

小麦品种可溶性糖和保护性酶与抗旱性关系研究

王 川, 谢惠民, 王 娜, 王宏礼

(西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 采用旱胁迫和灌水两种处理条件, 对 21 个抗旱性不同的冬小麦品种苗期的可溶性糖、SOD 和 POD 进行测定, 并以籽粒产量、抗旱指数为目标性状进行抗旱性相关关系研究。结果表明: 同一水分处理下不同品种间的可溶性糖、SOD 和 POD 活性差异较大, 抗旱指数高的品种明显高于抗旱指数低的品种; 且丰产抗旱性品种的可溶性糖、POD 和 SOD 酶活性大多都能同时达到或高于 41.68 mg/g、169.73 U/(g·min FW) 和 496.33 U/(g·min FW)。相关分析表明: 可溶性糖和保护性酶与抗旱指数存在极显著正相关, 相关系数为 $r_{SS} > r_{POD} > r_{SOD}$; 通径分析表明: 干旱胁迫条件下, 可溶性糖对产量的正向作用最大(0.5584), 对 DI 的正向作用也最大(0.5264); 胁迫下各生理指标都对产量和抗旱指数起着正向的直接作用。综合分析认为可溶性糖和保护性酶是抗旱小麦较为理想的指标。

关键词: 小麦; 可溶性糖; SOD; POD; 抗旱指数

中图分类号: S312 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)05-0094-06

小麦是主要的粮食作物之一, 由于全球水资源紧张, 气候变化频繁, 传统的小麦生产面临着缺水的严重威胁。在干旱严重地区的小麦种植区, 由于土壤、气候干旱所引起的生理干旱已成为影响小麦增产的最重要的非生物因素之一^[1], 小麦抗旱性(耐旱性)的研究越来越受到重视, 提高小麦的抗旱性已经成为育种工作者的主攻方向, 也是抗旱育种目标的一个重要方面。因此, 作为小麦生物技术育种基础的小麦抗旱性研究及其评价体系的基础性研究具有十分重要的理论指导意义。开展小麦抗旱性研究, 筛选快捷、稳定、有效的抗旱鉴定指标, 为选育耐旱性小麦品种提供借鉴, 具有重要的实践利用价值。

作物抗旱性的强弱可以通过一些生理生化指标的变化反映出来。从生理角度来讲, 抗旱性是指由于作物内部的细胞、组织或器官的代谢受到干旱胁迫而引起的对自身的保护性反应。不同的品种(系), 由于遗传基础等因素的不同, 其对于干旱的适应性生理反应就存在差异。因此, 研究干旱状态下植物的生理变化具有重要意义。目前, 国内外此方面的研究都注重对生理指标的筛选^[2,3], 大量结果表明许多保护酶与作物的抗旱性密切相关, 其中超氧化物歧化酶 SOD、过氧化物酶 POD 等与作物的抗旱性成正相关。这些结论对小麦抗旱性的生理适应性鉴定具有重要参考价值, 但由于小麦抗旱性是多基因控制的多种生理生化代谢的综合表现, 在品种筛

选过程中与目标产量相结合的综合评价则是准确鉴别作物品种抗旱适应性的前提。关于小麦灌浆结实期保护性酶活性和可溶性糖含量与抗旱性的关系研究已有许多文献报道, 但在苗期的研究目前报道的还不多。为此, 本研究选用 21 个抗旱性不同的小麦品种在水旱两种处理下测定不同品种苗期的可溶性糖含量、SOD、POD 活性, 结合小区实收产量, 计算抗旱指数, 并对供试品种抗旱适应性进行综合性评价, 以期对抗旱小麦品种的筛选提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用黄淮水地品种周麦 18(ZM18)、西农 979(XN979)、豫麦 48(YM18)、泰山 24(TS24)、鲁麦 1 号(LM1)、鲁麦 15(LM15)、石家庄 8 号(SJZ8)、衡优 18(HY18)和黄淮旱地品种邯鄹 6050(HD6050)、洛旱 2 号(LH2)、H8623(H8623)、晋麦 47(JM47)、晋麦 79(JM79)、运旱 22-33(YH22-33)、运旱 23-35(YH22-35)及北部旱地品种晋太 170(JT170)、长 6154(C6154)、长 6878(C6878)、京冬 8 号(JD8)、陇鉴 294(LJ294)、西峰 20(XF20)共 21 个品种为材料, 于 2008~2010 年在西北农林科技大学农学院杨凌示范园旱棚鉴定池种植, 两年均采用随机区组设计, 三次重复, 每个小区每个材料种 8 行, 行长 2 m, 行距 0.25 m。小区面积 4 m², 试验数据取 2 年测定平均值。

