	1.7098	0.6918	5
西农 979 Xinong979	0.6191	0.5491	2.4030	0.6486	5
周麦 18 Zhoumai18	0.9814	1.1519	0.1176	1.3607	2
晋麦 67 Jinmai67	0.9542	1.0076	0.2892	1.1902	3
长旱 58 Changhan58	0.9829	1.3354	0.1078	1.5774	1
山农 1288 Shannong1288	0.9296	0.8196	0.8256	0.9681	4
冬丰 1号 Dongfeng1	0.8424	0.8667	0.9944	1.0237	4
山农 9801 Shannong9801	0.8693	0.8466	0.8246	1.0000	4
小偃 6号 Xiaoyan6	0.9696	1.0225	0.1918	1.2078	3
京 841 Jing841	0.8254	1.0178	1.1016	0.9734	3
小偃 22号 Xiaoyan22	0.8824	0.9889	0.7419	1.1681	3

为了消除冬小麦各品种间固有的差异,采用各生育期两种水分处理下各指标的差值与抗旱指数作了相关分析,旨在确定各指标在抗旱选育或鉴定中的最佳时期。通过各生育期7个生理指标旱、水差值对抗旱指数的相关分析,结果表明(表3),起身和拔节期叶片渗透调节能力、起身期脯氨酸含量的差值这3个指标对抗旱指数都为显著或极显著正相关,拔节期叶片相对含水量、挑旗期叶绿素总含量、拔节期丙二醛含量、灌浆期SOD和POD活性这5个指标的差值与抗旱指数分别呈显著或极显著负相关,其他生育期的其他指标对抗旱指数的影响程度不明显。其中,起身期和拔节期叶片渗透调节能力、起身期脯氨酸含量、拔节期叶片相对含水量、挑旗期叶绿素总含量、拔节期丙二醛含量、灌浆期SOD和

POD活性8个指标的差值相关程度略高(0.60\*、0.74\*\*、0.76\*\*、-0.67\*\*、-0.73\*\*、-0.78\*\*、-0.59\*、-0.54\*),说明抗旱指数受这几个指标的影响程度较大,起身期和拔节期叶片渗透调节能力、起身期脯氨酸含量的差值越大,该小麦品种抗旱指数越高,越抗旱;相反,拔节期叶片相对含水量、挑旗期叶绿素总含量、拔节期丙二醛含量、灌浆期SOD和POD活性这5个指标的差值越大,该小麦抗旱指数越低,越不抗旱。因此,拔节期是测定叶片相对含水量、丙二醛含量、叶片渗透调节能力以鉴定冬小麦抗旱性的最佳时期;叶绿素含量在挑旗期鉴定最佳;起身期是测定叶片脯氨酸含量以衡量冬小麦抗旱性的最佳时期;灌浆期是测定叶片SOD活性以及POD活性以鉴定冬小麦抗旱性的最佳时期。

表3 两种水分处理下冬小麦生理生化指标差值与抗旱指数的相关分析

Table 3 Relative analysis between physiological and biochemical indexes' difference value and drought index under two water treatments

生理指标 Physiological index	起身期 Setting stage	拔节期 Jointing stage	挑旗期 Flag leaf stage	抽穗开花期 Heading to flowering stage	灌浆期 Filling stage
相对含水量 Relative water content	-0.49	-0.67**	-0.53	0.16	-0.52
叶绿素 a + b Chlorophyll a + b	-0.28	-0.48	-0.73**	-0.15	-0.41
渗透调节能力 Ability of osmotic adjustment	0.60*	0.74**	0.52	0.30	0.28
脯氨酸含量 Praline content	0.76**	0.25	0.24	-0.18	0.37
丙二醛含量 MDA content	-0.17	-0.78**	-0.30	-0.31	-0.32
SOD活性 SOD activity	—	—	-0.41	-0.50	-0.59*
POD活性 POD activity	—	—	-0.22	-0.10	-0.54*

