

# 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗生长及其生理的影响

徐少卓<sup>1</sup>, 赵玉文<sup>1</sup>, 王义坤<sup>1</sup>, 王金政<sup>2</sup>, 田长平<sup>3</sup>, 陈杰<sup>4</sup>, 陈学森<sup>1</sup>,  
沈向<sup>1</sup>, 尹承苗<sup>1,\*</sup>, 毛志泉<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> 山东农业大学园艺科学与工程学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; <sup>2</sup> 山东省果树研究所, 山东泰安 271000; <sup>3</sup> 烟台市农业科学研究院, 山东烟台 265500; <sup>4</sup> 临沂市兰山区园林办公室, 山东临沂 276000)

**摘要:** 以盆栽平邑甜茶幼苗为试材, 连续 2 年研究了老龄苹果园土壤经棉隆熏蒸后轮作一茬葱对再植平邑甜茶植株生理特征的影响, 为其减轻苹果连作障碍提供理论依据。结果表明: 老龄苹果园土壤轮作葱、棉隆熏蒸、棉隆熏蒸后短期轮作葱均能显著促进连作土壤再植平邑甜茶幼苗的生长, 其中以棉隆熏蒸后短期轮作葱处理效果最佳。与棉隆熏蒸相比, 棉隆熏蒸加短期轮作葱处理的平邑甜茶株高、地径、鲜质量、干质量、根系呼吸速率在 2016 年 7 月分别提高了 34.5%、19.5%、30.0%、22.6%、21.3%, 2017 年 7 月, 上述指标分别提高了 29.9%、28.4%、35.0%、34.4%、26.5%; 棉隆熏蒸后短期轮作葱还显著降低了根系及叶片中 MDA 含量, 提高了根系抗氧化酶 (SOD、POD、CAT) 活性, 两者联用处理的平邑甜茶幼苗净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $G_i$ ) 等较棉隆熏蒸也有显著提高。因此, 棉隆熏蒸后短期轮作葱能有效防控苹果连作障碍。

**关键词:** 苹果; 连作障碍; 棉隆熏蒸; 葱; 短期轮作; 抗氧化酶; 光合速率

**中图分类号:** S 661.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2018) 06-1021-10

## Effects of Dazomet Fumigation and Short-time *Allium fistulosum* Rotation on the Growth and Physiology of *Malus hupehensis*

XU Shaozhuo<sup>1</sup>, ZHAO Yuwen<sup>1</sup>, WANG Yikun<sup>1</sup>, WANG Jinzheng<sup>2</sup>, TIAN Changping<sup>3</sup>, CHEN Jie<sup>4</sup>,  
CHEN Xuesen<sup>1</sup>, SHEN Xiang<sup>1</sup>, YIN Chengmiao<sup>1,\*</sup>, and MAO Zhiquan<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China; <sup>2</sup> Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong 271000, China; <sup>3</sup> Yantai Academy of Agricultural & Science, Yantai, Shandong 265500, China; <sup>4</sup> Garden Office of Linyi Lanshan, Linyi, Shandong 276000, China)

**Abstract:** In order to provide basis for preventing and controlling apple replant disease (ARD), the *Malus hupehensis* Rehd., which was planted in an *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation under pot condition, was tested to study the growth of seedlings in continuous 2 years. The results showed

**收稿日期:** 2017-11-01; **修回日期:** 2018-05-16

**基金项目:** 山东省农业重大应用技术创新课题; 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-27); 山东省自然科学基金项目 (ZR2014CL024); 国家自然科学基金项目 (31501720, 31672104); 国家重点研发计划项目 (2016YFD0201114); 山东省水果创新团队项目 (SDAIT-06-07)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: mzhiquan@sdaa.edu.cn, yinchengmiao@163.com)

that, dazomet fumigation and *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation can significantly promote the growth of the *Malus hupehensis* Rehd., but the *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation is the best. In July 2016, compared with dazomet fumigation, the plant height, stem diameter, fresh weight, dry weight and root respiration rate of *M. hupehensis* Rehd. seedlings with a *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation were increased by 34.5%, 19.5%, 30.0%, 22.6% and 21.3%. Those indices were improved 29.9%, 28.4%, 35.0%, 34.4% and 26.5% in July 2017. Under *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation treatment, the root activity and the antioxidant enzymes including superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) increased. The contents of MDA in root and leaf decreased, respectively. Treatment with *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation also increased  $P_n$ ,  $T_r$ ,  $G_s$  and  $G_i$  of *Malus hupehensis* Rehd. seedling leaves. The treatment with a short time *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation promoted the growth of *M. hupehensis* Rehd., and had the better function in prevention and control of ARD than that of dazomet fumigation, therefore, it could be an effective measure to reduce ARD.

**Keywords:** apple; replant disease; dazomet fumigation; *Allium fistulosum*; short-time rotation; antioxidant enzyme; photosynthetic rate

中国是世界最大的苹果栽培国, 随着苹果商品化集成程度的不断加深以及栽培模式的改变, 大面积的老龄苹果园亟待更新, 随之带来的苹果连作障碍问题愈发严峻 (陈学森 等, 2010)。连作会显著抑制植株的生长发育, 使其长势变差, 产量严重下降, 且随着种植年限的增加, 抑制作用逐渐加重 (崔雯雯 等, 2013; 沈宝云 等, 2013; 王翌 等, 2013; 康亚龙 等, 2015)。克服连作障碍的措施也由原来单一的客土、轮作、熏蒸, 逐步发展到现在施用生物菌肥改良、抗重茬砧木以及多种方法的联用等 (李天来和杨丽娟, 2016)。刘星等 (2016) 通过将氨水与生物有机肥联用来解决沿黄灌溉区马铃薯连作障碍问题, 使马铃薯的产量与品质得到了极大的提升。在苹果连作障碍的防治措施中, 本课题组也进行了多种尝试, 如多菌灵与微生物菌肥联用 (付风云 等, 2016)、棉隆与海藻菌肥联用 (刘超 等, 2016) 等, 以上措施对减轻苹果连作障碍均具有良好效果。

