

西北黄绵土区长期定位施肥对冬小麦 产量和品质的影响

张喜平, 杨志奇, 王娜, 魏志平, 周喜旺
(天水市农业科学研究所, 甘肃 天水 741000)

摘要: 为了探讨西北黄绵土区长期定位施肥对冬小麦籽粒产量及品质的影响, 以 40 年长期定位施肥试验为基础, 研究了不同有机肥和化肥配施对小麦产量及品质的影响。结果表明, 在西北黄绵土区施用有机肥有明显的增产作用, 氮肥和磷肥是限制小麦产量和生长的重要因素, 钾肥对小麦的增产作用不明显。施用化肥能提高小麦籽粒蛋白质和湿面筋含量, 单施氮肥、在有机肥和氮肥配施的基础上配施磷肥和钾肥都会降低蛋白质和湿面筋含量; 单施氮肥会提高小麦籽粒沉降值, 磷肥、钾肥、有机肥和无机肥配施均会降低小麦籽粒沉降值; 单施氮肥、有机肥和氮肥配施能延长稳定时间和形成时间, 施用化肥会降低抗延伸阻力, 有机肥对抗延伸阻力的提升作用不明显。综上, 该试验条件下, 有机肥与氮肥配施为提高小麦产量和品质的有效措施, 长期施用钾肥会制约小麦产量和品质的提升。

关键词: 长期定位施肥; 小麦; 产量; 品质; 西北黄绵土

中图分类号: S512.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2024)06-0569-05

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.06.016

Effects of Long-term Located Fertilization on Yield and Quality Characters of Winter Wheat in the Northwestern Loessial Soil Region

ZHANG Xiping, YANG Zhiqi, WANG Na, WEI Zhiping, ZHOU Xiwang
(Tianshui Institute of Agricultural Sciences, Tianshui Gansu 741000, China)

Abstract: In order to explore the effects of long-term located fertilization on grain yield and quality of winter wheat in the loessial soil region of northwest China, based on the 40-year long-term fertilization experiment, the effects of different organic fertilizers and chemical fertilizers on the yield and quality of wheat were studied. The results showed that the application of organic fertilizer in the loessial soil area of Northwest China had obvious effect on increasing yield. N fertilizer and P fertilizer were two important factors limiting the yield and growth of wheat, and K fertilizer had no obvious effect on increasing yield of wheat. The application of chemical fertilizer could increase the content of protein and wet gluten in wheat grains. Single application of N fertilizer, combined application of P fertilizer and K fertilizer on the basis of organic fertilizer and N fertilizer would reduce the content of protein and wet gluten. Single application of N fertilizer would increase the sedimentation value of wheat grains, and the combined application of P, K fertilizer, organic fertilizer and inorganic fertilizer would reduce the sedimentation value of wheat grains. Single application of N fertilizer, organic fertilizer and N fertilizer could prolong the stability time and formation time. The application of chemical fertilizer would reduce the resistance to extension, and the effect of organic fertilizer on the resistance to extension was not obvious. The above shows that under the experimental conditions, the combined application of organic fertilizer and N fertilizer is an effective measure to improve the yield and quality of wheat, and long-term application of K fertilizer will restrict the improvement of wheat yield and quality.

Key words: Long-term located fertilization; Wheat; Yield; Quality; Northwestern loessial soil

肥料能改善土壤理化性质、提高土壤肥力水平, 增加作物产量, 是农业生产的重要物质基础^[1]。20 世纪 80 年代以来, 随着化肥工业的兴起, 人们大量使用化肥来提高粮食作物产量, 虽

然对产量提升做了巨大贡献, 但因长期不合理使用化肥, 造成肥料贡献率低, 浪费了财力物力, 污染了环境, 影响了产量的提高^[2]。冬小麦是甘肃省主要粮食作物之一, 年种植面积 80 万 hm² 左

