山东农业大学学报 (自然科学版), 2007, 38 (3): 443- 449
Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)

三江平原小叶章湿地开垦前后 N_2O 通量特征与影响因素分析

孙志高[1,2,3], 刘景双[1], 王金达[1], 杨继松[4]

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;
3. 中国科学院 烟台海岸带可持续发展研究所, 山东 烟台 264003; 4. 沈阳大学, 辽宁 沈阳 110044)

摘要: 利用静态箱 - 气相色谱法对三江平原小叶章湿地开垦前后 N_2O 的排放通量进行了原位测定, 分析了 N_2O 通量特征及其与温度、水分等环境因子的关系。结果表明, 典型草甸小叶章湿地和沼泽化草甸小叶章湿地的 N_2O 通量均呈脉冲式排放特征, 通量范围分别为 0.005~ 0.111和 0.005~ 0.106 mg# m^{-2}# h^{-1}, 均值为 0.059和 0.039 mg# m^{-2}# h^{-1}; 7月前二者的通量差异主要与冻层融通有关, 7~ 8月主要与降水少及蒸发旺盛有关, 9月主要与土壤中丰富的氮素有关; 前者的 N_2O通量与 5cm 地温呈显著正相关 ($p< 0.01$), 后者与之相关性并不明显; 大豆田和水稻田的 N_2O通量基本上均表现为排放, 通量范围分别为 - 0.008~ 0.071和 - 0.019~ 0.054 mg# m^{-2}# h^{-1}, 均值为 0.028和 0.015 mg# m^{-2}# h^{-1}; 大豆成熟前的 N_2O通量与 5cm 地温呈显著正相关 ($p< 0.05$), 之后取决于土壤中丰富的氮素; 水稻成熟前较低的积水水位和土壤 pH 是导致 N_2O通量较高的重要原因, 之后较高的通量主要与稻田排水有关。估算结果表明, 两种小叶章湿地的 N_2O排放量分别为 196.42和 136.98 mg N_2O# m^{-2}, 大豆田和水稻田分别为 84.86和 70.22 mg N_2O# m^{-2}。说明湿地开垦后, 耕地利用的/重用轻养0方式会导致 N_2O排放量的明显降低。该方式虽然会降低 N_2O排放量, 但对粮食生产影响较大。

关键词: N_2O通量; 开垦; 小叶章; 湿地; 三江平原
中图分类号: X171.4 文献标识码: A 文章编号: 1000- 2324(2007)03- 0443- 06

N_2O FLUX CHARACTERISTICS AND ITS AFFECTING FACTORS BEFORE AND AFTER RECLAMATION OF CALAMAGROSTIS ANGUSTIFOLIA WETHAND IN SANJIANG PLAIN

Sun Zhi- gao[1,2,3], Liu Jing- shuang[1], Wang Jin- da[1], Yang Ji- song[4]

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Jilin Changchun, 130012, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3 Yantai Institute of Coastal Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Shandong Yantai 264003, China;
4 Shenyang University, Liaoning Shenyang 110044, China)

Abstract: N_2O emission fluxes before and after reclamation of Calamagrostis angustifolia wetland in Sanjiang Plain were observed in situ with static- chamber and GC methods. The N_2O flux characteristics and relationships between fluxes and environmental factors, such as temperatures, moistures etc, were also analyzed. The results showed that the N_2O fluxes of typical meadow C. angustifolia wetland (TMCW) and marsh meadow C. angustifolia wetland (MMCW) all presented pulse emission characteristics. The ranges of fluxes were 0.005~ 0.111 and 0.005~ 0.106 mg# m^{-2}# h^{-1}, and the means were 0.059 and 0.039 mg# m^{-2}# h^{-1}, respectively. The differences of their fluxes before July were mainly correlated with the thaw of frozen layers. Between July and August, the fluxes were mainly correlated with little precipitation and higher evaporation, and in September, they were mainly depended on available nitrogen content in soil. Further analysis indicated that the N_2O fluxes of TMCW had significantly positive correlation with 5cm ground temperature ($p< 0.01$), but the correlation of MMCW was not evident. The N_2O fluxes of soybean field and paddy field, on the whole, all presented emission characteristics. The ranges of their fluxes were - 0.008~ 0.071 and - 0.019~ 0.054 mg# m- 2# h- 1, and the

收稿日期: 2006- 08- 28
基金项目: 国家自然科学基金项目 (90211003)和中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3- SW- 332)资助。
作者简介: 孙志高 (1979-), 男, 博士研究生, 主要从事环境生态与生物地球化学过程研究。
* 通讯作者: Author for correspondence. E) mail: zhigao sun@ yahoo.ac.cn

means were 0. 028 and 0. 015 mg# m- 2# h- 1, respectively Further analysis indicated that the N2O flux of soybean field had significantly positive correlation with 5cm ground temperature (p< 0. 05) before mature. After that, it was mainly depended on the abundant nitrogen in soil The lower hydrous level and soil pH were the main reasons that caused higher N_2O flux of paddy field before mature After that, its higher N_2O fluxes were mainly correlated with the drainage of paddy field The estimation results showed that the emission amounts of TMCW and MMCW were 196. 31 and 136. 45 mg N_2O m^{-2}, and the values of soybean field and paddy field were 84. 86 and 70. 22 mg N_2O m^{-2}, respectively. These results indicated that the mode of intensive utilization with little maintenance could induce the decrease of N_2O emission amount after the wetland was reclaimed Although the mode could decrease the N_2O emission amount, it had great effects on foodstuff production

