

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.12.015

基于氮养分平衡法的 畜禽粪污土地承载力研究 ——以重庆市为例

黄柏云¹, 李铮², 黄容², 王子芳¹, 向书江¹, 高明¹

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400715; 2. 四川农业大学 资源学院, 成都 611130

摘要: 为科学规划区域内的种植与养殖结构, 减少畜禽粪污等农业污染源, 进一步为重庆市农牧业绿色发展提供科学依据, 该研究基于氮养分平衡法, 测算了重庆市各区县的畜禽粪污土地承载力. 结果表明, 重庆市主要作物的氮养分总需求量为 557 487 t, 其中蔬菜及食用菌的氮肥需求量最大(165 481 t). 重庆市的土壤全氮平均质量分数处于相对较高的肥力水平(1.26 g/kg), 施肥供给占比为 35%, 其中 15 个区县的施肥供给养分占比值可达 45%. 重庆市主要作物的粪肥氮养分需求总量为 286 177~343 412 t, 不同区县的主要作物粪肥养分需求总量分布不均. 当粪肥中氮素当季利用率为 25%~30% 时, 重庆全市的畜禽粪污土地承载力为 4 088.24~4 905.89 万头猪当量, 其中蔬菜畜禽粪污土地承载力最大, 为 1 213.52~1 456.23 万头猪当量, 其次为水稻和玉米. 与重庆市实际存栏量相比, 重庆市畜牧业仍有一定的发展空间, 但区域差异明显, 重庆主城区、城口县、丰都县、璧山区、石柱土家族自治县、秀山土家族苗族自治县的畜禽粪污土地承载力较小, 需要积极引导其从减少畜禽饲养量、改变粪污资源化利用方式等方面进行管控. 江津区、涪陵区、万州区、潼南区作为重庆特色产业(如榨菜、柑橘、花椒等)的主要种植区域, 其存栏量不到畜禽粪污土地承载力的 25%, 可作为畜牧业转移的区域.

关键词: 土地承载力; 畜禽粪污; 作物; 氮养分需求量

中图分类号: X53

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2022)12-0145-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the Land Carrying Capacity of Livestock and Poultry Manure Basing on the Method of Nitrogen Nutrient Balance ——Take Chongqing as an Example

HUANG Boyun¹, LI Zheng², HUANG Rong²,
WANG Zifang¹, XIANG Shujia¹, GAO Ming¹

1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

Abstract: To scientifically coordinate the development of planting and breeding structure in the region and

收稿日期: 2021-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(42177019); 重庆市技术创新与应用示范专项重点研发项目(cstc2018jscx-mszdX0061).

作者简介: 黄柏云, 硕士, 主要从事土壤质量与环境研究.

通信作者: 高明, 研究员, 博士研究生导师.

reduce the agricultural pollution sources such as livestock and poultry dung, the land carrying capacity of livestock and poultry manure was studied in Chongqing basing on the nitrogen (N) nutrient balance method (NNBM). The study can provide scientific basis for the green development of agriculture and animal husbandry in Chongqing. Results showed that the N requirement of main crop in Chongqing was 557 487 t among which the N requirement of vegetable and edible mushrooms was the highest with the value of 165 481 t. The average content of soil N in Chongqing was at a relative higher fertility level of 1.26 g/kg. The proportion of nutrient supplied by fertilization in Chongqing was 35%, of which the proportion of fertilization supplied nutrient was 45% in 15 districts and counties based on the soil N content of each county and district. The total requirement of manure nitrogen nutrient of main crops in Chongqing was 286 177—343 412 t and the total requirement of manure nitrogen nutrient of main crops in different districts and counties was unevenly distributed. When seasonal utilization rate of nitrogen in manure is 25%—30%, the land carrying capacity of livestock and poultry manure in Chongqing is 4 088.24—4 905.89 ten thousand pig equivalents. The highest land carrying capacity of livestock and poultry manure is the vegetable field, which is 1 213.52—1.456.2 ten thousand pig equivalents, followed by rice and maize field. Compared with the actual annual stock of livestock and poultry, there is still some space for the development of animal husbandry in Chongqing, but regional differences are obvious. The land carrying capacity of livestock and poultry manure in the main urban area Chongqing, Chengkou County, Fengdu County, Bishan District, Shizhu Tujia Autonomous County and Xiushan Tujia and Miao Autonomous County are small. It is necessary to guide these counties and districts to reduce the amount of livestock and poultry and change the way of manure resource utilization. The districts of Jiangjin, Fuling, Wanzhou and Tongnan, as the main planting area of Chongqing characteristic agriculture industries such as mustard, citrus and prickly ash, their stock volume is less than 25% of the land capacity of livestock and poultry manure, so these districts can be used as the transfer areas of animal husbandry.

