

外源 Ca^{2+} 对低温胁迫下杨树幼苗抗寒 相关生理指标的影响

李晓东¹, 樊军锋¹, 邱兴¹, 张耀宏², 史禹博³

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 国家林业局 西北林业调查规划设计院, 陕西 西安 710048;
3. 常山油茶研究所, 浙江 常山 324200)

摘要:以“陕林4号”和“07-69×青1”为试材,分别用浓度为0、5、10、15、20 mmol/L的 CaCl_2 溶液喷施杨树幼苗,4℃低温胁迫2 d后测定杨树幼苗的膜伤害率、丙二醛(MDA)含量、抗氧化酶(SOD和POD)活性以及可溶性蛋白质含量等生理指标,以探究低温胁迫下不同浓度外源 Ca^{2+} 对杨树幼苗抗寒相关生理指标的影响。结果表明:在喷施10 mmol/L CaCl_2 的作用下,杨树幼苗的各项抗寒相关生理指标最优,可显著降低杨树幼苗的膜伤害率,减少丙二醛(MDA)含量,提高超氧化物歧化酶(SOD)活性和过氧化物酶(POD)活性,增加可溶性蛋白质含量。外源 Ca^{2+} 可以有效提高杨树幼苗的抗寒能力,缓解低温胁迫对杨树幼苗的伤害。

关键词:杨树; Ca^{2+} ; 低温胁迫; 抗寒性; 膜伤害率

中图分类号:S 792.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)11-0055-05

低温是植物生长发育过程中主要的非生物逆境之一,制约并影响着植物的区域分布和生物产量。植物在受到低温胁迫时,会启动自身的抗性机制,加强细胞内抵御活性氧的酶促和非酶促保护^[1],增加细胞内抗冻物质的含量^[2],以提高植物的抗寒性,最大限度地缓解由低温逆境带来的伤害。杨树是当今世界中纬度地区栽培最广泛的多年生木本乔木之一,具有适应性强、速生丰产、轮伐期短、遗传改良性强等优点,在我国林业生产和防护林工程中占有十分重要的地位,具有极高的经济和生态价值^[3],而周期性的低温冷害危及杨树的生产和发展,因此,提高杨树的抗寒性对增强杨树产业经济竞争力和实现杨树产业的周年生产具有重要的意义。

Ca^{2+} 作为胞内主要信号传导的第二信使,在植物生长发育和对外界环境的适应中具有广泛的生理调节作用。Rickauer等^[4]提出 Ca^{2+} 可作为质膜稳定剂,有效的维持细胞壁、细胞膜结构和功能的完整性。Kitagawa

等^[5]研究认为,抗寒水稻品种在低温胁迫下,可以有效产生靶对咖啡碱的钙信使,诱导水稻抗寒性表达,提高其抗寒性。李卫等^[6]认为 Ca^{2+} 信使能够有效维持原生质膜的稳定性,增强原生质体的活力代谢,提高原生质体的抗冻能力。前人研究表明,一定浓度的外源 Ca^{2+} 可以有效提高低温胁迫下植物保护酶系的活性,提高其抗寒能力^[7-11],但有关外源 Ca^{2+} 如何降低杨树幼苗低温冷害方面的研究少见报道。现以“陕林4号”和“07-69×青1”的杨树扦插幼苗为试材,采用不同浓度的 CaCl_2 溶液对杨树幼苗进行叶面喷施处理,探究分析不同浓度外源 Ca^{2+} 对低温胁迫下杨树幼苗抗寒生理指标的影响,初步探讨提高杨树幼苗抗寒性的最佳外源 Ca^{2+} 浓度阈值,期为杨树抗寒生理研究和生产应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为“陕林4号”和“07-69×青1”,由西北农林科技大学林学院杨树良种选育课题组提供。3月下旬将选取的杨树茎秆截成长约15 cm的茎段,扦插于盛有土壤与沙子(体积比为2:1)的塑料花盆(32 cm×25 cm)中,并在温室中进行培养。

1.2 试验方法

当杨树幼苗长至6~7叶时,各无性系(种)选取生长一致的幼苗,分别用浓度为5、10、15、20 mmol/L的 CaCl_2 溶液对幼苗定量喷施25 mL,对照CK1和CK2喷

第一作者简介:李晓东(1991-),男,硕士研究生,研究方向为林业生物技术。E-mail:lixiaodong268@163.com.

