

高温、高湿及 CO₂ 施肥条件下黄瓜光合性能的变化

刘金泉¹, 王灵茂², 尹春¹, 王利平¹

(1. 内蒙古农业大学职业技术学院, 内蒙古包头 014109; 2. 内蒙古呼和浩特市赛罕区蔬菜副食品局, 内蒙古呼和浩特 010020)

摘要 [目的] 探讨温度、湿度及 CO₂ 施肥条件的变化对黄瓜光合性能的影响。[方法] 以津春 5 号黄瓜为材料, 设高温、高湿和高温、常规湿度 2 个处理, 以常规黄瓜生产管理为对照, 在 CO₂ 施肥条件下, 研究黄瓜光合性能的变化。[结果] 每天中午平均 35~45 °C 的高温下处理黄瓜 4 h 以上, 其叶片的净光合速率明显高于对照。在高温、高 CO₂ 浓度、高湿和强光综合作用下, 黄瓜的“午休”现象有减缓趋势。高温处理开始会使黄瓜叶片中叶绿素含量下降, 但经过 7 d 左右就能恢复, 而高温、常规湿度区恢复幅度较小。高温处理使黄瓜叶片中积累的淀粉通过呼吸作用分解运出, 避免叶绿体遭受淀粉积累的毒害。[结论] 该研究为高温季节和 CO₂ 施肥条件下温室黄瓜的生产管理提供了参考依据。

关键词 高温; 高湿; CO₂ 施肥; 黄瓜; 光合性能

中图分类号 S642.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)06-02362-03

Change of Photosynthetic Performance of Cucumber under the Condition of CO₂ Fertilization and High Temperature and High Humidity

LIU Jin-quan et al (Vocational and Technical College, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou, Inner Mongolia 014109)

Abstract [Objective] The aim was to discuss the effects of the changes of temperature, humidity and CO₂ fertilization on the photosynthetic performance of cucumber. [Method] With the cucumber Jinchun 5 as material, 2 treatments with high temperature combined with high humidity and high temperature combined with routine humidity were set up and with the routine production management of cucumber as CK, the change of photosynthetic performance of cucumber was studied under the condition of CO₂ fertilization. [Result] The net photosynthetic rate of cucumber leaf was significantly higher than that of CK when the cucumber was treated with high temperature of average 35-45 °C for more than 4 h at noon daily. Under the comprehensive action of high temperature, high CO₂ concn., high humidity and high light, the midday depression phenomenon of cucumber showed delaying trend. The treatment with high temperature would decrease the chlorophyll content of cucumber leaf at the beginning and its chlorophyll content could renew in about 1 week but the renewing extent of the treatment with high temperature combined with routine humidity was less. The treatment with high temperature could make the amyllum accumulated in cucumber leaf decomposed and exported through respiration, which could protect chloroplast from the poisoning of amyllum accumulation. [Conclusion] The study provided reference for the production and management of greenhouse cucumber under the condition of CO₂ fertilization in high temperature season.

Key words High temperature; High humidity; CO₂ fertilization; Cucumber; Photosynthetic performance

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 是喜温性蔬菜, 一般最适生长 (光合作用) 温度为 25~30 °C^[1]。有关黄瓜光合作用的适温研究报道较多^[2-3], 但结果并不一致。光合作用是植物对高温最敏感的生理过程之一, 类囊体膜结构发生结构变化的临界温度在 40~50 °C^[4]。同时, CO₂ 不足常被认为是影响温室生产中作物生长发育和产量的重要因子^[5], 近年来有关温室增施 CO₂ 的研究报道也很多^[6-8]。然而, 在北方设施黄瓜生产中, 春末至秋初这段时间内会遇到高温条件, 最高温度可达 50 °C 以上, 昼夜平均温度可达 35 °C 左右, 高温是制约其高产、优质的主要因素。并且由于通风降温的需要, CO₂ 施肥也无法进行。但据崔世茂等报道, 在俄罗斯设施黄瓜生产中 (不放风、高水肥管理), 夏季的中午最高温度达 50~55 °C, 每天超过 40 °C 的时间有 4 h, 4 个月内竟创造了单产 22.5 万 kg/hm² 的高产记录^[9]。说明在这样的高温条件下, 黄瓜生长并未受到伤害, 而保持了较高的光合效率。