土壤消毒是减轻连作障碍最直接的方法, 随着消毒效果较好的化学熏蒸剂溴甲烷因破坏臭氧层而被全球禁用 (曹勘程 等, 2007), 寻找溴甲烷的替代品显得愈发重要。棉隆 (Dazomet, 3,5 - 二甲基 - 1,3,5 - 噻二嗪烷 - 2 - 硫酮) 在潮湿的土壤中遇水生成异硫氰酸甲酯, 异硫氰酸甲酯可与细胞中的亲核部位 (如氨基、羟基、巯基) 发生氨基甲酰化反应继而通过挥发产生毒性效应, 从而达到给土壤消毒的目的 (陈品三 等, 2001)。虽然棉隆在生产中得到了广泛应用, 但其杀菌效果仍不及溴甲烷, 并且单纯的化学熏蒸并不利于土壤的可持续发展。本课题组前期研究发现在老龄苹果园中无论是轮作还是混作葱 (吕毅 等, 2014; 李家家 等, 2016), 对平邑甜茶幼苗的生长均有积极作用。前期研究发现, 棉隆熏蒸后轮作葱处理提高了连作土壤中细菌与真菌的比值, 改变了连作土壤真菌群落结构, 提高了土壤酶活性 (徐少卓 等, 2018), 以上土壤环境的优化对苹果连作障碍的减轻均具有积极的意义。本试验在前期研究的基础上, 连续两年 (2016—2017) 观察了棉隆熏蒸后短期轮作葱处理下平邑甜茶幼苗的生理特征变化, 以期减轻苹果连作障碍提供更规范的技术指导与更有力的理论依据。

# 1 材料与方 法

## 1.1 试验材料

试验于 2015—2017 年在山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室进行。试验用土为山东省泰安市满庄镇小王庄村 25 年生老 龄苹果园土, 2015 年 3 月取距树干 80 cm, 去表 层土后深 10~40 cm 的区域, 多点随机取样, 混匀备用。土壤类型为棕壤土 ( $\text{NO}_3^- \cdot \text{N}$  5.5  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\text{NH}_4^+ \cdot \text{N}$  3.8  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾 90.6  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷 9.3  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有机质 5.3  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。98%微粒棉 隆购自江苏省南通施壮化工有限公司, 施用量为 0.02% (质量比)。

试验用葱为泰安铁杆大葱 (山东泰安大农种业制种)。

供试材料为苹果砧木平邑甜茶 (*Malus hupehensis* Rehd.) 实生苗。将平邑甜茶种子于 4  $^{\circ}\text{C}$  层积 30 d, 种子露白后, 于 2016 年 3 月底播种于育苗培养钵中。待幼苗长至 6 片真叶时, 取长势基本一 致的幼苗移栽至上部内径 25 cm、下部内径 17 cm、高 18 cm 的泥盆中, 每盆定植 2 株幼苗, 正常肥 水管理。

## 1.2 试验设计与处理

2015 年 3 月 20 日对老 龄苹果园土壤进行棉隆熏蒸处理, 即在密闭塑料棚内, 将棉隆与土充分 混匀, 表面洒水, 封闭 15 d 后揭膜晾晒, 每 2~3 d 翻土晾晒 1 次, 共 5 次。2015 年 4 月 22 日将老 龄苹果园土壤及棉隆熏蒸后的土壤分别装入上部内径 25 cm, 下部内径 17 cm, 高 18 cm 试验盆中。 2015 年 5 月 1 日, 部分老 龄苹果园土壤、棉隆熏蒸后的老 龄苹果园土壤撒播葱种, 每盆播撒 0.5 g。 此时便形成了 4 个试验处理: (1) 老 龄苹果园土 (对照); (2) 老 龄苹果园土轮作葱; (3) 棉隆熏 蒸老 龄苹果园土; (4) 棉隆熏蒸老 龄苹果园土后轮作葱。2016 年 5 月 1 日, 将试验盆中的葱清理干 净后, 各处理统一栽植长势基本一致的平邑甜茶幼苗, 每盆 2 株, 正常肥水管理。

2016 年 7 月 15 日和 2017 年 7 月 15 日对所有处理各进行 1 次取样, 每个处理取 3 株平邑甜茶 幼苗。取样时用清水清洗平邑甜茶幼苗根系, 擦干后剪取少许白色根和植株叶片, 放置液氮罐中, 及时带回实验室, 进行指标测定。并于 2017 年 8 月 15 日 (天气晴朗) 上午 10: 00 时测定各处理的 光合参数。

## 1.3 指标测定

平邑甜茶幼苗株高、地径分别用米尺、游标卡尺 (上海申工) 测定, 干、鲜质量用电子天平 (上 海舜宇恒平) 测定。

根系构型参数用专业版 WinRHIZO (2007 年版) 根系扫描仪进行扫描分析, 记录根系长度、总 体积和总表面积等, 采用 Oxy-Lab 氧电极自动测定系统测定幼苗根系呼吸速率。

