林业科学研究 2007, 20(1): 111～115
Forest Research

文章编号: 1001-1498(2007)01-0111-05

酸、铝胁迫对马尾松种子萌发与芽苗生长的影响

赵志刚[1,2], 丁贵杰[1*], 唐 敏[1]

(1. 贵州大学造林生态研究所,贵州 贵阳 550025; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所,广东 广州 510520)

摘要:以石英砂为基质,采用国际上通用的培养液配制方法,研究了酸、铝胁迫(各设5个处理)对马尾松种子萌发及芽苗生长过程的影响,结果表明:中强度的酸、铝胁迫对发芽势及种子萌发过程的影响不显著,而对芽苗根、茎长及根、茎、叶的干质量、鲜质量等生长指标具有明显的抑制作用;芽苗生长指标随pH值(5.5～3.0)的下降,先缓慢上升后下降,随铝离子浓度的增加呈下降趋势;pH值4.5～5.0时,芽苗生长最好;根受酸、铝胁迫影响最大,是反应最敏感的部位,茎、叶次之;根鲜、干质量占总量的比例随酸、铝胁迫的加剧先上升而后降低,茎、叶的鲜、干质量占总量的比例变化较小;当pH值低于4.5,铝离子浓度达到50 mg·L^{-1}时,即可对马尾松芽苗的生长产生明显的抑制作用。

关键词:马尾松;酸胁迫;铝毒害;种子萌发;芽苗

中图分类号: Q945.3 S791.248 **文献标识码**: A

The Effect of Acid and Aluminum Stress on Seed Germination and Seedling Growth of *Pinus massoniana*

ZHAO Zhi-gang[1,2], *DING Gui-jie*[1], *TANG Min*[1]

(1. Institute of Sivilculture and Ecology, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China;
2. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: The effect of acid and aluminum stress on seed germination and seedling growth of *Pinus massoniana* Lamb. was studied on the substrates of quartz sand by compounding nutritive liquid commonly used intensively in the world. The result showed that medium intensity of acid and Al^{3+} did not have significant influence on germination rate and germinating ability, while they had significant negative influence on the growth of seedling root and stem. There was a significant correlation between the growth of root and stem, dry weight, fresh weight with intensity of acid and Al^{3+} stress. The seedling growth increased slowly at first and then decreased with pH value changing from 5.5 to 3.0, the seedling growth decreased with the increase of Al^{3+}. The seedling growth was optimal in the pH value of 4.5～5.0. The acid and Al^{3+} stress had the biggest influence on root, and root was the most sensitive part. The percentage of biomass of root decreased with the increasing stress of acid and Al^{3+}, both stem and leave fluctuated lesser. When pH value was under 4.5 of nutritive liquid, the concentration of Al^{3+} was 50 mg·L^{-1}, which could restrain the growth of *P. massoniana* sprout distinctly.

Key words: *Pinus massoniana*; acid stress; aluminum toxicity; seed germination; seedling growth

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)是我国南方主要用材树种之一,其分布区内土壤多呈酸性和微酸性(pH值4.5～6.5),土壤阳离子交换量低,酸缓冲能力弱,长期连作可导致土壤酸化[1]。土壤酸化

收稿日期: 2006-03-14
基金项目: 贵州省跨世纪科技人才课题(黔科合人字20009802)和国家重点科技攻关课题(96-011-01-01)资助
作者简介: 赵志刚(1979—),男,内蒙古赤峰人,助理研究员,硕士,从事林木培育研究.
*通讯作者:丁贵杰(贵阳市贵州大学(南区)造林生态研究所,550025)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

导致重金属及铝离子大量释放、活化,极易诱发重金属及铝毒害,铝毒害被认为是造成森林衰退的主要因素[2]。酸沉降导致的土壤酸化和铝毒害对植物种子萌发和芽苗生长产生严重障碍[3],对马尾松芽苗生长亦具有抑制作用[4,5]。大规模的酸沉降往往导致马尾松成林死亡[6,7],但酸、铝胁迫是否影响马尾松种子萌发过程尚未见报道。马尾松属先锋树种,生长迅速,适应性强,能够以种子迅速占领裸露立地。由于我国南方土壤酸化现象较为普遍,研究酸、铝胁迫对马尾松种子胚根的伸长与芽苗生长的影响,对马尾松的天然更新和人工林持续经营具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 种子 采用购自贵州省黄平县东坡林场的新鲜马尾松种子。挑选颗粒饱满且大小一致的种子,经 0.2%的高锰酸钾溶液消毒 20 min后用蒸馏水冲洗干净。

