

冬小麦农艺性状对花前水分胁迫的响应

毕建杰¹, 刘连颖¹, 谭秀山¹, 王金花¹, 王超¹, 刘星海¹, 刘建栋²

1. 山东农业大学作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018

2. 中国气象科学研究院生态环境与农业气象研究所, 北京 100081

摘要 为研究冬小麦对花前水分胁迫的响应, 在大田条件下, 以济麦 20 为材料, 设置正常水分 (CK)、中度干旱 (MD) 和重度干旱 (SD) 三个水分处理进行试验。水分胁迫下, 冬小麦春季分蘖减少, 有效分蘖比例增加, 叶面积、株高和物质积累量等均减小, 生长过程受阻。叶面积变化主要由叶片长度的减小引起, 且对旗叶影响程度低于低位叶; 株高的降低主要是第 IV、第 V 高位节间长度的降低, 第 I、第 II 低位节间反而有所增长; 次生根发生减少, 通过减少根密度及增加根长适应干旱; 物质积累因水分胁迫而受阻, 且物质向根系的分配增加, 根冠比增大。水分胁迫下, 冬小麦花前生长发育受阻, 地上部通过减小生长量适应水分胁迫, 降低幅度随胁迫加剧而增大; 根系在减少发生的同时, 增加根长, 扩大吸收面积。

关键词 冬小麦; 水分胁迫; 农艺性状; 抗旱性

中图分类号 S512.1+1, S761.1

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.19.005

Response of Agronomic Characteristics to Water Stress for the Winter Wheat Before Flowering Stage

BI Jianjie¹, LIU Lianying¹, TAN Xiushan¹, WANG Jinhua¹, WANG Chao¹, LIU Xinghai¹, LIU Jiandong²

1. State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong Province, China

2. Ecological Environment and Agro-meteorological Institute, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

Abstract In order to study the response of winter wheat to the water stress before flowering stage, the winter wheat of Jimai 20 is taken as the research object by measuring agronomic characteristics under three different water stresses in the field conditions. The result shows that under water stress, the spike rate increases while spike per hectare reduces. Leaf area, height and matter accumulation are all blocked. The decrease of length rather than the width is mainly caused by the changes in the area of the fourth leaf. The response from flag leaf is less sensible than that from the leaves in lower positions. The height decrease is due to the length decrease between modal IV and V. As water stress increases, all the agronomic characters mentioned above decline. Comparing with leaves and intermodal, the change for root system is more complicated. The number of secondary roots reduces, however the lengths increase. Matter accumulation delays by water stress, and the distribution of matter increases toward root causing root-shoot ratio increase. The plants decrease drought damage though reducing the root density, leaf area, intermodal length, and increasing root length.

Keywords winter wheat; water stress; agronomic character; drought-resistant

0 引言

冬小麦是中国华北平原主要的粮食作物之一, 占粮食总面积的 25.8%、占粮食总产的 21.6%^[1]。在季风气候和水资源短缺的双重影响下, 干旱成为限制小麦增产的主要非生物胁迫之一^[2]。北方冬小麦全生育期平均需水量约为 453mm, 而其

全生育期降雨量平均不足 200mm, 在小麦生长发育的关键时期降雨量只有 50—60mm^[3], 生产上主要依靠灌溉。因此, 冬小麦生长期时常受到水分胁迫, 干旱已成为影响小麦产量的最大灾害^[4]。水分胁迫的发生在作物生长期是不可避免的, 作物遇到水分胁迫, 会通过一系列生理生态变化来适应、抵

收稿日期: 2012-03-20; 修回日期: 2012-05-12

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目 (2011BAD32B02)

作者简介: 毕建杰, 副教授, 研究方向为农业气象, 电子信箱: jianjieb@126.com; 刘建栋 (通信作者), 研究员, 研究方向为作物生长数值模拟, 电子信箱: liujd2001@263.net

抗胁迫,这些变化直接影响着作物产量和水分生产率的大小^[6]。冬小麦各生育期的耗水量差别较大,返青期—孕穗期占总耗水量的 44.8%^[7],而在此生育期内春旱发生频率为 30%—40%。因此,研究小麦在春季返青期、拔节期、挑旗期的生长对水分胁迫的响应,对于探索抗旱栽培技术以及干旱灾害的调控、抗灾具有重要的理论及实践意义。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于 2011 年 10 月—2012 年 5 月在山东农业大学实验站水泥池中进行。土壤有机质 13.1g/kg,全氮 1.62g/kg,速效氮 79mg/kg,速效磷 52mg/kg,速效钾 106mg/kg。

