

融雪剂对 3 种冷季型草坪草种子萌发和幼苗生长的影响

张营^{1,2}, 李法云^{1,3*}, 荣湘民², 孙婷婷¹, 李霞^{1,2}, 程志辉^{1,2}

(1.辽宁大学 环境学院, 辽宁 沈阳 110036; 2.湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 3.辽宁石油化工大学 生态环境研究院, 辽宁 抚顺 113001)

摘 要:以早熟禾(*Poa pratensis* cv. Merit)、黑麦草(*Lolium perenne* cv. Green Emerald)和白三叶(*Trifolium repens* cv. Riverdel)3 种冷季型草坪草为材料, 探讨 2 种典型融雪剂(1 号融雪剂含 NaCl 45.2%, 2 号融雪剂含 NaCl 54.6%)对其种子萌发、幼芽和幼根生长的影响, 并测定幼苗生长过程中含水量、质膜相对透性、丙二醛含量及过氧化物酶(POD)活性。结果表明:随着融雪剂浓度的增加, 3 种草坪草种子萌发和幼苗生长受到的抑制作用增强, 2 号融雪剂对草坪草种子萌发和幼苗生长的抑制作用比 1 号融雪剂强; 3 种草坪草对融雪剂胁迫的耐受能力大小依次为黑麦草、早熟禾、白三叶, 耐受临界值分别为 6.25~9.61、4.99~6.17 和 1.97~3.11 g/L, 极限值分别为 12.89~16.85、9.79~12.62 和 5.71~8.26 g/L; 融雪剂胁迫主要通过渗透效应和离子毒害, 抑制草坪草对水分的吸收, 破坏质膜结构, 增加 MDA 的积累, 但 3 种草坪草幼苗的 POD 酶均能起到一定的保护作用。

关 键 词:融雪剂; 早熟禾; 黑麦草; 白三叶; 丙二醛; 过氧化物酶

中图分类号: Q945.78

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)05-0491-06

Effect of deicing salts on seed germination and growth of three cool-season turfgrass species

ZHANG Ying^{1,2}, LI Fa-yun^{1,3*}, RONG Xiang-min², SUN Ting-ting¹, LI Xia^{1,2}, CHENG Zhi-hui^{1,2}

(1. School of Environmental Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036, China; 2. School of Resources and Environmental Science, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3. Institute of Eco-environmental Sciences, Liaoning Shihua University, Fushun, Liaoning 113001, China)

Abstract: The effects of two typical deicing salts (mass concentration of NaCl in No. 1 deicing salt was 45.2%, in No. 2 deicing salt 54.6%) on seed germination and growth of shoots and roots of three kinds of cool-season turfgrasses (*Poa pratensis* cv. Merit, *Lolium perenne* cv. Green Emerald and *Trifolium repens* cv. Riverdel) were studied. The length of roots and shoots, relative water content, relative permeability of plasma membrane, malondialdehyde (MDA) content and peroxidases(POD) activity of turfgrass seedlings were also determined in this paper. The results showed that the inhibition effect on seed germination and growth response in the three kinds of turfgrasses was increased with increasing concentration of deicing salts. Compared with No. 1 deicing salt, the inhibition effect of No. 2 deicing salt was stronger. *Lolium perenne* showed the highest tolerance to deicing salts, followed by *Poa pratensis* and *Trifolium repens*. The critical value of tolerance to deicing salts were 6.25–9.61 g/L, 4.99–6.17 g/L and 1.97–3.11 g/L for *Lolium perenne*, *Poa pratensis* and *Trifolium repens*, respectively and the maximum value were 12.89–16.85 g/L, 9.79–12.62 g/L and 5.71–8.26 g/L, respectively. The deicing salts mainly inhibited water absorption, disturbed membrane function and induced MDA accumulation via the effect of osmotic and ion toxicity, and POD enzyme of the three kinds of turfgrass seedlings

收稿日期: 2012-04-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071317); 辽宁省自然科学基金项目(20092013); 辽宁“百千万人才工程”项目(2008921082); 沈阳市科技计划项目(F10-205-1-64); 辽宁大学“211”工程第三期重点学科项目(HJ211001); 辽宁大学省重点学科与辽宁省高校污染控制与环境修复重点实验室开放基金(HJ200907)

作者简介: 张营(1981—), 女, 辽宁葫芦岛人, 博士研究生, 主要从事植物营养学研究, yingying0809@126.com; *通信作者, lifayun15@hotmail.com

provided some protection against the deicing salt stress.

