

区域秸秆资源分布及全量化利用潜力分析

李胜男, 纪雄辉, 邓凯, 朱坚, 李尝君, 简燕, 彭华*

(1. 湖南省农业科学院湖南省农业环境生态研究所, 长沙 410125; 2. 农业部长江中游平原农业环境重点实验室, 长沙 410125; 3. 湖南省洞庭湖流域农业面源污染防治工程技术研究中心, 长沙 410125)

摘要: 为进一步提高秸秆综合利用率, 促进秸秆利用产业科学化, 推动区域秸秆全量化利用, 以湖南省为研究对象, 对主要农作物秸秆资源量、人均秸秆占有量等进行了估算, 明确了湖南省秸秆资源空间分布特征; 同时结合湖南省秸秆利用竞争性需求量计算分析了全省秸秆全量化利用潜势。结果表明: 2018年湖南省主要农作物秸秆理论和可收集资源量分别为4 021.7和3 039.1万t, 主要以水稻秸秆为主, 占比约65%; 其次为油菜、蔬菜和玉米秸秆。不同农作物秸秆表现出不同的空间分布特征, 水稻、油菜和蔬菜秸秆总体呈现自西向东、由南向北逐渐增加的趋势, 而玉米秸秆则表现出相反的变化趋势。全省人均秸秆资源占有量仅为0.68t, 远低于全国平均水平。通过分析秸秆潜在利用途径, 预测湖南省肥料化需求量为887.3万t, 饲料化需求量为885.1万t, 基料化需求量为83.2万t, 原料化利用量为65.7万t; 剩余秸秆可能资源化利用量为1 117.9万t。结合目前湖南省秸秆资源利用结构, 全省实现秸秆全量化利用的总体趋势应在保持基料化和原料化利用的基础上, 适当减少肥料化, 提高饲料化和资源化利用比率。

关键词: 农作物; 秸秆; 空间分布; 利用结构; 湖南省

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.12.027

中图分类号: X712

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-12-0221-08

李胜男, 纪雄辉, 邓凯, 等. 区域秸秆资源分布及全量化利用潜力分析[J]. 农业工程学报, 2020, 36(12): 221-228. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.12.027 <http://www.tcsae.org>

Li Shengnan, Ji Xionghui, Deng Kai, et al. Analysis of regional distribution patterns and full utilization potential of crop straw resources[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(12): 221-228. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.12.027 <http://www.tcsae.org>

0 引言

农作物秸秆是宝贵的生物质资源, 储存着大量的养分, 充分利用秸秆资源, 促进农业生态系统养分循环, 是农业可持续发展的基础。但是, 受农业集约化、资金短缺和农户认知等影响, 中国秸秆资源综合利用水平整体不高^[1-2]。秸秆区域性、季节性、结构性过剩现象不断凸显, 露天焚烧和随意丢弃现象屡禁不止, 不仅造成秸秆资源浪费, 其焚烧还会释放大量CO、CO₂和颗粒物等污染大气, 甚至直接影响土壤健康, 对区域生态环境造成严重影响^[3-5]。国家和地方政府均十分重视秸秆资源化利用: 2016年, 国家发改委将农作物秸秆综合利用率纳入《绿色发展指标体系》; 2017年中办、国办联合印发《关于创新体制推进农业绿色发展的意见》, 严格落实秸秆禁烧制度, 推进秸秆全量化综合利用; 2018年国务院颁发了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中也将秸秆禁烧作为蓝天保卫战重要决策部署。因此, 推进秸秆禁烧、提高秸秆资源化综合利用率是大气污染防治的需要, 是

美丽乡村建设的需求, 也是发展生态循环农业的必经之路。

要想从根本上解决农作物秸秆资源过剩的问题, 必须走区域秸秆全量化利用之路^[6]。前人对秸秆资源量和利用潜力进行了大量的报道和研究, 而且主要基于全国和大流域水平^[7-10]。但是, 除此之外, 要想实现区域秸秆全量化利用, 还必须充分考虑区域秸秆资源类型和空间分布特征, 结合区域秸秆资源供给和需求量关系, 优化秸秆综合利用结构, 这样才能更高效地实现农业生态系统秸秆资源循环利用^[10-11]。而目前仍十分缺乏相关方面的报道研究。此外, 秸秆资源化利用方式和程度还受到多方因素制约, 要想进一步提高秸秆综合利用率, 必须摸清区域秸秆资源综合利用现状和潜力。湖南省是农业大省, 也是中国双季稻主产区, 秸秆资源丰富。本研究以湖南省秸秆资源为研究对象, 基于湖南省各区县农业统计数据, 分析了湖南省秸秆资源量、种类构成及其空间分布特征; 同时根据湖南省秸秆资源量及利用现状, 研究了湖南省秸秆资源化利用主要方式与竞争性需求关系, 旨在为区域秸秆全量化利用提供数据支撑和科学参考, 提升区域秸秆综合利用率, 实现秸秆资源化产业发展, 对大气污染防治和乡村振兴具有重要现实意义。

1 材料与方法

1.1 数据来源

湖南省农作物产量、播种面积等数据来源于2018和2019湖南省农村统计年鉴。

收稿日期: 2020-02-24 修订日期: 2020-05-20

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0800501); 长沙市科技计划项目(kq1907055); 湖南省农业科技创新资金项目(2020CX55)

作者简介: 李胜男, 助理研究员, 博士, 主要从事农业环境及微生物生态学方面的研究。Email: lishengnan@hunaas.cn

*通信作者: 彭华, 副研究员, 主要从事农业环境污染治理等方面的研究。Email: penghua@hunaas.cn

1.2 秸秆资源量估算

1) 理论秸秆资源量: 指理论上某区域每年可能产生的最大秸秆量, 一般可根据农作物产量及其草谷比间接计算获得。计算公式为: 理论秸秆资源量=农作物产量×草谷比。湖南省主要作物草谷比参考王晓玉等^[12]报道的系数, 如表1所示。

表1 湖南省主要农作物草谷比和可收集系数

Table 1 Straw and grains ratios and collectivity coefficients of the major crops in Hunan Province

