

水分胁迫对小麦幼苗叶片多胺含量的影响

牛明功¹, 陈 龙¹, 王 贤¹, 杨光宇², 刘怀攀^{1*}

(1. 周口师范学院生命科学系植物学重点实验室, 河南 周口 466000; 2. 周口市农业科学研究所, 河南 周口 466001)

摘要: 水分胁迫下小麦幼苗叶片多胺含量变化的研究表明, 聚乙二醇(PEG)的渗透胁迫明显提高了抗旱性强的周麦系列幼苗叶片游离态 Put、Spd 和 Spm 的含量和抗旱性弱的温麦 6 号的 Put 含量。外源 Spd 显著提高了水分胁迫下温麦 6 号的 Spd 的含量, 对其抗性也有所改善。外源 MGBG (Spd 和 Spm 生物合成抑制剂)可提高水分胁迫下周麦 12 号 Put 的含量, 但降低了 Spd 和 Spm 的含量和幼苗的抗性。

关键词: 小麦; 水分胁迫; 多胺

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395 (2004) 06-0501-05

Effect of Water Stress on Polyamine Contents in Leaves of Wheat Seedlings

NIU Ming-gong¹, CHEN Long¹, WANG Xian¹, YANG Guang-yu², LIU Huai-pan^{1*}

(1. Department of Life Science, Zhoukou Normal College, Zhoukou 466000, China; 2. Zhoukou Agricultural Institute, Zhoukou 466001, China)

Abstract: Polyethylene glycol (PEG) induced osmotic stress increased the contents of putrescine (Put), spermidine (Spd) and spermine (Spm) in seedlings of drought-resistant wheat strains Zhou and the content of Put in seedlings of drought-sensitive wheat Wen 6. Exogenous Spd (1 mmol/L) obviously increased the content of Spd in seedlings of Wen 6 and its resistance to water stress increased to some extent. Methylglyoxyl-bis (guanyldiazide) (MGBG, 1 mmol/L), an inhibitor of biosynthesis of Spd and Spm, increased the content of Put in wheat seedlings of Zhou 12 under water stress, but decreased the contents of Spd and Spm as well as its drought resistance.

Key words: Wheat; Water Stress; Polyamine

多胺(polyamine)是生物代谢过程中产生的一类具有生物活性的低分子量脂肪族含氮碱, 常见的多胺有腐胺(Put)、尸胺(Cad)、亚精胺(Spd)、精胺(Spm)等。Put 共价连接上氨基残基, 生成亚精胺和精胺, 氨基的提供者是 S-腺苷蛋氨酸(SAM)经过 S-腺苷蛋氨酸脱羧酶(SAMDC)催化脱羧而形成的, SAMDC 被甲基乙二醛-双(鸟嘌呤)即 MGBG 强烈抑制。它们不仅具有调节植物生长发育、控制性别分化、果蔬成熟、衰老等功能^[1-4], 而且越来越多的研究表明, 它们和植物对外界环境的胁迫反应的关系非常密切^[5-10]。然而有关水分胁迫和多胺关系的研究并不多见^[11], 而且研究结果之间不一致, 分歧的焦

点在于水分胁迫下, 游离态腐胺累积的意义, 即游离腐胺在胁迫条件下的上升是一种适应性反应还是伤害性反应。本实验以抗旱性不同的 4 个小麦品种幼苗为材料, 以聚乙二醇(PEG)模拟干旱条件, 研究水分胁迫和多胺的关系, 旨在为外施多胺提高作物抗旱性的应用和未来的遗传育种工作提供参考依据。

1 材料和方法

材料及处理 小麦 (*Triticum aestivum* L.) 种子为河南省周口市农科所提供的经国家审定通过的抗旱性较强的周麦 9 号(豫麦 21 号)、周麦 13 号、周麦 12 号(豫麦 62 号)和抗旱性弱的温麦 6 号。

