

PEG 引发紫花苜蓿和沙打旺种子的生理生态效应

王彦荣^{1, 2}, 张建全¹, 刘慧霞¹, 胡小文¹

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020; 2. 南京农业大学生命学院, 南京 210095)

摘要:牧草种子田间出苗率低是我国草业生产亟待解决的技术问题。采用较高渗透势和短时间的聚乙二醇引发技术(−0.6MPa, 24h), 研究了引发对紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和沙打旺(*Astragalus adsurgens*)不同质量种子萌发的促进作用及其生理生态效应。结果表明引发可显著($p < 0.05$)提高种子的早期发芽率和发芽指数, 缩短达 30% 出苗的天数, 但对最终发芽率无显著影响。引发效果因植物种、种批质量和萌发条件不同而异; 其中, 沙打旺大于紫花苜蓿, 质量中等或中等偏下种批大于质量高或质量低的种批, 在低温和干旱逆境条件下萌发大于适宜条件萌发。引发种子的丙二醛含量和水浸电导率极显著($p < 0.01$)低于对照; 引发回干 24h 种子的水浸电导率与引发种子的相当。引发种子在萌发吸水 0~30h 的吸水量极显著高于对照, 在 24~72h 的可溶性糖和脯氨酸含量分别显著和极显著高于对照。

关键词:紫花苜蓿; 沙打旺; 种子引发; 聚乙二醇; 膜修复; 生理生态响应

Physiological and ecological responses of alfalfa and milkvetch seed to PEG priming

WANG Yan-Rong^{1, 2}, ZHANG Jian-Quan¹, LIU Hui-Xia¹, HU Xiao-Wen¹ (1. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 2. College of Life Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 402~408.

Abstract: Poor seedling emergence is one of the critical problems in grassland production in China. Osmotic polyethylene glycol (PEG 6000) priming technique (−0.6MPa, 24h) was used to study priming effects on seed germination and their physiological and ecological responses in different quality commercial seed lots of alfalfa (*Medicago sativa*) and milkvetch (*Astragalus adsurgens*). Results showed that PEG priming significantly enhanced ($p < 0.05$) early germination and germination index, and reduced time required for 30% seedling germination, but did not influence final germination. The priming effects varied according to species, seed lot and germination conditions. Positive effects were more evident on milkvetch than alfalfa; for instance, with similar medium quality seed lots of the two species, the time during which significantly increased germination occurred was up to 6 days in milkvetch, but only 4 days in alfalfa. The effect on medium quality seed lots (germination of 65%~77% for alfalfa and 58%~75% for milkvetch) was more evident than those on high (germination of 83% for alfalfa and 88% for milkvetch) or low quality (germination of 48% for alfalfa and 36% for milkvetch). In addition, the effect on germination under lower temperature (10°C) or drought conditions (−0.6MPa) germination media was more evident than that in optimum conditions. Malondialdehyde (MDA) content and electrical conductivity of seed soaking leaches (EC) of primed seeds were significantly lower ($p < 0.01$) than those of the control, and the values obtained indicated that MDA and EC of control seed was 3.3 and 3.2 times those of the primed seeds, respectively. The EC of seed re-dried for 24h after priming was equivalent to that of primed seed. Compared to control seed, water uptake rate of primed seed was significantly ($p < 0.01$) increased during early imbibition (0 to 30h), while during the imbibition before 24 and 72h, free sugar and proline contents of primed seeds were significantly increased ($p < 0.05$ for sugar and $p < 0.01$ for proline).

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30170672); 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000048704)

收稿日期:2003-09-23; **修订日期:**2003-12-28

作者简介:王彦荣(1956~), 女, 吉林大安人, 教授, 主要从事牧草种子学和荒漠植物生态学研究。E-mail: yrwang@lzu.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30170672) and National Key Basic Research Special Foundation of China (No. G2000048704)

Received date 万方数据 **Accepted date:** 2003-12-28

Biography: WANG Yan-Rong, Professor, research interest: forage seed science and desert grassland ecology.

