中国区域陆地生态系统土壤呼吸碳排放及其空间格局
——基于通量观测的地学统计评估

展小云[1,2], 于贵瑞[1], 郑泽梅[3], 王秋凤[1]
(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 生态网络观测与模拟重点实验室 CERN综合研究中心, 北京 100101;
2. 中国科学院研究生院,北京 100049;3. 华东师范大学,上海 200062)

摘 要:土壤呼吸是陆地生态系统通过根系呼吸和微生物呼吸向大气中释放CO_2的过程。研究土壤呼吸的时空格局,将有助于构建区域尺度土壤呼吸定量评价模型,也可提高预测未来气候变化情境下的典型生态系统、区域以及全球尺度碳平衡状况的能力。本文整合了中国区域土壤呼吸的主要研究成果,分析了温度敏感性(Q_{10})和土壤呼吸(R_s)的统计特征和区域差异,定量评价了中国区域R_s的时空格局及其在中国和全球碳平衡中的作用。通过以上分析本文得出以下主要结论:①不同生态系统类型的土壤呼吸的Q_{10}表现为森林>农田>草地,气候越寒冷,土壤呼吸Q_{10}越大,并且中国区域的Q_{10}值相对于其他国家偏低;②R_s具有明显的季节变异,不同生态系统类型的R_s表现为森林>农田>草地,并且,中国区域R_s低于全球R_s;③月尺度上R_s随着经纬度发生明显的季节变异,随着经度的增加,R_s的季节变幅也逐渐增加;④1995-2004年中国区域R_s的年总量的平均值为3.84 PgC,占全球土壤CO_2排放的比例4.78%。

关 键 词:土壤呼吸;自养呼吸;异养呼吸;温度敏感性;时空格局;陆地生态系统;中国

1 引言

土壤呼吸(Soil Respiration, R_s)是陆地生态系统与大气之间碳交换的第二大通量组分[1],全球每年因土壤呼吸排放的CO_2总量约79.3 ~ 81.8 PgC[2],占每年大气中CO_2输入的10% 左右[3],是化石燃料燃烧释放CO_2总量的11倍[4],在陆地生态系统碳循环和碳收支中占有重要地位[1]。因此,在全球变化的背景下研究不同陆地生态系统土壤呼吸的时空变异及其影响因素具有重要的现实意义,不仅可以为全球碳平衡估算和评估全球变化的潜在效应提供最基本的数据,而且能够为政府决策和行业发展提供决策依据。虽然土壤呼吸是陆地生态系统碳循环的一个重要组成部分,但是由于土壤呼吸是一个复杂的生物和化学过程,包含根系的自养呼吸(Autotrophic respiration, R_a)和微生物的异养呼吸(Heterotrophic respiration, R_h),并且这两大组分对气候变化的响应特征可能存在着差异[5],这便增加了对土壤呼吸的时空异特征及其环境控制机制认识的难度,导致迄今为止研究者们对不同时空尺度土壤呼吸变异性的主控因素仍然存在着一定的争议[6-7]。

中国地域广阔,陆地生态系统复杂多样,植被分布涵盖了从寒温带至热带的多种气候类型,同时拥有青藏高原这一海拔梯度明显的地理区域,这为研究中国区域的土壤呼吸时空变异特征和控制因素以及区域尺度土壤呼吸定量评价模型的构建提供了良好的实验平台。中国区域土壤呼吸的测定工作开始于20世纪90年代[8-9],并且,近年来中国区域的土壤呼吸研究逐渐增加。本文以ChinaFLUX呼吸观测数据及文献报道的中国区域陆地生态系统的土壤呼数据为基础,分析了温度敏感性和土壤呼吸的统计特征和区域差异,定量评价了中国区域土壤呼吸的时空分布特征和其在中国和全球碳平衡中的作用,这将为研究全球和区域碳循环提供数据基础和理论依据。

收稿日期:2011-10; **修订日期**: 2012-01.
基金项目:国家重点基础研究发展规划973 计划项目(2010CB833504);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050601) ;中国科学院地理科学与资源研究所自主部署项目(200903007)。
作者简介:展小云(1983-),女,博士研究生,主要研究方向为气候变化与全球碳循环。E-mail: zhanxiaoyun2005@163.com
通讯作者:于贵瑞(1959-),男,研究员,主要研究方向为生态系统碳循环与全球变化。E-mail: yugr@igsnrr.ac.cn

2 数据库的建立

本文中土壤呼吸数据库的数据主要来源于以下2个方面：①ChinaFLUX的6个森林观测站(长白山、千烟洲、鼎湖山、西双版纳、鹤山)，1个草地站(海北)，1个农田站(禹城)；②已公开发表的学术论文。数据库中涵盖了中国高寒、温带、暖温带、亚热带及热带等主要气候区域，其中森林站点共包含了120个森林生态系统(常绿林、混交林和落叶林)；此外还有44个草地生态系统和31个农田生态系统。

本文中所采用的数据要求满足：采用静态箱/气相色谱法进行的观测；每次观测的时间为9:00-11:00(北京时间)；每月进行2～3次观测。此外，文献中报道了多个土壤深度的土壤呼吸的温度敏感性(Temperature Sensitivity, Q_{10})的值，本文仅选取10 cm土壤深度的Q_{10}值；文献中报道了生长季和非生长季的Q_{10}值，本文仅选取生长季的Q_{10}值。

3 温度敏感性(Q_{10})的统计特征

土壤呼吸的温度敏感性通常用Q_{10}值表示，它是指温度升高10℃，土壤呼吸强度增大的倍数[1]，它是生物地球化学模型描述碳循环过程的一个重要参数[10-11]。本文通过文献调研方法对中国区域已发表的土壤呼吸观测数据进行汇总，综合分析了中国区域土壤呼吸Q_{10}的空间变异规律，并通过与全球的土壤呼吸Q_{10}数据的对比分析，揭示了中国区域土壤呼吸Q_{10}的变化特征。

3.1 中国区域土壤呼吸Q_{10}的统计特征及区域差异

中国区域土壤呼吸Q_{10}的变异范围为1.09～6.27，平均值为2.26±0.75(n=264)，其变异范围在全球土壤呼吸Q_{10}的变异范围0.61～31.89之内，平均值略低于全球土壤呼吸Q_{10}的平均值(2.95±1.85)。按生态系统类型统计得到Q_{10}平均值的大小顺序为森林(2.35±0.79)>农田(2.18±0.45)>草地(2.03±0.58)，并且森林生态系统的Q_{10}显著高于农田和草原，但是后两者差异并不显著。其中森林生态系统中按照叶片习性分类统计得到Q_{10}的平均值大小顺序为落叶林(2.61±0.86)>混交林(2.23±0.66)>常绿林(2.21±0.84)，并且落叶林的Q_{10}显著高于混交林和常绿林，但是混交林和常绿林的Q_{10}差异并不显著(表1)。在不同气候带之间，寒温带、温带、暖温带、亚热带、热带地区土壤呼吸Q_{10}的平均值分别为2.70±1.06、2.38±0.83、2.38±0.07、1.90±0.40和2.14±0.53(表2)，总体表现出气候越寒冷，土壤呼吸Q_{10}越大的变化趋势，并且寒温带和温带土壤呼吸的Q_{10}显著高于其他气候带土壤呼吸的Q_{10}值。

