

# 农业碳生产技术与农业可持续发展

◎中国农业大学工学院 卢彩云 何进 李洪文 王庆杰 苏艳波

气候变暖是现代社会面临的重大挑战之一，近年来气温以前所未有的速度攀升。CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、NO<sub>x</sub> 等是温室效应的主要驱动者，尤其是 CO<sub>2</sub> 的增多，成为气候变暖的最主要原因。据统计，大气中的 CO<sub>2</sub> 含量已经从工业革命前的 280ppm 增长到 379ppm。虽然温室气体的增加与工业化大生产过程中化石燃料的大量消耗有关，但农业生产对温室气体排放的影响也不容忽视，中国温室气体排放总量为 36.50×10<sup>8</sup>t CO<sub>2</sub> 当量，其中农业生态系统中的 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub> 的排放量分别占全部排放量的 30%、90% 和 70%，因此农业系统对温室气体排放的贡献不容忽视。

农业碳 (Agrichar)，又称生物碳 (Biochar)，是物质在无氧或缺氧状态下低温 (< 700℃) 热解的产物，含碳量高。农业碳的主要用途是作为土壤改良剂用于农田，由于其芳香烃结构、吸附性及稳定性等性质，不仅能够减少生物质分解产生的 CO<sub>2</sub>，减少温室气体排放；而且能有效改良土壤属性，提高作物产量。农业碳是减少温室气体、缓解气候变暖的新思路，同时也是行之有效的方法。

## 一、农业碳生产技术及影响因素

目前生产农业碳的工艺主要包括快速热解、慢速热解和气化等。

### 1. 农业碳生产技术

农业碳的主要作用是改良土壤，提高土壤肥力，同时吸收大气中的碳，减少温室效应。根据农业碳的要求，人们开始探索现代的农业生产技术生产农业碳，

主要包括快速热解、慢速热解和气化等。如表 1 所示，是不同生产技术的生产工艺及各产物产量，其中慢速热解的农业碳产量最高为 35%，快速热解的农业碳产量最低为 12%。研究表明，小麦秸秆废弃物通过合理热解处理，向大气中排放的 CO<sub>2</sub> 几乎为零，由于热解技术对生产条件控制精确度高，农业碳性质稳定，有利于土壤改良和碳截存应用，热解技术成为生产农业碳的趋势。

表 1 不同加热温度及气相停留时间条件下热解产物

类型	生产工艺	农业碳	生物油	混合气
快速热解	中等温度约为 500℃；气相停留时间短约 1s	12%	75%	13%
中速热解	中等温度约为 500℃；气相停留时间中等，约 10~20s	20%	50%	30%
慢速热解	低温加热约为 400℃；气相停留时间长，约为 5~30min	35%	30%	35%
气化	高温加热约 800℃；气相停留时间长，约为 10~20s	10%	5%	85%

通过热解技术生产农业碳，产量高且稳定，CO<sub>2</sub> 排放少，但生产设备昂贵，造价高。因此，一些欠发达国家采用传统的木炭炉生产农业碳。木炭炉工艺简单，价格低廉，但木炭产量不稳定，环境污染大。表

2 和表 3 是现有的几种木炭生产炉窑产生的农业碳产量和 CO<sub>2</sub> 等温室气体排放量情况。在传统的木炭生产工艺下,不同类型的炉窑生产的农业碳产量差异及温室气体排放量均较大,木炭产量在 2% ~ 42% 不等;总悬浮颗粒物排放量最高可达 197 ~ 598g/kg。

表 2 不同类型炉窑生产的木炭产量(干重百分比)

炉窑类型	木炭产量(%)
坑炉	12.5 ~ 30
墩窑	2 ~ 42
砖窑	12.5 ~ 33
便携式钢窑	18.9 ~ 31.4
混凝土窑	33

表 3 不同木炭炉每千克生物质气体排放量

	CO <sub>2</sub> (g/kg)	CH <sub>4</sub> (g/kg)	非甲烷碳 氢化合物 (g/kg)	总悬浮颗 粒物 (g/kg)
无控制 炉窑	160 ~ 179	44 ~ 57	7 ~ 60	197 ~ 598
低控制 炉窑	24 ~ 27	6.6 ~ 8.6	1 ~ 9	27 ~ 89
连续控 制炉窑	8.0 ~ 8.9	2.2 ~ 2.9	0.4 ~ 3.0	9.1 ~ 30

