

干旱预处理的玉米幼苗对逆境的交叉适应研究

康健宏, 吴宏亮, 黄灵丹

(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 为了研究玉米干旱胁迫后对其他逆境的适应性, 以沈单 16 和 T2208 幼苗为试验材料, 测定了玉米幼苗干旱预处理后分别在干旱、低温、高温和盐渍的环境中处理一段时间后的存活率、幼苗细胞膜相对透性、MDA 含量及 POD、CAT、SOD 活性。结果表明, 短期的干旱预处理会提高玉米幼苗对干旱胁迫、冷胁迫、热胁迫及盐胁迫的抗性, 增强了作物的抗逆性, 幼苗的存活率提高, 细胞膜的相对透性降低, MDA 含量减少, 三种保护酶 CAT、SOD、POD 活性提高, 表明玉米幼苗具有交叉适应能力。

关键词: 干旱诱导; 玉米幼苗; 逆境; 交叉适应; 保护酶

中图分类号: S513.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)06-0143-06

在自然条件下生长的植物, 经常会遇到干旱、高温、低温以及盐渍等不良环境, 而各种不良环境对植物的影响往往是相互关联的。当植物进行某种逆境锻炼时, 它不仅增强了对这种逆境的抗性, 而且还同时增强了对其它逆境的抗性, 此即植物的交叉适应(cross adaptation)^[1]。现有研究表明植物可在多种抗逆性间进行交叉适应, 甚至在那些以前被认为是伤害和适应的机制有极大的不同的逆境胁迫之间也存在交叉适应现象, 如热激不仅能提高植物的耐热性, 还能提高多种植物的抗冷性、抗盐性、抗旱性。植物的交叉适应普遍存在着, 研究表明植物在历经盐胁迫后更耐空气污染^[2]; 水分缺乏可诱导山茱萸^[3]、常绿杜鹃^[4]等的抗寒性; 经干旱或 0.1 L/mol NaCl 溶液预处理后, 水稻幼苗抗冷性明显提高, 同时伴随着电解质渗漏率和叶片鲜重下降而减轻^[5]。人们发现植物处于低温^[6]、干旱^[7]、SO₂^[8]、高温^[9]等逆境条件下, 细胞内自由基产生和清除的平衡受到破坏, 使细胞受害。在植物受到逆境伤害的时候, 均伴随着 SOD(超氧化物歧化酶)活性下降和 POD(过氧化物酶)、CAT(过氧化氢酶)等酶活性的变化, 外施 SOD 或提高内源 SOD 的活性可以提高植物对逆境的抵抗能力。因此植物的交叉适应和活性氧代谢有着密切的关系。本试验以玉米为材料, 通过短期的干旱锻炼后, 研究低温、高温、干旱、盐胁迫条件下作物的适应性, 测定保护酶 SOD、POD、CAT 活性和细胞膜的伤害程度, 探索干旱胁迫下玉米对多种胁迫的响应, 并通过两个品种的比较, 观察不同品种的玉米幼苗间通过干旱锻炼对干旱、冷胁迫、热胁迫、盐胁迫的交叉适应性以及它们之间的差异性, 为

玉米栽培和玉米育种提供理论依据。

1 试验材料和方法

1.1 供试材料

供试玉米品种为沈单 16(宁夏灌区当前的主栽品种)和 T2208(新培育的杂交种)。将种子以 0.1% 的 HgCl₂ 消毒 10 min, 漂洗干净, 在 25℃ 下以蒸馏水浸种 12 h, 而后播种到垫有 6 层湿润滤纸的带盖磁盘中, 于 28℃ 下暗萌发 60 h。

