

种植年限对樱桃园土壤养分和酶活性的影响

王 静^{1,2}, 呼丽萍^{1,2}, 李 昶¹, 李志鹏¹

(1. 天水师范学院 生命科学与化学学院, 甘肃 天水 741000; 2. 甘肃省大樱桃工程技术研究中心, 甘肃 天水 741000)

摘 要: 为了探明天水地区长期种植果树对果园土壤肥力的影响, 应用时空互代法, 对不同种植年限的樱桃园土壤养分和酶活性进行了研究。结果表明, 随着种植年限的增加, 土壤养分和酶活性(除多酚氧化酶)均可用二次函数进行拟合。不同种植年限间土壤养分含量和酶活性差异显著。土壤有机质、速效磷、脲酶、碱性磷酸酶和纤维素酶活性与种植年限之间存在显著或极显著相关关系。通过相关分析和通径分析发现, 土壤酶活性与土壤养分之间呈显著或极显著相关关系。

关键词: 樱桃园; 种植年限; 土壤养分; 酶活性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0155-04

中图分类号: S158.3

Effects of Planting Period on Soil Nutrient and Soil Enzyme Activities in Cherry Orchards

WANG Jing^{1,2}, HU Li-ping^{1,2}, LI Chang¹, LI Zhi-peng¹

(1. College of Life Science and Chemistry, Tianshui Normal University, Tianshui, Gansu 741001, China;

2. Gansu Engineering Research Center of Sweet Cherry, Tianshui, Gansu 741000, China)

Abstract: The spatial-temporal substitution method was applied to explore the effects of planting period on the soil fertility by soil nutrients and soil enzyme activities in cherry orchards around Tianshui region. It indicated that the quadratic function fitting could be used in analog the variations of soil nutrients and its enzyme (except polyphenoloxidase) activities with the increase of the planting period. Both soil nutrients and soil enzyme activities varied significantly with different periods of planting. A significant, even extremely significant correlation existed between planting years and soil organic matter, available phosphorus, sucrase activities, alkaline phosphatase activities, cellulase activities. So did with the correlations between soil enzyme activities and soil nutrients content.

Keywords: cherry orchards; planting years; soil nutrient; soil enzyme activities

天水地区是我国的樱桃生产基地之一。樱桃产业已成为带动该区果树发展, 促进地区经济发展, 增加农民收入, 改善区域生态环境的支柱产业。果园生态系统已成为该区域主要的人工生态系统类型之一。果园土壤养分是果树生长的重要物质基础^[1]。土壤酶在土壤生态系统的物质循环和能量流动方面扮演重要的角色, 土壤酶常作为表征土壤肥力的指标^[2-4]。通过研究土壤演变可以了解果树长势和果园生态系统的健康状况。王忠和等^[5]研究表明山东省烟台和威海地区果园土壤有机质含量不足且土壤酸化严重。张成娥等^[6]研究表明豆类套作可提高苹果幼园土壤养分和酶活性。许卫娜等^[7]研究表明沼气发酵残留物可提高红富士苹果园土壤酶活性。谭向平等^[8]研究表明土壤水解酶类在一定程度上可以表征渭北旱

塬苹果园土壤肥力水平。以往的研究主要集中于果园土壤肥力现状的分析或栽培技术对果园土壤肥力的影响, 而集中于某一果树品种并从其种植以来的土壤肥力变化情况的研究还鲜有报道。

本研究利用时空互代法对天水地区农田转变为樱桃果园不同年限的土壤养分和酶活性进行研究, 以期初步探明长期种植樱桃对果园生态系统土壤肥力的影响, 进一步为果园生态系统调控提供科学依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

秦州区位于甘肃省东南部, 地处秦巴山区西秦岭北部黄土梁峁沟壑区。属大陆性半高寒半湿润气候,

收稿日期: 2012-08-29

修回日期: 2012-09-18

资助项目: 甘肃省农业科技成果转化资金计划项目“提高大樱桃产量质量技术集成示范与推广”(1105NCNE109)

作者简介: 王静(1982—), 女(汉族), 甘肃省天水市人, 讲师, 主要从事土壤微生物方面的研究工作。E-mail: wjing_1228@126.com。

年平均降水量 530 mm, 年均气温 10.72 °C, 无霜期约 170 d。自 2000 年以来, 天水地区农民将大量农田改为樱桃园, 使当地樱桃种植面积迅速增加, 肥料投入量大, 远超过高产农田, 这为本研究提供了可靠的研究对象。

