



杨冬寒, 孙军伟, 雷吉琳, 李冬佳, 杨婷, 王琪, 刘蕊, 赵国明, 李娟, 王涵. 不同农业废弃物对烤烟连作土壤土传病害防控的潜力研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(12):111-126.

YANG Donghan, SUN Junwei, LEI Jilin, LI Dongjia, YANG Ting, WANG Qi, LIU Rui, ZHAO Guoming, LI Juan, WANG Han. Study on the potential of difference agricultural wastes to the prevention and control of soil-borne diseases in flue-cured tobacco continuous cropping[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(12):111-126.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.12.10

## 不同农业废弃物对烤烟连作土壤土传病害防控的潜力研究

杨冬寒<sup>1</sup> 孙军伟<sup>2</sup> 雷吉琳<sup>1</sup> 李冬佳<sup>1</sup> 杨婷<sup>1</sup> 王琪<sup>1</sup> 刘蕊<sup>1\*</sup> 赵国明<sup>2\*</sup>  
李娟<sup>2</sup> 王涵<sup>3</sup>

(1. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193;

2. 云南省烟草公司大理州公司, 云南 大理 671000;

3. 大理州烟草公司巍山县分公司, 云南 巍山 672499)

**摘要** 为筛选出适宜云南大理州且对烤烟连作障碍有消减效果的农业废弃物, 首先从 Web of Science 和中国知网数据库中检索与消减烤烟连作障碍研究相关的文献, 通过 Meta 分析筛选出对烤烟连作障碍有消减效果的 3 大类农业废弃物; 其次从这 3 大类中各选取 1 种云南大理州易获取的农业废弃物, 通过实验室培养试验, 进一步探究选取的 3 种农业废弃物对云南大理州不同连作年限(1 年和 5 年)烟田土壤理化性质和致病菌的影响。结果表明: 1) Meta 分析结果表明, 施加生物炭、豆饼油枯和畜禽粪便 3 大类农业废弃物能够明显提高连作烤烟产量(增幅分别为 15.78%、9.78%、7.43%), 提升连作烟叶化学成分协调性, 显著增加连作土壤有机质(增幅分别为 31.61%、24.37%、13.41%)和速效钾(增幅分别为 27.95%、26.35%、20.02%)的含量; 2) 与不添加农业废弃物相比, 在连作 1 年和连作 5 年的植烟土壤中, 添加干牛粪(畜禽粪便)、菜籽饼粕(豆饼油枯)和玉米秸秆炭(生物炭)3 种农业废弃物降低了土壤 pH, 提高了土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾的含量; 3) 施加 3 种农业废弃物能够改变真菌的多样性和群落结构, 显著降低了烤烟根腐病致病菌——镰刀菌属(*Fusarium*)的相对丰度, 增加了生防菌毛壳菌属(*Chaetomium*)的相对丰度, 对烟草根腐病有一定的抑制效果。因此, 施加干牛粪、菜籽饼粕和玉米秸秆炭均能够有效改善云南大理州植烟土壤的理化性质, 有利于缓解烤烟连作产生的真菌性土传病害, 在一定程度上能够缓解烤烟连作障碍。相较于干牛粪和玉米秸秆炭, 施加菜籽饼粕消减烤烟连作障碍的效果更好。该研究可为研发消减烤烟连作障碍有机肥产品的原料选取提供理论支撑。

**关键词** Meta 分析; 农业废弃物; 烤烟; 连作障碍; 土壤微生物; 致病菌

中图分类号 S154.3

文章编号 1007-4333(2024)12-0111-16

文献标志码 A

## Study on the potential of difference agricultural wastes to the prevention and control of soil-borne diseases in flue-cured tobacco continuous cropping

YANG Donghan<sup>1</sup>, SUN Junwei<sup>2</sup>, LEI Jilin<sup>1</sup>, LI Dongjia<sup>1</sup>, YANG Ting<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>, LIU Rui<sup>1\*</sup>,  
ZHAO Guoming<sup>2\*</sup>, LI Juan<sup>2</sup>, WANG Han<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

收稿日期: 2024-06-28

基金项目: 中国烟草总公司云南省公司科技计划重大项目(2023530000241018)

第一作者: 杨冬寒(ORCID:0009-0002-5576-0392), 硕士研究生, E-mail: 13563740992@163.com

通讯作者: 刘蕊(ORCID:0000-0001-5073-4393), 副教授, 主要从事养分在植物-土壤-微生物中的循环及产生的环境效应防治、土壤微生物与元素循环、绿色功能型稳定性肥料创制研究, E-mail: rliu@cau.edu.cn

赵国明(ORCID:0009-0002-0470-1050), 农艺师, 主要从事烟叶生产技术研发与推广, E-mail: zhgm214@126.com

2. Dali Branch of Yunnan Tobacco Company, Dali 671000, China;

3. Weishan Branch, Dali Prefecture Tobacco Company, Weishan 672400, China)

**Abstract** The aim of this study is to select the agricultural wastes, which are suitable for Dali Prefecture of Yunnan Province and have the effect of reducing the continuous cropping of flue-cured tobacco. Firstly, literature related to the reduction of continuous cropping obstacles of flue-cured tobacco were retrieved from the Web of Science and CNKI databases, and three categories of agricultural wastes having the effect of continuous cropping of flue-cured tobacco were identified by Meta-analysis. One type of easy-to-obtain agricultural wastes from each category was then selected, and the effects of three agricultural wastes on the soil physical and chemical properties and pathogenic bacteria of tobacco fields with different continuous cropping years (1 year and 5 years) were further explored through laboratory culture experiments. The results showed that: 1) The meta-analysis revealed that the application of biochar, oil cake, livestock and poultry manure could significantly increase the yields of continuous-crop flue-cured tobacco by 15.78%, 9.78%, and 7.43%, enhance the harmonization of the chemical compositions of continuous cropping flue-cured tobacco, and significantly increase the contents of organic matter by 31.61%, 24.37%, and 13.41%, and available potassium in continuous-crop soils by 27.95%, 26.35%, and 20.02%, respectively; 2) Compared with the addition of no agricultural wastes, the addition of three kinds of agricultural wastes, namely dry cow dung (livestock and poultry manure), rapeseed cake meal (oil cake), and corn stover biochar (biochar) reduced soil pH and increased soil organic matter, total nitrogen, available nitrogen, available phosphorus, and available potassium contents in tobacco planting soils after 1 and 5 years of continuous cropping; 3) At the same time, the application of three kinds of agricultural wastes changed the diversity and community structure of soil fungi, significantly reduced the relative abundance of *Fusarium*, the causal agent of tobacco root rot, and increased the relative abundance of *Chaetomium*, the preventive fungus. Therefore, the application of dry cow dung, rapeseed cake meal, and corn stover biochar could effectively improve the physicochemical properties, microbial community structure, and diversity of the soil of tobacco planting in Dali Prefecture of Yunnan Province, which was conducive to mitigating the fungal soil-borne diseases produced by continuous cropping of flue-cured tobacco and reducing the barriers to the continuous cropping of flue-cured tobacco to a certain extent. Compared with dry cow dung and corn stover biochar, the application of rapeseed cake meal had the best effect on the reduction of the continuous cropping obstacle of tobacco in Dali Prefecture, Yunnan Province. This study provided theoretical support for the selection of raw materials for the development of organic fertilizer products for the reduction of continuous cropping obstacles in flue-cured tobacco.

**Keywords** Meta-analysis; agricultural waste; flue-cured tobacco; continuous cropping obstacle; soil microorganisms; pathogenic bacteria

在烟草种植中,烤烟是我国主要种植的烟草类型<sup>[1]</sup>。根据《2023中国统计年鉴》<sup>[2]</sup>数据,云南省烤烟种植面积和年产量均占全国烤烟总种植面积和产量的40%以上,是我国最大的烤烟种植和生产省域。烤烟是一种不耐连作的作物,但由于耕地面积的限制、高效益的驱使以及不合理的种植方式,同一块田地烤烟连作在国内外都是一种严重而普遍的现象<sup>[3]</sup>。云南地势复杂多样,耕地面积十分有限,大理州现有耕地仅占云南省耕地面积7%左右,同时由于其他非烟经济作物的种植,大理州的烤烟种植难以安排合理的轮作,不可避免地存在烤烟连作

现象。烤烟连作会导致土壤养分的流失和土壤中氮、磷、钾的不平衡<sup>[4]</sup>。即使短期连作也会导致烟叶产量下降20%~100%,并伴随着卷烟品质的下降<sup>[5]</sup>,造成了巨大的经济损失,严重影响了烤烟生产的可持续发展。农业废弃物是农业生产过程中产生的废弃有机物,主要包括作物秸秆、畜禽粪便、农作物加工过程中产生的废弃物等<sup>[6]</sup>。废弃物秸秆富含氮、磷、钾等多种养分和有机质,畜禽粪便含有氮、磷、钾、钙、镁、锌等营养元素,都是可利用的有机生物资源<sup>[7]</sup>。农业废弃物秸秆、畜禽粪便等进行肥料化利用,可减少化肥的施用,有助于提高作物

产量,并且有效改善土壤状况<sup>[8]</sup>。不同农业废弃物对烤烟的生长发育和产质量有着不同的影响<sup>[9]</sup>,而烤烟的生长发育和产质量与土壤结构和肥力密切相关。有机肥料投入较少,会导致土壤板结和养分失衡,显著影响了烟株的生长发育,使得烟叶产量和品质下降<sup>[10]</sup>。宗胜杰<sup>[11]</sup>研究表明,施用农业有机废弃物生物炭能够有效改善连作土壤理化性状,促进烟株生长发育,提高烤后烟叶常规化学成分协调性,提升烟叶品质;施用有机肥料能够改善土壤的保水性、孔隙性、化学性和生物性等理化性质<sup>[12]</sup>,还可以减轻连续种植对烟草生产造成的危害<sup>[13]</sup>;段玉琪等<sup>[14]</sup>研究发现有机肥料可以显著提高土壤有机质含量,从而改善微生物和土壤酶活性,减少病虫害发生,提高烟草产量,合理施用能够有效减轻烟草连作障碍;施用合适的有机肥料不仅能够改善土壤理化性质,还能调控连作土壤细菌群落和功能代谢,从而提高烟草的产量与烟叶品质<sup>[15]</sup>;金亚波等<sup>[16]</sup>研究表明烟秆和鸡粪能够显著提高连作植烟土壤有机质的含量,菌渣能够显著提高土壤有效磷和速效钾的含量,可见不同种类的有机废弃物对于土壤养分的提升效果不同。与不施加农业废弃物相比,施加农业废弃物或农业废弃物发酵的有机肥能够改善连作烟田土壤的质量,增加烤烟产量,提高烟叶品质,缓解烤烟连作障碍,但是不同类型的农业废弃物对烤烟连作障碍的消减效果存在差异,试验结果往往受到农业废弃物的施用量、烤烟品种、植烟土壤类型、烤烟连作年限等因素的影响。因此,有必要总结不同类型的农业废弃物的试验结果,对已有的试验结果进行综合分析后,对综合分析结果再进行试验验证。本研究拟在 Web of Science 和中国知网数据库中获得与消减烤烟连作障碍研究相关文献的基础上,采用 Meta 分析的理论与方法<sup>[17-20]</sup>,探究施用不同农业废弃物和不同有机原料的有机肥对连作烟田土壤理化性质、烤烟产量与烟叶化学成分及协调性的影响,筛选出对烤烟连作障碍消减效果突出的农业废弃物;在此基础上,以云南大理州不同连作年限的植烟土壤为研究对象,进行实验室培养试验,研究不同农业废弃物对连作土壤理化性质和微生态的影响,从而筛选出对云南大理州烤烟连作障碍有消减效果的农业废弃物,以期为研发消减烤烟连作障碍有机肥产品的原料选取提供理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 Meta 数据收集及提取

