

尿素施用对稻田土壤甲烷产生、氧化及排放的影响^①

张广斌^{1,2}, 马静¹, 马二登^{1,2}, 徐华^{1*}, 蔡祖聪¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过田间和培养试验研究了不施尿素(N 0 kg/hm²)和施用尿素(N 300 kg/hm²)对水稻生长期稻田土壤CH₄产生潜力、氧化潜力和排放通量的影响。结果表明, 水稻全生育期内, 施用尿素降低土壤CH₄产生潜力, 并推迟其达到最大值的时间; 尿素作为基肥和穗肥施用抑制土壤CH₄氧化, 而作为分蘖肥施用短暂地促进然后抑制土壤CH₄氧化; 施用尿素降低稻田CH₄排放量。施用尿素通过同时影响CH₄产生潜力和氧化潜力来影响稻田CH₄排放。

关键词: 甲烷产生潜力; 甲烷氧化潜力; 甲烷排放; 尿素; 稻田土壤

中图分类号: X511

全球气候变暖已是不争事实, 其主要原因是大气温室气体浓度增加。CH₄是仅次于CO₂的最重要的温室气体, 它对温室效应的相对贡献率为19%^[1]。稻田是大气CH₄最重要的排放源之一, 其排放量占全球CH₄总排放量的5%~19%^[2]。因此, 在全球气候变暖的大环境下, 对稻田CH₄的排放规律、影响因素以及减排措施的探索成了当前学术研究的热点。

水稻是世界上最主要的粮食作物之一, 施用N肥是水稻种植中增加作物产量和提高产品质量的一项必要而有效的措施, 也是影响稻田CH₄排放的重要因素^[3-6]。尿素是水稻生产中常用的一种N肥, 目前关于尿素对稻田CH₄排放影响的观测结果很不一致, 有的甚至互相矛盾^[7-12]。因此, 系统地研究尿素对稻田土壤CH₄产生、氧化和排放的影响具有重大意义。

以往一些文献报道了稻田土壤CH₄的产生潜力和氧化潜力随时间变化的规律^[3,5,13-14], 但有关尿素对稻田土壤CH₄产生潜力和氧化潜力影响的研究较少^[3]。本研究选择不施用尿素和施用尿素2个施肥水平, 通过培养试验测定整个水稻生长季的土壤CH₄产生潜力和氧化潜力, 并进行大田试验同步观测CH₄排放通量, 以探讨尿素对稻田土壤CH₄产生潜力、氧化潜力和排放通量的影响, 试图从过程层次上进一步阐明尿素对

稻田CH₄排放的影响。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

土样采自江苏省句容市行香镇(31°58'N, 119°18'E)水稻田土壤表层(0~15 cm)。土壤为发育于下蜀黄土的爽水性水稻土, 有机质含量为11.8 g/kg, 全N含量为1.39 g/kg, pH为7.42。试验田稻麦轮作多年。

1.2 试验设置

大田试验共设置不施尿素(N 0 kg/hm², CK)和施用尿素(N 300 kg/hm², N300)2个处理, 每处理3个重复, 随机区组分布。尿素按基肥:分蘖肥:穗肥为2:1:1施用, 磷钾肥分别为450 kg/hm²的过磷酸钙和225 kg/hm²的氯化钾, 作为基肥一次性施入。基肥、分蘖肥、穗肥分别于2007年6月18日、7月11日、8月12日施用。供试水稻品种为华粳3号, 于5月17日育苗, 6月19日移栽, 10月22日收割, 试验小区水分管理参照当地稻田惯用的水分管理方式。各小区于6月18日淹水, 7月26日开始烤田, 8月2日烤田结束, 烤田后干湿交替, 10月3日起排水落干至水稻收割。

①基金项目: 中国科学院知识创新重要方向项目群项目(KZCX2-YW-Q1-07)、国际科技合作项目(2008DFA21330)和中国科学院重大创新项目(KSCX1-YW-09-08)资助。

* 通讯作者(hxu@issas.ac.cn)

作者简介: 张广斌(1983—), 男, 湖南邵阳人, 博士研究生, 主要从事农田温室气体排放规律及其机理研究。E-mail: gbzhang@issas.ac.cn

