

有机物料还田和减施氮肥对小麦 氮素利用及经济效益的影响

李春喜¹,刘 晴¹,邵 云¹,马守臣²,李斯斯¹,李晓波¹,翁正鹏¹

(1.河南师范大学生命科学学院,河南 新乡 453007;2.河南理工大学测绘与国土信息工程学院,河南 焦作 454000)

摘 要:为探讨长期有机物料还田和减施氮肥对小麦氮素利用效率及麦田经济效益的影响,本试验以常规单施氮肥处理为对照(CK),设置了秸秆还田(J)、秸秆还田+牛粪(JF)、秸秆还田+菌渣(JZ)3种有机物料还田措施,耦合减施氮肥10%(N1)、20%(N2)、30%(N3)3个施氮水平共10个处理。试验结果表明:有机物料还田处理可以使小麦增产1.90%~69.64%,各有机物料还田下小麦产量表现为JZ>JF>J>CK。JZ条件下N1水平的小麦产量最高,为10 478.04 kg·hm⁻²;JF条件下N3水平的小麦产量最高,为8 113.05 kg·hm⁻²;J条件下N2水平的小麦产量最高,为8 138.14 kg·hm⁻²,分别较CK增加了69.64%、31.35%、31.76%。各有机物料还田下小麦的经济效益与去除环境成本后的净经济效益均表现为JZ>J>JF>CK,经济效益最高的JZN1、JN2、JFN3处理分别较CK增加了123.49%、59.35%、37.72%,净经济效益分别较CK增加了186.41%、96.35%、71.94%。综上所述,有机物料还田下减施氮肥可以显著增加小麦的氮素利用效率,提升小麦的产量,从而增加麦田的经济效益与净经济效益。

关键词:有机物料还田;小麦;减施氮肥;氮素利用效率;经济效益

中图分类号:S141;S147.2 **文献标志码:**A

Effects of organic materials returning and nitrogen fertilizer reduction on nitrogen utilization and economic benefits of wheat

LI Chunxi¹, LIU Qing¹, SHAO Yun¹, MA Shouchen², LI Sisi¹, LI Xiaobo¹, WENG Zhengpeng¹

(1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453007, China;

2. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: To study the effects of organic material returning and nitrogen (N) fertilizer reduction on wheat N use efficiency and economic benefits, 10 field experiments were designed in this research. Conventional single N fertilizer was used as control (CK), and three kinds of organic materials (straw, cattle manure, mushroom residue) were chosen to add in field with various N application levels (90%, 80%, 70% pure N of CK). The results indicated that the treatment of organic material returning increased grain yield by 1.90%~69.64% over CK. The yields of wheat under treatments ranked as JZ>JF>J>CK. Under JZ treatment, the highest yield of wheat was at N1 level, which was 10 478.04 kg·hm⁻². Under JF treatment, the wheat yield at N3 level was 8 113.05 kg·hm⁻². Under J treatment, the highest wheat yield was at N2 level, which was 8 138.14 kg·hm⁻², which increased by 69.64%, 31.35% and 31.76%, respectively, compared with that of CK. The economic benefits of wheat under each treatment and the net economic return after removing environmental costs ranked as JZ>J>JF>CK, and the highest were JZN1, JN2 and JFN3, respectively. Compared with CK, the economic benefits of JZN1, JN2 and JFN3 increased by 123.49%, 59.35% and 37.72%, respectively. Meanwhile, the net economic benefits increased by 186.41%, 96.35% and 71.94%, respectively, compared with that of CK. In summary, reducing nitrogen fertilizer application under the condition of returning organic materials to field significantly increased N use efficiency of wheat, which also increased wheat yield. Thereby, the economic benefits of wheat fields and net economic benefits after removing environmental costs would be increased.

Keywords: organic materials returning; wheat; reducing nitrogen fertilizer; nitrogen utilization efficiency; economic benefit

我国是世界上最大的肥料生产国与消费国,农业生产上肥料的不合理施用严重制约着我国农业的可持续发展,因此如何协调农业生产中的增产增收与节能减污是目前国内外学者的研究热点^[1]。有机肥是在当前由于化肥过量施用造成土壤微生物活性降低、土壤养分失调等环境污染的大背景下被逐渐重视起来的,是农业可持续发展的重要组成部分^[2]。施用有机肥可以充分改善土壤物理性质,维持土壤养分平衡,优化土壤微生物群落的结构组成,最终增加作物产量^[3-4]。施用有机肥是我国农业种植中的优良传统,但有机肥肥效较慢,肥料中的氮素当季利用率低,而化肥效果快速且显著,因此将有机肥与化肥配施成为国内外研究的热点^[5-7]。大量研究表明,有机肥与化肥配施可以显著增加作物产量,改良农田土壤质量,如谢军等^[8]在用鸡粪替代部分化肥的研究中得出,有机肥替代部分化肥能够显著增加玉米经济产量和生物产量,促进玉米对氮素的吸收和氮素向籽粒的转运。赵军等^[9]研究表明,猪粪替代部分化肥能够提高作物产量,是一种具有培育高产土壤微生物区系潜力的施肥措施。龙攀等^[10]选用酒渣、沼渣、菌渣、猪粪和