基于上述研究, 笔者利用内蒙古丰富的自然光照资源, 在夏秋季节温室自然高温条件下, 配合高浓度 CO₂、高湿度处理, 研究设施黄瓜光合性能的变化情况, 为高温季节 CO₂ 施肥条件下温室黄瓜的生产管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料 供试黄瓜品种为津春 5 号。

1.2 试验时间及地点 试验于 2007 年 7~11 月在内蒙古农牧业科技园区设施园艺项目部日光温室以及内蒙古农业大学职业技术学院生理实验室进行。日光温室为钢骨架, 拱圆型, 跨度 6.5 m, 脊高 3.2 m, 长 50 m, 抢阴 8°。于 7 月 10 日育苗, 8 月 10 日定植于 53# 日光温室。

1.3 处理方式 将温室用双层棚膜隔成高温、高湿处理区 (A), 高温、常规湿度区 (B), 对照区 (CK), 薄膜之间间距 2 m 作为缓冲带。每个处理均设 3 次重复, 顺序排列, 小区面积均为 18 m²。在摘除头瓜后, 逐渐缩小和缩短放风大小和时间, 进行自然高温预处理。

于 9 月 10 日开始高温处理, A 区采取全封闭始终不放风的办法, 每天早晨先浇一次大水, 中午温度控制在 35~45 °C, 当温度超过 45 °C 时, 采用喷水的方法降温。B 区温度管理同 A 区, 土壤湿度管理同 CK; A、B 处理区每天 9:00~10:00 采用释放钢瓶内液态 CO₂ 的方法进行 CO₂ 施用, 浓度达到 2 000 μmol/L 左右后停止释放。对照区采取常规的黄瓜管理模式, 每天 9:00~17:00 放风, 不喷水, 不增施 CO₂。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 光合相关指标测定。 高温处理开始后采用 ZDS-10 照度计测定相应时刻的光照强度 (lx), 用 TES1360 仪器测定相应时刻的温度 (°C) 和湿度 (% RH)。光强单位的换算根据: 1 klx = 18 μmol/(m²·s); CO₂ 浓度与光合速率用便携式 GXH-3051 型红外线 CO₂ 分析仪测定, 光合速率计算公式:

$$P_n = \Delta C / 106 \times V \times 60 / \Delta M \times 273 / (273 + T) \times 44 / 22.4 \times 100 L$$

基金项目 内蒙古农业大学职业技术学院应用基金项目 (20051005)。
作者简介 刘金泉 (1971-), 男, 内蒙古凉城人, 硕士, 讲师, 从事设施蔬菜栽培方面的研究。

收稿日期 2009-01-09

式中, ΔC 为测定开始时同化箱内 CO₂ 浓度与结束时同化箱内 CO₂ 浓度之差; V 为系统总体积 (ml); ΔM 为测定的时间间隔 (min); P_n 单位 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (CO₂)。

从 9 月 10 日开始, 每隔 1 d 测定 1 组数据, 每测定日从 8:00 ~ 17:00, 每 1 h 测定 1 次, 共测 5 d, 最后取 5 d 各时段

的平均值。
 1.4.2 叶绿素含量测定。采用比色的方法^[10]测定, 从 9 月 11 日开始, 每隔 1 d 测定 1 组数据, 共测 5 d。

1.4.3 淀粉含量测定。淀粉含量采用邹琦编写的《植物生理学实验指导》中的测定方法^[10], 从 9 月 11 日开始, 每隔 1 d 测定 1 组数据, 共测 5 d, 每测定日从 8:00 ~ 17:00, 每 3 h 测定 1 次。

2 结果与分析

2.1 不同处理区环境因子的比较

2.1.1 不同处理区平均光照强度的比较。图 1 是不同处理 10 d 中温室内光照强度变化的测定结果。从图 1 中可以看出, 11:00 以后光照强度就达到了 4 万 lx 以上, 超过了通常教科书上所说的黄瓜的光饱和点^[1]。各处理区的平均光照强度分布在 9:00 前和 16:00 后基本相近, 9:00 ~ 16:00 为 CK 略大于 B 处理区, B 处理区略大于 A 处理区。这是因为各处理区的湿度不同, 膜上的水汽对光线射入造成了一定的影响, 但差异并不显著。