超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定参照 Zhang 等 (2009) 的方法, 以抑制氮蓝四唑 (NBT) 光 还原 50% 为 1 个酶活力单位 (U), 用  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示。过氧化物酶 (POD) 活性测定按 Omran (1980) 的方法, 测定 470 nm 吸光度的变化, 以每分钟内引起 470 nm 吸光度变化 0.01 的酶量为 1 个酶活力 单位 (U), 用  $\text{U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示。过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定按照 Singh (2010) 的方法测 定 240 nm 吸光度变化, 以每分钟内使 240 nm 吸光度减少 0.1 的酶量为 1 个酶活力单位 (U), 用  $\text{U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$  表示。叶片丙二醛 (MDA) 含量的测定采用硫代巴比妥酸法 (赵世杰 等, 2002)。

光合速率及相关参数采用美国 PP-Systems 公司生产的 CIRAS-3 型光合仪测定。测定时分别选

取各处理 3 株平邑甜茶幼苗，每株幼苗选取自下而上第 3 ~ 5 片完全展开的、有代表性的健康成龄叶，固定叶片并做标记，测定净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ )。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据整理，SPSS 19.0 进行方差分析，邓肯氏新复极差法进行差异显著性检测。

2 结果与分析

2.1 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗生物量和根系构型的影响

老龄果园土壤轮作葱、棉隆熏蒸老龄苹果园土壤、棉隆熏蒸后短期轮作葱处理均能显著增加平邑甜茶幼苗的株高、地径、干鲜质量（表 1），其中以棉隆熏蒸后短期轮作葱处理的效果最为显著。2016 年 7 月取样结果显示，与棉隆熏蒸老龄苹果园土壤相比，棉隆熏蒸后短期轮作葱处理的株高、地径、鲜质量、干质量分别提高了 34.4%、19.5%、30.0%、22.6%。2017 年 7 月取样测定上述指标分别提高了 29.9%、28.4%、35.0%、34.4%。

表 1 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶生物量的影响  
Table 1 Effects of *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation on plant biomass of *Malus hupehensis* Rehd.

测定日期 Date	处理 Treatment	株高/cm Height	地径/mm Stem diameter	鲜质量/g Fresh weight	干质量/g Dry weight
2016 - 07 - 15	对照 Soil of old apple orchard	13.88 ± 0.53 d	2.16 ± 0.11 d	17.49 ± 0.65 d	8.42 ± 0.32 d
	轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation	20.04 ± 1.10 c	2.48 ± 0.07 c	23.04 ± 1.05 c	11.30 ± 0.53 c
	棉隆熏蒸 Dazomet fumigation	28.26 ± 0.67 b	3.23 ± 0.05 b	31.35 ± 0.68 b	15.36 ± 0.29 b
	棉隆熏蒸后轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation after dazomet fumigation	38.00 ± 0.67 a	3.86 ± 0.06 a	40.76 ± 0.79 a	18.83 ± 0.26 a
2017 - 07 - 15	对照 Soil of old apple orchard	52.54 ± 1.41 d	7.00 ± 0.08 d	56.92 ± 1.57 c	26.94 ± 0.60 c
	轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation	61.83 ± 0.98 c	8.59 ± 0.24 c	65.58 ± 1.59 c	32.49 ± 0.89 c
	棉隆熏蒸 Dazomet fumigation	80.62 ± 1.45 b	10.52 ± 0.35 b	84.30 ± 1.28 b	42.24 ± 0.50 b
	棉隆熏蒸后轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation after dazomet fumigation	104.70 ± 4.14 a	13.51 ± 0.56 a	113.82 ± 8.08 a	56.78 ± 3.21 a

注：表中不同小写字母表示同一年份不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。  
Note: Different letters in the table stand for the significant difference at the 0.05 level in the same year. The same below.

棉隆熏蒸后短期轮作葱处理比单纯棉隆熏蒸处理更能促进平邑甜茶幼苗根系的生长（表 2）。

表 2 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗根系的影响  
Table 2 Effects of *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation on roots of *Malus hupehensis* Rehd.

测定日期 Date	处理 Treatment	根长/cm Root length	根总表面积/cm <sup>2</sup> Root area	根体积/cm <sup>3</sup> Root volume
2016 - 07 - 15	对照 Soil of old apple orchard	1 286.54 ± 28.74 d	217.92 ± 8.36 d	6.74 ± 0.58 d
	轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation	1 931.15 ± 47.88 c	292.58 ± 10.67 c	12.67 ± 0.34 c
	棉隆熏蒸 Dazomet fumigation	3 046.06 ± 198.46 b	673.19 ± 10.05 b	23.36 ± 0.93 b
	棉隆熏蒸后轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation after dazomet fumigation	4 113.40 ± 102.56 a	910.95 ± 11.94 a	31.38 ± 0.50 a
2017 - 07 - 15	对照 Soil of old apple orchard	5 479.25 ± 211.58 d	1 393.44 ± 156.57 d	50.46 ± 1.36 d
	轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation	6 661.21 ± 144.17 c	2 393.48 ± 101.96 c	59.28 ± 0.63 c
	棉隆熏蒸 Dazomet fumigation	9 058.89 ± 286.66 b	5 534.32 ± 233.99 b	73.15 ± 1.54 b
	棉隆熏蒸后轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation after dazomet fumigation	11 615.66 ± 383.33 a	7 091.55 ± 224.27 a	101.39 ± 3.62 a

与单纯棉隆熏蒸相比, 2016 年 7 月与 2017 年 7 月两次取样中, 棉隆熏蒸后短期轮作葱处理的平邑甜茶幼苗根长分别提高了 35.0%、28.2%; 根总表面积分别提高了 35.3%、28.1%; 根体积分别提高了 34.3%、38.6%。

