

引用格式:

艾亥麦提·艾麦尔江, 黄佳, 成志军, 肖金讯, 熊俊, 杨友才. 不同轮作模式对植烟土壤团聚体稳定性及烟叶品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(1): 18–24.

AIHAIMAITI A M E J, HUANG J, CHENG Z J, XIAO J X, XIONG J, YANG Y C. Effects of different planting patterns on soil aggregate stability and tobacco quality[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2023, 49(1): 18–24.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



不同轮作模式对植烟土壤团聚体稳定性及烟叶品质的影响

艾亥麦提·艾麦尔江¹, 黄佳¹, 成志军², 肖金讯¹, 熊俊¹, 杨友才^{1*}

(1.湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南中烟工业有限责任公司, 湖南 长沙 410014)

摘要: 2020年在湘西州花垣、永顺、龙山采集已实行5年烤烟-水稻轮作(TRT)和烤烟-玉米轮作(TMT)模式农田土壤,以烤烟连作(TT)作对照,测定粒径 $r<0.25$ mm、 $0.25\text{ mm}\leq r<0.50$ mm、 $0.50\text{ mm}\leq r<1.00$ mm、 $1.00\text{ mm}\leq r<2.00$ mm和 $r\geq 2.00$ mm土壤团聚体稳定性和云烟87上部烟叶的理化性质,分析轮作对植烟土壤团聚体稳定性及烟叶品质的影响。结果表明:TRT土壤 $r\geq 2.00$ mm和 $1.00\leq r<2.00$ mm团聚体含量最高,而 $0.25\leq r<0.50$ mm和 $r<0.25$ mm团聚体含量分别低于TMT 9.9%~21.5%和10.3%~70.8%,TRT土壤 $r\geq 0.25$ mm团聚体含量、平均质量直径和几何平均直径均大于TMT土壤的;与烤烟连作相比,轮作可提高上部叶烟叶长、叶宽和开片度,降低叶厚和含梗率,且烟叶化学成分及协调性处于优质烟叶适宜水平;TRT模式烟叶的钾含量、钾氯比和氮碱比均高于TMT的,而连作烟叶中氯含量显著高于轮作 6.7%~33.3%;TRT烟叶化学成分可用性指数(0.77~0.83)和TMT(0.76~0.79)均处于“较高”水平;冗余分析表明,上部烟叶糖类、糖碱比、总氮、钾、钾氯比与土壤 ≥ 1.00 mm团聚体含量呈正相关,氯含量与 <0.50 mm团聚体含量呈正相关;相关性分析表明,烟叶化学成分可用性与团聚体稳定性呈显著正相关,与分形维数呈显著负相关。综上,烟稻轮作模式优于烤烟-玉米轮作和烤烟连作,是维持土壤团聚体稳定性促进烟叶生长、提高烟叶品质的有效模式,适合在湘西地区推广应用。

关键词: 轮作模式; 土壤团聚体稳定性; 烟叶理化性质; 可用性指数; 相关性分析

中图分类号: S572.047

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2023)01-0018-07

Effects of different planting patterns on soil aggregate stability and tobacco quality

AIHAIMAITI Aimaierjiang¹, HUANG Jia¹, CHENG Zhijun², XIAO Jinxun¹, XIONG Jun¹, YANG Youcai^{1*}

(1.College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.China Tobacco Hunan Industrial Co. Ltd, Changsha, Hunan 410014, China)

Abstract: In 2020, the farmland soils of tobacco-rice rotation(TRT) and tobacco-maize rotation(TMT) were collected in Huayuan, Yongshun and Longshan of Xiangxi Prefecture for 5 consecutive years of planting, and the tobacco continuous cropping(TT) was used as the control. The stability of aggregates with particle sizes of $r<0.25$ mm, $0.25\text{ mm}\leq r<0.50$ mm, $0.50\text{ mm}\leq r<1.00$ mm, $1.00\text{ mm}\leq r<2.00$ mm and $r\geq 2.00$ mm was determined. The physical and chemical properties of the upper leaves of Yunyan87 were determined, and the effects of rotation on the stability of soil aggregates and the quality of tobacco leaves were analyzed. The results showed that the contents of aggregates $r\geq 2.00$ mm and $1.00\leq r<2.00$ mm in TRT soil were the highest, while the contents of aggregates $0.25\leq r<0.50$ mm and $r<0.25$ mm were 9.9%-21.5% and 10.3%-70.8% lower than those in TMT, respectively. TRT soil $r\geq 0.25$ mm aggregate content, average

