

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.05.026

王浩田, 姜超强, 蒋瑀霁, 等. 皖南沿江平原不同年限烟-稻轮作土壤团聚体组成与烤烟产质量的关系. 土壤, 2020, 52(5): 1057–1067.

皖南沿江平原不同年限烟-稻轮作土壤团聚体组成与烤烟产质量的关系^①

王浩田^{1,2}, 姜超强³, 蒋瑀霁¹, 陈利军^{1,2}, 祖朝龙³, 孙波^{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 安徽省农业科学院烟草研究所, 合肥 230031)

摘要: 在安徽省皖南池州和宣城主要植烟区开展试验, 研究了皖南沿江平原区典型水稻土在烟-稻轮作下团聚体组成变化与烤烟产质量的关系。试验共选择 9 个轮作年限田块, 其中池州 4 个, 分别为烟-稻轮作 0(即种植单季稻)、2、4、9 a, 宣城 5 个, 分别为烟-稻轮作 1、3、5、8、12 a。结果表明: 池州地区烟-稻轮作土壤 2~5 mm 团聚体含量随轮作年限增加呈现先增加后降低的趋势; 宣城地区烟-稻轮作 1 a 时土壤 2~5 mm 团聚体含量显著高于其他轮作年限土壤, 且此级团聚体所占比例与轮作年限之间显著负相关。综合池州、宣城两地, 随着轮作年限的增加, 烤烟产量降低, 但池州地区烟叶随着轮作年限的增加, 中、上部叶中氯含量呈现下降趋势, 上部叶中钾/氯比呈增加趋势; 宣城地区其他轮作年限烟叶中、上部叶中糖/碱比均高于轮作 1 a 烟叶, 且轮作 5~8 a 内适合优质烤烟生产(变化稳定)。同时, 池州地区上部烟叶刺激性和干燥感评分随着轮作年限的增加呈现下降趋势; 宣城地区上部叶香气特性评分随着轮作年限增加而增高。池州和宣城两地土壤 2~5 mm 团聚体含量与烤烟产量呈现显著正相关关系, 且产量均受土壤 2~5 mm 团聚体 pH 的显著影响。池州地区土壤中 2~5 mm 团聚体含量与烟叶中总糖含量呈显著正相关关系。通过建立随机森林模型发现, 池州地区烟叶中总糖含量受土壤碱解氮含量影响显著。土壤 2~5 mm 团聚体含量与理化性质对皖南烟区烤烟产量和品质有着重要作用, 通过施用秸秆、有机肥和土壤改良剂等高效培育土壤团聚体的施肥方式, 可以改善土壤团粒结构, 提升烟田土壤质量, 保障安徽皖南烤烟适产、稳产、优质和风味独特。

关键词: 土壤团聚体组成; 烤烟; 产量; 品质; 烟稻轮作

中图分类号: S158.5 文献标志码: A

Relationship Between Soil Aggregate Composition with Yield and Quality of Flue-cured Tobacco Under Different Rice-tobacco Rotation Years in Yangtse Plain South Anhui

WANG Haotian^{1,2}, JIANG Chaoqiang³, JIANG Yuji¹, CHEN Lijun^{1,2}, ZU Chaolong³, SUN Bo^{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 Tobacco Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to investigate the effects of tobacco-rice rotation on the physical and chemical properties of soil aggregates, aggregates composition, yield and quality of tobacco leaves, field surveys were conducted in the tobacco growing areas in Chizhou and Xuancheng, located in the Yangtse plain of southern Anhui Province. In total 9 tobacco-growing fields in Chizhou and Xuancheng were surveyed and sampled, including single cropping rice (0 a), tobacco-rice rotation of 2 a, 4 a and 9 a in Chizhou; tobacco-rice rotation of 1 a, 3 a, 5 a, 8 a and 12 a in Xuancheng. The results showed that 2–5 mm aggregate content in Chizhou increased initially and then decreased with the increase of rotation year; 2–5 mm aggregate content of 1 a rotation soil in Xuancheng was significantly higher than those of other rotation years, and the proportion of 2–5 mm aggregates was negatively correlated with rotation year. With the increase of rotation year, tobacco yield decreased, but chlorine content decreased in middle and upper leaves and K/Cl ratio in upper leaves increased in Chizhou; Sugar-alkali ratio in middle and upper leaves of other rotation years in Xuancheng was higher than that of 1 a rotation, and 5–8 a rotation were suitable for high quality tobacco

①基金项目: 安徽省烟草公司科技项目(20170551022)和安徽省农业科学院团队项目(2019YL039、2020YL059)资助。

* 通讯作者(bsun@issas.ac.cn)

作者简介: 王浩田(1994—), 男, 甘肃天水人, 硕士研究生, 主要从事土壤微生物生态研究。E-mail: htwang@issas.ac.cn

production. The scores of irritability and dryness of upper leaves in Chizhou showed a downward trend with the increase of rotation year, while the scores of aroma characteristics of upper leaves in Xuancheng increased with the increase of rotation year. There was a significant positive correlation between 2–5 mm aggregate content and tobacco yield in Chizhou and Xuancheng, and the yield was significantly affected by pH of 2–5 mm aggregates in the two areas. There was a significant positive correlation between the content of 2–5 mm aggregates and the content of total sugar in tobacco leaves in Chizhou. The content of total sugar in tobacco leaves in Chizhou was significantly affected by the content of soil available nitrogen. The content and physicochemical properties of 2–5 mm aggregates play an important role in yield and quality of tobacco in southern Anhui. It is necessary to apply straw, organic fertilizer and soil amendments in the farmlands in order to effectively cultivate soil aggregates, improve soil aggregate structure, improve soil quality, and ensure the appropriate, stable, high-quality and unique flavor of flue-cured tobacco in southern Anhui.

Key words: Soil aggregate composition; Flue-cured tobacco; Yield; Quality; Tobacco-rice rotation

烤烟是一种忌连作的作物,烤烟连作会增加烟草土传病害和地下害虫的危害,影响烟株的正常生长。合理轮作可以调节不同作物对营养元素的需要,有利于烟草的生长。水旱轮作可以减轻如地老虎、烟草根结线虫等病虫害的影响^[1]。对烤烟连作、轮作 4a 的定位试验表明,轮作烟叶中致香物质含量大多数高于连作烟叶,连作土壤有效磷和有效钾含量明显地高于轮作土壤;轮作土壤的 pH、有机质、全钾等理化性质均高于连作土壤^[2]。烟-稻轮作制可以改良土壤,减轻烟、稻两种作物的病、虫、草害,提高两种作物的产量^[3]。烟-稻轮作,在生态学和植物学上是协调的,生育期也是可配合的,烟草和水稻可以连年轮作^[4]。南方有条件的稻区种烟,推广烟-稻轮作制,能克服烟粮争地矛盾^[5]。研究表明,烟-稻轮作对烟叶的产量、产值、抗逆性、内外在质量等均有提高,烟-稻轮作有利于烟叶生产^[6]。目前关于烟-稻轮作制度下,土壤团聚体对烤烟产量和品质的影响研究较少,亟需开展系统研究以深入认识。

安徽省烟叶种植区域广,烟田的地形地貌、土壤类型、耕作和轮作管理方式多样,因此烟田土壤肥力水平差异显著。安徽烤烟种植区以丘陵和平原为主,植烟土壤的主要类型包括水稻土、黄棕壤和红壤,轮作方式以烟-稻轮作为主,占全区种植面积的 90% 以上。其中宣城和池州市是主要的烟叶产区,地处皖南山区及长江下游平原,土壤类型是沿江平原区典型水稻土,两地是安徽烤烟生产的最适宜区域。然而,在安徽烟区不同气候-土壤-轮作类型区,针对土壤肥力的演变机制及其与烟草品质的关系缺乏系统的和长期的研究。烤烟的品质和特色除受品种的影响外,土壤肥力是最为重要的影响因素。土壤团聚体是土壤结构的基本单元,是土壤肥力的基础和核心,土壤团聚体通过影响土壤物理、化学和生物学过程,最终影响

