

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.18469

烟末(梗)有机肥对3种不同类型作物土壤养分及产量和品质的影响

王亚麒¹, 魏立本¹, 易忠经², 赵建², 袁玲^{1*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400700; 2. 贵州省烟草公司遵义市公司, 贵州 遵义 563000)

摘要: 烤烟是我国重要的经济作物, 烘烤和复烤产生大量的废弃烟末(梗), 目前采用的填埋和焚烧处理不仅浪费有机质和养分资源, 而且污染环境, 亟待无害化处理与资源化利用。试验将废弃烟末和烟梗粉碎, 接种热解纤维梭菌(*Clostridium thermocellum*), 并加入辅助剂, 经高温堆制生产有机肥, 并以玉米、杨梅和花椰菜等当地作物为对象, 田间研究其肥效。试验设置不施肥(对照)、单施化肥、单施烟末(梗)有机肥、化肥配施有机肥4个处理。结果表明, 高温堆制的烟末(梗)有机肥的质量符合农业部NY 525-2012标准, 有机质、氮、磷、钾含量依次为40.45%、1.91%、0.84%和2.12%。在施用有机肥的处理中, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量显著提高, 并与作物和果树养分需要相协调; 土壤微生物量碳、氮显著增加, 表明烟末(梗)有机肥促进土壤微生物生长繁殖, 增加微生物数量。与单施化肥相比, 化肥配施有机肥使玉米、花椰菜和杨梅的产量分别增加10.11%、14.04%和5.45%, 果实品质得到显著改善。因此, 废弃烟末(梗)是优良的有机肥源, 高温堆肥可实现废弃烟末(梗)的无害化处理与资源化利用。

关键词: 烟末(梗)有机肥; 土壤养分; 玉米; 杨梅; 花椰菜

烤烟是我国重要的经济作物, 是当地烟农经济和国家财政税收的主要来源之一。我国每年生产烟叶450万~500万t, 其中约有25%的烟末(梗)不能用于卷烟生产。例如, 在我国的主产烟区——云南省, 所生产的烟叶中有30%~35%属于不能进行卷烟加工的低等或等外级烟叶^[1]; 在烟草种植与烟厂生产卷烟时, 废弃的大量烟末和烟梗需要无害化处理。目前, 处理废弃烟末(梗)的主要方式包括直接焚烧、能源燃烧、卫生填埋等, 直接焚烧不仅污染空气, 而且浪费有机质资源; 烟末(梗)的燃烧值低, 做能源燃烧的经济收益差, 入不敷出; 卫生填埋占用土地, 容易造成水源污染; 废弃烟末(梗)含有多种有害物质, 如: 烟碱(0.5%~6%)、尼古丁酸(0.5%~2%)、茄尼醇(0.5%~4%), 以及某些烟草病原菌(花叶病、根腐病、黑胫病等), 其中烟碱对多种土壤微生物的生长有抑制作用^[2]; 烟草病原菌可增加

后茬茄科作物致病率, 降低其果实产量与品质^[3]。值得注意的是, 废弃烟末(梗)富含有机质、氮、磷、钾及其它营养元素, 其养分含量显著高于玉米、小麦、水稻等禾本科作物秸秆, 是优良的有机肥源^[4]。在农业生产中, 施用有机肥补充土壤碳、氮、磷、钾及微量元素, 改善土壤物理、化学及生物学性质, 如疏松土壤, 改良土壤结构, 提高养分生物有效性, 增强微生物活性, 增加作物产量, 改善品质等^[5-8]。因此, 生产有机肥是无害化处理与资源化利用废弃烟末(梗)的有效方式之一。

目前, 在利用烟草废弃物发酵生产有机肥方面虽有一些报道, 但是由于普通堆肥及短期发酵不能完全清除、杀灭烟草废料中的毒素和病原菌^[9], 加之工艺流程不完善、堆肥菌剂与辅助材料各异, 堆肥效果差异较大^[10-11]。为此, 本研究以热解纤维梭菌(*Clostridium thermocellum* sp.)作菌剂, 对烟末(梗)废弃物进行60d的高温发酵处理, 生产出烟末(梗)有机肥, 并以黔北烟区典型、具有代表性的玉米、花椰菜和杨梅为对象, 验证其肥效, 旨在为无害化处理资源化利用废弃烟末(梗), 防治环境污染, 改良土壤, 提高作物产量与品质提供科学依据。

收稿日期: 2018-11-30; 录用日期: 2019-01-16

基金项目: 贵州烟草公司遵义市公司, 合同号: 201503。

作者简介: 王亚麒(1992-), 男(满族), 宁夏银川人, 在读博士, 研究方向为植物营养学。E-mail: 418626455@qq.com。

通讯作者: 袁玲, E-mail: lingyuannh@aliyun.com。

1 材料与方法

1.1 烟末(梗)有机肥的制备

废弃烟末(梗): 供试烟末(梗)来源于贵州遵义市烟草公司绥阳烟草科技园, 由当地烤烟采收丢弃的烟梗和烟叶, 以及烘烤遗弃的烟末(梗)组成。

发酵菌剂: 热解纤维梭菌由西南大学资源环境学院微生物实验室分离获得, 最高耐受温度 72℃, 最适生长和最适产酶温度 52 ~ 55℃。在 50℃ 培养条件下, 用 50 mL 赫奇逊液体培养基培养 10 d, 6 000 r/min 离心培养 10 min, 上清液中的纤维酶活力分别为 10.2 μg/(min·mL) (CMC-Na 酶)、6.1 μg/(min·mL) (微晶纤维素酶)、3.1 μg/(min·mL) (滤纸酶)。在 50℃ 条件下, 分别液体培养供试菌株 10 d 备用^[12-13]。

