

华南赤红壤地区 4 种不同耕作模式对土壤肥力属性的影响

周 波 高云华 张 池 陈旭飞 任宗玲 李 进 戴 军

(华南农业大学 资源环境学院 广东 广州 510642)

摘要:以地处典型赤红壤区域的华南农业大学增城教学科研基地为研究范围,对 4 种不同耕作模式下 12 种土壤肥力属性指标的差异进行分析。结果表明,耕作模式首先影响全量氮、磷、钾、碱解氮、电导率等,其次综合影响粘粒、有机质以及其他理化性状。主成分分析表明,水田耕作模式对土壤肥力的影响主要是改变全钾、有效磷和孔隙度,水旱轮作模式对 pH 值的影响最大,旱地模式主要造成了容重、有机质、全氮和速效钾的改变,菜地模式主要影响了电导率以及粘粒、全磷和碱解氮。不同耕作模式下土壤肥力属性之间的差异达到极显著水平。

关键词:赤红壤;耕作模式;土壤肥力属性

中图分类号: S158.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)增刊-0315-05

Effects of 4 Different Tillage Modes on Soil Fertility Properties in South China Lateritic Red Soil Area

ZHOU Bo ,GAO Yun-hua ,ZHANG Chi ,CHEN Xu-fei ,REN Zong-ling ,LI Jin ,DAI Jun

(College of Resource and Environment ,South China Agricultural University ,Guangzhou 510642 ,China)

Abstract: Zengcheng teaching and research station of South China agricultural university ,which located in the typical area of lateritic red soil ,was chose as the study site ,and the variability of 12 soil fertility properties were studied under 4 tillage modes. Results showed that total N ,P ,K ,available N contents and EC were affected by tillage mode. And then clay ,organic matter and other indicators would be influenced. And principal component analysis showed that paddy land management mainly changes the total potassium ,available phosphorus and porosity ,paddy-upland rotation management mainly impact pH ,dry land management changed bulk density ,organic matter ,total nitrogen and potassium mostly ,vegetable plot management largely affected the electrical conductivity ,clay ,total phosphorus and available nitrogen. Significant differences in soil properties were observed among tillage modes.

Key words: Lateritic red soil; Tillage mode; Soil fertility properties

耕地耕作模式的转变可以带来许多人为干扰、自然要素和生态过程的变化^[1],进而改变影响土壤属性的因素^[2],导致土壤肥力属性向着不同方向演变^[3],最终作用于土壤肥力质量^[4]。了解不同耕作模式对土壤理化性质影响的差异及其机理,可以为改善耕地利用现状、合理利用土壤资源、发展可持续农业提供有力依据。国内外许多学者对耕作模式与土壤肥力质量的关系进行了大量研究^[5-8]。有对不同耕作模式下土壤养分、盐分组成及动态变化的研究^[9-10],有对团聚体、粘粒、容重等物理性状变化的

研究^[11-12],也有对土壤动物、微生物、酶等生物学性状的研究^[13-14]。研究证明,土壤理化及生物学属性的变化与耕作模式有密切关系。但在亚热带生物气候条件下赤红壤区域的上述研究相对较少。

本研究以位于南亚热带季风气候区的华南农业大学宁西实验基地为研究区域,通过对有机质、全量氮磷钾及其有效养分、粘粒、电导率、孔隙度、容重、pH 值等 12 项土壤肥力指标的测定与分析,研究赤红壤区域水稻田、水旱轮作、旱地和菜地 4 种不同耕作模式对主要土壤肥力属性的影响程度,揭示不同

收稿日期: 2011-12-31

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201011006); 华南农业大学农业部生态农业重点开放实验室开放课题项目(2009K14); 广东省教育部产学研结合项目(2011A090200038)

