

无菌培养条件下不同基因型小麦 耐盐性及其生理机制研究

王俐梅¹, 李青松¹, 周春菊², 尚浩博¹, 王林权¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以 4 种不同基因型小麦(小偃 6 号、NR9405、RB6 和陕 229)种子为材料, 研究组培条件下盐胁迫对小麦种子活力、幼苗生物量、保护酶活性、亲合性渗透物质以及 Na^+ 、 K^+ 含量等的影响。结果表明: 盐胁迫下, 小麦幼苗的生长均受到不同程度的抑制, 表现为发芽率、根长、芽长、生物量随着盐浓度的升高而明显下降, 并存在显著的基因型差异。盐胁迫下小偃 6 号与 NR9405 的生物量显著高于陕 229 与 RB6; 小偃 6 号与 NR9405 的超氧化物歧化酶(SOD)活性均随着盐浓度的增大而升高; RB6 和陕 229 在 0~150 mmol/L 盐浓度下 SOD 酶活性升高, 而在 200 mmol/L 盐浓度时, SOD 活性急剧下降。随着盐浓度的升高 4 种不同基因型小麦体内游离脯氨酸积累量增大, 在 200 mmol/L 时 RB6 的积累量显著高于其它基因型。随着盐浓度的升高, 幼苗体内的 Na^+ 含量增加, K^+ 含量下降, Na^+/K^+ 比值增大。小偃 6 号和 NR9405 的耐盐性优于陕 229 与 RB6。

关键词: 盐胁迫; 小麦; SOD; 游离脯氨酸

中图分类号: S512.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0099-06

土壤盐渍化是世界粮食生产的主要非生物胁迫因素之一, 限制了作物的生长、发育, 造成农作物减产。小麦是世界栽培面积最大的粮食作物之一, 利用生物技术手段筛选抗盐基因型小麦, 挖掘其自身的耐盐潜力, 是提高其产量的有效措施。植物对盐胁迫的反应是一种复杂的生理过程^[1]。用常规方法研究小麦的抗盐性受到时间及材料生理状态是否一致等多种因素的影响。随着组织培养技术的发展, 该技术不仅为常规的植物改良提供了新的手段, 也为研究植物抗逆性开辟了新途径。以小麦种子为外植体研究小麦萌发过程中的耐盐性, 具有取材时间不受限制、材料充足并且生理状态一致、操作简便的优点^[2]。

小麦的耐盐性存在基因型差异。张嵩午等^[3,4]研究表明: 冷型小麦的抗旱、抗涝等抗逆性优于暖型小麦, 但在抗盐性方面, 冷型小麦并未表现出明显的优势, 甚至不如暖型小麦。赵旭等^[5]研究表明: 冷型小麦 RB6 和陕 229 在种子萌发和幼苗生长阶段的耐盐性劣于暖型小麦 NR9405 和小偃 6 号。为了进一步探讨不同温度型小麦的抗盐性及其耐盐差异的原因与机理, 本研究以 4 种不同基因型小麦为材料, 用组织培养方法研究其在盐胁迫条件下的幼苗生长, Na^+ 、 K^+ 的吸收累积以及生理生化特性的变化, 探

讨不同温度型小麦种子萌发期的耐盐性及机理, 以期丰富和完善小麦温度分型理论体系, 为小麦抗盐育种和栽培提供新的指标体系。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

4 种不同基因型小麦品种: 小偃 6 号(中间型), NR9405(暖型); RB6, 陕 229(冷型)。以上品种均为西北农林科技大学冷源小麦研究室提供的同一年收获种子。

