

铝对小麦根细胞质膜 ATP 酶活性和膜脂组成的影响

何龙飞^{1, 2}, 刘友良¹, 沈振国¹, 王爱勤²

(¹南京农业大学农学系, 南京 210095; ²广西大学农学院, 南宁 530005)

摘要: 铝胁迫下, 耐铝性不同的两个小麦品种(Altas 66, 耐铝; Scout 66, 铝敏感)根细胞质膜 H⁺-ATP 酶或 Ca²⁺-ATP 酶活性变化趋势相似。20 μm ol/L 和 100 μm ol/L 铝处理 5 d, 质膜 Ca²⁺-ATP 酶活性明显下降; H⁺-ATP 酶活性在 20 μm ol/L 铝处理时上升, 100 μm ol/L 铝时下降。质膜磷脂含量下降, 糖脂含量上升, 但铝敏感的 Scout 66 磷脂/糖脂比值下降较耐铝的 Altas 66 显著。20 和 100 μm ol/L 铝处理后, Scout 66 的亚麻酸含量和脂肪酸不饱和指数明显下降, Altas 66 的脂肪酸不饱和指数则稍有上升。

关键词: 小麦; 根系; 细胞质; 酶; 铝胁迫; H⁺-ATP 酶; Ca²⁺-ATP 酶

中图分类号: S512.101; Q945 文献标识码: A 文章编号: 0578-1752(2001)-05-0526-06

Effects of Aluminum on ATPase Activity and Lipid Composition of Plasma Membranes of Wheat Roots

HE Long-fei^{1, 2}, LIU You-liang¹, SHEN Zhen-guo¹, WANG Ai-qin²

(¹ Department of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;

² College of Agronomy, Guangxi University, Nanning 530005)

Abstract: The effects of aluminum on ATPase activity and lipid composition of the plasma membranes isolated from root tips of Al-tolerant (Altas 66) or Al-sensitive (Scout 66) cultivar of *Triticum aestivum* L. were studied. The results showed that the similar changes in H⁺-ATPase or Ca²⁺-ATPase activities between two cultivars after aluminum stress. Exposure of both cultivars to 20 and 100 μm ol/L aluminum for 5d significantly decreased the activities of Ca²⁺-ATPase of plasma membranes. The activities of H⁺-ATPase of plasma membrane from both wheat cultivars increased in response to 20 μm ol/L aluminum and decreased to 100 μm ol/L aluminum. With aluminum treatment, the phospholipid contents of plasma membrane of Altas 66 and Scout 66 decreased, the galactolipid contents increased, and the ratios of phospholipid to galactolipid decreased more distinctly in Scout 66 than that in Altas 66. The treatments at 20 and 100 μm ol/L aluminum decreased distinctly the content of linolenic acid and the index of unsaturation of fatty acids in Scout 66, but increased slightly the index of unsaturation of fatty acids in Altas 66. The results showed the physiological cause of a good aluminum tolerance in Altas 66 than in Scout 66.

Key words: Wheat; Root system; Cytoplasm; Aluminum stress; Enzymes; H⁺-ATPase; Ca²⁺-ATPase

铝毒害是酸性土壤上作物生长的主要限制因素,也是森林大面积退化的主要原因。已有报告指出铝胁迫影响质膜的结构和功能,但结果并不一致。伍丙华^[1]报告铝能刺激茶树根细胞质膜 H⁺-ATPase

活性,而 Facahan 等^[2]报告铝对玉米根质膜 H⁺-ATPase 活性起抑制作用。铝对质膜 Ca²⁺-ATPase 活性的影响则缺少研究。铝还影响质膜膜脂种类和含量^[3, 4],改变膜流动性^[4],但在这些研究中,存在

收稿日期: 2000-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070448)

作者简介: 何龙飞(1967-),男,广西北流人,副教授,博士,主要从事植物抗性生理和植物基因工程育种工作。Tel: 0771-3235212;

