

滇南热带土壤中二氧化碳状况的定位研究*

高 梁 柴 闇

(中国科学生物地理羣落站) (中国科学院昆明植物所)

研究土壤空气的成分、动态及其作用不仅有理論意义,而且也有实践意义,特别是研究和植物光合作用、呼吸作用有密切关系的二氧化碳的变化規律显得尤为重要。从土壤释放出的二氧化碳及土壤空气中二氧化碳的含量,可以作为土壤生物活动的重要指标,可以用来說明微生物生命活动强度、植物根的呼吸强度^[10],以及土壤中微生物的活动强度。以二氧化碳释放量表示的土壤呼吸强度和土壤空气中二氧化碳含量的变动,取决于生物生命活动和水热条件,因此闡明这些数值,对了解一地区的生物生命活动强度和水热条件来說是有意义的,能够提供对于土地利用的有关資料。

开垦的土地采取不同方式,土壤呼吸强度和土壤空气成分是有差别的,因为不同的开垦措施,对土壤肥力特别是对土壤表层有机质的含量影响是不同的。因此,通过对二氧化碳的測定,能够給我們提供合理的开垦途径。

一、研究地区自然环境条件和土壤剖面特性

定位观察地区在云南西双版纳傣族自治州丘陵盆地区丘陵边缘坡地带,試驗标准样方分热带干性季节性雨林下的砖紅壤性紅壤、竹林下的砖紅壤性紅壤、空曠地紅壤性草甸土三个典型測定点。根据热带雨林专家 P. W. 理查斯的观点^[8],我們所指的热带干性季节性雨林这一測定点簡称为热带雨林砖紅壤性紅壤。

据空曠地气象观察結果,年降雨量为 1,500 毫米左右,月平均最高温度为 34.2°C,一般出现在 4 月和 5 月;月平均最低气温出现在 12 月,为 7.9°C;相对湿度月平均最高是在 7—9 月,为 90%;月平均最低湿度为 72%(在 4 月),根据露称每日連續測定,一般从 11 月至次年 3 月中旬,每天日出前露水里可达 0.1—0.5 毫米,因此,这里一年通常是划分成三个季节,即雾季(11 月到次年 3 月)、干季(3 月中旬到 5 月上旬)、湿季(5 月上中旬到 10 月)。如果按照典型月份集中划分,通常将雨季交替时期归納如下:11 月至次年 2 月为雾季,3 月至 4 月为干季,5 月至 10 月为湿季。这里全年无霜雪,雨量集中在湿季,約占全年的 70% 以上。

热带雨林定位点主要乔木树种以大叶白顏树(*Gironniera subaequalis*)、暹邏黄叶树(*Xanthophyllum siamense*)、大叶藤黄(*Garcinia tinctoria*)、云树(*Garcinia cowa*)、龙果(*Pouteria annamensis*)、白欖(*Canarium album*)、小叶勒麻木(*Knema wangii*)和大药树(*Antiaris toxicaria*)为主,灌木以山黄皮(*Clausena dentata* var. *robusta*)、谷木(*Memecylon ligustrifolium*)、鹿克灰木(*Symplocos hookeri*)、白背桐(*Mallotus barbartos*)等为主,草本植物以菴蕨(*Pleocnemia leuzeana*)、热带凤尾蕨(*Pteris linearis*)、爱地草(*Geophila herbacea*)等为主,层間植物有桫拉藤(*Salacia polysperma*)、羽叶藤(*Cannarus yunnanensis*)、盾包果(*Neuropeltis racemosa*)、菴藤(*Gnetum montium*)等。定位点海拔为 600—605 米,坡度 3—5 度,东坡,母岩是以长英岩、石英粗面岩和紫色沙頁岩为主,土壤为

* 参加部分測定工作的有汪汇海、周建刚、唐俊臣、李德厚、程仕文等同志。

通体壤质至粘质的厚层热带雨林砖红壤性红壤,其整个剖面淋洗作用明显,例如在外形上,表现在B层结构面有光亮的胶膜淀积物。土壤经常处于潮湿的状态,与竹林土壤和空旷地红壤性草甸土相比,热带雨林砖红壤性红壤通体均较疏松,容重较小,小孔隙多,土壤中生物作用活跃,根系主要密集在1米以上土层,其中20—60厘米分布乔木树种的粗根较多,地表至20厘米分布草本植物的根系为主。土壤中的动物经常在翻动土层,特别是在土层60厘米深度左近,动物穴道很多(主要是白蚁穴道)。

