应用与环境生物学报 2009, **15**(5): 602~605
Chin J Appl Environ Biol=ISSN 1006-687X
2009-10-25
DOI: 10.3724/SP.J.1145.2009.00602

铬胁迫下不同品种小麦萌发和内源激素的变化*

张黛静 姜丽娜 邵 云 柴宝玲 李春喜**
（河南师范大学生命科学学院 新乡 453007）

摘 要 采用$K_2(CrO_4)_3$溶液，设5个浓度，对3种不同抗性的小麦品种（新麦19、矮抗58和豫麦18）进行萌发期胁迫处理，研究了幼苗的发芽势、发芽率、根长、芽长及内源激素含量的变化. 结果表明：（1）随着铬浓度的增加，发芽势、发芽率和芽长均基本呈“先升后降”趋势；（2）同一浓度铬处理下，发芽率、发芽势和芽长从大到小的顺序依次为：新麦19、矮抗58 、豫麦18，根长从大到小的顺序为：豫麦18、新麦19 、矮抗58；（3）150 mg L^{-1}的铬胁迫下，IAA与ABA在小麦幼苗、幼根中含量降低，在籽粒中含量升高，其中新麦19籽粒和根芽中ABA含量均高于其他品种的；（4）不同浓度铬胁迫下，IAA/ABA值在新麦19中最低，变化幅度最小，新麦19表现出较强的抵抗铬胁迫能力. 图3 表1 参20

关键词 小麦；品种；铬胁迫；萌发；内源激素；抗性
CLC S512.101 : Q945.78

Variations in Germination and Endogenous Hormone Contents of Wheat Cultivars under Cr Stress*

ZHANG Daijing, JIANG Lina, SHAO Yun, CHAI Baoling & LI Chunxi**
(*College of Life Sciences, Henan Normal University*, Xinxiang 453007, Henan, China)

Abstract Chromium (Cr) affects the growth of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) badly. There are reports about the restrictive function of Cr to wheat growth and development. Understanding the mechanism of Cr resistance of wheat cultivars is of importance to wheat production and breeding. In this experiment, three wheat varieties Xinmai 19, Aikang 58 and Yumai 18 were used as experimental material. The seeds of each cultivar were water-cultivated at Cr concentrations of 0, 25, 50, 100, 150 mg L^{-1} to investigate the effect of Cr on germination energy, germination percentage, root length, shoot length and the endogenous hormones contents in roots and shoots at germination stage. The results showed: (1) With the increase in Cr concentration, the germination energy, germination percentage, root length and shoot length increased first and declined then; (2) Under the same Cr concentration treatment, the characteristics of germination energy, germination percentage and shoot length were found in an order: Xinmai 19 > Aikang 58 > Yumai 18, and the root length: Yumai 18 > Xinmai 19 > Aikang 58; (3) The treatment with 150 mg L^{-1} chromium caused the decrease in IAA and ABA contents in roots and shoots, and the increase in seeds. Compared with the other two wheat varieties, Xinmai 19 showed a higher ABA content in seeds, roots and shoots; (4) The ratios of IAA/ABA of Xinmai 19 were lower than those of the other two varieties under Cr stress. Xinmai 19 had a stronger ability to resist the Cr stress than the others. Fig 3, Tab 1, Ref 20

Keywords wheat; variety; chromium stress; germination; endogenous hormone; resistance
CLC S512.101 : Q945.78

全球重金属污染问题越来越受到关注[1]. 重金属元素铬（Cr）广泛存在于自然界中，随着在冶金、金属加工、电镀工业生产中的广泛应用，Cr带来的环境污染问题也日益突出. Cr污染破坏土壤生产性能，抑制作物生长，降低粮食产量[2~3]. 目前，有关Cr对作物毒害的研究主要集中在生长和生理生化指标方面，例如，Cr能影响植物的细胞结构，随Cr浓度增加叶绿素含量下降，活性氧含量增加[4~6]. 目前，植物内源激素对环境污染物胁迫的指示作用也逐渐引起重视. 已有研究表明，内源激素与植物抗逆性有关[7~9]. 脱落酸（ABA）是一种重要的植物激素，被称为是逆境的正信号[10]，对植物种子的发育和在植物对逆境条件的适应过程中起着重要的调控作用[11]. 生长素（IAA））与逆境胁迫关系的研究则相对较少. 王玮等认为，水分胁迫下IAA水平的提高可能与平衡ABA对生长的抑制有关[12].

