

# Analysis on the Potential of Fertilizer Reduction Based on the Perspective of Straw Back to the Field: A Case Study of Hubei Province

Bo Liu<sup>1,2,3</sup>, Li Yang<sup>1,2,3\*</sup>, Xianpeng Fan<sup>1,3,4</sup>, Xinxing Nie<sup>1,2,3</sup>, Ying Xia<sup>1,3,4</sup>, Xiange Xia<sup>2,3,5</sup>

<sup>1</sup>Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Key Laboratory of Fertilization from Agricultural Wastes, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan Hubei

<sup>3</sup>Hubei Province Straw Agricultural Utilization Engineering Technology Research Center, Wuhan Hubei

<sup>4</sup>Qianjiang Scientific Observing and Experimental Station of Agro-Environment and Arable Land Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qianjiang Hubei

<sup>5</sup>Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan Hubei

Email: liubohz@126.com, \*yangligaofeinongye@163.com

Received: Jul. 5<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 22<sup>nd</sup>, 2020; published: Jul. 29<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

**Purpose:** To find out the quantity of crop straw resources and the amount of nutrient resources in Hubei province, the aim is to provide a scientific basis for rational use of straw resources, fertilizer reduction, improved fertilizer utilization, and food security. **Methods:** Through the investigation, the statistical annual report, the analysis of relevant research, and literature, the research estimates the amount of crop straw resources in Hubei province from 2016 to 2018, and analyzes the potential of alternative fertilizer. **Results:** The results show that the amount of crop straw resources in Hubei province is 38.42 million t; the available nitrogen, phosphorus and potassium nutrient resources are 1.1119 million t; the straw resources are most rice, mainly distributed in the main grain and cotton oil production area in Hubei Province, and the most in Fuyang City. **Conclusion:** Hubei Province's current crop theory fertilizer demand of 2.9 million t, such as straw back to the field as a measure to ensure that the current can basically meet the fertilizer consumption reduction of 20%. The reduction target has a certain scientific basis, but there is a risk of production reduction. The utilization of straw resources should be based on the principle of "Agricultural priority, returning to the field-based" as the leading principle.

## Keywords

Straw, Crop, Nutrient Resources, Chemical Fertilizer Reduction, Optimum Nutrient Rate, Hubei Province

---

\*通讯作者。

# 基于秸秆还田视角的化肥减施潜力研究——以湖北省为例

刘波<sup>1,2,3</sup>, 杨利<sup>1,2,3\*</sup>, 范先鹏<sup>1,3,4</sup>, 聂新星<sup>1,2,3</sup>, 夏颖<sup>1,3,4</sup>, 夏贤格<sup>2,3,5</sup>

<sup>1</sup>湖北省农业科学院植保土肥研究所, 湖北 武汉

<sup>2</sup>农业农村部废弃物肥料化利用重点实验室, 湖北 武汉

<sup>3</sup>湖北省秸秆农业利用工程技术研究中心, 湖北 武汉

<sup>4</sup>农业农村部潜江农业环境与耕地保育科学观测实验站, 湖北 潜江

<sup>5</sup>湖北省农业科学院, 湖北 武汉

Email: liubohz@126.com, \*yangligaofeinongye@163.com

收稿日期: 2020年7月5日; 录用日期: 2020年7月22日; 发布日期: 2020年7月29日

## 摘要

目的: 弄清湖北省农作物秸秆资源数量及其养分资源量, 旨在为合理利用秸秆资源、实现化肥减施、提高肥料利用率、和保障粮食安全提供科学依据。方法: 研究通过调查、查阅统计年报、分析相关研究、及文献资料, 对湖北省2016年~2018年农作物秸秆资源量进行了估算、并分析替代化肥的潜力。结果: 结果表明湖北省农作物秸秆资源量为3842万t, 可提供的氮、磷、钾养分资源为110.19万t, 秸秆资源以水稻最多, 主要分布在湖北省粮棉油主产区, 以襄阳市最多。结论: 湖北省目前农作物理论化肥需求量290万t, 如以秸秆还田为措施保障, 目前可基本满足化肥用量减少20%, 减量目标具有一定科学依据, 但有减产风险; 秸秆资源利用需以“农用优先、还田为主”为主导原则。

## 关键词

秸秆, 作物, 养分资源量, 化肥减施, 推荐施肥, 湖北省

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国自 21 世纪以来, 农业发展取得了巨大成就, 化肥作为作物的“粮食”, 对保障国家粮食安全发挥了巨大的作用, 但随着粮食产量的增加, 也带来了化肥使用量的持续增长。国家统计局公布的数据显示, 从 1949 年至 2015 年的六十多年时间里, 伴随着中国粮食产量从 11318.40 万 t 增长到 62143.92 万 t, 增长了 4.5 倍, 农用化肥使用量(折纯, 下同)也已于 0.6 万 t (纯养分)增加到 2015 年的 6022.6 万 t, 增长了一万倍, 化肥的大量使用对环境造成的影响已经日益显现[1] [2]。鉴于此, 2015 年原农业部正式发布了《化肥使用量零增长行动方案》, 明确提出控制化肥用量, 力争到 2020 年全国主要农作物化肥使用量实现“零增长”, 并将此纳入十九大政府工作报告。在各种技术支持、政策激励、行政干预等措施下, 我国化肥使用总量持续上涨的趋势得到减缓, 甚至出现历史性的下降。在这种历史性的转折中, 有机肥

