

邵 蕾,徐 皓,王文飞,等. 秸秆还田对东北地区畜禽养殖发展潜力的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(1):188-194.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.01.034

秸秆还田对东北地区畜禽养殖发展潜力的影响

邵 蕾,徐 皓,王文飞,孙 玮,王圣伟,周永馨,王丽霞

(中国农业大学烟台研究院,山东烟台 264670)

摘要:通过测算 2018 年东北地区农作物粪肥氮、磷养分需求量以及粪污和秸秆氮、磷养分供给量,比较秸秆还田与不还田情况下的畜禽粪污土地承载力和畜禽养殖发展潜力,为优化东北地区农牧业生产布局、实现种养平衡提供参考依据。结果表明,2018 年东北地区畜牧业养殖规模折合为 10 392.02 万猪当量。秸秆不还田情况下,东北地区畜禽粪污氮、磷土地承载力分别为 34 027.79 万、42 513.44 万猪当量,畜禽粪污氮、磷土地承载力指数 I_N 、 I_P 分别为 0.31、0.24,可增加养殖量 23 635.76 万(以氮为基准)、32 121.43 万(以磷为基准)猪当量;所有地级市都具备增加养殖规模的潜力。秸秆还田输入土地氮(163.84 万 t)、磷(26.25 万 t)分别降低畜禽粪污氮、磷土地承载力 24 586.11 万、29 836.47 万猪当量, I_N 、 I_P 分别提高为 1.10、0.82;以氮为基准须减少 950.34 万猪当量,21 个地级市须减少养殖规模;以磷为基准可增加 2 284.95 万猪当量,9 个地级市须减少养殖规模。

关键词:土地承载力;畜禽粪污;秸秆还田;猪当量

中图分类号:X712;X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)01-0188-07

近年来国家逐步实施“南畜北移”战略,我国畜牧业养殖布局整体呈现出由南向北移动的趋势^[1]。东北地区(黑龙江省、吉林省、辽宁省)耕地面积为 25.6 万 km²,消纳畜禽粪污的潜力强^[2];同时又是我国重要的粮食主产区,可就地获取饲料,降低养殖成本^[3]。东北地区自 2015 年推行粮改饲政策以来,逐步建立以养带种、农牧结合的循环农业模式;2017 年原农业部下发《关于加快东北粮食主产区现

代畜牧业发展的指导意见》,指出东北地区是我国畜禽养殖的重点潜力增长区,通过构建新型种养关系、推动绿色发展加快东北粮食主产区现代畜牧业发展,于 2025 年基本实现种养结合、农牧循环的现代化畜牧业^[4]。东北地区作物秸秆资源丰富,2016 年主要农作物的秸秆资源量约 13 600 万 t^[5]。东北地区是我国秸秆焚烧的重灾区,2017 年秸秆火点总计 8 714 个,占全国的 79.43%^[6]。2017 年原农业部下发的《东北地区秸秆处理行动方案》明确提出将秸秆还田作为秸秆综合利用的首要途径,2020 年东北地区争取秸秆综合利用率达 80% 以上^[7]。《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》(简称《指南》)旨在优化调整各地畜牧业区域布局,加快推进畜禽粪污资源化利用,促进农牧结合、种养循环农业发展^[8]。《指南》以农作物粪肥养分需求量与畜禽粪

收稿日期:2021-04-07

基金项目:山东省重点研发计划(编号:ZZ01901);中国农业大学烟台研究院科研项目(编号:YT201909、YT201902);山东省烟台市级地融合发展项目(编号:2019XDRHXMXX25)。

作者简介:邵 蕾(1980—),男,山东文登人,博士,副教授,主要从事农业有机废弃物的资源化利用研究。E-mail: shao1980lei@163.com。

合肥:安徽农业大学,2019:25-26.

[13] 马年圣,支晓娟,宋雨婷. 基于 PSR 和 GM(1,1)模型的西藏耕地生态安全评价与预测[J]. 干旱区资源与环境,2018,32(11): 81-86.

[14] 韩 磊,潘玉君,高庆彦,等. 基于 PSR 和无偏 GM(1,1)模型的云南省耕地生态安全评价与预测[J]. 生态经济,2019,35(2): 148-154.

[15] 王美娜,杨孝斌. 基于 GM(1,1)的贵州省 GDP 预测及产业结构的灰色关联分析[J]. 数学的实践与认识,2021,51(4):180-188.

[16] 祝 伟,王瑞梅. 城镇化对耕地利用强度的影响及中介效应分析[J]. 中国农业大学学报,2021,26(4):213-224.

[17] 栾 健,韩一军. 城镇化会加剧化肥面源污染吗:基于门槛效应与空间溢出的双重视角[J]. 中国农业大学学报,2020,25(5): 174-186.

[18] 王文旭,曹银贵,苏锐清,等. 我国耕地变化驱动力研究进展:驱动因子与驱动机理[J]. 中国农业资源与区划,2020,41(7): 21-30.