2.2 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗根系保护酶活性及根系呼吸速率的影响

由图 1 所示, 各处理均能提高平邑甜茶幼苗的根系呼吸速率, 与棉隆熏蒸相比, 2016 年 7 月、2017 年 7 月的平邑甜茶幼苗根系呼吸速率分别提高了 21.3%、26.5%。

棉隆熏蒸后短期轮作葱处理还能够显著提高平邑甜茶幼苗的根系相关保护酶活性, 与单纯棉隆熏蒸相比, 2016 年 7 月与 2017 年 7 月两次取样的 SOD 活性分别提高了 16.9%、18.2%; POD 活性分别提高了 21.8%、29.9%; CAT 活性分别提高了 19.1%、16.9%。

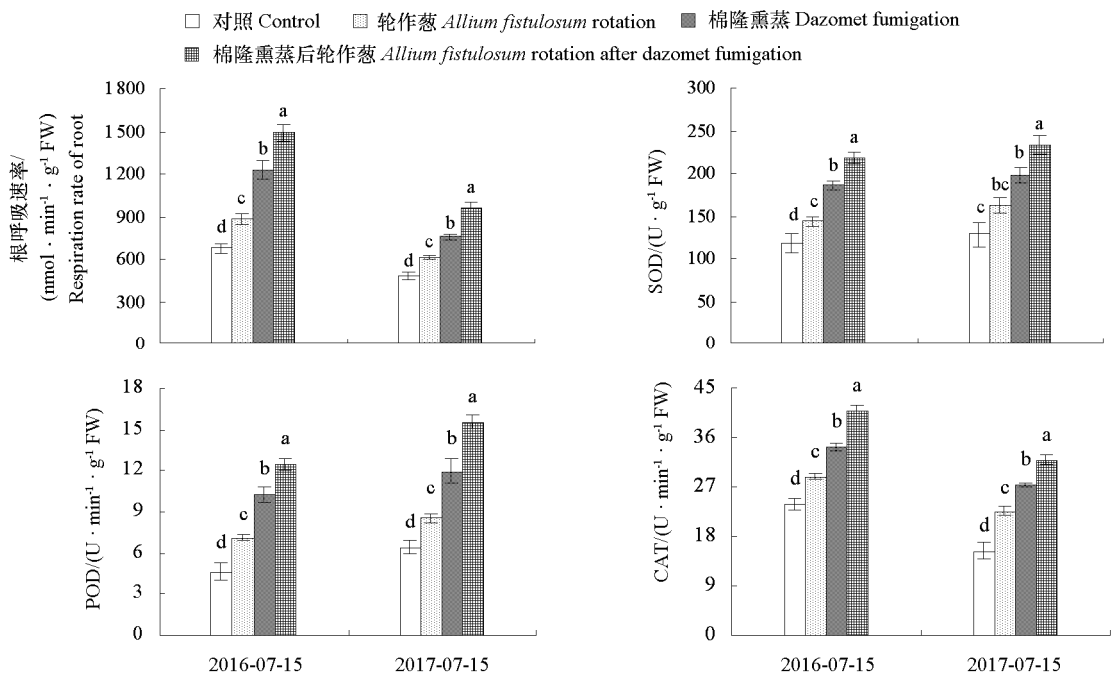


图 1 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗根系 SOD、POD、CAT 活性及根系呼吸速率的影响  
Fig. 1 Effects of *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation on SOD, POD, CAT activities and respiration rate of *Malus hupehensis* Rehd. roots

2.3 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗根系及叶片 MDA 含量的影响

由图 2 所示, 棉隆处理与棉隆熏蒸轮作葱处理均能显著降低平邑甜茶幼苗根系及叶片中的 MDA 含量。

与棉隆熏蒸相比, 平邑甜茶幼苗根系 MDA 含量 2016 年 7 月与 2017 年 7 月分别降低了 33.5%、37.3%, 叶片 MDA 含量分别降低了 40.9%、30.1%。

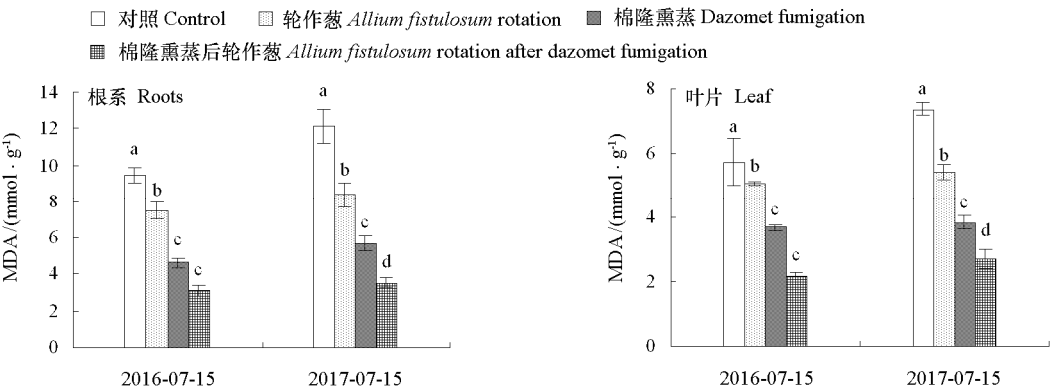


图 2 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗根系及叶片 MDA 含量的影响  
Fig. 2 Effects of *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation on content of MDA  
in roots and leaf of *Malus hupehensis* Rehd.