作物的生长及其产量和品质^[7]。

目前亟需针对典型烟区,摸清“轮作方式-施肥方式-种植培肥时间”耦合对团聚体形成的影响,全面探查不同烟-稻轮作年限、不同施肥管理方式下土壤肥力演变规律及其对烟草产量和品质的影响,建立团聚体结构、数量和功能性质与烤烟产量和品质的关系,从土壤学角度揭示安徽烟区烤烟独特风味的形成机制。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在安徽省池州市东至县张溪镇(30°17′05.581″N, 117°04′59.603″E)和宣城市黄渡乡(30°48′42.643″N, 118°52′02.284″E)进行。其中,池州市气候温暖,四季分明,雨量充足,光照充足,无霜期长,属亚热带季风气候,年平均气温 16.5℃,年均降水量 1 400 ~ 2 200 mm。单季稻土壤 pH 为 5.04,有机质含量为 15.89 g/kg,黏粒含量为 450 g/kg;烟-稻轮作土壤 pH 为 5.27,有机质含量为 16.75 g/kg,黏粒含量为 420 g/kg。宣城市气候类型为亚热带湿润季风气候,季风气候明显,四季较分明,无霜期长,并且夏雨集中,年均温度为 15.6℃,年均降水量在 1 200 ~ 1 500 mm。烟-稻轮作土壤 pH 为 5.00,有机质含量为 16.21 g/kg,黏粒含量为 440 g/kg。池州和宣城两地水稻土成土母质为河湖相沉积物,土壤类型为潜育型水稻土。

供试烤烟品种为云烟 87,由安徽省烟草公司提供。于 2017 年 1 月 20 日育苗,3 月 22 日移栽,行距 1.2 m,株距 0.5 m,6 月 10 日第一次采收,7 月 15 日采收结束。

1.2 试验设计

试验设置 9 个处理,池州地区为:烟-稻轮作 0(即种植单季稻)、2、4、9 a;宣城地区为:烟-稻轮作 1、

3、5、8、12 a。烟草季常规施肥量为: N 7.63 kg/667m²、P₂O₅ 13.09 kg/667m²、K₂O 26.90 kg/667m²。水稻季常规施肥量为: N 8.35 kg/667m²、P₂O₅ 3.75 kg/667m²、K₂O 3.75 kg/667m²。期间并配合烟秆(450 kg/667m²)、稻秆(400 kg/667m²)还田。烟草季肥料作基肥施一次性条施;水稻季专用肥作基肥,尿素在插秧后表面撒施作基肥。

1.3 样品采集与测定

烟草成熟期采集土壤表层(0~20 cm)样品,每个小区利用土钻按S型采集8个点,混合均匀后用四分法取2 kg左右土样用于测定分析。用干筛法测定土壤团聚体组成,将土壤筛分成>5、2~5、1~2、0.25~1、<0.25 mm共5级团聚体。采用比重计法测定土壤颗粒组成,电位测定法测定土壤pH,烘干法测定土壤含水量,重铬酸钾法测定土壤有机质,乙酸铵测定土壤阳离子交换量,重铬酸钾-硫酸消化法测定土壤全氮,高氯酸-硫酸酸溶-钼锑抗比色法测定土壤全磷,原子吸收分光光度法测定土壤全钾,碱解扩散法测定土壤碱解氮,碳酸氢钠法测定土壤有效磷,原子吸收分光光度法测定土壤速效钾,2 mol/L KCl浸提-流动分析仪测定土壤铵态氮和硝态氮^[8]。

采集中、上部烟叶用作烤烟化学成分分析。总糖、还原糖含量按照NY/YCT002—2001《烟草及烟草制品中水溶性糖的测定》进行测定;烟叶中钾测定方法按照YC/T173—2003《烟草及烟草制品钾的测定火焰光度法》进行测定;烟叶中烟碱按照YC/T34—1996《烟草及烟草制品总植物碱的测定光度法》进行测定;烟叶中氯含量按照YC/T153—2001《烟草及烟草制品氯含量的测定方法》进行测定。糖/碱比为烟叶总糖含量与烟碱含量的比值;钾/氯比为钾含量与氯含量的比值。

1.4 烟叶感官评吸评分指标

中、上部烟叶初烤后去青去杂,经温度22℃和相对湿度60%环境平衡含水率48 h后,由安徽中烟工业公司技术中心进行评吸。

1.5 数据计算与分析方法

采用Excel 2016和SPSS 20.0软件对数据进行处理和统计分析,数据差异显著性检验用Duncan法;采用R语言软件的Random forest软件包构建随机森林模型,以及rfUtilities和rfPermute软件包分析模型的显著性。

2 结果

2.1 不同烟-稻轮作年限对土壤团聚体理化性质的影响

研究表明(表1~2),池州地区单季稻土壤各

级团聚体pH高于轮作土壤团聚体的pH;宣城地区土壤团聚体pH在轮作1a和3a时最低,轮作5a和8a时显著提高,轮作12a时下降(除<0.25 mm级团聚体外)。池州地区单季稻各级土壤团聚体有机质含量高于轮作土壤,0.25~1 mm和2~5 mm团聚体有机质含量在轮作9a时提高,1~2 mm和>2 mm土壤团聚体有机质含量在各轮作土壤间无显著差异,同时,<0.25 mm团聚体有机质含量单季稻和轮作土壤间无显著差异;宣城地区轮作1a时各级土壤团聚体有机质含量高于其他轮作年限土壤,在轮作3a时土壤各级团聚体有机质含量最低,随后随着轮作年限的增加有机质含量呈现先增加后降低的趋势。

从全量养分含量看,池州地区单季稻土壤各级团聚体全氮含量高于轮作土壤,但单季稻和轮作土壤2~5 mm团聚体全氮含量无显著差异;宣城地区轮作1a时各级土壤团聚体全氮含量显著高于其他轮作年限土壤,随后随着轮作年限的增加全氮含量呈现先增加后降低的趋势。池州地区单季稻和相对短轮作年限土壤全钾含量高于相对长轮作年限土壤;宣城地区随着轮作年限的增加土壤全钾含量整体呈现先增加后降低的趋势,但<0.25 mm团聚体单季稻和轮作土壤全钾含量无显著差异。

从速效养分含量看,池州地区单季稻土壤<2 mm各级团聚体碱解氮含量高于轮作土壤;宣城地区轮作1a时各级土壤团聚体碱解氮含量显著高于其他轮作年限土壤,随后随着轮作年限的增加碱解氮含量呈现先增加后降低的趋势。池州地区单季稻土壤<2 mm团聚体有效磷含量低于轮作土壤,>2 mm团聚体无显著差异;宣城地区各级土壤团聚体有效磷含量呈现波动趋势,即随轮作年限增加呈现先降低后增加再降低再增加的趋势。池州地区单季稻土壤<2 mm团聚体速效钾含量低于轮作土壤,轮作土壤<2 mm团聚体速效钾含量随着轮作年限增加呈现先增加后下降的趋势,>2 mm团聚体速效钾含量无显著性差异;宣城地区轮作1a时各级土壤团聚体速效钾含量显著高于其他轮作年限土壤。

2.2 不同烟-稻轮作年限对土壤团聚体组成情况的影响

由图1可知,池州地区土壤2~5 mm团聚体含量随烟-稻轮作年限增加呈现先增加后降低的趋势。宣城地区烟-稻轮作1a时土壤2~5 mm团聚体含量显著高于其他轮作年限土壤。池州地区土壤0.25~1 mm团聚体所占比例与轮作年限之间显著正相关,<0.25 mm团聚体所占比例与轮作年限之间极显著正

相关; 宣城地区土壤 2 ~ 5 mm 团聚体所占比例与轮作年限之间显著负相关(图 2)。

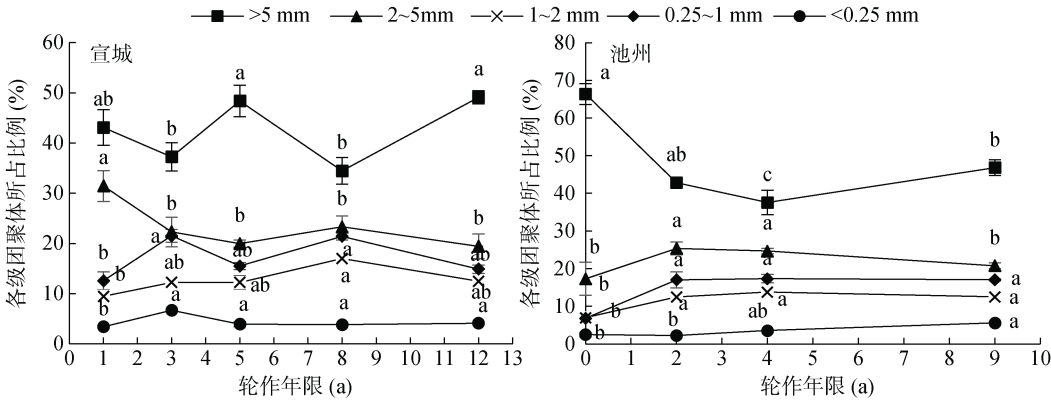
表 1 池州地区不同烟-稻轮作年限下土壤团聚体的理化性质
Table 1 Soil aggregate properties under different years of tobacco-rice rotation in Chizhou