1.1.2 基质及培养液 以直径 1～2 mm的石英砂为基质,石英砂经稀 HCl浸泡 2 d后用蒸馏水冲洗干净,装入发芽盒(规格 25 cm ×12 cm ×8 cm,经 0.2%的高锰酸钾溶液消毒 20 min后用蒸馏水冲洗干净),烘干备用。培养液采用霍格兰(Hoagland)大量元素营养液和阿农(Amon)微量元素营养液的混合液(每升大量元素营养液加入 1 mL微量元素营养液的 1 000倍母液),针对铝毒害发生时的土壤溶液养分变化特点,将大量元素营养液中的钙、镁用量分别减半。按照试验设计在培养液中加入 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$,并用稀 H_2SO_4和稀 NaOH溶液调节 pH值,配制成各种铝离子浓度和 pH值的培养液。

1.2 试验设计

根据马尾松适宜的土壤酸环境及土壤酸化趋势,将培养液的 pH值设置为 3.0、4.0、4.5、5.0、5.5共 5个梯度;结合以往马尾松铝毒害研究[4,7],将每个 pH值水平的铝离子浓度设为 0(CK)、25、50、100、200 mg·L^{-1},共 5个水平。试验在人工气候箱内进行,3次重复,每个重复 50粒种子。在发芽盒底部铺一层约 1 cm厚的石英砂,将种子均匀地放置在砂层表面,每个处理滴加等量的培养液(对应 pH值和铝离子浓度),至基质湿润即可,每天观察时对应加等量的培养液,保持基质湿润。发芽温度为 25 ℃,每天光照 8 h(2支 25 W日光灯)。

1.3 指标测定与方法

从种子置床之日起每天定时观察种子萌发和芽苗生长情况,直至试验结束。以胚根长度达到种子长度的一半作为萌发标准,3个重复中有 1粒种子发芽之日即为该处理的发芽始期,连续 5 d无种子发芽,视为发芽结束。观察记录时,发现有腐烂种子立即取出解剖,试验结束时将全部未萌发种子取出解剖,观察胚的情况。种子萌发第 15天从每个发芽盒内随机选择 30棵芽苗,测量根、茎长度及根、茎、叶的鲜、干质量(85 ℃烘干至恒质量)。

2 结果与分析

2.1 酸、铝胁迫对马尾松种子萌发过程的影响

发芽率和发芽势是反映种子发芽的重要指标,受种子遗传品质和发芽环境条件的影响。胁迫条件下,胚根能否正常突破种皮萌发也是其适应性的反映指标之一。酸、铝胁迫对种子吸胀及萌发影响较小,但严重胁迫条件下(pH值 3.0、铝离子浓度 200 mg·L^{-1})种皮发生颜色变化,由棕色变为黄褐色。由表 1可见,酸、铝胁迫对马尾松种子发芽势($F_{Al}=0.45$, $F_{pH}=0.27$, $F_{Al\times pH}=1.64$)和萌发率($F_{Al}=0.10$, $F_{pH}=0.71$, $F_{Al\times pH}=0.87$)影响不显著,说明酸、铝对萌发初期的影响较小。随着胚根的伸出,铝毒害影响开始逐渐表现,至试验结束时,严重胁迫下(pH值 3.0、铝离子浓度 200 mg·L^{-1})大部分芽苗受毒害影响基本结构发育不完全,在胚根突破种皮的种子中,仅 1/3结构发育完整,发芽率显著下降;其余处理中萌发种子均能发育为正常芽苗,即萌发率与发芽率一致,说明中强度的酸、铝胁迫对马尾松种子的萌发仍没有明显影响,可能与马尾松是耐酸性树种有关,同时也说明马尾松在种子阶段具有较强的耐酸、铝能力,这一特性对在酸性土壤上实施马尾松天然或人工促进天然更新尤为重要。试验中种子置于床上第 4天开始发芽,大部分处理在第 5天即达到发芽高峰,少数推迟 1 d达到发芽高峰,可见酸、铝胁迫对种子萌发进程影响较小。本研究与油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)不同,油松种子萌发率在铝离子浓度为 50 mg·L^{-1}时比对照下降 37%,当铝离子浓度为 70 mg·L^{-1}时,油松种子吸胀后,仅有部分种子的种皮可以裂开,但不能萌发为芽苗[8]。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　酸、铝胁迫对马尾松种子发芽势和萌发率的影响

