

盐胁迫环境下不同抗盐性小麦品种 幼苗长势和内源激素的变化

张 敏¹, 蔡瑞国¹, 李慧芝¹, 李建敏¹, 戴忠民^{1,2}, 王振林¹, 尹燕枰^{1,*}

(1. 山东农业大学农学院/农业部小麦栽培生理与遗传改良重点开放实验室/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018;

2. 德州学院, 山东德州 253023)

摘要:采用两种浓度 NaCl 溶液, 对不同抗盐性小麦品种德抗 961 (抗盐性强) 和泰山 9818 (抗盐性弱) 萌发期幼苗进行胁迫处理, 观察其幼苗长势和内源激素含量变化。结果表明, 盐胁迫抑制小麦幼苗生长, 抗盐性弱的泰山 9818 受抑制较重。苗、根 ABA 含量随盐胁迫浓度增加而提高, 泰山 9818 的增幅高于德抗 961。苗、根 IAA 含量随盐胁迫浓度增加而降低, 但德抗 961 的 IAA 含量高于泰山 9818, 说明盐胁迫下抗盐性强的品种具有较高 IAA 合成量。2 品种 GA₃ 含量变化因盐胁迫浓度而异。在低盐胁迫下抗盐性强的品种苗中 GA₃ 含量提高以适应盐胁迫利于苗的生长, 在高盐胁迫下 2 品种 GA₃ 含量降低。盐胁迫使苗中 ZR 含量增加, 且德抗 961 的苗中 ZR 含量高于泰山 9818, 而根中 ZR 含量则前者低, 说明盐胁迫下抗盐性强的品种可迅速将根部合成的 ZR 向苗中转移, 促进苗的生长。2 品种 IAA/ABA、GA₃/ABA 比值随盐胁迫浓度增加和时间延长而下降, 德抗 961 IAA/ABA 比值大于泰山 9818。在盐胁迫下, 抗盐性强的品种协调自身激素平衡的能力较强可能是其生长受抑制较小的重要原因。

关键词:盐胁迫; 小麦; 内源激素

文章编号: 1000-0933(2008)01-0310-11 中图分类号: Q142, Q945, Q948, S512 文献标识码: A

Responses of seedling growth and endogenous hormone contents in different wheat cultivars to salt stress

ZHANG Min¹, CAI Rui-Guo¹, LI Hui-Zhi¹, LI Jian-Min¹, DAI Zhong-Min^{1,2}, WANG Zhen-Lin¹, YIN Yan-Ping^{1,*}

1 Agronomy College, Shandong Agricultural University/Key Laboratory of Wheat Cultivation Physiology and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture/
State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, China

2 Dezhou University, Dezhou 253023, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0310 ~ 0320.

Abstract: Salt stress is a main factor restricting the growth and grain yield of wheat grown in the salinized soils. Understanding the mechanism of salt resistance of wheat cultivars is of importance to wheat production and breeding. The endogenous hormones contents and their balance have close link to growth and development in wheat plant. However, limited knowledge exists on the relationship between endogenous hormone and salt resistance of wheat subject to salt stress. The objective of this research, therefore, is to determine the responses of endogenous hormone contents and their balance to salt stress in two wheat cultivars contrasting in salt resistance. The results will help to recognize the mechanism of salt resistance and to offer valuable information in salt resistance breeding of wheat.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30571099); 山东省自然科学基金资助项目(Y2005D13)

收稿日期:2006-11-05; **修订日期:**2007-05-11

作者简介:张敏(1980~), 女, 山东聊城人, 硕士, 主要从事作物种子发育与生理研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ypyin@sdau.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30571099) and Natural Science Foundation of Shandong Province (No. Y2005D13)

Received date: 2006-11-05; **Accepted date:** 2007-05-11

Biography: ZHANG Min, Master, mainly engaged in the physiology of crop seed development.

The experiment was conducted with two wheat cultivars, DK961 (salt-resistant) and TS9818 (salt-sensitive). The seeds of each cultivar were water-cultivated in three salt concentrations, 0 (CK), 100 (S100) mmol/LNaCl, and 200 (S200) mmol/LNaCl. The seedlings of each treatment were sampled after having been cultivated for 5, 7, 9, 11, and 13 d, respectively, for determining the growth and endogenous hormone contents of seedlings. The results showed that salt stress had obviously inhibitory effects on seedlings growth, especially, of TS9818. ABA contents of the seedlings increased with salt concentration and the increased magnitude due to salt stress in TS9818 were markedly higher than those in DK961. Salt stress caused the decrease of IAA contents of seedlings in both cultivars. However, the comparison of two cultivars showed that IAA contents of seedlings in DK961 were over those in TS9818 under salt stress environment, indicating that the salt-resistant cultivar has a higher potential to synthesize IAA for adapting salt stress. GA_3 content of seedlings of both cultivars varied with salt concentration. The increased GA_3 contents in shoots of salt-resistant cultivar DK961 was found under the lower salt stress of 100 mmol/LNaCl, which was beneficial to the seedling growth. However, the GA_3 contents declined significantly in seedlings of both cultivars grown in the higher salt stress of 200 mmol/LNaCl. The contents ZR in shoot of both cultivars rose as the salt concentration increased, and ZR content in shoot of DK961 was higher than that in TS9818, and the latter had a higher ZR content in root than the former. Based on the results above, we considered that salt stress stimulated the translation of ZR from root to shoot for maintaining seedling growth under salt stress environment. The ratios of IAA to ABA and GA_3 to ABA showed dropping trend with increased salt concentration and the prolongation of salt stress duration in both cultivars. However, the ratios of IAA to ABA in DK961 were higher than those in TS9818 subject to salt stress. Those results mentioned above suggested that salt resistant cultivar has stronger ability to regulate endogenous hormone contents of seedlings for adapting salt stress, which was an important reason why seedlings growth of salt resistant cultivar was less inhibited than salt-sensitive cultivar by salt stress.

