

中国主要农作物可收集秸秆能源潜力与生物乙醇生产潜力研究

舒也, 刘雅暄, 刘苗苗, 毕军

(南京大学 环境学院 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 江苏 南京 210023)

摘要: 农作物秸秆是一种重要而丰富的生物质资源, 准确估算其生物能源潜力对促进可再生能源利用和环境可持续发展具有重要意义。基于小麦、水稻和玉米的县域产量数据, 结合分省的作物秸秆系数, 估算2015年中国县域尺度小麦、水稻和玉米的可收集秸秆产量、潜在生物能源潜力和生物乙醇生产潜力。结果表明, 在充分考虑秸秆收割系数和运输成本影响的情况下, 2015年中国小麦、水稻和玉米的可收集农作物秸秆总量为5.01亿吨; 总生物能源潜力达到2.44亿吨等量标准煤, 约占2015年中国能源消耗总量的5.68%; 生物乙醇生产潜力为0.81亿吨。中国潜在生物质能源分布呈现强烈的空间异质性, 分布密度呈现东高西低的趋势, 主要集中在黄淮海平原和东北平原这两大粮食主产区。总而言之, 中国小麦、水稻和玉米秸秆内含巨大的潜在生物质能源潜力, 进一步提升秸秆能源利用有助于缓解中国日益严峻的能源危机, 同时带来显著的环境收益。

在气候变化和资源枯竭风险日益增大的背景下, 有序发展可再生能源是全球未来不可或缺的能源战略。生物质能作为一种潜在的低碳排放可再生能源, 在资源可持续发展和应对气候变化方面占据重要地位。到2050年, 全球15%的一次能源供应将来自生物质能[1]。生物质能的碳来自大气而不是地球深处, 合理开发应用生物质资源对未来的全球碳平衡、能源安全和可持续发展具有正面效应[2]。在“3060”双碳目标约束下, 中国政府高度重视生物质能源的开发利用, 致力于不断提高生物质能利用率。《“十四五”现代能源体系规划》也指出, 要实施可再生能源替代行动, 预计到2025年全国生物质发电总装机容量将达到1500万千瓦[3]。在政策的支持和引导下, 2020年, 中国生物质能发电装机容量达到2952万千瓦, 发电量为1326亿千瓦时[4]; 据可再生燃料协会(RFA)数据, 2019年中国生物乙醇产量居于世界第四位[5]。

农作物秸秆是中国生物质能的主要来源, 常用于发电和区域供热。在发展中国家, 每年大量农作物秸秆被丢弃或直接焚烧。如果对这些农作物秸秆进行合理收集利用, 能够带来显著的能源和环境收益。据统计, 过去十年中国农作物秸秆平均产量为6.3亿吨, 其中78%来自玉米、小麦和稻谷[2]。已有研究的评估结果显示, 2009年中国三种主要农作物秸秆的能源潜力相当于2.2亿吨等量标准煤, 约占全国能源消耗总量的8.3%[6]。但已有研究时间较为久远, 难以反映当前中国农业秸秆的生物质潜能。此外, 已有研究空间分辨率大都为省级尺度、且不考虑省间秸秆系数的差异、无法详细区分农作物类型, 不足以为中国生物质能源开发和利用提供精细化的、具有参考价值的潜能地图。因此, 有必要利用最新的、更加科学的秸秆系数和具体分类的农作物分布图进行精细化的农作物秸秆生物潜能分布研究, 得出更为科学准确的结论。此外, 中国目前对作物农作物秸秆的利用方式主要有两种, 回归农田以平衡养分循环是中国农村最古老的利用作物农作物秸秆作为能源的方式[7]; 直接燃烧传统农作物残渣和薪材也是中国农村的主要能源来源, 但能量转换效率很低并带来显著的环境负面影响[8]。将农作物秸秆转换气态、生物质颗粒、固体燃料和液体燃料是更为高效的能源使用方式, 更有利于减少对煤炭和石油等不可再生能源的依赖[9]。在可转换的燃料类型中, 生物乙醇可能成为全球范围内流行的汽车替代燃料。中国早在《生物质能发展“十三五”规划》中就明确提出, 到2020年生物燃料乙醇年利用量400万吨的发展目标。但是, 由于原料资源基础薄弱、生产技术有待提升、经济竞争力相对缺乏、定价机制有待完善等原因, “十三五”以来, 中国生物燃料乙醇实际发展十分缓慢[10]。在此背景下, 估算农作物秸秆的生物乙醇生产潜力对于科学规划生物燃料乙醇发展具有迫切的现实意义。据已有研究估算, 2016年中国生物乙醇生产潜力为12430万吨, 玉米、小麦和稻谷农作物秸秆占总量的77.8%[11]。然而, 已有研究在省级尺度开展, 空间分辨率较为粗糙。同时, 已有研究虽然考虑了作物秸秆退耕还田的因素, 但未考虑运输成本的问题, 对农作物秸秆的可利用量以及生物乙醇的估算存在明显的高估。

