

不同施肥模式对春玉米产量·氮肥农学利用率及矿质氮分布规律的影响

付佩¹, 李佳笑¹, 吴得峰^{2*}

(1. 陕西地建土地综合开发有限责任公司, 陕西西安 710075; 2. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司西北分公司, 陕西榆林 719000)

摘要 [目的]以华阴市废弃地为研究对象,以春玉米为试材,研究不同施肥模式对春玉米产量、氮肥农学利用率及矿质氮分布规律的影响。[方法]设置对照组(CK)、单施化肥处理(NPK)、70%化肥+30%有机肥(7F+3M)、50%化肥+50%有机肥(5F+5M)、30%化肥+70%有机肥(3F+7M)、优化施肥+硝化抑制剂(Opt+DMPP)6种施肥模式,2019年6月至2020年11月分别对不同施肥模式的试验区域表层及剖面土壤进行取样,探究不同施肥模式对土壤表层硝态氮、铵态氮及土壤剖面硝态氮分布的影响并比较不同施肥模式下2年春玉米产量的变化。[结果]2年有机无机肥配施显著增加春玉米产量(14.02 t/hm²),增幅为6.05%,Opt+DMPP处理产量为13.38 t/hm²,产量增幅不显著($P>0.05$);Opt+DMPP氮肥农学利用率最高为42.18 kg/kg;与NPK(35.03 kg/kg)相比,3F+7M显著增加氮肥农学利用率至39.06 kg/kg,3F+7M增加氮肥偏生产力至70.11 kg/kg,Opt+DMPP显著增加氮肥偏生产力,增幅为19.13%。不同施肥模式之间表层硝态氮含量存在显著差异($P<0.05$)。与NPK相比,有机无机肥配施处理,硝态氮峰值显著降低;在优化施肥基础上,添加DMPP可进一步降低硝态氮峰值31.4%。不同施肥模式下0~20 cm土层铵态氮含量之间无显著差异($P>0.05$);0~200 cm土壤中硝态氮的残留量表现为NPK>7F+3M>5F+5M>Opt+DMPP>3F+7M。[结论]7F+3M施肥模式能有效增加春玉米产量,Opt+DMPP可以显著提高氮肥农学利用率和偏生产力,降低土壤表层和剖面硝态氮含量,为有机无机肥配施提高作物产量和保护土壤质量的研究提供参考。

关键词 有机无机肥配施;硝化抑制剂;氮肥农学利用率;硝态氮;铵态氮

中图分类号 S513 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)10-0134-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.10.030

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Different Fertilization Patterns on Yield, Nitrogen Use Efficiency and Mineral Nitrogen Distribution of Spring Maize

FU Pei¹, LI Jia-xiao¹, WU De-feng² (1. Shaanxi Land Engineering Construction Group Land Comprehensive Development Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075; 2. Northwest Branch of Shaanxi Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Yulin, Shaanxi 719000)

Abstract [Objective] To investigate the effects of different fertilization patterns on yield and nitrogen use efficiency of spring maize in abandoned land of Huayin City. [Method] Six fertilization modes were set up, including control group (CK), chemical fertilizer treatment (NPK), 70% chemical fertilizer+30% organic fertilizer (7F+3M), 50% chemical fertilizer+50% organic fertilizer (5F+5M), 30% chemical fertilizer+70% organic fertilizer (3F+7M), and optimized fertilization + nitrification inhibitor (Opt+DMPP). The surface and profile soil samples of different fertilization modes were collected from June 2019 to November 2020. The effects of different fertilization modes on the distribution of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen in surface soil and nitrate nitrogen in soil profile were explored, and the changes of spring maize yield in two years under different fertilization modes were compared. [Result] The combination of organic and inorganic fertilizers significantly increased the yield of spring maize (14.02 t/hm²), with an increase of 6.05%, and the yield of Opt + DMPP treatment was 13.38 t/hm², with an insignificant increase ($P>0.05$). Opt+DMPP had the highest nitrogen agronomic efficiency of 42.18 kg/kg. Compared with NPK (35.03 kg/kg), 3F+7M significantly increased nitrogen agronomic efficiency to 39.06 kg/kg, 3F+7M increased nitrogen partial productivity to 70.11 kg/kg, and Opt+DMPP significantly increased nitrogen partial productivity by 19.13%. There were significant differences in surface nitrate content among different nitrogen application modes ($P>0.05$). Compared with NPK treatment, the peak value of nitrate nitrogen decreased significantly under combined application of organic and inorganic fertilizers. On the basis of optimized nitrogen application, the addition of DMPP could further reduce the peak value of nitrate nitrogen by 31.4%. There was no significant difference in ammonium nitrogen content in 0-20 cm soil layer under different nitrogen application modes ($P>0.05$). Through two years of data analysis showed that: 0-200 cm soil nitrate nitrogen residue performance: NPK > 7F+3M > 5F+5M > Opt+DMPP > 3F+7M. [Conclusion] 7F+3M fertilization model could effectively increase the yield of spring maize. Opt+DMPP could significantly improve the agronomic efficiency and partial productivity of nitrogen fertilizer, and reduce the content of nitrate nitrogen in soil surface and profile, which provided a reference for improving crop yield and protecting soil quality by combined application of organic and inorganic fertilizers.

