

# 气温升高对旱地农作物 NO 排放量的影响

刘柳松, 施建成

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘要:** 为了研究气温升高对农作物 NO 排放量的影响, 以安徽省淮北地区农田生态系统为研究对象, 利用生物地球化学过程模型——DNDC 模型, 研究了 12 种农作物 NO 排放量对气温升高的响应。结果表明, 旱地农作物对气温升高的响应可以分为 3 类。第一类, 农作物 NO 排放量对气温升高不敏感, 包括玉米、棉花、豌豆、油菜、烟草和果树, 气温从原始气温升高 3 °C, NO 平均排放量变化不大。其中, 当气温从原始气温升高 1.5 °C, 6 种作物 NO 平均排放量略微增大, 气温从 1.5 °C 升高至 3 °C, 排放量稍微下降。第二类, 农作物 NO 排放量对气温升高敏感, 排放量随温度升高而下降, 包括小麦和大豆, 当气温从原始气温升高 3 °C 时, NO 平均排放量下降 11.6%。第三类, 农作物 NO 排放量对气温升高敏感, 排放量随温度升高而升高, 包括水稻、土豆、甘蔗和蔬菜, 当气温从原始气温升高 3 °C, NO 平均排放量升高 8.4%。在气温升高的情况下, 旱地农田生态系统 NO 排放量总体变化不大, 平均升高 0.88%。

**关键词:** 农田生态系统; NO 排放; DNDC 模型; 气温升高

中图分类号: X16 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2013)01-0050-05

## Effects of Elevated Temperature on NO Emissions of Farmland Ecosystem

LIU Liu-song, SHI Jian-cheng

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** Taking Huaibei in Anhui province as a study case, the DNDC model was tested to estimate the farmland NO emissions during the temperature rising. The results showed that the dry land crop response to elevated temperatures could be divided into three categories. In the first category, the crop NO emissions changed little when the temperature went up by 0-3 °C, including corn, cotton, pea, rape, tobacco and fruit tree. At the same time, NO emissions increased slightly when the temperature went up by 0-1.5 °C, and decreased slightly when the temperature went up by 1.5-3 °C. In the second category, the crop NO emissions decreased by 11.6% when the temperature went up by 0-3 °C, including wheat and soybean. In third category, the crop NO emissions increased by 8.4% during the temperature went up by 0-3 °C, including rice, potato, sugarcane and vegetable. In the case of rising temperatures, NO emissions changed little overall in the dryland ecosystem.

**Key words:** farmland ecosystem; NO emission; DNDC model; temperature increase

氮气(N<sub>2</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)、一氧化氮(NO)是大气和生物地球化学氮循环的重要组成部分, 其中 N<sub>2</sub>O 和 NO 作为直接或间接温室气体, 对大气化学过程和

全球变暖产生重要影响<sup>[1]</sup>。N<sub>2</sub>O 在对流层中产生温室效应, 并可参与破坏平流层臭氧<sup>[2]</sup>; NO 是臭氧(O<sub>3</sub>)形成的前提物, 也是形成酸雨的主要物质<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2012-07-26

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40930530)

作者简介: 刘柳松(1971-), 男, 安徽宿州人, 博士, 主要从事遥感与地球系统模拟研究。E-mail: liulusong888@163.com

$N_2$  本身对生态环境没有负面影响,但作为反硝化过程的最终产物,它的产生起着闭合全球氮循环的作用<sup>[4]</sup>。然而, $N_2$  作为背景大气,由于稳定且含量丰富的缘故使其排放量很难被测定,人们对陆地生态系统反硝化过程产生的  $N_2$  量关注较少,而相关的  $N_2O$  和 NO 数据资料较  $N_2$  要丰富得多<sup>[5]</sup>。其中对土壤  $NO_x$  气体排放量的相关研究多集中在农业土壤温室气体及  $NO_x$  排放量的研究上<sup>[6-7]</sup>。

