

我国沼泽甲烷排放量估算

丁维新 蔡祖聪

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 本文讨论了我国沼泽的类型、数量和分布,并对沼泽甲烷排放量进行了估算。我国现有沼泽面积 93973km², 81.44% 分布于青藏高原和东北地区,其中泥炭和苔藓泥炭沼泽 42349km², 腐泥沼泽 24977km², 盐化沼泽 24086km², 森林沼泽 2561km²。腐泥沼泽主要分布于东北地区,泥炭沼泽主要分布于青藏高原。我国沼泽年排放甲烷初步估算为 1.65~1.77Tg, 平均 1.71Tg, 79.60% 来自腐泥沼泽,占沼泽面积 45.06% 的泥炭沼泽仅排放甲烷 0.34~0.36Tg, 只占 20.61%。青藏高原和西北地区沼泽甲烷排放量为 0.28~0.30Tg, 占甲烷排放总量的 17.08%, 东北和内蒙古地区则高达 1.35~1.44Tg, 占 81.67%。

关键词 沼泽;沼泽类型;沼泽分布;甲烷排放量

现今地球表面的平均温度为 15℃,是由大气的组成气体和到达地球表面的太阳辐射强度所决定。就分子水平吸收长波辐射的效能而言,CH₄和 N₂O 分别是 CO₂ 的 32 和 150 倍,但就对大气层强迫的综合效应而言,CO₂、CH₄和 N₂O 的贡献率分别为 50%、19%和 4%^[1]。据 IPCC^[2]估计大气中 CO₂、CH₄和 N₂O 浓度已由全球工业革命前的 280μL/L、0.7μL/L 和 0.285μL/L 增加到现在的 360μL/L、1.76μL/L 和 0.312μL/L。甲烷是大气层温室气体中年增长速率最快的一种^[3],尤其引人关注。每年自然和人为排放进入大气的甲烷量,不同研究者获得的结果不尽一致,IPCC^[2]估计为 520Tg,最近 Khalil^[3]估计为 515Tg,其中人为来源占 71.88%,自然来源占 28.12%,而湿地排放占自然排放的 75.96%,处于绝对主导地位,在全球甲烷排放总量中也占到 20% 以上的份额,可见其地位的重要性。

1 我国沼泽数量和分布

1.1 我国沼泽数量和区域分布

我国沼泽的数量,郎惠卿等^[8]估计为 100000km²,王宪礼等^[10]引述数据为 110000km²。但是随着我国人口增长,开垦利用规模不断扩大,沼泽面积正在逐渐缩小,依据相关文献^[9,11]综合统计获得的我国沼泽面积为 93972km²(表 1),在全球沼泽总面积 4754000km²^[4]中占 1.98%。我国沼泽主要分布于东北和青藏高原,青藏高原沼泽面积 48073km²,占全国沼泽总量的一半以上,典型分布区域是若尔盖高原(4600km²)和长江河源地区(8000km²)^[9],目前长江、黄河和澜沧江等河源沼泽是我国最大的天然沼泽区。东北地区是我国第二大沼泽分布区,面积为 28460km²,占全国沼泽面积的 30.29%,由 3 部分构成:一是以三江平原为主的腐泥沼泽,1949 年的沼泽面积为 534500 km²,但是经过 4 次大规模的开荒,“北大荒”沼泽面积迅速缩小,由 50 年代初的 101000km²降到晚近的 10406km²^[10],耕地面积则由 1893 年的 290 km²增至 1949 年的 7860 km²再增至 1994 年的 45724 km²;二是由山地落叶松-灌丛-泥炭藓生长的泥炭沼泽,面积为 10100km²,其中小兴安岭 4119km²,长白山

2100km², 大兴安岭 3881km²; 三是主要分布于松嫩平原的盐沼, 面积为 5780km²[11]。此外新疆也有较多的沼泽分布, 而南方只有零星沼泽分布, 面积总计不足 10%。

表 1 我国沼泽的数量和区域分布 (km²)

地区	青藏高原			东北地区 (含内蒙古)				西北地区 (不含青海)			
	青海	西藏	四川	黑龙江	吉林	内蒙古	辽宁	新疆	甘肃	陕西	宁夏
数量	25544	18662	3867	14943	6301	6123	1093	5855	848	385	10
合计	48073			28460				7098			
比例	51.15%			30.29%				7.55%			

地区	华东地区					中南地区						华北		总计
	江苏	江西	福建	山东	其它	广东	广西	云南	湖南	湖北	其它	河北	山西	
数量	1648	610	1223	1831	478	558	618	298	860	480	239	1489	10	93973
合计	5790					3053						1499		93973
比例	6.16%					3.25%						1.60%		100%

