

稻田 CH_4 排放的农业气象数值模拟研究*

刘建栋 周秀骥 王建林 于强

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

在美国 DNDC 模式基础上,综合气象学、农业气象学及生态学最新研究进展,将作物生长、碳氮循环及 CH_4 排放有机耦合,建立了一个 CH_4 排放数值模式,模式通过了相关显著性检验。利用模式重点分析了气象因子对稻田 CH_4 排放的影响状况,数值分析表明,当仅考虑气象条件影响时:(1)不同地区不同生长季节的 CH_4 排放量均与相应生长期的平均气温成正相关关系;(2)功率谱分析表明稻田 CH_4 排放存在 4~5 年周期变化,与相应生长季节的平均温度年际变化规律相一致;(3) CH_4 排放量年际之间变化趋势与生长季平均气温变化趋势基本一致。利用数值计算结果,给出了杭州及昌德地区早稻、晚稻 CH_4 简易统计模式,为应用模型监测并调控农田生态系统中的 CH_4 排放奠定了基础。

关键词: 稻田 CH_4 排放 农业气象 数值模拟

引 言

农田生态系统 C、N 循环过程中,所排放的 CH_4 温室效应在全球气候变化中仅次于 CO_2 ,并且近年 CH_4 每年以大约 0.9% 的速度增长,从而引起了各国科学界的高度重视^[1]。 CH_4 排放主要由农业生产所引起,稻田是农业生产中最主要的 CH_4 排放源,研究稻田生态系统中 CH_4 的排放规律,并在此基础上提出相应的调控方案,以实现农业高效可持续发展,成为重要的研究课题。

20 世纪 90 年代以来,有关研究人员对中国不同地区稻田 CH_4 排放进行了一些测定工作,并取得了很大进展,但是在测定中不同地区不同年份的土壤、施肥等条件存在一定差异。国内外大量研究结果表明:土壤、施肥、气象条件等均可对 CH_4 排放产生显著影响^[2~6],因此利用目前不同土壤、施肥等条件下测定的非常有限的 CH_4 排放的零星观测资料,还无法准确分析出气象因子对 CH_4 排放的影响,以及未来气候变化后 CH_4 排放的演变趋势。所以,建立 CH_4 排放的数值机理模式,较为准确地模拟目前稻田 CH_4 排放规律,并在此基础上输入不同的气象背景,利用数值分析方法揭示气象因子对 CH_4 排放的影响状况显得十分必要。

不同 CH_4 排放模式之间存在较大差异,一些模式实际上仅是气象统计模式,缺乏明确机理过程^[7],另一些模式则过分强调微生物对 CH_4 排放的影响^[8]而缺乏对整个生态系

* 本文由国家自然科学基金重大项目(49899270)、中国科学院“百人计划”项目及中国气象科学研究院博士后基金资助。

2000-04-09 收到,2000-10-08 收到修改稿。

统中 C、N 循环综合考虑。相比之下, DNDC 模式较为全面地考虑了农田生态系统中的 C、N 循环过程^[9], 并将 C、N 生物地球化学过程连结为一个整体, 较大程度地推进了 CH₄ 排放数值研究进展, 但模式中没有考虑作物生长过程对 CH₄ 排放的影响, 因而机理上还存在一定的欠缺。本文在美国 DNDC 模式基础上, 发展了一个基于作物生长和农田碳氮循环过程的 CH₄ 排放模式, 利用模式模拟了由气象因子引起的杭州和昌德稻田 CH₄ 排放变化状况, 以期揭示气象因子对稻田 CH₄ 排放的影响, 以及两者的年际变化规律, 为进一步监测、调控 CH₄ 排放, 实现环境保护下的高产优质高效农业提供科学对策。

