

定位施肥对冬小麦生长、产量及水分利用的影响

张益望^{1,2} 刘文兆¹ 王俊^{1,3} 杨玉玲¹

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100089;

3. 西北大学 城市与资源学系, 西安 710127)

摘要: 基于长期定位施肥试验, 研究了不同施肥对冬小麦生长、产量及水分利用的影响。结果表明: 不同施肥均能促进冬小麦株高、叶面积、生物量的增长, 株高、叶面积、生物量均为: 单施氮肥处理 (N) 高于不施肥处理 (CK), 氮磷配施处理 (NP) 显著高于CK和N处理, 三个有机肥处理 (M、NM和NPM) 均较高。不同施肥对冬小麦光合速率影响显著, NPM处理的光合速率在各个生育期均最高; 其次分别为NM处理和NP处理, 而M处理在前期较高, 后期下降较快, N和CK处理均较低。不同施肥处理小麦产量: NPM>NM>M>NP>N>CK, 不同施肥均能显著增加小麦产量 (增产量为341~4388kg/hm²), 除M和NM处理, 其他处理均有显著差异; 冬小麦耗水量和水分利用效率均随施肥水平提高而增加, NPM和NP处理显著高于N和CK处理。表明在本试验年单施氮肥对小麦生长及产量影响较小, 单施有机肥及不同肥料配施均能显著促进小麦生长及产量提高, 有机肥的增产效应显著高于无机肥, 其中NPM处理的产量及水分利用效率均最高。

关键词: 冬小麦; 长期定位施肥; 生长指标; 水分利用效率; 作物产量

Effects of Continuous Fertilization on the Growth, Yield and Water Consumption of Winter Wheat

ZHANG Yiwang^{1,2}, LIU Wenzhao¹, WANG Jun^{1,3}, YANG Yuling¹

(1. Institute of Soil and Water Conversation, CAS&MWR, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. School of Graduate, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100089, China;

3. Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Based on the long-term fertilization experiments, effects of different fertilization on the growth, yield, and water consumption of winter wheat were studied. Results showed that different fertilization can increase wheat height, leaf area and biomass. The order of the treatments, in terms of wheat height, leaf area and biomass were in the same order: single nitrogen application treatment (N) was higher than no fertilization application treatment (CK), mixed application of nitrogen and phosphorus treatment (NP) was significantly higher than CK and N, the three manure treatment, single manure application treatment (M), mixed application of nitrogen and manure (NM), mixed application of nitrogen, phosphorus and manure (NPM) had the highest wheat height, leaf area and biomass. Photosynthetic rate was significantly affected by different fertilization levels, which increased with the increased fertilization level. NPM had the highest photosynthetic rate during the whole growing stages, NM and NP were lower, M had higher photosynthetic rate during prior grow thing stages, and declined fast during the latter growing stages, N and CK got the lowest photosynthetic rate during the whole growing stages. The order of the treatments, in terms of wheat yield was: NPM>NM>M>NP>N>CK, different fertilization significantly increased wheat yield and different fertilization levels had different effects on wheat yield. The NPM treatment increased 4 388 kg/hm² crop yield than the treatment CK, but the treatment only increased 341kg/hm² crop yield. Crop yields of different fertilization treatments increased from 341-4 388kg/hm² than no fertilization treatment. Total water consumption increased with the fertilization level. Yield level and biomass level water use efficiency were in the same order: the NPM treatment and NP treatment both were significantly higher than the N and CK treatment. The results indicate the application of manure and the combined application of different fertilizer all can increase wheat growth and increase crop yields, especially the combined application of nitrogen, phosphorus and manure, is the most efficient fertilizer level in improving wheat yield and water use efficiency.