Key Words: salt stress; wheat; endogenous hormone

我国有 $2.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 盐荒地和 $6.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 盐渍化土壤, 约占可耕地面积的 25%^[1]。盐胁迫是制约作物生产的重要因素。小麦是我国主要粮食作物, 也是盐渍化土壤重要的栽培作物之一。探明小麦抗盐机理对小麦抗盐育种与栽培均有重要意义。

抗盐性与激素的关系是植物抗盐机理研究的重要内容。脱落酸(ABA)被视为逆境激素, ABA 与植物抗盐性关系是植物抗盐生理研究的热点。研究表明, 植物在盐胁迫下表现出不同程度的 ABA 积累^[2~5]。ABA 是盐胁迫下最初调节过程的信号物质, 是对盐胁迫的适应性反应^[6], 它可以提高植物的抗盐性。在水分胁迫条件下, 小麦幼苗根、芽中 ABA 含量大量增加, 抗旱性强的品种其根、芽 ABA 含量对水分胁迫的反应比抗旱性弱的品种反应快^[7]。

在盐胁迫条件下, 植物体内的细胞分裂素(CTK)水平降低, 不同抗盐性品种降低的时间和幅度不同^[8]。Kuiper 等^[9]研究了 65 mmol/LNaCl 胁迫下抗盐性不同的大麦和小麦品种内源 CTK 含量的变化, 发现异戊烯基腺苷(IPAS)的变化与玉米素(Z)及玉米素核苷(ZR)相似, 盐胁迫使抗盐品种的 Z 和 ZR 含量迅速降低, 而盐敏感品种至少在 10d 内其 Z、ZR 含量无显著变化。朱速松等^[10]研究表明, 在 200 mmol/L NaCl 胁迫下抗盐性强的品种根尖的 IPAS 含量较高, 维持了一段时间后下降; 抗盐性弱的品种其根尖 IPAS 含量一开始就迅速下降。关于植物内源赤霉素(GA_3)与植物抗盐性关系的报道较少, 有研究认为盐胁迫下植物内源 GA_3 活性下降, 原因是盐胁迫降低了植物根系合成和转化 GA_3 的能力^[11]。关于盐胁迫与生长素的关系则研究较少。

在植物激素对盐胁迫的反应中, 往往不是一种激素, 而是多种激素协同变化, 即激素的平衡效应。关于小麦激素与抗盐性关系的研究多在单一激素的生理效应上^[12], 且多为短时间盐胁迫后激素含量的变化。而关于盐胁迫环境下小麦种子萌发过程中激素平衡关系的协同变化则了解尚少。

本研究选用抗盐性明显不同的两个小麦品种, 从种子置床培养即开始盐胁迫处理, 研究小麦幼苗生长发

育过程中根和苗中 IAA、ABA、GA₃ 和 ZR 的含量及其比值对盐胁迫的响应,探讨抗盐性不同的小麦品种内源 IAA、ABA、GA₃ 和 ZR 含量的差异,以期丰富小麦抗盐生理的内容,为小麦抗盐育种提供选择依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用抗盐性不同的两个小麦 (*Triticum aestivum* L.) 品种德抗 961 (DK961, 抗盐性强) 和泰山 9818 (TS9818, 普通小麦品种)。德抗 961 经耐盐鉴定,耐盐性达到一级^[13]。

1.2 材料培养与处理

幼苗采用水培方法,具体如下:精选均匀一致的小麦种子,用 0.1% HgCl₂ 消毒 5min,经清水冲洗,在 25℃ 的培养箱里催芽 24 h,后将种子置于培养床(有支架的尼龙丝网;孔径 0.25 cm,架于面积 34cm × 23 cm,深 8 cm 的聚乙烯盒内,)网下是水培液,与网面平,根可从网孔扎入下面的液体中。盐溶液浓度分别为 0 (CK)、100 mmol/L NaCl (S100) 和 200 mmol/L NaCl (S200)。所有处理置于光照培养箱中,白天为 16 h, 25℃,夜晚为 8 h, 18℃。每天增补蒸发与吸收掉的水培液,每 4d 换一次水培液保证盐浓度不变和充足的氧气。分别于置床后的 5、7、9、11 和 13 d 取样。用于激素测定的样品经液氮速冻后,置于 -70℃ 冰箱中保存备用。另取 30 株小麦测定苗高、根长及其鲜重。

1.3 测定项目与方法

激素测定参照何钟佩酶联免疫吸附法 (ELISA)^[14]。试剂盒由中国农业大学作物化学控制研究室提供。样品处理方法为,将小麦样品 1.0g 于液氮中速冻,用 80% 甲醇溶液(含二叔丁基对甲苯酚(BHT) 1 mmol·L⁻¹)匀浆,4℃ 提取 8 h, 4 000 r/min 离心 15 min,沉淀用 80% 甲醇重复提取 3 次,合并上清液,氮气吹干, PBSTG 溶解定容,用于 ELISA 测定。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对小麦幼苗长势的影响

结果(表 1、图 1)表明,盐胁迫下 2 品种的苗高、根长、苗鲜重和根鲜重显著降低。小麦的苗、根对不同盐浓度胁迫的响应程度不同。低盐胁迫(S100)对苗高的抑制作用大于对根长的抑制作用,高盐胁迫(S200)对根长的抑制作用大于对苗高的抑制作用。S100 和 S200 盐胁迫处理后小麦根、苗鲜重均显著降低,且以根鲜重的降低幅度较大。品种间比较可见,盐胁迫对 TS9818 苗高、根长的影响大于 DK961。在低盐胁迫条件下 2 品种根鲜重的降低幅度相近。在高盐胁迫条件下 DK961 根、苗鲜重的降低幅度显著低于 TS9818,表明 DK961 耐高盐胁迫的能力显著高于 TS9818。

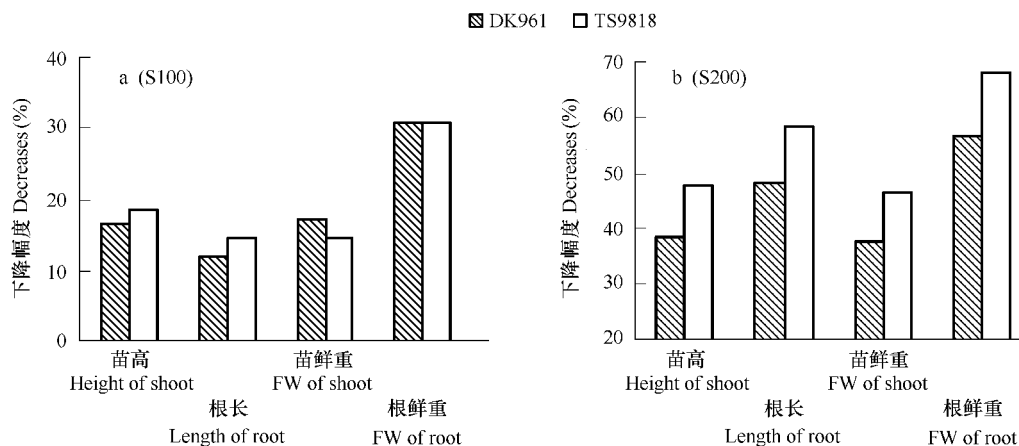


图 1 盐胁迫条件下小麦苗、根长势的降低幅度

Fig. 1 The decreases due to salt stress in the shoot and root growth as compared to control