1.2 我国沼泽类型及其数量

鉴于目前全球尚无一种令人满意并被普遍接受的沼泽分类方案, 我们依据 Aselmann 和 Crutzen^[4]提出的分类方法, 把我国现有沼泽归为 4 类: 苔藓泥炭沼泽 (Bog)、泥炭沼泽 (Fen)、森林沼泽 (Swamp) 和腐泥沼泽 (Marsh), 并分别进行统计。由表 2 可知, 我国

表 2 不同类型沼泽的面积和分布情况 (km²) *

沼泽类型	分布区域	面积	沼泽类型	分布区域	面积	沼泽类型	分布区域	面积
泥炭沼泽	东北地区	10100	盐化沼泽	华东	1717	腐泥沼泽	青海	4996
和苔藓泥	长白山	2100		青海	7715		新疆	1188
炭沼泽	大兴安岭	3881		西藏	3969		西藏	1584
	小兴安岭	4119		东北	5780		东北	10406
	四川	3867		华北	1906		内蒙古	1863
	青海	12833		新疆	2999		其它	4940
	新疆	1668	合计		24086	合计		24977
	西藏	13109	比例		25.63%	比例		26.58%
	其它	772	森林沼泽	广东、海南、 福建、广西	2561	总计		93973
合计		42349	比例		2.73%			
比例		45.06%						

* 依据文献[9]、[11]和[12]等资料统计而得。

有泥炭和苔藓泥炭沼泽 42349km², 占沼泽总面积的 45.06%, 以青藏高原分布最多, 计 29809km², 占泥炭沼泽的 70.39%; 东北的大小兴安岭次之, 为 10100km²; 新疆天山、阿尔泰山区和山麓平原再次之。腐泥沼泽数量仅次于泥炭沼泽, 有 24977km², 占 26.58%, 分布区域却比较分散, 以东北三江平原最为集中并且面积较大, 达到 10406km², 占腐泥沼泽总量的 41.66%, 青藏高原有面积 6580km², 占 26.34%, 但都为草甸沼泽, 余者分散于全国各地, 以长江等大河的中下游分布较多。盐化沼泽在我国的分布面积也很大, 达到 24086km², 数量与腐泥沼泽相近, 但呈现明显的区域分布特点, 可以分为 2 类: 内陆盐沼和沿海滩涂盐沼。西北内陆盐沼分布最多, 仅青海和新疆两省区就有 10714km², 占盐沼总

量的 44.48%，另外西藏有 3969km²，三者占我国盐沼总量的 60.96%。东北松嫩平原也有较大面积的盐沼分布，数量为 5780km²，占盐沼总量的 24%。我国森林沼泽主要分布于华南沿海地区并以红树林最为典型，数量仅 2561km²，但在当地生态系统特别是海岸保护中起着重要的作用。

综上所述，我国沼泽分布具有鲜明的特点，泥炭和苔藓泥炭沼泽主要分布于青藏高原和东北大小兴安岭地区，尤以前者为多；腐泥沼泽主要分布于东北三江平原和南方大河流域，青藏高原也有分布但典型性较差；盐沼主要分布于西北和西藏等内陆地区以及东北和华东的沿海地区；森林沼泽主要分布于华南沿海地区。

2 我国沼泽甲烷排放的数量

2.1 沼泽甲烷排放的特点

对我国三江平原腐泥沼泽研究发现，甲烷排放存在明显的季节性变化规律，冬季很少，8月份达到最大，为 686.4mg/(m²·d)^[20,21]。辽河三角洲芦苇腐泥沼泽的甲烷排放则出现多个排放峰值，但都落在 7—8 月，总体而言夏季排放量明显高于其它季节^[5,6]。与此相反，对青藏高原泥炭沼泽研究发现，5—6 月份甲烷排放最多^[7]，而处于热带的海南红树林，甲烷排放峰值出现在春季，夏季次之，冬季最低^[22, 23]，明显不同于东北地区甲烷排放的季节性变化规律，原因可能与当地气候条件和沼泽淹水情况有关。Saarnio 等^[16-18]对芬兰养分贫乏的沼泽研究结果与我国东北地区的观察结果相一致，8 月份甲烷释放量最高，达到 115.2—230.4mg/(m²·d)，而冰雪覆盖的冬季则 <23.04mg/(m²·d)，仅占全年排放总量的 15%—23%。对青藏高原泥炭沼泽研究还发现，甲烷排放存在明显的日变化，排放率变化在 -19.44—347.04mg/(m²·d)^[22, 23]。在三江平原也发现甲烷排放具有显著的日变化规律，然而排放最高峰却出现在一天中温度最低的凌晨 3 点，推测可能与白天温度过高，植被关闭气孔限制甲烷排放有关。

