

# 旱地不同降水年型小麦施肥的产量 效应及吸肥特性

史 培<sup>1a</sup>, 郝明德<sup>1a,2</sup>, 何晓雁<sup>1b</sup>, 蔡志风<sup>1a</sup>, 陈 旭<sup>2</sup>

(1 西北农林科技大学 a 林学院, b 资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探讨降水、施肥与旱地小麦产量和吸肥特性的关系, 为不同降水年型小麦的合理施肥提供依据。【方法】以“长武 134”为供试材料, 通过定位试验, 以不施肥为对照, 研究不同降水年型(干旱年、常态年、丰水年)下长期不同施肥处理(氮磷有机肥配施(NPM)、氮磷肥配施(NP)、单施有机肥(M)、单施氮肥(N)、单施磷肥(P))对小麦产量和养分吸收特性的影响。【结果】在不同降水年型下, NPM 处理的增产效果显著, 增产幅度为 258.9%~300.0%; M 处理在干旱年、常态年、丰水年分别增产 172.4%, 211.1% 和 262.2%; NPM 处理氮、磷、钾的平均吸收量最高, 在丰水年 M 处理小麦籽粒吸氮量、吸磷量、吸钾量分别较 NP 处理提高了 85.0%, 84.8%, 40.6%。【结论】在不同降水年型下, 合理施肥均能使小麦产量大幅度增加; 有机肥在促进作物养分吸收方面作用显著。

【关键词】 不同降水年型; 施肥; 小麦产量; 吸肥特性

【中图分类号】 S143.6; S512.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)07-0091-07

## Fertilizer on wheat yield and nutrients uptake characters of dry land in different precipitation years

SHI Pei<sup>1a</sup>, HAO Ming-de<sup>1a,2</sup>, HE Xiao-yan<sup>1b</sup>, CAI Zhi-feng<sup>1a</sup>, CHEN Xu<sup>2</sup>

(1 a College of Forestry, b College of Resources and Environmental, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** 【Objective】 The relationship between precipitation, fertilization, wheat yield and nutrients uptake were investigated to propose a rational way of fertilization under different precipitation years. 【Method】 Based on a long-term fertilizer experiment with fixed site on continuous wheat in Changwu, Shaanxi Province, the effect of long-term different fertilizer application, the wheat yield and nutrients uptake characters were compared with the treatment of no fertilizer(CK). Different fertilizer treatments were unfertilized nitrogen+phosphorus+manure (NPM), nitrogen+phosphorus (NP), manure (M), nitrogen (N), and phosphorus (P). 【Result】 The result showed that the combination of N, P and manure applied together increased the yield largest. The yield increased from 258.9% to 300.0%, single applying M increased the yield by 172.4%, 211.1% and 262.2% in drought annual, normal annual and wet annual; Under different precipitation years, the average of N, P, K uptake are highest when N, P and M applied together, annual N, P, K uptake of wheat seed of M fertilizer in wet years are 85.0%, 84.8%, 40.6% higher than N and P applied together. 【Conclusion】 Under different precipitation years, rational use of chemical fertilizer

\* [收稿日期] 2010-01-05

[基金项目] 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07); 国家重点基础研究发展计划(2009CB118604); 国家科技支撑计划项目(2006BAD05B07, 2006BAD09B04)

[作者简介] 史 培(1985—), 女, 河北藁城人, 在读硕士, 主要从事土壤-植物系统养分循环研究。E-mail: spei1010@126.com

[通信作者] 郝明德(1957—), 男, 陕西华县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。

E-mail: mdhao@ms.iswc.ac.cn

can increase wheat yield in a large scale. Fertilizer M can increase the nutrients uptake of wheat largely.

**Key words:** different precipitation years; fertilization; wheat yield; nutrients uptake characters

土壤肥力是限制黄土高原旱地农业生产的重要因素, 培肥土壤是增加旱地粮食产量、实现该地区农业持续发展的关键措施之一<sup>[1]</sup>。水分亏缺是限制小麦生产的主要环境因子, 对小麦生长发育及产量影响较大<sup>[2]</sup>。有关水分对小麦产量的影响, 前人已取得不少研究进展<sup>[3-7]</sup>。根据小麦的需肥规律进行合理施肥, 不但能提高肥料利用率和增产率, 而且还可以减少对环境的不良影响, 在可持续农业中具有极其重要的地位<sup>[8-12]</sup>。关于施肥对小麦的增产效应, 以往的研究多偏重于施肥量的增产效应上, 而关于不同降水年型施肥对冬小麦产量和吸肥特性的综合评析报道较少<sup>[13-18]</sup>。如何合理施肥, 提高作物产量和肥料利用效率, 是目前需要深入研究的课题<sup>[8-10]</sup>。本试验对黄土旱塬长期施肥条件下不同降水年型的小麦产量效应和养分吸收特性进行了研究, 旨在为不同降水年型小麦的合理施肥提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

