

# 集约农业利用下红壤地区土壤肥力 与环境质量变化及调控

## ))) 江西省南昌市郊区和余江县案例研究\*

张桃林<sup>1</sup> 潘剑君<sup>2</sup> 刘绍贵<sup>2</sup> 王兴祥<sup>1</sup> 李忠佩<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

**摘要** 选择江西省南昌市郊区和余江县分别代表红壤地区集约化农业快速发展的大城市郊区和典型农区, 研究集约农业利用下红壤地区土壤肥力与环境质量的变化特征与调控措施。结果表明, 20 多年来, 以南昌市郊区为代表的城郊菜地的土壤有机质含量平均增加 211.53% (一般农田的土壤有机质含量变化不大), 土壤速效磷含量增加 131.15~181.86 倍, 土壤速效钾含量平均增加 11.15~113.5 倍; 而土壤全氮含量增加不明显, 土壤硝态氮的积累不多; 以余江县为代表的传统农区, 土壤酸化趋势明显, 近 90% 的土壤有 pH 下降现象, 平均下降达 0.15 个单位; 同时部分农田土壤有一定程度的重金属污染。农业种植业结构调整、化肥用量的增加特别是磷钾肥的大量施用、以及畜禽粪肥的施用, 是造成土壤养分富集和失衡、土壤酸化的重要原因。工业生产是造成农田土壤污染的主要原因。短期减量施肥、配合施用养分促进剂, 以及通过施用缓释肥料提高肥料利用率, 均可在一定程度上控制养分的过度富集与失衡; 适当施用石灰等碱性改良剂是防治土壤酸化的重要措施; 而对于轻度污染土壤, 可以通过施用化学改良剂(如石灰等), 或种植超积累植物而得到修复。

**关键词** 变化; 土壤肥力; 环境质量; 集约农业利用; 红壤区; 江西

**中图分类号** S158.1 **文献标识码** A

提高土地的集约化利用程度是提高土地产出的重要方式。半个多世纪以来, 以高投入和高强度利用为特征(包括化肥、农药、农膜和农机总动力投入量的增加, 以及有效灌溉面积的扩大等)的集约农业利用显著提高了粮食的产量。近年来我国粮食总产量已居世界第一, 然而我国粮食的人均产量仍然较低<sup>[1]</sup>, 尤其是随着人口的继续快速增长, 在未来的一段时间内, 粮食安全问题还会比较突出, 土壤的高强度利用和大量的农业化学品的大量投入, 可能还是解决粮食安全的一个重要途径。值得注意的是, 集约农业所带来的土壤和环境问题日益突出<sup>[2~6]</sup>。我国化肥的平均利用率为 35% 左右, 农药有 60%~70% 残留在土壤中, 农膜有 40% 残留土壤中<sup>[2]</sup>, 同时大中型机械的频繁使用, 也使土壤结构变差。因此, 在集约农业发展过程中, 需更加注重保护土壤和环境, 增强农业生态系统的稳定性和可持续发展能力。

我国南方红壤地区历来在我国农业和经济的持续发展中发挥重要作用, 粮食生产占全国的 42.17%, 其中水稻生产为全国的 3/4, 用占全国 28% 的耕地, 养育着占全国 43% 的人口<sup>[7]</sup>。随着经济的快速发展, 农业集约化程度日益提高。研究该区集约农业利用下的土壤肥力变化、土壤污染和环境风险状况及其驱动因素, 对土壤资源的可持续高效利用具有重要现实意义。本文选择江西省余江县和南昌市郊区分别作为双季稻(田)和蔬菜农业集约案例研究区, 阐述近 20 年来在集约农业利用条件下土壤肥力、环境质量的变化特征、过程与机理, 并探讨其调控途径及措施。

## 1 研究区概况

### 1.1 南昌市郊区

南昌市郊区地形以平原为主, 有少量丘陵分布。

\* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX32SW2417)资助

- 通讯作者, 电话: 025284395329; E-mail: jpan@njau.edu.cn

作者简介: 张桃林(1961~), 男, 江苏姜堰人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤资源和区域可持续发展研究

收稿日期: 2006-03-24; 收到修改稿日期: 2007-03-30

在土壤类型上,红壤占 281%,其余多为潮土和水稻土<sup>(1)</sup>。由于地处城市边缘,经济较为发达,农业投入较大,集约利用程度较高。该区(南昌市郊区统计资料为青山湖区的资料)<sup>[8]</sup>2002 年土地复种指数高达 2194,以耕地面积计,施用 N 肥、P 肥、K 肥和复合肥分别为  $62119 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $41817 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $24117 \text{ kg hm}^{-2}$  和  $10919 \text{ kg hm}^{-2}$ 。农村用电量 10 610 万 kWh,耕地用电量  $24 870 \text{ kWh hm}^{-2}$ ,旱涝保收面积占总耕地面积比重为 1741%,蔬菜播种面积占总播种面积的近 1/3,是红壤区较为典型的蔬菜集约种植区。

