

有机无机不同用量配施对煤矿复垦土壤氮素利用及矿质氮含量的影响

张若扬^{1,2}, 郝鲜俊^{1,2}, 吕鉴于^{1,2}, 高文俊³, 张博凯^{1,2}, 薛玉晨^{1,2}

(1.山西农业大学资源环境学院, 山西 太谷 030801; 2.山西农业大学农业资源与环境国家级实验教学示范中心, 山西 太谷 030801; 3.山西农业大学动物科技学院, 山西 太谷 030801)

摘要: 采煤塌陷新复垦土壤有效氮含量低而有机无机培肥过程中氮有效性变化尚不明确, 依托定位培肥试验基地(山西省孝义市水峪煤矿采煤塌陷复垦土壤), 设置8个不同处理包括3个有机无机不同用量配施处理(鸡粪与化肥1:1氮量在100, 150, 200 kg/hm²配施, 表示为MF100、MF150、MF200), 与单施不同量化肥氮(0, 100, 150, 200 kg/hm², 表示为IF0、IF100、IF150、IF200)相比较, 以不施肥为对照(CK)。通过测定玉米产量、植株吸氮量、氮肥利用率及作物收获后土壤剖面矿质氮含量, 确定适合该矿区复垦土壤施肥处理和最佳氮肥用量, 从而为高产高效培肥矿区复垦土壤提供科学理论依据。结果表明:(1)施氮量为150 kg/hm²的等养分条件下, MF150比IF150玉米籽粒产量提高了12.45%, 差异显著($P < 0.05$);同时MF150处理与IF200、MF200处理间差异均不显著($P > 0.05$)。 (2)玉米地上部吸氮量随施氮量的增加而增加, 且等氮量条件下, 鸡粪和化肥配施能显著提高玉米吸氮量($P < 0.05$), 增幅为39.45%~41.46%。 (3)等氮量条件下, 鸡粪和化肥配施较单施化肥处理能显著提高氮肥回收率; 不同施肥模式的氮肥偏生产力均随施氮量的增加呈现下降趋势; IF100处理氮肥农学利用率最高为24.08 kg/kg, 并且该处理与MF150无显著差异, 而等氮量下MF150较IF150处理的氮肥农学效率显著增加(提高了49.56%)。 (4)作物收获后0—40 cm土壤剖面矿质氮含量随土层深度而增加, 但是等氮量各施肥处理间无显著差异, 40—60 cm剖面中单施化肥氮各处理矿质氮残留量较配施各处理提高了约18%。总之, MF150施肥处理不仅提高作物产量、吸氮量和氮肥利用率, 而且土壤剖面矿质氮残留较少, 可作为培肥该矿区复垦土壤或与本试验土壤类型相似的低产农田的推荐施肥量。

关键词: 采煤塌陷区; 有机无机配施; 作物产量; 氮肥利用率; 土壤矿质氮含量

中图分类号: S141.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)05-0288-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.05.042

Effects of Different Dosages of Organic and Inorganic Fertilizers on Nitrogen Utilization Rate and Mineral Nitrogen Content in Coal Mining Reclaimed Soil

ZHANG Ruoyang^{1,2}, HAO Xianjun^{1,2}, LÜ Jianyu^{1,2}, GAO Wenjun³, ZHANG Bokai^{1,2}, XUE Yuchen^{1,2}

(1.College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801; 2.National Experimental Teaching Demonstration Center for Agricultural Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801; 3.College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801)

Abstract: The content of available nitrogen (N) is generally low in coal mining subsidence reclamation soil. Applying organic and inorganic combined fertilizers can improve soil N fertility, whereas N availability is unclear after fertilization, especially in a new coal mining reclaimed soil. This experiment was conducted in coal subsidence reclamation soil of Shuiyu Coal Mining, which located in Xiaoyi City, Shanxi Province. The experiment included eight treatments which were three organic-inorganic combined treatments (application rate of chicken manure and chemical fertilizer was 1:1, and N at 100, 150 and 200 kg/hm², expressed with MF100, MF150 and MF200), four single application of different amounts of chemical fertilizer nitrogen (N at 0, 100, 150 and 200 kg/hm², expressed with IF0, IF100, IF150 and IF200), as well as control (no fertilization, CK). We evaluated corn yield, aboveground nitrogen uptake, nitrogen use efficiency and mineral nitrogen content in soil profile after crop harvest, so that the suitable fertilization treatment and optimum nitrogen application rate were determined, which could provide scientific theoretical basis for reclaiming mining area

