

温带阔叶林、针叶林和针阔混交林土壤呼吸的比较研究*

牟守国

(国立汉城大学环境大学院城市规划系, 韩国汉城)

(中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏徐州 221008)

摘要 对韩国广陵树木园的阔叶林、针叶林和针阔混交林的土壤呼吸排放量进行观测、分析和比较, 研究土壤呼吸与环境因子之间的相互关系, 从中探究各森林植被类型之间产生土壤呼吸差别的原因。利用 Q_{10} 模型计算出阔叶林、针叶林和针阔混交林的土壤呼吸 Q_{10} 值为 3.6、3.8 和 3.2, 再根据对当地各观测站土壤温度的连续观测数据, 计算出阔叶林、针叶林和针阔混交林的土壤呼吸日均排放量, 依次分别为 CO_2 15.12、15.10 和 13.99 g m^{-2} 。

关键词 土壤呼吸; 土壤温度; 土壤水分含量; Q_{10} 值

中图分类号 S718.55⁺ 4.2, Q948.1

文献标识码 A

土壤呼吸是指从土壤排放 CO_2 的过程, 主要来自于土壤微生物、植物的根系^[1]和土壤动物的呼吸^[2]所排放的 CO_2 。土壤排放的 CO_2 量约占大气中 CO_2 量的 10% 左右^[3], 这一排放量相当于煤炭等燃料在燃烧过程中放出 CO_2 量的 10 倍^[3,4]。因此, 土壤排放出的 CO_2 量稍有变化, 都会对大气中 CO_2 浓度的变化带来巨大的影响^[5-9]。

作为一个复杂的生物学过程, 土壤呼吸受到植被、微生物等生物因子影响, 同时土壤温度、土壤水分含量、土壤有机质含量、土壤 pH、土壤碳氮比以及植被的叶面指数等因子也会对其产生很大的作用。

随着植被种类的不同, 土壤呼吸排放 CO_2 的速率也有所不同^[7,10], 而且相邻异质性的植被也存在着很大的差异^[11,12]。Witkamp^[13] 提出, 土壤呼吸速率与落叶的分解率及落叶的种类具有显著的相关关系。这些研究结果表明, 植被作为决定土壤呼吸排放速率的重要因素, 土壤微气候与土壤结构、落叶的质和量以及根系呼吸等对土壤呼吸排放速率都会带来很大的影响^[14]。

因此, 在本研究中, 为了准确查明植被与土壤呼吸排放速率间的相关关系, 首先在同一时间(同一天的 11 点到 14 点)内测定森林系统中阔叶林、针叶林和针阔混

交林等 3 种植被类型的土壤呼吸排放速率, 并对各植被类型间土壤呼吸排放速率差异进行比较; 其次, 通过对各植被类型的土壤温度、土壤水分含量、土壤有机质含量、土壤 pH 以及土壤碳氮比等影响土壤呼吸的环境因子的分析, 找出森林系统中各植被类型间产生土壤呼吸速率差异的原因。并且, 在野外观测试验的基础上, 通过实验室土壤培养试验, 更进一步探明土壤呼吸排放量与土壤水分含量的关系。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

观测地点设在韩国京畿道广陵试验林(北纬 37°44', 东经 127°09'), 分别在阔叶林、针阔混交林和针叶林 3 种森林植被设立试验点。该试验林全年平均温度为 11℃, 最高平均温度为 8 月的 29℃, 最低平均温度为 1 月的 -11.2℃, 年平均相对湿度为 71%, 年降雨量为 1364.8 mm, 年蒸发量为 1112.2 mm, 地表温度平均为 13.5℃, 地下 10 cm 处平均温度为 11.0℃。属于温带气候区, 四季分明。阔叶林观测站分布着麻栎 (*Quercus acutissima*)、枫树 (*Acer palmatum* Thunberg)、洋白蜡树 (*Fraxinus rhynchophylla* Hance) 等阔叶植物, 树龄约为