Key words: winter wheat; long-term fertilization; crop growth; water use efficiency; crop yield

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-424); 中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1-YW-09-07)

作者简介: 张益望 (1979~), 男, 博士生, 主要研究方向为作物生理生态及水分生态。

通讯作者: 刘文兆 wzliu@ms.iswc.ac.cn

土壤肥力低下是限制旱作农田作物生产力和水分利用效率提高的关键性因素。施肥既能增加土壤养分, 又能够“以肥调水”, 提高作物产量和水分利用效率。无论是有机肥还是化肥均能提高作物的产量, 但不同类型肥料对土壤性质的影响不同, 对作物生长及产量的影响也不同。在一定条件下, 通过合理施肥可以大幅度提高水分利用效率和作物产量^[1-2]。李玉山^[3]研究表明, 无论是欠水年、平水年还是丰水年, 施肥均能增加作物的产量。相对于短期试验, 长期定位试验具有结果准确、可信度高等优势, 能系统地研究施肥对土壤水分、养分的影响及其产量效应^[4]。国内就长期定位施肥试验进行了大量研究, 但多集于长期施肥的土壤肥力效应、产量效应以及长期施肥对作物品质的影响等方面^[2, 4-6], 而有关长期定位施肥条件下冬小麦生长、水分利用及产量方面的研究较少。本文在长期肥料定位试验的基础上, 重点分析了2007~2008年不同施肥对冬小麦生长、产量及水分利用的影响, 旨在探讨不同施肥对作物土壤水分利用的影响, 及提高作物生产力和水分利用效率的机理, 期望为旱作农田合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验布设于中国科学院长武黄土高原农业生态试验站, 轮作与施肥长期定位试验场(自1984年开始至今)。位于黄土高原中南部的陕西省长武县十里铺旱塬上, 塬面平坦宽阔, 黄土堆积深厚, 土壤为黄盖粘黑垆土, 海拔1 200m, 年均降雨578.5mm, >10℃积温3 029℃, 年均气温9.1℃, 无霜期171d, 属温带半湿润大陆型季风气候, 是典型的雨养农业区。1984年试验时耕层土壤有机质含量为10.5g/kg, 全氮含量为0.57g/kg, 碱解氮含量为37.0g/kg, 全磷含量为0.659g/kg, 有效磷含量为3.0g/kg, 速效钾含量为129.3mg/kg, pH8.3。2007~2008年冬小麦生育期(2007年7月~2008年6月)降水610.6mm, 高于多年同期降水量(579.6mm), 为平水年。

1.2 试验设计

试验小区长10.3m, 宽6.5m, 面积66.7m², 小区间距0.5m, 区组间距1m, 四周留走道各1m。试验设CK、N、M、NP、NM、NPM六个处理, 采用多次重复法排列, 3次重复。试验施氮肥(尿素)为N 120kg/hm², 施磷肥(过磷酸钙)为P₂O₅ 60kg/hm², 有机肥(厩肥) 75t/hm²。所有肥料均于播前一次性撒施于地表, 后翻入土中。供试春小麦品种为长武134, 2007年9月22日播种, 播种前先用药水浸泡种子, 人工开沟播种, 播种量为150kg/km², 2008年6月23日收获。

1.3 测定项目和方法

(1) 生长指标: 在冬小麦典型生育期(返青期、拔节期、开花期、灌浆期), 选取代表性的植株5株, 测定株高、叶面积及地上部生物量。

(2) 生理生态指标: 在冬小麦典型生育期选择晴朗无云的上午9:00~11:00用LI-6400便携式光合仪测定光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)等指标。拔节期前选最上部全展叶片, 灌浆期后测定旗叶, 3~5次重复。

(3) 土壤含水量和耗水量: 使用中子仪测定0~3m土壤含水量, 每个处理3次重复; 用水量平衡法计算耗水量: $ET = P + I + \Delta W$, 其中ET为蒸腾蒸发量, P为降水量, ΔW 为一定时段内土壤储水量的变化; 产量水平水分利用效率: $WUE_y = Y/ET$, 其中Y为作物产量; 群体水平水分利用效率: $WUE_b = W/ET$, 其中W为冬小麦生物产量。由于长期试验场仅NPM、NP、N及CK四个处理安装有中子管, 因而相应的ET及WUE等指标也只有4个处理进行了计算。