Key words:alfalfa; milkvetch; seed priming; polyethylene glycol; membrane repair; physiological and ecological response
文章编号:1000-0933(2004)03-0402-07 中图分类号:Q948 文献标识码:A

牧草种子田间出苗率和建植率低是我国草业生产中亟待解决的技术问题^[1]。聚乙二醇(PEG)引发(priming)作为促进种子萌发的一种有效技术,已用于许多作物种的研究^[2~6],但对牧草尤其是豆科牧草的研究报道很少。截止目前研究普遍认为引发具有促进种子萌发、提高出苗整齐度和增加活力的作用,但引发效果和对引发条件的要求往往因植物种或品种,甚至种批的不同而差异很大^[6~9]。在豆科牧草方面,韩蕊莲等^[10]采用种子萌发的低渗透势处理(30%PEG 溶液,相当于-1.5MPa)对沙打旺种子引发结果表明,引发可提高发芽势、发芽率和幼苗的抗寒能力。孙建华等^[11]报道采用较高渗透势如-0.5MPa 引发沙打旺48h 以及-0.1MPa 引发紫花苜蓿72h 等皆可收到良好的引发效果。由于采用较高渗透势具有减少 PEG 用量、缩短引发时间和减少引发过程的霉菌感染等优点,值得进行深入研究。本实验拟采用较高渗透势(-0.6MPa PEG 溶液)和较短的时间(24h)对紫花苜蓿和沙打旺的种样进行引发,旨在研究:(1)引发对不同质量种样萌发的促进作用;(2)引发种子对不同萌发条件的生态响应;和(3)引发对种子萌发早期的吸水、膜修复以及可溶性糖累积等生理代谢的影响。

1 材料与方法

1.1 供试种样

供试种样由农业部牧草与草坪草种子质检中心(兰州)提供,为紫花苜蓿和沙打旺不同生活力的种样各4个,皆为市场送检样品;其产地及实验前的质量等见表1。

1.2 试剂及引发处理

渗透调节剂采用分子量6000的PEG,由中国医药集团上海化学试剂公司生产。
每次实验前,按 Michel and Kaufmann^[12]的方法配制-0.6MPa 的引发溶液,置5℃冰箱贮藏待用。种样处理时,随机数取所需粒数的样品,用纱布包好置于直径7mm 的铝盒,加入引发液以淹没种子为度。将铝盒加盖(留有空隙)在20℃培养箱内引发24h,倒去PEG,用自来水冲洗5次后用吸水纸吸干种子表面水分,直接用于各实验。以未引发的种子为对照。

1.3 测试内容及方法

1.3.1 不同种批的引发效果 自各供试种不同质量(表1)的引发与对照种子中各随机数取50粒、4次重复的种样,依据国际种子检验规程^[13]测定发芽率;参照文献介绍的方法计算各处理达到30%出苗的天数(T_{30})^[14]和发芽指数(GI)^[15]。

表1 供试种样的来源及最初质量

Table 1 Origin and initial quality of seed samples tested

种 Species	种样编号 Code	原编号 Origin code	产地 Production region	生产年份 Production year	发芽(%) Germination	硬实(%) Hard seed	含水量(%) Moisture content
<i>M. sativa</i>	Lot 1	97-026	甘肃庆阳 Qingyang, Gansu	1996	83	12	5.3
	Lot 2	99-007	陕西衡山 Hengshan Shanxi	1997	77	6	5.4
	Lot 3	99-003	甘肃镇原 Zhenyuan Gansu	1995	65	5	5.3
	Lot 4	99-021	山东无棣 Wudi, Shandong	1995	48	2	5.6
<i>A. adsurgens</i>	Lot 1	00-027	内蒙古赤峰 Chifeng, Inner Mongolia	1999	88	2	6.1
	Lot 2	00-026	内蒙古赤峰 Chifeng, Inner Mongolia	1999	75	3	6.2
	Lot 3	00-045	内蒙古赤峰 Chifeng, Inner Mongolia	1997	58	2	6.2
	Lot 4	01-052	内蒙古赤峰 Chifeng, Inner Mongolia	1997	36	0	6.3

1.3.2 不同萌发条件的引发效果 设适宜、低温和干旱3个萌发条件。适宜条件是20℃恒温、适宜水分(按ISTA规定通过湿润发芽纸保持水分)^[13];低温条件是10℃恒温、适宜水分。干旱条件是20℃恒温,用-0.6MPa PEG 溶液湿润纸床发芽,发芽期间每日称重加水至初始重量,以保证一致的干旱胁迫。各处理皆为50粒、4次重复。

