

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.02.009

王安琪, 杨平, 赵燕洲, 等. 不同种植模式下农田耕层土壤肥力现状比较——以皖南宣州区为例. 土壤, 2021, 53(2): 277–284.

不同种植模式下农田耕层土壤肥力现状比较——以皖南宣州区为例^①

王安琪^{1,2}, 杨平³, 赵燕洲⁴, 李贤胜³, 何小卫³, 李武进⁵, 李宏光⁵, 肖艳松⁵, 朱启法⁶, 张国⁶, 薛琳⁶, 宋效东¹, 李德成^{1*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 宣城市土肥站, 安徽宣城 242000; 4 宣城市宣州区土肥站, 安徽宣城 242000; 5 湖南省烟草公司郴州市公司, 湖南郴州 423000; 6 安徽皖南烟叶有限责任公司, 安徽宣城 242000)

摘要: 选择宣城市宣州区 20 个烟稻轮作田块、20 个单季稻田块、22 个中药材田块、20 个双季稻田块、20 个稻油轮作田块和 20 个稻麦轮作田块, 测定分析耕层土壤(0~20 cm)的 pH, 有机质、有效磷和速效钾含量, 计算土壤综合肥力指数(IFI), 旨在通过比较提出有益于提升土壤肥力的种植模式和施肥建议。结果表明: ①烟稻轮作土壤 pH 最高, 中药材土壤显著低于其他种植模式; 双季稻土壤有机质含量最高, 中药材土壤显著低于其他种植模式; 中药材土壤有效磷含量显著高于其他种植模式, 单季稻土壤显著低于其他种植模式; 中药材和双季稻土壤速效钾含量显著高于稻油轮作土壤; 各田块 IFI 指数为双季稻(0.880)>烟稻轮作(0.821)>单季稻(0.817)>稻麦轮作(0.760)>中药材(0.693)>稻油轮作(0.645)。②综合分析比较土壤各指标、IFI 值和净收益后, 推荐双季稻和烟稻轮作种植模式。③稻麦轮作、单季稻和稻油轮作应注意增施磷钾肥和有机肥; 但 45% 的烟稻轮作田块应注意改酸, 15% 和 45% 田块应增施有机肥和钾肥, 10% 和 60% 田块应削减有机肥和磷钾肥。

关键词: 种植模式; 土壤属性; 土壤肥力; 施肥; 宣州

中图分类号: S158.3 文献标志码: A

Current Topsoil Fertility of Farmlands Under Different Planting Patterns——A Case Study of Xuanzhou District of South Anhui

WANG Anqi^{1,2}, YANG Ping³, ZHAO Yanzhou⁴, LI Xiansheng³, HE Xiaowei³, LI Wujin⁵, LI Hongguang⁵, XIAO Yansong⁵, ZHU Qifa⁶, ZHANG Guo⁶, XUE Lin⁶, SONG Xiaodong¹, LI Decheng^{1*}

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Soil and Fertilizer Station of Xuancheng City, Xuancheng, Anhui 242000, China; 4 Soil and Fertilizer Station of Xuanzhou District, Xuancheng, Anhui 242000, China; 5 Chenzhou Tobacco Company of Hunan Province, Chenzhou, Hunan 423000, China; 6 Wannan Tobacco Co.Ltd., Xuancheng, Anhui 242000, China)

Abstract: In this study, 20 tobacco-rice fields, 20 single cropping rice fields, 22 Chinese medicinal materials fields, 20 double cropping rice fields, 20 rice-rape fields and 20 rice-wheat fields were selected in September 2018, pH, soil organic matter (SOM), available phosphorus (AP) and rapid available potassium (RAK) of plough soil (0-20 cm) were analyzed, and then soil integrated fertility index (IFI) was calculated based on these four indicators in order to recommend the suitable fertilization for improving soil fertility by comparing the planting patterns. The results showed: 1) pH of tobacco-rice was the highest, and pH of Chinese medicinal materials was significantly lower than those of other planting modes; SOM of double cropping rice was the highest, and SOM of Chinese medicinal materials was significantly lower than those other patterns; AP of Chinese medicinal materials was significantly higher than those of the other patterns, and single cropping rice was significantly lower than those of other patterns; RAK of Chinese medicinal materials and

①基金项目: 湖南省烟草公司郴州市公司科技项目(郴烟运〔2019〕45号)资助。

* 通讯作者(dcli@issas.ac.cn)

