

# 烤烟增碳控氮技术研究进展

陈卫<sup>1</sup>, 王东旭<sup>2</sup>, 徐军<sup>1</sup>, 董鸣豪<sup>2</sup>, 武云杰<sup>2</sup>, 姚鹏伟<sup>2</sup>, 沈铮<sup>1\*</sup>

(1. 重庆市烟草公司武隆分公司, 重庆 408500; 2. 河南农业大学烟草学院, 河南郑州 450002)

**摘要** 近年来, 增碳控氮技术的应用在植烟土壤培育和促进烟叶提质增效方面效果显著。对主要碳源和氮素对植烟土壤改良效果、烤烟生长发育状况和烤烟产量、烤后烟叶品质的影响以及增碳控氮的初步成果进行综述, 探讨了增碳控氮应用的技术要点和应用前景, 为进一步促进植烟土壤改良和优质烟叶生产提供参考。

**关键词** 烤烟; 增碳控氮; 有机物料; 植烟土壤; 品质

中图分类号 S572 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)11-0001-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.11.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Research Progress of Carbon and Nitrogen Control Technology in Flue-cured Tobacco

CHEN Wei<sup>1</sup>, WANG Dong-xu<sup>2</sup>, XU Jun<sup>1</sup> et al (1. Chongqing Tobacco Company Wulong Branch Company, Chongqing 408500; 2. College of Tobacco Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002)

**Abstract** In recent years, the application of carbon and nitrogen control technology has achieved remarkable results in the cultivation of tobacco-growing soil and promoting quality and increasing efficiency of tobacco leaves. In this paper, the effects of major carbon sources and nitrogen on the amelioration effect of tobacco-planting soil and development of flue-cured tobacco, the yield of flue-cured tobacco and the quality of cured tobacco leaves, as well as the preliminary results of carbon and nitrogen control were reviewed. The main technical points in the application of carbon and nitrogen control and its application prospect were discussed. The application of this technology will provide reference for further promoting the improvement of tobacco soil and the production of high-quality tobacco leaves.

**Key words** Flue-cured tobacco; Carbon and nitrogen control; Organic materials; Tobacco planting soil; Quality

烟草是我国重要的经济作物, 土壤营养状况是影响烤烟生长发育和烟叶品质的关键因素<sup>[1]</sup>。长期以来, 烟叶生产中过分依赖化肥, 忽略了有机肥的使用, 使植烟土壤中的有机质含量越来越低, 土壤碳氮不平衡, 表现出土壤养分失调、土壤结构性变差、肥料利用率不高等问题, 进而引发烟叶碳氮代谢失调, 出现整体香气量不足、香气质差、上部烟叶烟碱含量较高等问题<sup>[2-3]</sup>。同时化肥的过多使用, 引起环境污染及在土壤中造成大量残留氮, 这限制了高质量烟叶的可持续发展<sup>[4]</sup>。

近年来, 很多烟区重视烟田的改造, 特别是在增施有机物料方面取得了显著效果<sup>[5]</sup>。有机物料可有效改善土壤环境, 在调节土壤碳氮比、促进土壤微生态的平衡、提高肥料的利用率等方面均有显著的效果<sup>[6-7]</sup>。但是任何类型的有机物料, 其养分释放都要经过土壤矿化的过程, 同时要符合烟叶“前促后控”的需肥规律。生产中也存在因对有机物料矿化规律不明或使用量偏大, 造成烟叶成熟后期肥力过旺, 烟叶成熟推迟, 烟碱含量偏高; 或用量不足, 效果不明显, 增加烟农投入, 难以推广的现象, 因此需明确不同类型碳源适宜的碳氮比和养分释放规律<sup>[8-9]</sup>。另外, 部分碳源类的有机物料自身含氮量很低, 可以通过改善土壤结构, 提高肥料利用率的方式来达到控氮提质的效果<sup>[10-11]</sup>。因此, 增碳与控氮是相互协调的, 发挥不同碳源类的有机物料的最好效果, 在改良土壤结构的同时, 使土壤养分有效释放和提高肥料利用率方面展现更大的潜力, 是其应用的关键。该研究就主要碳源、氮素营养、土壤碳氮比对植烟土壤及烟叶产质量的影响, 烤