1.3.2 生理指标测定 以沙打旺的种批2和种批3为材料,除以下个别指定外,各测定皆为100粒、4次重复。

吸水率 称取各重复种样的最初重量,分别置于培养皿中润湿的滤纸间(上1层,下2层),加皿盖在20℃吸水。分别在2、6、10、14、18、22、26和30h取出种子,用吸水纸吸干表面水分后立即称重。吸水率以吸水重占种子初重的百分率表示。

电导率 各处理种样为0.2g、3次重复,分别置于50ml的三角瓶,加PEG(处理1)或蒸馏水(处理2)40ml,按文献^[16]规定方法在预定时间采用 DDSJ-308A 型电导率仪测定电导率。电导率测定分为以下处理:①引发过程的电导率,测定引发24h的PEG溶液。②水浸电导率,分别测定引发、引发回干24h以及未处理种子的水浸4h溶液的电导率。

丙二醛含量 参照硫代巴比妥酸法^[17]测定。

可溶性糖含量 依据蒽酮比色法^[18]分别测定在萌发的 0h,24h 和 72h 可溶性糖的含量。

脯氨酸含量 采用茚三酮显色法^[19]分别测定在萌发的 0h,24h 和 72h 的脯氨酸量。

上述所有比色均用 CV-2102 型紫外可见分光光度计测定。

1. 4 数据处理

数据用 STATISTICA 程序统计分析,EXCEL 程序制图。

2 结果

2. 1 PEG 引发对苜蓿及沙打旺不同种批发芽的影响

图 1 显示,PEG 引发对供试种及其不同质量的种样发芽皆有促进作用,但作用效果因植物种和种批的质量不同而异。在供试种间,PEG 对沙打旺的作用效果高于紫花苜蓿。主要表现为在质量相当的种批间,较对照,PEG 显著($p<0.05$)提高种子发芽率的作用时间以沙打旺长于苜蓿,例如沙打旺和苜蓿质量相当的种批 2(表 1),经 PEG 处理后显著提高发芽率的天数前者至第 6 天,而后者至第 4 天,其他种批亦呈相同趋势(图 1)。另外,在不同种批间,PEG 对质量中等或中等偏下种批的作用效果高于对质量高的或质量低的种批,例如对 2 个种的种批 2 和 3 的作用效果都高于种批 1 和种批 4。

另外,PEG 处理还可缩短供试种子达 30%发芽的天数(T_{30}),从而增加种子的发芽整齐度;以及提高种子发芽指数(GI),增强种子活力。而且,平均缩短 T_{30} 和提高 GI 的效果皆以沙打旺优于紫花苜蓿(表 2)。

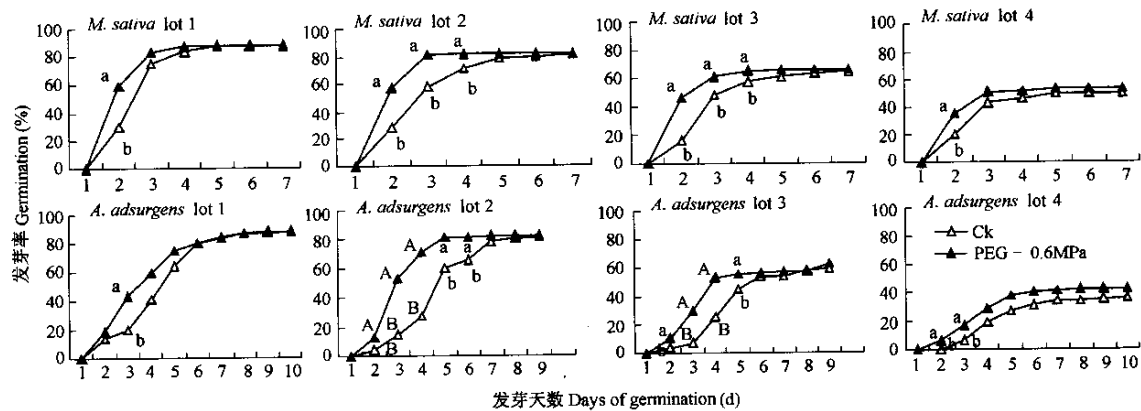


图 1 PEG 引发对紫花苜蓿和沙打旺不同质量种批萌发的影响

Fig. 1 Effect of PEG priming on germination percentages of different quality seed lots of *M. sativa* and *A. adsurgens* 引发与对照种子测定值间标有不同大、小写字母者,分别为 1% 和 5% 水平差异显著 Values between primed and control seeds followed by different capital and small letters are significantly different at 1% and 5% level, respectively

