

田胜营, 孙楠, 吕秀敏, 等. 平衡施肥对小麦生长和养分吸收利用的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学, 2023, 40(6): 28-32. <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2023.06.005>.

平衡施肥对小麦生长和养分吸收利用的影响

田胜营¹, 孙楠², 吕秀敏³, 崔小平^{1*}, 张善磊¹, 刘晓飞¹

(1. 江苏省农业科学院宿迁农科所, 江苏 宿迁 263800; 2. 泗阳县农业技术推广中心, 江苏 宿迁 263700;

3. 泗阳县农村合作经济经营服务中心, 江苏 宿迁 263700)

摘要:平衡施肥技术是增加作物产量、提升肥料利用率、节本增效、降低农业面源污染的重要举措。本试验共设置9个处理, 分别为不施任何肥料(CK)、常规施肥(F)、常规施肥无氮(FN0)、常规施肥无磷(FP0)、常规施肥无钾(FK0)、平衡施肥(B)、平衡施肥无氮(BN0)、平衡施肥无磷(BP0)、平衡施肥无钾(BK0)。试验通过对比不同缺素条件下的小麦生长状况以及平衡施肥与常规施肥在小麦生长上的差异, 结果发现: 各缺素处理中, 缺氮对小麦生长影响最为严重, 其次是缺磷, 缺钾对小麦影响最小; 相比常规施肥, 平衡施肥处理的穗数、穗粒数和产量分别提升了2.98%、3.55%、5.39%; 与常规施肥处理相比, 平衡施肥处理的养分吸收和利用率有不同程度的提升, 其中N、P、K吸收总量分别提升了5.00%、14.66%、5.03%, 氮肥利用率、磷肥利用率、钾肥利用率分别提高了8.52%、2.32%、24.20%, 肥料利用率平均提升11.68%, 经济效益增加87.15元/667m²。

关键词:平衡施肥; 小麦; 产量构成; 肥料利用率; 经济效益

中图分类号: S147.21

文献标志码: A

文章编号: 1673-6486-20230193

我国人口基数大, 增长速度快, 对粮食的需求量大, 而可用于粮食生产的耕地有限^[1]。因此, 提高粮食单位面积产量是增加粮食总产量最简单的解决途径, 而施用化肥是提高粮食产量的重要手段^[2]。长期以来, 我国农业生产一直存在过量施肥、盲目施肥的问题, 农业生产“高肥低效”的情况越来越明显^[3], 这不仅白白增加了农民的生产投入, 还导致了诸多环境问题。因此, 加快促进平衡施肥技术的推广和应用是当前农业生产的重要工作之一^[4]。

平衡施肥是根据土壤实际状况, 结合作物生长和需肥特性, 制定科学、合理的肥料配比和施肥方案^[5], 具有促进作物生长, 增加作物产量, 提升作物经济效益和肥料利用率, 减少浪费和降低环境污染等优点, 是实现化肥农药零增长、促进农业节本增效的重要举措^[6]。但平衡施肥技术在泗阳地区的推广和应用进程缓慢, 施肥方案不甚明确, 对小麦的促进效果也不清晰。本研究通过分析平衡施肥技术对小麦生长和养分吸收利用及经济效益的影响, 评

价平衡施肥技术的优势, 为平衡施肥技术在宿迁泗阳地区进一步示范推广提供有力的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于江苏省宿迁市泗阳县城南棉花原种场(118° 69' E, 33° 69' N), 该地区位于北温带南缘, 属北亚热带季风过渡气候, 年均降水量为960 mm, 年均气温为14.4℃。试验区为黄泛冲积平原, 土壤类型为砂质潮土, 试验开始前的土壤pH值为7.55, 土壤有机质含量(质量分数, 下同)为11.80 g/kg, 全氮、全磷、全钾含量分别为0.73、1.07、18.01 g/kg, 速效氮、有效磷、速效钾含量分别为69.9、18.4、89.4 mg/kg。

