

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局	缪 宁, 刘世荣, 史作民, 等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较	李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化	顾婷婷, 孔繁翔, 谭 啸, 等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源	樊敏玲, 黄小平, 张大文, 等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布	梁 文, 张春华, 叶祖超, 等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系	席本野, 王 烨, 贾黎明, 等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征	刘 彬, 罗承德, 张 健, 等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应	易小林, 杨丙贤, 宗学凤, 等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响	于景华, 李德文, 庞海河, 等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响	李 凯, 江 洪, 由美娜, 等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化	孙海兵, 毛志泉, 朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	王 冉, 李吉跃, 张方秋, 等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性	贾中民, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化	赵成章, 石福习, 董小刚, 等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示	刘贤赵, 王国安, 李嘉竹, 等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化	荣 丽, 李守剑, 李贤伟, 等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量	周绍春, 张明海, 孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响	张玉波, 王梦君, 李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化	高梅香, 张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较	苗 进, 武予清, 郁振兴, 等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应	宁应之, 杜海峰, 王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术	潘 杰, 王 涛, 宗世祥, 等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异	王燕平, 李贵全, 郭数进, 等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响	李廷亮, 谢英荷, 任苗苗, 等 (212)
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征	罗永忠, 成自勇, 郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例	谢花林, 李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例	杨 振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因	王 千, 金晓斌, 周寅康, 等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响	罗友进, 魏朝富, 李 渝, 等 (257)
专论与综述	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性	刘 宇, 吕一河, 傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复	张成梁, B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法	陈云峰, 胡 诚, 李双来, 等 (286)
学术信息与动态	
旱地、荒漠和荒漠化: 探寻恢复之路 —— 第三届国际荒漠化会议述评	吕一河, 傅伯杰 (293)

环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化

孙海兵¹, 毛志泉^{1,*}, 朱树华^{2,*}

(1. 山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学化学与材料科学学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 分析了山东昌邑、栖霞、蓬莱, 辽宁大连、抚宁、绥远, 河北昌黎、青县等地苹果园连作土壤中酚酸物质的组成和含量, 结果表明: 连作障碍发生的苹果园土壤中酚酸类物质的组成和含量在不同地区、不同土层厚度间存在显著差异。苹果园土壤中酚酸类物质的含量从春季到秋季随时间的延长逐渐减少, 但过程缓慢。且非连作园土壤中酚酸类物质含量显著少于连作土。连作土壤中酚酸物质的组成和含量在不同季节间差异显著, 尤其春季土壤中酚酸物质的种类与夏季和秋季显著不同。这可能是由于植物在不同季节分泌的酚酸类物质种类和含量有差别。不同土层中酚酸物质的分布因季节不同而有显著差异。夏季土壤中酚酸物质主要分布在浅层土壤中, 而秋季则主要分布在深层土壤中。这可能是由于浇水等果园管理措施和自然降水对土壤中的酚酸物质产生的淋溶作用, 使得大量的酚酸物质向深层土壤运动, 最终造成了秋季果园连作土中随土层加深而酚酸物质含量增加的现象。不同地区苹果园连作土中, 对羟基苯甲酸、(+)-儿茶素、咖啡酸、阿魏酸含量与非连作土无显著差异, 而焦性没食子酸、绿原酸和根皮苷显著高于非连作土。焦性没食子酸、绿原酸和根皮苷可能是引起山东、辽宁、河北地区苹果园连作障碍的关键酚酸物质。

关键词: 环渤海湾; 苹果园; 连作; 土壤; 酚酸

Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf

SUN Haibing¹, MAO Zhiqun^{1,*}, ZHU Shuhua^{2,*}

1 College of Horticultural Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

2 College of Chemistry and Material Science, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

Abstract: Apple replant disease (ARD) is widely found in the most, if not all, apple production region through the world. It is a complex soil-borne disease syndrome that affects tree growth, suppresses the yield and quality of apple fruits when orchards are replanted. The causes of replant problem of apple trees are considered as a combination of abiotic and biotic factors, including phenolic acids, fungi, bacteria, actinomycetes and nematodes etc. At present, there is a bulk of research conclusions on replant disease and some of them suggest that phenolic acids are closely link to replant disease. Meanwhile, however, few references are referred to the changes in phenolic acids in the soils of apple replant orchard. In view of it, the composition and content of phenolic acids in the soils of apple orchards were tested in several regions around Bohai Bay, including Changyi, Qixia, Penglai of Shandong province and Dalian, Funing, Suiyuan of Liaoning province as well as Changli and Qingxian of Hebei province. The results showed that the composition and content of phenolic acids in apple orchards infested with replant diseases varied with regions and soil thickness. The contents of phenolic acids gradually decreased from spring to fall in apple orchard soils. However, the contents of phenolic acids in non-replant soils were much lower than those of replant soils. In replant soils the composition and content of phenolic acids remarkably differed in diverse seasons, especially in spring, while the types of phenolic acids were markedly different from the summer and fall. The possible reason on the difference was that the composition and content of phenolic acids secreted by plants in different