目前,估测温室气体区域排放量常用的方法有模型估算法、排放参数法等。国内对农田土壤 NO 排放已进行了大量的测定,积累了一些数据,也建立了一些经验模型<sup>[8-10]</sup>。然而,由于受气候、土壤类型和农业活动的影响,农田 NO 排放存在高度的时空变化,仅根据少量的田间点位观测还远不能估算区域旱地土壤 NO 排放量,建立和运用适宜模型进行估算是非常有必要的。我国农田面积广阔、农业气候条件多变、耕作措施各异,仅靠特定地点的试验观测结果或简单的经验模式,尚不能准确评估区域尺度上农田 NO 排放总量,也难以提出合理的减排措施。目前,基于过程模型估算温室气体区域排放被认为是较可靠的方法,Li 等<sup>[11-12]</sup> 建立的 DNDC 模型是目前国际上最为成功的模拟生物地球化学循环的模型之一,美国农业部已采用该模型估算了以州为空间尺度的美国农业土壤温室气体的排放量。在国内,研究农业土壤一定气温条件下不同农作物 NO 排放量的报道尚不多见,本研究利用 DNDC 模型,研究 2008 年安徽省淮北地区农田生态系统的 NO 排放,探讨不同农作物 NO 排放量对气温升高的响应。

## 1 研究区域与方法

### 1.1 研究区概况

淮北平原是安徽省及淮河流域水资源较为丰富和开发利用程度较高的地区之一,该区土壤以砂姜黑土和黄潮土为主,各占 54% 和 33%。黄潮土 0~2 m,土壤容重 1.42 g/cm<sup>3</sup>,渗透系数 20.2 mm/h;砂姜黑土 0~2 m,土壤容重 1.36 g/cm<sup>3</sup>,渗透系数 24.2 mm/h。试验区为北亚热带和暖温带半湿润季风气候区,冬季干旱少雨,夏季炎热多雨,降水量年际变化大,年内分配很不均匀,多年平均降雨量 840 mm,其中汛期 6—9 月份降水量占全年总降雨量的 63% 左右,多年平均蒸发量为 1 181.3 mm,地下水埋深一般在 1.5~3.5 m 变化,地下水资源相对较丰富<sup>[13]</sup>。在本研究中,以宿州市、亳州市、怀远县和颍上县四地为研究重点,其中,宿州市(33° 72' N, 117° 15' E)在淮北东部,亳州市(33° 78' N, 115° 79' E)在淮北地区北部,怀远县(33° 03' N, 117° 03' E)在淮北地区南部,颍上县

(32° 65' N, 116° 25' E)在淮北地区西部。

### 1.2 研究方法

DNDC 模型能应用于不同气候带、土质条件及农业耕作系统,并能较好地预测各种旱田及水田中  $CO_2$ 、 $CH_4$  和 NO 的排放规律,估算硝化和反硝化过程中产生的 NO 及有机质分解和根呼吸所产生的  $CO_2$ ,模拟土壤碳库和氮库的动态行为<sup>[11]</sup>。模型由 6 个相互作用的子模型构成,分别模拟土壤气候、农作物生长及有机质分解、硝化、反硝化和发酵过程。运行模型的输入数据包括逐日气象数据(气温及降水)、土壤性质(容重、质地、初始有机碳含量及酸碱度)、土地利用(农作物种类和轮作)和农田管理(翻耕、施肥、灌溉、秸秆还田比例和除草等),点位模型只要根据作物种植情况输入数据,便可进行多年模拟。区域模型必须将气候、土壤、农业活动和作物等输入参数数据库后才能计算区域 NO 释放情况。

在本研究中,对于各种影响因子的敏感性检验采取的方法是只改变气温的大小,而保持其他因子不变,运行 DNDC 模型,研究气温的变化对农作物生长过程中 NO 排放量的影响,气温变化设置的梯度为原始气温和在原始气温的基础上升高 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 °C。

数据来源:模型运行所需的 2008 年气象数据和部分农作物种类轮作类型以及作物的播种和收割日期、秸秆还田比例来源于国家气象信息中心数据应用服务室,土壤属性数据等来自中国农业科学院(中国土壤剖面数据库 2010 年,北京,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所数字土壤试验室)和地球系统科学数据共享平台,秸秆还田比例、氮肥和有机肥的施用次数、施用量等管理措施来自安徽省统计年鉴。模型运行以县为最小区域单元。