* 该项目受韩国环境部《下一代核心环境技术开发事业》中“韩半岛地区陆地生态界的 Carbon Flux 监视技术开发”、韩国国立汉城大学科研补助基金和韩国科学基金(2000-2-51300-002-3)资助

作者简介: 牟守国(1966~), 男, 现于中国矿业大学任教

收稿日期: 2003-07-05; 收到修改稿日期: 2004-01-18

80~ 200 a 左右; 针阔混交林观测站分布着枫树(*Acer palmatum* Thunberg)、麻栎(*Quercus acutissima*) 以及红松(*Pinus koraiensis*) 等, 树龄约为 70~ 80 a; 针叶林观测站以红松(*Pinus koraiensis*) 为主, 树龄约为 70~ 80 a, 其间零星夹杂着枫树(*Acer palmatum* Thunberg)、迎红杜鹃(*Rhododendron mucronulatum*) 以及朝鲜连翘(*Forsythia koreana*) 等植物。3 个观测站均布设了 5 个采样点。

1.2 分析测试与野外观测

在测定土壤呼吸排放速率的同时, 在每个试验样点深度为 10 cm 处采取土样, 用以分析土壤含水量、土壤有机质含量以及土壤 pH。从 2001 年 8 月末开始到 2002 年 12 月, 定期地对 3 个观测站进行观测和测定, 用便携式 EGM-4 Pp-systems 土壤呼吸测定仪测定土壤呼吸排放速率, 每次测定时间为 120 s; 土壤温度主要采用 SUMMIT SDT 20 数字温度计对每个试验样点深度为 10 cm 处的温度进行测定, 并配以 Hobo 感测记录方法, 对各观测点地下 10 cm 处的土壤温度进行长期连续测定; 土壤水分和土壤有机质含量均采用减重法进行测定; 土壤 pH 用 Bench pH/Ion Meter(Cyber Scan pH 1 000/2 500) 数字测定仪采用 1: 5 测定。

1.3 室内土壤培养试验

采用室内模拟降雨过程的土壤培养方式。即每个处理各称取过 2 mm 筛的风干土 800 g 置于内径为 10 cm 的塑料圆筒中, 按照阔叶林、针叶林和针阔混交林的土样分别在 4℃(模仿冬季)、10℃(模仿春、秋季) 和 20℃(模仿夏季) 的培养箱中培养, 每个土样 3 次重复。在培养的过程中, 调整各土样的土壤水分, 每天观测一次土壤呼吸速率。

2 结果

2.1 各植被类型的土壤呼吸速率及其影响因素

图 1 显示了从 2001 年 8 月末至 2002 年 12 月

末, 在阔叶林、针叶林和针阔混交林中土壤呼吸 CO₂ 排放速率的变化情况(日期数 2001 年 1 月 1 日为 001 天)。在所有的森林植被类型中, 土壤呼吸速率从 3 月份开始持续上升直到 8 月份达到排放最高峰, 各植被类型的土壤呼吸速率峰值分别是: 阔叶林为 CO₂ 1.42 g m⁻² h⁻¹, 针阔混交林为 CO₂ 1.32 g m⁻² h⁻¹, 针叶林为 CO₂ 1.20 g m⁻² h⁻¹; 之后从 9 月份开始急速下降, 到 12 月份达最低值, 土壤呼吸速率分别为阔叶林 CO₂ 0.11 g m⁻² h⁻¹、针阔混交林 CO₂ 0.14 g m⁻² h⁻¹、针叶林 CO₂ 0.12 g m⁻² h⁻¹, 其最低值几乎只相当于 8 月份 CO₂ 排放量的 10%。