烟增碳控氮技术对烟叶生长发育和烟叶品质形成的关键影响因素进行综述, 对烤烟增碳控氮技术的应用要点进行探讨, 在此基础上, 提出烟田增碳培土与控氮提质相协调的调控措施设想。

### 1 不同碳源对植烟土壤及烟叶产质量的影响

**1.1 生物炭对植烟土壤及烟叶产质量的影响** 生物炭是由生物质或化石燃料在缺氧条件下经过热解炭化后形成的, 具有多孔、类似木炭的富含碳元素产物, 对土壤修复作用显著<sup>[12-13]</sup>。综合已有研究发现<sup>[14-17]</sup>, 生物炭对土壤的影响主要包括: 第一, 生物炭 pH 呈碱性, 可与酸化土壤进行中和, 调节土壤酸碱度; 第二, 生物炭可增加土壤肥力, 主要是由生物炭表面含有许多具备吸附能力官能团所决定的, 这些官能团可以有效保留土壤养分; 第三, 施用生物炭可缓解土壤 N、P 的淋失问题; 第四, 生物炭还可以通过吸收土壤中的重金属离子来提高烟叶的安全性; 第五, 生物炭会影响其周围微生物的活性从而影响微生物的生态群落和相关酶活性; 第六, 生物炭的施用比常规施肥更有利于增加土壤根际中的水含量, 增加了根的活力和根冠比, 从而可以改善中上部烟叶的质量。此外, 生物炭可以改善土壤质量, 改变土壤相关酶的活性, 更有利于作物生长。

**1.2 绿肥对植烟土壤及烟叶产质量的影响** 绿肥是以绿色植物为原料, 翻压在土壤里达到一种肥料的效果, 烤烟生产中常用的有油菜、黑麦草、苕子、紫云英、黄花苜蓿等<sup>[18]</sup>。翻压绿肥能改善土壤的理化性质, 首先, 大量研究发现, 绿肥翻压在一定范围内可以降低土壤容重, 提高土壤含水量和土壤孔隙度<sup>[19]</sup>。其次, 绿肥翻压在不同程度上可以提高土壤有机质含量, 还能增加土壤中碱解氮、速效磷、速效钾的含量。最后, 绿肥翻压在土壤中经过腐化会产生有机酸, 从而在一

**基金项目** 中国烟草总公司重庆市公司武隆分公司项目(C20211NY3403, C20211NY3402)。

**作者简介** 陈卫(1971—), 男, 重庆人, 从事烟草生产管理工作。\* 通信作者, 农艺师, 硕士, 从事烟叶生产及技术推广工作。

**收稿日期** 2021-09-16

一定程度上降低土壤 pH<sup>[20]</sup>,还会增强土壤中酶活性,改善微生物群落生态结构,为作物生长提供适宜的环境。刘国等<sup>[21]</sup>试验表明,长期翻压绿肥不但使烤烟化学成分更加协调,明显提高烤烟的内在品质,评吸质量提高。在云南的定位试验表明,光叶紫花苕翻压绿肥 15 000 kg/hm<sup>2</sup>,氮磷钾化肥减量 15% 的处理烤烟产量、产值最高<sup>[22]</sup>。罗贞宝<sup>[23]</sup>研究了河南 5 个地市烟叶产区表明,禾本科绿肥翻压 15 000 kg/hm<sup>2</sup>、减化肥氮 15 kg/hm<sup>2</sup>,油菜绿肥翻压 15 000 kg/hm<sup>2</sup>、减化肥氮 22.5 kg/hm<sup>2</sup>,在促进土壤微生物生态、有机质矿化、烟叶生长发育和品质形成方面效果较好。因此,对于不同类型的绿肥应注意播种量、翻压时间和翻压量,是决定养分释放量的释放规律的关键。