粒径(mm)	轮作年限(a)	pH	含水量(g/kg)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)
<0.25	0	5.72 ± 0.09 b	51.71 ± 5.23 b	20.53 ± 0.60 a	1.51 ± 0.01 a	0.59 ± 0.01 b	14.02 ± 0.19 a
	2	6.32 ± 0.04 a	131.34 ± 18.05 a	21.75 ± 0.79 a	1.35 ± 0.04 b	0.61 ± 0.04 ab	13.23 ± 0.11 b
	4	5.63 ± 0.04 b	113.90 ± 13.48 a	20.12 ± 0.91 a	1.24 ± 0.03 c	0.59 ± 0.03 b	12.38 ± 0.04 c
	9	5.78 ± 0.03 b	67.28 ± 4.59 b	21.85 ± 0.39 a	1.28 ± 0.01 bc	0.70 ± 0.01 a	12.30 ± 0.26 c
0.25 ~ 1	0	6.64 ± 0.08 a	69.26 ± 8.89 b	25.28 ± 0.35 a	1.56 ± 0.04 a	0.67 ± 0.04 a	13.98 ± 0.47 a
	2	6.24 ± 0.02 b	94.18 ± 5.71 a	21.44 ± 0.69 bc	1.47 ± 0.02 ab	0.57 ± 0.02 b	14.09 ± 0.20 a
	4	5.89 ± 0.03 c	56.92 ± 5.22 b	20.21 ± 0.39 c	1.41 ± 0.03 b	0.63 ± 0.03 ab	13.19 ± 0.13 ab
	9	5.79 ± 0.04 c	26.41 ± 5.30 c	22.31 ± 0.40 b	1.38 ± 0.02 b	0.68 ± 0.02 a	12.73 ± 0.17 b
1 ~ 2	0	6.55 ± 0.05 a	74.52 ± 5.49 b	23.28 ± 0.23 a	1.47 ± 0.01 a	0.65 ± 0.01 a	13.63 ± 0.20 a
	2	6.20 ± 0.05 b	97.99 ± 2.60 a	20.84 ± 0.58 b	1.32 ± 0.01 b	0.58 ± 0.01 b	13.19 ± 0.26 a
	4	5.81 ± 0.03 c	66.89 ± 11.35 b	20.32 ± 0.33 b	1.31 ± 0.06 b	0.65 ± 0.06 a	13.68 ± 0.06 a
	9	5.81 ± 0.09 c	24.43 ± 3.21 c	20.73 ± 0.69 b	1.34 ± 0.03 b	0.64 ± 0.03 a	12.11 ± 0.07 b
2 ~ 5	0	6.52 ± 0.04 a	44.42 ± 2.61 c	21.95 ± 0.26 a	1.28 ± 0.07 a	0.65 ± 0.07 a	14.79 ± 0.04 a
	2	6.29 ± 0.01 a	125.64 ± 9.56 a	19.51 ± 0.54 b	1.26 ± 0.03 a	0.58 ± 0.03 b	13.27 ± 0.26 b
	4	5.75 ± 0.17 b	95.68 ± 5.62 b	20.92 ± 0.95 ab	1.23 ± 0.07 a	0.66 ± 0.07 a	13.08 ± 0.16 b
	9	5.84 ± 0.00 b	48.30 ± 4.81 c	20.58 ± 0.20 ab	1.25 ± 0.04 a	0.59 ± 0.04 b	11.71 ± 0.40 c
>5	0	6.54 ± 0.04 a	31.16 ± 0.68 c	21.52 ± 0.37 a	1.45 ± 0.01 a	0.61 ± 0.01 a	13.60 ± 0.25 a
	2	6.03 ± 0.09 b	138.01 ± 10.17 a	19.60 ± 0.58 b	1.29 ± 0.04 b	0.53 ± 0.04 c	13.03 ± 0.43 a
	4	5.86 ± 0.09 bc	86.09 ± 11.14 b	19.28 ± 0.12 b	1.21 ± 0.03 bc	0.61 ± 0.03 a	12.67 ± 0.30 a
	9	5.71 ± 0.06 c	36.60 ± 5.61 c	19.22 ± 0.64 b	1.16 ± 0.01 c	0.57 ± 0.01 b	11.57 ± 0.29 b
粒径(mm)	轮作年限(a)	CEC(cmol/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	硝态氮(mg/kg)	铵态氮(mg/kg)
<0.25	0	10.78 ± 0.09 a	233.98 ± 10.03 a	40.48 ± 2.54 ab	107.50 ± 1.44 b	0.23 ± 0.15 c	63.15 ± 5.96 a
	2	9.72 ± 0.04 b	132.30 ± 2.12 b	23.04 ± 1.57 c	131.67 ± 2.20 ab	21.23 ± 1.37 a	7.58 ± 0.15 b
	4	9.61 ± 0.04 b	118.83 ± 3.24 b	31.42 ± 3.10 bc	176.67 ± 31.44 a	18.02 ± 1.64 a	7.72 ± 0.47 b
	9	9.28 ± 0.03 b	121.28 ± 2.12 b	47.35 ± 4.68 a	160.00 ± 9.46 ab	11.57 ± 0.87 b	7.79 ± 0.71 b
0.25 ~ 1	0	13.34 ± 0.08 a	158.03 ± 9.72 a	25.47 ± 1.95 bc	121.67 ± 1.67 b	3.46 ± 1.39 c	13.46 ± 1.35 a
	2	10.36 ± 0.02 b	126.18 ± 1.23 b	23.67 ± 1.22 c	139.17 ± 5.46 ab	22.05 ± 0.79 a	8.57 ± 0.11 b
	4	9.05 ± 0.03 c	128.63 ± 7.65 b	35.40 ± 4.58 b	206.67 ± 42.68 a	12.82 ± 1.24 b	10.64 ± 0.75 b
	9	9.88 ± 0.04 bc	135.98 ± 2.12 b	49.41 ± 3.46 a	159.17 ± 7.41 ab	9.92 ± 0.76 b	13.28 ± 0.33 a
1 ~ 2	0	12.50 ± 0.05 a	135.98 ± 2.12 a	24.83 ± 2.18 c	115.83 ± 5.83 b	3.29 ± 1.15 d	16.28 ± 1.95 a
	2	9.73 ± 0.05 b	122.50 ± 1.23 b	21.00 ± 0.17 c	131.67 ± 5.83 ab	20.98 ± 0.93 a	8.50 ± 0.35 b
	4	9.48 ± 0.03 b	126.18 ± 3.24 b	37.25 ± 2.22 b	195.00 ± 42.52 a	12.80 ± 0.43 b	9.27 ± 0.65 b
	9	9.51 ± 0.09 b	128.63 ± 2.12 ab	49.77 ± 2.64 a	157.50 ± 9.01 ab	9.79 ± 0.80 c	14.62 ± 1.43 a
2 ~ 5	0	13.13 ± 0.04 a	138.43 ± 1.23 a	29.41 ± 2.77 b	130.00 ± 6.29 a	2.21 ± 0.74 c	11.76 ± 2.65 a
	2	9.18 ± 0.01 b	128.63 ± 6.37 ab	23.74 ± 0.14 b	132.50 ± 3.82 a	21.46 ± 1.88 a	8.49 ± 0.96 a
	4	9.64 ± 0.17 b	134.75 ± 2.45 a	41.84 ± 1.56 a	198.33 ± 40.47a	18.74 ± 0.87 a	10.05 ± 1.03 a
	9	9.87 ± 0.00 b	118.83 ± 3.24 b	48.05 ± 3.88 a	163.33 ± 5.46 a	8.39 ± 2.05 b	9.43 ± 1.82 a
>5	0	11.76 ± 0.04 a	129.85 ± 3.24 a	25.70 ± 1.24 c	119.17 ± 4.64 a	1.85 ± 0.35 d	10.18 ± 1.14 a
	2	9.58 ± 0.09 b	116.38 ± 4.42 b	22.19 ± 0.87 c	124.17 ± 3.00 a	19.83 ± 1.62 a	5.54 ± 0.34 b
	4	9.35 ± 0.09 b	129.85 ± 3.24 a	39.85 ± 1.88 b	188.33 ± 39.54 a	14.86 ± 1.11 b	9.26 ± 0.34 a
	9	9.37 ± 0.06 b	110.25 ± 2.12 b	47.29 ± 2.55 a	149.17 ± 4.17 a	7.96 ± 0.32 c	8.84 ± 0.39 a