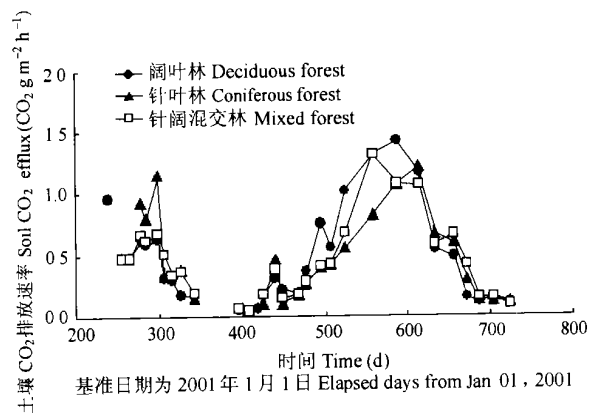


图 1 各植被类型 CO₂ 释放量随时间变化(2001 年 8 月~ 2002 年 12 月)

Fig. 1 CO₂ efflux and its temporal variation in the soils under deciduous, coniferous and mixed forests (Aug. 2001 to Dec. 2002)

2.2 土壤呼吸速率与环境因子之间的相关关系

在野外试验的基础上, 通过对各植被类型中的土壤呼吸速率与土壤温度、土壤水分、土壤有机质含量、土壤 pH 之间的相互关系分析表明, 在所有的森林植被中, 土壤呼吸速率仅与土壤温度之间存在着较为显著的相关关系, 相关系数分别为 0.77、0.71 和 0.71(表 1)。

表 1 土壤呼吸速率与土壤环境因子的相关关系

Table 1 Correlation coefficients(*r*) between soil environmental factors and soil respiration in the soils under deciduous, coniferous, and mixed forests(*p* < 0.05)

影响因子 Environmental factors	阔叶林 Deciduous forest		针叶林 Coniferous forest		针阔混交林 Mixed forest	
	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
	土壤温度 Soil temperature	0.77*	130	0.71*	120	0.71*
土壤水分 Soil water content	0.24	115	-0.08	115	0.18	108
土壤有机质 Soil organic matter content	0.32	110	0.17	105	0.15	115
pH	0.30	85	0.10	85	0.16	85

* *p* < 0.0001

为了说明土壤呼吸速率与土壤温度之间存在的显著性相关关系,利用土壤呼吸速率与土壤温度之间的一次指数 Q_{10} 模型进行分析^[6],各林相的 Q_{10} 值分别为:针阔混交林 3.8、阔叶林 3.6、针叶林 3.2(表2)。所以,阔叶林

的 $Q_{10} = e^{10 \times 0.1288} = 3.6$,说明在土壤深度 10 cm 处的土壤温度每上升 10℃,土壤呼吸速率增加 3.6 倍,同样,针叶林($Q_{10} = 3.8$)和针阔混交林($Q_{10} = 3.2$)土壤温度每上升 10℃时,土壤呼吸可分别增加 3.8 倍和 3.2 倍。

表 2 森林系统各植被类型 Q_{10} 指数模型及 Q_{10} 值

Table 2 Q_{10} exponential model and values of soil respiration in the soils under deciduous, coniferous and mixed forests ($p < 0.05$)

植被类型 Vegetation type	Q_{10} 模型 Q_{10} model	r^2	Q_{10}
阔叶林 Deciduous forest	$R = 0.0828e^{0.1288t}$	0.66*	3.6
针叶林 Coniferous forest	$R = 0.0773e^{0.1325t}$	0.63*	3.8
针阔混交林 Mixed forest	$R = 0.1009e^{0.1162t}$	0.63*	3.2

* $p < 0.0001$

2.3 利用 Q_{10} 模型估算土壤呼吸速率

将野外用 Hobo 感测记录器(每小时记录一次温度)进行连续测定的温度带入表 2 中的模型进行累加,即可得到某一期间的土壤呼吸总量。图 2 就是从 2002 年 4 月到 12 月的土壤温度变化曲线图。图 3 和图 4 为 2002 年 4 月 14 日至 12 月 2 日止(共 232 d)的各植被类型的土壤呼吸排放总量,依次为阔

