

模拟干旱胁迫下冬小麦胚芽鞘长度变化 及与抗旱性的关系研究

关周博¹, 王士强¹, 陈亮¹, 唐娜¹, 胡银岗^{1,2,3}

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 国家小麦改良中心杨凌分中心, 陕西 杨凌 712100;

3. 陕西省农业分子生物学重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 以6个抗旱性不同的冬小麦品种(系)为材料, 通过不同浓度的PEG-6000渗透溶液模拟干旱胁迫处理, 研究了小麦苗期的胚芽鞘长度、苗高、主胚根长等性状, 并与其在大田及防雨棚控水条件下的产量构成和抗旱性的关系进行分析。结果表明, 在不同浓度的PEG-6000渗透溶液干旱胁迫处理下, 小麦苗期胚芽鞘长度在品种间差异显著; 产量的抗旱指数与苗期不同干旱胁迫处理下的胚芽鞘长度的相关性分析表明, 小麦的胚芽鞘长度与其抗旱指数呈极显著正相关(相关系数为0.9600), 抗旱性强的品种胚芽鞘较长, 抗旱性弱的品种胚芽鞘较短。在不同程度的干旱胁迫处理下, 各品种的胚芽鞘长度变化趋势大致相同, 因此利用胚芽鞘长度可以在早期对小麦的抗旱性进行鉴定。

关键词: 小麦; 干旱胁迫; 胚芽鞘长度; 抗旱指数; 抗旱性

中图分类号: S152.1*1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0125-06

中国是一个水资源短缺的国家, 水资源严重短缺已成为制约我国国民经济可持续发展的瓶颈^[1-3], 充分挖掘植物自身的水分高效利用将成为节水农业发展的核心^[4]。小麦是我国北方主要的粮食作物, 研究其抗旱种质鉴定及其指标体系对我国粮食安全生产具有重要的意义。

小麦抗旱性鉴定技术已有大量研究, 并提出了田间直接鉴定法、人工控制干旱胁迫法、生化胁迫鉴定法及自然失水胁迫鉴定法等有效的方法, 极大地促进了小麦抗旱性的改良, 大大提高了小麦抗旱育种的效率^[5-9]。然而由于作物的抗旱性十分复杂, 这些方法受季节和条件所限, 所需时间长、工作量大、速度慢、重复性较差, 结果存在较大争议^[10-12]。胚芽鞘是作物子叶应对生长初期逆境的保护组织, 在成熟种子中完成分化, 在种子萌发后期, 随着细胞的伸长和扩大, 胚芽鞘伸长有助于种子破土生长, 保护胚芽露出地面并抵御逆境胁迫, 其长短和生长速率影响作物苗期的生长状况, 长短受遗传控制^[13-15]。因此, 针对小麦主产区播种时表层土壤墒情较差, 影响适时播种和出苗率, Rebetzke等提出了选择胚芽鞘长的小麦品种, 通过深播保证适时播种和较好的成苗率, 建立良好的小麦苗期群体的设

想, 并通过实践证明胚芽鞘长度作为小麦苗期抗旱性鉴定指标是可行的^[16-20]。胡颂平等^[13]对水稻胚芽鞘长度与抗旱性的关系进行了研究, 并对控制水稻胚芽鞘长度的QTL位点进行了定位。王玮、邹琦等^[21,22]对在浓度为20%的PEG水溶液处理下的小麦胚芽鞘长度与抗旱性关系的研究表明, 小麦胚芽鞘长度与抗旱性关系密切, 进而提出了“低水势胚芽鞘长度法”的冬小麦抗旱性鉴定指标。尽管这些研究都对胚芽鞘的长度与抗旱性的关系做了有益探索, 但是此项研究报道较少、试验处理单一, 结果具有一定的局限性。鉴于此, 本研究以我国黄淮海区的6个抗旱性不同的冬小麦品种为材料, 通过采用不同浓度的PEG-6000渗透溶液模拟干旱条件处理^[23], 对小麦胚芽鞘长度在不同胁迫下的变化及其与苗高、主胚根长进行分析, 并结合这些材料的田间及防雨棚的产量性状指标, 对其与抗旱性的关系进行研究, 以探讨胚芽鞘长度作为冬小麦抗旱性鉴定指标的可行性。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小麦品种为我国黄淮海区的6个冬小麦品

