

铝胁迫对辣椒培养液及叶片的影响

李贞霞, 林紫玉, 傅咏贤

(河南科技学院 园艺园林学院, 河南 新乡 453003)

摘 要:铝胁迫是酸化土壤植物生长障碍的主要因子,以“汴椒1号”辣椒为试材,设置4个不同铝浓度处理和2个对照,研究了铝胁迫对辣椒培养液、叶绿素含量及叶绿素荧光参数变化的影响,以期对辣椒铝胁迫机制提供参考。结果表明:在酸铝胁迫条件下,辣椒植株可以释放 OH^- ,显著提高营养液 pH,随铝处理浓度的增加,其 pH 增幅下降, OH^- 释放量下降;低浓度铝处理不影响叶绿素 a 的合成,但能影响叶绿素 b 的合成,铝浓度 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时叶绿素 a+b 含量及叶绿素 a/b 比值降低;叶绿素荧光参数显示 F_0 随铝浓度的升高而升高, F_m 随铝浓度的升高而降低, F_v/F_m 与 F_v/F_0 随铝处理浓度的增加而降低;该研究中,铝胁迫对辣椒植株地上部与地下部干质量的影响无差异显著性。

关键词:辣椒;铝胁迫;pH;叶绿素;叶绿素荧光参数

中图分类号:S 641.306⁺.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)01-0001-05

目前酸性土壤占全世界耕地土壤的 40%,在中国酸性土壤的分布遍及 14 个省区,约占全国耕地面积的 21%,近几十年来,各种人为活动大大加速了土壤酸化^[1-4]。铝毒是酸性土壤酸害的核心,土壤酸度的高低不仅影响土壤中铝的溶出量,还影响土壤溶液中铝离子的形态。随着 pH 降低,土壤溶液中毒性大的 Al^{3+} 占单核无机铝的比例增加,而毒性小的 Al-F 络合物呈相反变化趋势^[5]。铝毒害是酸性土壤中作物生长发育的一个主要限制因素^[6]。植物铝毒害的反应首先表现在对根系上,根系最先在形态和生理特征上对铝胁迫发出反应^[7-8]。在酸铝条件下植物通过根系主动吸收阴阳离子,植物种类不同其吸收的离子不同,会分泌相应的 H^+ 或 OH^- 维持机体平衡,从而引起根际 pH 发生改变,影响土壤酸化进程^[9]。对此研究较多的属豆科植物,辣椒等植物在酸铝胁迫下的根系分泌尚鲜见相关报道。辣椒不仅是我国南方的主要蔬菜植物,还是设施农业栽培

的主要植物种类,设施土壤酸化严重已是不争的事实^[10-11]。酸铝胁迫不仅影响植物根系分泌物,还必然影响植物的光合作用,进一步影响产量和品质。叶绿素含量及叶绿素荧光分析技术可以检测植物光合机构对各种胁迫的响应^[12-13]。

该试验以辣椒品种“汴椒1号”为试材,设置4个不同铝浓度处理(50、100、200、500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)和2个对照,对辣椒进行水培试验,观测辣椒连续培养8 d的营养液 pH 变化、辣椒 OH^- 的释放量、叶绿素含量、叶绿素荧光参数及干鲜质量,以期揭示辣椒铝胁迫机理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为辣椒品种“汴椒1号”,铝处理采用 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (分析纯)。

1.2 试验方法

试验在河南科技学院园艺园林学院蔬菜学实验基地进行。选取圆润饱满辣椒种子浸泡 24 h,置于 28 °C 恒温暗培养箱内进行催芽后,播种到装有蛭石的营养钵中进行萌发,及时浇灌霍格兰(Hoagland)营养液保持植株正常生长。日历苗龄为 50 d 后进行铝胁迫试验,此时辣椒苗株高 10~15 cm,所选辣椒苗长势良好均匀一致。水培所采用是 1/2 霍格兰(Hoagland)营养液培养,先准备好被黑色薄膜包裹

第一作者简介:李贞霞(1973-),女,河南南阳人,硕士,副教授,现主要从事蔬菜生理生态等研究工作。E-mail:842291829@qq.com.

