

外源物质对逆境下苜蓿种子萌发影响的研究进展

王振南¹, 李富宽¹, 杨燕², 王冠东³, 魏明吉¹, 吕慎金¹

(1. 临沂大学 农林科学学院, 山东 临沂 276000; 2. 临沂市农业科学院, 山东 临沂 276012;

3. 临沂市畜牧兽医监测中心, 山东 临沂 276003)

摘要: 苜蓿是一种多年生豆科牧草, 促进苜蓿种子的萌发是建植优良苜蓿草地的基础。一般情况下, 苜蓿种子萌发会受环境、盐碱、重金属等胁迫的影响。然而外源物质施加或浸种, 能够促进正常情况或逆境胁迫下苜蓿种子的萌发。该研究综述了各种外源物质对种子萌发的机理及表现, 为逆境胁迫下促进苜蓿种子的萌发可使用的外源物质的筛选提供参考。

关键词: 发芽; 胁迫; 生长激素; 苜蓿; 抗逆性

中图分类号: S 551⁺.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)17-0181-08

苜蓿(*Medicago sativa*)是一种多年生豆科牧草, 具有较高的营养、经济 and 环境保护等价值, 目前全世界苜蓿种植面积超过 3 200 万 hm^2 , 并呈不断扩大的趋势。已知苜蓿的平均寿命超过 20 年, 且根据生产力动态、土壤水分状况、理化特性以及叶片的光合生理生态指标等判断苜蓿的适宜种植年限为 8 年^[1-3]。因此, 初年苜蓿草地建植的好坏是保证牧草产量和可持续利用的关键因子之一, 然而较好的种子萌发情况是苜蓿草地建植的基础。

苜蓿适应性广、抗逆性强, 不仅可以在肥沃的农田地种植, 也可以在营养匮乏、盐碱、干旱等恶劣的土地中种植, 但这些胁迫对苜蓿的生长存在

一定的影响。苜蓿为适应不同的环境条件, 从自身生长的各个层次、各个阶段进行调节^[4-6], 种子萌发阶段是其适应环境的关键时期之一^[7-8]。目前, 已有许多研究涉及了苜蓿种子的萌发, 包括环境(高温与低温、涝害与干旱等)^[9-11]、盐碱(CaCl_2 、 NaCl 、 Na_2SO_4 、 NaHCO_3 、 MgCl_2 、 Na_2CO_3 等)^[10-12]、(重)金属离子(Co^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cr^{6+} 、 Pb^{2+} 等)^[13-14]等。这些研究的开展有助于从多方面了解苜蓿种子的萌发状况, 从而为苜蓿草地的建植提供一定的参考依据。

研究表明, 增强苜蓿种子萌发阶段的抗逆性是建植良好苜蓿草地的关键措施, 而施用外源物质已成为增强其萌发的重要方法之一^[15-16]。已报道的外源物质主要包括植物生长调节类物质、渗透调节(相容性)物质和非酶促抗氧化物质 3 类^[17]。这些外源物质的施用缓解了园艺作物受逆境因子的伤害, 学者对其进行了系统的归纳总结^[17-18]。但施用外源物质对苜蓿种子在萌发阶段抗逆性表现的系统研究较少。鉴于此, 该研究总结了近年来在苜蓿萌发阶段抗逆性方面所采用的主要外源物质种类、作用、使用方法及效果等的研究进展, 并展望了外源物质施加对增加苜蓿发

第一作者简介: 王振南(1988-), 男, 山东临沂人, 博士, 讲师, 现主要从事牧草生理生态等研究工作。E-mail: wang-zn11@163.com.

责任作者: 吕慎金(1975-), 男, 山东临沂人, 博士, 教授, 现主要从事畜牧科学等研究工作。E-mail: lvshenjin@lyu.edu.cn.

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系牧草创新团队临沂综合试验站资助项目(SDAIT-23-10)。

收稿日期: 2017-02-28

芽情况的可行性,以期在建植良好的苜蓿草地提供一定的参考依据。

1 苜蓿种子萌发对逆境胁迫的响应

1.1 温度、水分和氧气对苜蓿种子萌发的影响

种子在其萌发过程中受环境因子的影响,只有在充足的水分、足够的氧气和适宜的温度下才能正常萌发。苜蓿种子萌发的最适温度为 20~25℃,热和冷胁迫都会抑制种子的萌发。研究表明,较高的温度延迟了种子萌发高峰期的出现,显著抑制了苜蓿种子的萌发率、萌发速率、发芽指数等,但对发芽历程无影响^[9-10,19]。低温胁迫下,苜蓿种子萌发期可溶性糖含量变化呈先降低后升高再降低的趋势,淀粉含量的变化呈先升高后降低的趋势^[20],其萌发期达到最高萌发率的时间较长^[21]。

苜蓿种子萌发时的吸水量为种子干质量的 85%~95%,在受到干旱胁迫时,有效水分吸收的降低会抑制其萌发。研究表明,随干旱胁迫的增加,萌发率、吸水速率、萌发活力、萌发胁迫指数下降,种子群体萌动、萌发和出苗达 50% 概率时间延迟,根芽比增加^[22-23]。而种子的活力并没有随添加水分的增加而增加,在加水量为种子初始质量 90%(温度 10℃,引发时间 36 h)时的种子活力高于加水量为 120% 和 150% 时^[24],因此提供合适的水分能够促进种子萌发。