长期定位试验始建于 1984 年, 位于黄土高原中南部的长武县十里铺村, 地处黄土高原中南部旱塬, 为典型的旱作农业区。试验地海拔 1 200 m, 多年平均降雨 578.5 mm, >10℃积温 3 029℃, 平均气温 9.1℃, 无霜期 171 d。土壤为黄盖黏黑垆土, 母质是深厚的中壤质马兰黄土, 地下水位深 60 m 左右。1984 年布置试验时, 土壤基础理化性状如下: 有机质 10.5 g/kg, 全氮 0.57 g/kg, 全磷 0.66 g/kg, 速效氮 37.0 mg/kg, 速效磷 3 mg/kg, 速效钾 129 mg/kg, pH 8.3。

### 1.2 试验设计

本试验选用长期试验的 6 个处理: CK(不施肥); P(单施磷肥); N(单施氮肥); M(单施有机肥); NP(氮、磷肥配施); NPM(氮、磷、有机肥配施)。试验施氮肥(尿素) 120 kg/hm<sup>2</sup>, 磷肥(过磷酸钙) 26.4 kg/hm<sup>2</sup>, 有机肥(厩肥) 75 t/hm<sup>2</sup>(全氮含量 1.59 g/kg, 全磷含量为 0.8 g/kg), 重复 3 次, 试验小区面积 66.7 m<sup>2</sup>。供试小麦品种为“长武 134”, 播种量为 180 kg/hm<sup>2</sup>, 播种时间为 09-20-22, 次年 06-18-22 收获, 田间管理同大田。

以生育年(生育期+休闲期, 即以小麦收获后的休闲期(7-9月)和生育期(10月-次年6月))的降

水量来划分不同降水年型, 与多年平均降雨 578.5 mm 相比, 降水量增减在 10% 以内为常态年; 降水量减少 10% 以上为干旱年; 降水量增加 10% 以上为丰水年<sup>[13]</sup>。选取自布设试验以来的 2006、2008、2009 年试验结果进行分析, 这 3 年的降水量依次是 528.5、490.5 和 685.3 mm。

### 1.3 样品的采集与分析

1.3.1 样品中氮、磷、钾含量的测定 在小麦收获期采集植物籽实和秸秆样品, 经风干、粗粉碎、混匀后取样装瓶, 保存备用。将样品于 60~70℃烘干至质量恒定, 细粉碎后用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮, 其中氮含量用凯氏定氮法测定, 磷含量用钼兰比色法测定, 钾含量用火焰光度法测定。

1.3.2 相关指标的计算 肥料交互作用的连应值=肥料配施处理的增产-各肥料单施处理的增产; 肥料对产量的贡献率=(施肥处理产量-对照处理产量)/施肥处理产量×100%; 肥料利用率=(施肥处理小麦养分吸收量-对照处理小麦养分吸收量)/施肥量×100%; 氮(磷)吸收量=籽粒氮(磷)含量×籽粒产量+秸秆氮(磷)含量×秸秆产量; 氮(磷)收获指数=籽粒氮(磷)含量×籽粒产量/(籽粒氮(磷)含量×籽粒产量+秸秆氮(磷)含量×秸秆产量)×100%。

### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 11.0 软件对试验数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同降水年型下长期施肥对小麦产量和肥效的影响

2.1.1 施肥对小麦产量的影响 表 1 显示, 在不同降水年型下, 肥料配施的增产作用不同。NPM、NP、M、N、P 处理与 CK 之间的产量差异达显著或极显著水平, 各施肥处理间产量的差异也达显著或极显著水平; NPM 处理增产效果最明显, 与 CK 相比, 增产幅度达 258.9%~300.0%。NPM 处理与 NP 处理相比, 干旱年、常态年、丰水年分别增产 253.0、958.8、3 835.0 kg/hm<sup>2</sup>, 增产率分别为 5.7%、22.4%、48.8%, 可知 NPM 在丰水年的增产效果最好。NPM 处理与 M 处理相比, 产量在干旱年提高 1 242.0 kg/hm<sup>2</sup>, 在常态年提高 698.8

kg/hm<sup>2</sup>,在丰水年提高 1 150.0 kg/hm<sup>2</sup>,增产率分别为 40.1%,15.4%和 10.4%;在常态年和丰水年,M 处理的增产率较 NP 处理分别提高了 17.8%和 93.9%,可知有机肥在丰水年的增产作用显著;

