



泰国香根草种植区域的碳吸收及二氧化碳排放

Chatuchak 土地开发部

(泰国, 曼谷 10900)

1 概述

现在已知, 土壤是重要的碳汇, 而碳的吸收则是减缓全球变暖以及气候变化的重要过程。据估计, 全球土壤的碳储量为 2500 Gt C, 而植物和微生物生物质中的碳储量则分别仅为 560 和 110 Gt。土壤碳库的体量为大气碳库体量的 3.3 倍, 其中, 土壤有机碳库体量为 1550 Gt C, 而土壤无机碳库体量为 950 Gt C (Lal, 2004, 2008; Jansson et al, 2010)。土地利用和人类活动的变化会引起土壤有机质分解的速率变化, 因而引起二氧化碳的排放速率变化。同样, 土地利用和人类活动的变化, 会引起生物质生产速率变化, 因而引起碳吸收速率变化。两者均为控制土壤碳平衡的主要过程。更且, 土壤有机质含量的降低会导致土壤退化。合理的土壤管理将增加土壤有机碳含量, 因而减少 CO₂ 向大气的排放。

通过光合作用, 乔木、植物和庄稼都可以吸收大气中的二氧化碳, 结果成为生物质中的碳, 这就是碳的吸收过程。生物质的一半呈碳形态。这些生物质碳最终会分解并直接以植物残体形式加入土壤里, 或者通过动物食物链形成土壤有机质成为土壤组分(Casper, 2010)。因此, 为了促进土壤的碳吸收, 植物应当在多样化的土壤质地、土壤水分状况、土壤营养状况以及气候环境条件下, 都能具备最大的碳同化、地下生物质积累潜力以及强大的生长能力。

近年来, 在陆地碳吸收研究中, 研究者对开发利用生物质积累潜力大, 具有深扎根系的植物兴趣大大增加 (Jansson et al, 2010)。例如, 香根草是一种热带植物, 其茎秆挺立, 生物质量巨大, 根系深扎而庞大, 其特性在植物中罕见。在泰国, 香根草已广泛应用于水土保持和退化土壤改良领域。香根草生长迅速, 根系深扎, 抗御不良条件能力强, 这样显著的形态特性和出众的功能, 应当成为可以将碳吸收至“未经扰动剖面部位”的有效植物的典型, 从而缓解全球变暖中的 CO₂ 效应。

2 研究目的

- 1) 通过与非香根草种植地域对比, 测定香根草种植地区的碳吸收量以及土壤的 CO₂ 排放;
- 2) 将获得的数据引入土壤质量改良和水土保持项目。

3 材料与方法

3.1 研究地点和处理方法简述

研究地点位于泰国中部巴蜀府 Hua Hin 区 Chai Phatthana-Mae Fa Luang 绿化造林项目中(581584N/139 4964E, 海拔 126m) (图 1)。研究时间为 2008-2010 年。该区属于亚湿热带气候, 一年中有三个季节: 旱季 (11 月-2 月), 热季 (3 月-6 月) 和雨季 (7 月-10 月)。平均年温度介于 22.6 与 33.4°C 之间。平均年降雨量为 937mm, 而平均年蒸发量则为 4.4 mm/天。该地土壤类型为粗砂壤质, 混合型, 强反应, 恒高热典型弱发育半干润淋溶土 (Soil Survey Staff, 2006)。此地的主要栽培作物为菠萝。

本研究的试验按完全随机机组设计布置, 设 5 种处理和 3 个重复。5 种处理是: 无香根草种植区, 作为对照; 4 个生态型香根草种植区, 所种植的为两个香根草品种, 即 *Chrysopogon nemoralis* 和 *Chrysopogon zizanioides*。*Chrysopogon nemoralis* 包括两个生态型: Prachuap Khiri Khan (巴蜀) 和 Roi Et (黎逸); 而 *Chrysopogon zizanioides* 也包括两个生态型: Sri Lanka (斯里兰卡) 和 Surat Thani (素力他尼)。这 4 个香根草生态型与无香根草种植区进行对比。每个种植小区的面积约为 4x6m。所有香根草均于 2008 年 6 月定植, 自然生长, 两年内没有任何灌溉和施肥。种植之后, 这些香根草收割了 5 次, 收割时草龄分别为 8 个月 (2009 年 3 月), 12 个月 (2009 年 7 月), 16 个月 (2009 年 11 月), 20 个月 (2010 年 3 月) 和 24 个月 (2010 年 7 月)。



图 1 研究地点 (左) 与土壤剖面(右)

3.2 香根草、土壤和 CO₂ 气体的采样和分析

3.2.1 香根草的采样和分析

种植之后，试验香根草先后收割了 5 次，收割均在田间以随机方法进行香根草采样，采样面积为 1x1 m²。采样时，同时采集香根草的地上部分和地下部分，以便测定植株生物质量。所采集的香根草叶子和根系先测定鲜重，然后用烘箱在 80℃ 上烘干，再称重，得出每份生物质标本的干重。在农场实际操作中，所有收割的地面和地下生物质都施入土壤中，以改善土壤的理化性质。

