

黄土丘陵沟壑区不同土地利用模式对土壤酶活性和土壤微生物影响研究

万超¹,徐福利^{2*},邹诚²,王胜男¹

(1. 西北农林科技大学资源与环境工程学院,陕西杨凌 712100;2. 中国科学院水土保持研究所,陕西杨凌 712100)

摘要:对黄土丘陵沟壑地区不同土地利用模式土壤酶活性和土壤微生物进行了测定,研究了土壤酶活性、微生物与土壤主要肥力指标对黄土丘陵沟壑地区不同土地利用模式下土壤肥力质量的关系。结果表明,不同土地利用模式0~20 cm土壤酶活性之间差异明显,而20~40 cm不同土地利用模式之间土壤酶活性差异较小,研究区域不同土地利用模式土壤微生物数量差距较大。本研究利用因子分析法来分析不同土地利用方式土壤酶活性、土壤微生物数量和土壤主要肥力指标,并根据各因子之间综合得分得出:日光温室的土壤肥力效益最好,然后依次为农田、拱棚、经济作物、果园。

关键词:黄土丘陵沟壑区;土壤酶活性;土壤微生物

中图分类号:S154.2;S154.3

文献标识码:A

文章编号:1004-1389(2009)02-0158-05

The Analysis of Soil Enzymes Activity and Soil Microorganism under Different Land Uses Patterns in the Loess Hilly Gully Region

WAN Chao, XU Fuli^{2*}, ZOU Cheng² and WANG Shengnan¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling Shanxi 712100, China)

Abstract: According to determination of soil enzymes activity and soil microorganism under different land use in loess hilly gully region, the relationships of soil enzymes activity, soil microorganism and soil fertility under different land use in the loess hilly gully region were discussed in detail. The results showed that the 0 - 20cm soil enzymes activity varies significantly and the 20 - 40 soil enzymes activity had little differences under different land use patterns, the soil microorganism quantity difference among different land use patterns were significant. Using factor analysis to analysis the soil enzymes activity, soil microorganism and soil main fertility index, according to the comprehensive factor scores: The soil fertility of solar greenhouse were best, and the soil fertility from high to low is crop-land > arch shed > economic crops > orchard.

Key words: Loess hilly region; Soil enzymes activity; Soil microorganism; Factor analysis

我国对不同土地利用模式土壤生物学特性与土壤质量之间的关系研究起步较晚。所以,近年来将土壤微生物群落结构组成、土壤微生物量、土壤酶活性等作为土壤健康的生态指标来评价退化生态系统的恢复进程和指导生态系统管理等已逐渐成为研究热点^[1]。土壤酶是土壤的重要组成成分

之一,土壤中一切复杂的生物化学过程都是在酶的参与下进行的。在不同土壤类型条件下土壤酶活性与土壤质量之间的关系还没有明确,但土壤中许多酶与微生物呼吸微生物种类及数量、有机质含量之间存在着显著相关关系^[2-7]。土壤微生物作为土壤中活的生物体,对环境变化比较敏感,能够较早

收稿日期:2008-09-18 修回日期:2008-10-08

基金项目:国家技术支撑项目(2006BAD09B07)。

作者简介:万超(1982-),男,四川人,硕士研究生,主要从事土壤学研究。E-mail:kidechao@126.com

*通讯作者:徐福利,博士,研究员。

地指示生态系统功能地变化,从而为土壤性质的变化趋势提供可靠的依据^[13-14]。土壤酶参与土壤的许多重要的生物化学过程和物质循环,其活性的高低可以反映土壤养分转化的强弱,它与微生物一起推动着土壤的生物化学过程,同时在物质转化过程中起重要的作用,并对土壤肥力的演化具有重要影响^[6-10]。在区别不同的土壤管理方式方面,土壤酶是一个非常敏感的指标,施肥种类、管理与耕作方式、作物种类、土壤水分和环境条件等均可能影响土壤中酶的活性^[11-12]。随着国家生态环境建设措施的实施,在黄土丘陵沟壑区出现许多不同的土地利用模式,这些土地利用模式完全改变了传统的农业种植模式,由于投入和产出的巨大差异,对黄土高原丘陵沟壑区的生态环境产生了重要影响。研究黄土丘陵沟壑地区不同土地利用模式的土壤效益,对评价不同土地利用模式的可持续发展潜力,解决经济建设模式存在的问题,都有十分重要的理论和实践意义。

