

# 生物质能源： 零碳能源系统中最重要燃料

---

江 亿

清华大学建筑节能研究中心

2021-12-06

# 零碳能源系统中的唯一燃料

- 能源结构调整：
  - 由 以燃煤燃油燃气为基础的化石能源结构 转为
  - 以 水电、风电、光电、核电 为主的零碳能源结构
  - 可以保留的唯一零碳燃料： 生物质燃料
- 未来尚有相当多的领域需要燃料
  - 维持电力系统稳定需要一部分调峰热电
  - 部分工业生产（窑炉等）需要燃料（固体或气体燃料）
  - 可能的零碳燃料供应： 颗粒化生物质燃料，生物质燃气

# 我国可以获得的生物质资源

- 《第二次全国污染源普查公报》显示我国农作物秸秆年产量为**8.05亿t**，可能源化利用约**4.5亿吨**
- 稻壳、玉米芯、花生壳等农产品初加工剩余物年产量约为 **1.24亿t**，可能源化利用率**50%**
- 林业枝条和木材等加工废弃物年产量约为**1.95亿t**
- 每年禽畜粪便总量26亿吨，综合利用率约为60%，尚有40%需要消纳，主要是农村散养的各类牲畜、家禽，总量约**10亿吨/年**
- 其他容易被忽视的生物质资源：
  - 城市绿化植物剪枝废弃物：住建部公布2021年全国城市绿地面积**230余万公顷**，按每公顷每年产生树枝修剪物10~20吨计算，则全国总量高达**4000万吨/年**
  - 城乡居民日常生活排泄粪污和厨余垃圾：全年总量约**4亿吨/年**
- 综上：我国每年可以获得的生物质资源总量为折合标煤**6亿tce**。

# 生物质不同消纳方式的CO<sub>2</sub>排放当量

## ——直接等效排放

生物质资源

秸秆、树枝  
等干生物质

➤ 直接燃烧;

燃烧环节:  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$

➤ 秸秆返田;

腐化、分解:  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$

➤ 压缩颗粒作为燃料;

燃烧环节:  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$

➤ 热解成为燃气+固体碳;

热解过程、燃气提纯输送过程+燃气和  
碳燃烧过程:  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$

粪污、厨余垃圾  
等湿生物质

➤ 发酵制沼气+有机肥;

发酵热解过程、沼气提纯输送过程+沼  
气燃烧过程:  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$