农田秸秆共5种有机物料配施等量无机肥,研究有机肥与无机肥配施对农田土壤性质的影响,结果表明,与单施化肥相比,有机肥与无机肥配施可以显著提高土壤有机碳及土壤微生物量碳。

前人对于有机肥替代部分化肥的研究大多只采用单种有机物料还田,或采用多种有机物料时未设置不同的配施无机氮肥梯度。本试验在秸秆还田、秸秆+牛粪还田、秸秆+菌渣还田3种有机物料还田措施的基础上,耦合减施氮肥10%、20%、30%三个施氮水平,在8年定位试验的基础上,研究长期有机物料还田并减施氮肥对小麦氮素利用效率及经济效益的影响,旨在为优化整合利用氮肥及有机肥源,寻找合理的培肥措施提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2017年10月—2018年6月在河南省获嘉县照镜镇前李村(113°39'E, 35°9'N)进行。试验田土壤为黏壤土,试验前取0~20 cm土层土壤样品及秸秆、菌渣、牛粪样品,自然风干后测定其基本理化性质(表1)。

表1 播前土壤和有机物料的养分含量

Table 1 The nutrient content of soil before sowing and different organic materials

处理 Treatment	全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	有机碳/(g·kg ⁻¹) Organic carbon	pH	全磷/(g·kg ⁻¹) Total P	速效氮/(mg·g ⁻¹) Available N	速效磷/(mg·g ⁻¹) Available P
播前土 Soil before sowing	1.36	13.80	8.05	0.55	52.35	23.49
秸秆 Straw	7.39	79.01	7.71	1.53	-	-
菌渣 Mushroom dregs	7.56	19.61	8.23	10.91	-	-
牛粪 Cow dung	25.1	60.04	7.55	12.57	-	-

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,以单施纯氮 270 kg·hm⁻² 为对照(CK),有机肥为主区,设 J(秸秆全量还田, 4 200 kg·hm⁻²)、JF(秸秆全量还田+牛粪,牛粪 45 m³·hm⁻²)、JZ(秸秆全量还田+菌渣,菌渣 60 m³·hm⁻²)3种有机物料还田方式;施氮量为副区,设 N1(纯氮 243 kg·hm⁻²,较 CK 减量 10%)、N2(纯氮 216 kg·hm⁻²,较 CK 减量 20%)、N3(纯氮 189 kg·hm⁻²,较 CK 减量 30%)3个施氮水平,共计 10 个处理。每小区面积 5 m×6 m=30 m²,3次重复。

CK 底施纯氮 162 kg·hm⁻²,N1~N3 处理分别底施纯氮 135、108 kg·hm⁻²和 81 kg·hm⁻²,同时各处理均底施 K₂O 180 kg·hm⁻²、P₂O₅ 120 kg·hm⁻²、硫肥 60 kg·hm⁻²、ZnSO₄ 22.5 kg·hm⁻²,第二年拔

节期追施纯氮 108 kg·hm⁻²。

小麦播期为 2017 年 10 月 15 日,供试品种为“百农矮抗 58”,播量为 187.5 kg·hm⁻²,于 2018 年 6 月 1 日收获,期间田间管理措施同高产田。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 样品采集 成熟期于每个小区随机选取生长一致的单茎 30 株,植株鲜样于 105℃ 杀青 30 min 后,85℃ 烘干至恒重,计算地上部干物质。植株干样用万能粉碎机粉碎后,用硒粉-硫酸铜-浓硫酸消煮分解,消煮液使用连续流动分析仪(AA3,德国)测定氮素含量^[11]。

1.3.2 产量测定 每小区选取 3 个 1 m² 面积将穗剪下脱粒,称重,并选取 3 个 1 m 单行小麦植株考察群体数。

1.4 数据处理

各指标计算公式为:

植株总氮素积累量 (TNA , $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 成熟期单株干重 (kg) \times 成熟期单株含氮量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) \times 种植密度 ($\text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$) / 1000

氮素利用效率 (NUE , $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = 籽粒产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) / 植株总氮素积累量

氮素偏生产力 (NPF , $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = 籽粒产量 / 施入氮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[12]

利用市场价值法,以农产品的净增加值表示各处理提供的农产品经济效益:

经济效益 = 籽粒产量 \times 市场价格 - 生产成本^[13]

其中,生产成本 = 机械投入 + 劳动成本 + 生产资料 (农药 + 种子 + 化肥) 投入,小麦价格为 2.4 元 $\cdot \text{kg}^{-1}$,种子价格为 4.5 元 $\cdot \text{kg}^{-1}$,尿素为 3.9 元 $\cdot \text{kg}^{-1}$, K_2O 为 5 元 $\cdot \text{kg}^{-1}$, P_2O_5 为 5 元 $\cdot \text{kg}^{-1}$, ZnSO_4 为 10 元 $\cdot \text{kg}^{-1}$ 。

从经济效益中减去施用化肥所引起的氮素挥发而带来的环境污染消费,即为考虑环境成本的净经济效益^[14]:

净经济效益 = 经济效益 - 环境成本

其中,环境成本 = NH_3 挥发的环境成本 + NO_x 排放的环境成本 + N_2O 排放的环境成本 + N 淋溶的环境成本。 NH_3 挥发、 NO_x 排放、 N_2O 排放、N 淋溶的环境成本采用表 2 的模型^[14] 计算。

采用 Excel 2016 和 SPSS 22.0 进行数据处理。

表 2 氮损失计算公式及环境成本

Table 2 Nitrogen loss calculation formula and environmental costs

氮损失途径 Apparent loss of N	估算公式 Estimation method	价格/(元 $\cdot \text{kg}^{-1}$) Price/(yuan $\cdot \text{kg}^{-1}$)
NH_3 挥发 Ammonia volatilization	$-4.95 + 0.17 \times \text{施氮量}$ $-4.95 + 0.17 \times \text{N application rate}$	37.5
NO_x 排放 NO_x emission	$0.57 + 0.0066 \times \text{施氮量}$ $0.57 + 0.0066 \times \text{N application rate}$	29.6
N_2O 排放 N_2O emission	$0.54 \times \exp(0.0063 \times \text{氮剩余})$ $0.54 \times \exp(0.0063 \times \text{N surplus})$	83.7
N 淋溶 N leaching	$13.59 \times \exp(0.009 \times \text{氮剩余})$ $13.59 \times \exp(0.009 \times \text{N surplus})$	9.3

注:氮剩余 = 施氮量 - 植株总吸收氮素量

Note: N residual = N application rate - total N uptake by plants

2 结果与分析

2.1 不同有机物料还田下减施氮肥对小麦产量及其构成因素的影响

由表 3 可知,有机物料还田各处理均能不同程度提高小麦产量,不同有机物料处理下小麦产量表现为 $\text{JZ} > \text{JF} > \text{J} > \text{CK}$,较 CK 增加了 1.90% ~ 69.64%。 JZ 条件下,不同施氮水平小麦产量表现为 $\text{JZN1} >$

$\text{JZN2} > \text{JZN3}$,即秸秆还田+菌渣处理下,随着配施氮量的增加,小麦产量呈上升趋势,可能是由于长期施加菌渣改良了麦田土壤质量,增加了麦田所能利用的最大氮量; JF 条件下, JFN3 处理显著高于 JFN2 与 JFN1 处理,且各施氮水平均显著高于 CK,各施氮水平下小麦产量较 CK 增加了 19.52% ~ 31.35%,说明秸秆还田+牛粪处理下,随着施氮量的增加,小麦产量呈下降趋势; J 条件下, $\text{JN2} > \text{JN1} > \text{JN3} > \text{CK}$,较 CK 分别增加了 31.76%、16.98%、1.90%,即秸秆还田处理下, N2 水平对小麦产量的增加效果最为显著,说明秸秆还田处理下,配施氮量过高或过低均不利于小麦产量最大限度增加。

从产量结构上分析,各处理的公顷穗数表现为 $\text{JZ} > \text{JF} > \text{J} > \text{CK}$,小穗数表现为 $\text{JF} > \text{JZ} > \text{J} > \text{CK}$,穗粒数表现为 $\text{JZ} > \text{J} > \text{JF} > \text{CK}$ 。 JZ 条件下,小麦的公顷穗数、小穗数、穗粒数均在 N1 水平达到最大,与产量结果一致,说明 JZN1 处理通过显著增加小麦公顷穗数、小穗数、穗粒数来提升小麦产量; JF 条件下, N1 水平时小麦的公顷穗数与穗粒数达到最大,小穗数在 N2 水平时最大; J 条件下,小麦的小穗数与穗粒数在 N2 水平时达到最大值,公顷穗数在 N3 水平时最大。有机物料还田各处理的千粒重均显著低于单施化肥处理,即与单施化肥相比,有机物料还田处理并不能有效增加小麦的千粒重。综上所述,有机物料还田处理主要通过提高小麦的公顷穗数和穗粒数来提高小麦的产量。