1.2 干旱预处理及随后的逆境胁迫处理恢复方法

取生长均匀的两种玉米幼苗用于下列处理: (1) 经暗萌发 60 h 的 1/3 幼苗转移到放置有 6 层干滤纸的瓷盘中干旱处理 4 h, 然后将干旱锻炼过的幼苗移至放置有 6 层湿润滤纸的瓷盘中恢复 6 h, 此即为干旱预处理恢复的幼苗(简称干旱后恢复); (2) 经上述暗萌发 60 h 后的 1/3 幼苗转移到放置有 6 层干滤纸的瓷盘中干旱处理 4 h, 不经放置有 6 层湿润滤纸的瓷盘中恢复就直接转入进行下列 4 种胁迫处理中, 此为干旱预处理未恢复的幼苗(简称干旱后不恢复); (3) 另外的 1/3 幼苗作为对照, 不作干旱处理, 此即为未干旱预处理的幼苗(简称未干旱)。

干旱预处理和未干旱预处理的幼苗均转移到下述各种逆境处理中:

- (1) 幼苗放到放置有 6 层干滤纸的瓷盘中 12 h 进行干旱处理;
 - (2) 50℃ 下进行高温处理 5 d;
 - (3) 0.5℃ 进行低温处理 5 d;
 - (4) 于 28℃ 下以 500 mmol/L NaCl 处理 5 d。
- 上述干旱处理和各种胁迫处理均在暗中进行。

所有处理结束后,幼苗转移到 28℃和光照 12 h/d 的环境中恢复 8 d 后统计存活率和测定相应的生理指标,以恢复 8 d 后能变绿并重新生长的幼苗算为存活的幼苗。

1.3 测定方法

1.3.1 形态指标的测定 随机选取各处理幼苗 20 株,测定幼苗鲜重、根茎鲜重和长度。根长以每株幼苗的最长根长表示^[10]。

1.3.2 保护酶酶活性测定 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定:采用 NBT 方法^[11,12]。

过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用紫外吸收法^[11]。

过氧化物酶(POD)活性的测定:采用愈创木酚法^[12]。

1.3.3 膜相对透性的测定 利用电导率仪(MET-TLER TOLEDO 326 型)测定玉米幼苗的细胞膜相对透性,以相对电导率表示膜相对透性,参照张志良^[13]的方法并作改进。

1.3.4 膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)含量的测定 采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[11,12]。

2 结果分析

2.1 干旱预处理的玉米幼苗对逆境的适应

2.1.1 干旱预处理玉米幼苗存活率 从表 1 的玉米幼苗存活率看,干旱预处理并恢复的玉米幼苗在

四种逆境中的存活率高于未干旱处理的玉米幼苗,也高于干旱处理未恢复的玉米幼苗,未干旱处理的玉米幼苗在四种逆境中的存活率最低。干旱预处理并经 28℃下恢复过的玉米幼苗存活率,对沈单 16 玉米品种来说,高温胁迫下提高 87.5%,低温胁迫下提高 48.3%,干旱胁迫下提高 43.5%,盐渍胁迫下提高 62.5%;对 T2208 玉米品种来说,高温胁迫下提高 28.2%,低温胁迫下提高 26.2%,干旱胁迫下提高 23.4%,盐渍胁迫下提高 19.5%。而经干旱预处理 4 h 后不作 28℃下恢复就直接转入各种逆境下,即干旱不恢复的幼苗,其存活率仍比不经过干旱预处理幼苗的高,对沈单 16 玉米品种来说,高温胁迫下提高 75%,低温胁迫下提高 33.3%,干旱胁迫下提高 29%,盐渍胁迫下提高 51.8%,对 T2208 玉米品种来说,高温胁迫下提高 15.5%,低温胁迫下提高 14.4%,干旱胁迫下提高 11.9%,盐渍胁迫下提高 7%。表明干旱预处理能提高玉米幼苗的抗热、抗冷、抗旱、抗盐能力,显示玉米幼苗中交叉适应现象的存在。但干旱预处理未恢复的幼苗存活率与干旱预处理并恢复的幼苗之间有一定的差异,说明玉米幼苗经干旱处理后的恢复期对是否发生交叉适应现象是很重要的。试验结果还表明,干旱预处理后的两个品种对干旱胁迫、冷胁迫、热胁迫、盐胁迫的变化趋势有相似的结果。