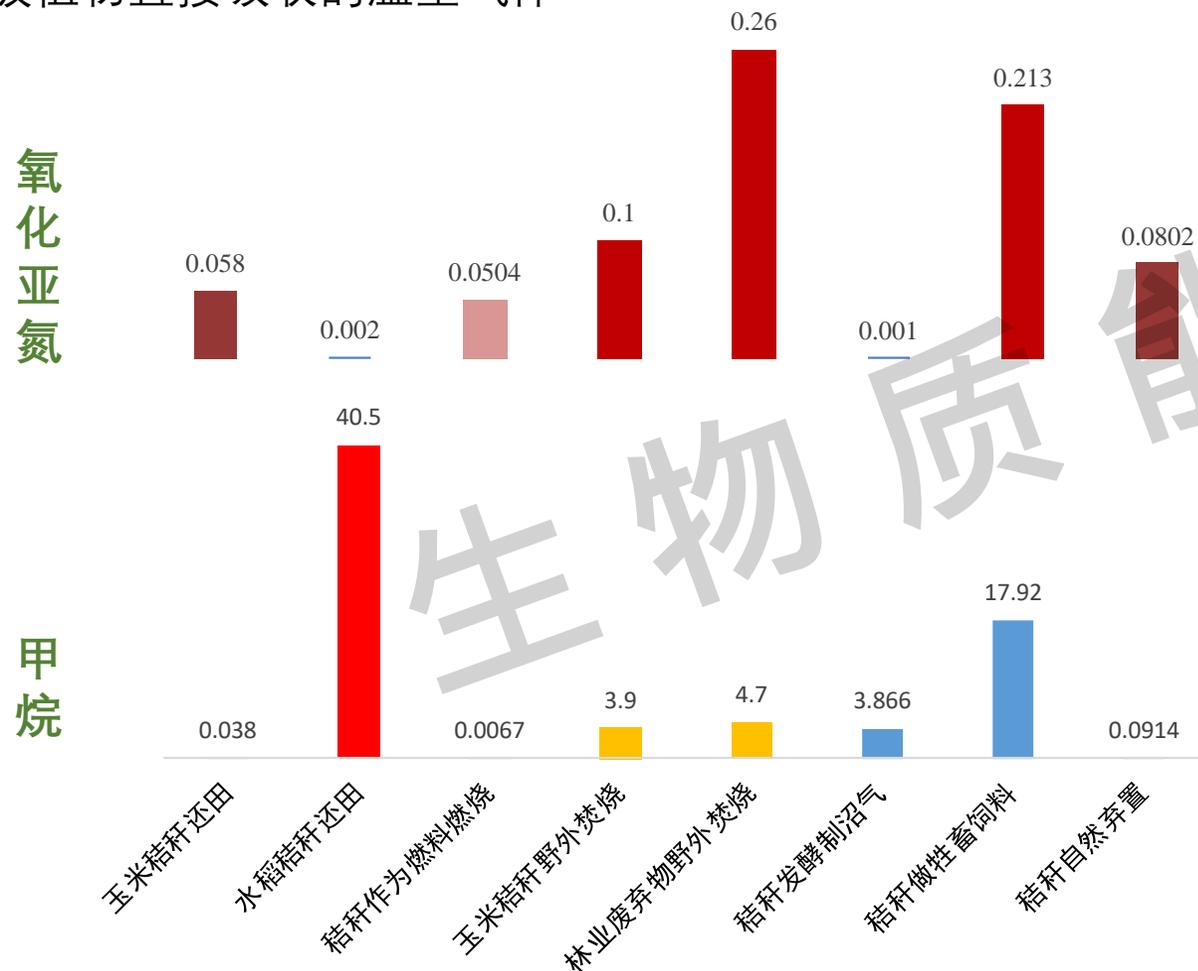
➤ 堆肥发酵制有机肥。

堆肥过程:  $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$

# 生物质不同消纳方式的CO<sub>2</sub>排放当量

## ——直接等效排放

不可被植物直接吸收的温室气体



注：单位g/(kg生物质)