(4) 产量相关指标: 收获后考种, 测定每小区的株高、籽粒产量和生物产量等指标, 并计算不同肥料对作物产量的贡献率。肥料对作物产量的贡献率^[5]=(某施肥处理产量-不施肥处理产量)×100%/某施肥处理产量。

2 结果与分析

2.1 作物生长

图1为不同处理冬小麦株高和叶面积生长动态。不同处

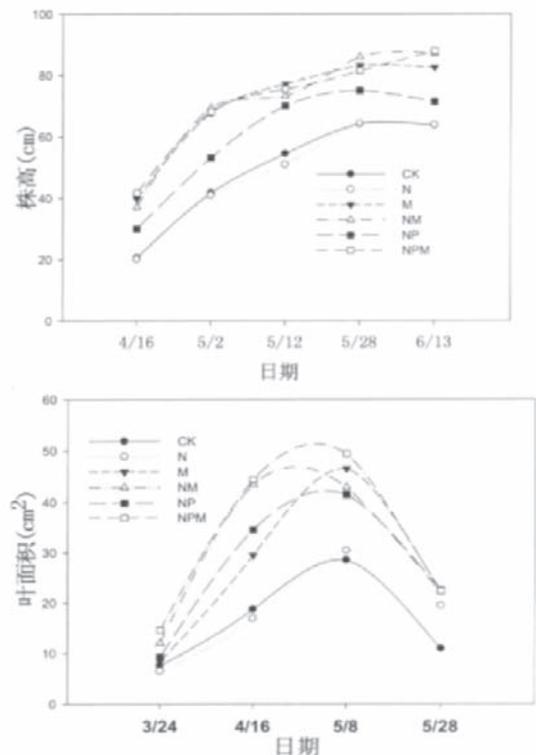


图1 不同施肥处理冬小麦株高、叶面积动态

理冬小麦株高在整个生育期呈逐渐增高的趋势，初期增长较快，后期增长较慢。不同施肥处理株高差异明显，CK和N处理在整个生育期均最低；其次为NP处理，而M，NM和NPM处理间差异不明显，均较高。不同生育期各处理单株叶面积均呈抛物线型变化，从返青期到孕穗期逐渐增高，灌浆期后由于叶片衰老，叶面积明显降低。不同施肥处理叶面积差异显著，CK在各生育期均最低，N处理前期与CK接近，孕穗期后逐渐升高，并显著高于CK；其次为M和NM；NP和NPM叶面积均较高。不同处理叶面积在拔节期差异明显，灌浆期后不同处理间差别减小。全生育期各处理生物量动态均

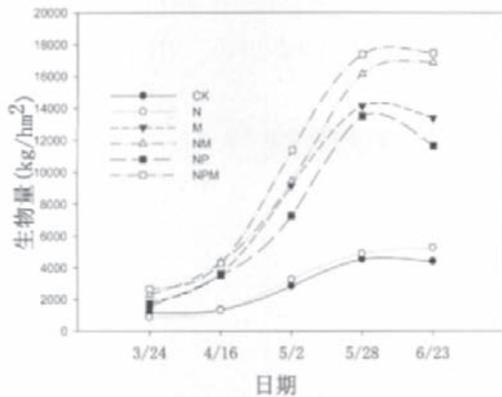


图2 不同施肥处理冬小麦生物量动态

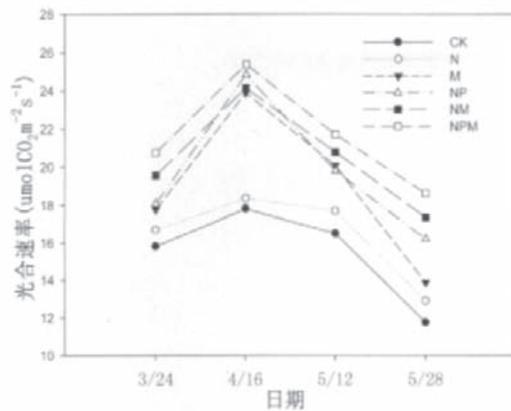


图3 不同施肥处理冬小麦光合速率的变化

呈“S”型曲线（图2）。初期生物量（返青至拔节期）增长较缓慢，拔节期后增长较快，灌浆至成熟期生物量稍有降低或不变。CK和N处理冬小麦的生物量整个生育期均明显低于其他施肥处理，各施肥处理在孕穗期后才表现出明显差异，即NPM和NM处理最高，显著高于NP和M处理，而N和CK均较低。

