

余江县稻田土壤肥力状况及其对水稻产量影响的初步研究

李平^{1,2}, 熊又升³, 王兴祥^{1*}, 梁圆¹

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏南京 210008; 2. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210044;

3. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 湖北武汉 430064)

摘要:对江西省余江县28个典型田块的调查结果显示,余江县稻田土壤以粉砂壤土和壤土为主,土壤pH值在4.78~5.37之间,属酸性土壤。参照第二次全国土壤普查分级标准,余江县稻田土壤有机质、全氮、碱解氮和速效磷含量丰富,但速效钾含量处于中等水平,少量田块还存在钾素缺乏的现象。2006~2008年28个定位田块平均年产量为12736 kg hm⁻²。主成分分析结果表明,影响当地水稻产量的主要土壤肥力因素是土壤有机质、全氮和碱解氮,速效钾的影响次之,再次是速效磷。因此,高度集约农业条件下土壤肥力指标值得进一步探讨;余江县在水稻生产过程中要加强有机肥的施用,增加钾肥施用,并适当减少磷肥的施用量。

关键词:红壤;水稻土;土壤肥力;水稻产量;主成分分析

中图分类号:S158 文献标识码:A 文章编号:0564-3945(2010)05-1095-06

水稻土是我国主要的耕作土壤类型,主要分布在长江以南的热带亚热带地区^[1]。2005年,我国水田面积占全国耕地面积的22.2%,但水稻产量却占当年粮食总产量的37.3%^[2]。因此,提高水稻产量对保障我国粮食安全具有重要意义。已有的研究表明,土壤肥力、水分、温度、气候条件、施肥、播种时间等均会直接影响水稻的生长^[3-7]。土壤肥力是农业生产的基础,它的平衡稳定和持续提高,是农业生产可持续发展的必要保证。因此,有关耕地土壤肥力现状及水稻产量主要影响因素的研究就显得尤为重要,这是一项确保农业持续稳定增产的基础性工作。

主成分分析是一种将多维因子纳入同一系统进行定量研究的多元统计方法。在多指标变量的研究中,变量之间往往存在一定的相关性,而主成分分析是同时分析所有指标,最终将多个指标归纳为几个少数互不相关的综合指标,从而简化了统计分析系统的结构,并可消除评价指标间的相互影响。目前,主成分分析方法已被应用于地球化学、土壤污染评价、土壤肥力评价等众多研究领域^[8-10]。本文以位于典型红壤区的江西省余江县稻田土壤为研究对象,通过面上采样调查稻田土壤养分状况,并采用主成分分析方法对土壤肥力与水稻产量的关系进行初步系统研究,以期在众多的肥力指标中找出影响当地水稻产量的主要因

素,为红壤地区水稻土质量评价与水稻合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于我国典型红壤区江西省余江县,该区域地处江西省东北部,处于东经116°41'~117°09',北纬28°04'~28°37',属亚热带季风气候区,雨热同季,光照充足,年均气温17.6℃,≥10℃积温6500℃,年均降雨量1766 mm,年日照时数1809 h,无霜期262 d^[11]。2005年全县耕地面积为20400 hm²,人均耕地面积0.06 hm²,耕地中85%为水田,土壤多为第四纪红黏土或第三纪红砂岩发育的红壤性水稻土。全县主要农作物为水稻,农田耕作制度多为双季稻作,部分农田为单季稻作制。余江县气候、土壤、地形地貌等自然条件和耕作制度、生产力水平等社会经济状况在中国南方亚热带地区具有典型代表性^[12]。

1.2 土壤样品采集

研究选取余江县邓家埠原种场、黄庄乡、杨溪乡、潢溪乡、中童乡和春涛乡6个观测片,每个片在相邻村组随机选取4~5个不同肥力水平的双季稻田块,共计28个田块。2006年早稻育秧前在各田块采集耕层(0~20 cm)多点混合土样,风干后去除有机残体,按

收稿日期:2009-5-22

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2005CB121107)、中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09)和南京信息工程大学科研启动项目(20080261)资助