3.2 中国区域土壤呼吸Q_{10}与其他国家的比较

基于文献调研数据初步分析了中国区域土壤呼吸的Q_{10}在全球土壤呼吸Q_{10}中的水平。表3为统计得到的全球不同国家的土壤呼吸Q_{10}的特征。

从表3可以看出，全球土壤呼吸Q_{10}的均值为2.95±1.85，变异系数高达62.69%，变化范围为0.61～31.89。其中，韩国土壤呼吸的Q_{10} (6.60±4.92)显著高于其他国家，其次为英国(4.37±3.32)，而中国土壤呼吸的Q_{10}(2.26±0.75)较其他国家偏低，并且略低于全球的平均值(2.95±1.85)。

4 土壤呼吸(R_s)的统计特征

土壤呼吸是指土壤释放CO_2的过程，严格意义

表1 中国不同生态系统类型温度敏感性Q_{10}比较

Tab.1 The comparisons of Q_{10} among different ecosystems

生态系统类型	温度敏感性(Q_{10})					
	Mean	SD	CV/%	Min	Max	N
常绿林	2.21b	0.84	37.85	1.14	6.27	69
混交林	2.23ab	0.66	29.63	1.36	3.61	15
落叶林	2.61a	0.86	33.04	1.09	4.75	68
所有森林	2.35a	0.79	33.51	1.09	6.27	152
草原	2.03b	0.58	28.51	1.38	4.12	72
农田	2.18b	0.45	20.79	1.43	3.06	40
Total	2.26	0.75	33.19	1.09	6.27	264

注：数据来源见附表1和Bond-Lamberty等[12]土壤呼吸数据库，按照不同生态系统类型对Q_{10}进行统计分析。Mean:均值；SD:标准误；CV:变异系数；Min:最小值；Max:最大值；N:统计的数量。图中不同字母a、b表示通过LSD法进行处理间的多重比较得出显著性差异p<0.05。

表2 中国不同气候带温度敏感性Q_{10}比较

Tab.2 The comparisons of Q_{10} among different climatic zones

气候带	温度敏感性(Q_{10})					
	Mean	SD	CV/%	Min	Max	N
寒温带	2.70a	1.06	39.12	1.93	4.75	6
温带	2.38a	0.83	34.56	1.09	6.27	173
暖温带	2.38ab	0.07	2.76	2.30	2.44	5
亚热带	1.90b	0.40	20.85	1.14	2.90	57
热带	2.14ab	0.53	24.90	1.36	3.96	23
Total	2.26	0.75	33.19	1.09	6.27	264

注：按照不同的气候带对Q_{10}进行统计分析，数据来源和统计特征表征指标同上。

上讲是指未经扰动的土壤中产生CO_2的所有代谢作用,包括3个生物学过程(土壤微生物呼吸、根系呼吸、土壤动物呼吸)和1个非生物学过程(含碳矿物质的化学氧化)[13],其中土壤含碳矿物质的化学氧化作用及动物呼吸所占比例较少,常被忽略不计,因此土壤呼吸可简单划分为根系自养呼吸和土壤异养呼吸两部分。

本文以ChinaFLUX呼吸观测数据以及文献中报道的中国区域陆地生态系统的土壤呼数据为基础,初步分析了中国区域土壤呼吸组分的变化规律、年总量的统计特征和区域差异,为了解中国区域土壤呼吸及模型的改进提供一定的数据和理论支持。

4.1 中国区域土壤呼吸组分的变化规律

对收集的文献数据中包含R_a和R_h的数据进行了初步分析。图1显示了R_s的两大组分R_a、R_h与R_s的回归关系以及R_h/R_a随纬度的变化情况。可以看出R_a、R_h均随着R_s的增加而增加,并且R_a增加的速度大于R_h增加的速度;随着纬度的增加R_h/R_a呈现先增加后降低的趋势,即在20~25°N之间,土壤呼吸以R_a为主,25~45°N之间,土壤呼吸则以R_h为主,55~50°N之间,又转化为以R_a为主。

4.2 中国区域土壤呼吸的统计特征及区域差异

表4为中国区域森林、草地和农田生态系统R_s年总量的统计特征。195个生态系统R_s年总量的平均值为(608.44±357.58) $gC\cdot m^{-2}\cdot a^{-1}$,其变异系数高达58.77%,变化范围波动较大,为46~2240 $gC\cdot m^{-2}\cdot a^{-1}$。其中,120个森林生态系统$R_s$年总量的平均值

表3 不同国家土壤呼吸的温度敏感性Q_{10}比较

Tab.3 The comparisons of Q_{10} among different countries

国家	温度敏感性(Q_{10})					
	Mean	SD	CV/%	Min	Max	N
韩国	6.60	4.92	74.57	2.07	21.50	32
英国	4.37	3.32	75.91	1.09	12.20	52
西班牙	3.68	3.21	87.17	1.00	14.17	21
加拿大	3.37	1.86	55.06	1.11	10.09	153
德国	3.30	1.37	41.54	1.98	11.54	58
芬兰	2.99	1.25	41.97	1.27	6.82	70
意大利	2.97	1.44	48.48	1.73	8.01	36
丹麦	2.96	1.06	35.74	1.68	6.00	31
法国	2.93	0.47	15.96	2.33	3.90	27
美国	2.76	2.01	72.77	0.61	31.89	498
日本	2.70	0.87	32.05	1.39	5.60	117
匈牙利	2.60	0.20	7.69	2.41	3.42	25
俄罗斯	2.40	1.33	55.37	1.02	5.92	21
中国	2.26	0.75	33.19	1.09	6.27	264
Total	2.95	1.85	62.69	0.61	31.89	1368