苜蓿种子的萌发需要适宜的环境氧气含量,含氧量较低不能满足种子吸水后较强的呼吸作用,会影响氧化磷酸化过程,影响萌发过程中某些酶的活性和表达,抑制种子的能量代谢。前人已对玉米(*Zea mays*)、小麦(*Triticum aestivum*)和水稻(*Oryza sativa*) 3 类主要作物种子低氧环境进行研究,发现低氧抑制了种子的萌发,降低了发芽率,抑制了胚芽和胚根的生长^[25]。而高氧环境下同样抑制了水稻种子萌发,其使种子吸水膨胀率和浸泡液电导率较高,糖和蛋白质外渗量大,丙二醛含量较高^[26]。苜蓿种子萌发过程中所需的最适氧气含量仍需进一步探讨,但高氧或低氧情况下都有可能改变苜蓿种子的正常生理反应,抑制苜蓿种子的萌发。

1.2 盐碱胁迫对苜蓿种子萌发的影响

盐碱胁迫对种子萌发的主要影响是降低了细

胞外水势,使种子吸水困难,造成了渗透胁迫;产生离子毒害,造成细胞膜损伤、代谢途径改变、营养缺乏以及有毒物质的积累^[27]。研究表明,随着盐、碱浓度的升高,苜蓿种子发芽率、发芽速率、发芽势等均显著降低^[8,19,28],并且随着碱性盐比例的增加,种子的萌发进程延缓越明显^[8]。苏爱莲等^[29]研究指出,随着 NaCl 浓度的提高,苜蓿种子发芽率、发芽势降低,苗高、根长明显缩短。刘晓静等^[8]发现,苜蓿种子萌发受碱性盐影响,不仅具有中性盐的胁迫影响,还具有高 pH 造成的种子代谢紊乱、生成分解酶等不利于种子萌发的生理状况,而且随着 pH 的升高,苜蓿种子萌发率呈降低的趋势。但也有研究表明,低浓度盐碱胁迫对苜蓿种子发芽有一定的促进作用^[28],这可能是由于盐离子进入细胞,增加了细胞内外渗透势差,促进种子吸水萌发;也可能由于盐离子本身刺激种子促使萌发,学者对碱茅(*Puccinellia tenuiflora*)发芽的研究可以对其进行解释,即发现等渗条件下盐溶液中的发芽进程较聚乙二醇(polyethylene glycol, PEG)中快^[30]。

1.3 (重)金属离子胁迫对苜蓿种子萌发的影响

土壤重金属污染严重影响农作物的生长和品质,而紫花苜蓿能够富集土壤中的 Cd、Ni、Cu 等多种重金属元素^[31-32],但重金属会抑制细胞中核酸的合成、使细胞中蛋白变性或失活、引起氧化胁迫、产生活性氧等^[7,33]。张春荣等^[13]报道不同浓度 Cd 对种子发芽率、发芽势、活力指数等的影响不同,但尹国丽等^[33]只发现随着 Cd 胁迫加重,苜蓿种子发芽势、发芽率一直降低,蛋白水解酶活性的抑制逐渐加重,可溶性蛋白质和可溶性糖含量显著降低。杨丹娜等^[7]发现苜蓿种子在低浓度 Al 胁迫下发芽正常,而在高浓度 Al 胁迫下种子发芽被抑制,发芽率、发芽势、发芽指数较低。张虎等^[34]发现随着 Co 胁迫浓度的增大,苜蓿种子发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数均显著降低。杨玲等^[35]发现单一 Pb、Zn 使苜蓿种子的发芽力具有低促高抑作用;Pb、Zn 交互作用时,Pb 含量较低仍促进种子发芽,Pb 含量达到一定浓度时,对植物的毒害作用骤然增加。尹国丽等^[36]发现 Cr 胁迫显著抑制了苜蓿种子的萌发,种子发芽势、发芽率均显著降低。

2 外源物质干预对逆境下苜蓿种子萌发的影响

2.1 植物生长调节类物质影响逆境下苜蓿种子萌发

2.1.1 脱落酸(ABA)

ABA 一般被认为是种子休眠的促进剂,随着 ABA 浓度的增大,对苜蓿种子萌发的抑制效应呈增加的趋势^[37],但 ABA 还提高了植物对逆境条件(低温、干旱等)的适应^[38-40]。已有研究表明,一定浓度的外源 ABA 浸种能提高干旱胁迫下小麦种子^[39]、玉米种子^[41]的发芽势、发芽率、相对发芽率、发芽指数、活力指数。但苜蓿种子通过外源 ABA 浸种影响逆境下的发芽情况还有待进一步研究。

2.1.2 乙烯

乙烯(利)可以促进种子萌发,乙烯(利)处理使苜蓿种子发芽势、发芽率、平均发芽指数相比对照显著增加^[37],并且乙烯(利)能够显著的减轻 NaCl 对苜蓿种子萌发的抑制作用,这是因为外源乙烯能够促进种子萌发过程乙烯的产生,提高种子的呼吸速率和 ATP 含量^[42-43]。另有研究表明,乙烯(利)浸种能够缓解干旱(PEG)胁迫下玉米种子^[44]、小麦种子^[45]的发芽率。因此通过施用外源乙烯(利)可促使苜蓿种子在逆境胁迫下的萌发。

2.1.3 赤霉素(GA)