作者简介: 王安琪(1995—), 女, 安徽寿县人, 硕士研究生, 主要研究方向为农田土壤肥力演替。E-mail: aqwang@issas.ac.cn

double cropping rice patterns were significantly higher than that of rice-rape patterns; IFI from high to low was double-crop rice (0.880) > tobacco-rice rotation (0.821) > single-crop rice (0.817) > rice-wheat rotation (0.760) > Chinese medicinal materials (0.693) > rice-rape rotation (0.645). 2) After comprehensive analysis and comparison of soil indicators, IFI values and net income, double-crop rice and tobacco-rice models were recommended. 3) For suitable fertilization, rice-wheat, single cropping rice and rice-rape patterns should pay attention to increasing the application of phosphorus, potassium and organic fertilizer appropriately; for tobacco-rice, 45% of the fields should continue to apply alkaline materials to change acid, and 15% and 45% fields should be added with organic and potassium fertilizers, 10% and 60% field should reduce organic fertilizer and phosphate and potassium fertilizer, and 15% and 45% fields should be added with organic and potassium fertilizers, 10% and 60% field should reduce organic fertilizer and phosphate and potassium fertilizer.

Key words: Planting patterns; Soil properties; Soil fertility; Fertilization; Xuanzhou

轮作是农田用养结合的途径之一^[1-2], 可以提高土壤肥力^[3-4]、促进土壤团聚体组成及其有机碳含量^[5]、提高微生物和酶活性^[6]、降低杂草密度和作物发病率^[7]、改善作物的长势和提升作物产量和产值^[8]。皖南宣城市的宣州区处于暖温带与亚热带过渡区, 地貌地形包括低山、丘陵、平原圩区, 农田土壤以水稻土为主, 其他为潮土和红壤^①。2008 年前种植模式单一, 主要为双季稻, 可假设初始肥力相对一致^[9]。之后由于气候和土壤适宜焦甜香型优质烤烟种植(目前是安徽烤烟主要种植区)^[10], 加上农户对高种植收益的追求, 种植模式趋向多元化, 目前主要有烟稻轮作、单季稻、稻油轮作、稻麦轮作、中药材(元胡、前胡、长春花等)等^[8]。不同的种植模式对土壤肥力的影响也会存在差异^[8], 但迄今尚缺乏皖南地区的相关报道。当地农业机构和种田大户非常关注不同种植模式下的农田肥力现状, 为此, 本研究选择目前宣州区农田主要的种植模式, 测定分析了代表性耕层(0 ~ 20 cm)pH、有机质(SOM)、有效磷(AP)和速效钾(RAK)含量, 并计算了综合肥力指数(IFI), 旨在通过比较提出有利于土壤肥力提升的种植模式和相应的施肥建议, 为当地和皖南地区农田土壤可持续利用提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宣州区地处 17°58' ~ 119°40'E、29°57' ~ 31°19'N, 总面积 2 533 km², 地势上南部遍布低山, 中部丘陵起伏, 北部为平原圩区。本区地处暖温带向亚热带过渡区, 年均气温 15.9 °C, 日照时数 1 500 h, 降雨量 1 430 mm, 无霜期 228 d。农田土壤类型以水稻土(水耕人为土)为主(4.98 万 hm², 约占耕地面积的 90%)^①。目前种植模式主要包括烟稻轮作、单季稻、稻油轮作、

稻麦轮作、油棉轮作等^[11]。

1.2 代表性田块确定和土样采集与测试

2018 年 10 月, 依据种植模式、地形地貌、土壤类型(依据宣州区 1 : 50 000 土种图)和土地利用等, 确定了稻麦轮作、双季稻、单季稻、稻油轮作、烟稻轮作、中药材 6 类种植模式, 合计调查采样了 122 个代表性田块(图 1), 包括 20 个稻麦轮作田块、20 个双季稻轮作田块、20 个单季稻田块、20 个稻油轮作田块、20 个烟稻轮作田块、22 个中药材田块。田间调查信息包括种植模式的年限(至少 3 a 以上)、施肥、产量、净收益等。田间采样方式为: S 形随机 8 ~ 10 个点采取耕层(0 ~ 20 cm)土样, 充分混匀后四分法留取 1.5 kg 备用。之所以仅采集耕层土样, 是因为不同土体层次中作物的产量主要由耕层决定。

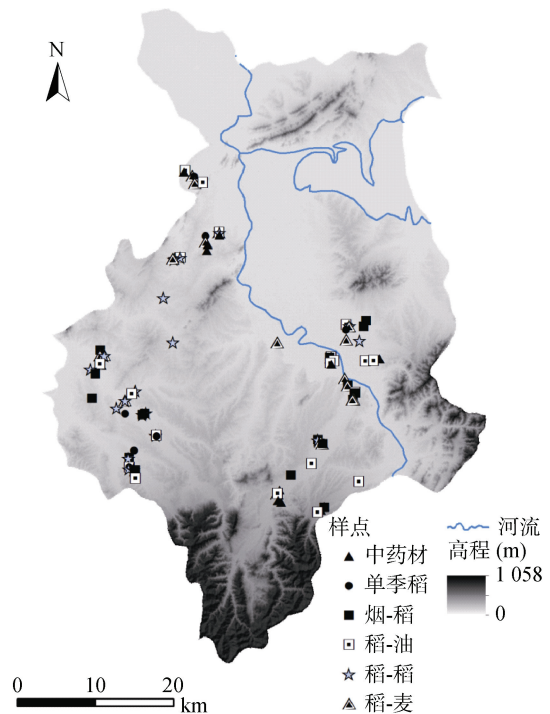


图 1 代表性农田空间分布图

Fig. 1 Distribution of surveyed typical farmlands

① 宣城市土壤普查办公室. 宣城土壤. 1988.