基金项目: 国家苹果产业技术体系建设专项经费资助(NYCYTX08-03-05); 农业部行业科技项目(nyhyzx07-024); 山东省农业重大应用技术创新课题

收稿日期: 2010-06-10; **修订日期:** 2010-10-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shuhua@sdau.edu.cn; mzhiquan@sdau.edu.cn

seasons varied. Besides, the distribution of phenolic acids in different soil layers varied with seasons. In summer the phenolic acids mainly distributed in shallow soil. In contrast, it mostly relocalized to the deep layer of soil in autumn. The possible reason on this change was that artificial irrigation and natural precipitation resulted in an eluviation of the phenolic acids in soils, which dispersed large numbers of phenolic acids to move to the deep layer of soil. As a result, phenolic acids content increased with the soil depth in replant orchard soil in autumn. There were no significant differences in contents of p-hydroxybenzoic acid, catechin, caffeic acid and ferulic acid between the replant and non-replant soils from different regions. Furthermore, contents of pyrogalllic acid, chlorogenic acid and phlorizin were much higher in replant soils than those in non-replant soils. Taken together, pyrogalllic acid, chlorogenic acid and phlorizin were summarized to be the key phenolic acids that brought about apple replant disease in Shandong, Liaoning and Hebei.

Key Words: Bohai sea bay basin; apple orchard; replant; soil; phenolic acid

环渤海地区是我国苹果的主产区之一,但存在大面积的连作区,因连作障碍引起的减产现象严重。连作障碍已成为当前农业生产中的一大难题,严重制约果树等生产的可持续发展^[1]。如山东省的苹果产区栖霞市,有耕地 5.33 万 hm^2 ,其中近 4 万 hm^2 已种植苹果,已成为当地的支柱产业,现在面临轮作倒茬困难的问题^[2]。如何有效缓解或克服连作障碍,已成为环渤海地区苹果产业发展的一个重要瓶颈。

酚酸类物质是引起连作障碍的重要的自毒物质^[3-4]。植物通过地上部淋溶、根系分泌和植株残茬腐解等途径释放出的酚酸类物质进入土壤中^[5-7],可直接影响土壤养分状况,而且也可通过改变土壤微生物活性和病虫害而间接地影响植物生长,从而导致连作障碍^[8-10]。因此,分析果园土壤中酚酸类物质的组成和含量,对于了解和克服环渤海地区苹果园连作障碍具有重要意义。本研究对环渤海地区典型苹果园土壤中酚酸类物质进行了调查检测,分析了苹果园土壤中酚酸类物质的季节变化,以期掌握土壤中酚酸类物质的变化规律,为克服连作障碍提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

2009 年 4 月、9 月、11 月在山东昌邑、栖霞、蓬莱,辽宁大连、抚宁、绥远,河北昌黎、青县各地的连作园和非连作苹果园中各选取 5 个果园,园中主要为 15 年生苹果树,连作 13a。根据对当地农业部门科技工作者和果园种植户的调研,选取当地典型的有代表性的且土壤类型一致的连作果园和非连作果园。相应连作园和非连作果园距离控制在 500m 之内。每果园随机选取苹果植株,于树盘内距主干 1.5 m 处分别取 0—20 cm、20—40 cm、40—60 cm 土层各 200 g。每果园行内和行间分别取 3 个点,即每个土层 3 个重复。每个果园中共取土样 1800 g。将土样装入自封袋中运回山东农业大学,进行酚酸类物质含量分析,比较连作果园与非连作园土壤中酚酸类物质含量的差异。

在山东昌邑大阎家村发现同一地块有立地条件和管理条件相同的 2 年生(当年连作)和 8 年生(连作 6a)连作苹果园。于树盘内距主干 1.5 m 处取 0—20 cm、20—40 cm、40—60 cm 土层各 200 g 带回。将各层土样混匀作为 0—60 cm 土层土样,比较不同连作年限果园土壤中酚酸物质含量的季节变化。

