

张霞, 李健, 秦枫, 等. 熟化垫料等氮量替代化肥对小麦产量、土壤养分及当季氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(5): 1082-1086.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.05.012

熟化垫料等氮量替代化肥对小麦产量、土壤养分及当季氮肥利用率的影响

张霞, 李健, 秦枫, 绍乐, 潘孝青, 杨杰, 顾洪如

(江苏省农业科学院畜牧研究所, 农业部种养结合重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要: 为高效合理地进行熟化垫料的大田利用, 在相同施氮量(225 kg/hm^2)条件下, 以猪发酵床熟化垫料不同比例替代化肥(不施肥对照、施化肥、熟化垫料 1/2 氮量替代、熟化垫料 3/4 氮量替代和熟化垫料全氮量替代), 研究其对小麦当季产量、当季土壤养分以及氮肥利用率的影响。结果表明: 在相同施氮量熟化垫料不同替代量下, 小麦当季籽粒产量、穗数、穗粒数、株高及穗长差异显著($P < 0.05$), 产量依次为氮素化肥处理($7\,365.3 \text{ kg/hm}^2$) > 熟化垫料 1/2 氮量替代处理($7\,225.1 \text{ kg/hm}^2$) > 熟化垫料 3/4 氮量替代处理($6\,293.3 \text{ kg/hm}^2$) > 熟化垫料全氮量替代处理($5\,160 \text{ kg/hm}^2$) > 不施肥对照($3\,676.8 \text{ kg/hm}^2$); 土壤有机质、全氮、全磷含量随熟化垫料施用量增加而增加; 小麦氮肥表观利用率随熟化垫料替代比例增加而呈现先增加后降低的趋势, 氮肥偏生产力与氮肥农学效率则呈现降低趋势。综合考虑小麦产量、土壤养分状况以及氮肥利用率, 熟化垫料 1/2 氮量替代可以达到单施化肥的效果。

关键词: 熟化垫料; 小麦; 产量; 土壤养分; 氮肥利用率

中图分类号: X713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)05-1082-05

Effects of replacement of fertilizer with spent litters in pig-litter system on grain yield, soil nutrient and nitrogen use efficiency of wheat in first season under the same nitrogen input

ZHANG Xia, LI Jian, QIN Feng, SHAO Le, PAN Xiao-qing, YANG Jie, GU Hong-ru

(*Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Crop and Livestock Integrated Farming, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China*)

Abstract: In order to utilize the spent litter in pig-litter system efficiently and reasonably, field experiment was studied to investigate the effects of replacement of fertilizers with used litter on wheat grain yield, soil nutrient and nitrogen(N) use efficiency during winter wheat season in the corn-wheat cropping system under the same nitrogen input (225 kg/hm^2). There were five treatments in this experiment, including no N fertilizer use (CK), inorganic fertilizer treatment, 1/2 litter fertilizer replacement, 3/4 litter fertilizer replacement and all litter fertilizer replacement. The results clearly demonstrated that there were significant differences in grain yield, panicle number, grain number per ear, plant height and ear length of winter wheat among five treatments. The wheat grain yield showed the order of inorganic fertilizer treatment ($7\,365.3 \text{ kg/hm}^2$) > 1/2 litter replacement ($7\,225.1 \text{ kg/hm}^2$) > 3/4 litter replacement ($6\,293.3 \text{ kg/hm}^2$) > all litter replacement ($5\,160 \text{ kg/hm}^2$) > CK ($3\,676.8 \text{ kg/hm}^2$). The contents of soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus increased with the increase of the application amount of used litter at the same 225 kg/hm^2 nitrogen level. The nitrogen apparent use efficiency of wheat increased first and then decreased with the increase of litter replacement,

收稿日期: 2019-02-26

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(16)1003]; 农业农村部种养结合重点实验室开放课题(201804)

作者简介: 张霞(1976-), 女, 河南新乡人, 博士, 副研究员, 主要从事畜禽粪便综合利用研究。(E-mail) 583765990@qq.com

while the nitrogen partial factor productivity and nitrogen agronomic use efficiency of wheat showed a decreasing trend. In conclusion, 1/2 litter fertilizer use can achieve the effect of inorganic fertilizer use at the same 225 kg/hm² nitrogen level, considering wheat grain yield, soil nutrient status and nitrogen use efficiency.