我们选用3种不同抗性的河南主栽小麦品种矮抗58、新麦19和豫麦18，研究了不同浓度Cr污染下，小麦幼苗幼根、幼芽和籽粒3个部位的IAA和ABA两种激素含量及其比值的变化规律，并探讨了不同的小麦品种在Cr胁迫下萌发时两种激素含量的差异，以期为小麦健康、高产栽培提供理论基础和依据.

1 材料与方法

1.1 供试材料与试剂

供试小麦（*Triticum aestivum* L.）品种：矮抗58、新麦19和豫麦18. 3个小麦品种均为河南省主栽品种，分蘖力强，抗倒抗病性强. 矮抗58由河南省科技学院提供，新麦19和豫麦

收稿日期：2008-09-05 接受日期：2008-11-20
*国家“十一五”科技支撑计划项目（Nos. 2006BAD02A15, 2006BAK02A25）资助 Supported by the National “11th Five-year Plan” Science & Technology Project of China (Nos. 2006BAD02A15, 2006BAK02A25)
**通讯作者 Corresponding author (E-mail: 13703731637@sina.com)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

18由河南省农业科学院提供.

3供试试剂：30%的$K_2(CrO4)_3$水溶液，分析纯（AR.），购自天津天大化学试剂厂.

1.2 试验设计

幼苗采用水培方法：参照国家土壤环境质量二级标准（GB15618-1995）规定，将重金属Cr分别设0（对照，CK）、25、50、100和150 mg L^{-1}五个浓度梯度. 各小麦品种均选取完整、饱满、均一的种子，用0.1% $HgCl_2$表面消毒6 min，去离子水充分冲洗后，腹面朝下整齐摆放在铺有一层滤纸的12.5 cm的培养皿中，每皿100粒. 每皿加入20 mL各浓度梯度的重金属Cr溶液保持湿润，培养于(25±1) ℃全智能人工气候室（HP1000GS-B型）内，有效光量子密度为250 μmol m^{-2} s^{-1}，光暗周期为12h/12 h，昼夜温度为20 ℃/(18±1) ℃，相对湿度为75%±7%. 以后每天加10 mL蒸馏水保持湿润，每个处理设3个重复. 小麦籽粒萌发的d 3测发芽势，d 7测发芽率，同时测定根长、芽长以及内源IAA和ABA含量.

1.3 测定方法

1.3.1 种子活力和形态指标的测定　发芽率、发芽势：根据国家种子质量检测标准测定.

根长、芽长：每个处理随机抽取100株幼苗测其根长、芽长. 以100株的平均值计根长、芽长[12].

1.3.2 内源激素含量测定方法　激素测定参照何钟佩酶联免疫吸附法（ELISA）[13, 14]. 试剂盒由中国农业大学作物化学控制研究室提供.

试验结果用Excel和SPSS 11.5统计软件进行分析.

2 结果与分析

2.1 铬胁迫下小麦发芽指标的变化

由表1可知，在Cr作用下，3个小麦品种的籽粒萌发表现为“低促高抑”. 高浓度Cr（150 mg L^{-1}）处理下，3个小麦品种的发芽势均低于CK，其发芽率依次为CK的89.2%、91.2%和66.7%. 3个小麦品种的发芽率和发芽势与Cr浓度均为极显著负相关（相关系数见表1）. 150 mg L^{-1}的Cr浓度下，发芽势、发芽率从高到低依次为：新麦19、矮抗58、豫麦18.

2.2 铬胁迫下小麦根长、芽长的变化

与CK相比，在Cr的胁迫下，小麦幼根短粗弯曲，侧根丛生，呈明显的抑制畸形. 表1说明，Cr对小麦幼苗芽长、根长均有抑制作用，并与Cr浓度呈正比. 当Cr浓度达150 mg L^{-1}时，矮抗58、新麦19和豫麦18幼芽长分别为CK的62.55%、61.04%和53.4%，幼根长分别为CK的63.91%、41.04%和24.4%，说明高浓度的Cr对幼根的抑制作用大于幼芽. 相同浓度Cr溶液处理下，新麦19受抑作用最小，根长表现尤为突出.

2.3 铬胁迫下小麦内源激素的变化

水培实验结果表明，不同的小麦品种，在一定浓度的重金属Cr胁迫下，内源激素含量表现出不同的变化规律.