注:数据来源和统计特征表征指标同上,同时本表中的数据仅选择了观测数量≥20的国家进行Q_{10}的比较。

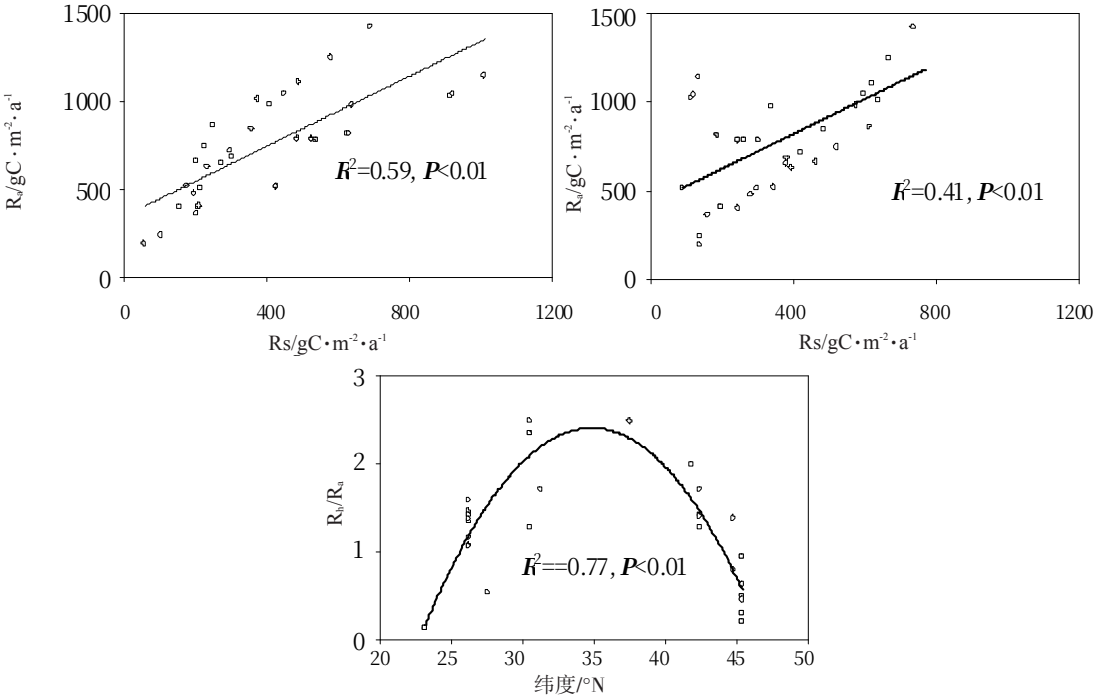

图1 R_s, R_a, R_h的关系

Fig.1 The relationships of R_s, R_a and R_h

注:R_s:土壤呼吸,R_a:自养呼吸,R_h:异养呼吸;数据来源同上。

为(764.11±342.42) gC·m^{-2}·a^{-1},变异范围为145~2240 gC·m^{-2}·a^{-1}。在不同森林生态系统之间,R_s年总量的顺序为混交林>常绿林>落叶林。综合分析表明,中国区域森林生态系统R_s年总量的平均值要明显大于草地生态系统(282.33±174.01) gC·m^{-2}·a^{-1}和农田生态系统(468.72±212.83) gC·m^{-2}·a^{-1},但后两者无显著差异。

表5为中国区域不同气候带R_s年总量的统计特征。在不同气候带之间,只有温带R_s的年总量与其他气候带差异显著,其他气候带之间的R_s的年总量差异不显著。R_s年总量最大值出现在热带(881.93±270.56) gC·m^{-2}·a^{-1},最小值出现在温带(466.58±292.85) g C·m^{-2}·a^{-1},除寒温带外,R_s的年总量总体表现出气候越寒冷,R_s越小。

4.3 中国区域土壤呼吸与其他国家的比较

表6为全球不同国家R_s年总量统计特征的比较结果。可以看出,全球R_s年总量为(774.77±501.25) gC·m^{-2}·a^{-1},变异系数高达64.70%,变化范围波动较大,为7.00~3180.00 gC· m^{-2}· a^{-1}。其中,中国区域R_s年总量的均值为(608.44±25.61) gC·m^{-2}·a^{-1},处于统计的19个国家中土壤呼吸的年总量均值的中等水平,但是低于全球19个国家

表4 不同类型生态系统Rs的比较

Tab.4 The comparisons of Rs among different ecosystems

生态系统类型	Annual Rs/gC·m^{-2}·a^{-1}					
	Mean	SD	CV/%	Min	Max	N
常绿林	758.77ab	331.12	43.64	145.0	1586.0	56
混交林	898.88a	218.44	24.30	503.0	1240.0	9
落叶林	747.48b	369.19	49.39	198.0	2240.0	55
所有森林	764.11ab	342.42	44.81	145.0	2240.0	120
草原	282.33c	174.01	61.64	46.0	866.0	44
农田	468.72 c	212.83	45.41	151.0	1129.0	31
Total	608.44	357.58	58.77	46.0	2240.0	195

注:按照不同的生态系统类型对R_s进行统计分析,数据来源和统计特征表征指标同上。

表5 不同气候带R_s的比较

Tab.5 The comparisons of R_s among different climatic zones

气候带	Annual Rs/gC·m^{-2}·a^{-1}					
	Mean	SD	CV/%	Min	Max	N
寒温带	747.58a	360.27	48.19	51.00	1597.00	17
温带	466.58b	292.85	62.76	46.00	1789.00	98
暖温带	686.77ab	290.49	42.30	286.00	1105.00	9
亚热带	742.39a	404.43	54.48	145.00	2240.00	52
热带	811.93a	270.56	33.32	508.00	1274.00	19
Total	608.44	357.58	58.77	46.00	2240.00	195

注:按照不同的气候带对R_s进行统计分析,数据来源和统计特征表征指标同上。

表6 不同国家R_s比较

Tab.6 The comparisons of R_s among different countries

国家	Annual R_s/gC·m^{-2}·a^{-1}					
	Mean	SD	CV/%	Min	Max	N
巴西	1435.96	691.71	48.17	38.00	2887.00	74
哥斯达黎加	1434.95	538.27	37.511	256.00	2360.00	21
意大利	988.76	359.31	36.34	296.00	1870.00	37
日本	882.08	470.86	53.38	278.00	3060.00	109
美国	852.84	491.60	57.64	15.00	3180.00	930
韩国	847.74	152.17	17.95	646.00	1242.00	23
比利时	788.82	398.34	50.50	160.00	2018.00	38
新西兰	680.00	503.24	74.01	208.00	1895.00	16
英国	636.96	403.85	63.40	64.00	1522.00	48
中国	608.44	358.54	58.93	46.00	2240.00	195
印度	594.27	366.00	61.59	161.00	2040.00	41
法国	583.71	385.62	66.06	32.00	1675.00	21
加拿大	581.75	488.54	83.98	7.00	2600.00	99
德国	518.78	247.71	47.75	200.00	1754.00	79
捷克	487.00	92.98	19.09	340.00	730.00	20
丹麦	457.43	311.87	68.18	25.00	1378.00	23
芬兰	394.37	202.10	51.25	14.00	1040.00	106
俄罗斯	393.17	229.87	58.47	27.00	906.00	41
匈牙利	165.42	29.30	17.71	129.00	232.00	24
Total	774.77	501.25	64.70	7.00	3180.00	1945