表 1 干旱与未干旱处理下不同胁迫处理玉米幼苗的存活率(%)					
Table 1 Survival rate of maize seedlings under different stress of drought and no drought					
品种 Variety	处理 Treatment	幼苗存活率 Survival rate of seedling(%)			
		高温胁迫 High temperature	低温胁迫 Low temperature	干旱胁迫 Drought	盐胁迫 Salt
沈单 16 Shendan 16	未干旱 No drought	40.1 _c	60.2 _c	62.1 _c	40.0 _c
	干旱后恢复 Resume after drought	75.3 _a	89.4 _a	89.6 _a	65.4 _a
	干旱后不恢复 Not resume after drought	70.2 _b	80.0 _b	80.2 _b	60.7 _b
T2208	未干旱 No drought	56.3 _c	66.0 _c	67.5 _c	52.8 _c
	干旱后恢复 Resume after drought	72.2 _a	83.3 _a	83.3 _a	63.1 _a
	干旱后不恢复 Not resume after drought	65.0 _b	75.5 _b	75.5 _b	56.5 _b

注:数字后字母 a,b,c 表示 5%水平的差异分析结果,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著。下同。
Note: The a, b and c show the difference of results at 5% level; The same letters mean insignificant and different letters mean significant at 5% level. They are the same at the following tables.

2.1.2 干旱预处理玉米幼苗形态的变化 从表 2 看,两个玉米品种在低温和干旱胁迫下的茎长、茎重、根长、根重均普遍较高,好于高温和盐胁迫。干

旱预处理恢复幼苗与干旱预处理未恢复幼苗相比,幼苗茎长、根长和重量都有所提高,且经过干旱预处理的玉米幼苗的生长状况好于未经干旱预处理的玉

米幼苗。

表 2 干旱与未干旱处理下的玉米幼苗在不同逆境下的形态指标
Table 2 Morphological index of maize seedlings under different stress of drought and no drought

品种 Variety	处理 Treatment	逆境 Stress	茎长 Length of stem (cm/株)	根长 Length of root (cm/株)	茎重 Weight of stem (g/株)	根重 Weight of root (g/株)
沈单 16 Shendan 16	干旱后恢复 Resume after drought	高温 High temperature	2.24	5.44	0.06	0.04
		低温 Low temperature	1.67	3.78	0.05	0.02
		干旱 Drought	5.30	5.96	0.21	0.10
		盐 Salt (NaCl)	4.05	2.53	0.15	0.06
	干旱后不恢复 Not resume after drought	高温 High temperature	2.60	3.34	0.03	0.02
		低温 Low temperature	7.95	3.82	0.22	0.09
		干旱 Drought	5.99	4.41	0.13	0.04
		盐 Salt (NaCl)	1.98	2.97	0.06	0.05
	未干旱 No drought	高温 High temperature	5.21	4.37	0.12	0.05
		低温 Low temperature	3.50	4.78	0.10	0.05
		干旱 Drought	7.60	4.75	0.19	0.15
		盐 Salt (NaCl)	3.85	3.35	0.17	0.09
T2208	干旱后恢复 Resume after drought	高温 High temperature	5.34	6.28	0.12	0.10
		低温 Low temperature	8.53	15.30	0.25	0.21
		干旱 Drought	6.72	9.00	0.15	0.10
		盐 Salt (NaCl)	2.50	2.90	0.05	0.05
	干旱后不恢复 Not resume after drought	高温 High temperature	5.75	4.60	0.20	0.10
		低温 Low temperature	10.10	10.45	0.27	0.17
		干旱 Drought	12.50	12.90	0.31	0.28
		盐 Salt (NaCl)	3.05	2.48	0.13	0.05
	未干旱 No drought	高温 High temperature	7.47	3.73	0.21	0.06
		低温 Low temperature	9.55	11.70	0.24	0.13
		干旱 Drought	7.07	10.10	0.20	0.20
		盐 Salt (NaCl)	2.97	2.33	0.13	0.04

