植物营养与肥料学报 2010,16(5):1170-1175
Plant Nutrition and Fertilizer Science

黄土塬面果园土壤养分特征及演变

张 义[1,2], 谢永生[2*], 郝明德[2], 冉 伟[2]
(1 中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土区农业生态院重点实验室,黑龙江哈尔滨 150081;
2 西北农林科技大学资源环境学院,中国科学院水利部水土保持研究所,陕西杨凌 712100)

摘要:为了探明黄土高原沟壑区长期种植果树对果园土壤肥力的影响,应用空间代时间的方法,对不同种植年限果园的土壤肥力状况进行多元统计分析。结果表明,果园土壤全磷、速效磷和速效钾含量丰富,有机质、全氮、碱解氮含量属中等偏下水平。不同果园中各养分变异较大的是土壤速效磷、速效钾,土壤有机质和全氮的变异系数最小。与当地农田土壤养分相比,果园土壤养分除有机质含量差异不显著,全氮含量显著低于农田外,其余养分含量均显著高于农田。总体上看,不同种植年限间果园土壤养分含量差异显著。果园土壤肥力综合指数与种植年限二者之间有显著的相关性,其变化趋势符合 $y = -0.0011x^2 + 0.0419x + 0.2078$ 模型。在黄土高原沟壑区种植果树能够提高土壤肥力,但当果树种植年限超过 19 年时果园土壤肥力开始衰退,果园生态系统质量下降。

关键词:果园;种植年限;土壤养分;多元统计分析;土壤肥力指数
中图分类号:S661;S158.3　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2010)05-1170-06

Characteristics and evolution of soil nutrients in apple orchards at the gully region of Loess Plateau

ZHANG Yi[1,2], XIE Yong-sheng[2*], HAO Ming-de[2], RAN Wei[2]
(*1 Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Harbin 150081, China;*
2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to know the soil nutrient condition and its evolution in apple orchards at the gully region of Loess Plateau, the soil characteristics and their temporal variations in apple orchards with different ages were studied systematically through the approach of substituting the temporal serial with spatial serial. The results show that contents of soil total phosphorus (TP), available phosphorus (AP) and available potassium (AK) are at their high levels, while contents of soil organic matter (OM), total nitrogen (TN) and available nitrogen (AN) are at their low levels. The variation coefficients of soil AP and AK are larger than those of the other soil nutrients in different orchards, and the variation coefficients of soil OM and TN are the lowest. Compared with the farmland ecosystem in the region, soil TN content is lower in the orchard ecosystem, while the other soil nutrients in the orchard are significantly higher than those in the farmland ecosystem. The contents of orchard soil nutrients are significantly different with the increase of land use years. A significant correlation is found between the soil fertility index (SFI) in apple orchards and the land use years, and the correlation could be simulated with: $y = -0.0011x^2 + 0.0419x + 0.2078$. In the apple orchards of the loess gully region, SFI could reach to its highest level after 19 year land using, and then decreased rapidly.

Key words: orchard; planting years; soil nutrients; multivariate statistical analysis; soil fertility index

收稿日期:2009-05-11　　**接受日期**:2009-08-21
基金项目:中国科学院农业项目(kscx2-yw-N-46-04);中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07);
国家科技支撑计划项目(2006BAD09B10);国家科技支撑计划项目(2006BAD15B01-03)资助。
作者简介:张义(1984—),男,河南郑州人,硕士研究生,主要从事土壤环境与果园生态系统调控研究。
Tel:029-87055853, E-mail:zhangyi.zy@msn.com。　　* 通讯作者 Tel:029-87012871, E-mail:ysxie@ms.iswc.ac.cn

