



IPNI  
INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE

# 高效施肥

## 本期提要

科学利用钾肥资源

硝化 / 脲酶抑制剂对土壤氮素淋溶影响

苏丹草-黑麦草轮作制中平衡施肥对土壤肥力的影响

玉米钾肥适宜用量研究

氮肥运筹对超高产夏玉米产量及氮肥效率的影响

不同玫瑰品种磷养管理

黑龙江大豆磷肥效果

不同钾效率基因型棉花对不同钾水平反应的差异

基于土壤氮素收支平衡的油菜氮肥推荐施用量

施用氮磷钾对生姜生长和干物质积累的影响

云南红壤旱坡地玉米氮磷钾肥效应

钾营养对水果和蔬菜食物品质的影响

全球作物集约化减少了温室气体的排放

IPNI 中国项目部 2010—2011 工作会议

IPNI项目管理系统  
孙柱芳

- 首页
- 项目管理
- 查询统计
- 基本信息管理
- 施肥类型
- 灌溉、降水类型
- 田间管理类型
- 用户管理

©2011 IPNI中国项目部  
Powered by PickedPoint

试验方法维护

- 田间示范
- 小区试验
- 盆栽试验
- 定位试验
- 水培试验
- 砂培试验
- MYR
- 轮作试验
- 微区试验

添加 删除

# 高效施肥 2011年5月

## 本期目录

## 页数

科学利用钾肥资源保证种植业可持续发展	1
硝化/脲酶抑制剂对土壤氮素淋溶影响	3
苏丹草-黑麦草轮作制中平衡施肥对土壤肥力的影响	10
玉米钾肥适宜用量研究	13
氮肥运筹对超高产夏玉米产量及氮肥效率的影响	17
农业面源污染防治中不同玫瑰品种磷养分管理研究	22
黑龙江省大豆磷肥效果研究	29
不同钾效率基因型棉花对不同钾水平反应的差异	34
基于土壤氮素收支平衡的油菜氮肥推荐施用量研究	40
施用氮磷钾对生姜生长和干物质积累的影响	46
云南红壤旱坡地玉米氮磷钾肥效应	50
钾营养对水果和蔬菜食物品质的影响—文献综述	55
全球作物集约化减少了温室气体的排放	60
IPNI 中国项目部 2010—2011 工作会议	64

## 《高效施肥》

为 IPNI 中国项目部的出版物，  
每年五月及十月各出一期  
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

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 the Government for 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。

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, 加拿大  
A.M. Johnston, Vice President, IPNI Asia and Africa Group

### 理事会

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

**行政办公室**—Norcross, Georgia, 美国

T.L. Roberts, President, IPNI

**北美项目总部**—Brookings, South Dakota, 美国  
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	<a href="mailto:jjjin@ipni.net">jjjin@ipni.net</a>
何萍 副主任	北京办事处	<a href="mailto:phe@ipni.net">phe@ipni.net</a>
李书田 副主任	北京办事处	<a href="mailto:sli@ipni.net">sli@ipni.net</a>
孙桂芳 女士	北京办事处	<a href="mailto:gfsun@ipni.net">gfsun@ipni.net</a>
陈防 副主任	武汉办事处	<a href="mailto:fchen@ipni.net">fchen@ipni.net</a>
涂仕华 副主任	成都办事处	<a href="mailto:stu@ipni.net">stu@ipni.net</a>

封面照片：

### 会员公司：

Agrium Inc.	K+S KALI GmbH
Arab Potash Company	The Mosaic Company
Belarusian Potash Company	PotashCorp
CF Industries Holding, Inc.	Simplot
Great Salt Lake Minerals	Sinofert Holdings Limited
OCP S.A.	SQM
Incitec Pivot	Uralkali
Intrepid Potash, Inc.	Vale Fertilizantes S.A.



## 科学利用钾肥资源，保证种植业可持续发展

金继运

钾与氮和磷一样，是植物生长必需的大量营养元素，不能被其他任何元素代替。农作物的需钾量一般与氮素在同一个量级，高于需磷量。钾以离子形态被作物吸收，与氮磷不同是，钾在植物体内不构成有机化合物，但它在植物光合作用、光合作用产物的转化运输、蛋白质的合成等许多生理过程中起着重要作用，与许多代谢功能密切相关，也是作物高产优质生产的重要物质基础。

钾肥在我国的施用是随作物产量的不断提高和土壤钾素的不断耗竭而逐步发展的。从上世纪三十年代以来，中国进行了三次全国范围的肥料效应研究，在三次肥料效应研究过程中，土壤钾素经历了从丰富到相对缺乏，钾素效应经历了从无效和到不同地区逐渐显效的过程。

第一次全国范围内的肥料效应研究在1935年到1940年，由我国著名土壤学家张乃凤先生组织，在全国14个省的68个点安排了156个小麦、玉米、水稻、油菜、棉花、玉米、小米、红薯、大麦和桑树田间试验。研究发现几乎所有的土壤都严重缺氮，长江流域发现了缺磷，钾在所有供试土壤均较丰富。第二次全国肥料效应的研究从1958年到1962年，由农业部组织的全国化肥肥效试验网，共在25个省的157个点上实施了351个水稻、小麦、玉米、棉花、果树、蔬菜和其他作物田间试验。发现在所有试验点上氮肥肥效显著。磷肥在南方地区效果已经非常显著，在北方地区效果也趋于明显。土壤钾素供应基本还可以满足作物需求。

