



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

烤烟连作对土壤生态化学计量特征的影响

王棋, 徐传涛, 王昌全, 杨梅, 李冰, 顾勇

引用本文:

王棋, 徐传涛, 王昌全, 等. 烤烟连作对土壤生态化学计量特征的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 702–708.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0163>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

新疆绿洲长期连作棉田土壤氮储量及其垂直分布特征

景峰, 郭成藏, 谈建鑫, 康亚龙, 曹晶晶, 田宝庚, 刘建国

农业资源与环境学报. 2015(6): 545–551 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0143>

秸秆还田对长期连作棉田土壤微生物量碳氮磷的影响

郭成藏, 李鲁华, 黄金花, 刘军, 杨志兰, 魏飞, 刘建国

农业资源与环境学报. 2015(3): 296–304 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0354>

连作棉田间作洋葱、孜然对棉花光合特性及根系生长的影响

马怡茹, 魏飞, 马子豪, 王超凡, 孙新展, 刘建国

农业资源与环境学报. 2019, 36(6): 792–797 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0288>

不同N、P添加水平对黄顶菊叶片化学计量特征的影响

陈新微, 杨殿林, 刘红梅, 王慧, 皇甫超河, 屠臣阳

农业资源与环境学报. 2015(2): 185–191 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0318>

生态与常规种植对土壤养分、微生物及重金属的影响

王玉梅, 张雪华, 盛虎, 陈能场

农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 361–367 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0202>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王棋, 徐传涛, 王昌全, 等. 烤烟连作对土壤生态化学计量特征的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 702–708.

WANG Qi, XU Chuan-tao, WANG Chang-quan, et al. Effects of continuous cultivated flue-cured tobacco on soil eco-stoichiometric characteristics[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(5): 702–708.



开放科学 OSID

烤烟连作对土壤生态化学计量特征的影响

王棋¹, 徐传涛², 王昌全¹, 杨梅¹, 李冰^{1*}, 顾勇²

(1. 四川农业大学资源学院, 成都 611130; 2. 四川省烟草公司泸州市公司, 四川 泸州 646000)

摘要:为阐明烤烟连作对土壤生态化学计量特征的影响,采用野外调查与室内分析相结合的方法,对四川泸州烟区正茬和连作1、3、5年土壤的有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)和全钾(TK)含量及其化学计量特征进行了研究。结果表明:与正茬相比,烤烟连作1年对土壤养分含量无显著影响;连作至第3年时,SOC含量明显下降,而TP和TK含量显著上升;连作至第5年时,SOC含量显著下降了9.89%,TN、TP和TK则分别增加了14.37%、68.84%和27.58%。土壤C/N、C/P、N/P和N/K随连作年限的增加而降低,年均下降4.06%、9.25%、6.51%和2.36%。土壤SOC对C/N、C/P、N/P、N/K贡献为正,而TN、TP、TK对C/N、C/P、N/P贡献为负,土壤养分及其化学计量比的相关性受到各养分的共同影响。总体来看,烤烟在连作3年时即可引起土壤磷钾累积及有机碳降低,使其生态化学计量比发生变化,从而可能影响土壤养分间的平衡供应。

关键词:烤烟;连作;土壤养分;生态化学计量学

中图分类号:S151.9+3

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2020)05-0702-07

doi: 10.13254/j.jare.2019.0163

Effects of continuous cultivated flue-cured tobacco on soil eco-stoichiometric characteristics

WANG Qi¹, XU Chuan-tao², WANG Chang-quan¹, YANG Mei¹, LI Bing^{1*}, GU Yong²

(1. College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Luzhou Tobacco Company of Sichuan Province, Luzhou 646000, China)

Abstract: To clarify the influence of continuous cultivated flue-cured tobacco on the ecological and chemometric characteristics of soil, a combination study of field investigation and indoor analysis was performed. Soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK) and their stoichiometric characteristics were determined for crop rotation, and continuous cropping for 1, 3 and 5 year periods in the Luzhou tobacco area of Sichuan Province. The results revealed that: Compared with crop rotation, flue-cured tobacco had no significant effect on the soil nutrient content after 1 year of continuous cropping. However, after 3 years of continuous cropping, the SOC decreased but total P and K increased significantly. In the fifth year of continuous cropping, the SOC content decreased significantly by 9.89%, while total N, P, and K increased by 14.37%, 68.84%, and 27.58%, respectively. Soil C/N, C/P, N/P and N/K decreased as the duration of continuous cropping increased. The decrease observed was 4.06%, 9.25%, 6.51% and 2.36%, respectively, on average. The contribution of soil SOC to C/N, C/P, N/P, and N/K was positive, while the contribution of soil TN, TP, and TK to C/N, C/P, and N/P was negative. The correlation between soil nutrient levels and stoichiometry was affected by all the nutrients. Generally, the flue-cured tobacco led to the accumulation of phosphorus and potassium and a decrease in organic carbon in the soil after three years of continuous cropping, which may alter the eco-stoichiometric ratio, thus affecting the balanced supply of soil nutrients.