收稿日期: 2019-03-25

资助项目: 国家自然科学基金项目(41601327); 山西省留学回国人员科技活动择优资助项目; 山西农业大学科技创新基金项目(2016ZZ14)

第一作者: 张若扬(1993—), 女, 山西运城人, 在读硕士研究生, 主要从事矿区土壤复垦研究。E-mail: 492977204@qq.com

通信作者: 郝鲜俊(1976—), 女, 山西汾阳人, 博士, 教授, 主要从事矿区土壤复垦研究。E-mail: haoxianjun660@126.com

soil in a way of high-yield and high-efficiency fertilization. The results showed that: (1) Under the condition of 150 kg/hm² nitrogen fertilizer, the grain yield of MF150 was 12.45% higher than that of IF150 ($P < 0.05$). Furthermore, there was no significant difference in grain yield among IF150, IF200 and MF200. (2) Nitrogen uptake of corn aboveground increased with the increasing of nitrogen application rate, while at the same nitrogen rate, the combined application treatment significantly increased nitrogen uptake by 39.45% ~ 41.46% relative to single chemical fertilizer treatment ($P < 0.05$). (3) At the same nitrogen rate, combined fertilizer treatment could significantly improve nitrogen recovery rate compared with single chemical fertilizer application. The partial productivity of nitrogen fertilizer in different fertilization patterns showed a downward trend with the increasing of nitrogen application rate. The highest nitrogen agronomic efficiency (24.08 kg/kg) was observed in the IF100 treatment, and there was no significant difference between MF150 and IF100. However, at the same nitrogen rate, agronomic nitrogen efficiency of MF150 significantly increased by 49.56% compared with IF150. (4) After harvesting, mineral nitrogen content in 0—40 cm soil profile increased with soil depth, whereas at the same nitrogen rate there was no significant difference among different treatments. At 40—60 cm depth, the residual mineral nitrogen content of single chemical fertilizer application increased by about 18% compared with the combined fertilizer treatment. In a word, MF150 not only improved grain yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency, but also reduced residual mineral nitrogen content in soil profile after plant harvest, hence MF150 could be used as a recommended fertilization treatment for this coal mining subsidence reclaimed soil or low-yield farmland similar to the soil type in this experiment.

Keywords: coal mining subsidence area; organic-inorganic fertilization; crop yield; nitrogen use efficiency; soil mineral nitrogen content

山西省是我国煤炭资源大省,煤炭资源在推动我省社会经济发展的同时,也不可避免的造成一系列问题,如损毁或占用耕地、造成地表裂缝或裂隙及土地塌陷,仅因采煤而塌陷的土地面积就占全国塌陷地的27.27%^[1],其中农耕地占40%,达200 km²^[2]。《全国土地利用总体规划》(2006—2020)^[3]明确提出,“守住18亿亩耕地红线,土地整理复垦开发全面推进”。对采煤塌陷的土地进行科学复垦,是补充耕地的有效途径。现阶段,采煤塌陷的土地一般先进行工程复垦,然而,工程复垦后土壤结构扰乱,心土层覆于表土层之上,导致耕层土壤养分匮乏,特别是氮素有效性极低^[4],从而导致作物产量低、品质差。为提高土壤肥力促进作物生产,当地农民在复垦过程中普遍施入大量化肥。然而,在干旱半干旱地区,化肥氮的利用率远低于正常农田(26.1%~28.3%)^[5-6],不仅造成资源浪费,而且多余的氮素顺着地表裂缝、裂隙淋溶到地下,造成地表水和地下水污染。随着我国畜牧业集约化和规模化发展,产生了大量含有氮素营养的有机肥。2011年我国主要畜禽粪便的产量达20.04亿t,以氮养分总量计达1 419.76万t,其中以牛粪(48.75%)、猪粪(28.15%)和家禽粪便(20.69%)为主^[7]。将畜禽粪便归还农田,尤其是矿区新复垦土壤,不仅能提高作物产量,而且能改善复垦土壤理化性状,提高土壤有效养分含量,加快低产田的培肥熟化。

为实现2020年主要农作物化肥使用量零增长这一目标,在化肥使用量不增长的前提下,如何科学合理使用化肥进行低产田和矿区复垦土壤的培肥改造?