1.2 研究方法

1.2.1 样地的采集 采用时空互代的方法(在一定

的时间尺度内, 以不同地点上选取不同种植年限的樱桃果园来代替同一地点上生长的不同年限的樱桃果园), 在天水市秦州区四十里铺选择不同年限的樱桃果园, 每个果园选择 3 株具有代表性的果树作为采样对象, 在每株果树周围距树干 120 cm 处, 避开施肥点用土钻取土, 取样深度 40 cm, 每株果树周围取 3 钻。研究样地的基本情况详见表 1。

表 1 研究果园的基本情况

种植年限/ a	树种	面积/ hm ²	株行距/ m	棵树/株	树势	树高/ cm	干周/ cm	干径/ cm	产量/ (kg · hm ⁻²)
4	红灯	0.23	3×4	34	良好	1.88	19.61	5.45	114.50
5	红灯	0.24	3×4	28	良好	2.62	34.44	9.22	619.20
6	巨红	0.17	2.5×4	30	良好	4.08	52.53	14.47	2 029.01
7	巨红	0.13	2.5×4	21	良好	4.17	62.22	17.61	3 354.34
8	巨红	0.15	3×4	24	良好	4.11	71.46	19.55	2 658.00
9	巨红	0.21	2.5×4	20	良好	4.13	75.67	22.18	3 425.71
10	巨红	0.07	2.5×4	17	良好	4.10	78.41	24.52	3 015.51

1.2.2 样品测定和数据分析 土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾分别采用重铬酸钾外加热法^[9]、碱解扩散法^[9]、钼锑抗比色法和 NH₄OAC 浸提法测定^[9]; 过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法^[2]; 碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法^[10]; 蔗糖酶采用硫代硫酸钠滴定法^[2]; 脲酶采用靛酚蓝比色法^[2]; 多酚氧化酶采用邻苯三酚比色法^[2]; 纤维素分解酶采用葡萄糖氧化酶法^[2]。测定数据的统计分析采用 SPSS 16.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限对果园土壤养分的影响

由表 2 可知, 不同种植年限樱桃果园土壤养分含量产生明显的变化, 随着樱桃种植年限的增加, 土壤

养分含量呈先增加后减少的变化趋势。种植 6 a 的果园土壤有机质含量最高, 较种植年限为 4 和 10 a 果园土壤有机质含量分别增加了 137.81% 和 59.50%, 种植年限间差异极显著 ($p \leq 0.01$); 果园土壤有机质与种植年限间呈显著相关性, 可用二次函数拟合, 相关系数 $R_{\text{有机质}} = 0.836$ 。种植 7 a 的果园土壤碱解 N, 速效 K, 速效 P 含量最高, 较种植 4 和 10 a 果园土壤碱解 N 分别增加了 47.89% 和 43.84%, 速效 K 分别增加了 30.20% 和 63.71%, 速效 P 分别增加了 94.41% 和 12.56%, 种植年限间差异显著 ($p \leq 0.05$); 其中土壤速效 P 与果树种植年限间呈极显著相关性, 可用二次函数拟合, 相关系数 $R_{\text{速效 P}} = 0.929$ 。表明种植 6 或 7 a 的果园较其他种植年限的果园土壤养分含量高。与张仪等^[11]的研究结果一致。

表 2 不同种植年限对樱桃果园土壤养分的影响

种植年限/a	有机质/(g · kg ⁻¹)	碱解 N/(mg · kg ⁻¹)	速效 P/(mg · kg ⁻¹)	速效 K/(mg · kg ⁻¹)
4	6.11 ± 0.32 ^{cd}	30.84 ± 0.14 ^{cd}	3.92 ± 0.38 ^{cd}	68.25 ± 0.09 ^{dc}
5	10.43 ± 0.27 ^{cdBC}	49.72 ± 0.65 ^{cb}	4.98 ± 0.26 ^{dc}	63.63 ± 0.43 ^{cd}
6	14.53 ± 0.48 ^{aA}	53.90 ± 0.43 ^{bb}	5.82 ± 0.45 ^{cb}	78.46 ± 0.51 ^{bcB}
7	12.13 ± 0.11 ^{bb}	73.54 ± 0.25 ^{aA}	7.62 ± 0.32 ^{aA}	127.92 ± 0.13 ^{aA}
8	10.57 ± 0.05 ^{cb}	41.38 ± 0.61 ^{dBc}	7.18 ± 0.12 ^{aA}	65.28 ± 0.25 ^{dcCD}
9	10.43 ± 0.14 ^{cdBC}	39.22 ± 0.84 ^{cdC}	6.77 ± 0.24 ^{bb}	80.11 ± 0.28 ^{bb}
10	9.11 ± 0.29 ^{dc}	51.10 ± 0.33 ^{bcB}	4.27 ± 0.17 ^{fc}	78.14 ± 0.36 ^{cb}

