

基于长期定位的无机有机肥配施对土壤养分和小麦籽粒产量及品质的影响

邵云,李静雅,马冠群,李春喜,张杰,许双

(河南师范大学 生命科学学院,河南 新乡 453007)

摘要:为探究不同施肥处理对黄淮海平原农田土壤养分和小麦籽粒产量及品质的影响,在2007年开始的长期培肥试验基础上,于2018年至2020年设置6个处理:在原有常规化肥(+F),化肥和秸秆配施(+FS),化肥和牛粪配施(+FM),以及3种长期施肥处理的基础上各增一个不施肥处理,分别记为-F,-FS,-FM。在小麦成熟期对土壤养分、产量以及籽粒品质进行综合分析,结果表明:+FS和+FM的土壤养分质量分数和籽粒产量以及品质显著高于+F组;连续两年不施肥处理后,与+FS和+FM处理相比,-FS和-FM处理的速效磷质量分数分别下降15%和16%,土壤有机碳质量分数分别下降9.3%和9.9%,产量分别下降3.4%和4.2%,但-FS和-FM处理籽粒蛋白质量分数、湿面筋质量分数和淀粉质量分数并未出现显著下降;-FS和-FM处理的速效磷质量分数、有机碳质量分数、籽粒蛋白质量分数、湿面筋质量分数、淀粉质量分数下降幅度均小于-F处理。因此,在长期培肥基础上,无机有机肥配施的土壤-小麦系统的稳定性更高。

关键词:黄淮海平原;小麦;无机有机肥配施;土壤养分;籽粒产量与品质

中图分类号:Q94

文献标志码:A

黄淮海平原是我国重要的粮食生产基地,其主要栽培模式是小麦-玉米一年两熟制,粮食产量占全国粮食总产量的30%左右^[1-2]。通过对传统施肥、灌溉以及耕地方式的变革,我国小麦平均单产量已从1949年的641.85 kg/hm²上升至2015年的5 392.65 kg/hm²,小麦单产大幅度提高的同时也产生了化肥投入过高的问题^[3]。据调查,黄淮海地区化肥投入量高达300~350 kg/hm²,但化肥利用率仅为29.1%~39.0%^[4]。化肥的过量施用破坏了农田生态系统的可持续性,因此科学提高肥料的利用效率才是节能增产的主要措施^[5-6]。已有研究发现小麦籽粒品质的形成与其吸收的氮素有显著关系^[7-10]。当地下部处于缺氮条件,土壤养分质量分数下降,影响小麦根系的生长,进而抑制小麦生长,造成产量和品质下降。但施用过多的氮肥,也会对产量以及品质产生影响。研究发现施氮量为0~180 kg/hm²时,施氮量越高小麦产量越高,籽粒蛋白质量分数、淀粉质量分数、面团稳定时间等品质指标显著提升;当施氮量大于240 kg/hm²时,小麦产量和品质均出现不同程度的下降^[11]。在黄淮海平原如何合理的施加肥料,使其在确保作物稳产高产的同时提高籽粒品质是目前亟须解决的关键问题。本研究在长期培肥定位试验的基础上,在原有常规化肥(+F)、化肥+秸秆配施(+FS)、化肥+牛粪配施(+FM)3个处理的同时,平行增加了不施肥的处理,对小麦产量以及籽粒品质进行分析,旨在为黄淮海平原农业生产中调整培肥措施、优化小麦品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验地点位于河南省获嘉县照镜镇前李村小麦-玉米两熟高产田(35°11'N,113°41'E),小麦的供试品种

收稿日期:2021-04-09;修回日期:2021-05-02.

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0300203-3;2018YFD0300708-4)

作者简介(通信作者):邵云(1973-),女,山东单县人,河南师范大学教授,博士,研究方向为作物生理生态,E-mail:shaoyun73@126.com.

为矮抗 58。在 2007—2018 年,试验设置常规化肥(+F)、化肥+秸秆配施(+FS)和化肥+牛粪配施(+FM) 3 种长期培肥处理,具体情况见表 1。

表 1 前期试验处理(2007—2018 年)

Tab. 1 Treatment of previous experiment from the year 2007 to 2018

| 培肥措施 | 化肥 | 化肥+秸秆 | 化肥+牛粪 | 培肥措施 | 化肥 | 化肥+秸秆 | 化肥+牛粪 |
|-------------------------------|-----|-------|-------|--|----|----------|-------|
| 氮肥质量密度/(kg·hm ⁻²) | 270 | 270 | 270 | 秸秆量 | 0 | 前茬秸秆全量还田 | 0 |
| 磷肥质量密度/(kg·hm ⁻²) | 120 | 120 | 120 | 牛粪单位用量/ (m ³ ·hm ⁻²) | 0 | 0 | 4 |
| 钾肥质量密度/(kg·hm ⁻²) | 180 | 180 | 180 | | | | |

注:各组氮肥基追比例为 5:5。秸秆各养分质量分数,有机质 48.03 g/kg,全氮 7.39 g/kg,全磷 1.53 g/kg。牛粪各养分质量分数,有机质 40.1 g/kg,全氮 25.1 g/kg,全磷 12.57 g/kg。