收稿日期: 2023-07-05; 修订日期: 2024-04-23

基金项目: 甘肃省重点研发计划项目(21YF5NE198); 天水市科技支撑计划项目(2023-NCK-8025)。

作者简介: 张喜平(1974—), 女, 甘肃天水人, 助理研究员, 主要从事土壤理化分析方面研究工作。Email: ts-zyh@163.com。

右^[3],是老百姓面食的主要来源之一。小麦产量和籽粒品质除受遗传因素影响外,栽培措施等环境因素也有明显的调控效应,且肥料调控具有不可替代的作用^[4],是保证粮食安全的重要措施之一。有关施肥对小麦产量和品质影响的研究较多。郭丹丹等^[5]研究表明,在黑土条件下氮磷钾配合施用,有利于小麦优质高产;皇甫湘荣等^[6]研究表明,长期有机无机肥配施,小麦籽粒产量和蛋白质含量均较单施化肥高;曲环等^[7]在新疆灰漠土上进行的长期定位试验表明,不施氮肥处理小麦籽粒的蛋白质含量、面粉品质和面团品质中的多数指标明显低于对照不施肥和长期施用氮肥的处理。但有关黄绵土长期定位施肥对冬小麦产量和品质影响的研究较少。我们在 40 a 黄绵土长期定位施肥的基础上,探讨了有机肥和化肥配施对小麦产量和品质的影响,以期为探明连续施用不同肥料对作物的增产效应和合理施肥措施,为实现小麦持续稳产、高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于天水市秦州区中梁镇三湾村的天水市农业科学研究所中梁试验基地,当地海拔 1 650 m,属温带大陆性气候;降水量 550 mm,属典型的雨养旱作农业区,年均气温 10.1 ℃,无霜期 170 d。试验地土壤为黄绵土,试验前(1981 年) 0~20 cm 耕层土壤含有机质 15.40 g/kg、全氮 0.82 g/kg、全磷 0.66 g/kg、全钾 16.60 g/kg、碱解氮 73.0 mg/kg、速效磷 9.3 mg/kg、速效钾 105.6 mg/kg, pH 8.54^[8]; 2023 年 0~20 cm 耕层土壤有机质、全氮、全磷、全钾平均含量分别为 45.15、3.00、1.40、12.80 g/kg;碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 280.0、210.0、668.0 mg/kg。自 1981 年开始设计安排了本试验,试验小区用砖和水泥做成固定的种植区,隔离墙高 100 cm,其中地下埋深 80 cm,以防小区间肥料渗透。

1.2 试验材料

指示冬小麦品种为中梁 38 号,由天水市农业科学研究所提供。

1.3 试验设计

试验裂区设计,主处理为施有机肥(M)和不施有机肥,副处理为不施化肥(CK)、单施氮肥(N)、

氮磷肥配合施用(NP)和氮磷钾肥配合施用(NPK)。试验共设 8 个处理,分别为:①CK,②N,③NP,④NPK,⑤M,⑥MN,⑦MNP,⑧MNPk。各处理施肥模式不变,1981—1992 年每年施 N 90 kg/hm²、P₂O₅ 45 kg/hm² 和 K₂O 45 kg/hm²。1993—2021 年每年施 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm² 和 K₂O 75 kg/hm²。1981—2010 年有机肥为农家土粪,2011 年后有机肥改为精鸡粪,2015 年以后有机肥为腐熟鸡粪,施用量为 8 t/hm²。氮肥(N)为尿素,磷肥(P₂O₅)为普通过磷酸钙,钾肥(K₂O)为硫酸钾,有机肥(M)为腐熟鸡粪。所有肥料播种前全部作为基肥一次性施入。随机区组排列,3 次重复,小区面积 33.32 m² (4.00 m × 8.33 m),重复间走道宽 0.40 m,处理间距 0.33 m。人工撒播,每小区 23 行,行距 16.7 cm,基本苗 450 万株/hm²,试验四周设保护行 1.00 m。2021 年 9 月 26 日播种,2022 年 6 月 30 日收获。其他管理同大田。