1.3 甲烷产生潜力的厌氧培养试验

取 50 g (干土重) 新鲜土样, 迅速转移到 250 ml 培养瓶中, 加入无氧去离子水使得瓶内土水比为 1:1, 并搅拌成泥浆状。向培养瓶内充一定 N₂ 后, 加硅橡胶塞密封, 立即带回室内进行培养试验。硅橡胶塞中间有一小孔, 内插玻璃管, 管外套有一段硅橡胶软管, 再以硅胶塞塞紧硅橡胶软管通气口使之密封, 并以此硅胶塞作为抽真空、充 N₂ 及气体取样口。培养瓶经反复 6 次抽真空、充 N₂ (最后充 N₂ 至 1 atm) 后, 参照田间实测土温置于暗箱培养。CH₄ 产生潜力通过测定密闭培养 1 h 和 50 h 后瓶内 CH₄ 浓度的变化获得。

1.4 甲烷氧化潜力的好氧培养试验

取 50 g (干土重) 新鲜土样, 迅速转移到 250 ml 培养瓶中, 加入无氧去离子水使得瓶内土水比为 1:1, 并搅拌成泥浆状, 加硅橡胶塞密封, 立即带回室内进行培养试验。好氧培养试验的装置与厌氧培养试验的相同, 通过取样口向培养瓶中加入 2.5 ml 纯 CH₄, 使瓶内 CH₄ 的浓度在 10 000 μL/L 左右, 30 min 后 (瓶内气体均匀混合) 测定瓶内 CH₄ 浓度, 并参照田间实测土温置于暗箱振荡培养 (120 r/min)。第 1 天的 8 h 内每隔 2~3 h 测定瓶内 CH₄ 浓度, 第 2 天每隔 2 h 测定瓶内 CH₄ 浓度。CH₄ 氧化潜力根据密闭培养第 1 天瓶内 CH₄ 浓度的变化做线性回归得到的 CH₄ 氧化潜力和第 2 天瓶内 CH₄ 浓度的变化做线性回归所得的 CH₄ 氧化潜力然后取两者平均值获得。

1.5 气样甲烷浓度的测定

气样 CH₄ 浓度用带有氢离子火焰检测器的气相色谱 (岛津 GC-12A) 分析。CH₄ 标准气体由南京特种气体厂生产, 并经日本国立农业环境技术研究所物质循环研究室校正。具体测定条件详见文献[15]。

1.6 土壤中矿质氮的测定

用 2 mol/L 的 KCl 提取新鲜土样中的矿质 N (NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 NO₂⁻-N), 水土比为 5:1, 然后用连续流动分析仪 (Skalar, Holland) 测定。

1.7 甲烷产生率及氧化率的计算

CH₄ 的产生率及氧化率由以下公式计算:

$$P = dc/dt \times V_H / W_s \times MW / MV \times 273 / T \quad (1)$$

式中, P 为 CH₄ 产生率 (氧化率) (μg/(g·d)); dc/dt 为培养瓶内气相 CH₄ 浓度单位时间的变化 (μL/(L·d)); V_H 为培养瓶内上部空间体积 (L); W_s 为干土重量 (g); MW 为 CH₄ 的分子量 (g); MV 为标准状态下 1 mol 气体的体积 (L); T 为培养温度 (K)。

CH₄ 产生率取培养 50 h 后所得 CH₄ 产生率 3 个重复的平均值, CH₄ 氧化率用 3 个重复的平均值及标准

偏差表示。

1.8 甲烷排放通量的计算

CH₄ 排放通量由下式计算:

$$F = dc/dt \times 0.714 \times h \times 273 / T \quad (2)$$

式中, F 为 CH₄ 排放通量 (mg/(m²·h)); h 为静态采样箱顶部至水面的高度 (m); dc/dt 为单位时间内密闭箱内 CH₄ 浓度的变化 (μL/(L·h)); T 为采样时密闭箱内温度 (K)。

CH₄ 排放通量用 3 个重复的每次观测平均值及标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 尿素对土壤甲烷产生潜力的影响