土样经室内自然风干、去杂、研磨后，分别过 20 目(0.85 mm)和 100 目(0.15 mm)筛，各指标测定方法为：pH，电位计法(土液比 1:2.5)；有机质，采用油浴加热-重铬酸钾氧化容量法；有效磷，碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法；速效钾，乙酸铵浸提-火焰光度计法^[11]。之所以采用这 4 个指标，一是基于快速简便的肥力评价考虑，二是因为这 4 个指标是土壤肥力评价中的重要指标^[12]。没有考虑氮素指标是因为对宣州区测土配方施肥工作的 920 个农田基础数据分析表明^[13]，有机质与全氮和碱解氮之间均存在显著的相关性

(Pearson 相关系数分别为 0.907** 和 0.254**， $P < 0.01$)。

1.3 IFI 计算方法

IFI 主要的计算步骤包括^[12-14]：①采用 $Mean \pm 3\sigma$ 法剔除各指标的异常值；②利用模糊数学隶属函数计算各指标的隶属度值，其中有机质、有效磷和速效钾为 S 型，pH 为抛物线型。4 个指标的曲线拐点取值的确定根据耕地质量等级(GB/T 33469—2016)^[15]及实际情况(表 1)。③利用主成分分析法确定各评价指标的权重 W_i ^[12]。④采用权重加权求和模型计算 IFI^[14](式 1)。

表 1 土壤指标隶属度函数曲线拐点取值
Table 1 Membership function and threshold values of soil indexes

土壤指标	隶属函数类型	下限 x_1	上限 x_2	最优值下限 x_3	最优值上限 x_4
pH	抛物线型	5	8	5.5	7
有机质 (g/kg)	S 型	15	30		
有效磷(mg/kg)	S 型	10	20		
速效钾(mg/kg)	S 型	100	150		

$$IFI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot N_i \quad (1)$$

式中： W_i 为第 i 个因子的权重， N_i 是第 i 个因子的隶属度值。

1.4 农田土壤养分分级及植烟土壤适宜性分级

农田土壤指标分级(表 2)依据全国土壤养分分级标准^[16]，植烟土壤养分适宜性分级(表 3)依据综合分析目前的相关研究结果^[17]。

表 2 土壤养分含量分级标准
Table 2 Grading standard of soil nutrients of 2nd national soil survey

土壤指标	分级					
	一级	二级	三级	四级	五级	六级
pH	>8.5, 强碱	8.5 ~ 7.5, 碱性	7.5 ~ 6.5, 中性	6.5 ~ 5.5, 微酸	5.5 ~ 4.5 酸性	<4.5, 强酸
有机质 (g/kg)	>40	30 ~ 40	20 ~ 30	10 ~ 20	6 ~ 10	< 6
有效磷 (mg/kg)	>40	20 ~ 40	10 ~ 20	5 ~ 10	3 ~ 5	< 3
速效钾 (mg/kg)	>200	150 ~ 200	100 ~ 150	50 ~ 100	30 ~ 50	< 30

表 3 植烟土壤养分适宜性分级
Table 3 Grading standard of soil nutrients for tobacco-growing farmland

土壤指标	分级						
	极低	低	偏低	最适宜	适宜	偏高	很高
pH	4.5	4.5 ~ 5.0	5.0 ~ 5.5	5.5 ~ 6.5	6.5 ~ 7.0	7.0 ~ 7.5	>7.5
有机质 (g/kg)	<10	10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 35	35 ~ 40	>40
有效磷(mg/kg)	<10	10 ~ 15			15 ~ 30	30 ~ 40	>40
速效钾(mg/kg)	<80	80 ~ 150			150 ~ 220	220 ~ 350	>350

1.5 土壤综合肥力分级

参考相关的 IFI 分级结果^[13, 18]，采用等距法将 IFI 划分为 5 个等级：高($IFI \geq 0.8$)、较高($0.6 \leq IFI < 0.8$)、中($0.4 \leq IFI < 0.6$)、较低($0.2 \leq IFI < 0.4$)、低($IFI < 0.2$)。

1.6 数据分析方法

利用 ArcGIS 10.2 绘制样点分布图，利用 IBM Statistics SPSS 22.0 和 Microsoft Excel 2016 进行数据

的常规描述性分析和单因素方差分析(ANOVA)，利用 R 3.6.0 和 Origin 9.1 对数据进行主成分分析并绘图。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式对土壤 pH 的影响