E-mail: lfhe@gxu.edu.cn

pH 过高或使用全根^[3]或无法肯定结果所反映的是质膜、内质网、液泡, 还是其它内膜的变化^[4,5]等问题。因此, 有必要深入研究铝胁迫下根细胞质膜 ATP 酶活性、膜脂和脂肪酸组成的变化。

1 材料与方 法

1.1 幼苗培养

幼苗培养采用何龙飞等的方法进行^[6]。小麦品种 (*Triticum aestivum* L.) 为 Altas 66 (耐铝) 和 Scout 66 (铝敏感), 日本冈山大学赠送。种子经消毒、催芽后, 进行溶液培养。每 2~3 d 更换一次培养液。幼苗长至一叶一心, 用 0, 20, 100 $\mu\text{mol/L}$ 处理 5d, 每天调节 pH 至 4.1。

1.2 质膜微囊提取

取处理 5 d 的小麦根尖 (1 cm 左右) 约 10 g, 加入 2 倍 (w/v) 体积预冷的研磨缓冲液: Hepes(N-2-羟乙基哌嗪-N-2-乙磺酸)-Tris 25 mmol/L, pH 7.6, 甘露醇 250 mmol/L, EGTA [乙二胺双(α -氨基乙基)醚四乙酸] 5 mmol/L, EDTA (乙二胺四乙酸) 5 mmol/L, KCl 10 mmol/L, PMSF (苯甲基磺酰氯) 2 mmol/L, PVP (聚乙烯吡咯啉酮) 1.5%, BSA 0.5%, BHT (2, 6-二叔丁基对甲酚) 5 $\mu\text{g/L}$, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 5 mmol/L, DTT (二巯基苏糖醇) 1 mmol/L (用前加入), 在 0~4 $^{\circ}\text{C}$ 下研磨。匀浆经 2 层纱布过滤, 560 \times g 离心 12 min, 上清液在 10000 \times g 离心 15 min 后, 再经 60000 \times g 离心 30 min, 沉淀悬浮于 1 ml 悬浮缓冲液 [Hepes-Tris 2.5 mmol/L, pH 7.6, 甘露醇 250 mmol/L, EDTA 1 mmol/L, DTT 1 mmol/L] 中, 置于不连续蔗糖梯度 [含 45%, 36% 和 22% (w/v) 蔗糖溶液], 经 70000 \times g 离心 2 h。取 36% 和 45% 间带, 再加入悬浮液, 经 80000 \times g, 离心 40 min, 弃上清, 沉淀重新悬浮, 即得质膜微囊。

1.3 质膜 ATP 酶活性测定

按郝鲁宁和余叔文的方法^[7]测定 H^+ -ATP 酶和 Ca^{2+} -ATP 酶活性。 H^+ -ATP 酶反应体系含 Tris-MES (2-N-吗啡啉乙磺酸) (pH 6.5) 36 mmol/L, MgSO_4 3 mmol/L, NaN_3 1 mmol/L, NaNO_3 1 mmol/L, 1 mmol/L 钼酸铵, 0.02% (v/v) 的 Triton X-100, 膜蛋白 10~20 mg, 用 50 μl 30 mmol/L 的 ATP-tris pH 6.5 启动反应, 37 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 30 min, 用 55% TCA 50 μl 终止反应。按 Ohnishi 等 (1975) 方法测定释放的无机磷量。酶活性单位为 $\mu\text{mol Pi mg}^{-1}\text{protein h}^{-1}$ 。

Ca^{2+} -ATP 酶活性测定的反应体系含蔗糖 250

mmol/L, Hepes-Tris (pH 7.5) 30 mmol/L, NaN_3 1 mmol/L, 0.1 mmol/L 钼酸铵, EDTA- Na_2 0.1 mmol/L, 0.02% (v/v) 的 Triton X-100, 膜蛋白 10~20 μg , 加与不加 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 3 mmol/L 引起的酶活性之差为 Ca^{2+} -ATP 酶活性, 反应启动用 50 μl 30 mmol/L 的 ATP-tris pH 7.5, 其后步骤同 H^+ -ATP 酶活性测定。