Key words Combined application of organic and inorganic fertilizers; Nitrification inhibitor; Nitrogen agronomic efficiency; Nitrate nitrogen; Ammonium nitrogen

粮食是民生之本,保障粮食安全是维护国家安全的重要基础。玉米作为我国三大主粮之一,其需求量和产量均逐年递增^[1]。我国国家统计局公布的数据显示,2019年全国玉米产量为26 077.89万t,单位面积产量为6 104.29 kg/hm²;2020年我国玉米产量为26 067.00万t,单位面积产量为6 316.70 kg/hm²[2]。习近平总书记高度重视粮食问题,曾强调:“中国人的饭碗任何时候都要牢牢端在自己手上”。玉米

的稳产增产对中国人“端牢中国饭碗”具有重要意义。玉米也是陕西省重要的粮食作物^[3]。陕西玉米的稳产增产对保障国家粮食安全具有重要意义,合理施肥是提高陕西玉米产量、促进陕西玉米增产稳产的重要手段之一。

在过去的近30年中,我国的化肥生产和消费量均为世界首位,其产量和用量约占世界化肥产量和用量的30%^[3]。但农作物产量的增长率则呈下滑趋势。造成这种现象的主要原因是化肥的不合理施用导致化肥利用率低^[4-6],作物品质下降,产量降低^[7-8]。我国施用的氮肥中平均每年有45%通过各种方式流失^[9]。这些流失的氮一方面通过径流、渗透等途径引起水体富营养化,严重危害水体和土壤的健康^[10];另一方面通过氨气挥发的形式和反硝化作用进入大气,严重

基金项目 陕西省土地工程建设集团内部科研项目(DJNY2019-6, DJNY2021-4)。

作者简介 付佩(1986—),女,陕西咸阳市人,高级工程师,硕士,从事土地工程、分析化学研究。*通信作者,硕士,从事土壤碳氮循环研究。

收稿日期 2021-07-27

危害大气环境,此外,这些流失的氮素通过污染饮用水和食物进入动物及人体的消化道中破坏了肠道菌群稳态^[11],危害人体健康^[12]。

针对这种现象,有机无机配施成为近些年作物稳产增产的研究热点和突破点之一^[13]。有机肥无机肥配施在提高作物产量和品质的同时还对有效提升土壤肥力、提高土壤微生物活性和多样性起到至关重要的作用^[14-16]。冯悦晨等^[17]以夏玉米为试材,探索有机无机肥配施对夏玉米产量及水氮利用的影响,结果发现相较于单施化肥和单施有机肥,有机无机配施可显著提高夏玉米产量,提升土壤剖面(0~200 cm)贮水能力,降低土壤剖面(0~300 cm)残留硝态氮含量,说明有机无机肥配施在提高旱作夏玉米产量的同时还能够提升土壤的保水能力、降低氮素淋失造成环境污染的风险。芦海灵等^[18]通过施用不同比例的有机肥、饼肥、生物炭与氮磷钾化肥,探究有机无机肥配施对芝麻产量及土壤性状的影响,发现有机无机肥合理配施能够显著提升芝麻产量、品质。对土壤保水性等理化性质和土壤中蔗糖酶活性也起到改善作用,土壤蔗糖酶活性较对照提高 33.3%。说明有机无机肥合理配施可提升作物产量和土壤品质。郑利芳等^[19]以陕西黄土旱塬春玉米为试材,研究减氮配施不同比例有机无机控释肥和减量施氮对春玉米产量、水分利用效率及土壤硝态氮残留量的影响,发现合理配施既可以提高春玉米产量,还可以提高土壤的水分利用效率,减少收获期 0~300 cm 土层土壤中硝态氮残留量,为黄土高原旱作农业区春玉米的合理施肥管理提供参考。笔者以华阴市废弃地为研究对象,基于 2 年的田间试验观察,通过设置不同有机无机配施的施肥模式,研究其对土壤养分及春玉米产量的影响,探明不同有机无机配施对土壤中硝态氮、铵态氮分布的影响和春玉米产量变化规律;筛选出一种适合于该地区春玉米种植的施肥管理措施,以期对陕西地区春玉米的施肥管理提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况 试验地位于陕西省华阴市(110°09'E, 34°58'N, 海拔 347 m),为暖温带半湿润半干旱季风气候,根据华阴市气象局资料统计,年均降水量为 529~638 mm,年平均气温为 13.5℃。该地区土壤多为砂质土,土体养分瘠薄,0~20 cm 土层土壤有机质含量为 18.3 g/kg,全氮含量为 0.72 g/kg,有效磷含量为 4.1 mg/kg,速效钾含量为 70.0 mg/kg。