2.2 干旱预处理的玉米幼苗在不同逆境下的细胞膜透性和丙二醛含量的变化

植物细胞本身就是一个膜体系,许多生命活动和生理功能都是在膜上进行的。细胞膜的稳定性和流动性是整个细胞生命活动赖以生存的基础。植物组织外渗液的相对电导率可以表示植物细胞膜的相对透性,常常作为植物抗性研究的一个主要生理指标。当植物处在逆境时,植物的细胞膜透性会变大,膜透性变化的大小也反映了作物在受害时的抗逆性大小。膜透性越大,则越易受害,膜透性越小,其抗逆性越强。

从表 3 中可看出,两个玉米品种干旱预处理恢复幼苗在 4 种逆境中的膜透性小于未干旱处理的幼苗,也小于干旱处理未恢复的幼苗。干旱未恢复幼苗的膜透性小于未干旱处理的幼苗。与未干旱处理幼苗相比,沈单 16 号玉米幼苗干旱预处理恢复的膜

透性在 4 种逆境中平均降低 31%,干旱预处理未恢复幼苗的膜透性在 4 种逆境中平均降低 21.2%;T2208 玉米幼苗干旱预处理恢复的膜透性在 4 种逆境中平均降低 32%,干旱预处理未恢复幼苗的膜透性在 4 种逆境中平均降低 23%。这些结果表明干旱预处理能提高玉米幼苗的抗热、抗冷、抗旱、抗盐能力,使细胞膜透性降低,减少了逆境对膜的伤害,也进一步显示了交叉适应现象的存在。

MDA 是植物细胞膜系统脂质过氧化的主要产物之一,其浓度表示脂质过氧化强度和膜系统伤害程度。从表 4 中可看出,两个玉米品种干旱预处理恢复幼苗在 4 种逆境中的丙二醛含量小于未干旱处理的幼苗,也小于干旱处理未恢复的幼苗。干旱未恢复幼苗的丙二醛含量小于未干旱处理的幼苗。与未干旱处理幼苗相比,沈单 16 号玉米幼苗干旱预处理恢复的丙二醛含量在 4 种逆境中平均降低

44.9%，干旱预处理未恢复幼苗的丙二醛含量在 4 种逆境中平均降低 35.4%；T2208 玉米幼苗干旱预处理恢复的丙二醛含量在 4 种逆境中平均降低 56.6%，干旱预处理未恢复幼苗的丙二醛含量在 4 种逆境中平均降低 34.4%。这些结果表明干旱预处理能提高玉米幼苗的抗热、抗冷、抗旱、抗盐能力，使丙二醛含量降低，减少了逆境对膜的伤害，也进一步显示了交叉适应现象的存在。

表 3 干旱与未干旱处理下不同胁迫因素下玉米幼苗的相对电导率
Table 3 Relative conductivity of maize seedlings under different stress of drought and no drought

品种 Variety	处理 Treatment	相对电导率 Relative conductivity (%)				
		高温 High temperature	低温 Low temperature	干旱 Drought	盐 (NaCl) Salt	平均 Average
沈单 16 Shendan 16	干旱后恢复 Resume after drought	10.97 _c	15.21 _c	16.74 _c	8.76 _b	12.92 _c
	干旱后不恢复 Not resume after drought	12.54 _b	17.99 _b	19.53 _b	8.93 _b	14.75 _b
	未干旱 No drought	15.31 _a	25.13 _a	24.21 _a	10.20 _a	18.71 _a
T2208	干旱后恢复 Resume after drought	10.47 _c	13.36 _c	21.98 _b	8.72 _a	13.63 _c
	干旱后不恢复 Not resume after drought	12.43 _b	18.35 _b	22.84 _b	8.80 _a	15.61 _b
	未干旱 No drought	15.68 _a	22.03 _a	33.40 _a	8.98 _a	20.02 _a

表 4 干旱与未干旱处理下不同胁迫因素下玉米幼苗的丙二醛含量
Table 4 MDA content of maize seedlings under different stress of drought and no drought