注:数据来源和统计特征表征指标同上,同时本表中的数据仅选择了观测数量≥20的国家进行R_s的比较。

R_s年总量的均值。

5 土壤呼吸的时空格局及其在碳平衡中的作用

5.1 中国区域土壤呼吸的时空特征

图2表示了月尺度上R_s随着经纬度发生的季节变异,引自Yu等[14]。由此可以看出,R_s具有明显的季节动态,即夏季高,冬季较低;并且不同纬度下土壤呼吸的季节变幅有所差异,即北部高纬度地区>低纬度地区>中部地区,此外,随着经度的增加,土壤呼吸的季节变幅也逐渐增加。

5.2 中国区域土壤呼吸在全球碳平衡中的作用

表7统计了中国区域R_s在全球碳平衡中的作用,引自Yu等[14]。运用GSMSR模型估算的中国区域R_s多年平均值为3.84 PgC·a^{-1},占全球土壤CO_2排放年总量的4.78%,略低于中国陆地生态系统面积占全球的比例(6.5%),也略低于中国土壤有机碳库占全球的比例(5.94%)。森林生态系统的R_s要高于其他非森林生态系统,而中国的森林覆盖率仅为全球水平的56%,这应该是中国R_s占全球的比重小于其面积占全球比重的原因之一。中国区域森林、草地和农田生态系统R_s对全球森林、草地和农田生态系统R_s的贡献分别为1.78%、8.49%和10.52%,其中中国区域农田生态系统R_s贡献率与其面积在全球中的份额最为接近。

6 结语

研究中国区域土壤呼吸的时空格局以及控制机制有助于区域尺度上土壤呼吸定量评价模型的构建,也可提高预测未来气候变化情境下的区域以及全球尺度碳平衡状况的能力。本文基于中国区域土壤呼吸的观测数据以及模型模拟结果,分析了土壤呼吸的季节动态、年际变异、时空特征以及其在中国和全球碳平衡中的作用,目的是初步量化中国区域土壤呼吸碳排放,为全球碳平衡估算和评估全球变化的潜在效应提供最基本的数据。

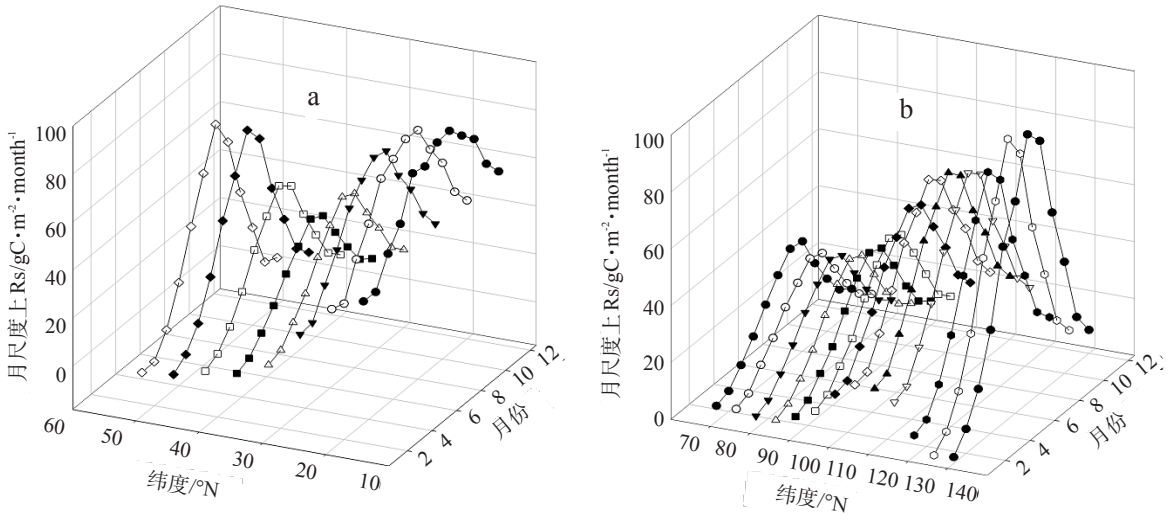

图2 月尺度上R_s随着纬度(a)和经度(b)的季节变异

Fig.2 Seasonal dynamics of monthly R_s along latitude(a)and longitude(b)gradients

表7 中国区域R_s在全球碳平衡中的作用

Tab.7 Contribution of R_s in China to the global carbon balance

区域	土壤呼吸/PgC·a^{-1}				面积/10^4 km^2				土壤有机碳库/PgC
	总量	森林	草地	农田	总量	森林	草地	农田	
中国	3.84	0.82	1.87	0.85	930.50	152.15	485.92	153.53	89.14[16]
全球[2,18]	80.4	46.12	22.03	8.08	14315.50	5864.90	4680.40	1298.55	1500.00[17]
比例/%	4.78	1.78	8.49	10.52	6.50	2.59	10.38	11.82	5.94

注: 基于全球土地覆盖分类图统计得到,不含冰川和岩石[15]。

目前,中国区域尺度的土壤呼吸研究大多都是在单个站点或特定的生态系统中进行,并且对土壤呼吸控制机制的研究多数局限于考虑气象因子对土壤呼吸的影响,而对可能影响土壤呼吸的生物因素如光合、生物量等的关注并不多,同时由于观测方法和技术存在较大的差异,导致了观测结果之间可比性较差。此外,已有的对土壤呼吸模拟的模型大多是水热统计模型,这些模型对温度敏感性及其他因子对土壤呼吸的影响研究仍存在不足,这就会在某种程度上降低模型对土壤呼吸评价的精度。近年来基于涡度相关法的生态系统碳通量观测在中国有了长足的发展[19],他可以实现对土壤呼吸的连续自动观测,如果与箱式法结合,可以更加深入地分析不同呼吸组分对环境变化的响应规律,在一定程度上解决观测方法差异的影响。再则,在应用模型模拟不同时间尺度的土壤呼吸时,应该注意应用不同的模型驱动参数,而不仅仅是时间的累加,模拟不同空间尺度的土壤呼吸变异时也应以寻求不同的环境变量为基础。模型-数据融合方法为寻求土壤呼吸模型的尺度扩展提供了一条途径,基于模型数据融合方法可以对土壤呼吸的过程进行描述和预测或者利用有限的土壤呼吸观测数据反推土壤呼吸的过程及机制,得到更为准确的模型结构与参数。在未来的研究中,应结合该方法探求不同时间和空间尺度的土壤呼吸模型。

参考文献

[1] Davidson E A, Janssens I A, Luo Y. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: Moving beyond Q10. Global Change Biology, 2006, 12(2): 154-164.

[2] Raich J W, Potter C S, Hagawai D B. Interannual variability in global soil respiration,1980-1994. Global Change Biology, 2002, 8(8): 800-812.

[3] Raich J W, Potter C S. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. Global Biogeochemical Cycles, 1995, 9(1): 23-36.

[4] Marland G, Boden T A, Andres R J. Global, regional, and national CO_2 emissions//Trends: A compendium of Data on Global Change. Carbon dioxide information analaysis center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Engergy, Oak Ridge, Tennessee, 2000.