生产设施: 用透光率大于 70% 的阳光板构建太阳能温室, 面积 1 200 m² (长 × 宽 = 60 m × 20 m), 高 5 m; 30 cm C30 混凝土 (标准立方体抗压强度为 30 Mpa) 地面, 发酵槽高 2 m, 宽 4 m, 长 50 m; 在发酵槽底部, 间隔 0.5 m 铺设直径为 4 cm 的通气管, 通气管上每隔 10 cm 有直径 0.5 cm 的通气孔; 在发酵槽上部, 安装行走式翻抛机。

生产烟末(梗)有机肥: 粉碎废弃烟末(梗)至 ≤ 3 mm, 按废弃烟末(梗): 水: 尿素: 发酵菌剂: 硫酸钙质量比为 100 : 50 : 0.5 : 0.5 : 1 混合均匀, 填充至 1.8 m 于发酵槽内, 堆制第 3 d 后, 每隔 6 h 用空压机经通气管道通气, 每次每立方米的烟末(梗)通气为 0.005 m³。每隔 5 d 用行走式翻抛机翻堆 1 次, 翻堆当天不通气, 约 60 d 后物料腐熟成黑褐色即生产出烟末(梗)有机肥 (以下简称有机肥, 表 1)^[4, 14-17]。

表 1 烟末(梗)有机肥的 pH 值、水分、
有机质和养分含量

pH 值	有机质 (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	水分 (%)
7.12 ± 0.13	40.45 ± 2.32	1.91 ± 0.22	0.84 ± 0.13	2.12 ± 0.21	29.82 ± 2.23

注: 数据为平均值 ± 标准差, 下同。

1.2 肥效研究

试验区域概况: 贵州省遵义市绥阳县高方子村 (N 27° 53', E 107° 04'), 海拔 1 200 m, 亚热带太平洋季风气候, 年均气温 14.7℃, 年均降水 1 200 mm, 无霜期 270 d。土壤类型为黄壤, 中等肥

力, pH 值 5.67、有机质 22.75 g/kg、全氮 1.03 g/kg、全磷 0.48 g/kg、全钾 9.95 g/kg。

供试品种: 玉米为垦粘 1 号, 花椰菜为清江, 均购于当地农资公司; 杨梅为贵州火炭梅, 树龄 8 年。

化肥: 尿素 (N 46%)、过磷酸钙 (P₂O₅ 12%) 和硫酸钾 (K₂O 50%), 购于当地农资公司。

试验方法: 试验于 2017 年 12 月 ~ 2018 年 10 月进行。设置: (1) 不施肥 (CK); (2) 单施化肥 (CF); (3) 单施烟末(梗)有机肥 (OF); (4) 50% 化肥配施 50% 烟末(梗)有机肥 (CF+OF) 4 种处理。

根据试验区土壤肥力和计划产量确定田间施肥量。其中, 玉米 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 110 kg/hm²、K₂O 140 kg/hm²; 杨梅 N 225 kg/hm²、P₂O₅ 120 kg/hm²、K₂O 140 kg/hm²; 花椰菜 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 220 kg/hm²。玉米、花椰菜的小区面积 30 m², 每公顷种植杨梅 405 ~ 450 株, 每小区 5 ~ 6 株, 均重复 3 次, 随机区组排列。在 OF 和 CF+OF 处理中, 以氮为基准确定 OF 用量, 不足的磷、钾由化肥补充, 使各施肥处理的氮、磷、钾用量相等。在施肥时, 烟末(梗)有机肥和磷钾肥全做基肥, 基肥用氮量占总用量的 70% (玉米) 或 60% (杨梅、花椰菜), 剩余的氮肥追施于玉米大喇叭口期、花椰菜花球成熟期、杨梅开花期, 种植密度和病虫害防治等田间管理同当地大田生产。

1.3 样品采集与分析

土壤有效养分: 分别在玉米出苗期、大喇叭口期、孕穗期、成熟期, 杨梅花芽休眠期、开花期、果熟期, 花椰菜苗期、莲坐期、花球成熟期、开花结果期采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤。用扩散法测定土壤碱解氮, 钼锑抗比色法测定有效磷, 火焰光度法测定速效钾^[18]。

土壤微生物量: 分别在玉米成熟期、杨梅果熟期、花椰菜开花结果期, 按照测定土壤有效养分方法采集土壤样品, 用氯仿熏蒸—0.5 mol/L K₂SO₄ 提取微生物量碳、氮, K₂CrO₇ 氧化法测碳, 脲酚蓝比色法测氮^[19-20]。