1.2 供试材料

供试的小麦品种为迁麦3号, 播种量为14 kg/667 m²。该品种全生育期228.1 d, 半冬性, 分蘖力较强, 抗寒性好, 抗病性好, 成穗多, 产量高。供试化肥分别为山东润银生物化工生产的东平湖尿素(含N 46%)、荆门宏运肥业生产的荆宏过磷酸钙(含P₂O₅ 12.0%)和寿光市邦泽化工生产的中国农资氯化钾(含K₂O 60.0%)。

收稿日期: 2023-04-14; 修回日期: 2023-11-21。

基金项目: 江苏省种业振兴揭榜挂帅项目(JBGS[2021]046)。

作者简介: 田胜营(1992—), 男, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向为作物育种和栽培。Email: tsy0536@qq.com。

* 通信作者: 崔小平(1974—), 女, 硕士, 研究员, 主要从事小麦遗传育种研究。Email: 445218818@qq.com。

1.3 试验设计

试验于2021年11月1日冬小麦播种开始,采用田间小区试验方法,小区随机区组排列,共设9个处理,分别为不施任何肥料(CK)、常规施肥(F)、常规施肥无氮(FN0)、常规施肥无磷(FP0)、常规施肥无钾(FK0)、平衡施肥(B)、平衡施肥无氮(BN0)、平衡施肥无磷(BP0)、平衡施肥无钾(BK0),每个处理30 m²,3次重复。

常规施肥有关处理 N、P₂O₅、K₂O 施用量(折纯)

分别为 18、8、8 kg/667 m²;根据试验前土壤养分含量和小麦需肥特性(按照小麦百公斤产量需吸收 N 3.1 kg、P 1.1 kg、K 3.2 kg,目标产量 500 kg/667m²进行计算),采用土壤有效养分校正系数法计算配方肥施肥量^[7],平衡施肥有关处理 N、P₂O₅、K₂O 施用量分别为 14.4、11.7、4.8 kg/667 m²。所有处理的氮肥施用比例为基肥:分蘖肥:穗肥=4:3:3,磷肥和钾肥作为基肥一次性施用,具体施肥量见表1。

表1 各处理施肥量

处理	施肥养分配比 (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O)	基肥/(kg/667 m ²)			分蘖肥/(kg/667 m ²)		穗肥/(kg/667 m ²)
		尿素	过磷酸钙	氯化钾	尿素	尿素	
CK	0	0	0	0	0	0	0
F	18:8:8	15.7	66.7	13.3	11.7	11.7	11.7
FN0	0:8:8	—	66.7	13.3	—	—	—
FP0	18:0:8	15.7	—	13.3	11.7	11.7	11.7
FK0	18:8:0	15.7	66.7	—	11.7	11.7	11.7
B	14.4:11.7:4.8	12.5	97.5	8.0	9.4	9.4	9.4
BN0	0:11.7:4.8	—	97.5	8.0	—	—	—
BP0	14.4:0:4.8	12.5	—	8.0	9.4	9.4	9.4
BK0	14.4:11.7:0	12.5	97.5	—	9.4	9.4	9.4

1.4 样品采集与分析

小麦收获时各小区随机选取10株小麦,先将小麦地上部分由地表处剪下,再将穗与茎秆分开,分别装入样品袋,标记封口样品在90℃鼓风条件下烘30min,然后降温至65℃烘干。烘干后脱粒麦穗,将颖芒归入茎叶部分。分别对茎叶(含颖芒)、籽粒称质量,采样粉碎备用。植物样品用粉碎机磨成粉状,采用硫酸-过氧化氢消煮法制备消煮待测液,凯氏定氮法测定氮含量,分光光度法测定磷含量,火焰原子吸收分光光度法测定钾含量^[8-9]。