1.2 试验方法

1.2.1 处理 挑选大小一致, 饱满且有生活力的 小麦种子, 先用 75% 的酒精消毒 30 s, 无菌水冲洗 2~3 遍后, 用 0.1% 的升汞表面消毒 7~8 min, 再用无菌水冲洗 4~5 遍, 然后置于无菌水中浸泡 8~10 h。以 MS 培养基为基本培养基, 其中加入不同浓度的 NaCl。设置 5 个盐浓度水平: 0(CK)、50、100、150 和 200 mmol/L, 培养基在 121℃ 下高压灭菌 20 min(灭菌前 pH 调至 5.8)。待培养基冷却凝固后接种, 每三角瓶接种小麦种子 10 粒, 每个处理 4 次重复。

1.2.2 培养条件 温度 25~28℃, 光照 54 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 光照时间 12 h/d。

收稿日期: 2008-09-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(30571085)

作者简介: 王俐梅(1982—), 女, 河南济源人, 硕士生, 主要从事植物营养生理与调控研究。E-mail: wlm6633818@163.com。

通讯作者: 王林权, 教授, 博导。主要研究领域为植物营养生理与调控、节水施肥、旱地农业等。E-mail: linqunw@yaho.com.cn。

1.3 测定项目

每天观察其生长情况,7 d 后取样测量根长、芽长,统计根数并测定 SOD、游离脯氨酸、Na⁺ 和 K⁺ 含量等指标。

根长和芽长的测量:根长、芽长用刻度尺测量,根长为平均单根长。

发芽率(*G_r*)、发芽指数(*G_i*)和活力指数(*V_i*)的计算,参照顾增辉等^[6]的方法。

$$G_i = \sum G_t / D_t \quad (1)$$

$$V_i = S \times \sum G_t / D_t \quad (2)$$

式中:*G_t* 为培养 *t* 日的发芽数;*D_t* 为相应的发芽日数;*S* 为幼苗生长势(鲜重)。*G_i* 越大,表明发芽速度越快;*V_i* 越大,表明发芽快,长势好。接种第二天开始记录发芽情况。

生物量的测定:取 5 株小麦幼苗,称其鲜重,然后放于烘箱中 105℃ 杀青,70℃ 烘干 24 h,称其干重。

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定:采用核黄素-NBT 法^[7]。游离脯氨酸含量的测定:采用茚三酮比色法^[7]。Na⁺、K⁺ 含量的测定:Na⁺、K⁺ 提取参照王宝山、赵可夫方法^[8]。将烘干样品研磨后,取约

0.05 g 放入 15 ml 具塞试管中,加 10 ml 蒸馏水于沸水浴中浸提 2 h 后,倒入容量瓶中定容至 100 ml,过滤后,用火焰分光光度计测定滤液中 Na⁺、K⁺ 的含量。

1.4 数据处理方法

采用 Excel 2003 和 DPS 统计分析软件对相关数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对 4 种不同基因型小麦幼苗生长的影响

2.1.1 盐胁迫对小麦幼苗生物量的影响 生物量的高低是反映植物综合抗盐能力的指标^[9]。由表 1 可知,4 种基因型小麦经不同浓度盐处理后生物量都低于对照,且随着盐浓度的增加,下降幅度加大。在同一盐浓度处理下,小偃 6 号和 NR9405 的生物量均高于陕 229 和 RB6,尤以 RB6 的生物量最低。且经方差分析表明,4 种基因型小麦,在各盐浓度处理之间,生物量差异均达到显著水平;并且在相同盐浓度处理下,4 种基因型小麦间差异也达到了显著水平。

表 1 盐胁迫对小麦幼苗地上部分生物量(g/瓶)的影响

Table 1 Effect of salt stress on the shoot biomass of different wheat genotypes(g/bottle)

品种 Varieties	NaCl 浓度 (mmol/L) NaCl concentration				
	CK(0)	50	100	150	200
小偃 6 号 Xiaoyan 6	0.79 ± 0.01aA	0.75 ± 0.00bA	0.68 ± 0.03cA	0.64 ± 0.03dA	0.60 ± 0.00eA
NR9405	0.74 ± 0.11aB	0.72 ± 0.01bB	0.61 ± 0.07cB	0.53 ± 0.00dB	0.47 ± 0.15eB
陕 229 Shaan229	0.70 ± 0.01aC	0.69 ± 0.02bC	0.55 ± 0.34cC	0.41 ± 0.02dC	0.26 ± 0.03eC
RB6	0.67 ± 0.01aC	0.54 ± 0.04bD	0.49 ± 0.27cD	0.37 ± 0.07dD	0.24 ± 0.00eD