表 1 盐胁迫对小麦苗和根长势的影响

Table 1 Effects of salt stress on the shoot and root growth

形态指标 Morphological trait	处理 Treatment	盐胁迫天数 Days after salt stress (d)				
		5	7	9	11	13
苗高 Height of shoot (cm)	DK961-CK	9.61 a	12.82 a	13.88 a	17.51 a	22.56 a
	DK961-100mmol/L	7.78 b	11.32 b	12.68 b	13.98 b	17.93 b
	DK961-200mmol/L	4.76 c	8.56 c	10.99 c	11.17 c	11.57 c
	TS9818-CK	7.79 a	10.61 a	12.05 a	13.90 a	17.37 a
	TS9818-100mmol/L	5.56 b	8.04 b	10.51 b	11.73 b	14.20 b
	TS9818-200mmol/L	2.95 c	4.88 c	6.72 c	8.21 c	9.53 c
根长 Length of root (cm)	DK961-CK	7.26 a	10.48 a	13.75 a	17.42 a	20.80 a
	DK961-100mmol/L	6.09 b	9.90 a	12.72 a	14.66 b	17.99 b
	DK961-200mmol/L	4.15 c	5.91 b	7.17 b	8.88 c	9.96 c
	TS9818-CK	8.53 a	12.80 a	16.25 a	20.87 a	22.90 a
	TS9818-100mmol/L	6.31 b	11.00 b	13.30 b	17.25 b	21.69 a
	TS9818-200mmol/L	4.32 c	5.69 c	7.32 c	8.11 c	8.61 b
苗鲜重 FW of shoot (mg/seedling)	DK961-CK	64.11 a	91.43 a	116.41 a	138.19 a	167.52 a
	DK961-100mmol/L	52.29 b	74.44 b	96.56 b	118.08 b	136.98 b
	DK961-200mmol/L	32.06 c	56.07 c	76.56 c	93.67 c	102.24 c
	TS9818-CK	56.94 a	83.29 a	102.26 a	132.86 a	145.70 a
	TS9818-100mmol/L	41.17 b	65.32 b	87.06 b	120.45 b	132.09 b
	TS9818-200mmol/L	23.20 c	38.00 c	54.46 c	68.11 c	94.71 c
根鲜重 FW of root (mg/seedling)	DK961-CK	46.86 a	71.73 a	84.45 a	128.85 a	162.90 a
	DK961-100mmol/L	30.51 b	53.16 b	65.37 b	84.44 b	109.14 b
	DK961-200mmol/L	19.52 c	37.24 c	43.44 c	52.54 c	62.41 c
	TS9818-CK	53.79 a	95.40 a	113.11 a	173.49 a	192.32 a
	TS9818-100mmol/L	34.91 b	65.68 b	89.72 b	115.70 b	128.63 b
	TS9818-200mmol/L	16.33 c	31.25 c	39.92 c	55.39 c	58.29 c

同列标有不同字母的平均值间差异达 $P \leq 0.05$ 显著水平;下同 Means within a column followed by different letters are significantly different at $P \leq 0.05$; the same below

2.2 盐胁迫对小麦内源激素含量的影响

2.2.1 脱落酸(ABA)

图 2 表明,在 S100 盐胁迫下,2 品种根中 ABA 含量增加幅度较小,苗中 ABA 含量在 5~13 d 变化趋势与对照不一致,13 d 苗中 ABA 含量显著增加。在 S200 处理后,2 品种根、苗 ABA 含量显著增加($P \leq 0.05$),DK961 苗中 ABA 含量平均增幅为 1.6 倍,根为 3.1 倍,TS9818 则分别为 3.1 倍和 3.8 倍。可见,高浓度盐胁迫后,小麦品种 TS9818 植株体内 ABA 含量的增幅显著大于 DK961,且 2 品种根 ABA 含量的增幅大于苗。这说明抗盐性不同的品种根苗 ABA 表达量对盐胁迫的反应存在差异,抗盐性强的品种 ABA 增幅低于抗盐性弱的品种。在非盐胁迫条件下,在 5~13 d 间 2 品种苗的 ABA 含量变化相似,而根的变化趋势不同,这说明不同品种不同器官 ABA 含量的变化是有差异的。这种差异可能是导致 2 品种根、苗 ABA 表达量对盐胁迫反应差异的原因所在。

2.2.2 生长素(IAA)

关于盐胁迫下小麦 IAA 含量变化的研究相对较少。王伟等认为,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,是植物在逆境下激素的一种平衡调节。本研究(图 3)表明,低盐胁迫使 2 品种苗中 IAA 水平有所升高,而高盐胁迫时 5d 苗中 IAA 水平高于 CK 和 S100 盐胁迫处理,而 7d 后 IAA 水平下降,且低于对照和低盐胁迫处理。在 5~13d 盐胁迫中,不论是低盐还是高盐胁迫处理,DK961 苗中 IAA 含量比 TS9818 高。根中 IAA 水平变化与苗中略有不同,随盐胁迫时间延长,TS9818 IAA 含量呈下降趋势,而 DK961

