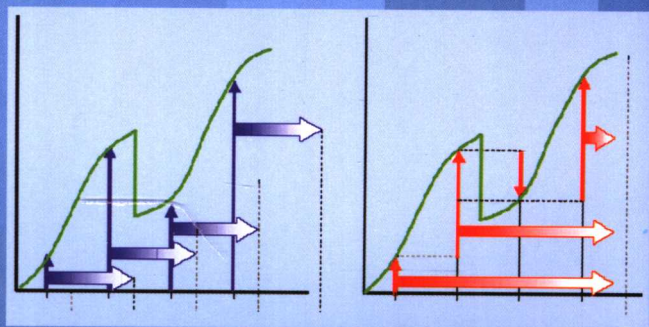




Small Projects Facility Programme
中国 - 欧盟小项目便捷基金项目

中国CDM造林再造林项目 指南

张小全 武曙红 编著



中国林业出版社



EU - CHINA

Small Projects Facility Programme

中国-欧盟小项目便捷基金项目

中国 CDM 造林再造林项目指南

张小全 武曙红 编著

中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国 CDM 造林再造林项目指南/张小全,武曙红编著. - 北京:中国林业出版社,2006.12

ISBN 978-7-5038-4701-1

I. 中… II. ①张… ②武… III. 造林-项目-中国-指南 IV. S72-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 155345 号

出版:中国林业出版社(100009 北京西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: forestbook@163.com 电话 010-66162880

网址: www.cfph.com.cn

发行:中国林业出版社

印刷:北京林业大学印刷厂

版次:2006年12月第1版

印次:2006年12月第1次

开本:889mm×1194mm 1/32

印张:9.5

字数:264千字

印数:1~1100册

定价:45.00元

前 言

受中国-欧盟小项目便捷基金项目的资助，中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所于2004年10月启动了“中国准备和实施清洁发展机制造林再造林项目的能力建设”项目，其目的是通过案例研究、培训和研讨会，提高中国林业科技人员、决策者和森林经营者或经营实体准备和实施CDM造林再造林项目活动的的能力，包括深入理解CDM造林再造林项目活动的概念、方式、程序，如何申请、准备和实施CDM造林再造林项目活动，如何起草项目设计书、监测方法学和基线方法学的应用，如何解决相关的额外性、基线、泄漏、非持久性、监测等技术问题等。项目活动包括3个培训班、2次研讨会以及案例调查和研究等。本书中的附录为有关决议原文的中文译文，并保留了原文的体例。

本书是在该项目培训、研讨和案例调查研究基础上编撰完成的，并得到中国-欧盟小项目便捷基金项目 and “十一五”国家科技支撑计划课题“林业生态工程生态效益监测评价与碳汇计量技术”的资助出版。项目的策划和执行得到了国家林业局碳汇管理办公室、中国气候变化对策协调小组办公室等主管部门的大力支持，对此表示诚挚的感谢。参加本项目的研究人员还有何英博士、朱建华博士以及侯振宏、罗云建、阮宇等10余人。

由于时间仓促，本书还存在许多不足之处，敬请读者批评指正。

编著者

2006年8月于北京

目 录

前 言

1 土地利用变化和林业与气候变化	(1)
1.1 概 述	(1)
1.2 森林对大气 CO ₂ 的影响	(2)
1.3 林业活动与减排增汇	(15)
2 有关土地利用变化和林业的气候变化国际进程	(22)
2.1 《联合国气候变化框架公约》	(22)
2.2 《京都议定书》	(26)
2.3 《马拉喀什协定》	(28)
2.4 UNFCCC 第 9 次缔约方大会 (COP9)	(33)
2.5 《布宜诺斯艾利斯宣言》	(36)
2.6 UNFCCC 第 11 次缔约方大会 (COP11/MOP1)	(38)
3 CDM 造林再造林项目的概念、方式和程序	(42)
3.1 概 述	(42)
3.2 有关术语及其定义	(44)
3.3 CDM 造林再造林项目参与国家的资格条件	(47)
3.4 CDM 造林再造林项目活动的合格性要求	(49)
3.5 指定经营实体	(51)
3.6 审定和注册	(54)
3.7 我国实施 CDM 项目的许可条件	(58)
4 CDM 造林再造林项目的申请和实施	(59)
4.1 CDM 项目运行周期	(59)
4.2 项目设计	(59)
4.3 批准的 CDM 造林再造林基线和监测方法学	(82)
4.4 建议新的方法学	(89)
4.5 国内审批和监督程序	(95)