注:小写字母表示横向不同处理 5% 水平的差异显著性,大写字母表示纵向不同品种间 5% 水平的差异显著性。

Note: The lowercase letters and capital letters show difference significance at 5% between varieties in column and treatments in horizon, respectively.

2.1.2 盐胁迫对小麦种子发芽的影响 种子的发芽是一个极其复杂的生理生化过程。一定浓度下种子的发芽率、发芽指数及活力指数 3 个指标综合起来可以反映植物芽期耐盐性强弱^[10]。从表 2 可以看出,在盐胁迫条件下,4 种不同基因型小麦的萌发均受到不同程度的抑制,随着盐浓度的增加发芽率、发芽指数、活力指数均有所下降。不同基因型小麦对盐胁迫的反应不同。在 0、50、100、150 mmol/L 盐浓度处理下,4 种基因型小麦的发芽率差异不大,200 mmol/L 盐浓度时,小偃 6 号和 NR9405 的发芽率高于陕 229 和 RB6。发芽指数是反应植物发芽速度快慢的一个指标。在 0~50 mmol/L 盐浓度时,4 种基因型小麦的发芽指数相差不大,当盐浓度高于 50 mmol/L 时,小偃 6 号和 RB6 的发芽指数均高于陕

229 和 NR9405;当盐浓度达到 200 mmol/L 时 RB6 的发芽指数较高,活力指数较低。在 200 mmol/L 时,小偃 6 号种子发芽指数和活力指数均较高。

2.1.3 盐胁迫对小麦生长的影响 盐胁迫对小麦的根长、根数和芽长均有显著的影响,随着盐浓度的增大,各指标均表现出下降的趋势。方差分析(表 3)表明:50、100、150 和 200 mmol/L 盐浓度胁迫下,小麦的根长、根数和芽长均显著小于对照。同时,各盐浓度胁迫下小麦的根长也有显著的差异,表现为 50 mmol/L > 100 mmol/L > 150 mmol/L > 200 mmol/L;50 和 100 mmol/L 盐浓度胁迫下小麦的根数之间没有显著的差异,50 和 150 mmol/L 之间也没有显著的差异,而 100 mmol/L 盐浓度下小麦根数显著多于 150 mmol/L 盐浓度下的根数,200 mmol/L 盐浓度胁迫下

根数要显著地少于其他浓度处理; 100 和 150 mmol/L 盐浓度处理下小麦的芽长没有显著的差异, 但要显著小于 50 mmol/L 盐浓度处理, 而 200 mmol/L 盐浓度处理芽长显著低于其它处理。不论是根长、根数

和芽长在 200 mmol/L 盐浓度胁迫下生长均显著小于其它处理, 说明在该盐浓度胁迫下小麦生长受到严重抑制。

表 2 盐胁迫对小麦发芽率、发芽指数和活力指数的影响

Table 2 Effect of salt stress on the germination percentage (G_r), germination index (G_i) and vigor index (V_i) of different wheat genotypes