本文基于中国小麦、水稻和玉米三种主要农作物的区县级产量和播种面积数据, 结合分省的农作物秸秆产生系数, 计算三种农作物秸秆(下文农作物均特指小麦、水稻和玉米)的潜在生物能源潜力; 在此基础上, 考虑作物的可收集和利用程度, 进一步计算作物秸秆的生物乙醇生产潜力。与以往研究相比, 本文的空间分辨率提升到区县尺度, 并且能够区分三种主要农作物的生物潜能, 同时修正了由于忽略作物秸秆系数和运输成本的空间异质性导致的评估偏差。本文的精细化农作物秸秆能源潜力分布图能够满足区域生物质能源利用规划提供的要求, 推动农作物秸秆的可持续利用。同时, 精细尺度的研究结果也可为农作物秸秆利用企业选择经济效益更高的场地选择提供参考。

一、研究方法和数据来源

(一) 可收集农作物秸秆量估算

本文选择小麦、玉米和水稻三种主要农作物作为研究对象。研究空间范围覆盖除中国港、澳、台地区外的31个省市，时间为2015年，空间分辨率为区县尺度。

为估算生物能源潜力和生物乙醇产量，首先需要计算可收集的农作物秸秆产生量。农作物秸秆产生量由田间秸秆量和加工过程秸秆量组成。田间秸秆是指作物收获后留在农田中的物质，包括茎秆、残茬（茎）和叶子。加工过程秸秆被定义为初级生产过程中产生的材料，包括稻壳、玉米芯、棉籽壳、花生壳、甘蔗渣和甜菜渣等[12]。根据研究的农作物类型，本文除纳入田间秸秆量外，还主要考虑在加工过程秸秆中水稻和玉米生产产生的稻壳与玉米芯。农作物秸秆产生量计算方法如下所示

$$CR_i = CY_i \times FRI + CY_i \times PRI \quad (1)$$

其中， CR_i 为第*i*种农作物的秸秆理论量，但是，由于秸秆不能过度收割以及运输成本限制，并非所有的农作物秸秆都是可收集和利用的； CY_i 为第*i*种农作物的总产量；田间秸秆系数（Field Residual Index, FRI）是田间秸秆量与作物产量的比值；过程秸秆系数（Process Residual Index, PRI）是过程秸秆量与作物产量的比值。FRI和PRI来源于最新研究的结果^[13-17]，具体如表1所示。

表1 不同省份三种作物的田间秸秆系数(FRI)和过程秸秆系数(PRI)

省份	小麦FRI	水稻FRI	玉米FRI	小麦PRI	玉米PRI
北京	1.34	1.04	0.99	0.20	0.17
天津	1.21	1.26	0.96	0.20	0.17
河北	1.27	0.90	1.03	0.20	0.14
山西	1.30	0.95	1.15	0.20	0.17
内蒙古	1.17	0.79	1.31	0.20	0.18
辽宁	1.27	0.98	1.00	0.20	0.17
吉林	1.3	0.98	1.07	0.20	0.18
黑龙江	1.09	0.87	1.15	0.20	0.20
上海	1.13	1.21	0.89	0.23	0.24
江苏	1.47	1.17	0.97	0.19	0.24
浙江	1.25	1.01	0.93	0.23	0.24
安徽	1.16	1.03	0.97	0.23	0.24
福建	1.39	1.08	0.89	0.23	0.24
江西	1.41	0.98	0.91	0.24	0.24
山东	1.44	1.12	0.93	0.20	0.15
河南	1.34	0.92	1.05	0.20	0.14
湖北	1.44	0.91	0.95	0.24	0.24
湖南	1.43	0.93	0.93	0.22	0.24
广东	1.32	1.01	0.89	0.24	0.24
广西	1.27	1.04	0.90	0.23	0.24
海南	1.33	1.14	0.90	0.24	0.24
重庆	1.12	0.86	0.93	0.23	0.24
四川	1.16	0.85	0.95	0.23	0.23
贵州	1.34	1.08	0.90	0.23	0.26
云南	1.25	1.08	0.89	0.23	0.23
西藏	1.27	1.01	0.91	0.23	0.17
陕西	1.32	0.89	1.08	0.20	0.17
甘肃	1.31	0.80	1.10	0.20	0.17
青海	1.36	0.99	1.08	N/A	0.17
宁夏	1.12	0.94	1.21	0.20	0.17
新疆	1.41	0.70	1.14	0.20	0.17

本文通过对各省及各县统计年鉴获取2015年全国区县尺度三种农作物总产量。若省级统计年鉴中报告各县级区域农作物产量，则使用省级年鉴数据。若省级统计年鉴未报告县级区域农作物产量或者某县农作物产量缺失，则使用县级统计年鉴数据。数据显示，2015年全年小麦、水稻和玉米的产量为1.36亿吨、2.07亿吨和2.32亿吨。图1展示了2015年

全国各省的三种农作物产量。水稻生产主要集中在华北平原、东北地区和新疆西北部。小麦主要产地为华中地区和华南地区，主要分为黄淮海小麦区、长江中下游种植区、东北种植区、西南种植区、东南种植区。玉米的种植分布十分广泛，主要分布在北方玉米区（以东北三省、内蒙古和宁夏为主）；黄淮海平原玉米区（以山东和河南为主）；西南山地玉米区（以四川、云南和贵州为主）；南方玉米区（以广东、福建、台湾、浙江和江西为主）；西北玉米区（新疆和甘肃部分地区）。农作物产量具有显著的空间分布异质性，决定了中国可收集的农作物秸秆生物质能源分布也存在强烈的空间异质性。因此精细化的农作物秸秆潜在生物质能源分布研究对于农作物秸秆的能源利用具有重要意义。