采样的香根草地面和地下标本都送到实验室进行分析，利用 Walkley 和 Black 法估测有机碳含量。

3.2.2 土壤的采样和分析

分 3 次采集所有 15 试验小区未扰动土壤和扰动土壤的标本；第一次采样在试验开始前（2008 年 6 月），第二次在试验进行中（2009 年 7 月），第三次在试验后（2010 年 7 月）。在每一个小区，土壤采样均在根区进行，采样深度分别为 0-18, 18-40 和 40-70 cm。对于未扰动土壤标本，则用环刀法测定容重。土壤标本在 105℃ 上干燥两天。对扰动土壤，利用 Walkley 和 Black 法测定有机碳含量。在每一个气体标本采集周期，都用重量法测定土壤含水量。土壤温度在地表下 5cm 靠近土壤孔隙处进行测定。土壤标本的理化性质也进行测定。例如，利用 Bray and Kurt 法测定有效磷，利用 Jackson 法测定可交换性钾，利用玻璃电极 pH 计测定 pH（水土比 1:1 悬浮液，土壤为风干土）。土壤剖面按照美国土壤系统分类方法进行研究及描述(Soil Survey Staff, 2006)。



图 2 土壤气罐(左)及利用手动 CO₂ 计测量 CO₂ 排放速率(右)

3.2.3 气体的采样

土壤向大气排放的 CO₂ 气体利用一种手动 CO₂ 计 (GM70 型) 来测定。该 CO₂ 计与一只静态封闭气罐相接 (图 2)。该气罐由两部分，即基座和罐盖组成。气罐由 PVC 材料制成，其内径 20 cm，高 25cm (表面积 0.031m²)。从罐顶往下约 3cm 处，插入一个 O 型环，当罐盖盖上时，该 O 型环可以起到密封作用。罐盖也由 PVC 制成，其大小与基座相容。罐盖开有两个小孔，一个用于气体采样，另一个用于插入温度计。基座底部插入土壤约 5cm 深处。15 个选定的小区都安装有这样的气罐基座。土壤 CO₂ 气流通量测量时间为 15 分钟，在此期间，每

15 秒测量一次。测量 CO₂ 气流通量时，应将气罐盖子轻轻的盖在基座顶部，直到气罐完全密封为止。从 2009 年 7 月到 2010 年 6 月期间，每个月测量一次 CO₂ 气流通量，测量时段为 09:00 到 12:00 之间。测量 CO₂ 气流通量的同时，也用温度计测量土壤和气罐温度，并采集靠近气罐的土壤水分标本，用重量法测定。

3.3 香根草和土壤的碳含量

香根草的碳含量由香根草生物质量及有机碳含量来推算。推算方程如下

$$\begin{aligned} C_{\text{香根草}} &= C_{\text{叶}} + C_{\text{根}} \\ C_{\text{叶}} &= \%OC_{\text{叶}} \times M_{\text{叶}} \\ C_{\text{根}} &= \%OC_{\text{根}} \times M_{\text{根}} \end{aligned}$$

式中，C_{香根草} 为总碳含量(ton ha⁻¹)，C_叶和 C_根 分别是叶子和根部的总碳含量(ton ha⁻¹)和%OC_叶和%OC_根分别是叶子和根部有机碳的百分数(%)，而 M_叶及 M_根则分别为叶子和根部的生物质量(ton ha⁻¹)。

土壤标本来自 3 个层次（深度分别为 0-18，18-40 及 40-70cm），其碳含量由 Walkley 和 Black 法测定。土壤总碳含量为各层次的碳含量之和。计算方程如下：

$$\begin{aligned} C_{\pm} &= C_{0-18} + C_{18-40} + C_{40-70} \\ C_{0-18} &= \%OC_{0-18} \times D_{0-18} \times V_{0-18} \\ C_{18-40} &= \%OC_{18-40} \times D_{18-40} \times V_{18-40} \\ C_{40-70} &= \%OC_{40-70} \times D_{40-70} \times V_{40-70} \end{aligned}$$

式中，C_±为 3 个层次（深度分别为 0-18,18-40 及 40-70cm）土壤碳储量 (ton ha⁻¹)；C₀₋₁₈、C₁₈₋₄₀ 和 C₄₀₋₇₀ 分别为各层（0-18,18-40 及 40-70cm）的土壤碳含量 (ton ha⁻¹)；%OC₀₋₁₈、%OC₁₈₋₄₀ 和 %OC₄₀₋₇₀ 分别为各层（0-18,18-40 及 40-70cm）的土壤有机碳含量百分数 (%)；D₀₋₁₈、D₁₈₋₄₀ 和 D₄₀₋₇₀ 分别为各层（0-18,18-40 及 40-70cm）的土壤容重碳 (g cm⁻³)；V₀₋₁₈、V₁₈₋₄₀ 和 V₄₀₋₇₀ 分别为各层（0-18,18-40 及 40-70cm）的土壤体积 (m³ m⁻²)。

