

间作芳香植物对沙地梨园土壤微生物数量与土壤养分的影响

吴红英¹, 孔云¹, 姚允聪¹, 毕宁宁², 齐丽萍³, 付占国³

(¹北京农学院植物科学技术系, 北京 102206; ²北京市顺义区林业局, 北京 101300; ³北京市大兴区林业局, 北京 102600)

摘要: 【目的】探讨间作芳香植物对梨园土壤微生物数量和土壤养分的影响。【方法】以沙地梨园间作香矢车菊、香薄荷、香荆芥、藿香蓟和柠檬罗勒为处理, 自然生草为对照, 分别于梨树幼果期、果实膨大期和果实成熟期, 测定分析不同土层土壤中微生物的数量和土壤养分的含量及其相互关系。【结果】梨园间作香矢车菊和柠檬罗勒较对照显著提高各个发育时期和各土层中土壤微生物的数量, 调节土壤微生物群落中真菌、细菌、放线菌的比例。和对照相比, 其它处理对各发育时期和各土层中土壤微生物数量和比例的影响呈现出多态效应。不同处理条件下梨树果实膨大期和果实成熟期各土层中微生物数量都高于幼果期, 而且土壤微生物群落中真菌、细菌和放线菌的比例优于幼果期; 不同处理条件下梨园 0—20 cm 土层内土壤微生物数量显著高于 20—40 cm 土层。各处理和对照相对土壤养分的效果呈现多种差异; 随着梨树发育时期变化, 土壤养分含量在不同处理条件下和梨园不同土层中的变化趋势不同。相关分析表明, 在沙地梨园间作芳香植物条件下, 土壤中各类微生物的数量与土壤养分诸元素间也存在着多种显著的相关关系。【结论】间作芳香植物对于沙地梨园土壤微生物数量及其群落中真菌、细菌和放线菌的比例与土壤中有效态养分含量具有良好的调节作用, 其中柠檬罗勒对提高梨园土壤微生物数量、土壤养分含量的综合效果最佳。

关键词: 梨树; 间作; 芳香植物; 土壤微生物数量; 土壤养分

Effects of Intercropping Aromatic Plants on Soil Microbial Quantity and Soil Nutrients in Pear Orchard

WU Hong-ying¹, KONG Yun¹, YAO Yun-cong¹, BI Ning-ning², QI Li-ping³, FU Zhan-guo³

(¹Department of Plant Science and Technology, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206; ²Shunyi District Forestry Bureau, Beijing 101300; ³Daxing District Forestry Bureau, Beijing 102600)

Abstract: 【Objective】 This paper was aimed to discuss the effects of intercropping aromatic plants on the microbial quantity and nutrients in sand soil in pear orchard. 【Method】 Intercropping *Centaurea cyanus*, *Saturela hortensis* L, *Nepeta cataria*, *Agerarum houstonianum* and *Ocimum basilicum* L were used as experimental treatments and natural grass was used as control to study the soil microbial quantity, the content of the soil nutrients, as well as the relationship among them during their young fruit period, fruit enlargement period, and fruit maturity period, respectively. 【Result】 Compared with the control, intercropping *Centaurea cyanus* and *Ocimum basilicum* L increased the microbial quantity significantly in different developing periods and at each soil layer, as well as regulated the ratio of the soil fungi, bacteria and actinomycetes in soil microbial community. Intercropping aromatic plants also showed different effects on microbial quantity and ratio. The soil microbial quantity under different treatments was more than that in young fruit period, and the ratio among the fungi, bacteria and actinomycetes in fruit enlargement and maturity periods was more favorable than the latter in different layers. The microbial quantity was much higher at layer of 0-20 cm than that of 20-40 cm under different treatments. Compared with the control, all treatments showed different effects on soil nutrient. The content of the soil nutrients under different treatments showed various trends with the change of developing period. The correlation

收稿日期: 2009-03-23; 接受日期: 2009-05-13

基金项目: 国家科技支撑重大项目 (2008BAD92B08)、北京市科学技术重大项目 (D0705044040291)、北京市农业科技项目 (20070704)

作者简介: 吴红英, 硕士研究生。Tel: 13811846641; E-mail: an.ni.fly@163.com。通信作者姚允聪, 教授, 博士。Tel: 010-80799000; Fax: 010-80799000; E-mail: yaoyc_20@126.com

analysis showed that there were multiple significant positive correlations between microbial quantity and the content of soil nutrients with aromatic plants intercropping in sand soil in pear orchard. 【Conclusion】 From analysis it could be seen that intercropping aromatic plants in sand soil in pear orchard had good regulatory effects on the soil microbial quantity, the ratio of the soil fungi, bacteria and actinomycetes in soil microbial community and the soil available nutrients, among which, intercropping *Ocimum basilicum* L on the soil microbial quantity and content of the soil nutrients was better than other treatments.

Key words: pear trees; intercropping; aromatic plants; soil microbial quantity; soil nutrients

0 引言

【研究意义】芳香植物是兼有药用植物和香料植物属性的植物类群。其含有香精油、挥发油及难挥发树脂等成分,在医学、香料工业及化妆品工业中被广泛的应用。随着果树有机化栽培的开展,研究者试图通过果园间作物来改善果园土壤养分状况、抑制有害昆虫和微生物、优化果园微域生态环境,以达到调节果园生物多样性,促进果树生长发育,改良果实品质的目的。传统的果园间作制度如豆科植物等对改良果园土壤理化性状,促进果树生长发育的良好效应已被生产者所接受。但是果园间作芳香植物还处于起步阶段,尤其是间作种类的选择、间作方式、间作时期等对果园微域生态环境调控的研究报道还不多见。【前人研究进展】吴卓珈等^[1]认为芳香植物富含抗氧化物质、抗菌物质、天然色素、大量营养成分和微量元素,可能对土壤有机质含量、水分含量和矿质元素含量有一定的改良作用。王嘉祥^[2]在苹果幼树园间作薄荷的研究中发现,薄荷间作区内苹果桃小食心虫危害率降低,刺蛾危害明显减少。Jones 和 Gillett^[3]发现间作在白菜地里的向日葵的确吸引了大量的有益昆虫和害虫的天敌。Sujatha 和 Bhat^[4]在槟榔园通过间作柠檬草、玫瑰草、罗勒、印蒿和广藿香 5 种芳香植物发现产量提高了 9%—27%。笔者所在课题组曾研究了间作芳香植物对梨园节肢动物群落多样性的影响(另文发表),认为梨园间作孔雀草、薄荷和罗勒等植物能有效降低梨园害虫群落虫口数,增加花期以后的天敌种群数量,改善梨园节肢动物群落结构,促进梨树生长和发育,提高果实品质。【本研究切入点】然而,梨园间作芳香植物对其土壤微生物数量和土壤养分含量影响的研究报道还未见到。【拟解决的关键问题】本文拟选择沙地梨园为试验地、以间作香矢车菊、香薄荷、香荆芥、藿香蓟和柠檬罗勒为处理、自然生草为对照,测试分析间作不同芳香植物对梨园土壤微生物数量和土壤养分含量及其相互关系的效应,旨在为芳香植物在果园的应用及果树有机化栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验分别于 2007 和 2008 年 3—10 月在北京市大兴区贾尚果园进行。试验地土壤为沙壤土,品种为 20 年生沙梨 (*Pyrus pyrifolia*) / 杜梨 (*Pyrus betulaefolia* Bunge), 株行距为 2 m×6 m。树木生长状况良好,长势均匀,产量适度,正常管理。本试验选择香矢车菊 (*Centaurea cyanus*)、香薄荷 (*Saturela hortensis* L.)、香荆芥 (*Nepeta cataria*)、藿香蓟 (*Agerarum houstonianum*)、柠檬罗勒 (*Ocimum basilicum* L.) 为间作物,种子购自北京芳宣苑种子有限公司。分别于 2007 年和 2008 年 1 月在日光温室育苗,待苗高长至约 10 cm 时(3 月下旬)移植入果园行间,株行距 10—15 cm×20—30 cm,生长期进行中耕除草,保持间作区无杂草。