试验于 2018 年 10 月至 2020 年 6 月开展,在 2018—2019 年和 2019—2020 年小麦生育时期总降水量分别为 93.6 mm 和 174.7 mm,试验期间日均气温和日降水量如图 1。播前土壤养分质量分数如表 2 所示。试验采用裂区设计,主区为肥料水平,即施加肥料(+)和不施加肥料(-)2 个水平;副区为施肥类型,即常规化肥(F)、化肥+秸秆配施(FS)和化肥+牛粪配施(FM)3 个水平(表 3)。每个处理面积为 17.5 m²,3 个重复。试验期间,具体灌水时间为 2018 年 10 月 8 日、2019 年 3 月 15 日、2019 年 5 月 7 日、2019 年 10 月 15 日、2020 年 3 月 20 日和 2020 年 5 月 10 日,灌水方式为漫灌。整个生育期内视杂草生长情况采用人工除草方式和化学除草方式,其余田间管理措施同当地常规管理措施。

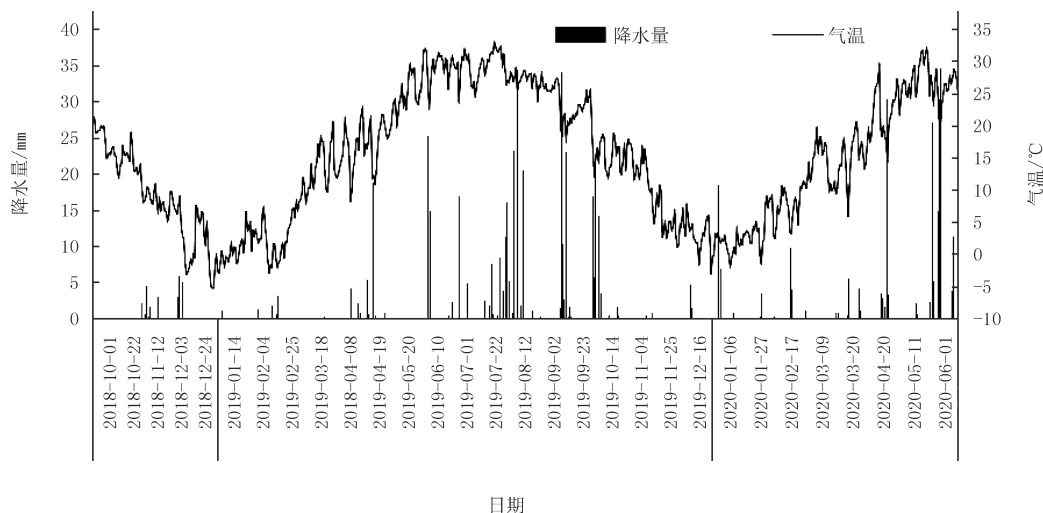


图1 日均气温和日降水量

Fig. 1 Daily mean temperature and daily precipitation

表 2 播前土壤养分质量分数

Tab. 2 Soil nutrient concentration before sowing

| 处理 | pH | 有机质质量分数/(g·kg ⁻¹) | 全氮质量分数/(g·kg ⁻¹) | 全磷质量分数/(g·kg ⁻¹) |
|---------|------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| +F/-F | 8.67 | 20.58 | 1.0 | 0.79 |
| +FS/-FS | 8.77 | 23.45 | 1.12 | 0.84 |
| +FM/-FM | 8.81 | 26.89 | 1.32 | 0.86 |

表 3 试验处理设置

Tab. 3 Experimental treatments

| 试验因素 | 化肥 | 化肥+秸秆 | 化肥+牛粪 | 试验因素 | 化肥 | 化肥+秸秆 | 化肥+牛粪 |
|------|----|-------|-------|------|----|-------|-------|
| 施肥 | +F | +FS | +FM | 不施肥 | -F | -FS | -FM |

在小麦成熟期(2019 年 6 月 1 日和 2020 年 6 月 3 日)用土钻取 0~30 cm 深度土壤,风干过筛,用于测定

土壤碱解氮质量分数、速效磷质量分数和有机质质量分数,调查成穗数,并随机选取 1 m^2 长势均匀的小麦进行测产,随机采集小麦植株 30 株,进行室内考种,调查穗粒数和千粒质量。

1.2 土壤养分与籽粒品质测定

土壤碱解氮采用碱解扩散法测定;土壤速效磷质量分数采用钼锑抗比色法测定;土壤有机质质量分数采用总有机碳分析仪(Elementer,德国)测定^[12]。小麦籽粒品质(籽粒蛋白质量分数、湿面筋质量分数、淀粉质量分数、面团形成时间)采用近红外谷物分析仪(FOSS,瑞士)测定^[13]。

