

聚乙二醇的渗透调节作用在药用植物育种研究中的应用

张 霁^{1,2}, 赵青红¹, 郭兰萍^{1*}, 刘大会^{1,2}, 金 航², 周 洁¹, 杨 光^{1*}

(1. 中国中医科学院中药研究所, 北京 100700; 2 云南省农业科学院药用植物研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 聚乙二醇(PEG)因其较为理想的水势调节作用, 已经开始用于药用植物种子引发和干旱胁迫的研究。介绍了近几年PEG应用于药用植物研究中的现状和问题, PEG引起植物发生生理改变的机制, 以及将PEG应用于药用植物的技术策略, 为进一步研究药用植物种子引发最佳条件的优选、抗旱性评价及对药材品质的研究提供思路 and 方向。

关键词: 聚乙二醇(PEG); 渗透调节; 育种; 干旱胁迫

中图分类号: R282.21 文献标识码: A 文章编号: 0253-2670(2010)08-1399-05

Application of osmoregulation effects of PEG on medicinal plant breeding

ZHANG Ji^{1,2}, ZHAO Qing-hong¹, GUO Lan-ping¹, LIU Da-hui^{1,2}, JIN Hang²,
ZHOU Jie¹, YANG Guang¹

(1. Institute of Chinese Materia Medica, Academy of Traditional Chinese Medicine, Beijing 100700, China; 2 Medicinal Plants Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223, China)

Key words: polyethylene glycol (PEG); osmoregulation; seed breeding; drought stress

聚乙二醇(polyethylene glycol, PEG)为长链乙醇聚合物,由环氧乙烷聚合而成,分子式为 $\text{HO}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$ 。由于PEG水溶性好,在溶液中不分解为离子,在整个实验过程中可以保持均一水势,是一种较为理想的水势调节剂。因此,PEG被广泛用于荒漠和盐生植物^[1-4]、作物^[5-8]和牧草^[9-10]等植物种子引发和干旱胁迫的受控实验。

近年来,PEG越来越多地被用于药用植物的受控实验。利用PEG对溶液水势的调节作用改变药用植物种子萌发或生长发育的水分条件,开展与渗透和水分胁迫相关实验已经成为药用植物种子引发及干旱胁迫的重要手段^[11-13]。本文在综述PEG应用于药用植物育种研究中的应用现状的基础上,分析了当前PEG溶液应用中普遍存在的问题,探讨了PEG在药用植物育种研究中应注意的技术问题。

1 PEG在药用植物研究中的应用

1.1 种子引发(seed priming):是一项控制种子缓慢吸水 and 逐步回干的种子处理技术,包括液体引发、固体引发和生物引发等多种方法。PEG的种子引发属液体引发,是通过调节溶液水势影响种子的吸水速率。有研究表明,对植物种子渗透引发处理后,不仅能提高其出苗速率,而且使出苗高而整齐,可节约种子用量,并增强苗期抗逆性能^[5,14]。近年来,PEG的种子引发作用开始应用于药用植物研究。孙群等^[15]用20%PEG 4000处理丹参种子24 h可以明显提高种子的发芽势和发芽率,使出苗高峰集中在4~5 d内,并且可以使

贮藏1年的丹参陈种子发芽率达到45%以上。王彦荣等^[16]采用PEG 6000作为渗透调节剂,研究了其对紫花苜蓿和沙打旺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,−0.6 MPa、24 h PEG引发可显著提高种子的早期发芽率和发芽指数,缩短达30%出苗的天数。刘长利等^[17]采用PEG 6000研究了渗透调节对甘草种子吸胀萌发的影响及其抗旱性。结果表明,随着渗透调节程度的加剧,甘草种子的吸胀速率、发芽率、种苗生长、超氧化物歧化酶(SOD)活性等指标均表现出先升后降的趋势,而组织相对含水量与相对电导率呈下降趋势,PEG为10%时,甘草种子发芽率最高,证明甘草种子在适当的渗透调节下可以提高种子萌发和幼苗抗旱性。刘宇^[18]使用浓度为300 g/L的PEG渗透处理黄芪种子,可较好地促进黄芪种子发芽生长,明显地提高其幼苗中的过氧化酶活性和降低丙二醛(MDA)量,总体上提高了黄芪幼苗抗冻能力。

