

## 聚乙二醇模拟干旱对马铃薯幼苗生长与细胞膜透性的影响

秦玉芝<sup>a</sup>, 陈珏<sup>a</sup>, 刘明月<sup>a</sup>, 熊兴耀<sup>a\*</sup>, 何长征<sup>a</sup>, 周玄<sup>b</sup>, 邢铮<sup>a</sup>

(湖南农业大学 a.园艺园林学院; b.东方科技学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:**为探明马铃薯的抗旱机理,在离体培养条件下,对 8 个马铃薯品种进行 5%、10%、15%、20%、25%、30%的聚乙二醇(PEG 6000)模拟干旱胁迫,研究马铃薯的茎叶发生、根系生长与细胞膜相对透性的变化。结果表明 随着 PEG 胁迫的加深,所有材料的叶片变小,除湘马铃薯 1 号外的其余 7 种材料的叶片数在 10%~30%PEG 胁迫下均显著少于对照;马铃薯株高对 PEG 胁迫最敏感,在 5%~30%PEG 胁迫下,8 个马铃薯品种的株高均显著高于对照;在 10% PEG 胁迫下,除 *S.chacoense*-1 号外的其余 7 种材料的茎节数均显著少于对照,各材料的茎节生长开始受到影响;根系的伸长生长对干旱胁迫的敏感度高于根系数量,湘马铃薯 1 号在 15%PEG 胁迫下即表现出发根困难,中薯 3 号、东农 303、费乌瑞它、金山薯的发根限制浓度为 25%,而大西洋、中薯 5 号和 *S.chacoense*-1 号在胁迫浓度达 30%时仍能正常发出根系,只是生长变缓;在 5%~30%PEG 胁迫下,随 PEG 胁迫的加深,8 个马铃薯品种的细胞膜相对透性(电导率)均呈增加趋势,但增加幅度不同,表现出的规律与其幼苗形态表型基本相似。

**关键词:**马铃薯;聚乙二醇;干旱胁迫;形态特征;细胞膜透性

中图分类号: S632.9

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2011)06-0627-05

## Effect of PEG-induced water stress on morphologic characters and membrane permeability of potato

QIN Yu-zhi<sup>a</sup>, CHEN Jue<sup>a</sup>, LIU Ming-yue<sup>a</sup>, XIONG Xing-yao<sup>a\*</sup>, HE Chang-zheng<sup>a</sup>, ZHOU Xuan<sup>b</sup>, XING Zhen<sup>a</sup>

(Hunan Agricultural University a. College of Horticulture and Landscape; b. College of Orient Science Technology, Changsha 410128, China)

**Abstract:** The effects of water stress induced by polyethylene glycol 6000(PEG 6000) on morphological characters and membrane permeability of seedlings were studied using 8 varieties of potatoes. Each of the potato varieties was treated with 0(CK), 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% PEG respectively. The results showed that leaf size and number decreased with increasing concentration of PEG. Leaf numbers of all the materials but Xiang Potato 1 were significantly lower than CK when treated with 10% PEG. The elongation of stems was more sensitive to drought stress, which were significantly inhibited by 5% PEG treatment compared to CK and internodes number was susceptible to 10% PEG treatment. The root growth was more sensitive to drought stress compared to the number of root. The root of Xiang Potato 1 could not grow under 15% PEG stress and Zhongshu3, Dongnong303, Favorita, Jinshanshu were restricted by 25% PEG treatment. Interestingly, the roots of Atlantic potato, Zhongshu5 and *S.chacoense*-1 could develop even under 30% PEG stress. Membrane permeability of seedlings increased with increasing concentration of PEG. The level of drought resistance varied among varieties of potatoes. The results revealed that the effect of PEG-induced water stress on seedling morphology was in accordance with the effect on membrane permeability.