## 112 余江县

余江县处于江西省东北部,土地面积  $91415 \text{ km}^2$ ,其中耕地面积  $29019 \text{ km}^2$ 。红壤是该县的地带性土壤类型,占总土壤面积的 64167%<sup>(2)</sup>。2002 年<sup>(3)</sup>水田占总耕地面积的 87%,农业集约利用程度高,主要表现在农业人口众多,土地复种指数高(达 2161)和农业投入高。以耕地面积计,施用 N 肥、P 肥、K

肥和复合肥分别为  $59119 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $42119 \text{ kg hm}^{-2}$ 、 $19818 \text{ kg hm}^{-2}$  和  $31918 \text{ kg hm}^{-2}$ 。2002 年施用农药 344 t,农膜使用量 98 t,农村用电量 2 198 万 kWh。所以,该县是红壤区典型的双季稻集约生产区。

## 2 材料与方法

### 211 土壤样品采集

在综合考虑土壤类型、成土母质、地形地貌、农业集约利用程度等因素的基础上,分菜地、旱地和水田利用方式,用 GPS 进行了样点定位,2003 年 2 月在余江县采集土样 38 个,南昌市郊区采集土样 62 个(图 1)。采样分 3 层进行,采样深度分别为 0~10 cm、10~20 cm 和 20~40 cm。为了便于与第二次土壤普查相应土壤属性数据比较,在统计过程中,将 2003 年采集的 0~10 cm 和 10~20 cm 土壤数据均值作为耕层土壤属性数据。

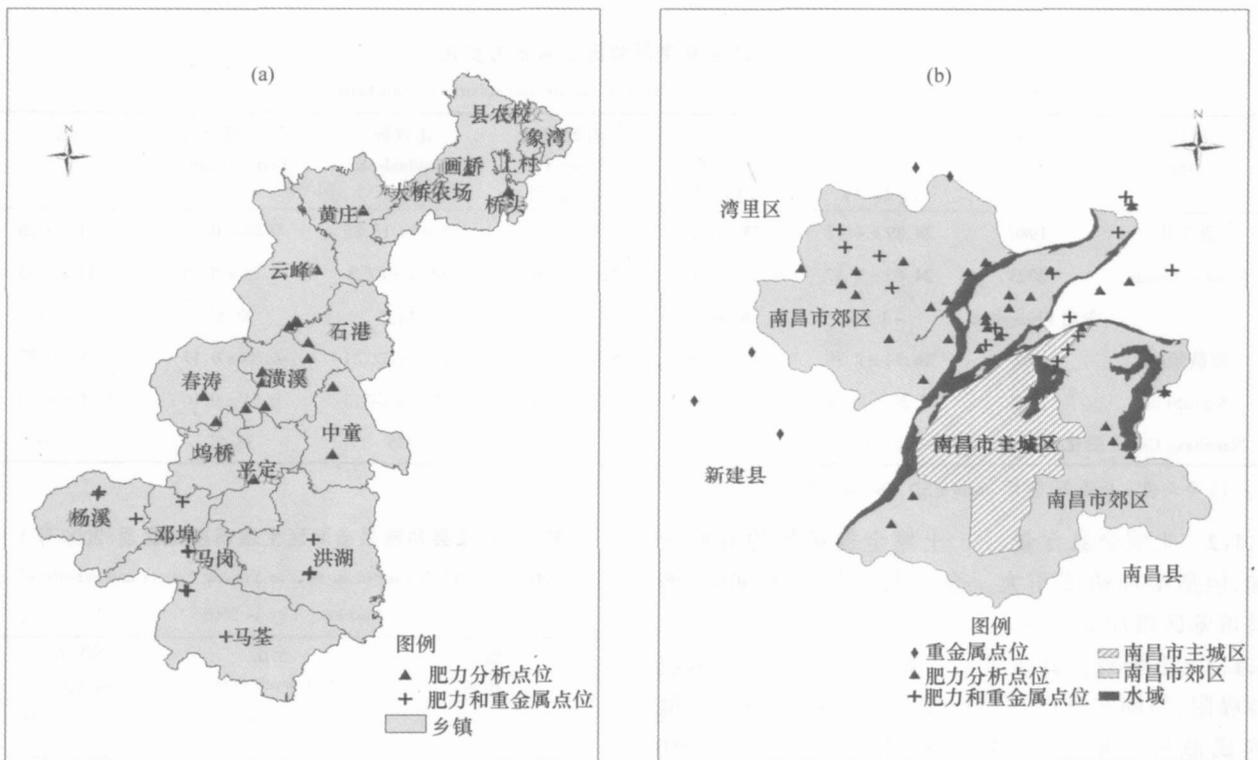


图 1 余江县(a)和南昌市郊区(b)土壤采样点位图

Fig1 Distribution map of soil sampling sites in Yujiang County (a) and suburbs of Nanchang City (b)

- (1) 南昌市郊区土壤普查办公室. 南昌市郊区土壤. 1985
- (2) 江西省余江县土壤普查办公室. 余江县土壤. 1986
- (3) 江西省余江县统计局. 余江县国民经济统计资料. 2002