水稻全生育期内, 两处理土壤 CH₄ 产生潜力具有很明显的季节变化 (图 1), 施用尿素处理土壤 CH₄ 平均产生潜力明显小于不施尿素处理, 但无显著性差异 ($p > 0.05$)。两处理土壤 CH₄ 产生潜力都较小, 其变化范围为 0.008~0.718 μg/(g·d)。从图 1 中可以看出, 施用基肥略微降低 CH₄ 产生潜力, 施用分蘖肥和穗肥则明显降低 CH₄ 产生潜力, 尤其是施用穗肥后长时间内达显著差异 ($p < 0.05$, 图 1)。不施尿素处理土壤 CH₄ 产生潜力在水稻移栽后 61 天即达到最大值 0.718 μg/(g·d), 而施用尿素处理土壤 CH₄ 产生潜力在水稻移栽后 89 天才达到最大。可见, 施用尿素不仅减小土壤 CH₄ 产生潜力, 还推迟其达到最大值的时间 (图 1)。

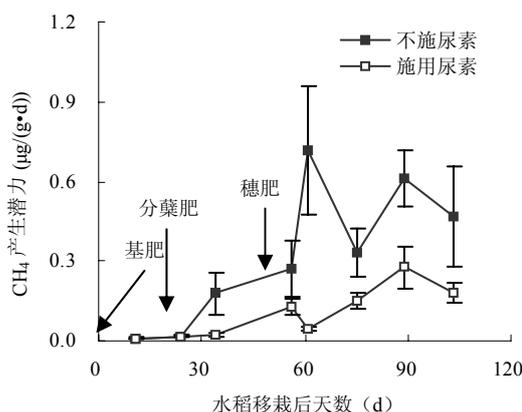


图 1 土壤 CH₄ 产生潜力的季节变化

Fig. 1 Seasonal variation of CH₄ production potential

土壤中 CH₄ 的产生是产 CH₄ 细菌在严格厌氧条件下作用于产 CH₄ 底物的结果。徐华等^[16]研究发现在一定条件且没有外加有机物质的情况下, 稻田土壤 CH₄ 产生量受土壤有机 C 和全 N 含量的显著影响。然而在稻田生态系统中, 人为施用有机肥以及残留在土壤表

面的根茬、水稻植株凋落物和根系分泌物等提供了大量的产 CH_4 底物, 能显著促进 CH_4 的产生, 提高 CH_4 的排放量^[17-19]。施用无机 N 肥在一定范围内能显著增加水稻产量和生物量, 促进水稻植株凋落物及根系分泌物的增加, 为 CH_4 产生提供更多的前体基质, 从理论上讲更有利于 CH_4 的产生^[20]。然而本试验发现, 稻田施用尿素明显减小土壤 CH_4 产生潜力(图 1), 说明尿素抑制了土壤中 CH_4 的产生, 这与以往研究结果大不相同。丁维新等^[20]总结认为 N 肥对土壤 CH_4 产生的影响受控于土壤的性质尤其是土壤活性有机 C 的含量, 当土壤有机 C 含量较低或者有机 C 含量相对较高但土壤质地粘重导致活性有机 C 含量较少时, 由于土壤还原 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的能力较弱, 硫酸和硝态氮肥施入导致 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 对产 CH_4 的抑制作用强于 N 肥对 CH_4 产生的促进作用, 总体表现为抑制 CH_4 的产生。但本试验土壤为爽水性水稻土, 有机质含量为 11.8 g/kg, 全 N 含量为 1.39 g/kg, 且整个试验过程中并未施用硫酸和硝态氮肥, 却表现为尿素抑制 CH_4 的产生。遗憾的是本试验土壤单一, 因此, 在全国范围内该研究结果是否具有普遍性及其相关原因还有待进一步研究查明。

水稻生长初期两处理土壤几乎没有 CH_4 产生, 主要是由于稻田淹水不久, 土壤可能还未达到最佳产 CH_4 的还原环境。此外, 气温相对较低, 不利于 CH_4 的形成。此时 CH_4 产生较少, 使得施用基肥对土壤 CH_4 产生的影响也比较小, 只略微降低 CH_4 产生潜力(图 1)。随着水稻移栽后天数的增加, 水稻根系逐步发达, 根系分泌物及植株凋落物逐渐增多, 且正值高温季节(7 月底到 8 月份), 高温天气有利于土壤有机质分解, 导致两处理土壤 CH_4 产生逐渐增多。由于 CH_4 产生较多, 使得施用分蘖肥和穗肥对土壤 CH_4 产生的影响也比较大, 遂表现为明显降低 CH_4 产生潜力(图 1)。