1.2 试验材料 供试作物为春玉米,品种为天丞 288。

1.3 试验设计 共设 6 个处理:①对照(CK, 0 kg/hm²);②单施化肥处理(NPK, 200 kg/hm², 春玉米氮肥施用量参考当地农业推广部门的调查,即 200~300 kg/hm²);③70%化肥+30%有机肥(7F+3M, 无机肥 140 kg/hm²+有机肥 60 kg/hm²);④50%化肥+50%有机肥(5F+5M, 无机肥 100 kg/hm²+有机肥 100 kg/hm²);⑤30%化肥+70%有机肥(3F+7M, 无机肥 60 kg/hm²+有机肥 140 kg/hm²);⑥优化施肥+硝化抑制剂(Opt+DMPP, 化肥施用量减少 15%)。

春玉米施纯氮 220 kg/hm²、P₂O₅ 26 kg/hm²、硫酸钾

75 kg/hm²,每个处理重复 3 次,随机区组排列,供试肥料为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、硫酸钾(含钾 18.3%),各处理以等氮量为基准,所有肥料均在种植前一次性作为基肥均匀撒施,并翻入 0~20 cm 土壤中。

田间试验小区分为取样区和收获区,土壤和植株样品均在取样区采集,收获区用于收获记录产量。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 玉米产量。玉米产量(t/hm²):6 株玉米风干重(kg)×57 000(株/hm²)/(5×1 000)。

1.4.2 氮肥农学利用率和氮肥偏生产力。氮肥农学利用率(AE)=(施氮处理产量-不施氮处理产量)(kg)/施氮量(kg)^[17];氮肥偏生产力(PFPN)=施肥后收获区春玉米产量(kg)/该施肥区化肥使用量(kg)^[18]。

1.4.3 土壤表层硝态氮、铵态氮含量。自 2019 年 6—11 月至 2020 年 6—11 月每 60 d 对不同施肥模式的试验区域土壤进行取样,采集 0~20 cm 的表层土壤,每个施肥模式的试验区随机选取 5 点。将每个施肥模式试验区的 5 个土样混合后拿回实验室干燥研磨,过 5 mm 筛后,用 100 mL KCl(2 mol/L)浸提土样,滤液用流动分析仪测定土壤硝态氮和铵态氮含量。

1.4.4 土壤剖面硝态氮含量。2019、2020 年分别对不同施肥模式的试验区域土壤用土钻取样,采集深度为 0~200 cm 的土层,间隔距离为 20 cm,每个施肥模式的试验区随机选取 5 点。分别将每个施肥模式试验区采集的土样混合后拿回实验室干燥研磨,过 5 mm 筛后,用 100 mL KCl(2 mol/L)浸提土样,滤液用流动分析仪测定土壤硝态氮和铵态氮含量。

2 结果与分析

2.1 不同施肥模式对春玉米产量的影响 不同施肥模式下春玉米 2 年间产量的变化见表 1。由表 1 可知,2019 年 5 种不同模式施肥处理春玉米产量平均为 13.23 t/hm²,CK 春玉米产量仅为 8.03 t/hm²,施肥处理的春玉米产量是 CK 春玉米产量的 1.65 倍。2020 年 5 种不同模式施肥处理春玉米产量平均为 14.20 t/hm²,CK 处理春玉米产量仅为 4.39 t/hm²,施肥处理的春玉米产量是 CK 春玉米产量的 3.23 倍。说明有机无机肥配施处理显著增加了春玉米产量($P<0.05$),与 2019 年相比,2020 年 CK 的春玉米产量显著下降,这主要是因为第一年种植,土壤养分残留比较大,第二年种植,随着养分消耗,产量下降较显著。