Key words: land carrying capacity; poultry manure; crop; nitrogen requirement

我国是畜禽养殖大国, 畜禽粪污产量高, 对环境影响较大, 利用率不高, 已严重威胁到生态环境^[1-4]. 近年来, 畜禽粪便的污染防治成为我国生态文明建设的重点. 规模化畜禽养殖环境污染已严重制约了畜禽养殖业的绿色健康发展. 近年来, 发展种养结合是实现农业绿色发展的关键, 《全国农业可持续发展规划(2015—2030 年)》中强调, 要积极优化和调整种植业和养殖业结构, 促进种养结合、农牧循环发展, 推进生态循环农业发展. 但是, 部分地区由于缺乏种植和养殖结构科学的规划, 造成种植和养殖不协调^[5]. 有研究表明, 我国 2011 年大部分地区畜禽实际养殖量已经超过 50% 的环境容量, 引发了一系列畜禽养殖环境污染问题^[6].

畜禽粪污富含 C, N, P 等多种养分, 可以作为肥料进行还田处理. 一般认为, 畜禽粪污还田对土壤有机质有积极的影响, 对土壤培肥有重要作用^[7-9]. Springer 等^[10]研究表明, 施用粪肥有助于提高土壤抗风化能力, 改善土壤质量, 促进土壤有益微生物的生长, 达到提质增产的效果. 畜禽粪污肥料化利用是其资源化利用途径中最主要的一种方式, 利用畜禽粪便可有机肥来替代部分化肥, 不仅可以降低成本, 减少污染, 还能提高土壤肥力水平. 为确定区域的畜禽养殖数量, 合理优化种养结构, 以便合理有效地消纳畜禽粪污, 部分欧洲国家依据硝酸盐盐碱弱区内农田 N, P 投入量的阈值($N \leq 70 \text{ kg/hm}^2$, $P_2O_5 \leq 170 \text{ kg/hm}^2$), 确定单位面积的家畜养殖数量^[11-12]. 但是我国国情与欧美国家不同, 不能简单套用欧美标准, 需要着眼于区域尺度来考虑畜禽粪污土地承载力的问题^[13]. 针对不同农作物对粪污的吸收能力, 农业农村部 2018 年发布了《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》, 其目的是基于养分平衡和农作物的需肥规律, 在考虑不同粪污处理过程中粪尿养分损失的情况下, 计算区域尺度的畜禽粪污土地承载力^[14]. 闫熠峰等^[1]以《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》为主要计算依据, 分析了山西省各市区主要粮食作物的耕地土地承载力, 表明按粪肥比例 50% 计算, 山西省 11 个市主要粮食作物耕地的土地承载力大于粪肥的养分总供给量, 但仍有部分区县粪肥供给量超过了土地承载力. 安思羽等^[15]研究表明, 我国畜禽粪便产生的氮磷养分每年分别可达

7.98×10^6 , 6.42×10^6 t, 依据果菜茶理论养分需求量, 通过畜禽有机肥替代化肥, 70%左右的省份可实现化肥减量目标, 减少氮磷化肥面源污染, 但是各地区畜禽有机肥替代化肥量空间差异较大. 目前, 重庆正处于农业供给侧结构改革的关键时期, 迫切需要分析县域尺度的畜禽粪污土地承载力, 为科学规划区域内的种植与养殖结构, 减少畜禽粪污等农业污染源, 促进绿色农业和可持续农业的发展提供重要支撑. 因此, 本研究以重庆为研究区域, 基于氮养分平衡原理, 根据区域内主要作物氮养分量, 计算区域畜禽粪污土地承载力, 以便为区域内种养结合的合理搭配提供量化的、合理的科学依据.

1 材料与方法

1.1 数据来源

重庆市各区县的谷类、豆类、折粮薯类、瓜果类、蔬菜类等主要作物类型、种植面积以及氮养分需求量主要来源于 2018 年《重庆市统计年鉴》^[16]. 重庆市各区县的土壤氮养分质量分数的数据来源于《重庆农业土壤》(上、中、下卷和增补)^[17]. 由于土壤不同氮养分水平下的施肥比例不同, 因此在确定氮肥的供给养分占比时, 主要依据《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》^[14]中土壤不同氮养分水平下施肥供给养分占比推荐值, 再结合重庆土壤的肥力水平确定, 其中土壤不同氮养分水平下的施肥供给养分占比推荐值(表 1)来源于《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》. 重庆各区县的行政地图的底图来源于中国科学院资源环境数据中心(<https://www.resdc.cn/>).

表 1 土壤不同氮养分水平下施肥供给养分比例推荐值 g/kg

地类	I (35%)	II (45%)	III (55%)
旱地(大田作物)	>1.0	0.8~1.0	<0.8
水田	>1.2	1.0~1.2	<1.0
菜地	>1.2	1.0~1.2	<1.0
果园	>1.0	0.8~1.0	<0.8

1.2 计算方法

基于物质平衡循环理论, 本研究主要采用氮养分平衡法(Nitrogen Nutrient Balance Method, NNBM)评估重庆市各区县的畜禽粪污土地承载力^[18]. 重庆传统的施肥方式主要是“重氮、轻磷、轻钾”^[15], 因此本研究畜禽粪污土地承载力是以氮养分供给和需求为基础测算, 即重庆市畜禽粪污土地承载力等于重庆市各区县作物的粪肥养分需求量除以单位猪当量粪肥养分供给量(以存栏猪当量计)^[14].