作者简介:李平(1982-),男,江西吉水人,博士,讲师,主要从事集约化农业与土壤质量演变方面的研究。E-mail: pli@nuist.edu.cn

*通讯作者: E-mail: xxwang@issas.ac.cn

分析测试要求磨碎过筛备用。从2006年开始进行定位田块观测,2006~2008连续3年分别在早晚稻成熟收获时测定各田块水稻产量。

1.3 测定项目及方法

各样点土壤测定项目有:pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、土壤颗粒组成。其中,土壤pH值用电位法(水土比为2.5:1)测定;有机质用重铬酸钾容量法测定;全氮用凯氏半微量蒸馏法测定;全磷用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 消煮后用钼锑抗比色法测定;全钾用 HF-HClO_4 消煮后用火焰光度法测定;碱解氮(以N计)采用碱解扩散法测定;速效磷用 $0.5\text{ mol L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ (pH 8.50)浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾用 NH_4OAc 浸提—火焰光度法测定;土壤颗粒组成按美国制分级标准采用吸管法测定。上述项目的具体分析步骤参见文献^[3]。

1.4 数据处理

实验数据的常规分析和处理采用Excel 2003和SPSS 13.0进行,在分析土壤肥力性质对水稻产量的影响时采用了主成分分析方法。

2 结果与分析

2.1 各定位田块土壤pH与肥力状况

2.1.1 土壤pH 表1显示了28个定位田块耕层土壤理化性质的基本情况,各独立田块理化性质的具体数据限于篇幅未全部列出。由表1可知,该区土壤pH值在4.78~5.37之间,按第二次全国土壤普查分级标准划分均属于酸性土壤^[14]。其原因除了与红壤性水稻土的成土母质有关外,还与当地稻田的施肥习惯有关。各定位田块2006~2008年肥料施用量的调查结果显示(数据未列出),28块稻田氮肥的平均施用量达 263.2 kg hm^{-2} ,已经大大超过了国际上公认的施氮上限 225 kg hm^{-2} ^[15]。此外,研究区域内稻田施用的氮肥主要为尿素,而尿素的持续施用会降低土壤pH值^[16]。

2.1.2 土壤有机质 由表1可知,28个定位田块耕层土壤有机质含量在 $22.28\sim 56.30\text{ g kg}^{-1}$ 之间,平均含量为 33.53 g kg^{-1} ,按第二次全国土壤普查分级标准划

分属于丰富水平^[14],其中更有14.3%的田块土壤有机质含量达到很丰富水平。近年来,随着当地农村生活水平的提高,农民不再把水稻秸秆作为生活燃料的主要来源,而是更多的把秸秆还田,秸秆的大量还田使得稻田土壤有机质含量处于一个稳定丰富的状态,从而增加了土壤肥力。

2.1.3 土壤氮、磷、钾养分 表1还显示28个定位田块土壤全氮含量在 $1.28\sim 3.49\text{ g kg}^{-1}$ 之间,平均含量达 1.96 g kg^{-1} ,参照第二次全国土壤普查分级标准^[14],研究区域内土壤全氮含量处于丰富水平,其中更有46.4%的田块土壤全氮含量处于很丰富水平。此外,有25%的田块土壤碱解氮含量处于 $120\sim 150\text{ mg kg}^{-1}$ 的丰富水平,其余田块均处于很丰富水平,这使得28个田块土壤碱解氮平均含量达 185.9 mg kg^{-1} ,处于很丰富水平。氮肥的大量施用是导致土壤氮素含量较高的主要原因。各定位田块土壤全磷含量在 $0.33\sim 0.80\text{ g kg}^{-1}$ 之间,平均含量为 0.51 g kg^{-1} ,速效磷含量在 $8.80\sim 89.43\text{ mg kg}^{-1}$ 之间,平均含量为 34.70 mg kg^{-1} 。研究区域内土壤全磷含量处于缺乏水平,但土壤速效磷含量较高,处于丰富水平,其中25%的田块土壤速效磷含量处于很丰富水平。速效磷的高含量与磷肥,特别是复合肥用量的增加有很大关系。相对于土壤氮素和磷素的高含量而言,土壤速效钾含量却并不高。28个田块土壤速效钾平均含量为 84.06 mg kg^{-1} ,处于中等水平,少量田块还存在钾素缺乏的现象。由此可见,应该增加研究区域内稻田钾肥的施用比例,以保证土壤肥力的平衡,维持水稻正常生长造成的钾消耗。