1981年~1983年全国化肥肥效试验网组织了第三次全国范围内的肥料效应研究，在29个省的18种农作物上共安排了田间试验5086个。研究结果显示，一般作物产量的施肥效应按N>P>K的顺序排列，氮素增产效益有所下降，南方水稻施磷的效果稍有下降，北方小麦和玉米的施磷效果有所上升。南方水稻施钾的效果明显，北方地区小麦和玉米施钾也开始显效。

总体看来，在上世纪五十年代以前，中国农民在较低的生产水平上主要依靠有机肥料来维持土壤-作物系统间的养分平衡。上世纪五十年代以后，随着作物产量及氮磷肥料用量的增加，作物带走了更多的钾，导致土壤有效钾下降及土壤-作物间钾素的亏缺。作物产量的提高、氮磷肥用量的增加和土壤-作物系统中钾素的亏缺导致了钾肥的增产效应的增加。这些变化正是植物营养的最小养分律在宏观上的体现。

从上世纪八十年代开始，在农业部的支持下，国际植物营养研究所（IPNI）与中国农业科学院以及其他科研教育单位合作，形成了全国性的合作研究网络，在不同地区安排了大量的田间试验来研究不同作物对N、P和K肥的效应。研究明确了主要作物与氮磷肥相配合的最佳钾肥用量，所有这些研究结果为各地区科学可靠的施用钾肥提供了依据。在南方地区，施钾肥可增加粮食作物产量11.7~39.1%，纯收益每公顷439~1809元，在经济作物上产量和效应增加比粮食作物更加明显。西南地区在香蕉和荔枝上施用钾肥可增产63.1%和30.9%，纯利润达每公顷21269和10538元。北方地区土壤钾素含量相对较高，但是随着氮磷肥用量的增加、作物产量的提高，土壤钾素含量逐渐下降，施钾效果逐渐明显，IPNI合作项目多年研究结果表明，在北方主要作物上，施钾平均增产15.7~24.7%，增加纯收入每公顷810~2468元。

中国缺乏钾矿资源，钾肥主要依靠出口。为保证农业生产的持续发展和增加农民收入，必须科学高效利用钾肥资源。

1) 充分利用一切可以利用有机钾肥资源。在中国有机肥是重要的钾素资源,大量的钾以水溶态存在于作物叶片和茎秆中。研究结果显示,秸秆还田后还增加了作物吸钾量和产量,改善了土壤/作物系统中的钾素平衡。据估算,2000年中国48.8亿吨的有机废弃物中含有2270万吨 $K_2O$ ,可是由于缺乏相应的鼓励机制和简便易行的技术,仅有约三分之一的有机养分返还了土壤,造成了资源的浪费和环境问题。

2) 将钾肥优先用于最需钾的土壤上。南方土壤一般缺钾,供钾能力低。但近来有研究报道,在南方集约化种植区连续施钾的土壤上有钾素积累的情况。同时在北方集约化高产区随着高氮、高磷的投入,土壤必然要被带走大量的养分,因此也需要考虑科学合理补充钾肥。

3) 对钾敏感的作物优先施用钾肥。许多作物对缺钾十分敏感,如香蕉、烟草、棉花、马铃薯及大部分的糖料、纤维和油料作物等。在小麦-夏玉米轮作制中,玉米对施钾的反应比小麦更为明显,因此,钾肥要优先施用到玉米上。

4) 钾肥与其他必需的营养元素平衡施用。许多田间试验结果表明,任何一种元素的短缺都会影响到其他养分的效率,因此,要注意钾肥与氮磷和中微量元素的合理配合施用。

5) 分次施用钾肥,减少淋溶损失。钾素在土壤中的移动性介于氮肥和磷肥之间,在生育期长的作物上,在养分容易流失的土壤上,建议分次施用钾肥,减少钾素养分流失。

上接9页

[9] Vilsmeier K. Turn-over of  $^{15}N$  ammonium sulfate with dicyandiamide under aerobic and anaerobic soil condition[J]. *Fertilizer Research*, 1991, 29(5): 191- 196.

[10] Guiraud G, Marol C, Thibaud M C. Mineralization of nitrogen in the presence of a nitrification inhibitor [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989, 21:29-34.

[11] Clay D E, Malzer G L, Anderson J L. Tillage and dicyandiamide influence on nitrogen fertilizer immobilization, demineralization and utilization by maize (*Zea mays L.*) [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1990b, 9:220-225.

[12] Wang Z P, Van C O, Li L B, Li L T, Baert L. Effect of organic matter and urease inhibitors on urea hydrolysis and immobilization of urea nitrogen in an alkaline soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1991b, 11:101-104.

[13] 郑福丽,李彬,李晓云,石元亮.脲酶抑制剂的作用机理与效应[J].吉林农业科学,2006,31(6):25-28.

[14] 陈苇,卢婉芳.稻田脲酶抑制剂对 $^{15}N$ -尿素去向的影响[J].核农学报,1997,11(3):151-156.

[15] 王小彬,辛景峰,Grant C A, Bailey L D. 尿素与脲酶抑制剂配用对春小麦植株氮吸收的影响[J].干旱地区农业研究,1998,16(3):6-10.

[16] 孙志梅,武志杰,陈立军,马星竹.硝化抑制剂的施用效果、影响因素及其评价[J].应用生态学报,2008,19(7): 1611 -1618.