[5] Boone R D, Nadelhoffer K J, Canary J D, et al. Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration. Nature, 1998, 396(6711): 570-572.

[6] Reichstein M, Rey A, Freibauer A, et al. Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. Global Biogeochemical Cycles, 2003, 17(4): 1104, doi:10.1029/2003GB002035.

[7] Chen H, Tian H Q. Does a general temperature-dependent Q10 model of soil respiration exist at biome and global scale? Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47(11): 1288-1320.

[8] 马学慧, 吕宪国, 杨青, 等. 三江平原沼泽地碳循环初探. 地理科学, 1996, 16(4): 323-330.

[9] 刘绍辉, 方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响. 生态学报, 1997, 17(5): 469-476.

[10] Cao M K, Woodward F I. Dynamic response of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change. Nature, 1998, 393(6682): 249-252.

[11] Cao M K, Prince S D, Li K R, et al. Response of terrestrial carbon uptake to climate interannual variability in China. Global Change Biology, 2003, 9(4): 536-546.

[12] Bond-Lamberty B, Thomson A. A global database of soil respiration data. Biogeosciences, 2010, 7(6): 1915-1926.

[13] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The Botanical Review, 1977, 43(4): 449-528.

[14] Yu G R, Zheng Z M, Wang Q F, et al. Spatiotemporal Pattern of Soil Respiration of Terrestrial Ecosystems in China: The Development of a Geostatistical Model and Its Simulation. Environmental science and technology, 2010, 44(16): 6074-6080.

[15] Hansen M C, Defries R S, Townshend J R G, et al. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(6-7): 1331-1364.

[16] 于东升, 史学正, 孙维侠, 等. 基于1:100万土壤数据库的中国土壤有机碳密度及储量研究. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2279-2283.

[17] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, et al. Soil carbon pools and world life zones. Nature, 1982, 298: 156-159.

[18] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus, 1992, 44(2): 81-99.

[19] Yu G R, Fu Y L, Sun X M, et al. Recent progress and further directions of ChinaFLUX. Science in China: Series D, 2006, 49 (Supp.II): 1-23.

附表1 研究站点概况(包括地理位置(经度和纬度),气候带,年平均温度(**MAT**),年降水量(**MAP**),土壤呼吸(**R_s**),自养呼吸(**R_a**),异样呼吸(**R_h**),土壤呼吸的温度敏感性(**Q_{10}**))。

Tab. S1 Site information, including location(Latitude, Longitude), climate zones,mean annual air temperature (MAT), mean annual precipitation(MAP), soil respiration(R_s), Autotrophic respiration(R_a), Heterotrophic respiration(R_h) and the Q_{10} value of soil respiration

作者	地点	经度/°E	纬度/°N	MAT	MAP	R_s	R_a	R_h	Q_{10}	备注
郑泽梅[S1]	阜康	87.8	44.5	7	164	/	/	/	1.93	
郑泽梅	长白山	128.1	42.4	3	750	/	/	/	2.94	
郑泽梅	大岗山	114.5	27.5	17	1591	976	637	340	/	
郑泽梅	鼎湖山	112.6	23.1	21	1564	1001	/	/	1.73	
郑泽梅	海北	101.3	37.6	-2	580	/	/	/	2.75	2种草地类型
郑泽梅	海北	101.3	37.6	/	/	/	/	/	1.95	
郑泽梅	鹤山	112.9	22.7	22	1800	497	/	/	1.92	
郑泽梅	千烟洲	115.1	26.7	18	1524	554	/	/	1.91	
郑泽梅	三江	133.3	47.4	2	600	/	/	/	2.1	
郑泽梅	盐亭	105.2	31.0	17	836	/	/	/	1.97	3种农田类型
郑泽梅	盐亭	105.2	31.0	/	/	/	/	/	1.73	
郑泽梅	盐亭	105.2	31.0	/	/	/	/	/	2.14	
郑泽梅	禹城	114.6	36.9	13	610	649	/	/	2.06	2种农田类型
郑泽梅	禹城	114.6	36.9	13	610	303	/	/	2.03	
张宪洲等[S2]	班戈	90.0	31.2	-1	380	51	/	/		
Zhang,等[S3]	班戈	90.0	31.2	-1	380	/	/	/	2.27	
张东秋,等[S4]	当雄	91.1	30.9	/	/	/	/	/	2.3	
张东秋[S5]	当雄	91.1	30.9	1	477	369	217	152	2.54	
Shi,等[S6]	拉萨	91.3	29.7	8	425	579	/	/	1.93	
刘允芬,等[S7]	海北	101.3	37.6	-2	580	574	/	/	/	2种草地类型
刘允芬,等	海北	101.3	37.6	-2	580	640	/	/	/	
罗辑,等[S8]	贡嘎山	102.0	29.7	4	1903	1597	/	/	/	
罗辑,等	贡嘎山	102.0	29.7	4	1903	1197	/	/	/	6种森林群落
罗辑,等	贡嘎山	102.0	29.7	4	1903	848	/	/	/	
罗辑,等	贡嘎山	102.0	29.7	4	1903	586	/	/	/	
罗辑,等	贡嘎山	102.0	29.7	4	1903	562	/	/	/	
罗辑,等	贡嘎山	102.0	29.7	4	1903	395	/	/	/	
褚金翔[S9]	米亚罗	103.0	30.5	9	850	854	248	613	/	6种森林类型
褚金翔	米亚罗	103.0	30.5	9	850	894	161	733	/	
褚金翔	米亚罗	103.0	30.5	9	850	1049	232	817	/	
褚金翔	米亚罗	103.0	30.5	9	850	1106	487	619	/	
褚金翔	米亚罗	103.0	30.5	9	850	745	223	521	/	
褚金翔	米亚罗	103.0	30.5	9	850	662	199	464	/	
陈宝玉,等[S10]	米亚罗	103.0	30.5	9	850	/	/	/	4.75	
王小国,等[S11]	四川	105.5	31.3	/	/	/	/	/	1.99	
王小国,等[S12]	四川	105.5	31.3	/	/	/	/	/	2.18	
戴万宏[S13]	杨凌	108.1	34.3	13	632	426	/	/	/	
肖复明,等[S14]	会同	109.5	26.8	17	1300	292	/	/	/	
刘素萍[S15]	会同	109.5	26.8	17	1300	457	120	337	1.56	