表 2 引发对苜蓿、沙打旺不同质量种批发芽率达 30% 的天数(T_{30})和发芽指数(GI)的影响

Table 2 Effect of PEG priming on day of 30% of seedlings germinated (T_{30}) and germination index (GI) of different seed lots of *M. sativa* and *A. adsurgens*

种 Species	项目 Test	处理 Treatment	种批 Seed lot				平均 Mean
			1	2	3	4	
<i>M. sativa</i>	T_{30} (d)	CK	2.0 A	2.5 A	2.5 A	2.5 A	1
		PEG	1.0 B	1.0 B	1.5 B	1.5 B	
		降低 Decreased	1.0	1.5	1.0	1.0	
	GI	CK	31.5 B	28.3 B	21.3 B	18.4 B	25.8
		PEG	37.2 A	34.9 A	27.3 A	24.6 A	
		增加 Increased(%)	18.1	23.3	28.2	33.7	
<i>A. adsurgens</i>	T_{30} (d)	CK	4.0 A	4.5 A	4.5 A	6.0 a	2
		PEG	2.5 B	2.5 B	3.0 b	4.0 b	
		降低 Decreased	1.5	2	1.5	2	
	GI	CK	21.8 b	18.5 B	13.8 B	8.1	35.4
		PEG	26.1 a	25.7 A	18.6 A	12.0	
		增加 Increased(%)	19.7	38.9	34.8	48.1	

对照与引发种子测定值间标有不同大、小写字母者,分别为 1% 和 5% 水平差异显著 Values between control and primed seeds followed by different capital and small letters are significantly different at 1% and 5% level, respectively

2.2 引发沙打旺种子对不同萌发条件的响应

图 2 显示了引发后的质量中等(Lot 2)和中等偏下(Lot 3)的 2 个沙打旺种批在适宜、干旱和低温 3 种条件下的发芽结果。2 个种批共同表现为引发作用在逆境萌发条件下大于在适宜萌发条件下。例如,在低温条件下引发种子发芽明显高于对照的天数作用至第 7 天(图 2C),而适宜条件仅第 5 天(图 2A);在干旱条件下种批 2 的作用效果更为突出,至发芽末期,种批 3 虽然效果不及种批 2,但实验中发现该种批萌发期间严重被霉菌侵袭。

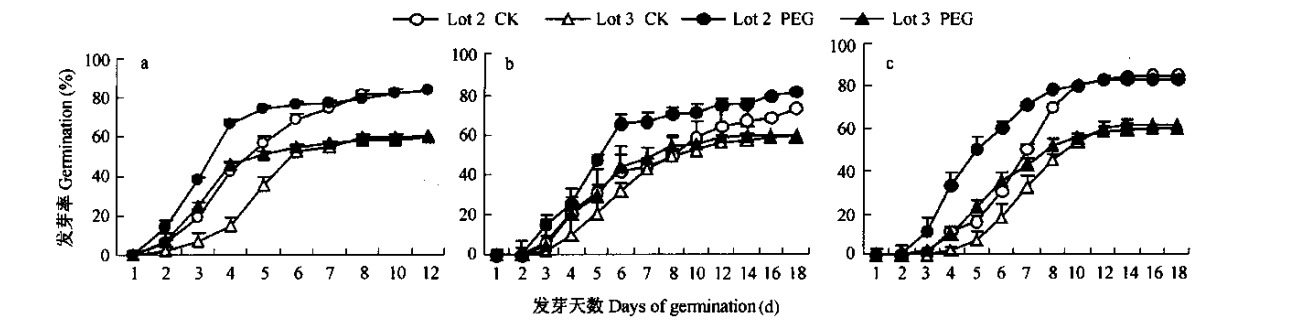


图 2 引发与对照的沙打旺种批在适宜(A)、干旱(B)和低温(C)3种条件下的发芽率比较(平均数±标准误)