2.2 尿素对土壤甲烷氧化潜力的影响

水稻全生育期内两处理土壤 CH_4 氧化潜力波动较大, 变化范围为 3.91 ~ 12.21 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{d})$, 且在水稻生长前期最大, 中期最小, 后期又有所增加。与不施尿素处理相比, 施用基肥和穗肥明显减小土壤 CH_4 氧化潜力, 但无显著差异 ($p>0.05$), 而施用分蘖肥短期内明显增大土壤的 CH_4 氧化潜力 ($p<0.05$), 之后又表现为抑制 CH_4 氧化(图 2)。

土壤中产生的 CH_4 在排放到大气之前要经历一个氧化过程, 即土壤对内源性 CH_4 的氧化。稻田土壤对内源性 CH_4 的氧化大大减少了稻田 CH_4 的排放, 然而土壤的这种自然调节大气 CH_4 浓度的功能却受到 N 肥

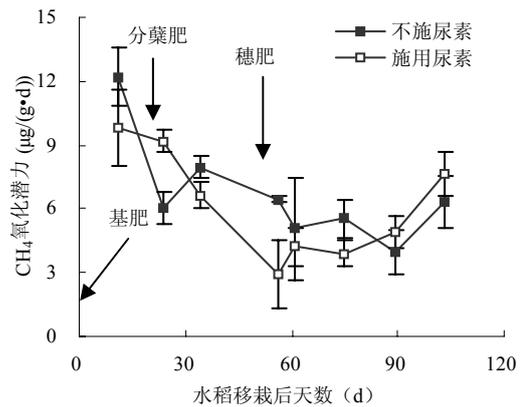
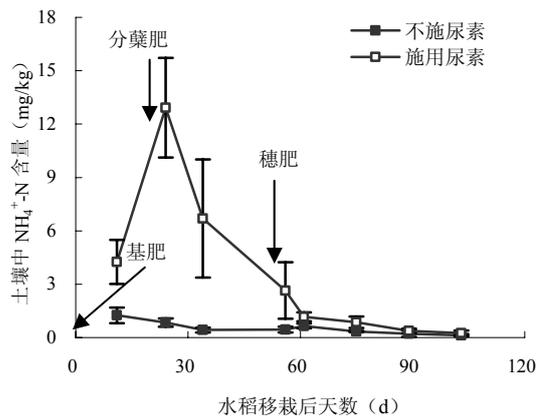
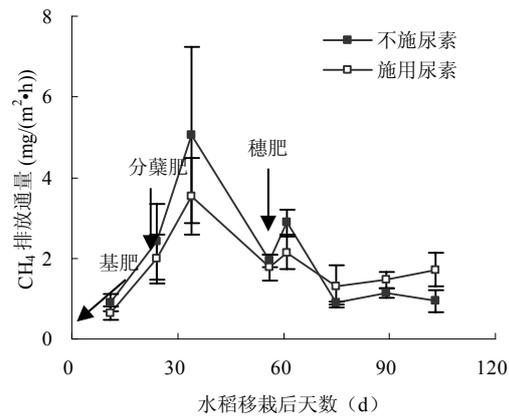


图 2 土壤 CH_4 氧化潜力的季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of CH_4 oxidation potential

施用的影响。目前关于 NH_4^+-N 对 CH_4 氧化的研究观点主要有两种: NH_4^+-N 对 CH_4 氧化有竞争作用, 从而抑制 CH_4 的氧化^[21-22]; NH_4^+-N 促进 CH_4 氧化细菌的生长和活性, 从而促进 CH_4 的氧化^[3-4, 22-23]。Cai 等^[24]研究发现 NH_4^+-N 对 CH_4 氧化的抑制作用随 NH_4^+-N 含量的增加而增加, 随 CH_4 浓度的增加而减弱。当 CH_4 浓度高于 1 000 ~ 2 000 $\mu\text{l}/\text{L}$ 时, NH_4^+-N 对 CH_4 氧化的初始抑制作用很小, 并逐渐消失, 最终表现为促进 CH_4 氧化; 当 CH_4 浓度低于 500 $\mu\text{l}/\text{L}$ 时, NH_4^+-N 始终抑制 CH_4 氧化。Visscher 等^[25]研究也表明低 CH_4 浓度下, NH_4^+-N 抑制 CH_4 氧化, 高 CH_4 浓度下, NH_4^+-N 促进 CH_4 氧化。