## 2 结果与分析

### 2.1 模型验证

模型验证是模型使用前的重要工作,不可或缺<sup>[14]</sup>。DNDC 模型在过去数年中被美国、德国、英国和澳大利亚等多国科学家用野外试验数据进行了比较验证,表明该模型具有较高的可信度<sup>[15-17]</sup>。但将该模型用于估计中国农业土壤的 NO 排放时,有必要与中国现有野外实测数据进行比较。模型对土壤 NO 排放量及其影响因子季节变化的拟合程度是判断能否推广该模型的基础,在其他国家过去验证模型的基础上<sup>[14]</sup>,进一步利用我国田间试验数据验证该模型,包括土壤释放 NO 是否表现为产生一系列释放峰的过程,降雨、灌溉和农业活动是否是产生 NO 释放峰的直接驱动因子等。由于土壤 NO 排放

量具有广泛的时空变化和田间通量测量的复杂性,目前还无法对 DNDC 模型进行绝对验证。但该模型已很好地拟合了田间观测到的 NO 释放过程及土壤温度、农业生产活动对其影响的季节变化,这为模型估算区域农田土壤 NO 年排放量以及评估气候变化和农业生产活动对 NO 排放量的影响提供了科学依据<sup>[14]</sup>。本次模拟结果显示,安徽省淮北地区 NO 排放量平均值为 0.88 kg/(hm<sup>2</sup>·a),和金春义等<sup>[18]</sup>的测定结果也基本一致。

## 2.2 NO 排放量对气温升高不敏感的作物

从图 1 中可以看出,玉米、棉花、豌豆、油菜、烟草

和果树 6 种农作物的 NO 排放量对气温的升高并不敏感。随着气温的升高,6 种农作物的 NO 平均排放量先是稍稍升高,随后又略微下降。当温度从原始气温升高 1.5℃ 时,玉米、棉花、豌豆、油菜的 NO 排放量分别上升 2.8%、1.5%、1.4%、3.2%;当温度从 1.5℃ 升高到 3.0℃ 时,6 种作物 NO 平均排放量略微下降。NO 排放量对气温的升高并不敏感,排放量变化不大,可能是因为这 6 种作物的农田生态系统在耕作和管理过程中对土壤的扰动较少,同时这 6 种作物对土壤温度、物理性质和 pH 值等因素影响较小,土壤微生物硝化和反硝化过程受到的影响较小<sup>[7]</sup>。