收稿日期: 2022-07-16

修回日期: 2022-11-10

基金项目: 湖南中烟工业有限责任公司项目(202043000934133)

作者简介: 艾亥麦提·艾麦尔江(1995—), 男, 维吾尔族, 新疆阿瓦提人, 硕士研究生, 主要从事农业生态学研究, 596166563@qq.com;

*通信作者, 杨友才, 博士, 教授, 主要从事农业生态和作物栽培研究, 820132479@qq.com

mass diameter and geometric average diameter were greater than those in TMT. Compared with continuous cropping of tobacco, rotation can improve the length and width of upper leaves and the degree of opening, reduce the thickness of leaves and the percentage of stems, and the chemical composition and coordination of tobacco leaves are at the appropriate level of high-quality tobacco leaves. The potassium content, potassium chloride ratio and nitrogen nicotine ratio of tobacco leaves in TRT pattern were higher than those in TMT pattern, while the chlorine content of tobacco leaves in continuous cropping was 6.7%-33.3% higher than that in rotation mode. The chemical components usability index in tobacco leaves of TRT(0.77-0.83) and of TMT(0.76-0.79) were both at a "high" level. Redundancy analysis showed that sugar, sugar nicotine ratio, total nitrogen, potassium, potassium chloride ratio of tobacco leaves were positively correlated with soil ≥ 1.00 mm aggregate content, and chlorine content was positively correlated with soil < 0.50 mm aggregate content. The correlation analysis showed that the chemical components usability in tobacco leaves was positively correlated with aggregate stability, and negatively correlated with fractal dimension. In summary, tobacco rice rotation is an effective pattern to maintain the stability of soil aggregates, promote the growth of tobacco and improve the quality of tobacco.

Keywords: planting patterns; aggregate stability; physicochemical properties of tobacco leaves; usability index; correlation analysis

烤烟忌连作,但目前大部分烟区因耕地面积不足和受烤烟较高经济效益驱使,连作现象非常普遍。烤烟长期连作会导致土壤养分失衡和微生物多样性下降,降低烟草根系对土壤养分的吸收和利用率,导致土壤质量和烟叶品质的下降^[1-2]。实行合理的轮作制度是优化土壤结构、缓解养分失衡和连作障碍、提高烟叶产量和质量及经济价值的有效措施。研究表明,烤烟与玉米、大豆、马铃薯等轮作可改善烟叶理化性状,提高烤烟根系活力和产量,提升烟叶品质^[3],其中烤烟与玉米轮作效果最明显;贾健等^[4]还发现轮作可显著提高烟叶致香物质含量。

土壤团聚体是土壤养分贮存和微生物活动的场所,是影响土壤结构和肥力的营养载体^[5],包含着土壤近 90%的有机碳。团聚体对调节土壤肥力、提高抗侵蚀能力、促进微生物活动和维持生产力等起重要作用^[6]。种植制度和施肥处理等相关农业措施对土壤团聚体结构组成和稳定性有重要影响。陆峰等^[7]对 5 年以上连续进行烟-稻轮作和稻-稻连作的土壤的研究,发现连作土壤中大团聚体含量显著高于轮作的,并且土壤有机质和黏粒含量与粒径 $r > 5$ mm 团聚体含量呈正相关,这使团聚体机械稳定性强。稳定的团粒结构有助于作物根系的生长发育和功能的正常发挥,从而充分吸收土壤养分,提高作物产质量^[8-9]。王浩田等^[10]在不同年份的烟-稻轮作试验中发现,土壤中 $r > 2 \sim 5$ mm 大团聚体含量与烟叶总糖含量呈显著正相关,且大团聚体含量对烤烟产量及品质具有重要作用。郑梅迎等^[11]研究发

现,随着团聚体稳定性的提升,烟叶产量和上等烟的比例随之上升。

笔者采集湘西州花垣、永顺、龙山 3 个烤烟产区烟-稻轮作和烟-玉米轮作 2 种轮作模式的土壤,测定土壤团聚体分布与稳定性以及上部烟叶理化特征与品质,用隶属函数法、相关性和冗余分析等方法,分析轮作模式对土壤团聚体分布与稳定性的影响及与烟叶品质之间的关系,以为当地生产优质高产烤烟和农业可持续发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2020 年 10—11 月,在湖南省湘西州花垣、永顺和龙山 3 县采集从 2015 年至 2020 年连续 6 年进行烤烟-水稻轮作(TRT)、烤烟-玉米轮作(TMT) 2 种模式的烟田土样和云烟 87 上部叶样品,以烤烟连作(TT)作为对照。每县每种轮作均取 6 个重复,即 18 个,对照组与试验组一致,共计 54 个样点。土壤采用“S”形取样方法,采集 0~20 cm 土层的土样,在保证土壤的原团聚体结构不被破坏的前提下,将土样按其自然结构掰成直径约 5 cm 的土块,剔除石块和植物根系,风干,备用。

