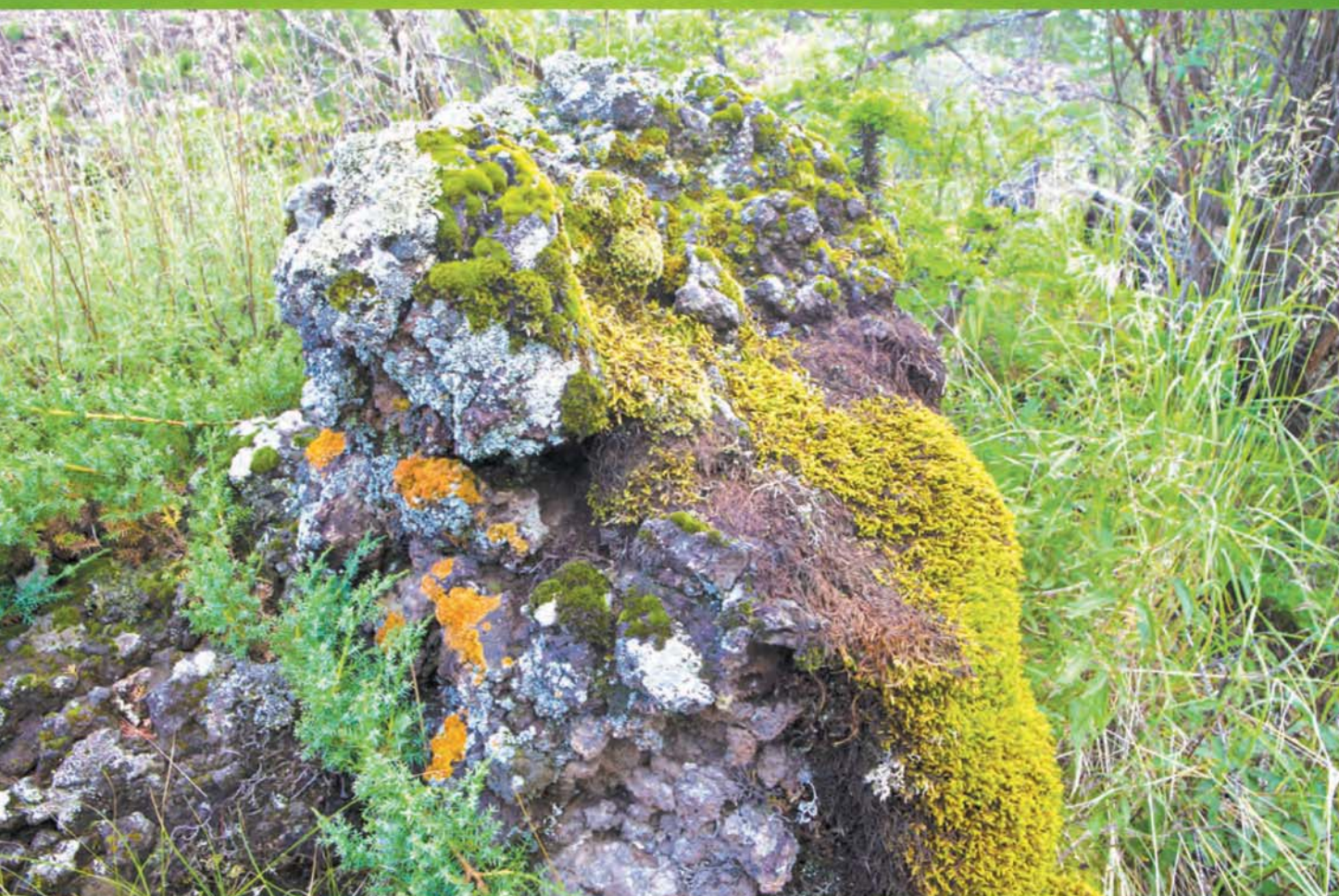


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

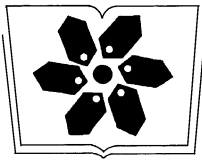
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例·····	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价·····	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用·····	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系·····	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究·····	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征·····	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学·····	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析·····	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响·····	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择·····	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象·····	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响·····	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响·····	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用·····	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征·····	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析·····	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征·····	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素·····	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素·····	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图·····	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征·····	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响·····	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦温渍害的风险区划·····	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现·····	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征·····	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析·····	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定·····	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响·····	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究·····	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素·····	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究·····	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析·····	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述·····	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响·····	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	



封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102010156

于亚军, 王小国, 朱波. 紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素. 生态学报, 2012, 32(6): 1830-1838.

Yu Y J, Wang X G, Zhu B. N_2O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1830-1838.

紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放 及其主要影响因素

于亚军^{1,2}, 王小国², 朱 波^{2,*}

(1. 山西师范大学城市与环境科学学院, 临汾 041004; 2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要:应用静态箱/气相色谱法对种菜历史超过 20a 的紫色土菜地进行了 1a N_2O 排放的定位观测, 分析了菜地 N_2O 排放特征及施氮、土壤温度、土壤湿度和蔬菜参与对 N_2O 排放的影响. 结果表明, 紫色土菜地生态系统在不施氮和施氮 ($150\text{kg}/\text{hm}^2$) 情况下 N_2O 平均排放通量为 (50.7 ± 13.3) 和 $(168.4 \pm 37.3) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, N_2O 排放系数为 1.86%. 菜地生态系统 N_2O 排放强度高于当地粮食作物农田, 其主要原因在于菜地较高的养分水平和频繁的施肥、浇水等田间管理措施. 从菜地 N_2O 排放总量的季节分配来看, 有 64% 的 N_2O 排放量来自于土壤水热条件较好的夏秋季蔬菜生长期, 冬春季蔬菜生长期 N_2O 排放量较少, 仅占 34%. 因此, 土壤水热条件不同是造成菜地 N_2O 排放量季节分配差异的重要原因. 氮肥对增加 N_2O 排放的效应因蔬菜生育期内单位时间施肥强度不同而异, 蔬菜生育期越短, 施氮对增加 N_2O 排放的效应越明显. 不施氮和常规施氮菜地 N_2O 排放通量与地下 5cm 处土壤温度呈显著的正相关, 但不种蔬菜的空地两者之间的关系不显著, 并且常规施氮菜地土壤温度 (T) 对 N_2O 排放通量 (F) 的影响可用指数方程 $F = 11.465e^{0.032T}$ ($R = 0.26$, $P < 0.01$) 表示. 土壤湿度对菜地 N_2O 排放的影响存在阈值效应, 当土壤含水空隙率 (WFPS) 介于 60%—75% 时更易引发 N_2O 高排放. 因此, 依据蔬菜生育期特点, 结合土壤水分状况调节施肥量与施肥时间可能会减少菜地 N_2O 排放.

关键词: N_2O 通量; 季节变化; 菜地生态系统; 紫色土

N_2O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions

YU Yajun^{1,2}, WANG Xiaoguo², ZHU Bo^{2,*}

1 College of Urban and Environment Sciences, Shanxi Normal University, Shanxi Linfen 041004, China

2 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: Static chambers coupled with GC methods were used to perform in situ monitoring of N_2O emissions from vegetable fields during the period from October 2006, to October 2007. The monitoring was conducted in vegetable fields with purple soils with a history of vegetable planting for more than 20 years in the hill region of Middle Sichuan Basin, China. Characteristics of N_2O emissions from the vegetable ecosystem were analyzed, and the effects of the factors influencing these emissions, such as nitrogen (N) application, soil temperature, soil moisture and vegetable planting, are discussed. The results of the analysis showed that the mean emission fluxes of N_2O in CK (no N applied) and conventional fertilization treatment (N application at rate of $150 \text{ kg N}/\text{hm}^2$) were (50.7 ± 13.3) and $(168.4 \pm 37.3) \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively. The N_2O emission coefficient derived from N fertilizer application at $150 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ was 1.86%. The N_2O

基金项目:国家重点基础研究发展课题(2012CB417101); 国家支撑计划课题(2011BAD31B03); 山西师范大学校基金项目(YZ08006)

收稿日期:2011-02-01; **修订日期:**2011-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bzhu@imde.ac.cn

emission rate from the vegetable field observed in this study was higher than the emission rate from the grain farmland reported previously. The increase in N₂O emissions from the vegetable ecosystem was associated with enhanced soil nutrients, frequent fertilization and irrigation practices. The seasonal pattern of N₂O emissions showed that 34% of the annual flux of N₂O emissions occurred in the winter and spring and that 64% occurred in the summer and autumn due to more favorable soil moisture and temperatures in summer and autumn. The seasonal differences in N₂O emissions from vegetable fields were attributed to the variations in soil moisture and temperature due to vegetable planting. The application of N stimulated N₂O emissions in the vegetable field. There is a significant positive relationship between the N₂O emission flux and the soil temperature. An exponential equation ($F = 11.465e^{0.032T}$ ($R = 0.26$, $P < 0.01$)) can be employed to quantify the relationship between soil temperature (T) and N₂O emission flux (F) in a vegetable field treated by conventional fertilization. A threshold range of water-filled pore space (WFPS) between 60%—75% has been observed for N₂O emissions in this study. The N₂O emissions from vegetable farmland can be reduced by optimizing the N application rate and time while limiting irrigation frequencies according to vegetable growth and antecedent soil moisture conditions.

Key Words: N₂O emission flux; seasonal patterns; vegetable farmland; purple soil

农业是 N₂O 的重要排放源^[1], 全球每年排放的 N₂O 中有 35% 左右的来自农业土壤^[2], 而农田生态系统 N₂O 排放量的增加主要受土壤氮素水平的驱动^[3-4]。据统计, 20 世纪 90 年代我国农田因施肥当年直接引起的 N₂O 排放量中约有 20% 来自蔬菜地^[5]。研究认为, 菜地 N₂O 排放量往往高于普通农田^[6-9]。然而, 迄今为止, 有关菜地 N₂O 排放的报道仍十分有限^[10], 导致菜地 N₂O 排放量的估计仍存在很大的不确定性。菜地由于长年精耕细作, 复种指数高, 特别是多年连续种植蔬菜的老菜地, 因氮肥用量经常超出蔬菜本身所需不仅造成土壤中 NO₃-N 大量积累^[11], 也使土壤性质发生改变^[12], 可能使菜地 N₂O 排放规律与其他农地有所不同。因此, 开展菜地 N₂O 排放的田间观测, 探明其排放规律, 为农田 N₂O 排放清单的编制提供基础数据, 同时为菜地 N₂O 减排提供理论依据。作者以种菜历史超过 20a 的紫色土菜地为研究对象, 从 2006 年 10 月至 2007 年 10 月, 对 4 个蔬菜生长季和 1 个休闲期进行了 1a N₂O 排放的田间定位观测, 分析菜地 N₂O 排放特征及施氮、土壤湿度、温度和蔬菜参与对 N₂O 排放的影响, 以期为准确估算蔬菜地 N₂O 排放提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验依托四川盐亭农田生态系统国家野外科学观测研究站, 于 2006 年 10 月至 2007 年 10 月在四川省盐亭县林山乡 (31°16'N, 105°27'E) 进行。该区属亚热带季风气候, 气候温和, 四季分明, 年均气温 17.3℃, 多年平均降水量 826 mm, 无霜期 294 d。试验期间降水量 799 mm, 稍低于多年平均值; 平均气温 17.1℃, 与多年平均值持平。总的来看, 试验期间水热条件属正常年份水平, 试验期间逐日降雨量及气温见图 1。试验土壤类型为紫色土, 土地利用为连续种植蔬菜历史超过 20 a, 土壤容重为 1.21 g/cm³, 0—20 cm 土层黏粒 (<0.002 mm)、粉粒 (0.002—0.05 mm) 和砂粒 (>0.05 mm) 含量分别为 8.3%、43.1% 和 48.4%, pH 值为 8.24, 有机质、全氮、全磷和全钾分别为 27.2、1.32、3.24、65.8 g/kg, 速效氮、有效磷和速效钾分别为 142.4、130.3、460.9 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设置不施氮 (CK)、常规施氮 (NPK-C; 施氮量 N150 kg/hm²) 和空地 (NPK-NC; 施肥同 NPK-C 处理, 但不种蔬菜, 保持裸地, 2007 年 4 月 8 日开始) 3 种处理。3 个随机重复, 各试验小区面积 2 m×3 m=6 m²。氮肥 (尿素) 以 6:4 的比例分两次施用, 施肥方式为穴施 (深 3 cm), 同时, 在每季蔬菜移栽前 1 天 1 次性撒施过磷酸钙 (P₂O₅ 150 kg/hm²) 和氯化钾 (K₂O 160 kg/hm²), 施后耙地。2006 年 10 月 25 日至 2007 年 2 月 11

