DOI: 10.5846/stxb201402160268
甘卓亭,张蓓蓓,张掌权,周旗,郑晖.渭北塬区不同龄苹果园土壤微生物空间分布特征.生态学报,2015,35(21): - .
Gan Z T, Zhang B B, Zhang Z Q, Zhou Q, Zheng H.Spatial distribution of soil microorganisms in apple orchards of different ages on the Weibei rainfed tableland of the Loess Plateau, China.Acta Ecologica Sinica,2015,35(21): - .

渭北塬区不同龄苹果园土壤微生物空间分布特征

甘卓亭[1,2],张蓓蓓[1,2],张掌权[1],周 旗[1,2],郑 晖[1,2]
1 宝鸡文理学院、陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室,宝鸡 721013
2 宝鸡文理学院、渭河流域资源环境与生态文明研究所,宝鸡 721013

摘要:以渭北塬区塬面 5、10、15 和 20 龄苹果园为对象,距树干 1.0、1.5 m 和 2.0 m 处用土钻法分层采集 0—30 cm 土样,稀释平板法测定土壤微生物数量,平行测定土壤有机碳、总氮和总磷,分析不同龄果园土壤微生物的空间分布状况及其与土壤碳、氮、磷的关系。结果表明:土壤真菌数量随树龄增大而增加,龄间差异显著($P<0.05$);与对照农田相比,各龄果园放线菌数量及 5 龄和 20 龄果园细菌数量偏低,10 龄和 15 龄果园细菌数量偏高;各龄果园土壤真菌、细菌和放线菌数量均随深度增加而减小。就相同深度土层而言,真菌数量随果园年限增大而增加,细菌则以 10 龄和 15 龄果园较多,同深度土层的放线菌龄间差异随深度增加而减小。在沿树干向外的径向水平方向上,真菌数量随果园年限的增加相应增多;10 龄和 15 龄果园土壤细菌和放线菌高于 5 龄果园和 20 龄果园。5 龄果园土壤总氮有沿树干向外、沿表层向下逐步降低的趋势,果园从 5 龄经 10 龄到 15 龄,其"高氮点"则逐步向外、向下移动。塬区果园土壤 C:N 比偏低。

关键词:土壤微生物;空间分布;渭北旱塬

Spatial distribution of soil microorganisms in apple orchards of different ages on the Weibei rainfed tableland of the Loess Plateau, China

GAN Zhuoting[1,2], ZHANG Beibei[1,2], ZHANG Zhangquan[1], ZHOU Qi[1,2], ZHENG Hui[1,2]
1 *Key Laboratory of Disaster Survey and Mechanism Simulation of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji* 721013, *China*
2 *Institution of Wei River Basin's Resource Environment and Ecological Civilization, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji* 721013, *China*

Abstract: Soil microorganisms are vital for orchard ecosystems, as they determine and promote the material cycle and energy flow. The Weibei Loess Plateau is one of the main regions producing high-quality apples since the 1980s. The planting structure of apple orchards has following characteristics: simple and long-term fertilizer, high quality management, and "double high" (high investment and high harvest) production, which results in different soil fertility and quality in orchards of different ages, leading to different habitat conditions for microorganisms. Consequently, different aged orchards have different soil microbial species composition, quality, and spatial distributions. Yet, differences in soil microorganism parameters affect apple yield and quality, because of their involvement in maintaining and improving the feedback effect on soil properties and fertility in orchards. To maintain sustainable development, prevent soil quality degradation, and reform orchard degradation, it is essential to understand the long-term dynamics and trends of microorganisms in orchards. This work investigated the spatial distribution of soil microorganisms in different apple orchards of different ages (5, 10, 15, and 20 years old) on the Weibei rainfed tableland of the Loess Plateau. Soil samples were first collected from the 0—30cm soil layer at root radial distances of 1.0, 1.5, and 2.0 m away from the main tree trunk using a soil coring method. Soil total nitrogen

基金项目:国家"十一五"科技支撑计划资助项目(2006BAD09B09);陕西省教育厅自然科学专项(2010JK402);宝鸡文理学院重点项目(ZK1041,ZK0846)
收稿日期:2014-02-16; **网络出版日期**:2015-04-14
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: ztgan73@126.com

(TN), soil total phosphorus (TP), and soil organic carbon (SOC) were then determined using the Flowsys III and LiquiTOC II analyzer. Relationships between soil microorganisms and soil nutrients (i.e., TN, TP, and SOC) were also analyzed. The results showed that the soil fungal population increased with increasing apple orchard age. There were significant differences in soil fungal population among orchard ages, at the $P = 0.05$ level. The soil actinomycete population in orchards of all ages and soil bacterial population in 5-year and 20-year old apple orchards was lower than that in agricultural fields (control check). In comparison, the soil bacterial population in 10-year and 15-year old apple orchards was higher than that in the agricultural field. Fungal, actinomycete and bacterial populations decreased with increasing soil depth. At the same soil depth, the soil fungal population increased with increasing orchards age, with the soil bacterial population in 10-year and 15-year old apple orchards being higher than that in 5-year and 20-year old orchards. Soil actinomycete populations declined with the increasing in soil depth in all ages of apple orchards. In the radial horizontal direction, the soil fungal population in all apple orchards increased with age, while the soil bacterial population during the full fruit bearing period (10 and 15-years old) was higher than that in 5-year and 20-year old orchards, with soil actinomycetes exhibiting the same trend. The TP in 5-year old apple orchards declined outward from the apple trunk and downward from the topsoil. The "High spot of TN" moved outward from the apple trunk and downward from the topsoil for 5-year to 15-year old apple orchards. The C:N soil ratio was low in apple orchards on the Weibei rainfed tableland of the Loess Plateau.

