

# 中高肥力壤土小麦氮钾肥相互效应 关系定量研究

韩宝文<sup>1,2</sup>, 邢素丽<sup>1</sup>, 刘孟朝<sup>1</sup>

(1. 河北农林科学院农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051; 2. 河北农业大学, 河北 保定 071001)

**摘要:**通过设计氮(N)、钾(K)二因素四水平的试验处理,利用分段函数量化分析了在中高肥力壤土条件下小麦 N 肥和 K 肥相互效应的定量关系。研究结果表明,N 肥和 K 肥的施用量对速效养分的释放有明显的相互促进作用,在不同土层深度、不同施肥区间,这种相互作用强度有差异,0~20 cm 土层大大强于 20~40 cm 土层。在 0~20 cm 耕层中,当纯 N 用量超过 300 kg/hm<sup>2</sup>,在 300~450 kg/hm<sup>2</sup> 区间内,随着 N 肥的增加,土壤速效 K 释放快速增强;当 K 肥(K<sub>2</sub>O)用量超过 150 kg/hm<sup>2</sup>,在 150~225 kg/hm<sup>2</sup> 这一区间内,随着 K 肥的增加,对土壤硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)释放的促进作用快速增强。

**关键词:**小麦;氮肥;钾肥;效应

中图分类号:S158. 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2006)增刊-0034-04

## The Effect Relationship Between Nitrogen and Potash Fertilization for Winter Wheat in Middle-High Fertilizer Loamy Soil

HAN Bao\_wen<sup>1,2</sup>, XING Su\_li<sup>1</sup>, LIU Meng\_chao<sup>1</sup>,

(1. Agricultural Resource and Environment Institute, Baoding Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:**According designing field experiment of two factors and four levels for nitrogen(N) and potassium(K) in winter wheat, this paper analyzed the effect relationship between N and K fertilization in winter wheat in middle-high fertilizer loamy soil environment by the method of piecewise analytic function. The result indicated that the application of N and K are of obviously promotion effect for the releases of available N and available K, and the intensity of the effects are of differences in different soil profiles depth and different fertilization ranges. in 0-20 cm depth cultivable soil profile layer. In depth of 0-20 cm is larger than 20-40 cm. In the depth of 0-20 cm, in middle-high fertilizer soil, when N rate is over 300 kg/hm<sup>2</sup> the promotion effect of N fertilizer to the release of mineralized K in soil quickly accelerated with the increasing of N rates; when K rate is over 150 kg/hm<sup>2</sup> and in the range of 150-225 kg/hm<sup>2</sup>, the promotion effect of K fertilizer to the release of mineralized N in soil quickly accelerated with the increasing of K rates.

**Key words:** Winter wheat; Nitrogen fertilizer; Potash fertilizer; Effect

河北平原腹地壤质褐土地带是河北省粮食高产稳产区。该地区气候适宜,年降水量为 500~600 mm,农田水浇条件好,单产水平较高。尽管这些地区农业自然条件和栽培基础较好,但是在小麦高产施肥调控方面仍然存在 N 肥盲目过多施用、K 肥施

用比例偏小和 N、K 配比不合理等问题,既影响了肥效,造成了浪费,又对生态环境形成了污染,限制了农业生产的良性发展。同时,在对 N、K 肥的效应研究方面,以往的研究虽然也提到了其交互促进作用<sup>[1~4]</sup>,但是对其互相促进的具体量化指标鲜有报

收稿日期:2006-05-10

基金项目:国家科技攻关计划“粮食丰产科技工程”(2004BA520A13);中加合作项目,PP1/PPIC 项目资助

作者简介:韩宝文(1974-),男,副研究员,硕士,主要从事植物营养研究工作。

道。肥料运筹是小麦高产的重要技术环节<sup>[5]</sup>。因此,深入研究 N、K 肥相互效应关系及合理配施,不仅可以为小麦科学施肥提供重要的理论依据,而且对指导农民合理施肥和小麦的稳产增收都具有重要的生产实践意义。

1 材料和方法

本试验于 2003–2005 年在河北省农林科学院大河试验基地进行。供试土壤为中壤质褐土。试验地肥力中等偏上,耕层土壤养分含量状况为:有机质 18.4 mg/g,全 N 1.01 mg/g,速效 P 25.68 mg/kg,速效 K 115.8 mg/kg,缓效 K 1 294.2 mg/kg。试验采用随机区组设计,共设 7 个处理,4 次重复,小区面积 36 m<sup>2</sup>。于每季返青期追肥前和收获后各区取土壤样本一次测定土壤速效 N、K 含量状况,并于收获后测产。速效 K 的测定采用乙酸铵提取法,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的测定采用酚二磺酸比色法<sup>[6]</sup>。试验设计方案如表 1。