1.2 抗旱品种筛选:对某一植物的种子而言,超过种子引发适宜的PEG浓度,或者更确切地说,是低于一定的水势,PEG溶液会阻碍种子吸收萌发所需的正常水分,从而对种子具有干旱胁迫作用。对甘草种子的研究发现,当PEG达到30%时,种子吸水受阻,种子发芽率在处理时间内始终为0^[17]。PEG用于药用植物抗旱品种的筛选主要是通过模拟干旱胁迫,在种子萌发和种苗生长发育两个水平观察药用植物的抗旱性。王得贤等^[19]研究几种药剂对藏药椭圆叶花锚种子的

* 收稿日期: 2010-02-15

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAI09B03); 国家重点基础研究发展计划(973)(2006CB504701); 中国中医科学院基本科研业务费自主选题项目(ZZ2008095); 国家中医药管理局中医药标准经项目(ZYYS-2008); 国家中医药管理局“中药资源可持续发展战略研究”; 国家中医药管理局行业专项(200707014)

* 通讯作者 郭兰萍 Tel: (010)64011944 E-mail: glp01@126.com

发芽力的影响,发现 15% 和 25% 的 PEG 6000,明显抑制种子的萌发。Afzalil 等^[20]对药用植物洋甘菊 *Matricaria chamomilla* L. 的 PEG 渗透引发研究表明,随着水势降低,种子萌发率和幼苗生长均受到抑制,在水势为 -0.4 MPa 时,种子完全不能萌发。Yang 等^[21]将金花茶 *Camellia nitidissima* Chi 浸泡在 10% ~ 30% 的 PEG 6000 溶液中可以显著降低种子的萌发率,表明金花茶不能经受短期的干旱,揭示这可能是该植物只能生长在阴湿的山谷和河边的原因。郭巧生等^[11]将渗透引发处理后的夏枯草种子进行 25% PEG 干旱胁迫实验,结果表明适量浓度 PEG 引发,可以增强夏枯草种子萌发阶段抗旱能力,证明了利用 PEG 模拟干旱胁迫鉴定不同品种或种群的耐旱性是一种比较可靠的方法。

2 植物对不同水势的适应性反应机制

2.1 典型细胞的水势及低水势对植物的伤害: 水势(water potential, 用符号 Ψ 或 Ψ_w 表示)是推动水分移动的程度因素,可通俗地理解为水移动的趋势。水总是由高水势处自发流向低水势处,直到两处水势相等为止。纯水的水势最高,在标准状况下(在一个大气压下,与体系同温度时),纯水的水势为零。当纯水中溶有任何物质时,由于溶质(分子或离子)与水分子相互作用,消耗了部分自由能,所以任何溶液的水势比纯水低而为负值。溶液的溶质越多,溶液的水势越低。在植物生理学上,一个典型的植物细胞的水势应由 3 部分组成,即

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_m \quad (1)$$

式(1)中 Ψ_w 为总水势, Ψ_s 为溶质势或渗透势, Ψ_m 为衬质势, Ψ_p 为压力势。 Ψ_s 是由于溶质颗粒的存在而引起体系水势降低的数值;而由于存在表面能够吸附水分的物质,导致体系水势降低的数值,称为 Ψ_m , 通常情况下,该数值很小,对总水势的影响可以忽略不计。如果讨论同一大气压力两个开放体系间水势差时, Ψ_p 可忽略不计。

2.2 PEG 渗透调节的作用机制: PEG 对植物种子引发与干旱胁迫作用都会通过改变溶液水势,引起种子或幼苗的一系列生理反应,但二者的反应趋并不一致。

2.2.1 细胞膜损伤或修复: 在 PEG 对植物种子引发的实验中,PEG 溶液可减轻或修复细胞膜损伤。王彦荣^[16]研究了 PEG 引发紫花苜蓿和沙打旺种子的生理生态效应,结果表明,PEG 渗透引发种子的电导率和 MDA 量极显著低于对照组 ($P < 0.01$),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。Brancaion^[22]对一种产于巴西的热带树种研究表明,PEG 引发的种子(主要是引发了 48 h 的新鲜种子)具有更高的萌发率和较短的萌发时间,并且具有更高的幼苗生长率和均一性,以及低的电导率。干旱胁迫实验的结果却相反,PEG 溶液造成植物细胞膜损伤加重。杨春杰等^[23]用 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影响的研究表明,PEG 干旱胁迫后会导致细胞膜透性提高,细胞受损。

