

干旱对小麦孕穗期叶片生理特性及产量的影响

张 军¹, 刘 红², 李晓萍³, 鲁 敏¹, 孙树贵¹, 苏佳妮¹, 刘淑慧¹, 陈新宏^{1,4*}

(1. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 岐山县种子管理工作站, 陕西 岐山 722400;
3. 兴平市种子管理站, 陕西 兴平 713100; 4. 陕西省植物遗传工程育种重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为明确土壤干旱对孕穗期小麦生理特性和产量的影响, 选用小偃 22 等 7 个冬小麦品种材料, 通过盆栽控水方式, 测定孕穗期叶片中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)及过氧化氢酶(CAT)活性、相对电导率、丙二醛(MDA)含量等生理和产量指标结果表明, 在中度和严重干旱下, 小麦叶片中的 SOD、POD 和 CAT 活性、相对电导率值、MDA 含量、可溶性糖和脯氨酸含量均有不同程度地提高; 除晋麦 47、小偃 22、矮抗 58 和西农 979 的可溶性蛋白含量有所增加外, 其余品种均下降。干旱胁迫下单株穗粒数、穗粒重和千粒重均显著降低。经主成分分析, 供试品种的抗旱性依次为晋麦 47 > 小偃 22 > 矮抗 58 > 西农 979 > 西农 509 > 郑麦 366 > 郑麦 9023。

关键词: 小麦; 土壤干旱; 孕穗期; 叶片; 生理特性; 产量; 抗旱性评价

中图分类号: S512.103 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)03-0001-08

Effect of drought on leaf physiological parameters and yield of wheat at booting stage

ZHANG Jun¹, LIU Hong², LI Xiao-ping³, LU Min¹, SUN Shu-gui¹, SU Jia-ni¹, LIU Shu-hui¹, CHEN Xin-hong^{1,4*}

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

2. Qishan County Seed Management, Qishan, Shaanxi 722400, China;

3. Division of Xingping Seed Management, Xingping, Shaanxi 713100, China;

4. Shaanxi Key Laboratory of Genetic Engineering for Plant Breeding, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The objective of this work is to elucidate the effect of soil drought on leaf physiological parameters at booting stage and yield of winter wheat. We selected Xiaoyan 22 and other 6 cultivars as experimental materials, and measured the activities of antioxidative enzymes including the superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), as well as relative electric conductivity, malondialdehyde (MDA) content and other physiological traits under different water conditions by pot experiment. The results showed variations in the effect of moderate and severe drought stress on activities of SOD, POD and CAT, relative electric conductivity, and contents of MDA, soluble sugar, and proline. Soluble protein content increased in Jinmai 47, Xiaoyan 22, Aikang 58, and Xinong 979, while it decreased in the other three cultivars. Grains number per spike, grain weight per spike and the 1000-grain weight significantly decreased under drought stress. Principal component analysis showed an order of drought resistance for these cultivars: Jinmai 47 > Xiaoyan 22 > Aikang 58 > Xinong 979 > Xinong 509 > Zhengmai 366 > Zhengmai 9023.

Keywords: winter wheat; soil drought; booting stage; leaf; physiological traits; yield; evaluation of drought resistance

干旱是限制小麦生产的主要环境因子之一。根据小麦不同生长阶段的抗旱适应能力差异, 可将抗旱性分为前期抗旱、中期抗旱、后期抗旱及全生育期抗旱 4 种类型^[1]。作物在干旱胁迫下获得产量的能力是抗旱性鉴定的重要指标^[2]。研究认为抗旱指数

(DI)兼顾了品种的相对产量和绝对产量, 因此是小麦抗旱性鉴定的综合指标之一^[2-3]。抗旱指数较好地反映了小麦全生育时期的抗旱性, 但却不能区分不同生育时期的抗旱性。不同品种的抗旱性的差异, 都有其相应的生理生化基础。超氧化物歧化酶

收稿日期: 2013-11-08

基金项目: 农业部 948 项目(2013-Z28); 陕西省自然科学基金基础研究计划重点项目(2013JZ007); 西北农林科技大学唐仲英育种基金
作者简介: 张 军(1987—), 男, 陕西陇县人, 研究方向为小麦抗逆生理。E-mail: bjzhangjun@126.com。

* 通信作者: 陈新宏, E-mail: cxh2089@126.com。

(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量、脯氨酸含量、质膜透性、可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量等是与抗旱相关的重要生理指标^[1,4]。小麦生长进入孕穗期前后,对水分缺乏极度敏感,若在此时期遭受干旱,小麦体内生理代谢失衡,并直接影响到小麦的产量^[5-7]。前人对灌浆期小麦的抗旱性研究较多^[8-9],而孕穗期的抗旱性研究相对却较少。本试验采用土壤干旱胁迫,测定了孕穗期叶片相关生理指标变化,运用主成分分析和隶属函数法对生理指标进行分析,并结合产量性状,探讨与抗旱性密切相关的生理指标,以期小麦孕穗期抗旱性鉴定提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料与设计

