



## 超高产冬小麦土壤养分限制因子研究

王宜伦, 谭金芳, 韩燕来, 张许

(河南农业大学资源与环境学院, 河南郑州 450002)

**摘要:** 通过大田试验研究了不同肥料配施对超高产冬小麦产量及养分积累量的影响。结果表明: OPT 处理产量达到584 公斤/亩, 比CK 增产58.2 公斤/亩, 增产率为11.1%; 氮、磷和钾肥分别增产9.7%、5.8%、6.7%, 施用氮肥、钾肥能显著提高冬小麦的产量, N、K 是超高产冬小麦土壤养分主要限制因子, 且 $N > K$ 。冬小麦植株N 积累量随冬小麦的生长而增加; 冬小麦植株P 积累集中在拔节-灌浆期, 占总生育期最大P 积累量的56.6%~66.9%; 冬小麦植株K 积累量随冬小麦的生长在灌浆期达到最大。OPT 处理N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$  的农学效率分别为3.7 公斤/公斤、5.4 公斤/公斤、9.1 公斤/公斤; 养分回收率分别为30.9%、12.3%、29.1%; 每生产100 公斤冬小麦需吸收N 3.2 公斤、 $P_2O_5$  1.0 公斤、 $K_2O$  4.2 公斤。

**关键词:** 超高产; 冬小麦; 产量; 养分限制因子; 农学效率; 养分回收率

冬小麦是中国主产农作物之一, 生育期内吸肥能力强, 需肥量大, 提供充足的养分是冬小麦获得高产的关键。长期以来, 土壤肥料工作者以冬小麦高产、超高产为目标, 在合理施肥理论技术方面进行了大量的研究工作<sup>[1-10]</sup>, 确定了不同产量水平100 公斤冬小麦籽粒需要氮、磷、钾数量, 研究了超高产小麦对氮、磷、钾的吸收分配与运转规律, 以及氮肥的用量和施用时期对冬小麦植株性状和产量的影响, 氮、磷、钾配施对冬小麦产量的影响, 但报道超高产冬小麦土壤养分限制因素的资料甚少。本文就河南省部分高产土壤上采用推荐施肥(OPT), 在此基础上不施氮肥、不施磷肥、不施钾肥, 以及超高产攻关田施肥(FHN) 和农民习惯施肥(FP) 等处理, 对冬小麦产量及构成要素、养分吸收累积规律、农学效率等方面进行研究, 确定超高产农田土壤养分限制因子及超高产冬小麦需肥规律, 以期为超高产冬小麦科学合理施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验安排与设计

试验于2006年10月—2007年6月, 2007年10月—2008年6月在河南省浚县巨桥镇姜庄(E114.31160, N35.71206) 进行, 供试土壤类型为潮土, 质地为粘壤土, 前茬作物为夏玉米, 土壤肥力较高, 其理化性状见表1:

表1 土壤理化性状 (ASI 法 mg/L)

有机质%	有效氮	有效磷	速效钾	有效硫	有效硼	有效铜	有效铁	有效锰	有效锌
1.2	25.1	20.5	98.9	10.9	0.96	2.4	12.0	2.1	2.0

本试验共设7 个处理, 即:

处理1: CK (不施任何肥料)

处理 2: OPT (14 公斤/亩 N, 6 公斤/亩  $P_2O_5$ , 4 公斤/亩  $K_2O$ , 磷肥作基肥一次施入, 而氮肥 50% 作基肥, 50% 拔节期作追肥; 钾肥 60% 作基肥, 40% 作追肥)

处理 3、OPT-N, 处理 4、OPT-P, 处理 5、OPT-K

处理 6、FHN (即目前河南超高产攻关田采用的, 24 公斤 N/亩, 14 公斤  $P_2O_5$ /亩, 9 公斤  $K_2O$ /亩, 磷、钾肥作基肥一次施入, 而氮肥 50% 作基肥, 50% 拔节期作追肥)

处理 7: FP (农民习惯施肥, 18 公斤/亩 N, 6 公斤/亩  $P_2O_5$ , 磷肥作基肥一次施入, 而氮肥 50% 作基肥, 50% 拔节期作追肥)

供试品种为周麦 98165。小区面积是  $32\text{ m}^2$ , 三次重复, 随机区组排列。田间管理措施采用当地生产习惯的管理方法进行, 生育期内及时灌水和防治病虫害。