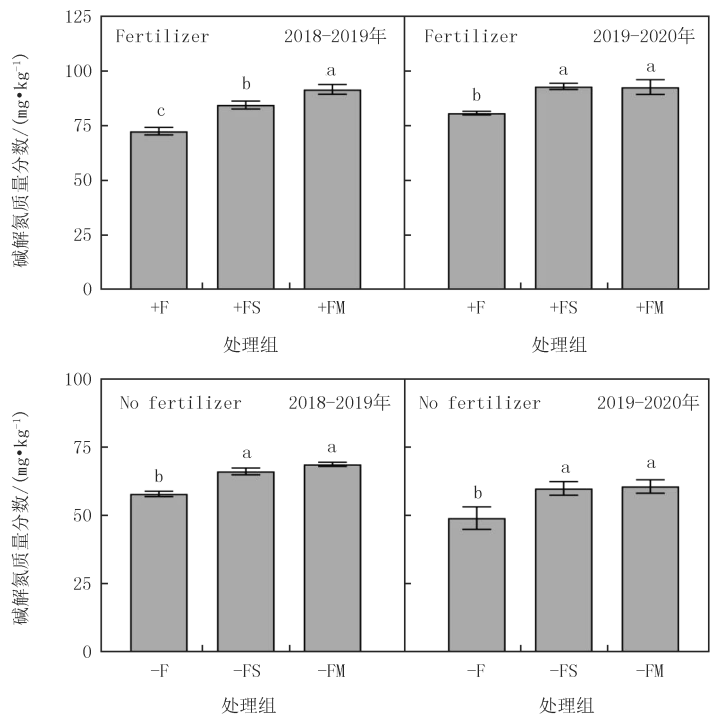
1.3 数据处理

采用 Excel 2019 和 SPSS 22.0 对试验数据进行整理,用软件 Graphpad prism 8.0.1 进行分析及作图,用 Duncan 法进行显著性检验。

2 结果分析

2.1 不同施肥处理对土壤碱解氮质量分数的影响

图 2 为不同施肥处理下土壤碱解氮质量比变化。在不同肥料水平下,在 2018—2019 年和 2019—2020 年,不施肥的 -F, -FS, -FM 处理土壤碱解氮质量比均显著低于 +F, +FS, +FM 处理 ($P < 0.05$)。与 +F, +FS, +FM 处理相比, -F, -FS, -FM 处理土壤碱解氮质量比在 2018—2019 年分别下降 20%、22%、25%,在 2019—2020 年分别下降 32.5%、29.2%、33.9%,3 种施肥类型的下降幅度相差不大。在不同肥料类型下,在 2018—2019 年,持续施肥处理土壤碱解氮质量分数由大到小表现为: +FM, +FS, +F, 其中 +F 处理下土壤碱解氮质量比极显著低于 +FS, +FM 处理 ($P < 0.01$), +FS 处理显著低于 +FM ($P < 0.05$); 在 2019—2020



注:不同小写字母表示同一肥料水平下不同处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

图2 不同施肥处理下土壤碱解氮质量分数

Fig.2 Soil alkaline hydrolysis nitrogen concentration of soil with different fertilization treatments

年,持续施肥处理土壤碱解氮质量比由大到小为: +FS, +FM, +F, +F 处理下土壤碱解氮质量比显著低于 +FS, +FM 处理 ($P < 0.05$)。在 2018—2019 年和 2019—2020 年,不施肥处理土壤碱解氮质量比由大到小为: -FM, -FS, -F, -F 处理下土壤碱解氮质量比显著低于 -FS, -FM 处理 ($P < 0.05$)。

2.2 不同施肥处理对土壤速效磷质量分数的影响

在不同肥料水平下(图 3),在 2018—2019 年和 2019—2020 年, -F, -FS, -FM 处理土壤速效磷质量分数均显著低于 +F, +FS, +FM 处理 ($P < 0.05$)。与 +F, +FS, +FM 处理相比, -F, -FS, -FM 处理土壤速效磷质量分数在 2018—2019 年分别下降 14.7%、7.7%、4.5%,在 2019—2020 年分别下降 22%、15%、16%,可见前期无机有机肥配施的处理下降幅度相对较小。在不同肥料类型下,在 2018—2019 年,持续施肥处理土壤速效磷质量分数由大到小表现为: +FM, +FS, +F, 其中 +F 处理下土壤速效磷质量分数显著

低于+FS和+FM处理($P<0.05$);在2019—2020年,持续施肥处理土壤速效磷质量分数由大到小表现为:+FM,+FS,+F,其中+F处理下土壤速效磷质量分数显著低于+FS和+FM处理($P<0.05$),+FS处理土壤速效磷质量分数显著低于+FM处理($P<0.05$).在2018—2019年和2019—2020年,不施肥处理下土壤速效磷质量分数由大到小表现为:-FM,-FS,-F,-F处理下土壤速效磷质量分数显著低于-FS,-FM处理($P<0.05$).