空旷地定位点在热带雨林点的东北500—600米处,海拔570—577米,测定点坡度为3—5度,坡向东南,原来以菊科的飞机草(*Eupatorium odonotissimum*)、禾本科矮草(馬唐 *Digitaria longiflora*)、小画眉草(*Eragrostis amabilis*)和灌木丛[如经常被砍伐萌条的灌木状铁刀木(*Cassia siamea*)、布渣叶(*Microcos paniculata*)]为主,现有的植物主要是禾本科矮草、飞机草及灌木丛已被砍伐烧燬,受冲积影响深,母质全是冲积而来的,土壤为发育在冲积母质上的红壤性草甸土。

土壤通体表现紧实,物理性差,根系分布很浅,生物活动较弱。全剖面均较干燥,层次过渡明显。卵石和砾石在土壤中较多,特别是母质层以下,显著增多,成为砾质土状态。

竹林土壤定位点在热带雨林土壤定位点以北约2公里,该点的海拔为630—635米,主要植被是牡竹(*Dendrocalamus strictus*)。在自然生长条件下,竹丛相距5—8米(长宽均是如此),这种天然成丛生长并自成一定距离的特性,反映了它的生长特点。竹林下灌木及草本植物少见,仅有少量的爱地草、热带凤尾蕨;在竹丛稍稀处有白背桐、野牡丹(*Melastoma normale*)等的分布。母岩主要是正长岩和小部分灰绿岩,坡向西南,坡度3—5度,竹林砖红壤性红壤。

竹林点在数十年前,据说仍是热带雨林植被,只是后来经过人为砍伐烧燬,才演变成竹林地,因此过去热带雨林以及人为破坏等作用均应和竹林土壤剖面的发育联系起来。就竹丛的根系来说,虽然主要集中在1米以上的土层,但底层仍有少量分布,因而对底土发育仍有影响。竹林土壤受土壤中动物影响是很深的,在土壤上层,特别是在60厘米左右的地方,有大量蚁穴虫洞存在,最大的洞孔直径可达5厘米。其次,土壤深层仍有碳粒出现,说明土壤可能因局部人为翻动、焚烧植被和历史上沉积碳粒物质所造成的。竹林土壤通体较湿润,颜色棕至红,土层厚度与热带雨林相近似,但土壤较紧实,结构性差,质地粘,物理性质较差,淋洗作用明显,B层结构面上尚可见到明亮的胶膜,剖面底层也可见到少量铁子和白黄色的斑点和条纹。

综合上述可以看出测定地区的自然条件和土壤剖面特点,自然植被良好,热带雨林和竹林定位点土壤发育较深,土层厚,有机质含量较丰富,孔隙度大,而空旷地测定点的土壤发育较差,有机质含量也少,土体坚硬,但土层中夹有石英粒,所以透水性较强。

二、土壤呼吸强度的变化

土壤释放的二氧化碳是植物碳素营养的重要来源,特别是对于生长在热带雨林阴暗条件下的绿色植物更有重要作用^[2],这已引起热带橡胶栽培者的注意^[5]。测定点采用苏联馬卡洛夫密闭箱法进行。根据馬卡洛夫的试验,密闭箱体积从83立方分米到104立方分米这一范围内,无论小箱或大箱,测定土壤释放的二氧化碳数值都是近似的^[4],我们所采用的是83立方分米地面密闭箱。

1. 土壤呼吸强度的昼夜变化

土壤呼吸昼夜测定是每隔4小时一次,表1是1960年2月中旬测定的结果(表1)。

从表1可以看出,热带雨林定位点每小时二氧化碳释放量以中午最高,达到3.776公斤/公顷小时,这和土壤生物活动,特别是微生物活动有着密切的关系。在相同湿度条件下,温度的增高,明显地增强了土壤生物的活动性,例如,二氧化碳释放量为3.776公斤/公顷小时时,其地面温度是