在干旱年,M 处理的增产率较 NPM 处理低88.6%,说明水分限制了有机肥的增产作用。单施有机肥、氮磷肥配施或氮磷有机肥配施是提高黄土旱塬小麦产量的有效措施。

表 1 不同降水年型下各施肥处理的小麦产量

| Table 1 Wheat yield of different fertilizer treatments in different precipitation years |                                   |                               |                               | kg/hm <sup>2</sup> |                                   |                                  |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                         | 干旱年<br>Yield of<br>drought annual | 常态年 Yield of<br>normal annual | 丰水年<br>Yield of<br>wet annual | 处理<br>Treatment    | 干旱年<br>Yield of<br>drought annual | 常态年<br>Yield of<br>normal annual | 丰水年<br>Yield of<br>wet annual |
| NPM                                                                                     | 4 337.5 aA                        | 5 248.8 aA                    | 11 700.0 aA                   | N                  | 1 511.0 dD                        | 1 324.3 eDE                      | 3 607.5 dD                    |
| NP                                                                                      | 4 102.5 bB                        | 4 290.0 cC                    | 7 865.0 cC                    | P                  | 1 023.0 fE                        | 1 210.5 fE                       | 3 315.0 eE                    |
| M                                                                                       | 3 095.5 cC                        | 4 550.0 bB                    | 10 595.0 bB                   | CK                 | 1 136.0 eE                        | 1 462.5 dD                       | 2 925.0 fF                    |

注:同列数据后标不同大、小字母者分别表示差异达 1%和 5%显著水平。  
Note:Different capital and small letters mean significant difference at 1% and 5% levels, respectively.

2.1.2 不同肥料的交互作用 经计算可知,不同肥料配施交互作用不一。在干旱年,氮磷有机肥交互作用(N×P×M)的连应值为 978.8 kg/hm<sup>2</sup>,NPM/(N+P+M)=1.44,说明氮磷有机肥配合施用的增产效果较单施氮、磷、有机肥的增产效果之和增大了 44%,氮肥与磷肥交互作用(N×P)的连应值为 2 704.0 kg/hm<sup>2</sup>。在常态年,氮磷有机肥交互作用(N×P×M)的连应值为 1 089.0 kg/hm<sup>2</sup>,NPM/(N+P+M)=1.40,氮肥与磷肥交互作用(N×P)的连应值为 3 217.8 kg/hm<sup>2</sup>。在丰水年,氮磷有机肥交互作用(N×P×M)的连应值为 32.5 kg/hm<sup>2</sup>,NPM/(N+P+M)=1.00,氮肥与磷肥的交互作用(N×P)的连应值为 3 867.5 kg/hm<sup>2</sup>。由以上结果可知,不同降水年型氮磷(N×P)交互作用的连应值

均大于氮磷有机肥交互作用(N×P×M),且均为正值,说明肥料配施效果优于肥料单施。

2.1.3 施肥对小麦产量结构的影响 由表 2 可知,不同肥料对小麦产量结构的影响不同,干旱年小麦的成穗数明显低于常态年和丰水年,NPM 处理的穗粒数增加了 5.2%。NP 处理籽粒饱满度增加,在干旱年和常态年其千粒质量较对照分别增加了 7.2%和 9.6%。丰水年,NPM 处理的穗粒数最多,较对照增加了 63.9%;M 处理的成穗数和千粒质量分别较对照提高了 24.3%和 5.9%。与其他年份相比,有机肥的肥效在丰水年最为显著。以上结果表明,施用有机肥、氮磷配施和氮磷有机肥配施的肥效稳定,在不同降水年型下,均能改善小麦产量结构,提高小麦的成穗数、穗粒数和千粒质量。

表 2 不同降水年型下各施肥处理小麦的产量结构

| Table 2 Wheat yield composition of different fertilizer treatments in different precipitation years |                                                   |       |                           |                                                   |       |                           |                                                   |       |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------|---------------------------|---------------------------------------------------|-------|---------------------------|---------------------------------------------------|-------|---------------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                                     | 干旱年 Drought annual                                |       |                           | 常态年 Normal annual                                 |       |                           | 丰水年 Wet annual                                    |       |                           |
|                                                                                                     | 成穗数/<br>(×10 <sup>3</sup> ·<br>hm <sup>-2</sup> ) | 穗粒数   | 千粒质量/g                    | 成穗数/<br>(×10 <sup>3</sup> ·<br>hm <sup>-2</sup> ) | 穗粒数   | 千粒质量/g                    | 成穗数/<br>(×10 <sup>3</sup> ·<br>hm <sup>-2</sup> ) | 穗粒数   | 千粒质量/g                    |
|                                                                                                     | Ears                                              | Grain | 1 000-<br>grain<br>weight | Ears                                              | Grain | 1 000-<br>grain<br>weight | Ears                                              | Grain | 1 000-<br>grain<br>weight |
|                                                                                                     |                                                   |       |                           |                                                   |       |                           |                                                   |       |                           |
| NPM                                                                                                 | 2 192.4                                           | 28.8  | 48.5                      | 7 213.3                                           | 23.9  | 43.575                    | 5 106.7                                           | 26.1  | 43.4                      |
| NP                                                                                                  | 2 120.0                                           | 26.4  | 49.3                      | 4 786.7                                           | 24.5  | 46.361                    | 4 146.7                                           | 23.5  | 45.8                      |
| M                                                                                                   | 2 140.0                                           | 22.1  | 46.6                      | 4 560.0                                           | 23.4  | 45.645                    | 6 346.7                                           | 24.4  | 46.0                      |
| N                                                                                                   | 2 333.3                                           | 22.5  | 46.1                      | 3 613.3                                           | 21.6  | 45.644                    | 3 893.3                                           | 15.5  | 43.3                      |
| P                                                                                                   | 2 093.3                                           | 15.0  | 45.7                      | 4 146.7                                           | 15.8  | 41.612                    | 2 840.0                                           | 15.7  | 40.5                      |
| CK                                                                                                  | 2 093.3                                           | 18.8  | 46.0                      | 3 493.3                                           | 16.8  | 42.311                    | 3 213.3                                           | 15.9  | 40.8                      |