1 研究区域概况

研究区选取陕西省延安市安塞县,地处西北内陆黄土高原腹地,东经 108°44' 至 109°26' 18", 北纬 36°30' 45" 至 37°19' 3", 是典型的黄土高原丘陵沟壑区。安塞县地形复杂多样,境内沟壑纵横、川道狭长、梁峁遍布,由南向北呈梁、峁、塬、湾、坪、川等地貌,山高、坡陡、沟深。全县有 4 条大川,沟壑密度为 4.7 万条/km²,海拔为 997 ~ 1731 m。安塞县属暖温带半干旱气候区,四季长短不等,干湿分明,年平均降水量 500 mm 左右,且分布不均匀,降雨期集中。年平均蒸发量 1000 mm,无霜期 160 ~ 180 d,年日照时数 2352 ~ 2573 h,日照百分率达 54%,10 积温 2866,年均气温 8.9。土壤以黄绵土为主,约占总面积的 95% 左右。安塞县地形支离破碎,植被覆盖度小,侵蚀模数达 12000 t/(km²·a),坡度大于 25° 的坡耕地占农地面积的 34.43%,坡度大于 15° 的耕地占 71.93%。据估算,全县坡耕地每年流失氮、磷、钾达 12.7 万 t;粮食生产低而不稳,平均产量 933.0 kg/hm²^[15]。

2 样品的采集和分析

供试土壤样品和采集方法

在 2007 年 9 月中旬和 10 月下旬进行采样。在研究区的农田、日光温室、拱棚、经济作物、果树

用地均匀选择样点,分别在每个样方内按照 S 型选取采样点,每种土地利用模式选取 7 个样点,用直径 4 cm 的土钻分别取 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土样。将每个土样分两部分:一部分在室温下风干,将风干土过 1 mm 筛,用于测量土壤酶活性;一部分鲜土放于冰箱冷藏,用于测定土壤微生物。

土壤样品的测定

2.2.1 土壤酶活性测定 脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,结果以培养 3 h 后每克风干土壤经尿素水释出的 NH₄⁺-N 的毫克数来表示。蔗糖酶活性采用 Na₂S₂O₃ 滴定法测定,结果以培养 1 d(24 h) 每克风干土壤滴定所需 0.05 mol/L Na₂S₂O₃ 的毫升数来表示。过氧化氢酶活性用 KMnO₄ 滴定法测定,结果以每克风干土壤滴定所需 0.1 mol/L KMnO₄ 的毫升数来表示。磷酸酶(中性用柠檬酸盐缓冲液,碱性用硼酸盐缓冲液)活性采用磷酸苯二钠比色法测定,结果以 2 h 后 100 g 土壤中 P₂O₅ 的毫克数表示。蛋白酶用茚三酮比色法测定,结果以 24 h 后每克土壤中氨基酸的毫克数表示^[15]。

2.2.2 土壤微生物测定 用牛肉膏蛋白胨培养基培养细菌,马铃薯蔗糖培养基培养真菌,淀粉铵盐培养基培养放线菌。细菌所取土壤悬液浓度为 10⁻⁷,真菌和放线菌所取土壤悬液浓度分别为 10⁻³ 和 10⁻⁵。每个培养基浓度重复 3 次,然后置于恒温箱中培养,操作过程在无菌条件下进行^[16]。