收稿日期: 2003-09-24 接受日期: 2004-07-26

基金项目: 国家农业科技成果转化资金专项 (02EFN214100393); 河南省教育厅科研基金(2001180024)资助

* 通讯作者 Corresponding author

小麦种子经 0.1% HgCl₂ 消毒 5 min 后, 冲洗, 流水浸种 12 h, 再转到 25 °C 黑暗培养箱中催芽 12 h。选取露白一致的种子腹沟朝下均匀撒播在具孔装满石英砂的小塑料杯中(30 粒 / 杯), 将塑料杯放入盛有 Hoagland 营养液的周转箱中培养, 于 10 d 后定苗(留取长势、大小一致的幼苗, 20 株 / 杯), 然后分组处理: ①小麦品种分别用含 0% (-0.06 MPa)(用美国 Advanced 公司生产的 3D3 型冰点渗透压仪测营养液的渗透势)、10% (-0.17 MPa)、15% (-0.34 MPa)、20% (-0.55 MPa)、25% (-0.89 MPa)、30% (-1.21 MPa) 的 PEG-6000(国产) Hoagland 营养液进行培养; ②周麦 12 号和温麦 6 号用第一组营养液培养的同时, 再各设两组, 早晚叶面喷施一次 1 mmol/L 甲基乙二醛 - 双(鸟嘌呤)即 MGBG(为 Sigma 公司产品)和 1 mmol/L 的 Spd(为 Fluka 公司产品)。各组均在大棚温室内培养, 温度为 25±1 °C, 每天光照 14 h, 培养 7 d 后, 选取倒二叶片进行指标的测定。每种处理均做 3 次重复, 每次实验随机取 3 个样, 所得结果为 9 次结果的平均值。

相对含水量(RWC)的测定 按称重法测定^[12]。

质膜相对透性(RMP)的测定 按电导仪法测定^[13]。

相对生长率(RGR)的计算 按下面公式:
RGR = (处理 7 d 后的株高 - 处理前的株高) / 处理前的株高

游离态多胺的测定 按 Kiriakos 等^[14]方法, 稍加改动: 取 1 g 叶片剪碎放研钵中用 5 ml 5% 的高氯酸研磨匀浆(冰浴), 4 °C 下静置 1 h 后用 17 000×g 离心 30 min。取 0.5 ml 上清液加 1 ml 2 mol/L NaOH, 再加 10 μl 的苯甲酰氯进行苯甲酰化, 涡旋 20 s 后, 37 °C 水浴反应, 0.5 h 后加 2 ml 饱和 NaCl 终止反应, 加 3 ml 乙醚, 再离心(300×g, 5 min), 取 1.5 ml 的乙醚相放入 ependorf 离心管中真空抽干后, 再往离心管中加 100 μl 甲醇, 过 0.45 μm 滤膜后吸 10 μl 进样, 用 Waters 600E 型(美国 Waters 公司产品)高效液相色谱仪进行测定。色谱柱为 Waters Symmetry C₁₈(3.9 mm×150 mm, 粒度 5 μm)。洗脱液为甲醇: 乙腈: 水 = 64: 2.5: 33.5, 流速为 0.5 ml min⁻¹, 柱温为 25±1 °C。用 Waters 2487 型紫外检测器在 254 nm 下检测。

表 1 PEG 及外源 Spd 和 MGBG 对小麦幼苗相对含水量(RWC)、相对质膜透性(RMP)及相对生长速率(RGR)的影响
Table 1 Effects of polyethylene glycol (PEG), exogenous spermidine (Spd) and MGBG on the relative water content (RWC), relative membrane permeability (RMP) and relative growth rate (RGR) of wheat seedlings

