

土壤中山毛榉根系呼吸的碳素损失^{*}

上官周平 邵明安

(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

Jens Dyckmans

(Institute of Soil Science and Forest Nutrition, University of Göttingen, 37077 Göttinge, Germany)

THE LOSS OF CARBON WITH RESPIRATION OF BEECH ROOTS IN SOIL

Shangguan Zhou-ping Shao Ming-an

(Chinese Academy of Sciences and Water Resource Ministry, Yangling Shaanxi 712100, China)

Jens Dyckmans

(Institute of Soil Science and Forest Nutrition, University of Göttingen, 37077 Göttinge, Germany)

关键词 植物根系, 呼吸作用, 土壤, 实验装置

中图分类号 Q945.1

根系对植物生长发育过程有着重要的调控作用, 其生理生化代谢过程是农学、生态学等学科研究的薄弱领域。植物生长发育过程受不同器官呼吸碳素损失的影响, 根系是一个重要的碳素库^[1], 其呼吸作用是生态系统碳素循环中重要的反馈途径之一^[2,3]。由于很多研究侧重地上部分的研究, 就环境因素对地下碳素库调控的了解还很有限, 根系碳素量几乎占到植物总碳素量的 50%^[4,5], 但是, 目前就植物根系呼吸碳素损失的研究方法, 以及影响同化产物累积和分配的机制还有待研究^[1]。以往多用溶液培养、气培和分离根系^[6]来测定根系的呼吸速率或根系活力, 这些测定结果与自然状态下根系的实际生理状况差异较大, 难以确切掌握植物碳素平衡与分配。为此, 我们设计了一种可动态测定土壤中植物根系呼吸碳素损失的方法, 并在高 CO₂ 条件下植物¹³C 吸收与分配模式研究中取得了较好的结果。

^{*} 中国科学院自然资源与环境重大研究项目 (KZ951-B1-211) 和国家自然科学基金 (49871039) 资助。

收稿日期: 1999-02-19; 收到修改稿日期: 1999-08-27

1 测定原理和实验装置

呼吸作用是植物组织利用吸收的氧气和光合作用合成的碳水化合物反应, 释放 CO_2 和能量 (ATP, NADPH 等) 的生理代谢过程, 通过测定一定体积或重量的植物组织的 O_2 含量或 CO_2 含量的改变可以推算植物组织的呼吸作用强度。

实验装置高 30cm、直径 14cm, 并与周围大气相隔离, 有约 5cm 装置顶端部空着 (图 1), 每个装置的顶部 (约 0.8L) 可允许含有定量 CO_2 的空气以一定的流量通过, 经过根室的气体通过 CO_2 阀引入 NaOH 溶液中, 累积的 CO_2 量可在一定时间段后用定量滴定法估算出, 或通过 CO_2 阀引入红外线 CO_2 分析仪或气相色谱仪, 测定气体中 CO_2 含量的改变, 以对照处理气体为参比, 其差值为根系呼吸碳素损失量。

在叶片生长前 2 月将苗圃中生长 3 年的山毛榉 (*Fagus Sylvatica* L.) 移栽到实验装置中, 实验装置与周围大气相隔离, 其顶部约留 5cm 的空间, 用 10ml/min 空气流经每个装置的顶部 (0.8L)。每周用 130ml 的 Hoagland 营养液灌溉一次。在灌溉前一天晚上在 15kPa 负压下从实

