

模拟酸雨对玉米种子萌发和幼苗生长的影响

王文彦

(山西省农业科学院玉米研究所, 山西 忻州 034000)

摘要:以中性溶液(pH=7.0)为对照,研究了pH值为1.0、2.0、3.0、4.0、5.0和6.0模拟酸雨对玉米种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明:玉米种子萌发和幼苗生长各指标(发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数)随着pH值的降低而降低,pH值模拟酸雨胁迫对玉米种子萌发和幼苗生长均产生了一定的抑制作用,随着pH值的降低其抑制作用逐渐增强;弱酸(pH=5.0和pH=6.0)条件下玉米种子能够正常萌发和生长,种子萌发和幼苗生长各指标(玉米幼苗苗长、苗干重、苗干物质分配和根长、根干重、根干物质分配)与对照没有显著差异($P>0.05$),表现出一定的耐酸性;在pH值低于5.0时,玉米种子萌发和幼苗生长严重受阻,种子萌发和幼苗生长各指标均显著低于对照($P<0.05$);pH值为1.0时,玉米种子失去活性而完全没有萌发;玉米种子浸提液电导率和丙二醛(MDA)含量随pH值的降低呈增加趋势,根系活力(TTC)随pH值的降低呈降低趋势,说明模拟酸雨降低了玉米种子的根系活力。不同pH值模拟酸雨胁迫对玉米幼苗生理指标影响较大,叶绿素含量、类胡萝卜素含量、保护酶(SOD、POD、CAT)和非保护酶(PPO、PAL)活性随酸性的增强呈降低趋势。综合分析认为,玉米种子萌发对pH值模拟酸雨胁迫下的临界值和极限值为3.0~4.0。

关键词:模拟酸雨;玉米;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:S513

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2020)01-0021-04

Effects of Simulated Acid Rain on Seed Germination and Seedling Growth of Maize

WANG Wenyan

(Maize Research Institute of Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Xinzhou 034000, China)

Abstract:In order to study the effects of acid rain on seed germination and seedling growth of maize, the experiment was carried out with simulated acid rain at pH 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 and 7.0. The results showed that the indexes of seed germination and seedling growth of maize were inhibited and reduced by the decreasing of the pH value. The indexes of seed germination and seedling growth of maize had no significant difference from CK with the pH value from 5.0 to 6.0 ($P>0.05$) and showed some resistance to acid. When the pH was below 5.0, maize seed germination and seedling growth of maize were sharply inhibited, and the indexes were significantly lower than CK ($P<0.05$). The maize didn't shoot up at pH 1.0 at all. The results also showed that different pH simulated acid rain had a large effect on the seedling physiological indexes of maize, the activity of chlorophyll content, carotenoid content, protected enzyme (SOD, POD, CAT) content and the protective enzyme (PPO, PAL) content showed a decreasing trend with the increase of acid, while the relative conductivity and malondialdehyde (MDA) showed an increasing trend. According to the comprehensive results, we can draw the conclusion that the injury threshold value of acid rain was likely between pH 3.0 and pH 4.0.

Key words: Simulated acid rain; Maize; Seed germination; Seedling growth

近些年来,工业化在促进社会经济发展的同时,也带来了一定的负面作用,其中硫矿化合物

的使用加剧了空气中二氧化硫浓度的上升,生活及工业用煤急剧增加,越来越多的二氧化硫被排放到大气中,形成了较为严重的酸性物质沉降^[1],在雨水作用下形成酸雨;从科学的定义来讲,pH值在5.6以下就可以称作酸雨,来自于雨水在降落过程中对酸性物质等吸收而成^[2-3];一般情况下,酸沉降主要有两个方面:一是湿沉降,二是酸性

收稿日期:2018-11-13

基金项目:山西省农业科学院生物育种工程(16YZGC113);国家重点研发计划(2018YFD0100204)

