生物碳：彻底实现碳减排

当为了将二氧化碳（CO_2）封存于深层地质库，耗资数十亿美元的许多项目还在不断寻求经济资助时，亚马逊盆地肥沃的黑土壤却表明有一种更廉价、低技术的方法同样可以达到这一目的。一片位于亚马逊盆地，以*terra preta*（葡萄牙语“黑土”）闻名的黑色、含丰富木炭的土壤，对如何通过埋藏生物载体活性碳，或“生物炭（biochar）”提升土壤肥力和将大气中大量二氧化碳安全存储于表层土壤所进行的国际性探索这一努力是很好的的启发。尽管进行长期、现场试验对埋藏生物炭所作的测试还刚开始，亚马逊”黑土”（*terra preta*）的研究表明，木炭可将碳锁定在土壤中达数世纪之久并提高土壤的肥力。

木炭系由木头或其它有机物在限制供氧情况下加热制成（该过程的术语称之为“裂解”）。裂解过程的产物因所使用原材料、燃烧时间和温度而异，但生物质中挥发性碳氢化合物以及大部分的氧和氢，已基本燃烧或挥发，留下的是具有抗化学和微生物降解结构的含碳丰富黑色固体。乔治亚大学的科学家，Christoph Steiner说，木炭与生物炭的区别主要取决于其最终用途。“木炭是一种燃料，生物炭不用作燃料，而是封存碳，”他解释道，“除此之外，木炭的碳与生物炭的碳之间没有任何区别。”

传统上，木炭是木头在碳窑或临时性建筑中燃烧制成的，但现代化裂解设备极大地减少了该操作引起的空气污染。为不让裂解发散出来的气体作为烟气散发掉，可回收后生产有价值的产品。部分副产品可浓缩成“生物油”，一种可提炼成包括生物柴油和合成气体在内的液体燃料。部分不冷凝成分燃烧加热裂解室，其余部分可供热或用作发电机燃料。

几家公立和私立机构现正开发通常在350~700° C时工作的裂解设备。在科罗拉多州的高尔登，生物炭工程公司正在建造价值5万美元的轻便裂解炉，研究人员将使用该炉每周可生产1~2顿的生物炭。公司行政总裁Jim Fournier说，该公司正计划建造可用卡车运输到位的更大裂解炉。生物质的运输成本昂贵，他说，所以即使裂解设备达到商业规模时，对于大型、机构较为集中的企业来说，裂解设备最好位于靠近生物质源的地方。

生物炭使土壤更肥沃

西班牙征服者Francisco de Orellana 在1541年曾报告说在亚马逊河流见到许多大城市，但如此庞大的人口如何靠贫瘠的亚马逊土壤生产他们所需的食物呢？有机质含量低且难于保存植物营养素（这使施肥无效），连年种植很快就会使这些土壤的肥力消耗殆尽。根据Steiner的观点，答案就在于将木炭混入土壤中，这是世界各地数以百万计的人们仍在使用的一种习惯。这种做法使得在亚马逊同一块土地可以连续耕作，从而支持了城市的发展。

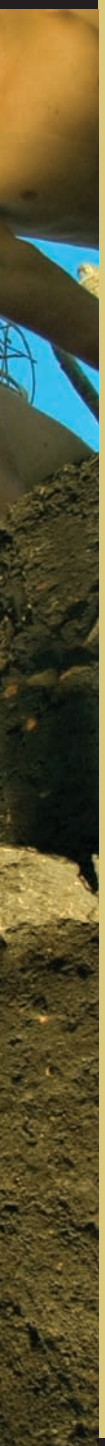
曾测试过生物炭对土壤肥力影响的研究人员说，它的许多好处可能是由于生物炭有着巨大的表面积和复杂的小孔结构，这对于帮助植物吸取土壤营养素的细菌和真菌是有利的。Steiner说，“我们相信木炭的结构为微生物提供了安全栖息地，这对作物生产是很重要的。”在2003年《亚马逊的黑土》（*Amazonian Dark Earths*）一书中，Steiner与其合著者写道，通过木炭提高土壤肥力，使植物对氮的吸收增加了280~400%。

宾西法尼亚大学人类学教授Clark Erickson说，富含木炭的土壤与典型亚马逊土壤的差别仍然很明显。他说在周围普遍是富含铁与铝，实际有时对植物有毒的贫瘠、红色和氧化土壤中，黑土特别显眼。如今，一片片黑土常用作园林，他补充道。