1.4 测试项目与方法

定期观测麦苗生长动态,观察记载各处理物候期、农艺性状等。成熟期每小区取 20 株完整植株带回室内考种,测定其产量性状,成熟后分小区收割脱粒后测产,并取小麦籽粒样做品质分析。对所取样品均采用瑞典 Perten9200 型近红外谷物品质分析仪进行分析,测定蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、面团形成时间、稳定时间、抗延伸阻力等品质指标。

1.5 数据分析

资料数据用 Excel 2016 和 DPS 15.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对小麦物候期的影响

从表 1 可以看出,所有处理的出苗期完全相同。施肥可在不同程度上影响分蘖期、返青期、拔节期、抽穗期、成熟期,能加快小麦生长进程,延长生育期。增施有机肥处理较单施化肥处理分蘖期、返青期、拔节期、抽穗期明显提前,生育延长,但不明显;不施有机肥处理中,增施磷肥对分蘖期、返青期、拔节期、成熟期、生育期有明显影响,增施钾肥较磷肥小麦物候期影响不明显。有机肥处理中,增施磷肥、钾肥对小麦各生育时期影响不明显。

2.2 不同施肥处理对小麦籽粒产量构成因素及植株性状的影响

2.2.1 对小麦产量构成因素及产量的影响 从表 2 可以看出, 长期的不同施肥处理对穗粒数、千粒重和穗数的影响较为明显。施用有机肥和化肥的 MNP 处理穗粒数、穗数最高, 其中穗粒数较 CK 增加 15.20 粒, 穗数较 CK 增加 66.05 万穗/hm²; 而 NPK 处理的千粒重最高, 较 CK 增加 25.39 g。这说明有机肥对小麦穗粒数、穗数的影响较大, 化肥对千粒重的影响较大。长期定位施肥处理下小麦籽粒产量从高到低依次为 MNP、MNPk、MN、NP、NPK、N、M、CK, 其中, MNP 处理产量最高, 较 CK 高 3 783.0 kg/hm², 与 MNPk 处理差异不显著, 与 MN、NP 差异显著, 与其余处理差异达极显著水平; 其次是 MNPk 处理, 产量较 CK 高 3 486.0 kg/hm², 与 MN、NP 处理差异不显著, 与 NPK 处理差异显著, 与 N、M、CK 处理差异达极显著水平。施用有机肥处理产量高于施用化肥处理, 但施用钾肥处理产量低于施用磷肥的处理 (MNPk < MNP、NPK < NP), 说明西北黄绵土区长

期定位施用钾肥会影响小麦产量的提高^[9-10]。

2.2.2 对小麦部分植株性状的影响 由表 2 可以看出, 不同施肥处理下株高、穗长和小穗数均高于 CK。有机肥与化肥配合施用的处理 (MNPk、MNP、MN) 株高均高于单施化肥和单施有机肥处理, 其中以 MNPk 最高, 较 CK 高 21.9 cm; 其次是 MNP, 较 CK 高 19.5 cm。有机肥与化肥配施处理和施用化肥处理的穗长高于单施有机肥和不施肥处理, 其中以 MN 处理最长, 较 CK 长 2.9 cm; 其次是 NP, 较 CK 长 2.8 cm。MN、NP、MNPk 处理均与 MNP、NPK 处理差异不显著, 与 N 差异显著, 与其余处理差异极显著。有机肥与化肥配施处理、单施化肥处理小穗数均高于单施有机肥和不施肥处理, 其中以 NP 处理最多, 较 CK 多 6.04 穗; MNP、MN 处理较多, 分别较 CK 多 5.38、5.37 cm。NP、MN、MNP、MNPk 处理均与 NPK、N 处理间差异不显著, 与 M 处理差异显著, 与 CK 差异达极显著水平。分蘖数以 MNP 处理最多, 较 CK 多 0.60 个; 其次是 NP 处理, 较 CK 多 0.41 个。MNP 处理与 M 处理、CK 差异显著, 与其余

