

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22226

武穴市秸秆和畜禽粪污还田化肥减量潜力及土地承载力分析

侯素素¹, 巩细民², 朱克锋³, 吴海亚⁴, 田贵生⁴, 周洁⁴, 彭相荣⁴, 丛日环^{1*}, 鲁剑巍¹

(1. 华中农业大学资源与环境学院/农业农村部长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北 武汉 430070;

2. 湖北省耕地质量与肥料工作总站, 湖北 武汉 430070; 3. 湖北省武穴市畜牧兽医局,

湖北 黄冈 435400; 4. 湖北省武穴市农业农村局, 湖北 黄冈 435400)

摘要: 武穴市是湖北省种植和养殖大市, 估算其农作物秸秆、畜禽粪污资源, 评估其土地承载力, 探讨绿色种养的节约化肥潜力对实现武穴市农业绿色发展具有重要意义。基于统计数据, 估算了武穴市主要农作物秸秆、畜禽粪污养分资源量及其化肥替减的潜力, 并评估了当前土地承载力及土地承载力指数。结果表明, 2020年武穴市产生主要农作物秸秆资源 53.19 万 t, 畜禽养殖 95.33 万头猪当量。秸秆和畜禽粪污养分资源理论可还田量(折纯)分别为 1.19 万、0.82 万 t, 分别可替代武穴市当年化肥消费量的 27.4% 和 18.9%, 理论可实现化肥节约成本分别为 6192.76 万和 4077.36 万元, 共计 10270.12 万元。2020 年武穴市畜禽粪污氮、磷土地承载力指数分别为 0.80、0.48, 目前畜禽养殖量没有超过武穴市土地承载力, 但已接近氮承载力的上限。

关键词: 秸秆资源量; 畜禽粪污; 养分资源量; 化肥替减; 土地承载力

化肥的大量施用保障农产品实现高产稳产^[1]的同时, 也增加了局部土壤质量恶化和环境污染的风险^[2-5]。2015 年原国家农业部发布《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》^[6], 我国国民经济和社会发展第十三个五年计划期间实现了肥料消费量持续下降, 2020 年三大粮食作物肥料利用率较 2015 年提高了 5 个百分点, 同时全国秸秆综合利用率达 86%, 畜禽粪污综合利用率达 75%^[7]。在《“十四五”循环经济发展规划》^[8]和《“十四五”推进农业农村现代化规划》^[9]中要求, 到 2025 年, 农作物秸秆综合利用率和畜禽粪污综合利用率分别保持在 86% 和 80% 以上, 通过构建种养循环发展机制^[10-11], 可以增加有机肥替代化肥潜力、降低环境风险, 实现有机废弃物资源高效利用。

近年来, 秸秆和畜禽粪污的综合治理成为我国农业可持续发展面临的重要课题。随着我国种植业

和养殖业的规模化发展, 畜禽粪污产量逐年增加, 局部地区土地承载力指数超过了环境风险阈值。例如 2017 年安徽省有 6 个县属于环境污染高风险区^[12], 2019 年烟台市 15 个县市区中有 13 个土地承载力指数超标^[13]。研究表明, 湖北省畜禽粪污产生量较大^[14], 2011 年土地氮、磷负荷高于全国平均水平^[15]。此外, 湖北省的秸秆资源量丰富, 2015 年秸秆养分资源量排名全国第 9^[16]。合理利用丰富的秸秆和畜禽粪污养分资源是实现化肥减量的重要途径。研究表明, 连续秸秆还田可替减化肥 20% ~ 50%^[17-19]、有机肥可替减化肥 10% ~ 50%^[20-22]。

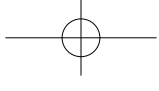
武穴市位于长江中下游地区, 以平原丘陵为主, 近 30 年平均温度为 16.8℃, 年均降水量 1427.9 mm, 年均日照时数为 1913.5 h。光、温、雨、热资源充沛, 发展种植业和畜牧业的条件优越, 是全国闻名的粮食生产基地和养殖市。本文从养分资源利用的角度出发, 收集相关统计数据, 估算了 2020 年武穴市的主要农作物秸秆和畜禽粪污养分资源产生量以及农用地的畜牧业环境承载力, 对比同期化肥消费量, 探讨了主要农作物秸秆和畜禽粪污养分资源对化肥的节肥潜力和成本的影响, 为实现武穴市绿色种养循环和化肥减量提供数据支撑。

收稿日期: 2022-04-13; 录用日期: 2022-06-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1901200); 湖北省现代农业产业技术体系(HBH2D-ZB-2020-005); 武穴市绿色种养循环农业试点工作。