Keywords: flue-cured tobacco; continuous cropping; soil nutrient; ecological stoichiometry

收稿日期: 2019-04-01 录用日期: 2019-08-07

作者简介: 王棋(1995—),女,四川名山人,硕士研究生,主要从事土壤肥力与施肥方面研究。E-mail: 2457309514@qq.com

*通信作者: 李冰 E-mail: benglee@163.com

基金项目: 中国烟草总公司四川省公司科技项目(SCYC201705, SCYC201803)

Project supported: Science and Technology Project of Sichuan Tobacco Company of China National Tobacco Corporation(SCYC201705, SCYC201803)

生态化学计量学结合了生物学、化学和物理学等基本原理,是研究生态交互作用和过程中能量平衡和多重化学元素(主要是C、N、P)平衡的学科^[1-3]。目前,生态化学计量学已广泛应用于水生生态系统^[4]和陆地植物生态系统^[5],并取得了许多研究成果;而在土壤方面的研究多集中在森林或草原土壤^[6-7],对耕地土壤养分元素的研究相对较少。土壤养分化学计量特征,不仅能反映土壤肥力状况,也是土壤有机组成和土壤质量状况以及养分能力的重要指标。例如,土壤C/P和N/P的含量均较高,说明C、N分解快,有利于土壤养分循环,改善土壤质量,但可能受到P素限制。通过对土壤养分比值变化规律的掌握,能够有效为土壤养分的管理提供理论依据,因此耕地土壤也应充分重视^[8-10]。

大量研究表明,烤烟是忌连作作物,长期连作中施肥成分及烤烟对养分吸收的相对固定性,导致土壤中某些营养元素长期亏缺或累积,土壤养分比例失衡,严重威胁土壤生态环境^[11-12]。烤烟连作虽能增加土壤N、P、K全量养分的含量,但会降低速效养分的含量,致使烤烟对N、P、K养分的吸收降低,这种趋势随着连作年限的增加愈加明显^[13-15]。苏海燕等^[15]研究发现,烤烟连作造成有机质每年以0.13%的幅度下降,速效养分也逐年降低,而全量养分均出现了不同程度的升高趋势。泸州作为四川五大烟区之一,由于烤烟连作现象严重且连年的施肥数量和种类基本一致,导致土壤养分不均衡,但其具体的变化量及不均衡程度尚不清楚。因此,本研究以四川泸州烟区正茬和连作1、3、5年的土壤为研究对象,探讨连作年限对土壤C、N、P、K及其计量比的影响,以期为烤烟生产中土壤养分管理和土壤生态环境的恢复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样区概况

泸州位于四川南部边陲,属亚热带湿润气候区,南部山区立体气候明显。研究区气温较高,日照充足,雨量充沛,四季分明,无霜期长,温、光、水同季,季风气候明显,年平均气温17.5~18.0℃。泸州主要植烟区为古蔺县和叙永县,属于盆周山地低中山地貌类型区,平均海拔800 m左右,最高海拔为1920 m,土壤类型主要有黄壤、水稻土和紫色土,烤烟连作和烟/玉米轮作是最常见的种植方式。

1.2 样品采集与测定

在野外实地调查基础上,从古蔺县合乐乡选取海拔、坡度、坡向等环境条件相近且每年施肥的数量和种类大致相同的种植区。其土壤类型为紫色土,烤烟正茬的前茬为玉米,烤烟品种为云烟85,每年N、P₂O₅、K₂O投入量分别为130、150 kg·hm⁻²和268 kg·hm⁻²,90%以上为无机复合肥。为避免施肥及烤烟生长过程对土壤养分带来的瞬时影响,于2017年3月,在烤烟尚未施用底肥和移栽之前采集土样,以真实反映采样地块的养分状况和供肥能力。选择烤烟正茬和连作1、3、5年的种植地,采用“S”法在同一采样单元内取8~10个点的耕层土壤(0~20 cm)构成一个混合土样。一共采集土样60个(正茬和连作1、3、5年分别为10、12、20和18个),经过风干、磨细、过筛,于2017年6月测定土壤理化性质。

土壤有机碳(SOC)用重铬酸钾-硫酸消化法测定;全氮(TN)用硒粉-硫酸铜-硫酸消化-凯氏定氮法测定;全磷(TP)用氢氟酸-高氯酸酸溶-钼锑抗比色法测定;全钾(TK)用氢氧化钠熔融-火焰光度计法测定。