表 1 氮、钾交互作用试验方案

Tab. 1 Designs of N and K fertilization experiment

编号 Number	处理 Treatment	肥料施用量 Fertilizer kg/ hm <sup>2</sup>		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	150	150	150
2	N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	300	150	150
3	N <sub>450</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	450	150	150
4	N <sub>600</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	600	150	150
5	N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>75</sub>	300	150	75
6	N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>225</sub>	300	150	225
7	N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>300</sub>	300	150	300

2 结果与分析

2.1 氮肥对土壤速效钾含量的影响

农田中 N 肥的去向可分为 3 个部分:作物吸收、残留在土壤中、损失(挥发和淋失)。这 3 个部分此长彼消、密切相关<sup>[7]</sup>。小麦在生长发育过程中,不断地从土壤中吸收养分,同时也伴随着土壤养分的不断矿化过程<sup>[5]</sup>。从表 2 的一个生长季后各个处理土壤速效 K 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量的动态消长情况可以看出,一个生长季后耕层 0~20 cm 速效 N、K 养分变化量大多呈现负值,也就是说,随着植株的生长,耕层 0~20 cm 的速效 N、K 养分被迅速消耗,其消耗量远远大于土壤中该养分的释放。20~40 cm 的速效 N、K 养分变化与之类似。从图 1 的趋势图来看,对 0~20 cm 耕层,在不同处理间,当纯 N 用量超过 300 kg/hm<sup>2</sup>以后,随着 N 肥用量的增加,土壤速效 K 的

消耗量与释放的差异大大减小,也就是说 N 肥对土壤耕层速效 K 释放的促进作用快速增强,适量的 N 肥大大提高了土壤 K 养分的供应水平。N 肥与土壤速效 K 变化量的关系可以一组分段函数来拟和,即

$$y = \begin{cases} -0.38133x - 29.2 & \text{当 } 0 < x \leq 150 \\ 0.772x - 365.2 & \text{当 } 300 \leq x \leq 450 \\ 0.3213x - 126.8 & \text{当 } 450 \leq x \leq 600 \end{cases} \quad (1)$$

其中 y 为一个生长季土壤速效 K 变化量,单位为 mg/kg, x 为施入 N 肥的量,单位为 kg/hm<sup>2</sup>。

从(1)式可以看出,当纯 N 用量在 300~450 kg/hm<sup>2</sup>这一区间时,对土壤速效 K 释放的促进作用最强,在这一区间之外,其促进作用都相对弱或不明显。因而可以认为适量多施 N 肥可以增强 K 养分在耕层的供应能力。

表 2 一个生长季后土壤速效 N、速效 K 的变化量

Tab. 2 The change amount of available N and available K after a season

处理 Treatment	mg/kg			
	0~20 cm		0~40 cm	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	速效 K	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	速效 K
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	-23.63	-86.40	-5.37	1.80
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	-56.62	-133.60	-1.75	-16.40
N <sub>450</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	-66.32	-17.80	15.33	-6.20
N <sub>600</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	1.44	30.40	39.55	-33.00
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>75</sub>	-55.81	-34.80	12.98	-10.80
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>225</sub>	-24.97	-14.00	6.34	1.00
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>300</sub>	-25.50	-25.40	-6.55	-22.40

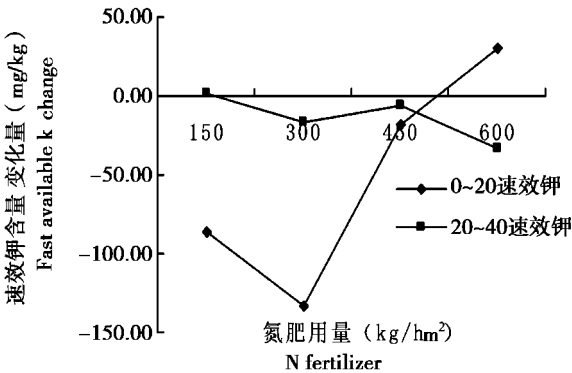


图 1 N 肥对 K 肥的促进作用

Fig. 1 The facilitated effect of N to K

在 20~40 cm 土层壤速效 K 变化量与 N 肥施用量也可以由一分段函数来拟和如(2)式。从(2)式和图 1 可以看出,在纯 N 用量在 300~450 kg/hm<sup>2</sup>这一区间时,也存在对土壤速效 K 的促进作用,只是与耕层 0~20 cm 相比要弱得多,前者斜率为 0.772,后者仅为 0.068。在其他区间没有对土壤速效 K 的促进作用。

$$y = \begin{cases} -0.12133x + 20 & \text{当 } 0 < x \leq 150 \\ 0.068x - 36.8 & \text{当 } 300 \leq x \leq 450 \\ 0.17867x + 74.2 & \text{当 } 450 \leq x \leq 600 \end{cases} \quad (2)$$