责任作者:樊军锋(1963-),男,博士,研究员,硕士生导师,现主要从事杨树良种选育和油松遗传改良等研究工作。E-mail:fanjf28@163.com.

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研专项资金助项目(201404113)。

收稿日期:2015-01-26

施等量去离子水,各处理选定6株,每隔3 d喷施1次,共5次。喷施结束后,对照CK1继续在温室中培养,对照CK2与喷施CaCl₂溶液的幼苗移入人工气候箱中进行低温胁迫处理,温度设定为4℃,光照时间12 h/d,光照强度2 500 lx,低温胁迫2 d后恢复常温,选定杨树幼苗相同部位的叶片用于各项指标的测定。试验设3次重复。

1.3 项目测定

膜伤害率测定采用电导率法^[12],丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[13],超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法^[13],过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法^[13],可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝G-250法^[13],测定均3次重复。

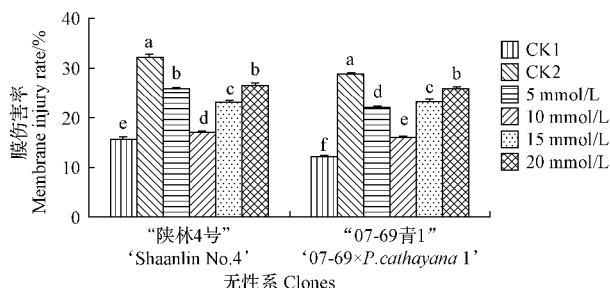
1.4 数据分析

试验数据采用Excel 2003进行处理;采用SPSS 17.0统计软件对试验数据进行方差和多重比较分析;采用隶属函数法测定各指标的隶属函数值 $U(x_i)$,公式为: $U(x_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。式中, $U(x_i)$ 为隶属函数值, X_i 为某项指标的测定值, X_{\max} 和 X_{\min} 为某项指标的最大值和最小值。

2 结果与分析

2.1 不同Ca²⁺浓度对低温胁迫下杨树幼苗叶片膜伤害率的影响

由图1可知,低温胁迫(CK2)下“陕林4号”和“07-69×青1”杨树幼苗的膜伤害率明显上升,比常温(CK1)分别提高了1.05倍和1.37倍,差异显著($P < 0.05$)。喷施一定浓度的CaCl₂可以减缓低温胁迫对杨树幼苗叶片质膜的伤害,随着CaCl₂浓度的增大,“陕林4号”和“07-69×青1”叶片的膜伤害率均表现为先降低后增加的趋势,当喷施的CaCl₂浓度为10 mmol/L时,膜伤害率最低,质膜受伤害程度最轻,并与其它处理均差异显著($P < 0.05$)。



注:同一处理各组标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: The different letters in the same column show significant differences at 0.05 level. The same as below.

图1 低温胁迫下Ca²⁺处理对杨树幼苗叶片膜伤害率的影响

Fig. 1 Effect of Ca²⁺ on membrane injury rate of poplar seedlings under low temperature stress

0.05),比CK2分别降低了46.86%和44.03%,表明此浓度的CaCl₂可以维持低温胁迫下质膜的稳定性和完整性,降低杨树幼苗叶片的膜伤害率,缓解低温胁迫对杨树幼苗的损伤。