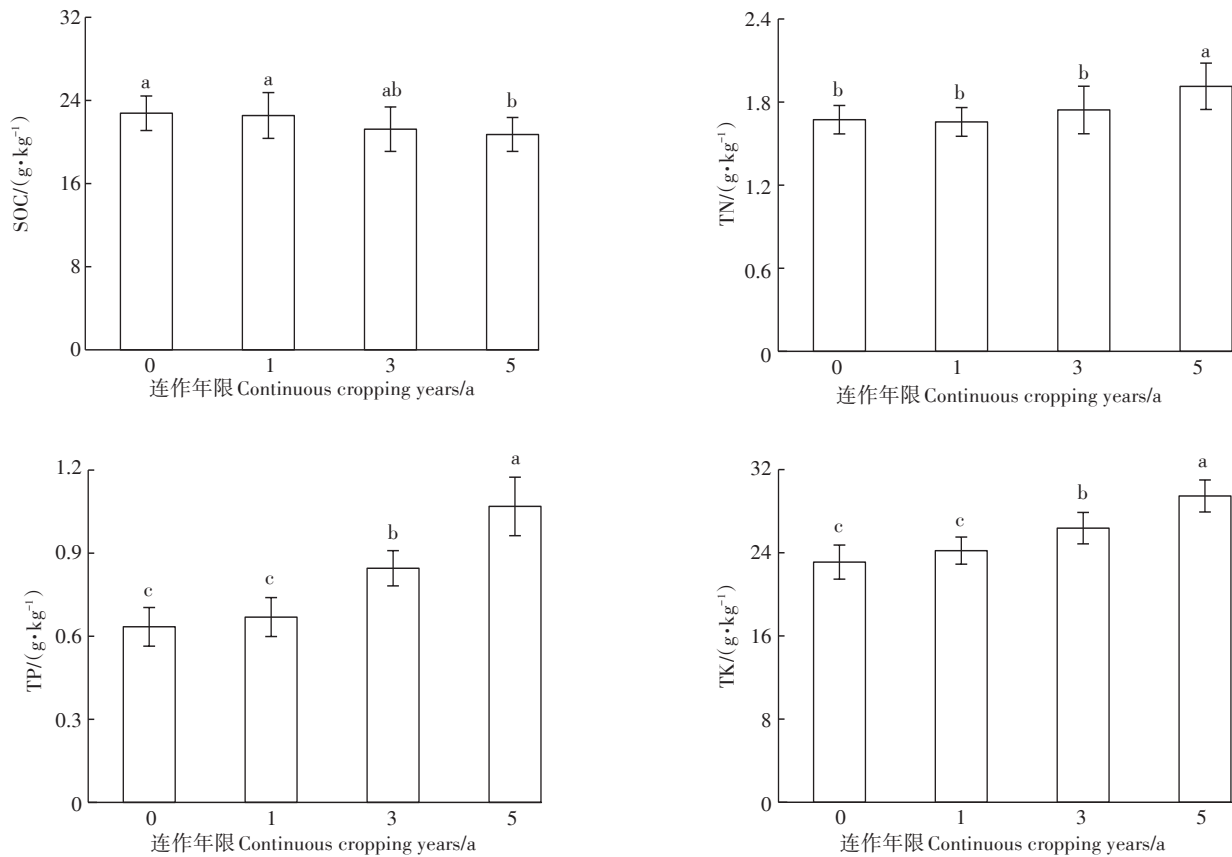
1.3 数据处理

土壤SOC/TN、SOC/TP、TN/TP、TN/TK均为元素质量比。所有数据均用Microsoft Excel录入并作描述性统计分析,用SPSS 20.0进行相关性分析和单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同连作年限下土壤C、N、P、K的含量特征

随着连作时间的增加,土壤SOC含量呈下降趋势,TN、TP和TK含量均呈增加趋势(图1)。SOC、TN、TP和TK的变化范围分别为20.72~22.77、1.67~1.91、0.63~1.07 g·kg⁻¹和23.10~29.47 g·kg⁻¹。与正茬相比,连作1年和3年土壤SOC稍有下降但未达到显著水平($P>0.05$),第5年显著降低($P<0.05$),为20.72 g·kg⁻¹,平均每年衰减1.74%。与正茬相比,连作1年及3年土壤TN含量变化不明显($P>0.05$);但连作5年后,土壤TN含量显著上升至1.91 g·kg⁻¹,增加了14.37%。与正茬相比,连作1年土壤TP、TK含量无显著变化;之后随着连作年限的延长显著上升($P<0.05$),连作至第5年达到最大值,分别为1.07 g·kg⁻¹和29.47 g·kg⁻¹,分别为增加了68.84%和27.58%。随着连作年限的延长,土壤养分变幅为TP>TK>TN>SOC。



