

老龄桃园土壤抑制平邑甜茶幼苗的生长

刘宇松, 段亚楠, 陈学森, 沈 向, 尹承苗*, 毛志泉*

(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)

摘 要: 在盆栽试验条件下研究了老龄桃园土对平邑甜茶幼苗生长的影响。设正茬土(桃园旁农田土, 对照)、溴甲烷熏蒸老龄桃园土、老龄桃园土 3 个处理, 测定了不同处理对平邑甜茶幼苗的生物量、根系结构参数、根系呼吸速率、根系保护酶活性、光合参数及土壤中微生物数量等指标的影响。结果表明: 在老龄桃园土中, 平邑甜茶幼苗的株高、地径、鲜质量、干质量均显著低于正茬土对照和溴甲烷熏蒸老龄桃园土, 分别比正茬土对照减少了 17.59%、13.51%、23.22%、28.61%, 比溴甲烷熏蒸老龄桃园土减少了 20.54%、17.29%、33.28%、39.21%; 幼苗的根长、根表面积和根体积也分别比正茬土对照降低了 37.57%、36.33%、46.63%, 比溴甲烷熏蒸老龄桃园土降低了 43.62%、48.67%、54.11%; 平邑甜茶幼苗的根系呼吸速率、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性亦显著降低, 分别比正茬土对照降低了 28.21%、43.91%、44.46%、51.44%, 比溴甲烷熏蒸老龄桃园土降低了 36.88%、57.78%、54.88%、57.59%; 同时幼苗的净光合速率(P_n)比正茬土对照和溴甲烷熏蒸老龄桃园土分别降低了 40.75%和 49.65%。老龄桃园土中真菌数量显著高于正茬土对照, 为正茬土对照的 1.91 倍, 细菌数量则显著低于正茬土对照, 比正茬土对照减少了 47.80%, 细菌与真菌比值表现为: 正茬土对照 > 溴甲烷熏蒸 > 老龄桃园土。综上, 老龄桃园土壤直接栽植平邑甜茶苹果砧木不利于其生长, 而经溴甲烷熏蒸处理后, 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗的伤害作用显著减轻。

关键词: 平邑甜茶; 老龄桃园; 土壤; 光合速率; 微生物; 保护酶活性

中图分类号: S 661

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2017) 10-1969-09

Aged Peach Orchard Soil Inhibit the Growth of *Malus hupehensis* Seedlings

LIU Yusong, DUAN Yanan, CHEN Xuesen, SHEN Xiang, YIN Chengmiao*, and MAO Zhiquan*

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: A pot experiment was conducted to study effects of aged peach orchard soil on the growth of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings, and *M. hupehensis* Rehd. was used in this study. The biomass, root structure parameters, root respiration rate, root protection, photosynthetic parameters of *M. hupehensis* Rehd. and microbial population in soil were measured. Three treatments were designed as follows: fallow soil (the soil beside peach orchard), methyl bromide fumigation aged peach orchard soil and aged peach orchard soil. The results showed that the plant height, plant ground diameter, fresh weight and dry weight

收稿日期: 2017-04-26; 修回日期: 2017-10-16

基金项目: 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@sdau.edu.cn; yinchengmiao@163.com)

of *M. hupehensis* Rehd. in aged peach orchard soil were significantly lower than those of the fallow soil and methyl bromide fumigation aged peach orchard soil, and 17.59%, 13.51%, 23.22% and 28.61% were lower than those of the fallow soil; and 20.54%, 17.29%, 33.28% and 39.21% were less than those of methyl bromide fumigation aged peach orchard soil. The root length, root surface area and root volume were decreased by 37.57%, 36.33% and 46.63% respectively compared with fallow soil, and 43.62%, 48.67% and 54.11% were lower than those of methyl bromide fumigation aged peach orchard soil. The root respiration rate, superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) activities were significantly decreased by 28.21%, 43.91%, 44.46%, 51.44% respectively compared with fallow soil, and 36.88%, 57.78%, 54.88% and 57.59% were lower than those of methyl bromide fumigation aged peach orchard soil respectively. The net photosynthetic rate (P_n) were decreased by 40.8% and 49.65% respectively compared with fallow soil and methyl bromide fumigation aged peach orchard soil. The fungi number of aged peach orchard soil was 1.91 times higher than that of fallow soil, while the bacteria number was 47.80% lower than that of fallow soil. The ratio of bacteria to fungi was: fallow soil > methyl bromide fumigation aged peach orchard soil > aged peach orchard soil. Therefore, *M. hupehensis* Rehd. seedlings directly planted in aged peach orchard soil was not good for its growth. But after methyl bromide fumigation, the damage effect was obviously reduced.