2.2 不同Ca²⁺浓度对低温胁迫下杨树幼苗叶片丙二醛(MDA)含量的影响

由图2可知,低温胁迫(CK2)下“陕林4号”和“07-69×青1”杨树幼苗丙二醛含量迅速上升,比常温(CK1)分别提高了1.48倍和1.32倍,达到显著水平($P < 0.05$)。喷施一定浓度的CaCl₂可以减缓低温胁迫对杨树幼苗叶片内丙二醛含量的积累,随着CaCl₂浓度的增大,“陕林4号”和“07-69×青1”叶片内的MDA含量均呈先降低后增加的趋势,当喷施的CaCl₂浓度为10 mmol/L时,MDA含量最低,与其它处理相比均差异显著($P < 0.05$),比CK2分别降低了42.90%和64.93%,且在“07-69×青1”中,该浓度CaCl₂处理时的MDA含量更是低于常温对照CK1,表明此浓度的CaCl₂可以抑制低温胁迫下杨树幼苗叶片内丙二醛含量的积累,减轻低温胁迫对杨树幼苗的损伤。

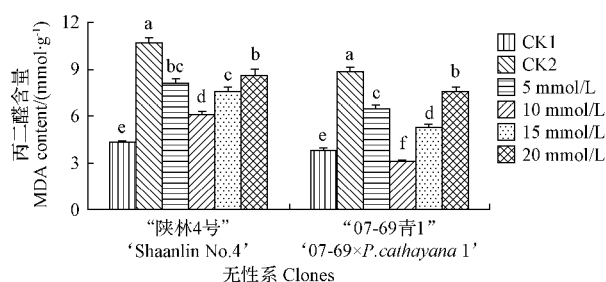


图2 低温胁迫下Ca²⁺处理对杨树幼苗叶片MDA含量的影响

Fig. 2 Effect of Ca²⁺ on MDA content of poplar seedlings under low temperature stress

2.3 不同Ca²⁺浓度对低温胁迫下杨树幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

由图3可知,“陕林4号”和“07-69×青1”在低温对照CK2下的超氧化物歧化酶(SOD)活性均低于常温对照CK1,差异显著($P < 0.05$),分别比CK1降低了63.26%和67.42%;喷施一定浓度的CaCl₂可增加杨树幼苗叶片的SOD活性,且随着CaCl₂浓度的增大,“陕林4号”和“07-69×青1”中叶片中的SOD活性均呈先增加后降低的趋势,以10 mmol/L CaCl₂喷施浓度效果最好,SOD活性达到最高值,并与其它处理达到显著水平($P < 0.05$),比CK2分别增加了1.88倍和1.82倍,在“07-69×青1”中,该浓度CaCl₂处理时的SOD活性稍低于常温对照CK1,表明10 mmol/L的CaCl₂可以显著提高低温胁迫下杨树幼苗的SOD活性,减缓低温对杨树幼苗的伤害。

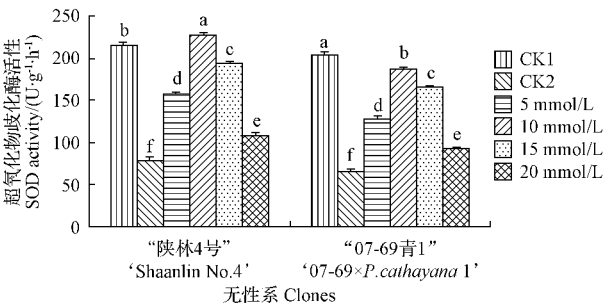


图3 低温胁迫下Ca²⁺处理对杨树幼苗叶片SOD活性的影响

Fig. 3 Effect of Ca²⁺ on SOD activity of poplar seedlings under low temperature stress

2.4 不同Ca²⁺浓度对低温胁迫下杨树幼苗叶片过氧化物酶(POD)活性的影响

图4表明,低温胁迫下杨树幼苗叶片中过氧化物酶(POD)活性显著下降,而喷施CaCl₂可以显著缓解低温胁迫对杨树幼苗POD活性降低的影响。“陕林4号”和“07-69×青1”在低温对照CK2下的POD活性与常温对照CK1相比,差异显著($P<0.05$),分别比CK1降低了68.48%和75.99%;“陕林4号”和“07-69×青1”的POD活性在CaCl₂的处理浓度为10 mmol/L时达到最大值,并与其它处理呈显著差异($P<0.05$),且该处理下的POD活性分别比CK1升高了11.09%和19.18%,比CK2升高了2.52倍和3.96倍,表明喷施该浓度的CaCl₂能显著提高低温胁迫下杨树幼苗的POD活性,减缓低温胁迫对杨树幼苗的伤害。