品种 Cultivar	Spd or MGBG (1 mmol/L)	PEG (%)							
		0	10	15	20	25	30		
RWC (%)	温 6 (Wen 6)	99.2±1.1 a	95.3±1.3 b	90.1±1.0 c	85.8±0.9 d	80.2±0.9 e	75.4±0.8 f		
	温 6 (Wen 6)	Spd	99.1±1.4 a	96.3±1.4 ab	94.2±1.3 bc	92.3±1.2 cd	90.5±0.9 d	85.0±0.9 e	
	温 6 (Wen 6)	MGBG	98.9±1.4 a	94.2±1.2 b	88.7±0.9 c	84.6±0.9 d	78.6±0.8 e	72.3±0.8 f	
	周 9 (Zhou 9)		98.5±1.3 a	98.4±1.3 a	97.6±1.2 a	91.2±0.9 b	92.4±1.0 b	85.6±0.9 c	
	周 13 (Zhou 13)		98.3±1.3 a	97.6±1.4 a	95.7±1.3 ab	93.2±1.2 b	90.3±1.0 c	84.6±0.9 d	
	周 12 (Zhou 12)		97.4±1.2 a	98.6±1.3 a	95.7±1.1 b	93.9±1.0 bc	92.2±0.9 c	90.1±0.9 d	
	周 12 (Zhou 12)	Spd	98.2±1.5 a	98.3±1.4 a	96.4±1.4 a	92.2±1.2 b	91.6±1.3 b	91.1±1.0 b	
	周 12 (Zhou 12)	MGBG	96.8±1.2 a	95.2±1.3 a	90.5±1.2 b	87.6±0.9 c	85.4±0.9 d	78.6±0.8 e	
	RMP (%)	温 6 (Wen 6)		7.4±0.9 e	12.3±1.5 d	17.5±2.0 c	25.6±3.1 b	30.8±3.9 ab	38.6±4.0 a
		温 6 (Wen 6)	Spd	7.1±0.8 d	9.2±1.0 c	10.7±1.3 c	15.3±1.7 b	19.2±2.1 a	21.4±3.1 a
		温 6 (Wen 6)	MGBG	8.1±0.9 e	12.9±1.6 d	18.6±2.1 c	27.1±3.0 b	32.9±3.4 ab	39.1±4.1 a
		周 9 (Zhou 9)		7.1±0.8 d	8.2±0.9 d	10.4±1.1 c	15.3±2.0 b	18.7±2.3 ab	22.2±2.4 a
周 13 (Zhou 13)			8.2±1.1 d	8.9±1.3 cd	10.2±1.6 c	16.1±1.9 b	20.4±2.5 ab	25.5±3.0 a	
周 12 (Zhou 12)			8.0±0.9 c	7.9±0.9 c	9.1±1.1 b	10.2±1.3 b	15.6±1.9 a	17.3±2.1 a	
周 12 (Zhou 12)		Spd	7.8±0.9 b	8.1±1.1 b	8.9±0.9 b	9.8±1.2 b	14.9±1.6 a	16.8±1.8 a	
周 12 (Zhou 12)		MGBG	8.1±1.0 e	9.9±1.3 e	15.1±2.0 d	20.2±2.3 c	24.6±2.7 bc	30.7±3.3 a	
RGR (%)		温 6 (Wen 6)		82.3±9.1 a	60.5±7.4 b	51.8±6.6 b	25.4±3.1 c	10.2±1.3	5.1±1.0 e
		温 6 (Wen 6)	Spd	82.9±10.3 a	73.7±9.2 ab	64.5±7.5 b	38.2±5.0 c	30.0±4.3 cd	28.6±3.8 d
		温 6 (Wen 6)	MGBG	80.7±8.9 a	60.3±7.5 b	49.7±6.2 b	26.2±4.3 c	9.9±1.4 d	4.8±0.9 e
		周 9 (Zhou 9)		80.8±10.0 a	70.6±8.8 ab	60.5±7.9 b	44.1±6.2 c	34.3±4.4 d	30.6±4.2 d
	周 13 (Zhou 13)		79.2±9.7 a	73.7±8.6 a	64.7±7.8 a	48.2±5.4 b	37.6±4.3 c	32.4±4.1 c	
	周 12 (Zhou 12)		78.1±8.8 a	75.9±9.2 a	66.8±8.1 a	50.8±6.6 b	40.5±5.5 bc	36.7±4.3 c	
	周 12 (Zhou 12)	Spd	78.4±9.1 a	76.5±8.9 a	65.9±7.4 a	52.1±6.3 b	42.4±5.5 b	40.8±5.0 b	
	周 12 (Zhou 12)	MGBG	77.6±8.9 a	74.5±8.7 a	50.1±6.2 b	35.9±4.6 c	20.0±3.2 d	14.8±2.2 d	

同行中不同字母代表差异显著 ($p < 0.05$)。Means with different letters in the same line are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

2 结果和分析

2.1 渗透胁迫对小麦苗的影响

从表1可以看出,随着PEG渗透胁迫强度的加大,四个小麦品种在处理7d内的相对含水量都逐渐降低,但耐旱性弱的温麦6号的失水更加严重,当PEG浓度达20%(-0.55 MPa)时,对它已构成中度胁迫,达30%(-1.21MPa)时,形成重度胁迫^[5],而对于抗旱性较强的周麦系列,只有当PEG浓度达30%时,才对其构成中度胁迫,相比较而言,周麦12号的抗渗透胁迫和保持水分的能力最大。质膜相对透性是膜受伤害程度的一个指标,从表1也可以看出,随着PEG胁迫浓度的加大,四个小麦品种膜伤害程度加大,表现为膜透性的增加,温麦6号的伤害程度最严重,而周麦系列的膜受伤害程度较轻,周麦12号受伤程度最小。生长状况是植物对干旱胁迫最敏感的生理反应,从表1也可以看出,当PEG浓度超过20%时,对干旱敏感的温麦6号几乎停止生长,而周麦系列仍能保持44%~50%的生长势态;周麦12号的生长速度最大,当PEG浓度达