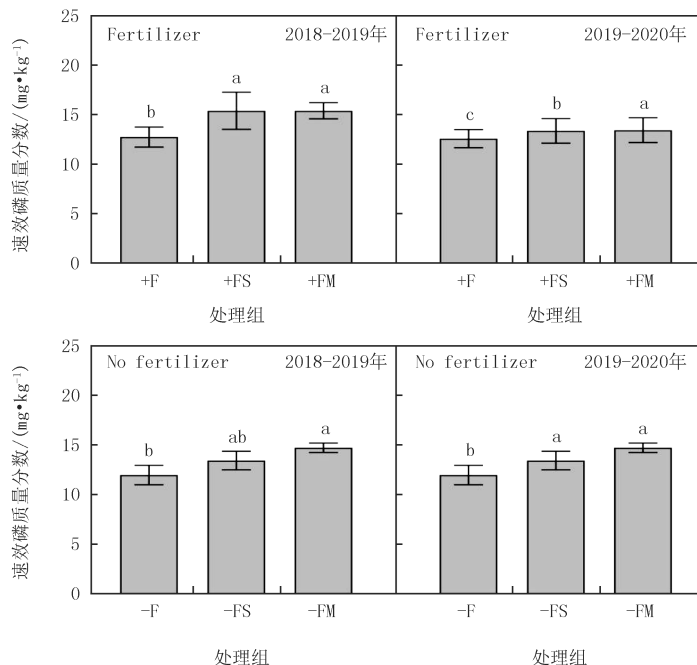


图3 不同施肥处理下土壤速效磷质量分数

Fig.3 Soil available phosphorus concentration of soil with different fertilization treatments

2.3 不同施肥处理对土壤有机质质量分数的影响

不同肥料水平下(图4),在2018—2019年,-F土壤有机质质量分数显著低于+F($P<0.05$),-FS处理和-FM处理与+FS和+FM处理之间无显著差异;在2019—2020年,-F,-FS,-FM处理土壤有机质质量分数均显著低于+F,+FS,+FM处理.与+F,+FS,+FM处理相比,-F,-FS,-FM处理土壤有机质质量分数在2018—2019年分别下降20.0%、4.5%、8.7%.在2019—2020年分别下降28.7%、9.3%、9.9%,可见前期无机有机肥配施的处理下降幅度相对较小.不同肥料类型下,在2018—2019年和2019—2020年,持续施肥处理土壤有机质质量分数由大到小表现为:+FM,+FS,+F,+F处理下土壤有机质质量分数极显著低于+FS,+FM处理($P<0.01$);在2019和2020年,不施肥处理土壤有机质质量分数由大到小表现为-FM,-FS,-F,-F处理下土壤有机质质量分数显著低于-FS,-FM处理($P<0.05$).

2.4 不同施肥处理对小麦产量以及产量构成的影响

表4为2019年和2020年小麦产量以及产量构成因素.在2019年,不同肥料水平对公顷穗数和产量的影响达到极显著水平($P<0.01$),对穗粒数和千粒质量的影响达到显著水平($P<0.05$);与+F,+FS,+FM处理相比,-F,-FS,-FM处理的产量分别降低12%、2.3%、3.8%,可见前期无机有机肥配施处理产量下降幅度小于前期常规化肥处理.不同肥料类型对公顷穗数、穗粒数、千粒质量和产量的影响均达到极显著水平($P<0.01$);具体来说,在持续施肥条件下,+FS和+FM处理的公顷穗数、穗粒数、千粒质量和产量均显著大于+F处理,+FM处理的千粒质量和产量显著大于+FS处理;在不施肥处理下,-FS和-FM处理下,以上指标均显著大于-F处理,-FM处理下的产量显著大于-FS处理($P<0.05$).肥料水平×肥料类型互作对公顷穗数、穗粒数和产量的影响达到极显著水平($P<0.01$).

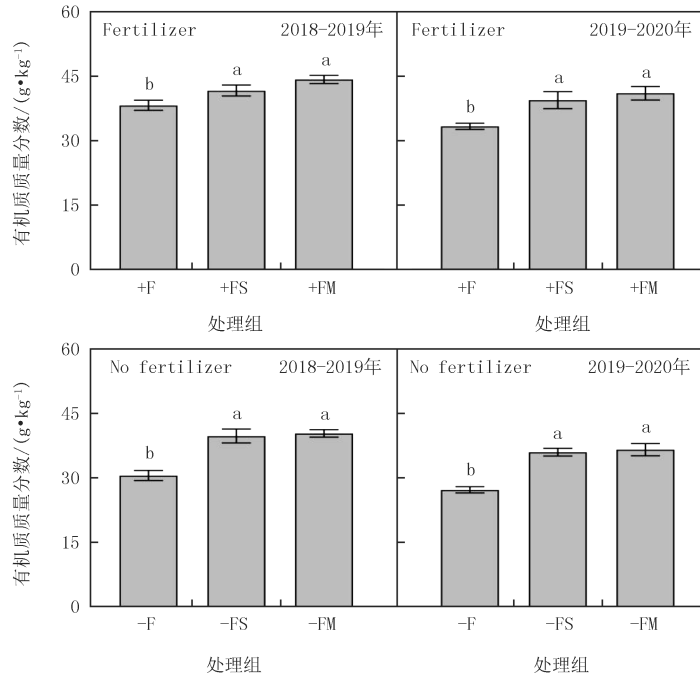


图4 不同施肥处理下土壤有机质质量分数

Fig.4 Soil organic matter concentration of soil with different fertilization treatments

