

doi:10.11937/bfyy.20172037

不同臭氧浓度处理对盆栽茄子生长发育的影响

余礼根¹, 刘楠^{1,2}, 赵倩^{1,2}, 卫如雪¹, 郭文忠¹

(1. 北京农业智能装备技术研究中心, 国家农业智能装备工程技术研究中心, 农业智能装备技术北京市重点实验室, 北京 100097; 2. 西安工业大学 机电工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要:以“京茄一号”茄子为试材, 采用温室盆栽方式, 分别设定 3 个不同臭氧浓度处理: 不释放臭氧气体 (T_1)、低浓度臭氧 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (T_2) 和高浓度臭氧 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (T_3), 通过测定茄子叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和叶绿素含量以及株高、茎粗和叶片数, 比较不同臭氧浓度处理对茄子光合特性与生长指标的影响, 以期臭氧消毒技术在蔬菜栽培中的应用提供技术参考。结果表明: 茄子叶片气孔导度排序依次为 $T_1 > T_2 > T_3$, T_1 与 T_2 之间无显著差异, 蒸腾速率的变化规律为 $T_2 > T_1 > T_3$; T_2 处理显著提高了茄子叶片的蒸腾速率及叶绿素含量; 与 T_1 相比, T_2 茄子株高、茎粗和叶片数分别增加了 6.4%、10.7% 和 20.5%。综上所述, 不同臭氧浓度处理下茄子的光合特性与生长指标差异显著, 其中以臭氧气体浓度为 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (T_2) 的表现最优。

关键词: 茄子; 光合特性; 臭氧浓度; 叶绿素含量

中图分类号: S 641.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)19-0001-05

臭氧(O_3)是一种功能多样化、氧化性极强的气体, 在一定浓度下对细菌、霉菌和真菌等微生物起到灭活作用, 臭氧分解微生物氧化葡萄糖所需的酶、破坏微生物细胞壁、DNA 和 RNA、侵入渗透细胞膜包膜组织, 进而导致细菌、霉菌和真菌等微生物灭活死亡、溶解死亡; 作为一种高效无残留、绿色无污染的杀菌消毒技术, 其已广泛应用于医疗卫生、污水处理、食品加工、水产养殖、畜禽养殖及设施农业等行业和领域^[1-6]。

国内外许多学者针对臭氧对植物及园艺作物的生长生理、形态结构、品质产量等方面开展了大量研究, 表明臭氧对植物生长的影响随臭氧浓度的不同而有所差异^[7-9]。高浓度臭氧较易诱导植物叶片气孔关闭, 减弱或抑制植物的净光合作用; 低浓度臭氧能够杀灭环境的孢子、细菌和病虫害, 对人体及环境不造成伤害和污染。王超铁等^[10]对黄瓜、冬瓜、西葫芦等 14 种蔬菜苗做了不同臭氧浓度的处理试验, 将 $30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的臭氧浓度确定为安全浓度, 即在此浓度下臭氧对蔬菜没有直接性的不可逆转的伤害。目前, 已有大量的臭氧在设施蔬菜中得以研究与生产应用, 且获得了一定的理论数据和生产实践^[11-13], 但各研究结果与适宜消毒技术差别较大。因此, 通过试验分析在保证蔬菜正常生长的情况下臭氧消毒的安全浓度, 以期臭氧消毒技术在设施蔬菜种植中的使用提供借鉴。

以“京茄一号”为试验材料, 采用臭氧气体消毒处理方式, 研究不同臭氧浓度对盆栽茄子光合特性、生长指标的影响, 确定适宜、安全的臭氧消

第一作者简介: 余礼根(1985-), 男, 安徽岳西人, 博士, 助理研究员, 现主要从事设施环境调控及蔬菜栽培生理等研究工作。E-mail: yulg@nrcita.org.cn.

责任作者: 郭文忠(1970-), 男, 宁夏中卫人, 研究员, 现主要从事设施园艺智能装备与蔬菜栽培生理等研究工作。E-mail: guowz@nrcita.org.cn.

