

樟树对 $^{14}\text{CO}_2$ 的吸收和积累

史建君* (浙江理工大学理学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为了探明 $^{14}\text{CO}_2$ 在环境中的行为, 采用同位素示踪技术研究了樟树对 $^{14}\text{CO}_2$ 的吸收和积累动态, 并探讨了樟树作为监测大气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染指示植物的可能性和优越性。结果表明, 通过叶片光合作用从空气中吸收的 $^{14}\text{CO}_2$ 会在樟树叶片中积累, 检测到的 ^{14}C 比活度数值较大, 表明空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 易于通过叶片的光合作用而进入樟树叶片组织中; 在污染前期 $^{14}\text{CO}_2$ 主要被新叶组织中吸收, 后期主要积累在老叶中, 反映出新叶对空气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染比较敏感, 而老叶积累效应明显。樟树叶片的这一特性可用于监测大气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染。

关键词: 樟树; $^{14}\text{CO}_2$; 吸收; 积累

中图分类号: X591 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2010)12-1690-05

Uptake $^{14}\text{CO}_2$ from air and accumulation of ^{14}C in camphor. SHI Jian-jun* (Institute of Science, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China). *China Environmental Science*, 2010,30(12): 1690~1694

Abstract: Uptake $^{14}\text{CO}_2$ from air and accumulation of ^{14}C in the camphor were studied by using the isotope-tracer techniques, which was used to get a better understanding of the environmental behavior of $^{14}\text{CO}_2$. And the possibility and superiority of camphor used as the indicator plant in the supervisor of $^{14}\text{CO}_2$ air pollution were discussed. The $^{14}\text{CO}_2$, which was uptaken from the air by the leaf photosynthesis, would accumulate in the leaves of camphor. ^{14}C specific activity was detected high, which demonstrated $^{14}\text{CO}_2$ in the air easily got into leaf tissue of the camphor through photosynthesis. During the early stage of $^{14}\text{CO}_2$ pollution, $^{14}\text{CO}_2$ was mainly uptoken by young leaf tissues while accumulated mostly in old leaves in later stage. It indicated that the young leaves were sensitive to air pollution of $^{14}\text{CO}_2$ while old leaves had significant the effect of accumulation. Owing to its accumulation of $^{14}\text{CO}_2$, camphor can be used as the indicator plant in the supervisor of $^{14}\text{CO}_2$ air pollution.

Key words: camphor; $^{14}\text{CO}_2$; uptake; accumulation

核电站的放射性排放物分气态和液态两种, 气态中放射性核素主要有 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{90}Sr 、 ^{14}C 、 ^{144}Ce 等, 液态中放射性核素主要有 ^3H 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{95}Zr 、 ^{90}Sr 等。有关核电站排放的放射性核素 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{95}Zr 、 ^3H 等在生态系统中的消长行为和特性研究报道较多^[1-7]。但 ^{14}C 作为核电站的主要放射性气态流出物, 在生态系统中的行为特性研究鲜见报道^[8-11], 关于树木对 ^{14}C 的吸收积累研究报道更少^[12]。据南京大学戴开美等^[12]报道: 距秦山核电站 4km 范围以内 1995 年生长的树叶中 ^{14}C 含量比距秦山核电站 5.3km 处树叶中高 0.9%, 比南京浦口地区树叶中高 3.5%, 比美国 Tuscon 地区树叶中高 1.1%, 核电站的运行可能会引起地域性 ^{14}C 的增加, 与核电站排放的其他放射性核素相比, ^{14}C 与环境的相互作用很特殊,

它的稳态形式在人体、食物和饮水中构成了其核素非常大的份额(植物干物质中的 C 含量约占 45%), 且半衰期(5730a)很长, 以 $^{14}\text{CO}_2$ 形态存在的 ^{14}C 将和空气中的非放射性 CO_2 混合, 参与植物的光合作用; 部分以气溶胶形式存在的 ^{14}C 将因沉降作用进入地表和水体, 通过陆生植物和水生植物的摄取和吸收而进入食物链, 危害环境和人类健康^[13]。

