

科尔沁沙地南部果-草(粮)间作模式 对土壤微生物和酶的影响

蔡倩^{1,2}, 杜国栋^{1,3}, 吕德国^{1,3}, 何跃², 姜涛², 孙继军², 于涛²

(1. 沈阳农业大学园艺学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 辽宁省风沙地改良利用研究所, 辽宁阜新 123000;

3. 沈阳农业大学北方果树育种与生理生态研究所, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 试验于2007~2008年在辽宁省阜新市彰武县章古台镇(风沙半干旱区)进行,研究了果-草(粮)间作模式对土壤微生物和酶活性的影响。结果表明,3个间作模式处理在整个生长季土壤微生物数量和土壤酶活性总体上表现为仁用杏行间连续两年间作花生>间作谷子>间作麻黄草,均高于行间清耕,与行间清耕呈极显著差异。相关分析表明各间作处理微生物数量和酶活性之间绝大部分达显著或极显著相关。可见果-草(粮)间作模式显著提高了土壤细菌、真菌和放线菌的数量,增强了土壤脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶的活性,改善了土壤微环境,提高了土壤质量。

关键词: 间作模式;土壤微生物;土壤酶活性

中图分类号: S154.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0217-06

科尔沁沙地土地荒漠化的迅速发展^[1,2],加剧了其南部半干旱地区生态环境的恶化。做好防风固沙工作在该类地区是阻遏生态环境恶化、恢复生态系统生产能力的关键措施,以往仅考虑到环境保护问题,单纯实施封沙育林(草)、飞播造林(草)、补植补造、重点养护的协同治沙方式^[3,4],而忽视了经济效益,农民积极性不高,治沙成效低,既有环境效应又兼顾经济效益的课题倍受人们关注。而利用果-草(粮)间作模式,既促进了科尔沁沙地南部地区生态环境的迅速恢复,对当地经济、社会的协调发展也起到了有力的推动作用。近年来人们对人工固沙系统中土壤微生物的研究十分重视,并做了大量工作^[5-9]。然而,对人工固沙系统中土壤酶活性、土壤微生物与土壤酶活性之间关系的研究很少。为此,本文研究了该地区果-草(粮)人工固沙生态系统中土壤微生物和土壤酶动态变化及二者的关系,旨在对该地区果-草(粮)模式的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试区概况

本试验于2007~2008年在辽宁省阜新市彰武县章古台镇(辽宁省风沙地改良利用研究所试验站)进行,试区为科尔沁沙地南部半干旱区。平均海拔220 m,气温日变、季变较大,年平均气温6.82℃;年

降水量480 mm,极端最低降水量为201 mm,雨量多集中于7~8月,冬季少雪;大风危害严重,年平均风速3.33 m/s,最大瞬间风速32 m/s,冬、春季起沙风(≥ 6 m/s)达691次以上;年蒸发量1520~1890 mm,为降水量的4倍。该地区为半固定和固定沙地。地貌最大特征是沙丘相迭,沙丘间分布有风蚀低地^[10]。土壤腐殖质含量极低,有机质含量约为8.7 g/kg,碱解氮12.6 mg/kg,速效磷6.75 mg/kg,速效钾40.23 mg/kg。土壤主要成分为石英沙,约有70%为细沙。土壤物理黏粒小,成土过程微弱,质地松弛,无结构,呈弱酸性。

1.2 供试材料与试验处理

本试验以果-草(粮)间作模式为研究对象,果树为7年生‘超仁’杏(*Armeniaca vulgaris* × *sibirica*),草为麻黄草(*Herba Ephedrae*),粮为花生(*Arachis hypogaea*)和谷子(*Setaria italica*)。‘超仁’杏行间距10 m,间作物行间距0.5 m,试验共设置4个处理,具体见表1。分别于2008年间作物生长季5~9月采用对角线取样法,采集0~20 cm土层混合土样,然后过直径4 mm筛,去除植物残根石块。部分鲜土测定微生物数量,其余土壤自然风干后,过1 mm和0.15 mm筛,用于酶活性的测定,完全随机处理,3次重复。

1.3 测定方法

1.3.1 微生物区系分析 用稀释平板法测定土壤

收稿日期:2009-11-24

基金项目:辽宁省科技厅攻关项目(2008207003)