图中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。正茬用连作0年表示。下同
 Different small letters indicate significant difference at $P<0.05$ level; The first-planting is expressed by continuous cropping for 0 year. The same below

图1 不同连作年限下土壤SOC、TN、TP和TK含量

Figure 1 Soil organic C, total N, total P and total K contents under different continuous cropping years

2.2 不同连作年限下土壤C、N、P、K生态化学计量特征

土壤C/N、C/P、N/P和N/K变化范围分别为10.84~13.60、19.46~36.19、1.80~2.66和0.06~0.07。随着连作时间的增加,土壤C/N、C/P、N/P和N/K总体呈逐渐下降的趋势(图2)。与正茬相比,连作1年的土壤C/N和N/K无显著变化,连作至3年时显著下降($P<0.05$);连作至第5年时达到最小值,分别为10.84和0.06,分别下降了20.29%和14.29%。土壤C/P和N/P随连作年限延长显著下降($P<0.05$),连作至第5年均达到最小值,分别为19.46和1.80,平均每年分别下降9.25%和6.51%。随着连作年限的延长,土壤养分生态化学计量比降幅为C/P>N/P>C/N>N/K。

2.3 土壤C、N、P、K及其化学计量比的相关性分析

相关性分析结果(表1)表明:土壤SOC与TN、C/N、C/P、N/P、N/K极显著正相关;TN与TP、TK极显著正相关,与C/N、C/P、N/P极显著负相关,与N/K显著正相关;TP与TK极显著正相关,与C/N、C/P、N/P极显著负相关;TK与C/N、C/P、N/P、N/K极显著负相关;C/N、C/P、

N/P和N/K两两间都为极显著正相关。总体看,土壤养分对其生态化学计量比的贡献表现出一定差异性,SOC对C/N、C/P、N/P、N/K贡献为正,而TN、TP、TK对C/N、C/P、N/P贡献为负,TN与TK对N/K的贡献相反。

3 讨论

3.1 连作年限对土壤C、N、P、K含量的影响

烤烟连作后,土壤中TN呈上升趋势,与前人研究结果^[14,16]一致,这可能与烤烟种植过程中大量施入氮肥后氮素残留有关。土壤氮素的增加可以提高土壤微生物的活性,加速土壤有机质的分解^[17],再加上烟区有机肥施用较少,所以烤烟连作后土壤SOC显著下降^[18]。烤烟连作中,大量无机肥施用引起可溶性磷与铁、铝形成磷酸铁、磷酸铝化合物,较易在土壤中固定,从而导致土壤中磷的富集。烟区土壤全钾含量上升,可能是因为长期大量钾肥投入导致土壤对钾的特殊吸附位点增加,从而增加了土壤对K⁺的固定^[19]。长期连作会降低烤烟产量和氮、磷、钾的吸收量^[20],从而