为了探明生态环境中 $^{14}\text{CO}_2$ 的行为特性, 本试验应用核素示踪技术研究了樟树对 $^{14}\text{CO}_2$ 的吸收和积累动态, 并探讨了樟树作为监测大气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染指示植物的可能性和优越性, 为科学

收稿日期: 2010-03-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20477040); 浙江省自然科学基金资助项目(Y505076)

* 责任作者, 教授, jjshi61@sohu.com

评定树木对 $^{14}\text{CO}_2$ 的吸收、积累状况提供基础数据,同时也为监测大气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染提供新的可能的方法和途径。

1 材料与方法

1.1 供试材料

$\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 购自中国原子能研究院同位素研究所,放化纯度 $>95\%$, ^{14}C 比活度为 $3.7\times 10^6\text{Bq/mL}$,使用前按比例(质量比 1:1.05 $\times 10^5$)配制成浓度为 0.84mol/L 的 $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3+\text{NaHCO}_3$ 混合液备用,混合液的 ^{14}C 比活度为 $1.85\times 10^7\text{Bq/L}$ 。供试砂壤土,取自杭州浙江大学华家池实验农场,土壤理化性状为:黏粒($<0.001\text{mm}$) 12.5g/kg , $\text{pH}6.0$ (水浸), $\text{pH}5.5$ (盐浸),有机质 19.0g/kg ,交换性钙 11.8cmol/kg ,交换性镁 1.5cmol/kg ,交换性总酸 0.05cmol/kg 。樟树苗高约 50cm ,取自杭州浙江大学实验农场。污染试验箱罩($80\text{cm}\times 85\text{cm}\times 70\text{cm}$)由透明有机玻璃制成,内置微型风扇和二氧化碳发生器,顶部设置4个 $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ 的采样口。

1.2 实验方法

在3个 $100\text{cm}\times 100\text{cm}\times 30\text{cm}$ 的水泥池中各装入砂壤土 310kg (湿土,含水量 18.5% ,核土重 252.65kg ,按 0.3g/kg 和 0.4g/kg 的用量均匀拌入 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 KH_2PO_4 作基肥),土层厚度约 25cm ,每池移栽樟树苗9株,待樟树成活(次年9月27日)后将3只污染试验箱罩分别罩在水泥池上,用土壤填充密封箱体与水泥池的接口部位,并分别记为A、B、C箱。试验分一次引入、二次引入和三次引入3种情况,其中A箱引入一次 $^{14}\text{CO}_2$,B箱和C箱每隔7d引入1次 $^{14}\text{CO}_2$,B箱共引入2次,C箱共引入3次。 $^{14}\text{CO}_2$ 引入方法为:取 $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3+\text{NaHCO}_3$ 混合液 4.00mL 与浓度为 0.37mol/L 的 HClO_4 溶液 10mL (适度过量)在箱体内置 CO_2 发生器中反应产生 $^{14}\text{CO}_2+\text{CO}_2$ 混合气体,同时开启微型风扇使之均匀扩散。初次引入后污染试验箱内的 CO_2 浓度约为 0.06% , ^{14}C 比活度约为 155.4Bq/L 。

1.3 采样与制样

一次引入的污染试验箱(A箱)于 $^{14}\text{CO}_2$ 引入后第3,7,14,28,56,84,140d取样,二次引入的试验

箱(B箱)于初次引入 $^{14}\text{CO}_2$ 后第14,28,56,84,140d取样,三次引入的试验箱(C箱)于初次引入 $^{14}\text{CO}_2$ 后第28,56,84,140d取样,每池随机采集新叶和老叶各 8g 左右,用清水冲洗干净并用吸水纸吸干表面水,称重后置于干燥箱中于 60°C 下烘干。

将烘干后的样品磨碎,混合均匀后各称取 100mg 放入生物氧化燃烧仪(OX-600型)上燃烧 3min (燃烧温度 850°C),用含乙醇胺的闪烁液(配方: $\text{PPO}5\text{g}+\text{POPOP}0.5\text{g}+\text{乙二醇乙醚}150\text{mL}+\text{乙醇胺}150\text{mL}+\text{甲醇}100\text{mL}+\text{二甲苯}600\text{mL}$)收集生成的 $^{14}\text{CO}_2$,以提取样品中的 ^{14}C ,氧气通量和清洗氮气通量均为 350mL/min 。样品燃烧前接收管内装 8mL 闪烁液,燃烧后将其倒入测样瓶中,并用闪烁液 2mL 冲洗1次,冲洗后的闪烁液一并加入测样瓶中。