还田：旱田N<sub>2</sub>O高  
水田甲烷很高

焚烧：N<sub>2</sub>O高  
甲烷不低

弃置：N<sub>2</sub>O较高  
产生浪费

作为燃料：N<sub>2</sub>O略高

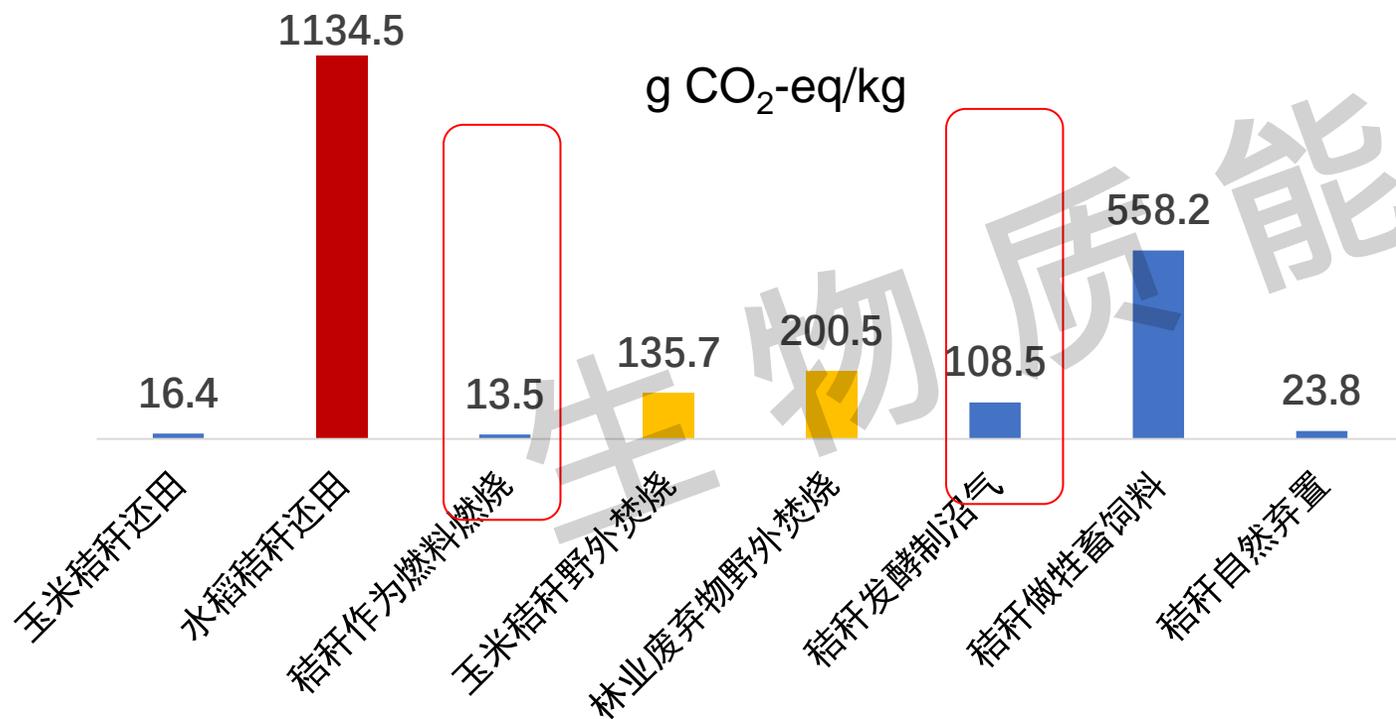
沼气：注意甲烷泄露

饲料：排放高，应注意对  
畜禽粪便的处理利用

不同消纳方式温室气体排放因子

# 生物质不同消纳方式的CO<sub>2</sub>排放当量

## ——直接等效排放



不同消纳方式等效温室效应因子

氧化亚氮可严重消耗臭氧层物质并产生温室效应，其危害在同类物质中排名第三。

- 《削减一氧化二氮排放保护臭氧层和缓解气候变化》联合国环境规划署2013年

CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O等是强温室效应气体

CH<sub>4</sub>：28倍

N<sub>2</sub>O：265倍

# 生物质不同消纳方式的CO<sub>2</sub>排放当量

## ——直接等效排放

### 堆肥发酵

CO<sub>2</sub>排放 C 损失：以40%计。

CH<sub>4</sub>排放C损失：以5%计。

N<sub>2</sub>O 产生量N 损失：以3%计。

堆肥原料：C含量45%；N含量2%。

则单位质量堆肥原料的温室气体排放：

甲烷排放840 gCO<sub>2</sub>-eq/kg

氧化亚氮排放340.7 gCO<sub>2</sub>-eq/kg

**甲烷+氧化亚氮=1180.7g CO<sub>2</sub>-eq/kg**

CO<sub>2</sub>排放660g/kg

总等效碳排放=1840.7 gCO<sub>2</sub>-eq/kg

注：实际中C/N比、含水率、原料等不同情况有差异，以上计算取中间水平值。

# 生物质不同消纳方式的CO<sub>2</sub>排放当量

## ——直接等效排放

### 沼气发酵制生物天然气

原料：C含量45%；N含量2%。

发酵过程温室气体排放

沼气发酵效率70%

提纯运输甲烷泄露系数以5%计

则甲烷排放672 gCO<sub>2</sub>-eq/kg

氧化亚氮排放340.7 gCO<sub>2</sub>-eq/kg

CO<sub>2</sub>排放=486.7g/kg

总等效碳排放=1499.4 gCO<sub>2</sub>-eq/kg

不计算燃烧碳排放，则 1013gCO<sub>2</sub>/kg

同时可以产生生物天然气资源。

# 生物质不同消纳方式的CO<sub>2</sub>排放当量

## 固体燃料燃煤替代

- 燃煤的碳排放因子2.6kg/kg
- 1t成型燃料=0.5t燃煤
- 1t直燃=0.4t燃煤
- 不计算生物质生长过程吸收二氧化碳形成的碳汇的话，燃烧排放不计入碳排放
- 1t成型燃料替代等效减排1286.5 kgCO<sub>2</sub>-eq
- 1t直燃燃料替代等效减排1026.5 kgCO<sub>2</sub>-eq