续附表1

作者	地点	经度/°E	纬度/°N	MAT	MAP	R_s	R_a	R_h	Q_{10}	备注
郭婷[S16]	皇甫川	110.8	39.6	/	/	/	/	/	1.52	
杨清培,等[S17]	黑石顶	110.9	23.5	20	1744	846	/	/	/	2种森林类型
杨清培,等	黑石顶	110.9	23.5	20	1744	999	/	/	/	
常建国,等[S18]	宝天曼	111.9	33.5	15	900	/	/	/	2.44	5种森林类型
常建国,等	宝天曼	111.9	33.5	/	/	/	/	/	2.32	
常建国,等	宝天曼	111.9	33.5	/	/	/	/	/	2.39	
常建国,等	宝天曼	111.9	33.5	15	900	779	310	469	/	
常建国,等	宝天曼	111.9	33.5	15	900	900	389	510	/	
常建国,等	宝天曼	111.9	33.5	15	900	1105	584	521	/	
常建国,等	宝天曼	111.9	33.5	15	900	913	348	564	/	
常建国,等	宝天曼	111.9	33.5	15	900	821	363	459	/	
周存宇,等[S19]	鼎湖山	112.5	23.2	/	/	/	/	/	2.39	
周存宇,等	鼎湖山	112.5	23.2	/	/	/	/	/	2.24	3种森林类型
周存宇,等	鼎湖山	112.5	23.2	/	/	/	/	/	2.73	
王春林,等[S20]	鼎湖山	112.5	23.2	/	/	/	/	/	2.52	
邓琦,等[S21]	鼎湖山	112.5	23.2	/	/	/	/	/	1.88	
Yan,等[S22]	鼎湖山	112.5	23.2	/	/	/	/	/	2.03	3种森林类型
Yan,等	鼎湖山	112.4	23.3	21	1564	578	/	/	/	
Yan,等	鼎湖山	112.4	23.3	21	1564	1586	/	/	/	
孟磊,等[S23]	封丘	113.2	35.1	22	1800	/	/	/	2.39	
陈滨,等[S24]	大岗山	114.5	27.5	17	1591	286	/	/	1.9	
张连举,等[S25]	大岗山	114.5	27.5	17	1591	/	/	/	1.9	
张连举,等	大岗山	114.5	27.5	/	/	/	/	/	2.06	
于贵瑞,等[S26]	长白山	128.1	42.4	/	/	1302.5	/	/	1.67	2种森林类型,4
于贵瑞,等	长白山	128.1	42.4	/	/	1330.2	/	/	1.73	种模型结果
于贵瑞,等	长白山	128.1	42.4	/	/	1324.2	/	/	1.8	
于贵瑞,等	长白山	128.1	42.4	/	/	1287.9	/	/	1.58	
于贵瑞,等	千烟洲	115.1	26.7	/	/	1267.2	/	/	/	
于贵瑞,等	千烟洲	115.1	26.7	/	/	1268.9	/	/	/	
于贵瑞,等	千烟洲	115.1	26.7	/	/	1245.4	/	/	/	
于贵瑞,等	千烟洲	115.1	26.7	/	/	1208.5	/	/	/	
陈全胜,等[S27]	内蒙	115.2	44.0	18	1524	/	/	/	1.99	11种草地类型
陈全胜,等	内蒙	115.5	43.9	5	612	390	41	349	/	
陈全胜,等	内蒙	115.8	43.9	/	/	/	/	/	1.69	
陈全胜,等	内蒙	116.1	43.9	/	/	/	/	/	1.52	
陈全胜,等	内蒙	116.3	43.9	/	/	/	/	/	1.63	
陈全胜,等	内蒙	116.5	43.8	/	/	/	/	/	1.66	
陈全胜,等	内蒙	116.6	43.8	/	/	/	/	/	1.78	
陈全胜,等	内蒙	116.7	43.6	/	/	/	/	/	1.75	
陈全胜,等	内蒙	116.7	43.6	/	/	/	/	/	1.47	
陈全胜,等	内蒙	116.8	43.5	/	/	/	/	/	1.84	
陈全胜,等	内蒙	116.8	43.5	/	/	/	/	/	1.53	
Jiang[S28]	东灵山	115.4	40.0	/	/	/	/	/	1.62	
方精云,等[S29]	东灵山	115.4	40.0	5	600	/	/	/	3.96	3种森林类型

续附表1

作者	地点	经度/°E	纬度/°N	MAT	MAP	R_s	R_a	R_h	Q_{10}	备注
方精云,等	东灵山	115.4	40.0	5	612	237	56	181	/	
方精云,等	东灵山	115.4	40.0	5	612	309	40	269	/	
刘立新,等[S30]	内蒙	116.8	43.6	2	400	/	/	/	1.62	4种草地类型
刘立新,等	内蒙	116.8	43.6	2	400	/	/	/	1.81	
刘立新,等	内蒙	116.8	43.6	2	400	/	/	/	1.76	
刘立新,等	内蒙	116.8	43.6	2	400	/	/	/	1.98	
Chen[S31]	内蒙	115.8	43.9	/	/	/	/	/	1.7	
董云社[S32]	内蒙	116.1	43.4	/	/	87.16	/	/		4种草地类型
董云社	内蒙	116.1	43.4	-1	500	343	/	/		
董云社	内蒙	116.1	43.4			284				
董云社	内蒙	116.1	43.4			135				
蒋高明,等 [S33]	北京	116.5	39.7	/	/	/	/	/	1.7	
蒋高明,等 [S34]	北京	116.5	39.7	/	/	/	/	/	1.42	
耿元波,等 [S35]	内蒙	116.7	43.6	/	/	/	/	/	1.72	
娄运生,等 [S36]	鹰潭	116.9	28.3	18	1498	745	/	/	/	
Lou等 [S37]	鹰潭	116.9	28.3	18	1498	580	/	/	2.48	
杨少红[S38]	建瓯	118.1	27.0	19	1664	/	/	/	1.78	
杨少红	建瓯	118.1	27.0	/	/	/	/	/	1.59	
尉海东[S39]	南平	118.3	26.6	/	/	/	/	/	1.4	
尉海东[S40]	南平	118.3	26.6	/	/	/	/	/	1.39	
黄承才,等[S41]	诸暨	120.4	29.9	15	1400	658	/	/	/	
黄承才,等	诸暨	120.4	29.9	15	1400	691	/	/	/	3种森林类型
黄承才,等	诸暨	120.4	29.9	15	1400	572	/	/	/	
李玉强[S42]	科尔沁	120.7	42.9	/	/	/	/	/	1.8	
王重阳,等[S43]	沈阳	123.4	41.5	/	/	/	/	/	1.74	
王娓,等[S44]	吉林	123.75	44.75	/	/	/	/	/	2.46	
范阿南 S45]	清源	124.9	41.9	5	775	573	148	425	1.96	
范阿南	清源	124.9	41.9	5	775	519	174	346	1.28	
范阿南	清源	124.9	41.9	5	775	403	109	294	2.23	3种森林类型
Wang 等[S46]	帽儿山	127.7	45.4	3	700	514	424	89	/	6种森林类型
Wang等	帽儿山	127.7	45.4	3	700	786	483	301	/	
Wang等	帽儿山	127.7	45.4	3	700	785	524	261	/	
Wang等	帽儿山	127.7	45.4	3	700	813	628	187	/	
Wang等	帽儿山	127.7	45.4	3	700	781	538	245	/	
Wang等	帽儿山	127.7	45.4	3	700	403	209	196	/	
张宪权,等[S47]	帽儿山	127.7	45.4	3	700	588	/	/	/	4种森林类型
张宪权,等	帽儿山	127.7	45.4	3	700	/	/	/	4.37	
张宪权,等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	3.63	
张宪权,等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	2.89	
张宪权,等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	2.5	
贾淑霞[S48]	帽儿山	127.7	45.4	3	700	688	/	/	/	
贾淑霞	帽儿山	127.7	45.4	3	700	515	/	/	/	2种森林类型
Wang 等[S49]	帽儿山	127.7	45.4	/	/	964	/	/	2.83	
Wang 等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	3.08	6种森林类型