替代化肥,对化肥使用量下降起到了重要作用。

农作物秸秆作为农业生产过程中主要的附产物,是一项重要的生物质资源,约占我国生物质总资源量的一半左右,其利用方式主要有肥料化、饲料化、基料化、能源化、原料化等。秸秆还田即是秸秆肥料化利用的重要措施,其包括粉碎直接还田、保护性耕作、腐熟还田、秸秆反应堆等[3]。秸秆中除富含丰富的纤维素、半纤维素、木质素、蛋白质和糖类等有机能源物质外,还含有氮、磷、钾大量元素以及中微量元素等养分资源[4]。秸秆还田后,除能降低土壤容重、改善土壤结构、增加土壤养分速效量、改良土壤外,还能增加土壤碳汇,维持土壤有机质平衡,而且能提高化肥利用率、实现化肥减施和促进农作物增产[5][6]。关于秸秆资源数量的估算,有许多学者采用不同的方法对其进行了研究,从全国层面上,宋大利、刘晓永、高利伟、戴志刚[7][8][9][10]等估算了我国近年不同年份作物秸秆资源数量大约在6.6~7.6亿t,作物秸秆所蕴含的养分量巨大,仅氮、磷( $P_2O_5$ )、钾( $K_2O$ )养分资源数量就分别达到600~776万t、93~249万t、941~1342万t。湖北省地处我国中南部,地貌类型复杂,水热资源充沛,是我国重要的农业大省,粮食、蔬菜、油料等占有非常重要的比例。每年产生各类农作物秸秆约为3500万t~4500万t,其中水稻、小麦和玉米等大宗农作物秸秆占70%左右。由于受机械、劳力、习惯、利用技术等影响,并不是所有的秸秆资源都能得到利用,仅每年焚烧掉的秸秆就超过780万t之多[11],这不仅造成秸秆资源的浪费,还导致了严重的环境污染。目前关于全国秸秆资源相关研究较多,包括不同区域、不同作物秸秆利用状况、分布特征、秸秆资源的养分潜力等[7][8],关于化肥减施的技术方法、效果、评价等方面研究也较多,但单从秸秆还田角度来评估化肥减施潜力的研究报道较少。

研究从秸秆还田视角入手,分析秸秆所提供的养分资源量、有效性等,来评估化肥减施目标与潜力。以湖北省为例,通过调研统计、相关研究和查阅已发表的文献,探讨和分析了主要农作物秸秆产量、养分资源数量,以期分析其对化肥替代的养分潜力,评价化肥减量目标的科学性,为秸秆资源的合理利用提供理论依据。

## 2. 材料与方 法

### 2.1. 调查区域与数据来源

湖北省地处我国南北过渡带,介于 $E108^{\circ}21' \sim 116^{\circ}07'$ 、 $N29^{\circ}25' \sim 33^{\circ}20'$ 之间,耕地面积523.6万 $km^2$ ,地貌类型复杂,农作物种类繁多。关于农业种植区划方式有很多。秦鹏程[12]依种植布局,分为鄂西中低山区、鄂北岗地、鄂中丘陵区、鄂东北低山丘陵、鄂西南东部低山丘陵区、江汉平原及鄂东沿江平原区。吴胜军[13]按照土地利用综合分区,为该分区结果将湖北省土地利用分为武汉(鄂东)都市圈协调发展区、鄂中南农业生态协调发展区、鄂西南绿色经济协调发展区、鄂西北林业生态协调发展区。该文采取了传统的行政区划进行研究,但将仙桃、天门、潜江三个省直管市和神农架林区合并为单列市。

该文中所涉及的农作物产量、面积、化肥用量等,均来自于《湖北省统计年鉴》2016~2018年[14]。

### 2.2. 秸秆及其养分资源估算

#### 2.2.1. 草谷比及其秸秆养分参数

秸秆资源数量的统计一直未被列入国家有关部门的统计范围,主要靠估算的方式获得。估算方法一般包括草谷比法、农作物副产品比重法、农作物收获指数法等[3][7][8][15],其中最主要是草谷比法。

研究通过收集、整理和分析大量的文献资料、研究报告,尤其湖北省内不同作物品种的草谷比,进行加权平均;对于油料(含油菜、花生、芝麻)、蔬菜(含叶菜、果菜、食用菌)等大类作物,除了考虑不同作物类型的草谷比外,还考虑了各作物种植面积的权重因子。作物产量中蔬菜类按15%计算风干基[16][17][18],其他作物就统计数作为风干基础(表1)。

根据作物产量(风干基), 计算秸秆产量(Wj), 然后根据秸秆养分含量计算养分资源量。计算公式为:

$$W_i = Y_i \times R_i \quad (1)$$

$$WN(N) = W_i \times N_i \quad (2)$$

$$WP(P_2O_5) = W_i \times P_i \times 2.29 \quad (3)$$

$$WK(K_2O) = W_i \times K_i \times 1.2 \quad (4)$$

式中:  $W$  为农作物秸秆资源数量;  $Y$  为农作物的经济产量;  $R$  为农作物的草谷比;  $WN$  为秸秆氮素(N)养分资源量;  $WP$  为秸秆磷素( $P_2O_5$ )养分资源量;  $WK$  为秸秆钾素( $K_2O$ )养分资源量;  $N_i$ 、 $P_i$ 、 $K_i$  分别为农作物秸秆氮素、磷素、钾素养分含量; 2.29、1.2 分别为单质磷折算为五氧化二磷( $P_2O_5$ )、单质钾折算为氧化钾( $K_2O$ )的系数。