2.1.4 土壤颗粒组成 土壤颗粒组成是反映土壤性质和适耕性的一个重要因素。由表1可知,28个定位田块土壤砂粒、粉粒、粘粒的含量分别在13.09%~53.17%、36.16%~66.75%、8.20%~27.72%之间,土壤组成以砂粒和粉粒为主,粘粒含量不高。土壤质地大部分不粘,以粉砂壤土和壤土为主,这是土壤长期进行水耕熟化过程的结果。这样的质地比较适宜于耕作,再加上土壤有机质含量较高,在亚热带季风气候条件下,这些都有利于土壤有机物的转化,养分的有

表1 28个定位田块土壤理化性质本底值

Table 1 The background of physico-chemical properties of soils in the 28 paddy fields

	pH	有机质 Organic matter (g kg^{-1})	全氮 Total N (g kg^{-1})	全磷 Total P (g kg^{-1})	全钾 Total K (g kg^{-1})	碱解氮 Available N (mg kg^{-1})	速效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	砂粒 Sand (%)	粉粒 Silt (%)	粘粒 Clay (%)
最小值	4.78	22.28	1.28	0.33	5.95	121.3	8.80	47.50	13.09	36.16	8.20
最大值	5.37	56.30	3.49	0.80	31.42	297.7	89.43	175.0	53.17	66.75	27.72
平均值	4.97	33.53	1.96	0.51	18.65	185.9	34.70	84.06	30.74	55.36	13.90
标准偏差	0.12	7.94	0.55	0.13	9.24	39.86	19.99	29.32	10.70	8.48	3.86
变异系数(%)	2.34	23.68	27.75	24.71	49.56	21.45	57.62	34.88	34.79	15.33	27.79

效化,使得土壤具有较好的保肥、供肥性能,从而促进水稻的生长。

2.2 各定位田块水稻产量

28 个定位田块 2006~2008 年早、晚稻产量基本情况见表 2。2006 年早稻产量在 4283~8184 kg hm⁻² 之间,平均产量为 6275 kg hm⁻²;晚稻产量在 3788~7781 kg hm⁻² 之间,平均产量为 5252 kg hm⁻²。2007 年早稻产量在 3526~8330 kg hm⁻² 之间,平均产量为 6047 kg hm⁻²;晚稻产量在 3001~7461 kg hm⁻² 之间,平均产量为 5911 kg hm⁻²。2008 年早稻产量在 3210~9570 kg hm⁻² 之间,平均产量为 6689 kg hm⁻²;晚稻产量在 4839~12067 kg hm⁻² 之间,平均产量为 8036 kg hm⁻²。3 年平均年总产量达 12736 kg hm⁻²。由表 2 可知,相同年际 28 个田块早、晚稻产量及年总产的变异系数均在 13% 以上,说明不同田块间水稻产量的差异较大,

2006~2008 年早稻产量最大值分别是最小值的 1.91、2.36、2.98 倍,晚稻产量最大值分别是最小值的 2.05、2.49、2.49 倍。如此大的差异与各田块土壤肥力状况的差异有关,2006 年水稻产量最高的田块土壤有机质、氮、磷、钾含量要显著高于产量最低的田块(数据未列出)。除了土壤肥力状况的影响,农田管理措施得当与否也会影响到水稻产量的高低。

从表 2 还可以看出,2006、2007 两年间水稻产量差异不大,且早稻平均产量高于晚稻。而 2008 年早、晚稻平均产量分别比 2006 和 2007 年增加了 6.60%、53.01% 和 10.61%、35.95%,晚稻的增加幅度要显著高于早稻。2008 年水稻产量的增加有施肥、气候条件、田间管理等多方面的原因,但这也从另一方面说明研究区域内稻田还有一定的增产潜能,如果能够找出影响水稻产量的主因子,采取适当措施,就可提高水稻产量。

表 2 28 个定位田块 2006~2008 年水稻产量(kg hm⁻²)

Table 2 Rice yields of the 28 paddy fields from 2006 to 2008

	2006 年			2007 年			2008 年			3 年平均总产 Ave. yield
	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	总产 Total	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	总产 Total	早稻 Early rice	晚稻 Late rice	总产 Total	
最小值	4283	3788	8517	3526	3001	7761	3210	4839	11214	10469
最大值	8184	7781	15965	8330	7461	14011	9570	12067	19808	15226
平均值	6275	5252	11527	6047	5911	11958	6689	8036	14724	12736
标准偏差	1048	1137	1689	1234	1092	1618	1374	1932	2244	1303
变异系数(%)	16.69	21.65	14.66	20.41	18.47	13.53	20.54	24.04	15.24	10.23

