

# 两种 pH 值镧溶液浸种对模拟酸雨胁迫下油菜种子萌发和幼苗生长的影响

郑 蕾, 郭 露 露, 金 涛, 张 孟 雅, 夏 利 琴, 边 才 苗

(台州学院 生命科学学院, 浙江 椒江 318000)

**摘 要:**以“浙双 72”油菜种子为试材,研究了 2 种 pH 值氯化镧( $\text{LaCl}_3$ )溶液浸种对模拟酸雨胁迫下(pH 3.5)油菜种子萌发与幼苗生长的影响。结果表明:用 pH 6.5  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种,对油菜种子萌发和幼苗生长均有促进作用,且 10 mg/L  $\text{LaCl}_3$  浸种能显著缓解 pH 3.5 酸雨胁迫的影响;用 pH 4.5  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种,只有 1 mg/L  $\text{LaCl}_3$  浸种有明显的正向效应,而 5、10 mg/L  $\text{LaCl}_3$  浸种多为负面效应,表现为种子萌发和幼苗生长不及对照,过氧化物酶(POD)活性比对照稍高,丙二醛(MDA)含量也比对照高,可能是低 pH 值溶液中,镧元素的离子态增加,毒性也增强;因此,用  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种,必须选择适宜的剂量,还须控制浸种溶液的 pH 值。

**关键词:**氯化镧;pH;油菜;种子萌发;幼苗生长

**中图分类号:**S 794.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)15-0013-04

稀土被誉为“营养素”和“生长调节剂”<sup>[1]</sup>,稀土农有明显的增产效应,总的增产概率 90%,平均增产幅度 8%~10%;且稀土元素是低毒的,合理施用对人畜无危害,对环境无污染,可推广使用<sup>[1-4]</sup>。另外,稀土元素还能增强作物的抗病性和抗逆性<sup>[5-9]</sup>。然而,有关稀土农用的正向效应多数是中国人的报道,欧美学者多持怀疑观点<sup>[10-11]</sup>。Diatloff 等<sup>[10]</sup>的液培试验表明,假如镧(La)对作物生长具有正向效应,处理液中 La 浓度应低于 0.2  $\mu\text{mol/L}$ ;Von 等<sup>[11]</sup>的液培试验结果也显示,在 pH

4.2 的镧溶液中植物呈现明显的负生长。基于稀土元素也是重金属,采用 pH 4.2 或 4.5 维护培养液中 La 和 Ce 的离子态,可提高稀土元素的有效性<sup>[12]</sup>,但其毒性也可能增强;因为重金属的毒性与其存在状态有关,离子态的毒性最强。为此,该试验研究了不同 pH 值的氯化镧溶液浸种对油菜种子萌发和幼苗生长的影响,以揭示稀土农用于呈现正向与负面效应的条件,以期对稀土农用的合理推广提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试油菜 (*Brassica campestris* L.) 种子为“浙双 72”,由浙江农科种业有限公司提供,发芽率 $\geq 85\%$ 。氯化镧( $\text{LaCl}_3$ )为化学纯,由国药集团化学试剂有限公司提供。

模拟酸雨的配制参照文献<sup>[12]</sup>,每 1 000 mL 溶液的组成:  $\text{K}_2\text{SO}_4$  3.14 mg,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  10.0 mg,  $\text{MgSO}_4$

**第一作者简介:**郑蕾(1991-),女,浙江杭州人,本科,研究方向为作物抗逆性。

**责任作者:**边才苗(1963-),男,浙江诸暨人,副教授,现主要从事植物生态学和作物抗逆性等研究工作。E-mail:bcm@tzc.edu.cn。

**基金项目:**浙江省自然科学基金资助项目(Y507053);台州学院学生科研资助项目。

**收稿日期:**2014-04-29

soluble sugar, vitamin C and other quality were tested, agronomic characters such as single plant weight, leaf number, leaf width, leaf length were analyzed. The results showed that the content of soluble sugar in petiole was higher than in leaf, differences in soluble sugar in different cultivars were significant; the differences of soluble protein content in different cultivars were significant. The content of soluble protein in leaves of pakchoi than in petiole; vitamin C content of leaves was higher than that of petiole. There was significant difference between the main agronomic traits of leaf length, yield per plant, number of leaves, leaf width. There was a significant positive correlation between the leaf number and soluble sugar content.