表 1 不同施肥处理对小麦物候期的影响

处理	播种期 (日/月)	出苗期 (日/月)	分蘖期 (日/月)	返青期 (日/月)	拔节期 (日/月)	抽穗期 (日/月)	成熟期 (日/月)	生育期 /d
CK	29/9	7/10	9/11	27/2	26/3	8/5	23/6	259
N	29/9	7/10	7/11	27/2	26/3	10/5	25/6	261
NP	29/9	7/10	3/11	23/2	23/3	10/5	29/6	265
NPK	29/9	7/10	3/11	23/2	23/3	9/5	29/6	265
M	29/9	7/10	4/11	25/2	23/3	5/5	26/6	262
MN	29/9	7/10	1/11	22/2	21/3	8/5	30/6	266
MNP	29/9	7/10	3/11	23/2	21/3	8/5	30/6	266
MNPk	29/9	7/10	1/11	23/2	21/3	8/5	29/6	265

表 2 不同施肥处理对小麦籽粒产量及其构成因素的影响^①

处理	株高 /cm	穗长 /cm	分蘖数 /个	小穗数 /穗	穗粒数 /粒	穗数 (万穗/hm ²)	千粒重 /g	产量 (kg/hm ²)
CK	61.7 dB	5.9 dC	1.24 bA	10.75 cB	20.22 cA	476.25 eE	24.53 cC	2 209.5 eD
N	70.2 cdAB	7.4 bcABC	1.52 abA	14.13 abAB	27.33 abcA	519.60 dCD	27.21 cBC	3 244.5 dC
NP	77.8 abcAB	8.7 aA	1.65 abA	16.79 aA	30.85 abA	574.35 bB	48.00 aA	5 346.0 bcAB
NPK	76.4 abcAB	8.2 abAB	1.44 abA	15.53 aAB	30.36 abcA	628.95 aA	49.92 aA	4 965.0 cB
M	71.2 cBC	6.3 cdBC	1.23 bA	12.40 bcAB	20.95 bcA	499.95 dDE	33.76 bcABC	3 081.0 dCD
MN	80.2 abAB	8.8 aA	1.47 abA	16.12 aA	33.60 aA	542.25 cBC	43.62 abAB	5 424.0 bcAB
MNP	81.2 abA	8.4 abA	1.84 aA	16.13 aA	35.42 aA	642.30 aA	48.58 aA	5 992.5 aA
MNPk	83.6 aA	8.5 aA	1.55 abA	15.93 aA	32.37 aA	641.25 aA	46.26 aA	5 695.5 abAB

①不同小写字母表示达到 0.05 显著差异水平 ($P < 0.05$); 不同大写字母表示达到 0.01 显著差异水平 ($P < 0.01$)。下表同。

处理差异均不显著，不同施肥处理对分蘖数影响较小。

2.3 不同施肥处理对小麦品质的影响

2.3.1 对籽粒蛋白质含量的影响 由表 3 看出，长期单施氮肥及有机肥配施氮肥 N、MN 处理的小麦蛋白质含量比 CK 分别增加 39.4、19.0 g/kg，N 处理与其余处理差异均达极显著水平；MN 处理与 M 处理和 CK 差异达极显著水平，与其余处理差异不显著。M 处理的蛋白质含量最低，比 CK 降低 4.8 g/kg。施用化肥处理的蛋白含量表现为 N>NP>NPK>CK，有机肥与化肥配合施用处理的蛋白质含量为 MN>MNP>MNPK>M；各处理蛋白含量为 N>MN>MNP>NP>MNPK>NPK>CK>M。可见在施氮肥的基础上配合施用磷肥和钾肥会降低小麦籽粒蛋白质含量，在化肥施量相同的情况下，配施有机肥料会提高小麦籽粒蛋白质含量。