依据农业农村部制定的《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》中的测算方法^[14], 对区域内主要作物(经济作物、粮食作物)的氮养分需求量进行计算, 计算公式为:

$$NU = \sum_i^n P_i \times C_i$$

式中: NU 为区域内主要作物的每年氮养分需求总量, kg; P_i 为区域内第 i 种作物的面积, hm^2 ; C_i 为区域内第 i 种作物单位面积的氮养分需求量, kg/hm^2 . 其中, 区域内主要作物的种植面积来源于 2018 年《重庆市统计年鉴》^[16], 单位面积的氮养分需求量来源于《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》^[14]并结合区域内实际施肥情况所得.

依据农业农村部制定的《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》^[14], 区域内主要作物的粪肥氮养分需求量的计算公式如下:

$$MU = \frac{NU \times Fr \times Mr}{Ms}$$

式中: MU 为区域内主要作物的粪肥氮养分需求量, kg; Fr 为区域内氮肥的供给养分比例, %, 依据重庆市各区县的土壤氮养分质量分数, 再结合《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》中不同氮养分水平下土壤的施肥供给养分比例推荐值(表 1)确定; Mr 为区域内粪肥占施肥比例, %, 根据重庆市各区县有机肥替代化肥项目实施情况确定; Ms 为粪肥中氮素当季利用率, %, 取值范围推荐值为 25%~30%.

区域内畜禽粪污土地承载力的计算公式如下:

$$I = \frac{MU}{R}$$

式中： I 为区域内畜禽粪污土地承载力，单位为万头猪当量； R 为单位猪当量氮养分供给量，参照《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》^[14]，1 头猪为 1 个猪当量，1 个猪当量的氮排泄量为 11 kg，但由于在收集、处理和贮存畜禽粪污过程中养分会损失，因此设定重庆市的单位猪当量氮养分供给量为 7 kg。

依据《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》^[14] 中的标准，按存栏量折算：100 头猪相当于 15 头奶牛、30 头肉牛、250 只羊、2 500 只家禽。根据《重庆市统计年鉴》的数据，折算出重庆各区县牛(奶牛和肉牛)、猪、羊、家禽年末存栏量猪当量数量。

2 结果分析

2.1 重庆市主要作物的氮养分需求量

根据统计年鉴数据，重庆市主要作物包括谷物类(水稻、小麦、玉米、高粱)、豆类(大豆)、折粮薯类(马铃薯和甘薯)、油料类(花生、芝麻、油菜)、生麻(生苕麻)、糖料(甘蔗)、烟草类(烟叶和烤烟)、蔬菜及食用菌、瓜果类(西瓜、香瓜、草莓)、果树类(柑橘)、花椒、茶叶、青饲料。从表 2 可以看出，重庆市主要作物的氮养分总需求量为 557 487 t，其中蔬菜及食用菌的氮肥需求量最大，为 165 481 t，其次是水稻和玉米，这主要是由于蔬菜及食用菌、水稻和玉米等作物的单位面积的氮施用量大且种植面积较大。就重庆市各区县而言(图 1)，江津区主要作物的氮养分需求总量最高，为 32 926 t，其次是涪陵区、潼南区、万州区和合川区，这些地区的主要作物氮养分需求总量均超过了 20 000 t。

表 2 重庆市主要作物的氮养分需求量

作物品种		氮施用量/(kg·hm ⁻²)	种植面积(×10 ⁴ hm ²)	氮养分需求量/t
谷类	水稻	136.5	65.6	89 605
	小麦	96.0	2.5	2 380
	玉米	160.5	44.2	70 995
	高粱	100.5	1.6	1 613
豆类	大豆	75.0	9.7	7 281
折粮薯类	马铃薯	82.5	33.4	27 575
	甘薯	75.0	33.8	25 373
油料	花生	79.5	5.9	4 664
	芝麻	91.5	0.6	592
	油菜籽	138.0	26.0	35 863
生麻	生苕麻	202.5	0.4	834
糖料	甘蔗	73.5	0.2	170
烟草类	烟叶(未加工烤烟)	75.0	3.5	2 618
	烤烟(未去梗烤烟叶)	73.5	3.1	2 253
蔬菜及食用菌		217.5	76.1	165 481
其中：	榨菜	124.5	11.7	14 525
瓜果类	西瓜	66.0	2.2	1 453
	香瓜(甜瓜)	70.5	0.0	21
	草莓	90.0	0.2	181
果树类	柑橘	244.5	28.5	69 788
其他	花椒	450.0	4.1	18 501
	茶叶	135.0	5.7	7 722
	青饲料	142.5	5.6	8 000