**Key words:** pakchoi; nutritional quality; agronomic traits; correlation analysis

5.0 mg,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  16.5 mg,  $\text{CaCO}_3$  3.75 mg,  $\text{NaOH}$  6.9 mg;再用硫酸和硝酸为3:1(摩尔比)混合酸液调节模拟酸雨溶液至相应的pH值。

## 1.2 试验方法

萌发试验设 $2 \times 4 \times 2$ 共24种处理(表1),2组浸种处理分别用pH 4.5和pH 6.5的酸雨溶液配制,每组均有1、5、10 mg/L  $\text{LaCl}_3$ 浓度,以不加 $\text{LaCl}_3$ (0 mg/L)的酸雨溶液浸种为对照;萌发液为pH 3.5和pH 6.5的酸雨溶液,其中以pH 6.5酸雨溶液为对照。

选择饱满的种子,经0.1%  $\text{HgCl}_2$ 溶液消毒10 min,去离子水清洗数次后,分别用2种pH值、4种浓度的 $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种8 h;均匀排列在直径12 cm、垫有2层滤纸的培养皿中,每皿50粒,每处理3皿,分别加入适量pH 3.5和pH 6.5的萌发液,共16种处理48皿;(25±1.0)℃中浸种萌发,第10天萌发结束,测定各处理的萌发指标。

将在对照溶液中萌发的首批(第2天)幼苗移栽到穴盘中,加pH 6.5的营养液<sup>[10]</sup>,在光照、黑暗分别为14、10 h,光照强度 $450 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,日、夜温度分别为18、10℃,相对湿度70%的条件下培养7 d;再将每种浸种处理的幼苗均分为2组,分别叶面喷施pH 6.5和pH 3.5的酸雨溶液,喷施量为每盘60 mL,共喷施3次,间

隔期为2 d。第3次喷施24 h后,取样测定植株地上部分的鲜重和干重,丙二醛(MDA)含量和过氧化物酶(POD)活性。

## 1.3 项目测定

种子发芽指标的测定参照文献[13],发芽率( $\text{GR}$ )=(发芽种子数/供试种子数)×100%,发芽指数= $\sum(\text{Gt}/\text{Dt})$ ,其中Gt为不同时间的发芽数,Dt为相应发芽日数。

MDA含量采用硫代巴比妥酸法<sup>[14]</sup>测定,POD活性采用愈创木酚法<sup>[15]</sup>提取和测定。

## 1.4 数据分析

试验数据用Excel和SPSS 11.5软件处理和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同pH值的镧溶液浸种对模拟酸雨胁迫下油菜种子萌发的影响

由表1可以看出,经不同pH的 $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种后,2组对照(0 mg/L  $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种,pH 6.5酸雨溶液中的萌发)的萌发状况相同,2组酸雨对照(0 mg/L  $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种,pH 3.5酸雨溶液中的萌发)的萌发状况也相同。说明用不含 $\text{LaCl}_3$ 的溶液浸种,浸种液的pH值对种子萌发没有明显的影响。

表1 不同pH值的氯化镧浸种对模拟酸雨胁迫下油菜种子萌发的影响

Table 1 Effect of different pH value of  $\text{LaCl}_3$  on germination of rape seeds under simulated acid rain stress