选用目前大面积种植的品种,依次为西农 979、小偃 22、郑麦 366、矮抗 58、西农 509、郑麦 9023 和晋麦 47,种子均由陕西省植物遗传工程育种重点实验室提供。

试验于 2012—2013 年在原中国科学院西北植物研究所东院试验基地进行,采用盆栽方法。盆直径 30 cm、高 30 cm,用土取自东院试验田 0~30 cm 土壤,土壤为沙壤土,含有机质 $8.34 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $0.83 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮 $59.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $19.39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $95.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤最大田间持水量为 23.85%。每盆装土 15 kg(干土),埋入大田后,盆内与盆外土壤高度持平。播种前每盆施复合肥 4 g 做基肥,土壤水浇沉降后于 10 月 15 日播种,三叶期定苗 12 株·盆⁻¹。每个品种 5 盆,其中 2 盆用于孕穗期生理指标的测定,3 盆用于成熟期测产。返青期移入防雨棚,拔节前剪去分蘖留主茎。拔节期开始控水,设置 3 个水分处理,对照处理土壤含水量为土壤最大田间持水量的 70%~75%(CK),中度干旱胁迫为 50%~55%(MS),严重干旱为 40%~45%(SS),水分处理直至小麦成熟,处理期间称重法控制盆中水分,每隔 1 d 补水一次,小麦扬花后期搭建防鸟网。

1.2 生理指标和产量测定方法

SOD 活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)法;POD 活性的测定采用愈创木酚法;CAT 活性采用过氧化氢法;MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸法;电导率的测定采用电导仪测定法;可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法;可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 比色法;脯氨酸含量的测定采用磺基

水杨酸浸提-酸性茚三酮显色法。以上生理指标均用鲜样测定,具体步骤见参考文献[9]。

1.3 产量测定

小麦成熟后分盆收获,每盆选取 5 株代表性单株,考察单株产量。

1.4 统计分析

1.4.1 求得抗旱系数^[10]:

抗旱系数 = 处理区指标测定值 / 对照区指标测定值 × 100% (1)

1.4.2 求出抗旱指数^[11]:

$$DI = Y_{DS} (Y_{DS} / Y_{WW}) / \bar{Y}_{DS} \quad (2)$$

式中, Y_{DS} 为干旱条件下单株产量; Y_{WW} 为对照的单株产量; \bar{Y}_{DS} 为所有供试材料干旱条件下的单株产量平均值。

1.4.3 计算各个供试品种各综合指标的隶属函数值^[12]:

$$u(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3)$$

式中, X_j 表示第 j 个综合指标; X_{\min} 和 X_{\max} 表示第 j 个综合指标的最小值和最大值。

1.4.4 求得各综合指标的权重^[13]:

$$w_j = p_j \sum_{j=1}^n p_j \quad j = 1 \cdots n \quad (4)$$

式中, w_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的权重; p_j 是每个供试品种第 j 个综合指标的贡献率。

1.4.5 求得各小麦品种综合抗旱能力^[14]:

$$D = \sum_{j=1}^n [u(X_j) \times w_j] \quad j = 1 \cdots n \quad (5)$$

式中, D 为各供试品种在不同干旱胁迫下用综合评价指标所得的抗旱性综合评价值。

利用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理,利用 SAS8.1 进行主成分分析和方差分析。

2 结果和分析

2.1 土壤干旱对孕穗期小麦叶片生理特性的影响

2.1.1 土壤干旱对孕穗期小麦抗氧化酶活性的影响 由图 1A 可知,干旱胁迫下各小麦叶片中的 SOD 活性均高于对照,且品种间存在差异。随着干旱胁迫的加剧,SOD 活性进一步增加,中度干旱和严重干旱时,晋麦 47 的 SOD 活性升幅最大,分别为 96.3% 和 174.3%,郑麦 9023 升幅最小,分别为 30.3% 和 50.5%,其余品种介于二者之间。

图 1B 表明,干旱胁迫下小麦叶片中 POD 活性不同程度地升高。中度干旱下晋麦 47 和小偃 22 升幅大于其它 5 个品种,二者 POD 活性升幅分别为 76.6% 和 54.67%,郑麦 9023 升幅最小,为 5.8%;和

中度干旱相比,严重干旱下晋麦 47、小偃 22、矮抗 58 和西农 979 的 POD 活性相对有较大增幅,西农 509 几乎没有增加,而郑麦 9023 和郑麦 366 出现下降趋势。

