

旱地土壤 N_2O 排放与土壤脲酶活性关系的研究^{*}

白红英, 李春越, 张一平

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 以年降雨量 632 mm 的黄土高原南部旱地小麦田及休耕地为研究对象, 研究了耕作措施及氮肥施用对小麦生长期土壤 N_2O 排放及土壤脲酶活性的影响。结果表明, 种植小麦对农田 N_2O 排放及 10~20 cm 和 0~20 cm 土层中的脲酶有激发效应; 地膜覆盖能使土壤 N_2O 排放量和耕层不同层次中的脲酶活性升高; N_2O 排放与耕层土壤脲酶活性之间具有极显著线性相关关系 ($y = 4.560x + 6.686$, $r = 0.694^{**}$), 因此耕作层土壤脲酶活性可以作为旱作农田土壤 N_2O 排放量的生物指标之一。

[关键词] 土壤 N_2O 排放量; 土壤脲酶活性; 耕作措施

[中图分类号] S154.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)01-0029-05

N_2O 是主要的温室气体之一, 不仅具有较强的增温潜势, 而且可通过光化学反应与臭氧层中的 O_3 发生反应, 引起臭氧层破坏^[1]。农田生态系统是 N_2O 的重要排放源, 占人为排放量的 60%~70%^[2]。农田土壤 N_2O 的排放主要源于微生物活动引起的硝化过程和反硝化过程, 水分、温度和农业管理措施等都影响着农田土壤 N_2O 的排放^[3~6], 给 N_2O 排放估算和减排措施实施带来很大困难。因此, 寻找一种既能反映 N_2O 排放量, 又受环境因子影响较小的指标就显得尤为重要。关于还原酶活性与土壤 N_2O 排放之间关系的研究, 已有一些报道^[5,7], 但由于土壤酶的复杂性及多变性, 土壤 N_2O 排放与其他相关酶的研究报道很少。脲酶不但存在于大多数细菌、真菌和高等植物之中, 且也存在于土壤和湖泊的沉积物中, 是酰胺的 C-N 键水解酶, 与硝酸还原酶不同, 其活性受土壤水分含量影响较少^[8]。因此, 许多研究资料^[6,8,9]表明, 可以用土壤脲酶活性作为土壤生物指标并可表征土壤的供氮水平。从目前的资料看, 土壤脲酶虽然不直接参与硝化或反硝化过程, 但在通气较好的旱地土壤上, 施入的氨态或酰胺态氮肥均会经硝化作用很快转变为硝态氮^[10], 为 N_2O 的产生提供基质。脲酶活性与土壤 N_2O 排放特别是旱地土壤 N_2O 排放之间是否存在密切关系, 迄今还未见报道。

本研究以年降雨量 632 mm 的黄土高原南部旱

地红油土小麦田和休耕小区为研究对象, 测定了地膜覆盖、施肥对农田土壤耕层不同土层中脲酶活性和 N_2O 排放量的影响, 旨在为旱作农田土壤 N_2O 排放估算及制定减排措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验处理

本试验在陕西杨陵西北农林科技大学试验站进行, 试验站位于北纬 108°38′; 东经 35°42′; 该区年平均温度 11~14℃, 年降水量 500~800 mm, 平均降水 632 mm, 土壤为红油土, 其耕层土壤质地为重壤, 容重 1.10~1.37 g/cm³。田间持水量 21%~23%; 有机质 11.5 g/kg, 全氮 1.25 g/kg, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 15.1 mg/kg, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 8.5 mg/kg。

为了观测同一生长期温度、水分、肥料施用及作物对土壤 N_2O 排放的影响, 田间试验选择了西北地区常用的保水耕作措施(地膜覆盖)和常规耕种, 氮磷肥混施和不施氮肥, 种植方式设种植小麦与休闲(表 1), 共 6 个处理, 为不完全设计, 每个处理设 3 次重复, 随机排列, 共 18 个小区, 小区面积 20 m² (4 m × 5 m)。试验进行了两个小麦生育期(2000-10~2001-06; 2001-10~2002-06), 于每年 10 月中旬播种小麦, 次年 06-01 左右收获, 播种时, 将氮肥(150 kg/hm²)和磷肥(40 kg/hm²)作基肥, 一次施入耕层, 耙平、覆膜后, 用穴播机穴播。供试小麦为小偃