植株样品: 在作物成熟后, 采集具有代表性的样品, 测定品质指标。玉米籽粒: 粗蛋白、淀粉; 杨梅果实: 维生素 C、可溶性糖、可滴定酸、糖酸比; 花椰菜花球: 收获时含水量、粗蛋白、可溶性糖。可溶性糖、可滴定酸、维生素 C、淀粉、粗蛋白、硝酸盐和游离氨基酸总量的测定方法依次是萘

酮比色法、酸碱中和滴定法、2,6-二氯酚靛酚滴定法、酸解-蒽酮比色法、凯氏定氮法、紫外分光光度法和水合茛三酮法^[21]。

农艺性状：在作物成熟时，根据各作物每个小区分别随机选取植株测定以下性状指标。玉米：穗粒数、百粒重、籽粒产量；杨梅：总产量；花椰菜：单球重、球径、总产量。

1.4 统计分析方法

使用 Excel 2016 对试验数据进行统计整理，SPSS 18.0 软件进行统计分析，并采用 LSD 法比较处理间差异显著性，显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 烟末（梗）有机肥对土壤养分的影响

图 1 是玉米出苗期、大喇叭口期、孕穗期和成熟期土壤有效养分的变化。

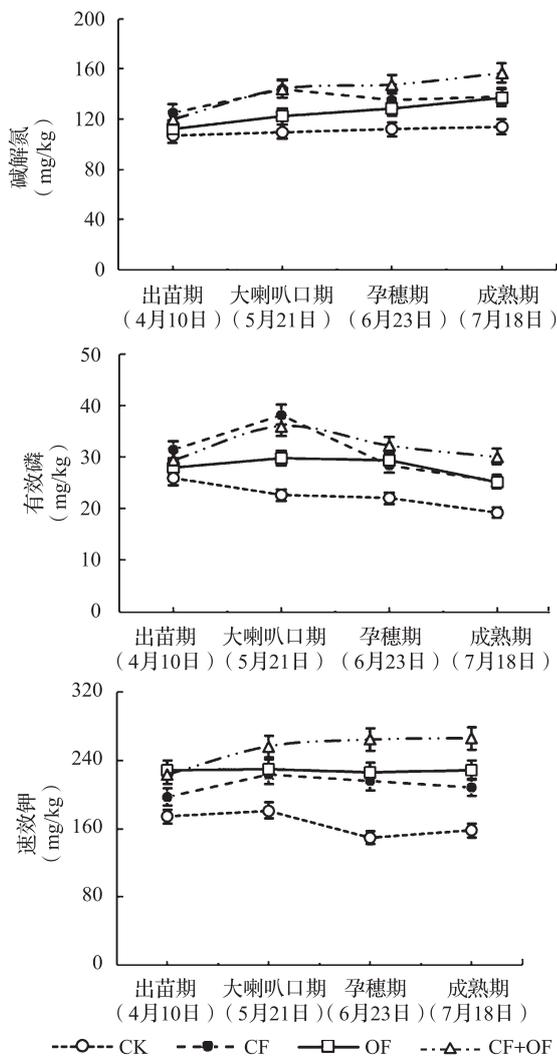


图 1 烟末（梗）有机肥对玉米土壤有效养分的影响

碱解氮：在施用 CF 的土壤中，大喇叭口期碱解氮最高，然后降低，但孕穗期和成熟期仍显著高于出苗期；随着玉米的生长发育，CK、CF+OF 和 OF 土壤中的碱解氮以近似直线的方式持续缓慢增加，整体呈现 CF+OF>CF>OF>CK。

有效磷：在施用 CF 与 CF+OF 的土壤中，从出苗期到大喇叭口期有效磷含量显著增加，之后显著降低，呈现以大喇叭口期为峰顶单峰形势变化；随玉米生育期延长，CK 与 OF 土壤中的有效磷含量持续降低，CK 处理的降幅显著高于 OF，达 34.79%。

速效钾：在施用 CF 的土壤中，速效钾含量变化类似碱解氮，在玉米大喇叭口期最高，之后逐渐下降；随着玉米生长发育，CF+OF 处理土壤中的速效钾含量以近似抛物线方式持续增加；OF 则无显著变化；而 CK 显著降低。

就养分含量而言，施肥土壤中的有效养分显著高于 CK；在孕穗期和成熟期，CF+OF 土壤中的有效养分最高（大喇叭口期碱解氮和有效磷例外，分别与 CF 无显著差异且低于 CF）。

图 2 是杨梅休眠期、开花期和果熟期土壤有效养分的变化。

碱解氮：OF 与 CF+OF 处理的土壤碱解氮总体均呈直线方式平缓提高，就整体水平而言 CF+OF>OF；其中 CK 处理中碱解氮含量以近似直线方式逐步下降；在 CF 处理的土壤中，在花芽休眠期到开花期呈现上升趋势，但从开花期到果熟期阶段显著降低。

有效磷：在杨梅土壤中，4 种处理下土壤中有效磷含量呈现逐步减少的趋势，整体表现为 CF+OF>CF>OF>CK，CK 处理显著低于其他 3 种处理；其中在开花期到果熟期阶段 CF 处理下有效磷含量显著降低，降幅达 44.45%。

速效钾：杨梅土壤在 4 种施肥处理下，速效钾含量整体呈现降低趋势；其中在 OF 处理下，杨梅花芽休眠期到开花期阶段土壤速效钾含量显著下降，杨梅开花期到果熟期阶段则无显著变化；而在 CF+OF 处理下则与 OF 处理的变化相反，在杨梅生长前期无显著变化，在生长后期则显著下降。