品种 Varieties	项目 Items	NaCl 浓度 (mmol/L) NaCl concentration				
		CK(0)	50	100	150	200
小偃 6 号 Xiaoyan 6	发芽率 G_r (%)	100 ± 0.00	96.67 ± 0.06	93.33 ± 0.06	90.00 ± 0.00	76.67 ± 0.06
	发芽指数 G_i	30.8	31.4	34.3	32.3	16.0
	活力指数 V_i	24.0	23.6	23.3	20.7	9.6
NR9405	发芽率 G_r (%)	96.67 ± 0.06	90.00 ± 0.00	96.67 ± 0.06	93.33 ± 0.06	66.67 ± 0.06
	发芽指数 G_i	30.4	29.9	21.9	17.9	9.7
	活力指数 V_i	22.8	21.5	13.4	9.5	4.6
陕 229 Shaan229	发芽率 G_r (%)	100 ± 0.00	96.67 ± 0.06	86.67 ± 0.06	90.00 ± 0.00	43.33 ± 0.06
	发芽指数 G_i	34.3	34.3	19.0	19.7	12.0
	活力指数 V_i	24.4	23.7	10.5	8.1	3.1
RB6	发芽率 G_r (%)	93.33 ± 0.06	86.67 ± 0.06	90.00 ± 0.00	83.33 ± 0.06	46.67 ± 0.06
	发芽指数 G_i	33.3	33.3	32.2	24.0	19.4
	活力指数 V_i	25.3	18.0	15.8	8.9	4.7

表 3 不同盐浓度对小麦根长、根数和芽长的影响

Table 3 The effects of salt stress on the root length, root numbers and sprout length of wheat genotypes

盐浓度 (mmol/L) Salt concentration	根长 (cm) Root length	根数 Root numbers	芽长 (cm) Sprout length
CK	15.76 ± 0.37a	6.08 ± 0.14a	7.00 ± 0.23a
50	11.48 ± 0.61b	4.70 ± 0.17bc	4.46 ± 0.22b
100	8.18 ± 0.50c	4.95 ± 0.24b	3.63 ± 0.12c
150	4.04 ± 0.32d	4.29 ± 0.27c	3.16 ± 0.14c
200	1.40 ± 0.30e	3.40 ± 0.27d	2.13 ± 0.12d

注: 数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。重复数为 3。下同。

Note: There is significant difference by the different letters in each column at the significant level of 0.05%, vice versa. Three repetitions. The same as below.

盐胁迫下不同基因型小麦的根长、根数具有明显的差异。方差分析表明 (见表 4): 小偃 6 号的根长显著大于其他 3 个品种的根长, 而其他 3 个品种 (NR9405、陕 229 和 RB6) 之间没有显著的差异; 盐胁迫下小偃 6 号和 NR9405 的根数之间没有显著差异, 陕 229 和 RB6 品种之间也没有显著差异, 而前两者的根数显著大于后两者; 盐胁迫下不同品种的芽长没有显著的差异。以上结果表明, 从根长、根数和芽长 3 个指标来看, 小偃 6 号的耐盐性要显著优于其他 3 个品种。

表 4 盐胁迫对不同品种小麦根长、根数和芽长的影响

Table 4 Root length, root numbers and sprout length of four wheat genotypes under salt stress

品种 Varieties	根长 (cm) Root length	根数 Root numbers	芽长 (cm) sprout length
小偃 6 号 Xiaoyan 6	9.56 ± 1.39a	5.15 ± 0.27a	4.20 ± 0.52a
NR9405	7.78 ± 1.34b	4.88 ± 0.33a	4.03 ± 0.43a
陕 229 Shaan229	7.49 ± 1.39b	4.40 ± 0.27b	4.10 ± 0.48a
RB6	7.86 ± 1.51b	4.31 ± 0.30b	3.96 ± 0.42a

2.2 盐胁迫对 4 种不同基因型小麦幼苗 SOD 活性的影响

SOD 是一种广泛存在于植物体内的保护酶类, 它可以催化氧自由基的歧化反应, 其活性的高低与植物的抗逆性大小有一定的相关性。正常条件下, 细胞内活性氧的产生和清除处于动态平衡状态^[11], 当植物处于逆境环境下, 这种平衡就被打破, 活性氧积累。过剩的活性氧可诱导植物体内 SOD 活性发生变化, 以提高植物的抗逆性。从图 1 可知, 在 0 ~ 150 mmol/L 盐浓度区间, 随着盐浓度的升高, 4 种不同基因型小麦 SOD 活性均呈上升趋势, 说明小麦在 0 ~ 150 mmol/L 盐浓度胁迫下, 短时间内产生应激反应, 体内 SOD 活性增大, 清除自由基以维持膜的稳定性和完整性。当盐浓度达到 200 mmol/L 时, 小偃 6 号、NR9405 两个小麦品种的 SOD 活性仍在上升,