2.1.4 肥料对产量的贡献率 表 3 表明,不同施肥处理间肥料的贡献率差异较大,不同降水年型下 NPM 处理的肥料贡献率均最大,分别为干旱年 73.8%,常态年 72.1%,丰水年 75.0%,可见其肥料贡献率比较稳定;在干旱年,NP 处理的肥料贡献率较 M 处理高 9.0%,在常态年和丰水年,M 处理分别比 NP 处理高 1.9%和 9.6%。由以上结果可知,在不同降水年型下,肥料配施和施用有机肥均能提高肥料的贡献率,有机肥和无机肥配施是提高肥料

贡献率的有效农艺措施。

表 3 不同降水年型下不同施肥处理的肥料贡献率

| Table 3 Contribution ratio of fertilizer to yield of different treatment in different precipitation years |                       |                      |                   | % |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|---|
| 处理<br>Treatment                                                                                           | 干旱年<br>Drought annual | 常态年<br>Normal annual | 丰水年<br>Wet annual |   |
| NPM                                                                                                       | 73.8                  | 72.1                 | 75.0              |   |
| NP                                                                                                        | 72.3                  | 65.9                 | 62.8              |   |
| M                                                                                                         | 63.3                  | 67.9                 | 72.4              |   |
| N                                                                                                         | 24.8                  | -10.4                | 18.9              |   |
| P                                                                                                         | -11.0                 | -20.8                | 11.8              |   |

2.2 不同降水年型下长期施肥对小麦养分吸收量的影响

2.2.1 氮吸收量 ①总吸氮量。表 4 显示,在不同降水年型下,不同施肥处理对小麦总吸氮量的影响不同。N 处理小麦的总吸氮量变化不大;NP 处理小麦的总吸氮量在干旱年、常态年、丰水年分别较 N 处理增加了 103.0%,146.8%和 106.9%;M 处理小麦的总吸氮量与 CK 相比,在干旱年、常态年、丰水年分别增加了 169.1%,208.0%和 450.0%;NPM 处理小麦的总吸氮量最高,与 CK 相比,其在干旱年、常态年、丰水年的总吸氮量分别增加了 341.8%,348.7%和 510.0%。

②籽粒吸氮量。N 处理小麦籽粒吸氮量增加不明显;NP 处理小麦籽粒吸氮量在干旱年、常态年、

丰水年较 N 处理分别增加了 121.4%,176.0%和 110.9%;在干旱年和常态年,NP 处理小麦籽粒吸氮量较 M 处理分别增加了 51.3%和 18.7%,在丰水年,M 处理小麦籽粒吸氮量比 NP 处理增加了 85.0%;NPM 处理的小麦籽粒吸氮量最高,较 NP 处理在干旱年、常态年、丰水年分别增加了 20.2%,40.8%和 107.2%。

③秸秆吸氮量。不同年份 N 处理的小麦秸秆吸氮量相近,在干旱年、常态年和丰水年分别为 15.6,15.7,15.9 g/kg;在干旱年 NP 处理的秸秆吸氮量较 M 处理高 3.9%,在常态年和丰水年,M 处理的秸秆吸氮量较 NP 处理分别增加了 4.6%和 9.7%;NPM 处理的秸秆吸氮量最高。

表 4 不同降水年型下各施肥处理的吸氮量

| Table 4 N uptake of different fertilizer treatments in different precipitation years |                          |                         |                      |                          |                         |                      |                          |                         |                      | kg/hm <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                      | 总吸氮量 Total               |                         |                      | 籽粒吸氮量 Grain              |                         |                      | 秸秆吸氮量 Straw              |                         |                      |                    |
|                                                                                      | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual |                    |
| NPM                                                                                  | 130.3                    | 147.6                   | 327.5                | 101.2                    | 116.9                   | 293.5                | 29.2                     | 31.7                    | 34.0                 |                    |
| NP                                                                                   | 108.9                    | 113.0                   | 171.8                | 84.2                     | 83.1                    | 141.6                | 24.7                     | 30.0                    | 30.2                 |                    |
| M                                                                                    | 79.4                     | 101.3                   | 295.1                | 55.6                     | 70.0                    | 262.0                | 23.8                     | 31.3                    | 33.1                 |                    |
| N                                                                                    | 53.7                     | 45.8                    | 83.1                 | 38.0                     | 30.1                    | 67.2                 | 15.6                     | 15.7                    | 15.9                 |                    |
| P                                                                                    | 25.6                     | 26.0                    | 74.2                 | 16.9                     | 17.3                    | 63.7                 | 8.7                      | 8.8                     | 10.5                 |                    |
| CK                                                                                   | 29.5                     | 32.9                    | 54.1                 | 22.1                     | 24.3                    | 45.0                 | 7.4                      | 8.7                     | 9.1                  |                    |

