

黄土高原坡地苹果园土壤质量演变研究 ——以陕西省富县为例

陈磊^{1,2}, 李占斌^{1,2}, 李鹏¹, 郝明德²

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用空间代时间的方法, 对不同种植年限苹果园土壤质量演变进行了研究。结果表明, 随着种植年限增加, 果园土壤 pH 值有降低趋势; 土壤有机碳含量呈缓慢降低趋势。土壤氮磷含量富集; 真菌和放线菌数量都表现为先增大后减少的变化规律; 但细菌占微生物总量比例呈下降趋势, 真菌、放线菌所占比例呈增加的趋势。据主成分分析的结果将不同年限果园土壤质量综合分为: 质量最好(9 龄果园), 良好(5 龄和 14 龄), 较差(17 和 23 龄) 和差(1 龄) 共 4 个等级。农田改建果园后, 5 a 左右进入盛果期, 土壤质量状况良好; 到第 9 a 时, 土壤质量状况最好, 土壤养分和酶活性最高; 14 a 左右进入衰退期; 至 17~23 a 时土壤质量下降明显, 果树退化严重。

关键词: 土壤养分; 酶活性; 微生物; 土壤质量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0086-05

中图分类号: S151, S158

Evolution of Orchard Soil Quality on Sloping Land in the Loess Plateau — A Case Study of Fuxian County, Shaanxi Province

CHEN Lei^{1,2}, LI Zhang-bin^{1,2}, LI Peng¹, HAO Ming-de^{1,2}

(1. Xi'an University of Technology, Institute of Water Resources and

Hydro-electric Engineering, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The evolution of soil quality in orchard with different growing years was studied. Soil studied was alkali at the beginning, but finally was seriously acidified. With growing years prolonging, organic matter showed a declining trend, but nitrogen and phosphorus showed an enriching trend. A decrease-increase trend was presented for both bacteria and fungi, while the actinomycetes showed a linearity increase. The percentage of bacteria over microbe number increased, but fungi and actinomycetes decreased. Soil quality was classified based on principal component analysis. The 9 year orchard had the most excellent quality, the 5 year and 9 year were in good-quality, the 17 year and 23 year were poor, and the 1 year was the worst. After apples were planted in cultivated land, soil quality in orchard became good in full fruit period, soil nutrients and enzyme activity were the highest in the 9 year orchard. The apple trees were in a decline stage after 14 years and a severe degeneration stage after 17~23 years, with soil quality declining as well.

Keywords: soil nutrient; enzyme activity; microbe; soil quality

黄土高原地区是优质苹果基地, 坡地占耕地的 70%, 种植果树作为生物措施对坡地治理的水土保持作用显著, 是治理该区水土流失、改善生态环境与保持经济持续发展的重要途径之一。根据陕西省国土资源厅统计年鉴, 1992 年以来苹果园面积大幅度上升, 1992 年约为 $1.85 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 到 2004 年已经达到 $6.81 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ^[1]。同时由于大量施用化肥, 忽视钾

肥和有机肥等不合理施肥方式造成的生态和 environmental 问题也日益受到关注^[2-3]。目前, 国内关于作物种植年限与土壤肥力关系研究较多, 主要集中在黄瓜、大豆、棉花、烟草等作物的连作障碍方面研究^[4-6], 针对多年生果树进行研究较少^[7-8], 并且主要集中在果园干燥化、硝酸盐累积和重金属污染等方面, 缺少对土壤理化性状和生物学的综合评价^[9-11]。土壤养分含量和

收稿日期: 2010-04-15

修回日期: 2010-06-13

资助项目: 国家重点基础研究发展(973)计划项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控机制研究”(2007CB407206); 国家科技支撑项目(2006BAD09B02)

作者简介: 陈磊(1982—), 男(汉族), 陕西省三原县人, 博士研究生, 主要从事水土生态环境演变研究。E-mail: chenlei061@163.com.

通信作者: 李占斌(1962—), 男(汉族), 河南省镇平县人, 博士, 教授, 博导, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: zbl@mail.xaut.edu.cn.