1.2 试验处理

试验共设 6 个处理,处理 I (Tr1, CK): 自然生草区;处理 II (Tr2): 香矢车菊间作区;处理 III (Tr3): 香薄荷间作区;处理 IV (Tr4): 香荆芥间作区;处理 V (Tr5): 藿香蓟间作区;处理 VI (Tr6): 柠檬罗勒间作区。随机区组设计 3 次重复。各间作区面积均为 5×666.7 m²,间作区和自然生草区植物覆盖率为 85%以上。

1.3 测定指标和方法

分别于梨树幼果期、果实膨大期、果实成熟期,采用对角线取样法,在间作芳香植物区域内采集梨园 0—20 cm 和 20—40 cm 土层的土样。每试验小区取 8 个点,混合于无菌袋中,于 4℃ 冰箱保存,测定土壤微生物数量。然后将土壤自然风干,研磨,过筛,用于测定土壤全 N、全 P、全 K、碱解 N、速效 P、速效 K 和有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量。全部指标的测试工作在北京市农业新技术应用实验室完成。

土壤微生物的数量采用稀释平板法测定。菌落培养条件:真菌数量采用马丁氏培养基;细菌数量采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基;放线菌数量采用改良高氏

1 号培养基, 在 28℃ 条件下细菌、真菌培养 3—4 d, 放线菌培养 3—5 d^[5]。

土壤全 N 含量用硫酸-双氧水消煮蒸馏定氮法测定^[6]; 土壤全 P 含量用硫酸-双氧水消煮钒钼黄比色法测定^[6]; 土壤全 K 含量用硫酸-双氧水消煮火焰光度计法测定^[6]。土壤碱解 N 含量用扩散法测定^[6]; 土壤速效 P 含量用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定^[6]; 土壤速效 K 含量用火焰光度计法测定^[6]; 土壤有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量用 DTPA 浸提-原子吸收分光光度计法测定^[6]。

1.4 数据分析

应用 Excel、DPS 系统软件进行试验数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理条件下沙地梨园土壤微生物数量变化

从表 1 可知, 在 0—20 cm 土层的梨园土壤中, 单位土壤体积中的真菌、细菌和放线菌数量及其比例在不同处理间存在着不同程度的差异。从真菌数量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr5>Tr1>Tr4>Tr2, Tr3>Tr6 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr5>Tr1>Tr3, Tr4, Tr6>Tr2 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr1>Tr4>Tr3>Tr6 ($P<0.01$)>Tr2 ($P<0.05$)>Tr5 ($P<0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理真菌的数量表现出持续增长的趋势。从细菌数量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr4>Tr6>Tr3 ($P<0.05$)>Tr5>Tr1>Tr2 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr3>Tr2>Tr6>Tr1>Tr5>Tr4 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr1>Tr2, Tr4, Tr5>Tr3>Tr6 ($P<0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理细菌数量表现出不同的变化趋势, 比如 Tr2 表现出先升高后降低的趋势, 而 Tr6 表现出持续降低的趋势。从放线菌数量而言, 在幼果期各处理无显著性差异 ($P>0.05$), 在果实膨大期 Tr3>Tr2>Tr5>Tr1 ($P<0.01$)>Tr6 ($P<0.05$)>Tr4 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr1>Tr4>Tr5>Tr3>Tr2>Tr6 ($P<0.01$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间放线菌数量也表现出不同的变化趋势, 比如 Tr2 表现出先升高后降低的趋势, 而 Tr6 表现出先降低后升高的趋势。从单位土壤中微生物的比例而言, 细菌数量大于放线菌数量, 放线菌数量大于真菌数量。随着间作物的生长, 在梨树不同发育时期, 各个处理的真菌、细菌和放线菌的比例不同, 例如 Tr2 在果实膨大期时细菌所占比例最大, 而 Tr6 在幼果期时细菌所占比例最大。

在 20—40 cm 土层的梨园土壤中, 单位土壤体积中的真菌、细菌和放线菌数量及其比例在不同处理间存在着不同程度的差异。从真菌数量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr2>Tr4>Tr1, Tr6, Tr3 ($P<0.01$)>Tr5 ($P<0.05$), 在果实膨大期 Tr1, Tr3>Tr2>Tr6, Tr5, Tr4 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr2, Tr3>Tr6>Tr4>Tr1>Tr5 ($P<0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理真菌的数量表现出先升高后降低的趋势。从细菌数量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr4>Tr2 ($P<0.05$)>Tr3>Tr6>Tr5 ($P<0.01$)>Tr1 ($P<0.05$), 在果实膨大期 Tr2, Tr4, Tr6>Tr1>Tr3>Tr5, Tr2, 在果实成熟期 Tr1>Tr2, Tr4, Tr5>Tr3>Tr6 ($P<0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理细菌数量表现出不同的变化趋势, 比如 Tr2 表现出持续升高的趋势, 而 Tr6 表现出先升高后降低的趋势。从放线菌数量而言, 在幼果期 Tr2>Tr6>Tr3, Tr4>Tr5, Tr1 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr6>Tr2 ($P<0.01$)>Tr1 ($P<0.05$)>Tr4>Tr3>Tr5 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr6>Tr2 ($P<0.01$)>Tr4 ($P<0.05$)>Tr1, Tr3>Tr5 ($P<0.01$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间放线菌数量也表现出先升高后降低的趋势 (表 1)。就单位土壤中微生物的比例而言, 细菌数量大于放线菌数量, 放线菌数量大于真菌数量, 随着间作物的生长, 在梨树不同发育时期, 各个处理的真菌、细菌和放线菌的比例不同, 例如 Tr4 在幼果期时细菌所占比例最大, 而 Tr6 在果实成熟期时细菌所占比例最大 (表 1)。