1.2 试验设计

试验材料为冬小麦济麦 20,于 2011 年 10 月 11 日造墒播种,出苗后正常管理。自 2012 年 3 月 2 日开始水分处理。设置正常水分 (CK,土壤相对含水量 75%—80%)、中度干旱 (MD,土壤相对含水量 40%—45%) 和重度干旱 (SD,土壤相对含水量 25%—30%) 3 个水分处理。通过定量灌溉控制水分,遇雨天进行遮盖。分别于 2012 年 3 月 17 日 (返青期)、3 月 24 日、3 月 31 日 (拔节期)、4 月 7 日、4 月 14 日、4 月 22 日 (挑旗期)、5 月 3 日 (开花期) 取样测定。4 月 23 日进行复水。采样时在田中选取长势健壮均匀的麦苗,铲出带 0—30cm 土层根系,采样后立即放入冰盒中,迅速带回实验室。样品用自来水冲洗、吸水纸吸干表面水分,分别测定各项农艺性状。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 分蘖数及成穗率

测定时,返青期分蘖数作为冬前最大分蘖数、拔节期分蘖数作为春季最大分蘖数、抽穗期分蘖数作为成穗分蘖数,以成穗分蘖数与春季最大分蘖数比值为分蘖成穗率。

1.3.2 株高及各节间长度、直径

挑旗期以前,以分蘖节至最高位叶叶尖为株高;挑旗后,以分蘖节至旗叶基部为株高 (不计穗长)。抽穗后株高停止增长时测定,用游标卡尺自下向上依次测定各节间长度、直径。

1.3.3 叶面积

挑旗以前测定第 IV 叶,之后测定旗叶。用叶面积仪 (英国 AD 公司生产的 AM 300 型) 测定叶片面积、最大长度、最大宽度。

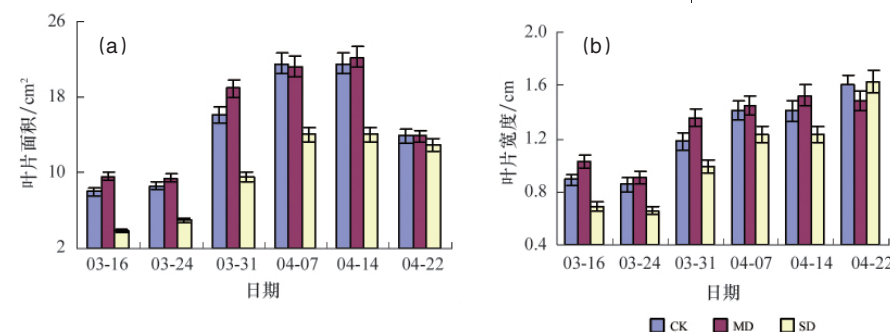


图 2 冬小麦叶面积对水分胁迫的响应
Fig. 2 Response of winter wheat leaf area to water stress

1.3.4 根条数

各期分别测定 0—30cm 土层内的次生根数 (种子根不计算在内)、根长度。

1.3.5 鲜重、干重及根冠比

用万分之一天平分别测定地上部分和根系分鲜重,106℃ 杀青后,80℃ 烘干至恒重,测定干重,计算根冠比 (根干重/地上部干重×100%)、含水量。

1.4 统计分析

用 SPSS 13.0 统计软件对数据进行显著性分析和多重比较 (LSD 法),Microsoft Excel 2003 绘图。

2 结果与分析

2.1 冬小麦春季分蘖对水分胁迫的响应

分蘖的数量、生长状况对冬小麦全株的形态建成、产量形成具有重大作用。由图 1 显示,水分胁迫对冬小麦济麦 20 分蘖形成影响显著。冬前分蘖数目相同的冬小麦,中度干旱胁迫 (MD) 与重度干旱胁迫 (SD) 处理的春季分蘖发生显著减少,春季最大分蘖数两者分别比正常水分 (CK) 减少 42.22% 和 62.22%,差异显著。分蘖数的降低幅度随水分胁迫的加剧而增大,SD 分蘖数比 MD 减少 34.62%。成穗分蘖也随水分胁迫的加剧而减少,MD 和 SD 分别比 CK 减少 14.29% 和 42.86%,差异显著。最终分蘖成穗率 SD (71%) > MD (69%) > CK (47%),即随着水分胁迫的加剧,冬小麦春季分蘖数减少,但成穗率升高,冬小麦通过减少无效春季分蘖的发育、降低物质消耗适应水分胁迫。