具体参数确定时, 除了团队研究外[12] [16] [19], 还参考了《中国有机肥料资源志》[17]、全国农业技术推广服务中心《中国有机肥料养分数据集》[18]。

**Table 1.** The grass-valley ratio and straw nutrient content of different crops

**表 1.** 不同农作物草谷比和秸秆养分含量

作物种类 crops	草谷比 Straw to grain ratio	秸秆养分含量(%) Nitrogen, phosphorus and potassium contents (%)		
		N	$P_2O_5$	$K_2O$
水稻 rice	1.08	0.82	0.20	2.02
小麦 wheat	1.39	0.58	0.13	1.21
玉米 maize	1.29	0.87	0.21	1.05
薯类 potato crops	0.77	1.97	0.43	1.93
大豆 soybeans	1.41	1.03	0.30	0.87
棉花 cotton	2.19	0.85	0.22	1.63
油料 oil crops	2.45	1.03	0.32	1.36
蔬菜 vegetables	0.11	3.81	0.47	3.29

### 2.2.2. 不同作物基于经济产量的养分吸收量

不同作物根据收获物(籽粒)中 N、P、K 含量、养分需求系数、及作物经济产量, 可以推算出不同作物单位经济产量所需吸收的养分数量(表 2)。在相应的指标确定时, 采用加权平均法获得。

**Table 2.** Amount of nutrients absorbed per unit of economic output of different crops (kg/t)

**表 2.** 不同作物单位经济产量所需吸收的养分数量(kg/t)

作物种类 crops	N	$P_2O_5$	$K_2O$
水稻 rice	14.60	6.20	19.20
小麦 wheat	24.60	8.50	27.70
玉米 maize	25.80	9.80	27.80
薯类 potato crops	5.30	1.40	6.00
大豆 soybeans	81.40	23.00	32.00
棉花 cotton	75.70	20.80	84.90
油料 oil crops	43.00	27.00	87.00
蔬菜 vegetables	3.60	1.60	5.10
其他 others	34.25	12.29	36.21

## 2.3. 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 处理数据。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 湖北省农作物秸秆资源数量与分布状况

根据近三年(2016~2018年)农作物的平均产量,及其与之相对应的草谷比,乘积获得作物秸秆资源数量,其他(如烟草、中药材等)作物产量按统计的8种(类)作物的10%计。通过统计,湖北省主要农作物秸秆资源数量为3842万t(表3)。

**Table 3.** Amount of crop straw resources in Hubei province ( $10^4$  t)

**表 3.** 湖北省农作物秸秆资源数量(万 t)

区域 area	水稻 rice	小麦 wheat	玉米 maize	薯类 potato crops	大豆 soybeans	棉花 cotton	油料 oil crops	蔬菜 vegetables	其他 others
武汉市 wuhan	97.35	6.79	12.61	2.08	2.61	2.70	4.72	3.86	13.27
黄石市 Huangshi	51.61	4.49	5.19	2.90	0.97	0.83	3.94	1.84	7.18
十堰市 Shiyan	25.54	29.86	42.16	13.90	5.43	0.02	17.89	3.61	13.84
荆州市 Jinzhou	254.97	42.75	37.89	6.03	6.87	9.94	14.08	5.50	37.80
宜昌市 Yichang	113.67	107.52	90.26	14.39	2.46	2.77	17.72	9.39	35.82
襄阳市 Xiangyang	139.75	200.05	70.41	10.00	1.62	3.64	12.90	0.83	43.92
鄂州市 Ezhou	100.20	19.83	11.78	1.51	2.85	1.04	3.63	5.45	14.63
荆门市 Jingmen	205.48	55.86	21.89	4.07	4.57	3.31	8.20	5.45	30.88
孝感市 Xiaogan	264.44	53.28	10.83	4.06	5.28	6.41	9.75	9.55	36.36
黄冈市 Huanggang	272.30	22.11	8.75	16.13	3.65	7.25	21.92	7.16	35.93
咸宁市 Xianning	97.47	3.24	10.38	5.08	1.79	0.84	6.74	3.45	12.90
随州市 Suizhou	112.26	51.56	7.79	4.85	0.82	1.55	6.19	2.93	18.79
恩施州 Enshi	38.28	1.50	85.47	36.11	5.27	0.00	41.35	5.30	21.33
单列市 single-row	161.38	46.54	16.89	3.25	11.36	8.22	13.09	5.63	26.64
合计 total	1934.70	645.38	432.32	124.35	55.54	48.51	182.13	69.95	349.29

从表3可以看出,湖北省秸秆资源主要以水稻为主,占50.35%,其次分别为小麦、玉米,分别占16.80%、11.25%,薯类、大豆、棉花、油料、蔬菜、及其他分别占比3.24%、1.45%、1.26%、4.74%、1.82%和9.09%。

从农作物秸秆分布区域看,以襄阳市分布最多,占12.57%,第二层次的有荆州、宜昌、孝感、黄冈、

和荆门市、分布占 10.82%、10.25%、10.41%、10.29%、和 8.84%，单列市占比 7.63%，主要为仙桃、天门、和潜江，神龙架在单列市中占比极少(2.85%)，这些区域也是湖北省粮棉油主产区。其他市州占比相对较小，分别为武汉 3.80%、黄石 2.05%、十堰 3.96%、鄂州 4.19%、咸宁 3.69%、随州 5.38%、恩施 6.11%。