表 3 中国沼泽甲烷排放通量*

测定地点	沼泽类型	土壤类型	植被种类	测定时间	甲烷排放通量(mg/(m ² ·d))		文献
					范围	平均	
辽河三角洲	腐泥沼泽	潜育土	芦苇	192 天	-24.0—65.5	12.5	[5,6]
三江平原	腐泥沼泽	潜育土	毛果苔草	5—9 月	0—979	496	[20,21]
三江平原	腐泥沼泽	潜育土	乌拉苔草	5—9 月		316	[20,21]
三江平原	腐泥沼泽	潜育土	芦苇-小叶章	5—9 月		943	[20,21]
三江平原	腐泥沼泽	潜育土	甜茅苔草	5—9 月		694	[20,21]
三江平原	腐泥沼泽	潜育土	其它植被	5—9 月		451	[20,21]
三江平原	腐泥沼泽	潜育土	平均	5—9 月		580	[20,21]
青海花石峡	泥炭沼泽	泥炭土	海韭芽, 苔草	4—9 月	-19.4—63.3	6.54	[7]
青海花石峡	泥炭沼泽	沟谷泥炭土	嵩草、苔草	4—9 月	-4.39—347	72.0	[7]
青海花石峡	腐泥沼泽	草甸土	嵩草、苔草	4—9 月	-6.49—75.6	9.85	[7]
海南琼山	森林沼泽		红树林	1 年		1.21	[22,23]

*依据相关文献资料重新计算。

不同地区或者同一地区不同植被下，甲烷排放通量有很大的变化幅度（表 4），不难发

现,东北地区沼泽甲烷排放通量较高,青藏高原则较低,两者相差10~40倍,后者也低于国外同类沼泽甲烷排放通量^[16-18]3~8倍,产生如此大差异的原因显然与气候有关,青藏高原夏季短且温度低,抑制了甲烷的产生和排放。因为产甲烷菌对温度十分敏感^[13],最佳温度是20~30°C^[14],低温严重抑制产甲烷菌的活性^[15]。同一地区不同植被下沼泽排放甲烷的能力也有明显差异,显然与植物的生长能力和沼泽水位高低有关。我国腐泥沼泽的甲烷排放能力最强,泥炭沼泽次之,而森林沼泽很低,这与Aslemann和Crutzen^[4]等的腐泥沼泽>森林沼泽>泥炭沼泽的排序有一定矛盾,我国森林沼泽甲烷排放通量之所以如此之低与其周期性淹水减少了甲烷排放不无关系。

表4 我国沼泽甲烷排放量估算*

沼泽类型	土壤	植被	分布区域	面积	甲烷排放率 (mg/m ² ·d)	测定期(d)	测定期甲烷排 放量(Gg)	全年排放总量(Gg)	
								A	B
泥炭沼泽	泥炭土	苔草	青藏高原	32249	39.26	183	231.67	266.42	284.95
	泥炭土	---	东北地区	10100	39.26	153	60.66	69.76	74.61
小计							292.33	336.18	359.56
腐泥沼泽	潜育土		三江平原	11194		153	948.71	1091.02	1166.92
		毛果苔草	三江平原	4496	496.08	153	341.24	392.43	419.73
		乌拉苔草	三江平原	2841	316.56	153	137.60	158.24	169.24
		甜茅苔草	三江平原	591	694.08	153	62.76	72.17	77.20
		小叶章	三江平原	2415	942.72	153	348.33	400.58	428.44
		其它	三江平原	851	451.44	153	58.78	67.59	72.30
	草甸土	苔草	青藏高原	7768	9.85	183	14.00	16.10	17.22
	潜育土	苔草	内蒙古	1863	580.17	153	165.37	190.18	203.41
	潜育土	芦苇	其它地区	4940	12.48	275	16.95	19.49	20.85
小计							1145.05	1654.28	1769.36
森林沼泽		红树林	华南地区	2561	1.21	365	1.13	1.13	1.13
盐沼			全国	24086	0		0	0	0
总计							1438.50	1654.11	1769.10