表 4 不同施肥处理下小麦产量及产量构成因素

Tab. 4 Yield and yield components of wheat with different fertilization treatments

| 年份 | 处理 | 单位穗数/(10 ⁴ · hm ⁻²) | 穗粒数 | 千粒质量/g | 单位产量/(kg · hm ⁻²) | |
|------|------|--|---------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 2019 | 施肥 | +F | 547.00 ^b | 35.00 ^b | 45.12 ^c | 6 986.67 ^c |
| | | +FS | 611.00 ^a | 37.84 ^a | 47.56 ^b | 7 931.60 ^b |
| | | +FM | 638.00 ^a | 37.00 ^a | 49.27 ^a | 8 134.50 ^a |
| | 不施肥 | -F | 466.00 ^b | 32.33 ^b | 44.01 ^b | 6 105.15 ^c |
| | | -FS | 626.00 ^a | 38.42 ^a | 46.51 ^a | 7 743.35 ^b |
| | | -FM | 603.00 ^a | 37.00 ^a | 47.74 ^a | 7 821.46 ^a |
| | F 检验 | FL | * * | * | * | * * |
| | | FT | * * | * * | * * | * * |
| | | FL×FT | * * | * * | ns | * * |
| 2020 | 施肥 | +F | 486.00 ^c | 36.42 ^a | 44.12 ^b | 6 506.48 ^c |
| | | +FS | 602.00 ^b | 37.46 ^a | 47.13 ^a | 7 650.46 ^b |
| | | +FM | 628.00 ^a | 37.50 ^a | 48.59 ^a | 7 858.35 ^a |
| | 不施肥 | -F | 456.00 ^c | 33.70 ^b | 43.79 ^b | 5 872.77 ^c |
| | | -FS | 569.00 ^b | 37.70 ^a | 47.89 ^a | 7 389.25 ^b |
| | | -FM | 602.00 ^a | 36.00 ^{ab} | 47.56 ^a | 7 523.75 ^a |
| | F 检验 | FL | * * | * | ns | * * |
| | | FT | * * | * * | * * | * * |
| | | FL×FT | * | ns | ns | * |

注:FL表示肥料水平,FT表示施肥类型,FL×FT表示肥料水平×施肥类型.*或**分别表示差异在0.05和0.01水平上达到显著,下同。

在2020年,不同肥料水平对公顷穗数和产量的影响达到极显著水平(P<0.01),对小穗数的影响达到

显著水平($P<0.05$);与+F,+FS,+FM处理相比,-F,-FS,-FM处理的产量分别降低9.7%、3.4%、4.2%,可见前期无机有机肥配施处理产量下降的幅度小于前期常规化肥处理.不同肥料类型对公顷穗数、穗粒数、千粒质量和产量的影响均达到极显著水平($P<0.01$);具体来说,在持续施肥条件下,+FS和+FM处理下公顷穗数、穗粒数、千粒质量和产量均显著大于+F处理,+FM处理的公顷穗数和产量显著大于+FS处理;在不施肥条件下,-FS和-FM处理下以上指标均显著大于-F处理,-FM处理下的公顷穗数和产量显著大于-FS处理($P<0.05$).肥料水平×肥料类型互作对公顷穗数和产量的影响达到显著水平($P<0.05$).

2.5 不同施肥处理对小麦籽粒品质的影响

在2019年,不同肥料水平对籽粒蛋白质质量分数和淀粉质量分数的影响达到显著水平($P<0.05$)(表5),对面团稳定时间的影响达到极显著水平($P<0.01$).不同肥料类型对籽粒蛋白质质量分数和面团稳定时间的影响达到极显著水平($P<0.01$),对籽粒淀粉质量分数的影响达到显著水平.具体来说,在持续施肥条件下,+FS,+FM处理下蛋白质质量分数均显著大于+F处理,+FS处理下面团稳定时间显著大于+F和+FM处理;在不施肥条件下,-FS和-FM处理下籽粒蛋白质质量分数、湿面筋质量分数和面团稳定时间均显著大于-F处理,与+F,+FS,+FM处理相比,籽粒蛋白质质量分数分别下降了13.8%、1.6%、2.4%.与+FM处理相比,-FM处理籽粒淀粉质量分数升高了2.7%.肥料水平×肥料类型互作对面团稳定时间的影响达到极显著水平($P<0.01$),对籽粒淀粉质量分数的影响达到显著水平($P<0.05$).

