

生物降解地膜对植烟土壤温室气体排放的影响

李欢^{1,2}, 程秋滢³, 唐源³, 江明华^{1,2}, 章同坤^{1,2}, 胡维³,
程建中^{1,*}, 高维常^{4,*}

(1. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 贵州医科大学公共卫生学院 环境污染与疾病监控教育部重点实验室, 贵阳 550025; 4. 贵州省烟草科学研究院
烟草行业山地烤烟品质与生态重点实验室, 贵阳 550081)

摘要: 为探讨生物降解地膜对植烟土壤肥力指标和温室气体排放的影响。采用盆栽试验, 研究植烟土壤温室气体排放对不同生物降解地膜施入量 T1(0.05 g/kg)、T2(0.50 g/kg) 和 T3(5 g/kg) 的响应及其影响因素。结果表明: 与对照(CK)相比, 生物降解地膜处理 CO₂、CH₄ 和 N₂O 排放通量分别增加了 5.00%~47.00%、-15.79%~65.79% 和 18.75%~56.25%。同时, 生物降解地膜处理土壤全氮和铵态氮含量分别增加了 2.38%~4.29% 和 9.73%~56.38%, 但土壤 pH 降低了 8.64%~10.26%。土壤 CO₂ 排放通量与土壤有机质和全氮呈显著正相关, 与硝态氮含量呈显著负相关; CH₄ 排放通量与土壤全钾呈显著正相关, 但与有机质含量呈显著负相关。因此, 在施用生物降解地膜消除普通地膜“白色污染”的同时, 应注意 CO₂ 和 N₂O 等温室气体排放增加带来的潜在环境风险。

关键词: 温室气体; 排放通量; 生物降解地膜; 施入量; 烤烟

中图分类号: S572; S154.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9250(2023)02-0209-07 **doi:** 10.14050/j.cnki.1672-9250.2022.50.078

地膜覆盖具有抑制杂草生长、提高土壤温度和含水量、促进植物生长等特点^[1-3]。研究表明, 覆膜能提高土壤全氮、水解氮、有机质、有效磷、速效钾等含量^[4-8]。我国自 80 年代开始将地膜应用于农业生产, 规模大且涉及的作物种类也多^[9]。烤烟是我国主要经济农作物之一, 常年种植面积超六十万公顷^[10], 在我国脱贫攻坚和增加国家税收方面做出积极贡献^[11]。研究表明, 覆膜栽培能极大地促进烤烟生长发育^[12], 但地膜使用后带来的残留污染问题日趋严重。例如, 土壤微生物参与了土壤有机质的腐殖化、磷素分解、缓效性钾转变到速效钾等过程, 而残膜会阻碍水分在土壤中上移下渗, 影响土壤通气性, 增加反硝化作用从而抑制微生物生长, 降低土壤微生物量, 造成土壤有机质、有效磷、硝态氮等含量下降, 影响土壤肥力^[13-15]。因此, 生物降解地膜作为一种替代产品逐渐被人们所关注^[16]。与普

通地膜(PE)相比, 生物降解地膜在满足农作物生长发育需求的同时, 不仅能消除残膜的危害, 还可以省去回收地膜, 达到节本增效的目的^[17-19]。

目前, 我国已形成万吨级的生物降解地膜生产能力, 并在局部区域和典型作物上开展了大量的试验示范^[20-22]。贵州作为我国植烟大省, 早在 2013 年就陆续在烟草上开展了生物降解地膜的试验示范和推广^[23]。根据 GB/T 35795-2017 全生物降解农用地面覆盖薄膜^[24]的定义, 生物降解地膜将在自然界如土壤和/或沙土等条件下, 由自然界存在的微生物作用引起降解, 并最终完全降解变成二氧化碳(CO₂)和水等, 但有关生物降解地膜对植烟土壤环境影响的研究鲜见报道, 特别是如何影响土壤温室气体排放仍不清楚。本研究以生物降解地膜和贵州植烟面积最大的黄壤为试验材料, 参照生物降解材料生态毒理评价方法, 设置不同的生物降

收稿日期: 2022-01-21; 改回日期: 2022-04-08

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2021]一般 187、黔科合基础-ZK[2022]重点 047、黔科合平台人才[2020]6020); 中国烟草总公司贵州省公司科技计划项目(2020XM08, 201933); 贵州省烟草公司毕节市公司科技项目“毕节烟草生物降解地膜筛选评价、创制与应用”; 中国科学院“西部之光”项目; 环境地球化学国家重点实验室开放课题(SKLEG2022204)。

第一作者简介: 李欢(1998-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤温室气体排放。E-mail: lihuan211@mails.ucas.ac.cn.