Key words: deicing salts; *Poa pratensis*; *Lolium perenne*; *Trifolium repens*; malondialdehyd; peroxidases

早熟禾(*Poa pratensis* cv. Merit)、黑麦草(*Lolium perenne* cv. Green Emerald)和白三叶(*Trifolium repens* cv. Riverdel)是中国北方城市绿化常用的冷季型草坪草。近年来由于城市路域土壤中融雪剂的不断积累,已造成城市绿化草坪的大面积死亡^[1-3]。李芳等^[4]研究了融雪剂对城市园林典型树木、灌木和草坪草种子发芽率和相对受害率的影响,结果表明,草坪草种子对融雪剂最敏感,可以用草坪草种子萌发为指标,间接检验融雪剂对植物的伤害程度。笔者以早熟禾、黑麦草和白三叶3种冷季型草坪草为试验材料,比较2种典型融雪剂对其种子萌发、幼芽和幼根生长的影响,并测定种子萌发后幼苗的相对含水量、质膜相对透性、MDA含量以及POD活性的变化,旨在筛选对融雪剂抗性强的草坪草种,为科学合理使用融雪剂和北方城市建坪绿化提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

早熟禾、黑麦草和白三叶,由沈阳农业大学实验场种子服务公司提供。2种典型融雪剂由沈阳市环境卫生工程设计研究院提供,1号融雪剂NaCl和CaCl₂占68.1%,含NaCl45.2%。2号融雪剂NaCl和CaCl₂占55.8%,含NaCl54.6%。

1.2 方法

1.2.1 草种发芽率、发芽指数和活力指数的测定

用去离子水浮选法挑选饱满草种,并用0.8%的双氧水消毒3min,去离子水充分冲洗,均匀置于铺有双层滤纸的培养皿中,每皿50粒。分别注入质量浓度为1、3、6、9、12、15、18、20、25、30、35g/L的2种融雪剂溶液,以蒸馏水作为对照,每个处理设3个重复。草种在智能人工气候箱中培养,每天光照12h,光照度4000lx,白天温度25℃,夜晚15℃,相对湿度控制在70%左右。每天早晚

向培养皿中加入适量的处理溶液,尽量保持培养皿内溶液渗透压不变。从第2天开始记录各处理的草种发芽数量,以芽长超过种子长度1/2为标准。发芽结束后(7d),测量苗长、根长,计算发芽率(*Gr*)、发芽指数(*Gi*)和活力指数(*Vi*)^[5]。

1.2.2 幼苗生理指标测定

参考草种发芽试验各处理发芽的结果,分别用质量浓度为3、6、9和12g/L的融雪剂溶液处理3种草坪草,每个处理设3个重复,每培养皿中放置适量种子。培养条件与发芽试验一致。在草坪草长势稳定(15d)后取样,测定植株各生理指标。采用称重法测定植株相对含水量^[6],用DDSJ-308A电导率仪(上海精密科学仪器有限公司)测定幼苗组织外渗液电导率的变化,以相对电解质渗出率的大小来表示质膜透性。MDA含量的测定采用硫代巴比妥酸比色法^[7],POD活性的测定采用愈创木酚法^[6]。

1.2.3 数据处理

试验数据采用Origin 7.0绘图,采用SPSS(Version 13.0)统计分析软件进行线性回归分析和不同处理间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 融雪剂对草坪草种子发芽率、发芽指数和活力指数的影响

2种融雪剂处理后,供试草种的萌发都受到不同程度的抑制,受抑制程度随融雪剂处理浓度的升高而加大(表1)。除1号融雪剂1g/L处理的黑麦草种子发芽率和发芽指数显著高于对照外,其他处理均显著低于对照($P < 0.05$),说明1g/L 1号融雪剂处理对黑麦草生长有促进作用,这与多数耐盐植物在低盐浓度下种子萌发增加的现象一致^[8]。其他浓度的融雪剂处理均使3种草坪草种子发芽速率降低,发芽不整齐。