Key Words: Soil microorganisms; spatial distribution; Weibei rainfed tableland

土壤微生物在果园生态系统中的作用不可忽视,决定和推动着果园生态系统的物质循环和能量流动[1,2]。渭北黄土高塬果区是我国重要的优质苹果种植区,自上世纪 80s 开始苹果种植以来,果园种植面积逐年扩大,果园已成为本区主要的农用地类型。果园种植方式具有结构相对单一、长期定向施肥、频繁管理干预和"双高"(高投入和高收获)生产等特点,致使不同龄果园间土壤肥力和质量存在差异,形成了不同的土壤微生物生境条件,从而导致不同龄果园间土壤微生物种类组成、数量水平和空间分布状况的差异。土壤微生物差异又对果园土壤理化性状及土壤肥力的维持与改善产生反馈作用[3],影响果园产量和果实品质。

土壤微生物与果园连作障碍的关系也是退化果园改造需要重点关注的问题。以苹果为寄主的微生物经过多年繁衍和积累,如细菌、真菌、线虫和昆虫等会残留于土壤或植物残体中[4]。Slykhuis[5]从 51 个苹果园土壤中分离出 77 种真菌和 26 种细菌,发现其中部分微生物会抑制苹果的生长。苹果连作时根系线虫会增加,而线虫会破坏果树根系,如杨兴洪等[6]发现草地腐线虫对苹果忌地起着重要作用。

因此,从维系果业的可持续发展、防止土壤质量退化以及退化果园改造等目标出发,需要掌握在长期果园种植条件下土壤微生物变化动态和趋势。本研究通过对渭北旱塬王东沟流域不同龄果园土壤微生物特征的调查,探索不同龄果园间土壤微生物的数量水平和空间分布及其变化特征,以期为该地区的果园土壤质量诊断提供参考,为果园土壤生态修复和果业可持续发展提供依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于渭北旱塬王东沟试区(107°40′30″—107°42′30″ E, 35°12′16″—35°16′00″ N),总面积 8.3 km^2,主要地形单元为塬面和沟壑。年均降水量为 584 mm,年均温 9.1 ℃,无霜期 171 d,≥10 ℃积温 3029 ℃,属暖温带半湿润大陆性气候,地带性土壤类型为粘黑垆土,母质为深厚的中壤质马兰黄土。区内水土流失严重,全流域仅塬面尚保存有较完整的黑垆土剖面,梁顶和梁坡等梁状地类的粘化层侵蚀殆尽,已无明显剖面发育,称为黄墡土。自 1980s 初部分农田改建苹果园后,果园面积不断扩大,果业的规模效益也逐步显现,更促进了果园面积的继续扩张,流域现已形成了以果业为主的农、果二元型种植结构。

1.2　采样方法与处理

塬面分别选取品种(富士)相同、种植密度(3 m×4 m)一致、管理措施相近的 5、10、15 和 20 龄果园各 3 块为样地,对应于果园的幼龄期、初果期、盛果期和衰老期。除 20 龄果园分布较远外(与邻近样地果园相距约 2 km),其余果园集中在塬面 5 km^2范围内。本区果园农家肥施用量较少,而化肥以根冠外围沟施为主。测量各样地内全部果树胸径,取最接近胸径四分位数的 3 个分割点位置(也即第 25、50、75 百分位数)的果树为样树。以样树为中心,沿树干半径方向 1.0、1.5 m 和 2.0 m 处设置取土点[7],采用 Φ=9 cm 土钻按 10 cm 分层取土,取样深度 30 cm。农田对照(Control Check,CK)选取塬面冬小麦地,对角线设置采样点,3 重复。采样时间为 2013 年 5 月下旬(苹果花期)。

用手选法拣去土样中肉眼可辩的根茬、石砾、植物根系和碎屑,再分成两份,其中一份过 2 mm 筛,装入无菌自封袋中,冰盒中保存及时送回实验室用于微生物培养,另一份土壤样品经风干、研磨、过筛处理备土壤养分测定。

1.3　测定项目和方法

1.3.1　土壤微生物测定

土壤微生物数量用稀释平板计数法,称取土样 10.0 g,置于 90 mL 无菌水的 250 mL 三角瓶中,振荡 30 min,静置数分钟,取 1 mL 土壤悬液于装有 9 mL 无菌水的试管中,充分混匀,再取 1 mL 土壤悬液于装有 9 mL 无菌水的试管中,充分混匀,反复稀释 5 次。然后吸取不同稀释度的菌悬液各 0.1 mL 至培养基已凝固的培养皿中,用刮产涂布均匀。将接种后的培养皿倒置放入温箱中培养,细菌放入 37 ℃温箱中培养 2—3 d,放线菌放入 28 ℃温箱中培养 3—5 d,真菌则放入 25 ℃温箱中培养 3—5 d,测定时设 3 个重复。细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,放线菌用改良高氏 1 号培养基,真菌用马丁氏孟加拉红琼脂培养基[8,9]。本研究中土壤微生物量仅为真菌、细菌和放线菌三种可培养微生物类群的总量。

1.3.2　土壤养分测定

称取经预处理的干土样 0.5 g,加 H_2O_2和浓硫酸,消化炉消解,定容至 100 mL,取上清液用连续流动分析仪(Flowsys Ⅲ)的总氮(Total Nitrogen,TN)、总磷(Total Phosphorus,TP)模块分别测定。土壤有机碳(Soil Organic Carbon,SOC)用 LiquiTOC Ⅱ(Elementar Analysensysteme GmbH,德国)测定[7]。