Key words N_2O flux; Reclamation; Calamagrostis angustifolia; Wetland; Sanjiang Plain

N_2O是大气中重要的温室气体之一, 它与当前全球三大大气环境问题) 全球变暖、臭氧层破坏和酸沉降息息相关[1]。由于 N_2O的分子增温潜势为 CO_2的 21倍, 并且其寿命也是已知温室气体中最长的, 所以它对于全球环境的影响非常深刻, 而这种影响又是长期的和潜在的[2, 3]。目前, 大气中的 N_2O体积分数为 312@10^{-9}, 并以每年 0. 2~ 0. 3%的速度增长[4]。近年来, N_2O对全球大气环境的影响已越来越引起国际学术界和各国政府的关注。湿地是陆地生态系统的重要组成部分, 它是由水陆相互作用而形成的具有特殊功能的自然综合体[5]。目前, 国外已经在湿地 N_2O的排放规律、排放量估算、影响因素以及环境效应等研究领域开展了大量研究[6~9], 并取得了许多重要成果。与国外相比, 国内也在该领域开展了许多研究, 但这些研究主要集中在人工湿地 - 水稻田上[4, 10~12], 而真正针对天然湿地的相关研究还很不多见。

三江平原位于黑龙江省东北部, 总面积为 10. 89万 hm^2, 是我国湿地集中分布且面积最大、类型最齐全的地区之一。三江平原地区的湿地农业开发历史可上溯到元、明时期, 但该区土地的大规模开发却只有 100多年。 1949年以来, 随着人口的增长和国家对粮食的需求, 该区先后经历了 4次开荒高潮, 其结果是导致了湿地面积的急剧减少和耕地面积的迅速增加[13]。全区湿地面积已由 1949年的 534万 hm^2减少到 2000年的 90. 69万 hm^2。与此同时, 耕地面积由 1949年 79. 6万 hm^2增加到 1996年的 366. 8万 hm^2[13, 14]。因此, 集中连片的耕地已成为该区的主要自然景观。伴随着沼泽湿地的垦殖, 沼泽湿地原有的水热条件必然会发生改变, 进而会影响到一系列相关的生物地球化学过程[13, 15]。目前, 国内关于湿地开垦前后 N_2O通量特征的对比研究还不多见, 而对该问题的探讨不但可深入揭示三江平原湿地农业开发前后 N_2O的排放规律, 而且它还对于正确评估该区土地利用类型转变对区域气候的影响也有着非常重要的现实意义。

1 试验区概况

试验地位于中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站的试验场内 (47b(45cN, 133b(13cE)。试验场位于三江平原腹地、黑龙江省建三江农垦管局洪河农场场部附近, 面积约 100 hm^2, 地势由南向北倾斜, 是别拉洪河与浓江河的河间地带。该区属北温带大陆性季风气候, 冬季严寒漫长, 夏季温暖湿润, 1月平均气温为 - 18~ - 21e , 7月平均气温为 21~ 22e , 年均气温为 1. 9e , \ 10e 的年有效积温为 2300e 左右。该区年降水量为 600mm左右, 年内降水分配不均, 其中 60%以上集中在 6~ 9月。试验场内的地貌类型为三江平原沼泽发育最为普遍的碟形洼地, 自洼地中心向外依次呈环带状分布有漂筏苔草群落 (Carex pseudocuraica)、毛果苔草群落 (Carex lasiocarpa)、乌拉苔草群落 (Carex meyeriana)和小叶章群落 (Calama2 grostis angustifolia)等。土壤类型主要为草甸沼泽土、腐殖质沼泽土和潜育白浆土等。小叶章湿地是该区最普遍的湿地类型 (占湿地面积的 34. 45%), 它是以小叶章为建群种而形成的湿地类型的总称, 主要包括典型草甸小叶章湿地和沼泽化草甸小叶章湿地[16], 前者位于碟形洼地的边缘, 常年无地表积水, 但地表常年保持湿润。后者位于洼地边缘向洼地倾斜的过渡带上, 水分条件较前者优越, 其地表在生长季存在季节积水。试验场东部为小叶章湿地开垦的农田, 主要种植大豆和水稻。农田土壤均为薄层草甸白浆土, 熟化

程度较高。

材料与方法

2 1　样点布设

在试验场碟形洼地边缘的典型草甸小叶章湿地和沼泽化草甸小叶章湿地的典型样地内分别设置 1个观测点位。为了对比研究湿地开垦后农田 N_2O的排放特征, 在试验场东部的大豆田和水稻田内分别设置 1个观测点位。农田土壤均为小叶章湿地开垦 9年的熟化土壤, 一直未施肥, 每年作物收割后, 仅有根茬归还土壤。种植的大豆品种为绥农 10, 于 5月 25日播种, 10月初收割; 水稻品种为龙粳 177, 于 5月 15日插秧, 10月初收割。各观测点土壤的基本理化性质如表 1所示。

表 1　观测点土壤的基本性质 (0~ 10cm)