^{*} [收稿日期] 2002-11-18

[基金项目] 国家自然科学基金项目(39970459); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-85); 西北农林科技大学专项基金项目

[作者简介] 白红英(1962-), 女, 陕西凤翔人, 副教授, 在读博士, 主要从事土壤环境生态和水环境保护的研究。

503, 全生育期不进行人为灌水。在不同小麦生长期 10~ 20 cm 和耕作层(0~ 20 cm) 土样测定土壤脲酶
测定土壤 N_2O 排放量, 并采集 0~ 5 cm, 5~ 10 cm, 及其他理化性质。

表 1 试验处理

施肥 Fertilization	地膜覆盖 Plastic film mulching		常规耕种 No mulching	
	种小麦 Planting wheat	休 耕 Fallow	种小麦 Planting wheat	休 耕 Fallow
	N F ₁	N F ₂	N C ₁	N C ₂
P	—	—	PC ₁	PC ₂

1 2 化学测定

N_2O 测定 用封闭箱收集法(close chamber method)进行测定。每次测定时将小麦地上部分剪掉, 以去除作物 N_2O 排放的影响, 将直径为 30 cm、高为 34 cm 的 PVC 圆筒插入土壤并封闭, 在密闭桶上部留有一带橡皮塞的采样孔, 封闭后 0, 1 h 分别用注射器采集样品 5 个, 迅速带回实验室用美国制造的 Varian GC3800 气相色谱仪测定 N_2O 含量。

脲酶测定 见文献[6]。

2 结果与分析

2 1 种植小麦对 N_2O 排放量及脲酶活性的影响

2 1 1 种植小麦对土壤 N_2O 排放量的影响 图 1 为同一施肥条件下, 采用不同耕作措施时, 种植小麦与否对土壤 N_2O 平均排放量的影响。由图 1 可知, NF_1 处理小麦田土壤 N_2O 平均排放量是休闲地(NF_2)的 1.32 倍, 净增 32%~ 50%; NC_1 处理小麦地土壤 N_2O 平均排放量为休闲耕地(NC_2)的 1.73 倍, 净增 20%~ 72.8%。且地膜覆盖与常规耕作相

比, NF_1 处理土壤 N_2O 排放量净增变异程度低于 NC_1 , 这可能是因为作物生长期有地膜覆盖时农田土壤水、气、热等条件相对稳定, 而常规耕作条件下这些环境因子有较大变异, 从而引起土壤 N_2O 排放净增波动较大。根据资料[11], 尿素作基肥时, 其当季作物氮素利用率为 40% 左右, 土壤残留率为 30% 左右, 亏缺达 29.5%~ 34.2%, 休耕地在经过越冬后, 由于没有小麦对氮的吸收利用, 大量的矿质态氮特别是 $NO_3^- - N$ 积累有利于 N_2O 的排放, 事实上, 只有少数几次测定结果表明, 休耕小区 N_2O 排放量高于种植小麦小区, 但总趋势还是小麦小区土壤 N_2O 排放量高于休耕小区。这可能是因为作物根系吸收消耗氧气, 使根际土壤氧气的浓度显著减少, 当有硝酸盐存在时, 根际反硝化作用较无植物生长时高所致^[12]; 另一方面, 作物根系产生大量分泌物, 在被微生物矿化分解时, 也会消耗大量 O_2 , 有利于土壤中 N_2O 的释放, 这一结果与前人的研究^[12] 结果比较一致, 本试验还表明, 无论覆膜与否, 种植小麦对土壤 N_2O 排放都有激发效应。