1.4　数据统计分析

经 Excel 整理后,采用 SPSS17.0 统计软件包进行统计分析,用 Origin7.5 软件绘图。

2　结果与分析

2.1　不同龄果园土壤微生物数量特征

塬面 5、10、15 和 20 龄果园土壤真菌数量分别为 13×10^4 cfu g^{-1}、22×10^4 cfu g^{-1}、30×10^4 cfu g^{-1}和 35×10^4 cfu g^{-1},表现出随着树龄增加而增多,各龄果园间差异显著($P<0.05$),15 龄果园与对照麦地的真菌数量水平接近(图 1);与对照麦地相比,果园土壤放线菌数量均偏低,特别是幼龄果园(5 龄)和衰老期果园(20 龄)最低,分别为 7.1×10^4 cfu g^{-1}和 7.4×10^4 cfu g^{-1},而初果期(10 龄)和盛果期(15 龄)果园相对偏高,分别为 8.6×10^4 cfu g^{-1}和 8.9×10^4 cfu g^{-1},但仍然低于对照塬面冬小麦地的 9.5×10^4 cfu g^{-1},5 龄和 15 龄间差异显著(图 1);与放线菌类似,塬面果园土壤细菌的数量幼龄果园(5 龄)和衰老期果园(20 龄)最低,分别为 167×10^4 cfu g^{-1}和 151×10^4 cfu g^{-1},而初果期(10 龄)和盛果期(20 龄)果园相对偏高,分别为 269×10^4 cfu g^{-1}和 265×10^4 cfu g^{-1},与塬面冬小麦地对照 203×10^4 cfu g^{-1}相比,10 龄和 15 龄果园偏高,而 5 龄和 20 龄偏低,且均达到显著水平(图 1)。果园土壤三大类微生物数量组成以细菌类为主,其次是真菌,放线菌最少,不同龄果园三大类微生物总量变化趋势取决细菌类变化,这与田稼等[10]的研究结果一致。

2.2　不同龄果园土壤微生物垂直分布特征

在试验研究深度 0—30cm 土层范围内,塬面各龄果园(5、10、15 和 20 龄)的土壤真菌、细菌和放线菌的数量均表现为随深度增加而减小的趋势,与对照麦地的土壤真菌、细菌和放线菌数量的垂直分布趋势一致(图 2)。土壤真菌在相同土层深度上一般有随果园年限的增加而增大的趋势,在 0—10 cm 土层中,5、10 和 15 龄

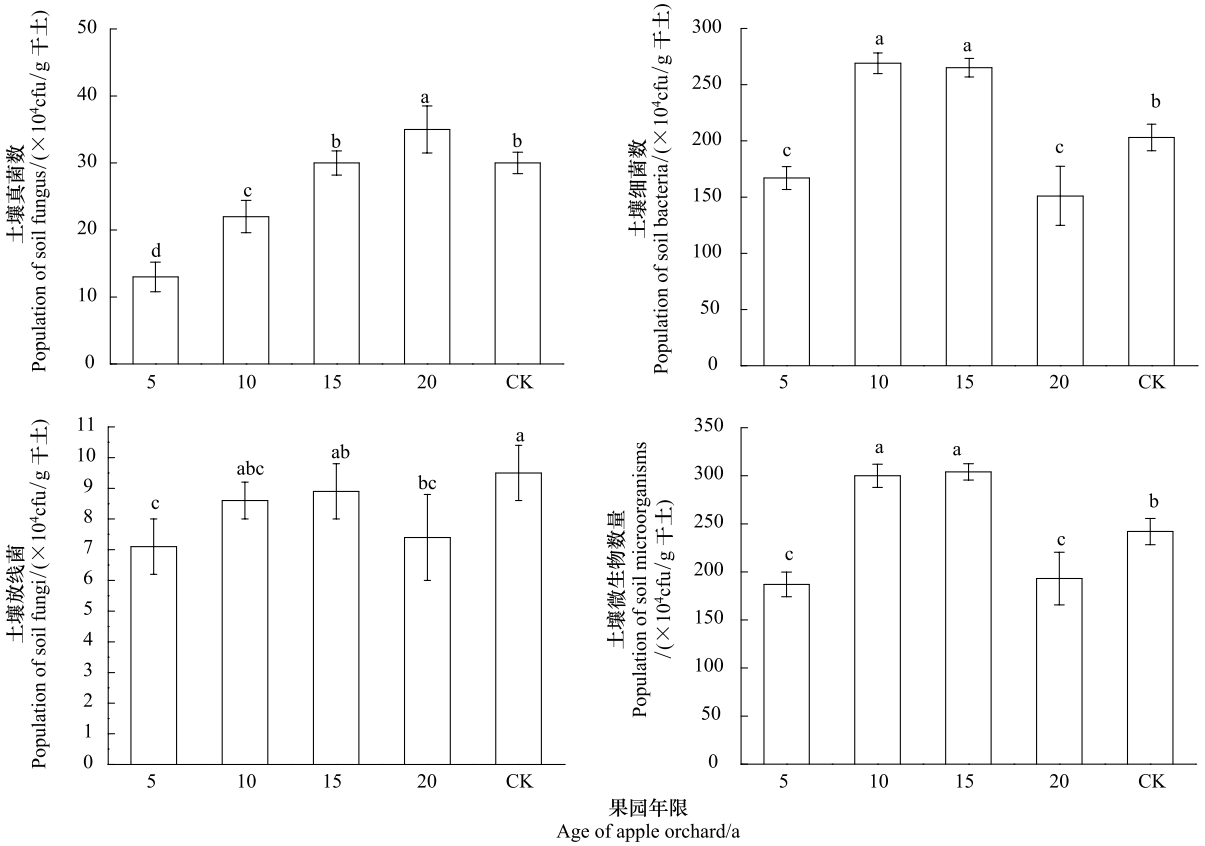


图 1 不同龄果园土壤真菌、细菌和放线菌数量

Fig. 1 Population of bacteria, actinomycete, fungi and total microorganisms in soil of different age orchards