2.4 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗光合参数的影响

如表 3 所示，不同处理对平邑甜茶幼苗  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  均以棉隆熏蒸后短期轮作葱处理的最高，其次为棉隆熏蒸、老龄苹果园土壤轮作葱。棉隆熏蒸后短期轮作葱处理的  $P_n$ 、 $T_r$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  较棉隆熏蒸处理分别提高了 11.1%、20.0%、11.6%、7.4%。

表 3 棉隆熏蒸加短期轮作葱对平邑甜茶幼苗叶片  $P_n$ 、 $C_i$ 、 $G_s$  和  $T_r$  的影响

Table 3 Effects of *Allium fistulosum* rotation after dazomet fumigation on the  $P_n$ ,  $C_i$ ,  $G_s$  and  $T_r$  in leaves of *Malus hupehensis* Rehd.

处理 Treatment	$P_n / (\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$T_r / (\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$G_s / (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$C_i / (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
对照 Soil of old apple orchard	$12.93 \pm 0.35 \text{ c}$	$1.27 \pm 0.09 \text{ d}$	$82.33 \pm 4.33 \text{ c}$	$138.00 \pm 2.31 \text{ b}$
轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation	$13.73 \pm 0.39 \text{ c}$	$1.77 \pm 0.15 \text{ c}$	$92.00 \pm 2.31 \text{ bc}$	$132.33 \pm 3.48 \text{ b}$
棉隆熏蒸 Dazomet fumigation	$15.23 \pm 0.23 \text{ b}$	$2.30 \pm 0.10 \text{ b}$	$100.67 \pm 4.06 \text{ ab}$	$144.00 \pm 4.62 \text{ ab}$
棉隆熏蒸后轮作葱 <i>Allium fistulosum</i> rotation after dazomet fumigation	$16.80 \pm 0.35 \text{ a}$	$2.77 \pm 0.15 \text{ a}$	$112.33 \pm 4.48 \text{ a}$	$154.67 \pm 5.78 \text{ a}$

3 讨论

连作条件下的苹果幼苗根系常表现为生长缓慢、根尖坏死，以至于植株死亡 (Mazzola & Manici, 2012)。有研究认为棉隆熏蒸以及轮作葱均能促进苹果幼苗根系的生长 (刘恩太 等, 2014)。在本试验中，通过连续两年的取样研究发现棉隆熏蒸后短期轮作葱对平邑甜茶幼苗根系指标 (根长、根总表面积、根总体积) 的促进作用要优于棉隆熏蒸。主要的原因可能是棉隆熏蒸后短期轮作葱最大程度地优化了土壤微生物环境，有研究证明棉隆熏蒸与轮作葱处理均能降低苹果连作土壤真菌/细菌值，改变连作土壤微生物群落结构 (徐宁 等, 2012)。连作障碍研究中，大多数学者认为有害微生物数量的积累尤其是有害真菌数量的增多以及微生物群落结构的改变是造成苹果连作障碍的主要原因 (Manici et al., 2003; Tewoldemedhin et al., 2011; Yim et al., 2013)。本课题组前期的研究表明，棉隆熏蒸后短期轮作葱提高了老龄苹果园园土壤的细菌与真菌比值，改变了真菌群落结构，提高了土壤主要酶活性 (徐少卓 等, 2018)，同时腐烂的葱根提高了土壤中的有机质含量，疏松了土壤，使老龄苹果园土壤变得相对“肥沃”，这些都为平邑甜茶幼苗根系的生长提供了有利的生长环境。

正常条件下, 植株体内自由基的产生与消除保持动态平衡。当遇到严重逆境胁迫时自由基的消除速率远远低于产生速率, 此时植物便会受到伤害(尹永强 等, 2007; Srivastava et al., 2014)。MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一, 可通过 MDA 了解膜脂氧化的程度, 以间接测定膜系统受损程度以及植物的抗逆性。SOD、POD、CAT 三者是保护植物免受过量自由基伤害的主要参与者, 三者协同作用, 共同保护植物体内膜结构, 降低自由基对膜结构的伤害作用(Ahmad et al., 2010)。长期连作条件下, 老龄苹果园土壤中有害微生物的积累、酚酸类物质的增加、营养元素的失衡等均成为限制新植苹果苗生长的不利因素(Redman et al., 2001; Braun et al., 2010), 在此环境中, 植株体内自由基产生与消除的动态平衡被打破, 植株的生长便会受到抑制。本试验中, 棉隆熏蒸后短期轮作葱有效缓解了平邑甜茶幼苗所受到的胁迫程度, 具体表现在平邑甜茶的不同生长阶段根系及叶片中 MDA 含量较对照有显著下降, 并且 SOD、POD、CAT 活性均保持较高水平, 从而极大地限制了连作条件下植株体内自由基的产生, 增强了植株的抗逆性, 这可能与土壤微生物环境的优化(李家家 等, 2016)有密切的关系。除了土壤微生物环境的改善外, 有研究认为轮作葱增加了土壤中细菌数量, 使酚酸物质在微生物等的作用下转化为其他物质, 降低土壤中酚酸类物质的含量, 优化连作土壤中的矿质元素配比(Lauzon et al., 2003; Zhang et al., 2010; 吕毅 等, 2014)。此外, 有研究也表明葱的根系分泌物也具有抗氧化能力(Racisi et al., 2016), 上述条件都对减轻逆境胁迫具有积极的作用。