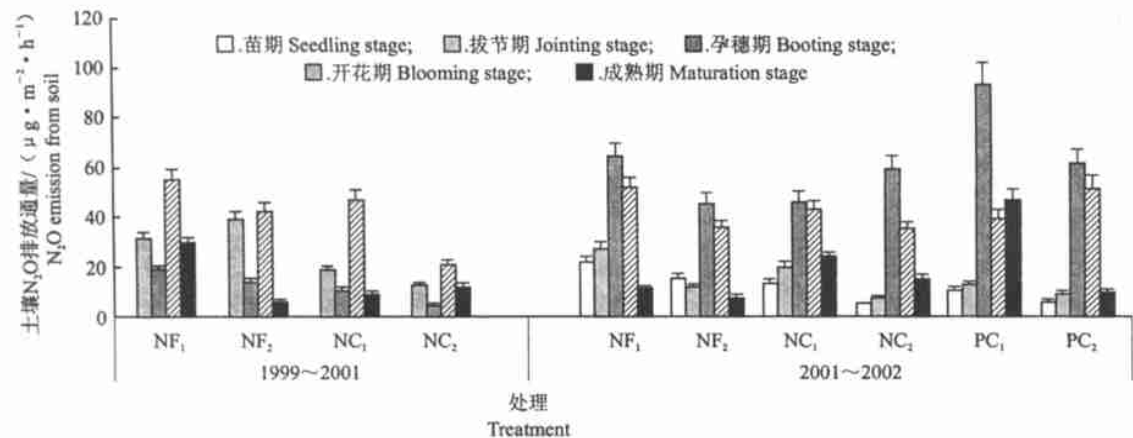


图 1 种植对土壤 N_2O 排放的影响

Fig. 1 Influence of cultivation on N_2O emission from soil

2 1 2 种植小麦对土壤脲酶活性的影响 表 2 为不同处理时 0~ 5 cm, 5~ 10 cm, 10~ 20 cm 及 0~ 20 cm 土层中脲酶的变化情况。从表 2 可以看出, 覆膜条件下, 种植小麦处理时, 0~ 5 cm, 5~ 10 cm 土

层中脲酶活性比休闲处理时分别减少 7.83% 和 1%; 不覆膜条件下, 种植小麦处理平均比休闲地减少 6.36% 和 5.80%。无论地膜覆盖还是常规耕种, 种植小麦小区 10~ 20 cm 土层中土壤脲酶活性分别较

休闲小区高 7.3% 和 3.8%; 而种植小麦小区耕层土壤(0~ 20 cm)中脲酶活性, 在覆盖和常规耕种下, 分别较休耕小区耕层土壤中脲酶活性高 1.6% 和 10.8%。休耕小区 0~ 5 cm, 5~ 10 cm 土层中脲酶活性均较种植小麦小区相应土层中的脲酶活性高, 可能是由于休耕小区无作物竞争吸收, 大量氮、磷的存在更有利于该土层中微生物繁殖, 从而激发脲酶的

活性; 另外, 在 10~ 20 cm 土层中, 由于大量小麦根系的分布, 其残留物及分泌物等有效能源物质的存在, 使其周围脲酶活性被激发, 从而引起 10~ 20 cm 土层甚至耕层(0~ 20 cm)土壤中脲酶活性均高于休耕地。无氮处理(PC₁)时, 小麦田耕层土壤脲酶活性亦高于休耕小区土壤(PC₂)脲酶活性, 也可能是同一原因所致。