## 2. 农业碳产量及特征影响因素

农业碳是农业废弃物等生物质热解的主要产物之一,影响其产量的因素主要包括温度、热解停留时间、原料等。

温度对农业碳等热解产物的产量影响较大,表 4 是水稻秸秆在不同温度下热解的农业碳产量及性质情况,随着加热温度的升高,农业碳产量不断降低,农业碳中的灰分不断升高,挥发分不断降低。

表 4 水稻秸秆热解的农业碳产量及性质

温度(°C)	农业碳	灰分	挥发分
250	63.2	20.5	49.6
300	49.2	28.6	36.5
350	42.2	32.5	28.0
400	37.5	36.2	24.7
450	34.1	39.0	12.2

固相和气相停留时间对热解产物的产量也有较大影响。不同热解条件下热解产物的差异大,因此可以通过控制热解条件产生相应的目标产物,如通过快速

热解能产生大量生物油、气化能产生大量合成气、慢速热解能产生较多的农业碳。因此,慢速热解生产的农业碳在改良土壤和截存碳的效果最明显。

## 二、农业碳性质及测定方法

热解条件不同,产生的农业碳性质也各不相同,应用于田间作物的效果也迥异,因此在应用前掌握农业碳的性质非常重要。目前,农业碳性质测定主要包括 ASTM 测试、吸附性测试和阳离子交换量测试等。

### 1. 成分测试

农业碳主要用于田间改良土壤和减少温室气体排放,其所含成分不同,表现出的特性也差异较大,因此应用之前对农业碳进行测试至关重要。传统的测定方法主要是 ASTM 测试,主要包括工业分析(水分、灰分、挥发分、固定碳)和元素分析(C、H、O、N、S 等),但该方法主要用于测试固体燃料的燃烧特性,尤其是能量值。美国的 Hugh McLaughlin 博士对传统的 ASTM 测试方法进行了改进用于测定农业碳性质,其对 ASTM 测试的改进主要包含以下两方面:

一是挥发分与固定碳的临界温度由 950°C 变为 450°C。对固体燃料进行工业分析时,在惰性气体环境下将原料加热至 950°C,此时挥发分会蒸发而分离出来。根据农业碳的用途,为了使农业碳测试更能有效预测农业碳应用的效果,将挥发分析出的临界温度调整至热解与炭化的临界温度 450°C。

二是测定灰分的加热温度由 800°C ~ 900°C 变为 450°C ~ 550°C。此温度范围能够将温度过高炭化产生的额外挥发分数量最小化,同时能够减少碱性金属氢氧化物和碳酸盐氧化。

### 2. 吸附性测试

农业碳能够吸附土壤中的有毒物质,从而减少污染;此外能够将水分、阳离子等存储在农业碳中,从而起到保水保墒和提高阳离子交换量的作用,这些优势皆得益于农业碳的吸附性。目前对农业碳吸附性研究的报道较少,图 1 表征农业碳吸附特性,即设置不同的最高加热温度(HTT),碳的 BET(Brunauer、Emmett 和 Teller 三位科学家缩写)比表面积表现出先增大后变小的趋势,这是由农业碳的芳香烃和多孔结构引起的,将直接影响到农业碳的吸附特性。Hugh McLaughlin 博士对农业碳吸附性测试方法进行了详