1.2 酚酸类物质的测定

参照张江红的方法^[11]进行。称取风干土样各 100 g 于 250 mL 的棕色玻璃广口瓶中,加入 200 mL 二氯甲烷,震荡过夜后过滤,滤液过 0.45 μm 滤膜,34 $^{\circ}\text{C}$ 减压浓缩至干,1 mL 甲醇溶解,20 μL 进样,HPLC 测定酚类物质含量。色谱条件:流动相为乙腈和水(用乙酸调节 pH2.8),柱温 30 $^{\circ}\text{C}$,流速 1.0 mL/min。采用双泵系统,梯度洗脱,0—35 min,乙腈从 5% 提高到 35%,35—40 min,乙腈保持 35%,40—42 min,乙腈从 35% 下降到 5%。每个分析周期结束后基线平稳 10 min 后进样,以去除干扰成分,保证分析结果的稳定性和重复性。

1.3 数据处理

每试验重复 3 次。用每地区土样中各酚酸物质的总和代表该地区该酚酸物质的含量。用 Origin 7.5 软

件对数据进行统计分析,ANOVA 法检验差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 春季不同地区连作果园土壤中酚酸物质的组成和含量比较

不同地区连作果园土壤中酚酸物质组成和含量差别显著(表1)。综合来看,山东昌邑、栖霞、蓬莱地区连作果园 40 cm 以上土壤中焦性没食子酸含量最高,其次是河北地区(昌黎、青县),而辽宁地区(抚宁、大连)连作果园土壤中的焦性没食子酸主要分布在 40—60 cm 土壤中。山东和辽宁地区连作果园土壤中的绿原酸主要存在于 20 cm 以上,而河北地区则主要存在于 40 cm 以下。山东地区连作园中的对羟基苯甲酸主要存在于 40 cm 以下的土层,辽宁则在 20—40 cm,而河北地区土壤中的对羟基苯甲酸分布比较均匀。(+) -儿茶素在辽宁地区则含量显著高于山东和河北地区,且主要分布于 40 cm 以下土层。河北地区连作园土壤中(+) -儿茶素的含量次之,且主要分布于 20 cm 以上土层,而在山东地区连作园土壤中的含量很少,且主要分布于 40 cm 以上土层。3 个地区连作园土壤中咖啡酸的含量均呈现随土层深度增加而减少的变化趋势,尤其在山东地区 40 cm 以下土层中未检测到咖啡酸的含量。山东地区土壤中的阿魏酸主要集中在 20—40 cm 土层,河北地区则集中在 20 cm 以上土层中,而辽宁地区的咖啡酸在各土层间分布相对均匀。山东地区连作园土壤中根皮苷主要存在于 0—20cm 和 40cm 以下,而辽宁地区则存在于 20—40 cm,河北则主要存在于 20 cm 以下。

表 1 春季不同地区连作果园土壤中酚酸物质的组成和含量

Table 1 Composition and contents of phenolic acids in replant orchard soils of different regions in spring

地区 Region	山东 Shandong					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	4.95 *	1.11	2.25 *	0.63	0.00 *	0.27
绿原酸 Chlorogenic acid	0.26 *	0.12	0.18 *	0.06	0.00	0.02
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.04	0.04	0.10	0.09	0.93	0.95
(+) -儿茶素(+) -catechin	0.09	0.08	0.04	0.03	0.00	0.00
咖啡酸 Caffeic acid	0.16	0.13	0.06	0.06	0.00	0.00
阿魏酸 Ferulic acid	0.06	0.04	0.53	0.56	0.16	0.15
根皮苷 Phlorizin	0.29 *	0.06	0.30 *	0.10	0.39 *	0.12
地区 Region	辽宁 Liaoning					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	0.00	0.00	2.35 *	0.79	0.35 *	0.01
绿原酸 Chlorogenic acid	0.14 *	0.02	0.09 *	0.00	0.01	0.00
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.04	0.03	0.11	0.13	0.02	0.00
(+) -儿茶素(+) -catechin	0.03	0.03	0.17	0.16	1.24	1.21
咖啡酸 Caffeic acid	0.20	0.17	0.14	0.12	0.03	0.00
阿魏酸 Ferulic acid	0.19	0.17	0.19	0.16	0.13	0.11
根皮苷 Phlorizin	0.04 *	0.00	0.13 *	0.01	0.06 *	0.01
地区 Region	河北 Heibei					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	2.74 *	0.91	1.31 *	0.27	0.74 *	0.05
绿原酸 Chlorogenic acid	0.08	0.05	0.07	0.05	0.16 *	0.06
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.08	0.06	0.08	0.03	0.08	0.01
(+) -儿茶素(+) -catechin	0.27	0.20	0.03	0.00	0.07	0.00
咖啡酸 Caffeic acid	0.12	0.11	0.17	0.12	0.10	0.09
阿魏酸 Ferulic acid	0.75	0.76	0.04	0.06	0.07	0.05
根皮苷 Phlorizin	0.04 *	0.00	0.10 *	0.00	0.10 *	0.00