品种 Variety	处理 Treatment	丙二醛含量 MDA content (μmol/g)				
		高温 High temperature	低温 Low temperature	干旱 Drought	盐 (NaCl) Salt	平均 Average
沈单 16 Shendan 16	干旱后恢复 Resume after drought	1.31 _b	2.78 _b	2.64 _c	0.68 _a	1.85 _b
	干旱后不恢复 Not resume after drought	1.70 _b	3.24 _a	3.03 _b	0.71 _a	2.17 _b
	未干旱 No drought	3.16 _a	3.77 _a	5.66 _a	0.85 _a	3.36 _a
T2208	干旱后恢复 Resume after drought	2.59 _a	2.38 _b	1.39 _c	0.95 _c	1.83 _b
	干旱后不恢复 Not resume after drought	3.05 _a	2.67 _b	2.43 _b	2.93 _b	2.77 _b
	未干旱 No drought	3.41 _a	6.69 _a	3.51 _a	3.28 _a	4.22 _a

2.3 干旱预处理的玉米保护酶系统在逆境中的变化

植物生命活动中不可避免要产生超氧阴离子、羟自由基、单线态分子氧和过氧化氢等活性氧，同时细胞内也存在清除这些活性氧的多种途径。植物在长期的系统进化过程中，细胞内形成了防御活性氧、自由基毒害的保护机制^[17]。其中起重要作用的是活性氧清除酶系统。SOD、POD、CAT 等是活性氧清除酶系统的重要保护酶^[18]。它们能有效地阻止高浓度氧的积累，防止膜脂的过氧化作用，延缓植物的衰老，使植物维持正常的生长和发育。在正常情况下，SOD、POD、CAT 活性稳定，植物产生和消除超氧阴离子的能力处于动态平衡。但当植物遇到逆境或衰老时，体内超氧阴离子水平提高，SOD、POD、

CAT 的活性也增加，从而对植物进行保护。
一般而言，在逆境胁迫过程中常常会导致植物的活性氧上升，从而，植物的抗氧化酶活性会升高，而植物抗氧化酶活性的上升又会使植物的抗逆性上升。从表 5、6、7 中可看出，两个玉米品种干旱预处理恢复幼苗在 4 种逆境中的 CAT、POD、SOD 的活性大于未干旱处理的幼苗，也大于干旱处理未恢复的幼苗。干旱未恢复幼苗的 CAT、POD、SOD 大于未干旱处理的幼苗。与未干旱处理幼苗相比，沈单 16 号玉米幼苗干旱预处理恢复的 CAT、POD、SOD 在 4 种逆境中分别平均升高了 35.8%、7.2%、38.7%，干旱预处理未恢复幼苗的 CAT、POD、SOD 在 4 种逆境中平均升高了 29.2%、5.7%、27.3%；

T2208 玉米幼苗干旱预处理恢复的 CAT、POD、SOD 在 4 种逆境中平均升高了 19.9%、20.6%、41.3%,干旱预处理未恢复幼苗的 CAT、POD、SOD 在 4 种逆境中平均升高了 8.8%、12%、22%。这些

结果表明保护酶系统可能参与了玉米幼苗的交叉适应,干旱预处理能提高玉米幼苗的抗热、抗冷、抗旱、抗盐能力,保护酶活性提高,也进一步显示了交叉适应现象的存在。

表 5 干旱与未干旱处理不同胁迫因素下玉米幼苗的 CAT 活性

Table 5 CAT activity of maize seedlings under different stress of drought and no drought