Table 1　The basic properties of soils at four observation sites

样点 Sampling site	有机碳 (%) organic carbon	TN(%)	NH_{4+} - N(mg# kg^{-1})	TK(g# kg^{-1})	TP(g# kg^{-1})	pH
典型草甸小叶章湿地	39. 66	1. 04	46. 2	2. 009	1. 463	5. 64
沼泽化草甸小叶章湿地	49. 15	1. 28	55. 82	1. 078	1. 507	5. 60
大豆田	3. 25	0. 23	11. 17	2. 828	0. 824	5. 50
水田	2. 78	0. 19	28. 3	3. 954	0. 787	5. 72

2 2　气体采集及分析

采用静态箱 - 气相色谱法原位测定 N_2O的排放通量。静态箱由 5mm厚的有机玻璃制成, 底面积为 50cm @50cm, 高 100cm, 顶部装有小风扇, 侧部装有温度计和采气孔。为使箱内气体不外泄, 采样前两周内在观测点埋入白铁制成的底座。采样时, 将静态箱扣在底座外缘的凹槽内并加水密封。监测时期为 2003年 5月 26日至 10月 4日, 每 7d左右观测一次, 观测时间为当日的 9. 00~ 10. 00。采样时, 用 100ml注射器分别于 0min、20min、40min和 60min时采集 100ml气体贮存在气密性良好的铝塑复合气袋 (化工部大连光明化工研究所生产, 0. 5 l)中。将气体样品带回试验室, 用配有^{63}Ni的电子捕获检测器 (ECD)的岛津 GC- 14A气相色谱仪测定。填充材料为 Porapak Q, 检测器、进样口和分离柱的温度分别为 300、100和 60e , 载气为高纯氮气 (纯度 > 99. 999%)。气体采集的同时, 同步测定气温、箱内温度和 5cm地温, 并同期记录降水量和稻田积水深度。

2 3　气体通量计算

N_2O的排放通量表示单位时间单位面积观测箱内 N_2O质量的变化, 一般正值表示 N_2O从土壤排放到大气, 负值表示气体从大气流向土壤或土壤吸收消耗大气中的 N_2O, 其计算式[17]为:

$$F = \frac{\$m}{A @\$t} = \frac{Q@V @\$c}{A @\$t} = Q@h\frac{\$c}{\$t}$$

式中, F为 N_2O通量, Q为箱内气温和气压下 N_2O的密度, $\$m$和 $\$c$分别示 $\$t$时间内增加的 N_2O质量和混合浓度, h、A和 V分别是箱的高度、底面积和体积。

3　结果与分析

3. 1　小叶章湿地 N_2O排放特征与影响因素分析

图 1为典型草甸小叶章湿地和沼泽化草甸小叶章湿地 N_2O排放通量及温度变化的季节动态。据图可知, 两种小叶章湿地的 N_2O排放通量均呈脉冲式排放特征且变化趋势具有较强的一致性, 其通量范围分别为 0. 005~ 0. 111和 0. 005~ 0. 106 mg# m^{-2}# h^{-1}, 季节均值为 0. 059和 0. 039 mg# m^{-2}# h^{-1}, 变异系数为 175. 23%和 136. 39% (n= 18)。具体而言, 沼泽化草甸小叶章湿地在 6月 28日前的 N_2O排放通量均明显高于典型草甸小叶章湿地, 其通量范围为 0. 005~ 0. 106 mg# m^{-2}# h^{-1}, 均值为 0. 058 mg#

$m^{-2}\#h^{-1}$, 而此间典型草甸小叶章湿地的 N_2O通量范围及均值分别为 0. 005~ 0. 079和 0. 031 mg# $m^{-2}\#h^{-1}$。产生这种差异的原因主要与此间两种小叶章湿地土壤冻层的融通有关。典型草甸小叶章湿地的冻层在 5月中下旬基本融通, 而沼泽化草甸小叶章湿地土壤的冻层一般在 6月中下旬开始融通。由于此间冻层的不断融通, 冻层以下在冬季累积的大量 N_2O得以迅速释放, 由此导致其 N_2O排放通量在此间出现较高的峰值。6月 28日后, 由于沼泽化草甸小叶章湿地在冬季累积的大量 N_2O得以释放, 其排放通量均明显低于典型草甸小叶章湿地 (后者为前者的 1. 07~ 10. 49倍), 二者通量范围分别为 0. 005~ 0. 064和 0. 014~ 0. 111 mg# $m^{-2}\#h^{-1}$, 均值为 0. 068和 0. 034 mg# $m^{-2}\#h^{-1}$。7月上旬至 8月下旬, 两种小叶章湿地均有着较高的 N_2O排放通量, 其原因主要与此间 (特别是 8月份)三江平原地区降水较少、气候干旱以及水分蒸发量大有关。图 2~ 3分别为监测时段内降水量和沼泽化草甸小叶章湿地地表积水水位的变化。据此可知, 全生长季的降水量为 302mm, 而多年平均降水量为 454mm, 二者相差 152mm, 说明 2003年生长季的总降水量较往年偏低。此外, 就降水量的时间分配而言, 生长季的降水集中分布在 5月和 7月, 除 5月的降水量明显高于多年平均降水量外, 其它各月特别是 6、8和 9月的降水量较多年平均降水量均有很大的降低。