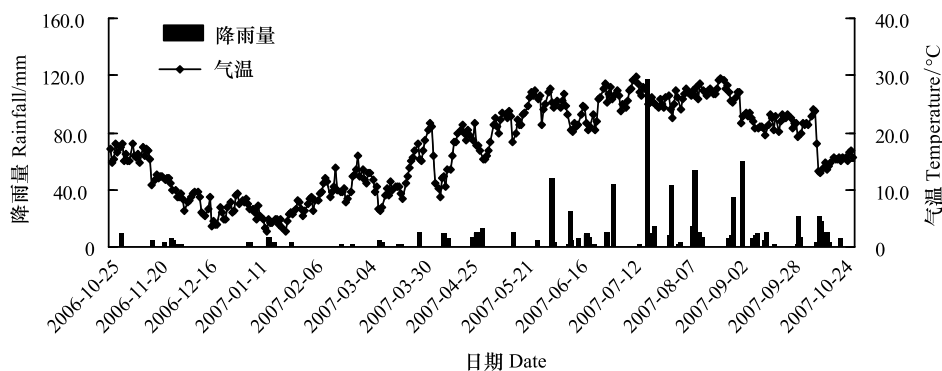


图1 试验期间(2006-10-25至2007-10-25)逐日降雨量及气温

Fig. 1 Daily rainfall and air temperature during experimental period (Oct. 25, 2006—Oct. 25, 2007)

日、2007年4月11日至6月4日、2007年6月5日至8月22日和2007年8月27日至10月25日分别种植抱儿菜(*Brassica Juncea*. Var. *Gemmifera*. L.)、莴苣(*Lactuca sativa* L.)、大白菜(*Beassica pekinensis* Rupr.)和甘蓝(*Brassica deracea* var. *capita* L.)。2007年2月12日至4月10日为休闲期,不另外施肥。4种蔬菜栽植时采样箱底座内密度与小区一致,株×行距分别为30 cm×35 cm、35 cm×40 cm、45 cm×50 cm和45 cm×50 cm。蔬菜生长期间主要管理措施如表1,各季蔬菜在移栽和施肥后浇水,其他管理措施与当地习惯一致。从2006年10月25日至2007年10月25对4个蔬菜生长季和1个休闲期 N_2O 排放进行了一整年的田间定位观测。蔬菜地全年施氮总量为 $N600\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

表1 蔬菜生长季主要田间管理日期

Table 1 Field practices date at vegetable growth stages

蔬菜生长季 Vegetable growing season	移栽 Transplant	第1次施肥 First fertilization	第2次施肥 Second fertilization	收获 Harvest
抱儿菜 Er vegetable	2006-10-25	2006-11-07	2006-12-10	2007-02-11
莴苣 Lettuce	2007-04-10	2007-04-24	2007-05-02	2007-06-04
大白菜 Chinese cabbage	2007-06-05	2007-06-05	2007-07-10	2007-08-22
甘蓝 Cabbage	2007-08-27	2007-09-12	2007-10-09	2007-10-26

1.3 气体采样与分析方法

采用静态暗箱/气相色谱法^[13]对菜地 N_2O 排放采样测定。每一重复设置1个固定的箱法观测点,每一处理共3个重复。采样箱由底座和顶箱两部分组成,不锈钢底座(横截面为80 cm×80 cm)长期固定于田间,底壁插入土中约10 cm。底座顶端有深、宽均为3 cm的密封水槽,采样前往槽内注水以防底座与顶箱结合处漏气。顶箱(长×宽×高为:80 cm×80 cm×50 cm)外覆绝热材料以减少采样箱内温度随外界气温升高对试验结果的影响。同时,顶箱内部安装2个小风扇,用于混合箱内气体。顶箱侧面安装有电源插头、温度探头和气体采样管。气体采样从蔬菜移栽后1周开始,时间为每周二和周五9:00—11:00,采样方法、气体分析方法,采样时土壤湿度、温度测定方法, N_2O 排放通量、 N_2O 排放总量计算方法和数据分析方法与文献一致^[8], N_2O 排放系数计算方法与文献一致^[14]。