我国西北部的黄土高原地区是优质苹果适生区,同时也是我国唯一符合优质苹果(*Malus Pumila*)生长七项气候指标要求的区域[1-3]。1980 年以来,该地区苹果种植面积大幅增加,已成为我国种植面积最大,产量最高的苹果产区。以渭北旱塬为代表的黄土高原苹果产业已成为促进地区经济发展,增加农民收入,改善区域生态环境的支柱产业[4-5],果园生态系统也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[6],通过研究果园土壤演变可以了解果树的长势和果园生态系统的健康状况。江泽普等[7]对广西红壤果园土壤肥力研究发现,柑桔、龙眼和芒果园表现出退化,而荔枝园由于施肥投入较多而使土壤肥力有一定进化。刘子龙等[8]对陕西苹果主产区丰产果园土壤养分状况进行了调查,得出陕西苹果园土壤养分含量较丰富,但离绿色果品产地土壤肥力标准还有一定差距。以上研究主要集中于果园土壤肥力现状的分析或对不同品种果园的土壤肥力状况进行对比,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鲜有报道。

植物种群在空间上分布的各个不同大小等级能够代表时间上的顺序发生的不同等级水平,即植物种群基面积的空间分布可以看作是种群以时间顺序发生的各个阶段具有的基面积水平,这就是用空间序列推断演替的时间序列(即空间代时间)的基本思路[9]。该方法被广泛用于研究植被恢复及生态效益评价等方面,能够在一定空间尺度内,通过选取不同时间尺度的植物群落来反映植物种群生长过程中生物与环境之间的相互作用。本研究利用该方法对黄土沟壑区由农田转变为果园不同年限的土壤养分资源进行调查,分析了土壤养分特征,并运用因子分析法模拟土壤肥力的演变轨迹,以期初步探明长期种植果树对果园生态系统土壤肥力的影响,并为进一步的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　试验区概况

试验区位于陕西省长武县,属黄土高原南部高塬沟壑区。平均海拔 1200 m,暖温带半湿润大陆性季风气候区。年均气温 9.1℃,无霜期 171 d,多年平均降水量 584 mm,≥10℃活动积温 3029℃,年日照时数为 2230 h,日照率 51%,年辐射总量为 4837 kJ/cm^2。土壤为轻壤 - 中壤质黑垆土,降水的入渗深度最大达 3 m,剖面平均 pH 为 8.3。根据樊军[10]等应用压力膜法实测的水分特征曲线得出的水分常数分别是:田间持水量 23%(3×10^4 Pa 时的含水率),初始凋萎湿度 12.7%(6×10^5 Pa),萎蔫系数 10.6%(1.5×10^6 Pa)。自 1980 年以来,黄土高原沟壑区农民将大量农田改为苹果园,使当地苹果种植面积迅速增加,肥料投入量大,远超过高产农田。

1.2　试验材料

研究的果园选择原则:1)选择黄土高塬沟壑区塬面果园,且果园土壤类型为中壤质黑垆土;2)各果园的营造和管理采用当地常规方法,管理措施相对一致。苹果园主要依靠天然降水,无灌溉条件。根据以上原则,所选择的有代表性的果园的基本情况见表 1。

1.3　研究方法

1.3.1 样品采集和测定　2006 年果实采收后进行土壤样品采集。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。

土壤有机质采用重铬酸钾外加热法(GB 8834-88)测定;土壤全氮采用半微量开氏法(GB7173-87)测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;全磷采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法(GB 9837-88)测定;速效磷采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提—钼锑抗比色法(GB12297-90)测定;速效钾采用 1 mol/L NH_4OAc 浸提—火焰光度法(GB7856-87) 测定。

1.3.2 隶属度值的计算　隶属度属于模糊评价函数里的概念,模糊综合评价是对受多种因素影响的事物做出全面评价的一种十分有效的多因素决策方法。其特点是评价结果不是绝对地肯定或否定,而是以一个模糊集合来表示。由于土壤肥力的变化具有连续性,故评价指标采用连续性质的隶属度函数[11]:

$$F(X_i)=(X_{ij}-X_{imin})/(X_{imax}-X_{imin}) \qquad (I)$$

式中:$F(X_i)$表示各个养分指标的隶属度值;X_{ij}表示各个养分指标的原始值;X_{imax}和X_{imin}分别表示第 i 项养分指标中的最大值和最小值。

试验数据采用 Microsoft Office Excel 2007 软件进行数据处理及作图;使用 SPSS16.0 软件进行相关分析、回归分析及因子分析;使用 DPS v3.01 专业版软件进行单因素方差分析(ANOVA)及 Duncan 法多重比较。