作者简介: 侯素素(1999-), 在读硕士研究生, 主要从事作物养分管理与土壤肥力培育方面研究。E-mail: housusu@webmail.hzau.edu.cn。

通讯作者: 丛日环, E-mail: congrh@mail.hzau.edu.cn。



1 材料与方法

1.1 数据来源

主要农作物产量、畜禽年均存(出)栏量数据来自《2021年黄冈市统计年鉴》^[23];不同农作物的草谷比引自《中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征》^[24]中的长江中下游地区数据;不同畜禽的日排泄氮(磷)量、100 kg收获物需氮磷量引自《土地承载力测算指南》^[25];不同畜禽粪污排泄系数引自《第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排系数手册》^[26];秸秆养分含量(风干基)、粪尿钾(鲜基)含量引自《中国有机肥料养分数据集》^[27];不同畜禽平均饲养周期和肥料单价引自《2021年全国农产品成本收益汇编》^[28]。

1.2 计算方法

1.2.1 秸秆资源量及秸秆养分资源量

本文参考国际上通用的草谷比法来估算武穴市秸秆资源量、氮磷钾养分资源量,其计算公式如下:

$$TS = \sum_{i=1}^n Yi \times Ri \quad (1)$$

$$TN \text{ (或 TP 或 TK)} = \sum_{i=1}^n Yi \times Ri \times Nci \text{ (Pci, Kci)} \quad (2)$$

式中:TS为秸秆理论资源量(风干基)(t·年⁻¹);TN、TP、TK分别为秸秆氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)资源量(t);i为第i种作物;Y为农作物产量(t·年⁻¹);Ri为第i种作物的草谷比^[24],Nci、Pci、Kci分别为第i种作物风干基秸秆N、P₂O₅、K₂O含量(%)^[27]。

1.2.2 畜禽粪污养分资源量

畜禽粪污氮磷养分资源量参考《土地承载力测

算技术指南》^[25],通过不同畜禽养殖存(出)栏量、日排泄氮(磷)量、饲养周期计算;畜禽粪污钾养分资源量参考文献[29–31]所采用的方法,即通过畜禽年均存(出)栏量、畜禽饲养周期和粪尿排泄系数的关系得到。其计算公式如下:

$$M_{N(\text{或}P)} = \sum_{i=1}^n Ai \times Ei \times Ti \times 10^{-2} \quad (3)$$

$$M_{P_2O_5} = M_P \times 2.29 \quad (4)$$

$$Wi = Ai \times Ti \times Qi \quad (5)$$

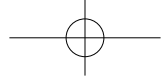
$$M_{K_2O} = \sum_{i=1}^n Wi \times Ki \quad (6)$$

$$C_{N(\text{或}P_2O_5\text{或}K_2O)} = M_{N(\text{或}P_2O_5\text{或}K_2O)} \times Sr \quad (7)$$

式中:M_{N(或P)}为武穴市畜禽粪尿氮(磷)养分年产生总量(t);M_{P₂O₅}为武穴市畜禽粪尿五氧化二磷(P₂O₅)年产生总量(t);Wi为第i种畜禽粪(尿)年产生量(t);M_{K₂O}为畜禽粪(尿)中年钾素(K₂O)养分资源量(t);Ai为武穴市第i种畜禽的存(出)栏量(头);Ei为第i种畜禽氮(磷)日排泄量(kg·d⁻¹);2.29为单质磷折算为五氧化二磷(P₂O₅)的系数;Ti为第i种畜禽的饲养周期(d);Qi为第i种畜禽排泄系数;Ki为畜禽粪(尿)中钾素(K₂O)养分资源含量(t);Sr为粪肥养分在留存过程中的留存系数(%),与粪污处理措施有关,本文按照畜禽粪污收集后堆肥处理计,参考《土地承载力测算技术指南》^[25]氮、磷养分留存率分别为68.5%、76.5%,钾留存系数同磷留存的系数(76.5%)。本研究以牛、禽存栏量记奶牛、蛋鸡;以牛、禽出栏量记肉牛、肉鸡,对于以存栏数计的畜禽(生猪、奶牛、羊、蛋鸡)饲养周期为365 d;对于以出栏数计的畜禽(肉牛、肉鸡),则以平均饲养周期^[28](分别为241.06、99.00 d)计算。