1.4 放射性活度测定

用Wallac 1400 DSA液闪仪测定上述液闪样品的放射性活度,测量误差控制在 5% 以内。测量结果经相应的燃烧回收效率校正和扣除本底后,换算成样品的干样比活度。

2 结果与讨论

2.1 樟树叶片对 $^{14}\text{CO}_2$ 吸收和积累动态

以采样时间 t 为横坐标, ^{14}C 比活度 C 为纵坐标作图,得樟树新老叶片中 ^{14}C 比活度随时间的分布动态(图1),图中显示,在樟树新老叶片中均检测到了 ^{14}C 的存在,表明通过光合作用从空气中吸收的 $^{14}\text{CO}_2$ 会在樟树叶片中积累,被检测到的 ^{14}C 比活度数值比较大,表明空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 易于通过叶片吸收而进入樟树叶片组织中。一次引入 $^{14}\text{CO}_2$ 时(图1a),在试验初始阶段(0~3d)樟树新叶中的 ^{14}C 比活度随时间呈快速上升,而后随时间而下降,于28d后下降速率趋缓至56d处于动态平衡。分析其原因为在初始阶段(0~3d)空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 浓度较高,产生的含 ^{14}C 同化产物较多,致使新叶组织中的 ^{14}C 比活度快速上升;而后随着光合作用的进行,空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 浓度逐渐降低,通过光合作用进入新叶组织的 $^{14}\text{CO}_2$ 减少,致使其 ^{14}C 比活度随时间而下降;至56d后,空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 已被基本吸收,通过光合作用进入新叶

组织的 $^{14}\text{CO}_2$ 很少,致使其 ^{14}C 比活度处于较低水平,表现为处于动态平衡.

樟树老叶在引入 $^{14}\text{CO}_2$ 后 ^{14}C 比活度呈先上升而后变化趋势趋缓,比活度介于 140.8~178.5Bq/g 范围内,至 56d 后呈下降趋势.其原因是:在初始阶段(0~3d)空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 浓度较高使得产生的含 ^{14}C 同化产物较多,致使樟树叶片中的 ^{14}C 比活度较快上升;而后随着光合作用的进行,空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 浓度逐渐降低,通过光合作用进入樟树叶片的 ^{14}C 减少,与此同时樟树叶片在不断生长,形成生物稀释,当生物稀释速度大于樟树叶片吸收利用 $^{14}\text{CO}_2$ 的速度时,樟树叶片中 ^{14}C 比活度就会随时间而下降,当两个速度均衡时,樟树叶片中 ^{14}C 比活度则处于动态平衡.在本试验(一次引入 $^{14}\text{CO}_2$)进行期间,0~3d 生物稀释速度小于樟树叶片吸收利用 $^{14}\text{CO}_2$ 的速度,因此表现出樟树叶片中的 ^{14}C 比活度随时间而上升,3~56d 生物稀释速度与樟树叶片吸收利用 $^{14}\text{CO}_2$ 的速度相当,表现出 ^{14}C 比活度平缓变化,56~140d 生物稀释速度大于樟树叶片吸收利用 $^{14}\text{CO}_2$ 的速度,表现出 ^{14}C 比活度随时间而下降.

比较新老叶中 ^{14}C 比活度的变化,可以看出:前期(0~14d)新叶组织中的 ^{14}C 比活度高于老叶,中后期(28~140d)低于老叶,其原因是新叶是新生组织,光合作用产生的同化产物向新生组织输送的量较多,前期(0~14d)由于空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 较高,产生的含 ^{14}C 同化产物也较多,致使新叶中的 ^{14}C 比活度高于老叶,至中后期(28~140d)空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 较低,产生的含 ^{14}C 同化产物较少,致使其 ^{14}C 比活度低于老叶.反映出新叶对空气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染比较敏感,而老叶积累效应比较明显,樟树叶片这一特性可以用于监测大气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染.樟树为多年生常绿树木,叶片生命周期相对较长,作为指示作物不仅可以反映污染的近况,而且可以反映污染的积累状况.与青菜和小麦相比^[8,11],樟树更适合作为监测大气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染的指示作物.