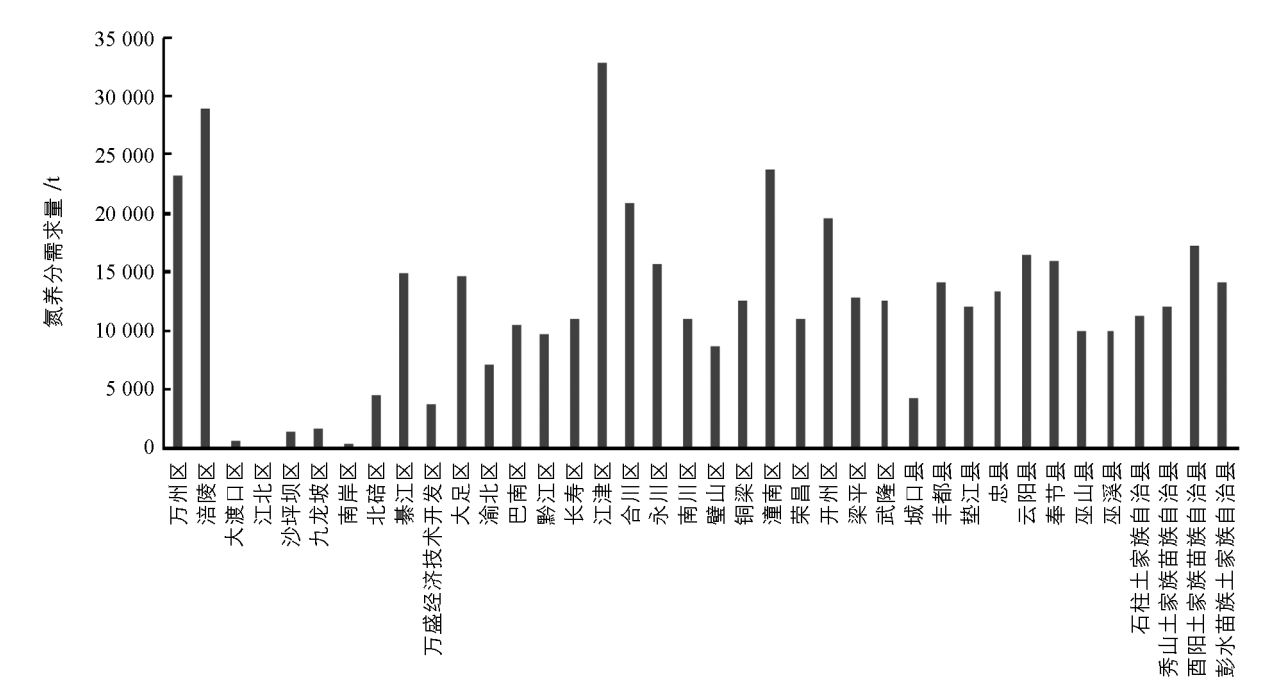


图 1 重庆市各区县主要作物的氮养分需求总量

2.2 重庆市各区县施肥供给养分比例及粪肥占施肥比例

重庆市各区县施肥供给养分比例主要基于氮肥的供给养分比例, 是根据各区县的土壤氮养分确定. 根据土壤不同氮养分水平下的施肥供给养分比例推荐值(表 1), 结合重庆市各区县的土壤全氮质量分数, 估算各区县施肥供给养分比例. 从表 3 可以看出, 重庆市土壤全氮的质量分数为 0.38~3.52 g/kg, 变异系数为 0.32, 平均质量分数为 1.26 g/kg, 土壤养分等级为Ⅰ级, 对全市而言, 施肥供给养分比例应为 35%. 就重庆市各区县而言(表 3 和图 2), 城口县的土壤全氮平均质量分数最高, 为 1.93 g/kg, 其次为巫溪县, 该县的土壤全氮质量分数为 1.31~2.56 g/kg, 平均质量分数为 1.88 g/kg; 城口县和巫溪县的土壤养分等级均为Ⅰ级, 施肥供给养分比例为 35%. 此外, 北碚、垫江、丰都、奉节、合川、九龙坡、梁平、南川、彭水、黔江、沙坪坝、石柱、万盛、巫山、武隆、秀山和酉阳等 17 个区县的土壤全氮平均质量分数也均超过了 1.2 g/kg, 土壤养分等级均为Ⅰ级, 施肥供给养分比例为 35%. 江津、开州、荣昌和万州等 4 个区县的土壤全氮质量分数的平均值小于 1.0 g/kg, 土壤养分等级为Ⅲ级, 施肥供给养分比例为 55%. 总体上, 重庆市的土壤全氮平均质量分数处于相对较高的水平, 其中 19 个区县的施肥供给养分占比值达 35%, 15 个区县的施肥供给养分占比值达 45%.

根据重庆市各区县有机肥替代化肥项目实施情况(表 3), 大渡口、江北、沙坪坝、九龙坡、南岸、北碚、万盛、渝北、巴南、璧山、城口、石柱等 12 个区县的粪肥占施肥比例为 30%, 而其他区县的粪肥占施肥比例为 50%. 重庆市粪肥占施肥比例的平均值为 44%.