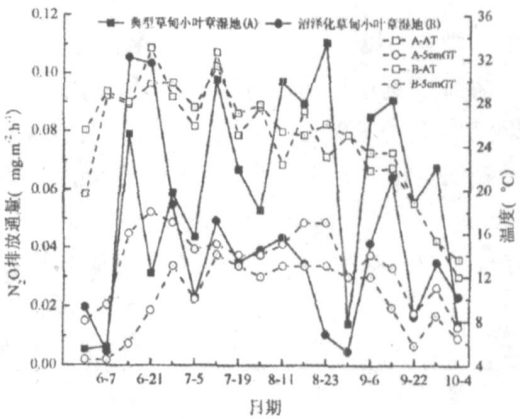

图 1 N_2O通量的季节变化 (AT: 气温; GT: 地温, 下同)

Fig 1 Seasonal changes of N_2O fluses (AT: Atmospheric temperature; GT: Ground temperature; The same below)

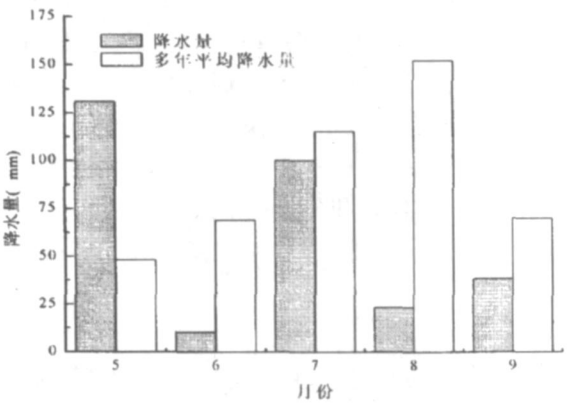

图 2 生长季降水量与多年平均降水量

Fig. 2 Precipitation and normal precipitation in growing season

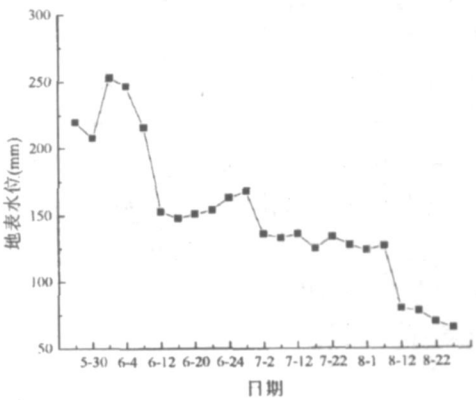

图 3 沼泽化草甸小叶章湿地地表水位的变化

Fig. 3 Changes of surface water level of marsh meadow Calamagrostis angustifolia wetland

而从 6月初至 8月下旬沼泽化草甸小叶章湿地地表积水水位的变化来看, 其水位变化虽然存在波动, 但整体呈下降趋势。这就说明因降水较少、蒸发旺盛而引起的两种小叶章湿地均出现明显的落干, 湿地的落干又使得两种湿地土壤的 Eh迅速升高, 而 Eh的升高又使得土壤氮素硝化 - 反硝化作用过程的反应条件得以改善, 进而会促进 N_2O的排放。这一结论恰好与 Regina等[18]所报道的湿地水位下降会促进 N_2O排放的结论相吻合。8月末, 两种小叶章湿地的 N_2O排放通量均出现了一次较为明显的排放低值 (分别为 0. 014 和 0. 005 mg# $m^{-2}\#h^{-1}$), 其原因主要与此间的降水有关。尽管 8月的降水量较多年平均降水量有很大降低, 但由于该月的降水大多集中于月末, 所以较为频繁和较大的降水又使得两种湿地土壤的水分状况得以改善, 其中沼泽化草甸小叶章湿地还出现了较多的地表积水 (积水深度在 70mm左右), 而积水和土壤水分含量较大的土壤环境又不利于 N_2O的排放。整个 9月份, 两种小叶章湿地土壤的 N_2O排放通量均较高, 其原因除了与此间因降水较少而引起的湿地土壤含水量或地表积水水位较低外, 更主要的原因可

能与土壤中用于硝化 - 反硝化作用的可用性氮含量较高有关。9月份, 两种小叶章均处于生长末期, 其生长所需的氮素较生长旺期和成熟期均有很大降低[19], 而此间的降水又使得许多氮素沉降到系统中, 这就在一定程度上改善了湿地土壤的氮素物质基础, 并进而会为硝化 - 反硝化作用过程提供了更为丰富的氮素物质反应条件。10月上旬, 两种小叶章湿地土壤的 N_2O排放通量均迅速降低, 其原因主要与生长季末期温度大幅度降低有关。对排放通量与温度的相关分析表明, 典型草甸小叶章湿地的 N_2O排放通量与 5cm地温有着较强的一致性 (图 1), 二者呈显著正相关 (图 4), 相关系数为 0.603 ($p < 0.01$), 这就说明该湿地土壤 N_2O排放通量的变化在很大程度上受制于 5cm地温的影响; 与之相比, 沼泽化草甸小叶章湿地土壤的 N_2O排放通量与温度间的相关性很低, 其中与气温的相关性最大, 相关系数为 0.312, 这就说明温度不是影响其排放通量的重要因素, 而上述的水分条件可能对其的影响更大些。