3.4 CO₂ 排放速率

CO₂ 排放速率以每一单位时间每一单位面积排放的气体质量来表示 (g CO₂ m⁻³ hr⁻¹)。首先，将从气罐中获得的气体标本的混合比率，或者浓度，根据封闭空气的温度和压力，利用理想气体率换算为基于质量或分子量的量。如下式所示：

$$C_i = \frac{qiMP}{RT}$$

式中，C_i 是每单位容积浓度中的质量(mg CO₂ m⁻³)，q_i 为每单位容积浓度中的容积(m³ m⁻³)，M 是 CO₂ 的分子量(44 g mol⁻¹)，P 是大气压力(1 atm)，R 是气体常数(8.2058x10⁻⁵ m³.atmK⁻¹ mol⁻¹)，而 T 是气罐内的平均温度(K)。

正常情况下，气体和时间之间的关系可以用线性回归方程来描述。测定头数分钟时段所得到的数据回归数值一般都弃之不用，以避免因气罐密封过程中产生的任何误差。只有显示 CO₂ 浓度呈线性递减的数据，才可以用作排放速率的计算。因此，CO₂ 排放速率 (F) 是由气体浓度变化的随时间而线性变化部分计算得来的。计算方程如下 (Hutchinson and Mosier, 1981)：

$$F = \frac{V \Delta C_i}{A \Delta t}$$

式中，F 为排放速率(mg CO₂ m⁻² h⁻¹)，V 为气罐容积 (m³)，A 为气罐表面积 (m²)，而 ΔC_i/Δt 则表示气罐内的 CO₂ 浓度随时间推移成函数关系上升的增量(mg m⁻³ h⁻¹)，由测定时段 CO₂ 浓度随时间推移而变化的数值经线性回归推算而得。

4 结果与讨论

4.1 土壤特性

土壤被归类为粗砂壤质，混合型，强反应，恒高热典型弱发育半干润淋溶土 (Soil Survey Staff, 2006)。土壤剖面深 160cm，可以划分为 5 个主要层次(表 1)：Ap(0-18 cm), BA (18-40 cm), Bt1 (40-70 cm), Bt2(70-120 cm)以及 Bt3(120-160 cm)。表 1 列出了土壤的理化性质分析结果。土壤物理性质包括土壤质地、容重和水分状况等项目。Ap 层的质地为壤土，其余层次为砾质壤土。

土壤容重(Db)介乎 1.4-1.6 g cm⁻¹；Ap 和 BA 两层次的土壤水分含量百分百值均为 15.8，随土壤深度加深含水量降低。土壤化学性质包括 pH,土壤有机质含量 (OM)、磷 (P) 和钾 (K) 含量等项。土壤反应偏碱性 (pH 7.6-8.3)，但 Bt3 层则为酸性(pH 5.2)。土壤 OM、P 和 K 含量均在表土达到最大值，然后沿剖面向下递减。土壤肥力被视为低到中等。

表 1 研究地点土壤的一些理化性质

土壤深度 cm	土壤 质地	Db gcm ⁻³	SM %	pH 1:1 H ₂ O	OM %	P Mg kg ⁻¹	K Mg kg ⁻¹
0-18 (Ap)	壤土	1.6	15.8	7.7	1.24	35	145
18-40 (BA)	砾质壤土	1.6	15.8	7.6	1.07	15	155
40-70 (Bt1)	砾质壤土	1.4	15.7	8.0	0.71	6	61
70-120 (Bt2)	砾质壤土	1.5	12.4	8.3	0.76	7	89
120-160 (Bt3)	砾质壤土	1.5	7.7	5.2	0.34	4	42

4.2 加入土壤的生物质

香根草的标本分 5 次采集，采集时间分别为种植后的第 8、12、16、20 和第 24 个月。表 2 中所列为各次采样时，香根草地面和地下的生物质积累量。可见从生物质积累来看，所收获的 4 个生态型香根草并无明显差异。生物质产量以 Roi Et (黎逸) 生态型最高，以 Prachuap Khiri Khan (巴蜀) 生态型最低，两者分别为 114.7 和 84.4 tons ha⁻¹。

表 2 分 5 次采集，草龄分别为 8、12、16、20 和 24 个月的各生态型香根草生物质积累 (DW) 和有机碳 (OC)