由表 4 可以看出，烟稻轮作和单季稻土壤 pH 显著高于其他种植模式，中药材土壤 pH 显著低于其他

种植模式, 而双季稻、稻油轮作、稻麦轮作之间土壤 pH 差异不显著。6 种植模式的变异系数均小于 10%, 为弱变异性。6 种植模式的耕层土壤均为酸性。

表 4 不同种植模式下耕层土壤 pH
Table 4 Statistics of topsoil pH values under different planting patterns

种植模式	平均值 ± 标准差	偏度	峰度	变异系数 CV (%)
烟稻轮作	5.47 ± 0.34 a	-0.76	0.45	6.15
单季稻	5.42 ± 0.46 a	1.17	1.43	8.56
中药材	4.87 ± 0.43 c	1.18	2.02	8.83
双季稻	5.33 ± 0.38 ab	1.57	4.30	7.12
稻油轮作	5.13 ± 0.40 b	1.03	2.90	7.84
稻麦轮作	5.25 ± 0.40 ab	0.60	-0.96	7.71

注: 同一列数据小写字母不同表示不同种植模式间差异达 $P < 0.05$ 显著水平, 下同。

2.2 不同种植模式对土壤有机质的影响

由表 5 可以看出, 不同种植模式土壤有机质含量呈现较大差异, 中药材土壤显著低于其他种植模式, 双季稻土壤显著高于其他种植模式。6 种植模式变异系数介于 19.66% ~ 34.08%, 属于中等强度变异性。根据表 2, 烟稻轮作和中药材土壤有机质处于 20 ~ 30 g/kg, 达三级标准; 其余种植模式土壤有机质均处于 30 ~ 40 g/kg, 达二级标准。

表 5 不同种植模式下耕层土壤有机质含量(g/kg)
Table 5 Statistics of topsoil SOM contents under different planting patterns

种植模式	平均值 ± 标准差	偏度	峰度	变异系数 CV (%)
烟稻轮作	25.60 ± 6.45 c	0.39	1.03	25.20
单季稻	33.98 ± 8.27 ab	-0.05	-0.72	24.33
中药材	25.82 ± 8.02 c	0.15	0.69	31.08
双季稻	38.46 ± 7.56 a	-0.02	1.83	19.66
稻油轮作	31.18 ± 8.61 bc	0.50	-0.27	27.63
稻麦轮作	30.70 ± 10.46 bc	0.40	-0.17	34.08

2.3 不同种植模式对土壤有效磷的影响

由表 6 可以看出, 中药材土壤有效磷含量显著高于其他种植模式, 单季稻土壤有效磷含量显著低于其他种植模式。6 种植模式土壤有效磷含量均呈现正偏态特征; 烟稻轮作和单季稻模式为负峰度。6 种植模式土壤有效磷变异系数为 36.15% ~ 78.17%, 属于中等强度变异。根据表 2, 烟稻轮作和单季稻土壤有效磷处于 20 ~ 40 mg/kg, 达二级标准; 其他模式的土壤有效磷则大于 40 mg/kg, 达一级标准。

2.4 不同种植模式对土壤速效钾的影响

由表 7 可以看出, 不同种植模式之间土壤速效钾

含量差异明显, 中药材土壤显著偏高, 稻油轮作土壤显著偏低, 均属于中等强度变异。根据表 2, 中药材土壤速效钾处于一级标准, 烟稻轮作和双季稻土壤处于二级标准, 单季稻、稻油轮作和稻麦轮作土壤处于中等水平。

表 6 不同种植模式下耕层土壤有效磷含量(mg/kg)
Table 6 Statistics of topsoil AP contents under different planting patterns

种植模式	平均值 ± 标准差	偏度	峰度	变异系数 CV (%)
烟稻轮作	36.71 ± 13.27 bc	0.75	-0.35	36.15
单季稻	30.09 ± 11.45 c	0.76	-0.69	38.06
中药材	95.92 ± 74.98 a	1.56	2.28	78.17
双季稻	65.60 ± 110.88 bc	0.48	0.46	37.08
稻油轮作	57.90 ± 34.01 b	1.24	0.83	58.74
稻麦轮作	43.93 ± 22.95 bc	1.81	4.78	52.25

表 7 不同种植模式下耕层土壤速效钾含量(mg/kg)
Table 7 Statistics of topsoil RAK contents under different planting patterns

种植模式	平均值 ± 标准差	偏度	峰度	变异系数 CV (%)
烟稻轮作	157.10 ± 31.67 bc	0.68	0.75	20.16
单季稻	143.00 ± 53.35 bc	0.05	-1.24	37.31
中药材	200.55 ± 85.85 a	1.19	0.29	42.81
双季稻	173.50 ± 34.10 ab	0.09	-0.81	19.65
稻油轮作	131.55 ± 51.18 c	0.97	0.13	38.91
稻麦轮作	139.00 ± 35.33 bc	0.73	0.53	25.42