* 通讯作者: 程建中(1983-), 男, 博士, 研究员, 研究方向为农田固碳减排与碳汇调控。E-mail: chengjianzhong@vip.gyig.ac.cn.

高维常(1983-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向为农田污染防治与烟草栽培。E-mail: gzyksg@163.com.

解地膜施入量(T1:0.05 g/kg、T2:0.50 g/kg、T3:5 g/kg),将生物降解地膜粉碎后混施入土壤,连续监测不同生物降解地膜处理下植烟土壤温室气体(CO₂、CH₄和N₂O)的排放通量及土壤氮、磷和钾等土壤肥力指标的变化,以期生物降解地膜在烟草栽培中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地膜:生物降解地膜市场购买获得,主要成分为己二酸丁二醇酯和对苯二甲酸丁二醇酯的共聚物(PBAT)。

试验土壤:选自贵州平坝烟草种植区耕层0~20 cm土壤,土壤类型为黄壤(中国土壤发生分类(GSCC))。土壤基本性质:全氮2.10 g/kg,水解氮166.71 mg/kg,全磷1.27 g/kg,有效磷32.23 mg/kg,全钾13.13 g/kg,速效钾1001.35 mg/kg,有机质49.04 g/kg,pH 7.41。

1.2 试验设计

采用30×30 cm大小的盆进行盆栽试验,每盆装土8 kg。依据贵州烟田地膜残留量实际调查结果,结合每年每公顷地膜投入量,设置4个处理:无地膜(CK)、3个生物降解地膜用量(T1:0.05 g/kg、T2:0.50 g/kg、T3:5 g/kg),每处理3次重复。地膜粉碎(<1 cm)后一次性施入,并于每盆土壤混合均匀。肥料为烤烟专用基肥(N:P₂O₅:K₂O=10:10:25),每盆施肥量为54.55 g,试验期间通过每天浇水保持土壤湿润,及时除去杂草等进行盆栽试验管理。

1.3 样品采集、测定指标及方法

1.3.1 气体样品采集与分析

气体采集采用静态箱-气相色谱法^[25-26]。在每个处理中放置PVC塑料底座(直径8.5 cm),底座插入土壤5 cm,将规格为8.5 cm×20 cm的气体采样箱安置在箱底座上并密封。通过注射器在采样箱内抽取箱内气体20 mL,注入提前抽成真空的Labco采样瓶中,每间隔10 min采样1次,在30 min内采样4次。采样完成后,立即将采样箱移走,减少采样活动对土壤的干扰。土壤温室气体的排放监测从土壤盆栽试验第10 d开始,每隔10 d进行一次,共采集8次样品。

采集的气体样品送回实验室用气相色谱(Agilent 7890)分析仪测定。采用正压进样,进样环体积

为1 mL,柱温箱温度为60℃,采用FID检测器测定CO₂和CH₄浓度,检测器温度为250℃。采用ECD检测器测定N₂O浓度,检测器温度为300℃。

气体排放通量计算公式:

$$F = \frac{dc}{dt} \times \frac{M}{V_0} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \times H \quad (1)$$

式中, F 为单位时间单位面积静态箱内温室气体通量[mg/(m²·h)或μg/(m²·h)],正值为排放,负值为吸收; $\frac{dc}{dt}$ 为采样时气体浓度随时间变化的直线斜率[μmol/(mol·h)]; M 为温室气体的摩尔质量(g/mol); V_0 为气体摩尔体积(22.4 L/mol); P 、 T 为采样时采集箱内的实际大气压(Pa)和温度(K); P_0 为标准状态下的标准大气压(101 325 Pa), T_0 为标准状态下空气的绝对温度(273.15 K); H 为采样箱有效高度(m)。