Fig. 2 Comparison of germination results (mean±se) of primed and control seed lots under 3 germination conditions of optimum(A), drought(B) and low temperature(C)

2.3 引发对沙打旺种子萌发早期吸水及膜修复的影响

图 3 显示,在吸水实验开始(0h),引发种子的吸水量平均已达 58.8% (Lot 2 为 58.7%,Lot 3 为 58.9%),在吸水 0~30h 期间一直高于对照;在 30h,引发种批 2 与对照种子的吸水量分别达 170.6%和 130.7%,种批 3 分别达 150.3%和 140%。

表 3 表明,种子在引发过程中膜泄漏已发生,此结果亦可指示种子的膜修复已经开始。种批 3 的膜泄漏量大于种批 2。引发种子的膜修复程度极显著($p<0.01$)高于对照,而且,引发后回干 24h 种子与引发种子的膜修复程度相当。

引发种子的丙二醛含量极显著($p<0.01$)低于对照(表 3),后者分别是前者的 3.7 (Lot 2)和 2.8 (Lot 3)倍。

表 3 PEG 引发对沙打旺种子萌发早期膜修复能力的影响				
Table 3 Effect of PEG priming on membrane repair of milkvetch seed during early germination				
项目 Item	处理 Treatment	种批 2 Seed lot 2	种批 3 Seed lot 3	
电导率($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)Electrical conductivity	引发后的 PEG 溶液 PEG solution after priming	101	210	
	引发后水浸 4h Water soaking 4h after priming	42.3B	65.7B	
	引发回干 24h 后水浸 4h Water soaking 4h of redried primed seed	46.8B	66.8B	
	干种子水浸 4h Water soaking 4h of control seed	130A	215.3A	
丙二醛(nmol g^{-1})Malondialdehyde	引发种子 Primed seed	14.23B	19.10B	
	对照种子 Control seed	52.73A	53.63A	

各指标处理间标有不同大写字母者为 1% 水平差异显著 Means between treatments followed by different capital letters are significantly different at 1% level

2.4 引发对沙打旺种子萌发早期可溶性糖和脯氨酸含量的影响

表 4 显示,在发芽吸水的 0~72h,除 0h 外引发与对照种子的可溶性糖差异不显著($p>0.05$),其他时间引发种子的糖含量皆显著高于对照($p<0.05$);例如吸水 24h 的引发和对照每 100 粒种子的糖含量,种批 2 分别为 18.4 和 16.1mg,种批 3 分别为 19.6 和 11.6mg/100seed。

引发种子的脯氨酸含量在测定的 24~72h 极显著($p<0.01$)高于对照种子,并且提高的幅度以种批 2 高于种批 3;但在 0h 与对照比无差异(表 4)。

3 讨论

种子引发在一些发达国家已作为某些蔬菜、花卉作物种子的常用播前处理技术。但在牧草尤其豆科牧草种子方面在世界范围仍处于研究阶段。引发的机制目前虽尚未完全明确,但可解释为种子在具有一定渗透压的溶液中完成了有利于其萌发及生长的物质代谢过程,从而明显提高了萌发和抗逆能力^[6,20]。以往研究多采用较低水势和较长时间处理,但近年来也有采用较高水势短时间处理^[11]甚至水浸引发^[21]而收到良好效果的报道。本研究以我国 2 种重要豆科牧草紫花苜蓿和沙打旺种子为材料,首

次研究了采用较高的水势介质和短时间引发(−0.6MPa, 24h)对供试种不同质量种批萌发的生理变化及对生态条件的响应。结果证明采用的引发技术可显著提高供试种不同质量种批的早期发芽率、缩短 T_{30} 的天数和增加种子活力。

表 4 PEG 引发对沙打旺种子萌发早期可溶性糖和脯氨酸含量的影响

Table 4 Effect of PEG priming on free sugar and proline content of milkvetch seed during early germination

