

不同类型地膜添加对辽西褐土硝化潜势的影响

冯晨^{1, 2}, 冯良山^{1, 2*}, 孙占祥^{1, 2*}, 郑家明^{1, 2}, 白伟^{1, 2},
杨宁^{1, 2}, 张哲^{1, 2}, 向午燕^{1, 2}, 王淑君³, 蔡倩^{1, 2}

(1. 辽宁省农业科学院耕作栽培研究所, 辽宁 沈阳 110161; 2. 国家农业环境阜新观测实验站, 辽宁 阜新 123100; 3. 沈阳农业大学水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要: 土壤硝化作用是肥料氮素进入到土壤中后参与氮素循环的关键过程, 为了明确不同种类地膜对辽西褐土硝化活性的影响, 本试验采用室内培养分析的方法, 研究 3 种不同类型地膜 (普通 PE 膜, PBAT 全生物降解地膜和氧化-生物降解地膜) 及不同地膜添加量 (0、300、900 kg/hm²) 对辽西褐土硝化潜势的影响, 探讨可降解地膜的混入是否会对土壤微生物硝化作用产生抑制和毒害作用。结果表明, 与对照土壤相比, 添加普通 PE 膜 (T1)、PBAT 生物降解膜 (T2) 和氧化-生物降解膜 (T3) 并没有显著影响土壤的硝化潜势, 3 种地膜添加后土壤硝化潜势表现为 T1 [NO₂-N 5.61 ng/(g·h)] > T2 [(NO₂-N 4.30 ng/(g·h))] > T3 [NO₂-N 3.42 ng/(g·h)], 且对于普通 PE 膜和 PBAT 生物降解膜处理土壤, 存在随着地膜添加量增加硝化潜势降低的趋势。通过进一步计算和评估, 基于 3 种供试地膜的污染土壤未对土壤微生物硝化作用产生抑制和毒害作用。研究结果丰富了可降解地膜对土壤环境影响的相关理论, 为实现可降解地膜在辽西地区推广应用提供数据参考。

关键词: 地膜; 可降解地膜; 硝化潜势; 褐土

地膜覆盖技术自 20 世纪 70 年代引入我国以来, 因其具有有效减少地面蒸发, 提高作物水分利用效率^[1-3], 提高土壤温度^[4-6], 增加作物产量^[7-12]等重要作用, 广泛应用于旱作农业区^[13-15], 尤其对于干旱半干旱区农业生产意义重大。然而, 地膜在带来巨大经济效益的同时, 其农田残留会造成土壤板结, 阻碍土壤中水分和养分的运输^[16-17], 对土壤生态环境造成严重影响^[18-20]。可降解地膜被认为是能够解决上述残膜污染问题的有效途径之一, 近年来, 其应用已倍受关注。目前, 有关可降解地膜对作物产量、降解特性等方面的研究也越来越多^[21-22], 但有关可降解地膜对土壤养分循环及其相关机制甚少涉及。

土壤硝化作用是肥料氮素进入到土壤中后参与氮素循环的关键过程, 氨氧化过程作为硝化作用的

限速步骤对氮循环具有重要作用, 土壤硝化潜势可以用来表征土壤的氨氧化能力, 其对田间管理措施变化的反应非常敏感, 能够快速准确地反映土壤硝化活性^[23]。由于可降解地膜具有可降解性, 有可能对土壤环境或微生物产生相应影响, 进而影响土壤硝化潜势。但目前该方面研究较为缺乏, 尤其是不同类型地膜添加对土壤硝化潜势影响的对比研究更是鲜见报道。

为明确不同可降解地膜对区域土壤硝化潜势的影响, 探讨可降解地膜是否会对土壤微生物硝化作用产生抑制和毒害作用, 本研究以国家农业环境阜新观测实验站为平台, 采用室内土壤培养试验, 选用普通地膜、氧化-生物降解地膜和全生物降解地膜 3 种典型地膜为供试材料, 通过土壤悬液法对不同地膜处理土壤的硝化潜势进行测定, 初步评价不同降解地膜及其降解产物对土壤微生物硝化的影响程度, 为丰富可降解地膜对土壤环境影响的相关理论, 以及实现可降解地膜在辽西地区大面积推广应用提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试 3 种地膜分别为普通 PE 膜 (T1, 成分聚乙烯)、PBAT 全生物降解地膜 (T2, 成分聚己二酸/