[19] 侯瑞环,徐翔燕. 基于改进 GM(1,1)模型的中长期人口预测[J]. 统计与决策,2021,37(1):186-188.

污养分供应量为基础进行畜禽粪污土地承载力核算。而秸秆还田输入的养分量会减少土壤消纳的粪污养分量,从而降低畜禽粪污土地承载力和地区的畜禽养殖发展潜力。肖琴等的研究与《指南》只考虑某个区域内畜禽粪污还田情况下的畜禽粪污土地承载力^[9-11]。对于东北地区而言,一方面畜牧业的绿色发展要求粪污还田,另一方面秸秆禁焚、黑土地保护和耕地质量提升要求秸秆还田,因此有必要对秸秆还田条件下畜禽粪污土地承载力和畜禽养殖发展潜力进行进一步探讨。本研究通过测算 2018 年东北地区农作物粪肥氮、磷养分需求量以及粪肥、秸秆氮、磷养分供给量,比较秸秆还田与不还田情况下畜禽粪污土地承载力和畜禽养殖发展潜力,为优化东北地区农牧业生产布局、实现种养平衡提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

黑龙江省、吉林省、辽宁省下辖的 36 个地级市。

1.2 数据来源

东北地区 2018 年的主要农作物种类、播种面积和经济产量以及畜禽存栏量和主要畜产品产量来自《黑龙江省统计年鉴 2019》^[12]《吉林省统计年鉴 2019》^[13]《辽宁省统计年鉴 2019》^[14]。

1.3 计算方法

1.3.1 农作物粪肥养分需求量 本研究选取东北地区玉米、水稻、小麦、豆类、薯类、蔬菜、油料、甜菜、烟叶、麻类共 10 类主要作物来测算农作物粪肥养分需求量。计算方法及农作物养分需求量参照《指南》,即农作物粪肥养分需求量 = 农作物养分需求量 × 施肥供给养分占比 × 粪肥占施肥比例/粪肥当季利用率。东北地区土壤全氮和有效磷含量参照康日峰等的研究方法^[15-16](表 1),根据《指南》中的土壤氮、磷养分分级,确定土壤氮、磷养分分级分别为 I、II 级,对应施肥供给占比分别取 35%、45%。粪肥占施肥比例按 50% 计^[17-18];粪肥中氮素及磷素当季利用率参考肖琴等研究方法,分别按 25%、30% 计^[9](表 1)。

表 1 东北地区各省土壤全氮和有效磷含量

省份	全氮含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)
黑龙江省	2.00	37.19
吉林省	2.00	37.19
辽宁省	1.20	32.99

1.3.2 畜禽粪污养分供给量 本研究选取猪、肉牛、山羊、绵羊、家禽 5 类主要畜禽(存栏量占东北地区畜禽总存栏量的 99.6%)为统计对象。《吉林省统计年鉴 2019》中未列出各地级市肉牛及家禽存栏量,列出了各地级市羊的存栏量但未区分山羊和绵羊;《辽宁省统计年鉴 2019》中未列出家禽存栏量,列出了牛的存栏量但未区分肉牛和奶牛,列出了各地级市羊的存栏量但未区分山羊和绵羊。本研究根据黑龙江省、吉林省肉牛存栏量与牛肉产量、家禽存栏量与禽蛋产量,估算单只肉牛的产肉量系数(吉林省 0.14、辽宁省 0.13)、单只家禽的产蛋量系数(吉林省 0.007、辽宁省 0.007);根据吉林省、辽宁省山羊和绵羊存栏量,分别估算山羊和绵羊存栏量比(7 : 43、53 : 47)。根据计算的牛肉产量与产肉量系数、禽蛋产量与产蛋量系数、羊存栏量与山羊和绵羊存栏量占比,估算肉牛、家禽、绵羊、山羊存栏量。

通过以下公式计算畜禽粪污养分供给量:畜禽粪污养分供给量 = 畜禽年均存栏量 × 畜禽粪污氮、磷养分日产生量 × 365 d × 畜禽粪污氮、磷养分收集率 × 畜禽粪污氮、磷养分留存率^[19]。畜禽粪污排泄系数和养分含量、不同畜禽粪污收集工艺的氮、磷收集率及不同畜禽粪污处理方式氮、磷养分留存率等相关参数参照《土地承载力测算技术指南》^[19]。不同清粪方式及不同畜禽粪污处理方式所占比例参考郑莉等的研究方法^[10],即干清粪占 72%,水冲清粪占 28%;厌氧发酵占 7%,固体贮存占 92%,堆肥占 1%。