收稿日期: 2009-01-27

基金项目: 863重点项目子课题(2006AA100201, 2006AA100223); 科技部973计划前期项目(2006CB708208); 澳大利亚ACIAR项目(CIM/2005/111); 高等学校学科创新引智计划项目(111-2-16)

作者简介: 关周博(1983—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事小麦抗旱节水的遗传改良研究。E-mail: guanzhoubo@yahoo.com.cn。

通讯作者: 胡银岗(1967—), 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事作物抗旱节水的遗传改良研究。E-mail: huyingang@126.com, huyingang@nwsuaf.edu.cn。

种(系):长 6878(山西省农业科学院谷子研究所)、晋麦 47(山西省农业科学院棉花研究所)、洛旱 2 号(河南省洛阳市农业科学院)、石家庄 8 号(石家庄市农业科学院)、鲁麦 21(山东省烟台市农业科学院)和西农 389(西北农林科技大学农学院)。

1.2 方法

1.2.1 PEG 干旱胁迫处理 精选各供试小麦品种中籽粒饱满、无病虫害的小麦种子放于培养皿中,先用 5% 的安替福民消毒 5 min,再用无菌蒸馏水将种子冲洗干净,在直径为 9 cm 的培养皿中发芽,于 25℃ 的培养箱中暗培养 24 h 至种子露白。然后用 PEG-6000 浓度分别为 0% (蒸馏水)、10%、15%、20%、25%、30% (W/V) 进行模拟干旱胁迫处理。每个品种 6 个处理,重复 3 次,完全随机排列。每个培养皿中分别加入 6 个处理浓度的 PEG-6000 渗透溶液 10 mL。培养 10 d 后,从各培养皿中随机取 10 株小麦幼苗,测量其胚芽鞘长度、主胚根长、苗高等指标。

1.2.2 大田与防雨棚的抗旱性试验 抗旱性试验设置依靠自然降水的大田试验(对照)和防雨棚控水试验,于 2007 年 10 月~2008 年 6 月在西北农林科技大学标本区进行。大田试验,每个品种 4 行,行长 1 m,行距 25 cm,株距 3.3 cm,人工点播,重复 2 次,播种前土壤相对含水量为 78.09%,生育期间自然降水量为 148 mm,收获后土壤相对含水量为 41.22%。防雨棚控水试验,每个品种 2 行,行长 1.5 m,行距 25 cm,株距 3.3 cm,人工点播,重复 2 次,播种前对防雨棚内各小区灌水 60 mm,播前测得土壤相对含水量为 62.86%,春季拔节期前补充灌水 40 mm,收获后测得土壤相对含水量为 36.56%。试验均采用完全随机区组设计。收获前每小区随机取具代表性的小麦 10 株,调查穗粒数,成熟后全部收获,脱粒,计产量及千粒重。

按兰巨生等^[24,25]方法计算产量抗旱指数(DI)。公式为: $DI = (\text{处理产量} / \text{对照产量}) \times (\text{处理产量} / \text{所有品种处理平均产量})$ 。

1.2.3 数据的统计分析 利用 EXCEL 软件进行数据整理、分析与绘图。采用 DPS 软件对试验结果进行方差分析和性状间相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同 PEG-6000 胁迫处理下小麦胚芽鞘长度变化