如何以有机肥替代化肥或通过有机肥与化肥配施提高作物产量和肥料利用率?如何确定有机肥对作物氮的有效性以实现作物高产高效是当今世界关注的热点问题,也是低产田培肥改造面临的核心问题。

有机肥施入土壤后对作物氮的有效性随土壤类型和气候条件的变化而异。Khem等^[8]通过对美国爱荷华州的培肥试验表明,有机肥施用当年的有效性为60%~100%,而在北美地区其有效性为40%~100%。Han等^[9]研究发现,在矿质态氮含量低的土壤上配施有机肥可促进化肥氮的水解和硝化。就不同类型有机肥和化肥配施而言,李玲玲^[10]、赵明等^[11]、张鸣等^[12]研究结果均表明,相比其他种类畜禽粪便而言鸡粪氮的矿化分解快、有效性高,在提高作物产量和养分吸收利用方面有明显效果。本课题组通过前期室内培养试验也发现鸡粪中的硝态氮和矿质氮的累积量和累积速率要大于猪粪和牛粪。

有关不同地区、不同类型土壤最佳施氮量的研究多集中于一般农田土壤,针对采煤塌陷的重构土壤,现有的研究多集中在不同培肥方式对土壤有效氮含量的影响,而针对有机肥的氮素有效性及有机无机配施对作物生长和土壤矿质氮含量影响的研究较少。在低产田土壤,尤其是矿区新复垦土壤,有机无机配施在什么用量上能达到既满足作物生长需要,又不会造成环境流失风险是植物营养、土壤和环境学家面临的核心问题。本试验基于作物氮素需求,采用鸡粪与化肥配施,研究不同氮量对玉米产量、地上部吸氮量、氮肥利用率及土壤剖面矿质氮含量的影响,旨在阐明

有机肥的氮素有效性,确定有机无机配施的最佳用量以科学高效培肥矿区复垦土壤,提高氮肥利用率。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于山西省孝义市偏城村水峪煤矿采煤塌陷区(东经 111°37′31.7″—111°37′36.2″,北纬 37°06′39.57″—37°06′41.4″),该采煤塌陷区于 2015 年塌陷稳定,塌

表 1 山西省孝义市偏城村水峪煤矿采煤塌陷区土壤基本养分状况

土层 深度/cm	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	有效钾/ (mg·kg ⁻¹)
0—20	8.43	5.45	0.15	7.86	6.94	4.34	85.88
20—40	8.67	4.98	0.11	7.46	5.45	4.02	69.43
40—60	8.59	4.03	0.07	5.49	5.01	3.89	60.54

1.2 供试材料

供试有机肥为腐熟发酵的鸡粪,采自偏城村养殖场,其基本理化性质为:N 含量为 2.83%,P₂O₅ 含量为 2.15%,K₂O 含量为 2.24%,有机质含量为 246.32 g/kg,硝态氮含量为 0 g/kg,铵态氮含量为 0.61 g/kg,含水量为 45.21%,pH 为 8.19。

化肥氮、磷、钾分别为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 11%)、硫酸钾(含 K₂O 60%)。

玉米品种为“承 950”,购自承德裕丰种业有限公司。

1.3 试验设计

本试验是在前期室内培养试验(不同有机肥(鸡粪、猪粪、牛粪)对采煤塌陷矿区新复垦土壤氮素矿化特征)基础上,发现施用鸡粪后新复垦土壤氮素矿化效果显著高于其他处理(猪粪、牛粪),为进一步明确鸡粪在矿区培肥过程中的氮素有效性,确定适合该矿区土壤的氮肥最佳用量,故将室内培养结果推广应用于大田试验。大田试验于 2017 年 5 月 1 日平整土地,划分小区,5 月 4 日播种,10 月 6 日收获。试验处理为:不施任何肥料处理(CK);单施化肥处理设 4 个用量(化肥氮 0(IF0),100(IF100),150(IF150),200(IF200) kg/hm²);鸡粪与无机肥 1:1 氮量配施设 3 个用量(配施 100(MF100),150(MF150),200(MF200) kg/hm²)。为保证除 N 以外的其他大量元素供应充足,本试验各处理 P 和 K 均以 100 kg/hm² 施用,施有机肥处理若磷、钾养分不足,则用化肥补齐。所有肥料均一次施入。每个处理重复 3 次,共 24 个小区,随机区组排列。小区面积 2 m×5 m。5 月 4 日采用 2BFM—3A 型播种机进行播种,玉米种植密度为 68 000 株/hm²,株距为 28 cm,行距为 50 cm,玉米生长期间进行常规田间管理。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 样品采集