在自然环境中,核电站等释放的 ^{14}C 的污染往往为低剂量和长周期,通过检测新叶可知污染的现状,检测老叶可知污染的积累状况.

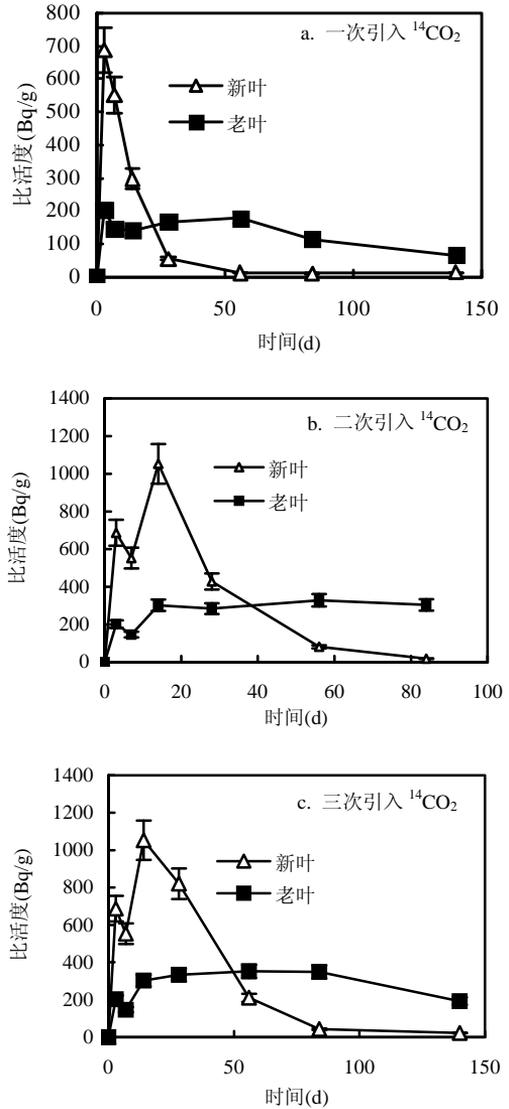


图1 ^{14}C 在樟树叶中的分布动态
Fig.1 Distribution of ^{14}C in the leaves of camphor

二次、三次引入 $^{14}\text{CO}_2$ 时(图 1b、图 1c),樟树叶片中 ^{14}C 比活度变化趋势与一次引入时相似,所不同的是产生了明显的叠加和积累效应,新叶中主要体现叠加效应,老叶以积累效应为主.

2.2 $^{14}\text{CO}_2$ 引入量与 ^{14}C 积累量的关系

以 $^{14}\text{CO}_2$ 引入次数 N 为横坐标, ^{14}C 比活度 C 为纵坐标作图,得樟树叶片中 ^{14}C 比活度随 $^{14}\text{CO}_2$ 引入次数的变化动态.由图 2 可见,樟树新叶中的 ^{14}C 比活度变化出现与时间相关的现象,距离引入时间越短,随引入次数的增加越明显,比如 28d