为了筛选出对抗旱指数有显著效应的生理指标,并综合对比各指标对冬小麦抗旱性的贡献率,本

试验以前文所分析不同生育时期众多生理生化指标中与抗旱指数显著相关的各指标的差值为自变量,以抗旱指数为因变量进行多元逐步回归分析,可得如下回归方程:

$$Y = 0.77 - 0.42X_1 + 1.28X_2 + 0.004X_3 - 0.03X_4 - 0.006X_5$$

对该回归线性方程进行检验,结果表明,  $F = 29.58 > F(5, 7)_{0.01} = 7.46$ ,  $P = 0.0001 < 0.01$ , 复相关系数  $R = 0.9771$ , 所以该线性回归模型成立。回归方程表明,挑旗期叶绿素含量差值( $X_1$ )、拔节期叶片渗透调节能力( $X_2$ )、起身期脯氨酸含量差值( $X_3$ )、拔节期丙二醛含量差值( $X_4$ )、灌浆期 SOD 活性差值( $X_5$ )这 5 个指标是影响抗旱指数的关键因素。同时,从灰色关联分析结果来看,各生理生化指标与抗旱指数的关联度位次为:叶片渗透调节能力 > 叶绿素含量 > 丙二醛含量 > 脯氨酸含量 > SOD 活性 > POD 活性 > 叶片相对含水量,表明叶片相对含水量和 POD 活性与抗旱指数关联程度不大,这与回归方程的结果一致。由通径分析可知,挑旗期叶绿素含量差值( $X_1$ )、拔节期叶片渗透调节能力( $X_2$ )、起身期脯氨酸含量差值( $X_3$ )、拔节期丙二醛含量差值( $X_4$ )、灌浆期 SOD 活性差值( $X_5$ )等 5 个指标差值对抗旱指数的贡献值分别为  $-0.2510$ 、 $0.3391$ 、 $0.3282$ 、 $-0.1271$ 、 $-0.2980$ 。

因此,综合入选的抗旱生理指标有 5 个,分别为挑旗期叶绿素含量差值( $X_1$ )、拔节期叶片渗透调节能力( $X_2$ )、起身期脯氨酸含量差值( $X_3$ )、拔节期丙二醛含量差值( $X_4$ )、灌浆期 SOD 活性差值( $X_5$ ),即可用这 5 个指标的旱、水地差值来选育抗旱性冬小麦或鉴定冬小麦抗旱性的强弱。

### 3 讨论

近年来,国内外学者已筛选出许多与小麦抗旱性有关的生理生化指标。周桂莲<sup>[14]</sup>通过对国内外研究结果的收集、整理和分析,认为有 20 多项生理、生化指标可用于小麦的抗旱性鉴定。其中,比较可靠的生理指标有叶片水势、相对含水量、束缚水含量、光合与呼吸强度以及离体叶片失水速率等;比较可靠的生化指标有叶片脱落酸的积累量以及 SOD、CAT、POD、蛋白水解酶活性等。本研究得出,挑旗期叶绿素含量、拔节期叶片渗透调节能力、起身期脯氨酸含量、拔节期丙二醛含量、灌浆期 SOD 活性这 5 个指标的旱、水地差值可作为鉴定冬小麦抗旱性强弱的指标,这与尚莉<sup>[15]</sup>、刘桂茹<sup>[3]</sup>、李德全<sup>[7]</sup>、洪法水<sup>[16]</sup>、白志英<sup>[17]</sup>、李成龙<sup>[18]</sup>、张玉梅等<sup>[19]</sup>的结论基

本一致,但略有差异,主要是各个指标的抗旱性鉴定时期不同。尚莉<sup>[15]</sup>研究认为可以将孕穗期叶绿素 a 作为抗旱性指标;刘桂茹<sup>[3]</sup>认为叶片渗透调节能力测定时期以挑旗期和灌浆期为宜,这些差异还有待进一步探讨。研究结果与吕丽华<sup>[20]</sup>、齐永青<sup>[21]</sup>的结论相反。他们认为,水分胁迫下脯氨酸积累量与品种抗旱性之间无密切相关关系<sup>[20]</sup>;不同抗旱性小麦品种叶片 MDA 含量的差异不明显<sup>[21]</sup>。

本研究存在一些不足之处,主要有以下几个方面:首先,自然干旱胁迫虽能反映作物在田间的实际情况,但受到气候和环境因素的影响,年际间存在较大的差异。仅仅以一两年的试验结果来说明冬小麦品种对干旱胁迫的适应机理是远远不够的。其次,由于选择的品种较少,不同抗旱性品种的生育进程存在一定的差异。因此,其应用的可靠性和普遍性仍有待进一步深入研究。再者,由于实验条件的限制及实验考虑不周全,与小麦抗旱性密切相关的其它一些生理指标,如脱落酸(ABA)含量、叶片水势的变化、气孔导度及光合性能等内容,本研究没有涉及。

致谢:本研究得到王长发老师的大力支持。特此致谢!