作者简介:蔡倩(1982—),女,辽宁铁岭人,硕士在读,研究方向为果树栽培生理与生态。E-mail:caiqian2005@163.com。

通讯作者:吕德国(1967—),男,山东莱芜人,教授,研究方向为果树栽培生理与生态。E-mail:lvdeguo@163.com。

细菌、真菌与放线菌数量,分别采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、马丁孟加拉红培养基与改良高氏一号培养基^[11]。结果以每 g 鲜土所含数量表示。

表 1 试验处理描述

Table 1 Treatments description

处理 Treatments	耕作方法 Cultivation types
I(CK)	仁用杏行间连续清耕两年 Monoculture of 'Chaoren' apricot for two years
II	仁用杏行间连续间作麻黄草两年 Intercropping of 'Chaoren' apricot and ephedra for two years
III	仁用杏行间连续间作花生两年 Intercropping of 'Chaoren' apricot and peanut for two years
IV	仁用杏行间连续间作谷子两年 Intercropping of 'Chaoren' apricot and millet for two years

1.3.2 土壤酶活特征^[12,13] 脲酶采用苯酚钠比色法,结果以培养 24 h 后 1 g 干土转化生成 NH₃-N 的毫升数表示;酸性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,结果以培养 24 h 后 1 g 干土中释出酚的毫克数表示;过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定容量法,结果以培养 20 min 后 1 g 干土所消耗 0.1 mol/L KMnO₄ 的毫升数表示。

1.4 数据分析方法

采用 DPS7.0 数据处理系统进行统计分析,Duncan's 新复极差法进行显著性检验,Excel 2003 进行作图。

2 结果与分析

2.1 果-草(粮)间作模式对土壤微生物数量动态变化的影响

2.1.1 对细菌数量的影响 土壤细菌是土壤微生物的主要组成成分,在土壤微生物中数量最多,能分解各种有机物质^[14,15]。从图 1 可知,在整个生长季中,各处理细菌动态变化趋势基本一致,均呈现先升高后降低的趋势,处理 II 和处理 III 在 7 月达到高峰,分别为 35.29 万 cfu/g 和 64.13 万 cfu/g,处理 IV 在 8 月达到高峰,为 59.36 万 cfu/g,CK 在 6 月达到高峰,为 25.12 万 cfu/g。各处理细菌数量表现为处理 III > 处理 IV > 处理 II > CK,处理 III、处理 IV、处理 II 细菌数量较 CK 分别提高 36.83%、109.47%、94.31%,与 CK 呈极显著差异($P < 0.01$);其中处理 III、处理 IV 在生育中后期细菌数量明显高于处理 II,与处理 II 呈极显著差异($P < 0.01$)。

2.1.2 对放线菌数量的影响 放线菌在数量上仅次于细菌,它对土壤中的有机化合物的分解及土壤腐殖质合成起着重要作用,并能分泌抗生素,拮抗土

壤中的病原菌^[14]。从图 2 可看出,在整个生长季中,3 个间作处理放线菌的动态变化趋势相似,均呈现上升一下降的趋势,对照则呈现下降一上升的趋势。处理 II 和处理 III 放线菌数量在 7 月达到高峰,分别为 33.82 万 cfu/g 和 45.33 万 cfu/g,处理 IV 则在 8 月达到高峰,为 42.16 万 cfu/g。各处理放线菌数量表现为处理 III > 处理 IV > 处理 II > CK,处理 III、处理 IV、处理 II 放线菌数量较 CK 分别提高 37.81%、30.21%、12.06%,与 CK 呈极显著差异($P < 0.01$);3 个间作处理之间的放线菌数量均呈显著差异($P < 0.05$)。