### 3.2. 农作物秸秆养分资源量

按照农作物的秸秆资源数量，及与之对应的秸秆中养分含量，乘积获得秸秆养分资源量(表 4)。

**Table 4.** Amount of straw nutrient resources in Hubei province ( $10^4$  t)

**表 4.** 湖北省秸秆养分资源量(万 t)

作物 crops	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	合计
水稻 rice	15.86	3.87	39.08	58.81
小麦 wheat	3.74	0.84	7.81	12.39
玉米 maize	3.76	0.91	4.54	9.21
薯类 potato crops	2.45	0.53	2.40	5.38
大豆 soybeans	0.57	0.17	0.48	1.22
棉花 cotton	0.41	0.11	0.79	1.31
油料 oil crops	1.88	0.58	2.48	4.94
蔬菜 vegetables	2.67	0.33	2.30	5.30
其他 others	4.79	1.01	5.83	11.63
合计 total	36.13	8.35	65.71	110.19

农作物秸秆是农业生产过程中的重要副产物，其含有丰富的养分物质。由表 5 可以看出，湖北省秸秆养分资源总量可达 110.19 万 t，富含的 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的养分量分别为 36.13 万 t、8.35 万 t 和 65.71 万 t，其中由于水稻的秸秆量最大，能提供的氮、磷、钾养分量也将最多，总量可达 58.81 万 t。

### 3.3. 农作物化学养分需求量

农作物化学养分需求量的估算，可以通过作物经济产量中 N、P、K 的含量，推算单位经济产量所需吸收的养分数量获得。

湖北省近三年(2016~2018 年)播种面积变幅较小，基本稳定 790.9 万 hm<sup>2</sup>~798.6 万 hm<sup>2</sup> 之间。以 2017 年农作物播种面积(795.6 万 hm<sup>2</sup>)为基数，及不同作物单位经济产量所需吸收的养分数量(表 2)，乘积获得农作物化学养分需求量(表 5)。

**Table 5.** Crop requirement of chemical nutrients in Hubei province

**表 5.** 湖北省农作物化学养分需求量

作物种类 crops	播种面积(万 hm <sup>2</sup> ) cultivated area ( $10^4$ hm <sup>2</sup> )	化学养分需求量(万 t) Demand for crop chemical nutrients (Unit: $10^4$ t)			
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	合计 total
作物 crops	236.8	28.25	12.00	37.15	77.39
水稻 rice	115.3	15.88	5.49	17.88	39.24
小麦 wheat	79.5	11.15	4.24	12.02	27.41
玉米 maize	28.3	0.66	0.17	0.75	1.58
薯类 potato crops	21.2	4.52	1.28	1.78	7.58



Continued

大豆 soybeans	20.5	3.67	1.01	4.12	8.80
棉花 cotton	126.4	7.83	4.92	15.85	28.59
油料 oil crops	128.1	24.00	10.67	34.00	68.67
蔬菜 vegetables	39.5	11.96	4.29	12.65	28.90
其他 others	795.6	107.92	44.06	136.18	288.16

从表 5 可以看出, 湖北省农作物包括水稻、小麦、玉米、薯类、大豆、棉花、油料、蔬菜和其他作物, 产量为 3524 万 t, 作物理论化学养分需求量为 288.16 万吨, 其中 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 需求量分别为 107.92 万 t、44.06 万 t、136.18 万 t, 需求比例为 1:0.41:1.26 (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O)。湖北省农业生产中, 水稻、小麦、玉米为主要的三大粮食作物, 占据主要地位, 这三类粮食作物所需 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 养分量, 达到 55.28 万 t、21.71 万 t、67.04 万 t, 分别占总量的 51.22% (N)、49.27% (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 和 49.30% (K<sub>2</sub>O), 虽然小麦对氮、磷、钾的需求量都略高于水稻, 但由于水稻的播种面积远高于小麦(2017 年水稻为 236.8 万 hm<sup>2</sup>, 小麦为 115.3 万 hm<sup>2</sup>), 水稻仍是总养分需求量的大户作物, N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 需求量分别为 28.25 万 t、12.00 万 t、37.15 万 t, 占总养分需求量的 26.86%。

### 3.4. 作物化肥需求量

根据不同作物根据其营养特性、目标产量、作物营养特性等, 结合试验示范、及生产实践, 科技(农技)部门会有相应的推荐施肥量(OPT), 结合播种面积获得基于推荐施肥的农作物化肥需求量(表 6)。

**Table 6.** Crop requirement of chemical nutrients based on recommended fertilization (10<sup>4</sup> t)

**表 6.** 基于推荐施肥量的农作物化肥需要量(万 t)

作物 crops	推荐施肥量(kg/hm <sup>2</sup> ) optimum nutrient rate (kg/hm <sup>2</sup> )			化肥需求量(万吨) fertilizer requirements (10 <sup>4</sup> t)				参考文献 reference documents
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	合计 total	
水稻 rice	180.2	67.9	109.9	42.67	16.08	26.02	84.77	[16] [20]-[27]
小麦 wheat	162.9	79.4	86.5	18.78	9.15	9.97	37.91	[16] [20] [28] [29] [30] [31]
玉米 maize	213.7	83.0	103.1	16.99	6.60	8.20	31.78	[28] [30] [31] [32] [33]
薯类 potato crops	169.0	95.0	174.8	4.78	2.69	4.95	12.42	[34] [35]
大豆 soybeans	75.5	74.0	59.9	1.60	1.57	1.27	4.44	[36] [37]
棉花 cotton	243.3	93.8	103.5	4.99	1.92	2.12	9.03	[38]
油料 oil crops	175.4	88.7	98.2	22.17	11.21	12.41	45.79	[39] [40] [41]
蔬菜 vegetables	195.4	87.4	124.6	25.03	11.20	15.96	52.19	[17]
其他 others	157.3	83.2	107.3	6.21	3.29	4.24	13.74	