2.2 不同处理条件下沙地梨园土壤养分含量的变化

2.2.1 不同处理条件下沙地梨园土壤全 N、全 P、全 K 含量的变化 土壤全 N、全 P、全 K 的含量是反映土壤长期肥力水平的重要指标。从表 2 可知, 在 0—20 cm 土层的梨园土壤中, 单位土壤体积中的全 N、全 P、全 K 的含量及在不同处理间存在着不同程度的差异。从全 N 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr2>Tr6>Tr3, Tr4>Tr1>Tr5 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr3>Tr1 ($P<0.05$)>Tr4 ($P<0.01$)>Tr6>Tr5 ($P<0.05$)>Tr2 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr3>Tr6 ($P<0.01$)>Tr1, Tr4, Tr5>Tr2 ($P<0.05$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理全 N 含量表现出不同的趋势, 比如 Tr3 表现出持续增长的趋势, 而 Tr6 表现出先持平后升高的趋势。从全 P 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr2>Tr4>

表 1 不同处理条件下土壤微生物数量及比例的变化

Table 1 Changes of the soil microbial quantity and the ratio of the fungi, bacteria and actinomycetes under different treatments ($\times 10^5 \text{cfu}\cdot\text{g}^{-1}$)

土层 Soil layer (cm)	处理 Treatment	幼果期 Young fruit period				果实膨大期 Fruit enlargement period				果实成熟期 Fruit maturity period			
		真菌 Fungi	细菌 Bacteria	放线菌 Actionmyees	菌数量比 Ratio	真菌 Fungi	细菌 Bacteria	放线菌 Actionmyees	菌数量比 Ratio	真菌 Fungi	细菌 Bacteria	放线菌 Actionmyees	菌数量比 Ratio
0—20	Tr1	0.13Bb	16.30CDde	11.95Aa	1 : 129 : 95	0.17Bb	18.17CDc	10.12CDc	1 : 106 : 59	0.38Aa	29.41Aa	21.46Aa	1 : 77 : 56
	Tr2	0.10Dd	13.75De	10.62Aa	1 : 142 : 110	0.11Cc	26.84Bb	13.52Bb	1 : 236 : 119	0.27BCc	23.56Bb	12.49CDc	1 : 86 : 46
	Tr3	0.09De	20.73ABbc	7.58Aa	1 : 228 : 83	0.14BCc	35.41Aa	17.81Aa	1 : 252 : 127	0.34Bb	16.10Cc	12.8BCDc	1 : 48 : 38
	Tr4	0.11Cc	25.90Aa	15.22Aa	1 : 227 : 134	0.13BCc	11.40Ed	6.97Dd	1 : 85 : 52	0.41Aa	23.52Bb	15.51Bb	1 : 58 : 38
	Tr5	0.14Aa	19.53BCcd	7.82Aa	1 : 142 : 57	0.23Aa	13.32DEd	10.59BCc	1 : 59 : 47	0.27Cc	23.80Bb	15.59BCb	1 : 90 : 59
	Tr6	0.08Ee	25.45ABab	13.69Aa	1 : 330 : 178	0.14BCc	19.45Cc	8.82CDcd	1 : 141 : 64	0.33BCb	18.56Cc	9.79Dd	1 : 56 : 29
20—40	Tr1	0.08Cc	2.05Cd	1.31Dd	1 : 27 : 17	0.32Aa	24.11ABa	13.71Bbc	1 : 74 : 42	0.09CDd	18.43Cd	8.47Bc	1 : 200 : 92
	Tr2	0.16Aa	5.37Aab	2.80Aa	1 : 34 : 18	0.28ABb	25.91Aa	14.36Bb	1 : 92 : 51	0.18Aa	26.69ABab	9.64ABb	1 : 149 : 54
	Tr3	0.08Cc	4.51ABb	1.84Cc	1 : 60 : 24	0.33Aa	23.99ABCa	10.50CDde	1 : 72 : 31	0.17Aa	30.25Aa	8.72Bc	1 : 176 : 51
	Tr4	0.11Bb	5.78Aa	1.98Cc	1 : 53 : 18	0.15Cc	25.16Aa	12.14BCcd	1 : 167 : 81	0.11BCc	13.22De	9.56ABbc	1 : 123 : 89
	Tr5	0.06Cd	3.11Cc	1.44Dd	1 : 56 : 26	0.15Cc	17.96BDb	9.11De	1 : 116 : 59	0.08Dd	24.16ABbc	6.35Cd	1 : 309 : 81
	Tr6	0.08Cc	3.17BCc	2.12Bb	1 : 42 : 28	0.24Bb	28.05Aa	18.47Aa	1 : 116 : 76	0.14Bb	21.25BCcd	11.72Aa	1 : 150 : 83

大小写字母为邓肯氏新复极差测验 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 显著水平。下同

Capital and lowercase letters indicated significance of $P < 0.01$ and $P < 0.05$ by Duncan's significant test. The same as below

表 2 不同处理条件下土壤全 N、全 P、全 K 含量的变化

Table 2 Changes of the content of the soil total N, total P, total K under different treatments ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土层 Soil layer (cm)	处理 Treatment	幼果期 Young fruit period			果实膨大期 Fruit enlargement period			果实成熟期 Fruit maturity period		
		TN	TP	TK	TN	TP	TK	TN	TP	TK
0—20	Tr1	0.99CDcd	1.00Cc	3.75bc	1.52Aab	0.81Cc	4.17Bb	1.48Bbc	1.00Bb	3.00b
	Tr2	1.46Aa	1.09Aa	4.25a	1.22Bd	0.81Cc	4.17Bb	1.40Bc	0.87Cc	3.17ab
	Tr3	1.12BCc	1.00Cc	3.83abc	1.57Aa	0.85BCbc	4.00Bb	2.21Aa	1.07Aa	3.50a
	Tr4	1.14BCc	1.03ABab	3.75bc	1.50ABabc	0.91Aa	4.33Bb	1.46Bbc	0.78Dd	3.00b
	Tr5	0.91Dd	0.96Dd	3.58c	1.30ABcd	0.79Cc	4.00Bb	1.42Bbc	1.01Bb	3.00b
	Tr6	1.32ABb	1.02BCbc	4.17ab	1.34ABbcd	0.89ABab	4.83Aa	1.58Bb	0.75Dd	3.33ab
20—40	Tr1	0.93Bb	1.04Cd	3.50BCcd	1.47Bb	0.79Cc	3.33Bc	1.46Bb	0.76CDd	2.67Bb
	Tr2	1.53Aa	1.33Bb	4.17Aab	1.4BCb	0.83Cc	3.83ABab	1.07Cc	0.67De	2.50Bb
	Tr3	1.51Aa	1.39Aa	3.83ABab	0.76Dd	0.88Bb	3.83ABab	3.18Aa	1.41Aa	3.17Aa
	Tr4	0.69Cc	0.84Ef	3.83ABCbc	0.96Dc	0.58Ee	3.33Bc	0.65Dd	0.45Ef	2.33Bb
	Tr5	0.67Cc	0.83De	3.50Cd	0.97CDc	0.70Dd	3.67ABbc	1.29Bb	0.88Bb	2.33Bb
	Tr6	1.47Aa	1.25Bc	4.33Aa	1.87Aa	1.00Aa	4.14Aa	1.10Cc	0.72Cc	3.00Aa