表1 主要畜禽的排泄系数、日排泄氮磷量以及粪尿钾含量

指标	存(出) 栏量 (万只)	排泄系数		日排泄量(g·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)		钾(K ₂ O)含量(%)	
		粪便 (kg·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)	尿液 (L·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)	N	P	粪	尿
生猪	51.03	1.18	3.18	30.00	4.50	0.35	0.19
奶牛	1.26	33.01	17.98	196.00	32.00	0.20	1.12
肉牛	0.54	13.87	9.15	109.00	14.00	0.20	1.12
羊	2.27	1.90	0.60	11.30	2.35	0.64	0.84
肉鸡	409.61	0.06		1.20	0.18	0.87	
蛋鸡	420.16	0.12		1.20	0.18	0.87	



1.2.3 土地承载力及土地承载力指数

参考《土地承载力测算技术指南》^[25], 武穴市土地承载力为作物总的粪肥养分需求量与单位猪当量粪肥养分供给量的比值。武穴市土地承载力指数为畜禽总存栏量(以猪当量计)与土地承载力之间的比值。

武穴市作物总的粪肥养分需求量计算公式如下:

$$NU_{N,P} = \sum_{i=1}^n Y_i \times C_i \times 10^{-2} \quad (8)$$

$$NU_{r,m} = \frac{NU_{N,P} \times FP \times MP}{MR} \quad (9)$$

式中: $NU_{N,P}$ 为区域内所有作物的氮(N)或磷(P)养分需求总量($t \cdot \text{年}^{-1}$); $NU_{r,m}$ 为区域内作物粪肥养分需求量($t \cdot \text{年}^{-1}$); Y_i 为区域内第*i*种作物的产量($t \cdot \text{年}^{-1}$); C_i 为区域内第*i*种作物形成 100 kg 产量的养分需求量($kg \cdot 100 \text{ kg}^{-1}$)^[25]; FP 为施肥供给养分占作物总养分需求的比例(%), 根据《畜禽粪便还田技术规范》(GB/T 25246-2010)推荐, 武穴市施肥供给养分占作物总养分需求比例按照 35% 计算; MP 为畜禽粪尿养分需求占施肥供给养分总量的比例(%), 按照 50% 计算^[25]; MR 为粪尿养分的当季利用效率(%), 氮、磷素当季利用率分别按照 30%、35% 计算^[25]。

武穴市单位猪当量粪肥养分供给量计算公式如下:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \times P_i \quad (10)$$

$$Ms = M_{N,P} \times Gr \times Sr \quad (11)$$

$$NS_{r,a} = \frac{Ms}{A} \times 10^3 \quad (12)$$

式中: A 为武穴市畜禽养殖实际存栏量(以猪当量计)(猪当量); Ms 为年区域内畜禽粪污养分供给量, 即收集和处理损失后实际的粪肥氮、磷养分留存量($t \cdot \text{年}^{-1}$); $NS_{r,a}$ 为武穴市单位猪当量粪肥养分供给量($kg \cdot \text{猪当量}^{-1}$); P_i 为第*i*种畜禽种类折算成猪当量的系数, 本文猪当量按存(出)栏量折算, 即 100 头猪相当于 15 头奶牛、30 头肉牛、250 只羊、2500 只家禽^[25]; Gr 为粪肥养分在收集过程中的收集系数(%), 与养殖方式有关, 本研究按照收集过程中不发生损失, 即 100% 计算; Sr 为粪肥养分在留存过程中的留存系数(%), 与粪污处理措施有关, 本研究按照堆肥方式计算(氮、磷养分留存率分别为 68.5%、76.5%^[25])。

武穴市土地承载力及土地承载力指数计算公式如下:

$$R = \frac{NU_{r,m}}{NS_{r,a}} \times 10^3 \quad (13)$$

$$I = \frac{A}{R} \quad (14)$$

式中: R 为土地承载力(猪当量); I 为土地承载力指数。

1.2.4 秸秆和畜禽粪污替代化肥潜力

秸秆和畜禽粪污养分替代化肥潜力以氮肥为例, 计算公式如下:

$$Q_{IN} = TN \times 70\% \quad (15)$$

$$Q_{MN} = M_N \times 65\% \quad (16)$$

式中: Q_{IN} 和 Q_{MN} 分别为秸秆和畜禽粪污氮肥(N)替代化肥潜力(t); 70% 和 65% 分别是秸秆和畜禽粪污还田率, 为基于《“十四五”循环经济发展规划》和《“十四五”推进农业农村现代化规划》以及田间实际生产调研设置的情景值。