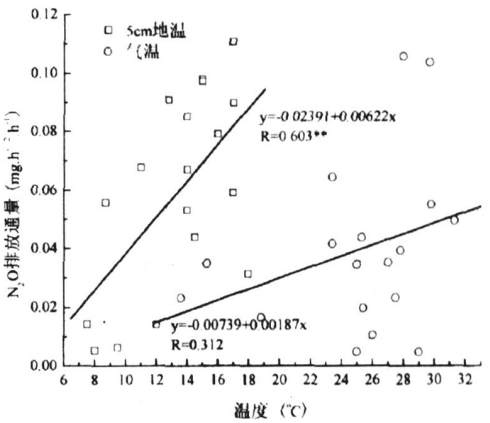

图 4　温度与 N_2O通量的关系

Fig 4　Relationship between temperature and N_2O flus

3.2　小叶章湿地开垦后农田 N_2O排放特征与影响因素分析

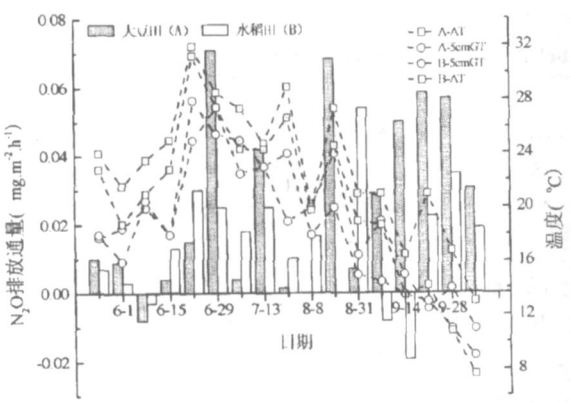

图 5　农田 N_2O 通量的季节变化

Fig. 5　Seasonal changes of N_2O fluxes of farmland

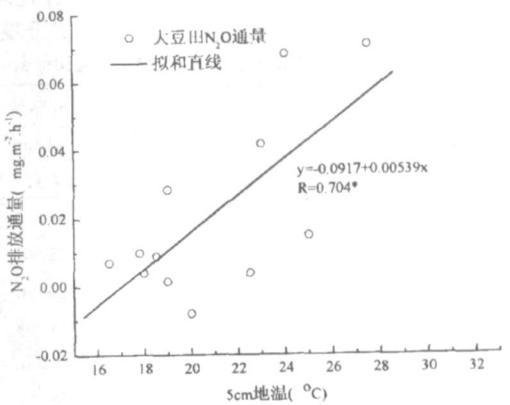

图 6　地温与 N_2O 通量的关系

Fig. 6　Relationship between ground temperature and N_2O flux

图 5为大豆田和水稻田 N_2O排放通量及温度变化的季节动态。据图可知, 大豆田在整个观测期间基本上均表现为排放, 通量范围为 - 0.008~ 0.071 mg# m^{-2}# h^{-1}, 均值为 0.028 mg# m^{-2}# h^{-1}。9月上旬大豆成熟前, 其排放通量在 6月 29日、7月 13日和 8月 17日出现三次较为明显的峰值 (分别为 0.071、0.042和 0.068 mg# m^{-2}# h^{-1}), 而其它时期则变化不大。总体而言, 此间大豆田的 N_2O排放通量与温度有着较强的一致性, 并与 5cm地温呈显著正相关 (图 6), 相关系数为 0.704 ($p < 0.05$)。9月中旬大豆成熟后, 其排放通量增加明显, 排放高峰持续 1个月左右, 此间其排放通量介于 0.031~ 0.059 mg# m^{-2}# h^{-1}之间, 均值为 0.049 mg# m^{-2}# h^{-1}。由于该阶段土壤 N_2O的排放通量与温度的变化趋势并不一致 (图 5), 所以温度不是影响其排放的重要因素, 而此间因植物生长所需氮素的降低, 植物叶子的大量脱落, 通过植物根系固定的氮素和植物根际分泌的有机酸等物质的相对过剩使得更多的土壤氮素有机会参与到硝化 - 反硝化作用过程中, 而这些均是导致其排放量增加的重要原因。

水稻田在整个观测期间的 N_2O通量特征也基本上表现为排放, 其通量范围介于 - 0.019~ 0.054 mg# m^{-2}# h^{-1}之间, 均值为 0.015 mg# m^{-2}# h^{-1}。比较而言, 水稻田的 N_2O排放特征在 9月上旬之前与大豆