4.6	项目审定	(96)
4.7	项目注册	(99)
4.8	项目核查和核证	(101)
4.9	发放 CERs	(103)
5	CDM 造林再造林项目的基线方法学问题	(104)
5.1	基线的含义	(104)
5.2	A/R CDM 项目活动的基线方法及其确定	(106)
5.3	基线情景下的造林再造林活动	(111)
5.4	碳库的确定	(111)
5.5	项目边界的确定	(113)
5.6	项目区分层	(115)
5.7	基准净温室气体汇清除估算	(116)
5.8	实际净温室气体汇清除的预测	(119)
6	CDM 造林再造林项目的额外性问题	(121)
6.1	额外性的概念	(121)
6.2	环境额外性	(123)
6.3	资金额外性	(125)
6.4	投资额外性	(126)
6.5	政策额外性	(128)
7	CDM 造林再造林项目的泄漏问题	(130)
7.1	泄漏的内涵	(130)
7.2	A/R CDM 项目活动潜在泄漏	(132)
7.3	A/R CDM 项目潜在泄漏的识别	(135)
7.4	泄漏管理	(137)
8	CDM 造林再造林项目的非持久性问题	(139)
8.1	非持久性的概念与相关规定	(139)
8.2	ICERs 和 tCERs 的内涵	(140)
8.3	A/R CDM 项目活动非持久性风险	(142)
8.4	ICERs 和 tCERs 的市场价值	(144)
8.5	tCERs 和 ICERs 的交易风险	(146)

9 CDM 造林再造林项目的监测方法学问题	(148)
9.1 概 述	(148)
9.2 项目活动和边界的监测	(150)
9.3 抽样设计	(151)
9.4 实际净温室气体汇清除的监测	(157)
9.5 泄漏的监测	(175)
9.6 tCER 和 lCER 的计算	(183)
9.7 质量保证和质量控制	(184)
9.8 不确定性分析	(187)
 附录 I 《京都议定书》第十二条有关清洁发展机制的描述	(130)
附录 II 第 11/CP.7 号决议：土地利用、土地利用变化和林业	(192)
附录 III 第 17/CP.7 号决议：CDM 的方式和程序	(201)
附录 IV 第 19/CP.9 号决议：CDM 造林再造林项目的方式和程序	(228)
附录 V 第 14/CP.10 号决议：小规模 CDM 造林再造林项目活动 的简化方式和程序	(249)
附录 VI 生物碳基金项目概念书 (PIN)	(263)
附录 VII CDM 造林再造林项目的额外性评价工具	(268)
参考文献	(278)

1

土地利用变化和林业与气候变化

1.1 概 述

以 CO_2 为主的大气中温室气体浓度增加引起的以全球变暖为主要特征的气候变化, 威胁着人类生存的环境和社会经济的可持续发展, 已成为国际社会、各国政府、科学家和公众强烈关注的重大环境问题。政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第三次评估报告指出 (Houghton 等, 2001), 近百年来地球气候正经历着一次以全球变暖为主要特征的显著变化, 全球变暖已经对地球生态系统和社会经济系统产生了明显的和深远的影响; 人类活动引起的大气温室气体浓度增加是导致全球温暖化的主要因素。为减缓全球气候变化, 保护人类生存环境, 联合国于 1992 年通过了《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)。1997 年通过的具有历史意义的《京都议定书》为工业化国家规定了具有法律约束力的第一承诺期 (2008 ~ 2012 年) 温室气体减限排指标。近 10 年来召开了多次 UNFCCC 缔约方会议, 为实现《京都议定书》规定的减限排指标制定了相关的规则和程序。