1.3.2 土壤样品采集及测定方法

试验结束后均匀混合塑料盆中的土壤样品,去除石块等杂质后,自然风干后保存备用。土壤全氮采用凯氏定氮法;水解氮采用碱解-扩散法;硝态氮、铵态氮采用氯化钾浸提-连续流动分析仪测定;全钾采用电感耦合等离子质谱法、全磷采用分光光度法、pH采用电位法测定,有效磷采用连续流动分析仪法测定;速效钾采用火焰光度计法、有机质采用重铬酸钾容量法测定,具体测定方法参考《土壤农化分析》^[25]。

1.4 数据处理

采用Excel 2016和SPSS软件(version 16.0)进行数据处理与统计分析,不同处理之间的温室气体排放和土壤理化性质差异,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和LSD法进行多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 生物降解地膜对土壤肥力指标的影响

由表1可知,生物降解地膜处理较CK处理显著增加了土壤全氮含量($P < 0.05$),T1、T2、T3处理土壤全氮含量分别提高了3.33%、2.38%、4.29%,T1、T2、T3处理的铵态氮含量分别比对照提高了9.73%、56.38%($P < 0.05$)和50.00%($P < 0.05$)。T1处理的有机质含量与CK处理相比差异不显著,T2、T3较CK处理分别显著增加了8.61%、23.59%($P < 0.05$)。与CK处理相比,生物降解地膜处理增加了土壤水解氮和全磷含量,

T1、T2、T3 处理的水解氮含量分别提高了 3.11%、1.04%、3.65%，全磷含量分别提高了 11.02%、7.09%、5.51%，但差异不显著。同时，生物降解地膜导致土壤 pH 和硝态氮含量降低，与 CK 相比，T1、T2 和 T3 处理土壤 pH 分别降低了 10.26%、10.12% 和 8.64%，差异显著 ($P < 0.05$)，硝态氮含量分别降低了 16.33%、36.32% ($P < 0.05$) 和 51.35% ($P < 0.05$)。生物降解地膜处理的土壤有效磷、全钾、速效钾含量与 CK 处理之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。因此，生物降解地膜(特别是 T3 处理)显著增加了土壤有机质、全氮和铵态氮含量，但显著降低了土壤硝态氮含量和 pH。

2.2 生物降解地膜对土壤温室气体排放的影响

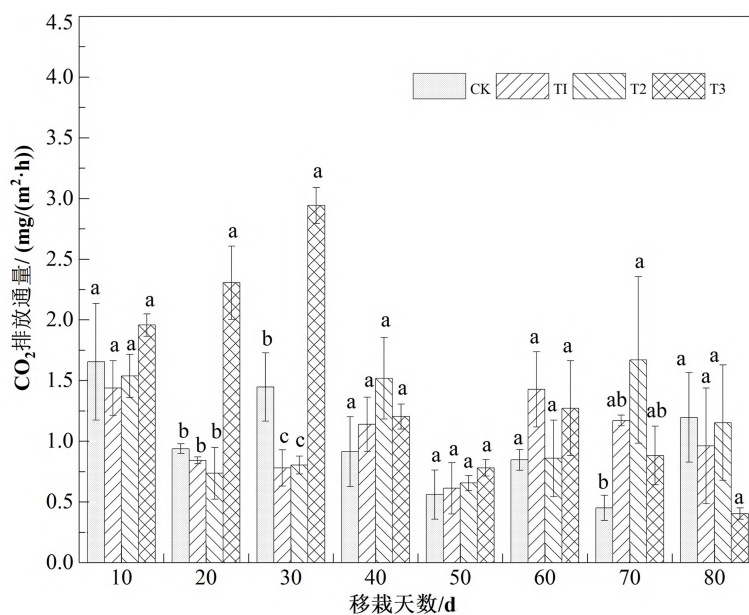
生物降解地膜在不同施入水平下土壤 CO₂ 的排放通量如图 1 所示，CK 处理土壤 CO₂ 通量在前 70 d 内均低于生物降解地膜处理，第 80 d 高于降解膜处理，但差异不显著。在整个观测周期内，CK、T1、T2、T3 处理土壤 CO₂ 排放通量平均值分别为： $1.00 \pm 0.03 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、 $1.05 \pm 0.04 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、 $1.12 \pm 0.08 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 和 $1.47 \pm 0.11 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。与 CK 处理相比，T1、T2、T3 处理土壤 CO₂ 排放通量每年每公顷分别增加了 4.38、10.51 和 41.72 kg ($P < 0.05$)，说明施用生物降解地膜(特别是 T3 处理)可显著增加土壤 CO₂ 的排放。