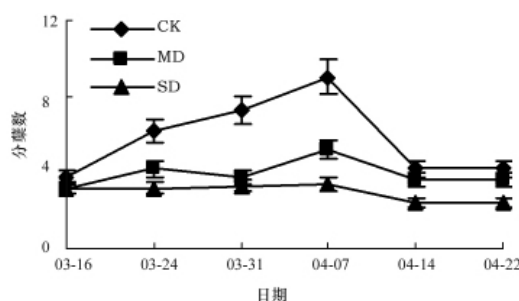


图 1 冬小麦春季分蘖对水分胁迫的响应

Fig. 1 Response of winter wheat spring tiller to water stress

2.2 冬小麦叶面积对水分胁迫的响应

由图 2 可知,冬小麦单叶面积受水分胁迫影响显著,叶面

积增大或减小因叶位及水分胁迫程度而有所差异。由图 2(a) 得出,第 IV 叶叶面积不同时期,表现为 MD>CK>SD 的趋势,差异显著;叶片停止增大后,第 IV 叶叶面积 MD 与 CK 无显著差异,SD 则显著减小,降低幅度达 34.82%。旗叶(第 VII 叶)叶面积三者差异不显著,SD 略小于其他处理。水分胁迫下,叶片长度减小幅度大于叶片宽度。第 IV 叶叶长 MD、SD 分别比 CK 减少 3.45%、24.64%,而叶宽差异不显著(图 2(b))。春季水分胁迫通过降低叶片长度来减小春季叶片面积(图 2(c)),但对旗叶面积影响较小。

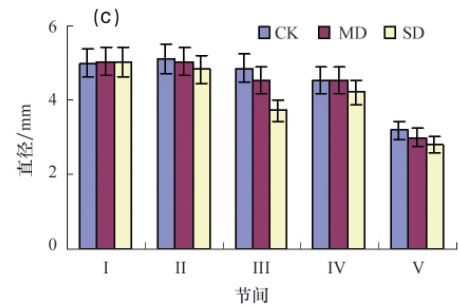
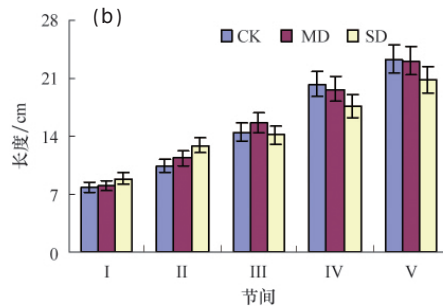
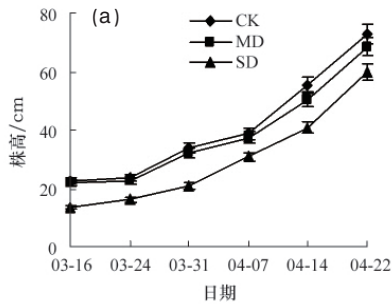


图 3 冬小麦株高及茎节对水分胁迫的响应

Fig. 3 Response of winter wheat height and diameter of stem to water stress

径对水分胁迫响应随节间位置上升而逐渐显著,第 I 节间无差异,第 II、III、V 节间直径差异显著(图 3(c))。

2.4 冬小麦根对水分胁迫的响应

根系是吸收水分的器官,由图 4 可知,0—30cm 土层内冬小麦根系长度表现 CK>SD>MD,重度水分胁迫下根系较中度水分胁迫长。次生根数目则呈现 CK>MD>SD 趋势,差异程度随生育期延迟而增大。返青期(3月16日)的 CK 与 MD、拔节期(3月24日)的 MD 与 SD 差异均未达到显著水