表1 不同质量浓度融雪剂处理下3种草坪草种子的发芽率、发芽指数与活力指数

Table 1 The germination rate (*Gr*), germination index (*Gi*) and vigour index (*Vi*) of seeds of *Lolium perenne*, *Poa pratensis* and *Trifolium repens* under deicing salt stress

草坪草	融雪剂	<i>Gr</i>										相关性分析(<i>n</i> =30)
		0(CK)	1	3	6	9	12	15	18	20	25	
黑麦草	1号	86.00 b	89.15 a	68.30 c	60.35 d	55.00 e	41.00 f	18.00 g	14.00 h	12.00 i	11.65 i	$y=83.178-3.453x, r=0.965^{**}$
	2号	86.00 a	68.65 b	60.00 c	40.00 d	42.35 d	22.00 e	10.00 f	10.00 f	6.00 g	0.00	$y=73.359-3.753x, r=0.965^{**}$
早熟禾	1号	78.90 a	67.77 b	63.33 c	44.43 d	36.63 e	32.20 f	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=73.911-3.877x, r=0.972^*$
	2号	78.90 a	67.77 b	60.00 c	45.57 d	27.80 e	14.43 f	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=75.968-5.205x, r=0.997^{**}$
白三叶	1号	66.70 a	60.00 b	50.00 c	33.30 d	23.30 e	6.70 f	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=65.178-4.873x, r=0.997^{**}$
	2号	66.70 a	52.20 b	43.30 c	23.30 d	3.30 e	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=63.128-6.676x, r=0.994^*$

草坪草	融雪剂	<i>Gi</i>										相关性分析(<i>n</i> =30)
		0(CK)	1	3	6	9	12	15	18	20	25	
黑麦草	1号	70.00 b	73.20 a	65.20 c	57.60 d	38.00 e	20.00 f	14.00 g	10.40 h	6.80 i	6.00 i	$y=71.646-3.204x, r=0.955^{**}$
	2号	70.00 a	66.20 b	60.60 c	46.80 d	35.60 e	14.40 f	6.00 g	4.00 h	3.60 h	0.00	$y=68.624-3.695x, r=0.980^{**}$
早熟禾	1号	55.00 a	55.60 a	49.60 b	33.40 c	26.40 d	13.90 e	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=57.597-3.603x, r=0.991^{**}$
	2号	55.00 a	55.70 a	48.00 b	30.70 c	9.20 d	4.80 e	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=58.448-4.751x, r=0.984^{**}$
白三叶	1号	56.80 a	49.10 b	35.00 c	16.50 d	6.60 e	1.40 f	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=52.053-4.739x, r=0.975^*$
	2号	56.80 a	47.50 b	20.10 c	7.00 d	0.90 e	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=50.372-6.293x, r=0.944^*$

草坪草	融雪剂	<i>Vi</i>										相关性分析(<i>n</i> =30)
		0(CK)	1	3	6	9	12	15	18	20	25	
黑麦草	1号	392.08 a	382.36 b	376.89 c	131.45 d	61.89 e	32.18 f	17.68 g	11.14 h	14.05 i	9.06 j	$y=331.217-17.279x, r=0.867^*$
	2号	392.08 a	256.34 b	209.58 c	95.94 d	79.57 e	29.88 f	6.00 g	4.20 h	2.74 i	0.00	$y=275.644-16.720x, r=0.898^*$
早熟禾	1号	171.05 a	165.19 b	107.99 c	44.77 d	29.54 e	16.70 f	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=164.665-14.282x, r=0.947^*$
	2号	171.05 a	139.16 b	103.29 c	51.73 d	14.06 e	7.92 f	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=152.815-13.861x, r=0.969^*$
白三叶	1号	72.81 a	62.49 b	43.27 c	22.50 d	7.13 e	1.38 f	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=66.386-6.088x, r=0.976^*$
	2号	72.81 a	63.33 b	25.06 c	7.35 d	0.90 e	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$y=65.316-8.270x, r=0.939^*$