Keywords: *Malus hupehensis*; aged peach orchard soil; photosynthetic rate; microorganism; protective enzyme system activity

生产中常见老龄桃园改建苹果园的做法,但是去除桃树后栽植苹果能否正常生长尚未见报道。在山东省临沂市蒙阴县桃主产区,为防止桃树连作问题及市场的需要,约有 35%左右的桃园改建为苹果园,改造后苹果幼树常表现为园相不整齐,树势弱,病虫害加重,甚至树体死亡等现象。

前人研究表明所有植物物种在某种程度上都会对其生存过的土壤产生后续效应,通过其残留物改变土壤环境及理化性质 (Crotty et al., 2016)。植物的次生代谢物,无论是通过浸出、凋落物分解、根系分泌或直接挥发释放到环境中,都可以影响其他物种的生长 (Manuel et al., 1999)。植物根系分泌物不仅对自身及幼苗萌发产生自毒作用,还可通过改变根际土壤理化性状,影响土壤病原微生物的种群动态,间接对后茬植物产生影响 (张子龙和王文全, 2010)。研究表明刺柏水提液降低了高羊茅种子的活力系数,抑制了高羊茅种子的萌发和幼苗的生长 (王晓英, 2016)。

本试验中以平邑甜茶幼苗为试材,以正茬土栽植幼苗为对照,研究老龄桃园土对平邑甜茶幼苗生物量、根系形态指数、根呼吸速率、根系保护酶活性、气体交换参数及土壤微生物等指标的影响,以期为老龄桃园更新后新建苹果园提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 with 处理

试验于 2015 年在山东农业大学南校区国家苹果工程中心试验基地进行。试验用桃园土取自山东省泰安市满庄镇 16 年生桃园,正茬土取自桃园旁农田地。桃园土的理化性质:速效钾含量 40.12 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷含量 53.31 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,铵态氮含量 3.07 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,硝态氮含量 8.95 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机

质含量 $6.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。正茬土的理化性质: 速效钾含量 $44.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷含量 $47.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 铵态氮含量 $4.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 硝态氮含量 $7.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有机质含量 $5.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

在 16 年生桃园选取多点, 取桃树根系土、树株间土及树行间土混匀, 过 12 目筛和 20 目筛, 室温风干。参照尹承苗等 (2013) 的方法, 采用加速溶剂萃取法提取土壤中苯甲酸, 使用高效液相色谱仪分析苯甲酸含量, 测得正茬土苯甲酸含量为 $1.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 桃园土中苯甲酸含量为 $10.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 溴甲烷熏蒸后苯甲酸含量 $10.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。参照叶晶晶 (2011) 的方法, 采用索氏提取器提取后超声萃取土壤中苦杏仁苷, 使用高效液相色谱仪测得正茬土中苦杏仁苷含量为 $0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 桃园土中苦杏仁苷含量为 $4.44 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 溴甲烷熏蒸后苦杏仁苷含量为 $4.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

将平邑甜茶 (*Malus hupehensis* Rehd.) 种子于 4°C 层积 30 d 左右, 待种子露白以后, 于 2015 年 3 月 17 日育苗盘播种育苗。2015 年 5 月 1 日待幼苗长至 6 片真叶, 取长势基本一致的幼苗移栽至装有不同土壤的泥瓦盆 (上部内径 25 cm, 下部内径 17 cm, 高 18 cm) 中, 每盆定植两株幼苗。

试验设 3 个处理: (1) 正茬土, 对照; (2) 溴甲烷熏蒸的老龄桃园土; (3) 老龄桃园土。溴甲烷熏蒸处理于 2015 年 3 月 28 日进行, 在塑料薄膜内装入 200 kg 老龄桃园土, 用溴甲烷熏蒸剂 (连云港死海溴化物有限公司, 98% 溴甲烷 681 g/罐) 进行密封处理, 熏蒸 7 d 后再翻晒 15 d。正茬土与老龄桃园土不做处理。2015 年 4 月 28 日将 3 种土壤分别装盆, 5 月 1 日栽植幼苗。每个处理设 20 盆重复, 栽植后统一正常肥水管理。于 2015 年 8 月 15 日取平邑甜茶幼苗及相应土样, 测定各项相关指标。

1.2 指标测定

幼苗生物量测定: 于 2015 年 8 月 15 日取平邑甜茶幼苗, 用直尺和游标卡尺测定株高和地径。取完整植株地上部与根系, 清水洗净后阴凉处晾干, 使用天平测定鲜质量, 然后放入烘箱 105°C 杀青 30 min, 之后 80°C 烘干用天平测定干质量。