和 56d 的曲线,樟树老叶中 ^{14}C 比活度随引入次数的增加而递增,积累效应明显。

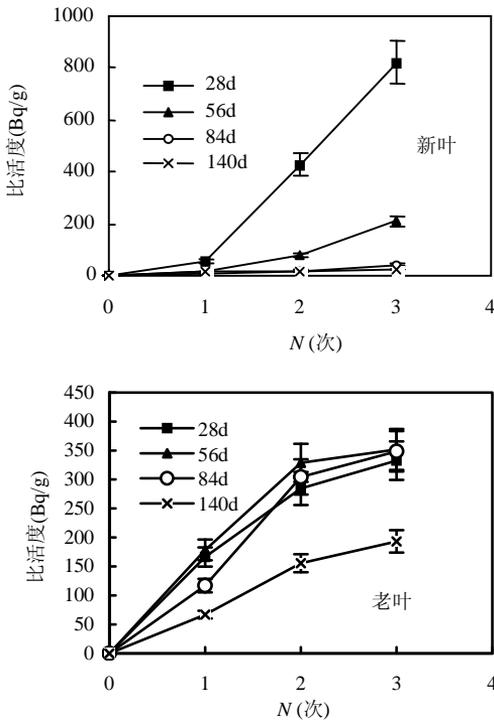


图 2 樟树新叶和老叶中 ^{14}C 的积累动态

Fig.2 Accumulation of ^{14}C in young leaves and old leaves of camphor

新叶中 ^{14}C 比活度与 $^{14}\text{CO}_2$ 引入次数的线性相关性如下:

28d: $C=282.1N-98.6$ $r^2=0.926$; 随引入次数的增长速率为 282.1Bq/(g·次)

56d: $C=69.9N-29.12$ $r^2=0.880$; 随引入次数的增长速率为 69.9 Bq/(g·次)

84d: $C=13.5N-2.5$ $r^2=0.936$; 随引入次数的增长速率为 13.5 Bq/(g·次)

140d: $C=7.0N-2.3$ $r^2=0.929$; 随引入次数的增长速率为 7.0 Bq/(g·次)

新叶中的 ^{14}C 比活度随引入次数的增长速率介于 7.0~282.1Bq/(g·次)范围内,差异很大,大小次序为: 28d>56d>84d>140d.这也反映出新叶对空气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染比较敏感,但积累效应较弱,与前述分析相一致。

老叶中 ^{14}C 比活度与 $^{14}\text{CO}_2$ 引入次数的线性相关性如下:

28d: $C=111.7N+28.5$ $r^2=0.946$; 随引入次数的增长速率为 111.7Bq/(g·次)

56d: $C=120.6N+33.9$ $r^2=0.917$; 随引入次数的增长速率为 120.6 Bq/(g·次)

84d: $C=123.3N+7.5$ $r^2=0.955$; 随引入次数的增长速率为 123.3 Bq/(g·次)

140d: $C=66.8N+3.7$ $r^2=0.979$; 随引入次数的增长速率为 66.8 Bq/(g·次)

老叶中的 ^{14}C 比活度随引入次数的增长速率介于 66.8~123.3Bq/(g·次)范围内,除 140d 的增长速率略小一些外,28d、56d、84d 的增长速率比较接近.表明老叶积累效应明显,与前述分析相吻合。

3 结论

3.1 通过叶片光合作用从空气中吸收的 $^{14}\text{CO}_2$ 会在樟树叶片中积累,被检测到的 ^{14}C 比活度数值较大,表明空气中的 $^{14}\text{CO}_2$ 易于通过叶片的光合作用而进入樟树叶片组织中。

3.2 在 $^{14}\text{CO}_2$ 污染前期主要被新叶组织吸收,后期主要积累在老叶中,老叶中 ^{14}C 比活度随引入次数的增加而递增,反映出新叶对空气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染比较敏感,而老叶积累效应比较明显,樟树叶片这一特性可以用于监测大气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染.樟树为多年生常绿树木,叶片生命周期相对较长,作为指示作物不仅可以反映污染的近况,而且可以反映污染的积累状况.与青菜和小麦相比,樟树更适合作为监测大气 $^{14}\text{CO}_2$ 污染的指示植物。

参考文献:

- [1] Bystrzejewska-Piotrowska G, Urban P L. Accumulation and translocation of cesium-137 in onion plants (*Allium cepa*) [J]. Environmental and Experimental Botany, 2004,51(1):3-7.
- [2] Golikov V, Logacheva I, Bruk G, et al. Modelling of long-term behaviour of cesium and strontium radionuclides in the Arctic environment and human exposure [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2004,74(1-3):159-169.
- [3] Topcuoglu S. Bioaccumulation of cesium-137 by biota in different aquatic environments [J]. Chemosphere, 2001,44(4):