作者简介: 周 波(1983-),男,山东莱芜人,博士,主要从事农业、土壤资源可持续利用方面的研究。高云会与周波为同等贡献作者。

通讯作者: 戴 军(1958-),男,广东广州人,教授,博士生导师,主要从事土壤资源可持续利用等方面的研究。

耕作模式与土壤肥力属性的对应关系,以期为赤红壤资源的合理利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于广东省增城市(23°14'N,113°38'E),平均海拔 23 m 左右,地形主要是低丘和台地,面积为 260 hm²,属亚热带季风气候,年均气温 21.6℃,平均降雨量 1 967.8 mm,年均日照时数 1 707.2 h,日均温≥10℃的连续积温为 7 800℃。土壤类型为花岗岩风化物发育而成的赤红壤性水稻土。基地成立之前该区域以水稻种植为主,1999 年以来,主要耕作模式调整为水稻田、水旱轮作、旱地和菜地等几种模式。其中,水稻土主要用于水稻育种等,水旱轮作地实施水稻和甜玉米轮作,旱地主要用于培植高品质草皮,而菜地主要种植各类蔬菜,几种耕作利用模式均连续种植至今。

1.2 样品采集分析与数据统计

按照不同耕作模式进行分区采样,每种耕作模式选取 6 个采样点,采样时确定具有代表性的田块,并用 GPS 定位,在田块内随机划定 10 m×10 m 的方框,依据“对角线法”选取 5 点采集 0~20 cm 耕层土壤 2 kg,并混匀,备用。另外,在相同区域内随机

选点,用环刀法取土,测定容重。土壤样品采集后在室温下自然风干,磨碎,分别过 2.0、149 mm 筛,密封保存,用于测定各项理化指标。

有机质的测定采用重铬酸钾容量法;全氮的测定采用开氏消煮法;全磷测定采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法;全钾测定采用氢氧化钠熔融-火焰光度计读数法;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷的测定采用 Olsen 法;有效钾用 NH₄AC 浸提-火焰光度法;土壤 pH 值的测定用 pH 计电位法(水土比 2.5:1);电导率用电导率仪测定(水土比 5:1);粘粒含量用比重计法测定;容重用环刀法测定;孔隙度由容重和比重(2.65 g·cm⁻³)计算得出。

数据统计采用 SAS 9.0、ADE-4^[15]和 Excel 等软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同耕作模式下基本土壤肥力属性指标之间的差异

原单一种植水稻的水稻土在分别利用为水稻田、水旱轮作地、旱地和菜地等 4 种耕作模式并连续种植约 10 年后,不同耕作模式的土壤主要肥力属性指标如表 1 所示。

表 1 不同耕作模式下主要土壤肥力指标方差分析结果

Tab. 1 Variance analysis of soil fertility index under different tillage

指标 Index	水稻田 Paddy land	水旱轮作 Paddy-upland rotation	旱地 Dry land	菜地 Vegetable plot	F	P
有机质/(g/kg) Organic matter	27.32 ± 5.43a	35.91 ± 3.16a	43.99 ± 7.77a	35.28 ± 18.66a	1.88	0.139
全氮/(g/kg) Total N	0.77 ± 0.08b	1.00 ± 0.15ab	1.20 ± 0.29a	1.10 ± 0.40a	4.23	0.008
全磷/(g/kg) Total P	0.56 ± 0.09b	0.51 ± 0.13b	0.28 ± 0.12c	1.07 ± 0.33a	8.10	0.001
全钾/(g/kg) Total K	24.46 ± 1.35a	25.99 ± 3.87a	18.09 ± 2.29b	23.93 ± 3.55a	5.12	0.003
碱解氮/(mg/kg) Available N	61.69 ± 11.52bc	53.42 ± 8.43c	78.93 ± 21.87ab	85.90 ± 31.92a	3.30	0.022
有效磷/(mg/kg) Available P	44.50 ± 16.84a	18.17 ± 12.89a	10.68 ± 6.20a	47.43 ± 24.34a	2.22	0.087
速效钾/(mg/kg) Available K	29.45 ± 4.07a	45.15 ± 19.01a	74.65 ± 24.17a	64.18 ± 31.56a	1.44	0.257
电导率/(μs/cm) Electrical conductivity	20.27 ± 4.57b	12.87 ± 1.47b	19.59 ± 2.84b	29.37 ± 11.96a	3.17	0.026
pH	5.65 ± 0.25a	5.89 ± 0.37a	5.39 ± 0.51a	5.11 ± 0.53a	1.62	0.199
粘粒含量/% Clay content	19.22 ± 5.32a	15.33 ± 1.84a	17.90 ± 0.93a	21.68 ± 9.25a	0.56	0.794
容重/(g/cm) Bulk density	1.43 ± 0.04a	1.47 ± 0.11a	1.54 ± 0.05a	1.49 ± 0.08a	1.02	0.460
孔隙度/% Porosity	46.00 ± 1.37a	44.51 ± 4.02a	42.02 ± 2.03a	43.68 ± 2.96a	1.02	0.461

