

# 山东省西北部潮土区小麦养分限制因子 及施肥效益研究

魏建林<sup>1</sup>, 崔荣宗<sup>1</sup>, 杨果<sup>1</sup>, 肖建军<sup>2</sup>

(1.山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 济南 250100

2.山东省平原县农业局, 平原 253100)



**摘要:** 在山东省西北部潮土地区小麦生产上通过对ASI系统推荐施肥与减素处理、习惯施肥处理进行比较, 研究不同施肥处理对小麦的增产效益影响。试验设置最佳推荐施肥处理(OPT), 在最佳推荐施肥处理基础上设置减氮(OPT-N)、减磷(OPT-P)、减钾(OPT-K)、60%最佳推荐施氮量处理(60%OPT N)、当地农民习惯施肥处理(FP)。试验结果表明, 氮素为当地小麦生产的主要限制因子, 其次是磷素, 钾素对小麦增产影响最小。OPT-N、OPT-P、OPT-K处理较OPT处理减产均达到显著性水平, FP处理、60%OPT N和OPT处理间小麦产量没有明显差异。减素处理中OPT-N处理减产幅度最大, 减产率达22.4%。减磷处理的的减产幅度次之, 减产率为14.4%, 减钾处理减产幅度最小, 减产率为13.4%。分析各处理的纯收益, 由高至低的顺序为60%OPT N>OPT>FP>OPT-K>OPT-P>OPT-N。

**关键词:** 小麦; 潮土; 产量; 养分限制因子; 经济效益

山东省西北部的黄河冲积平原地区地势平坦, 水浇条件良好, 是重要的粮食生产基地, 经过品种改良、栽培技术提高等措施, 小麦大多已达亩产千斤左右。研究目前高产条件下不同养分对粮食的增产效果, 分析不同肥料的农学效率, 对于保障粮食安全, 提高生产效益、发展高效可持续农业具有重要意义。本试验在土壤测试分析基础上, 提出最佳处理(OPT), 并以此处理为基础, 设置减氮、减磷、减钾和习惯施肥等处理。在当地土壤条件下, 通过ASI<sup>[1]</sup>系统推荐施肥处理与减素处理、习惯施肥处理进行比较, 研究当地土壤条件下养分限制因子、施肥对小麦的增产效益影响以及推荐量与农民习惯施肥量效应差异。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验于2009年10月至2010年6月在山东省德州市平原县三唐镇大王村进行。试验地块位于N37°13'48.6", E116°25'49.7", 处于暖温带半湿润季风气候区。年平均气温13.1℃, 年平均降水量641.5mm, 水浇条件良好。

供试土壤为潮土, 质地为砂壤土。试验前采取耕层土壤样品(0-20厘米), 土壤混匀后分为两份, 一份送中国农业科学院采用ASI方法<sup>[1]</sup>分析, 用于提出最佳施肥推荐量。另一份采用常规农化分析法<sup>[2]</sup>测定分析。土壤

养分分析结果见表1(ASI法)和表2(常规法)。供试小麦品种为横观35,播量16公

斤/亩,氮肥用尿素,磷肥用过磷酸钙,钾肥用加拿大产氯化钾。

表1 供试土壤养分状况(ASI法)

实验室 编号	OM	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	pH
	(%)	(毫克/升)												
BST G 06	0.43	1.4	23.9	10.5	85.5	2439	384.5	11.2	11	2.2	5.3	1.4	1.02	8.48

表2 供试土壤养分状况(常规法)

项 目	碱解氮	速效磷	速效钾	有机质(%)	pH
	(毫克/公斤)				
土样(0-20厘米)	41.9	9.3	104.2	1.267	7.46

## 1.2 试验方法

试验设6个处理,分别为最佳推荐施肥处理(OPT)、减氮处理(OPT-N)、减磷处理(OPT-P)、减钾处理(OPT-K)、最佳推荐施

氮量60%的减氮处理(60%OPT N)、当地农民习惯施肥处理(FP)。重复3次。小区面积30平方米。各处理施肥量情况见表3。

表3 小麦生育期各处理肥料用量(公斤/亩)