注:不同字母表示差异达到 5%显著水平,下同。

果园分别为 18×10^4 cfu g^{-1}、24×10^4 cfu g^{-1}和 33×10^4 cfu g^{-1}及对照麦地 40×10^4 cfu g^{-1}间差异显著,而 20 龄果园 39×10^4 cfu g^{-1}与 15 龄和对照麦地间差异未达显著水平;在 10—20 cm 土层中幼龄期果园(5 龄)、初果期果园(10 龄)分别为 12×10^4 cfu g^{-1}、21×10^4 cfu g^{-1}和大龄果园(15 龄和 20 龄分别为 30×10^4 cfu g^{-1}和 34×10^4 cfu g^{-1})间差异显著,15 龄和 20 龄果园间及其与对照麦地(30×10^4 cfu g^{-1})间均无显著差异;20—30 cm 土层中,5 龄果园为 8×10^4 cfu g^{-1},显著低于其他各龄果园,20 龄果园为 31×10^4 cfu g^{-1}则显著高于其他各龄果园,10 龄和 15 龄果园分别为 22×10^4 cfu g^{-1}和 26×10^4 cfu g^{-1},与对照麦地 19×10^4 cfu g^{-1}接近(图 2-A)。与真菌的垂直分布不同,土壤细菌在相同土层深度上不同龄果园间并未随果园年限的同向递变,而是有单峰型变化的趋势,以 10 龄和 15 龄果园较高水平,5 龄和 20 龄果园较低水平,对照麦地介于两水平之间(图 2-B)。在 0—10 cm 土层中,幼龄果园(5 龄)土壤放线菌为 9.4×10^4 cfu g^{-1},与其它龄果园及对照麦地存在显著差异,在 10—20 cm 和 20—30 cm 土层上龄间差异不明显,土壤放线菌整体表现出龄间差异随深度增加而趋于减小(图 2-C)。三种主要土壤微生物总量变化趋势因细菌数量组成优势而表现出与其较类似的垂直分布特征(图 2-D)。

2.3 不同龄果园土壤微生物水平分布特征

在以树干为中心的径向水平方向上,就种植年限较长的 10、15 和 20 龄果园而言,真菌数量在 1.5 m 采样点处较多,分别为 26×10^4 cfu g^{-1}、33×10^4 cfu g^{-1}和 37×10^4 cfu g^{-1},2.0 m 处均有所下降,分布为 18×10^4 cfu g^{-1}、27×10^4 cfu g^{-1}和 35×10^4 cfu g^{-1},但不同年限果园的降幅有一定差异,其中以 10 龄果园降幅最大,达 31%,15 龄和 20 龄果园降幅逐步减小,分别为 18%和 5%。处于幼龄期的 5 龄果园土壤真菌数量在径向水平方向上变化较小;总体看,在水平方向上各龄果园的对应取样点(1.0、1.5 m 和 2.0 m)处真菌数量随着种植年限的增大均相应增多(图 3-A)。各龄果园的土壤细菌数量在径向水平方向上 1.0 m 处采样点均最低,在 1.5 m 和 2.0 m

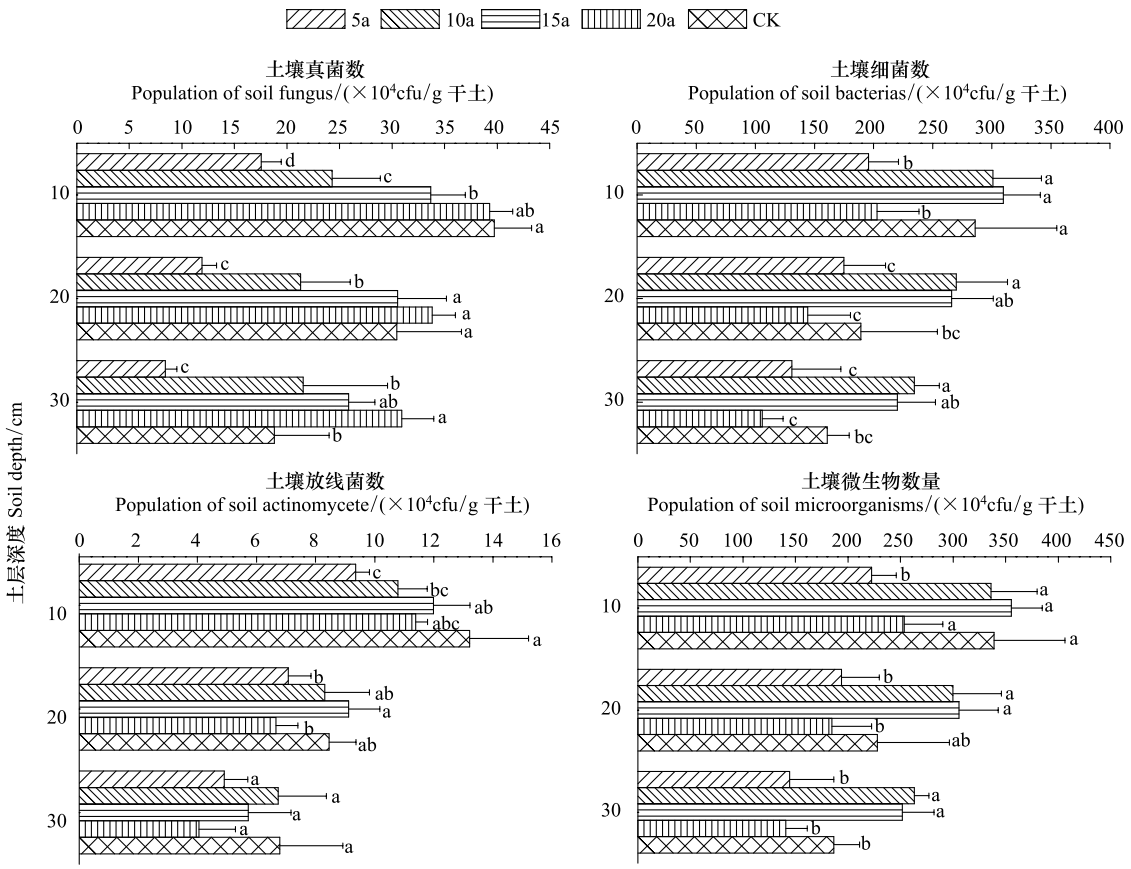


图 2　不同龄果园土壤真菌、细菌和放线菌垂直分布

Fig. 2　Vertical distribution characterics of bacterias, actinomycetes, fungus and total microorganisms in soil of different age orchards