收稿日期: 2011-04-12

基金项目: 国家 863 计划项目(2006AA100201); 陕西省 13115 项目(小麦抗旱育种)

作者简介: 王 川(1985—), 男, 硕士研究生, 主要从事小麦抗旱节水遗传育种研究。E-mail: wangchuan226@163.com。

通讯作者: 谢惠民(1953—), 男, 教授, 主要从事小麦抗旱节水及遗传育种研究。E-mail: huiminx@nwsuaf.edu.cn。

1.2 试验处理

设干旱胁迫(D)和非胁迫(W)两种处理,试验前在玉米收获后适量浇匀底墒水,小麦全生育期根据胁迫程度限量供水:干旱胁迫采用反复干旱、定量复水,为保证有一定的籽粒产量,根据叶片受旱发黄程度分别于冬季、初春和孕穗期限量复水 3 次,每次浇水折合 300 m³/hm²;非胁迫处理同时间每次补水灌 600 m³/hm²。为防止倒伏,于起身期设置了防倒网保护。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 小麦叶片保护性酶活性的测定 在五叶期分别取旱作和灌水处理鲜样 0.500 g 剪碎,置预冷研钵中,加提取介质(0.2 mol/L Na₂HPO₄ 溶液 91.5 mL 和 0.2 mol/L NaH₂PO₄ 溶液 8.5 mL,加入 300 mL 蒸馏水,混合至 400 mL)及少量石英砂,在冰浴中研磨成匀浆;2℃,20 000 r/min 离心 20 min,提取酶上清液进行测定,超氧化物歧化酶(SOD)活性应用 Giannopolitis 等^[4]和王爱国等^[5]提出的改进法进行测定;过氧化物酶(POD)活性采用孙文全法^[6]测定。

1.3.2 小麦叶片可溶性糖(SS)的测定 取样时期与保护性酶测定的时期相同,采用蒽酮比色法^[7]测定。

1.3.3 产量(Y) 小麦蜡熟后期按小区收获,脱粒晾晒后称重计产,折算成公顷籽粒产量。

1.3.4 抗旱指数(DI) 以群体籽粒产量 DI 为指

标,抗旱对照品种选晋麦 47,DI 的计算公式如下^[8]:

$$DI = Y_{S.T}^2 \times Y_{S.W}^{-1} \times Y_{CK.W} \times (Y_{CK.T}^2)^{-1}$$

式中,DI 为抗旱指数;Y_{S.T} 为待测材料胁迫处理籽粒产量;Y_{S.W} 为待测材料灌水处理籽粒产量;Y_{CK.W} 为对照品种灌水处理籽粒产量;Y_{CK.T} 为对照品种胁迫处理籽粒产量。

数据分析采用 Excel 2003 和 DPSv6.55 专业版。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对小麦可溶性糖和保护性酶的影响

对测定结果进行统计分析,小麦可溶性糖和保护性酶的胁迫差具有显著差异(表 1)。进一步对比分析表明,小麦受干旱胁迫后,可溶性糖和保护性酶的变化因品种而异,但总的变化趋势是干旱胁迫后大部分品种的可溶性糖和保护性酶都增加,增加的幅度因品种不同而有所差异,可溶性糖含量平均升高 8.010 mg/g, SOD 活性酶含量平均增加 73.37 U/(g·min FW), POD 活性酶含量平均增加 22.55 U/(g·min FW)。三个生理指标的差幅的变异系数分别为 28.15%、59.38%和 47.85%,可以看出, SOD 活性酶差幅的变异系数变化较大。另外,可溶性糖和保护性酶在 95%置信间的变化趋势也较大,依次为 26.26 ~ 30.84 mg/g、53.05 ~ 93.69 U/(g·min FW)、17.52 ~ 27.59 U/(g·min FW)。

表 1 不同小麦品种可溶性糖和保护性酶含量的变化

Table 1 Dynamic changes of soluble sugar and ptotective enzyme of different wheat