与 NPK(13.22 t/hm²)相比,有机无机肥配施显著增加春玉米产量(14.02 t/hm²),增幅为 6.05%,Opt+DMPP 处理产量为 13.38 t/hm²,产量增幅不显著($P>0.05$),这说明在施肥量减少 15%的情况下,春玉米产量不降低。

2.2 不同施肥模式对氮肥农学利用率和氮肥偏生产力的影响 不同施肥模式对氮肥农学利用率的影响见表 2。从表 2 可以看出,Opt+DMPP(42.18 kg/kg)的氮肥农学利用率最高,其次为 7F+3M(40.22 kg/kg)>3F+7M(39.06 kg/kg)>5F+5M(37.87 kg/kg)>NPK(35.03 kg/kg),Opt+DMPP 氮肥农学利用率最高,主要是因为 Opt+DMPP 处理在施肥量减少 15%的

同时,春玉米产量保持稳定所致。与NPK(35.03 kg/kg)相比,有机无机肥配施(39.06 kg/kg)显著增加氮肥农学利用率,增幅为11.5%。

表1 不同施肥模式对春玉米产量的影响

Table 1 Effects of different fertilization treatments on spring maize grain yields t/hm²

处理 Treatment	2019年	2020年	平均 Average
CK	8.03 c	4.39 c	6.21 d
NPK	12.81 b	13.63 ab	13.22 c
3F+7M	13.25 a	14.62 a	14.02 a
5F+5M	13.21 ab	14.36 a	13.78 ab
7F+3M	13.85 a	14.66 a	14.26 a
Opt+DMPP	13.01 b	13.75 ab	13.38 bc

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level

不同施肥模式对氮肥偏生产力的影响见表2。从表2可以看出,不同处理间氮肥偏生产力表现为Opt+DMPP(78.71 kg/kg)>7F+3M(71.27 kg/kg)>3F+7M(70.11 kg/kg)>5F+5M(68.92 kg/kg)>NPK(66.07 kg/kg),与NPK相比,有机无机肥配施(70.11 kg/kg)增加氮肥偏生产力,但增加不显著($P>0.05$),Opt+DMPP(78.71 kg/kg)氮肥偏生产力显著增

加,增幅为19.13%。

表2 不同施肥模式对氮肥农学利用率的影响

Table 2 Effects of different fertilization modes on agronomic utilization of nitrogen and water use efficiency kg/kg

处理 Treatment	氮肥农学利用率 AE	氮肥偏生产力 PFPN
CK	—	—
NPK	35.03 e	66.07 bc
3F+7M	39.06 c	70.11 b
5F+5M	37.87 d	68.92 bc
7F+3M	40.22 b	71.27 b
Opt+DMPP	42.18 a	78.71 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments at 0.05 level

2.3 不同施肥模式对土壤表层硝态氮动态变化的影响

从图1可以看出,不同施肥模式之间表层硝态氮含量存在显著差异($P<0.05$)。在CK中,土壤硝态氮含量在2.94~51.5 mg/kg,平均为22 mg/kg。不同施氮处理的硝态氮含量与氮肥的使用量和降雨量有很高的响应。施肥后,0~20 cm土层中硝态氮含量明显上升。在7月1日硝态氮含量达到最高峰,NPK的峰值最大(159.12 mg/kg),其次是5F+5M(132.62 mg/kg)、7F+3M(128.5 mg/kg)、3F+7M