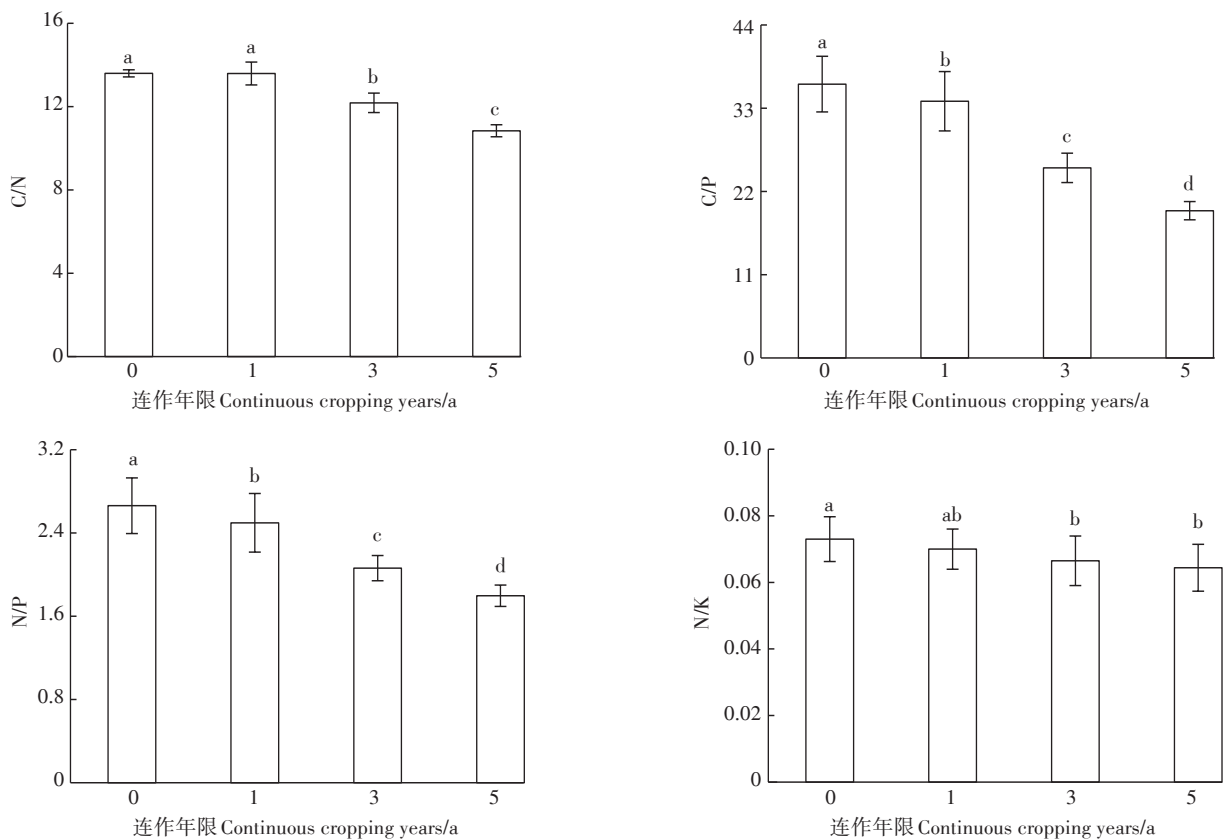


图2 不同连作年限下土壤生态化学计量特征

Figure 2 Eco-stoichiometric characteristics of soil under different continuous cropping years

表1 土壤C、N、P、K及其化学计量比的相关性分析

Table 1 Correlation analysis on soil organic C, total N, total P, total N and stoichiometry

指标 Index	SOC	TN	TP	TK	C/N	C/P	N/P	N/K
SOC	1							
TN	0.472**	1						
TP	-0.122	0.747**	1					
TK	-0.212	0.602**	0.824**	1				
C/N	0.505**	-0.520**	-0.855**	-0.799**	1			
C/P	0.502**	-0.420**	-0.894**	-0.778**	0.907**	1		
N/P	0.462**	-0.355**	-0.868**	-0.723**	0.808**	0.980**	1	
N/K	0.692**	0.306*	-0.190	-0.506**	0.374**	0.458**	0.464**	1

注: *和**分别表示显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)相关。
Note: * and ** indicate significant ($P<0.05$) and extremely significant ($P<0.01$) correlation, respectively.

引起烟株带出的氮、磷、钾养分含量降低,且不均衡^[21],烤烟连作后土壤中氮、磷、钾的残留量总体表现为磷>钾>氮,这与苏海燕等^[15]的研究结果相同。王连君等^[22]研究表明,烤烟连作1~2年对土壤养分影响不大,甚至在连作4年^[20]及5年^[23]时,土壤有机质和全氮无明显变化,但全磷、全钾显著增加。本研究中,烤烟连作3年时土壤全磷、全钾显著增加,有机碳和全氮在连作5年时变化显著,这说明研究区土壤氮、

磷、钾累积及有机碳的消耗较其他区域更快,这可能与该区域雨量充沛、气候适宜条件下土壤养分生物小循环强度大有关。

3.2 连作年限对土壤C、N、P、K生态化学计量特征的影响

土壤C/N/P是有机质或其他成分中C素与N素、P素总质量的比值,也是判断C、N、P元素矿化作用和固持作用的重要指标。耕地土壤中C/N/P除受到气

候、植被等自然成土因素影响外,受土地利用方式、耕作、施肥等人类活动的影响更强烈^[24]。我国农田土壤C/N、C/P、N/P的均值分别为11.90、61.10和5.20^[25],而川中丘陵区旱地土壤C/N、C/P、N/P的均值分别为10.02、9.65和0.97^[26]。由于微生物活动,土壤C/N与有机质的分解速率成反比关系,当C/N大于25时,有机质的积累速率大于分解速率。本研究中,烤烟连作5年后土壤C/N由13.60降至10.84,表明土壤微生物对SOC矿化分解速率加快,有效氮供应量增加,不利于SOC积累^[27]。土壤C/P是磷有效性高低或可获得性大小的表征参数,值越小,土壤中磷的有效性越高^[28];N/P不仅可以作为氮饱和的诊断指标,还可以用于判断土壤中的限制性养分^[29];烤烟连作后土壤C/P和N/P值较小且均下降,表明磷素并非限制性养分。土壤养分生态化学计量比随着氮磷钾的增加而逐渐减小,说明氮磷钾养分的限制性越来越小,因而土壤有机碳可能成为烤烟连作中养分限制的主要因子。