2.3.1 生长素（IAA）　矮抗58和新麦19小麦幼根的IAA（图1），在不同浓度Cr处理下表现出“低促高抑”的变化. 其IAA含量在Cr浓度为25、50、mg L^{-1}时高于CK，当Cr浓度继续升高，IAA含量低于CK. 豫麦18根中IAA含量随Cr浓度升高而降低，其IAA含量与Cr浓度之间表现出显著的负相关（$R_{豫麦18}$ = −0.911**）. 当Cr浓度为150 mg L^{-1}时，3个品种幼根IAA含量高低依次为：矮抗58＞新麦19＞豫麦18. 幼芽IAA变化与幼根相似，但IAA含量高于幼根. 当Cr浓度为150 mg L^{-1}时，不同小麦品种幼芽IAA含量从高到低依次为：新麦19、矮抗58、豫麦18. 矮抗58、新麦19和豫麦18幼芽IAA含量与Cr浓度间均呈现极显著的负相关，相关系数依次为−0.744**、−0.865**和−0.943**.

表1 铬胁迫对3个小麦品种萌发的影响及其显著性比较（LSD法）

Table 1 Effect of Cr stress on germination of wheat varieties and comparison of their significances (LSD method)

指标 Index	ρ(Cr)/ mg L^{-1}	矮抗58 Aikang 58	新麦19 Xinmai 19	豫麦18 Yumai 18
发芽率 Germination percentage	0	95.33±1.17 a	94.33±1.52 a	88 ±1.73 a
	25	97.00±1.00 a	97.33±0.57 a	77.6 ±4.04 ab
	50	91.67±1.17 ab	96.00±2.71 ab	81.00±5.56 b
	100	87.33±2.35 b	93.67±3.21 b	69.3±4.72 b
	150	85.00±7.00 b	86.00±9.84 b	58.6±2.08 c
	r	−0.7089**	−0.592*	−0.743**
发芽势 Germination energy	0	87.67±5.03 ab	86.00±1.73 ab	59.67±4.8 ac
	25	93.00±2.64 a	91.67±2.08 a	55.60±5.03 ac
	50	86.00±4.63 ab	90.67±3.21 a	54.50v2.02 ab
	100	73.33±3.05 bc	82.67±4.93 b	48.60±5.13 bc
	150	69.00±5.11 c	71.67±3.50 c	53.00±5.00 bc
	r	−0.818**	−0.739**	−0.743**
根长 Root length (l/cm)	0	5.43±1.11 a	4.59±1.07 b	5.83±0.72 a
	25	5.20±0.86 a	5.70±0.82 a	3.11±0.69 b
	50	5.02±0.57 a	5.39±1.01 a	4.15±0.43 c
	100	3.62±0.85 b	3.17±0.57 c	2.32±0.78 d
	150	2.23±0.76 c	2.93±0.74 d	1.42±0.53 e
	r	−0.736**	-0.579**	-0.981**
芽长 Shoot length (l/cm)	0	4.90±1.13 a	5.05±0.73a	6.37±0.87 a
	25	4.54±0.98 a	5.51± 0.42a	5.67±0.88 a
	50	5.28±0.51 b	4.63±0.82 b	6.02±0.94 b
	100	3.43±0.86 c	4.18±0.74 b	4.6±0.82 c
	150	2.99±0.74 c	3.16±0.67 c	3.74±0.43 d
	r	−0.621**	−0.603**	−0.957**

表中数据均为平均值，小写字母表示在α=0.05水平上差异达到显著

The data in the table are all mean values, and the small letters indicate the significance at 0.05 level.

由图1可知，籽粒中IAA含量与幼根和幼芽不同. 矮抗58在100 mg L^{-1}及以下的Cr溶液中高于CK，150 mg L^{-1} Cr胁迫下低于CK，新麦19中IAA含量则随着Cr浓度的升高而升高，在150 mg L^{-1}时达到最高值. 豫麦18籽粒中IAA在Cr浓度为150 mg L^{-1}时高达CK的213.08%.