根系形态指标测定: 将幼苗根系用清水洗净, 放于盛有水的硬塑料盒中, 在水中平铺展开, 使用专业版 WinRHIZO (2007 年版) 根系分析系统处理样品图像, 记录根长度、根系表面积和根体积。

根系呼吸速率测定: 参照毛志泉等 (2004) 的方法, 采用 Oxy-Lab 氧电极自动测定系统测定。

根系保护性酶活性测定: 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定采用氮蓝四唑 (NBT) 光还原法 (陈贻竹和帕特森, 1988); 过氧化物酶 (POD) 活性的测定按 Omran (1980) 的方法; 过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定采用 Kar 和 Mishra (1976) 的方法。

光合参数的测定: 按照王艳芳等 (2015a) 的方法, 在栽植幼苗 105 d 时, 使用 CIRAS-3 便携式光合仪 (PP Systems, 英国) 在上午 9:00—11:00 时 (晴天) 测定幼苗成熟叶片的净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i), 每处理随机测定 5 株, 每株测定 2 片叶 (从上到下第 3、4 片功能叶)。

土壤微生物测定: 于 2015 年 8 月 15 日取各个处理的土壤, 参照华菊玲等 (2012) 的方法。细菌培养采用牛肉膏蛋白胨培养基, 真菌培养采用 PDA 选择性培养基, 放线菌培养采用改良高氏 1 号培养基, 测定采用稀释平板计数法 (程丽娟和薛泉宏, 2000)。

1.3 数据分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 进行计算和作图, 通过 SPSS19.0 软件进行方差分析, 采用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 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗生物量的影响

由表 1 可以看出，老龄桃园土种植的平邑甜茶幼苗生物量均显著低于正茬土和溴甲烷熏蒸老龄桃园土种植的幼苗生物量，其株高、地径、鲜质量和干质量分别比正茬土对照减少了 17.59%、13.51%、23.22%、28.61%，比溴甲烷熏蒸老龄桃园土壤减少了 20.54%、17.29%、33.28%、39.21%。这说明老龄桃园土壤不利于平邑甜茶幼苗的生长。

表 1 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗生物量的影响
Table 1 Effects of old peach orchard soil on plant biomass of *Malus hupehensis* Rehd. seedling

处理 Treatment	株高/cm Height	地径/mm Diameter	鲜质量/g Fresh weight	干质量/g Dry weight
正茬土（对照）Fallow soil（Control）	41.17 ± 1.562 a	5.92 ± 0.162 a	22.35 ± 0.821 a	13.42 ± 0.590 b
溴甲烷熏蒸 Methyl bromide fumigation	42.70 ± 1.514 a	6.19 ± 0.269 a	25.72 ± 1.113 a	15.76 ± 0.596 a
老龄桃园土 Old peach orchard soil	33.93 ± 0.784 b	5.12 ± 0.202 b	17.16 ± 1.069 b	9.58 ± 0.690 c

注：同列不同小写字母表示不同处理间差异显著（ $P < 0.05$ ）。
Note: Different letters in the same column stand for the significant difference at the 0.05 level.

2.2 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗根系形态的影响

由表 2 可以看出，老龄桃园土种植的幼苗根系形态指数均显著低于正茬土与溴甲烷熏蒸的老龄桃园土种植的幼苗，其根长、根表面积和根体积分别比正茬土对照降低了 37.57%、36.33%、46.63%，比溴甲烷熏蒸老龄桃园土降低了 43.62%、48.67%、54.11%，表明老龄桃园土不利于平邑甜茶幼苗的根系生长，对其有一定的抑制作用。

表 2 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗根系形态的影响
Table 2 Effects of old peach orchard soil on root growth of *Malus hupehensis* Rehd. seedling

处理 Treatment	根长/cm Roots length	根表面积/cm ² Roots surface	根体积/cm ³ Roots volume
正茬土（对照）Fallow soil（Control）	3 567.78 ± 247.32 a	863.80 ± 49.11 a	18.12 ± 1.61 a
溴甲烷处理 Methyl bromide fumigation	3 950.64 ± 119.75 a	1 071.50 ± 111.72 a	21.07 ± 2.69 a
老龄桃园土 Old peach orchard soil	2 227.32 ± 190.26 b	549.97 ± 50.36 b	9.67 ± 0.80 b

注：同列不同小写字母表示不同处理间差异显著（ $P < 0.05$ ）。
Note: Different letters in the same column stand for the significant difference at the 0.05 level.