表 1 生物降解地膜对土壤肥力指标的影响

Table 1 Effects of biodegradable mulch film on soil fertility index

土壤肥力指标	处理			
	CK	T1	T2	T3
全氮/(g/kg)	2.10±0.01 ^c	2.17±0.00 ^{ab}	2.15±0.00 ^b	2.19±0.02 ^a
水解氮/(mg/kg)	166.71±9.32 ^a	171.89±3.41 ^a	168.45±2.73 ^a	172.79±6.11 ^a
全磷/(g/kg)	1.27±0.21 ^a	1.41±0.03 ^a	1.36±0.06 ^a	1.34±0.02 ^a
有效磷/(mg/kg)	32.23±2.13 ^a	30.53±4.02 ^a	34.57±1.95 ^a	32.16±0.43 ^a
全钾/(g/kg)	13.13±0.45 ^{ab}	13.98±0.19 ^a	13.55±0.03 ^{ab}	12.83±0.28 ^b
速效钾/(mg/kg)	1 001.35±32.75 ^a	1 003.15±53.14 ^a	972.17±76.44 ^a	942.46±44.08 ^a
有机质/(g/kg)	49.04±0.40 ^{bc}	45.01±1.06 ^c	53.26±4.08 ^b	60.61±0.56 ^a
pH	7.41±0.05 ^a	6.65±0.04 ^b	6.66±0.01 ^b	6.77±0.18 ^b
铵态氮/(mg/kg)	8.94±0.19 ^b	9.81±0.82 ^{ab}	13.98±1.56 ^a	13.41±2.00 ^a
硝态氮/(mg/kg)	17.76±2.08 ^a	14.86±0.48 ^{ab}	11.31±1.21 ^{bc}	8.64±0.36 ^c

注:同行不同小写字母之间表示处理间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。



不同小写字母表示同一测定时间不同处理间的差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

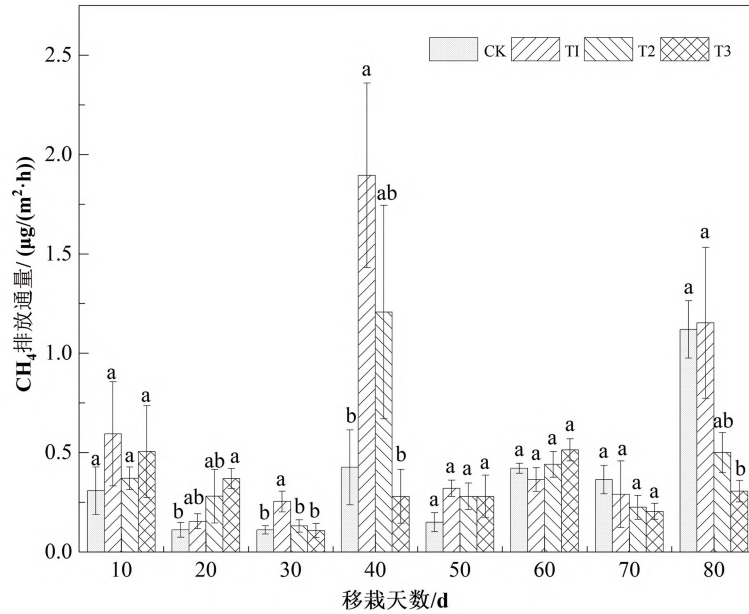
图 1 生物降解地膜对土壤 CO₂ 排放通量的影响

Fig. 1 Effect of biodegradable mulch film on soil CO₂ emission flux

生物降解地膜在不同施入水平下土壤 CH_4 的排放通量如图 2 所示。CK、T1、T2、T3 处理的 CH_4 排放通量平均值分别为： $0.38 \pm 0.03 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、 $0.63 \pm 0.05 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、 $0.43 \pm 0.09 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 和 $0.32 \pm 0.04 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，与 CK 处理相比，T1、T2 处理土壤 CH_4 排放通量每年每公顷分别增加了 21.90 g