2.2 光合速率

全生育期不同施肥处理冬小麦光合速率均呈先升高再降低的单峰曲线（图3）。冬小麦光合速率在返青期后迅速上升，至拔节期达到最高值，拔节后又逐渐降低，灌浆期降至最低值。不同施肥冬小麦光合速率差异显著，基本为：NPM>NM>NP>M>N>CK，即不同肥料配施高于肥料单施，单施有机肥高于单施氮肥，有机无机肥料配施高于无机肥料配施。与CK相比较，除N处理光合速率增加较小外，而其他肥料处理均能够显著提高冬小麦光合速率，其中NPM处理的光合速率在各个生育期均为最高，其次分别为NM处理和NP处理，而M处理在前期较高，后期下降较快，接近N处理的水平。N处理在不同生育期均处于较低水平，与CK接近。

2.3 冬小麦产量

2008年不同施肥处理小麦产量：NPM>NM>M>NP>N>CK，除M和NM处理，其他处理间均有显著差异（表1）。与CK相比，各施肥处理产量均有不同程度的增加，其中NPM的增幅最大，达300%，其次为NM和M，单施N肥的增产效应最低，仅为23.3%。与多年平均产量相比较，2008年属于丰产年，其中CK和单施N肥处理与多年平均产量相近，其次为NP处理，较多年平均产量增产17.4%，而M，NM和NPM三个处理则较多年平均产量有较大幅度的增加（>40%），说明在本试验年气候条件下，有机肥的增产效应要高于无机肥（NP和N处理）。肥料贡献率能够反映当年投入肥料的生产能力，本试验中不同肥料对产量的贡献率差别较大，其中N处理最低，仅为18.9%，其次为NP处理，而M，NM和NPM三个处理的贡献率均达到70%

表1 不同施肥条件下冬小麦的产量效应

试验处理	2008年产量 (kg/hm ²)	增幅 (%)	肥料对产量贡献率 (%)	1984~2002年平均产量 ^[4] (kg/hm ²)	增幅 (%)	肥料对产量贡献率 (%)
CK	1 462. 5f	—	—	1 472. 9	—	—
N	1 803. 8e	23. 3	18. 9	1 891. 0	28. 4	22. 1
M	5 297. 5bc	262. 2	72. 4	2 692. 7	82. 8	45. 3
NM	5 362. 5b	266. 7	72. 7	3 600. 2	144. 4	59. 1
NP	3 932. 5d	168. 9	62. 8	3 350. 6	127. 5	56. 0
NPM	5 850. 0a	300. 0	75. 0	3 967. 1	169. 3	62. 9

以上,且三个有机肥处理的冬小麦产量均显著高于NP处理,说明在试验当年有机肥的增产效应高于氮磷配施处理。

2.4 水分利用

与对照相比,单施氮肥处理冬小麦播种前土壤储水量和收获后土壤储水量略有下降($P>0.05$),但NP和NPM处理均有显著降低(表2)。不同处理耗水量随施肥量增加而增加,其中NP和NPM显著高于CK和N处理。不同处理作物耗水量与土壤供水量(ΔW)相似,均随施肥量增加而提高。从作物耗水组成看,对照小麦生育期的降水基本可以满足作物生长需要,而N、NP、NPM三个处理小麦则需要利用一部分土壤储水,其比例分别4.6%、10.9%和11.9%,表明作物对土壤水分的消耗随着施肥水平的提高而增加。