1.4 质子转运活性的测定

采用喹吡因荧光猝灭法。以荧光猝灭的初速率 [$\%(\text{Q})\text{mg}^{-1}\text{protein min}^{-1}$, Q 指荧光猝灭] 来表示质子转运活性。反应体系为 36 mmol/L Tris-MES (pH 6.5), 250 mmol/L 山梨醇, MgSO_4 3 mmol/L, KNO_3 100 mmol/L, NaNO_3 1 mmol/L, 2.5 mmol/L 的喹吡因。以 ATP-Tris (pH 6.5) 3 mmol/L 启动反应。使用 Hitachi 850 荧光分光光度计, 激发光波长 423 nm, 发射光波长 500 nm。

1.5 极性脂提取和测定

采用 Brown 等^[8]方法提取质膜极性脂。磷脂测定结合苏维埃等^[9]和胡章立等^[10]的方法。糖脂结合半乳糖测定按 Roughan 和 Butt 方法^[11]。

1.6 膜脂肪酸组分测定

据刁丰秋等的方法进行测定^[12]。

1.7 膜蛋白含量测定

据 Bradford 法, 以牛血清白蛋白为标准。

2 结果与分析

2.1 根伸长生长

与对照相比, 在 20 $\mu\text{mol/L}$ AlCl_3 处理 5 d 后, Scout 66 根表现出明显的根尖肿胀, 根毛区萎缩, 侧根生长受抑制的毒害症状, 根伸长受抑制 42%, 表现出极显著差异, 而 Altas 66 根外形没有变化, 根伸长受抑制不到 8%, 没有显著差异; 100 $\mu\text{mol/L}$ AlCl_3 处理 5 d 后, Scout 66 根受害程度加剧, 根伸长受抑制 80%, 而 Altas 66 根伸长受抑制 49%, 差异极显著。进一步比较铝处理前后两品种间根长度的差异, 发现两品种对铝的抗性存在极显著差异 (图 1)。

2.2 铝对质膜 H^+ -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 活力和质子转运活力的影响

用 20 $\mu\text{mol/L}$ 的铝处理 5 d, 二品种根系质膜 H^+ -ATPase 受到刺激, 酶活力增加, Altas 66 比 Scout 66 增加更显著, 两者之间存在极显著差异。100 $\mu\text{mol/L}$ 的铝处理时, Altas 66 酶活力仍然比对照高 37%, 而 Scout 66 酶活力迅速下降, 比对照低 60% (图 2)。方差分析表明, 与对照相比, 两品种质

膜 H^+ -ATPase 活力变化均达到极显著差异。

图 3 表明, 铝处理 5 d, Altas 66 和 Scout 66 的 Ca^{2+} -ATPase 活力迅速下降, 随铝浓度增加而进一步下降。其中 Altas 66 的 Ca^{2+} -ATPase 活力下降更快些, 20 $\mu\text{mol/L}$ 铝处理时, 下降 63%, 而 Scout 66 为 57%; 100 $\mu\text{mol/L}$ 铝处理时, Altas 66 下降 77%, Scout 66 为 73%。在两品种以及不同铝浓度处理之间酶活力变化存在极显著差异。

