

云南省畜禽粪污土地消纳能力的评估及其肥料化发展前景

邓亚琴, 王宇蕴, 李兰, 赵兵, 张勇, 马丽婷, 徐智

引用本文:

邓亚琴, 王宇蕴, 李兰, 等. 云南省畜禽粪污土地消纳能力的评估及其肥料化发展前景[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2419-2427.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1103>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

山东省畜禽粪污土地承载力时空分异特征分析

郑莉, 张晴雯, 张爱平, 刘杏认, 刘士清, 韩聪

农业环境科学学报. 2019, 38(4): 882-891 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0863>

畜禽粪污清洁堆肥——机遇与挑战

焦敏娜, 任秀娜, 何熠锋, 王权, 李荣华, 李季, 张增强

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2361-2371 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1138>

畜禽粪污处理处置中危险生物因子赋存与控制研究进展

张俊亚, 隋倩雯, 魏源送

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2342-2354 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1132>

基于集约化农区种养结合的猪粪处理模式生命周期评价

靳红梅, 常志州, 马艳, 严少华, 盛婧, 黄红英, 吴华山, 孙国峰

农业环境科学学报. 2015, 34(8): 1625-1632 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.08.028>

山西省畜禽粪污土地承载力及粪尿替代化肥潜力分析

郭彩霞, 杨子森, 马文奇, 焦光月, 张建杰

农业环境科学学报. 2020, 39(7): 1548-1557 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-1431>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

邓亚琴, 王宇蕴, 李兰, 等. 云南省畜禽粪污土地消纳能力的评估及其肥料化发展前景[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2419–2427.

DENG Y Q, WANG Y Y, LI L, et al. Evaluation of land absorption capacity for livestock and poultry waste in Yunnan Province and development prospect for fertilizer utilization[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(11): 2419–2427.



开放科学 OSID

云南省畜禽粪污土地消纳能力的评估及其肥料化发展前景

邓亚琴, 王宇蕴, 李兰, 赵兵, 张勇, 马丽婷, 徐智*

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要:以2019年云南省畜禽养殖数据为基础,通过估算云南省畜禽粪污产生量,结合还田方式和土地利用形式评估了云南省畜禽粪污土地的消纳能力,并结合云南省有机肥生产现状和高原特色农业的发展需求,指出畜禽粪污肥料化利用的方向。结果表明,调整种植结构可以增加土地对粪污直接还田的消纳能力;畜禽粪污堆肥还田可以进一步增加土地的消纳能力。云南省有机肥生产工艺水平较低,规范程度较低,进一步规范和提升有机肥的工艺水平,是提高云南省畜禽粪污资源化利用效率的重要途径。云南省畜禽粪污堆肥转化成为有机肥的潜力空间约为3 544万t,预计产值和利润分别为2 835 369万元和412 684万元。结合云南省高原特色农业发展的需要,畜禽粪污堆肥化后,开发成生物有机肥、复合微生物肥料以及有机类调理剂,是实现畜禽粪污高值化利用的重要方向。

关键词:畜禽粪污;土地消纳能力;商品有机肥;肥料化利用

中图分类号:X713 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2021)11-2419-09 doi:10.11654/jaes.2021-1103

Evaluation of land absorption capacity for livestock and poultry waste in Yunnan Province and development prospect for fertilizer utilization

DENG Yaqin, WANG Yuyun, LI Lan, ZHAO Bing, ZHANG Yong, MA Liting, XU Zhi*

(College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Based on the livestock and poultry breeding data in Yunnan Province in 2019, this study estimated the production of livestock and poultry waste pollution in Yunnan Province, including the method of returning waste to the field and the form of land use, to assess the absorption capacity of land for livestock and poultry waste pollution. The potential for utilization of livestock and poultry waste fertilizer was evaluated based on the current status of organic fertilizer production in Yunnan Province and the demand for development of agriculture characteristic of plateaus. The results showed that the adjustment of planting methodology could increase the capacity of land to absorb the direct return of feces. Returning livestock and poultry waste to the field by composting could further increase the absorption capacity of the land. The technological level of organic fertilizer production in Yunnan Province was relatively low and its standardization degree was low. Further standardization and improvement in the technology level of the organic fertilizer industry might be an important mean to improve

收稿日期:2021-09-24 录用日期:2021-09-26

作者简介:邓亚琴(1997—),女,云南普洱人,硕士研究生,主要从事有机固体废弃物资源化利用方面的研究。E-mail:dengyaqin2020@163.com

*通信作者:徐智 E-mail:xuzhi9910@126.com

基金项目:国家自然科学基金项目(31760609);中央引导高校发展校杰出人才专项(A3012020017013);云南省万人计划青年拔尖人才项目(A3012020057)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(31760609); The Special Program for Outstanding Talents under the Guidance of the Central Universities(A3012020017013); The Youth Top-Notch Talents Program of Ten Thousand Talents Program of Yunnan Province(A3012020057)

the utilization efficiency of livestock and poultry waste resources in Yunnan Province. The potential for composting livestock and poultry waste into organic fertilizer in Yunnan Province was approximately 35 440 000 t, and the estimated output value and profit are 28.35 billion yuan and 4.13 billion yuan, respectively. Combined with the need for development of agriculture suitable to the highland characteristics of Yunnan Province, composting of livestock and poultry waste into biological organic fertilizer, compound microbial fertilizer, and organic conditioner can be promoted, and is an important direction toward realizing the high value utilization of livestock and poultry waste.