表1 土壤呼吸强度昼夜测定的结果

(测定地点: 热带雨林定位点)

测定时间	CO ₂ (公斤/公顷小时)	离地面 50 厘米处气温(°C)	地面温度 (°C)
2月18日 10时	3.445	17.3	17.5
14时	3.776	23.9	20.4
18时	3.548	21.1	19.9
22时	2.819	19.4	19.4
2月19日 2时	2.757	16.8	18.0
6时	2.576	16.3	16.7

(测定地点: 空曠地定位点)

测定时间*	CO ₂ (公斤/公顷小时)	离地面 50 厘米处气温(°C)	地面温度 (°C)
2月18日 8时	1.808	15.0	17.2
12时	4.927	21.4	27.2
16时	4.289	24.9	27.0
20时	3.395	19.4	20.8
24时	1.736	16.2	17.0
2月19日 4时	1.174	15.8	18.5

* 各测定时间均比热带雨林点提前 2 小时,这是因为使用同一套仪器的缘故。所以有离地面 50 厘米处的气象资料,是因为密闭箱高为 50 厘米。

20.4°C, 土层 10 厘米为 18.0°C, 20 厘米为 18.5°C, 50 厘米为 18.9°C, 离地面 50 厘米处气温为 23.9°C; 而释放量最少是在 2 月 19 日晨 6 时, 为 2.576 公斤/公顷小时, 当时地面温度为 16.7°C, 土层 10 厘米为 17.7°C, 20 厘米为 17.9°C, 50 厘米为 18.4°C, 离地面 50 厘米处气温为 16.3°C。从气体扩散运动定律来说, 温度增高有助于气体自浓度高的向浓度低的方向扩散, 土壤向大气释放二氧化碳的速度和量都会增大。

空曠地定位点 CO₂ 释放量具有同样结果(表 1)。但是应该指出, 西双版纳地区 2 月份正是雾季, 夜间和早晨经常有雾, 虽然空曠地不象林地那样有森林植被的良好复盖, 但在雾的经常作用下, 空曠地土壤仍保持比在干季高的土壤湿度, 根据测定结果, 2 月份 0—10 厘米土壤水分经常保持在 27% 左右, 10—100 厘米为 21—25%。此外, 空曠地比热带雨林地 CO₂ 昼夜变幅高出约 2 倍(前者是 3.19, 后者是 1.20 公斤/公顷小时)。这种差异, 显然是受昼夜温差大小的结果; 以昼夜地面温差来看, 前者是 10.2°C, 而后者仅有 3.7°C(表 1)。

2. 土壤呼吸强度的月变化

土壤呼吸强度的月变化, 均在每月末上午 9—10 时测定, 其结果如图 1 所示。

图 1 表明土壤释放二氧化碳量最高月份, 热带雨林土壤是在 8 月, 为 6.66 公斤/公顷小时; 而竹林土壤是在 10 月, 为 4.90 公斤/公顷小时, 作为次多量来说, 热带雨林除去湿季的 7 月份外, 出现在 2 月, 为 3.44 公斤/公顷小时, 即热带雨林释放二氧化碳量在一年的湿季和雾季出现了两个峰。

竹林点也有类似情况, 土壤释放二氧化碳次多量是在 4 月, 为 3.77 公斤/公顷小时, 由于曠地自 4—10 月没有观测资料, 所以根据已有的测定结果, 仅能够说明雾季各月的二氧化碳释放量均多于干季。各个季节二氧化碳释放量, 热带雨林点以湿季各月平均量最高, 竹林点湿季微低于干季。下面将进一步讨论这个问题。热带雨林和竹林土壤年平均二氧化碳释放量比较, 以竹林土壤略高, 从全年枯枝落叶量的测定来看, 竹林点和热带雨林点数量相差不大, 约在 10 吨/公顷左右。