2.2 不同有机物料还田下减施氮肥对小麦氮素积累及利用的影响

2.2.1 不同有机物料还田下减施氮肥对小麦植株地上部全氮及总氮素积累的影响 由图 1 可知,小麦植株地上部全氮含量表现为 $\text{JF} > \text{J} > \text{CK} > \text{JZ}$,即与单施化肥相比,秸秆还田+牛粪处理最有利于小麦植株地上部全氮含量的增加。 JF 条件下,仅 N2 水平的植株全氮含量显著高于 CK, N1 与 N3 水平均与 CK 无显著差异,说明秸秆还田+牛粪处理下, N2 水平最有利于小麦植株地上部全氮含量的增加; J 条件下,各施氮水平植株全氮含量表现为 $\text{JN1} > \text{JN3} > \text{JN2}$,但均与 CK 无显著差异; JZ 条件下,各施氮水平间无显著差异,且均与 CK 无显著差异,说明与单施化肥相比,秸秆还田与秸秆还田+菌渣处理均不能有效增加小麦植株地上部全氮含量。

由图 2 可知,不同有机物料处理下小麦植株地上部的总氮素积累整体表现为 $\text{JF} > \text{JZ} > \text{J} > \text{CK}$ 。 JF 条件下,最高的 JFN2 处理较 CK 增加了 58.82%,最有利于小麦植株地上部总氮素积累, JFN3 与 JFN1 处

理分别较 CK 增加了 15.39% 和 3.7%;JZ 条件下,各施氮水平均显著高于 CK,表现为 JZN1>JZN3>JZN2>CK,较 CK 增加了 22.71%~25.88%,说明秸秆还田+菌渣处理能够很好地增加小麦植株地上部总氮素积累量;J 条件下,JN1 处理显著高于 CK,JN2、JN3 处理显著低于 CK,说明仅秸秆还田时,N2、N3 水平不能有效地增加小麦植株地上部总氮素积累。综上所述,有机物料还田处理虽然不能有效增加小麦植株全氮含量,但可以显著增加小麦植株总氮素积累量,且以 JFN2 处理的增加效果最显著。

2.2.2 不同有机物料还田下减施氮肥对小麦氮素利用的影响 植株的氮素利用效率与植株的产量及总氮素积累量密切相关。由图 3 可知,不同有机物料还田处理下植株氮素利用效率表现为 J>JZ>JF>CK。J 条件下,JN2>JN3>JN1,JN1 处理的植株氮素利用效率显著低于 CK,可能是由于 JN1 处理下小麦植株总氮素积累量较高,小麦植株的营养生长过

于旺盛而影响了籽粒的积累;JZ 条件下,各施氮水平氮素利用效率表现为 JZN1>JZN2>JZN3,与产量趋势一致,即随着配施氮量的增加,小麦氮素利用效率也增加;JF 条件下,JFN1 与 JFN3 处理无显著差异,仅植株总氮素积累量最高的 JFN2 处理显著低于 CK。

有机物料还田配施氮肥能够显著增加小麦的氮素偏生产力,各处理下小麦的氮素偏生产力均显著高于 CK,整体表现为 JZ>JF>J>CK。JZ 条件下,JZN1>JZN3>JZN2,较 CK 分别增加了 88.49%、82.24%和 63.48%,说明秸秆还田+菌渣处理可以显著增加小麦的氮素偏生产力,且以 N1 水平最佳;JF 条件下,氮素偏生产力表现为 JFN3>JFN2>JFN1>CK,即秸秆还田+牛粪处理下,随着配施氮量的增加,小麦的氮素偏生产力降低;J 条件下,JN2>JN3>JN1,较 CK 增加了 29.98%~64.70%,即秸秆还田处理的 N2 水平最有利于增加小麦的氮素偏生产力。