表5 不同施肥处理下小麦籽粒品质

Tab. 5 Grain quality of wheat with different fertilization treatments

| 年份 | 处理 | 蛋白质量分数/% | 湿面筋质量分数/% | 淀粉质量分数/% | 面团稳定时间/min | |
|------|------|----------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| 2019 | 施肥 | +F | 11.6 ^b | 27.9 ^a | 60.0 ^a | 3.2 ^b |
| | | +FS | 12.4 ^a | 28.8 ^a | 59.9 ^a | 4.0 ^a |
| | | +FM | 12.4 ^a | 28.0 ^a | 60.0 ^a | 3.3 ^b |
| | 不施肥 | -F | 10.0 ^b | 27.8 ^b | 59.9 ^b | 2.7 ^b |
| | | -FS | 12.2 ^a | 28.8 ^a | 60.0 ^{ab} | 3.2 ^a |
| | | -FM | 12.1 ^a | 28.5 ^a | 60.2 ^a | 3.1 ^a |
| | F 检验 | FL | * | ns | * | * * |
| | | FT | * * | ns | * | * * |
| | | FL×FT | ns | * | ns | * * |
| 2020 | 施肥 | +F | 11.2 ^c | 25.5 ^c | 61.0 ^b | 3.3 ^b |
| | | +FS | 11.4 ^b | 26.8 ^a | 60.9 ^{ab} | 4.0 ^a |
| | | +FM | 11.6 ^a | 26.0 ^b | 61.3 ^a | 3.9 ^a |
| | 不施肥 | -F | 9.8 ^b | 24.4 ^c | 57.9 ^b | 2.3 ^b |
| | | -FS | 11.2 ^a | 26.4 ^a | 60.0 ^a | 3.1 ^a |
| | | -FM | 11.2 ^a | 25.5 ^b | 59.7 ^a | 3.3 ^a |
| | F 检验 | FL | * * | * * | * * | * * |
| | | FT | * * | * * | * * | * * |
| | | FL×FT | * * | * | * * | ns |

在2019—2020年,不同肥料水平对籽粒蛋白质质量分数、湿面筋质量分数、淀粉质量分数和面团稳定时间的影响达到极显著水平($P<0.01$).不同肥料类型对籽粒蛋白质质量分数、湿面筋质量分数、淀粉质量分数和面团稳定时间的影响达到极显著水平($P<0.01$).具体来说,在持续施肥条件下,+FS,+FM处理下籽粒蛋白质质量分数和面团稳定时间均显著大于+F处理,+FS处理下湿面筋质量分数显著大于+F和+FM处理;在不施肥条件下,-FS和-FM处理下籽粒蛋白质质量分数、淀粉质量分数和面团稳定时间均显著大于-F处

理,与+F,+FS,+FM处理相比,-F,-FS,-FM处理籽粒蛋白质量分数分别下降了12.5%、1.7%、3.4%。肥料水平×肥料类型交互对籽粒蛋白质量分数和淀粉质量分数的影响达到极显著水平($P<0.01$),对湿面筋质量分数的影响达到显著水平($P<0.05$)。

3 讨论与结论

结果表明,在长期培肥的基础上,不施肥处理下土壤碱解氮质量分数、速效磷质量分数、有机质质量分数和产量均呈现下降趋势,其中前期为无机有机配施处理在连续两年不施肥后的土壤速效磷质量分数、有机碳质量分数和产量下降幅度小于不施加化肥处理,-F处理速效磷质量分数、有机碳质量分数和产量下降较快的原因可能是:化肥一般多为无机化合物,其中有效成分较高^[14],不需要经过土壤内微生物的转化便可被作物快速吸收,肥效快^[15],合理施加化肥可以提高土壤养分质量分数以及作物产量,但是长期单施化肥也会使土壤内部结构破坏,使土壤内有效养分流失;连续两年不施加化肥后加速土壤养分的耗竭,加快土壤中有机质的矿化速率,影响作物根系的生长,导致作物产量稳定性下降^[16]。-FS和-FM处理下降缓慢的原因可能是:秸秆中含有丰富的大量和微量元素,在秸秆还田后可以增加土壤内无机氮质量分数,增加土壤孔隙度以及促进微生物氮循环^[17];此外粪肥内含有丰富的钙、镁、锌等微量元素,有益微生物的数量和种类都较多,可以促进土壤内微生物活性,同时减少土壤水分散失,提高肥料利用率^[18]。秸秆或粪肥与化肥配施后,既缓解了单施化肥对土壤造成的危害,又弥补了秸秆、有机肥腐熟过程慢的缺点,两者结合可以改善土壤内部结构,使土壤内各种微生物活性增强,使其中的氮肥更多地被固定,在之后的小麦生长发育中释放出来,满足小麦生长发育的需求,促进小麦对有效养分的吸收^[19]。同时秸秆和牛粪分解速度较为缓慢,使得土壤肥力具有长效性,增加土壤自身的缓冲作用^[20]。