收稿日期: 2020-09-07; 录用日期: 2020-09-24

基金项目: 国家自然科学基金青年基金 (41807388); 辽宁省兴辽英才计划 (XLYC1807056); 辽宁省农业科学院学科交流合作项目 (2020HZ062001); 辽宁省自然科学基金项目 (2019-MS-194)。

作者简介: 冯晨 (1985-), 女, 辽宁大石桥人, 副研究员, 博士, 主要从事旱作农业研究。E-mail: sandyla570521@126.com。

通讯作者: 孙占祥, E-mail: sunzx67@163.com; 冯良山, E-mail: fenglsh@163.com

对苯二甲酸丁二酯)和氧化-生物降解地膜(T3,以PE为基质添加降解助剂)。将供试的地膜剪切成1~2 mm的碎片待用。

供试土壤采自国家农业环境阜新观测实验站(辽宁阜新),土壤类型为褐土。土壤基本理化性质见表1。

表1 供试土壤基本理化性质

有机质 (g/kg)	pH	矿质氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	容重 (g/cm ³)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)
21.4	6.03	111	21	75	1.35	1.2	0.46	20	21.51

1.2 试验设计

采用室内培养、室内分析的方法,将不同地膜碎片混于供试土壤中,以不加地膜碎片土壤为对照,每种地膜碎片添加量设置3个梯度,分别为0 g/kg(CK)、0.12 g/kg(Tn),0.36 g/kg(Tn'),相当于残膜量0、300、900 kg/hm²,每个处理重复3次。在对各处理进行室内恒温培养后,采用土壤悬液培养法研究各处理的土壤硝化作用潜势,评估生物降解地膜对氨氧活性的毒害作用。具体试验步骤:

(1)混膜培养。将不同种类及不同量的地膜碎片分别与一定量土壤充分混合,混合后与未加地膜土壤共同置于室内,各土壤加水至田间持水量40%~60%,放置60 d以上。

(2)土壤预培养。分别将各混膜土壤与未混膜土壤1:1混合(约150 g)后,连同之前单独的混膜土壤和未混膜土壤一同置于暗处20℃再培养24 h。

(3)制备土壤悬液。取各处理土壤(湿土25 g)于250 mL振荡瓶中,加入100 mL含有1.5 mmol/L(NH₄)₂SO₄的磷酸缓冲溶液,混匀,加封口膜(透气),然后将其置于恒温震荡培养箱内25℃恒温培养。

(4)检验土壤氨氧化作用的线性度。分别在浸提1、3、4、5和6 h时取土壤悬液,用于测定不同地膜添加处理土壤氨氧化作用的线性度。

(5)取待测液及配制标准液。分别于培养2和6 h时取土壤悬液2 mL加入到试管中,加入2 mL KCl溶液以抑制氨氧化作用,离心过滤,同时配制亚硝酸钠标准液,以备测定。

(6)测定滤液中的亚硝态氮含量,并通过计算进一步评估生物降解地膜对氨氧活性是否存在毒害作用。

1.3 测定指标与评价方法

1.3.1 测定指标与方法

悬液中亚硝态氮含量测定参照ISO 14256-2,采用分光光度计比色法进行测定(540 nm),土壤

理化性质指标测定参照鲁如坤《土壤农业化学分析方法》^[24]。

1.3.2 评价指标与计算方法

①硝化潜势

$$C_{s, 2h} [NO_2-N \text{ ng/g}] = \frac{C_{l, 2h} \times 2 \times (10+m) \times 1000}{m_{dm}} \quad (A)$$

$$C_{s, 6h} [NO_2-N \text{ ng/g}] = \frac{C_{l, 6h} \times 2 \times (10+m) \times 1000}{m_{dm}} \quad (B)$$

$$\text{硝化潜势} [NO_2-N \text{ ng/(g} \cdot \text{h)}] = \frac{C_{s, 6h} - C_{s, 2h}}{4} \quad (C)$$