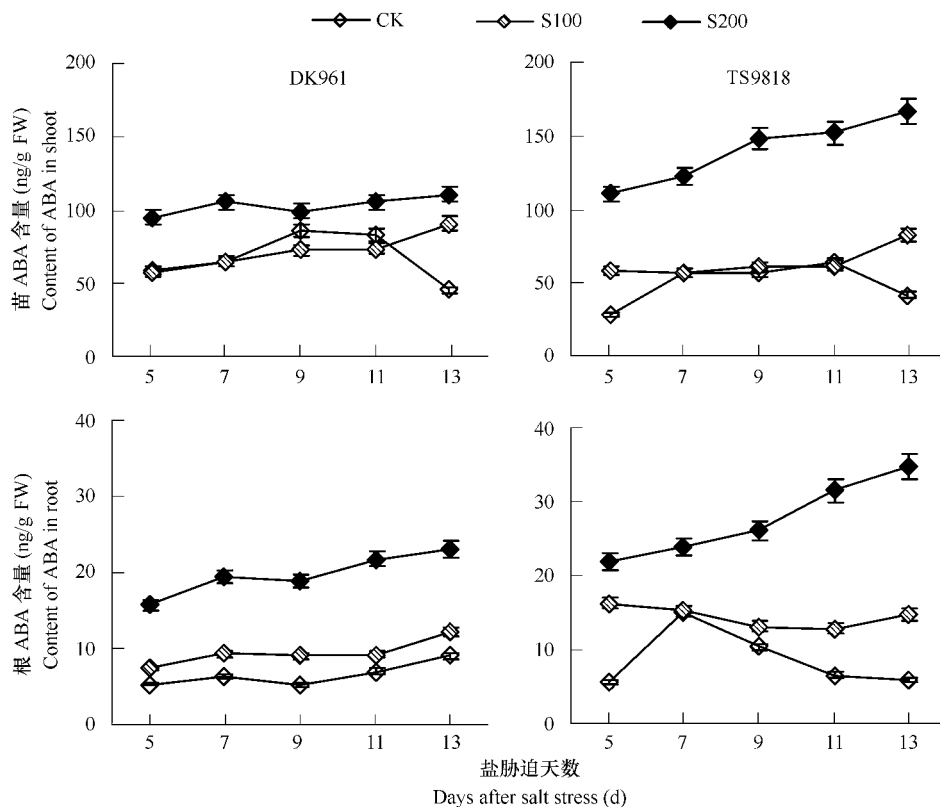


图2 盐胁迫对小麦苗、根 ABA 含量的影响

Fig. 2 Effects of salt stress on the ABA content in root and shoot of wheat

IAA 含量的变化不明显,且高于 TS9818。说明抗盐性强的小麦品种 DK961 比抗盐性弱的 TS9818 能合成更多的 IAA。较高水平的 IAA 有利于幼苗营养物质积累和生长,以平衡 ABA 对生长的抑制。可以认为,DK961 在盐胁迫下幼苗根长和苗高的下降幅度比 TS9818 低可能与此有关。

2.2.3 赤霉素(GA_3)

在非盐胁迫条件下,2 品种根、苗 GA_3 含量的变化呈单峰曲线,7 d 时为含量高峰(图 4)。盐胁迫处理使 2 品种根 GA_3 含量显著降低($P \leq 0.05$),苗中 GA_3 含量的变化则因品种和盐胁迫处理时间而异。低盐胁迫下,TS9818 苗中 GA_3 含量前 5 d 高于对照,随后降低到低于对照水平;DK961 苗中 GA_3 含量在 5~7 d 时显著高于对照,随后几天趋于对照。高盐胁迫下,TS9818 苗中 GA_3 含量显著降低;DK961 苗中 GA_3 含量 5 d 时高于对照,之后均显著低于对照。在低盐胁迫时,2 品种苗中 GA_3 含量在前几天都表现显著高于对照,尔后,随着盐胁迫时间的延长有降低趋势,TS9818 甚至显著低于对照。说明低盐胁迫可能促进了 GA_3 的合成,但随胁迫时间的延长,这种作用减弱。据此认为,在低盐胁迫条件下抗盐性强的品种通过提高苗中 GA_3 含量来适应盐胁迫以促进植株生长,而抗盐性弱的品种的调节能力差。在高盐胁迫条件下植株的这种适应能力降低,使苗的生长受到严重影响。

2.2.4 玉米素核苷(ZR)

2 品种苗中 ZR 含量随着盐胁迫浓度增加而显著提高(图 5, $P \leq 0.05$),而且随着盐胁迫时间的延长降低。2 品种根中 ZR 含量都表现先增后降的趋势,但是峰值出现的时间不同,总体来说,胁迫后期 ZR 含量比对照显著增加。2 品种比较可见,DK961 苗中 ZR 含量显著高于 TS9818,而根中 ZR 含量则相反。分析其原因,可能是 DK961 对盐胁迫反应敏感,可将根部合成的 ZR 迅速向苗中转移,以协调激素间的平衡促进幼苗细胞分裂和生长,而 TS9818 则反应迟缓。