Al^{3+}浓度 / (mg·L^{-1})	发芽势 /%						萌发率 /%					
	pH值 5.5	pH值 5.0	pH值 4.5	pH值 4.0	pH值 3.0	平均	pH值 5.5	pH值 5.0	pH值 4.5	pH值 4.0	pH值 3.0	平均
0	76	63	64	60	62	65	90	89	89	86	91	89
25	62	70	61	72	66	66	91	91	85	88	90	89
50	62	64	61	52	76	63	87	88	89	89	92	89
100	61	70	70	60	67	66	86	89	89	88	89	88
200	59	58	64	71	61	63	85	93	90	90	85	89
平均	64	65	64	63	66	64	88	90	88	88	90	89

2.2　酸、铝胁迫对马尾松芽苗生长的影响

2.2.1　酸、铝胁迫对马尾松芽苗总长、根长、茎长及根茎比的影响　胁迫处理从种子置床即开始,这有利于观察种子萌发始期到芽苗阶段对外界酸、铝胁迫的连续响应。试验发现,200 mg·L^{-1}铝胁迫在 pH值 3.0时铝毒害症状十分明显:根尖消失,胚根缩短、肿大,由正常的白色变为黄色或褐色;胚根、胚轴严重扭曲,而且表现出明显的铝毒害症状且感病严重;胚根、种皮与胚轴相连处严重感病,而其它处理无感染病菌现象。对于所有铝离子浓度,在 pH值 3.0时,胚根均生长于基质表面,部分胚根向上生长,表现出对逆境的逃避反应。植物遭受铝毒害后,大量的铝积累在根部[9],是对铝毒害的适应方式之一。

酸、铝胁迫对芽苗根、茎生长的影响极显著(根长:$F_{Al}=128.69^{**}$,$F_{pH}=27.86^{**}$,$F_{Al\times pH}=10.34^{**}$;茎长:$F_{Al}=31.07^{**}$,$F_{pH}=20.40^{**}$,$F_{Al\times pH}=3.65^{**}$)。由表 2可看出,芽苗的根长、茎长、芽苗总长及根茎比(根长/茎长)随胁迫加剧变化趋势相似,芽苗生长随 pH值的降低呈现先缓慢上升后下降的趋势,随铝离子浓度的增加总体呈下降趋势。

在没有发生铝胁迫的情况下,芽苗生长以 pH值 4.5～5.0表现最好,pH值 3.0～4.0次之,pH值 5.5最差,说明马尾松是一种喜酸树种。利用对胁迫反应最敏感的根长指标来分析酸环境对芽苗生长的影响可知,未加铝离子处理中,根长平均为 3.05 cm,随 pH值变化的极差为 0.50 cm;50 mg·L^{-1}铝离子胁迫时,根长平均为 2.57 cm,极差 0.96 cm;铝离子浓度增至 100 mg·L^{-1}时,根长平均为 2.04 cm,极差为 1.31cm;当铝离子浓度增至 200 mg·L^{-1}时,根长平均为 1.58 cm,极差为 1.69 cm,说明 pH值下降对马尾松芽苗生长的影响明显低于铝胁迫的影响;但是 pH值与铝离子浓度两个因素间交互作用显著,pH值小于 4.5时,pH值下降能够加剧铝胁迫对芽苗生长的抑制作用,特别是铝离子浓度 ≥50 mg·L^{-1}时,抑制作用尤为明显,这些研究结果可用于解释土壤酸化对植物生长产生严重后果的原因。在自然界,土壤酸化的影响主要是促进活性铝离子浓度大幅度增加,从而诱发铝毒害。土壤溶液中的铝离子在 pH值 <5.0时开始活化,活性铝(Al^{3+})浓度在 pH值 <4.2时急剧上升[10],植物生长受铝毒害加重。

2.2.2　酸、铝胁迫对马尾松芽苗鲜、干质量的影响　植物生长受到胁迫的抑制作用,物质积累发生相应变化。由表 2可知,马尾松芽苗鲜、干质量对酸、铝胁迫的反应明显,鲜、干质量与长度变化趋势相似,随 pH值的下降先缓慢上升后转为下降,随铝离子浓度的增加亦呈现相似的变化趋势。无铝处理中,pH值 4.5以下的芽苗质量高于 pH值 5.0～5.5,表明马尾松具有喜酸的性质。芽苗质量在铝离子浓度低于 50 mg·L^{-1}时与对照差异较小;而铝离子浓度高于 50 mg·L^{-1}时,铝胁迫对芽苗质量的抑制作用随着铝离子浓度的升高而加剧,而且胁迫对鲜质量的影响大于干质量。以 200 mg·L^{-1}铝离子胁迫下根质量的变化来分析,根鲜质量平均为 1.76 mg,极差为 2.07 mg;而根干质量平均为 0.27 mg,极差为 0.19 mg。