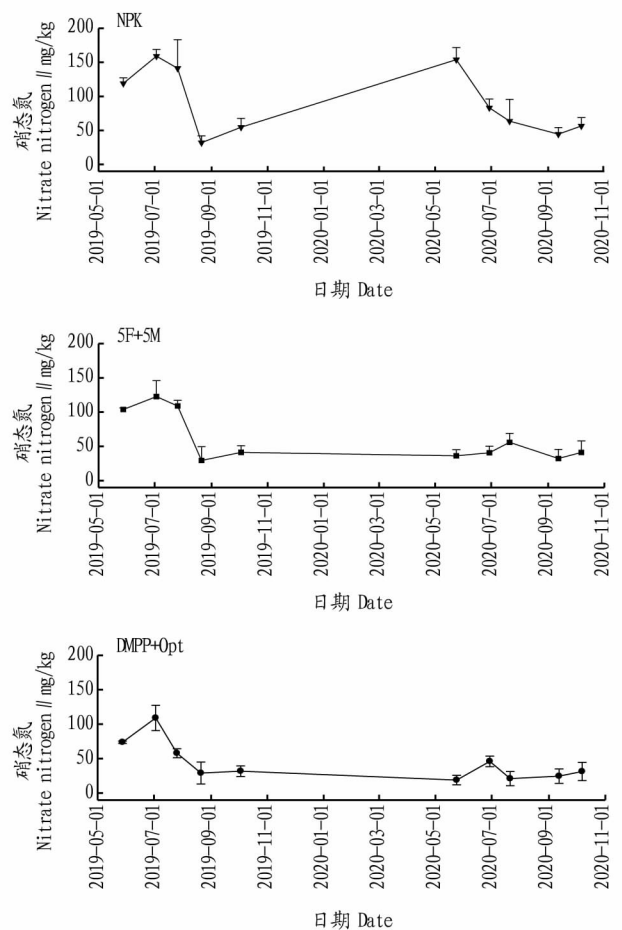
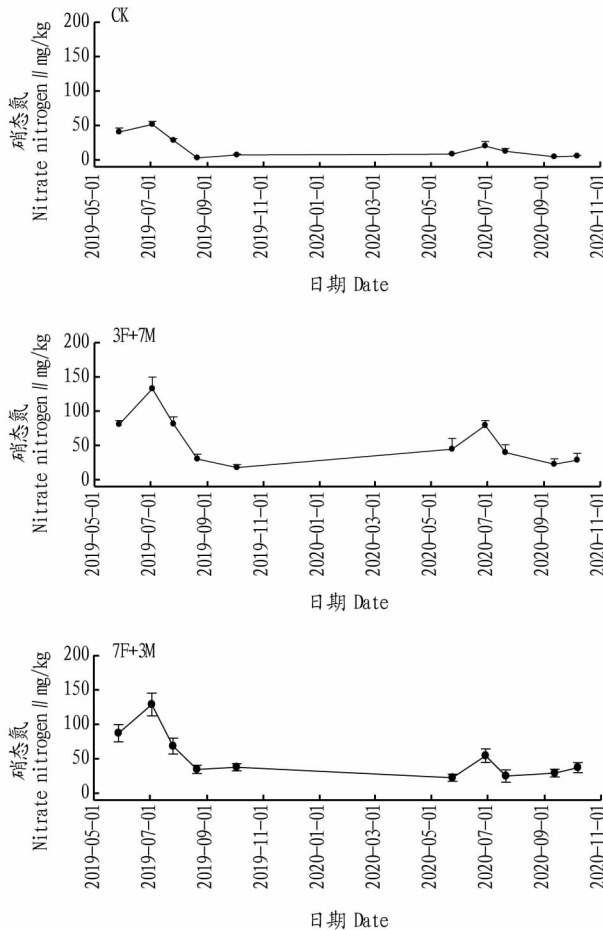


图1 不同施肥模式对表层土壤硝态氮含量的影响

Fig.1 The effect of different fertilization modes on the content of nitrate nitrogen in the surface soil

(122.63 mg/kg), Opt+DMPP (109.1 mg/kg) 的最小。与 NPK 相比,有机无机肥配施处理,硝态氮峰值显著降低。而在优化施氮基础上,添加 DMPP 可进一步降低硝态氮峰值 31.4%,这可能是由于硝化抑制剂和缓控施肥降低了氮肥的释放速率。之后随着作物生长旺盛、需肥量增加,硝态氮含量迅速下降。此外,土壤表层硝态氮含量的变化规律与降雨有关,在雨后,硝态氮含量也会迅速增加。

2.4 不同施肥模式对土壤表层铵态氮动态变化的影响 从图 2 可以看出,不同施氮模式下 0~20 cm 土层铵态氮含量之

间无显著差异 ($P>0.05$)。在 CK 中,土壤铵态氮含量在 0.79~9.71 mg/kg,平均为 4.45 mg/kg。与 CK 相比,施氮能显著提高铵态氮含量。施氮后,优化施氮模式的铵态氮含量率先达到峰值,这可能是由于添加硝化抑制剂和缓控施氮抑制了土壤中硝化作用的进行,反而使铵态氮含量增加。与 NPK (6.08 mg/kg) 相比,优化施氮模式降低了土壤中铵态氮峰值,但在优化施氮的基础上,添加硝化抑制剂和缓控施氮反而提高了铵态氮的峰值。