(A:土壤真菌;B:土壤细菌;C:土壤放线菌;D:土壤微生物)

处相对一致且均高于 1.0 m 处;总体看,处于盛果期(10 龄和 15 龄)果园水平方向上对应取样点(1.0、1.5 m 和 2.0 m)处细菌数量高于幼龄期 5 龄果园和衰老期 20 龄果园(图 3-B)。在径向水平方向上幼龄期 5 龄果园和衰老期 20 龄果园的放线菌变化变化较小,而盛果期(10 龄和 15 龄)果园在近树干 1.0 m 处放线菌数量高于 1.5 m和 2.0 m 处;总体看,不同龄果园放线菌数量的水平分布与土壤细菌变化类似,盛果期果园的放线菌数量多于幼龄期和衰老期果园(图 3-C)。由于果园土壤中三种微生物数量以细菌的绝对量最大,因此土壤生物总量主要取决于细菌数量,其径向水平变化特征也与细菌的水平变化特征相似(图 3-D)。

3　讨论

3.1　不同龄果园土壤微生物数量构成

土壤微生物类群划分有多种分类标准,其中较为常用是根据微生物的形态将其分为细菌、放线菌和真菌三大类群。渭北塬区果园土壤三大微生物类群的数量组成(表 1)总体上表现为以细菌为主,超过 75%,其次为真菌,放线菌最少,这与该区麦地土壤微生物类群数量组成基本接近。随着种植年限的增加,三大微生物类群在数量组成呈现出不同的变化趋势,如真菌数量组成逐步增大,细菌则从 5 龄到 10 龄增加,其后下降,而放线菌在 5 龄和 20 龄相对较较高(表 1)。三大微生物类群数量组成在土层中也有着不同的分布变化特点,放线菌基本表现出随土层加深相对数量减小,除 5 龄果园外真菌在调查深度内则随土层加深而增加,细菌数量变化与土层关系不明显,但 20 龄衰老果园在总体降低的同时,还随土层加深而减少(表 1)。一般而言,潮湿的环境有利于细菌的生长繁殖,而干旱的土壤环境更有利于真菌的生长发育,干旱环境也适宜放线菌的生长繁殖,但生长相对较慢且(与其他微生物)竞争力不强。在渭北塬区长期种植的果园,土壤均有旱化趋势,这为真菌的生长繁殖提

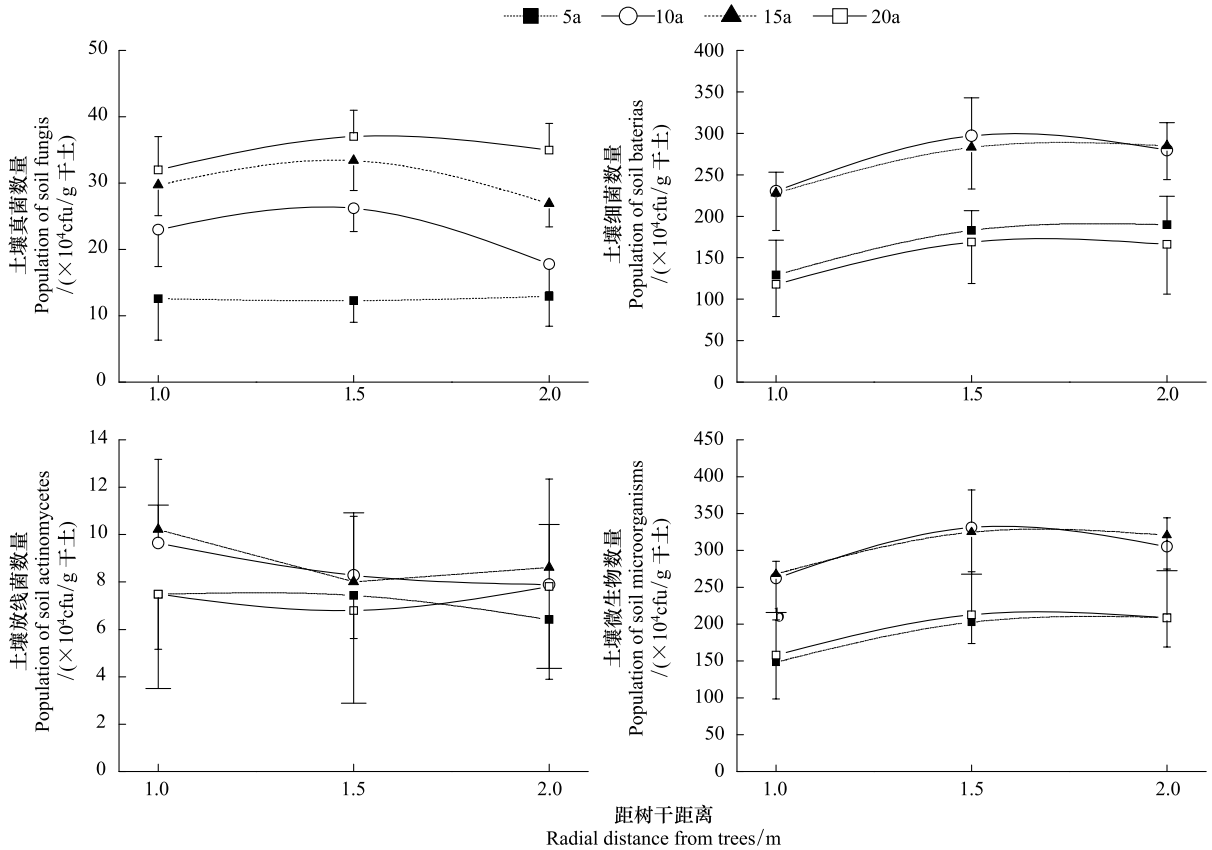


图 3 不同龄果园土壤真菌、细菌和放线菌水平分布

Fig. 3 Horizontal distribution characterics of bacteria, actinomycete, fungi and total microorganisms in soil of different age orchards