从土壤总体养分含量来看，施肥处理显著高于不施肥处理，CF+OF 与 OF 处理在杨梅花芽休眠期内，土壤养分消耗趋势显著低于其他两个处理。

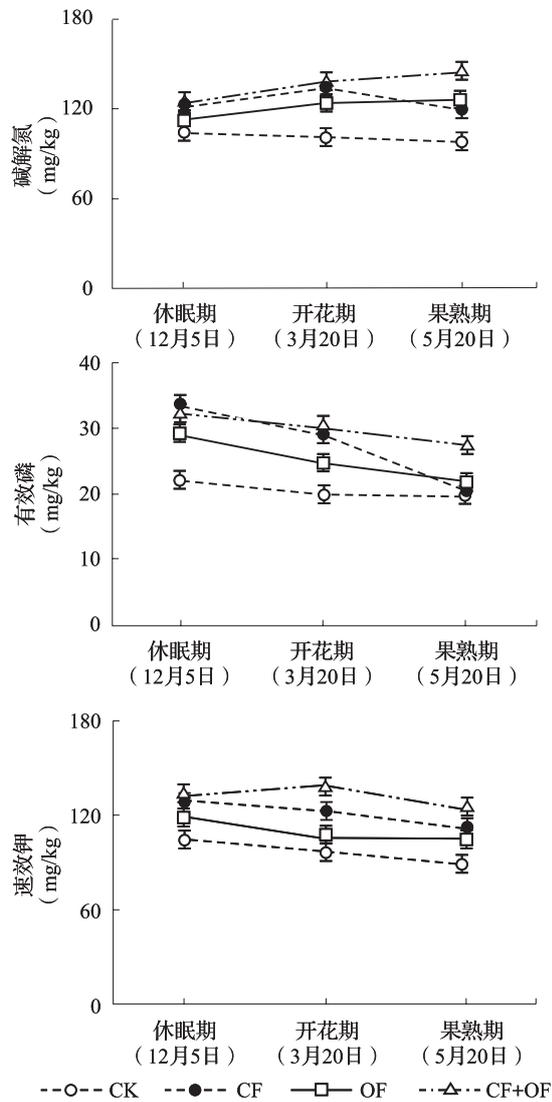


图2 烟末(梗)有机肥对杨梅土壤有效养分的影响

图3是花椰菜不同生育期土壤有效养分的变化。

碱解氮: 在CK与施用CF的花椰菜土壤中,二者整体呈现下降趋势,随花椰菜生育期延长,CF+OF与OF土壤中的碱解氮逐步增加,其中CF+OF的增长最为显著,整体呈现CF+OF>OF>CF>CK。

有效磷: 在施用CF、CF+OF与OF的花椰菜土壤中,有效磷含量整体呈现逐步降低趋势。其中在幼苗期到莲座期阶段CF+OF处理下有效磷含量下降,而在之后的生长期内呈现显著上升趋势,4种处理整体呈现CF+OF>OF>CF>CK。

速效钾: 在CK和CF处理下,土壤速效钾含量呈直线的方式逐步降低;OF处理速效钾呈现出幼苗期至莲座期时逐渐升高,在莲座期之后逐渐降低的趋势;而CF+OF处理下,土壤速效钾呈

现先下降后上升趋势,整体表现为CF+OF>CF>OF>CK。

就养分含量而言,在施用肥料处理的土壤中有有效养分显著高于CK,其中CF与CK处理下在农作物生育期内土壤有效养分呈现逐步下降趋势,而OF与CF+OF处理下土壤中的有效养分虽也有降低趋势,但降幅明显低于CF与CK处理。