2.3.2 对小麦籽粒湿面筋含量和沉降值的影响 由表 3 看出，不同施肥处理对小麦面粉湿面筋含量和沉降值有显著的影响。不同施肥处理湿面筋含量为 N>MN>MNP>NP>MNPK>NPK>CK>M，施肥能显著提高小麦籽粒湿面筋含量。长期施用化肥的处理湿面筋含量为 N>NP>NPK>CK，长期施用有机肥处理湿面筋含量为 MN>MNP>MNPK>M，可见在施 N 的基础上配合施用 P 和 K 会降低小麦籽粒湿面筋含量，这与是否施有机肥无关；在不施肥和只施 N 的情况下，配施有机肥会降低湿面筋含量，NP、NPK 与有机肥配施会提高湿面筋含量。小麦籽粒沉降值为 N>CK>M>MN>MNPK>NP>NPK>MNP，对沉降值进行方差表明，单施氮肥处理与 CK 差异不显著，与 M、MN 处理差异显著，与其余处理差异极显著，说明有机

肥与化肥配施会降低小麦籽粒沉降值。

2.3.3 对小麦面团流变学参数的影响 由表 3 看出，不同施肥处理抗延伸阻力表现为 CK>M>N>MNPK>MN>NPK>NP>MNP，各施肥处理抗延伸阻力均低于 CK，长期定位有机肥化肥配施会影响抗延伸阻力提高，CK、M 处理与 N、MNPK、MN 处理差异不显著，与其余处理差异显著。稳定时间和形成时间均以 N 处理和 MN 处理较高，CK 最低，施用化肥处理与化肥有机肥配施处理相比，其稳定时间变化不显著。稳定时间 N、MN 处理与 M 处理差异显著，与其余处理差异极显著。形成时间 N 处理与其余处理差异极显著，MN 处理与 M 处理和 CK 差异极显著，与其余处理差异不显著。表明氮肥是影响稳定时间和形成时间的主要因素，施用化肥会影响抗延伸阻力的提升。

3 讨论与结论

土壤肥力是反映土壤肥沃性的重要指标，可衡量土壤能够提供作物生长所需各种养分的能力^[11]。长期定位肥料可使同种类型的土壤形成不同的肥力，这为研究施肥对土壤结构的影响以及肥料对小麦籽粒产量的形成提供了可靠的条件^[12]。有机肥和化肥的合理施用促进小麦籽粒品质和产量的同步提高是我国小麦栽培研究的重要目标之一。本研究表明，施肥可以在不同程度上影响分蘖期、返青期、拔节期、抽穗期、成熟期，能加快小麦生长进程，延长生育期，这与王岩^[13]的研究基本一致。有机肥和化肥配施能够增加穗粒数和穗数，化肥对千粒重的增加有重要作用。本试验条件下，有机肥对产量的贡献高于化肥，有机肥、氮肥和磷肥配施能显著提高小麦产量，但施用钾肥会降低小麦产量。

表 3 不同施肥处理对小麦品质的影响

处理	粗蛋白含量 /(g/kg)	湿面筋含量 /(g/kg)	沉降值 /mL	稳定时间 /min	形成时间 /min	抗延伸阻力 /E.U
CK	102.3 cdCD	210.5 cCD	45.57 abAB	3.43 cC	0.90 dD	262.00 aA
N	141.7 aA	305.5 aA	49.27 aA	7.47 aA	2.67 aA	257.33 abAB
NP	116.7 bB	249.0 bB	39.67 bcB	4.17 cBC	1.80 bBC	254.00 bAB
NPK	111.7 bcBC	239.2 bBC	38.33 cB	4.23 cBC	1.57 bcBC	255.00 bAB
M	97.5 dD	197.9 cD	43.10 bcAB	5.83 bAB	1.20 cdCD	261.67 aA
MN	121.3 bB	261.6 bB	42.23 bcAB	7.37 aA	1.90 bB	256.00 abAB
MNP	117.3 bB	253.4 bB	38.07 cB	4.67 bcBC	1.70 bBC	253.00 bB
MNPK	115.7 bBC	248.9 bB	40.53 bcB	4.67 bcBC	1.83 bBC	257.00 abAB