农作物 Crops	草谷比 Straw and grains ratios	可收集系数 Collectivity coefficients	农作物 Crops	草谷比 Straw and grains ratios	可收集 系数 Collectivity coefficients
稻谷 Rice	0.98	0.75	油菜 Rape	2.98	0.8
小麦 Wheat	1.38	0.74	棉花 Cotton	3.35	0.9
玉米 Maize	0.96	0.95	麻类 Hemp	1.73	0.88
其他谷物 Other grains	2.32	0.8	甘蔗 Sugarcane	0.34	0.88
豆类 Legume	1.52	0.8	烟叶 Tobacco	0.85	0.6
薯类 Potatoes	0.52	0.8	蔬菜 Vegetable	0.1	0.6
花生 Peanut	1.26	0.8			

2) 可收集秸秆资源量: 指某区域通过现有收集方式, 扣除在收割、收集和运输过程的损失, 获得的可供利用的实际农作物秸秆数量。计算公式为: 可收集秸秆资源量=理论秸秆资源量×可收集系数。中国主要农作物秸秆可收集系数^[9]如表1所示。

3) 人均秸秆资源占有量: 指某区域人均秸秆资源占有的数量, 一般使用农村人口总数。

1.3 秸秆利用潜力估算

1) 肥料化需求量: 是指为实现土壤生产力维持与持续提高的秸秆最小还田量。湖南省属于长江中下游农区, 为实现土壤生产力维持和持续提高, 秸秆最小还田量应达到 3 t/hm^2 ^[13]。根据农业部《区域农作物秸秆全量处理利用技术导则》^[14]长江中下游农区秸秆还田量推荐范围为 $3\sim 9 \text{ t/hm}^2$, 推荐的适宜还田量为 4.5 t/hm^2 。

2) 饲料化需求量: 是指食草性大牲畜(牛、马、驴、骡等)等存栏总量所需要的饲用秸秆量, 以每头牛平均年消耗秸秆 1.7 t (风干质量) 计^[15], 其他大牲畜秸秆消耗量同牛计^[11,16], 羊的草食需求量是牛的五分之一^[14]。

3) 基料化需求量: 是指生产食用菌所需的秸秆量, 按照秸秆量与食用菌产量 $1:1$ 比例进行计算^[17]。湖南省食用菌产量来源于中国食用菌协会发布的《全国食用菌2018年度产量、产值统计调查结果》^[18]。

4) 原料化利用量来源于湖南省2018年秸秆资源台账中的统计数据。

5) 可能源化利用量: 是指扣除其他秸秆竞争性需求用途后剩余的秸秆资源量。计算公式如下:

$$\text{可能源化秸秆利用量} = \text{可收集秸秆资源总量} - (\text{肥料化需求量} - \text{留茬量}) - \text{饲料化需求量} - \text{基料化需求量} - \text{原料化利用量} \quad (1)$$

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 对数据进行处理、分析和制图; 利用 ArgGIS10.2 对秸秆资源量和需求量空间分布进行分析制图。

2 结果与分析

2.1 湖南省主要农作物秸秆资源量及种类构成

基于2018和2019湖南省农村统计年鉴, 利用农作物草谷比和可收集系数对湖南省主要农作物秸秆类型和资源量进行了估算, 结果显示2017年、2018年湖南省主要农作物秸秆理论和可收集资源量分别为 $4\ 047.8$ 和 $3\ 059.5$ 万 t 、 $4\ 021.7$ 和 $3\ 039.1$ 万 t , 几乎持平。基于2018年数据计算发现, 湖南省主要以水稻种植为主, 水稻播种面积占全省农作物播种总面积的 53.5% , 其次为蔬菜、油菜和玉米。水稻秸秆是湖南省的主要农作物秸秆, 可收集资源量占全省总量的 64.7% ; 其次为油菜秸秆, 占全省可收集秸秆总量的 16.0% ; 再次为蔬菜和玉米秸秆, 可收集资源量分别占比 7.5% 和 6.1% ; 其他农作物秸秆占比不到 6% (表2, 图1)。综上所述, 湖南省农作物种植虽然品类丰富, 但资源量总量差异较大, 区域农作物秸秆品类主要以水稻秸秆为主, 油菜、蔬菜和玉米秸秆为辅。

表2 2018年湖南省主要农作物播种面积、产量及秸秆资源量估算

Table 2 Sown area, yields and estimating quantity of straw resources for major crops in Hunan Province in 2018

作物 Crops	播种面积 Sown area/ ($\times 10^3 \text{ hm}^2$)	总产量 Total yields/ ($\times 10^4 \text{ t}$)	理论秸秆 资源量 Theoretical straw resources/ ($\times 10^4 \text{ t}$)	可收集秸秆 资源量 Collectable straw resources/ ($\times 10^4 \text{ t}$)
水稻 Rice	4 009.0	2 674.0	2 620.5	1 965.4
小麦 Wheat	23.0	8.0	11.1	8.2
玉米 Maize	359.0	202.8	194.7	185.0
其他谷物 Other grains	10.0	3.1	7.1	5.7
豆类 Legume	148.0	36.3	55.2	44.2
薯类 Potatoes	189.0	95.0	49.4	39.5
花生 Peanut	109.0	28.5	35.9	28.7
油菜 Rape	1 222.0	204.2	608.4	486.7
棉花 Cotton	64.0	8.6	28.7	25.8
麻类 Hemp	2.0	0.4	0.8	0.7
甘蔗 Sugarcane	7.0	33.8	11.5	10.1
烟叶 Tobacco	87.0	19.1	16.2	9.7
蔬菜 Vegetable	1 265.0	3 822.0	382.2	229.3
合计 Total	7 494.0	7 135.8	4 021.7	3 039.1