通过检索“烤烟”“连作”“有机物料”“农业废弃物”“有机肥”“秸秆”“畜禽粪便”“生物炭”“大田试验”等关键词构成的检索式,查阅 Web of Science 和中国知网数据库 2000 年后公开发表的文献和学位论文。文献筛选标准如下:1)处理组施用秸秆、畜禽粪便、生物炭等有机废弃资源;2)处理组与对照组的管理措施相同;3)测定土壤理化性质、烟叶化学成分、烤烟农艺性状和经济性状;4)以盆栽试验和大田试验为基础。最终筛选得到符合标准的 55 篇中文文献及 5 篇英文文献,共 60 篇文献。优先从这些文献的表格和文本中提取数据,其次使用软件 Origin 2022 将图形数字化进行数据提取。本研究选择了土壤理化性质(pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾)、烤烟农艺性状(株高、茎围和有效叶片数)、烟叶产量、烟叶化学成分(烟碱、还原糖、总氮、总糖、钾(K<sub>2</sub>O)、氯(Cl)、糖碱比、氮碱比、钾氯比)作为解释变量,以研究不同农业废弃物对烤烟连作障碍的消减效果。

### 1.2 土壤培养试验供试材料

试验于 2023 年 11 月在中国农业大学西校区进行。供试土壤于 2023 年 10 月采自云南大理州洱源县三营镇,连作年限分别为 1 年(26.20°E;99.99°N)和 5 年(26.20°E;99.98°N),土壤风干后进行过筛处理备用。供试农业废弃物为干牛粪、菜籽饼粕和玉米秸秆炭,均为市售农业废弃物。其中:干牛粪来自于曹县恒健生态农业社,基础理化性质为有机碳 45.08%、总碳 14.51%、全氮 2.00%、全磷 1.45%、全钾 621.03 ppb、pH 6.22<sup>[21]</sup>;菜籽饼粕来自于娄底市娄星区天之原榨油坊,基础理化性质为有机碳 377 g/kg、全氮 55.0 g/kg、全磷 1.04 g/kg、全钾 1.2 g/kg<sup>[22]</sup>。玉米秸秆炭来自于巩义市升翔活性炭经营部,基础理化性质为有机碳 42.21%、全氮 8.34%、全磷 2.31%、全钾 16.12%、pH 9.46。本研究供试土壤基础理化性质详见表 1。

### 1.3 土壤培养试验设计

试验共设 8 个处理:1Y-CK,1 年连作土壤,不添加农业废弃物;1Y-T1,1 年连作土+牛粪;1Y-T2,1 年连作土+菜籽饼粕;1Y-T3,1 年连作土+玉米秸秆炭;5Y-CK,5 年连作土壤,不添加农

表1 供试土壤基础理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil

| 连作年限/年<br>Continuous<br>cropping year | pH   | w(有机质)/<br>(g/kg) | w(全氮)/<br>(g/kg) | w(碱解氮)/<br>(mg/kg) | w(有效磷)/<br>(mg/kg)s | w(速效钾)/<br>(mg/kg) |
|---------------------------------------|------|-------------------|------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1                                     | 8.06 | 77.03             | 4.50             | 260.23             | 43.70               | 359.35             |
| 5                                     | 7.87 | 53.13             | 3.15             | 193.06             | 115.19              | 537.99             |

业废弃物;5Y-T1,5年连作土+牛粪;5Y-T2,5年连作土+菜籽饼粕;5Y-T3,5年连作土+玉米秸秆炭。分别称取50 g风干处理后的不同连作年限土样于200 mL塑料培养瓶中,每个处理设置3个重复。设置土壤含水量为40%田间持水量(WHC),在室温条件下进行预培养3 d,以恢复土壤的生物学活性。预培养过程中用黑色塑料布遮盖以防止土壤水分散失。预培养结束后,将农业废弃物与土样混合均匀, $m(\text{农业废弃物}):m(\text{土壤})=3\%$ <sup>[23-25]</sup>,补充水分至60%土壤含水量,进行正式培养。每2~3 d补充一次水分,培养21 d。

1.4 土壤样品采集

正式培养结束后,进行破坏性取样。每个土样混匀后,一部分样品在室温下风干,研磨并分别过筛,用于测定土壤理化性状;另一部分取2 g左右土样装入无菌自封袋中置于-80℃条件下保存用于DNA高通量测序分析。

1.5 土壤理化性质测定

参照《烟草栽培学实验指导》<sup>[26]</sup>测定土壤养分指标,土壤pH采用酸碱度玻璃电极法测定;土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量分别采用硫酸-重铬酸钾容量法、碱解扩散法、氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗比色法和醋酸铵浸提-火焰光度法测定。

1.6 土壤微生物群落多样性及结构分析

土壤样品DNA提取、PCR扩增、PCR产物鉴定、纯化及定量、测序文库构建和高通量测序均由上海美吉生物医药科技有限公司进行操作,利用Illumina PE300/PE250平台进行测序。使用UPARSE v7.1软件<sup>[27-28]</sup>,根据97%的相似度对质控拼接后的序列进行操作分类单元(Operational Taxonomic Unit, OTU)聚类并剔除嵌合体,去除所有样品中注释到叶绿体和线粒体序列(如果样本存在叶绿体和线粒体污染,则建议剔除)。为了尽量减少测序深度对后续Alpha多样性数据分析的影

响,将所有样本序列数抽平至20 000,抽平后,每个样本的平均序列覆盖度仍可达99.09%。利用RDP classifier<sup>[29]</sup>比对Unite ITS基因数据库(v8.0)进行OTU物种分类学注释,置信度阈值为70%,并在不同物种分类水平下统计每个样本的群落组成。

1.7 数据分析

采用Meta分析方法来评估农业废弃物对烤烟连作障碍的影响,将Meta分析最常用的响应比(Response Ratio, RR)的自然对数(lnRR)作为效应量,分析不同类型农业废弃物对烤烟连作障碍的消减效果。lnRR计算方法如下:

$$\ln RR = \ln \frac{x_e}{x_c} = \ln x_e - \ln x_c$$

式中: $x_c$ 为各对照组(CK)的平均值; $x_e$ 为处理组的平均值。为了更加直观的表达,使用变化率来表示效应量:

$$\text{Effect} = (e^{\ln RR} - 1) \times 100\%$$

若农业废弃物施入连作烟田后,农业废弃物对烤烟连作障碍有一定的消减效果,则结果为正的百分值;反之,则结果为负的百分比值<sup>[30]</sup>。

由于数据集中报道标准偏差的研究较少,因此为避免极端权重的影响,各效应量通过对应试验设置的重复数来进行附加权重(Weight)的分析<sup>[31]</sup>,计算公式如下:

$$w = \frac{n_e \times n_c}{n_e + n_c}$$
$$V = \frac{1}{w} = \frac{n_e + n_c}{n_e \times n_c}$$

式中: $n_c$ 为各对照组设置的重复数; $n_e$ 为各处理组设置的重复数。采用随机效应模型计算各处理后土壤理化性质(pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾)、烤烟农艺性状(株高、茎围和有效叶片数)、烟叶产量、烟叶化学成分(烟碱、还原糖、总氮、总糖、钾(K<sub>2</sub>O)、氯(Cl)、糖碱比、氮碱比、钾氯比)的平

均值,并通过随机抽样迭代 4 999 次的方式来获得 95% 置信区间(CIs)。

Meta 分析使用 Zotero 软件完成文献的初步筛选,使用 Microsoft Excel 软件对提取的数据进行统计整理,构建数据库。使用 Metawin 软件完成上述数据分析和计算。图形使用 Origin 2022 软件进行绘制。

土壤理化性质数据经 Microsoft Excel 软件初步整理后,采用 IBM SPSS Statistics 26 软件先进行单因素方差分析,再进行组间相关性分析,最后采用 Origin 2022 软件进行图形绘制。

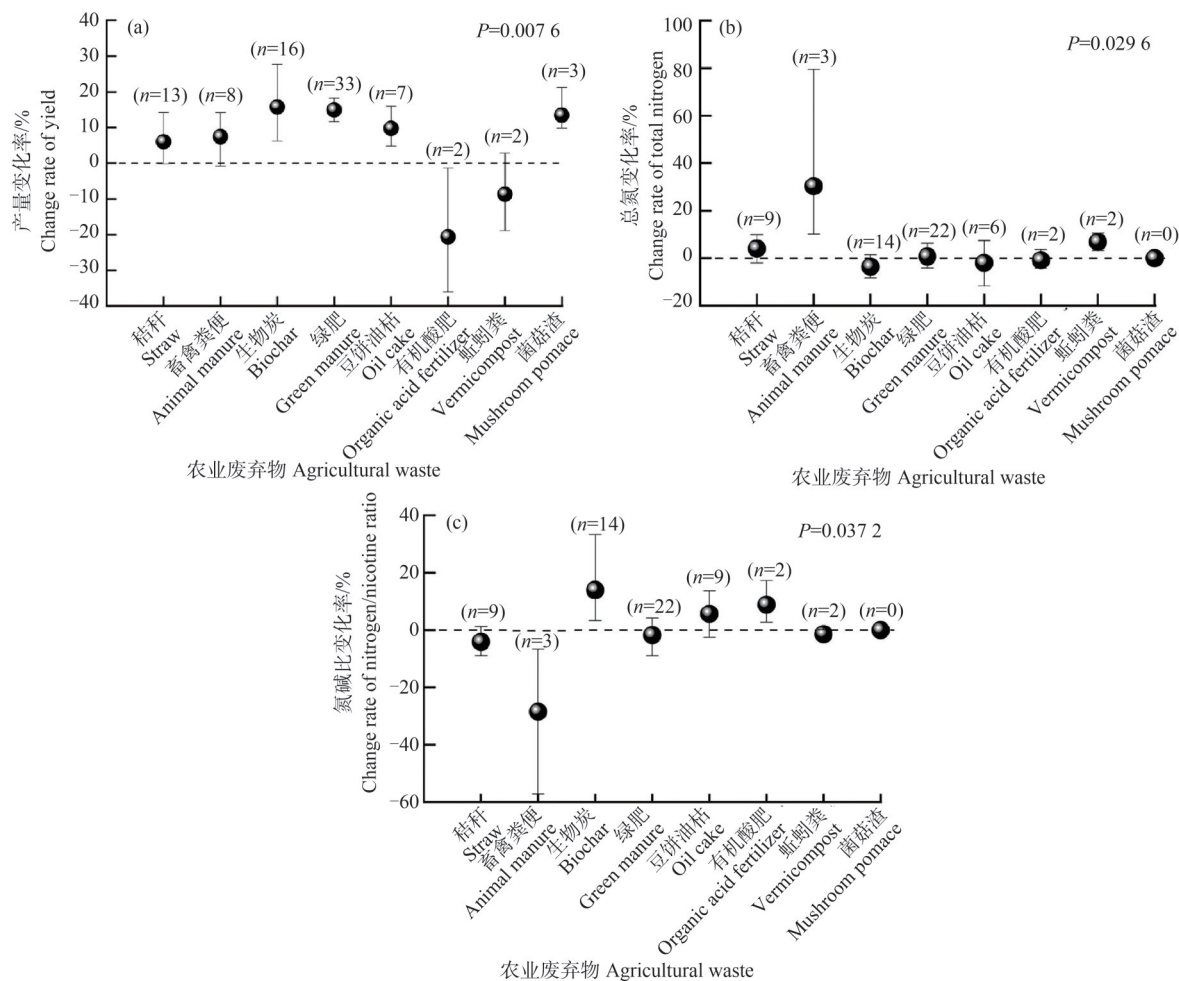
土壤微生物数据分析均在美吉生物云平台(<https://cloud.majorbio.com>)上进行。具体如下:采用 mothur 软件<sup>[32]</sup>计算 Alpha 多样性,包括 Shannon 和 Chao1 指数,并采用 One-way ANOVA 进行 Alpha

多样性的组间差异分析;使用 Source tracker 物种来源分析工具分析检验样本间微生物群落结构的相对丰度。最后利用 R 语言(version 3.3.1)工具作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同农业废弃物的施用对连作烤烟产量及烟叶品质的影响

不同农业废弃物的施用对连作烤烟产量及烟叶品质的影响分析结果见图 1。由图 1(a)可见,与施用常规化肥相比,在连作条件下,施加秸秆、畜禽粪便、生物炭、豆饼油枯、菌菇渣和翻压绿肥对烤烟的产量有显著的提高效果,其中施加生物炭效果最佳,增加了 15.78%(置信区间 6.16%~27.60%)的烟叶产量。



置信区间为 95%;  $n$  代表样本量。下同。

The confidence interval is 95%, and  $n$  represents the sample size. The same below.