森林作为陆地生态系统的主体, 是大气中 CO_2 重要的贮存库和吸收汇, 毁林是仅次于化石燃料燃烧的全球温室气体排放源。同时, 土地利用、土地利用变化和林业 (LULUCF) 活动是大气中 CO_2 减排增汇、实现《京都议定书》减限排指标以及 UNFCCC 的最终目标的重要措施。

LULUCF 涉及到农业、林业、水资源、国土等许多部门, 不同国际组织、公约和各国对土地利用方式的分类也不尽一致。政府间

气候变化专门委员会 (IPCC) 的《土地利用、土地利用变化和林业好的做法指南》根据温室气体清单编制需要和 UNFCCC 有关决议要求, 将土地利用方式划分为六大类, 即林地、农地、草地、湿地、居住用地和其他土地 (Jallow 等, 2004)。不同土地利用方式及其相互转化均涉及不同程度和类别的温室气体排放或汇清除, 本章主要讨论与森林和林业有关的土地利用及其变化与气候变化的关系。

1.2 森林对大气 CO₂ 的影响

森林在与大气中 CO₂ 的关系中起着双重作用。一方面森林可吸收并固定大气中 CO₂, 是大气中 CO₂ 的吸收汇、贮存库和缓冲器。另一方面毁林又是大气中 CO₂ 的重要排放源。

1.2.1 森林生态系统是全球重要的碳库

森林作为陆地生态系统的主体, 以其巨大的生物量贮存着大量的碳, 森林植物中的碳含量约占生物量干重的 50%。联合国粮食及农业组织 (FAO) 对全球森林资源的评估表明 (表 1-1), 全球森林面积约 40 亿 hm², 约占全球陆地面积的 30%。森林蓄积量 4 342 亿 m³, 平均每公顷蓄积量 110m³。全球森林生物量碳贮量达 282.7GtC (1GtC = 10⁹tC), 平均每公顷森林的生物量碳贮量 71.5 tC, 如果加上土壤、粗木质残体和枯落物中的碳, 每公顷森林碳贮量达 161.1 tC (FAO, 2006)。据 IPCC 估计 (Ciais 等, 2000), 全球陆地生态系统碳贮量约 2 477GtC, 其中植被碳贮量约占 20%, 土壤碳约占 80%。占全球土地面积约 30% 的森林, 其森林植被的碳贮量约占全球植被的 77%, 森林土壤的碳贮量约占全球土壤的 39%。单位面积森林生态系统碳贮量 (碳密度) 是农地的 1.9~5 倍, 土壤和植被碳库的比率在北方森林为 5, 但在热带林仅为 1 (表 1-2, 图 1-1)。可见, 森林生态系统是陆地生态系统中最大的碳库, 其增加或减少都将对大气中 CO₂ 产生重要影响。

表 1-1 全球森林面积及生物量碳贮量

地 区	森林面积 ($\times 10^6 \text{ hm}^2$)	森林蓄积量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	生物量碳 贮量(GtC)	单位面积碳贮量(t/hm^2)				
				生物量	粗木质 残体	枯落物	土壤	合计
非 洲	635.412	64 957	60.8	95.8	7.6	2.1	55.3	160.8
亚 洲	571.577	47 111	32.6	57.0	6.9	2.9	66.1	132.9
大洋洲	206.254	7 361	11.4	55.0	7.4	9.5	101.2	173.1
欧 洲	1001.394	107 264	43.9	43.9	14.0	6.1	112.9	176.9
中北美洲	705.849	78 582	42.4	60.1	9.0	14.8	36.6	120.6
南美洲	831.540	128 944	91.5	110.0	9.2	4.2	71.1	194.6
合 计	3952.025	434 219	282.7	71.5	9.7	6.3	73.5	161.1

