

PEG 模拟干旱对胡麻种子萌发及幼苗生长的影响

汪磊, 谭美莲, 严明芳, 王力军, 严兴初*

(农业部油料作物生物学重点开放实验室, 中国农业科学院油料作物研究所, 湖北 武汉 430062)

摘要: 采用 PEG 模拟干旱胁迫处理, 研究胡麻种子萌发及幼苗生长情况。结果表明, PEG 对成苗的影响大于萌发, 低浓度 PEG(5%) 对萌发有促进作用, 15% PEG 为适宜的胁迫浓度。在 15% PEG 胁迫下, 胡麻种子活力不同程度降低, 主要表现在发芽指数(GI)、活力指数(VI)、下胚轴生长受到显著抑制, 幼苗鲜重降低, 但对初生根生长的影响不一致; 幼苗相对电导率(REC)、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和可溶性糖(SS)含量均显著增加, 增幅在初生根、下胚轴、子叶中存在差异。

关键词: 聚乙二醇; 胡麻; 干旱胁迫; 萌发; 耐旱性

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0227-06

干旱是农业生产的主要限制因子, 其对农作物造成的损失相当于全球其它非生物自然灾害的损失之和^[1]。胡麻(*Linum usitatissimum* L.) 是中国西北和华北黄土高原高寒干旱区的重要油料作物, 具较强耐旱能力^[2]。胡麻种植区主要分布在西北干旱地区, 大多数地区年降水量不超过 400~500 mm, 北部重旱生态区只有 200~300 mm, 干旱胁迫是制约胡麻产量及品质的最重要因素。

目前, 国内有关胡麻抗旱方面的研究报道较少。岳国强^[4]采用盆栽限水模拟干旱胁迫, 比较了宁夏胡麻地方品种苗期(4 叶期后)抗旱能力, 并在田间条件下, 对胡麻忍耐或抵御干旱胁迫的能力进行了鉴定。祁旭升等^[2]采用综合抗旱系数与隶属函数相结合的方法, 对胡麻的抗旱性进行了综合评价, 并根据抗旱性量度值(D 值)的聚类结果, 将供试种质划分为 5 级, 其中 1 级抗旱型 2 份、2 级 22 份、3 级 69 份、4 级 72 份、5 级 27 份。尽管胡麻田间抗旱能力的鉴定和综合评价已有少量研究, 但在干旱胁迫下胡麻种子萌发情况、子叶期幼苗形态及生理指标变化方面的研究却鲜见报道。PEG(聚乙二醇)模拟干旱快速鉴定种子萌发及幼苗期耐旱能力的方法在油菜^[5,9]、棉花^[6]、花生^[7]、油菜^[8]等作物上已被广泛采用。本文则通过研究室内早期鉴定胡麻耐旱能力的 PEG 模拟干旱方法, 探讨不同 PEG 浓度处理下, 胡麻种子的萌发率、种子活力、幼苗形态及一些生理指标的变化, 以期室内早期快速鉴定胡麻品种的抗旱能力提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参考祁旭升等^[2]研究的胡麻全生育期耐旱材料的筛选结果(见表 1), 采用耐旱性不同的 3 个胡麻品种: 陇亚 10 号、定亚 17 号和定亚 18 号作为试验材料(表 1)。陇亚 10 号由甘肃省农科院作物所提供, 定亚 17 号和定亚 18 号由定西市旱作农业中心提供。

表 1 供试胡麻品种^[2]

Table 1 Flax cultivars for tests

材料 Cultivar	D 值 D value	排序 Ranking	等级 Grade
定亚 17 号 Dingya 17	0.6215	5	2
陇亚 10 号 Longya 10	0.3640	74	3
定亚 18 号 Dingya 18	0.2444	160	4

注: 排序结果由 192 个材料中得来; D 值为抗旱性度量值, 该值越大抗旱能力越强。

Note: The result of sequence is made from 192 materials; D value means measuring value of drought resistance.