2.3 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗根系呼吸速率和根系保护酶活性的影响

由表 3 可以看出，老龄桃园土对平邑甜茶幼苗的根系呼吸速率及根系保护酶活性均有一定的抑制作用，老龄桃园土种植的平邑甜茶幼苗的根系呼吸速率、SOD、POD、CAT 活性分别比正茬土对照降低了 28.21%、43.91%、44.46%、51.44%，比溴甲烷熏蒸老龄桃园土降低了 36.88%、57.78%、54.88%、57.59%，表明老龄桃园土降低了平邑甜茶幼苗的根系呼吸速率和根系保护酶的活性。

2.4 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗光合参数的影响

与正茬土对照相比，老龄桃园土种植条件下平邑甜茶幼苗的 P_n 、 G_s 和 T_r 分别降低了 40.75%、23.52%、30.43%，同时比溴甲烷熏蒸老龄桃园土壤降低了 49.65%、37.66%、35.80%，达显著差异，

而各处理的 C_i 差异未达到显著水平 (表 4)。

表 3 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗根系呼吸速率和根系保护酶活性的影响
Table 3 Effects of old peach orchard soil on root respiration rate and antioxidant enzyme activities of *Malus hupehensis* Rehd. seedling

处理 Treatment	呼吸速率/ ($\text{nmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) Respiration rate	SOD/ ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)	POD/ ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)	CAT/ ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)
正茬土 (对照) Fallow soil (Control)	$557.46 \pm 22.56 \text{ a}$	$132.30 \pm 12.47 \text{ a}$	$22.85 \pm 0.89 \text{ b}$	$28.82 \pm 2.36 \text{ a}$
溴甲烷处理 Methyl bromide fumigation	$634.08 \pm 40.81 \text{ a}$	$175.74 \pm 14.21 \text{ a}$	$28.13 \pm 1.34 \text{ a}$	$33.00 \pm 1.17 \text{ a}$
老龄桃园土 Old peach orchard soil	$400.20 \pm 29.57 \text{ b}$	$74.20 \pm 11.84 \text{ b}$	$12.69 \pm 1.41 \text{ c}$	$13.99 \pm 0.25 \text{ b}$

注: 表中同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different letters in the same column stand for the significant difference at the 0.05 level.

表 4 老龄桃园土对平邑甜茶幼苗光合参数的影响
Table 4 Effects of old peach orchard soil on photosynthetic parameters of *Malus hupehensis* Rehd. seedling

处理 Treatment	净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) P_n	蒸腾速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) T_r	气孔导度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) G_s	胞间 CO_2 浓度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) C_i
正茬土 (对照) Fallow soil (Control)	$12.27 \pm 0.48 \text{ b}$	$4.60 \pm 0.12 \text{ b}$	$197.00 \pm 9.81 \text{ b}$	$283.00 \pm 12.17 \text{ a}$
溴甲烷处理 Methyl bromide fumigation	$14.43 \pm 0.44 \text{ a}$	$5.13 \pm 0.12 \text{ a}$	$234.67 \pm 5.81 \text{ a}$	$276.67 \pm 6.74 \text{ a}$
老龄桃园土 Old peach orchard soil	$7.27 \pm 0.45 \text{ c}$	$3.20 \pm 0.06 \text{ c}$	$150.67 \pm 5.36 \text{ c}$	$278.00 \pm 15.95 \text{ a}$

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different letters in the same column stand for the significant difference at the 0.05 level.

2.5 不同土壤中微生物数量差异

表 5 表明, 老龄桃园土中真菌数量显著高于正茬土对照, 为正茬土对照的 1.91 倍; 而细菌数量则显著低于正茬土对照, 比正茬土对照减少了 47.80%; 溴甲烷处理的老龄桃园土壤中细菌、真菌和放线菌数量均较低; 土壤中细菌与真菌比值表现为: 正茬土对照 > 溴甲烷熏蒸 > 老龄桃园土。

表 5 不同土壤中微生物含量差异
Table 5 Difference of microorganisms content in different soil

处理 Treatment	土壤细菌数量/ ($\times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) Bacteria amount	土壤真菌数量/ ($\times 10^3 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) Fungi amount	土壤放线菌数量/ ($\times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$) Actinomyces amount	细菌与真菌比值 The ratio of bacteria and fungi
正茬土 (对照) Fallow soil (Control)	$90.67 \pm 2.91 \text{ a}$	$38.33 \pm 4.67 \text{ b}$	$71.00 \pm 4.36 \text{ a}$	237
溴甲烷处理 Methyl bromide fumigation	$23.33 \pm 1.76 \text{ c}$	$27.33 \pm 4.48 \text{ b}$	$27.33 \pm 1.86 \text{ c}$	85
老龄桃园土 Old peach orchard soil	$47.33 \pm 2.03 \text{ b}$	$73.33 \pm 5.04 \text{ a}$	$42.67 \pm 3.28 \text{ b}$	65

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different letters in the same column stand for the significant difference at the 0.05 level.