2.2.2 改变酶活性: 种子引发可引起一些与抗逆相关酶活性升高,如过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等酶促抗

氧化系统,它们的主要作用是清除 H_2O_2 ,对植物体具有保护作用^[24]。环境胁迫下,植物受到伤害后, H_2O_2 积累,植物自身酶促抗氧化系统启动,以提高植物的抗逆性。二者虽然机制不同,但都会导致抗氧化酶活性的升高。

在种子引发实验中,何家庆等^[25]采用 PEG 10000 对栉楼种子进行处理,结果表明,15% PEG 浸种 24 h,可有效调节渗透水势,改变种子生理生化反应特性,并保持淀粉酶活性连续上升,使可溶性蛋白质量明显提高,可见 PEG 在加速大分子动员和提高代谢能力方面发挥了作用,从而促进植物体的组织器官形态建成和生长发育;同时,PEG 处理提高了 POD 活性,降低了 MDA 量,减少了自由基积累,减轻了浸种吸涨对膜系统的损伤,提高了种子活力。

而 PEG 对苍术幼苗干旱胁迫的研究表明,在 15% 和 25% PEG 胁迫下, SOD、POD、CAT、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性表现出先升高后降低的变化趋势,且高浓度变化幅度较大,POD、APX 均于胁迫后 3 d 达到峰值, SOD、CAT 活性高峰期根据浓度大小而不一致,说明一定程度的 PEG 干旱胁迫可刺激抗氧化酶活性升高^[26]。

2.2.3 改变激素水平: GA_3 可促进种子萌发,打破休眠,高 GA_3 /ABA 值有利于种子的萌发^[27]。El Araby 等^[27]研究表明,番茄种子在 20% PEG 6000 处理下 8 h、3 d 和 7 d,发现 GA_3 /ABA 值在渗透引发中逐渐升高。

ABA 量升高是植物受到干旱胁迫的重要指标之一。在水分胁迫条件下,植物体内 ABA 的积累可降低气孔导度,调节叶片气孔开闭,减少植物的水分蒸腾散失,提高抗旱能力^[28];同时 ABA 还可启动叶片细胞质膜上的信号传导,促进蛋白质的合成,诱导植物产生抗旱能力^[29]。汪耀富等^[30]发现在 PEG 渗透胁迫下烤烟根和叶片中 ABA 量增加,参与调节烟株体内蛋白质的合成代谢和渗透调节过程,从而增强烟株的抗旱性。

2.2.4 基因表达: 植物通过转录和翻译来调控一系列与逆境相关基因的表达,从而提高植物对逆境的耐受能力。PEG 在种子引发和干旱胁迫中都会引起相关基因在转录和反应水平的变化。对结缕草的研究表明,PEG 的渗透调节作用可促进 RNA 和蛋白质的合成和应用^[31]。Stasolla 等^[32]对加拿大云杉的研究表明, ZWILLE、FIDDLEHEAD、FUSCA 和 SCARECROW 基因在经过 PEG 处理后增加了表达,而这些基因参与了体胚的形成和控制根和芽的形态建成。马廷臣等^[8]使用 Affymetrix 水稻 60 K 芯片全基因组研究 PEG 胁迫对 2 个耐旱性不同的水稻品种的转录因子及转录因子家族的变化。结果表明,在 PEG 胁迫下,干旱逆境可以诱导或抑制转录因子表达,且其在转录水平的表达表现出品种特异性。

3 PEG 在药用植物研究应用中存在的问题

3.1 基本概念有待进一步清晰: PEG 对药用植物育种的影响主要分为种子引发和干旱胁迫两个大方面。在干旱胁迫研究中,又分为对种子萌发的干旱胁迫和对种苗的胁迫两个方面,见图 1。用 PEG 对种子进行处理时,由于其诱导种子萌发与造成种子萌发时的干旱胁迫的浓度较接近,而且不同药用植