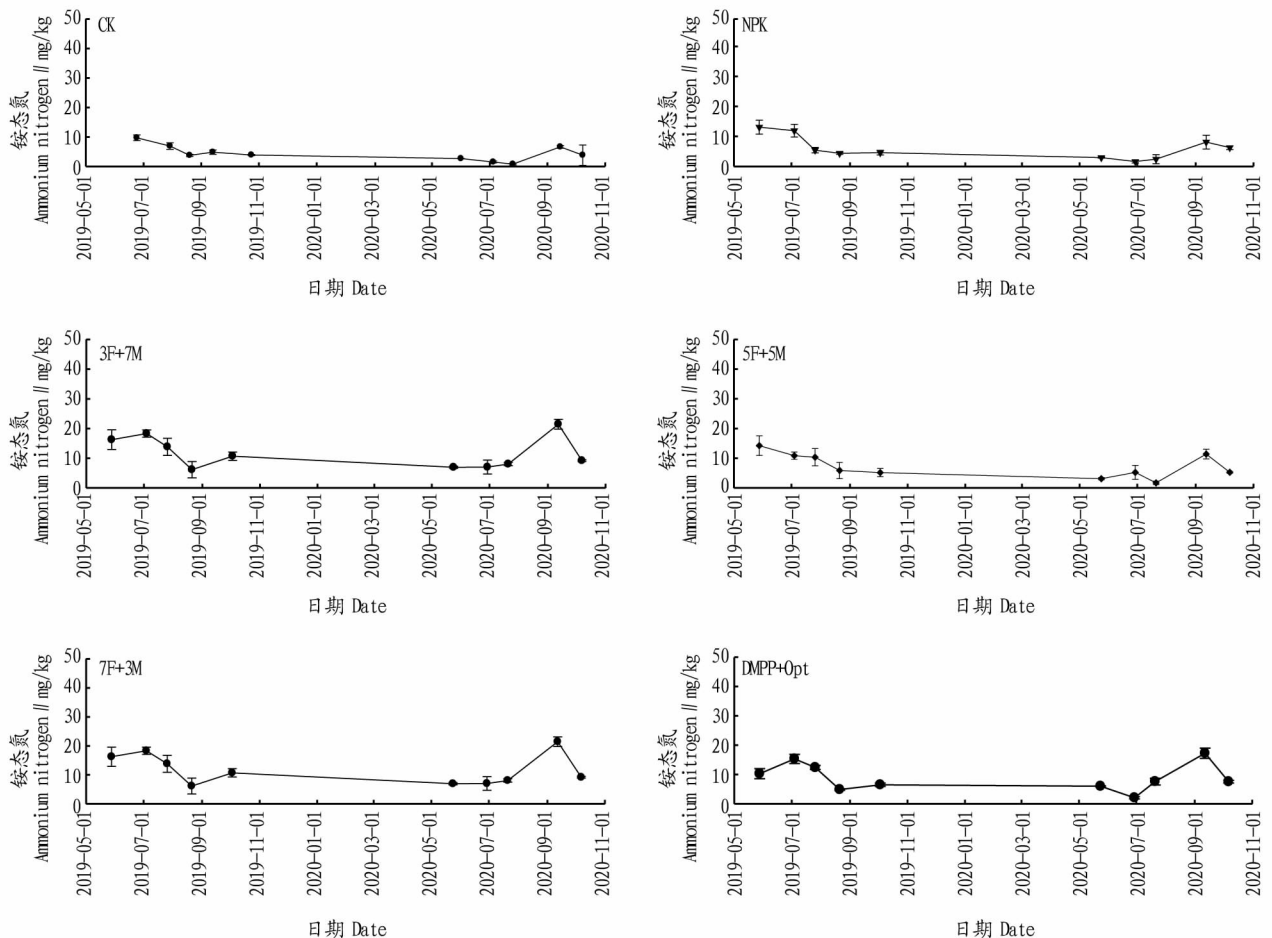


图 2 不同施肥模式对表层土壤铵态氮含量的影响

Fig.2 The effect of different fertilization modes on the ammonium nitrogen content of surface soil