从表 6 看出, 以推荐施肥量推算, 湖北省 2018 年农作物理论上需求化肥总量(折纯)为 292.08 万 t, 其中 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 分别为 143.23 万 t、63.71 万 t、85.14 万 t, 需求比例为 1:0.44:0.59。

## 4. 讨论与结论

### 4.1. 秸秆还田替代化肥潜力

比较通过农作物化学养分需求量及推荐施肥获得的化肥需求量, 二者甚为相近, 分别为 288.16 万 t

和 292.08 万 t, 取二者中值 290 万 t 为预测值, 来估算目前湖北省化肥的减施量。2010~2015 年 6 年平均播种面积 792.6 万  $\text{hm}^2$ , 平均化肥施用量 344.3 万 t, 当施肥量减至 290 万 t 时, 减施比例为 15.7% (表 7)。

**Table 7.** Changes in planting area and fertilizer application amount in Hubei province in recent years

**表 7.** 湖北省近年播种面积与化肥施用量变化

年份 year	播种面积(万 $\text{hm}^2$ ) cultivated area ( $10^4 \text{hm}^2$ )	化肥施用量(万 t) Application amount of chemical fertilizers ( $10^4 \text{t}$ )	相比预测值的减施量(%) Reduction rate as compared with predicted value (%)
2010 年	799.8	350.77	-
2014 年	779.5	348.27	-
2015 年	798.6	333.87	-
2016 年	790.9	327.96	11.6
2017 年	795.6	317.93	8.8

按国家“一控两减三基本”要求, 以 344.3 万 t 为基数, 至 2020 年减施 10% 目标, 化肥量应为 310 万 t, 至 2025 年减施 20% 为 275 万 t。湖北省秸秆养分资源总量为 3842 万 t, 秸秆养分量 110.19 万 t, 其中 N、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  的养分量分别为 36.13 万 t、8.35 万吨和 65.71 万 t。按我国目前秸秆还田率为 50% 左右 [42] [43], 可提供约 55 万 t 化学养分。

考虑到秸秆的腐解周期、养分释放、矿化效率等因素对秸秆养分有效性的影响, 半量还田提供的有效养分供给率为 32%~77%, 即 17.6 万 t~42.35 万 t [8]。化肥减施行动前的基数减量 20% 目标 275 万 t, 辅以秸秆半量还田带来的化学养分, 化肥及其秸秆带来的有效养分为 292.6 万 t~317.4 万 t, 其下限已与 290 万 t 的作物养分需求量相当, 表明以目前湖北省的农作物种植秸秆、面积、产量来看, 以 2010~2015 年化肥施用量为基数, 提出 20% 的化肥减量目标, 具有一定的科学依据, 但必须基于秸秆还田的有机替代作为其行动的保证, 高于 20% 的减量目标可能会因为养分资源量的不足导致减产风险, 除非辅以其他的减肥技术与措施。

事实上, 秸秆资源的肥料化(直接还田)利用虽然呈上升趋势(表 8) [7] [42] [43], 但还田率也仅仅在 50% 左右, 考虑到不同区域、不同作物之间的差异, 秸秆还田带入的养分可能更低。因此, 在秸秆资源众多的利用方式中, “农用优先、还田为主”才是主导原则, “多元利用”只可作为锦上添花之策。

**Table 8.** Change of straw resource utilization in China (%)

**表 8.** 中国秸秆资源利用率变化情况(%)

年份 Year	肥料化 Fertilizer	饲料化 Fodder	基料化 Substrate
2000	36.6	22.6	
2006	30.0	18.0	2.3
2011	37.9	13.8	37.9
2016	53.9	23.4	5.0

再者, 不同作物间施肥不平衡, 本省过去的研究中, 经济作物(蔬菜、柑橘、油料等)施肥量明显高于粮食作物(水稻、小麦、玉米) [44] [45] [46] [47] [48], 按 20% 的减量目标, 经济作物则比粮食作物安全, 粮食作物减产风险相对较大。



## 4.2. 秸秆资源利用以“农用优先、还田为主”的主导原则

目前化肥减施行动按计划推进, 秸秆还田起到了积极的作用, 但在提高作物秸秆还田比率、秸秆养分的合理利用、秸秆还田后的化肥施用技术等方面, 仍有较大的提高空间。

### 1) 加大秸秆养分资源利用力度

农作物秸秆是农业生产中主要的产物之一, 也是主要的农业废弃物, 其中富含氮、磷、钾大量元素、及其他矿质元素, 对其实现资源化利用, 对促进农业的可持续发展、保护环境和维护生态平衡方面起到重要作用。因气候条件不同、品种差异, 作物的生物产量和养分吸收量也会存在差别, 秸秆养分资源量也不尽相同。随着施肥措施日益完善, 施肥技术的进步, 将会有更多的秸秆资源得到收集利用, 秸秆养分资源量也可能随之增加。