秸秆和畜禽粪污养分替代率以氮(N)肥为例, 公式如下:

$$P_{IN} = \frac{Q_{IN}}{F} \times 10^2 \quad (17)$$

$$P_{MN} = \frac{Q_{MN}}{F} \times 10^2 \quad (18)$$

式中: P_{IN} 和 P_{MN} 分别是秸秆和畜禽粪污氮肥养分替代率(%)。

秸秆和畜禽粪污还田节肥成本公式如下:

$$C_t = Q_{IN} \times 4.48 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1} \times 10 + Q_{INP_2O_5} \times 5.42 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1} \times 10 + Q_{IK_2O} \times 5.46 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1} \times 10 \quad (19)$$

$$C_M = Q_{MN} \times 4.48 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1} \times 10 + Q_{MP_2O_5} \times 5.42 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1} \times 10 + Q_{MK_2O} \times 5.46 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1} \times 10 \quad (20)$$

式中: C_t 和 C_M 分别是秸秆和畜禽粪污还田的节肥成本(万元); Q_{IN} 、 $Q_{IP_2O_5}$ 、 Q_{IK_2O} 分别是秸秆氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)养分替代化肥潜力(t); Q_{MN} 、 $Q_{MP_2O_5}$ 、 Q_{MK_2O} 分别是畜禽粪污氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)养分替代化肥潜力(t); 4.48、5.42、5.46 元· kg^{-1} 分别为 2020 年氮、磷、钾肥(折纯)肥料价格^[26]。

2 结果与分析

2.1 武穴市主要农作物种植与化肥使用量现状

统计(表 2)表明, 2020 年武穴市农作物种植



面积 87120.00 hm^2 ^[23], 其中水稻、油菜、蔬菜种植面积分别为 37426.67、24820.00、9946.67 hm^2 。近年来, 武穴市化肥施用量^[23]逐年下降(图 1)。2020 年武穴市农用化肥消费总量(折纯) 4.34 万 t, 其中氮(N)肥 1.92 万 t、磷(P_2O_5)肥 1.24 万 t、钾(K_2O)肥 1.18 万 t。

表 2 武穴市主要农作物种植面积 (hm^2)

作物种类	种植面积	作物种类	种植面积
水稻	37426.67	马铃薯	1013.33
油菜	24820.00	花生	926.67
蔬菜	9946.67	玉米	846.67
小麦	4626.67	甘薯	366.67
棉花	2620.00	甘蔗	120.00
豆类	1766.67	茶	133.33
芝麻	1420.00	生麻	13.33
果树	1073.33	总计	87120.00

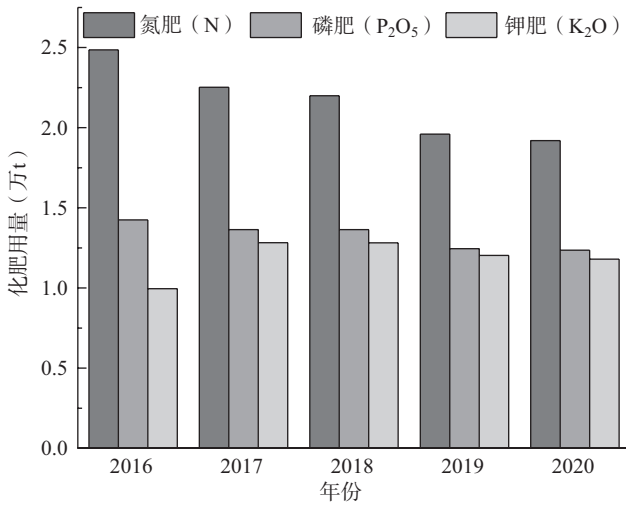


图 1 2016–2020 年武穴市氮、磷、钾化肥消费量

2.2 武穴市主要农作物秸秆养分资源量与畜禽粪污养分资源量

武穴市 2020 年共产生秸秆 53.19 万 t (表 3)。其中, 水稻秸秆、油菜秸秆、小麦秸秆分别为 32.62 万、16.45 万、1.95 万 t, 占秸秆资源总量的 95.9%。

表 3 武穴市农作物秸秆资源量、养分含量和理论养分资源量

作物	草谷比	产量 (万 t)	秸秆资源量 (万 t)	秸秆养分含量 (%)			秸秆理论养分资源量 (t)		
				N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
水稻	1.08	30.20	32.62	0.83	0.27	2.07	2707.46	880.74	6752.34
油菜	2.64	6.23	16.45	0.82	0.32	2.25	1348.90	526.40	3701.25
小麦	1.39	1.40	1.95	0.62	0.16	1.23	120.90	31.20	239.85
马铃薯	0.47	0.38	0.18	2.40	0.56	4.33	43.20	10.08	77.94
花生	1.18	0.31	0.37	1.66	0.34	1.20	61.42	12.58	44.40
玉米	1.29	0.28	0.36	0.87	0.30	1.34	31.32	10.80	48.24
大豆	1.41	0.26	0.37	1.63	0.39	1.28	60.31	14.43	47.36
棉花	2.19	0.23	0.50	0.94	0.33	1.10	47.00	16.50	55.00
芝麻	2.33	0.13	0.30	0.82	0.95	0.61	24.60	28.50	18.30
甘薯	0.77	0.12	0.09	2.13	0.59	3.33	19.17	5.31	29.97
合计	—	39.54	53.19	—	—	—	4464.28	1536.54	11014.65