1 模型的建立

模式综合考虑了农田生态系统中各种要素的相互作用过程, 将气象要素、作物生长、碳氮循环、地下水运动以及 CH₄ 排放等诸多子模式进行了有机耦合。

1.1 气象要素模式

(1) 光合有效辐射日变化模拟

太阳时角 ω 时刻的光合有效辐射 $Par(\omega)$ 可表示为

$$Par(\omega) = \frac{0.5 \times Q \times \sin h \times (1 + 0.4 \sin h)}{3600 \times D_S} \quad (1)$$

$$D_S = D_L (\sin \varphi \sin \delta + 0.4 \times \sin^2 \varphi \sin^2 \delta + 0.2 \times \cos^2 \varphi \cos^2 \delta) + 12 \times \cos \varphi \cos \delta (2 + 1.2 \frac{\sin \varphi \sin \delta}{\pi} \times \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \varphi \sin^2 \delta}{\cos^2 \varphi \cos^2 \delta}}) \quad (2)$$

式中 Q 为日总辐射量; h 为太阳高度角; φ 为地理纬度; δ 为赤纬; D_L 为日长。根据大气传输方程, 散射辐射为

$$D_{Par}(\omega) = Par(\omega) \times D_f \quad (3)$$

D_f 为散射辐射所占比例

$$D_f = \begin{cases} 1 & a_t \leq 0.22 \\ 1 - 6.4(1 + a_t - 0.22)^2 & 0.22 < a_t \leq 0.35 \\ 1.47 - 1.66 a_t & a_t > 0.35 \end{cases} \quad (4)$$

式中

$$a_t = \frac{Par(\omega)}{0.5 \times S_c \times \sin h} \quad (5)$$

S_c 为太阳常数, 其值随日序 d_r 而变化, 可表示为

$$S_c = 1370 \times [1 + 0.033 \cos(2\pi \frac{d_r}{365})] \quad (6)$$

时角为 ω 的直接光合有效辐射为

$$S_{Par} = Par(\omega) - D_{Par}(\omega) \quad (7)$$

(2) 冠层温度日变化推算

冠层温度日变化可表示为^[10]

$$T_{c(i)} = \begin{cases} T_{c\min} + (T_{c\max} - T_{c\min}) \sin\left(\frac{i - 11.82 + D_L/2}{D_L + 3.3} \pi\right) & \text{(白天)} \\ T_{c\min} + (T_d - T_{c\min}) \times \exp\left[\frac{2.1(i - 11.82 + D_L/2)}{24 - D_L}\right] & \text{(夜间)} \end{cases} \quad (8)$$

其中 $T_{c(i)}$ 为冠层某时 i 的平均温度, D_L 为日长(h), T_d 为日落时的温度。

(3) 土壤温度

土壤剖面的平均温度可表示为

$$T_s(z) = T_{am} + \exp(-z/D_D) \times [D_T + \frac{T_{aa}}{2}] \times \cos\left(\frac{d_r - H}{365} \times 2\pi - \frac{z}{D_D}\right) \quad (9)$$

其中 $T_s(z)$ 表示土层深度为 z (cm) 的日平均温度, T_{am} 和 T_{aa} 分别为年平均温度和年温度振幅, H 是太阳高度角最高时的日序, D_D 为阻尼深度, D_T 为调节因子。

$$D_T = \sum_{k=1}^5 T(k)/5 - [T_{am} + \frac{T_{aa}}{2} \times \cos\left(\frac{d_r - H}{365} \times 2\pi\right)] \quad (10)$$

式中 $T(k)$ 为第 k 天的土壤表面温度, 根据气温与太阳辐射计算

$$T(k) = (1 - \alpha) \times [(T_{\max} + T_{\min})/2 + (T_{\max} - T_{\min}) \times \sqrt{0.03 \times D_R}] + \alpha \times T(k+1) \quad (11)$$

式中 α 为冠层反射率, D_R 是太阳辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), 阻尼深度根据土壤容重和土壤湿度计算。