田的排放特征较为相似, 其排放通量在 6月 22日、6月 29日、7月 13日和 8月 31日出现四次较为明显的峰值, 分别为 0.030、0.025、0.025和 0.054 mg# m^{-2}# h^{-1}。相关分析表明, 此间水田 N_2O的排放通量与温度的变化存在较好的一致性, 并与气温和 5cm地温呈一定的正相关, 相关系数分别为 0.268和 0.222。9月中上旬, 稻田的排放特征表现为吸收, 而之后又迅速增加。图 7为监测期间稻田积水水深的变化。据图可知, 稻田在 9月上旬之前一直保持着较高的积水水位, 之后由于稻田处于烤田期, 田间积水被大量排走。此间稻田 N_2O排放通量的迅速增加主要与其处于烤田期有关。由于大量积水被排走, 土壤由积水的厌气环境转变为较为干燥的好气环境, 而好气环境在一定程度上又会促进土壤硝化 - 反硝化作用过程的进行。Bronson[9]对菲律宾稻田的研究表明, 生长季内几乎观测不到 N_2O的排放, 但排水晒田过程则可明显促进 N_2O的排放。陈冠雄等[20]、徐华等[21]对稻田 N_2O排放特征的研究也表明, 稻田在淹水期几乎无 N_2O的净排放, 但在非淹水期却有大量 N_2O排放。本项研究在烤田期所观测到的 N_2O排放特征与上述各研究结论相似, 但在淹水期的结论则与之差别较大。产生这种差异的原因可能与不同稻田积水条件以及土壤 pH所导致的 N_2O/N_2比例的差异有关。Ulrike等[6]的研究表明, 淹水的湿地土壤条件下, 反硝化作用是主要过程并且 N_2的释放量超过 N_2O从而成为反硝化作用的主要产物。但 Bowden[22]的研究表明, 在一些特殊环境条件如较低 pH值和较高 O_2浓度时, N_2O所占的比例可能增加, 从而成为反硝化作用过程的主要产物。本项研究稻田的积水深度除 8月 18日较高外, 其它时间均介于 2.5~6.5cm之间, 而陈冠雄等所研究的稻田积水深度为 5~10cm, 较高的积水条件使得其 N_2O/N_2比例降低, N_2排放量增加, 而 N_2O排放量减少。Kralova等[23]的研究还表明, 当 Eh< 0mv且 Eh进一步降低时, N_2O的排放量将减少。陈冠雄等试验的较高积水条件使得其 Eh一般要低于本项研究的相应 Eh, 而这也是导致其 N_2O排放量较低的重要原因。此外, 本项研究稻田土壤的 pH 为 5.72(表 1), 远低于陈冠雄等试验的草甸棕壤 (6.40)和徐华等试验的不同质地土壤 (砂土: 9.00, 壤土: 8.60, 粘土: 8.24), 较低的 pH和相对较浅的积水条件 (O_2浓度较高)使得本项试验稻田的 N_2O排放量比其它研究结果高的多。

表 2 湿地开垦前后 N_2O排放量对比

Table 2 Contrast of N_2O emission amounts before and after reclamation of wetland

项目	生长季各月排放量 (mg N_2O# m^{-2}# $month^{-1}$) Emission amounts of every month during the growing season						生长季 (mg N_2O# m^{-2})
	5月	6月	7月	8月	9月	10月上旬	
典型草甸小叶章湿地	4.01	29.54	44.00	66.76	49.72	2.39	196.42
所占比例 (%)	2.04	15.04	22.40	33.99	25.31	1.22	100
沼泽化草甸小叶章湿地	14.68	45.68	24.70	22.44	25.58	3.90	136.98
所占比例 (%)	10.72	33.35	18.03	16.38	18.67	2.85	100
大豆田	6.00	15.29	7.99	17.89	32.57	5.11	84.86
所占比例 (%)	7.07	18.02	9.42	21.08	38.38	6.02	100
水稻田	4.20	11.42	8.96	37.45	5.01	3.17	70.22
所占比例 (%)	5.98	16.26	12.76	53.33	7.13	4.51	100

3.3 小叶章湿地开垦前后 N_2O排放量对比

运用数值积分对小叶章湿地开垦前后各月及生长季 N_2O排放量的估算结果表明 (表 2), 典型草甸小叶章湿地和沼泽化草甸小叶章湿地的 N_2O排放总量分别为 196.42和 136.98 mg N_2O# m^{-2}, 前者为后者的 1.43倍。而大豆田和水稻田的 N_2O排放总量分别为 84.86和 70.22 mg N_2O# m^{-2}, 前者为后者的 1.21倍。通过对比研究 N_2O排放量的各月比例还可发现, 无论是湿地还是农田, 其 N_2O排放量的贡献率均以 5月和 10月上旬较低, 而其它各月的贡献率则相对较高。其中典型草甸小叶章湿地的 N_2O排放量以 8月的贡献率最大 (33.99%), 7、9月次之 (分别为 22.40%和 25.31%), 6月较低 (15.04%); 而沼泽化草甸小叶章湿地的 N_2O排放量以 6月的贡献率最大 (33.35%), 7、8和 9月次之且比较接近 (分别为 18.03%、16.38%和 18.67%); 大豆田的 N_2O排放量以 9月的贡献率最大 (38.38%), 6、8月次之 (分别为 18.02%和 21.08%); 水稻田的 N_2O排放量以 8月的贡献率最大 (53.33%), 6、7月次之 (分别为 16.26%和 12.76%)。比较而言, 大豆田和水稻田生长季内 N_2O的排放总量均明显低于两种小叶章湿地, 其中典型草甸小叶章湿地的 N_2O排放量分别为二者的 2.31和 2.80倍, 而沼泽化草甸小叶章湿地则分别为二者的 1.61