不同施肥处理冬小麦产量水平水分利用效率和群体水平水分利用效率变化规律相同,均随施肥水平提高而增加(表3)。不同施肥处理产量水平水分利用效率和群体水平水分利用效率均较CK有不同程度的增加,N处理稍高于CK,其次为NP处理,NPM处理水分利用效率最高并与其他处理均有显著差异($P<0.05$)。群体水平水分利用效率,N、NP和NPM处理分别比对照提高了38.4%、104.9%和110.8%;产量水平水分利用效率N、NP和NPM处理分别比对照提高42.5%、104.4%和109.8%。表明不同肥料配施特别是氮磷有机肥配施能显著提高作物水分利用效率。

3 讨论

3.1 不同施肥对冬小麦生长的影响

株高、叶面积和生物量等指标均是作物营养生长状况的反映,本试验中,相对于CK,不同施肥处理冬小麦生长指标

均有不同程度的增加,其中单施氮肥处理的株高、叶面积和生物量稍高于CK;NP处理株高、叶面积和生物量低于有机肥处理但是显著高于CK和N处理;而有机肥处理(M、NM和NPM)株高、叶面积和生物量均最高。

3.2 不同施肥对冬小麦水分利用的影响

研究表明,不同施肥条件下土壤供水量差异明显,NPM组合土壤供水占的比例最大,单施氮肥利用降水补给占的比例最高^[7]。本研究与前人结果相同,相对于CK,单施有机肥、氮磷配施、以及氮磷有机肥配施后均有效地提高了不同生育期麦田耗水量及对土壤水分的利用程度。CK和N处理播种前土壤储水量和收获后土壤储水量差别较小,而NP和NPM处理收获期土壤储水量均显著降低。岳维云等^[8]研究表明:施肥可以提高水分利用效率,促进小麦生长发育;不同施肥水平对小麦的增产效应不同。本研究中除单施氮肥外,NP和NPM处理的群体水平和产量水平水分利用效率均显著高于对照。表明肥料配施能够显著提高作物的水分利用效率,其中氮磷有机肥配施是提高水分利用效率最为有效的措施。

3.3 不同施肥对冬小麦产量影响

刘一等^[9]通过长期肥料试验研究表明,各种肥料单施或配施对小麦产量表现为,NPM>NM>NP>PM>M>N>P>CK,不同肥料间具有明显的正交互效应。本研究表明,试验年(2007~2008年)不同施肥处理小麦产量,NPM>NM>M>NP>N>CK,除M和NM处理,其他处理间均有显著差异。单施有机肥增产率最高,达96.7%,其次为NM和NPM处理,分别增产49%和47.5%;而NP处理仅较多年平均产量高17.4%,与前人研究

表2 不同施肥处理冬小麦的耗水量及组成

处 理	播种前储水量 (mm)	收获后储水量 (mm)	ΔW (mm)	降水量 (mm)	P/ET (%)	耗水量ET (mm)
CK	678.5a	676.2a	2.3 b	317.1	99.3	319.4 b
N	667.3a	652.0a	15.3 b	317.1	95.4	332.4 ab
NP	575.4b	536.6b	38.8 a	317.1	89.1	355.9 a
NPM	557.4b	514.5b	43.0 a	317.1	88.1	360.1 a

注:不同小写字母表示处理间存在5%水平显著差异。

表3 不同施肥处理冬小麦水分利用效率

试验处理	WUEy	显著水平	WUEy	显著水平
CK	4.45(0)	C	13.36(0)	C
N16	6.34(42.5)	C	18.48(38.4)	C
N16P8	11.07(104.4)	B	32.75(104.9)	B
N16P8M	16.60(109.8)	A	49.65(110.8)	A