注: 表中同列不同小写字母表示同一粒径团聚体不同轮作年限间差异达 $P < 0.05$ 显著水平; 下同。

表 2 宣城地区不同烟-稻轮作年限下土壤团聚体的理化性质
Table 2 Soil aggregate properties under different years of tobacco-rice rotation in Xuancheng

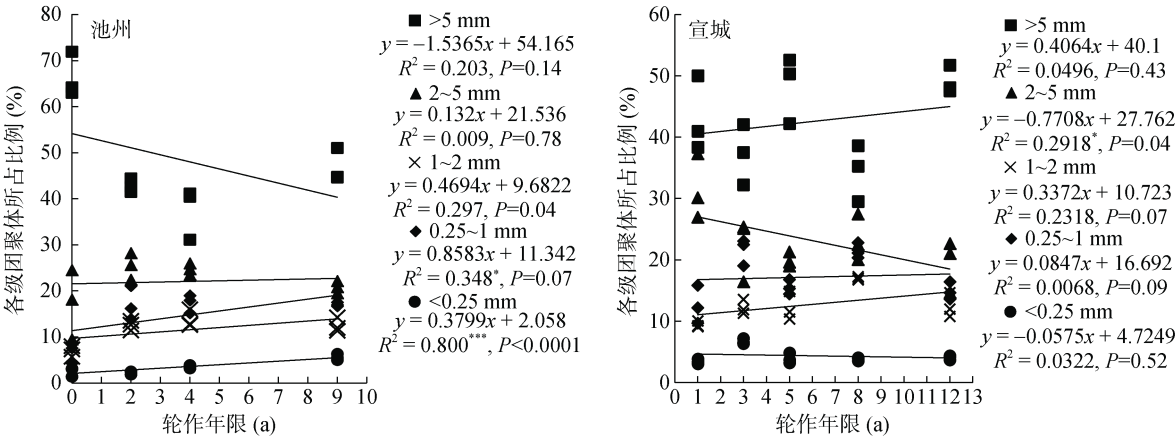
粒径(mm)	轮作年限(a)	pH	含水量(g/kg)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)
<0.25	1	5.39 ± 0.08 b	64.35±9.35b	22.82 ± 1.58 a	1.56 ± 0.04 a	0.68 ± 0.12 a	11.59 ± 0.36 a
	3	5.35 ± 0.25 b	57.84±8.91b	15.09 ± 0.48 c	0.92 ± 0.01 e	0.43 ± 0.01 b	12.00 ± 0.23 a
	5	6.51 ± 0.07 a	73.51±4.11b	20.22 ± 1.18 ab	1.16 ± 0.03 c	0.69 ± 0.06 a	11.35 ± 0.19 a
	8	6.65 ± 0.05 a	102.03±4.11a	21.77 ± 0.82 ab	1.34 ± 0.05 b	0.56 ± 0.02 ab	12.03 ± 0.09 a
	12	6.26 ± 0.14 a	67.13±4.75b	18.77 ± 0.41 b	1.07 ± 0.02 d	0.69 ± 0.04 a	11.45 ± 0.25 a
0.25 ~ 1	1	5.54 ± 0.04 c	68.15±2.17a	25.13 ± 0.51 a	1.49 ± 0.09 a	0.60 ± 0.02 c	11.70 ± 0.22 b
	3	5.64 ± 0.25 c	28.39±3.72b	14.32 ± 0.04 d	1.03 ± 0.01 c	0.45 ± 0.01 d	11.91 ± 0.37 b
	5	6.96 ± 0.05 a	39.39±12.76b	19.81 ± 0.35 c	1.27 ± 0.01 b	0.76 ± 0.03 a	11.57 ± 0.23 b
	8	6.98 ± 0.03 a	52.33±4.50ab	22.56 ± 0.25 b	1.45 ± 0.04 a	0.64 ± 0.04 bc	12.68 ± 0.16 a
	12	6.05 ± 0.06 b	41.24±7.51b	18.83 ± 0.48 c	1.16 ± 0.01 bc	0.70 ± 0.02 ab	11.28 ± 0.11 b
1 ~ 2	1	5.48 ± 0.04 c	68.50±3.77a	22.24 ± 0.56 a	1.38 ± 0.05 a	0.54 ± 0.02 c	12.06 ± 0.01 ab
	3	5.55 ± 0.21 c	35.92±2.43bc	12.96 ± 0.32 e	0.83 ± 0.02 d	0.47 ± 0.00 d	12.29 ± 0.09 ab
	5	6.69 ± 0.10 a	27.73±1.91c	17.78 ± 0.35 c	1.20 ± 0.01 b	0.72 ± 0.01 a	11.60 ± 0.13 b
	8	6.92 ± 0.02 a	48.23±2.68b	21.05 ± 0.32 b	1.45 ± 0.03 a	0.62 ± 0.02 b	12.74 ± 0.23 a
	12	6.13 ± 0.07 b	41.28±7.39bc	16.59 ± 0.13 d	1.05 ± 0.06 c	0.66 ± 0.01 b	12.17 ± 0.51 ab
2 ~ 5	1	5.37 ± 0.04 c	69.60±11.13b	23.42 ± 0.75 a	1.35 ± 0.04 a	0.50 ± 0.06 c	11.76 ± 0.16 ab
	3	5.50 ± 0.24 c	28.64±1.27c	14.11 ± 0.68 c	0.83 ± 0.03 c	0.47 ± 0.01 c	11.81 ± 0.35 ab
	5	6.56 ± 0.01 ab	95.02±11.37ab	18.42 ± 0.59 b	1.08 ± 0.03 b	0.74 ± 0.04 a	11.34 ± 0.09 b
	8	6.84 ± 0.02 a	107.90±18.50a	21.95 ± 0.45 a	1.34 ± 0.02 a	0.57 ± 0.01 ab	12.40 ± 0.23 a
	12	6.22 ± 0.06 b	60.07±5.31bc	17.00 ± 0.53 b	1.11 ± 0.02 b	0.62 ± 0.02 b	11.30 ± 0.22 b
>5	1	5.40 ± 0.10 c	73.26±18.38ab	22.46 ± 0.61 a	1.33 ± 0.04 a	0.42 ± 0.03 c	11.34 ± 0.08 b
	3	5.40 ± 0.16 c	21.73±1.62c	12.77 ± 0.32 d	0.81 ± 0.03 c	0.43 ± 0.01 c	11.36 ± 0.36 b
	5	6.55 ± 0.06 a	104.65±13.14a	17.01 ± 0.25 c	1.04 ± 0.04 b	0.69 ± 0.01 a	11.65 ± 0.28 ab
	8	6.70 ± 0.02 a	109.30±15.59a	20.90 ± 0.52 b	1.31 ± 0.04 a	0.57 ± 0.02 b	12.26 ± 0.20 a
	12	6.10 ± 0.08 b	60.11±1.93bc	16.32 ± 0.43 c	0.98 ± 0.03 b	0.62 ± 0.01 b	11.12 ± 0.14 b
粒径(mm)	轮作年限(a)	CEC(cmol/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	硝态氮(mg/kg)	铵态氮(mg/kg)
<0.25	1	8.61 ± 0.38 b	182.53 ± 20.17 a	54.27 ± 4.41 a	370.83 ± 49.96 a	10.00 ± 4.37 ab	46.25 ± 15.59 a
	3	8.48 ± 0.34 b	90.65 ± 4.42 c	24.33 ± 1.81 b	129.17 ± 78.85 b	4.67 ± 2.07 b	6.07 ± 0.65 b
	5	10.28 ± 0.39 a	107.80 ± 3.24 bc	65.05 ± 13.95 a	172.50 ± 34.83 b	18.84 ± 3.64a	7.27 ± 0.33 b
	8	10.15 ± 0.12 a	124.95 ± 2.12 b	24.07 ± 0.88 b	129.17 ± 4.21 b	16.91 ± 1.21a	8.39 ± 0.33 b
	12	9.28 ± 0.24 ab	99.23 ± 2.12 bc	58.29 ± 5.43 a	184.17 ± 74.73 b	11.01 ± 0.81 ab	6.83 ± 0.66 b
0.25 ~ 1	1	9.82 ± 0.20 bc	147.00 ± 2.12 a	48.21 ± 3.47 b	375.00 ± 82.08 a	16.61 ± 0.09 a	17.41 ± 1.99 a
	3	8.64 ± 0.06 d	91.88 ± 2.12 d	27.51 ± 2.50 c	123.33 ± 83.05 c	2.33 ± 0.17 e	8.89 ± 0.80 b
	5	10.12 ± 0.09 b	126.18 ± 8.58 b	70.00 ± 5.72 a	185.00 ± 92.41 bc	13.90 ± 1.36 b	11.18 ± 0.41 b
	8	10.79 ± 0.29 a	135.98 ± 2.12 ab	26.29 ± 1.52 c	135.83 ± 24.00 bc	11.35 ± 0.33 c	11.88 ± 0.06 b
	12	9.35 ± 0.21 c	107.80 ± 3.24 c	60.46 ± 3.94 a	198.33 ± 17.19 b	7.57 ± 0.08 d	9.96 ± 0.97 b
1 ~ 2	1	8.80 ± 0.08 c	149.45 ± 11.69 a	44.85 ± 5.54 b	358.33 ± 83.17 a	16.05 ± 0.24 a	14.98 ± 0.38 a
	3	9.00 ± 0.15 c	90.65 ± 1.23 c	23.93 ± 1.23 c	122.50 ± 52.09 b	2.67 ± 0.25 e	7.92 ± 0.79 a
	5	10.12 ± 0.45 ab	110.25 ± 5.61bc	67.83 ± 4.62 a	174.17 ± 71.82 b	13.96 ± 1.26 b	15.90 ± 6.01 a
	8	10.69 ± 0.09 a	128.63 ± 2.12 b	27.31 ± 1.23 c	130.83 ± 82.07 b	10.98 ± 0.34 c	15.88 ± 1.81 a
	12	9.88 ± 0.12 b	100.45 ± 4.90 c	59.27 ± 1.49 a	180.83 ± 17.60 b	7.43 ± 0.19 d	9.43 ± 1.13 a
2 ~ 5	1	9.18 ± 0.20 b	142.10 ± 8.03 a	45.12 ± 9.99 b	340.00 ± 91.35 a	15.23 ± 0.41 ab	14.71 ± 1.05 a
	3	9.88 ± 0.26 b	85.75 ± 5.34 c	25.44 ± 2.76 c	135.83 ± 81.86 b	3.21 ± 0.40 c	8.72 ± 1.51 b
	5	10.03 ± 0.07 a	106.58 ± 6.37 b	74.27 ± 7.09 a	179.17 ± 51.94 b	20.7 ± 3.61 a	7.36 ± 0.71 b
	8	11.03 ± 0.45 a	128.63 ± 3.68 a	26.74 ± 0.71 c	135.83 ± 8.64 b	16.64 ± 2.43 a	8.97 ± 0.95 b
	12	9.65 ± 0.41 b	99.23 ± 2.12 bc	59.80 ± 2.81 ab	172.50 ± 05.46 b	9.08 ± 0.73 bc	8.22 ± 0.85 b
>5	1	7.84 ± 0.21 b	128.63 ± 2.12 a	37.61 ± 9.03 b	320.83 ± 38.49 a	14.27 ± 1.29 b	10.68 ± 0.37 a
	3	8.38 ± 0.34 b	95.55 ± 9.25 b	27.73 ± 4.71 b	135.83 ± 11.85 b	2.59 ± 0.30d	7.65 ± 1.75 ab
	5	10.35 ± 0.10 a	99.23 ± 2.12 b	70.99 ± 5.81 a	165.00 ± 3.28 b	20.32 ± 2.69a	5.70 ± 0.52 b
	8	10.33 ± 0.25 a	134.75 ± 8.03 a	24.77 ± 1.96 b	125.83 ± 5.63 b	17.71 ± 1.23ab	8.44 ± 0.89 ab
	12	9.62 ± 0.15 a	99.23 ± 2.12 b	54.48 ± 0.67 a	162.50 ± 01.65 b	8.11 ± 0.45 c	6.86 ± 0.58 b