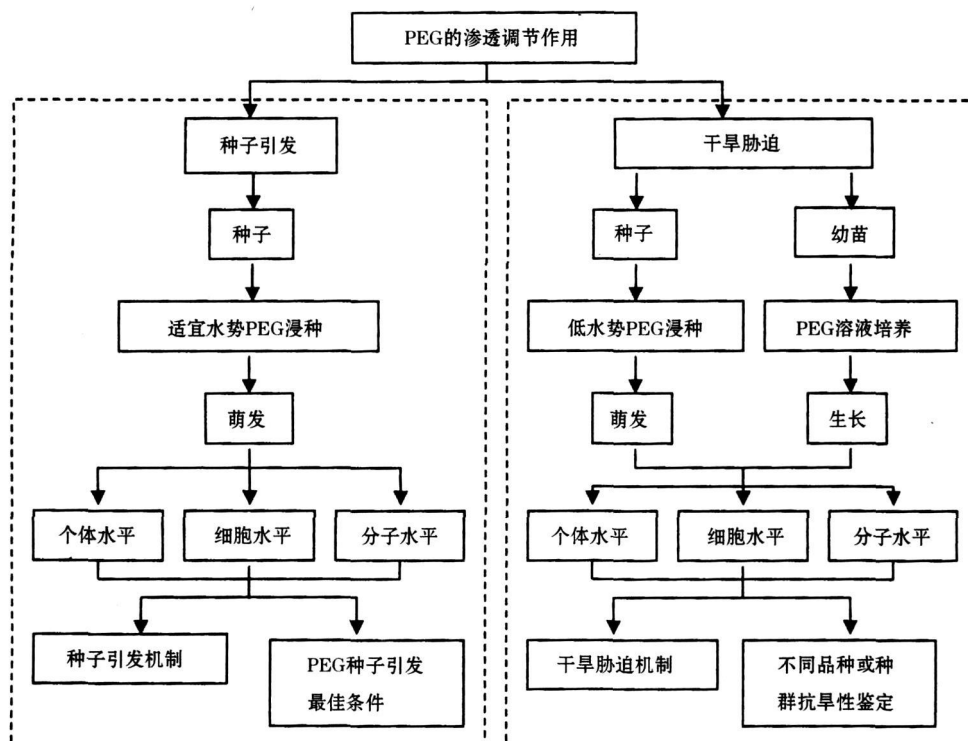


图1 PEG的渗透调节作用

Fig.1 Osmopriming effects of PEG

物二者的限度值也不同,造成一些学者在这个问题上产生混淆,致使研究结果的分析和结论失去科学性。可见,在PEG对种子处理时,首先应明确诱导种子萌发和造成种子萌发干旱胁迫的阈值,才能保证结果和结论的可靠性。

3.2 技术细节有待进一步规范:PEG靠调节水势对药用植物造成种子引发或干旱胁迫,从种子引发转变到干旱胁迫之间有个缓冲浓度。认识到这一点对实验设计、观察及结果解释很重要。同时,试验材料、试验条件的差异对实验结果影响很大。如同一种植物,不同质量的种子所需的PEG引发条件也不同。研究发现,最终发芽率为90%以上的结缕草种子,在25℃,0.1 MPa条件下,48 h的渗透调节可显著促进萌发速度;对最终发芽率为60%~70%的结缕草种子,提高其最终发芽率与发芽一致性,加快发芽速度的适宜渗透调节条件为25℃,−0.7 MPa,48 h;对最终发芽率为30%~40%的结缕草种子,−0.4 MPa或−0.7 MPa,24 h或48 h的渗透调节是最佳选择^[31]。因此,实际应用中,PEG对种子引发或干旱胁迫最佳条件的选择,还需在现有理论的指导下,根据经验和具体情况,通过反复实验加以确立。为了获得可靠的结果,需要认真规范试验的技术细节,以保证得到结果的科学性。