表1 研究果园的基本情况

Table 1 Characteristics of the selected orchards

编号 No.	树龄(a) Age of trees	树种 Species	面积(hm^2) Area	株行距(m) Planting spacing	棵数(No.) No. of trees	树势 Tree vigor	地形 Terrain	海拔(m) Altitude
Ⅰ	6	富士 Fuji	0.09	3.5×4	80	良好 Good	塬面 Yuanmian	1220
Ⅱ	8	嘎啦 Gala	0.17	2×4	200	良好 Good	塬面 Yuanmian	1220
Ⅲ	10	富士 Fuji	0.13	2×3	200	良好 Good	塬面 Yuanmian	1220
Ⅳ	12	富士 Fuji	0.20	2.5×4	240	一般 Common	塬面 Yuanmian	1220
Ⅴ	15	富士 Fuji	0.12	3×4	96	良好 Good	塬面 Yuanmian	1220
Ⅵ	17	秦冠 Qinguan	0.07	2×4	100	良好 Good	塬面 Yuanmian	1210
Ⅶ	20	秦冠 Qinguan	0.13	2×4	165	一般 Common	塬面 Yuanmian	1220
Ⅷ	26	秦冠 Qinguan	0.07	4×4	46	偏低 Poor	塬面 Yuanmian	1220
Ⅸ	37	国光 Guoguang	0.21	2×4	240	较差 Bad	塬面 Yuanmian	1210

2 结果与分析

2.1 果园生态系统土壤养分特征及相关分析

2.1.1 果园土壤养分特征 目前黄土沟壑区果园生态系统土壤有机质平均含量为13.51 g/kg,全氮0.92 g/kg,速效氮57.24 mg/kg,全磷1.04 g/kg,速效磷54.52 mg/kg,速效钾373.97 mg/kg(表2)。不同果园中各养分变异较大的是土壤速效磷、速效钾,影响这一性状的因素复杂,主要受气候及施肥等人为因素的影响;其次是全磷、速效氮;土壤有机质和全氮的变异系数最小,是最稳定的土壤养分性状。

依据第二次全国土壤普查土壤养分分级标准[12],研究区果园土壤有机质、全氮含量属于中等略偏下水平(四级),速效氮含量属于中下等水平(五级),全磷、速效磷和速效钾含量丰富(一级)。有机质含量偏低,是由于当地农民在施肥过程中对有机肥的施用总量不够,且施用有机肥较为费工,有机肥的经济效益差等多种因素造成的。速效氮含量较低可能是施入土壤中的氮肥经微生物作用迅速变成硝酸盐,除部分被果树吸收外,很大一部分通过淋失、反硝化、氨挥发等途径从土壤中损失,造成土壤速效氮含量偏低。全磷含量较高与黄土母质中含磷矿物较为丰富有关,速效磷、速效钾含量较高主要与施肥状况有关,说明当地农民已较为注重磷、钾等化肥的施用。

与当地农田土壤养分含量相比(表2),果园土壤养分资源除全氮含量稍有降低外,其他养分指标均有不同程度的提高。塬面农田改为苹果园后,随着施肥和土壤管理方式的变化导致土壤表层全氮含量降低,且达到差异显著水平($P<0.05$),这与杨雨林[13]等研究结果一致,其原因有待进一步研究。速效磷和速效钾含量增加明显,与当地农田土壤养分相比都达到了差异极显著水平($P<0.01$);果园土壤全磷、速效氮和有机质的平均含量分别为农田的1.17、1.05和1.01倍,除有机质含量外,全磷和速效磷差异均达到差异显著水平($P<0.05$)。这主要与果业生产中施肥量高有关。