1.2 测定项目及方法

参照吴宪等^[12]、XIAO 等^[5]的方法,取 100 g 风干土样,用团聚体分析仪分别测定土壤 $r < 0.25$ mm、 $0.25 \leq r < 0.50$ mm、 $0.50 \leq r < 1.00$ mm、 $1.00 \leq r < 2.00$ mm 和 $r \geq 2.00$ mm 团聚体含量,并计算出

$r \geq 0.25$ mm 团聚体质量分数($R_{0.25}$)、平均质量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)和分形维数(PSD)等团聚体稳定性指标。

参照李根原^[13]的方法,测定上部烟叶的长、宽、厚、质量、含梗率和含水率;参照行业标准方法^[14]测定烟叶总糖、还原糖、烟碱、总氮、氯和钾含量。

1.3 数据处理与统计分析

用模糊数学原理计算烟叶各项化学指标的隶属度值^[15],通过对原数据进行主成分分析得出指标权重,计算化学成分可用性指数(CCU), $CCU = \sum_{i=1}^n N_{ij} W_{ij}$ 。式中, N_{ij} 和 W_{ij} 分别表示第*i*个样品的第*j*个化学成分指标的隶属度值和权重系数($0 < N_{ij} \leq 1, 0 \leq W_{ij} \leq 1$)。CCU值分布于0.1~1.0,分值越高,表明烟叶化学成分越协调,烟叶品质越好^[16]。

采用Microsoft Excel 2016整理数据;用SPSS 20.0进行数据统计分析和Pearson相关性分析;选

用LSD法进行多重比较和显著性检验;运用Canoco 5进行冗余分析(RDA)。

2 结果与分析

2.1 轮作对植烟土壤团聚体组成及稳定性的影响

2.1.1 对土壤团聚体组成的影响

由表1可知,TRT模式土壤的 $r \geq 2.00$ mm和 $1.00 \leq r < 2.00$ mm团聚体的含量分别较TMT的提高14.0%~26.6%和4.8%~28.0%;2种轮作土壤的 $0.50 \leq r < 1.00$ mm团聚体含量无明显差异,TMT模式土壤的 $0.25 \leq r < 0.50$ mm团聚体含量/较TRT的提高9.9%~21.5%;TRT模式土壤的 $r < 0.25$ mm团聚体含量较TMT的降低10.3%~70.8%,连作的较轮作的高出7.7%~84.0%。不同地区各粒径团聚体含量有显著或极显著差异;轮作模式对 $0.50 \leq r < 1.00$ mm团聚体外的其他团聚体含量有显著或极显著影响。

表1 不同地区不同轮作模式下植烟土壤的团聚体含量及方差分析结果

Table 1 Aggregate content in different rotation tobacco planting soil and variance analysis

地区	轮作模式	各粒径土壤团聚体占比/%				
		<0.25 mm	0.25 ≤ r < 0.50 mm	0.50 ≤ r < 1.00 mm	1.00 ≤ r < 2.00 mm	r ≥ 2.00 mm
花垣	TRT	15.54Bb	13.61Bb	23.03Ab	21.04Aa	27.23Aa
	TMT	19.54Aa	16.15Ab	22.09Ab	18.57Ba	23.89Ba
	TT	21.57Ab	15.37Ab	20.58Ab	19.21Ba	23.30Ba
永顺	TRT	12.84Bc	14.56Cb	23.92Ab	19.86Aa	28.84Aa
	TMT	21.93Aa	17.69Bb	22.10Ab	15.51Bb	22.78Ba
	TT	23.62Aab	20.00Aa	21.71Ab	14.87Bb	19.84Bb
龙山	TRT	17.79Ba	20.34Aa	26.40Aa	15.62Ab	17.34Ab
	TMT	19.63Ba	22.35Aa	28.20Aa	14.90Ab	15.00Ab
	TT	25.71Aa	21.16Aa	27.38Aa	9.32Bc	16.48Ac
F值	地区	4.03*	5.96**	6.11**	5.54**	4.49*
	模式	5.48**	2.93*	0.11	3.96*	3.01*
	地区×模式	0.79	0.42	0.31	1.89	0.24