* 表示同一地区土层深度下酚酸物质在连作园和非连作园间在 5% 水平上差异显著

从总体上看,春季非连作园土壤中各种酚酸类物质含量随土层深度的变化动态与连作园中相似(表1)。但是,各地区苹果连作园土壤中的焦性没食子酸、绿原酸、根皮苷含量均显著高于相应的非连作园,而对羟基苯甲酸、(+)-儿茶素、咖啡酸、阿魏酸含量与非连作园差异不显著。且不同地区非连作园土壤中酚酸类物质含量也存在较大差别。

2.2 夏季不同地区连作果园土壤中酚酸物质的组成和含量比较

与春季果园连作土壤(表1)相比,夏季果园连作土壤中酚酸物质的组成和含量发生明显的变化(表2)。在山东、辽宁和河北3个地区中,焦性没食子酸是连作土壤中的主要酚酸物质,随着土层加深,焦性没食子酸含量逐渐减少。尤其山东地区连作土壤中的焦性没食子酸含量显著高于辽宁和河北。并且,(+)-儿茶素、阿魏酸和根皮苷也是山东地区连作土中酚酸物质的主要成分,且其含量均随土层的加深而逐渐减少。

夏季各地区非连作园土壤中酚酸类物质含量随土层深度的变化与连作园相似,总体上随土层加深,酚酸类物质含量降低。但是山东地区非连作园40—60 cm土层中未检测到对羟基苯甲酸、(+)-儿茶素、咖啡酸。辽宁地区非连作园40—60 cm土层中未检测到阿魏酸和根皮苷。而河北地区非连作园土壤中含有全部7种酚酸物质。且夏季各地区非连作园土壤中焦性没食子酸、绿原酸、根皮苷含量显著低于连作园。

表2 夏季不同地区连作果园土壤中酚酸物质的组成和含量

Table 2 Composition and contents of phenolic acids in replant orchard soils of different regions in summer

地区 Region	山东 Shandong					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	4.08 *	0.97	1.08 *	0.27	0.60 *	0.09
绿原酸 Chlorogenic acid	0.74 *	0.29	0.25 *	0.08	0.07 *	0.02
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.45	0.47	0.17	0.14	0.03	0.00
(+)-儿茶素(+)-catechin	1.79	1.72	0.44	0.45	0.04	0.00
咖啡酸 Caffeic acid	0.84	0.77	0.08	0.09	0.00	0.00
阿魏酸 Ferulic acid	1.52	1.60	0.21	0.23	0.03	0.01
根皮苷 Phlorizin	1.03 *	0.11	0.08 *	0.02	0.13 *	0.01
地区 Region	辽宁 Liaoning					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	3.00 *	0.42	1.88 *	0.15	0.68 *	0.11
绿原酸 Chlorogenic acid	0.34 *	0.19	0.59 *	0.21	0.15 *	0.09
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.23	0.25	0.34	0.31	0.12	0.13
(+)-儿茶素(+)-catechin	0.65	0.57	0.98	0.95	0.24	0.27
咖啡酸 Caffeic acid	0.16	0.17	0.23	0.22	0.05	0.04
阿魏酸 Ferulic acid	0.45	0.43	0.69	0.61	0.00	0.00
根皮苷 Phlorizin	0.57 *	0.00	0.90 *	0.02	0.16 *	0.00
地区 Region	河北 Hebei					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	1.58 *	0.98	0.71 *	0.52	0.69 *	0.38
绿原酸 Chlorogenic acid	0.43 *	0.17	0.23 *	0.11	0.21 *	0.05
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.32	0.29	0.18	0.19	0.23	0.22
(+)-儿茶素(+)-catechin	0.81	0.77	0.53	0.50	0.43	0.45
咖啡酸 Caffeic acid	0.22	0.25	0.14	0.15	0.10	0.09
阿魏酸 Ferulic acid	0.72	0.66	0.37	0.32	0.28	0.24
根皮苷 Phlorizin	0.71 *	0.02	0.48 *	0.01	0.87 *	0.01

