

酸铝对荞麦根系形态和体内抗氧化系统的影响

朱 佳, 刘 鹏^{*}, 徐根娣, 张晓燕, 徐冬青, 应笑燕
(浙江师范大学植物学实验室, 浙江 金华 321004)

摘要: 以荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench.)为试验材料, 设置了不同铝浓度和 pH(铝浓度分别为 0, 50, 100, 150, 200 mg/L, pH 3, 4, 5)的培养条件, 研究了荞麦的根系形态和体内抗氧化系统的变化。结果表明: 在荞麦根系方面, 相同铝浓度处理时, 荞麦的根总长、根表面积、根平均直径、根体积随着酸性的增强而减小; 相同 pH 时, 它们随着铝浓度的升高先增加后减小, 在 50 和 100 mg/L 时达到最大。在荞麦抗氧化系统方面, 在相同铝浓度处理时, 随着酸性的增强, 荞麦体内的 MDA 和 Pro 含量逐渐增加, POD 活性则逐渐降低; 而 CAT 活性在 0, 50, 100 mg/L 时随着 pH 的升高而降低, 在 150 和 200 mg/L, pH 为 4 时 CAT 活性最大。相同 pH 时, 随着铝浓度的升高, MDA 和 Pro 含量先降低后增加, 在 50 mg/L 时达到最低, POD 先升高后降低; CAT 活性先减少后增加再减少, 在 100 mg/L 或 150 mg/L 时达到最大值。

关键词: 酸铝; 荞麦; 抗氧化系统; 根系形态

中图分类号: S512.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2006)07-0023-04

Effect of Acid-Al on Root Morphology and Antioxidant System of Buckwheat

ZHU Jia, LIU Peng^{*}, XU Gen-di, ZHANG Xiao-yan, XU Dong-qing, YING Xiao-yan
(Laboratory of Botany, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004 China)

Abstract: The root morphology and antioxidant system of buckwheat were studied with different solutions containing different concentrations of Al and pH (concentrations of Al^{3+} : 0, 50, 100, 150, 200 mg/L; pH: 3, 4, 5). The results showed as follows: root length, root surface area, root average diameter and root volume increased with solution acidity increment under the same aluminum concentration, and rose firstly then decreased with aluminum adding under the same pH with the greatest value at 50 or 100 mg/L of Al^{3+} . For buckwheat leaves, content of MDA (malonaldehyde) and Pro (proline) increased with the lowest value at 50 mg/L of Al^{3+} and POD (peroxidase) activity decreased with acidity rise at the same aluminum concentration; content of MDA and Pro decreased firstly then rose and POD (peroxidase) activity rose firstly then decreased with aluminum adding under the same pH.

Key words: Acid-Al; Buckwheat; Antioxidant system; Root morphology

铝是土壤含量最多的金属元素, 约占地壳总重量的 8%。在近中性的土壤中, 铝不会对植物造成伤害, 但在酸性环境中, 毒性较大的活性铝便会从

土壤中析出, 对植物造成危害, 酸性土壤中作物产量的下降和森林的毁灭都和铝毒害有直接关系^[1], 铝毒害已成为生长在酸性土壤中植物的主要限制因

收稿日期: 2006-03-14

基金项目: 国家自然科学基金(30540056); 浙江省自然科学基金(504135)资助项目

作者简介: 朱 佳(1984-), 女, 浙江海宁人, 主要从事植物生理生化和植物营养研究。

通讯作者: 刘 鹏(1965-), 男, 湖南冷水江人, 教授, 主要从事植物营养和生理生态方面的研究。

素^[2]。我国酸性土壤主要是红壤,其系列土壤遍及南方 15 个省区,总面积为 2 030 万 hm²,占全国土地总面积的 21%。近年来,随着酸雨的频繁发生以及农业生产中生理酸性肥料的大量施用,使得土壤的酸度进一步加剧,因此,了解铝对植物的毒害及研究植物的耐铝机理具有重要的理论和实际意义。

荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench.)属于蓼科(Polygonaceae)植物的荞麦属(*Fagopyrum*),是我国重要的粮食作物,也常作为酸性土壤上的改良植物,有很强的耐铝性^[3]。近年来,国内外有关酸铝对荞麦的研究逐渐增加,但有关不同 pH 和不同铝处理对荞麦根系形态和抗逆性的研究报道较少。本试验以不同铝和 pH 值相结合的方式对荞麦进行沙培处理,观察酸铝胁迫对荞麦根系形态和体内抗氧化系统的影响,为铝对植物生长影响的研究提供理论依据,并为酸性土壤中农作物产量的提高以及荞麦在酸性红壤地区进一步推广提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料:供试荞麦品种为内蒙古小白花;供试铝肥:硫酸铝[分子式:Al₂(SO₄)₃·18H₂O],为分析纯。

1.2 试验设计

采用沙培法,设置不同铝浓度和不同 pH 条件(Al³⁺分别为:0, 50, 100, 150, 200mg/L, pH:3, 4, 5)的铝溶液进行铝处理。共 15 个处理: T₁(0 Al³⁺, pH 3), T₂(50 mg/L Al³⁺, pH 3), T₃(100 mg/L Al³⁺, pH 3), T₄(150 mg/L Al³⁺, pH 3), T₅(200 mg/L Al³⁺, pH 3), T₆(0 Al³⁺, pH 4), T₇(50 mg/L

Al³⁺, pH 4), T₈(100 mg/L Al³⁺, pH 4), T₉(150 mg/L Al³⁺, pH 4), T₁₀(200 mg/L Al³⁺, pH 4), T₁₁(0 Al³⁺, pH 5), T₁₂(50 mg/L Al³⁺, pH 5), T₁₃(100 mg/L Al³⁺, pH 5), T₁₄(150 mg/L Al³⁺, pH 5), T₁₅(200 mg/L Al³⁺, pH 5)。培养 20d 后测定其叶片生理指标:丙二醛(MDA),游离脯氨酸(Pro),过氧化物酶(POD),过氧化氢酶(CAT),同时进行根系分析。

1.3 测定方法

根系总长度、根投影面积、表面积和体积采用 STD1200P 根系分析仪测定;MDA 含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法,用 μmol/g(鲜重)表示^[4];Pro 含量的测定采用酸性茚三酮法^[5],用 μg/g(鲜重)表示;POD 活性采用愈创木酚法,ΔA470/(min·g)(鲜重)表示^[4];CAT 活性采用硫代硫酸钠滴定法,以 1 min 变化酶解 1 mg H₂O₂ 为 1 个活力单位,用 U/g(鲜重)表示^[6]。

2 结果与分析

2.1 酸铝对荞麦根系形态的影响

从表 1 可以看出,在相同 pH 时,随着铝浓度的升高,荞麦的根总长、根表面积、根平均直径、根体积先升高后降低,根平均直径和根体积都在铝浓度为 50 mg/L (T₂, T₇, T₁₂)时达到最大值。当 pH 为 3 和 4 时,根总长和根表面积在铝浓度为 100 mg/L (T₃ 和 T₈)时达到最大值;当 pH 为 5 时,在铝浓度为 150 mg/L (T₁₄)时达到最大值。在相同铝浓度下,荞麦的根总长、根表面积、根平均直径、根体积基本随着 pH 的升高而升高。

表 1 酸铝对荞麦根系的影响

处理	根总长(cm)	根表面积(cm ²)	根平均直径(mm)	根体积(cm ³)
T ₁	23.96(±2.504)	4.086(±0.5934)	0.5130(±0.0458)	0.0547(±0.0061)
T ₂	29.19(±4.383)	4.911(±0.5919)	0.5521(±0.0540)	0.0610(±0.0071)
T ₃	32.72(±0.487)	5.339(±0.1696)	0.4726(±0.0180)	0.0545(±0.0049)
T ₄	25.83(±2.304)	3.686(±0.3569)	0.4782(±0.0265)	0.0490(±0.0046)
T ₅	18.61(±2.122)	3.503(±0.4719)	0.4423(±0.0136)	0.0357(±0.0057)
T ₆	26.76(±5.255)	4.595(±0.6069)	0.5596(±0.0508)	0.0620(±0.0054)
T ₇	33.14(±1.608)	5.469(±0.6413)	0.5843(±0.0356)	0.0723(±0.0693)
T ₈	37.33(±6.404)	5.699(±0.4809)	0.4841(±0.0214)	0.0693(±0.0072)
T ₉	28.60(±4.305)	5.082(±0.2595)	0.4329(±0.0451)	0.0577(±0.0023)
T ₁₀	22.96(±1.913)	4.142(±0.6065)	0.4461(±0.0267)	0.0523(±0.0014)
T ₁₁	28.71(±2.395)	4.935(±0.5666)	0.5369(±0.0213)	0.0690(±0.0045)
T ₁₂	32.46(±5.498)	4.949(±0.3989)	0.5577(±0.0593)	0.0805(±0.0060)
T ₁₃	35.81(±5.085)	5.496(±0.5319)	0.5264(±0.0554)	0.0745(±0.0091)
T ₁₄	37.77(±2.628)	5.904(±0.6081)	0.4991(±0.0174)	0.0633(±0.0049)
T ₁₅	25.84(±2.514)	4.620(±0.5660)	0.4833(±0.0374)	0.0573(±0.0061)