1.2 PEG 模拟干旱

1.2.1 试验设计和处理 以耐旱能力居中的陇亚 10 号为材料, 筛选 PEG 模拟干旱胁迫所需的适宜浓度。发芽试验参考国家标准 GB/T3543.4-1995。每培养皿挑选大小一致, 饱满的 100 粒种子, 置于装有八层吸水纸和一层滤纸的培养皿(直径 9 cm)中^[5]。培养皿中分别加入 15 ml 浓度为 5%、10%、

收稿日期: 2011-05-09

基金项目: 国家科技支撑计划“特色油料作物抗灾与节本增效关键技术研究与示范”(2009BADA8B04-02); 现代农业产业技术体系建设专项资金(nycytx-22)

作者简介: 汪磊(1984-), 男, 湖北武汉人, 硕士, 主要从事特色油料作物栽培生理研究。E-mail: kaoyan84@126.com。

* 通讯作者: 严兴初(1963-), 男, 副研究员。E-mail: yanxc@oilcrops.cn。

15%、20%、25%、30% PEG-6000 溶液,至滤纸饱和且表面无明水,以 dH_2O 为对照,置于 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) 恒温培养箱中萌发。每处理 3 次重复。试验中根据需要补充相应浓度的 PEG 溶液。

1.2.2 调查项目 以胚根突破种皮为萌发,每天调查种子萌发数。萌发 7 d 后统计成苗率(幼苗下胚轴伸长超过 2 cm 以上),取 10 株萌发苗测定苗高、主根长度,并按子叶、下胚轴、初生根分别称量鲜重。

1.2.3 相对电导率测定 每处理称鲜重 0.5 g(子叶,下胚轴,初生根), ddH_2O 冲洗干净,滤纸吸干表面水分,置于 50 mL 离心管中,加入 ddH_2O 15 mL,抽气 30 min 后,至摇床上震荡 4 h 后立即测定电导率(C_1),随后将材料置于 100°C 沸水中煮沸 15 min,立即流水冷却至室温,测定电导率(C_2),根据两次测定结果计算相对电导率值(REC)。电导率测定采用 FE30 型(METTLER-TOLEDO)电导仪。

$$\text{REC}(\%) = C_1/C_2 \times 100\%$$

1.3 PEG 胁迫对胡麻种子萌发的影响

根据 1.2 模拟干旱胁迫所需 PEG-6000 适宜浓度的筛选结果,以定亚 17 号和定亚 18 号为材料,种子发芽试验方法同 1.2。

1.3.1 调查项目 同 1.2.2。

根据统计结果计算^[7]:

发芽率($\%$) $GR = 7\text{d}$ 内正常发芽种子数/供试种子数 $\times 100\%$;

发芽势($\%$) $GE = \text{前 } 3\text{d}$ 正常发芽种子数/供试种子数 $\times 100\%$;

发芽指数 $GI = \sum(G_t/D_t)$,其中 G_t 表示第 t 天种子的发芽数, D_t 表示相应的发芽天数;

活力指数 $VI = GI \times S$,其中 S 为第 7d 测得植株鲜重(g)。

伤害率($\%$) $= (CK - T)/CK \times 100\%$ (CK 为对照值,T 为处理值)

1.3.2 生理指标 按子叶、下胚轴、初生根分别取样测定生理生化指标。质膜透性以相对电导率(REC)表示,测定方法同 1.2.3。丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA 法)^[10]。脯氨酸(Pro)含量测定采用酸性茚三酮法^[10]。可溶性糖(SS)含量参照张志良的方法^[10]。以上各处理重复 3 次。

1.4 统计方法

采用 SPSS11.0 进行方差分析,Excel 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 PEG 对陇亚 10 号种子萌发及幼苗生长的影响