1.2 作物模式

作物模式由发育阶段模式、光合作用与呼吸作用模式、同化物分配模式、氮循环模式以及地下水运动模式耦合而成, 发育阶段模式参照了 CERES 相关内容, 但加入了水稻移栽过程。在冠层累积叶面积深度为 L 处, 水稻吸收的散射辐射 D_f 为

$$D_f = (1 - R_h) \times P_f \times K_1 \times e^{-G \times L} \quad (12)$$

冠层上方直接辐射受冠层影响, 分解为散射辐射 D_t , 其中一部分仍保持为直接辐射 D_d ^①。

$$D_t = (1 - R_s) \times P_d \times K_2 \times e^{-K_2 \times L} \quad (13)$$

$$D_d = (1 - \sigma) \times P_d \times K_b \times e^{-K_b \times L} \quad (14)$$

式中 G 为输入品种参数; σ 为散射系数; R_h 和 R_s 分别为叶面呈水平分布和球形分布时的反射率; K_1 、 K_2 和 K_b 分别为 3 部分辐射在群体中的消光系数, 分别按下式计算。

$$R_h = \frac{1 - \sqrt{1 - \sigma}}{1 + \sqrt{1 - \sigma}} \quad (15)$$

$$R_s = \frac{2 R_h}{1 + 2 \sin h} \quad (16)$$

① 该部分是指散射后的直接辐射, 并非上方直接辐射的衰减。

$$K_2 = \frac{0.5 \times G}{0.8 \sinh \sqrt{1 - \sigma}} \quad (17)$$

$$K_1 = K_2 \sqrt{1 - \sigma} \quad (18)$$

所以遮荫叶吸收的太阳光合有效辐射总量 D_p 为

$$D_p = D_f + D_t - D_d \quad (19)$$

遮荫叶光合速率 P_r 和照光叶光合速率 P_s 分别为

$$P_r = P_{\max} \left(1 - e^{-\frac{\alpha \times D_p}{P_{\max}}} \right) \quad (20)$$

$$P_s = \sum_{i=1}^3 P_{\max} \left[1 - e^{-\frac{\alpha(D_p + S_p \times W_i)}{P_{\max}}} \right] \quad (21)$$

式中 α 为初始光合效率; P_{\max} 为饱和光合速率; W_i 为权重系数; S_p 是光线与叶面垂直时叶片吸收直接辐射中光合有效辐射的通量; t 时刻累积叶面积指数为 L 处水稻光合速率 $P(L, t)$ 是照光叶和遮荫叶光合作用的总和

$$P(L, t) = F_s \times P_r + (1 - F_s) \times P_s \quad (22)$$

由此得到冠层日总光合量

$$P_0 = \min(W, N) \times \int_0^{D_L} \int_0^L P(L, t) dL dt \quad (23)$$

其中 P_0 为冠层的日总光合量 ($\text{kg}(\text{CO}_2) \cdot \text{h m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), W 和 N 分别为水分和氮素对光合作用的影响, 采用 Goudriann 的三点积分方法^[11]

$$P_0 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 P(L_i, t_j) \times L \times D_L \times W_j^2 \quad (24)$$

其中 W_j 为权重系数, 当 $j=1, 2, 3$ 时分别等于 $1/3, .6, 1.6/2.3$ 和 $1/3, .6$ 。

光合作用受水分胁迫以及氮含量等共同影响, 水分胁迫则由根吸水和潜在蒸腾等引起, 这些过程在模型中与地下水运动过程相联系。

1.3 CH_4 排放模式

CH_4 净产生量为总生产量减去氧化量与排放量

$$\Delta\text{CH}_4 = P_{\text{CH}_4} - O_{\text{CH}_4} - E_{\text{CH}_4} \quad (25)$$