基金项目: 科技部星火计划重点资助项目(2015GA600005); 北京市农林科学院设施园艺科技创新团队资助项目(JNKST201615)。

收稿日期: 2017-07-18

毒浓度,旨在更好的使用臭氧,为臭氧在设施农业生产中的应用提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2015 年 8 月至 2016 年 2 月在国家精准农业研究示范基地(北纬 $40^{\circ}10'$, 东经 $116^{\circ}26'$)内进行。试验采用日光温室棚中棚栽培装置,其尺寸(L×W×H)为:1 800 mm×1 500 mm×1 500 mm,容积为 4.05 m^3 ,栽培装置如图 1 所示。栽培设施为结构和性能相同的 3 个棚中棚,棚内软管沿棚中棚宽度方向上等间距($d=300 \text{ mm}$)布置于距地面 1.0 m 处。



图 1 棚中棚栽培装置

Fig. 1 Sketch map of canopy cultivation experimental device

1.2 试验材料

供试茄子品种为“京茄一号”。采用穴盘育苗,选用北京市农林科学院蔬菜中心的育苗专用基质,于 8 月 9 日播种,在育苗室内培养至四叶一心移栽于试验温室的塑料花盆中,盆的上口直径 34.2 cm,底直径 18.5 cm、深 22.3 cm,每盆均匀定植 1 株,采用盆栽土壤栽培。试验于 9 月 17 日定植,每盆定植长势一致的植株 1 株,对所有供试茄子浇透水缓苗 12 d 后,用保鲜膜进行覆盖密封盆栽土壤处理,期间进行正常管理,至 9 月 28 日开始进行不同臭氧浓度消毒处理。试验期间,各处理整枝打杈、水肥管理和环境调控措施保持一致。

1.3 试验方法

试验设 T_1 (不释放臭氧气体)、 T_2 (低浓度 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)及 T_3 (高浓度 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)3 个

不同臭氧浓度处理,每处理 3 次重复。试验采用自主研发的臭氧发生装置提供臭氧气体(CF-100,北京农业智能装备技术研究中心),利用高压放电激活空气中的氧气,电离产生臭氧对棚中棚进行杀菌消毒,臭氧发生量为 $100 \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1}$ 。试验期间臭氧释放时间为每日 20:00—06:00,采用间歇式消毒的方式进行,每隔 30 min 分别开启臭氧消毒 0 min(T_1)、2.5 min(T_2)和 5 min(T_3),通过定时控制器设定臭氧通气时长。

1.4 项目测定

光合参数:选取茄子花期中的一个晴天,采用 LI-6400XT 便携式光合测量系统(LI-COR Biotechnology, Nebraska, USA)测定茄子叶片净光合速率(Net photosynthetic rate, P_n)、气孔导度(Stomatal conductance, G_s)和蒸腾速率(Transpiration rate, T_r),从 08:00—16:00,每 2 h 整点测定,每处理 3 次重复,测定叶片为生长点下数第 5 片叶片。

生长指标:茄子植株开花后,每处理分别随机选取 5 株长势一致的番茄植株作为标记植株,每隔 7 d 测量株高(最高点到茎基部)、茎粗(距基部 15 cm 处)、叶片数;分别使用皮尺(150 cm, 0.1 cm)和数显游标卡尺(150 mm, 0.01 mm)测量。

叶绿素含量:使用 SPAD 502 叶绿素含量测定仪(Konica Minolta, Inc, JP)进行测定,选择向阳的健康成熟当年生新梢第 3、4 叶位,分别在叶基、叶中和叶尖处测得 SPAD 值,求出每片叶的平均值,每处理 3 次重复。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据计算;采用 SPSS 15.0 统计软件进行方差分析,采用单因素方差分析各处理差异的显著性水平,采用最小显著差数法($P < 0.05$, LSD)进行不同处理间均值的显著性差异比较。

2 结果与分析

2.1 不同臭氧浓度处理对茄子叶片光合特性的影响

图 2 为不同臭氧浓度处理下茄子净光合速率(P_n)的日变化。随着臭氧浓度的升高,茄子叶片

净光合速率呈先增大后减小的变化趋势, T_1 的 P_n 在 10:00 和 14:00 出现峰值, 呈“双峰”变化, 在 12:00 出现了比较明显的光合“午休”现象。这是由于在 12:00, 光照强度较强, 棚内温度升高, 导致叶片气孔几乎处于关闭状态, 气孔阻力迅速变大, CO_2 供应受阻, 因而光合速率下降, 是出现“午睡”现象的主要原因。 T_2 的 P_n 变化趋势同 T_1 保持一致, 均在 12:00 出现午睡现象。与 T_1 相比, T_2 的 P_n 平均升高了 6.8% ($P < 0.05$), T_3 的 P_n 平均值降低了 9.4% ($P < 0.05$)。

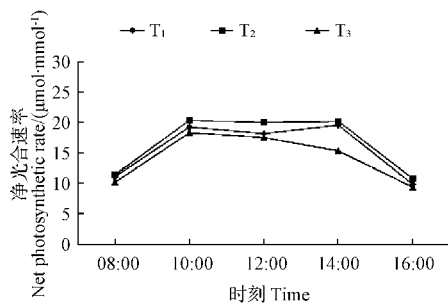


图 2 不同臭氧浓度处理对茄子净光合速率日变化的影响

Fig. 2 Effects on net photosynthetic rate (P_n) of eggplants under different O_3 concentrations