**1.3 秸秆还田对植烟土壤及烟叶产质量的影响** 从生态农业和循环经济的角度,秸秆是质量和来源稳定、有效、可靠的有机肥料。烤烟秸秆还田包括小麦、烟秆、玉米、水稻等,有直接还田、间接还田等应用方式,方式不同,应用效果也不同<sup>[24]</sup>。作为一种常见的有机材料,秸秆富含氮、磷、钾等营养物质,秸秆合理的还田还可以降低土壤容重,提升土壤的可耕性,有利于促进土壤的团聚作用,并加快土壤养分的循环,从而提高作物的产量和品质<sup>[25-27]</sup>。裴益乐等<sup>[28]</sup>研究表明,玉米秸秆还田重量 1.5 kg/m<sup>2</sup>,秸秆粒度 5 cm,能有效减少径流氮素流失量,显著增加土壤全氮、硝态氮含量,烤烟氮肥利用率显著提升。林志等<sup>[29]</sup>研究表明,当秸秆还田 6.75 t/hm<sup>2</sup> 时烟田产量及产值最大,并显著大于未秸秆还田对照。因此,对于秸秆还田可有效促进废物利用的同时,还可以提高养分的利用效率。应用的关键是在明确同类型的秸秆养分释放规律的基础上,选择合适的施用方式和用量。

**1.4 生物有机肥对植烟土壤及烟叶产质量的影响** 生物有机肥料多以粪便、生活垃圾、动植物的残留物等为原料,并混合有一定量微量元素,具有特定功能(例如释放有益元素),是一种具有微生物繁殖力和有机肥料功能的肥料<sup>[30]</sup>。研究表明,生物有机肥料中的微生物可以改良土壤结构,利于土壤的团聚作用,使土壤容重下降,增加土壤通透性和土壤保水率<sup>[31]</sup>。与传统肥料相比,生物有机肥料可以减少氮、磷元素的流失,增加有机质含量,降低土壤的酸度,并提高土壤持肥能力<sup>[32]</sup>。生物有机肥料本身包含丰富的微生物种群和数量,可以改善根际土壤微生物群落的数量和结构,并增加土壤和土壤酶活性的多样性<sup>[33]</sup>。

生物有机肥对烤烟的生长发育有明显的促进作用,可调节烟叶内部化学成分,可用性指数从 3.40% 提高到 6.06%<sup>[34]</sup>,烟叶中糖与烟碱的比例、糖氮比及氮碱比更优,烟叶的质量更好<sup>[35]</sup>。介晓磊等<sup>[36]</sup>指出,生物有机肥料可以降低烟叶中的氯含量并改善烟叶的可燃性,烟叶的品质提高,口感更好。

**1.5 饼肥对植烟土壤及烟叶产质量的影响** 饼肥亦称枯饼肥、饼粕,是农作物的种子或果核经榨油后的渣粕,富含有机质和烟草所需要的多种养分,是一种优质的有机肥。饼肥的种类分为很多种,生产中常见的有菜籽饼、芝麻饼、花生饼、

大豆饼、棉籽饼、油茶饼、蓖麻饼、油桐饼等<sup>[37]</sup>。研究表明,施用菜籽饼肥会导致土壤 pH 和容重有一定的下降,并与其施用量成反比。郭群召等<sup>[38]</sup>发现,在不同的土壤施用菜籽饼肥,都可以增加土壤中的真菌、细菌、放线菌的数量,增强土壤中尿酶、蔗糖酶、过氧化氢酶的活性。武雪萍等<sup>[39]</sup>研究表明,50% 芝麻饼肥与 50% 化肥配施,烟叶香气成分明显提高,内在化学成分较好。芝麻饼肥和菜籽饼肥均可促进烟株生长发育,并对烟叶油分和色泽有利,橘黄烟比例增多,上部叶的柔韧性增强<sup>[40-41]</sup>。