基金项目:河南省科技厅基础与前沿资助项目(142300410140);河南省教育厅科技攻关资助项目(15A210002)。

收稿日期:2016-09-26

好桶身的 1 L 塑料小桶、打好孔的黑色泡沫悬浮板。将辣椒苗移到悬浮板上,根茎处用海绵条固定。用 NaOH(pH 9.85)和 HCl(pH 4.0)调节溶液的 pH,使其控制在 4.5。设置 2 个对照,一个对照为无植株(CK1),另一个对照为塑料小桶内种有辣椒植株,为有植株对照(CK2),营养液内不加铝;铝处理设置 4 个浓度,分别为 50、100、200、500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,每处理 3 次重复,每重复种植 3 株辣椒苗。设定每隔 2 h 通气 20 min,保证不缺氧。

1.3 项目测定

pH 的测定:用上海雷磁 pH 计于每天傍晚 18:00 测定各铝处理营养液的 pH。

辣椒 OH^- 释放量的测定:培养试验结束后 ZDJ-5 自动滴定仪测定,用浓度为 0.005 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 1/2 H_2SO_4 滴定,滴定至营养液 pH 为 4.5,通过 H_2SO_4 的滴定量来计算 OH^- 的释放量。

辣椒叶绿素含量测定:试验第 8 天,取辣椒植株由下至上第 2、3 片叶测定叶绿素含量、将其用剪刀剪碎后用无水乙醇在室温下置于暗处浸提 24 h,并在浸提期间摇动 4~5 次,观察组织完全变白后测定。

叶绿素荧光参数:试验第 8 天 10:00,先将辣椒叶片放在暗处适应 20 min,然后用叶绿素荧光仪 Yaxin-1161G 测定。测定辣椒的初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、原初光能转换效率(F_v/F_m)等荧光值。

培养结束后测定每个处理辣椒植株地上部与地下部干质量。

1.4 数据分析

采用 Excel 软件进行数据处理,并采用 SPSS 17.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 铝胁迫对辣椒营养液的影响

2.1.1 铝胁迫对辣椒营养液 pH 变化的影响 初始培养时营养液 pH 为 4.5,由图 1 可以看出,随着 Al^{3+} 浓度的增加,营养液 pH 逐渐降低。有植株对照营养液 pH 明显大于无植株对照;有植株对照营养液 pH 随培养天数的增加呈上升趋势,无植株对照随培养天数的增加 pH 变化不大,说明辣椒植株在培养过程中释放了可以中和 H^+ 的物质;有植株对照与 4 个铝处理的 pH 随着培养天数的增加呈上升趋势,说明在铝浓度试验范围内,辣椒植株释放的羟基仍可中和营养液中的 H^+ ,随着铝浓度的增加营养液 pH 下降。500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝处理 pH 相对于其它 4 个浓度的 pH 最低,上升幅度也最小。单因素方差分

析表明,有植株对照与无植株对照营养液 pH 之间差异极显著($P < 0.01$);培养第 1 天有植株对照与各铝处理营养液 pH 差异极显著($P < 0.01$),从培养第 2 天开始,有植株对照与各铝处理营养液 pH 差异显著性逐渐降低,至第 6 天后在 0.05 水平上差异显著性消失,说明 Al^{3+} 对辣椒释放羟基的影响逐渐减弱。

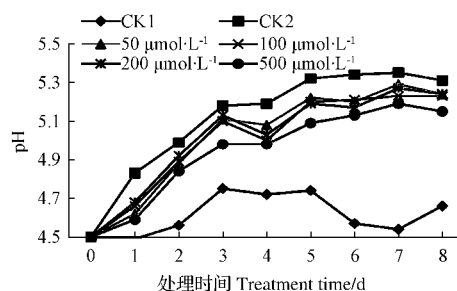


图 1 不同铝浓度处理营养液 pH 随时间的变化

Fig. 1 Dynamics of soil pH when the soil was incubated with atraws

2.1.2 铝胁迫对辣椒 OH^- 释放量的影响 植物在发育过程中会吸收其生存环境中的阴阳离子来维持机体发育需要,并分泌质子或羟基,从而加剧土壤酸化或碱化,如目前认为茶园酸化与茶树分泌质子有关^[14]。辣椒植株在酸铝胁迫下会做出响应,释放出 OH^- 离子中和和培养液 pH,来尽力维持其正常生长发育环境;随着铝浓度的增加,辣椒释放的 OH^- 的量呈下降趋势(图 2)。说明酸铝胁迫辣椒植株可以释放 OH^- ;随铝浓度增大释放量变小,这可能与铝离子破坏辣椒根系活力有关。方差分析结果表明,有植株对照与铝浓度为 50、100、200、500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 差异极显著($P < 0.01$)。