Key words: used litter; wheat; yield; soil nutrient; nitrogen use efficiency

据统计 2016 年中国肉类总产量达 $8.537\ 8 \times 10^7$ t, 其中猪肉 $5.299\ 1 \times 10^7$ t, 占肉类总产量的 62%^[1]。随着畜牧业规模化养殖快速发展, 猪场粪尿集中排放造成严重的环境污染^[2-3]。中国畜禽粪污年产生量约 3.8×10^9 t, 综合利用率不到 60%, 畜牧业污染源化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)排放量分别占农业污染物排放总量的 96%、56%、38%, 已成为农业面源污染的重要来源^[4]。

在种养结合系统中, 畜禽生产粪尿源头减量, 种植业过程高效率消纳, 并进行优质农产品生产, 是绿色种养技术的关键。发酵床饲养技术是基于粪尿原位降解和向环境零排放的生态技术, 是解决猪场粪污污染的一种有效方法^[5]。本团队研究建立了密实稻麦秸秆捆作为发酵床垫料的技术, 将稻麦秸秆捆作为底层垫料, 通过调节秸秆水分含量实现可控降解。研究表明养猪发酵床废弃垫料含有丰富的营养成分, 将其作为肥料进行农田施用是熟化垫料处理的主要途径^[6-7]。“秸秆-垫料-熟化垫料还田-秸秆”的循环过程实现了对猪粪尿和秸秆的种养结合高效利用。

自 20 世纪 80 年代以来, 中国化肥施用量快速增加, 而有机肥用量逐渐减少, 施用化肥成为最主要的粮食增产措施。目前, 中国是世界上第一大化肥消费国和进口国, 化肥的投入约占农民全部生产性支出的 50%^[8]。化肥用量不断增加和施用方式不合理等引发的农业环境质量问题日益凸现, 造成的土壤酸化、板结、有机质降低等问题影响农业可持续发展^[8]。农业农村部发布的《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》中要求有机肥替代化肥, 实现有机无机相结合。合理施用有机肥是改善土壤理化特性, 培肥土壤, 保证农业可持续发展的重要农艺措施之一^[9]。本研究利用养猪发酵床熟化垫料作为有机肥, 探讨在同等施氮水平下不同比例有机肥替代无机肥, 对当季小麦产量、土壤养分及肥料氮利用率的影响, 以期对种养结合高效、合理施用熟化垫料以及减肥减药提供科学依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在江苏省农业科学院六合动物科学基地试验田进行。该基地地处长江中下游, 北纬 32.36°, 东经 118.83°, 属亚热带季风气候, 年平均温度 15.2 °C, 年均降水量 1 000 mm 左右, 全年无霜期平均 231 d, ≥ 10 °C 年积温约 4 800 °C。试验区土壤为低山丘陵黄棕壤, 又名马肝土。试验前耕层(0~20 cm)土壤有机质含量 11.13 g/kg, 全氮含量 0.34 g/kg, 全磷含量 4.13 g/kg, 速效钾含量 95 mg/kg。前茬作物为大豆。