叶林 CO_2 3 508 $g\ m^{-2}$, 针叶林 CO_2 3 504 $g\ m^{-2}$, 针阔混交林 CO_2 3 246 $g\ m^{-2}$ 。按日排放计算,阔叶林为 CO_2 15.12 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$, 针叶林为 CO_2 15.10 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$, 针阔混交林为 CO_2 13.99 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$, 阔、针叶林之间差异不明显,而混交林与阔叶林相比相对低 CO_2 2.13 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ 。

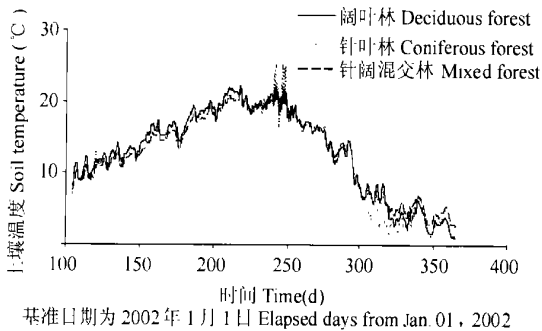


图 2 利用 Hobo 感测记录器的测定土壤温度变化曲线

Fig. 2 Soil temperature and its temporal variation in soils under deciduous, coniferous and mixed forests measured with the aid of Hobo sensor recorder

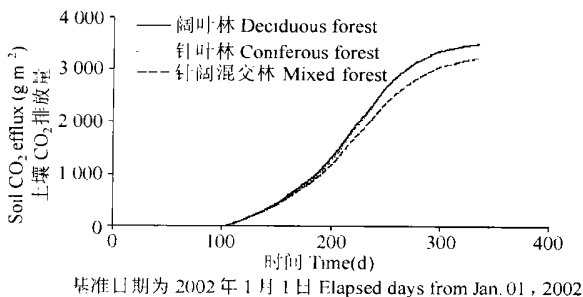


图 3 根据 Q_{10} 模型估算的森林各植被类型 CO_2 排放速率曲线(2002 年 4 月~2002 年 12 月)

Fig. 3 Estimated soil CO_2 emission rates from the soils under different types of forest based on the Q_{10} models (April, 2002 to Dec. 2002)

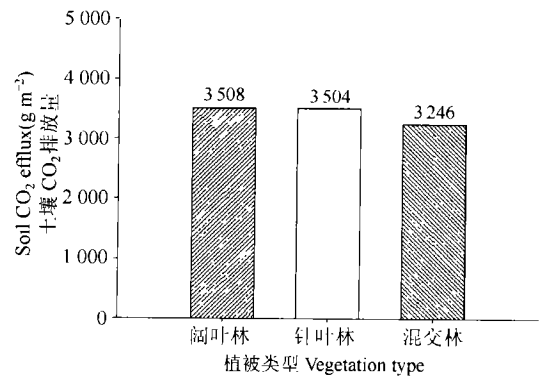


图 4 根据 Q_{10} 模型估算的森林各植被类型总 CO_2 排放量(2002 年 4 月~2002 年 12 月)

Fig. 4 Estimated soil CO_2 efflux from the soils under different types of forest based on the Q_{10} models in deciduous, coniferous and mixed forest (April, 2002 to Dec. 2002)

2.4 土壤呼吸速率与土壤水分含量的关系

表 2 的相关分析表明,在野外实测的过程中,由于土壤水分变化与土壤呼吸之间相关关系不明显,3 种植被类型的土壤含水量又不处于同一水平,而且特别是经过降雨过程之后,土壤含水量与土壤呼吸速率是否存在着关系,需要进一步研究加以说明。在实验室中,分别在 20℃、10℃和 4℃的温度条件下,将从各观测站所取土样经过预处理后,称取重约 800 g 左右放入塑料圆筒中,调整土壤的含水量,测定在 3 个不同条件下,即模仿夏季、春秋季节和冬季进