式中 ΔCH_4 为某层 CH_4 的日变化, P_{CH_4} 、 O_{CH_4} 和 E_{CH_4} 分别为 CH_4 的产生量、氧化量和排放量, 其中

$$P_{\text{CH}_4} = C_p \times F_1(T) \times F_2(E_h) \quad (26)$$

式中

$$C_p = \text{CO}_2[L] + R_m \times F_r \times (1 - A_r) \quad (27)$$

$$F_1(T) = \frac{2 \times \exp[0.33 \times (T - 23)]}{1 + \exp[0.33 \times (T - 23)]} \quad (28)$$

$$F_2(E_h) = \begin{cases} 0 & (E_h > -100) \\ -1 - 0.02 \times E_h(L) & (-150 \leq E_h \leq -100) \\ 1 & (E_h < -150) \end{cases} \quad (29)$$

式中 $CO_2(L)$ 为土壤中的可溶性碳, R_m 是根呼吸排放的 CO_2 , F_r 是该层中根系占整个根系的比例, A_r 是植物孔隙系数, T 和 E_h 分别是温度和土壤的氧化还原势, 影响 E_h 的因子包括氧的供应、消耗、土壤呼吸和氧化物含量等, 可表示为^[12]

$$\Delta E(L) = \begin{cases} 100 \times [0.5 \times A_r \times \frac{F_r}{L_D(L)} - 5 \times \frac{T_c(L)}{L_D(L)} - 0.4 \times F(E_h)] & (\text{淹水}) \\ 100 \times \{0.5 \times A_r \times \frac{F_r}{L_D(L)} + 0.5 + 2 \times [1 - w_f(L)]\} & (\text{不淹水}) \end{cases} \quad (30)$$

其中 $\Delta E(L)$ 是土层 L 中土壤氧化还原势的日变化 (mV/d), $L_D(L)$ 是土层厚度 (cm), $T_c(L)$ 是有机质分解速率 ($kg(C) \cdot h \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$), $w_f(L)$ 为水分饱和度, $F(E_h)$ 表示总体氧化作用的影响,

$$F(E_h) = \begin{cases} 1 & (E_h > 0) \\ \frac{1}{1 - 0.05 E_h} & (E_h \leq 0) \end{cases} \quad (31)$$

在淹水条件下, 根据 E_h 值可以计算出水分和氧气对土壤有机质分解速率的影响。CH₄ 的氧化速率与 E_h 和温度有关

$$O_{CH_4} = CH_4 \times F_1(T) \times F_3(E_h) \quad (32)$$

式中

$$F_3(E_h) = \begin{cases} \exp(8.6711 \times E_h/1000) & (E_h > -150) \\ 0 & (E_h \leq -150) \end{cases} \quad (33)$$

土壤中的 CH₄ 可以通过植物通气组织和冒泡方式排入大气

$$E_{CH_4}(L) = CH_{4A_r}(L) + CH_{4E_b}(L) \quad (34)$$

CH_{4A_r}(L) 和 CH_{4E_b}(L) 分别是 CH₄ 从 L 层通过植物通气组织和冒泡方式向大气的排放量, 可分别表示为

$$CH_{4A_r}(L) = 2 \times CH_4(L) \times A_r \times F_r \quad (35)$$

$$CH_{4E_b}(L) = \frac{CH_4(L) \times U_L(L) \times F_2(T)}{1 + 0.1 \times [C_D(L) + W_D]} \times F[CH_4(L)] \quad (36)$$

式中 $F_2(T)$ 和 $F(CH_4)$ 分别是温度和 CH₄ 浓度对冒泡排放的影响, $C_D(L)$ 为土层距地面的深度, W_D 为淹水层深度 (cm), $U_L(L)$ 为土壤孔隙度。

模式综合了目前作物生长、碳氮循环等地球化学诸多领域的研究成果, 并各自加以相应改进, 有机耦合为一个农田生态系统碳氮生物地球化学模式, 对 CH₄ 排放等过程进行机理模拟, 以上仅是对整综合模式原理的一个基本介绍。