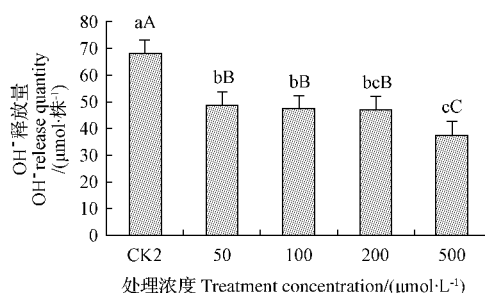


图 2 不同铝浓度处理 OH^- 释放量

Fig. 2 Different concentration of aluminum pepper OH^- release quantity

2.2 铝胁迫对辣椒植株的影响

2.2.1 铝胁迫对叶片叶绿素含量的影响 叶绿素是光合作用中最重要色素,它对光能的吸收、传递和转化起着极为重要的作用。其含量的高低与光合作用密切相关。由表 1 可知,低浓度时铝处理不影

响叶绿素 a 的合成,500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时叶绿素 a 含量降低;50、100 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 促进了叶绿素 b 的合成,200、500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时叶绿素 b 含量与对照无差异;叶绿素 a+b 含量变化与叶绿素 b 变化一致;叶绿素 a/b 比值降低。叶绿素成分和比例的改变是辣椒适应和利用环境的重要指标,叶绿素 a 在红光部分的吸收带偏向长光波,叶绿素 b 在蓝紫光部分的吸收带较宽^[15]。500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝处理可以促使叶片吸收的红光减少,在 50、100 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的铝处理可以增加辣椒叶片对蓝紫光的吸收。

2.2.2 铝胁迫对辣椒叶片叶绿素荧光参数的影响

初始荧光(F_0)是反应中心未能发生光化学反应时的叶绿素荧光,它是 PSII 处于完全开放时的产量。由图 3 可以看出, F_0 随铝浓度的升高而升高,500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时与对照差异显著($P < 0.05$)。最大荧光产量(F_m)反映 PSII 的电子传递情况,是 PSII 完全关闭时的荧光产量, F_m 随铝浓度的升高而降低,500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时与对照差异显著($P < 0.05$)。原初

表 1 铝处理对辣椒叶绿素含量的影响

Table 1 Effect of Al^{3+} stress on chlorophyll content of pepper leaves

铝处理浓度 Al^{3+} concentration / $(\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content / $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content / $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	叶绿素 a+b 含量 Chlorophyll a+b content / $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
CK2	2.06±0.04aA	12.76±0.05bB	14.82±0.08bB	0.16±0.00aA
50	2.19±0.07aA	15.40±0.31aA	17.59±0.36aA	0.14±0.00bB
100	2.18±0.02aA	14.99±0.15aA	17.16±0.16aA	0.15±0.00bB
200	2.01±0.03aA	13.35±0.20bB	15.06±0.24bB	0.15±0.00bB
500	1.62±0.10bB	12.92±0.14bB	14.54±0.20bB	0.13±0.01cC

注:表中小写字母表示达差异显著水平($P < 0.05$),大写字母表示达差异极显著水平($P < 0.01$)。下同。

Note: Lowercase letters mean significant difference at 0.05 level; capital letters mean significant difference at 0.01 level. The same below.

光能转化效率(F_v/F_m)能反映植物的潜在最大光合能力,是研究作物逆境反应重要的生理参数, F_v/F_0 是潜在光化学效率, $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, $F_v/F_0 = (F_m - F_0)/F_0$ 。 F_v/F_m 与 F_v/F_0 随铝处理浓度的增加而降低,在 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时与对照差异显著($P < 0.05$)。