GA 影响了植物的很多生长过程,包括解除种子休眠、促进发芽^[46]等。GA 促进种子萌发是通过诱导种子体内水解酶的合成,催化种子体内物质营养的转化,为萌发提供保障^[47]。GA 还能促进胁迫下种子的萌发,已有研究表明 GA 可提高黑小麦(*Secale cereale*)种子萌发的抗盐性^[48],提高高羊茅(*Festuca arundinacea*)干旱(PEG)胁迫下种子的发芽势、发芽率^[49]。因此 GA 前处理对提高逆境胁迫下苜蓿种子的萌发具有一定的效果,这得到任永霞等^[50]研究的支持,其研究发现 GA 溶液浸种能够促进 PEG 胁迫下紫花苜蓿种子的萌发,提高种子的发芽率、发芽指数、活力指数^[50]。

2.1.4 生长素(IAA)

IAA 影响着种子的萌发,其产生的影响或抑

制^[51-52],或效果不显著^[53],或有促进^[54]作用。同时,IAA 与植物的逆境胁迫反应关系密切^[55]。已有研究表明 IAA 浸种促进了 NaCl 胁迫下向日葵(*Helianthus annuus*)种子的萌发,缩短了发芽时间,提高了发芽指数和活力指数,但效果相比于细胞分裂素(6-BA)、GA、ABA 影响较小^[56]。因此 IAA 前处理苜蓿种子可能提高了逆境胁迫下其发芽指数和活力指数等,但有待进一步探讨。

2.1.5 细胞分裂素

6-BA 通过促进种子中 ABA 合成来促进种子萌发,提高活力指数^[57]。已有研究表明 6-BA 预处理苜蓿种子^[58]、橡胶(*Ficus elastica* Roxb.)种子^[59]、桃(*Amygdalu persica*)和苹果(*Malus pumila*)种子^[57],能够促进种子的发芽。6-BA 还能促进胁迫(NaCl 和甘露醇胁迫)下拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)种子、向日葵种子的萌发^[56,60]。但 6-BA 处理是否能够提高逆境胁迫下苜蓿种子的萌发还有待进一步研究。

2.1.6 油菜素内酯(BR)

油菜素内酯是被发现的第六大类植物激素,其能够显著促进正常情况甚至逆境胁迫(干旱、盐、低温等)下的植物种子萌发^[61-62],其作用机制可能是 BR 促使细胞合成自由基清除酶以减轻胁迫伤害^[63-64]。苜蓿种子萌发也对 BR 存在正响应,一定浓度的 BR 不仅能够提高萌发率^[65],也能够缓解盐胁迫对种子萌发的抑制作用^[16]。

2.1.7 水杨酸(SA)

水杨酸能够诱导植物产生蛋白,增加渗透调节物质,提高酶活性,从而增强植物对逆境的抗性^[66]。目前对 SA 减缓低温^[38]、盐^[67]、虫害^[68]等胁迫下苜蓿的生长状况有所研究,也从 SA 提高逆境条件(盐、干旱、低温和高温、重金属等胁迫)下不同物种种子萌发方面有所报道,但最佳 SA 浓度在不同物种中的需求不同^[41]。因此一定浓度 SA 可能促进了苜蓿种子的萌发。

2.1.8 其它激素

其它激素在一定情况下也能够促进逆境胁迫下种子的萌发。腐胺(Put)、亚精胺(Spd)和多胺(PAs)前处理茄子(*Solanum melongena*)种子^[69]、黑麦草(*Lolium perenne*)种子^[70]、莴苣(*Lactuca sativa*)种子^[71],有助于促进低温胁迫下种子活力。5-氨基乙酰丙酸(5-aminolevulinic

acid, ALA)能够提高植物对逆境的适应能力,其能够促进盐胁迫下菘蓝(*Isatis indigotica*)种子、决明子(*Cassia obtusifolia*)种子^[72-73],干旱胁迫下甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)种子的萌发^[74]。因此添加外源多胺(PAs)和 ALA 可在一定程度上促进苜蓿种子的萌发。

2.2 外源有机物质提高逆境下苜蓿种子萌发

2.2.1 脯氨酸

植物遭受逆境胁迫时,通过改变细胞质中的脯氨酸含量来保护细胞,脯氨酸还可通过外源添加对逆境下细胞起到保护作用。外源脯氨酸会提高细胞中非酶促抗氧化物质(抗坏血酸和谷胱甘肽)的含量,增强抗氧化酶活性,保护细胞膜的完整性,缓解盐胁迫的伤害^[75]。已有研究表明,外源脯氨酸浸种能够提高盐胁迫下水稻种子^[76]、低温胁迫下烟草(*Nicotiana tabacum*)种子^[77]的发芽势和发芽率,但外源脯氨酸前处理提高逆境胁迫下苜蓿种子的萌发还有待进一步研究。

2.2.2 甜菜碱(GB)

甜菜碱通过参与渗透调节及离子吸收和转移、稳定抗氧化系统、保护光合系统和清除活性氧等生理活动来促进逆境胁迫下种子的萌发^[78-80]。已有研究表明,外源 GB 能够缓解干旱或盐胁迫下烟草种子^[78]、低温或干旱胁迫下小桐子(*Jatropha curcas*)种子^[81]、盐胁迫下菊苣(*Cichorium intybus*)种子^[79]等的萌发。因此施用外源甜菜碱前处理苜蓿种子可能在一定程度上缓解逆境胁迫下种子的萌发。

