

# 深圳市光明新区土壤肥力时空演变的主成分分析

周波, 陈旭飞, 张聪俐, 李静娟, 张静, 任宗玲, 张池, 戴军

(华南农业大学资源环境学院, 广东广州510642)

**摘要:**以深圳市光明新区为研究区域,通过对7个主要土壤肥力属性指标的主成分分析,探讨了该地区土壤肥力属性在时间和空间上的演变情况.结果表明:经过28年的演变,土壤肥力的主要限制因子由1984年的磷钾速效养分含量偏低转变为2011年的容重偏高和氮素缺乏,但由于前后的突出肥力因子和限制因子均相互抵消,土壤综合肥力未产生显著差异.不同农田片区的土壤综合肥力和主要限制因素在演变过程中都表现出显著差异,这主要是由于不同片区的种植模式和施肥习惯向着不同方向演变造成的.

**关键词:**土壤肥力; 时空演变; 主成分分析

中图分类号:S158.1

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2012)04-0448-05

## Principal Component Analysis of Spatial and Temporal Evolution of Soil Fertility in Guangming New District, Shenzhen City

ZHOU Bo, CHEN Xu-fei, ZHANG Cong-li, LI Jing-juan, ZHANG Jing,

REN Zong-ling, ZHANG Chi, DAI Jun

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

**Abstract:** Taking the Guangming New District in Shenzhen City as the study area, the spatial and temporal evolution of soil fertility properties were studied through principal component analysis of seven major indicators. The results showed that the main limiting factors of soil fertility had been changed into high bulk density and lack of nitrogen in 2011's from low available phosphorus and potassium in 1984's after 28 years' evolution, but there were no significant differences in soil comprehensive fertility for the prominent fertility factors and limiting factors in the two periods were canceled out. Significant differences of soil integrated fertility and main limiting factors were observed in different areas, which could be caused by various planting models and different fertilization habits.

**Key words:** soil fertility; spatial and temporal evolution; principal component analysis

人类活动的干扰对土壤肥力属性具有一定影响<sup>[1-2]</sup>. 深圳市光明新区位于珠三角腹地,20世纪80年代以来,经济实现了高速发展,经济发展带来了土壤利用方式、管理及投入水平等方面的转变.这些转变对该区土壤肥力的演变是否造成影响<sup>[3]</sup>,经济发展初期土壤肥力的主要障碍因素与当前是否相同,这些问题都关系到土壤资源的合理及可持续利

用<sup>[4]</sup>. 因此,有必要对土壤肥力的年代与区域变异情况进行综合分析<sup>[5]</sup>. 本文通过对深圳市光明新区土壤容重、pH、有机质、全氮及有效养分等肥力指标的测定与分析,研究该区土壤肥力属性随时间和空间的变异情况,分析其改良的关键因子,并探讨珠三角地区土壤肥力在经济发展过程中的时空演变趋势,以为该区域土壤资源的高效管理及合理利用提供

收稿日期:2011-12-28

作者简介:周波(1983—),男,博士;通信作者:戴军(1958—),男,教授,E-mail:jundai@scau.edu.cn

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201011006);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)

理论依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

深圳市光明新区位于深圳市西北部,北纬 22°42' ~ 22°49'、东经 113°52' ~ 113°60' 之间,总面积 156.1 km<sup>2</sup>,当前人口约 80 万. 该区地处北回归线以南,属亚热带季风气候区,年平均气温 22.4 °C,平均无霜期 355 d,年均降雨 1 926.7 mm. 地貌类型为低山丘陵和台地,土壤母质为花岗岩,主要土壤类型是赤红壤. 区内耕地面积占深圳市的 40%,主要分布在白花、楼村、北区、将石和凤凰 5 大片区. 土壤利用方式在 20 世纪 80 年代以水稻为主,粮食作物占总播种面积的 76.8%,经济作物 14.2%,蔬菜 6.9%,近 10 年则以蔬菜和水果生产为主,占总面积的 98% 以上. 施肥习惯在 20 世纪六七十年代以绿肥和农家肥为主,80 年代开始使用化学肥料,近年则以化学复合肥为主.