(图中同一系列上不同小写字母表示不同轮作年限间差异显著($P<0.05$))

图 1 不同烟-稻轮作年限下土壤团聚体组成的变化

Fig. 1 Soil aggregate proportion under different years of tobacco-rice rotation



(图中*和***分别表示相关性达 $P<0.05$ 和 $P<0.001$ 显著水平)

图 2 烤烟各级团聚体所占比例与轮作年限之间的相关性

Fig. 2 Correlations between soil aggregate proportion and rotation year

2.3 不同烟-稻轮作年限对烤烟产量的影响

综合池州、宣城两地烤烟产量结果(表 3), 可以看出, 随着烟-稻轮作年限的增加, 烤烟产量、产值、均价都降低, 池州地区土壤轮作 2 a 时烤烟产量、产值、均价显著高于轮作 9 a。宣城地区土壤轮作 1 a 时烤烟产量、产值显著高于轮作 8、12 a, 且均价显

著高于轮作 12 a。

2.4 不同烟-稻轮作年限对烤烟烟叶化学成分的影响

烤烟品质主要取决于两方面, 化学成分含量和各成分之间的平衡。烤烟中、上部烟叶常规化学成分受不同轮作年限的影响结果见表 4。池州地区, 随着烟

表 3 不同烟-稻轮作年限对烤烟产量的影响

Table 3 Yields of tobacco leaves under different years of tobacco-rice rotation

地区	轮作年限(a)	产量(kg/hm ²)	产值(元/hm ²)	均价(元/kg)
池州	2	2 058 ± 69.00 a	53 053 ± 1 423.50 a	26.0 ± 0.19 a
	4	1 948 ± 45.00 ab	50 025 ± 1 197.00 ab	25.7 ± 0.06 ab
	9	1 788 ± 147.00 b	45 645 ± 3 487.50 b	25.4 ± 0.21 b
宣城	1	2 004 ± 81.00 a	51 954 ± 2 238.00 a	25.9 ± 0.29 a
	3	1 971 ± 81.00 ab	50 503 ± 1 437.00 ab	25.6 ± 0.45 ab
	5	1 852 ± 54.00 ab	47 413 ± 1 344.00 b	25.6 ± 0.27 ab
	8	1 726 ± 121.50 b	43 041 ± 2 193.00 c	24.9 ± 0.51 bc
	12	1 650 ± 123.00 b	40 965 ± 2 719.50 c	24.8 ± 0.21 c

注: 表中同列小写字母不同表示不同轮作年限间差异显著($P<0.05$)。

表 4 不同烟-稻轮作年限对烤烟中、上部烟叶常规化学成分的影响
Table 4 Conventional chemical composition of tobacco leaves under different years of tobacco-rice rotation