项目 Item	种批 Seed lot	处理 Treatment	吸水时间 Imbibition time			
			0h	24h	48h	72h
可溶性糖(mg 100seed ^{−1})Free sugar	2	引发 Primed	14. 2a	18. 4a	15. 1a	11. 3A
		对照 Control	12. 2a	16. 2b	13. 8b	4. 8B
	3	引发 Primed	14. 2a	19. 6a	14. 2a	8. 1a
		对照 Control	19. 9a	11. 6b	10. 6b	5. 2b
脯氨酸(μg 100seed ^{−1})Proline	2	引发 Primed	11. 2a	40. 3A	44. 3A	46. 6A
		对照 Control	8. 5a	15. 4B	22. 4B	23. 6B
	3	引发 Primed	10. 3a	28. 5A	26. 5A	28. 5A
		对照 Control	10. 9a	18. 8B	17. 0B	18. 1B

引发与对照间标有不同大、小写字母者,分别为 1%和 5%水平差异显著 Means between primed and control seeds followed by different capital and small letters are significantly different at 1% and 5% levels, respectively

以往研究^[3, 7, 22~24]表明,种子引发的实质是在限制种子吸水速率的条件下,使种子膜系统得到较好修复,并提前启动萌发所需的物质代谢。本研究引发后沙打旺种子的含水量达 58.8%,并在萌发早期一直高于对照(图 3)。Obroucheva^[25]认为种子自吸水开始至含水量达 60%左右,几乎全部代谢系统皆已启动;因此认为本研究对引发含水量的控制是适宜的。引发种子的电导率和丙二醛含量极显著($p<0.01$)低于对照的结果(表 3)表明,引发种子的膜系统已得到很好的修复,有利于促进种子的萌发和增强种子活力;另外,萌发早期(24~72h)可溶性糖和脯氨酸含量一直高于对照(表 4),表明引发提前启动了主要物质的代谢活动,有利于种子萌发过程中能量的供应,从而提高了供试种的早期发芽率,增加了种子活力。但是,引发种子在萌发吸水初始可溶性糖和脯氨酸含量与对照差别不明显,甚至质量较差种样的含量还略高于对照(表 4)。这与以往对豌豆(*Pisum sativum*)种子吸水早期的物质代谢^[26]以及采用 PEG(−1.5MPa, 24h)引发对甜玉米可溶性糖代谢的研究结果(*Zea mays*)^[5]等不符。其原因之一可解释为本实验采用的引发渗透势较高,在引发过程物质已发生泄漏(表 3),而可溶性糖和脯氨酸又是萌发早期最容易泄漏的一类物质^[25]。

孙建华等^[11]采用高质量种批研究认为沙打旺种子的引发效果大于紫花苜蓿,本研究对供试种不同质量种批的研究进一步证明了这一点,而且发现沙打旺的萌发速度较紫花苜蓿慢(图 1, 表 2)。Drew 等^[27]对几种蔬菜种子的研究也曾提出引发对发芽慢种批的效果优于发芽快种批。另外,本研究结果显示引发对中等质量的种批要比对高质量和低质量的种批效果显著,以往,对 1 年生黑麦草(*Loium multiflorum*)^[28]和西红柿种子(*Lycopersicon lycopersicum*)^[29]的研究也有类似报道。其原因可能是由于质量高的种批无需引发活力已很高,而质量低的种批死种子含量高引发也难以收到成效;因而中等质量的种批更具有经引发而提高活力的潜力。从我国牧草种子的生产和经营实际出发,这种质量中等或中等偏下的种批十分普遍,因此种子引发技术在我国草业生产中更具应用前景。

Bradford^[30]认为在低水势或逆境条件下测定引发种子的发芽率是评价种子引发效果的有效途径。本文对沙打旺引发与对照种子在不同萌发条件下的实验表明,在低温或低水势干旱条件下萌发较适宜条件比,更显示出引发作用的优势(图 2)。这可能是由于引发提高了种子活力,从而增强了种子的萌发抗逆性。韩蕊莲等^[10]采用低渗透势 PEG(−1.5MPa, 24h)处理沙打旺种子的研究曾证明引发具有提高幼苗抗冷能力的作用;以往对数种禾草的研究也曾报道^[4, 31]引发种子在逆境温度下萌发较对