## 硝化/脲酶抑制剂对土壤氮素淋溶影响

串丽敏<sup>1</sup>, 赵同科<sup>2</sup>, 安志装<sup>2</sup>, 何萍<sup>1</sup>

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

2 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097)

**摘要:** 为揭示尿素中添加脲酶/硝化抑制剂后, 土壤中硝态氮、铵态氮的迁移转化以及淋溶损失规律, 设置温室土柱淋溶培养试验, 研究尿素中单独添加脲酶抑制剂N-丁基硫代磷酸三胺(NBPT)和硝化抑制剂双氰胺(DCD), 以及两者配合施用对氮素在土体中淋溶损失规律的影响。结果表明, 40公斤/亩施肥量条件下, 尿素中添加NBPT、DCD以及DCD与NBPT配合施用, 均可在24天之前显著降低淋溶液硝态氮浓度, 并在30天后达到峰值, DCD、DCD与NBPT配合施用的峰值延缓了7天。整个试验周期中, DCD处理对氮素淋溶表现为较好的抑制效果, NBPT以及DCD与NBPT配合施用, 在培养试验后期抑制效果较好。最终NBPT、DCD、DCD与NBPT配施三种处理可显著降低硝态氮累积淋失量分别达11.6%、13.7%和17.2%。在一定施肥量条件下, 脲酶抑制剂和硝化抑制剂两者单施或配施均可降低硝态氮累积淋失量。

**关键词:** 土壤; 氮素; 脲酶抑制剂; 硝化抑制剂; 淋溶损失

氮是植物生长所必需的大量营养元素之一。农业生产中过量的氮肥施用及不合理的管理措施, 导致氮素以氨挥发、硝酸盐淋溶及反硝化等途径损失, 氮肥利用率下降。其中土壤 $\text{NO}_3^-$ -N淋溶是氮素损失的重要途径之一, 也是导致地下水硝酸盐污染的重要原因。通过尿素中添加脲酶抑制剂或硝化抑制剂, 来控制土壤氮素生物化学转化过程, 为减少氮素环境损失, 减轻环境污染风险提供理论依据和技术支撑。前人已经对其效果有一定的研究, 但是在不同土壤类型、不同质地、不同肥力、不同作物类型和温度等条件下, 尿素中添加脲酶抑制剂或硝化抑制剂对氮素迁移转化、氮素淋失方面, 研究结果不尽相同。DCD的添加对于土壤本身的氮素转化研究较多, 但是对于氮素的迁移淋失还不多见, 脲酶抑制剂NBPT以及DCD与NBPT两者配施对氮素迁移方面的研究也较为鲜见。就目前的研究和应用看, 其研究深度和广度有待进一步加强。针对施肥所造成的地下水体环境污染, 在北方地区特定土壤条件下设计土柱淋溶培养试验, 探讨尿素中添加脲酶抑制剂NBPT和硝化抑制剂DCD, 以及两者配施时的氮素淋溶损失规律。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验时间、地点

试验于2009年3月-8月在北京市农林科学院温室进行, 温室内的最低温和最高温基本保持在 $25^{\circ}\text{C}$ ~ $35^{\circ}\text{C}$ , 其中在90天~95天期间高达 $40^{\circ}\text{C}$ ~ $45^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.2 试验材料

供试土壤取自北京市农林科学院内的中壤质潮土, 过2 mm筛, 其理化性状见表1。土柱材料为PVC管, 长110厘米, 内径为10厘米, 共装土90厘米, 下端接底盖漏斗, 外接橡胶管至接收瓶中

以盛接渗滤液。管柱内壁用环己酮粘结土粒，以减少管壁效应。PVC管内底部采用2层200目的尼龙滤布，并用密封胶带封住，上铺5厘米厚的石英砂。石英砂上按容重1.35克/立方厘米，先均匀装土70厘米，然后将表层20厘米土（按容重1.25克/立方厘米）与肥料和抑制剂充分混匀，加入土柱，注意每层压实土壤。

表1 供试土壤基本理化性状

pH (水土比=2.5:1)	有机质 (克/公斤)	全氮	硝态氮	铵态氮	速效磷	速效钾
7.5	35.5	0.9	39.0	3.6	15.4	61.8

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 试验设计

试验采取土柱淋溶培养模拟方法，不种任何作物。设置5个处理，4次重复。各处理分别为：1) CK (只施磷钾肥，不施氮肥)；2) N (施氮肥和磷钾肥)；3) ND (在处理2基础上加入氮素量1%的DCD)；4) NN (在处理2基础上加入氮素量1%的NBPT)；5) NDN (在处理2基础上加入氮素量0.5%的DCD、NBPT)。试验中施N量按40公斤/亩，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和K<sub>2</sub>O均按30公斤/亩。

脲酶抑制剂NBPT由百灵威化学技术有限公司提供，硝化抑制剂DCD由北京化学试剂公司提供。每隔3d浇一次水，每次浇水400毫升，保持田间最大持水量的60%。为防止浇水过猛冲击土壤表面，浇水时先用量筒量好，倒入喷壶中慢慢洒在土壤表层。淋溶出的水也被及时低温保存，每3d内淋溶出的水样作为一次完整水样进行硝态氮和铵态氮的测定。