2.2 湖南省农作物秸秆资源空间分布

湖南省各区县秸秆资源量统计结果表明, 区域内秸秆资源量差异较大, 各区县可收集秸秆资源量在 $247.0 \text{ t} \sim 87.6$ 万 t 之间 (图2)。全省秸秆资源量整体呈现自西向东、由南向北逐渐增加的趋势; 湖南省西部(张家界、湘西自治州和怀化市)和南部(郴州和永州市部分区县)秸秆资源量较少。可收集秸秆资源量最多的前10个县为桃源县、鼎城区、宁乡县、汉寿县、南县、衡阳县、衡

南县、华容县、澧县和浏阳市，可收集秸秆资源量均超过 60 万 t。各区县人均秸秆资源占有量范围在 0.01~1.89 t 之间，平均为 0.68 t。人均秸秆资源占有量最高的区域主要集中在湖南省北部环洞庭湖区的常德、益阳和岳阳市等（图 3）。

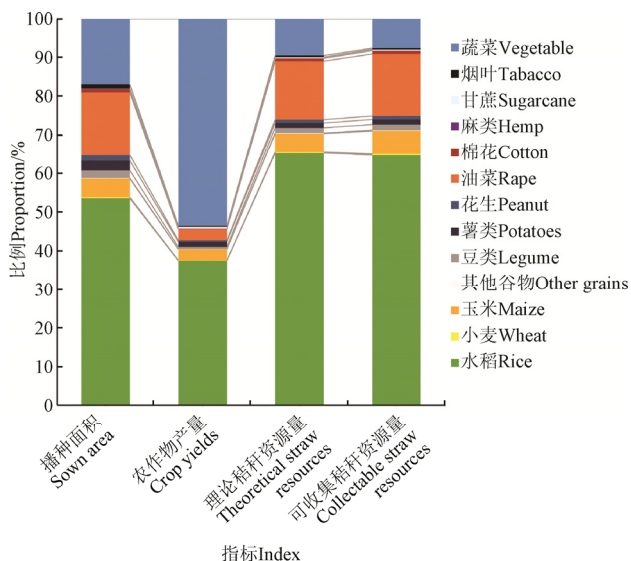


图 1 2018 年湖南省主要农作物播种面积、产量及秸秆资源量占比
Fig.1 Proportion of main crops in sown area, yields and straw resources in Hunan Province in 2018

秸秆为主，各区县水稻秸秆的平均可收集资源量为 16.5 万 t；水稻秸秆与总农作物秸秆具有相似的空间分布趋势，最丰富的区县主要集中在湖南省中轴线北部和东部（图 4）。各区县油菜秸秆可收集资源量在 0~24.4 万 t 之间，平均为 3.8 万 t；最丰富的区域主要集中在湖南省北部常德市和东南部衡阳市大部分县区以及东部的浏阳市，其油菜可收集秸秆资源量均在 9 万 t 以上（图 5）。

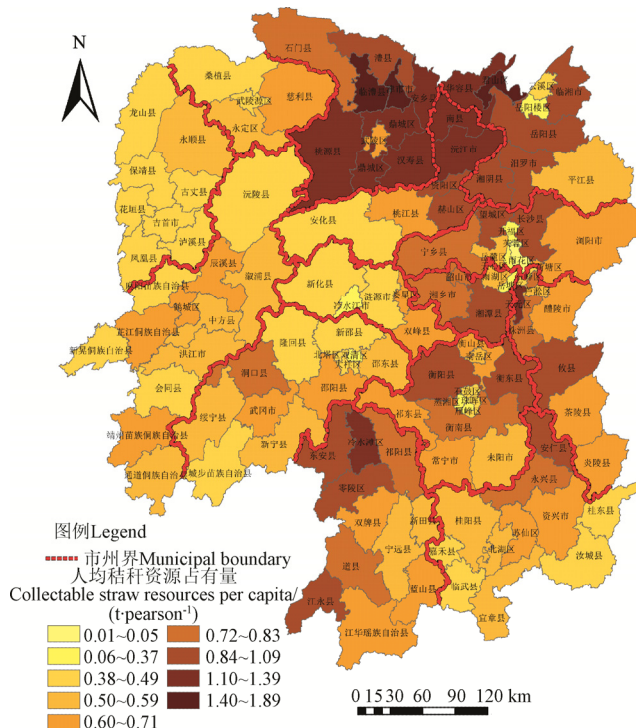
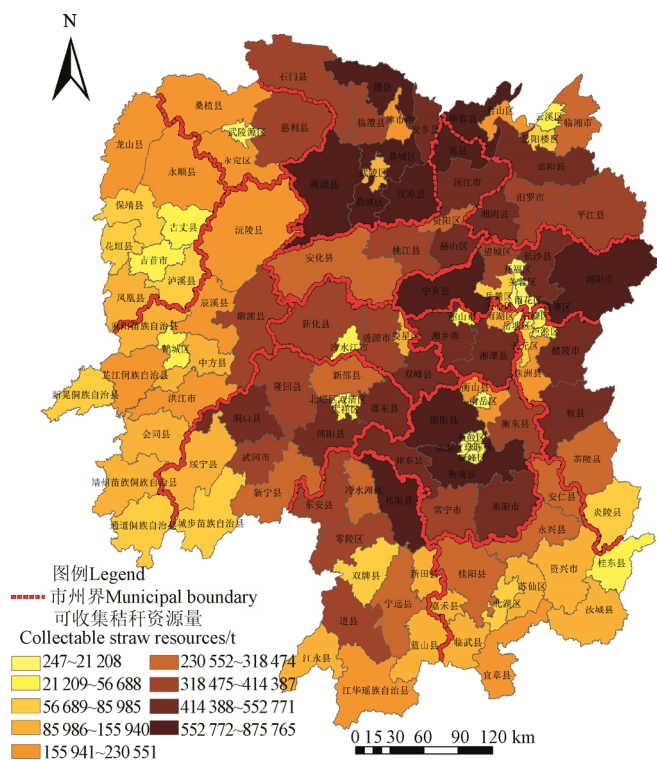


图 3 湖南省人均秸秆资源占有量空间分布
Fig.3 Spatial distribution of the amount of straw resources per capita in Hunan Province



注：图例数字按四舍五入精确到整数位，下同。
Notes: Numbers are rounded to the nearest integer. The same below.