2.2.2 磷吸收量 ①总吸磷量。由表 5 可看出,P 处理的总吸磷量与 CK 相比,在干旱年、常态年、丰水年分别增加了 43.5%,3.7%和 9.1%;N 处理总吸磷量与 CK 相比,下降不明显;在干旱年,NPM 处

理的总吸磷量最高,较 M 处理增加了 21.4%;在常态年和丰水年,M 处理的总吸磷量最高,较 NPM 处理分别增加了 9.1%和 2.6%。

表 5 不同降水年型下各施肥处理的吸磷量

| Table 5 P uptake of different fertilizer treatments in different precipitation years |                          |                         |                      |                          |                         |                      |                          |                         |                      | kg/hm <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                      | 总吸磷量 Total               |                         |                      | 籽粒吸磷量 Grain              |                         |                      | 秸秆吸磷量 Straw              |                         |                      |                    |
|                                                                                      | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual |                    |
| NPM                                                                                  | 13.0                     | 14.8                    | 31.1                 | 12.0                     | 13.4                    | 29.4                 | 1.0                      | 1.4                     | 1.7                  |                    |
| NP                                                                                   | 11.9                     | 11.5                    | 17.9                 | 11.3                     | 10.3                    | 16.4                 | 0.6                      | 1.2                     | 1.5                  |                    |
| M                                                                                    | 12.4                     | 15.0                    | 31.9                 | 11.5                     | 13.7                    | 30.3                 | 0.9                      | 1.3                     | 1.6                  |                    |
| N                                                                                    | 3.4                      | 3.5                     | 9.3                  | 3.2                      | 2.9                     | 8.6                  | 0.1                      | 0.6                     | 0.7                  |                    |
| P                                                                                    | 6.2                      | 5.6                     | 10.8                 | 5.6                      | 4.6                     | 9.6                  | 0.6                      | 1.0                     | 1.2                  |                    |
| CK                                                                                   | 4.3                      | 5.4                     | 9.9                  | 3.9                      | 4.5                     | 8.9                  | 0.4                      | 0.9                     | 1.0                  |                    |

②籽粒吸磷量。P 处理的小麦籽粒吸磷量与 CK 相比,在干旱年、常态年、丰水年分别增加了 43.8%,2.1%和 8.0%;M 处理与 NP 处理相比,籽粒吸磷量在干旱年、常态年、丰水年分别增加了 1.9%,33.0%和 84.7%;M 处理与 NPM 处理相比,常态年和丰水年的籽粒吸磷量分别增加了 2.3%和 3.0%,说明 NPM 处理小麦植株发育良好,磷素

在秸秆中的累积增加,籽粒的吸磷量下降。在干旱年,NPM 处理的籽粒吸磷量高于 M 处理,这是因为干旱年水分影响了有机肥的肥效。

③秸秆吸磷量。P 处理的秸秆吸磷量与不施肥相比,在干旱年、常态年、丰水年分别增加了 40.6%,11.7%和 20.0%;NPM 处理的秸秆吸磷量最高,与 M 处理相比,在干旱年、常态年、丰水年分别增加了

13.5%,5.1%和 6.2%;M 处理与 NP 处理相比,秸秆吸磷量在干旱年、常态年、丰水年分别增加了 55.4%,8.2%和 6.7%。

2.2.3 钾吸收量 ①总吸钾量。由表 6 可以看出,在不同降水年型下,不同施肥处理对小麦总吸钾量的影响不同。与 CK 相比,P 处理小麦的总吸钾量降低;N 处理的总吸钾量增加不明显;NPM 处理的总吸钾量最高,在干旱年、常态年、丰水年分别较 CK 增加了 143.0%,145.8%和 157.1%;在常态年和丰水年,M 处理与 NP 处理相比,总吸钾量分别增加了 48.2%和 13.4%,而在干旱年,M 处理的总吸钾量则低于 NP 处理,这是因为在长期不施用钾肥的情况下,作物对钾素的需求来源于有机肥,而有机肥的肥效与水分有密切关系,干旱年水分供应不足,

有机肥的肥效不能充分发挥,导致 M 处理的总吸钾量低于 NP 处理。

②籽粒吸钾量。施用氮肥和磷肥对籽粒吸钾量的影响不明显;在常态年和丰水年,M 处理的籽粒吸钾量较 NP 处理分别增加了 22.0%和 40.6%,在干旱年,M 处理的籽粒吸钾量则低于 NP 处理。NPM 处理的籽粒吸钾量最高,与 M 处理相比平均增加了 12.3%,与 NP 处理相比增加了 30.29%。