续附表1

作者	地点	经度/°E	纬度/°N	MAT	MAP	R_s	R_a	R_h	Q_{10}	备注
Wang 等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	2.75	
Wang 等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	2.61	
Wang 等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	3.74	
Wang 等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	3.35	
贾淑霞等[S50]	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	3.05	2种森林类型
贾淑霞等	帽儿山	127.7	45.4	/	/	/	/	/	2.45	
刘颖[S51]	长白山	128.1	42.4	3	750	718	297	422	/	
刘颖	长白山	128.1	42.4	3	750	684	302	383	/	3种森林类型
刘颖	长白山	128.1	42.4	3	750	651	271	380	/	
王淼,等[S52]	长白山	128.1	42.4			/	/	/	2.19	
张金波,等[S53]	三江	133.5	47.6	/	/	/	/	/	1.45	5种湿地类型
张金波,等	三江	133.5	47.6	/	/	/	/	/	1.64	
张金波,等	三江	133.5	47.6	/	/	/	/	/	1.71	
张金波,等	三江	133.5	47.6	/	/	/	/	/	1.74	
张金波,等	三江	133.5	47.6	/	/	/	/	/	4.29	
Kato[S54]	青海			17	577	1129	/	/	2.08	4种草地类型
Kato	青海			17	577	632	/	/	2.4	
Kato	青海			17	577	533	/	/	2.49	
Kato	青海			17	577	828	/	/	3.72	

注：/ : 无数据;

MAT: 年平均温度(℃);

MAP: 年平均降雨量(mm);

Rs: 土壤呼吸的年总量($gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$);

Ra: 自养呼吸的年总量($gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$);

Rh: 异养呼吸的年总量($gC \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$);

Q_{10}: 土壤呼吸的温度敏感性.文献中报道了多个土壤深度的Q_{10}值,本章仅选取了10 cm土壤深度的Q_{10}值,文献中报道生长季和非生长季的Q_{10}值,本章选取了生长季的Q_{10}值。

S1 郑泽梅. 中国陆地生态系统土壤呼吸时空变异的影响因素及其定量评价[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2009.

S2 张宪洲, 石培礼, 刘允芬, 等. 青藏高原高寒草原生态系统土壤CO_2排放及其碳平衡. 中国科学: D辑, 2004, 34 (S2): 193-199.

S3 Zhang X Z, Shi P L, Liu Y F, et al. Experimental study on soil CO_2 emission in the alpine grassland ecosystem on Tibetan Plateau. Science in China: Series D, 2005, 48 (S1): 218-224.

S4 张东秋, 石培礼, 何永涛, 等. 西藏高原草原化小嵩草草甸生长季土壤微生物呼吸测定. 自然资源学报, 2006, 21(3): 458-464.

S5 张东秋. 西藏高原草原化草甸生态系统呼吸及碳平衡[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.

S6 Shi P L, Zhang X Z, Zhong Z M, et al. Diurnal and seasonal variability of soil CO_2 efflux in a cropland ecosystem on the Tibetan Plateau. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 137(3-4):220-233.

S7 刘允芬, 欧阳华, 曹广民, 等. 青藏高原东部生态系统土壤碳排放. 自然资源学报, 2001, 16(2): 152-160.

S8 罗辑, 李伟, 廖晓勇, 等. 近百年海螺沟冰川退缩区域土壤CO_2排放规律. 山地学报, 2004, 22(4): 421-427.

S9 褚金翔. 川西亚高山林区土地利用与覆盖变化对土壤呼吸的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.

S10 陈宝玉, 刘世荣, 葛剑平, 等. 川西亚高山针叶林土壤呼吸速率与不同土层温度的关系. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1219-1224.

S11 王小国, 朱波, 王艳强, 等. 不同土地利用方式下土壤呼吸及其温度敏感性. 生态学报, 2007, 27(5): 1960-1968.

S12 王小国, 朱波, 高美荣, 等. 川中丘陵区桤柏混交林地土壤CO_2释放与Forest-DNDC模型模拟. 北京林业大学学报, 2008, 30(2): 28-31.

S13 戴万宏, 王益权, 黄耀, 等. 农田生态系统土壤CO_2释放研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(12): 1-7.

S14 肖复明, 汪思龙, 杜天真, 等. 杉木人工林林地土壤呼吸研究. 江西农业大学学报, 2005, 27(4): 580-584.

S15 刘素萍. 杉木人工林凋落物对土壤碳平衡的影响[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.

S16 郭婷. 皇甫川五分地沟小流域不同土地利用方式下土壤呼吸特征的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2006.

S17 杨清培, 李鸣光, 王伯荪. 南亚热带森林群落演替过程中林下土壤的呼吸特征. 广西植物, 2004, 24(5): 443-449.

S18 常建国, 刘世荣, 史作民, 等. 北亚热带-南暖温带过渡区典型森林生态系统土壤呼吸及其组分分离. 生态学报, 2007, 27(5):1791-1802.

S19 周存宇, 周国逸, 张德强, 等. 鼎湖山森林地表CO_2通量及其影响因子的研究. 中国科学: D辑, 2004, 34(S2): 175-182.

S20 王春林, 周国逸, 王旭, 等. 鼎湖山针阔叶混交林冠层下方CO_2通量及其环境响应. 生态学报, 2007, 27(3): 846-854.

S21 邓琦, 刘世忠, 刘菊秀, 等. 南亚热带森林凋落物对土壤呼吸的贡献及其影响因素. 地球科学进展, 2007, 22(9): 976-986.

S22 Yan J H, Wang Y P, Zhou G Y, et al. Estimates of soil respiration and net primary production of three forests at different succession stages in South China. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 12(5): 810-821.

S23 孟磊, 丁维新, 蔡祖聪, 等. 长期定量施肥对土壤有机碳储量和土壤呼吸影响. 地球科学进展, 2005, 20(6): 687-692

S24 陈滨, 赵广东, 冷泠, 等. 江西大岗山杉木人工林生态系统土壤呼吸研究. 气象与减灾研究, 2007, 30(3): 12-16.

S25 张连举, 王兵, 刘苑秋, 等. 大岗山四种林型夏秋季土壤呼吸研究.江西农业大学学报, 2007, 29(1): 72-76.