秸秆养分资源的合理利用, 不但可以降低环境污染, 同时能够促进化肥减施, 提高秸秆养分资源利用效率。目前我国农作物秸秆资源, 主要通过“五化”方式(肥料化、饲料化、基料化、能源化、原料化)被利用, 但强调秸秆高效、高值化利用的观点一直被热烈推崇, 而从养分归还理论、稻草永远变不成金条的角度, 秸秆还田才是其最主要的去处。

### 2) 加强化肥配合秸秆还田的利用技术

秸秆种类不同, 其养分含量也有差别, 而且秸秆养分并不能被作物全部吸收, 其有效性受秸秆类型、腐解速率、养分矿化等因素影响, 存在一定幅度的变化波动。湖北地处长江中下游地区, 是我国三大粮食作物的主产区之一, 且作物复种指数高, 秸秆量较大, 加速秸秆的腐解和提高秸秆养分的有效性是迫切需要解决的问题。

秸秆的 C/N 对秸秆腐解速度[49]有一定影响, 秸秆还田后, 整体上一般存在腐解速率较慢、养分释放延迟的现象; 但全期表现为前期快, 后期较慢的特点, 其与化肥配施可提高农田养分循环利用效率及肥料利用率。

秸秆还田后, 对化肥氮磷钾的应有相应的调整。单鹤翔[50]等认为施氮肥过多也会导致作物秸秆氮的损失越多, 在秸秆长期还田下不仅需要考虑当季作物对秸秆养分的吸收, 还需考虑秸秆养分的后效问题; 戴志刚[51]认为秸秆还田后应该调整钾肥的施用时期与施用量, 减少苗期基肥的施用量, 增加追肥的用量, 使作物整个生长期内钾素较为充裕; 但是由于秸秆中氮、磷含量较低, 释放速度相对较慢, 秸秆还田腐解初期易产生微生物与作物竞争营养元素的现象, 因此秸秆还田后应配施一定量的氮、磷肥。

因此, 在秸秆还田中需综合考虑秸秆种类、土壤、气候等因素, 根据秸秆养分释放规律及其有效性特点, 按不同区域、不同秸秆资源结构类型、气候水分条件等, 因地制宜、科学安排, 完善化肥配合秸秆还田的利用技术, 提高秸秆的有效性和利用率。

## 4.3. 秸秆还田代替化肥减量所带来的风险

秸秆还田是秸秆综合利用中最主要的途径, 同时也面临“怎么还”、“还得好”等问题。而随着全国多地禁烧立法, 其也由一项农事操作变为了政治任务。秸秆还田的正效应很多, 但也仍然存在风险。

### 4.3.1. 秸秆还田也会带来环境问题

秸秆还田增加了稻田温室气体排放。有研究表明, 秸秆还田后稻田  $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  周年排放总量相比无秸秆还田会增加, 增温潜势增加, 短期内稻麦两熟高产农田的温室效应明显提高[52] [53]。

湖北省稻麦轮作是湖北省主要耕作模式之一, 常年稳定在 115 万  $\text{hm}^2$ , 为减轻因秸秆还田带来温室气体排放增加, 结合湖北省小麦收割至水稻栽插季节, 正处于梅雨期的气候特点, 可有计划、间歇式适度减少小麦季秸秆还田, 以控制稻田温室气体排放。同时可避免因小麦秸秆还田后如遇暴雨, 稻田径流

中富含麦秸腐解产物，增加水体污染风险的可能。

#### 4.3.2. 秸秆还田导致的病虫害加重及减产风险

由于部分农作物秸秆在生长、收获过程中自身携带病原体、虫卵、草籽等，导致还田时将这些病原体、虫卵、草籽还入土壤中，从而造成病虫害发生。赵秀玲[54]研究发现秸秆还田后，小麦纹枯病、全蚀病、根腐病三大土传病害发病率都有所上升；穆长安[55]发现秸秆还田后，小麦纹枯病、全蚀病、二点委夜蛾加重，赤霉病由偶发病害变为常发病害等等，都需引起重视。

有少数试验结果显示秸秆还田影响作物前期生长或前几茬的作物产量[56] [57]，但随着生育期延长或还田季节增加，其秸秆还田的优势会逐渐显现。应加强这方面的研究。

#### 4.4. 结论与启示

湖北省目前农作物秸秆资源数量为 3842 万吨，主要以水稻为主，占 50.35%，秸秆养分资源总量可达 110.19 万 t。可以从加大秸秆养分资源利用力度、加强化肥配合秸秆还田的利用技术等方面加强研发与技术推广，以利提高秸秆资源充分利用，实现化肥施用零增长，保障国家粮食安全。

湖北省化肥减施行动前的基数减量 20% 目标 275 万 t，配合辅以秸秆还田半量还田带来的 17.6 万 t~42.35 万 t 有效化学养分，可以满足 290 万 t 的化肥需求预测，但 20% 的减量目标可能是上限，并须以强化秸秆还田为其措施保障，否则可能造成减产风险。湖北省目前农作物秸秆资源化利用，“农用优先、还田为主”应为主导原则。