动态参数 Dynamic parameter	可溶性糖 Souble suger(mg/g)			SOD[U/(g·min FW)]			POD[U/(g·min FW)]		
	早胁迫 D	非胁迫 W	胁迫差 D - W	早胁迫 D	非胁迫 W	胁迫差 D - W	早胁迫 D	非胁迫 W	胁迫差 D - W
变幅 Range	24.63 ~ 46.48	20.62 ~ 36.60	4.010 ~ 9.880	174.4 ~ 690.7	76.37 ~ 587.5	- 36.49 ~ 149.4	59.83 ~ 223.3	47.10 ~ 205.4	9.580 ~ 53.61
平均值 Mean	36.56	28.55	8.010	349.4	276.1	73.37	133.04	110.5	22.55
标准差 SD	6.590	4.900	2.260	124.5	123.6	43.56	47.50	45.42	10.79
变异系数 CV(%)	18.01	17.16	28.15	35.63	44.77	59.38	35.70	41.11	47.85
置信区间 95% interval	26.26 ~ 30.84			53.05 ~ 93.69			17.52 ~ 27.59		

2.2 不同小麦品种可溶性糖和保护性酶对干旱胁迫的反应

从各品种干旱胁迫下可溶性糖和保护性酶的变化趋势(图 1)可以看出:干旱胁迫下各品种可溶性糖和保护性酶的变化趋势基本一致,但不同品种间可溶性糖和保护性酶的差异较大。从整体趋势看, YM48、JT170、YH22 - 35 和 YH23 - 35 的可溶性糖和活性酶的含量较高, JT79、XN979、LJ294 和 XF20 较低。从品种类型看,可溶性糖和保护性酶生理反应

的地域特点比较明显,同一地区育成品种的可溶性糖和保护性酶含量比较接近,不同地区育成品种的可溶性糖和保护性酶含量差异较大。例如陇鉴 294 和西峰 20,都是源自于干旱十分严重的陇东地区,长期的培育过程造就的低可溶性糖和保护性酶含量就能使其满足生理过程的需求,并能获得一定的经济产量;而豫麦 48、泰山 24、鲁麦 1 号等则需要较高可溶性糖和保护性酶含量才能达到这样的结果。可见,可溶性糖和保护性酶含量尽管反映了品种生长

发育的生理状况,但品种间可溶性糖和保护性酶含量的基础生理是有区别的。

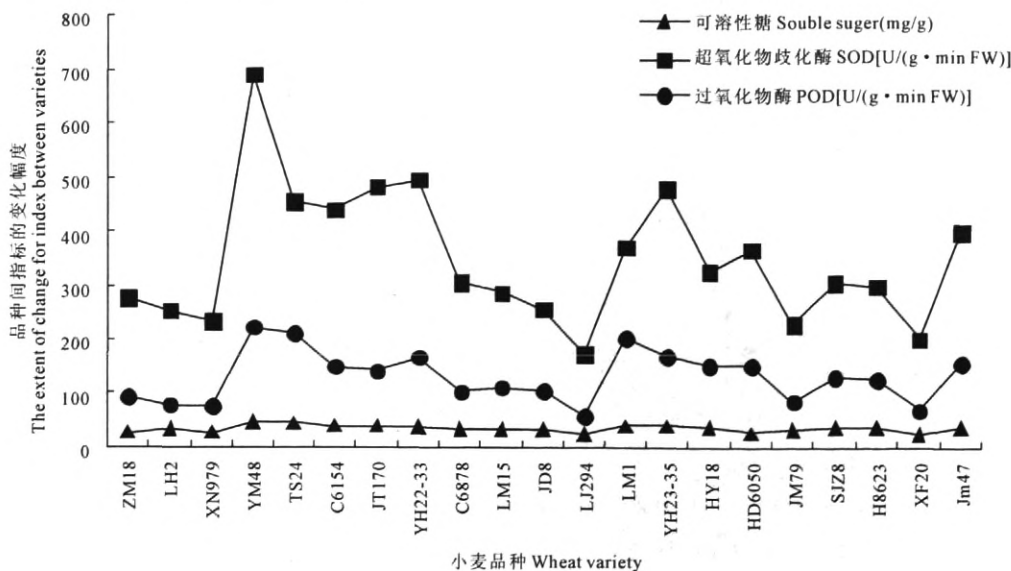


图 1 干旱胁迫条件下小麦可溶性糖和保护性酶的变化

Fig.1 Dynamic changes of soluble sugar and protective enzyme of wheat under drought stress