如图 1 所示,高浓度 PEG-6000 胁迫处理下各参试小麦品种胚芽鞘长度明显缩短,在无 PEG-6000 胁迫(对照)时,胚芽鞘长度以长 6878 和晋麦

47 最长,石家庄 8 号最短,随着 PEG-6000 浓度升高,各品种胚芽鞘长度大致呈下降趋势。低 PEG-6000 浓度干旱胁迫下(10%),长 6878 和西农 389 的胚芽鞘长度有所增加,其余品种胚芽鞘长度缩短;PEG-6000 浓度超过 15% 的干旱胁迫处理下,所有品种胚芽鞘长度随着 PEG-6000 浓度的升高呈现缩短的趋势。

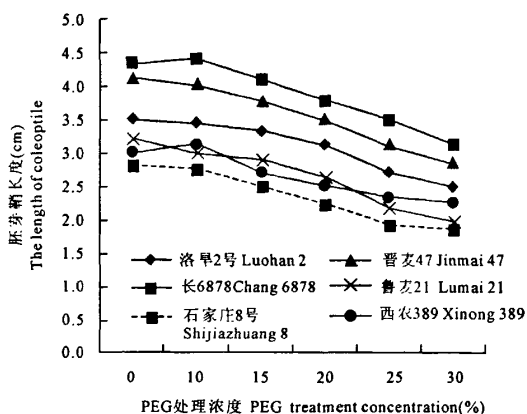


图 1 小麦品种(系)在不同浓度 PEG-6000 胁迫下胚芽鞘的长度

Fig.1 The coleoptile length of wheat varieties(line) under different concentration of PEG-6000 osmotic stress

2.2 不同浓度 PEG-6000 胁迫处理对小麦苗期各形态指标的影响

由表 1 可以看出,随着 PEG-6000 浓度的升高,各品种的胚芽鞘长度、苗高和主胚根长大体呈降低趋势,低 PEG-6000 浓度干旱胁迫(15% 以下)时,小麦胚芽鞘长度、苗高、主胚根长降低的程度不明显,品种长 6878 胚芽鞘长度还有不同程度的增加,而 PEG-6000 浓度超过 15% 后,参试小麦品种(系)胚芽鞘、苗高、主胚根长都呈现出下降趋势。

在不同 PEG-6000 浓度干旱胁迫处理下,各品种各性状的变异系数(表 1)分析表明,不同品种的同一种性状的变异系数有差异,而且相同品种不同性状间变异系数的差异更大,变异系数大小为胚芽鞘 < 苗高 < 主胚根长,表明干旱胁迫下胚芽鞘长度较稳定,对逆境有较高的抵御能力,这与王伟等^[26]的研究结果一致。

方差分析表明(表 2),主胚根长在品种间和处理间均达到显著性差异,苗高在品种间达到显著性差异,胚芽鞘长度在品种间、处理间、品种与处理间差异极显著。各性状的新复极差多重比较分析(表 3)显示,在 PEG-6000 渗透胁迫处理下,6 个品种的胚芽鞘长度排列为长 6878 > 晋麦 47 > 洛旱 2 号 > 西农 389 > 石家庄 8 号 > 鲁麦 21,长 6878 与晋麦 47

和洛旱 2 号有显著差异,晋麦 47 与洛旱 2 号无显著性差异,长 6878、晋麦 47 和洛旱 2 号与后 3 个品种(西农 389、石家庄 8 号、鲁麦 21)间有显著性差异;品种间苗高差异明显(表 3),长 6878 的苗高最长(13.48 cm),与其它品种间差异显著,鲁麦 21 最短(8.47 cm),晋麦 47、洛旱 2 号和西农 389 三者间无差异,与石家庄 8 号和鲁麦 21 间差异显著;不同品种的主胚根长度,以西农 389 为最长,极显著大于其它品种,石家庄 8 号最短,显著小于其它品种,鲁麦 21、长 6878 和晋麦 47 无显著性差异。

表 1 不同浓度的 PEG - 6000 渗透处理对小麦苗期各形态指标的影响

Table 1 Effects of different concentration of PEG - 6000 osmotic stress on morphological indexes of wheat seedlings