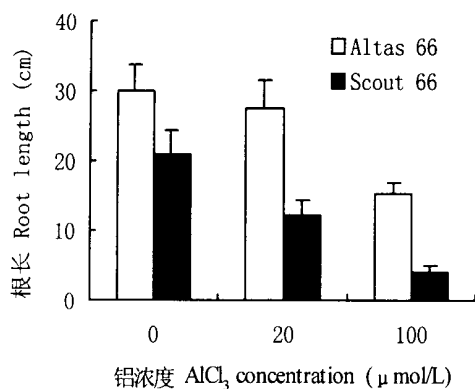


图 1 铝对小麦幼苗根系生长的影响

Fig. 1 Effect of Al on root growth of wheat seedlings

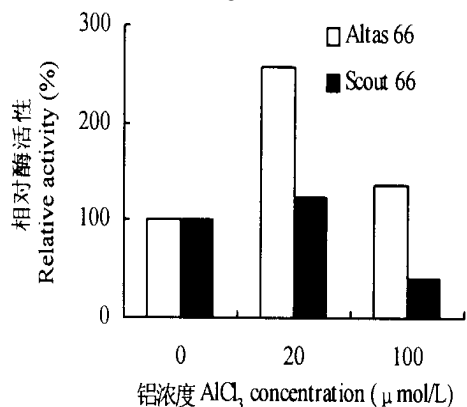


图 2 铝对小麦根系质膜 H^+ -ATP 酶活力的影响

Fig. 2 Effect of Al on H^+ -ATPase activity of plasma membranes from wheat roots

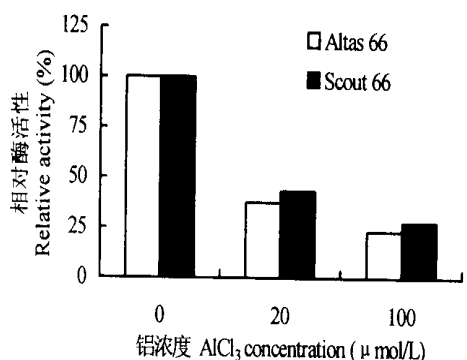


图 3 铝对小麦根系质膜 Ca^{2+} -ATP 酶活力的影响

Fig. 3 Effect of Al on Ca^{2+} -ATPase activity of plasma membranes from wheat roots

质膜微囊制剂由 ATP 驱动产生质子转运, 表现出质子转运活性, 形成跨膜质子梯度。由表 1 可见在 20 $\mu\text{mol/L}$ 的铝处理时, 两品种跨质膜质子转运活性增加; 100 $\mu\text{mol/L}$ 的铝处理时, Altas 66 的跨质膜质子转运活性仍高于对照, Scout 66 的跨质膜质子转运活性则低于对照。这些变化与上述质膜的 H^+ -ATPase 活力变化趋势相似, 推测跨质膜质子转运与 H^+ -ATPase 活性密切相关。

表 1 铝对两小麦品种质膜微囊质子转运活力的影响

品种 Cultivars	质子泵活性 H^+ -pump activity ($\% Q \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)		
	铝浓度 Al concentration ($\mu\text{mol/L}$)		
	0	20	100
Altas 66	12.36	58.26	40.83
Scout 66	5.24	5.94	1.19

2.3 铝胁迫下小麦根细胞质膜磷脂和糖脂含量变化

铝胁迫下, 两品种根细胞质膜磷脂含量下降, 高浓度铝处理更为明显。与对照相比, 20 $\mu\text{mol/L}$ 的铝处理后, Altas 66 和 Scout 66 磷脂含量分别下降 3.4% 和 17.2%; 100 $\mu\text{mol/L}$ 时, 则分别下降 12.5% 和 19.6% (图 4)。可见铝敏感品种 Scout 66 磷脂含量下降速度更快。方差分析表明, 两品种磷脂含量没有显著差异, Altas 66 在 20 $\mu\text{mol/L}$ 铝处理浓度下磷脂含量变化也没有显著差异, 但 Scout 66 在铝处理后磷脂含量变化均差异显著。两品种根细胞质膜糖脂含量差异显著, Scout 66 糖脂含量明显低于 Altas 66。与对照相比, 20 $\mu\text{mol/L}$ 的铝处理后, 两品种的糖脂含量没有明显差别; 100 $\mu\text{mol/L}$ 的铝处理后, 两品种糖脂含量显著上升, Altas 66 和 Scout 66 分别为其对照的 1.85 倍和 2.20 倍 (图 5)。对于质膜磷脂: 糖脂的比值而言, Scout 66 均高于 Altas 66, 但铝处理后, Scout 66 的磷脂: 糖脂比值变化明显, 其下降速度明显快于 Altas 66。