本试验结果表明, 水稻生长初期土壤中 NH_4^+-N 含量很高, 尿素对 CH_4 氧化的抑制作用逐渐消失并随后表现为促进 CH_4 的氧化, 水稻生长中期土壤中 NH_4^+-N 浓度相对较低, 尿素表现为抑制 CH_4 的氧化(图 2、3)。就施用尿素处理而言, 水稻生长初期, 水稻根系及通气组织尚不发达, 且水温和土温都相对较低, 使得经植物体、气泡和扩散途径排放 CH_4 的能力都相对较弱, 于是产生的 CH_4 不能及时释放到大气, 导致高浓度的 CH_4 在土壤中积累。在高浓度 CH_4 下, NH_4^+-N 对 CH_4 氧化的抑制作用逐渐消失并随后表现为促进 CH_4 的氧化, 具体表现为施用基肥抑制土壤 CH_4 氧化, 施用分蘖肥初期促进土壤 CH_4 氧化(图 2), 单因素方差分析也表明施用分蘖肥短期内显著促进土壤 CH_4 氧化潜力 ($p<0.05$)。水稻生长中期, 一方面, 水稻根系及通气组织逐渐发达, 传输能力日益增强, 使得土壤中产生的 CH_4 可以及时通过水稻植株排放到大气(图 4), 土壤中不易积累高浓度的 CH_4 ; 另一方面, 稻田相继施行烤田和干湿交替, 不利于高浓度 CH_4 在

图3 土壤 NH₄⁺-N 含量的季节变化Fig. 3 Seasonal variation of soil NH₄⁺-N content图4 CH₄ 排放通量的时间变化Fig. 4 Temporal variation of CH₄ flux

土壤中蓄积。在低浓度 CH₄ 下, NH₄⁺-N 抑制 CH₄ 的氧化, 具体表现为施用分蘖肥后期及穗肥抑制土壤 CH₄ 氧化 (图 2)。总之如本研究结果所示, 水稻全生育期内施用尿素对土壤 CH₄ 氧化作用的影响很复杂, 并不是单一的促进或抑制, 而是随水稻生长过程抑制和促进作用交替出现。

2.3 尿素对土壤甲烷排放的影响

两处理 CH₄ 排放通量的时间变化趋势很明显, 随水稻移栽后天数的增加 CH₄ 排放通量逐渐增至最大后逐步减小 (图 4)。不施尿素和施用尿素处理 CH₄ 季节排放总量分别为 3.2 和 2.9 g/m², 表明施用尿素略微减少了稻田 CH₄ 排放量。

稻田 CH₄ 排放是土壤中 CH₄ 的产生、氧化和向大气传输 3 个过程共同作用的结果。N 肥通过影响土壤 CH₄ 的产生、氧化和传输进而影响稻田 CH₄ 排放通量。目前关于尿素对稻田 CH₄ 排放影响的观测结果主要有两种: 一部分研究结果表明^[3-4, 26-27]施用尿素可以提高土壤中 CH₄ 氧化细菌的数量和活性, 促进 CH₄ 氧化, 抑制 CH₄ 向大气释放, 降低稻田 CH₄ 排放量; 一部分研究则认为^[28-31]尿素施用增加了稻田 CH₄ 排放量。因为尿素促进水稻根系的发育, 增加根系分泌物, 为 CH₄ 的产生提供更多的前提基质; 尿素在土壤中水解为 NH₄⁺, NH₄⁺ 对 CH₄ 氧化有竞争作用, 从而增加了 CH₄ 的排放量; 土壤产生的 CH₄ 主要通过水稻植株传输排放到大气中, 尿素促进水稻的生长, 从而提高植株向大气传输 CH₄ 的能力。总之, 尿素施用对稻田 CH₄ 排放的影响取决于上述诸多影响因素的相对强弱。