秸秆氮、磷、钾理论养分资源量分别为 N 4464.28 t, P_2O_5 1536.54 t, K_2O 11014.65 t。其中, 水稻、油菜、小麦秸秆的氮、磷、钾养分资源量分别为 N 4177.26 t、 P_2O_5 1438.34 t、 K_2O 10693.44 t, 分别占秸秆总氮、磷、钾资源量的 93.6%、93.6%、97.1%。

2020 年武穴市共产生畜禽粪污 130.56 万 t, 其

中产粪 61.37 万 t、尿 69.19 万 t。畜禽粪污产生理论资源量为 N 9051.63 t、 P_2O_5 3142.02 t、 K_2O 5248.68 t (表 4)。按照畜禽粪污堆肥过程氮、磷、钾养分留存率分别为 68.5%、76.5%、76.5% 计算, 武穴市畜禽粪污堆肥处理后养分留存量分别为 N 6200.37 t、 P_2O_5 2403.65 t、 K_2O 4015.24 t。

表 4 2020 年武穴市畜禽粪污产生量和养分资源产生量

指标	畜禽粪污产生量 (万 t)		养分资源产生量 (t)		
	粪	尿	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
生猪	21.98	59.23	5587.79	1919.40	1894.67
奶牛	15.18	8.27	901.40	337.01	1229.84
肉牛	1.81	1.19	141.89	41.73	169.48
羊	1.57	0.50	93.63	44.59	142.48
肉鸡	2.43	—	486.62	167.15	211.41
蛋鸡	18.40	—	1840.30	632.14	1600.80
总计	61.37	69.19	9051.63	3142.02	5248.68

2.3 武穴市畜禽粪污土地承载力及土地承载力指数

2020 年武穴市畜禽养殖量共计 95.33 万头猪当量。农作物畜禽粪污氮、磷养分需求量分别为 N 7798.09 t、P 2181.47 t。单位猪当量畜禽粪污氮、磷养分供给量分别为 N 6.50 kg·猪当量⁻¹、P 1.10 kg·猪当量⁻¹，以氮、磷养分为基准，武穴市畜禽粪污土地承载力分别为 119.89 万头猪当量、198.12 万头猪当量，基于氮和磷的测算结果进行比较，取两种计算结果的较低值为武穴市的土地承载力，即武穴市的土地承载力为 119.89 万猪当量。武穴市畜禽粪污氮、磷土地承载力指数分别为 0.80、0.48。

表 5 武穴市畜禽粪污氮、磷土地承载力和土地承载力指数

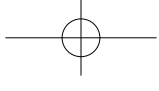
养分	农作物畜禽粪污养分需求量 (t)	单位猪当量粪肥养分供给量 (kg·猪当量 ⁻¹)	土地承载力 (猪当量)	土地承载力指数
N	7798.09	6.50	119.89	0.80
P	2181.47	1.10	198.12	0.48

2.4 武穴市农作物秸秆和畜禽粪污替减化肥潜力

2020 年武穴市农作物秸秆产生养分资源量为 N 4464.28 t、P₂O₅ 1536.54 t、K₂O 11014.65 t (表 6)。基于目前主要农作物秸秆还田现状，按照秸秆还田

表 6 2020 年武穴市农作物秸秆和畜禽粪污替减化肥潜力

指标		氮肥 (N)	磷肥 (P ₂ O ₅)	钾肥 (K ₂ O)	总计
2020 年武穴市化肥施用量 (万 t)		1.92	1.24	1.18	4.34
肥料价格 (元·kg ⁻¹)		4.48	5.42	5.46	
肥料成本 (万元)		8601.60	6720.80	6442.80	21765.20
秸秆	养分资源量 (t)	4464.28	1536.54	11014.65	17015.47
	可还田养分量 (t)	3125.00	1075.58	7710.26	11910.84
	可替减化肥比例 (%)	16.3	8.7	65.3	27.4
	节肥成本 (万元)	1400.00	582.96	4209.80	6192.76
畜禽粪污	堆肥后养分留存量 (t)	6200.37	2403.65	4015.24	12619.26
	可还田养分量 (t)	4030.24	1562.37	2609.91	8202.52
	可替减化肥比例 (%)	21.0	12.6	22.1	18.9
	节肥成本 (万元)	1805.55	846.80	1425.01	4077.36
合计	可节肥量 (t)	7155.24	2637.95	10320.17	20113.36
	替减比例 (%)	37.3	21.3	87.5	46.3
	节肥成本 (万元)	3205.55	1429.76	5634.81	10270.12