1.3.3 秸秆养分供给量 本研究采用草谷比法估算作物秸秆产量,即秸秆产量 = 经济产量 × 草谷比^[20-21]。东北地区秸秆还田主推技术和设备主要针对玉米和水稻秸秆^[22-24],且东北地区秸秆产出量以玉米、水稻秸秆为主,分别占秸秆总产量的 80.5%、17.2%^[25-26]。因此,本研究选取玉米、水稻来估算还田秸秆养分供给量,即秸秆养分供给量 = 秸秆产量 × 作物秸秆养分含量。玉米、水稻的草谷比参考柴如山等的研究方法^[25],分别取 1.86、0.97;玉米、水稻秸秆氮养分含量分别为 9.2、9.1 g/kg,磷养分含量分别为 1.5、1.3 g/kg^[27]。

1.3.4 畜禽粪污土地承载力 畜禽粪污土地承载力的测算参考《指南》,即畜禽粪污土地承载力 = 农作物粪肥养分需求量/单位猪当量粪肥养分供给量(以猪当量计);秸秆还田情况下,畜禽粪污土地承

载力 = 农作物粪肥秸秆养分需求量/单位猪当量粪肥秸秆养分供给量(以猪当量计)。畜禽粪污土地承载力指数 I = 实际畜禽养殖总量(以猪当量计)/畜禽粪污土地承载力^[9]。

1.3.5 畜禽养殖发展潜力 畜禽养殖发展潜力 = 畜禽粪污土地承载力 - 实际畜禽养殖总量^[9]。

2 结果与分析

2.1 氮、磷养分需求量与供给量空间分布特征

2.1.1 农作物粪肥氮、磷养分需求量 农作物粪肥氮、磷养分需求量是衡量耕地对畜禽粪污输入氮、磷的消纳能力。2018 年东北地区农作物粪肥氮、磷养分总需求量分别为 284.72 万、50.32 万 t,黑龙江省、吉林省、辽宁省农作物粪肥氮、磷养分需求量分别为 146.24 万、81.95 万、56.53 万 t 和 25.60 万、

13.91 万、10.81 万 t(表 2 至表 4)。

农作物粪肥氮、磷养分需求量排名前 3 位的分别是黑龙江省齐齐哈尔市、哈尔滨市、绥化市,3 市合计分别占东北地区农作物粪肥氮、磷养分总需求量的 27.86%、27.29%。辽宁省本溪市农作物粪肥氮、磷养分需求量最低,分别占东北地区总需求量的 0.25%、0.24%。

2.1.2 畜禽粪污氮、磷养分供给量 畜禽粪污养分供给量是指畜禽粪污中可供植物利用的氮、磷养分量,衡量耕地需要消纳的粪污养分量。东北地区畜禽粪污氮、磷养分供给量分别为 67.57 万、12.41 万 t。黑龙江省、吉林省、辽宁省畜禽粪污氮、磷养分供给量分别为 22.20 万、18.81 万、26.56 万 t 和 4.02 万、3.42 万、4.97 万 t。

表 2 黑龙江省粪肥秸秆养分供给量与农作物养分需求量

地区	猪当量 (万)	粪污养分供给量(万 t)		秸秆资源量 (万 t)	秸秆养分供给量(万 t)		农作物粪肥养分需求量(万 t)	
		氮	磷		氮	磷	氮	磷
哈尔滨	566.75	3.69	0.69	1 858.11	17.06	2.73	26.62	4.92
齐齐哈尔	615.60	4.01	0.70	1 690.20	15.53	2.50	26.92	4.37
鸡西	90.94	0.59	0.11	385.17	3.53	0.55	6.26	1.38
鹤岗	97.62	0.62	0.12	121.50	1.11	0.17	2.31	0.57
双鸭山	75.12	0.49	0.09	307.86	2.83	0.45	5.30	0.91
大庆	330.09	2.15	0.37	638.53	5.87	0.95	9.65	1.49
伊春	62.55	0.40	0.08	78.34	0.72	0.11	2.56	0.45
佳木斯	227.84	1.49	0.27	872.01	7.99	1.24	15.84	3.56
七台河	40.87	0.26	0.05	140.57	1.29	0.21	2.10	0.36
牡丹江	199.97	1.31	0.24	403.37	3.71	0.60	7.45	1.13
黑河	232.84	1.54	0.27	340.89	3.14	0.51	13.94	1.83
绥化	845.70	5.51	1.00	1 674.56	15.38	2.47	25.77	4.44
大兴安岭	21.65	0.14	0.03	5.63	0.05	0.01	1.52	0.19
总计	3 407.54	22.20	4.02	8 516.74	78.21	12.50	146.24	25.60