本研究结果表明施用尿素降低了稻田 CH₄ 排放量。施用尿素通过同时影响 CH₄ 产生潜力和氧化潜力

从而影响稻田 CH₄ 排放通量。施用基肥抑制土壤的 CH₄ 产生和氧化, 此时 CH₄ 产生能力小而 CH₄ 氧化能力强, 使得不施尿素处理 CH₄ 排放通量略微高于施用尿素处理; 施用分蘖肥抑制土壤 CH₄ 产生, 且抑制作用逐渐增强, 而施用分蘖肥短暂促进然后抑制土壤 CH₄ 氧化, 导致不施尿素处理 CH₄ 排放通量大于施用尿素处理的幅度逐渐增大; 施用穗肥抑制土壤 CH₄ 产生和氧化, 使得不施尿素处理 CH₄ 排放通量略高于施用尿素处理 (图1、2、4)。可见, 尿素对土壤 CH₄ 产生潜力和氧化潜力影响的复杂性, 直接导致其对稻田 CH₄ 排放通量影响的复杂性。

3 结论

稻田 CH₄ 排放是土壤中 CH₄ 的产生、氧化和向大气传输 3 个过程共同作用的结果。N 肥是影响稻田 CH₄ 排放的重要因素, 它通过同时影响稻田土壤 CH₄ 产生潜力和氧化潜力进而影响稻田 CH₄ 排放通量。

水稻全生育期内, 施用尿素降低土壤 CH₄ 产生潜力, 并推迟其达到最大值的时间。遗憾的是本试验土壤单一, 且试验施用 N 肥水平较少, 因此该研究结果是否具有普遍性以及相关原因还有待今后深入研究。尿素作为基肥和穗肥施用抑制土壤 CH₄ 氧化, 而作为分蘖肥施用短暂地促进然后抑制土壤 CH₄ 氧化。施用尿素降低稻田 CH₄ 排放量。

参考文献:

- [1] Bouwman AF. Introduction//Bouwman AF. Soils and the Greenhouse Effect. Chichester: John Wiley and Sons, 1990: 25-32
- [2] IPCC. Climate change 2007: Couplings Between Changes in the