2.5 不同种植模式对土壤 IFI 的影响

表 8 为计算出的不同种植模式下土壤指标隶属度值, 各指标的权重见图 2, 根据式(1)计算出 IFI 值(表 9)。由表 9 可以看出, 各种种植模式间 IFI 为双季稻(0.880) > 烟稻轮作(0.821) > 单季稻(0.817) > 稻麦轮作(0.760) > 中药材(0.693) > 稻油轮作(0.645)。总体上看, 双季稻、烟稻轮作、单季稻模式的 IFI 较高, 均 > 0.8; 稻麦轮作、中药材、稻油轮作模式的 IFI 次之, 介于 0.6 ~ 0.8。

表 8 不同种植模式下土壤指标隶属度值
Table 8 Membership values of soil indexes under different planting patterns

种植模式	pH	有机质	有效磷	速效钾
烟稻轮作	0.79 ± 0.32 a	0.68 ± 0.29 b	1.00 ± 0.00 a	0.87 ± 0.24 a
单季稻	0.63 ± 0.33 ab	0.90 ± 0.20 a	0.97 ± 0.11 a	0.65 ± 0.41 b
中药材	0.22 ± 0.28 c	0.69 ± 0.30 b	0.95 ± 0.19 a	0.88 ± 0.26 a
双季稻	0.60 ± 0.35 ab	0.97 ± 0.13 a	0.98 ± 0.08 a	0.90 ± 0.18 a
稻油轮作	0.42 ± 0.36 bc	0.84 ± 0.24 ab	1.00 ± 0.00 a	0.49 ± 0.41 b
稻麦轮作	0.45 ± 0.39 b	0.81 ± 0.29 ab	0.99 ± 0.05 a	0.69 ± 0.37 ab

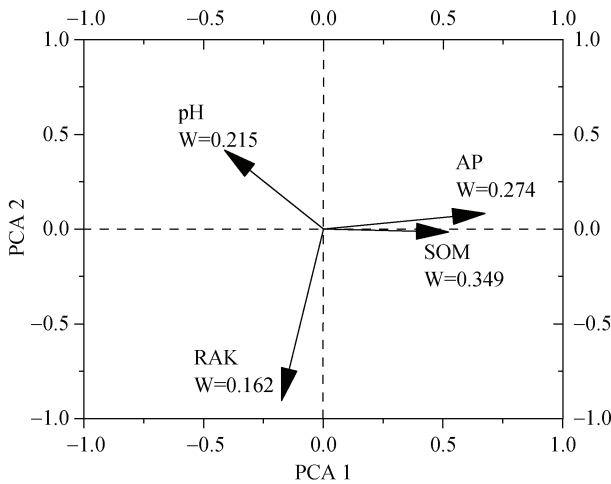


图 2 土壤指标的权重
Fig. 2 Weight values of soil indexes

表 9 不同种植模式土壤的 IFI 值
Table 9 Soil IFI values under different planting patterns

种植模式	平均值 ± 标准差	偏度	峰度	变异系数 CV (%)
烟稻轮作	0.821 ± 0.12ab	-0.80	0.52	15.13
单季稻	0.817 ± 0.08ab	0.39	0.21	10.31
中药材	0.693 ± 0.12cd	-1.61	3.63	16.85
双季稻	0.880 ± 0.13a	-2.13	6.60	14.23
稻油轮作	0.645 ± 0.16d	0.16	-0.47	24.70
稻麦轮作	0.760 ± 0.15bc	-0.34	-0.26	19.63

3 讨论

3.1 不同种植模式下土壤养分差异

田间调查表明,各类种植模式下所有作物的秸秆都采取还田措施,施肥和相应的养分投入见表 10,生物量移出和相应的养分移出信息见表 11,养分净

表 10 2018 年不同种植模式下施肥与营养元素投入信息(kg/hm²)
Table 10 Fertilization and nutrient input information under different planting patterns of 2018

种植模式	施肥类型、用量和配方	投入的养分含量合计		
		N	P	K
烟稻轮作	烟季: 烟草专用肥 2; 稻季: 复合肥 2, 尿素 0.67	1.01	0.42	0.92
单季稻	复合肥 2, 尿素 1	0.76	0.16	0.10
中药材	复合肥 2.67	0.40	0.21	0.13
双季稻	早稻: 复合肥 2, 尿素 1; 晚稻: 复合肥 2, 尿素 1	1.53	0.31	0.20
稻油轮作	稻季: 复合肥 2, 尿素 1; 油菜季: 复合肥 2, 尿素 0.67	1.37	0.31	0.20
稻麦轮作	稻季: 复合肥 1.67, 尿素 0.67; 麦季: 复合肥 1.67, 尿素 1	1.27	0.26	0.16