## 212 分析方法

土壤 pH、有机质、全氮、有效磷、速效钾、硝态氮、土壤机械组成按照常规分析方法<sup>[9]</sup>。并在余江县选取 16 个 0~10 cm 表层土样, 南昌市郊区 22 个 0~10 cm 表层土样, 利用电感耦合等离子体光谱质谱联用仪 (ICP2MS) 测定土壤 Pb、Cd、Cr、Cu、Ni、Zn、As 和 Hg 重金属全量<sup>[10]</sup>。

## 213 土壤肥力和重金属污染评价方法

21311 土壤肥力综合值评价方法 选取土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾和土壤质地为指标, 运用模糊数学、多元统计和层次分析方法, 计算了土壤肥力各指标的隶属度、权重, 并最终求得土壤肥力综合指数<sup>[11, 12]</sup>。

21312 土壤重金属污染评价方法 土壤重金属单项污染指数评价公式为:  $P_i = C_i / S_i$ , 式中  $P_i$  为土壤中污染物  $i$  的环境质量指数;  $C_i$  为污染物  $i$  的实测值 ( $\text{mg kg}^{-1}$ );  $S_i$  为污染物  $i$  的评价标准 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )。  $P_i > 1$  表示污染;  $P_i = 1$  或  $P_i < 1$  表示未污染; 且  $P_i$  值越大, 则污染越严重<sup>[12, 13]</sup>。综合污染

指数采用内梅罗综合污染指数法。其计算公式为:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(C_i/S_i)_{\text{max}}^2 + (C_i/S_i)_{\text{avg}}^2}{2}}$$

式中  $(C_i/S_i)_{\text{max}}$  为土壤污染中污染指数的最大值;  $(C_i/S_i)_{\text{avg}}$  为土壤污染中污染指数的平均值<sup>[13, 14]</sup>。土壤污染水平分级标准采用国家 5 土壤重金属污染标准 6 (GB15618-1995) 的二级标准。

## 3 结果分析

### 311 集约农业利用下土壤肥力变化

31111 土壤有机质含量 与第二次土壤普查 (1980 年) 相应土壤属性数据比较结果表明, 南昌市郊区土壤有机质含量有显著增加, 增加幅度为 21153%, 有机质增加的样点占总样点的 2/3; 余江县土壤有机质含量均值略有下降, 下降幅度为 1106% (表 1)。南昌市郊区土壤有机质含量上升的样点主要分布在蔬菜地上。

表 1 余江县和南昌郊区土壤肥力变化<sup>1)</sup>

Table 1 Changes in soil fertility in Yujiang County and suburbs of Nanchang City

地区 Area	年份 Year	有机质 OM ( $\text{g kg}^{-1}$ )	全氮 Total N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	有效磷 Olsen2P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	速效钾 Available K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	肥力综合值 Fertility index	pH
余江县 Yujiang County	1980	24189? 4117	1138? 0124	717? 1141	77147? 13185	0161? 0115	5171? 0126
	2003	24163? 7117	1147? 0148	14214? 17414	1664? 8715	0174? 0115	5117? 0135
	变化 Change (%)	- 1106	6109	1886	1148	20153	- 9153
南昌郊区 Suburbs of Nanchang City	1980	26154? 8188	1142? 0141	1684? 14126	82191? 32121	0158? 0117	5188? 0177
	2003	32130? 13158	1145? 0147	23814? 19413	1951? 14713	0181? 0116	5186? 0172
	变化 Change (%)	21153	2162	1315	135	38101	- 0139

1) 平均值? 标准差, 下同 Mean? SD. The same below

31112 土壤全氮含量 土壤全氮虽然均有所增加, 但是增加幅度不大。余江县增加了 6109%, 南昌市郊区增加 2162%。

31113 土壤硝态氮含量 硝态氮不易被土壤胶体吸附, 易随水分的迁移而发生淋溶损失而对环境构成威胁。根据文献记载, 当硝态氮达到  $280 \text{ mg kg}^{-1}$  时为过量<sup>[15]</sup>, 按照这一标准, 余江县和南昌市郊区 2003 年 2 月份的土壤硝态氮仍处于较低水平 (表 2)。当然, 两地土壤硝态氮含量季节变化尚需要进一步研究。

表 2 余江县和南昌市郊区土壤硝态氮含量 (2003 年)

Table 2  $\text{NO}_3\text{-N}$  content in soils in Yujiang County and suburbs of Nanchang City in 2003

地区 Area	土层 Soil depth (cm)	$\text{NO}_3\text{-N}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
余江县 Yujiang County	0~20	10180? 20171
	20~40	4101? 4105
南昌市郊区 Suburbs of Nanchang City	0~20	11145? 9127
	20~40	5190? 6153

31114 土壤有效磷含量 20 多年来, 余江县和南

昌市郊区土壤有效磷上升样点占总样点的比例分别为 9713% 和 9518%, 分别增加了 18186 倍和 13115 倍(表 1, 表 3)。

参照菜地土壤速效磷含量的丰缺指标<sup>[15]</sup>( $< 33$  为严重缺乏,  $33\sim 60$  为缺乏,  $60\sim 90$  为适宜,  $> 90$  为偏高)。2003 年余江县和南昌市郊区的土壤有效磷已经过量积累, 对环境已经构成了潜在的危害。其中余江