3 结果与分析

不同土地利用模式土壤酶活性分布

由于栽培和耕作管理方式不同,土壤酶活性在各种利用方式之间存在差异(表 1)。随土层深度的增加除过氧化氢酶外,其他酶活性都出现依次减弱,这是因为土壤中酶活性的分布状况有一定的规律,它随着土层深度的增加而减弱。由表 1 可见,0 ~ 20 cm 土层过氧化氢酶活性依次为日光温室 > 农田 > 经济作物 > 果园 > 拱棚,20 ~ 40 cm 土层则为拱棚 > 农田 > 日光温室 > 经济作物 > 果园。碱性磷酸酶活性 0 ~ 20 cm 土层为日光温室 > 拱棚 > 经济作物 > 农田 > 果园,20 ~ 40 cm 土层为农田 > 日光温室 > 拱棚 > 果园 > 经济作物。脲酶活性 0 ~ 20 cm 土层为日光温室 > 拱棚 > 经济作物 > 农田 > 果园,20 ~ 40 cm 土层则为日光温室 > 经济作物 > 拱棚 > 果园 > 农田。蔗

糖酶活性 0~20 cm 为日光温室 > 果园 > 经济作物 > 农田 > 拱棚, 20~40 cm 为日光温室 > 农田 > 经济作物 > 果园 > 拱棚。

由上述结果可知,表层日光温室土壤酶活性最好,其次为拱棚和经济作物,农田和果园再次之。这是由于日光温室常年处于封闭或半封闭状态,气温高、湿度大,土壤经常处于湿润状态,表层土受人为干预更多,特别是施入大量有机肥,植物生长和根系分泌旺盛,导致土壤生物酶活性都高于其他四种土地利用模式。拱棚和经济作物也受人为干预较多,但由于处于一个开放的环境,土壤

水分和湿度都不如日光温室,加之雨水的淋溶和土壤中回归的凋落物和其植物生长状况不如日光温室,所以土壤酶活性要小于日光温室,但由于也被施入大量有机肥,所以其土壤酶活性要好于农田和果园,可能由于表层和表下层土壤的氧化还原状态影响,使得拱棚表层土壤过氧化氢酶活性低于表下层。研究区果园主要种植苹果,属于多年生木本植被,根系当年死亡量少,枯枝落叶少且难分解物质较高,所以其酶活性偏低。而农田每年回归土壤的凋落物和施入的有机肥更少,所以土壤酶活性也偏低。

表 1 不同土地利用方式下土壤酶活性分布

Table 1 The features of soil enzyme activity under different land use

土层/cm Soil layers	过氧化氢酶 Hydrogen peroxidase		碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase		脲酶 Urease		蔗糖酶 Invertase		
	平均 / (mL/g)	变异系数 Variable	平均 / (mL/g)	变异系数 Variable	平均 / (mL/g)	变异系数 Variable	平均 / (mL/g)	变异系数 Variable	
	Average	coefficient	Average	coefficient	Average	coefficient	Average	coefficient	
农田 Cropland	0~20	0.90 ±0.03	0.06	0.18 ±0.03	0.33	0.47 ±0.02	0.06	1.59 ±0.01	0.01
	20~40	0.88 ±0.01	0.01	0.11 ±0.01	0.18	0.28 ±0.02	0.14	1.05 ±0.03	0.05
果园 Orchard	0~20	0.75 ±0.03	0.07	0.16 ±0.01	0.13	0.42 ±0.01	0.02	2.00 ±0.03	0.02
	20~40	0.62 ±0.02	0.06	0.07 ±0.02	0.43	0.29 ±0.01	0.03	0.78 ±0.02	0.04
经济作物 Economic crops	0~20	0.78 ±0.06	0.13	0.20 ±0.03	0.25	0.50 ±0.03	0.10	1.70 ±0.02	0.02
	20~40	0.69 ±0.02	0.04	0.06 ±0.01	0.33	0.32 ±0.01	0.03	0.80 ±0.01	0.03
拱棚 Arch shed	0~20	0.71 ±0.01	0.01	0.22 ±0.01	0.05	0.66 ±0.02	0.05	1.44 ±0.02	0.01
	20~40	1.08 ±0.02	0.02	0.07 ±0.01	0.14	0.29 ±0.02	0.10	0.57 ±0.02	0.05
日光温室 Solar greenhouse	0~20	1.03 ±0.01	0.02	0.32 ±0.02	0.06	1.07 ±0.03	0.05	3.86 ±0.03	0.02
	20~40	0.84 ±0.02	0.05	0.09 ±0.02	0.11	0.34 ±0.01	0.03	1.07 ±0.02	0.03