2.3 土壤肥力性质对水稻产量的影响

为探讨土壤肥力性质与水稻产量之间的关系,我们将各土壤理化性质分别与水稻产量进行相关分析,结果表明(表 3),2006 年早稻产量与土壤有机质含量极显著正相关,与土壤全氮、全磷、碱解氮、粉粒含量均显著正相关,而与土壤砂粒含量极显著负相关。2007 年晚稻产量与土壤全钾含量显著正相关。2008 年早稻产量与土壤有机质、碱解氮含量显著正相关,与土壤全氮含量极显著正相关。2006~2008 年平均水稻年产量与土壤有机质、全氮、碱解氮含量均显著正相关。

值得注意的是,虽然某些土壤肥力指标与水稻产量之间存在一定的相关性,但有时候用简单的相关分析说明土壤各因子间的因果联系并不可靠^[7]。表 3 也显示,2006 年晚稻、2007 年早稻、2008 年晚稻产量与各项土壤理化性质之间均没有显著的相关关系,这与前述的结果截然不同。由此可见,简单的相关分析并不能如实反映土壤肥力性质对水稻产量的影响。因此,考虑到土壤系统的复杂性,许多土壤肥力指标都是非独立变量,彼此之间往往是互相影响的。为防止各因素间的相互关联对结果分析的影响和干扰,本文采用主成分分析法对各项土壤肥力指标进行综合分

表 3 土壤理化性质与水稻产量之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between physico-chemical properties of soils and rice yields

	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	碱解氮 Available N	砂粒 Sand	粉粒 Silt
2006 年早稻	0.481	0.385	0.456	-	0.394	-0.483	0.515
2006 年晚稻	-	-	-	-	-	-	-
2007 年早稻	-	-	-	-	-	-	-
2007 年晚稻	-	-	-	0.429	-	-	-
2008 年早稻	0.385	0.496	-	-	0.436	-	-
2008 年晚稻	-	-	-	-	-	-	-
3 年平均年产量	0.456	0.450	-	-	0.423	-	-

注:表中 ** 表示显著性水平为 $P < 0.01$, 表示显著性水平为 $P < 0.05$, - 表示没有显著相关性

析, 以从众多的因子中识别出起主导作用的成分, 从整体上进一步分析土壤肥力性质对水稻产量的影响。所有数据经主成分分析后得到了 3 个主成分 F1、F2、F3, 第 1 主成分所概括的信息最多, 达到 52.8%, 3 个主成分的特征值累积贡献率为 92.8%(表 4), 说明这 3 个主成分综合了所选指标的大部分信息。一般来说, 提取的主成分因子其累积贡献率要求在 70%~90% 之间^[18,19], 因此本研究所得到的分析结果是合理可靠的。各主成分的载荷见表 5, 第 1 主成分中以有机质、全氮和碱解氮贡献最大, 第 2 主成分中起主要作用的是速效钾, 第 3 主成分中则以速效磷的贡献最大。通过主成分分析, 影响本研究区域内水稻产量的主要土壤肥力因素和贡献率被确认出来, 土壤有机质、全氮、碱解氮、速效钾和速效磷含量显著影响水稻产量。

表 4 各主成分特征值及其方差贡献率

Table 4 Each Initial Eigenvalue and its percentage of variance in principal component analysis

	F ₁	F ₂	F ₃
特征值	1689.8	853.2	426.6
贡献率(%)	52.8	26.7	13.3
累积贡献率(%)	52.8	79.5	92.8

表 5 主成分分析因子载荷矩阵

Table 5 Factor loading matrix of the principle components

因子 Factor	主成分 Component		
	F ₁	F ₂	F ₃
pH	-0.386	0.138	-0.229
有机质	0.962	-0.103	-0.064
全氮	0.971	-0.014	0.056
全磷	0.006	-0.017	0.094
全钾	-0.336	0.053	-0.272
碱解氮	0.994	0.088	0.063
速效磷	-0.198	-0.033	0.957
速效钾	-0.154	0.988	0.001
砂粒	-0.275	0.029	0.493
粉粒	0.329	-0.060	-0.517
粘粒	0.038	0.053	-0.228