($P < 0.05$) 和 4.38 g，但 T2 处理与 CK 之间差异不显著。

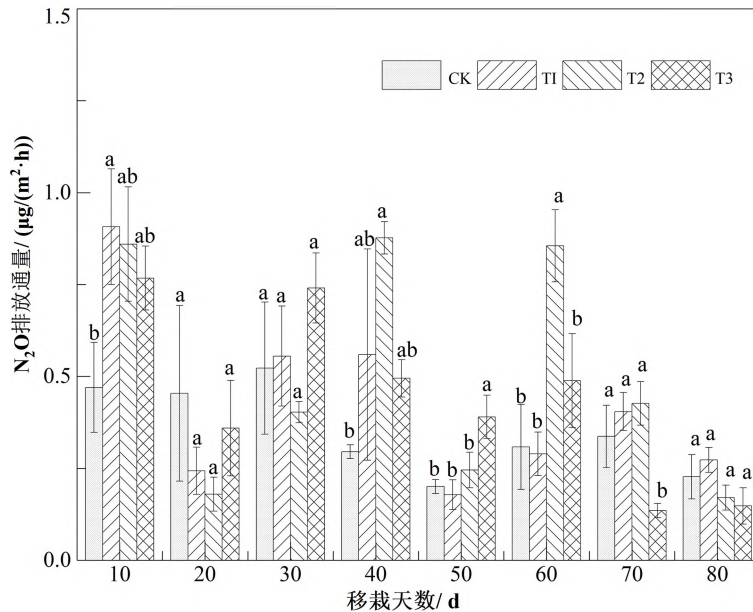
施入生物降解地膜后，土壤 N_2O 的排放通量如图 3 所示。CK 处理土壤 N_2O 排放通量除了在观测第 20 d 时高于生物降解地膜处理外 ($P > 0.05$)，其它时段均低于生物降解地膜处理。CK 处理 N_2O 排



不同小写字母表示同一测定时间不同处理间的差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

图 2 生物降解地膜对土壤 CH_4 排放通量的影响

Fig. 2 Effect of biodegradable mulch film on soil CH_4 emission flux



不同小写字母表示同一测定时间不同处理间的差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

图 3 生物降解地膜对土壤 N_2O 排放通量的影响

Fig. 3 Effect of biodegradable mulch film on soil N_2O emission flux

放通量平均值为 $0.32 \pm 0.03 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, T1 处理为 $0.38 \pm 0.03 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, T2 处理为 $0.50 \pm 0.04 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, T3 处理为 $0.40 \pm 0.03 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, T1、T2、T3 与 CK 处理相比,土壤 N_2O 的排放通量每年每公顷分别增加了 5.26 g 、 15.77 g ($P < 0.05$) 和 7.01 g ,说明施入生物降解地膜一定程度上增加了土壤 N_2O 的排放。

2.3 土壤肥力指标对土壤温室气体排放的影响

土壤肥力指标与土壤 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 排放的相关性分析结果如表 2 所示。随着土壤全氮和有机质含量的增加,土壤 CO_2 排放通量显著增加,但土壤硝态氮含量显著降低其 CO_2 排放。随着全钾和速效钾含量的增加,土壤 CO_2 排放也逐渐降低,但相关性不显著。土壤 CH_4 排放与土壤全钾含量呈显著正相关,但与有机质含量呈显著负相关。随着土壤全氮、全磷和全钾含量的增加,土壤 N_2O 排放量逐渐增大,但相关性并不显著,同时 N_2O 排放与其它肥力指标相关性也不显著。

3 讨论

3.1 生物降解地膜对植烟土壤肥力指标的影响

生物降解地膜(特别是高残留量)增加了土壤有机质、全氮、铵态氮含量,但降低了土壤硝态氮含量和 pH。这与前人的研究结果基本一致^[15,27-28],其原因可能是生物降解地膜在降解过程中被土壤中微生物同化,增加了微生物生物量碳以及溶解性有机碳的含量^[29]。由于土壤中氮素 99% 来自于有机质,因此有机质含量增加,土壤全氮含量也增加^[30]。同时,残膜会影响土壤通气性,增强反硝化作用,影响有机氮的硝化和氨化速率,不利于铵态氮转化为硝态氮,因此硝态氮含量降低^[4,14]。此外,残膜影响土壤通气性使土壤氧气含量降低,氧化还原电位下降;以及土壤水温升高导致根系分泌大量有机酸,从而使土壤 pH 降低^[27]。但也有研究发现,与对照相比,生物降解地膜对土壤肥力相关指标的影响并无显著差异^[31-33]。甚至地膜还对土壤