3 讨论

苹果是中国主要栽培果树之一, 栽培面积及总产量均居世界第一, 且栽培面积有逐年增加的趋势。同时, 桃也是中国主要栽培果树之一, 但栽培面积呈现逐年减少的趋势。生产中常见老龄桃园改建苹果园的现象。老龄苹果园改建新苹果园后往往表现出连作障碍现象, 即新栽苹果幼树表现为生长缓慢、根系发育不良、产量下降、品质下降甚至树木死亡的现象 (Tustin, 2006; Yao et al., 2006)。

众多研究认为引起苹果连作障碍的原因主要归因于土壤中自毒物质的积累和有害微生物的增加 (Singh et al., 1999; 谢洪刚和李坤, 2008; 白茹, 2009; 张兆波 等, 2011; Asaduzzaman & Asao, 2012; 王艳芳 等, 2014)。那么老龄桃园在改建苹果园时, 老龄桃园土中存在的物质是否对苹果幼树或苹果砧木苗产生影响少有报道。前人研究发现桃树残留根等土壤残存物质含有大量苦杏仁苷, 分解产生氢氰酸和苯甲醛, 对根的生长有抑制和毒害作用 (于继洲 等, 2004)。本试验发现, 老龄桃园土种植的平邑甜茶幼苗生物量及根系结构指标显著低于正茬土与溴甲烷熏蒸老龄桃园土种植的幼苗。原因可能是老龄桃园土中有害微生物及前茬桃树遗留积累的苦杏仁苷、苯甲酸对平邑甜茶幼苗根系造成伤害, 抑制幼苗根系生长, 进而抑制了幼苗的生长发育, 表明老龄桃园土不利于平邑甜茶幼苗的生长发育。

植物生长在受到抑制时, 植株内部会发生一系列生理生化变化, 这些变化主要表现在酶的活性上 (李林懋 等, 2014)。SOD、POD、CAT 等抗氧化酶是保护植株免受过量自由基伤害的重要参与者, 其活性的高低在一定程度上反映逆境胁迫对植株的伤害大小 (Ahmad et al., 2010)。众多研究表明, 土壤中由于长期种植某种作物, 造成有害微生物的大量积累, 进而侵染下茬植株根系, 显著降低下茬植株的根系呼吸速率及根系抗氧化酶活性 (肖宏 等, 2004; 张树生 等, 2007)。同时, 酚酸类物质的积累也会降低植株根系的抗氧化酶活性 (王艳芳 等, 2015b), 不能有效地清除自由基, 造成自由基的过量积累, 进而对植株根系造成伤害 (吕毅 等, 2014), 降低了植株的根系呼吸速率。本试验结果显示, 老龄桃园土种植的平邑甜茶幼苗根系呼吸速率和根系保护性酶活性均显著低于正茬土对照和溴甲烷熏蒸的老龄桃园土, 可能是由于老龄桃园土中有害微生物及苦杏仁苷、苯甲酸的大量积累, 破坏了植株根系细胞内 SOD、POD、CAT 酶的功能, 造成植株体内自由基过量积累, 对根系造成逆境胁迫作用, 平邑甜茶幼苗的根系呼吸速率及保护酶活性下降, 幼苗的生长发育受到抑制。

光合速率下降是植物在逆境条件下生长受抑制的重要原因之一 (陆晓民和杨威, 2013)。研究表明, 化感物质通过抑制 PS II 中 Q_A 和 Q_B 之间的电子传递, 进而影响光合作用 (Nimbal et al., 1996); 酚酸类物质能够严重影响植株的光合速率 (Weir et al., 2004)。张江红等 (2016) 研究发现, 将桃树枝条还田后土壤酚酸物质含量增加, 明显降低了后茬桃树幼苗的净光合速率。同时, 刘恩太等 (2014) 的研究表明, 土壤中的有害微生物可影响平邑甜茶幼苗净光合速率, 显著低于经土壤熏蒸消毒剂处理后种植的幼苗的净光合速率。在本试验中, 老龄桃园土种植的平邑甜茶幼苗的净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s) 和蒸腾速率 (T_r) 均显著低于正茬土和溴甲烷熏蒸的老龄桃园土种植的幼苗, 表明老龄桃园土显著降低了平邑甜茶幼苗的光合速率, 减少了植株同化物质的积累, 从而抑制幼苗的生长发育。