地区	部位	轮作年限(a)	氯(g/kg)	烟碱(g/kg)	钾(g/kg)	总糖(g/kg)	还原糖(g/kg)	糖/碱比	钾/氯比
池州	中部叶	2	1.90	16.90	21.20	376.40	317.20	22.27	11.16
		4	2.10	13.70	16.00	390.90	313.20	28.53	7.62
		9	1.20	15.90	18.70	349.40	320.20	21.97	15.58
	上部叶	2	2.00	16.70	14.90	379.60	330.50	22.73	7.45
		4	1.90	17.50	15.20	395.60	317.90	22.61	8.00
		9	1.70	16.50	17.80	355.70	321.00	21.56	10.47
宣城	中部叶	1	4.50	28.80	19.80	253.80	236.00	8.81	4.40
		3	3.20	17.60	15.00	320.20	287.30	18.19	4.69
		5	1.40	18.90	17.40	308.60	279.00	16.33	12.43
		8	1.80	18.50	15.10	312.20	275.70	16.88	8.39
		12	2.40	11.90	17.40	355.00	296.30	29.83	7.25
	上部叶	1	6.30	26.90	14.80	264.10	240.40	9.82	2.35
		3	2.70	21.50	14.00	273.30	251.00	12.71	5.19
		5	1.90	20.20	14.30	283.10	257.20	14.01	7.53
		8	3.00	21.90	12.00	287.40	260.70	13.12	4.00
		12	3.70	16.30	9.30	309.90	265.20	19.01	2.51

-稻轮作年限的增加，烤烟中、上部叶中氯含量呈现下降趋势，其中轮作 9 a 时中、上部叶中氯含量较轮作 2 a 分别降低了 36.8%、15.0%；轮作 4 a 时烟叶中糖/碱比达到最高；上部叶中钾/氯比随着轮作年限增加呈增加趋势。宣城地区轮作 1 a 烤烟中、上部叶中氯和烟碱含量高于其他轮作年限；轮作 5 a 生产的中、上部叶氯含量较轮作 1 a 分别降低了 68.9% 和 69.8%；轮作 12 a 生产的中、上部叶烟碱含量较轮作 1 a 分别降低了 58.7% 和 39.4%；其他轮作年限烟叶中、上部叶中糖/碱比均高于轮作 1 a 烟叶，且轮作 5~8 a 内适合优质烤烟生产(变化稳定)，烟叶中、上部叶中钾/氯比均高于轮作 1 a 烟叶，且轮作 5 a 时烟叶中、上部叶钾/氯比较轮作 1 a 烟叶分别提高了 65.6% 和 68.9%。

2.5 不同烟-稻轮作年限对烤烟评吸的影响

感官评吸是衡量烟叶香味品质最直接、最客观的方法。由表 5 可知，宣城地区烤烟中部叶的香气特性得分均高于上部叶，且对于烟气特性，两地上部叶烟气浓度和劲头均高于中部叶，但中部叶细腻度均高于上部叶。

池州地区上部烟叶刺激性和干燥感评分随着轮作年限的增加呈现下降趋势；宣城地区上部叶香气特性评分随着轮作年限增加而增高。

2.6 土壤团聚体与烤烟产量和品质的关系

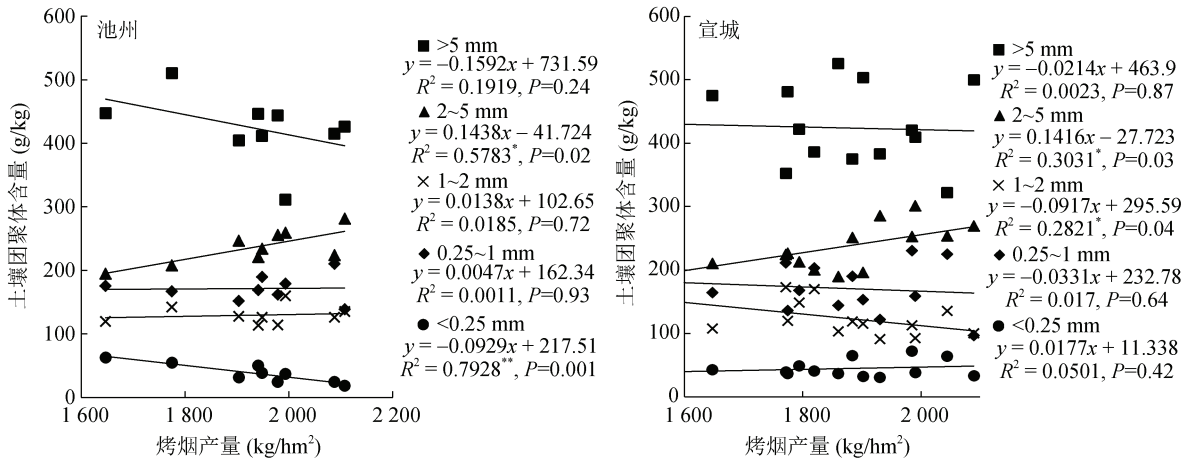
对土壤各级团聚体含量与烤烟产量的相关性分析发现(图 3)，池州和宣城两地土壤 2~5 mm 团聚体含量与烤烟产量呈现显著正相关关系，两者之间的关系可以用公式 $y=ax+b$ 来表示(y 表示烤烟产量， x 表示每千克土壤 2~5 mm 团聚体含量)。同时，池州地区(图 4)土壤每千克土壤中 2~5 mm 团聚体含量与烟叶中总糖呈现显著正相关关系。

通过建立 2~5 mm 团聚体理化性质对烤烟产量的随机森林模型发现(图 5)，池州地区土壤 2~5 mm 团聚体全钾含量和 pH 对烤烟产量的影响最为显著，当移除全钾含量和 pH 两种理化因子时，均方差(MSE)各自增加量为 5.89% 和 5.13%。宣城地区硝态氮含量和 pH 对烤烟产量影响最显著，当移除宣城土壤硝态氮和 pH 两种理化因子时，MSE 增加最多，MSE 各自增加量分别为 7.90% 和 7.76%。

通过建立 2~5 mm 团聚体理化性质对烤烟品质的随机森林模型发现(图 6)，池州地区烟叶中氯含量受硝态氮和全钾含量影响显著，总糖含量受碱解氮含量影响显著，糖/碱比受 pH 和速效钾含量显著影响。同时，宣城地区烟叶中氯含量受硝态氮、有机质含量影响显著，烟碱含量受铵态氮、速效钾含量影响显著，糖/碱比受铵态氮、CEC 和全磷含量影响显著，钾/氯比受全钾含量显著影响。

表 5 不同烟-稻轮作年限下烤烟中、上部烟叶评吸质量的影响
Table 5 Smoking qualities of flue-cured tobacco leaves under different years of tobacco-rice rotation

地区	部位	轮作年限	香气特性			烟气特性					口感特性			
			香气质	香气量	杂气	烟气浓度	劲头	细腻程度	柔和程度	圆润感	刺激性	干燥感	余味	甜度
池州	中部叶	2	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	5.5
		4	6.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.5	5.5	5.5	6.0	5.5
		9	7.0	6.5	6.5	6.0	6.0	6.5	6.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0
	上部叶	2	6.0	7.0	6.0	6.5	6.5	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	5.0
		4	6.0	6.5	6.0	6.5	6.5	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	6.0	5.0
		9	6.0	7.0	6.0	7.0	6.5	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	5.0
宣城	中部叶	1	7.0	7.0	6.5	6.5	6.0	7.0	6.5	6.0	6.0	6.0	7.0	6.0
		3	7.0	7.5	7.0	6.5	6.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0
		5	7.0	7.5	7.0	6.5	6.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0
		8	7.0	7.0	7.0	6.5	6.0	7.0	6.0	5.5	6.0	5.5	6.0	6.0
		12	7.0	7.0	7.0	6.5	6.0	7.0	6.0	5.5	5.5	5.5	6.0	5.5
	上部叶	1	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.5
		3	6.0	6.5	6.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0
		5	6.5	6.5	6.5	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.5	6.0	6.0	5.5
		8	6.5	6.5	6.0	7.5	7.0	5.5	6.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.0
		12	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5



(图中*和**分别表示相关性达 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 显著水平, 下同)