2.4 铝胁迫对小麦根细胞质膜膜脂脂肪酸组分的影响

两品种根质膜膜脂脂肪酸主要有棕榈酸 (16: 0)、亚油酸 (18: 2)、亚麻酸 (18: 3) 组成, 三者占总脂肪酸 90% 以上, 硬脂酸 (18: 0) 含量较低。对照条件下, 耐铝的 Altas 66 脂肪酸不饱和指数明显低于铝敏感的 Scout 66。铝胁迫下, 尽管 Scout 66 亚油酸含量有所增加, 但亚麻酸含量下降, 棕榈酸含量提高明显, 因此, 脂肪酸不饱和指数下降。Altas 66

亚麻酸含量变化很小, 棕榈酸含量略有下降, 脂肪酸

不饱和指数稍有升高(表 2)。

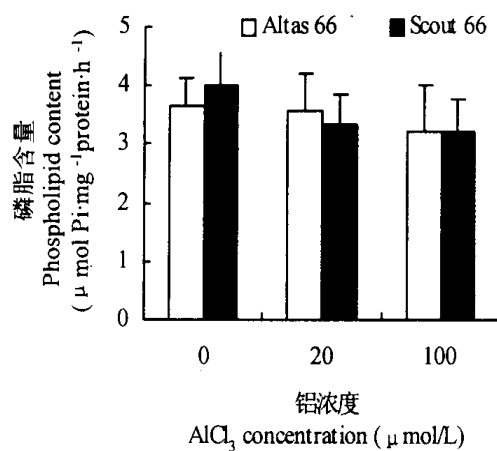


图 4 铝对小麦根系质膜磷脂含量的影响

Fig. 4 Effect of Al on the phospholipid content of plasma membranes from wheat roots

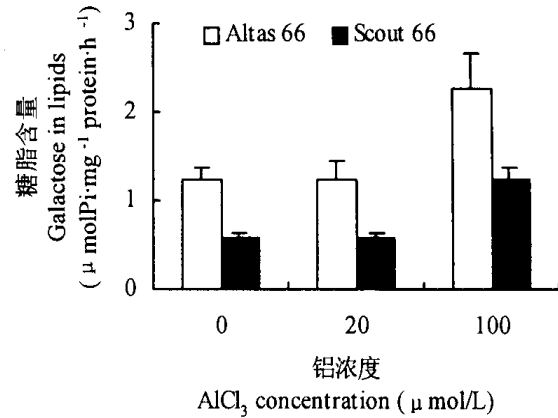


图 5 铝对小麦根系质膜糖脂含量的影响

Fig. 5 Effect of Al on the galactolipid content of plasma membranes from wheat roots

表 2 铝胁迫对两小麦品种根细胞质膜膜脂脂肪酸组分的影响(mol%)

Table 2 Effect of Al stress on the fatty acid composition of plasma membranes in roots from both cultivars

品种 Cultivars	铝浓度 Al concentration (μmol/L)	脂肪酸 ¹⁾ Fatty acid						
		棕榈酸 (16: 0) Palmitic acid	硬脂酸 (18: 0) Stearic acid	油酸 (18: 1) Oleic acid	亚油酸 (18: 2) Linoleic acid	亚麻酸 (18: 3) Linolenic acid	不饱和指数 IUFA	双键指数 DBI
Altas 66	0	30.61	1.47	5.31	40.50	22.12	152.67	4.76
	20	29.93	0.93	4.66	42.31	22.18	155.82	5.05
	100	28.80	2.24	5.37	41.64	21.96	154.53	4.98
Scout66	0	26.35	0.98	4.14	30.26	38.26	179.44	6.56
	20	29.80	0.69	3.92	43.07	22.52	157.62	5.17
	100	33.33	1.83	5.53	41.49	17.82	141.97	4.04

¹⁾ 不饱和指数 = 1 × 油酸组分比例 + 2 × 亚油酸组分比例 + 3 × 亚麻酸组分比例; 双键指数 = 指数 = (棕榈酸组分比例 + 硬脂酸组分比例)

IUFA = 1 × % oleic acid + 2 × % linoleic acid + 3 × % linolenic acid; DBI = IUFA / (% palmitic acid + % stearic acid)