Keywords: livestock and poultry waste; land absorption capacity; commercial organic fertilizer; fertilizer utilization

随着畜禽养殖业逐渐向专业化、规模化、集约化转型,畜禽养殖业蓬勃发展,畜禽粪污排放量也迅速增加^[1]。据统计,全国每年的畜禽粪污产量为38亿t,其综合利用率却不到60%^[2]。第二次全国污染源普查公报显示,畜禽养殖业年排放化学需氧量(COD)100.53万t、氨氮11.09万t、总氮59.63万t、总磷11.97万t,畜禽粪污已成为农业污染源之首^[3]。我国既是养殖大国,也是种植大国,畜禽养殖业排放的粪污对环境造成了严重威胁;种植业大量施用化肥造成土壤酸化板结、有机质下降等问题^[4],导致农业面源污染加剧^[5]。畜禽粪污既是养殖业的重大污染源,也是一种放错位置的珍贵资源,畜禽粪污肥料化利用既可以解决养殖业污染问题,也能够提高土壤有机质,减少养分流失^[6]。肥料化利用可以大量、快速将农业废弃物资源进行无害化,并转化成可利用的有机肥资源,是农业废弃物资源化利用的优先选择。有机肥料一直是为作物提供养分的主要肥料^[7],20世纪50年代,中国农田中90%以上的养分由有机肥提供,畜禽粪便作为有机肥用于农田形成了良好的生态平衡体系^[8]。但是,由于化肥的大量使用导致粪肥施用空间逐渐减少,同时种植业与养殖业严重脱节,养殖业环境污染问题逐渐显现。

云南省作为我国西部的畜禽养殖大省,在全国占有十分重要的地位。畜禽养殖业的快速发展对促进云南省农村经济发展和农民持续增收发挥了重要作用,但随着养殖规模不断扩大,随之带来的环境污染也日益加剧^[9]。云南是一个农业大省,地处高原山区,光照充足,降雨量丰富,农业资源充足,其地理条件和资源优势为发展有机肥产业提供了基础条件。

对于区域畜禽粪便排放量估算已有很多报道^[10-13],目前对云南省畜禽粪污土地消纳能力缺少评估。本研究根据云南省2019年统计年鉴,估算了云南省畜禽粪污产生量;从种养结合角度出发,基于氮、磷平衡分析,以畜禽粪污养分供给量及农作物养分需求量为计算依据,通过对云南省畜禽粪污土地消纳能力进行评估,进一步确定云南省畜禽合理养殖量,对

种植模式及畜禽粪污处理方式进行调整与搭配,可以使农田最大限度地消纳产生的粪污,推动畜禽粪污的肥料化发展;本研究还结合云南高原特色农业的发展需求,指出畜禽粪污肥料化利用的方向,旨在为云南省畜禽粪污资源化利用提供参考。

1 云南省畜禽粪污产生现状

本文对云南省及各州(市)畜禽粪污产生量作粗略计算,在计算粪污产生量时,只考虑猪、牛、羊和家禽这4类畜禽。由于畜禽种类不同,饲养周期也不同。根据相关文献^[14-16]及国家生态环境部公布的数据,确定各类畜禽饲养周期及饲养量。一般认为,生产周期超过1a的以年末存栏量视为饲养量;生产周期不超过1a的,以当年的出栏量为饲养量。猪饲养周期为199d,其饲养量按当年的出栏量来计算;牛、羊饲养周期为365d,采用年末存栏量作为饲养量;家禽饲养周期为210d,由于无法统计各州市家禽(肉鸡、蛋鸡、鸭和鹅)的数量,因此将家禽的年末存栏量作为当年的饲养量。根据畜禽养殖业源排污系数手册及相关文献^[17-19],对畜禽粪、尿的排污系数进行确定,猪的粪尿日排泄量取各饲养阶段的平均值,牛的粪尿日排泄量取肉牛和奶牛各饲养阶段的平均值,羊的粪尿日排泄量取绵羊和山羊的平均值,家禽粪的日排泄量取肉鸡、蛋鸡、鸭、鹅、兔的平均值。

基于此,可采用公式(1)对畜禽粪污产生量进行估算:

$$Q=N \times T \times P \quad (1)$$

式中: Q 为各类畜禽粪便产生量, $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$; N 为畜禽饲养量,万头; T 为饲养周期,d; P 为各类畜禽粪便、尿液日排泄系数, $\text{kg} \cdot \text{头}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

云南省及各州(市)主要畜禽养殖状况及畜禽粪污产生量估算如表1所示。从表1可以看出,云南省畜禽养殖主要集中在曲靖市、红河州、文山州,而西双版纳州、德宏州、怒江州的畜禽养殖量较少。将云南省及各州(市)畜禽养殖量换算成猪当量,其总量为7 936.13万头,各畜禽养殖比重分别为猪48.81%、牛36.14%、

表1 云南省主要畜禽养殖状况及畜禽粪污产生量估算

Table 1 Status of main livestock and poultry breeding and estimation of livestock and poultry waste production in Yunnan Province

州(市) City	畜禽饲养量(猪当量)/万头 Livestock and poultry feeding capacity (pig equivalent)/10 ⁴ head				合计 Total	粪污产生量/万t The amount of feces produced/10 ⁴ t
	猪 Pig	牛 Cow	羊 Sheep	家禽 Poultry		
昆明市	203.05	145.23	46.86	97.01	492.15	804.32
曲靖市	872.43	397.77	109.60	52.20	1 432.00	2 279.77
玉溪市	132.27	65.27	15.18	64.41	277.13	394.09
保山市	353.69	224.93	25.32	29.13	633.08	1 092.72
昭通市	327.48	163.23	26.36	27.89	544.96	872.44
丽江市	107.45	122.60	43.10	11.31	284.46	591.20
普洱市	232.42	179.60	18.45	51.93	482.40	846.30
临沧市	279.57	183.30	27.56	38.76	529.18	908.81
楚雄州	278.83	222.40	61.86	42.55	605.65	1 116.43
红河州	355.47	352.23	45.68	111.92	865.30	1 607.20
文山州	222.89	360.80	15.09	39.63	638.42	1 412.90
西双版纳州	44.75	19.37	1.11	16.88	82.11	112.19
大理州	337.16	278.53	59.26	64.48	739.43	1 353.86
德宏州	46.73	52.37	3.46	13.46	116.02	224.40
怒江州	48.58	38.97	14.94	6.68	109.17	204.30
迪庆州	30.61	61.13	7.04	5.88	104.67	243.40
合计	3 873.38	2 867.73	520.88	674.14	7 936.13	14 064.33