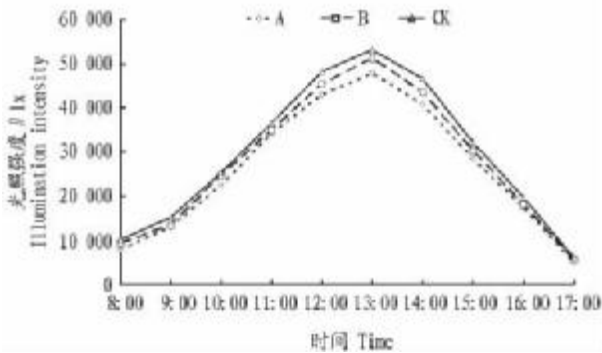


图 1 不同处理区 10 d 平均光照强度的比较

Fig. 1 The comparison of 10 days average strength of illumination intensity under different treatments

2.1.2 不同处理区平均温度的比较。图 2 是各处理 10 d 中温室平均温度变化的测定结果。从图 2 中可以看出, A、B 处理区平均温度每天中午时段保持 35 ~ 45 °C 的时间为 4 h 左右; 对照区按常规管理, 中午最高温度为 30 ~ 35 °C, A、B 处理区与对照区温度差异显著。对照区代表北方地区目前温室温度的传统管理方式, 高温处理区则代表越夏栽培中的一种新的温度管理模式。

2.1.3 不同处理区平均相对湿度的比较。图 3 是各处理 10 d 中温室内空气相对湿度变化的测定结果。对照区由于放风和常规湿度管理, 相对湿度只有 8:00 ~ 10:00 的 2 h 在 80% 左右, 其余时间基本都在 50% ~ 60%; B 处理区由于全天不放风和中午喷水, 平均相对湿度基本保持在 70% ~ 80%; A 处理区由于全天不放风、中午喷水和早晨灌大水, 平均相对湿度基本保持在 80% 以上。提高湿度可以减少高温对叶片的伤害, 同时也有利于叶片光合作用。

2.1.4 不同处理区 CO₂ 浓度的比较。图 4 是处理期间 CO₂

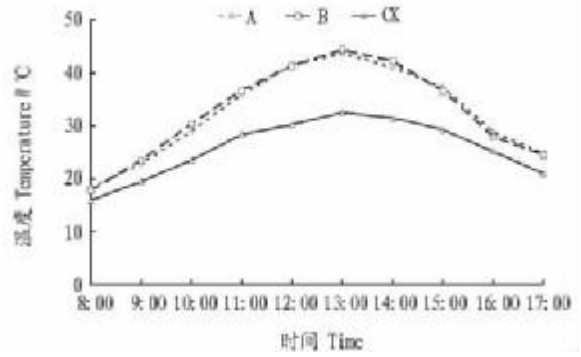


图 2 不同处理区 10 d 平均温度的比较

Fig. 2 The comparison of 10 days average temperature under different treatments

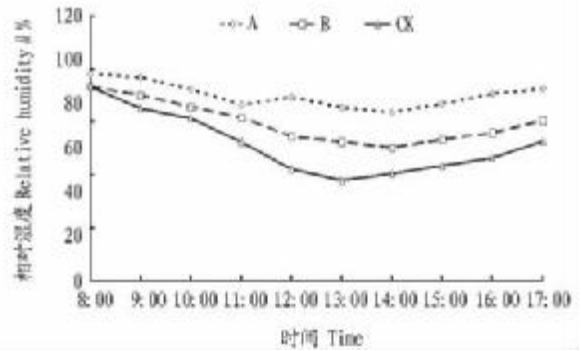


图 3 不同处理区 10 d 平均相对湿度的比较

Fig. 3 The comparison of 10 days average humidity under different treatments

浓度 10 d 测定的平均值。温室内 CO₂ 浓度从太阳出来后就开始下降, A、B 处理区从 9:00 ~ 10:00 人工施用 CO₂; 10:00 以后, 包括 12:00 ~ 14:00 的高温时间, 温室内的 CO₂ 浓度一直下降, 说明高温处理区的黄瓜在中午也进行着光合作用。但 11:00 ~ 13:00, A 区 CO₂ 浓度略低于 B 区, 可能是由于 A 区的光合作用旺盛, 消耗 CO₂ 多的缘故。