图 3 和图 4 为不同臭氧浓度处理下茄子气孔导度 (G_s) 和蒸腾速率 (Tr) 的日变化。气孔导度表示叶片气孔的张开程度, 影响植物光合作用、呼吸作用和蒸腾作用。试验结果表明, 气孔导度与蒸腾速率成正比, 各处理的日变化表现为先增大后减小, 呈“单峰”变化, 各处理的 G_s 和 Tr 均在 12:00 时达到最大值, 其气孔导度的峰值大小排序为 $T_1 > T_2 > T_3$, T_1 与 T_2 之间无显著差异, 蒸腾速率的峰值大小变化为 $T_2 > T_1 > T_3$ 。12:00 之前, T_2 、 T_3 的 G_s 和 Tr 分别是 T_1 的 110.1% ($P < 0.05$)、81.4% ($P < 0.05$) 和 117.0% ($P < 0.05$)、97.1%, 与 T_1 相比, T_2 的 Tr 和 G_s 均显著增加; 12:00 之后, T_2 的 G_s 和 Tr 分别比 T_1 提高了 18.8% ($P < 0.05$) 和 17.0% ($P < 0.05$), 而 T_3 的 G_s 和 Tr 分别比 T_1 降低了 13.5% 和 16.6% ($P < 0.05$)。

2.2 不同臭氧浓度处理对茄子生长指标的影响

图 5 为不同臭氧浓度处理下茄子株高、茎粗和叶片数的差异。臭氧浓度为 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$

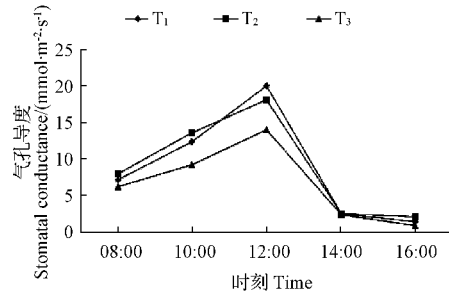


图 3 不同臭氧浓度处理对茄子气孔导度日变化的影响
Fig. 3 Effects on stomatal conductance (G_s) of eggplants under different O_3 concentrations

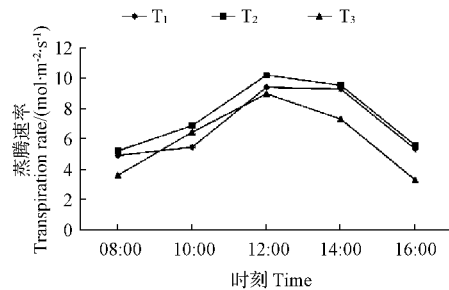


图 4 不同臭氧浓度处理对茄子蒸腾速率日变化的影响
Fig. 4 Effects on transpiration rate (Tr) of eggplants under different O_3 concentrations

(T_2) 时, 臭氧对茄子生长有一定的促进作用。与 T_1 相比, T_2 臭氧处理对茄子株高和茎粗的促进作用不显著, 但对其叶片数的增加表现出显著的促进作用, 而释放臭氧浓度为 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (T_3) 时, 其株高、茎粗和叶片数均表现出较为明显的抑制作用。与 T_1 相比, T_2 茄子株高、茎粗和叶片数分别增加了 6.4%、10.7% 和 20.5%, T_3 茄子株高、茎粗和叶片数分别减少了 16.1%、29.7% 和 22.7%。据此分析, 合理的臭氧浓度对茄子生长有显著的促进作用, 但过高的臭氧浓度不利于作物生长。

2.3 不同臭氧浓度处理对茄子叶绿素含量的影响

从图 6 可以看出, T_2 的生长状况和长势明显较好。由图 7 可知, 低浓度臭氧 (T_2) 消毒处理下的茄子叶绿素含量显著高于 T_1 , 处理时间越长其增长幅度逐步提高。 T_2 的茄子叶绿素含量各时期分别比 T_1 增加了 7.4%、3.3%、8.4%、9.4%、