# 生物质不同消纳方式的CO<sub>2</sub>排放当量

## ——考虑变为肥料后替代天然气制造合成氨

- 生产氨碳排放因子按2.52t/t（天然气合成氨）
- 2t有机肥原料替代0.1t氨

### 堆肥有机肥：

堆肥产生有机肥等效温室气体排放因子1180.7g/kg

生产同等肥力的氨碳排放 $2.52 \times 0.1/2 \text{kg/kg} = 126 \text{g/kg}$

仅从温室气体效应影响上，不但达不到减排，反而会增排。

### 沼气发酵：产生沼气+有机肥

1t原料沼气发酵268.3kgCO<sub>2</sub>-eq

# 从“碳中和”视角看待生物质的合理化消纳

生物质类型		干生物质	湿生物质	
		燃烧	堆肥	沼气发酵
直接碳排放 gCO <sub>2</sub> -eq/kg		13.5	1840.7	1499.4
	直燃	0	-	-
	成型燃料	0	-	-
天然气替代 gCO <sub>2</sub> -eq/kg		-	-	-268.3

注：负值表示减排量。

- 由于植物生长过程中会吸收CO<sub>2</sub>将其固定在体内，如果在植物死后这些碳全部还是以CO<sub>2</sub>的形式释放出来，则又会被新一轮的植物生长所吸收，因此认为生物质具有“零碳”属性
- 但如果在生物质利用过程中释放出一定量的CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O等强温室效应气体，由于两者的全球增温潜势分别是CO<sub>2</sub>的28倍和265倍，则生物质的“零碳”属性就会被打破，会正向增加温室效应
- 成熟后的生物质资源在越短的时间内将其内部的碳元素全部迅速转化成CO<sub>2</sub>，进而作为下一轮作物生长的碳源，将越容易维持生物质所自有的“零碳”属性，因此，**将生物质作为燃料是最佳的利用方式**

# 欧洲生物质能利用现状-政策

## □ 欧盟气候和能源政策

- 2020欧洲气候和能源一揽子计划
  - 目标是相比于1990年，在2020年温室气体排放量降低**20%**，同时将可再生能源占比提高到**20%**，将化石能源消耗量减少**20%**;
- 2030欧洲气候和能源政策框架
  - 目标是相比于1990年，在2030年将可再生能源占比提升**32%**;
  - 生物能源是目前欧盟最大的可再生能源，预计到2030年仍将是能源结构的重要组成部分，有助于实现欧盟的可再生能源目标

## □ 生物经济 (bio-economy)

- 欧洲生物经济 战略及其行动计划 (2012<sup>[1]</sup>、2018<sup>[2]</sup>)
- 加强和扩大生物经济市场，释放投资和市场
- 在整个欧洲快速部署生物经济
- 理解和衡量对地球边界条件的影响
- 根据欧盟委员会联合研究中心 (JRC) 研究，生物经济为欧洲就业、经济起到了重要作用 (2.3万亿欧元营收、8.2%的欧盟劳动力)。

