

连年多点定位监测畜禽粪肥部分替代氮肥对土壤理化性状及作物产量的影响

芦睿¹, 程海涛^{2*}, 程路凯³

(1. 潢川县农业综合行政执法大队, 河南 潢川 465150; 2. 潢川县谈店乡乡村建设办公室, 河南 潢川 465118; 3. 潢川县农业技术推广中心, 河南 潢川 465150)

摘要: 针对淮南丘陵垄岗地区施肥引发的农业面源污染问题, 在该区域不同类型土壤上, 以监测有机肥替代部分氮肥对小麦、水稻、茶叶和蔬菜产量和土壤理化性状的影响为对象进行监测, 系统研究了常规施氮水平和粪肥替代 10%N 对土壤理化性状、作物产量的响应。结果表明, 减施氮肥, 配施畜禽粪肥, 能够提高土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾养分含量, 并能够增加土壤阳离子交换量, 降低土壤容重, 改善土壤结构, 对土壤理化性状具有积极作用; 可以提高小麦、水稻的产量, 分别提高 301.50、64.95 kg/hm²。有机肥与化肥氮、磷、钾配合施用对小麦、水稻高产稳定和提升土壤肥力有重要的作用, 而对毛尖茶和生育期短的蔬菜产量有一定的影响, 且产量下降明显。

关键词: 畜禽粪肥; 部分替代氮肥; 有机无机肥配施; 土壤理化性状; 作物产量

中图分类号: S141.2

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2026)02-0036-05

Multi-Year and Multi-Site Localized Monitoring of the Effects of Partial Substitution of Nitrogen Fertilizer with Livestock Manure on Soil Physicochemical Properties and Crop Yield

LU Rui¹, CHENG Haitao^{2*}, CHENG Lukai³

(1. *Comprehensive Agricultural Administrative Law Enforcement Brigade of Huangchuan County, Huangchuan 465150*; 2. *Rural Construction Office of Tandian Township, Huangchuan County, Huangchuan 465118*; 3. *Agricultural Technology Extension Center of Huangchuan County, Huangchuan 465150, China*)

Abstract: To address the agricultural non-point source pollution caused by fertilization in the hilly and ridge areas of Huainan, this study monitored the effects of partially substituting chemical nitrogen fertilizer with organic fertilizer on the yields of wheat, rice, tea, and vegetables, as well as on soil physicochemical properties, across different soil types in the region. The experiment included two treatments: conventional fertilization and substitution of 10% nitrogen with livestock manure. A systematic investigation was conducted on the responses of soil physicochemical properties and crop yields under conventional nitrogen application levels and 10% nitrogen substitution with manure. The results showed that reducing nitrogen fertilizer application while supplementing with livestock manure could increase soil organic matter, total nitrogen, available phosphorus, and potassium content. It also enhanced soil cation exchange capacity, reduced bulk density, improved soil structure, and positively influenced soil physicochemical properties. Additionally, this approach increased the yields of wheat and rice by 301.5 kg/ha and 64.95 kg/ha, respectively. The combined application of organic fertilizer with chemical N, P, and K fertilizers played a significant role in achieving stable and high yields for wheat and rice while improving soil fertility. However, it had a certain impact on the yield of Maojian tea and short-growth-period vegetables, with a noticeable decline in production.

Key words: Livestock manure; Partial substitution of nitrogen fertilizer; Organic-inorganic combined fertilization; Soil physicochemical properties; Crop yield

收稿日期: 2025-07-28

基金项目: 河南省绿色种养循环农业试点项目(豫财农水〔2023〕100号)