* 表示同一地区土层深度下酚酸物质在连作园和非连作园间在5%水平上差异显著

2.3 秋季不同地区连作果园土壤中酚酸物质的组成和含量比较

与春季和夏季相比,秋季连作果园土壤中酚酸物质的组成和含量变化显著(表3)。秋季土壤中,焦性没

食子酸含量随土层加深而增加,在 40—60 cm 土层中,山东和辽宁土壤中的焦性没食子酸含量无显著差异,但均高于河北地区。山东地区土壤中对羟基苯甲酸、咖啡酸、含量也随土层加深而逐渐增加,且显著高于辽宁和河北地区。但河北地区土壤中不同深度土层间绿原酸含量差异不显著,且 20—40 cm 土层中咖啡酸、阿魏酸、根皮苷含量低于 0—20 cm 和 40—60 cm 土层。而辽宁地区 20—40 cm 土层中根皮苷含量显著高于 0—20 cm 和 40—60 cm 土层。

虽然,秋季非连作园土壤中酚酸类物质含量变化情况与连作园类似,但由于非连作园中焦性没食子酸、绿原酸、根皮苷等酚酸类物质含量显著低于连作园,因此,非连作园中酚酸类物质含量变化幅度小于连作园。

表 3 秋季不同地区连作果园土壤中酚酸物质的组成和含量

Table 3 Composition and contents of phenolic acids in replant orchard soils of different regions in autumn

地区 Region	山东 Shandong					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	0.11 *	0.06	1.63 *	0.52	2.70 *	0.69
绿原酸 Chlorogenic acid	0.24 *	0.13	0.63 *	0.37	0.61 *	0.38
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.17	0.15	0.32	0.31	0.36	0.37
(+)-儿茶素(+)-catechin	0.58	0.54	1.10	1.11	1.34	1.29
咖啡酸 Caffeic acid	0.13	0.13	0.25	0.26	0.47	0.45
阿魏酸 Ferulic acid	0.38	0.37	0.61	0.64	1.14	1.09
根皮苷 Phlorizin	0.59 *	0.04	0.98 *	0.05	0.94 *	0.04
地区 Region	辽宁 Liaoning					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	0.76 *	0.21	1.26 *	0.40	2.07 *	0.89
绿原酸 Chlorogenic acid	0.17 *	0.09	0.37 *	0.12	0.61 *	0.23
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.19	0.17	0.32	0.31	0.36	0.31
(+)-儿茶素(+)-catechin	0.48	0.51	0.72	0.70	1.34	1.33
咖啡酸 Caffeic acid	0.11	0.12	0.16	0.14	0.47	0.44
阿魏酸 Ferulic acid	0.35	0.35	0.43	0.47	1.14	1.12
根皮苷 Phlorizin	0.76 *	0.01	1.26 *	0.03	0.94 *	0.00
地区 Region	河北 Hebei					
	0—20		20—40		40—60	
土层 Soil layer/cm	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant	连作 Replant	非连作 Non-replant
焦性没食子酸 Pyrogalllic acid	0.23 *	0.11	1.33 *	0.38	1.62 *	0.47
绿原酸 Chlorogenic acid	0.40 *	0.17	0.37 *	0.14	0.44 *	0.16
对羟基苯甲酸 P-hydroxybenzoic acid	0.31	0.29	0.36	0.35	0.26	0.24
(+)-儿茶素(+)-catechin	0.92	0.93	0.58	0.54	0.90	0.85
咖啡酸 Caffeic acid	0.15	0.14	0.11	0.13	0.21	0.18
阿魏酸 Ferulic acid	0.52	0.51	0.28	0.32	0.51	0.49
根皮苷 Phlorizin	1.73 *	0.07	0.27 *	0.03	0.68 *	0.04

2.5 春季不同树龄连作土壤中酚酸物质比较

不同树龄连作土中酚酸物质组成和含量差别显著(图 1)。2 年生连作树的土壤中含有大量的焦性没食子酸、根皮苷等物质,而 8 年生连作树的土壤中的焦性没食子酸、根皮苷的含量显著降低,分别为 2 年生连作树土壤的 44% 和 60%。并且在 8a 连作树土壤中对羟基苯甲酸和(+)-儿茶素的含量极其少。

2.6 夏季不同树龄连作土中酚酸物质含量

从图 2 可以看出,不同树龄连作土中夏季土壤中酚酸物质含量差异显著。2 年生果树连作土中含有相对较高的焦性没食子酸,而 8 年生果树连作土中的根皮苷含量则显著高于 2 年生果树。另外,对羟基苯甲酸、咖啡酸、阿魏酸的含量在不同树龄间也略有差异,但差异不显著。