羊 6.56%、家禽 8.49%,其中猪和牛是全省最主要的养殖畜种。云南省畜禽粪污产生总量为 14 064.33 万 t,主要分布在曲靖市、红河州、文山州,这些地区的畜禽粪污产生量占全省畜禽粪污产生量的 10.05%~16.21%,这与养殖业主要分布在曲靖市、红河州、文山州等地相一致,畜禽养殖业高度集中可能导致畜禽粪污的高度集中分布^[20]。云南省各州(市)养殖状况及畜禽粪污产生量差异较大,可能与各地区人口、耕地分布、农业规模及生产水平的不同有一定的关系。

2 云南省畜禽粪污土地消纳能力评估

畜禽粪污还田所需要的土地面积可通过计算粪肥中氮、磷养分总量和单位土地粪肥氮、磷养分需求量来获得。种植的农作物每形成 100 kg 产量需要吸收氮、磷量推荐值参考《土地承载力测算技术指南》,根据何晓滨等^[21]的研究,综合确定云南省土壤氮、磷养分定位为Ⅱ级,施肥供给养分占比为 45%,区域粪肥占施肥比例取值为 50%,粪污氮素和磷素当季利用率参考《土地承载力测算技术指南》分别取 25% 和 30%。计算过程如下:

$$E=N_i \times P_i \times 365 \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中: E 为各类畜禽粪便养分产生总量, $t \cdot a^{-1}$; N_i 为第*i*

种畜禽的平均存栏量,此处,牛、羊和家禽取存栏量,猪取出栏量,万头; P_i 为第*i*种畜禽粪便中氮、磷养分日产生量, $kg \cdot head^{-1} \cdot d^{-1}$ 。

$$D=I \times W \times O \quad (3)$$

式中: D 为单位动物粪肥养分供给量, kg ; I 为单位动物粪肥养分产生量, kg ; W 为粪污的主要收集方式养分收集率,%; O 为粪污的主要处理方式养分留存率,%。

$$Y=(A \times B \times C)/F \quad (4)$$

式中: Y 为单位耕地面积粪肥养分需求量, $kg \cdot hm^{-2}$; A 为单位耕地面积总养分需求量, $kg \cdot hm^{-2}$; B 为粪肥供给养分占比,取 45%; C 为粪肥占施肥比例,取 50%; F 为粪肥当季利用率, N 为 25%, P 为 30%。

$$S=D/Y \quad (5)$$

式中: S 为对应种植作物所需的配套面积, hm^2 ; D 为粪肥养分供给量, kg ; Y 为单位面积作物粪肥养分需求量, $kg \cdot hm^{-2}$ 。

假设种植大田作物(以小麦-玉米为例)、蔬菜(以设施白菜为例)和果树(以葡萄为例),以畜禽粪污直接还田及畜禽粪污堆肥还田两种方式,分别以氮和磷养分为基准对所需的配套土地面积进行计算,计算结果见表 2。由表 2 可知,当作物种植类型和种植制

度不同时,畜禽粪污直接还田和畜禽粪污堆肥还田所需要配套的土地面积不同。为了防止粪肥过量施用,配套的土地面积应取以氮和磷为基准计算结果中较高的值^[22]。畜禽粪污直接还田条件下,若种植作物为小麦和玉米,则需要配套土地 706.56 万 hm^2 ;若种植作物为设施白菜,则需要配套土地 100.48 万 hm^2 ;若种植作物为葡萄,则需要配套土地 366.63 万 hm^2 。畜禽粪污堆肥还田条件下,若种植作物为小麦和玉米,则需要配套土地 607.72 万 hm^2 ;若种植作物为设施白菜,则需要配套土地 57.88 万 hm^2 ;若种植作物为葡萄,则需要配套土地 211.18 万 hm^2 。这说明,无论畜禽粪污直接还田还是堆肥还田,调整种植结构(如增加经济作物的比重)均可以增加土地对粪污的消纳能力。如果采用畜禽粪污堆肥还田的方式,还可以进一步增加

土地的消纳能力。

畜禽粪污作为有机肥料还田利用,是一种最为经济的资源化利用和粪污处理的方式,畜禽粪污直接还田或堆肥还田的方式为农田提供了大量的养分资源^[23]。畜禽粪污还田所需要的土地面积与粪肥养分(氮、磷)含量、土壤养分背景值、种植作物类型和种植制度、粪污收集处理和贮存方式等因素相关^[22,24]。调整种植模式或改变畜禽粪污处理方式,畜禽粪污土地消纳能力也不同(表2),该结果为云南省各地市(州)对种植模式及畜禽粪污处理方式进行合理的调整与搭配提供了参考依据。同时本研究发现,堆肥后还田是增加土地对粪污消纳能力、减少污染、促进养殖业发展的重要举措,鼓励粪污堆肥化利用还能够推动商品有机肥产业的良性发展。

表2 云南省畜禽粪污还田土地面积估算(万 hm^2)

Table 2 Estimation of land area returned by livestock and poultry waste in Yunnan Province (10^4 hm^2)