同列不同大写字母表示同一地区不同轮作间的差异有统计学意义($P < 0.05$),不同小写字母表示同一轮作在不同地区间差异有统计学意义($P < 0.05$);“*”“**”“***”分别表示影响显著和极显著($P < 0.05$ 、 $P < 0.01$)。

2.1.2 对土壤团聚体稳定性的影响

由表2可知,TRT模式的土壤团聚体 $R_{0.25}$ 、MWD和GMD均大于TMT模式的,比连作分别提高5.9%~16.3%、8.0%~16.7%和10.6%~21.4%;TRT模式土壤团聚体PSD值与TMT相比无显著差异,而3个地区连作土壤PSD值均在2.00以上,

较轮作高5.2%~21.9%。从方差分析结果来看,不同地区团聚体MWD和GMD有极显著差异,轮作模式对 $R_{0.25}$ 、MWD、GMD和PSD均具有极显著影响,地区和轮作模式交互作用对GMD具有极显著影响。

表 2 不同地区不同轮作模式下植烟土壤的团聚体稳定性指数及方差分析结果

Table 2 Aggregate stability index in different rotation tobacco planting soil and variance analysis

地区	轮作模式	$R_{0.25}$	MWD	GMD	PSD
花垣	TRT	82.46Aab	1.21Aab	1.01Ab	2.02Ba
	TMT	80.47Aa	1.16ABa	0.97ABa	2.11ABa
	TT	78.43Aa	1.12Ba	0.92Ba	2.21Aa
永顺	TRT	87.17Aa	1.27Aa	1.10Aa	1.92Ba
	TMT	78.00Ba	1.13Ba	0.92Ba	2.01Ba
	TT	75.49Ba	1.09Ba	0.88Bab	2.36Aa
龙山	TRT	80.11Ab	1.16Ab	0.93Ac	1.90ABa
	TMT	81.02Aa	1.11Ba	0.94Aa	1.86Ba
	TT	74.76Ba	1.03Cb	0.83Ba	2.06Ab
F 值	地区	0.43	7.87**	11.29**	2.95
	模式	5.74**	15.36**	28.28**	8.40**
	地区×模式	1.33	2.17	5.38**	0.74

同列不同大写字母表示同一地区轮作模式间差异有统计学意义($P<0.05$), 不同小写字母表示同一轮作在不同地区间差异有统计学意义($P<0.05$); “*”“**”“***”分别表示影响显著和极显著($P<0.05$ 、 $P<0.01$)。

2.2 轮作对烟叶理化性质的影响

2.2.1 对烟叶农艺性状的影响

由表 3 可知, TRT 模式烤烟的叶长、叶宽、开片度和烟叶质量等农艺性状与 TMT 模式的无显著差异, 轮作烤烟叶长和开片度均显著高于连作的; 花垣和永顺 TMT 模式的烤烟叶厚显著低于 TRT 模

式的, 连作模式烤烟的叶厚高于轮作 5.7%~29.5%; TMT 模式的烟叶含梗率达 26.00%~27.17%, 显著高于 TRT 模式的; 不同轮作间烤烟的烟叶含水率无显著差异。地区对烟叶长、叶宽和开片度具有显著或极显著影响, 轮作模式对烟叶长、开片度、叶厚和含梗率具有显著影响。

表 3 不同地区不同轮作模式下烟叶的农艺性状及方差分析结果

Table 3 Agronomic shape of tobacco leaves under different rotation planting and variance analysis

