

文章编号: 1000-5692(2007)02-0231-08

林木根系呼吸影响因素及根系呼吸对全球变化的响应

李德会¹, 李贤伟¹, 王巧¹, 荣丽¹, 杨渺¹, 刘朔²

(1. 四川农业大学 生态林业工程重点实验室, 四川 雅安 625014;

2. 四川省林业调查规划院 营林调查队, 四川 成都 610081)

摘要: 林木根系呼吸受多种环境和人为因素影响, 对温度(包括大气、土壤温度)的响应呈正相关, 温度通过影响根系活性从而促进或抑制根系呼吸二氧化碳释放量。土壤湿度对林木根系呼吸的影响效应与温度相似。适宜的温度能够促进根系呼吸的进行。不同的森林类型的根系组织中氮元素和还原性糖等化学成分含量不同, 这从生理的角度解释了不同物种间根系呼吸的差异, 包括施肥和采伐等在内的人为因素, 通过改变土壤理化性质, 也在一定程度上影响着根系呼吸二氧化碳释放量的大小。森林生态系统内根系呼吸对全球变化的响应积极。在大气温度和二氧化碳浓度增加的趋势下, 植物光合能力增强, 更多的光合产物分配到地下, 根系呼吸也出现相应的增强。就林木根系呼吸的主要影响因素及其对全球变化的响应等方面做综合论述, 以期为进一步深入探讨根系呼吸机理、调控因素及其对营林措施的响应等内容提供参考依据。参 53

关键词: 生态学; 林木根系呼吸; 影响因素; 综述; 生态变化; 全球响应

中图分类号: S718.43; Q143 文献标志码: A

由温室气体引发的全球气候变化问题成为学术界和公众关注的热点。二氧化碳(CO₂)作为三大温室气体(二氧化碳、甲烷和一氧化二氮)之一, 其源、汇及通量的测定和计算尤为重要。作为全球碳循环的重要组成部分, 土壤呼吸作为陆地生态系统碳量的重要来源之一^[1], 其变化将会对全球碳平衡产生深远影响。已有研究表明, 世界范围内土壤呼吸高达 80.4 Gt·a⁻¹, 根系呼吸占土壤呼吸的 35%~45%^[2], 相当于每年燃烧化石燃料所释放的 CO₂ 量的 6 倍。森林生态系统是陆地生态系统的主体, 既是碳汇, 也是碳源, 是一个重要的碳库。目前, 已建立的长期监测 CO₂ 通量网站把森林土壤呼吸作为主要研究内容之一。根系呼吸是土壤呼吸的重要构成部分, 根系呼吸通量的长期监测研究在全球变化尺度上有着重要作用, 其原因在于 CO₂ 浓度和大气温度升高的情况下, 植物光合能力持续增强, 光合同化物产量增加, 加大了对地下部分碳的输入, 根系活性增强, 从而影响土壤碳库的多寡。通过对这一过程的了解, 人类可以采取相应调控措施以缓解全球 CO₂ 浓度升高趋势。

收稿日期: 2006-05-29; 修回日期: 2006-11-07

基金项目: “十一五”国家科学技术支撑项目(2006BAC01A11); 教育部重点学科博士点基金资助项目(20050626001); 四川省教育厅重点实验室项目(2006ZD006)

作者简介: 李德会, 硕士研究生, 从事森林生态碳循环研究。E-mail: lixuan7777@tom.com。通信作者: 李贤伟, 教授, 博士, 博士生导师, 从事恢复生态学和森林培育学研究。E-mail: lxw@sicau.edu.cn

1 土壤呼吸和根系呼吸

1.1 土壤呼吸

土壤呼吸是陆地生态系统碳循环的重要构成,包括3个生物学过程(土壤微生物呼吸、植物根系呼吸和土壤动物呼吸)和一个非生物学过程(含碳矿物质的化学氧化作用)。其中,生物学过程(特别是根系自养呼吸和微生物异养呼吸)是土壤释放CO₂的主体。有研究者将土壤呼吸值作为确定植物根系和根际微生物活性的指标^[3]。在不同的土壤呼吸模型构建中,其表示单位因不同的测定方法、仪器设备和测量时间长短而异。碱液吸收法测定较长时段内的土壤呼吸总量,一般以g·m⁻²·d⁻¹表示CO₂量的大小;多数CO₂红外分析仪则是通过测量瞬间CO₂气体交换量来计算土壤CO₂总的释放量,因而,多以μmol·m⁻²·s⁻¹作单位。