2.2 酸铝对荞麦 MDA 含量的影响

植物在逆境胁迫或衰老过程中, 植物细胞原生质膜中的不饱和脂肪酸发生过氧化作用产生 MDA, 使质膜系统受到伤害, 其选择透性降低, 细胞内电解质外渗量增加, 因而 MDA 含量可反映膜脂过氧化作用的强弱^[7]。从图 1 可以看出, pH 3, 4 时, 50 mg/L 铝处理的荞麦的 MDA 含量较 0 处理的降低, 其中 pH 4 时, 50 mg/L 的 MDA 下降更明显, 降低了 12.76%; 而后 MDA 含量随着铝浓度的升高而升高, 当铝处理为 200 mg/L 时, MDA 含量最高, T₅ (200 mg/L Al³⁺, pH 3) 较 T₁ (0 Al³⁺, pH 3) 升高 56.77%, T₁₀ (200 mg/L Al³⁺, pH 4) 较 T₆ (0 Al³⁺, pH 4) 升高 20.24%, T₁₅ (200 mg/L Al³⁺, pH 5) 较 T₁₁ (0 Al³⁺, pH 5) 升高 36.06%。而 pH 5 时, 100 mg/L Al³⁺ 处理的 MDA 含量最低, 较 T₁₁ (0 Al³⁺, pH 5) 处理的 MDA 降低 25.06%。同浓度铝处理的荞麦, 随着 pH 的升高, MDA 含量下降。综上所述, T₅ (200 mg/L Al³⁺, pH 3) 处理荞麦的 MDA 含量最高, T₁₃ (100 mg/L Al³⁺, pH 5) 处理荞麦的 MDA 含量最低。

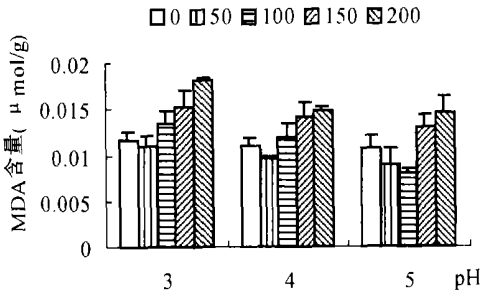


图 1 酸铝对荞麦叶片 MDA 含量的影响

2.3 酸铝对荞麦 Pro 的影响

植物体内的 Pro 可降低细胞渗透压, 维持压力势, 保持和稳定大分子物质, 参与叶绿素的合成, 维持细胞膜的正常功能, 故植物在逆境胁迫下体内的 Pro 会大量积累^[8]。从图 2 可看出, 相同 pH 时, 当铝处理为 50 mg/L 时, 荞麦体内的 Pro 含量最低, 其中 T₇ (50 mg/L Al³⁺, pH 4) 较 T₆ (0 Al³⁺, pH 4) 降低最多, 下降了 38.88%; 而后荞麦体内的 Pro 含量随着铝浓度的升高而升高, T₅ (200 mg/L Al³⁺, pH 3) 较 T₁ (0 Al³⁺, pH 3) 升高 91.78%, T₁₀ (200 mg/L Al³⁺, pH 4) 较 T₆ (0 Al³⁺, pH 4) 升高 172.47%, T₁₅ (200 mg/L Al³⁺, pH 5) 较 T₁₁ (0 Al³⁺, pH 5) 升高 226.70%。同浓度的铝处理, 荞麦体内的 Pro 含量随着 pH 的升高而降低。因此, T₅ (200 mg/L Al³⁺,