#### 1.3.2 样品的采集

培养150天，每隔3天，取一次淋溶水样，测水样体积以及水样中铵态氮和硝态氮的含量。

#### 1.3.3 监测指标及方法

水样中铵态氮浓度测定采用靛酚蓝比色法，硝态氮测定采用紫外分光光度法<sup>[1]</sup>。

#### 1.3.4 数据处理

试验数据采用基于Windows的Excel和SPSS10统计分析软件处理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 添加抑制剂对土柱淋溶液硝态氮的影响

#### 2.1.1 硝态氮浓度的变化

不同处理土壤淋溶液中硝态氮浓度在不同培养期变化显著(图1)。不施氮肥(CK)处理淋溶液硝态氮浓度在整个培养期内呈较低水平，没有显著变化，这与供试土壤氮素含量较低有关(表1)；不同生化抑制剂处理淋溶液硝态氮浓度表现出相似规律，呈单峰曲线变化，表现为培养前期逐渐升高，在30天后达到峰值，之后逐渐降低。

氮素施入后第3天时，N处理淋溶液硝态氮浓度开始显著增加，而其它添加抑制剂的处理没有发生显著变化。17天时，N处理硝态氮浓度(25.5毫克/升)超过中国国家地下水饮用标准(20毫克/

升), 且显著高于其它处理。之后, 所有处理淋溶液中硝态氮浓度开始急剧增加, 至24天时, 施用抑制剂的处理硝态氮浓度均低于不施抑制剂的N处理。接着NN处理硝态氮浓度迅速激增, 31天时, 浓度达到峰值(305毫克/升), 显著高于N和ND处理, 而其余处理延缓了峰值的到来时间, 均在第38天时达到峰值。ND处理比N处理峰值显著降低5.1%。38天以后, 所有处理硝态氮浓度开始下降, 施用抑制剂的NN、NDN处理均显著低于N处理。52天时, ND处理硝态氮浓度又高于N处理, 66天以后, 转为低于N处理, 之后一直处于较低浓度, 且普遍低于NN和NDN处理。整体来看, NN处理和NDN处理在59天时已经降到20毫克/升以下, ND处理在66天以后降到20毫克/升以下, 添加抑制剂的所有处理在80天时可降到10毫克/升以下, 而不施抑制剂的N处理在第80天时才降到20毫克/升以下, 到108天时降到10毫克/升以下。这可能是由于DCD在前期和中期抑制剂作用较强, 土壤中铵态氮浓度较高, 淋溶的硝态氮浓度相对较低, 在后期DCD抑制作用减弱, 土壤中铵态氮又转化为硝态氮向下淋失作用所致。

### 2.1.2 硝态氮累积淋失量的变化

试验结果显示(图2), 不施氮肥的CK处理硝态氮淋失累积量一直处于较低水平, 说明氮肥施用是导致硝态氮淋失和地下水污染的重要因素之一。试验中所有处理硝态氮淋失累积量均在前期(17天以前)变幅较小, 中期显著增加, 约在45天左右增加幅度逐渐变小, 之后呈现缓慢增加趋势。

在施肥第17天后, N、NN、NDN处理硝态氮累积量快速增加, 但是ND处理增加相对比较平缓, 能显著降低淋溶液中硝态氮累积。45天以后, 不加抑制剂的N处理硝态氮累积量继续增加, 且增长幅度较大, 而NN、NDN处理增加缓慢, 两者变化趋势极为相近, 并能显著降低硝态氮累积量。ND处理在52天以后, 与NN、NDN处理之间没有显著区别, 但是三者仍能显著降低硝态氮淋失累积量。经过长达150天的淋洗, 不加抑制剂的N处理施入的肥料氮几乎全部淋溶出土体, 甚至还增加了原有土壤氮素的损失。整体看, 在较高量施肥条件下, 硝化抑制剂DCD在整个研究周期都有抑制氮素淋失的效果, 而脲酶抑制剂NBPT以及DCD与NBPT配合施用, 在后期抑制效果较好。至试验结束, 与N处理相比, NBPT、DCD、DCD与NBPT配合施用分别可以减少硝态氮淋失11.6%、13.7%和17.2%。单独施用脲酶抑制剂或硝化抑制剂处理, 以及两种抑制剂配合施用, 均可显著降低硝态氮淋失累积量, 减少氮素淋失风险, 可能会使更多的氮保持在根层有效范围内<sup>[2,3]</sup>。