## 1.2 样品的采集与分析

土壤样品: 在小麦越冬期、拔节期、孕穗期、灌浆期和成熟期采集每个重复小区  $0\text{--}20\text{ cm}$  土壤样品, 用碱解扩散法分析测定土壤碱解氮, 用  $0.5\text{ mol/L NaHCO}_3$  浸提—钼蓝比色法测定土壤速效磷, 用  $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提—火焰光度法测定土壤速效钾。

植株样品: 在小麦越冬期、拔节期、孕穗期、灌浆期和成熟期采集每个重复有代表性的植株样品, 分析植株各部位的氮磷钾含量, 采用浓  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}_2$  消煮—蒸馏定氮法测定植株全氮、钼黄比色法测定植株全磷、火焰光度计法测定植株全钾含量。

## 1.3 调查和计产

全部收获田间标记好 1 米双行的小麦植株, 随机收获 2 平方米小麦计产, 取 10 株小麦进行考种, 调查株高、穗长、穗粒数和千粒重等。

## 1.4 数据处理方法

采用 Duncan 新复极差法, 进行多重比较, 在 DPS 数据处理系统上进行; 绘图在 Excel 上进行。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同肥料配施对冬小麦产量及构成要素的影响

从表 2 可以看出, 与 CK 处理相比, 各施肥处理产量都有所增加, 增产率为 1.3%—12.9%。FHN 处理产量最高, 达到 593.6 公斤/亩, 增产率为 12.9%。与 OPT 处理相比, FHN 处理增产 1.6%, 但产量差异不显著, 而 FHN 处理施肥量远高于 OPT 处理施肥量, 表明推荐施肥比攻关田施肥节肥增效。OPT 处理比 OPT-N、OPT-P、OPT-K 处理分别增产 9.7%、5.8%、6.7%, 其中 OPT 处理与 OPT-N、OPT-K 处理产量差异达到显著水平, 表明施用氮肥、钾肥能显著提高冬小麦的产量, N、K 是超高产冬小麦土壤养分主要限制因素, 且  $N > K$ , 可见氮肥和钾肥对超高产冬小麦具有很重要的作用。

表 2 肥料配施对冬小麦产量及构成要素的影响

处理	有效穗数 (穗/亩)	穗粒数 (粒/穗)	千粒重 (克)	产量 (公斤/亩)	相对产量 (%)	增产率 (%)	施肥收益 (元/亩)
O P T	5 4 6 0 5 3 a	3 5 . 6 a	4 3 . 7 a	5 8 4 . 0 a	1 0 0 . 0	1 1 . 1	8 2 6
O P T - N	4 4 8 0 2 6 c	3 2 . 1 b	4 1 . 6 a	5 3 2 . 4 c	9 1 . 2	1 . 3	7 9 8
O P T - P	5 2 9 6 0 5 a b	3 1 . 1 b	4 2 . 6 a	5 4 9 . 8 a b	9 4 . 5	4 . 9	8 1 3
O P T - K	4 9 8 0 2 6 b	3 3 . 4 a b	4 1 . 8 a	5 4 7 . 4 b	9 3 . 7	4 . 1	7 8 2
F P	5 1 8 4 2 1 a b	3 3 . 1 a b	4 1 . 6 a	5 7 9 . 2 a b	9 9 . 2	1 0 . 2	8 2 3
F H N	5 0 0 6 5 8 a b	3 2 . 1 b	4 1 . 6 a	5 9 3 . 6 a	1 0 1 . 6	1 2 . 9	7 3 9
C K	4 2 4 3 4 2 c	3 1 . 3 b	4 1 . 0 a	5 2 5 . 8 c	9 0 . 0	—	—

注：N：3.6 元/公斤，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：6.5 元/公斤；K<sub>2</sub>O：3.7 元/公斤，小麦：1.6 元/公斤。

表 3 表明，推荐施肥中 N、P、K 都影响冬小麦的千粒重。与 CK 处理相比，各处理的亩穗数、穗粒数均显著增加，说明施肥能提高亩穗数和穗粒数。

### 2.2 不同肥料配施对冬小麦 N 积累量的影响

由图 1 可以看出，在冬小麦整个生育期，各处理冬小麦植株 N 积累量均随冬小麦的生长而增加，增加的幅度变化因处理而异；在各生育期内，CK 和 OPT-N 处理冬小麦植株 N 积累量都低于其他处理。OPT 处理冬小麦植株 N 积累量在越冬-拔节期和孕穗-成熟期增长较快，分别占总生育期 N 积累量的 36.1% 和 41.1%。灌浆期后，各处理的 N 积累量均明显增加，可见冬小麦生育后期仍需要吸收大量的氮素，保证后期氮素充足供应对于超高产冬小麦至关重要。