表 3 吉林省粪肥秸秆养分供给量与农作物养分需求量

地区	猪当量 (万)	粪污养分供给量(万 t)		秸秆资源量 (万 t)	秸秆养分供给量(万 t)		农作物粪肥养分需求量(万 t)	
		氮	磷		氮	磷	氮	磷
长春	1 026.41	6.73	1.23	1 434.95	13.19	2.12	18.53	3.14
吉林	293.37	1.94	0.35	622.01	5.71	0.91	8.43	1.58
四平	679.42	4.40	0.82	1 216.01	11.18	1.82	14.94	2.21
辽源	120.45	0.79	0.14	258.73	2.38	0.39	3.10	0.48
通化	114.95	0.76	0.14	287.36	2.64	0.42	4.11	0.88
白山	38.33	0.25	0.05	42.31	0.39	0.06	0.82	0.12
松原	359.35	2.33	0.41	1 137.05	10.45	1.68	18.07	2.88
白城	147.17	0.94	0.16	618.88	5.68	0.90	9.96	2.01
延边	100.53	0.67	0.12	216.75	1.99	0.32	3.99	0.61
总计	2 879.98	18.81	3.42	5 834.05	53.61	8.62	81.95	13.91

表 4 辽宁省粪肥秸秆养分供给量与农作物养分需求量

地区	猪当量 (万)	粪污养分供给量(万 t)		秸秆资源量 (万 t)	秸秆养分供给量(万 t)		农作物粪肥养分需求量(万 t)	
		氮	磷		氮	磷	氮	磷
沈阳	639.59	4.22	0.76	574.32	5.27	0.84	9.47	1.97
大连	348.20	2.23	0.43	158.29	1.45	0.23	3.33	0.63
鞍山	304.11	1.93	0.38	218.47	2.01	0.32	3.57	0.73
抚顺	62.84	0.40	0.08	111.12	1.02	0.16	1.50	0.26
本溪	76.82	0.50	0.09	52.57	0.48	0.08	0.71	0.12
丹东	132.68	0.84	0.16	153.70	1.41	0.22	2.60	0.59
锦州	600.32	3.90	0.73	358.70	3.30	0.53	6.11	1.10
营口	123.17	0.78	0.15	86.47	0.79	0.12	1.66	0.48
阜新	440.72	2.89	0.53	354.26	3.26	0.53	5.66	0.79
辽阳	117.58	0.75	0.14	150.47	1.38	0.22	2.39	0.55
盘锦	58.73	0.38	0.07	127.55	1.16	0.17	2.63	0.87
铁岭	339.66	2.19	0.41	563.24	5.18	0.84	7.49	1.17
朝阳	633.54	4.10	0.76	444.97	4.09	0.67	5.94	0.94
葫芦岛	226.54	1.45	0.28	133.08	1.22	0.20	3.47	0.61
总计	4104.50	26.56	4.97	3487.21	32.02	5.13	56.53	10.81

畜禽养殖量及畜禽粪污氮、磷养分供给量排名前 3 位的地级市均为长春市、绥化市、四平市。3 市合计均占总量的 24.6%。黑龙江省大兴安岭地区养殖量(21.65 万猪当量)最小,畜禽粪污氮、磷养分供给量(0.14 万 t、0.03 万 t)最低,分别占总量的 0.2%、0.2%。

2.1.3 农作物秸秆氮、磷养分供给量 农作物秸秆养分供给量是指秸秆还田产生的可供植物利用的氮、磷养分量。东北地区农作物秸秆氮、磷养分供给量分别为 163.84 万、26.25 万 t。黑龙江省、吉林省、辽宁省秸秆氮、磷养分供给量分别为 78.21 万、53.61 万、32.02 万 t 和 12.50 万、8.62 万、5.13 万 t。

秸秆资源量及秸秆氮、磷养分供给量排名前 3 位的地级市分别为哈尔滨市、齐齐哈尔市、绥化市,3 市合计占总量的 29.28%、29.28%、29.33%。黑龙江省大兴安岭地区秸秆资源量(5.63 万 t)最小,秸秆氮、磷养分供给量(0.05 万、0.01 万 t)最低,分别占总量的 0.03%、0.03%。

2.2 畜禽粪污土地承载力及畜禽养殖发展潜力空间分布特征

2.2.1 秸秆不还田情况

2.2.1.1 畜禽粪污土地承载力 畜禽粪污土地承载力是指在土地生态系统可持续运行的条件下,一定区域内土地所能承载的理论最大畜禽养殖量^[9]。

畜禽粪污土地承载力指数 I 为实际养殖总量与畜禽粪污土地承载力的比值,即 $I < 1$ 表示具有扩大养殖规模的潜力; $I > 1$ 表示须控制养殖规模。东北地区畜禽粪污氮、磷土地承载力分别为 34 027.79 万、42 513.44 万猪当量, I_N 、 I_P 分别为 0.31、0.24,具有扩大养殖规模的潜力。黑龙江省、吉林省、辽宁省畜禽粪污氮、磷土地承载力分别为 17 448.37 万、9 781.97 万、6 797.45 万猪当量和 21 773.60 万、11 849.45 万、8 890.39 万猪当量, I_N 、 I_P 分别为 0.20、0.29、0.60 和 0.16、0.24、0.46(表 5 至表 7)。