3 讨论

3.1 铝胁迫下质膜 ATP 酶活性的变化

质膜上的 H⁺-ATP 酶有高等植物生命活动主宰酶之称, 其推动 H⁺ 跨膜运输, 从而建立跨膜电势梯度, 提供质子驱动力, 因而它在维持胞质内 pH 和物质运输等过程中起重要作用。而质膜 Ca²⁺-ATP 酶则利用 ATP 直接推动 Ca²⁺ 运输, 维持胞质的低 Ca²⁺ 浓度。我们的结果表明, 较低铝浓度(20 μmol/L)时, 两品种质膜 H⁺-ATPase 活力上升, 但敏感品种 Scout 66 增加较少, 可能是逆境诱导 H⁺-ATPase 基因表达差异的结果。H⁺-ATPase 活性增加有利于加强胞内 H⁺ 外排的能力, 以便在液泡膜 H⁺-ATPase 活性下降导致胞质 H⁺ 增加的情况下,

维持胞质 pH 的稳定, 保持细胞壁酸化^[6]。高铝浓度(100 μmol/L)下, Scout 66 的 H⁺-ATPase 活力受到严重抑制, Altas 66 的 H⁺-ATPase 活力虽仍比对照高, 但调节胞质 pH 的能力已大为减弱。然而, 根的伸长是细胞分裂和伸长共同作用的结果, 由于铝直接影响细胞骨架, 导致微管和纤丝刚性增加^[13], 而显著抑制细胞有丝分裂^[14]。因此, 尽管 H⁺-ATPase 活力上升, 保持细胞壁酸化环境, 但根伸长仍然受抑制。铝对质膜 Ca²⁺-ATPase 活力的影响还未见有报告。结果表明, 铝处理后小麦根系质膜 Ca²⁺-ATPase 活力下降, 且随铝处理浓度增加而加快(图 3)。质膜 Ca²⁺-ATPase 活力下降可减少胞质 Ca²⁺ 跨质膜外运, 缓解由于 Al³⁺ 阻塞质膜 Ca²⁺ 通道造成的胞内 Ca²⁺ 浓度降低^[14]。这与铝胁迫下, 两品种液泡

膜 Ca^{2+} -ATPase 活力下降,减少从胞质 Ca^{2+} 向液泡内运输^[6],共同作用以维持胞质 Ca^{2+} 稳态是一致的。铝处理后 Altas 66 的 Ca^{2+} -ATPase 活力下降较 Scout 66 快,可能对这一缓解过程更为有利。