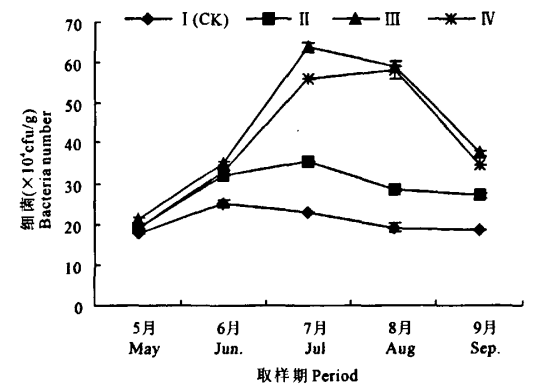


图 1 细菌数量动态变化

Fig.1 Dynamic changes of soil bacteria

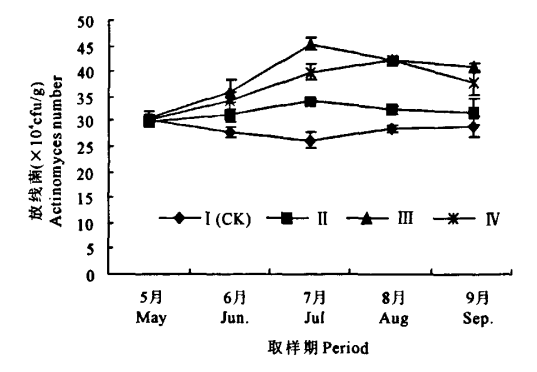


图 2 放线菌数量动态变化

Fig.2 Dynamic changes of soil actinomycetes

2.1.3 对真菌数量的影响 真菌参与土壤有机质的分解与腐殖质的形成,并且参与土壤中的氮化作用与团聚体的形成,数量上低于其他种类微生物,但在生物量上却占有极其重要的地位^[14,15]。从图 3 可以看出,在整个生长季中,3 个间作处理真菌的动态变化趋势相似,均呈现先升高后降低的趋势,对照则呈现先升高后降低再升高的趋势。处理 II 真菌数量 7 月达到高峰为 10.2 万 cfu/g,处理 III 和处理 IV

真菌数量的高峰则出现在8月,分别为21.64万 cfu/g 和19.72万 cfu/g,对照真菌数量在7月到达谷低为1.39万 cfu/g,随后逐渐回升,到9月达到高峰为4.83万 cfu/g。真菌数量表现为处理Ⅲ>处理Ⅳ>处理Ⅱ>CK,处理Ⅲ、处理Ⅳ、处理Ⅱ真菌数量较CK分别提高433.78%、386.29%、146.15%,与对照呈极显著差异($P<0.01$),处理Ⅲ、处理Ⅳ真菌数量明显高于处理Ⅱ,与处理Ⅱ呈极显著差异($P<0.01$),处理Ⅲ与处理Ⅳ真菌数量差异不显著。

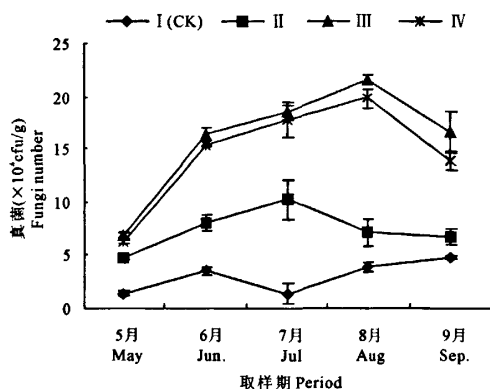


图3 真菌数量动态变化

Fig.3 Dynamic changes of soil fungi

2.2 果-草(粮)间作模式对土壤酶活性的影响

2.2.1 对土壤脲酶活性的影响 脲酶是土壤中最活跃的水解酶类之一,能水解施入土壤中的尿素,释放出供作物利用的铵,在土壤氮素循环中有重要作用^[16,17]。图4表明,在整个生长季中,3个间作处理脲酶活性的动态变化趋势基本一致,均呈现上升一下降的趋势,对照则呈现上升一下降一上升的趋势。处理Ⅱ、处理Ⅲ和处理Ⅳ的脲酶活性高峰均出现在7月,分别为3.10、5.92和5.75 NH₃-N mg/g soil,对照在整个生长季中脲酶活性变化幅度不大。各处理脲酶活性表现为处理Ⅲ>处理Ⅳ>处理Ⅱ>CK,处理Ⅲ、处理Ⅳ、处理Ⅱ脲酶活性较CK分别提高190.6%、165.24%、74.51%,与CK呈极显著差异($P<0.01$),3个间作处理之间脲酶活性均呈极显著差异($P<0.01$)。