不同浓度 PEG 处理对胡麻种子的萌发率和成苗率影响存在差异(图 1)。15%PEG 浓度以下时,种子萌发率及成苗率均在 90%以上;当 PEG 浓度升至 20%时,种子萌发率虽可达 90%,但成苗率显著降低,仅为 20.3%,表现出下胚轴生长缓慢,子叶无法顺利展开,幼苗生长势较弱;当 PEG 浓度继续升高时,种子萌发率和成苗率明显受到抑制。表现为 PEG 浓度达 25%,萌发率显著降低,成苗率接近 0;30%PEG 浓度时,种子根本不萌发。相对于萌发,胡麻种子的成苗对 PEG 浓度更为敏感,说明胡麻种子萌发前期(吸胀吸水为主)对干旱的耐受性较强,而萌发后以胚根主动吸水为主时则对干旱胁迫较为敏感。

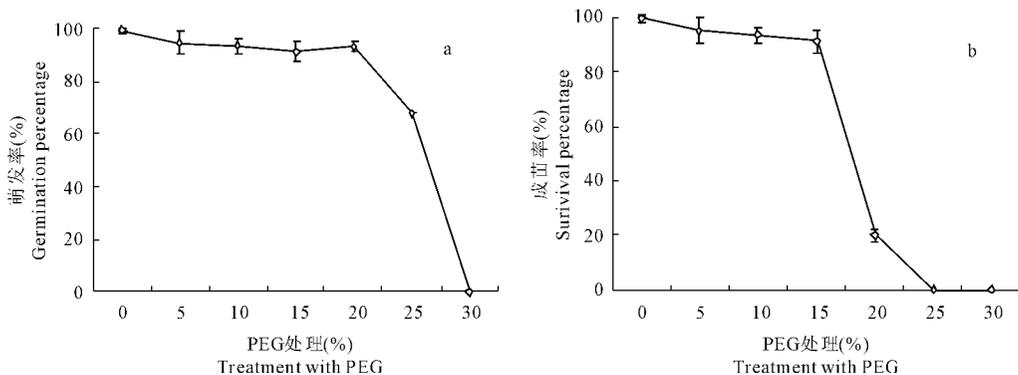


图 1 不同 PEG 浓度对陇亚 10 号的萌发(a)及成苗(b)影响

Fig. 1 Effect of different PEG concentrations on the germination (a) and seedling survival (b) of Longya 10

随着 PEG 浓度的升高,胡麻幼苗生长逐渐受到抑制,但 5%PEG 低浓度处理下,幼苗主根长显著升高(图 2),这与幼苗总鲜重变化一致(图 3a)。10%

和 15% PEG 处理下,下胚轴和初生根的伸长受到不同程度的抑制,随着 PEG 处理浓度增加,子叶和根在总鲜重中所占比例逐渐增加,而下胚轴伸长受到

显著抑制(图 3b)。

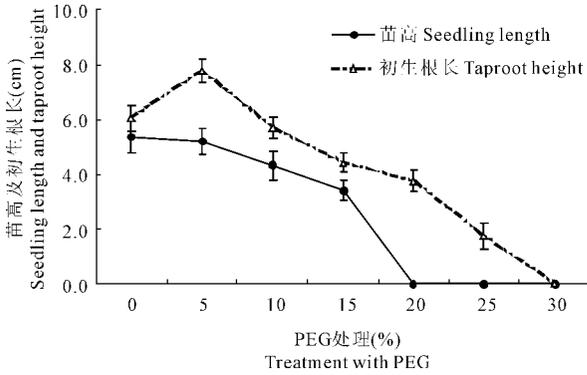


图 2 PEG 浓度对陇亚 10 号苗期株高和主根长的影响
Fig. 2 Effect of PEG concentrations on the height and taproot length of Longya 10 seedling