在同一土地上长期种植单一作物, 容易形成特殊的土壤环境, 为有害微生物提供赖以生存的繁殖场所 (杨宝光, 2012)。有害真菌的积累, 自毒物质的数量和种类增加, 进而加重土传病害的发生 (张江红, 2005)。研究表明病原真菌的积累显著降低了农作物的产量, 且病虫害发生加重 (张晶 等, 2004)。孙秀山等 (2001) 的研究表明, 土壤中放线菌和细菌的数量越多, 真菌数量越少, 细菌与真菌比值越高, 越有利于作物生长。本研究中发现, 老龄桃园土中真菌数量显著高于正茬土, 而细菌数量显著低于正茬土, 溴甲烷灭菌处理的老龄桃园土细菌、真菌数量均有所降低, 并且老龄桃园土中细菌与真菌比值均低于其余两处理, 表明老龄桃园土中有害真菌积累较多, 已转化为“真菌型”土壤, 不再适于平邑甜茶幼苗的生长。

老龄桃园土中的苦杏仁苷、苯甲酸等自毒物质及有害微生物抑制了平邑甜茶幼苗的根系呼吸速

率, 降低了根系保护性酶活性及净光合速率, 进而抑制了平邑甜茶幼苗的生长发育, 因此不适宜直接栽植平邑甜茶幼苗。本试验结果表明老龄桃园土不利于苹果砧木平邑甜茶幼苗的生长发育, 对其产生抑制作用。

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.
- Asaduzzaman M, Asao T. 2012. Autotoxicity in beans and their allelochemicals. *Scientia Horticulturae*, 134: 26 – 31.
- Bai Ru. 2009. Autointoxication in apple replant disease [M. D. Dissertation]. Yangling: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 白 茹. 2009. 苹果连作障碍中中毒作用的研究 [硕士论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- Chen Li-juan, Xue Quan-hong. 2000. *Microbiology laboratory technology*. Xi'an: World Publishing Corporation. (in Chinese)
- 程丽娟, 薛泉宏. 2000. 微生物学实验技术. 西安: 世界图书出版公司.
- Chen Yi-zhu, Patterson B. 1988. The effect of chilling temperature on the level of superoxide dismutase, catalase and hydrogen peroxide in some plant leaves. *Plant Physiology Journal*, (14): 323 – 328. (in Chinese)
- 陈贻竹, 帕特森 B. 1988. 低温对植物叶片中超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢水平的影响. *植物生理学报*, (14): 323 – 328.
- Crotty F V, Fychan R, Sanderson R, Rhymes J R, Bourdin F. 2016. Understanding the legacy effect of previous forage crop and tillage management on soil biology, after conversion to an arable crop rotation. *Soil Biology and Biochemistry*, 103: 241 – 252.
- Hua Ju-ling, Liu Guang-rong, Huang Jin-song. 2012. Effect of continuous cropping of sesame on rhizospheric microbial communities. *Acta Ecologica Sinica*, 32 (9): 2936 – 2942. (in Chinese)
- 华菊玲, 刘光荣, 黄劲松. 2012. 连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响. *生态学报*, 32 (9): 2936 – 2942.
- Kar M, Mishra D. 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57: 315 – 319.
- Li Lin-mao, Men Xing-yuan, Ye Bao-hua, Yu Yi, Zhang An-sheng, Li Li-li, Zhou Xian-hong, Zhuang Qian-ying. 2014. Defense enzyme activity of winter jujube at different stages induced by the damage of *Apolygus lucorum*. *Scientia Agricultura Sinica*, 47 (1): 191 – 198. (in Chinese)
- 李林懋, 门兴元, 叶保华, 于 毅, 张安盛, 李丽莉, 周仙红, 庄乾营. 2014. 不同生长时期冬枣受绿盲蝽危害后应激防御酶活性的变化. *中国农业科学*, 47 (1): 191 – 198.
- 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.
- Lu Xiao-min, Yang Wei. 2013. Alleviation effects of brassinolide on cucumber seedlings under NaCl stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24 (5): 1409 – 1414. (in Chinese)
- 陆晓民, 杨 威. 2013. 油菜素内酯对氯化钠胁迫下黄瓜幼苗的缓解效应. *应用生态学报*, 24 (5): 1409 – 1414.
- 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.
- Manuel J Reigosa, Adela Sánchez-Moreiras, Luis González. 1999. Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18 (5): 577 – 608.
- Mao Zhi-quan, Wang Li-qin, Shen Xiang, Shu Huan-rui, Zou Yan-mei. 2004. Effect of organic materials on respiration intensity of annual *Malus hupehensis* Rehd. root system. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 10 (2): 171 – 175. (in Chinese)