表 1-2 全球植被和 1m 深度土壤碳贮量

生物群区	面积 ($\times 10^6 \text{ hm}^2$)	碳贮量(GtC)		
		植 被	土 壤	合 计
热带森林	1 760	212	216	428
温带森林	1 040	59	100	159
北方森林	1 370	88	471	559
热带稀树草原	2 250	66	264	330
温带草地	1 250	9	295	304
荒漠和半荒漠	4 550	8	191	199
冻 原	950	6	121	127
湿 地	350	15	225	240
农 地	1 600	3	128	131
合 计	15 120	466	2 011	2 477

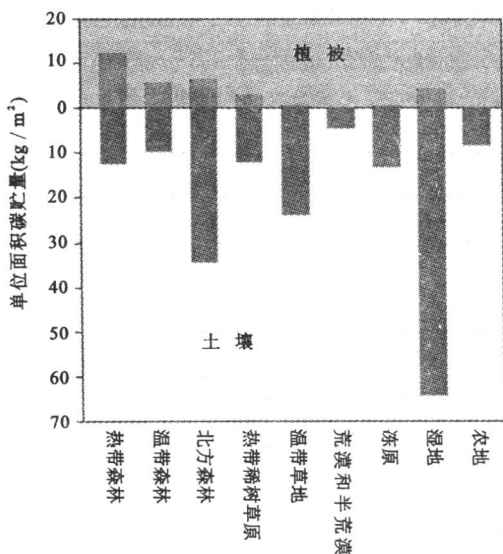


图 1-1 不同陆地生态系统碳密度

(数据来源: Ciais 等, 2000)

我国森林生态系统碳贮量的估计有较大差异 (表 1-3), 主要与所利用的森林资源清查数据和估计方法有关。根据全国森林资源清查的森林蓄积量数据, 采用蓄积-生物量扩展系数 (BEF) 的方法, 计算的森林植被单位面积碳贮量在 $31.04 \sim 45.75 \text{ tC/hm}^2$, 高于 FAO 公布 (2001a; 2006) 的平均值, 低于 IPCC 森林植被的平均碳密度。由此计算得到的我国森林植被碳贮量, 在 1973 ~ 1976 年、1977 ~ 1981 年、1984 ~ 1988 年、1989 ~ 1993 年和 1994 ~ 1998 年期间 (不包括经济林和竹林) 分别约为 $3.75 \sim 4.44 \text{ GtC}$ 、 $3.91 \sim 4.38 \text{ GtC}$ 、 $3.26 \sim 4.45 \text{ GtC}$ 、 $3.70 \sim 4.63$ 和 4.75 GtC 。考虑到竹林和经济林的碳贮量, 我国森林植被和土壤碳贮量分别在 5 GtC 和 15 GtC 左右的估计是基本合理的。根据汪业勋 (1999) 的估计, 我国不同植被区森林生态系统碳贮量见表 1-4。