性状 Characters	品种(系) Varieties(lines)	胁迫浓度 Concentration of PEG osmotic stress						变异系数 CV(%)
		CK	10%	15%	20%	25%	30%	
胚芽鞘(cm) Coleoptile length	洛旱 2 号 Luohan No.2	3.52	3.46	3.35	3.15	2.72	2.52	7.35
	长 6878 Chang 6878	4.36	4.42	4.12	3.80	3.51	3.15	6.25
	晋麦 47 Jinmai 47	4.15	4.03	3.79	3.52	3.13	2.86	6.13
	石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	2.83	2.80	2.53	2.25	1.93	1.86	9.56
	鲁麦 21 Lumai 21	3.21	3.05	2.91	2.64	2.21	1.98	12.35
	西农 389 Xinong 389	3.02	3.13	2.73	2.53	2.35	2.28	11.46
苗高(cm) Seedling height	洛旱 2 号 Luohan No.2	14.20	13.20	11.26	9.34	8.56	8.25	13.42
	长 6878 Chang 6878	13.35	13.15	11.95	10.26	8.53	7.25	15.37
	晋麦 47 Jinmai 47	14.73	13.86	12.15	10.83	9.15	6.20	16.33
	石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	12.85	11.82	10.53	8.55	8.03	6.76	15.25
	鲁麦 21 Lumai 21	11.72	9.53	9.34	8.25	7.46	7.05	13.47
	西农 389 Xinong 389	10.93	8.84	8.85	7.24	6.55	6.04	14.55
主胚根长(cm) Main radicle length	洛旱 2 号 Luohan No.2	23.56	23.32	21.15	19.23	17.25	14.21	26.36
	长 6878 Chang 6878	20.15	20.24	18.7	17.95	17.21	15.38	27.83
	晋麦 47 Jinmai 47	19.45	18.00	17.56	15.32	15.25	13.58	31.45
	石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	17.25	17.58	16.21	14.86	14.15	12.95	27.74
	鲁麦 21 Lumai 21	19.32	20.13	18.35	18.24	16.44	13.25	20.68
	西农 389 Xinong 389	20.15	19.76	19.34	17.83	16.55	14.37	27.34

表 2 3 个苗期性状 PEG - 6000 胁迫处理与品种间的方差分析

Table 2 Variance analysis of 3 seedling traits among PEG - 6000 simulated stresses and varieties

变异来源 Variance source	胚芽鞘 Coleoptile length	苗高 Seedling height	主胚根 Main radical length
品种间 Variety	42.281**	5.471*	3.414*
处理间 Treatment	3.96**	5.158**	3.073*
品种间×处理间 Variety×Treatment	3.568**	15.176**	14.284**

表 3 不同品种苗期 3 个性状的新复极差分析

Table 3 ANOVA analysis of 3 traits between different cultivars

胚芽鞘长度 Coleoptile length		苗高 Seedling height		主胚根长 Main radicle length	
长 6878 Chang 6878	3.92Aa	长 6878 Chang 6878	13.48Aa	西农 389 Xinong 389	18.40Aa
晋麦 47 Jinmai 47	3.74ABb	晋麦 47 Jinmai 47	11.38Bb	鲁麦 21 Lumai 21	16.12Bb
洛旱 2 号 Luohan No.2	3.69Bb	洛旱 2 号 Luohan No.2	11.32Bb	长 6878 Chang 6878	15.78Bb
西农 389 Xinong 389	3.52Cdc	西农 389 Xinong 389	11.08Bb	晋麦 47 Jinmai 47	15.18BCb
石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	3.44Dc	石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	10.01Cc	洛旱 2 号 Luohan No.2	14.27Cc
鲁麦 21 Lumai 21	3.37Dc	鲁麦 21 Lumai 21	8.47Cd	石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	12.54Dd