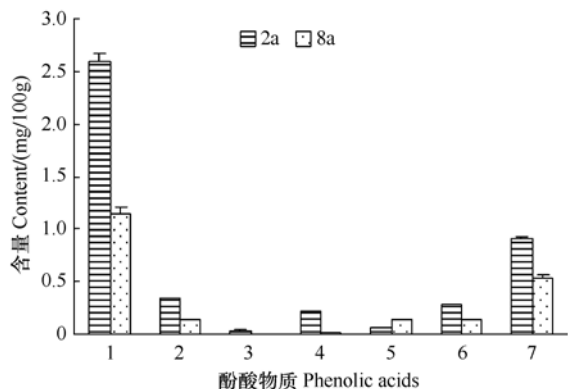


图 1 2 年生和 8 年生果园连作土壤中春季酚酸物质含量比较

Fig.1 Comparison in contents of phenolic acids between 2-year and 8-year replant orchard soils of different regions in spring

1: 焦性没食子酸;2: 绿原酸;3: 对羟基苯甲酸;4: (+)-儿茶素;5: 咖啡酸;6: 阿魏酸;7: 根皮苷

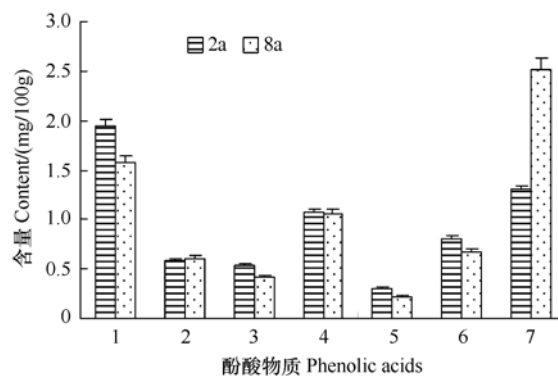


图 2 2 年生和 8 年生果园连作土壤中夏季酚酸物质含量比较

Fig. 2 Comparison in contents of phenolic acids between 2-year and 8-year replant orchard soils of different regions in summer

1: 焦性没食子酸;2: 绿原酸;3: 对羟基苯甲酸;4: (+)-儿茶素;5: 咖啡酸;6: 阿魏酸;7: 根皮苷

2.7 秋季不同树龄连作土中酚酸物质含量

结合图 2 和图 3 可以看出,2 年生果园连作土中酚酸物质在秋季的含量略高于夏季,而 8 年生果园连作土中则相反。除根皮苷外,2 年生 3 种果园连作土中的酚酸物质均高于 8 年生 3 种果园。这可能是由于前茬果树根系在土壤中腐烂和释放酚酸物质是一个逐渐的缓慢的过程,在连作之后的一段时间内,残留在土壤中的根系仍释放酚酸物质。并且,2 年生 3 种果树的树冠显著小于 8 年生 3 种果树,从而使得绝大部分土壤处于直接接受日光和雨水等的状态下,在夏秋季节内土壤温度等环境条件变化相对剧烈,从而使得 2 年生 3 种连作果园土壤中的残留根系能持续释放出大量的酚酸物质。而经历了 8a 左右的时间,8 年生 3 种连作果园土壤中的

的残留根系释放酚酸物质的能力已经降低,含量也逐渐减少。并且与 2 年生 3 种果树相比,8 年生 3 种果树树冠较大,根系分布范围也相对宽广,从而保持了树下土壤的环境条件的相对稳定,最终体现为土壤中酚酸物质含量在同一年内夏秋季节变化不明显。

3 讨论

苹果园土壤中酚酸类物质从春季到秋季变化显著,且非连作园土壤中酚酸类物质含量显著少于连作土。通过比较表 1—表 3 可以看出,虽然在不同地区苹果园连作土中,酚酸类物质组成和含量差异较大,但焦性没食子酸、绿原酸和根皮苷是山东、辽宁、河北地区连作苹果园中含量显著变化的酚酸类物质,它们可能是促使苹果园出现连作障碍的关键的酚酸类物质。另外,不同地区土壤条件、气候条件以及果园管理措施和管理水平不同,可能是造成土壤中各种酚酸物质含量在不同地区间存在差异的主要原因。

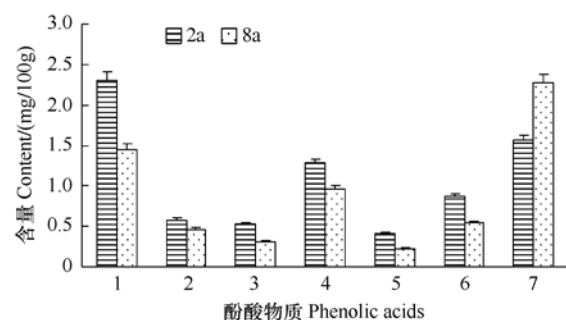


图 3 2 年生和 8 年生果园连作土壤中秋季酚酸物质含量比较

Fig. 3 Comparison in contents of phenolic acids between 2-year and 8-year replant orchard soils of different regions in autumn