造成不利影响,如降低其有机质、全氮、全磷、全钾含量^[34-35],降低土壤水分均匀性,残膜累积也会使铵态氮、硝态氮含量降低,造成土壤养分退化^[13,15]。因此,生物降解地膜对土壤肥力相关指标的影响表现出不一致甚至相反的结论,这可能与地膜类型、土壤质地和作物种类等环境条件密切相关。

3.2 生物降解地膜对植烟土壤温室气体排放的影响

生物降解地膜的施入能增加土壤 CO_2 和 N_2O 温室气体的排放。其原因可能是地膜施入增加了土壤有机质和 N、P、K 营养元素含量,为微生物活动提供了反应底物,有利于土壤呼吸、微生物硝化和反硝化作用的进行。同时,地膜残留会增加土壤容重,降低孔隙度,影响土壤通气性,增强反硝化作用,从而增加 N_2O 排放^[14,36]。 CH_4 是土壤微生物在厌氧环境下分解有机物形成的,研究表明稻田 CH_4 产生的关键微生物是土壤产甲烷菌^[37-38]。本研究发现土壤 CH_4 排放量随着生物降解地膜施入量增加表现出先增加后降低的趋势,这可能是由于较低地膜施入量时,膜内土壤不断进行的呼吸作用消耗了 O_2 ,易形成厌氧环境,促进产甲烷菌的生长和繁殖,而抑制甲烷氧化菌的活动,从而产生大量的 CH_4 ^[39]。当地膜施入量较高时,土壤斥水性增加^[21],透气性增加,从而降低了 CH_4 排放^[40]。

与对照相比,生物降解地膜处理土壤 CO_2 排放增加了 $5.00\% \sim 47.00\%$ 。 CO_2 是光合作用的主要底物, CO_2 浓度增加能够提高植物光合作用、促进植物生长,同时激发光合次生代谢(碳和氮代谢、细胞周期功能和激素调节等)^[41]。目前,采用 CO_2 高浓度技术提高作物产量已经广泛应用于多种农作物的研究,包括玉米、水稻、小麦、高粱和马铃薯等^[42]。因此,生物降解地膜增加的 CO_2 排放量不仅对烤烟生长发育和生物量具有显著影响,而且还可能改变烟叶中营养元素含量,影响其品质^[43]。当然,相关结果仍需进一步研究证实。

表 2 土壤肥力指标与气体排放的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between soil fertility index and gas emission flux

气体	全氮	水解氮	全磷	有效磷	全钾	速效钾	有机质	pH	铵态氮	硝态氮
CO_2	0.655*	0.173	-0.148	0.002	-0.575	-0.242	0.731**	-0.323	0.414	-0.705*
CH_4	0.031	0.157	0.250	-0.219	0.700*	-0.115	-0.648*	-0.281	-0.301	0.345
N_2O	0.298	-0.052	0.321	0.175	0.311	0.151	0.329	-0.492	0.502	-0.488

注: * 表示显著相关($P < 0.05$), ** 表示极显著相关($P < 0.01$)。

4 结论

与不使用生物降解地膜(对照)相比,生物降解地膜的施入增加了土壤温室气体排放通量,同时也改变了土壤化学成分,比如增加了土壤中全氮、有机质、铵

态氮等营养元素含量,但降低了土壤 pH 和硝态氮含量。相关性分析表明,土壤有机质是影响土壤 CO₂ 和 CH₄ 排放的关键驱动因子。因此,在施用生物降解地膜在消除普通地膜“白色污染”的同时,应注意 CO₂ 和 N₂O 等温室气体排放增加带来的潜在环境风险。