## 2 氮素对植烟土壤及烟叶产质量的影响

烤烟对氮素十分敏感,大量研究表明,施氮量偏少时,烟叶生长缓慢,发育不协调,达不到适宜的产量和优异的品质;施氮量偏多则代谢旺盛,烟叶贪青晚熟,氮代谢产物总氮和烟碱等较高,烟叶不易烘烤,烟叶品质低劣<sup>[42]</sup>。施氮量是否适宜,可在生长发育速度、氮代谢关键酶硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶、代谢相关产物可溶性蛋白、叶片铵离子浓度、质体色素含量等方面体现,特别是烟叶成熟期的氮代谢协调性,是烟叶体内香气前体物转化和品质形成的关键<sup>[43]</sup>。因此烤烟对营养的需求,特别是氮素营养表现出前期充足、后期相对控制的特点,更有利于烟叶成熟落黄和品质的形成<sup>[44]</sup>。烤烟的施氮量是确定一个品种在当地栽培技术的最关键指标之一<sup>[45]</sup>,烤烟施氮量在南北方烟区由于生态条件的原因差异很大,比如河南烟区多在 60 kg/hm<sup>2</sup> 左右,云南、贵州等地多在此 2 倍左右。因此,烤烟氮素营养在土壤中的释放,必须符合烟株的规律,有机无机肥料配施后的养分释放量及释放规律,是增碳控氮技术应用的关键指标。

## 3 不同土壤碳氮比有机肥对植烟土壤及烟叶产质量的影响

土壤碳氮比(C/N)是土壤质量的敏感指标,对土壤碳、氮循环有重要影响<sup>[45]</sup>。研究表明,土壤碳氮比过高或过低均不利于烤烟的碳氮代谢,影响烟叶的品质<sup>[46-47]</sup>。陈忠莎等<sup>[48]</sup>用腐熟猪粪和秸秆配置不同的 C/N,结果表明,C/N 越高,土壤氮含量降低越慢,C/N 越低,土壤氮释放速度越慢;土壤全氮含量提高最多的是碳氮比为 25:1。李雪利等<sup>[9]</sup>利用腐熟秸秆,设计了 6 个 C/N 梯度(7、16、20、24、28、32),结果表明随着土壤 C/N 增加,烟叶碳氮代谢酶活性逐渐增加,烤后烟叶总糖和还原糖含量、糖碱比、中性香气成分均有不同程度的增加,C/N 24~28 时烟叶化学成分协调。耿富卿<sup>[49]</sup>研究表明,C/N 配方为 25:1、30:1、35:1 的有机肥可明显增加烟叶香气物质的含量,有机肥 C/N 为 25:1~35:1 利于有机肥发酵和烟叶产质量的提高。此外,土壤的碳氮比直接影响了烟叶的碳氮代谢相关产物的含量,烟叶碳氮比是衡量其碳代谢与氮代谢之间协调性的一个重要指标,与烟草感官质量呈显著的相关关系<sup>[3]</sup>。

## 4 增碳控氮技术研究进展

**4.1 烤烟增碳控氮技术对植烟土壤和烟叶产质量的影响** 不同有机物料在增加养分释放和肥料利用率方面均有显著的促进作用。近年来,很多研究也尝试在增碳的同时,适量的减氮,一方面缓解有机物料养分释放缓慢的特点,有

利于使养分释放规律与烤烟的需肥规律契合;另一方面,增碳减氮,缓解了土壤状况进一步恶化,减少了投入,提高了肥料利用率。卢钰升等<sup>[50]</sup>研究表明,有机肥替代化肥 15%N 处理提高了土壤速效磷、全氮、全钾、有效硅含量,提高了土壤转化酶、脲酶、脱氢酶活性,对促进烤烟产质量以及土壤肥力的效果最好。聂庆凯等<sup>[51]</sup>研究表明,减氮配施有机肥土壤中有有机质含量和土壤酶活性提高,土壤微生物功能多样性增强,高碳基肥和炒芝麻部分替代化肥在烤烟产量和产值方面效果最好。高碳基肥是碳基与化肥科学配比制成的,近年来在烤烟上应用广泛,在促进土壤改良、烟株生长发育和烟叶品质形成上效果显著<sup>[52]</sup>。

张瑞平等<sup>[53]</sup>研究表明,生物有机肥与减施化肥 5% 处理配施时,植烟土壤 pH 降低,碱解氮和速效钾、有机质含量充足,土壤微生态较平衡,还有效控制烤烟土传病害。刘魁等<sup>[54]</sup>研究表明,有机肥氮替代 10%~30% 化肥 N 均有助于改善烟叶外观质量、化学成分协调性和香韵,提高致香成分总量,其中以有机氮替代 30% 化肥氮处理表现更优。研究还表明,在总施氮量相同的条件下,增碳减氮生育期推迟 4 d 左右<sup>[55]</sup>,不同的有机物料表现为牛粪>芝麻饼肥>有机无机一体肥。