地区	轮作模式	叶长/cm	叶宽/cm	开片度	叶厚/ μm	叶质量/g	含梗率/%	含水率/%
花垣	TRT	62.39Ab	20.74	0.33Aa	148.00ABa	14.49	24.17Aa	13.00Aa
	TMT	64.12Aa	19.95	0.31Ba	141.00Ba	13.33	26.00Aa	14.50Aa
	TT	61.48Aa	18.79	0.31Ba	156.50Aa	12.47	24.33Aa	14.50Aa
永顺	TRT	63.53Ab	19.09	0.30Ab	142.33Bab	12.37	23.33Ba	13.50Aa
	TMT	65.57Aa	18.16	0.30Aa	120.17Cb	13.31	26.67Aa	12.33Ab
	TT	59.57Ba	17.82	0.28Bb	155.67Aa	11.84	26.62Aa	10.83Bb
龙山	TRT	67.15Aa	18.84	0.29Ac	137.50Ba	12.88	24.50Ba	12.75Aa
	TMT	67.51Aa	18.63	0.29Aa	141.50Bab	13.42	27.17Aa	12.67Ab
	TT	64.15Aa	18.76	0.28Ab	158.17Aa	11.98	25.17Ba	14.33Aa
F 值	地区	3.67*	3.82*	7.83**	0.52	0.84	0.58	1.33
	模式	4.17*	2.16	3.32*	3.28*	1.85	2.91*	0.01
	地区×模式	0.33	0.48	0.84	1.47	0.39	0.83	0.93

同列不同大写字母表示同一地区不同轮作间的差异有统计学意义($P<0.05$), 不同小写字母表示同种轮作在不同地区间的差异有统计学意义($P<0.05$); “*”“**”“***”分别表示影响显著和极显著($P<0.05$ 、 $P<0.01$)。

2.2.2 对烟叶化学成分的影响

优质烤烟化学成分适宜性标准^[17]: 总糖 20%~25%, 还原糖 18%~22%, 总氮 1.5%~3.0%, 烟碱 1.5%~3.0%, 氯低于 0.8%, 钾高于 2.0%, 糖碱比

8~12, 氮碱比 0.8~1.2, 钾氯比 4~10。由表 4 可知, TRT 模式烟叶的烟碱、糖碱比和氮碱比表现出随地域偏高或偏低趋势, 其余指标均处于适宜水平; TMT 模式烟叶的糖类、糖碱比和氮碱比偏低, 其余指标均处于适宜水平; 而 TT 模式烟叶的糖类、糖

碱比和氮碱比都偏低,烟碱都偏高。

TRT 模式烟叶的钾含量、钾氯比和氮碱比均高于 TMT 的,糖碱比则与之相反;TRT 烟叶总糖、还原糖、总氮、烟碱和氯含量与 TMT 的差异不显著,连作烟叶总氮含量低于轮作的,达 7.5%~27.5%,

而烟碱含量则高于轮作的,达 6.7%~33.3%。除了总氮外,地区对烟叶各项化学指标均具有显著或极显著影响;除了钾氯比外,轮作模式对烟叶各项化学指标均具有显著或极显著影响;地区和轮作模式交互作用对糖碱比具有显著影响。

表 4 不同地区不同轮作模式烟叶的化学成分及方差分析结果

地区	轮作模式	总糖/%	还原糖/%	总氮/%	烟碱/%	氯/%	钾/%	糖碱比	氮碱比	钾氯比
花垣	TRT	22.93Aa	18.30Ab	2.27Aa	3.17Aa	0.36Ba	2.24Aa	5.77Ac	0.71Ab	6.15Ab
	TMT	19.44ABb	15.92Bb	2.09Aa	2.99Aa	0.45Aa	2.18Ab	6.59Ac	0.66ABa	5.75Ab
	TT	18.26Bb	15.15Bb	1.78Ba	3.17Aa	0.48Aa	2.10Aa	5.30Ab	0.58Bb	5.25Ab
永顺	TRT	23.03Aa	21.25Aa	2.06Ab	2.08Bb	0.29Bb	2.42Aa	12.37Aa	1.03Aa	8.72Aa
	TMT	23.84Aa	21.04Aa	2.03Aa	2.14Bb	0.30Bc	2.33Aa	10.13Aa	0.91Aa	8.49Aa
	TT	22.08Aa	18.44Ba	1.79Ba	2.56Ab	0.35Ab	2.28Aa	7.29Ba	0.68Ba	6.68Ba
龙山	TRT	23.62Aa	21.76Aa	2.01Ab	2.66Bab	0.37Ba	2.18Aa	7.99ABb	0.73Ab	5.08Ab
	TMT	22.85Aa	21.54Aa	2.02Aa	2.76Bb	0.39Bb	2.11Ab	9.24Aa	0.77Aa	5.63Ab
	TT	22.34Aa	20.28Aa	1.87Aa	3.15Aa	0.46Aa	1.85Bc	6.36Bab	0.64Aa	4.88Ab
F 值	地区	7.75**	9.11**	0.18	8.02**	18.71**	6.17**	27.16**	9.71**	10.96**
	模式	4.06*	4.51*	3.66*	3.57*	6.52**	0.96	6.39**	4.76*	2.05
	地区×模式	0.67	0.58	1.13	1.45	1.96	1.35	3.72*	2.35	0.41

