

# 高效施肥

BETTER CROPS CHINA

2012年5月总第28期

本期文章……



双城玉米平衡施肥  
效应研究



施磷对棉花磷素吸收、  
利用和产量的影响



施肥对加工番茄生长发育  
和养分吸收利用的影响



喷灌条件下玉米施肥肥效及  
养分吸收的研究 40页



更多文章 敬请关注  
[www.ipni.net](http://www.ipni.net)

# CONTENTS | 目录

## 《高效施肥》

国际植物营养研究所系列期刊  
《BETTER CROPS》中文版专刊  
2012年5月 总第28期

主 编 金继运  
编 辑 陈 防 涂仕华 李书田 何 萍  
孙桂芳

### 国际项目总部

Saskatoon, Saskatchewan, Canada  
A.M. Johnston, Vice President, IPNI Asia and Africa Group

### 理事会

J. Felker, Chairman of the Board, K + S KALI GmbH  
S.R. Wilson, Vice Chairman of the Board, CF Industries Holdings, Inc.  
M. Ibnbadeljalil, Finance Committee Chair, OCP S.A.

### 行政办公室

Norcross, Georgia, American  
T.L. Roberts,  
President, IPNI

### 北美项目总部

Brookings, South Dakota, American  
P.E. Fixen, Senior Vice President, IPNI Americas and Oceania Group and Director of Research

### 东欧中亚项目部

Moscow, Russia  
Svetlana Ivanova, Vice President, IPNI Eastern Europe/Central Asia and Middle East Group

### 中国项目部

金继运 主任 北京办事处 jyjin@ipni.net  
何 萍 副主任 北京办事处 phe@ipni.net  
李书田 副主任 北京办事处 sli@ipni.net  
孙桂芳 女士 北京办事处 gfsun@ipni.net  
陈 防 副主任 武汉办事处 fchen@ipni.net  
涂士华 副主任 成都办事处 stu@ipni.net

### 会员公司:

Agrium Inc. · Arab Potash Company · Belarusian Potash Company · CF Industries Holdings, Inc. · Compass Minerals Specialty Fertilizers · OCP S.A · Incitec Pivot · International Raw Materials LTD · Intrepid Potash, Inc. · K + S KALI GmbH · The Mosaic Company · PotashCorp · Simplot · Sinofert Holdings Limited · SQM · Uralkali · Vale Fertilizantes S.A.

科学利用肥料资源是实现农业持续增产和保护环境的关键	1
双城玉米平衡施肥效应研究	3
控释尿素 (CRU) 在夏玉米上的施用效果研究	8
安徽省沿江潮土区棉花养分限制因子及施肥效益研究	13
施磷对棉花磷素吸收、利用和产量的影响	19
施肥对加工番茄生长发育和养分吸收利用的影响	26
巢湖流域中稻高产高效平衡施肥技术	34
花生适宜氮肥用量研究	39
喷灌条件下玉米施肥肥效及养分吸收的研究	42
养分缺乏与中毒—永远与作物相伴	48
国际植物营养研究所 (IPNI) 作物缺素症图片奖	51
IPNI 中国项目 2011—2012 工作会议在海南举行	55
简 讯	58

网页: <http://www.ipni.net>  
<http://ipni.caas.ac.cn>

The Government of Saskatchewan helps make this publication possible through its resource tax funding. We thank them for their support of this important educational project.

此刊物由加拿大萨斯喀彻温省政府资助。  
特此致谢!

《高效施肥》为 IPNI 中国项目部的出版物, 每年五月及十月各一期。

本刊物以推动科学化的合理施肥为目标。  
可免费向北京、武汉、成都办事处索取。

# 科学利用肥料资源是实现农业持续增产和保护环境的关键

金继运

(IPNI 中国项目部 北京)



众所周知，我国的基本国情是人多地少耕地质量差，这是我国几千年只依靠施用有机肥维持农田养分循环，长期掠夺式经营的结果。所以，建国以来，我国主要依靠化肥的大量投入保证作物持续增产。自1993年以来，我国成为世界肥料消费第一大国。近年来，我国化肥养分消费量约占世界总消费量的三分之一。

化肥的投入加强了农田作物生产系统中物质和能量的循环强度，增加了农田生产力，为我国作物持续增产做出了重要贡献。建国后60年大量的研究表明，施肥对作物增产的贡献大约为40%—50%。自2004年以来，在国家支农惠农政策的支持下，我国通过增施肥料和其他农艺措施的结合，保障了粮食产量连续增加，为我国粮食安全和世界粮食市场稳定做出了贡献。

但是，我国肥料资源利用中还存在很多问题，由于种种原因平衡施肥在很多地区和作物上尚未真正实现，有机养分资源未能充分利用，氮肥过量使用相当普遍，氮素损失严重，很多地区和作物上磷肥用量大，土壤中积累较快，但是钾肥和中微量元素没有受到足够的关注，其结果造成了肥料效益低，影响环境质量。国内大量研究表明，我国在粮食作物上氮肥的当季回收率只有30%—35%，国际植物营养研究所（IPNI）2001—2007年在全国开展的肥料试验结果表明，

氮肥用在水稻、小麦和玉米上的当季利用率分别为27.2%、43.8%和32.4%，显著低于发达国家和国际上比较认可的水平。我国有机肥料资源用的也不好，据估计2005年，我国有机肥和秸秆生成的养分总量7126万吨，其中2825万吨N，1291万吨 $P_2O_5$ 和3010万吨 $K_2O$ ，但是有效返回农田的不足40%。

然而，我国人口增长的压力以及生活改善和经济发展对粮食和农产品的需求依然不断增加，2008年国务院通过《国家粮食安全中长期规划纲要》，提出至2020年粮食综合生产能力达到5.4亿吨以上，并使粮食自给率稳定在95%以上。与此同时，我国为了实现高产目标，已经在很大程度上依赖化肥的施用，化肥用量已经较高，加上使用不合理等问题，肥料的不科学管理已经引发了环境问题。2010年2月6日，由中华人民共和国环境保护部、中华人民共和国国家统计局和中华人民共和国农业部联合发布的“第一次全国污染源普查公报”指出，农业源污染物排放对水环境的影响较大，其化学需氧量排放量为1324.09万吨，占化学需氧量排放总量的43.7%；农业源也是总氮、总磷排放的主要来源，其排放量分别为270.46万吨和28.47万吨，占排放总量的57.2%和67.4%。要从根本上解决我国的水污染问题，必须把农业源污染防治纳入环境保护的重要议程。所以，最大限度提高肥料氮素和磷素的作物利用效率，最大限度的减少氮

磷从农田向环境的排放，是我们当前肥料工作的重要目标。

面对高产需求和环境保护的双重压力，要求我们植物营养与肥料领域在理论上有突破，在技术上有创新。最近国际植物营养研究所（IPNI）在我国的合作项目研究结果表明，如缓控释肥、滴灌施肥等一项肥料或施肥技术上的创新，即可显著地提高肥料利用效率，减少

肥料的损失和对环境的不良影响。

要实现作物高产和保护环境的双重目标，我们必须制定正确的养分管理的策略，包括用好一切可以利用的有机养分资源，保证优质高产和培肥地力的平衡施肥，生产高效的缓控释肥、滴灌施肥等新型肥料、充分发挥施肥和水分、耕作等其他农艺措施的交互作用等。

## 双城玉米平衡施肥效应研究

姬景红 李玉影 刘双全 佟玉欣 刘颖 张明怡

(黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 哈尔滨 150086)



**摘要:** 2003—2007年在黑龙江省玉米主产区双城采用小区对比试验研究了玉米平衡施肥效果。结果表明,增施氮磷钾锌硫酸肥均可提高玉米产量。施氮肥玉米平均增产32.3%;每公斤N增产玉米14.9公斤;增效120元/亩。施磷平均增产15.6%;每公斤 $P_2O_5$ 增产玉米18.0公斤;增效61元/亩。施钾平均增产21.0%;每公斤 $K_2O$ 增产玉米18.5公斤;增效99元/亩。施硫平均增产7.1%;每公斤石膏增产玉米4.7公斤;增效42元/亩。施锌平均增产14.2%;每公斤硫酸锌增产玉米61.5公斤;增效83元/亩。玉米氮、磷、钾的平衡系数平均分别为0.85、0.74和0.52。氮、磷、钾肥利用率平均分别为35.7%、23.3%和47.6%,氮磷钾肥利用率仍有较大的提高空间。

**关键词:** 玉米, 产量, 效益, 农学效率, 肥料利用率

玉米是黑龙江省主要粮食作物之一,1998—2009年,年平均播种面积4236万亩,并呈逐年上升趋势,至2009年玉米播种面积已超过7281万亩<sup>[1]</sup>;我省玉米生产总体呈现出单产不高、总产不稳的趋势,平均亩产312公斤,其产量还有较大的提高空间。双城市位于黑龙江省西南部,无霜期135~145天,有效积温2700~2900℃,年日照数平均为2580小时,年降雨量410~520毫米<sup>[2,3]</sup>。其自然条件优越且与玉米生育进程同步;主要耕地土壤为黑钙土,土壤肥沃,光、热、水资源丰富且分布合理,是国家主要粮食生产基地;现有耕地面积283万亩,其中玉米年平均播种面积为226万亩,占农作物总播种面积的80%,总产量达15.5亿公斤左右。在国家76个商品粮基地县中,双城粮食生产量排在前10名。玉米总产、单产、人均占有量、国家调出量、出口量均居全国前十位<sup>[3]</sup>。然而目前农民施肥仍然存在盲目性,导致土壤养分比例失

调,玉米产量、品质下降,而采取平衡施肥措施对确保玉米高产稳产具有重要的作用<sup>[4,5]</sup>。在IPNI项目的资助下,本文研究了2003—2007年双城市玉米平衡施肥效应,明确该地区土壤养分限制因子,以做到充分发挥黑龙江省的资源优势,达到玉米的高产、稳产和高效。

### 1 材料与方法

试验设在黑龙江省玉米主产区双城市,供试土壤为黑土。试验采用田间小区试验方法,设6个处理,小区面积30平方米,3次重复,随机区组排列。2003年供试玉米品种为改良本育9;2004年和2005年品种为吉单180;2006年和2007年品种为郑单958。玉米种植密度为3300—4000株/亩。2003年氮肥30%作基肥,70%作追肥;2004—2007年氮肥40%作种肥,60%作追肥,其它肥料全部作基肥一次性施入。氮、磷、钾、硫和锌肥分别用尿素、过磷酸钙、氯化钾、

表 1 土壤基础肥力分析

年份	pH	有机质 (%)	有效养分 (毫克 / 升)					
			N	P	K	S	B	Zn
2003	5.4	2.30	11.6	15.3	86.2	8.7	2.1	2.7
2004	5.2	1.25	3.3	12.6	97.6	2.9	1.5	1.6
2005	5.6	3.15	15.6	7.4	66.5	2.7	2.2	1.6
2006	5.2	2.50	12.3	13.4	48.0	7.3	1.4	1.1
2007	5.0	2.30	12.4	12.8	63.0	10.7	0.2	1.3

\* 尿素含 N46%；重过磷酸钙含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>46%；氯化钾含 K<sub>2</sub>O60%；石膏含 S23%；硫酸锌含 Zn35%

石膏和硫酸锌。土壤基础肥力见表 1。

## 2 结果与分析

### 2.1 平衡施肥对玉米产量和经济效益的影响

2003—2007 年双城玉米试验结果表明，平衡施肥对玉米产量和经济效益有明显的促进作用 (表 2)。OPT 处理玉米产量为 552.4—778.1 公斤 / 亩，平均为 648.1 公斤 / 亩；OPT-N 的产量为 415.3—634.1 公斤 / 亩，平均为 495.0 公斤 / 亩；OPT-P 的产量为 456.8—748.5 公斤 / 亩，平均为 568.9 公斤 / 亩；OPT-K 的产量为 460.8—659.3 公斤 / 亩，平均为 538.6 公斤 / 亩；OPT-S 的产量为 536.5—723.3 公斤 / 亩，平均为 604.9 公斤 / 亩；OPT-Zn 的产量为 486.7—659.3 公斤 / 亩，平均为 568.1 公斤 / 亩。

增施氮肥玉米增产 21.0—50.6%，平均为 32.3%；每公斤 N 增产玉米 11.6—21.0 公斤，平均为 14.9 公斤；增效 69—172 元 / 亩，平均为 120 元 / 亩。增施磷肥增产 3.9—35.1%，平均为 15.6%；每公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产玉米 6.6—35.6 公斤，平均为 18.0 公斤；增效 9—186 元 / 亩，平均

为 61 元 / 亩。增施钾肥增产 9.4—35.7%，平均为 21.0%；每公斤 K<sub>2</sub>O 增产玉米 9.5—24.6 公斤，平均为 18.5 公斤；增效 26—154 元 / 亩，平均为 99 元 / 亩。增施硫肥增产 3.0—12.8%，平均为 7.1%；每公斤石膏增产玉米 1.8—7.8 公斤，平均为 4.7 公斤；增效 9—87 元 / 亩，平均为 42 元 / 亩。增施锌肥增产 4.2—26.8%，平均为 14.2%；每公斤硫酸锌增产玉米 17.1—100.4 公斤，平均为 61.5 公斤；增效 14—166 元 / 亩，平均为 83 元 / 亩。



2005 年双城玉米平衡施肥试验

表2 不同施肥处理玉米产量及经济效益分析

项目	处理	年份					平均
		2003	2004	2005	2006	2007	
产量 (公斤/亩)	OPT	552.4a	667.1a	625.5a	778.1a	617.2a	648.1
	OPT-N	419.1b	551.1d	415.3c	634.1ab	455.3cd	495.0
	OPT-P	469.9b	611.9bc	557.4b	748.5a	456.8cd	568.9
	OPT-K	504.7ab	583.2cd	460.8c	659.3ab	485.2c	538.6
	OPT-S	536.5a	631.4ab	586.1ab	723.3a	547.1b	604.9
	OPT-Zn	530.1a	593.1bc	571.1ab	659.3ab	486.7c	568.1
增产率 (%)	N	31.8	21.0	50.6	22.7	35.5	32.3
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	17.6	9.0	12.2	3.9	35.1	15.6
	K <sub>2</sub> O	9.4	14.4	35.7	18.0	27.2	21.0
	石膏	3.0	5.7	6.7	7.6	12.8	7.1
	硫酸锌	4.2	12.5	9.5	18.0	26.8	14.2
农学效率 (公斤/公斤)	N	13.3	11.6	21.0	13.5	15.1	14.9
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20.6	13.8	13.6	6.6	35.6	18.0
	K <sub>2</sub> O	9.5	16.8	24.6	19.8	22.0	18.5
	石膏	1.8	4.0	3.9	6.1	7.8	4.7
	硫酸锌	17.1	56.9	41.8	91.4	100.4	61.5
增加效益 (元/亩)	N	77.0	69.0	172.0	111.0	170.0	120.0
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	50.0	17.0	43.0	9.0	186.0	61.0
	K <sub>2</sub> O	26.0	62.0	145.0	107.0	154.0	99.0
	石膏	9.0	29.0	34.0	53.0	87.0	42.0
	硫酸锌	14.0	63.0	50.0	121.0	166.0	83.0
* 价格(元/公斤): 2003年 N3.0, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 3.9, K <sub>2</sub> O2.5, 石膏0.4, 硫酸锌2.7; 2004年 N3.5; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 4.3, K <sub>2</sub> O2.8, 石膏0.4, 硫酸锌2.8; 2005—2007年 N3.8, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 5.0, K <sub>2</sub> O3.0, 石膏0.5, 硫酸锌3; 2003—2007年玉米价格分别为0.8、0.9、1.0、1.05、1.3元/公斤。							
* 同一列中不同小写字母代表5%水平上差异显著。							

2.2 玉米平衡施肥氮磷钾肥的肥料利用率

由表3可以看出黑龙江省双城市玉米氮(N)的平衡系数为0.8-0.9, 平均为0.85; 磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

的平衡系数为0.58-0.90, 平均为0.74; 钾(K<sub>2</sub>O)的平衡系数为0.40-0.64, 平均为0.52。说明双城地区玉米生产氮磷钾施用量 N10.3 公斤/

亩、 $P_2O_5$ 4.4 公斤 / 亩、 $K_2O$ 5.7 公斤 / 亩，其中氮磷肥略有不足，尤其应增加钾肥用量，否则长期种植玉米易造成土壤钾素的亏缺。

氮肥利用率 (N) 为 30.0–39.3%，平均为

35.7%；磷肥利用率 ( $P_2O_5$ ) 为 20.0–26.7%，平均为 23.3%；钾肥利用率 ( $K_2O$ ) 为 45.0–52.0%，平均为 47.6%。氮磷钾肥利用率仍有较大的提高空间。

表 3 双城玉米平衡施肥的肥料利用率

项目	处理	年份					平均
		2003	2004	2005	2006	2007	
施肥量 (公斤 / 亩)	N	10.0	10.0	10.0	10.7	10.7	10.3
	$P_2O_5$	4.0	4.0	5.0	4.5	4.5	4.4
	$K_2O$	5.0	5.0	6.7	6.0	6.0	5.7
	石膏	9.0	9.0	10.0	9.0	9.0	9.2
	硫酸锌	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
平衡系数	N	0.80	0.90	0.81	0.90	0.84	0.85
	$P_2O_5$	0.58	0.69	0.78	0.76	0.90	0.74
	$K_2O$	0.40	0.42	0.64	0.49	0.63	0.52
肥料利用率 (%)	N	39.3	30.0	34.0	36.9	38.1	35.7
	$P_2O_5$	23.3	20.0	21.3	25.0	26.7	23.3
	$K_2O$	52.0	46.7	45.0	47.8	46.7	47.6

### 3 结论

3.1 五年试验结果表明，影响双城地区玉米产量的主要土壤养分限制因子是氮，其次是钾磷，再次是锌，潜在因子是硫。

3.2 施氮玉米平均增产 32.3%；每公斤 N 增产玉米 14.9 公斤；增效 120 元 / 亩。施磷平均增产 15.6%；每公斤  $P_2O_5$  增产玉米 18.0 公斤；增效 61 元 / 亩。施钾平均增产 21.0%；每公斤  $K_2O$  增产玉米 18.5 公斤；增效 99 元 / 亩。施硫平均增产 7.1%；每公斤石膏增产玉米 4.7 公斤；增效 42 元 / 亩。施锌平均增产 14.2%；每

公斤硫酸锌增产玉米 61.5 公斤；增效 83 元 / 亩。

3.3 双城地区玉米生产氮磷钾施用量 N10.3 公斤 / 亩、 $P_2O_5$ 4.4 公斤 / 亩、 $K_2O$ 5.7 公斤 / 亩，其中氮磷肥略有不足，尤其应增加钾肥用量，否则长期种植玉米易造成土壤钾素的亏缺。