TN: Total N; TP: Total P; TK: Total K

Tr6>Tr1, Tr3>Tr5 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr4>Tr6>Tr3>Tr1, Tr2, Tr5 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr3>Tr1, Tr5>Tr2>Tr4, Tr6 ($P<0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理全 P 含量除 Tr2 外都表现出先降低后升高的趋势。从全 K 含量而言, 在幼果期 Tr2>Tr6>Tr3>Tr1, Tr4>Tr5 ($P<0.05$), 在果实膨大期 Tr6>Tr1, Tr2, Tr3, Tr4, Tr5 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr3>Tr2, Tr6>Tr1, Tr4, Tr5 ($P<0.05$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间全 K 含量除 Tr2 外都表现出先升高后降低的变化趋势。

在 20—40 cm 土层的梨园土壤中, 单位土壤体积中的全 N、全 P、全 K 的含量及在不同处理间存在着不同程度的差异 (表 2)。从全 N 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr2, Tr3, Tr6>Tr1>Tr4, Tr5 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr6>Tr1>Tr2>Tr5>Tr4 ($P<0.01$)>Tr3 ($P<0.05$), 在果实成熟期 Tr3>Tr1, Tr5>Tr2, Tr6>Tr4; 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理全 N 含量表现出不同的趋势, 比如 Tr3 表现出先降低后升高的变化趋势, 而 Tr6 表现出先升高后降低的变化趋势。从全 P 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr3>Tr2 ($P<0.01$)>Tr6 ($P<0.05$)>Tr1>Tr5>Tr4 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr6>Tr3>Tr1, Tr2>Tr5>Tr4 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr3>Tr5>Tr6>Tr1>Tr2>Tr4 ($P<$

0.01); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理全 P 含量也表现出不同的变化趋势。从全 K 含量而言, 在幼果期 Tr6>Tr2 ($P<0.05$)>Tr3>Tr4>Tr1>Tr5 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr6>Tr2, Tr3 ($P<0.01$)>Tr5 ($P<0.05$)>Tr1, Tr4 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr3, Tr6>Tr1, Tr2, Tr4, Tr5 ($P<0.01$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间全 K 含量基本是先持平后降低。

2.2.2 不同处理条件下沙地梨园土壤碱解 N、速效 P、速效 K 含量的变化 梨园土壤速效养分是梨树年周期生长发育的重要基础。表 3 结果表明, 在 0—20 cm 土层的梨园土壤中, 单位土壤体积中的碱解 N、速效 P、速效 K 的含量在不同处理间存在着不同程度的差异。从碱解 N 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr4>Tr6 ($P<0.05$)>Tr3 ($P<0.01$)>Tr2 ($P<0.05$)>Tr1, Tr5 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr6>Tr1>Tr3>Tr2>Tr5>Tr4 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr5>Tr6>Tr1, Tr2, Tr3, Tr4 ($P<0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理碱解 N 含量表现出不同的趋势, 比如 Tr3 表现出先升高后降低的趋势, 而 Tr4 表现出持续升高的趋势。从速效 P 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr2>Tr3>Tr1, Tr6>Tr5>Tr4 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr3, Tr5, Tr6>Tr1 ($P<0.01$)>Tr2>Tr4 ($P<0.05$), 在果实成熟期 Tr3>Tr5, Tr6>Tr1, Tr2, Tr4 ($P<0.01$); 随着间

作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理速效 P 含量除 Tr5 外都表现出持续降低的趋势。从速效 K 含量而言, 在幼果期 Tr2, Tr3, Tr5, Tr6 > Tr1, Tr4 ($P < 0.01$), 在果实膨大期 Tr6 > Tr1Tr3 > Tr2, Tr4, Tr5 ($P < 0.01$), 在果实成熟期 Tr3 > Tr1 > Tr6 > Tr2, Tr4, Tr5 ($P < 0.01$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间速效 K 含量除 Tr6 外都表现出持续升高的变化趋势。

从表 3 可知, 在 20—40 cm 土层的梨园土壤中, 单位土壤体积中的碱解 N、速效 P、速效 K 的含量在不同处理间存在着不同程度的差异。从碱解 N 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr3 > Tr2 > Tr6 > Tr1 > Tr5 > Tr4 ($P < 0.01$), 在果实膨大期 Tr6 > Tr2, Tr3 ($P < 0.01$) > Tr1 > Tr4 ($P < 0.05$) > Tr5 ($P < 0.01$), 在果实成熟期 Tr3 > Tr1 ($P < 0.01$) > Tr2, Tr5 ($P < 0.05$) > Tr6 > Tr4 ($P < 0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理碱解 N 含量表现出不同的趋势, 比如 Tr3 表现出先降低后升高的趋势, 而 Tr6 表现先升高后降低的趋势。从速效 P 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr2 > Tr3 > Tr6 > Tr5 > Tr1 > Tr4 ($P < 0.01$), 在果实膨大期 Tr2 > Tr6 > Tr1, Tr3, Tr5 > Tr4 ($P < 0.01$), 在果实成熟期 Tr3 > Tr1, Tr6 ($P < 0.01$) > Tr5 > Tr2 ($P < 0.05$) > Tr4 ($P < 0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理速效 P 含量除 Tr3 外都表现出持续降低的趋势。从速

效 K 含量而言, 在幼果期 Tr3 > Tr6 > Tr2, Tr5 > Tr1 > Tr4 ($P < 0.01$), 在果实膨大期 Tr6 > Tr1, Tr3, Tr5 > Tr6, Tr4 ($P < 0.01$), 在果实成熟期 Tr3 > Tr1, Tr5 > Tr2, Tr4, Tr6 ($P < 0.01$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间速效 K 含量除 Tr3 和 Tr5 外都表现出先升高后降低的变化趋势。