香根草 生态型	香根草生物质积累 (DW) 及有机碳 (OC) (tons ha ⁻¹)											
	8 月草龄		12 月草龄		16 月草龄		20 月草龄		24 月草龄		总计	
	DW	OC	DW	OC	DW	OC	DW	OC	DW	OC	DW	OC
无香根草种植	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
斯里兰卡	8.9	3.9	27.3	13.3	21.1	9.4	9.5	4.1	24.6	10.9	91.4	41.6
素力他尼	3.5	1.6	18.9	9.1	15.8	7.0	7.1	3.0	45.6	20.4	90.9	41.1
巴蜀	6.1	2.1	19.5	9.4	16.9	7.5	10.7	4.6	31.2	13.9	84.4	37.6
黎逸	7.2	3.1	28.0	13.6	27.2	12.1	9.1	3.8	43.3	19.4	114.8	51.9

从总有机碳含量看，所收获的 4 个生态型香根草并无明显差异 (表 2)。与生物质产量一样，总有机碳含量也以 Roi Et (黎逸) 生态型最高，以 Prachuap Khiri Khan (巴蜀) 生态型最低，两者分别为 51.9 和 37.6 tons ha⁻¹。每次收获的香根草生物质都返施到土壤中，所以，这些生物质可视为加入土壤的碳，也必须包含在土壤碳的收支账上。Jansson et al.(2010)报导说，植物能俘获大气中的 CO₂，并将大量碳储存在植株的地上和地下生物质中，因此植物也是重要的碳汇。多年生树木和草类具有庞大的根系，并具备植物的其他特质，更加是重要的碳汇。例如，Khanema(2009)就对香根草的叶子内部构造、植硅体丰度 (phytolithic abundanc) 以及化学组成进行研究。由于具有克兰茨结构 (Kranz)，细胞间空隙较大，香根草能获得较高的光合作用能力，而且气体循环能力也较强。植硅体中的构造可以将碳稳定下来。研究结果显示，香根草具有较强的碳吸收潜力。

4.3 土壤碳储量的变化

本研究对土壤深度为 70cm 处的土壤总碳含量进行评估。研究的土壤样本分别采集于试验开始前、试验进行中和试验后。根据上述的土壤容重和土壤有机碳数据，我们估算了土壤碳储量，结果列于表 3 中，在香根草种植小区上，4 个生态型香根草下土壤的碳储量均有增加，分别从 63.4 升到 67.9，从 68.7 升到 96.8，从 62.3 升到 81.3 及从 57.4 升到 71.2 tons C ha⁻¹。相反，无香根草种植的区域碳积累表现较差，碳储量从 48.6 减少到 36.3 tons C ha⁻¹。

这一结果指明了两种趋势：首先，对照小区的土壤碳含量明显低于 4 个生态型香根草种植小区中任何一区的碳含量；其次，无香根草种植区的土壤碳吸收能力很差。从促进土壤碳吸收能力的管理工作方面考虑，将植物生物质 (包括地上和地下部分) 混入土壤的土壤管理做法，可以促进有机碳在土壤里的积累。活根系也可以视为碳质生物质，对于增加土壤碳含量也有较大贡献 (FAO, 2001)。相反，如果不往土壤中加入植物体，土壤的碳就会损失。Khanema(2009)对连续多年种植各类香根草生态型的碳吸收开展研究。他研究的香根草地块种植香根草的年限为 1、2、3、5 和 7 年不等。他报导说，由于连续的香根草覆盖，种植香根草的土壤有机碳含量明显增加。在土壤深度 120cm 处，种植香根草年限为 1、2、3、5 和 7 年的土壤的平均碳储量分别为 23.63、28.62、66.30、28.68 和 228.90 tons ha⁻¹。由此可见，在连续种植香根草 7 年之后，120cm 深处的土壤碳储量几乎增长了 10 倍。

Fisher et al.(1994)提到，利用外引的生产力强、深根草类替代土生热带草原植被之后数年，土壤有机碳明显增加 (在头 3 到 6 年，土壤有机碳的增量为 800 至 1300 g C m⁻² y⁻¹)。Neil et al.(1997)在巴西对十四块草场中的十一块进行研究。结果显示，20 年间，土壤碳含量以高达 74.0 g C m⁻² y⁻¹ 的速率增长。土地的保护和保持，生产活动都有可能引起土壤有机碳的增加或流失，所以应当通过土壤管理来提高土壤的生产力 (Post and Kwon, 2000; Marland et al., 2004)。

4.4 土壤排放的 CO₂

我们在种植香根草的区域和无香根草种植的区域均测定土壤中排放的 CO₂。为了考虑环境因素的影响，我们从 Chai Phatthana-Mae Fa Luang 绿化造林项目附近的气象站取得气象资料，如月降雨量、气温等。在测定气体排放水平的同时，还测定土壤温度和土壤水分状况。在雨季，土壤水分含量平均为 7.6-11.7%，而