州(市) City	总播种面积 Total sown area	以氮计,畜禽粪污直接还田所需的 农田面积 Farmland area required for direct return of livestock and poultry waste to the field based on nitrogen			以氮计,畜禽粪污堆肥还田所需的 农田面积 Farmland area required for return of livestock and poultry waste as compost to the field based on nitrogen			以磷计,畜禽粪污直接还田所需的 农田面积 Farmland area required for direct return of livestock and poultry waste to the field based on phosphorus			以磷计,畜禽粪污堆肥还田所需的 农田面积 Farmland area required for return of livestock and poultry waste as compost to the field based on phosphorus		
		大田作物(以小麦-玉米为例)	蔬菜(以设施白菜为例)	果树(以葡萄为例)	大田作物(以小麦-玉米为例)	蔬菜(以设施白菜为例)	果树(以葡萄为例)	大田作物(以小麦-玉米为例)	蔬菜(以设施白菜为例)	果树(以葡萄为例)	大田作物(以小麦-玉米为例)	蔬菜(以设施白菜为例)	果树(以葡萄为例)
		Field crops (wheat-corn)	Vegetables (facility cabbage)	Fruit trees (grapes)	Field crops (wheat-corn)	Vegetables (facility cabbage)	Fruit trees (grapes)	Field crops (wheat-corn)	Vegetables (facility cabbage)	Fruit trees (grapes)	Field crops (wheat-corn)	Vegetables (facility cabbage)	Fruit trees (grapes)
昆明市	42.57	29.34	5.93	21.65	16.37	3.31	12.08	44.37	3.62	8.91	34.75	2.84	6.98
曲靖市	111.49	87.58	17.71	64.61	46.40	9.38	34.23	123.12	10.05	24.73	98.51	8.04	19.79
玉溪市	28.94	16.11	3.26	11.88	8.02	1.62	5.92	24.53	2.00	4.93	17.03	1.39	3.42
保山市	41.11	39.94	8.08	29.47	22.24	4.50	16.41	55.43	4.52	11.14	47.22	3.85	9.49
昭通市	70.28	33.62	6.80	24.80	17.76	3.59	13.10	47.04	3.84	9.45	37.70	3.08	7.57
丽江市	18.59	18.25	3.69	13.46	12.03	2.43	8.88	26.07	2.13	5.24	25.55	2.09	5.13
普洱市	50.73	30.30	6.13	22.35	17.22	3.48	12.71	43.06	3.52	8.65	36.57	2.99	7.35
临沧市	46.59	33.07	6.69	24.40	18.50	3.74	13.65	46.63	3.81	9.37	39.27	3.21	7.89
楚雄州	43.26	37.96	7.67	28.00	22.72	4.59	16.76	54.26	4.43	10.90	48.24	3.94	9.69
红河州	66.55	54.74	11.07	40.39	32.71	6.61	24.13	78.69	6.42	15.81	69.45	5.67	13.95
文山州	79.18	43.34	8.76	31.97	28.76	5.81	21.21	59.52	4.86	11.96	61.05	4.98	12.26
西双版纳州	14.27	4.82	0.97	3.56	2.28	0.46	1.68	7.16	0.58	1.44	4.85	0.40	0.97
大理州	41.69	46.47	9.40	34.29	27.55	5.57	20.33	66.38	5.42	13.34	58.50	4.78	11.75
德宏州	25.79	7.49	1.52	5.53	4.57	0.92	3.37	10.61	0.87	2.13	9.70	0.79	1.95
怒江州	8.80	6.80	1.38	5.02	4.16	0.84	3.07	9.80	0.80	1.97	8.83	0.72	1.77
迪庆州	6.11	7.13	1.44	5.26	4.95	1.00	3.65	9.89	0.81	1.99	10.52	0.86	2.11
合计	695.95	496.96	100.48	366.63	286.24	57.88	211.18	706.56	57.68	141.94	607.72	49.61	122.09

注:5~6 t 畜禽粪污产生 1 t 有机肥,氮含量按 1.5% 计,磷含量按 0.5% 计。大田作物(以小麦-玉米为例)、蔬菜(以设施白菜为例)和果树(以葡萄为例)均以 1 a 的粪肥养分需求量计,其中设施白菜一年种 5 茬。

Note: 5~6 tons of livestock and poultry waste will produce 1 ton of organic fertilizer. The nitrogen content is 1.5%, and the phosphorus content is 0.5%. Field crops (wheat-maize as an example), vegetables (facility Chinese cabbage as an example) and fruit trees (grape as an example) are all calculated according to the manure nutrient requirements for one year. 5 crops are planted for facility Chinese cabbage per year.

3 云南省商品有机肥的发展现状

商品有机肥是以畜禽粪污、秸秆等农业废弃物为主要原料,添加一定量的辅料和微生物菌剂促进腐熟,再经工厂化发酵腐熟后制成的有机肥^[25],其优点是周期短、产量高、肥效高,是一种能够进行工业化生产,商品化流通,高效、高值化利用的方式^[26]。2018年本课题组结合国家重点研发项目“南方农业废弃物好氧发酵技术示范与工程化应用”的工作,调研发现,云南省各类有机肥生产企业约有220家,在全省有机肥生产企业中,多数生产规模偏小,年产量在3万~5万t,近几年也涌现出年产20万t以上的较大企业(图1a),省内有机肥企业平均实际产能大约只是设计产能的1/3(图1b)。云南省本土生产的有机肥产品每年施用面积20万hm²,占云南省耕地面积的3%,远低于全国10%的比例^[27],省内有机肥产品主要销售对象是农户、农场、农业经营主体、特色农产品公司及农资流通企业,主要用于烤烟、茶叶、咖啡、蔬菜、花卉等经济作物和葡萄、香蕉、柑橘、石榴、柠檬等经济林果。

在选择堆肥工艺时需要综合考虑投资成本、堆肥效率、占地面积、堆肥产品的质量、堆制的易操作性^[28]等因素。云南省有机肥生产的工艺类型如图2a所示,依然有大约43%的堆肥是除槽式、条垛式堆肥以外的简易堆肥方式(不具备完整的堆肥工艺),条垛式堆肥占比为42%,槽式堆肥占比为15%。云南省堆肥工艺依然不完善,在具备完善堆肥工艺的工厂还是以简单、投资少的条垛式堆肥为主^[2,29]。从云南省不同堆肥工艺生产效率的比较来看,槽式堆肥的生产效率