### 1.2 样品采集与分析

20 世纪 80 年代的土壤肥力数据采用 1984 年完成的第 2 次土壤普查中关于光明新区旧址的土壤肥力数据<sup>[6]</sup>,2011 年土壤肥力调查按照第 2 次土壤普查样点位置布点,对于不同片区则按照代表面积大小、土壤类型、地貌特征等情况布点,选取 10 m × 10 m 的范围,依据“对角线法”采集 0 ~ 20 cm 的 5 个点土壤,混匀后利用四分法保留 1 kg 土壤备用,同时用

GPS 记录每个样点的经纬度,并详细记载样点的地理位置、土地利用历史、植被、土壤类型及施肥习惯等信息. 将土壤样品风干磨细过筛,按照第 2 次土壤普查时采用的测定方法测定容重、pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾等土壤肥力指标.

容重用环刀法测定;土壤 pH 的测定用 pH 计电位法(水土质量比 2.5:1.0);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;碱解氮采用碱解扩散法;有效磷的测定采用 Olsen 法;速效钾用 NH<sub>4</sub>AC 浸提-火焰光度法.

数据统计采用 SAS9.0、ADE-4<sup>[7-8]</sup> 和 Excel 等软件进行.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同年代土壤肥力属性差异分析

表 1 为 1984 年第 2 次土壤普查与 2011 年调查的土壤肥力属性年代差异比较. 经过近 30 年的耕作,土壤容重显著增加( $P=0.041$ ),这与土壤利用方式以及耕作方法的转变有关. 土壤 pH 显著升高( $P=0.008$ ),2011 年 pH 的标准差大于 1984 年,说明 2011 年的 pH 变异性大于 1984 年. 土壤有机质的含量与 1984 年相比差异不显著( $P=0.318$ ). 全氮和碱解氮的含量都显著下降,但 2011 年碱解氮样点之间的均匀性要好于 1984 年. 有效磷和速效钾的含量与 1984 年相比显著提高,标准差也大于 1984 年. 从时间上看,不同肥力指标的变化趋势存在较大差异.

表 1 不同年代土壤肥力属性差异<sup>1)</sup>

Tab. 1 Differences in soil fertility properties in different years

| 年份       | 容重/<br>(g · cm <sup>-3</sup> ) | pH           | w/(g · kg <sup>-1</sup> ) |              | w/(mg · kg <sup>-1</sup> ) |                 |                  |
|----------|--------------------------------|--------------|---------------------------|--------------|----------------------------|-----------------|------------------|
|          |                                |              | 有机质                       | 全氮           | 碱解氮                        | 有效磷             | 速效钾              |
| 1984     | 1.13 ± 0.06b                   | 5.50 ± 0.01b | 22.23 ± 3.86a             | 1.10 ± 0.15a | 71.03 ± 32.24a             | 6.25 ± 4.37b    | 49.85 ± 21.13b   |
| 2011     | 1.31 ± 0.11a                   | 6.20 ± 0.71a | 25.05 ± 6.19a             | 0.61 ± 0.15b | 33.60 ± 7.28b              | 153.44 ± 68.39a | 203.02 ± 112.27a |
| <i>F</i> | 10.65                          | 34.57        | 1.87                      | 25.92        | 2.03                       | 10.65           | 12.57            |
| <i>P</i> | 0.041                          | 0.008        | 0.318                     | 0.012        | 0.029                      | 0.041           | 0.032            |

1) 表中 2 个年份数据为平均值 ± 标准差,同列数据中,凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著( $P > 0.05$ , Duncan's 法).

单个指标的分析不能真实反映土壤肥力属性的年代变化规律,本文针对以上 7 个指标对该区土壤肥力属性的年代变化进行了主成分分析,结果如图 1 所示.

由图 1a 可见,第一和第二这 2 个主成分的累计方差贡献率达到 86.65%,包含了样本的大部分信息. 第一主成分的贡献率为 62.23%,包含了大部分指标的信息. 第二主成分的贡献率为 24.42%,主要来自有机质、全氮和容重等指标. 结合图 1b 分析可见,1984 年土壤肥力偏向于较高的氮素含量、较低的

磷钾含量以及较低的 pH 和容重的方向,土壤肥力的主要决定指标是碱解氮、全氮以及容重,主要障碍因素是速效磷、钾的缺乏以及 pH 偏低. 2011 年的土壤肥力属性偏向于有效磷和钾含量高、氮素含量缺乏,土壤肥力的主要决定指标是有效磷和速效钾,主要限制因素则为全氮和碱解氮,以及容重. 2 个年代土壤肥力的主要决定指标和限制因素都发生了变化,通过对土壤综合肥力的判别分析发现,2 个年代的土壤综合肥力差异显著( $P=0.197$ ).