由表 2还看出,芽苗各器官含水率的变化幅度,以根部为最大,茎部最小。根部含水率变化剧烈是由于受铝离子直接毒害作用所致,与芽苗组织的水分外渗及养分吸收、阳离子吸附有关[11]。200 mg·L^{-1}铝离子胁迫下根部含水率变化尤为剧烈,除上述因素外,其含水率高的幼嫩根尖在毒害作用下消失,也是导致根部含水率降低的原因之一。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 酸、铝胁迫下马尾松芽苗的生长情况

Al^{3+}浓度 /(mg·L^{-1})	pH值	芽苗长度 /cm				鲜质量 /mg			干质量 /mg			含水率 /%		
		根长	茎长	芽苗总长	根茎比	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
0	5.5	2.92	3.90	6.82	0.75	2.99	6.90	7.05	0.33	0.69	0.95	89.13	89.98	86.58
	5.0	2.96	4.25	7.21	0.70	3.17	6.38	6.85	0.34	0.73	0.96	89.34	88.61	86.00
	4.5	3.41	4.46	7.87	0.76	3.79	7.30	7.42	0.40	0.78	1.05	89.42	89.30	85.86
	4.0	3.05	4.41	7.46	0.69	3.78	7.15	7.22	0.37	0.75	0.99	90.13	89.54	86.34
	3.0	2.91	4.22	7.13	0.69	3.48	7.37	7.11	0.36	0.72	0.98	89.66	90.22	86.21
	平均	3.05	4.25	7.30	0.72	3.44	7.02	7.13	0.36	0.73	0.98	89.56	89.55	86.20
25	5.5	2.53	4.32	6.85	0.59	3.28	7.53	7.75	0.32	0.70	1.04	90.32	90.64	86.61
	5.0	2.79	4.24	7.03	0.66	3.29	7.26	7.27	0.34	0.74	0.81	89.57	89.75	88.88
	4.5	3.07	4.09	7.16	0.75	3.70	7.00	7.23	0.42	0.75	0.94	88.71	89.27	87.01
	4.0	2.90	4.09	7.00	0.71	3.52	7.09	7.65	0.40	0.73	1.02	88.62	89.77	86.69
	3.0	2.99	3.75	6.74	0.80	3.28	6.58	7.31	0.37	0.72	1.01	88.70	89.13	86.24
	平均	2.86	4.10	6.96	0.70	3.42	7.09	7.44	0.37	0.73	0.96	89.16	89.73	87.07
50	5.5	2.17	4.44	6.61	0.49	2.94	7.34	7.16	0.32	0.73	0.91	89.01	90.01	87.24
	5.0	2.86	4.48	7.34	0.64	3.80	7.69	7.42	0.40	0.75	0.99	89.41	90.22	86.66
	4.5	3.13	4.47	7.61	0.70	3.21	7.14	6.93	0.38	0.75	0.93	88.11	89.51	86.59
	4.0	2.39	4.13	6.52	0.58	3.32	7.13	6.99	0.34	0.73	0.97	89.74	89.79	86.14
	3.0	2.28	3.32	5.60	0.69	2.05	5.61	5.57	0.31	0.68	0.86	84.74	87.89	84.57
	平均	2.57	4.17	6.73	0.62	3.06	6.98	6.81	0.35	0.73	0.93	88.51	89.57	86.32
100	5.5	2.22	4.00	6.22	0.56	2.46	6.70	6.99	0.30	0.73	0.96	87.83	89.14	86.26
	5.0	2.76	4.27	7.03	0.65	3.14	7.38	6.87	0.33	0.73	0.91	89.60	90.05	86.70
	4.5	1.85	3.99	5.83	0.47	2.42	6.82	6.69	0.31	0.73	0.98	87.05	89.36	85.42
	4.0	1.93	4.09	6.02	0.47	2.40	7.31	7.14	0.32	0.75	0.96	86.73	89.77	86.54
	3.0	1.45	3.66	5.11	0.40	1.89	6.79	7.05	0.27	0.78	0.94	85.55	88.50	86.70
	平均	2.04	4.00	6.04	0.51	2.46	7.00	6.95	0.31	0.74	0.95	87.56	89.38	86.33
200	5.5	2.05	3.47	5.52	0.59	1.79	5.90	6.07	0.31	0.70	0.92	82.89	88.05	84.80
	5.0	2.31	3.78	6.09	0.61	2.67	6.31	7.10	0.36	0.71	1.00	86.44	88.75	85.89
	4.5	1.80	3.93	5.73	0.46	2.25	6.43	6.86	0.28	0.73	1.00	87.38	88.71	85.43
	4.0	1.14	3.16	4.30	0.36	1.50	5.32	5.62	0.23	0.65	0.92	84.77	87.82	83.66
	3.0	0.62	2.77	3.39	0.23	0.60	4.36	4.41	0.17	0.57	0.77	72.01	87.01	82.61
	平均	1.58	3.42	5.01	0.45	1.76	5.66	6.01	0.27	0.67	0.92	82.70	88.07	84.48