表 3 试验开始前、进行中和试验后土壤深度 70cm 处的土壤碳储量 (ton ha⁻¹)

生态型	土壤碳储量 (ton ha ⁻¹)		
	试验开始前	试验进行中	试验结束后
无香根草种植	48.6	49.8	36.3
斯里兰卡	63.3	65.5	67.9
素力他尼	68.7	69.3	96.8
巴蜀	62.3	54.3	81.3
黎逸	57.4	58.6	71.2

平均降雨量为 74-174 mm。在旱季和夏季，平均土壤水分含量分别为 1.6-7.6 和 2.4-6.2%，而平均月降雨量分别为 0-12 及 34-136 mm。在土壤深度为 5cm 处，平均最高土温为 30-33℃，在雨季该平均最高土温为 28-30℃，在干季该平均最高土温为 30-33℃，而在夏季该平均最高土温为 32-34℃ (图 3)。

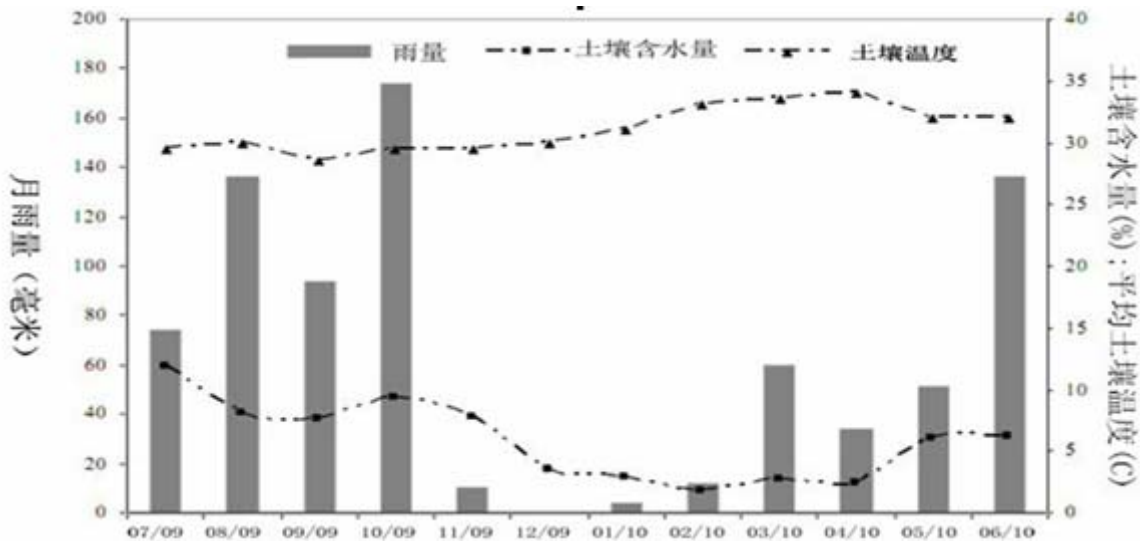


图 3 2009 年 7 月至 2010 年 6 月期间，研究地点的月降雨量、平均土壤含水量和土壤温度

纵观所有研究小区，香根草种植地域的 CO₂ 排放速率有比无香根草种植小区的 CO₂ 排放速率高的趋势。但是，整个比较起来，各个小区 CO₂ 排放速率来并无太大的差异 (图 4)。最高平均 CO₂ 排放速率 (727.6-758.4 mg CO₂ m⁻² h⁻¹) 出现在 9 月和 10 月，而最低平均 CO₂ 排放速率 (181.2-195.2 mg CO₂ m⁻² h⁻¹) 则出现在 1 月和 2 月。我们汇集了 3 个季节的平均 CO₂ 排放速率数据。雨季 (7 月-10 月) 的平均 CO₂ 排放速率为 593.8-717.7 mg CO₂ m⁻² h⁻¹，干季 (11 月-2 月) 的平均 CO₂ 排放速率为 313.5-405.6 mg CO₂ m⁻² h⁻¹，而夏季 (3 月-6 月) 的平均 CO₂ 排放速率为 265.9-376.6 mg CO₂ m⁻² h⁻¹。CO₂ 排放速率的季节变异主要与土壤水分状况以及月降雨量相关。

结果清楚显示，CO₂ 排放速率依季节而异。这一结果与许多其它在泰国林地和农地开展的研究结论是相应的 (Lichaikul et al., 2006; Panuthai, 2007; Watcharathai, 2008)。根据这些研究，最高的 CO₂ 排放速率出现在雨季 (8 月到 10 月)，而最低排放速率则出现在干季 (1 月到 3 月)。Salimon et al (2004) 对亚马逊西南部草场和森林的 CO₂ 通量进行研究，结果显示，所有研究地点的最高通量均出现在雨季 (11 月至 5 月)，而最低通量则出现在 8 月，而 8 月正是该地区最为干燥的月份之一。Davidson et al. (2000) 在草场和林地进行的研究也揭示了相同的趋势。研究发现，9 月的 CO₂ 排放比 8 月的排放有极其明显的增加，而 8、9 月正是干季向湿季过渡的关键时机，此时降雨量和气温都在提高。