当植株受到逆境胁迫时, 除了自由基的产生与消除平衡被打破外, 有研究认为叶绿体和类囊体膜结构也会因为逆境胁迫而受到损害, 同时降低叶绿素的合成, 使光合速率下降, 进而减少植株体内有机物积累, 影响植株生长(Wright et al., 2009; 谭伟 等, 2012)。本试验中, 棉隆熏蒸后短期轮作葱处理的平邑甜茶幼苗的光合速率、蒸腾速率、气孔导度等都显著高于对照, 也可以进一步说明, 棉隆熏蒸后短期轮作葱能提高植株的抗逆性, 增强植株的同化能力, 有助于植株体内有机物的积累, 从而促进平邑甜茶幼苗的生长。

随着苹果集约化生产的程度不断提高以及矮化密植技术的持续推广, 苹果连作障碍愈发严峻。虽然化学熏蒸是克服这一难题的主要技术措施, 但现在无一熏蒸剂能达到溴甲烷的消毒效果, 而且化学熏蒸并不利于环境的可持续发展。本试验结果表明棉隆熏蒸与轮作葱相结合, 提高了平邑甜茶幼苗的抗氧化酶活性, 提高了其光合反应效率, 更有利于再植平邑甜茶幼苗的生长, 但实际应用效果仍需进行大田验证。

## References

- Ahmad P, Jaleel C A, Salem M A, Nabi G, Sharma S. 2010. Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical Reviews in Biotechnology*, 30 (3): 161 - 175.
- Braun P G, Fuller K D, Mcrae K. 2010. Response of ‘Honeycrisp®’ apple trees to combinations of pre-plant fumigation, deep ripping, and hogmanure compost incorporation in a soil with replant disease. *Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science*, 45 (11): 1702 - 1707.
- Cao Ao-cheng, Zhang Wen-ji, Liu Jian-hua. 2007. Progress in the alternatives to methyl bromide in soil disinfestation. *Plant Protection*, 33 (1): 15 - 20. (in Chinese)
- 曹塬程, 张文吉, 刘建华. 2007. 溴甲烷土壤消毒替代技术研究进展. *植物保护*, 33 (1): 15 - 20.
- Chen Pin-san. 2001. The main types, characteristics and action mechanisms of nematicides. *Pesticide Science and Administration*, 22 (2): 33 - 35. (in Chinese)
- 陈品三. 2001. 杀线虫剂主要类型, 特性及其作用机制. *农药科学与管理*, 22 (2): 33 - 35.

- Chen Xue-sen, Han Ming-yu, Su Gui-lin, Liu Feng-zhi, Guo Guo-nan, Jiang Yuan-mao, Mao Zhi-quan, Peng Fu-tian, Shu Huai-rui. 2010. Discussion on today's world apple industry trends and the suggestions on sustainable and efficient development of apple industry in China. Journal of Fruit Science, 27 (4): 598 - 604. (in Chinese)
- 陈学森, 韩明玉, 苏桂林, 刘凤之, 过国南, 姜远茂, 毛志泉, 彭福田, 束怀瑞. 2010. 当今世界苹果产业发展趋势及我国苹果产业优质高效发展意见. 果树学报, 27 (4): 598 - 604.
- Cui Wen-wen, Gao Xiao-li, Ma Rui-rui, Yang Qiu-ge, Ma Shu-rong, Gao Jin-feng. 2013. Effects of continuous cropping on photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of broomcorn millet after heading stage. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed), 41 (9): 55 - 60. (in Chinese)
- 崔雯雯, 高小丽, 马瑞瑞, 杨秋歌, 马淑蓉, 高金锋. 2013. 连作对糜子抽穗后光合特性和干物质积累的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 41 (9): 55 - 60.
- Fu Feng-yun, Xiang Li, Xu Shao-zhuo, Liu Xun-li, Shen Xiang, Chen Xue-sen, Yin Cheng-miao, Mao Zhi-quan. 2016. Effects of carbendazim and bio-organic fertilizer on *Malus hupehensis* seedlings and soil under replant condition. Acta Horticulturae Sinica, 43 (8): 1452 - 1462. (in Chinese)
- 付风云, 相立, 徐少卓, 刘训理, 沈向, 陈学森, 尹承苗, 毛志泉. 2016. 多菌灵与微生物有机肥复合对连作平邑甜茶幼苗及土壤的影响. 园艺学报, 43 (8): 1452 - 1462.
- Kang Ya-long, Liu Yan-rong, Liu Jian-guo, Li Meng-ge, Hao Meng-chao, Jiang Gui-ying. 2015. Physiological activity and material production in processing tomato under continuous cropping. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 23 (3): 319 - 328. (in Chinese)
- 康亚龙, 刘彦荣, 刘建国, 李梦格, 郝梦超, 蒋桂英. 2015. 连作对加工番茄植株生理活性和物质生产的影响. 中国生态农业学报, 23 (3): 319 - 328.
- Lauzon C, Potter S, Prokopy R. 2003. Degradation and detoxification of the dihydrochalcone phloridzin by *Enterobacter agglomerans*, a bacterium associated with the apple pest, *Rhagoletis pomonella*. Environmental Entomology, 32 (5): 953 - 962.
- Li Jia-jia, Xiang Li, Pan Feng-bing, Chen Xue-sen, Shen Xiang, Yin Cheng-miao, Mao Zhi-quan. 2016. Effects of *Malus hupehensis* seedlings and *Allium fistulosum* mixed cropping on replanted soil environment. Acta Ecologica Sinica, 43 (10): 1853 - 1862. (in Chinese)
- 李家佳, 相立, 潘凤兵, 陈学森, 沈向, 尹承苗, 毛志泉. 2016. 平邑甜茶幼苗与葱混作对苹果连作土壤环境的影响. 园艺学报, 43 (10): 1853 - 1862.
- Li Tian-lai, Yang Li-juan. 2016. Overcoming continuous cropping obstacles - the difficult problem. Scientia Agricultura Sinica, 49 (5): 916 - 918. (in Chinese)
- 李天来, 杨丽娟. 2016. 作物连作障碍的克服——难解的问题. 中国农业科学, 49 (5): 916 - 918.
- Liu Chao, Xiang Li, Wang Sen, Chen Xue-sen, Shen Xiang, Yin Cheng-miao, Mao Zhi-quan. 2016. Effects of dazomet fumigation and seaweed biologic fertilizer on the *Malus hupehensis* seedlings and soil microbial quantity under replant conditions. Acta Horticulturae Sinica, 43 (10): 1995 - 2002. (in Chinese)
- 刘超, 相立, 王森, 陈学森, 沈向, 尹承苗, 毛志泉. 2016. 土壤熏蒸剂棉隆加海藻菌肥对苹果连作土壤微生物及平邑甜茶生长的影响. 园艺学报, 43 (10): 1995 - 2002.
- Liu En-tai, Li Yuan-yuan, Hu Yan-li, Sun Chuan-xiang, Mao Zhi-quan. 2014. Effects of dazomet on edaphon and growth of *Malus hupehensis* Rehd. under continuous apple cropping. Acta Ecologica Sinica, 34 (4): 847 - 852. (in Chinese)
- 刘恩太, 李园园, 胡艳丽, 孙传香, 毛志泉. 2014. 棉隆对苹果连作土壤微生物及平邑甜茶幼苗生长的影响. 生态学报, 34 (4): 847 - 852.
- Liu Xing, Zhang Wen-ming, Zhang Chun-hong, Qiu Hui-zhen, Li Rui-qin, Wang Di, Shen Qi-rong. 2016. Combination of the application of soil disinfection and bio-organic fertilizer amendment and its effects on yield and quality of tubers, physiological characteristics of plants, and the soil fungal community in a potato monoculture system. Acta Ecologica Sinica, 36 (20): 6365 - 6378. (in Chinese)
- 刘星, 张文明, 张春红, 邱慧珍, 李瑞琴, 王蒂, 沈其荣. 2016. 土壤灭菌-生物有机肥联用对连作马铃薯及土壤真菌群落结构的影响. 生态学报, 36 (20): 6365 - 6378.
- Lü Yi, Song Fu-hai, Li Yuan-yuan, Shen Xiang, Chen Xue-sen, Wu Shu-jing, Mao Zhi-quan. 2014. The influence of different crops rotation on