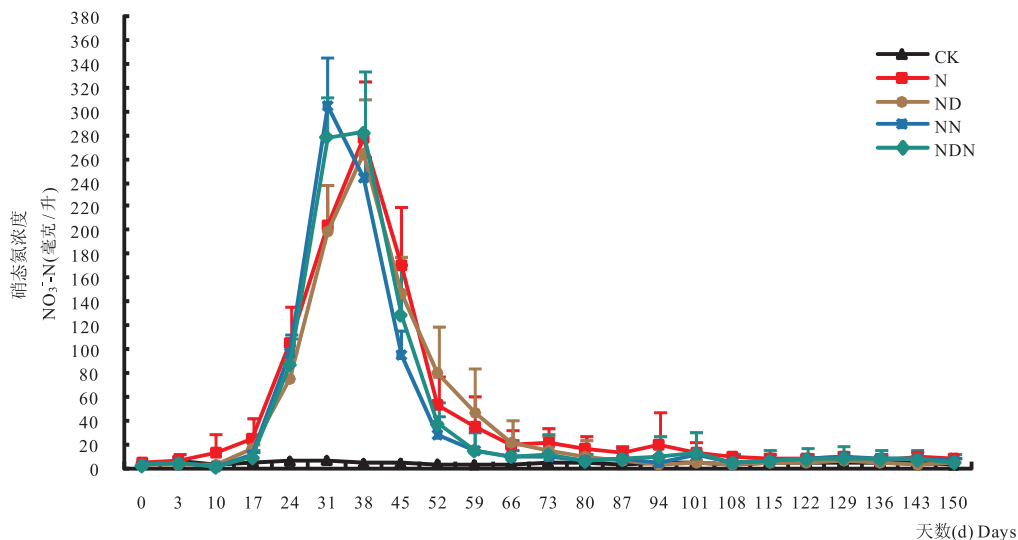


图1 硝态氮浓度随时间的变化

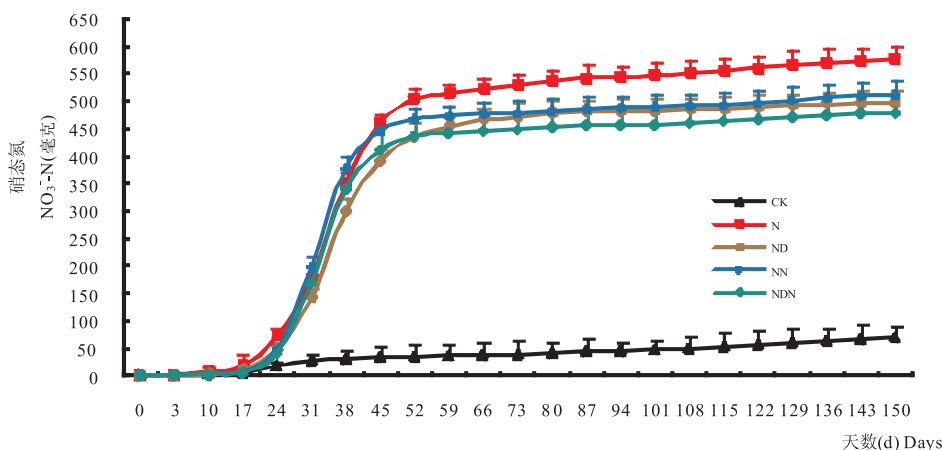


图2 硝态氮淋失累积量

## 2.2 添加抑制剂对土柱淋溶液铵态氮的影响

### 2.2.1 铵态氮浓度的变化

土壤淋溶液铵态氮浓度整体呈波浪式变化。这可能是因为土壤胶体对铵态氮吸附能力较强，当其吸附一定量铵态氮以后，随着土壤铵态氮浓度持续增加，胶体已经达到近似饱和状态，多余的铵态氮随水向下淋失，使得淋溶液中铵态氮浓度呈现出先升高后降低，降低后再次升高的现象。但整体上土壤中铵态氮浓度不高，淋溶液中铵态氮浓度保持较低水平。

结果显示（图3），施肥后3天，不施抑制剂的N处理淋溶液中铵态氮浓度第一次达到峰值，且显著高于施用抑制剂的其它处理，说明尿素在土壤的水解速率很快，DCD可以抑制亚硝化细菌活性，其可能又有避免铵态氮浓度过高的作用，NBPT能够延缓尿素水解，因此，ND、NN、NDN处理在



前期延缓了铵态氮峰值到来的时间,能显著降低铵态氮淋失。10天之后,由于抑制剂的作用,使铵态氮逐渐累积,增加了淋溶液中铵态氮浓度。ND、NN、NDN处理铵态氮浓度在17天时才出现第一个相对较高峰值,且显著高于N处理。之后,ND、NN处理开始下降,而NDN处理仍有小幅度上升,在24天时达到峰值,此时铵态氮浓度又显著高于其他处理。38天以后,添加抑制剂的处理铵态氮浓度仍然显著低于N处理,说明抑制剂并不会过多增加土壤中铵态氮浓度。87天之后,由于温度较高,抑制剂的作用可能受到增强,土壤中硝化细菌等微生物活性可能降低的原因,铵态氮浓度又出现一次峰值。但是ND、NN、NDN处理仍然显著低于N处理。随后,所有处理铵态氮浓度开始下降,处理之间没有显著性差异。