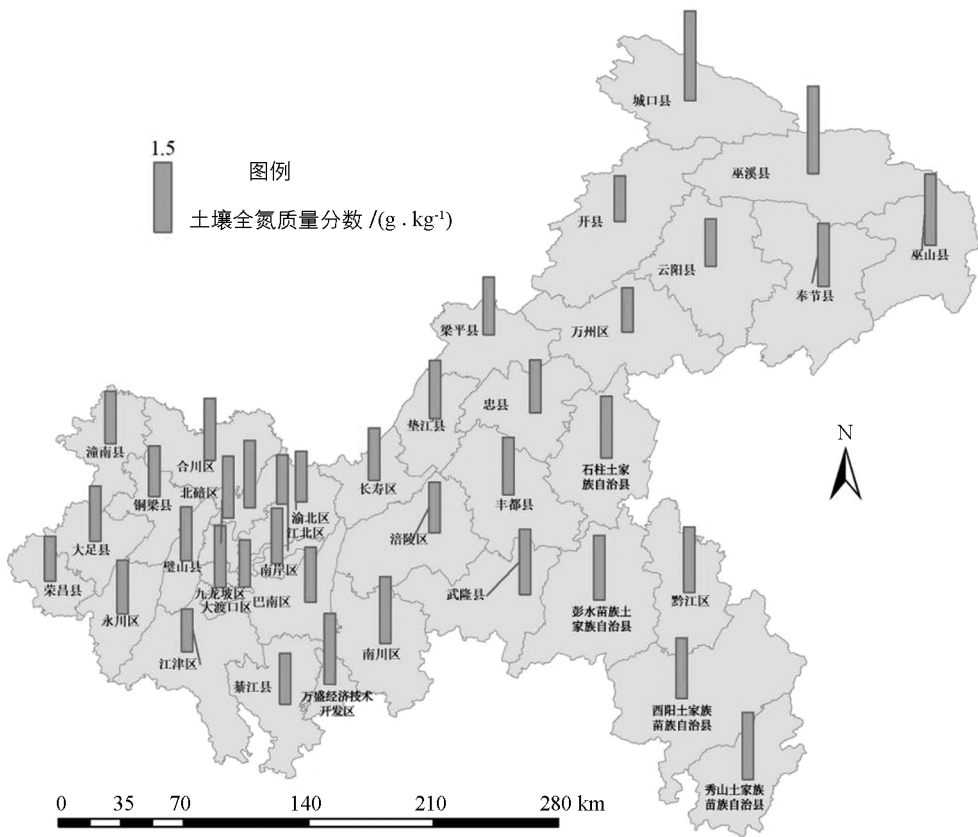
表 3 重庆市各区县土壤全氮质量分数及其氮养分等级

重庆各区县	最小值/ (g · kg ⁻¹)	最大值/ (g · kg ⁻¹)	平均值/ (g · kg ⁻¹)	变异系数	土壤氮 养分分级	施肥供给 比例/%	粪肥占 施肥比例/%
全市	0.38	3.52	1.26	0.32	Ⅰ	35	44
万州区	0.41	1.99	0.95	0.45	Ⅲ	55	50
涪陵区	0.68	2.14	1.09	0.37	Ⅱ	45	50
大渡口区	0.39	1.25	1.02	0.18	Ⅱ	45	30
江北区	0.52	1.38	1.06	0.20	Ⅱ	45	30

续表 3

重庆各区县	最小值/ (g·kg ⁻¹)	最大值/ (g·kg ⁻¹)	平均值/ (g·kg ⁻¹)	变异系数	土壤氮 养分分级	施肥供给 比例/%	粪肥占 施肥比例/%
沙坪坝区	0.66	2.62	1.34	0.44	I	35	30
九龙坡区	0.58	2.11	1.34	0.36	I	35	30
南岸区	0.42	1.36	1.20	0.18	II	45	30
北碚区	0.73	2.32	1.45	0.33	I	35	30
綦江区	0.64	1.93	1.10	0.29	II	45	50
万盛经济技术开发区	1.08	2.13	1.54	0.19	I	35	30
大足区	0.60	1.74	1.19	0.30	II	45	50
渝北区	0.40	1.86	1.10	0.35	II	45	30
巴南区	0.86	1.49	1.19	0.20	II	45	30
黔江区	0.62	2.33	1.41	0.34	I	35	50
长寿区	0.52	2.3	1.13	0.50	II	45	50
江津区	0.47	1.66	0.93	0.33	III	55	50
合川区	0.70	2.05	1.33	0.29	I	35	50
永川区	0.43	1.72	1.15	0.28	II	45	50
南川区	0.94	2.34	1.44	0.24	I	35	50
璧山区	0.75	1.97	1.16	0.33	II	45	30
铜梁区	0.57	1.55	1.09	0.27	II	45	50
潼南区	0.58	2.21	1.12	0.46	II	45	50
荣昌区	0.64	1.47	0.97	0.25	III	55	50
开州区	0.61	1.63	0.99	0.35	III	55	50
梁平区	0.49	2.07	1.25	0.36	I	35	50
武隆区	0.55	2.11	1.41	0.35	I	35	50
城口县	0.60	3.52	1.93	0.36	I	35	30
丰都县	0.38	1.91	1.24	0.32	I	35	50
垫江县	0.54	1.96	1.26	0.31	I	35	50
忠县	0.59	2.01	1.14	0.41	II	45	50
云阳县	0.48	1.41	1.02	0.31	II	45	50
奉节县	0.77	2.85	1.36	0.40	I	35	50
巫山县	0.35	2.79	1.54	0.36	I	35	50
巫溪县	1.31	2.56	1.88	0.22	I	35	50
石柱土家族自治县	0.70	3.24	1.33	0.49	I	35	30
秀山土家族苗族自治县	0.76	2.24	1.44	0.23	I	35	50
酉阳土家族苗族自治县	0.86	1.76	1.31	0.21	I	35	50
彭水苗族土家族自治县	0.73	2.03	1.39	0.30	I	35	50