图 1 不同类型农业废弃物作用下连作烟叶产量(a)、总氮(b)和氮碱比(c)变化率

Fig. 1 Change rate of different types of agricultural wastes on the yield (a), total nitrogen (b) and nitrogen/nicotine ratio (c) of continuous cropping flue-cured tobacco

烟叶品质更加注重烟叶化学成分之间的协调性。国际优质烟叶化学成分指标为:总氮含量范围为1.5%~3.5%;氮碱比( $m(\text{总氮})/m(\text{烟碱})$ )反映烟叶香气质量优势,并不是越大越好,一般以1或略<1为好。由图1(b)可以看出,与施用常规化肥相比,在连作条件下,施加秸秆、畜禽粪便和菌菇渣对烟叶总氮含量的增加均有显著的促进效果,其中,施加畜禽粪便效果最佳,增加了30.30%(置信区间10.06%~79.55%)的烟叶总氮含量。由图1(c)可见,在连作烟田中施加生物炭、豆饼油枯和有机酸肥对烟叶氮碱比均有显著影响,其中施加生物炭的效果最佳,增加了13.97%(置信区间3.27%~33.32%)的烟叶氮碱比。

## 2.2 不同农业废弃物的施用对连作植烟土壤理化性质的影响

不同农业废弃物的施用对连作植烟土壤理化性

质的影响分析结果见图2。由图2(a)可知,与施用常规化肥相比,在连作条件下,施加秸秆、畜禽粪便、生物炭等农业废弃物均能够增加连作土壤有机质含量。其中:施用生物炭的效果最佳,增加了31.61%(置信区间18.01%~48.51%)的有机质含量;施加蚯蚓粪肥和豆饼油枯也显著增加了连作土壤有机质含量,分别增加了28.00%(置信区间6.08%~49.39%)和24.37%(置信区间8.34%~53.23%)的有机质含量。由图2(b)可以看出,在连作条件下,施加秸秆、畜禽粪便、生物炭等农业废弃物均能够增加连作土壤速效钾的含量。其中:绿肥翻压还田促进效果最明显,提高了95.48%(置信区间47.48%~163.82%)的速效钾的含量;施加农业废弃物菌菇渣、生物炭和豆饼油枯也显著增加了连作土壤速效钾的含量,分别增加了33.92%(置信区间23.65%~56.85%)、27.95%(置信区间15.25%~45.57%)和

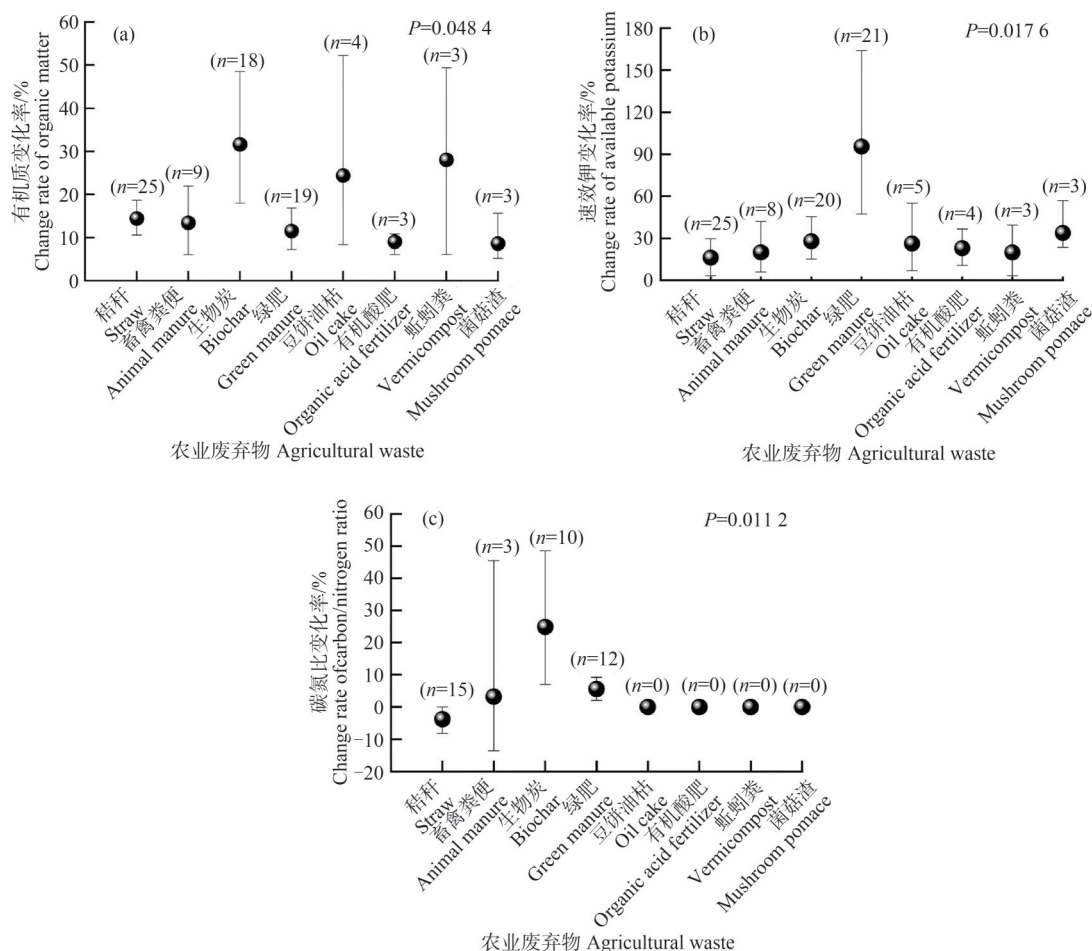


图2 不同类型农业废弃物作用下连作植烟土壤有机质(a)、速效钾(b)和碳氮比(c)变化率

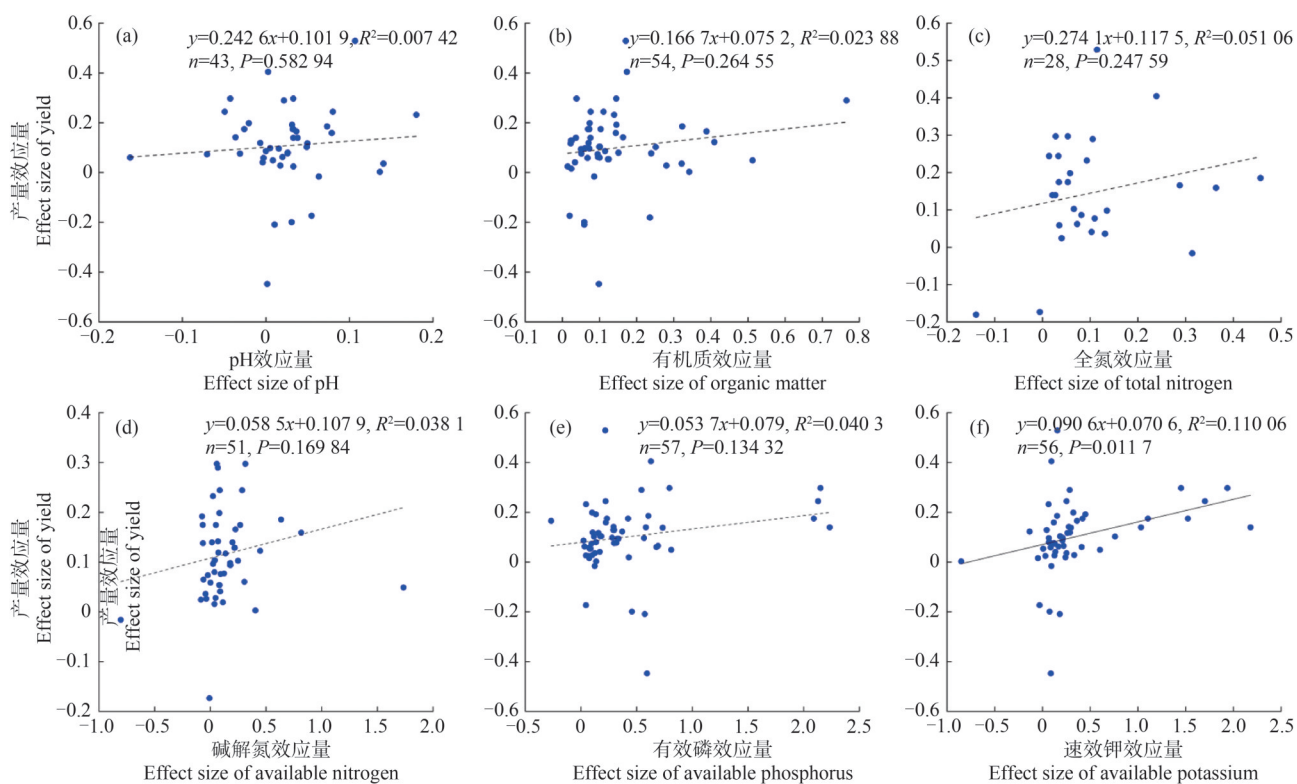
Fig. 2 Change rate of different types of agricultural wastes on organic matter (a), available potassium (b), and carbon nitrogen ratio (c) in continuous tobacco planting soil

26.35% (置信区间 6.85%~54.99%) 的速效钾含量。由图 2(c) 可见, 在连作条件下, 施加畜生物炭、豆饼油枯和有机酸肥能够显著增加连作土壤的碳氮比。其中, 生物炭的效果最好, 增加了 24.91% (置信区间 7.01%~48.47%) 的土壤碳氮比。

### 2.3 连作烤烟产量及烟叶品质与连作土壤理化性质的响应关系

在连作植烟土壤中施加不同农业废弃物, 烤烟产量及烟叶品质与土壤理化性质的响应关系分析结果见图 3~图 5。由图 3 可见, 连作土壤 pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷效应量与烤烟产量效应量

无显著相关性 ( $P>0.05$ ); 速效钾效应量与烤烟产量效应量呈显著正相关 (图 3(f),  $P<0.05$ )。图 4 显示, 连作土壤 pH、有机质、有效磷、速效钾效应量与烤烟烟叶总氮效应量无显著相关性 ( $P>0.05$ ); 全氮效应量与烟叶总氮效应量呈显著的负相关 (图 4(c),  $P<0.05$ ); 碱解氮效应量与烟叶总氮效应量呈显著负相关 (图 4(d),  $P<0.05$ )。从图 5 可以看出, 连作土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾效应量与烤烟烟叶氮碱比效应量无显著相关性 ( $P>0.05$ ); 全氮效应量与烟叶氮碱比效应量呈显著的正相关 (图 5(c),  $P<0.05$ )。



图表中虚线表示  $P>0.05$ , 实线表示  $P<0.05$ 。下同。

The dashed line represents  $P>0.05$ , and the solid line represents  $P<0.05$ . The same below.