各地级市畜禽粪污氮、磷土地承载力排名前 3 位的是哈尔滨市、齐齐哈尔市、绥化市,3 市合计分别占总量的 27.84%、27.45%;辽宁省本溪市畜禽粪污氮土地承载力最小(占比 0.25%),吉林省白山市畜禽粪污磷土地承载力最小(占比 0.23%)。各地级市畜禽粪污氮、磷土地承载力指数均小于 1;本溪市 I_N 、 I_P 最大,分别为 0.90、0.76。

2.2.1.2 畜禽养殖发展潜力 若区域畜禽粪污土地承载力指数小于 1,说明该区域土地可消纳畜禽粪污量大于产生量,可以通过土地承载力(理论最大养殖量)和实际养殖量之差衡量养殖规模扩大潜力。以氮、磷为基准,黑龙江省、吉林省、辽宁省可增加畜禽养殖量分别为 14 040.82 万、6 901.99 万、2 692.95 万猪当量(N)和 18 366.07 万、8 969.49 万、4 785.87 万猪当量(P),总计 23 635.76 万(N)、

表 5 秸秆不还田情况下黑龙江省畜禽粪污土地承载力与养殖发展潜力

地区	畜禽粪污土地承载力(万猪当量)		畜禽粪污土地承载力指数		畜禽养殖发展潜力(万猪当量)	
	氮	磷	氮	磷	氮	磷
哈尔滨	3 182.87	4 068.36	0.18	0.14	2 616.12	3 501.62
齐齐哈尔	3 216.53	3 849.39	0.19	0.16	2 600.93	3 233.79
鸡西	752.39	1 149.21	0.12	0.08	661.44	1 058.27
鹤岗	282.51	466.77	0.35	0.21	184.90	369.15
双鸭山	636.91	768.09	0.12	0.10	561.78	692.97
大庆	1 152.53	1 339.70	0.29	0.25	822.44	1 009.61
伊春	310.23	367.37	0.20	0.17	247.68	304.82
佳木斯	1 886.93	3 009.41	0.12	0.08	1 659.09	2 781.57
七台河	253.04	305.26	0.16	0.13	212.17	264.39
牡丹江	882.40	959.74	0.23	0.21	682.43	759.77
黑河	1 633.54	1 583.43	0.14	0.15	1 400.70	1 350.59
绥化	3 075.36	3 753.25	0.27	0.23	2 229.66	2 907.55
大兴安岭	183.13	153.62	0.12	0.14	161.48	131.97
总计	17 448.37	21 773.60	0.20 *	0.16 *	14 040.82	18 366.07

注：* 表示全省实际畜禽养殖总量(以猪当量计)/全省的畜禽粪污土地承载力。下同。

表 6 秸秆不还田情况下吉林省畜禽粪污土地承载力与养殖发展潜力

地区	畜禽粪污土地承载力(万猪当量)		畜禽粪污土地承载力指数		畜禽养殖发展潜力(万猪当量)	
	氮	磷	氮	磷	氮	磷
长春	2 199.68	2 614.63	0.47	0.39	1 173.27	1 588.22
吉林	992.37	1 322.23	0.30	0.22	699.00	1 028.86
四平	1 792.55	1 835.97	0.38	0.37	1 113.13	1 156.56
辽源	366.57	400.95	0.33	0.30	246.12	280.50
通化	481.05	741.28	0.24	0.16	366.10	626.33
白山	97.16	99.44	0.39	0.39	58.83	61.11
松原	2 172.48	2 517.58	0.17	0.14	1 813.13	2 158.23
白城	1 211.05	1 797.25	0.12	0.08	1 063.88	1 650.09
延边	469.06	520.12	0.21	0.19	368.53	419.59
总计	9 781.97	11 849.45	0.29	0.24	6 901.99	8 969.49

32 121.43 万(P)猪当量;畜禽养殖发展潜力排名前 3 位是哈尔滨市、齐齐哈尔市、绥化市,分别为 2 616.1 万、2 600.9 万、2 229.7 万猪当量(N)和 3 501.6 万、3 233.8 万、2 907.6 万猪当量(P),3 市合计占比 31.51%(N)、30.02%(P)。