作者简介: 芦睿(1983-), 高级农艺师, 本科, 主要从事测土配方施肥、耕地培肥等方面工作。

通信作者: 程海涛, E-mail: nyjfb116@163.com

随着粮食产量的不断增长,化肥在保证粮食安全方面发挥了重要作用。但化肥的不合理使用,易造成环境污染、土壤退化等负面影响^[1]。潢川县为加快畜禽粪污资源化利用,打通种养循环堵点,推动畜禽粪肥还田,促进农业绿色高质量发展,自2021年起,按照农业农村部《绿色种养循环农业试点效果监测方案》^[2],选取主栽作物小麦、水稻、茶叶和蔬菜,开展了畜禽粪肥部分替代氮肥效果监测试验。其目的是减少化学肥料依赖,降低环境风险,改善土壤环境,提高作物产量和品质,促进经济效益与可持续农业均衡发展。通过连年多点定位监测,观察研究土壤理化性状与作物产量变化情况,可为绿色农业低碳转型、生态农业协调循环发展提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

全县共设置22个效果监测点,监测地块有水稻土、黄褐土和潮土3种土壤类型,其中,水稻土安排19个(11个水稻、5个小麦、3个蔬菜)监测点,黄褐土安排1个茶叶监测点,潮土安排2个茶叶监测点。所选的监测地块,地势平坦,土壤肥力中等,排灌条件良好,具有一定的代表性。

1.2 供试肥料

氮肥选用含氮46%的尿素,磷肥选用含磷12%的钙镁磷肥,钾肥选用含钾52%硫酸钾。本试验选用的粪肥是按照河南省农业农村厅《2021年绿色种养循环农业试点技术指导意见》^[3],以畜禽粪便为原料,经高温堆沤、发酵、充分腐熟后,卫生学指标及重金属含量达到控制标准,即符合《有机肥料》(NY/T 525-2021)^[4]要求的有机肥料(养分含量N:P₂O₅:K₂O=1.28%:0.87%:2.03%)。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

每个效果监测点设两个处理,处理A:常规施肥区;处理B:粪肥替代10%N有机无机配施区。各处理除施肥外,其他农事操作均相同。

1.3.2 施肥水平设计

在调查全县效果监测地块农户常年施肥习惯基础上,结合农业农村部测土配方施肥成果,并根据试验地块供试粪肥的养分含量情况,对小麦、水稻、茶叶和蔬菜常规施肥水平进行设计。测算结果,小麦常规施肥水平为N:P₂O₅:K₂O=12:6:6;水稻常规施肥水平为N:P₂O₅:K₂O=11:6:4;茶叶常规施肥水平为N:P₂O₅:K₂O=15:6:6;蔬菜

的供试种类有3个,分别为结球甘蓝、娃娃菜和白菜,各种类蔬菜的常规施肥水平各不相同,即结球甘蓝为N:P₂O₅:K₂O=22:10:9;娃娃菜为N:P₂O₅:K₂O=16:15:16;白菜为N:P₂O₅:K₂O=15:15:15。

1.3.3 试验作物品种、播种量及种植方式

小麦:供试品种为扬麦15,播种量225 kg/hm²,均匀条播。

水稻:杂交稻品种为梦两优华占,常规稻品种为特糯2072;大田插秧密度为10寸×5寸,杂交稻每穴1~2个苗,常规稻每穴3~4个苗。

茶叶:3个监测点的茶树品种各不相同,即JC-10为信阳群体种,JC-15为白毫早,JC-20为福鼎大白。栽植方式:分畦栽植,畦间距1.5 m。

蔬菜:3个监测点的蔬菜种类各不相同,即JC-06为白菜,JC-08为娃娃菜,JC-09为结球甘蓝;种植方式:白菜为撒播,播种量为7 500 g/hm²,间苗定植密度为375 000株/hm²;娃娃菜和结球甘蓝为育苗移栽,栽植密度为60 000株/hm²。

1.4 供试土壤样品采集与测定

施肥前按照“S”法进行基础土壤样品采集,采样深度为0~20 cm。检测分析土壤理化指标,包括土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾、pH值、阳离子交换量及重金属(镉、铅、铬、砷、汞)等指标^[5]。供试效果监测前土壤养分状况统计表见表1。