2.2.3 糖

糖不仅为植物的生命活动提供能量,还作为信号分子参与植物各种生长发育的调控^[82],外源糖浸种可促使种子抗氧化能力提高,并且能够维持体内 K^+ 和 Na^+ 平衡^[83]。已有研究表明,一定浓度的外源壳聚糖可促进盐胁迫下小麦种子的萌发;一定浓度的外源葡萄糖可促使干旱胁迫下小麦种子的萌发^[82];外源葡萄糖、蔗糖浸种可缓解盐胁迫对玉米种子萌发的抑制效应^[83]。因此外源糖浸种可能在一定程度上促进逆境胁迫下苜蓿种子的萌发。

2.2.4 维生素

维生素不仅具有清除有害自由基的作用,还可作为一类信号分子,在植物逆境反应中起到一

定的作用^[84]。但维生素对种子的萌发因其种类和浓度的不同而产生的影响不同^[84-85]。研究表明,外源维生素 B_6 、维生素 B_{12} 、维生素 C 能够缓解盐胁迫下苜蓿种子的萌发,但维生素 B_1 、维生素 B_2 和维生素 H 未能有效缓解盐胁迫下苜蓿种子的萌发^[85]。选择合适的维生素种类与浓度可促进逆境胁迫下苜蓿种子的萌发。

2.3 外源无机物影响逆境下苜蓿种子萌发

2.3.1 金属离子

钙离子(Ca^{2+})作为信号物质,能够调控种子萌发过程中有关的一些重要生理活动和酶促反应^[81,86],还能缓解逆境胁迫下种子的萌发^[50,81]。研究发现 Ca^{2+} 可促进干旱、低温胁迫下小桐子种子^[81]、生物碱胁迫下黄瓜(*Cucumis sativus* Linn.)种子^[86]等的萌发,这些研究可用来指导逆境胁迫下苜蓿种子的萌发。最新研究也表明 Ca^{2+} 可促进干旱^[50]、盐胁迫下苜蓿种子的萌发。

锌离子(Zn^{2+})是植物体内多种酶的组成成分和活化剂。一定浓度的 Zn^{2+} 不仅可促进正常情况下玉米、苦荞(*Fagopyrum tartaricum*)、黑小麦、苜蓿等种子的萌发^[87-89];还可缓解重金属胁迫下小麦种子的萌发^[90]。但 Zn^{2+} 浓度过量会对植物产生胁迫,抑制其萌发^[89]。因此,一定情况下,适宜的 Zn^{2+} 浓度可促进正常及逆境情况下苜蓿种子的萌发。

其它元素如锰、硼、钼、镧等浸种,可促进决明子、苦荞种子的发芽率、发芽势和活力指数^[91-92]。另外,一定浓度的镧浸种,可通过增强种子的能量代谢来缓解逆境下种子的萌发^[93];镧缓解了酸雨对大豆萌发种子的伤害^[93];镧浸种缓解了 NaCl 胁迫下柳枝稷(*Panicum virgatum*)种子的萌发^[94];镧浸种可缓解汞胁迫下豌豆(*Pisum sativum*)种子的萌发^[95]。但针对苜蓿的研究,有待进一步探讨。

2.3.2 一氧化氮(NO)

NO 在生物体中起氧化还原信号分子和毒性分子的作用,其主要作用于 ROS 代谢酶,从而参与对活性氧的调节过程^[96-98]。研究表明,适宜浓度的外源 NO 可缓解盐胁迫、干旱胁迫、重金属胁迫下苜蓿种子的萌发^[97-99],但较高浓度的外源 NO 会明显抑制苜蓿种子的萌发^[98]。

2.3.3 其它外源无机物

其它外源无机物包括聚乙烯醇、硫化氢等对种子预处理也能促进其萌发:聚乙烯醇、聚乙二醇预处理提高大豆(*Glycine max*)、苜蓿种子活力和抗冷能力的作用^[100-101];外源硫化氢提高了干旱胁迫下玉米种子的发芽势、发芽率^[102]。这些研究为缓解逆境胁迫下苜蓿种子的萌发提供了一定的理论参考,但实际应用仍需进一步研究。

3 展望

近年来,国家大力发展草牧业,促使作为“牧草之王”的苜蓿更受到青睐,成功的建植苜蓿草地是获得高产、优质牧草的重要步骤之一。但近年来水资源匮乏、盐碱地增大等显著抑制了苜蓿的生长发育,尤其是苜蓿种子萌发及幼苗期生长。研究表明,选取合适的外源物质浸种可促进正常或逆境胁迫下苜蓿种子的萌发,这为建植良好的苜蓿草地奠定了基础。但许多外源物质施用过量反而会抑制苜蓿种子的萌发,因此选取合适的外源物质(单一或配施)、探讨合适的浸种浓度成为下一步亟需解决的问题。