- the environment of soil and physiological characteristics of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings. *Scientia Agricultura Sinica*, 47 (14): 2830 - 2839. (in Chinese)
- 吕 毅, 宋富海, 李园园, 沈 向, 陈学森, 吴树敬, 毛志泉. 2014. 轮作不同作物对苹果园连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生理指标的影响. *中国农业科学*, 47 (14): 2830 - 2839.
- Manici L M, Ciavatta C, Kelderer M, Erschbaumer G. 2003. Replant problems in South Tyrol: role of fungal pathogens and microbial population in conventional and organic apple orchards. *Plant and Soil*, 256 (2): 315 - 324.
- Mazzola M, Manici L M. 2012. Apple replant disease: role of microbial ecology in cause and control. *Annual Review of Phytopathology*, 50 (1): 45.
- Omran R G. 1980. Peroxide levels and the activities of catalase, peroxidase, and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings. *Plant Physiology*, 65 (2): 407 - 408.
- Raeisi S, Sharifi-rad M, Quek S Y, Shabanpour B, Sharifi-rad J. 2016. Evaluation of antioxidant and antimicrobial effects of shallot (*Allium ascalonicum* L.) fruit and ajwain [*Trachyspermum ammi* (L.) Sprague] seed extracts in semi-fried coated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets for shelf-life extension. *LWT-Food Science and Technology*, 65: 112 - 121.
- Redman R S, Dunigan D D, Rodriguez R J. 2001. Fungal symbiosis from mutualism to parasitism: who controls the outcome, host or invader. *New Phytologist*, 151 (3): 705 - 716.
- Shen Bao-yun, Liu Xing, Wang Di, Meng Pin-pin, Zhang Jun-lian, Qiu Hui-zhen. 2013. Effects of continuous cropping on potato eco-physiological characteristics in the Yellow River irrigation area of the central Gansu Province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 21 (6): 689 - 699. (in Chinese)
- 沈宝云, 刘 星, 王 蒂, 孟品品, 张俊莲, 邱慧珍. 2013. 甘肃省中部沿黄灌区连作对马铃薯植株生理生态特性的影响. *中国生态农业学报*, 21 (6): 689 - 699.
- Singh B K, Sharma S R, Singh B. 2010. Antioxidant enzymes in cabbage: variability and inheritance of superoxide dismutase, peroxidase and catalase. *Scientia Horticulturae*, 124: 9 - 13.
- Srivastava R K, Pandey P, Rajpoot R, Rani A, Dubey R S. 2014. Cadmium and lead interactive effects on oxidative stress and antioxidative responses in rice seedlings. *Protoplasma*, Doi: 10.1007/s00709-014-0614-3.
- Tan Wei, Liang Ting, Zhai Heng. 2012. Effects of acetochlor on the photosynthetic and fluorescence characteristics and chloroplast structure of grape leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23 (8): 2185 - 2190. (in Chinese)
- 谭 伟, 梁 婷, 翟 衡. 2012. 乙草胺对葡萄叶片光合和叶绿素荧光特性及叶绿体结构的影响. *应用生态学报*, 23 (8): 2185 - 2190.
- Tewoldemedhin Y T, Mazzola M, Botha W J, Spies C F J, McLeod A. 2011. Characterization of fungi (*Fusarium* and *Rhizoctonia*) and oomycetes (*Phytophthora* and *Pythium*) associated with apple orchards in South Africa. *European Journal of Plant Pathology*, 130 (2): 215 - 229.
- Wang Zhao, Liu Lian-tao, Sun Hong-chun, Zhang Yong-jiang, Li Cun-dong. 2013. Effects of cotton continuous cropping on accumulation and distribution of dry matter and physiological characteristics of functional leaf. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 36 (5): 6 - 11. (in Chinese)
- 王 墨, 刘连涛, 孙红春, 张永江, 李存东. 2013. 连作对棉株干物质积累、分配及功能叶片生理特征的影响. *河北农业大学学报*, 36 (5): 6 - 11.
- Wright H, Delong J, Lada R, Prange R. 2009. The relationship between water status and chlorophyll fluorescence in grapes (*Vitis* spp.). *Postharvest Biology and Technology*, 51: 193 - 199.
- Xu Ning, Wang Chao, Wei Min, Shi Wei, Wang Xiu-feng. 2012. Allelopathy of Welsh onion root exudates on cucumber seed germination and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* and the GC - MS analysis. *Acta Horticulturae Sinica*, 39 (8): 1511 - 1520. (in Chinese)
- 徐 宁, 王 超, 魏 珉, 时 伟, 王秀峰. 2012. 大葱根系分泌物对黄瓜种子萌芽和枯萎病病原菌的化感作用及其 GC - MS 分析. *园艺学报*, 39 (8): 1511 - 1520.
- Xu Shao-zhuo, Liu Yu-song, Xia Ming-xing, Wang Ying-ping, Chen Xue-sen, Shen Xiang, Yin Cheng-miao, Mao Zhi-quan. 2018. Dazomet fumigation and short-time *Allium fistulosum* rotation can significantly reduce the apple replant disease. *Acta Horticulturae Sinica*, 45 (1): 11 - 20. (in Chinese)