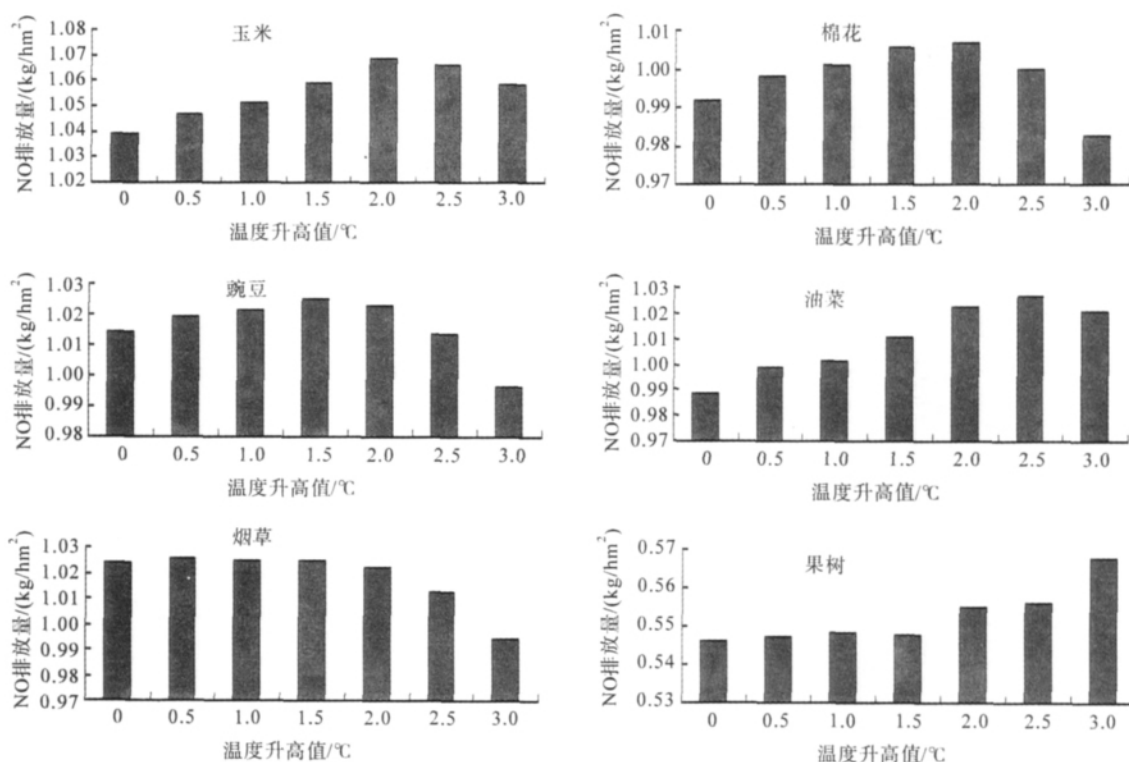


图 1 玉米、棉花、豌豆、油菜、烟草和果树的 NO 排放量

对这 6 种农作物 NO 排放量进行平均,可以看到,平均 NO 排放量与气温的关系如图 2,进行拟合分析,可以得到如下方程:

$$y = -0.0048x^2 + 0.0166x + 0.9326$$

其中,  $y$  为 NO 年排放量(kg/hm<sup>2</sup>),  $x$  为温度变化值(°C)。

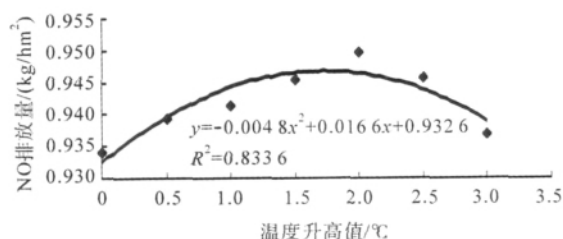


图 2 玉米、棉花、豌豆、油菜、烟草和果树 NO 排放量与气温升高的关系

## 2.3 NO 排放量随气温升高而下降的作物

从图 3 可以看出,随着气温的升高,小麦和大豆农田 NO 排放量下降。气温从原始气温升高 3℃ 时,小麦和大豆的 NO 排放量分别降低 8.3% 和 13.4%,2 种作物的 NO 平均排放量下降 11.6%。可能是因为土壤是一个复杂的体系,其微生物作用过程受很多因素的影响,当温度上升到一定高度时,土壤微生物活性达到最大值,温度继续升高,其活性逐渐降低。反硝化作用一般是在嫌气条件下进行的,参与反硝化过程的主要是反硝化细菌,反硝化作用只能在氧气浓度低时才能进行。这 2 种作物的农田生态系统在耕作管理过程中,对土壤的扰动较大,使土壤中氧气浓度增大,抑制了反硝化过程中 NO 的排放。因此,若要避免土壤的氮损失,应该保证良好的排水条件,并增加土壤的通透性<sup>[7]</sup>。

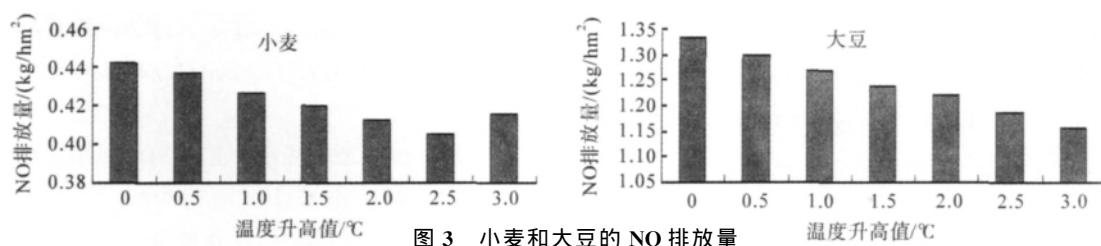


图 3 小麦和大豆的 NO 排放量

对这 2 种农作物 NO 排放量进行平均,可以看到,平均 NO 排放量与气温的关系如图 4,进行拟合分析,可以得到如下方程:

$$y = -0.0028x^2 + 0.0429x + 0.8882$$

其中,  $y$  为 NO 年排放量(kg/hm<sup>2</sup>),  $x$  为温度变化值(°C)。

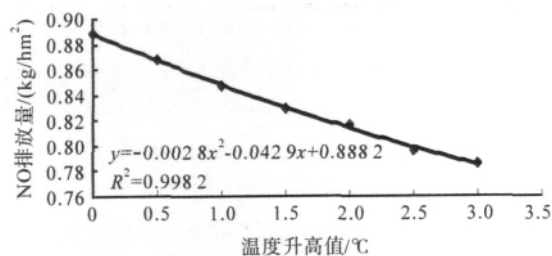


图 4 小麦和大豆 NO 排放量与气温升高的关系

## 2.4 NO 排放量随气温升高而升高的作物

从图 5 可以看出,水稻、土豆、甘蔗和蔬菜的 NO 排放量随气温的升高而升高。气温从原始气温升高 3 °C 时,水稻、土豆、甘蔗、蔬菜的 NO 排放量分别升高 21.3%、4.6%、4.8%、10.8%。这 4 种作物独特的种植方式可能是造成 NO 排放量增大的原因,其平均排放量升高 8.4%。其中水稻种植人为增加了土壤的水分。有研究表明,在水分充足的条件下,随着温度的升高,NO 排放量增大<sup>[7]</sup>。

对这 4 种农作物 NO 排放量进行平均,可以看到,平均 NO 排放量与气温的关系如图 6,进行拟合分析,可以得到如下方程:

$$y = -0.0088x^2 + 0.0463x + 0.7844$$

其中,  $y$  为 NO 年排放量(kg/hm<sup>2</sup>),  $x$  为温度变化值(°C)。

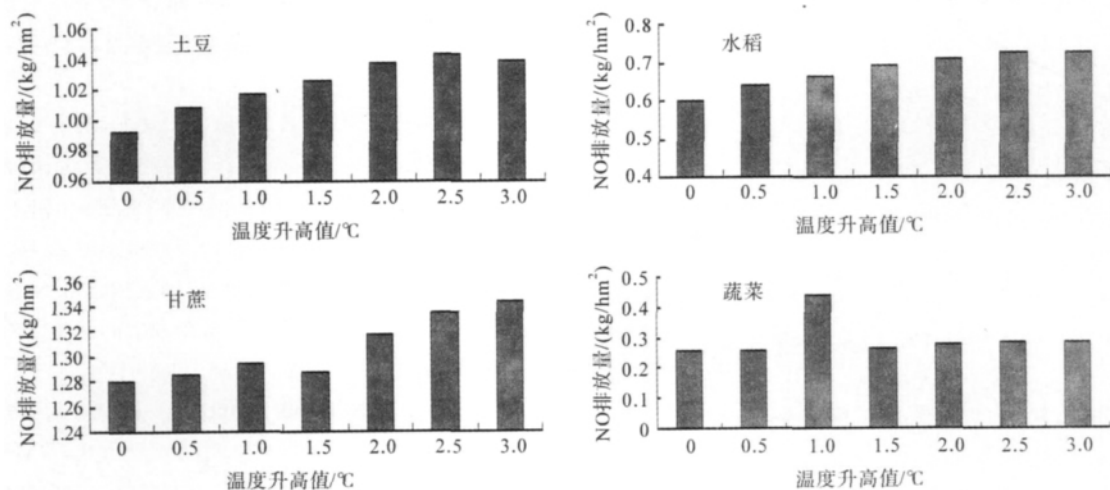


图 5 水稻、土豆、甘蔗和蔬菜的 NO 排放量

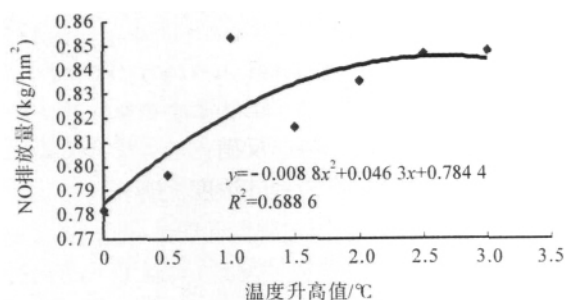


图 6 水稻、土豆、甘蔗和蔬菜 NO 排放量与气温的关系

## 3 结论与讨论

为了研究农作物 NO 排放量对气温升高的响应,以安徽省淮北地区农田生态系统为研究对象,利用生物地球化学过程模型(DNDC 模型)研究 12 种农作物 NO 排放量对气温升高的响应。结果表明,旱地农作物对气温升高的响应可以分为 3 类:第一类,农作物 NO 排放量对气温升高不敏感,包括玉

米、棉花、豌豆、油菜、烟草和果树;第二类,农作物 NO 排放量对气温升高敏感,排放量随温度升高而下降,包括小麦和大豆;第三类,农作物 NO 排放量对气温升高敏感,排放量随温度升高而升高,包括水稻、土豆、甘蔗和蔬菜。在气温升高的情况下,旱地农田生态系统中 12 种农作物的 NO 平均排放量升高了 0.88%,总体变化不大。