(1)植物样品的采集:作物收获后分小区计产,并

陷深度约 6.5~7.7 m,2016 年秋季用厦工 50 装载机进行混推工程复垦。该区域海拔为 990 m,属暖温带大陆性季风气候,春季温度回升较快,干旱多风,夏季炎热,雨量集中,年平均气温 10.1℃,≥10℃积温 2 500~3 500℃,全年无霜期 165 d,年平均降水量 474 mm。土壤类型为黄棕壤,质地为壤质黏土,各土层土壤基本理化性质见表 1。

按样方采集植物样,地上部用剪刀从茎基部剪下,带回实验室分析测定。

(2)土壤样品的采集:作物收获后采集 0—20,20—40,40—60 cm 3 个不同深度的土样,按“S”形采样,每个小区采 5 个点,组成混合土样,装入自封袋,带回实验室分析测定。

1.4.2 样品分析测定

(1)玉米秸秆生物量:将采集的秸秆放入烘箱,105℃杀青 30 min,然后 80℃烘至恒重,称重,计玉米秸秆生物量。

(2)植株全氮:用 H₂SO₄—H₂O₂ 消煮,凯氏定氮法^[13]测定。

(3)土壤矿质氮:称取新鲜土样 5.00 g,利用 0.01 mol/L 的 CaCl₂ 浸提,振荡 30 min,过滤,取滤液,用 AA3(Auto Analyzer 3)型流动分析仪分别测定土壤硝态氮和铵态氮。

1.5 数据处理及氮肥利用率计算

试验数据用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,采用 Duncan 新复极差法进行多重比较,用 Excel 2010 软件进行整理及作图。

氮肥利用率计算公式:

(1)氮素回收率(%)=(施氮处理植株吸氮量—不施氮处理植株吸氮量)/施氮量×100%

(2)氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮处理作物产量/施氮量

(3)氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮处理作物产量—不施氮处理作物产量)/施氮量

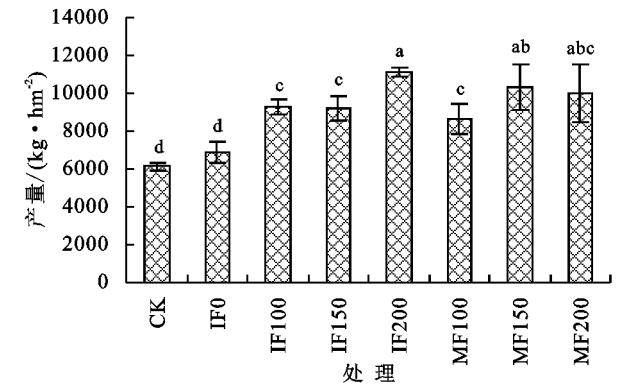
2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米籽粒产量的影响

由图 1 可知,与不施肥处理相比,各施肥处理均显著提高了玉米籽粒产量,但提高幅度因施肥类型及肥料用量而异。单施化肥处理中 100 kg/hm² 氮量下玉米产量为 9 294.24 kg/hm²,比不施肥处理提高了

51.32%, 差异显著 ($P<0.05$)。随施氮量增加, 玉米产量也随之提高, 200 kg/hm² 氮量下, 玉米籽粒产量达 11 115.82 kg/hm², 较 100 kg/hm² 处理提高了 19.60%, 差异显著 ($P<0.05$)。