同列不同大写字母表示同一地区不同轮作模式间的差异有统计学意义($P<0.05$),不同小写字母表示同一轮作模式不同地区间的差异有统计学意义($P<0.05$);**、***分别表示影响显著和极显著($P<0.05$ 、 $P<0.01$)。

2.2.3 对烟叶化学成分可用性的影响

参照王育军等^[6]的方法,选择总糖、还原糖、总氮、烟碱、钾、氯、糖碱比、氮碱比和钾氯比共

9 项指标作为评价烟叶化学成分可用性的因子,并确定各项指标的阈值(表 5)。

表 5 烟叶化学成分指标的隶属函数类型和阈值及权重

化学成分	函数类型	阈值				公因子方差	权重
		下临界值	下限最优值	上限最优值	上临界值		
总糖/%	抛物线形	10.00	20.00	28.00	35.00	0.86	0.11
还原糖/%		11.20	19.00	21.00	27.00	0.88	0.12
总氮/%		1.10	2.00	2.30	3.40	0.83	0.12
烟碱/%		1.20	2.20	2.80	3.50	0.82	0.11
氯/%		0.20	0.30	0.80	1.20	0.73	0.10
糖碱比		3.00	11.00	13.00	18.00	0.90	0.12
氮碱比		0.55	0.95	1.05	1.45	0.86	0.12
钾/%	“S”形	0.80			2.50	0.71	0.09
钾氯比		0.80			8.00	0.82	0.11

由表 6 可知,TRT 模式的 CCUI 值(0.77~0.83)高于 TMT (0.76~0.79)的,龙山烟区二者差异达显著水平,2 种轮作模式的 CCUI 值较连作(0.62~0.73)的高 4.1%~25.3%。按 ≤ 0.60 、 $>0.60\sim 0.75$ 、 $>0.75\sim 0.90$ 、 >0.90 将烟叶 CCUI 值划分为较低、中等、

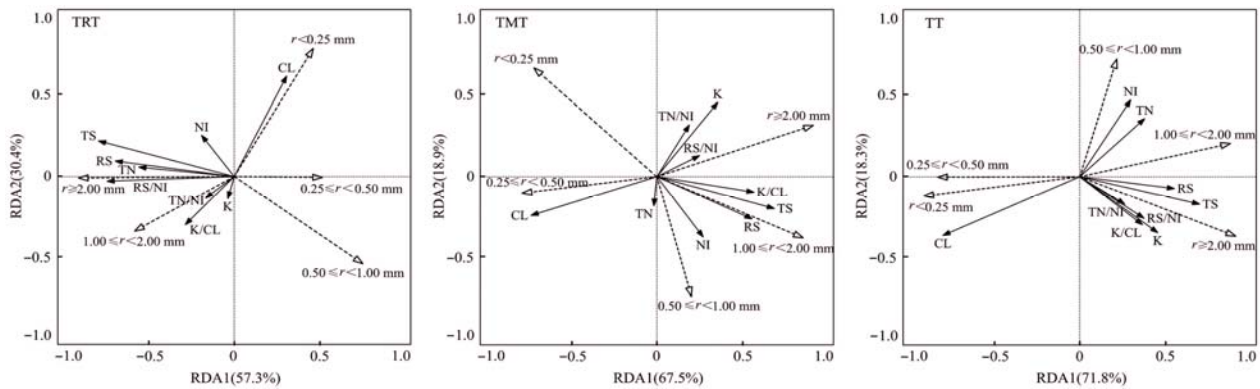
较高、高等 4 个档次^[15],结果轮作模式的均处于较高水平,而连作处于中等水平。方差分析结果表明,地区和轮作模式对烟叶 CCUI 指数具有显著和极显著影响。

表 6 不同地区不同轮作模式下烟叶化学成分可用性指数的方差分析结果

Table 6 Variance analysis of chemical components usability index (CCUI) in different rotation tobacco leaves

地区	轮作模式	CCUI
花垣	TRT	0.78Aa
	TMT	0.76Aa
	TT	0.61Bb
永顺	TRT	0.82Aa
	TMT	0.79Aa
	TT	0.66Bab
龙山	TRT	0.83Aa
	TMT	0.74Bb
	TT	0.72Ba
F 值	地区	3.62*
	模式	12.30**
	地区×模式	2.11