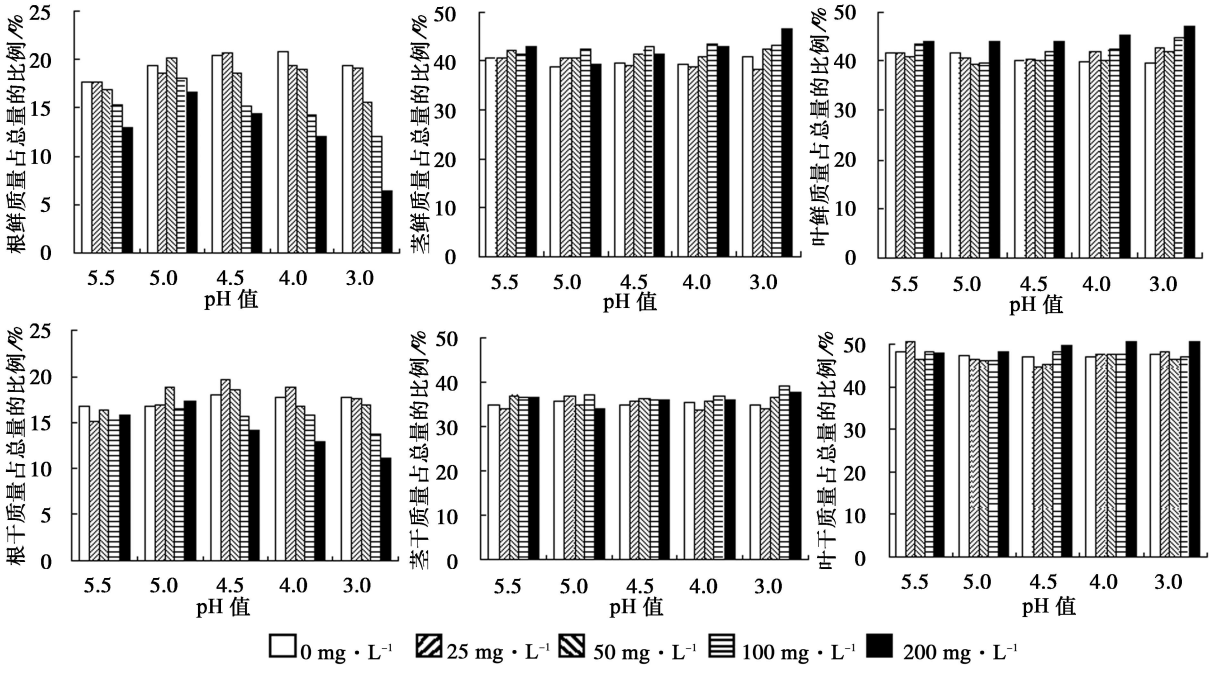

图 1 酸、铝胁迫下马尾松芽苗根、茎、叶鲜 (干)质量占总量的比例

由图 1可以看出,根、茎、叶的平均鲜质量分别占全株鲜质量的 16.81%、41.22%、41.97%,而其平

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

均干质量分别占全株干质量的 16.43%、35.93%、47.64%;根鲜 (干)质量占全株鲜 (干)质量的比例呈现出随 pH值的下降和铝离子浓度的增加先升高后降低的趋势,根鲜质量占全株鲜质量的比例在胁迫下的变化较干质量更为明显;而茎、叶鲜 (干)质量占全株鲜 (干)质量的比例均呈现先略降后升高或单调递增的变化趋势,但变化幅度较小;说明酸、铝胁迫对根的抑制作用明显高于茎、叶。