注：表中重庆市各区县的土壤氮养分质量分数的数据来源于《重庆农业土壤》(上、中、下卷和增补)；重庆市各区县的施肥供给养分比例是依据《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》中土壤不同氮养分水平下的施肥供给养分比例推荐值(表 1)；粪肥占施肥的比例的数据主要根据重庆有机肥替代化肥项目实施情况。



审图号: GS(2019)2351 号

图 2 重庆市各区县土壤全氮质量分数分布图

2.3 重庆市各区县主要作物的粪肥氮养分需求量

粪肥中氮素当季利用率推荐值为 25%~30%，计算重庆市各区县主要作物的粪肥氮养分需求量(图 3)，重庆市的主要作物的粪肥氮养分需求总量为 286 177~343 412 t。如图 4 所示，对重庆市各区县而言，万州、涪陵、江津、潼南和开州等 5 个区县的主要作物的粪肥氮养分需求总量超过了 15 000 t，分别为 21 269

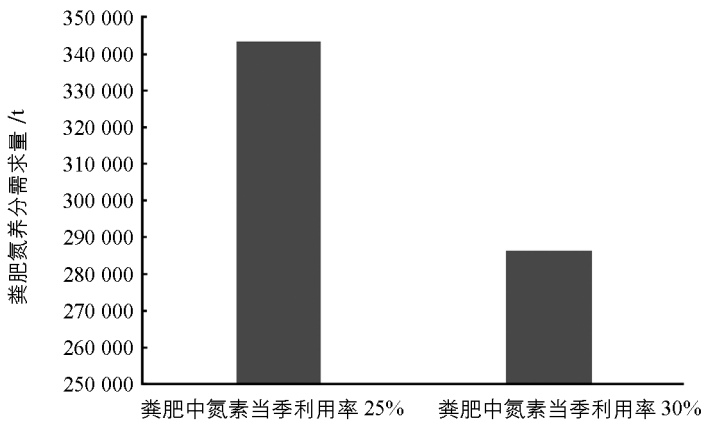


图 3 重庆市粪肥氮养分需求量

~25 523,21 737~26 084,30 182~36 219,17 870~21 443,17 922~21 507 t。綦江、大足、合川、永川、荣昌、云阳、酉阳的主要作物的粪肥氮养分需求总量为 10 000~15 000 t，其他区县的主要作物的粪肥氮养分需求总量均低于 10 000 t；此外，大渡口、江北、沙坪坝、九龙坡、南岸等重庆主城区(除北碚、巴南、渝北外)的主要作物的粪肥氮养分需求总量为 68~730 t，均未超过 1 000 t。

2.4 重庆市畜禽粪污土地承载力

如图 5 所示，重庆市的畜禽粪污土地承载力为 4 088.24~4 905.89 万头猪当量，其中重庆市的蔬菜畜禽粪污土地承载力为 1 213.52~1 456.23 万头猪当量，其次为水稻和玉米，分别为 657.10~788.52，520.63~624.75 万头猪当量；重庆市的柑橘畜禽粪污土地承载力也较强，为 511.78~614.14 万头猪当量，而瓜果类、生麻类和糖料类作物的蔬菜畜禽粪污土地承载力均未超过 15 万头猪当量。