表 1-3 中国森林生态系统碳储量估计

森林 面积 ($\times 10^6 \text{ hm}^2$)	碳密度(t/hm^2)			总碳储量(GtC)			数据年份	数据来源
	植被	土壤	枯落物	植被	土壤	枯落物		
101.26	43.83			4.44			1973 ~ 1976 ^{ab}	Fang 等 (2001)
95.62	45.75			4.38			1977 ~ 1981 ^{ab}	
102.19	43.53			4.45			1984 ~ 1988 ^{ab}	
108.63	42.58			4.63			1989 ~ 1993 ^{ab}	
105.82	44.91			4.75			1994 ~ 1998 ^{ab}	
102.19	32 ~ 38			3.26 ~ 3.73			1984 ~ 1988 ^{ab}	王效科等 (2001)
96.03	39			3.746			1973 ~ 1976 ^{ab}	刘国华等 (2000)
95.63	43.1			4.124			1977 ~ 1981 ^{ab}	
102.19	33.1			4.06			1984 ~ 1988 ^{ab}	
108.63	38.7			4.20			1989 ~ 1993 ^{ab}	
108.62	57.07	193.55	8.21	6.2	21.02	0.8	1989 ~ 1993 ^{ac}	周玉荣等 (2000)
108.64	34.01			3.695			1989 ~ 1993 ^{ab}	汪业勤 (1999)
129.00	41.94	106.05	6.36	5.410	13.68	0.82	1989 ~ 1993 ^{bd}	
163.48	30.50			5.019			2000 ^{bef}	FAO (2001)
197.29	30.90			6.096			2005 ^{be}	FAO (2006)
123.6	31.04			3.836			1973 ~ 1976 ^{bg}	Pan 等 (2004)
116.0	33.71			3.910			1977 ~ 1981 ^{bg}	
125.4	31.88			3.998			1984 ~ 1988 ^{bg}	
130.5	33.25			4.339			1989 ~ 1993 ^{bg}	
139.29		153.86			21.434		1990 ^{be}	Zhang 和 Xu (2003)

注: a. 不包括经济林和竹林。b. 根据清查蓄积量和蓄积 - 生物量扩展因子计算。c. 根据研究样地资料计算。d. 植被碳库不包括经济林和竹林, 土壤碳库包括经济林和竹林。
e. 包括经济林和竹林。f. 地上部分生物量碳储量。g. 包括林分、竹林和疏林。

表 1-4 我国不同植被区森林生态系统碳贮量

植被区域	森林面积 (10^6 hm^2)	碳密度 (t/hm^2)				碳贮量 (MtC)			
		植被	土壤	枯落物	合计	植被	土壤	枯落物	合 计
寒温带针叶林区	13.13	34.03	125.50	5.63	165.16	446.78	1647.85	73.96	2168.59
温带针阔混交林区	13.07	60.12	123.52	10.63	194.27	785.72	1614.44	138.94	2539.10
暖温带落叶阔叶林区	2.93	26.56	129.30	4.35	160.23	77.82	378.86	12.76	469.46
亚热带常绿阔叶林区	58.77	26.29	89.92	2.99	119.19	1544.94	5284.36	175.44	7004.73
热带季雨林区	15.12	70.20	121.86	6.89	198.95	1061.43	1842.57	104.17	3008.17
温带草原区	6.78	36.08	95.58	11.10	142.77	244.65	648.06	75.26	967.97
温带荒漠区	3.00	47.18	110.05	14.03	171.27	141.54	330.16	42.10	513.80
青藏高原高寒植被区	16.20	68.36	119.35	12.27	199.98	1107.36	1933.55	198.75	3239.66
合 计	129.00	41.94	106.05	6.37	154.35	5410.24	13679.85	821.37	19911.46

资料来源:汪业勋,中国森林生态系统区域碳循环研究(博士学位论文),1999。

1.2.2 森林生长是大气 CO_2 重要的吸收汇

森林植物在其生长过程中通过同化作用,吸收大气中的 CO_2 , 将其固定在森林生物量中。森林每生长 1m^3 木材,约需要吸收 1.83 tCO_2 。据 Whittaker (1975) 估计,热带森林净第一性生产力为 $4.5 \sim 16.0 \text{ t}/\text{hm}^2$,温带森林为 $2.7 \sim 11.25 \text{ t}/\text{hm}^2$,寒温带森林为 $1.8 \sim 9.0 \text{ t}/\text{hm}^2$,耕地为 $0.45 \sim 20.0 \text{ t}/\text{hm}^2$,草地仅 $1.3 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。在全球每年近 60 GtC 的净初级生产量中,热带森林占 20.1 GtC ,温带森林占 7.4 GtC ,北方森林占 2.4 GtC (Sabine 等, 2004)。草地植物和农作物 also 具有很强的固碳能力,但其作用是短暂的,不能将吸收固定的 CO_2 长期保存于生物有机体中,因此通常将草地地上生物量和农作物生物量看成是碳中性的 (Carbon Neutral)。