2.2.3 不同处理条件下沙地梨园土壤有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量的变化 表 4 结果表明, 在 0—20 cm 土层的梨园土壤中, 单位土壤体积中有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量在不同处理间存在着不同程度的差异。从有效 Fe 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr6 > Tr3, Tr4, Tr5 > Tr1, Tr2 ($P < 0.05$), 在果实膨大期 Tr3 > Tr6 > Tr5 > Tr2 > Tr1, Tr4 ($P < 0.01$), 在果实成熟期无显著性差异 ($P > 0.05$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理有效 Fe 含量表现出不同的趋势, 比如 Tr3 表现出持续降低的趋势, 而 Tr4 表现出先降低后升高的趋势。从有效 Mn 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期无显著性差异 ($P > 0.05$), 在果实膨大期 Tr3 > Tr6 > Tr1, Tr2, Tr5 > Tr4 ($P < 0.01$), 在果实成熟期 Tr3 > Tr1, Tr5 > Tr6 > Tr2, Tr4 ($P < 0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理有效 Mn 含量除 Tr3 外都表现出持续降低的趋势。从有效 Cu 含量而言, 在幼果期 Tr3 > Tr1 ($P < 0.01$) > Tr4 > Tr2, Tr5 ($P < 0.05$) > Tr6 ($P < 0.01$), 在果实膨大期和果实成熟期无显著性差异 (P

表 3 不同处理条件下土壤中碱解 N、速效 P、速效 K 含量的变化

Table 3 Changes of the content of the soil alkaline hydrolysable N, available P, available K under different treatments ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土层 Soil layer (cm)	处理 Treatment	幼果期 Young fruit period			果实膨大期 Fruit enlargement period			果实成熟期 Fruit maturity period		
		AN	A P	AK	AN	A P	AK	AN	A P	AK
0—20	Tr1	45.1Bc	40.1BCbc	55.0Bb	80.7Bb	35.2ABb	173.3Bb	60.7Bb	17.7BCb	193.3Bb
	Tr2	49.0ABc	69.7Aa	71.7Aa	68.2BCDcd	28.6Bbc	146.7Cc	61.4Bb	16.5Cb	163.3Cc
	Tr3	50.0ABbc	41.2Bb	66.7Aa	72.8BCbc	36.5Aa	173.3Bb	63.2Bb	25.6Aa	306.7Aa
	Tr4	56.3Aa	30.6Cd	50.0Bb	57.5Dd	26.3Bc	140.0Cc	62.3Bb	17.7BCb	153.3Cc
	Tr5	45.8Bc	34.9BCcd	70.0Aa	64.6CDcd	37.5Aa	143.3Cc	78.0Aa	20.9ABa	160.0Cc
	Tr6	54.8Aab	38.3BCbc	75.0Aa	101.6Aa	39.9Aa	206.7Aa	67.6ABb	21.6ABa	170.0BCc
20—40	Tr1	47.8CDd	32.6Dc	66.7CDe	63.6BCb	25.4Bb	176.7Bb	58.4Bb	22.7Bb	173.3Bb
	Tr2	73.9Bb	50.8Aa	63.3Cc	72.5Bb	34.8Aa	120.0Cc	50.6Bbc	19.0Bc	113.3Cc
	Tr3	83.9Aa	46.3ABab	136.7Aa	69.5Bb	27.8Bb	183.3Bb	100.6Aa	37.9Aa	566.7Aa
	Tr4	26.4Ef	23.0Ed	51.7Dd	62.8BCbc	11.3Cc	126.7Cc	29.2Cd	10.4Cd	116.7Cc
	Tr5	40.6De	31.5CDc	75.0Cc	50.17Cc	24.5Bb	163.3Bb	51.9Bbc	20.3Bbc	183.3Bb
	Tr6	56.4Cc	40.8BCb	113.3Bb	109.0Aa	32.4Aa	300.0Aa	47.2Bc	22.8Bb	120.0Cc

AN: Alkaline hydrolysable N; A P: Available P; AK: Available K. The same as below

表 4 不同处理条件下土壤有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量的变化

Table 4 Changes of the content of the soil available Fe, Mn, Cu, Zn under different treatments (mg·kg⁻¹)

土层 Soil layer (cm)	处理 Treatment	幼果期 Young fruit period				果实膨大期 Fruit enlargement period				果实成熟期 Fruit maturity period			
		Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn
0—20	Tr1	5.87Ab	3.74Aa	3.63ABab	2.28CDcd	3.89Bc	2.28Bbc	2.71Aa	3.40Aa	4.70Aa	1.97ABb	3.25Aa	3.53Aa
	Tr2	6.44Ab	3.61Aa	2.69ABbc	5.03Aa	4.82ABbc	2.53Bbc	3.04Aa	2.73ABab	4.90Aa	1.45Bb	2.99Aa	2.93Aa
	Tr3	7.46Aab	3.87Aa	4.42Aa	2.67BCbc	6.65Aa	3.90Aa	2.46Aa	3.20ABa	6.39Aa	3.23Aa	2.16Aa	4.73Aa
	Tr4	6.49Aab	3.41Aa	2.85ABabc	1.73Dd	3.73Bc	1.72Bc	2.95Aa	2.00Bb	4.43Aa	1.47Bb	3.12Aa	3.20Aa
	Tr5	7.37Aab	3.47Aa	2.97ABbc	2.33CDcd	5.45ABabc	2.29Bbc	2.57Aa	2.93ABa	6.63Aa	1.98ABb	2.33Aa	3.73Aa
	Tr6	7.99Aa	3.76Aa	2.09Bc	3.00Bb	6.24ABab	3.04ABb	2.71Aa	1.87Bb	4.99Aa	2.05ABb	2.77Aa	3.00Aa
20—40	Tr1	2.09Cc	1.02ABbc	3.24Aa	1.90Bb	3.69Cc	2.41Bb	1.83Aa	5.13Bbc	9.02Aab	2.37ABb	1.72Aab	3.47Cc
	Tr2	7.82Bb	2.04ABab	1.67ABb	4.76Aa	5.82ABb	2.77ABb	2.40Aa	4.53Bb	7.09Aab	1.90ABb	1.50Aab	2.13Cc
	Tr3	7.04Bb	2.46Aa	3.45Aa	2.50Bb	4.70BCbc	2.89ABb	1.99Aa	6.17Bb	9.53Aa	3.96Aa	2.05Aa	7.90Aa
	Tr4	1.74Bb	0.59ABa	1.67ABb	2.15Bb	3.75Cc	1.95Bb	1.92Aa	8.47Aa	4.15Ab	1.35Bb	1.18Ab	1.13Cc
	Tr5	9.47Aa	0.94ABbc	2.14ABab	2.50Bb	3.94Cc	1.98Bb	1.53Aa	5.97Bbc	9.88Aa	2.79ABab	1.65Aab	4.27Bb
	Tr6	7.42Cc	2.19ABa	1.05Bb	2.53Bb	7.36Aa	3.85Aa	2.24Aa	5.40Bbc	8.60Aab	2.32ABb	1.69Aab	3.80Bb