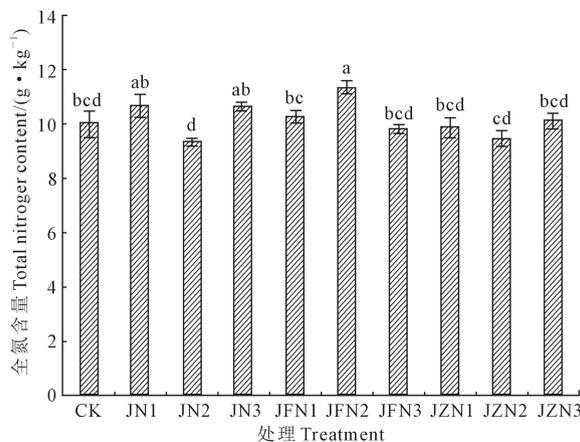
表 3 各处理下小麦产量及其构成因素

Table 3 The yield and yield components of wheat with different treatments

处理 Treatment	穗数 Spike /($10^{-4} \cdot \text{hm}^{-2}$)	单穗小穗数 Spikelet per spike	单穗穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grains weight/g	产量 Yield /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
CK	464.00e	20.20de	30.60cd	47.06a	6176.46d
JN1	558.00cd	19.80e	31.00cd	45.19b	7225.28c
JN2	546.00d	21.60ab	35.60b	45.29b	8138.14b
JN3	510.00de	20.60cd	30.00cd	44.50bc	6294.08d
JFN1	574.00bcd	19.20f	32.80bc	42.42d	7381.94c
JFN2	628.00abc	22.00a	29.40d	43.91bcd	7493.52c
JFN3	638.00ab	21.60ab	30.60cd	44.96b	8113.05b
JZN1	682.00a	21.00bc	38.80a	42.84cd	10478.04a
JZN2	640.00ab	20.60cd	32.40cd	42.14d	8077.97b
JZN3	628.00abc	20.80cd	31.20cd	43.50bcd	7879.25b

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: The different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P<0.05$), the same below.



注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Notes: The different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P<0.05$), the same below.

图 1 各处理下小麦地上部植株全氮

Fig.1 Total nitrogen of wheat above-ground plant with different treatments

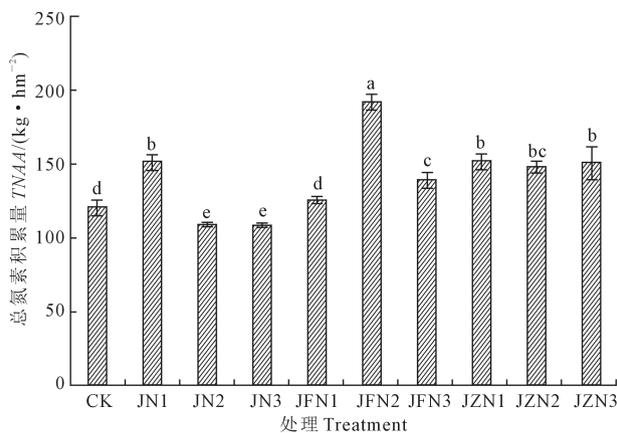


图 2 各处理下小麦地上部总氮素积累

Fig.2 Total N accumulation of wheat above-ground plant with different treatments

2.3 不同有机物料还田下减施氮肥对小麦经济效益及净经济效益的影响

由表 4 可知,不同有机物料处理下的经济效益表现为 $JZ > J > JF > CK$ 。JZ 条件下, $JZN1 > JZN2 > JZN3$,表现出与产量相同的趋势,随着施氮量的增加,经济效益逐渐增加;J 条件下, $JN2 > JN1 > JN3$,N2 水平下经济效益最高,较 CK 增加了 59.35%;JF 条件下,由于生产成本较高,因此虽然 JF 处理的产量高于 J 处理,但其经济效益低于 J 处理,随着施氮量的增加,经济效益逐渐减少,与产量趋势一致。由于化肥、有机肥的成本投入存在差异,各处理的生产资料均不相同,表现为 $JF > JZ > CK > J$ 。JF 与 JZ 处理存在有机肥成本问题,因而生产资料较高,CK 由于施用无机化肥较多,所以生产资料略高于 J 处理。有机肥的施用伴随着机械投入及人工劳动成本的

增加,故而各有机物料还田处理生产成本均高于对照。

净经济效益是指从经济效益中减去施用化肥所引起的氮素挥发而带来的环境污染消费,具有一定的环境友好性。如表 4 所示,不同有机物料处理下的净经济效益表现为 $JZ > J > JF > CK$,与经济效益表现出相同的趋势。JZ 条件下, $JZN1 > JZN2 > JZN3$,虽然随着施氮量的增加,环境成本也增加,但环境成本的增幅远小于经济效益的增幅,因此随着施氮量的增加,麦田的净经济效益呈增加趋势;J 条件下, $JN2 > JN1 > JN3$,各施氮水平间差异显著,分别较 CK 增加了 96.35%、47.83% 和 14.89%;JF 条件下, $JFN3 > JFN2 > JFN1$,随着施氮量的减少,环境成本降低而经济效益增加,故 JF 处理下,随着施氮量的减少,净经济效益增加。