早期的研究认为,20 世纪 80 年代以森林为主体的陆地生态系统是大气中 CO_2 的净排放源 (Brown 等, 1996),但近期的大气测量和模拟研究表明,20 世纪 80 年代陆地是一个 $0.2 \pm 1.0 \text{ GtC}/\text{年}$ 的吸收汇,即 $1.9 \pm 1.3 \text{ GtC}/\text{年}$ 的陆地碳吸收与土地利用变化引起的 $1.7 \pm 0.8 \text{ GtC}/\text{年}$ 的碳排放之差;90 年代吸收汇增至 $0.7 \pm 1.0 \text{ GtC}/\text{年}$,即 $2.3 \pm 1.3 \text{ GtC}/\text{年}$ 的陆地碳吸收减土地利用变化引起的 $1.6 \pm 0.8 \text{ GtC}/\text{年}$ 。

年的碳排放 (Ciais 等, 2000)。

就全球而言, 陆地植被通过光合作用每年从大气中吸收的总初级生产量 (GPP) 约 120 GtC/年, 其中约 60 GtC/年通过植物自养呼吸返回大气; 余下的约 60 GtC/年的净初级生产 (NPP) 中, 约 50 GtC/年通过土壤和死有机植物残体的异养呼吸 (分解作用) 返回大气, 形成约 10 GtC/年净生态系统生产量 (NEP), 这其中又有约 9 GtC/年通过干扰排放进入大气, 因此陆地植被年净碳交换量 (NBP) 约 ± 1 GtC/年 (图 1-2)。

据研究, 我国森林植被净碳吸收量为 0.04 GtC, 其中 NPP 约 0.61 GtC/年, 年采伐消耗 0.13 GtC/年, 年凋落物总量 0.44 GtC/年, 凋落物分解排放 0.17 GtC/年, 土壤呼吸排放 0.27 GtC/年 (汪业勋, 1999; 赵士洞等, 2001)。1990 年我国森林表现为 0.098 GtC/年的净碳吸收汇, 占同期温室气体源排放的 16.8%, 其中森林生长吸收 0.118 GtC/年, 土壤碳积累 0.0184 GtC/年, 生物量燃烧和分解排放 0.0389 GtC/年 (Zhang 和 Xu, 2003)。

森林的固碳速率因不同气候-森林类型、年龄、立地条件和人为干扰状况等因子而异。森林生态系统的净生态系统生产量, 北方森林为 $-1.0 \sim 2.5 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$ ($n=20$), 温带森林为 $2.5 \sim 8.0 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$ ($n=35$), 地中海地区森林为 $-1.0 \sim 2.0 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$ ($n=8$), 热带森林为 $2.0 \sim 6.0 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$ ($n=12$), 这里负值表示净排放 (Jarvis, 私人通信)。例如, 在热带, 亚马孙热带季雨林净生态系统生产量 (NEP) 约 $1.0 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$, 潮湿浓密的热带季雨林达 $2.0 \sim 5.9 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$; 择伐的常绿雨林为 $2.9 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$, 重度采伐的雨林为 $2.4 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$; 半常绿的热带雨林为 $0.7 \sim 1.5 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$; 澳大利亚稀树草原地区的季节干旱性森林为 $0.12 \sim 0.75 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$ 。在温带地区, 欧洲通量网 (EUROFLUX) 涡动相关测定结果表明, 欧洲森林生态系统净生态系统交换量在 $1.0 \sim 6.6 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$, 随纬度增加而降低 (图 1-3), 而总第一性生产量与纬度无关, 即森林生态系统净碳吸收取决于生态系统的呼吸 (Valentini 等, 2000)。西伯利亚和加拿大的寒温带原始森林 NEP 可达 $2.5 \text{ tC/hm}^2 \cdot \text{年}$ (Ciais 等, 2000)。