+F处理下籽粒蛋白质量分数和面团稳定时间均显著低于+FS和+FM处理,-F处理的籽粒蛋白质量分数、湿面筋质量分数、淀粉质量分数和和面团稳定时间均显著低于-FS和-FM处理,表明采用无机有机配施可以提高小麦籽粒品质。马爱平等^[21]研究发现两种有机肥(牛粪和羊粪)施用对籽粒的蛋白质量分数、湿面筋质量分数和面团稳定时间等均有显著影响。李占等^[22]研究发现采用不同比例的无机有机配施均可以提高小麦产量和籽粒蛋白质量分数,当有机肥与化肥配施质量比例为3:1时,其蛋白质量分数相较于不施肥处理相比提高了1.29倍。本研究结果表明,与+FS和+FM处理相比,-FS和-FM处理籽粒蛋白质量分数、湿面筋质量分数和淀粉质量分数均出现下降,但无显著差异,这可能是因为在无机有机配施后土壤内养分质量分数增加,加强了根系的生长以及对土壤中有机质和速效磷的吸收,进而促进作物籽粒品质的提高,而合理的肥料减施对小麦的产量和籽粒品质有一定的调节作用^[23]。房静静等^[24]研究发现不同的比例减施氮肥后均能提高各土层养分质量分数,但对籽粒蛋白质量分数、湿面筋质量分数,延伸度等籽粒品质指标的影响均不显著。

综上所述,在长期培肥的基础上,前期为无机有机配施处理在连续两年不施肥后的土壤速效磷质量分数、有机碳质量分数和产量下降幅度小于不施加化肥处理,且其籽粒产量以及品质与对应的持续施肥相比下降幅度并不显著。因此在长期培肥基础上,无机有机肥配施的土壤-小麦系统的稳定性更高。但因本研究时间还较短,不进行无机有机配施的小麦的品质并未出现大幅度下降。如果持续不施肥的时间继续延长,小麦籽粒品质是否会出现明显改变仍需进一步验证。

参 考 文 献

- [1] 袁泽科,陈喜娜,胡珍珍,等.河南沿黄稻区不同梗稻品种播期推迟后对稻米产量与品质性状的影响[J].河南农业大学学报,2021,55(6):1052-1057.
YUAN Z K, CHEN X N, HU Z Z, et al. Influence of delayed sowing dates on rice yield and quality traits of different Japonica rice varieties in the rice planting area along the Yellow River in Henan Province[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2021, 55(6): 1052-1057.
- [2] 雷鸣,孔祥斌,王佳宁.水平衡下黄淮海平原区耕地可持续生产能力测算[J].地理学报,2018,73(3):535-549.
LEI M, KONG X B, WANG J N. Estimation of sustainable grain productivity for arable land under water balance in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(3): 535-549.
- [3] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.

- [4] ZHANG Y,DORE A J,MA L,et al.Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain[J].Environmental Pollution,2010,158(2):490-501.
- [5] SITHOLE N J,MAGWAZA L S,MAFONGOYA P L.Conservation agriculture and its impact on soil quality and maize yield;a South African perspective[J].Soil and Tillage Research,2016,162:55-67.
- [6] 丁晋利,魏红义,武继承,等.免耕对冬小麦农田土壤水分及可溶性碳和硝态氮动态变化的影响[J].河南农业大学学报,2020,54(2):326-331.
DING J L,WEI H Y,WU J C,et al.Effects of no-till farming on soil water and dynamics of dissolved organic carbon and nitrogen in winter wheat plantation[J].Journal of Henan Agricultural University,2020,54(2):326-331.
- [7] 菅浩然,刘洪波,李连豪,等.不同微喷氮肥制度对冬小麦产量及水氮利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(9):26-31.
JIAN H R,LIU H B,LI L H,et al.Effects of different nitrogen fertilizations with micro-spraying system on yield,water and nitrogen use efficiency of winter wheat[J].Journal of Irrigation and Drainage,2020,39(9):26-31.
- [8] 杨兵兵,闫素辉,李文豪,等.施氮水平对小麦籽粒产量及品质的影响[J].安徽科技学院学报,2015,29(6):52-55.
YANG B B,YAN S H,LI W H,et al.Effects of nitrogen rate on yield and quality of wheat grain[J].Journal of Anhui Science and Technology University,2015,29(6):52-55.
- [9] 赵广才,常旭虹,杨玉双,等.氮磷钾运筹对不同小麦品种产量和品质的调节效应[J].麦类作物学报,2011,31(1):106-112.
ZHAO G C,CHANG X H,YANG Y S,et al.Adjustment effect of nitrogen phosphorus potassium operation on grain yield and quality in different variety of wheat[J].Journal of Triticeae Crops,2011,31(1):106-112.
- [10] 汪尊德.小麦籽粒品质和产量性状的遗传相关分析[J].河南师范大学学报(自然科学版),1988,16(4):72-76.
WANG Z D.Genetic analysis on interrelationships among quality and yield characters in wheat[J].Journal of Henan Normal University (Natural Science),1988,16(4):72-76.
- [11] 周栋,于琦,李敖,等.施氮量对渭北旱地冬小麦产量和籽粒品质的影响[J].麦类作物学报,2020,40(7):818-825.
ZHOU D,YU Q,LI A,et al.Effect of nitrogen application rate on winter wheat yield and grain quality in Weibei dryland[J].Journal of Triticeae Crops,2020,40(7):818-825.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [13] WANG W B,PALIWAL J.Near-infrared spectroscopy and imaging in food quality and safety[J].Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety,2007,1(4):193-207.
- [14] 张福锁.科学认识化肥的作用[J].中国农技推广,2017,33(1):16-19.
ZHANG F S.Scientific understanding of the role of chemical fertilizer[J].China Agricultural Technology Extension,2017,33(01):16-19.
- [15] 汪建飞,邢素芝.农田土壤施用化肥的负效应及其防治对策[J].农业环境保护,1998,17(1):40-43.
WANG J F,XING S Z.Negative effects of application chemical fertilizers on farmland and the control measures[J].Agro-Environmental Protection,1998,17(1):40-43.
- [16] SU Y Z,WANG F,SUO D R,et al.Long-term effect of fertilizer and manure application on soil-carbon sequestration and soil fertility under the wheat-wheat-maize cropping system in northwest China[J].Nutrient Cycling in Agroecosystems,2006,75(1/2/3):285-295.
- [17] 江永红,宇振荣,马永良.秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J].土壤通报,2001,32(5):209-213.
JIANG Y H,YU Z R,MA Y L.The effect or stubble return on agro-ecological system and crop growth[J].Chinese Journal of Soil Science,2001,32(5):209-213.
- [18] 林玉秋,王春艳,李秀娟.有机肥的优缺点及开发利用措施[J].现代农业科技,2018(16):180.
LIN Y Q,WANG C Y,LI X J.Advantages and disadvantages of organic fertilizer and its development and utilization measures[J].Modern Agricultural Science and technology,2018,(16):180.
- [19] 周秋峰,于沐,张果果,等.施肥对小麦品质的调节效应[J].中国农学通报,2016,32(36):40-44.
ZHOU Q F,YU M,ZHANG G G,et al.Regulation effect of fertilization on wheat quality[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2016,32(36):40-44.
- [20] 崔喜安,仇建飞,窦森.长期定位施肥对暗棕壤肥力和作物产量的影响[J].吉林农业大学学报,2011,33(5):545-550.
CUI X, QIU J F,DOU S.Effects of long-time fertilization on crop yield and soil nutrients of dark brown earth[J].Journal of Jilin Agricultural University,2011,33(5):545-550.
- [21] 马爱平,崔欢虎,亢秀丽,等.无机氮磷减量、有机肥施用量对小麦品质性状的影响[J].中国农学通报,2021,37(2):7-13.
MA A P,CUI H H,KANG X L,et al.Effect on wheat quality characters;inorganic nitrogen and phosphate decrement and organic manure application amount[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2021,37(2):7-13.
- [22] 李占,丁娜,郭立月,等.有机肥和化肥不同比例配施对冬小麦一夏玉米生长、产量和品质的影响[J].山东农业科学,2013,45(7):71-77.
LI Z,DING N,GUO L Y,et al.Effects of different ratios of organic manure and chemical fertilizer on growth,yield and quality of winter wheat and summer maize[J].Shandong Agricultural Sciences,2013,45(7):71-77.
- [23] 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.