就 5 种土地利用方式而言,表层土壤酶活性和表下层土壤酶活性之间有较显著差异,但在不同土地利用方式之间表下层土壤酶活性的差异要小于表层土壤酶活性的差异,这证明以上 5 种不同土地利用方式主要是通过施肥等田间人为管理措施来影响土壤酶活性。

不同土地利用模式下微生物数量变化

土壤中细菌、真菌、放线菌三大类微生物的数量,通常是作为土壤生物活性高低的重要标志之一,通过对土壤微生物总数的测定,可以在一定程度上反映土壤有机质的矿化速度及各种养分的存在状态,初步判断土壤肥力的高低^[18]。

表 2 不同土地利用方式下土壤微生物数量分布

Table 2 The features of soil microorganism under different land use

样本数 Sample	细菌 Bacteria		真菌 Fungi		放线菌 Actinomyces		
	平均/ (10 ⁷ /g)	变异系数 Variable	平均/ (10 ³ /g)	变异系数 Variable	平均/ (10 ⁵ /g)	变异系数 Variable	
	Average	coefficient	Average	coefficient	Average	coefficient	
农田 Cropland	8	20.23 ±0.83	0.09	17.33 ±1.18	0.15	21.35 ±1.41	0.15
果园 Orchard	7	17.22 ±0.77	0.10	17.27 ±1.62	0.21	21.85 ±0.79	0.08
经济作物 Economic crops	15	36.32 ±1.17	0.07	19.65 ±1.46	0.17	20.30 ±1.58	0.17
拱棚 Arch shed	10	36.53 ±1.48	0.09	21.12 ±1.14	0.12	27.36 ±2.02	0.17
日光温室 Solar greenhouse	8	68.43 ±1.84	0.06	34.66 ±1.66	0.11	31.92 ±0.96	0.07

由表 2 可以看出,细菌在不同土地利用方式下数量变化明显,其中以日光温室的细菌数量最高,分别是果园和农田的 3.97、3.38 倍,其次拱棚

和经济作物细菌数量基本相同,但是也比农田和果园高出 2 倍左右,这是由于日光温室的水肥能力和养分含量大于其他土地利用方式,所以土壤

微生物数量多。对土壤真菌数量分析可以看出,不同土地利用方式下真菌数量变化也较明显,其中农田、果园和经济作物在真菌数量上变化不明显,与拱棚真菌数量之差并不大,但是农田、果园、经济作物和拱棚的真菌数量比起日光温室变化很明显,分别是日光温室真菌数量的 50%、49.83%、49.71%和 60.93%。放线菌是细菌的一类,在数量方面仅次于细菌,从表 2 可以看出在 5 种不同的土地利用方式下放线菌数量变化不是很明显,不同土地利用方式下放线菌数量为日光温室 > 拱棚 > 果园 > 农田 > 经济作物。

土壤酶活性和微生物数量与土壤化学性质的因子分析

因子分析就是用较少个数的公共因子的线性函数与特定因子之和来表达原观察变量 X 的每一个分量,以便达到合宜的解释原变量 X 的相关性并降低其维数^[19]。为了论证土壤酶活性和土壤微生物数量是土壤肥力的一个重要指标,我们将土壤酶和土壤微生物与土壤中的主要肥力因子(速效磷、速效钾、速效氮和有机质)作了因子分析,选择主成份分析(PCA)的方法提取因子,并且为了得到更好的解释,对提取的因子载荷矩阵进行正交旋转,最后得到相应的回归方程。