图 3 土壤 2~5 mm 团聚体含量与烤烟产量的关系

Fig. 3 Correlation between soil 2-5 mm aggregate content with tobacco yield

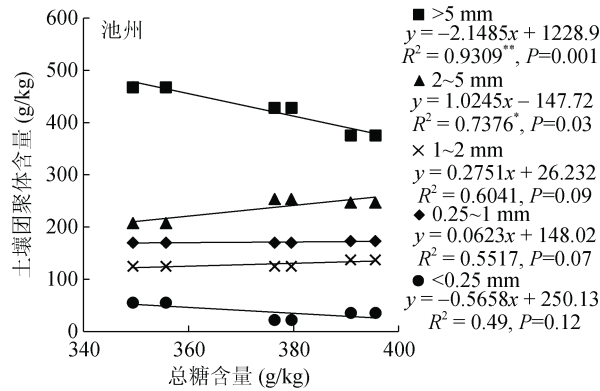
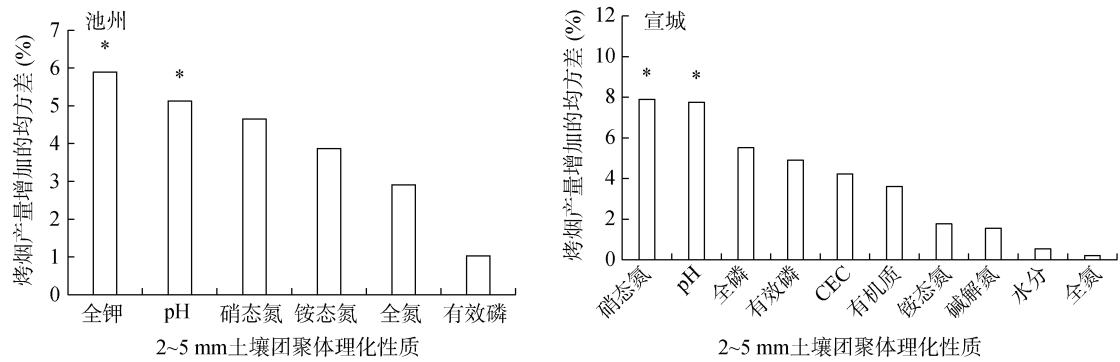


图 4 土壤团聚体含量与烤烟总糖含量的关系

Fig. 4 Correlation between soil aggregate content with total sugar content of tobacco

3 讨论

土壤团聚体被认为是土壤养分的储存库,其数量的增加表明土壤供储养分能力的增强,并且同时为微生物和植物根系提供了能量和养分来源^[9]。不同粒级的团聚体在营养元素的保持、供应及转化等方面发挥着不同的作用^[10]。有研究用 ¹³C 示踪法证明大团聚体比微团聚体含有更多的有机碳,这其中的原因主要是团聚体层次性机制现象 (hierarchy concept model)^[12-13],微团聚体形成后,再形成大团聚体,大团聚体由形成的小团聚体通过无机、有机胶结物质胶结作用形成^[14]。相对小团聚体,大团聚体中的有机碳更容易矿化,而



(图中*表示影响达 $P<0.05$ 显著水平, 下同)

图 5 土壤 2~5 mm 团聚体理化性质对烤烟产量的贡献率

Fig. 5 Contribution of physical and chemical properties of soil 2-5mm aggregates to tobacco yield

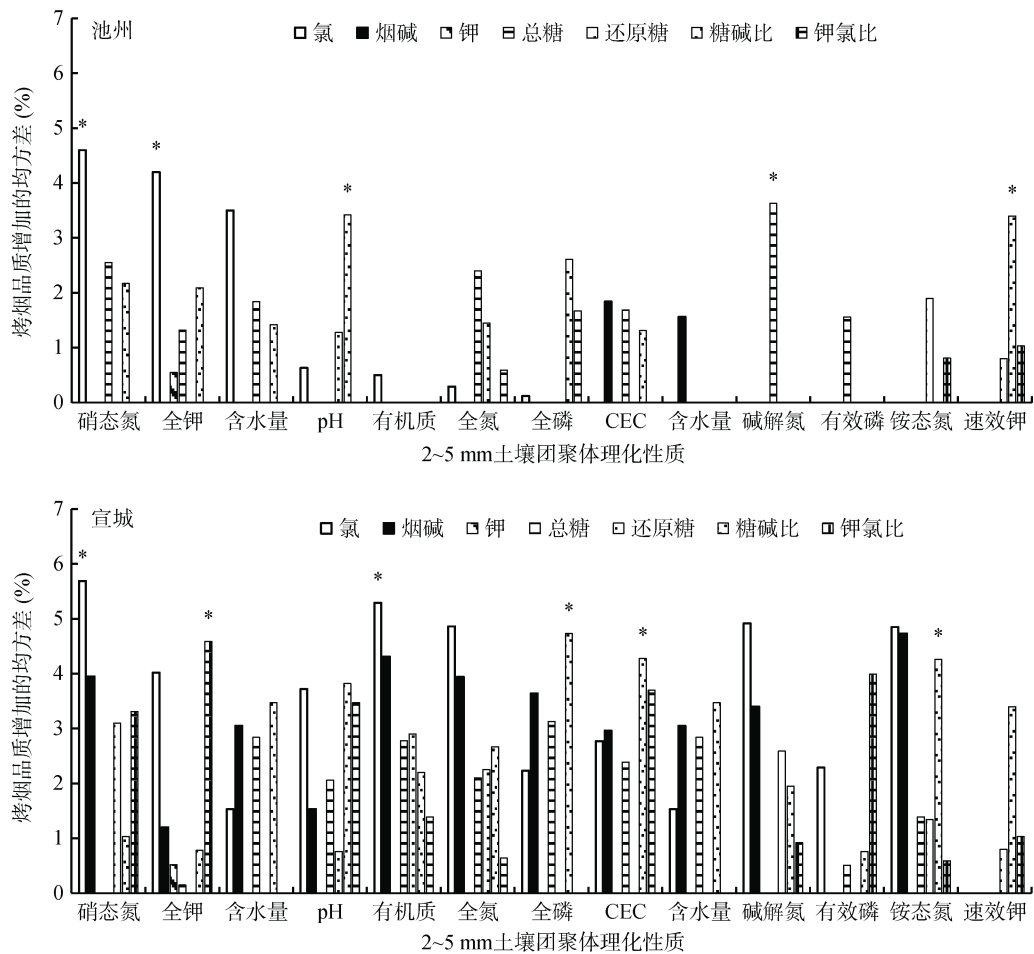


图 6 土壤 2~5 mm 团聚体理化性质对烤烟品质的贡献率

Fig. 6 Contribution of physical and chemical properties of soil 2-5 mm aggregates to conventional chemical composition of tobacco

微团聚体中的有机碳主要以高度腐殖化的惰性组分为主^[15], 且外源新碳施入量越多, 全土和各粒径团聚体新碳含量越高, 且团聚体粒径越大, 其分配新碳的比例越高^[16]。相比小团聚体, 大团聚体含有更多的碳、氮、颗粒状有机质和不稳定性有机质等^[17]。烤烟是一种忌连作的作物, 合理轮作可以调节不同作物对营养元素的需要, 有利于烤烟的生长。相比早-

旱轮作, 在水-旱轮作的水耕熟化过程中, 土壤有机质在淹水条件下嫌气分解, 分解过程较缓慢, 腐殖质形成和转化较明显, 土壤有机质及大团聚体的含量也相应增加^[18]。本研究发现, 池州地区土壤 2~5 mm 团聚体含量随轮作年限增加呈现先增加后降低的趋势, 而宣城地区土壤轮作 1 a 时 2~5 mm 团聚体含量显著高于其他轮作年限。随着植烟年限的增加, 紫色