2.2.2 对土壤酸性磷酸酶活性的影响 土壤中的磷大部分是以有机磷化合物的形式存在,磷酸酶能酶促磷酸单脂和磷酸二脂水解,积累的磷酸酶对土壤磷素的有效性具有重要作用^[13,18]。从图5可知,在整个生长季中,3个间作处理酸性磷酸酶活性的动态变化趋势相似,均呈现先升高后降低的趋势,对照则呈现先升高后降低再升高的趋势。处理Ⅱ酸

性磷酸酶活性在7月达到高峰为0.0459 phenol mg/g soil,处理Ⅲ和处理Ⅳ高峰则出现在8月,分别为0.0648和0.0607 phenol mg/g soil。对照在整个生长季中酸性磷酸酶活性变化不明显。各处理酸性磷酸酶活性表现为处理Ⅲ>处理Ⅳ>处理Ⅱ>CK,处理Ⅲ、处理Ⅳ、处理Ⅱ酸性磷酸酶活性较CK分别提高62.04%、49.93%、34.92%,与CK呈极显著差异($P<0.01$),3个间作处理之间酸性磷酸酶活性均达到极显著差异($P<0.01$)。

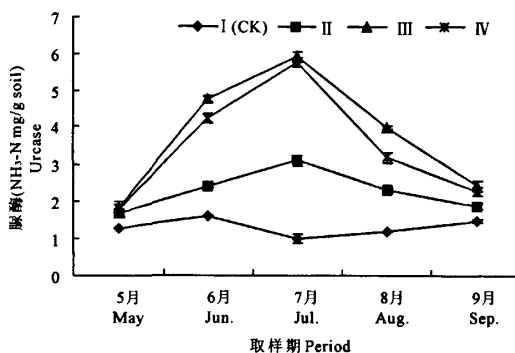


图4 脲酶活性动态变化

Fig.4 Dynamic changes of soil urease

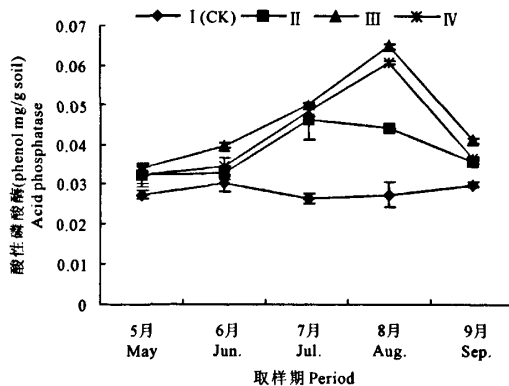


图5 酸性磷酸酶活性动态变化

Fig.5 Dynamic changes of soil acid phosphatase

2.2.3 对土壤过氧化氢酶活性的影响 过氧化氢酶能促进H₂O₂分解成分子氧和水,防止H₂O₂在土壤中积累,从而对生物体产生毒害作用^[18,19]。从图6可看出,在整个生长季中,各处理过氧化氢酶活性的动态变化趋势基本一致,均呈现先升高后降低的趋势。各处理过氧化氢酶活性的高峰均出现7月,分别为0.100、0.121、0.136和0.140 KMnO₄ ml/g soil,并且在整个生长季中过氧化氢酶活性变化幅度不大。各处理过氧化氢酶活性表现为处理Ⅲ>处理

Ⅳ>处理Ⅱ>CK,处理Ⅲ、处理Ⅳ、处理Ⅱ过氧化氢酶活性较CK分别提高30.55%、26.88%、13.85%,与CK呈极显著差异($P<0.01$),处理Ⅲ、处理Ⅳ与处理Ⅱ过氧化氢酶活性呈极显著差异,处理Ⅲ与处理Ⅳ过氧化氢酶活性差异达到显著水平($P<0.05$)。

2.3 土壤微生物数量与酶活性的相关性

由表2可知,果-草(粮)间作模式中土壤细菌和真菌数量均与脲酶活性呈显著正相关($P<0.05$),与磷酸酶呈极显著正相关($P<0.01$),放线菌数量与脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性呈正相关,但相关性不显著。土壤脲酶活性与过氧化氢酶活性间的相关性达极显著水平。