县 0~ 20 cm 土壤有效磷含量偏高样点占总样点的 43124%, 均值为  $14214 \text{ mg kg}^{-1}$ , 最大值高达  $65318 \text{ mg kg}^{-1}$ ; 20~ 40 cm 土壤有效磷平均含量为  $24118 \text{ mg kg}^{-1}$ , 最大值为  $29612 \text{ mg kg}^{-1}$ 。南昌市郊区的 0~ 20 cm 土壤有效磷含量偏高样点占总样点的 72158%, 平均值为  $23217 \text{ mg kg}^{-1}$ , 最大值高达  $70013 \text{ mg kg}^{-1}$ ; 20~ 40 cm 土壤有效磷平均含量为  $62125 \text{ mg kg}^{-1}$ 。

表 3 余江县和南昌市郊区土壤有效磷和速效钾含量

Table 3 Available phosphorus and potassium content in soils in Yujiang County and suburbs of Nanchang City

地区 Area	土层 Soil depth (cm)	有效磷 Olsen2P			速效钾 Available K		
		最大值 Maximum ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	平均值 Mean ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	标准差 Standard error	最大值 Maximum ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	平均值 Mean ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	标准差 Standard error
余江县 Yujiang County	0~ 20	65318	14214	24718	38215	16614	87153
	20~ 40	29612	24118	63196	30010	99111	56124
南昌市郊区 Suburbs of Nanchang City	0~ 20	70013	23216	19110	79812	20013	16419
	20~ 40	62417	62125	10613	64917	10116	11113

31115 土壤速效钾含量 20 多年来余江县和南昌市郊区土壤速效钾上升样点占总样点的比例分别占 8915% 和 8313%, 分别上升 11418% 和 13510% (表 1, 表 3)。

按照一般认为的菜地土壤(速效钾含量在  $150\sim 250 \text{ mg kg}^{-1}$  之间为适宜范围,  $> 350 \text{ mg kg}^{-1}$  为过量)<sup>[15]</sup>, 余江县有 3 个样点的 0~ 20 cm 土壤速效钾过量, 南昌市郊区 7 个样点的 0~ 20 cm 土壤速效钾过量, 其中南昌市郊区土壤速效钾最大值为  $79812 \text{ mg kg}^{-1}$ , 且有 2 个样点 20~ 40 cm 速效钾过量。一般认为土壤速效钾的过量不会直接增加环境风险, 但土壤钾素过量积累也会影响其他离子在土壤中的迁移和转化。

31116 土壤综合肥力 土壤肥力综合指数比较结果表明, 20 多年来农业集约利用下土壤肥力有显著的提高。其中余江县土壤肥力综合值由 1980 年的 0161 上升至 2003 年的 0174, 土壤肥力综合指数上升了 20153%; 南昌市郊区土壤肥力综合值由 1980 年的 0158 上升至 2003 年的 0181, 土壤肥力综合值上升了 38101%。

### 312 集约农业利用下土壤酸化变化

余江县土壤酸化趋势比较明显, 土壤 pH 下降的样点占 89147%, 土壤 pH 平均值降低达 015 个单位; 而南昌市郊区土壤 pH 下降趋势并不明显, 土壤 pH 下降样点仅占 45183%, 土壤 pH 平均值仅降低 0101 个单位, 可能与当地石灰使用和碱性建筑垃圾等的影响有关。

### 313 集约农业利用下红壤地区土壤盐渍化状况与特征

对余江 17 个菜地样、2 个旱地样以及南昌市郊区 48 个菜地样、3 个苗圃样和 3 个稻菜轮作样点土壤分析结果(表 4)表明, 除南昌郊区个别菜地土壤外, 余江县和南昌市郊区土壤基本未出现次生盐渍化(按全盐量  $< 1 \text{ g kg}^{-1}$  为未达到盐渍化程度<sup>[16]</sup>), 但是除了余江县的 2 个旱地样外, 土壤全盐含量表层明显高于下层, 即表明土壤盐分有明显的表聚现象。

### 314 集约农业利用下土壤重金属污染状况

2003 年土壤重金属分析结果表明, 余江县所测试样点土壤 Pb、Cd、Cu、Zn、As、Hg 的平均值均大于江西省表土重金属土壤背景值, 且 50% 样点超过江西省表土背景值; 南昌市郊区测试样点的重金属测定值均高于背景值, 且 72173% 以上样点的重金属含量超过江西省表土重金属土壤背景值, 表明有外源重金属污染物进入农田土壤。

余江县 16 个样点中只有 Cu 和 Hg 有污染样点(即单项污染指数  $P_i > 1$ ), Cu 有 5 个污染样点, 占 31125%, Hg 有 1 个污染样点。南昌市郊区土壤以 Hg 为主要重金属污染物, 22 样点中 Hg、Cu、Cd、Ni 污染样点分别占 50%、22173%、31182% 和 4155%。