注:表中数据为均值±标准差,n=6。多重比较采用 Duncan 法,同一行没有相同字母的表明该指标在不同耕作模式下具有显著差异(P<0.05)。

Note: The data is mean ± standard deviation, n=6. Duncan method was used in multiple comparisons, if the same letter did not appeared in the same line, there was significant differences in different cropping patterns (P<0.05).

结果表明:不同耕作模式的土壤有机质含量未达到显著差异(P=0.139),但由其标准差可知,菜地土壤有机质含量的变异程度远大于其他 3 种耕作模式。不同耕作模式之间土壤全量氮、磷、钾的含量存在显著差异(P<0.05)。其中,全氮以旱地最高,

水稻田最低,并且水稻田显著低于其他 3 种耕作模式。全磷含量以菜地最高,旱地最低,与其他利用模式相比,菜地和旱地全磷含量的变化均达到显著水平(P=0.001)。全钾以旱地为最低,显著低于其他模式。对土壤有效养分的分析结果显示,不同耕作

模式土壤的碱解氮存在显著差异 ($P = 0.022$) ,旱地和菜地显著高于水稻田和水旱轮作 ,土壤有效磷和速效钾之间的差异不显著 ($P > 0.05$) 。不同耕作模式之间电导率差异显著 ,菜地显著高于其他模式 ($P = 0.026$) 。此外 ,pH 值、粘粒含量、容重和孔隙度等指标的差异均不显著 ,但不同模式下的变异程度均存在较大差异。

2.2 不同耕作模式下土壤肥力属性指标之间的内在联系

耕作模式对土壤肥力的影响往往不是单一因素所致 ,特别是多年累积的影响效果 ,不同影响因素可

能主要影响某种或某几种肥力指标 ,单一肥力指标的改变也可能会造成其他肥力指标的间接改变。本试验对研究区改变耕作模式后 ,部分肥力指标变化的内在联系进行了相关分析 ,如图 1 所示。由图 1-A 可见 ,研究区 4 种耕作模式下 ,土壤有机质与粘粒的含量呈极显著正相关关系 ($R = 0.58$, $P = 0.003$) 。而由图 1-B 可见 ,本研究区域粘粒含量与电导率的含量也呈极显著正相关 ($R = 0.78$, $P < 0.0001$) 。由图 1-C ,1-D 可见 ,粘粒含量和电导率都与 pH 值呈显著负相关。