我们已经了解到，土壤 CO₂ 排放速率受环境因素影响。其中，最重要的影响因素就是温度和土壤水分状况。我们发现，土壤水分状况与 CO₂ 排放速率之间呈正相关 (图 7a, R² = 0.63)。较高土壤 CO₂ 排放速率出现在雨季，此时土壤水分含量也出现较高值。另一方面，干季和夏季的土壤 CO₂ 排放速率较低，因为这些时候土壤水分含量也较低。Rastogi et al. (2002) 指出，这是因为土壤水分状况制约土壤呼吸，进而影响土壤 CO₂ 演化。土壤水分含量的增加，可能会导致土壤呼吸的增加 (Ouyang and Zheng, 2000)。不过，土壤表层 CO₂ 排放尚与土壤微生物活动有关，因此这种排放也许会发生波动情况，并常常因时间和局部条件而异 (Rastogi et al., 2002; Limthong et al., 2008)。

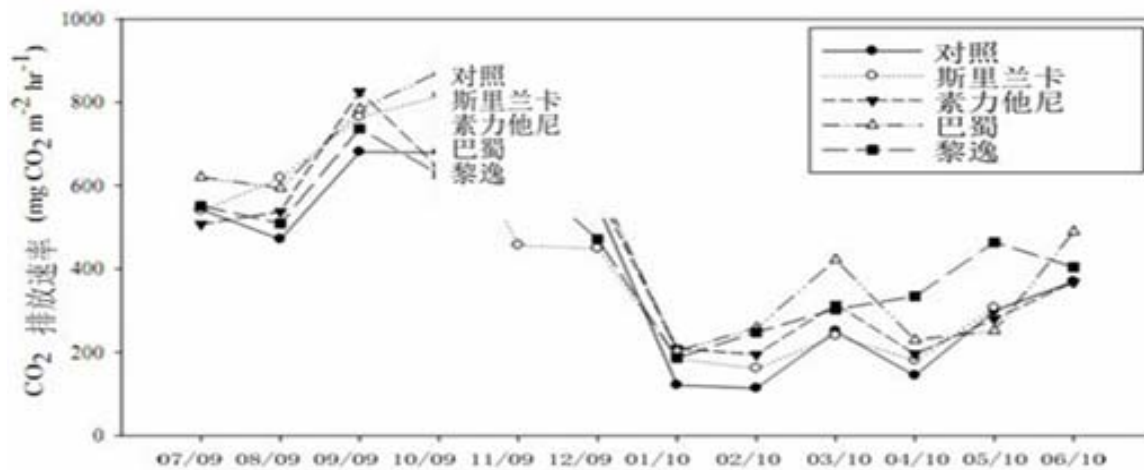


图 4 2009 年 7 月至 2010 年 6 月间香根草种植区域与无香根草种植区域的平均 CO₂ 排放速率

土壤温度也是影响土壤 CO₂ 排放速率的一个重要因素(Kirschbaum,1995)。雨季时，土壤温度低于干季和雨季的土壤温度，但土壤 CO₂ 排放速率却较高。土壤 CO₂ 排放速率与土壤温度之间具有负相关的趋势（图 5）。从研究结果可以看出，无论哪一小区的土壤 CO₂ 排放通量的最高值均出现在雨季，而峰值则出现在 9 月或 10 月。土壤 CO₂ 排放通量的最低值均出现在最干燥的月份，即出现在 1 月和 2 月。Craine and Wedin (2002)发现，土壤温度效应正好解析土壤 CO₂ 排放的变异，当土壤温度变化（10 cm 土壤深度）超过 20℃时，土壤 CO₂ 排放通量与土壤温度之间呈负相关关系。这些数据与 Rastogi et al. (2002)的研究互相呼应。后者报导说，土壤温度较高时，土壤微生物的呼吸受到抑制，因为此时土壤微生物的氧化系统已经处于不活化状况。

4.5 碳吸收

表 4 列出了香根草种植小区和无香根草种植小区的碳吸收估算情况。无香根草种植小区的总碳吸收为 36.3 tons ha⁻¹。这一数值相当于香根草种植 24 个月之后，70cm 土壤深度处的碳储量。

与此对照，4 个香根草生态型（斯里兰卡、索力他尼、巴蜀和黎逸）种植小区的总碳吸收分别为 78.8、117.2、95.2 和 90.6 tons ha⁻¹，这些数值已将香根草生物质的吸收与土壤的吸收区分开来。香根草对碳的吸收就是种植 24 个月之后香根草的碳含量。