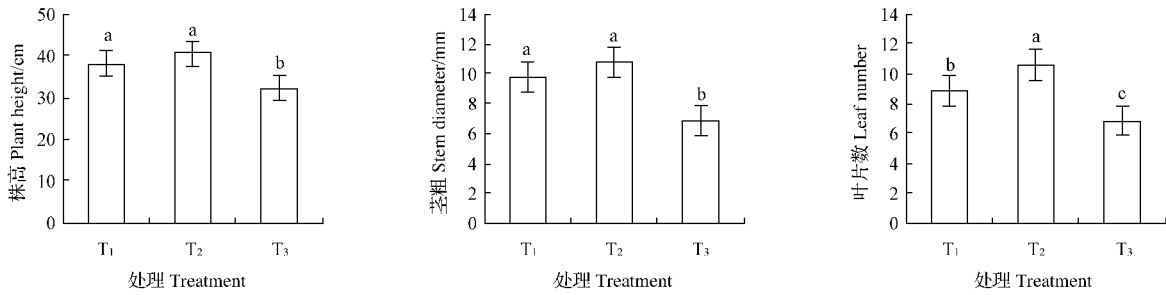


图5 不同臭氧浓度处理对茄子株高、茎粗和叶片数的影响

Fig. 5 Effects on plant height, stem diameter and leaf number of eggplants under different O₃ concentrations

6.8%。但随着臭氧浓度的增加,可明显观察到,高浓度臭氧(T₃)消毒处理下,茄子叶绿素含量在处理初期与 T₁ 相比差异不明显,随着处理时间的延长,T₃ 均显著低于 T₁。

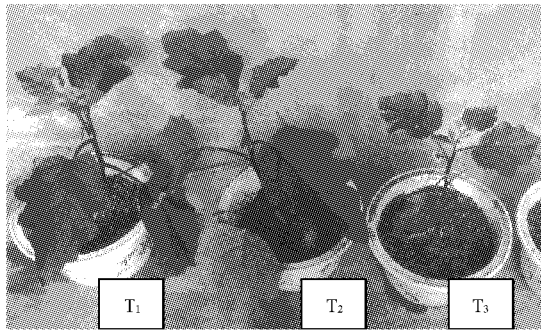


图6 不同臭氧浓度处理下茄子长势

Fig. 6 Growth of eggplants under different O₃ concentrations

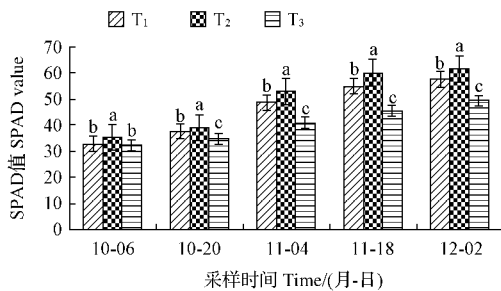


图7 不同臭氧浓度处理下茄子叶绿素含量的变化

Fig. 7 Change of chlorophyll content with eggplants under different O₃ concentrations

3 结论与讨论

对于设施蔬菜,臭氧既可作为气体用于温室

环境消毒灭菌,亦可作为臭氧水用于土壤消毒。但在使用过程中,需要严格控制臭氧消毒浓度与作用时间,避免臭氧对作物的损伤和危害^[8,14-15]。该研究通过茄子盆栽试验,旨在探讨不同臭氧浓度处理对茄子光合特性和茄子植株生长状况的影响。试验结果表明,低浓度臭氧在一定程度上促进了茄子的光合作用,茄子净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均比不通臭氧情况下有所提高;而高浓度臭氧降低了茄子叶片的气孔导度和蒸腾速率,进而造成 CO₂ 浓度的降低,减少了光合作用对 CO₂ 的吸收,明显抑制了茄子的光合作用;低浓度臭氧对于茄子的生长有一定的促进作用,生长指标包括株高、茎粗和叶片数以及叶绿素含量的表现较为明显,而高浓度臭氧消毒处理下,茄子的叶片叶肉细胞受到了一定的伤害,其叶片发生了萎蔫及烧灼的现象,生长状况不佳。

臭氧作为一种高度不稳定的强氧化性气体,其无论在气体状态,还是溶解于水的状态,均较易分解为氧气(O₂),而且不产生二次残留污染,是一种高效、广泛、绿色的杀菌消毒剂^[16-20];比较相同种植条件下3个不同臭氧消毒浓度下的茄子栽培情况发现,适宜于茄子生产的安全消毒浓度为 1.0 mg · m⁻³,但因温室为多因素的生产环境,农业生产过程较为复杂。因此,对于臭氧消毒在温室大棚及农业生产上的精准使用需要进一步的试验研究与应用实践。

参考文献

- [1] VIEBAHNHÄNSLER R, FERNÁNDEZ O S L, FAHMY Z. Ozone in medicine: Clinical evaluation and evidence classification of the systemic ozone applications, major autohemotherapy and rectal insufflation, according to the requirements for evidence-based medicine[J]. *Ozone-Sci Eng*, 2016, 38(5): 322-345.
- [2] 王海鹞,胡志超,吴峰,等. 超声波臭氧组合果蔬清洗机设计