因此,增碳的同时适当控氮,有利于土壤微生态的平衡,促进养分的释放和高效利用,进而促进烟株生长发育,对烟叶化学成分协调、致香物质的积累、烟叶产量和品质的形成有利,达到了控氮提质的目的<sup>[56-57]</sup>。

**4.2 烤烟增碳控氮技术对氮素利用率的影响** 大量研究表明,包括烤烟在内的大部分作物氮肥平均利用率仅有 30% 左右,且施肥量没有减少的趋势,其中西南烟区氮肥利用率为 25.4%~37.1%,并且在烤烟氮积累达到高峰后会呈现下降趋势,生育后期,氮素的利用率在持续降低<sup>[58-60]</sup>。刘青丽等<sup>[61]</sup>应用<sup>15</sup>N 示踪法研究表明,秸秆和饼肥对烤烟氮素营养的贡献率较低,有机肥与无机氮肥配施增加了糖碱比,降低了烟叶烟碱含量,提升了烟叶品质。赵军等<sup>[62]</sup>对烟草无机专用肥减量与烟草生物有机专用肥配合进行研究,发现烟草氮素利用率提高了 3.21%~208.38%,无机专用肥氮和生物有机专用肥氮为 7:3 的比例配施效果最好。封幸兵等<sup>[63]</sup>用同位素法研究表明,秸秆肥处理的氮素回收率较饼肥处理的普遍要高,土壤有机肥施用量不宜偏高,应根据有机肥的养分释放规律而定。因此,一定范围内有机肥氮部分替代化肥氮,可以在减少氮肥用量的基础上提升氮素的利用率。

## 5 展望

用于烤烟碳源的有机物料原料多是农业生产的废弃物,产量大、营养丰富多样,随意丢弃易污染环境,因此其推广应用对生态环境具有一定的促进作用。综合已有研究表明,生物炭、秸秆还田、绿肥、饼肥和生物有机肥具有降低土壤容重、改善土壤耕性、有利于土壤团聚体的形成,同时加快土壤养分循环,提高土壤碱解氮、有效磷、速效钾、有机质含量和 pH 的作用,均不同程度地提升了肥料利用率;绿肥、饼肥和生物有机肥还对微生物增强土壤中酶活性、改善微生物群落生态结构效果显著。增加土壤碳含量的同时,控制化肥氮的

施入,改善了土壤的碳氮比,进而改善了土壤结构,促进和丰富了营养的供应水平,对提高肥料利用率效果显著,因此增碳控氮技术具有良好的应用基础。另外,土壤环境的改变,使烟株的生长发育更加协调,特别是促进了烟叶碳氮代谢方面的改善,提高了烟叶糖碱比,并在提升烟叶色泽、油分、香气成分积累等方面具有显著作用。

但是在应用增碳控氮技术时应当注意增碳(有机肥料)并不是越多越好,过多可能烧伤农作物的根系。首先,是掌握物料来源及状态,包括物料的种类、发酵时间、基础养分和粒径等,不同的碳源应有针对的区分。其次,是物料的施入,施入时间、施入方式、是否与化肥混配直接影响物料施入后在土壤中的位置和状态。因为物料在土壤中的状态和位置是其进一步腐解矿化的基础,更是其养分释放的基础,大量研究表明,同种物料在不同产区由于生态条件等因素,养分释放效果相差很大。综合已有研究可知,有机物料对氮素及其他营养的释放影响较大,由于烤烟对氮素营养十分敏感,如何在达到良好土壤碳氮比的同时,控制养分的释放规律使其符合烤烟的养分释放规律,是该技术应用的关键。研究发现,生物炭对氮素营养的贡献不多,且有缓控效果,应用时需注意;绿肥营养丰富,地下腐解后氮素供应能力强,饼肥低于绿肥,秸秆最低,与其自身所含营养关系密切,有机肥类常经过腐熟营养转化程度不一,如生物有机肥、菇渣有机肥,牛粪、羊粪等,物料腐熟程度和配比存在很大差异,其肥效释放规律也相差较大。结合不同碳源的养分释放规律,各个烟区在原有纯化肥施氮量的基础上,根据不同有机物料的特点,多数烟区在减化肥氮 5%~20% 时,碳氮比达到 25:1~35:1,且有机物料释放的氮不超过减少的化肥氮量,既能显著增加土壤养分释放,维持土壤微生态稳定,又对促进烟株生长发育和品质形成有明显的促进作用。