图 3 连作烤烟产量效应量与连作土壤理化性质效应量的关系

Fig. 3 Relationship between yield effect size and soil physicochemical properties effect size of continuous cropping tobacco

### 2.4 3种农业废弃物对大理州不同连作年限烟田土壤理化性质的影响

施用3种农业废弃物对大理州不同连作年限烟田土壤理化性质的影响分析结果见图 6。与对照处理 (CK) 相比, 各处理的土壤 pH 均显著降低 (图 6(a)); 其中在 1 年连作土壤中, T1、T2、T3 处理 pH 下降幅度分别为 1.90%、9.06%、1.78%, 在 5 年连

作土壤中, T1、T2、T3 处理 pH 下降幅度分别为 1.52%、8.36%、1.08%。相较于 CK, T1、T2、T3 处理均显著提高有机质 (图 6(b))、全氮 (图 6(c))、有效磷 (图 6(e)) 和速效钾 (图 6(f)) 的含量, 其中在 1 年连作土壤中, 有机质含量的增幅分别为 6.05%、13.05%、28.49%, 全氮含量的增幅分别为 5.84%、31.24%、3.73%, 有效磷含量的增幅分别为

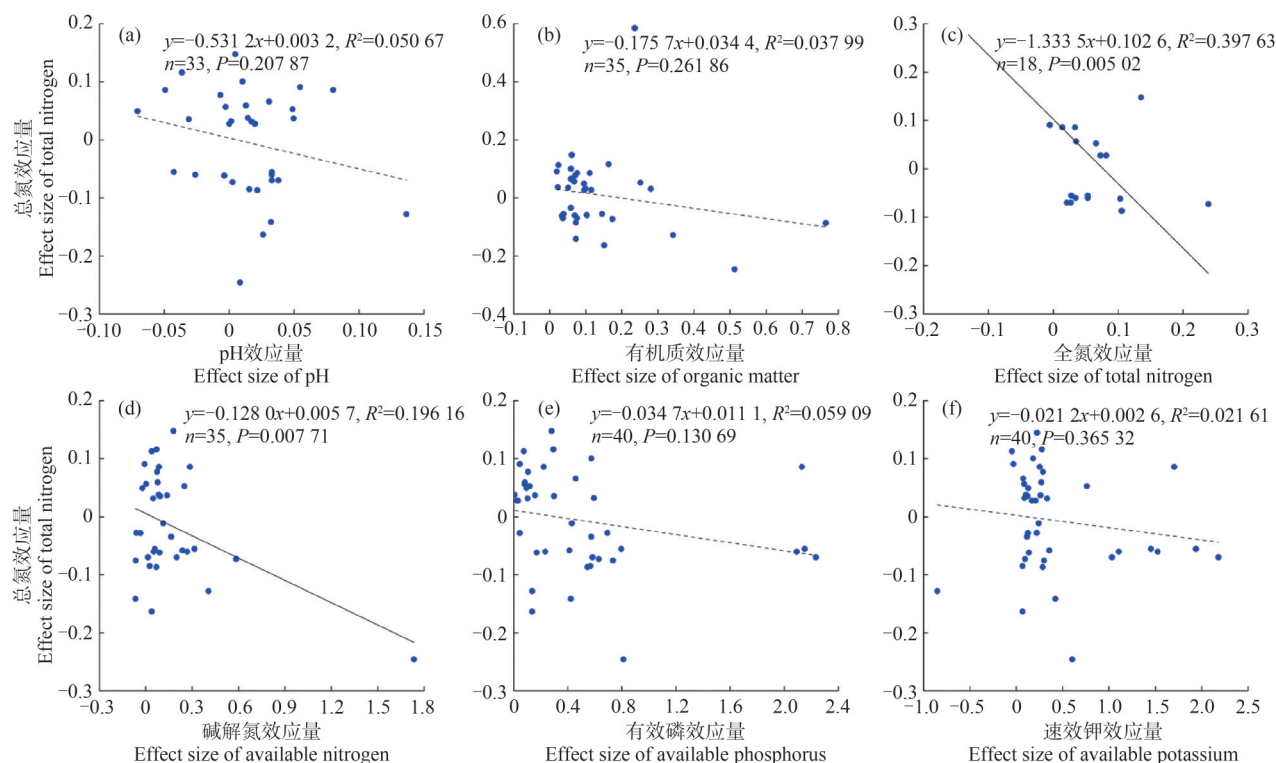


图4 连作烟叶总氮效应量与连作土壤理化性质效应量的关系

Fig. 4 Relationship between total nitrogen effect size of tobacco leaves and soil physicochemical properties effect size of continuous cropping tobacco

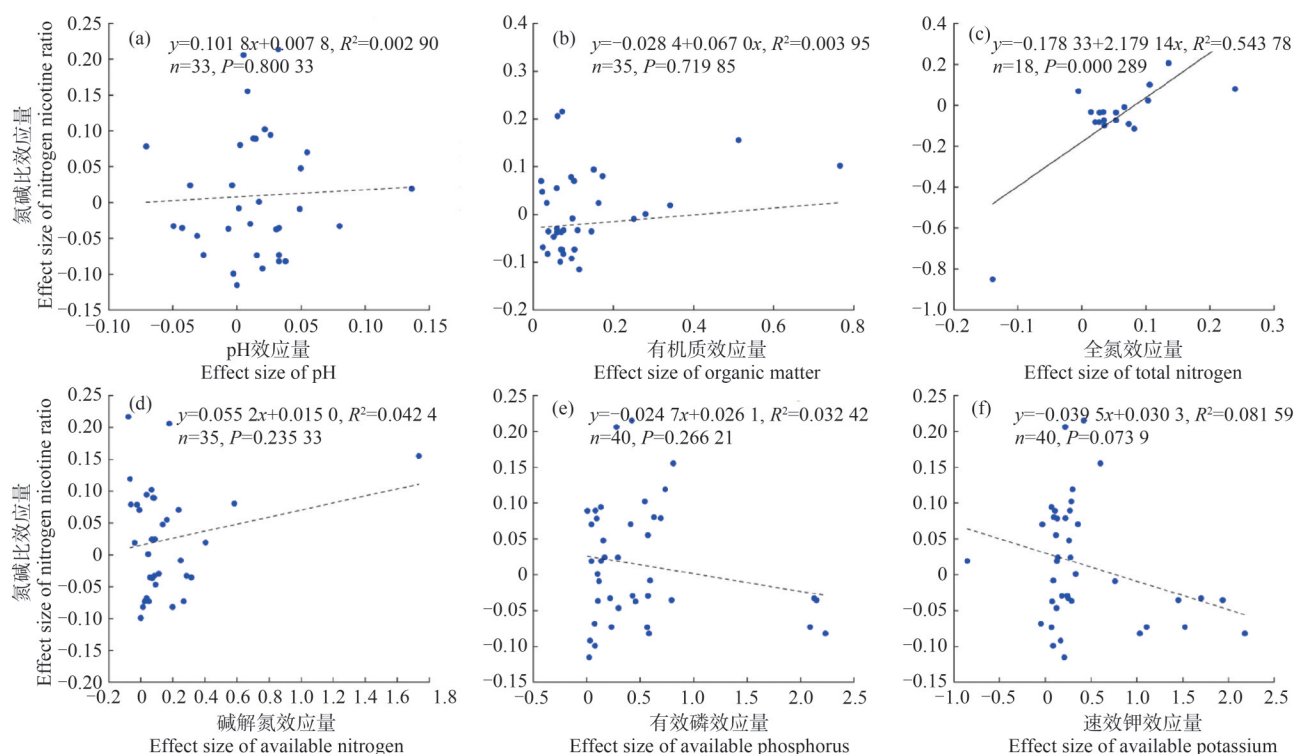
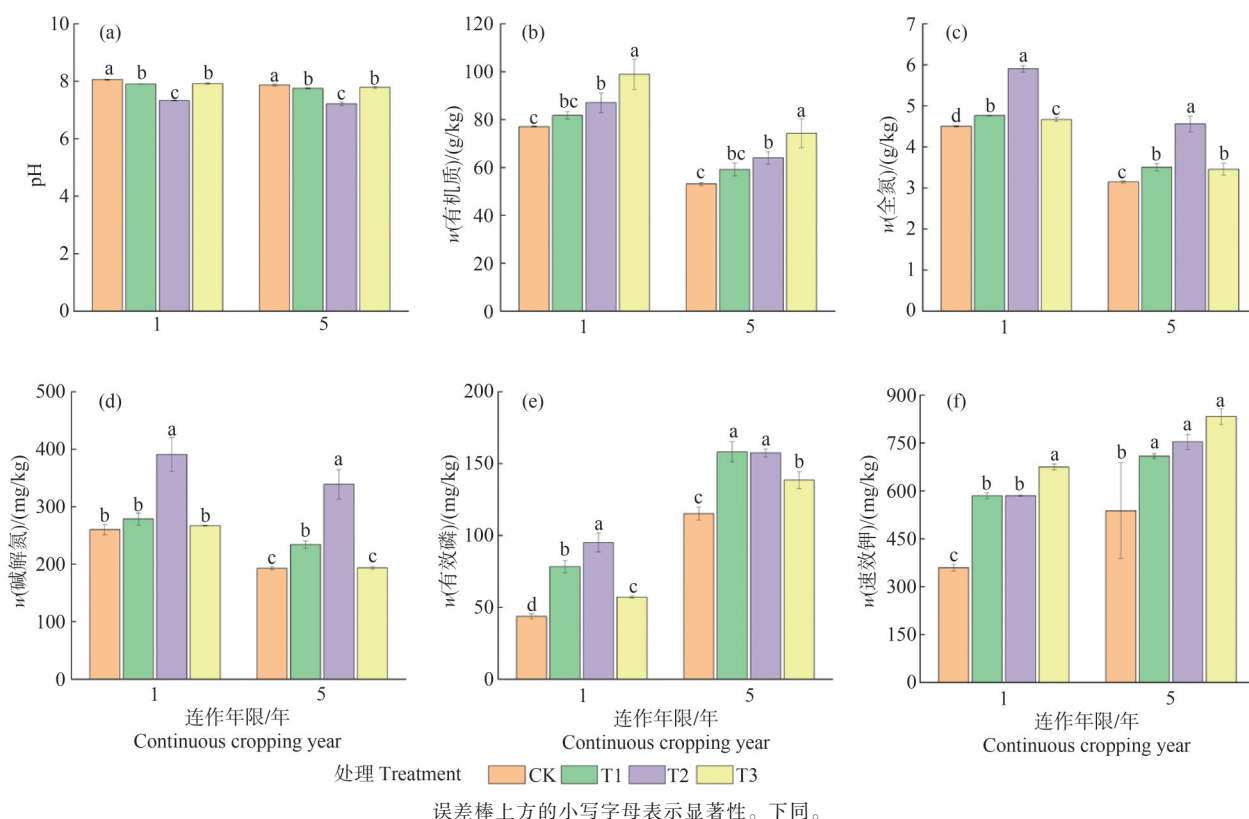


图5 连作烟叶氮碱比效应量与连作土壤理化性质效应量的关系

Fig. 5 Relationship between nitrogen nicotine ratio effect size of tobacco leaves and soil physicochemical properties effect size of continuous cropping tobacco



The lowercase letters above error bar indicate significance. The same below.