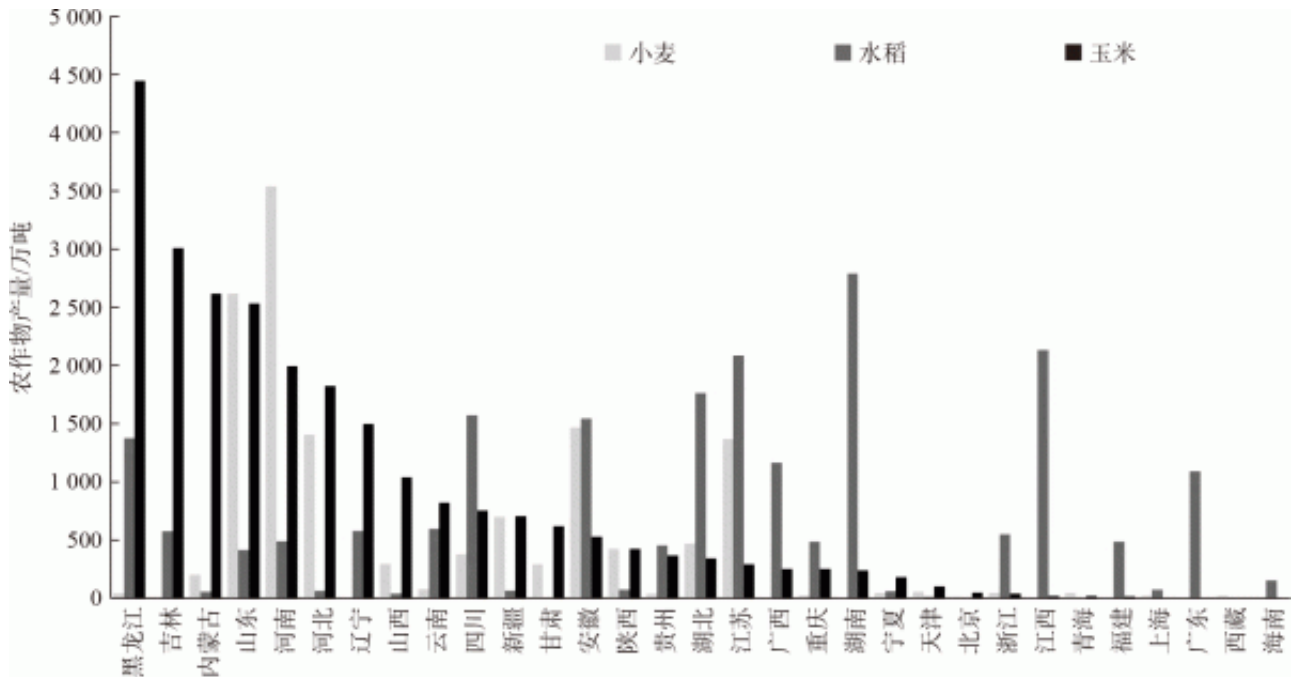


图 1 2015 年中国各省小麦、水稻和玉米产量

可收集农作物秸秆量是指可以从田间取出并使用的最大秸秆量。由于运输成本限制，并非所有的农作物秸秆都可收集。为充分考虑利用秸秆生物能源的现实情况，本文还估算了考虑运输成本限制后的可收集农作物秸秆量。具体而言，基于国家道路数据层以及1千米分辨率的三种作物种植数据[18]，使用ARCGIS的缓冲区功能排除了距离主干道20千米以外的农作物生产区域生产出的作物秸秆，使用的主干道距离阈值参考Jiang等[7]的研究，以使结果更具可比性。其中使用的主干道路网数据来自OpenStreetMap开源地图 (<https://www.openstreetmap.org>)，包括高架及快速路、城市主干道、城市次干道、城市支路、内部道路、人行道路、自行车道、郊区乡村道路等多种类型。需要特别说明的是，使用的1千米分辨率的种植数据仍然可能无法识别极少部分的农作物种植区域，通过产量除以1千米种植面积从而计算单位面积产量的方法可能会高估各省单位面积的农作物产量。为克服这一缺陷，通过计算每个省份缓冲区内的农作物秸秆占有所有秸秆的比例，并将比例带入各省份的农作物秸秆产生量进行计算，最终获得排除运输成本影响的农作物秸秆量。

此外，过度收割秸秆会对土壤、环境和后续的作物产量产生不利影响。因此，通常选择合理的收割比率以保证部分的秸秆还田，满足可持续种植的要求。根据以往的研究结果[11][17]，本文使用的秸秆可收集系数如表2所示。可收集农作物秸秆量等于考虑运输成本限制后的作物秸秆产量乘以田间秸秆可收集系数。

表 2 小麦、水稻和玉米的秸秆可收集系数

作物名称	秸秆可收集系数
小麦	0.70
水稻	0.79
玉米	0.88

(二) 生物能源潜力及生物乙醇生产潜力计算

参照以往的研究结果[7][11]，研究采用等量标准煤和生物乙醇产量的形式来表征可收集农作物秸秆的生物能源潜力。目前，可以通过使用燃烧（直接和共烧）和非燃烧方法（热化学和生化）等技术将农作物秸秆转化为能源产品。转换效率可从现有文献中获得[7][19]。根据小麦、水稻和玉米可收集秸秆产量与等量标准煤转换系数（表3），可以估算2015年中国小麦、水稻和玉米的潜在生物质能源潜力。具体的计算方法如下

$$E_i = CR_i \times CI_i \quad (2)$$

其中， E_i 表示第*i*种农作物秸秆的生物能源潜力； CR_i 表示第*i*种农作物的可收集秸秆产量； CI_i 表示第*i*种农作物的等量标准煤转换系数。

表 3 用于计算小麦、水稻和玉米生物能源潜力与生物乙醇生产潜力的系数: 农作物秸秆等量标准煤转换系数、不同农作物的利用比例与基于理论生物乙醇转化率

农作物名称	等量标准煤转换系数	利用方式比例/%			生物乙醇转化率/(克/千克)
		田间焚烧	废弃	其他	
小麦	0.50	18.27	2.46	79.27	487.75
水稻	0.43	34.68	3.49	61.83	521.09
玉米	0.53	30.94	4.77	64.29	487.89