作者简介:王文彦(1965-),男,副研究员,主要从事玉米遗传育种及玉米耕作栽培研究。

物质在大气中形成的干沉降,酸雨中最主要的成分是 H_2SO_4 、 H_2SO_3 、 HNO_3 ,其中二氧化硫和氮氧化物在酸雨的形成过程中起着最主要的作用^[4-5]。在我国,经过几十年的煤碳开采及秸秆燃烧等,大量的二氧化硫等物质排放至大气,形成了大面积的酸沉降。加之气候日益变暖、生物多样性下降剧烈,全球环境问题也日益凸显^[6]。酸雨不仅对动植物具有直接的伤害作用,也能影响土壤肥力和活性,对作物生长造成损害^[1-3],具有严重的危害性^[7]。研究表明,欧洲、北美、中国已成为全球三大酸雨受灾区,在中国,超过30%的国土面积受到酸雨的影响,农作物产量受到严重影响;加上酸雨具有很强的淋溶性,最直接的后果是幼苗生长受到显著抑制,叶片的叶绿素含量显著下降,进而导致植物光合作用受到制约,使得作物产量受到抑制^[4-5]。此外,酸雨进入土壤土层后导致盐基严重流失,根系的正常生长发育被抑制,土壤酶活性明显下降,根系对氮等元素的吸收能力显著受损,氮、碳积累被显著抑制,最终阻碍植物正常吸收土壤养分、妨碍作物生长^[8-9]。

我国是农业大国,粮食产量位居世界前茅,其中小麦、水稻、玉米等成为主要的粮食作物。北方地区大量种植玉米,玉米已经成为第三大农作物^[10-11],具有重要的食用价值和经济地位。然而,近年来玉米也受到酸雨的较大侵害,不少学者对此开展了研究。有研究表明:在不同的生长阶段,玉米对酸雨的承受能力也出现显著差异,在种子发芽期对酸雨的承受能力最弱,酸雨会直接抑制种子发芽,同时对已经发芽的玉米产生显著的生长抑制性,整体来看酸雨很大程度上会影响农作物的生长发育,因此开展酸雨对玉米种子及幼苗的危害研究具有重要的现实意义。当雨水中pH值处于4~4.5的临界值时,酸雨能够显著抑制玉米种子发育,更会直接妨碍幼苗的正常生长发育^[12];雨水pH值低于5.6时,玉米种子发芽时间延后、发芽率大大降低^[13];pH值在4.5~5.6之间的弱酸溶液并没有对种子发芽产生显著抑制作用,但种子处于pH值2.5~3.5的强酸溶液影响下,其发芽率受到明显抑制^[14]。多数研究很少考虑到玉米种子各项萌发参数及幼苗生长过程中内在变化机制。基于此,本文以中性溶液(pH=7.0)为对照,研究了pH值为1.0、2.0、3.0、4.0、5.0和6.0模拟酸雨对玉米种子萌发和幼苗生长的影响,旨在为进一步开展酸化环境(酸雨)对玉米生长发育的胁迫机制,为正确评估酸雨对我国农业生产造成的

损失提供一定的数据支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

酸雨母液通过高浓度的 HNO_3 、 H_2SO_4 ,二者按照1:8的比例勾兑,加入蒸馏水,形成不同酸度的酸性溶液;在酸液配制过程中使用pHS-25酸度计测量,酸雨溶液的pH值分别从1.0递增至6.0共计6种,同时将去离子蒸馏水作为对照,将溶液置于4℃下保存。

试验所选玉米品种为强盛388,来自于山西农科院,选择饱满、均匀、色泽鲜亮的种子作为试验种子,用3%的 H_2O_2 消毒处理5 min,之后多次冲洗。

1.2 试验设计 和 方法

在培养皿中铺放2层滤纸,取出200粒种子置于其中,除了对照组外,其余培养皿分别加入10 mL不同浓度的酸性溶液,7个培养皿处理,各个处理重复10次,每天补充酸性溶液6 mL,每间隔2 d更换一次滤纸以保持湿润;将培养皿分别置于光照、黑暗条件下各12 h,相对湿度接近于85%,培养温度保持在26℃。

每日记录种子的发芽数量,在第3天计算发芽率,在第8天统计发芽势,第12天从各培养皿中随机挑选30粒种芽,测量胚根、幼苗长度,同时记录鲜重、干重,计算不同处理下种子发芽率、活力指数^[15-16]。