处 理	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1、OPT	16.0	5.0	6.0
2、OPT-N	0.0	5.0	6.0
3、OPT-P	16.0	0.0	6.0
4、OPT-K	16.0	5.0	0.0
5、60%OPT N	9.6	5.0	6.0
6、FP	14.5	7.5	7.5

小麦种植前全部磷钾肥和50%氮肥作基施,另外50%氮肥在小麦拔节期追施。2009年10月12日翻地施底肥,13日播种,2010年3月29日追施尿素。其他管理措施均一致,同当地习惯。2010年6月17日收获。

收获时每小区分别取代表性植株2平方米,从地面上部收割,晾干后称总重,折算地上部收获物产量。脱粒后称粒重折算经济产量。地上部收获物产量减去经济产量为非收获物产量。

表4 各处理小麦分蘖情况 (万株/亩)

试验编号	基本苗数	冬前分蘖数	春季最大分蘖数	收获时有效穗数
1、OPT	22.3 a	28.8 a	31.1 a	30.2 a
2、OPT-N	22.2 a	27.9 a	28.8 a	25.2 b
3、OPT-P	24.3 a	28.1 a	28.7 a	28.5 a
4、OPT-K	24.6 a	28.0 a	30.4 a	29.1 a
5、60% OPT N	23.1 a	28.1 a	30.1 a	28.3 a
6、FP	22.7 a	29.6 a	30.4 a	29.9 a

注：同一列中数字后不同字母表示差异达5%显著水平，下同。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理小麦冬前和春天最大分蘖数及收获时有效穗数情况

从表4可知，小麦单株分蘖数不大，平均仅1.5个左右。从三个重复的平均值比较分析，氮磷钾平衡施肥处理的小麦分蘖数略大于减素处理。其中冬前分蘖数以FP处理最高，减氮处理最低，春季最大分蘖数以OPT处理最高，减磷处理最低。统计分析显示基本苗、冬前分蘖和春季最大分蘖各处理间无明显差异。成熟时有效穗数以OPT处理最高为30.2万个，其次是FP处理，减氮处理的有效穗数最少，仅为25.2万个，同其他处理相比达到显著性差异水平。

### 2.2 不同施肥处理对小麦株高、穗长、穗粒数和千粒重的影响

从小麦收获后的考种记录看，OPT处理、FP处理的小麦株高、穗长、穗粒数均高于减素处理。小麦穗长以减磷处理最小，其次是减

钾处理，与OPT处理相比分别缩短了0.32、0.20厘米。小麦穗粒数以减氮处理最小，与OPT处理相比减少了1.47粒，其次是减磷处理，与OPT处理相比减少了0.93粒。从小麦千粒重结果看，最佳推荐施氮量60%的减氮处理（60% OPT N）最高，其次是FP处理、减氮处理，且均高于OPT处理。减钾、减磷处理的最低，与OPT处理比较，分别降低了0.83、0.42克。从统计分析结果看，各施肥处理间小麦株高、穗长、穗粒数、千粒重均未达到显著性水平。



表5 不同施肥处理小麦株高、穗长、穗粒数、千粒重情况

试验编号	株高(厘米)	穗长(厘米)	穗粒数(粒)	千粒重(克)
1.OPT	62.0 a	6.75 a	40.50 a	39.15 a
2.OPT-N	60.3 a	6.57 a	39.03 a	40.26 a
3.OPT-P	60.3 a	6.43 a	39.57 a	38.73 a
4.OPT-K	61.0 a	6.55 a	40.26 a	38.32 a
5.60% OPT N	60.7 a	6.62 a	40.05 a	40.62 a
6.FP	61.7 a	6.78 a	40.21 a	40.36 a