土壤增碳方面的显著效果也促进了新型碳源和新配方的发展,除了高碳基肥在烤烟中的广泛应用,纳米碳<sup>[64]</sup>等在降低土壤植烟 pH、抑制土壤硝化作用、提高微生物活性方面效果显著。其他类型,比如新型生物肥、海藻肥、碳基微生物菌肥、高碳型偶合肥以及其他生物质碳源等也有广泛的应用前景。此外,增碳控氮技术的主要应用位置在植烟土壤,土壤质地、降雨量、温度等生态条件会对增碳控氮的效果产生较大的影响<sup>[65]</sup>。目前增碳控氮技术已在部分烟区应用,需要重视研究肥料类型和配比、化肥和有机物料协同反应等方面的规律,结合物料特性和当地生态条件进行技术推广,指导优质烟叶生产。

## 参考文献

- [1] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003:103-109.
- [2] 李春俭,张福锁,李文卿,等. 我国烤烟生产中的氮素管理及其与烟叶品质的关系[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(2):331-337.
- [3] 史宏志,韩锦峰. 烤烟碳氮代谢几个问题的探讨[J]. 烟草科技,1998,31(2):34-36.
- [4] 梁斌,周建斌,杨学云. 长期施肥对土壤微生物生物量碳、氮及矿质态氮含量动态变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):321-326.
- [5] 李昂,陆引罡. 有机肥碳氮比对土壤有机质组分及烟叶香气量的影响[J]. 湖南农业科学,2021(1):45-49.