最高,条垛式堆肥的生产效率大约是槽式堆肥的1/2(图2b),因为槽式堆肥具有翻抛机的机械化程度高、发酵周期较短的特点^[30-31]。结合有机肥生产工艺类型(图2a)来看,云南省有机肥生产工艺水平较低。进一步规范和提升有机肥的工艺水平,可能是提高云南省畜禽粪污资源化利用效率的重要途径。

利用畜禽粪污生产有机肥,不仅能减少化肥的使用量,对农业增产增效和发展绿色农业也具有重大意义^[32]。云南省常用耕地面积为622.47万hm²,其中2/3是中低产田地,改造中低产田地的任务为发展商品有机肥开拓了更大的空间。云南省是农业大省,每年各类秸秆产生量在2000万t以上^[33],据估算云南省畜禽粪污产生量为14064.33万t(表1),有机肥原料资源丰富。有机肥能够改善土壤理化性质、增加土壤养分、提高土壤微生物活性,从而增加农作物产量,改善农产品品质^[34-36]。作为农业大省的云南,大田作物的有机肥用量较低,而大棚蔬菜、热带水果和经济作物有机肥需求量较高,其年需求量为1600万t^[37],云南省高原特色作物生产对有机肥的需求量在每年至少500万~600万t,而全省有机肥年产量不到300万t^[27],对照云南省的实际产能来看,缺口依然很大,产业发展的潜力和空间很大。研究表明,商品有机肥每吨利润可达到300~500元,是废弃物肥料化高值利用的首选^[26]。若将云南省产生的畜禽粪污与秸秆进行堆肥,可以产生3544.21万t有机肥(表3),扣除原材料成本、工人工资、固定资产折旧等成本费用440元·t⁻¹,有机肥出厂价格按800元·t⁻¹,可实现产值2835369.12万元,利润412684.97万元(利润按照360元·t⁻¹计算)。

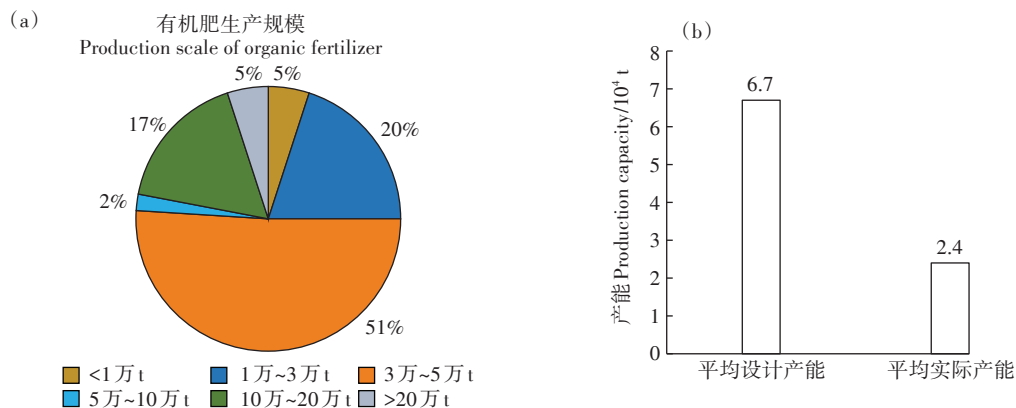


图1 云南省有机肥生产规模及有机肥设计产能和实际产能比较

Figure 1 The production scale of organic fertilizer and the comparison between the designed and actual production capacity of organic fertilizer in Yunnan Province

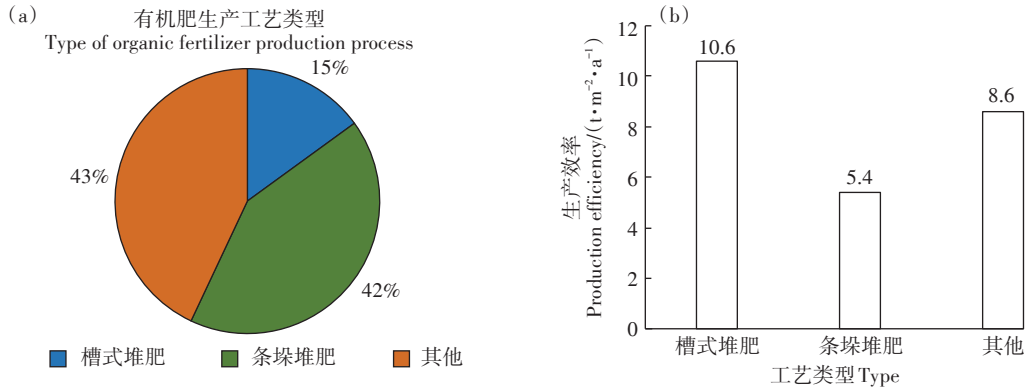


图2 云南省有机肥生产工艺类型及有机肥生产效率的比较

Figure 2 Comparison of production technology types and production efficiency of organic fertilizer industry in Yunnan Province