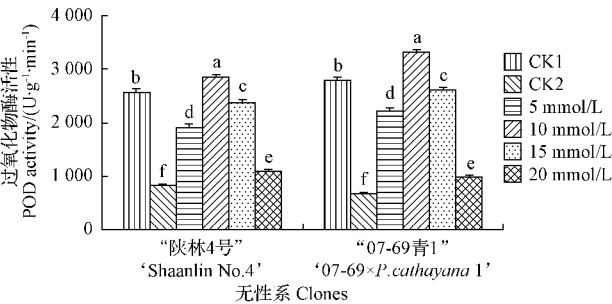


图4 低温胁迫下Ca²⁺处理对杨树幼苗叶片POD活性的影响

Fig. 4 Effect of Ca²⁺ on POD activity of poplar seedlings under low temperature stress

表1 不同鉴定指标间的相关系数矩阵

Table 1

Correlation matrix

指标 Index	膜伤害率 Membrane injury rate	丙二醛含量 MDA content	超氧化物歧化酶活性 SOD activity	过氧化物酶活性 POD activity	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content
膜伤害率 Membrane injury rate	1.000				
丙二醛含量 MDA content	0.926 **	1.000			
超氧化物歧化酶活性 SOD activity	-0.853 **	-0.741 **	1.000		
过氧化物酶活性 POD activity	-0.863 **	-0.867 **	0.911 **	1.000	
可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	-0.847 **	-0.741 **	0.963 **	0.887 **	1.000

2.5 不同Ca²⁺浓度对低温胁迫下杨树幼苗叶片可溶性蛋白质含量的影响

从图5可以看出,低温胁迫下,喷施一定浓度的CaCl₂可增加杨树幼苗叶片中可溶性蛋白质含量,且随着CaCl₂浓度的增大,杨树幼苗叶片中可溶性蛋白质含量呈现出先升高后下降的趋势。“陕林4号”和“07-69×青1”在低温对照CK2下的可溶性蛋白质含量显著($P<0.05$)低于常温对照CK1,分别比CK1降低了54.29%和54.45%;“陕林4号”和“07-69×青1”的可溶性蛋白质含量在喷施的CaCl₂浓度10 mmol/L时达到峰值,比CK2显著增加($P<0.05$),分别增加了1.29倍和1.32倍,但与CK1无显著差异,并比CK1分别提高了4.76%和5.69%,表明10 mmol/L CaCl₂可以显著提高杨树幼苗可溶性蛋白质含量,有效缓解低温胁迫对杨树幼苗的影响。

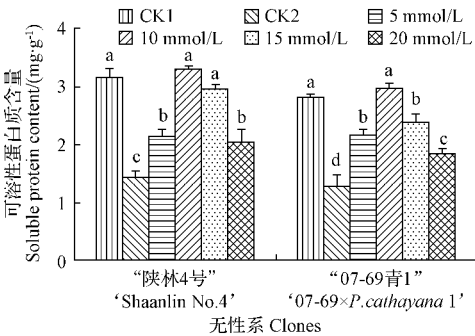


图5 低温胁迫下Ca²⁺处理对杨树幼苗叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 5 Effect of Ca²⁺ on soluble protein content of poplar seedlings under low temperature stress

2.6 不同鉴定指标间的相关性分析

对低温胁迫期间杨树幼苗叶片膜伤害率(MIR)、丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性与可溶性蛋白质含量之间的关系进行相关性分析。由表1可知,低温胁迫下,MIR与MDA含量呈极显著正相关,与SOD、POD活性和可溶性蛋白质含量呈极显著负相关;MDA含量与SOD、POD活性和可溶性蛋白质含量呈极显著负相关;SOD活性与POD活性和可溶性蛋白质含量呈极显著正相关;POD活性与可溶性蛋白质含量呈极显著正相关。