* 计算说明:(1)全年排放总量A和B分别外加了以测定期排放量的15%和23%^[16-18]作为冬季甲烷排放量;(2)内蒙古腐泥沼泽甲烷排放量的计算因其沼泽特点与三江平原相似,故选取三江平原沼泽排放率平均值作为计算依据;(3)其它地区腐泥沼泽特别是长江中下游地区沼泽植被以芦苇为主,故选取辽河三角洲芦苇沼泽甲烷排放率作为计算依据;(4)三江平原不同类型沼泽面积以文献值^[20,21]作为计算依据;(5)盐沼甲烷排放率和排放量非常低,同时我国缺乏实测值,故未加以统计;(6)青藏高原泥炭沼泽甲烷排放率选取文献^[7]中2个点的平均值作为计算依据,因为包含苔藓泥炭沼泽和泥炭沼泽2类,腐泥沼泽中的草甸土用实测值,东北地区泥炭沼泽因缺乏实测值,故采用青藏高原同类沼泽实测值。

2.2 我国沼泽甲烷排放量估算

对全球沼泽甲烷排放量作出正确估计是研究沼泽甲烷排放的主要目的之一。目前国际上一般认为自然湿地年甲烷排放量110Tg,水田甲烷排放量60Tg^[2,3],水田最近的估计值为30~50Tg^[24],因此前者比后者高1倍多。Aslemann和Crutzen^[4]依据实测的不同类型沼泽甲烷排放通量,外推得到的全球湿地甲烷排放总量为40~160Tg,平均是80Tg,其中沼泽为37~135Tg,平均68Tg。

我国对沼泽排放甲烷研究落后于稻田^[25]。王明星等^[19]认为我国自然湿地甲烷排放量为 2.2Tg, Khalil 等^[26]则认为 1.7Tg。金会军等以我国湿地面积 630000km² 和青藏高原沼泽甲烷排放通量为依据计算得到的湿地甲烷排放量为 2Tg^[7]。崔宝山^[20, 21]依据对三江平原沼泽甲烷排放通量测定值, 以全区面积 11192.9km² 进行计算获得三江平原沼泽甲烷排放量为 0.96Tg。

沼泽甲烷排放量最简单和常用的估算方法是在野外实测的基础上用下式计算:

$$ME = \sum F_i A_i D_i$$

式中 F_i 为 i 类沼泽甲烷排放通量 ($\text{mgCH}_4/\text{m}^2 \cdot \text{d}$), D_i 为甲烷排放的时间 (d), A_i 为 i 类沼泽的面积 (m^2)。目前我国缺乏依据沼泽类型、甲烷排放通量和排放周期对沼泽甲烷排放量进行详细统计的报道, 为此进行初步估算。假如不考虑盐沼对甲烷排放微弱贡献^[4]、冬季甲烷排放量为测定期排放量的 15%—23%^[16, 18], 那么我国沼泽测定期甲烷排放量为 1.44Tg, 全年甲烷排放量估计为 1.65—1.77Tg, 平均 1.71Tg (表 4), 远低于稻田甲烷的排放量 8.05Tg^[25]。腐泥沼泽排放甲烷最多, 达到 1.32—1.41Tg, 即仅占沼泽总面积 26.58% 的腐泥沼泽贡献了沼泽甲烷排放总量的 79.60%, 而占 45.06% 的泥炭沼泽排放甲烷 0.34—0.36Tg, 仅占 20.61%。森林沼泽由于面积小, 相应地甲烷排放量也非常低。就区域而言, 青藏高原和西北地区沼泽排放甲烷量为 0.28—0.30Tg, 只占排放总量的 17.08%, 东北和内蒙古地区则达到 1.35—1.44Tg, 占 81.67%。因此我国沼泽排放的甲烷主要来自东部地区尤其是东北地区的腐泥沼泽。同时应该注意的是由于统计运用的三江平原沼泽甲烷排放量的测定值明显偏高, 因此我国实际的沼泽湿地甲烷排放总量可能低于 1.71Tg, 我们正在三江平原进行连续观察, 期望得到三江平原沼泽湿地正确的甲烷排放通量。