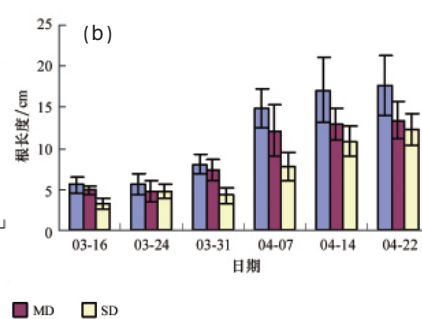
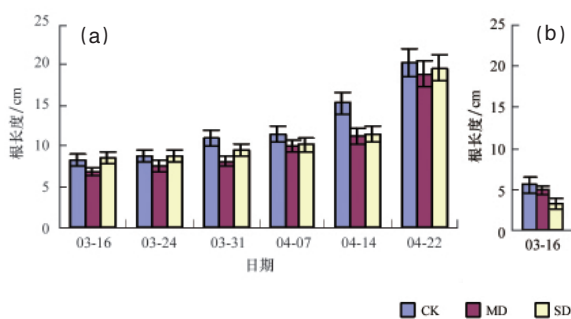


图 4 冬小麦根系对水分胁迫的响应

Fig. 4 Response of winter wheat root to water stress

由表 1 显示,各处理地上冠部与地下根部鲜重呈现相同趋势,各时期 CK 鲜重最大,MD 次之,SD 最小;MD 比 CK 低 16.19%—44.04%,SD 比 CK 低 30.30%—75.18%,SD 比 MD 低 43.95%—69.21%;SD 与 CK、MD 差异显著。干物质积累与鲜重趋势一致。各处理器官含水量随水分胁迫加剧而降低;地上冠部含水量高于地下根部。

2.3 冬小麦株高对水分胁迫的响应

由图 3(a)可知,冬小麦小麦 20 的株高在水分胁迫下降低,降低幅度随胁迫加剧而增大,MD、SD 分别比 CK 降低 6.04%和 18.27%,差异显著。不同节间对水分胁迫响应不同。第 I 节间、第 II 节间长度随水分胁迫加剧而呈增长趋势,两节间 MD、SD 分别比 CK 增长 0.76%、12.38%和 9.04%、23.84%。第 IV 节间和第 V 节间则表现相反趋势,两节间 MD、SD 分别比 CK 缩短 2.96%、13.31%和 0.86%、10.73%,MD 降低不显著,SD 降低显著。第 III 节间则表现 MD>CK>SD(图 3(b))。节间直

平;自拔节中后期(4月7日)开始,各处理间差异显著,MD、SD 分别比 CK 降低 18.49%—24.38%和 31.09%—47.89%。

2.5 冬小麦物质积累对水分胁迫的响应

由图 5 可知,在拔节中期(4月14日)之前,各处理根冠比表现为 SD>MD>CK,处理间差异显著;之后,随着冬小麦生长发育,各处理间差异逐渐减小;挑旗期以后,表现为 CK>MD>SD。随生育期推进,SD 根冠比变化幅度最大,变化范围在 0.10—0.21 之间,CK 变化范围最小,为 0.05—0.14 之间。

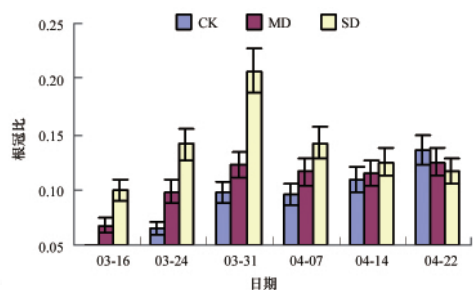


图 5 冬小麦根冠比对水分胁迫的响应

Fig. 5 Response of winter wheat root-to-shoot ratio to water stress

3 讨论

3.1 冬小麦春季分蘖对水分胁迫的响应

冬小麦分蘖的数量、生长和成穗对小麦群体结构和产量的形成具有重要意义^[8]。返青期至开花前分蘖数目随水分胁迫的加剧而减少,与作者前期研究结果一致^[9]。小麦分蘖两极分化后,分为成穗的有效分蘖和不抽穗的无效分蘖。分蘖成