- 与试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 165-169, 175.
- [3] 王风, 张月, 薛长亮, 等. 臭氧曝气对厌氧处理猪场废水磷素形态的影响[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 151-155.
- [4] HORVITZ S, CANTALEJO M J. Application of ozone for the postharvest treatment of fruits and vegetable[J]. *Cri Rev Food Sci*, 2014, 54(3): 312-339.
- [5] 宋卫堂, 王成, 侯文龙. 紫外线-臭氧组合式营养液消毒机的设计及灭菌性能试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 360-365.
- [6] GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ I, CALVO E, GEROSA G, et al. Setting ozone critical levels for protecting horticultural Mediterranean crops: Case study of tomato[J]. *Environ Pollut*, 2014, 185(4): 178-187.
- [7] van GOETHEM T M, AZEVEDO L B, van ZELM R, et al. Plant species sensitivity distributions for ozone exposure[J]. *Environ Pollut*, 2013, 178C(1): 1-6.
- [8] 列滢文, 叶龙华, 薛立. 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 294-306.
- [9] 张璐, 贾丽丽, 隋佳欣. 臭氧污染对园艺作物影响的研究述评[J]. 北方园艺, 2015(16): 188-195.
- [10] 王超铁, 石宝才, 宫亚军, 等. 臭氧在棚室蔬菜的释放浓度试验[J]. 农业新技术, 2003(6): 26-27.
- [11] 李毅, 李英梅, 张淑莲, 等. 臭氧对设施蔬菜病虫害的应用效果[J]. 农业工程, 2012, 2(S1): 31-34.
- [12] 柴新君, 马俊贵. 臭氧在设施农业及畜禽舍的应用研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(4): 140-142, 179.
- [13] 陆启环, 张毅, 易晓华. 臭氧水浇灌对土壤营养成分及草莓幼苗生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2016(23): 50-53.
- [14] 刘迪林, 蔡杰. 对臭氧在温室蔬菜生产上应用的质疑[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S): 221-224.
- [15] 白月明, 王春乙, 温民, 等. 臭氧浓度和熏气时间对菠菜生长和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1971-1975.
- [16] 丁明. 臭氧在温室黄瓜无公害生产上的应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [17] 孙震. 臭氧防治温室病虫害装置及其控制系统设计与研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [18] KLINGBERG J, DANIELSSON H, SIMPSON D, et al. Comparison of modelled and measured ozone concentrations and meteorology for a site in south-west Sweden; Implications for ozone uptake calculations[J]. *Environ Pollut*, 2008, 155(1): 99-111.
- [19] ISIKBER A A, ATHANASSIOU C G. The use of ozone gas for the control of insects and micro-organisms in stored products[J]. *J Stored Prod Res*, 2015, 64(Part B): 139-145.
- [20] MILLER F A, SILVA C L M, BRANDÃO C L M. A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation[J]. *Food Eng Rev*, 2013, 5(2): 77-106.

Effect of Different Ozone Concentrations on Growth and Development of Eggplants

YU Ligen¹, LIU Nan^{1,2}, ZHAO Qian^{1,2}, WEI Ruxue¹, GUO Wenzhong¹

(1. Beijing Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture/National Research Center of Intelligent Equipment for Agriculture/Key Laboratory of Agricultural Intelligent Equipment Technology, Beijing 100097; 2. School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an, Shaanxi 710021)

Abstract: Eggplant variety of 'Jingqie No. 1' was used as experimental materials, with the potting experiment in greenhouse, the differences among different levels of ozone treatment were investigated at 0.0, 1.0, 2.0 mg · m⁻³ mass concentrations. The effects of ozone on photosynthetic characteristics and growth index were studied by measuring net photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, chlorophyll content and plant height, stem diameter, leaf number. The results showed that the chlorophyll content and net photosynthetic rate of eggplants increased gradually when the ozone concentration was set to 1.0 mg · m⁻³, while the stomatal conductance followed by T₁ > T₂ > T₃ and the transpiration rate was ranked with T₂ > T₁ > T₃. The plant height, stem diameter and leaf number of T₂ were 6.4%, 10.7% and 20.5% higher than T₁. In conclusion, the photosynthetic characteristics, growth and development of eggplants under different ozone concentrations were significantly different, and the ozone mass concentrations with 1.0 mg · m⁻³ was the best control index.

Keywords: eggplants; photosynthetic characteristics; ozone concentration; chlorophyll content