由表 3 看出,第一个因子的特征根为 8.339,解释了 11 个供试土壤指标总方差的 75.815%,

累计方差贡献率为 75.815%;第二因子的特征根为 1.175,解释 11 个供试土壤指标总方差的 10.681%,方差累计贡献率为 86.493%(大于 85%);第三因子的特征根为 1.161,解释了 11 个供试土壤指标总方差的 10.555%,累计方差贡献率为 97.048%。在不损失总变异信息的基础上,采用方差最大法对载荷矩阵进行正交旋转变换,从而使各分析出的因子具有更加明确的土壤学意义。旋转后的第一因子的特征根为 5.235,解释了 11 个供试土壤指标总方差的 47.594%,方差累计贡献率为 47.594%;第二因子的特征根为 3.382,解释了 11 个供试土壤指标总方差的 30.749%,方差累计贡献率为 78.343%;第三因子的特征根为 2.058,解释了 11 个供试土壤指标总方差的 18.705%,方差累计贡献率为 97.048%。可以看出,在旋转前的因子方差贡献率中,第一个因子的方差贡献率比较高,即所有变量与第一个因子的相关程度较高,第一个因子解释了大部分变量信息,而第二因子与变量相关程度较低,对变量的解释效果不明显;因子旋转后累计解释总方差百分比没有变化,但重新分配各个因子的解释原始变量的方差,使得因子更易于解释。由于此三个因子的方差累积贡献率达到 97.048%,因此这三个因子能基本反映土壤肥力系统的变异信息。

表 3 因子分析的解释总变量

Table 3 Total variance explained

因子 Component	初始因子解 Initial eigenvalues			提取后因子解 Extraction sums of squared loadings			旋转后因子解 Rotation sums of squared loadings		
	特征根 Total	方差贡献率/ Of variance %	累计方差 贡献率/ Cumulative %	特征根 Total	方差贡献率/ Variance %	累计方差 贡献率/ Cumulative %	特征根 Total	方差贡献率/ Of variance %	累计方差 贡献率/ Cumulative %
1	8.339	75.812	75.812	8.339	75.812	75.812	5.235	47.594	47.594
2	1.175	10.681	86.493	1.175	10.681	86.493	3.382	30.749	78.343
3	1.161	10.555	97.048	1.161	10.555	97.048	2.058	18.705	97.048
4	0.325	2.952	100.000						

由表 4 可以看出,所有指标的共同度都高于 0.9,说明提取出的公共因子已基本反映了各原始变量的 90% 以上的信息,仅有较少的信息丢失,因子分析的效果较好。第一因子主要综合了脲酶、细菌、真菌、放线菌、速效磷、有机质的变异信息,与第一因子的载荷相关系数都大于 0.6;第二因子主要综合了过氧化氢酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶、速效钾的变异信息;第三因子则主要为有效氮。第一因子的累积方差贡献率最大,因此对土壤肥力起着主要作用,脲酶和三大微生物数量在

第一因子的分权系数都较好,因此他们一定程度上可以反映土壤肥力的高低。而第二因子中主要包括了土壤酶的主要变异信息,说明其除脲酶外,其他三种酶对土壤肥力也有好好的解释作用。第三因子主要是反映了速效氮,速效氮单独就解释整个变异信息的 18.705%,可见其在衡量土壤肥力中具有重要作用。由表 4 旋转后因子得分系数矩阵,可以分别计算不同模式土壤肥力效益第一、二、三因子的得分 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 ,最后得到不同土地利用模式下土壤肥力综合得分 $F = f_1 Y_1 + f_2 Y_2$

+ $f_3 Y_3$, 其中 f_i 为旋转后的不同因子的方差贡献率。通过计算得知, 5 种不同的土地利用方式下

以日光温室的土壤综合肥力最优, 其次为拱棚、大田、经济作物、果园。

表 4 土壤成分的特征向量

Table 4 Component eigenvectors of tested soil

指标 Index	旋转后因子载荷 Rotated component loading			旋转后因子得分系数 Rotated component score			共同度 Communalities
	第一因子	第二因子	第三因子	第一因子	第二因子	第三因子	
过氧化氢酶 Hydrogen peroxidase	0.363	0.895	- 0.060	- 0.106	0.462	- 0.247	0.937
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.686	0.715	0.064	0.067	0.230	- 0.188	0.985
脲酶 Urease	0.828	0.196	0.520	0.202	- 0.209	0.210	0.995
蔗糖酶 Invertase	0.086	0.790	0.528	- 0.307	0.394	0.270	0.910
细菌 Bacteria	0.948	0.203	0.018	0.349	- 0.167	- 0.198	0.940
真菌 Fungi	0.796	0.535	0.281	0.129	0.050	- 0.017	0.997
放线菌 Actinomycetes	0.814	0.224	0.492	0.193	- 0.183	0.187	0.956
速效磷 Avail. P	0.895	0.403	0.156	0.237	- 0.045	- 0.112	0.987
速效钾 Avail. K	0.464	0.780	0.400	- 0.115	0.290	0.101	0.984
速效氮 Avail. N	0.228	0.138	0.964	- 0.128	- 0.126	0.672	0.998
有机质 O. M	0.823	0.491	0.257	0.159	0.018	- 0.034	0.984