2.2.2 秸秆还田情况

2.2.2.1 畜禽粪污土地承载力 秸秆还田情况下,东北地区畜禽粪污氮、磷土地承载力分别为 9 441.68 万、12 676.97 万猪当量,畜禽粪污氮、磷

表 7 秸秆不还田情况下辽宁省畜禽粪污土地承载力与养殖发展潜力

地区	畜禽粪污土地承载力(万猪当量)		畜禽粪污土地承载力指数		畜禽养殖发展潜力(万猪当量)	
	氮	磷	氮	磷	氮	磷
沈阳	1 115.23	1 644.11	0.57	0.39	475.64	1 004.51
大连	403.88	510.62	0.86	0.68	55.68	162.43
鞍山	438.25	588.39	0.69	0.52	134.13	284.28
抚顺	182.89	213.74	0.34	0.29	120.05	150.89
本溪	85.42	100.57	0.90	0.76	8.60	23.74
丹东	318.66	477.66	0.42	0.28	185.98	344.98
锦州	732.00	908.87	0.82	0.66	131.68	308.55
营口	203.87	395.05	0.60	0.31	80.70	271.88
阜新	671.25	659.90	0.66	0.67	230.53	219.18
辽阳	291.53	448.16	0.40	0.26	173.96	330.59
盘锦	317.63	707.83	0.18	0.08	258.89	649.09
铁岭	901.89	959.33	0.38	0.35	562.23	619.67
朝阳	714.05	776.77	0.89	0.82	80.51	143.23
葫芦岛	420.90	499.39	0.54	0.45	194.37	272.85
总计	6 797.45	8 890.39	0.60	0.46	2 692.95	4 785.87

土地承载力 I_N 、 I_P 分别为 1.10、0.82。黑龙江省、吉林省、辽宁省畜禽粪污氮、磷土地承载力分别为 4 001.57 万、2 423.45 万、3 016.66 万猪当量和 5 305.26 万、3 138.79 万、4 232.92 万猪当量, I_N 和 I_P 分别为 0.85、1.19、1.36 和 0.64、0.92、0.97(表 8 至表 10)。

表 8 秸秆还田情况下黑龙江省畜禽粪污土地承载力与养殖发展潜力

地区	畜禽粪污土地承载力(万猪当量)		畜禽粪污土地承载力指数		畜禽养殖发展潜力(万猪当量)	
	氮	磷	氮	磷	氮	磷
哈尔滨	565.46	817.00	1.00	0.69	-1.29**	250.25
齐齐哈尔	659.67	842.70	0.93	0.73	44.08	227.10
鸡西	107.41	189.30	0.85	0.48	16.47	98.36
鹤岗	101.22	192.67	0.96	0.51	3.61	95.05
双鸭山	93.43	126.84	0.80	0.59	18.30	51.72
大庆	308.89	374.64	1.07	0.88	-21.19**	44.55
伊春	111.40	150.12	0.56	0.42	48.85	87.58
佳木斯	296.21	536.76	0.77	0.42	68.37	308.91
七台河	42.89	57.56	0.95	0.71	2.01	16.69
牡丹江	230.80	270.72	0.87	0.74	30.83	70.75
黑河	539.24	547.94	0.43	0.42	306.39	315.10
绥化	811.25	1 082.73	1.04	0.78	-34.45**	237.04
大兴安岭	133.70	116.28	0.16	0.19	112.05	94.63
总计	4 001.57	5 305.26	0.85	0.64	594.03	1 897.73

注：** 表示实际畜禽养殖总量(以猪当量计)高于畜禽粪污土地承载力。负号表示实际畜禽养殖总量高于畜禽粪污土地承载力。下同。

表 9 秸秆还田情况下吉林省畜禽粪污土地承载力与养殖发展潜力

地区	畜禽粪污土地承载力(万猪当量)		畜禽粪污土地承载力指数		畜禽养殖发展潜力(万猪当量)	
	氮	磷	氮	磷	氮	磷
长春	742.90	958.98	1.38	1.07	-283.51	-67.42
吉林	251.34	366.96	1.17	0.80	-42.03	73.59
四平	506.46	569.16	1.34	1.19	-172.96	-110.26
辽源	91.47	109.09	1.32	1.10	-28.98	-11.36
通化	107.94	181.89	1.06	0.63	-7.00	66.95
白山	38.28	41.30	1.00	0.93	-0.05	2.97
松原	395.37	493.79	0.91	0.73	36.02	134.44
白城	172.25	278.09	0.85	0.53	25.08	130.92
延边	117.44	139.53	0.86	0.72	16.91	38.99
总计	2 423.45	3 138.79	1.19	0.92	-456.52	258.82

表 10 秸秆还田情况下辽宁省畜禽粪污土地承载力与养殖发展潜力

地区	畜禽粪污土地承载力(万猪当量)		畜禽粪污土地承载力指数		畜禽养殖发展潜力(万猪当量)	
	氮	磷	氮	磷	氮	磷
沈阳	495.94	782.37	1.29	0.82	-143.65	142.77
大连	244.43	329.28	1.42	1.06	-103.77	-18.92
鞍山	214.62	316.54	1.42	0.96	-89.49	12.42
抚顺	51.60	67.69	1.22	0.93	-11.24	4.84
本溪	43.25	54.66	1.78	1.41	-33.57	-22.16
丹东	119.05	202.27	1.11	0.66	-13.63	69.59
锦州	396.49	524.57	1.51	1.14	-203.83	-75.75
营口	101.26	219.19	1.22	0.56	-21.92	96.02
阜新	315.54	328.10	1.40	1.34	-125.18	-112.62
辽阳	102.66	178.40	1.15	0.66	-14.92	60.83
盘锦	77.91	209.19	0.75	0.28	19.18	150.45
铁岭	268.42	316.68	1.27	1.07	-71.24	-22.98
朝阳	357.22	414.55	1.77	1.53	-276.32	-218.99
葫芦岛	228.27	289.43	0.99	0.78	1.73	62.90
总计	3 016.66	4 232.92	1.36	0.97	-1 087.85	128.40