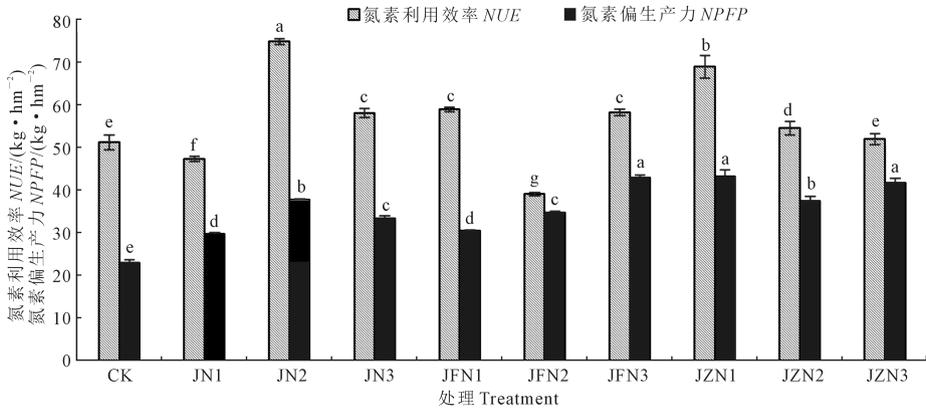


图 3 各处理下小麦氮素利用效率及氮素偏生产力

Fig.3 The N utilization efficiency and N partial factor productivity with different treatments

表 4 各处理下麦田经济效益及净经济效益

Table 4 The economic benefits and net economic benefits with different treatments

处理 Treatment	经济价值 Economic value /(yuan · hm ⁻²)	生产成本 Cost/(yuan · hm ⁻²)			经济效益 Economic benefit /(yuan · hm ⁻²)	环境成本 Environmental cost /(yuan · hm ⁻²)	净经济效益 Net economic benefits /(yuan · hm ⁻²)
		机械投入 Machine cost	劳动成本 Labor cost	生产资料 Means of production			
CK	14823.50	1997.40	2650.00	2988.35	7187.75f	2205.72	4982.03 f
JN1	17340.66	2600.00	2700.00	2883.05	9157.61d	1792.78	7364.83 d
JN2	19531.53	2600.00	2700.00	2777.75	11453.78b	1671.36	9782.42 b
JN3	15105.79	2600.00	2700.00	2672.45	7133.34f	1409.51	5723.83ef
JFN1	17716.65	2600.00	2800.00	4383.05	7933.60ef	1887.95	6045.65 e
JFN2	17984.44	2600.00	2800.00	4277.75	8306.69e	1460.54	6846.15 d
JFN3	19471.33	2600.00	2800.00	4172.45	9898.88cd	1332.69	8566.19 c
JZN1	25147.29	2600.00	2850.00	3633.05	16064.24a	1795.06	14269.18 a
JZN2	19387.12	2600.00	2850.00	3527.75	10409.37c	1552.75	8856.62 c
JZN3	18910.20	2600.00	2850.00	3422.45	10037.75c	1306.97	8730.78 c

3 讨论

3.1 不同有机物料还田下减施氮肥对小麦产量的影响

相关研究表明,有机肥与无机肥配施可以调节

土壤营养环境,提高土壤保水性和保肥性,增加土壤养分的有效性,降低土壤酸度,最终提高作物产量^[15]。孙宁科等^[16]认为,有机肥与无机肥长期配施能够增加作物的产量及产量稳定性。谢军等^[8]的研究表明,有机肥氮替代 50%的化肥氮能够明显

增加玉米的产量。有机肥氮替代化肥氮之所以能够增产,可能是由于其能够改善土壤中氮素的供应过程,使土壤养分能够平稳释放^[17-18]。以上研究与本研究结果一致,在本研究中,有机物料还田下减施氮肥能够显著增加小麦的产量,不同有机物料下小麦的产量表现为 $JZ>JF>J>CK$, $JZN1$ 处理与 CK 相比增加了69.64%,增产效果最为显著。 JZ 条件下, $N1$ 水平时小麦产量最高; JF 条件下, $N3$ 水平时小麦产量最高; J 条件下, $N2$ 水平时小麦产量最高。可能是由于秸秆中含有大量的养分, $N1$ 与 $N3$ 水平对于秸秆还田处理来说,氮肥施用量过高或过低,而 $N2$ 水平较为合适,能够更好的促进小麦增产; JZ 条件下,由于菌渣中存在大量的微生物,可以加速有机物料的分解,增加土壤酶的活性,增加作物对氮的积累及利用,因此在 $N1$ 水平下产量达到最高^[19-20]; JF 条件下,牛粪中也存在大量的微生物,能够有效改良土壤状况,但牛粪中氮的含量是菌渣中的3.3倍,因此氮投入量较 JZ 大大增加,故在 $N3$ 水平时产量达到最高。