行不同水分含量下土壤呼吸排放量的测定试验。通过实验结果分析表明: 在 20 °C 培养箱中, 土壤呼吸排放量与土壤水分含量成明显的正相关; 在 4 °C 培养箱中, 土壤呼吸排放量与土壤水分含量成明显的负相关; 在 10 °C 的培养箱中, 阔叶林与针阔混交林土壤呼吸排放量与土壤水分含量成正相关, 而在针叶林中则又成负相关(见表 3)。在 3 种植被类型的土壤呼吸速率的测定中, 阔叶林土壤的呼吸速率明

显高于针叶林和针阔混交林, 而针叶林与针阔混交林之间处于交替状态变化, 相差不明显(见图 5)。土壤呼吸排放速率的变化趋势为: 20 °C 时, 突然增加水分之后, 土壤呼吸突然增加, 然后逐渐下降, 最后趋于平衡; 4 °C 时, 突然增加水分之后, 土壤呼吸突然下降, 然后逐渐上升, 最后趋于平衡; 而在 10 °C 温度条件下, 变化不明显。

表 3 各植被类型土壤培养试验土壤呼吸速率与土壤水分含量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between soil water content and soil respiration in the soils under deciduous, coniferous, and mixed forests ($p = 0.05$)

植被类型 Vegetation type	20 °C		10 °C		4 °C	
	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
阔叶林 Deciduous forest	0.73*	36	0.57*	36	-0.68*	36
针叶林 Coniferous forest	0.48*	36	-0.45	36	-0.68*	36
针阔混交林 Mixed forest	0.66*	24	0.31	36	-0.72*	36

* $p < 0.0001$

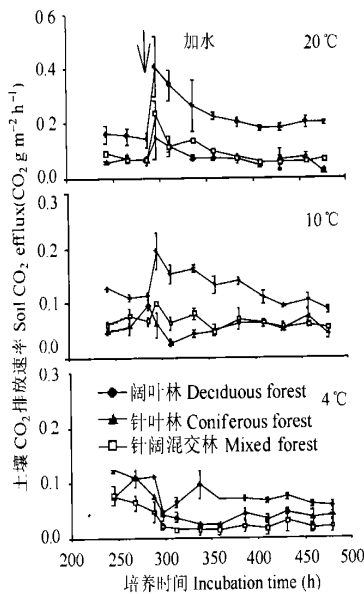


图 5 在 20 °C、10 °C 和 4 °C 的条件下各植被类型在不同水分含量土壤呼吸速率随时间的变化

Fig 5 Soil respiration rate changing with the time in soils different in moisture content under different types of forest at 20 °C, 10 °C and 4 °C

3 问题与讨论

为了估算土壤呼吸速率的大小并分析其动态变化, 必须了解 CO₂ 排放与环境因子的关系, 阐明影响土壤呼吸速率的因子及其影响。土壤呼吸是一个极其复杂的生物学过程, 影响因素较多, 表现在土壤呼

吸的过程中, 既有一定的规律性, 但又有很多难以解释的现象。本文仅仅是根据在韩国京畿道广陵实验区内的阔叶林、针叶林和针阔混交林 3 个试验观测站, 对土壤呼吸速率及其各环境影响因子的定量观测, 进行了初步的比较分析。

从本试验看, 由于森林植被类型的不同, 同一时期土壤呼吸排放 CO₂ 的量也有所不同, 除了土壤的 pH 没有明显的不同之外, 其他如土壤温度、土壤水分含量、土壤有机质含量以及叶面指数等在量上均有所不同。通过对土壤的 CO₂ 排放量与影响因子的相互关系分析表明, 土壤呼吸速率仅与土壤温度有较为显著的相关关系, 这一点在本文通过对阔叶林、针叶林和针阔混交林等的土壤呼吸速率与土壤温度相关关系分析中也证实了 Singh 等人的观点^[15, 16]。虽然 Raich 和 Schlesinger^[6] 根据大量的实验测定结果推算出全球平均 Q₁₀ 值为 2.4, 但是由于在此之前绝大多数实验采用苏打测定 CO₂ 排放量等方法, 并且大部分采用大气温度, 因此, 所推算的全球 Q₁₀ 值相对较低。