1.2 试验设计

2016 年进行试验, 采用随机区组设计, 设置 5 个处理: ①不施肥对照; ②氮素化肥处理; ③熟化垫料 1/2 氮量替代氮素化肥; ④熟化垫料 3/4 氮量替代氮素化肥; ⑤熟化垫料全氮量替代氮素化肥。每个处理 3 次重复, 小区面积 5 m×8 m, 每小区间隔 1 m。小麦品种为苏科麦 1 号。试验所用熟化垫料有机质含量 48.6%, 全氮含量 2.67%, 全磷含量 1.63%, 全钾含量 0.84%。施肥处理的总氮量均为 225 kg/hm²。有机肥等氮量替代相应的氮素化肥, 一次性作底肥基施。氮素化肥处理以尿素计 60% 氮作底肥, 其余氮素化肥(尿素)均在拔节期一次性追施。试验田管理主要包括春天返青期一次喷施除草剂除草, 全生育期无人工浇水, 试验期间生育后期小麦无病虫害。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 小麦产量及产量构成 于收获期测定 2.0 m² 面积上的小麦产量, 每小区重复 2 次。每小区随机选取 2 处 0.5 m 长样段, 整株拔出小麦植株, 带回实验室, 去除植株根系, 测量株高、穗长、穗粒数、小穗数等指标, 并按照籽粒、颖壳、茎秆、叶片分开, 于 60 °C 烘箱烘干至恒质量。烘干样品用植物粉碎机粉碎后待测。

1.3.2 全氮、全磷含量 用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解植株样品至溶液澄清, 加水定容, 全氮含量采用凯氏定氮法测定, 全磷含量采用钒钼黄分光光度法测定。土

壤样品采用 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消解,加水定容,全氮含量采用凯氏定氮法测定,全磷含量采用钼蓝分光光度法测定。

1.3.3 土壤有机质含量 采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定。

1.3.4 小麦植株氮素含量及养分利用率计算^[10]

氮素累积吸收量=籽粒产量×氮素含量+秸秆产量×氮素含量,氮素表观利用率=[(施氮区植株累积吸氮量-不施氮区植株累积吸氮量)/施氮量]×100%,氮素偏生产力(PEP)=[施氮区籽粒产量/施氮量]×100%,氮肥农学效率(NUE)=(施氮区籽粒产量-不施氮区籽粒产量)/施氮量。

2 结果与分析

2.1 熟化垫料替代化学氮肥对冬小麦产量与农艺性状的影响

方差分析结果(表1)显示,相同施氮量熟化垫料不同替代方式下小麦籽粒产量、穗粒数、穗数、株高及穗长差异显著($P<0.05$)。施肥处理籽粒产量均显著高于不施肥对照,氮素化肥处理与熟化垫料 1/2 氮量替代处理无差异,且显著高于熟化垫料 3/4 氮量替代与熟化垫料全氮量替代处理,表现为氮素化肥处理>

熟化垫料 1/2 氮量替代处理>熟化垫料 3/4 氮量替代处理>熟化垫料全氮量替代处理>不施肥对照。氮素化肥处理与熟化垫料 1/2 氮量替代处理的穗数显著高于不施肥对照和熟化垫料全氮量替代处理,但与熟化垫料 3/4 氮量替代处理的差异不显著。氮素化肥处理的穗粒数显著高于不施肥对照,但与其他处理差异不显著。千粒质量不同处理之间差异不显著,全氮量替代处理与不施肥对照的较低。氮素化肥处理穗长显著高于熟化垫料全氮量替代处理与不施肥对照,与其他处理间差异不显著。小麦籽粒产量、穗粒数、株高、穗长均随氮素化肥(尿素)施用量减少或熟化垫料替代量增加有降低的趋势。

2.2 熟化垫料替代化学氮肥对冬小麦农田土壤养分的影响

小麦收获后测定土壤有机质、全氮及全磷含量。结果(表2)表明,相同施氮量熟化垫料有机肥不同替代方式下,土壤有机质含量差异不显著,但施肥处理土壤有机质含量均比不施肥对照增加,且随熟化垫料施用量的增加而增加。小麦收获后熟化垫料全氮量替代处理的土壤全氮、全磷含量均显著高于其他处理,随熟化垫料施用量增加土壤全氮、全磷含量有逐渐增加的趋势。

表1 熟化垫料替代化学氮肥对小麦产量及其构成因素与农艺性状的影响

Table 1 Wheat grain yield and its components and plant characters under replacement of inorganic fertilizer with spent litters in pig-litter