2.5 不同施肥模式对土壤剖面硝态氮残留的影响 由图 3 可知,不同施氮模式间土壤剖面硝态氮残留量差异显著 ($P<0.05$)。与 CK 相比,各施氮处理 0~200 cm 土壤中硝态氮的残留量均显著增高,这表明施氮可以增加土壤中硝态氮的残留量。通过对 2 年数据分析表明,0~200 cm 土壤中硝态氮的残留量表现为 $NPK > 7F+3M > 5F+5M > Opt+DMPP > 3F+7M$ 。与 NPK 相比,3F+7M、5F+5M、7F+3M 和 Opt+DMPP 硝态氮的残留量分别降低了 49.42%、40.49%、39.11% 和 41.35%。3 种有机无机肥配施之间土壤硝态氮的残留量表现为 $7F+3M > 5F+5M > 3F+7M$ 。

3 讨论

该研究基于华阴市废弃地的研究背景,以当地主栽作物

春玉米为研究对象,通过设置传统施肥(NPK)与不同比例有机无机肥配施处理相对照,得出 70%化肥+30%有机肥(7F+3M)处理是该地区中低肥力农田的最佳施肥方式,在最佳施肥方式下能够实现优质、高产高效的目的,首先表现在春玉米上,经 2 年试验证明,70%化肥+30%有机肥(7F+3M)不仅有利于提高氮肥的农学利用率和氮肥偏生产力,改善耕层土壤对氮肥的利用情况,从而达到玉米增产稳产的效果,其次在优化施肥的基础上使用硝化抑制剂(Opt+DMPP)可以降低土壤表面和土壤剖面硝态氮的残留量,对于土壤质量的保护和提升意义重大^[20]。

该研究结果与黄涛等^[21]、苗艳芳等^[22]的研究结果相似。黄涛等^[21]认为对减少旱地地表径流总氮流失总量的效果

中,施用有机肥的试验组明显优于纯化肥处理的对照组,有机肥处理玉米土壤表层氮素累积量与氮素利用率略低于纯化肥处理,这与该研究中土壤表面及土壤剖面硝态氮残留量的结果相似。苗艳芳等^[22]研究永寿和洛阳2地小麦产量与施氮模式的关系,发现永寿对照小麦产量与土壤剖面硝态氮

积累量密切相关,而洛阳小麦产量和土壤剖面硝态氮积累量之间无明显关系;但2地土壤积累的硝态氮都与施氮增产量紧密相关。土壤中硝态氮、铵态氮的分布情况和积累情况的差异可能与当地降水情况有关,可见玉米的产量指标与土壤矿质氮素残留量之间的关系还有待进一步研究。

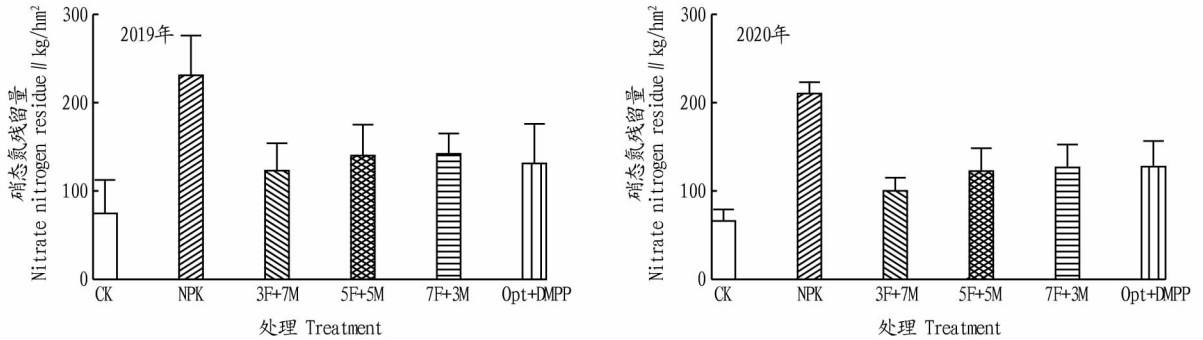


图3 不同施肥模式对土壤剖面硝态氮残留量的影响

Fig.3 Effects of different fertilization modes on nitrate nitrogen residue in soil profile