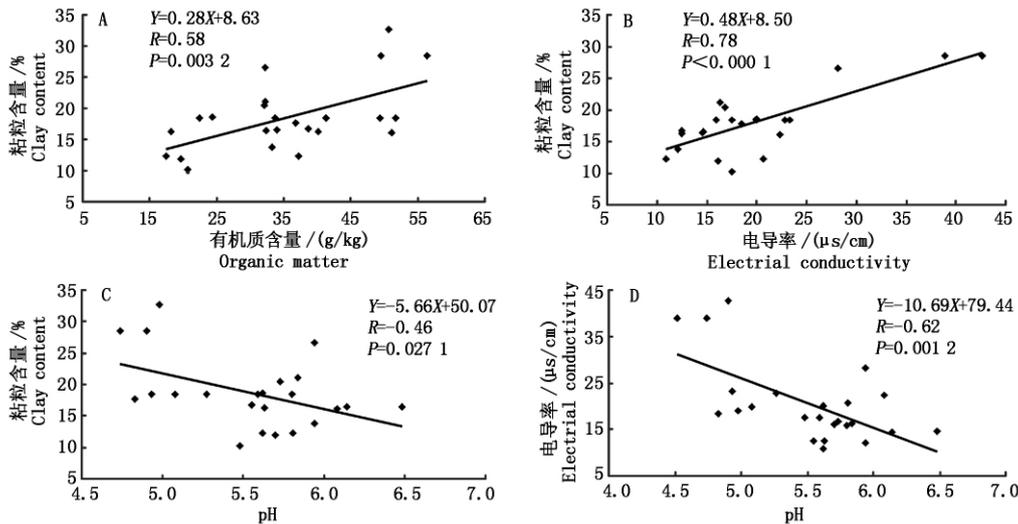


图 1 不同耕作模式下部分肥力指标的回归分析

Fig. 1 Regression analysis of some fertility indicators under different tillage

2.3 不同耕作模式对土壤肥力属性的综合影响分析

主成分分析可以实现对各指标及主成分得分的综合变异分析^[15]。本研究对 4 种耕作模式下 24 个样点的 12 个土壤肥力指标进行了主成分分析 ,分析结果如下所示。

第一和第二 2 个主成分的累计方差贡献率达到 64.74% ,包含了样本的大部分信息 ,可以采用该二因子组合数学模型对各耕作模式下的肥力指标变量进行主成分分析 ,所得各指标的空间载荷图与主成分综合得分空间分布图如图 2 所示。

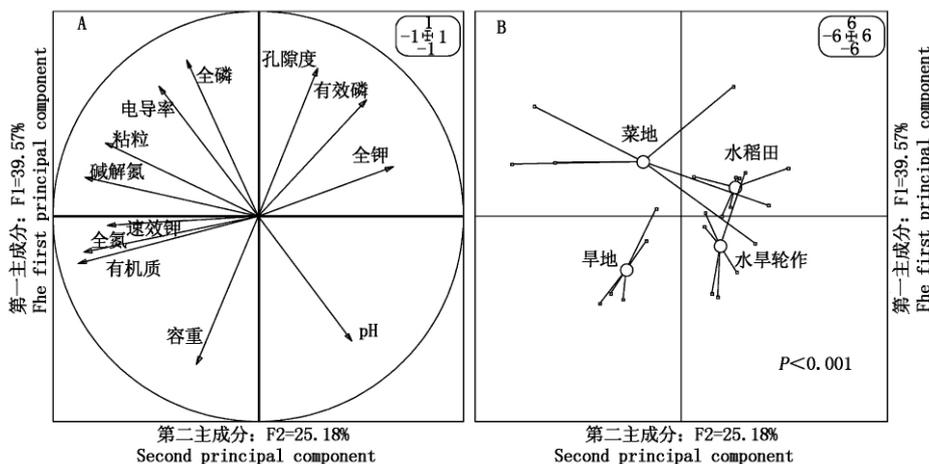


图 2 主成分因子空间载荷与得分空间分布图

Fig. 2 Principal components factor spatial loading and scores spatial distribution

由图 2-A 可见,第一主成分的方差贡献率为 39.57%,主要来自速效钾、全氮、有机质、碱解氮、全钾等养分指标,其次是粘粒等物理性指标。第二主成分的方差贡献率为 25.18%,主要由容重、孔隙度、电导率等物理指标、土壤 pH 值以及全磷和有效磷等化学指标。第一主成分主要反映的是化学养分方面的信息,第二主成分主要代表物理性状方面的信息。

通过判别分析发现 4 种耕作模式下土壤肥力属性值的分布符合正态分布,不同耕作模式下土壤肥力综合水平的差异极显著($P < 0.001$)。由主成分得分图可见(图 2-B),水稻田位于第一象限,与水旱轮作的差异主要来自第二主成分,这 2 种耕作模式的差异主要来源于孔隙度、有效磷、全钾和 pH 值。水稻田与旱地在第一和第二主成分的方向上均存在较大的差异,这些差异主要来源于有效磷、全钾、容重、有机质以及全氮等指标。水稻田与菜地相比,差异主要来源于第一主成分,此 2 种耕作模式带来的土壤肥力的差异主要包括有效磷、全钾、全磷、电导率粘粒等指标。位于第二象限的水旱轮作与旱地的差异主要来源于第一主成分,这 2 种耕作模式造成的主要是 pH 值、容重、有机质全氮等指标的差异。水旱轮作与菜地相比,则在物理性状与化学养分方面都造成了较大的差异,比如粘、电导率、全磷、碱解氮和 pH 值等。位于第三象限的旱地与第四象限的菜地相比,差异主要来源于第二主成分,这 2 种耕作模式主要造成了容重、全氮、有机质、全磷、电导率、粘粒等指标的差异。