参考文献

- [1] 万素梅. 黄土高原地区不同生长年限苜蓿生产性能及对土壤环境效应研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [2] LI Y S, HUANG M B. Pasture yield and soil water depletion of continuous growing alfalfa in the Loess plateau of China [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 124: 24-32.
- [3] 罗珠珠, 牛伊宁, 李玲玲, 等. 陇中黄土高原不同种植年限苜蓿草地土壤水分及产量响应[J]. 草业学报, 2015, 24(1): 31-38.
- [4] ANNICCHIARICO P, PECETTI L, TAVA A. Physiological and morphological traits associated with adaption of lucerne (*Medicago sativa*) to severely drought-stressed and to irrigated environments[J]. Annals of Applied Biology, 2013, 162(1): 27-40.
- [5] AN Y, ZHOU P, LIANG J F. Effects of exogenous application of abscisic acid on membrane stability, osmotic adjustment, photosynthesis and hormonal status of two lucerne (*Medicago sativa* L.) genotypes under high temperature stress and drought stress[J]. Crop and Pasture Science, 2014, 65(3): 274-286.
- [6] WANG Z N, LU J Y, YANG H M, et al. Resorption of nitrogen, phosphorus and potassium from leaves of lucerne stands of different ages[J]. Plant and Soil, 2014, 383: 301-312.
- [7] 杨丹娜, 骆夜烽, 谢家琪, 等. 酸、铝胁迫对苜蓿种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(8): 103-109.
- [8] 刘晓静, 张晓磊, 齐敏兴, 等. 混合盐碱对紫花苜蓿种子萌发及幼苗期叶绿素荧光特性的影响[J]. 草地学报, 2013, 21(3): 501-507.
- [9] 张鹤山, 刘洋, 田宏, 等. 热胁迫下紫花苜蓿种子萌发特征及耐热性研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(2): 348-352.
- [10] 武伟, 田雨, 张红香, 等. 盐、碱胁迫与温度对黄花苜蓿种子发芽的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(11): 1847-1853.
- [11] 鱼小军, 肖红, 徐长林, 等. 扁蓿豆和苜蓿种子萌发期抗旱性和耐盐性比较[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 405-410.
- [12] 韩清芳, 李崇巍, 贾志宽. 不同苜蓿品种种子萌发期耐盐性的研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(4): 597-602.
- [13] 张春荣, 夏立江, 杜相革, 等. 镉对紫花苜蓿种子萌发的影响[J]. 中国农学通报, 2004, 20(5): 253-255.
- [14] 鱼小军, 张建文, 潘涛涛, 等. 铜、镉、铅对7种豆科牧草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报, 2015, 23(4): 793-803.
- [15] 徐严, 魏小红, 李兵兵, 等. 外源 NO 对 NaCl 胁迫下紫花苜蓿种子萌发及幼苗氧化损伤的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(5): 145-153.
- [16] 寇江涛, 师尚礼. 2,4-表油菜素内酯对盐胁迫下紫花苜蓿种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草原与草坪, 2015, 35(1): 1-8.
- [17] 谷端银, 王秀峰, 杨凤娟, 等. 施用外源物质对园艺作物的抗逆性影响研究进展[J]. 北方园艺, 2016(3): 195-198.
- [18] 康国章, 王正询, 孙谷畴. 几种外源物质提高植物抗冷力的生理机制[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(2): 193-197.
- [19] 管博, 周道玮, 田雨, 等. 盐碱及变温条件对花苜蓿种子发芽的影响[J]. 中国草地学报, 2010, 32(1): 58-63.
- [20] 崔国文. 低温胁迫对紫花苜蓿种子萌发期可溶性糖和淀粉的影响[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(1): 72-76.
- [21] 彭运翔, 张力君, 陈立波. 18个苜蓿品种种子萌发期对温度的响应[J]. 内蒙古草业, 2012, 24(2): 42-43.
- [22] 李文晓, 张岁岐, 山仑. 水分胁迫下紫花苜蓿和高粱种子萌发特性及幼苗耐寒性[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3066-3074.
- [23] 伏兵哲, 兰剑, 李小伟, 等. PEG-6000 干旱胁迫对16个苜蓿品种种子萌发的影响[J]. 种子, 2012, 31(4): 10-14.
- [24] 闵丹丹, 范燕, 郭正刚, 等. 紫花苜蓿种子水引发条件的优化[J]. 草业科学, 2016, 33(4): 669-673.
- [25] 唐永康, 高峰, 郭双生, 等. 低压环境对三种植物种子萌发的影响[J]. 航天医学与医学工程, 2013, 26(1): 60-65.
- [26] 罗广华, 王爱国, 绍从本, 等. 高浓度氧对种子萌发和幼苗生长的伤害[J]. 植物生理学报, 1987, 13(2): 161-167.
- [27] 鱼小军, 师尚礼, 龙瑞军, 等. 生态条件对种子萌发影响研究进展[J]. 草业科学, 2006, 23(10): 44-49.
- [28] 蔺吉祥, 高战武, 王颖, 等. 盐碱胁迫对紫花苜蓿种子发芽的协同影响[J]. 草地学报, 2014, 22(2): 312-318.
- [29] 苏爱莲, 刘自学, 王海亭, 等. 盐胁迫对苜蓿种子发芽性状的影响及其耐盐性评价[J]. 中国农学通报, 2016, 32(14): 1-6.
- [30] 阎顺国, 沈禹颖. 生态因子对碱茅种子萌发期耐盐性影响的数量分析[J]. 植物生态学报, 1996, 20(5): 414-422.
- [31] PERALTA-VIDEA J R, GARDEA-TORRESDEY J L, GOMEZ E, et al. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at