结果显示，香根草种植区域的碳吸收明显高于无香根草种植区域的碳吸收，前者比后者要高出二到三倍。研究表明，香根草种植覆盖的区域，不但香根草生物质本身能获得大量的碳含量，而且土壤也可以获得大量的碳。这与 FAO(2000)的研究相吻合。FAO 的报告说，土壤有机质含量的增加，主要途径是要实施受保护的农业，就是说要让土壤表层大致不断地覆盖活的或死的植物物质，以实现土壤的持续性覆盖保护。

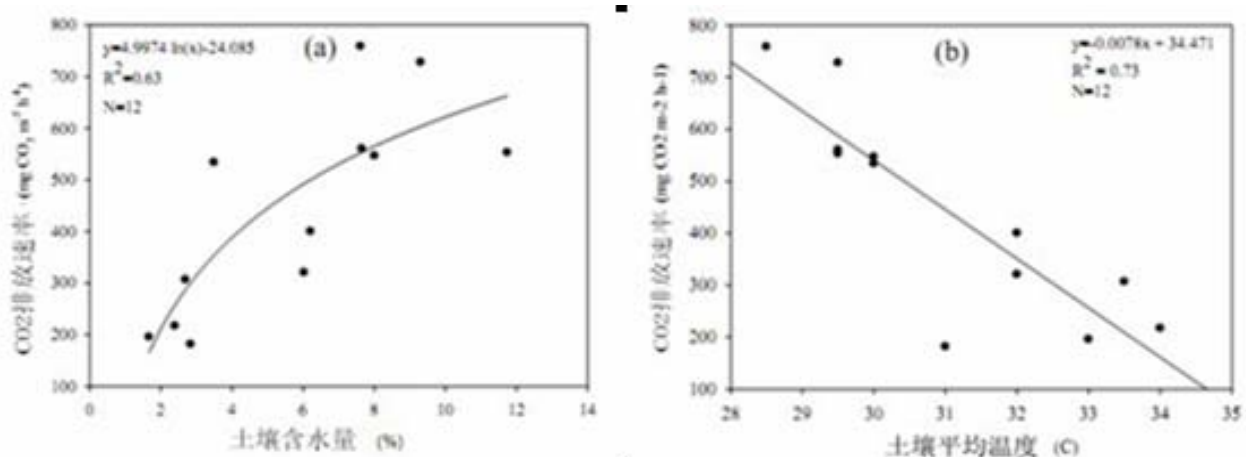


图 5 土壤 CO₂ 排放与土壤水分含量 (a) 土壤平均温度(b)之间的回归关系。

资料引自各研究地点，采样时间从 2009 年 7 月至 2010 年 6 月。

Reeder et al. (2001)对放牧管理措施对碳分布和吸收的影响开展长达 12 年的研究后，也得出相同的结论：各种放牧管理处置都使土壤表层 15cm 的碳含量增加了 6-9 tons ha⁻¹。放牧活动导致土壤碳增加的原因，可能是因为地表植物残体的渗入加强了碳循环以及植物群落成分的变化引起碳在植物-土壤系统中的再分布 (Schuman et al., 1999)。本研究也可以做出这样的结论：香根草及其管理影响了土壤碳储量的多寡，也影响了研究地域的碳吸收。

表 4 香根草种植区域和无香根草种植区域的碳吸收

香根草生态型	碳吸收 (tons ha ⁻¹)		
	植物有机碳*	土壤有机碳**	总计
无香根草种植	-	36.3	36.3
斯里兰卡	10.9	67.9	78.8
素力他尼	20.4	96.8	117.2
巴蜀	13.9	81.3	95.2
黎逸	19.4	71.2	90.6

*4 个香根草生态型种植 24 个月之后的碳含量

**香根草种植 24 个月之后的土壤碳储量

5 结论

气候变化是世界关心的环境问题之一。CO₂ 是主要的温室气体，是导致当前全球变暖的主因。了解 CO₂ 的动态非常重要。陆地碳吸收，例如生物质（树木、植物和庄稼）和土壤中的碳，形成了全球碳库的一大部分。土壤的碳排放通量是地面向大气排放 CO₂ 主要途径之一。在全球范围内，农业和林业活动都可以聚积大气中的温室气体，利用这些活动也防止温室气体的进一步排放，吸收多余的碳，有助于防止气候变化。一般而言，这些过程的细微变化，也许会使全球碳循环产生大的变化。

本研究有两个目的：1) 探查香根草种植区域和无香根草种植区域碳吸收和碳排放的数量；2) 将研究所获资料运用到土壤质量改良和水土保持项目中。研究地点位于泰国中部巴蜀府 Hua Hin 区 Chai Phatthana-Mae Fa Luang 绿化造林项目中。研究时间为 2008-2010 年。