1.2 根系呼吸

根系呼吸(自养呼吸)是土壤呼吸的重要组成部分,其呼吸强度与林木地上光合作用所能提供的同化物密切相关。全球范围内林木根系呼吸对土壤呼吸的贡献为10%~90%。细根是根系生物能存在的重要形式,生长寿命短,周转快,相对于地上部分而言,细根拥有较大的生物量,是根系呼吸的主要部分^[4],也是土壤有机质碳的重要来源。

2 根系呼吸的影响因素

根系呼吸过程是陆地生态系统中碳循环的重要途径^[5],受土壤温度、土壤湿度、森林类型和人为干扰等诸多因素影响。根系呼吸有季节上的变化,也有空间上的差异,具有极强的时空特异性。

2.1 土壤温度

大多数研究表明,根系呼吸与土壤温度存在良好的相关性,这与适宜的温度能促进细胞的各项生理活动相关。Cooper等^[6]通过研究热量灵敏度热量适应性对根系呼吸的影响发现,温度越低,其温度系数(Q₁₀)值也相应越低,在5.0℃和14.5℃时,根系呼吸Q₁₀值分别为1.2和2.0~4.0。Ekblad等^[7]对草地和森林生态系统根系呼吸的研究表明,根系呼吸呈现出的季节变化能够用土壤温度解释。Jiang等^[8]研究了中国东北兴安落叶松*Larix gmelinii*成林和幼林的土壤呼吸,其根系呼吸和土壤温度呈指数关系,土壤和根系呼吸的Q₁₀值分别为5.56和4.17。Lavigne等^[9]在1997—2000年对3个气候梯度的香液冷杉林*Abies balsamea*年土壤呼吸进行测定,在冷立地、过渡带和暖立地上根系呼吸分别占土壤呼吸的38%、56%和64%。近来的研究表明,在土壤呼吸中,根系呼吸较异养呼吸对温度变化更为敏感,相关性更大。Boone等^[10]观察到85年生温带混交林的根系呼吸对温度的敏感性较全土大,根系呼吸Q₁₀值为4.6,全土为3.5。Fahey等^[11]对未受扰动的北部阔叶林土壤呼吸研究表明,小于等于1mm的细根呼吸有随温度的升高呈增长的趋势。

2.2 土壤湿度

土壤湿度对林木根系呼吸速率的影响较为复杂。一般认为,根系呼吸和土壤湿度有良好的相关性。在温度恒定的情况下,根系呼吸随土壤湿度的增大而增加;水分含量大小也促进或抑制林木根系呼吸的进行。Jiang等^[8]对兴安落叶松林地土壤呼吸研究表明,土壤水分含量会影响根系活性,从而影响根系呼吸和根系分泌物的产生。当土壤温度较高时,增加的土壤湿度促进了根系呼吸。成林根系呼吸Q₁₀值较幼林大,说明成林较之于幼林对土壤湿度更敏感。

土壤湿度一般与土壤温度共同对根系呼吸起作用,二者紧密联系,根系CO₂排出量的大部分变化可由温度和湿度共同解释。Li等^[12]观察到根系CO₂流出量与土壤表层温度和空气湿度间有显著的正相关,相关系数分别为0.7475和0.7604。Burton等^[13]观察到土壤有效水和土壤温度双因素共同解释了多脂松*Pinus resinosa*人工林和糖槭*Acer saccharum*林根系呼吸速率(根系呼吸速率是指单位面积上根系单位时间内呼吸释放的CO₂量,其单位多以μmol·m⁻²·s⁻¹表示)变化的76%和71%。Rey等^[14]对意大利中部麻栎林*Quercus acutissima*根系呼吸进行年际研究后发现,夏季和冬季根系呼吸速率较春季

和秋季低。这是由于夏季土壤干旱, 冬季土壤温度较低所致, 而在雨季出现后, 土壤温度和湿度都达到了最高值, 根系呼吸也相应的出现了最高值。

2.3 森林类型和根系内含物

不同的森林类型有不同的根系呼吸速率, 大多为 40% ~ 70%。裸子植物的根系呼吸速率比被子植物低, 这是由于裸子植物光合作用能力不及被子植物强, 分配到地下的光合产物相应较少所致^[15]。William 等^[16]通过对糖槭林和北美白桦 *Betula papyrifera* 林根系呼吸进行对比研究, 糖槭林根系呼吸略高于北美白桦林, 这可能是由于耐荫的糖槭林拥有更高的细根周转率所造成的。Weber 等^[17]和 Hudgens 等^[18]均观察到阔叶林(白杨 *Populus tremuloides* 林)根系呼吸比附近的松树林高。同类植物在不同的生长阶段也有不同的根系呼吸速率。Raich 等^[19]对热带和亚热带常绿阔叶林根系呼吸研究表明, 同其他植被类型相比, 热带和亚热带常绿阔叶林根系呼吸速率较高。在相同的气候条件下, 草地生态系统根系呼吸要低于森林生态系统中根系呼吸^[20], 这是由于森林根系生物量和细根碳量都高于草地生态系统所致。