图 2 湖南省可收集秸秆资源量空间分布
Fig.2 Spatial distribution of the collectable straw resources in Hunan Province

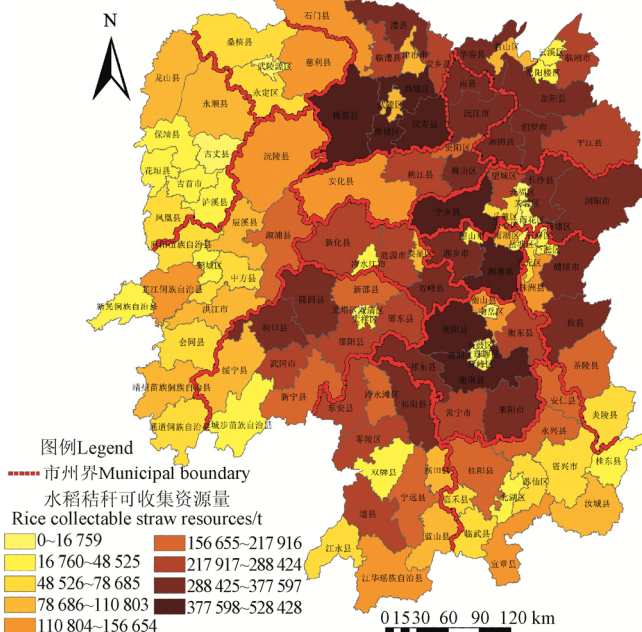


图 4 湖南省水稻秸秆可收集资源量空间分布
Fig.4 Spatial distribution of the collectable straw resources of rice in Hunan Province

鉴于水稻、油菜、蔬菜和玉米占湖南省农作物秸秆量的 90%以上，本研究分别对这 4 种农作物秸秆资源量的空间分布进行了分析。湖南省农作物秸秆主要以水稻

湖南省玉米秸秆可收集资源量相对较低, 各区县平均可收集资源量为 1.5 万 t; 玉米秸秆可收集资源量与水稻秸秆的区域分布相反, 总体上由西部到东部呈现先增加后降低的趋势; 最为丰富的区域主要分布在湖南省中轴线西部和最南部, 包括慈利县、石门县、溆浦县、新化县、涟源市以及江华瑶族自治县和宜章县等(图 6)。不同区县蔬菜秸秆可收集资源量在 247.0 t~8.8 万 t 之间, 平均 1.8 万 t; 最丰富的区域主要集中在东部的长沙市(市内五区除外)、株洲市以及西南部永州市的部分区县(图 7)。

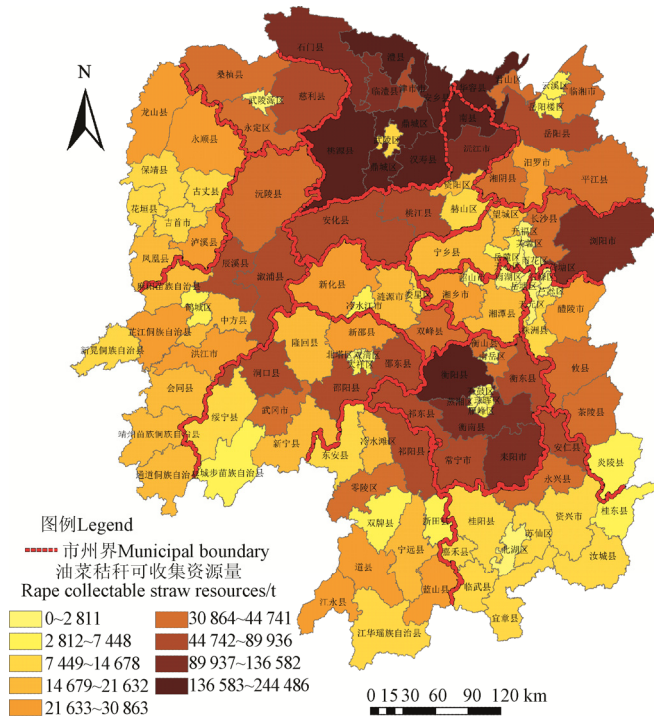


Fig.5 Spatial distribution of the collectible straw resources of rape in Hunan Province

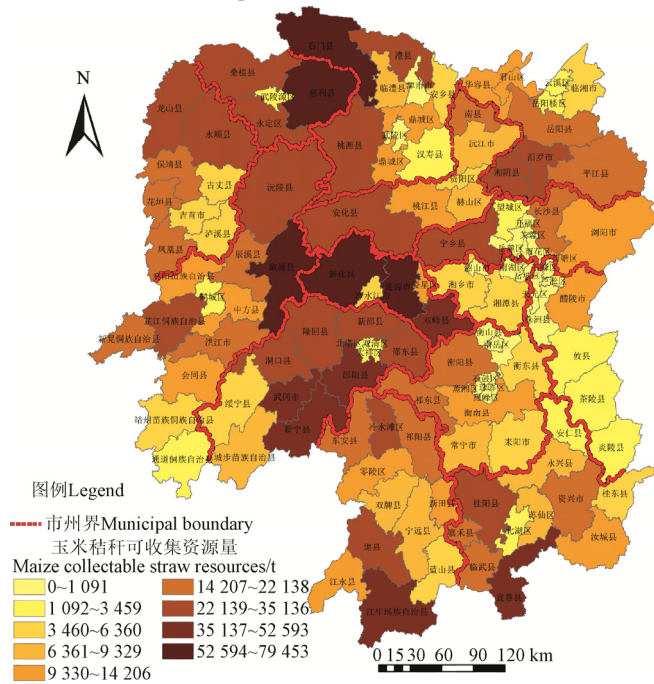


Fig.6 Spatial distribution of the collectible straw resources of maize in Hunan Province