2.7 不同 Ca^{2+} 浓度对杨树幼苗抗寒性的综合效果

为了明确喷施不同浓度的 CaCl_2 对杨树幼苗抗寒性的综合效果,采用隶属函数法对杨树幼苗的各指标进行综合分析,并将其隶属函数值列于表 2。经喷施 CaCl_2 处理后,“陕林 4 号”和“07-69×青 1”的 SOD 活性和 POD 活性升高,可溶性蛋白质含量增加,说明隶属函数值越大,其比对照升高的越多,喷施 CaCl_2 对其抗寒性的增强效果越明显;经喷施 CaCl_2 处理后,“陕林 4 号”和“07-69×青 1”的膜伤害率降低,MDA 含量降低,说明隶属函数值越大,其比对照降低的越少,喷施 CaCl_2 对其抗寒性的增强效果越小。因此,分成 2 个途径研究喷施不同浓度的 CaCl_2 对杨树幼苗抗寒性的综合效果。

从 SOD、POD 和可溶性蛋白质的综合隶属函数值 I 可知,经 CK1、CK2、5、10、15、20 mmol/L 的 CaCl_2 喷施处

理后,“陕林 4 号”和“07-69×青 1”的上述指标的综合隶属函数值分别为 5.397、0.000、2.988、5.878、4.453、1.300,其中 10 mmol/L CaCl_2 喷施处理的隶属函数值最大,表明喷施 10 mmol/L 的 CaCl_2 对杨树幼苗抗寒性的增强效果最好。从膜伤害率和 MDA 这 2 个指标的综合隶属函数值 II 可知,经 CK1、CK2、5、10、15、20 mmol/L 的 CaCl_2 喷施处理后,“陕林 4 号”和“07-69×青 1”上述指标的综合隶属函数值分别为 0.122、4.000、2.392、0.605、2.015、2.951,其中 10 mmol/L CaCl_2 喷施处理的隶属函数值仅次于对照 CK1 的隶属函数值,表明喷施 10 mmol/L 的 CaCl_2 可以有效的缓解低温对杨树幼苗造成的伤害。通过相关性分析表明,这 2 种途径得出的隶属函数值呈显著性负相关($R^2 = -0.905$)。因此可以确定,喷施 10 mmol/L 的 CaCl_2 可以有效的增强杨树幼苗的抗寒性。

表 2 不同 Ca^{2+} 处理对杨树幼苗各指标隶属函数值的影响Table 2 Effect of different Ca^{2+} on subordinate function value of poplar seedlings

无性系 Clones	浓度 Concentration	超氧化物歧化酶活性 SOD activity	过氧化物酶活性 POD activity	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	综合隶属函数值 I Subordinate function value I	膜伤害率 Membrane injury rate	丙二醛含量 MDA content	综合隶属函数值 II Subordinate function value II
“陕林 4 号” ‘Shaanlin No. 4’	CK1	0.913	0.861	0.919	2.693	0.000	0.000	0.000
	CK2	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	2.000
	5	0.527	0.538	0.371	1.436	0.614	0.598	1.212
	10	1.000	1.000	1.000	3.000	0.084	0.282	0.366
	15	0.777	0.760	0.812	2.349	0.449	0.520	0.969
	20	0.200	0.137	0.323	0.660	0.662	0.680	1.342
“07-69×青 1” ‘07-69×P. cathayana 1’	CK1	1.000	0.798	0.905	2.704	0.000	0.122	0.122
	CK2	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	2.000
	5	0.453	0.578	0.521	1.552	0.598	0.582	1.180
	10	0.878	1.000	1.000	2.878	0.239	0.000	0.239
	15	0.723	0.731	0.651	2.104	0.661	0.385	1.046
	20	0.192	0.117	0.331	0.640	0.826	0.783	1.609