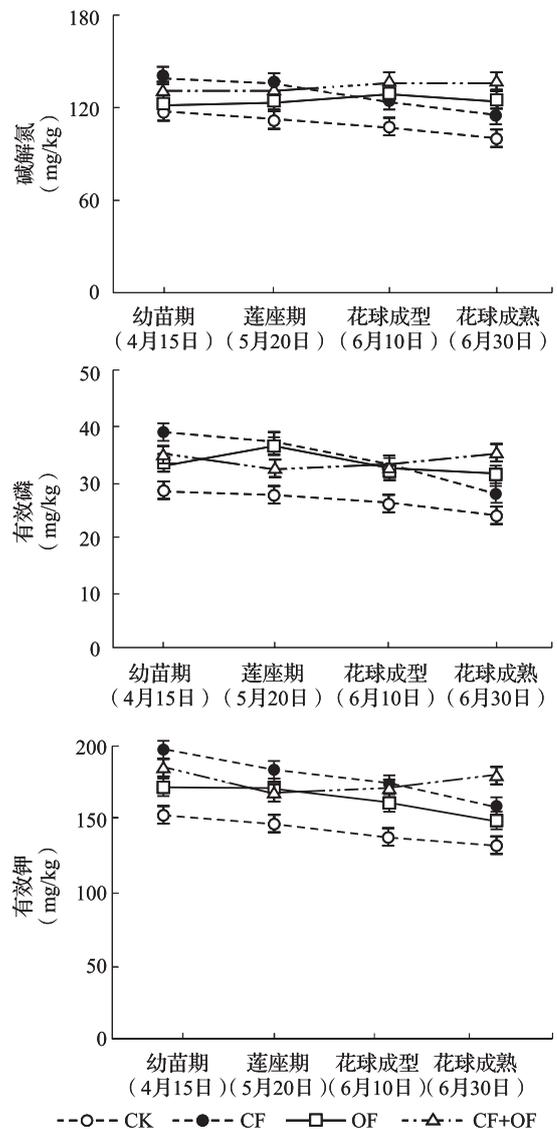


图3 烟末(梗)有机肥对花椰菜土壤有效养分的影响

2.2 烟末(梗)有机肥对土壤微生物量碳、氮的影响

由表2可知,玉米土壤微生物量碳CF+OF>OF>CF>CK,变幅为151.56~398.35 mg/kg;微生物量氮CF+OF最高,OF和CF次之,CK最低,变幅为11.38~22.96 mg/kg;微生物量碳氮比CF+OF最高,OF次之,CK和CF最低,变幅为13.31~17.35。

表2 烟末(梗)有机肥对土壤微生物量碳、氮的影响

品种	处理	微生物量碳 (mg/kg)	微生物量氮 (mg/kg)	碳氮比
玉米	CK	151.65 ± 7.36d	11.38 ± 1.16c	13.31 ± 2.1b
	CF	254.08 ± 13.14c	17.31 ± 2.38b	14.68 ± 2.14b
	OF	281.11 ± 16.31b	18.18 ± 2.16b	15.46 ± 2.25b
	CF+OF	398.35 ± 27.46a	22.96 ± 2.62a	17.35 ± 1.59a
杨梅	CK	184.67 ± 11.56c	16.41 ± 0.85b	11.27 ± 0.82b
	CF	203.21 ± 3.66b	16.44 ± 0.72b	13.58 ± 0.88b
	OF	187.33 ± 6.61c	16.71 ± 0.5b	14.6 ± 0.95b
	CF+OF	213.34 ± 5.79a	18.21 ± 0.83a	18.8 ± 0.56a
花椰菜	CK	140.67 ± 8.25d	12.27 ± 2.05c	11.47 ± 3.0b
	CF	243.19 ± 14.03c	18.20 ± 3.27b	13.36 ± 3.03a
	OF	270.22 ± 17.20b	19.07 ± 3.05b	14.17 ± 3.14a
	CF+OF	378.46 ± 28.35a	23.85 ± 3.51a	13.12 ± 2.48a

注: 在同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P \leq 0.05$), 下同。

在杨梅土壤中, CF+OF 处理下土壤微生物量碳相较于其他 3 种处理达最大值, CF 略高于 OF, CK 与 OF 无显著差异, 相较于 CK 处理, CF+OF 处理使土壤微生物量碳增加了 15.51%; 而微生物量氮, CF+OF 同样为最高, 但 OF、CF 与 CK 之间并无显著差异, 4 种处理变幅为 16.41 ~ 18.21 mg/kg; 微生物量碳氮比 CF+OF 最高, OF 次之, CF 再次之, CK 处理最低, 其中相较于 CK 处理, 在 CF+OF 处理下碳氮比增加了 66.81%。

在花椰菜土壤中, 土壤微生物量碳 CF+OF 相较于其他 3 个处理最高, OF>CF>CK, 变幅为 140.67 ~ 378.46 mg/kg; 而微生物量氮, CF+OF 同样为最高, OF 和 CF 次之, CK 最低, 变幅

为 12.27 ~ 23.85 mg/kg; 微生物量碳氮比 OF 最高, CF+OF 次之, CK 和 CF 最低, 变幅为 11.47 ~ 14.17。

2.3 烟末(梗)有机肥对作物产量与品质的影响

2.3.1 烟末(梗)有机肥对玉米产量与品质的影响

由表 3 可知, 玉米籽粒产量 CF+OF>OF>CF>CK, 变幅为 8 574 ~ 10 565 kg/hm²。而玉米穗粒数指标中各个处理之间差异并不显著, 玉米籽粒的百粒重和产量 CF+OF 最高, CF 和 OF 次之, CK 最低, CF+OF 的百粒重和籽粒产量分别比 CF 提高 3.68% 和 8.81%。

在施用 CF+OF 和 OF 的处理中, 玉米籽粒的粗蛋白分别比 CF 提高 13.93% 和 12.14%; 淀粉含量分别比 CF 增加 16.52% 和 13.75%。

表3 烟末(梗)有机肥对玉米产量与品质的影响

处理	穗粒数	百粒重 (g/100 粒)	籽粒产量 (kg/hm ²)	粗蛋白 (%)	淀粉 (%)
CK	490.22 ± 23.76a	33.22 ± 2.43c	8 574c	8.42 ± 0.09c	57.64 ± 3.43c
CF	505.43 ± 26.25a	36.62 ± 3.27b	9 709b	9.47 ± 0.02b	64.16 ± 3.14b
OF	520.28 ± 21.93a	34.32 ± 2.92ab	9 370b	10.62 ± 0.08a	74.76 ± 4.93a
CF+OF	530.56 ± 32.44a	37.97 ± 2.75a	10 565a	10.79 ± 0.12a	72.98 ± 3.72a