pH 值 pH value	浸种处理 Seed soaking treatment	萌发液 pH 6.5 Germination liquid pH 6.5		萌发液 pH 3.5 Germination liquid pH 3.5	
	$\text{LaCl}_3$ 浓度	发芽率	发芽指数	发芽率	发芽指数
	$\text{LaCl}_3$ concentration/mg · L <sup>-1</sup>	Germination rate/%	Germination index	Germination rate/%	Germination index
pH 6.5	0	85.33±1.56 a	24.92±0.39 a	73.33±1.78 c	21.30±0.47 c
	1	85.67±1.11 a	24.97±0.41 a	74.33±2.22 c	21.56±0.67 bc
	5	86.00±1.33 a	25.07±0.46 a	77.67±1.11 bc	22.98±0.29 b
	10	86.00±0.67 a	25.03±0.24 a	83.67±1.11 ab	23.83±0.28 ab
pH 4.5	0	85.33±1.11 a	24.72±0.30 a	73.67±1.56 c	21.39±0.36 c
	1	85.67±1.56 a	24.77±0.38 a	77.00±1.33 bc	22.11±0.37 bc
	5	81.67±1.56 ab	23.42±0.43 ab	74.33±0.89 c	21.45±0.26 bc
	10	80.67±1.11 b	22.94±0.39 b	73.33±1.11 c	20.85±0.34 c

注:相同指标后不同小写字母为差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase followed by same index mean significant difference at  $P<0.05$  level, the same below.

在浸种液含有 $\text{LaCl}_3$ 时,种子萌发状况呈现显著变化,用pH 6.5的 $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种,发芽率和发芽指数均随 $\text{LaCl}_3$ 浓度的提高而增大。在对照溶液(pH 6.5)中,各处理的指标值接近,与对照差异不显著;在pH 3.5的酸雨溶液中萌发,用10 mg/L  $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种的指标值最大,与酸雨对照呈显著差异,且与0 mg/L  $\text{LaCl}_3$  pH 6.5溶液浸种(对照)指标值接近,差异不显著。用pH 4.5的 $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种,2个发芽指标均随 $\text{LaCl}_3$ 浓度的提高而降低。在对照溶液中,1 mg/L  $\text{LaCl}_3$ 浸种的指标值最大,与对照的差异显著,10 mg/L的最小;在

pH 3.5酸雨溶液中萌发,10 mg/L  $\text{LaCl}_3$ 浸种的最小,但与酸雨对照的指标值接近,差异不显著。

### 2.2 不同pH值的镧溶液浸种对模拟酸雨胁迫下油菜幼苗生长的影响

由表2可以看出,经不同pH值 $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种,2组对照(0 mg/L  $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种、喷施pH 6.5的溶液)的幼苗生长状况相同,2组酸雨对照(0 mg/L  $\text{LaCl}_3$ 溶液浸种、喷施pH 3.5酸雨溶液)的幼苗生长状况也相同。说明用不含 $\text{LaCl}_3$ 的溶液浸种,浸种液pH值对幼苗生长没有明显的影响。

表 2 不同 pH 值的氯化镧浸种对模拟酸雨胁迫下油菜幼苗生长的影响

Table 2 Effect of different pH value of LaCl<sub>3</sub> on rape seedling growth under simulated acid rain stress

pH 值 pH value	浸种处理 Seed soaking treatment	LaCl <sub>3</sub> 浓度 LaCl <sub>3</sub> concentration/mg · L <sup>-1</sup>	喷施 pH 6.5 的酸雨溶液 Spraying simulated acid rain of pH 6.5		喷施 pH 3.5 的酸雨溶液 Spraying simulated acid rain of pH 3.5	
			鲜重 Fresh weight/g	干重 Dry weight/g	鲜重 Fresh weight/g	干重 Dry weight/g
pH 6.5	0	0	2.58±0.31 ab	0.304±0.041 ab	1.72±0.25 c	0.196±0.033 c
		1	2.74±0.32 ab	0.322±0.044 ab	1.87±0.29 bc	0.213±0.035 bc
		5	2.87±0.35 a	0.338±0.047 a	2.16±0.31 b	0.246±0.037 b
		10	2.96±0.36 a	0.348±0.049 a	2.39±0.32 ab	0.272±0.039 ab
pH 4.5	0	0	2.56±0.32 ab	0.301±0.038 ab	1.71±0.24 c	0.192±0.032 c
		1	2.82±0.33 ab	0.332±0.045 ab	1.96±0.30 b	0.232±0.036 b
		5	2.45±0.29 ab	0.288±0.040 ab	1.78±0.26 bc	0.210±0.033 bc
		10	2.17±0.27 b	0.255±0.036 b	1.56±0.22 c	0.171±0.031 c