注:表中数据为各品种不同胁迫处理下的平均值。同一列中不同字母表示差异显著,小写和大写字母分别表示 0.05 和 0.01 显著水平。

Note: Data in this table were the average of the variety under different PEG - 6000 simulated stresses. Different letters in the same row indicate differences significant, and lowercase and capital letters indicate significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3 干旱胁迫对小麦产量的影响

干旱胁迫对各参试小麦品种的千粒重、穗粒数和产量影响不同。由表 4 可知,干旱胁迫下,石家庄 8 号的千粒重极显著降低,西农 389 和鲁麦 21 的千粒重显著降低,而洛旱 2 号、长 6878 和晋麦 47 的千粒重没有显著性变化。在表 5 中,6 个品种在干旱胁迫和自然降水处理间的穗粒数差异均达极显著水平。同时在表 6 中也显示干旱胁迫和自然降水处理间各品种产量差异均达极显著水平,在干旱胁迫下各品种之间的产量差异也较明显,表现出:长 6878 > 洛旱 2 号 > 晋麦 47 > 鲁麦 21 > 石家庄 8 号 > 西农 389。

表 4 干旱胁迫对不同小麦品种千粒重(g)的影响

Table 4 The effect of drought stress on 1000-kernel weight of different wheat varieties

品种(系) Cultivars(lines)	对 照 CK	控水处理 Treatment	抗旱指数 DI
晋麦 47 Jinmai 47	48.99Aa	47.65Aa	1.0620
石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	48.64aA	44.52bB	0.9337
洛旱 2 号 Luohan No.2	44.59Aa	44.16Aa	1.0021
长 6878 Chang 6878	44.46Aa	43.51Aa	0.9757
鲁麦 21 Lumai 21	43.45aA	40.78bA	0.877
西农 389 Xinong 389	43.13aA	41.26bA	0.9044

注:表中数据为平均值。同一列中不同字母表示差异显著,小写和大写字母分别表示 0.05 和 0.01 显著水平。表 5 和表 6 同。

Note: Data in this table were the average of the variety. Different letters in the same row indicate difference significant, lowercase and capital letters indicate differences significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. They are the same in table 5 and table 6.

表 5 干旱胁迫对不同小麦品种穗粒数的影响

Table 5 The effect of drought stress on kernel number per spike of different wheat varieties

品种(系) Cultivars(lines)	对 照 CK	控水处理 Treatment	抗旱指数 DI
鲁麦 21 Lumai 21	53.00aA	43.70bB	0.8885
石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	50.30aA	37.65bB	0.6949
西农 389 Xinong 389	51.90aA	33.90bB	0.5460
长 6878 Chang 6878	49.10aA	41.70bB	0.8733
洛旱 2 号 Luohan No.2	48.70aA	41.55bB	0.8742
晋麦 47 Jinmai 47	47.80aA	38.15bB	0.7508

从表 4、5、6 中各性状的抗旱指数可知,各品种千粒重的抗旱指数差异不大,用千粒重的抗旱指数不能完全反映其抗旱性强弱,而穗粒数和产量的抗

旱指数在不同品种间差异明显,二者呈现的趋势大致相同。产量是小麦生长的综合表现,受干旱胁迫影响较大,因此以产量的抗旱指数作为评选抗旱性强弱的标准更为可靠^[25],从表 6 可知长 6878、晋麦 47 和洛旱 2 号抗旱指数高,抗旱性较强;鲁麦 21、石家庄 8 号和西农 389 抗旱指数低,抗旱性较弱。

表 6 干旱胁迫对不同小麦品种小区产量(g)的影响

Table 6 The effect of drought stress on yield per plot of different wheat varieties

品种(系) Cultivars(lines)	对 照 CK(g)	控水处理(g) Treatments	抗旱指数 DI
长 6878 Chang 6878	452.88aA	257.83bB	0.7437
晋麦 47 Jinmai 47	449.01aA	201.91bB	0.6374
洛旱 2 号 Luohan No.2	420.21aA	229.93bB	0.4599
西农 389 Xinong 389	413.89aA	137.19bB	0.2304
石家庄 8 号 Shijiazhuang No.8	354.31aA	151.69bB	0.3290
鲁麦 21 Lumai 21	352.49aA	164.21bB	0.3876