- different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake[J]. Environmental Pollution, 2002, 119(3): 291-301.
- [32] PERALTA-VIDEA J R, de LA ROSA G, GONZALEZ J H, et al. Effects of the growth stage on the heavy metal tolerance of alfalfa plants[J]. Advances in Environmental Research, 2004, 8(3-4): 679-685.
- [33] 尹国丽, 师尚礼, 寇江涛, 等. Cd胁迫对紫花苜蓿种子发芽及幼苗生理生化特性的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(8): 1638-1644.
- [34] 张虎, 寇江涛, 师尚礼. 紫花苜蓿种子萌发对钴胁迫的生理生化响应[J]. 草业学报, 2015, 24(9): 146-153.
- [35] 杨玲, 熊智, 吴红娇, 等. 5种豆科植物对铅、锌及其复合作用的耐性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30): 104-110.
- [36] 尹国丽, 寇江涛, 师尚礼, 等. 铬胁迫对紫花苜蓿种子发芽及幼苗生理生化特性的影响[J]. 青海草业, 2013, 22(2): 2-8.
- [37] 刘建利, 曹君迈, 任贤. 外源激素对蒺藜状苜蓿种子萌发、休眠的调控[J]. 辽宁农业科学, 2008(5): 54-55.
- [38] 王英哲, 任伟, 徐安凯, 等. 低温胁迫下紫花苜蓿对外源 SA 和 ABA 的生理响应[J]. 华北农学报, 2012, 27(5): 144-149.
- [39] 席吉龙, 张建诚, 席凯鹏, 等. 外源 ABA 对小麦抗旱性和产量性状的影响[J]. 作物杂志, 2014(3): 105-108.
- [40] 李跃, 万里强, 李向林. 内源脱落酸生理作用机制及其与苜蓿耐旱性关系研究进展[J]. 草业学报, 2015, 24(11): 195-205.
- [41] 彭浩, 王晓强, 赵强, 等. 水杨酸与脱落酸对干旱胁迫下玉米种子萌发的影响[J]. 济宁学院学报, 2015, 36(3): 72-77.
- [42] 李振国, 倪君蒂. 乙烯消减盐抑制苜蓿种子萌发的机理研究[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(1): 24-28.
- [43] 李振国, 倪君蒂, 余叔文. 乙烯消减盐渍胁迫对苜蓿种子萌发的抑制作用[J]. 植物生理学报, 1995, 21(1): 50-56.
- [44] 闫秋洁, 刘再婕, 杨欣. 乙烯利浸种对聚乙二醇胁迫下玉米种子萌发的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(3): 53-58.
- [45] 胡雯娟, 李国瑞, 樊高琼, 等. 增强小麦种子萌发期抗旱性的植物生长调节物质的筛选与评价[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(8): 1093-1100.
- [46] DUAN C R, WANG B C, LIU W Q, et al. Effect of chemical and physical factors to improve the germination rate of *Echinacea angustifolia* seeds[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2004, 37(3-4): 101-105.
- [47] JIAN Z Y, LU J L, JIANG R J. Effect of temperature on the induction of α -amylase by gibberellin acid[J]. Plant Physiology Communications, 1989(5): 44-46, 80.
- [48] RIFAT S, KARMOKER J. Effects of gibberellin acid and Kn on seed germination and accumulation of Na^+ and K^+ in the seedling of triticale under salinity stress[J]. Bangladesh Journal of Botany, 2012, 41(2): 123-129.
- [49] 陈志飞, 宋书红, 张晓娜, 等. 赤霉素对干旱胁迫下高羊茅萌发及幼苗生长的缓解效应[J]. 草业学报, 2016, 25(6): 51-61.
- [50] 任永霞, 郭郁频, 孙芳, 等. 钙和赤霉素浸种对干旱胁迫下紫花苜蓿种子萌发的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(13): 138-141.
- [51] LIU X D, ZHANG H, ZHAO Y, et al. Auxin controls seed dormancy through stimulation of abscisic acid signaling by inducing ARF-mediated *ABI3* activation in *Arabidopsis*[J]. PNAS, 2013, 110(38): 15485-15490.
- [52] 帅海威, 孟永杰, 罗晓峰, 等. 生长素调控种子的休眠与萌发[J]. 遗传, 2016, 38(4): 314-322.
- [53] 石光裕, 沙伟, 谈华, 等. 植物生长调节剂对东北龙胆种子萌发的作用[J]. 中药材, 1987(4): 1-2.
- [54] 李晓宇, 蔺吉祥, 穆春生, 等. 外源植物激素对羊草种子形成及萌发的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(23): 11-14.
- [55] 李静, 崔继哲, 弭晓菊. 生长素与植物逆境胁迫关系的研究进展[J]. 生物技术通报, 2012(6): 13-17.
- [56] 颜宏, 赵伟, 胡晓悦, 等. NaCl 胁迫下激素预浸种对向日葵种子萌发的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2012, 44(1): 136-139.
- [57] 刘田生, 李秀菊. 6-BA 在园艺生产实践中的应用[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 48-51.
- [58] 湛润生, 岳新丽, 刘根科, 等. GA_3 和 6-BA 对紫花苜蓿种子萌发的影响[J]. 山西农业科学, 2010, 38(3): 16-17, 38.
- [59] 董建华, 王秉忠, 陈慧娟. 细胞分裂素和乙烯对橡胶种子萌发成苗的生理影响[J]. 热带作物学报, 1999, 20(1): 1-7.
- [60] 李娜, 王琳丹. 6-BA 拮抗脱落酸缓解渗透胁迫对种子萌发的抑制[J]. 植物生理学报, 2014, 50(4): 389-394.
- [61] VIRET C, EUGENIA R, CHRISTOPHE R. Boosting crop yield with plant steroids[J]. The Plant Cell, 2012, 24: 842-857.
- [62] 吴雪霞, 查丁石, 朱宗文. 外源 2,4-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 植物生理学报, 2011, 47(6): 607-612.
- [63] 闫慧萍, 彭云玲, 赵小强, 等. 外源 24-表油菜素内酯对逆境胁迫下玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(5): 988-996.
- [64] 朱早兵, 赖彩余, 邹凯茜, 等. 油菜素内酯及其在种子萌发过程中的生理效应研究进展[J]. 热带农业科学, 2015, 35(5): 13-18.
- [65] 李凯荣, 王健, 贺秀贤. 天然油菜素内酯对五种牧草种子发芽和胚根下胚轴伸长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 221-225.
- [66] 黄玉梅, 张杨雪, 刘庆林, 等. 水杨酸对盐胁迫下百日草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(7): 97-105.
- [67] 周万海, 师尚礼, 寇江涛. 外源水杨酸对苜蓿幼苗盐胁迫的缓解效应[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 171-176.
- [68] 刘玉良, 米福贵, 特木尔布和, 等. 苜蓿叶片水杨酸含量与其莢马抗性的关系[J]. 西北植物学报, 2011, 31(3): 588-594.
- [69] 张彦萍, 刘海河, 申书兴, 等. 多胺引发处理对茄子种子活力及幼苗耐冷性的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(11): 1783-1788.
- [70] 王应芬, 王普昶, 吴佳海, 等. 多胺引发对黑麦草种子萌发期耐冷性的影响[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(9): 1859-1863, 1869.
- [71] 白旭, 苏国兴, 孙娜, 等. 外源多胺对莢苣种子萌发诱导及其与一氧化氮的关系[J]. 西北植物学报, 2009, 29(9): 1860-1866.