2.3.2 烟末(梗)有机肥对杨梅产量与品质的影响

由表4可知,杨梅分两次采摘,在第一次采摘中,杨梅的各个处理之间差异较大,其中CF+OF最高,CF次之,OF再次之,CK最低;第二次采摘中的各个处理之间差异较小,最后总产量呈现CF+OF ≈ CF>OF>CK,CF+OF比CK产量提高

26.75%,比CF产量提高5.74%。

由表4可知,在维生素C的指标中,CF+OF为最高,CF与OF次之,CK最低;在可溶性糖与可滴定酸的指标中,各处理表现为CF+OF>OF>CF>CK;在糖酸比指标中,4种处理没有显著差异。

表4 烟末(梗)有机肥对杨梅产量与品质的影响

处理	6月16日 第一次采摘 (kg/株)	6月21日 第二次采摘 (kg/株)	总产量 (kg/hm ²)	维生素C (mg/100g)	可溶性糖 (%)	可滴定酸 (%)	糖酸比
CK	29.45 ± 1.54c	17.24 ± 2.44a	18 909c	8.48 ± 0.69c	4.16 ± 0.04d	0.14 ± 0.21d	29.71 ± 1.56a
CF	36.40 ± 1.14b	19.57 ± 1.51a	22 667a	9.61 ± 0.38ab	5.03 ± 0.17c	0.16 ± 0.14c	31.43 ± 2.35a
OF	32.60 ± 1.34c	17.21 ± 2.35a	20 173b	9.14 ± 0.24b	4.67 ± 0.18b	0.17 ± 0.04b	27.47 ± 1.67a
CF+OF	39.65 ± 1.55a	19.53 ± 1.57a	23 967a	10.29 ± 0.20a	5.58 ± 0.29a	0.19 ± 0.10a	29.36 ± 1.42a

2.3.3 烟末(梗)有机肥对花椰菜产量与品质的影响

花椰菜经济产量为CF+OF>CF>OF>CK,变幅为25 960 ~ 29 640 kg/hm²。在花椰菜的单球重和球径两个指标中,CF+OF均为最高,CF和OF次之,CK最低;CF+OF的经济产量比CF提高5.71%。

由表5可知,在CF、OF和CF+OF处理下,花

椰菜收获时含水量均显著增高,其增幅分别为6.23% (CF+OF) > 5.74% (CF) > 5.24% (OF);在CF+OF和OF处理中,花椰菜花球的粗蛋白分别比CK处理提高了31.6%和14.15%;但可溶性糖指标中,CF+OF、OF和CF处理之间则无显著差异,但3种处理都显著高于CK处理增幅为6.04% ~ 6.65%。

表5 烟末(梗)有机肥对花椰菜产量与品质的影响

处理	单球重 (kg)	球径 (cm)	经济产量 (kg/hm ²)	收获时含水量 (%)	粗蛋白 (%)	可溶性糖 (%)
CK	0.62 ± 0.10c	15.10 ± 2.30b	25 960c	87.46 ± 0.24b	2.12 ± 0.03d	3.31 ± 0.04c
CF	0.83 ± 0.11b	15.70 ± 1.30b	28 039b	92.48 ± 0.10a	2.24 ± 0.02c	3.51 ± 0.05a
OF	0.82 ± 0.13b	15.90 ± 2.10b	27 341b	92.04 ± 0.12a	2.42 ± 0.04b	3.55 ± 0.05a
CF+OF	0.91 ± 0.07a	16.50 ± 0.90a	29 640a	92.91 ± 0.16a	2.79 ± 0.02a	3.53 ± 0.03a

3 讨论

在堆肥腐熟过程中,微生物可以使有机质发生矿化与腐殖化^[22],在发酵的高温阶段,高温微生物活跃程度达到顶峰,有机质矿化和脱水速率最高,是有害化处理废弃物生产有机肥的关键时期^[23-24]。在此试验中,接种高温纤维芽孢杆菌之后,物料迅速升温,最高可达74℃。在≥70℃的高温期,大多数病原微生物无法存活,只剩下接入的高温菌种。此外,烟秆中的纤维素与半纤维素在纤维芽孢杆菌作用下释放出大量热量,在提高温度的同时也杀灭了大量的病原微生物。此阶段在腐熟废弃烟末(梗)的过程中对脱水、腐熟、提高堆肥

质量、除臭和灭菌等均有重要作用^[25-27]。

试验表明,施用CF+OF处理的土壤有效养分(碱解氮、有效磷、速效钾)在玉米、杨梅与花椰菜的生长中后期均得到显著提高,恰好与作物在果熟期时需要较多营养元素相协调,有益于满足作物的营养需要,提高作物的产量与品质。土壤微生物可以直接参与各种土壤养分的分解与转化,特别是有机质的分解与腐殖质的合成^[28-29]。而微生物量碳、氮与土壤微生物的具体数量相比较更能全面的表征土壤实际肥力水平和潜力,是更灵敏、更准确的土壤肥力水平指标^[6, 30]。与CK和CF处理相比,CF+OF处理显著提高土壤微生物量碳、氮,说明烟末(梗)有机肥促进微生物生长繁殖,数量