3.3 土壤C、N、P、K及其化学计量比的相关性

土壤养分元素之间是密切相关、相互耦合的。有研究显示,土壤SOC含量与TN、TP含量极显著正相关^[30-31],C/P与C/N均具有相对稳定性,但C/N稳定程度更高^[32]。本研究中,土壤SOC与TN的变化相反,但受变幅的限制,只影响了比值大小,两者间的相关性并无变化;SOC和TP无显著相关性且C/P的变化显著,说明磷的增加改变了SOC与TP间的相关性和稳定性。玛孜依热阿等^[32]和高君亮等^[33]的研究显示,土壤C计量比主要受控于土壤C含量,而土壤N计量比主要受控于N含量。本研究中,C/N、C/P、N/P、N/K与碳氮磷钾基本都有显著的相关性,说明每两个养分间的比值不仅受其直接相关养分的制约,同时还受到其他养分的影响,以致未能凸显哪种养分起主导作用,这是磷钾大量增加的结果。因而,土壤养分的变幅也是影响其化学计量比的一大因素。

研究表明,连作引起的养分比例失调是导致土壤理化性质恶化的主要原因之一^[34],为此,烤烟连作应注意增施有机肥、降低氮磷钾等肥料的用量,从而改善土壤环境。本研究虽然尽量规避环境及农艺措施带来的误差,但无法在同一地块进行不同年限之间的对比。因此,长期定位条件下烤烟连作对土壤养分及其生态化学计量特征的影响还有待进一步研究。

4 结论

(1)烤烟连作5年中,随着年限的增长,土壤SOC

含量呈降低趋势,N、P、K含量呈增加趋势,总体变幅为TP>TK>TN>SOC,致使C/N、C/P、N/P和N/K持续降低,降幅为C/P>N/P>C/N>N/K。

(2)与正茬相比,土壤TP和TK在连作3年时显著提高,而SOC和TN在连作5年时才有显著变化;土壤C/N和N/K在连作3年时显著降低,而C/P和N/P在连作第1年就表现为显著降低。

(3)相关性分析结果表明,土壤SOC对C/N、C/P、N/P、N/K变化具有正效应。土壤C/N、C/P、N/P和N/K的变化受到C、N、P、K的共同影响,并与其变幅密切相关。

参考文献:

- [1] Cleveland C C, Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: Is there a "Red-field ratio" for the microbial biomass[J]. *Biogeochemistry*, 2007, 85(3): 235-252.
- [2] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 2-6.
HE Jin-sheng, HAN Xing-guo. Ecological stoichiometry: Searching for unifying principles from individuals to ecosystems[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 2-6.
- [3] Sterner R W, Elser J J. Ecological stoichiometry: The biology of elements from molecules to the biosphere[M]. New Jersey: Princeton University Press, 2002.
- [4] 王芳, 国先涛, 董双林. 水域生态系统生态化学计量学研究进展[J]. *中国海洋大学学报*, 2015, 45(12): 16-23.
WANG Fang, GUO Xian-tao, DONG Shuang-lin. Reviews on ecological stoichiometry in aquatic ecosystem[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2015, 45(12): 16-23.
- [5] 程瑞梅, 王娜, 肖文发, 等. 陆地生态系统生态化学计量学研究进展[J]. *林业科学*, 2018, 54(7): 130-136.
CHENG Rui-mei, WANG Na, XIAO Wen-fa, et al. Advances in studies of ecological stoichiometry of terrestrial ecosystems[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2018, 54(7): 130-136.
- [6] 郭颖, 李军, 张亚亚, 等. 我国陆地生态系统土壤·植物生态化学计量学研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(16): 1-6.
GUO Ying, LI Jun, ZHANG Ya-ya, et al. Research advances in soil and plant stoichiometry in terrestrial ecosystems in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(16): 1-6.
- [7] 王晓光, 乌云娜, 宋彦涛, 等. 土壤与植物生态化学计量学研究进展[J]. *大连民族大学学报*, 2016, 18(5): 437-442, 449.
WANG Xiao-guang, WUYUN Na, SONG Yan-tao, et al. Research advances of soils and plants ecological stoichiometry[J]. *Journal of Dalian Minzu University*, 2016, 18(5): 437-442, 449.
- [8] 江叶枫, 叶英聪, 郭熙, 等. 江西省耕地土壤氮磷生态化学计量空间变异特征及其影响因素[J]. *土壤学报*, 2017, 54(6): 1527-1539.
JIANG Ye-feng, YE Ying-cong, GUO Xi, et al. Spatial variability of ecological stoichiometry of soil nitrogen and phosphorus in farmlands of Jiangxi Province and its influencing factors[J]. *Acta Pedologica Sinica*