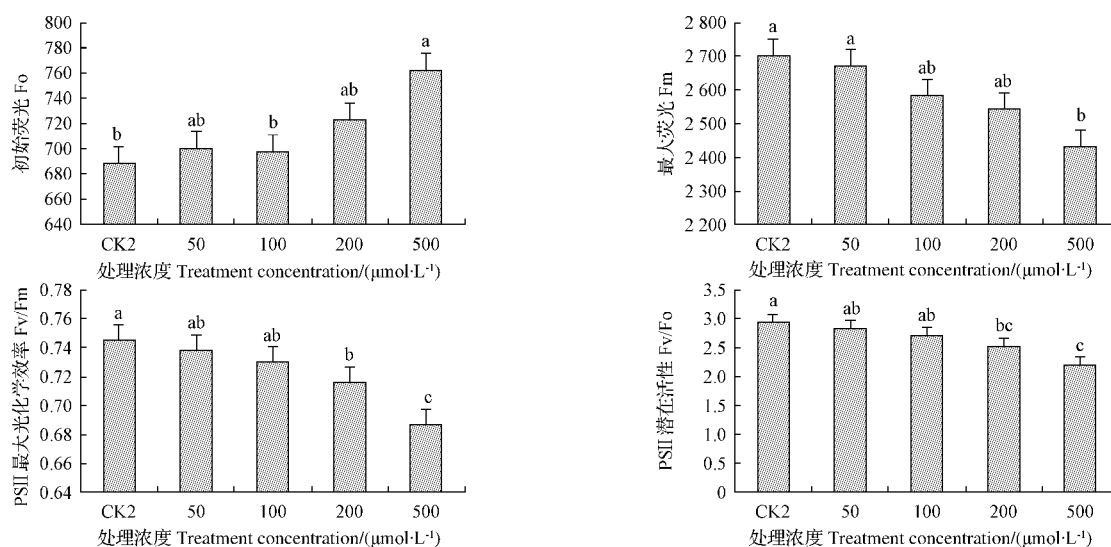


图 3 不同浓度铝处理对辣椒 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 的影响

Fig. 3 Effect of F_0 , F_m , F_v/F_0 and F_v/F_m in leaves of pepper under different Al^{3+} concentration treatments

2.2.3 不同铝浓度处理后辣椒干质量的变化 由表 2 可知,不同铝浓度处理后辣椒地上部和地下部干质量虽有轻微下降,但方差分析结果表明,各处理间无显著性差异,这个结果可能与辣椒接受铝胁迫时日历苗龄较大和铝胁迫培养时间较短有关系。

3 讨论

辣椒植株遭受酸铝胁迫时会很快发出响应,培养 1 d 后其 pH 明显上升,有植株对照比无植株对照 pH 上升 0.33 个单位,该结果与茶苗、大豆分泌质

表 2 不同铝浓度处理对辣椒干质量的影响

Table 2 Effect of Al^{3+} stress on dry weight of pepper

铝处理浓度 Al^{3+} concentration / $(\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	单株地上部干质量 Aboveground part dry weight of plant/mg	单株地下部干质量 Underground part dry weight of plant/mg
CK2	149.83aA	14.87aA
50	131.87aA	12.77aA
100	139.17aA	12.00aA
200	120.80aA	12.30aA
500	125.67aA	11.27aA

子^[16-17]使培养液变酸明显不同。有研究认为植物在特定条件下是分泌质子还是羟基离子与施用的氮肥形态有关,如茶树为喜铵植物,它对铵态氮的偏好吸收导致其根系向介质中释放质子^[16];也有研究表明缺磷明显提高了白羽扇豆的质子释放速率^[18];氮素形态在酸性条件下可以促使番茄根系释放羟基^[19],这与该试验的结果相符。植物在胁迫条件下是分泌质子或是羟基应该与植物种类和环境条件密切相关,植物喜欢吸收的氮素及阴阳离子供给状况都会影响其分泌质子或羟基。辣椒喜欢吸收硝态氮及钾钙等阳离子,吸收后为维持体内酸碱平衡就会向环境中释放羟基,从而改变根际 pH。

叶绿素是光合作用的重要器官,各种胁迫都可以改变叶绿素 a、b 的含量与比值^[12-13]。叶绿素生物合成步骤是从 L-谷氨酰-tRNA 到叶绿素 a,叶绿素 a 再经叶绿素酯 a 加氧酶氧化即形成叶绿素 b,整个生物合成过程需要 15 步反应,涉及 15 种酶^[20]。该研究低浓度铝处理不影响叶绿素 a 的合成,只有到 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时叶绿素 a 的含量减少,说明叶绿素 a 合成受阻。但铝浓度 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 并未影响叶绿素 b 的合成,反而低浓度的铝处理提高了叶绿素 b 的含量,说明在试验铝浓度范围内叶绿素 a 向叶绿素 b 的转化并未受到抑制,反而有一定的促进作用。叶绿素 a/b 可以反映捕光色素复合体 II 在含有叶绿素的结构中的比重,叶绿素 a/b 高对光能的捕获减少,叶绿素 a/b 低预示着叶片对光能的捕获增多^[13,21]。该研究中叶绿素 a/b 与对照比降低,说明铝胁迫刺激了辣椒叶片对光能的捕获,来缓解胁迫对辣椒造成的生理紊乱^[12]。