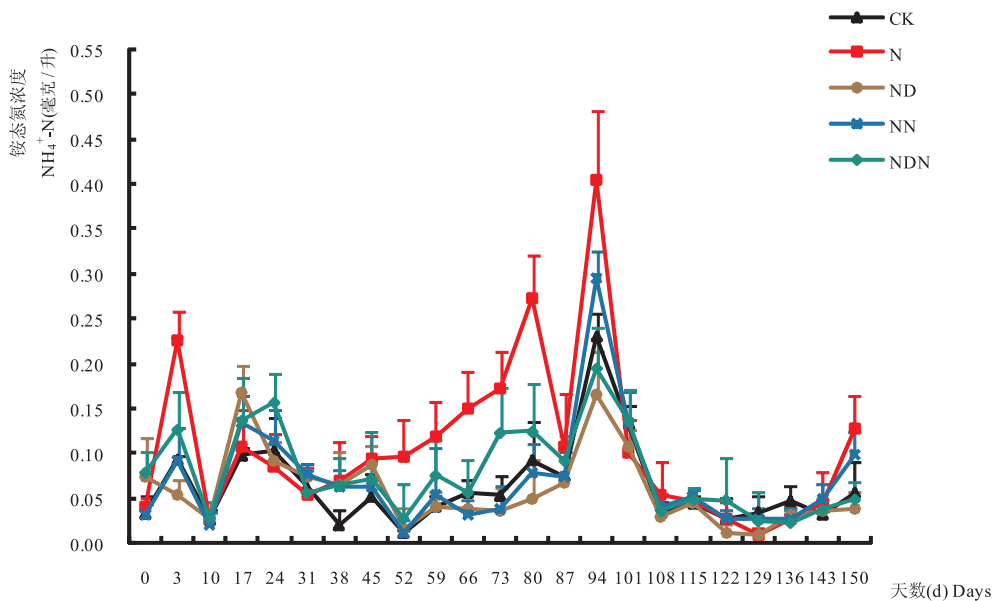


图3 铵态氮浓度随时间变化

### 2.2.2 铵态氮淋失量的变化

研究显示(图4),ND和NN处理可以显著降低土壤铵态氮的淋失,NDN处理对降低土壤铵态氮的淋失效果不显著。在17天以前,ND、NN处理铵态氮淋失累积量小于不施抑制剂的N处理,NDN处理和N处理在该期间无明显区别。17天以后,NDN处理铵态氮淋失累积量增加较快,说明此时土壤中铵态氮浓度较高,过多的铵态氮随水淋失出来。随着N处理铵态氮累积量的增加,NDN处理在59天时,与N处理持平,两者之后变化趋势相近。在45天之后,ND、NN处理增加幅度逐渐减小,开始显著低于N、NDN处理,最终分别减少铵态氮淋失14.9%、18.1%。

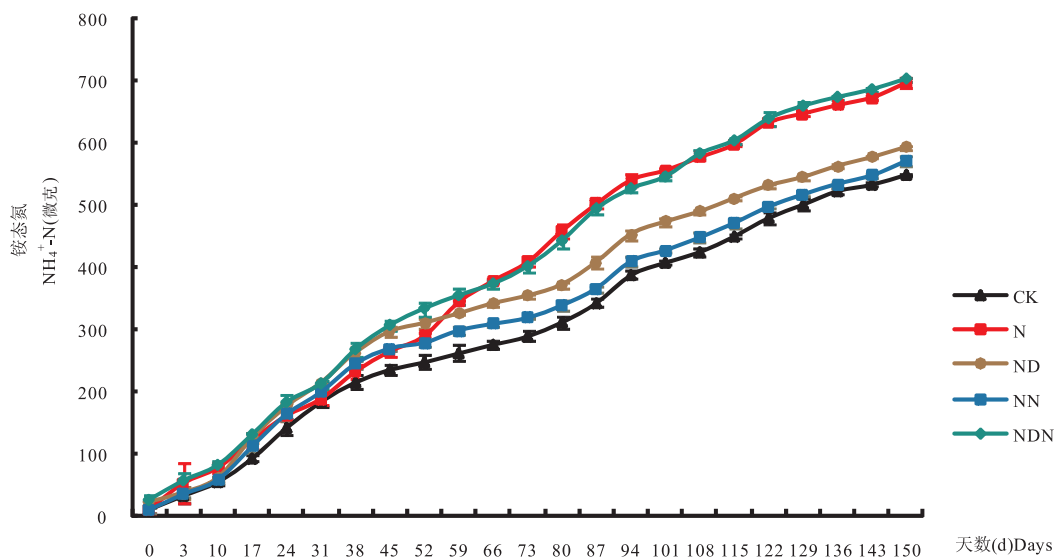


图4 铵态氮淋失累积量

### 3 讨论

本试验在40公斤/亩施肥量条件下,单施脲酶抑制剂NBPT,淋溶液中硝态氮浓度能够在施用后一个月时达到峰值,且峰值较高,单从峰值上来说,并不能降低淋溶液中硝态氮浓度,但后期作用显著。施用硝化抑制剂DCD的处理以及DCD与NBPT混合配施的处理在第38天时浓度才达到峰值,延迟了达到峰值的时间,且DCD的峰值显著降低,同时峰值过后,施用抑制剂的处理能够一定程度上减少淋溶液中硝态氮浓度,减少氮素对环境的威胁,这与Malzer<sup>[4]</sup>, Di<sup>[5]</sup>, 赵言文<sup>[6]</sup>等研究结果相同,主要原因是由于脲酶抑制剂的存在,使尿素水解速率减缓,同时硝化抑制剂能够避免使铵态氮迅速转化为硝态氮所致。另外,Barbara<sup>[7]</sup>研究DCD在花椰菜上的施用效果显示,添加DCD的土壤硝态氮含量在整个试验期间呈现“S”型曲线。土壤中的硝态氮含量变化一定程度上预示着淋溶液中硝态氮的含量变化。本次试验中淋溶液硝态氮浓度呈现出“倒V”型变化趋势,但是随着淋洗时间的延长,土壤中大部分的氮素向下淋失,最终淋溶液中硝态氮的淋溶累积量变化趋势也呈现出“S”型,即先是平缓变化,然后急速上升,最后又变平缓。