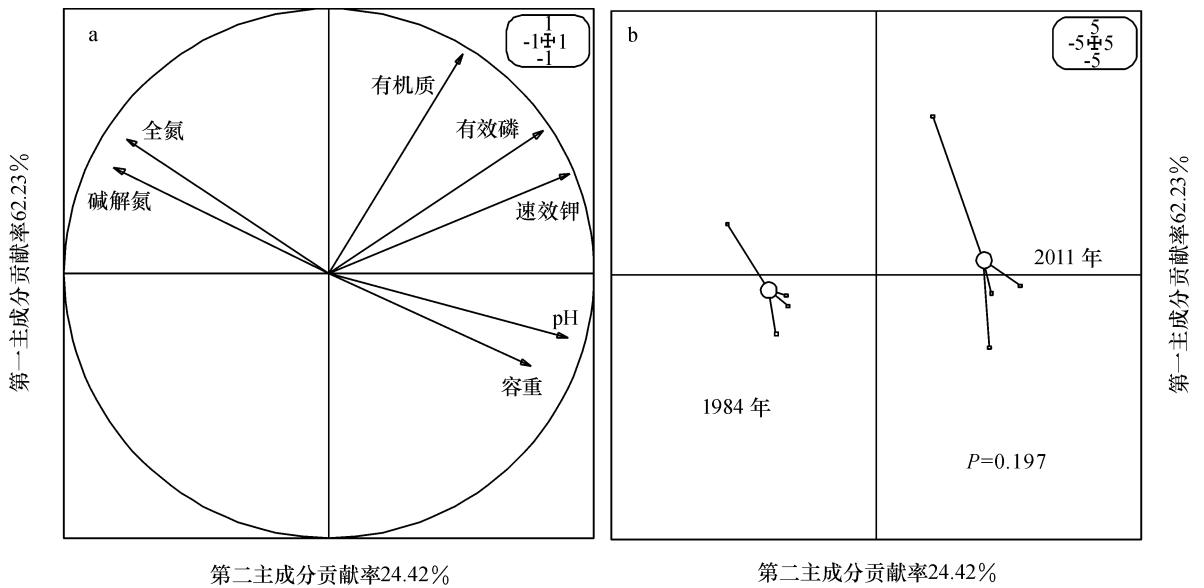


图1 不同年代土壤肥力属性主成分分析图

Fig. 1 Principal component analysis of soil fertility properties in different years

a: 主成分载荷图, 矢量箭头表示各肥力指标变量, 变量在主成分轴上的投影长短代表其对主成分的贡献, 矢量箭头的余弦角度代表其相关关系; b: 不同年代土壤综合肥力属性的主成分得分图, 其位置与空间载荷图上的土壤肥力指标矢量位置相对应.

## 2.2 不同区域土壤肥力属性差异分析

不同区域的空间条件不同, 地理位置和地形有差异, 水肥条件、耕作等人为扰动的程度不同, 导致在土壤肥力演变过程中, 各肥力属性产生差异. 表2为研究区2011年不同基本农田片区主要土壤肥力属性指标的差异分析. 由表中数据可见, 白花和楼村片区的容重显著低于其他片区 ( $P = 0.039$ ). 白花片区pH显著高于楼村片区, 其余各片区之间差异均不

显著. 楼村片区的有机质含量显著高于其他片区, 北片区则显著低于其他片区 ( $P = 0.014$ ). 全氮含量为将石和北片区显著低于其他片区 ( $P < 0.0001$ ). 将石片区的碱解氮含量显著低于其他片区 ( $P = 0.002$ ). 白花片区有效磷的含量显著高于其他片区 ( $P < 0.0001$ ), 并且由标准差可见白花片区各样点之间的差异最小. 速效钾以将石片区最低, 显著低于其他片区 ( $P = 0.005$ ).