1.3 种子萌发和幼苗生长指标测定

$$\text{发芽率} = (\text{第3天的发芽粒数} / 100) \times 100\%$$

$$\text{发芽势} = (\text{第8天的发芽粒数} / 100) \times 100\%$$

$$\text{发芽指数 } G_i = \sum (G_t / D_t)$$

$$\text{活力指数 } V_i = G_i \times S$$

$$\text{平均发芽时间} = \sum T_i \cdot N_i / \sum N_i$$

其中,S为胚根的平均鲜重,G_t为t天发芽数,D_t为发芽天数,N_i为T_i内的发芽种子数。

对培养15 d的幼苗叶片进行叶绿素含量测定,并测定相对电导率、过氧化物酶及超氧化物酶活性、过氧化氢酶活性、多酚氧化酶活性^[17]。

1.4 数据分析

采用Excel 2003.0和SPSS 17.0进行数据统计和单因素方差分析(One-way ANOVA),用“均值±标准误差”形式表示,LSD多重比较法检验各处理间差异显著性($P < 0.05$),Origin 9.2作图。

2 结果与分析

2.1 模拟酸雨对玉米种子萌发的影响

从表1可看出,酸性溶液处理均对玉米发芽各指标产生明显的影响,在pH值不断降低的情况下,种子的发芽率及发芽势明显下降,其活力指数、发芽指数显著降低,发芽时间明显延长,说明酸性溶液抑制了玉米发芽。对照组玉米发芽各项指标明显最优;当pH值为6.0时,玉米发芽各个指标基本接近于对照组,说明酸性处理浓度不同对

萌芽指标影响也不同;当pH值为5.0时,酸性溶液显著抑制种子发芽,各项萌芽指标快速下降,并与对照组在0.05检验水平存在显著差异;当pH值为2.0时,各项种子萌发指标最低,发芽率及发芽势均低于对照组93%以上,发芽指数低于对照组96%,活力指数下降85%,发芽时间推迟近5d;pH值为1.0时种子完全不再发芽。

表1 模拟酸雨对玉米种子萌发的影响

pH	发芽率(%)	发芽势(%)	平均发芽时间(d)	发芽指数	活力指数
7.0(CK)	98.26±7.23a	82.16±5.16a	3.15±0.26c	5.89±0.24a	8.91±0.37a
6.0	93.15±6.54b	78.21±6.09a	3.36±0.35c	5.32±0.37a	7.92±0.24ab
5.0	82.49±5.02c	65.19±4.18b	4.02±0.24b	4.19±0.31b	6.02±0.32b
4.0	64.02±4.37d	57.16±6.02c	4.11±0.16b	2.87±0.26c	5.46±0.15c
3.0	32.47±2.01e	29.54±3.14d	4.39±0.39b	1.54±0.09c	3.19±0.21d
2.0	6.01±0.53f	5.15±0.27e	7.89±0.27a	0.21±0.03d	1.26±0.09e
1.0	0	0	-	0	0

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著,下同

2.2 模拟酸雨对玉米幼苗生长的影响

从表2可看出,酸性溶液对幼苗生长产生了不同程度的影响,在pH值不断下降的情况下,玉米幼苗发育被明显抑制,其长度、干重、根长等呈现明显下降,干物质向根系的分配也受到了影响;pH值处于中性水平时幼苗生长状况最好;当pH值为5.0~6.0时,玉米幼苗各个指标基本接近于对照组,二者差异很小;当pH值为4.0时,酸性

溶液显著抑制幼苗发育,各项指标快速下降,并与对照存在显著差异;当pH值为2.0时,幼苗生长指标很低,与对照组相比,苗长、苗干重均下降了88%以上,苗干物质分配下降了90%,根长、干重及物质分配均下降了91%以上,说明酸性程度加剧的情况下幼苗生长显著受限;pH值为1.0时幼苗逐渐死亡,各项生长指标为0。