- ca, 2017, 54(6):1527-1539.
- [9] 张晗, 欧阳真程, 赵小敏, 等. 江西省油菜土壤碳氮磷生态化学计量学空间变异性及影响因素[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6):269-277, 301.
- ZHANG Han, OUYANG Zhen-cheng, ZHAO Xiao-min, et al. Spatial variability of ecological stoichiometry of carbon, nitrogen, and phosphorus and its influencing factors in rapeseed soil in Jiangxi Province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(6):269-277, 301.
- [10] Hulugalle N R, Strong C, Mcpherson K, et al. Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometric ratios under cotton cropping systems in Australian Vertisols: A meta-analysis of seven experiments[J]. *Nutrient Cycling in Agro-ecosystems*, 2017, 107(3):357-367.
- [11] 徐继磊, 张友杰, 叶协锋, 等. 不同连作年限下烤烟不同生育期土壤微生物区系动态研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(18):105-108.
- XU Ji-lei, ZHANG You-jie, YE Xie-feng, et al. Dynamics of the soil microbial flora at different growing stages of flue-cured tobacco under continuous cropping years[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(18):105-108.
- [12] 石秋环, 焦枫, 耿伟, 等. 烤烟连作土壤环境中的障碍因子研究综述[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(6):81-84.
- SHI Qiu-huan, JIAO Feng, GENG Wei, et al. An overview on research into factors hindering continuous cropping in flue-cured tobacco[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2009, 15(6):81-84.
- [13] 何林卫, 陈晓明, 张长华, 等. 不同种植模式与施肥对烤烟产质量和养分利用的影响[J]. 贵州农业科学, 2015, 43(5):33-37.
- HE Lin-wei, CHEN Xiao-ming, ZHANG Chang-hua, et al. Effects of different planting patterns and fertilization on yield, quality and nutrient utilization of flue-cured tobacco[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2015, 43(5):33-37.
- [14] 张仕祥, 过伟民, 李辉信, 等. 烟草连作障碍研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(5):823-829.
- ZHANG Shi-xiang, GUO Wei-min, LI Hui-xin, et al. Research progresses on continuous cropping obstacles of tobacco[J]. *Soils*, 2015, 47(5):823-829.
- [15] 苏海燕, 程传策, 马啸, 等. 烤烟连作对重庆土壤养分状况的影响[J]. 河南农业科学, 2010, 39(12):59-62.
- SU Hai-yan, CHENG Chuan-ce, MA Xiao, et al. Effect of continuous cropping on soil nutrient status in Chongqing tobacco field[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2010, 39(12):59-62.
- [16] 何俊瑜, 陈博, 任艳芳, 等. 连作对烤烟根际与非根际土壤养分含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2013, 39(6):585-590.
- HE Jun-yu, CHEN Bo, REN Yan-fang, et al. Effect of continuous cropping on soil nutrients at flue-cured tobacco rhizosphere and non-rhizosphere[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2013, 39(6):585-590.
- [17] Seiji S, Nobuhisa K. Rapid change in soil C storage associated with vegetation recovery after cessation of cultivation[J]. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2013, 59(1):27-34.
- [18] 付仲毅, 张晓远, 张晓帆, 等. 烤烟连作对植烟土壤碳库及烤后烟叶品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(8):16-22.
- FU Zhong-yi, ZHANG Xiao-yuan, ZHANG Xiao-fan, et al. Effect of continuous cropping on quality of flue-cured tobacco leaves and carbon pool in tobacco soil[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Sciences)*, 2018, 46(8):16-22.
- [19] 李静. 烤烟钾素动态吸收规律研究[D]. 成都:四川农业大学, 2014.
- LI Jing. Study on K absorption dynamic of flue-cured tobacco[D]. Chengdu:Sichuan Agricultural University, 2014.
- [20] 邓阳春, 黄建国. 长期连作对烤烟产量和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2010, 16(4):840-845.
- DENG Yang-chun, HUANG Jian-guo. Effect of long continuous cropping on the yields of flue-cured tobacco and nutrients in soils[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(4):840-845.
- [21] 陶芾, 腾婉, 李春俭, 等. 我国烤烟生产体系中的养分平衡[J]. 中国烟草科学, 2007(3):1-5.
- TAO Fei, TENG Wan, LI Chun-jian, et al. Nutrient input and output balance in flue-cured tobacco production in China[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2007(3):1-5.
- [22] 王连君, 谷思玉. 烤烟连作对土壤养分的影响[J]. 烟草科技, 2004(9):40-42.
- WANG Lian-jun, GU Si-yu. Effect of succession cropping of flue-cured tobacco on soil nutrients[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2004(9):40-42.
- [23] 彭友, 陈代荣, 阳显斌, 等. 不同连作年限植烟土壤养分含量分析[J]. 天津农业科学, 2017, 23(5):31-34.
- PENG You, CHEN Dai-rong, YANG Xian-bin, et al. Analysis of nutrient content of tobacco planting soil in different continuous cropping years[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2017, 23(5):31-34.
- [24] Li Y, Wu J, Liu S, et al. Is the C:N:P stoichiometry in soil and soil microbial biomass related to the landscape and land use in southern subtropical China?[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2012, 26(4):1-14.
- [25] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, et al. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: A synthesis of observational data[J]. *Biogeochemistry*, 2010, 98(1/2/3):139-151.
- [26] 罗由林, 李启权, 王昌全, 等. 近30年川中丘陵区不同土地利用方式土壤碳氮磷生态化学计量特征变化[J]. 土壤, 2016, 48(4):726-733.
- LUO You-lin, LI Qi-quan, WANG Chang-quan, et al. Last 30a changes of C, N and P ecological stoichiometry of different land use types in hilly area of mid-Sichuan basin, southwest China[J]. *Soils*, 2016, 48(4):726-733.
- [27] 张晗, 欧阳真程, 赵小敏. 不同利用方式对江西省农田土壤碳氮磷生态化学计量特征的影响[J]. 环境科学学报, 2019, 39(3):939-951.
- ZHANG Han, OUYANG Zhen-cheng, ZHAO Xiao-min. Effects of different land use types on ecological stoichiometry characteristics of carbon, nitrogen and phosphorus in farmland soils in Jiangxi Province, China[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, 39(3):939-