等氮量下, 单施化肥与配施处理间, 除 150 kg/hm² 氮量外, 其余差异均不显著 ($P>0.05$)。配施处理下, 随施氮量增加, 玉米产量表现出先升后降趋势, 其中 150 kg/hm² 的配施处理玉米籽粒产量最高, 为 10 341.61 kg/hm², 比等氮量的化肥处理提高了 12.45%, 差异显著 ($P<0.05$); 而且 MF150 与 IF200、MF200 处理间差异均不显著 ($P>0.05$), 说明有机无机配施条件下, 施氮量为 150 kg/hm² 是该采煤塌陷土壤玉米增产的最佳用量。



注: 数据均为 3 个重复的平均值, 柱状上误差棒表示标准偏差; 不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

图 1 不同施肥处理对玉米籽粒产量的影响

2.2 不同处理对玉米地上部吸氮量的影响

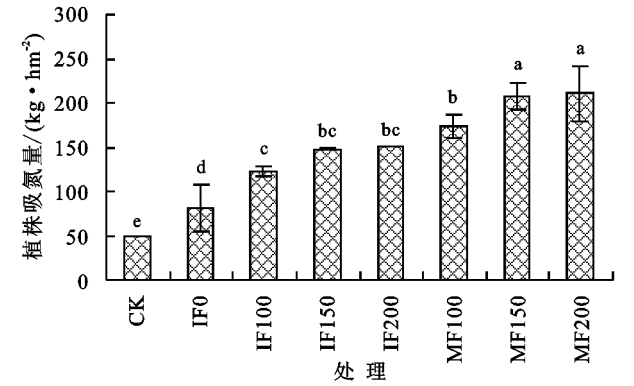
不同处理的玉米地上部吸氮量存在显著差异 (图 2)。不施肥处理玉米吸氮量最低, 施用磷钾肥 (IF0) 处理显著增加了玉米吸氮量, 可见, 低肥力土壤上施用磷钾肥有利于氮素吸收。随化肥氮用量增加, 玉米吸氮量也随之提高, 其中 100 kg/hm² 的吸氮量比 IF0 提高了 50.78%, 继续增加施氮量 (150~200 kg/hm²) 时, 玉米吸氮量有增加趋势, 然而与 100 kg/hm² 的吸氮量没有显著差异。

等氮量条件下, 单施化肥和配施处理间均有显著差异 ($P<0.05$), 其中 MF100 处理比 IF100 提高吸氮量 50.84 kg/hm², MF150 和 MF200 分别比等氮量的化肥处理提高了 60.13, 59.56 kg/hm² 的吸氮量, 说明等氮量条件下, 鸡粪和化肥配施能显著提高玉米地上部吸氮量; 而且 150 kg/hm² 处理的吸氮量与 200 kg/hm² 处理间无显著差异。

2.3 不同处理对复垦土壤中玉米氮肥利用效率的影响

由表 2 可知, 单施化肥处理的氮素回收率在 34.83%~44.40%, 且随化肥氮量增加, 氮肥回收率先升后降, 三者间无显著差异 ($P>0.05$); 鸡粪和化肥配施处理的氮素回收率随施氮量的增加而降低, 其中 200

kg/hm² 比 100 kg/hm² 处理降低了 30.10%, 差异显著, 且等氮条件下, 配施各处理氮素回收率均显著高于单施化肥处理, 100, 150, 200 kg/hm² 用量下, 配施处理比单施处理氮素回收率分别提高了 50.48%, 40.09%, 29.78%, 说明有机无机配施能显著提高氮肥回收率。



注: 本试验中植株吸氮量指成熟期秸秆吸氮量与籽粒吸氮量总和。

图 2 不同施肥处理对植株吸氮量的影响

无论是单施化肥还是有机无机配施处理, 氮肥偏生产力均随着施氮量的增加呈现下降趋势。各施氮量下 (100, 150, 200 kg/hm²), 配施和单施化肥对氮肥偏生产力的影响均无显著差异 ($P>0.05$)。

不同施肥处理的氮肥农学效率在 15.40~24.08 kg/kg, 单施化肥处理中 IF100 的氮肥农学效率最高, 为 24.08 kg/kg, 随施氮量增加氮肥农学效率降低, IF150 比 IF100 降低了 36.05%。鸡粪和化肥配施处理的氮肥农学效率随施氮量的增加呈先升后降趋势, 其中 MF150 处理的氮肥农学效率最高, 为 23.03 kg/kg, 且比等氮量化肥处理提高了 49.56%, 差异显著 ($P<0.05$)。