表2 不同区域土壤肥力属性差异<sup>1)</sup>

Tab. 2 Differences in soil fertility properties in different areas

| 片区 | 容重/<br>( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | pH            | $w/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ |              | $w/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ |                 |                  |
|----|--|---------------|-------------------------------------|--------------|--------------------------------------|-----------------|------------------|
|    |  |               | 有机质                                 | 全氮           | 碱解氮                                  | 有效磷             | 速效钾              |
| 北区 | 1.37 ± 0.11a                               | 6.23 ± 0.57ab | 16.86 ± 3.00c                       | 0.49 ± 0.08b | 31.82 ± 8.22a                        | 126.27 ± 51.47b | 221.16 ± 121.17a |
| 楼村 | 1.27 ± 0.15b                               | 5.90 ± 0.70b  | 34.91 ± 9.83a                       | 0.84 ± 0.28a | 39.81 ± 13.98a                       | 185.42 ± 96.49b | 213.51 ± 133.42a |
| 将石 | 1.32 ± 0.12a                               | 6.11 ± 0.63ab | 21.26 ± 4.19b                       | 0.46 ± 0.14b | 26.98 ± 5.19b                        | 101.09 ± 50.91b | 146.79 ± 64.44b  |
| 凤凰 | 1.39 ± 0.06a                               | 6.32 ± 0.60ab | 27.30 ± 5.36b                       | 0.67 ± 0.07a | 35.03 ± 3.10a                        | 122.40 ± 64.95b | 186.09 ± 110.10a |
| 白花 | 1.22 ± 0.10b                               | 6.42 ± 1.06a  | 24.93 ± 8.56b                       | 0.64 ± 0.19a | 34.35 ± 5.92a                        | 232.03 ± 28.13a | 247.56 ± 132.22a |
| F  | 2.44                                       | 2.53          | 3.97                                | 14.68        | 5.97                                 | 9.81            | 4.63             |
| P  | 0.039                                      | 0.035         | 0.014                               | <0.0001      | 0.002                                | <0.0001         | 0.005            |

1) 表中各片区数据为平均值 ± 标准差, 同列数据中, 凡是有一个相同小写字母者, 表示差异不显著 ( $P > 0.05$ , Duncan's 法).

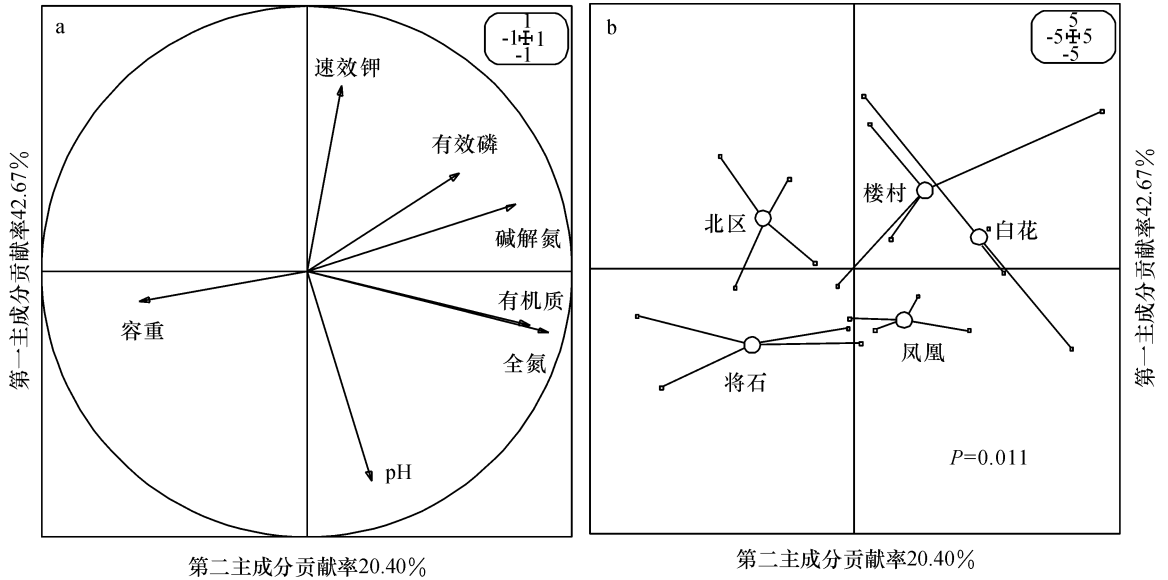
通过分析发现, 各片区的土壤肥力变异方向存在较大差异, 为进一步明确不同片区的差异, 对5个片区的7种土壤肥力指标进行了主成分分析, 结果如图2.