3 结论与讨论

低温逆境会影响植物体正常的生理代谢,在外界低温的持续胁迫下,植物体细胞膜会首先遭受破坏,表现为细胞膜透性增加,胞内电解质外渗,导致其膜伤害率上升^[14];其次,细胞内通过积累大量的自由基和活性氧,促发膜脂过氧化反应,产生大量的膜脂过氧化物 MDA^[2,15];同时,低温胁迫会使植物体内的保护酶系统(SOD、POD 和 CAT)及非酶促系统的抗氧化剂(ASA 和 GSH)等活性降低,导致自由基产生和清除的动态平衡遭到破坏。可溶性蛋白质作为细胞内渗透调节物质之一,通过调节细胞的渗透性,降低冰点,提高植物的抗寒力。该研究通过低温对照 CK2 与常温对照 CK1 的比较发现,低温胁迫下,杨树幼苗的可溶性蛋白质含量有所增加,质膜透性产生改变,膜伤害率增大,MDA 含量增加,抗氧化酶 SOD 活性和 POD 活性下降,使得细胞质膜结构受到影响,导致细胞结构破坏和功能失调,最终使杨树幼苗表现出冷害症状。

Ca^{2+} 作为植物细胞内重要的第二信使,对植物抗寒

反应中冷信号的接受与传递起着重要的作用。植物受到低温胁迫时,胞内游离的 Ca^{2+} 浓度会增加,激活某些有关的蛋白激酶,使有些相应的蛋白质磷酸化,诱发抗冻基因表达,启动胞内的各种生理生化适应机制来增强植物的抗寒能力^[16-17]。通过外源 Ca^{2+} 处理以增强植物的抗寒性常有报道,李卫等^[6]报道 Ca^{2+} 可增强柑橘原生质体的抗冻性。茄子幼苗被 10 mmol/L 的 CaCl_2 处理后,能有效提高其叶片中膜保护酶 SOD、POD、CAT 活性,增加可溶性蛋白质含量,降低 MDA 含量^[10]。冀乙萌等^[11]用不同浓度 CaCl_2 处理木薯幼苗,结果发现 20 mmol/L 的 CaCl_2 处理能够有效降低低温对木薯幼苗叶片的伤害,提高其抗寒性。张燕等^[18]利用外源 Ca^{2+} 处理烟草幼苗后发现,烟草幼苗 SOD 和 POD 等保护酶活性的下降程度均较未经处理的轻,其电解质渗透率也较低。究其原因,可能是不同植物体对不同外源 Ca^{2+} 处理浓度耐受性不同。

该研究结果表明,喷施 CaCl_2 可以显著地缓解低温胁迫对杨树幼苗的伤害,同时对杨树幼苗体内各生理指

标都有显著影响,降低杨树幼苗的膜伤害率和 MDA 的积累,提高抗氧化酶 SOD 和 POD 的活性,增加可溶性蛋白质含量; Ca^{2+} 浓度与植物抗寒性有关,低温胁迫下,一定低浓度(5~15 mmol/L)范围内的外源 Ca^{2+} 可提高杨树幼苗的抗寒性,浓度大时,不利于提高杨树幼苗的抗寒性。根据不同 CaCl_2 浓度处理下各指标的综合隶属函数值可知,喷施 10 mmol/L 的 CaCl_2 效果最佳,可以有效的增强杨树幼苗的抗寒性,从而说明提高杨树的抗寒性无需太高的 Ca^{2+} 浓度,低浓度的 Ca^{2+} 便可激活保护酶系,降低膜脂过氧化,维持膜的稳定性和完整性。由此可以看出,补充一定浓度的外源 Ca^{2+} 可以有效提高植物的抗寒性,可为杨树冷驯化研究及田间抗寒栽培技术提供初步的借鉴。