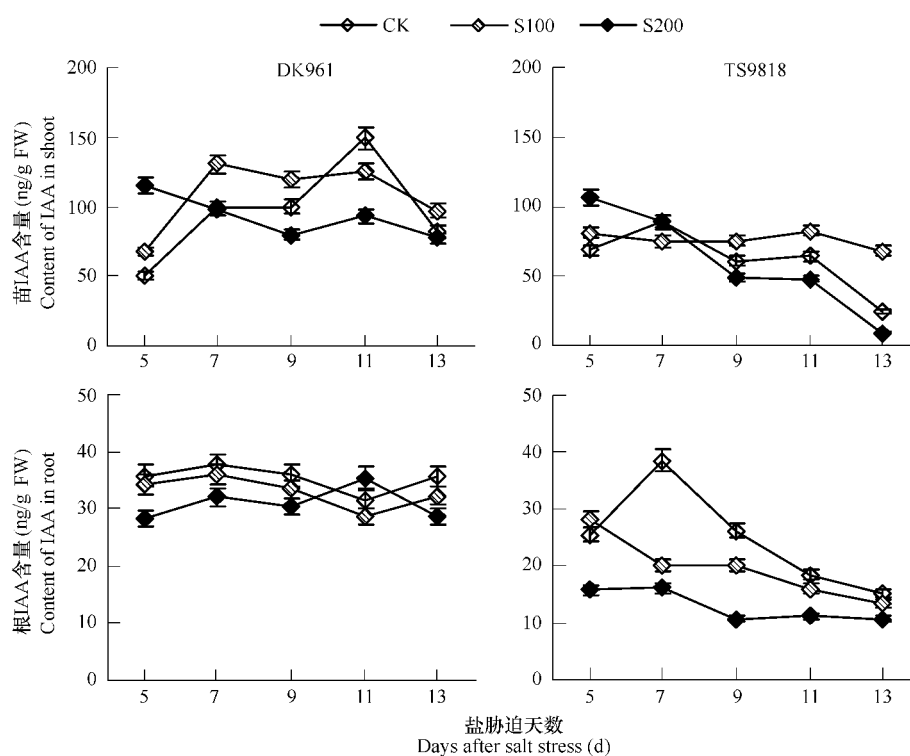


图3 盐胁迫对小麦苗、根 IAA 含量的影响

Fig. 3 Effects of salt stress on the IAA content in root and shoot of wheat

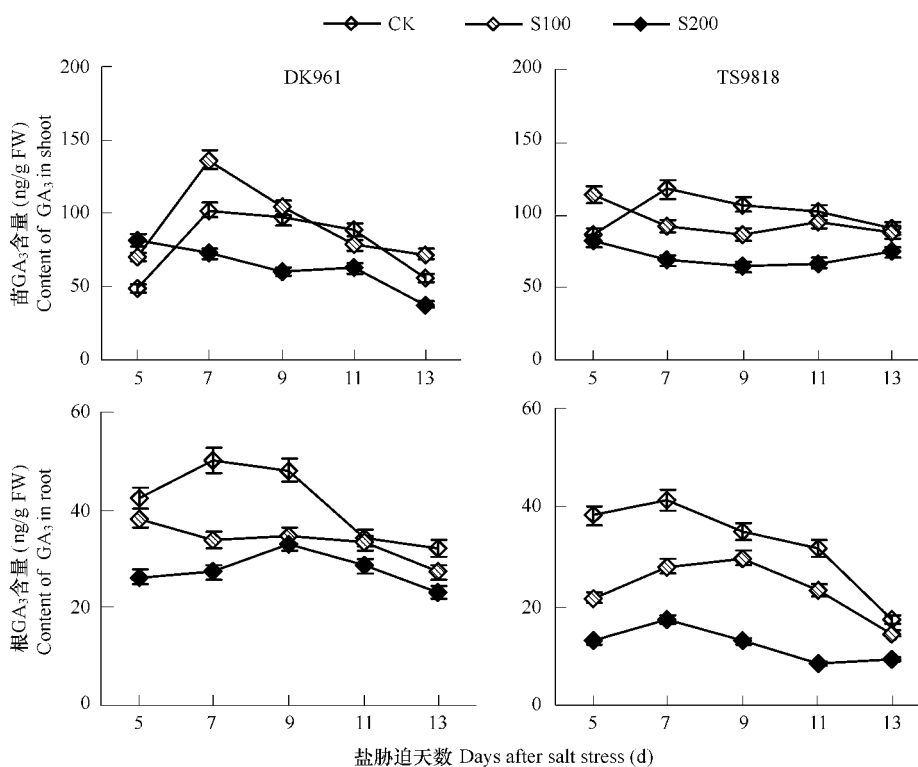


图4 盐胁迫对小麦苗、根 GA3 含量的影响

Fig. 4 Effects of salt stress on the GA3 content in root and shoot of wheat

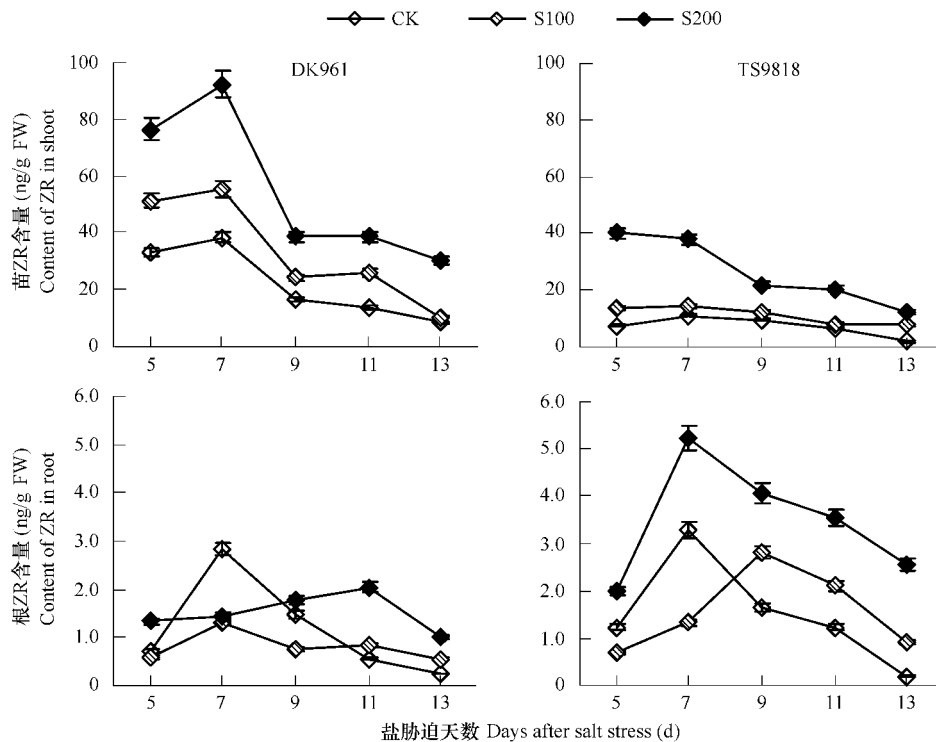


图5 盐胁迫对小麦苗和根 ZR 含量的影响

Fig. 5 Effects of salt stress on the ZR content in root and shoot of wheat

2.3 盐胁迫对小麦内源激素间比值的影响

2.3.1 IAA/ABA 比值

2 品种根的 IAA/ABA 比值随盐胁迫浓度增加和时间延长呈显著下降趋势($P \leq 0.05$),而且 DK961 根的 IAA/ABA 比值大于 TS9818。2 品种苗的 IAA/ABA 比值变化因不同盐胁迫处理而有区别,TS9818 在低盐胁迫 5~7 d 其比值小于对照,9~13 d 时则有增加趋势。高盐胁迫使 TS9818 苗的 IAA/ABA 比值比对照显著降低($P \leq 0.01$),且随盐胁迫时间延长呈明显下降趋势。DK961 在低盐胁迫时前 9 d IAA/ABA 比值高于对照,而后下降,这与 TS9818 相反,表明抗盐品种与普通品种对低盐胁迫的反应存在差异。高盐胁迫时,DK961 除 5d 的 IAA/ABA 比值大于对照外,其余各期均低于对照。不论是低盐还是高盐胁迫,DK961 IAA/ABA 比值在萌发前几天都呈增加趋势(图 6)。IAA/ABA 比值的变化取决于 IAA 含量的增加或 ABA 含量的降低。DK961 在萌发早期幼苗中含有较多的 IAA(图 3),利于幼苗生长,这可能是 DK961 与 TS9818 抗盐性差异的生理反应之一。

2.3.2 GA_3 /ABA 比值

盐胁迫使 2 品种根 GA_3 /ABA 比值显著降低(图 7, $P \leq 0.01$)。苗中 GA_3 /ABA 比值的变化 2 品种表现不同。TS9818 苗中 GA_3 /ABA 比值因盐胁迫显著降低。而 DK961 苗中 GA_3 /ABA 比值的变化与盐胁迫浓度有关,高盐胁迫(S200)使其显著下降,且随胁迫时间延长而持续降低。低盐(S100)胁迫下在 9 d 之前其比值高于对照,随后降低,这与 IAA/ABA 的变化相似。本结果说明, GA_3 /ABA 与 IAA/ABA 在对盐胁迫的反应上表现出相似特性。