2.3.2 脱落酸（ABA）　图2表示不同浓度Cr处理下3个品种小麦幼根、幼芽和籽粒中ABA的含量. 由图2可知，新麦19与矮抗58幼根中ABA含量随Cr浓度的升高而上升. 而豫麦18 ABA含量却为“先升后降”. 相关分析显示，矮抗58和新麦19幼根中ABA含量与Cr浓度间达到极显著的正相关（$R_{矮抗58}$ = 0.963**，$R_{新麦19}$ = 0.889**）. 幼芽中的ABA含量，新麦19 在Cr浓度为150 mg·L^{-1}时最高，而其他两个品种的ABA含量为Cr浓度为100 mg L^{-1}时最高. 籽粒在萌发d 7，矮抗58和豫麦18中ABA值低于相同Cr浓度下的新麦19. 相关分析，新麦19籽粒与Cr浓度之间表现出极显著的负相关（$R_{新麦19}$ = −0.645**），豫麦18与籽粒ABA含量达显著负相关（$R_{豫麦18}$ = −0.597*），矮抗58与籽粒ABA含量无显著相关关系. 说明不同品种不同部位ABA

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

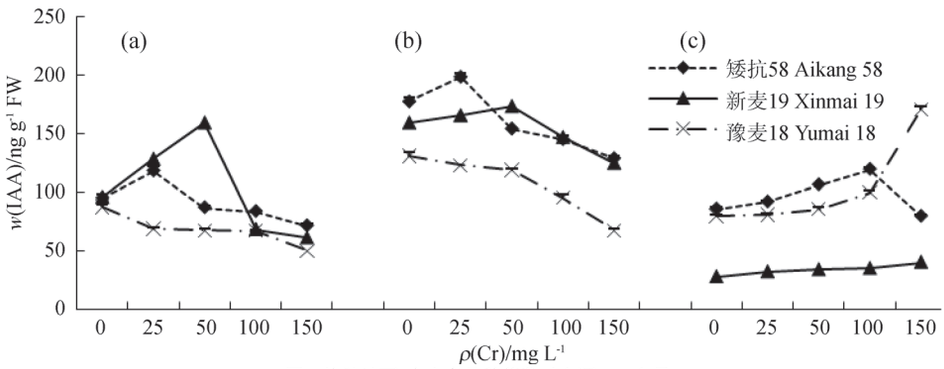

图1 铬胁迫下3个小麦品种萌发时内源IAA含量

Fig. 1 Effect of Cr stress on indogenous IAA content in wheat varieties

(a) 根 Root; (b) 芽 Shoot; (c) 籽粒 Seed. 下同 The same below

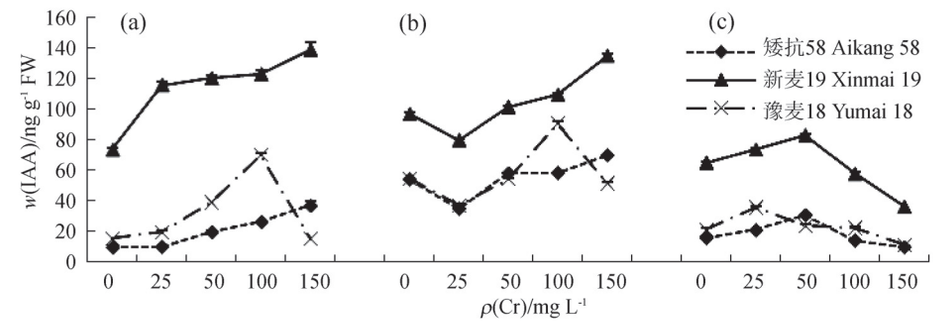

图2 铬胁迫下3个小麦品种萌发时内源ABA含量

Fig. 2 Effect of Cr stress on indogenous ABA content in wheat varieties

含量的变化存在差异.

2.3.3 **生长素/脱落酸**(IAA/ABA) 试验结果(图3)表明,各个浓度幼根和幼芽IAA/ABA值,矮抗58大于豫麦18大于新麦19(幼根中Cr为150 mg L^{-1}时豫麦18最高). 在Cr胁迫下,矮抗58和豫麦18内源激素变化剧烈. 而新麦19抗性较强,在不同的Cr浓度下,比值较为稳定. 籽粒中IAA/ABA值不同于以上规律,在新麦19中表现出较为稳定的低数值,而在矮抗58和新麦19中"先降后升". 分析原因,"先降"是在低浓度的Cr影响下,籽粒自身升高了IAA、ABA含量,但ABA合成能力更强,"后升"则是在萌发d7的籽粒中,籽粒中营养物质消耗殆尽,籽粒产生ABA的能力降低.