2种融雪剂质量浓度高于25 g/L时,3种草坪草种子均不萌发,因此在表中数据未列出;y为发芽率,x为融雪剂质量浓度。

草坪草种子发芽率、发芽指数和活力指数与融雪剂处理浓度的相关分析结果表明,黑麦草、早熟禾和白三叶的发芽率、发芽指数和活力指数与融雪剂质量浓度呈显著或极显著负相关(表1)。根据曾幼玲等^[8]的研究,当种子发芽率分别为50%和25%时,所对应的融雪剂浓度为种子萌发的临界值和极限值。根据发芽率回归方程计算得出,1号融雪剂处理下,黑麦草、早熟禾和白三叶种子萌发的临界值分别为9.61、6.17和3.11 g/L,极限值分别为16.85、12.62和8.26 g/L。2号融雪剂处理下,黑麦草、早熟禾和白三叶种子萌发的临界值分别为6.25、4.99和1.97 g/L,极限值分别为12.89、9.79和5.71 g/L。可见,黑麦草对融雪剂处理的耐受能力最强,早熟禾居中,白三叶最弱。2号融雪剂对草坪草种子萌发的抑制作用比1号融雪剂更为明显。

2.2 融雪剂对草坪草幼芽和幼根生长的影响

对草坪草种子萌发7 d后的幼芽和幼根进行测量,结果表明,融雪剂胁迫对黑麦草、早熟禾和白三叶种子萌发后幼苗生长的影响基本一致,即随着融雪剂质量浓度的增加,幼芽和幼根的生长量(长度)总体上均呈明显下降趋势(图1)。幼芽和幼根对不同浓度的融雪剂胁迫有不同的敏感性。以黑麦草为例,1号融雪剂1 g/L和3 g/L的处理,黑麦草苗长抑制率为4.1%和8.1%,6~25 g/L的处理,黑麦草苗长抑制率为59.3%~84.4%,而1 g/L和3 g/L的处理,黑麦草根长抑制率为18.9%和23.1%,6~25 g/L的处理,抑制率为35.0%~58.1%;2号融雪剂1 g/L和3 g/L的处理,黑麦草苗长抑制率为13.0%和20.4%,6~20 g/L的处理,黑麦草苗长抑制率为60.1%~86.4%,而1、3 g/L的处理,黑麦草根长抑制率为16.6%和

22.9%，6~20 g/L的处理，抑制率为30.1%~44.0%。可见，低浓度融雪剂处理对黑麦草幼根的伸长抑制率均比幼芽大，而高浓度胁迫下，幼芽的伸长受抑率比幼根大。这一结论与严霞等^[9]对融雪剂胁迫下

小麦和玉米的研究结果基本一致。2种融雪剂对3种草坪草的苗长和根长的抑制作用也不相同。如图1所示，2号融雪剂对苗长的抑制作用更强，而1号融雪剂对根长的抑制作用更明显。

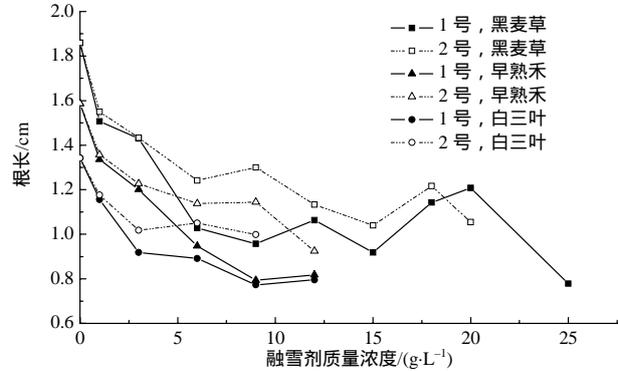
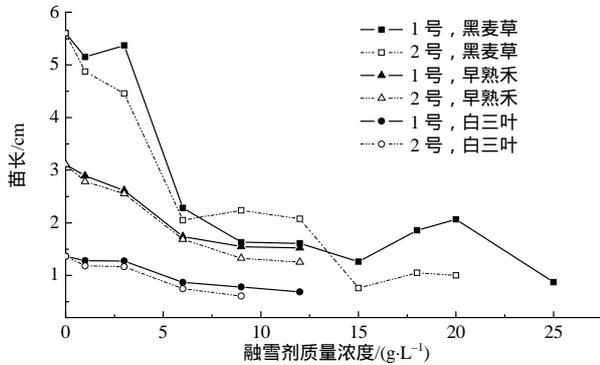