注: 同一列的小写字母表示不同种植年限间达到 0.05 显著水平, 同一列的大写字母表示不同种植年限间达到 0.01 显著水平。下同。

2.2 不同种植年限果园土壤酶活性的变化

2.2.1 不同种植年限果园土壤水解酶活性的变化 水解酶是为数极多的一类酶, 它参与了土壤中有机质

的转化, 能把高分子化合物水解成能为植物和微生物利用的营养物质。因此, 研究土壤水解酶类对了解土壤生物动力学和土壤肥力有着重要意义。由表 3 可

知,不同种植年限樱桃果园土壤水解酶变化趋势与土壤养分相似,即随着种植年限的增加,土壤各水解酶活性均呈先增加后减少的变化趋势。土壤脲酶和蔗糖酶活性最高的种植年限均为 7 a,较种植 4 和 10 a 果园土壤脲酶和蔗糖酶活性分别增加 161.67%, 57.68% 和 158.51%, 48.59%, 种植年限间差异极显著($p \leq 0.01$)。

碱性磷酸酶和纤维素分解酶活性最高的种植年限均为 6 a,较种植 4 和 10 a 果园土壤碱性磷酸酶和纤维素分解酶活性分别增加 156.40%, 166.27% 和 178.18%, 36.83%, 种植年限之间差异极显著($p \leq 0.01$)。这表明种植 6 或 7 a 樱桃果园的土壤水解酶活性明显高于其它种植年限果园,与范玉贞等^[12]的研究结果一致。

表 3 不同种植年限对樱桃果园土壤酶活性的影响

种植年限	水解酶				氧化还原酶	
	脲酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	蔗糖酶/ ($\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$)	碱性磷酸酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	纤维素分解酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	过氧化氢酶/ ($\text{ml} \cdot \text{g}^{-1}$)	多酚氧化酶/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
4	14.46±0.12 ^{gD}	1.64±0.02 ^{gE}	34.57±0.21 ^{gE}	16.01±0.02 ^{fE}	19.64±0.01 ^{cC}	2.80±0.01 ^{aA}
5	16.99±0.16 ^{fD}	2.12±0.02 ^{fD}	51.85±0.28 ^{cd}	27.10±0.02 ^{cd}	19.02±0.02 ^{dC}	1.41±0.01 ^{cC}
6	25.74±0.12 ^{dB}	3.98±0.02 ^{bA}	88.64±0.26 ^{aA}	49.54±0.04 ^{aA}	19.08±0.02 ^{dC}	2.40±0.01 ^{bA}
7	37.85±0.20 ^{aA}	4.23±0.01 ^{aA}	69.26±0.52 ^{bB}	37.42±0.04 ^{bB}	24.88±0.11 ^{aA}	1.86±0.02 ^{cB}
8	37.55±0.09 ^{abA}	3.21±0.02 ^{dB}	54.74±0.16 ^{dD}	28.98±0.02 ^{dCD}	18.48±0.01 ^{dD}	1.77±0.01 ^{dBC}
9	27.54±0.09 ^{cB}	3.45±0.02 ^{cB}	62.71±0.29 ^{cC}	27.36±0.02 ^{cd}	19.54±0.10 ^{cC}	1.53±0.02 ^{cC}
10	24.01±0.15 ^{bcC}	2.85±0.03 ^{cC}	33.29±0.09 ^{gE}	32.55±0.03 ^{cC}	22.69±0.07 ^{bB}	0.75±0.01 ^{gD}

各土壤水解酶活性与果树种植年限间呈显著或极显著的相关性,可用二次函数拟合(相关系数分别为: $R_{\text{脲酶}}=0.814$; $R_{\text{蔗糖酶}}=0.917$; $R_{\text{碱性磷酸酶}}=0.752$; $R_{\text{纤维素分解酶}}=0.809$)。