图 6 3 种农业废弃物对不同连作年限土壤理化性质的影响

Fig. 6 Effects of three agricultural wastes on soil physical and chemical properties of different continuous cropping years

79.26%、117.42%、30.66%，速效钾含量的增幅分别为 62.66%、62.82%、87.85%；在 5 年连作土壤中，有机质含量的增幅分别为 11.30%、20.46%、39.75%，全氮含量的增幅分别为 11.34%、44.90%、9.80%，有效磷含量的增幅分别为 37.33%、36.70%、20.28%，速效钾含量的增幅分别为 31.82%、40.04%、54.85%。相较于 CK，T1、T2、T3 处理均提高碱解氮含量(图 6(d))，在 1 年连作土壤中，T2 处理显著提高碱解氮含量，T1、T3 处理下碱解氮含量与 CK 无显著差异；在 5 年连作土壤中，T1、T2 处理显著提高碱解氮含量，T3 处理下碱解氮含量与 CK 无显著差异。

施用不同农业废弃物处理间比较，在连作 1、5 年植烟土壤中，T1、T3 处理间 pH 差异不显著，T2 处理的 pH 显著低于 T1、T3 处理(图 6(a))。相较于 T1、T2 处理，T3 处理显著提高了连作 1、5 年土壤有机质含量(图 6(b))。与 T1、T3 处理相比，T2 处理显著提高了连作 1、5 年土壤全氮和碱解氮含量(图 6(c)和(d))。在连作 1 年土壤中，相较于

T1、T3 处理，T2 处理显著提高了有效磷含量(图 6(e))；在连作 5 年土壤中，相较于 T3 处理，T1、T2 处理显著提高了有效磷含量(图 6(e))。与 T1、T2 处理相比，T3 处理显著提高了连作 1、5 年速效钾的含量(图 6(f))。

## 2.5 3 种农业废弃物对大理州连作烟田土壤真菌多样性的影响

施用 3 种农业废弃物对大理州不同连作年限烟田土壤真菌多样性的影响分析结果见图 7。在连作 1 年植烟土壤中，T1、T2 和 T3 处理的 Shannon 指数，和 Chao1 指数相较于 CK 无显著性差异。在连作 5 年土壤中，相较于 CK，T2 处理显著降低了真菌的 Shannon 指数，降低幅度为 28.32%；T3 处理显著提高了真菌的 Shannon 指数，增幅为 7.23%。在 Chao1 指数上，T1、T3 处理相较于 CK 显著提高了真菌的 Chao1 指数，增幅分别为 57.95% 和 67.83%；T2 处理相较于 CK 无显著性差异。

施用不同农业废弃物处理间比较，在连作 1 年

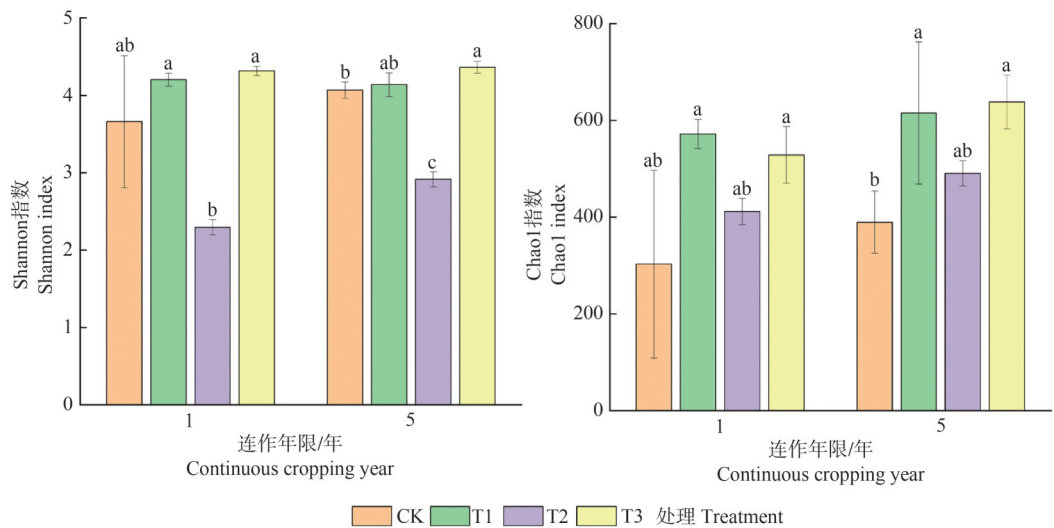


图7 3种农业废弃物对不同连作年限土壤真菌 Alpha多样性的影响

Fig. 7 Effects of three agricultural wastes on Alpha diversity of soil fungal in different continuous cropping years

土壤中,相较于T1、T3处理T2处理显著降低了真菌的 Shannon 指数,降低幅度分别为 45.42% 和 46.82%,T1、T3 处理间 Shannon 指数无显著性差异。在 Chao1 指数上,各处理间无显著性差异。在连作 5 年土壤中,T2 处理在 Shannon 指数上显著低于 T1、T3 处理,T1 和 T3 处理间 Shannon 和 Chao1 指数无显著性差异。以上结果表明,施用 3 种农业废弃物对连作 1 年土壤真菌群落多样性无显著影响;对 5 年连作土壤真菌群落多样性影响较大。

2.6 3 种农业废弃物对大理州连作烟田土壤真菌群落结构的影响

施用 3 种农业废弃物对大理州连作 1 年和 5 年的植烟土壤真菌群落结构的影响分析结果见图 8。由图 8(a)可见:在连作 1 年土壤中,添加农业废弃物的 T1、T2、T3 处理枝孢菌属 (*Cladorrhinum*) 的相对丰度均降低,分别降低了 15.87%、17.76% 和 15.61%,其中 T2 处理降低幅度最大;与 CK 相比,T1、T2、T3 处理增加了被孢霉属 (*Mortierella*) 的相对丰度,分别

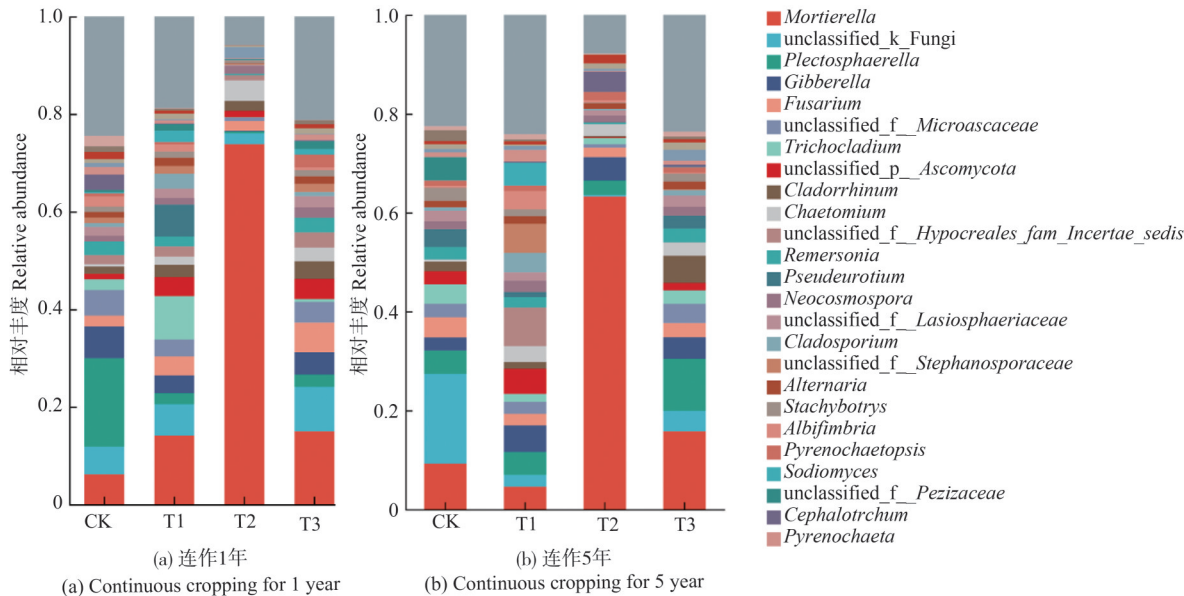


图8 施用 3 种农业废弃物对不同连作年限植烟土壤真菌属水平群落组成相对丰度的影响

Fig. 8 Effects of applying three agricultural wastes on the relative abundance of fungal genus composition in tobacco planting soil with different continuous cropping years

增加了 7.96%、67.67% 和 8.79%, 其中 T2 处理增幅最大; T1、T2、T3 处理降低了假散囊菌属 (*Pseudeurotium*) 的相对丰度, 分别降低了 2.85%、6.39% 和 1.92%, 其中 T2 处理降低幅度最大; T1 和 T3 处理增加了镰刀菌属 (*Fusarium*) 的相对丰度, 分别增加了 0.19% 和 1.23%, T2 处理降低了镰刀菌属的相对丰度, 降低幅度为 0.84%。T1、T2 和 T3 处理增加了毛壳菌属 (*Chaetomium*) 的相对丰度, 分别增加了 1.24%、3.76% 和 2.39%, 其中 T2 处理增幅最大。

由图 8(b) 可见: 在连作 5 年的土壤中, 添加农业废弃物的 T2、T3 处理相较于 CK 增加了被胞霉属的相对丰度, 分别增加了 54.02% 和 6.50%, T1 处理降低了被胞霉属的相对丰度, 降低幅度为 4.64%; 与 CK 相比, T1、T2、T3 处理降低了 unclassified\_k\_Fungi 的相对丰度, 分别降低了 15.80%、17.85% 和 13.97%, 其中 T2 处理降低幅度最大; 相较于 CK, T1、T2 和 T3 处理降低了镰刀菌属的相对丰度, 分别降低了 1.75%、2.19% 和 1.21%, 其中 T2 处理降低幅度最大; 相较于 CK, T1、T2 和 T3 处理增加了毛壳菌属的相对丰度, 分别增加了 2.80%、1.93% 和 2.21%, 其中 T1 处理增幅最大。由此可见, 在连作条件下, 添加 3 种农业废弃物对植烟土壤的真菌群落结构产生影响, 且对的不同真菌属相对丰度的影响存在差异。

### 3 讨 论

#### 3.1 施用农业废弃物对连作烟田土壤理化性质的影响

在连作条件下, 植烟土壤的养分含量由于植烟区域<sup>[33]</sup>、植烟土壤类型<sup>[34]</sup>、连作年限<sup>[35]</sup>而存在差异。有研究表明西南山区烤烟在连作种植条件下, 土壤有机质、硝态氮和速效钾的含量随着连作年限的增加不断下降, 有效磷呈先增加后下降的趋势, 烤烟生长受到抑制<sup>[36]</sup>。本研究结果表明, 在云南大理州烟区, 与连作 1 年相比, 连作 5 年导致土壤 pH 下降, 未出现酸化现象 ( $\text{pH} > 7$ ), 有机质含量减少, 全氮、碱解氮含量呈下降趋势, 而有效磷、速效钾的含量呈上升趋势 (图 6), 与刘勇成等<sup>[37]</sup>研究结果一致。

土壤养分是由土壤提供给植物生长所必需的营养元素, 其中速效养分能够被植物直接吸收利用, 反映土壤肥力, 可以通过人为施加有机废弃物

和有机肥来调节土壤养分含量, 以满足作物对养分的需要。有研究发现, 施用烟草秸秆生物炭显著提高了土壤 pH, 水稻秸秆生物炭与烟草秸秆生物炭和猪粪配施显著提高了土壤有机质、碱解氮和速效钾的含量<sup>[38]</sup>。牛粪属于优质的有机资源, 含有丰富的烤烟生长所需的氮、磷、钾等营养元素, 能够显著提供土壤的养分状况<sup>[39-40]</sup>。本研究结果表明, 施加农业废弃物干牛粪、菜籽饼粕和玉米秸秆炭使得连作植烟土壤的 pH 下降, 但仍未达到酸化水平 ( $\text{pH} > 7$ ), 土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾的含量增加, 能够有效改善连作烟田土壤的理化性质。土壤有机质是烟草养分的重要来源, 其含量直接影响着烟草的生长发育、产量及品质, 同时在烟区土壤性状改良等方面起着重要作用<sup>[41]</sup>。在连作土壤中施加有机废弃物可以提高土壤中有有机质的含量, 特别是活性有机质的含量来增强土壤养分循环, 从而提高了连作土壤的 pH, 增加了碱解氮、速效钾的含量, 促进烟株的生长, 在一定程度上缓解了烤烟连作障碍<sup>[42]</sup>。综合 3 种农业废弃物 (干牛粪、菜籽饼粕和玉米秸秆炭) 对不同连作年限的植烟土壤理化性质的改良效果来看, 施加菜籽饼粕对云南大理州连作土壤理化性质的改善效果更好。