根系呼吸速率与根系氮含量密切相关, 根系氮浓度也是促进根系呼吸的因子之一。随着根系年龄的增加, 根系氮含量降低, 养分的吸收能力和呼吸作用都表现出下降的趋势^[21]。也有研究者认为, 细胞组织中氮浓度的增加会降低细根寿命, 加快周转, 从而从另一方面来促进根系维持呼吸的加速进行^[16]。近来有研究发现, 同一植物靠近根系顶端的、小的新生根系(细根是大部分)呼吸比大的根系呼吸高, 这是由于新生根系组织中高的氮浓度造成的^[22]。Burton 等^[23]通过干旱处理研究不同立地上细根呼吸与根系氮浓度的相关性发现, 在温度保持恒定的条件下, 所有研究立地上细根呼吸同根系氮浓度呈线性相关。

根系呼吸大小还受组织中淀粉和还原性糖等化学物质含量的影响。Lunackova 等^[24]通过对 2 种植物进行相同的温度处理发现, 2 类植物夏季根系呼吸都高于冬季, 这和温度和湿度差异有关, 也是由于夏季根系细胞组织中淀粉含量比其他季节高; 在相同的温度条件下, 不同类型植物根系还原性糖等物质含量不同, 根系呼吸率也存在差异。盐分胁迫通过分离氧化和硝化作用以刺激根系呼吸, 使根系组织中抗氧化剂活性降低, 自由基分子运动加速, 导致根系呼吸增加^[25]。胡桃醌等次生代谢物也会影响根系呼吸。有研究者就不同浓度胡桃醌对植物生理过程影响研究发现, 胡桃醌能显著抑制所有实验物种的根系呼吸^[26]。

2.4 人为干扰

2.4.1 森林采伐 森林采伐会改变根系的分布、密度和活性, 从而影响根系和土壤呼吸。森林采伐作业亦会导致短期碳流失, 降低植物有效性碳利用率, 减少光合产物向地下部分分配, 在一定程度上抑制根系生长呼吸和维持呼吸的正常进行^[4]。森林疏伐会导致根系呼吸降低, 而根系有机质含量有所增加^[27]。Striegl^[28]对林木长期观察发现, 采伐使根系呼吸降低了 35%, 为 $9.5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2}$ 。相对于根系呼吸, 异养呼吸更容易受森林采伐的影响。这可能是由于采伐后更高的地温和更多的采伐剩余物促进了土壤中微生物活性, 微生物呼吸和含碳有机质的矿化作用增强。但在华盛顿的北美黄杉 *Pseudotsuga sinensis* 林、俄勒冈州的北美黄杉林和密歇根州的北方阔叶林中并未发现土壤呼吸速率的显著变化, 这可能是由于皆伐后微生物呼吸速率的增加和同等的根系呼吸降低相抵消有关^[29]。

2.4.2 施肥 施肥对根系呼吸的影响结果不一, 受施肥时间、肥料类型以及不同的测量方式、观察时间长短和立地条件等多因素的影响, 施肥使土壤养分含量改变, 综合影响根系呼吸。一般而言, 微量养分含量对根系呼吸的影响不及大量养分。Gough 等^[30]观察到, 火炬松 *Pinus taeda* 幼苗在施肥后 49 d, 根系呼吸较对照高 32%; 而在施肥后第 197 天, 对照处理植株根系呼吸高于施肥处理的幼苗。Gallardo 等^[31]观察到当施入氮肥时, 根系呼吸作用有所提高, 这可能是由于施入氮肥能提高根系氮浓度, 增加地下部分同化物分配所致。Darwin 等^[32]认为, 施入氮肥可以显著地增加根系的氮浓度, 提高细根中的氮沉降度, 增加细根死亡率。氮的有效性增加会降低细根生物量, 减少细根呼吸。Parmjit^[33]对盆栽植物根系进行缺磷和缺钾处理发现, 缺磷处理的植物根系呼吸较钾缺乏处理的植物根系呼吸大。Hansen 等^[34]对处于营养生长向生殖生长转移的植物进行磷缺乏处理, 在这个阶段内, 根