由图 1C 可以看出,干旱胁迫下各小麦叶片中

CAT 活性均不同程度提高。中度干旱下 CAT 活性升幅最大的是晋麦 47(52.5%),升幅最小的是郑麦 366(5.7%);严重干旱下升幅最大的仍是晋麦 47(136.5%),升幅最小的为郑麦 9023,为 22.3%。

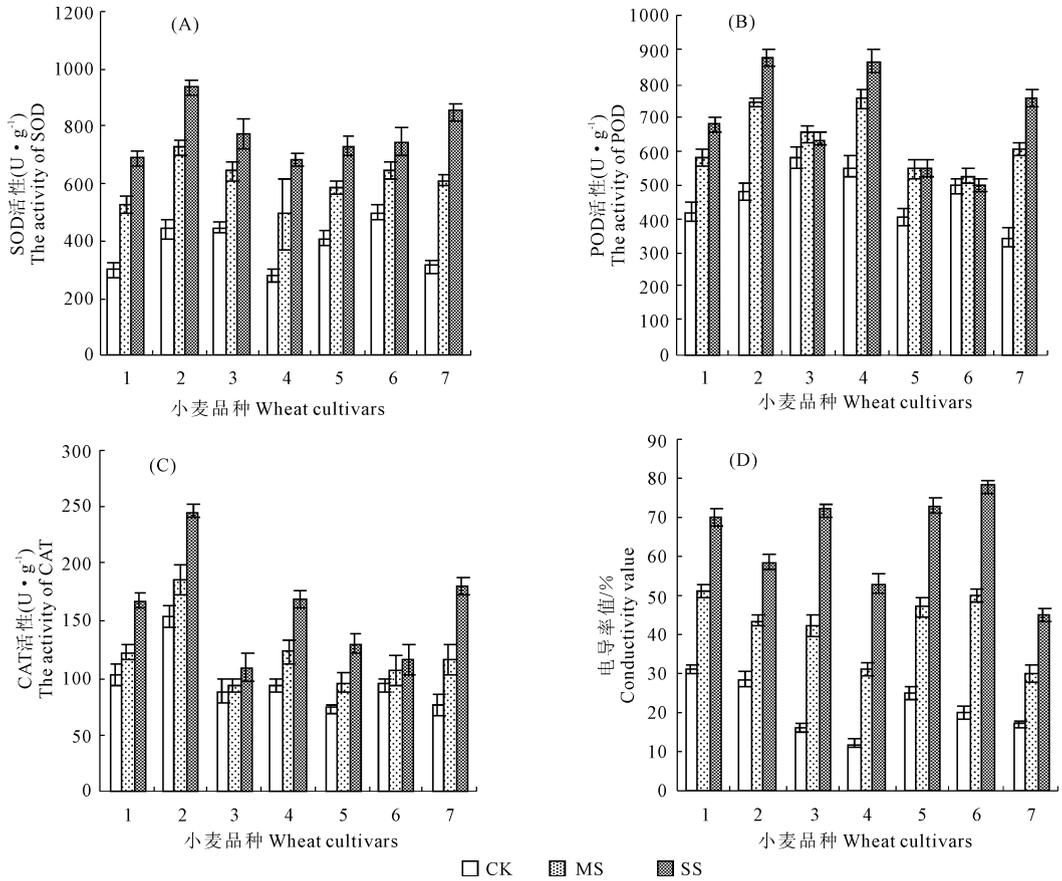


图 1 干旱胁迫对孕穗期小麦抗氧化酶活性(A-C)和相对电导率(D)的影响

Fig.1 Effect of drought stress on the activities of SOD, POD and CAT(A-C) and relative electric conductivity (D) of wheat leaves at booting stage

注:图中数字 1-7 依次代表西农 979、小偃 22、郑麦 366、矮抗 58、西农 509、郑麦 9023、晋麦 47。

Note: The number 1 to 7 stand for cultivars of Xinong 979, Xiaoyan 22, Zhengmai 366, Aikang 58, Xinong 509, Zhengmai 9023 and Jinmai 47, respectively.

2.1.2 土壤干旱对孕穗期小麦相对电导率和丙二醛含量的影响 由图 1D 可知,干旱胁迫下各小麦叶片的相对电导率值均高于对照,且随着胁迫的加剧,其值继续增加。中度干旱和严重干旱时,郑麦 366 的升幅最大,分别为 162.5%和 350.0%,小偃 22 升幅最小,分别为 52.6%和 105.2%,其余品种介于二者之间。

由图 2A 所示,干旱胁迫下小麦叶片中丙二醛含量有不同程度的提高,且随着胁迫的加剧,丙二醛含量进一步增加。中度干旱和严重干旱时,西农 509 的升幅最大,分别为 84.8%和 186.6%,小偃 22 升幅最小,分别为 15.0%和 36.9%,其余品种介于二者之间。