**Key words:** potato; PEG 6000; water stress; morphologic characters; membrane permeability

收稿日期: 2011-09-12

基金项目: 农业部马铃薯产业技术体系岗位科学家基金(CARS-10-P19)

作者简介: 秦玉芝(1971—),女,土家族,湖南省永顺县人,博士,副教授,主要从事蔬菜育种与胁迫分子生物学研究, qyuz@163.com;

\*通信作者, xiongxingyao@126.com

旱灾是中国经常发生的严重自然灾害之一。马铃薯是对水分亏缺非常敏感的作物。目前,国内外有关马铃薯抗旱生理的研究<sup>[1-3]</sup>已取得突破性进展。近年来中国南方地区季节性干旱频繁发生,秋旱和春旱,甚至冬春连旱有加重的趋势<sup>[4]</sup>,这对南方冬作区马铃薯生产造成了严重影响。植物抗旱性鉴定多用高渗溶液模拟水分胁迫的方法,不少研究者应用聚乙二醇(PEG)作为诱导剂和筛选剂,以获得抗旱植株<sup>[5-6]</sup>。有研究<sup>[7-8]</sup>表明,小麦的根长、根数可以作为抗旱性鉴定的指标。在马铃薯块茎形成前,马铃薯植株的茎高、叶片数、叶长等都对水分敏感<sup>[9]</sup>。笔者利用PEG 6000模拟根际水分胁迫,研究干旱胁迫对马铃薯幼苗形态特征以及植株细胞膜透性的影响,旨在为进一步研究马铃薯的抗旱机理、综合评价马铃薯抗旱能力及筛选抗旱马铃薯品种提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试马铃薯栽培品种为中薯3号、大西洋、中薯5号、东农303、湘马铃薯1号、费乌瑞它、金山薯和 *S.chacoense*-1号(野生种),由湖南省马铃薯工程技术研究中心提供。供试PEG(聚乙二醇6000)由北京双环化学试剂厂生产,粉末状,易溶于水,化学式为  $\text{HO}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$ ,  $n=158\sim 204$ 。

### 1.2 方法

试验于2010年7月至2011年1月在湖南农业大学园艺园林学院完成。

#### 1.2.1 马铃薯形态特征观测

剪取含1个腋芽的马铃薯茎段接种在MS培养基中,  $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ 、每天光照16h条件下培养1周,在根系萌发之前,分别移入含0%、5%、10%、15%、20%、25%、30% PEG的MS培养液中继续培养3周,每瓶接种5个茎段,每处理重复5瓶。观测马铃薯存活及其主茎、侧枝、根系和叶片的生长状况,同时拍照、记录。

#### 1.2.2 马铃薯生理指标观测

剪取含1个腋芽的马铃薯茎段接种在MS培养

基中,  $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ 、每天光照16h条件下培养21d后,分别移入0%、15%、30%、45%的PEG溶液中,每瓶10株,每个处理重复5瓶。处理4h后进行幼苗细胞膜透性的分析。

用电导率法检测植株中  $\text{K}^+$  渗透率:将整个植株用去离子水冲洗干净,放入具塞试管中,加入10mL去离子水,封口后  $25^\circ\text{C}$  振荡1h,用DDS-11A型电导率仪测定初电导值  $C_1$ ,然后将材料置于  $-80^\circ\text{C}$  处理24h,在水浴锅中解冻后,测定其终电导值  $C_2$ 。细胞膜相对透性(电导率)  $= (C_1/C_2) \times 100\%$ <sup>[8]</sup>。细胞膜相对透性增加幅度  $= (C_n - C_0)/C_0$ ,其中,  $C_n$  为胁迫下细胞膜透性;  $C_0$  为对照细胞膜透性。

### 1.3 数据分析

用DPS8.01软件进行多重比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 PEG胁迫对马铃薯根系生长的影响

由表1可见,在5%PEG胁迫下,8种材料中只在中薯3号、大西洋和 *S.chacoense*-1号的根系长度与对照差异显著,而根系数量只有中薯3号与对照差异显著。在10%~30%PEG胁迫下,8种材料的根系长度均与对照差异显著;根系数量在10%PEG胁迫下只有中薯3号、湘马铃薯1号、费乌瑞它与对照差异显著,在15%PEG胁迫下,除东农303外的其余7种材料均与对照差异显著,可见,不同浓度PEG胁迫下马铃薯扦插节段根系诱导与生长受到的抑制不同,胁迫最先影响到根系的长度,随着胁迫程度的加深,再影响到根系数量,其中中薯3号的根系生长对PEG胁迫最敏感,而东农303最不敏感。