系呼吸有明显的增加,进一步的研究表明磷胁迫会降低植物的同化作用,减少茎中的生物量积累,从而增强了根系的呼吸强度。Kitano^[35]发现根系呼吸与钙吸收的关系,随着Ca²⁺溶液浓度的增加,根系对水分和Ca²⁺的吸收降低,根系呼吸也随之下降。Nielsen等^[36]注意到,根系在增加磷吸收的同时,由根系呼吸引起的净碳消耗也相应增加。随着磷有效性的降低,根系呼吸也呈下降趋势。这可能是由于离子吸收呼吸和根系维持呼吸降低所致。Dyckmans^[37]等采用¹⁵N和¹³C双重标记法长期测量了3年生欧洲水青冈*Fagus sylvatica*林地土壤碳和氮养分循环对根系呼吸的影响,发现氮源的改变能够显著影响根系呼吸强度,土壤CO₂浓度增加也能促进根系生长呼吸的加快。

2.4.3 其他营林措施 不同土壤质地上,根系呼吸量不同。一般认为,砂质土壤中根系呼吸比黏质土壤中的根系呼吸大。造成这种差异的原因可能是由于不同的土壤温度、水肥供应能力不同。Bond等^[38]通过挖掘壕沟和火烧处理发现,挖掘壕沟使根系在整个生长季节呈单峰型变化,在生长季晚期则下降至最低值。在燃烧过的立地上,年根系呼吸明显小于年异养呼吸。这与火烧后林地地被物的发育程度有关。Padmanabh等^[39]发现,当植物处于自然生长状态时,增加黑暗处理会降低根系呼吸,糖源的施入则能显著地提高根系呼吸速率。杨玉盛等^[40]研究了亚热带森林转换对土壤呼吸动态及通量的影响发现,格氏栲*Castanopsis kawakamii*天然林改造为格氏栲和杉木*Cunninghamia lanceolata*人工林后,根系呼吸分别下降了52.4%和76.7%。

3 根系呼吸对全球变化的响应

3.1 根系呼吸对大气CO₂浓度升高的响应

大气中CO₂浓度升高,将使根系呼吸呈增长态势。大气中CO₂浓度升高,环境中碳的沉降强度增加,植物光合能力持续增长,促使的光合产物流向根系,植被中地下碳分配增加,地下生物量和碳循环程度也随之增加^[41]。有研究表明,CO₂浓度升高可以促进根系呼吸,升高的CO₂使细根生物量上升了151%,单位质量细根呼吸增加43%^[42]。在15年生的火炬松林进行的FACE实验中,观察到高的CO₂浓度下土壤呼吸增加量中,约30%~50%来自根系呼吸的增加^[43]。Willam等^[16]通过研究糖槭树和北美白桦细根呼吸对CO₂浓度升高的响应发现,CO₂浓度上升会使2种树种的细根生物量显著提高,细根组织中氮浓度较自然林分高25%~300%,细根呼吸要高出35%~70%。Matamala等^[44]对火炬松林进行了2a的观察发现,CO₂富集后,火炬松活细根生物量增长386%,而全年根系呼吸没有表现出显著的变化,但在1997年9月和1998年5月,根系呼吸随CO₂浓度升高分别提高了21%和13%。

3.2 根系呼吸对气温升高的响应

几乎所有关于全球气温改变的模型都预测,随着全球温度的上升,积极响应土壤温度的呼吸作用将呈增长趋势,土壤将成为一个巨大的碳源^[22]。近来有研究表明,在土壤呼吸中,根系呼吸较异养呼吸对温度变化的相关性更大,根系特别是细根分解作用的持续进行,根系呼吸一般较异养呼吸高。寒冷气候条件下,根系呼吸对全球升温相应较强烈,高纬度地区气候变化会提高根系呼吸。Vogel等^[45]认为,夏季土壤温度最低、分解最慢的立地上在生长季节却比其他类型立地拥有更高的根系呼吸。高海拔的云杉*Picea aspirata*类植物高富集¹³C,氮的周转较慢,任何一个环境因素的改变都可以促使更多的碳分配到根系。这种林型的根系呼吸会随着温度的升高而显著加快。

3.3 根系呼吸对CO₂浓度升高和温度升高的共同响应

Mc Guire等^[46]用TEM模型得出,当全球温度升高1℃和大气中CO₂质量分数提高到650mg·kg⁻¹的情况下,土壤呼吸释放的碳量将增加28Gt,其中根系呼吸的贡献为16Gt。Pajan^[47]在大气高CO₂和高温度下对20~30年生欧洲赤松*Pinus sylvestris*林根系呼吸进行研究,观察到根系呼吸随温度有显著的时空变化,且高温和高CO₂处理的根系呼吸速率最大。Lin等^[48]使用稳定同位素法研究了CO₂和温度升高对北美黄杉林土壤呼吸各分室的不同影响,结果表明,大气高CO₂和高温刺激了根系呼吸、根际呼吸和枯落物分解,其中,根系呼吸对CO₂升高反应最为灵敏,土壤有机质氧化作用对温度升