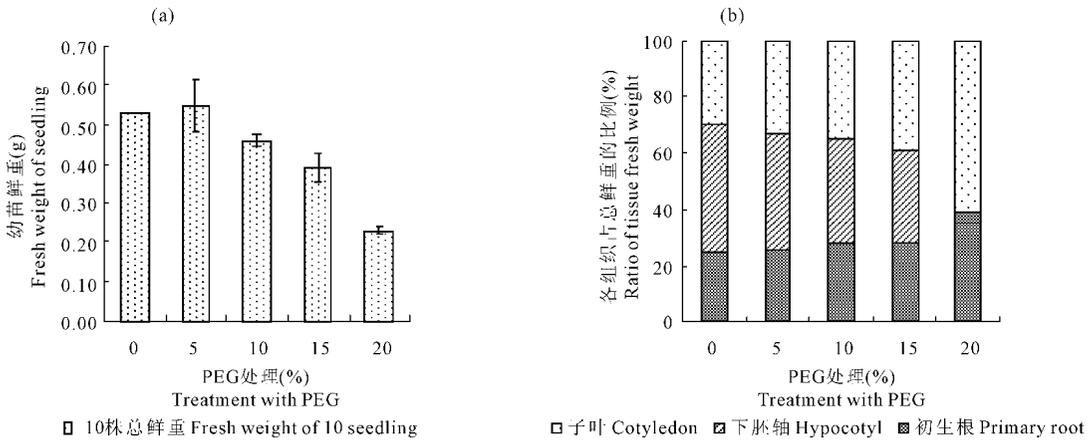


图 3 PEG 处理对陇亚 10 号幼苗生物量的影响
Fig. 3 Effect of PEG on the biomass of Longya 10 seedling

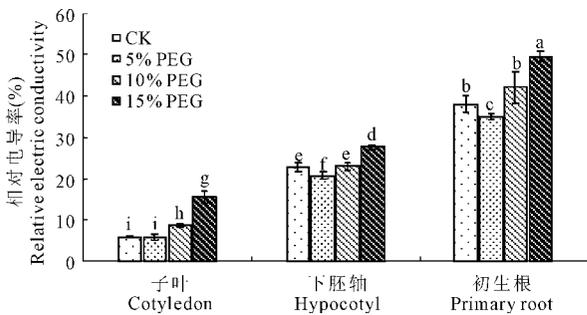


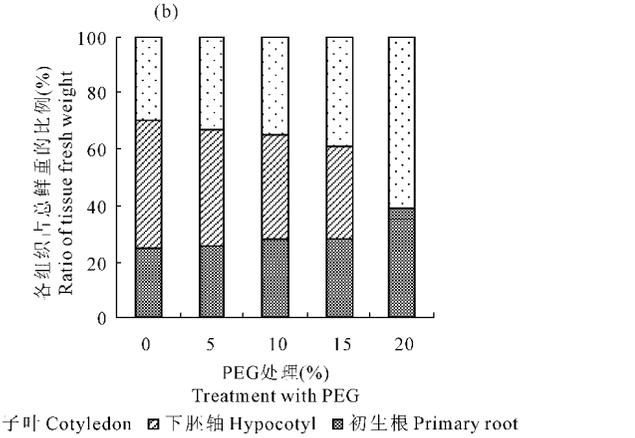
图 4 PEG 对萌发苗组织相对电导率的影响
Fig. 4 Effect of PEG on relative electrical conductivity (REC) of seedling

2.2 模拟干旱胁迫对不同耐旱品种胡麻萌发的影响

从表 2 可以看出, 15% PEG-6000 的干旱胁迫对胡麻种子的发芽指数和活力指数产生了明显影响。虽然对种子的发芽率几乎不存在影响, 但对不同品种发芽势的影响存在差异, 其中‘定亚 17 号’受

相对电导率可以直观反映细胞质膜透性变化。PEG 对不同组织的细胞透性影响程度表现为: 初生根 > 下胚轴 > 子叶。在 0~10% PEG 处理下各组织的相对电导率变化较小, 仅 5% PEG 处理时, 下胚轴和初生根电导率显著降低, PEG 处理浓度达 15% 时, 相对电导率显著增加, 此时子叶、下胚轴和初生根质膜透性受到显著影响(图 4)。

综上所述, PEG 处理浓度低于 15% 时干旱胁迫并不显著, 但浓度高于 15% 难以成苗。当 PEG 处理浓度达 15% 时, 不仅幼苗生长量发生了显著变化, 且质膜透性亦表现出显著差异, 说明此时各组织形态和生理上均产生了显著变化。因此, 选取 15% 的 PEG 作为胡麻种子萌发及幼苗形成期人工模拟干旱胁迫的适宜浓度。