2 结果与分析

2.1 不同监测点效果监测后对土壤理化性状影响

由表2可知,不同作物常规处理与粪肥替代10%N有机无机配施处理相比,土壤主要理化性状存在差异。

2.1.1 小麦土壤理化性状变异情况

有机质、全氮、有效磷、速效钾、阳离子交换量均有所提高,分别提高0.40 g/kg、0.04 g/kg、3.93 mg/kg、5.00 mg/kg和0.53 cmol/kg,增幅分别为2.03%、1.48%、45.33%、4.72%和3.08%;pH值和容重有所降低,分别降低0.16和0.02 g/cm³,降幅分别为2.63%和1.65%;铅、铬、镉3种重金属含量有所增加,分别增加2.46、23.70、0.02 mg/kg,增幅分别为9.86%、46.56%、16.67%,而砷和汞两种重金属有所下降,分别降低0.22、0.017 mg/kg,降幅分别为2.70%、28.80%。

2.1.2 水稻土壤理化性状变异情况

有机质、全氮、有效磷有所提高,分别提高1.60 g/kg、0.04 g/kg和2.07 mg/kg,增幅分别为

表1 畜禽粪肥部分替代氮肥效果监测前土壤养分状况统计表

Table 1 Statistical table of soil nutrient status before monitoring the partial substitution effect of animal manure for nitrogen fertilizer

作物 Crop	处理 Treatment	pH值 pH value	有机质/ g·kg ⁻¹ Organic matter	全氮/ g·kg ⁻¹ Total ni- trogen	有效磷/ mg·kg ⁻¹ Available phospho- rus	速效钾/ mg·kg ⁻¹ Rapidly available potassium	容重/ g·cm ⁻³ Bulk den- sity	阳离子交 换量/ cmol·kg ⁻¹ Cation ex- change capacity	重金属含量/mg·kg ⁻¹ Heavy metal content				
									铅 Pb	铬 Cr	镉 Cd	砷 As	汞 Hg
小麦	A	5.90	19.74	1.24	5.74	87	1.21	16.52	25.60	41.60	0.10	8.14	0.039
	B	5.98	18.72	1.15	15.84	81	1.21	16.25	25.74	37.46	0.12	7.92	0.052
水稻	A	5.83	18.45	1.16	9.03	107	1.22	16.13	24.54	26.79	0.23	8.05	0.033
	B	6.48	18.40	1.14	12.18	94	1.21	14.18	25.76	30.68	0.25	10.41	0.044
茶叶	A	5.77	18.33	1.14	11.50	81	1.27	16.58	23.93	27.60	0.18	6.55	0.036
	B	5.80	20.37	1.24	24.00	91	1.23	17.32	24.47	47.03	0.22	6.71	0.046
蔬菜	A	5.70	20.57	1.27	10.70	135	1.28	10.10	21.40	41.93	0.13	7.15	0.032
	B	5.63	21.53	1.26	12.20	104	1.27	14.77	20.93	30.37	0.13	9.93	0.047
均值	A	5.90	20.70	1.27	9.90	115	1.26	16.13	23.60	27.70	0.21	7.55	0.044
	B	6.00	19.60	1.17	13.30	109	1.24	16.34	24.60	32.70	0.22	8.06	0.052

表2 畜禽粪肥部分替代氮肥效果监测对土壤理化性状影响统计表

Table 2 Statistical analysis of effects on soil physicochemical properties from monitoring partial substitution of nitrogen fertilizer with livestock and poultry manure