2 模型的验证

运用模式模拟了杭州和昌德地区稻田 CH_4 排放过程,并与王明星等的观测资料进行了对比^[4]。236 个日排放量的实测值与模拟值之间相关系数 $R = 0.79349$,通过了 0.001 的相关显著性检验(见图 1)。本文研究目的是为了揭示不同气象因子对全生长期稻田甲烷排放量的影响,所以全生长期甲烷排放总量模拟的准确度比逐日值更加重要。对多个生长季稻田 CH_4 排放过程的模拟表明,生长季 CH_4 排放模拟值与实测值的平均误差为 15% 左右,考虑到目前中国 C、N 循环数值模式研究刚刚起步,这种精度是应当可以接受的,过高的准确度目前还难以达到。

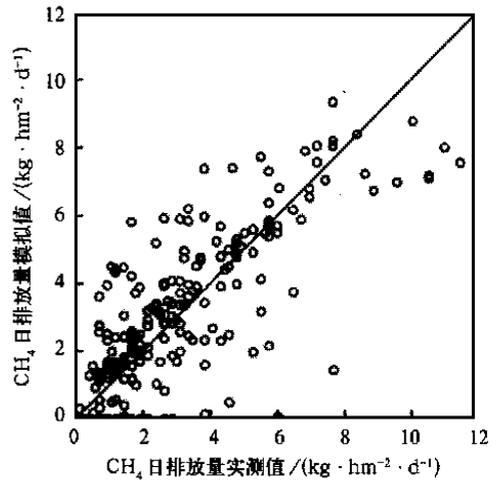


图 1 CH_4 日排放量模拟值与实测值的对比

3 气象因子对 CH_4 排放影响的数值分析

本文研究的根本目的,在于揭示气象要素对 CH_4 排放的影响,因此在模型运行时,分别以目前一般耕作措施下进行的 1988 年杭州水稻及 1992 年昌德水稻生长为背景,并保持此模拟背景不变,然后输入不同的气象条件,才能揭示出单纯由气象条件引起的 CH_4 排放变化情况。研究中可以采用随机天气模式生成某一地区的不同气象条件,然后输入模型,但是应当指出目前随机模式仍具有一定的不确定性,而相比之下同一地区近几十年来的逐年气象资料,则是该地区完全确定的不同气象条件。因此,本文研究中模型运行时保持品种、施肥等措施不变,然后分别输入杭州和昌德 1951~1997 年历年气象资料模拟逐年 CH_4 排放量,这样恰好可以揭示出单纯由气象条件变化对 CH_4 排放影响状况,所以,本文中不同年份对应的模拟值实际上指不同气象条件下的模拟值,换言之,揭示仅由气象条件发生变化,引起的 CH_4 排放差异,以及气象条件与 CH_4 排放的相关及周期变化规律。

3.1 CH_4 排放量与相应生长期气象因子的相关分析

受气象条件的影响,稻田 CH_4 排放年际之间存在较大变幅(图 2),对杭州及昌德历年早稻、晚稻 CH_4 排放与相对应生长期气象因子进行了相关分析(表 1),结果表明:不同地区 CH_4 排放与相应气象因子间相关程度并不相同,但是,不同地区无论早稻还是晚稻,在诸多气象因子中 CH_4 排放量与生长期平均气温相关程度最大,并且均为正相关关系;生长期总辐射与相应的 CH_4 排放量也呈正相关关系,但小于生长期平均气温与相应 CH_4 排放量的相关系数;生长期降水与生长期 CH_4 排放量均呈负相关。相关分析还表明,晚稻 CH_4 排放量与生长期平均气温的相关程度要大于早稻。