LI X H, YANG S X, YU Z W, et al. Effects of organic manure application on growth and senescence of root in winter wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005, 11(4): 467-472.

[24] 房静静, 丁维婷, 武雪萍, 等. 长期秸秆配施化肥对土壤养分及小麦产量、品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2020(5): 141-146.

FANG J J, DING W T, WU X P, et al. Effects of long-term straw and fertilizer combined application on soil nutrient, wheat yield and quality[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(5): 141-146.

Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on soil nutrients, wheat grain yield and quality based on long-term location

Shao Yun, Li Jingya, Ma Guanqun, Li Chunxi, Zhang Jie, Xu Shuang

(College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Huang-Huai-Hai Plain is the main grain producing area in China. Environmental problems are becoming the focus of public concern because of the overuse of fertilizers. In order to explore the effects of different fertilization treatments on soil nutrients and wheat grain yield and quality in this area, since 2007, three long-term fertilization experiments were conducted in Huojia county, Henan province in it on the basis of conventional chemical fertilizer(+F), combined application with chemical fertilizer and straw(+FS), combined application with chemical fertilizer and cow manure(+FM), another three treatments that no longer applied any fertilizers on the previous three plots were added, respectively named as -F, -FS and -FM. Soil nutrients, wheat yield and grain quality were measured in the mature stage of wheat. The results indicated that the soil nutrient concentration, grain yield and quality of combined application of organic and inorganic fertilizers treatments(+FS and +FM) were significantly higher than that of the chemical fertilizer treatment(+F). In two consecutive years without any fertilizers, compared with +FS and +FM treatments, the concentration of available phosphorus in -FS and -FM treatments decreased by 15% and 16%, the content of soil organic carbon decreased by 9.3% and 9.9%, and the yield decreased by 3.4% and 4.2%. However, the protein concentration, wet gluten concentration and starch concentration did not decrease significantly in -FS and -FM treatments. In addition, compared with -F treatment, the concentration of available phosphorus, organic carbon, grain protein, wet gluten and starch decreased less in -FS and -FM treatment. Therefore, the soil-crop systems which combined application of inorganic and organic fertilizers indicated much better stability.

Keywords: Huang-Huai-Hai Plain; wheat; combined application of inorganic and organic fertilizers; soil nutrients; grain yield and quality

[责任编辑 刘洋 杨浦]