叶绿素荧光参数是灵敏、无机械损伤研究和评价逆境条件下植物光合系统的重要参考指标。Fo 的大小主要取决于 PSII 天线色素内的最初激子密度、天线色素之间以及天线色素到 PSII 反应中心的激发能传递机率的结构状态,它与叶片叶绿素浓度有关^[22];该研究中 Fo 在铝浓度 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时与对照有显著差异,与叶绿素 a 的含量变化趋势一致。不同的胁迫可以导致 PSII 结构功能的变化,甚至破坏,导致 Fo 上升^[12-13,15],该研究也得到类似结果。Fm 值下降与天线色素降解和光合放氧体(OEC)失活有关^[13,23]。Fv/Fm 是 PSII 最大光化学量子产量,反映 PSII 反应中心内禀光能转换效率,在非胁迫条件下,该参数的变化极小,不受物种和生长条件影响;胁迫条件下该参数明显下降,Fv/Fo 表示光反应中心 PSII 的潜在活性^[22]。该研究中 Fv/Fm 与 Fv/Fo

随铝处理浓度的增加而降低,也表现为铝处理浓度为 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时与对照差异显著,说明 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝浓度是辣椒叶片 PSII 结构功能改变的一个临界点。

参考文献

- [1] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.
- [2] XU R K, JI G L. Effects of H_2SO_4 and HNO_3 on soil acidification and aluminum speciation in variable and constant charge soils[J]. Water Air Soil Pollut, 2001, 129: 33-43.
- [3] HU Z Y, XU C K, ZHOU L N, et al. Contribution of atmospheric nitrogen compounds to N deposition in a broadleaf forest of southern China[J]. Pedosphere, 2007, 17: 360-365.
- [4] 熊毅, 李庆选. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 39.
- [5] 徐仁扣, 季国亮. pH 对酸性土壤中铝的溶出和铝离子形态分布的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 162-171.
- [6] 何龙飞, 沈振国, 刘友良, 等. 植物铝毒害机理的研究[J]. 广西农业生物科学, 2002(3): 188-194.
- [7] 王永良, 王平, 王趁义. 铝胁迫对马尾松幼苗根系形态及活力的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2097-2010.
- [8] 方金梅, 应朝阳, 黄毅斌, 等. 铝胁迫对决明属水土保持牧草幼苗根系的影响[J]. 中国水土保持, 2003(7): 30-32.
- [9] 毛佳, 徐仁扣, 万青, 等. 不同水平硝态氮对蚕豆根系质子释放量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 950-953.
- [10] 王媛华, 段增强, 董金龙, 等. 可溶性盐对土壤 pH 测定的影响及消除初探[J]. 土壤学报, 2014, 51(6): 1298-1308.
- [11] 肖辉, 潘洁, 程文娟, 等. 不同有机肥对设施土壤全盐累积与 pH 值变化的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(2): 248-252.
- [12] 郑阳霞, 贾松涛, 赵英鹏, 等. 铝胁迫对西瓜幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(4): 150-156.
- [13] 李磊, 李向义, 林丽莎, 等. 两种生境条件下 6 种牧草叶绿素含量及荧光参数的比较[J]. 植物生态学报, 2011, 35(6): 672-680.
- [14] WAN Q, XU R, LI X. Proton release from tea plant (*Camellia sinensis* L.) roots induced by Al(III) under hydroponic conditions[J]. Soil Research, 2012, 50: 482-488.
- [15] 王建华, 任士福, 史宝胜. 遮阴对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2001, 37(7): 1811-1817.
- [16] 万青, 徐仁扣, 黎星辉. 氮素形态对茶树根系释放质子的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(4): 720-725.
- [17] 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增. 氮素形态对大豆根系形态性状及释放 H^+ 的影响[J]. 大豆科学, 2006(3): 265-269.
- [18] 唐宏亮, 申建波, 张福锁, 等. 磷和外源生长素对白羽扇豆 (*Lupinus albus* L.) 根形态和生理特性的影响[J]. 中国科学(生命科学), 2013, 43(3): 201-212.
- [19] 万青, 徐仁扣, 黎星辉. 酸性条件下氮素形态对西红柿根系释放羟基的影响[J]. 土壤, 2011, 43(4): 554-557.
- [20] 王平荣, 张帆涛, 高家旭, 等. 高等植物叶绿素生物合成的研究进展[J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 629-636.
- [21] ANDERSON J M, ARO E M. Grana stacking and protection of photosystem II in thylakoid membranes of higher plant leaves under sustained high irradiance: an hypothesis[J]. Photosynthesis Research, 1994, 41: 315-326.