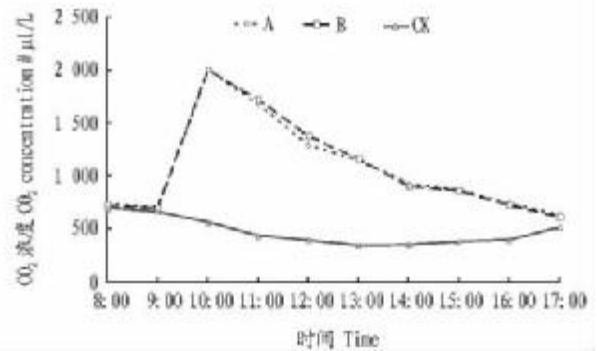


图 4 不同处理区 10 d CO₂ 浓度日变化的比较

Fig. 4 The comparison of day change of the CO₂ concentration under different treatments

2.2 不同处理区黄瓜叶片净光合速率的变化 图 5 是不同处理区 10 d 中温室黄瓜叶片净光合速率日变化的测定结果。从图 5 中可知, 各试验区内黄瓜净光合速率日变化均呈近似“双峰”曲线, 黄瓜叶片净光合速率日变化在 8:00 ~ 9:00 和 16:00 以后, 各处理区相差不大; 9:00 以后, 由于 A 处理区、B 处理区的高温和高 CO₂ 浓度, 其净光合速率显著高于对照

区, B 处理区由于湿度的差异, 净光合速率低于 A 处理区, 但差异不显著。此结果表明, 在高温、高湿、高 CO_2 浓度条件下, 确实提高了黄瓜整体的光合效率, 在 CO_2 浓度、温度、光照、水分条件充足的情况下, 即使是中午也可维持一定的光合速率。

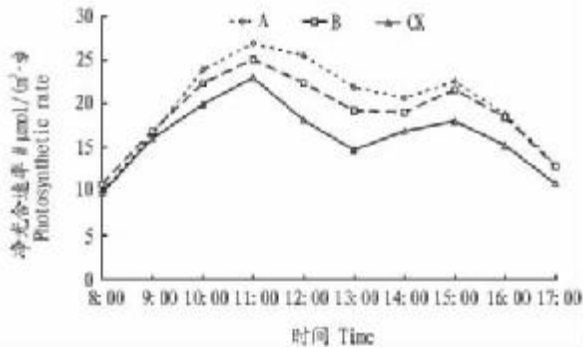


图5 不同处理区净光合速率日变化的比较

Fig.5 The comparison of day change of photosynthetic rate under different treatments

2.3 不同处理区黄瓜叶片叶绿素含量的变化 图6是不同处理10 d内温室黄瓜叶片叶绿素含量变化的测定结果。从图6中可以看出, A、B处理区黄瓜叶片叶绿素含量的变化总体呈现“降-升-平稳”的趋势。A处理区降低了11.99%, B处理区降低了15.64%, 呈现出B处理区黄瓜叶片叶绿素含量降低幅度大于A区。高温处理开始的2 d内叶绿素含量呈现下降的趋势, 2 d以后开始回升, A处理区到第6~8天基本恢复到高温处理的初始水平, B处理区恢复幅度较小。说明黄瓜叶片对高温有很强的适应性, 只要能满足湿度等条件就可以忍耐较高的温度。

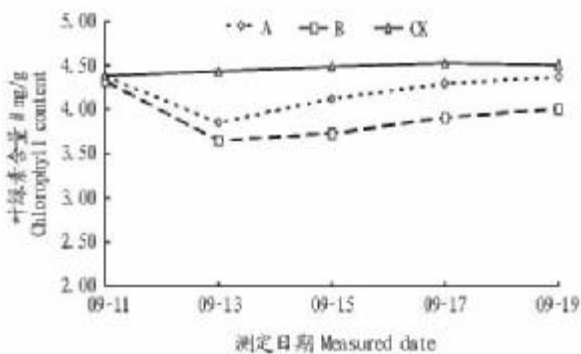


图6 不同处理区黄瓜叶片叶绿素含量变化的比较

Fig.6 The comparison of change chlorophyll of cucumbers under different treatments