用于生产生物乙醇的农作物可收集秸秆量与用于计算能源潜力的农作物可收集秸秆量不同。农作物秸秆的主要利用方式包括留田、田间焚烧、废弃、饲料、蒸煮取暖、纸浆、电力、其他生物能源使用等。由于其他利用类型的秸秆均得到充分使用，因此可额外用于生物乙醇生产的农作物秸秆主要考虑田间焚烧和废弃的农作物秸秆数量。基于每种作物秸秆量不同用途的利用比例计算田间焚烧和焚烧的农作物秸秆量。利用比例估算来自2015—2016年对15个省份的农民总共1417份有效问卷[11]，如表3所示。参考他人的研究[11]，田间焚烧的秸秆部分因为本身存在于田间，未从田间移除，因此计算时不考虑可收集系数；而废弃的部分来自田间收集后的秸秆，因此需要考虑可收集系数。

最终基于不同农作物秸秆的纤维素和半纤维素含量的理论生物乙醇转化率的计算方法，估算农作物的生物乙醇生产潜力。生物乙醇生产潜力等于可收集农作物秸秆量乘以生物乙醇转化率[20-22]（表3），计算公式如下

$$BP_i = CR_i \times BI_i \quad (3)$$

其中， BP_i 表示第*i*种农作物秸秆的生物乙醇生产潜力； CR_i 表示第*i*种农作物的可收集秸秆产量； BI_i 表示第*i*种农作物的生物乙醇转化率。

二、结果与分析

(一) 2015年可收集农作物秸秆产量分布

中国可收集秸秆数量大、种类多、分布广。从总量看，2015年中国三种作物可收集农作物秸秆总量分别为1.22亿吨、1.69亿吨和2.09亿吨。玉米贡献了最多的可收集秸秆量，其次是水稻和小麦。从空间分布看，华北平原和东北、华东地区是可收集秸秆的主要产区（图2）。31省市农作物秸秆产量异质性强，从12万吨（西藏）到5501万吨（山东）不等。农作物秸秆产量位列前五的省份依次为山东、河南、黑龙江、河北和江苏，产量均超过了3000万吨。华中地区的湖北和湖南的秸秆产量也位居前列。位于沿海区域的福建和浙江，以及西南的重庆、贵州，西北的甘肃、宁夏，及南部的海南由于农作物产量较低，秸秆产量也较低。各省内部可收集农作物秸秆产量分布的异质性同样强烈。如四