表 2 耕种对土壤脲酶活性的影响

Table 2 Effect of cultivation on urease activity								mg/kg
观测年 Year	土样深度/cm Depth	处理 Treat- ment	苗期 Seedling	拔节期 Jointing	孕穗期 Earing	开花期 Bloom ing	成熟期 M ature	$\bar{x}$
2001 (2000-10~ 2001-06)	0~ 5	NF1	—	499	646	888	697	683
		NF2	—	663	678	841	784	741
	5~ 10	NF1	—	494	786	1 036	907	806
		NF2	—	730	687	1 045	792	814
	10~ 20	NF1	—	782	693	801	782	764
		NF2	—	762	530	782	773	712
	0~ 5	NC1	—	515	564	869	523	618
		NC2	—	435	642	829	733	660
	5~ 10	NC1	—	559	612	748	808	682
		NC2	—	600	689	826	778	724
	10~ 20	NC1	—	685	601	945	703	733
		NC2	—	536	579	953	754	706
2002 (2001-10~ 2002-06)	0~ 20	NF1	296	883	1 309	829	361	736
		NF2	256	825	1 304	898	338	724
		NC1	291	791	778	606	348	563
		NC2	248	528	738	709	315	508
		PC1	273	871	1 218	886	291	708
		PC2	247	804	1 094	852	288	657

2.2 地膜覆盖对 N₂O 排放量及脲酶活性的影响

2.2.1 地膜覆盖对土壤 N₂O 排放量的影响 农田土壤的 N₂O 排放, 因耕作措施不同而异。图 2 为小麦田及休耕地在覆盖耕种和常规耕种时土壤 N₂O 的排放情况。从图 2 可知, 无论种植小麦还是休闲, 地膜覆盖均使 N₂O 排放量高于常规处理 55.56%~

10.40%。这与地膜覆盖使土壤温度升高、水分蒸发减少有关。据观测, 地膜覆盖使水分增加 2%~ 4%, 温度升高 1~ 5℃, 而土壤 N₂O 排放与土壤温度、水分间显著相关^[3~ 5]。另外, 地膜覆盖相对减少了土壤中局部氧浓度, 增加了厌氧环境, 使反硝化作用增强, 从而引起土壤 N₂O 排放增加。

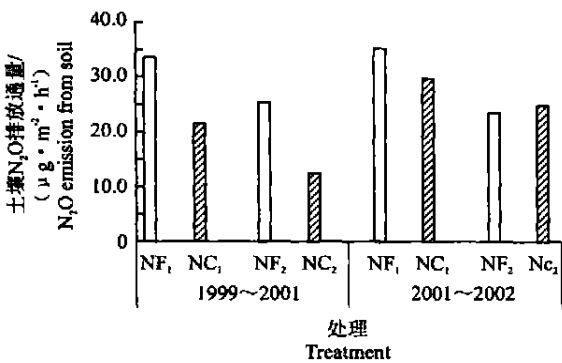


图 2 地膜覆盖对土壤 N₂O 排放量的影响
Fig. 2 Influence of plastic film mulching on N₂O emission

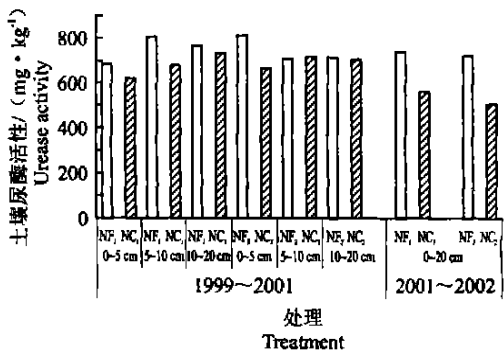


图 3 地膜覆盖对土壤不同层次脲酶活性的影响
Fig. 3 Influence of plastic film mulching on urease

2.2.2 地膜覆盖对土壤脲酶活性的影响 从表 2 及图 3 可知, 地膜覆盖对脲酶活性有明显影响: NF₁ 处理时, 0~ 5 cm, 5~ 10 cm 土层脲酶活性比 NC₁ 处

理时相应土层的脲酶活性分别增加 10.52% 和 18.18%; NF₂ 处理时, 0~ 5 cm, 5~ 10 cm 土层脲酶活性比 NC₂ 处理的相应土层增加 12.27% 和