30%时,仍能保持25%左右的相对生长速率。

2.2 外源Spd、MGBG对渗透胁迫下小麦幼苗的影响

表1还显示,在渗透胁迫条件下,用外源1mmol/L的MGBG处理抗旱性较强的周麦12号时,其相对含水量比单独PEG处理时明显下降,质膜相对透性显著上升,相对生长速率也大幅度降低。外施1mmol/L的Spd对周麦12号效果不明显,而Spd处理抗旱性弱的温麦6号时,其相对含水量、相对生长率都比单独PEG处理时有很大提高,质膜相对透性显著降低,而1mmol/L的MGBG处理则没有明显的效果。

2.3 渗透胁迫对叶片游离态多胺含量的影响

从表2可以看出,四个小麦品种在受PEG渗透胁迫时,三种游离态多胺的浓度均呈增加趋势。在PEG浓度达20%时,温麦6号Put浓度已明显上升,当PEG浓度达30%时达对照的3.5倍。周麦系列的Put上升幅度明显低于温麦6号,以周麦12号的上升幅度最低。对于Spd和Spm,抗旱性弱的温麦6号几乎没有增加,而周麦系列Spd和Spm的浓度随着PEG胁迫浓度的增加而明显增加,尤以周麦

表2 PEG及外源Spd和MGBG对小麦幼苗叶片游离态多胺含量(nmol g⁻¹ FW)的影响
Table 2 Effects of polyethylene glycol (PEG), exogenous spermidine (Spd) and MGBG on free-polyamine contents (nmol g⁻¹ FW) in leaves of wheat seedlings