川的可收集农作物秸秆量主要分布在其东部，西部秸秆产量较低。新疆可收集秸秆量主要分布在其西北方。

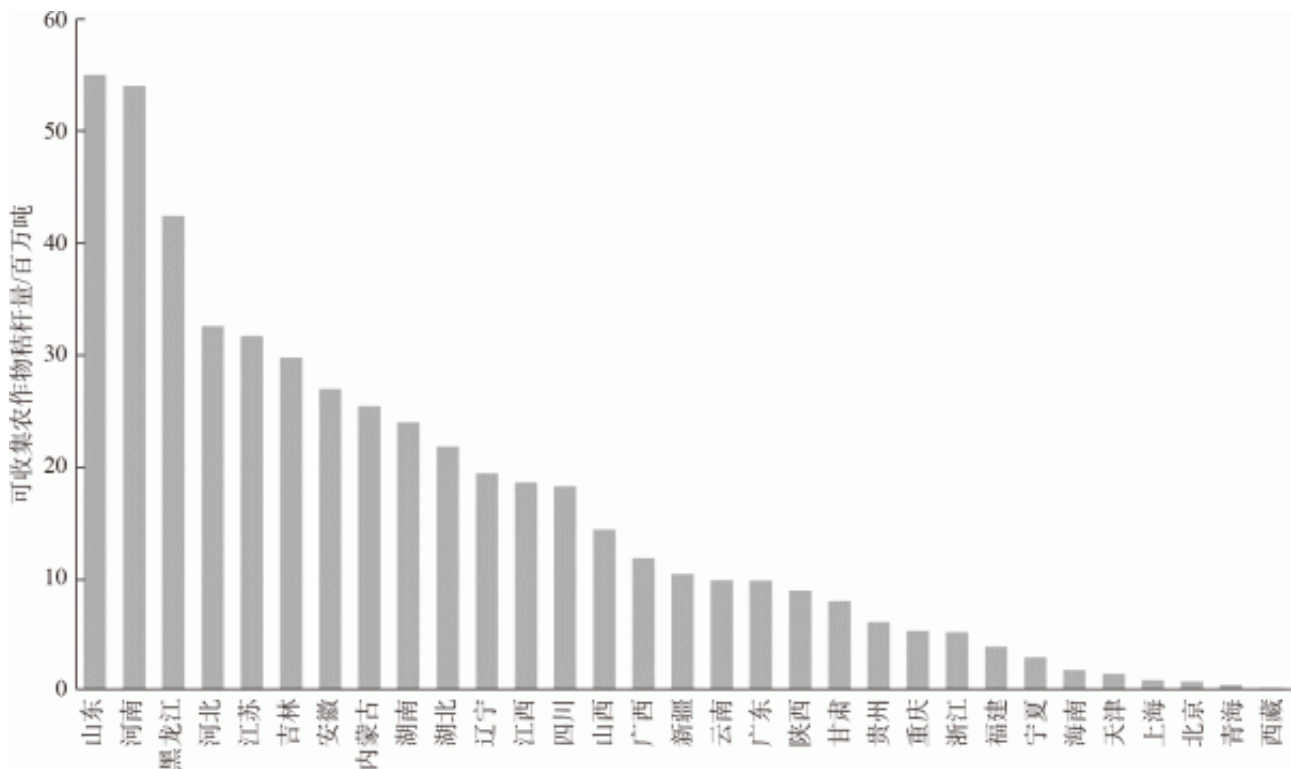


图2 各省可收集农作物秸秆量

(二) 农作物秸秆潜在生物能源潜力

表4展示了各省能源潜力中占主要贡献的农作物类型。小麦、水稻和玉米的主要贡献分布在中国呈现明显的地理分布差异。水稻作为主要贡献的地区主要集中在中国的南部和东部。其中，江西97%的县级区域生物质能源潜力均由水稻贡献，福建该比例为93%，广东为86%，江苏为75%。玉米作为主要贡献的地区则主要分布在中国北方、西南部、新疆部分地区。其中，吉林（100.00%）、黑龙江（90.08%）、辽宁（71.00%）、山西（82.05%）、内蒙古（79.61%）以及云南和四川许多县级区域的生物质能源潜力均由玉米贡献。小麦贡献占主导的地区在地理位置上相对分散，主要包括位于黄淮海平原的山东（75.91%）、河南（86.08%）以及西北地区的新疆（52.83%）、青海（91.11%）和西藏（71.62%）。

图3展示了中国各省的农作物秸秆生物质能潜力。生物质潜能分布密度呈现出西低东高的态势，在省际间存在强烈空间异质性。57.39%的农作物秸秆生物质能潜力集中分布在黄淮海平原、东北平原两个主要粮食产区以及内蒙古。在黄淮海平原区域内，山东地区的42个县级区域（共137个县级区域）生物能源潜力占比达到60%，而河南36个县级区域（共159个县级区域）生物能源潜力占比达到50%，省内的能源潜力集中效应明显。东北平原区域内农作物秸秆生物质能潜力密度较高的区域则集中分布在黑龙江西部、吉林西部以及辽宁北部，其主要农作物秸秆为玉米和水稻秸秆。内蒙古的农作物秸秆生物质能潜力则主要分布于内蒙古东部。

表 4 各省农作物秸秆能源潜力中占主要贡献的农作物类型表

单位: %

省份	各农作物类型主导的县级区域数量占比				占主要贡献的农作物类型
	不生产	水稻	小麦	玉米	
安徽	0.00	73.33	23.81	2.86	水稻
北京	18.75	0.00	0.00	81.25	玉米
福建	7.06	92.94	0.00	0.00	水稻
甘肃	3.45	0.00	22.99	73.56	玉米
广东	10.48	86.29	0.00	3.23	水稻
广西	0.90	83.78	0.00	15.32	水稻
贵州	0.00	64.77	0.00	35.23	水稻
海南	4.00	96.00	0.00	0.00	水稻
河北	0.60	2.38	30.36	66.67	玉米
河南	0.00	5.70	86.08	8.23	小麦
黑龙江	3.31	6.61	0.00	90.08	玉米
湖北	4.85	61.17	11.65	22.33	水稻
湖南	0.00	100.00	0.00	0.00	水稻
吉林	0.00	0.00	0.00	100.00	玉米
江苏	8.33	75.00	13.54	3.13	水稻
江西	3.00	97.00	0.00	0.00	水稻
辽宁	9.00	20.00	0.00	71.00	玉米
内蒙古	6.80	0.00	13.59	79.61	玉米
宁夏	0.00	13.64	4.55	81.82	玉米
青海	8.89	0.00	91.11	0.00	小麦
山东	2.92	1.46	75.91	19.71	小麦
山西	2.56	0.85	14.53	82.05	玉米
陕西	5.61	7.48	37.38	49.53	玉米
上海	43.75	50.00	6.25	0.00	水稻
四川	2.19	52.46	5.46	39.89	水稻
天津	37.50	0.00	0.00	62.50	玉米
西藏	28.38	0.00	71.62	0.00	小麦
新疆	1.89	7.55	52.83	37.74	小麦
云南	0.00	24.81	0.00	75.19	玉米
浙江	4.44	90.00	4.44	1.11	水稻
重庆	5.26	94.74	0.00	0.00	水稻