2.1.2 果园生态系统土壤养分指标的相关性 果园土壤各养分指标之间相关分析结果(表3)表明,有机质、全氮以及速效氮两两之间具有极显著的相关性,全磷和速效磷之间具有极显著的相关性,全磷和速效钾之间具有显著的相关性,这与张庆费[14]、许明祥[15]等的研究结果一致。通过回归分析可以得到黄土沟壑区果园生态系统土壤有机质、全氮、速效氮;全磷-速效磷;全磷-全钾之间的回归模型:

$$Y_{有机质}=13.284\ X_{全氮}+1.2518,\ r=0.871^{**};$$

表 2　果园土壤养分统计特征

Table 2　Statistical characteristic of soil nutrients in the orchards

土壤 Soil	项目 Item	有机质 OM	全氮 TN	全磷 TP	速效氮 AN	速效磷 AP	速效钾 AK
		(g/kg)			(mg/kg)		
果园 Orchard	样本数 Num.	26	26	26	26	26	26
	最大值 Max	10.07	0.70	0.76	38.03	19.89	219.03
	最小值 Min	15.40	1.04	1.64	68.53	98.15	675.30
	平均值 Mean	13.51 a	0.92 b	1.04 a	57.24 a	54.52 aA	373.97 aA
	标准差 SD	1.05	0.07	0.21	5.75	22.68	118.68
	变异系数 CV(%)	7.76	7.44	19.83	10.05	41.60	31.74
农田 Field	平均值 Mean	13.35 a	1.05 a	0.89 b	54.37 b	19.20 bB	142.46 bB

注(Note):数值后不同大、小写字母表示差异达1%和5%显著水平 Values followed by different capital and lowercase letters mean significant at the1% and 5% level. OM—Organic matter; TN—Total nitrogen; TP—Total phosphorus; AN—Available nitrogen; AP— Available phosphorus; AK—Available potassium.

表 3　果园土壤养分指标的相关性分析(r,n=26)

Table 3　Correlations between soil nutrients in the orchards

项目 Item	OM	TN	AN	TP	AP	AK
OM	1					
TN	0.870**	1				
AN	0.760**	0.799**	1			
TP	0.103	0.267	0.192	1		
AP	0.080	0.098	0.258	0.723**	1	
AK	0.259	0.187	0.085	0.400*	0.306	1

注(Note):*, ** 分别表示相关性达到 5% 和 1% 显著水平 Correlation are significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. OM—有机质 Organic matter; TN—全氮 Total N; AN—速效氮 Available N; TP—全磷 Total P; AP—速效磷 Available P; AK—速效钾 Available K

$Y_{有机质} = 0.1385\ X_{速效氮} + 5.5828, r = 0.761^{**}$;

$Y_{全氮} = 0.0095\ X_{速效氮} + 0.3771, r = 0.799^{**}$;

$Y_{全磷} = 0.0063\ X_{速效磷} + 0.6771, r = 0.852^{**}$;

$Y_{速效钾} = 301.32 X_{全磷} + 28.362, r = 0.700^{*}$。

2.2　不同种植年限果园土壤养分变化

果园生态系统土壤养分是果树生长的物质基础,土壤养分状况的好坏直接影响果树生长速度及稳定性,而果树生长又反过来影响土壤的性质与养分状况,二者相互促进,互为动力。

不同种植年限果园土壤养分含量(表4)看出,果园土壤有机质和碱解氮含量随种植年限的增加而下降,二者均与果树种植年限呈显著负相关,$r_{OM} = -0.699^{*}$,$r_{AN} = -0.826^{**}$。种植 37 年的果园土壤有机质和碱解氮含量分别为 11.52 g/kg 和 46.48 mg/kg,比 6 年生果园土壤的含量分别减少 17.48% 和 20.97%,差异均达到显著水平($P<0.05$)。其余土壤养分指标与种植年限相关性不显著,但不同年限间土壤各养分含量差异达到显著水平。表 4 还可看出,土壤有机质、全氮和碱解氮含量随种植年限变化趋势较为一致;全磷、速效磷和速效钾含量随种植年限变化趋势较为一致。土壤各养分含量的演变趋势主要与果树的生长状况及施肥量有关。在盛果期(10～20 年生果树),果树根系活动旺盛促进土壤养分矿化,同时盛果期果园施肥量较大,因此,该时期果园土壤养分含量并没有因果树生长而降低。果树进入衰老期后,主要由于根系活力的降低,其促进土壤养分矿化的能力也随之降低,导致土壤养分含量降低。同时,由于衰老期果树生产力降低,该时期的施肥量大大减少,果园管理逐渐粗放,这也是该时期土壤各养分含量降低的原因之一。