酶活性以及微生物数量密切相关,是反映土壤质量变化的最敏感指标之一,利用其指示土壤质量的研究日益增加^[12-13],土壤酶活性可以反映土壤肥力,并在一定程度上反映土壤微生物活性。土壤酶活性因自身化学特性、土壤类型和土壤环境因子的差异有变化,土壤酶具有一定的稳定性,土壤酶活性与微生物总量不完全相关^[14]。因此对土壤质量的评价应包括土壤养分、酶活性和微生物这3方面指标进行综合评价。

针对黄土高原丘陵沟壑区目前果园高投入与高产经营方式下,对不同种植年限果园土壤养分、土壤酶活性和微生物数量演替规律进行研究,旨在对土壤质量进行了综合评价分析,为该区果业的可持续发展提供科学的依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

本文研究区为陕西省富县(109°24′25.8″E, 35°43′52.5″N),光照充足,降雨适中,昼夜温差大,果园面积 $2.18 \times 10^4 \text{ hm}^2$,是国内外公认的世界苹果优生区。农民收入中果业收入占60%左右。该区属典型的黄土高原丘陵沟壑区,暖温带半干旱季风气候。海拔100~1300 m,最高温度38.7℃,最低温度零下25.2℃,年均气温9.1℃,年日照时数在2468.8 h,无霜期150 d,≥0℃的积温3733.5℃,≥10℃的积温3160.2℃;年均降水量561 mm,年际变化大且年内分配不均,其中60%以上集中于7—9这3个月,土壤类型为黄土母质上发育来的黄绵土(钙质润锥形土)为主,区内沟壑纵横,梁峁起伏,地面割裂度大,地形复杂,土地类型多样,以坡地为主。

1.2 材料与方法

2007年7月,在试验地选择7个不同种植年限

果园(1龄,3龄,5龄,9龄,14龄,17龄,23龄)按S型布点取样,取样部位为树冠投影外缘。采样时先去除0—5 cm表层,后采集5—20 cm土样混合。土壤样品放入灭过菌的塑料袋中,带回实验室,并立即去除植物残体、根系和可见的土壤动物(如蚯蚓)等,然后分成两份,1份鲜样过2 mm筛后,放在低温下(2℃~4℃)保存备用,测定微生物数量^[15]。分析方法采用稀释平板法,细菌培养基为牛肉膏蛋白胨培养基,真菌为马铃薯葡萄糖琼脂培养基,放线菌为改良高氏1号琼脂培养基,每次测定重复3次;另1份土样风干,过1和0.25 mm筛后分别测定土壤基本理化性质^[16]。结果以风干基计。数据分析采用DPS软件分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限苹果园的土壤理化性状演变

1龄果园,前茬作物为糜子,土壤养分含量低,有机质仅为10.74 g/kg,速效氮、磷、钾含量仅为27.17, 13.21和137.07 mg/kg。耕地改建为苹果园后逐年长期大量施入化肥,使土壤养分状况得到显著改善(表1)。1龄果园土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾含量最低。随种植年限的增加,土壤养分含量表现先增加后减少的变化规律;与1龄果园相比,3龄果园有机质和全磷变化不大,而全氮增加了21.1%,速效氮、磷、钾增加显著,分别增加了110%,47.6%和87.1%;5~14龄果园全量养分也显著增加,以9龄时果园肥力状况最佳;果园种植14 a左右进入衰退期,土壤肥力下降。果园表层土壤有机碳、氮含量呈缓慢降低趋势,但土壤全磷和速效磷含量富集。土壤pH值范围分别在8.43~8.73之间,呈弱碱性,果园土壤pH值有随着种植年限增加而降低的趋势。