本试验调查期间各植被类型的 Q₁₀ 值分别为: 针叶林 3.8, 阔叶林 3.6, 针阔混交林 3.2。在韩国其他同类研究中, Son 等^[17] 在京畿道杨平地区测定的对照实验中 Q₁₀ 值分别为: 人工林 1.37、1.32, 落叶松 1.38、1.34(根据其得到的 Q₁₀ 模型计算), 与之相比本试验结果相对较高; Kang 等^[18] 在汉城南山、广陵(与该实验为同一观测地点)、点风山(江原道雪岳山余脉)等生态观测点测定出的 Q₁₀ 值分别为: 3.12、

3.26 和 3.24, 接近于本试验的 Q_{10} 值。

在实验室进行的土壤培养实验中, 分别在 20℃、10℃ 和 4℃ 的条件下, 对 3 种植被类型的土壤进行培养, 通过调整土壤水分含量测定其土壤呼吸排放量, 以此来研究土壤呼吸与土壤水分变化的关系。由于室内培养实验是在去除根系的情况下仅使用 800 g 土样进行的, 在实际的土壤呼吸发生过程中, 不仅测定的土壤远远超过 800 g, 而且还有源源不断的有机物质供应, 根际微生物数量和活性也明显高于实验室除根的土壤, 因此在室内的培养实验过程中, 测定的土壤呼吸速率明显地低于同等温度下现场测定的值, 其土壤呼吸排放速率没有实际生物学意义; 本实验是在 3 个不同的温度情况下操作的, 设定的温度几乎没有变化, 所测的土壤呼吸量与温度之间几乎不存在相关关系。在本实验中, 土壤水分含量对土壤呼吸速率的影响结果折线图(图 5) 与 Orchard 和 Cook^[19] 的实验结果具有很好的一致性。这一结果表明, 夏季降雨时, 土壤微生物残体在 20℃ 高温下因水分增加而加快有机物的分解, 同时土壤微生物处于最适温度, 其活性也相应地增加, 加速土壤放出 CO₂, 因此, 在夏季土壤呼吸速率与土壤

水分含量表现为一定的正相关; 而冬季结果正相反, 在低温下因土壤水分突然增加, 土壤微生物的活性低下, 加之微生物残体的分解速度较慢, 不但不能加速土壤放出 CO₂, 反而因水分含量增多, 使得土壤孔隙率降低, 从而抑制了土壤放出 CO₂ 的速度, 因此, 土壤呼吸速率与土壤水分含量成一定的负相关; 在春秋两季, 可能是由于针叶林的根系和土壤的木质素含量高于阔叶林^[20], 相对于阔叶林和针阔混交林的有机质矿化率较低, 加之绝大部分土壤微生物的最适温度在 25~37℃ 左右, 而在 10℃ 培养箱中培养的土壤温度几乎都低于或接近于 10℃, 所以此时微生物活性及其残体分解速率相对较低, 以至于相互关系表现得不明显。在这 3 种植被类型中, 由于阔叶林土壤的有机质含量比其他植被类型的土壤的有机质含量高(表 4), 土壤矿化度较高, 释放的 CO₂ 也就相对较高, 因此, 在不受土壤温度影响的情况下, 阔叶林的土壤呼吸速率明显高于其他森林植被类型, 而针叶林和针阔混交林在此培养实验中彼此之间统计上土壤有机质含量差异不明显, 土壤呼吸速率差异也不大。

表 4 各植被类型的土壤呼吸速率及影响因子的瞬时值平均值和标准偏差的比较

Table 4 Mean values and standard deviations of soil CO₂ efflux and soil environmental factors in the soils under deciduous, coniferous and mixed forests