图1 融雪剂处理下3种冷季型草坪草幼苗长和幼根长

Fig. 1 The length of shoots and roots of seedlings of *Lolium perenne*, *Poa pratensis* and *Trifolium repens* under deicing salt stress

2.3 融雪剂对草坪草幼苗相对含水量的影响

由图2所示，2种融雪剂胁迫处理下，3种草坪草的相对含水量均随质量浓度的增加呈显著下降的趋势($P < 0.05$)。在各处理浓度下，黑麦草的相对含水量均高于早熟禾和白三叶，2号融雪剂12 g/L处理时，白三叶种子未萌发或极少萌发，可见黑麦草

对2种融雪剂的耐受性最强，早熟禾居中，白三叶最弱。3种草坪草在相同浓度融雪剂的胁迫下，2号融雪剂处理的幼苗相对含水量均低于1号融雪剂处理，说明2号融雪剂对黑麦草、早熟禾和白三叶的胁迫作用更强。

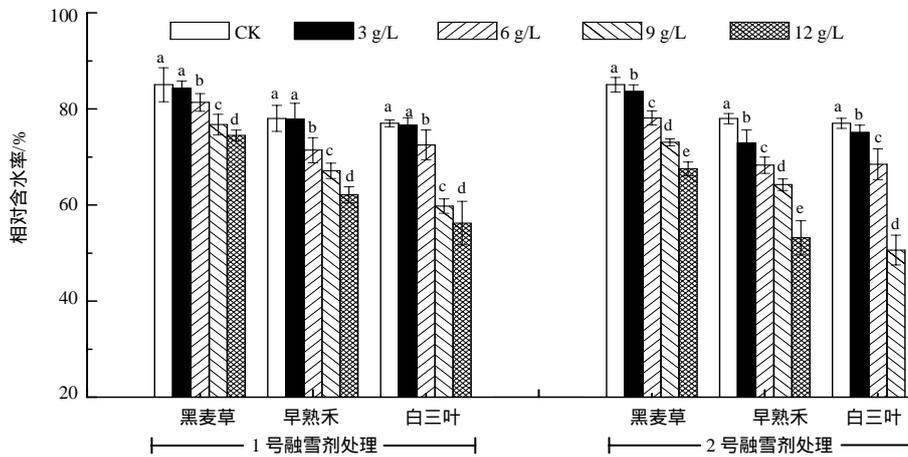


图2 融雪剂处理下3种草坪草幼苗的相对含水率

Fig. 2 The relative water content of *Lolium perenne*, *Poa pratensis* and *Trifolium repens* seedlings under deicing salt stress

2.4 融雪剂对草坪草幼苗质膜相对透性和MDA含量的影响

由图3所示，在2种融雪剂胁迫处理下，3种草坪草幼苗的质膜相对透性和MDA含量均随融雪剂质量浓度的增加而升高，且各处理与对照相比差异显著($P < 0.05$)。这与张进凤和韩寒冰等^[10]对融雪剂

胁迫下水稻幼苗的研究结论一致。黑麦草的质膜相对透性和MDA含量变化均小于早熟禾和白三叶，可见黑麦草对融雪剂的耐受性更强。相同浓度融雪剂处理的草坪草，2号融雪剂处理下的质膜相对透性和MDA含量均高于1号融雪剂处理，可见2号融雪剂对3种草坪草的伤害更大。