由两图对照可见,在本研究区的自然气候以及人为管理条件下,水稻田的耕作模式对土壤肥力的影响主要是改变全钾、有效磷含量以及土壤孔隙度。水旱轮作对 pH 值的影响最大。旱地主要造成了容重、有机质、全氮和速效钾的改变。菜地主要影响了电导率以及粘粒、全磷和碱解氮的含量,各耕作模式的差异均达到极显著水平($P < 0.001$)。

3 讨论与结论

本研究区域内 4 种不同耕作模式连续实施 10 年后,全氮、全磷、全钾、碱解氮以及电导率等肥力指标均表现出了显著性差异(表 1),这一现象说明不同耕作模式较容易改变土壤养分投入以及管理,影响营养元素的循环强度、总量及路径,从而使土壤供应作物的营养水平发生变化,进而导致土壤肥力的变化^[16]。虽然不同耕作模式的土壤有机质、pH 值以及粘粒、容重、孔隙度等物理性状都没有表现出显

著差异,但较大的标准差反映了各指标的变异程度存在较大差异(表 1)。前人研究已证明不同耕作模式之间土壤有机质及物理性状存在显著差异^[12,17]。说明基于方差分析的多重比较虽然可以有针对性的了解单个肥力指标的变异情况,但并不能全面综合地揭示耕作模式对土壤肥力综合影响的规律与趋势。

回归分析结果表明,粘粒含量与有机质含量、电导率和 pH 值都有显著相关性,电导率和 pH 值之间也具有极显著的相关性(图 1)。已有研究者证明,耕作模式对粘粒^[11]、有机质^[18]、电导率和 pH 值^[19]均有影响。也有研究表明,有机质和粘粒均会影响土壤胶体比表面积,改变离子的交换吸附和解析^[20],最终影响电导率和 pH 值。因此,土壤肥力的各个属性之间并不是相互完全孤立的,土壤肥力是一个充满内在交互关联的综合体系,在研究耕作模式对土壤肥力的影响时不能把各个属性割裂开,而应充分考虑各指标的内在联系,进行综合评价与分析。

土壤肥力是其物理、化学、养分含量以及微生物等属性的综合体现^[21],耕作模式对土壤肥力质量的影响既有单方面的,也有交互关联的^[22]。因此,仅仅单个肥力指标的比较很难发现耕作模式对土壤肥力影响的整体效应及其内在联系。本研究表 1 对单个肥力指标的分析发现,不同耕作模式下土壤肥力质量的多数指标差异并不显著,但通过图 2 的综合交叉分析则发现,不同利用模式下的土壤肥力质量存在极显著差异($P < 0.001$),同时,不同利用模式的影响又有各自的侧重方面,如:水旱轮作主要是连续的干湿交替导致了 pH 值的变化^[23];旱地的有机质、全氮、速效钾等养分含量较高,不同于普通旱地养分水平^[24],主要是因为本研究区的旱地用于高档草皮的培植,投入较高,管理相对更为精细;菜地则由于蔬菜种类多样,种植制度和施肥管理习惯不同,造成各重复样点的离散程度较大。

综上所述,耕作模式会对土壤肥力特征产生深刻的影响。本研究条件下,在华南赤红壤区域连续 10 年 4 种不同模式的耕作制度能够导致土壤肥力属性产生了显著变化:旱地与水田的管理模式主要对全钾、有机质和容重等肥力属性的影响不同;菜园的管理模式则与全磷、电导率等肥力属性的变化更为密切;而水旱轮作与旱地管理模式之间的差异主要体现在 pH 值和容重的变化上。由于不同耕作模式对土壤肥力的不同属性指标影响的方式与程度均有所不同,因此,在华南地区赤红壤开发利用过程

中,应针对不同利用模式采取相应的改良措施,方能改善土壤肥力质量,促进赤红壤资源的高效、可持续利用。

参考文献:

- [1] Evanylo G, Sherony C, Spargo J *et al.* Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 127(1-2): 50-58.
- [2] Ou draogo E, Mando A, Brussaard L *et al.* Tillage and fertility management effects on soil organic matter and sorghum yield in semi-arid West Africa [J]. *Soil and Tillage Research* 2007, 94(1): 64-74.
- [3] Vestberg M, Kukkonen S, Saari K *et al.* Effects of cropping history and peat amendments on the quality of a silt soil cropped with strawberries [J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42(1): 37-47.
- [4] Niu L, Hao J, Zhang B *et al.* Influences of Long-Term Fertilizer and Tillage Management on Soil Fertility of the North China Plain [J]. *Pedosphere* 2011, 21(6): 813-820.
- [5] Sá J C D M, Cerri C C, Lal R *et al.* Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol [J]. *Soil and Tillage Research* 2009, 104(1): 56-64.
- [6] Riley H, Pommeresche R, Elton R *et al.* Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2008, 124(3-4): 275-284.
- [7] Khan A U H, Iqbal M, Islam K R. Dairy manure and tillage effects on soil fertility and corn yields [J]. *Biore-source Technology* 2007, 98(10): 1972-1979.
- [8] 赵庚星, 李秀娟, 李 涛, 等. 耕地不同利用方式下的土壤养分状况分析 [J]. *农业工程学报* 2005, 21(10): 55-58.
- [9] Agbede T M, Ojeniyi S O. Tillage and poultry manure effects on soil fertility and sorghum yield in southwestern Nigeria [J]. *Soil and Tillage Research* 2009, 104(1): 74-81.
- [10] 赵兰坡, 冯 君, 王 宇, 等. 不同利用方式的苏打盐渍土剖面盐分组成及分布特征 [J]. *土壤学报* 2011, 48(05): 904-911.
- [11] Reynolds W D, Drury C F, Yang X M *et al.* Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil [J]. *Soil and Tillage Research* 2007, 96(1-2): 316-330.
- [12] 刘晓利, 何园球, 李成亮, 等. 不同利用方式和肥力红壤中水稳性团聚体分布及物理性质特征 [J]. *土壤学报* 2008, 45(03): 459-465.
- [13] Bending G D, Turner M K, Rayns F *et al.* Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(11): 1785-1792.
- [14] 薛 蕙, 李占斌, 李 鹏, 等. 不同土地利用方式对干热河谷地区土壤酶活性的影响 [J]. *中国农业科学*, 2011, 44(18): 3768-3777.
- [15] ELLIS M B. Dematiaceous Hyphomycetes [M]. Kew: CM I, 1971: 1-608.
- [16] 刘晓利, 何园球, 李成亮, 等. 不同利用方式旱地红壤水稳性团聚体及其碳、氮、磷分布特征 [J]. *土壤学报* 2009, 46(2): 254-261.
- [17] Verma S, Sharma P K. Long-term effects of organics fertilizers and cropping systems on soil physical productivity evaluated using a single value index (NLWR) [J]. *Soil and Tillage Research* 2008, 98(1): 1-10.
- [18] Saggiar S, Yeates G W, Shepherd T G. Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand [J]. *Soil&Tillage Research* 2001, 58: 55-68.
- [19] 李海云, 王秀峰. 不同阴离子化肥对设施土壤理化性状的影响研究 [J]. *中国生态农业学报* 2004, 12(4): 126-128.
- [20] Sahrawat K L. An analysis of the contribution of organic matter and clay to cation exchange capacity of some Philippine soils [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1983, 14(9): 803-809.
- [21] Jeremias G Mowa, Bert H J, Oene O *et al.* Soilfertility evaluation and management by smallholder farmer communities in northern Tanzania [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2006, 116(1-2): 47-59.
- [22] Demaria I C, Nnabude P C, De Castro O M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil [J]. *Soil and Tillage Research*, 1999, 51(1-2): 71-79.
- [23] 夏建国, 仲雨猛, 曹晓霞. 干湿交替条件下土壤磷释放及其与土壤性质的关系 [J]. *水土保持学报* 2011, 25(04): 237-248.
- [24] 王伯仁, 蔡泽江, 李冬初. 长期不同施肥对红壤旱地肥力的影响 [J]. *水土保持学报* 2010, 24(03): 85-88.