③秸秆吸钾量。与 CK 相比,N 处理的秸秆吸钾量在干旱年、常态年、丰水年分别增加了 24.0%,10.0%,18.2%。有机肥和化肥配施秸秆吸钾量的变化趋势与籽粒吸钾量的变化趋势相同;NPM 处理的秸秆吸钾量较 NP 处理平均增加了 16.1%,较 M 处理平均增加了 11.5%。

表 6 不同降水年型下各施肥处理的吸钾量

| Table 6 K uptake of different fertilizer treatments in different precipitation years |                          |                         |                      |                          |                         |                      |                          |                         |                      | kg/hm <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                      | 总吸钾量 Total               |                         |                      | 籽粒吸钾量 Grain              |                         |                      | 秸秆吸钾量 Straw              |                         |                      |                    |
|                                                                                      | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual |                    |
| NPM                                                                                  | 100.6                    | 104.8                   | 118.7                | 13.4                     | 16.2                    | 31.2                 | 87.2                     | 88.6                    | 87.5                 |                    |
| NP                                                                                   | 93.2                     | 78.9                    | 99.8                 | 12.4                     | 12.6                    | 20.3                 | 80.8                     | 66.4                    | 79.5                 |                    |
| M                                                                                    | 82.9                     | 96.0                    | 112.1                | 11.0                     | 15.3                    | 28.5                 | 71.8                     | 80.7                    | 83.6                 |                    |
| N                                                                                    | 50.9                     | 45.2                    | 53.6                 | 4.6                      | 4.0                     | 9.5                  | 46.3                     | 41.2                    | 44.1                 |                    |
| P                                                                                    | 33.8                     | 33.9                    | 36.6                 | 4.2                      | 4.3                     | 9.1                  | 29.6                     | 29.5                    | 27.5                 |                    |
| CK                                                                                   | 41.4                     | 42.6                    | 46.2                 | 4.1                      | 4.9                     | 8.9                  | 37.3                     | 37.7                    | 37.3                 |                    |

2.3 不同降水年型下长期施肥对小麦养分收获指数的影响

养分收获指数是指籽粒中养分积累量与地上部

分吸收总量的比值,该指标反映了作物所吸收的养分向籽粒中转移的状况。不同降水年型下不同施肥处理对小麦养分收获指数的影响结果见表 7。

表 7 不同施肥处理对小麦养分收获指数的影响

| Table 7 Effect of different fertilization on the harvest index of N,P and K |                          |                         |                      |                          |                         |                      |                          |                         |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|
| 处理<br>Treatment                                                             | 氮收获指数<br>N harvest index |                         |                      | 磷收获指数<br>P harvest index |                         |                      | 钾收获指数<br>K harvest index |                         |                      |
|                                                                             | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual | 干旱年<br>Drought<br>annual | 常态年<br>Normal<br>annual | 丰水年<br>Wet<br>annual |
| NPM                                                                         | 0.776                    | 0.787                   | 0.896                | 0.923                    | 0.907                   | 0.945                | 0.134                    | 0.155                   | 0.263                |
| NP                                                                          | 0.773                    | 0.735                   | 0.824                | 0.952                    | 0.896                   | 0.916                | 0.133                    | 0.159                   | 0.203                |
| M                                                                           | 0.700                    | 0.691                   | 0.888                | 0.929                    | 0.913                   | 0.950                | 0.133                    | 0.160                   | 0.254                |
| N                                                                           | 0.709                    | 0.657                   | 0.809                | 0.959                    | 0.837                   | 0.925                | 0.091                    | 0.088                   | 0.178                |
| P                                                                           | 0.660                    | 0.664                   | 0.859                | 0.903                    | 0.823                   | 0.889                | 0.124                    | 0.128                   | 0.249                |
| CK                                                                          | 0.749                    | 0.737                   | 0.832                | 0.901                    | 0.835                   | 0.899                | 0.098                    | 0.116                   | 0.192                |

表 7 显示,与 CK 相比,P 处理钾的收获指数增大,氮、磷的收获指数变化不大;N 处理磷的收获指数增大,氮、钾的收获指数变化不大;M 处理磷、钾的收获指数和丰水年的氮收获指数增大;NP 处理磷、钾的收获指数和干旱年氮的收获指数增大,与单施氮、磷肥相比其养分收获指数基本均增加。与 CK 相比,NPM 处理在干旱年、常态年、丰水年氮的收获指数分别增加 3.68%,6.77%和 7.75%;磷的收

获指数分别增加 2.44%,8.62%和 5.17%;钾的收获指数分别增加 35.8%,33.9%和 36.8%。与单施氮、磷肥相比,NPM 处理氮和钾的养分收获指数基本均增加;与单施有机肥相比,其氮、钾的养分收获指数增加,磷的养分收获指数下降。这是因为氮磷有机肥配施处理小麦植株发育良好,磷素在秸秆中的积累量增大,在籽粒中的积累量减少,导致磷的养分收获指数较单施有机肥降低。