### 2.3 经济产量分析

从小麦经济产量分析(表6)可知,FP产量最高,OPT-N处理最低,减素处理均有不同程度的减产。OPT-N、OPT-P、OPT-K处理较OPT处理减产均达到显著性水平,FP处理、60%OPT N和OPT处理间小麦产量没有明显差异。减素处理中OPT-N处理减产幅度最大,减产量为100公斤/亩,减产率达22.4%。减磷处理的的减产幅度次之,减产

率为14.4%,减钾处理减产幅度最小,减产率为13.4%。表明氮是当地小麦生产的主要限制因子,其次是磷,最后是钾。对比各处理产值,FP产值最高,其次为OPT,由高至低的顺序为:FP>OPT>60%OPT N>OPT-K>OPT-P>OPT-N。纯收益为640.8-787.6元/亩,由高至低的顺序为:60%OPT N > OPT > FP > OPT-K > OPT-P > OPT-N。

表6 小麦产量和经济效益分析

处理	经济产量(公斤/亩)				相对产量(%)	减产(公斤/亩)	减产率(%)	产值	肥料成本	纯收益
	I	II	III	平均						
1	482.2	420.0	437.8	446.7 a	100	0	0	893.3	116.5	776.8
2	346.7	362.2	331.1	346.7 c	77.6	-100	-22.4	693.3	52.5	640.8
3	382.2	364.4	400.0	382.2 bc	85.6	-64.4	-14.4	764.4	94.0	670.4
4	373.3	384.4	402.2	386.7 b	86.6	-60	-13.4	773.3	86.5	686.8
5	440.0	451.1	426.7	439.3 a	98.3	-7.4	-1.7	878.5	90.9	787.6
6.	453.3	462.2	440.0	451.9 a	101.2	5.2	1.2	903.7	129.3	774.5

相对产量=其他处理产量/OPT产量×100; 减产(公斤/亩)= 缺素处理产量-OPT产量; 减产率(%)=[(缺素处理产量-OPT产量)/OPT产量]×100; 肥料价格: N=4.0元/公斤, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=4.5元/公斤, K<sub>2</sub>O=5.0元/公斤; 收获物(小麦)价格=2.0元/公斤。

## 2.4 非收获物产量

从小麦非收获物产量结果（表7）看，减氮处理的小麦秸秆产量最小，其次为减磷、减钾处理。60%氮量减氮处理非收获物产量相比其他减素处理产量降低最少。统计分析结果显

示OPT-N、OPT-P、OPT-K处理较OPT处理减产均达到显著性水平，FP处理、60%OPT N和OPT处理间小麦产量没有明显差异。

表7 小麦非收获物产量表（风干重）

处理	非收获物产量（公斤/亩）			
	I	II	III	平均
1	531.1	560.0	568.9	553.3a
2	397.8	406.7	453.3	419.3d
3	471.1	426.7	491.1	463.0c
4	504.4	506.7	513.3	508.1b
5	542.2	535.6	573.3	550.4a
6	553.3	575.6	577.8	568.9a

## 3 讨论及结论

本研究结果表明，潮土地区小麦生产上氮、磷、钾仍为土壤养分限制因子，这与戴良香<sup>[12-13]</sup>等人的研究结果一致。目前关于磷肥的有效性和在土壤中的积累观点比较一致，磷肥的当季利用率在15%~25%，从上世纪80年代初以来，磷的投入一直大于支出，土壤磷素积累明显<sup>[14-16]</sup>。在本研究地块中土壤的有效磷含量仅为9.3 mg/kg，所以小麦的产量结果表明磷成为仅次于氮的养分限制因子。张英鹏<sup>[17]</sup>等对山东省主要土类养分调查结果也表明，被调查的潮土土样的速效磷含量大部分属于极低水平。