按照综合污染指数( $P_{\text{综}}$ , 也即内罗梅指数)  $< 017$  为安全级别,  $017\sim 1$  为警戒级,  $1\sim 2$  为轻度污染级,  $2\sim 3$  为中度污染,  $> 3$  为重污染的标准。余江县有 18175% 的样点为污染级, 南昌市郊区有 54154% 的样点属于污染级, 且有 27127% 属于警戒级。南昌市郊区土壤综合污染指数(1173)高于余江县土壤

综合污染指数(0.167)。

按照土地利用方式比较结果表明, Ni 污染指数为水田> 自留菜地, 其他重金属污染指数均为水田< 自留菜地; 综合污染指数为自留菜地> 水田(表5)。

南昌市郊区 8 大重金属单项污染指数和综合污染指数均为城郊菜地> 水田(表6)。总的看来, 土壤重金属综合污染指数为城郊菜地> 自留菜地> 水田, 其综合污染指数分别为 21.15、0.179、0.175。

表 4 余江县和南昌市郊区土壤全盐含量分析

Table 4 Total salt content in soils in Yujiang County and suburbs of Nanchang City

地区 Area	土地利用 Land use	土层 Soil depth (cm)	最大值 Maximum (g kg <sup>-1</sup> )	平均值 Means (g kg <sup>-1</sup> )	标准差 Standard error
余江县 Yujiang County	菜地 Vegetable plot	0~ 10	11.72	01.42	01.42
		10~ 20	01.50	01.25	01.10
		20~ 40	01.53	01.27	01.10
	旱地 Dry land	0~ 10	01.20	01.15	01.07
		10~ 20	01.22	01.17	01.07
		20~ 40	01.25	01.18	01.10
南昌郊区 Suburbs of Nanchang City	菜地 Vegetable plot	0~ 10	01.96	01.45	01.16
		10~ 20	01.99	01.42	01.19
		20~ 40	01.76	01.37	01.12
	苗圃 Nursery	0~ 10	01.55	01.44	01.101
		10~ 20	01.39	01.36	01.03
		20~ 40	01.31	01.29	01.03
		0~ 10	01.71	01.50	01.19
	稻菜轮作 Rice2vegetable rotation	10~ 20	01.44	01.38	01.05
		20~ 40	01.46	01.32	01.13

表 5 不同利用方式下土壤重金属污染指数

Table 5 Heavy metal pollution indices in soils under different types of land use

污染指数 Pollution indice	余江县 Yujiang County		南昌市郊区 Suburbs of Nanchang City	
	自留菜地	水田	城郊菜地	水田
	Personally used vegetable plot	Paddy field	Vegetable plot in suburb	Paddy field
P <sub>2</sub> Pb	0121? 0104	0115? 0106	0120? 0106	0115? 0102
P <sub>2</sub> Cr	0129? 0115	0120? 0106	0139? 0112	0120? 0107
P <sub>2</sub> Cd	0158? 0121	0146? 0114	0174? 0139	0146? 0114
P <sub>2</sub> Cu	0197? 0125	0166? 0111	0190? 0124	0165? 0107
P <sub>2</sub> Zn	0145? 0108	0134? 0108	0156? 0113	0138? 0106
P <sub>2</sub> Ni	0144? 0118	0150? 0117	0166? 0122	0150? 0109
P <sub>2</sub> As	0135? 0111	0132? 0113	0152? 0118	0138? 0115
P <sub>2</sub> Hg	0161? 0143	0133? 0111	2163? 3126	1118? 0180
P <sub>综</sub>	0179? 0121	0154? 0110	2115? 2118	0198? 0146

### 3.1.5 主要驱动力分析

3.1.5.1 土地利用方式、种植业结构调整的影响  
就不同利用方式来看, 余江县土壤 pH 下降幅度的顺序为: 旱地> 菜地> 水田; 有机质、全氮增加幅度的顺序为: 菜地> 水田> 旱地; 速效钾的增加幅度顺序为: 旱地> 水田> 菜地。可以看出菜地利用方式下的土壤有机质、全氮更容易提高, 但土壤 pH 则更容易下降。就土壤污染而言, 余江县和南昌郊区土壤重金属综合污染指数表现为城郊菜地> 自留菜地> 水田。可见, 土地利用方式对土壤肥力和环境质量具有重要影响。

农业种植业结构的变化, 以及相应的肥料投入和管理措施的变化, 尤其是豆科植物和蔬菜种植面积迅速扩大, 是影响土壤肥力和环境质量变化的主导因素之一。余江县粮食作物种植面积从 1982 年的 61127% 下降至 2002 年的 60162%, 经济作物从 1982 年的 9114% 上升至 2003 年的 9160%, 其中豆类作物播种面积从 1982 年的 45718 hm<sup>2</sup> 增加到 2002 年的 1588 hm<sup>2</sup>, 播种面积比例从 0182% 上升至 2188%; 蔬菜播种面积从 1982 年的 59014 hm<sup>2</sup> 增加到 2002 年的 3144 hm<sup>2</sup>, 播种面积比例从 1106% 上升至 5171%。南昌市郊区谷物播种面积 2003 年较 1982

表 6 工厂附近及远离工厂农田土壤重金属污染差别

Table 6 Difference in heavy metal content between soils nearby and away from factory