2.3 干旱胁迫下小麦品种可溶性糖和保护性酶的上升幅度

从图 2 可以看出,小麦品种可溶性糖和保护性酶上升幅度的高低与品种有密切的关系,除 LM1 号、HY18 和 H8623 的 SOD 酶活性下降外,其它品种的可溶性糖和保护性酶含量均为上升趋势,其中 LJ294、XF20、XN979 的 SOD 酶活性增加幅度较大,HD6050、YM48 和 JT170 的 SOD 酶活性增长幅度较

小。其中小麦品种可溶性糖和 POD 酶活性的增长幅度同 SOD 酶活性的增长幅度基本一致,抗旱指数高的品种增长幅度较低,反之,则相反。可能是抗旱指数高的小麦品种由于体内含有较多的可溶性糖和保护性酶,对旱胁迫表现不敏感;而抗旱指数低的小麦品种体内可溶性糖和保护性酶的含量较低,当受到外界胁迫时,使可溶性糖和保护性酶的含量急剧增加,抵抗干旱胁迫对自身的危害。

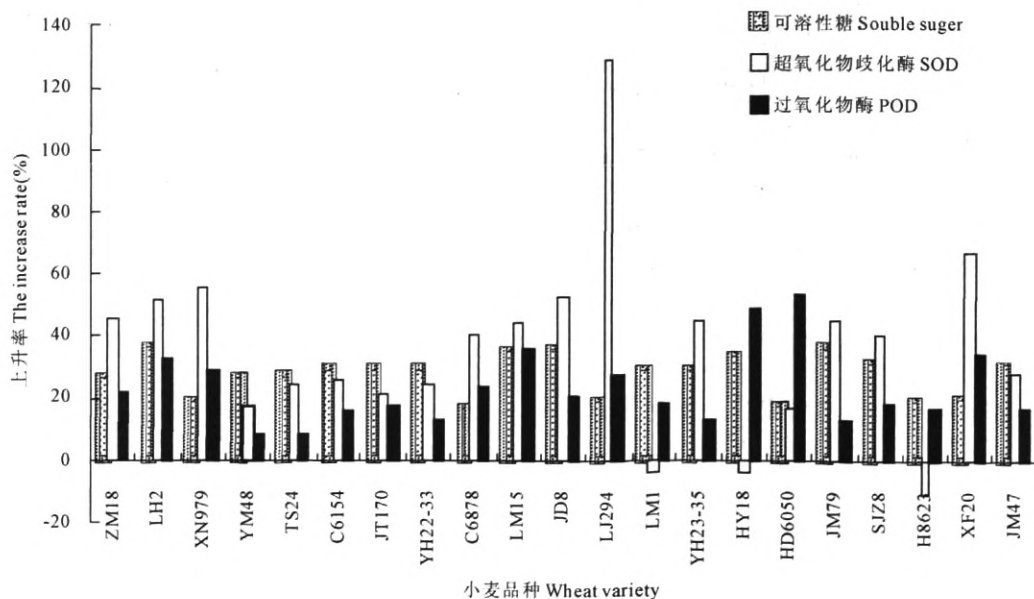


图 2 干旱胁迫条件下小麦可溶性糖和保护性酶上升率

Fig.2 The increase rate of soluble sugar and protective enzyme in wheat under stress

2.4 干旱胁迫下可溶性糖和保护性酶与抗旱指数的相关性

由图 3 我们可以看出:在旱作条件下,可溶性糖、SOD 和 POD 均与抗旱指数呈极显著正相关,回归方程分别为 $y = 0.045x - 0.7838, R^2 = 0.9139$; $y = 0.0022x + 0.0772, R^2 = 0.8111$; $y = 0.0061x +$

$0.048, R^2 = 0.8764$; 则品种内可溶性糖和保护性酶活性的多少,直接关系到品种抗旱指数的高低。由此可以说明品种内可溶性糖含量的多少和保护性酶活性高低,与品种抗旱性的强弱有直接的关系;进一步说明可溶性糖和保护性酶能够反映品种抗旱性的强弱,可以作为小麦品种抗旱性筛选的评价指标。