1.5 计算公式

本试验采用的计算公式:肥料利用率=施肥区地上部养分吸收总量-无肥区地上部养分吸收总量/当季施肥量×100%。

1.6 数据分析

试验数据采用Excel 16.0、SPSS 18.0软件进行数理统计,数据分析采用单因素方差分析,多重比较采用最小显著法(LSD)进行显著性检验(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 产量构成和生物量

由表2可知,缺肥会显著降低小麦穗数、穗粒数和产量,其中CK处理下降最为明显,而B处理能在一定程度上提升小麦穗数、穗粒数和产量,与F处理相比,B处理的穗数、穗粒数和产量分别提升了2.98%、3.55%、5.39%。在各缺素处理中,缺氮对小麦影响最大,其次是缺磷,缺钾对小麦影响最小。

试验结果表明,缺素未造成小麦千粒质量和容重的降低,反而均有不同程度的提升,其中CK处理的千粒质量和容重在各处理中均为最高,其次是FN0和BN0处理,FK0处理的千粒质量和容重最低,B处理的千粒质量和容重要略高于F处理,但差异并不具有统计学意义。

2.2 养分吸收利用率

由表3可知,缺素显著影响了小麦的养分吸收和利用率,其中缺氮对作物的影响最大,其次是缺磷,缺钾对小麦的影响最小。B处理的养分吸收量高于F处理,其中P吸收量差异具有统计学意义。

与F处理相比,B处理的N、P、K吸收总量分别提升了5.00%、14.67%、5.03%。

在养分利用效率方面,B处理的肥料利用率均明显高于F处理,其中钾肥利用效率提高了24.20%,提升效果最明显。其次是氮肥利用率,提高了8.52%;磷肥利用率提升最少,提高了2.32%。B处理肥料平均利用率为36.73%, 相较于F处理的25.05%提升了11.68%。

2.3 经济效益分析

分析不同施肥方案的经济效益(表4)可知,施肥能显著提升小麦的经济效益。相较于CK,F处理产值提高了720.93元/667 m²,B处理产值提高了805.11元/667 m²,F处理净收益提升了572.97元/667 m²,B处理净收益则提升了660.12元/667 m²,B处理的产值和净收益均要高于F处理。

表2 小麦产量构成

处理	穗数/(万个/667 m ²)	穗粒数/(粒/穗)	千粒质量/g	容重/(g/L)	籽粒产量/(kg/667 m ²)
CK	25.82 ± 1.56 e	26.24 ± 0.29 f	43.41 ± 0.50 a	840.33 ± 3.06 a	293.91 ± 16.22 f
F	40.36 ± 0.41 a	36.38 ± 1.31 ab	40.01 ± 0.56 cd	821.50 ± 2.50 d	527.47 ± 6.79 b
FN0	29.47 ± 1.6 d	28.49 ± 0.77 e	42.60 ± 0.55 ab	839.67 ± 1.53 a	319.33 ± 9.98 e
FP0	35.66 ± 0.02 c	30.29 ± 0.05 d	42.16 ± 0.66 b	829.33 ± 2.08 b	469.77 ± 5.09 d
FK0	38.22 ± 1.31 b	34.76 ± 1.33 bc	38.30 ± 1.12 d	820.33 ± 4.93 f	494.06 ± 7.90 c
B	41.51 ± 2.42 a	37.67 ± 0.53 a	40.99 ± 0.37 c	823.50 ± 2.50 cd	555.91 ± 5.02 a
BN0	29.43 ± 0.71 d	28.95 ± 0.88 e	42.77 ± 0.60 ab	839.33 ± 2.52 a	335.45 ± 16.97 e
BP0	36.15 ± 0.99 bc	31.44 ± 0.77 d	42.71 ± 0.29 ab	828.67 ± 3.51 bc	484.78 ± 5.27 cd
BK0	38.46 ± 1.26 b	35.72 ± 0.63 bc	39.83 ± 0.60 cd	822.51 ± 2.50 e	515.80 ± 7.52 b