3.2 不同有机物料还田下减施氮肥对小麦氮素利用的影响

有机肥配施氮肥可以提高土壤含氮量,使小麦吸收的有效氮相对提高,增加小麦植株氮含量^[21-22]。高洪军等^[23]研究表明,有机肥与化肥配施能够提高作物的氮素积累量、偏生产力及氮收获指数。张广凯等^[24]的研究表明,猪粪配施尿素能够增加作物的氮素积累及氮素利用,有机肥与氮肥配施可以提高作物对氮素的吸收率,这可能是由于有机肥与氮肥配施改善了土壤的氮素供应特性,促进了作物对氮素的吸收。本研究结果表明,长期不同施肥模式下小麦的植株总氮素积累表现为 $JF>JZ>J>CK$,与前人研究结果基本一致。植株的氮素利用效率表现为 $J>JZ>JF$,与植株总氮素积累相反,可能是由于随着有机肥施用量的增加,土壤的有机碳含量及碳氮比增加,分解有机碳所用的氮的量也在增加,从而发生与作物争氮的现象,影响作物对氮的吸收^[25]。此外,大量研究结果也表明,有机肥处理下减施氮肥能够提高作物氮素吸收及积累^[26-29],本研究也表明有机肥处理下减施氮肥能够明显增加小麦的植株氮素积累、氮素利用及氮素偏生产力,从而增加小麦的产量,这与陈志龙等^[30]的研究结果一致。

3.3 不同有机物料还田下减施氮肥对小麦经济效益、净经济效益的影响

诸多研究表明,施用有机肥可以提高多种作物的产量及经济效益。王晓娟等^[31]在旱地施有机肥

对土壤水分和玉米经济效益影响的研究中发现,施用鸡粪可以明显改善农田土壤水分状况、显著提高玉米的产量及经济效益。彭廷等^[32]的研究表明,有机肥的种类不同对水稻产量的影响也不同,但均能提高水稻的产量及经济效益,施用沼液对水稻经济效益的提升效果最显著。本研究结果表明,秸秆还田+菌渣处理比单施化肥处理的经济效益提高了39.65%~123.49%,对麦田经济效益的提升最为显著,与前人的研究结果相符。经济效益与麦田的产量和施肥投入有关,本研究中,产量表现为 $JZ>JF>J$,但由于菌渣和牛粪的价格与运输成本均较高,故秸秆还田+牛粪处理的经济效益反而低于秸秆还田处理,而秸秆还田+菌渣处理产量较高,因此减去生产成本后仍居首位。

净经济效益是指从经济效益中减去施加尿素所引起的氮素挥发而带来的环境污染,此处的氮素挥发包括氨挥发、 NO_x 挥发、 NO_2 挥发、氮淋溶,这些氮素挥发所带来的环境费用包括:对生态系统的损害、对人类健康的损害、对温室效应的影响3个方面,本文中的环境费用是这3项的和^[33-35]。本研究中,各有机物料还田处理下,环境成本均表现为 $CK>N1>N2>N3$,去除环境成本后的净经济效益表现为 $JZ>J>JF$,秸秆还田+菌渣处理下, $N1$ 水平虽然对环境不太友好,但其增产效应明显,因此 $JZN1$ 处理的净经济效益最大。将环境因素考虑在内时, $JFN3$ 处理虽然净经济效益不是最高,但仅低于 $JZN1$ 处理,因此 $JFN3$ 处理既可以显著增加麦田的经济效益,又表现出了环境友好性。

4 结 论

与单施化肥相比,长期有机物料还田可以有效提高小麦的氮素利用效率,增加小麦的产量、经济效益及净经济效益。 JZ 处理对小麦产量的提高最为显著,其次为 JF ,最后为 J 。 JZ 条件下, $N1$ 水平的小麦产量、经济效益、净经济效益最高; JF 条件下, $N3$ 水平对小麦的增产作用最为显著,且经济效益和净经济效益最高; J 条件下, $N2$ 水平的小麦产量最高,经济效益及净经济效益达到最大。综上所述, $JZN1$ 处理可以实现产量及经济效益的最大化,而 $JFN3$ 处理既可以保证经济效益的提高,又对环境友好,因此建议豫北地区在减施纯氮30%的前提下,采用秸秆+牛粪的有机物料还田方式。

参 考 文 献:

- [1] 林洪鑫,袁展汽,刘仁根,等.不同氮磷钾处理对木薯产量、养分积累、利用及经济效益的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18