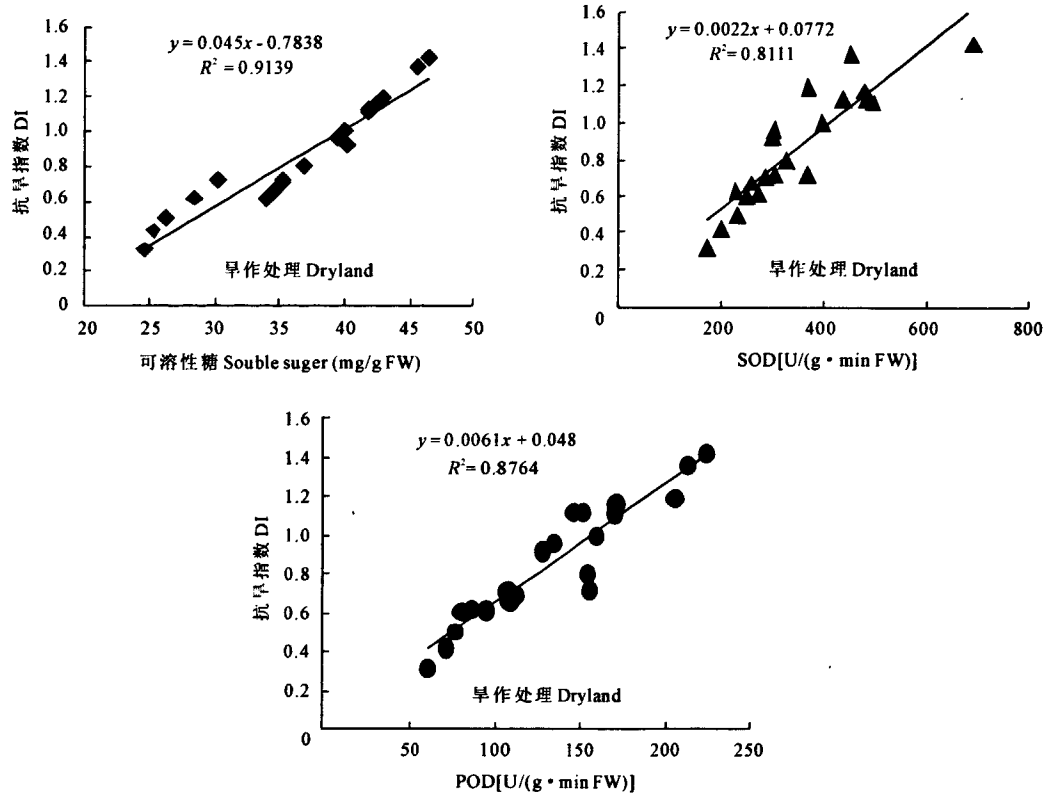


图 3 旱作条件下可溶性糖和保护性酶同 DI 的关系
Fig.3 Relationship between soluble sugar, ptotective enzyme and DI in dryland

2.5 可溶性糖和保护性酶的多元和通径分析

以干旱胁迫和非胁迫的可溶性糖 (X_1)、SOD (X_2) 和 POD (X_3) 为自变量;以旱作条件下的产量 (Y_D) 和抗旱指数 (DI_D)、灌水条件下的产量 (Y_W) 和抗旱指数 (DI_W) 为因变量,建立胁迫和非胁迫两类处理的多元线性方程如下:

$$\begin{aligned} Y_D &= 152.79 + 91.03 X_1 + 1.699 X_2 + 6.366 X_3 \\ DI_D &= - 0.4887 + 0.0247 X_1 + 0.0006 X_2 + 0.0019 X_3 \\ Y_W &= 4665 + 8.960 X_1 - 0.0294 X_2 + 6.815 X_3 \\ DI_W &= - 0.3327 + 0.0261 X_1 + 0.0002 X_2 + 0.0037 X_3 \end{aligned}$$

各方程决定系数分别为 (0.9748、0.9763、0.6475、0.9731),经测验表明,可溶性糖和保护性酶与目标性状均有极显著回归关系,相关系数均表现为 $r_{DI} > r_Y$;但偏相关系数显著性差异较大,说明可