2 结果与分析

2.1 菜地生态系统 N_2O 排放特征

2.1.1 N_2O 排放的季节变化

试验期间地下5 cm处土壤温度在4.8—29.3 °C之间变化,抱儿菜生长期和甘蓝生长后期土温较低,休闲期、莴苣生长期和大白菜生长期土温较高;地下5 cm处土壤含水量(WFPS)介于30%—81%,抱儿菜和甘蓝生长后期较高,但波动很小,休闲期、莴苣和大白菜生长期较低,但波动很大。同时,从试验期间土壤温

度和湿度综合来看,莴苣、大白菜生长期和甘蓝生长前期土壤水热条件的配合优于抱儿菜生长期和甘蓝生长后期(图2)。

不施氮、常规施氮和空地 N₂O 排放表现出不同的季节变化规律。不施氮菜地 4 种蔬菜生长期和休闲期 N₂O 排放的波动较小,仅观测到几次脉冲式排放峰(图1),结合试验期间降雨情况(图2)和田间管理措施来看,这些排放峰主要出现在降雨后或翻地、浇水后。常规施氮处理 N₂O 排放的季节变化呈“双峰型”,排放峰持续时间约 5—30 d,空地处理在莴苣、大白菜和甘蓝生长期 N₂O 排放的季节变化规律与施氮处理类似,也表现为“双峰型”。结合观测期土壤水热情况来看, N₂O 排放通量的剧烈波动期主要集中在土壤水热条件配合较好的莴苣生长期、大白菜生长期和甘蓝生长前期。

常规施氮和空地处理 N₂O 排放高峰均出现在施氮后 3—10 d,所以,施氮是 N₂O 排放峰出现的主要驱动力。此外,不施氮菜地在大白菜和甘蓝生长期也观测到几次较明显的 N₂O 脉冲式排放峰(如 2007 年 7 月 4 日、8 月 4 日和 9 月 5 日观测到的 3 次排放高峰),这可能是由于大白菜和甘蓝生长期正值当地雨季,降雨频繁且强度较大,加之这一时期气温较高,土壤水分散失强烈,造成土壤干湿变化比较频繁而有利于 N₂O 的产生和排放^[15-16]。同时,观测还发现,在翻地、浇水等农事活动后会出现 N₂O 排放量的突增,特别是施氮后浇水或施氮后耙地往往会引发 N₂O 突跃式高排放(图2)。另外,在不施氮和常规施氮处理中,整个观测期内均出现 N₂O 吸收现象,但空地处理中并未出现类似的 N₂O 吸收现象(图2),据此认为,菜地生态系统系统 N₂O 的吸收可能与蔬菜参与有关,具体原因有待进一步探讨。

2.1.2 N₂O 排放通量及总量

由表 2 可见,常规施氮处理 4 种蔬菜生长期和休闲期 N₂O 平均排放通量分别为(203.6±43.5) μg·m⁻²·h⁻¹ 和(27.4±12.3) μg·m⁻²·h⁻¹,蔬菜生长期 N₂O 排放通量远高于休闲期。同时,4 种蔬菜生长期 N₂O 平均排放通量存在明显差异,大白菜生长期 N₂O 平均排放通量最大,是整个观测期 N₂O 平均通量的 2.3 倍,其次为甘蓝生长期,排放通量是整个观测期平均通量的 1.2 倍,抱儿菜和莴苣生长期平均排放通量最小,仅相当于整个观测期平均值的 76% 和 79%。从 4 种蔬菜生长期间 N₂O 平均排放通量大小与其季节变化的关系来看,蔬菜生长期排放峰越明显则其平均排放通量越高。

从整个观测期 N₂O 排放总量在不同蔬菜生长期和休闲期的分配情况来看,抱儿菜和莴苣生长期 N₂O 排放量占全年 N₂O 排放总量的 34%,而大白菜和甘蓝生长期 N₂O 排放量占排放总量的 64%,其余 2% 的排放量来自于休闲期。可见,观测期内菜地生态系统 N₂O 排放量主要来自大白菜和甘蓝生长期,抱儿菜和莴苣生长期排放量较少。

表 2 常规施氮菜地 N₂O 排放通量,总量及其分配

Table 2 N₂O emission flux, annual loading and seasonal distribution from conventional fertilization treatment

观测期 Sampling period	生育期天数 Days of growth stage /d	通量范围 Range of emission flux /(μg·m ⁻² ·h ⁻¹)	平均通量 Average emission flux /(μg·m ⁻² ·h ⁻¹)	排放总量 Total emission /(kg/hm ²)	排放系数 Emission coefficient /%
抱儿菜 Er vegetable	110	(3.0±1.0)—(1090.8±60.7)	128.7±27.4 ^C	3.40±0.72	1.79
休闲期 Fallow	55	(1.2±3.9)—(50.6±33.8)	27.4±12.3 ^D	0.36±0.16	—
莴苣 Lettuce	58	(22.1±7.2)—(360.2±75.5)	132.7±47.4 ^C	1.84±0.66	0.69
大白菜 Chinese cabbage	79	(23.7±6.1)—(1932.2±244.9)	358.7±73.1 ^A	6.80±1.39	3.13
甘蓝 Cabbage	63	(22.0±3.7)—(674.3±28.7)	194.4±26.2 ^B	2.94±0.40	1.61
整个观测期 Total sampling period	365	(1.2±3.9)—(1932.2±244.9)	168.4±37.3	15.34±3.33	1.86

同列不同字母表示统计差异显著(P<0.05)