3 结 论

在不同降水年型下,合理施肥可显著提高小麦产量,其中氮磷有机肥配施的增产效果最明显,增产幅度达 258.9%~300.0%。施有机肥在干旱年、常态年、丰水年较对照分别增产 172.4%,211.1%和 262.2%,单施有机肥或有机肥与化肥配施均能显著提高产量。氮磷有机肥配施处理的肥料贡献率最高,在干旱年,氮磷肥配施处理的肥料贡献率较单施有机肥处理高 9%,在常态年和丰水年单施有机肥处理的肥料贡献率比氮磷肥配施分别提高了 1.9%和 9.6%。可知有机肥在丰水年的丰产作用显著。

在不同降水年型下,化肥的合理施用均能增加作物的养分吸收量。在干旱年和常态年,氮磷有机肥配施处理籽粒和秸秆的氮、磷、钾吸收量最高;在干旱年中,氮磷肥配施处理与单施有机肥处理相比,籽粒吸氮量和吸钾量分别增加了 51.3%和 12.7%,籽粒吸磷量下降了 1.9%;在常态年中,氮磷肥配施处理与单施有机肥处理相比,籽粒吸氮量增加了 18.7%,籽粒吸磷量和吸钾量分别下降了 33.0%和 22.0%;在丰水年,氮磷有机肥配施处理籽粒和秸秆的氮、钾吸收量均最高,单施有机肥处理的籽粒吸氮量、吸磷量、吸钾量与氮磷肥配施相比,分别增加了 85.0%,84.7%和 40.6%,可知有机肥在促进作物养分吸收量方面作用显著。

[参考文献]

[1] 魏孝荣,郝明德,张春霞,等. 黄土区长期定位培肥试验对土壤肥力的影响 [J]. 水土保持研究,2003,10(1):37-39.  
Wei X R, Hao M D, Zhang C X, et al. Effects of rotation and fertilization on soil fertility on dry-land area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10(1): 37-39. (in Chinese)

[2] 余松烈. 山东小麦 [M]. 北京: 农业出版社, 1990: 216-226.  
Yu S L. The wheat of Shandong [M]. Beijing: Agriculture Press, 1990: 216-226. (in Chinese)

[3] 梁银丽, 康绍忠. 节水灌溉对冬小麦光合速率和产量的影响 [J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(4): 16-19.  
Liang Y L, Kang S Z. Effects of water saving irrigation on photosynthesis and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Journal of Northwest Agriculture University, 1998, 26(4): 16-19. (in Chinese)

[4] Thompson J A, Chase D J. Effect of limited irrigation on growth of asemi-darf wheat in southern New South Wales [J]. Aust J Exper Agric, 1992, 32: 725-730.

[5] Bala S V, Maheswari M. Compensatory growth responses during reproductive phase of cowbea after relief of water stress [J]. J Agron Crop Sci, 1992, 168: 58-90. (in Chinese)

[6] 郭天财, 彭 羽, 闫耀礼, 等. 水分调控对小麦开花 水分利用特性及产量的影响 [J]. 华北农学报, 2002, 17(1): 16-20.  
Guo T C, Peng Y, Yan Y L, et al. Effects of water operation on water using traits and yield after anthesis on two cultivars of winter wheat [J]. Acta Agriculturae Boreall-Sinica, 2002, 17(1): 16-20. (in Chinese)

[7] 李向民, 许春霞, 李开元. 黄土高原沟壑区水肥因子对冬小麦经济性状的影响 [J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 309-311.  
Li X M, Xu C X, Li K Y. Effect of water and fertilizer on economic properties of winter wheat in Loess Plateau galley regions [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3): 309-311. (in Chinese)

[8] 彭永欣, 郭文善, 封超年, 等. 小麦籽粒生长特性分析 [J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 1992, 13(3): 9-15.  
Peng Y X, Guo W S, Feng C N, et al. Analysis on the grain growth characters in wheat [J]. Journal of Yangzhou University: Agriculture and Life Sciences Edition, 1992, 13(3): 9-15. (in Chinese)

[9] 赵晓齐, 鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响 [J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 7-13.  
Zhao X Q, Lu R K. Effect of manure on soil phosphorus [J]. Acta Pedol Sin, 1991, 28(1): 7-13. (in Chinese)

[10] Mercik S, Nemeth K. Effect of 60-years N, P, K and Ca fertilizer on EUF-nutrient fraction in the soil and yields of rye and potato crops [J]. Plant Soil, 1985(1): 151-159.