而陕 229 与 RB6 的 SOD 活性却呈急剧下降趋势,且以 RB6 下降最为明显,这表明小麦对盐胁迫的适应性是有限的,同时具有基因型差异。在 0 ~ 150 mmol/L 盐浓度范围内,SOD 活性迅速升高以提高小麦对逆境胁迫的适应能力;当盐浓度达到 200 mmol/L 时,小偃 6 号、NR9405 仍具有一定耐性,而陕 229 与 RB6 的耐盐性则迅速降低。

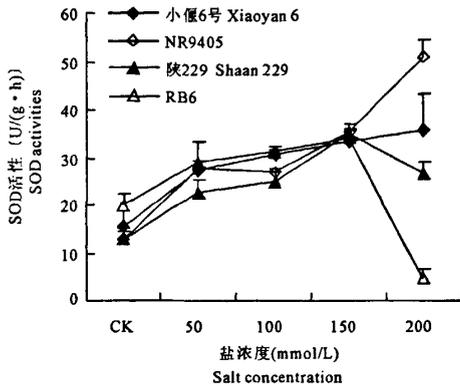


图 1 盐胁迫对小麦幼苗 SOD 的影响

Fig.1 SOD activities of different wheat genotypes under salt stress

2.3 盐胁迫对 4 种不同基因型小麦幼苗游离脯氨酸含量的影响

脯氨酸是一种重要的有机渗透调节物质,具有平衡液泡中的高浓度盐分,避免细胞质脱水,稳定细胞蛋白质结构,防止酶变性失活等作用^[12]。由图 2 可知,4 个小麦品种在盐胁迫条件下其脯氨酸含量与对照相比均增加,且随盐浓度的升高而上升,在 0 ~ 150 mmol/L 的浓度区间脯氨酸含量上升平稳,当盐浓度达到 200 mmol/L 时,脯氨酸含量出现快速大幅度增长。说明在盐胁迫下,它们通过积累大量的脯氨酸来缓解盐分胁迫,维持植物在盐胁迫下的生长,表现出较强的耐盐性。在 200 mmol/L 盐浓度时 RB6 脯氨酸含量上升最多,说明在 200 mmol/L 盐浓度下,小麦受到严重的伤害,液泡内累积了大量的 Na⁺,通过增加体内脯氨酸的含量来缓解高盐胁迫,这时脯氨酸的过度累积可能反映了植株的伤害较大。

2.4 盐胁迫下 4 种不同基因型小麦幼苗地上部分 Na⁺ 和 K⁺ 的累积差异

2.4.1 地上部分 Na⁺ 和 K⁺ 含量的差异 从图 3 看出,4 种不同基因型小麦幼苗地上部分 Na⁺ 含量在 CK 与 50 mmol/L 盐浓度下差异不明显。随着盐浓度的升高,小麦体内 Na⁺ 含量也随之升高。但小偃