2.2 菜地生态系统 N₂O 排放的影响因素

2.2.1 施氮

由图 3 可见,4 种蔬菜生长期及整个观测期常规施氮处理 N₂O 平均排放通量均显著高于不施氮处理

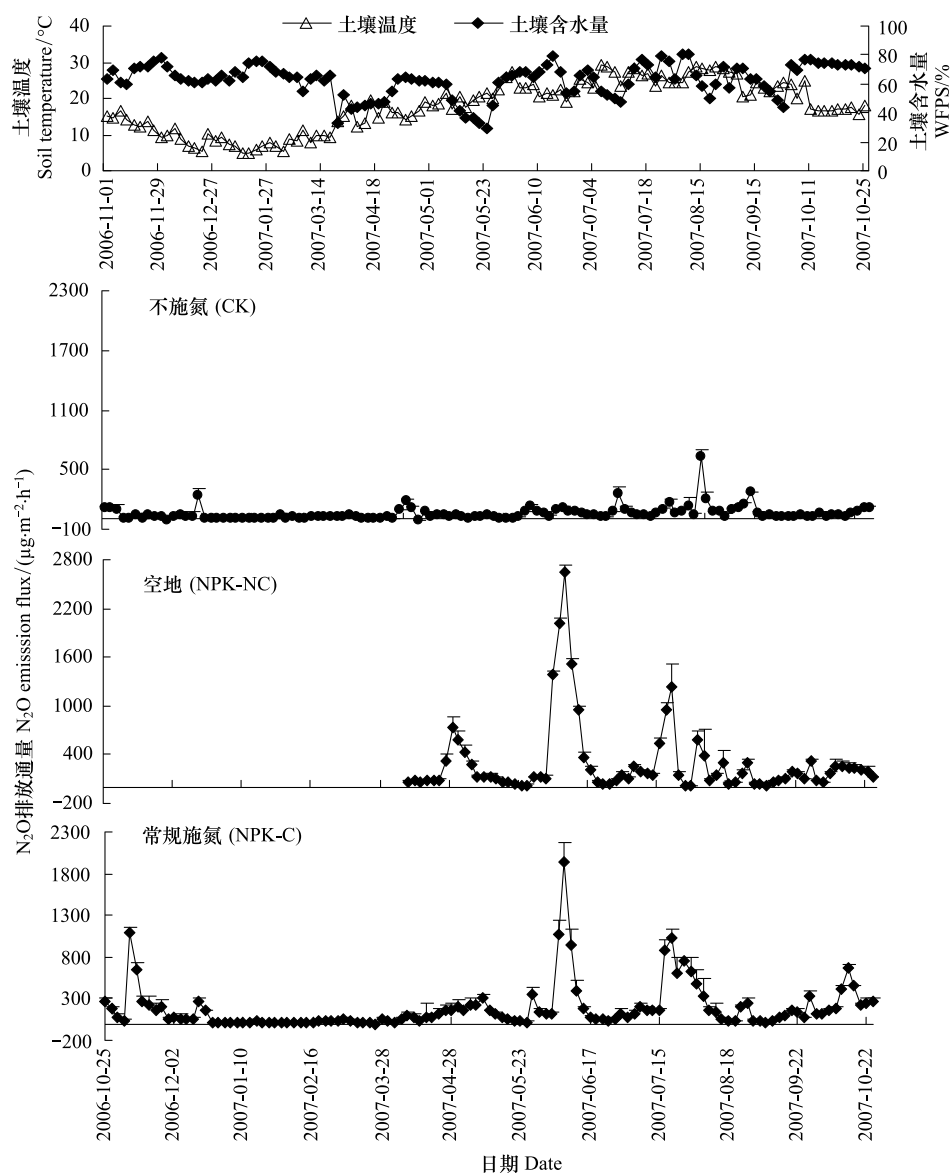


图2 观测期菜地土壤温度、水分和不施氮、空地和常规施氮处理 N_2O 排放通量的季节变化

Fig. 2 Seasonal patterns of soil temperature, moisture and N_2O emission flux from the treatments of control (CK), no vegetable (NPK-NC) and conventional fertilization (NPK-C) during experimental period

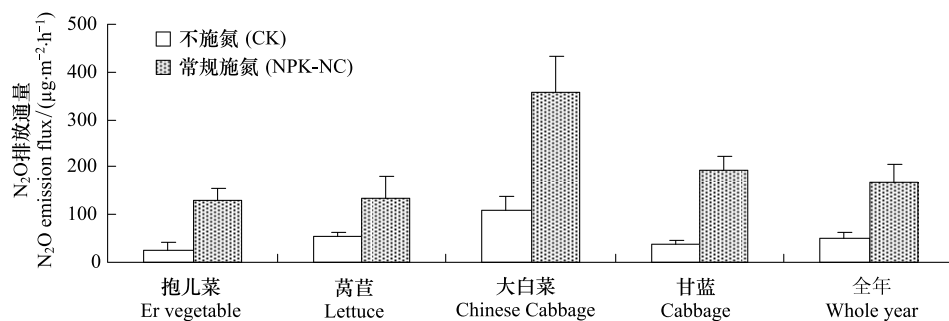


图3 常规施氮和不施氮菜地生态系统 N_2O 排放通量比较

Fig. 3 Compare of N_2O emission flux from conventional fertilization treatment (NPK-C) and control (CK)