土和水稻土粒径大团聚体有机碳含量降低,土壤团聚体黏结剂破坏,其黏结能力也随之下降,这说明植烟年限对土壤大团聚体的破坏较大^[19]。

土壤团聚体是土壤结构的基本单元,是土壤肥力的基础和核心。土壤团聚体通过影响土壤物理、化学和生物学过程,最终影响作物的生长及产量^[16]。本研究结果表明,皖南沿江平原区典型水稻土 2~5 mm 团聚体含量与烤烟产量显著相关,说明当地土壤大团聚体对烤烟产量有着显著影响。孙天聪等^[20]研究表明,2~5 mm 团聚体含量与土壤有机 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量之间呈显著正相关;而 0.25~1 mm 团聚体与土壤全氮含量以及 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量呈显著负相关关系。表明土壤团聚体结构会通过改变土壤养分供应等方式深刻影响烤烟的生长发育,从而影响烤烟产量。本研究发现,池州地区土壤除<0.25 mm 团聚体外,单季稻土壤各级团聚体 pH 均显著高于其他轮作年限土壤,这可能是由于淹水使土壤趋近中性。宣城地区,相对较长轮作年限可使团聚体 pH 显著提高,这说明轮作年限增加有利于团聚体 pH 的提升。同时,池州和宣城两地土壤 2~5 mm 团聚体含量与烤烟产量呈现显著正相关关系。有关研究表明,长期施肥对褐土耕层 2~5 mm 团聚体含量影响最大,特别是有机和无机肥配施有利于该级团聚体的形成,且 2~5 mm 团聚体是有机质、全氮和硝态氮的主要载体,这与本研究结果相似^[21]。长期施肥对土壤团聚体的形成及稳定产生直接或间接的影响,进而导致土壤养分在团聚体中的分布发生变化。研究表明,长期施用有机肥能够改变土壤团聚体的分布,增加>2 mm 团聚体含量^[22]。池州和宣城地区两地土壤 2~5 mm 团聚体 pH 均对烤烟产量的影响最为显著。有研究表明,土壤 pH 对总球囊霉素相关土壤蛋白(T-GRSP)和难提取球囊霉素蛋白(DE-GRSP)有重要影响,尤其是对难提取球囊霉素蛋白影响显著,且难提取球囊霉素蛋白对土壤大团聚体形成具有重要作用^[23-24]。

烟叶的品质对燃吸的影响很大,烟碱高低显著影响人体产生的生理刺激,糖含量影响吃味和口感,内在物质的协调性可以通过糖/碱比来体现,糖/碱比高则烟叶烟气柔和、纯净,反之烟叶烟气粗糙,劲头较大,钾离子和氯离子影响燃烧性^[25]。在池州、宣城两地试验发现,相对中长时间烟-稻轮作可以降低烟叶中氮、烟碱、氯含量,维持烟叶中总糖和还原糖的相对平衡,协调较为合理的糖/碱比和钾/氯比,有利于优质烟叶生产。对烤烟连作、轮作 4 a 定位试验比较结果表明,轮作烟叶中致香物质含量大多高于连作

烟叶。土壤 2~5 mm 团聚体含量与烟叶中总糖含量呈现显著正相关关系,且总糖含量受碱解氮含量影响显著。烤烟总糖含量与土壤肥力水平密切相关,土壤氮素水平直接影响到烤烟总糖、烟碱含量等品质指标^[26-27]。

明确不同轮作年限下团聚体组成与烤烟品质的定量关系,可以保障安徽皖南烟区实现烤烟提质增效目标。通过建立施用秸秆、有机肥和土壤改良剂高效培育土壤团聚体的施肥方式,可提升烟田土壤质量,消除土壤障碍因子,保障安徽皖南烤烟适产、稳产、优质和风味独特。

4 结论

1) 池州地区土壤 0.25~1 mm 团聚体所占比例与轮作年限之间显著正相关,<0.25 mm 团聚体所占比例与轮作年限之间极显著正相关;宣城地区土壤 2~5 mm 团聚体所占比例与轮作年限之间显著负相关。

2) 随着轮作年限的增加,烤烟产量、产值、均价均降低,但池州地区烟叶中、上部叶中氯含量下降,上部叶中钾/氯比增加。宣城地区轮作 1 a 的烟叶中、上部叶中氯和烟碱含量高于其他轮作年限,其他轮作年限烟叶中、上部叶中糖/碱比均高于轮作 1 a 烟叶,且轮作 5~8 a 内适合优质烤烟生产(变化稳定)。池州地区上部烟叶刺激性和干燥感评分随着轮作年限的增加呈现下降趋势;宣城地区上部叶香气特性评分随着轮作年限增加而提高。

3) 池州和宣城土壤 2~5 mm 团聚体含量与烤烟产量呈现显著正相关关系,且池州地区土壤 2~5 mm 团聚体全钾含量和 pH 对烤烟产量的影响最显著,而宣城地区烤烟产量受硝态氮含量和 pH 的影响最显著。

4) 池州地区土壤 2~5 mm 团聚体含量与烟叶中总糖含量呈现显著正相关关系,烟叶中总糖含量受土壤碱解氮含量影响显著。

参考文献:

- [1] 顾勇,谢云波,张永辉,等.不同种植模式下烤烟干物质积累与养分吸收动态变化分析[J].中国农业科技导报,2018,20(4):115-122.
- [2] 晋艳,杨宇虹,段玉琪,等.烤烟轮作、连作对烟叶产量质量的影响[J].西南农业学报,2004,17(S1):267-271.
- [3] 谈文,赵松义.论烟稻轮作制[J].烟草科技,1988,21(6):45-48.
- [4] 谈文,赵松义.再论烟稻轮作制[J].烟草科技,1998,31(1):39-40.

- [5] 何录秋, 王长新, 张延春, 等. 湖南烟稻轮作区轮作水稻高产栽培技术[J]. 耕作与栽培, 2004(4): 45-46, 65.
- [6] 匡传富. 烟-稻轮作对烤烟产质量影响试验报告[J]. 农业开发与装备, 2012(6): 210-211.
- [7] 王欣欣, 符建荣, 邹平, 等. 长期植稻年限序列水稻土团聚体有机碳分布特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(3): 719-724.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 中国农业科技出版社, 2000.
- [9] Sodhi G P S, Beri V, Benbi D K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 103(2): 412-418.
- [10] 陈恩凤, 关连珠, 汪景宽, 等. 土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J]. 土壤学报, 2001, 38(1): 49-53.
- [11] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. Journal of soil science, 1982, 33(2): 141-163.
- [12] 郭菊花, 陈小云, 刘满强, 等. 不同施肥处理对红壤性水稻土团聚体的分布及有机碳、氮含量的影响[J]. 土壤, 2007(05): 117-123.
- [13] Jastrow J D, Miller R M, Boutton T W. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance[J]. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60(3): 801-807.
- [14] Yang X, Drury C F, Reynolds W D, et al. Impacts of long-term and recently imposed tillage practices on the vertical distribution of soil organic carbon[J]. Soil & Tillage Research, 2008, 100(1): 120-124.
- [15] 张艺, 戴齐, 尹力初, 等. 后续施肥措施改变对水稻土团聚体有机碳分布及其周转的影响[J]. 土壤, 2017, 49(5): 969-976.
- [16] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Dynamics of soil organic matter associated with particle - size fractions of water - stable aggregates[J]. European Journal of Soil Science, 2000, 51(4): 595-605.
- [17] 金雯晖, 杨劲松, 侯晓静, 等. 轮作模式对滩涂土壤有机碳及团聚体的影响[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1195-1201.
- [18] 张世祺, 王沛裴, 王昌全, 等. 不同植烟年限对土壤团聚体稳定性的影响及其相关因素分析[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1229-1236.
- [19] 石宗琳, 王加旭, 梁化学, 等. 渭北不同园龄苹果园土壤团聚体状况及演变趋势研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 387-399.
- [20] 孙天聪, 李世清, 邵明安. 长期施肥对褐土有机碳和氮素在团聚体中分布的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1841-1848.
- [21] 王秀娟, 解占军, 董环, 等. 秸秆还田对玉米产量和土壤团聚体组成及有机碳分布的影响[J]. 玉米科学, 2018, 26(1): 108-115.
- [22] Wu Q S, Cao M Q, Zou Y N, et al. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliate orange[J]. Scientific Reports, 2015, 4(5823): 5823.
- [23] Wu Q S, Li Y, Zou Y N, et al. Arbuscular mycorrhiza mediates glomalin-related soil protein production and soil enzyme activities in the rhizosphere of trifoliate orange grown under different P levels[J]. Mycorrhiza, 2015, 25(2): 121-130.
- [24] Zhang Z H, Wang Q, Wang H, et al. Effects of soil salinity on the content, composition, and ion binding capacity of glomalin-related soil protein (GRSP)[J]. Science of The Total Environment, 2017, 581: 657-665.
- [25] 李东亮, 胡军, 许自成, 等. 单料烟感官质量的层次模糊综合评价[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2007, 22(1): 27-30.
- [26] 王欣, 许自成, 毕庆文, 等. 生态因素对烤烟还原糖、总糖含量影响之研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 225-228.
- [27] 黄化刚, 班国军, 陈垚, 等. 多孔改良剂对毕节烟区土壤性状及烤烟产质量的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1427-1437.