- 691-695.
- [4] Shi J J, Guo J F. Uptake from soil and distribution of ^{95}Zr in Chinese cabbage [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2002,139: 431-435.
- [5] Liu L L, Shi J J, Zhao X Y, et al. Dynamics of transfer and distribution of ^{95}Zr in the broadbean-soil ecosystem [J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2005,80:217-233.
- [6] Choi Y H, Lim K M, Lee W Y, et al. Tissue free water and organically bound tritium in the rice plant acutely exposed to atmospheric HTO vapor under semi-outdoor conditions [J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2002,58(1):67-85.
- [7] McCubbin D, Leonard K S, Bailey T A, et al. Incorporation of organic tritium(^3H) by marine organisms and sediment in the Severn Estuary/Bristol Channel(UK) [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2001,42(10):852-863.
- [8] 史建君,林明明.青菜对 $^{14}\text{CO}_2$ 的吸收和积累动态 [J]. *环境科学*, 2007,28(8):1806-1809.
- [9] Linda K, Michael G, Ulrik K, et al. An ecosystem model of the environmental transport and fate of carbon-14 in a bay of the Baltic Sea, Sweden [J]. *Ecological Modelling*, 2003,166(3): 193-210.
- [10] 孙桂莲,史建君. ^{14}C 在水-金鱼藻系统中的消长动态 [J]. *中国环境科学*, 2006,26(2):219-223.
- [11] 林明明,史建君,陈 晖.小麦对 $^{14}\text{CO}_2$ 的吸收和积累动态 [J]. *中国环境科学*, 2007,27(6):841-844.
- [12] 戴开美, Christopher J E, Austin L, 等.核电站附近大气中过量的放射性碳 [J]. *中国学术期刊文摘*, 1998,9:1103-1104.
- [13] 邹剑明,杨浩贤,梁绵英.大亚湾核电站周围居民恶性肿瘤死亡分析(1993~1997年) [J]. *中国职业医学*, 2004,31(2):6-9.

作者简介: 史建君(1961-)男,浙江杭州人,教授,主要从事环境科学和放射生态学研究.发表论文 70 余篇.

碳减排项目设计原则

2009年,奥巴马总统明确提出美国的减排目标为:到2020年 CO_2 排放量在2005年基础上削减17%,即使不采用全新技术或大量减少能源用户,这个目标也完全能够实现.尽管如此,从某种角度上讲,该目标的达成还需要依赖于先进的能效提升和节能项目.为了克服制度和行为上的障碍,这些项目需采用六大有效的设计原则,这些原则是基于30年行为学和社会学的研究成果得出的.我们主要关注了居民生活部门的研究,但基本原则同样适用于其他部门.

最近,我们对居民生活部门进行了分析——包括家庭能源使用和非公务旅行,称之为合理可达性碳减排(RAER).RAER不同于技术减排潜力和经济减排潜力——即所有家庭都采取了可以产生正的净现值效益(贴现率参照一般的投资组合)的节能行动——假定行为实现.事实上,无论是具有技术减排潜力抑或是经济减排潜力的节能方式在实践中都未能得以充分应用.相比之下,RAER则能通过目前已知的最有效的激励措施予以引导,从而达成目标.

分析显示,最有效的非强制性项目能激励家庭中17种能效提升和节能行为,若将此类项目推广至整个国家层面,那么居民生活部门的 CO_2 排放将在10年间降低20%.这相当于全国排放量的7.4%,或者说是奥巴马总统提出17%目标的44%.这项分析主要基于前期项目的记录成果;随着更先进的项目设计和全新技术的应用,还可能实现更大的减排量.无论怎样,实现减排目标需要十分精心的项目设计.

超过30年的行为学研究表明,经济可行的技术,甚至加上财政刺激都不足以引导行为发生改变.在促成RAER的实现上,行为学的研究成果可以提炼成六大基本原则.这些原则对解决减排行动中的主要问题提出了指导意见.其中有些原则已为大家熟知并经常被采用;其余的则较少被用到.设计原则如下:1.将高影响行动设定为优先级;2.提供足够的财政激励;3.有力地推广项目;4.利用可靠的信息辅佐决策;5.保证项目简单易行;6.提供质量保证