同列不同大写字母表示同一地区不同轮作模式间的差异有统计学意义($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一轮作模式不同地区间的差异有统计学意义($P < 0.05$); “*”“**”分别表示影响显著和极显著($P < 0.05$ 、 $P < 0.01$)。



TS 总糖; RS 还原糖; TN 总氮; NI 烟碱; CL 氯; K 钾; RS/NI 糖碱比; TN/NI 氮碱比; K/CL 钾氯比。

图 1 土壤团聚体组成和烟叶化学成分的冗余分析

Fig.1 Redundancy analysis of soil aggregate composition and chemical composition of tobacco leaves

2.3.2 土壤团聚体稳定性与烟叶化学成分可用性的相关性

由表 7 可知, 土壤团聚体稳定性指标 $R_{0.25}$ 、MWD 和 GMD 间相互呈极显著正相关, 这 3 个指标均与 PSD 呈极显著负相关, 与烟叶 CCUI 值呈极

表 7 土壤团聚体稳定性与烟叶化学成分可用性的相关性
Table 7 Correlation between the stability of soil aggregates and the CCUI of tobacco leaves

指标	相关系数				
	$R_{0.25}$	MWD	GMD	PSD	CCUI
$R_{0.25}$	1				
MWD	0.868**	1			
GMD	0.837**	0.921**	1		
PSD	-0.725**	-0.801**	-0.796**	1	
CCUI	0.693**	0.752**	0.667**	-0.598**	1

“**”示相关性极显著($P < 0.01$)。

2.3 土壤团聚体与烟叶化学成分的相关性

2.3.1 土壤团聚体组成与烟叶化学成分的相关性

用冗余分析确定不同轮作土壤团聚体组成和烟叶化学成分间的关系, 结果(图 1)表明, TRT、TMT 和 TT 在第 1 轴和第 2 轴分别累积解释总变化的 87.7%、86.4%和 90.1%。3 种模式的烟叶总糖、还原糖、糖碱比、钾和钾氯比均与土壤的 $1.00 \leq r < 2.00$ mm 和 $r \geq 2.00$ mm 团聚体含量呈显著正相关, 氯含量均与土壤的 $0.25 \leq r < 0.50$ mm 和 $r < 0.25$ mm 团聚体含量呈显著正相关, 与 $r \geq 1.00$ 团聚体含量呈显著负相关; TRT 模式烟叶总氮和烟碱与土壤的 $r \geq 2.00$ mm 团聚体含量呈极显著正相关, TMT 和 TT 模式烟叶的总氮和烟碱与土壤的 $0.50 \leq r < 2.00$ mm 团聚体含量呈显著正相关。

显著正相关; PSD 与 CCUI 呈极显著负相关, 表明大粒径团聚体含量越多, 团聚体稳定性增强, 土壤分散程度越低, 有利于提高烟叶品质。

3 结论与讨论

土壤养分主要储存于大团聚体中。大团聚体含量越高, 土壤抗蚀能力越好, 结构越稳定, 水肥保供性能就越强^[18]。土壤团聚体的 $R_{0.25}$ 、MWD、GMD 越高, PSD 越低, 表明团聚体越稳定。本研究结果表明, TRT 模式土壤大团聚体含量及 $R_{0.25}$ 、MWD 和 GMD 均显著高于 TMT 的, 而连作土壤则以微团聚体为主, $R_{0.25}$ 、MWD 和 GMD 均最低且 PSD 最高, 表明 TRT 模式更有利于土壤团粒结构的形成和保持其稳定性, 且轮作均优于连作。可能是长期

淹水或湿润状态使土壤微生物活跃度降低,减缓有机物质氧化分解,有机肥和动植物残体通过厌氧降解后有以有机质的形式保留,促进有机碳的积累和固化,增加土壤有机胶结物质^[19];水旱交替改变土壤微环境,为好氧厌氧微生物提供更丰富的栖息场所而提高微生物丰富度,从而促进大团聚体的形成且提高其稳定性^[20]。TMT模式,发达的玉米根系产生大量的分泌物,根系分泌物产生的有机酸和多糖类物质促进土壤颗粒间的团聚化^[21];而连作土壤钾肥投入量较2种轮作高出48.5%~52.9%,土壤 K^+ 增加会置换土壤胶体中的 H^+ 而使得土壤酸化,并且过多的 K^+ 影响植物对 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的吸收,使土壤胶体凝结,导致土壤板结,降低土壤抗侵蚀能力,减少土壤微生物和有机质含量,使土壤团聚化作用下降而影响团聚体稳定性^[22]。