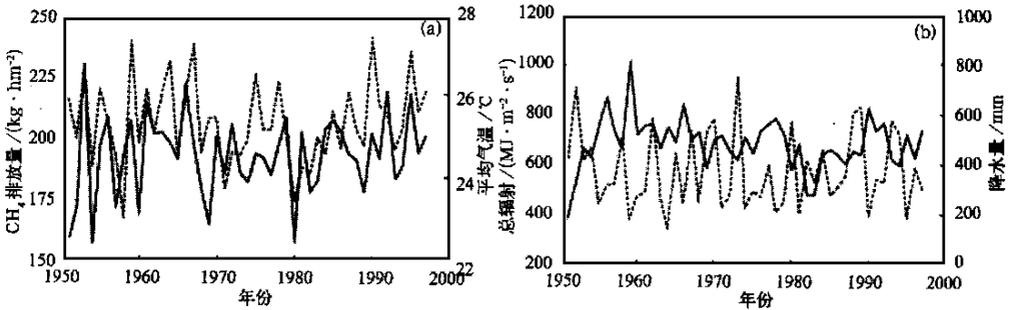


图 2 昌德晚稻 CH₄ 历年排放与气象因子间的关系

(a) 生长期 CH₄ 排放量及平均气温(—:CH₄ 排放量; ...:平均气温)

(b) 生长期总辐射及降水量(—:总辐射; ...:降水量)

表 1 稻田 CH₄ 排放量与相应生长期气象因子的相关系数

生长期气象因子	生长期 CH ₄ 排放量			
	杭州早稻	杭州晚稻	昌德早稻	昌德晚稻
生长期总辐射量	+0.17	+0.44	+0.30	+0.49
生长期平均气温	+0.38	+0.56	+0.42	+0.54
生长期总降水量	-0.32	-0.50	-0.20	-0.39

3.2 近 50 年 CH₄ 排放的周期变化及趋势分析

对 CH₄ 排放量及相应气象因子的年际变化进行了功率谱分析(表 2),结果表明:杭州早稻 CH₄ 排放存在 4~5 年的周期变化,相应生长期的平均气温也明显存在大致相同的规律,而总辐射量和降水量变化周期与 CH₄ 排放变化周期之间不存在明显的相似性。

表 2 杭州地区早稻 CH₄ 排放与相应气象因子的功率谱分析

L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S	47.0	23.5	15.6	11.75	9.40	7.83	6.71	5.87	5.22	4.70	4.27
G _{CH₄}	2.25	2.52	1.16	2.77	2.69	2.67	1.06	0.72	3.22	3.47	0.25
G _Q	1.86	1.38	2.69	1.46	2.21	2.23	0.99	1.51	2.43	1.49	0.27
G _W	2.32	2.68	1.01	2.95	2.46	2.5	2.01	2.35	3.70	1.23	1.49
G _R	2.15	2.39	1.41	2.70	2.04	1.89	2.23	2.32	2.21	1.29	2.81

注:表中 L 为波数;S 为周期;G_{CH₄}、G_Q、G_W、G_R 依次为 CH₄ 排放量、总辐射、平均温度及降水量功率谱值。

上面的相关分析及周期分析均表明:在气象要素中,生长期平均气温与 CH₄ 排放量存在明显的正相关关系,并具有较为一致的周期变化。将杭州及昌德地区历年稻田 CH₄ 排放量与相应生长期平均气温进行滑动平均,以揭示近 50 年来 CH₄ 排放量和相应生长期平均气温的演变趋势。图 3 表明:尽管个别年份 CH₄ 排放与平均温度成反相变化,但总体来看,生长期稻田 CH₄ 排放量与相应平均温度变化趋势还是相当一致的,特别是晚稻,两者之间的趋势具有非常明显的一致性。这在某种意义上意味着 CH₄ 排放量增加导致温室效应的同时,温室效应反过来使稻田 CH₄ 排放量进一步加大,是一种正反馈作用,并且对这种正反馈作用而言,晚稻大于早稻。