>0.05)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间有效 Cu 含量变化趋势不同, 如 Tr3 表现出持续降低的趋势, 而 Tr6 则表现出先升高后几乎持平的趋势。从有效 Zn 含量而言, 在幼果期 Tr2>Tr6>Tr3>Tr1, Tr5>Tr4 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr1>Tr3, Tr5 ($P<0.01$)>Tr2 ($P<0.05$)>Tr4, Tr6 ($P<0.01$), 在果实成熟期无显著性差异 ($P>0.05$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间有效 Zn 含量变化趋势不同, 比如 Tr3 表现出持续增高的趋势, 而 Tr6 则表现出先降低后升高的趋势。

从表 4 结果还可以看出, 在 20—40 cm 土层的梨园土壤中, 单位土壤体积中有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量在不同处理间存在着不同程度的差异。从有效 Fe 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr5>Tr2, Tr3, Tr6>Tr1, Tr4 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr6>Tr2>Tr3>Tr1, Tr4, Tr5 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr3, Tr5>Tr1, Tr2, Tr6>Tr4 ($P<0.01$); 随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理有效 Fe 含量表现出不同的趋势, 比如 Tr3 表现出先降低后升高的趋势, 而 Tr4 则表现出持续升高的趋势。从有效 Mn 含量而言, 处理间的效果为: 在幼果期 Tr3>Tr6 ($P<0.01$)>Tr2>Tr1, Tr5 ($P<0.05$)>Tr4 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr6>Tr2, Tr3>Tr1, Tr4, Tr5 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr3>Tr5 ($P<0.01$)>Tr1, Tr2, Tr6 ($P<0.05$)>Tr4 ($P<0.01$); 随着间

作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理有效 Mn 含量变化趋势不同, 比如 Tr3 表现出持续升高的变化趋势, 而 Tr6 则表现出先升高后降低的变化趋势。从有效 Cu 含量而言, 在幼果期 Tr1, Tr3>Tr5 ($P<0.01$)>Tr2, Tr4 ($P<0.05$)>Tr6 ($P<0.01$), 在果实膨大期无显著性差异 ($P>0.05$), 在果实成熟期 Tr3>Tr1, Tr2, Tr5, Tr6>Tr4 ($P<0.05$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间有效 Cu 含量变化趋势不同, 如 Tr3 表现出先降低后几乎持平的趋势, 而 Tr6 则表现出先升高后降低的趋势。从有效 Zn 含量而言, 在幼果期 Tr2>Tr1, Tr3, Tr4, Tr5, Tr6 ($P<0.01$), 在果实膨大期 Tr4>Tr3 ($P<0.01$)>Tr1, Tr5, Tr6 ($P<0.05$)>Tr2 ($P<0.01$), 在果实成熟期 Tr3>Tr5, Tr6>Tr1, Tr2, Tr4 ($P<0.01$)。随着间作物的生长, 在梨树不同的发育时期, 各处理间有效 Zn 含量变化趋势不同, 比如 Tr3 表现出持续升高的趋势, 而 Tr6 则表现出先升高后降低的趋势。

2.3 不同处理条件下沙地梨园土壤微生物数量与土壤速效养分诸元素间的相关关系分析

由表 5 可知在 0—20 cm 土层的梨园土壤中, 在梨树的不同发育时期土壤中微生物数量与速效养分含量之间存在不同程度的相关性。就真菌而言, 它们之间的相关性为: 在幼果期, 真菌数量与碱解 N 含量呈极显著负相关, 与有效 Zn 含量呈显著正相关; 在果实

表 5 土壤中微生物数量与速效养分含量的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between the soil microbial quantity and the content of the available nutrients

土层 Soil layer (cm)	养分 Nutrient	幼果期 Young fruit period			果实膨大期 Fruit enlargement period			果实成熟期 Fruit maturity period		
		真菌 Fungi	细菌 Bacteria	放线菌 Actionmyees	真菌 Fungi	细菌 Bacteria	放线菌 Actionmyees	真菌 Fungi	细菌 Bacteria	放线菌 Actionmyees
0—20	AN	-HS		+S				-S		
	AP		-S						-S	
	AK			-S						-S
	Fe	-S				+S	+S			-S
	Mn					+HS	+S			-S
	Cu									+S
	Zn		-S							+S
20—40	AN					+S	+HS			+S
	AP				+S					+S
	AK	-S						+S		+S
	Fe					+S	+S			+S
	Mn					+S	+HS			+S
	Cu									+S
	Zn	+S	+S	+HS	-S	+HS				+S

HS 为相关系数 t -测验 $\alpha=0.01$ 显著水平; S 为相关系数 t -测验 $\alpha=0.05$ 显著水平。下同

HS correlation coefficient is significant at the 0.01 level, S correlation coefficient is significant at the 0.05 level. The same as below

成熟期,真菌数量与碱解 N 含量呈显著负相关。就细菌而言,它们之间的相关性为:在幼果期,细菌数量与速效 P 和有效 Zn 含量呈显著负相关;在果实膨大期,细菌数量与有效 Fe 含量呈显著正相关,与有效 Mn 含量呈极显著正相关;在果实成熟期,细菌数量与速效 P、速效 K、有效 Fe 和有效 Mn 含量呈显著负相关,与有效 Cu 含量呈显著正相关。就放线菌而言,它们之间的相关性为:在幼果期,放线菌数量与碱解 N 含量呈显著正相关,与速效 K 和有效 Cu 含量呈显著负相关;在果实膨大期,放线菌数量与有效 Fe、有效 Mn 和有效 Zn 含量呈显著正相关。

从表 5 还可以看出,在 20—40 cm 土层的梨园土壤中,在梨树的不同发育时期土壤中微生物数量与速效养分含量之间存在不同程度的相关性。就真菌而言,它们之间的相关性为:在幼果期,真菌数量与速效 K 含量呈极显著负相关,与有效 Fe 含量呈显著负相关;在果实膨大期,真菌数量与速效 P 含量呈显著正相关,与有效 Zn 含量呈显著负相关。就细菌而言,它们之间的相关性为:在幼果期,细菌数量与有效 Zn 含量呈显著正相关;在果实膨大期,细菌数量与碱解 N、有效 Fe 和有效 Mn 含量呈显著正相关,与有效 Zn 含量呈极显著正相关;在果实成熟期,细菌数量与所有矿物质含量都呈显著正相关。就放线菌而言,它们之间的相关性为:在幼果期,放线菌数量与有效 Cu 含量呈显著负相关,与有效 Zn 含量呈极显著正相关;在果实膨大期,放线菌数量与有效 Mn 和碱解氮含量呈极显著正相关,与速效 K、有效 Fe 和有效 Cu 含量呈显著正相关。