3.4 双城地区玉米生产氮肥利用率 (N) 平均为 35.7%；磷肥利用率 ( $P_2O_5$ ) 平均为 23.3%；钾肥利用率 ( $K_2O$ ) 平均为 47.6%。氮磷钾肥利用率仍有较大的提高空间。

参考文献

- [1] 黑龙江省统计局. 黑龙江统计年鉴. 中国统计出版社, 2010
- [2] 冷玲, 刘双全, 魏颖. 双城土壤养分空间变异与玉米分区施肥技术研究[J]. 黑龙江农业科学, 2007, 4: 38 ~ 40
- [3] 刘慧兰. 双城玉米生产突破亩产吨粮的经济意义和发展前景[J]. 黑龙江科技信息, 2009, 149
- [4] 邢月华, 韩晓日, 汪仁, 等. 平衡施肥对玉米养分吸收、产量及效益的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009, 2: 27-29
- [5] 郑福丽, 刘兆辉, 张文君, 等. 优化施用钾肥对夏玉米产量及养分平衡的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(4): 864-866



2007年双城玉米平衡施肥试验

# 控释尿素 (CRU) 在夏玉米上的施用效果研究

孙克刚 和爱玲 李丙奇

(河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州, 450002)

**摘要:** 通过田间试验方法, 评价控释尿素 (CRU, 含氮量 44%) 在玉米上的施用效果和方法, 通过施用 CRU 对玉米籽粒产量、氮素吸收与利用的影响, 揭示 CRU 在驻马店夏玉米上的施用效果。试验结果表明: 施用控释尿素使玉米产量及氮素利用率均比普通尿素增加。

**关键词:** 控释尿素, 普通尿素, 玉米, 氮素利用率

玉米是河南省第二大作物, 2011 年播种面积在 4500 多万亩, 玉米科学施肥及提高氮素利用率是当前玉米施肥的关键技术。因此, 我们在驻马店地区进行控释肥料试验, 以期玉米科学使用氮素、改善土壤肥力及保障土地可持续发展提供依据。



## 1 材料与与方法

### 1.1 试验地基本情况

本试验于 2011 年在河南省驻马店农科所农场进行, 小区面积为  $4 \times 5 = 20$  平方米, 重复 3 次, 随机区组排列, 田间管理按丰产田要求, 并记载生物学性状。玉米品种为: 郑单 958, 播种密度: 5000 株 / 亩。试验于 2011 年 6 月 2 日播种, 于 2011 年 9 月 25 日收获。

收获各小区籽粒 (或收获部分) 和秸秆 (或生物) 产量; 对植株和籽粒进行 N、P、K 元素吸收分析。试验地的基本情况和相关农化性状见表 1,

表 1 试验点的基本情况和相关农化性状

地点	pH	有机质 (克 / 公斤)	碱解 N (毫克 / 公斤)	有效磷 (毫克 / 公斤)	有效钾 (毫克 / 公斤)
驻马店	5.87	8.0	82.3	8.9	53.8

## 1.2 试验设计：试验设 9 个处理，详见表 2。

表 2 试验设计

处理代号	处理内容	氮肥用量 (公斤 / 亩)
CK (PK)	对照, 不施 N 肥	0
BU100% B	100% 用量的普通尿素, 全部做基肥施用	12
CRU100% B	100% 用量的控释尿素, 全部做基肥施用	12
BU40% B+60% T	普通尿素, 40% 播前基施, 60% 追肥;	12
(BU40%+CRU60%) B	40% BU 和 60% CRU 混配, 全部作基肥施用	12
CRU75% B	75% 用量的控释尿素, 全部做基肥施用	9
BU75% B	75% 用量的普通尿素, 全部做基肥施用	9
CRU50% B	50% 用量的控释尿素, 全部做基肥施用	6
BU50% B	50% 用量的普通尿素, 全部做基肥施用	6

注：磷钾用量分别为 6 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ 亩和 6 公斤 K<sub>2</sub>O/ 亩。

## 2 结果与分析

### 2.1 控释尿素对玉米产量的影响

由表 3 玉米产量结果可以看出, 在该试验点, 产量以 (BU40%+CRU60%) B 处理产量最高, 为 535 公斤 / 亩, 其次为 BU40%B+60%T 处理, 为 528 公斤 / 亩, CRU100%B 处理为 522 公斤 / 亩, BU100%B 处理为 495 公斤 / 亩, CRU75%B 处理玉米产量为 485 公斤 / 亩, BU75%B 玉米产量为 448 公斤 / 亩, CRU50%B 玉米产量为 442 公斤 / 亩, BU50%B 玉米产量为 384 公斤 / 亩, N0 玉米产量为 354 公斤 / 亩。

在该试验点, 等氮量时, CRU 处理较 BU 处理表现出显著的产量优势, 等氮量比较, CRU100%B 处理为 522 公斤 / 亩, 比 BU100%B 处理增加 5.5%, 产量提高 27 公斤 / 亩; CRU75%B 处理为 485 公斤 / 亩, 比 BU75%B

处理增加 8.3%, 产量提高 37 公斤 / 亩; CRU50%B 处理为 442 公斤 / 亩, 比 BU50%B 处理增加 15.1%, 产量提高 58 公斤 / 亩。

随着控释尿素氮肥用量的增加玉米产量增加, CRU100%B 处理比 CRU75%B 处理增产 7.6%, 产量提高 37 公斤 / 亩; 比 CRU50%B 处理增产 18.1%, 产量提高 80 公斤 / 亩;



表3 夏玉米籽粒产量

处理	产量 (公斤/亩)	5% 显著性	1% 显著性	较 N0 增产	较 N0 增产 (%)
N0	354	e	E	--	--
BU100%B	495	b	BC	141	39.8
CRU100%B	522	a	AB	168	47.5
BU40%B+60%T	528	a	AB	174	49.1
(BU40%+CRU60%)B	535	a	A	181	51.1
CRU75%B	485	b	C	131	37.0
BU75%B	448	c	D	94	26.6
CRU50%B	442	c	D	88	24.9
BU50%B	384	d	E	30	8.8

CRU75%B 处理比 CRU50%B 处理增产 9.7%，产量提高 43 公斤/亩。

普通尿素也表现出同样的趋势，随着氮肥用量的增加玉米产量在增加，BU100%B 处理比 BU75%B 处理增产 10.5%，产量提高 47 公斤/亩；比 BU50%B 处理增产 28.9%，产量提高 111 公斤/亩；BU75%B 处理比 BU50%B 处理增产 16.7%，产量提高 64 公斤/亩。

相同氮量处理 CRU100%B, (BU40%+CRU60%)B, BU40%B+60%T 三个处理产量之间差异没有达到显著差异，但与 BU100%B 处理均达到显著性差异。

在该试验中值得注意的是，施氮量为 75% 的 CRU75%B 处理和 BU100%B 处理相比，施氮量为 50% 的 CRU50%B 处理和 BU75%B 处理相比，产量并没有显著下降，表明施用 CRU 可以在减少氮肥施用量的同时，并不显著减少产量。

## 2.2 控释尿素对氮素吸收和利用率的影响

氮肥利用率以 (BU40%+CRU60%) B 最

高，为 44.3%，其次为 BU40%B+60%T 处理，为 44.1%，CRU100%B 处理为 41.2%，CRU75%B 处理为 35.9%，BU100%B 处理为 32.3%，CRU50%B 处理为 31.3%，BU75%B 为 28.4%，BU50%B 为 25.7%。

在该试验点，等氮量时，CRU 处理较 BU 处理氮肥利用率有不同程度提高，CRU100%B 比 BU100%B 处理提高 8.9 个百分点，CRU75%B 处理比 BU75%B 处理增加 7.5 个百分点，CRU50%B 处理比 BU50%B 处理增加 5.7 个百分点。

随着控释尿素氮肥用量的增加玉米氮肥利用率增加，CRU100%B 处理比 CRU75%B 处理提高 5.2 个百分点，比 CRU50%B 处理提高 9.8 个百分点，CRU75%B 处理比 CRU50%B 处理提高 4.6 个百分点。

随着普通尿素氮肥用量的增加玉米氮肥利用率增加，BU100%B 处理比 BU75%B 处理提高 3.9 个百分点，比 BU50%B 处理提高 6.6 个

表 4 控释尿素对氮肥利用效率的影响

处理	施氮量 (公斤 / 亩)	地上部氮素 (公斤 / 亩)	氮素利用率 (%)	氮肥农学效率 (公斤籽粒 / 公斤氮)
N0 (PK)	--	6.4f	--	--
BU100%B	12	10.2b	32.3bc	11.8bc
CRU100%B	12	11.3a	41.2a	14.0ab
BU40%B+60%T	12	11.7a	44.1a	14.5a
(BU40%+CRU60%)B	12	11.7a	44.3a	15.1a
CRU75%B	9	9.6c	35.9b	14.6a
BU75%B	9	8.9d	28.4cd	10.4c
CRU50%B	6	8.2e	31.3c	14.7a
BU50%B	6	7.9e	25.7d	5.0d

百分点, BU75%B 处理比 BU50%B 处理提高 2.7 个百分点。

(BU40%+CRU60%) B 处理比 BU40%B+60%T 处理氮肥利用率提高 0.2 个百分点。

氮肥农学效率以 (BU40%+CRU60%) B 最高, 为 15.1 公斤 / 公斤, 其次为 CRU50%B 处理, 为 14.7 公斤 / 公斤, CRU75%B 处理为 14.6 公斤 / 公斤, BU40%B+60%T 处理为 14.5 公斤 / 公斤, CRU100%B 处理为 14.0 公斤 / 公斤, BU100%B 处理为 11.8 公斤 / 公斤, BU75%B 处理为 10.4 公斤 / 公斤, BU50%B 为 5.0 公斤 / 公斤。

在该试验点, 等氮量时, CRU 处理较 BU 处理氮肥农学效率有不同程度提高, CRU100%B 比 BU100%B 处理提高 2.3 公斤 / 公斤, CRU75%B 处理比 BU75%B 处理提高 4.1 公斤 / 公斤, CRU50%B 处理比 BU50%B 处理提高 9.7 公斤 / 公斤。说明在施 N 量较低时缓释氮肥的优势更加明显。(BU40%+CRU60%)

处理比 BU40%B+60%T 处理氮肥农学效率提高 0.6 个百分点。

### 3 小结

3.1 本试验点以 (BU40%+CRU60%) B 处理的产量最高。相同氮量处理 CRU100%B, (BU40%+CRU60%) B, BU40%B+60%T 三个处理产量之间没有达到显著差异, 但与 BU100%B 处理均达到显著性差异。控释尿素处理优于普通尿素处理, 等氮量时, 增产幅度为 5.5%—15.1%; CRU 和 BU 产量差异显著。

3.2 施用 75% 的 CRU 用量就可以获得 100% 普通氮素用量的产量, 说明在该地区通过控释尿素施用可以减少施 N 量。

3.3 在氮肥利用率方面, 控释尿素与普通尿素相比显著提高玉米的氮素利用率。

## 参考文献:

- [1] Meister, S.S. Controlled release fertilizers properties and utilization [M]. Sendai: Konno Printing Co Ltd, 1999. 59-104
- [2] Trenkel, M.E. Controlled - Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture [M]. Paris: Published by International Fertilizer Industry Association, December, 1997.
- [3] 郑圣先, 刘德林, 聂军, 等. 控释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10 (2) : 137-142.
- [4] 张民, 史衍玺, 杨宋祥, 等. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. 化肥工业, 2004, 28 (5) : 27-30.
- [5] 孙克刚, 李丙奇, 乔文学. 金正大包膜尿素与普通尿素不同掺混比例对玉米肥效试验的研究初报[J]. 磷肥与复肥, 2008, 7 (4) : 72-73.
- [6] 翟军海, 高亚军, 周建斌. 控释 / 缓释肥料研究概述[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20 (1) : 45-47.
- [7] 朱红英, 董树亭, 胡昌浩. 不同控释肥料对玉米产量及产量性状影响的研究[J]. 玉米科学, 2003, 11 (4) : 86-89.
- [8] 唐拴虎, 陈建生, 徐培智, 等. 控释肥料氮素释放与水稻吸收动态研究[J]. 土壤通报, 2004, 35 (2) : 186-190.
- [9] 王鑫, 张希彪, 刘建新, 等. 混料试验设计在西瓜包膜控释尿素配比研究中的应用[J]. 土壤通报, 2006, 37 (6) : 1142-1146.
- [10] 汪强, 李双凌, 韩燕来, 等. 缓 / 控释肥对小麦增产与提高氮肥利用率的效果研究[J]. 土壤通报, 2007, 38 (1) : 47-50.

致谢: 本研究得到国际植物营养研究所 (IPNI) 北京办事处资助。

# 安徽省沿江潮土区棉花养分限制因子及施肥效益研究

周可金<sup>1</sup> 章力干<sup>1</sup> 马成泽<sup>1</sup> 翁同相<sup>1</sup> 杨飞<sup>2</sup>

(1. 安徽农业大学农业学院, 合肥, 230036

2. 安徽省无为县农业委员会, 安徽无为, 238300)



**摘要:** 在安徽省沿江潮土区棉花生产上通过对 ASI 法系统推荐施肥和减素处理及不施肥处理进行比较, 研究了不同施肥对棉花经济性状、产量及效益的影响。结果表明, 氮素为当地棉花生产的主要限制因子, 其次的钾素, 磷素对棉花增产影响最小。施肥处理与对照 CK 相比, 除 OPT-N 处理外, 其他处理增产均达到显著水平; OPT-N 处理较 OPT 处理减产达极显著水平; OPT-P、OPT-K 以及 OPT-1/2K、OPT+1/2K 处理较 OPT 处理减产均没有达到显著水平。减素处理中 OPT-N 处理减产幅度最大, 减产率达 32.2%; 减钾处理减产幅度次之, 减产率为 4.0%; 减磷处理减产幅度最小, 减产率为 3.1%。各处理的纯收入由高到低顺序为: OPT-1/2K>OPT+1/2K>OPT>OPT-K>OPT-P>CK>OPT-N。OPT-1/2K 处理(即 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 分别为 15、10、7.5 公斤/亩)为棉花经济高效的推荐施肥处理。

**关键词:** 棉花, 沿江潮土, 养分限制因子, 产量, 经济效益

安徽省是全国主要产棉省份之一, 地跨长江流域和黄河流域两大棉花优势区域, 常年播种面积近 600 万亩, 面积与总产量均位于全国第 6 位。包括淮北棉区、沿江棉区和江淮丘陵三大棉区。沿江棉区是安徽省棉花生产的优势产区, 其面积占全省棉花总面积的 46%。其土壤多为河流冲积物发育的石灰性砂泥田或灰泥土, 缺氮少钾, 一般速效钾含量 50-100 毫克/公斤。棉花属于喜钾作物, 适宜的钾营养是其高产、优质的保证。生产上因缺钾而导致的早衰已成为影响沿江地区棉花高产的主要因素之一。大量研究证明, 棉花在进入大量结铃期后, 如果土壤速效钾供应不足或根系的吸收功能急剧衰退, 均会导致产量和纤维品质的下降<sup>[1-2]</sup>, 敏感型品种的减产幅度达 29-35%, 主要由成铃率降低所致<sup>[3]</sup>。增施钾肥可以显著提高棉花产量、改善纤维品质, 但关于

钾肥对品质影响的报道也不一致<sup>[1,3-5]</sup>。尽管目前沿江棉区棉花的产量水平较高, 但在施肥上仍然存在不合理、不安全等问题, 导致棉花品质差已成为安徽省棉花生产的主要制约因素。因此, 开展沿江棉区棉花养分限制因子及其科学施肥技术的研究意义重大, 生产迫切需要。本试验旨在通过对 ASI 法推荐施肥处理与减素处理及对照处理的比较, 研究当地土壤条件下养分限制因子、施肥对棉花产量、品质以及经济效益的影响, 为棉花科学施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2011 年 3 月至 11 月在安徽省无为县福渡镇公路村进行。试验地位于 N 31°22'22.5", E118°10'31.6", 属亚热带季风

气候区，年降水量 1170.5 毫米，年均气温 15.8℃，雨热同季，光照充足，无霜期长，有利于棉花生长发育。

供试土壤为潮土。试验前采取耕层土壤样品（0-20 厘米），土壤混匀送至中国农科院中加实验室采用 ASI 法分析，其结果见表 1。供试棉花品种为鄂杂棉 9 号。氮肥用尿素，磷肥用过磷酸钙，钾肥用加拿大产氯化钾。

采用营养钵育苗移栽，前茬为油菜。肥料施用方法按照氮肥 45% 作基肥（移栽前施用），10% 作提苗肥（5 月 30 日施），45% 作花铃肥（7 月 24 日施）。钾肥 60% 作基肥，40% 作花铃肥。磷肥和铁、锰、锌肥均作基肥一次性施用。种植密度为 1200 株 / 亩。分两次化控，其它农艺措施同一般大田。4 月 20 日播种育苗，5 月 15 日移栽。

表 1 供试土壤理化性状

有机质 (%)	pH	速效养分 (毫克 / 升)												
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
0.8	7.6	2.7	158.8	33.2	113.4	2653	377	38.6	24.3	3.8	10.8	1.1	3.0	

### 1.2 试验方法

试验采用随机区组设计，三次重复，小区面积 20 平方米。设 7 个处理，分别为：最佳施肥处理 (OPT)、减氮处理 (OPT-N)、减磷处理 (OPT-P)、减钾处理 (OPT-K)、最佳推荐施钾量 50% 的减钾处理 (OPT-1/2K)、最佳推荐施钾量 150% 的加钾处理 (OPT+1/2K)、不施肥对照处理 (CK)。各处理的施肥量情况见表 2。

按照常规方法测定株高、结铃数、霜前花产量、籽棉总产量、单铃重、单株铃重、衣分等指标。籽棉产量为实收产量，是从吐絮期开始分小区、分批单收、单称重。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对棉花主要经济性状的影响

表 2 试验各处理的肥料用量 (公斤 / 亩)

处理	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	FeCl <sub>2</sub>	MnSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>
OPT	15	10	15	1.5	0.5	0.5
OPT-N	0	10	15	1.5	0.5	0.5
OPT-P	15	0	15	1.5	0.5	0.5
OPT-1/2K	15	10	7.5	1.5	0.5	0.5
OPT-K	15	10	0.0	1.5	0.5	0.5
OPT+1/2K	15	10	22.5	1.5	0.5	0.5
CK	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0