表1 不同种植年限苹果园土壤养分变化

种植年限/a	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全 N/ (g · kg ⁻¹)	全 P/ (g · kg ⁻¹)	碱解 N/ (mg · kg ⁻¹)	速效 P/ (mg · kg ⁻¹)	速效 K/ (mg · kg ⁻¹)	pH 值
1	10.74 ^a	0.574 ^a	0.71 ^a	27.17 ^a	13.2 ^a	137.07 ^a	8.73 ^a
3	10.82 ^a	0.695 ^b	0.71 ^a	57.07 ^b	19.48 ^b	256.45 ^b	8.71 ^{ab}
5	12.49 ^b	0.795 ^c	0.79 ^{ab}	63.49 ^{abc}	20.53 ^b	284.94 ^b	8.56 ^b
9	15.07 ^d	0.986 ^d	0.92 ^c	113.49 ^d	32.09 ^c	351.62 ^c	8.43 ^b
14	12.65 ^b	0.756 ^{bc}	0.80 ^b	91.39 ^c	21.06 ^b	223.39 ^b	8.49 ^b
17	13.36 ^{bc}	0.700 ^{ab}	0.85 ^b	50.56 ^{bc}	23.40 ^b	245.83 ^b	8.56 ^b
23	11.12 ^{ab}	0.759 ^{bc}	0.89 ^b	50.85 ^{bc}	22.89 ^{bc}	253.79 ^b	8.58 ^b

注:不同字母表示差异显著($P < 0.05$, 邓肯多重范围检验)。下同。

2.2 不同种植年限苹果园的土壤微生物区系演变

土壤微生物量是指土壤中体积小于 5.0×10^3

μm^3 具有生命活性特征的有机物质的总量,一方面反映土壤中物质和能量代谢的旺盛程度,一方面也反映

土壤的肥力状况。对不同生长年限果园微生物区系分析(表 2)得出,不同种植年限果园土壤微生物区系组成中以细菌为主,占微生物总量的 94.8%~97.9%;其次为放线菌,占 1.8%~4.1%;真菌数量最少,约占 0.002%。随着种植年限的增加,果园土壤细菌和真菌数量先增大后减少,细菌占微生物总量比例呈下降趋势,真菌呈上升趋势。放线菌表现出随种植

年限增长先减小后趋于稳定变化规律,但其占微生物总量比例有多增加。建果园开始 10 a 内,土壤微生物数量均呈现增加趋势,10 龄果园的细菌、放线菌和真菌含量分别比 1 龄果园增加了 100.0%,75.0%和 319.6%;14 龄开始下降,至 23 龄时细菌数量比 1 龄果园下降了 42.4%,而放线菌和真菌增加了 31.2%和 74.4%。

表 2 人工苹果园不同恢复年限微生物数量

种植年限/a	细菌		放线菌		真菌		微生物总数 10 ⁸
	数量 10 ⁸	比例/%	数量 10 ⁷	比例/%	数量 10 ⁴	比例/%	
1	0.75 ^b	97.8	0.16 ^a	2.1	1.68 ^a	0.002	0.77 ^c
3	0.70 ^b	97.2	0.20 ^b	2.8	3.79 ^c	0.005	0.72 ^c
5	0.78 ^b	97.1	0.28 ^{bc}	2.9	4.26 ^c	0.005	0.80 ^{ab}
9	1.50 ^c	98.2	0.23 ^c	1.8	7.05 ^d	0.005	1.53 ^a
14	0.87 ^{bc}	96.8	0.29 ^c	3.2	5.53 ^c	0.006	0.90 ^b
17	0.35 ^a	94.8	0.19 ^{ab}	5.1	4.12 ^c	0.011	0.37 ^{ab}
23	0.44 ^a	95.4	0.21 ^b	4.6	2.93 ^b	0.006	0.46 ^d

2.3 不同种植年限苹果园的土壤酶活性演变

土壤酶直接参与了土壤营养元素的有效化过程,在一定程度上反映了土壤养分转化的动态情况。对不同年限果园土壤酶活性进行方差分析(表 3)表明,土壤酶活性随种植年限的增加也表现增加的趋势。耕地改建植苹果园后土壤酶活性显著增强。建园初期脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和转化酶活性仅为 0.77,0.43,1.42 和 1.12 mg/g。与 1 龄果园土壤酶活性比较,3 龄果园增加了 60.5%~80.1%;9 龄果园各种酶活性最高,分别增加了 268.8%,167.4%,168.3%和 168.8%;14 a 后开始下降,但显著高于 1 龄果园;17 龄果园各种酶活性均达到最低值,23 a 后酶活性又有所增高,其原因有待于进一步研究。