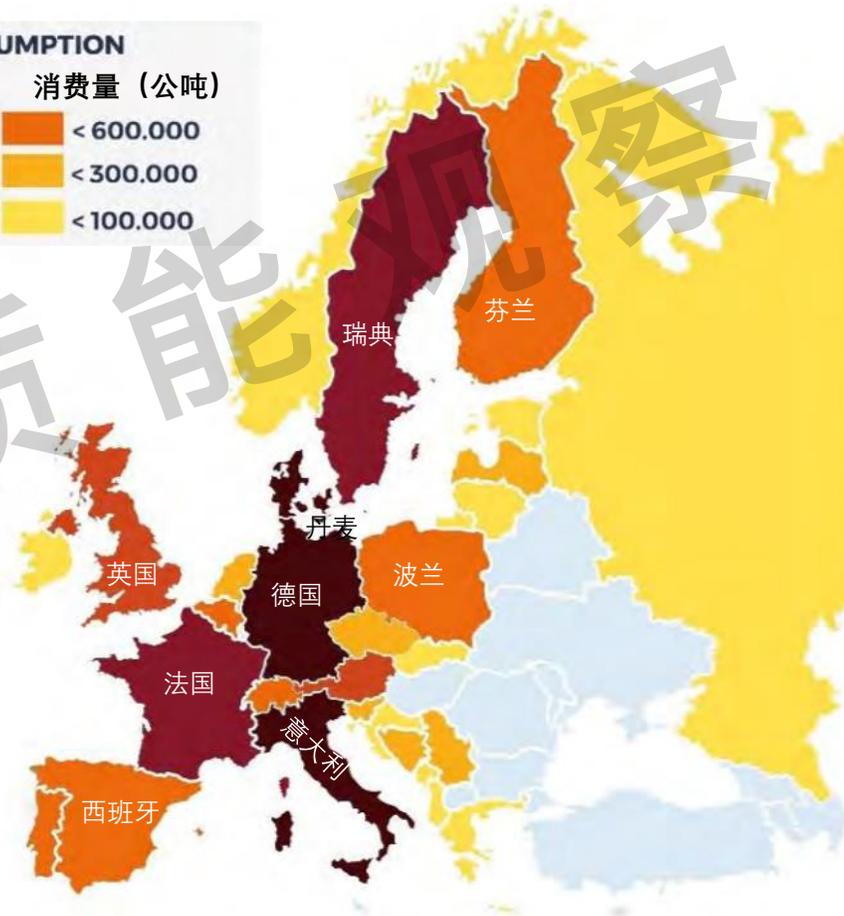
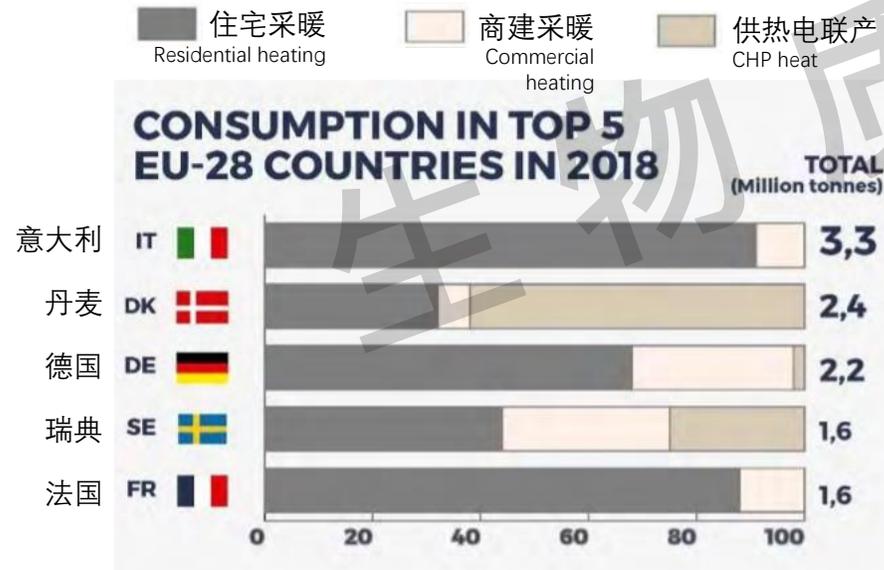


数据来源: [1] The European Bioeconomy Strategy , <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52012DC0060>

[2] A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment

# 欧洲生物质能利用现状

## 采暖用生物质颗粒 (Pellet)



欧洲生物质颗粒采暖消费分布

Map of pellet consumption for heating in Europe in 2018

[1] 数据来源: Bioenergy Europe . Pellet Statistical Report 2019

# 欧洲生物质能利用现状

## □ 制取沼气 (biogas)

- 沼气来源主要分为农林作物或垃圾废弃物处理
- 欧盟28国中，农田作物、肥料、农业食品工业的废弃物约占用于沼气生产的四分之三，这一比例自2010年以来增加了两倍，排在第四的是污水污泥和垃圾填埋场
- 德国92%的沼气来自于农作物和农作物残渣的发酵，而英国几乎完全依赖于垃圾填埋场和污水污泥沼气，占其总沼气产量的60%