1: 焦性没食子酸;2: 绿原酸;3: 对羟基苯甲酸;4: (+)-儿茶素;5: 咖啡酸;6: 阿魏酸;7: 根皮苷

从表1—表3可以看出,连作土壤中酚酸物质的组成和含量在不同季节间差异显著,尤其春季土壤中酚酸物质的种类与夏季和秋季显著不同。这可能是因为植物在不同季节分泌的酚酸类物质种类和含量有差别^[12]。冬季苹果地上部植株停止生长而根系在冬季一段时间内仍处于活动状态,分泌出酚酸物质,而夏季和秋季的植物植株旺盛生长,造成了酚酸物质的不同。且土壤对酚酸物质有一定的消化能力,而这种消化能力可能与季节有关。夏秋季节土壤对果树根系分泌的酚酸物质的消化能力强,冬季则可能相对较弱。

不同土层中酚酸物质的分布因季节不同而有显著差异。夏季土壤中酚酸物质主要分布在浅层土壤(0—20 cm)中,而秋季则主要分布在深层土壤中(40—60 cm)。这可能是由于浇水等果园管理措施和自然降水对土壤中的酚酸物质产生的淋溶作用,使得大量的酚酸物质向深层土壤运动,最终造成了秋季果园连作土中随土层加深而酚酸物质含量增加的现象。

从2年生3种和8年生3种果园连作土壤中酚酸类物质含量变化(图1—图3)来看,酚酸类物质含量除发生季节性变化外,在相同季节,除根皮苷外,8年生3种果园连作土壤中其他酚酸物质含量均不高于2年生3种果园。造成8年生3种果园连作土中酚酸物质含量减少的可能原因有:(1)由于降雨和果园浇水形成的淋溶作用促使酚酸物质向土壤更深层扩散^[13],从而使得根系主要生长区域的酚酸物质减少;(2)进入土壤中的酚酸物质可能在微生物等的作用下转化为其他的物质^[14-15],也是减少连作土中酚酸物质含量的途径之一。(3)酚酸物质也可能在与某些化学物质反应,从而部分地解除或降低了毒性^[16-17]。在苹果树叶、树枝、树皮等组织中根皮苷含量都很高^[18]。而在8a连作土中根皮苷的积累,可能是由于腐烂的苹果枝、叶、根等释放根皮苷缓慢,且根皮苷易被土壤吸附但不易被淋溶等原因造成的。

本研究调查了环渤海苹果主产区连作土壤中酚酸类物质的组成和含量随土层深度和季节的变化情况。但对于不同果园中酚酸类物质的年度变化情况以及引起连作障碍的每种酚酸物质的阈值还值得深入探讨。

References:

- [1] Narwal S. Allelopathy in ecological sustainable organic agriculture. *Allelopathy Journal*, 2010, 25(1): 51-72.
- [2] Zhang J H. Allelopathic Effect of Phenolics and Its Role on Apple Replant Disease Mechanism. Taian: Shandong Agricultural University, 2005.
- [3] Wang C, Xu G Y, Ge C C, Mao Z Q. Progress on the phenolic acid substances and plant soil sickness. *Northern Horticulture*, 2009, 3: 134-137.
- [4] Wu F Z, Zhao F Y. Root exudates and cropping obstacle. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2003, 34(1): 114-118.
- [5] Baerson S R., Dayan F E, Rimando A M, Nanayakkara N P D, Liu C J, Schröder J, Fishbein M, Pan Z, Kagan I A, Pratt L H, Cordonnier-Pratt M M, Duke S O. A functional genomics investigation of allelochemical biosynthesis in *Sorghum bicolor* root hairs. *Journal of Biological Chemistry*, 2008, 283(6): 3231-3247.
- [6] Zhang J H, Mao Z Q, Wang L Q, Shu H R. Bioassay and identification of root exudates of three fruit tree species. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2007, 49(3): 257-261.
- [7] Politycka B, Adamska D. Release of phenolic compounds from apple residues decomposing in soil and the influence of temperature on their degradation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2003, 12(1): 95-98.
- [8] Wu H, Haig T, Pratley J, Lemerle D, An M. Allelochemicals in wheat (*Triticum aestivum* L.): variation of phenolic acids in shoot tissues. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(1): 125-135.
- [9] Ogwenio J, Yu J. Autotoxic potential in soil sickness: A re-examination. *Allelopathy Journal*, 2006, 18(1): 93-102.
- [10] Jilani G, Mahmood S, Chaudhry A, Hassan I, Akram M. Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil: a review. *Annals of Microbiology*, 2008, 58(3): 351-357.
- [11] Zhang J H, Zhang D S, Mao Z Q, Li Z Y, Zhao M X. Apple rootstocks isolation and identification of root exudates. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2009, 32(4): 29-32.
- [12] Borbely V, Radocz L. Changing of amounts of allelochemicals in Italian cocklebur (*Xanthium italicum* Mor.) during the growing season. *Allelopathy Journal*, 2006, 18(2): 397-403.
- [13] Singh H P, Batish D R, Kohli R K. Autotoxicity: Concept, Organisms and ecological significance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 1999, 18: 757-772.
- [14] Lauzon C, Potter S, Prokopy R. Degradation and detoxification of the dihydrochalcone phloridzin by *Enterobacter agglomerans*, a bacterium