表 2 不同施肥处理对氮肥利用率的影响

处理	氮肥	氮肥偏生产力/	氮肥农学效率/
	回收率/%	(kg·kg ⁻¹)	(kg·kg ⁻¹)
IF100	41.30±5.98d	92.94±3.82a	24.08±3.82a
IF150	44.40±0.26cd	61.31±4.18bc	15.40±2.72c
IF200	34.83±0.00d	55.58±1.25cd	21.15±1.25abc
MF100	92.14±13.64a	86.34±8.16a	17.47±2.95bc
MF150	84.49±10.23ab	68.94±8.07b	23.03±3.37ab
MF200	64.61±15.27bc	49.96±7.60d	15.52±4.62c

注: 表中数据为平均值±标准差; 同列数据后不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。

2.4 不同处理对玉米收获后复垦土壤 0—60 cm 剖面矿质氮含量的影响

由图 3 可知, 不同施肥处理玉米收获后复垦土壤矿质氮含量在 0—60 cm 土层间存在相似的变化趋势, 从 0—20 cm 土层到 20—40 cm 土层土壤矿质氮含量随土层深度的增加缓慢增加, 而 40—60 cm 土层土壤矿质氮含量剧烈增加, 较 0—20 cm 土层增量在

6.86~27.35 mg/kg。

与 CK 处理相比,施肥处理在各土层的矿质氮含量均增加,0—40 cm 土层均以 200 kg/hm² 氮量处理的矿质氮含量最高,而 40—60 cm 土层则以 100 kg/hm² 氮量处理的含量最高。

0—40 cm 土壤剖面矿质氮含量随施氮量增加而增加,而 40—60 cm 土层中以施肥量适中的 IF150 和 MF150 含量最低。

等氮量水平下,除 MF200 比 IF200 在 20—40 cm 土层土壤矿质氮含量高 7.98% ($P<0.05$) 外,单施和配施对 0—40 cm 土层土壤矿质氮含量影响均不显著 ($P>0.05$)。而在 40—60 cm 土层除 IF150 和 MF150 处理间差异不显著 ($P>0.05$) 外,其余 2 组施氮量处理均表现为单施化肥处理的土壤矿质氮残留较等氮量的鸡粪和化肥配施处理增加约 18%。

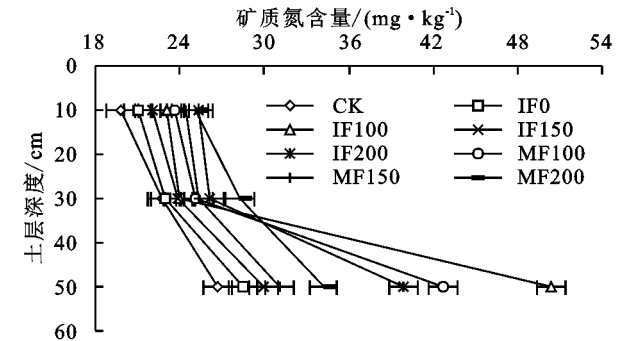


图 3 不同施肥处理下矿质氮含量在土壤中的垂直分布

3 讨论

本试验中供试土壤是采煤塌陷后经煤矸石、煤渣填充复垦后生土裸露的重构土壤。不施肥处理玉米产量和吸氮量均较低(分别为 6 141.99, 49.04 kg/hm²),其根本原因是重构土壤基础肥力较低,其有效氮含量仅为 14.8 mg/kg。与不施肥空白相比,施用磷、钾肥后玉米的吸氮量提高了 65.83%。可见,在矿区新复垦的土壤上施入磷、钾肥能促进作物对氮素的吸收。等氮量施肥下,鸡粪和化肥配施较单施化肥显著提高了玉米的产量和吸氮量,说明等氮量下有机无机配施氮素有效性大于化肥,这与张鸣等^[12]在灰钙土上将鸡粪与化肥配施后,较单施化肥处理春小麦籽粒产量显著提高的结果一致。关于有机无机配施显著提高作物产量和吸氮量的原因,李絮花等^[14]认为,有机肥和化肥配施能促进根系生长,提高作物根系活性,增加作物秸秆对氮素的吸收及氮素养分向籽粒的运移,从而提高作物的吸氮量和籽粒产量。此外,有机肥与化肥配施使土壤微生物数量增加,土壤酶活性增强,更易于有机肥矿化及氮肥的水解和硝化,促进植物对氮素的吸收,从而提高作物产量^[15-16]。黄土丘陵区重构土壤,基础肥力较低,团粒结构较差,而且