为检验主成分分析结果的准确度, 我们计算了 28 个田块各主成分的因子得分, 结果见表 6。表中 f_1 、 f_2 、 f_3 分别为 3 个主成分的因子得分, F 为综合因子得分, 计算公式如下: $F=(0.528 \times f_1+0.267 \times f_2+0.133 \times f_3)/0.928$ 。将各田块 3 年水稻平均年产量 $Y(\text{kg hm}^{-2})$ 与综合因子得分 F 进行回归分析得到如下方程: $Y=883 F+12731$ ($r=0.446^*$), 两者之间存在显著正相关关系, 说明本文中的主成分分析结果可以反映土壤肥力性质对水稻产量的影响。

表 6 各主成分因子得分矩阵

Table 6 Score matrix of each principal component of different field sites

田块编号 Field site	f_1	f_2	f_3	F
1	1.909	-0.533	0.547	1.011
2	0.961	-0.339	-0.830	0.330
3	2.765	0.035	0.759	1.692
4	1.841	-0.440	-0.374	0.867
5	0.108	0.927	0.046	0.335
6	0.470	-0.657	-0.420	0.018
7	0.291	2.324	1.419	1.037
8	-0.897	-0.096	2.755	-0.143
9	-0.886	-0.543	-0.652	-0.754
10	-0.854	-1.389	-0.419	-0.946
11	0.387	1.042	-1.213	0.346
12	-1.182	2.943	-0.678	0.077
13	-0.092	0.503	-1.209	-0.081
14	-0.125	0.265	1.066	0.158
15	-0.964	0.046	0.137	-0.515
16	-0.676	0.435	0.731	-0.155
17	0.045	1.173	-0.306	0.319
18	0.078	-0.147	-0.102	-0.012
19	-1.038	-0.794	1.242	-0.641
20	-0.583	-0.666	-0.876	-0.649
21	-0.267	-0.162	-1.243	-0.377
22	-1.566	-0.824	0.279	-1.088
23	-1.134	-1.304	-0.976	-1.160
24	0.125	0.641	-0.384	0.201
25	0.553	-0.757	-0.682	-0.001
26	0.428	-0.268	-0.629	0.076
27	0.239	-1.087	1.957	0.104
28	0.065	-0.330	0.053	-0.051

3 讨论

已有的研究表明, 土壤 pH 会影响水稻种子的萌发和秧苗的生长, 进而影响水稻产量^[20], 土壤质地的不同对水稻的生长和发育也有一定的影响^[21]。然而本研究中土壤 pH 和颗粒组成两个指标均不在影响水稻产量的 3 个主成分当中, 这可能与上述两个指标在不同田块间的差异不大有关。表 1 显示 28 个田块土壤 pH 的变异系数只有 2.34%, 最大值与最小值之间只相差 0.59 个单位; 同时, 水稻生长过程中稻田淹水后土壤 pH 趋于中性。各田块土壤虽然在砂、粉、粘粒具体含量上存在一定差异, 但此差异均未影响土壤质地的分类, 28 个田块均属于粉砂壤土或壤土, 因此土壤 pH 与颗粒组成对不同田块水稻产量差异的影响不显著。

主成分分析结果显示, 本研究区域内土壤有机质含量是影响水稻产量的重要因素。有机质是衡量土壤肥力的主要标志之一, 是作物营养的重要来源。一方面土壤有机质含有大量植物生长所必需的大量元素和微量元素^[22]; 另一方面, 高土壤有机质含量有助于土壤酶活性的发挥, 加速土壤养分的分解、转化、合成^[23,24], 从而提高作物产量。因此, 可以考虑在施用化肥的同时给稻田配施一定量的有机肥, 以增加土壤有机质含

量。本研究中 28 个定位田块耕层土壤有机质含量均处于丰富水平, 平均含量达 33.53 g kg^{-1} (表 1)。在如此高的土壤背景有机质条件下, 有机质含量仍然是影响水稻产量的主要因素, 这可能与土壤有机质的组成有关。土壤有机质的总量只是一个有机质积累和矿化分解的平衡结果, 往往难以反映土壤有机质的质量, 更不能很好地反映土壤质量。对于水稻土而言, 土壤有机质分解缓慢^[2], 只有某些活性较强的、易分解的有机质才与水稻生育密切相关。研究表明, 土壤活性有机质如松结合态腐殖质对植物有效养分的供应有最直接的作用^[26, 27]。因此, 在进行土壤质量评价时要注意某些活性有机质指标的选择。