样点位置 Sampling site	P <sub>2</sub> Pb	P <sub>2</sub> Cr	P <sub>2</sub> Cd	P <sub>2</sub> Cu	P <sub>2</sub> Zn	P <sub>2</sub> Ni	P <sub>2</sub> As	P <sub>2</sub> Hg	P <sub>综</sub>
工厂附近 Nearby factory	01 28	0140	1100	11 20	01 60	0173	0152	31 90	31 10
远离工厂 Away from factory	01 20	0135	0155	01 72	01 45	0155	0148	11 55	11 35

年下降了 341.31%，而蔬菜播种面积 2003 年较 1982 年上升了 14611%。

#### 31512 化肥施用量及其 N、P、K 元素比例的影响

化肥用量的增加和 N、P、K 比例的变化是导致土壤养分水平提高但营养元素失衡的重要原因。余江县施肥总量从 1982 年的 1154 @10<sup>7</sup> kg 增加到 2002 年的 3134 @10<sup>7</sup> kg，单位面积施肥量从 73015 kg hm<sup>-2</sup> 增加到 2002 年的 1532 kg hm<sup>-2</sup>。南昌市(未包括安义县和进贤县，下同)化肥施用实物量从 1982 年的 1125 @10<sup>8</sup> kg 到 2002 年的 2117 @10<sup>8</sup> kg，其中南昌市郊区 2002 年 N、P、K 肥和复合肥分别为 62119、41817、24117 和 10919 kg hm<sup>-2</sup>。

20 多年来，余江县及南昌市郊区 P 肥、K 肥施用比例大幅度提高。余江县化肥施用实物量中 N 肥:BP 肥:BK 肥比例从 1982 年的 1B0167B0115 上升至 2002 年的 1B0171B0134，南昌市从 1982 年的 1B0172B0115 上升至 2002 年的 1B0178B0134，南昌市郊区 2002 年施肥纯量比例为 NBP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>BK<sub>2</sub>O=1B0166B0152。且余江县及南昌市郊区 P 肥、K 肥施用比例显著高于世界平均 NBP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>BK<sub>2</sub>O(1B014B0127) 以及全国平均 NBP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>BK<sub>2</sub>O(1B0146B0118)<sup>[17]</sup>，这是 20 多年来土壤养分水平整体提高、土壤有效磷和速效钾快速积累的重要原因。

31513 施用农家肥的影响 农家肥作为有机肥，它的使用有利于土壤有机质的提高，培肥土壤。南昌市郊区菜地一般施用农家肥(主要是畜

禽粪便、人粪尿等)数量较高，一般为 115 @10<sup>4</sup>~210 @10<sup>4</sup> kg hm<sup>-2</sup>，余江县自留菜地一般施用农家肥 0135 @10<sup>4</sup> kg hm<sup>-2</sup> 左右，仅是南昌市郊区的 1/5 左右，这是造成南昌市郊区土壤有机质增加明显，而余江县土壤有机质变化不大的原因之一。南昌市郊区土壤重金属污染严重于余江县，可能与其大量施用畜禽粪便有一定关系。

31514 工业生产 将南昌郊区土壤样点分为工厂附近和远离工厂两种进行比较结果表明，附近有工厂的 5 个样点，均达污染级，其中 3 个样点属重度污染，2 个样点属轻度污染。重金属的单项污染指数和综合污染指数均是工厂附近农田土壤大于远离工厂的农田土壤。说明工业生产是导致土壤重金属污染的一个来源，也是南昌市郊区土壤，尤其是菜地土壤重金属高于余江县土壤的重要原因。

#### 316 集约农业利用下土壤肥力与环境质量调控

31611 土壤养分失衡的调控 养分失衡影响土壤功能的正常发挥，并导致肥料利用率的下降。某些养分的过量富集不仅会影响作物的产量和品种，还会加剧环境风险，并会造成土壤生物转化功能的衰退以及土壤对作物水肥供应调节能力的下降。3 年的田间实验结果表明，通过短期减少施肥、配合施用养分促进剂在一定程度上控制养分的过度富集与失衡(表 7, 表 8); 施用缓释肥料也提高肥料利用率，控制养分过度富集与失衡。

表 7 短期减量施肥对水稻产量的影响

Table 7 Effects of short-term reduction of fertilizer input on rice yield

处理代号 Treatment code	2003 年 Year 2003		2004 年 Year 2004		2005 年 Year 2005	
	早稻 Earlyrice (kg hm <sup>-2</sup> )	晚稻 Late2rice (kg hm <sup>-2</sup> )	早稻 Early2rice (kg hm <sup>-2</sup> )	晚稻 Late rice (kg hm <sup>-2</sup> )	早稻 Early2rice (kg hm <sup>-2</sup> )	晚稻 Late rice (kg hm <sup>-2</sup> )
CK	4 310? 403	3 213? 273	3 312? 299	3 046? 325	3 258? 80	3 102? 85
F1	6 245? 305	4 722? 278	4 369? 565	3 924? 113	4 533? 307	4 154? 302
F2	6 571? 260	4 648? 449	5 092? 299	4 321? 325	5 313? 437	4 610? 251
F3	6 245? 611	4 607? 658	5 952? 415	4 569? 106	5 525? 368	4 931? 296
F1+ Y	6 351? 220	4 907? 578	4 701? 314	4 108? 123	4 888? 368	4 675? 368
F2+ Y	6 214? 343	4 870? 625	5 539? 496	4 640? 61	5 520? 270	5 028? 253
F3+ Y	5 454? 152	4 407? 778	4 384? 112	4 082? 119	4 528? 62	3 904? 256