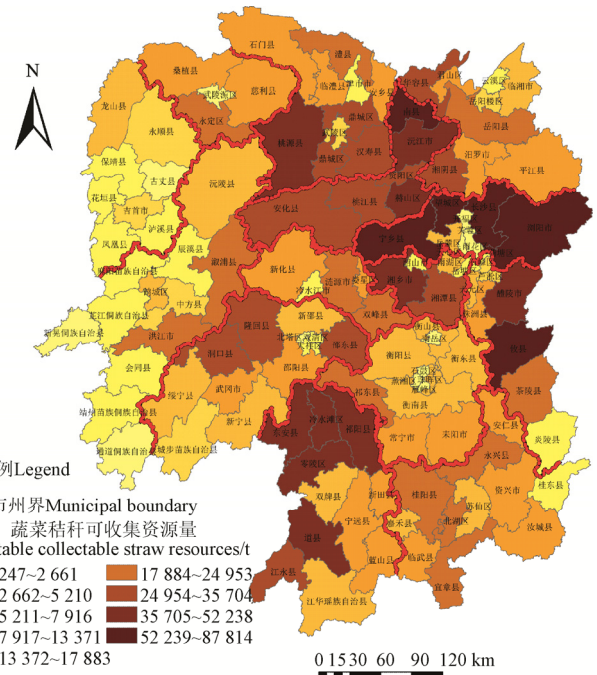


Fig.7 Spatial distribution of the collectible straw resources of vegetable in Hunan Province

2.3 湖南省秸秆全量化利用潜势分析

2.3.1 秸秆肥料化需求

本研究计算的秸秆肥料化利用为直接还田需求。根据 2019 年湖南统计年鉴, 近 5 a 来全省每年年末实有耕地面积均保持在 $415 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右, 至 2018 年末为 $415.54 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。湖南省属于长江中下游农区, 为实现土壤生产力维持和持续提高, 秸秆最小还田量应达到 3 t/hm^2 [13]。2017 年, 农业部发布的《区域农作物秸秆全量处理利用技术导则》中长江中下游农区秸秆还田量推荐范围为 $3 \sim 9 \text{ t/hm}^2$, 推荐的适宜还田量为 4.5 t/hm^2 。据此, 可以估算出湖南省秸秆还田肥料化需求量范围为 $1246.6 \sim 3739.9 \text{ 万 t}$; 而适宜秸秆还田肥料化量为 1869.9 万 t , 扣除 982.7 万 t 的留茬量后, 还需 887.3 万 t 秸秆用于肥料化, 占秸秆可收集资源总量的 29.2%。

2.3.2 秸秆饲料化需求

根据 2019 年湖南省农村统计年鉴, 全省牛、马、驴、骡等大牲畜 2018 年末数为 3 869 691 头, 羊年末存栏数 668.3 万只。每头牛年消耗秸秆平均为 1.7 t (风干质量) [15], 其他大牲畜秸秆消耗量同牛计 [11, 16], 羊的秸秆消耗量是牛的五分之一; 据此计算, 湖南省秸秆饲料化需求量约为 885.1 万 t, 占秸秆可收集量资源总量的 29.1%。

通过各区县牲畜年末存栏数, 估算了全省牲畜饲料化需求量空间分布特征。如图 8 所示, 与全省秸秆资源量和人均秸秆资源量空间分布相反, 全省饲料化需求量最多的区域主要集中在湖南省中轴线西部和南部; 其中永州市的道县、江永县和江华自治县, 常德市桃源县, 娄底市新化县和怀化市新晃自治县的大牲畜饲料化需求量最多, 均超过 16 万 t。而这些县除桃源县秸秆资源量最为丰富外, 其他县可收集秸秆资源量均相对较少, 尤

其是江永县和新晃侗族自治县，即使是将全县所有可收集资源量均用于大牲畜饲料，也无法满足需求，分别差约 8.8 和 9.7 万 t。

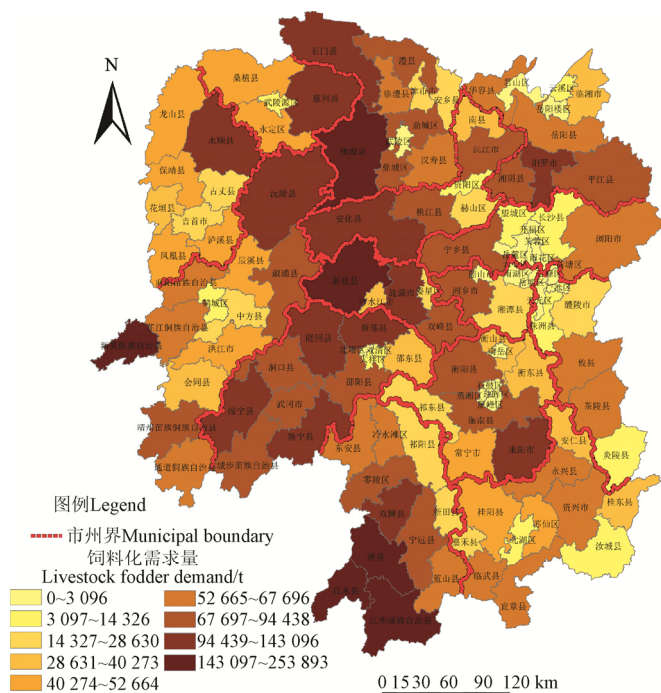


图 8 湖南省牲畜秸秆饲料化需求量空间分布

Fig.8 Spatial distribution of the livestock fodder demand for straw resources in Hunan Province

2.3.3 秸秆基料化和原料化需求

根据中国食用菌协会最新发布的统计结果显示，2018 年湖南省食用菌总产量为 831 565.0 t^[18]，按照秸秆与食用菌产量 1:1 比例进行估算，湖南省基料化需求量约为 83.2 万 t，占可收集秸秆资源量的 2.7%。此外，根据湖南省 2018 年秸秆资源台账数据，全省秸秆原料化利用量约为 65.7 万 t，占可收集秸秆资源量的 2.2%。