化学氮肥的施用一直是稳定及提高我国水稻产量的重要措施, 单施或配施氮肥的增产效果均很明显^[28]。已有的研究表明, 氮肥的增产效应存在一定的阈值, 当氮素施用量达到一定水平时, 再增加氮肥施用量, 产量并没有显著提高, 甚至可能造成减产^[29]。然而, 本研究中 28 个定位田块在氮肥平均施用量达 263.2 kg hm^{-2} , 土壤氮素含量丰富的情况下, 再施用氮肥仍有一定的增产效果。主成分分析结果显示土壤全氮和碱解氮含量处于影响水稻产量的第 1 主成分, 这可能与土壤长期大量施用氮肥使水稻对高氮环境产生依赖, 从而降低了肥料利用率有关。研究表明, 土壤背景氮含量较高条件下水稻产量对氮肥的反应明显降低, 氮肥利用率的各个指标均有不同程度的下降^[30]。因此, 未来研究区域内某些田块或可适当减少氮肥施用量, 并加强有关土壤氮含量阈值、氮肥利用率提高途径等方面的研究。

钾是水稻生长必需的营养元素, 我国南方许多地区特别是红壤地区, 土壤中含钾矿物易风化流失, 造成土壤缺钾面积日益增加, 进而导致作物产量和品质不断下降。本研究中 28 个定位田块土壤速效钾含量在 $47.50 \sim 175.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间, 处于中等水平, 但在红壤地区通常仍不能完全满足作物生长的需要^[31]。主成分分析结果也表明, 速效钾在第 2 主成分中起主要作用, 说明速效钾含量仍是影响该区域水稻产量的重要因素。实际生产中在重视钾肥施用的同时还应注意有机物料的再循环利用, 否则很可能会加重土壤钾素的亏缺程度。

以往的研究表明, 磷是红壤区水稻生产的主要限制因子^[32, 33]。但随着磷肥的长期大量施用, 红壤区稻田土壤速效磷含量得到了大幅度提高。本研究中 28 个定位田块土壤速效磷平均含量达 34.70 mg kg^{-1} , 远远超过了 10 mg kg^{-1} 这一被认为是水稻产量增产上限的土壤速效磷含量阈值^[34]。因此, 虽然磷肥的施用仍有一

定的增产效果, 但土壤速效磷对水稻产量的影响已经相对较弱, 主成分分析结果也表明速效磷含量处于影响水稻产量因素的第 3 主成分。一方面可能是由于磷的利用效率较低, 另一方面也说明利用 10 mg kg^{-1} 的速效磷含量阈值难以指导高磷土壤磷肥的施用, 应对此数值作适当修正。

4 结论

面上调查结果表明, 本研究区域内稻田土壤均属于酸性土壤。参照第二次全国土壤普查分级标准, 余江县稻田土壤全磷含量处于缺乏水平, 速效钾含量处于中等水平, 有机质、全氮、碱解氮和速效磷含量均处于丰富水平。在众多土壤肥力因素中, 有机质、全氮和碱解氮是影响当地水稻产量的主要因素, 其次是土壤速效钾, 而土壤速效磷次之。因此, 高度集约农业条件下土壤肥力指标值得进一步探讨; 水稻生产过程中要加强有机肥的施用, 增加钾肥施用, 适当减少磷肥施用量, 以促进当地农业的发展, 保障粮食安全。

参考文献:

- [1] 李庆逵. 中国水稻土[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [2] 中华人民共和国农业部. 中国农业年鉴(2006)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [3] 李秀芬, 贾燕, 黄元才, 等. 播栽期对水稻产量和产量构成因素及生育期的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 98 - 100.
- [4] 杨文坎, 李湘阁. 气候变化对越南北方水稻生产的影响[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(1): 55 - 64.
- [5] 李 华, 王冬吟, 朱德峰. 土壤水分状况对水稻物质积累和产量的影响[J]. 西南农业学报, 2008, 21(1): 114 - 116.
- [6] 霍中洋, 顾承华, 戴其根, 等. 温度对水稻两优培九生育期和产量的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2002, 23(1): 51 - 54.
- [7] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133 - 3139.
- [8] 王国平, 刘景双. 向海湿地元素地球化学特征与高分沉积纪录[J]. 地理科学, 2003, 23(2): 208 - 212.
- [9] BORUVKA L, VACEK O, Jehlicka. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils[J]. Geoderma, 2005, 128: 289 - 300.
- [10] 兰忠明, 王 飞. 多元统计分析在三明烟区土壤肥力评价中的运用[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 263 - 266.
- [11] 江西省余江县土壤普查办公室. 余江县土壤[M]. 1986.
- [12] 江西省余江县统计局. 余江县国民经济统计资料[M]. 2006.
- [13] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [14] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [15] 鲁如坤, 主编. 土壤 - 植物营养学原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.