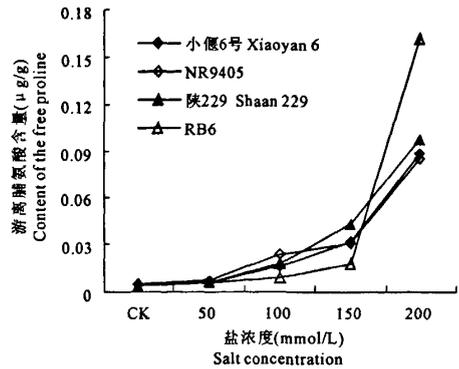


图 2 盐胁迫对小麦幼苗游离脯氨酸的影响

Fig.2 Effect of the free amino acid content on wheat under salt stress

6 号与 NR9405 这两个小麦品种上升趋势较平稳。而陕 229 在浓度达到 150 mmol/L 盐浓度时,Na⁺ 含量开始大幅度升高,将近是 100 mmol/L 盐浓度的 2 倍,但与 200 mmol/L 盐浓度相比 Na⁺ 含量相差不大。RB6 在 50 ~ 150 mmol/L 3 个盐浓度区间,体内 Na⁺ 含量差异不明显,当盐浓度达到 200 mmol/L 时,Na⁺ 含量陡然增加达到 2.49%。在 200 mmol/L 时小麦体内 Na⁺ 含量以 RB6 最高,陕 229 次之,小偃 6 号和 NR9405 较低。

相同处理下,NR9405 地上部分 K⁺ 含量最高,小偃 6 号次之,RB6 和陕 229 最低。盐分胁迫条件下,小麦幼苗体内 K⁺ 含量的变化趋势与 Na⁺ 含量相反,随着盐浓度的升高呈下降趋势。在 50 ~ 200 mmol/L 4 个盐浓度处理下,NR9405 和小偃 6 号 K⁺ 含量变化幅度较小且含量也相对较高。在 0 ~ 150 mmol/L 处理下陕 229 中 K⁺ 含量下降幅度较大,而盐浓度达到 200 mmol/L 时,与 150 mmol/L 相比 K⁺ 含量变化不大。RB6 在 0 ~ 100 mmol/L 盐浓度区间 K⁺ 含量变化不明显,在盐浓度达到 150 mmol/L 开始大幅度下降,在 200 mmol/L 盐浓度处理下达到最低点。

2.4.2 地上部分 Na⁺/K⁺ 盐分胁迫条件下,4 种不同基因型小麦地上部分的 Na⁺/K⁺ 在 50 mmol/L 盐浓度处理下与对照相比差异不明显。随着盐浓度的升高,Na⁺/K⁺ 也在不断升高,当盐浓度达到 150、200 mmol/L 时 Na⁺/K⁺ 明显高于对照和其它盐浓度,且陕 229 和 RB6 高于 NR9405 和小偃 6 号。说明在相同盐浓度胁迫下前两者对 K⁺ 的吸收和对 Na⁺ 的抑制作用都要小于后者。植物耐盐性与植株地上部对 Na⁺ 积累的限制力和低 Na⁺/K⁺ 的保持能力有关,由图 4 可以看出陕 229 和 RB6 的耐盐性差于 NR9405 和小偃 6 号。

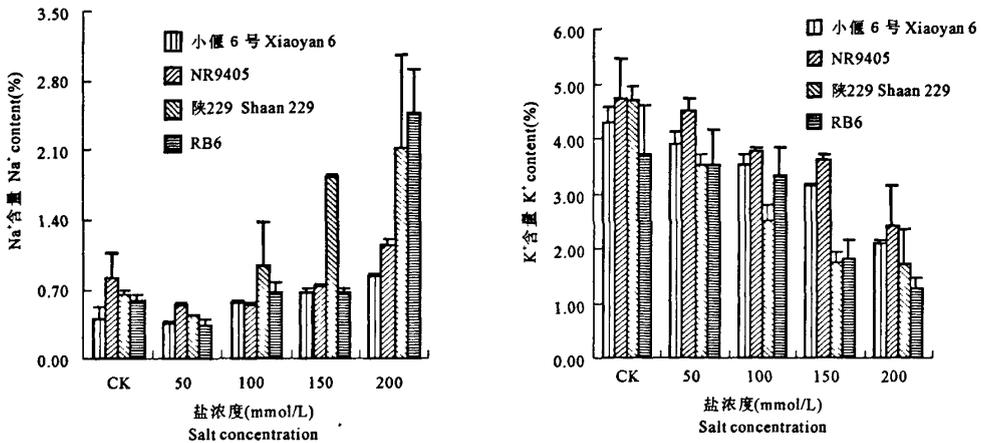


图 3 盐胁迫对小麦幼苗地上部 Na⁺ 和 K⁺ 的累积

Fig. 3 Effect of salt stress on the concentration of Na⁺ and K⁺ in the shoot of wheat