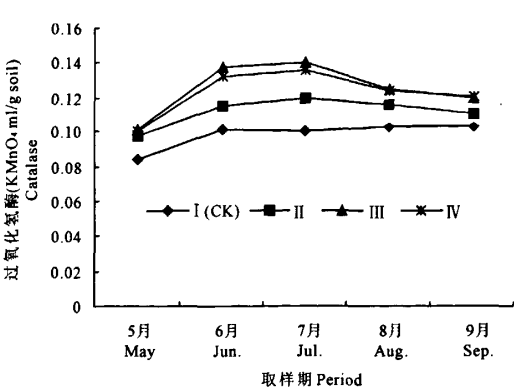


图6 过氧化氢酶活性动态变化
Fig.6 Dynamic changes of soil catalase

表2 土壤酶活性与微生物的相关性

Table 2 Correlation coefficient between soil enzyme activities and soil microbes

项目 Items	细菌 Bacterium	放线菌 Antinomies	真菌 Fungi	脲酶 Urease	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	过氧化氢酶 Catalase
细菌 Bacterium	1.000	0.879 * *	0.887 * *	0.690 *	0.794 * *	0.509
放线菌 Antinomies		1.000	0.808 * *	0.584	0.560	0.461
真菌 Fungi			1.000	0.647 *	0.773 * *	0.545
脲酶 Urease				1.000	0.318	0.915 * *
酸性磷酸酶 Acid phosphatase					1.000	0.059
过氧化氢酶 Catalase						1.000

注 (Note): * $P<0.05$ * * $P<0.01$

3 讨论

1) 土壤微生物是土壤生态系统的重要组份之一,几乎所有的土壤过程都直接或间接地与土壤微生物有关^[20]。本试验结果表明果-草(粮)间作增加了土壤微生物数量,间作花生>间作谷子>间作麻黄草,均高于清耕。3个间作处理微生物数量均在7~8月达到高峰,而清耕在此时期则出现低谷。说明间作草(粮)后增加了果树行间植被覆盖率,缓解了夏季高温问题,大大减少了地表水分的蒸发,改善了土壤水分状况,从而促进了微生物的繁殖及生长^[21]。同时间作物残体及根系分泌物也可能促进土壤微生物繁殖及生长^[22]。而清耕处理果树行间植被覆盖率极低,在干旱高温的夏季,地表水分大量蒸发,土壤含水量急剧下降,不利于微生物的繁殖及生长。

2) 土壤酶催化土壤中的一切生物化学反应,对土壤肥力有重要影响^[23]。本试验结果表明与清耕相比,果-草(粮)间作均不同程度地增加了土壤酶活性,与徐雄等^[24]和龙妍等^[25]研究结果一致。3个间作处理酶活性在果树和间作物生育旺盛期出现高

峰。说明土壤酶活性与果树和间作物的生长发育表现出良好的协调关系,对于满足其不同时期营养有积极的作用^[26]。同时3个间作处理土壤酶活性的增强,促进了土壤C、N、P素的营养循环,提高了土壤氧化还原能力,有利于土壤腐殖质的形成,这意味着果-草(粮)间作模式土壤环境得到了改善,土壤质量得到了提高^[27]。

3) 人们普遍认为土壤酶主要来源于土壤微生物的代谢过程^[28,29]、植物根系分泌物和动植物残体腐解过程中释放的酶^[13]。本试验结果表明土壤细菌和真菌数量均与脲酶活性和磷酸酶活性呈显著或极显著正相关,与柴强等^[30]和吕可等^[31]研究结果相似。可见果-草(粮)间作模式中土壤真菌和细菌数量对脲酶和磷酸酶活性有较大的促进作用^[27],土壤过氧化氢酶活性与细菌、放线菌、真菌之间无显著的相关性,这说明土壤过氧化氢酶可能主要来源于植物根系^[32]。土壤脲酶活性与过氧化氢酶活性间的相关性达极显著水平。说明在土壤有机物质转化过程中,土壤酶间的作用并不是孤立的,而是存在着相互制约、相互促进的复杂关系^[33]。