由图1可见,30%PEG胁迫下,大西洋、中薯5号和 *S.chacoense*-1号仍能正常发根,只是生长变缓;湘马铃薯1号在15%PEG胁迫下即发根困难;中薯3号、东农303、费乌瑞它、金山薯的发根限制浓度为25%,而大西洋、中薯5号和 *S.chacoense*-1号在胁迫浓度达30%时仍能正常发出根系,只是生长变缓。可见,大西洋、中薯5号和 *S.chacoense*-1号的根系生长对干旱胁迫表现出较强的抗逆性;湘马铃薯1号根系对干旱的耐受性稍差。

表 1 PEG 处理下马铃薯的形态特征指标

Table 1 Morphologic index of potato under PEG treatments

材料	PEG 处理	株高/cm	茎节数/节	叶片数量/片	根系长度/cm	根系数量/条
中薯 3 号	0%	(30.93±5.40)a	(5.43±0.53)a	(4.65±0.62)a	(51.17±9.36)a	(6.28±1.50)a
	5%	(11.57±1.80)b	(4.64±0.50)a	(4.09±0.50)a	(34.51±10.49)b	(4.65±1.38)b
	10%	(11.08±0.62)b	(2.59±0.62)b	(2.85±0.54)b	(32.14±10.73)b	(4.36±0.82)b
	15%	(8.06±2.84)c	(2.73±0.58)b	(2.73±1.00)b	(30.09±4.77)b	(3.89±1.03)c
	20%	(5.18±1.02)d	(2.18±0.00)b	(2.06±0.00)c	(14.21±4.66)c	(2.57±1.42)d
	25%	(3.11±0.66)e	(1.81±0.53)b	(1.29±0.53)d	(11.10±3.21)c	(2.84±1.83)d
	30%	(4.93±1.52)d	(1.54±0.63)b	(1.63±0.58)d	(9.92±8.93)d	(1.91±1.50)e
大西洋	0%	(40.88±1.91)a	(5.43±0.53)a	(5.69±0.62)a	(92.03±12.59)a	(5.73±1.71)a
	5%	(21.92±3.54)b	(4.64±0.50)a	(4.36±0.00)a	(62.06±6.43)b	(4.91±1.83)a
	10%	(13.54±3.53)c	(2.59±0.62)b	(3.37±1.36)b	(61.88±9.16)b	(4.41±1.62)a
	15%	(12.30±1.77)c	(2.45±0.50)b	(2.45±0.50)c	(58.24±10.55)b	(3.27±0.82)b
	20%	(9.95±3.18)c	(2.23±0.58)b	(2.43±0.58)c	(53.87±11.93)b	(2.57±0.63)b
	25%	(10.26±2.65)c	(2.06±0.00)bc	(2.32±0.55)c	(51.12±16.18)b	(2.58±0.62)b
	30%	(11.81±2.74)c	(1.29±0.53)c	(1.55±0.62)d	(36.73±4.43)c	(3.55±0.50)b
中薯 5 号	0%	(32.48±4.71)a	(5.17±0.00)a	(4.39±0.53)a	(61.81±11.26)a	(6.00±1.92)a
	5%	(27.42±2.32)b	(4.36±0.00)ab	(3.82±0.58)a	(58.00±4.04)a	(5.97±1.36)a
	10%	(14.37±4.06)c	(3.89±0.54)b	(2.85±0.54)b	(54.46±9.24)b	(5.67±2.10)a
	15%	(11.88±1.42)c	(3.55±0.50)b	(3.00±0.50)b	(38.60±10.10)c	(3.82±0.58)b
	20%	(10.42±1.66)c	(3.61±0.63)b	(2.83±0.55)b	(23.23±9.56)d	(3.62±1.07)b
	25%	(6.91±1.74)de	(1.55±0.62)c	(2.07±0.87)c	(21.25±3.50)d	(3.10±0.87)b
	30%	(3.33±0.81)e	(1.36±0.50)c	(1.09±0.00)d	(11.18±3.49)e	(3.27±0.82)b
东农 303	0%	(31.78±2.87)a	(5.43±0.53)a	(4.91±0.53)a	(60.61±11.33)a	(4.39±0.53)a
	5%	(24.86±4.02)b	(4.64±0.50)b	(4.64±0.50)a	(57.78±8.84)a	(4.09±0.96)a
	10%	(12.31±2.56)c	(3.37±0.54)b	(2.59±0.62)b	(42.65±16.97)b	(4.41±1.62)a
	15%	(11.00±1.81)c	(3.55±0.50)b	(2.73±0.58)b	(40.09±5.41)b	(4.91±0.58)a
	20%	(8.92±1.77)d	(3.09±1.55)c	(2.83±1.05)b	(36.91±6.10)c	(2.32±0.55)b