3.3 研究领域有待进一步拓展:药用植物不同于作物,次生代谢产物(大多是药用植物的药效成分)的积累通常是药用植物生产的目的。黄璐琦等^[33-34]认为,环境胁迫(干旱、严寒、伤害、高温、重金属等)通常抑制药用植物的生长发育,却能刺激植物次生代谢产物的积累和释放。研究PEG干旱胁迫下药用植物次生代谢产物的积累和规律,寻找可使药用植

物品质最佳的生态环境,可为提高中药材质量提供科学指导。

4 PEG应用于药用植物的技术策略

4.1 不同相对分子质量PEG的选择:在相同浓度下,不同相对分子质量的PEG水势不同,随着相对分子质量的增大,PEG的水势不断降低。水势同时受到 Ψ_s 和 Ψ_m 的影响,低相对分子质量PEG溶液的水势主要由 Ψ_s 决定,高相对分子质量PEG的水势则主要受 Ψ_m 控制^[35]。

常见PEG商品的相对分子质量在200~2×10⁴。由于相对分子质量大的PEG不能透过植物细胞壁,不能被植物吸收,其溶液优于那些可以渗入细胞壁的低相对分子质量溶液或可产生离子毒害效应的溶液^[6]。其中,相对分子质量在4 000~8 000的PEG因其优良的水溶性、不挥发性、非油脂性、良好的与皮肤的亲和性、浅色泽和低毒性在生物学的研究中应用广泛。如PEG 6000既可以影响渗透势,又不被植物吸收,与PEG 400相比,更适于模拟土壤水分胁迫^[6]。

4.2 浓度和温度选择:当PEG的相对分子质量一定时,可以不考虑 Ψ_m 的作用,此时可认为PEG溶液总 Ψ_w 等于 Ψ_s 。 Ψ_s 因溶质的存在而使水势下降的数值恒为负值。通常可用范霍夫公式计算:

$$\Psi_s = \frac{N}{V}RT \quad (2)$$

式(2)中 N 为摩尔质量, V 为体积, R 为气体常数, T 为绝对温度。由式(2)可知,在温度一定情况下,PEG溶液浓度越大,渗透势越低;在浓度一定的情况下,PEG溶液温度越高,渗透势越高。Kaufmann等^[36]研究证实了这一点。

PEG 对不同植物种子引发和干旱胁迫的最适浓度的存在着明显差异,需要根据实际情况确定。杨景宁^[37]对4种荒漠植物种子萌发的研究发现,同一条件 PEG 溶液浸种能促进红砂萌发,改善梭梭的初生根、胚芽生长以及红砂、驼绒藜的初生根生长;而碱蓬的初生根、胚芽生长及红砂、驼绒藜的胚芽生长则一直受到 PEG 处理的抑制。这可能与不同种植物本身萌发所需时间以及对 PEG 渗透调节的适应能力不同。对多数药用植物而言,当 PEG 6000 的浓度小于 15% 时,表现为种子诱发;当 PEG 6000 浓度大于 25% 时,表现为种子发芽受到抑制;当 PEG 6000 的浓度为 15% ~ 25% 时,不同药用植物的适应性反应不同。

PEG 对不同植物种子引发所需的温度不同。杨坪等^[38]对不同温度条件(5、10、15、25 ℃)下 PEG 对药用植物金荞麦种子萌发效应进行了研究,结果发现 15 ℃是金荞麦种子发芽的适宜温度。而张霞等^[39]研究了常温(20~ 25 ℃)和低温(10~ 15 ℃)下 PEG 引发梭梭种子萌发,结果显示常温条件下,其种子萌发效果最为明显。袁丽环等^[40]以翅果油树种子为材料,研究了不同的 PEG 浓度、浸种温度对种子活力及发芽的影响。结果表明,在 25% PEG、2 ℃条件下渗透调节效果好,能明显提高翅果油树种子的活力指数,发芽速度比对照有明显的提高,种苗质量得到改善,植物的抗逆性提高;生理生化指标分析表明,在该处理条件下,种子中可溶性蛋白和热稳定蛋白的量增加,SOD、CAT 活性升高,MDA 量与 POD 活性降低。而干旱胁迫研究中,只要保证受试样品与对照处于同一温度条件下即可。