2.1.3 土壤干旱对孕穗期小麦叶片渗透调节物质

的影响 图 2B 表明,干旱胁迫下小麦叶片中可溶性糖含量均高于对照,且随着胁迫程度的增加而增加。中度干旱时,晋麦 47 升幅最大,为 109.8%,郑麦 9023 升幅最小,为 25.1%;严重干旱时,小偃 22 升幅最大,为 228.3%,郑麦 9023 升幅最小,为 52.5%。

由图 2C 表明,与对照相比,中度干旱下,除晋麦 47、小偃 22、矮抗 58 和西农 979 可溶性蛋白含量有略增加外,其余 3 个品种其含量降低;和中度干旱相比,各品种可溶性蛋白含量均下降,除晋麦 47、小偃 22 和矮抗 58 外,其余 4 个品种可溶性蛋白含量低于对照值。

由图 2D 可知,干旱胁迫下叶片中脯氨酸含量

有不同程度的增加。中度干旱和严重干旱下,小偃 22 的升幅最大,依次为 135.1% 和 255.6%,郑麦 366

的升幅最小,依次为 36.8% 和 63.2%,其余品种脯氨酸升高幅度介于二者之间。

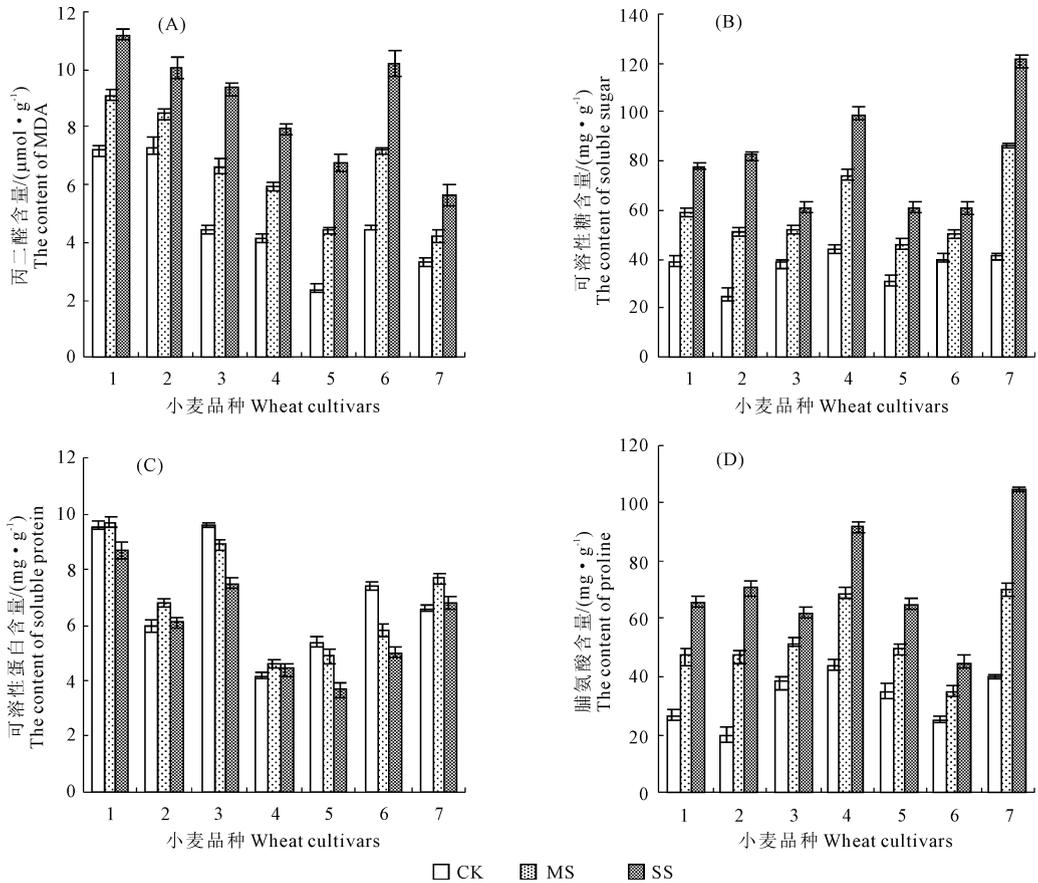


图 2 干旱胁迫对孕穗期小麦丙二醛(A)和渗透调节物质(B-D)的影响

Fig.2 Effect of drought stress on contents of MDA, soluble sugar, soluble protein, and proline at booting stage of wheat under drought treatments