## □ 生物燃料 (biofuels)

- 生物燃料分为生物乙醇和生物柴油
- 生物乙醇主要原料为谷物(75%)、糖(21%)、木质纤维素生物质(4%); 西北欧用小麦，中欧和西班牙用玉米
- 生物柴油主原料为菜籽油，占2017年生物柴油总产量的44%; 但其占比在减少，再生植物油/使用过的食用油(UCO)和棕榈油制取柴油比例增加



[1]数据来源：欧洲生物质能委员会 <https://bioenergyeurope.org/about-bioenergy.html>



# 农村作为生物质能源基地的作用

- 未来农村可产出生物质能源约5.8亿tce，为未来规划燃料总量的35%
  - 农业秸秆4亿吨，折合2.5 亿tce
  - 林业枝条2亿吨，折合1.3 亿tce
  - 26亿吨畜禽粪便（湿）折合2 亿tce
- 生物质能源的加工利用途径
  - 颗粒型，如玉米秸秆、果树枝条，加工后市价在1000元/吨
  - 大块型，如麦秸、稻草，加工后市价约500~700元/吨
  - 规模化制作沼气，再分离出CO<sub>2</sub>，成为优质生物燃气：沼渣沼液是优质有机肥
  - 加工后全过程的综合能源效率从目前的10~15%提高到40%以上
- 生物质能源的商品化促进生物质能源的充分利用
  - 生物质能源长期不能得到充分利用，其原因之一是过分强调“优先自用”
  - 当其充分市场化，体现出其价值后，就会得到珍惜，得以开发利用
  - 生物质材料加工为商品能源的主要成本是加工耗电，而光伏又可以提供充足廉价的电力



# 全面建立农村新型能源系统

- 建立以屋顶光伏为基础的农村新型能源系统
- 对农村实现全面电气化，用电力提供生产、生活和交通全面用能，促进农村现代化
- 替代化石能源燃烧，解决环境、固废、健康问题
- 置换出生物质能源，与光伏电力制成零碳燃料，供应能源市场
- 给农区、林区农民增加新的收入来源（1kg粮食收入2元，产0.7~1kg生物质压缩颗粒，收1元，相当于增加50%以上额外收入）
- 应最大程度的发挥生物质资源的商品价值，实现农村土地粮食和能源“双生产双输出”
- 对提供提高农村的经济社会发展水平、现代化水平、农民生活水平都具有显著效果
- 应该成为我国**解决三农问题**中的重要措施之一

# 农村新型能源系统对解决三农问题的重要意义

- 未来我国仍将维持20%，3亿左右的农村人口，这是由于我国的耕地资源状况决定的
- 而随着我国经济社会发展，国内生产总值中食物原料相关支出将**低于10%，导致农业劳动收入仅为非农业劳动收入的1/2**
- 如何在维持农业人口数量的同时解决城乡居民收入差异，实现乡村振兴和共同富裕
  - 能源收入：通过能源加工转换，把生物质资源和光伏发电资源商品化，输出为零碳燃料，可使农民增加50%以上的收入，由仅生产食品得到的10%增加到15%
  - 旅游业等三产收入：通过发展农村地区旅游等可再增加5%左右收入，达到20%
  - 最终实现农业劳动收入达到与城镇居民相当的水平
- 未来生物质能重点发展方向：
  - 发展商品化生物质燃料，用来替代化石燃料，减少化石能源燃烧产生的直接碳排放
  - 推广沼气集中供气工程，实现各类可发酵有机废弃物的消纳，。尤其应在水稻秸秆资源丰富的地区，通过将稻草进行有组织的集中式发酵生产生物天然气，解决直接还田所带来的温室气体无组织排放问题，但应加大CH<sub>4</sub>的回收率，减少使用过程中的泄漏

# 谢谢

jiangyi@tsinghua.edu.cn

生物质能观察