4.3 避免浓缩效应:一般认为,种子萌发的基质不会改变 PEG 溶液的水势。但是,滤纸有吸水能力,导致溶液的 PEG 浓度增高,溶液的渗透势降低。Hardegree 等^[41]通过实验证明浓缩效应的程度与初始 PEG 浓度以及溶液体积与滤纸质量之比有关,当溶液体积(mL)与干燥滤纸质量(g)之比大于 12,可以减小滤纸对 PEG 溶液的浓缩效应。杨景宁^[37]在研究水分对4种荒漠植物种子萌发的影响实验中,各处理培养皿中放入2张用7 mL PEG 溶液浸湿的滤纸,然后放入种子,每天以称重法补充蒸馏水,以维持溶液渗透势恒定,避免 PEG 的浓缩效应。

4.4 保证供氧:Maxal 等^[42]测定了氧气在 PEG 4000 和 PEG 6000 不同浓度下溶液的溶解性。当 PEG 体积分数大于 5% 时,氧气浓度随 PEG 浓度增大而成比例减小,并且在 PEG 浓度一定时,PEG 4000 溶液中氧气浓度大于 PEG 6000 溶液,氧气溶解性和 PEG 相对分子质量和浓度呈负相关。说明在较低水势下,氧气向根表面的传输可能不能满足植物的呼吸需要,导致采用含有 PEG 营养液的水培植物可能会供氧不足。实验结果无法说明是水分胁迫的单一作用还是水分胁迫和氧气胁迫的综合作用。避免出现这一情况的方法是限制 PEG 浓度和向系统供氧。通气的基本方法有两种:(1)在控制水合过程中,用空气泵向溶液中通入空气;(2)在少量 PEG 溶液中,置一尼龙网,将种子铺于网上,这样,种子部分地与空气接触。另外,处理液中可预先加入 H₂O₂,但

不同植物添加 H₂O₂ 的浓度不一样;或者在渗透引发过程中直接吹入负氧离子,改进 PEG 溶液通气条件。

5 结语

总体来看,将 PEG 用于药用植物种子引发最佳条件的优选、抗旱性评价及对药材品质的研究都将会广阔的应用前景。现阶段 PEG 对种子的渗透引发和干旱胁迫作用之间的关系还不明确。同一渗透调节条件,对不同植物种子的萌发效果不同。PEG 在何种条件下促进种子萌发,何种条件下抑制其萌发,尚无统一认识,需要对 PEG 的渗透调节机制,从植物的形态解剖、细胞生理学和分子水平上进行深入研究。

参考文献:

- [1] 朱教军,李智辉,康宏樟. 聚乙二醇模拟水分胁迫对沙地樟子松种子萌发影响研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 801-804
- [2] 曾幼玲,蔡忠贞,马纪. 盐分和水分胁迫对两种盐生植物盐爪爪和盐穗木种子萌发的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1014-1018
- [3] Zhu J J, Kang H Z, Tan H, et al. Effects of drought stresses induced by polyethylene glycol on germination of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* seeds from natural and plantation forests on sandy land[J]. *J For Res*, 2006, 11: 318-328
- [4] 田美华,唐安军,宋松泉. 温度和渗透胁迫对细叶鸦葱种子萌发的影响[J]. 云南植物研究, 2007, 29(6): 682-686
- [5] Ghiyasi M, Seyahjani A A, Tajbakhsh M, et al. Effect of osmopriming with polyethylene glycol (8000) on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds under salt stress[J]. *Res J Biol Sci*, 2008, 3(10): 1249-1251
- [6] Patané C, Cavallaro V, D'Agosta G, et al. Plant emergence of PEG-osmoprimed seeds under suboptimal temperatures in two cultivars of sweet sorghum differing in seed tannin content[J]. *J Agron Crop Sci*, 2008, 194(4): 304-309
- [7] Mohamadzadeh N, Heidari R. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars[J]. *Pak J Biol Sci*, 2008, 11(1): 92-97
- [8] 马廷臣,陈荣军,余蓉蓉,等. 全基因组分析 PEG 胁迫下水稻根系转录因子表达变化[J]. 作物学报, 2009, 35(6): 1-9
- [9] 梁小玉,张新全. PEG 渗透处理改善鸭茅种子活力的研究[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(3): 330-334
- [10] Rao N, Dong L, Li J, et al. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of american sloughgrass (*Beckmannia syzigachne*) [J]. *Weed Sci*, 2008, 56(4): 529-533
- [11] 郭巧生,张贤秀,沈雪莲,等. 种子引发对夏枯草种子抗旱性的影响[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(9): 1-4
- [12] 何家庆,王兴,姚晴晴. 聚乙二醇对望江南种子萌发的影响[J]. 中草药, 2009, 40(9): 1466-1469
- [13] 袁媛,李娜,邵爱娟,等. PEG 6000 处理对黄芩种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中草药, 2009, 40(2): 269-272
- [14] 边才苗,金则新,张俊会,等. 锦鸡儿种子萌发及对干旱胁迫的响应[J]. 植物研究, 2006, 26(6): 718-721
- [15] 孙群,刘文婷,梁宗锁,等. 丹参种子的吸水特性及发芽条件研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(9): 1518-1521
- [16] 王彦荣,张健全,刘慧霞,等. PEG 引发紫花苜蓿和沙打旺种子的生理生态效应[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 402-408
- [17] 刘长利,王文全,魏胜利. 干旱胁迫对甘草种子吸胀的影响[J]. 中草药, 2004, 35(2): 1402-1405
- [18] 刘宇. 膜黄芪种子萌发生态特性及生理生化活性的研究[D]. 长春:吉林农业大学, 2006
- [19] 王得贤,武晓雄,朱志红,等. 几处药剂对椭圆叶花锚种子发芽力的影响[J]. 中草药, 2004, 35(12): 1406-1408
- [20] Afzali S F, Hajabbasi M A, Shariatmadari H, et al. Comparative adverse effects of PEG or NaCl induced osmotic stress on germination and early seedling growth of a potential medicinal plant *Matricaria chamomilla* [J]. *Pak J Bot*, 2006, 38(5): 1709-1714
- [21] Yang Q H, Wei X, Zeng X L, et al. Seed biology and germination ecophysiology of *Camellianitidissima* [J]. *Forest Ecol Manag*, 2008, 255(1): 113-118
- [22] Brancalion P H S, Novembre A D L C, Rodrigues R R. IV International Symposium on Seed, Transplant and Stand Establishment of Horticultural Crops; Translating Seed and

- Seedling Physiology into Technology [A]. Priming of *Mimosa bimucronata* Seeds A tropical tree species from Brazil [C]. San Antonio, Texas: ISHS Acta Horticulturae 782, 2008
- [23] 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
- [24] 罗银玲, 宋松泉, 兰芹英. 酶促和非酶促抗氧化系统在玉米胚脱水耐性获得中的作用 [J]. 云南植物研究, 2009, 31(3): 253-259
- [25] 何家庆, 黄训端, 黎承姬, 等. 聚乙二醇对栝楼种子萌发的影响 [J]. 激光生物学报, 2005, 14(6): 416-419
- [26] 周洁, 黄璐琦, 郭兰萍, 等. 干旱胁迫下苍术幼苗生理特性变化研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(19): 2163-2166
- [27] El Araby M M, Moustafa S M A, Ismail A I, et al. Hormone and phenol levels during germination and osmopriming of tomato seeds [J]. *Acta Agron Hungarica*, 2006, 54(4): 441-457
- [28] 陈玉玲, 曹敏. 干旱条件下 ABA 与气孔导度和叶片生长的关系 [J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(5): 233-237
- [29] Muns R, Sharp R E. Involvement of abscisic acid in controlling plant growth in soil of low water potential [J]. *Austr J Plant Physiol*, 1993, 20: 425-437
- [30] 汪耀富, 张瑞霞, 胡筱岚, 等. 渗透胁迫下烤烟根和叶片中内源激素含量的变化 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 86-89
- [31] 姜丽. 渗透调节对结缕草种子发芽与活力的影响及其机理初探 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005
- [32] Stasolla C, van Zyl L, Egertsdotter U, et al. The effects of polyethylene glycol on gene expression of developing white spruce somatic embryos [J]. *Plant Physiol*, 2003, 131: 49-60
- [33] 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(4): 277-280
- [34] 郭兰萍, 黄璐琦. 中药资源生态学研究的理论框架 [J]. 资源科学, 2008, 30(2): 296-304
- [35] Steuter A A. Water potential of aqueous polyethylene glycol [J]. *Plant Physiol*, 1981, 67: 64-67
- [36] Kaufmann M R, Eckard A N. Evaluation of water stress control with polyethylene glycols by analysis of guttation [J]. *Plant Physiol*, 1971, 47: 453-456
- [37] 杨景宁. 水分和盐分胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响 [D]. 兰州: 兰州大学, 2007
- [38] 杨坪, 梁剑, 段宏伟. 温度和 PEG 浓度对金荞麦种子萌发的效应 [J]. 西昌学院学报: 自然科学版, 2007, 21(4): 17-19
- [39] 张霞, 邓必建, 姚新花, 等. 不同温度条件下 PEG 引发梭梭种子对其幼苗生理生化的影响 [J]. 2006, 25(12): 5-7
- [40] 袁丽环, 闫桂琴, 朱志敏. PEG 预处理和低温促进翅果油种子萌发的研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(10): 112-115
- [41] Hardegree S P, Emmerich W E. Effect of polyethylene glycol exulsion on the water potential of solution saturated filter paper [J]. *Plant Physiol*, 1990, 92: 462-466
- [42] Mexal J, Fisher J T, Osteryoung J, et al. Oxygen availability in polyethylene glycol solutions and its implications in plant water relations [J]. *Plant Physiol*, 1975, 55: 20-24