溶性糖和保护性酶间交互作用对指标性状的相互影响比较复杂;另外由方程可以看出:抗旱性和丰产性较好的品种都具有较高的可溶性糖和保护性酶。为了比较可溶性糖和保护性酶对各目标性状指标的影响作用,采用最小二乘法对多元线性方程进行标准化并作通径分析,结果(表 2)表明,可溶性糖和保护性酶对 2 个目标性状均有极显著的决定作用。干旱胁迫条件下,可溶性糖和保护性酶对产量的直接作用依次为 0.5584、0.1970、0.2817,即可溶性糖对产量的正向作用最大,对 DI 的直接正向作用则也是可溶性糖的正向作用大(0.5264)。灌水条件下,POD 对产量的正向直接作用最大(0.7186),对 DI 的正向直接作用则也是 POD (0.5366) 最大,可溶性糖 (0.4135) 次之。可以看出在两种环境下可溶性糖和保护性酶对小麦品种的产量和抗旱指数都起正向直接作用(灌水条件下的 SOD 除外),且干旱胁迫下各生理指标间都存在正向的间接作用。由此可知这三

个生理指标可以作为评价小麦抗旱性强弱的依据。

表 2 小麦可溶性糖和保护性酶对性状指标的途径作用
Table 2 Pathway of soluble sugar and ptotective enzyme on indicators in wheat

指标 Indicator	途径 Pathway	干旱胁迫 Drought stress				灌水 Watering			
		SS	SOD	POD	剩余 ϵ	SS	SOD	POD	剩余 ϵ
产量 Y	直接作用 Direct effect	0.5584	0.197	0.2817		0.1019	-0.0084	0.7186	
	→SS		0.4523	0.4793			0.0886	0.0925	
	→SOD	0.1596		0.1713		-0.0073		-0.0076	
	→POD	0.2417	0.2449			0.6525	0.6437		
	总作用 Total effect	0.9597	0.8942	0.9323	0.1588	0.7471	0.7239	0.8035	0.5937
抗旱指数 DI	直接作用 Direct effect	0.5264	0.2222	0.2911		0.4135	0.0638	0.5366	
	→SS		0.4264	0.4518			0.3596	0.3755	
	→SOD	0.1800		0.1932		0.0555		0.0571	
	→POD	0.2498	0.2531			0.4872	0.4807		
	总作用 Total effect	0.9562	0.9017	0.9361	0.1541	0.9562	0.9041	0.9692	0.1640

3 讨 论

小麦的抗旱性是其在水分胁迫条件下细胞在结构、生理生化上发生一系列适应性反应的结果,且受多基因控制,并遵循数量遗传规律,这就决定了小麦抗旱性反应的多样性。因此,鉴定其抗旱性,不能依赖于某一个生理指标,而应综合考虑多个生理指标。本实验以可溶性糖和保护性酶为研究对象,并发现三者存在着紧密的联系。

大多数研究发现:水分胁迫后可溶性糖含量增加,抗旱性强的品种比抗旱性弱的品种在遭受干旱胁迫时,总能保持较高的可溶性糖含量,有较强的光合以及干物质合成能力,形态上表现为受害比较轻,产量相对高。本研究也发现类似的结论,另外也发现可溶性糖含量同产量、抗旱指数均呈显著正相关;进一步说明抗旱性强的品种有较强的协调代谢及保水能力,因此,可溶性糖可以作为品种抗旱性评价指标之一。

在研究植物对水分胁迫的生理反应时,普遍认为膜系统是干旱伤害的最初和关键部位^[9]。而生物体内存在着一种保护性酶 SOD,它是一种金属酶,其底物是一种寿命很短的氧自由基 O_2^- 。当作物遇到干旱脱水时, O_2^- 大量产生,从而对植物细胞产生伤害,而 SOD 是植物体内消除 O_2^- 伤害的保护性酶。有研究表明,随着干旱胁迫时间的延长,SOD 活性逐渐下降,抗旱性强的品种 SOD 活性下降幅度小于抗旱性弱的品种,在整个水分处理过程中,抗旱性强的品种 SOD 活性高于抗旱性弱的品种^[10-13],SOD 活性与品种的抗旱性呈正相关;这说明,抗旱性强的品种比抗旱性弱的品种有着较强的 SOD 合成调节系

统,从而使得品种受干旱的危害小于抗旱性弱的品种^[14],因此,SOD 活性可以作为评价品种抗旱性的生化指标。一般认为,POD 和 SOD 协调反应,在提高作物抗旱性,减轻作物受干旱危害程度,以及活性变化同 SOD 相似^[15]。这与本研究的结论类似。

本研究也表明可溶性糖和保护性酶与抗旱指数存在显著正相关;且在旱作条件下,可溶性糖和保护性酶与抗旱指数和产量存在正向直接作用;综合认为,可溶性糖和保护性酶活性可以为小麦品种的抗旱性鉴定提供参考依据。