表2 模拟酸雨对玉米幼苗生长的影响

pH	幼苗苗长(cm)	苗干重(g)	苗干物质分配(%)	根长(cm)	根干重(g)	根干物质分配(%)
7.0(CK)	19.23±0.95a	0.068±0.07a	56.21±3.47a	18.21±2.61a	0.072±0.06a	46.98±3.47a
6.0	18.92±0.63a	0.065±0.04a	54.28±3.15a	17.98±2.87a	0.068±0.05a	42.01±3.56b
5.0	17.06±0.34a	0.051±0.05b	32.79±2.01b	15.97±2.19b	0.051±0.08b	32.59±3.01c
4.0	11.74±0.51b	0.037±0.06c	25.47±1.58c	14.26±2.04c	0.039±0.06c	22.54±2.15d
3.0	9.89±0.47c	0.029±0.03d	13.16±0.68d	8.14±1.58d	0.025±0.03d	16.87±2.13e
2.0	2.15±0.23d	0.008±0.01e	5.23±0.26e	1.56±0.35e	0.006±0.01e	4.10±0.56f
1.0	0	0	0	0	0	0

2.3 模拟酸雨对玉米幼苗相对电导率、丙二醛(MDA)和根系活力(TTC)的影响

从图1可看出,在pH值不断降低的情况下,浸提液电导率随之明显上升,丙二醛含量不断增加,说明二者与pH值的变化呈负相关的关系;在pH值达到7.0时,不仅浸提液电导率处于最低水平,丙二醛含量也是各处理中最低;pH值为5.0~7.0的状态时,电导率上升较为缓慢,丙二醛含量略微增加,与对照组在0.05检验水平下差异不显

著,说明玉米种子对pH值存在较大的敏感性;pH值为3.0~5.0时,电导率快速升高、丙二醛含量急剧增加,且与对照存在显著差异;pH值处于1.0~3.0状态下,幼苗活性严重丧失,电导率呈现较高水平,差异显著;pH值为1.0时,幼苗严重受损,电导率较对照处理上升了63%,丙二醛含量增加了36%,膜在过氧化作用下受损,幼苗的代谢补偿大幅下降;幼苗在弱酸逆境胁迫下会产生一定的环境耐受性,其质膜的透性也随之提升,因而呈现

较高的电导率。

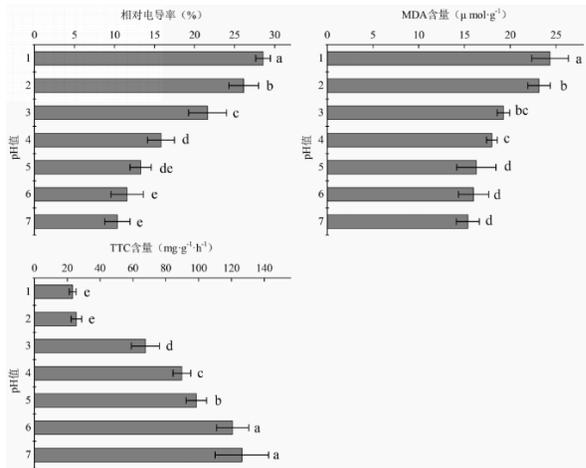


图1 模拟酸雨对玉米幼苗相对电导率、丙二醛(MDA)和根系活力(TTC)的影响

在pH值不断下降的情况下,TTC也随之下降,二者呈现较为一致的变化趋势;TTC含量在pH值7.0时最高;pH值为6.0时,TTC含量略微下降,与对照组无明显差异,即在0.05检验水平下不显著;在pH值达到1.0时TTC含量下降幅度超过了81%,此时根系受损严重。综合来看,在酸性溶液处理胁迫下,玉米根系活力明显下降。

2.4 模拟酸雨对玉米幼苗叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

从图2可以看出,在pH值不断上升的情况下,叶绿素及类胡萝卜素含量也随之不断增加,直至趋于基本稳定;叶绿素和类胡萝卜素在pH值达到7.0时含量最高;在pH值为6.0时,叶绿素和类胡萝卜素含量基本与对照组接近,二者并没有显著差异;pH值为3.0~5.0时,含量大幅下降;pH值为1.0~3.0时,二者含量变化逐渐趋于稳定,并无较明显变动;pH值为1.0时,幼苗活性完全丧失,叶绿素a含量下降幅度超过了76%,b含量下