式中: $C_{s, 2h}$ ——培养2 h后土壤中NO₂-N的浓度; $C_{s, 6h}$ ——培养6 h后土壤中NO₂-N的浓度; $C_{l, 2h}$ ——培养2 h后溶液中NO₂-N的浓度; $C_{l, 6h}$ ——培养6 h后溶液中NO₂-N的浓度; 2——KCl的稀释倍数; m ——湿土土壤含水量; 10——缓冲液体积; m_{dm} ——土样干重。

②毒害作用评估

$$A_m + S_m < \frac{0.9 \times (A_e + A_p)}{2} \quad (D)$$

式中: A_m ——混合土的平均氨氧化活性; S_m ——混合土氨氧化活性的标准差; A_e ——CK土壤的平均氨氧化活性; A_p ——污染土壤的平均氨氧化活性。

如果($A_m + S_m$)值低于($A_e + A_p$)平均值的90%,则认为污染土壤是具有毒害作用的。

1.4 数据处理

所得数据采用Excel 2016进行整理和作图,使用SPSS 20.0(ANOVA)进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同地膜处理土壤氨氧化速率线性度

图1为不同地膜添加处理的土壤氨氧化作用随时间的线性度,由图1可知,在振荡培养6 h内,

对照土壤和 3 种地膜处理土壤的氨氧化作用均呈现较好的线性增长, 其中对照土壤 R^2 为 0.9256, 普通 PE 膜处理土壤 R^2 为 0.9441, 而 PBAT 全生物降解地膜处理土壤和氧化-生物降解地膜处理土壤的

R^2 分别为 0.9085 和 0.9046。因此, 本试验可以设定在 6 h 内取样, 并以 2 和 6 h 为基础, 通过不同测定时间 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的浓度差异来计算不同处理土壤的氨氧化速率。