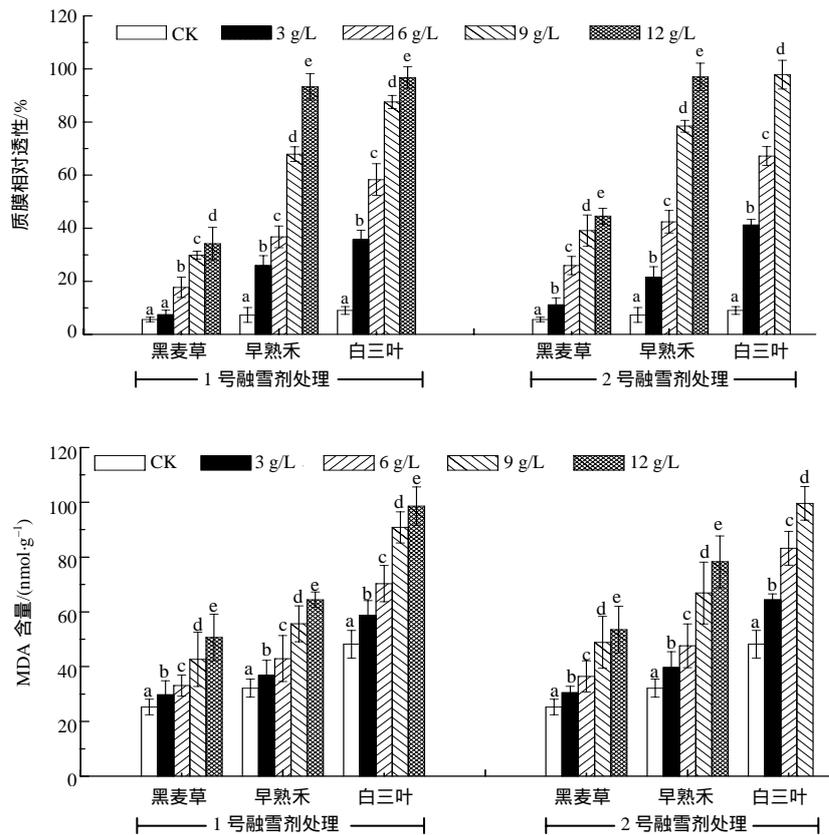


图 3 融雪剂处理下 3 种草坪草幼苗的质膜相对透性和 MDA 含量

Fig. 3 The relative permeability of plasma membrane and MDA content of *Lolium perenne*, *Poa pratensis* and *Trifolium repens* seedlings under deicing salt stress

2.5 融雪剂对 3 种草坪草幼苗 POD 活性的影响

2 种融雪剂均能显著促进 3 种草坪草幼苗 POD 酶活性的升高 ($P < 0.05$), 黑麦草、早熟禾和白三叶 POD 活性的最高值分别出现在融雪剂处理质量浓度为 9、6 和 3 g/L, 其中 1 号融雪剂处理黑麦草、

早熟禾和白三叶的 POD 活性分别比对照增加了 181.18%、75.12%和 50.80%; 2 号融雪剂处理黑麦草、早熟禾和白三叶的 POD 活性分别比对照增加了 173.88%、63.76%和 26.02% (图 4)。在此浓度后, 随融雪剂处理浓度的增加, POD 活性开始下降。在

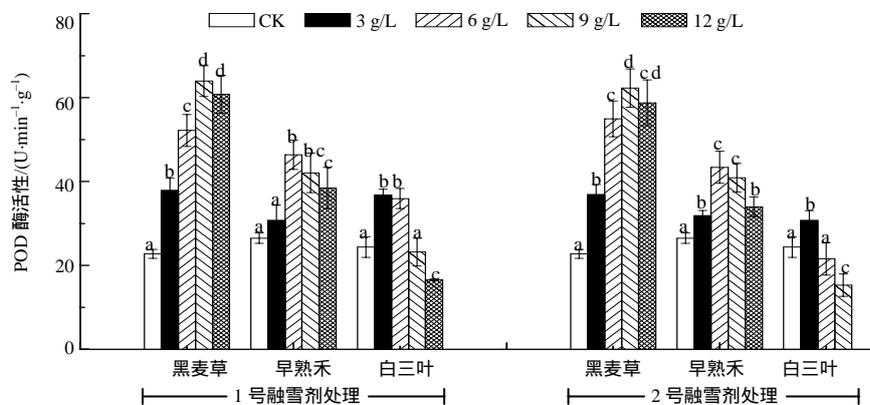


图 4 融雪剂处理下 3 种草坪草幼苗的 POD 活性

Fig. 4 The POD activity of *Lolium perenne*, *Poa pratensis* and *Trifolium repens* seedlings under deicing salts stress