3.2 铝处理引起的膜脂组成变化与耐铝性

Jones 等认为质膜膜脂是铝毒害的最初部位^[15]。对总磷脂含量而言,Zhang 等(1996)发现铝处理 1 d,小麦根膜微囊脂类组成没有变化,而处理延长至 3 d,则磷脂含量下降,但不能肯定所反映的为何种类型膜^[4]。本文的结果表明,铝处理后,小麦根细胞质膜磷脂含量下降(图 4),糖脂含量上升(图 5),这和铝胁迫下液泡膜的脂类含量变化类似^[6]。铝胁迫引起磷脂含量下降的原因有膜脂过氧化、抑制 CDP(胞苷二磷酸)的合成^[3]和促进磷脂的降解^[4]等。由于只有在铝处理 24 h 或更长时间才能观察到膜脂过氧化现象,因此,脂质过氧化可能是磷脂含量下降的结果,而不是引起磷脂含量下降的原因。铝对 CDP 合成抑制^[3]和磷脂降解的直接作用^[4]还缺少证据。因此我们推测,铝处理后膜脂组成变化可能是一种间接效应,即铝胁迫导致钙缺乏,再进一步引起磷脂降解,降解产生的二脂酰甘油被用于糖脂的合成,结果两品种磷脂含量均下降,糖脂含量上升(图 4, 5)。Matsumoto 等报告了钙缺乏诱导磷脂含量下降^[16]。磷脂含量的下降必然会改变脂质环境^[3],减弱磷脂与 ATPase 的联系,从而导致 ATPase 活性下降^[16],同时还可能诱导更多的六角形 II 结构(H_{II}),增加质膜通透性,增加铝跨质膜进入胞质。20 $\mu\text{mol/L}$ 铝处理时,两品种根细胞质膜糖脂含量变化没有差异;100 $\mu\text{mol/L}$ 铝处理时,Altas 66 和 Scout 66 糖脂含量分别为其对照的 1.85 倍和 2.20 倍,而单半乳糖甘油二酯含量的升高,可促进质膜磷脂形成 H_{II} 结构。从上述分析来看,20 $\mu\text{mol/L}$ 铝处理时,Altas 66 根细胞质膜磷脂含量略有下降,但没有明显差异,在 100 $\mu\text{mol/L}$ 铝处理时才明显下降;但 Scout 66 在两种铝处理条件下,均显著下降。这些变化与铝胁迫下两品种根伸长变化相一致,由此可能与两品种在铝胁迫下反应差异相关。另外,磷脂:糖脂之比值变化与植物耐铝性关系可能更为密切。对照条件下,Scout 66 需要较高质膜磷脂:糖脂之比来维持细胞正常功能,Altas 66 则较低;铝胁迫后,Scout 66 质膜磷脂:糖脂之比下降迅速,受害严重,Altas 66 则下降较缓,受害程度相对较轻。

3.3 铝胁迫下膜脂肪酸组成变化与耐铝性

膜脂肪酸的不饱和指数与膜脂相变及流动性密

切相联系。铝胁迫下,两品种质膜脂肪酸不饱和度表现出不同变化(表 3),耐铝品种 Altas 66 膜脂不饱和指数稳定,并略有上升,而铝敏感品种 Scout 66 不饱和指数下降,流动性下降。这一结果表明,耐铝的 Altas 66 在铝胁迫下膜脂组成的稳定性明显高于铝敏感的 Scout 66。这和 Zel 等报道的铝增加耐铝真菌 *Lactarius piperatus* 的膜流动性,降低敏感真菌 *Amanita muscaria* 的膜流动性结果一致^[5]。Zhang 等^[4]也认为另一铝敏感小麦品种 Katepwa 在铝胁迫下流动性下降。铝可通过降低磷脂含量或与磷脂的磷酸二酯键含氧阴离子结合来影响膜脂肪酸含量和不饱和指数,从而影响膜流动性。

References:

- [1] Wu B H. Effect of aluminum on the calcium uptake by tea plants and on the ATPase activity [J]. China Tea, 1994, 16 (4): 8- 9. (in Chinese)
伍丙华. 铝对茶树根系钙吸收及 ATP 水解酶活性的影响[J]. 中国茶叶, 1994, 16(4): 8- 9.
- [2] Facahan A R, Meis L D. Inhibition of maize root H^{+} -ATPase by fluoride and fluoroaluminate complexes [J]. Plant Physiol. 1995, 108: 241- 246.
- [3] Lindberg S, Griffiths G. Aluminum effects on ATPase activity and lipid composition of plasma membranes in sugar beet roots [J]. J. Exp. Bot. 1993, 267: 1543- 1550.
- [4] Zhang G, et al. Aluminum-induced alterations in lipid composition of microsomal membranes from an aluminum-resistant and aluminum-sensitive cultivar of *Triticum aestivum* [J]. Physiol. Plant, 1996, 96: 683- 691.
- [5] Zel J, et al. Effect of aluminum on the membrane fluidity the mycorrhizal fungus *Amanita muscaria* [J]. Physiol. Plant, 1993, 89: 172- 176.
- [6] He L F, Shen Z G, Liu Y L. The responses of ATPase and PPase activities and lipid composition for tonoplast in roots of two wheat cultivars to aluminum stress [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1999, 25(4): 350- 356. (in Chinese)
何龙飞, 沈振国, 刘友良. 铝胁迫对小麦根系液泡膜 ATP 酶、焦磷酸酶活性和膜脂组成的效应 [J]. 植物生理学报, 1999, 25(4): 350- 356.
- [7] Hao L N, Yu S W. Characteristics of Ca^{2+} -ATPase and Ca^{2+} -translocation of barley root plasma membrane [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1993, 19 (2): 172- 180. (in Chinese)
郝鲁宁, 余叔文. 大麦根细胞质膜 Ca^{2+} -ATP 酶和 Ca^{2+} 转运系统的特性 [J]. 植物生理学报, 1993, 19(2): 172- 180.
- [8] Brown D J, Du Pont F M. Lipid composition of plasma membranes and endomembranes prepared from roots of barley (*Hordeum vulgare* L.) effect of salt [J]. Plant Physiol. 1989, 90: 955- 961.
- [9] Su W A, Wang W Y, Li J S. The method for analysis of plant lipids and their fatty acids [J]. Plant Physiol. Communication, 1983, 3: 54- 60. (in Chinese)
苏维埃, 王文英, 李锦树. 植物类脂及其脂肪酸的分析技术-TLC-GLC 技术 [J]. 植物生理学通讯, 1983, 3: 54- 60.
- [10] Hu Z L, Li L, Jing J H. The stimulative effect of water stress on the plasma membrane ATPase activity in growing zone of maize leaves [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1993, 19(2): 124- 130. (in Chinese)