2.3　不同种植年限果园生态系统土壤养分综合评价

对不同种植年限果园土壤各个养分指标反映的肥力状况不完全一致,难以客观评判,需对各个因子进行处理,得到一个统一的综合指标,然后进行比较分析,这对了解和预测果园生态系统的演化趋势具有重要的指导意义。本研究借助多元统计分析,计算不同种植年限果园的土壤肥力指数,对土壤养分状况进行综合评价[16]。

首先通过相对系数法将各养分量纲归一化,得到各个养分指标的隶属度值[11],根据(I)计算出的不同种植年限果园土壤各养分指标的隶属度值,见表5。

然后,根据因子分析中各个养分指标的公因子方差值确定其权重系数,最后根据加乘法则计算各土壤的肥力指数(Soil Fertility Index, SFI)[15]:

$$SFI = \sum_{i=1}^{6} K_i \times F(X_i)$$

式中:K_i 是各个养分指标的权重系数;$F(X_i)$ 是各个养分指标的隶属度值。

表 4 不同种植年限果园土壤养分含量

Table 4 Values of the soil nutrients in the orchards with different planting-lifes

种植年限(a) Year	有机质 OM (g/kg)	全氮 TN (g/kg)	速效氮 AN (mg/kg)	全磷 TP (g/kg)	速效磷 AP (mg/kg)	速效钾 AK (mg/kg)
6	13.96 a	0.94 a	58.81 a	0.83 C	25.60 E	254.12 b
8	13.92 a	0.96 a	57.82 a	0.79 C	23.84 E	253.34 b
10	13.16 ab	0.94 a	62.68 a	1.19 AB	89.32 A	325.40 ab
12	13.30 a	0.90 a	58.69 a	0.92 BC	38.39 DE	471.17 a
15	13.70 a	0.92 a	55.52 ab	1.01 BC	61.76 BC	486.85 a
17	13.81 a	0.88 ab	56.67 a	1.05 ABC	72.82 AB	412.97 ab
20	14.49 a	0.98 a	59.35 ab	1.23 AB	62.94 BC	399.26 ab
26	13.08 ab	0.95 a	55.52 a	1.34 A	65.13 BC	420.33 ab
37	11.52 b	0.78 b	46.48 b	0.99 BC	49.01 CD	326.53 ab

注(Note)：数值后不同小写字母表示差异达5%显著水平；数值后不同大写字母表示差异达1%显著水平 Values followed by different lowercase letters mean the difference is significant at the 5% level; Values followed by different capital letters mean the difference is significant at the 1% level. OM—Organic matter; TN—Total N; AN—Available N; TP—Total P; AP—Available P; AK—Available K

表 5 不同种植年限果园土壤主要养分指标隶属度值

Table 5 Values of the membership function of the soil nutrient index in the orchards with different planting-lifes

序号 No.	树龄(a) Age of tree	有机质 OM	全氮 TN	全磷 TP	速效氮 AN	速效磷 AP	速效钾 AK
Ⅰ	6	1.00	0.79	0.06	0.76	0.03	0.00
Ⅱ	8	0.98	0.92	0.00	0.70	0.00	0.00
Ⅲ	10	0.67	0.78	0.73	1.00	1.00	0.31
Ⅳ	12	0.73	0.61	0.23	0.75	0.22	0.93
Ⅴ	15	0.89	0.69	0.40	0.56	0.58	1.00
Ⅵ	17	0.94	0.49	0.48	0.63	0.75	0.68
Ⅶ	20	1.22	1.00	0.79	0.79	0.60	0.62
Ⅷ	26	0.64	0.85	1.00	0.56	0.63	0.72
Ⅸ	37	0.00	0.00	0.35	0.00	0.38	0.31

注(Note)：OM—Organic matter; TN—Total nitrogen; TP—Total phosphorus; AN—Available nitrogen; AP— Available phosphorus; AK—Available potassium.