#### 3.2 施用农业废弃物对连作烟田土壤真菌的影响

土壤微生物是土壤生态系统中重要的组成部分, 在驱动土壤生态系统服务和功能方面发挥着关键的作用<sup>[43]</sup>。有研究表明烤烟连作会提高土壤真菌多样性, 烟田连作土壤真菌群落结构均会发生较大变化<sup>[44]</sup>, 这是由于连作使得根际次生代谢产生化感作用改变了真菌的群落结构, 导致真菌繁殖<sup>[45]</sup>。本研究中, 与短期连作 (连作 1 年) 相比, 中长期连作 (连作 5 年) 使得土壤真菌的多样性提高, 改变土壤真菌群落结构, 与饶德安等<sup>[46]</sup>和齐虹凌等<sup>[47]</sup>研究结果基本一致。

烤烟病害的发病率与连作年限呈正相关<sup>[48]</sup>。有研究表明, 随着烤烟连作年限的增加, 烤烟根腐病有加重的趋势<sup>[49]</sup>, 根腐病是由镰刀菌属 (*Fusarium*) 真菌侵染引起<sup>[50]</sup>。有研究表明这种病原菌会引发连作障碍<sup>[51-52]</sup>。本研究中, 与连作 1 年相比, 连作 5 年使得土壤中镰刀菌属 (*Fusarium*) 相对丰度增加 (图 8), 这将提高烤烟根腐病的发病率。毛壳菌属 (*Chaetomium*) 是一种重要的植物病原菌生防菌, 这对后期促进烟株生长, 防治烟草病害提供了一个很

好的方向<sup>[53-54]</sup>。本研究中相较于连作1年的植烟土壤,连作5年的植烟土壤中毛壳菌属(*Chaetomium*)相对丰度降低(图8),这不利于防治烟草病害。

有研究结果表明,在土壤中添加农业废弃物生物炭后,增加了土壤真菌的丰度,改变了真菌在属水平上的群落结构,降低了几种潜在作物病原菌的相对丰度,可能有利于抑制作物病害的发生<sup>[55]</sup>。施加有机改良剂油枯和猪粪堆肥能够增加土壤微生物丰度,显著增加了真菌/细菌的比值<sup>[56]</sup>。施加水稻秸秆生物炭促进了植烟土壤真菌群落多样性,影响微生物群落结构<sup>[57]</sup>。本研究结果表明,施加干牛粪、菜籽饼粕和玉米秸秆炭对连作5年植烟土壤真菌的影响较为显著,能够提高真菌的多样性和丰富度,同时,改变了连作土壤真菌群落结构,降低了土壤镰刀菌属(*Fusarium*)相对丰度,增加了毛壳菌属(*Chaetomium*)相对丰度,在一定程度上缓解了烤烟病害,削减了烤烟的连作障碍。综合3种农业废弃物对不同连作年限的植烟土壤真菌的影响来看,施加菜籽饼粕对云南大理州连作土壤真菌性致病菌的抑制效果更为显著。

### 3.3 施加农业废弃物对连作烤烟产量及烟叶品质的影响

连作会降低烤烟的产量,使烟叶化学成分失衡,从而恶化烟草品质。短时间的烟田连作对烟叶产量影响较小,对烟叶品质影响轻微,表现为总氮和烟碱浓度升高,总糖和还原糖浓度降低<sup>[58]</sup>。长期连作对烟叶化学成分的积累及呼吸质量有很大的影响<sup>[59]</sup>,使得烟叶中烟碱和总氮含量显著增加,总糖和还原糖的含量明显下降;烟叶中致香物质含量下降,香气质和香气量有所下降,降低烟叶的可用性<sup>[60]</sup>。

烤烟农艺性状指标能够直观反映出烟株生长发育状况,与烤烟产量密切相关<sup>[61]</sup>。有研究表明,与不施肥相比,在施加烟草专用肥的基础上施加腐熟鸡粪有机肥能够显著增加烟株的株高和有效叶片数,并且发现土壤养分与烟株的长势密切相关,即土壤的肥力越高,烟株的长势越好,产量越高<sup>[62]</sup>。在连作烟田施用烟秆生物炭后,烟叶的产量和产值显著提高<sup>[63]</sup>。牛粪与不同植物油粕(菜籽饼粕有机肥、豆粕有机肥、花生麸有机肥和芝麻粕有机肥)混施均能提高烟叶产量<sup>[64]</sup>。本研究Meta分析结果表明,相较于其他农业废弃物,施加生物炭,能够显著

提高烤烟的产量。生物炭除了能够直接提供植物生长所需要的养分,还因其独特的孔隙结构,吸附固定土壤中养分,促进植物生长<sup>[65]</sup>。生物炭能够改变土壤结构及物理性状,进一步影响土壤的透气性和持水量,间接影响土壤中的养分循环<sup>[66]</sup>。

已有研究表明,在连作烟田中施加有机废弃物能够有效改善烤烟的化学成分的协调性,增加烟叶中性香气物质含量,提高烟叶的感官质量<sup>[67]</sup>。本研究Meta分析结果表明,在连作烟田中施加秸秆和畜禽粪便,能够显著增加烤烟烟叶总氮的含量,进而影响烟叶化学成分的协调性,这与李影等<sup>[68]</sup>的研究结果一致,施加玉米秸秆能够提高烤烟生长前期的烟叶氮含量,施加猪粪能够提高烤烟生长中期的烟叶氮含量。张凤侠等<sup>[69]</sup>研究发现施加牛粪降低了烤烟烟叶总氮含量,但是烟叶品质得到改善。这种不一致是由于烟叶品质是烟叶中多个化学成分共同决定的,烟叶总氮成分的升高和降低无法判断烟叶品质的优劣。整体而言,施加牛粪能增加致香物质的含量,促进烟叶化学成分趋于协调,从而提高烟叶品质<sup>[70]</sup>。

因此,在连作烟田土壤中施加生物炭、畜禽粪便、菜籽饼粕等农业废弃物能够促进烟株发育,提高烟叶产量。同时,有助于改善烟叶的化学成分的协调性,提升烟叶品质。

## 4 结 论

本研究以云南大理州连作植烟土壤为研究对象,探究不同农业废弃物对云南大理州连作植烟土壤理化性质和微生态的影响,旨在筛选出适宜云南大理州且对烤烟连作障碍有消减效果的农业废弃物。主要结论如下:

1) 相较于其他农业废弃物,施加生物炭、畜禽粪便和豆饼油枯3大类农业废弃物能够增加连作烤烟产量,提升烟叶品质,改善连作土壤理化性质。

2) 在连作条件下,施加干牛粪、菜籽饼粕和玉米秸秆炭均能够有效改善云南大理州植烟土壤的理化性质和微生态环境,有利于缓解因烤烟连作而产生的真菌性土传病害,促进烟草生长发育,在一定程度上缓解烤烟连作障碍。

3) 相较于干牛粪和玉米秸秆炭,施加菜籽饼粕对于云南大理州连作土壤改良效果更好,有效抑制真菌性的土传病害。菜籽饼粕是易获取的农业废弃物,可作为研发消减烤烟连作障碍有机肥产品的

主要原料。

## 参考文献 References

- [1] Zhang Q Y, Geng Z Z, Li D L, Ding Z Y. Characterization and discrimination of microbial community and co-occurrence patterns in fresh and strong flavor style flue-cured tobacco leaves [J]. *MicrobiologyOpen*, 2020, 9(2): e965
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴 2023[R]. 北京: 中国农业出版社, 2023  
National Bureau of Statistics of China. 2023 China Statistical Yearbook [R]. China Agriculture Press, 2023 (in Chinese)
- [3] Yuan L, Zhang Z C, Cao X C, Zhu S C, Zhang X, Wu L H. Responses of rice production, milled rice quality and soil properties to various nitrogen inputs and rice straw incorporation under continuous plastic film mulching cultivation[J]. *Field Crops Research*, 2014, 155: 164-171
- [4] Wang S N, Cheng J K, Li T, Liao Y C. Response of soil fungal communities to continuous cropping of flue-cured tobacco[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 19911
- [5] Chen J, Cai K, Sun H, Zhao S, Liu H, Shi L, Zheng Y N. Investigation and analysis of continuous cropping of flue-cured tobacco in Henan Province [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44 (11): 34-37
- [6] 胡凯. 开发利用农业废弃物发展绿色循环新农业[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(11): 110-111  
Hu K. Development and utilization of agricultural waste and development of green recycling new agriculture [J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2021, 11(11): 110-111(in Chinese)
- [7] 朱建春. 陕西农业废弃物资源化利用问题研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2014.  
Zhu J C. Study on resource utilization of agricultural wastes in Shaanxi Province[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014 (in Chinese)
- [8] 刁润丽. 农业废弃物的资源化利用及问题分析[J]. 广西农学报, 2021, 36(2): 60-63  
Diao R L. Resource utilization and problem analysis of agricultural waste [J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2021, 36(2): 60-63 (in Chinese)
- [9] 许洪庆, 刘素参, 吕大树, 张亚恒, 梁增发, 王维. 稻壳有机物料对烤烟生长发育及产质量形成的影响[J]. 作物研究, 2022, 36(3): 219-225  
Xu H Q, Liu S S, Lyu D S, Zhang Y H, Liang Z F, Wang W. Effects of rice husk organic materials on the growth, development, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Crop Research*, 2022, 36(3): 219-225 (in Chinese)
- [10] 郑梅迎, 刘玉堂, 张忠锋, 程森, 蔡宪杰, 朱启法, 薛琳, 徐茜, 林伟, 张继光. 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  
Zheng M Y, Liu Y T, Zhang Z F, Cheng S, Cai X J, Zhu Q F, Xue L, Xu Q, Lin W, Zhang J G. Effect of straw returning on soil aggregate characteristics and tobacco yield and quality [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2019, 40(6): 11-18(in Chinese)
- [11] 宗胜杰. 生物炭用量对重庆酸性植烟土壤性状及烤烟品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学, 2016.  
Zong S J. Effects of biochar dosage on soil properties and flue-cured tobacco quality in Chongqing acid tobacco-growing area[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [12] Brar B S, Singh J, Singh G, Kaur G. Effects of long term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize-wheat rotation[J]. *Agronomy*, 2015, 5(2): 220-238
- [13] Su Y, Zi H Y, Wei X M, Hu B B, Deng X P, Chen Y, Jiang Y L. Application of manure rather than plant-origin organic fertilizers alters the fungal community in continuous cropping tobacco soil[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 818956
- [14] 段玉琪, 陈冬梅, 晋艳, 王海斌, 杨宇虹, 尤垂淮, 田卫霞, 林文雄. 不同肥料对连作烟草根际土壤微生物及酶活性的影响[J]. 中国农业科技导报, 2012, 14(3): 122-126  
Duan Y Q, Chen D M, Jin Y, Wang H B, Yang Y H, You C H, Tian W X, Lin W X. Effect of different fertilizers on continuous tobacco cropping rhizospheric soil microorganisms and enzyme activities [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2012, 14(3): 122-126 (in Chinese)
- [15] Chen D, Wang M, Wang G, Zhou Y J, Yang X E, Li J Z, Zhang C P, Dai K. Functional organic fertilizers can alleviate tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) continuous cropping obstacle via ameliorating soil physicochemical properties and bacterial community structure [J]. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2022, 10: 1023693
- [16] 金亚波, 寇智瑞, 韦建玉, 黄崇峻, 李承荣, 周鑫斌. 有机物料对黄壤烟田土壤团聚体组成及土壤肥力的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2020, 42(8): 9-16  
Jin Y B, Kou Z R, Wei J Y, Huang C J, Li C R, Zhou X B. Effects of organic materials on soil available nutrients and aggregate composition in continuous cropping tobacco fields[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2020, 42(8): 9-16 (in Chinese)
- [17] 廖萍, 孟轶, 翁文安, 黄山, 曾勇军, 张洪程. 杂交稻对产量和氮素利用率影响的荟萃分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(8): 1546-1556  
Liao P, Meng Y, Weng W A, Huang S, Zeng Y J, Zhang H C. Effects of hybrid rice on grain yield and nitrogen use efficiency: A meta-analysis [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(8): 1546-1556 (in Chinese)
- [18] 马立晓, 李婧, 邹智超, 蔡岸冬, 张爱平, 李贵春, 杜章留. 免耕和秸秆还田对我国土壤碳循环酶活性影响的荟萃分析[J]. 中国农业科学, 2021, 54(9): 1913-1925  
Ma L X, Li J, Zou Z C, Cai A D, Zhang A P, Li G C, Du Z L. Effects of no-tillage and straw returning on soil C-cycling enzyme activities in China: Meta-analysis [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54 (9): 1913-1925 (in Chinese)
- [19] 孟轶, 翁文安, 陈乐, 胡群, 邢志鹏, 魏海燕, 高辉, 黄山, 廖萍, 张洪程. 节水灌溉对水稻产量和品质影响的荟萃分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(11): 2121-2134  
Meng Y, Weng W A, Chen L, Hu Q, Xing Z P, Wei H Y, Gao H, Huang S, Liao P, Zhang H C. Effects of water-saving irrigation on grain yield and quality: A meta-analysis [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(11): 2121-2134 (in Chinese)
- [20] 秦羽青, 程宏波, 柴雨薇, 马建涛, 李瑞, 李亚伟, 常磊, 柴守玺. 中国北方地区小麦覆盖栽培增产效应的荟萃 (Meta) 分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(6): 1095-1109  
Qin Y Q, Cheng H B, Chai Y W, Ma J T, Li R, Li Y W, Chang L, Chai S X. Increasing Effects of wheat yield under mulching cultivation in northern of China: A meta-analysis [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(6): 1095-1109 (in Chinese)
- [21] 贺路影, 吴诗吟, 苏文金, 张芹. 芝麻饼肥与牛粪肥的理化性质的比较研究[J]. 农业与技术, 2019, 39(11): 20-23  
He L Y, Wu S Y, Su W J, Zhang Q. Comparative study on physical and chemical properties of sesame cake fertilizer and cow dung fertilizer [J]. *Agriculture and Technology*, 2019, 39(11): 20-23 (in Chinese)
- [22] 余其昌, 扈强, 金保锋, 李本晨, 吴薇, 郑璞帆, 唐永红, 李天卫, 刘海轮, 张立新. 生物炭与菜籽饼不同配比对土壤养分及烤烟产质量的影响[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2018, 33(3): 513-519  
Yu Q C, Hu Q, Jin B F, Li B S, Wu W, Zheng P F, Tang Y H, Li T