2.4 干旱胁迫下胚芽鞘与小麦抗旱性的关系

通过对各品种在不同浓度干旱胁迫处理下胚芽鞘、苗高和主胚根长与其千粒重、穗粒数和产量的抗旱指数分别进行相关性分析,结果(表 7)显示,不同浓度干旱胁迫下的胚芽鞘长度与产量抗旱指数间的相关系数高,而且都呈显著性相关或极显著相关,与千粒重和穗粒数的抗旱指数呈正相关性,但相关性不显著,在对照和 15% PEG-6000 干旱胁迫下胚芽鞘与产量抗旱指数的相关性最高(0.9600),达到极显著水平。在苗高方面,除 30% 的 PEG-6000 干旱胁迫,其余各浓度下的苗高都与千粒重的抗旱指数之间有显著或极显著相关性,与穗粒数的抗旱指数间无显著性相关,与产量的抗旱指数除对照和 30% 的干旱胁迫外都有显著或极显著相关性。主胚根长与千粒重、穗粒数和产量的抗旱指数间均无显著性相关。比较胚芽鞘、苗高和主胚根长与千粒重、穗粒数和产量抗旱指数间的相关性可发现,在各干旱胁迫处理中,只有胚芽鞘与产量抗旱指数的相关性最高,而且在 6 个干旱胁迫处理下的胚芽鞘长度与产量抗旱指数的相关性中 5 个处理达到极显著性相关,1 个处理达到显著性相关。

结合以上分析,抗旱性强的小麦品种长 6878、晋麦 47 的胚芽鞘长度较长,而且产量和抗旱指数也较高,利用胚芽鞘长度可以作为小麦材料抗旱筛选的指标之一。

表7 苗期性状与产量构成因素间的相关性分析

Table 7 Correlation analysis between traits in seedling at PEG osmotic stress and yield component

苗期性状 Characters	胁迫浓度 Concentration of PEG osmotic stress	千粒重 1000-grain weight	穗粒数 Kernel No. spike	产量 Yield
胚芽鞘长度 Coleoptile length	0% CK	0.71	0.48	0.96**
	10%	0.67	0.38	0.93**
	15%	0.70	0.52	0.96**
	20%	0.72	0.50	0.94**
	25%	0.68	0.39	0.91**
苗高 Seedling height	30%	0.70	0.29	0.87*
	0% CK	0.93**	0.46	0.71
	10%	0.90**	0.45	0.79*
	15%	0.89**	0.46	0.88**
	20%	0.87*	0.52	0.93**
主胚根长 Main radical length	25%	0.87*	0.56	0.80*
	30%	0.11	0.76*	0.23
	0% CK	0.31	0.35	0.16
	10%	0.01	0.48	0.04
	15%	0.08	0.25	0
	20%	-0.26	0.41	-0.02
	25%	-0.12	0.41	0.25
	30%	0.19	0.13	0.50

注: * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 的显著水平。

Note: * and ** indicate differences significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3 讨论

3.1 胚芽鞘长度与抗旱性的关系

适时播种对小麦高产非常关键,然而,在旱地由于土壤表层水分不足,导致推迟播种,甚至无法播种。近年来很多国外学者研究认为,选择长胚芽鞘的旱地冬小麦品种,可以适当深播,使种子吸收深层土壤水分,保证适时播种,提高出苗率,较晚播小麦获得较大的叶面积,同时有效地减弱了土壤表层水分蒸发,可达到抗旱的效果^[19,27,28]。本研究也发现,胚芽鞘长度与产量性状相关性最高,因此,选择长胚芽鞘的小麦品种可以提高旱地小麦的生产水平,这与王伟、Murphy 等^[26,29]研究结果一致。