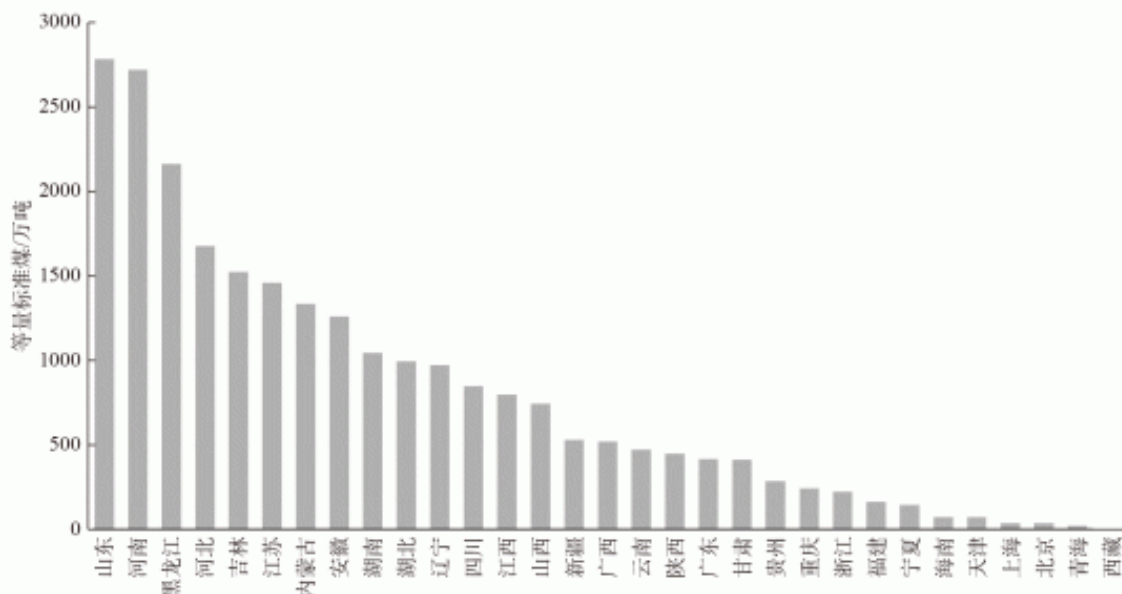


图 3 各省农作物秸秆生物质能源潜力

(三) 农作物秸秆生物乙醇生产潜力

2015年, 中国可用农作物秸秆生物乙醇生产潜力为8081.29万吨, 其中44.37%由玉米秸秆贡献, 40.88%来自水稻秸秆, 其他来自小麦秸秆。可用作物秸秆生物乙醇生产潜力分布与能源潜力分布基本一致, 呈现农业大省集中分布的趋势和强烈的空间异质性(图4)。位列前五的省份生产潜力占全国总量约40%, 依次为黑龙江(745.27万吨)、山东(736.45万吨)、河南(698.49万吨)、吉林(522.58万吨)和江苏(501.52万吨)。生物乙醇生产潜力主要分布在东北平原和黄淮海平原区域, 与玉米秸秆生物乙醇生产潜力大的区域重合度较高。小麦秸秆生物乙醇生产潜力空间分布与小麦秸秆空间分布一致, 产量前三的省份河南(315.07万吨)、山东(284.99万吨)和河北(142.30万吨)均位于华北地区, 其次为华东地区的江苏(111.33万吨)和安徽(90.37万吨)。水稻秸秆生物乙醇生产潜力位列前五的省份依次为湖南(432.36万吨)、江西(359.37万吨)、江苏(353.75万吨)、湖北(279.88万吨)和安徽(266.06万吨), 主要分布在水稻主要产地的华中地区和华东地区。生物乙醇生产潜力在省内分布的异质性同样强烈。以黑龙江为例, 生物乙醇生产潜力最高的县级区域是产量最低县级区域的22591倍。这在一定程度上也显示出将本文细化到县级尺度的重要性。