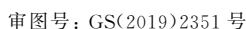


图 6 重庆市各区县畜禽粪污土地承载力分布图

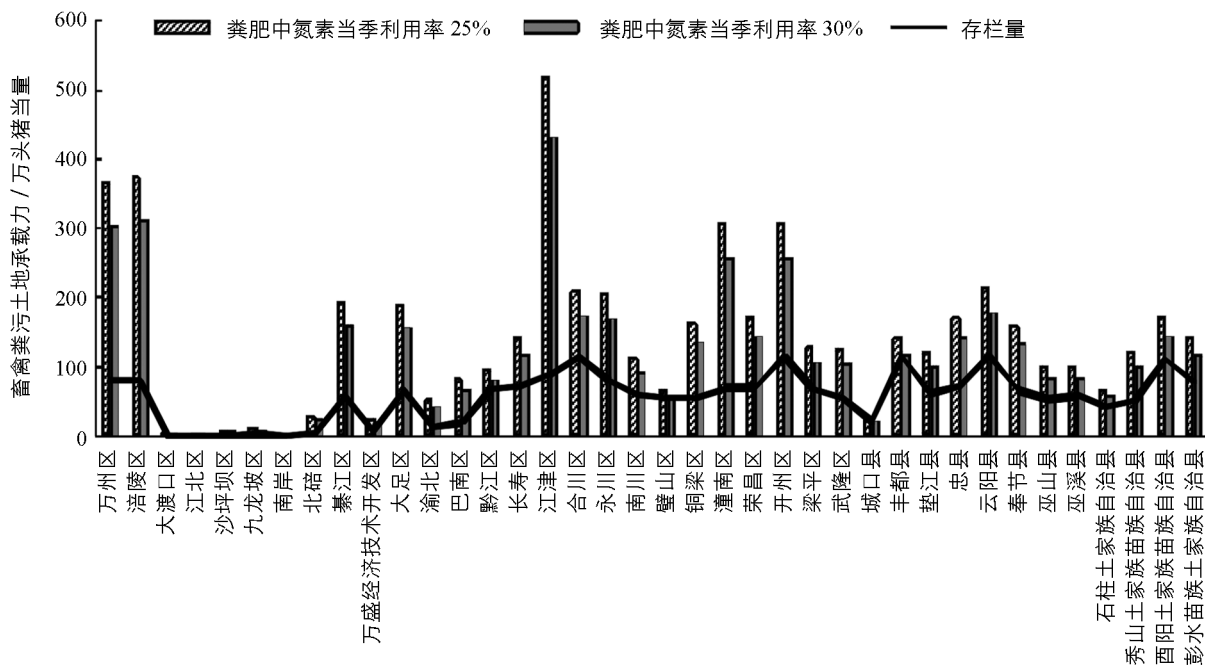


图 7 重庆各区县畜禽粪污土地承载力与存栏量

3 讨论

畜禽粪污富含 C,N,P 等多种养分,可以作为肥料进行还田处理.利用畜禽粪便有机肥来替代部分化肥,不仅可以降低成本,减少污染,还能提高土壤肥力水平.有机肥合理替代化肥,不仅可以增加土壤有机

碳储量,而且可以有效提高作物产量^[19-21]。研究表明,2015 年我国畜禽排泄氮养分为 7.68×10^6 t,替代化肥的潜力巨大,若将所产生畜禽粪便施作有机肥,可以减少 $2.88 \times 10^6 \sim 5.18 \times 10^6$ t 化肥养分流失^[15]。按照“一控两减三基本”的要求,深入开展化肥使用量零增长行动,加快推进农业绿色发展,农业农村部 2017 年发布的《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》中指出^[22],以果菜茶生产为重点,实施有机肥替代化肥,推进资源循环利用。刘晨峰等^[23]基于第二次全国污染源普查数据,测算了当粪肥替代 40%~50% 化肥时,全国各省份粪肥养分承载压力系数为 0.21~2.99,且大部分省份的畜禽粪污的产量及氮养分含量能够满足果菜茶种植所需的养分。重庆市有 6 个区县入选,包括万州、开州、巫山、奉节、忠县和永川。本研究中,重庆市入选的 6 个区县的畜禽粪污土地承载力均超过了存栏量,畜禽粪便有机肥替代化肥的潜力巨大。安思羽等^[15]研究也表明,重庆市畜禽粪便中的氮养分(1.165×10^5 t)可以满足果菜茶氮需求量(9.13×10^4 t),而上海、江苏、浙江、山东、广东和陕西等省市畜禽粪便的氮养分无法满足果菜茶的需求。这是由于上海市和浙江省经济发展较快同时注重环保,畜禽养殖规模逐渐向周边省市转移,因此减少了畜禽粪便的供应量,而山东省虽然是养殖大省,但是果菜产量位居全国前茅,因此导致其畜禽粪便的氮养分无法满足其需求^[24]。

基于氮养分平衡法,重庆全市的畜禽粪便可以满足市内主要作物的栽培所需的养分,且供应量充足;但是重庆主城区、城口、丰都、璧山、石柱、秀山的畜禽粪污土地承载力较小,需要积极引导其从减少畜禽饲养量、改变粪污资源化利用方式等方面进行管控,可以将畜禽粪便作为有机肥源向承载潜力大的区域,特别是粮食主产区和果菜茶优势区域适当转移,优化产业布局。这与闫熠峰等^[1]对山西省 2017 年各市区县主要粮食作物耕地的畜禽粪污土地承载力分析结果一致,即全省土地承载力超过了粪肥养分总供给量,但部分区县的供给量超过了土地承载力。这主要是因为不同区县发展定位不一致,养殖规模和种植模式存在差异。

作为重庆市的特色产业——榨菜、柑橘、花椒等,其畜禽粪污土地承载力分别为 106.52~127.82, 511.78~614.14, 135.67~162.8 万头猪当量。涪陵、忠县和江津作为榨菜、柑橘和花椒的主要种植区县,其畜禽粪污土地承载力不仅能满足当地需求,而且仍有较大的畜禽粪污土地承载力,因此在这些区域可以适当增加养殖规模,并进行区域间养分协同管理^[13],以实现资源最大化利用。大量研究表明^[1, 23, 25-26],在各地推行畜禽粪污肥料化是可行的。目前,我国畜牧业正处在向现代养殖模式转型升级的关键时期^[26],因此种养结合生产模式有利于缓解规模化和集约化带来的环境问题,合理的种养结构对促进畜牧业转型升级具有积极有效的推动作用。