经含有 LaCl<sub>3</sub> 的溶液浸种,幼苗的生长状况呈现显著变化,用 pH 6.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,幼苗的鲜重和干重均随 LaCl<sub>3</sub> 浓度的提高而增大。喷施 pH 6.5 溶液的幼苗 2 个生长指标的数值变化小,各处理间差异不显著;喷施 pH 3.5 的酸雨溶液处理组中以 10 mg/L 浸种的指标值最大,与 0 mg/L LaCl<sub>3</sub> 喷施 pH 6.5 的酸雨溶液对照的指标值相当,但与喷施 pH 3.5 酸雨对照的差异显著。用 pH 4.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种 2 组喷施处理的生长指标均以 1 mg/L LaCl<sub>3</sub> 浸种的最大、与对照差异显著,10 mg/L 浸种的最小;但组内其它处理间的差异不显著。

### 2.3 不同 pH 值镧溶液浸种对模拟酸雨胁迫下幼苗 MDA 含量的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化产物,通常作为细胞伤害程度的指标<sup>[16]</sup>;由图 1 各处理的油菜幼苗中 MDA 含量变化可以看出,用 pH 6.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,喷施 pH 6.5 的溶液,MDA 含量随 LaCl<sub>3</sub> 浓度的升高而增大,但相互间差异不显著;喷施 pH 3.5 的酸雨溶液,MDA

含量随 LaCl<sub>3</sub> 浓度的升高而降低,且 10 mg/L 浸种的指标值接近于对照,与酸雨对照差异显著。用 pH 4.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,喷施 pH 6.5 的溶液,MDA 含量随 LaCl<sub>3</sub> 浓度的升高而增大,10 mg/L LaCl<sub>3</sub> 浸种的指标值最大,与对照差异显著;喷施 pH 3.5 的酸雨溶液,MDA 含量先降后升,以 10 mg/L LaCl<sub>3</sub> 浸种的最大,对照次之,与 1 mg/L 浸种的最小值差异显著。

### 2.4 不同 pH 值的镧溶液浸种对模拟酸雨胁迫下幼苗 POD 活性的影响

过氧化物酶(POD)是清除活性氧的主要保护酶,对于缓解逆境造成的膜脂过氧化损伤有重要作用<sup>[17]</sup>。由图 2 各处理油菜幼苗中 POD 活性变化可以看出,用 pH 6.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,喷施 pH 6.5 的溶液,POD 活性随 LaCl<sub>3</sub> 浓度升高而增大,但相互间差异不显著;喷施 pH 3.5 的酸雨溶液,POD 活性也随 LaCl<sub>3</sub> 浓度提高而增大,且增幅较大,10 mg/L 浸种的指标值与对照差异显著,但其它处理间差异不显著。用 pH 4.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,POD 活性均先升后降,以 1 mg/L 浸种的指标值最大,对照的最小;其中喷施 pH 3.5 的酸雨溶液,POD 活性变化较大,最大值与最小值间差异显著,但与其它处理间差异不显著。

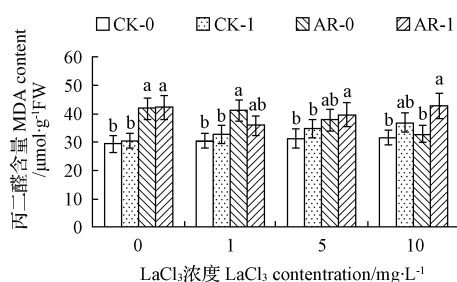


图 1 镧浸种对模拟酸雨胁迫下油菜幼苗 MDA 含量的影响

注:CK-0 用 pH 6.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,喷施 pH 6.5 的溶液;CK-1 用 pH 4.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,喷施 pH 6.5 的溶液;AR-0 用 pH 6.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,喷施 pH 3.5 的酸雨溶液;AR-1 用 pH 4.5 的 LaCl<sub>3</sub> 溶液浸种,喷施 pH 3.5 的酸雨溶液。

Fig. 1 Effect of MDA content of lanthanum on rape seedling under simulated acid rain stress

Note:CK-0 with seed soaking liquid of pH 6.5, spraying liquid of pH 6.5;CK-1 with seed soaking liquid of pH 4.5, spraying liquid of pH 6.5; AR-0 with seed soaking liquid of pH 6.5, spraying simulated acid of pH 3.5; AR-1 with seed soaking liquid of pH 4.5, spraying simulated acid of pH 3.5.