验装置下部抽排水分。装置放在生长室中, 生长室及其控制如图 2 示。采自室外的空气经

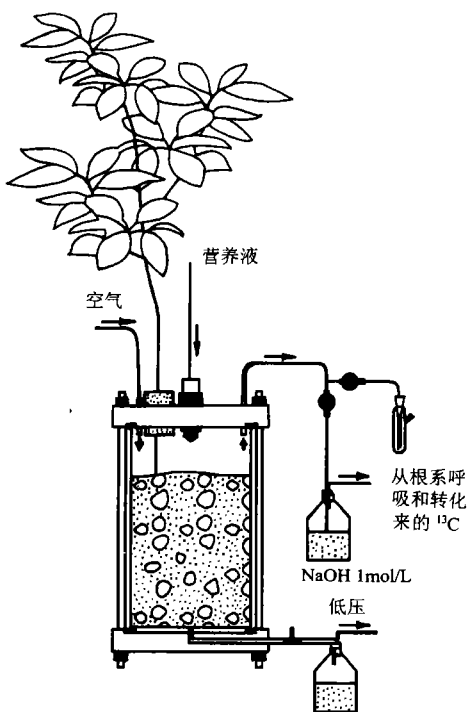


图1 测定植物根系呼吸碳素损失的实验装置

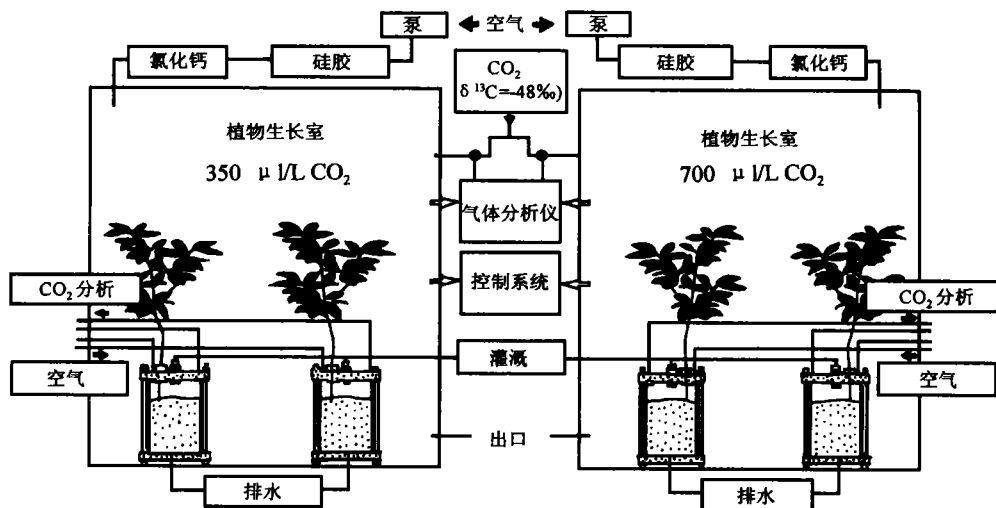


图2 实验设计与生长室控制系统

硅胶和碱石灰处理后以 0.45m³/h 注入有机玻璃箱 (2.68m³) 中。连接两个生长室的 CO₂ 分析仪 (Maihak, Germany) 控制 δ¹³C = - 4.80‰ (Messer Griesheim, Germany) 的 CO₂ 气体的注入, 使生长室内 CO₂ 含量分别维持在 350μl/L 和 700μl/L, 每 2min 测定和调整一次生长室内空气 CO₂ 含量, 其误差为 ± 5μl/L, 生长室置于人工气候室中, 在植物顶部用 Hg 灯形成 130μmol/m²s 的光强, 日周期为 12h, 白天/夜间温度分别为 18℃/13℃。

在实验处理的不同时间取样, 将植株分为叶片、新枝、老枝、茎杆、细根和粗根六个部分, 植物样品在 65℃ 下烘干 96 小时。稳定性碳同位素用质谱仪 (Delta C, Finigan Mat, Bremen, Germany) 测定, 标准样品的重复误差不大于 0.06‰PDB。相对分配比例 (Relative specific allocation, 简称为 RSA, 下文同) 是植物组织中新吸收的碳素占整个样品新吸收碳素的比例, 其计算方法见文献 [7], 实验重复 4 次。

2 结果与分析

植物生长在 700μl/L CO₂ 条件下, 碳素吸收能力明显增强, 处理 6 周后植株所吸收的碳素占植株碳素总量的 24.0%, 而生长在 350μl/L CO₂ 条件下的碳素吸收量仅占全碳素的 14.7%。新吸收的碳素 RSA 在新叶和新枝条中显著增加, 根系呼吸损失的碳素约占新吸收碳素量的 30%。在 700μl/L CO₂ 条件下, 一个相对较高的碳素 RSA 在所有植物组织中都有发现 (图 3), 其含量差异在新生组织中表现尤为强烈, 在叶片中可明显发现 CO₂ 增加的效应。同时, 细根的碳素 RSA 成倍增加, 表明高 CO₂ 条件下植物根系生理活性明显增加。