2.2 钾肥对土壤速效氮含量的影响

从图 2 的趋势图来看, 与 N 肥对速效 K 的促进作用相似: 在 0~ 20 cm 耕层内, 当 K<sub>2</sub>O 用量超过 150 kg/hm<sup>2</sup> 以后, 随着 K 肥用量的增加, K 肥对土壤耕层 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> \_N 释放的促进作用快速增强。也就是说, 适量多的 K 肥提高了土壤 N 养分的供应能力。K 肥与土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> \_N 变化量的关系可以一组分段函数来拟和, 即

$$y = \begin{cases} 0.0108x - 63.91 & \text{当 } 0 < x \leq 150 \\ 0.422x + 119.92 & \text{当 } 150 \leq x \leq 225 \\ -0.6729x + 176.38 & \text{当 } 250 \leq x \leq 300 \end{cases} \quad (3)$$

其中 y 为一个生长季土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> \_N 变化量, 单位为 mg/kg, x 为施入 K 肥的量, 单位为 kg/hm<sup>2</sup>。

从 (3) 式可以看出, 当 K<sub>2</sub>O 用量在 150~ 225 kg/hm<sup>2</sup> 这一区间时, 对土壤速效 N 释放的促进作用最强, 在这一区间之外, 其促进作用都不明显。因而可以认为适量多施 K 肥可以提高耕层土壤供 N 能力。

在 20~ 40 cm 耕层 K 肥与土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> \_N 变化量

也可以由一段函数来拟和如(4)式。从(4)式和图 2 可以看出, 在 K<sub>2</sub>O 150~ 225 kg/hm<sup>2</sup> 这一区间时, 也存在对土壤速效 N 的促进作用, 只是与耕层 0~ 20 cm 相比要弱得多, 前者斜率为 0.422, 后者仅为 0.1079。在其他区间没有对土壤速效 N 的促进作用。

$$y = \begin{cases} -0.1964x + 27.71 & \text{当 } 0 < x \leq 150 \\ 0.1079x - 17.9375 & \text{当 } 150 \leq x \leq 225 \\ -0.1719x + 45.01 & \text{当 } 250 \leq x \leq 300 \end{cases} \quad (4)$$

由此认为适量的 K 肥可以明显促进 0~ 20 cm 耕层速效态 N 的释放, 与 N 肥对 K 肥的促进功能是相一致的。

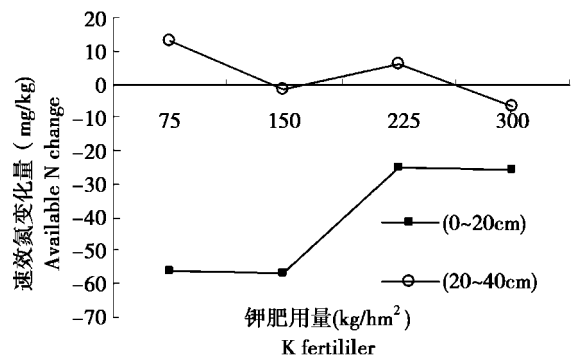


图 2 K 肥对 N 肥的促进作用  
Fig. 2 The facilitated effect of K to N

表 3 2004 年大河小麦产量差异分析

Tab. 3 The Differences analysis of wheat yield in Dahe in 2004		kg/ hm <sup>2</sup>					
处理内容 Treatment	平均产量 X Average yield	X- 6405.0	X- 6412. 5	X- 6506. 3	X- 6575	X- 6606. 3	X- 6628. 8
N <sub>60</sub> P <sub>150</sub> K <sub>15</sub>	6405						
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	6412. 5	7. 5					
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>225</sub>	6506. 3	101. 3	93. 8				
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>25</sub>	6575. 0	170. 0	162. 5	68. 7			
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	6606. 3	201. 3*	193. 8*	100	31. 3		
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>300</sub>	6628. 8	223. 8**	216. 3**	122. 5	53. 8	22. 5	
N <sub>450</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	6786. 3	381. 3**	373. 8**	280**	211. 3**	180*	157. 5