在本试验条件下,培养前期,添加抑制剂显著降低了尿素水解产生的铵态氮,之后由于抑制剂的作用,使铵态氮逐渐累积,增加了淋溶液中铵态氮的浓度。在中后期,添加抑制剂的处理铵态氮浓度仍然显著低于N处理,说明脲酶抑制剂和硝化抑制剂并不会过多增加土壤中铵态氮浓度。这可能是由于硝化抑制剂只是抑制铵态氮向亚硝态氮的转化过程,对尿素水解没有抑制作用,尿素水解产生铵态氮后,引起土壤pH值增加,可能加剧了氨的挥发潜势,使土壤溶液中铵态氮浓度较低。另外,脲酶抑制剂具有抑制土壤脲酶活性,延缓尿素水解成氨的作用,致使土壤中的铵态氮浓度不会太高,淋溶水的铵态氮也会保持较低水平有关<sup>[8]</sup>。

农田中的氮素去向一直是科研人员关注的热点问题。有研究表明<sup>[9]</sup>,添加硝化抑制剂DCD能增加土壤氮素的固持,使土壤中的一部分有效态氮转化为固定态氮。但是也有研究指出,DCD会增加土壤氮素矿化<sup>[10-12]</sup>,可能增加淋溶风险。NBPT脲酶抑制剂主要是抑制尿素水解,其效果应是使尿素水解时间延长,但尿素一旦水解,硝化过程仍然发生,并且因可能抑制氨挥发而增加参与硝化的氮

量,导致氮素淋溶损失增加。但本试验条件下,DCD、NBPT以及两者的配合施用都一定程度降低了氮素的淋溶损失。硝化抑制剂的添加,可能由于土壤对有效态氮素的固持以及可能会增加的氨挥发潜势占相对优势,最终使淋溶液的无机氮淋失量降低;脲酶抑制剂能够降低无机氮淋失量,其原因可能一方面是氮素以氮氧化物等气态形式损失,另一方面可能是增加了氮素在土壤中的残留量,或者被土壤固持吸附,或者被土壤中的微生物利用。本试验中,土壤水分充足,推测可能发生了反硝化作用,造成了氮氧化物损失。也有研究指出<sup>[13,14,15]</sup>,不加有机物条件下,脲酶抑制剂NBPT能够一定程度增加氮素的土壤残留率,使施入尿素N的固定增加,这也为土壤中微生物活动提供有效氮源,进而可能被微生物吸收或转化为有机态氮。但抑制剂对氮素的作用受不同具体试验条件如温度、降雨量、土壤质地等诸多环境和土壤因子的影响<sup>[16]</sup>,具体机理还有待于进一步研究。

## 4 结论

4.1 尿素中添加NBPT、DCD以及DCD与NBPT配合施用,均可在24天之前显著降低淋溶液硝态氮浓度,各处理硝态氮浓度均在30天后达到峰值,DCD、DCD与NBPT配合处理的峰值延缓了7天。

4.2 在40公斤/亩施肥量条件下,整个试验周期中,DCD处理对氮素淋溶都表现出较好的抑制效果,NBPT以及DCD与NBPT配合施用,在培养试验后期抑制效果较好。与N处理相比,NBPT、DCD以及DCD与NBPT配合施用均可显著降低硝态氮累积淋失量,降低幅度平均可达13%以上。

### 参考文献:

- [1] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:129-130.
- [2] 卢婉芳,陈苇,王德仁. 脲酶抑制剂(NBPT)对提高尿素氮利用率的研究[J]. 中国农学通报,1990,6(2):23-25.
- [3] 薛由保,李双霖,李清禄. 脲酶抑制剂对提高尿素利用率的效果[J]. 福建农学院学报,1991,20(3):333-339.
- [4] Malzer G L, Kelling K A, Schmitt M A, Hoefl R G, Randall G W. Performance of dicyandiamide in the north central states [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1989, 20 (19&20):2001-2122.
- [5] Di H J, Cameron K C. Reducing environmental impacts of agriculture by using a fine particle suspension nitrification inhibitor to decrease nitrate leaching from grazed pastures[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 109: 202-212.
- [6] 赵言文,刘常珍,胡正义,高义民,王彩绒,毕冬梅. 元素硫和双氰胺对蔬菜地土壤硝态氮淋失的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(3): 496-500.
- [7] Barbara C, Andrews O, Stefaan D N, Pascal B, Cleemput O V, Georges H. Influence of DCD and DMPP on soil N dynamics after incorporation of vegetable crop residues[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2006, 43 (1): 62-68.
- [8] 王天元,宋雅君,滕鹏起. 土壤脲酶及脲酶抑制剂[J]. 化学工程师, 2004, (8):22-24.

下接2页



## 苏丹草-黑麦草轮作制中平衡施肥对土壤肥力的影响

李文西<sup>1</sup> 鲁剑巍<sup>1</sup> 陈防<sup>2,3</sup> 鲁君明<sup>4</sup> 李小坤<sup>1</sup>

(1 华中农业大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430070 ;

2 国际植物营养研究所武汉办事处, 湖北 武汉 430074 ;

3 中国科学院武汉植物园, 湖北 武汉 430074 ;

4 洪湖市大同湖管理区农技中心, 湖北 洪湖 433221)

**摘要:** 采用5年苏丹草-黑麦草轮作定位试验研究平衡施肥对土壤养分的影响。结果表明, 氮磷钾肥配施能够提高土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量, 且增加效果明显。随着苏丹草、黑麦草连续轮作种植, NPK处理的土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量均呈上升趋势; CK处理的土壤有机质、全氮也不同程度的升高, 而土壤速效磷、速效钾含量较基础土壤变化不大。