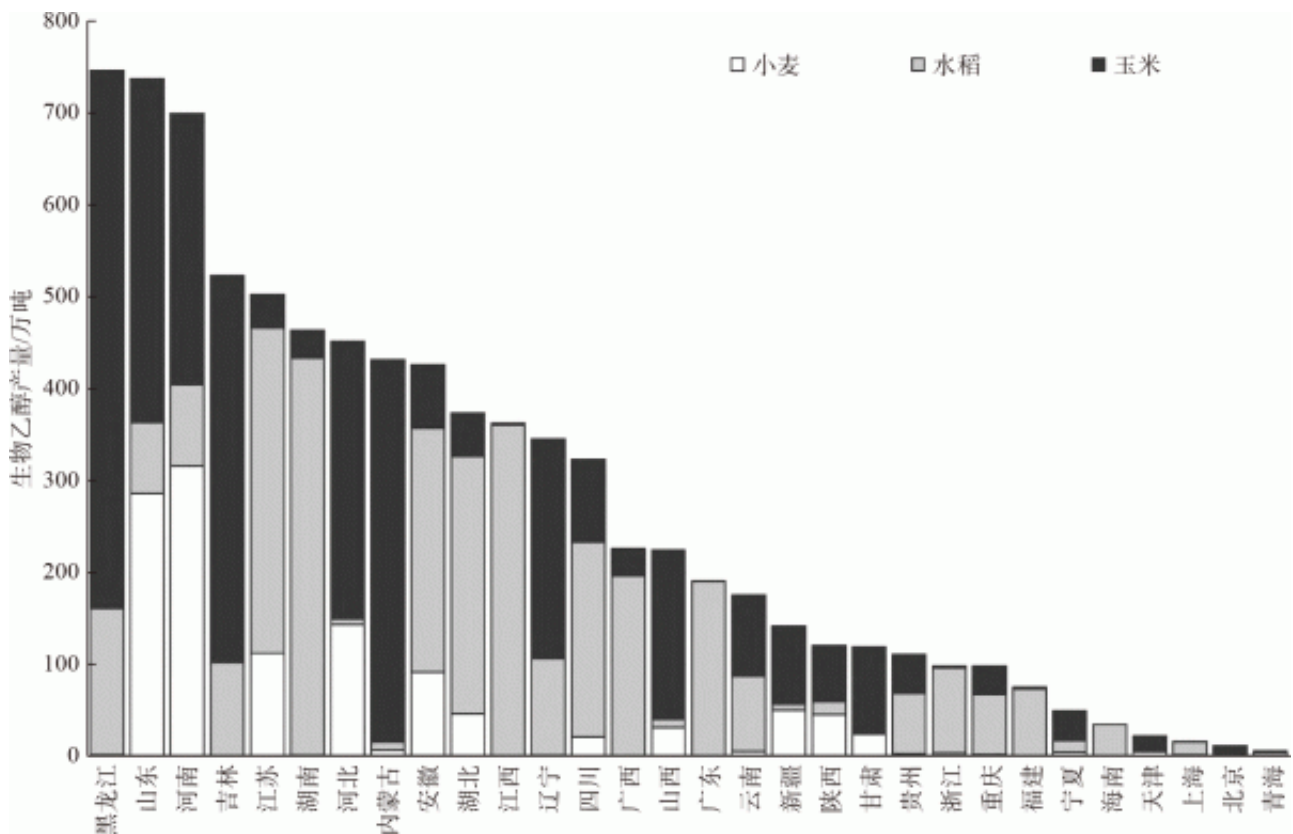


图4 各省份分农作物类型的可用农作物秸秆生物乙醇生产潜力

三、结论与建议

(一) 与以往研究的比较

准确估计中国农作物秸秆的潜在生物能源潜力和生物乙醇生产潜力对生物质供应的可持续发展至关重要。本文结果表明, 2015年中国小麦、水稻和玉米的可收集农作物秸秆总量为5.01亿吨, 生物能源潜力达2.44亿吨等量标准煤, 明显高于以往对于2009年的研究结果[7]。差异原因主要包括三个方面: 首先, 相较于2009年, 2015年农作物小麦、水稻和玉米产量增长约18.84%, 因此其可用于生物能源生产的秸秆量大。其次, 本文将初次生产过程产生的加工过程秸秆部分也纳入研究, 是本文结果高于以往研究的另一重要原因。此外, 相较于以往研究, 本文使用更具异质性的分省秸秆系数和分作物类型的作物种植分布数据, 估算结果更为精细。此外, Kang等[23]估算2015年中国生物乙醇生产潜力为9811万吨。相较而言, 本文在充分考虑农作物秸秆运输成本的约束后, 估算的生物乙醇生产潜力下降17.63%, 校正了已有研究中存在的高估问题。此外, 本文将空间分辨率提升至县级尺度, 能够更好地满足生物乙醇产业规划发展的精度要求。

(二) 生物质能源的发展对策

生物质能源是一种可代替煤炭提供稳定电力的可再生能源[24]。利用秸秆进行发电主要有两种方式:一种是将秸秆处理后直接投入锅炉燃烧产生热能发电;另一种是将秸秆气化后,利用其产生的可燃气体,经由不同的发电设备发电[25]。推进生物质发电技术的发展对煤炭替代、减污降碳、实现生态环境可持续发展具有重要意义。然而,中国国家统计局数据显示,2018年中国总发电量为6.8万亿千瓦时,其中火力发电占比超过70%,生物质发电量占比仍然很小,仅为1.33%。为此,本文建议在生物能源潜力分布密度较大的黄淮海平原、东北平原和内蒙古高原等区域,应当着力推进秸秆燃烧或气化发电技术设备创新,提高转化效率,充分利用农作物秸秆的生物质能潜力,大力发展生物质能发电,逐步代替煤炭发电以实现能源与环境的可持续发展。

(三) 生物乙醇生产潜力的应用与推广

此外,本文结合已有的三种作物分辨率种植分布图进一步考虑经济可行的作物运输距离,计算得出2015年中国可用作物秸秆生物乙醇生产潜力为0.81亿吨。一方面,纠正了前人研究忽略运输限制导致的高估偏差;另一方面,绘制了更高精度的生物乙醇生产潜力分布地图,为科学规划生物乙醇行业的发展提供了数据支撑。结果显示,中国生物乙醇生产潜力的区域差异巨大。针对生物乙醇生产潜力大的区域,在产量稳步提升的基础上,更应逐步加强对生物乙醇的应用。生物乙醇的应用方式之一为单独或与汽油混配制成乙醇汽油作为汽车燃料。生物乙醇汽油的优势是能够使汽油充分燃烧,减少汽车尾气中CO、SO₂的排放。中国于2017年和2018年先后发布《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》和《全国生物燃料乙醇产业总体布局方案》[26]。但方案实施至今,生物乙醇汽油推广进展严重滞后。同时,受新冠肺炎疫情影响,2020年以来,消毒酒精需求爆发式增长,导致生物燃料乙醇价格暴涨,给乙醇汽油的应用与推广带来巨大挑战[27]。面对生物乙醇发展受阻,建议从以下两个方面开展工作:一是调节生物乙醇的市场供需平衡。为保证生物乙醇汽油的生产原料供应,进一步提升基于秸秆原料的生物乙醇技术研发,加强以农作物秸秆为主要原料的生物乙醇产业发展。同时提高玉米和水稻高产地区(如东北平原和长江中下游平原等区域)的秸秆转化率,充分挖掘农作物秸秆的生物乙醇潜力。二是完善制定适合中国国情的生物燃料乙醇标准,完善生物燃料乙醇实施推广方案,建立相关补贴机制,加大产业精准调控的力度,统领产业协调发展,为实现“碳达峰、碳中和”提供有力保障。