4 小 结

科尔沁沙地南部果-草(粮)间作模式对土壤微生物和土壤酶活性的影响总体表现为间作花生和间作谷子效果最明显,整个生长季均显著提高了微生物数量,并且对土壤酶活性有明显的促进作用;间作麻黄草微生物数量和土壤酶活性也有所增加。各间作处理微生物与土壤酶之间绝大部分达显著或极显著相关。总之,果-草(粮)间作模式增加了土壤微生物数量,增强了土壤酶活性,从而改善了土壤微环境,提高了土壤质量,本研究结果为该模式在本地区推广提供了初步的理论依据。

参 考 文 献:

- [1] 李建华. 科尔沁沙地土地退化及其防治对策[J]. 防护林科技, 2008, (2): 56—68.
- [2] 刘新民, 赵哈林. 科尔沁沙地生态环境综合整治研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993: 12—26, 80—87.
- [3] 翟国海, 李洪彪, 陈 曦. 辽西北草原沙化治理的路径探索[J]. 辽宁科技, 2009, (1): 26—27.
- [4] 张丽荣, 赵京献, 李夕军. 河北省土地沙化和荒漠化现状分析及综合治理措施[J]. 河北林业科技, 2009, (5): 42—44.
- [5] 邵玉琴, 赵 吉. 库布齐固定沙丘土壤微生物数量与土壤生态因子的研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1997, 28(5): 715—719.
- [6] 顾峰雪, 文启凯, 潘伯荣, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被下土壤微生物的初步研究[J]. 生物多样性, 2000, 8(3): 297—303.
- [7] 邵玉琴, 赵 吉, 包青海, 等. 沙坡头固定沙丘结皮层的微生物区系动态[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 298—303.
- [8] 周智彬, 李培军. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1246—1250.
- [9] 张志红, 崔小云, 姚志敏. 鄂尔多斯市沙土地的沙漠化及其防治[J]. 内蒙古林业调查设计, 2005, 28(3): 45—46.
- [10] 赵立仁, 何 跃, 姜 涛. 辽西风沙半干旱区农业生态治理模式[J]. 水土保持应用技术, 2008, (2): 47—49.
- [11] Brookes P C, Landman A, Pruden G. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1985, 17(6): 837—842.
- [12] Zelles L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil[J]. A review Biology and Fertility of Soils, 1999, 29: 111—129.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 30—330.
- [14] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤, 1997, (2): 61—69.
- [15] 陈阅增. 普通生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [16] Burns R G. Soil Enzymes[M]. New York: Academic Press, 1978.
- [17] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 等. 长期培肥黑土脲酶活性动态变化及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2208—2212.
- [18] 彭正萍, 门明新, 薛世川, 等. 腐殖酸复合肥对土壤养分转化和土壤酶活性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(4): 1—4.
- [19] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 等. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用[J]. 植物营养与肥力学报, 2003, 9(4): 406—410.
- [20] 周丽霞, 丁明慧. 土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用[J]. 生物多样性, 2007, 15(2): 162—171.
- [21] 吕桂芬, 吴永胜, 李 浩, 等. 内蒙古不同类型荒漠草原土壤微生物数量及其酶活性研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2008, 37(6): 761—764.
- [22] 姚槐应, 黄昌勇. 土壤微生物生态学及其实验技术[M]. 北京: 科技出版社, 2006: 24—25.
- [23] 曹 慧, 杨 洁, 孙 波. 太湖流域丘陵地区土壤养分的空间变异[J]. 土壤, 2002, 34(4): 201—205.
- [24] 徐 雄, 张 健, 张 猛, 等. 果-草人工生态系统中土壤微生物、土壤酶与土壤养分的关系[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 178—181.
- [25] 龙 妍, 惠竹梅, 程建梅, 等. 生草葡萄园土壤微生物分布及土壤酶活性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(6): 99—103.
- [26] 范君华, 刘 明. 塔里木海岛棉生育全程土壤微生物与酶活性的动态变化[J]. 中国农学通报, 2005, 21(4): 202—205.
- [27] 方 晰, 田大伦, 武丽花, 等. 植被修复对锰矿渣废弃地土壤微生物数量与酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 221—226.
- [28] Anna K B, Richard P D. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31(11): 1471—1479.
- [29] Zimmermann S, Frey B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(11): 1727—1737.
- [30] 柴 强, 黄 鹏, 黄高宝. 间作对根际土壤微生物和酶活性的影响研究[J]. 草业学报, 2005, 14(5): 105—110.
- [31] 吕 可, 潘开文, 王进闯, 等. 花椒叶浸提液对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 164—165.
- [32] 徐 恒, 廖超英, 李晓明, 等. 榆林沙区人工固沙林土壤微生物生态分布特征及酶活性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(12): 135—140.
- [33] 高祥斌, 刘增文. 岷江上游典型森林生态系统土壤酶活性初步研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 1—5.