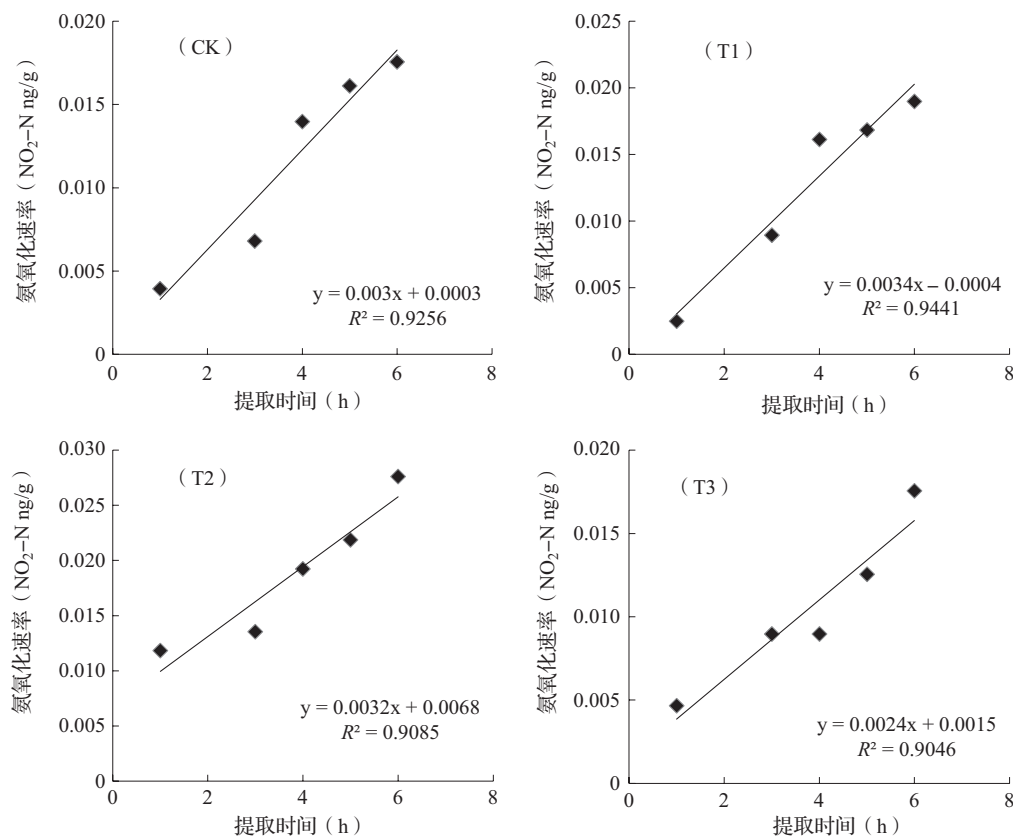


图 1 不同地膜处理土壤氨氧化作用随时间线性度

2.2 不同地膜处理土壤硝化潜势

由图 2 可知, 对照土壤的硝化潜势为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 3.54 $\text{ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 添加普通 PE 膜后, 硝化潜势平均值为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 5.61 $\text{ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$, PBAT 全生物降解地膜处理硝化潜势为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 4.30 $\text{ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 而氧化-生物降解地膜处理为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 3.42 $\text{ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 即 $\text{T1} > \text{T2} > \text{T3}$ 。总体来说, 各处理之间差异未达显著水平, 添加的地膜并没有显著影响土壤氨氧化过程。但对于普通 PE 膜 (T1) 和 PBAT 生物降解膜 (T2) 处理土壤, 存在随着地膜添加量增加硝化潜势降低的趋势。其中, T1 和 T1' 分别为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 6.20 和 5.02 $\text{ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$, T2 和 T2' 分别为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 5.72 和 2.87 $\text{ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。氧化-生物降解地膜处理土壤的硝化潜势未受地膜添加量变化影响, T3 和 T3' 分别为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 3.27 和 3.57 $\text{ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。

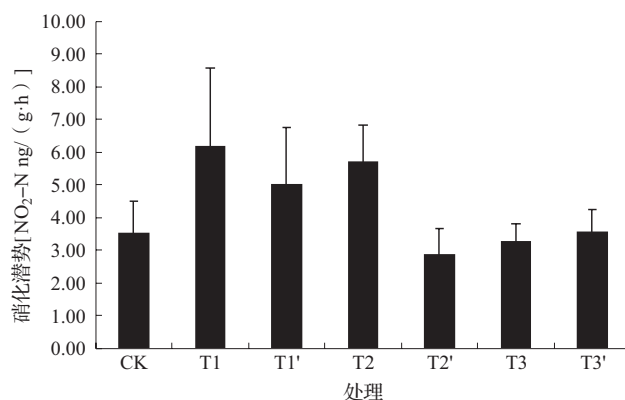


图 2 不同地膜处理土壤的硝化潜势

2.3 不同类型地膜对土壤氨氧化作用的毒害 (抑制) 作用评估

在测定不同地膜处理土壤硝化潜势的基础上, 进一步评价不同生物降解地膜及其降解产物对土壤微生物硝化的抑制程度。由公式 (D) 计算得出

表2, 由表可知, 混合土壤 T1、T2 和 T3 的 A_m 值分别为 5.01、4.20 和 6.13, 均大于 90% CK 土和污染土加和的平均值 3.31、2.78 和 1.94; 即使是加大了地膜添加量, 各处理也并未表现出对土壤微生物硝化的明显抑制, 其中 T1'、T2' 和 T3' 的 A_m 值分别为 4.79、5.18 和 4.66, 也均大于相应的 (A_c+A_p) 平均值 2.14、2.03 和 2.35。由此可见, 本试验条件下的地膜添加种类和添加量所产生的残膜及降解产物并没有对土壤微生物硝化作用产生明显的抑制和毒害作用。

表 2 不同类型地膜对土壤氨氧化作用的毒性作用评估

处理	A_m+S_m	$(A_c+A_p) \times 0.9/2$	毒性作用
T1	5.01	3.31	—
T1'	4.79	2.14	—
T2	4.20	2.78	—
T2'	5.18	2.03	—
T3	6.13	1.94	—
T3'	4.66	2.35	—