参 考 文 献

- 1 Bouwman AF. Soil and greenhouse effect. John Wiley and Sons, 1990
- 2 IPCC, Climate Change 1995—The Science of Climate Change, Summary for Policymakers, 1995
- 3 Khalil MAK. Non-CO₂ greenhouse gases in the atmosphere. Annu Rev Energy Environ, 1999, 24:645—661
- 4 Aselmann I, Crutzen PJ. Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary production, seasonality and possible methane emissions. J Atmosph Chem, 1989, 8:307—358
- 5 黄国宏, 肖笃宁等. 芦苇湿地温室气体甲烷排放研究. 生态学报, 2001, 21:1494—1497
- 6 黄国宏, 李玉祥等. 环境因素对芦苇湿地 CH₄ 排放的影响. 环境科学, 2001, 22:1—5
- 7 金会军, 吴杰等. 青藏高原湿地 CH₄ 排放评估. 科学通报, 1999, 44:1758—1762
- 8 郎惠卿, 祖文辰等. 中国沼泽. 济南: 山东科学技术出版社, 1983
- 9 赵魁义主编. 中国沼泽志. 北京: 科学出版社, 1999
- 10 王宪礼, 肖笃宁. 湿地的定义与类型. 见: 陈宜瑜编. 中国湿地研究. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995
- 11 刘兴土, 马学慧. 三江平原大面积开荒对自然环境影响及区域生态环境保护. 地理科学, 2000, 20:14—19
- 12 李取生, 邓伟等. 松嫩平原西部盐沼的形成与演化. 地理科学, 2000, 20:362—367
- 13 Frenzel P, Karofeld. CH₄ emission from a hollow-ridge complex in a raised bog: The role of CH₄ production and oxidation. Biogeochemistry, 2000, 51: 91—112
- 14 Dunfield P, Knowles R, et al. Methane production and consumption in temperate and subarctic peat soils: response to temperature and pH. Soil Biol Biochem, 1993, 25:321—326
- 15 Conrad R, Schutz H, et al. Temperature limitation of hydrogen turnover and methanogenesis in anoxic paddy

- soil. FEMS Microbiol Ecol, 1987, 45:281-289
- 16 Saarnio S, Alm J, et al. Effects of raised CO₂ on potential CH₄ production and oxidation in, and CH₄ emission from a boreal mire. J Ecology, 1998, 86:261-268
- 17 Saarnio S, Silvola J. Effect of increased CO₂ and N on CH₄ efflux from a boreal mire: a growth chamber experiment. Oecologia, 1999, 119:349-356
- 18 Saarnio S, Saarinen T, et al. A moderate increase in the annual CH₄ efflux by raised CO₂ or NH₄NO₃ supply in boreal oligotrophic mire. Global Change Biology, 2000, 6:137-144
- 19 王明星, 戴爱国等. 中国甲烷排放量的估算. 大气科学, 1993, 17: 52-64
- 20 崔宝山. 三江平原沼泽地 CH₄ 排放规律及估算. 地理科学, 1997, 17: 93-96
- 21 崔宝山. 影响沼泽地 CH₄ 排放若干因子初探. 地理科学, 1997, 17: 419-426
- 22 叶勇, 卢昌义等. 海莲红树林土壤 CH₄ 动态研究. 土壤与环境, 2000, 9:91-95
- 23 叶勇, 卢昌义等. 红树林湿地土壤 CH₄ 产生率及其土壤理化因素影响的研究. 土壤学报, 2000, 37: 77-84
- 24 Neue HU, Sass RL. The budget of methane from rice fields. IG Activ, 1998, 17: 3-11
- 25 蔡祖聪. 水稻土甲烷排放. 见: 马毅杰, 陈家仿编. 水稻土物质变化与生态环境. 北京: 科学出版社, 1999, 123-144
- 26 Khalil MAK, Shearer MJ, et al. Methane sources in China: historical and current emissions. Chemosphere, 1993, 26:127-142

新书《土壤农业化学分析法》介绍

由中国土壤学会组织有关专家编写、鲁如坤研究员主编的《土壤农业化学分析法》已由中国农业科技出版社于2000年出版。全书共分11篇52章有101万字。本书出版后深受广大读者欢迎,已销售千余册。

本书内容丰富,主要包括两个方面:一是总结我国近50年土壤分析经验,把那些行之有效,在我国证明是成熟的分析方法介绍出来;二是反映近年来的新进展、新方法、新成果。主要是有5章仪器分析,它们是近年来土壤农化分析进展的主要方面。这是满足现代分析“大量”、“快速”基本要求的必要条件;有2章土壤环境污染物的分析,这是因为环境问题已变成土壤学和农业化学必须面对的重大任务之一;在新进展方面还专章介绍了土壤多元素通用浸提剂的应用。此外本书每一元素或方法,均增加了“分析意义”一节。介绍与该方法分析结果有关的研究成果,这样可以使分析结果在生产和理论上得到更有效的应用。

本书可作为广大土壤肥料、环保工作者的工具书,现尚有余书,如欲购此书,请与中国土壤学会办公室联系。本书每册定价98元,加挂号邮费7元,共计105元。一次订购20册以上者享受八折优惠。

现金请寄:南京市北京东路71号中国土壤学会(邮编:210008)

银行请汇:南京工商银行成贤街分理处,

户名:中国土壤学会,帐号:4301010809001064640

联系电话:(025)7713360

中国土壤学会