率 70% 计算, 理论武穴市农作物秸秆养分可还田量为 N 3125.00 t、 P_2O_5 1075.58 t、 K_2O 7710.26 t, 分别占武穴市 2020 年氮、磷、钾肥用量的 16.3%、8.7%、65.3%, 秸秆还田化肥理论减量空间 (折纯) 11910.84 t。每年秸秆还田可节约化肥成本 6192.76 万元, 占武穴市 2020 年投入肥料成本的 28.4%。

2020 年武穴市畜禽粪污堆肥后可留存养分 N 6200.37 t、 P_2O_5 2403.65 t、 K_2O 4015.24 t (表 6), 按照畜禽粪污还田率 65% 计算, 武穴市理论可用于还田的畜禽粪污养分资源量为 N 4030.24 t、 P_2O_5 1562.37 t、 K_2O 2609.91 t, 分别占武穴市 2020 年化肥用量的 21.0%、12.6%、22.1%, 理论化肥减量空间 (折纯) 8202.52 t, 理论畜禽粪污还田可实现化肥节约成本 4077.36 万元, 占武穴市 2020 年投入肥料成本的 18.7%。

2020 年武穴市秸秆和畜禽粪污理论可还田养分量共计 N 7155.24 t、 P_2O_5 2637.95 t、 K_2O 10320.17 t, 可替减武穴市 2020 年化肥施用量的 46.3%, 节约化肥成本 10270.12 万元。

3 讨论

武穴市秸秆资源丰富, 秸秆还田替减化肥潜力大。通过计算可知, 武穴市 2020 年主要农作物产量 39.54 万 t、秸秆资源量 53.19 万 t (表 3), 秸秆氮、磷、钾养分资源产生量分别为 N 4464.28 t、 P_2O_5 1536.54 t、 K_2O 11014.65 t。田间试验研究表明, 主要农作物秸秆还田可以替减氮磷肥 10% ~ 20%^[32-36]、钾肥 18.3% ~ 66.7%^[37-38]。本文基于统计数据和目前通用的研究方法计算得出 2020 年武穴市秸秆产生的养分可还田量为 N 3125.00 万 t、 P_2O_5 1075.58 万 t、 K_2O 7710.26 万 t, 分别占武穴市同年氮、磷、钾消费量的 16.3%、8.7%、65.3%。秸秆还田化肥理论减量空间 (折纯) 11910.84 t, 共计理论可节约化肥成本 6192.76 万元。

已有研究表明, 有机无机肥配施可以减少化肥用量, 而这些研究多集中在商品有机肥^[39-41]。对于畜禽粪污堆沤还田替减化肥潜力的研究较为缺乏。本文基于统计数据计算得出, 武穴市 2020 年畜禽粪污产生的氮、磷、钾养分资源量分别为 N 9051.63 t、 P_2O_5 3142.02 t、 K_2O 5248.68 t, 其中理论养分可还田量分别为 N 4030.24 t、 P_2O_5 1562.37 t、 K_2O 2609.91 t, 分别占武穴市 2020 年化肥消费量的 21.0%、12.6%、22.1%, 化肥减量空间 (折纯) 8202.52 t, 理论畜禽

粪污还田可实现节约化肥成本 4077.36 万元。

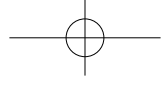
近年来, 随着武穴市规模化养殖的进一步发展, 畜禽粪污处理所带来的环境风险备受重视。武穴市土地承载力为 119.89 万头猪当量, 畜禽粪污氮、磷土地承载力指数分别为 0.80、0.48, 目前畜禽养殖量没有超过武穴市土地承载力, 但畜禽养殖量已接近氮承载力的上限。据报道, 当前畜禽粪污作为有机肥还田主要应用在蔬菜、果树、茶等作物上, 而大田粮食的有机肥施用比例不足^[42], 耕地畜禽粪污消纳面积较少, 消纳空间潜力大, 可以通过增大畜禽粪污在粮油等大田农作物的消纳面积, 或通过推广使用优化畜禽饲料养分分配比等途径降低现有畜禽养殖过程中的氮 (磷) 排放压力, 减少化肥投入, 实现武穴市绿色种养循环, 提高畜禽粪污综合利用率。