胁迫后发芽势显著降低 ($P < 0.01$)。两个品种的种子活力指数和发芽指数均显著降低 ($P < 0.01$), 前者较对照分别降低了 16.42% (定亚 18 号) 和 11.77% (定亚 17 号), 后者则下降了 45.41% (定亚 18 号) 和 48.10% (定亚 17 号)。

由表 3 可以看出, 干旱胁迫对两个品种幼苗存活率影响显著, 定亚 18 号和定亚 17 号的存活率分别比对照降低 31.33% 和 11.33%。胁迫主要表现为抑制幼苗下胚轴的生长而导致苗高显著降低。对主根长的影响不同, 对定亚 18 号和定亚 17 号的根生长分别起促进和抑制作用。幼苗鲜重均显著降低, 降低幅度为下胚轴 > 子叶 > 初生根。

2.3 模拟干旱胁迫对不同耐旱胡麻品种生理指标的影响

干旱胁迫对萌发幼苗不同组织的影响程度不同, 对初生根的影响最大, 其次是下胚轴及子叶。15% PEG 胁迫下, 子叶相对电导率仍在 10% 以下, 质膜损伤程度不明显, 但下胚轴和初生根质膜损伤

相对严重。不同品种间幼苗电导率存在差异,其中‘定亚 17 号’除子叶相对电导率低于‘定亚 18 号’外,其下胚轴和初生根的相对电导率均显著高于定亚 18 号(图 5)。

干旱胁迫下各品种的 MDA 含量均有所增加(表 4),其中定亚 17 号子叶和下胚轴的 MDA 增幅高于定亚 18 号,这与幼苗生长情况变化基本一致。

表 2 干旱胁迫对胡麻种子萌发特性的影响

Table 2 Effects of drought stress on germination characteristics of flaxseed

材料 Material	处理 Treatment	发芽率(%) GR	发芽势(%) GE	发芽指数 GI	活力指数 VI
定亚 18 号 Dingya 18	对照 CK	100.00 _a	100.00 _a	77.12 _A	3.63 _A
	15% PEG	100.00 _a	100.00 _a	64.45 _B	1.98 _B
	伤害率(%) Damage rate	0.00	0.00	16.42 ^{**}	45.41 ^{**}
定亚 17 号 Dingya 17	对照 CK	100.00 _a	100.00 _A	76.45 _A	3.61 _A
	15% PEG	100.00 _a	93.33 _B	67.45 _B	1.87 _B
	伤害率(%) Damage rate	0.00	6.67 ^{**}	11.77 ^{**}	48.10 ^{**}

注: ** 表示在 0.01 水平上差异显著, * 表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: ** means significant difference at 0.01 level, * means significant difference at 0.05 level. They are the same in the follows.

表 3 干旱胁迫对胡麻幼苗生长的影响

Table 3 Effects of drought stress on seedling growth

材料 Material	处理 Treatment	幼苗存活率 Survival rate (%)	苗高 Seedling height (cm)	主根长 Taproot length (cm)	鲜重(g/10 seedling) Fresh weight			总鲜重 Total fresh weight (g/10 seedling)
					子叶 Cotyledon	下胚轴 Hypocotyl	初生根 Primary root	
定亚 18 号 Dingya 18	对照 CK	99.33 _A	4.60 _A	4.81 _{aA}	0.17 _A	0.18 _A	0.12 _A	0.47 _A
	15% PEG	68.00 _B	2.74 _B	5.31 _{bA}	0.13 _B	0.09 _B	0.10 _B	0.31 _B
	伤害率(%) Damage rate	31.54 ^{**}	40.51 ^{**}	-10.47 [*]	23.99 ^{**}	53.80 ^{**}	20.27 ^{**}	34.68 ^{**}
定亚 17 号 Dingya 17	对照 CK	97.67 _A	4.45 _A	4.76 _{aA}	0.18 _A	0.17 _A	0.12 _A	0.47 _A
	15%PEG	86.33 _B	2.85 _B	4.41 _{bA}	0.12 _B	0.08 _B	0.08 _B	0.28 _B
	伤害率(%) Damage rate	11.60 ^{**}	36.00 ^{**}	7.49 [*]	32.58 ^{**}	52.12 ^{**}	38.04 ^{**}	41.17 ^{**}