#### 基金项目

国家重点研发计划项目(2016YFD0200807)，湖北省技术创新专项(2018ABA091)。湖北省农科院重大成果培育项目(2017CGPY01)。

#### 参考文献

- [1] 张福锁. 中国肥料产业与科学施肥战略研究报告[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
- [2] 麻坤, 刁钢. 化肥对中国粮食产量变化贡献率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 1113-1120.
- [3] 郑军, 史建民. 我国农作物秸秆资源化利用的特征和困境及出路——以山东为例[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(3): 354-358.
- [4] 田慎重, 郭洪海, 董晓霞, 董亮, 郑东峰, 孙泽强, 王学君, 刘盛林. 耕作方式转变和秸秆还田对土壤活性有机碳的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 39-45.
- [5] 刘禹池, 冯文强, 秦鱼生, 曾祥忠, 周相玉, 王昌全, 涂仕华. 长期秸秆还田与施肥对成都平原稻麦轮作下作物产量和土壤肥力的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(1): 240-247.
- [6] 李明德, 吴海勇, 聂军, 石生伟. 稻草及其循环利用后的有机废弃物还田效用研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(17): 3572-3579.
- [7] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 梁国庆, 周卫. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 1-21.
- [8] 刘晓永, 李书田. 中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2017, 33(21): 1-19.
- [9] 高利伟, 马林, 张卫峰, 王方浩, 马文奇, 张福锁. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-179.
- [10] 戴志刚, 鲁剑巍, 周先竹, 杨文兵, 胡劲红, 易妍睿, 刘涛. 中国农作物秸秆养分资源现状及利用方式[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(1): 27-29.
- [11] 李继福, 付国星, 梅青青, 李文君, 王昌. 湖北省主要农作物秸秆资源分布特征及还田现状[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2016, 13(21): 47-51.
- [12] 秦鹏程, 万素琴, 邓环, 邓敏. 湖北省水稻种植布局精细化气候区划[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(16): 4150-4153.

- [13] 吴胜军, 洪松, 任宪友, 李涛, 薛怀平, 蔡述明, 马奇. 湖北省土地利用综合分区研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2007, 41(1): 138-141.
- [14] 《湖北统计年鉴》编纂委员会. 湖北统计年鉴 2016 年、2017 年、2018 年[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017, 2018, 2019.
- [15] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [16] 徐大兵, 赵书军, 陈云峰, 袁家富, 刘冬碧, 邱正明, 夏贤格. 湖北省蔬菜废弃物资源量估算与分布特征[J]. 中国蔬菜, 2019(4): 66-72.
- [17] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料资源志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [18] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分数据集[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999.
- [19] 杨利, 张建峰, 张富林, 范先鹏, 杨俊诚, 杨永成, 熊桂云, 吴运明, 余延丰, 符家安. 长江中下游地区氮肥减施对稻麦轮作体系作物氮吸收、利用与氮素平衡的影响[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 195-202.
- [20] 李鸿伟, 杨凯鹏, 曹转勤, 王志琴, 杨建昌. 稻麦连作中超高产栽培小麦和水稻的养分吸收与积累特征[J]. 作物学报, 2013, 39(3): 464-477.
- [21] 董作珍, 吴良欢, 柴婕, 陈远利, 朱跃忠. 不同氮磷钾处理对中浙优 1 号水稻产量、品质、养分吸收利用及经济效益的影响[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(4): 399-407.
- [22] 张智, 李小坤, 丛日环, 任涛, 黄铁平, 鲁艳红. 稻田优化施肥效果与氮、磷环境效益评价[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 906-915.
- [23] 蒋鹏, 熊洪, 朱永川, 张林, 周兴兵, 刘茂, 郭晓艺, 徐富贤. 施氮量和氮肥运筹模式对糯稻养分吸收积累和氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2016, 42(4): 349-353.
- [24] 王旭, 冯跃华, 李杰, 吴彦利, 麻井彪, 李香玲, 叶勇, 黄佑岗, 牟桂婷. 氮磷钾肥对超级杂交水稻 Q 优 6 号干物质积累、养分吸收及产量的影响[J]. 中国稻米, 2016, 22(6): 25-29.
- [25] 李娟, 章明清, 孔庆波, 姚宝全, 刘德友. 构建县域早稻氮磷钾施肥的系统聚类方法研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 531-538.
- [26] 曾艳, 谢如林, 黄金生, 周柳强, 区惠平, 朱晓晖, 谭宏伟. 广西早晚稻氮磷钾锌肥施肥效应[J]. 西南农业学报, 2016, 29(4): 831-836.
- [27] 徐新朋, 王秀斌, 李大明, 柳开楼, 余喜初, 梁国庆, 何萍, 周卫. 双季稻最佳磷肥和钾肥用量与密度组合研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 598-608.
- [28] 王永华, 黄源, 辛明华, 苑沙沙, 康国章, 冯伟, 谢迎新, 朱云集, 郭天财. 周年氮磷钾配施模式对砂姜黑土麦玉轮作体系籽粒产量和养分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(6): 1031-1046.
- [29] 雷之萌, 韩上, 武际, 朱林, 汪建来, 何贤芳. 淮北砂姜黑土区氮钾配施对小麦产量及氮、钾养分吸收利用的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(2): 161-167.
- [30] 刘德平, 杨树青, 史海滨, 郑晓波, 孙玲玉, 常春龙. 小麦/玉米套作条件下氮、磷配施的肥料效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(3): 136-142.
- [31] 王宜伦, 自由路, 王磊, 刘举, 韩燕来, 谭金芳. 基于养分专家系统的小麦-玉米推荐施肥效应研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(22): 4483-4492.
- [32] 王红军, 张静, 皇甫自起, 张慎举, 田伟, 纪磊, 赵永梅. 豫东平原超高产夏玉米测土配方施肥技术参数研究[J]. 土壤与作物, 2017, 6(1): 55-60.
- [33] 邓小强, 邓金池, 汪亮, 龚雪飞, 李天书. 氮磷钾配施对杂交玉米禾玉 9566 农艺性状、产量与养分吸收利用的影响[J]. 作物杂志, 2016(4): 156-161.
- [34] 刘润梅, 范茂攀, 付云章, 周军, 郑毅, 汤利. 云南省马铃薯施肥量与化肥偏生产力的关系研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 753-760.
- [35] 王涛, 何文寿, 姜海刚, 王耀科, 党柯柯, 赵小霞. 氮磷钾不同用量对马铃薯产量和淀粉含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 80-86.
- [36] 魏丹, 李艳, 李玉梅, 金梁, 王伟, 蔡姗姗, 李婧. 氮磷钾元素对黑龙江不同地区大豆产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(1): 87-91.
- [37] 李玉影, 刘双全, 姬景红, 佟玉欣, 郑雨, 刘颖. 黑龙江省不同农业生态区大豆平衡施肥效果研究[J]. 大豆科学, 2015, 34(6): 1029-1038.