从表3可以看出,除OPT-N处理外其它处理的经济性状均明显好于对照。OPT-N处理的株高、果枝数、单株结铃数、单铃重和衣分比OPT处理均有不同程度的降低,其中对产量有重要影响的单株结铃数降低42.2%,株高降低17.8%,果枝数减少16.7%,单铃重下降10.6%;其次为OPT-K处理,单株结铃数较OPT处理减少25.3%,株高降低6.4%,果枝数

差异不显著;OPT-K处理产量较OPT处理变化不大,减少率为4.0%,差异不显著,可能与该地区土壤K含量较高(113.4毫克/升)有关。由此表明,氮素是本地区棉花生产的主要限制因子,其次是钾素,最后是磷素。

从表4还可以看出,除不施肥对照处理外,不同钾肥用量处理产量差异不大。但随着钾肥用量的增加,产量有上升趋势,施K量为22.5

表3 不同施肥处理的棉花主要经济性状

处理	株高 (厘米)	果枝数	单株铃数	单铃重 (克)	单株铃重 (克)	衣分 (%)
OPT	103.5a	18a	83a	6.62a	549.46a	45.2a
OPT-N	85.04b	15b	48c	5.92a	284.16c	44.1a
OPT-P	106.6a	18a	74a	6.91a	511.34a	44.5a
OPT-K	96.9a	16b	62b	6.89a	427.18b	43.9a
OPT-1/2K	109.3a	18a	79a	6.51a	514.29a	43.9a
OPT+1/2K	102.3a	17a	82a	6.72a	551.04a	46.2a
CK	87.1b	15b	53c	6.41a	339.73c	43.7a

减少11.1%;OPT-P处理的株高、果枝数、单株结铃数、单铃重和衣分等性状与OPT处理相差不大。随着钾肥用量的增加,果枝数先增加后降低,单株铃数和单铃重有增加趋势,单株铃重增加明显,衣分随施钾量增加有增加趋势(表3)。

## 2.2 不同施肥处理的棉花产量及早熟性差异分析

从不同施肥处理棉花产量结果(表4)可知,OPT+1/2K处理产量最高,减素处理均有不同程度的减产。不施肥对照处理产量最低,OPT-N处理次之,分别较OPT处理产量减少率达到34.4%、32.2%,差异极显著;OPT-P处理产量较OPT处理变化不大,减少率为3.1%,

公斤/亩(即OPT+1/2K处理)产量最高。OPT-N、OPT-P、OPT-1/2K和OPT-K处理的霜前花比例较OPT都有不同程度的增大,其中缺钾导致霜前花比例增加,OPT-1/2K处理的霜前花比例达到91%,比OPT处理增加7.2%。除缺N和不施肥对照处理的霜前花产量显著低于其它处理外,其余处理间霜前花产量差异不显著。

## 2.3 不同施肥处理的经济效益分析

从表5可以看出,产值最高的处理为OPT+1/2K,其次是OPT-1/2K和OPT处理,产值相近,CK处理产值最低。OPT-1/2K处理纯收入最高,产投比较大,肥料投资回报率

表4 不同施肥处理棉花小区产量及霜前花产量(籽棉)

处理	小区产量(公斤)				单产 (公斤/亩)	减产率 (%)	霜前花产量 (公斤)	霜前花比例 (%)
	I	II	III	平均值				
OPT	8.27	8.05	8.13	8.15	271.7a	0.0	6.92a	84.9a
OPT-N	5.97	5.07	5.56	5.53	184.3b	-32.2	4.52b	87.4a
OPT-P	7.99	7.94	7.78	7.90	263.3a	-3.1	6.80a	86.1a
OPT-K	7.44	8.11	7.93	7.80	2260.7a	-4.0	6.94a	88.7a
OPT-1/2K	8.08	8.41	7.88	8.12	270.7a	-0.4	7.42a	91.4a
OPT+1/2K	8.57	8.38	8.22	8.39	279.7a	2.9	7.19a	85.6a
CK	5.52	4.94	5.58	5.35	178.3b	-34.4	4.51b	84.3a

表5 各施肥处理的经济效益分析表

处理	产值 (元/亩)	肥料投入 (元/亩)	纯收入 (元/亩)	肥料投资 回报率	产投比
OPT	2390.7	196.9	1413.8	12.1	3.17
OPT-N	1622.1	131.7	710.5	12.3	0.59
OPT-P	2317.3	155.2	1382.1	14.9	3.82
OPT-1/2K	2381.9	154.4	1447.5	15.4	4.26
OPT-K	2293.9	111.9	1402.0	20.5	5.47
OPT+1/2K	2461.1	239.4	1441.7	10.3	2.73
CK	1569.3	0.0	789.3	--	--

注：肥料价格：N=4.3元/公斤，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=4.4元/公斤，K<sub>2</sub>O=5.6元/公斤，籽棉价格=8.8元/公斤，人工成本为647元/亩，种子和农药费用93元/亩，机械作业40元/亩，肥料投资回报率=产值/肥料投入<sup>[6]</sup>。

也较高；OPT+1/2K处理由于肥料投入成本较高，肥料投资回报率较低，其纯收入与OPT-1/2K处理相近；OPT处理再次之；OPT-N处理纯收入最低；OPT-K处理的肥料投资回报率和产投比均最高，但由于其产值较低，并不为种植户欢迎。各处理产值由高到低的顺序为：OPT+1/2K>OPT>OPT-1/2K>OPT-P>OPT-K>OPT-N>CK。纯收入为710.5-

1447.5元/亩，由高到低的顺序为：OPT-1/2K>OPT+1/2K>OPT>OPT-K>OPT-P>CK>OPT-N。

### 3 小结与讨论

本试验结果表明，在沿江潮土区棉花生产上，氮素是土壤养分的最主要限制因子，缺氮减产最为严重，其次是缺钾，施钾肥仍有一定的增

产效果。宋美珍等<sup>[7]</sup>认为钾肥施用效应与土壤速效钾含量呈负相关,土壤速效钾含量在100–120毫克/公斤的棉田,施K<sub>2</sub>O不宜超过12公斤/亩;当土壤速效钾含量>150毫克/公斤的棉田,施K<sub>2</sub>O不宜超过10公斤/亩。范希峰等<sup>[8]</sup>认为当土壤速效钾含量为100–130毫克/公斤时,施用10公斤/亩氯化钾(做底肥)就可以达到理想的增产效果。这些前人研究结果与本试

验基本上是一致的。从上世纪80年代以来,磷的投入一直大于支出,磷肥的当季利用率在15–25%,土壤中磷素积累明显<sup>[9–11]</sup>。本试验中磷肥施用效果不明显,与该地区土壤中的磷素比较充裕有关。王允青<sup>[12]</sup>报道在沿江棉区的灰潮土中,氮、钾、硫、锌和硼是棉花产量的主要限制因子,与本试验结果也是一致的。

## 参考文献

- [1] Pettigrew W T, Heitholt J J, Meredith W R. Genotypic interactions with potassium and nitrogen in cotton of varied maturity [J]. *Agronomy Journal*, 1996, 88: 89–93
- [2] Pettigrew W T. Relationships between insufficient potassium and crop maturity in cotton [J]. *Agronomy Journal*, 2003, 95: 1323–1329
- [3] Cassman K G, Kerbu T A, Roberts B A, et al. Differential response to two cotton cultivars to fertilizer and soil potassium[J]. *Agronomy Journal*, 1989,81: 870–876
- [4] Mullins G L, Burmester C H, Reeves D W. Cotton response to in-row subsoiling and potassium fertilizer placement in Alabama [J]. *Soil & Tillage Reserch*, 1997, 40: 145–154
- [5] Cassman K G, Kerbu T A, Roberts B A, et al. Potassium nutrition effects on lint yield and fiber quality of Acala cotton[J]. *Crop Science*, 1990, 30:672–677
- [6] 李伟,文玲,王帅,等.平衡施肥对鲜食糯玉米产量、品质和效益的影响[J].*高效施肥*,2011(2):10–15
- [7] 宋美珍,杨惠元,蒋国柱.黄淮海棉区钾肥效应研究[J].*棉花学报*,2003,15(1):73–78
- [8] 范希峰,王汉霞,田晓莉,等.钾肥对棉花产量的影响及最佳施用量研究[J].*棉花学报*,2006,18(3):175–179
- [9] 陈伦寿.应正确看待化肥利用率[J].*磷肥与复肥*,1996(4):4–7
- [10] 朱兆良.肥料与农业和环境[J].*大自然探索*,1998,17(4):25–28
- [11] 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
- [12] 王允青,黄晓澜,潘耀晃,等.沿江棉区夏播棉全素平衡施肥研究[J].*安徽农业科学*,1996(S2):25–28



# 施磷对棉花磷素吸收、利用和产量的影响

胡国智 张炎 胡伟 李青军 汤明尧

(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐, 830091)

**摘要:** 通过磷肥不同施用时期和施用量的田间试验, 研究高产棉花吸收磷养分的特点与规律。结果表明: 不同磷肥处理棉株对磷的吸收可以较好地用 Logistic 生长函数模型来拟合。各处理磷素的吸收主要集中在播种后的 62 ~ 99d 内, 这一时期棉花吸收磷的量占生育期总吸收量的 50% 以上, 所以此阶段应特别注重磷的供应。在吐絮期, 棉铃中的磷素随施磷量的增加在一定范围内有所增加, 施磷对棉铃的生长发育有一定影响。但磷素在整个生育期各器官中处理间差异不大。棉株对磷的吸收速率呈双峰曲线, 当生育期进行到花铃期时, 各处理均达到吸收速率最高峰; 此后棉株对磷的吸收速率逐渐降低。而在整个生育时期 OPT 和 OPT1 (秋施磷肥) 处理磷素吸收速率差异不显著。合理地施用磷肥, 可以提高皮棉产量和磷肥利用率; 春施磷肥更有利于提高磷肥利用率与纯收益, 但过量的磷肥施用会降低磷的利用效率和纯收益。

**关键词:** 磷, 棉花, 磷素吸收, 磷肥利用率

磷是植物生长发育必需的大量营养元素之一, 它以多种方式参与植物体内各种生物化学过程, 对促进植物的生长发育和新陈代谢起着非常重要的作用<sup>[1]</sup>。磷肥能够增加棉花产量, 有利于提高棉纤维品质<sup>[2~6]</sup>。由于磷在土壤中的扩散系数小, 移动慢, 磷肥的当季利用率一般仅为 10 ~ 25%, 施入土壤中的磷肥大部分以不同形态的磷酸盐残留于土壤<sup>[7]</sup>, 导致大量未被作物吸收的磷素被土壤固定而累积于土壤。新疆历来被认为是缺氮少磷钾丰富的地区<sup>[8]</sup>, 但是在生产中农民为了追求棉花的高产, 往往盲目增加磷用量, 尤其是高产棉区, 棉农在棉花上施用磷肥的量有不断加大的趋势, 从而造成土壤磷库丰富, 而磷肥的当季利用率却较低<sup>[9-10]</sup>。本文通过田间试

验, 研究不同施磷时期及施磷量对棉花吸磷特性和产量的影响, 为生产中磷肥的合理施用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2008 年安排在新疆玛纳斯县试验站上兵湖村五队, 前茬作物为棉花, 供试品种为新陆早 18 号。株距为 11 厘米, 播幅内宽、窄行距配置为 35-50-35-50 厘米, 一膜 4 行, 理论株数为 14266 株 / 亩, 采取膜下滴灌。试验于 4 月 14 日播种, 由于当年的倒春寒灾害在 5 月 9 日又重新播种。供试土壤为灌耕灰漠土, 供试土壤的养分状况见表 1。

表 1 ASI 法测定供试土壤的养分状况

pH	有机质 (%)	有效养分 (毫克 / 升)											
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
8.08	0.9	4.9	51.1	33.3	182.3	2537.7	492.9	95.5	15.2	5.3	6.0	2.1	1.29

## 1.2 试验设计

本试验设5个处理，即秋施磷肥和4个磷水平0、5、10、15公斤/亩处理（以下分别用OPT1和OPT-P、OPT、OPT+2P、OPT+3P表示，其中OPT1和OPT的施磷量相同，OPT是根据土壤测试结果推荐的施磷量），OPT1为秋施肥处理，于2007年11月11日施磷肥和微肥深翻。OPT-P、OPT、OPT+2P和OPT+3P处理的磷肥和微肥于2008年4月13日春季基施、深翻，磷肥以三料磷肥（46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>）施入，全部作基肥，氮肥用量为12公斤/亩，以尿素（46%N）施入，其中氮肥总量的25%在春播前一次性作基肥施入，剩余的氮肥分4次分别于7月3日、7月14日、8月4日、8月19日按照各施肥处理总氮量的15%、25%、25%、10%随水施入。试验小区面积S=5.1米×8米=40.8平方米，各处理重复3次，在田间随机排列。各处理施肥量见表2。

区随机选取有代表性的棉株3株（苗期取5株），采集棉株地上部分的植株样品，按茎、叶、蕾+花、棉壳、棉纤维、棉子不同器官分离开，在105℃下杀青30分钟，然后70℃下烘干至恒重，称重，记录干物质重。

将烘干的植株样品粉碎，过0.5毫米筛，分析植株不同部位P养分含量。用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮，钼锑抗比色法测定磷。

### 1.3.2 产量测定

测产方法为每隔3株测一株，计结铃数，计算全区株数、铃数及单株结铃数；棉花吐絮后每小区分3次采收90朵完全吐絮棉桃，测定平均单铃重和衣分，并计算棉花产量。

### 1.3.3 磷素利用效率分析

(1) 磷素农学效率[公斤/公斤] = (施磷区皮棉产量 - 不施磷区皮棉产量) / 施磷区磷肥用量；

表2 试验各处理施肥方案（公斤/亩）

编号	处理	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeSO <sub>4</sub>	MnSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>
1	OPT1	12	5	1.3	0.7	0.4
2	OPT-P	12	0	1.3	0.7	0.4
3	OPT	12	5	1.3	0.7	0.4
4	OPT+2P	12	10	1.3	0.7	0.4
5	OPT+3P	12	15	1.3	0.7	0.4

## 1.3 样品采集与测定

### 1.3.1 植株样品的采集与测定

在棉花主要生育期：苗期（5月29日）、蕾期（6月18日）、花期（7月9日）、花铃期（7月22日）、盛铃期（8月15日）、吐絮期（9月17日）采集棉株地上部分的植株样品，每小

(2) 磷肥表观利用率[%] = (施磷区作物吸磷量 - 不施磷区作物吸磷量) × 100 / 施磷量；

(3) 磷素偏生产力[公斤/公斤] = 施磷区皮棉产量 / 施磷区磷肥用量。

试验数据采用Excel和DPS软件分析。

表3 磷元素积累的模型及其特征值

处理	t <sub>0</sub> (天)	t <sub>1</sub> (天)	t <sub>2</sub> (天)	Δ t (天)	方程	R <sup>2</sup>	F
OPT1	81	63	99	36	$y=118.30/(1+e^{(5.935-0.07296t)})$	0.9823	83.4**
OPT-P	81	66	96	30	$y=100.66/(1+e^{(7.093-0.08763t)})$	0.99221	90.8**
OPT	80	62	99	37	$y=121.24/(1+e^{(5.735-0.0715t)})$	0.9842	93.4**
OPT+2P	79	64	95	31	$y=113.50/(1+e^{(6.546-0.0823t)})$	0.9867	111.0**
OPT+3P	79	64	95	31	$y=110.71/(1+e^{(6.713-0.0848t)})$	0.985	98.2**

注：t 为棉花播种后的天数 (d)，y 为棉花养分积累量 (公斤 / 亩)，t<sub>0</sub> 为养分积累速率最大时刻，t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点，Δ t=t<sub>2</sub>-t<sub>1</sub> 是棉株养分积累旺盛时期。\*\*: 表示达 1% 显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 施磷对棉花磷素吸收的影响

通过对试验结果分析，各处理棉花对磷的吸收均可以用 Logistic 生长函数模型来模拟<sup>[11-13]</sup>。

由表 3 可看出，各处理棉株磷素积累速率最大的时刻 t<sub>0</sub> 出现在播种后 79 ~ 81 天，其中 OPT 处理分别比 OPT1 和 OPT-P 处理提前 1 天。各处理磷素的吸收主要集中在播种后的 62 ~ 99 天内 (花期到盛铃期)，这一时期 OPT1、OPT-P、OPT、OPT+2P 和 OPT+3P 各处理分别吸收 4.55 公斤 / 亩、3.76 公斤 / 亩、4.66 公斤 / 亩、4.37 公斤 / 亩、4.26 公斤 / 亩，分别占总生育期的 58.6%、57.4%、58.5%、57.7%、57.3%，其中 OPT1 和 OPT 处理在这一时期对磷素的吸收和所占百分比都是最大的，但两者之间差异不显著，OPT+2P 和 OPT+3P 处理对磷素的吸收量有所下降，说明一次性大量施磷增加了土壤中磷的浓度，反而限制了棉花对磷素的吸收。磷素积累速率的时间特征值 (Δ t) 表现为：OPT > OPT1 > OPT+2 P=OPT+3P > OPT-P，可见磷素供应不足或过量均可缩短

棉株养分积累时期。

### 2.2 施磷对棉花各生育时期磷素分配的影响

磷素在棉花整个生育期的分配如图 1 所示。苗期，分配到叶中的磷素要远远大于茎中，叶中磷素占到整个分配量的 81.77%—85.3%，施磷各处理差异不大。进入蕾期，茎中磷素分配较苗期有所增加，从苗期的 14.7%—18.23% 增加到蕾期的 17.19%—25.43%，此时期分配到生殖器官蕾中的磷素占总量的 10.15%—11.64%，并且随着施磷量的增加磷素在蕾中的分配百分比也有所上升。花期，茎中磷素的分配率增加到 24.42%—37.16%，而分配到叶中的磷素由蕾期的 64.16%—71.86% 降低到花期的 44.77%—55.75%，其中 OPT-P 由蕾期的 67.62% 下降到花期的 55.75%，而 OPT1、OPT、OPT+2P 和 OPT+3P 处理叶中的磷素分配百分比随磷肥施用量的增加而降低。花期进入营养生长与生殖生长并进时期，其中生殖器官花的磷素分配明显高于蕾期，占到总磷素量的 18.07%—21.51%，并随着磷肥施用量的增加而增加。花铃期和盛铃期是棉花生殖生长的旺盛阶段，在花铃期茎和

叶的磷素分配百分比都有所下降，而生殖器官花铃磷素分配明显高于花期，占到磷素分配量的26.95%–41.26%。在盛铃期分配到营养器官的磷素百分率进一步下降，尤其是分配到叶中的磷素百分率，由花铃期的40.75%–51.26%下降到24.46%–26.77%，OPT1、OPT、OPT+2P