参 考 文 献

- [1] Gan Y T, Siddique K H M, Turner N C, et al. Ridge-furrow mulching systems-an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments[J]. *Advances in Agronomy*, 2013, 118: 429-476.
- [2] Li F M, Wang J, Xu J Z, et al. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 78(1): 9-20.
- [3] Zhao H, Xiong Y C, Li F M, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized wue and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem[J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 104: 68-78.
- [4] Li Y Z, Hu Y C, Song D P, et al. The effects of straw incorporation with plastic film mulch on soil properties and bacterial community structure on the loess plateau[J]. *European Journal of Soil Science*, 2021, 72(2): 979-994.
- [5] Wang L, Li X G, Lv J T, et al. Continuous plastic-film mulching increases soil aggregation but decreases soil pH in semiarid areas of China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2017, 167: 46-53.
- [6] 党昆. 秸秆还田和地膜覆盖对稻区土壤理化性质及水稻产量的影响[D]. 长春:吉林农业大学, 2019.
- [7] 王雯,白盼盼,张雄. 不同覆膜材料对旱地农田土壤理化性质及春玉米产量的影响[J]. *陕西农业科学*, 2021, 67(3): 12-16.
- [8] 周昌明,李援农,谷晓博,等. 降解膜覆盖种植方式对夏玉米土壤养分和氮素利用的影响[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(2): 133-142+112.
- [9] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(11): 269-272.
- [10] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2019.
- [11] 陈常瑜,窦玉青,沈晗,等. 土壤 pH 对烤烟氮代谢酶活性及化学成分的影响[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(11): 3736-3742.
- [12] 刘广玉,杨举田,田雷,等. 小苗膜下移栽对烤烟生长及土壤水温效应的影响[J]. *中国烟草科学*, 2012, 33(6): 27-32.
- [13] 董合干,刘彤,李勇冠,等. 新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(8): 91-99.
- [14] 张丹,刘宏斌,马忠明,等. 残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(2): 310-319.
- [15] 朱金儒,王振华,李文昊,等. 长期膜下滴灌棉田残膜对土壤水盐、养分和棉花生长的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(5): 151-156.
- [16] 陈斌. 三种全生物降解地膜降解性能的测试与表征[D]. 泰安:山东农业大学, 2016.
- [17] 靳拓,薛颖昊,张明明,等. 国内外农用地膜使用政策、执行标准与回收状况[J]. *生态环境学报*, 2020, 29(2): 411-420.
- [18] 严昌荣,何文清,薛颖昊,等. 生物降解地膜应用与地膜残留污染防治[J]. *生物工程学报*, 2016, 32(6): 748-760.
- [19] 杨俊,刘维涓,饶骏晨,等. 全生物可降解地膜在烤烟生产中的应用[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(22): 4333-4337.
- [20] Fritz J, Sandhofer M, Stacher C, et al. Strategies for detecting ecotoxicological effects of biodegradable polymers in agricultural applications[J]. *Macromolecular Symposia*, 2003, 197(1): 397-409.
- [21] Qi Y, Beriot N, Gort G, et al. Impact of plastic mulch film debris on soil physicochemical and hydrological properties[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 266:115097.
- [22] 闵文豪,王春丽,王莉玮,等. 全生物降解地膜原料颗粒对土壤性质、小麦生长和养分吸收转运的影响[J]. *环境科学*, 2022, 43(1): 560-568.
- [23] 吴思,高维常,蔡凯,等. PBAT 生物降解地膜降解特征对不同土壤水分的响应[J]. *灌溉排水学报*, 2020, 39(6): 43-50.
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 全生物降解农用地面覆盖薄膜 GB/T 35795-2017[S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析第三版[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [26] Tang Y, Gao W, Cai K, et al. Effects of biochar amendment on soil carbon dioxide emission and carbon budget in the karst region of southwest China[J]. *Geoderma*, 2021, 385(1):114895.
- [27] 张晓雨. 秸秆还田腐解特征及其对土壤环境和小麦生长的影响[D]. 重庆:西南大学, 2014.
- [28] 张祯明. 残余地膜粉末对土壤环境的影响研究[D]. 绵阳:西南科技大学, 2016.
- [29] Qin M, Chen C, Song B, et al. A review of biodegradable plastics to biodegradable microplastics: Another ecological threat to soil environments [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 312:127816.
- [30] 杨丽霞,陈少锋,安娟娟,等. 陕北黄土丘陵区不同植被类型群落多样性与土壤有机质、全氮关系研究[J]. *草地学报*, 2014, 22(2): 291