伊利诺伊大学芝加哥分校的人类学教授Anna Roosevelt则认为，”黑土”是由于垃圾堆积偶然形成的。她说，”黑土”充满了人类文化遗迹，如与木炭在一起的屋基、灶台、墓地、食物残留物以及人工制品。Erickson确信，与其他人不一样的是，当亚马逊人民开发这片富饶的土壤时，他们确切地知道自己正在做什么。他说，证据是“所有的人类都在产生和丢弃垃圾，然而，”黑土”现象仅限于世界的少数地区。”

最新研究表明，尽管仅靠生物炭并不能使作物产量大幅提升，但生物炭与混合肥料或传统肥料相结合情况就完全不一样。在2007年2月刊的《植物与土壤》（*Plant and Soil*）杂志上，Steiner与康奈尔大学土壤科学家Johannes Lehmann 及其同事证明，使用生物炭结合化学改良法（氮磷钾肥料和石灰）与单用肥料相比，平均使粮食产量连续四季翻一番。特拉华州立大学农业与自然资源系助理教授郭明新在2008年4月的农业化学学会第235次全国会议报告，研究发现生物炭结合化肥，与单用化肥相比，使冬小麦与几种蔬菜的生长增长了大约25~50%。

郭说：“根据来源的不同，生物炭可给庄稼提供一定数量的磷和钾，但仅提供少量的氮。”“另一方面，生物炭促进有益微生物的生长，帮助保持土壤中的磷和钾，提高庄稼对营养素的利用率。然而，由于生物炭的分解将消耗土壤的可利用氮，施用生物炭肥开始时可能需要较多外源性氮。”根据郭的观点，随着磷肥施用的降低和保持的营养素增加，生物炭对减少营养素流失应有积极作用，他补充道，“由于施用生物炭肥使土壤通气性增加和有益微生物活性提高，它也将抑制土壤的



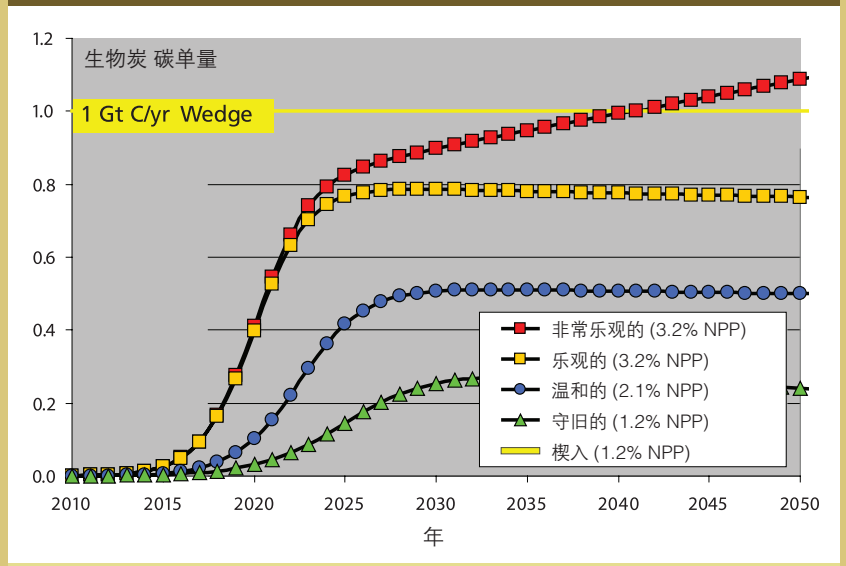
© Jim Richardson

巴西的考古学家在探视”黑土”中挖出的一个深坑。坑壁上露出的陶器碎片反映了数世纪的沉淀 – 以及生物炭改良土壤的价值。

病原体，但对地上部分的害虫则无抑制作用。”

然而，并非所有生物炭的作用都相同。夏威夷大学的土壤科学教授，Goro Uehara同时使用与不使用澳洲坚果树坚果壳制作的生物炭进行种植，他的研究表明生物炭可变化学成分的重要性。他说，“我们加入[生物炭]越多，植物的病情越来越重。”Uehara 的同事，夏威夷大学的推广专家Jonathan Deenik说，当他们使用碳化程度较高坚果壳生物炭（含较少挥发性化合物）重复实验时，“温室研究的初步结果表明，补充肥料的低挥发性[生物炭]效果优于单用肥料60%，差异有统计学意义。”在2008年10月的美国土壤科学学会年会上对该研究作了介绍。