各地级市畜禽粪污氮、磷土地承载力排名前 3 位的是黑龙江省绥化市、吉林省长春市、黑龙江省齐齐哈尔市,3 市合计分别占东北地区畜禽粪污氮、磷土地承载力总量的 23.45%、22.75%;白山市畜禽粪污氮、磷土地承载力最小,分别占比 0.4%、0.3%。 $I_N > 1$ 的地级市有 21 个,辽宁省本溪市 I_N 最大(1.78); $I_P > 1$ 的地级市有 9 个,辽宁省朝阳市 I_P 最大(1.53)。

2.2.2.2 畜禽养殖发展潜力 秸秆还田情况下,以氮为基准,东北地区的实际养殖量高于最大承载养

殖量($I_N > 1$),须减少养殖 950.34 万猪当量;以磷为基准, $I_P < 1$,可增加养殖 2 284.95 万猪当量。以氮为基准,黑龙江省可增加养殖 594.03 万猪当量,吉林省、辽宁省须分别减少养殖 456.52 万、1 087.85 万猪当量;各地级市养殖须减少量前 3 位的是吉林省长春市(-283.51 万猪当量)、辽宁省省朝阳市(-276.32 万猪当量)、辽宁省锦州市(-203.83 猪当量);养殖可增加量前 3 位的为黑龙江省黑河市(306.4 万猪当量)、黑龙江省大兴安岭地区(112.1 万猪当量)、黑龙江省佳木斯市(68.4 万猪当量)。以磷为基准,黑龙江省、吉林省、辽宁省可增加养殖 1 897.73 万、258.82 万、128.40 万猪当量;养殖可增加量前 3 位的为黑河市(315.1 猪当量)、佳木斯市(308.9 万猪当量)、哈尔滨市(250.3 万猪当量)。

3 结论与讨论

3.1 秸秆不还田与还田对畜禽粪污土地承载力与畜禽养殖发展潜力的影响

东北地区是我国重要的商品粮产区,粮食种植面积占全国的 1/5,2017 年粮食产量为 11 875 万 t,占全国的 19.2%^[5],秸秆年产量占全国秸秆总产量的 1/5^[28]。2018 年东北地区秸秆产量为 19 344.1 万 t,还田输入土地的氮(177.6 万 t)、磷(28.3 万 t)降低了农作物对粪肥养分的需求量,进而减少畜禽粪污土地承载力。相对于秸秆不还田,秸秆还田后东北地区畜禽粪污氮、磷土地承载力分别降低 24 586.11 万、29 836.47 万猪当量,降幅分别为 72.25%、70.18%。秸秆不还田以氮为基准评估的东北地区可增加养殖 23 635.76 万猪当量,秸秆还田则须减少 950.34 万猪当量;以磷为基准,秸秆不还田与秸秆还田情况下东北地区可分别增加养殖 32 121.43 万、2 284.95 万猪当量。

秸秆还田虽然可以解决秸秆焚烧问题,但秸秆还田也可能导致农作物出苗率降低、加重农作物病虫害发生、引起土壤重金属等有害有毒物质积累等^[29-30]。秸秆降解时间短,导致在土壤中不能够完全腐化,影响下茬作物播种,因此不利于作物根系对营养物质的吸收,严重时使作物减产^[31]。2021 年 2 月 22 日,国务院发布《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》,明确提出推进农作物秸秆综合利用,把秸秆的资源化利用与东北地区耕地质量保护和提升有机结合,推进秸秆“五化”综合利用方式^[32]。为提高土地消纳畜禽粪

污能力和增加畜禽养殖发展潜力,提高“燃料化、饲料化、原料化、基料化”利用比例、降低“肥料化”利用比例,通过畜禽粪污还田补充土壤养分和有机质,进而实现保护和提升东北黑土地质量的目的。

3.2 因地制宜,优化养殖布局

东北地区耕地面积广、土地消纳粪污能力强、畜牧业养殖潜力大,我国实行“南畜北移”政策。秸秆不还田情况下,所有地级市都具备畜禽养殖发展潜力;在秸秆禁烧、黑土地质量提升的政策背景下,秸秆还田导致 21 个地级市的实际养殖量超过以氮为基准计算的理论最大养殖总量。因此,对于秸秆资源丰富的东北地区,“以畜定养”的畜禽养殖规划布局策略可进一步优化为“以种植业和养殖业输入土地的氮磷定最大养殖量”,从而减少农业面源污染,最终实现农业高质高效绿色可持续发展。

参考文献:

- [1] 宋璐. 我国畜牧业养殖区域布局演变与发展研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
- [2] 李婧, 吴根义, 姜彩红, 等. 东北地区生猪养殖粪污资源化利用技术应用[J]. 中国沼气, 2019, 37(3): 100–104.
- [3] 黄显雷, 赵俊伟, 方琳娜, 等. 基于种养结合的畜禽养殖环境承载力研究——以舒兰市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(4): 34–42.
- [4] 农业部. 农业部关于加快东北粮食主产区现代畜牧业发展的指导意见[J]. 乳业科学与技术, 2017, 40(6): 45–47.
- [4] 农业部. 农业部《关于加快东北粮食主产区现代畜牧业发展的指导意见》[J]. 中国食品, 2017(17): 160–162.
- [5] 张伟明, 陈温福, 孟军, 等. 东北地区秸秆生物炭利用潜力、产业模式及发展战略研究[J]. 中国农业科学, 2019, 52(14): 2406–2424.
- [6] 覃诚, 毕于运, 高春雨, 等. 中国农作物秸秆禁烧管理与效果[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(7): 181–189.
- [7] 农业部. 农业部关于印发《东北地区秸秆处理行动方案》的通知[J]. 中华人民共和国农业部公报, 2017(6): 27–30.
- [8] 农业部办公厅. 关于印发《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》的通知: 农办牧[2018]1号[EB/OL]. (2018–01–22)[2021–01–01]. <https://www.moa.gov.cn/gk/tzgg-1/tfw/t20180122-6135486.htm>.
- [9] 肖琴, 周振亚, 罗其友. 长江中下游地区畜禽承载力评估与预警分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2050–2058.
- [10] 郑莉, 张晴雯, 张爱平, 等. 山东省畜禽粪污土地承载力时空分异特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(4): 882–891.
- [11] 郭彩霞, 杨子森, 马文奇, 等. 山西省畜禽粪污土地承载力及粪尿替代化肥潜力分析[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(7): 1548–1557.
- [12] 国家统计局黑龙江调查总队, 黑龙江省统计局. 黑龙江省统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [13] 国家统计局吉林调查总队, 吉林省统计局. 吉林省统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [14] 国家统计局辽宁调查总队, 辽宁省统计局. 辽宁省统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [15] 康日峰, 任意, 吴会军, 等. 26 年来东北黑土区土壤养分演变特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(11): 2113–2125.
- [16] 李晗, 徐志强. 辽宁省耕地质量监测数据分析与研究[J]. 农业科技与装备, 2020(4): 12–14.
- [17] 李占, 丁娜, 郭立月, 等. 有机肥和化肥不同比例配施对冬小麦—夏玉米生长、产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2013, 45(7): 71–77, 82.
- [18] 朱宝国, 于忠和, 王囡囡, 等. 有机肥和化肥不同比例配施对大豆产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2010, 29(1): 97–100.
- [19] 全国畜牧总站, 中国饲料工业协会, 国家畜禽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.
- [20] 李廷亮, 王宇峰, 王嘉豪, 等. 我国主要粮食作物秸秆还田养分资源量及其对小麦化肥减施的启示[J]. 中国农业科学, 2020, 53(23): 4835–4854.
- [21] 柴如山, 徐悦, 程启鹏, 等. 安徽省主要作物秸秆养分资源量及还田利用潜力[J]. 中国农业科学, 2021, 54(1): 95–109.
- [22] 王密盛. 黑龙江省秸秆利用方式解析[J]. 农机使用与维修, 2021(2): 123–124.
- [23] 梁卫, 袁静超, 张洪喜, 等. 东北地区玉米秸秆还田培肥机理及相关技术研究进展[J]. 东北农业科学, 2016, 41(2): 44–49.
- [24] 孙妮娜, 王晓燕, 李洪文, 等. 水稻秸秆直接还田技术配套机具研究进展[J]. 农机化研究, 2019, 41(7): 1–7.
- [25] 柴如山, 王擎运, 叶新新, 等. 我国主要粮食作物秸秆还田替代化学氮肥潜力[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(11): 2583–2593.
- [26] 李一, 王秋兵. 我国秸秆资源养分还田利用潜力及技术分析[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 119–126.
- [27] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [28] 申贵男, 袁媛, 艾士奇, 等. 东北粮食主产区秸秆和畜禽粪便资源化现状问卷调查及建议[J]. 土壤与作物, 2020, 9(3): 296–303.
- [29] 宋佳, 曾希柏, 王亚男, 等. 秸秆还田的效果、问题与对策[J]. 生态学杂志, 2020, 39(5): 1715–1722.
- [30] 赵亚慧, 贺笑, 王宁, 等. 不同理化调控措施缓解麦秸对水稻生长负面效应[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 300–305.
- [31] 董祥洲, 徐粲然, 朱启法, 等. 秸秆还田对土壤环境影响的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(13): 1–4.
- [32] 国务院印发《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》[EB/OL]. (2021–02–22)[2021–03–22]. <https://www.gov.cn/xinwen/2021-02/22/content-5588304.htm>.