处 理	穗粒数	千粒质量 (g)	穗数 ($\times 10^4$, 1 hm ²)	株高 (cm)	穗长 (cm)	籽粒产量 (kg/hm ²)
不施肥对照	28.2±6.7b	37.7±1.0	460±36b	65.8±2.9c	6.4±0.7c	3 677d±995c
化学氮肥	37.1±1.0a	39.5±2.7	661±44a	81.1±4.2a	8.0±0.2a	7 365a±917a
熟化垫料 1/2 氮量替代化学氮肥	34.3±2.4ab	39.5±0.9	703±32a	77.2±1.2ab	7.4±0.4ab	7 225a±307a
熟化垫料 3/4 氮量替代化学氮肥	35.2±2.7ab	39.6±2.7	549±153ab	73.4±2.4bc	7.3±0.3ab	6 293b±1 489b
熟化垫料全氮量替代化学氮肥	31.8±3.0ab	38.8±0.6	494±121b	71.5±6.8bc	6.8±0.5bc	5 160c±1 235b

同列数值后不同小写字母表示不同处理间差异达 5% 显著水平。下同。

表2 熟化垫料替代化学氮肥对小麦土壤有机质、全氮和全磷含量的影响

Table 2 Contents of organic matter, total nitrogen and total phosphorus in soil of wheat under replacement of inorganic fertilizer with spent litters in pig-litter

处 理	有机质		全氮		全磷	
	含量(g/kg)	比对照增加(%)	含量(g/kg)	比对照增加(%)	含量(g/kg)	比对照增加(%)
不施肥对照	11.63±1.34	/	0.55±0.04b	/	4.05±0.50b	/
化学氮肥	11.96±1.40	2.91	0.58±0.08b	5.85	4.33±0.55b	6.91
熟化垫料 1/2 氮量替代化学氮肥	12.98±2.03	9.71	0.59±0.02b	8.23	4.38±0.39b	8.15
熟化垫料 3/4 氮量替代化学氮肥	13.18±0.91	8.74	0.62±0.08b	14.08	4.78±0.75b	18.01
熟化垫料全氮量替代化学氮肥	14.46±2.23	22.33	0.74±0.05a	35.10	5.92±0.19a	46.22

2.3 熟化垫料替代化学氮肥对冬小麦农田氮肥利用率的影响

由表 3 可知,相同施氮量熟化垫料不同替代方式对小麦籽粒吸氮量、总吸氮量以及氮肥利用率的影响显著。除熟化垫料全氮量替代处理外,其他几个施肥处理籽粒吸氮量及植株总吸氮量均显著高于

不施肥对照,吸氮量依次为熟化垫料 1/2 氮量替代处理>氮素化肥处理>熟化垫料 3/4 氮量替代处理>熟化垫料全氮量替代处理>不施肥对照。施氮素化肥处理和熟化垫料 1/2 氮量替代处理的氮肥表观利用率、氮肥偏生产力与氮肥农学效率最高,熟化垫料全氮量替代处理的最低。

表 3 熟化垫料不同替代化学氮肥方式下小麦氮肥利用率

Table 3 Nitrogen use efficiency of winter wheat under replacement of inorganic fertilizer with spent litters in pig-litter

处 理	籽粒吸氮量 (kg/hm ²)	总吸氮量 (kg/hm ²)	氮肥表观利用率 (%)	氮肥偏生产力	氮肥农学效率
不施肥对照	64.99±19.50c	78.70±22.70c			
化学氮肥	166.57±15.37a	200.07±17.41a	53.94±7.74a	32.7±4.1a	16.4±4.1a
熟化垫料 1/2 氮量替代化学氮肥	178.98±24.09a	209.91±24.53a	58.31±10.90a	32.1±1.4ab	15.8±1.4ab
熟化垫料 3/4 氮量替代化学氮肥	126.23±25.37b	148.67±28.88b	31.10±12.84b	28.0±6.6ab	11.6±6.6ab
熟化垫料全氮量替代化学氮肥	78.91±15.77c	96.41±9.87c	14.20±3.47c	22.9±5.5b	6.6±5.5b