2.3.3 ZR/ABA 比值

盐胁迫使 2 品种苗的 ZR/ABA 比值升高,随胁迫时间延长其比值降低(图 8)。2 品种比较可见,DK961 苗的 ZR/ABA 比值明显高于 TS9818。在萌发后的 5~9 d,两盐胁迫处理 DK961 根中 ZR/ABA 比值比对照显著降低,在 11d 后对照与盐胁迫处理之间无明显差异。TS9818 根中 ZR/ABA 比值在萌发 5d 时盐胁迫处理的

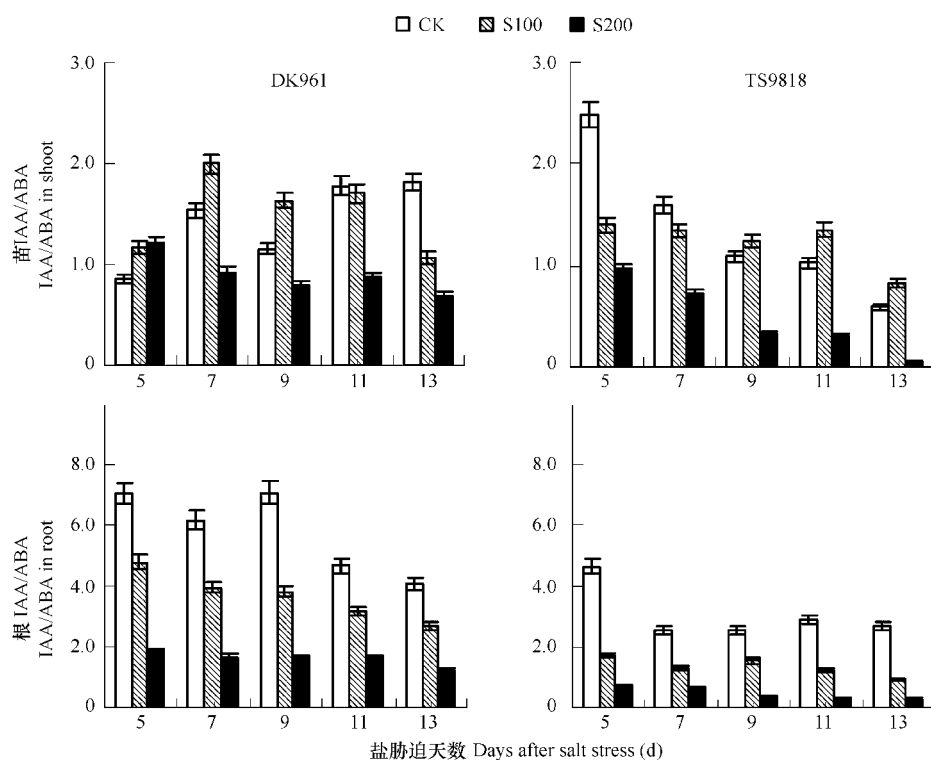
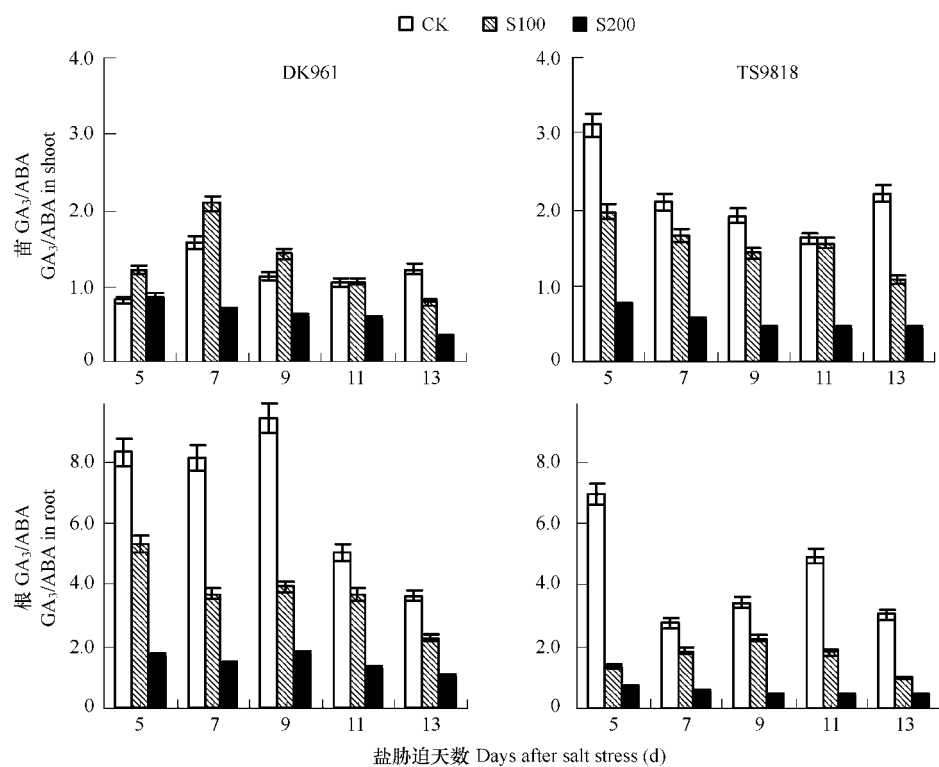


图6 盐胁迫对小麦苗、根 IAA/ABA 的影响

Fig. 6 Effects of salt stress on the IAA /ABA in root and shoot of wheat

图7 盐胁迫对小麦苗和根 GA₃/ABA 的影响Fig. 7 Effects of salt stress on the GA₃/ABA in root and shoot of wheat

显著降低,尔后变化不尽一致,但趋势是随盐胁迫浓度增加和时间延长而下降。盐胁迫下,DK961 根的 ZR/ABA 比值小于苗,这与根中 ZR 含量的变化趋势基本一致。