- [72] 吕婷婷,肖云华,吴群,等. 外源 5-氨基乙酰丙酸对盐胁迫下菘蓝种子萌发及幼苗抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2013,33(10):2037-2042.
- [73] 张春平,何平,刘海英. 外源性 5-氨基乙酰丙酸对盐胁迫下决明子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 中草药, 2012, 43(4): 778-787.
- [74] 张春平,何平,袁凤刚,等. 外源 5-氨基乙酰丙酸对干旱胁迫下甘草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2011,31(8):1603-1610.
- [75] 颜志明,孙锦,郭世荣. 外源脯氨酸对盐胁迫下甜瓜幼苗硝酸还原的影响[J]. 植物科学学报, 2011,29(1):122-127.
- [76] LIU H L, SHA H J, WANG J G, et al. Effect of seed soaking with exogenous proline on seed germination of rice under salt stress[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2014, 21(3):1-6.
- [77] 马文广,崔华威,李永平,等. 不同药剂处理对低温逆境下烟草种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 科技通报, 2011, 27(6): 873-880.
- [78] 罗音,王玉军,谢胜利,等. 等渗水分与盐胁迫对烟草种子萌发的影响及外源甜菜碱的保护作用[J]. 作物学报, 2005, 31(8):1029-1034.
- [79] 谷文英,祈新梅,李兴正,等. 甜菜碱缓解盐胁迫菊苣种子萌发和芽苗生长的作用[J]. 中国农学通报, 2012,28(29):10-14.
- [80] 李善家,韩多红,王恩军,等. 外源甜菜碱对盐胁迫下黑果枸杞种子萌发和幼苗保护酶活性的影响[J]. 草业科学, 2016, 33(4):674-680.
- [81] 代勋,李忠光,龚明. 赤霉素、钙和甜菜碱对小桐子种子萌发及幼苗抗低温和干旱的影响[J]. 植物科学学报, 2012, 30(2): 204-212.
- [82] 邵明泉,赵鹏飞,赵会杰,等. 葡萄糖对干旱胁迫下小麦种子萌发及幼苗生长的调节作用[J]. 生命科学研究, 2015, 19(1): 59-74.
- [83] 赵莹,杨克军,李佐同,等. 外源糖浸种缓解盐胁迫下玉米种子的萌发[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9):2735-2742.
- [84] 李振轮,李鑫强,朱培. 维生素浸种和电场处理对菜豆生长发育初期的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(5): 145-151.
- [85] 刘艳军,范晶,韩学坤,等. 外源维生素对高 NaCl 胁迫下紫花苜蓿种子萌发及恢复性的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(26):12-17.
- [86] 刘建新,胡浩斌,王鑫. 外源 Ca^{2+} 和 GA_3 对骆驼蓬生物碱抑制黄瓜种子萌发的缓解作用[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5):1173-1177.
- [87] 洪法水,马成仓,王旭明. 钙与锌对玉米种子活力和萌发过程中酶活性的影响[J]. 植物生理学通讯, 1996, 32(2):110-112.
- [88] 李灵芝,李海平. 微量元素锌对苦荞种子萌发及生理特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(3):80-83.
- [89] 宣毓龙,庞庆阳,王开勇,等. 锌胁迫对黑小麦种子萌发、幼苗生长和酶活性的影响[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(5): 907-914.
- [90] 袁宇飞,李瑞平,李光德,等. 锌对汞胁迫下小麦种子萌发的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(2):259-264.
- [91] 李海平,李灵芝. 硫酸锰浸种对苦荞种子活力及芽菜产量与品质的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(2):75-77.
- [92] 毛仁俊,马楠,梁宗锁,等. 5 种微量元素浸种对决明种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(6):161-166.
- [93] 王丽君,周青. 镧对酸雨胁迫下大豆萌发种子能量动态变化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8):1636-1639.
- [94] 何学青,梁卫卫,常乐钦,等. 硝酸镧浸种对 NaCl 胁迫下柳枝稷种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(3):543-549.
- [95] 杜兰芳,王立新,许俊,等. 镧对汞胁迫下豌豆生长发育效应的影响[J]. 科技通报, 2007, 23(5):670-675.
- [96] 张红. 硝普钠、2,4-表油菜素内酯\水杨酸浸种对盐胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(1): 164-169.
- [97] 向华,南丽丽,李春晓,等. 一氧化氮对铅胁迫下杂花苜蓿种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 草原与草坪, 2014, 34(2): 77-80.
- [98] 刘文瑜,杨宏伟,魏小红,等. 外源 NO 调控盐胁迫下蒺藜苜蓿种子萌发生理特性及抗氧化酶的研究[J]. 草业学报, 2015, 24(2):85-95.
- [99] 蔡卓山,师尚礼,谢森林,等. 外源 NO 对水分胁迫下苜蓿种子萌发的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(11):1777-1782.
- [100] 赵剑,王俭荣,杨文杰. 聚乙二醇和聚乙烯醇渗透处理对苜蓿幼苗抗冷害的影响[J]. 东北师大学报(自然科学版), 1988(2): 50-54.
- [101] 郭金铨,陈文涛,杨云珠. 聚乙烯醇预处理提高大豆种子活力和抗冷能力的作用[J]. 植物生理学报, 1989, 15(3):215-216.
- [102] 李永生,方永丰,李玥,等. 外源硫化氢对 PEG 模拟干旱胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(4):813-821.