2.3.4 秸秆可能源化利用量

扣除以上秸秆竞争性用途，湖南省秸秆剩余量约为 1 117.9 万 t，即为湖南省可能源化秸秆资源量，占可收集秸秆资源量的 36.8%。由于水稻秸秆占湖南省可收集秸秆资源量超过 65%，假设剩余秸秆全部为水稻秸秆，根据水稻秸秆 N、P、K 养分质量分数分别为 0.91%、0.13% 和 1.89%^[19]，因此，剩余秸秆资源所含 N、P₂O₅ 和 K₂O 的量分别约为 10.2、3.3 和 25.5 万 t。另已知水稻秸秆折标煤参考系数约为 0.429 kg/kg^[20]，剩余秸秆相当于 479.6 万 t 标准煤，是当年湖南省全省能源消费量（16 171.3 万 t，《2018 湖南统计年鉴》）的 3.0%；以上结果表明湖南省剩余秸秆具有巨大的利用价值。

3 讨论

明确区域秸秆资源种类、资源量、资源需求及其空间分布特征是秸秆综合利用和科学规划的基础。本文统计结果表明，近 2 a 湖南省主要农作物可收集秸秆资源量均在 3 000 万 t 以上，主要以水稻秸秆为主，占比高达

65%。此外，全省人均秸秆资源占有量为 0.68 t，显著低于全国平均水平的 1.47 t^[6]，属于资源贫乏区；因此，在秸秆资源开发利用过程中，应优先保障土壤肥力平衡和农村居民生活用能^[17]。另一方面，不同农作物秸秆具有不同的空间分布特征，例如湖南省水稻秸秆主要集中在北部和东部，油菜秸秆多的区域玉米秸秆少等；因此，进行秸秆综合利用时，还必须综合考虑秸秆类型及其地理分布特征和可利用资源量等，因地制宜利用秸秆资源。此外，结合农业、畜牧、能源等的发展及相关规划明确秸秆需求量，发展多途径秸秆综合利用，是提高秸秆资源化利用率的基础^[11]。

根据统计数据，目前湖南省秸秆利用结构还十分单一，以直接还田为主的肥料化利用是目前秸秆利用的主要方式。通过秸秆还田能有效提高土壤有机质含量和肥料利用率，改良土壤结构，提高土壤水、肥、气、热等方面的生态效益^[21]。因此，适量的秸秆还田不仅实现了秸秆资源的有效再利用，而且有利于农业生产，可实现作物增产和土壤培肥的双重目标^[22]。然而过量的秸秆还田不仅需要增加机械成本，还会加剧病虫害、影响下季作物种植^[2]。正因如此，大多数农户对秸秆还田的接受意愿低，甚至反对秸秆还田^[23]。此外，已有研究表明秸秆还田会显著促进稻田甲烷排放^[24]，大大抵消其氧化亚氮减排量和土壤固氮量^[25]。根据农业部发布的长江中下游农区秸秆还田量推荐范围和最适宜还田量，湖南省最适宜秸秆还田肥料化需求量约为 1 869.9 万 t，扣除 982.7 万 t 的留茬量后，还需 887.3 万 t 可收集秸秆用于肥料化。而 2018 年全省实际可收集秸秆还田量约为 2 045.3 万 t，远大于最适需求量，且逼近最大需求量。因此，湖南省现有肥料化利用量已满足土壤肥力提升标准，甚至还可以适当减少秸秆肥料化还田利用量。因此，我省转变秸秆利用途径的空间和潜力较大。

曹志宏等通过对比分析肥料化、饲料化、基料化、能源化和原料化等多种秸秆利用方式的价值差异性，指出秸秆饲料化可通过牲畜养殖“过腹”还田、沼气发酵和肥料还田等途径，实现农业生态系统内的物质循环和高效利用，取得较好的经济效益、社会效益和生态效益，具有更高的利用价值^[26]。根据 2018 年末大牲畜秸秆存栏量估算结果显示，湖南省秸秆饲料化量需求量约为 885.1 万 t；而 2018 年实际秸秆饲料化量仅为 158.9 万 t，远低于实际需求。通过分析全省大牲畜饲料化需求量空间分布特征发现，这很可能是由于需求与资源量空间分布不对等所导致，秸秆饲料化需求量与人均秸秆资源量几乎呈现相反的空间分布特征，这大大加剧了秸秆饲料化的难度。因此，要进一步提高秸秆综合利用率和推进秸秆禁烧，必须进行“区域统筹、整体推进”，走“区域秸秆全量利用”之路^[6]，通过区域市场调入和调出提升秸秆综合利用率。另一方面，为追求高经济效益，集约化养殖不断发展，农户利用秸秆饲料发展草食畜产品养殖的意愿不强，导致种养脱离，这也是造成秸秆饲料化利用率低的重要原因之一。为提高秸秆饲料化利用率，地方政府可

通过扶持政策和引导措施提高农户饲料化的意愿,同时利用经济手段促进农户降低饲料化成本和增加收益。

扣除肥料化和饲料化等秸秆竞争性用途后,剩余秸秆仍具有巨大的利用价值,但剩余秸秆的处理问题也是当前中国农业面临的主要难题。秸秆基料化、原料化和能源化是剩余秸秆综合利用 3 个主要方向。根据目前湖南省秸秆综合利用结构,基料化和原料化占比最低,均不超过 3%,这主要与当地产业发展有关,而且基料化和原料化对秸秆的需求量相对较低,不适宜大规模秸秆利用。因此,能源化是除肥料化和饲料化之外,秸秆的第三大利用途径。而根据湖南省 2018 年统计数据,全省能源化利用量仅为 246.3 万 t,且大多为直接燃烧利用。而秸秆直接燃烧发电不仅成本远高于煤炭发电^[27],而且会损失巨量养分。利用农作物秸秆、谷壳、林业废弃物和锯木屑等制作生物燃料颗粒可以达到较高的燃烧值,可以作为能源替代燃煤。

孙建飞等分析了不同情景秸秆资源化利用固碳减排潜力,指出秸秆热裂解碳化减排潜力最高^[7];而且秸秆热裂解不仅可以获得清洁能源,还可以形成生物质炭、木醋液等产品,通过产品肥料化施用将养分归还土壤^[28],具有巨大的应用潜力,也为发展绿色农业提供了新途径。但是,要真正实现生物质炭产业化,仍存在巨大的困难;尤其是南方农田规模小而分散,而适合小规模业主的秸秆减量化和热裂解碳化设备仍是产业瓶颈;同时建立健全高效经济的秸秆收储运体系,实现秸秆减量和安全存储,也是必须克服的主要困难,需要政府引导优化产业技术、加强生物质炭农业的推广和应用^[28]。