- 胡章立, 李琳, 荆家海. 水分胁迫对玉米幼叶生长区细胞质膜 ATP 酶活性的影响[J]. 植物生理学报, 1993, 19(2): 124-130.
- [11] Roughan P G, Batt R D. Quantitative analysis of sulfolipids (sulfoquinovosyl diglyceride) and galactolipids (monogalactosyl and digalactosyl diglycerides) in plant tissues[J]. Anal. Biochem. 1968, 22: 74-88.
- [12] Diao F Q, Zhang W H, Liu Y L. Changes in composition and function of thylakoid membrane isolated from barley seedling leaves under salt stress[J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1997, 23(2): 105-110. (in Chinese)
- 刁丰秋, 章文华, 刘友良. 盐胁迫对大麦叶片类囊体膜组成和功能的影响[J]. 植物生理学报, 1997, 23(2): 105-110.
- [13] Grabski S, Schinder M. Aluminum induces rigor with the actin network of soybean cells[J]. Plant Physiol. 1995, 108: 897-901.
- [14] Rengel Z. Uptake of aluminum by plant cells[J]. New Phytol. 1996, 134: 389-406.
- [15] Jones D L, Kochian L V. Aluminum interaction with plasma membrane lipids and enzyme metal binding sites and its potential role in Al cytotoxicity[J]. FEBS Lett. 1997, 400: 51-57.
- [16] Matsumoto H, Chung G C. Repression of alectin dependent activation of partially lipid depleted ATPase prepared from the plasma membrane-enriched fraction of cucumber roots due to Ca²⁺ starvation[J]. Plant Cell Physiol. 1988, 29: 1279-1287.

• 书 讯 •

《作物改良理论与方法》一书出版

刘秉华研究员的专著《作物改良理论与方法》已由中国农业科技出版社正式出版。全书以作物非整倍体、细胞核雄性不育及其在遗传育种研究中的应用的总体论述为前导, 先后引入减数分裂、非整倍体、雄性不育、轮回选择、基因定位、等基因系、性状标记、分子标记、种质创新、育种方法、杂优利用和良种良法十二专题, 既包括深化传统育种方法的介绍, 又含有品种改良新策略的研究, 将作物遗传育种知识的广度与深度、实用性与新颖性有机地结合于一体, 构成一个比较完整而系统的知识体系。全书 32 万字, 图 50 幅, 文字精炼, 问题论述深入浅出, 图文并茂, 是作物育种工作者、农业院校有关专业师生必备的参考书。每本定价 32 元, 欲购者请直接与作者联系。

地址: 北京市中关村南大街 12 号中国农业科学院作物育种栽培研究所

邮编: 100081

电话: (010)68918628