烟叶的开片度增大,则叶片的光合面积增大,可促进干物质的积累,有利于提高烤烟品质;开片度越大的叶片含梗率越低,烟丝完整率提高,可增强工业可用性^[23]。本研究结果表明,与连作相比,轮作均能显著促进烟叶生长,提高开片度,降低叶片厚度,这与贾健等^[4]研究结果类似,其中TRT模式下叶开片度最高,叶厚适中,含梗率显著降低,综合农艺形状最佳。

张艳^[24]研究发现,烤烟连作和烤烟玉米轮作制度下,烟叶化学成分及协调性并无显著差异。但本研究结果表明,轮作的烟叶化学成分及协调性处于优质烟叶适宜水平,与连作相比差异显著。烟叶化学成分可用性评价也证明,轮作模式烟叶综合品质显著优于连作,烟稻轮作最佳。

本研究中,3种模式烟叶糖类、总氮、烟碱、钾和钾氯比均与 ≥ 1.00 mm团聚体含量呈显著正相关,而与 < 0.50 mm团聚体含量呈显著负相关,这可能与土壤团聚体贮存大量有机碳有关。土壤有机碳是土壤养分的重要来源,作物吸收的氮素至少有50%来自有机碳的矿化作用^[25]。大团聚体中充足的养分促进了烟叶的生长发育和糖类、氮、钾等积累^[10]。土壤氯以离子形式存在于土壤中,其流动性极强,易随水分迁移富集到较为疏松的土壤中^[26],这可能是土壤微团聚体含量与烟叶氯含量呈显著正相关的主要原因。有研究表明,作物产量和质量与土壤团聚体稳定性呈显著正相关,与分形维数呈显著负相

关^[11,18,27]。本研究结果与之类似,即烟叶CCUI与团聚体稳定性呈显著正相关,与PSD呈显著负相关,表明烟叶品质随土壤团聚体稳定性的增强而提高。有关轮作制度引起的土壤团聚体结构变化对烤烟根系特征及养分吸收能力和烤烟品质的影响还有待深入研究。

综上所述,烟-稻轮作模式在土壤大团聚体形成及其稳定性增强、烟叶工业可用性及品质的提高等方面均优于烤烟-玉米轮作和烤烟连作,值得在湘西地区推广应用。

参考文献:

- [1] 李柘锦,朱文桥,黄坤,等.连作对烤烟农艺性状、根系形态与土壤养分的影响[J].江苏农业科学,2022,50(2):67-72.
- [2] 李柘锦,黄坤,张加研,等.不同连作年限对烤烟品质及经济效益的影响[J].贵州农业科学,2021,49(4):9-17.
- [3] 吴哲宽,孙光伟,陈振国,等.不同轮作模式对烤烟产质量的影响[J].山西农业科学,2019,47(3):370-373.
- [4] 贾健,朱金峰,杜修智,等.不同种植模式对土壤酶、烤烟生长及烟叶致香成分的影响[J].中国农业科技导报,2016,18(3):141-149.
- [5] XIAO L, HUANG Y, ZHAO J, et al. Effects of planting structure on soil water-stable aggregates, microbial biomass and enzyme activity in a catchment of loess plateau terraces, China[J]. Applied Soil Ecology, 2021, 159: 103819.
- [6] ERDEM Y, MEHMET. The role of organic/bio-fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 168: 118-124.
- [7] 陆峰,廖超林,肖志鹏,等.烟-稻复种连作对红壤性水稻土团聚体组成及稳定性的影响[J].中国农学通报,2022,38(26):56-61.
- [8] SHER Y, BAKER N R, HERMAN D, et al. Microbial extracellular polysaccharide production and aggregate stability controlled by switchgrass(*Panicum virgatum*) root biomass and soil water potential[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2020, 143: 107742.
- [9] 夏梓泰,程伟威,赵吉霞,等.不同种植模式对玉米根系及土壤团聚体稳定性的影响[J].生态环境学报,2021,30(12):2331-2338.
- [10] 王浩田,姜超强,蒋瑞霖,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[J].土壤,2020,52(5):1057-1067.
- [11] 郑梅迎,刘玉堂,张忠锋,等.秸秆还田方式对植烟土壤团聚体特征及烤烟产质量的影响[J].中国烟草科学,2019,40(6):11-18.