S26 于贵瑞, 温学发, 李庆康, 等. 中国亚热带和温带典型森林生态系统呼吸的季节模式及环境响应特征. 中国科学: D辑, 2004,34(S2): 84-94.

S27 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 典型温带草原群落土壤呼吸温度敏感性与土壤水分的关系. 生态学报, 2004, 24(4): 831-836.

S28 Jiang W. Shakedown analysis of hollow spheres.Journal of Engineering Mechanics-Asce, 1994, 120(7): 1447-1480.

S29 方精云, 刘国华, 朱彪, 等. 北京东灵山三种温带森林生态系统的碳循环. 中国科学: D辑, 2006, 36(6): 533-543.

S30 刘立新, 董云社, 齐玉春, 等. 内蒙古锡林河流域土壤呼吸的温度敏感性. 中国环境科学, 2007, 27(2): 226-230.

S31 Chen S K, Edwards C A, Subler S. A microcosm approach for evaluating the effects of the fungicides benomyl and captan on soil ecological processes and plant growth. Applied Soil Ecology, 2001, 18(1): 69-82.

S32 董云社, 齐玉春, 刘纪远, 等. 不同降水强度4种草地群落土壤呼吸通量变化特征. 科学通报, 2005, 50(5): 473-480.

S33 蒋高明, 黄银晓. 北京山区辽东栎林土壤释放CO_2的模拟实验研究. 生态学报, 1997, 17(5): 477-482.

S34 蒋高明, 韩兴国, 周广胜. 北京山区典型暖温带落叶阔叶林大气CO_2浓度、草本层光合作用及土壤释放CO_2变化特点. 植物学报, 1997, 39(7): 653-660.

S35 耿元波, 罗光强. 内蒙古锡林河流域羊草草原植物生长旺季呼吸的影响因素分析和区分. 地理科学, 2011, 21(1): 163-175.

S36 娄运生, 李忠佩, 张桃林. 不同利用方式对红壤CO_2排放的影响.生态学报, 2004, 24(5): 978-983.

S37 Lou Y S, Li Z P, Zhang T L, et al. CO_2 emissions from subtropical arable soils of China. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(11): 1835-1842.

S38 杨少红. 土地利用变化对土壤有机碳和土壤呼吸的影响[D]. 福建农林大学, 2006.

S39 尉海东, 马祥庆. 中亚热带3种主要人工林的土壤呼吸动态. 福建农林大学学报, 2006, 35(3): 273-277.

S40 尉海东, 马祥庆. 不同发育阶段马尾松人工林生态系统碳贮量研究. 西北农林科技大学学报, 2007, 35(1): 171-174.

S41 黄承才, 葛滢, 常杰, 等. 中亚热带东部三种主要木本群落土壤呼吸的研究. 生态学报, 1999, 19(3): 324-328.

S42 李玉强, 赵哈林, 赵学勇, 等. 土壤温度和水分对不同类型沙丘土壤呼吸的影响. 干旱区资源与环境, 2006, 20(3): 154-158.

S43 王重阳, 王绍斌, 顾江新, 等. 农业环境科学学报, 2006, 25(5):1240-1244.

S44 王娓, 郭继勋. 松嫩草甸草地碱茅群落根呼吸对土壤呼吸的贡献. 科学通报, 2006, 51(5): 559-564.

S45 范阿南. 辽东次生林土壤呼吸及主要成份分离与量化[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.

S46 Wang C K,Yang J Y. Rhizospheric and heterotrophic components of soil respiration in six Chinese temperate forests. Global Change Biology, 2007, 13(1): 123-131.

S47 张宪权. 东北地区落叶松人工林土壤呼吸的时空异质性研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.

S48 贾淑霞. 落叶松和水曲柳人工林土壤呼吸比较研究[D].

哈尔滨: 东北林业大学, 2006.

S49 Wang C K,Yang J Y, Zhang Q Z. Soil respiration in six temperate forests in China Global Change Biology, 2006, 12(11): 2103- 2114.

S50 贾淑霞, 王政权, 梅莉, 等. 施肥对落叶松和水曲柳人工林土壤呼吸的影响. 植物生态学报, 2007, 31(3): 372-379.

S51 刘颖. 长白山典型森林生态系统土壤碳通量研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.

S52 王淼, 姬兰柱, 李秋荣, 等. 土壤温度和水分对长白山不同森林类型土壤呼吸的影响. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1234-1238.

S53 张金波, 宋长春, 杨文燕. 不同土地利用下土壤呼吸温度敏感性差异及影响因素分析. 环境科学学报, 2005, 25(11): 1537- 1542.

S54 Kato T,Tang YH,Gu S et al. Seasonal patterns of gross primary production and ecosystem respiration in an alpine meadow ecosystem on the Qinghai Tibetan Plateau. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2004,109, DOI: 10.1029/2003JD003951.

Carbon Emission and Spatial Pattern of Soil Respiration of Terrestrial Ecosystems in China:
Based on Geostatistic Estimation of Flux Measurement

ZHAN Xiaoyun[1,2], YU Guirui[1], ZHENG Zemei[3], WANG Qiufeng[1]

(1. Synthesis Research Center of CERN, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Soil respiration is a major process of carbon dioxide emission from terrestrial ecosystems to atmosphere. Researches on spatiotemporal patterns of soil respiration could be helpful to the construction of a quantitative evaluation model of soil respiration at regional scale, and also, could improve our predictive ability of carbon balance status under future climate change of typical ecosystems at regional or global scale. This paper integrated the main research results about the soil respiration at regional scale in China, analyzed the statistical characteristics and regional difference of temperature sensitivity and soil respiration, and in addition, the quantitative evaluation on the spatiotemporal distribution and its effects on the carbon balance at China's even global scale was also given in this paper. The results showed that Q_{10} of forest ecosystem was the highest, followed by that of farmland ecosystem, and Q_{10} of grassland ecosystem was lowest, indicating that Q_{10} was higher while air temperature was lower. Also, Q_{10} of terrestrial ecosystem in China was lower than that of other countries. R_s displayed a significant seasonal variation. R_s of different ecosystems presented a similar changing trend with Q_{10}. There was seasonal dynamics of monthly R_s along latitude and longitude gradients. Additionally, the seasonal amplitude of R_s increased with increasing longitude. Between 1995 and 2004, the R_s in China, with an average value of 3.84 Pg C·a^{-1}, contributed 4.87% to the global soil CO_2 emission.

Key words: soil respiration; autotrophic respiration; heterotrophic respiration; temperature sensitivity; spatiotemporal pattern; terrestrial ecosystems; China

本文引用格式:

展小云, 于贵瑞, 郑泽梅, 等. 中国区域陆地生态系统土壤呼吸碳排放及其空间格局: 基于通量观测的地学统计评估. 地理科学进展, 2012, 31(1): 97-108.