增加,类似普通商品有机肥,其原因是施用的烟末(梗)有机肥里富含有机质,为微生物生长提供了更多的碳源和氮源,同时促进作物根系代谢,使根系的分泌物增多,微生物繁殖加快,从而提高了土壤酶活性^[31-34]。此外,在不同施肥处理中,微生物量碳氮比差异显著,推测土壤微生物的组成和群落结构因施肥而发生变化,具体情况需要进一步研究。

在烟末(梗)有机肥与化肥混合施用的处理下,由于土壤养分的增加,土壤微生物活力增强,使3种作物的产量均得到不同程度的提高。从玉米产量的构成因素可知,增加穗粒数,提高粒重是玉米高产的直接原因。而增加单球重,提高球径是花椰菜增产的主要因素。从果实品质上来看,施用烟末(梗)有机肥后,玉米籽粒的粗蛋白和淀粉含量显著高于CF和CK,说明玉米籽粒品质得到有效改善;杨梅的维生素C、可溶性糖和可滴定酸含量显著提高。但是在糖酸比指标中,4种处理的比值均无显著差异,而可溶性糖与可滴定酸的比值及其动态变化在很大程度上决定了杨梅果实风味。由此可见,烟末(梗)有机肥与化肥混施可以有效提高杨梅可溶性糖含量与可滴定酸含量,但是对杨梅口味与风味的影响,与单施化肥的处理无显著差异。这可能与农民疏于管理,果园从栽种之后就没有系统规范的施过肥料,土壤普遍缺乏基础养分有关,需进一步研究观察^[35-37];从花球的品质看,施用烟末(梗)有机肥后,花椰菜的粗蛋白含量显著高于单施化肥处理,说明花椰菜花球的品质得到有效改善。

4 结论

在无害化处理废弃烟末(梗)的过程中,接种高温纤维芽孢杆菌菌剂,添加适量尿素与水,经60d高温堆肥发酵,腐熟而成的烟末(梗)有机肥。经肥效验证,可以提高土壤微生物量碳、氮含量,促进微生物的生长繁殖,进而活化土壤,有利于作物根系的生长和发育,进一步促进了作物对氮、磷和钾养分的吸收,烟末(梗)有机无机肥配施显著提高作物的产量和品质。因此,在国家竭力控烟的政策和农田大量缺乏有机肥原料的情况下,在贵州遵义绥阳县的栽培实践中,腐熟堆制的废弃烟末(梗)可为当地的谷物、水果、蔬菜种植提供大量有机肥源,可进一步推广应用。

参考文献:

- [1] 尹启生,张艳玲,薛超群,等.中国烤烟主要物理特性及其产区差异[J].中国烟草学报,2009,15(4):33-38.
- [2] 谢慧,朱鲁生,谭梅英. 吡虫啉在土壤中的降解动态及对土壤微生物的影响[J].土壤学报,2016,53(1):232-240.
- [3] 黄平娜,秦道珠,龙怀玉,等.绿肥-烟-稻轮作与烟叶产量品质及后茬晚稻产量效应[J].中国农学通报,2010,26(1):103-108.
- [4] 高明,郭灵燕,席宇,等.烟梗生物发酵制造有机肥[J].烟草科技,2010,48(11):20-27.
- [5] 刘巧真,郭芳阳,吴照辉.烤烟连作土壤障碍因子及防治措施[J].中国农学通报,2012,28(10):87-90.
- [6] Hedlund K. Soil microbial community structure in relation to vegetation management on former agricultural land[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34(9): 1299-1307.
- [7] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2008,7(3):336-343.
- [8] 丁伟,叶江平,蒋卫,等.长期施肥对植烟土壤微生物的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18:1175-1183.
- [9] 李艳平,任天宝,李建华,等.烟秆有机肥对烤烟根系发育和矿质元素含量的影响[J].中国烟草科学,2016,37(6):21-26.
- [10] 李军,李吉昌,吴晓华,等.烟草废弃物利用研究[J].云南化工,2010,37(2):44-49.
- [11] 施河丽,谭军,王兴斌,等.烟草秸秆生物有机肥对植烟土壤交换性盐基的影响[J].中国烟草科学,2015,(4):80-84.
- [12] 张健红,李寅,刘和亮,等.一株碱性果胶酶高产细菌的分离、系统发育分析和产酶条件的初步优化[J].应用与环境生物学报,2005,11(3):354-358.
- [13] 席北斗,孟伟,刘鸿亮,等.垃圾堆肥高效纤维素分解菌的筛选与培育技术[J].环境污染与防治,2002,(24):339-341.
- [14] 黄国锋,吴启堂,黄焕忠.有机固体废物好氧高温堆肥化处理技术[J].中国生态农业学报,2003,11(1):159-161.
- [15] Gu J, Li S, Qin Q, et al. Changes of biochemical properties of agricultural waste materials during composting in high temperature and static state[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(8): 1699-1705.
- [16] 李少明,汤利,范茂攀,等.不同微生物腐熟剂对烟末高温堆肥腐熟进程的影响[J].农业环境科学学报,2008,(2):783-786.
- [17] Hussain I, Price G W, Farid A H. Inactivation of Aleutian mink disease virus through high temperature exposure in vitro, and under field-based composting conditions[J]. Veterinary Microbiology, 2014, 173(1-2): 50-58.
- [18] 杨剑虹,王成林,代亭林.土壤农化分析与环境监测[M].北京:中国大地出版社,2008.
- [19] 周礼恺,张志明.土壤酶活性的测定方法[J].土壤通报,