(A:土壤真菌;B:土壤细菌;C:土壤放线菌;D:土壤微生物)

供的较为有利外部环境,而不利于细菌的生长繁殖。因此,在水资源不足的渭北旱塬区,果树耗水量大,土壤水分长期处于负平衡,随着果园种植年限的增加,势必导致真菌相对数量增加和细菌相对数量的减少。

李智卫等[11]对位于山东半岛不同种植年限苹果园三大类微生物数量研究结果显示随着种植年限的延长,细菌和放线菌的含量降低,真菌的百分含量增高,而常显波等[12]在该地区研究结果显示不同种植年限苹果园土壤随种植年限的增加真菌增多和放线菌减少。上述山东半岛的试验结果表明土壤细菌的变化与种植年限的关系存在不确定性,而真菌则均随种植年限的增加而增大,这与渭北塬区的试验结果基本一致。两地区土壤放线菌随种植年限的变化不一致,在渭北塬区 5 龄幼龄期果园和 20 龄衰老期果园相对较较高,而山东半岛则随年限增加放线菌的含量降低,具有一定程度的区域差异。

研究认为土壤中治病真菌类微生物种类和数量随着连作年限的增加而增加,引起微生物区系的变化,是连作障碍的原因之一。作物连作会使得植物病原真菌富集,加剧植物根部病害的发生,影响作物正常的生长发育[13,14]。在渭北果区,随着果园面积的逐年扩张,适合果园种植的农用地基本被果园替代,而早期果园正处退化阶段,本区果业的发展面临着老果园的合理改造问题。因此,如何消除土壤真菌增加引起的再植障碍将对本区果业的持续发展至关重要。

3.2 不同龄果园土壤微生物与土壤 TN、TP、SOC 关系

土壤微生物一方面对土壤有机质起分解作用,参与碳、氮、磷等元素转化,使有机物质转化成有效养分,是土壤有机质和土壤养分转化与循环的动力,另一方面土壤微生物自身含有一定数量的 C、N、P 和 S,可作为土壤中植物有效养分的储备库,对土壤中的无机营养元素起固持和保蓄作用[15]。土壤微生物与土壤养分之间存在机理上的相关性,然而土壤微生物数量还受到土壤的理化性质、土壤植被状况以及人类活动等多种因素的综合影响。

表 1　果园土壤微生物数量构成

Table 1　Quantitative composition of soil microorganisms in different age apple orchards

土层/cm Soil depth	5 a			10 a			15 a			20 a			ck (control check)		
	真菌/% Fungi	细菌/% Bacteria	放线菌/% Actinomycete	真菌/% Fungi	细菌/% Bacteria	放线菌/% Actinomycete	真菌/% Fungi	细菌/% Bacteria	放线菌/% Actinomycete	真菌/% Fungi	细菌/% Bacteria	放线菌/% Actinomycete	真菌/% Fungi	细菌/% Bacteria	放线菌/% Actinomycete
0-10	7.4	88.4	4.2	7.3	89.6	3.2	9.5	87.2	3.4	15.5	80.0	4.5	11.7	84.4	3.9
10-20	5.3	91.0	3.7	7.1	90.1	2.8	10.0	87.0	3.0	18.3	78.1	3.6	13.4	82.9	3.7
20-30	6.9	89.8	3.4	8.2	89.3	2.6	10.3	87.5	2.3	22.0	75.2	2.9	10.1	86.3	3.6

表 2　不同龄果园土壤 TN、TP 和 SOC 空间分布状况

Table 2　Spatial Distribution of TN、TP and SOC in different age apple orchards

水平距离/m distance from tree core	深度/cm soil depth	总氮(平均值±标准差)/(g/kg) TN (Mean ±SD)				总氮(平均值±标准差)/(g/kg) TP(Mean ±SD)			
		5 a	10 a	15 a	20 a	5 a	10 a	15 a	20 a
1.0 m	0-10	6.18±0.33	6.33±0.30	6.63±0.10	6.22±0.22	5.43±0.57	6.71±0.86	5.95±0.41	5.84±0.29
	10-20	5.91±0.40	6.07±0.29	6.46±0.16	6.16±0.20	5.89±0.32	5.99±0.63	6.09±0.46	6.81±0.94
	20-30	6.08±0.17	5.94±0.27	6.32±0.16	6.03±0.14	7.36±0.39	6.40±0.79	6.60±0.48	7.15±1.04
1.5 m	0-10	5.93±0.49	6.31±0.14	6.60±0.20	6.25±0.17	5.52±0.61	6.48±0.60	6.15±0.23	5.78±0.34
	10-20	6.14±0.24	6.24±0.32	6.50±0.04	6.08±0.17	6.66±0.45	5.86±0.90	6.20±0.73	6.48±0.25
	20-30	5.25±0.78	5.95±0.25	6.22±0.22	5.94±0.21	6.45±0.79	6.61±0.73	6.79±0.47	6.74±0.16
2.0 m	0-10	6.43±0.10	6.51±0.28	6.44±0.23	6.25±0.15	6.06±0.30	7.13±0.85	6.21±0.71	5.88±0.68
	10-20	6.10±0.42	6.10±0.31	6.26±0.19	6.07±0.16	6.76±0.41	7.45±0.13	5.90±0.58	6.66±0.72
	20-30	5.92±0.28	5.81±0.24	6.09±0.16	5.96±0.20	6.91±0.58	7.76±0.42	5.45±0.89	7.10±0.49

表 2　不同龄果园土壤 TN、TP 和 SOC 空间分布状况(续)

Table 2　Spatial Distribution of TN、TP and SOC in different age apple orchards(continued)