- 298.
- [31] 凌红波,于瑞德,鲁珊.全生物降解节水膜对土壤理化性质及果树生长的影响[J].中山大学学报(自然科学版),2017,56(3):158-164.
- [32] 王斌,万艳芳,王金鑫,等.全生物降解地膜对新疆甜菜产量及土壤理化性质的影响[J].环境工程技术学报,2020,10(1):105-111.
- [33] 王斌,万艳芳,王金鑫,等.PBAT型全生物降解膜对新疆番茄产量及土壤理化性质的影响[J].农业资源与环境学报,2019,36(5):640-648.
- [34] 刘海.地膜残留量对玉米及土壤理化性质的影响[J].甘肃农业科技,2017(2):53-56.
- [35] 周瑾伟.地膜残留对马铃薯产量和土壤理化性质的影响[J].农业科技与信息,2017(4):89-91.
- [36] 李青军,危常州,雷咏雯,等.白色污染对棉花根系生长发育的影响[J].新疆农业科学,2008(5):769-775.
- [37] Smith K A, Ball T, Conen F, et al. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: Interactions of soil physical factors and biological processes[J]. European Journal of Soil Science, 2018, 69(1): 10-20.
- [38] Watanabe T, Kimura M, Asakawa S. Dynamics of methanogenic archaeal communities based on rRNA analysis and their relation to methanogenic activity in Japanese paddy field soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39(11): 2877-2887.
- [39] 陈世杰,江长胜,倪雪,等.地膜覆盖对稻-油轮作农田温室气体排放的影响[J].环境科学,2019,40(9):4213-4220.
- [40] 张于,黄凯,李晓,等.覆膜滴灌条件下稻田CH₄排放研究[J].中国稻米,2016,22(2):36-38.
- [41] Ainsworth E A, Long S P. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy[J]. New Phytologist, 2005, 165(2): 351-371.
- [42] Kimball B A. Crop responses to elevated CO₂ and interactions with H₂O, N, and temperature[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2016, 31: 36-43.
- [43] 高洁,赵轩,刘丽平,等.高浓度CO₂对不同植物生长发育、产量和品质的影响[J].北方农业学报,2020,48(4):28-34.

Effects of Biodegradable Mulch Film on Greenhouse Gas Emission from Tobacco-planting Soil

LI Huan^{1,2}, CHENG Qiuying³, TANG Yuan³, JIANG Minghua^{1,2}, ZHANG Tongkun^{1,2},
HU Wei³, CHENG Jianzhong¹, GAO Weichang⁴

(1. State key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. School of Public Health, the Key Laboratory of Environmental Pollution Monitoring and Disease Control, Ministry of Education, Guizhou Medical University, Guiyang 550025, China; 4. Upland Flue-cured Tobacco Quality & Ecology Key Laboratory of China Tobacco, Guizhou Academy of Tobacco Science, Guiyang 550081, China)

Abstract: In order to explore the effects of biodegradable mulch film on soil fertility index and greenhouse gas emission of tobacco planting soil, the response and influencing factors of soil greenhouse gas emission to different application amounts (T1 (0.05 g/kg), T2 (0.50 g/kg) and T3 (5 g/kg)) of biodegradable mulch film were studied by pot experiments. The results showed that compared with CK treatment, the emission fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O for the treatment of biodegradable mulch film increased by 5.00% ~ 47.00%, -15.79% ~ 65.79% and 18.75% ~ 56.25%, respectively. Meanwhile, soil total nitrogen and ammonium nitrogen contents increased by 2.38% ~ 4.29% and 9.73% ~ 56.38%, respectively, but the pH decreased by 8.64% ~ 10.26%. Soil CO₂ emission flux was significantly positively correlated with soil organic matter and total nitrogen, but significantly negatively correlated with nitrate nitrogen content. The CH₄ emission flux was significantly positively correlated with soil total potassium, but significantly negatively correlated with soil organic matter content. Therefore, it should be considered that the increase of greenhouse gas emissions such as CO₂ and N₂O would cause the potential environmental risks when using biodegradable mulch film to eliminate the "white pollution" of ordinary plastic film.

Key words: greenhouse gases; emission flux; biodegradable mulch film; application amount; flue-cured tobacco