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异具有统计学意义(P<0.05)。

表3 小麦养分吸收利用率

处理	N吸收总量/(kg/667 m ²)	P吸收总量/(kg/667 m ²)	K吸收总量/(kg/667 m ²)	肥料利用率/%		
				N	P	K
CK	3.93 ± 0.19 e	1.10 ± 0.14 f	2.64 ± 0.20 e	—	—	—
F	9.54 ± 0.89 ab	2.39 ± 0.21 b	6.37 ± 0.68 ab	29.11	17.54	28.50
FN0	4.30 ± 0.34 de	1.29 ± 0.07 ef	3.34 ± 0.21 d	—	—	—
FP0	8.21 ± 0.23 c	1.78 ± 0.14 cd	5.35 ± 0.56 b	—	—	—
FK0	8.74 ± 0.74 b	2.12 ± 0.21 bc	4.48 ± 0.14 c	—	—	—
B	10.02 ± 0.69 a	2.75 ± 0.08 a	6.69 ± 0.49 a	37.63	19.86	52.70
BN0	4.61 ± 0.29 d	1.33 ± 0.14 ef	3.64 ± 0.08 d	—	—	—
BP0	8.54 ± 0.42 bc	1.73 ± 0.06 d	5.57 ± 0.34 b	—	—	—
BK0	9.14 ± 0.34 bc	2.27 ± 0.08 b	4.59 ± 0.30 c	—	—	—

注:表中养分含量均折合为纯元素含量。

表4 经济效益分析

处理	小麦产量/(kg/667 m ²)	产值/(元/667 m ²)	肥料成本/(元/667 m ²)			其他成本/(元/667 m ²)	净收益/(元/667 m ²)
			尿素	过磷酸钙	氯化钾		
CK	283.91	840.38	0	0	0	241	599.38
F	527.47	1 561.31	31.40	53.36	53.20	251	1 172.35
B	555.91	1 645.49	25.00	77.99	32.00	251	1 259.50

注:表中单价均按宿迁地区2022年平均价格水平计算,其中小麦2.96元/kg,尿素2.0元/kg,过磷酸钙0.8元/kg,氯化钾4.0元/kg,其他成本包括耕地、种子、播种、农药、追肥、收割等费用。

3 讨论

作物产量是品种、环境、栽培等多种因素共同作用的结果,其中施肥是栽培中的重要一环^[10]。施肥方案的确定要结合当地环境条件和作物特性,不可盲目施肥、过量施肥。作物对养分需求量有所不同,养分敏感度也有差异,但任一养分的配比失衡都会影响作物的最终产出^[11]。本试验结果表明,在各缺素条件下,氮素对小麦优先级最高,即使磷、钾养分充足,缺氮处理的生长依然严重受限。其次是磷肥,缺钾对小麦影响最小,这可能是由于试验土壤中有效磷含量较低,速效钾含量丰富所致。魏景辉等的小麦缺素试验结果显示,在缺素条件下作物长势由差到好依次为无氮处理<无磷处理<无钾处理<全肥处理^[12],与本试验结果相同。缺素条件下,小麦千粒质量和容重有所上升,这是因为在养分缺乏条件下,小麦结实率大大降低,光合产物向籽粒的转移变相增强^[13]。但缺素严重限制了小麦生长,导致有效穗数和结实率降低,因此产量显著下降。

平衡施肥技术的核心是协调土壤养分供应水平和作物需求间的矛盾^[14],促进作物的健康生长和作物产量的提高^[15]。在本试验中,配方施肥的穗数、穗粒数、千粒质量、容重和产量等相较常规施肥都有不同程度的提升,说明平衡施肥对小麦的促进作用是一种综合效应,前人在玉米^[16]、水稻^[17]等作物上的平衡施肥试验也得出了相似的结论。