水平距离/m distance from tree core	深度/cm soil depth	土壤有机碳(平均值±标准差)/(g/kg) SOC(Mean ±SD)				土壤有机碳/总氮(平均值±标准差)/(g/kg) SOC/TN (Mean ±SD)			
		5 a	10 a	15 a	20 a	5 a	10 a	15 a	20 a
1.0 m	0-10	6.18±0.33	6.33±0.30	6.63±0.10	6.22±0.22	5.43±0.57	6.71±0.86	5.95±0.41	5.84±0.29
	10-20	5.91±0.40	6.07±0.29	6.46±0.16	6.16±0.20	5.89±0.32	5.99±0.63	6.09±0.46	6.81±0.94
	20-30	6.08±0.17	5.94±0.27	6.32±0.16	6.03±0.14	7.36±0.39	6.40±0.79	6.60±0.48	7.15±1.04
1.5 m	0-10	5.93±0.49	6.31±0.14	6.60±0.20	6.25±0.17	5.52±0.61	6.48±0.60	6.15±0.23	5.78±0.34
	10-20	6.14±0.24	6.24±0.32	6.50±0.04	6.08±0.17	6.66±0.45	5.86±0.90	6.20±0.73	6.48±0.25
	20-30	5.25±0.78	5.95±0.25	6.22±0.22	5.94±0.21	6.45±0.79	6.61±0.73	6.79±0.47	6.74±0.16
2.0 m	0-10	6.43±0.10	6.51±0.28	6.44±0.23	6.25±0.15	6.06±0.30	7.13±0.85	6.21±0.71	5.88±0.68
	10-20	6.10±0.42	6.10±0.31	6.26±0.19	6.07±0.16	6.76±0.41	7.45±0.13	5.90±0.58	6.66±0.72
	20-30	5.92±0.28	5.81±0.24	6.09±0.16	5.96±0.20	6.91±0.58	7.76±0.42	5.45±0.89	7.10±0.49

http://www.ecologica.cn

大量研究也表明不同龄果园间土壤环境存在较大差异[16-18]。从试验结果来看(表 2),5 龄果园土壤总氮在水平方向和垂直方向的变动较大,有沿树干向外,沿表层向下逐步降点的趋势,10 龄果园与其它龄果园相比水平方向和垂直方向以偏低为主,而 15 龄有一定程度的恢复,20 龄果园则有所下降,产生上述现象原因可能与当地果园在幼龄期套中豆科作物和三叶草,增加了表层土壤氮,以及果园的环沟施肥有关。果园从 5 龄经 10 龄到 15 龄,其"高氮点"则逐步向外、向下移动,这种现象与果园的环沟施肥有一定关系。总体上(表 2)土壤总磷表现为随着种植年限的增加呈现下降的趋势,层间差异则以下层高,表层低为主要特征,这与大部分研究中土壤磷的变化规律相符。果园土壤有机碳的龄间变化主要为 10 龄和 15 龄较高,而 5 龄和 20 龄偏低,层间差异在表现为表层高于下层(表 2)。

土壤 C:N 是土壤质量的敏感指标[19],低 C:N 可以加快微生物分解和氮的矿化速率, 而高 C:N 对土壤微生物的活动能力有一定的限制作用[20]。我国苹果园一般土壤氮偏高,而有机碳含量不足,以及管理措施不合理,造成了土壤 C:N 失调[21,22]。关于土壤 C:N 比的适宜范围,Aber [23]和 Wardle [24]认为土壤微生物利用高 C:N 比的碳源时,其生长受氮素限制,C:N<30 时微生物生长受碳素的限制,葛顺峰等认为土壤 C:N 比处于 21—23 之间有利于植株生长和氮素的利用率[22]。渭北塬区果园土壤 C:N 比(表 2)相对于上述标准均偏低,这个可能与本地偏重施氮肥,致土壤氮含量偏高,另外果园修剪、清园摘果等果园农艺措施,减小园地的枯枝落叶回落,土壤腐殖质含量降低,形成了果园土壤碳量较低的状况。因此,从提高土壤 C:N 比要求看,适度减少施氮量,增加土壤有机肥施用量,或者采用秸秆覆盖、有龄果园作物套种、大龄果园生草等果园农艺管理措施,将有利于本区果园土壤养分环境的改善。

总体来看土壤三大类微生物与总氮的相关性较为密切,不同龄果园中 5、15 和 20 龄相关系数均达到显著水平以上,而 10 龄果园土壤微生物数量与总氮相关性不强(表 3)。微生物与土壤有机碳和土壤总磷的相关性降低。幼龄期 5 龄果园和衰老期 20 龄果园微生物数量与土壤 C:N 相关系数均达在显著水平,而初果期 10 龄果园和盛果期 15 龄果园的相关性不强(表 3)。不同类群的土壤微生物与土壤 C、N、P 的相关性具有差异,真菌更易受土壤 C、N、P 的影响,其次为放线菌(表 3),这也与这两类微生物在数量组成较大,类群稳定性更易受到环境变化的影响所致。总之,土壤微生物三大类群与土壤 C、N、P 的相关性较为复杂,在总体表现出一定的关联性的同时,也反映出不同果园阶段的差异性,从而表明土壤微生物的数量多少并不仅取决于土壤养分元素,而是果园各个阶段的多种因素综合作用的结果。

表 3 不同龄果园垂直方向土壤微生物与土壤 TN、TP、SOC 的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between soil microorganisms and TN, TP and SOC in vertical direction of different age orchards