营养器官的百分比降到最低，分配到生殖器官中的磷素占到总量的84.35%–85.52%，棉子磷素分配率迅速增加，由盛铃期25.92%–30.65%增加到吐絮期的57.96%–63.74%，铃壳、纤维中磷素均在施磷量5–15公斤/亩范围内随磷用量增加而逐渐降低。

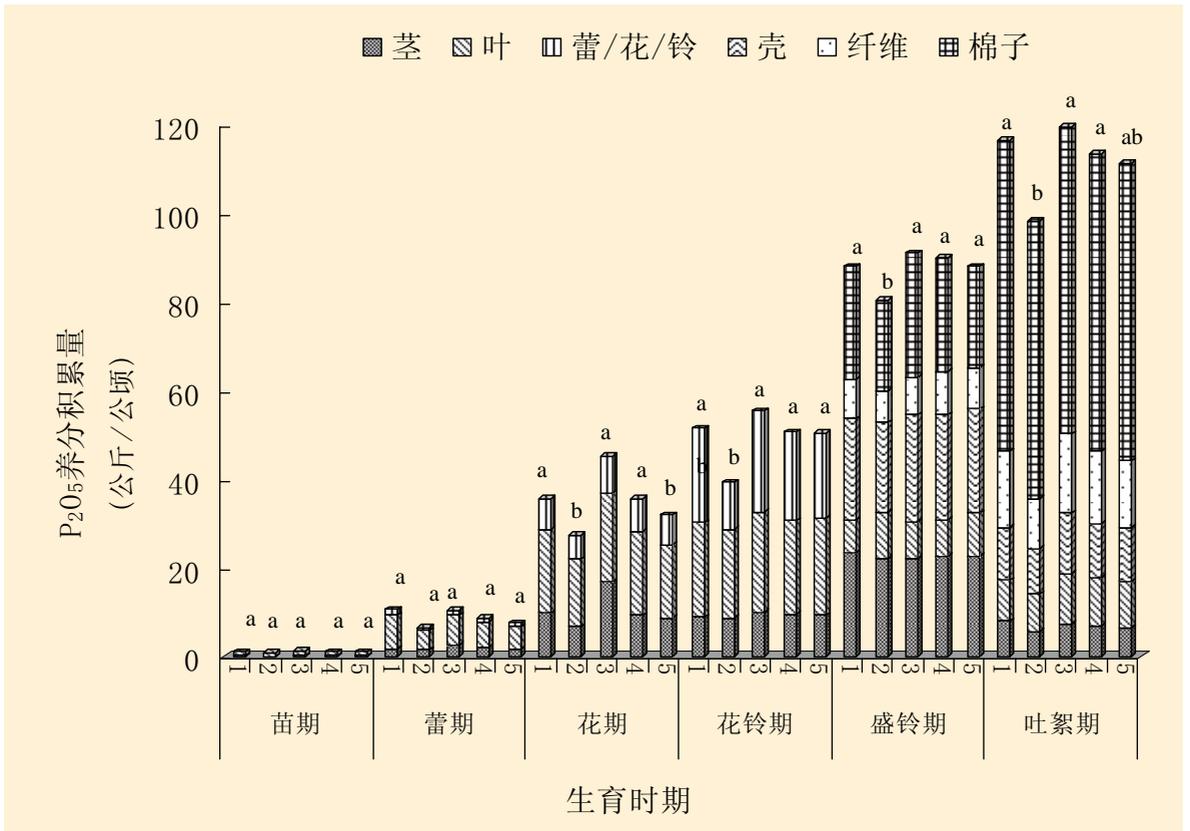


图1 各器官中磷的分配 (不同小写字母表示达到5%的显著水平)

注：横坐标1、2、3、4、5分别表示5个处理，即试验前秋施磷肥5公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/亩(OPT1)和试验当年春季基施磷肥0、5、10、15公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/亩(OPT-P、OPT、OPT+2P、OPT+3P)。

和OPT+3P处理的磷素在壳中分配百分率分别比OPT-P高2.83%、3.14%、3.08%、3.35%，各处理之间棉纤维中的磷素分配率差异不大，棉子中磷素分配率在施磷量5~15公斤/亩间随施磷量的增加而降低。进入吐絮期，磷素分配到

### 2.3 施磷对棉花磷素吸收速率的影响

棉株对磷素的吸收速率呈曲线波动，见图2。棉株从播种后45天以营养生长为主，磷吸收速率也较小；此后其吸收速率的波动较大。磷吸收速率在生育期进行到蕾期时进入速率始增期，此

时各处理磷吸收速率均明显增加；OPT 和 OPT1 处理的吸收速率要高于 OPT-P、OPT+2P、OPT+3P 处理。当生育时期进行到播后 40 天（蕾期）时各处理的吸收速率都呈下降趋势；这可能是由于当时持续高温使酶钝化，影响代谢从而使根系吸收矿质元素的速率下降<sup>[14]</sup>。当生育期进行到花铃期时，各处理均达到吸收速率最高峰，各处理磷吸收速率表现为 OPT+3P > OPT1 > OPT+2P > OPT-P，说明一定范围内合理的磷肥施用有利于提高磷素吸收速率。此后棉株对磷的吸收速率逐渐降低。而在整个生育时期 OPT 和 OPT1 处理磷素吸收速率差异不显著。

／亩范围内，可以显著增加棉花的皮棉产量。OPT 处理产量与 OPT-P、OPT+2P 和 OPT+3P 处理产量差异均达到极显著水平，OPT1 处理产量与 OPT、OPT+2P 差异不显著，OPT1、OPT、OPT+2P 和 OPT+3P 分别比 OPT-P 增产 14.6%、17.6%、9.5% 和 2.2%。磷肥表观利用率随磷肥用量的增加而降低，说明过量的磷肥施用不但不能被作物吸收，反而会降低磷肥的利用率，其中 OPT 处理磷肥利用率为 25.71%，OPT1 处理磷肥利用率为 21.56%。同样在磷素偏生产力和磷素农学效率方面，OPT 处理都表现为最大值。OPT 处理比 OPT1 处理纯收益多

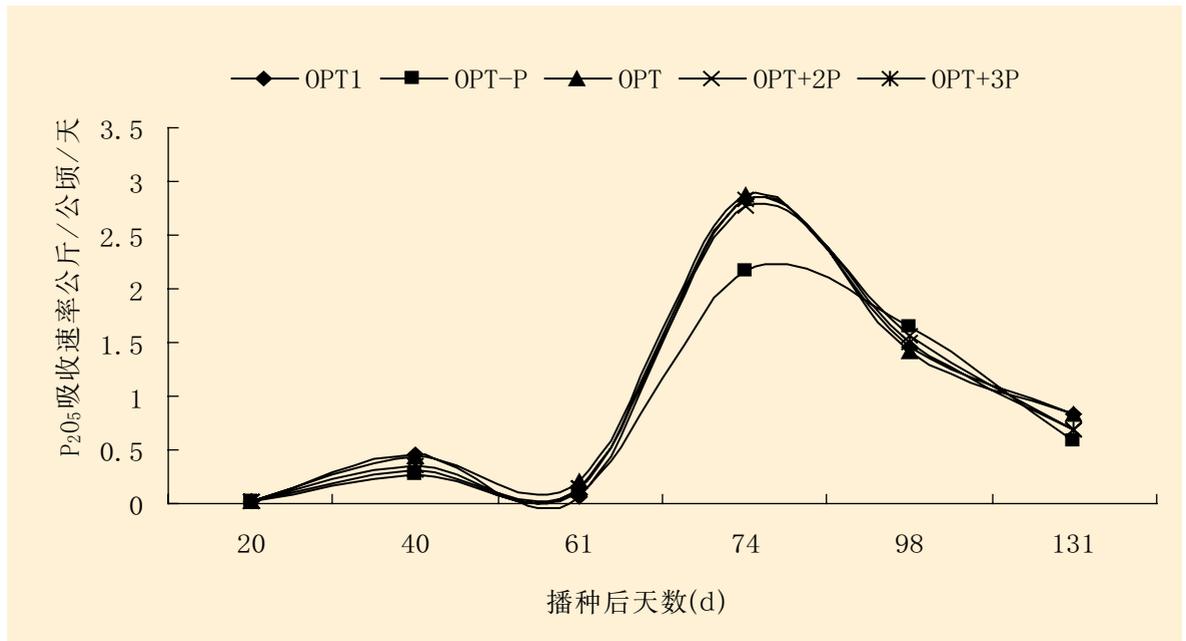


图 2 不同处理棉花磷素吸收速率

#### 2.4 施磷对棉花产量、效益和磷素利用的影响

对各处理棉花小区皮棉产量进行方差分析，试验施磷处理间差异达到极显著水平 (F 值 = 21.82 > F<sub>0.01</sub>)，重复间差异不显著，LSD 法多重比较结果见表 4。磷肥施用量在 0-5 公斤

50 元 / 亩，合理春施磷肥有利于 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 增产和提高磷肥表观利用率。

### 3 小结与讨论

不同磷肥处理中棉花对磷素的吸收可以用

Logistic 生长函数模型来模拟,且模型拟合较好。各处理磷素的吸收主要集中在播种后的 62 ~ 99 天内,这一时期棉花吸收磷的量占生育期总吸收量的 50% 以上,所以此阶段应特别注重磷的供应。

峰曲线,这与王克如<sup>[15]</sup>提出的棉株对磷的吸收速率呈一单峰曲线观点不同,这可能是由于当时(6月18日至7月9日)气温的异常偏高使植物酶钝化,降低了对矿物质的吸收速率。磷吸收速率在生育期进行到蕾期时进入速率始增期,

表 4 不同处理中产量与利用率

处理	产量 (公斤/亩)	纯收益 (元/亩)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 养分吸收量 (公斤/亩)	磷素偏生产力 (公斤/公斤)	磷肥表观 利用率 (%)	磷素农学效率 (公斤/公斤)
OPT1	148ab AB	1804.8	116.48a	29.59	21.56	3.76
OPT-P	129c C	1607.3	100.31b	--	--	--
OPT	152a A	1854.8	119.59a	30.39	25.71	4.55
OPT+2P	141b B	1686.5	113.49a	14.15	8.78	1.23
OPT+3P	132c C	1529.7	111.36ab	8.80	4.91	0.19

注: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 7.50 元/公斤, N: 4.08 元/公斤, 皮棉价格: 12.5 元/公斤, FeSO<sub>4</sub>: 0.5 元/公斤, MnSO<sub>4</sub>: 4.8 元/公斤, ZnSO<sub>4</sub>: 7.2 元/公斤, 大写字母表示达到 1% 的显著水平, 小写字母表示达到 5% 的显著水平, 不同字母表示处理之间的差异显著。

在整个生育时期各处理磷素分配表现为: 在生育初期磷比较集中在茎叶当中并且叶片中的磷素分配量高于茎。蕾期是生殖器官发育的开始并且蕾中的磷素分配率随施磷量的增加而增加。从花期到盛铃期这一段时期是棉花产量形成的主要阶段; 各器官中的磷素含量表现为生殖器官磷素分配率不断增加而营养器官中的磷素分配率有下降的趋势。进入吐絮期, 棉子磷素分配率迅速增加, 由盛铃期的 25.92% - 30.65% 增加到吐絮期的 57.96% - 63.74%, 铃壳、纤维中磷素均在施磷量 5-15 公斤/亩内随用量增加而逐渐降低。

本试验研究表明棉株对磷的吸收速率呈双

峰曲线, 合理的施用磷肥, 可以提高棉花皮棉产量和提高磷肥利用率。春施磷肥更有利于提高磷肥利用率, 这一点可能与土壤磷素浸出率有关, 当磷肥施入石灰性土壤后 1 天测定, NaHCO<sub>3</sub> 浸出的磷只相当于施入磷的 40% ~ 60%, 施肥后 200 天, 浸出率为 25%<sup>[16]</sup>。因此在提高磷肥利用率的前提下可采取春施磷肥的方式, 但过量的磷肥施用会降低磷的利用率和纯收益。

OPT 和 OPT1 处理的吸收速率要高于其它处理。当生育期进行到花铃期时, 各处理均达到吸收速率最高峰; 此后棉株对磷的吸收速率逐渐降低。而在整个生育时期 OPT 和 OPT1 处理磷素吸收速率差异不显著。

## 参考文献

- [1] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 等. 不同大豆品种磷吸收利用特性比较研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(9): 1791-1797.
- [2] Girma K, Teal R.K., Freeman K.W., and Boman R.K., et al.. 2007. Cotton Lint Yield and Quality As Affected by Applications of N, P, K Fertilizers [J]. The Journal of Cotton Science, 2007, 11: 12-19.
- [3] Nichols S.P., Snipes C.E., Jones M.A. Cotton Growth, Lint Yield, and Fiber Quality as Affected by Row Spacing and Cultiva [J]. The Journal of Cotton Science, 2004, 8: 1-12.
- [4] 张旺峰, 李蒙春. 北疆高产棉花养分吸收特性的研究[J]. 棉花学报 1998, 10(2): 88-95.
- [5] 付明鑫, 向敏超, 孟凤轩等. 阿克苏棉区不同氮磷钾配比对棉花产量的影响[J]. 西北农业学报 2000, 9(2): 117-120.
- [6] 谭勇, 张炎, 文启凯, 等. 氮磷和钾营养对新海16长绒棉产量和品质的影响[J]. 土壤肥料 2006, (2): 34-36.
- [7] 王利, 高祥照, 马文奇, 等. 中国低浓度磷肥的使用现状与发展展望[J]. 植物营养与肥料学报 2006, 12(5): 732-737.
- [8] 侯宗贤, 张惠文, 丁英. 新疆土壤有效钾状况与棉花施钾肥效果[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 197-198.
- [9] 王平, 陈新平, 田长彦, 等. 新疆南部地区棉花施肥现状及评价[J]. 干旱区研究, 2005, 6(2): 264-268.
- [10] 张炎, 王讲利, 刘骅. 新疆棉田土壤养分的吸附特征与有效性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 10(5): 51.
- [11] 伍维模, 郑德明, 董合林, 等. 南疆棉花干物质和氮磷钾养分积累的模拟分析[J]. 西北农业学报, 2002, 11(1): 92-96.
- [12] 郑德明, 姜益娟, 吕双庆, 等. 南疆不同密度下棉花干物质积累及其分配规律研究[J]. 中国棉花, 1999, 26(7): 17-18.
- [13] 李蕾, 娄春恒, 文如镜, 等. 新疆不同密度下棉花N, P吸收及其分配研究[J]. 西北农业学报, 1999, 8(1): 37-39.
- [14] 李德全, 高辉远, 孟庆伟. 植物生理学 [M] 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999: 58.
- [15] 王克如, 李少昆, 曹连莆, 等. 新疆高产棉田氮、磷、钾吸收动态及模式初步研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(7): 775-780.
- [16] Ryan J, Hasan H.M, Baasiri M. Availability and transformation of applied phosphorus in calcareous lebanese soils [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1985, 49: 1215-1220.

## 新疆棉花平衡施肥示范

习惯施肥

国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目  
新疆主要作物养分管理与平衡施肥

课题负责人: 张炎  
承担单位: 新疆农科院土壤肥料与农业节水研究所  
任务和指标: 以新疆主要农作物和特色经济作物为研究对象, 开展新疆土壤养分管理与平衡施肥技术的研究与推广。

推荐施肥  
ASI

# 施肥对加工番茄生长发育和养分吸收利用的影响

张炎 汤明尧 胡伟 姚银坤 高媛 胡国智

(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐, 830091)

**摘要:** 通过田间小区试验, 研究了施肥对加工番茄生长发育和养分吸收利用的影响。结果表明: 测土推荐施肥处理比不施肥处理增产 57.0%, 每亩增收 506 元。氮素对加工番茄产量贡献最大, 其次是磷素和钾素。施肥不但可以影响加工番茄各个生育阶段的干物质积累和总的积累量, 还可以影响干物质的分配及积累的趋势。施氮可以提高成熟期叶和茎中钾素的含量; 施钾不但可以大幅度提高成熟期叶和茎中钾的含量, 还可以提高果实中氮的含量。加工番茄吸收的养分 50% 以上都聚集在果实中, 随采摘移出, 容易造成土壤中氮钾养分的不足。因此, 在今后氮钾肥的施用时应考虑后期补氮钾。测土推荐施肥处理加工番茄产量在 6122 公斤 / 亩时, 每形成 1000 公斤果实产量的养分吸收量为  $N:3.28$  公斤、 $P_2O_5:0.58$  公斤、 $K_2O:3.10$  公斤,  $N:P_2O_5:K_2O$  为 1:0.18:0.95。

**关键词:** 加工番茄, 施肥, 产量, 干物质, 养分吸收利用

新疆独特的气候条件非常适宜加工番茄生长, 有利于红色素和干物质的形成, 是世界上适宜种植加工番茄的少数地区之一。目前, 加工番茄种植面积为 141 万亩, 总产量 864 万吨, 单产为 6138 公斤 / 亩, 加工量占全国总量的 90%<sup>[1]</sup>。加工番茄已成为新疆宜种植番茄区域农民主要的种植作物和收入来源, 加工番茄产业也已成为新疆经济增长的一个支柱产业<sup>[2]</sup>。

加工番茄果实采收期较长, 产量高, 土壤养分移出量大, 需要充足的养分供应, 特别是充分的氮磷钾供应是保证加工番茄正常生长发育的必要因素。在生产中, 农民重氮磷肥轻钾肥、少施或不施有机肥、氮磷钾配比失调、肥料施用时期不能耦合作物生长发育等不合理施肥常导致肥料利用率低、投肥效益下降、产量不高、品质变劣、环境污染等诸多问题<sup>[3,4]</sup>。在我国, 许多学者对蔬菜番茄施肥进行了深入的研究, 为蔬菜番茄合理施肥提供了依据<sup>[5-7]</sup>。对加工番茄施肥的

研究虽然也不少, 但大都集中在施肥对产量和生理特性的研究<sup>[8,9]</sup>, 施肥对加工番茄养分吸收及分配的系统研究还未见报道。本文通过田间小区试验, 研究施肥对加工番茄生长发育和养分吸收利用的影响, 以期新疆加工番茄规模化生产中的肥料运筹提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2007 年在新疆农科院玛纳斯实验站进行 (44.290°N, 86.251°E), 土壤类型为灌耕灰漠土, 土壤耕层基本理化性状见表 1。供试加工番茄品种为新疆主栽品种里格尔 87-5 (Lycopersicon Liger 87-5)。

试验设计 OPT、OPT-N、OPT-P、OPT-K 和 CK5 个处理, 3 次重复, OPT 处理是根据 ASI 法土壤测试结果推荐的用量, 各处理具体施肥量见表 2。磷肥与微肥做基肥一次施