($P < 0.01$), 整个观测期常规施氮菜地 N₂O 平均通量是不施氮菜地的 3.3 倍。可见, 施氮大幅增加了菜地生态系统 N₂O 排放通量。但施氮对增加 N₂O 排放量的效应在不同蔬菜生长期有所差别, 具体表现为甘蓝>抱儿菜>大白菜>茼蒿。同时, 从表 2 可以看出, 在施氮量同为 150 kg/hm² 情况下, 不同蔬菜生长期 N₂O 排放系数也有明显差异, 表现为大白菜季>抱儿菜季>甘蓝季>茼蒿季。造成不同蔬菜生长期 N₂O 平均排放通量和 N₂O 排放系数的巨大差异的原因可能是由于不同蔬菜生长期长短的差异造成单位时间的施肥强度差别很大, 导致土壤硝化和反硝化微生物活性差异, 从而影响了土壤中 N₂O 的产生和排放。

2.2.2 土壤温度

整个观测期间地下 5cm 处土壤温度介于 4.8—29.2℃, 冬春季蔬菜抱儿菜和茼蒿生长期、休闲期土壤温度较低, 波动较大(4.8—25.9℃, 平均 13.0℃)(图 4), 夏秋季蔬菜大白菜和甘蓝生长期土壤温度较高, 波动较小(15.8—29.2℃, 平均 23.4℃)。对 4 种蔬菜生长期和休闲期 N₂O 排放通量与地下 5cm 处土壤温度的偏相关性分析发现, 不施氮和常规施氮处理整个观测期土壤温度和 N₂O 排放通量均呈显著的正相关关系($P < 0.01$), 且常规施氮菜地农田生态系统 N₂O 排放通量(F)与地下 5cm 处土壤温度(T)的呈指数变化关系: $F = 11.465e^{0.032T}$ ($R = 0.26, P < 0.01$), 但空地处理土壤温度与 N₂O 排放通量无明显的相关性。

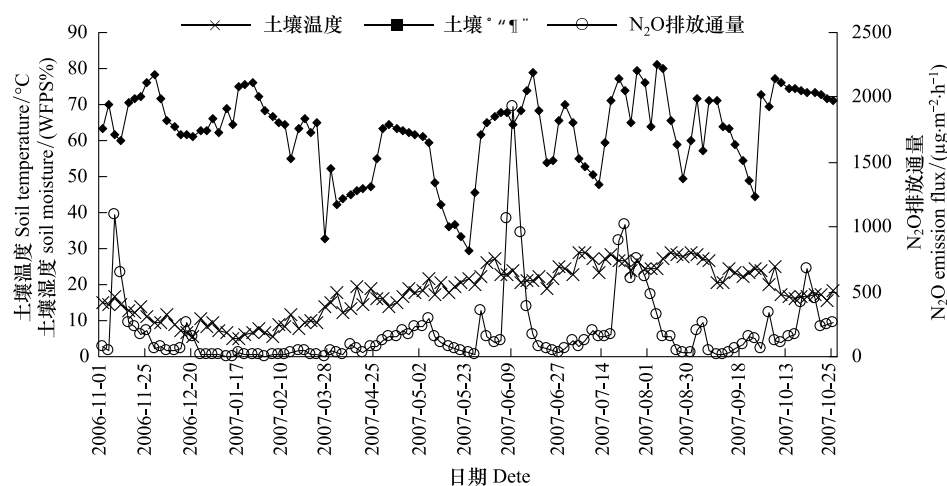


图 4 常规施氮(NPK-C)菜地土壤温度、土壤湿度与 N₂O 排放通量变化动态

Fig. 4 Seasonal patterns of soil temperature, soil moisture and N₂O emission flux in vegetable field under conventional fertilization (NPK-C)

2.2.3 土壤湿度

对不施氮、常规施氮和空地 3 种处理 N₂O 排放通量与地下 5 cm 处 WFPS 分别进行偏相关分析发现, 施氮菜地两者间存在显著的正相关性($R = 0.25, P < 0.01, n = 113$), 不施氮和空地处理 N₂O 排放通量和 WFPS 之间也有类似的直线相关关系, 但均未达到显著水平。同时, 就施氮处理 N₂O 排放通量大于整个观测期平均值 [168.4 ± 37.3] $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 的所有观测值而言, 71% 的 N₂O 排放量观测值出现在 WFPS 介于 60%—75% 的条件下, 其余 29% 则出现在 WFPS < 60% 和 WFPS > 75% 的水分条件下。可见, 土壤湿度是蔬菜地 N₂O 排放季节变化的主要影响因子之一, 60%—75% 的湿度条件较其他湿度更有利于 N₂O 产生和排放。

2.2.4 蔬菜参与

从表 3 可见, 观测期间, 在茼蒿、大白菜和甘蓝生长期, 常规施氮菜地 N₂O 排放通量的平均值均高于空地处理, 并且二者差异显著($P < 0.01$), 同时, 常规施氮菜地 N₂O 排放通量较空地增加 41.2%。并且施氮菜地在 3 种蔬菜生长期 N₂O 排放系数均高于空地。表明蔬菜参与显著增加了 N₂O 排放量, 其对菜地 N₂O 排放速率增加的贡献为 41.2%。

表 3 施氮和空地 N₂O 排放量比较Table 3 Compare of N₂O emission from conventional fertilization treatment and no vegetable treatment

观测期 Sampling period	排放通量 Emission flux / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)		排放总量 Total emission / (kg/hm^2)		排放系数 Emission coefficient/%	
	常规施氮 Conventional fertilization (NPK-C)	空地 No vegetable (NPK-NC)	常规施氮 Conventional fertilization (NPK-C)	空地 No vegetable (NPK-NC)	常规施氮 Conventional fertilization (NPK-C)	空地 No vegetable (NPK-NC)
莴苣 Lettuce	132.7±47.4	122.4±28.1	1.84±0.33	1.70±0.39	0.69	0.64
大白菜 Chinese cabbage	358.7±73.1	225.5±44.2	6.80±0.70	4.28±0.84	3.13	1.45
甘蓝 Cabbage	194.4±26.2	137.9±23.1	2.94±0.25	2.02±0.34	1.61	0.96
平均 Average	228.6±48.9	161.9±31.8	3.86±0.43	2.33±0.52	1.61	1.02