高反应最敏感。和对照相比较, 高 CO₂ 高温处理下, 根呼吸、根际呼吸、枯落物分解和土壤有机质氧化作用分别增加了 78%, 57%, 69% 和 93%。

3.4 根系呼吸对其他变化的响应

大气中的氮沉降可提高土壤矿化速率而影响土壤 CO₂ 的释放, 异养呼吸和 SOM 氧化过程对此反应较根系呼吸强烈^[49]。有研究者认为, 氮通过提高细根的碳沉降度, 增加对细根的碳分配来影响细根的死亡率, 也即, 氮的有效性增加会降低细根的生物量, 从而减弱细根呼吸速率^[32]。而随着氮沉降增加的发生, 植物生长过程中不同营养器官碳/氮比也会做出一定的响应^[50]。Christopher 等^[30]对火炬松林施入磷酸二氢铵后观察发现, 氮的吸收和沉降可以影响根系呼吸, 当植物大量吸入氮后, 生长停止。

Edwards 等^[51]通过增加臭氧浓度这一处理措施对火炬松幼苗根系呼吸的研究表明, 在臭氧环境条件下, 植物光合作用降低(在一定程度上抑制了植物组织对环境中 CO₂ 的吸收, 光合作用生理过程不能实现), 对根部碳水化合物的供给降低, 根系呼吸速率降低。当环境中臭氧的浓度增加 2 倍时, 年根系呼吸速率降低 12%。Grantz 等^[52]对海岛棉 *Gossypium barbadense* 和香瓜 *Cucumis melo* 幼苗进行不同浓度的臭氧处理却发现, 臭氧浓度的增加能显著影响细根呼吸, 实验物种细根呼吸均表现出随臭氧浓度的剧烈增加而快速增长, 而叶的同化作用降低。Olliger 等^[53]认为 CO₂ 和氮沉降的增加刺激了林木生长和碳的吸收。

4 结论

综上所述, 林木根系呼吸受环境和人为因素的影响, 它对全球变化的响应也非常积极, 深入探讨根系呼吸, 尤其是有着重要生态作用的细根的呼吸机制和调控因素及其对全球变化和营林措施的响应仍是以后努力的方向。在现有的根系呼吸研究过程中, 还存在许多的问题, 诸如: 根系呼吸的测量方法较粗放, 大多都是通过间接方法测定而来, 在实际操作中存在相应的误差, 很难精确地测定出根系 CO₂ 通量; 研究实验涉及野外观测的为数不多, 尤其是在国内对于天然林和人工林, 特别是对“退耕还林”地植被恢复后, 不同土地利用方式对比下的根系呼吸测定很少; 实际操作难, 根系呼吸这一生理过程是动态变化的, 具有很大的时空变异性。呼吸作用时刻都在进行, 增大了界定呼吸对光合同化物消耗阈值的难度和精准度, 在测定具体的时间和空间变化方面也有很大的难度。在今后的研究中, 可以着重开展以下几个方面的工作: ①找出更科学有效的研究方法、技术和模型, 以具体区分根系呼吸、微生物呼吸和 SOM 氧化作用等的 CO₂ 释放量。②研究不同气候带森林类型特别是亚热带森林根系呼吸, 退化森林植被恢复后林木根系呼吸对全球气候变化的响应机制及综合生态效应评价。③具体研究林木细根这一重要的生态场和能量场的呼吸机制和 CO₂ 通量, 深入了解细根呼吸及碳库的生态效应。④长期定位观测营林和抚育措施等人为干扰对根系呼吸的影响。⑤研究多因素对根系呼吸的共同影响机制。⑥扩大研究尺度, 建立可推广的土壤、根系呼吸模型, 应用于不同的生态系统中, 研究尺度应从较小尺度区域的生态系统扩大到更大水平。⑦综合模型研究, 建立适宜我国碳预算和碳贸易的 CO₂ 通量预测网, 为全国尺度的碳汇碳库提供基础数据。

参考文献:

- [1] EKBLAD A, BOSTROM B, HOIM A, *et al.* Forest soil respiration rate and delta ¹³C is regulated by recent above ground weather conditions[J]. *Oecologia*, 2005, 143: 136-142.
- [2] SUSFLAK B, CHENG W X, JOHNSON D W, *et al.* Lateral diffusion and atmospheric CO₂ mixing compromise estimates of rhizosphere respiration in a forest soil[J]. *Can J For Res*, 2002, 32: 1 005-1 015.
- [3] 刘建军, 王得祥, 雷瑞德, 等. 秦岭天然油松林、锐齿栎林地土壤呼吸与 CO₂ 释放[J]. *林业科学*, 2003, 39(2): 8-14.
- [4] HOGBERG P, NORDGREN A, AGREN G. Carbon allocation between tree root growth and root respiration in boreal pine forest[J]. *Oecologia*, 2002, 132: 579-581.