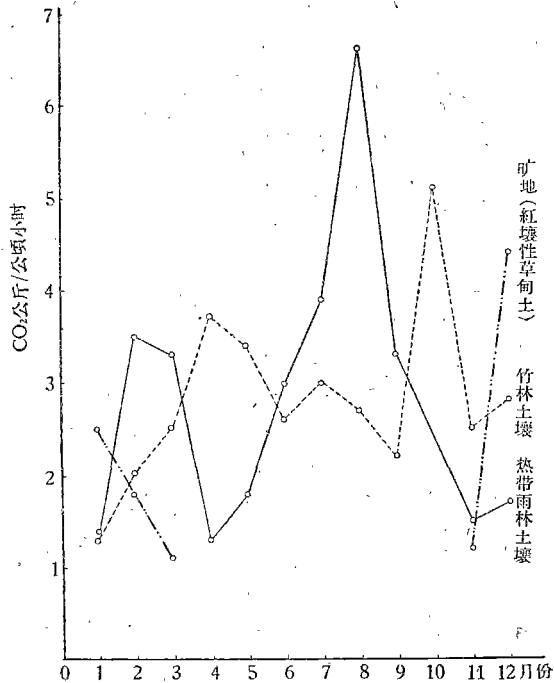


图1 土壤呼吸强度月变化

如前所述,竹林点的土壤有机质含量较高,土壤含水量多些。因此造成了竹林点二氧化碳年释放量增高的条件。月平均土壤呼吸强度季节变化及年平均变化列入表2。

表2 土壤呼吸强度季节变化 (单位: CO₂ 公斤/公顷小时)

季 节	热 带 雨 林 土 壤	竹 林 土 壤	紅 壤 草 甸 土 (曠 地)
雾季(11、12、1、2月平均)	2.038	2.170	2.470
干季(3、4月平均)	2.313	3.135	1.113
湿季(5、6、7、8、9、10*月平均)	3.728	3.150	—
全年平均	2.693	2.818	—

* 10月算雨季的月份之一,因无测定资料,所以并未算在平均值内。

上述二氧化碳释放量的变化,引起了研究者们很大的兴趣。显然不同的释放量是与多种因素有关的,表3及表4提供了这方面的一些资料。

干季(3、4月)热带雨林土壤湿度低于湿季和雾季。特别是主要影响二氧化碳释放量的土层上部,干季湿度更是显著减少,虽然干季的平均气温及地温高于湿、雾季,但由于水分缺乏,二氧化碳释放量也会减少。在雾季,大气降水和土壤湿度虽然大于干季,但温度最低,生物活动微弱,因此不论热带雨林或竹林土壤,雾季土壤呼吸强度均低于湿、干季。

有两个数字需要着重说明,首先是干季竹林土壤的二氧化碳释放量高于雾季和湿季;其次是红壤性草甸土在干季3月份又低于雾季各月。竹林土壤质地粘,透水性差,保存降水的能力较高,上层竹丛又郁闭很密,竹林植被消耗水分的能力远较复层林型的热带雨林为低。所有这些便构成了竹林土壤水分年变化的特殊性。在干季高温季节,土壤仍然处于湿润状态,并不因缺乏水分而减弱土壤呼吸强度。在空曠地,由于仅仅是矮草层的存在,土壤干湿变化受降水影响较大,干季

表 3 各月氣象要素*

月 份	熱 帶 雨 林 點								空 曠 地					
	降雨量 (毫米)	月平均 氣溫 (°C)	相對 濕度 (%)	地 溫 (°C)					降雨量 (毫米)	月平均 氣溫 (°C)	相對 濕度 (%)	地 溫 (°C)***		
				地 面		10 厘米	20 厘米	50 厘米				地面平 均最低	10 厘米	20 厘米
				平均最高	平均最低									
1	68.2	15.6	97	18.5	13.3	16.2	16.8	18.6	81.3	14.5	86	13.7	22.8	無資料
2	1.7	17.0	93	19.9	14.0	16.9	17.2	18.7	6.3	16.0	82	14.0	22.2	同上
3	—**	19.2	82	無資料	無資料	無資料	無資料	無資料	16.1	17.4	74	無資料	無資料	同上
4	—**	23.5	70	同上	同上	同上	同上	同上	13.2	21.5	70	同上	同上	同上
5	302.6	23.5	87	32.0	20.7	22.5	22.4	24.5	373.0	24.0	83	同上	28.6	28.0
6	295.1	24.0	96	27.5	21.7	23.6	23.6	25.7	338.9	25.0	85	22.9	27.5	27.6
7	238.0	24.0	96	27.0	22.6	23.7	23.8	26.2	282.8	24.8	86	22.4	28.0	27.9
8	210.9	23.9	98	25.7	22.6	23.6	23.7	26.3	227.9	24.6	88	23.2	27.8	27.6
9	194.6	22.7	98	24.7	21.6	22.7	22.9	25.6	223.5	23.3	89	22.3	27.2	27.3
10	38.5	20.9	97	22.9	19.2	20.9	21.2	23.8	42.6	21.5	87	20.5	26.3	25.4
11	0.2	19.0	92	21.4	16.7	19.2	19.7	22.2	10.2	19.5	84	17.1	25.9	無資料
12	43.6	17.7	94	20.2	15.6	17.9	18.4	20.5	63.1	18.2	86	16.2	23.7	同上