4 结 论

2018 年湖南省主要农作物秸秆可收集资源量为 3 039.1 万 t,主要以水稻、油菜、玉米和蔬菜秸秆为主,而且不同类型秸秆资源量呈现不同的空间分布特征。全省肥料化、饲料化、基料化和原料化竞争性秸秆利用需求量分别为 887.3、885.1、83.2 和 65.7 万 t,可能能源化利用量为 1 117.9 万 t。种养脱离、资源和需求分布的不对等是阻碍全省秸秆综合利用率提升的重要原因。结合当前湖南省秸秆综合利用现状,全省实现秸秆区域全量化利用的总体趋势应为建立区域统筹工作机制,以县为单位,通过市场调入和调出,增加饲料化和能源化利用比率来进一步提升全省秸秆综合利用率。

[参 考 文 献]

- [1] 彭春艳, 罗怀良, 孔静. 中国作物秸秆资源量估算与利用状况研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(3): 14-20.
Peng Chunyan, Luo Huailiang, Kong Jing. Advance in estimation and utilization of crop residues resources in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2014, 35(3): 14-20. (in Chinese with English abstract)
- [2] 张国, 逯非, 赵红, 等. 我国农作物秸秆资源化利用现状

及农户对秸秆还田的认知态度[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(5): 981-988.

Zhang Guo, Lu Fei, Zhao Hong, et al. Residue usage and farmers' recognition and attitude toward residue retention in China's croplands[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(5): 981-988. (in Chinese with English abstract)

- [3] 李飞跃, 汪建飞. 中国粮食作物秸秆焚烧碳排放量及转化生物炭固碳量的估算[J]. 农业工程学报, 2013, 29(14): 1-7.
Li Feiyue, Wang Jianfei. Estimation of carbon emission from burning and carbon sequestration from biochar producing using crop straw in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 1-7. (in Chinese with English abstract)
- [4] Zhang L, Liu Y, Hao L. Contributions of open crop straw burning emissions to PM 2.5 concentrations in China [J]. Environmental Research Letters, 2016, 11(1): 014014.
- [5] 冯伟, 张利群, 庞中伟, 等. 中国秸秆废弃焚烧与资源化利用的经济与环境分析[J]. 中国农学通报, 2010, 27(6): 350-354.
Feng Wei, Zhang Liqun, Pang Zhongwei, et al. The economic and environmental analysis of crop residues burning and reutilization in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 27(6): 350-354. (in Chinese with English abstract)
- [6] 方放, 李想, 石祖梁, 等. 黄淮海地区农作物秸秆资源分布及利用结构分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2): 228-234.
Fang Fang, Li Xiang, Shi Zuliang, et al. Analysis on distribution and use structure of crop straw resources in Huang-Huai-Hai Plain of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(2): 228-234. (in Chinese with English abstract)
- [7] 孙建飞, 郑聚锋, 程琨, 等. 基于可收集的秸秆资源量估算及利用潜力分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 404-413.
Sun Jianfei, Zheng Jufeng, Cheng Kun, et al. Estimate of the quantity of collectable straw resources and competitive utilization potential[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(2): 404-413. (in Chinese with English abstract)
- [8] 高国赋, 贺艺, 成平, 等. 湖南农业废弃物资源量估算及其综合利用分析[J]. 湖南农业科学, 2018, 399(12): 101-104, 108.
Gao Guofu, He Yi, Cheng Ping, et al. Estimation and comprehensive utilization evaluation of agricultural waste resources in Hunan Province[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2018, 399(12): 101-104, 108. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王亚静, 毕于运, 高春雨. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1852-1859.