- [5] PUMPANEN J, ILESNIEMI H, HARI P. A process-based model for predicting soil carbon dioxide efflux and concentration[J]. *Soil Sci Soc Ame J*, 2003, **67**: 402—413.
- [6] COOPER E J. Out of sight, out of mind; thermal acclimation of root respiration in Arctic *Ranunculus* [J]. *Arct Antarct Alp Res*, 2004, **36** (3): 308—313.
- [7] EKBLAD A, SALIMON C I, DAVIDSON E A, *et al.* CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia[J]. *Global Change Biol*, 2004, **10** (9): 833—843.
- [8] JIANG L F, SHI F CH, WANG H T, *et al.* Root respiration in *Larix gmelinii* plantations in Northeast China[J]. *Plant Physiol Commun*, 2004, **40**: 27—30.
- [9] LAVIGNE M B, BOUTIN R, FOSTER R J, *et al.* Soil respiration responses to temperature are controlled more by roots than by decomposition in Balsam fir ecosystems [J]. *Can J For Res*, 2003, **33**: 1 744—1 754.
- [10] BOONE R D, NADELHOFFER K J, CANARY J D, *et al.* Roots exert a strong influence on the temperature sensitivity of soil respiration [J]. *Nature*, 1998, **396**: 570—572.
- [11] FAHEY T J, TIEMEY G L, FITZHUGH R D, *et al.* Soil respiration and soil carbon balance in a northern hardwood forest ecosystem [J]. *Can J For Res*, 2005, **35**: 244—254.
- [12] LI M F, DONGY S, QI Y C, *et al.* Analysis of diurnal variation of CO₂ flux in *Leymus chinensis* grassland of Xilin River watershed [J]. *Grassl China*, 2003, **25** (3): 9—14.
- [13] BURTON A J, PREGIZER K S. Field measurements of root respiration indicate little to no seasonal temperature acclimation for sugar maple and red pine [J]. *Tree Physiol*, 2003, **23** (4): 273—280.
- [14] REY A, PEGORARO E, TEDESCHI V, *et al.* Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy [J]. *Global Change Biol*, 2002, **8** (9): 851—866.
- [15] BURTON A J, PREGIZER K S, RUESS R W, *et al.* Root respiration in North American forests: effects of nitrogen concentration and temperature across biomes [J]. *Oecologia*, 2002, **131**: 559—568.
- [16] WILLIAM G, BRAIN J, RICHARD L. Altered growth and fine root chemistry of *Betula papyrifera* and *Acer saccharum* under elevated CO₂ [J]. *Can J For Res*, 2003, **33** (5): 842—853.
- [17] WEBER M G. Forest soil respiration after cutting and burning in immature aspen ecosystems [J]. *For Ecol Manage*, 1990, **31**: 1—14.
- [18] HUDGENS E, YAVITT J B. Land-use effects on soil methane and carbon dioxide in forests near Ithaca, New York [J]. *Ecosci*, 1997, **4** (2): 214—222.
- [19] RAICH J W, TUFEKCIOGLU A. Vegetation and soil respiration: Correlation and controls [J]. *Biogeochem*, 2000, **48**: 71—90.
- [20] PAUL V B, JAMES M V. Forest and pasture carbon pools and soil respiration in the Southern Appalachian Mountains [J]. *For Sci*, 2005, **51**: 372—384.
- [21] VOLDER A, SMART D R, BLOOM A J, *et al.* Rapid decline in nitrate uptake and respiration with age in fine lateral roots of grape: implications for root efficiency and competitive effectiveness [J]. *New Phytol*, 2005, **165**: 493—502.
- [22] PREGIER K S, LASKOWSKI M J, BURTON A J, *et al.* Variation in sugar maple root respiration with root diameter and soil depth [J]. *Tree Physiol*, 1998, **18**: 665—670.
- [23] BURTON A J, PREGIER K S, ZAK D R, *et al.* Drought reduces root respiration in sugar maple forests [J]. *Ecolog Appl*, 1998, **8**: 771—778.
- [24] LUNACKOVA L, MASAROVICOVA E, LUX A. Respiration rate and chemical composition of *Karwinskia* roots as affected by temperature [J]. *Biolog Plant*, 2000, **43**: 611—613.
- [25] KASUMOV N A, ABBASOVA Z I, GUNDUZ G. Effects of salt stress of the respiratory components of some plants [J]. *Turkish J Bot*, 1998, **22**: 389—396.
- [26] JOSE S, GILLESPIE A R. Effects of juglone on hydroponically grown corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and physiology [J]. *Plant Sci*, 1998, **203**: 199—205.
- [27] TANG J W, QI Y, XU M, *et al.* Forest thinning and soil respiration in a ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada [J]. *Tree Physiol*, 2005, **25**: 57—66.
- [28] STRIEGL R G, WICKLAND K P. Effects of a clear-cut harvest on soil respiration in a jack pine-lichen woodland [J]. *Can J For Res*, 1998, **28**: 534—539.