* 竹林無氣象站。

** 降雨為複層林冠，阻截蒸發，量雨筒無法量出，故無資料。

*** 空曠地無地溫、50 厘米及地面最高溫度資料。

表 4 干濕季三季土壤濕度變化表

土 壤	季 度 深 度 (厘米) 含 水 量	干 季		濕 季		霧 季	
		%	毫 米	%	毫 米	%	毫 米
雨林土壤	0—10(A)	26—27	21—22	34—48	28—39	28—36	23—29
	10—30(AB)	24—23	22—21	31—37	29—30	26—35	24—31
	30—60(B ₁)	25—29	24—28	32—35	30—32	27—33	26—31
	60—100(B ₂)	26—29	25—27	27—37	26—35	30—34	28—32
	100—160(C)	27—29	29—31	26—35	28—38	30—33	33—36
	160—210(C)	29—32	31—34	32—36	34—39	31—34	32—36
竹林土壤	0—10	32—40	34—42	39—48	41—51	33—40	35—42
	10—30	29—39	27—37	37—47	35—45	30—36	29—35
	30—60	29—34	30—33	35—42	35—42	33—35	33—35
	60—100	31—33	32—35	30—41	31—43	33—35	35—41
	100—160	31—34	34—38	30—40	33—44	33—35	37—39
	170—200	31—33	37—39	35—38	41—45	—	—
曠地土壤	0—10	7—9				8—9	
	10—30	10—20				10—23	
	30—60	13—22				14—26	
	60—100	18—25				18—27	
	100—160	20—26				26—28	

土壤水分最少,雾季较多,湿季最多。干季高温低湿,二氧化碳释放量最少。从这里也可以看出不同植被类型对于土壤生物活动强度的影响。

综合上述,正如有人指出过的那样^[6],影响土壤释放二氧化碳量变化的水热条件起着显著的作用,土壤性质不同,受水热条件的作用也不同,从而对土壤生物活动的影响就表现出土壤呼吸强度不同的结果。

三、土地开垦后土壤呼吸强度的改变

热带雨林和竹林植被类型的土地,直到目前为止,多半采用大火焚烧植物地上部分,用人工挖掘或拖拉机拔除树根的开垦方式。南亚橡胶种植者们也经常采用这一方法^[7]。这种开垦方式应该改进,因为植物地上部分经过火烧,变成一片灰烬,灰分是增加了,但大量碳素气化损失。不仅如此,同时还因为灼热的高温,使火堆下和附近土壤表层 0—3 厘米有机质也遭到大量损失(表 5)。

表 5 土壤有机质含量(%,0—3 厘米)

土 壤	烧前土壤有机质(%)	烧后土壤有机质(%)
热带雨林土壤	6.14	0.14
竹林土壤	5.69	1.06

在开垦后的一段时间内,土壤释放二氧化碳的数量有明显增加(表 6)。

表 6 焚烧前后土壤释放二氧化碳数量的变化(CO₂ 公斤/公顷小时)

土 壤	烧 前	烧 后 (次 日)
红壤性草甸土	1.187	4.381
竹林土壤	2.478	4.910

地上植被烧毁前后,土壤微生物也起了变化。就热带雨林或竹林地上植被烧毁初期而言,细菌数量均有减低,但是 20—30 日后,细菌数量比未烧前显著增加。根据国家经济建设需要,并结合上述开垦中二氧化碳损失情况的资料,我们建议开垦中注意以下几点:

1. 能够用的林木成材,完全搬出,用于建筑等方面,充分利用木材,不应焚烧。只有在运输条件极为不便的情况下,方可适当改变。

2. 植物的全部枯枝落叶,应就地堆肥,日后施用于土壤,增加营养物质,提高土壤肥力,防止因焚烧而使碳、氮损失。根据我们所作的植物残落物分析,热带雨林残落物含 N 1.5%、P₂O₅ 0.203%、K₂O 0.245%、CaO 1.32%、MgO 0.603%、MnO 0.05%。而竹林残落物含 N 1.02%、P₂O₅ 0.136%、K₂O 0.236%、CaO 0.680%、MgO 0.682%、MnO 0.026%。我们认为作田头堆肥是利用和保持植物养分较好的方式。田头堆肥可以采用通用的半坑式,或直接堆于地面,上面压土,并且保持一定的湿度,使其腐解后施用。

3. 除枯枝落叶以外的植物残体则可烧掉,但应充分利用熏土方式,提高土壤肥分,同时应注意烧后随即翻土耕垦,特别是坡地应及时开成梯田,防止任意放置,使烧后增加的灰分等被雨水冲光。

四、土壤空气成分(CO₂ 和 O₂)的月变化

土壤空气测定装置是按 B. Mima 方法进行的^[9],研究土壤空气成分月变化的资料列于表 7—9。

表 7 热带雨林土壤空气成分月变化

土壤空气成分 月 份		CO ₂ (%)												O ₂ (%)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	0.60	0.00	0.05	0.80	3.10	1.60	5.10	1.40	3.80	1.70	0.10	3.80	20.90	21.40	—	19.80	19.20	22.60	—	20.00	16.00	18.30	20.10	19.80	
20	0.80	0.50	0.40	1.20	1.40	1.90	4.60	2.65	3.40	2.40	1.00	1.00	20.80	21.20	—	20.40	20.60	18.10	—	18.55	16.90	19.20	19.80	19.80	
40, 60 的平均值	1.65	0.60	0.55	1.45	1.90	3.05	3.50	3.03	4.60	3.60	1.30	3.70	20.05	21.10	20.25	20.13	20.20	17.75	—	13.88	14.90	17.75	19.50	18.80	
100, 150 的平均值	2.71	2.40	2.20	2.10	3.40	4.10	5.30	5.20	5.45	4.20	2.70	3.10	18.49	19.60	21.40	19.40	22.50	17.00	—	11.30	13.95	16.50	17.18	18.50	
200	4.00	4.00	3.70	3.60	4.00	—	6.30	—	5.80	5.60	5.30	5.50	17.80	18.40	18.90	18.80	17.80	16.00	—	—	12.80	15.70	16.40	—	

表 8 竹林土壤空气成分月变化

土壤空气成分 月 份		CO ₂ (%)												O ₂ (%)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	1.00	0.40	0.20	0.40	1.60	1.20	2.90	0.20	1.80	3.20	3.50	1.00	19.80	20.70	19.20	20.35	—	—	—	21.00	18.60	16.88	—	18.60	
20	2.60	0.60	0.60	0.60	1.80	3.20	5.10	4.30	5.00	5.20	1.30	2.30	16.80	20.30	19.20	20.00	23.90	17.00	—	17.00	14.30	14.50	19.90	17.60	
40, 60 的平均值	2.80	1.50	1.10	1.40	3.10	5.90	6.70	25.6	30.6	20.2	7.0	3.30	17.00	19.56	—	19.15	19.80	13.20	15.60	12.85	13.20	13.16	19.16	16.25	
100, 150 的平均值	4.00	3.90	2.85	3.30	3.80	5.70	7.30	7.60	8.45	7.90	5.90	4.35	17.03	18.25	16.95	19.10	—	15.20	15.50	11.40	9.15	10.74	17.30	16.15	
200	6.20	6.40	—	5.40	10.80	7.00	7.00	9.20	8.60	9.00	8.40	6.60	15.00	16.00	—	17.20	13.00	11.00	8.70	8.10	7.80	8.50	14.90	14.60	