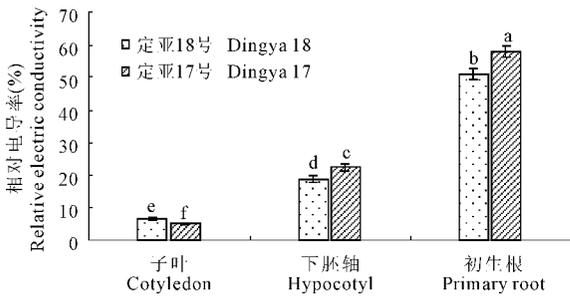


图 5 干旱胁迫对胡麻相对电导率的影响(%)

Fig. 5 Effects of drought stress on the relative electrical conductivity (REC) of seedling

干旱胁迫下各品种脯氨酸含量均显著增加(表 5)。定亚 18 号除下胚轴中脯氨酸含量显著高于定亚 17 号外,子叶和初生根中脯氨酸的增幅均小于定亚 17 号。干旱胁迫显著增加了幼苗内可溶性糖含

量(表 5),其中下胚轴中变化幅度最大,其次是初生根和子叶。

表 4 干旱胁迫对幼苗 MDA 含量影响

Table 4 Effects of drought stress on the concentration of MDA of seedling

材料 Material	处理 Treatment	MDA 含量(μmol·g) Concentration of MDA		
		子叶 Cotyledon	下胚轴 Hypocotyl	初生根 Primary root
定亚 18 号 Dingya 18	CK(0)	15.17 _B	12.79 _B	17.80 _B
	15% PEG	18.06 _A	18.02 _A	26.69 _A
	增加率(%) Increase rate	19.03 ^{**}	40.88 ^{**}	49.92 ^{**}
定亚 17 号 Dingya 17	CK(0)	9.41 _B	10.32 _B	13.44 _B
	15% PEG	12.86 _A	19.57 _A	18.12 _A
	增加率(%) Increase rate	36.70 ^{**}	89.65 ^{**}	34.87 ^{**}

表5 干旱胁迫对幼苗脯氨酸与可溶性糖含量的影响

Table 5 Effects of drought stress on the concentration of proline and soluble sugar of seedling

材料 Material	处理 Treatment	脯氨酸含量(mg/g) Concentration of proline			可溶性糖含量(mmol/g) Concentration of soluble sugar		
		子叶 Cotyledon	下胚轴 Hypocotyl	初生根 Primary root	子叶 Cotyledon	下胚轴 Hypocotyl	初生根 Primary root
定亚 18 号 Dingya 18	CK(0)	0.88B	0.49B	1.16B	8.69B	5.12B	5.67B
	15%PEG	2.12A	2.00A	2.55A	10.98A	9.68A	9.99A
	增加率(%) Increase rate	140.91**	308.16**	119.83**	26.34**	89.11**	76.34**
定亚 17 号 Dingya 17	CK(0)	0.72B	0.68B	0.67B	9.05B	5.24B	7.41B
	15%PEG	2.85A	1.75A	1.70A	12.94A	10.43A	12.2A
	增加率(%) Increase rate	295.83**	157.35**	153.73**	42.92**	99.12**	64.69**

3 结果与讨论

在小麦^[11]等作物抗旱研究中,轻度水分亏缺下作物表现补偿与超补偿生长效应。本研究中 5% PEG 处理显著促进胡麻幼苗初生根伸长,幼苗鲜重与对照相比有所增加,相对电导率显著降低,说明低浓度的 PEG 胁迫处理对胡麻幼苗萌发具有补偿效应。