硫磺熏蒸中药材及饮片的研究现状

刘静静^{1~3}, 刘晓^{1~3}, 李松林⁴, 蔡宝昌^{1~4*}, 蔡皓^{1~3*}

(1 南京中医药大学 国家教育部中药炮制规范化及标准化工程研究中心, 江苏 南京 210029; 2 南京中医药大学药学院, 江苏 南京 210046; 3 南京中医药大学 江苏省中药炮制重点实验室, 江苏 南京 210029; 4 南京海昌中药饮片有限公司, 江苏 南京 210061)

摘要: 硫磺熏蒸作为一种传统的中药材养护方法, 具有干燥、增白、防虫、防腐和防霉变等作用, 在中药材及饮片的加工贮藏过程中应用普遍。硫磺熏蒸后, 中药材及饮片会残留大量的二氧化硫, 而且化学成分会发生量或质的改变, 进而影响药理作用, 降低饮片质量。深入探讨了硫磺熏蒸对中药材及饮片质量的影响, 并对中药材和饮片中的 SO₂ 的检测方法进行简要介绍, 为控制硫磺熏蒸在中药材及饮片加工贮藏中的使用, 寻找替代方法提供参考。

关键词: 硫磺熏蒸; 二氧化硫残留; 中药材; 饮片

中图分类号: R282.4 文献标识码: A 文章编号: 0253-2670(2010)08-1403-04

Current situation in studies on traditional Chinese medicinal materials and Yinpian by sulfur fumigated process

LIU Jing-jing^{1,3}, LIU Xiao^{1,3}, LI Song-lin⁴, CAI Bao-chang^{1,4*}, CAI Hao^{1,3}

(1 Engineering Research Center of State Ministry of Education for Standardization of Chinese Medicine Processing, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China; 2 College of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210046, China; 3 Jiangsu Key Laboratory of Chinese Medicine Processing, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China; 4 Nanjing Haichang Chinese Medicine Yinpian Co., Ltd., Nanjing 210061, China)

Key words: sulfur fumigated process; sulfur dioxide residues; traditional Chinese medicinal materials (TCMM) Yinpian (herbal pieces prepared for decoction)

* 收稿日期: 2010-01-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30940093); 江苏省自然科学基金资助项目(BK2009495)

作者简介: 刘静静(1984—), 女, 山东潍坊人, 在读硕士, 主要从事中药炮制研究。

Tel: (025) 86798281 E-mail: jingjing_12_5@163.com

* 通讯作者 蔡皓 Tel: (025) 86798281 E-mail: haocai_98@126.com

蔡宝昌 Tel: (025) 85811112 E-mail: becai@126.com