- [6] SOHI S P, KRULL E, LOPEZ-CAPEL E, et al. A review of biochar and its use and function in soil[J]. *Advances in agronomy*, 2010, 105: 47-82.
- [7] 李青山, 王德权, 杜传印, 等. 外源碳添加对植烟土壤氮素转化及 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. *中国烟草科学*, 2020, 41(4): 13-19.
- [8] 李铭, 赵世民, 陈彦春, 等. 提高烤烟氮肥利用率的增碳控氮技术试验初报[J]. *河南农业*, 2018(8): 14-16.
- [9] 李雪利, 叶协锋, 顾建国, 等. 土壤 C/N 比对烤烟碳氮代谢关键酶活性和烟叶品质影响的研究[J]. *中国烟草学报*, 2011, 17(3): 32-36.
- [10] CHAN K Y, VAN ZWIETEN L, MESZAROS I, et al. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment[J]. *Australian journal of soil research*, 2007, 45(8): 629-634.
- [11] YANAI Y, TOYOTA K, OKAZAKI M. Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments[J]. *Soil science and plant nutrition*, 2007, 53(2): 181-188.
- [12] MARRIS E. Black is the new green[J]. *Nature*, 2006, 442(7103): 624-626.
- [13] STEINER C, TEIXEIRA W G, LEHMANN J, et al. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil[J]. *Plant and soil*, 2007, 291(1/2): 275-290.
- [14] VAN ZWIETEN L, KIMBER S, MORRIS S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. *Plant and soil*, 2010, 327(1/2): 235-246.
- [15] 林雪原, 荆廷德, 巩晨, 等. 生物炭吸附重金属的研究进展[J]. *环境污染与防治*, 2014, 36(5): 83-87.
- [16] 万海涛. 烤烟发育和产量品质及植烟土壤理化性状对生物炭的响应研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [17] LAIRD D A, FLEMING P, DAVIS D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158(3/4): 443-449.
- [18] 曾茜茜, 陆世忠. 浅流绿肥种植的意义与发展策略[J]. *农技服务*, 2014, 31(4): 71-72.
- [19] ADEKIYA A O. Green manures and poultry feather effects on soil characteristics, growth, yield, and mineral contents of tomato [J/OL]. *Scientia horticulturae*, 2019, 257[2021-04-27]. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108721>.
- [20] 罗玲, 余君山, 秦铁伟, 等. 绿肥不同翻压年限对植烟土壤理化性状及烤烟品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(24): 13217-13219.
- [21] 刘国, 王树林, 沙富云, 等. 长期绿肥还田对烤烟产质量及土壤改良的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(4): 173-177.
- [22] 郭云周, 尹小怀, 王劲松, 等. 翻压等量绿肥和化肥减量对红壤旱地烤烟产量产质的影响[J]. *云南农业大学学报(自然科学版)*, 2010, 25(6): 811-816.
- [23] 罗贞宝. 绿肥对烟田土壤的改良作用及对烟叶品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006.
- [24] 霍丽丽, 赵立欣, 孟海波, 等. 中国农作物秸秆综合利用潜力研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(13): 218-224.
- [25] 王志强, 林阿典, 廖卿, 等. 秸秆还田与客土改良酸性植烟土壤及提升烟叶产质量的效果[J]. *福建农业学报*, 2020, 35(6): 649-656.
- [26] 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.
- [27] 王育军, 江子勤, 李强, 等. 油菜秸秆还田减氮对烤烟经济性状及烟叶品质的影响[J]. *湖南文理学院学报(自然科学版)*, 2018, 30(4): 78-83.
- [28] 裴益乐, 李太兴, 王克勤, 等. 不同堆沤方式下秸秆还田对滇中烤烟农田生态系统氮素平衡的影响[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3): 65-73.
- [29] 林志, 曾惠宇, 何永秋, 等. 秸秆还田对烤烟生长发育的影响[J]. *现代农学科技*, 2020(22): 1-3, 8.
- [30] 付小猛, 毛加梅, 沈正松, 等. 中国生物有机肥的发展现状与趋势[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(3): 401-404.
- [31] 何斌, 王强义, 王明旭, 等. 生物有机肥与烟草专用复合肥对植烟土壤理化性质、微生物数量及酶活性的影响[J]. *耕作与栽培*, 2017(1): 22-24, 47.
- [32] 侯会静, 韩正砥, 杨雅琴, 等. 生物有机肥的应用及其农田环境效应研究进展[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(14): 82-88.
- [33] WANG J F, LI X L, XING S Z, et al. Bio-organic fertilizer promotes plant growth and yield and improves soil microbial community in continuous monoculture system of *Chrysanthemum morifolium* cv. Chuju[J]. *International journal of agriculture and biology*, 2017, 19(3): 563-558.
- [34] 李迪秦, 龚湛武, 李玉辉, 等. 复合生物有机肥对烤烟光合生理特性及土壤微生物的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(9): 109-116.