- Wang Yajing, Bi Yuyun, Gao Chunyu. Collectable amounts and suitability evaluation of straw resource in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(9): 1852-1859. (in Chinese with English abstract)
- [10] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 211-217.
- Bi Yuyun, Gao Chunyu, Wang Yajing, et al. Estimation of straw resources in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(12): 211-217. (in Chinese with English abstract)
- [11] 霍丽丽, 赵立欣, 孟海波, 等. 中国农作物秸秆综合利用潜力研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(13): 218-224.
- Huo Lili, Zhao Lixin, Meng Haibo, et al. Study on straw multi-use potential in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2019, 35(13): 218-224. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王晓玉, 薛帅, 谢光辉. 大田作物秸秆量评估中秸秆系数取值研究[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(1): 1-8.
- Wang Xiaoyu, Xue Shuai, Xie Guanghui. 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. (in Chinese with English abstract)
- [13] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪, 等. 我国主要农区秸秆还田试验总结[J]. *土壤通报*, 2002, 33(5): 336-339.
- Zeng Muxiang, Wang Rongfang, Peng Shiqi, et al. Summary of returning straw into field of main agricultural areas in China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(5): 336-339. (in Chinese with English abstract)
- [14] 农业部农业生态与资源保护总站. 区域农作物秸秆全量处理利用技术导则[Z]. 2017.
- [15] 农业部规划设计研究院. 农作物秸秆资源能源化利用调查与评价研究[Z]. 2008.
- [16] 姚继广. 畜禽标准化规模养殖[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011.
- [17] 崔明, 赵立欣, 田宜水, 等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(12): 291-296.
- Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(12): 291-296. (in Chinese with English abstract)
- [18] 中国食用菌协会. 中国食用菌协会关于印发全国食用菌 2018 年度产量、产值统计调查结果的函[EB/OL]. [2020-02-24] <http://hz.cefa.org.cn/syj-door/news.html?id=19&title=%E5%8D%8F%E4%BC%9A%E5%B7%A5%E4%BD%9C>.
- [19] 全国农业技术推广中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [20] 《中国电力年鉴》委员会. 2015 中国电力年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [21] 赵鹏, 陈阜, 马新明, 等. 麦玉两熟秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(2): 162-166.
- Zhao Peng, Chen Fu, Ma Xinming, et al. Effects of integrated straw on crop yield and nitrogen balance in winter wheat and summer maize[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(2): 162-166. (in Chinese with English abstract)
- [22] 白建忠, 陈泽, 丁永锋, 等. 秸秆还田量对水旱轮作作物产量和土壤肥力的影响[J]. *土壤通报*, 2017, 48(5): 1185-1191.
- Bai Jianzhong, Chen Ze, Ding Yongfeng, et al. Effect of different straw incorporation rates on crops yields and soil fertility in the paddy upland rotation system[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48(5): 1185-1191. (in Chinese with English abstract)
- [23] 李正东, 李懋, 潘根兴, 等. 作物秸秆还田的新问题: 对河南商丘地区农民的问卷调查[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(32): 204-208.
- Li Zhengdong, Li Mao, Pan Genxing, et al. A questionnaire survey on farmers' vision from Shangqiu Municipality, Henan Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(32): 204-208. (in Chinese with English abstract)
- [24] Sanchis E, Ferrer M, Torres AG, et al. Effect of water and straw management practices on methane emissions from rice fields: A review through a meta-analysis[J]. *Environmental Engineering Science*, 2012, 29(12): 1053-1062.
- [25] Lu F, Wang X, Han B, et al. Net mitigation potential of straw return to Chinese cropland: Estimation with a full greenhouse gas budget model[J]. *Ecological Applications*, 2010, 20(3): 634-647.
- [26] 曹志宏, 黄艳丽, 郝晋珉. 中国作物秸秆资源利用潜力的多适宜性综合评价[J]. *环境科学研究*, 2018, 31(1): 179-186.
- Cao Zhihong, Huang Yanli, Hao Jinmin. Multi-sustainability comprehensive evaluation of crop straw resource utilization in China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, 31(1): 179-186. (in Chinese with English abstract)
- [27] 赵浩亮, 张旭, 翟明岭. 秸秆直燃生物质电厂动态发电成本分析[J]. *动力工程学报*, 2015, 35(5): 412-417.
- Zhao Haoliang, Zhang Xu, Zhai Minling. Analysis on dynamic cost of straw direct combustion power generation [J]. *Journal of Chinese Society of Power Engineering*, 2015, 35(5): 412-417. (in Chinese with English abstract)
- [28] 潘根兴, 李恋卿, 刘晓雨, 等. 热裂解生物质炭产业化: 秸秆禁烧与绿色农业新途径[J]. *科技导报*, 2015, 33(13): 92-101.
- Pan Genxing, Li Lianqing, Liu Xiaoyu, et al. Industrialization of biochar from biomass pyrolysis: A new option for straw burning ban and green agriculture of China[J]. *Science & Technology Review*, 2015, 33(13): 92-101. (in Chinese with English abstract)

Analysis of regional distribution patterns and full utilization potential of crop straw resources

Li Shengnan, Ji Xionghui, Deng Kai, Zhu Jian, Li Changjun, Jian Yan, Peng Hua*

(1. Hunan Institute of Agro-Environment and Ecology, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China;

2. Key Laboratory of Agro-Environment in Midstream of Yangtze Plain, Ministry of Agriculture, Changsha 410125, China;

3. Hunan Engineering Research Center for Prevention and Control of Agricultural Non-point Source Pollution in the Basin of Lake Dongting, Changsha 410125, China)

Abstract: Crop straw is a valuable biomass energy resource and raw material for livestock forage, organic fertilizer and industrial use. However, the comprehensive utilization level of straw resources in China is not high due to various reasons including agricultural intensification, capital shortage and farmers' cognition. Regional, seasonal and structural surplus of crop straw is common in China and a lot of straw is discarded and burned casually, especially in rural areas. It is not only a huge waste of resources, but also leads to serious atmosphere and soil environment pollutions. Thus, it is of great importance to improve the straw utilization rate. That take regional planning as a whole and realize full utilization of the regional total straw resources is a good strategy. Assessment of regional straw resources' quantity, type, and distribution pattern is the prerequisite to achieve regional straw resources full utilization. In addition, the utilization modes and levels of straw resources are also restricted by many other factors including the social and economic development status. Thus, to make better use of straw resources and optimize utilization structure, it is necessary to take all the above factors into comprehensive consideration, carrying out scientific layout and rational planning. Hunan province is an important agricultural province and also a main producing area of double cropping rice in China. The present study estimated the straw quantity and amount per capita of the main crops in Hunan province. The spatial distribution patterns of straw resources in Hunan province were also analyzed. In addition, the paper also analyzed the potential of full utilization of the total straw resources in the province through comparing the current straw utilization structure and quantities with their corresponding competitive straw demands. The results showed that the theoretical and collectable amount of the main crop straw resources in Hunan province in 2018 were $4\,021.7 \times 10^4$ t and $3\,039.1 \times 10^4$ t, respectively. The mean amount per capita of straw resource is only 0.68 t, which is much lower than the national average level. The straw of rice, rape, maize and vegetables accounted for 64.7%, 16.0%, 6.1% and 7.5% of the total straw resources of the Province, respectively. The various types of crop straws exhibited different spatial distribution patterns. The amount of rice, rape and vegetable straw increased from west to east and south to north in the province, whereas corn straw displayed an opposite distribution trend. Through estimating the potential utilization ways of straw resources, the competitive demand of straw in Hunan province included 887.3×10^4 t for fertilizer, 885.1×10^4 t for fodder, 65.7×10^4 t for raw material and 83.2×10^4 t for stroma material. The remaining amount of straw for potential energy utilization was $1\,117.9 \times 10^4$ t. Considering the current straw utilization structure and the results as above, the overall trend of realizing full utilization in the province should be to improve the ratio of fodder and energy utilization and slightly reduce fertilizer utilization on the basis of maintaining the amount for stroma and raw material utilization.

Keywords: crops; straw; spatial distribution; utilization structure; Hunan Province