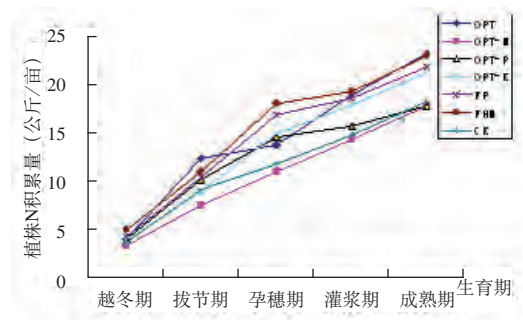


图 1 各处理冬小麦不同生育期 N 积累量的变化

### 2.3 不同肥料配施对冬小麦 P 积累量的影响

由图 2 可以看出，在冬小麦整个生育期，OPT、OPT-N、OPT-K、FP 处理小麦植株 P 积累量均随冬小麦的生长而增加，CK、FHN、OPT-P 处理冬小麦植株 P 积累量随冬小麦的生长而增加，灌浆期达到最大值，各处理冬小麦植株 P 积累集中在拔节-灌浆期，占总生育期 P 积累量的 56.6% - 66.9%。OPT 处理冬小麦植株 P 积累量在越冬期、拔节期、孕穗期、灌浆期和成熟期分别比 OPT-P 处理多吸收 -0.5%、30.5%、-6.5%、14.2%、44.8%，可见施用磷肥可以调节冬小麦植株的磷素营养。

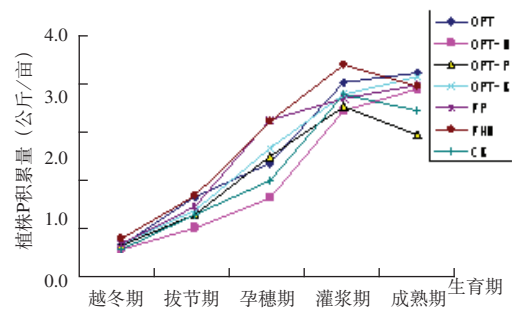


图 2 各处理冬小麦不同生育期 P 积累量的变化

### 2.4 不同肥料配施对冬小麦 K 积累量的影响

从图 3 可以看出,在灌浆期前,各处理冬小麦植株 K 积累量均随冬小麦的生长而增加,灌浆期后,各处理冬小麦植株 K 积累量均随冬小麦的生长而降低,增减幅度变化因处理而异。灌浆期前,OPT、FHN 处理冬小麦植株 K 积累量高于 OPT-K 处理, FHN > OPT > OPT-K,表明灌浆期前冬小麦植株 K 积累量随着钾肥用量的增加而增加;在成熟期,冬小麦植株 K 积累量 OPT > FHN > OPT-K,表明 N、P、K 肥合理配施有利于冬小麦后期钾积累。OPT 处理冬小麦植株 K 积累量在越冬期、拔节期、孕穗期、灌浆期和成熟期分别比 OPT-K 处理增加了 1.2%、27.5%、3.8%、11.2% 和 8.4%,可见合理施用钾肥能促进冬小麦对钾素的吸收,对于提高产量具有重要作用。

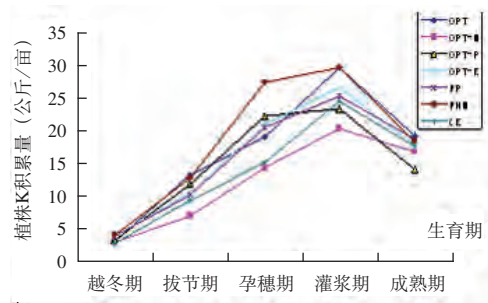


图 3 各处理冬小麦不同生育期 K 积累量的变化

K 积累量在越冬期、拔节期、孕穗期、灌浆期和成熟期分别比 OPT-K 处理增加了 1.2%、27.5%、3.8%、11.2% 和 8.4%，可见合理施用钾肥能促进冬小麦对钾素的吸收,对于提高产量具有重要作用。

### 2.5 氮磷钾养分的农学效率

现阶段我国氮肥利用率仅为 28%~41%，磷肥利用率为 10%~20%，钾肥利用率为 35%~50%，表 3 表明,本试验各养分 (OPT 处理) 的农学效率和养分回收率都较低,主要由于土壤肥力较高,基础产量高。每生产 100 kg 冬小麦经济产量需吸收的 N 和 K<sub>2</sub>O 量较高。