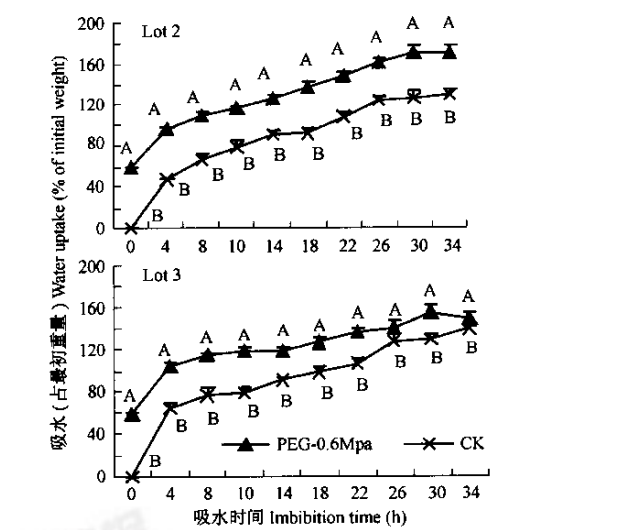


图 3 PEG 引发对沙打旺种子萌发早期吸水影响(平均数±标准误)

Fig. 3 Effect of PEG priming on water uptake of milkvetch seed during early germination period (mean±se)

对照与引发种子平均数(±标准误)间标有不同大写字母者为 1%水平差异显著 Means (±se) between control and primed seeds followed by different capital letters are significantly different at 1% level

照种子出苗快。由于草原和农业生产的田间播种多为低温和干旱逆境,所以 PEG 引发效果在生产中可能更为突出。

References:

- [1] Wang Y R, Liu Y L, Shen Y X. An evaluation of seed vigour tests for forage species. *Acta Prataculturae Sinica*, 2001, **10**(1):48~57.
- [2] Heydecker W, Higgins J, Gulliver R L. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature*, 1973, **246**:42~44.
- [3] Zheng G H, Xu B M, Gu Z H. Priming effect of PEG on seed germination. *Acta Botanica Sinica*, 1985, **27**(3):329~333.
- [4] Adegbuyi E, Cooper S R, Don R. Osmotic priming of some herbage grass seed using polyethylene glycol (PEG). *Seed Science and Technology*, 1981, **9**:867~878.
- [5] Sung F J M, Chang Y H. Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Science and Technology*, 1993, **21**:97~105.
- [6] McDonald M B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 1999, **27**:177~237.
- [7] Khan A A. Preplant physiological seed conditioning. *Horticultural Reviews*, 1992, **13**:131~181.
- [8] Parera C A, Cantliffe D J. Presowing seed priming. *Horticultural Reviews*, 1994, **16**:109~141.
- [9] Ruan S L, Xue Q Z. Plant seed priming. *Plant Physiology Bulletin*, 2002, **38**(2):198~202.
- [10] Han R L, Hou Q C, Zou H Y, *et al.* Study of the vitality and resistance on PEG priming seed *Astragalus adsurgens*. *Pratacultural Science*, 1993, **10**(6):60~63.
- [11] Sun J H, Wang Y R, Yu L, *et al.* Effects of osmotic priming with Polyethylene glycol on seed germination and vigour of some herbage species. *Acta Prataculturae Sinica*, 1999, **8**(2):34~42.
- [12] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 1973, **51**:914~916.
- [13] International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. *Seed Science and Technology*, 1999, **27** (Suppl.):27~32, 174~182.
- [14] Alvarado A D, Bradford K J. Priming and storage of tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) seeds I. Effects of storage temperature on germination rate and viability. *Seed Science and Technology*, 1988, **16**:601~612.
- [15] Maguire J D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 1962, **2**:176~177.
- [16] Hampton J G, TeKrony D M, eds. *Handbook of Vigour Test Methods*. ISTA, Zurich, Switzerland, 1995. 22~34.
- [17] Li H S, Experiment 54. Analysis of malondialdehyde of plant tissue. In: Li H S. ed. *Experimental Principal and Technology*. Beijing: Higher Education Press, 1999. 260~261.
- [18] Ma J F. Experiment 34: Analysis of total free sugar. In: Chen Y Q, ed. *Experimental Method and Technology of Biochemistry*. Beijing: Science Press, 2002. 171~174.
- [19] Zou Q. Experiment 35: Analysis of plant free proline. In: Zou Q ed. *Laboratory Guide to Plant Physiological and Biochemical Experiment*. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 96~97.
- [20] Wang D M, Huang S Z. The mechanism of osmotic priming for seeds and choice of optimum priming conditions. *Seed*, 1996, (5):7~9.
- [21] Harris D, Pathan A K, Gothkar P, *et al.* On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agricultural Systems*, 2001, **69**:151~164.
- [22] Liu J, Liu G S, Qi D M, *et al.* Effect of PEG on germination and active oxygen metabolism in wildrye (*Leymus chinensis*) seeds. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, **11**(1):59~64.
- [23] Liang Z, Zhao Y, Zheng Q H, *et al.* Changes of the activities of several enzymes and soluble protein content in PEG osmoregulated soybean cotyledon. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1991, **17**(1):20~24.
- [24] Wu X Z, Fu J R. Priming effects of matricconditioning on *Brassica parachinensis* L. seeds. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1997, **36**(1):69~73.
- [25] Obroucheva N V. *Seed germination; a guide to the early stages*. Backhuys Publishers Leiden, The Netherlands, 1999. 37~75.
- [26] Bewley J D, Black M. Patterns of reserve mobilization in seed. In: Bewley J D, Black M, eds. *Physiology and Biochemistry of Seeds 1. Development, Germination and Growth*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1978. 229~240.
- [27] Drew R L K, Hands L J, Gray D. Relating the effects of priming to germination of unprimed seeds. *Seed Science and Technology*, 1997, **25**:537~548.
- [28] Naylor R E L, Syversen M K. Assessment of seed vigour in Italian ryegrass. *Seed Science and Technology*, 1988, **16**:419~426.
- [29] Penalosa A P S, Eira M T S. Hydration-dehydration treatments on tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Seed Science and Technology*, 2001, **21**:309~316.
- [30] Bradford K J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Horticultural*