#### 参考文献:

- [1] 武仙山,吕小平,景蕊莲.小麦灌浆期抗旱性鉴定指标的综合评价[J].麦类作物学报,2008,28(4):626—632.
- [2] 冀天会.小麦抗旱性鉴定评价指标比较研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [3] 刘桂茹,陈秀珍,段文倩.水分胁迫下小麦叶片渗透调节能力与品种抗旱性的关系[J].河北农业大学学报,2002,25(2):1—3.
- [4] 王士强,胡银岗,余奎军,等.小麦抗旱相关农艺指标和生理生化指标的灰色关联度分析[J].中国农业科学,2007,40(11):2452—2459.
- [5] 高俊凤.植物生理学试验技术[M].西安:世界图书出版社,2000:36—37.
- [6] 上官周平,陈培元.不同抗旱性冬小麦品种渗透调节的研究[J].干旱地区农业研究,1991,9(4):60—66.
- [7] 李德全,郭清福,张以勤,等.冬小麦抗旱生理特性的研究[J].作物学报,1993,19(2):125—132.
- [8] 陈毓荃.生物化学实验方法和技术[M].北京:科学出版社,2002:95—97.
- [9] 张殿忠,汗沛洪,赵会贤.测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J].植物生理学通讯,1990,(4):62—65.
- [10] 邹琦.植物体内游离脯氨酸含量的测定[A].邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:161—162.
- [11] 孙群,胡景江.植物生理学研究技术[M].陕西杨凌:西北农林科技大学出版社,2006:126—131,136—137.
- [12] 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.

- [13] 刘桂茹,张荣之,卢建祥,等.冬小麦抗旱性鉴定指标的研究[J].华北农学报,1996,11(4):84—88.
- [14] 周桂莲,杨慧霞.小麦抗旱性鉴定的生理生化指标及其分析评价[J].干旱地区农业研究,1996,14(2):65—71.
- [15] 尚 莉.河南主栽小麦品种抗旱生理生态特性研究[D].郑州:河南大学,2008.
- [16] 洪法水,李莹和.自然干旱胁迫下不同抗旱性小麦品种游离脯氨酸积累与抗旱性的关系[J].安徽农业科学,1991,(4):311—314.
- [17] 白志英,李存东,孙红春,等.小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J].中国农业科学,2008,41(12):4264—4272.
- [18] 李成龙,吕金印,高俊凤.水分亏缺对冬小麦主茎叶片保护酶活性的影响[J].麦类作物学报,2007,27(1):84—87.
- [19] 张玉梅,林 琪,姜 雯,等.渗透胁迫条件下不同抗旱性小麦品萌发期生理生化指标的变化[J].麦类作物学报,2006,26(6):125—130.
- [20] 吕丽华,胡玉昆,李雁鸣.水分胁迫下不同抗旱性冬小麦脯氨酸积累动态[J].华北农学报,2006,21(2):75—78.
- [21] 齐永青.不同小麦品种的抗旱生理特性及其抗旱性评价的研究[D].保定:河北农业大学,2003.

## Identification and analysis of drought resistance of different winter wheat cultivars

LI Yun<sup>1,2</sup>, LI Wei-ping<sup>1</sup>, LI Xiu-feng<sup>2</sup>

(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Hanzhong Agricultural Science Research Institute, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

**Abstract:** With dry land and wet land treatments designed, thirteen winter wheat cultivars with different ranks of drought resistance were used as materials, seven physiological indices were monitored at setting stage, jointing stage, flag leaf stage, heading stage, flowering stage, filling stage and milk stage, which were relative leaf water content, chlorophyll content, ability of osmotic adjustment, praline content, MDA content, SOD activity and POD activity. Multiply partial correlations, stepwise regression, path analysis and gray correlative analysis were conducted between different values of various indices and drought index. The results showed that five indices including different values of chlorophyll content at flag leaf stage, ability of osmotic adjustment at jointing stage, different values of praline content at setting stage, different values of MDA content at jointing stage and different values of SOD activity at filling stage influenced significantly the drought resistance and could be the indices to identify the drought resistance in winter wheat.

**Keywords:** winter wheat; drought resistance; physiological indices