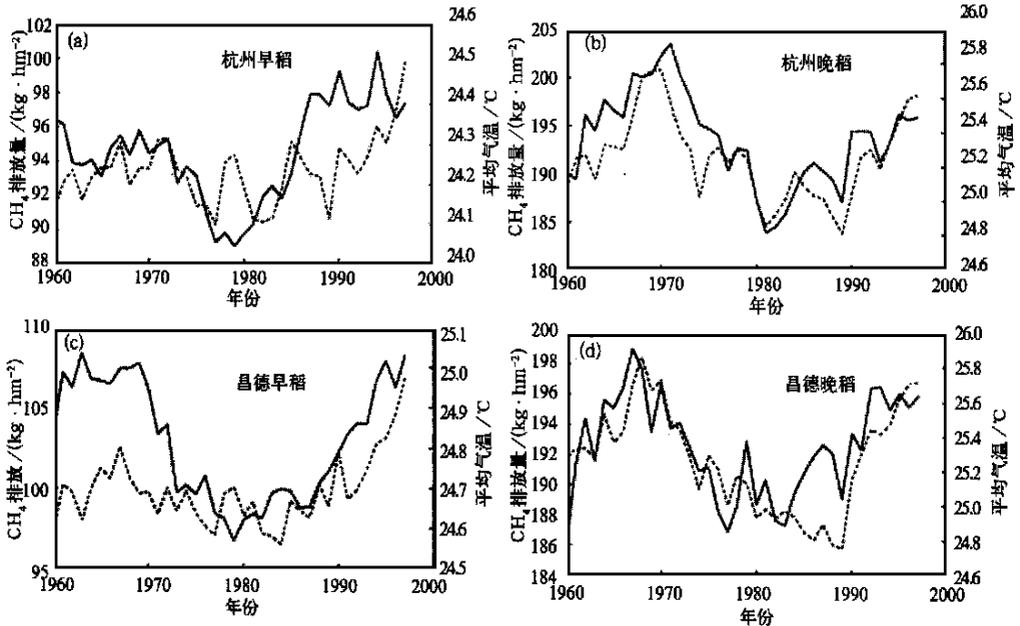


图3 CH₄排放与温度变化趋势比较 (—:CH₄排放量;...:温度)

3.3 CH₄排放的简易估算模式

利用数值模式计算结果,将水稻生长期CH₄排放量与相应生长期的气象因子进行统计分析,建立起杭州及昌德地区稻田生长期CH₄排放的简易估算模式。

$$\text{杭州早稻} \quad C = -75.99 + 5.37 \times 10^{-3} Q + 6.93 T - 1.16 \times 10^{-3} R$$

$$\text{杭州晚稻} \quad C = -57.86 + 5.39 \times 10^{-2} Q + 8.89 T - 2.54 \times 10^{-2} R$$

$$\text{昌德早稻} \quad C = 48.59 + 3.39 \times 10^{-2} Q + 1.29 T - 2.66 \times 10^{-3} R$$

$$\text{昌德晚稻} \quad C = 28.19 + 5.85 \times 10^{-2} Q + 5.05 T - 1.04 \times 10^{-2} R$$

式中 C 为生长期稻田CH₄排放量(kg/hm²); Q 为生长期总辐射(MJ/m²); T 为生长期平均气温; R 为生长期总降水量(mm)。应当指出,简易模式是建立在数值模式计算结果基础之上的,所以精度必然有所下降,并且简易模式没有明确的机理过程,也不具备数值模式的普适性,仅能对特定地区不同年份特定施肥量的CH₄排放量进行估算。但是,简易模式应用方便,可以非常简便地为特定地区提供CH₄排放的大致估算值,从而为一般业务应用提供了方便。

4 结论与讨论

(1) 在美国DNDC基础上,加入作物生长及C、N循环过程,建立了稻田CH₄排放数值模式。模式尽可能地考虑进了对CH₄排放产生重要影响的诸多因子,具有较强的机理。应当指出任何一个模型,无论其考虑的因子如何全面,终究是真实系统的一个简化,包容一切因子的模式是根本无法实现的。任何一种模型都在不断的完善和改进,特别是对中国目前研究现状而言,C、N循环模式研究刚刚起步,远远落后于作物生长数值模式

研究水平。因此,目前对模式准确度过高的要求是不现实的。本文所建模型对 236 个 CH₄ 日排放量的模拟值与实测值比较,通过了 0.01 的相关显著性检验,对全生长季的模拟误差在 15% 左右,表明模式具有较高的准确度。