- [29] TOLAND D E, ZAK D R. Seasonal patterns of soil respiration in intact and clear cut northern hardwood forests [J] . *Can J For Res*, 1994, **24**: 1 711—1 716.
- [30] GOUGH C M, SEILER J R. Belowground carbon dynamics in loblolly pine (*Pinus taeda*) immediately following diammonium phosphate fertilization [J] . *Tree Physiol*, 2004, **24**: 845—851.
- [31] GALLARDO A, SCHLESINGER W H. Factors limiting microbial biomass in the mineral soil and forests floor of a warm-temperate forest [J] . *Soil Biol Biochem*, 1994, **26** (10): 1 409—1 415.
- [32] DARWIN C, JOSEPH J H, ROBERT J M, *et al.* Fine root carbon allocation and fates in longleaf pine forests [J] . *For Sci*, 2004, **50**: 177—188.
- [33] PARMJIT S, BLANKE M M, SINGH P. Deficiency of potassium but not phosphorus enhances root respiration [J] . *Plant Growth Regul*, 2000, **32**: 77—81.
- [34] HANSEN C W, LYNCH J, OTTOSEN C O. Response to phosphorus availability during vegetative and reproductive growth chrysanthemum; Whole-plant carbon dioxide exchange [J] . *Amer Soc Hortic Sci*, 1998, **123** (2): 215—222.
- [35] KITANO M, ARAKI T, YOSHIDA S, *et al.* Dependence of calcium uptake on water absorption and respiration in roots of tomato plants [J] . *Biotronics*, 1999, **28**: 121—130.
- [36] NIELSEN K I, BOUMA T, LYNCH J, *et al.* Effects of phosphorus availability and vesicular-arbuscular mycorrhizas on the carbon budget of common bean (*Phaseolus vulgaris*) [J] . *New Phytol*, 1998, **139**: 647—656.
- [37] DYCKMANS J, FLESSA H. Influence of internal nitrogen reserves on the response of beech (*Fagus sylvatica*) trees to elevated atmospheric carbon dioxide concentration [J] . *Tree Physiol*, 2002, **22** (1): 41—49.
- [38] BOND L B, WANG C K, GOWER S T. Contribution of root respiration to soil surface CO₂ flux in a boreal black spruce chronosequence [J] . *Tree Physiol*, 2004, **24**: 1 387—1 395.
- [39] PADMANABH D, DWIVEDI P. Substrate regulation of root respiration during prolonged darkness in Arabidopsis and Hordeum plants [J] . *Indian J Plant Physiol*, 2001, **6**: 10—13.
- [40] 杨玉盛, 陈光水, 王小国, 等. 中国亚热带森林转换对土壤呼吸动态及通量的影响 [J] . *生态学报*, 2005, **25** (7): 1 684—1 690.
- [41] SALIMON C I, DAVIDSON E A, VICTORINA R L, *et al.* CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwest Amazonian [J] . *Global Change Biol*, 2004, **10**: 833—843.
- [42] GEORGE K, NORBY R J, HAMILTON J G, *et al.* Fine-root respiration in a loblolly pine and sweetgum forest growing in elevated CO₂ [J] . *New Phytol*, 2003, **160**: 511—522.
- [43] BOWDEN R D, NADELHOFFER K J, BOONE R D, *et al.* Contribution of above ground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest [J] . *Can J For Res*, 1993, **23**: 1 402—1 407.
- [44] MATAMCALA R, SCHLESINGER W H. Effects of elevated atmospheric CO₂ on fine root production and activity in an intact temperate forest ecosystem [J] . *Global Change Biol*, 2000, **6**: 967—979.
- [45] VOGEL J G, VALENTINE D W, RUESS R W. Soil and root respiration in mature Alaskan black spruce forests that vary in soil organic matter decomposition rates [J] . *Can J For Res*, 2005, **35**: 161—174.
- [46] MC GUIRE A D, MELILLO J M, KICKLIGHTER D W. Equilibrium responses of soil carbon to climate change: Empirical and process-based estimates [J] . *Biogeochem*, 1995, **22**: 785—796.
- [47] PAJARI B. Soil respiration in a poor upland site of scots pine stand subjected to elevated temperatures and atmosphere carbon concentration [J] . *Plant Soil*, 1995, **168/169**: 563—570.
- [48] LIN G H, EHLERIGIR J R, RYVYGIEWICZ P T, *et al.* Elevated CO₂ and temperatures impacts on different components of soil CO₂ efflux in Douglas-fir trachoma's [J] . *Global Change Biol*, 1995, **5**: 157—168.
- [49] SITLAULA B K, BAKKEN L R, ABRAHAMSEN G. N-fertilization and soil acidification effects on N₂O and CO₂ emission from temperate pine forest soil [J] . *Soil Biol Biochem*, 1995, **27**: 1 401—1 408.
- [50] HARDING R B, JOKELA E J. Long-term effects of forest fertilization on site organic matter and nutrients [J] . *Soil Sci Soc Amer*, 1994, **58**: 216—221.
- [51] EDWARDS N. Root and soil responses to ozone in *Pinus taeda* L. seedling [J] . *New Phytol*, 1991, **118**: 315—321.
- [52] GRANTZ D A, SILVA V, TOYOTA M, *et al.* Ozone increases root respiration but decreases leaf CO₂ assimilation in cotton and melon [J] . *J Exp Bot*, 2003, **54**: 2 375—2 384.
- [53] OLLIGER S V, ABER J D, REICH P B, *et al.* Interactive effects of nitrogen deposition, tropospheric ozone, elevated CO₂ and