3 讨论

3.1 沙地梨园间作芳香植物对土壤微生物数量及其比例的影响

土壤微生物是土壤生态体系的重要组成部分。它参与土壤养分转化、物质代谢、有机物分解、污染物降解等多种生化反应,通过这些生化反应过程促进土壤养分平衡供应,提供植物生长所需要的营养物质,同时发挥对土壤中有效态养分储备的库和源作用^[7]。土壤微生物数量及群落比例是衡量农田质量的重要指标。相关研究表明,土壤微生物总量增加表明了土壤肥力的提高,土壤微生物类群及种类比例的变化对土壤肥力的形成及养分的供应具有明显的调节作用^[8-11]。从本试验结果可以看出(表 1),梨园间作芳香植物如间作香矢车菊(Tr2)和间作柠檬罗勒(Tr6)较之

于对照能显著提高土壤中的微生物数量,其中在幼果期 0—20 cm 土层中间作柠檬罗勒(Tr6)与对照相比,细菌数量提高了 50%,这说明间作芳香植物对沙质梨园土壤微生物数量具有良好的促进作用。

一般情况下,土壤中细菌种类最多,其次为放线菌,再则为真菌^[12]。随着土壤环境的变化,微生物的这种结构比例会发生一定的变化^[12]。从试验结果可以看出,与对照相比,各个处理的土壤真菌、细菌和放线菌的比例不同,其中细菌数量占绝对优势,真菌最少,如在幼果期各处理 0—20 cm 土层中真菌、细菌和放线菌的比例分别为 1 : 129 : 95, 1 : 142 : 110, 1 : 228 : 83, 1 : 227 : 134, 1 : 142 : 57, 1 : 330 : 178, 这说明梨园间作芳香植物,在提高土壤微生物数量的同时,对土壤微生物群落比例会产生不同程度的调节作用。这种作用在土壤微生物数量比大田作物低 10—100 倍的沙地梨园尤为重要。

间作芳香植物条件下,梨园不同土层和梨树不同发育时期土壤微生物数量及其比例也会发生变化。就土壤微生物数量而言,在沙地梨园间作芳香植物后,各个处理在幼果期和果实膨大期土壤中真菌、细菌和放线菌数量在 0—20 cm 土层中的数量均高于 20—40 cm 土层,且大部分真菌和放线菌主要集中在 0—20 cm 土层,而在果实膨大期土壤中真菌、细菌和放线菌数量在 0—20 cm 土层中的数量大都低于 20—40 cm 土层。就土壤微生物群落比例而言,在沙地梨园间作芳香植物后,各个处理在梨树各个发育时期和不同土层中的土壤中真菌、细菌和放线菌的比例的影响不同。如 Tr2 的 0—20 cm 土层中,真菌、细菌和放线菌的比例在幼果期、果实膨大期和果实成熟期分别为 1 : 142 : 110、1 : 236 : 119 和 1 : 86 : 46,细菌所占比例呈先升高后降低的趋势,放线菌所占比例先降低后升高。这可能与土壤微生物类群的生物学特性有关。即细菌喜欢温暖湿润的环境,是低分子等较易分解有机物质的分解者,其繁殖力强;放线菌较适应在中性、微碱性、通气良好的土壤中生长,喜热耐干,生长慢,抗逆性强,主要参与难分解物质的分解^[13-14]。这对于沙地梨园土壤养分供应和梨树果实发育可能是有益的。

3.2 沙地梨园间作芳香植物对梨园土壤养分含量的影响

相关研究和生产实践表明,果园间作能够培肥土壤、调节土壤温度、湿度,改善果园微生态环境,从而促进果树生长发育^[15-21]。在本试验中,梨园间作芳香植物较自然生草(对照)不同程度的影响着土壤中

N、P、K、Fe、Mn、Cu、Zn 含量或不同程度地调节其比例, 如间作香薄荷 (Tr3) 和间作柠檬罗勒 (Tr6) 能显著提高土壤 N、P、K 含量和 Fe、Mn、Cu、Zn 含量, 如在幼果期 0—20 cm 土层中, 间作香薄荷 (Tr3) 与自然生草 (对照) 相比, 碱解 N、速效 P、速效 K 的含量分别提高了 2.12%、2.81% 和 21.21%, Fe、Mn、Cu、Zn 的含量分别提高了 27.09%、3.48%、21.76% 和 17.11%, 这对改善土壤有效养分状况、提高土壤肥力, 进而促进梨树生长发育具有良好的作用。这一作用在梨园不同土层和梨树不同发育时期的表现不同。

3.3 沙地梨园土壤中微生物数量与土壤养分相关性

土壤养分是土壤微生物生存的物质基础, 其丰富度和成分决定了微生物的种类、数量及比例的消长, 土壤微生物量碳、氮、磷被认为是土壤活性养分的储存库, 是植物生长可利用养分的重要来源^[22-24]; 长期施肥能明显增加土壤微生物数量、优化其比例, 使土壤养分的有效性大大提高^[25-26]。由表 5、6 可知, 土壤中微生物数量与土壤养分间及土壤诸养分之间, 在不同土层与梨树不同发育时期存在着不同程度的相关性。就 3 类土壤微生物与土壤养分的相关性而言, 在 0—20 cm 土层内, 在 63 种相关关系分析中仅有 18 中呈显著性, 且负相关为 11 种, 表明土壤微生物对土壤养分的促进作用是不明显的, 而在 20—40 cm 土层中, 63 种相关关系中, 有 23 种呈显著性, 且正相关为 20 种。说明土壤微生物对土壤养分有一定的促进作用。这种作用在果实膨大期土壤细菌和放线菌与土壤中各个元素间、在果实成熟期土壤细菌与诸元素间呈现出的显著正相关关系中体现得较为突出 (表 5)。

4 结论

(1) 沙地梨园间作香矢车菊和柠檬罗勒较自然生草显著提高梨树各个发育时期和各土层中土壤微生物的数量, 改良了土壤微生物群落中细菌、真菌和放线菌的比例; 其它处理对梨树各发育时期和各土层中土壤微生物数量和比例的影响呈现出多态效应, 但对土壤中细菌数量的提高效应优于对土壤真菌和放线菌的作用。间作芳香植物条件下梨树果实膨大期和果实成熟期各土层中微生物数量都高于幼果期, 且各土层土壤微生物群落中真菌、细菌和放线菌的比例优于幼果期。

(2) 沙地梨园间作香薄荷和柠檬罗勒较自然生草显著提高土壤 N、P、K、Fe、Mn、Cu、Zn 含量。这种作用在梨园不同土层和梨树发育时期的表现程度不同、变化趋势不同。

(3) 在沙地梨园间作芳香植物条件下, 梨园土壤中各类微生物的数量与土壤养分及诸元素含量间存在着多种显著的相关关系, 这些关系在某种程度上反映了间作芳香植物对土壤微生物数量和土壤养分及其关系的调节。