计算结果表明，6、8、10、12、15、17、20、26 和 37 年生果园的土壤肥力指数(SFI)分别为：0.4343、0.4314、0.6503、0.4753、0.5530、0.5587、0.6691、0.6101 和 0.2791。

由不同种植年限果园土壤肥力指数动态(图 1)看出，随果树种植年限的增加，果园土壤肥力指数呈抛物线趋势变化。农田改为果园后，凋落物积累量增大，促进了土壤腐殖物质的积累；同时，果农对果树的施肥量普遍高于农田施肥量，又由于当地土壤含水量较低，土壤养分移动较为困难，这些因素共同促进了土壤养分的聚积。但当果树进入衰老期以后，主要由于果树与土壤养分之间的相互协调能力减弱，同时又由于人为施肥量大幅度减少，导致果园土壤肥力指数急速下降。果园土壤肥力指数与果树种植年限二者之间呈显著的相关性($r = 0.465^*$, $n = 24$)，可用二次函数拟合二者关系。

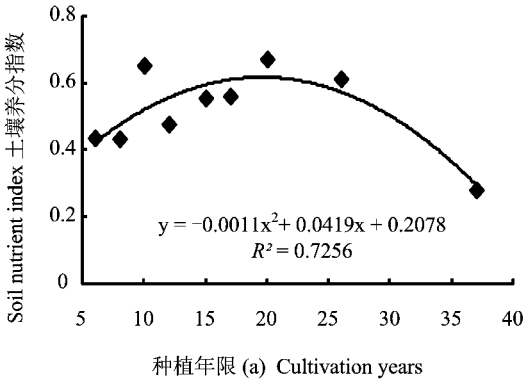

图 1 不同种植年限果园土壤养分指数变化

Fig. 1 The change of soil nutrient index in orchard of different cultivation years

由以上变化过程得出，盛果期果树对提高当地土壤肥力具有一定的积极作用。因此，如何通过对果园生态系统进行调控，以改善果园生态系统质量，

延缓果树衰老将是进一步深入研究的问题。

3　结论

本研究利用空间代时间的方法对不同种植年限果园生态系统土壤养分特征进行了分析。结果看出,在黄土高原高塬沟壑区种植果树能够提高土壤肥力。随着果树种植年限的增长,果园土壤肥力不断提高,但当果树种植年限超过 19 年时,果园土壤各养分含量开始急剧减少,果园生态系统质量下降。说明苹果树在黄土高原沟壑区对土壤肥力的进化效应能维持 19 年左右,之后随着果树的衰老,其对土壤肥力的进化效应消失,退化效应开始显现。但是,若能借助生态系统的各种调控措施,延缓果树衰老,延长果树盛果期,将对改善果园土壤肥力,提高果园生态系统质量具有积极意义,而有关果园生态系统调控方面的问题有待进一步探索。

参 考 文 献:

[1] 白志礼,穆养民, 赵政阳. 陕西苹果产业发展的新思考与新探索[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(4): 172 -175.
Bai Z L, Mu Y M, Zhao Z Y. Consideration on development of apple industry in Shaanxi Province [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2003, 21(4): 172 -175.

[2] 李会科,郑秋玲,赵政阳,等. 黄土高原果园种植牧草根系特征的研究[J]. 草业学报,2008,17(2): 92 -96.
Li H K, Zheng Q L, Zhao Z Y *et al*. Study on the root system distribution characteristics of several herbage species growing in apple orchard in Loess Plateau [J]. Acta Pratacul. Sin., 2008, 17(2): 92 -96.

[3] 吴发启,刘海斌,周正立. 农果复合系统营养物质的盈亏平衡特征[J]. 应用生态学报,2006,17(3): 413 -416.
Wu F Q, Liu H B, Zhou Z L. Profit and loss of nutrients in crop-fruit ecosystems [J]. Chinese J. Appl. Ecol., 2006, 17(3): 413 -416.

[4] Wu F Q, Liu H B, Sun B S *et al*. Net primary production and nutrient cycling in an apple orchard-annual crop system in the Loess Plateau, China: A comparison of Qinguan apple, Fuji apple, corn and millet production subsystems [J]. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 2008, 81: 95 -105.