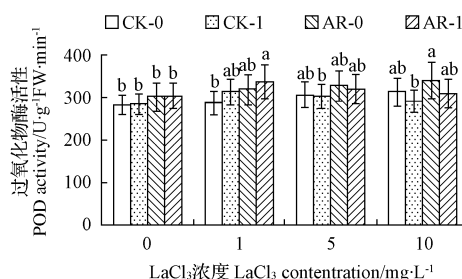


图 2 镧浸种对模拟酸雨胁迫下油菜幼苗 POD 活性的影响

Fig. 2 Effect of POD activity of lanthanum on rape seedling under simulated acid rain stress

## 3 讨论与结论

稀土农用可采用浸种、拌种和叶面喷施,既有正向效应<sup>[5-9]</sup>,又有负面影响<sup>[10-11]</sup>。该试验研究显示,用 pH

6.5 的  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种,在  $\text{LaCl}_3$  溶液浓度  $\leq 10 \text{ mg/L}$  ( $40.7 \mu\text{mol/L}$ ) 时均可促进油菜种子萌发和幼苗生长;在 pH 3.5 的酸雨胁迫下,  $\text{LaCl}_3$  浸种的正向效应更明显。用 pH 4.5 的  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种,只有  $1 \text{ mg/L}$  ( $4.1 \mu\text{mol/L}$ )  $\text{LaCl}_3$  浸种有明显的促进效应,  $\leq 5 \text{ mg/L}$  时促进效应显著减弱,甚至呈现负面效应;其中  $10 \text{ mg/L}$  时,酸雨胁迫和非酸雨胁迫下种子萌发与幼苗生长状况均不及对照 ( $0 \text{ mg/L}$  浸种)。

活性氧代谢的相关指标也类似,用 pH 6.5 的  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种,幼苗中 POD 活性随  $\text{LaCl}_3$  浓度提高而增强,且  $\text{LaCl}_3$  浓度为  $10 \text{ mg/L}$  时可显著限制 pH 3.5 酸雨胁迫下 MDA 的累积。用 pH 4.5 的  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种,只有  $1 \text{ mg/L}$   $\text{LaCl}_3$  浸种的 POD 活性显著提高,能显著限制酸雨胁迫下 MDA 的累积;而用 5、 $10 \text{ mg/L}$   $\text{LaCl}_3$  浸种,POD 活性虽比对照稍高,但 MDA 含量也比对照的高。基于稀土元素不是无毒的<sup>[2-4]</sup>,提示低 pH 值可提高镧元素的离子态(可用性)<sup>[10-12]</sup>,其毒性也增强。

由此可见,用 pH 6.5  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种多表现正向效应,还可显著缓解 pH 3.5 的酸雨胁迫对油菜种子萌发和幼苗生长的影响;用 pH 4.5 的  $\text{LaCl}_3$  溶液浸种,只有在低剂量时可呈现正向效应。因此,稀土农用不仅要控制稀土的剂量,还须关注浸种液的 pH 值。