本研究中小麦的单株分蘖数相对较少与当年的气候异常有一定关系。小麦苗期遭受冬前早寒，影响了冬前分蘖数量，而春季则一直

持续低温，缺少继续分蘖的条件。从小麦的产量形成指标分析结果看，减素处理均造成了有效穗数、穗粒数的下降，其中减氮处理对有效穗数的影响达到显著性水平；减磷、减钾处理对千粒重影响较大。可以看出不同的养分元素对产量形成指标的影响不尽一致，对有效穗数的影响最大；三个产量形成指标综合作用导致了最后不同处理间小麦产量间的差异。

在本试验条件下，从小麦的试验结果可知：

（1）氮素为当地小麦生产的主要限制因子，其次是磷素，钾素对小麦增产影响最小。

（2）与OPT小麦产量比较，FP处理没有明显差异，减素处理中OPT-N处理减产幅度最大，减钾处理减产幅度最小，施用OPT处理60%氮肥用量的情况下没有造成明显减产。

（3）减素处理均造成了有效穗数、穗粒数的

下降, 减磷、减钾处理对千粒重影响较大。

(4) 对比各处理纯收益由高至低的顺序为

60% OPT N>OPT>FP>OPT-K>OPT-P>OPT-N。

### 参考文献:

- [1] 林葆, 李家康.我国化肥的肥效及其提高的途径—全国化肥试验网的主要结果[J].土壤学报, 1989, 26 (3): 273-279
- [2] 金继运, 李家康, 李书田.化肥与粮食安全[J].植物营养与肥料学报, 2006, 12 (5): 601-609
- [3] 叶优良, 韩燕来, 谭金芳, 等.中国小麦生产与化肥施用状况研究[J].麦类作物学报, 2007, 27 (1): 127-133
- [4] 王旭, 李贞宇, 马文奇, 等.中国主要生态区小麦施肥增产效应分析[J].中国农业科学, 2010, 43 (12): 2469-2476
- [5] 董鲁浩, 李玉义, 逢焕成, 等.不同土壤类型下长期施肥对土壤养分与小麦产量影响的比较研究[J].中国农业大学学报, 2010, 15 (3): 22-28
- [6] 彭畅, 朱平, 牛红红, 等.农田氮磷流失与农业非点源污染及其防治[J].土壤通报, 2010, 41 (2), 508-512
- [7] 贾树龙, 孟春香, 杨云马, 等.华北平原区农田优化施肥技术防治立体污染效果研究[J].中国土壤与肥料, 2010 (2), 1-6
- [8] 侯彦林, 李红英, 赵慧明.中国农田氮肥面源污染估算方法及其实证: IV各类型区污染程度和趋势[J].农业环境科学学报.2009, 28 (7): 1341-1345
- [9] 金继运, 自由路, 杨俐苹, 等.高效土壤养分测试技术与设备[M].北京: 中国农业出版社.2006
- [10] 李酉开.土壤农化常规分析方法[M].北京: 科学出版社, 1983
- [11] Tisdale S L, Nelson W L.土壤肥力与肥料[M].孙秀廷译.北京: 科学出版社, 1984
- [12] 戴良香, 张电学, 郝兰春, 等.高产粮区冬小麦—夏玉米轮作条件下土壤养分限制因子与施肥研究[J].河北职业技术学院学报, 2001, 15 (2): 5-8.
- [13] 侯传本.鲁西潮土小麦玉米氮磷钾配施效应初探[J].山东农业科学, 2008, 5: 78-79
- [14] 陈伦寿.应正确看待化肥利用率[J].磷肥与复肥, 1996, (4): 4-7
- [15] 朱兆良.肥料与农业和环境[J].大自然探索, 1998, 17 (4): 25-28
- [16] 黄绍敏, 宝德俊, 皇甫湘荣, 等.长期施肥对潮土土壤磷素利用与积累的影响[J].中国农业科学, 2006, 39 (1): 102-108
- [17] 张英鹏, 李彦, 于仁起, 等.山东省主要耕地土壤的养分含量及空间变异分析[J].华北农学报, 2008, 23 (增刊): 310-314