注:括号内数字表示各处理水分利用效率较对照提高的百分率;WUEy和WUEy分别表示产量水平水分利用效率和群体水平水分利用效率。



新思维图片

结果不同。这一方面与试验当年冬前充沛的降水量有关，印证了“麦收隔年墒”的说法，另一方面可能与有机肥肥效迟而长的特点有关。

4 结论

旱地条件下合理施肥可以扩大作物根系延伸范围，增强根系综合活力^[10]。旱地合理施肥对作物的促根效应是“以肥调水，以水促肥”的机理所在^[11]。本研究中不同施肥处理冬小麦生长指标、光合速率与产量均为：CK和N均最低，其次为NP，有机肥（M、NM、NPM）处理均最高，说明不同施肥处理冬小麦的生长指标（株高、叶面积和生物量）和生理生态指标（光合速率）与其籽粒产量高低有很高的相关性。这是由于合理施肥促进了冬小麦根系生长，使根量增加，扩大作物对土壤深层水分的利用，减少了土壤水分亏缺度，有利于作物地上部的正常生长和发

育，增高了小麦株高和叶面积等指标，改善群体通风透光条件，提高光合作用，为作物后期获得较高的产量打下良好的物质基础。■

参考文献：

- [1] 张少民, 郝明德, 陈磊. 黄土高原长期施肥对小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (6) : 85~89.
 - [2] 李科江, 张素芳, 贾文竹, 等. 半干旱区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学, 1999, 5 (1) : 21~25.
 - [3] 李玉山. 旱作农业作物生产力若干规律性及提高途径[J]. 土壤通报, 1990 (5) : 194~197.
 - [4] 郝明德, 来璐, 王改玲, 等. 黄土高原塬区旱地长期施肥对小麦产量的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1893~1896.
 - [5] 宇万太, 赵鑫, 张璐, 等. 长期施肥对作物产量的贡献[J]. 生态学杂志, 2007, 26 (12) : 2040~2044.
 - [6] 赵云英, 谢永生, 郝明德. 黄土旱塬小麦长期施肥的产量效应及土壤肥力变化[J]. 西北农业学报, 2007, 16 (5) : 75~79, 88.
 - [7] 曹靖, 胡恒觉. 不同肥料组合对冬小麦水分供需状况的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11 (5) : 713~717.
 - [8] 岳维云, 宋建荣, 张耀辉, 等. 天水旱作农业区膜侧小麦不同施肥水平增产效应分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (4) : 15~18.
 - [9] 刘一. 施肥对黄土高原旱地冬小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10 (1) : 40~42.
 - [10] 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 111~115.
 - [11] 信乃谏, 侯向阳, 张燕卿. 我国北方旱地农业研究开发进展及对策[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9 (4) : 58~60.
- (上接34页)
- 京: 科学出版社, 1998: 1~15.
- [5] 傅伯杰, 陈利顶, 邱扬, 等. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程[M]. 北京: 商务印书馆出版社, 2002: 16~29.
 - [6] 王震洪, 段昌群, 张世彪. 从生态经济观论小流域及小流域综合治理[J]. 生态经济, 1997 (6) : 23~26.
 - [7] 刘国彬, 杨勤科, 郑粉莉. 黄土高原小流域治理与生态建设[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2 (1) : 11~15.
 - [8] 党小虎, 刘国彬, 全斌, 等. 黄土高原生态经济建设若干问题[J]. 生态经济, 2007 (1) : 24~27.
 - [9] Rapport D J. What constitute ecosystem health? [J]. Perspectives Biology and Medicine, 1989, 33: 120~132.
 - [10] Rapport D J, R Costanza, McMichael A J. Assessing ecosystem health [J]. Trends in Ecology and Evolution, 1998, 13: 397~402.
 - [11] 田静毅, 王立新, 王继彬. 小流域生态安全景观指标的提取方法研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14 (5) : 40~42.
 - [12] 刘明华, 董贵华. RS和GIS支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价[J]. 地理研究, 2006, 25 (5) : 930~938.
 - [13] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 56.
 - [14] 袁晓玲, 姚慧丽, 张婷. 基尼系数在东、西部差距分析中的应用[J]. 经济师, 2005 (10) : 128~129.
 - [15] 杨存建, 张增祥, 王思远. 不同环境条件下的土壤侵蚀分析——以重庆市为例[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16 (2) : 71~76.