- 徐少卓, 刘宇松, 夏明星, 王英平, 陈学森, 沈向, 尹承苗, 毛志泉. 2018. 棉隆熏蒸加短期轮作葱显著减轻苹果连作障碍. 园艺学报, 45 (1): 11 - 20.
- Yim B, Smalla K, Winkelmann T. 2013. Evaluation of apple replant problems based on different soil disinfection treatments—links to soil microbial community structure. Plant & Soil, 366 (1 - 2): 617 - 631.
- Yin Yong-qiang, Hu Jian-bin, Deng Ming-jun. 2007. Latest development of antioxidant system and responses to stress in plant leaves. Chinese Agricultural Science Bulletin, 23 (1): 105 - 110. (in Chinese)
- 尹永强, 胡建斌, 邓明军. 植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展. 中国农学通报, 23 (1): 105 - 110.
- Zhang Y K, Han X J, Chen X L, Jin H, Cui X M. 2009. Exogenous nitric oxide on antioxidative system and ATPase activities from tomato seedlings under copper stress. Scientia Horticulturae, 123: 217 - 223.
- Zhang Z, Pan L, Li H. 2010. Isolation, identification and characterization of soil microbes which degrade phenolic allelochemicals. Journal of Applied Microbiology, 108: 1839 - 1849.
- Zhao Shi-jie, Shi Guo-an, Dong Xin-chun. 2002. Techniques of plant physiological experiment. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 赵世杰, 史国安, 董新纯. 2002. 植物生理学试验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社.

## “中国园艺学会 2018 年学术年会”征文通知

“中国园艺学会 2018 年学术年会”即日起征集: ①研究论文摘要, ②有关园艺学进展的综述。经审查合格的摘要将收入《园艺学报》2018 年增刊, 综述将收入 2018 年正刊 (刊期待定), 均于会前出版。

**征文内容:** 有关果树、蔬菜、西瓜甜瓜、观赏园艺植物及其它园艺植物的种质资源、遗传育种、生物技术、栽培技术与生理、采后技术与生理等方面未曾发表过的研究论文摘要和文献综述。

**投稿要求:** 研究论文摘要请于 2018 年 7 月 31 日前将稿件一式两份寄送到: 北京中关村南大街 12 号《园艺学报》编辑部 (邮编 100081), 并发送电子文件至: yyxbcj@126.com, 同时请交纳审理费 500 元 (开户银行: 交通银行北京分行农科院支行; 户名: 中国园艺学会; 帐号: 110060435018010045010; 行号: 301100000103)。对于录用的稿件, 将及时通知参会作者, 未录用的稿件恕不退稿。联系电话: 010-62192388。

有关园艺学进展的综述烦请登录本刊网站 <http://www.ahs.ac.cn/> 进行投稿。

**写作格式:** 摘要稿件, 每篇限 A4 纸 1 页 (单倍行距, 标准字间距), 不写英文和参考文献, 不用图表。

综述稿件, 篇幅不限, 写作格式与《园艺学报》文献综述类文章相同。

### 论文摘要写作格式:

题目 (黑体, 2 号字)

作者姓名 (仿宋, 4 号字)

(作者单位, 城市名 邮编) (宋体, 小 5 号字)

内容包括目的与意义, 材料与方法, 研究结果 (宋体, 5 号字)

### 关键词:

中图分类号: (由编辑部填写)      文献标识码: A      文章编号: 0513-353X

### 基金项目:

E-mail:

Tel:

中国园艺学会