微生物区系稀少,有机肥的施入,不仅为微生物生长、繁殖提供了所需的各种营养物质,从而激发了土壤微生物活性促进微生物对 N 的循环和转运,而且有机质的添加可能增强了土壤团粒结构,有利于矿区作物根系的定植和生长。

本研究中 150 kg/hm² 鸡粪和化肥配施处理显著提高了玉米籽粒产量(68.38%)和氮的吸收(324.24%),而且与 200 kg/hm² N 对玉米籽粒产量差异不显著,所以 150 kg/hm² N 可作为该矿区复垦土壤的推荐施肥量。这一结果与谢军等^[17]研究结果相近,谢军等^[17]在中性紫色土通过连续 8 年的培肥试验表明,180 kg/hm² 施氮水平下,鸡粪有机肥替代 50% 化肥氮是当地农田推荐施肥量。张福锁^[18]研究表明,黄淮海地区每季作物最优施氮量在 120~180 kg/hm²,最高可增加到 225 kg/hm²,继续投入氮肥,产量不再增加,反而显著降低肥料效益。徐明岗等^[19]研究发现,在湖南祁阳,150 N kg/hm² 用量下化肥有机肥配施有利于水稻稳产高产、提高氮肥利用率。王爽等^[20]研究表明,在黑土上施氮量为 165 kg/hm² (即优化施氮量)时总吸氮量和氮肥利用率均达到最高且土壤剖面中硝态氮、铵态氮的残留量最少,继续增加氮肥用量对玉米的增产效果不显著。以上土壤均是多年施肥、耕作的农田土壤,其土壤有效氮的本底值较高(平均有效氮含量为 143.36 mg/kg,约为本试验地有效氮含量的 10 倍),而对于该重构土壤最佳施肥量的选择不仅是提高作物产量和培肥地力的需要,更重要的是考虑到重构土壤特征及不同施肥处理在土壤剖面氮素残留的影响。

本试验中,鸡粪和化肥配施处理可显著提高氮肥回收率,增幅为 29.78%~50.48%,这一结果较罗佳等^[21]在砂质壤土上鸡粪和化肥配施处理较化肥处理提高了油菜 20.4% 的氮肥回收率的研究结果偏大。其原因可能与土壤和作物类型、氮肥力水平、施肥量和当地气候效应有关。本研究中鸡粪和化肥配施对提高氮肥偏生产力效果不明显。在黑土上,高洪军等^[22]研究发现,有机无机配施与常规单施化肥氮处理(150 kg/hm²)相比,对春玉米氮肥偏生产力无显著影响。洪瑜等^[23]在宁夏灌淤土上也有类似的研究结果。

作物收获后各施肥处理对土壤剖面 40—60 cm 土层土壤矿质氮含量较上层(0—40 cm)显著增加,这与袁新民等^[24]在黄土高原褐土上对玉米小麦轮作土壤矿质氮含量的研究结果一致,其原因可能是由于夏秋雨水冲刷,导致土壤中的硝态氮向下淋溶所致。40—60 cm 土层,单施化肥处理与鸡粪和化肥配施处理相比,土壤矿质氮含量明显提高(约 18%),说明施用化肥可能会加剧氮在土壤剖面的向下迁移,其原因

与该矿区重构土壤有关,表现为土壤结构疏松、孔隙大、稳定性差,降雨后在重力作用下耕地表面容易出现高低起伏和地裂缝现象,尤其在黄土丘陵的雨季,作物收获后残留在土壤剖面的铵态氮和硝态氮容易沿着大孔隙或地裂缝流失而造成氮肥损失。

4 结 论

(1)不同施肥处理均显著提高了矿区玉米籽粒产量,单施化肥条件下,玉米产量随施氮量的增加而增加;配施条件下,150 kg/hm²时玉米籽粒产量最高,为10 341.61 kg/hm²,比等氮量的化肥处理提高了 12.45%,且与 IF200、MF200 处理产量相当,可以作为培肥该复垦土壤、提高玉米产量的最佳施肥量。