潜在碳补偿的四种情况



以上是国际生物炭组织模拟的几种碳补偿情况，该模拟假定生物炭仅用废弃生物质生产（以地球每年生物质净初级生产量（NPP）的百分比表示）并且仅考虑埋藏在土壤中生物炭的影响，未考虑替代矿物燃料的能量。

来源：国际生物炭组织。生物炭可以是负碳燃料。
http://www.biochar-international.org/images/Flier_3.2_carbon.pdf

库存碳

研究人员已认识到在世界气候变暖中，生物炭应用还有惊人的碳封存潜力。根据Steiner为《联合国防治沙漠化公约》（UNCCD）撰写的提议，土壤保存的碳已是大气的3.3倍，该提议被提交给2008年12月1~10日在波兰波兹南召开的联合国气候会议长期合作行动工作组。Steiner写道，许多土壤有再容纳几千亿顿碳的能力。

植物通过光合作用从大气吸取二氧化碳，而后，将碳储存在其组织中。在植物组织腐烂或燃烧或耗尽后，二氧化碳又被释放回大气，其后二氧化碳被矿化。然而，如果植物材料转变为木炭，碳就以固体形式永久性固定下来—亚马逊的证据表明了这点，那儿的”黑土”在经历数千年后依然黑色而肥沃，表明生物炭是高度稳定的。根据郭的观点，通常生物炭有一半非常顽强，将持久存在于土壤中。

碳还可以作物残留物或腐殖质（土壤中腐败有机物形成的一种较为稳定的物质）储存在土壤中。但是美国能源部西北太平洋国家实验室土壤化学家Jim Amonette指出，作物残留物通常氧化成二氧化碳，并在几年内释放到大气中，腐殖质中碳的存在期一般不到25年。

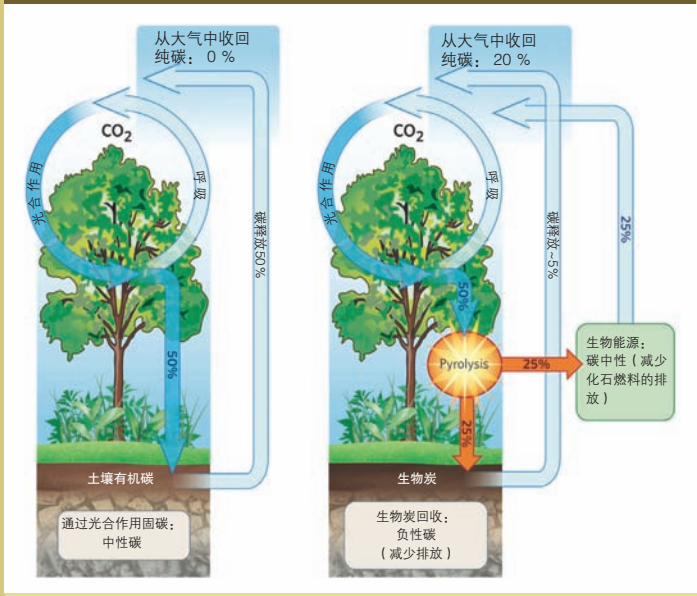
用每年光合作用从空气中吸收的大气碳的量可反向估算潜在碳储量；Amonette利用政府间气候变化问题小组的数字，估计储量为615亿公吨。他说由非赢利国际生物炭组织（IBI）（一个由科学家与其它提倡生物碳的技术研究/开发与商业化的人员所组成的团体）按四种方案计算碳储量得到的计算结果最好。IBI的“适中”方案认为每年通过光合作用产生的总碳量有2.1%可用于转变成生物炭，生物炭含有原来生物质40%的碳；将这一数量的木炭加入到土壤中，每年将从大气取走5亿公吨碳。因为裂解时释放的热和化学能可取代矿物燃料的能量，IBI计算总得益相当于每年从大气取走大约12亿公吨碳。这将抵消当今29%的大气碳净增量，根据能源信息署的估计，大气碳净增量为41亿公吨。

正是这些巨大的数字，加之技术简单，吸引了众多的支持者。例如，密歇根技术大学的大学生Amanda Taylor说，她对应用生物炭进行碳封存来“改变世界很感兴趣”。在人文科学系讲师Michael Moore的指导下，Taylor 与同学们成立了一个研究组，研究生物炭的生产与应用，以及如何在社会和全球可持续发展框架下为”黑土”定位。除了项目外，学生们还用55加仑滚筒自己制造出了生物炭，并发现水平放置滚筒的燃烧效果最好。