品种 Cultivar	Spd or MGBG (1 mol/L)	PEG (%)							
		0	10	15	20	25	30		
Put	温6 (Wen 6)	71.2±8.3 d	82.2±9.4 d	120.4±14.5 c	168.3±18.2 b	200.4±23.0ab	249.2±26.6 a		
	温6 (Wen 6)	Spd	72.0±8.2 d	84.6±8.3 d	130.4±15.1 c	175.3±19.3 b	211.5±23.7 ab	252.3±27.2 a	
	温6 (Wen 6)	MGBG	73.4±8.3 d	89.9±10.4 d	132.5±15.5 c	178.6±20.0 b	216.3±24.0 ab	260.2±28.2 a	
	周9 (Zhou 9)		71.2±9.0 c	81.6±9.2 c	89.6±10.3 c	122.3±14.3 b	180.6±20.5 a	195.4±21.4 a	
	周13 (Zhou 13)		72.4±9.1 c	82.5±9.4 c	91.3±11.2 c	118.2±13.7 b	176.5±19.0 a	194.2±21.2 a	
	周12 (Zhou 12)		73.1±10.2 c	83.5±11.3 c	92.1±13.4 c	120.2±13.9 b	171.4±18.8 a	190.2±20.1 a	
	周12 (Zhou 12)	Spd	78.1±10.5 c	89.3±13.2 c	99.4±14.0 c	130.3±14.6 b	178.1±19.4 a	196.0±21.2 a	
	周12 (Zhou 12)	MGBG	80.0±11.1 c	92.5±14.0 c	110.3±15.3 c	167.3±19.2 b	198.4±22.0 a	230.4±27.7 a	
	Spd	温6 (Wen 6)		124.9±14.5 a	135.3±15.7 a	139.5±16.0 a	140.8±16.3 a	132.6±15.9 a	130.7±15.4 a
		温6 (Wen 6)	Spd	126.3±15.1 b	139.5±15.3 b	157.4±18.0 ab	173.1±19.2 a	179.1±21.2 a	184.5±22.3 a
		温6 (Wen 6)	MGBG	115.2±13.2 a	123.5±14.3 a	138.5±16.0 a	139.0±17.4 a	129.2±14.4 a	120.5±13.3 a
		周9 (Zhou 9)		123.8±14.4 c	136.8±16.2 c	156.9±18.7 abc	171.3±19.2 ab	176.6±20.1 a	180.3±21.6 a
周13 (Zhou 13)			124.7±14.1 b	140.6±16.6 bc	160.5±18.9 ab	175.6±20.1 ab	180.2±22.2 a	186.8±22.9 a	
周12 (Zhou 12)			125.7±14.5 b	150.2±17.1 ab	167.5±19.0 a	180.6±21.3 a	187.3±23.0 a	189.4±23.1 a	
周12 (Zhou 12)		Spd	128.7±15.2 c	154.9±17.7 bc	173.6±19.3 ab	191.1±23.4 ab	199.8±23.3 ab	201.2±24.6 a	
周12 (Zhou 12)		MGBG	120.1±13.4 b	134.2±16.0 ab	147.5±17.2 ab	150.1±18.5 ab	156.4±19.3 a	158.1±19.9 a	
Spm		温6 (Wen 6)		67.2±7.2 a	67.6±7.3 a	69.47±7.7 a	70.5±7.9 a	68.3±7.4 a	65.3±7.5 a
		温6 (Wen 6)	Spd	67.5±7.2 c	68.4±7.3 c	72.18±8.0 bc	76.8±8.1 abc	87.2±8.2 ab	90.1±9.1 a
		温6 (Wen 6)	MGBG	66.2±7.1 a	67.1±7.3 a	65.26±7.2 a	72.3±8.0 a	64.1±7.2 a	60.2±7.0 a
		周9 (Zhou 9)		65.4±7.0 c	66.6±7.1 bc	68.26±7.2 bc	75.5±8.1 abc	81.4±8.3 ab	92.8±8.9 a
	周13 (Zhou 13)		64.6±7.0 c	67.4±7.3 c	70.28±7.8 bc	76.4±7.9 bc	86.8±8.9 ab	95.4±9.7 a	
	周12 (Zhou 12)		64.3±7.1 c	68.5±7.2 c	70.17±7.7 bc	78.5±8.0 bc	89.6±9.1 ab	99.6±9.8 a	
	周12 (Zhou 12)	Spd	66.3±7.4 d	73.0±8.0 cd	75.44±8.1 cd	83.3±9.0 bc	95.3±9.6 ab	105.3±11.2 a	
	周12 (Zhou 12)	MGBG	63.2±7.2 a	65.4±7.4 a	62.13±7.0 a	71.4±8.1 a	72.2±8.2 a	75.3±9.0 a	

同行中不同字母代表差异显著(p<0.05)。Means with different letters in the same line are significantly different at p < 0.05 by Duncan's multiple range test.

12 号的增加幅度更加明显。

2.4 外源 Spd、MGBG 对渗透胁迫下游离态多胺含量的影响

由表 2 可见, 1 mmol/L 外源 Spd 处理渗透胁迫下的温麦 6 号, 其体内的 Put、Spd 和 Spm 都比单独 PEG 处理时升高, 但是 Spd 和 Spm 上升幅度大于 Put 的升幅。外源 Spd 对渗透胁迫下的周麦 12 号的内源游离态多胺含量的上升影响不太明显。1 mmol/L 的外源 MGBG 处理渗透胁迫下的周麦 12 号比单独 PEG 处理时体内的 Put 明显上升, Spd 和 Spm 含量下降, Spd 下降更加明显。外源 MGBG 对渗透胁迫下的温麦 6 号体内的游离态多胺含量比单独 PEG 处理时有所影响, 变化趋势和周麦 12 号相似, 但是影响不明显。