参考文献:

- [1] LIU H G, JIANG H, ZHUANG H Y, et al. Distribution, utilization structure and potential of biomass resources in rural China: with special references of crop residue[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, 12 (5) : 1402-1418.
- [2] HILOIDHARI M, DAS D, BARUAH D. Bioenergy potential from crop residue biomass in India[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 32: 504-512.
- [3] 陆肖肖. “十四五”现代能源体系规划指明方向 [N]. 华夏时报, 2022-03-28 (13) .
- [4] 前瞻产业研究院. 中国生物质发电行业市场现状及发展趋势分析 [J]. *电器工业*, 2022 (2) : 60-68.
- [5] 杨中志, 解静聪, 徐俊明. 木质纤维生物质制乙醇产业化现状与开发建议 [J]. *中外能源*, 2021, 26 (10) : 18-30.
- [6] SCARLAT N, MARTINOV M, DALLEMAND J F. Assessment of the availability of agricultural crop residue in the European Union: potential and limitations for bioenergy use[J]. *Waste Manag*, 2010, 30 (10) : 1889-1897.
- [7] JIANG D, ZHUANG D, FU J, et al. Bioenergy potential from crop residue in China: availability and distribution[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16 (3) : 1377-1382.
- [8] SANG T, ZHU W X. China's bioenergy potential[J]. *GCB Bioenergy*, 2011, 3 (2) : 79-90.
- [9] TIAN S Q, ZHAO R Y, CHEN Z C. Review of the pretreatment and bioconversion of lignocellulosic biomass from wheat residue materials[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 91: 483-489.
- [10] 任东明, 赛克军. 生物燃料乙醇产业国内发展现状与国际经验及相关建议 [J]. *中国能源*, 2018, 40 (6) : 5-9.
- [11] FANG Y R, WU Y, XIE G H. Crop residue utilizations and potential for bioethanol production in China[J/OL]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 113: 109288. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109288>.
- [12] WANG X, YANG L, STEINBERGER Y, et al. Field crop residue estimate and availability for biofuel production in China[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 27: 864-875.

- [13] XIE G, HAN D, WANG X, et al. Harvest index and residue factor of cereal crops in China[J]. Journal of China Agricultural University, 2011, 16 (1) : 1-8.
- [14] WANG X, XUE S, XIE G. Value-taking for residue factor as a parameter to assess the field residue of field crops[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17 (1) : 1-8.
- [15] 郭利磊, 王晓玉, 陶光灿, 等. 中国各省大田作物加工副产物资源量评估 [J]. 中国农业大学学报, 2012, 17 (6) : 45-55.
- [16] 谢光辉, 王晓玉, 韩东倩, 等. 中国非禾谷类大田作物收获指数和秸秆系数 [J]. 中国农业大学学报, 2011, 16 (1) : 9-17.
- [17] 何可. 农业废弃物资源化的价值评估及其生态补偿机制研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [18] LUO Y, ZHANG Z, LI Z, et al. Identifying the spatiotemporal changes of annual harvesting areas for three staple crops in China by integrating multi-data sources[J/OL]. Environmental Research Letters, 2020. 15 (7) : 074003. [http://dx. doi.org/10.1088/1748-9326/ab80f0](http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ab80f0).
- [19] 沙洪林, 佟时, 张维友, 等. 我国农作物秸秆产生及综合利用现状分析 [J]. 吉林农业科学, 2010, 35 (4) : 51-55
- [20] 牛文娟. 主要农作物秸秆组成成分和能源利用潜力 [D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [21] AN Y, WANG J, HUANG Y, et al. Determination of cellulose and hemicellulose content in potato stalk[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2016, 17: 159-160.
- [22] NAN Z D, YANG M, HAN W, et al. Fast pyrolysis oil crops residue and characteristics of bio-oil[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008, 30 (4) : 501-505.
- [23] KANG Y, YANG Q, BARTOCCI P, et al. Bioenergy in China: evaluation of domestic biomass resources and the associated greenhouse gas mitigation potentials[J/OL]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020, 127: 109842. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109842>.
- [24] 常圣强, 李望良, 张晓宇, 等. 生物质气化发电技术研究进展 [J]. 化工学报, 2018, 69 (8) : 3318-3330.
- [25] 高书歧, 高坚. 提高生物质能利用率的探讨 [J]. 发电设备, 2009, 23 (3) : 223-226.
- [26] 于琪, 杜长雷. 美国可再生燃料标准经验对中国生物燃料乙醇产业发展的启示 [J]. 中国能源, 2021, 43 (6) : 62-66.
- [27] 陈俊任. 新形势下乙醇汽油推广使用的思考 [J]. 国际石油经济, 2020, 28 (12) : 59-62.

原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/201246.html>