- (6): 1457-1465.
- [2] 罗华, 宋涛, 刘辉, 等. 3 种有机肥对油菜生长发育及经济效益的影响研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(7): 189-193.
- [3] 韩晓增, 王凤仙, 王凤菊, 等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 66-71.
- [4] 张焕军, 郁红艳, 丁维新. 长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3308-3314.
- [5] 白玲, 李俊华, 褚贵新, 等. 有机无机肥配施对棉花养分吸收及氮素效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 143-148.
- [6] 高菊生, 徐明岗, 王伯仁, 等. 长期有机无机肥配施对土壤肥力及水稻产量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 211-214, 259.
- [7] 许晶晶, 郝明德, 赵云英. 黄土高原旱地小麦氮磷钾与有机肥优化配施试验[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 143-147.
- [8] 谢军, 赵亚南, 陈轩敬, 等. 有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 3934-3943.
- [9] 赵军, 李勇, 冉炜, 等. 有机肥替代部分化肥对稻麦轮作系统产量及土壤微生物区系的影响[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(4): 594-602.
- [10] 龙攀, 隋鹏, 高旺盛, 等. 不同有机物料还田对农田土壤有机碳以及微生物量碳的影响[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(3): 153-160.
- [11] 胡慧蓉, 田昆. 土壤学实验指导教程[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012: 20-67.
- [12] 张令令. 有机物料培肥对麦田碳氮水足迹及生态服务价值的影响[D]. 河南: 河南师范大学, 2017.
- [13] 许雯雯. 关中地区种植业生态服务功能与价值评估研究[D]. 陕西: 西北大学, 2009.
- [14] Zhang Y, Wang H, Lei Q, et al. Optimizing the nitrogen application rate for maize and wheat based on yield and environment on the Northern China Plain[J]. Science of the Total Environment, 2018, 618: 1173-1183.
- [15] 段红光. 增施有机肥对小麦生育特性·产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(10): 4353-4355.
- [16] 孙宁科, 索东让. 有机肥与化肥长期配施对作物产量和灌漠土养分库的影响[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 42-46.
- [17] 王艳博, 黄启为, 孟琳, 等. 有机无机肥料配施对盆栽菠菜生长和土壤供氮特性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(3): 44-48.
- [18] 杨春悦, 沈其荣, 徐阳春, 等. 有机高氮肥的施用对菠菜生长及土壤供氮能力的影响[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(2): 60-63.
- [19] 董志新, 李筱梅, 续珍, 等. 沼渣有机无机复混肥对土壤养分含量和酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(2): 398-404.
- [20] 龙攀, 高旺盛, 隋鹏, 等. 农业废弃物还田对土壤团聚体及土壤 C 和 N 的影响[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(6): 107-118.
- [21] Ozoreshampton M, Stansly P A, Mcorley R, et al. Effects of long-term organic amendments and soil solarization on pepper and watermelon growth, yield, and soil fertility[J]. Hortscience, 2005, 40(1): 80-84.
- [22] 赵俊晔. 冬小麦植株-土壤氮素循环及产量与品质形成生理基础的研究[D]. 山东: 山东农业大学, 2004.
- [23] 高洪军, 朱平, 彭畅, 等. 等氮条件下长期有机无机配施对春玉米的氮素吸收利用和土壤无机氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 318-325.
- [24] 张广凯, 宋祥云, 刘树堂, 等. 长期定位施肥对小麦-玉米氮素利用及产量品质的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(4): 157-161.
- [25] 晁赢, 李絮花, 赵秉强, 等. 有机无机肥料长期配施对作物产量及氮素吸收利用的影响[J]. 山东农业科学, 2009, (3): 71-75.
- [26] 刘占军, 谢桂贵, 张宽, 等. 不同氮肥管理对吉林春玉米生长发育和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 38-47.
- [27] 孟琳, 张小莉, 蒋小芳, 等. 有机肥料氮替代部分化肥氮对稻谷产量的影响及替代率[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 532-542.
- [28] 欧杨虹, 徐阳春, 沈其荣. 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, 25(1): 106-111.
- [29] 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, 41(10): 3133-3139.
- [30] 陈志龙, 陈杰, 许建平, 等. 有机肥氮替代部分化肥氮对小麦产量及氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(7): 55-57.
- [31] 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 等. 旱地施有机肥对土壤水分和玉米经济效益影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 144-149.
- [32] 彭廷, 熊加豹, 贾晓迪, 等. 有机肥类型及其施肥配比对稻田培肥效应和经济效益的影响[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(1): 22-29.
- [33] Chen X, Cui Z, Fan M, et al. Producing more grain with lower environmental costs[J]. Nature, 2014, 514(7523): 486-489.
- [34] Xia L, Xia Y, Ma S, et al. Greenhouse gas emissions and reactive nitrogen releases from rice production with simultaneous incorporation of wheat straw and nitrogen fertilizer[J]. Biogeosciences Discussions, 2016, 13(15): 4569-4579.
- [35] Yan X, Akimoto H, Ohara T. Estimation of nitrous oxide, nitric oxide and ammonia emissions from croplands in East, Southeast and South Asia[J]. Global Change Biology, 2010, 9(7): 1080-1096.