- [35] 彭艳, 周冀衡, 杨虹琦, 等. 烟草专用肥与不同有机肥配施对烤烟生长及主要化学成分的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2008, 34(2): 159-163.
- [36] 介晓磊, 王镇, 化党领, 等. 生物有机肥对土壤氮磷钾及烟叶品质成分的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(1): 109-114.
- [37] 沈铮, 陈卫, 郑文冉, 等. 施用饼肥对烤烟生产的影响综述[J]. *现代农业科技*, 2021(3): 4-5, 9.
- [38] 郭群召, 吴学巧, 黄平俊. 饼肥对土壤性状、烤烟生长及烟叶品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2007(6): 68-70.
- [39] 武雪萍, 钟秀明, 秦艳青, 等. 芝麻饼肥与化肥不同比例配施对烟叶香气质量的影响[J]. *作物学报*, 2006, 32(10): 1554-1559.
- [40] 王岩, 刘国顺. 不同种类有机肥对烤烟生长及其品质的影响[J]. *河南农业科学*, 2006, 35(2): 81-84.
- [41] 刘泳乐, 刘建丰. 菜籽饼肥对邵阳烟叶品质及经济效益分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(4): 215-219.
- [42] 武云杰, 戚莹, 张小全, 等. 不同烤烟品种叶片衰老与质体色素降解及降解产物含量的关系[J]. *华北农学报*, 2015, 30(5): 197-204.
- [43] 武云杰, 李飞, 杨铁钊, 等. 氮素营养水平对衰老期烟叶氮代谢的影响及品种间差异[J]. *中国烟草学报*, 2014, 20(4): 41-47.
- [44] 武云杰, 张小全, 段旺军, 等. 不同氮素利用效率基因型烤烟叶片衰老期间氮素代谢差异研究[J]. *中国烟草学报*, 2012, 18(5): 23-28.
- [45] SPRINGOB G, KIRCHMANN H. Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils[J]. *Soil biology & biochemistry*, 2003, 35(4): 629-632.
- [46] 王军, 丁效东, 张士荣, 等. 不同碳氮比有机肥对沙泥田烤烟根际土壤碳氮转化及酶活性的影响[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(8): 1280-1286.
- [47] 张弘, 刘世亮, 朱金峰, 等. 相同碳氮比有机物料对烤烟生长发育及碳氮代谢的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2016, 14(5): 110-118.
- [48] 陈忠莎, 黄莺. 不同碳氮比有机肥对植烟黄壤氮素的影响[J]. *贵州农业科学*, 2016, 44(4): 75-78.
- [49] 耿富卿. 不同碳氮比对有机肥发酵效果影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [50] 卢钰升, 顾文杰, 李集勤, 等. 化肥有机替代对烤烟产质量、土壤理化性质及酶活性的影响[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(16): 22-27.
- [51] 聂庆凯, 王静, 孙兴广, 等. 有机肥部分替代化肥对植烟土壤生化特性和烤烟品质的影响[J]. *中国烟草科学*, 2020, 41(4): 26-32.
- [52] 张志浩, 陈思蒙, 任天宝, 等. 高碳基肥对烤烟生长及土壤微生物碳代谢多样性特征的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(1): 79-86.
- [53] 张瑞平, 苟小梅, 张毅, 等. 生物有机肥与化肥配施对植烟土壤养分和真菌群落特征的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2020, 48(8): 85-92.
- [54] 刘魁, 田阳阳, 王正旭, 等. 有机肥替代部分化肥对烤烟生长及烟叶质量的影响[J]. *湖南农业科学*, 2020(12): 24-27, 35.
- [55] 林昌华, 张士荣, 王军, 等. 秸秆还田与优化施氮改善烤烟根际土壤碳氮转化及氮素吸收[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(1): 15-23.
- [56] 孙晓伟, 姚健, 何朋朋, 等. 同氮量条件下不同种类有机肥配施对烤烟生长及产质量的影响[J]. *长江大学学报(自科版)*, 2018, 15(2): 9-13.
- [57] 李杰, 李松, 徐兴阳, 等. 生物有机肥与化肥配施对烟叶产质量的影响[J]. *贵州农业科学*, 2018, 46(6): 98-102.
- [58] HUANG S, LV W S, BLOSZIES S, et al. Effects of fertilizer management practices on yield-scaled ammonia emissions from croplands in China: A meta-analysis[J]. *Field crops research*, 2016, 192: 118-125.
- [59] 刘青丽, 张云贵, 焦永鸽, 等. 西南烟区氮素供应与烤烟氮素吸收的关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(3): 757-764.
- [60] 朱佩, 张继光, 薛琳, 等. 不同质地土壤上烤烟氮素积累、分配及利用率的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(2): 362-370.
- [61] 刘青丽, 石俊雄, 张云贵, 等. 应用<sup>15</sup>N 示踪研究不同有机物对烤烟氮素营养及品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(22): 4642-4651.
- [62] 赵军, 窦玉青, 宋付朋, 等. 有机和无机烟草专用肥配合施用对烟草生产效益和肥料氮素利用率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(3): 613-619.
- [63] 封幸兵, 李佛琳, 杨跃, 等. 以<sup>15</sup>N 研究烤烟对饼肥和秸秆肥中氮素的吸收与分配[J]. *华中农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 24(6): 604-609.
- [64] 李青山, 王德权, 高政绪, 等. 氮肥配施纳米碳对植烟土壤氮素转化及 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. *土壤*, 2021, 53(2): 258-264.
- [65] 李艳梅, 张兴昌, 廖上强, 等. 生物炭基肥增效技术与制备工艺研究进展分析[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(10): 1-14.