2.4 不同处理区黄瓜叶片淀粉含量日变化 图7是不同处理10 d内温室黄瓜叶片淀粉含量变化的测定结果。从图7中可以看出, A区和B区和相应对照区黄瓜叶片中的淀粉含量在11:00以前差异不大, 11:00以后高温处理的A区、B区黄瓜叶片淀粉含量虽在增加, 但增加缓慢, 明显低于相应对照区, 而对照区黄瓜叶片淀粉含量仍在直线增加。14:00时高温处理的A区、B区和相应对照区黄瓜叶片的淀粉含量均达到最大值, 且A区黄瓜叶片淀粉含量高于B区。对比图5净光合速率和图2温度变化的测定结果, 中午在高温处理区, 黄瓜光合速率仍能维持较高水平, 而淀粉含量却显示较

低水平, 说明叶片中的光合产物——淀粉, 由于高温呼吸作用强烈而被转化运出。在对照区, 由于9:00开始放风, 此时温室内 CO_2 浓度已经低于外界, 放风后可以将温室内 CO_2 浓度提高到外界的 $360 \mu\text{L/L}$, 这样光合作用仍然可以进行, 但是放风后温度不高, 呼吸作用不强, 所以淀粉含量一直持续到14:00最高温以后才开始下降。

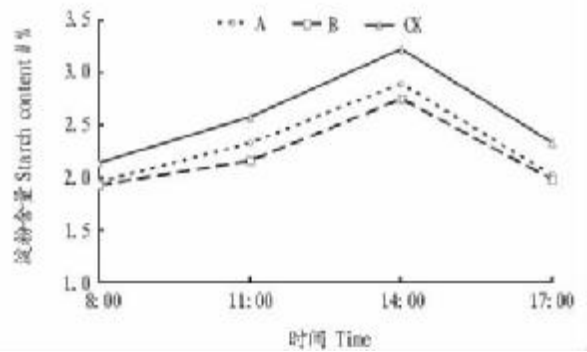


图7 不同处理区黄瓜淀粉含量日变化的比较

Fig.7 The comparison of day change of starch content under different treatments

3 结论与讨论

3.1 讨论

3.1.1 CO_2 施肥条件下温、湿度与黄瓜的光合作用。 温度、光照、水、 CO_2 和肥料与光合作用是密切相关的。目前大多单因子试验得出了多数资料中普遍引用的最适温度、光饱和点、 CO_2 饱和点等结果。这些结果是否正确与多种影响因素有关, 徐克农等研究认为, 保护地黄瓜光合作用适温范围为 $25 \sim 33 \text{ }^\circ\text{C}$ [2]; 而马德华等报道, 大棚黄瓜光合适温则为 $28 \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$ [3]。据艾民等报道(同化箱内, 常规湿度管理), 当温度 $35 \text{ }^\circ\text{C}$, CO_2 浓度 $2000 \mu\text{L/L}$, 光照强度 $1400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 黄瓜叶片的净光合速率达到最大值 $48.37 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ [11]。庞吉安等的试验表明, 空气湿度对蔬菜作物生长的影响主要是通过蒸腾作用间接影响的 [12]。如果土壤湿度大, 空气湿度在59%左右对黄瓜光合作用的影响不大, 这是由于黄瓜对空气干燥的抵抗力是随土壤湿度的提高而增加的。同时, 在高温下, 由于蒸腾作用带走大量热量, 使叶表温度低于空气温度。那么在设施中, 人工施用 CO_2 后, 湿度较大, 光照和水肥条件充足的条件下, 黄瓜光合适温很有可能达到 $40 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ 或更高, 这需要今后进一步探讨。