pH 3) 处理荞麦体内的 Pro 含量最高, T₁₂ (50 mg/L Al³⁺, pH 5) 处理荞麦的 Pro 含量最低。

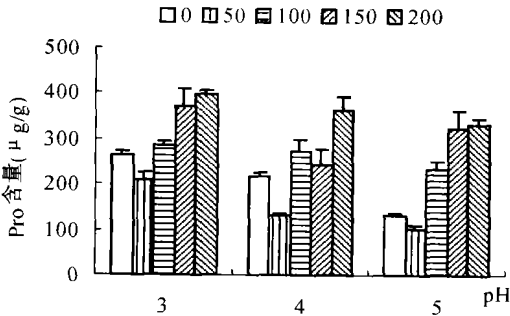


图 2 酸铝对荞麦叶片 Pro 的影响

2.4 酸铝对荞麦 CAT 和 POD 活性的影响

CAT、POD 和 SOD 一样都是植物体内保护系统中的重要酶, 在植物抗逆境胁迫中有着重要的作用。当植物处于逆境时, CAT、POD、SOD 等通过协调作用, 能有效地消除过氧化所产生的活性氧化物, 防御植物细胞膜过氧化, 降低植物细胞受伤害的程度^[6]。从图 3 可以看出, 相同 pH, 随着铝浓度的升高, 荞麦体内的 CAT 活性先降低后升高, 然后再降低。其中 pH 3 时, 150 mg/L 和 200 mg/L Al³⁺ 处理的 CAT 活性较 0 处理低, 200 mg/L Al³⁺ 处理的 CAT 活性最低, 较 T₁ 下降 24.48%; 而 pH 4, 5 时, 150 mg/L 和 200 mg/L Al³⁺ 处理的 CAT 活性较 0 处理高, 50 mg/L 铝处理的 CAT 活性最低, T₇ 较 T₆ 下降 27.21%, T₁₂ 较 T₁₁ 下降 28.68%。相同铝浓度处理, 在 0, 50, 100 mg/L 时, CAT 活性随着 pH 的升高而降低; 在 150 和 200 mg/L 时, pH 为 4 时, CAT 活性最大。从图 4 可以看出, 相同 pH, 随着铝浓度的升高, 荞麦体内的 POD 活性先升高后降低, 50 mg/L Al³⁺ 处理时 POD 活性达到最高, T₂ 较 T₁ 增加 14.80%, T₇ 较 T₆ 增加 21.84%, T₁₂ 较 T₁₁ 增加 33.84%; 200 mg/L Al³⁺ 处理时, POD 活性最低,

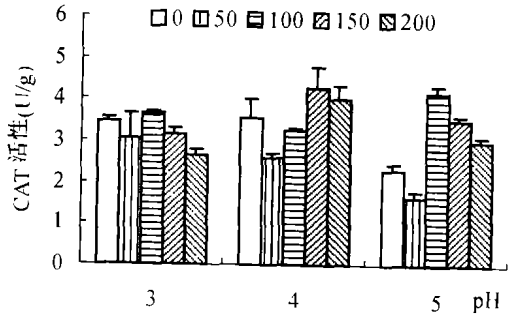


图 3 酸铝对荞麦叶片 CAT 活性的影响

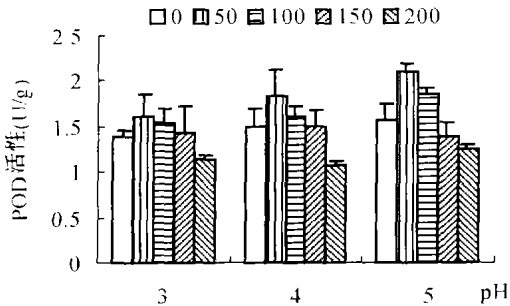


图 4 酸铝对荞麦叶片 POD 活性的影响

T₅ 较 T₁ 降低 18.15%，T₁₀ 较 T₆ 降低 39.22%，T₁₅ 较 T₁₁ 降低 19.90%。相同铝浓度处理，POD 活性基本随着 pH 的升高而增强，其中 50 mg/L 时，T₁₂ 较 T₂ 升高 30.98%。