和 1. 95倍。产生这种差异的原因主要与湿地土壤和农田土壤的氮素物质基础有关。大豆田和水稻田的土壤均为小叶章湿地开垦 9年后的熟化土壤, 自开垦以来一直未施肥并且大豆和水稻成熟后均人工收获带走, 只存在少量的根茬归还土壤, 所以大豆田和水稻田土壤的氮素含量相对于湿地而言非常低 (表 1), 其总氮含量仅为典型草甸小叶章湿地土壤的 22. 12%和 18. 27%, 为沼泽化草甸小叶章湿地土壤的 17. 97%和 14. 84%。尽管湿地开垦后土壤中有利于硝化 - 反硝化作用过程的水热条件得到改善, 但是土壤中较低的氮素物质基础又使得参与到该过程的氮素较少, 因而也就不存在较高的 N_2O排放量。通过本项研究我们可得出如下结论, 即湿地开垦为农田后, 农业上耕地利用的 / 重用轻养 0方式会导致 N_2O排放量的明显降低, 尽管这一方式会降低 N_2O的排放量, 但它对于农业生产影响较大 (降低产量)。目前, 三江平原地区的耕地在利用过程中为了追求最大粮食产量, 化肥 (特别是氮肥和磷肥)的施用量均较大 (1994年为 120. 6 kg/hm^2, 且使用量正逐年增加), 而农业施肥活动又可明显促进 N_2O的释放。因此, 如何采取合理的耕地护养措施以达到既降低耕地 N_2O排放量又不降低粮食产量的双赢目的就成为当前该区农业开发和耕地利用研究中的一个非常值得探讨的科学问题。

4　结论

典型草甸小叶章湿地和沼泽化草甸小叶章湿地的 N_2O排放通量均呈脉冲式排放特征且变化趋势具有较强的一致性; 二者的排放通量范围分别为 0. 005~ 0. 111和 0. 005~ 0. 106 mg# m^{-2}# h^{-1}, 均值为 0. 059和 0. 039 mg# m^{-2}# h^{-1}。

典型草甸小叶章湿地和沼泽化草甸小叶章湿地 7月前 N_2O排放通量的差异主要与土壤冻层的融通有关; 7~ 8月主要与降水少及蒸发旺盛有关; 9月主要与土壤中参与硝化 - 反硝化作用过程较高的可用性氮含量有关。

典型草甸小叶章湿地的 N_2O排放通量与 5cm地温的相关性较大 ($p< 0. 01$), 而沼泽化草甸小叶章湿地与之相关性并不明显, 积水环境条件对其的影响更为明显。

大豆田的 N_2O 排放通量在生长季基本上表现为排放, 其通量范围为 - 0. 008~ 0. 071 mg# m^{-2}# h^{-1}, 均值为 0. 028 mg# m^{-2}# h^{-1}; 大豆成熟前, 其排放通量与 5cm地温呈显著正相关 ($p< 0. 05$), 之后主要与土壤中较为丰富的氮素物质基础有关。

水稻田的 N_2O排放通量在生长季内基本上也表现为排放, 其通量范围为 - 0. 019~ 0. 054 mg? m^{-2}? h^{-1}, 均值为 0. 015 mg# m^{-2}# h^{-1}; 水稻成熟前, 其排放通量与 5cm地温呈一定的正相关, 相对较浅的积水条件和较低的土壤 pH是引起淹水期 N_2O排放量较高的重要原因; 水稻成熟期较高的 N_2O排放量主要与稻田排水有关。

典型草甸小叶章湿地和沼泽化草甸小叶章湿地生长季的 N_2O排放量分别为 196. 42和 136. 98 mg N_2O# m^{-2}, 而大豆和水稻田的排放量分别为 84. 86和 70. 22 mg N_2O# m^{-2}; 湿地开垦后, 耕地利用的 / 重用轻养 0方式会导致 N_2O排放量的明显降低; 尽管该方式会降低农田 N_2O排放量, 但对粮食生产影响较大。

参考文献

[1] 戴树桂. 环境化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. 73~ 75.

[2] Robertson G P. Nitrification and denitrification in humid tropical ecosystems: Potential controls on nitrogen retention, in mineral nutrients. In: Procter J (eds). Tropical Forest and Savanna Ecosystems. Boston: Blanckwell Scientific, 1989: 55- 69.

[3] Houghton J T. Climate Change: The IPCC assessment on climate change[M]. London: Cambridge University Press, 1990. 1- 5.

[4] 黄国宏, 陈冠雄, 吴杰, 等. 东北典型旱作农田 N_2O和 CH_4排放通量研究 [J]. 应用生态学报, 1995, 6(4): 383- 386.

[5] 陈宜瑜. 中国湿地研究 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社. 1995: 1- 3.

[6] Ulrike R, Jrgen A, Rolf R, et al. Nitrate removal from drained and reflooded fen soils affected by soil N transformation processes and plant up2take[J]. Soil Biology& Biochemistry, 2004, 36: 77- 90.

[7] Schiller C L, Hastie D R. Exchange of nitrous oxide within the Hudson Bay lowland[J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99(1): 1573- 1588.

[8] Huttunen J T. Fluxes of CH_4, CO_2 and N_2O in hydroelectric reservoirs Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland[J]. Hydrological Processes, 2002, 16(1): 3- 17.

[9] Bronson K F. Automated chamber measurements of methane and nitrous oxide flux in a flooded rice soil: I Residue, nitrogen and water management[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61: 981- 987.

[10] 郑循华, 王明星, 王跃思, 等. 华东稻麦轮作生态系统的 N_2O排放研究 [J]. 应用生态学报, 1997, 8(5): 495- 499.