4 结论

研究区域内 5 种不同土地利用模式以日光温室土壤酶活性最好, 其次为拱棚和经济作物, 大田和果园再次之。不同模式的表层土壤酶活性和表下层土壤酶活性之间有较显著差异, 但不同模式酶活性在 20 ~ 40 cm 之间的差距较小, 这是因为研究区域内表层土壤酶活性主要受人为因素影响较大。通过相关性分析可以得出土壤微生物数量与土壤肥力相关性较强, 五种不同土地利用模式微生物数量以日光温室最优, 然后是拱棚, 剩下三种模式在微生物数量上相差不大。

通过把土壤酶活性、微生物数量和土壤主要肥力指标做因子分析, 计算因子得分来判断不同利用模式土壤综合利用效益的优劣, 最后得分高低依次为: 日光温室、农田、拱棚、经济作物、果园。这说明土壤的综合肥力效益以日光温室最好, 这主要是因为大量的水肥投入, 而果园由于粗放的管理方式导致土壤肥力不如其他四种土地利用模式。

参考文献:

[1] 周丽霞, 丁明懋. 土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用[J]. 植物多样性, 2007, 15(2): 162-171.

[2] 胡海波, 张金池. 亚热带基岩海岸防护林土壤的酶活性[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, 25(4): 88-95.

[3] 胡海波, 张金池, 高智慧. 岩质海岸防护林土壤微生物数量及其与酶活性和理化性质的关系[J]. 林业科学研究, 2001, 15(1): 88-95.

[4] 赵波, 赵其国. 土壤质量与持续环境. 土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤, 1997, 29: 225-234.

[5] 丁茵, 胡海波. 半干旱区土壤酶活性与其理化及微生物的

关系[J]. 南京林业大学学报, 2007, 31(2): 13-18.

[6] 万忠梅, 吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(6): 87-1092.

[7] 杜伟文, 欧阳中万. 土壤酶研究进展[J]. 湖南林业科技, 2005, 32(5): 76-82.

[8] Brookes PC, Landman A, Pruden G and Jenkinson DS. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biol. Biochem, 1985, 17, 837-842.

[9] Powlson DS, Brookes PC and Christensen B. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation[J]. Soil Biol. Biochem, 1987, 19: 159-164.

[10] 俞慎, 李勇, 王俊华, 等. 土壤微生物生物量作为红壤质量生物指标的探讨[J]. 土壤学报, 1999, 36(3): 413-422.

[11] 王建武, 冯远娇, 骆世明. Bt 玉米秸秆分解对土壤酶活性和土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 524-528.

[12] Burns R G. Enzyme activity in soil: Location and a possible role in microbial activity [J]. Soil Biol. Biochem, 1982, 14: 423-427.

[13] 马效国, 樊丽琴, 等. 不同土地利用方式对苜蓿茬地土壤微生物生物量碳、氮的影响[J]. 草业科学, 2005, 22(10): 13-17.

[14] 赵国栋, 赵政阳, 樊红科. 苹果根区土壤微生物分布及土壤酶活性研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(3): 205-209, 214.

[15] 胡明, 马继东. 安塞县土地利用变化与经济发展的关系[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 182-185.

[16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1987, 274-339.

[17] 李阜棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 122-137.

[18] 华中农业大学, 南京农业大学. 微生物学[M]. 第四版. 北京: 中国农业出版社, 1999, 166-168.

[19] 袁志发, 周静芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002, 188-207.