表 3 冬小麦养分的农学效率和养分回收率

元素	农学效率 (kg/kg)	百公斤产量吸收养分量 (kg)	养分回收率 (%)
N	3.7	3.2	30.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.4	1.0	12.3
K <sub>2</sub> O	9.1	4.2	29.1

## 3 结论与讨论

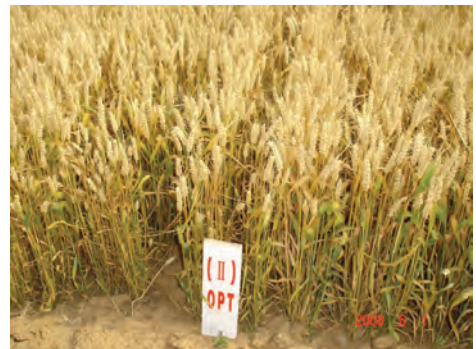
3.1 本试验研究结果表明,推荐施肥量下施用氮、磷、钾肥均有利于小麦产量的提高,氮、磷、钾配合施用可以提高亩穗数、千粒重、穗粒数。有关小麦植株氮素积累量,大多数研究认为,随生育期的延长而增加,成熟期达最大值,但也有研究认为成熟期也有可能降低<sup>[7-8]</sup>,本试验所得结果表明,整个生育期内小麦植株氮的积累量不断增加,磷的吸收集中在拔节-灌浆期,钾的吸收随小麦的生长而增加,灌浆期达到最大,成熟期下降,这与谭金芳等<sup>[11]</sup>研究表明的冬小麦不同生育期对磷、钾的需求规律相一致。

3.2 有关研究表明,在 500-600 公斤/亩产量水平下,每生产 100 公斤冬小麦籽粒需吸收 N 3.7 公斤、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.0 公斤、K<sub>2</sub>O 3.9~4.7 公斤<sup>[11]</sup>,本试验表明,每生产 100 公斤冬小麦籽粒需吸收的 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的量分别为 3.2 公斤、1.0 公斤和 4.2 公斤,氮的吸收量较低,这可能与小麦品种、土壤条件、施肥水平等有关。

3.3 本试验确定了超高产冬小麦土壤养分限制因子主要为氮和钾,从百公斤子粒养分吸收量看,钾

对于超高产冬小麦作用很大。

3.4 用 ASI 法推荐施肥与当前超高产攻关田经验施肥量相比能节肥增效, 对于农业可持续发展有着重要的现实意义, 应该大力推广; 全面研究不同生态类型区高(超高)产冬小麦土壤养分限制因子很有必要, 如何在保证产量的前提下节约用肥而不导致土壤养分降低值得深入研究。



#### 参考文献:

- [1] 韩燕来, 介晓磊, 谭金芳, 等. 超高产小麦对氮、磷、钾的吸收分配与运转规律的研究[J]. 作物学报, 1998(6)
- [2] 赵俊晔, 于振文, 李延奇, 等. 施氮量对小麦氮磷钾养分吸收利用和产量的影响[J]. 西北植物学报, 2006(1): 98-103.
- [3] 王晨阳, 朱云集, 等. 氮肥后移对超高产小麦产量及生理特性的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 978-983.
- [4] 同延安, 赵营, 等. 施氮量对冬小麦氮素吸收、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 64-69
- [5] 胡田田, 李岗, 韩思明, 吴庆宇. 冬小麦氮磷营养特征及其与土壤养分动态变化的关系[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(4): 47-50.
- [6] 王银富, 刘宗院, 等. 氮肥后移施肥技术对小麦产量品质的影响. 陕西农业科学, 2007(1): 24-26
- [7] 潘庆民, 于振文, 等. 公顷产 9000 kg 小麦氮素吸收分配的研究[J]. 作物学报, 1999, 25(5): 541-547
- [8] 周顺利, 张福锁, 王兴仁, 等. 高产条件下不同品种冬小麦氮素吸收与利用特性的比较研究[J]. 土壤肥料, 2000(6): 20-24.
- [9] 何萍, 李玉影, 金继运. 氮钾营养对面包强筋小麦产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 395-398.
- [10] 周忠新, 于振文, 许卫霞, 等. 氮磷钾用量及配比对小麦产量、蛋白质含量和肥料利用率的影响[J]. 山东农业科学, 2006(3): 42-44
- [11] 谭金芳主编. 作物施肥原理与技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003, 199-208.