3.1.2 “午休”现象形成的原因探讨。 温室黄瓜及许多作物都有“午休”现象, 前人报道称形成“午休”现象的原因是中午强光, 蒸发强烈和高温引起气孔关闭使得光合作用不能进行 [13]; 而马德华等、张金树则认为, 光合速率的降低不是由于非气孔限制造成的, 而是由于气孔限制造成的 [3, 14]。中午空气湿度低, 叶表蒸汽压亏缺急剧升高造成气孔导度下降是造成光合“午休”现象的主要原因。从笔者的试验结果看, 高温、高湿处理区其光合速率较高温、常规湿度处理区高, 说明中午较高的空气湿度可减缓“午休”现象。另外, 从图1、2的结果来看, 高温处理区尽管11:00~15:00平均温度在 $35 \sim 45 \text{ }^\circ\text{C}$, 但在此时间段内光照强度高达4万 lx以上, 超过了黄瓜的光饱和点, 却仍能维持较高的光合速率。而在对照区同

(下转第2375页)

式中, C 为由标准曲线计算得出 10 ml 待测样品中绿原酸的含量。

1.2.2.3 绿原酸含量与盐溶液浓度的关系。以盐溶液浓度 (0、100、200、400 mmol/L) 为横坐标, 每个浓度处理的绿原酸含量平均值为纵坐标作图。

2 结果与分析

2.1 标准曲线和回归方程 绿原酸浓度 - 吸光度标准曲线见图 1, 其回归方程 $A = 78.084 0C - 0.042 8$, 相关系数为 0.995 7。

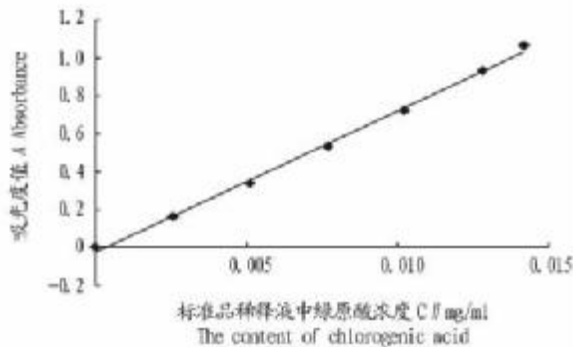


图 1 绿原酸标准曲线

Fig. 1 The standard curve of chlorogenic acid

2.2 叶片中绿原酸含量的变化 从图 2 中可以看出, 藤本金银花植株经过 4 个水平的盐溶液处理后, 其叶片内绿原酸的含量随盐浓度增加, 呈现先下降、再上升的趋势, 但方差分析表明, 绿原酸的含量变化没有达到统计学上的显著水平 ($P = 0.065 > 0.05$)。

3 结论

药理和化学研究表明, 绿原酸是金银花的主要活性成分, 在一定程度上能反映金银花质量的优劣。试验结果表

(上接第 2364 页)

时间段的平均温度为 25 ~ 32 °C, 光照强度与高温处理区相近, 但黄瓜的光合速率却直线下降, 明显低于高温处理区, 说明在高温、CO₂ 施肥和充足水分 (高湿度) 条件下, 还可以减轻黄瓜的“午休”现象。据此推断, 引起“午休”现象的原因还有可能是由于 CO₂ 浓度降低和温、湿度不高, 进而呼吸作用不强, 造成叶片中淀粉积累, 从而阻碍了光合作用的正常进行, 这个问题还有待于今后进一步深入研究。

3.2 结论

高温、高 CO₂ 浓度、高湿度、强光条件的综合作用下, 黄瓜的净光合速率较常规管理显著提高, 并对黄瓜的“午休”现象有减缓的趋势。高温条件下, 温室黄瓜叶片中叶绿素含量呈下降趋势, 但高温、高湿区 7 d 后即可恢复接近到对照水平, 而高温、常规湿度区恢复幅度较小。高温条件下可以促进 CO₂ 施肥时温室黄瓜叶片中积累的光合产物——淀粉的降解, 防止淀粉在叶片中积累毒害引起老化。