	25%	(8.28±1.69)d	(3.10±0.87)c	(1.03±0.00)c	(19.31±4.32)d	(1.81±0.53)c
	30%	(5.32±0.82)e	(3.00±0.96)c	(1.09±0.00)c	(4.75±0.83)e	(1.91±0.50)c
湘马铃薯 1 号	0%	(48.07±17.32)a	(5.17±0.87)a	(4.91±0.53)a	(69.10±19.52)a	(3.88±0.53)a
	5%	(19.64±5.37)b	(3.82±1.00)b	(3.82±1.00)b	(50.14±14.66)a	(3.00±0.96)a
	10%	(13.75±6.84)c	(3.86±0.55)b	(3.35±0.55)b	(34.43±18.51)b	(2.85±0.54)b
	15%	(12.70±3.05)c	(3.63±0.62)b	(2.59±0.62)b	(7.04±5.21)c	(2.18±0.00)b
	20%	(11.89±3.53)c	(3.00±0.96)c	(2.70±0.06)b	(6.78±7.13)c	(2.32±1.05)b
	25%	(9.73±1.99)d	(2.58±1.86)c	(2.58±1.38)b	(2.21±1.46)d	(1.29±1.35)c
	30%	(9.53±3.17)d	(1.91±0.50)d	(2.18±0.82)c	(1.88±2.83)d	(1.09±0.00)c
费乌瑞它	0%	(32.73±3.94)a	(5.43±0.53)a	(5.17±0.87)a	(88.37±13.74)a	(5.17±1.96)a
	5%	(27.73±4.64)b	(6.00±0.58)a	(6.55±1.42)a	(80.44±12.58)a	(4.91±1.29)a
	10%	(6.60±3.10)c	(2.85±1.03)b	(1.81±1.03)b	(51.48±17.60)b	(3.37±1.62)b
	15%	(5.32±2.28)c	(2.45±0.50)b	(1.36±0.50)b	(39.94±19.14)c	(2.73±1.00)b
	20%	(4.10±0.79)c	(1.09±0.00)c	(1.09±0.00)b	(28.74±9.76)c	(2.57±1.10)b
	25%	(2.98±1.51)d	(1.03±0.00)c	(1.03±0.00)b	(8.20±2.71)e	(1.63±1.00)c
	30%	(2.8±0.58)d	(1.03±0.00)c	(1.03±0.00)b	(19.84±1.48)d	(1.55±0.62)c
金山	0%	(27.02±9.79)a	(5.43±1.03)a	(4.14±1.24)a	(46.01±15.17)a	(4.14±1.52)a
	5%	(20.64±3.13)b	(5.18±0.96)a	(3.82±0.58)a	(48.07±11.25)a	(4.64±1.26)a
	10%	(10.94±3.09)c	(3.89±0.54)b	(1.81±0.54)b	(32.25±6.80)b	(3.63±0.62)a
	15%	(7.91±2.22)d	(3.00±0.96)b	(2.18±0.00)b	(24.41±6.39)b	(3.27±0.00)b
	20%	(6.75±1.86)d	(1.57±0.63)c	(1.28±0.55)c	(30.50±6.33)b	(2.83±0.55)b
	25%	(2.53±0.90)e	(1.03±0.00)c	(1.29±0.53)c	(2.73±3.02)c	(1.29±0.53)c
	30%	(2.17±0.36)e	(1.09±0.00)c	(1.09±0.00)c	(2.36±1.33)c	(0.81±0.50)c
<i>S.chacoense</i> -1 号	0%	(34.88±9.87)a	(4.14±0.00)a	(5.69±0.62)a	(62.40±9.91)a	(5.69±1.07)a
	5%	(21.09±5.19)b	(4.09±0.50)a	(4.36±0.82)a	(46.43±6.84)b	(5.19±1.53)a
	10%	(16.26±2.77)c	(3.89±0.54)a	(3.89±0.54)b	(46.10±7.05)b	(4.36±0.00)a
	15%	(12.88±2.45)c	(3.27±0.82)b	(2.73±0.58)c	(39.83±10.62)c	(4.09±1.72)b
	20%	(10.55±2.23)d	(3.35±1.38)b	(2.83±0.55)c	(24.45±6.11)d	(4.12±0.00)b
	25%	(9.62±6.00)d	(3.10±0.87)b	(1.81±1.03)d	(32.44±9.34)d	(3.88±1.35)b
	30%	(8.37±2.94)d	(3.00±0.50)b	(1.91±0.96)d	(9.28±9.31)e	(2.45±1.26)c