在养分吸收和利用率方面,平衡施肥处理的各养分吸收量均有所增加,肥料利用率提升显著,尤其是钾肥利用率提升最为明显,其次是氮肥利用率,磷肥利用率提升较小。这主要与当地土壤条件和养分特性有关^[18]。通过分析试验前土壤性质,本试验区土壤速效钾含量较多,有效磷较少,同时结合小麦的需肥特性,在施肥过程中降低了氮肥和钾肥施入量,增加了磷肥施入量,养分利用率因而提升。大量试验均表明,平衡施肥能够促进小麦生长,优化小麦经济性状,提升小麦养分吸收能力,降低养分损失,进一步提高肥料利用率^[19-20]。

本试验针对宿迁泗阳地区土壤特性和小麦需肥特性进行平衡施肥方案的设计,暂未关注小麦在不同时期的需肥规律以及不同时期土壤和肥料的供肥能力,后续试验中将会在本试验基础上进一步探索更适合该地区环境和作物的肥料种类及施肥方案。

4 结论

1)缺素会影响小麦正常生长,导致小麦穗数、穗粒数及产量的降低,但小麦千粒质量和容重会有所提高;在肥料3要素中,缺氮对小麦生长最为严重,其次是缺磷,缺钾对小麦影响最小。

2)平衡施肥能在一定程度上改善小麦产量构成,提升小麦穗数、穗粒数、千粒质量、容重和产量,显著提高小麦养分吸收和肥料利用率。

3)从经济效益来看,平衡施肥不仅减少了化肥投入,还提升了作物产量,经济效益相比常规施肥提高了87.15元/667m²。说明相较传统施肥方案,N、P₂O₅、K₂O质量比为14.4:11.7:4.8的肥料配方更适合宿迁泗阳地区的小麦种植,因此应进一步推广相同或近似配比的肥料。

参考文献:

- [1] 温映红,丁超,李素娟,等. 山西静乐藜麦产业发展现状及对策建议[J]. 河北农业科学,2021,25(4):19-21,81.
- [2] 蔡影,付思伟,张博睿,等. 秸秆连续还田配施化肥对稻-油轮作土壤碳库及作物产量的影响[J]. 环境科学,2022,43(10):4716-4724.
- [3] 王威,张联合,李华,等. 水稻营养吸收和转运的分子机制研究进展[J]. 中国科学(生命科学),2015,45(6):569-590.
- [4] 罗小娟,冯淑怡,石晓平,等. 太湖流域农户环境友好型技术采纳行为及其环境和经济效应评价——以测土配方施肥技术为例[J]. 自然资源学报,2013,28(11):1891-1902.
- [5] 汪平. 测土配方施肥技术与应用[J]. 安徽农业科学,2006,34(13):3127-3128.
- [6] 王林学,李玲,李建平. 测土配方施肥技术在水稻上的应用与效果初探[J]. 中国农学通报,2009,25(6):155-158.
- [7] 江苏省质量技术监督局. 优质中筋小麦测土配方施肥技术规程:DB32/T 1992—2012[S].
- [8] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [10] 宋晓,黄晨晨,黄绍敏,等. 不同耕作和有机培肥措施对土壤理化性质及小麦产量的影响[J]. 作物杂志,2020(3):102-108.
- [11] 张树衡,丁德东,何静,等. 两种生物肥料配施对再植花椒生长及光合特性的影响[J]. 西北农业学报,2021,30(9):1355-1364.
- [12] 魏景辉,赵丹,刘爱云,等. 缓控释肥在如东县冬小麦上的应用效果研究[J]. 现代农业科技,2022(17):24-27.