注: 表中复合肥尿素、过磷酸钙、氧化钾之间的比例为 15:18:6。

表 11 2018 年不同种植模式下产出与营养元素移出信息
Table 11 Output and nutrient removal information under different planting patterns of 2018

种植模式	移出田块的生物量 (kg/hm ²)	移出的作物器官养分含量(g/kg)			移出的养分含量合计(kg/hm ²)		
		N	P	K	N	P	K
烟稻轮作	烟叶 10, 稻谷 27	30.2+12.6	3.2+3.6	51.5+1.5	1.31	0.23	1.43
单季稻	稻谷 53	12.6	3.6	1.5	0.67	0.19	0.08
中药材	花或叶 167	21.7	9.2	7.2	0.36	0.15	0.12
双季稻	稻谷 33, 稻谷 33	12.6+12.6	3.6+3.6	1.5+1.5	1.68	0.48	0.20
稻油轮作	稻谷 47, 油菜籽 27	12.6+42.8	3.6+9.9	1.5+9.1	1.16	0.27	0.18
稻麦轮作	稻谷 40, 麦粒 27	12.6+21.5	3.6+3.8	1.5+4.2	1.08	0.25	0.17

增减信息见表 12。其中,移出田块的作物器官的氮磷钾含量数据来自参考文献(取平均值)^[19-20]。

长期大量施用化肥以及酸沉降造成皖南农田土壤普遍酸化^[21-22]。烟稻轮作土壤 pH 最高(5.47),主要是由于烤烟生长的适宜 pH 为 5.5 ~ 6.5,为此当地烟田多采用施用白云石粉改酸^[23]。中药材土壤 pH 最低(4.87),单季稻、双季稻、稻麦轮作、稻油轮作土壤 pH 差异不显著。这主要是因为中药材为旱作,而水田缓冲性能高,会缓解 pH 的降低^[24]。

本研究表明,不同种植模式土壤有机质含量的平

均值为双季稻(38.46 g/kg)>单季稻(33.98 g/kg)>稻油轮作(31.18 g/kg)>稻麦轮作(30.70 g/kg)>中药材(25.82 g/kg)>烟稻轮作(25.60 g/kg),这与土壤水分状况和秸秆还田有关。秸秆还田^[25]、施肥(特别是氮肥)^[26]以及土壤含水量高^[27],有利于提升土壤有机质含量。就双季稻而言,其秸秆还田量大,土壤淹水时间长,故土壤有机质含量最高。优质烤烟要求土壤有机质为适中水平^[28],因此植烟期间一般严格控制肥料的投入,并且烤烟为旱作,有机质矿化分解快,因此烟稻轮作土壤有机质含量最低。种植中药材模式,

表 12 2018 年不同种植模式下营养元素净变化情况
Table 12 Net changes of nutrients under different planting patterns of 2018

种植模式	N		P		K	
	净增(kg/hm ²)	比例(%)	净增(kg/hm ²)	比例(%)	净增(kg/hm ²)	比例(%)
烟稻轮作	-0.30	-29.72	0.19	45.28	-0.51	-55.69
单季稻	0.09	12.04	-0.03	-22.16	0.02	18.90
中药材	0.04	9.58	0.06	26.84	0.01	8.76
双季稻	-0.15	-9.95	-0.17	-52.70	0.00	-1.38
稻油轮作	0.21	15.36	0.05	14.41	0.02	7.88
稻麦轮作	0.19	15.31	0.02	6.45	-0.01	-4.46

由于同样为旱作且中药材对有机质需求量大,因此土壤有机质含量也较低^[29]。

本研究表明,6 种植模式的土壤有效磷含量均偏高,这是由于磷肥价格低,加上农户认为多施磷肥无害且会增产,往往施用过量钙镁磷肥或过磷酸钙^[30],这也是双季稻、稻油轮作、稻麦轮作、烟稻轮作土壤有效磷含量无显著差异的主要原因。中药材生长对养分的需求量大,因此施肥中普遍多施磷钾肥,故土壤有效磷和速效钾含量最高(平均值分别为 95.92 mg/kg 和 200.6 mg/kg)。单季稻的肥料投入较少,加之秸秆还田量相对较少,故土壤有效磷含量最低(平均值 30.09 mg/kg)。

6 种植模式的土壤速效钾含量多处于正常范围。中药材土壤速效钾含量最高(平均值 200.6 mg/kg),这是由于钾是品质元素,农户一般多施钾肥以提升中药材品质,且移出的钾较少(表 12)。烤烟嗜钾,一般烟草专用肥配方中钾含量最高^[31],但由于烤烟自身吸钾多,且一些烟农在后茬晚稻种植时忽视施用钾肥,烟稻轮作模式消耗钾最多(约为 56%),降低了烟稻轮作土壤速效钾含量。