4 结论

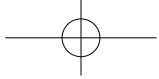
2020 年武穴市主要农作物种植面积 8712.00 hm^2 , 化肥消费量 4.34 万 t, 畜禽养殖共计 95.33 万头猪当量, 武穴市土地承载力为 119.89 万头猪当量。目前畜禽养殖量没有超过武穴市土地承载力, 但畜禽养殖量已接近氮承载力的上限。武穴市绿色种养 (秸秆和畜禽粪污还田) 可节省化肥 (折纯) 2.01 万 t、减幅潜力 46.3%, 化肥理论可实现节约化肥成本 10270.12 万元。合理增加畜禽粪污在粮油等大田农作物的消纳面积, 扩大秸秆还田力度是实现武穴市绿色种养循环、提高农业废弃物利用率、减少化肥投入的有效途径。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783.
- [2] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.
- [3] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策 [J]. 生态环境, 2004, 13(4): 656-660.
- [4] 刘钦普. 中国化肥投入区域差异及环境风险分析 [J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3596-3605.
- [5] Zhong W H, Cai Z C. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay [J]. Applied Soil Ecology, 2007, 36(2-3): 84-91.
- [6] 农业部种植业管理司. 农业部关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知 [EB]. 2015-03-18. http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201503/t20150318_6309945.htm.



- [7] 常钦. “十三五”以来全国秸秆综合利用率达 86%, 畜禽粪污综合利用率达 75% [N]. 人民日报, 2020-11-20.
- [8] 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于印发“十四五”循环经济发展规划的通知 [EB]. 2021-07-01. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/11/content_5673082.htm.
- [9] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十四五”推进农业农村现代化规划的通知 [EB]. 2021-11-12. http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-02/11/content_5673082.htm.
- [10] Peng L, Bai Y. Numerical study of regional environmental carrying capacity for livestock and poultry farming based on planting-breeding balance [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, 25(9): 1882-1889.
- [11] Sheldrick W, Syers J K, Lingard J. Contribution of livestock excreta to nutrient balances [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, 66(2): 119-131.
- [12] 耿维, 孙义祥, 袁嫚嫚, 等. 安徽省畜牧业环境承载力及粪便替代化肥潜力评估 [J]. *农业工程学报*, 2018, 34(18): 252-260.
- [13] 周永馨, 王圣伟, 何书朋, 等. 烟台市种植业有机废弃物还田对畜禽粪污土壤消纳量的影响研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2021(6): 336-345.
- [14] 武淑霞, 刘宏斌, 黄宏坤, 等. 我国畜禽养殖粪污产生量及其资源化分析 [J]. *中国工程科学*, 2018, 20(5): 103-111.
- [15] 朱建春, 张增强, 樊志民, 等. 中国畜禽粪便的能源潜力与氮磷耕地负荷及总量控制 [J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(3): 435-445.
- [16] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 等. 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.
- [17] 张默焰, 薛中俊, 吕得林, 等. 腐熟秸秆替代化肥对冬小麦田间节肢动物群落结构与小麦产量的影响 [J]. *安徽农业大学学报*, 2021, 48(5): 713-719.
- [18] 赵金花, 陈林, 段衍, 等. 秸秆还田配合化肥减施对潮土作物产量及土壤肥力的影响 [J]. *土壤学报*, 2023, 60(1): 189-200.
- [19] 晏军, 王伟义, 李斌, 等. 秸秆还田下化肥减施对苏北地区水稻产量与氮素吸收利用的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2021(5): 74-82.
- [20] 侯丽丽, 王伟, 崔新菊, 等. 化肥减量配施有机肥对小麦生长、光合和产量的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2021, 41(4): 475-482.
- [21] 季佳鹏, 赵欣宇, 吴景贵, 等. 有机肥替代 20% 化肥提高黑钙土养分有效性及玉米产量 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2021, 27(3): 491-499.
- [22] 宋以玲, 于建, 陈士更, 等. 化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响 [J]. *水土保持学报*, 2018, 32(1): 352-360.
- [23] 黄冈市统计局, 国家统计局黄冈调查队. 黄冈统计年鉴 (2016-2021) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [24] 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.
- [25] 国家畜牧养殖废弃物资源化利用科技创新联盟. 土地承载力测算技术指南 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [26] 第一次全国污染源普查资料编纂委员会. 污染源普查产排污系数手册 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [27] 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.
- [28] 国家发展和改革委员会价格司. 中国农产品收益资料汇编 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [29] 刘晓永, 李书田. 中国畜禽粪尿养分资源及其还田的时空分布特征 [J]. *农业工程学报*, 2018, 34(4): 1-14.
- [30] 林源, 马骥, 秦富. 中国畜禽粪便资源结构分布及发展展望 [J]. *中国农学通报*, 2012, 28(32): 1-5.
- [31] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 等. 中国畜禽粪尿中养分资源数量及利用潜力 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(5): 1131-1148.
- [32] 黄容, 高明, 万毅林, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响 [J]. *环境科学*, 2016, 37(11): 4446-4456.
- [33] 吴传发, 熊超, 韩燕来, 等. 秸秆还田结合减氮调控旱地土壤硝化潜势维持作物产量的机理 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(10): 1782-1793.
- [34] 王学敏, 刘兴, 郝丽英, 等. 秸秆还田结合氮肥减施对玉米产量和土壤性质的影响 [J]. *生态学杂志*, 2020, 39(2): 507-516.
- [35] 张建军, 党翼, 赵刚, 等. 秸秆还田与氮肥减施对旱地春玉米产量及生理指标的影响 [J]. *草业学报*, 2019, 28(10): 156-165.
- [36] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻茬麦土壤养分、酶活性及产量影响 [J]. *西南农业学报*, 2018, 31(5): 998-1005.
- [37] 张磊, 张维乐, 鲁剑巍, 等. 秸秆还田条件下不同供钾能力土壤水稻、油菜、小麦钾肥减量研究 [J]. *中国农业科学*, 2017, 50(19): 3745-3756.
- [38] 吴传胜, 王优旭, 李秀珍, 等. 秸秆还田中稻基施钾肥减量效果研究 [J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(14): 95-97.
- [39] 黄绍文, 唐继伟, 李春花. 我国商品有机肥和有机废弃物中重金属、养分和盐分状况 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(1): 162-173.
- [40] 姜茜, 王瑞波, 孙炜琳. 我国畜禽粪便资源化利用潜力分析及对策研究——基于商品有机肥利用角度 [J]. *华中农业大学学报 (社会科学版)*, 2018(4): 30-37.
- [41] 温延臣, 张曰东, 袁亮, 等. 商品有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响 [J]. *中国农业科学*, 2018, 51(11): 2136-2142.
- [42] 冉志平, 刘明, 陶利文, 等. 湖北省畜禽粪污还田安全性分析 [J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(23): 134-138, 158.