表1 ASI法测定0-20厘米土壤基本农化性状

pH	有机质 (%)	有效养分 (毫克/升)						
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	P	K	Fe	Mn	Zn
8.6	0.6	23.7	33.4	12.5	114.4	13.5	4.6	0.9

入；氮肥：基肥施入20%，35%作始果肥（第一穗果实直径长至2厘米大小时），25%在第一次采摘后灌水时施入，20%在第二次采摘后灌水时施入。钾肥：基肥施入30%，30%作始果肥，40%在果摘后第1次灌水时施入。小区面积为3.6米×9.25米=33.3平方米，田间随机排列，3月31日播种，4月10日出苗，加工番茄行距55厘米，株距30厘米。田间管理同当地常规管理，灌溉方式为膜下滴灌，追肥随水施入。

1.2 分析测定方法

1.2.1 植株样品的采集和干物质积累量的测定

试验期间分别在出苗后33天(苗期)、61

碎过筛后，装袋用于测定植株氮、磷、钾的含量。样品的消煮采用浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>与H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>联合消煮法。全氮的测定采用奈氏比色法，全磷的测定采用钼锑抗比色法，全钾的测定采用火焰光度计法。

1.2.3 产量的测定

番茄采收期，在每个小区内划定测产区，每次收获时将测产区内的成熟果实收获、称重，计算产量。

2 结果与讨论

2.1 施肥对加工番茄干物质积累和分配的影响

加工番茄地上部分干物质积累见图1。施

表2 试验各处理施肥总量(公斤/亩)

处理	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	FeSO <sub>4</sub>	MnSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>
OPT	18	10	10	2	1.7	0.5
OPT-N	0	10	10	2	1.7	0.5
OPT-P	18	0	10	2	1.7	0.5
OPT-K	18	10	0	2	1.7	0.5
CK	0	0	0	0	0.0	0.0

天(初花期)、76天、91天、106天(盛果期)分5次取植株样，按叶、茎、果实等植株部位分开，105℃烘箱中杀酶30分钟，然后在70℃下烘至恒重，称重计干物质质量。

1.2.2 植株养分含量的测定

对盛果期各处理干植株样用小型粉碎机粉

肥对苗期(5月13日)加工番茄干物质积累影响不大，但从初花期(6月10日)开始，施肥处理每株干物质积累量都高于不施肥处理。从6月25日开始各处理的干物质积累量从大到小依次为OPT>OPT-K>OPT-P>OPT-N>CK，这与各处理的加工番茄产量高低顺序相一致。可

见，干物质与产量呈正相关性，干物质是形成产量的基础。加工番茄的干物质积累主要集中在果实中，各处理在成熟期（7月25日）叶、茎、果占总干重的百分比分别为：OPT 21.5%、22.7%、55.8%，OPT-N 20.0%、24.4%、55.6%，OPT-P 20.2%、22.3%、57.5%，

OPT-K 25.9%、21.8%、52.3%，CK 26.1%、22.6%、51.4%。

对各处理的加工番茄总干物质积累量进行动态分析，发现各处理的总干物质积累动态都呈“S”型曲线增长，可以用 Logistic 生长函数拟合，其生长函数方程见表 3。

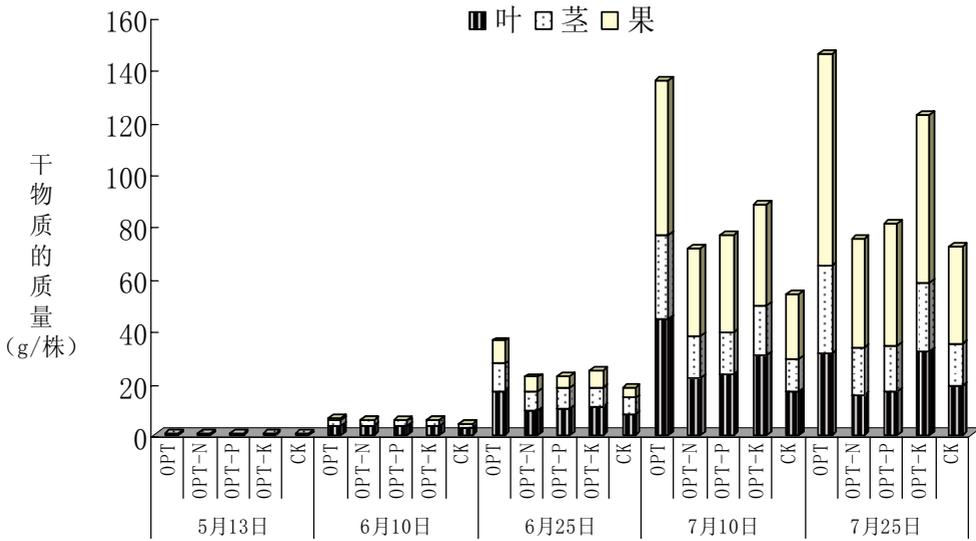


图 1 加工番茄地上部分干物质积累

表 3 加工番茄植株干物质积累的模型及其特征值

处理	t <sub>0</sub> (天)	t <sub>1</sub> (天)	t <sub>2</sub> (天)	Δ t (天)	方程	R <sup>2</sup>
OPT	80.8	75.2	86.4	11.2	$y=146.5/(1+e^{(19.00-0.235t)})$	0.999**
OPT-N	79.8	74.0	85.6	11.6	$y=75.9/(1+e^{(18.03-0.226t)})$	0.996**
OPT-P	80.1	74.5	85.7	11.2	$y=81.6/(1+e^{(18.66-0.233t)})$	0.997**
OPT-K	86.1	77.0	95.2	18.2	$y=129.3/(1+e^{(12.40-0.144t)})$	0.999**
CK	84.5	74.8	94.2	19.4	$y=76.0/(1+e^{(11.49-0.136t)})$	0.999**

注：t 为番茄出苗后的天数 (天), y 为番茄干物质积累量 (克 / 株), t<sub>0</sub> 为干物质积累速率最大时刻, t<sub>1</sub> 和 t<sub>2</sub> 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点, Δ t 被称为“时间特征值”, Δ t = t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>。

\*\*：表示达 1% 显著水平

加工番茄干物质积累随着生育期的进展而逐渐增强，苗期积累缓慢，到盛果前期达到高峰，各处理总干物质积累速率最大时刻  $t_0$  分别为出苗后的 80.8 天、79.8 天、80.1 天、86.1 天、84.5 天，施用氮磷钾肥的 OPT 处理分别比 CK 和 OPT-K 提前 3.7 天和 5.3 天。氮磷肥配施的 OPT (146.5 克) 和 OPT-K(129.3 克) 处理每株干物质最大积累量 ( $Y_m$ ) 明显高于不施肥的 CK(76.0 克) 处理和 OPT-N(75.9 克) 和 OPT-P(81.6 克) 处理，可见氮磷肥配施可以大幅度提高每株干物质最大积累量。施用钾肥虽然对每株干物质最大积累量影响不大，但施钾可以使加工番茄干物质快速积累时间 ( $\Delta t$ ) 变小，使加工番茄成熟期提前。施用钾肥的 OPT、OPT-N 和 OPT-P 处理的干物质快速增长期 ( $\Delta t$ ) 都在 11 天左右，而不施用钾肥的 OPT-K 和 CK 处理的干物质快速增长期都在 18 天以上。结合图 1 看出，不施用钾肥的 OPT-K 和 CK 处理后期的干物质积累主要集中在果实和茎干上，这可能是由于钾的缺乏，使茎秆维管束发育延缓，参与光合的产物向贮存器官运输变慢，使果实积累养分时间变长<sup>[10]</sup>。综上所述，施肥不但可以影响加工番茄各个生育阶段的干

物质积累和总的积累量，还可以影响干物质的分配比例及积累的趋势。

## 2.2 施肥对加工番茄养分分配、吸收及利用的影响

### 2.2.1 施肥对加工番茄植株养分含量的影响

加工番茄成熟期 (7 月 25 日) 各部位的氮磷钾含量见表 4。加工番茄在盛果期植株体内氮磷钾养分含量特点为：植株体内氮钾的含量远远高于磷的含量；果实和叶中氮的含量高于茎中氮的含量；各部位含磷量的大小顺序为果实 > 叶 > 茎；各部位含钾量的大小顺序为果实 > 茎 > 叶；果实中的氮磷钾含量都在一个很高的水平。从施肥对植株体内氮磷钾养分含量的影响来看，施氮对成熟期各部位的氮磷含量影响不大，但可以明显提高叶和茎中钾素的含量；施钾不但可以大幅度提高成熟期叶和茎中钾的含量，还可以提高果实中氮的含量；施磷对加工番茄成熟期植株体内氮磷钾含量的影响不明显。这与吴建繁等研究的保护地番茄植株养分含量呈现了相似的特点<sup>[7]</sup>。

### 2.2.2 施肥对加工番茄养分吸收的影响

加工番茄成熟期 (7 月 25 日) 每亩吸收的

表 4 加工番茄植株 NPK 养分含量 (%)

处理号	叶			茎			果实		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
OPT	3.82	0.21	1.04	2.01	0.14	2.72	3.81	0.33	3.29
OPT-N	2.70	0.22	0.76	2.38	0.12	2.36	3.50	0.34	3.66
OPT-P	2.73	0.22	1.05	2.24	0.14	1.64	2.93	0.33	3.34
OPT-K	2.72	0.21	0.48	2.34	0.13	1.59	2.18	0.32	3.17
CK	3.33	0.25	0.46	2.20	0.13	2.01	3.88	0.34	3.85

氮磷钾养分量见表5。各处理植株总的吸N量分别为OPT20公斤/亩、OPT-N9.28公斤/亩、OPT-P8.93公斤/亩、OPT-K12.05公斤/亩、CK9.77公斤/亩；总的吸P量分别为OPT1.54公斤/亩、OPT-N0.79公斤/亩、OPT-P0.87公斤/亩、OPT-K1.30公斤/亩、CK0.78公斤/亩；总的吸K量分别为OPT15.75公斤/亩、OPT-N8.36公斤/亩、OPT-P8.15公斤/亩、OPT-K11.13公斤/亩、CK7.42公斤/亩。加工番茄对氮钾的吸收量远远大于对磷的吸收量；且肥料的合理配比可以大幅度提高植株对养分的吸收，OPT处理氮磷钾的吸收量都明显高于其它处理。

期只追施氮肥，在今后生产中可考虑将1/2或2/3的钾随氮一起追施，以达到增产目的。为方便计算施肥量将P和K换算为P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和K<sub>2</sub>O，则测土推荐施肥处理加工番茄产量在6112公斤/亩时，吸收N20.03公斤/亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>3.52公斤/亩、K<sub>2</sub>O18.97公斤/亩，N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为1:0.18:0.95，每形成1000公斤果实产量的养分吸收量为N3.28公斤、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0.58公斤、K<sub>2</sub>O3.10公斤。

在本试验条件下，测土推荐施肥处理(OPT)各肥料的利用率分别为氮肥59.68%、磷肥15.32%、钾肥55.65%。这一结果与国内大田其它作物的养分利用率相比<sup>[11]</sup>，氮肥和钾肥的利

表5 加工番茄植株 NPK 养分吸收量 (公斤 / 亩)

处理号	叶			茎			果实		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
OPT	4.84	0.27	1.32	2.68	0.19	3.63	12.50	1.08	10.80
OPT-N	1.64	0.13	0.46	1.76	0.09	1.74	5.89	0.57	6.16
OPT-P	1.80	0.15	0.69	1.63	0.10	1.19	5.50	0.62	6.27
OPT-K	3.49	0.27	0.62	2.52	0.14	1.71	6.05	0.89	8.80
CK	2.53	0.19	0.35	1.44	0.09	1.32	5.80	0.51	5.75

加工番茄吸收的养分主要聚集在果实中，在盛果期各处理果实中氮磷钾的量分别占植株吸收该养分总量的百分比为N50.19% ~ 62.42%、P64.91% ~ 72.04%、K68.56% ~ 79.09%。就测土推荐施肥处理(OPT)而言，在成熟期每亩加工番茄果实中氮磷钾养分的吸收量分别为N12.5公斤、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>2.48公斤、K<sub>2</sub>O13公斤。由于大量的氮钾因果实的采摘而移出，所以很容易造成土壤中氮钾养分的不足，因此，在氮钾肥的施用时应考虑后期补氮钾。但农民习惯在后

用率偏高，这可能与加工番茄的养分吸收特点、土壤氮素底值偏低、施肥方式及作物对钾的惰性吸收等有关。

### 2.3 氮磷钾肥料效应

各处理的平均经济产量及效益情况见表6，表6表明，合理地施用化肥可以显著提高加工番茄的经济产量，增加收入。推荐施肥的OPT处理相对与地力产量(CK)增产率达57.0%，每亩可增收506元。缺氮(OPT-N)、

表6 加工番茄氮磷钾肥料平均经济产量 (公斤 / 亩)

处理	经济产量 (公斤 / 亩)	增产 (公斤 / 亩)	增产 (%)	肥料增产效益 (公斤 / 公斤)	产值 (元 / 亩)	肥料成本 (元 / 亩)	纯收益 (元 / 亩)
OPT	6112 a	2218	57.0	--	1895	182	1713
OPT-N	4249 bc	355	9.1	103.5	1317	108	1209
OPT-P	4746 bc	853	21.9	136.6	1471	128	1343
OPT-K	5247 ab	1353	34.8	86.5	1627	140	1486
CK	3894 c	0	--	--	1207	0	1207

注: N:4.08元 / 公斤, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 5.39元 / 公斤, K<sub>2</sub>O: 4.17元 / 公斤, FeSO<sub>4</sub>: 0.5元 / 公斤, MnSO<sub>4</sub>: 4.8元 / 公斤, ZnSO<sub>4</sub>: 7.2元 / 公斤, 加工番茄: 0.31元 / 公斤; 同一列中不同字母表示处理间差异达5%显著水平。

缺磷 (OPT-P)、缺钾 (OPT-K) 处理比不施肥处理分别增产 9.1%、21.9%、34.8%，每亩多增加收入 2 元、136 元、279 元。氮是供试土壤的第一养分限制因子，在不施用氮肥的情况下，施用其它肥料根本达不到增产的目的；另外磷素也对加工番茄的增产增收起着重要的作用。肥料的增产效益用每千克纯养分增产加工番茄的产量表示，氮、磷、钾肥的增产效益分别为 103.5 公斤 / 公斤、136.6 公斤 / 公斤、86.5 公斤 / 公斤。综合来看，氮素对加工番茄产量贡献最大，其次是磷素和钾素；要达到加工番茄增产增收的目的，氮磷钾合理配施是关键，特别是氮磷的配施尤为重要。

### 3 小结

3.1 加工番茄总干物质积累动态呈“S”型曲线增长；干物质积累主要集中在果实中。氮磷肥配施可以大幅度提高每株干物质最大积累量；施钾肥可以使干物质积累时间更趋于集中，使加工番茄成熟期提前。

3.2 加工番茄在盛果期植株体内氮磷钾养

分含量特点为：植株体内氮钾的含量远远高于磷的含量；果实和叶中氮的含量明显高于茎中氮的含量；各部位含磷量的大小顺序为果实 > 叶 > 茎；各部位含钾量的大小顺序为果实 > 茎 > 叶；果实中的氮磷钾含量都在一个很高的水平。从施肥对植株体内氮磷钾养分含量的影响来看：施氮对成熟期各部位的氮磷含量影响不大，但可以明显提高叶和茎中钾素的含量；施钾不但可以大幅度提高成熟期叶和茎中钾的含量，还可以提高果实中氮的含量。

3.3 合理的施肥可以使加工番茄增产 57%，每亩增收 506 元。氮素对加工番茄产量贡献最大，其次是磷素和钾素；要达到加工番茄增产增收的目的，氮磷钾合理配施是关键，特别是氮磷的配施尤为重要。

3.4 测土推荐施肥处理加工番茄产量在 6112 公斤 / 亩时，吸收 N20.03 公斤 / 亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>3.52 公斤 / 亩、K<sub>2</sub>O18.97 公斤 / 亩，N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为 1:0.18:0.95，每形成 1000 公斤果实产量的养分吸收量为 N3.28 公斤、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0.58 公斤、K<sub>2</sub>O3.10 公斤。本试验条件下，测土推荐施肥

处理各肥料的利用率分别为氮肥 59.68%、磷肥 15.32%、钾肥 55.65%。

### 参考文献:

- [1] 程中海, 罗芳. 新疆番茄加工业竞争战略选择与实施建议[J]. 新疆农垦经济, 2008, (3): 28-32
- [2] 庞胜群, 王祯丽, 张润. 新疆加工番茄产业现状及发展前景[J]. 中国蔬菜, 2005, (2): 39-41
- [3] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 660-667
- [4] 刘宏斌, 李志宏, 张维理, 等. 露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究[J]. 植物营养与肥料学报[J], 2004, 10(3), 286-291
- [5] 赵斌, 郎家庆, 韩晓日等. 番茄最佳施肥量及配比研究[J]. 辽宁农业科学, 2002, (5): 16-18
- [6] 齐红岩, 李天来, 富宏丹等. 不同氮钾施用水平对番茄营养吸收和土壤养分变化的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37 (2) : 268-272
- [7] 吴建繁, 王运华, 贺建德, 等. 京郊保护地番茄氮磷钾肥料效应及其吸收分配规律研究[J]. 植物营养与肥料报, 2000, 6(4): 409-416
- [8] 张小玲, 马海刚, 赵黎, 等. 新疆加工番茄营养特性及专用肥最佳配方的研究[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(5): 278-282
- [9] 田丽萍, 王进, 褚贵新等. 氮磷钾配施对加工番茄产量及生理特性的影响[J]. 长江蔬菜, 2006, (6): 51-52
- [10] 蔡邵珍, 陈振德. 蔬菜的营养与施肥技术[J]. 青岛: 青岛出版社, 1997, 34-57.
- [11] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. 中国农业科学. 2008, 41(2):450-459

新疆大面积的加工番茄农业生产





加工番茄养分限制因子与施肥效应试验生育期取样



新疆加工番茄平衡施肥示范

## 巢湖流域中稻高产高效平衡施肥技术

李录久<sup>1</sup>, 徐宏军<sup>2</sup>, 王家嘉<sup>1</sup>, 李东平<sup>1</sup>, 尹学政<sup>2</sup>, 吴萍萍<sup>1</sup>

(1. 安徽省农科院土壤肥料研究所, 合肥 230031; 2. 巢湖市土肥站, 巢湖 238000)