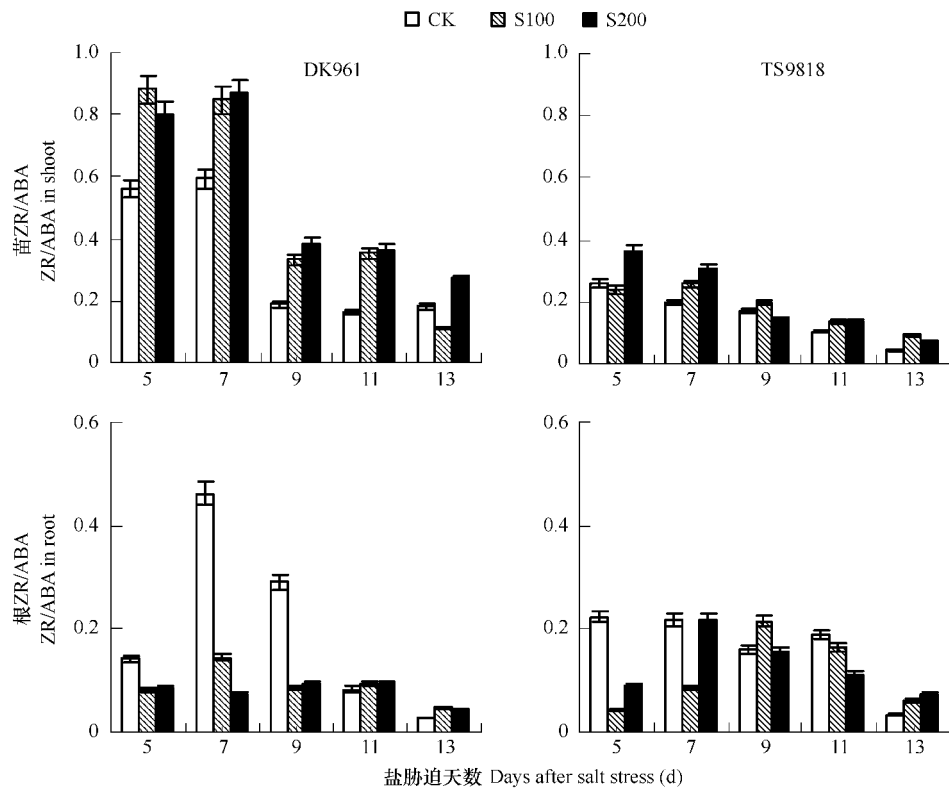


图 8 盐胁迫对小麦苗和根 ZR/ABA 的影响

Fig. 8 Effects of salt stress on the ZR/ABA in root and shoot of wheat

3 讨论

3.1 盐胁迫处理小麦 ABA 含量与长势

盐胁迫下植株生长受抑制的生理机制是多方面的,其中一个重要的原因就是激素含量及其比值的变化。ABA 具有刺激气孔运动、增加脯氨酸的积累和抑制芽的生长等功能^[15~18],它在根、芽信号传递中起着重要作用。研究认为,盐胁迫导致内源 ABA 水平上升^[2~5,19]。Plia Cachorro 等研究表明,盐胁迫下,植物根系受盐渗透的影响,ABA 含量增加,ABA 在叶片中的大量积累导致叶片扩张速度下降,气孔导度降低,减少了植物蒸腾失水和盐离子随蒸腾由根部向茎叶的运输和积累,从而减轻盐胁迫对植物的伤害^[12,20]。本研究表明,随盐胁迫浓度增加,小麦幼苗 ABA 含量增加,且随胁迫时间延长,苗、根 ABA 含量有增加的趋势。高盐胁迫处理后 TS9818 中 ABA 含量比 DK961 上升的幅度大(图 2),说明抗盐性弱的品种 TS9818 比抗盐性强的品种 DK961 积累更多的 ABA。可以认为,ABA 含量增加可以促进气孔关闭而减少水分散失和盐离子伤害,使小麦幼苗在盐胁迫下能继续生长。然而,ABA 又是一种抑制植物生长的激素,植株体内 ABA 的增加必然会抑制生长,这可能是盐胁迫后小麦植株矮小的原因之一,这同样也可说明在盐胁迫条件下 TS9818 比 DK961 受抑制程度大的原因。

3.2 盐胁迫处理小麦根、苗细胞分裂素(ZR)含量变化

本研究表明,在盐胁迫处理后的 5~13 d 的样品中,随盐胁迫浓度提高根、苗 ZR 含量增加,且高于对照,随着盐胁迫时间的延长,其 ZR 含量降低,这与人研究结果不尽一致^[9],John 等^[21]研究表明,松叶菊在盐胁迫 6 h 玉米素含量增加,但随后下降并低于对照。朱速松^[10]等研究表明,胁迫 4 d 时抗盐性强的品种在大麦品种在盐胁迫下的 IPAS 值大于对照,但盐敏感的 IPAS 值已经小于对照。薛永常^[22,23]等研究指出小麦叶片中的 ZR

含量在胁迫后 36 h 时仍高于对照。但也有研究者认为盐胁迫下植物细胞分裂素含量降低^[9,10]。上述结果的差异可能与植物对逆境反应的调节有关。细胞分裂素能促进叶片气孔开放和子叶伸展。本试验高盐胁迫条件下,DK961 苗中有较高的 ZR 含量,苗高和苗鲜重降低的幅度小于 TS9818。是否 ZR 含量上升使植物为在逆境下生存而使气孔开放,苗中高的 ZR 含量可以抵御由于盐胁迫引起的 ABA 的上升而造成气孔关闭,使其苗高和苗鲜重降低的幅度小于 TS9818,尚需进一步试验验证。但 ZR 的调节是有限的,随着胁迫时间的延长,植物体为了适应逆境而关闭气孔,这可能正是 ZR 含量下降所引起的。

3.3 盐胁迫下小麦 IAA/ABA、GA₃/ABA 和 ZR/ABA 的变化

已知 ABA 为生长抑制型激素,ZR 的主要功能是促进细胞分裂,GA₃能促进细胞的伸长和增大,IAA 含量高的器官是营养物质的输入库^[24]。植物在细胞分裂增殖、体积增大和营养物质充实的过程中生长,因此,植物生长并不单纯决定于某一激素的绝对含量,而与各种激素间的平衡关系更为密切。

本研究表明,2 品种根中的 IAA/ABA 和 GA₃/ABA 比值随盐浓度增加和胁迫时间延长呈现显著降低的趋势。苗中 IAA/ABA 比值的变化在 2 品种间存在差异。DK961 苗中 IAA/ABA 比值不论是低盐还是高盐胁迫下在萌发前几天均呈增加趋势,尔后下降。苗中 GA₃/ABA 比值变化与之相似。DK961 在萌发早期苗中具较高的 IAA/ABA、GA₃/ABA 比值,利于幼苗生长,这可能是 DK961 与 TS9818 抗盐性差异的生理原因之一。关于 ZR/ABA 比值的变化,则为 DK961 苗的 ZR/ABA 比值高于 TS9818,盐胁迫处理高于对照,而根的 ZR/ABA 比值变化不尽相同,说明 DK961 通过改变 ZR 在根、苗中的分配,调节自身的激素平衡以适应外界盐胁迫环境。从幼苗的长势亦可看出,在低盐胁迫(S100)时,2 品种幼苗苗高、根长和苗鲜重的下降幅度相差 1.78%~2.8%,根鲜重下降幅度相差无几,而在高盐胁迫(S200)时,DK961 的幼苗苗高、根长、苗鲜重和根鲜重的下降幅度明显低于 TS9818,相差达到了 9.27%~11.45%。这进一步说明 DK961 可以调节自身的激素平衡以适应外界盐胁迫的能力强于 TS9818,其幼苗受盐胁迫抑制作用小。