951.

- [28] 李玮, 郑子成, 李廷轩. 不同植茶年限土壤团聚体碳氮磷生态化学计量学特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1):9-16.
LI Wei, ZHENG Zi-cheng, LI Ting-xuan. Ecological stoichiometry of soil carbon, nitrogen and phosphorus within soil aggregates in tea plantations with different ages[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(1):9-16.
- [29] 范拴喜. 陕西省眉县猕猴桃园土壤碳氮磷生态化学计量学特征[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(4):33-38.
FAN Shuan-xi. Ecological stoichiometry of soil carbon, nitrogen and phosphorus within kiwi fruit orchards of Meixian County in Shaanxi [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(4):33-38.
- [30] 曹小玉, 李际平, 杨静, 等. 不同龄组杉木林土壤碳、氮、磷的生态化学计量特征[J]. 土壤, 2019, 51(2):290-296.
CAO Xiao-yu, LI Ji-ping, YANG Jing, et al. Stoichiometric characterization of soil C, N, and P of different age-group Chinese fir plantations[J]. *Soils*, 2019, 51(2):290-296.
- [31] 欧延升, 汪霞, 李佳, 等. 不同恢复年限人工草地土壤碳氮磷含量及其生态化学计量特征[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 25(1):38-45.
OU Yan-sheng, WANG Xia, LI Jia, et al. Content and ecological stoichiometry characteristics of soil carbon, nitrogen, and phosphorus in artificial grassland under different restoration years[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2019, 25(1):38-45.
- [32] 玛孜依热阿·努尔海拉提, 陶冶, 周晓兵, 等. 新疆野苹果群落表层土壤化学计量特征[J]. 生态学杂志, 2019, 38(9):2638-2647.
MA Zi yi re a · NUERHAILATI, TAO Ye, ZHOU Xiao-bing, et al. Stoichiometry of topsoil in *Malus sieversii* communities in Xinjiang, China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(9):2638-2647.
- [33] 高君亮, 罗凤敏, 高永, 等. 农牧交错带不同土地利用类型土壤碳氮磷生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2019, 39(15):1-9.
GAO Jun-liang, LUO Feng-min, GAO Yong, et al. Ecological soil C, N, and P stoichiometry of different land use patterns in the agriculture-pasture ecotone of northern China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(15):1-9.
- [34] 白羽祥, 蔺忠龙, 邓小鹏, 等. 基于逐步回归模型的连作植烟土壤化学性状和酶活性关系分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(12):2387-2393.
BAI Yu-xiang, LIN Zhong-long, DENG Xiao-peng, et al. Analysis of relationships between chemical properties and enzyme activity in continuous cropping tobacco-planted soil based on stepwise regression model[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(12):2387-2393.