三个定位点的結果都說明二氧化碳含量自土壤表层至底层逐渐增多,而氧則相反。土壤底层二氧化碳的增多是由于沒有来得及扩散而逐渐累积的結果。土壤空气成分的季节变化,一般都是湿季土壤含二氧化碳量多于雾季,更多于干季;氧气含量則与此相反。

表9 紅壤性草甸土(曠地)土壤空气成分月变

土壤空气成分 月 份 土层深度 (厘米)	CO ₂ (%)					O ₂ (%)				
	1	2	3	11	12	1	2	3	11	12
10	0.00	0.02	0.10	0.20	1.20	20.64	20.78	20.30	19.40	18.70
20	0.21	—	0.30	0.80	1.20	20.95	—	20.10	20.10	18.60
40、60 平均值	0.53	2.70	1.05	1.45	2.10	21.14	19.60	19.95	20.25	18.30
100、150 平均值	2.79	4.68	4.05	4.55	3.60	18.69	17.29	17.75	16.75	17.00
200	8.10	9.15	8.30	8.80	9.60	13.60	12.85	14.30	14.00	12.40

土壤表层 10 厘米的二氧化碳含量,在多雨的月份,特别是临近测定日期降雨的月份,出現比下层邻近深度增高的情况,例如热带雨林点 5、7、9 及 12 月所測定的結果,这种情况是由于测定前連續降了較多的雨水,土壤表层水分含量高,阻碍了气体自由交換,二氧化碳便集于表层,这便是造成表层二氧化碳含量多于邻近較深土层的重要原因。氧气含量的变化是与二氧化碳成相反的趋势,但是,竹林点却沒有这样的結果,这与土壤表层裂縫的存在,增強了气体交換的速度有关。

三个定位点的結果相比較,竹林和曠地土壤空气中二氧化碳含量相差不多,且均高于热带雨林土壤。氧的含量則低于热带雨林土壤。造成这种現象的竹林特殊历史条件前已述及。曠地点土壤空气中二氧化碳含量所以增高,我們认为是由于将原来的杂木及杂草烧燬,开成空曠地有密切的关系。

底层空气中二氧化碳及氧的变动,远較上层为弱,这是由于底层的水热条件远較上层稳定的緣故^[9,10]。

必須着重指出,据测定,在热带雨林土壤和竹林土壤 60 厘米深度,某些月份出現氧气減少而二氧化碳增多的情况(与它相邻近的上层和下层之比)(表 10)。

表 10 土层 60 厘米主要气体成分的变化(%)

項 目 測定深度(厘米)	气体成分	热带雨林土壤		竹林土壤	
		6 月	8 月	6 月	8 月
40	CO ₂	2.50	4.45	3.60	6.50
40	O ₂	18.70	15.35	—	13.90
60	CO ₂	4.00	5.60	8.20	8.00
60	O ₂	16.80	12.40	13.20	11.80
100	CO ₂	3.60	4.60	5.40	6.40
100	O ₂	18.60	17.85	17.80	12.80

出現这种情况的原因,可能是复杂的,还需要进一步研究。我們初步认为土栖性白蚁起着重要的作用。不論热带雨林土壤或竹林土壤,出現这种情况最明显的是在湿季(6 月和 8 月,7 月份因为测点深入土中的銅管上頂端密閉不严,有漏气現象,所以尚不能作为分析資料)。多量的雨水填充了土壤孔隙,土壤气体和大气交換严重减弱,由于大部分栖息于这一层的昆虫(动物)以及植

物根系、微生物等生命活动的結果,使該层土壤空气中氧气含量降低,刚刚进入雨季的5月虽然降雨最多,但土壤中含水量低于6—8月,所以沒有这一現象。当然从生物学上来說,生物体本身活动在这段时间增强,可能也是一个原因。空曠地土壤剖面沒有上面所述特点,因此60厘米深处也沒有这一現象发生。

五、土地开垦后土壤空气成分的改变

土地开垦后,随着生物地理羣落类型的改变,土壤空气成分也发生着明显的改变。凡在林地焚燬开垦的情况下,由于植物地上部分的烧燬,植物根在热带自然条件下的迅速死亡和腐解,以及在火温作用下土壤所含有机质遭受破坏,使得二氧化碳在土壤空气成分中数量增大,氧气則相应减少(表11)。