(4) 综合分析认为, 间作柠檬罗勒 (Tr6) 对提高梨园土壤微生物数量、土壤 N、P、K、Fe、Mn、Cu、Zn 含量的综合效果较佳。

References

- [1] 吴卓珈, 徐哲民, 李春涛. 芳香植物的研究进展. 安徽农业科学, 2005, 33(12): 2393-2396.
Wu Z J, Xu Z M, Li C T. Study and summary of aromatic plant. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2005, 33(12): 2393-2396. (in Chinese)
- [2] 王嘉祥. 薄荷间作高产高效栽培技术研究. 中国农学通报, 2004, 20(3): 204-206.
Wang J X. Study of cultivation techniques for interplanted mirra (*Mentha arvensis* L.). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004, 20(3): 204-206. (in Chinese)
- [3] Jones G A, Gillett J L. Intercropping with Sunflowers to attract beneficial insects in organic agriculture. *The Florida Entomologist, ProQuest Agriculture Journals*, 2005, 88(1): 91.
- [4] Sujatha S, Balasimha R B D, Kannan C. Crop diversification in arecanut plantation through intercropping of medicinal and aromatic plants. *Journal of Plantation Crops*, 2006, 34(3): 318-322.
- [5] 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.
Yao H Y, Huang C Y. *Edaphon Ecology and Experimental Technology*. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 22-108.
Bao S D. *Analyses of Soil Agro-Chemistry*. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 22-108. (in Chinese)
- [7] 陈伟. 苹果园土壤微生物类群与栽培环境关系的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
Chen W. Studies on the relationship between soil microbial community and cultivation environment in apple orchard[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [8] 沙涛, 程立忠, 王国华, 赵之伟, 张晓林, 樊永言. 秸秆还田对植烟土壤中微生物结构和数量的影响. 中国烟草科学, 2000(3): 40-42.
Sha T, Cheng L Z, Wang G H, Zhao Z W, Zhang X L, Fan Y Y. Effects of applying crop straw on the microbial composition and quantity in tobacco cultivated soil. *Chinese Tobacco Science*, 2000(3): 40-42. (in

- Chinese)
- [9] 贾志红, 杨珍平, 张永清, 苗果园. 麦田土壤微生物三大类群数量的研究. 麦类作物学报, 2004, 24(3): 54-56.
Jia Z H, Yang Z P, Zhang Y Q, Miao G Y. Study on the quantity of three main colony of soil microbe in wheat farmland. *Journal of Triticeae Crops*, 2004, 24(3): 54-56. (in Chinese)
- [10] Petersen S O, Frohne P S, Kennedy A C. Dynamics of a microbial community under spring wheat. *Soil Science Society of America*, 2002, 66: 826-833.
- [11] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Huang C Y. *Soil Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [12] Govaerts B, Mezzalama M, Unno Y, Sayre K D, Luna-Guido M, Vanherck K, Dendooven L, Deckers J. Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity. *Applied Soil Ecology*, 2007, 37: 18-30.
- [13] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(3): 193-205.
Li S X. The current state and prospect of plant nutrition and fertilizer science. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1999, 5(3): 193-205. (in Chinese)
- [14] 林 葆. 中国肥料. 上海: 上海科学出版社, 1994.
Lin B. *Chinese Fertilizers*. Shanghai: Shanghai Science Press, 1994. (in Chinese)
- [15] 张大鹏, 姜红英, 陈星黎, 黄丛林, 徐雪峰. 葡萄不同栽培方式的叶幕微气候、光合作用和水分生理效应. 园艺学报, 1994, 21(2): 105-110.
Zhang D P, Jiang H Y, Chen X L, Huang C L, Xu X F. Effects of grapevine training systems on canopy microclimate, net photosynthesis and transpiration. *Acta Horticulturae Sinica*, 1994, 21(2): 105-110. (in Chinese)
- [16] 李发林, 刘长全, 傅金辉. 土壤管理模式对幼龄果园根际土壤养分和酶活性影响初探. 福建农业学报, 2002, 17(2): 112-115.
Li F L, Liu C Q, Fu J H. Effect of soil management on nutrients and enzyme activity in rhizosphere soil of young orchard. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2002, 17(2): 112-115. (in Chinese)
- [17] 刘 殊, 廖镜思, 陈清西, 郑国华, 苏水金, 林洁荣. 果园生草对龙眼园微生态气候和光合作用的影响. 福建农业大学报: 自然科学版, 1996, 25(1): 24-28.
Liu S, Liao J S, Chen Q X, Zheng G H, Su S J, Lin J R. The effects of sown grass mulch on longan orchard microclimate and leaf photosynthesis rate. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 1996, 25(1): 24-28. (in Chinese)
- [18] 李怀有. 高原沟壑区果园土壤管理制度试验研究. 干旱地区农业研究, 2001, 19(4): 32-37.
Li H Y. Test of different kinds micro-irrigation for apple trees in gully areas in the plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(4): 32-37. (in Chinese)
- [19] 徐明岗, 文石林, 高菊生. 红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应. 水土保持学报, 2001, 15(1): 77-80.
Xu M G, Wen S L, Gao J S. Effects of different forage planting model on soil and water conservation and environments in red hilly regions. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(1): 77-80. (in Chinese)
- [20] Stoitchev S, Kreteva K Z. Features of phytoclimate and grape- vine yield in different conditions of surface soil management. *Seizieme Conference du Coloma*, 1996, 3: 1187-1193.
- [21] Desotes A, Moncomble D, Perraud A, Bocquet F. Comparison of several local soil management techniques implemented in champagne vineyards. *Seizieme Conference du Coloma*, 1996, 3: 1161-1169.
- [22] Attiwill P M, Adams M A. Nutrient cycling in forests (Tansley Review No. 50). *New Phytologist*, 1993, 124: 561-582.
- [23] 薛 蕙, 刘国彬, 戴全厚, 党小虎, 周 萍. 不同植被恢复模式对黄土丘陵区侵蚀土壤微生物量的影响. 自然资源学报, 2007, 22(1): 20-27.
Xue S, Liu G B, Dai Q H, Dang X H, Zhou P. Effect of different vegetation restoration models on soil microbial biomass in eroded hilly loess plateau. *Journal of Natural Resource*, 2007, 22(1): 20-27. (in Chinese)
- [24] 周丽霞, 丁明懋. 土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用. 生物多样性, 2007, 15(2): 162-171.
Zhou L X, Ding M M. Soil microbial characteristics as bio-indicators of soil health. *Biodiversity Science*, 2007, 15(2): 162-171. (in Chinese)
- [25] 孙瑞莲, 朱鲁生. 长期施肥对土壤微生物的影响及其在养调控中的作用. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1907-1910.
Sun R L, Zhu L S. Effects of long-term fertilization on soil microorganism and its role in adjusting and controlling soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1907-1910. (in Chinese)
- [26] 杨丽娟, 李天来, 付时丰, 邱忠祥. 长期施肥对菜田土壤微量元素有效性的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 549-553.
Yang L J, Li T L, Fu S F, Qiu Z X. Effects of long-term fertilization on availability of micro-elements in vegetable soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(4): 549-553. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)