- 1980, (5): 37-38, 49.
- [20] 吴金水. 土壤微生物量测定方法及其应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [21] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011. 34-78.
- [22] Shiho W, Hiraku S, Kikuji I. Investigation of the microbial community in a microbiological additive used in a manure composting process [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99 (1): 2687-2693.
- [23] Tuomela M, Vikman M, Hatakka A, et al. Biodegradation of lignin in compost environment are view [J]. *Bioresource Technology*, 2000, 72 (2): 169-183.
- [24] 席北斗, 刘鸿亮, 孟伟, 等. 高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用 [J]. *环境科学*, 2001, 22 (5): 122-125.
- [25] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状 [J]. *农业工程学报*, 2002, 18 (3): 87-91.
- [26] 汪开英, 朱凤香, 王卫平, 等. 不同辅料生物菌剂堆肥发酵层温度变化 [J]. *农业工程学报*, 2006, 22 (1): 186-188.
- [27] 秦莉, 李玉春, 李国学, 等. 城市生活垃圾堆肥过程中腐熟度指标及控制参数 [J]. *农业工程学报*, 2006, 22 (12): 189-193.
- [28] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41 (10): 133-139.
- [29] 李冬初, 李菊梅, 徐明岗, 等. 有机无机肥配施对红壤稻田氮素形态及水稻产量的影响 [J], *湖南农业科学*, 2004, (3): 23-25.
- [30] 张小莉, 孟琳, 王秋君, 等. 不同有机无机复混肥对水稻产量和氮素利用率的影响 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20 (3): 624-630.
- [31] 朱宝国. 有机肥和化肥配施对大豆产量、品质影响的研究 [J]. *东北农业大学*, 2010, 29 (1): 97-100.
- [32] Zhang J Q, Zhu P, Zhang F D. Effect of organic manure and chemical fertilizer combined application on the form and distribution of organic nitrogen of black soil [J]. *Plant Nutrition & Fertilizing Science*, 2004, 10 (3): 245-249.
- [33] Wan Z, Wu J. Study progress on factors affecting soil enzyme activity [J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 2005, 33: 87-91.
- [34] Ed H C, Ren S C, Yuong H T. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53 (2): 132-140.
- [35] 柴春燕, 董建国, 徐绍清, 等. 不同栽培模式对杨梅园土壤肥力及果实品质的影响 [J]. *林业科技*, 2013, 38 (4): 51-53.
- [36] 蒋黎, 徐海红, 林飞凡, 等. 3个杨梅品种果实糖酸组分和含量分析 [J]. *中国果树*, 2012, (3): 26-29.
- [37] 黄永红, 曾继吾, 夏瑞, 等. 杨梅果实品质动态变化及其综合评价 [J]. *湖南农业大学学报 (自然科学版)*, 2009, 35 (3): 288-291.

Effects of tobacco organic fertilizer on soil nutrient, yield and quality of three different types of crops

WANG Ya-qi¹, WEI Li-ben¹, YI Zhong-jing², ZHAO Jian², YUAN Ling^{1*} (1. College of Natural Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400700; 2. Zunyi Tobacco Company, Zunyi Guizhou 563000)

Abstract: Flue-cured tobacco is an important cash crop in China. A large amount of tobacco powder and stems are abandoned in baking and re-baking. Landfill and incineration not only waste organic matter and nutrient resources, but also pollute the environment. It is urgent to treat the waste powder and stems harmlessly and utilize as resources. In the present experiment, the tobacco wastes were pulverized, inoculated with *Clostridium thermocellum*, and mixed with additives in high temperature composting. The efficiency of organic fertilizers made from the wastes was then investigated in fields with local crops such as maize (*Zea mays*), waxberry (*Myrica rubra*), and broccoli (*Brassica oleracea*). The field experimental treatments were designed taking into local fertilization, including blank control (without fertilizer), chemical fertilizer, organic fertilizer made from the tobacco wastes, and chemical fertilizer in combination with the organic fertilizer. The results showed that the organic fertilizer manufactured by high temperature composting contained 40.45% of organic matter, 1.91% nitrogen, 0.84% phosphorus, and 2.12% potassium, which accorded with the national standard NY 525-2012. Application of the organic fertilizer significantly increased available nutrients like nitrogen, phosphorus and potassium in soils, meanwhile the changes of available nutrients harmonized well with plant requirements. Microbial biomass carbon and nitrogen in soils were also increased significantly by addition of the organic fertilizer, indicating the promotion of microbial reproduction and increment of microbial members. In comparison with only chemical fertilizer, application of chemical fertilizer in combination with the organic fertilizer enhanced the yield of maize by 10.11%, broccoli by 14.04%, and waxberry by 5.45%, respectively, along with significant quality improvement. Therefore, waste tobacco powder and stems are good raw materials for manufacture of organic fertilizer, and high temperature composting is able to realize harmless treatment and resource utilization.

Key words: tobacco powder (stems) organic fertilizer; soil nutrients; *Zea mays*; *Myrica rubra*; *Brassica oleracea*