表3 畜禽粪污堆肥经济性分析

Table 3 Economic benefit analysis for livestock and poultry waste composting

州(市) City	畜禽粪污产生量/万t Production of livestock and poultry waste/10 ⁴ t	可产生的堆肥产品/万t Producible composting products/ 10 ⁴ t	堆肥产品的总产值/万元 Total value of composting products/10 ⁴ yuan	堆肥产品的预计利润/万元 Projected profit from composting products/10 ⁴ yuan
昆明市	804.32	202.69	162 150.83	23 600.88
曲靖市	2 279.77	574.50	459 601.68	66 894.54
玉溪市	394.09	99.31	79 449.26	11 563.76
保山市	1 092.72	275.37	220 292.01	32 063.27
昭通市	872.44	219.86	175 884.02	25 599.73
丽江市	591.20	148.98	119 186.31	17 347.44
普洱市	846.30	213.27	170 614.85	24 832.81
临沧市	908.81	229.02	183 216.90	26 667.03
楚雄州	1 116.43	281.34	225 073.13	32 759.16
红河州	1 607.20	405.01	324 010.71	47 159.42
文山州	1 412.90	356.05	284 839.79	41 458.13
西双版纳州	112.19	28.27	22 616.70	3 291.84
大理州	1 353.86	341.17	272 938.63	39 725.93
德宏州	224.40	56.55	45 239.73	6 584.59
怒江州	204.30	51.48	41 185.88	5 994.56
迪庆州	243.40	61.34	49 068.72	7 141.90
合计	14 064.33	3 544.21	2 835 369.12	412 684.97

注:以畜禽粪污与秸秆为主要堆肥原料,水分控制在55%左右,调节C/N为25左右进行堆肥。

Note: Livestock manure and straw are used as the main composting materials, the moisture is controlled at about 55%, and the C/N is adjusted at about 25 for composting.

4 云南省畜禽粪污肥料化利用的方向

云南高原特色农业是不断依托和发挥云南区位、资源、气候等优势,开发特色为经济作物和特有生物资源,培育出有自身特色与与众不同的农业产业。发展高原特色农业是实现地域可持续发展、环境保护与社会经济共同增长的重要载体^[38]。随着云南高原特色现代农业的发展,农产品品质保障和提升正成为云南可持续发展的重点,云南高原特色农业正在向“绿

色增效、生态环保、安全优质”的方向迈进,云南省对有机肥的需求,特别是优质有机肥的需求量会越来越大。从云南省200多家有机肥生产企业来看,多数存在生产规模很小(年产量仅在1万~3万t)、管理粗放、产品单一、针对性较弱和附加值较低等问题,进一步研究和规范有机类肥料的生产工艺,提高有机类肥料产品的附加值,是云南省有机类肥料产业的重要需求。针对这一重要需求,结合云南省高原特色农业发展的需要,研究优化畜禽粪污高值肥料化利用工艺参

数,开发高原特色作物的系列专用有机类肥料新产品和有机调理剂产品,具有推动云南省畜禽粪污的资源化、高值化利用,保障云南省高原特色农业的健康与可持续发展的重要作用。

针对云南高原特色农业由于化肥过量使用造成的土壤盐渍化、次生盐渍化、土壤板结、连作障碍和土传病害等问题^[39-41],需要维持土壤生产力和稳定性这一重大需求,针对性地利用腐熟畜禽粪便和腐熟秸秆堆肥制造生物有机肥、复合微生物肥料产品,开发集腐熟堆肥、化肥、功能微生物为一体,具有土壤改良、调控土壤微生物区系和持续提高土壤肥力功能的高原特色作物的系列专用有机类肥料新产品与有机调理剂产品,结合云南高原特色作物的养分需求规律和维持提升土壤生产力的需求,开发出不同功能的适用于高原特色作物的系列专用有机类肥料新产品。目前,没有针对性特别强的、云南高原特色农业专用的有机类肥料产品和有机土壤调理剂。通过堆肥化过程,结合功能性微生物资源,开发生物有机肥、复合微生物肥料以及有机类调理剂,是实现畜禽粪污高值化利用的重要方向,也是实现云南省畜禽粪污资源化利用、增加产品附加值的重要研究方向。

5 结论

(1)调整种植结构(如增加经济作物的比重),可以增加土地对粪污的消纳能力;采用畜禽粪污堆肥还田的方式,还可以进一步增加土地的消纳能力。

(2)云南省的畜禽粪污可以通过堆肥转化成为约3 544万t的有机肥,预计有机肥的总产值为2 835 369万元,有机肥料产业发展的潜力和空间大。

(3)云南省有机肥生产工艺水平较低,现有产能不足,通过进一步规范和提升有机肥的工艺水平,可能是提高云南省畜禽粪污资源化利用效率的重要途径。

(4)结合云南省高原特色农业发展的需要,畜禽粪污堆肥化后,开发成生物有机肥、复合微生物肥料以及有机类调理剂,是实现畜禽粪污高值化利用的重要方向。

参考文献:

- [1] 贾伟,李宇虹,陈清,等.京郊畜禽粪肥资源现状及其替代化肥潜力分析[J].农业工程学报,2014,30(8):156-167. JIA W, LI Y H, CHEN Q, et al. Analysis of nutrient resources in livestock manure excretion and its potential of fertilizers substitution in Beijing suburbs[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(8):156-167.
- [2] 吴浩玮,孙小淇,梁博文,等.我国畜禽粪便污染现状及处理与资源化利用分析[J].农业环境科学学报,2020,39(6):1168-1176. WU H W, SUN X Q, LIANG B W, et al. Analysis of livestock and poultry manure pollution in China and its treatment and resource utilization[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(6):1168-1176.
- [3] 蒋蓓芳,胡晓勇,刘平云.中南地区畜禽粪污土地承载现状及处理利用发展趋势[J].中国沼气,2021,39(2):10-15. JIANG Z F, HU X Y, LIU P Y. Land bearing status of livestock and poultry manure and development trend of treatment and utilization in central and southern China[J]. *China Biogas*, 2021, 39(2):10-15.
- [4] 王阳.长期施用化肥对土壤有机质含量及其组成的影响[D].长春:吉林农业大学,2015. WANG Y. Effects of long-term fertilizer application on soil organic matter content and its composition[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2015.
- [5] 宣梦,许振成,吴根义,等.我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析[J].农业资源与环境学报,2018,35(2):126-132. XUAN M, XU Z C, WU G Y, et al. Analysis of utilization of fecal resources in large-scale livestock and poultry breeding in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(2):126-132.
- [6] 付俊杰,李远.我国畜禽养殖业污染防治对策[J].中国生态农业学报,2004,12(1):176-178. FU J J, LI Y. The countermeasures of the pollution prevention in poultry feeding industry of China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1):176-178.
- [7] CHADWICK D, WEI J, YAN'AN T, et al. Improving manure nutrient management towards sustainable agricultural intensification in China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 209:34-46.
- [8] ZHENG L, ZHANG Q, ZHANG A, et al. Spatiotemporal characteristics of the bearing capacity of cropland based on manure nitrogen and phosphorus load in mainland China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 233:601-610.
- [9] 吴晶,王娟,赵彦光,等.云南省生猪养殖环境容量初步分析[J].养猪,2016(6):76-80. WU J, WANG J, ZHAO Y G, et al. Preliminary analysis on environmental capacity of pig breeding in Yunnan Province[J]. *Swine Production*, 2016(6):76-80.
- [10] 李丹阳,孙少泽,马若男,等.山西省畜禽粪污年产生量估算及环境效应[J].农业资源与环境学报,2019,36(4):480-486. LI D Y, SUN S Z, MA R N, et al. Estimation of annual production amount of livestock and poultry manure and its environmental effect in Shanxi Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(4):480-486.
- [11] 张宝成,白艳芬,李宪碧,等.遵义市畜禽养殖业粪便排放量估算及对环境的影响[J].家畜生态学报,2018,39(5):60-63. ZHANG B C, BAI Y F, LI X B, et al. Estimate of fecal emission from livestock and poultry industry in Zunyi and its effect on environment[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2018, 39(5):60-63.
- [12] 王忙生,张双奇,杨继元,等.丹江上游商洛市畜禽粪便排放量与耕地污染负荷分析[J].中国生态农业学报,2018,26(12):1898-1907. WANG M S, ZHANG S Q, YANG J Y, et al. Livestock manure emission and cultivated land pollution load in the midst upstream of Danjiang River in Shangluo City[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(12):1898-1907.

- [13] 廖青, 黄东亮, 江泽普, 等. 广西畜禽粪便产生量估算及对环境影
响评价[J]. 南方农业学报, 2013, 44(4): 627-631. LIAO Q,
HUANG D L, JIANG Z P, et al. Estimation of quantity of livestock
and poultry manure and environment impact assessment in Guangxi
[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013, 44(4): 627-631.
- [14] 张田, 卜美东, 耿维. 中国畜禽粪便污染现状及产沼气潜力[J]. 生
态学杂志, 2012, 31(5): 1241-1249. ZHANG T, BU M D, GENG
W, et al. Pollution status and biogas-producing potential of livestock
and poultry excrements in China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012,
31(5): 1241-1249.
- [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.
ZHU J C, ZHANG Z Q, FAN Z M, et al. Biogas potential, cropland
load and total amount control of animal manure in China[J]. *Journal of
Agro-Environment Science*, 2014, 33(3): 435-445.
- [16] 刘晓永, 王秀斌, 李书田. 中国农田畜禽粪尿氮负荷量及其还田潜
力[J]. 环境科学, 2018, 39(12): 5723-5739. LIU X Y, WANG X B,
LI S T, et al. Livestock and poultry faeces nitrogen loading rate and its
potential return to farmland in China[J]. *Environmental Science*, 2018,
39(12): 5723-5739.
- [17] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效
应[J]. 中国环境科学, 2006(5): 614-617. WANG F H, MA W Q,
DOU Z X, et al. The estimation of the production amount of animal
manure and its environmental effect in China[J]. *China Environmental
Science*, 2006(5): 614-617.
- [18] 耿维, 胡林, 崔建宇, 等. 中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制
研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 171-179, 295. GENG W,
HU L, CUI J Y, et al. Biogas energy potential for livestock manure
and gross control of animal feeding in region level of China[J]. *Trans-
actions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29
(1): 171-179, 295.
- [19] 石晓晓, 郑国砥, 高定, 等. 中国畜禽粪便养分资源总量及替代化
肥潜力[J]. 资源科学, 2021, 43(2): 403-411. SHI X X, ZHENG G
D, GAO D, et al. Quantity of available nutrient in livestock manure
and its potential of replacing chemical fertilizers in China[J]. *Resour-
ces Science*, 2021, 43(2): 403-411.
- [20] 付强, 诸云强, 孙九林, 等. 中国畜禽养殖的空间格局与重心曲线
特征分析[J]. 地理学报, 2012, 67(10): 1383-1398. FU Q, ZHU Y
Q, SUN J L, et al. Spatial patterns and gravity centers curve of live-
stock and poultry breeding in China[J]. *Acta Geographica Sinica*,
2012, 67(10): 1383-1398.
- [21] 何晓滨, 李庆龙, 段庆钟, 等. 云南省施肥及土壤养分变化分析[J].
中国土壤与肥料, 2011(3): 21-26. HE X B, LI Q L, DUAN Q Z, et
al. Variation analyzing on fertilization and soil nutrients in Yunnan
Province[J]. *Soil and Fertilizer in China*, 2011(3): 21-26.
- [22] 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, 316. LIU X Y, LI S T.
Temporal and spatial distribution of nutrient resource from livestock
and poultry feces and its returning to cropland[J]. *Transactions of the
Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(4): 1-14, 316.
- [23] 徐鹏翔, 沈玉君, 丁京涛, 等. 规模化奶牛场粪污全量贮存及肥料
化还田工艺设计[J]. 农业工程学报, 2020, 36(21): 260-265. XU
P X, SHEN Y J, DING J T, et al. Technological design of slurry ma-
nure storage and returning to farmland for fertilization on large-scale
dairy farm[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engi-
neering*, 2020, 36(21): 260-265.
- [24] 盛婧, 孙国峰, 郑建初. 典型粪污处理模式下规模养猪场农牧结合
规模配置研究 I. 固液分离-液体厌氧发酵模式[J]. 中国生态农
业学报, 2015, 23(2): 199-206. SHENG J, SUN G F, ZHENG J C, et al.
Pig farm-cropland configuration under typical waste treatment mode:
A case study of direct anaerobic fermentation of manure[J]. *Chinese
Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(2): 199-206.
- [25] 吴建富, 卢志红, 胡丹丹. 科学认识有机肥料在农业生产中的作用
[J]. 作物杂志, 2017(5): 1-6. WU J F, LU Z H, HU D D. Scientific-
ally understanding the role of organic fertilizer in agricultural pro-
duction[J]. *Crop*, 2017(5): 1-6.
- [26] 田慎重, 郭洪海, 姚利, 等. 中国种养业废弃物肥料化利用发展分
析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(增刊1): 123-131. TIAN S Z, GUO H
H, YAO L, et al. Development analysis for fertilizer utilization of agri-
cultural planting and animal wastes in China[J]. *Transactions of the
Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(Suppl 1): 123-
131.
- [27] 段红平. 云南有机肥发展的机遇、困难与对策[J]. 云南农业, 2017
(9): 70-73. DUAN H P. Opportunities, difficulties and countermea-
sures for the development of organic fertilizer in Yunnan[J]. *Yunnan
Agriculture*, 2017(9): 70-73.
- [28] 夏炜林, 黄宏坤, 漆智平, 等. 不同堆肥方式对奶牛粪便处理效果
的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006(增刊2): 215-219. XIA W
L, HUANG H K, QI Z P, et al. Experimental studies on dairy manure
treatment by static bed composting and microbe reagent inoculating
[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,
2006(Suppl 2): 215-219.
- [29] XU Z, ZHAO B, WANG Y Y, et al. Composting process and odor
emission varied in windrow and trough composting system under dif-
ferent air humidity conditions[J]. *Bioresource Technology*, 2020, 297:
122482.
- [30] 刘明, 黄荣, 李明, 等. 畜禽粪污处理技术标准现状研究[J]. 中国标
准化, 2017(24): 40-42, 45. LIU M, HUANG R, LI M, et al. Re-
search on the status quo of technical standards for treatment of live-
stock and poultry manure[J]. *China Standardization*, 2017(24): 40-
42, 45.
- [31] 王祖力, 王济民. 利用畜禽粪便生产有机肥潜力巨大[J]. 中国猪
业, 2011, 5(7): 52-53. WANG Z L, WANG J M. It has great poten-
tial to produce organic fertilizer by using livestock and poultry manure
[J]. *China Swine Industry*, 2011, 5(7): 52-53.
- [32] 胡晓明, 张无敌, 尹芳. 云南省农作物秸秆资源综合利用现状[J].
安徽农业科学, 2009, 37(23): 11167-11169, 11175. HU X M,
ZHANG W D, YIN F. Comprehensive utilization of straw resources in
Yunnan Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37
(23): 11167-11169, 11175.
- [33] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和
产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008(10): 3133-3139. XU M G,