DOI:10.11937/bfyy.201701002

葫芦耐热性遗传规律分析

宋 慧, 张 香 琴

(宁波市农业科学研究院 蔬菜研究所, 宁波市瓜菜育种重点实验室, 浙江 宁波 315040)

摘 要:利用耐热葫芦(L1 和 L3)与不耐热葫芦(L6 和 L4)配置 2 组正反杂交 F_1 和 F_2 代,采集相对发芽率(ΔG)、相对发芽指数(ΔGI)和相对电导率(ΔEC)耐热表型数据,通过 SPSS 软件均数比较功能分析葫芦耐热性遗传规律。结果表明:2 个组合的正反杂交 F_1 代耐热性无差异,均表现为不耐热,表明葫芦耐热性遗传不具有母性遗传特质,为隐性遗传。通过卡方检测分析 2 个组合正反杂交 F_2 代群体单株耐热性分离比例,表明葫芦耐热性在 F_2 代符合 1:3 分离比,为 1 对单基因控制。

关键词:葫芦;耐热;遗传规律

中图分类号:S 642.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)01-0005-05

小果型西瓜对环境适应性强,发育周期短,深受瓜农青睐,常规露地栽培常常导致小西瓜集中上市,

第一作者简介:宋慧(1979-),女,博士,副研究员,现主要从事蔬菜分子辅助育种与生物工程等研究工作。E-mail: 975281674@qq.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31572142);宁波市创新团队资助项目(2014B81002)。

收稿日期:2016-09-26

经济效益年际间变幅较大^[1]。长季节栽培小型西瓜,投工少、采收期延长,可以从 5 月中旬开始直到 8—10 月下旬结束,连续采收 4~5 批西瓜,667 m² 产量达到 7 000 kg,净收入 12 000~145 000 元,经济效益明显^[2]。由于一种多收的长季节栽培会经历一年中气温最高的时段,西瓜本身不耐热,选择耐热葫芦砧木嫁接西瓜,提高植株的耐热性和长势是小西瓜长季节栽培安全越夏的关键措施之一。

[22] 温国胜,田海涛,张明如,等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1973-1977.

[23] SUNDBY C, MELIS A, MÄENPÄÄ P, et al. Temperature-de-

pendent changes in the antenna size of photosystem II. Reversible conversion of photosystem II α to photosystem II β [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics, 1986, 851:475-483.

Influence of Aluminum Stress on Pepper Nutrient Solution and Leaf

LI Zhenxia, LIN Ziyu, FU Yongxian

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003)

Abstract: Aluminum stress is the main factor which affects plant growth on acidic soil. Four different concentration of aluminum processing and two controls were set up in this study. The effects of aluminum stress on pepper broth, chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters were studied. More theory of aluminum stress mechanism to hot pepper were expected to provide. The results showed that, under acid and aluminum stress condition, OH^- released by pepper plants could significantly improve the pH of nutrient solution. With the increase of aluminum concentration, the increase degree of pH decline and OH^- emission decrease. Low concentration of aluminum treatment did not affect the synthesis of chlorophyll a, but could affect the synthesis of chlorophyll b. When the aluminum concentration reached $500 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, chlorophyll a+b content and chlorophyll a/b decreased. Chlorophyll fluorescence parameters displayed that F_0 increased with the increase of aluminum concentration, F_m decreased with the increase of aluminum concentration. F_v/F_m and F_v/F_0 decreased with the increase of aluminum concentration. There was no significant difference in the effects of aluminum stress on the aboveground and underground part of pepper plants.

Keywords: pepper; aluminum stress; pH; chlorophyll; chlorophyll fluorescence parameters