(2)各施肥处理,玉米地上部吸氮量随施氮量的增加而增加,且等施氮量条件下配施处理较单施处理能显著提高其吸氮量($P<0.05$),增幅在 39.45%~41.46%;并且等氮量下,配施较单施处理显著提高氮肥回收率,MF150 较 IF150 处理的氮肥农学效率显著提高 49.56%($P<0.05$)。

(3)不同施肥处理在 0—40 cm 土壤剖面土壤矿质氮含量随深度的递增而缓慢增加,而在 40—60 cm 土层其迁移速率明显加快,且单施化肥处理矿质氮残留量较配施处理大(18%),说明化肥氮较有机肥氮更易于向土壤深层迁移。

总之,MF150 施肥处理不仅提高了作物产量、吸氮量和氮肥利用率,而且土壤剖面矿质氮残留较少,可作为培肥该地区重构土壤或与本土壤类型相似的低产农田的推荐施肥量。

参考文献:

[1] 焦欢,李廷亮,高继伟,等.培肥措施对复垦土壤轻重组有机碳氮的影响[J].水土保持学报,2018,32(5):208-213,221.

[2] 黄岑丽.潞安矿区煤炭开采对地质环境影响的研究[D].北京:中国矿业大学,2013.

[3] 《全国土地利用总体规划纲要(2006—2020 年)调整方案》印发实施[J].城市规划通讯,2016(13):7.

[4] 叶凌枫.不同修复措施对矿区土壤肥力质量的影响及评价[D].西安:长安大学,2016.

[5] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.

[6] 张绍林,朱兆良,徐银华.黄泛区潮土—冬小麦系统中尿素的转化和化肥氮去向[J].核农学报,1989,3(1):9-15.

[7] 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.

[8] Khem B, Hirai Y, Yamakawa T, et al. Effects of dif-

ferent application methods of fertilizer and manure on soil chemical properties and yield in whole crop rice cultivation [J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2018, 64 (3):406-414.

[9] Han K H, Choi W J, Han G H, et al. Urea-nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs [J]. Biology and Fertility of Soils, 2004, 39:193-199.

[10] 李玲玲.有机肥氮素有效性和替代化肥氮比例研究[D].北京:中国农业科学院,2011.

[11] 赵明,陈雪辉,赵征宇,等.鸡粪等有机肥料的养分释放及对土壤有效铜、锌、铁、锰含量的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(2):47-50.

[12] 张鸣,高天鹏,李昂,等.畜禽粪肥与化肥配施对春小麦产量和养分吸收利用的影响[J].麦类作物学报,2014, 34(2):216-221.

[13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3 版.北京:中国农业出版社,2000.

[14] 李絮花,杨守祥,于振文,等.有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J].植物营养与肥料学报,2005, 11(4):467-472.

[15] 黄东迈,高家骅,朱培立.有机、无机肥料氮在水稻—土壤系统中的转化与分配[J].土壤学报,1981,18(2): 107-121.

[16] 刘益仁,李想,郁洁,等.有机无机肥配施提高麦—稻轮作系统中水稻氮肥利用率的机制[J].应用生态学报, 2012,23(1):81-86.

[17] 谢军,赵亚南,陈轩敬.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.

[18] 张福锁.养分资源综合管理[M].北京:中国农业大学出版社,2003.

[19] 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.

[20] 王爽,孙磊,陈雪丽,等.不同施氮水平对玉米产量、氮素利用效率及土壤矿质氮含量的影响[J].生态环境学报,2013(3):387-391.

[21] 罗佳,蒋小芳,孟琳,等.不同堆肥原料的有机无机复合肥对油菜生长及土壤供氮特性的影响[J].土壤学报, 2010,47(1):97-106.

[22] 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.

[23] 洪瑜,王芳,刘汝亮,等.长期配施有机肥对灌淤土春玉米产量及氮素利用的影响[J].水土保持学报,2017,31 (2):248-261.

[24] 袁新民,杨学云,同延安,等.不同施氮量对土壤 NO₃⁻-N 累积的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):8-13,39.