土层/cm Soil depth	5 a			10 a		
	细菌 Fungi	真菌 Bacteria	放线菌 Actinomycete	细菌 Fungi	真菌 Bacteria	放线菌 Actinomycete
TN	−0.499**	−0.541**	0.765**	−0.014	0.169	0.246
TP	0.227	0.610**	−0.443*	0.029	0.008	−0.143
SOC	−0.188	−0.361*	0.328	0.457*	−0.442*	0.323
C/N	0.463*	0.395*	0.642**	0.141	0.004	0.140
土层/cm Soil depth	15 a			20 a		
	细菌 Fungi	真菌 Bacteria	放线菌 Actinomycete	细菌 Fungi	真菌 Bacteria	放线菌 Actinomycete
TN	0.520**	−0.461*	0.565**	0.675**	0.586*	−0.625**
TP	0.342	−0.470*	0.405 *	0.157	0.008	0.178
SOC	−0.444*	0.460*	0.585**	−0.405*	0.555**	−0.383
C/N	0.352	0.384*	0.367	0.591*	0.485*	0.516**

注:* 表示 $P<0.05$ 显著水平,** 表示 $P<0.01$ 显著水平

4　结论

(1)塬面果园随着树龄增加,土壤真菌数量也随之增加,各龄果园间差异显著,15 龄果园与对照麦地的真菌数量水平接近;果园土壤放线菌数量均偏低;土壤细菌 10 龄和 15 龄果园偏高,5 龄和 20 龄偏低。

(2)塬面各龄果园土壤真菌、细菌和放线菌的数量均表现为随深度增加而减小的趋势。土壤真菌在相同土层深度上一般有随果园年限的增加而增大的趋势;土壤细菌在相同土层深度以 10 龄和 15 龄果园较高水平,5 龄和 20 龄果园较低水平。土壤放线菌整体表现出龄间差异随深度增加而趋于减小。

(3)在水平方向上各龄果园真菌数量随着种植年限的增大均相应增多;在径向水平方向上盛果期果园土壤细菌和放线菌高于幼龄期 5 龄果园和衰老期 20 龄果园。

(4)5 龄果园土壤总氮有沿树干向外,沿表层向下逐步降点的趋势,果园从 5 龄经 10 龄到 15 龄,其"高氮点"则逐步向外、向下移动。渭北塬区果园土壤 C:N 比均偏低。

参考文献(References):

[1] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍馗. 影响土壤微生物活性与群落结构因素研究进展. 土壤通报, 2006, 37(1): 170-176.

[2] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality // Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, Stewart B A, eds. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison: SSSA Special Publication, 1994.

[3] Duraisamy P, Mani A K. Effect of iron and molybdenumon yield and nutrition of horsegram in a red loamy sand soil. Indian Journal of Dryland Agricultural Research and Development, 2001, 16(2): 115-119.

[4] 薛晓敏, 王金政, 张安宁, 路超. 果树再植障碍的研究进展. 中国农学通报, 2009, 25(1): 147-151

[5] Slykhuis J T. Testing orchard soils for treatments to control apple replant problems in British Columbia, Canada. Acta Horticulturae, 1988, 233: 67-74.

[6] 杨兴洪, 罗新书. 果树再植问题研究进展. 果树科学, 1991, 8(4): 239-244.

[7] 甘卓亭, 张掌权, 陈静, 刘文兆, 周正朝. 黄土塬区苹果园土壤有机碳分布特征. 生态学报, 2010, 30(8): 2135-2140.

[8] 李振高, 骆永明, 腾应. 土壤与环境微生物研究法. 北京: 科学出版社, 2008.

[9] 赵斌, 何绍江. 微生物学实验. 北京: 科学出版社, 2002.

[10] 田稼, 孙超, 杨明琰, 张晓琦. 黄土高原不同树龄苹果园土壤微生物、养分及 pH 的相关性. 西北农业学报, 2012, 21(7): 138-141, 148-148.

[11] 李智卫, 王超, 陈伟, 束怀瑞. 不同树龄苹果园土壤微生物生态特征研究. 土壤通报, 2011, 42(2): 302-306

[12] 常显波, 刘举, 韩京龙, 苏宏. 不同种植年限苹果园土壤理化性质及微生物数量. 安徽农业科学, 2007, 35(5): 1423-1423, 1426-1426.

[13] Guan G, Tu S X, Yang J C, Zhang J F, Yang L. A field study on effects of nitrogen fertilization modes on nutrient uptake, crop yield and soil biological properties in rice-wheat rotation system. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(8): 1254-1261.

[14] 吴宏亮, 康建宏, 陈阜, 许强, 张海林, 赵亚慧. 不同轮作模式对砂田土壤微生物区系及理化性状的影响. 中国生态农业学报, 2013, 21(6): 674-680.

[15] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术. 北京: 科学出版社, 2006.

[16] 杨雨林, 郭胜利, 马玉红, 车升国, 孙文艺. 黄土高原沟壑区不同年限苹果园土壤碳、氮、磷变化特征. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 685-691.

[17] 薛萐, 刘国彬, 张超, 张昌盛. 黄土丘陵区营造果园后土壤质量效应分析. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3154-3161.

[18] 邹养军, 陈金星, 马锋旺, 折小锋, 党志明, 屈军涛. 渭北旱塬不同种植年限苹果园土壤水分的变化特征. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 41-43, 47-47.

[19] Liu M, Li Z P, Zhang T L, Jiang C Y, Che Y P. Discrepancy in response of rice yield and soil fertility to long-term chemical fertilization and organic amendments in paddy soils cultivated from infertile upland in subtropical China. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(2): 259-266.

[20] Springob G, Kirchmann H. Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(4): 629-632.

[21] 束怀瑞. 我国果树业生产现状和待研究的问题. 中国工程科学, 2003, 5(2): 45-48.

[22] 葛顺峰, 许海港, 季萌萌, 姜远茂. 土壤碳氮比对平邑甜茶幼苗生长和碳氮分配的影响. 植物生态学报, 2013, 37(10): 942-949.

[23] Aber J D. Nitrogen cycling and nitrogen saturation in temperate forest ecosystems. Trends in Ecology and Evolution, 1992, 7(7): 220-223.

[24] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen level in soil. Biological Review, 1992, 67(3): 321-358.