不同器官的IAA/ABA值,表明不同的品种对Cr存在差异. IAA /ABA值的变化取决于IAA含量的增加或ABA含量的降低,新麦19在不同Cr浓度、不同器官中,比值变幅最小.

3 结论与讨论

3.1 铬胁迫下几个小麦品种形态指标的变化

小麦种子的萌发是受重金属影响最早的生理过程. 本试验表明,在高浓度Cr(>50 mg L^{-1})影响下,几种小麦的发芽势、发芽率、根长、芽长等指标均降低,表明重金属Cr胁迫对小麦的籽粒萌发和幼苗生长有明显的毒害作用,与前人的研究结果一致[15].

高浓度Cr对幼根的抑制作用最明显,幼根变得短粗而且弯曲,侧根丛生,严重时仅有小的突起而不能继续生长,这样影响根对养分的吸收,从而影响整株植物,最终造成生物量下降. 其原因可能是植物的根是首先接触到培养液中重金属离子的部位,使幼根在Cr胁迫进程上早于芽,受胁迫的作用大于芽,从而受害更深[16, 17]. 幼芽受到高浓度Cr毒害现象也非常明显,表现为失绿、顶端卷曲,叶片萎缩. 对于上述形

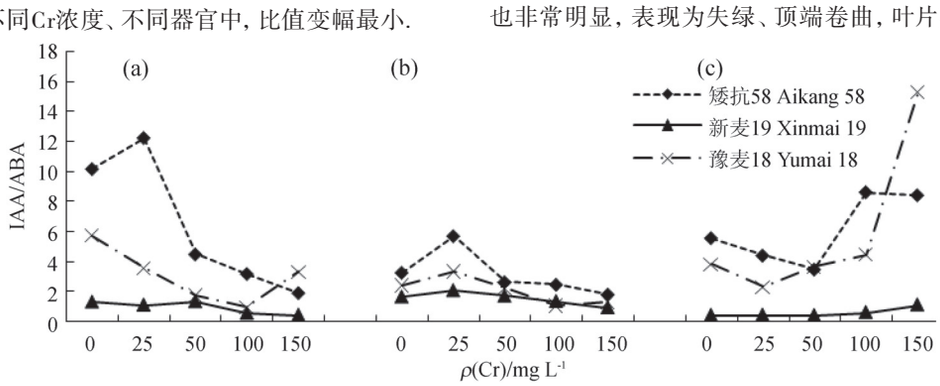

图3 铬胁迫下3个小麦品种萌发时内源IAA/ABA值

Fig. 3 Effect of Cr stress on indogenous IAA/ABA values of wheat varieties

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

态指标，新麦19在高浓度Cr的影响下，抗性优于其他品种，矮抗58次之，豫麦18最弱.

3.2 铬胁迫下小麦萌发时内源激素含量的变化

不同逆境条件下植物体内源激素含量会发生不同程度的变化，特别是内源ABA水平在逆境条件下通常会升高，表明ABA与植物的抗逆性具有密切的关系. 在植物的生长发育过程中，单一激素的含量有时难以反映问题的实质，多种激素的平衡对其生长起着调节作用. IAA/ABA值通常用来表示激素对生长的作用是促进还是抑制[12].

本试验中，3个品种3个部位的IAA含量高低依次为幼芽>幼根>籽粒，但是，当Cr为150 mg L^{-1}时，籽粒中IAA含量最高. 原因可能是在逆境条件下，籽粒的萌发缓慢，增加IAA是增强自身防御能力的措施之一.

经统计分析，在高浓度的Cr处理下，3种小麦的ABA含量与CK均达到极显著差异. 幼芽和籽粒中的ABA含量也表现出不同变化. ABA增加的原因可能是Cr胁迫引起生长旺盛部位ABA的合成[18]，新麦19受Cr胁迫后，能够合成较多的ABA，表现出较强的抵抗Cr胁迫的能力.

激素间的协调作用对植物的抗逆作用更为重要[19]. 本试验中，IAA与ABA比值在不同Cr浓度下发生明显变化，在适宜生长的范围内，当IAA/ABA值略高于CK值时表现促进幼苗生长，低于CK值时表现为生长受到抑制，而过高的比值则表明激素协调能力的降低. 这与盐胁迫下小麦内源激素变化的结果一致[20]. 因此可以认为，Cr胁迫下小麦幼苗生长受到抑制与不同激素的含量及其平衡关系有关. 本实验中，不同浓度Cr处理下，新麦19不同部位IAA/ABA变化幅度小，而矮抗58和豫麦18激素比值变化剧烈，且存在部位间的不平衡.