表 3 不同恢复年限土壤酶活性

种植年限/龄	脲酶 [mg · g ⁻¹ · (24 h) ⁻¹]	磷酸酶 [mg · g ⁻¹ · (24 h) ⁻¹]	蔗糖酶 [mg · g ⁻¹ · (24 h) ⁻¹]	过氧化氢酶 [mg · g ⁻¹ · (20 min) ⁻¹]
1	0.77	0.43	1.42	1.12
3	1.41	0.69	2.38	1.88
5	1.53	0.75	2.58	2.04
9	2.84	1.15	3.81	3.01
14	1.09	0.73	2.75	2.17
17	0.92	0.62	1.92	1.72
23	2.05	0.82	3.02	2.39

2.4 不同树龄果园土壤肥力主成分分析

根据主成分分析法原理^[17],用 SPSS 软件分别对

13 个评价指标有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷、速效钾、细菌、真菌、放线菌、脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、转化酶的相关系数矩阵和特征值进行计算,以确定评价的主因子数。根据第一、二个主成分特征值方差累计贡献率分别为 32.558%和 28.470%,其累计贡献率达到了 88.041%。则认为第一、二主分量基本包含了以上 15 个指标的所有信息,可以表征不同年限果园的土壤质量变化。根据主成分分析:有机质、全氮、速效钾、磷酸酶活性、蔗糖酶活性和转化酶活性与第一主成分的密切相关,全磷、速效磷、细菌、真菌、放线菌和脲酶活性与第二主成分密切相关。

分析结果表明(图 1),9 龄果园土壤状况最好;其次为 5 龄、14 龄的种植果园土壤质量良好;苹果种植 3,17 和 23 a 的土壤质量较差;种植 1 a 果园的土壤质量最差。说明随着苹果种植年限的增加,土壤质量状况呈现先增加后减少的抛物线状。这与根据综合评价函数,给予各种种植系统土壤状况的定量化描述的结果相似(表 4)。

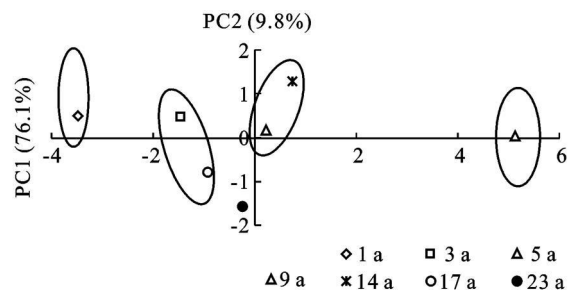


图 1 不同年限果园主成分分析图

表4 不同年限果园的土壤质量综合评判结果

项目	1龄	3龄	5龄	9龄	14龄	17龄	23龄
第一因子得分(PC1)	-4.861	-1.577	0.061	6.627	0.760	-1.363	0.352
第二因子得分(PC2)	0.496	0.223	0.300	0.221	1.591	-0.621	-2.210
综合得分	-4.427	-1.310	0.270	5.941	0.961	-1.031	-0.405
排名	7	5	3	1	2	4	6
土壤肥力状况	差	较差	良	好	良	较差	较差

3 结论

果园土壤 pH 呈弱碱性, 呈现随着种植年限增加而降低的趋势; 土壤有机碳、氮含量呈缓慢降低趋势。与 1 龄果园相比, 种植 3~23 a 的果园土壤有机质增加了 0.7%~40.3%, 土壤全氮、碱解氮含量增加了 21.1%~71.8%, 土壤全磷和速效磷增加了 86.1%~317.7%。土壤微生物区系组成中以细菌为主, 占微生物总量的 94.8%~97.9%, 放线菌占 1.8%~4.1%; 真菌约占 0.002%, 且都表现出随种植年限增长而减小的变化规律, 但细菌和放线菌占微生物总量的比例呈增加的趋势。果园土壤微生物的主要特征是“细菌型”向“真菌型”土壤转变, 真菌型是地力衰竭的标志, 细菌型则是高土壤肥力的生物指标^[18]。常显波等^[19] 2007 年在山东省烟台市也取得类似的结果。9 龄苹果园各种酶含量最高, 14 a 后开始下降, 17 龄果园各种酶活性均达到最低值, 23 a 后又有所增高。陈伟等^[20] 对 9 个不同产量的果园分析表明, 苹果产量和土壤肥力状况相关, 提出用土壤细菌、微生物多样性、蛋白酶和磷酸酶活性可以作为评价果园土壤肥力的标准。对不同年限果园土壤质量进行综合评价, 9 龄果园土壤状况最好; 其次为 5 和 14 a 的种植果园土壤质量良好; 苹果种植 3, 17 和 23 a 的土壤质量较差; 种植 1 a 果园的土壤质量最差。果园土壤肥力随年限的增加, 呈现抛物线状。