- 毛志泉, 王丽琴, 沈 向, 束怀瑞, 邹岩梅. 2004. 有机物料对平邑甜茶实生苗根系呼吸强度的影响. *植物营养与肥料学报*, 10 (2): 171 - 175.
- Nimbal C I, Pedersen J F, Yerkes C N, Leslie A Weston, Stephen C Weller. 1996. Phytotoxicity and distribution of sorgoleone in grain sorghum germplasm. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 44 (4): 1343 - 1347.
- 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.
- Singh H P, Batish Daizy R, Kohli R K. 1999. Autotoxicity: concept, organisms, and ecological significance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18 (18): 757 - 772.
- Sun Xiu-shan, Feng Hai-sheng, Wan Shu-bo, Zuo Xue-qing. 2001. Changes of main microbial strains and enzymes activities in peanut continuous cropping soil and their interactions. *Acta Agronomica Sinica*, 27 (5): 617 - 621. (in Chinese)
- 孙秀山, 封海胜, 万书波, 左学青. 2001. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用. *作物学报*, 27 (5): 617 - 621.
- Tustin D S. 2006. Growth responses of young apple plants induced by soil remediation treatments for specific apple replant disease//XXVII International Horticultural Congress-IHC: International Symposium on Enhancing Economic and Environmental, 772: 407 - 411.
- Wang Xiao-ying. 2016. Allelopathy of aquatic extract of *Juniperus formosana* Hayate leaves on *Festuca arundinacea* Schreb. and the GC-MS analysis of the extracts. *Acta Agrestia Sinica*, 24 (2): 363 - 368. (in Chinese)
- 王晓英. 2016. 刺柏叶水提液对高羊茅的化感作用及其 GC-MS 分析. *草地学报*, 24 (2): 363 - 368.
- Wang Yan-fang, Pan Feng-bing, Fu Feng-yun. 2015a. Effects of chitin on growth, photosynthesis and antioxidative system of *Malus hupehensis* seedlings under replant condition. *Acta Horticulturae Sinica*, 42 (1): 10 - 18. (in Chinese)
- 王艳芳, 潘凤兵, 付风云. 2015a. 甲壳素对连作平邑甜茶生长、光合及抗氧化酶的影响. *园艺学报*, 42 (1): 10 - 18.
- Wang Yan-fang, Pan Feng-bing, Zhang Xian-fu, Wang Peng, Chen Xue-sen, Shen Xiang, Mao Zhi-quan. 2015b. Effects of phenolic acids on growth and photosynthetic characteristics of seedlings of *Malus hupehensis*. *Scientia Silvae Sinicae*, 51 (2): 52 - 59. (in Chinese)
- 王艳芳, 潘凤兵, 张先富, 王 鹏, 陈学森, 沈 向, 毛志泉. 2015b. 土壤中不同酚酸类物质对平邑甜茶幼苗光合及生理特性的影响. *林业科学*, 51 (2): 52 - 59.
- Wang Yan-fang, Shen Xiang, Chen Xue-sen, Wu Shu-jing, Mao Zhi-quan. 2014. Effects of biochar on alleviation of the influence of *p*-hydroxybenzoic acid on physiological characteristics in *Malus hupehensis* Rehd. seedlings. *Scientia Agricultura Sinica*, 47 (5): 968 - 976. (in Chinese)
- 王艳芳, 沈 向, 陈学森, 吴树敬, 毛志泉. 2014. 生物炭对缓解对羟基苯甲酸伤害平邑甜茶幼苗的作用. *中国农业科学*, 47 (5): 968 - 976.
- Weir T L, Park S W, Vivanco J M. 2004. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology*, 7 (4): 472 - 479.
- Xiao Hong, Mao Zhi-quan, Yu Ming-ge, Wang Li-qin, Shu Huai-rui. 2004. Effects of successive cropping soil and successive cropping soil pasteurized on the growth and development of *Malus hupehensis* seedlings. *Journal of Fruit Science*, 21 (4): 370 - 372. (in Chinese)
- 肖 宏, 毛志泉, 于明革, 王丽琴, 束怀瑞. 2004. 连作土与灭菌土对平邑甜茶幼苗生长发育的影响. *果树学报*, 21 (4): 370 - 372.
- Xie Hong-gang, Li Kun. 2008. Mechanism and ways of control on replant diseases of fruit trees. *Journal of Liaoning Agricultural College*, 10 (4): 6 - 8. (in Chinese)
- 谢洪刚, 李 坤. 2008. 果树连作障碍机理及控制途径. *辽宁农业职业技术学院学报*, 10 (4): 6 - 8.
- Yang Bao-guang. 2012. Dynamic changes of peach root residues and rhizosphere soil allelopathy[M. D. Dissertation]. Wuhan: Huazhong Agricultural University. (in Chinese)
- 杨宝光. 2012. 桃树根系残茬和根际土壤化感作用的动态研究[硕士论文]. 武汉: 华中农业大学.
- Yao S, Merwin I A, Brown M G. 2006. Root dynamics of apple rootstocks in a replanted orchard. *HortScience*, 41 (5): 1149 - 1155.
- Ye Jing-jing. 2011. Determination of amygdala in *Prunus persical* (L.) Batsch produced in different areas by HPLC. *Chinese Archives of Traditional*