- LI D C, LI J M, et al. Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on nutrients absorption and yield of rice in Hunan of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008 (10): 3133–3139.
- [34] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(21): 6137–6146. TAO L, CHU G X, LIU T, et al. Impacts of organic manure partial substitution for chemical fertilizer on cotton yield, soil microbial community and enzyme activities in mono-cropping system in drip irrigation condition[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (21): 6137–6146.
- [35] 李怨艳, 李吉进, 张邦喜, 等. 施用有机肥对番茄品质风味的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2017(2): 114–119, 135. LI S Y, LI J J, ZHANG B X, et al. Effect of different organic fertilizers application on tomato quality and flavor[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2017 (2): 114–119, 135.
- [36] 郭帅, 贺晓辉. 云南省有机肥产业发展现状及对策研究[J]. *昆明学院学报*, 2014, 36(3): 48–52, 60. GUO S, HE X H. Study on the developing situation and countermeasures of organic fertilizer industry in Yunnan Province[J]. *Journal of Kunming University*, 2014, 36(3): 48–52, 60.
- [37] 秦文俊. 云南省肥料产业发展现状及对策建议[J]. *云南农业*, 2014 (7): 10–13. QIN W J. Current situation and countermeasures of fertilizer industry development in Yunnan Province[J]. *Yunnan Agriculture*, 2014(7): 10–13.
- [38] 陈彬, 沈梅. 云南高原特色农业的发展[J]. *北京农业*, 2013(9): 252–254. CHEN B, SHEN M. The development of characteristic agriculture in Yunnan plateau[J]. *Beijing Agriculture*, 2013(9): 252–254.
- [39] 钱宸, 李凡, 李先德, 等. 基于农户经济和环境“双优”目标的粮食主产区化肥施用优化模拟分析——以邯郸地区小麦生产为例[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1481–1493. QIAN C, LI F, LI X D, et al. Analysis of fertilizer-use optimization under the joint framework of economic rationality and environmental sustainability: Evidence from wheat farmers in Handan, Hebei Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1481–1493.
- [40] 闵继胜, 孔祥智. 我国农业面源污染问题的研究进展[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2016(2): 59–66, 136. MIN J S, KONG X Z. Research development of agricultural non-point source pollution in China[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2016(2): 59–66, 136.
- [41] 钟秀明, 武雪萍. 我国农田污染与农产品质量安全现状、问题及对策[J]. *中国农业资源与区划*, 2007(5): 27–32. ZHONG X M, WU X P. Present status existing problems and counter measures of farmland pollution and quality and safety of agricultural products in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2007(5): 27–32.