land use history on the carbon dynamics of northern forests[J]. *Global Change Biol.* 2002, 8: 545-562.

A review of forest root respiration-determinants and response to global change

LI De-hui¹, LI Xian-wei¹, WANG Qiao¹, RONG Li¹, YANG Miao¹, LIU Shuo²

(1. State Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China; 2. Sichuan Forestry Exploration and Design Research Institute, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: This paper summarizes the determinants of root respiration and the reaction of root respiration to global climate change, and then it suggests and discusses further research, including how root respiration works, controlling methods, and responses to forest management and other disturbances. In the global cycle, respiration of the forest ecosystem is one of the major pathways for carbon flux. Therefore, root respiration, as a major component of soil respiration, plays an important role in global change. Dynamic changes in root respiration strongly influence the carbon balance as well as global carbon flux and, consequently, other ecological factors. Root respiration in the forest ecosystem, which global change can greatly affect, is the basis of carbon efflux for the whole ecosystem. For example, in the forest ecosystem, forest root respiration is sensitive to both canopy and soil conditions with soil temperature, soil moisture, forest type, forest management, and other natural climatic properties being the primary determining factors. Overall, root respiration in the forest ecological system actively responds to global ecological changes. [Ch, 53 ref.]

Key words: ecology; forest root respiration; determinants; review; ecological change; global response

森林培育学省级重中之重学科召开学术委员会会议

2006年12月16日,森林培育学省级重中之重学科召开了学科及浙江省现代森林培育技术重点实验室学术委员会会议,邀请学术委员会为学科和实验室建设献计献策。学术委员会由来自中国水稻研究所、上海植物生理生态研究所、中国科学院南京土壤研究所、浙江大学、南京林业大学、中国林科院亚林所、北京林业大学和浙江林学院等单位的11位专家组成。南京林业大学王明庥院士为主任,北京林业大学校长尹伟伦院士和浙江林学院副院长方伟教授任副主任。

浙江林学院党委书记陈敬佑教授为每位学术委员颁发了聘书。委员们听取了方伟教授对学科发展历程的介绍,并参观了智能实验楼、智能温室和林木良种基地。针对森林培育学学科的实际状况,委员们对学科和实验室的建设提出了建议,同时还评审了2006年度开放基金申请项目。

方伟教授对各位委员关心学科发展,提出宝贵建议表示感谢,并要求全体教师在学术委员会的帮助下,认真思考今后发展方向,努力实现既定目标,为学科跨越式发展做出自己最大的贡献。

(何明)