注: 土壤为红黏土发育的水稻土, 质地为壤土。CK 不施肥, F1 施肥量为 N 100 kg hm<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 100 kg hm<sup>-2</sup>, F2 和 F3 为 2 倍和 3 倍施肥量, Y 施用养分促进剂。下同 Note: Soil samples are collected from loam hydromorphic paddy soils derived from Quaternary red clay. Treatment CK is no fertilization. Fertilizer application rate of Treatment F1 is N 100 kg hm<sup>-2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg hm<sup>-2</sup>, K<sub>2</sub>O 100 kg hm<sup>-2</sup>. Fertilizer application rate of Treatment F2 and Treatment F3 are 2 and 3 times as that in Treatment F1, respectively. Y stands for nutrient accelerant application. The same below

表8 短期减量施肥3年后水稻土肥力变化

Table 8 Change in soil fertility of paddy fields with reduced fertilization rate for three years

处理代号 Treatment code	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg kg <sup>-1</sup> )
实验前 Before experiment	1154	47132	13616
CK	1133	22175	85132
F1	1148	25138	11215
F2	1158	52176	14614
F3	1165	60135	16214
F1+ Y	1147	30138	10814
F2+ Y	1156	45195	13214
F3+ Y	1162	61185	14712

31612 土壤酸化的调控 由于红壤本身的酸缓冲能力弱,江西省又是世界三大酸雨严重区域,加之农业集约利用,特别是大量氮肥施用,往往会加剧红壤地区土壤的酸化。因此,必须优化施肥结构,适当控制氮肥用量,并配合施用石灰等碱性改良剂。研究表明在红壤水稻土上,一般每5年施用1 500~7 500 kg hm<sup>-2</sup>石灰石粉可以较好地控制土壤酸化<sup>[7]</sup>。

31613 土壤重金属污染的调控 首先,根据土壤重金属污染状况,调整土地利用方式,对于严重污染的土壤,应尽快停止食用作物生产,改种纤维类作物或作为绿地。对于轻度污染土壤,可以通过施用化学改良剂(如石灰等)<sup>[18]</sup>或利用超积累植物进行修复<sup>[19]</sup>。

## 参考文献

- [1] 国家统计局农村社会经济调查总队. 中国农村统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2005. Rural Social & Economic Statistics Survey Head Team. China Rural Statistic Annual (In Chinese). Beijing: Chinese Statistics Press, 2005
- [2] 国家环境保护总局. 中东部地区生态环境现状调查报告. 环境保护, 2003(8): 3~ 8. State Environmental Protection Administrator of China. Investigation report of environmental situation in China's mid-east regions (In Chinese). Environmental Protection, 2003(8): 3~ 8
- [3] 吴大付, 张伟, 何圆球. 中国集约农业对环境影响的研究. 农业现代化研究, 2001, 22(5): 271~ 274. Wu D F, Zhang W, He Y Q. Impacts of intensive agriculture on environment in China (In Chinese). Research of Agricultural Modernization, 2001, 22(5): 271~ 274
- [4] Matson P A, Parton W J, Power A G, et al. Agricultural intensification and ecosystem properties. Science, 1997, 277: 504~ 509
- [5] 王辉, 董元华, 安琼, 等. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究))) 以南京市南郊为例. 土壤, 2005, 37(5): 530~ 533. Wang H, Dong Y H, An Q, et al. Change in pH and salinity of vegetable soil under intensive cultivation) A case study of southern suburbs of Nanjing (In Chinese). Soils, 2005, 37(5): 530~ 533
- [6] Cao Z H. Environmental issues related to chemical fertilizer use in China. Pedosphere, 1996, 6(4): 289~ 303
- [7] 张桃林. 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999. Zhang T L. Mechanism and Control of Red Soil Degradation in China (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Press, 1999
- [8] 南昌市统计局. 南昌市经济社会统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2003. Nanchang Statistics Bureau. Nanchang Economy & Social Statistics Yearbook (In Chinese). Beijing: Chinese Statistics Press, 2003
- [9] 鲁如坤编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K. ed. Analytic Methods of Soil and Agricultural Chemistry (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [10] 地球化学标准参考样研究组. 地球化学标准参考样的研制与分析方法 (GSD128). 北京: 地质出版社, 1986. 321~ 328. The Study Group of the Geochemistry Standard Referential Sample. The Method of Research and Analysis of the Geochemistry Standard Referential Sample (GSD128). Beijing: Geology Press, 1986. 321~ 328
- [11] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价. 土壤学报, 1995, 32(4): 362~ 369. Sun B, Zhang T L, Zhao Q G. Comprehensive evaluation of soil fertility in the hilly and mountainous region of southeast China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(4): 362~ 369
- [12] 潘剑君主编. 土壤资源调查与评价. 北京: 中国农业出版社, 2004. 252~ 257, 264. Pan J J. ed. Investigation and Assessment of Soil Resource (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2004. 252~ 257, 264
- [13] 李静, 谢正苗, 徐建明, 等. 杭州市郊蔬菜地土壤重金属环境质量评价. 生态环境, 2003, 12(3): 277~ 280. Li J, Xie Z M, Xu J M, et al. Evaluation on environmental quality of heavy metals in vegetable plantation soils in the suburb of Hangzhou (In Chinese). Ecology and Environment, 2003, 12(3): 277~ 280
- [14] 郑海龙, 陈杰, 邓文靖, 等. 城市边缘带土壤重金属空间变异及其污染评价. 土壤学报, 2006, 43(1): 39~ 45. Zheng H L, Chen J, Deng W J, et al. Spatial analysis and pollution assessment of soil heavy metals in the steel industry areas of Nanjing Periurban Zone (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(1): 39~ 45
- [15] 周建斌, 翟丙年, 陈竹君, 等. 设施栽培菜地土壤养分的空间累积及其潜在的环境效应. 农业环境科学学报, 2004, 23(2):