据此可以认为,盐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。抗盐性强的品种,在盐胁迫条件下能合成较多的 IAA 和较少的 ABA,保持较好的激素平衡,抗盐性弱的品种激素间的协调能力相对较差,这可能是抗盐性弱的品种比抗盐性强的品种在盐胁迫下生长受到较大抑制的一个重要的生理原因。

References:

- [1] Epstein. Better crops for food. In: Nugent *et al.* London. Pitman, 1983. 61.
- [2] Walker, Ddumburoff. Effects of salt-stress on abscisic acid and cytokinin levels in tomato. *Z P Flanzen Physiol*, 1981, 101: 461—470.
- [3] Downton, Loveys. Abscisic acid content and osmotic relations of salt stressed grapevine leaves. *J Plant Physiol*, 1981, 8: 443—453.
- [4] Zhao K, Munns, King. Abscisic acid synthesis in NaCl-treated barley, cotton and slats bush. *Aust J Plant Physiol*, 1998, 18: 17—24.
- [5] Zhou X, Wu X F, Li Y, *et al.* Accumulations and correlations of ABA and GABA in maize seedling under salt stress. *Chin J. Appl Environ Biol*, 2005, 11(4): 412—415.
- [6] Munns, Sharp. Involvement of abscisic acid in controlling plant growth in soils of low water potential. *Aust J Plant Physiol*, 1993, 20: 425—437.
- [7] Wang W, Li D Q, *et al.* Effects of water stress on level changes of IAA and ABA in root and shoot of different drought resistance wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6): 737—742.
- [8] Zhai Z X, *et al.* Plant ecophysiology. Beijing: China Agricultural University Press, 1997. 301.
- [9] Kuiper D, Schuit J, Kuiper P J C. Actual cytokinin concentrations in plant tissues as an indicator for salt resistance in cereals. *Plant Soil*, 1990, 123: 243—250.
- [10] Zhu S S, Liu Y L. Mechanism of barley salt tolerance regulated by 6-Benzyladenine. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1996, 19(3): 12—16.
- [11] Chanan, Helen. Synthesis of plant growth regulators by roots. In: Waise *et al.* Plant root. NewYork: Mared DekkerINC, 1990, 163.
- [12] Hou Z A, Li P F, Long Y S. The research status and prospect on the effect of phytohormone on plant salt-tolerance. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2000, 4(3): 239—244.
- [13] Zhang K P, Yang X F, Zhang M. Salt-tolerant and high-yield wheat cultivar-Dekang 961. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2003,

12: 39.

- [14] He Z P. Experimental Techniques of crop chemical control. Beijing: China Agricultural University Press, 1993. 60—68.
- [15] Ding L, Wang X C. The role of abscisic acid in stomatal responses to drought stress. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1993, 11(2): 50—56.
- [16] Handa S, Handa A, Hasegawa P M, *et al.* Proline accumulation and the adaption of cultured plant cells to water stress. *Plant Physiol*, 1986, 80: 938—945.
- [17] Creelman R A, Mason H S, Bensen R J, *et al.* Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot versus root growth in soybean seedlings. Analysis of growth, sugar accumulation, and gene expression. *Plant Physiol*, 1990, 92: 205—214.
- [18] Raschke K. Stomatal action. *Annu Rev Plant Physiol*, 1975, 26: 309—340.
- [19] Zeevaert J A D, Creelman R A. Metabolism and physiology of abscisic acid. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1988, 39: 439—473.
- [20] Plia Cachorro, *et al.* Absciscic acid and osmotic relations in *Phaseolus vulgaris* shoots under salt stress. *Plant Growth Regul*, 1995, 14: 99—104.
- [21] John C Thomas, Elizabeth F McElwain, Hans J Bohnert. Convergent Induction of Osmotic Stress-Responses. *Plant Physiol*, 1992, 100: 416—423.
- [22] Xue Y C, Cao M, Li Y Y, *et al.* Effect of water stress on cytokinin level in different drought-resistance winter wheat seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1995, 10: 70—74.
- [23] Xue Y C, Cao M, Li Y Y. The variations of difference cytokinin types in winter seedling under water stress. *Journal of Hebei Normal University*, 1995, 19(4): 95—97.
- [24] Buchanan B B, Gruissen W, Jones R L. *Biochemistry & molecular biology of plants*. Beijing: Science Press, 2002. 850—895.

参考文献:

- [5] 周翔, 吴晓岚, 李云, 等. 盐胁迫下玉米幼苗 ABA 和 GABA 的积累及其相互关系. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(4): 412—415.
- [7] 王玮, 李德全, 等. 水分胁迫下不同抗旱性小麦品种芽根生长过程中 IAA、ABA 含量的影响. *作物学报*, 2000, 26(6): 737—742.
- [8] 翟志席, 等译. *植物生态生理学*. 北京: 中国农业大学出版社, 1997. 301.
- [10] 朱速松, 刘友良. 6-苄基嘌呤对大麦耐盐性的调节机理. *南京农业大学学报*, 1996, 19(3): 12—16.
- [12] 侯振安, 李品芳, 龚元石. 激素对植物耐盐性影响的研究现状与展望. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2000, 4(3): 239—244.
- [13] 张坤普, 杨秀凤, 张敏. 耐盐高产冬小麦品种-德抗 961. *农业科技通讯*, 2003, 12: 39.
- [14] 何钟佩. *农作物化学控制实验指导*. 北京: 中国农业大学出版社, 1993. 60—68.
- [15] 丁雷, 王学臣. 干旱胁迫下 ABA 对气孔运动的作用机制. *干旱地区农业研究*, 1993, 11(2): 50—56.
- [22] 薛永常, 曹敏, 李云荫, 张玉宗. 水分胁迫对不同抗旱性冬小麦幼苗根、叶细胞分裂素含量的影响. *华北农学报*, 1995, 10(增刊): 70—74.
- [23] 薛永常, 曹敏, 李云荫. 水分胁迫下小麦幼苗内源细胞分裂素类型的变化. *河北师范大学学报*, 1995, 19(4): 95—97.