品种 Variety	处理 Treatment	CAT 活性 CAT activity[U/(g·min)]				
		高温 High temperature	低温 Low temperature	干旱 Drought	盐(NaCl) Salt	平均 Average
沈单 16 Shendan 16	干旱后恢复 Resume after drought	52.30 _a	21.75 _a	21.67 _a	59.16 _a	38.72 _a
	干旱后不恢复 Not resume after drought	44.38 _b	22.58 _a	17.83 _b	55.66 _b	35.11 _b
	未干旱 No drought	30.18 _c	13.83 _b	18.36 _b	37.12 _c	24.87 _c
T2208	干旱后恢复 Resume after drought	25.52 _b	17.62 _a	16.90 _a	46.01 _a	26.51 _a
	干旱后不恢复 Not resume after drought	30.58 _a	15.79 _a	16.45 _a	30.25 _b	23.27 _b
	未干旱 No drought	19.38 _c	14.62 _a	19.07 _a	31.85 _b	21.23 _c

表 6 干旱与未干旱处理不同胁迫因素下玉米幼苗的 POD 活性

Table 6 POD activity of maize seedlings under different stress of drought and no drought

品种 Variety	处理 Treatment	POD 活性 POD activity[U/(g·min)]				
		高温 High temperature	低温 Low temperature	干旱 Drought	盐(NaCl) Salt	平均 Average
沈单 16 Shendan 16	干旱后恢复 Resume after drought	222.65 _a	404.23 _a	679.48 _a	247.68 _a	388.51 _a
	干旱后不恢复 Not resume after drought	213.06 _a	148.45 _b	623.76 _a	223.84 _a	302.28 _b
	未干旱 No drought	125.79 _b	143.72 _b	404.43 _b	201.39 _a	218.83 _c
T2208	干旱后恢复 Resume after drought	242.7 _a	294.65 _a	211.03 _a	282.65 _a	257.76 _a
	干旱后不恢复 Not resume after drought	228.63 _b	166.75 _b	189.68 _b	203.45 _b	197.13 _b
	未干旱 No drought	204.15 _c	115.48 _c	126.69 _c	138.72 _c	146.26 _c

表 7 干旱与未干旱处理不同胁迫因素下玉米幼苗 SOD 活性

Table 7 SOD activity of maize seedlings under different stress of drought and no drought

品种 Variety	处理 Treatment	SOD 活性 SOD activity[U/(g·min)]				
		高温 High temperature	低温 Low temperature	干旱 Drought	盐(NaCl) Salt	平均 Average
沈单 16 Shendan 16	干旱后恢复 Resume after drought	222.7 _a	111.63 _a	111.35 _a	332.18 _a	194.48 _a
	干旱后不恢复 Not resume after drought	204.6 _b	100.03 _b	109.85 _a	241.21 _b	163.93 _b
	未干旱 No drought	199.4 _c	96.97 _c	106.57 _a	73.90 _c	119.20 _c
T2208	干旱后恢复 Resume after drought	149.4 _a	125.39 _a	115.00 _a	254.45 _{ab}	161.06 _a
	干旱后不恢复 Not resume after drought	134.4 _b	107.60 _b	72.26 _b	169.66	120.98 _b
	未干旱 No drought	99.64 _c	71.65 _c	51.00 _c	155.62 _c	94.48 _c

3 结论与讨论

植物对逆境胁迫的交叉适应现象已在部分植物中得到证实^[14]。本文结果则表明玉米幼苗经干旱预处理 4 h 后,其玉米幼苗在高温、低温、干旱和盐渍下的存活率可显著提高,说明干旱预处理可以诱发玉米幼苗对热、冷、干旱和盐胁迫的交叉适应。且干旱后恢复 4 h 的玉米幼苗存活率比干旱后未经恢复的高,表明干旱后的恢复期对交叉适应能否发生很重要。交叉适应现象暗示植物对不同逆境因素之间有某种或某些共同的机制。迄今,人们仅证实交叉适应过程需新的蛋白质合成^[15],钙和活性氧作为信号分子在此交叉适应过程中有作用^[15],但对交叉适应的形成机制尚不十分清楚,应该深入研究。