12.43%。在 10~20 cm 土层中, NF_1 处理的脲酶活性比 NC_1 处理时净增 4.23%; NF_2 处理比 NC_2 处理增加 1%; 而耕层土壤(0~20 cm)中, 在种植小区与休耕小区, 地膜覆盖的脲酶活性平均比常规处理时高 30.73% 和 42.52%。从以上分析可以看出, 地膜覆盖对 0~5 cm, 5~10 cm 土层脲酶活性的影响明显高于对 10~20 cm 土层脲酶活性的影响, 这主要是由于地膜覆盖使 0~10 cm 土层中温度显著升高, 水分含量增加, 较高的温度和水分状况有利于土

壤微生物的繁殖生长, 从而使脲酶活性增加。

2.3 N_2O 排放量与土壤脲酶活性的相关性

土壤脲酶是尿素水解的关键性酶^[8], 直接影响着进入土壤尿素的分解、转化、吸收和利用, 也可通过影响硝化作用所需的基质 NH_4^+-N 而影响硝化作用, 从而影响土壤中 N_2O 的排放。表 3 为不同施肥、不同耕作措施下, 种植小麦与休闲小区, 即不同营养因子、不同水热条件及有无作物存在情况下, 土壤中 N_2O 排放量与脲酶活性的相关分析结果。

表 3 农田土壤 N_2O 排放与土壤脲酶活性的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of between urease activity and N_2O emission from field

土壤深度/cm Depth	拟合方程 Fitting equation	相关系数 Correlation coefficient	n
0~5	$y = -162.407 + 5.858x$	0.583*	16
5~10	$y = -123.750 + 4.722x$	0.467	16
10~20	$y = -300.381 + 7.322x$	0.586*	16
0~20	$y = 6.686 + 4.560x$	0.694**	30

注: y 为土壤 N_2O 排放量 ($\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$); x 为土壤中脲酶活性 (mg/kg); $r_{0.05} = 0.468$, $r_{0.01} = 0.590$, $n = 16$; $r_{0.05} = 0.349$, $r_{0.01} = 0.449$, $n = 30$

Note: y mean N_2O flux ($\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$); x mean urease activity in soil (mg/kg). $r_{0.05} = 0.468$, $r_{0.01} = 0.590$, $n = 16$; $r_{0.05} = 0.349$, $r_{0.01} = 0.449$, $n = 30$

由表 3 可知, 除 5~10 cm 土层接近线性相关外, 耕层不同层次土壤中脲酶活性与土壤 N_2O 排放量之间均达显著正相关关系, 且 0~20 cm 土层(耕层)中, 二者达极显著相关。韩建刚等^[22]认为, 土壤中 N_2O 主要产生于距土壤表层 10 cm 左右, 但从以上相关分析可知, 5~10 cm 土层中脲酶活性与 N_2O 排放量之间也接近线性相关关系, 但远小于耕层土壤脲酶活性与 N_2O 排放量之间的相关性, 这说明耕层土壤中脲酶活性间接影响着 N_2O 排放, 且二者间存在着密切关系。因为这些试验资料来自不同的生长季节、同一生长期不同的水热条件及不同施肥条件下的种植小麦田和休闲小区, 代表了环境因子对脲酶、 N_2O 排放的综合影响, 因此, 可以用 0~20 cm 土层中脲酶活性作为旱作小麦田 N_2O 排放的间接生物指标之一。

其平均增加量为休耕地的 20%~72%; 小麦田 0~5 cm, 5~10 cm 土层中脲酶活性低于休耕地 1%~7.8%; 而 10~20 cm 土层和耕层土壤中脲酶活性前者均高于后者。

无论种植小麦还是休耕, 地膜覆盖处理均使 N_2O 排放量较常规处理高 55.56%~104.0%; 地膜覆盖处理使各土层及整个耕层(0~20 cm)脲酶活性升高, 尤其对 0~5 cm 和 5~10 cm 土层的影响最大。