3.2 胚芽鞘在抗旱性鉴定中的应用

产量是基因型和环境因素综合作用的结果,干旱胁迫下产量高低是反映其抗旱能力强弱的基本指标,但在品种选育的过程中使用产量评价育种材料的抗旱性,存在周期长、工作量大等缺点,不便于广泛应用,因而选择简便、易行的作物抗旱材料鉴定指标一直是育种家努力的方向。

许多研究认为^[13,17,21,26],小麦胚芽鞘细胞在胚中分化已经完成,萌发后不再进行细胞分裂,其生长过程只有细胞的伸长生长,没有分裂的过程,胚芽鞘长度的遗传力较强,而且胚芽鞘长度可以在苗期进行调查,是一个比较理想的指标。本试验研究表明,不论在干旱胁迫还是非胁迫条件下,抗旱性强的小麦品种胚芽鞘长度都较长,且与小麦抗旱性具有较高的相关性,这与国内外研究学者一致^[19~22,31,32]。该指标是否适于其它作物的抗旱性鉴定还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 韩梅,金晓鸥.农业节水技术研究综述[J].黑龙江水专学报, 2005, 32(4): 63—65.
- [2] 国家发改委.中国节水技术政策大纲[N].人民日报, 2005-05-24(4).
- [3] 许迪,康绍忠.现代节水农业技术研究进展与发展趋势[J].高技术通讯, 2002, 12(12): 103—108.
- [4] 山仓,邓西平,张岁岐.生物节水研究现状及展望[J].中国科学基金, 2006, (2): 66—71.
- [5] 肖佳雷,尹静,孙连发,等.不同类型春小麦抗旱生理指标耐旱指数的主成分分析[J].东北农业大学学报, 2007, 38(4): 478—482.
- [6] 刘桂茹,张荣芝,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.
- [7] 张岁岐,山仓.有限供水条件下谷子和春小麦的耗水特性[J].水土保持研究, 1999, 6(1): 94—98.
- [8] 邵宏波,梁宗锁,邵明安.小麦抗旱生理生化 and 分子生物学研究进展与趋势[J].草业学报, 2006, 15(3): 5—17.
- [9] 冀天会,张灿军,谢惠民,等.小麦品种抗旱性鉴定产量指标的比较研究[J].中国农学通报, 2006, 22(1): 103—106.
- [10] 路贵和,安海潮.作物抗旱性鉴定方法与指标研究进展[J].山西农业科学, 1999, 27(4): 39—43.
- [11] 倪郁,李唯.作物抗旱机制及其指标的研究进展与现状[J].甘肃农业大学学报, 2001, 36(1): 14—22.
- [12] 李友军,郭秀璞,史国安,等.小麦抗旱鉴定指标的筛选研究[J].沈阳农业大学学报, 1999, 30(6): 586—590.
- [13] 胡颂平,杨华,邹桂花,等.水稻胚芽鞘长度与抗旱性的关系及 QTL 定位[J].中国水稻科学, 2006, 20(1): 19—24.
- [14] Trethowan R M, Singh R P, Espino J H, et al. Coleoptile length variation of near-isogenic Rht lines of modern CIMMYT bread and durum wheats[J]. Field Crops Research, 2001, 70: 167—176.
- [15] Cosgrove D J, Li Z C. Role of expansin in cell enlargement of oat coleoptiles[J]. Plant Physiol, 1993, 103: 1321—1328.
- [16] Won J G, Yoshida T. Varietal differences in seedling traits under the low dissolved oxygen level in water-seeded rice[J]. Plant Production Science, 2000, 3: 375—376.
- [17] 陈爱国,陈进红.胚芽鞘的伸长机理和生理生态响应[J].山东农业大学学报, 2002, 33(4): 438—441.
- [18] Spielmeier W, Hyles J, Joaquim P, et al. A QTL on chromosome 6A in bread wheat (*Triticum aestivum*) is associated with longer coleop-