作物 Crop	处理 Treatment	pH值 pH value	有机质/ g·kg ⁻¹ Organic matter	全氮/ g·kg ⁻¹ Total nitro- gen	有效磷/ mg·kg ⁻¹ Available phospho- rus	速效钾/ mg·kg ⁻¹ Rapidly available potassium	容重/ g·cm ⁻³ Bulk den- sity	阳离子交 换量/ cmol·kg ⁻¹ Cation ex- change ca- pacity	重金属含量/mg·kg ⁻¹ Heavy metal content				
									铅 Pb	铬 Cr	镉 Cd	砷 As	汞 Hg
小麦	A	6.08	19.7	1.17	8.67	106	1.21	17.22	24.94	50.90	0.12	8.14	0.059
	B	5.92	20.1	1.21	12.60	111	1.19	17.75	27.40	74.60	0.14	7.92	0.042
水稻	A	6.29	16.4	1.02	7.85	95	1.27	19.06	24.08	25.60	0.18	8.29	0.041
	B	6.21	18.0	1.05	9.92	94	1.25	16.01	26.10	30.00	0.19	10.18	0.058
茶叶	A	6.27	19.4	1.18	62.30	206	1.29	17.27	22.77	45.60	0.09	7.78	0.034
	B	6.07	20.0	1.34	64.50	261	1.26	17.27	24.07	65.40	0.10	7.47	0.065
蔬菜	A	5.83	19.3	1.05	17.60	135	1.28	10.10	25.07	56.30	0.13	7.15	0.026
	B	6.00	20.0	1.06	23.60	104	1.27	9.61	26.50	60.30	0.15	8.16	0.031
均值	A	6.20	17.6	1.10	19.90	116	1.29	15.90	32.60	20.18	0.19	8.18	0.040
	B	6.15	17.9	1.15	21.60	131	1.27	16.30	33.80	23.57	0.20	9.60	0.060

9.77%、3.96%和26.37%；pH值、速效钾、容重、阳离子交换量有所降低，分别降低0.08、1.00 mg/kg、0.02 g/cm³和3.05 cmol/kg，降幅分别为1.27%、1.05%、1.57%和16.00%；铅、铬、镉、砷、汞5种重金属均有所增加，分别增加2.02、4.40、0.01、1.89、0.017 mg/kg，增幅分别为8.39%、17.19%、5.56%、22.80%、41.46%。

2.1.3 茶叶土壤理化性状变异情况

有机质、全氮、有效磷、速效钾有所提高，分别提高0.60 g/kg、0.16 g/kg、2.20 mg/kg和55.00 mg/kg，增幅分别为3.09%、13.56%、3.53%和26.70%；阳离子交换量持平；pH值、容重有所降低，分别降低0.20和0.03 g/cm²，降幅分别为3.82%和2.33%；5种重金属中，铅、铬、镉、汞4种重金属有所增加，分别

增加 1.30、19.80、0.01、0.031 mg/kg,增幅分别为 5.71%、43.42%、11.11%、91.12%,而重金属砷有所降低,0.31 mg/kg,降幅 3.98%。

2.1.4 蔬菜土壤理化性状变异情况

pH值、有机质、全氮、有效磷有所提高,分别提高 0.17、0.70 g/kg、0.01 g/kg 和 6.00 mg/kg,增幅分别为 2.916%、3.63%、0.95% 和 34.09%;速效钾、容重、阳离子交换量有所降低,分别降低 31.00 mg/kg、0.01 g/cm³ 和 0.49 cmol/kg,降幅分别为 22.96%、0.78% 和 4.85%;铅、铬、镉、砷、汞 5 种重金属均有所增加,分别增加 1.43、4.00、0.02、1.01、0.005 mg/kg,增幅分别为 5.70%、7.10%、15.38%、14.13%、19.23%。

从总体情况看,土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾、阳离子交换量含量有所提高,分别提高

0.30 g/kg、0.05 g/kg、1.70 mg/kg、15.00 mg/kg 和 0.40 coml/kg,增幅分别为 1.70%、4.55%、8.54%、12.93% 和 2.52%;土壤 pH 值和容重有所降低,分别下降 0.05 和 0.02 g/cm³,降幅分别为 0.81% 和 1.55%;土壤铅、铬、镉、砷、汞 5 种重金属均有所增加,分别增加 1.20、3.39、0.01、1.42、0.02 mg/kg,增幅分别为 3.68%、16.80%、5.26%、17.36%、50.00%。

2.2 不同监测点效果监测后对作物产量的影响

由表 3 可知,常规施肥处理与粪肥替代 10%N 有机无机配施处理相比,4 种作物的产量存在差异。其中,小麦和水稻产量有所提高,分别提高 301.98 kg/hm² 和 64.76 kg/hm²,增幅分别为 6.73% 和 0.72%;茶叶和蔬菜产量有所下降,分别降低 61.48 kg/hm² 和 2 076.87 kg/hm²,降幅分别为 29.91% 和 4.37%。