2.2 各单项指标的抗旱系数及其相关分析

由表 1 可以看出,中度干旱和严重干旱下各小麦品种叶片的 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、相对电导率、丙二醛、可溶性糖和脯氨酸和对照相比均有所增加;而可溶性蛋白质含量在中度干旱和严重干旱条件下品种间变化不尽一致。供试品种各单项指标变幅不同,用任何单项指标评价孕穗期小麦抗旱性都有片面性。从相关系数矩阵(表 2)可以看出各项生理指标间存在着不同程度的相关性。其中,中度干旱下 SOD 与 POD、可溶性糖的抗旱系数在 0.05 水平上显著相关,与可溶性蛋白在 0.01 水平上显著相关;POD 与 CAT 的抗旱系数在 0.05 水平上显著相关,与可溶性糖、可溶性蛋白在 0.01 水平上显著相关;可溶性糖与脯氨酸在 0.05 水平上显著相关,与可溶性蛋白在 0.01 水平上显著相关。严重干旱下,SOD 与 CAT 的抗旱系数在 0.05 水平上显著相关,与 POD、可溶性蛋白在 0.01 水平上显著相关;

POD 与可溶性蛋白在 0.05 水平上显著相关,与 CAT、可溶性糖在 0.01 水平上显著相关;可溶性糖与可溶性蛋白在 0.05 水平上显著相关,与脯氨酸在 0.01 水平上显著相关。这使得它们所提供的信息发生重叠,因此很难直接用这些指标对孕穗期小麦的抗旱性做出准确评价。

2.3 主成分分析

表 3 中,中度干旱下,前三个综合指标的贡献率依次为 0.7120、0.1497 和 0.0897,累计贡献率达 95.14%;严重干旱下,前三个综合指标的贡献率分别为 0.7053、0.1435 和 0.1107,累计贡献率达 95.96%,其余可忽略不计,由贡献率可知各综合指标的相对重要性。综合来看,中度干旱下和严重干旱下,第 1 主成分中,可溶性糖、可溶性蛋白、SOD 和 POD 的系数较大,可概括为保护酶活性和渗透调节物质的系数较大;第 2 主成分中,CAT 活性和 MDA 含量较大,可确定为 CAT 含量和 MDA 含量;第 3 主

成分中,相对电导率的系数最大,可确定为相对电导率值。这表明,保护酶活性(SOD、POD、CAT)、质膜稳

定性(相对电导率、MDA 含量)、渗透调节物质(可溶性糖、可溶性蛋白)均可作为小麦抗旱性评价的指标。

表 1 叶片各单项指标的抗旱系数/%

Table 1 Drought resistance index of each physiological parameter of leaf

指标 Physiological parameter	处理 Treatment	西农 979 Xinong979	小偃 22 Xiaoyan22	郑麦 366 Zhengmai366	矮抗 58 Aikang58	西农 509 Xinong509	郑麦 9023 Zhengmai9023	晋麦 47 Jinmai47
超氧化物歧化酶 SOD	MS	177.66	165.68	143.66	177.70	144.17	130.28	196.28
	SS	231.70	213.73	173.06	244.97	179.29	150.47	274.32
过氧化物酶 POD	MS	137.89	154.67	112.02	136.04	135.47	105.82	176.60
	SS	161.11	182.11	108.90	156.05	136.41	100.40	219.54
过氧化氢酶 CAT	MS	119.49	120.78	105.65	132.28	130.06	112.77	152.51
	SS	163.34	159.73	123.72	181.79	177.88	122.34	236.52
相对电导率 Relative electric conductivity	MS	164.52	152.64	262.50	258.33	188.00	250.00	176.47
	SS	225.81	205.27	450.00	441.67	292.00	390.00	264.71
丙二醛 MDA	MS	126.49	115.03	149.90	143.58	184.84	160.45	127.27
	SS	155.77	136.90	211.13	192.00	286.64	227.62	169.70
可溶性糖 Soluble sugar	MS	151.28	204.00	136.84	168.18	148.39	125.00	209.76
	SS	200.00	328.00	160.53	225.00	196.77	152.50	295.12
可溶性蛋白 Soluble protein	MS	101.04	113.33	92.71	109.52	90.69	78.41	116.54
	SS	90.60	101.67	78.12	104.76	68.36	67.61	102.92
脯氨酸 Proline	MS	174.07	235.00	136.84	156.82	142.86	140.00	175.00
	SS	244.44	355.00	163.16	209.09	185.71	180.00	262.50

表 2 各项指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix of each physiological parameter

指标 Physiological parameter	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化物酶 POD	过氧化氢酶 CAT	相对电导率 REC	丙二醛 MDA	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	脯氨酸 Proline
超氧化物歧化酶 SOD	1	0.9041 **	0.8533 *	-0.3656	-0.6100	0.6789	0.8876 **	0.5104
过氧化物酶 POD	0.8493 *	1	0.8769 **	-0.6436	-0.6083	0.8837 **	0.8115 *	0.7384
过氧化氢酶 CAT	0.7418	0.8403 *	1	-0.4159	-0.2026	0.6415	0.6034	0.3641
相对电导率 REC	-0.4670	-0.7197	-0.3878	1	0.4263	-0.6402	-0.2759	-0.7651
丙二醛 MDA	-0.6882	-0.5561	-0.1615	0.4508	1	-0.6355	-0.7995	-0.7665
可溶性糖 Soluble sugar	0.7795 *	0.9388 **	0.7056	-0.6121	-0.6753	1	0.7798 *	0.9114 **
可溶性蛋白 Soluble protein	0.9017 **	0.8764 **	0.6458	-0.4913	-0.7407	0.9255 **	1	0.6842
脯氨酸 Proline	0.4773	0.6390	0.1935	-0.7282	-0.7826	0.7752 *	0.6956	1