[5] 吴发启,周正立,刘海斌. 黄土高原中南部农果复合型生态农业生产力特征[J]. 应用生态学报,2005,16(2): 262 -266.
Wu F Q, Zhou Z L, Liu H B. Productivity of crop-fruit ecological agriculture in middle-south Loess Plateau [J]. Chinese J. Appl. Ecol., 2005, 16(2): 262 -266.

[6] 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.
Jiao J Y, Jiao F, Wen Z M. Soil water and nutrients of vegetation communities under different restoration types on the hilly-gullied Loess Plateau [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(5): 667 -674.

[7] 江泽普,韦广泼,蒙炎成,等. 广西红壤果园土壤肥力退化研究[J]. 土壤,2003, 35 (6): 510 -517.
Jiang Z P, Wei G P, Meng Y C *et al*. Fertility degradation of orchard soils in red earth region of Guangxi[J]. Soils, 2003, 35 (6): 510 -517.

[8] 刘子龙,张广军,赵政阳,梁俊. 陕西苹果主产区丰产果园土壤养分状况的调查[J]. 西北林学院学报,2006,21(2): 50 -53.
Liu Z L, Zhang G J, Zhao Z Y, Liang J. Survey on the state of soil nutrient of apple orchards in the major production area of Shaanxi[J]. J. Northwest For. Univ., 2006, 21(2): 50 -53.

[9] 林存炎. 沿海马尾松相思次生林优势种群生态学研究[D]. 福州: 福建农林大学硕士学位论文,2008.
Lin C Y. Studies on the population ecology of dominant population in secondary Pinus Massoniana and Acacia Confusa forests in coastal area [D]. Fuzhou: MS thesis of Fujian Agriculture and Forestry University, 2008.

[10] 樊军,郝明德,邵明安. 黄土旱塬农业生态系统土壤深层水分消耗与水分生态环境效应[J]. 农业工程学报,2004,20(1): 61 -64.
Fan J, Hao M D, Shao M A. Water consumption of deep soil layers and eco-environmental effects of agricultural ecosystem in the Loess Plateau [J]. Transact. CSAE, 2004, 20(1): 61 -64.

[11] 张庆费,宋永昌,由文辉. 浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系[J]. 生态学报,1999,19(2): 174 -178.
Zhang Q F, Song Y C, You W H. Relationship between plant community secondary succession and soil fertility in Tiantong, Zhejiang Province [J]. Acta Ecol. Sin., 1999, 19(2): 174 -178.

[12] 北辰农业. 土壤养分分级标准[S/OL]. http://www.bcny110.net/ny110/zjxt/htdocs/ym/ fj1.htm.
Beichen110. Classification standards of soil nutrient [S/OL]. http://www.bcny110.net/ny110/zjxt/htdocs/ym/ fj1.htm.

[13] 杨雨林,郭胜利,马玉红. 黄土高原沟壑区不同年限苹果园土壤碳、氮、磷变化特征[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(4): 685 -690.
Yang Y L, Guo S L, Ma Y H. Changes of orchard soil carbon, nitrogen and phosphorus in gully region of Loess Plateau [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(4): 685 -690.

[14] 张庆费,由文辉,宋永昌. 浙江天童植物群落演替对土壤化学性质的影响[J]. 应用生态学报,1999,10 (1): 19 -22.
Zhang Q F, You W H, Song Y C. Effect of plant community succession on soil chemical properties in Tiantong, Zhejiang Province [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 1999, 10 (1): 19 -22.

[15] 许明祥,刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(1): 40 -46.
Xu M X, Liu G B. The characteristics and evolution of soil nutrient in artificial black locust (Robinia pseudoacacia) forest land in the hilly Loess Plateau [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10 (1): 40 -46.

[16] 李新举,胡振琪,刘宁,等. 黄河三角洲土壤肥力质量的时空演变—以垦利县为例[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(6): 778 -783.
Li X J, Hu Z Q, Liu N *et al*. Spatial-temporal evolution of soil fertility in Yellow River Delta-Case study in Kenli County [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(6): 778 -783.