表 3 畜禽粪肥部分替代氮肥效果监测对作物产量影响统计表

Table 3 Statistical analysis of crop yield impact from monitoring partial substitution of nitrogen fertilizer with livestock manure

作物 Crop	处理 Treatment	作物产量/kg·hm ⁻² Crop yield		B与A处理比较作物产量增减/ kg·hm ⁻² Change in crop yield compared to Treatment A	B与A处理比较作物产量增减幅度/% Change in crop yield compared to Treatment A
		变幅 Range	平均值 Mean		
小麦	A	2 776.35 ~ 5 984.25	4 486.50	301.98	6.73
	B	2 656.35 ~ 6 392.25	4 788.48		
水稻	A	5 097.45 ~ 9 884.25	8 936.59	64.76	0.72
	B	5 665.50 ~ 10 259.55	9 001.35		
茶叶	A	46.05 ~ 408.90	205.58	-61.48	-29.91
	B	42.15 ~ 264.15	144.10		
蔬菜	A	45 603.00 ~ 49 202.40	47 534.80	-2 076.87	-4.37
	B	46 002.30 ~ 55 323.00	45 457.93		

3 讨论与结论

3.1 畜禽粪肥部分替代氮肥对土壤理化性状的影响

从 22 个监测点试验结果看,畜禽粪肥替代 10%N 有机无机配施处理与常规施肥处理相比,土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾、阳离子交换量有所增加。分析原因:畜禽粪肥含有丰富的有机质和氮、磷、钾营养元素,在连年长期有机无机配施模式下,可促进有机质和氮、磷、钾及阳离子交换量的积累,且有机质中的磷、钾等元素也可以通过微生物的作用释放出来,进而提高了相应

的含量。土壤 pH 值和容重有所降低,分析原因:pH 值降低是由于畜禽粪肥原料中含有大量的动物尿液和发酵产物,通常都属于酸性物质,当畜禽粪肥施入土壤后,使土壤 pH 值有小幅降低;容重降低是因畜禽粪肥连年施用增加土壤有机质含量、改善土壤结构的同时,也增加了土壤的孔隙度,进而减少了土壤容重。土壤镉、铅、铬、砷、汞 5 种重金属含量较常规施肥处理有所增加,最低增加幅度 3.68%,最高增加幅度 50%,这与郭暖等^[6]的研究结果一致。连年定位施用畜禽粪肥,土壤 5 种重金属含量虽有增加,但均在农用地土壤风险管控值以下,这表明畜禽粪肥部分替代氮

肥有机无机配施不会造成土壤的污染。

3.2 畜禽粪肥部分替代氮肥对作物产量的影响

畜禽粪肥替代10% N有机无机配施处理与常规施肥处理相比,小麦产量有所增加,平均增加301.98 kg/hm²,增幅6.73%。小麦有机无机配施模式下亩穗数、千粒重及产量均较常规处理有小幅增长^[7]。水稻产量有所提高,平均增产64.95 kg/hm²,增幅0.73%,这与魏小武等^[8]的试验结果一致,可能原因是连年长期施用有机肥能显著增加土壤微生物菌群数量,改善土壤根际环境的同时,也促进了土壤中难溶性物质的分解和植物的生长,也与张国荣等^[9]研究的结果一致。茶鲜叶产量有所降低,平均减产61.48 kg/hm²,减产幅度29.91%,分析原因:本监测试验的茶叶为“信阳毛尖”茶,其经济产量主要是采摘茶鲜叶,该茶鲜叶采摘时间短且都是早春的芽头,因有机无机配施处理的肥力较缓,对早春茶叶芽头的生长有一定的影响。蔬菜产量因蔬菜生育期不同,其产量差异较大,结球甘蓝生育期最长,其产量有所提高,增加7 720 kg/hm²,增幅16.93%;白菜生育期最短,其产量下降明显,降低12 949.90 kg/hm²,降幅26.32%。3个蔬菜监测点平均减产2 076.87 kg/hm²,减产幅度为4.37%,分析原因:有机无机配施处理的肥效发挥缓慢,对于生育期较短的蔬菜,在其收获时有机肥的肥效还没有完全发挥作用,进而影响其产量。