研究结果表明，参试的 4 个香根草生态型之间，生物质的积累并无明显差异。生物质产量（包括地上和地下部分的生物质）以 Roi Et（黎逸）生态型最高，以 Prachuap Khiri Khan（巴蜀）生态型最低，两者分别为 114.7 和 84.4 tons ha⁻¹。香根草种植区域的土壤总碳储量则高于无香根草种植区域的土壤总碳储量。4 个生态型香根草下土壤的碳储量均有增加，分别从 63.4 升到 67.9，从 68.7 升到 96.8，从 62.3 升到 81.3 及从 57.4 升到 71.2 tons C ha⁻¹。相反，无香根草种植的区域碳储量从 48.6 减少到 36.3 tons C ha⁻¹。从 CO₂ 排放看来，香根草种植地域的 CO₂ 排放速率和无香根草种植小区的 CO₂ 排放速率并无太大的差异。雨季的平均 CO₂ 排放速率为 593.8-717.7 mg CO₂ m⁻² h⁻¹，干季的平均 CO₂ 排放速率为 313.5-405.6 mg CO₂ m⁻² h⁻¹，而夏季的平均 CO₂ 排放速率为 265.9-376.6 mg CO₂ m⁻² h⁻¹。

由此看来，土壤 CO₂ 排放对季节的依赖性较强，雨季最高，而干季最低。土壤 CO₂ 排放的瞬时性变异受土壤温度和土壤水分含量制约。香根草种植地域的碳吸收和无香根草种植区域的碳吸收分别为 95.6 和 36.3 tons ha⁻¹。所以，本研究证实了香根草增加了碳吸收，增加了土壤有机碳，从而减少了大气中的二氧化碳。

早前我们提到，CO₂ 是最重要的温室气体之一。许多国家都努力从源头上减少温室气体的排放。所以，就得想法开拓吸收这些气体的汇集中心。碳吸收就是减少大气 CO₂ 的积极手段之一。促进碳吸收的土壤管理措施包括几个方面，例如使土壤保持较高的有机质含量，并使其比目前水平有所提高；提高土壤肥力，扩大土壤有机质库等。这些措施都牵涉植被和土壤的有机碳积累问题，要求培育适合的植物，并配合以适当的土壤保持手段。

另一扩展土壤的有机碳库的手段就是增加底土的有机碳，其办法是种植深根植物。香根草具有庞大而深扎的根系，生物质产量高，自然成为将植物俘获的碳送入并储存在土壤剖面深处的有效候选植物。香根草能提高土壤肥力，又能吸收碳，因此能极大地改善土壤质量。因此，本研究获得的数据和概念均可以转让给水土保持项目和改良土壤质量项目应用。



国际香根草网络奖在金寨发放

为了进一步促进香根草系统在大别山地区的应用，为山区农民带来实实在在的经济效益和生态效益，尤其是为促进山区妇女在香根草编织上取得更多效益，国际香根草网络对近二、三年来在香根草技术的应用和推广上做出贡献的大别山区项目有功人员进行奖励，颁发了奖状与奖金。详细情况参见表 1。

在此之前，来自广西的贾维君、石玲艳、伍松莲和石显周四人于 2009 年获得国际香根草网络奖，以鼓励广西龙胜山区将香根草技术应用于水土保持上的有功人员。并促进香根草编织品生产和技术传播（参见《香根草通讯》13 卷第 1 期）。

表 1 获奖人员情况简介

姓名	奖项	主要贡献
叶乃权	一等奖	于 2011 年 10 月组织了首届金寨县香根草编织培训班。培训班结束以后坚持种植香根草，建立香根草篱水土保持示范区，建立香根草苗圃。注册成立了香根草专业合作社，常年坚持香根草编织品的设计、生产和销售。组织香根草编织品参加广交会、上海农产品展销会和安徽农产品交易会。
徐礼霞	二等奖	参加了 2009 年 11 月在岳西县万蒲镇举办的安徽省首届香根草编织培训班，认真学习香根草编织技术，坚持编织生产，掌握了香根草编织培训班教学方法，并带领其他教员积极赴外县负责香根草编织培训班的教学。
朱英秀	三等奖	积极从事香根草编织品的生产和组织工作，为当地香根草编织工作的长期坚持做出了贡献。
郑大方	三等奖	认真学习和钻研香根草编织技术，长期主动从事香根草编织品的生产，帮助他人掌握香根草编织技术。



一等奖获得者叶乃权



二等奖获得者徐礼霞



三等奖获得者朱英秀



三等奖获得者郑大方

主办：中国科学院南京土壤研究所 中国香根草网络，南京市第 821 信箱，南京市北京东路 71 号
邮编：210008，电话：(025) 86881269，传真：(025) 86881000
E-mail: lyxu@issas.ac.cn Homepage: <http://www.vetiver.org.cn>