**摘要:** 通过田间试验研究安徽省巢湖流域一季中稻高产高效平衡施肥技术。结果表明, 施用氮磷钾化肥对水稻生长发育具有良好的促进作用, 并能改善产量结构性状, 增加水稻产值, 提高施肥经济效益。二年试验平均, 水稻平衡施肥较不施氮肥、磷肥、钾肥及不施肥的空白对照的增产率分别为 39.0%、9.8% 和 16.3% 及 46.8%, 施肥增收 18.5 ~ 355.5 元/亩, 产投比为 0.77:1 ~ 6.82:1。

**关键词:** 水稻, 平衡施肥, 巢湖流域

水稻是我国主要粮食作物, 近十年播种面积均在 4 亿亩以上, 种植面积约占我国粮食作物播种面积的 27%, 总产占我国粮食作物总产的 39%, 65% 的国人以稻米为主食<sup>[1,2]</sup>。安徽是我国水稻重要生产省, 全省常年水稻播种面积 3000 万亩以上, 其中 2008 年种植面积达 3328 万亩, 总产 1383 万吨, 播种面积和总产量分别占全国的 7.6% 和 7.3%, 仅次于湖南、江西、江苏和黑龙江等省, 分别居全国第 5 位和第 7 位<sup>[3]</sup>。巢湖流域是安徽省水稻特别是一季中稻主产区, 主要轮作制是油菜-水稻。巢湖是我国五大淡水湖泊之一, 位于安徽省中部, 长江流域中下游。

安徽省水稻种植面积虽然较大, 但单位面积产量较低, 2007 年平均为 410 公斤/亩, 低于 430 公斤/亩的全国平均产量, 排在全国 10 位以后, 与江苏等高产省份有较大的差距<sup>[3]</sup>。安徽省水稻产量长期低而不稳, 除气候条件外, 主要原因是施肥不合理。调查发现, 水稻生产中普遍存在盲目施肥、过量施肥和施用单一氮肥、不施或很少施用磷、钾肥及微量元素肥料等不合理施肥现象, 氮磷钾比例失调, 土壤速效磷、钾含量

下降, 水稻贪青晚熟, 病虫害重度发生, 后期倒伏严重, 空瘪率高, 籽粒产量低。因此, 开展水稻平衡施肥试验与示范, 对指导农民合理施肥, 实现水稻高产优质高效具有重要作用。2007 ~ 2008 年, 在国际植物营养研究所 (IPNI) 和国家十一五科技支撑计划“长江中下游水稻土区沃土技术模式研究与示范”的支持下, 在巢湖流域进行了水稻平衡施肥试验, 为水稻合理施肥提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 土壤养分状况

试验于 2007 和 2008 年在安徽省巢湖市居巢区 (现属合肥市) 中及槐林镇进行, 供试土壤分别为湖积物母质发育形成的湖泥田及白土田, 前茬油菜, 肥力中等。试验前 0 ~ 20 厘米耕层土壤养分状况 ASI 法测定结果见表 1。

#### 1.2 试验设计

试验设 6 个处理: ① CK (不施肥的空白对照) ② OPT (N<sub>12</sub>P<sub>5</sub>K<sub>8</sub>, 施 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 量分别为 12.5 和 8 公斤/亩) ③ OPT-N (不施氮) ④ OPT-P (不施磷) ⑤ OPT-K (不施钾)

表1 ASI法测定0-20厘米土壤基本农化性状

时间	地点	pH	有机质		土壤有效养分含量 (毫克/公斤)							
			(水)	(%)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	P	K	S	B	Cu	Fe	Mn
2007	中埠	5.28	0.64	10.1	26.8	68.2	44.8	0.42	8.5	427.2	40.5	2.0
2008	槐林	5.51	0.66	21.6	9.6	85.0	40.0	0.46	5.5	225.6	22.0	1.5

⑥ FP (农民习惯施肥 N<sub>14</sub>P<sub>6</sub>K<sub>4</sub>, 施 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 量分别为 14.6 和 4 公斤/亩)。供试肥料品种: 氮肥 - 尿素, 磷肥 - 普通过磷酸钙, 钾肥 - 氯化钾。

### 1.3 栽培管理措施

试验小区四周筑田埂, 宽 25 厘米, 高 20 厘米, 用塑料薄膜两面包裹防止串肥渗水。小区四周设保护行, 行宽 2 米, 排、灌水渠独立。小区面积 30 平方米, 4 次重复, 完全随机区组排列。施肥方法为: 60% 的氮肥和全部磷肥及 60% 的钾肥作基肥, 于水稻移栽前施用。20% 氮肥作第 1 次追肥, 水稻移栽 7 天后追施; 其余的 20% 氮肥和 40% 钾肥作第 2 次追肥, 于水稻孕穗期追施。供试水稻品种为杂交中稻两优 6326, 每年 4 月下旬育秧, 6 月上旬移栽, 栽插密度为 13.3 厘米 × 30 厘米。每年 9 月中下旬水稻成熟时, 每

小区取 25 株样品考种, 按小区单收单独脱粒计实产。其它栽培管理措施, 如病虫害防治以及水分管理, 同当地一般大田水稻。

## 2 结果与分析

### 2.1 施用氮磷钾对水稻生长发育和产量性状的影响

表 2 的调查结果说明, 氮磷钾化肥配合使用的平衡施肥对巢湖流域水稻 (一季中稻) 的生长发育具有明显的促进作用。与不施氮、磷、钾肥的对照 (OPT-N、OPT-P、OPT-K) 或不施肥的空白对照 CK 相比, 最佳施肥 OPT 处理有效穗数增加 2.28 ~ 8.77 穗/穴, 穗长增长 0.7 ~ 3.6 厘米, 穗粒数增多 3.8 ~ 64.0 粒/穗, 单穗重增加 0.1 ~ 1.3 克, 空瘪率降低 0.9 ~ 1.8

表2 施肥对水稻产量构成因素的影响

处理	株高 (厘米)	有效穗 (穗/穴)	穗长 (厘米)	穗粒数 (粒/穗)	空瘪率 (%)	穗粒重 (克)	千粒重 (克)	生物产量 (公斤/亩)
OPT	133.5	18.11	28.0	221.2	7.27	6.02	28.83	1187.4
OPT-N	110.1	9.83	25.0	164.5	8.40	4.94	28.90	817.5
OPT-P	136.7	13.3	327.0	217.4	8.63	5.98	27.8	31115.5
OPT-K	137.4	15.8	327.3	207.7	8.93	5.73	27.17	1033.7
CK	108.9	9.34	24.4	156.5	5.47	4.74	28.4	7691.0
FP	132.8	16.26	27.3	213.6	9.66	5.69	27.95	1157.5

个百分点,千粒重提高0.4~1.7克,生物产量增加71.9~496.4公斤/亩,相对提高6.1~41.8%。与农民习惯施肥FP处理相比,最佳施肥处理OPT的产量性状也有明显的改善和提高(表2)。

表2的结果还说明,氮磷钾3种肥料中,不施氮肥对水稻生长发育的影响最大,水稻株高、分蘖成穗率、穗长、穗粒数、穗粒重、生物产量均有较大幅度的下降,空瘪率明显提高,生物产量较OPT降低31.1%。不施磷肥和钾肥对水稻生长发育的影响较氮肥要小得多,并且受影响的程度相近。其中不施磷肥,水稻有效穗、穗长及株高受到的影响较钾肥大;不施钾肥,水稻穗粒数、穗粒重、千粒重及生物产量则有较大幅度的下降。这一结果说明,磷对水稻前期生长及分蘖成穗影响较大,而钾则主要影响穗粒数及千粒重等,对后期籽粒数和单穗粒重等产量构成性状有较大影响。不施肥的空白对照处理,水稻生长发育迟缓,植株矮小,分蘖成穗率低,穗短,穗粒数和穗粒重等指标均显著降低。

## 2.2 水稻平衡施肥的增产效应

从表3可看出,巢湖流域水稻土,氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥对水稻(一季中稻)具有显著的增产效应。与不施氮、磷、钾的对照OPT-N、OPT-P和OPT-K相比,最佳氮磷钾配施的OPT处理,水稻增施氮肥的增产率为34.6%~43.7%,施磷产量相对提高1.7%~17.8%,施钾增产13.8%~18.9%,较不施肥的空白对照CK产量提高45.1%~48.5%,与农民习惯施肥FP相比,增产10.4%~11.1%,2年试验平均,增产率分别为39.0%、9.8%和16.3%及46.8%与10.7%,除2007年试验土壤有效磷含量高施磷增产不显著外,均达5%或

1%的显著或极显著水准。不施肥或不施氮肥时,水稻籽粒产量显著降低,其余相对产量相应只有最佳施肥处理OPT的67.4%~68.91%和69.6%~74.3%,平均仅为68.1%和71.9%,减产极显著。不施磷、钾肥,水稻相对产量只有OPT产量的84.9%~98.3%和84.1%~87.8%,平均分别为91.6%和86.0%,除2007年试验施磷处理外,减产显著。总之,不施氮肥对水稻籽粒产量的影响最大,2年试验平均,减产幅度超过28%;其次为不施钾的处理,2年平均减产14%;不施磷对水稻产量的影响相对较小,平均减产8%左右。水稻氮磷钾肥的增产效应顺序为N>K>P。

进一步分析水稻施用氮磷钾肥的农学效率,结果表明,氮肥为11.7~13.9公斤籽粒/公斤N,磷肥1.9~16.4公斤籽粒/公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,钾肥达8.3~10.8公斤籽粒/公斤K<sub>2</sub>O,平均分别为12.8公斤籽粒/公斤N、9.2公斤籽粒/公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和9.6公斤籽粒/公斤,氮磷钾三要素中氮的农学效率最高钾次之。

## 2.3 施肥的经济效益分析

表3还表明,氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥技术,可有效提高种植水稻的产值,增加农民施肥的经济收益。最佳施肥处理OPT较不施氮肥的对照OPT-N增收279.9~333.3元/亩,施用氮肥的产投比达6.39:1和5.37:1;较不施磷肥的对照OPT-P增收18.5~164.4元/亩,施用磷肥的产投比为0.77:1~6.82:1;较不施钾肥的对照OPT-K增收133.4~173.3元/亩,施用钾肥的产投比分别为2.50:1~3.25:1;较不施肥的空白对照CK相应增收340.8和355.5元/亩,施氮磷钾肥产投比为2.63和2.74:1。2年试验平均,施用氮、磷、钾每亩分别增收

表3 平衡施肥对水稻籽粒产量和经济效益的影响

年份	处理	代号	籽粒产量	OPT 增产	增产率	农学效率	经济效益	施肥
			(公斤/亩)	(公斤/亩)	(%)	(公斤/公斤)	(元/亩)	(产投比)
2007	N <sub>12</sub> P <sub>5</sub> K <sub>8</sub>	OPT	548.2	—	—	—	—	—
	N <sub>0</sub> P <sub>5</sub> K <sub>8</sub>	OPT-N	381.5	166.7	43.7**	13.9	333.3	6.39
	N <sub>12</sub> P <sub>0</sub> K <sub>8</sub>	OPT-P	538.9	9.3	1.7	1.8	18.5	0.77
	N <sub>12</sub> P <sub>5</sub> K <sub>0</sub>	OPT-K	481.5	66.7	13.8*	8.3	133.4	2.50
	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	CK	377.8	170.4	45.1**	6.8	340.8	2.63
	N <sub>14</sub> P <sub>6</sub> K <sub>4</sub>	FP	496.7	51.5	10.4*	2.2	103.0	7.83
2008	N <sub>12</sub> P <sub>5</sub> K <sub>8</sub>	OPT	544.5	—	—	—	—	—
	N <sub>0</sub> P <sub>5</sub> K <sub>8</sub>	OPT-N	404.5	140.0	34.6	11.7	279.9	5.37
	N <sub>12</sub> P <sub>0</sub> K <sub>8</sub>	OPT-P	462.3	82.2	17.8	16.4	164.4	6.82
	N <sub>12</sub> P <sub>5</sub> K <sub>0</sub>	OPT-K	457.8	86.6	18.9	10.8	173.3	3.25
	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	CK	366.7	177.8	48.5	7.1	355.5	2.74
	N <sub>14</sub> P <sub>6</sub> K <sub>4</sub>	FP	490.0	54.5	11.1	2.3	108.9	8.28
平均	N <sub>12</sub> P <sub>5</sub> K <sub>8</sub>	OPT	546.3	—	—	—	—	—
	N <sub>0</sub> P <sub>5</sub> K <sub>8</sub>	OPT-N	393.0	153.3	39.0	12.8	306.7	5.88
	N <sub>12</sub> P <sub>0</sub> K <sub>8</sub>	OPT-P	500.6	45.7	9.8	9.1	91.5	3.79
	N <sub>12</sub> P <sub>5</sub> K <sub>0</sub>	OPT-K	469.7	76.7	16.3	9.6	153.3	2.87
	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	CK	372.2	174.1	46.8	7.0	348.2	2.69
	N <sub>14</sub> P <sub>6</sub> K <sub>4</sub>	FP	493.3	53.0	10.7	2.2	106.0	8.06

注1: 水稻价格为2.00元/公斤, N按4.35和4.35元/公斤, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为4.82元/公斤, K<sub>2</sub>O为6.67元/公斤计算。

注2: \*表示产量差异达5%的显著水准, \*\*表示产量差异达1%的极显著水准。

306.7元、91.5元和153.3元及348.2元, 施肥产投比分别达5.88:1、3.79:1和2.87:1及2.69:1。平衡施肥OPT与农民习惯施肥FP相比, 增收103.0~108.9元/亩, 施肥产投比平均达8.06:1。

### 3 小结

#### 3.1 施用氮磷钾化肥对巢湖流域水稻的生

长发育具有明显的促进作用, 水稻株高、穗长、有效穗数增加, 穗粒数明显增多, 空瘪粒减少, 穗粒重和千粒重提高, 产量性状改善, 为籽粒产量的提高打下了良好基础。

3.2 安徽省巢湖流域一季中稻产区, 水稻氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥具有显著的增产效应。水稻增施氮肥的增产率为34.6%~43.7%, 施磷产量相对提高1.7%~17.8%, 施

钾增产 13.8% ~ 18.9%，较不施肥的空白对照 CK 产量提高 45.1% ~ 48.5%，与农民习惯施肥 FP 相比，增产 10.4% ~ 11.1%，2 年试验平均，增产率分别为 39.0%、9.8% 和 16.3% 及 46.8% 与 10.7%，除 2007 年试验施磷处理外，其余均达 5% 或 1% 的显著或极显著水准。水稻施用氮磷钾的增产效应顺序为 N>K>P，农学效率平均

为 12.8 公斤籽粒 / 公斤 N、9.1 公斤籽粒 / 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 9.6 公斤籽粒 / 公斤 K<sub>2</sub>O。

3.3 平衡施肥可有效增加水稻产值，提高农民种植水稻的经济效益。施用氮磷钾化肥增收 18.5 ~ 355.5 元 / 亩，施肥产投比为 0.77:1 ~ 6.82:1。

## 参考文献

- [1] 蔡洪法. 我国水稻生产现状与发展展望[J]. 中国稻米, 2000, (6): 5 ~ 8.
- [2] 胡培松, 翟虎渠, 万建民. 中国水稻生产新特点与稻米品质改良[J]. 中国农业科技导报, 2002, 4(6): 33-39.
- [3] 安徽省统计局. 安徽农村统计调查资料[M]. 2008: 3 ~ 20.

# 花生适宜氮肥用量研究

余常兵<sup>1</sup> 李银水<sup>1</sup> 谢立华<sup>1</sup> 胡小加<sup>1</sup> 廖伯寿<sup>1</sup> 陈防<sup>2</sup> 廖星<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院油料作物研究所, 农业部油料作物生物学重点开放实验室, 武汉 430062;

2. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

**摘要:** 分析了不同氮肥用量对花生产量和固氮的影响。结果表明, 在红安低氮土壤上, 施氮使花生产量和氮积累量显著增加, 但固氮比例快速降低; 在蔡甸高氮土壤上, 施氮对产量和氮积累量影响不明显, 固氮比例变化不大。建议生产上应根据土壤条件确定施氮策略, 即在低氮土壤上优先考虑增加产量来施氮, 在高氮土壤上优先考虑发挥花生固氮能力来施氮。

**关键词:** 花生, 生物固氮, 施氮量

花生作为主要的油料作物, 合理的养分管理, 不仅能提高产量和品质, 还能减少不合理的肥料投入, 提高农户经济效益<sup>[1-2]</sup>。但从湖北省花生种植农户施肥调查结果看(未发表资料), 总体氮肥用量过多, 过量施用与不足现象又同时存在, 影响了产量增加和种植效益提高。有鉴于此, 我们在湖北省花生主产区进行了氮肥用量田间试验, 为促进农户科学施肥, 提高花生氮素管理水平提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设置

2009年在红安和蔡甸各安排不同氮肥施用水平田间试验1个, 氮肥用量分别为0、2、4、6、8和10公斤/亩(蔡甸点无此水平), 各处理再分别施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>6公斤/亩、K<sub>2</sub>O8公斤/亩、硼砂0.6公斤/亩, 3次重复, 小区面积14.4平方米, 品种分别为中花6号和海花8号, 1万穴/亩。

上述试验所用肥料包括: 尿素(N为46%); 过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为12%); 氧化钾(K<sub>2</sub>O为60%), 硼砂(B为10.7%)。肥料开沟条施, 氮肥60%基施, 40%在初花期追施, 其它肥料

均作基肥一次施用。

### 1.2 样品采集和分析

试验前采集基础土壤样品, 采用ASI法测定<sup>[3]</sup>, 红安点土壤pH值4.96, 有机质0.74%, 速效氮16.6毫克/升, 速效磷2.3毫克/升, 速效钾41.6毫克/升。蔡甸点土壤pH值7.65, 有机质0.86%, 速效氮34.6毫克/升, 速效磷32.6毫克/升, 速效钾94.5毫克/升。

在花生成熟后, 先采集各小区花生功能叶片和试验地周边田埂无固氮能力杂草的叶片, 带回实验室风干粉碎, 用同位素质谱仪测定 $\delta^{15}\text{N}$ 值; 再采集各处理全株样品, 考种后烘干磨碎, 用凯氏定氮仪测定N浓度<sup>[4]</sup>。全小区收获, 晾干称重, 计算单位面积花生荚果产量。

### 1.3 数据分析

花生固氮比例和固氮量采用下列公式计算<sup>[5]</sup>:

$$\% \text{Ndfa} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{weed}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{peanut}}) / (\delta^{15}\text{N}_{\text{weed}} - B) \cdot 100$$

$$\text{Ndfa} = \text{N}_{\text{peanut}} \times \% \text{Ndfa}$$

其中%Ndfa是花生固氮比例,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{weed}}$ 是参比植物杂草的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{peanut}}$ 是供