- W, Liu H L, Zhang L X. Effects of different biochar and rapeseed cake ratios on the soil nutrient, yield and quality of flue-cured tobacco [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University: Natural Science*, 2018, 33(3): 513-519 (in Chinese)
- [23] 刘国群, 章明奎, 严建立. 施用高量有机物料对新垦耕地红壤有机碳积累及性态的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2021, 48(1): 101-107
- Liu G Q, Zhang M K, Yan J L. Effects of applying high amount of organic materials on the accumulation and properties of organic carbon in newly cultivated red soil [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2021, 48(1): 101-107 (in Chinese)
- [24] 刘美灵, 汪益民, 金文豪, 王永冉, 王嘉和, 柴一博, 彭丽媛, 秦华. 厨余垃圾有机肥对土壤微生物活性及功能的影响[J]. 环境科学, 2024, 45(1): 530-542
- Liu M L, Wang Y M, Jin W H, Wang Y R, Wang J H, Chai Y B, Peng L Y, Qin H. Effects of organic fertilizer of kitchen waste on soil microbial activity and function [J]. *Environmental Science*, 2024, 45(1): 530-542 (in Chinese)
- [25] 宋文涛, 宁川川, 黄美琳, 董宇豪, 陈火君, 蔡昆争. 秸秆生物炭对两种典型土壤的养分特性及硅的化学形态的影响[J]. 生态科学, 2023, 42(5): 123-132
- Song W T, Ning C C, Huang M L, Dong Y H, Chen H J, Cai K Z. Effects of straw biochar on nutrient traits and chemical speciation of silicon in two types of soils [J]. *Ecological Science*, 2023, 42(5): 123-132 (in Chinese)
- [26] 符云鹏. 烟草栽培学实验指导[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2019
- Fu Y P. *Experimental guidance in tobacco cultivation* [M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 2019 (in Chinese)
- [27] Edgar R C. UPARSE: Highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads [J]. *Nature Methods*, 2013, 10(10): 996-998
- [28] Stackebrandt E, Goebel B M. Taxonomic note: A place for DNA-DNA reassociation and 16S rRNA sequence analysis in the present species definition in bacteriology [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1994, 44(4): 846-849
- [29] Wang Q, Garrity G M, Tiedje J M, Cole J R. Naive Bayesian classifier for rapid assignment of rRNA sequences into the new bacterial taxonomy [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007, 73(16): 5261-5267
- [30] Zhang D K, Mak-Mensah E, Zhou X J, Wang Q, Obour P B. Impact of plastic film with wheat straw mulching on maize water use efficiency, evapotranspiration, and grain yield in Northern China: A meta-analysis [J]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2023, 23(1): 867-880
- [31] Van Groenigen K J, Osenberg C W, Hungate B A. Increased soil emissions of potent greenhouse gases under increased atmospheric CO<sub>2</sub> [J]. *Nature*, 2011, 475(7355): 214-216
- [32] Schloss P D, Westcott S L, Ryabin T, Hall J R, Hartmann M, Hollister E B, Lesniewski R A, Oakley B B, Parks D H, Robinson C J, Sahl J W, Stres B, Thallinger G G, Van Horn D J, Weber C F. Introducing mothur: Open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, 75(23): 7537-7541
- [33] 苏海燕, 程传策, 马啸, 罗晓庆, 李常军, 阳波. 烤烟连作对重庆土壤养分状况的影响[J]. 河南农业科学, 2010, (12): 59-62
- Su H Y, Cheng C C, Ma X, Luo X Q, Li C J, Yang B. Effect of continuous cropping on soil nutrient status in Chongqing tobacco field [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2010, (12): 59-62 (in Chinese)
- [34] 杜杏蓉, 李运国, 邓小鹏, 李军营, 姜永雷, 童文杰, 欧阳铨人, 赵正雄, 王娜. 连作对不同类型植烟土壤化学性状、酶活性及细菌群落的影响[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(5): 30-35
- Du X R, Li Y G, Deng X P, Li J Y, Jiang Y L, Tong W J, Ouyang C R, Zhao Z X, Wang N. Effects of continuous cropping on chemical properties, enzyme activities and bacterial communities in different types of tobacco-planted soil [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2021, 42(5): 30-35 (in Chinese)
- [35] 刘楚祺, 赵高坤, 邓小鹏, 马二登, 李军营, 陈颐, 姜永雷, 王聪. 连作年限对植烟土壤养分和微生物量及胞外酶化学计量特征的影响[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2023(3): 494-502
- Liu C Q, Zhao G K, Deng X P, Ma E D, Li J Y, Chen Y, Jiang Y L, Wang C. Effects of continuous cropping time on soil nutrient, microbial biomass, and extracellular enzyme stoichiometry characteristics of tobacco-planting soil [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University: Natural Science*, 2023(3): 494-502 (in Chinese)
- [36] 王胜男. 西南山区烤烟连作对土壤微生物多样性的影响及机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- Wang S N. Study on the effect and mechanism of continuous cropping of flue-cured tobacco on soil microbial diversity in southwest mountainous areas [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2021 (in Chinese)
- [37] 刘勇成, 俞世康, 李富程, 顾会战, 骆国辉, 何信弦. 长期连作下石灰性紫色土植烟土壤养分与酶活性变化[J]. 广东农业科学, 2022, 49(12): 74-81
- Liu Y C, Yu S K, Li F C, Gu H Z, Luo G H, He J X. Changes of soil nutrients and enzyme activities in calcareous purple soil under long-term continuous cropping for tobacco planting [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2022, 49(12): 74-81 (in Chinese)
- [38] Jiang C, Zu C, Wang H, Yan Y, Liu Y, Shen J. Straw return with biochar increased soil macroaggregates and improved flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) yield and quality [J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2022, 20(1): 207-219
- [39] 郭龙, 李陈, 刘佩诗, 常珺枫, 周晓天, 张宁, 祝尊友, 翁亚伟, 马友华. 牛粪有机肥替代化肥对茶叶产量、品质及茶园土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(6): 264-269
- Guo L, Li C, Liu P S, Chang J F, Zhou X T, Zhang N, Zhu Z Y, Weng Y W, Ma Y H. Effect of replacing chemical fertilizer with cow manure organic fertilizer on tea yield, quality, and soil fertility in tea garden [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(6): 264-269 (in Chinese)
- [40] 张涛, 刘勇鹏, 朱广权, 张婵, 张亚, 姚秋菊, 孙治强. 定位化肥牛粪配施对设施蔬菜产量和土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021, (1): 161-168
- Zhang T, Liu Y P, Zhu G Q, Zhang C, Zhang Y, Yao Q J, Sun Z Q. Effect of combined application of fertilizer and cow manure on yield and soil fertility of protected vegetable [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(1): 161-168 (in Chinese)
- [41] 李枝桦, 伞金辉, 陈兴位, 唐鹭, 罗华元, 聂鑫, 张梅, 李超, 倪明, 程倩, 董石飞. 云南植烟土壤有机质与养分的关系及主要养分的空间变化[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12): 220-224
- Li Z H, San J H, Chen X W, Tang L, Luo H Y, Nie X, Zhang M, Li C, Ni M, Cheng Q, Dong S F. Relationship between organic matter and nutrients in tobacco-growing soil in Yunnan and spatial changes of main nutrients [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(12): 220-224 (in Chinese)
- [42] 陈燕, 贾孟, 孔明, 王娜, 杜宇, 周鹏, 王戈, 白羽祥. 烟秆生物炭对连作植烟土壤养分及烟叶产质量的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(9): 2019-2025
- Chen Y, Jia M, Kong M, Wang N, Du Y, Zhou P, Wang G, Bai Y X. Effects of tobacco stem biochar on soil nutrients, yield and quality of continuous cropping tobacco [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 36(9): 2019-2025 (in Chinese)
- [43] Jiang R, Wang M E, Chen W P, Li X Z, Balseiro-Romero M. Changes in the integrated functional stability of microbial community under