- [38] 李鹏程, 郑苍松, 孙淼, 庞朝友, 张思平, 刘绍东, 陈静, 李亚兵, 董合林, 赵新华. 棉花施肥技术与营养机理研究进展[J]. 棉花学报, 2017, 29(z1): 118-130.
- [39] 张萌, 王寅, 任涛, 李小坤, 李继福, 丛日环, 陈正刚, 朱青, 鲁剑巍. 施肥对贵州直播油菜产量和养分吸收的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(3): 369-373.
- [40] 王红军, 张静, 皇甫自起, 张慎举, 郭振升. 豫东平原高产花生施用氮磷钾肥增产效应研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(13): 1-5.
- [41] 颜明娟, 章明清, 李娟, 孔庆波, 林琼, 姚宝全. 福建花生测土配方施肥指标体系研究 [J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(3): 424-430.
- [42] 张国, 逯非, 赵红, 杨广斌, 王效科, 欧阳志云. 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.
- [43] 石祖梁, 贾涛, 王亚静, 王久臣, 孙仁华, 王飞, 李想, 毕于运. 我国农作物秸秆综合利用现状及焚烧碳排放估算[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(9): 32-37.
- [44] 刘云, 黎纯斌, 杨青, 胡海荣, 余丹丹, 李金鹏, 韩玉萍, 杨孔涛. 宜昌市窑湾乡柑橘园施肥现状及土壤肥力调查研究[J]. 现代农业科技, 2012(6): 286-287+292.
- [45] 邹娟, 汤颢军, 朱展望, 刘易科, 佟汉文, 陈冷, 张宇庆, 高春保. 湖北省小麦施肥现状及分析[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(23): 5848-5852.
- [46] 邓中华, 徐维明, 杨运清, 任涛, 丛日环, 潘琴. 鄂中主产区油菜施肥现状、问题及对策[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(18): 4412-4415+4467.
- [47] 肖兴军. 襄樊市主要农作物施肥现状及对策[J]. 湖北农业科学, 2003(4): 61-63.
- [48] 刘冬碧, 余延丰, 范先鹏, 熊桂云, 陈防, 杨永成, 殷辉. 湖北潮土区不同轮作制度下土壤养分平衡状况与评价 [J]. 土壤, 2009, 41(6): 912-916.
- [49] 李昌明, 王晓玥, 孙波. 不同气候和土壤条件下秸秆腐解过程中养分的释放特征及其影响因素[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1206-1217.
- [50] 单鹤翔, 卢昌艾, 张金涛, 王金洲, 徐明岗. 不同肥力土壤下施氮与玉米秸秆还田对冬小麦氮素吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 35-41.
- [51] 戴志刚, 鲁剑巍, 李小坤, 鲁明星, 杨文兵, 高祥照. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276.
- [52] 逯非, 王效科, 韩冰, 欧阳志云, 郑华. 稻田秸秆还田: 土壤固碳与甲烷增排[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 99-108.
- [53] 张岳芳, 陈留根, 朱普平, 张传胜, 盛婧, 王子臣, 郑建初. 秸秆还田对稻麦两熟高产农田净增温潜势影响的初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(8): 1647-1653.
- [54] 赵秀玲, 任永祥, 赵鑫, 濮超, 张向前, 张海林. 华北平原秸秆还田生态效应研究进展[J]. 作物杂志, 2017(1): 1-7.
- [55] 穆长安, 李志. 秸秆还田对黄淮地区农作物病虫害的影响及防治对策[J]. 安徽农业科学, 2016(11): 179-180.
- [56] 谢仁康, 谢成林, 孔祥英, 赵国金, 徐德全. 麦后水、旱直播稻秸秆还田效果对比试验[J]. 北方水稻, 2010, 40(3): 33-35.
- [57] 徐德全, 潘静, 耿义高. 秸秆全量还田与未还田对机插秧发苗动态及产量的影响[J]. 现代农业科技, 2011(9): 44-45.