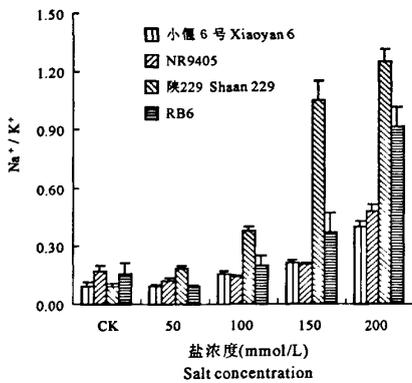


图 4 盐胁迫对小麦幼苗地上部分 Na⁺/K⁺ 的影响

Fig. 4 Effect of salt stress on Na⁺/K⁺ in shoot of different wheat genotypes

3 讨论

SOD 是植物体内的主要保护酶类, 在植物受到各种胁迫时, 会诱导其活性增加。在中、低浓度盐胁迫下, 4 种基因型小麦 SOD 活性均增加, 说明小麦对盐胁迫具有一定的自我调适能力。但在 200 mmol/L 盐浓度时小偃 6 号和陕 229 持续上升, 而 RB6 和陕 229 SOD 活性大幅度降低。可能是在此浓度 RB6 和陕 229 的膜损伤程度较重, 细胞内容物外渗较多, 保护酶系统受到破坏, 使活性氧产生与清除的动态平衡被打破^[13]。说明小麦对盐胁迫的适应性是有限度的, 且具有基因型差异。

脯氨酸含量与植物耐盐性的关系迄今仍有争议^[14], 在中、低盐胁迫下, 适当地合成和累积脯氨酸有利于细胞吸水 and 保护细胞质中的酶活性。但也有

人认为脯氨酸积累可能是植物受到盐害的结果, 脯氨酸的累积量与其耐盐性呈负相关^[15]。因此我们认为合成脯氨酸需要消耗大量的光合产物, 过度累积脯氨酸可能影响植物正常代谢, 同时也反映了体内累积的盐分多, 受害程度大。RB6 在盐浓度达到 200 mmol/L 时, 体内脯氨酸累积量远高于其它 3 个品种, 且 Na⁺ 含量高、Na⁺/K⁺ 比值大, 生物量最小, 说明 RB6 在此浓度下受伤害程度比较大。但是脯氨酸积累的阈值还有待于进一步研究。

本试验利用组织培养方法研究盐胁迫条件下不同基因型小麦的种子活力、幼苗体内保护酶活性、兼容性渗透物质以及 Na⁺、K⁺ 含量和 Na⁺/K⁺ 等。试验表明, RB6 (冷型) 耐盐性相对较差, 陕 229 (冷型) 次之, 小偃 6 号 (中间型) 和 NR9405 (暖型) 较好, 这与赵旭等^[18] 的研究结果一致。但是冷型小麦耐盐性为什么不如暖型小麦, 李青松等认为无论盐胁迫与否, NR9405 和小偃 6 号的蒸腾耗水量和蒸腾速率均小于陕 229 和 RB6, 蒸腾耗水量大, 带走的热量多, 是冷型小麦冠层温度低于暖型小麦的主要原因, 但同时也给地上部带去了较多的盐分^[19]。但是在组织培养条件下, 种子发芽是在相对密封的环境中进行, 湿度较大, 不同基因型小麦的蒸腾量都较小, 为什么地上部的钠、钾含量出现明显差异? 有必要对其差异原因与机理进行进一步深入研究。

参考文献:

[1] 应天玉, 刘国生, 姜中珠. 植物耐盐的分子机理[J]. 东北林业大学学报, 2003, 32(1): 31—33.
 [2] 曹原, 刘志学, 黄晔俊. 冬小麦成熟胚愈伤组织诱导及分化[J]. 上海大学学报, 2004, 10(5): 503—507.