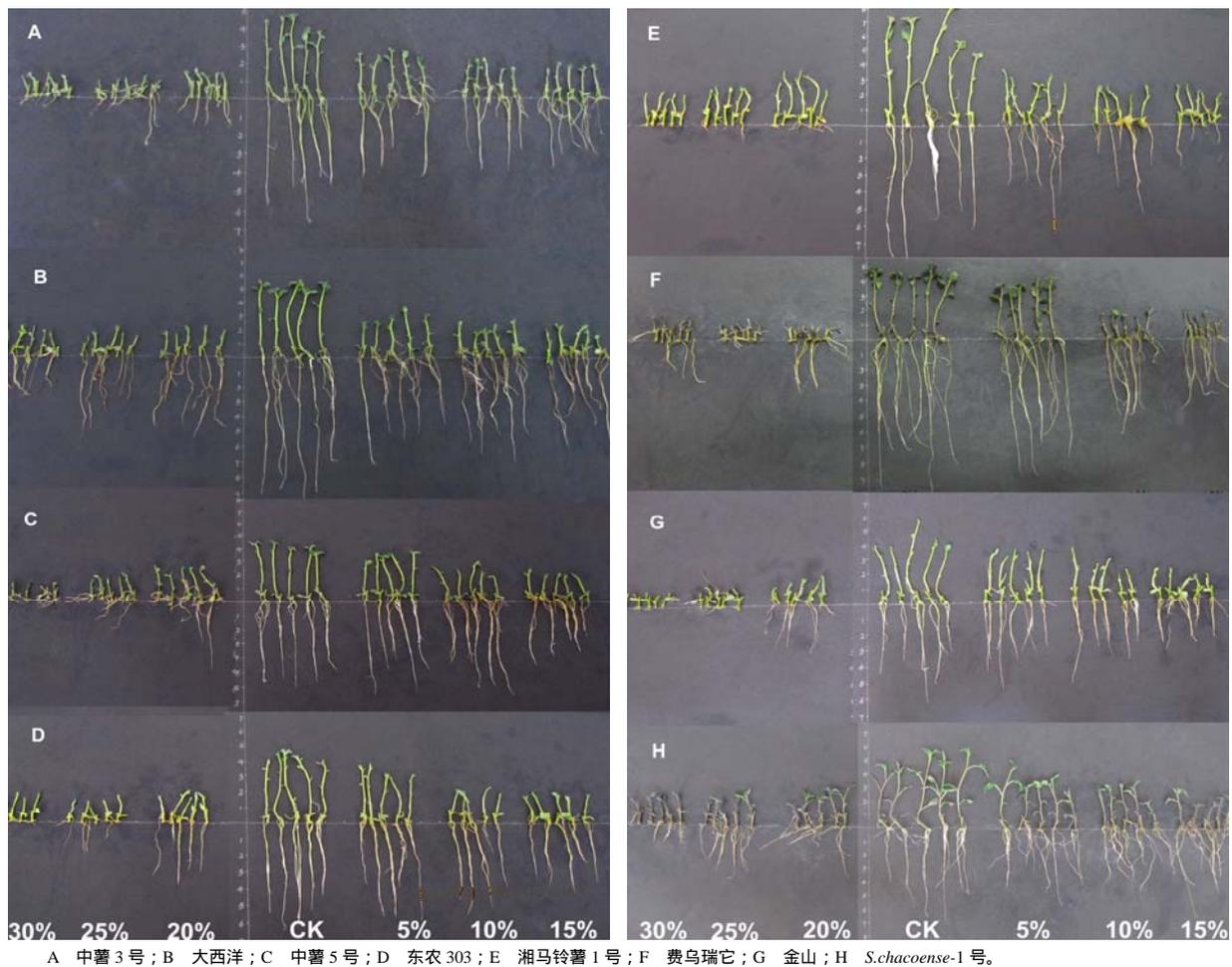


图1 不同浓度 PEG 处理下马铃薯的形态特征

Fig.1 Morphologic characters of potato under PEG treatments

## 2.2 PEG 胁迫对马铃薯茎、叶生长的影响

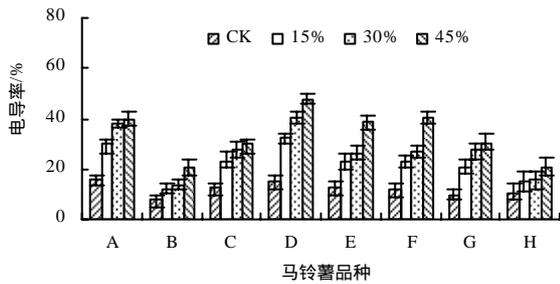
试验中发现,在 10%~30%PEG 胁迫下,所有供试材料的叶片颜色都不同程度地加深,其中费乌瑞它的茎、叶出现紫化现象;随 PEG 浓度的升高,所有材料生长速率变慢,茎节短缩,除湘马铃薯 1 号和中薯 5 号有少量基部叶片发黄外,其他材料均没有出现植株死亡或枯萎的现象。

由表 1 可见,马铃薯株高对 PEG 胁迫最敏感,在 5%~30%PEG 胁迫下,8 个马铃薯品种的株高均显著高于对照。在 5%PEG 胁迫下,8 种材料中只有湘马铃薯 1 号和东农 303 的茎节数显著少于对照;在 10%PEG 胁迫下,除 *S.chacoense-1* 号外的其余 7 种材料的茎节数均与对照差异显著,各材料的茎节生长开始受到抑制。在 20%PEG 胁迫下,费乌瑞它和金山薯茎叶的生长基本停滞(图 1)。随 PEG 胁迫增加,所有供试材料的叶片变小,除湘马铃薯