参 考 文 献:

[1] Siddique M, Hamid A, Islam M. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat[J]. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 1999,40:141—145.
[2] 马余平,李道远.栽培稻抗旱性研究进展[J].广西农业科学,2007,38(4):398—403.
[3] 裴英杰,王金胜.用于玉米品种抗旱性鉴定的生理生化指标[J].华北农学报,1992,7(1):31—35.
[4] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants[J]. Plant physiology, 1977,59(2):309.
[5] 王爱国,罗广华,邵从本.大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J].植物生理学报,1983,9(1):77—83.
[6] 孙文全.联苯胺比色法测定果树过氧化物酶活性的研究[J].果树学报,1988,5(3):105—108.
[7] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2003.
[8] 李丽霞,梁宗锁.土壤干旱对沙棘苗木生长及水分利用的影响[J].西北植物学报,2002,22(2):296—302.
[9] 李明,王根轩.干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J].生态学报,2002,22(4):503—507.
[10] 李 壮,许文娟,薛兵东,等.玉米苗期抗旱性评定方法探讨[J].玉米科学,2004,12(2):73—75.

- [11] 王茅雁,邵世勤,张建华,等.水分胁迫对玉米保护酶系活力及膜系统结构的影响[J].华北农学报,1995,10(2):43—49.
- [12] 张海明,王茅雁.干旱对玉米过氧化氢,MDA含量及SOD,CAT活性的影响[J].内蒙古农牧学院学报,1993,14(4):92—95.
- [13] 张正斌.作物抗旱节水的生理遗传育种基础[M].北京:科学出版社,2003.
- [14] 周 桂,李杨瑞.植物干旱诱导蛋白研究进展[J].广西农业科学,2007,38(4):379—385.
- [15] Mrema A. Granhall U. Sennerby-Forsse plant growth, leaf water potential, nitrogenase activity and nodule anatomy in *Leucaena leucocephala* as affected by water stress and nitrogen availability[J]. Trees-Structure and Function, 1997,12(1):42—48.

Study on the relation of soluble sugar, ptotective enzyme and drought resistance in wheat

WANG Chuan, XIE Hui-min, WANG Na, WANG Hong-li
(Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to study the correlation of drought resistance with certain factors under drought-stressed and non-stressed conditions, soluble sugar (SS), SOD and POD of 21 winter wheat varieties at seeding stage were measured, and the grain yield and drought resistance index (DRI) were analysed as target traits. The results showed that there were great differences in SS, SOD and POD in different cultivars under each treatment; The content of SS, SOD and POD of the most high-yield and drought-resistant wheat varieties reaches 41.68 mg/g, 496.3 U/(g·min FW) and 169.73 U/(g·min FW) or even more. The analysis of relativity indicated that SS, SOD and POD were highly correlated with DRI, the correlation ranked as $r_{SS} > r_{POD} > r_{SOD}$; The pathway indicated that SS played an important role in the yield and DRI under drought stress; The coefficient of effects was 0.5584 and 0.5264; The SS, SOD and POD played positive direction effect on yield and DRI under drought-stressed conditions. In conclusion, they can be used as indicators to identify drought-resistant varieties.

Keywords: wheat; soluble sugar; SOD; POD; DRI

(上接第93页)

Effect of phosphorous stress on photosynthesis characteristics and distribution of carbohydrate of *Phaseolus coccineus* L. seedlings

LIAN Man-hong¹, TIAN Xiao-hong², CAO Cui-ling¹

(1. College of Life Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Effect of phosphorus levels and treatment time on some physiological characteristics of *Phaseolus coccineus* L. were studied by hydroponic culture method. The results showed that the root length under the low availability of no phosphorus was about 46% higher than that of the control, while the leaf area was decreased when the culture solution had lower phosphate. When there had lower phosphorus supplied, the root activity and acid phosphatase activity was increased. Under phosphorus deficiency, both photosynthetic rate and chlorophyll content were decreased, but intercellular CO₂ was increased; both reducing sugar content and total soluble sugar content were decreased; and root activity and acid phosphatase were increased. Under phosphorus deficiency, the dry mass decreased remarkably; shoot dry mass decreased; while root dry mass increased. These results show that phosphorus deficiency affects the distribution of carbohydrates.

Keywords: phosphorous deficiency; photosynthesis; distribution of carbohydrates; acid phosphatase activity