参考文献

- [1] 沈漫,王明麻,黄敏仁. 植物抗寒机理研究进展[J]. 植物学通报, 1997,14(2):1-8.
- [2] 李美如,刘鸿先,王以柔. 植物细胞中的抗寒物质及其与植物抗冷性的关系[J]. 植物生理学通讯,1995,31(5):328-334.
- [3] 樊军锋,周永学,高建社,等. 陕西杨树育种历史及展望[J]. 西北林学院学报,2004,19(2):77-81.
- [4] Rickauer M, Taner W. Effects of Ca^{2+} on amino acid transport and accumulation in roots of *Phaseolus vulgaris* [J]. Plant Physiology, 1986, 82 (1):41-46.
- [5] Kitagawa Y, Yoshizaki K. Water stress-induced chilling tolerance in rice; putative relationship between chilling tolerance and Ca^{2+} flux [J]. Plant Science, 1998, 137(1):73-85.
- [6] 李卫,孙中海,章文才,等. 钙与钙调素对柑橘原生质体抗冻性的影响[J]. 植物生理学报,1997,23(3):262-266.
- [7] 赫春长. 外源 Ca 对低温下麻风树生理生化调节效应的研究[D]. 福州:福建农林大学,2010.
- [8] 梁颖,王三根. Ca^{2+} 对水稻种子活力和抗寒力的影响[J]. 西南农业大学学报,1996,18(5):491-495.
- [9] 李新国,张建霞,孙中海. Ca^{2+} 信号系统对低温下柑橘膜脂过氧化和抗氧化酶的影响[J]. 广西植物,2007,27(4):643-648.
- [10] 耿广东,程智慧,张素勤. 外源 Ca^{2+} 对茄子幼苗抗寒性的影响[J]. 西南农业大学学报(自然科学版),2006,28(3):432-435.
- [11] 冀乙萌,惠杜鹏,李瑞梅,等. 钙对低温胁迫下木薯抗寒相关生理指标的影响[J]. 热带作物学报,2012,33(5):894-898.
- [12] 林善枝,蔡世英,陈晓敏. 低温锻炼对香蕉幼苗钙调蛋白含量及其可能调节酶类活性的影响[J]. 热带作物学报,2001,22(4):29-35.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [14] 白建军. 外源物质对大扁杏花器抗寒性的影响[J]. 西北林学院学报,2008,23(1):82-86.
- [15] 康国章,陶均,孙谷畴,等. H_2O_2 和 Ca^{2+} 对受低温胁迫香蕉幼苗抗冷性的影响[J]. 园艺学报,2002,29(2):119-122.
- [16] Monroy A F, Dhindsa R S. Low temperature signal transduction; induction of cold acclimation-specific genes of alfalfa by calcium at 25°C [J]. Plant Cell, 1995,7(3):321-331.
- [17] Yang T, Poovaiah B W. Calcium/calmodulin-mediated signal network in plants [J]. Trends in Plant Science, 2003,8(10):505-512.
- [18] 张燕,方力,李天飞,等. 钙对低温胁迫的烟草幼苗某些酶活性的影响[J]. 植物学通报,2002,19(3):342-347.

Effect of Exogenous Ca^{2+} on Physiological Indexes in Poplar Seedlings Under Low Temperature Stress

LI Xiao-dong¹, FAN Jun-feng¹, QIU Xing¹, ZHANG Yao-hong², SHI Yu-bo³

(1. College of Forestry, Northwest Agricultural and Forest University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, Xi'an, Shaanxi 710048; 3. Changshan Tea Oil Research Institution, Changshan, Zhejiang 324200)

Abstract: The young seedlings of 'Shaanlin No. 4' and '07-69 × *P. cathayana* 1' were used as experiment materials. In this research, CaCl_2 concentrations of 0, 5, 10, 15, 20 mmol/L were sprayed before treated under 4°C stress for 2 days. Then, physiological indexes including membrane injury rate, activities of antioxidant enzymes (SOD and POD), contents of MDA and soluble protein were measured to investigate the effect of different Ca^{2+} concentration on cold tolerance related physiological indexes in poplar under low temperature stress. The results showed that membrane injury rate and MDA content were decreased under 10 mmol/L CaCl_2 treatment, while antioxidant enzymes (SOD and POD) and soluble protein were increased significantly. In conclusion, it was made sense that exogenous Ca^{2+} could effectively improve the cold tolerance of poplar seedlings and alleviate the damage caused by low temperature stress.

Keywords: poplar; Ca^{2+} ; low temperature stress; cold tolerance; membrane injury rate