影响因子 Environmental factors	阔叶林 Deciduous forest			针叶林 Coniferous forest			针阔混交林 Mixed forest		
	平均值	标准偏差	<i>n</i>	平均值	标准偏差	<i>n</i>	平均值	标准偏差	<i>n</i>
	Mean	Standard deviation		Mean	Standard deviation		Mean	Standard deviation	
土壤温度 Soil temperature	11.37	5.43	130	10.91	5.59	120	11.42	5.27	128
土壤水分 Soil water content	34.13	9.70	115	23.54	6.47	115	18.04	6.45	108
土壤有机质 Soil organic matter content	10.24	2.35	110	7.90	1.67	105	6.39	2.03	103
全有机碳 Soil total carbon	6.20	1.50	10	3.40	0.80	10	3.00	1.20	10
全氮 Total nitrogen	0.10	0.04	10	0.10	0.02	10	0.10	0.04	10
碳氮比 C/N ratio	30.20	6.20	10	31.10	16.40	10	32.10	4.20	10
pH	4.50	0.60	85	4.40	0.60	85	4.50	0.60	85

4 结论

通过 2001~2002 年的实验研究, 初步得到以下结论并需作进一步的试验及理论研究和探讨。

1) 土壤呼吸排放与环境因子的关系: 同一地区阔叶林、针叶林和针阔混交林等不同森林植被类型

中, 土壤 CO₂ 的排放与土壤温度具有显著的正相关关系 ($p < 0.0001$)。首先, 土壤温度的变化是引起土壤呼吸排放量大小的重要原因, 全球变暖可能会引起森林系统的土壤呼吸排放量增加。其次, 是土壤水分含量对土壤呼吸排放量的影响, 在夏季降雨时土壤呼吸速率随土壤水分增加而增加, 而在冬季是随土壤水分的增加而下降, 春秋两季则土壤水分含

量的变化对土壤呼吸速率的影响相对不明显。

2) 各植被类型的 Q_{10} 值依次为: 针叶林 3.8, 阔叶林为 3.6, 针阔混交林为 3.2。各植被类型中的 Q_{10} 值相对高于其他全球土壤呼吸研究的 Q_{10} 值。这说明在这一区域的森林系统中, 土壤温度对土壤呼吸排放量的影响很大, 土壤呼吸作用也很活跃, 而在 3 种植被类型中, 针叶林对温度最敏感, 其次为阔叶林和针阔混交林。

3) 土壤呼吸日平均排放量分别为: 阔叶林 CO_2 $15.12 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 针叶林 CO_2 $15.10 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 针阔混交林 CO_2 $13.99 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; 与针、阔叶林相比, 针阔混交林的日排放量相对较低。

在今后的测定和研究中, 将继续通过对土壤呼吸排放量和各环境因子进行调查和测定, 来研究彼此的相关关系。同时, 通过对森林各植被类型的土壤和落叶的碳氮比和纤维素的测定, 以及对各植被类型土壤的微生物、根系呼吸和土壤动物呼吸等将继续进行调查和测定, 以此来充分了解各植被类型的土壤呼吸排放量之间的关系; 此外, 还要对实际降雨过程进行观测, 以此来验证实验室培养实验的准确性, 从而对于研究全球温带地区大气温度变化具有重要的意义。