- [16] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1994.
- [17] 蒋廷惠, 胡霭堂, 郑绍建, 等. 土壤学研究中相关与回归分析值得注意的几个问题[J]. 土壤通报, 1995, 26(1): 40 - 42.
- [18] 郭笃发, 王秋兵. 主成分分析法对土壤养分与小麦产量关系的研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 523 - 527.
- [19] 唐玉姝, 慈恩, 颜廷梅, 等. 太湖地区长期定位试验稻麦两季土壤酶活性与土壤肥力关系[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 1000 - 1006.
- [20] 全松华, 汪永国, 罗绍球, 等. 苗床土壤 pH 值对水稻秧苗素质的影响[J]. 杂交水稻, 2004, 19(4): 45 - 46.
- [21] 方学良. 不同质地土壤特性与水稻生育的关系[J]. 土壤肥料, 1985, (5): 5 - 8.
- [22] BRADY N C, WEIL R R. The Nature and Properties of Soils[M]. 13th ed. Chapter 12: Soils organic matter. Upper Saddle River, N J: Prentice-Hall, Inc, 2002.
- [23] 罗安程, SBUEDE T B, 章永松, 等. 有机肥对水稻根际土壤中微生物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(4): 321 - 327.
- [24] GOVI M, FRANEIOSO O, CIAYATTA C, et al. Influence of long term residue and fertilizer applications on soil humic substances: A study by electrofocusing[J]. Soil Science, 1992, 154(1): 8 - 13.
- [25] 徐琪, 杨林章, 董元华, 等. 中国稻田生态系统[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [26] BLAIR G J, LEFROY R D B, LISLE L. Soil carbon fraction based on their degree of oxidation and development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46: 1459 - 1466.
- [27] 蔡燕飞, 章家恩, 张杨珠, 等. 稻作制度对红壤性水稻土有机质特征的影响[J]. 土壤, 2006, 38(4): 396 - 399.
- [28] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992.
- [29] 柳金来, 宋继娟, 李福林, 等. 氮肥施用量对水田土壤肥力和水稻植株养分含量及产量的影响[J]. 农业与技术, 2000, 20(4): 8 - 12.
- [30] 刘立军, 徐伟, 唐成, 等. 土壤背景氮供应对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(4): 343 - 349.
- [31] 鲁如坤, 时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施 II. 磷、氮、钾库重建措施[J]. 土壤, 2000, (6): 310 - 315.
- [32] 赵其国, 谢为民, 贺湘逸, 等. 江西红壤[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1988.
- [33] 李成亮, 何园球, 王艳玲, 等. 氮磷钾肥对红壤区水稻增产效应的影响[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(2): 179 - 184.
- [34] 鲁如坤. 土壤磷素(二)[J]. 土壤通报, 1980, 2: 47 - 49.

Preliminary Study on Soil Fertility Status of Paddy Fields in Yujiang County and its Effect on Yield of Rice

LI Ping^{1,2}, XIONG You-sheng³, WANG Xing-xiang^{1*}, LIANG Yuan¹

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. College of Applied Meteorological Science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 3. Plant Protection and Soil Fertilizer Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)

Abstract: The results of investigation about 28 typical paddy fields in Yujiang County, Jiangxi Province showed that most soils in this region were loamy soil and silty loam soil, which belonging to acid soil with pH of 4.78 - 5.37. Soil organic matter, total N, available N and available P were rich in those soils, whereas available K was in medium level, and some paddy fields even had potassium deficiency. The average annual rice yield of 28 paddy fields in the three years from 2006 to 2008 was 12736 kg hm⁻². Results of principal component analysis showed that soil organic matter, total N and available N were the main factors that affected rice yield in local fields, readily available K took the second place, and readily available P took the third place. So, application rate of organic fertilizer should be increased, potassium fertilizer should be applied in rational rate, and application rate of phosphorus fertilizer should be reduced properly during the rice produce.

Key words: Digital soil; Soil database; Digital soil mapping; Soil information system; Three-Dimension visualization; Metadata; Data standardization; Data sharing