3 讨论

大量研究表明^[5-11], 多胺参与植物对逆境胁迫的响应, 在胁迫期间大量累积, 然而, 在 3 种常见的重要多胺中, 究竟哪种多胺在植物对逆境胁迫的响应中起关键作用, 尚存在着分歧, 特别是胁迫条件下游离 Put 累积的意义分歧更大: 有的研究认为是一种伤害性反应^[5-8]; 而有的研究则认为是一种适应性反应^[9,10,15]。本实验的结果表明: 四种抗旱性不同的小麦品种在受到 PEG 渗透胁迫时, 幼苗体内的三种游离多胺含量均上升, 但上升的幅度在抗性不同的品种中各有所不同。在抗性强的周麦系列(特别是周麦 12 号) 体内, Spd 和 Spm 的升幅较大, Put 的升幅较小; 相比较而言, 在抗性弱的温麦 6 号体内, Put 的升幅较大, Spd 和 Spm 变化很微弱(表 2), 这似乎说明在水分胁迫条件下 Put 的上升是植物的一种伤害性反应, 而 Spd 和 Spm 的上升是植物的一种适应性反应。以周麦 12 号为例, 在胁迫条件下, 小麦幼苗的 RGR 与叶片内的多胺水平的比值 (Spd + Spm / Put) 呈极显著正相关, 其它品种幼苗的 RGR 与叶片内的多胺水平的此比值也呈显著正相关。Pedrol 等^[9]的丝绒草实验及 Van 等^[10]的马铃薯实验都说明了植物体内的 Spd 含量的升高有助于提高抗干旱胁迫能力。邢更生等^[8]发现旱生植物山豆在受到水分胁迫时, 为了适应干旱, 体内游离态的 Spm 含量上升最为显著; 陈坤明等^[7]认为三种多胺中, Spd 和 Spm 的积累是小麦抗旱性增强的主要因素。这些实验与我们得出的结论相一致, 那么又如何从理论上解释 Put 含量过高对植物的伤害, 而 Spd 和 Spm 含

量上升是植物对水分胁迫的适应呢? 据推测在正常生理 pH 范围内, 多胺带正电荷, Spd 和 Spm 比 Put 带有较多的正电荷, 所以更容易与生物膜上带负电的磷脂相结合, 这样不但稳定了膜, 防止膜成份的降解破坏, 而且还可通过 Fe²⁺ 形成三元复合物, 减少了 Fe²⁺ 中介的活性氧的产生。另外由于 Spd 和 Spm 的氨基化程度较高, 较 Put 更容易清除水分胁迫产生的活性氧的伤害。Put 的含量上升, 会引起多胺氧化酶活性的急增, 产生大量的氨基醛和丙烯醛等有害物质。虽然有大量实验证实 Put 的毒害及 Spd 和 Spm 在抗性方面的贡献, 然而有实验提出相反的结论, 如 Gu 等^[16]很早就提出可以考虑利用游离 Put / 游离 Spd、游离 Put / 游离 Spm 的比值高低作为甘蔗品种抗旱性鉴定的生理参数。Goicoechea 等^[10]发现与根瘤菌共生的苜蓿因有较多的游离 Put, 故能较好地适应干旱胁迫。张木清^[9]也认为游离 Put 含量的累积可减轻干旱对作物细胞的伤害, 是使作物抗旱性提高的一个因素, 而 Spd 的快速累积则加重了对作物细胞的伤害, 是使作物抗旱性降低的一个因素。

为了充分证实我们的实验结果, 我们利用外源 1 mmol/L 的 Spd 在 PEG 胁迫同时喷施小麦幼苗。结果表明, 外源 Spd 对抗旱性较强的周麦 12 号的内源多胺和抗性影响不大, 这可能是周麦 12 号本身在水分胁迫时体内合成了足够的 Spd 以适应抗性, 不需外源的 Spd。在水分胁迫下, 外源 Spd 能明显提高抗旱性弱的温麦 6 号的 Spd 的含量, 但对 Put 的影响不太明显(表 2)。外施 Spd 明显提高了温麦 6 号的抗性, 这和前人^[17]的结果是一致的。

S-腺苷蛋氨酸(SAM)在脱羧酶(SAMDC)作用下可提供氨基残基给 Put, 生成 Spd 和 Spm, 关键酶 SAMDC 受 MGBG 的专一抑制(Smith 1985, Evans 等 1989)。为了从反面验证 Spd 对抗性的贡献, 我们用 1 mmol/L 的 MGBG 外施水分胁迫下的小麦幼苗, 结果表明周麦 12 号比单独水分胁迫下体内 Spd 和 Spm 的含量明显降低, Put 含量因反馈调节而明显升高(表 2); 另外从表 1 可以看出 MGBG 明显降低了周麦 12 号的抗性; 而 MGBG 对温麦 6 号的内源多胺含量和对水分胁迫的抗性影响不如对周麦 12 号的明显, 虽然也降低了温麦 6 号的 Spd、Spm 含量和抗性。MGBG 对抗性的影响可能涉及到乙烯对植物的调节作用, 因为 MGBG 对 SAMDC 的抑制可能有利于乙烯的合成, 此工作还有待进一步研究。