表 1 冬小麦物质积累对水分胁迫的响应

Table 1 Response of winter wheat matter accumulation to water stress

项目	处理	3月16日	3月24日	3月31日	4月7日	4月14日	4月22日	
地上部	鲜重 /g	CK	5.21±0.75	5.29±1.47	9.06±2.08	13.05±2.05	17.62±3.16	41.65±6.48
		MD	3.70±0.43	2.96±1.15	7.60±2.11	10.65±3.15	17.47±2.72	32.03±4.45
		SD	1.29±0.27	1.66±0.35	2.34±0.75	4.48±1.25	8.29±2.52	29.03±6.78
	干重 /g	CK	0.89±0.11	0.94±0.25	1.54±0.35	2.84±0.51	3.14±0.82	8.01±1.78
		MD	0.66±0.10	0.55±0.22	1.28±0.40	2.05±0.67	2.90±0.62	5.64±0.99
		SD	0.26±0.04	0.36±0.08	0.49±0.14	0.82±0.22	1.56±0.49	5.26±1.11
	含水量 /%	CK	83.01±0.97	82.22±0.47	82.98±0.25	81.58±0.53	83.86±2.26	80.97±3.04
		MD	82.28±0.68	81.47±0.45	83.17±0.83	80.73±0.69	83.61±0.488	82.41±1.71
		SD	79.87±1.33	78.52±0.99	78.82±1.19	81.64±0.29	80.16±0.50	79.93±0.34
地下部	鲜重 /g	CK	0.19±0.03	0.26±0.12	0.54±0.25	0.87±0.35	1.32±0.30	4.96±0.74
		MD	0.20±0.07	0.19±0.08	0.60±0.13	0.87±0.30	0.90±0.25	4.93±0.70
		SD	0.11±0.04	0.17±0.10	0.38±0.18	0.61±0.15	0.84±0.32	2.77±0.64
	干重 /g	CK	0.04±0.01	0.06±0.02	0.15±0.06	0.27±0.12	0.34±0.12	1.09±0.48
		MD	0.04±0.01	0.05±0.03	0.16±0.03	0.24±0.08	0.27±0.07	1.07±0.28
		SD	0.03±0.01	0.05±0.03	0.10±0.05	0.11±0.09	0.26±0.05	0.62±0.10
	含水量 /%	CK	77.84±2.17	76.46±3.82	76.46±3.82	73.93±2.61	78.88±2.64	75.61±7.98
		MD	76.39±7.90	71.60±2.08	71.60±2.08	75.23±1.84	72.54±2.48	73.49±2.25
		SD	74.09±3.42	68.90±4.75	68.90±4.75	71.88±4.211	68.97±2.474	72.58±3.285

穗比例因植株状况及生长环境而产生差异。严重干旱下春季分蘖几乎不增加,但其已发育分蘖成穗率达71%。水分胁迫下,分蘖的降低,无效分蘖减少程度高于有效分蘖。

3.2 冬小麦叶对水分胁迫的响应

叶片是进行光合、呼吸和蒸腾作用的重要器官,对产量形成具有作用,叶片的大小对作物产量的也有显著影响^[9]。本文结果显示,冬小麦春生叶片受水分胁迫影响显著,叶面积随胁迫加剧而减小;旗叶面积则变化不显著。小麦叶面积的减小主要是叶片长度的减小导致。原因是在水分胁迫下,由于体内水分缺失,细胞分裂受阻,叶片生长缓慢有关。

3.3 冬小麦茎对水分胁迫的响应

株高是冬小麦形成产量的基础,与小麦产量及抗性密切相关^[1]。水分胁迫能显著抑制小麦株高的增长,随胁迫程度加剧,株高降低程度增加。水分胁迫降低了第IV、V节间长度,却增加了第I、II节间长度。各节间直径对水分胁迫表现一致,均随水分胁迫的加剧而减小。

3.4 冬小麦根对水分胁迫的响应

作物根系生长受水分影响较大。干旱胁迫下,次生根的发生被抑制,数目减少。在返青一拔节期,干旱胁迫下根系长度在一定范围内增加,水分胁迫使得有限的水分和营养向根系运输,促进根系的生长,增强抵御干旱的能力。进入拔节期后,地上部生长迅速,水分胁迫下根系发生受限程度增大,次生根数目显著减少。根密度的减少,避免了因密度增加对土壤中水分吸收速率较快,使土壤变干而导致根系死亡。

3.5 冬小麦物质积累对水分胁迫的响应

作物生长发育与土壤水分状况密切相关,物质在根、冠间分配也受水分影响。水分胁迫下,根、冠间物质分配模式发生改变^[2],表现出竞争关系^[11]。冬小麦根、冠鲜重与干重均随水分胁迫加剧而减小;在根、冠鲜重与干重下降的同时根冠比增加,且随水分胁迫加剧根冠比变化范围增大。水分胁迫下冬小麦水分和营养向根系分配增加,促进根系生长,增强抵御干旱的能力,与前人研究结果一致^[15]。根、冠含水量对水分胁迫反应不敏感,植株通过降低生长量来维持一定的水分含量,以适应干旱缺水环境。