农田改建果园后, 随着苹果种植年限的增加, 约 5 a 进入盛果期, 土壤质量状况改善, 到第 9 a 时, 土壤质量状况最好, 土壤养分和酶活性最高; 14 a 左右进入衰退期, 土壤肥力开始下降; 在 17 和 23 a 时, 果树退化严重, 产量下降, 同时茎叶等养分归还土壤, 使肥力略有增加。据陕西省土壤普查, 黄土丘陵区土壤严重缺氮、严重缺磷, 钾相对丰富, 发展果业对提高该区土壤肥力的有重要的意义^[20]。李会民等^[21] 对咸阳地区苹果园土壤养分状况进行调查表明, 土壤有机质、氮素平均含量虽略有提高, 但仍显不足, 80% 土样有效磷含量达到富磷水平, 缺钾面积增大。刘双安等^[22] 对洛川县苹果园土壤养进行调查, 指出速效氮和速效钾含量普遍下降, 速效磷含量明显上升。本研

究中土壤速效钾含量增加随年限有所增加, 比 1 龄果园增加了 62.9%~107.9%, 可能与近年来果农重视果树施钾对苹果产量和品质的影响, 而施用有机肥和钾肥量有所增加造成的。但同时指出长期施用化学肥料, 果树当季难以利用, 导致耕层土壤氮磷含量增加显著, 造成新的环境问题; 土壤的氮素在硝化细菌的作用下转化为硝态氮, 且随着雨水淋溶到深层土壤, 土壤硝酸盐累积情况不容忽视。樊军等^[23] 研究表明, 果园 80—160 cm 土壤累积了大量的硝态氮, 最高含量达 201.9 mg/kg。闫亚丹^[24] 等在坡地苹果园的研究表明, 土壤有机质含量相当于梯田的 5 倍; 硝酸盐在 180—200 cm 层最高累积量达 249.61 kg/hm²。据英国洛桑试验站的 Hoosfield 试验结果^[25], 长期连续超量施用有机肥的生态风险依然存在。说明了果园施肥应重视平衡施肥、控制氮磷肥、增施钾肥和有机肥、果园生草、合理灌水等措施, 进行综合管理。

[参 考 文 献]

- [1] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴(2004年) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005: 263-271.
- [2] Anonym. Fertilized to death [J]. *Nature*, 2003, 425: 894-895.
- [3] 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]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2008, 81: 95-105.
- [4] 赵萌, 李敏, 王淼焱. 西瓜连作对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响 [J]. *微生物学通报*, 2008, 35(8): 1251-1254.
- [5] 吴艳飞, 高丽红, 李红岭, 等. 连作温室夏季不同利用模式对黄瓜产量及土壤环境影响 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(12): 2551-2556.
- [6] 孙秀山, 封海胜, 万书波. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用 [J]. *作物学报*, 2001, 27(5): 816-820.
- [7] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 等. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(2): 725-733.