土壤是一个复杂的生态系统,在这个系统中,微生物是重要的组成部分,在土壤有机质分解和释放、能量转移等生物地球化学循环中起着重要作用。目前,人们对该系统的一系列反应过程和机制并不是十分清楚,因此,土壤释放 NO 等气体的估算还存在很多不确定因素,需要在野外进行连续在线监测等。农田生态系统是大气 NO 的重要来源,农田排放的 NO 主要产生于土壤微生物硝化和反硝化过程。温度除影响 NO 产生的生物学过程外,还强烈影响调节土壤 NO 传输速率的物理化学参数,所以,温度是影响 NO 产生与排放的一个重要因素。由于温度与 NO 排放的相互关系格外复杂,尽管从 20 世纪 80 年代起,人们就已开始研究生态系统中 NO 排放的温度控制问题,但至今仍未得出明确的结论,关于气温对 NO 排放的影响还要进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Naesholm T, Ekblad A, Nordin A, *et al.* Boreal forest plants take up organic nitrogen[J]. *Nature*, 1998, 392: 914-916.
- [2] Galbally I E, Roy C R. Loss of fixed nitrogen from soils by nitric oxide exhalation[J]. *Nature*, 1978, 275: 734-735.
- [3] Slemr F, Seiler W. Field study of environmental variables controlling the NO emissions from soil and the NO compensation point[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1991, 96(D7): 13017-13031.
- [4] 董玉红, 欧阳竹, 李鹏, 等. 长期定位施肥对农田土壤温室气体气体排放的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(1): 97-100.
- [5] 李海波, 韩晓增, 王凤. 长期施肥条件下土壤碳氮循环过程研究进展[J]. *土壤通报*, 2007, 38(2): 384-388.
- [6] Fang S X, Mu Y J. NO<sub>x</sub> fluxes from several typical agricultural fields during summer-autumn in the Yangtze Delta, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(16): 2665-2671.
- [7] 王兵, 李心清, 程红光, 等. 土壤 NO<sub>x</sub> 气体释放研究进展[J]. *土壤通报*, 2011, 42(6): 1522-1529.
- [8] 谢军飞, 李玉娥. DNDC 模型对北京旱地农田 N<sub>2</sub>O 排放的模拟对比分析[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(4): 691-695.
- [9] 勾继, 郑循华, 王明生, 等. 华东地区稻麦轮作农田生态系统 N<sub>2</sub>O 排放的模拟研究[J]. *大气科学*, 2000, 24(6): 835-842.
- [10] 邱建军, 肖荧南, 胡锡宁. 作物生长模拟模型参数校正与有效化的理论和实践[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(6): 679-682.
- [11] Li C, Frolking S, Frolking T A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rain fall events: I. Model structure and sensitivity[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97: 9759-9776.
- [12] Li C, Qiu J, Frolking S, *et al.* Reduced methane emissions from large scale changes in water management of China's rice paddies during 1980-2000[J]. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(20): 331-334.
- [13] 王振龙, 刘森, 李瑞. 淮北平原有无作物生长条件下潜水蒸发规律试验[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(6): 26-32.
- [14] Butterbach-Bahl K, Kahl M, Mykhayliv L, *et al.* A European-wide inventory of soil NO emissions using the biogeochemical models DNDC/Forest-DNDC[J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43: 1392-1402.
- [15] 王效科, 庄亚辉, 李长生. 中国农田土壤 N<sub>2</sub>O 排放量分布格局研究[J]. *生态学报*, 2001, 21(8): 1225-1232.
- [16] Smith W N, Grant B B, Desjardins R L, *et al.* A tool to link agricultural activity data with the DNDC model to estimate GHG emission factors in Canada[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 136: 301-309.
- [17] Abdalla M, Wattenbach M, Smith P, *et al.* Application of the DNDC model to predict emissions of N<sub>2</sub>O from Irish agriculture[J]. *Geoderma*, 2009, 151: 327-337.
- [18] 金春义, 王睿, 廖婷婷, 等. 内蒙古典型草原土壤 N<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、NO 和 CO<sub>2</sub> 排放的研究——土柱培养试验[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(12): 142-147.