2.2.2 不同种植年限果园土壤氧化还原酶活性的变化 在土壤物质和能量转化中,氧化还原酶类占有重要地位,对土壤氧化还原酶类的研究将有助于对土壤发生和有关土壤肥力实质等问题的了解。由表 3 可知,不同种植年限樱桃果园的土壤各氧化还原酶活性的变化不一。种植 4~10 a 内,土壤过氧化氢酶活性随着种植年限的增加,也呈先增加后减少的变化趋势,与土壤养分含量和水解酶活性相似。过氧化氢酶活性在种植 7 a 时达到最高,较种植 4 和 10 a 的脲酶活性分别增加 26.71% 和 9.65%, 种植年限间差异基本显著($p \leq 0.05$),然而过氧化氢酶与种植年限的相

关性不显著。多酚氧化酶随种植年限的增加呈现降低的变化趋势,种植 10 a 时达到最低,较种植 4 a 的果园土壤多酚氧化酶活性降低了 80.96%, 种植年限间差异极显著($p \leq 0.01$); 多酚氧化酶活性与果树种植年限呈显著负相关(相关系数 $R_{\text{多酚氧化酶}}=0.763$)。这与薛蕊等^[13]的研究结果一致。

2.3 土壤养分与土壤酶活性的关系

2.3.1 相关性分析 许多研究表明,土壤肥力与土壤酶活性之间存在着非常密切的相关关系^[7,14]。为此,对土壤酶与肥力因子之间进行相关分析。结果表明(表 4),脲酶、蔗糖酶、纤维素酶与有机质和速效 P 呈显著或极显著正相关,过氧化氢酶与速效 N 和速效 K 显著相关,过氧化物酶与速效 N 和速效 P 呈显著正相关,而多酚氧化酶与土壤速效养分之间无明显相关性。这与有关^[15-16]研究结果一致。

表 4 土壤养分与土壤酶活性间的相关性

项目	脲酶	蔗糖酶	碱性磷酸酶	纤维素分解酶	过氧化物酶	多酚氧化酶
有机质	0.695*	0.880*	0.967**	0.974**	0.294	-0.195
碱解氮	0.590	0.458	0.353	0.419	0.723*	0.238
速效 P	0.839*	0.866*	0.810*	0.841*	0.733*	0.028
速效 K	0.457	0.194	0.080	0.080	0.672*	0.236

注: * 表示相关性达到显著水平, ** 表示相关性达到极显著水平。

2.3.2 回归分析 多元回归方程能描述随机变量在多个回归因子中的平均变化规律,通径分析则是标准化的多元线性回归分析^[17]。以有机质(X_1)、速效 N (X_2)、速效 P(X_3)、速效 K(X_4)为自变量,脲酶(Y_1)、

蔗糖酶(Y_2)、碱性磷酸酶(Y_3)、纤维素分解酶(Y_4)、过氧化氢酶(Y_5)、过氧化物酶(Y_6)、多酚氧化酶(Y_7)为因变量进行逐步回归,得到 5 个最优回归方程为:

$$Y_1 = 8.240 + 2.029X_2 \quad (R = 0.839)$$

$$Y_2 = -1.443 + 0.413X_1 \quad (R=0.880)$$

$$Y_3 = -7.424 + 6.341X_1 \quad (R=0.967)$$

$$Y_4 = -5.161 + 3.381X_1 \quad (R=0.974)$$

$$Y_5 = 16.840 + 0.003X_1 \quad (R=0.882)$$

进一步通径分析表明(表 5),有机质直接影响蔗糖酶、纤维素分解酶和碱性磷酸酶活性,速效 P 直接

影响脲酶活性,速效 K 直接影响过氧化氢酶活性;养分对过氧化物酶和多酚氧化酶活性没有直接影响。樱桃果园的 5 种土壤酶剩余通径系数分别为 0.021, 0.304, 0.154, 0.108 和 0.069,表明分析误差较小,在所选变量范围内最优回归方程可准确反映土壤酶活性与土壤养分含量的关系。