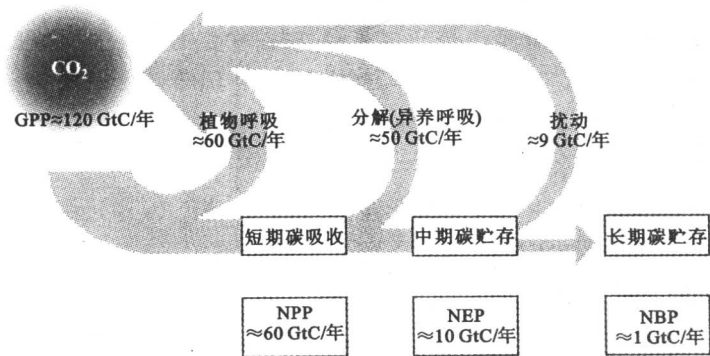


图 1-2 陆地碳循环模式 (Ciais 等, 2000)

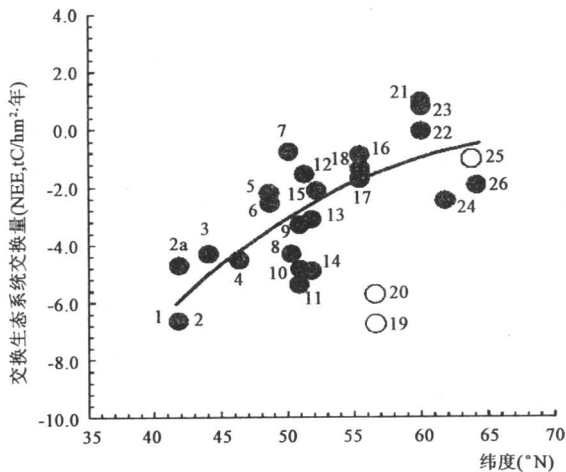


图 1-3 欧洲森林碳通量测定结果 (Valentini 等, 2000)

在自然状态下,随着森林的生长和成熟,森林吸收 CO_2 的能力降低,同时森林自养和异养呼吸增加,使森林生态系统与大气的净碳交换逐渐减小,系统趋于碳平衡状态,或生态系统碳贮量趋于饱和,如一些热带和寒温带的原始林 (Ciais 等, 2000),但达到饱和状态无疑是一个十分慢长的过程,可能需要上百年甚至更长的时间。即便如此,仍可通过增加森林面积来增强陆地碳贮存。而且如上所述,一些研究

测定发现原始林仍有碳的净吸收。森林被自然或人为扰动后，其平衡将被打破，并向新的平衡方向发展，达到新平衡所需的时间取决于目前的碳贮量水平、潜在碳贮量和植被和土壤碳累积速率（Schimel 和 Manning, 2003）。对于可持续管理的森林，成熟森林被采伐后可以通过再生长达到原来的碳贮量，而收获的木材或木产品一方面可以作为工业或能源的代用品，从而减少工业或能源部门的温室气体源排放；另一方面，耐用木产品可以长期保存，部分可以永久保存，从而减缓大气中 CO_2 浓度的升高（图 1-4）。

目前对森林生态系统固碳能力的估计可能偏高，主要原因是大多数观测结果，特别是来自碳通量的观测结果来自生长较好的成熟森林，而没有考虑到自然和人为干扰过程（如采伐更新）对生态系统碳交换的影响。近期的研究表明，在干扰后的数年内，森林生态系统实际上是一个排放源而非吸收汇，如果将这些干扰过程考虑在内，欧洲森林生态系统年净生态系统交换量只有 0.2 GtC，是原来估计的 43%（Grace 等, 2003）。