1 号外的其余 7 种供试材料的叶片数量在 10%~30%PEG 胁迫下均显著少于对照。

## 2.3 PEG 胁迫对马铃薯细胞膜相对透性的影响

在 5%~30%PEG 胁迫下,随 PEG 浓度的增加,8 个马铃薯品种的细胞膜相对透性(电导率)均呈增加趋势,但增加的幅度不同。与对照相比,15%PEG 胁迫下,*S.chacoense-1* 号的电导率增加幅度(46.1%)最小,其次是大西洋(增加幅度为 57.1%),而增加幅度在 80%~100%的品种有中薯 3 号、中薯 5 号、湘马铃薯 1 号和费乌瑞它,增加幅度超过 100%的有东农 303 和金山薯;在 30%PEG 胁迫下,*S.chacoense-1* 号、大西洋的电导率的增幅仍小于 80%;在 45%PEG 胁迫下,*S.chacoense-1* 号、大西洋的电导率增幅分别为 102%、166.2%,而东农 303 的电导率增幅(213.8%)最高,其次为金山薯(213.4%)(图 2)。



A 中薯 3 号; B 大西洋; C 中薯 5 号; D 东农 303; E 湘马铃薯 1 号; F 费乌瑞它; G 金山; H *S.chacoense*-1 号。