减施氮肥,配施畜禽粪肥,小麦、水稻产量有所提升^[10],使早春毛尖茶产量下降明显,使生育期短的蔬菜产量下降明显,对土壤理化性状具有积极作用,不会造成土壤污染^[11]。综上,畜禽粪肥与化肥氮磷钾配合施用对小麦、水稻高产稳定和提升土壤肥力有重要的作用;而对早春毛尖茶和生育期短的蔬菜产量有一定的影响,且产量下降明显。

参考文献:

- [1] 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.
WEN Y C, ZHANG Y D, YUAN L, et al. The impact of organic fertilizer substitution on crop yield and soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(11): 2136-2142. (in Chinese)
- [2] 农业农村部种植业司.绿色种养循环农业试点效果监测方案:农农(肥水)(2021)20号[EB/OL].(2021-06-25)[2026-03-09]. https://zwfw.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202106/t20210625_6369944.htm.
- [3] 绿色种养循环农业试点专家指导组,全国农业技术推广服务中心.2021年绿色种养循环农业试点技术指导意见[EB/OL].(2021-07-01)[2026-03-09]. http://m.toutiao.com/group/6979872854485500453/?upstream_biz=doubao.
- [4] NY/T525-2021,有机肥料标准[S].北京:中国农业出版社,2021.
- [5] NY/T2911-2016,测土配方施肥技术规程标准[S].北京:中国农业出版社,2017.
- [6] 郭暖,郭晓明,张清森,等.畜禽粪肥施用对耕地土壤金属元素影响的Meta分析[J].环境监测管理与技术,2023(5):68-71.
GUO N, GUO X M, ZHANG Q M, et al. Meta-analysis of the effects of livestock and poultry manure application on soil metal elements in arable land[J]. *Environmental Monitoring Management and Technology*, 2023(5): 68-71. (in Chinese)
- [7] 张恩平,张淑红,李天来,等.有机肥与无机肥配施对菜田土壤氮磷钾养分含量的影响[J].黑龙江农业科学,2001(2):5.
ZHANG E P, ZHANG S H, LI T L, et al. Effects of organic and inorganic fertilizer application on soil nutrient content(nitrogen, phosphorus, and potassium) in vegetable fields[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2001(2):5. (in Chinese)
- [8] 魏小武,单世平,郭照辉,等.化肥减量配施生物有机肥对油菜产量的影响[J].湖南农业科学,2019,49(4):37-40.
WEI X W, SHAN S P, GUO Z H, et al. Effect of reduced chemical fertilizer application with bio-organic fertilizer on rapeseed yield[J]. *Hunan Agricultural Science*, 2019, 49(4): 37-40. (in Chinese)
- [9] 张国荣,李菊梅,徐明岗.长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2009,42(2):543-551.
ZHANG G R, LI J M, XU M G. Effects of long-term different fertilization on rice yield and soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009,42(2): 543-551. (in Chinese)
- [10] 欧杨虹,徐阳春,沈其荣,等.有机氮部分替代无机氮对水稻产量和氮素利用率的影响[J].江苏农业学报,2009(1):106-111.
OUYANG H, XU Y C, SHEN Q R, et al. Effects of partial substitution of inorganic nitrogen with organic nitrogen on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2009(1): 106-111. (in Chinese)
- [11] 田艳洪,闫凤超,刘玉娥,等.不同用量有机肥配施化肥对水稻生长及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2019(5):31-35.
TIAN Y H, YAN F C, LIU Y E, et al. Effects of different doses of organic fertilizer combined with chemical fertilizer on rice growth and yield[J]. *Heilongjiang Agricultural Science*, 2019(5): 31-35. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)