发芽率、发芽势、种子活力指数等指标是反映植物种子发芽速度、发芽整齐度和幼苗健壮的趋势,常作为评价种子发芽的指标^[12]。本试验表明,PEG 胁迫抑制了种子活力,幼苗生长受到抑制,其中对下胚轴生长抑制最为显著。这与油菜的结果相似^[13]。其原因可能是干旱胁迫下,子叶中营养物质优先供给地下器官(胚根),促进幼苗成活和生长,以适应外界不良环境条件^[14,15]。

干旱胁迫下幼苗相对电导率显著增加^[5,16],表明细胞膜损害程度加剧。其中幼苗初生根电导率增加最为显著,推测其直接与 PEG 溶液接触,胁迫效应最大。MDA 含量的增加能反映细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境的反应程度增强^[5]。本研究表明,胡麻幼苗在 PEG 胁迫下 MDA 含量显著增加,表明质膜在干旱胁迫下已经发生过氧化反应并伴随 MDA 产生。作为植物体内重要的渗透调节物质,逆境下植物体内脯氨酸含量显著增加,其含量能够在一定程度上反应植物抗旱能力。对向日葵^[17]、油菜^[5]的研究表明,干旱胁迫下脯氨酸含量有较大增幅,本研究各组织中脯氨酸增幅以下胚轴最大,其次是子叶和初生根($P < 0.01$)。增加脯氨酸含量能够使得细胞在干旱条件下维持膨压,从而保证根系能从水势更高的溶液中吸收水分,但由于渗透调节消耗的水分抵消了植物可利用的水分,因此,实际上可供利用的水分并未增长,这也是在胁迫下苗高和鲜重上表现出较对照显著降低的原因^[18]。

全生育期耐旱试验鉴定结果表明^[2],耐旱能力以定亚 17 号 > 定亚 18 号。而萌发幼苗形态和生理指标变化并未如全生育期评定的耐旱能力表现出差异,说明萌发期耐旱与全生育期耐旱并不能够等同对待,更证明胡麻耐旱能力受多种因素制约^[19]。成苗期干旱是影响胡麻成苗的重要因素,采用 PEG 模拟干旱可作为胡麻苗期耐旱出土成苗的参考。而关于全生育期干旱胁迫对胡麻生理生化指标的影响有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 山 仑,康绍忠,吴普特.中国节水农业[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [2] 祁旭升,王兴荣,许 军,等.胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J].中国农业科学,2010,43(15):3076-3087.
- [3] Khaled Sebei, Ahmed Debez, Wahid Herchi, et al. Germination kinetics and seed reserve mobilization in two flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars under moderate salt stress[J]. Journal of Plant Biology, August, 2007, 50(4):447-454.
- [4] 岳国强,程炳文,殷秀琴,等.胡麻抗旱节水品种筛选研究[J].现代农业科技,2009,14:61-64.
- [5] 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.
- [6] 张雪妍,刘传亮,王俊娟,等.PEG 胁迫方法评价棉花幼苗耐旱性研究[J].棉花学报,2007,19(3):205-209.
- [7] 贺鸿雁,孙存华,杜 伟,等.PEG6000 胁迫对花生幼苗渗透调节物质的影响[J].中国油料作物学报,2006,28(1):76-78.
- [8] 张 静,崔 颖,孙 尧,等.不同程度干旱胁迫对油菜种子萌发及幼苗生长特性的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):164-167,179.
- [9] 胡树平,高聚林,马 捷,等.油菜不同品种抗旱性能比较[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):96-101.
- [10] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导(第三版)[M].北京:高等教育出版社,2003:158-159,258-259,274-276.
- [11] 高世铭,赵松岭.半干旱区春小麦水分亏缺补偿效应研究[J].西北植物学报,1995,15(8):32-39.
- [12] 顾增辉,徐本美,郑光华.测定种子活力方法之探讨(II)发芽