- Climate System and Biogeochemistry. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter7.pdf>
- [3] Krüger M, Frenzel P. Effects of N-fertilization on CH₄ oxidation and production, and consequences for CH₄ emissions from microcosms and rice fields. *Global Change Biology*, 2003, 9: 773–784
- [4] Bodelier PLE, Hahn AP, Arth IR, Frenzel P. Effects of ammonium-based fertilisation on microbial processes involved in methane emission from soils planted with rice. *Biogeochemistry*, 2000, 51: 225–257
- [5] Dan JG, Krüger M, Frenzel P. Effect of a late season urea fertilization on methane emission from a rice field in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 83: 191–199
- [6] Xiong ZQ, Xing GX, Zhu ZL. Nitrous oxide and methane emissions as affected by water, soil and nitrogen. *Pedosphere*, 2007, 17(2): 146–155
- [7] 蔡祖聪, 颜晓元, 徐华, 鹤田治雄, 八木一行, 阳捷行. 氮肥品种对稻田甲烷排放的影响. *土壤学报*, 1995, 32(增刊): 136–143
- [8] Aerts R, Toil S. Nutritional controls on carbon dioxide and methane emission from carex—dominated peat soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29: 168–169
- [9] Aerts R, Ludwig F. Water—table changes and nutritional status affect trace gas emissions from laboratory columns of peat land soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29: 1691–1698
- [10] Amaral JA, Knowles R. Methane metabolism in temperate swamp. *Applied and Environment Microbiology*, 1994, 60: 3945–3951
- [11] Wang Z, Delaune RD, Lindau CW, Patrick WH. Methane production from anaerobic soil amended with rice straw and nitrogen fertilizers. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1992, 33: 115–121
- [12] Grot CJD, Vermoesen A, Cleemput OV. Laboratory study of the emission of N₂O and CH₄ from a calcareous soil. *Soil Science*, 1994, 158: 355–364
- [13] Krüger M, Eller G, Conrad R, Frenzel P. Seasonal variation in pathways of CH₄ production and in CH₄ oxidation in rice fields determined by stable carbon isotopes and specific inhibitors. *Global Change Biology*, 2002, 8: 265–280
- [14] 上官行健, 王明星, 陈德章, 沈壬兴. 稻田土壤中甲烷的产生. *地球科学进展*, 1993, 8(5): 1–12
- [15] 马静, 徐华, 蔡祖聪, 八木一行. 水稻植株对稻田甲烷排放日变化的影响. *土壤*, 2007, 39(6): 859–862
- [16] 徐华, 蔡祖聪, 八木一行. 水稻土甲烷产生潜力及其影响因素. *土壤学报*, 2008, 45(1): 98–104
- [17] Sass RL, Fisher FM, Harcombe PA, Turner FT. Mitigation of methane emissions from rice fields: Possible adverse effects of incorporated rice straw. *Global Biogeochemical Cycles*, 1991, 5: 275–287
- [18] Kludze HK, Delaune RD. Straw application effects on methane and oxygen exchange and growth of rice. *Soil Science Society of American Journal*, 1995, 59: 824–830
- [19] 上官行健, 王明星. 稻田甲烷排放的控制措施. *地球科学进展*, 1993, 8(5): 55–62
- [20] 丁维新, 蔡祖聪. 氮肥对土壤甲烷产生的影响. *农业环境科学学报*, 2003, 22(3): 380–383
- [21] Schimel JP, Holland EA, Valentine. Controls on methane flux from terrestrial ecosystem/Rolston DE, Harper LA, Mosier AR, Duxbury JM. *Agricultural Ecosystem Effects on Trace Gases and Global Climate Change* Harper. Madison, USA: American Society of Agronomy, 1993: 167–182
- [22] Schimel JP. Rice, microbes and methane. *Nature*, 2000, 403(6768): 375–377
- [23] Bodelier PLE, Roslev P, Henckel T, Frenzel P. Stimulation by ammonium-based fertilizers of methane oxidation in soil around rice roots. *Nature*, 2000, 403: 421–424
- [24] Cai ZC, Mosier AR. Effect of NH₄Cl addition on methane oxidation by paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32: 1537–1545
- [25] Visscher AD, Cleemput OV. Induction of enhanced CH₄ oxidation in soils: NH₄⁺ inhibition patterns. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 907–913
- [26] Li Y, Lin ED, Rao MJ. The effect of agricultural practices on methane and nitrous oxide emissions from rice field and pot experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 49: 47–50
- [27] Zou JW, Huang Y, Jiang JY, Zheng XH, Sass RL. A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: Effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. *Global Biogeochemistry Cycles*, 2005, 19: GB2021
- [28] 陈冠雄, 黄国宏, 黄斌, 吴杰, 于克伟, 徐慧, 薛晓华, 王正平. 稻田甲烷和氧化亚氮的排放及养萍和施肥的影响. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 378–382
- [29] Banik A, Sen M, Sen SP. Effects of inorganic fertilizers and micronutrients on methane production from wetland rice (*Oryza sativa* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 21: 319–322
- [30] Singh JS, Singh S, Raghubanshi AS, Singh S, Kashyap AK. Methane flux from rice/wheat agroecosystems as affected by crop phenology, fertilization and water level. *Plant and Soil*, 1996, 183:

323-327

emission/production in the paddy soils of Taiwan. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 25: 245-251

[31] Yang SS, Chang EH. Effect of fertilizer application on methane

Effects of Urea Application on Methane Production, Oxidation and Emission from A Paddy Soil

ZHANG Guang-bin^{1,2}, MA Jing¹, MA Er-deng^{1,2}, XU Hua¹, CAI Zu-cong¹(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;*2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Field and incubation experiments were conducted to study the effects of urea application (N 0, 300 kg/hm²) on CH₄ production potential, oxidation potential and emission during rice-growth season. The results showed that during the entire rice-growth season, urea application decreased CH₄ production potential, and delayed the peak time of CH₄ production potential. CH₄ oxidation potential was inhibited by urea applied as basal and panicle fertilizer, but stimulated temporarily and then inhibited again when urea was applied as tillering fertilizer. Urea application decreased CH₄ emission from rice paddy soil by affecting both CH₄ production potential and oxidation potential.

Key words: CH₄ production potential, CH₄ oxidation potential, CH₄ emission, Urea, Rice paddy soil