3.2 不同种植模式下土壤综合肥力差异

不同种植模式间 IFI 平均值由高到低依次为双季稻(0.880)>烟稻轮作(0.821)>单季稻(0.817)>稻麦轮作(0.760)>中药材(0.693)>稻油轮作(0.645)。双季稻由于其长期厌氧条件,土壤有机质等养分富集,IFI 值最高。烟稻轮作模式土壤 pH 和速效钾含量分别处于 6 种植模式中的第一位(5.47)和第三位(157.10 mg/kg),因此其 IFI 也较高。种植中药材模式由于 pH 和土壤有机质含量低,导致 IFI 较低。稻油轮作各养分指标普遍较低,导致 IFI 最低。

3.3 种植模式与土壤肥力提升的建议

双季稻、烟稻轮作和单季稻的 IFI 均大于 0.8(分别是 0.880、0.821 和 0.817),明显高于稻麦轮作(0.760)、中药材(0.693)和稻油轮作(0.645)。这在一定

程度上说明双季稻、烟稻轮作和单季稻 3 种模式更有利于维持土壤肥力和土壤可持续性,因此推荐这 3 种植模式。

根据表 2,约 18% 单季稻田块和 15% 稻麦轮作田块土壤有机质处于四级,其余土壤有机质均处于三级及以上,因此各种种植模式,尤其是单季稻和稻麦轮作应当适当提升有机物料投入;稻麦轮作和单季稻的土壤有效磷含量最低,应适当增加磷肥;稻麦轮作有约 65% 田块土壤速效钾处于三级水平及以下,而稻油轮作和单季稻分别有 40% 和 30% 的田块土壤速效钾处于四级,应增加钾肥。从表 12 来看,双季稻模式 N、P、K 净增量均为负值,且 P 减少了约 53%,应加大化肥的投入。对于烟稻种植模式,根据表 3,尚有 45% 田块 pH<5.5,应注意改酸;另外分别有 15% 和 10% 烟稻轮作田块土壤有机质低于或高于植烟适宜范围(20 ~ 35 g/kg),60% 田块土壤有效磷高于植烟适宜范围(15 ~ 30 g/kg),45% 烟稻轮作田块土壤速效钾低于植烟适宜范围(150 ~ 220 g/kg),分别酌情考虑增减有机肥或磷钾肥。

依据调查获取各类种植模式大致净收益信息(表 13),其与网上查询到净收益数据有一定出入,故本文以实际调查获取的数据为准。比较而言,中药材种植模式最高(200 元/hm²),烟稻轮作次之(137 元/hm²),双季稻中等(117 元/hm²),单季稻、稻油轮作和稻麦轮作相对较低(介于 60 ~ 84 元/hm²),结合双季稻、烟稻轮作和单季稻 3 种模式的 IFI 较高,因此推荐双季稻和烟稻轮作模式。但需要指出:①双季稻口感一般不如单季稻^[32],加之农业比较效益低,农户种地积极性不高,因此双季稻模式农户难于接受;②中药材一定要注意及时换地,因为中药材存在明显连作障碍,70% 根类药材存在连作障碍^[33]。③不推荐稻油与稻麦轮作的另外原因是居民很少食用菜籽油,南方小麦籽粒含水量偏高,易霉变,销售风险大。

表 13 不同种植模式净收入
Table 13 Annual net income of different planting patterns

种植模式	烟稻轮作	单季稻	中药材	双季稻	稻油轮作	稻麦轮作
净收益(元/hm ²)	80+57=137	60	200	57+60=117	13+60=73	24+60=84

由于难以获取代表性田块的肥力初始信息,因此本研究主要是依据现状肥力状况比较来推荐种植模式和施肥建议,这可能会对结果产生一定影响,因此有必要开展专门的定位监测研究来进一步验证本研究得出的结果。

4 结论

宣州区农田在不同种植模式下土壤 pH、养分以及肥力存在一定的差异,各种种植模式土壤均为酸性,土壤有机质、有效磷和速效钾含量高低顺序存在一定差异。依据综合分析比较土壤指标、IFI、养分净变化和净收益,推荐双季稻和烟稻轮作模式。稻麦轮作、单季稻和稻油轮作模式应注意适当增施磷钾肥和有机肥;烟稻轮作需要依据定期的测土结果来酌情考虑增减有机肥和磷钾肥的施用。

致谢: 谨此感谢在调查采样过程中给予支持和帮助的所有人员。

参考文献:

- [1] Logan T J, Lal R, Dick W A. Tillage systems and soil properties in North America[J]. Soil and Tillage Research, 1991, 20(2/3/4): 241-270.
- [2] 张继光, 姚忠达, 张忠锋, 等. 皖南地区不同烤烟种植模式的土壤环境及经济效益分析[J]. 土壤, 2016, 48(3): 553-558.
- [3] Cuvaric M, Tveitnes S, Krogstad T, et al. Long-term effects of crop rotation and different fertilization systems on soil fertility and productivity[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, 2004, 54(4): 193-201.
- [4] Riedell W E, Pikul J L, Jaradat A A, et al. Crop rotation and nitrogen input effects on soil fertility, maize mineral nutrition, yield, and seed composition[J]. Agronomy Journal, 2009, 101(4): 870-879.
- [5] 刘恩科, 赵秉强, 梅旭荣, 等. 不同施肥处理对土壤水稳定性团聚体及有机碳分布的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 1035-1041.
- [6] 高菊生, 曹卫东, 李冬初, 等. 长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4542-4548.
- [7] Anderson R L, Tanaka D L, Black A L, et al. Weed community and species response to crop rotation, tillage, and nitrogen fertility[J]. Weed Technology, 1998, 12(3): 531-536.
- [8] 魏守辉, 强胜, 马波, 等. 不同作物轮作制度对土壤杂草种子库特征的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 385-389.
- [9] 李贤胜, 何小卫, 杨平. 宣城市种植业结构特点与特色烟发展战略关系探讨[J]. 土壤, 2011, 43(1): 120-122.
- [10] 季学军, 沈思灯, 薛琳, 等. 基于野外调查信息的安徽省宣城市典型烟田的土系建立[J]. 土壤, 2013, 45(4): 763-765.
- [11] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012:38,47,70,79.
- [12] 林卡, 李德成, 张甘霖. 土壤质量评价中文文献分析[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 736-744.
- [13] 宋效东, 郭卢, 赵安, 等. 皖北亳州烟区土壤肥力定量评价[J]. 土壤通报, 2016, 47(1): 8-14.
- [14] 骆伯胜, 钟继洪, 陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究[J]. 土壤, 2004, 36(1): 104-106,111.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化委员会. 耕地质量等级: GB/T 33469—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 860-934.
- [17] 何俊瑜, 陈博, 陈秀兰, 等. 贵州铜仁地区主要烟区植烟土壤养分状况[J]. 土壤, 2012, 44(6): 953-959.
- [18] 张凤荣, 安萍莉, 王军艳, 等. 耕地分等中的土壤质量指标体系与分等方法[J]. 资源科学, 2002, 24(2): 71-75.
- [19] 唐莉娜, 张秋芳, 陈顺辉. 不同有机肥与化肥配施对植烟土壤微生物群落 PLFAs 和烤烟品质的影响[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(1): 36-40.
- [20] 张美德, 吴德洲, 艾伦强, 等. 白术氮、磷、钾营养吸收分配规律研究[J]. 中药材, 2016, 39(3): 469-472.
- [21] 陈雪梅. 宣城市土壤主要养分空间变异特征研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [22] 李贤胜, 杨平, 卢祖瑶, 等. 皖南山区土壤酸化趋势研究——以宣城市广德县为例[J]. 土壤, 2008, 40(4): 676-679.
- [23] 杨晔. 烤后烟叶挂灰的原因与防止烟叶挂灰的途径[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(19): 6367-6369, 6372.
- [24] 汪吉东, 许仙菊, 宁运旺, 等. 土壤加速酸化的主要农业驱动因素研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(4): 627-633.

- [25] 吴其聪, 张丛志, 张佳宝, 等. 不同施肥及秸秆还田对潮土有机质及其组分的影响[J]. 土壤, 2015, 47(6): 1034–1039.
- [26] 侯晓静, 杨劲松, 赵曼, 等. 不同施肥措施对滨海盐渍土有机碳含量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(5): 780–786.
- [27] 席晋峰, 李贤胜, 王大州, 等. “焦甜香”特色烟在宣城地区种植的土壤适宜性研究[J]. 土壤, 2009, 41(6): 1018–1020.
- [28] 邱立友, 祖朝龙, 杨超, 等. 皖南烤烟根际微生物与焦甜香特色风格形成的关系[J]. 土壤, 2010, 42(1): 45–52.
- [29] 张晓虎. 商洛市中药材种植药源基地土壤肥力的研究初报[J]. 陕西农业科学, 2007, 53(3): 53–55.
- [30] 董红艳, 刘钦普. 安徽省农田氮磷化肥施用合理性分析[J]. 中国土壤与肥料, 2018(3): 73–78.
- [31] 庄云, 武小净, 李德成, 等. 安徽省皖南烟区灌溉水体和肥料重金属含量研究[J]. 土壤, 2013, 45(1): 190–192.
- [32] 徐本美, 顾增辉, 徐旭增, 等. 单、双季稻留种用种子活力的比较研究[J]. 植物生理学通讯, 1985, 21(3): 13–15.
- [33] 孙雪婷, 李磊, 龙光强, 等. 三七连作障碍研究进展[J]. 生态学杂志, 2015, 34(3): 885–893.