associated with the apple pest, *Rhagoletis pomonella* (Walsh) (Diptera: Tephritidae). *Environmental Entomology*, 2003, 32(5): 953-962.

- [15] Zhang Z, Pan L, Li H. Isolation, identification and characterization of soil microbes which degrade phenolic allelochemicals. *Journal of Applied Microbiology*, 2009, 108(5): 1839-1849.
- [16] Li H H, Gong L H, Zhang Z Y, Wu Y L, Li L. Degradation of phenolic allelochemicals in bamboo soil by fenton s reagent. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2007, 15(6): 513-520.
- [17] Kobayashi K. Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management*, 2004, 4(1): 1-7.
- [18] Li R T, Liu J C, Jiao Z G, Wang S X, Du X F. Determination of phloridzin in apple tree branch and leaf by RP-HPLC. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(12): 385-388.

参考文献:

- [2] 张江红. 酚类物质对苹果的化感作用及重茬障碍影响机理的研究. 泰安:山东农业大学, 2005.
- [3] 王闯, 徐公义, 葛长城, 毛志泉. 酚酸类物质和植物连作障碍的研究进展. *北方园艺*, 2009, 3: 134-137.
- [4] 吴凤芝, 赵凤艳. 根系分泌物与连作障碍. *东北农业大学学报*, 2003, 34(1): 114-118.
- [11] 张江红, 张殿生, 毛志泉, 李中勇, 赵明新. 苹果砧木幼苗根系分泌物的分离与鉴定. *河北农业大学学报*, 2009, 32(4): 29-32.
- [16] 李海航, 龚莉红, 张宗耀, 吴贻良, 李玲. 酚类试剂对竹林土壤中酚类化合物的降解作用. *热带亚热带植物学报*, 2007, 15(6): 513-520.
- [18] 李荣涛, 刘杰超, 焦中高, 王思新, 杜先锋. RP-HPLC 法测定苹果树枝、叶中根皮苷的含量. *食品工业科技*, 2009, 30(12): 385-388.

CONTENTS

Spatial pattern analysis of a <i>Rhododendron-Abies</i> virginal forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China	MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest	LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wande, et al (10)
Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake	GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China	FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi	LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
Property of root distribution of triploid <i>Populus tomentosa</i> and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme	XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River	LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty	YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of <i>Lithocarpus glabra</i> and <i>Castanopsis sclerophylla</i>	LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf	SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
Growing dynamic root system of <i>Aquilaria malaccensis</i> and <i>Aquilaria sinensis</i> seedlings in response to different fertilizing methods	WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
Accumulation and tolerance of <i>Salix variegata</i> and <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to cadmium	JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China	ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China	LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands	RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
Prey biomass of the Amur tiger (<i>Panthera tigris altaica</i>) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China	ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
The impact of conservation projects on giant Panda Habitat	ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment	GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
Comparative of feeding behaviors of <i>Sitobion avenae</i> , <i>Sitobion graminum</i> and <i>Rhopalosiphum padi</i> (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG)	MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
Toxic effects of <i>ent</i> -kaurane diterpenoids on soil ciliate communities	NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of <i>Dendroctonus valens</i> population	PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi	WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland	LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years	LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county	XIE Hualin, LI Xiubin (230)
Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China	YANG Zhen (239)
Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area	LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
Review and Monograph	
Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion	LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States	ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
Managing farmland soil food web: principles and methods	CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		