3 小结和讨论

通常情况下，铝是一种低毒、非必需性的元素，高浓度铝处理对植物有毒害作用，而低浓度铝处理对植物有促进作用已得到很多试验的论证^[9, 10]。目前，多数研究主要集中在不同浓度的铝对植物的影响，结合 pH 条件的比较少，而铝的形态和毒害方式与 pH 密切相关，因而，结合二者进行研究，更有利于探索酸铝对植物影响机理的研究。我们通过铝浓度和 pH 相结合对荞麦处理的研究显示，相同铝浓度处理时，随着酸性的增强，荞麦体内的 MDA 和 Pro 含量逐渐增加。相同 pH 时，随着铝浓度的升高，MDA 和 Pro 含量先降低后增加，在 50 mg/L Al³⁺ 时达到最低，在 200 mg/L Al³⁺ 时最高。这说明酸性增强，将强化铝的毒害作用，而铝的浓度升高，对植物的酸毒也增加，且铝浓度和酸性的共同增强，对荞麦产生的胁迫更大。由此可见，在生产中，提高 pH 是降低铝害的一个重要措施。

一般植物的总根长越长，根平均直径越大，则根表面积和根体积也越大，说明植物长得越好。从我们的试验可以看出，荞麦的总根长、根表面积、根平均直径和根体积都随着 pH 的降低而降低；随着铝浓度的升高，先升高后降低。它们总的变化趋势与荞麦体内的 MDA 和 Pro 含量基本呈相关性，其中根表面积与 MDA 的相关系数为 -0.5932 (n=15)，达到显著水平；根平均直径与 MDA 和 Pro 的相关系数分别为 -0.8326 (n=15)，-0.7912 (n=15)，均达到极显著水平；根体积与 MDA 和 Pro 的相关系数分别达 -0.9134 (n=15)，-0.8173 (n=15)，均达到极显著水平。这就进一步说明，酸性增强对荞麦根系形态以致其生长产生抑制作用，当铝浓度

超过 50 mg/L 后，随着铝浓度的升高，荞麦受到的胁迫也增强，在我们的试验中 50 mg/L 的铝浓度对荞麦生长最有利。

虽然铝不是植物的必需元素，但我们的试验结果表明，低水平的铝对植物的生长有促进作用。荞麦的总根长、根表面积、根平均直径和根体积在铝为 50 mg/L 或 100 mg/L 时最好。荞麦体内的 MDA 含量，当 pH 为 3 和 4 时，在铝浓度为 50 mg/L 时最小；当 pH 为 5 时，在铝浓度为 100 mg/L 时最小。而 Pro 含量则都在铝浓度为 50 mg/L 时最小。POD 和 CAT 作为清除植物体内活性氧的主要酶类，虽然在低铝时变化趋势不太一致，但当铝浓度超过 100 mg/L 时，POD 和 CAT 的活性都随着铝浓度的升高而降低。上述结果与铝对大豆影响的结果相一致^[10, 11]。

参考文献:

[1] Von Uexkull H R, Mutert E. Global extent development and economic of acid soils [J]. Plant Soil, 1995, 1: 1—15.

[2] Foy C D, Chaney R L, White M C. The physiology of metal toxicity in plants [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1978, 29: 511—566.

[3] Ma J F, Hiradate S. Form of aluminum for up take and translocation in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) [J]. Planta, 2000, 211: 355—360.

[4] 汤章城. 现代植物生理学实验指南 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.

[5] 白宝璋, 汤学军. 植物生理学测试技术 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 73—157.

[6] 刘鹏, 徐根娣, 姜雪梅, 等. 铝对大豆幼苗膜脂过氧化和体内保护系统的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2004, 23 (1): 51—54.

[7] 刘鹏, 杨玉爱. 铝、硼对大豆叶片膜脂过氧化及体内保护系统的影响 [J]. 植物学报, 2000, 42(5): 461—466.

[8] 张美云, 钱吉, 郑师章. 渗透胁迫下野生大豆游离脯氨酸和可溶性糖的变化 [J]. 复旦学报(自然科学版), 2001, 40(5): 558—561.

[9] 李朝苏, 刘鹏, 徐根娣, 等. 酸铝浸种对荞麦种子萌发的影响 [J]. 种子, 2004, 23(12): 8—11.

[10] 刘鹏, 徐根娣, 姜雪梅, 等. 铝对大豆种子萌发的影响 [J]. 种子, 2003(1): 30—31.

[11] 刘鹏, YS, 徐根娣, 等. 铝毒对大豆根系形态和生理的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(4): 49—54.