表11 飞机草灌丛羣落焚燬后土壤空气成分的改变

土层深度 (厘米)	飞机草灌丛羣落		砍伐烧燬20日后测定	
	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
10	0.20	24.30	0.80	20.30
20	0.80	21.02	1.40	19.40
40	1.20	20.15	1.50	18.20
60	1.40	19.78	2.00	16.25
100	2.10	18.88	2.30	15.30
150	2.40	18.00	6.80	14.80
200	3.15	17.45	8.80	14.00

这种情况进一步說明土地开垦采用地上植被全部焚燬的方式是需要改进的,而且不論进行播种或栽植幼苗,其效果如何是和土壤空气中二氧化碳含量有一定关系。曾經有人指出,二氧化碳浓度超过1%以上时,植物根的发育开始緩慢,如果更高时,就有毒害^[1]。这个界限,据我們的看法,在不同地区,不同植被类型是会有所不同的。例如在热带雨林点,心土和底土二氧化碳早已超过1%以上,但植物生长并未表现出不良的情况。然而我們仍然认为土壤中二氧化碳浓度超过1%以上时,对幼小的植物体(如发芽生长不久的幼苗,正发芽的种子等),有抑制生长的作用。現以大叶白顏树(*Gironniera subaequalis*)幼苗的生长情况为例,我們发现土壤空气中二氧化碳浓度在1%以上时,这种林木种子发芽少,而发芽的种子生长亦緩慢,幼苗有死亡的現象,经过人为翻动土层,改变了通气状况,二氧化碳浓度降到0.5%以下,不論种子发芽和幼苗生长,都相当良好。因此,在烧燬野生植被后,应加深耕翻土层,增加通气性,避免土壤中积累过多的二氧化碳,以使作物特别是在发芽期和幼苗期得到良好的环境条件。此外,经过烧燬的初期阶段后,土壤中二氧化碳含量不能减少,最后保持一定的水平,因此可以提前烧燬野生植被,错过二氧化碳在土壤中积累增高的时期。

总之,进行土壤定位研究,对于查明土壤各种性质,特别是其动态变化,有着重大的意义。因为不同季节,很多自然过程都起着显著的变化,本文所討論的土壤空气状况,也說明这一問題。正确的認識自然,定位观测和实验都是必要的方法^[3]。

目前关于土壤气体方面的研究都作得很少,特别是它在土壤中所起的作用和生理过程,还需要很好地进行研究。不久以前,C. B. 佐恩和李庆達已經提出了新的見解和說明^[2]。

就土壤空气状况总的概念来說,不仅包括着土壤内空气成分、数量及其动态变化,也应有土壤

和近地面大气层的气体交换这一重要内容。土壤空气中二氧化碳含量较高，土壤呼吸强度较大，可以作为具有一定地植物景观的热带土壤特点之一。

参 考 文 献

- [1] 黄瑞采:土壤学。1958年。
- [2] W. 沙非尔著:普通植物地理学原理。高等教育出版社,1951年。
- [3] 黄秉维:自然地理实验研究和高山定位研究前言。1958。
- [4] B. H. 馬卡洛夫(梁式弘译):論土壤与大气的气体交换及土壤空气中二氧化碳含量的测定法。土壤学译报,1956年,第2期,64—66页。
- [5] 橡胶世界。142卷1期,1960。
- [6] 程云生、И. П. 格列欽:1960。土壤氧气状况及其对生草灰化土性质的影响。土壤学报,8卷1期,39—62。
- [7] M. J. 狄克曼:三叶橡胶研究三十年。1956年。
- [8] P. W. 理查斯(张宏达等译):热带雨林。科学出版社,1959年。
- [9] Мина, В.: Методика изучения углекислоты почвенного воздуха. 1957.
- [10] Шульгин, А. М.: Температурный режим почвы. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1957.
- [11] Зонн, С. В. и Ли Чен-куэй: К характеристике энергетики биологических процессов в тропических лесных почвах. Почвоведение, 1960, № 12, стр. 1—16.