注:左下和右上三角区域分别为中度干旱和严重干旱条件下各单项指标间的相关系数,* 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平上直线相关显著。

Note: Values in the lower left and upper right segments are the correlation coefficients between indexes under moderate(MS) and severe drought stress(SS), respectively; * and ** means significance of linear correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.4 综合分析

2.4.1 隶属函数分析 通过 SAS 软件分析得到各品种综合指标 CI_j , 根据公式(3)将 CI_j 转化为各品种的对对应隶属函数值 u_j 。对于同一综合指标如 CI_1 而言,在中度干旱胁迫下,晋麦 47 的 u_1 最大,为 1.0000,说明晋麦 47 在 CI_1 这一综合指标上表现出

抗旱性最强;郑麦 9023 的 u_1 值最小,为 0.000,说明郑麦 9023 在 CI_1 这一综合指标上表现为抗旱性最差。

2.4.2 权重测定 根据各综合指标贡献率的大小(表 3),用公式(4)可求出其权重。经计算,中度干旱下三个综合指标的权重分别为 0.7053、0.1435 和

0.1107; 严重干旱下三个综合指标的权重依次为 0.7351、0.1496 和 0.1154(表 4)。

2.4.3 综合评价 用公式(5)计算各小麦品种综合抗旱能力的大小,根据各品种的 D 值(表 4),对公式品种按抗旱性进行排序。各品种在中度干旱和严重

干旱胁迫下 D 值不尽相同,但相对大小一致,其中晋麦 47 的 D 值最大,分别为 0.8803 和 0.9307,其次为小偃 22,郑麦 9023 的 D 值最小,表明其抗旱性最弱。抗旱性由强到弱依次为晋麦 47、小偃 22、矮抗 58、西农 979、西农 509、郑麦 366 和郑麦 9023。

表 3 各综合指标的系数及贡献率

Table 3 Comprehensive indexes and their contribution

处理 Treatment	指标 Index	超氧化物歧化酶 SOD	过氧化氢酶 POD	过氧化氢酶 CAT	相对电导率 REC	丙二醛 MDA	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	脯氨酸 Proline	累积贡献率 Proportion
中度干旱 MS	CI_1	0.3711	0.4017	0.2943	-0.2978	-0.3156	0.4024	0.3955	0.3283	0.7120
	CI_2	0.2189	0.2032	0.6267	0.2258	0.4443	0.0302	0.4430	-0.5166	0.8617
	CI_3	0.3242	-0.1848	-0.1384	0.7253	-0.4538	0.0012	0.2946	-0.1509	0.9514
严重干旱 SS	CI_1	0.3687	0.4080	0.3141	-0.2782	-0.3181	0.3901	0.3725	0.3599	0.7053
	CI_2	0.3980	0.1662	0.5378	0.4121	0.3256	-0.1321	0.1394	-0.4604	0.8488
	CI_3	0.1376	-0.1574	-0.3491	0.5860	-0.5298	-0.0954	0.4473	-0.0329	0.9596

表 4 各供试品种的综合指标值、权重、 $u(X_j)$ 、 D 值

Table 4 Comprehensive index, index weight, $u(X_j)$ and D value

处理 Treatment	品种 Cultivar	CI_1	CI_2	CI_3	$u(X_1)$	$u(X_2)$	$u(X_3)$	D
中度干旱 MS	1	0.6081	-0.7282	-0.0904	0.5811	0.3358	0.5220	0.5048
	2	2.5360	-1.7451	-0.3625	0.8845	0.0000	0.4187	0.6702
	3	-2.3199	-0.4062	0.7976	0.1202	0.4421	0.8591	0.2288
	4	0.2966	0.8466	1.1687	0.5320	0.8558	1.0000	0.5807
	5	-1.3069	1.0078	-1.4653	0.2796	0.9090	0.0000	0.2979
	6	-3.0835	-0.2582	-0.1133	0.0000	0.4910	0.5133	0.1112
	7	3.2697	1.2833	0.0653	1.0000	1.0000	0.5811	0.8803
权重 Index weight					0.7053	0.1435	0.1107	
严重干旱 SS	1	0.7964	-0.5139	0.0350	0.6177	0.4154	0.6115	0.5867
	2	2.6069	-1.7770	0.0759	0.9231	0.0000	0.6256	0.7507
	3	-2.4470	0.0029	0.8671	0.0707	0.5853	0.8987	0.2432
	4	0.4669	1.2639	1.1604	0.5622	1.0000	1.0000	0.6782
	5	-1.6198	0.4532	-1.7361	0.2102	0.7334	0.0000	0.2642
	6	-2.8663	-0.5810	0.0381	0.0000	0.3933	0.6125	0.1295
	7	3.0628	1.1518	-0.4404	1.0000	0.9631	0.4473	0.9307
权重 Index weight					0.7351	0.1496	0.1154	