3 讨论

3.1 农地生态系统差异导致的 N₂O 排放不同

研究表明,不施氮紫色土菜地 N₂O 排放通量为 $(50.7\pm13.3)\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$,施氮 ($\text{N}150\text{ kg}/\text{hm}^2$) 引起的 N₂O 排放系数为 1.86%,与项虹艳等^[17]在当地小麦-玉米轮作系统 N₂O 排放观测结果比较,本研究不施氮菜地 N₂O 排放量和同样施氮量下 N₂O 排放系数均高于当地小麦-玉米轮作系统。可见,菜地生态系统 N₂O 排放强度高于当地粮食作物农田。这与其他类似研究的结论一致^[6-9]。同时,就本研究结果看,蔬菜的参与对菜地生态系统 N₂O 排放速率增加的贡献为 41.2%,而江长胜等^[18]在本地稻田中研究发现,水稻植株对 N₂O 排放速率增加的贡献为 128%。可见,就目前研究结果来看,蔬菜参与并非菜地 N₂O 排放高于其他农田的关键原因。而造成菜地生态系统 N₂O 排放量高于粮食作物农田的一个重要原因就是长期过量施肥导致菜地土壤养分偏高,从对当地粮食农田和菜地土壤养分的测定结果看,菜地土壤有机质、全氮、速效氮均明显偏高。当然,菜地频繁的浇水、翻地等农作措施也是造成 N₂O 排放较多的重要原因。因此,较高的土壤养分和频繁的田间管理可能是导致菜地 N₂O 排放高于其他农田的主要原因。

3.2 土壤性质差异导致 N₂O 排放不同

本研究中施氮菜地 N₂O 排放系数明显高于在成都平原菜地观测的结果^[10],其原因可能是由于土壤水热性质不同,如本研究观测期间土壤均温高于成都平原观测期土壤均温,并且土壤湿度的变化也更剧烈。此外,本研究不施氮 N₂O 排放量高于姚志生等^[9]在太湖地区菜地研究的结果,这可能与本试验地为老菜地,土壤养分较高有关,如本试验地土壤有机质较之高 31%,且土壤全氮更高。同时,从观测期菜地 N₂O 排放量的季节分配看,菜地 N₂O 排放主要来自大白菜和甘蓝生长期,而抱儿菜和莴苣生长期 N₂O 排放较少,这是由于大白菜和甘蓝生长长期主要集中于夏秋季节,而抱儿菜和莴苣生长期主要集中于冬春季节。所以,大白菜和甘蓝生长长期土壤水热状况较抱儿菜和莴苣生长期好,加之前两季蔬菜生长期正值雨季,降雨和土壤水分的快速蒸发造成频繁干湿交替的土壤环境有利于 N₂O 产生和排放,因此,土壤水热状况的差异既是造成不同地区菜地 N₂O 排放不同的原因,也是导致不同蔬菜生长期 N₂O 排放量差异的重要原因。

3.3 农田管理措施差异导致 N₂O 排放不同

本研究与成都平原观测结果^[8,14]的差异可能还与两地试验时农田管理措施的不同有关;与成都平原菜地 N₂O 观测时相比,本研究在观测期内多种了一季蔬菜,并且菜地休闲时间也远短于成都平原,一年内蔬菜种植茬数越多则翻地、浇水等农田管理措施越频繁。同时,施氮对增加菜地 N₂O 排放的效应受蔬菜生育期长短和蔬菜生育期土壤水热状况差异的影响。可见,根据蔬菜生育期长短,结合蔬菜生育期土壤水热条件调节施肥量可能会有效减少 N₂O 排放。同时,本研究结果表明,土壤湿度对菜地 N₂O 排放的影响存在阈值效应,当菜地土壤含水空隙率(WFPS)介于 60%—75%更易引发 N₂O 高排放。考虑到菜地土壤湿度变化主要是由于频繁浇水引起的。因此,限制浇水次数,控制菜地土壤湿度状况也可有效抑制菜地 N₂O 排放量。

4 结论

4.1 紫色土菜地农田生态系统在不施氮和施氮($\text{N}150 \text{ kg}/\text{hm}^2$) 情况下, N_2O 平均排放通量分别为(50.7 ± 13.3) $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 和(168.4 ± 37.3) $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, 施氮引起的 N_2O 排放系数为 1.86%。菜地生态系统 N_2O 排放强度高于粮食作物农田, 菜地生态系统 N_2O 排放高于粮食作物农田的关键主要原因在于菜地较高的土壤养分和频繁的田间管理措施。

4.2 菜地生态系统 N_2O 排放主要来自于土壤水热条件较好的夏秋季, 冬春季蔬菜生长期相对较少。因此, 土壤水热条件的差异是造成不同蔬菜生长期 N_2O 排放量不同的主要原因。

4.3 施氮增加菜地 N_2O 排放量的效应与蔬菜生长期单位时间施肥强度和土壤水热状况有关, 土壤湿度对菜地生态系统 N_2O 排放量的影响存在阈值效应。因此, 依据蔬菜生育期特点, 并结合土壤湿度状况调节施肥量与施肥时间可能会减少菜地 N_2O 排放量。

References:

- [1] IPCC (2007): Summary for policymakers Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, van der Linden PJ, Hanson C E, eds. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 7-22.
- [2] Bouwman A F. The role of soils and land use in the greenhouse effect// Background Paper of the International Conference Soil and the Greenhouse Effect. Wageningen: Int Soil Ref and Into Cnt, 1989: 14-18.
- [3] EIA-Energy Information Administration. Emissions of Greenhouse Gas in the United States 1997. DOE/ EIA-0573 (97). Washington DC: US Department of Energy, 1998.
- [4] Mosier A, Kroeze C. Potential impact on the global atmospheric N_2O budget of the increased nitrogen input required to meet future global food demands. Chemosphere-Global Change Science, 2000, 2(3/4): 465-473.
- [5] Zheng X H, Han S H, Huang Y, Wang Y S, Wang M X. Re-quantifying the emission factors based on field measurements and estimating the direct N_2O emission from Chinese croplands. Global Biogeochemical Cycles, 2004, 18(2): 1-19.
- [6] Dobbie K E, McTaggart I P, Smith K A. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crop s and seasons, key driving variable, and mean emission factors. Journal of Geophysical Research, 1999, 104(D21): 26891-26961.
- [7] Kaiser E A, Kohrs K, Kücke M, Schnug E, Heinemeyer O, Munch J C. Nitrous oxide release from arable soil: importance of N fertilization, crops and temporal variation. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30(12): 1553-1563.
- [8] Yu Y J, Zhu B, Jing G J. N_2O emission from soil-vegetable system and impact factors in Chengdu Plain of Sichuan Basin. China Environmental Science, 2008, 28(4): 313-318.
- [9] Yao Z S, Zheng X H, Zhou Z X, Xie B H, Mei B L, Gu J X, Wang D Y. Nitrous oxide emission from winter wheat and vegetable fields in the Taihu region: a comparison case study. Climatic and Environmental Research, 2006, 11(6): 691-701.
- [10] Xiong Z Q, Xie Y X, Xing G X, Zhu Z L, Butenhoff C. Measurements of nitrous oxide emissions from vegetable production in China. Atmospheric Environment, 2006, 40(12): 2225-2234.
- [11] Wang Z H, Zong Z Q, Li S X, Chen B M. Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields. Chinese Journal of Environmental Science, 2002, 23(3): 81-85.
- [12] Zhang H Y, Yin R, Huang J F, Lin X G, Cao Z H, Wang J H. Changes in soil biochemical properties caused by cropping system alteration from rice-wheat rotation to vegetable cultivation. Soils, 2005, 37(2): 182-186.
- [13] Wang Y S, Wang Y H. Quick measurement of CH_4 , CO_2 and N_2O emissions from a short-plant ecosystem. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20(5): 842-844.
- [14] Yu Y J, Zhu B, Wang X G, Xiang H Y, Zheng X H. N_2O emission from rice-rapeseed rotation system in Chengdu Plain of Sichun Basin. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(6): 1277-1282.
- [15] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, Shen R X, Li J, Heyer J, Koege M, Papen H, Jin J S, Li T T. Mitigation options for methane, nitreous oxide and nitric oxide emissions from agricultural ecosystems. Advances in Atmospheric Sciences, 2000, 17(1): 83-92.
- [16] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, Shen R X, Gong Y B, Luo D M, Zhang W, Jin J S, Li L T. Impact of soil humidity on N_2O production and emission from a rice-wheat rotation ecosystem. Chinese Journal of Applied Ecology, 1996, 7(3): 273-279.
- [17] Xiang H Y, Zhu B, Kuang F H, Li K, Wang Y Y, Zheng X H. Effects of nitrogen fertilizer application on N_2O emission in a purple soil and maize

root system. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(3): 413-420.

- [18] Jiang C S, Wang Y S, Zheng X H, Zhu B, Huang Y. Effects of tillage-cropping systems on methane and nitrous oxide emissions from permanently flooded rice fields in a central Sichuan hilly area of southwest China. *Environmental Science*, 2006, 27(2): 207-213.

参考文献:

- [8] 于亚军, 朱波, 荆光军. 成都平原土壤-蔬菜系统 N_2O 排放特征. *中国环境科学*, 2008, 28(4): 313-318.
- [9] 姚志生, 郑循华, 周再兴, 谢宝华, 梅宝玲, 顾江新, 王定勇. 太湖地区冬小麦田与蔬菜地 N_2O 排放对比观测研究. *气候与环境研究*, 2006, 11(6): 691-701.
- [11] 王朝晖, 宗志强, 李生秀, 陈宝明. 蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留. *环境科学*, 2002, 23(3): 81-85.
- [12] 张华勇, 尹睿, 黄锦法, 林先贵, 曹志洪, 王俊华. 稻麦轮作田改为菜地后生化指标的变化. *土壤*, 2005, 37(2): 182-186.
- [14] 于亚军, 朱波, 王小国, 项虹艳, 郑循华. 成都平原水稻-油菜轮作系统氧化亚氮排放. *应用生态学报*, 2008, 19(6): 1277-1282.
- [16] 郑循华, 王明星, 王跃思, 沈壬兴, 龚宴邦, 骆冬梅, 张文, 金继生, 李老土. 稻麦轮作生态系统中土壤湿度对 N_2O 产生与排放的影响. *应用生态学报*, 1996, 7(3): 273-279.
- [17] 项虹艳, 朱波, 况福虹, 李侃, 王玉英, 郑循华. 氮肥施用对紫色土-玉米根系系统 N_2O 排放的影响. *环境科学学报*, 2007, 27(3): 413-420.
- [18] 江长胜, 王跃思, 郑循华, 朱波, 黄耀. 耕作制度对川中丘陵区冬灌田 CH_4 和 N_2O 排放的影响. *环境科学*, 2006, 27(2): 207-213.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元