(2) 对气象因子与 CH₄ 排放量的关系进行数值分析表明:生长期平均气温与 CH₄ 排放量存在明显的正相关关系,并且晚稻 CH₄ 排放量与生长期平均气温的相关程度要大于早稻;功率谱分析表明稻田 CH₄ 排放量与生长期平均气温具有较为一致的 4~5 年周期变化。从总体趋势来看,稻田 CH₄ 排放与相应平均温度变化趋势相当一致,说明 CH₄ 排放量增加引起温室效应的同时,温室效应反过来使稻田 CH₄ 排放量进一步加大,是一个正反馈过程。文中利用数值模式计算结果建立了杭州及昌德地区 CH₄ 排放的简易模式,可以较为方便地应用于特定地区 CH₄ 排放的大致估算。

(3) 本文重点研究了其他条件的情况下,单纯由气象因子引起的 CH₄ 排放变化的过程。在此研究基础上,逐步加入其他因子,探讨其他因子的影响,并进一步研究众多因子的综合影响,将有助于科学界对 CH₄ 排放基本规律的准确认识,并采取相应的农业措施,对 CH₄ 排放进行调控,以实现环境保护为前提的高产、优质、高效可持续农业。

参 考 文 献

- 1 Houghton J T. Climate Change. Cambridge University Press, 1994, 112~116.
- 2 More T R, Roulet N T. Methane flux: Water table relations in northern wetlands. *Geophysical Research Letter*, 1993, 20(7):587~590.
- 3 王木林,李兴生,程红兵.大气本底监测站的 CH₄, CO₂ 和 CO 浓度的初步分析.周秀骥主编,中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响.北京:气象出版社,1996.38~47.
- 4 熊效振,沈王兴,王明星,等.太湖流域单季稻的甲烷排放研究.大气科学,1999,23(1):9~18.
- 5 Gratzen P J. Methane sink and sources. *Nature*, 1991, 350:380~381.
- 6 Conrad R, Routhfass F. Methane oxidation in soil surface layer of a flooded rice field and the effect of ammonium. *Biol. Fertil. Soils*, 1991, 12:28~32.
- 7 Frolking S, Crill P. Climate controls on temporal variability of methane flux from a poor fen in southeastern New Hampshire: measurement and modeling. *Global Biogeochemical Cycles*, 1994, 8:385~397.
- 8 Grant R F. Simulation of ecological controls on nitrification. *Soil Biochem*, 1994, 26:305~315.
- 9 Li C S, Frolking S, Crocker G J. Simulation trends in soil organic carbon in long term experiment using the DNDC model. *Geoderma*, 1997, 81:45~60.
- 10 Willam J P, Logan J A. A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agricultural Meteorology*, 1981, 23:205~216.
- 11 Goudriaan J. A simple and fast numerical method for commutation of daily totals of crop photosynthesis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1986, 38:249~254.
- 12 Sigren L K, Byrd G T, Fisher F M, et al. Comparison of soil acetate concentrations and methane production, transport, and emission in two rice cultivars. *Global Biogeochemical Cycles*, 1997, 11:1~14.

NUMERICAL SIMULATION OF CH₄ EMISSION FROM RICE PADDY FIELDS DURING RECENT 50 YEARS

Liu Jiandong Zhou Xiuji Wang Jianlin Yu Qiang
(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

ABSTRACT

Based on the DNDC model of American, a numerical model for simulating CH₄ emission from rice paddy fields is established. Validation of the model with the observed data shows that the mean relative error is about 15%. The simulation analysis results show that the CH₄ emission is interrelated well with average temperature during rice growth periods. Analysis of CH₄ emission and meteorological factors by using power spectrum indicates that the change of CH₄ emissions has 4 - 5 year cycles, which is the same as that of temperature. Simple statistical models are given based on the results of the numerical model, which can be applied conveniently to estimate and monitor CH₄ emissions in the rice paddy fields.

Key words: CH₄ emissions Rice paddy fields Agrometeorological numerical model