注:数字 1-7 依次代表西农 979、小偃 22、郑麦 366、矮抗 58、西农 509、郑麦 9023、晋麦 47。

Note: The number 1 to 7 stand for Xinong 979, Xiaoyan 22, Zhengmai 366, Aikang 58, Xinong 509, Zhengmai 9023 and Jinmai 47, respectively.

2.5 干旱胁迫下小麦产量及抗旱指数的综合比较

由表 5 可得,随着土壤水分胁迫的加剧,各小麦品种的单株产量降低,且严重干旱、中度干旱和对照的单株产量三者之间差异均显著。从产量构成因素来看,随着干旱胁迫的加剧,千粒重和单株穗粒数均减少,郑麦 9023 和晋麦 47 的千粒重在中度干旱和对照间差异不显著,西农 979 和晋麦 47 的千粒重在中度干旱和严重干旱间差异不显著,其余品种的千

粒重和单株穗粒数在严重干旱、中度干旱和对照间差异均显著。另外从抗旱指数来看,西农 509 和郑麦 366 相对排名在中度干旱和严重干旱下不同外,其余品种均相同,且二者与前面的 D 值相对排名一致。

3 讨论

3.1 孕穗期小麦对干旱胁迫的生理响应

干旱胁迫下植物会产生保护酶和非酶保护物

质,以减轻过量 O_2^- 和 H_2O_2 的伤害^[15]。SOD、POD 和 CAT 是植物体内重要的保护酶,前人研究表明其三者的活性与植物的抗旱性密切相关^[16-17]。本研究中,在中度干旱和严重干旱胁迫下,各供试品种叶

片中 SOD 活性、POD 活性和 CAT 活性和对照相比均有提高,表明小麦对长期干旱产生了一定的抗性和适应性。

表 5 干旱胁迫对小麦产量及其构成因素的影响

Table 5 Effect of droughts on yield and yield components of wheat

品种 Cultivar	处理 Treatment	穗粒数/个 Grains number per spike	穗粒重/g Grain weight per spike	千粒重/g 1000-grain weight	抗旱指数 DI
西农 979 Xinong979	MS	32 b	1.09 b	33.94b	0.58
	SS	17 c	0.57 c	33.29 b	0.33
	CK	42 a	1.76 a	41.90 a	
小偃 22 Xiaoyan22	MS	36 b	1.33 b	37.06 b	0.84
	SS	25 c	0.74 c	29.40 c	0.54
	CK	45 a	1.82 a	40.44 a	
郑麦 366 Zhengmai366	MS	33 b	1.04 b	31.48 b	0.50
	SS	16 c	0.42 c	26.50 c	0.17
	CK	47 a	1.87 a	39.79 a	
矮抗 58 Aikang58	MS	36 b	1.36 b	37.67 b	0.83
	SS	23 c	0.68 c	29.48 c	0.44
	CK	46 a	1.90 a	41.30 a	
西农 509 Xinong509	MS	36 b	1.11 b	30.94 b	0.57
	SS	21 c	0.39 c	18.43 c	0.15
	CK	48 a	1.87 a	38.96 a	
郑麦 9023 Zhengmai9023	MS	26 b	0.97 b	38.00 a	0.49
	SS	9 c	0.24 c	25.95 b	0.06
	CK	42 a	1.64 a	39.05 a	
晋麦 47 Jinmai47	MS	32 b	1.25 b	38.91 ab	0.85
	SS	23 c	0.87 c	37.83b	0.88
	CK	39 a	1.57 a	40.26 a	

植物遭受干旱胁迫后,过量的活性氧自由基导致膜脂过氧化,产生质膜过氧化产物 MDA,进而细胞结构遭到破坏,细胞质膜相对透性增大^[17-18]。本研究中,中度干旱和严重干旱下各小麦的相对电导率和丙二醛含量均高于对照,说明干旱胁迫对小麦的影响已经超过了其自身的抗旱适应能力,酶活性的增加已不能全部应对干旱胁迫所产生的质膜过氧化产物。