- chemical stresses and the impacting factors in field soils[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 110: 105919
- [44] 高林, 王新伟, 申国明, 田峰, 陈前锋, 张明发, 张成省. 不同连作年限植烟土壤细菌和真菌群落结构差异[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(8): 147-152
- Gao L, Wang X W, Shen G M, Tian F, Chen Q F, Zhang M F, Zhang C S. Differences of bacteria and fungi community structure in tobacco-planting soil of different continuous cropping years [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(8): 147-152 (in Chinese)
- [45] 赖先军, 颜朗, 张文友, 段旺军, 王海燕. 烟草短期连作对根际微生物和代谢物的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(4): 706-714
- Lai X J, Yan L, Zhang W Y, Duan W J, Wang H Y. Effects of tobacco short-term continuous cropping on rhizosphere microorganisms and metabolites [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 36(4): 706-714 (in Chinese)
- [46] 饶德安, 刘潘洋, 邹路易, 滕跃, 郁红艳, 尹光庭. 长期连作及强还原土壤灭菌处理对烤烟根际土壤真菌群落的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022, (4): 47-56
- Rao D A, Liu P Y, Zou L Y, Teng Y, Yu H Y, Yin G T. Effects of long-term continuous cropping and reductive soil disinfestation on fungal community in flue-cured tobacco rhizosphere [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2022, (4): 47-56 (in Chinese)
- [47] 齐虹凌, 贺国强, 李恒全, 刘德育, 孙宏宇, 元野. 轮作与连作对烤烟不同生育期根际土壤细菌群落结构的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(5): 42-48
- Qi H L, He G Q, Li H Q, Liu D Y, Sun H Y, Yuan Y. Effects of rotational and continuous cropping on bacterial community structures in rhizospheric soil at different growth stages of flue-cured tobacco[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2015, 21(5): 42-48 (in Chinese)
- [48] 王鹏. 烟草连作障碍及防治研究进展[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(12): 24-26, 32
- Wang P. Research progress on obstacles and control of tobacco continuous cropping [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2023, 29(12): 24-26, 32 (in Chinese)
- [49] 查宏波, 赵芳, 吕家锋, 龚林, 陈华, 高顺波, 王文栋, 郑兴琪, 孙浩宸, 张倍. 优化施肥调控对连作烤烟农艺性状和产质量的影响[J]. 中国农学通报, 2024, 40(6): 53-56
- Zha H B, Zhao F, Lv J F, Gong L, Chen H, Gao S B, Wang W D, Zheng X Q, Sun H C, Zhang B. Effects of optimizing fertilization regulation on agronomic characters, yield and quality of continuous cropping flue-cured tobacco [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2024, 40(6): 53-56 (in Chinese)
- [50] 黄玉凤, 李菲, 汪汉成, 蔡刘体, 陈兴江, 邱学柏. 烟草镰刀菌根腐病原生物学特性及其优势种的代谢表型特征[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(7): 124-132
- Huang Y F, Li F, Wang H C, Cai L T, Chen X J, Qiu X B. Biological characteristics of tobacco *Fusarium* mycorrhizal rot pathogen and metabolic phenotype characteristics of its dominant species [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2024, 52(7): 124-132 (in Chinese)
- [51] 高志远. 桃树连作障碍发生原因和防控技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2023.
- Gao Z Y. Study on the causes and control techniques of peach continuous cropping obstacles [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2023 (in Chinese)
- [52] 黄佳维. 福建烟田的微生物群落研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2024.
- Huang J W. Study on microbial community in Fujian tobacco field [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2024 (in Chinese)
- [53] 陈秀青. 毛壳属及其相近属真菌抑制植物病原菌的研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2024.
- Chen X Q. Study on the inhibition of plant pathogens by fungi of *Chaetomium* and its related genera [D]. Harbin: Heilongjiang University, 2023 (in Chinese)
- [54] 冯超红, 李丽娟, 张姣姣, 王俊美, 宋玉立, 李好海, 徐飞. 球毛壳菌促生防病机制及应用研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2023, 39(4): 961-969
- Feng C H, Li L J, Zhang J J, Wang J M, Song Y L, Li H H, Xu F. Mechanism of *Chaetomium globosum* in promoting growth and preventing disease and advance of its application and research [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2023, 39(4): 961-969 (in Chinese)
- [55] Yao Q, Liu J J, Yu Z H, Li Y S, Jin J, Liu X B, Wang G H. Three years of biochar amendment alters soil physiochemical properties and fungal community composition in a black soil of Northeast China [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, 110: 56-67
- [56] Wang C, Ning P, Li J Y, Wei X M, Ge T D, Cui Y X, Deng X P, Jiang Y L, Shen W J. Responses of soil microbial community composition and enzyme activities to long-term organic amendments in a continuous tobacco cropping system [J]. *Applied Soil Ecology*, 2022, 169: 104210
- [57] Gao L, Wang R, Shen G M, Zhang J X, Meng G X, Zhang J G. Effects of biochar on nutrients and the microbial community structure of tobacco-planting soils [J]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2017, 17(4): 884-896
- [58] Hou M M, Shao X H, Li Y Y. Effects of water and <sup>15</sup>N-labelled fertilizer coupling on the growth, N uptake, quality and yield, of flue-cured tobaccos: A two-year lysimeter experiment [J]. *Research on Crops*, 2013, 14(3): 950-959
- [59] 王茂胜, 陈懿, 薛小平, 潘文杰, 曹毅, 雷波. 长期连作对烤烟产量和质量的影响[J]. 耕作与栽培, 2010(1): 8-9, 43
- Wang M S, Chen Y, Xue X P, Pan W J, Cao Y, Lei B. Effect of long-term continuous cropping on the yield and quality of flue-cured tobacco [J]. *Tillage and Cultivation*, 2010(1): 8-9, 43 (in Chinese)
- [60] 苏海燕, 程传策, 官长荣, 杨超, 全建华. 连作对烤烟化学成分和中性致香物质的影响[J]. 江西农业学报, 2010, 22(5): 5-8
- Su H Y, Cheng C C, Gong C R, Yang C, Tong J H. Effects of continuous cropping on chemical components and neutral aroma substances in flue-cured tobacco [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2010, 22(5): 5-8 (in Chinese)
- [61] 刘著文, 杨龙飞, 刘茂林, 贾国涛, 姚倩, 马一琼, 崔廷, 杨欣玲, 陈洋, 程良现. 不同土壤改良剂对土壤养分及烤烟内在品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(11): 190-198
- Liu Z W, Yang L F, Liu M L, Jia G T, Yao Q, Ma Y Q, Cui T, Yang X L, Chen Y, Cheng L K. Effects of different soil amendments on soil nutrients and inherent quality of flue-cured tobacco [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, 24(11): 190-198 (in Chinese)
- [62] 赵晓会, 刘海轮, 孙颖, 和文祥, 邓小成. 培肥对烟田土壤养分含量及烤烟生长发育的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(6): 115-121
- Zhao X H, Liu H L, Sun Y, He W X, Deng X C. Effect of fertilization on soil nutrients and the growth of flue-cured tobacco [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2011, 39(6): 115-121 (in Chinese)
- [63] 戴华鑫, 梁太波, 李彩斌, 罗贞宝, 关罗浩, 钟帅, 翟振, 边文杰, 黄卫, 张艳玲. 烟秆生物炭还田对植烟黄棕壤养分、细菌群落结构与功能的影响[J]. 南方农业学报, 2023, 54(2): 476-487
- Dai H X, Liang T B, Li C B, Luo Z B, Guan L H, Zhong S, Zhai Z, Bian W J, Huang W, Zhang Y L. Effects of tobacco-stalk biochar returning on soil nutrients, the structure and functioning of bacterial communities in tobacco-planting yellow-brown fields [J]. *Journal of*

- Southern Agriculture*, 2023, 54(2): 476-487 (in Chinese)
- [64] Chen Y X, Lv X L, Qin Y M, Zhang D P, Zhang C Q, Song Z F, Liu D Y, Jiang L Q, Huang B, Wang J. Effects of different botanical oil meal mixed with cow manure organic fertilizers on soil microbial community and function and tobacco yield and quality[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 14: 1191059
- [65] Randolph P, Bansode R R, Hassan O A, Rehrah D, Ravella R, Reddy M R, Watts D W, Novak J M, Ahmedna M. Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters[J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 192: 271-280
- [66] Verhamme D T, Prosser J I, Nicol G W. Ammonia concentration determines differential growth of ammonia-oxidising Archaea and bacteria in soil microcosms[J]. 2011, 5(6): 1067-1071
- [67] 李松伟, 王发展, 陈彪, 谢俊明, 史久长. 生物炭配施海藻肥对连作植烟土壤理化特性及烤烟生长的影响[J]. 河南农业大学学报, 2021, 55(5): 852-861
- Li S W, Wang F Z, Chen B, Xie J M, Shi J C. Effects of biochar combined with seaweed fertilizer on the physicochemical characteristics of continuous tobacco planting soil and flue-cured tobacco growth[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2021, 55(5): 852-861 (in Chinese)
- [68] 李影, 张弘, 张玉军, 姜桂英, 朱金峰, 刘世亮, 申凤敏. 相同碳氮比不同有机物料矿化 1a 对烤烟生长及品质的影响[J]. 河南农业科学, 2018, 47(2): 43-49
- Li Y, Zhang H, Zhang Y J, Jiang G Y, Zhu J F, Liu S L, Shen F M. Effects of different organic material mineralization for one year with same C/N ratio on tobacco growth and quality [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2018, 47(2): 43-49 (in Chinese)
- [69] 张凤侠, 马永建, 彭丽丽, 韩富根. 增施牛粪对烤烟产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(33): 14652-14654
- Zhang F X, Ma Y J, Peng L L, Han F G. Effect of increased application of cow manure on yield and quality of flue-cured tobacco [J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(33): 14652-14654 (in Chinese)
- [70] 赵诣, 符昌武, 刘毅, 向东, 王振华, 秦红灵, 程昌新, 李强. 增施微藻和牛粪有机肥对土壤化学性质和细菌群落以及烤烟产质量的影响[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2024, 39(0): 1-10
- Zhao Y, Fu C W, Liu Y, Xiang D, Wang Z H, Qin H L, Cheng C X, Li Q. Effects of adding microalgae and cow manure organic fertilizer on soil chemical properties and bacterial community, yield and quality of flue-cured[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University: Natural Science*, 2024, 39(0): 1-10 (in Chinese)

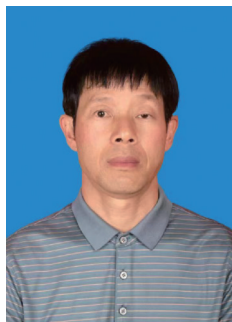
责任编辑: 杨爱东



**第一作者简介:** 杨冬寒, 中国农业大学资源与环境学院环境科学与工程系资源与环境专业 23 级硕士研究生。本科就读于山东第一医科大学环境工程专业, 本科期间曾获得校级三等奖学金和“优秀学生”称号。



**通讯作者简介:** 刘蕊, 中国农业大学资源与环境学院副教授, 博士生导师。目前研究主要围绕养分在植物-土壤-微生物中的循环及产生的环境效应防治、土壤微生物与元素循环、绿色功能型稳定性肥料创制 3 个相关方向及其交叉开展相关的研究。近五年, 以第一作者或者通讯作者(含共同)在 *Environmental Chemistry Letters*、*Biology and Fertility Soils*、*Soil Ecology Letters*、*Science of the Total Environment* 等期刊发表论文 20 余篇; 主持国家自然科学基金(青年和面上)2 项、科技部重点研发项目子课题 2 项以及科技部、横向国际合作、技术咨询等各类委托项目 6 项; 参与承担澳大利亚科技部资助项目、澳大利亚-中国合作研究中心、澳大利亚农业部和粮食研究与发展中心资助项目等项目 5 项; 申报国家发明专利 6 项, 已获授权 2 项。



**通讯作者简介:** 赵国明, 云南省烟草公司大理州公司农艺师。主要从事烟叶技术研发及烟叶生产技术标准管理, 参加实施“大理州烤烟品质区划”“提高烤烟高活力种子生产关键技术及催芽包衣种的开发应用”“烟草轮作周期内的养分循环规律及肥料统筹技术研究”“烟草种质资源联合鉴定圃的建立与运用”“红塔集团大理差异化原料基地建设”“优质红大品种烟叶的品质特性研究”“大理红花大金元两黑病持续控制技术研究与应用”等 10 余项科技项目, 先后获得省部级科技进步三等奖 2 项, 地厅级科技进步特等奖 1 项、一等奖 2 项、二等奖 3 项、三等奖 3 项, 公开发表科技论文 15 篇(第一作者 1 篇); 获得授权国家发明专利 2 件、国家实用新型专利 5 件。