L. S. D(0. 1) = 174. 59      L. S. D(0. 05) = 211

表 4 2005 年大河小麦产量差异分析

Tab. 4 The Differences Analysis of wheat yield in Dahe in 2005		kg/ hm <sup>2</sup>					
处理内容 Treatment	平均产量 X Average yield	X- 4930	X- 5054	X- 5075	X- 5161	X- 5356	X- 5473
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>300</sub>	4930						
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	5054	124					
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	5075	145	21				
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>225</sub>	5161	231	107	86			
N <sub>300</sub> P <sub>150</sub> K <sub>25</sub>	5356	426	302	281	195		
N <sub>600</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	5473	543	419	398	312	117	
N <sub>450</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	5841	911* *	787*	766*	680	485	368

L. S. D(0. 1) = 693. 17 ...L. S. D(0. 05) = 837. 76

### 2.3 氮钾交互对产量的影响

表3, 4是大河2004, 2005年小麦N, K效应试验的产量差异分析。从结果来看, 在P肥一定的情况下最好的组合是 $N_{450}K_{150}$ , N, K比例为3:1, 比其他组合分别增产2%~15%。与前述的分析取得了较为一致的结论。

## 3 讨论

适量的N, K肥互作可以相互促进其速效养分在耕层的释放量, 相互提高各自在土壤中的供应水平。对不同作物、不同土壤类型、不同深度土层, N, K互相促进的表现存在一定差异。已有试验证明, 在黑土类型条件下, K肥对玉米的增产增效作用同N肥用量有关, 高N( $300\text{ kg/hm}^2$ )基础上的K肥增产值高于低N( $120\sim 240\text{ kg/hm}^2$ )下K肥对玉米的增产效果与效应<sup>[8]</sup>。对小麦而言, 0~20 cm耕层中无论是N对K的促进还是K对N的促进作用相对20~40 cm耕层都要明显得多, 表现在两分段拟和函数的斜率相差10倍以上。本研究结果也表明, 无论是N对K的促进还是K对N的促进作用只是在某个施肥区间存在明显作用。在中高肥力壤质褐土中, N, K相互促进的施肥指标为纯N  $300\sim 450\text{ kg/hm}^2$ ,  $K_2O$   $150\sim 225\text{ kg/hm}^2$ 。

速效N肥多呈弱酸性, N肥对K肥的促进作用, 可能与土壤pH值有关, 已有研究结果表明, 土壤pH值降低或用酸处理土壤后, 其固K能力大为降低, 这是因为酸性土壤中的羟基铝离子及其聚合物占据了原来 $K^+$ 离子的位置, 使 $K^+$ 离子无法进入空间。即使是 $H_2O\cdot H^+$ 离子也可因半径与 $K^+$ 离子

接近而能与之竞争。反之, 当对酸性土壤施用石灰(或含伊利石、蛭石的土壤)则可提高其固K能力百分之几十到几倍<sup>[9]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 苗艳芳, 李友军, 张会民, 等. 氮钾肥对小麦养分吸收的影响及增产效应[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(2): 43-47.
- [2] 张亚军, 许宏军, 常秋红, 等. 氮钾配比对小麦氮素利用率及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(5): 776-779.
- [3] 何天秀, 王正银, 何成辉, 等. 钾、氮营养平衡与花菜高产优质高效的关系[J]. 土壤通报, 1999, 30(05): 227-229.
- [4] 罗安程, 杨肖娥. 氮钾供应水平与水稻生育后期对不同形态氮吸收的关系[J]. 中国农业科学, 1998, 31(03): 62-65.
- [5] 苗艳芳, 刘洪霞, 王荣, 等. 氮钾肥配合施用对小麦养分吸收及土壤肥力的影响[J]. 洛阳农专学报, 1998, 18(2): 30-34.
- [6] 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.
- [7] 朱兆良. 关于提高利用率问题. 肥料与农业发展, 国际肥料与农业发展学术论文集[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 221-228.
- [8] 张宽, 吴巍, 王秀芳, 等. 氮肥用量对钾肥增产效果的影响. 中国农科院土肥、加拿大钾磷研究所编. 北方土壤钾素和钾肥效应论文集[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 80-83.
- [9] 周鸣铮. 土壤肥力学概论[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1985: 205-266.