- Chinese Medicine, (1): 206 - 207. (in Chinese)
- 叶晶晶. 2011. HPLC 法测定不同产地桃仁中苦杏仁苷的含量. 中华中医药学刊, (1): 206 - 207.
- Yin Cheng-miao, Wang Gong-shuai, Li Yuan-yuan, Che Jin-shui, Shen Xiang, Chen Xue-sen, Mao Zhi-quan, Wu Shu-jing. 2013. A new method for analysis of phenolic acids in the soil - soil from replanted apple orchards was investigated. *Scientia Agricultura Sinica*, 46 (21): 4612 - 4619. (in Chinese)
- 尹承苗, 王功帅, 李园园, 车金水, 沈 向, 陈学森, 毛志泉, 吴树敬. 2013. 一种分析土壤中酚酸类物质含量的新方法——以连作苹果园土壤为试材. *中国农业科学*, 46 (21): 4612 - 4619.
- Yu Ji-zhou, Qin Guo-xin, Du Fang, Li Ke, Sun Xue-mei. 2004. Advances in the mechanism of replantation of fruit trees. *Shanxi Fruits*, (2): 36 - 37. (in Chinese)
- 于继洲, 秦国新, 杜 方, 李 轲, 孙雪梅. 2004. 果树再植障碍机理研究进展. *山西果树*, (2): 36 - 37.
- Zhang Jing, Zhang Huiwen, Li Xinyu, Zhang Chenggang. 2004. Research advances in soil fungal diversity and molecular ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15 (10): 1958 - 1962. (in Chinese)
- 张 晶, 张惠文, 李新宇, 张成刚. 2004. 土壤真菌多样性及分子生态学研究进展. *应用生态学报*, 15 (10): 1958 - 1962.
- Zhang Jiang-hong. 2005. Autointoxication in apple replant disease[M. D. Dissertation]. Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 张江红. 2005. 酚类物质对苹果的化感作用及重茬障碍影响机理的研究[硕士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- Zhang Jiang-hong, Peng Fu-tian, Jiang Xiao-mei, Li Min-ji, Wang Zhong-tang. 2016. Effects of peach branches returning on autotoxins and microbes in soil and tree growth of peaches. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 40 (2): 140 - 150. (in Chinese)
- 张江红, 彭福田, 蒋晓梅, 李民吉, 王中堂. 2016. 桃树枝条还田对土壤自毒物质、微生物及植株生长的影响. *植物生态学报*, 40 (2): 140 - 150.
- Zhang Shu-sheng, Yang Xing-ming, Mao Ze-sheng, Huang Qi-wei, Xu Yang-chun, Shen Qi-rong. 2007. Effects of sterilization on growth of cucumber plants and soil microflora in a continuous mono-cropping soil. *Acta Ecologica Sinica*, 27 (5): 1809 - 1817. (in Chinese)
- 张树生, 杨兴明, 茆泽圣, 黄启为, 徐阳春, 沈其荣. 2007. 连作土灭菌对黄瓜 (*Cucumis sativus*) 生长和土壤微生物区系的影响. *生态学报*, 27(5): 1809 - 1817.
- Zhang Zhao-bo, Mao Zhi-quan, Zhu Shu-hua. 2011. Effects of phenolic acids on mitochondria and the activity of antioxidant enzymes in roots of seedlings of *Malus hupehensis* Rehd. *Scientia Agricultura Sinica*, 44 (15): 3177 - 3184. (in Chinese)
- 张兆波, 毛志泉, 朱树华. 2011. 6 种酚酸类物质对平邑甜茶幼苗根系线粒体及抗氧化酶活性的影响. *中国农业科学*, 44 (15): 3177 - 3184.
- Zhang Zi-long, Wang Wen-quan. 2010. Progress on formation mechanism and control measurements of continuous cropping obstacles in plants. *Journal of Biology*, 27 (5): 69 - 72. (in Chinese)
- 张子龙, 王文全. 2010. 植物连作障碍的形成机制及其调控技术研究进展. *生物学杂志*, 27 (5): 69 - 72.