4 结论

水分胁迫下,冬小麦叶面积、株高和物质累积量等均减小,生长过程受阻。冬小麦通过减少春季无效分蘖来提高有限水分的利用效率。叶面积变化主要由长度的减小引起,且对旗叶影响程度低于低位叶;株高的降低主要是第IV、第V高位节间长度的降低导致,第I、第II低位节间反而有所增长;次生根发生减少,通过减少根密度及增加根长适应干旱;物质积累因水分胁迫而受阻,且物质向根系的分配增加,根冠比增大。

参考文献 (References)

- [1] 万富世. 新世纪中国的小麦及其发展对策[C]/陈生斗. 中国小麦育种与产业化进展. 北京: 中国农业出版社, 2002: 3-6.

- Wan Fushi. Wheat and countermeasures to its further development of China of the new age[C]/Chen Shengdou. Breed of wheat and the industrialization progress of China. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 3-6.
- [2] 王志强, 梁威威, 范雯雯, 等. 不同土壤肥力下冬小麦春季干旱的复水补偿效应[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1628-1636.
- Wang Zhiqiang, Liang Weiwei, Fan Wenwen, et al. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(8): 1628-1636.
- [3] 许海霞, 李伟, 程西永, 等. 干旱胁迫对小麦农艺性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(3): 125-129.
- Xu Haixia, Li Wei, Cheng Xiyong, et al. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(3): 125-129.
- [4] 丛建鹏, 李宁, 许映军, 等. 干旱胁迫下冬小麦产量结构与生长、生理、光谱指标的关系[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 67-71.
- Cong Jian'ou, Li Ning, Xu Yingjun, et al. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(1): 67-71.
- [5] Zhang X Y, Chen S Y, Sun H Y, et al. Dry matter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat[J]. *Irrig Sci*, 2008, 27(1): 1-10.
- [6] Du T S, Kang S Z, Sun J S, et al. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(1): 66-74.
- [7] 方文松, 刘荣花, 马志红, 等. 河南省冬小麦干旱评估指标初探 [J]. 气象与环境科学, 2008, 31(3): 12-14.
- Fang Wensong, Liu Ronghua, Ma Zhihong, et al. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2008, 31(3): 12-14.
- [8] 郑彩霞, 张富仓, 张志亮, 等. 限量灌溉和施磷对冬小麦生长及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(2): 116-120.
- Zheng Caixia, Zhang Fucang, Zhang Zhiliang, et al. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(2): 116-120.
- [9] 张永平, 张英华, 王志敏. 不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1312-1322.
- Zhang Yongping, Zhang Yinghua, Wang Zhimin. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(5): 1312-1322.
- [10] 郝树荣, 郭相平, 王为木, 等. 水分胁迫后复水对水稻叶面积的补偿效应[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(4): 18-21.
- Hao Shurong, Guo Xiangping, Wang Weimu, et al. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2005, 24(4): 18-21.
- [11] 葛体达, 隋方功, 白莉萍, 等. 不同土壤水分对玉米光合特性和产量的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2005, 23(2): 143-147.
- Ge Tida, Sui Fanggong, Bai Li ping, et al. *Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science Edition*, 2005, 23(2): 143-147.
- [12] Magnani F, Mencuccini M, Grace J. Age-related decline in stand productivity: The role of structural acclimation under hydraulic constraints [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2000, 23: 251-263.
- [13] Hébert Y, Guingo E, Loudet O. The response of root/shoot partitioning and root morphology to light reduction in maize genotypes [J]. *Crop Science*, 2001, 41(2): 363-371.

(责任编辑 吴晓丽)

· 学术动态 ·



“第二届中国药理学会补益药药理 专业委员会学术研讨会”征文

“第二届中国药理学会补益药药理专业委员会学术研讨会”将于2012年8月26—28日在河北省承德市召开。本次大会由中国药理学会补益药药理专业委员会主办。

征稿范围:(1) 补益药(含具有补益功效的保健品)有效物质基础分析;(2) 补益药(含具有补益功效的保健品)有效物质活性分析;(3) 如何正确使用补益药及具有补益功效的保健品;(4) 以补益作用为主的优良保健品功效分析;(5) 其他与补益药相关领域的研究。

论文截稿日期:2012年7月30日。

联系电话:0314-2291141。

电子信箱:tonic2011@126.com。

会议网站:http://www.cnphars.org/view.asp?ar_id=539&anclassid=7&nclassid。