表 5 土壤养分因子对土壤酶活性的通径系数

项目	脲酶	蔗糖酶	碱性磷酸酶	纤维素分解酶	过氧化氢酶
直接通径系数	$X_2 \rightarrow Y_1$ 0.839	$X_1 \rightarrow Y_2$ 0.880	$X_1 \rightarrow Y_3$ 0.967	$X_1 \rightarrow Y_4$ 0.974	$X_4 \rightarrow Y_5$ 0.882
剩余通径系数	$X_{总} \rightarrow Y_1$ 0.021	$X_{总} \rightarrow Y_2$ 0.304	$X_{总} \rightarrow Y_3$ 0.154	$X_{总} \rightarrow Y_4$ 0.108	$X_{总} \rightarrow Y_5$ 0.069

3 结论

(1) 随着樱桃种植年限的增长,土壤养分不断增加。这是由于种植初期樱桃果树每年向果园土壤提供大量的凋落物,林草凋落物经过微生物分解后增加了土壤的养分含量;同时施肥量较大,使得果园土壤养分含量并没有因果树生长而降低。在种植樱桃超过 6 和 7 a 后,樱桃进入盛果期,果树年生长量大,树体生长对养分的吸收增加,果实生长对养分的消耗增大;同时果农不合理施肥,土壤积累养分的能力开始下降^[18],从而致使土壤养分含量降低。这表明樱桃种植超过一定的年限(6 和 7 a)果园土壤肥力下降。

(2) 随着樱桃种植年限的增加,土壤酶活性呈增加趋势。这是由于种植樱桃施用的有机肥与化肥加快了土壤熟化进程并改善了土壤理化环境^[3],为微生物提供了充足的碳源、能源及无机盐等营养,有利于土壤微生物的生长^[3,15],从而促进土壤酶活性的提高。在种植樱桃超过 6 和 7 a 后,果园土壤酶活性开始下降。这是由于随樱桃种植年限增加,樱桃根系分泌物与残留物分解形成的氢氰酸和苯甲酸等酚酸类物质的积累量增加,进而改变或破坏土壤环境及生态平衡^[16];此外,长期种植一种作物并重复施肥,作物对养分需求专一,缺乏互补性使土壤养分失衡^[19]。因此在两个方面共同作用下使土壤质量下降,从而抑制土壤微生物的生长与繁殖,致使土壤酶活性下降。表明樱桃种植超过一定的年限(6 和 7 a)果园土壤的供氮、供磷及解毒能力及环境质量下降。

(3) 相关性分析和回归分析表明土壤酶活性与土壤养分含量的相关程度很高。土壤有机质直接影响蔗糖酶、纤维素酶和碱性磷酸酶活性,速效 P 直接影响脲酶活性,速效 K 直接影响过氧化氢酶活性,土壤养分对过氧化物酶和多酚氧化酶活性没有直接影响。

(4) 种植年限对樱桃果园土壤养分含量和酶活性均有显著影响。樱桃种植年限超过一定年限(6 和 7 a),果园土壤质量开始下降,从而对樱桃产量和品质产生负面影响。建议采用按需供肥、科学配肥的适应性管理理念构建高产、优质、环保的经营管理模式。

[参 考 文 献]

- [1] 焦菊英,焦峰,温仲明. 黄土丘陵沟壑区不同恢复方式下植物群落的土壤水分和养分特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 667-674.
- [2] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 309-313.
- [3] 邱莉萍,刘军,王益权,等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 277-280.
- [4] 胡延杰,翟明普,武甄文,等. 杨树刺槐混交林及纯林土壤酶活性的季节性动态研究[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(5): 23-26.
- [5] 王忠和,李早东,王义华. 山东省烟台和威海地区果园土壤有机质含量普查分析[J]. 中国果树, 2010(5): 15-17.
- [6] 张成娥,梁银丽. 高原沟壑区套作苹果幼园土壤养分及酶活性研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(4): 22-25.
- [7] 许卫娜,邱凌,杨宝平,等. 沼气发酵残留物对红富士苹果园土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 183-186.
- [8] 谭向平,和文祥,杨静,等. 渭北旱塬苹果园土壤酶特征研究[J]. 园艺学报, 2011, 38(4): 621-630.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-213.
- [10] 李振高,骆永明,腾应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 北京科学出版社, 2008: 346-385.
- [11] 张义,谢永生,郝明德,等. 黄土塬面果园土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1170-1175.