试花生的  $\delta^{15}\text{N}$ , B 是无氮水培花生的  $\delta^{15}\text{N}$ , Ndfa 是花生的固氮总量, Npeanut 是花生的氮积累量。以上  $\delta^{15}\text{N}_{\text{peanut}}$  和  $\delta^{15}\text{N}_{\text{weed}}$  通过测定花生功能叶片和杂草叶片获得, B 值选择已发表文献中花生的 B 值, Npeanut 通过计算花

生各部位的生物量和氮浓度获得。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施氮水平对花生农艺性状的影响

分析表明(表1), 相比不施氮, 红安点施

表 1 不同施氮水平对花生农艺性状的影响

处理	主茎高 (厘米)		分枝数 (个)		饱果率 (%)		百果重 (克/100荚果)		百仁重 (克/100果仁)	
	红安	蔡甸	红安	蔡甸	红安	蔡甸	红安	蔡甸	红安	蔡甸
	N0	32.4	54.1	4.07	9.6	89.2	82.5	137.0	146.6	59.7
N2	31.5	54.4	5.03	9.4	89.1	83.5	147.2	155.4	53.5	67.4
N4	33.6	52.8	4.35	9.6	87.2	80.3	174.9	156.5	51.2	61.2
N6	44.7	52.6	5.59	9.6	82.8	81.0	129.1	149.1	51.4	68.9
N8	38.3	52.4	5.27	9.8	84.6	80.8	163.4	177.1	44.9	72.4
N10	39.6		4.96		86.3		179.5		52.2	

氮后花生的主茎高、分枝数、百果重都明显增加, 而饱果率、百仁重下降; 与之相比, 蔡甸点的百果重、百仁重施氮后增加, 主茎高、分枝数和饱果率下降。两个点一致表现为施氮后百果重增加, 说明施氮能够促进花生果实养分吸收, 增

加个体重量。农艺性状可能受多种因素的影响, 两个点的表现趋势并不完全相同。

### 2.2 不同施氮水平对花生产量和固氮的影响

随着氮肥用量的增加, 红安点花生产量显著上升, 在施氮 8 公斤/亩时产量最高(表 2);

表 2 不同施氮水平对花生产量、氮积累和固氮的影响

处理	产量(公斤/亩)		氮积累量(公斤/亩)		固氮比例(%)		固氮量(公斤/亩)	
	红安	蔡甸	红安	蔡甸	红安	蔡甸	红安	蔡甸
N0	191.8	204.0	8.7	11.5	92.9	53.4	8.1	6.2
N2	205.6	219.4	8.8	11.4	85.8	66.5	7.6	7.6
N4	221.5	214.2	9.5	11.5	53.5	52.5	5.1	6.0
N6	273.6	213.0	12.8	11.3	48.3	55.6	6.2	6.3
N8	292.9	204.1	13.2	10.2	27.1	49.8	3.6	5.0
N10	249.8		11.6		20.1		2.3	

蔡甸点花生产量在施氮 2 公斤/亩时就达最高, 进一步增加施氮量产量有降低趋势。产量变化与农艺性状的变化规律有较好的相似性。两个试验

点的氮积累量与产量变化规律一致。

随施氮量增加, 红安点花生固氮比例显著降低, 最高与最低值间相差 4 倍以上(表 2);

而蔡甸点变化趋势不明显, 平均固氮比例在50%左右。两个试验点的固氮量也与固氮比例变化规律一致。

### 2.3 花生适宜的施氮量

将花生施氮量与产量、固氮比例和固氮量的关系分别进行分析, 获得相对应的最佳施氮量。结果表明(表3), 红安点最佳产量施氮量为8.56公斤/亩, 最佳固氮比例施氮量和最佳固氮量施氮量都为0; 蔡甸点最佳产量施氮量是3.80公斤/亩, 最佳固氮比例施氮量为2.85公斤/亩, 最佳固氮量施氮量是2.61公斤/亩。

可以看出, 如果考虑产量最大化, 则氮肥用量较高, 此时生物固氮发挥的作用较小; 如果只考虑生物固氮能力最大化, 则氮肥用量较低, 但此时产量又较低。因此, 应该针对田间实际情况, 考虑如何使产量和固氮比例达到动态平

衡, 保证一定产量下尽量减少氮的施用, 发挥生物固氮作用。以本试验为例, 在红安试验点, 土壤可提供氮素水平较低, 生物固氮水平受肥料氮影响很大, 施氮后固氮比例可从92.9%降至20.1%, 我们可以考虑不追求过高的固氮比例以保证一定的产量; 在蔡甸试验点, 土壤供氮能力较强, 生物固氮受施氮影响不大, 产量也较稳定, 则可以考虑按最大固氮比例确定施氮量。

### 3 小结

在红安低氮土壤上, 增加氮肥用量使产量和氮素积累量增加, 但固氮比例和固氮量降低; 在蔡甸高氮土壤上, 增施氮肥对产量和氮素积累量增加不明显, 固氮比例和固氮量无明显变化。建议在低氮土壤上优先考虑产量来进行施氮, 在高氮土壤上优先考虑固氮比例进行施氮。

表3 花生施氮量、固氮量与产量间的相关性

相关性	试验点	回归方程	相关系数 (r)	最佳施氮量 (公斤/亩)
施氮量	红安	$y = -0.0808x^2 + 20.742x + 2698.8$	0.8793*	8.56
与产量	蔡甸	$y = -0.0531x^2 + 6.0574x + 3087.3$	0.8954*	3.80
施氮量与	红安	$y = 0.0009x^2 - 0.653x + 96.2$	0.9822*	0.00
固氮比例	蔡甸	$y = -0.0016x^2 + 0.1368x + 56.2$	0.6162	2.85
施氮量	红安	$y = -0.0013x^2 - 0.3702x + 120.49$	0.9444*	0.00
与固氮量	蔡甸	$y = -0.0042x^2 + 0.3289x + 96.309$	0.8159*	2.61

注: \* 表示达 5% 显著水平。

### 参考文献

- [1] 余常兵, 李志玉, 廖伯寿, 等. 湖北省花生平衡施肥技术研究 II. 平衡施肥对花生产量及经济效益的影响 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49 (6): 1307-1309.
- [2] 余常兵, 李志玉, 廖伯寿, 等. 湖北省花生平衡施肥技术研究 III. 平衡施肥对花生品质的影响 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49 (11): 2724-2726.
- [3] 加拿大钾磷肥研究所北京办事处. 土壤养分状况系
- [4] 鲍士旦 主编. 土壤农化分析, 第三版 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [5] Shearer G. B. and Kohl D. H. N<sub>2</sub>-fixation in field settings: estimations based on natural <sup>15</sup>N abundance. Australian Journal of Plant Physiology, 1986, 13: 699-756.

# 喷灌条件下玉米施肥肥效及养分吸收的研究

段玉 张君 妥德宝 赵沛义 李焕春

(内蒙古农牧业科学院植物营养与分析研究所, 010031)

**摘要:** 喷灌条件下在玉米上进行3年试验结果表明, 氮肥效果大于磷肥效果, 磷肥效果大于钾肥效果; 玉米经济最佳施肥量为N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 15.2-6.4-4.9公斤/亩。氮、磷、钾肥的当季利用率分别为36.3%、18.6%和49.9%。每生产100公斤玉米籽吸收N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O分别为2.08公斤、0.69公斤和2.49公斤

玉米是我国播种面积最大、产量最高的粮食作物, 2009年全国播种面积为3073万公顷, 总产达15550万吨。内蒙古自治区2009年玉米播种面积为253.1万公顷, 总产达1522.1万吨, 占全国的8.5%。玉米主要种植在具有灌溉条件的高产农田, 科学合理施肥是玉米增产的重要措施之一, 研究玉米养分吸收分配规律和玉米平衡施肥可以为玉米高产高效种植提供科学依据。

育成品种“内单314”。试验用氮肥为尿素, 含N46%, 磷肥施氮区用磷酸二铵, 缺氮区用重过磷酸钙, 含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>46%, 钾肥为氯化钾, 含K<sub>2</sub>O60%, 氮肥30%做种肥, 70%在拔节期和大喇叭口期2次追施, 二铵和氯化钾全部做种肥深施, 试验田采用喷灌, 2009年生育期灌水5次, 灌水量150mm, 2010年生育期灌水11次, 165mm, 2011年生育期灌水6次, 灌水量175mm。2009年是5月1日播种, 9月28日收获, 2010年是5月2日播种, 10月4日收获, 2011年是5月2日播种, 10月2日收获。

## 1 材料和方法

试验在内蒙古鄂尔多斯达拉特旗灌区进行, 土壤为潮土, 砂壤, 土壤养分状况见表1。

表1 供试土壤养分分析结果

年份	pH	有机质 (%)	(毫克/升)									
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	P	K	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
2009	8.82	0.24	9.4	6.8	10.6	96.6	0.0	7.0	0.9	3.1	1.7	1.72
2010	8.66	0.24	3.7	7.5	29.7	76.8	2.7	13.2	0.9	7.3	1.4	1.17
2011	8.46	0.18	6.9	9.8	34.7	62.4	13.0	11.2	1.3	6.2	0.6	0.51

试验采用“3414”试验设计(见表2), 设NPK三个因素, 四个养分用量, 重复三次, 随机排列。供试品种为内蒙古农牧业科学院

收获时各处理分别取样3株切碎风干, 称茎叶干重和籽实干重, 并分析茎叶和籽实的N、P、K养分含量。

表2 玉米试验因素水平编码值

年份	2009				2010				2011			
编码值	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
施氮量(N)(公斤/亩)	0	8.5	17	25.5	0	9	18	27	0	9	18	27
施磷量(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(公斤/亩)	0	3.5	7	10.5	0	4	8	12	0	4	8	12
施钾量(K <sub>2</sub> O)(公斤/亩)	0	3.0	6	9.0	0	6	12	18	0	6	12	18

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米施肥的增产效果和推荐施肥参数的确定

分析整理 2009-2011 年 3 个玉米试验产量结果见表 3。

表3 玉米试验产量结果(公斤/亩)

编号	处理	2009年				2010年				2011年			
		I	II	III	平均	I	II	III	平均	I	II	III	平均
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	436	431	452	440	697	655	688	680	444	548	431	474
2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	524	460	477	487	758	706	698	721	409	713	689	604
3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	680	629	704	671	772	795	878	815	614	795	642	684
4	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	673	611	654	646	783	768	786	779	570	650	633	618
5	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	683	704	692	693	850	831	856	846	666	672	732	690
6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	705	716	761	727	942	961	870	924	681	703	804	729
7	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	712	696	674	694	912	881	893	895	667	686	685	680
8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	654	653	629	645	844	859	821	841	625	626	685	646
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	697	650	671	673	871	916	906	897	706	704	747	719
10	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	667	719	671	686	878	963	856	899	663	706	604	658
11	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	644	670	703	672	895	877	808	860	703	659	702	688
12	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	602	617	654	624	888	877	902	889	665	700	573	646
13	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	599	678	713	663	893	880	838	870	664	656	630	650
14	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	625	704	715	681	844	871	903	873	700	620	626	649

注：方差分析 2009 年 F=20.22\*\*，2010 年 F=13.06\*\*，2011 年 F=2.90\*，处理间存在显著差异。

#### 2.1.1 玉米施肥的增产效果

从表4可以看出,玉米施用氮肥增产13.1%—49.3%，平均为26.0%，施用磷肥增产7.3%—

18.6%，平均为12.1%，施用钾肥增产1.9%—13.0%，平均为8.1%。总的来看，N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>处理增产效果最好，施肥效果N>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>K<sub>2</sub>O。

表4 玉米施肥的增产效果

处理	N 的增产率 (%)				处理	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 的增产率 (%)				处理	K <sub>2</sub> O 的增产率 (%)			
	2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	--	--	--		N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	--	--	--		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	--	--	--	
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	37.8	13.1	13.2	21.4	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	7.3	8.6	11.7	9.2	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	4.2	6.7	11.3	7.4
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	49.3	28.3	20.8	32.8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12.6	18.6	18.0	16.4	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12.7	9.9	13.0	11.8
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	38.0	19.3	14.0	23.8	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	7.4	15.0	10.0	10.8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	6.3	6.9	1.9	5.0
平均	41.7	20.2	16.0	26.0		9.1	14.1	13.2	12.1		7.7	7.8	8.7	8.1

2.1.2 玉米施肥的农学效率

从表5可以看出，玉米施用氮肥每公斤N增产玉米3.1–21.6公斤，平均为9.9公斤。施用磷肥每公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>增产玉米4.6–18.2公

斤，平均为12.4公斤。施用钾肥每公斤K<sub>2</sub>O增产玉米0.7–13.7公斤，平均为7.4公斤。以低养分处理(N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)效果更好，施肥肥效P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>>N>K<sub>2</sub>O。

表5 玉米施肥的农学效率

处理	N (公斤 / 公斤)				处理	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (公斤 / 公斤)				处理	K <sub>2</sub> O (公斤 / 公斤)			
	2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	--	--	--		N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	--	--	--		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	--	--	--	
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	21.6	10.5	8.9	13.7	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	13.4	16.7	18.1	16.1	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	9.1	9.3	12.2	10.2
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	14.1	11.3	7.0	10.8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	11.6	18.2	13.9	14.6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	13.7	6.9	7.0	9.2
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	7.3	5.2	3.1	5.2	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	4.6	9.7	5.1	6.5	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	4.5	3.2	0.7	2.8
平均	14.3	9.0	6.3	9.9		9.9	14.9	12.4	12.4		9.1	6.5	6.6	7.4

2.1.3 玉米施肥的养分利用率

从表6看出，玉米施用氮肥(N)养分利用率22.9%–46.2%，平均为36.3%，施用磷

肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)养分利用率7.4%–26.8%，平均为18.6%，施用钾肥(K<sub>2</sub>O)养分利用率22.1%–62.3%，平均为49.9%。

表6 玉米施肥的养分利用率

处理	N%				处理	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %				处理	K <sub>2</sub> O%			
	2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	--	--	--		N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	--	--	--		N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	--	--	--	
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	45.9	37.6	25.2	36.2	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	17.6	23.3	18.4	19.8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	60.8	59.0	62.3	60.7
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	45.4	35.6	46.2	42.4	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	26.8	24.7	23.0	24.8	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	56.3	54.2	60.0	56.8
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	22.9	25.2	43.0	30.4	N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	12.1	7.4	13.9	11.1	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	46.3	28.6	22.1	32.3
平均	38.1	32.8	38.2	36.3		18.8	18.5	18.4	18.6		54.5	47.3	48.1	49.9

3年试验结果表明(表7),生产100公斤玉米吸收N0.92-3.06公斤,平均为2.08公斤,吸收P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0.41-1.06公斤,平均为0.69公斤,吸收K<sub>2</sub>O1.54-3.44公斤,平均为2.49公斤。

最佳施肥处理(N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)生产100公斤玉米吸收的N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O分别为2.34公斤、0.78公斤和2.67公斤。

表7 每生产单位籽实产量需要吸收养分量(公斤/100公斤)

处理	N				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O			
	2009	2010	2011	平均	2009	2010	2011	平均	2009	2010	2011	平均
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.08	2.63	0.93	1.88	0.78	0.81	0.64	0.74	2.92	2.92	1.54	2.46
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.09	2.74	1.43	2.09	0.74	0.85	0.50	0.70	2.59	2.89	1.81	2.43
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	2.14	2.50	1.01	1.88	0.90	0.57	0.41	0.63	2.87	3.44	2.57	2.96
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	2.03	2.59	1.59	2.07	0.93	0.64	0.47	0.68	2.69	2.59	1.99	2.42
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.46	2.74	1.83	2.34	1.06	0.70	0.60	0.78	2.60	2.89	2.52	2.67
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	2.19	3.02	1.08	2.10	1.02	0.60	0.62	0.75	2.54	2.03	1.68	2.08
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	2.09	2.44	1.35	1.96	0.78	0.67	0.41	0.62	2.40	2.40	1.73	2.18
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	2.57	3.06	0.92	2.18	0.70	0.58	0.59	0.62	2.58	2.65	2.08	2.43
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	2.15	2.60	1.11	1.95	0.86	0.68	0.51	0.68	2.87	2.82	2.31	2.67
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	2.38	3.00	1.58	2.32	0.78	0.78	0.58	0.71	2.65	3.29	1.82	2.58
平均	2.22	2.73	1.28	2.08	0.85	0.69	0.53	0.69	2.67	2.79	2.00	2.49

## 2.2 玉米经济最佳施肥用量的确定

对2009年三次重复平均值进行回归分析,其回归方程为:

$$Y=439.6+21.18N-0.721N^2+23.05P-1.404P^2+2.129K-2.113K^2-0.391NP+1.141NK+0.546PK$$

$$R^2=0.987* \quad F=33.5>F_{0.05}=6 \quad \text{说明回归方程差异显著,可以进行拟合分析。}$$

对2010年三次重复平均值进行回归分析,其回归方程为:

$$Y=684.6+11.81N-0.684N^2+12.99P-2.381P^2+25.96K-2.104K^2+1.565NP+0.096NK-0.614PK$$

$$R^2=0.932* \quad F=6.06>F_{0.05}=6 \quad \text{说明回归方程差异显著,可以进行拟合分析。}$$

对2011年达旗试验三次重复平均值进行回归分析,其回归方程为:

$$Y=469.6+7.81N-0.289N^2+21.81P-1.7279P^2+32.31K-2.710K^2+0.488NP-0.015NK-0.807PK$$

$$R^2=0.956* \quad F=9.64>F_{0.05}=6 \quad \text{说明回归方程差异显著,可以进行拟合分析。}$$

对上述3个方程分别求N、P、K的偏导并令其为零,得到3个联立方程组,解之得到获得最高产量的施肥量。对上述3个方程分别求N、P、K的偏导并令其边际产量为零,得到3个联立方程组,解之得到经济最佳施肥量。

表8结果表明，在鄂尔多斯沿黄河灌区喷灌下，获得最高产量的玉米施N量为：17.7–20.2公斤/亩，平均为18.7公斤/亩；施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量为6.9–8.1公斤/亩，平均为7.7公斤/亩；施K<sub>2</sub>O量为4.7–6.2公斤/亩，平均为5.4

公斤/亩。

经济合理施N量为：14.7–15.5公斤/亩，平均为15.2公斤/亩；施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>量为6.2–6.7公斤/亩，平均为6.4公斤/亩；施K<sub>2</sub>O量为4.6–5.1公斤/亩，平均为4.9公斤/亩。