4 结论

重庆市主要作物类型中,花椒地单位面积的畜禽粪污土地承载力最大,但是在考虑种植面积后,蔬菜及食用菌的畜禽粪污土地承载力最大,为 1 213.52~1 456.23 万头猪当量。

重庆市畜牧业仍有一定的发展空间,但区域差异明显,重庆主城区、城口、丰都、璧山、石柱、秀山的畜禽粪污土地承载力较小,需要引导其从减少畜禽饲养量、改变粪污资源化利用方式等方面进行管控。江津、涪陵、万州、潼南的存栏量不到畜禽粪污土地承载力的 25%,可作为畜牧业转移的重点区域。

参考文献:

- [1] 闫熠峰,刘子勇,成锦霞. 山西省主要粮食作物耕地的畜禽粪污土地承载力分析 [J]. 山西农业科学, 2019, 47(12): 2168-2171, 2218.
- [2] Food and Agriculture Organization (FAO). FAOSTAT [EB/OL]. (2019-12-26) [2021-11-01]. <https://www.fao.org/faostat/en/>.
- [3] 曹玉博,邢晓旭,柏兆海,等. 农牧系统氮挥发减排技术研究进展 [J]. 中国农业科学, 2018, 51(3): 566-580.
- [4] 钱晓雍,郭小品,林立,等. 国内外农业源 NH_3 排放影响 $\text{PM}_{2.5}$ 形成的研究方法探讨 [J]. 农业环境科学学报, 2013,

32(10): 1908-1914.

[5] 黄显雷. 基于种养结合的畜禽养殖环境承载力评价研究——以舒兰市为例 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.

[6] 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.

[7] RASOOL R, KUKAL S S, HIRS G S. Soil Organic Carbon and Physical Properties as Affected by Long-Term Application of FYM and Inorganic Fertilizers in Maize-Wheat System [J]. Soil and Tillage Research, 2008, 101(1/2): 31-36.

[8] ZHAO J, XU J X, WANG J W, et al. Impacts of Human Lysozyme Transgene on the Microflora of Pig Feces and the Surrounding Soil [J]. Journal of Biotechnology, 2012, 161(4): 437-444.

[9] 陈伟, 周波, 束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(18): 3850-3856.

[10] SPRINGER T L, TALIAFERRO C M, HATTEY J A. Nitrogen Source and Rate Effects on the Production of Buffalograss Forage Grown with Irrigation [J]. Crop Science, 2005, 45(2): 668-672.

[11] OENEMA O. Governmental Policies and Measures Regulating Nitrogen and Phosphorus from Animal Manure in European Agriculture [J]. Journal of Animal Science, 2004, 82(13): 196-206.

[12] OENEMA O, VAN LIERE L, PLETTE S, et al. Environmental Effects of Manure Policy Options in the Netherlands [J]. Water Science and Technology, 2004, 49(3): 101-108.

[13] 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.

[14] 中华人民共和国农业农村部. 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 [EB/OL]. (2018-01-15) [2021-11-01]. http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tfw/201801/t20180122_6135486.htm.

[15] 安思羽, 李艳霞, 张雪莲, 等. 我国果菜茶中畜禽粪便有机肥替代化肥潜力 [J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(8): 1712-1722.

[16] 重庆市统计局, 国家统计局重庆调查总队. 重庆统计年鉴 2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.

[17] 西南大学, 重庆市农业委员会. 重庆农业土壤 [M]. 增补本. 北京: 中国大地出版社, 2013.

[18] 孙国波, 韩大勇, 董飏. 基于氮磷平衡的江苏省畜禽养殖土地承载力研究 [J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(6): 123-130.

[19] XIA L, LAM S K, YAN X, et al. How does Recycling of Livestock Manure in Agroecosystems Affect Crop Productivity, Reactive Nitrogen Losses, and Soil Carbon Balance? [J]. Environmental Science and Technology, 2017, 51(13): 7450-7457.

[20] 张秀志, 郭甜丽, 焦学艺, 等. 商品有机肥配施对果园土壤肥力和“蜜脆”苹果果实品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(1): 65-74.

[21] 王彦锐, 韦建玉, 金亚波, 等. 生物有机肥对黄壤烟田真菌群落结构和烟叶产质量的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(5): 38-45.

[22] 中华人民共和国农业农村部. 农业部关于印发《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》的通知 [EB/OL]. (2017-02-20) [2021-11-01]. http://www.moa.gov.cn/nybgf/2017/derq/201712/t20171227_6130977.htm.

[23] 刘晨峰, 汪志锋, 赵兴征, 等. 基于二污普数数据果菜茶畜禽粪污氮承载评估 [J]. 环境科学研究, 2020, 33(12): 2657-2664.

[24] 中华人民共和国国家统计局. 中国第三产业统计年鉴 2016 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.

[25] 裴占江, 刘杰, 李鹏飞, 等. 黑龙江省富裕县畜禽粪污土地承载力分析 [J]. 黑龙江农业科学, 2020(9): 49-52.

[26] 吴信, 万丹, 印遇龙. 畜禽养殖废弃物资源化利用与现代生态养殖模式 [J]. 农学学报, 2018, 8(1): 163-166.