(下转第 456页)

生产技术和农艺水平, 土地自然条件中排灌水、耕作及播种技术, 施肥, 玉米病虫害防治技术的应用中, 由于得到的信息量无用信息多, 针对性、时效性差等原因, 使得各项技术的应用与示范户相比都有较大差别, 对玉米产量增加, 受到了更多影响, 影响权重也分别变为: $P_2 = 22\%$、$P_3 = 22\%$、$P_4 = 21\%$、$P_5 = 20\%$、$P_6 = 15\%$, 那么

$$H_{普} = -\sum_{i=1}^{6} R_i \log_2 P_i$$

$$= -(P_1 \log_2 p_1 + P_2 \log_2 p_2 + P_3 \log_2 p_3 + P_4 \log_2 p_4 + P_5 \log_2 p_5 + P_6 \log_2 p_6)$$

$$= -\left(\frac{1}{6}\log_2\frac{1}{6} + \frac{0.22}{6}\log_2\frac{0.22}{6} + \frac{0.22}{6}\log_2\frac{0.22}{6} + \frac{0.21}{6}\log_2\frac{0.21}{6} + \frac{0.20}{6}\log_2\frac{0.20}{6} + \frac{0.15}{6}\log_2\frac{0.15}{6}\right)$$

$$= 1.25$$

从 $H_{示} = 2.58$, $H_{辐} = 1.98$, $H_{普} = 1.25$

结果显示, 示范户获得的信息量比辐射户高 30.3%, 比普通户高出 1倍多, 即使辐射户的信息量也比普通户高出 58.4%。

4 . 结论

从以上不同户型计算得到的数据与实际产量对比证明, 农户所得科技信息量的多少与玉米产量呈正比例关系, 说明农业技术扩展系统的效率是可以用信息量的多少来判定的。因此, 为精确测定技术扩散系统建立数学模型, 评价技术推广系统优劣的方法是完全可行的

参考文献

[1] 克劳德# 艾尔伍德# 香农, 通讯的数学理论(The mathematical theory of communication)贝尔系统技术月刊 1, 27卷, 1948, 7
[2] 杨列勋等, 信息产业的内部结构与外部关系, 情报学报, 1993, 4
[3] 张广胜, 农业推广中农业信息的传播, 农村经济与技术, 2001(4)
[4] 黄季焜, 胡瑞法, 孙振玉. 让科学技术进入农村的千家万户))) 建立新的农业技术推广创新体系. 农业经济问题, 2000(4): 17- 25
[5] 胡瑞法, 黄季焜, 李立秋. 中国农技推广体系现状堪忧 - 来自 7省 28县的典型调查. 中国农技推广, 2004(3): 6- 8
[6] 凌远云, 凌远来. 采用农业技术来源渠道的调查与分析. 农业技术经济, 1998(4): 23- 26
[7] Joseph R Herkert, Alex Farrell, James JWinebranke. Technology Choice for Sustainable Development. IEEE Technology and SocietyMagazine, Summer 1996, 12- 20
[8] Mansfield, E. Technology Change and Rate of Imitation, Econometrics, 79(1961): 741- 765

(上接第 449页)

[11] 杨军, 贺丽萍, 杨崇. 广州地区施用不同有机肥对稻田 N_2O 排放的影响[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(1): 123- 124.
[12] 岳进, 梁巍, 吴杰等. 黑土稻田 CH_4与 N_2O 排放及减排措施研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2015- 2018
[13] 刘兴土, 马学慧. 三江平原自然环境变化与生态保育[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
[14] 汪爱华, 张树清, 何艳芬. RS和 GIS支持下的三江平原沼泽湿地动态变化研究[J]. 地理科学, 2000, 22(5): 637- 640.
[15] 刘兴土. 三江平原沼泽辐射平衡与小气候基本特征[A]. 见: 中国科学院长春地理研究所主编. 中国沼泽研究[C]. 北京: 科学出版社, 1988. 101- 108
[16] 何琏. 中国三江平原[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2000.
[17] 刘景双, 王金达, 李仲根, 等. 三江平原沼泽湿地 N_2O浓度与排放特征初步研究[J]. 环境科学, 2003, 24(1): 33- 39.
[18] Regina K. Fluxes of nitrous oxide from boreal peatlands as affected by peatland type, water table level and nitrification capacity of the peat. Biogeochemistry, 1996, 25: 401- 418.
[19] 孙志高, 刘景双, 王金达, 等. 三江平原不同群落小叶章种群生物量及氮、磷营养结构动态[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 221- 228
[20] 陈冠雄, 黄国宏, 黄斌, 等. 稻田 CH_4和 N_2O 的排放及养萍和施肥的影响[J]. 应用生态学报, 1995, 6(4): 378- 382.
[21] 徐华, 邢光熹, 蔡祖聪, 等. 土壤水分状况和质地对稻田 N_2O 排放的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 499- 505.
[22] Bowden W B. Gaseous nitrogen emissions from undisturbed terrestrial ecosystems: an assessment of their impacts on local and global nitrogen budgets[J]. Biogeochemistry, 1986, 2: 249- 279.
[23] Kralova M, Masscheleyn P H, Lindau C W, et al. Production of dinitrogen and nitrous oxide in soil suspensions as affected by redox potential[J]. Water, Air, Soil Pollute, 1992, 61: 37- 45.