注: + 表示有毒害, — 表示无毒害。

3 讨论

土壤硝化潜势是表征土壤氮素周转快慢的重要指标, 其对环境变化, 包括土壤理化性质、环境因子、微生物群落等多种因素的反应非常敏感^[25], 因此能够快速准确地反映土壤硝化活性。而地膜残存于土壤后, 残存碎片以及可降解地膜的降解产物被认为可以改变土壤环境^[26], 进而影响土壤硝化活性。本研究中添加地膜后未见显著差异可能归因于两个方面, 一是地膜的使用量尚未达到影响土壤透通性等物理性质以及微生物活动的剂量, 因为在本研究中虽然总体各处理土壤硝化潜势未见显著差异, 但仍存在随地膜添加量增加硝化活性下降的趋势 (如普通 PE 膜和 PBAT 生物降解膜处理); 另一方面, 可能归因于可降解地膜产物较为安全, 未产生对土壤微生物有毒有害的物质, 且在某种程度上也为土壤微生物提供了一定的碳源。有研究用同位素标记法证明了生物降解地膜能够被微生物分解残食, 而这些微生物分解始于地膜表面, 可以利用聚合物分子中的碳作为能源^[27-29], 因此, 生物降解膜很可能通过外源添加碳的途径来影响土壤硝化潜势^[30], 进而抵消了一部分由于地膜混入而带来的负面影响, 从而导致对土壤氨氧化作用影响不显著。

虽然本项研究并未发现添加 3 种地膜影响辽西褐土硝化潜势, 但研究结论适用于解释可降解地膜的短期效应。有关不同类型可降解地膜对区域土壤硝化作用的长期影响, 还需通过田间定位试验, 结合土壤理化性质变化, 以及氨氧化细菌和氨氧化古菌等与氨氧化作用密切相关的重要指标做进一步深入研究。

4 结论

本试验条件下, 添加普通 PE 膜、PBAT 生物降解膜和氧化-生物降解膜并没有显著影响土壤的硝化潜势, 3 种地膜添加后土壤硝化潜势表现为 T1 [NO_2-N 5.61 ng/(g·h)] > T2 [NO_2-N 4.30 ng/(g·h)] > T3 [NO_2-N 3.42 ng/(g·h)], 均与 CK 土壤无显著差异。普通 PE 膜和 PBAT 生物降解膜处理土壤, 存在随着地膜添加量增加硝化潜势降低的趋势。基于 3 种供试地膜的污染土壤均未见对土壤微生物硝化作用产生抑制和毒害作用。

参考文献:

- [1] Chen Y L, Liu T, Tian X H, et al. Effects of plastic film combined with straw mulch on grain yield and water use efficiency of winter wheat in Loess Plateau [J]. Field Crops Research, 2015, 172: 53-58.
- [2] Zhao H, Wang R Y, Ma B L, et al. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem [J]. Field Crops Research, 2014, 161: 137-148.
- [3] 黄高宝, 方彦杰, 李玲玲, 等. 旱地全膜双垄沟播玉米高效用水机制研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28 (6): 116-121.
- [4] 李世清, 李东方, 李凤民. 半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应 [J]. 西北农林科技大学学报, 2003, 31 (5): 21-29.
- [5] 王树森, 邓根云. 地膜覆盖增温机制研究 [J]. 中国农业科学, 1991, 24 (3): 74-78.
- [6] 李荣, 王敏, 贾志宽, 等. 渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (2): 106-113.
- [7] 夏自强, 蒋洪庚, 李琼芳, 等. 地膜覆盖对土壤温度、水分的影响及节水效益 [J]. 河海大学学报, 1997 (2): 41-47.
- [8] 信东旭, 张玉龙, 黄毅, 等. 不同时期覆膜对辽西旱地农田土壤墒情及春玉米产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27 (6): 114-118.
- [9] Bu L D, Liu J L, Zhu L, et al. Attainable yield achieved for plastic film-mulched maize in response to nitrogen deficit [J]. European Journal of Agronomy, 2014, 55: 53-62.
- [10] 刘春生, 杨吉华, 马玉增, 等. 对板栗园树盘土壤双重覆盖