- [3] 张嵩午. 小麦温型现象研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(4): 471—474.
- [4] 张嵩午, 王长发. 冷型小麦及其生物学特征[J]. 作物学报, 1999, 25(5): 608—615.
- [5] 赵旭, 王林权, 周春菊, 等. 盐胁迫对不同基因型冬小麦发芽和出苗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 7(4): 108—112.
- [6] 顾增辉, 宋剑陶. 大豆抗冷性生理生化指标的筛选[J]. 中国农业科学, 1992, 25(4): 15—23.
- [7] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994: 60—62.
- [8] 王宝山, 赵可夫. 小麦叶片中 Na、K 提取方法的比较[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(1): 50—52.
- [9] 夏阳, 林杉, 张福锁, 等. 淋洗对盐胁迫下大豆生长和矿质营养基因型差异影响的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 155—159.
- [10] 史宝胜, 刘冬云, 陈书明, 等. 盐胁迫对盐蒿种子萌发及保护酶活性的影响[J]. 河北林果研究, 2007, 22(1): 7—10.
- [11] 邱金龙, 金巧玲, 王均. 活性氧与植物抗病反应[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(1): 56—63.
- [12] 林栖凤, 李冠一. 植物耐盐性研究进展[J]. 生物工程进展, 2000, 20(2): 20—25.
- [13] 史雨刚, 吴治国, 马金虎. 不同浓度 NaCl 胁迫对高粱幼苗 SOD、POD 酶活性的影响[J]. 山西农业科学, 2007, 35(12): 71—73.
- [14] 王雪青, 张俊文, 魏建华. 盐胁迫下野大麦耐盐生理机制初探[J]. 华北农学报, 2007, 22(1): 17—21.
- [17] 黄立华, 梁正伟, 王志春, 等. 苏打盐碱胁迫对长穗冰草幼苗生长和 K^+ 、 Na^+ 含量的影响[J]. 中国草地学报, 2006, (9): 60—64.
- [18] 赵旭, 王林权, 周春菊, 等. 盐胁迫对四种基因型冬小麦幼苗 Na^+ 、 K^+ 吸收和累积的影响[J]. 生态学报, 2007, 1(1): 205—213.
- [19] 李青松, 周春菊, 尚浩博, 等. 盐胁迫下燕麦对冬小麦地上部钠累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 32—40.

Study on salt tolerance of different winter wheat genotypes and their physiological mechanism under sterile condition

WANG Li-mei¹, LI Qing-song¹, ZHOU Chun-ju², SHANG Hao-bo¹, WANG Lin-quan¹

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

2. College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The seed vigor, seedling biomass, protective enzyme activity and compatible osmolytes as well as Na^+ and K^+ content of four wheat genotypes seedling under salt stress were studied in vitro. The results indicated that the seed germination and seedling growth were inhibited under the salt stress. The germination rate, single root length, bud length and biomass decreased significantly as the increase of salt concentration, and there were significant differences among genotypes. The biomass of Xiaoyan 6 and NR9405 were significantly greater than Shaan229 and RB6 under salt stress. SOD activity of Xiaoyan and NR9405 increased with the increase of salt concentration. SOD activity of RB6 and Shaan229 increased under the salt concentration of 0 ~ 150 mmol/L; however, it decreased sharply under the 200 mmol/L salt concentration. As the increase of salt concentration, the free proline content in four different wheat genotypes increased, and the accumulation in RB6 was significantly higher than others under the 200 mmol/L salt concentration. The Na^+ content and Na^+/K^+ in wheat seedlings rose but K^+ content dropped owing to the increase of salt concentration. Overall, Xiaoyan6 and NR9405 were better than Shaan229 and RB6 in salt tolerance.

Key words: salt stress; wheat; SOD; MDA; free proline