- tiles, greater seedling vigour and ? nal plant height[J]. Theor Appl Genet, 2007, 115: 59—66.
- [19] Rebetzke G J, Richards R A, Fettel N A, et al. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat[J]. Field Crops Research, 2007, 100: 10—23.
- [20] Rebetzke G J, Bruce S E, Kirkegaard J A. Longer coleoptiles improve emergence through crop residues to increase seedling number and biomass in wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Plant and soil, 2005, 272: 87—100.
- [21] 王 玮, 邹 琦. 渗透胁迫对不同抗旱性小麦品种胚芽鞘生长的影响[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(3): 168—171.
- [22] 邹 琦, 王 玮, 杨兴洪, 等. 冬小麦抗旱性鉴定的新方法——低水势下胚芽鞘长度法[J]. 中国农学通报, 2000, 16(15): 23—25.
- [23] 吕小红, 傅家瑞. 聚乙二醇渗透处理提高花生种子活力和抗寒性[J]. 中山大学学报, 1990, 29(1): 63—69.
- [24] 关军锋, 马春红, 李广敏. 干旱胁迫下小麦根冠生物量变化及其与抗旱性的关系[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(1): 1—5.
- [25] 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.
- [26] 王 玮, 邹 琦, 杨兴洪, 等. 水分胁迫下冬小麦芽鞘长度与抗旱性的关系及其遗传特性的研究[J]. 西北植物学报, 1998, 18(1): 24—29.
- [27] Liang Y L, Richards R A. Coleoptile tiller development is associated with fast early vigour in wheat[J]. Euphytica, 1994, 80: 119—124.
- [28] Cooper P J M, Gregory P J, Keatinge J D H, et al. Effects of fertilizer variety and location on barley production under rainfed conditions in northern Syria II. Soil water dynamics and crop water use[J]. Field Crops Res, 1987, 16: 67—84.
- [29] 王 玮, 邹 琦. 胚芽鞘长度作为冬小麦抗旱性鉴定指标的研究[J]. 作物学报, 1997, 23(4): 459—467.
- [30] Murphy K, Balow K, Lyon S R, et al. Response to selection, combining ability and heritability of coleoptile length in winter wheat[J]. Euphytica, 2008, 164: 709—718.
- [31] 王 玮, 邹 琦, 杨兴洪, 等. 低水势下冬小麦胚芽鞘长度与叶片的渗透调节能力及大田产量关系的研究[J]. 植物学通报, 1997, 14(增刊): 55—59.
- [32] 王 玮, 邹 琦, 杨 军, 等. 水分胁迫条件下抗旱性不同小麦品种芽鞘生长的动态分析[J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(5): 359—362.

Variation of coleoptile length in winter wheat varieties under PEG simulated drought stress and its association with their drought tolerance

GUAN Zhou-bo¹, WANG Shi-qiang¹, CHENG Liang¹, TANG Na¹, HU Yin-gang^{1,2,3}

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

2. Yangling Branch of National Wheat Improvement Center, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Shaanxi Key Laboratory of Molecular Biology for Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 6 winter wheat varieties (or lines) were used as materials, their coleoptile length, seedling length and main radicle length of wheat seedlings were investigated under different concentrations of PEG – 6000 osmotic solution simulated drought stress, and their relations with the yield components and drought tolerance under rainfed and rainout shelters were further analyzed. Under different concentrations PEG – 6000 osmotic solution simulated drought stress, significant differences were observed among different wheat varieties. The correlation analysis on their coleoptile length in seedlings under different treatments with their yield drought tolerance index revealed significant and positive association with correlation coefficient of 0.9600. The longer the coleoptile length of the variety is, the higher the drought tolerance index is. Coleoptile length were observed in different varieties, and the differences among varieties were consistent under different simulated drought stresses, therefore, coleoptile length could be used in the evaluation of drought in wheat at the early stage.

Key words: wheat; drought stress; coleoptile length; drought index; drought resistance capacity