4 结论

该研究以废弃地为研究对象,在2019年4月至2020年9月,通过设置6个不同有机无机肥配施比例,定期监测了土壤硝铵态氮和作物产量变化。结果表明,与NPK (13.22 t/hm^2)相比,有机无机肥配施显著增加春玉米产量 (14.02 t/hm^2),增幅为6.05%,Opt+DMPP处理产量为 13.38 t/hm^2 ,增加不显著。与NPK (35.03 kg/kg)相比,有机无机肥配施 (39.06 kg/kg)显著增加氮肥农学利用率,增幅为11.5%。与NPK (66.07 kg/kg)相比,有机无机肥配施 (70.11 kg/kg)增加氮肥偏生产力,但增加不显著 ($P>0.05$),Opt+DMPP (78.71 kg/kg)氮肥偏生产力显著增加,增幅为19.13%。各处理间土壤表层硝态氮动态变化与降雨量及降雨频率呈现一定的相关性。与NPK相比,有机无机肥配施处理土壤表层硝态氮峰值显著降低。而在优化施氮基础上,添加DMPP可进一步降低硝态氮峰值,降幅达31.4%。不同施氮模式下0~20 cm土层铵态氮含量之间无显著差异;0~200 cm土壤中硝态氮的残留量表现为 $\text{NPK}>7\text{F}+3\text{M}>5\text{F}+5\text{M}>\text{Opt}+\text{DMPP}>3\text{F}+7\text{M}$ 。

参考文献

- [1] 刘占军.东北春玉米氮磷增效施肥模式研究[D].北京:中国农业科学院,2010.
- [2] 国家统计局.主要作物产品产量[EB/OL].[2021-04-25].<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.
- [3] 高飞,王弘,施艳春,等.陕西省玉米品种布局的现状与分析[J].中国种业,2014(7):11-15.
- [4] HEIFER E, PRUD'HOMME M. World agriculture and fertilizer demand, global fertilizer supply and trade 2008—2009 (Summary report) [R]. Vietnam: Ho Chi Minh City, 2008.
- [5] DORDAS C A, LITHOURGIDIS A S, MATSI T, et al. Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize [J]. Nutrient cycling agroecosyst, 2008, 80(3): 283-296.

- [6] YAMAMURA S, AMACHI S. Microbiology of inorganic arsenic: From metabolism to bioremediation [J]. Journal of bioscience & bioengineering, 2014, 118(1): 1-9.
- [7] ZHANG D M, WANG X, XIONG J B, et al. Bacterioplankton assemblages as biological indicators of shrimp health status [J]. Ecological indicators, 2014, 38: 218-224.
- [8] 管冠. 施肥模式对稻麦产量、养分吸收及土壤生物学性状的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [9] 罗付香, 林超文, 涂仕华, 等. 氮肥形态和地膜覆盖对坡耕地玉米产量和土壤氮素流失的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 11-16.
- [10] 焉莉. 不同施肥管理对东北玉米连作地农业面源污染影响研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [11] 黄锦. 不同施肥模式下稻-克氏原螯虾养殖田块水体、土壤和肠道微生物的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
- [12] 董天宇. 孕期草铵磷暴露对子代肠道菌群和神经发育的影响[D]. 南京: 南京医科大学, 2019.
- [13] LIANG X Q, XU L, LI H, et al. Influence of N fertilization rates, rainfall, and temperature on nitrate leaching from a rainfed winter wheat field in Taihu watershed [J]. Physics & chemistry of the earth, 2011, 36(9/10/11): 395-400.
- [14] GUO S L, WU J S, DANG T H, et al. Impacts of fertilizer practices on environmental risk of nitrate in semiarid farmlands in the Loess Plateau of China [J]. Plant & soil, 2010, 330(1/2): 1-13.
- [15] GRANT J C, NICHOLS J D, YAO R L, et al. Depth distribution of roots of *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* in different soil conditions [J]. Forest ecology & management, 2012, 269: 249-258.
- [16] 向羽, 唐韵, 陈文杰, 等. 有机无机配施对烤烟根际微生物代谢功能多样性以及产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 50(3): 147-150.
- [17] 冯悦晨, 于志勇, 赵萍萍. 有机无机配施对夏玉米产量构成及水氮利用的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2021, 48(2): 185-190.
- [18] 芦海灵, 郭中义, 卫双玲. 有机无机肥配施对芝麻产量及土壤性质的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(3): 467-473.
- [19] 郑利芳, 吴三鼎, 党延辉. 不同施肥模式对春玉米产量、水分利用效率及硝态氮残留的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 221-227.
- [20] 吴得峰, 姜继韶, 高兵, 等. 添加DCD对雨养区春玉米产量、氧化亚氮排放及硝态氮残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 30-39.
- [21] 黄涛, 荣湘民, 刘强, 等. 不同施肥模式对春玉米产量、品质与氮肥利用及玉米地氮流失的影响[J]. 土壤, 2010, 42(6): 915-919.
- [22] 苗艳芳, 李生秀, 扶艳艳, 等. 旱地土壤铵态氮和硝态氮累积特征及其与小麦产量的关系[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1013-1021.