由图2a可见, 第一主成分的贡献率为42.67%, 主要来源于容重、全氮、有机质、碱解氮及有效磷, 第二主成分的贡献率为20.40%, 主要来源于速效钾和

pH. 由判别分析发现各片区的综合肥力存在显著差异 ( $P = 0.011$ ). 北片区土壤肥力属性主要向着较高容重和较低全氮、有机质、pH的方向演变, 土壤综合肥力相对较低, 主要限制因素为有机质、全氮的含量和容重. 将石片区土壤肥力属性主要向着较高容重和较低有效氮、磷、钾养分的方向演变, 土壤综合肥力较差, 主要限制因素为容重和有效养分的含量. 楼

村片区土壤肥力属性主要向着较高有效氮、磷、钾养分含量和较低容重、pH 的方向演变,土壤综合肥力处于中等,主要障碍因素为 pH 偏低. 凤凰片区土壤肥力属性则主要向着较高 pH、全氮、有机质和较低速效钾的

方向演变,土壤综合肥力处于中等,主要限制因素为速效钾含量. 白花片区土壤肥力属性则向着较低容重和较高全氮、有机质及有效氮、磷、钾养分的方向演变,土壤综合肥力较高,各肥力因子较为平衡.



a:主成分载荷图,矢量箭头表示各肥力指标变量,变量在主成分轴上的投影长短代表其对该主成分贡献,矢量箭头的余弦角度代表其相关关系; b:5 大片区土壤综合肥力的主成分得分图,其位置与空间载荷图上的土壤肥力指标矢量位置相对应.

图2 不同片区土壤肥力属性主成分分析图

Fig. 2 Principal component analysis of soil fertility properties in different areas

### 3 讨论与结论

1984—2011 年是珠三角地区经济高速发展时期,经济发展的同时土壤肥力如何变化是许多农业工作者比较关心的问题. 本文从时间和空间 2 个方面对土壤肥力的演变进行了分析.

研究区土壤综合肥力在时间上未表现出显著差异,但主要限制因素发生了变化. 通过单个因素方差分析可见,容重等物理属性变差, pH 显著上升,有机质未产生显著差异,氮素下降,磷、钾等有效养分显著提高. 水田改为旱地是土壤容重和 pH 提高的主要原因之一<sup>[9]</sup>. 叶菜类蔬菜对氮素的需求远远大于水稻,虽然近年来投入了大量复合肥,但未能满足叶菜对氮素的需求,故氮素含量大幅下降. 大量复合肥的施用,导致了作物利用较少的速效磷、钾元素的积累. 主成分分析的结果则表明,1984—2011 年的土壤综合肥力未产生显著差异( $P=0.197$ ),说明 28 年来经济发展的同时土壤综合肥力并未产生较大变化. 但值得注意的是,耕作过程中由于种植模式、耕作方式、以及管理水平等方面的改变,使得土壤肥力的主导因子与主要限制因素都发生了较大变化<sup>[5]</sup>,有效磷和速效钾的含量大幅度上升是对 2011 年土壤综合肥力的主要贡献因素,改善了 1984 年时的速效

磷、钾缺乏状况,这主要是由于大量化学肥料施用造成的<sup>[10]</sup>,但大量速效养分的存在也极易造成土壤的次生盐渍化<sup>[11]</sup>,应科学控制速效养分用量. 1984 年氮素含量为土壤综合肥力的主要贡献因素,但 2011 年的氮素含量却成为主要限制因素,土壤利用方式由 1984 年的水稻为主转变为 2011 年的蔬菜为主,而蔬菜种植又以对氮素需求较高的叶菜类占多数,长期高强度叶菜类蔬菜的连作可能是导致氮素下降的一个原因<sup>[12]</sup>. 此外,2011 年的土壤肥力属性还表现出物理性状变差和养分失衡现象,不合理施肥和长期高强度连作是主要原因<sup>[13]</sup>,在今后的生产中应注意用地与养地结合、科学耕作、合理施肥.