#### 参考文献

- [1] 郭伯生. 我国稀土农用技术的发展和成就[J]. 有色金属, 1990, 42(4): 69-71.
- [2] 郭伯生. 稀土在生物领域中应用研究进展[J]. 稀土, 1999, 20(1): 64-68.
- [3] 徐新宇, 张玉梅. 稀土农用研究与应用的发展概况[J]. 土壤学进展, 1990(6): 6-12, 29.
- [4] 吴兆明, 汤锡珂, 贾志旺, 等. 稀土元素对农业增产作用的研究 2-稀土元素对作物某些生理过程的影响[J]. 中国稀土学报, 1984(2): 75-80.
- [5] 文启凯, 赖忠盛, 方波, 等. 稀土元素对玉米抗旱效应的研究[J]. 稀土, 1992, 13(1): 64-67.
- [6] 严重玲, 洪业汤, 林鹏, 等. 酸雨胁迫下, 稀土元素对菠菜膜保护系统作用[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 543-545.
- [7] Zhang LJ, Zeng FL, Xiao R. Effect of lanthanum Ions ( $\text{La}^{3+}$ ) on the reactive oxygen species scavenging enzymes in wheat leaves[J]. Biological Trace Element Research, 2003, 91: 243-252.
- [8] Shi P, Chen G C, Huang Z W. Effect of  $\text{La}^{3+}$  on the active oxygen-scavenging enzyme activities in cucumber seedling leaves[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2005, 52: 338-342.
- [9] Wang Y, Zhou M, Gong X L, et al. Influence of lanthanides on the antioxidant defense system in maize seedlings under cold stress[J]. Biological Trace Element Research, 2011, 142: 819-830.
- [10] Diatloff E, Smith F W, Asher C J. Effects of lanthanum and cerium on growth and mineral nutrition of corn and mungbean[J]. Annals of Botany, 2008, 101: 971-982.
- [11] Von Tucher S, Schmidhalter U. Lanthanum uptake from soil and nutrient solution and its effects on plant growth[J]. J Plant Nutr Soil Sci, 2005, 168: 574-580.
- [12] 江雅各, 盛沛麟, 袁大伟. 模拟酸雨对土壤金属离子的淋溶和植物有效性的影响[J]. 环境科学, 1987, 9(2): 22-26.
- [13] 颜启传, 胡伟民, 宋文坚. 种子活力测定的原理和方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [14] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [15] 何冰, 叶海波, 杨肖娥. 铅胁迫下不同生态型东南景天叶片抗氧化酶活性及叶绿素含量比较[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3): 274-278.
- [16] 王爱国, 邵从本, 罗广华. 丙二醛作为植物脂质过氧化指标的探讨[J]. 植物生理学通讯, 1986(2): 55-57.
- [17] 周林海, 王庆祥. NaCl 胁迫对甜、糯玉米幼苗生长及活性氧代谢的影响[J]. 玉米科学, 2011(19): 87-90, 95.

## Effect of $\text{LaCl}_3$ Solutions With Two pH Treatment on *Brassica campestris* Seed Germination and Seedling Growth Under Simulated Acid Rain Stress

ZHENG Lei, GUO Lu-lu, JIN Tao, ZHANG Meng-ya, XIA Li-qin, BIAN Cai-miao

(School of Life Sciences, Taizhou University, Jiaojiang, Zhejiang 318000)

**Abstract:** Taking 'Zheshuang 72' *Brassica campestris* as materials, the effect of  $\text{LaCl}_3$  solutions with two pH treatments on the seed germination and seedling growth of *Brassica campestris* were investigated under simulated acid rain stress (AR) of pH 3.5. The results showed that, under the  $\text{LaCl}_3$  treatment of pH 6.5, the positive effect were found in any of  $\text{LaCl}_3$  treatments. And *B. campestris* seed germination under  $10 \text{ mg/L}$   $\text{LaCl}_3$  treatment significantly improved compared with those in the single AR stress, and the seedling growth as well. However, under the  $\text{LaCl}_3$  treatment of pH 4.5, only the  $1 \text{ mg/L}$   $\text{LaCl}_3$  had positive effect, while  $5 \text{ mg/L}$  and  $10 \text{ mg/L}$   $\text{LaCl}_3$  had negative effect. Compared with the control treatment, *B. campestris* had lower seed germination and seedling growth, high POD activities and high MDA contents, which may be the reason that the accumulation of La and high toxicity of La under the low pH conditions. Results suggested that it was necessary to select an appropriate dosage and pH to make  $\text{LaCl}_3$  treatment had a positive effect.

**Key words:**  $\text{LaCl}_3$ ; pH; *Brassica campestris* L.; seed germination; seedling growth