图 2 PEG 处理下马铃薯植株的细胞膜相对透性

Fig.2 Permeability of plasma in plant of potato under PEG treatments

### 3 结论与讨论

本研究结果表明,马铃薯扦插节段根系的诱导与生长受聚乙二醇胁迫的影响明显,根系伸长对干旱胁迫的敏感度高于根系数量。在 5%~30% 的 PEG 胁迫下,8 个供试材料均未出现植株枯死现象;随 PEG 浓度升高,所有材料生长速率变慢,茎节缩短,叶片变小,叶片数量减少,叶片颜色加深甚至紫化。以扦插苗为材料对不同品种进行比较时,需要考虑处理前由于生长速率不一致造成的株高误差。可以用比较相对生长速率来取代对绝对株高的比较。

随 PEG 浓度的增加,8 个马铃薯品种的细胞膜相对透性均呈增加趋势,表现出的规律与各供试马铃薯材料幼苗形态表型基本相似。供试马铃薯材料都能抵抗 10%PEG 胁迫,其中,大西洋、中薯 5 号和 *S.chacoense*-1 号对水分胁迫表现出较强的抗逆性,而湘马铃薯 1 号的抗逆性相对较弱,这可能与材料来自雨水充足的南方耕作区有关。

通过植株表型来分析作物抗旱性<sup>[8-12]</sup>的方法简单、直观、重复性好。PEG 是研究植物水分亏缺反应较理想的渗透调节剂<sup>[12-13]</sup>。用 PEG 模拟植物干旱逆境不受土壤、气候因素的影响,在不损伤根系的情况下能够观测到材料完整的根系和茎、叶表型。现有的研究<sup>[7-11]</sup>多用种子繁殖材料进行 PEG 模拟干旱研究。本研究中通过离体培养,以茎段作为繁殖材料进行抗旱性植株表型分析,是运用 PEG 模拟干旱对以营养繁殖为主的农作物进行研究的新尝试。因为正常组织培养条件下马铃薯茎段出芽快,

发根容易,所以,可以对 PEG 渗透胁迫下马铃薯的表型特性与抗旱性关系进行分析。针对不同材料之间存在的差异性,可结合细胞生理特征分析来提高分析结果的准确性。对于离体条件茎段发根困难的材料,该方法的使用会受到限制。

#### 参考文献:

- [1] 龚子端,李高阳. PEG 干旱胁迫对植物的影响[J]. 河南林业科技, 2006, 26(3): 21-23.
- [2] 刘玲玲,李军,李长辉,等. 马铃薯可溶性蛋白、叶绿素及 ATP 含量变化与品种抗旱性关系的研究[J]. 中国马铃薯, 2004, 18(4): 201-204.
- [3] 贾琼,张东玉,蒙美莲,等. PEG 6000 渗透胁迫对马铃薯生理特性的影响[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(5): 236-267.
- [4] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58 年演变特征[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 50-59.
- [5] Smith R H, Bhaskaran S, Miller F R. Screening for drought tolerance in sorghum using cell cultures *in vitro* [J]. Cell Dev Bio1, 1985, 21: 541.
- [6] Hsissal D, Bouharmont J. *In vitro* selection and characterization of drought-tolerant plants of durum wheat(*Triticum durum* Desf)[J]. Agronomic, 1994, 14(2): 65-70.
- [7] 周桂莲. 小麦抗旱性鉴定的形态指标及其分析评价[J]. 陕西农业科学, 1996(4): 33-34.
- [8] 王瑾,刘桂茹,杨学举. PEG 胁迫下小麦再生植株根系特性与抗旱性的关系[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(3): 117-119.
- [9] Deblonde P M K, Ledent J F. Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars[J]. European Journal of Agronomy, 2001, 14: 31-41.
- [10] 杨春杰,张学昆,邹崇顺,等. PEG 6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(4): 425-430.
- [11] 武斌,李新海,肖木辑,等. 53 份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(4): 665-676.
- [12] Rawlor D W. Absorption of polyethylene glycol by plants and their effects on plant growth[J]. New Physiol, 1970, 9: 501-513.
- [13] Katfmann M R. Evaluation of water stress control with polyethylene glycol by analysis of guttation[J]. Plant Physiol, 1971, 47: 454-456.

责任编辑: 王赛群