参考文献

- [1] Pal B H, Say S G, Aswathanaragan R G. Putrescine and silver nitrate influences shoot multiplication *in vitro* flowering endogenous titers of polyamines in *Cichorium intybus* L. (cv. Lucknow local) [J]. *J Plant Growth Regul*, 2000, 19(20):238-248.
- [2] Tassoni A, Van B M, Franceschetti M, et al. Ployamine content and metabolism in *Arabidopsis thaliana* and effect of spermidine on plant development [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2000, 38(5):383-393.
- [3] Pan Y G(潘永贵), Qiu H Y(仇厚援), An G J(安广杰). Changes of polyamine level in post-harvest banana [J]. *Acta Phytophysiol Sin Mol Biol*(植物生理与分子生物学学报), 2002, 28(2):96-98.(in Chinese)
- [4] Chen X H(陈学好), Zeng G W(曾广文). Relationship between floral sex differentiation and endogenous polyamines in cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. *Acta Phytophysiol Sin Mol Biol*(植物生理与分子生物学学报), 2002, 28(1):17-22. (in Chinese)
- [5] Pedrpl N, Ramos P, Keigosa M J. Phenotypic plasticity and acclimation to water deficits in velvet-grass: A long-term greenhouse experiment: Change in leaf morphology, photosynthesis and stress-induced metabolites [J]. *J Plant Physiol*, 2000, 157(4):383-393.
- [6] Van D M A, De R J A, Van D M T, et al. Changes in free proline concentrations and polyamine levels in potato leaves during drought stress [J]. *South African J Sci*, 1998, 94(7):347-350.
- [7] Chen K M(陈坤明), Zhang C L(张承烈). Polyamine contents in the spring wheat leaves and their relations to drought-resistance [J]. *Acta Phytophysiol Sin*(植物生理学报), 2000, 26(5):381-386. (in Chinese)
- [8] Xing G S(邢更生), Zhou G K(周功克), Cui K R(崔凯荣), et al. Studies of polyamine metabolism and β -N-oxalyl-L- α , β -diaminopropionic acid accumulation in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) under water stress [J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), 2000, 42(10):1039-1044. (in Chinese)
- [9] Zhang M Q(张木清), Chen R K(陈如凯), Yu S L(余松烈). The change of polyamine metabolism in sugarcane leaves and the relation between polyamine and the anti-drought ability of them under water stress [J]. *Acta Phytophysiol Sin*(植物生理学报), 1996, 22(3):327-332. (in Chinese)
- [10] Goicoechea N, Szalai G, Antolin M C, et al. Influence of arbuscular mycorrhizae and rhizobium on free polyamines and proline levels in water-stressed alfalfa [J]. *J Plant Physiol*, 1998, 153(5-6):706-711.
- [11] Mejia E G de, Martinez R V, Castano T E, et al. Effect of drought on polyamine metabolism, yield, protein content and *in vitro* protein digestibility in teoary (*Phaseolus acutifolius* L.) and common (*Phaseolus vulgaris* L.) bean seeds [J]. *J Sci Food Agri*, 2003, 83:1022-1030.
- [12] Gong F S(龚富生), Zhang J B(张嘉宝). Experiments on Plant Physiology [M]. Beijing: Weather Publishing House, 1995. 12-15. (in Chinese)
- [13] Wang S T(王韶唐). Experimental Manual on Plant Physiology [M]. Xi'an: Shaanxi Scientific and Technical Press House, 1987. 73-76.(in Chinese)
- [14] Kiriakos K, Maria D, ChristaKis H, et al. A narrow-bore HPLC method for the identification and quantitation of free, conjugated, and bound polyamines [J]. *Anal Biochem*, 1993, 214:484-489.
- [15] Hsiao T C. Plant responcees to water stress [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1973, 24:519-570.
- [16] Gu Y M G, Vigh L, Queiroz Q. Changes in polyamine and precursor content during drought induced adaptive morphogenesis in rape [J]. *Bull de la Society Franc Actr Bot*, 1984, 131:99-103.
- [17] Jiang X Y(江行玉), Zhao K F(赵可夫), Dou J X(窦君霞), et al. The effects of exogenous spermidine and dicyclohexylamine on the content of endogenous polyamines and salt resistance of *Atriplex* under NaCl stress [J]. *Plant Physiol Comm*(植物生理学通讯), 2001, 37(1): 6-9. (in Chinese)