表8 玉米最佳施肥量及产量

年份	获最高产量的施肥量 (公斤/亩)				经济最佳施肥量 (公斤/亩)			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	产量	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	产量
2009 达旗	17.7	6.9	6.2	713.5	15.5	6.2	5.1	709.2
2010 达旗	18.1	8.0	5.4	914.0	14.7	6.4	5.1	908.0
2011 达旗	20.2	8.1	4.7	712.7	15.3	6.7	4.6	705.5
平均	18.7	7.7	5.4		15.2	6.4	4.9	

注：每公斤N按照4.35元，每公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>按照4.84元，每公斤K<sub>2</sub>O按照3.67元，玉米按照2元/公斤计算。

### 3 结论

3.1 玉米是内蒙古自治区的第一大作物，3年的试验结果表明氮肥效果大于磷肥效果，磷肥效果大于钾肥，说明当前玉米推荐施肥仍应当注意氮磷钾肥的配合施用。

3.2 在玉米生长发育过程中矿质元素通过参与同化物的合成、转运和分配过程，对玉米的生长发育及产量形成有着重要作用。3年试验结果表明在磷钾基础上增施氮肥的肥料利用率(N)平均为36.3%；在氮钾基础上增施磷肥的肥料

利用率(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)平均为18.6%；在氮磷基础上增施钾肥，钾肥的肥料利用率(K<sub>2</sub>O)平均为49.9%。生产100公斤玉米籽粒吸收N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O平均分别为2.08公斤、0.69公斤和2.49公斤。这些数据的获得为玉米推荐施肥提供了技术参数。

3.3 回归分析表明，在鄂尔多斯沿黄河灌区喷灌下，玉米经济最佳施肥量为：N–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–K<sub>2</sub>O为15.2公斤/亩、6.4公斤/亩和4.9公斤/亩。

参考文献：

- [1] 冯沛, 范学东, 赵涛, 等. 淮北地区玉米养分需求特性及高产施肥技术[J]. 农技服务. 2008(25)9:51-52
- [2] 张慧, 王锋有, 刘乙俭, 等. 不同施肥条件下玉米养分吸收规律及优化配方施肥技术研究[J]. 杂粮作物, 2008, (28)2:118-120
- [3] 刘德江, 李青军, 高伟, 等. 施肥对玉米养分吸收利用、产量及肥料效益的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009, 4:56-59
- [4] 高洪军, 朱忠, 彭畅, 等. 淡黑钙土玉米养分平衡调控技术初探[J]. 吉林农业科学, 2005, 30(5): 43-45, 53



## 养分缺乏与中毒—永远与作物相伴

W.M. (Mike) Stewart 和 William F. Bennett 著

加拿大国际植物营养研究所成都代表处 谢玲译 涂仕华校

原文译自 BETTER CROPS With Plant Food 2011, No. 2 P4-5

**摘要：**这篇文章简要阐明了在诊断作物养分缺乏和中毒方面一些要点和资料源，以帮助人们认识和了解在植物营养上碰到的问题。

作物营养问题与其栽培历史相伴而行。早在古美索不达米亚（现在的伊拉克）的幼发拉底河和底格里斯河流域形成第一次文明的时期，人们就开始使用动、植物废弃物来提高作物生产，同样的措施也出现在东方国家和其他地区。在认识和理解植物营养的过程中，有许多发现和贡献推动了植物营养科学的发展，其中最值得一提的是德国科学家尤斯图斯·冯·李比希（Justus von Liebig）的贡献。他的卓越贡献推动了人们对化学、植物营养学和土壤科学的认识，被称作化肥工业之父。李比希正确地认识到植物是从土壤中获得矿质营养的。

曾经的重大发现，而今我们认为本来就是如此。当代农艺学家和其他农业学家早就懂得作物营养与施肥的基本原理。我们知道，比如，土壤矿物和/或有机部分仅持留了有限的养分。一旦这些养分资源被耗竭，就会出现土壤养分缺乏，从而影响作物的产量和品质。此外，养分缺乏也可能由暂时的环境条件引起，使作物的养分吸收受阻。其典型例子就是在冷湿土壤条件下，早播玉米会出现缺磷症状。

无论是哪种原因，养分缺乏都有其特殊症状出现，辨别这些不同症状是有效寻找矫正作



玉米上出现缺磷症状

物缺素农艺措施的基础。掌握植物养分功能的知识在决定肥料需求时总会大有帮助。同时也有助于准确查找出缺乏的养分。

作物缺素症状首次在二十世纪初被发现并报道。在四十年代和五十年代被广泛用于作物诊断施肥。1941年，Howard Sprague首次出版了《作物饥饿症状》一书，书中描述了缺素症状和并辅以视图，属植物缺素的第一个标准和经典工作。

在确定作物养分需求时缺素症状可作为一种有用的工具。其它历经检验的方法有土壤测试、植物组织测试（田间和实验室）和用作物施

肥带作参照。作为一种诊断工具，养分缺乏症状的缺点在于一旦症状出现，作物就可能已经减产了。但是，针对一种症状的出现而及时施用所需养分可使作物减产降至最低。在缺素症状出现之前，需要对土壤和植物组织进行分析。

植物正常生长需要16种必需养分。植物缺素症的外观鉴别包括如下特征：部位、斑点/纹分布、颜色、形态和对生长的影响。一种养分在植物体内的移动性越强，其缺乏症状就越可能首先出现在下部叶片上，反之亦然。例如，K在植物组织中移动性很强，易于从植物的一个部位转移到另一个部位。因此，缺K症状一般是最先出现在老叶上，这是因为K总是从老叶转移到新的组织中。

在某些棉区的蕾铃期，发育中的棉铃需要大量钾，夺走新叶中的钾打乱了正常的缺素症状学。



在美国阿肯色州的棉田中，棉花生长后期新叶有时也会出现缺K症状。



在这些玉米植株上，缺钾典型症状首先表现在较老的叶片上。

即使是规则也会出现例外。在某些情况下，缺K症状会先于老叶而出现在新叶上。这发生



水稻幼苗缺锌植株。

锌这类养分在植物体内移动性较差，缺素症几乎总是发生在新叶上。图1简要描述了哪类缺素症会最先出现在植物的什么部位。

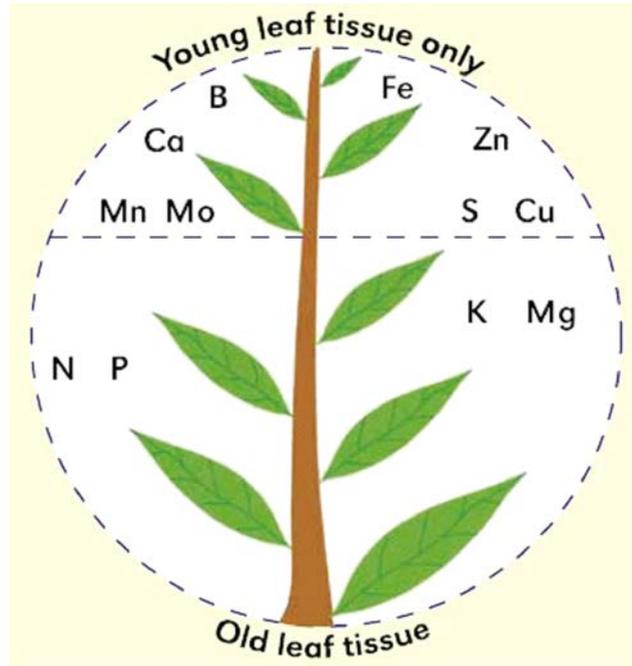


图1. 这个概图指出在植物的哪些部位各种缺素症会最先观察到。移动性强的养分缺素症状会最先出现在老叶上。

当肉眼可以看到缺素症状时，通常表明这种养分已属于严重缺乏，而轻度缺乏可能不容易马上看出来。其它胁迫如干旱和病虫害会干扰诊断。值得注意的是，一些作物比另一些作物更容易缺乏某些养分，对某些养分会引起中毒的情况也一样。因此，不管是从事大田作物生产咨询的专家还是大学教授，在诊断作物缺素和中毒症状时，必须要有准确可靠的参考。美国植物病理学会出版了一本书，叫做《作物养分缺乏与中毒》。这是一本永不过时的，对每种养分缺乏和中毒症状都有可靠标准，可推荐给每一位农学家收藏。具体联系和购买信息如下：  
<http://www.apsnet/apsstore/shopapspress/Pages/41515.aspx> 或电话联系美国植物病理学会：1-800-328-7560。

国际植物营养研究所 (IPNI) 也有养分缺乏图片的数据库，并不断更新。请访问网址：  
<http://media.ipni.net>

植物养分缺乏、中毒和平衡的话题在目前的环境下讲特别适合。随着人口的增长和全球的持续食品危机，农业生产者和农业顾问的角色变得更加重要。最佳作物养分管理，以及实施中所需的技能和信息，都是满足日益增长农产品需求的关键所在。

Stewart 博士是 IPNI 美国南部和大平原地区负责人，办公地址为美国得克萨斯州的圣安东尼奥；e-mail: [mstewart@ipni.net](mailto:mstewart@ipni.net)。Bennett 博士是土壤学家，美国拉伯克得克萨斯州科技大学农学院前副院长，现为荣誉退休教授。

## 国际植物营养研究所 (IPNI) 作物缺素症图片奖

张过师编译 陈防校

(加拿大国际植物营养研究所武汉代表处)

原文出自 BETTER CROPS, 2012, No.1 P16-17)

每年，我们都欢迎有敏锐眼光的、在田间从事与农业生产相关工作的人们搜寻和拍摄优秀的作物缺素图片，来参加国际植物营养研究所举办的作物缺素症图片比赛。

比赛分四个单元：氮 (N)、磷 (P)、钾 (K) 和其他 (中微量) 元素。参赛者在每个单元内限提交一份图片 (同一名参赛者可针对这四个单元各提交一份图片)。由国际植物营养研究所的科学家们组成的特别委员会首先会从所有参赛图片中选出一个整体最佳图片，授特等奖并发奖金 200 美元。另外，针对每个单元，选出第一名和第二名，分别授奖金 150 美元和 75 美元。

参赛图片要求是电子版，并附上相关信息，包括：

1. 参赛者 (拍摄人) 姓名、工作单位和联系方式。

2. 拍摄的作物及生长阶段，拍摄的时间和地点。

3. 其他相关支持 / 佐证信息，如作物缺素症状描述及成因分析、土壤养分分析、植株养分分析和相关农事操作等。

奖金优先授予原创的、高质量的和相关支持 / 佐证信息详实的图片。参赛图片可于当年 12 月份前提交，评选结果于次年初在国际植物营养研究所网站 [www.ipni.net](http://www.ipni.net) 和 “Better Crops With Plant Food” 期刊上公布。具体参赛及颁奖的时间和流程见 [www.ipni.net/photocontest](http://www.ipni.net/photocontest)。

2011 年 IPNI 作物缺素症图片奖评选结果已揭晓。获特等奖和一等奖的图片如下：

### 特等奖：油棕缺硼 (B)。

作者是哥伦比亚棕油研究中心 Cenipalma 土水管理方向的博士后研究人员 Jose Alvaro Cristancho Rodriguez。照片是一株生长于哥伦比亚州卡萨纳雷 Altamira estate 的 2 年龄的杂交油棕 (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*, Jacq.)。主要缺 B 症状是叶片 / 叶体卷曲。经测定，第 9 叶和第 17 叶 B 含量仅分别为 10 毫克 / 公斤和 12 毫克 / 公斤，分析是种植材料的原因以及在 2009 年和 2010 年施用了石灰并大量施用了 N 肥而引起的此严重缺 B。

整体最佳图片



### 氮 (N) 单元

第一名：蓖麻缺氮 (N)。

作者是印度拉贾斯坦邦政府农业部门研究官员 Prakash Kumar 博士。该近景照片是一株生长在拉贾斯坦邦 Sirohi 地区 Doduar 的缺氮蓖麻 (*Ricinus communis* Linn.)。测定表明该土壤全 N 含量为 136 公斤 / 公顷。播种 30 天后，因缺氮，蓖麻老叶发黄变淡绿而新叶仍保持鲜绿色。



### 磷 (P) 单元

第一名：玉米缺磷 (P)。

作者是印度海得拉巴市旱作农业中央研究院首席 (土壤) 科学家 Ch Srinivasa Rao 博士。照片是一株灌浆期典型缺 P 的杂交玉米。该 P 缺乏症状包括紫色色素沉着、发育不良、叶面积及玉米棒减小，进而会引发的玉米全面减产。该土壤 (一种淋溶土) 质地较粗，黏粒含量为 12%，有机 C 含量为 3.2 克 / 公斤，Bray-P 含量仅为 4.8 公斤 / 公顷。叶片分析也表明 P 含量较低，仅为 0.12%。

### 钾 (K) 单元

第一名：椰子缺钾 (K)。

作者是位于印度喀拉拉邦 Alleppy 区 Kayamkulam 地方站的中央农作物研究所的土壤学科学家 Jeena Mathew 博士。照片拍摄于喀拉拉邦 Trivandrum 区 Edava Panchayath 的一处农田，是一株典型缺 K 的生长在海岸砂壤土 (pH4.2-4.5) 的 30 年的油椰 (cv. West Cost Tall)。该缺 K 症状包括：老叶由叶缘到叶基逐渐发黄，叶尖干枯坏死。叶中脉仍显绿色但叶片整体显橙色，部分叶片外观有焦灼状。



## 其他（中微量）元素单元

### 第一名：紫苏缺锰（Mn）。

作者是澳大利亚维多利亚州的 E.E. Mri 和 Sons。照片是一株收获季缺 Mn 的水培 Matthew Stewart 紫苏。

主要症状有：在植株的上中下部叶片都可见到叶脉间组织整体泛黄。培养液分析表明 Mn 含量水平为 0.17 毫克 / 公斤（理想状态应 >0.5 毫克 / 公斤），叶柄液分析表明 Mn 含量为 0.8 毫克 / 公斤（理想状态应 >2.0 毫克 / 公斤）。培养液中 Mn 含量提高一倍后，此症状消失。



## IPNI 中国项目 2011—2012 工作会议在海南举行

2012 年 2 月 13 日—16 日，IPNI 中国项目 2011 年工作会议在海南省海口市召开，来自全国 31 个省（市）的 150 余名专家、学者和学生参加了本次会议。IPNI 中国项目部主任金继运博士主持会议，IPNI 副总裁 Adrian Johnston 博士作了“养分管理在气候变化和粮食安全中的作用”的大会报告，IPNI 中国项目西南地区负责人涂仕华博士和 IPNI 中国项目华北及东北地区负责人何萍博士也分别作了“香蕉施肥技术

研究进展”和“玉米专家推荐施肥系统”的大会报告。Adrian Johnston 博士给 2011 年度 IPNI 优秀研究生奖学金获奖学生颁发证书，给梁鸣早女士颁发 IPNI 贡献纪念牌。

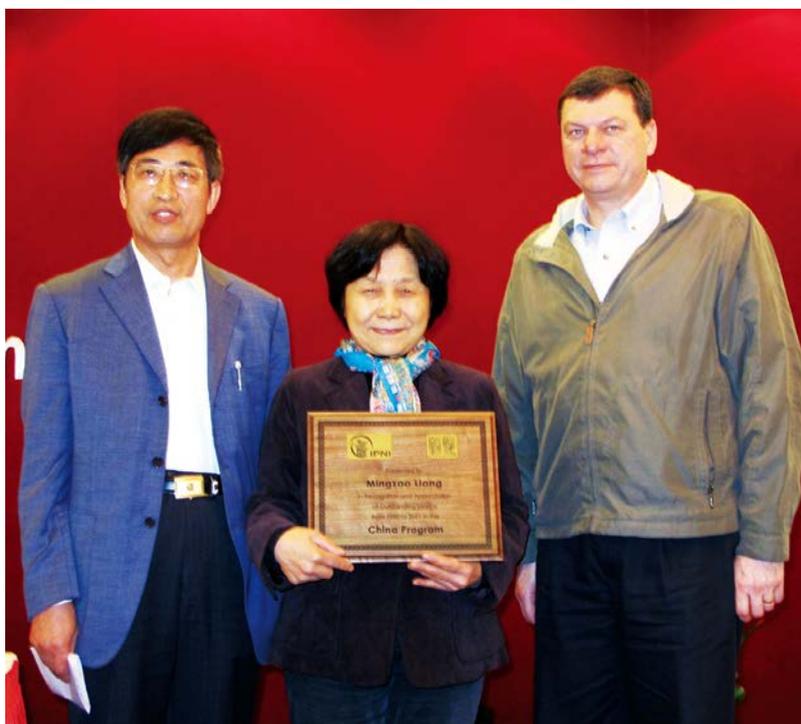
2 月 14 日下午，前往美兰区现场考察香蕉种植大户的平衡施肥和辣椒钾肥试验示范。2 月 15 日分片区进行 2011 年的工作进展总结和汇报，同时各合作单位与 IPNI 各片区或项目负责人确定了 2012 年度新的工作计划和工作目标。



IPNI 中国项目年会大会现场



Adrian Johnston 博士、涂仕华博士和何萍博士作大会报告



Adrian Johnston 博士和金继运博士为梁鸣早女士颁奖



香蕉（左）和辣椒（右）平衡施肥试验示范



Adrian Johnston 博士为（左起）串丽敏、夏颖、王利（郝小雨代）颁发证书

研究生奖学金由 IPNI 成员公司提供赞助，欢迎全国从事土壤和植物科学包括农学、园艺、生态、土壤肥力、土壤化学、作物生理以及其他与植物营养有关领域的在读研究生积极踊跃申

请。有意申请 2012 年 IPNI 研究生奖学金的同学请到 <http://www.ipni.net/> 了解详情，包括申请资格和所需材料，申请材料都需要网上提交，申请截止日期 2012 年 6 月 30 日。

## 简 讯

由国际植物营养研究所 (IPNI) 的科学家们撰写的《Nutrient Source Specifics》中文版《肥料品种简介》已经翻译完成, 包括常用的氮肥、磷肥、钾肥、硫肥等肥料品种的简介。本系列英文 PDF 版本可在网址 [www.ipni.net/specifics](http://www.ipni.net/specifics) 免费下载, 中文版可在网站 [www.ipni.ac.cn](http://www.ipni.ac.cn) 免费下载; 也可向国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目部免费索取。

《肥料品种简介》按肥料品种逐一介绍, 是用简短、浓缩的语言, 客观阐述了现代农业中常用肥料品种与养分资源的生产、化学特性、农用方法、管理措施和非农业用途等。这些资料可用作教育和培训, 适合农业技术推广人员和农民了解常用肥料特性和施用方法, 有助于肥料的合理施用。

国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目部  
北京市中关村南大街 12 号中国农科院土肥楼 315/317, 100081  
电 话: 010-82108000 传 真: 010-82106206