合理施肥能提高小麦的品质。已有的研究表明,氮肥能明显提高小麦籽粒蛋白质含量,适量施用磷肥可改善小麦加工品质,有机肥对小麦籽粒品质的提升有重要作用^[6,14]。本试验表明,施用化肥能提高小麦籽粒蛋白质和湿面筋含量,无论是在单施氮肥、氮肥和有机肥配施的基础上,配施磷肥和钾肥都会降低蛋白质和湿面筋含量;单施氮肥会提高小麦籽粒沉降值,无论是单施磷肥和钾肥,还是有机肥、无机肥配施均会影响小麦籽粒沉降值的提高;这与刘树堂等^[12]、贾辉辉等^[15]的研究存在出入,本试验未考虑有机肥与化肥的互作,有待进一步研究分析。无论是在单施氮肥、氮肥和有机肥配施均会使稳定时间和形成时间延长,氮肥是主要因素,施用化肥会影响抗延伸阻力的提升,有机肥对抗延伸阻力的提升作用不明显。有机肥的施入对稳定时间、形成时间和抗延伸阻力的提高效果不明显。综上所述,在西北黄绵土区,有机肥与氮肥长期配合施用是提高小麦产量和品质的有效措施,长期施用钾肥会制约小麦产量和品质的提升。

参考文献:

- [1] 王艳秋,邹剑秋,张志鹏,等. 密度及氮、磷、钾配比对甜高粱生物产量和茎秆含糖锤度的影响[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 103-110.
- [2] 俄胜哲,杨志奇,罗照霞,等. 长期施肥对黄土高原黄绵土区小麦产量及土壤养分的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(1): 104-110.
- [3] 鲁清林,马忠明,杨文雄,等. 甘肃小麦育种现状及对策[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(5): 1-5.
- [4] 沈建辉,姜东,戴廷波,等. 施肥量对专用小麦旗叶光合特性及籽粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2003(1): 1-5.
- [5] 郭丹丹,刘哲文,常旭虹,等. 不同氮磷钾肥处理对小麦产量和品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2022(3): 47.
- [6] 皇甫湘荣,杨先明,黄绍敏,等. 长期定位施肥对强筋小麦郑麦 9023 产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2006(4): 77-80.
- [7] 曲环,赵秉强,陈雨海,等. 灰漠土长期定位施肥对小麦品质和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 12-17.
- [8] 俄胜哲,杨志奇,曾希柏,等. 长期施肥黄绵土有效磷含量演变及其与磷素平衡和作物产量的关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3589-3598.
- [9] 周萍,庄丽,徐红军,等. 水肥运筹对滴灌春小麦保护酶活性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(3): 561-565.
- [10] 姜东,戴廷波,荆奇,等. 有机无机肥长期配合施用对冬小麦籽粒品质的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1548-1555.
- [11] 田秀英,石孝均. 定位施肥对小麦产量和品质的影响研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2003, 28(2): 283-287.
- [12] 刘树堂,隋方功,韩晓日,等. 长期定位施肥对冬小麦品质及产量构成因素的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1178-1183.
- [13] 王岩. 长期定位施肥试验对作物产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2021(2): 106-108; 215.
- [14] 赵志伟,高飞雁,罗军,等. 氮磷肥不同配比对河套地区春小麦产量、品质及养分利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(11): 1-9.
- [15] 贾辉辉,冯国华,刘东涛,等. 长期定位施肥对不同筋力型小麦品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(6): 850-855.