3 讨 论

有机无机肥配施在农业生产中的作用已有较多报道。一般认为无机肥的肥效快,可以有效促进小麦生育前期分蘖,有机肥营养的缓效成分则保证小麦生育后期的营养供应,适量化肥与有机肥配施可延缓作物叶片衰老,显著提高籽粒产量^[11-14]。本研究在相同施氮量 225 kg/hm²条件下,施氮素化肥处理的小麦产量最高,其次是熟化垫料 1/2 氮量替代处理,但二者之间差异不显著,这说明在等氮量条件下,熟化垫料 1/2 氮量替代化肥基本能够达到单施化肥的效果。而熟化垫料 3/4 氮量替代与熟化垫料全氮量替代两处理的产量则显著降低,尤其是熟化垫料全氮量替代处理后期严重缺氮,导致小麦提前成熟。主要是因为熟化垫料有机营养释放缓慢,土壤中硝态氮与铵态氮含量相应较低,而小麦生育中、后期氮素需求增加,不能满足生长需求从而使产量显著下降,这与前人的研究结果一致^[15]。熟化垫料有机营养释放缓慢,因而影响穗数、穗粒数、千粒质量以及株高、穗长等性状,导致小麦产量随熟化垫料施用量的增加而降低。在相同施氮量条件下,随熟化垫料替代比例的增加,拔节期追施尿素量减少,熟化垫料营养释放缓慢,引起养分不足,此生育期又是小麦需肥临界期和关键时期,此时合理氮肥运筹是提高穗粒数和籽粒产量的基础^[16-19]。

土壤有机质的积累可以提高土壤的肥力和生产力^[20-23]。研究结果表明,在相同施氮量条件下,与不施肥对照相比,各施肥处理均可提高土壤有机质含量,随熟化垫料施用量增加土壤有机质增加量也从熟化垫料 1/2 氮量替代处理的 9.71%增加到熟化垫料全氮量替代处理的 22.33%。因此与不施肥对照相比,等量施氮时有机肥与化肥均能提高土壤有机质含量,但有机肥对土壤有机质的增量作用更大。潘根兴等认为这是因为有机肥矿化损失远远小于化肥^[20]。土壤中的氮、磷与有机质含量变化趋势一致,随熟化垫料施用量增加而增加,可能是因为猪发酵床垫料有机肥养分释放缓慢,造成土壤内氮和磷素在短期内相对残留量较高,这与前人的研究结果一致^[15,22]。综合土壤养分状况可以看出,所有试验处理的土壤有机质均比小麦种植前增加,施肥处理土壤氮和磷含量均有一定量的增加,因此可通过增施有机肥提高土壤有机质含量与质量。

在一定施氮量时适当降低化肥施用量,增施有机肥,可显著提高小麦肥料利用效率^[24]。本研究结果表明在相同施氮量条件下,不同处理之间小麦籽粒和植株氮素积累量及氮肥利用率差异显著,而且氮肥农学效率和肥料偏生产力均随熟化垫料替代比例增加而依次降低。同等施氮量时(180~240 kg/hm²),单施化肥与熟化垫料 1/2 氮量替代处理的氮肥偏生产力的测定结果与于飞等^[25]对我国近 10

年小麦氮肥利用率的研究结果相一致,但本研究的氮肥表观利用率与氮肥农学效率相对较高,这可能与本试验田土壤肥力相对较低而对肥料反应敏感有关。

在相同施氮量 225 kg/hm² 条件下,熟化垫料不同比例替代化肥处理的冬小麦籽粒产量、穗数、穗粒数、株高及穗长呈现显著差异;熟化垫料 1/2 氮量替代处理的小麦籽粒产量较高,植株氮素积累量、氮肥表观利用率、氮肥偏生产力与氮肥农学效率均最高;土壤有机质、全氮、全磷含量随熟化垫料施用量增加均不同程度地增加,最大增幅分别可达 22.33%、35.10%、46.22%。因此,熟化垫料 1/2 氮量替代可以达到单施化肥的效果。

参考文献:

- [1] 中国畜牧兽医年鉴编辑委员会.中国畜牧兽医年鉴 2016 年[M].北京:中国农业出版社,2017:1.
- [2] 任善茂,邹艺琛,陶勇.江苏地区仔猪、生长育肥猪饲养现状及其潜在污染评估[J].江苏农业科学,2018,46(23):176-180.
- [3] 王诚,张印,王彦平,等.山东规模化猪场污染物产生量和环境承载力研究[J].山东农业科学,2017,49(12):114-118.
- [4] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部.第一次全国污染源普查报告[EB/OL].(2010-02-06)[2019-06-13].http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgh/qttjgh/qgqttjgh/201002/t20100211_30641.html.
- [5] 胡锦艳,刘春雪,刘小红,等.发酵床养猪技术的现状、调研与分析[J].家畜生态学报,2015,36(4):74-81.
- [6] 张霞,顾洪如,杨杰,等.猪发酵床垫料中氮、磷、重金属元素含量[J].江苏农业学报,2011,27(6):1414-1415.
- [7] 胡海燕,于勇,张玉静,等.发酵床养猪废弃垫料的资源化利用评价[J].植物营养与肥料学报,2013,19(1):252-258.
- [8] 张北赢,陈天林,王兵.长期施用化肥对土壤质量的影响[J].中国农学通报,2010,26(11):182-187.
- [9] 宁川川,王建武,蔡昆争.有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J].生态环境学报,2016,25(1):175-181.
- [10] 谢迎新,刘超,朱云集,等.氮、硫配施对冬小麦氮素利用效率及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):64-71.
- [11] 赵隼,董树婷,刘鹏,等.有机无机肥长期定位配施对冬小麦群体光合特性及籽粒产量的影响[J].应用生态学报,2015,26(8):2362-2370.
- [12] 郁洁,蒋益,徐春森,等.不同有机物及其堆肥与化肥配施对小麦生长及氮素吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(6):1293-1302.
- [13] 王秋君,张小莉,罗佳,等.不同有机无机复混肥对小麦产量、氮效率和土壤微生物多样性的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1003-1009.
- [14] 唐先干,秦文婧,谢金水,等.不同比例猪粪有机肥配施对稻穗不同部位氮含量分布的影响[J].南方农业学报,2018,49(10):1940-1945.
- [15] 孙国峰,周炜,何加骏,等.猪粪沼液施用后土壤理化性状及小麦产量的变化[J].江苏农业学报,2012,28(5):1054-1060.
- [16] ELVIRA G L, RAFAEL J L, LUIS L B. Effect of rate, timing, splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rain fed Mediterranean conditions [J].Field Crops Research, 2004, 85:213-236.
- [17] AYOUB M, GUERTIN S, FREGEAU R J, et al. Nitrogen fertilizer effect on breading quality of hard red spring wheat in eastern Canada [J].Soil Science Society of America Journal, 1994, 34(5):1346-1352.
- [18] 王小燕,沈永龙,高春宝,等.氮肥后移对江汉平原小麦籽粒产量及氮肥偏生产力的影响[J].麦类作物学报,2010,30(5):896-899.
- [19] 康国章,王永华,郭天财,等.氮素施用对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响[J].作物学报,2003,29(1):82-86.
- [20] 潘根兴,周萍,张旭辉,等.不同施肥对水稻土作物碳同化与土壤碳固定的影响——以太湖地区黄泥土肥料长期试验为例[J].生态学报,2006,26(11):3704-3710.
- [21] 汪吉东,张永春,俞美香,等.不同有机无机肥配合施用对土壤活性有机质含量及 pH 值的影响[J].江苏农业学报,2007,23(6):573-578.
- [22] 杨晓梅,李桂花,李贵春,等.有机无机配施比例对华北褐土冬小麦产量与氮肥利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2014(4):48-52.
- [23] 何翠翠,王立刚,王迎春,等.长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究[J].土壤学报,2015,52(1):194-202.
- [24] 要娟娟,薛泽民,赵萍萍,等.商品有机肥和氮肥配施对冬小麦产量及氮肥利用率的影响[J].山西农业科学,2012,40(4):353-356.
- [25] 于飞,施卫明.近 10 年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析[J].土壤学报,2015,52(6):1311-1324.

(责任编辑:张震林)