- 的效应研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 69-71.
- [11] 冯晨, 孙占祥, 郑家明, 等. 辽西半干旱区秋覆膜对土壤水分及玉米水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(2): 9-14.
- [12] 高亮, 张维宏, 杜雄, 等. 覆膜和补灌对杂交谷子产量形成与水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(1): 122-132.
- [13] 高翔, 龚道枝, 顾峰雪, 等. 覆膜抑制土壤呼吸提高旱作春玉米产量[J]. 农业工程学报, 2014, 30(6): 62-70.
- [14] 邢胜利, 魏延安, 李思训. 陕西省农作物地膜栽培发展现状与展望[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 10-13.
- [15] 张德奇, 廖允成, 贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 208-213.
- [16] 张建军, 郭天文, 樊廷录, 等. 农用地膜残留对玉米生长发育及土壤水分运移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(1): 100-102.
- [17] 贺怀杰, 王振华, 郑旭荣, 等. 典型绿洲区长期膜下滴灌棉田残膜分布现状研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2): 63-69.
- [18] Kasirajan S, Ngouajio M. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2012, 32(2): 501-529.
- [19] 邹小阳, 牛文全, 许健, 等. 残膜对土壤水分入渗的影响及入渗模型适用性分析[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(9): 1-7, 12.
- [20] 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.
- [21] 申丽霞, 王璞, 张丽丽. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 111-116.
- [22] 何文清, 赵彩霞, 刘爽, 等. 全生物降解膜田间降解特征及其对棉花产量影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(3): 21-27.
- [23] 牛司耘, 倪康, 赵晨光, 等. 不同地区茶园土壤硝化潜势特征研究[J]. 茶叶科学, 2019, 39(6): 731-741.
- [24] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999.
- [25] Ye C, Cheng X, Zhang K, et al. Hydrologic pulsing affects denitrification rates and denitrifier communities in a revegetated riparian ecotone[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2017, 115: 137-147.
- [26] Sreejata B, Lluís M, Ana P, et al. Biodegradable plastic mulch films: Impacts on soil microbial communities and ecosystem functions[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 819.
- [27] 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.
- [28] Zumstein M T, Schintlmeister A, Nelson T F, et al. Biodegradation of synthetic polymers in soils: Tracking carbon into CO₂ and microbial biomass[J]. Science Advances, 2018, 4(7): eaas9024.
- [29] Fukushima K, Wu M, Bocchini S, et al. PBAT based nanocomposites for medical and industrial applications[J]. Materials Science and Engineering: C, 2012, 32(6): 1331-1351.
- [30] 马凌云, 王月, 蔡芳芳, 等. 长期施用含氯化肥对棕壤硝化作用及氨氧化微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(5): 824-831.

Effects of different types of plastic film addition on potential nitrification of cinnamon soil in west Liaoning

FENG Chen^{1, 2}, FENG Liang-shan^{1, 2*}, SUN Zhan-xiang^{1, 2*}, ZHENG Jia-ming^{1, 2}, BAI Wei^{1, 2}, YANG Ning^{1, 2}, ZHANG Zhe^{1, 2}, XIANG Wu-yan^{1, 2}, WANG Shu-jun³, CAI Qian^{1, 2} (1. Institute of Crop Cultivation and Farming System, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang Liaoning 110161; 2. National Agricultural Experimental Station for Agricultural Environment, Fuxin Liaoning 123100; 3. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang Liaoning 110866)

Abstract: Soil nitrification is a key process in which fertilizer nitrogen participates in the nitrogen cycle. In order to clarify the influence of different types of plastic film on nitrification activity of cinnamon soil in western Liaoning, a laboratory culture experiment was conducted, to study the effects of three different types of plastic film (Common PE film, PBAT biodegradable film and oxidation-biodegradable film) and three different amounts of plastic film (0, 300 and 900 kg/hm²) on the nitrification potential of cinnamon soil in the west of Liaoning province and discuss whether the mixing of degradable film will affect soil microbial nitrification produces inhibitory and toxic effects. The results showed that adding common PE film (T1), PBAT biodegradable film (T2) and oxidation-biodegradable film (T3) did not significantly influence the potential nitrification of cinnamon soil, and the potential nitrification was in order of T1 [NO₂-N 5.61 ng/(g·h)] > T2 [NO₂-N 4.30 ng/(g·h)] > T3 [NO₂-N 3.42 ng/(g·h)]. As the amount of common PE film and PBAT biodegradable film increasing, the potential nitrification showed a decreasing trend. Further calculation and evaluation showed that the contaminated soil based on the three kinds of mulching films did not inhibit and poison the soil microbial nitrification. These results enrich the relevant theories on the influence of degradable plastic film on soil environment and provide data reference for promoting and applying degradable plastic film in western Liaoning.

Key words: plastic film; degradable plastic film; potential nitrification; cinnamon soil