述。

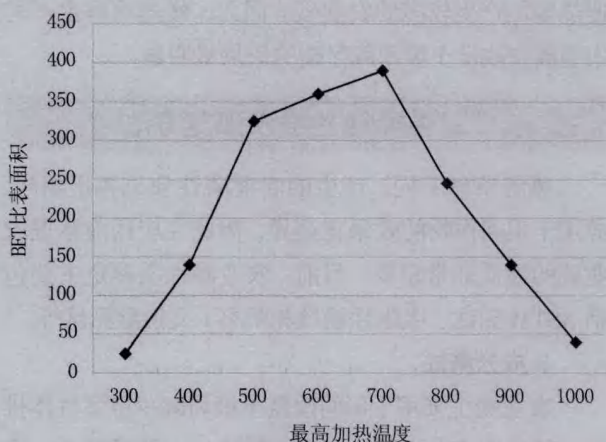


图1 不同最高加热温度下生产的碳 BET 比表面积比较

### 3. 阳离子交换量测试

阳离子交换量是衡量土壤肥力的重要指标，研究表明，施加农业碳的农田阳离子交换量明显高于对照处理。Gaskin JW 等对阳离子交换量测试方法进行了详细描述。

以上是测定农业碳性质的重要指标。除此之外，为保证农业碳能够促进土壤改良和吸收大气中的温室气体，在农业碳进行大面积使用前，还需进行出苗测试、蚯蚓数量测试等。

## 三、农业碳与农业可持续发展

### 1. 农业碳对减少温室气体的作用

将生物质转化为农业碳能够改变其内部动态形式，从而起到碳吸收的作用。图2是未经炭化的生物质和炭化后农业碳在土壤中的变化趋势，生物质经炭化有50%的碳存留在农业碳中，这些碳都以难以降解的形式存在，将大量的碳物质存在于土壤中，从而减少了CO<sub>2</sub>排放；而未经炭化的生物质碳进入土壤后，在微生物等的作用下快速分解，最终以CO<sub>2</sub>的形式释放到大气中。同时，农业炭生产过程中以挥发等形式流失的碳可收集后转化为能源，代替化石燃料燃烧，从而减少化石燃料燃烧过程中排放的温室气体。

农业碳能够减少CH<sub>4</sub>和氮氧化物的排放，其原因仍在进一步研究之中。

### 2. 农业碳改良土壤特性的作用

农业碳具有多环芳香烃结构，这种结构使得农业碳比有机质更耐降解，可在土壤中存在几百甚至上千

年。农业碳作为一种含碳量高的有机肥，可最终矿化以稳定的结构存在于土壤中，提高热带强风化土壤养分稳定性，有效解决热带雨林地区无机肥难吸收、有机肥矿化速度快的难题。

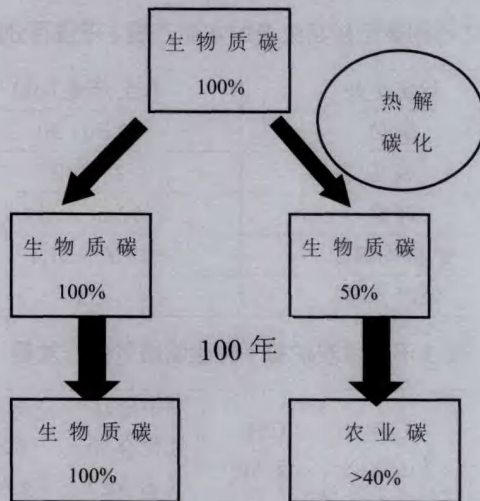


图2 生物质和炭化后农业碳在土壤中的变化趋势

农业碳具有多孔结构，分子表面积大，因此能够增加土壤阳离子交换量和吸附性，从而提高土壤养分。

农业碳能够提高作物产量，Julie Major 等人在哥伦比亚地区的研究表明，农业碳能够连续4年提高玉米产量。

### 3. 农业碳对减少环境污染的作用

随着社会的进步、科学技术的发展，人们对减少环境污染的意识也不断增强。目前，全世界农作物秸秆年产量超过20亿吨，我国作为农业大国，秸秆资源也很丰富，这些资源长期没有得到合理的应用，很多农民在收获时，在田间直接焚烧秸秆，不仅浪费资源，也严重污染了环境。

近年来，我国水体污染不断加重，造纸工业对水体的污染尤为严重，废水中含有大量的半纤维素、木质素及化学药品，能引起整个水体系统污染和生态环境的严重破坏。

生产农业碳的原料广泛，不仅包括木材、秸秆等农田废弃物，而且可以采用造纸厂的废水淤泥作原料生产农业碳，不仅避免了废水污染的威胁，同时以农业碳形式应用于土壤，能够提高土壤属性和碳吸收。

此外，农业碳能够吸收NH<sub>3</sub>、硝酸盐、磷酸盐等离子物，从而减少土壤污染。■

## 农业碳生产技术与农业可持续发展

作者: [卢彩云](#), [何进](#), [李洪文](#), [王庆杰](#), [苏艳波](#)  
作者单位: [中国农业大学工学院](#)  
刊名: [农机科技推广](#)  
英文刊名: [Agriculture Machinery Technology Exernsion](#)  
年, 卷(期): 2011(11)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_njkjtg201111007.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_njkjtg201111007.aspx)