渗透物质的积累可减轻逆境对植物造成的伤害^[8,19]。本研究中,中度干旱和严重干旱下各品种的可溶性糖和脯氨酸较对照增加,而且抗旱性强的品种增幅较大,这可能与二者作为渗透调节物质和调节信号双重功能有关^[19-20]。而在中度干旱和严重干旱下可溶性蛋白在供试品种间整体呈下降趋势,这可能是长期干旱下导致蛋白的分解强于干旱诱导蛋白的合成,因而整体表现出蛋白呈下降趋势。

3.2 干旱胁迫对小麦产量及其构成因素的影响

干旱对小麦产量的影响,前人有较多研究^[7,21]。干旱胁迫导致小麦穗数、穗粒数和粒重均降低^[21]。本研究结果与此一致,表现为随着干旱胁迫的加剧,单穗产量在处理间呈显著性差异;从产量构成因素来看,干旱胁迫下穗粒数和千粒重下降,部分品种在处理间也达到显著性差异。

3.3 应用主成分分析和隶属函数法进行小麦孕穗期抗旱性评价的可行性

作物的抗逆性是多基因控制的数量性状,不同品种的抗逆机理不同,这就使得不同品种在逆境条件下对某一具体指标的反应不同,因此很难用单一指标去准确全面地评价品种抗逆性的强弱^[12]。应用多种指标去综合评价作物的抗逆性,指标间又存在一定的关联性,使得各自提供的作物对逆境反应的信息发生交叉,且各指标间权重不尽相同,如果直

接利用这些多项指标评价抗旱性也有一定的片面性^[14]。主成分分析可将个数较多的指标转换成个数较少且彼此独立的综合指标,同时根据贡献率可知各综合指标的权重^[13]。本研究中利用主成分分析将 8 个单项指标综合成 3 个综合指标,根据贡献率求出各自的隶属函数值,利用各综合指标的权重进行加权,得到各小麦品种抗旱性的综合评价值(D 值)。 D 值是一个无量纲常数^[13],从而使得品种间抗旱性差异具有可比性^[13]。另外本研究中,品种间 D 值与抗旱指数排序基本一致(见表 4,表 5),表明应用主成分分析和隶属函数法进行小麦孕穗期抗旱性评价是可行的。

参 考 文 献:

- [1] 张灿军,冀天会,杨子光,等.小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究 I. 鉴定方法及评价指标[J].中国农学通报,2007,23(9):226-230.
- [2] 张灿军.小麦抗旱性的鉴定方法与指标.中国小麦育种与产业化进展[M].北京:中国农业出版社,2002:119-136.
- [3] 景蕊莲.作物抗旱研究的现状与思考[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):79-85.
- [4] 姚立新,朱 锐,马雯彦,等.植物抗旱、抗寒性鉴定与生理生化机理研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(25):11864-11866.
- [5] 王永华,李金才,魏凤珍,等.小麦冻害类型、诊断特征及其预防对策与补救措施[J].中国农学通报,2006,22(4):345-348.
- [6] 刘佃林.植物生理学[M].北京:北京大学出版社,2003:230-231.
- [7] 王 敏,张从宇,姚维传,等.不同生育期干旱胁迫对小麦产量的影响[J].安徽农业科学,2001,29(5):605-607,610.
- [8] 吕金印,山 仑,高俊凤,等.干旱对小麦灌浆期旗叶光合等生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(2):77-81.
- [9] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:167-261.
- [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] 兰巨生,胡福顺,张景瑞.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].华北农学报,1990,5(2):20-25.
- [12] 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.
- [13] 谢志坚.农业科学中的模糊数学方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1983:99-193.
- [14] 周广生,梅方竹,周竹青,等.小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J].中国农业科学,2003,36(11):1378-1382.
- [15] Chen Long, Wu Shiguang, Li Shumei, et al. Biochemical reaction and resistance analysis of jointing stage of winter wheat under low temperature stress[J]. Acta Agriculturae Boreali - Sinica, 2001,16(4):42-46.
- [16] 葛伟达,隋方功,白莉萍,等.长期水分胁迫对夏玉米根叶保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):18-24.
- [17] 时连辉,牟志关,姚 健.不同桑树品种在土壤水分胁迫下膜伤害和保护酶活性变化[J].蚕业科学,2005,31(1):13-17.
- [18] 王俊儒,李生秀,李凯丽.冬小麦不同生育时期水分亏缺胁迫对叶片保护酶系统的影响[J].西北植物学报,2001,21(1):47-52.
- [19] Babita M, Maheswari M, Rao L M, et al. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids [J]. Environ Exp Bot, 2010,69(3):243-249.
- [20] Campos K F, Carvalho K, Souza F S, et al. Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over-accumulating proline[J]. Environ Exp Bot, 2011,72(2):242-250.
- [21] 石 岩,于振文,位东斌.土壤水分胁迫对冬小麦氮素分配利用及产量的影响[J].核农学报,1999,13(1):27-33.