- [8] 陈建国, 张杨珠, 曾希柏, 等. 长期定位施肥对湖南水稻土有效态微量养分的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(5): 591-595.
- [9] 李丽霞, 郝明德, 薛晓辉, 等. 黄土高原沟壑区苹果园土壤重金属含量特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 65-69.
- [10] 樊军, 邵明安, 郝明德, 等. 渭北旱塬苹果园土壤深层干燥化与硝酸盐累积[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1213-1216.
- [11] 梁俊, 赵政阳, 樊明涛. 陕西渭北苹果园土壤中汞、镉污染与分布特征研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(30): 209-213.
- [12] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 14-15.
- [13] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 等. 长期施肥对东北黑土酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 551-556.
- [14] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [15] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社出版, 1986: 226-228.
- [16] 冯利华. 环境质量的主成分分析[J]. 数学实践与认识, 2003, 33(8): 32-35.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 263-275.
- [18] 陈伟, 姜中武, 胡艳丽, 等. 苹果园土壤微生物生态特征研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 169-171.
- [19] 常显波, 刘举, 韩京龙, 等. 不同种植年限苹果园土壤理化性质及微生物数量[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(5): 1423-1426.
- [20] 陕西土壤普查办公室. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 322-474.
- [21] 李会民, 程雪绒. 咸阳苹果园土壤养分状况调查及对策[J]. 北方果树, 2002(6): 20-22.
- [22] 刘双安, 赵繁斌, 刘竹梅, 等. 洛川县苹果园土壤养分状况调查及对策建议[J]. 陕西农业科学, 2004(48): 48-50.
- [23] 樊军, 邵民安, 郝明德, 等. 黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 8-12.
- [24] 闫亚丹, 徐福利, 邹诚, 等. 黄土高原坡地苹果园土壤肥力及矿质氮累积分析[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 31-36.
- [25] Riley W J, Ortiz-Monasterio I, Matson P A. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico[J]. Nutr. Cycling in Agro ecosystems, 2001, 61: 223-236.

(上接第 68 页)

- [3] 曹永翔, 张克斌, 王海星, 等. 不同封育年限对盐池县植被多样性及生物量的影响研究[J]. 林业调查规划, 2009, 34(4): 8-11.
- [4] 杨尚功, 李向义, 雷加强, 等. 昆仑山前山带植物群落调查及相似性初步研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(4): 809-817.
- [5] 刘金根, 薛建辉. 坡向对香根草护坡地植物群落特征的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 384-388.
- [6] 李禄军, 蒋志荣, 李正平, 等. 3 树种抗旱性的综合评价及其抗旱指标的选取[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 256-254.
- [7] 彭军, 李旭光, 付永川, 等. 重庆四面山常绿阔叶林种子库与生态因子灰色关联度分析[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1998, 23(6): 700-705.
- [8] 马姜明, 李昆. 元谋干热河谷人工林的土壤养分效应及其评价[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 467-471.
- [9] 闫俊华, 周国逸, 申卫军. 用灰色关联法分析森林生态系统植被状况对地表径流系数的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(3): 197-200.
- [10] 张新全, 李向林, 万里强, 等. 应用灰色关联度综合评价 17 个不同秋眠级苜蓿的生产性能[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 67-72.
- [11] 杨成生, 王芳, 张亚军, 等. 杨树苗期生长特性的灰色关联分析[J]. 甘肃林业科技, 2004, 29(1): 7-11.
- [12] 王瑄, 李占斌, 鲁克新, 等. 坡面水蚀动力因子与土壤剥蚀率灰色关联分析[J]. 水利学报, 2005, 36(5): 1-8.
- [13] 费永俊, 王燕, 袁军. 南方红豆杉扦插苗木生长量及与气象因子的灰色关联[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26(3): 372-376.
- [14] 薛建辉, 徐友新, 张正跃, 等. 林农复合系统的间作物产量与环境因子关联分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, 25(5): 17-20.
- [15] 张金萍, 张静, 孙素艳. 灰色关联分析在绿洲生态稳定性评价中的应用[J]. 资源科学, 2006, 28(4): 195-200.
- [16] 郝云庆, 何丙辉, 李旭光. 巫溪县红池坝不同植被恢复阶段土壤养分评价[J]. 西南农业大学学报, 2006, 28(1): 149-153.
- [17] 胡传伟, 孙冰, 陈勇, 等. 深圳次生林群落结构与植物多样性[J]. 南京林业大学学报, 2009, 33(5): 21-25.