致谢 本论文得到韩国环境部 KoFlux 课题的资助及导师李道元教授和研究小组的金东信等大力支持, 对王腊春教授的审阅和指导一并表示感谢。

参考文献

- [1] Mathes K, Schriefer T. Soil respiration during secondary succession: Influence of temperature and moisture. *Soil Biol. Biochem.*, 1985, 17: 205~211
- [2] Richardson A M M, Morton H P. Terrestrial amphipods (crustacea, amphipoda, F. Talitridae) and soil respiration. *Soil Biol. Biochem.*, 1986, 18: 197~200
- [3] Raich J W, Potter C S. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biogeochem. Cycles*, 1995, 9: 23~36
- [4] Bohn H L. Estimate of organic carbon in world soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1982, 40: 468~470
- [5] Schleser W H. The response of CO_2 evolution from soils to global temperature changes. *Z. Naturforsch.*, 1982, 37a: 287~291
- [6] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 1992, 44B: 81~99
- [7] Kirschbaum M U F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol. Biochem.*, 1995, 27: 753~760
- [8] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 7~20
- [9] Potter C S, Randerson J T, Field C B, *et al.* Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochem. Cycles*, 1993, 7: 811~841
- [10] Schlesinger W H. Carbon balance in terrestrial detritus. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1977, 8: 51~81
- [11] Lieth H, Ouellette R. Studies on the vegetation of the Gasp Peninsula. II. The soil respiration of some plant communities. *Can. J. Bot.*, 1962, 40: 127~140
- [12] Ellis R C. The seasonal pattern of nitrogen and carbon mineralization in forest and pasture soils in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.*, 1974, 54: 15~28
- [13] Witkamp M. Rates of carbon dioxide evolution from litter and soil. *Ecology*, 1966, 47: 922~924
- [14] Raich J W, Tufekcioglu A. Vegetation and soil respiration: Correlation and controls. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 71~90
- [15] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Bot. Rev.*, 1977, 43: 449~529
- [16] Davidson E A, Belk E, Boone R D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, 1998, 4: 217~227
- [17] Son Y, Kim H W. Soil respiration in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* Plantations. *Jour. Korean For. Soc.*, 1996, 85(3): 496~505
- [18] Kang S, Doh S, Lee D, *et al.* Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. *Global Change Biology*, 2003, 9: 1427~1437
- [19] Orchard V A, Cook F J. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 1983, 15: 447~453
- [20] Fengel D, Wegener G. *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1989

RESPIRATION OF SOILS UNDER TEMPERATE DECIDUOUS, CONIFEROUS AND MIXED FORESTS

Mu Shouguo

(Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies,
Seoul National University, Seoul 151-742, South Korea)

(Department of Land Management, School of Environment & Spatial Informatics,
China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract In order to elucidate carbon cycling in the forest ecosystem, respiration of soils under deciduous (*Quercus acutissima*, *Acer palmatum* Thunberg and *Fraxinus rhynchophylla* Hance), coniferous (*Pinus koraiensis*) and mixed (*Pinus koraiensis*, *Quercus acutissima* and *Acer palmatum* Thunberg) forests and its environmental factors were investigated in Kwangneung Experimental Forest, Pochung-gun, Gyeonggi-do, Korea. In situ soil respiration was being measured for a 16-month period between August 2001 and December 2002 using Pp systems EGM-4 (IRGA). For each measurement, soil temperature, gravimetric water content, soil organic matter content, total organic carbon, total nitrogen and carbon to nitrogen ratio in the subsoil 10cm depth were also determined. Relations between soil respiration and their environmental factors were analyzed, and causes leading to difference between three forests were found out. Results indicated that soil respiration rates from the forest soil were strongly related to soil temperature. The highest correlation was found with the soil temperature at the depth of 10 cm, and soil respiration rates increased exponentially with increase in soil temperature. Thus, soil temperature was the primary abiotic determinant of soil respiration rates in this study. Q_{10} model was used to figure out the Q_{10} value of the deciduous, coniferous and mixed forest soils, being 3.6 ($r^2=0.66$), 3.8 ($r^2=0.63$) and 3.2 ($r^2=0.63$), respectively. The daily mean soil respiration rate was CO_2 15.12, 15.10 and 13.99 $g\ m^{-2}\ d^{-1}$, respectively. No difference was found between deciduous and coniferous forests, but difference did exist between mixed forest and the others. Other than that no environmental factors had any significant effect. However, when temperature was not a limiting factor, soil water content had some effect on forest soil CO_2 efflux. A modeling examination showed in summer (20°C), soil respiration rates increased exponentially with increase in soil water content, whereas in winter (4°C), soil respiration rates decreased exponentially with increase in soil water content. In spring and autumn (10°C), there was no apparent effect of soil water content.

Key words Soil respiration; Soil temperature; Soil water content; Q_{10} value