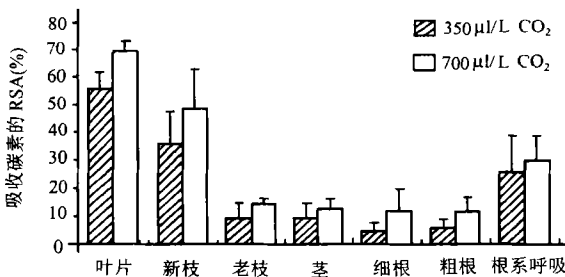


图3 植物不同部位和根系呼吸的碳素占全碳素的比例

不同 CO₂ 浓度下, 植株器官吸收碳素占总碳素的比例并没有明显改变 (图 4)。在植物

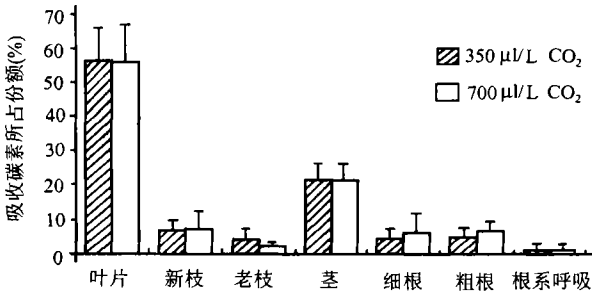


图4 植物新吸收的碳素在各部位和根系呼吸中的份额

生长的 6 周期间,主要的碳素库是叶片,利用新同化的碳素达到植株新同化碳素的 56%,而植株分配给地下根系的碳素,包括植物呼吸碳素损失,350 μ l/L CO₂和 700 μ l/L CO₂处理分别仅为植株新同化碳素的 11.6% 和 15.5%。

根系的呼吸作用在 CO₂处理的前 4 周较低,但在 6 周以后会显著增加,350 μ l/L CO₂和 700 μ l/L CO₂处理的根系呼吸强度分别达到 45.3mg/g · d 和 72.6mg/g · d,其中新同化碳素在呼吸碳素损失中所占比例可从零增加到 94%。植物在 CO₂处理 6 周时,碱吸收法与气相色谱两种方法测定植物根系呼吸碳素损失的结果差异不明显,同时表明在高 CO₂条件下根系呼吸损失的碳素量较高(表 1)。

表1 碱吸收法和气相色谱测定的根系呼吸速率¹⁾

处 理	测定方法	根系损失的碳素(干重)	标准差
		(mg/g · d)	
CO ₂ 350 μ l/L	碱CO ₂ 吸收	40	12
	气相色谱	40	10
CO ₂ 700 μ l/L	碱CO ₂ 吸收	68	26
	气相色谱	52	15
P _{CO₂}	碱CO ₂ 吸收	0.074	
P _{method}	气相色谱	0.611	

1) 根系呼吸速率在CO₂处理6周时测定,重复4次;P值表示差异显著性水平。

参 考 文 献

1. Gansert D. Root respiration and its importance for the carbon balance of beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.) in a montane beech forest. *Plant & Soil*, 1944, 167:109~119
2. Lambers H, Stulen I, van der Werf. Carbon use in root respiration as affected by elevated atmospheric CO₂. *Plant & Soil*, 1996, 187:251~263
3. Norby R J. Inside the black box. *Nature*, 1997, 388:522~523
4. Hendrick R L, Pregizer K S. The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 23:2507~2520
5. Horwath W R, Pregizer K S, Paul E A. ¹⁴C allocation in tree soil systems. *Tree Physiology*, 1994, 14: 1163~1176
6. Bohn W. Method of studying root system. Spring-verlay Berlin: Academic press, 1979
7. Deleens E, Cliquent J B, Prioul J L. Use of ¹³C and ¹⁵N plant label near natural abundance for monitoring carbon and nitrogen partitioning. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1994, 21:133~146