[11] 章永松, 林咸永, 罗安成, 等. 有机肥对土壤中磷的活化作用及机理研究 I. 有机肥(物)对土壤不同形态无机磷活化作用 [J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 145-150.  
Zhang Y S, Lin X Y, Luo A C, et al. Studies on activation of phosphorus by organic manure in soils and its mechanisms I. Effect of organic manure on activations to different phosphate in soil [J]. Plant Nutr Fert Sci, 1998, 4(2): 145-150. (in Chinese)

[12] 詹其厚, 陈 杰. 淮北变性土区夏玉米对氮磷钾肥的相应特点研究 [J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 491-494.  
Zhan Q H, Chen J. Responses characteristic of maize on N, P and K fertilizer in a vertisols region of Huabei Plain [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(3): 491-494. (in Chinese)

[13] 尚成柏, 刘淑英, 王 平. 西北半干旱地区有机无机肥配施对春小麦养分吸收及产量构成的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18(3): 97-102.  
Shang C B, Liu S Y, Wang P. Effects of organic and chemical fertilization on spring wheat nutrient uptake and yield components in Hemi-dry-land [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2009, 18(3): 97-102. (in Chinese)

[14] 张立新, 吕殿青, 张文孝. 渭北旱塬不同降水年型冬小麦氮磷增产效应评析 [J]. 干旱地区农业研究, 1995(2): 39-48.  
Zhang L X, Lv D Q, Zhang W X. An analysis of yield responses of winter wheat to N and P under different annual precipitations on Weibei rainfed highland [J]. Agriculture Reserch in the Arid Areas, 1995(2): 39-48. (in Chinese)

[15] 李生秀,李世清.不同水肥处理对旱地土壤速效氮磷养分的影响 [J]. 干旱地区农业研究,1995(1):6-13.  
Li S X,Li S Q. The effects of different treatments with water and fertilizer on available N and P in dryland soil [J]. Agriculture Research in the Arid Areas,1995(1):6-13. (in Chinese)

[16] 王旭刚,郝明德,李建民,等. 氮磷配施对旱地小麦产量和吸肥特性 [J]. 西北农林科技大学:自然科学版,2007,35(2):138-142.  
Wang X G,Hao M D,Li J M,et al. Effects of fertilizer N,P on wheat yield and nutrients uptake characters in dry land of Loess Plateau [J]. Journal of Northwest A&F University:Nat Sci Ed,2007,35(2):138-142. (in Chinese)

[17] 郝明德,来 璐,王改玲,等. 黄土高原塬区长期施肥对小麦量的影响 [J]. 应用生态学报,2003,14(11):1893-1896.  
Hao M D,Lai L,Wang G L,et al. Effects of long-term fertilization on wheat yield on Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2003,14(11):1893-1896. (in Chinese)

[18] 许晶晶,郝明德,赵云英. 黄土高原旱地小麦氮磷钾与有机肥优化配施试验 [J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):143-147,153.  
Xu J J,Hao M D,Zhao Y J. Combination effects of nitrogen,phosphorus,potassium and organic manure on winter wheat in dry land of the Loess Plateau [J]. Agriculture Research in the Arid Areas,2009,27(3):143-147,153. (in Chinese)

(上接第 90 页)

[10] Eujayl I,Sorrells M E,Baum M,et al. Assessment of genotypic variation among cultivated durum wheat based on EST-SSRs and genomic SSRs [J]. Euphytica,2001,119(1/2):39-43.

[11] Guadagnuolo R,Savova Boanchi D,Felber F. Specific genetic markers for wheat,spelt,and four wild relatives;comparison of isozymes,RAPDs,and wheat microsatellites [J]. Genome,2001,44:610-621.

[12] 庄巧生. 中国小麦品种改良及系谱分析 [M]. 北京:中国农业出版社,2003.  
Zhuang Q S. Chinese wheat varieties and their genealogics analysis [M]. Beijing:China Agricultural Press,2003. (in Chinese)

[13] Röder M S,Korzun V,Wendehake K,et al. A microsatellite map of wheat [J]. Genetics,1998,149:2007-2023.

[14] Gupta P K,Balyan H S,Edwards K J,et al. Genetic mapping of 66 new microsatellite (SSR) loci in bread wheat [J]. Theoretical and Applied Genetics,2002,105(2/3):413-422.

[15] Pestsova E,Ganal M W,Röder M S. Isolation and mapping of microsatellite markers specific for the D genome of bread wheat [J]. Genome,2000,43:689-697.

[16] Plaschke J,Ganal M W,Röder M S. Detection of genetic diversity in closely related bread wheat using microsatellite markers [J]. Theor Appl Genet,1995,91(6/7):1001-1007.

[17] Anderson J A,Churchill G A,Antrique J E,et al. Optimising parental selection for genetic linkage maps [J]. Genome,1993,36:181-188.

[18] Rohlf F J. 2000 NTSYS-pc:Numerical taxonomy and multivariate analysis system [M]. New York USA:Exeter Software,2000.

[19] Zhang X Y,Li C W,Wang L F,et al. An estimation of the minimum number of SSR alleles needed to reveal genetic relationship in wheat varieties. I. Information from large-scale planted varieties and cornerstone breeding parents in Chinese wheat improvement and production [J]. Theoretical and Applied Genetics,2002,106(1):112-117.