References

1 Beata M, Lliwa K, Kazimierz S. Influence of Cd(II), Cr(VI) and Fe(III) on early steps of deetiolation process in wheat: Fluorescence spectral changes of protochlorophyllide and newly formed chlorophyllide. *Agric Ecosyst & Environ*, 2005, **106**: 199~207

2 Kumar S, Joshi UN. Nitrogen metabolism as affected by hexavalent chromium in sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Environ & Exp Bot*, 2008, **64** (2): 135~144

3 Adel M, Zayed, Norman T. Chromium in the environment: Factors affecting biological remediation. *Plant & Soil*, 2003, **249**: 139~156

4 Nalini P, Chandra PS. Effect of hevy metals Co^{2+}, Ni^{2+} and Cd^{2+} on gowth and metabolism of cabbage. *Plant Sci*, 2002, **163**: 753~758

5 Sharma DC, Sharma C, Tripathi RD. Phototoxic lesions of chromium in maize. *Chemosphere*, 2003, **51** (1): 63~68

6 Valeria S, Marta I, Maria FP, Alessandra F, Anna S. Species-dependent chromium accumulation, lipid peroxidation, and glutathione levels in germinating kiwifruit pollen under Cr(III) and Cr(VI) stress. *Chemosphere*, 2008, **73** (7): 1042~1048

7 Li ZN (李智念), Wang GM (王光明), Zeng ZW (曾之文). The study on ABA in plants under drought stress. *Agric Res Arid Area* (干旱地区农业研究), 2003, **21** (2): 99~104

8 Pospíilová J. Participtation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. *Biol Plant*, 2003, **46** (4): 491~506

9 Hu YT, Kao CH. Role of abscisic acid in cadmium tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant Cell Environ*, 2003, **26** (6): 867~874

10 Wang BS (王宝山). Plant Physiology. Beijing, China (北京): Science Press, 2004. 171

11 Xu XM (许祥明), Ye HC (叶和春), Li GF (李国凤). Progress in research of plant tolertance to saline stress. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2000, **6** (4): 379~387

12 Wang W (王玮), Li DQ (李德全), Yang XH (杨兴洪), Zhou Q (邹琦), Zhou X (周燮), Yang J (杨军). Effects of water stress on level changes of IAA and ABA in root and shoot of different drought resistance wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2000, **26** (6): 737~742

13 Wu SR, Chen WF, Zhou X. Enzyme linked immunosorbent assay for endogenous plant hormones. *Plant Physiol*, 1998 (5): 53~57

14 Zhao J, Wang BM. Comparison between conventional indirect competitive enzyme- linked immunosorbent assay (icELISA) and simplified icELISA for small molecules. *Anal Chim Acta*, 2006, **571**: 79~85

15 Vajpayee RD, Tripathi MB, Singh SN. Chromium (VI) accumulation reduces chlorophyll biosynthesis, nitrate reductase activity and protein content in *Nymphaea alba* L. *Chemosphere*, 2000, **41** (7): 1075~1082

16 Ji YM (季玉鸣), Li ZG (李振国), Yu SW (余叔文). Stress ethylene production induced by cadmium in wheat seedlings and its relation to cadmium uptake and distribution. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 1989, **15** (2): 159~166

17 Abedin MD, Meharg AA. Relative toxicity of arsenite and arsenate on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant & Soil*, 2002, **243**: 57~66

18 Grabov A, Blatt MR. Co-ordination of signaling elements in guard cell ion channel control. *J Exp Bot*, 1998, **49**: 351~360

19 Xiao LT (萧浪涛), Wang SG (王三根). Plant Physiology. Beijing, China (北京): China Agriculture Press, 2003

20 Zhang M (张敏), Cai RG (蔡瑞国), Li HZ (李慧芝), Li JM (李建敏), Dai ZM (戴忠民), Wang ZL (王振林), Yi YP (尹燕枰). Responses of seedling growth and endogenous hormone contents in different wheat cultivars to salt stress. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2008, **28** (1): 310~320

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net