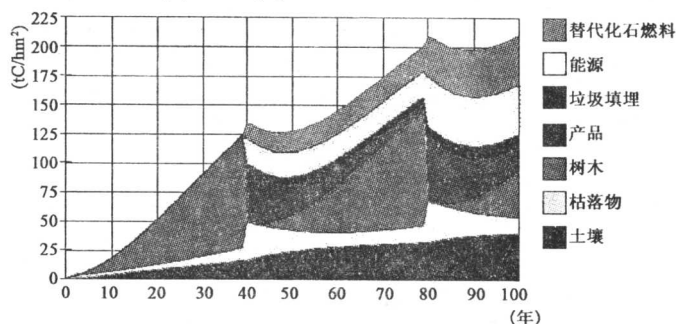


图 1-4 造林后碳贮量的变化（Kauppi 和 Sedio, 2001）

1.2.3 毁林是大气中 CO_2 的重要排放源

这里的毁林指森林向其他土地利用的转化或林木冠层覆盖度长期或永久降低到一定的阈值以下。由于毁林导致森林覆盖的完全消失，除毁林过程中收获的部分木材及其木制品可以较长时间保存外，大部分贮存在森林中的巨额生物量碳将迅速释放进入大气。同时毁林引起的土地利用变化还将引起森林土壤有机碳（SOC）的大量排

放。研究表明,毁林转化为农地后,由于 SOC 的输入大大降低和不断的耕作, SOC 损失可高达 75%, 大部分研究结果在 0 ~ 60%, 毁林转化为农地 10 年后 SOC 平均下降 $30.3 \pm 2.4\%$ ($n=75$), 如果剔除土壤容重变化的影响, SOC 平均下降 $22.1 \pm 4.1\%$ ($n=33$) (图 1-5)。而毁林转化为草地后 SOC 的变化无明显趋势 (图 1-6), 约一半的研究结果为 SOC 增加, 平均增加 $4.6 \pm 4.1\%$ ($n=84$), 如果只考虑经过容重校正的数据, 平均增加 $6.4 \pm 7.0\%$ ($n=31$), 这种变化在统计上并不显著 (Murty 等, 2002)。吴建国等 (2004) 在宁夏半干旱区的研究表明, 山杨和辽东栎天然次生林转化为农地和草地后, SOC 密度分别下降 35% 和 14%, 而且 SOC 的稳定性降低。

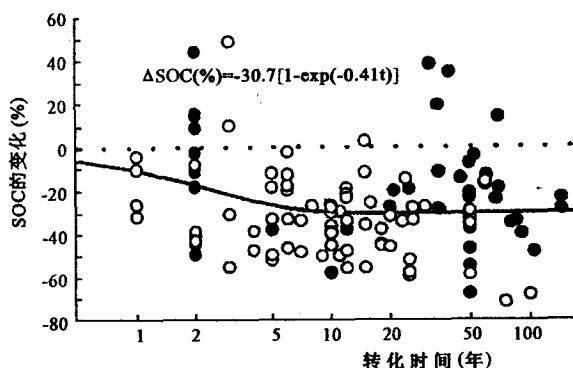


图 1-5 毁林转化为农地后土壤有机碳 (SOC) 的变化 (Murty 等, 2002)

○ 原始数据 ● 经容重校正的数据

工业革命以来, 全球毁林面积呈增加趋势, 特别是近 50 年来, 以亚洲热带地区和南美洲为主的毁林大幅上升。在 20 世纪 50 年代以前, 毁林主要发生于北美洲和欧洲等温带地区以及亚洲热带地区和南美洲。在 20 世纪中叶以后, 北美洲和欧洲 (除前苏联外) 的毁林现象基本被遏止, 并通过人工造林和退耕还林, 森林面积呈增加趋势, 1980 ~ 1995 年发达国家森林面积年均增长 $1.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (FAO, 1999a), 使欧洲和北美洲等温带森林地区成为大气中 CO_2 的吸收汇。而此期间亚洲热带地区、拉丁美洲和非洲热带地区的毁林