各种逆境胁迫都可诱发细胞内活性氧浓度的增加而导致氧化胁迫,这暗示植物在多种逆境因素胁迫下发生的交叉适应可能与抗氧化系统有关^[16,17]。本文结果表明,经干旱预处理过的玉米幼苗中 POD、CAT、SOD 活性明显比未经干旱预处理过的高,表明干旱可增强高温、低温、干旱和盐渍胁迫下的玉米幼苗中 POD、CAT、SOD 活性,并与幼苗的存活率呈正相关,经过干旱预处理可以提高玉米幼苗对干旱胁迫、冷胁迫、热胁迫、盐胁迫逆境的抵抗力,也说明抗氧化酶系统参与了干旱诱导的玉米幼苗的交叉适应过程。

参考文献:

- [1] Boussiba S, Rikin A, Richmond A E. The role of abscisic acid in cross-adaptation of tobacco plants[J]. *Plant Physiol*, 1995, 56: 337—339.
- [2] Oertli J J. Effect of salinity on susceptibility of sunflower plants to

- smog[J]. *Soil Science*, 1959, 87: 249—251.
- [3] Chen P, Li P H, Weiser C J. Induction of frost hardiness in red-osider dogwood stems by water stress[J]. *Hortscience*, 1975, 10: 372—374.
- [4] Anisko T, Lindstrom O M. Cold hardiness of evergreen azaleas increased by waterstress imposed at three days[J]. *Hortscience*, 1995, 30: 848.
- [5] 郭 确,潘瑞炽.不同胁迫预处理对水稻幼苗抗冷性和抗旱性的影响[J]. *植物生理学报*, 1986, 12(4): 396—401.
- [6] 王以柔,刘鸿先,李 平,等.在光照和黑暗条件下低温对水稻幼苗光合器膜脂过氧化作用的影响[J]. *植物生理学报*, 1986, 12(3): 244—251.
- [7] 武宝吁,格林·托德.小麦幼苗中过氧化物歧化酶活性与幼苗脱水忍耐性相关性的研究[J]. *植物学报*, 1985, 27(2): 152—160.
- [8] 余叔文,刘 愚,李振国,等.二氧化硫对植物的伤害机理的研究[J]. *科学通报*, 1980, 24: 1145—1147.
- [9] 李晓芝,周仁纲,樊志和,等.二氧化硫对植物伤害机理的研究[J]. *科学通报*, 1980, 24: 1145—1147.
- [10] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:中国农业出版社,1990. 137—138.
- [11] 邹 琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2004. 163—169, 173—174.
- [12] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2004. 164—169, 260—261.
- [13] 张志良.植物生理学实验指导(第一版)[M].北京:高等教育出版社,1990. 154—157.
- [14] Waters E R, Lee G J, Vierling E. Evolution, structure and function of the small heat shock proteins in plants[J]. *J Exp Bot*, 1996, 47: 325—338.
- [15] Sabehat A, Weiss D, Lurie S. Heat-shock proteins and cross tolerance in plants[J]. *Physiol Plant*, 1998, 103: 437—441.
- [16] Bowler C, Fluhr R. The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-adaptation[J]. *Trends Plant Sci*, 2000, 5: 241—246.
- [17] Mallick N, Mohn F H. Reactive oxygen species: Response of algal cells[J]. *J Plant Physiol*, 2000, 157: 183—193.

Cross adaptation of stress on maize seedlings under drought induced

KANG Jian-hong, WU Hong-liang, HUANG Ling-dan

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Maize (Shendan¹⁶ and T²²⁰⁸) seedlings were used to study on survival rate, electrolyte leakage (EL) of seedlings, content of MDA, activities of CAT, SOD and POD of maize seedlings in drought, chilling, heat and salt stress was induced. The results of cross adaptation showed that, the resistance to drought, chilling, heat and salt stress of maize seedlings was improved through short-term drought pretreatment, the resistance to stress and survival rate of maize were also improved, while EL and the content of MDA were reduced, and the activities of CAT, SOD and POD were improved. The phenomenon of cross adaptation on maize seedlings was demonstrated. These evidences showed that maize seedlings have the ability of cross-adaptation under drought induced.

Keywords: drought induced; maize seedling; stress; cross adaptation; protective enzyme