融雪剂胁迫下,3种草坪草POD活性从高到低依次为黑麦草、早熟禾、白三叶,说明黑麦草清除活性氧自由基和过氧化氢的能力更强。

3 结论与讨论

融雪剂胁迫是城市道路绿化植物生长的主要逆境因素之一^[11]。本研究结果表明,3种草坪草对融雪剂胁迫的耐受能力大小依次为黑麦草、早熟禾、白三叶,因此,推荐黑麦草和早熟禾作为北方城市建坪绿化草种。

不同离子组分的融雪剂对草种萌发和幼苗生长的抑制作用有差异。与2号融雪剂相比,1号融雪剂对草坪草种子萌发、幼芽生长、幼苗含水量、质膜功能以及抗氧化酶系统的伤害要小。这可能与1号融雪剂中低含量的 Na^+ 和 Cl^- 及高含量的 Ca^{2+} 有关。许多研究表明, Ca^{2+} 能减轻 Na^+ 和 Cl^- 对植物的毒害作用^[12]。因此,建议中国北方城市在使用化学融雪剂时,应通过试验合理选择融雪剂品种,以减轻融雪剂长年使用对环境的影响。

融雪剂对植物的危害短期内表现为对水分吸收的抑制,长期会表现为特定离子的毒害作用^[13]。本研究中,3种草坪草幼苗的相对含水量随融雪剂质量浓度的增加而呈明显的下降趋势,电解质外渗率和MDA含量却明显增加,POD活性呈现先升高后降低的趋势,说明由 Na^+ 和 Cl^- 引起的渗透效应和离子效应,明显抑制了3种草坪草对水分的吸收,间接地形成水分胁迫,同时过剩自由基的积累加剧了脂过氧化作用,导致了细胞膜系统损伤;但植株体内POD酶活性的提高,又增强了草坪草对融雪剂的抗性^[14]。本试验只对草坪草种子萌发和幼苗生长过程中部分生理指标进行了初步探讨,仍需对幼苗光合特性和物质能量代谢等过程作进一步研究分析。

参考文献:

- [1] Ramakrishna D, Viraraghavan T. Environmental impact of chemical deicers: A review[J]. Water Air Soil Pollution, 2005, 166: 49-63.
- [2] 严霞,李法云,刘桐武,等.化学融雪剂对生态环境的影响[J].生态学杂志,2008,27(12):2209-2214.
- [3] 于建国.化学融雪剂对城市园林绿化植物的影响及对策[J].山东林业科技,2012(1):84-87.
- [4] 李芳,张俊民.融雪剂对园林植物种子萌发的影响[J].环境科技,2009,22(5):22-24.
- [5] 张春荣,李红,夏立江,等.镉、锌对紫花苜蓿种子萌发及幼苗的影响[J].华北农学报,2005,20(1):96-99.
- [6] 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,2000:164-167.
- [7] 赵世杰,许长成,邹琦,等.植物组织中丙二醛测定方法的改进[J].植物生理学通讯,1994,30(3):207-210.
- [8] 曾幼玲,蔡忠贞,马纪,等.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.
- [9] 严霞,李法云,刘桐武,等.化学融雪剂对小麦和玉米种子发芽的影响[J].安全与环境学报,2007,23(4):62-66.
- [10] 张进凤,韩寒冰.融雪剂对水稻幼苗生长及部分生理特性的影响[J].茂名学院学报,2009,19(4):14-16.
- [11] Sæbø A, Benedikz T, Randrup T B. Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2003(2):101-114.
- [12] 朱晓军,梁永超,杨劲松,等.钙对盐胁迫下水稻幼苗抗氧化酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J].土壤学报,2005,42(3):453-459.
- [13] Stephanie L N, David D B. Alleviation of salt-induced stress on seed emergence using soil additives in a greenhouse[J]. Plant and Soil, 2005, 268: 303-307.
- [14] 张营,李法云,严霞,等.外源 K^+ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理[J].生态学报,2012,32(14):4300-4308.

责任编辑:罗慧敏