Analysis of chemical fertilizer reduction potential of straw and livestock manure returning to field and soil carrying capacity in Wuxue city

HOU Su-su¹, GONG Xi-min², ZHU Ke-feng³, WU Hai-ya⁴, TIAN Gui-sheng⁴, ZHOU Jie⁴, PENG Xiang-rong⁴, CONG Ri-huan^{1*}, LU Jian-wei¹ (1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Arable Land Conservation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Wuhan Hubei 430070; 2. Hubei Provincial General Station of Cultivated Land Quality and Fertilizer, Wuhan Hubei 430070; 3. Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Wuxue City, Huanggang Hubei 435400; 4. Agriculture and Rural Bureau of Wuxue City, Huanggang Hubei 435400)

Abstract: Wuxue is a large planting and breeding city in Hubei province. For fulfilling the green development of agriculture in Wuxue city, it is of great significance to estimate the crop straw and livestock manure resources, evaluate the land carrying capacity and discuss the potential of saving fertilizer by green planting and breeding. Based on the statistical data, this paper estimated the nutrient resources of crop straw and livestock manure, and its potential of fertilizer replacement in Wuxue city. Current land carrying capacity and land carrying capacity index were also evaluated. The results showed that the straw yield of main crops in Wuxue city was 531900 tons in 2020, and the livestock and poultry breeding were 953300 pig equivalents. Theoretical recoverable amount of straw and livestock manure nutrient resources were 11900 and 8200 t in Wuxue city, respectively, which could reduce 27.4% and 18.9% of chemical fertilizer consumption, respectively. The theoretical cost savings of chemical fertilizer were 61.93 million yuan and 40.77 million yuan, with a total of 102.70 million yuan. In 2020, the soil carrying capacity indexes of nitrogen and phosphorus from livestock manure in Wuxue were 0.80 and 0.48, respectively. At present, the livestock and poultry production have not exceeded the land carrying capacity of Wuxue. However, the livestock and poultry production were close to the upper limit of nitrogen carrying capacity.

Key words: straw resources; livestock and poultry waste; nutrient resources; substitution of chemical fertilizer; land carrying capacity