Effect of different kinds of intercropping with fruit/grass (crop) on soil microorganisms and enzymes in the south Horqin sandy land

CAI Qian^{1,2}, DU Guo-dong^{1,3}, LU De-guo^{1,3}, HE Yue², JIANG Tao², SUN Ji-jun², YU Tao²

(1. College of Horticulture, Shenyang, Liaoning 110161, China; 2. Liaoning Provincial Institute of Sandy Land Amelioration and Utilization, Fuxin, Liaoning 123000, China; 3. Research Laboratory for Breeding and Physiology Ecology of Northern Fruits, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: The effect of different kinds of intercropping with fruit and grass (crop) on soil microorganisms and enzyme activities were studied in Zhanggutai Town, Zhangwu County of Liaoning Province from 2007 to 2008. The results showed that the soil microbe numbers and enzyme activities of three kinds of intercropping followed peanut > millet > ephedra in the whole growth stages, all higher than monoculture. Furthermore, differences between the three treatments and the monoculture were greatly significant. Correlations between microorganisms and enzyme activities in most treatments were significant or greatly significant. The numbers of bacteria, fungi and actinomycete were increased and the activities of urease, phosphatase and catalase were all enhanced significantly after intercropping. Consequently, intercropping could improve soil micro-environment and soil quality.

Keywords: intercropping; soil microorganism; soil enzyme activity

(上接第 216 页)

- [5] 林继熊. 磷肥后效与利用率的定位试验[J]. 土壤肥料, 1995, (6): 1—5.
- [6] Schwab A P, Kulyingong S. Change in phosphate activities and availability indexes with depth after 40 years of fertilization[J]. Soil Science, 1989, 147(3): 179—186.
- [7] Strauss G W. Effects of crystallinity of goethite: II. Rates of sorption and desorption of phosphate[J]. European Journal of Soil Science, 1997, 48: 101—114.
- [8] 王新民, 王卫华, 侯彦林. 豫北蔬菜保护地土壤磷素形态及空间分布特征性研究[J]. 土壤, 2004, 3(6): 173—176.
- [9] 杨学云, 李生秀, Brookes P C. 灌溉与旱作条件下长期施肥瘠土剖面磷的分布和移动[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 250—254.

Effect of different irrigation on phosphorus distribution in soil profiles of protected land

JIN Shuo, ZHANG Yu-long, HAN Lin, WANG Jiao, LIU Yang, WEI Yan-yan

(College of Land and Environment, Key Laboratory of Northeastern Soil and Environment of Ministry of Agriculture, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: Different irrigation treatments were conducted to study the effects of the profile distribution (0 ~ 100 cm) and contents of total-P and Olsen-P in a 12-year tomato - grown protected land in the bases for scientific research of shenyang agricultural university. Results showed that at the depth of 0 ~ 60 cm the contents of total-P and Olsen-P were significantly higher than the depth of 60 ~ 100 cm. Among these irrigation treatments the profile distribution and contents of total P and Olsen-P displayed significant difference at the depth of 0 ~ 60 cm. Generally the contents of furrow irrigation and drip irrigation were both higher than infiltration irrigation but there were no differences between furrow irrigation and drip irrigation. At the depth of 0 ~ 40 cm the highest percent of Olsen-P fractions to total-P was drip irrigation treatment. Compared with drip irrigation and infiltration irrigation treatment, the ratio of Olsen-P to total-P showed un conspicuous change along with the depth of soil profile in the furrow irrigation treatment. The result of correlation analysis showed very significant positive correlation in the different irrigation treatment between total-P and Olsen-P and there were significant positive exponent correlation between Olsen-P and total-P with organic matter.

Keywords: protected land; water-saving irrigation; soil phosphorus distribution