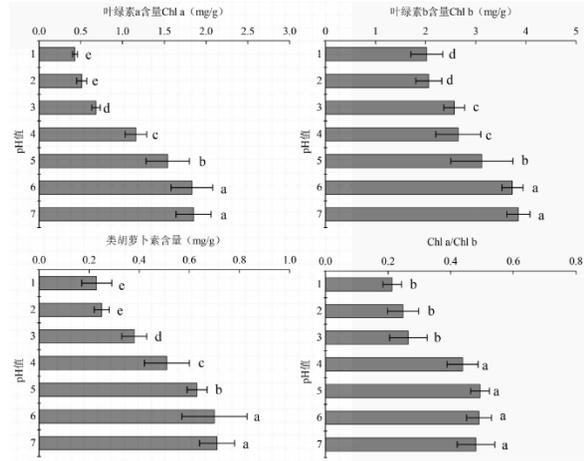


图2 模拟酸雨对玉米幼苗叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

降了47%,类胡萝卜素降低幅度超过67%,这说明叶绿素和类胡萝卜素在酸性环境胁迫下受到了显著影响。

2.5 模拟酸雨对玉米幼苗保护性酶及非保护性酶活性的影响

表3显示,在不同pH值下,幼苗保护酶活性不同程度地下降;保护酶活性在pH值达到7.0时呈现最大值;pH值为6时,保护酶活性与对照组差异在0.05检验水平下不显著,说明二者不存在明显差异,仅仅是部分酶活性值略高;当pH值为2.0~5.0时,保护酶的活性大幅下降,且降幅不断增加,与对照组相比,各个酸性处理下酶活性均较低,即在0.05检验水平下差异显著;pH值为2时,保护酶的活性基本丧失,幼苗生长缺乏活力,明显不利于玉米幼苗生长发育;当pH值为1.0时,SOD活性较对照组下降了59%,POD活性下降了40%,而CAT活性大幅下降了64%。从表3可以发现,不同pH值处理下,非保护酶活性也受到了明显的影响,变化趋势基本接近于保护酶活性。

表3 模拟酸雨对玉米幼苗保护性酶及非保护性酶活性的影响

pH	保护性酶			非保护性酶	
	SOD ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	POD ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)	CAT ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)	PAL ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)	PPO ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
7.0 (CK)	236.80±32.05a	128.61±10.13a	39.01±3.14a	21.10±3.01a	25.14±1.78a
6.0	225.91±21.04a	126.71±9.87a	38.95±3.65a	19.79±2.15a	23.98±1.03a
5.0	212.54±18.77b	109.75±9.56b	32.58±3.12b	15.78±2.98b	19.57±1.54b
4.0	192.17±21.05c	93.47±8.31c	27.27±2.30b	9.64±1.54c	12.05±0.67c
3.0	123.58±13.69d	85.89±6.14d	18.36±1.87c	5.87±1.24d	6.97±0.65d
2.0	98.75±11.25e	78.12±7.02e	15.19±3.15d	2.41±0.36e	3.38±0.19e
1.0	96.32±9.58e	76.29±8.56e	14.03±2.01d	2.32±0.25e	3.26±0.17e
线性拟合方程	$y=-27.311x+278.68$ $R^2=0.926$ 3, $P<0.01$	$y=-9.928$ 6x+139.55 $R^2=0.948$ 7, $P<0.01$	$Y=-4.881$ 4x+46.01 $R^2=0.954$ 9, $P<0.01$	$y=-3.607$ 5x+25.417 $R^2=0.960$ 4, $P<0.01$	$y=-4.265$ 7x+30.541 $R^2=0.953$ 8, $P<0.01$

(下转第78页)

- 2013(8):3-12.
- [5] 张国锋. 吉林省玉米综合生产能力变异及影响因素分析[J]. 东北农业科学, 2015, 40(4): 101-103.
- [6] 金京淑, 刘 妍. 吉林省粮食单产影响因素分析[J]. 东北农业科学, 2010, 35(3): 57-59, 64.
- [7] 刘家贵, 王录安, 刘旭凡. 中国从“一带一路”沿线国家进口乳制品的影响因素研究—基于引力模型的实证分析[J]. 中国物价, 2016(3): 48-51.
- [8] 徐晓红, 王洪丽, 郭亚梅. 2003-2008年吉林省农业科技进步贡献率的测算与分析[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(3): 61-64.
- [9] 刘 博, 杨晓光, 王式功. 东北地区主要粮食作物气候生产潜力估算与分析[J]. 东北农业科学, 2012, 37(3): 57-60.
- [10] 刘文明. 基于农户角度的吉林省耕地可持续利用分析[J]. 东北农业科学, 2018, 43(3): 43-46.
- [11] Kimura F, Lee H. The Gravity Equation in International Trade in Services [J]. Review of World Economics, 2006, 142(1): 92-121.