参考文献

[1] 卢育华. 蔬菜栽培学各论 (北方本) [M]. 北京: 中国农业大学出版社,

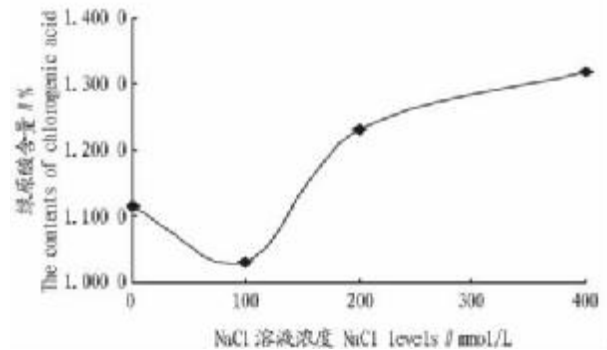


图 2 绿原酸含量变化

Fig. 2 The changes of chlorogenic acid content

明, 短期的盐处理不会对金银花叶片的绿原酸含量造成显著影响, 但金银花植株仍表现出对盐环境的应激性, 表现为低盐下降, 高盐上升的趋势, 只是这种变化还有待进一步进行长期的试验研究。

参考文献

- [1] 刘海军, 裘爱泳. 绿原酸及其提取纯化和应用前景 [J]. 西北林学院学报, 1999, 14 (2): 73 - 82.
- [2] 杜延兵, 裘爱泳. 绿原酸生物活性、资源及其提取纯化 [J]. 现代食品科技, 2005, 22 (2): 250 - 252.
- [3] 邓良, 袁华, 喻宗沅. 绿原酸的研究进展 [J]. 化学与生物工程, 2005 (7): 4 - 6.
- [4] 宋丹, 张新华, 白淑兰, 等. 植物耐盐种质资源评价及滨海盐碱地引种研究与展望 [J]. 内蒙古林业科技, 2006 (1): 34 - 36.
- [5] 鲍雅静, 季静, 杨晓慧, 等. NaCl 胁迫对金银花叶片光合色素含量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 32 (21): 6366 - 6367, 6382.
- [6] 刑俊波, 李萍, 刘云. 不同产地、不同物候期金银花中绿原酸的动态变化研究 [J]. 中国药学杂志, 2003, 38 (1): 19 - 21.
- [7] 潘秋文. 金银花叶的研究进展 [J]. 杭州中医学院学报, 2004, 28 (4): 90.

2000.

- [2] 徐克章, 史跃林, 许贵民, 等. 保护地黄瓜叶片光合作用温度特性的研究 [J]. 园艺学报, 1993, 20 (1): 51 - 55.
- [3] 马德华, 庞金安, 霍振荣, 等. 大棚黄瓜光合作用日变化及环境因素对光合作用的影响 [J]. 河北农业大学学报, 1998, 21 (4): 59 - 63.
- [4] 孟令波, 李淑敏. 高温胁迫对黄瓜生理、生化过程的影响 [J]. 哈尔滨学院学报, 2003, 24 (10): 121 - 125.
- [5] 曹红红, 张颖, 张翠梅, 等. 我国二氧化碳气肥生成方法及发展趋势 [J]. 长江蔬菜, 2001 (6): 25 - 27.
- [6] 魏珉. 日光温室蔬菜 CO₂ 施肥效应与机理及 CO₂ 环境调控技术 [D]. 南京: 南京农业大学, 2000.
- [7] 崔庆法, 王静. 补施 CO₂ 对日光温室黄瓜生长的影响 [J]. 西北植物学报, 2003, 23 (1): 39 - 43.
- [8] 郭卫华, 李天来. 不同有机物料配施对日光室内 CO₂ 浓度及黄瓜生理效应的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26 (3): 293 - 297.
- [9] 崔世茂, 陈源润, 霍秀文, 等. 大棚型日光温室设计及光效应初探 [J]. 农业工程学报, 2005 (S2): 214 - 217.
- [10] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [11] 艾民, 刘振奎, 杨延杰, 等. 温度、光照强度和 CO₂ 对黄瓜叶片净光合速率的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36 (4): 414 - 418.
- [12] 庞金安, 马德华, 李淑菊. 黄瓜光合作用的研究 [J]. 天津农业科学, 1997, 3 (4): 8 - 15.
- [13] 张大鹏, 黄从林, 王学臣, 等. 葡萄叶片净光合速率与量子效率日变化的研究与利用 [J]. 植物学报, 1995, 10 (1): 25 - 33.
- [14] 张金树. 秋季大棚黄瓜主要光合作用特性研究 [J]. 华北农学报, 2003, 18 (3): 84 - 86.