- [13] 程铭正. 黄淮区冬小麦高产高效的水氮耦合效应分析[D]. 郑州:河南农业大学,2014.
- [14] 余威震,罗小锋,黄炎忠,等. 服务供给对稻农测土配方施肥技术采纳行为的影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021,30(2):484-492.
- [15] 孙万纯,张登文,许怀萍. 机插秧方式水稻品种对比试验[J]. 安徽农学通报,2019,25(23):81-83.
- [16] 李 谦,孙利娟,孟静娇. 保山市玉米施肥现状及高产施肥技术探究[J]. 耕作与栽培,2022,42(4):115-117.
- [17] 闫金垚,鲁君明,侯文峰,等. 磷肥用量对不同水稻品种产量和磷肥利用率的影响[J]. 中国农业科技导报,2018,20(8):74-81.
- [18] 吴 晶,李新峰,徐巡军,等. 长期测土配方定位施肥对稻麦产量和土壤养分的影响[J]. 浙江农业科学,2023,64(3):525-529.
- [19] 张宁洁,李金娟,王春霖,等. N、P、K 平衡施肥对金银花产量和品质及相关基因表达的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2022,57(4):88-95.
- [20] 侯丽丽,王 伟,崔新菊,等. 氮磷钾肥对玉米农艺性状、叶绿素及产量的影响[J]. 天津农业科学,2021,27(5):8-11,15.

Effects of Balanced Fertilization on Wheat Growth and Nutrient Uptake and Utilization

TIAN Shengying¹, SUN Nan², LYU Xiumin³, CUI Xiaoping¹, ZHANG Shanlei¹, LIU Xiaofei¹

(1. Suqian Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Suqian 263800, China; 2. Siyang Agricultural Technology Extension Center, Suqian 263700, China; 3. Siyang Rural Cooperative Economic Operation Service Center, Suqian 263700, China)

Abstract: Balanced fertilization technology is an important measure to increase crop yield, improve fertilizer utilization efficiency, save costs and increase efficiency, and reduce agricultural non-point source pollution. This experiment set up a total of 9 treatments, namely no fertilization (CK), conventional fertilization (F), conventional fertilization without nitrogen (FN0), conventional fertilization without phosphorus (FP0), conventional fertilization without potassium (FK0), balanced fertilization (B), balanced fertilization without nitrogen (BN0), balanced fertilization without phosphorus (BP0) and balanced fertilization without potassium (BK0). The experiment compared the growth status of wheat under different nutrient deficiency conditions and the differences between balanced fertilization and conventional fertilization in wheat growth. The results showed that among the nutrient deficiency treatments, nitrogen deficiency was the most severe on wheat growth, followed by phosphorus deficiency, and potassium deficiency had the least impact on wheat growth. Compared with conventional fertilization, the balanced fertilization treatment increased the number of panicles, grains per panicle, and yield by 2.98%, 3.55% and 5.39%, respectively. Compared with conventional fertilization treatment, the nutrient absorption and utilization efficiency of balanced fertilization treatment have been improved to varying degrees, and the total absorption of N, P and K increased by 5.00%, 14.66% and 5.03%, respectively. The utilization efficiency of nitrogen fertilizer, phosphorus fertilizer and potassium fertilizer increased by 8.52%, 2.32% and 24.20%, respectively. The average fertilizer utilization efficiency increased by 11.68%, and the economic benefit increased by 87.15 yuan/667 m².

Key Words: Balanced fertilization; Wheat; Yield composition; Fertilizer utilization rate; Economic benefit

本刊常用计量单位符号简介

为执行国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》的规定,根据中华人民共和国“量和单位”系列国家标准(GB3100—1993、GB/T3101—1993 和 GB/T3102.1~3102.13—1993),现将本刊常用的计量单位符号介绍如下,希广大作者遵照执行。

时间:日(天)—d;表格中(月/日)应用(月-日),如2/30应用02-30;时—h;分—min;秒—s。质量:吨—t;公斤(千克)—kg;克—g;毫克—mg;微克— μ g;纳克—ng。体积:升—L;毫升—mL;微升— μ L。浓度:克分子浓度(M)废用,改为摩尔/升(mol/L);当量浓度(N)废用,换算成相应的 mol/L;ppm 换算为相应的 mg/kg、 μ L/L、 μ mol/mol 等。面积:亩—667 m²,万亩换算为万 hm² 等。