3　结论与讨论

(1) 酸、铝胁迫对马尾松种子萌发的影响较小,种子吸胀、种皮开裂及胚根突破种皮主要由种子本身的性质决定,而胁迫对胚根伸出后的发育过程影响明显;严重胁迫下,种子萌发 (胚根伸出)后的各基本结构发育滞后,胚根和胚轴生长慢,子叶出现的时间明显延迟;在 pH值 3.0、铝离子浓度 200 mg·L^{-1}的处理与其它处理间差异显著,其它处理间差异不显著。

(2)酸、铝胁迫对芽苗的生长发育具有明显的抑制作用。胁迫下芽苗生长和鲜 (干)质量表现出相似的变化趋势:随 pH值的下降,芽苗生长和鲜 (干)质量先缓慢上升后下降,下降幅度随铝离子浓度的增加而增大;根部对环境胁迫的反应最敏感;芽苗各器官组成中,根质量所占比例随酸、铝胁迫的加剧而降低,而茎、叶变化较小;在 pH值 <4.5、铝离子浓度达 50 mg·L^{-1}时,即可对马尾松芽苗产生明显的抑制作用。

(3) 种子萌发试验和早期芽苗生长试验是研究高等植物毒理试验的主要方法[12]。从马尾松种子萌发和胚根、茎的生长过程来看,pH值和铝离子浓度变化对马尾松种子吸胀、胚根突破种皮阶段的影响较小,对胚根及芽苗其它部分的生长发育具有明显的抑制作用。若根据芽苗基本结构全部出现的标准衡量种子发芽,绝大部分处理胚根能够突破种皮的种子均能发育成为正常芽苗,而严重胁迫 (pH值 3.0、铝离子浓度 200 mg·L^{-1})时,芽苗胚根毒害症状十分明显,仅有约 1/3的种子芽苗基本结构完整,而且萌发种子中约 40%～50%的种子在种皮与胚轴结合部严重感染病菌,部分芽苗已经死亡。由此可见,中度酸、铝胁迫即可抑制芽苗的生长,严重胁迫则导致铝毒害发生。因此,基于芽苗生长指标判断铝毒害的发生更为合理,通过植物早期生长情况的变化可以提前判断潜在的铝毒害,防止严重毒害作用的发生。

参考文献:

[1] 周政贤. 中国马尾松 [M]. 北京:中国林业出版社, 2001
[2] 张健,李贤伟,胡庭兴. 铝毒害与森林衰退研究评述 [J]. 世界林业研究, 1999, 12(2): 28～30
[3] 刘鹏, Yang Y S,徐根娣,等. 南方四种草本植物对铝胁迫生理响应的研究 [J]. 植物生态学报, 2005, 29(4): 644～651
[4] 柳若安,刘厚田. 酸度和铝对马尾松生长的影响 [J]. 植物学报, 1995, 37(2): 154～158
[5] 高吉喜,曹洪法. 马尾松苗期体内铝离子存在方式、形态和分布 [J]. 环境科学, 1992, 13(6): 69～72
[6] 杜晓明,刘厚田. 酸性土壤抗铝处理对土壤特性及马尾松苗木生长的影响 [J]. 环境科学研究, 1994, 7(2): 55～58
[7] 杜晓明,田仁生. 重庆南山马尾松衰亡与铝中毒 [J]. 环境科学研究, 1996, 9(6): 21～25
[8] 唐鸿寿. 赤黄壤酸化后对油松种子萌发的影响 [J]. 生态学报, 1999, 19(2): 200～205
[9] 肖祥希,刘星辉,杨宗武,等. 植物铝毒害研究进展 [J]. 福建林业科技, 2004, 31(4): 94～99
[10] Rout G R, Samantary S, Das P. Aluminum toxicity in plants: a review [J]. Agronomie, 2001, 21: 2～21
[11] Delhaize E, Ryan P R. Update on environmental stress: aluminum toxicity and tolerance in plants [J]. Plant Physiol, 1995, 107: 315～321
[12] 宋玉芳,许华夏,任丽萍,等. 重金属对土壤中萝卜种子发芽与根伸长抑制的生态毒性 [J]. 生态学杂志, 2001, 20(3): 4～8

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net