- 332~ 335. Zhou J B, Zhai B N, Chen Z J, et al. Nutrient accumulations in soil profiles under canopy vegetable cultivation and their potential environmental impacts (In Chinese). *Journal of Agricultural Environment Science*, 2004, 23(2): 332~ 335
- [16] 鲍士旦主编. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999. 179. Bao S D. ed. *Analysis of Soil and Agrochemical* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1999. 179
- [17] 吴志勇, 闫静, 张新国, 等. 新疆兵团肥料施用状况及评价. *新疆农业科学*, 2004, 41(6): 435~ 438. Wu Z Y, Yan J, Zhang X G, et al. Current states and evaluation of fertilization in Xinjiang Production and Construction Corps (In Chinese). *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2004, 41(6): 435~ 438
- [18] 钱海燕, 王兴祥, 蒋佩兰, 等. 黑麦草连茬对铜、锌污染土壤的耐性及其修复作用. *江西农业大学学报*, 2004, 26(5): 801~ 804. Qian H Y, Wang X X, Jiang P L, et al. The endurance and the restorative effect of continuous stubbles ryegrass on Cu, Zn pollution in soil (In Chinese). *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(5): 801~ 804
- [19] 钱海燕, 王兴祥, 黄国勤, 等. 钙镁磷肥和石灰对受 Cu、Zn 污染的菜园土壤的改良作用. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 235~ 239. Qian H Y, Wang X X, Huang G Q, et al. Melioration of vegetable garden soil polluted by Cu and Zn by using calcium magnesium phosphate and calcareousness (In Chinese). *Journal of Agricultural Environment Science*, 2007, 26(1): 235~ 239

## CHANGES IN SOIL FERTILITY AND ENVIRONMENTAL QUALITY IN RED SOIL REGION UNDER INTENSIVE AGRICULTURAL USE AND THEIR CONTROL ) A CASE STUDY OF THE SUBURBS OF NANCHANG CITY AND YUJIANG COUNTY IN JIANGXI PROVINCE

Zhang Taolin<sup>1</sup> Pan Jianjun<sup>2</sup> Liu Shaogui<sup>2</sup> Wang Xingxiang<sup>1</sup> Li Zhongpei<sup>1</sup>

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract** Suburbs of Nanchang City and Yujiang County in Jiangxi Province, a typical area with rapidly developing intensive agriculture in city suburbs and a typical one with intensive traditional agriculture, respectively, were selected in a red soil region of Jiangxi Province for study of effect of intensive agriculture on soil fertility and environmental quality and countermeasures. Results show that twenty years of vegetable cultivation increased soil organic matter by 21153%, readily available phosphorus by 13115~ 18186 times, readily available potassium by 1115~ 1135 times, but did not increase much total soil nitrogen and nitrate nitrogen in the suburbs of Nanchang. In Yujiang County, the trend of soil acidification was obvious, with 90% of the soil falling in pH by 0.15 unit, meanwhile some farmlands were polluted by heavy metals to a certain extent. Readjustment of the agricultural structure, increased application of chemical fertilizer, P and K fertilizers in particular, and application of barnyard manure were found to be the major factors leading to soil nutrient enrichment/unbalance and soil acidification, and industrial production the main source of soil pollution. Reducing fertilizer input for a short term, using nutrient accelerant and applying slow-release fertilizer are positive measures to improve utilization efficiency of fertilizer, control excessive enrichment or unbalance of soil nutrients to some extent. Proper application of lime or other alkaline soil amendment is a major practice to prevent soil acidification. For slightly polluted soil, application of chemical ameliorator and cultivation of super-accumulating plants can be used to remedy the soils.

**Key words** Changes; Soil fertility; Environmental quality; Intensive agricultural use; Red soil region; Jiangxi