耕层不同层次土壤中脲酶活性与土壤 N_2O 排放量之间存在显著正相关关系(5~10 cm 未达显著相关); 耕层脲酶活性与 N_2O 排放量之间达极显著相关, 因此可以用耕作层土壤脲酶活性作为旱作农田土壤 N_2O 排放量的间接生物指标之一。

3 结 论

种植小麦对农田土壤 N_2O 的排放有激发效应,

[参考文献]

[1] IPCC. Estimated source and sink of nitrous oxide[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992
[2] IPCC. Radiative forcing of climatic change[R]. Geneva: WMO/UNEP, 1994
[3] 徐文彬, 刘维屏, 刘广深. 温度对旱田土壤 N_2O 排放的影响研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 1-7.
[4] 颜晓元, 施书莲, 杜丽娟, 等. 水分对水田土壤 N_2O 排放的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 482-487.
[5] 白红英, 韩建刚, 张一平. 不同土层土壤理化生性状与硝化酶活性及 N_2O 排放通量的相关性研究[J]. 农业环境保护, 2002, 21(3): 193-

196

- [6] 中国科学院南京土壤研究所微生物室主编 土壤微生物研究法[M] 北京: 科学出版社, 1985 260- 268
- [7] 史 奕, 黄国宏 土壤中反硝化酶活性与 N_2O 排放的关系[J] 应用生态学报, 1999, 10(3): 329- 331
- [8] 周礼恺 土壤的脲酶活性与尿素肥料在土壤中的转化[J] 土壤学进展, 1984, (1): 1- 7
- [9] 任天志, Stefano Grego 持续农业中的土壤生物指标研究[J] 中国农业科学, 2000, 33(3): 68- 75
- [10] 李世清, 卜彤英, 李生秀 石灰性土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的粘土矿物固定[J] 干旱地区农业研究, 1993, 11(2): 99- 107
- [11] 党廷辉, 蔡贵信, 郭胜利, 等 黄土高原黑垆土冬小麦系统中尿素氮去向及增产效果[J] 土壤学报, 2002, 39(3): 199- 204
- [12] 袁丽云 反硝化作用在土壤氮素平衡中的作用[J] 土壤学进展, 1985, (5): 8- 14

Study on N_2O emission and urease activity in dryland soil

BAI Hong-ying, LI Chun-yue, ZHANG Yi-ping

(College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Experiments were carried out to study the influence of different cultivation methods and plastic film mulching on the N_2O emission and urease activity in field soil. The results showed that wheat cultivation would activate N_2O emission and urease activity in the soil layer with a depth of 10- 20 cm and 0- 20 cm. The plastic film mulching would increase the N_2O emission and urease activity in different soil layers. The N_2O emission is positively related to the urease activity in tillable soil layers ($y = 4.560x + 6.686$, $r = 0.694^{**}$), that is the urease activity can be used as the bio-indicator for N_2O emission to reflect the comprehensive influence of other factors.

Key words: N_2O emission; urease activity; cultivation methods

(上接第 28 页)

Studies on physical and chemical characters and biological activities of polysaccharide G. F. -1 from *Grifola frondosa* Mycelia

DU Wei¹, YUAN Jing², Li Yuan-ru^{2*}, CHENG Jia-feng³

(1 College of Dynamical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2 College of Food Science and Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 College of Chemical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266042, China)

Abstract: Physicochemical characters and biological activities of polysaccharide G. F. -1 from *Grifola frondosa* Mycelia were studied. The results showed G. F. -1 had better consistency, its relative molecular weight was 1.23×10^6 and mol ratio of sugar composition was Xyl : Man : Glc = 0.9 : 1.4 : 4.7. First order structure was made up of $\beta\text{D-Glc}$ in which the main chain contained mainly $\beta(1 \rightarrow 3)$ and $\beta(1 \rightarrow 6)$ with the branched point mostly at C6. Otherwise, it could eliminate $\text{O}_2^{\cdot -}$ radical, significantly increase the mouse splenocyte proliferation and could adjust the body immunologic function.

Key words: mycelia polysaccharide; structure constitutes; biologic activities