(下转第 165 页)

- [5] Rampino P, Pataleo S, Gerardi C, et al. Drought stress response in wheat: Physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes [J]. *Plant Cell Environment*, 2006, 29(12):2143-52.
- [6] 万素梅,胡守林,王龙昌,等. 不同紫花苜蓿品种土壤水分动态变化研究[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(4):161-163.
- [7] 陈林,王磊,宋乃平,等. 灌溉量和灌溉次数对紫花苜蓿耗水特性和生物量的影响[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(4):91-94.
- [8] Aggarwal P K, Singh A K. Performance of wheat and triticale cultivars in a variable soil-water environment: Evapotranspiration, WUE, harvest index and grain yield [J]. *Field Crop Research*, 1983, 13(7):303-315.
- [9] 张富仓,康绍忠,李志军,等. 施肥对旱地土壤供水特征的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2004, 35(5/6):408-410.
- [10] 刘青林,张恩和,王琦,等. 灌溉与施氮对留茬免耕春小麦产量,水分利用效率及氮肥表观利用效率的影响[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(5):1195-1200.
- [11] 徐亮,王月福,程曦,等. 施磷对花生根系生长发育和产量的影响[J]. *花生学报*, 2009, 38(1):32-35.
- [12] Mackay A D, Barber S A. Soil temperature effects on root growth and phosphorus uptake by corn [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, 48(9):818-823.
- [13] Chassot A, Richner W. Root characteristics and phosphorus uptake of maize seedlings in a Bilayered soil [J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94 (5):118-127.
- [14] 廖红,戈振扬,严小龙. 水磷耦合胁迫下植物磷吸收的理想根构型:模拟与应用[J]. *科学通报*, 2001, 46(8):641-646.
- [15] 孙洪仁,武瑞鑫,李品红,等. 紫花苜蓿根系入土深度[J]. *草地学报*, 2008, 16(3):307-312.
- [16] 刘小刚,张富仓,田育丰,等. 水氮互作对石羊河流域春小麦群体产量和水氮利用的影响[J]. *西北农林科技大学学报*, 2009, 37(3):107-113.
- [17] 马红彬,王宁,高继飞,等. 宁南山区苜蓿草产业化发展的可行性初探[J]. *宁夏农学院学报*, 2000, 21(4):25-2.
- [18] 杨启国,张旭东,杨兴国,等. 甘肃中部半干旱区紫花苜蓿耗水规律及土壤水分变化特征研究[J]. *中国农业气象*, 2003, 24(4):37-40.
- [19] 孙洪仁,刘国荣,张英俊,等. 紫花苜蓿的需水量、耗水量、需水强度、耗水强度和水分利用效率研究[J]. *草业科学*, 2005, 22(12):24-30.
- [20] 李永山. 栽培措施对棉花根系生长的影响及其与地上部和产量的关系[J]. *棉花学报*, 1992, 4(2):59-66.
- [21] 王泽环. 不同磷水平对黄花苜蓿产量和品质的影响[D]. 内蒙古呼和浩特:内蒙古师范大学, 2008.
- [22] 李圣昌,朱树森. 紫花苜蓿施用磷肥试验研究[J]. *草业科学*, 1993(2):41-43.
- [23] 丁洪,李生秀. 磷素营养与大豆生长和共生固氮的关系[J]. *西北农业大学学报*, 1998, 26(5):67-70.

(上接第 158 页)

- [12] 范玉贞,崔兴国. 不同种植年限深州蜜桃土壤微生物及酶活性的变化[J]. *北方园艺*, 2011(16):181-182.
- [13] 薛蕙,刘国彬,张超,等. 黄土丘陵区营造果园后土壤质量效应分析[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(15):3154-3161.
- [14] 肖宏,于明革. 不同连作苹果园土壤酶活性及微生物状况的调查研究[J]. *山西果树*, 2006(4):5-6.
- [15] 李东坡,武志杰,陈利军. 有机农业施肥方式对土壤微生物活性的影响研究[J]. *中国农业生态研究*, 2005, 13(12):178-181.
- [16] 高文胜. 果树重茬病及其防治[J]. *中国果树*, 2002(3):51-52.
- [17] 苏少华,刘合满,董丽娜,等. 黄土丘陵区不同生长年限刺槐林土壤无机磷的变化规律[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(3):171-175.
- [18] 刘梦云,寇宝平,常庆瑞,等. 安塞小流域土壤养分分布特征研究[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2002, 30(6):21-24.
- [19] 陆景陵. *植物营养学(下)* [M]. 北京:中国农业出版社, 2003:251-252.