- 的生理测定方法[J]. 种子, 1982, (3): 11—14.
- [13] 李震, 杨春杰, 张学昆, 等. PEG 胁迫下甘蓝型油菜品种(系)种子发芽耐旱性鉴定[J]. 中国油料作物学报, 30(4): 438—442.
- [14] 胡晓艳, 呼天明, 李红星. 草坪草马蹄金与结缕草种子萌发期抗旱性比较[J]. 草业科学, 2006, 23(1): 89—92.
- [15] 曾彦军, 王彦荣. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应[J]. 生态学报, 2002, 13(8): 953—956.
- [16] 张海燕, 李贵全. 大豆抗旱性与生理生态指标关系的研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 140—142.
- [17] Cechin I, Rossi S C, Oliveira V C, et al. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit [J]. *Photosynthetica*, 2006, 44(1): 143—146.
- [18] Taiz L, Zeiger E. *Plant Physiology (Fourth Edition)* [M]. Sinauer Associates, Inc, Publishers, 2006.
- [19] П. П. 葛拉德基, 朱克. 油用亚麻膨胀种子吸水性和保水力的鉴定[J]. 植物生理学通讯, 1956, (1): 17.

Effects of simulated drought stress by PEG on sprouting and seedling growth of flax (*Linum usitatissimum* L.)

WANG Lei, TAN Mei-lian, YAN Ming-fang, WANG Li-jun, YAN Xing-chu*

(Key Laboratory of Oil Crop Biology of the Ministry of Agriculture, Oil Crops Research Institute, CAAS, Wuhan 430062, China)

Abstract: The polyethylene glycol (PEG) was used to simulate drought to study the germination and seedling growth of flax. The results showed that seedling was more sensitive to PEG treatment than germination. 5% PEG promoted sprouting, and 15% PEG were appropriate for simulating drought. Under 15% (w/v) PEG treatment, seed vigor was reduced, mean germination index (GI), vigor index (VI), hypocotyl elongation and fresh weight of seedling were repressed significantly, but no consistency was found on the primary root growth; Significant increase was also found in REC, content of malonaldehyde (MDA), proline (Pro) and soluble sugar (SS) of seedling, and difference was found among primary root, hypocotyl and cotyledon.

Keywords: polyethylene glycol; flax; drought stress; germination; drought tolerance

(上接第 226 页)

- [20] Foyer C H, Descourvieres P, Kunert K J. Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studies in transgenic plants [J]. *Plant, Cell & Environment*, 1994, 17: 507—523.
- [21] 周俊国, 朱月林, 刘正鲁, 等. NaCl 胁迫对中国南瓜杂交种成株期根系生理生化特征的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(10): 2052—2058.
- [22] 胡晓辉, 杜灵娟, 邹志荣. Spd 浸种对盐胁迫下番茄 (*Solanum lycopersicu*) 幼苗的保护效应[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5152—5157.
- [23] 王学. 精胺对氯化钠胁迫下黄瓜幼苗根系活性氧代谢的影响[J]. 北方园艺, 2009, (4): 12—14.
- [24] 孙锋. 一氧化氮和亚甲基蓝对盐胁迫抗虫棉根系的抗氧化能力的影响[J]. 棉花学报, 2009, 21(4): 313—318.

Effects of humic acid on activity of antioxidation system in wheat root under salinity-alkalinity stress

GUO Wei^{1,2}, WANG Qing-xiang¹

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

Abstract: Neutral salt (NaCl) and basic salt (NaHCO₃) were mixed to simulate different concentration salinity-alkalinity stress respectively, two kinds of genotype spring wheat (Longmai 26 and Kehan 16) were treated for soaking seed of humic acid. The content of oxygen free radicals, malondialdehyde (MDA) and glutathione (GSH), and the activity of peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) of root were determined to investigate the control effects of HA on an antioxidant system of wheat root under salinity-alkalinity stress. The results showed that the content of MDA and the activity of POD were increased, however, the activity of SOD were decreased, and the effect of salt stress was more than that of alkali stress. Soaking seed of humic acid reduced the accumulation reactive oxygen species (ROS), increased the activity of POD and SOD in root, and promoted the synthesis of GSH.

Keywords: wheat; root; salinity-alkalinity stress; antioxidation system; humic acid