Science, 1986, **21**:1105~1112.

[31] Hardegree S P, Van Vactor S S. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. *Annals of Botany*, 2000, **85**:379~390.

参考文献:

[1] 王彦荣,刘友良,沈益新. 牧草种子活力检测技术述评. 草业学报, 2001, **10**(1):48~57.

[3] 郑光华,徐本美,顾增辉. PEG“引发”种子的效果. 植物学报,1985,**27**(3):329~333.

[9] 阮松林,薛庆中. 植物的种子引发. 植物生理学学通讯, 2002, **38**(2):198~202.

[10] 韩蕊莲,候庆春,邹厚远,等. 用 PEG“引发”沙打旺种子活力及抗逆性的研究. 草业科学,1993,**10**(6):60~63.

[11] 孙建华,王彦荣,余玲,等. 聚乙二醇引发对几种牧草种子发芽率和活力的影响. 草业学报, 1999, **8**(2):34~42.

[17] 李合生. 实验 54:植物组织中丙二醛含量的测定. 见:李合生主编. 植物生理生化的实验原理和技术. 北京:高等教育出版社,1999. 260~261.

[18] 马静芳. 实验三十四:可溶性总糖的测定(蒽酮比色法). 陈毓荃主编. 生物化学实验方法和技术. 北京:科学出版社,2002. 171~174.

[19] 邹崎. 实验三十五:植物体内游离脯氨酸含量的测定. 见邹琦主编. 植物生理生化实验指导. 北京:中国农业出版社,2000. 96~97.

[20] 王冬梅,黄上志. 种子渗透调节的机制及最佳渗调条件的选择. 种子, 1996, (5):7~9.

[22] 刘杰,刘公社,齐冬梅,等. 聚乙二醇处理对羊草种子萌发及活性氧代谢的影响. 草业学报,2002, **11**(1):59~64.

[23] 梁铮,赵原,郑光华,等. 聚乙二醇处理大豆种子子叶中几种酶活性和可溶性蛋白含量的变化. 植物生理学报, 1991, **17**(1): 20~24.

[24] 吴晓珍,傅家瑞. 衬质渗调对菜心种子的引发效果. 中山大学学报, 1997, **36**(1):69~73.