(责任编辑:王丝语)

.....

(上接第 24 页)

3 结 论

本研究中 pH 值模拟酸雨胁迫对玉米种子萌发和幼苗生长产生了一定的抑制作用,抑制作用随着酸浓度的增加而增加,弱酸(pH=5.0 和 pH=6.0)条件下玉米种子能够正常萌发和生长;pH 低于 5.0 时,玉米种子萌发和幼苗生长严重受阻,pH 值为 1.0 时,玉米种子失去活性完全没有萌发;模拟酸雨降低了玉米种子的根系活力,对玉米幼苗生理指标产生了一定的胁迫作用(叶绿素含量、类胡萝卜素含量、保护酶(SOD、POD、CAT)和非保护酶(PPO、PAL)活性随酸性的增强呈降低趋势)。综合分析认为,玉米种子萌发对 pH 值模拟酸雨胁迫下的临界值和极限值为 3.0 ~ 4.0。

参考文献:

- [1] 张新民,柴发合,王淑兰,等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究, 2010(5): 527-532.
- [2] 刘孝利,曾昭霞,铁柏清,等. 酸雨区不同用地类型土壤有效态 Cd 含量季节变化及关键影响因子[J]. 环境科学, 2017, 38(9): 3882-3887.
- [3] 郭 娟,罗小丽,姚爱军,等. 模拟酸雨条件下铁硅材料和生物炭对土壤镉形态及生物有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(7): 1495-1502.
- [4] 张慧玲,吴建平,熊 鑫,等. 南亚热带森林土壤碳库稳定性与碳库管理指数对模拟酸雨的响应[J]. 生态学报, 2018, 38(2): 203-208.
- [5] 李如艳,崔红标,刘笑生,等. 模拟酸雨对磷酸二氢钾钝化污染土壤 Cu, Cd, Pb 和 P 释放的影响[J]. 环境工程学报, 2018, 12(1): 227-234.
- [6] 许 华,谢 璨,魏宇昆,等. 2 种鼠尾草对模拟酸雨胁迫的耐受性比较及其生理机制研究[J]. 生态毒理学报, 2017, 12(6): 206-214.
- [7] 邢建伟,宋金明,袁华茂,等. 青岛近岸区域典型海陆人为交互作用下酸雨的化学特征[J]. 环境化学, 2017, 36(2): 296-308.
- [8] 张宇飞,方向民,陈伏生,等. 模拟酸雨对红壤区茶树器官氮磷含量及其化学计量比的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(4): 1309-1316.
- [9] 陈书涛,孙 鹭,桑 琳,等. 模拟酸雨对次生林土壤呼吸及异养呼吸的影响[J]. 环境科学, 2017, 38(3): 1235-1244.
- [10] 闫伟平,边少锋,张丽华,等. 半干旱区抗旱丰产玉米品种的评价及筛选[J]. 东北农业科学, 2017, 42(3): 1-5.
- [11] 王丽妍,杨成林,徐惠风. 氮肥运筹对寒地水稻生长及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(5): 15-19.
- [12] 张海艳. 模拟酸雨对不同类型玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1621-1626.
- [13] 高利利,张 晨,邱 琳,等. 酸雨胁迫下镉对冬小麦种子萌发的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(1): 129-133.
- [14] 袁志忠,曾 硕,周耀渝. 模拟酸雨对玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 山西农业科学, 2011, 39(11): 1161-1164.
- [15] 石玉龙,徐隆华,窦声云,等. NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫对同德老芒麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草地学报, 2017, 25(3): 662-665.
- [16] 谷会岩,蒋克研,张芸慧,等. 热激对大兴安岭三种松科树种种子萌发的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(19): 6581-6587.
- [17] 张瑄文,李三姗,甘 琳,等. 生物炭对苦草(*Vallisneria spiralis*)种子萌发与生长的影响[J]. 湖泊科学, 2018, 30(4): 1041-1051.

(责任编辑:刘洪霞)