Research Progress in Effects of Exogenous Substances on Seed Germination of *Medicago sativa* Under Adverse Situation

WANG Zhennan¹, LI Fukuan¹, YANG Yan², WANG Guandong², WEI Mingji¹, LYU Shenjin¹

(1. College of Agriculture and Forestry Science, Linyi University, Linyi, Shandong 276000; 2. Linyi Academy of Agricultural Sciences, Linyi, Shandong 276012; 3. Linyi Test Center of Animal Husbandry and Veterinary, Linyi, Shandong 276003)

doi:10.11937/bfyy.20165010

百花花楸果研究现状及其发展前景

尹永霞, 赵岩, 蔡恩博, 祝洪艳, 郜玉钢, 张连学

(吉林农业大学 中药材学院, 吉林 长春 130118)

摘要:百花花楸属蔷薇科花楸属落叶小乔木,是一种潜力巨大的可药用乔木,目前主要用于城市园林绿化,关于药用部分研究较少,该研究对现有的百花花楸果的化学成分、药理作用等相关文献报道做了归纳总结,并提出了展望,以期对后续的研究提供方向。

关键词:百花花楸;活性成分;药理作用;生物特性

中图分类号:S 792.25 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)17-0188-04

百花花楸(*Sorbus pohuashanensis* Hedl.)属蔷薇科花楸属落叶小乔木,又名花楸树、臭山槐,其果实称为花楸果。其春季展叶、夏季开花、秋季红果初现,冬季果实不凋不落,被认为是城市园林绿化的优良树种而广泛使用;同时该树种富含黄酮和酚类化合物,集园林绿化、食用、药用于一身,是不可多见的珍贵浆果灌木树种。花楸果产于热带及亚热带地区,尤其在北半球,为分布广阔的大

属植物,在全世界分布有80余种。其中,我国就有50余种,分布于东北、西北和东南地区。该属植物很早就民间入药,但花楸至今未载入中国药典。目前药用的花楸主要有西伯利亚花楸(*S. aucuparia*)、百花花楸(*S. pohuashanensis*)、天山花楸(*S. tianshanie*)及变种天山毛花楸(*S. tianshanie* var. *tomentosa*)等^[1]。百花花楸(以下简称花楸)产自我国黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古等地,民间常以果实、嫩枝叶及茎皮入药。其果实味苦、性平;嫩枝叶及茎皮味苦,可以清热润肺、补脾生津^[2]。百花花楸在黑龙江省资源丰富,但化学、药理相关研究相对滞后,相关报道多集中在育苗、扦插繁殖等方面。该研究综述了百花花楸果的有关活性成分、药理药效等方面的初期研究,以期引起业内科研工作者的重视。

第一作者简介:尹永霞(1992-),女,硕士研究生,研究方向为中药化学。E-mail:1847493202@qq.com.

责任作者:赵岩(1979-),男,博士,教授,现主要从事天然药物化学成分及其生物活性等研究工作。E-mail:zhylu79@163.com.

基金项目:国家公益性行业科研专项资助项目(201303111);吉林省科技发展计划资助项目(20140204013YY,20150307012YY)。

收稿日期:2017-03-03

Abstract: *Medicago sativa* is a perennial legume. Improving the germination rate is the basement to successfully cultivate lucerne grassland. Generally, the germination of lucerne seeds would be affected by adverse environment, saline and alkaline, and heavy metals. However, improving the germination of seed under normal or adverse conditions might by adding exogenous substances in seed or soaking seed. This review summarized the mechanisms and expressions of exogenous substances which played roles on the seed germination of lucerne under adverse situations. And it provided some theoretical and practical references for seed germination.

Keywords: germination; stress; growth hormone; alfalfa; stress resistance