研究区不同位置的耕地土壤经过 28 年的演变产生了显著差异. 随着时间的推移以及经济发展的需要,同一区域的不同农田片区往往会形成各自的种植特色,种植模式的转变会带来各种管理方式的差异,土壤生态过程会随之变化<sup>[14]</sup>,导致土壤肥力向着不同的方向演变<sup>[15]</sup>,最终作用于土壤综合肥力<sup>[16]</sup>. 不同农田片区的土壤综合肥力存在显著差异( $P=0.011$ ),1984 年该区域土壤的利用方式以水稻为主,2011 年 98% 以上都改为了蔬菜和水果,利用方式的转变会影响土壤肥力演变<sup>[17-18]</sup>. 北片区容重偏高,有机质及养分含量较低,土壤综合肥力较低,

主要是因为该片区有大面积新增和新整理的耕地<sup>[19]</sup>,耕层土壤尚未充分熟化,结构尚未形成.将石片区以种植花卉和园林苗木为主,对土壤的管理较为粗放,水肥配合不够得当,影响了土壤肥力的演变过程<sup>[20]</sup>,最终导致综合肥力较差.楼村和凤凰片区均以蔬菜和水果种植为主,管理水平相对精细,土壤肥力处于中等.白花片区面积相对较小,以蔬菜种植为主,管理精细,水肥调节得当<sup>[21]</sup>,土壤综合肥力较高.

综上所述,过去28年里,光明新区土壤pH升高,改善了土壤酸化现象.有效磷和速效钾提高,改变了磷、钾等速效养分缺乏的状况,容重增大、氮素下降已演变成新时期土壤的主要障碍因素,土壤综合肥力前后基本持平.但主成分分析表明,土壤肥力的主要贡献因素和限制因素都发生了变化.利用方式和管理水平等方面的不同造成了空间上土壤综合肥力及主导肥力因素的变异.白花片区综合肥力最高,各肥力因子较为平衡;楼村和凤凰片区肥力中等,限制因素分别为pH和速效钾含量;北片区和将石片区土壤肥力最差,主要限制因素为土壤容重等物理性状.在今后的耕作中应针对主导肥力因素和肥力限制因子,加强现有肥力水平的保护和改良,采取积极的土壤保养手段进行科学合理的耕作.最终实现珠三角区域土壤资源的合理保护与利用.通过分析发现,主成分分析不仅能够区分土壤综合肥力的高低,而且也是探查主要土壤肥力障碍因子的有效方法.

#### 参考文献:

- [1] NIU Ling-an, HAO Jin-min, ZHANG Bao-zhong, 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.
- [2] 王媛,周建斌,杨学云.长期不同培肥处理对土壤有机氮组分及氮素矿化特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(6): 1173-1180.
- [3] MAURITZ V, 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] STAMATIADISA S, WERNERB M, BUCHANAN M. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field (San Benito County, California) [J]. *Applied Soil Ecology*, 1999, 12(3): 217-225.
- [5] 齐雁冰,黄标,赵永存,等.经济高速发展区土壤肥力质量演变的系统评价[J]. *土壤通报*, 2010, 41(1): 76-80.
- [6] 深圳市土壤普查办公室. *宝安土壤* [M]. 深圳: [出版者不详], 1984.
- [7] THIOULOUSE J, DANIEL C, SYLVAIN D, et al. ADE-4: A multivariate analysis and graphical display software [J]. *Statistics and Computing*, 1997, 7(1): 75-83.
- [8] [Vnon]. A language and environment for statistical computing [M]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2007.
- [9] 林兰稳,余炜敏,钟继洪,等.珠江三角洲水改旱蔬菜地土壤特性演变 [J]. *水土保持学报*, 2009, 23(1): 154-158.
- [10] 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(3): 85-88.
- [11] 施毅超,胡正义,龙为国,等.轮作对设施蔬菜大棚中次生盐渍化土壤盐分离子累积的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(3): 548-553.
- [12] 高强,巨晓棠,张福锁.几种新型氮肥对叶菜硝酸盐累积和土壤硝态氮淋洗的影响 [J]. *水土保持学报*, 2007, 21(1): 9-13.
- [13] 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(3): 459-465.
- [14] 薛蕙,李占斌,拳鹏,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] OUEDRAOGO 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.
- [16] 张国荣,李菊梅,徐明岗,等.长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(2): 543-551.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 张仕超,魏朝富,李萍.区域土地开发整理新增耕地潜力及其贡献分析 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(增刊2): 312-319.
- [20] 张玉铭,张佳宝,胡春胜,等.水肥耦合对华北高产农区小麦-玉米产量和土壤硝态氮淋失风险的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(3): 532-539.
- [21] 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.