目前为止以上数字完全是理论性的，任何关于生物炭对全球碳循环影响的设计方案只是推测性的，Lehmann 说。“这些估计数字充其量探测的是理论潜力，是一种为强调全面勘探实际潜力的必要性手段，我们需要从环境、社会和技术的观点来看这些潜力。我们无法确切预测其潜力的原因是因为未对生物炭进行过大规模全面测试，而为了达到预测的目的，进行这样的测试是必要的。”

Steiner还强调指出，其它大规模储存碳的可能性还面临不确定性。“森林仅在生长时才捕获碳，封存碳的时间长短极大地取决于以后发生的事情，”他说。“如果这些树木用作卫生纸的话，那么捕获的时间

生物炭可以是负碳燃料



普通生物质燃料是碳中性燃料，即通过光合作用被生物质捕获的碳，最终通过自然过程进入大气；燃烧植物获取能量只有加速该过程。生物炭系统可以实现负碳，因为它们保留了植物固定的大部分碳。

来源：国际生物炭组织。生物炭可以是负碳燃料。
http://www.biochar-international.org/images/Flier_3.2_carbon.pdf

就很短。”相反，土壤中的木炭则较为稳定，他说，“碳丢失的风险非常小——它不会像森林一样燃烧或毁于病虫害。”

大多数生物碳倡导者认为，作为一种碳减排策略，应该只利用植物废弃物来制造生物炭，而不应该用树木或农场种植物制造。“不应砍伐热带雨林和种植桉树来生产木炭。”Amonette如是说。

迈出合法性的一步

在12月召开的波兹南会议上，生物炭在合法性上跨出了一步，在这次会议上UNCCD提出考虑将生物炭作为2013年开始的第二次《京都议定书》生效期碳减排策略供讨论。根据形成《京都议定书》主干的总量管制与交易策略，企业可以购买核定减排量（CER）信用额，以补偿他们排放的温室气体。如果生物碳被京都清洁发展机制认可为碳减排技术的话，应用生物炭技术的人可以出售核定减排量(CER)信用额。信用额的市场价将由供求关系决定；足够高的价格可有助促进生物炭技术的应用。[有关更详细信息，参见 *EHP* 117: A62 (2009) “Carbon Offsets: Growing Pains in a Growing Market”。]

联合国有可能批准生物炭作为减缓气候变化的策略，意味着最终会对古代的这一创新进行大规模试验。“人们的兴趣正在快速增长，但得到人们的重视却花了许多年，” Steiner说，“与碳捕获和通过地质封存储存碳相比，用生物炭进行碳封存未得到强力财政支持，[然而，]生物炭对碳捕获来说却要更现实得多。”

“目前，”他说，“我想最大的希望与好处是碳封存，解决土地的可持续利用、食物和再生能源生产的能力，以及互补性而非竞争性碳封存。”

–David J. Tenenbaum

译自 *EHP* 117:A70–A73 (2009)

选择减缓气候变暖的作物

与天然植被相比较，农作物通常反射更多的阳光到空间。2009年1月27日的《当代生物学》（*Current Biology*）报告指出，通过选择反射性较好的作物品种，北美中部和欧亚大陆许多地区的夏季气温可降低1℃以上。作者估计到2100年这一降温法相当于季节性抵消掉阳光照射这些地区所升温度的大约20%。研究人员认为这种低成本的干预可缓和热浪和干旱的影响，通过培育反射性更强的植物或通过改造植物基因以增强其反射性，可以取得更好的效果。

–Erin E. Dooley

译自 *EHP* 117:A103 (2009)

农作物中某些小麦的种类有很好的反射性能。

Wageningen University and Research Centre

参 考 读 物

Amonette J, Lehmann J, Joseph S. 2007. Terrestrial carbon sequestration with biochar: a preliminary assessment of its global potential. Eos Trans AGU 88(52 Fall Meeting Suppl): Abstract U42A-06.

BioEnergy Lists: Terra Preta (Biochar) website. Available: http://terrapreta.bioenergylists.org/

Glazer B, Woods, WI, eds. 2004. Amazonian dark earths: explorations in space and time. New York: Springer Verlag.

International Biochar Initiative. How much carbon can biochar systems offset—and when? Available: http://www.biochar-international.org/images/final_carbon.pdf

Lehmann J, Joseph S. 2009. Biochar for environmental management: science and technology. London: Earthscan, Ltd.

Woods WI, Teixeira WG, Lehmann J, Steiner C. 2009. Amazonian dark earths: Wim Sombroek's vision. New York: Springer Verlag.