**关键词:** 氮磷钾肥配施; 苏丹草; 黑麦草; 土壤肥力

我国南方地区丰富的水草资源保障了渔业、畜牧业的快速发展。苏丹草 (*Sorghum sudanense*)、黑麦草 (*Lolium multiflorum* L.) 是南方渔业、畜牧业的重要饲料, 且种植面积不断扩大, 苏丹草-黑麦草轮作已成为南方地区一种新型的种植制度<sup>[1,2]</sup>。这两种牧草每年多次收获, 因此养分带走量远高于一般的农田作物<sup>[1,2]</sup>。然而, 生产中养分资源管理措施并不合理, 种植过程中施肥少或不施肥的现象仍然存在, 长期苏丹草、黑麦草种植制度中养分投入、支出不平衡, 将会引起土壤肥力的下降, 影响草业及土地生产的可持续发展。因此, 我们在江汉平原大同湖农场开展了苏丹草-黑麦草轮作制下氮磷钾肥配合施用试验, 以期科学施肥、改善土壤肥力及保障土地可持续发展提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于江汉平原洪湖市大同湖农场, 属亚热带湿润季风气候, 四季分明, 光照充足, 年降水量1100 ~ 1300毫米。供试土壤为长江冲积物发育潮土, 基本农化性状<sup>[3]</sup> pH 6.93, 有机质18.5克/公斤、全氮1.05克/公斤、全磷0.85克/公斤、速效磷12.0毫克/公斤、全钾30.72克/公斤、缓效钾257.8毫克/公斤、速效钾121.7毫克/公斤。

### 1.2 试验材料与设计

轮作定位试验从2005年4月开始, 2009年4月结束, 共5个苏丹草-黑麦草轮作周期, 供试牧草品种为“盐池”苏丹草 (*Sorghum sudanense* cv. Yanchi) 和“邦德”一年生黑麦草 (*Lolium multiflorum* cv. Abundant)。每季苏丹草、黑麦草播种量分别为7.5公斤/亩、2.5公斤/亩, 均撒播。

试验设CK (不施肥)、NPK (氮磷钾肥配施) 处理, 苏丹草试验期养分用量N 30公斤/亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12公斤/亩、K<sub>2</sub>O 20公斤/亩, 氮肥总量的1/3和钾肥总量的1/2作基肥, 其余均分3次追施, 磷肥全部基施。黑麦草试验期养分用量N 15公斤/亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9公斤/亩、K<sub>2</sub>O 10公斤/亩, 氮、钾肥总量的

1/2作基肥,其余均分2次追施,磷肥全部基施。氮、磷、钾肥分别采用尿素、过磷酸钙、氯化钾。各处理重复4次,随机区组排列,小区面积15平方米。

### 1.3 样品采集与分析

每季苏丹草、黑麦草收获后,各小区多点采集表层土(0-20cm),混匀,风干后依次过20目、100目筛,土水比1:2.5-电极法测pH,重铬酸钾-外加热法测有机质,半微量开氏法测全氮,0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提-钼锑抗比色法测速效磷,1mol/L NH<sub>4</sub>OAc浸提-火焰光度法测速效钾<sup>[3]</sup>。

试验结果用LSD法检验 $P<0.05$ 水平上的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 pH

随着苏丹草、黑麦草不断种植(表1),CK处理的土壤pH值较基础土壤变化较小,而NPK处理的土壤pH呈下降趋势。2009-2010年度最后一季结束后,NPK处理的土壤pH低于CK处理,说明施肥影响土壤pH值变化。

表1 苏丹草-黑麦草轮作制中土壤pH变化

处理	基础土壤	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		2009-2010	
		苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草
CK	6.93	7.00	7.21	7.11	7.08	7.13	7.03	6.95	6.75	6.82	6.82
NPK	6.93	6.87	6.82	6.93	6.89	6.69	6.80	6.21	6.22	5.82	6.06

### 2.2 有机质

表2显示,CK、NPK处理的土壤有机质含量随着轮作时间均呈上升趋势,最后一季较基础土壤分别增加15.1%、31.5%,说明苏丹草-黑麦草轮作体系自身有利于土壤有机质含量的增加,从而改善土壤肥力。2009-2010年度最后一季结束后,NPK处理的土壤有机质含量高于CK处理,增加14.3%,说明氮磷钾肥配施提高了土壤有机质含量。

表2 苏丹草-黑麦草轮作制中土壤有机质变化(克/公斤)

处理	基础土壤	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		2009-2010	
		苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草
CK	18.5	19.42	18.32	21.81	21.54	21.21	20.67	19.20	20.95	20.77	21.29
NPK	18.5	18.89	19.66	21.32	22.82	22.38	22.61	25.66	24.01	25.36	24.33

### 2.3 全氮

表3显示,随着苏丹草、黑麦草不断种植,CK处理的土壤全氮含量略有升高,变化较小;NPK处理的土壤全氮含量也呈上升趋势,最后一季较基础土壤增加32.3%。苏丹草-黑麦草轮作制中,NPK处理的土壤全氮高于CK处理,增加幅度为10.1%~45.5%,说明氮磷钾肥配施能够提高土壤全氮含量,有利于改善土壤氮素养分。

表3 苏丹草-黑麦草轮作制中土壤全氮变化(克/公斤)

处理	基础土壤	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		2009-2010	
		苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草
CK	1.05	0.99	0.98	0.92	1.01	1.07	0.99	0.91	1.14	1.14	1.15
NPK	1.05	1.09	1.08	1.11	1.14	1.29	1.25	1.36	1.35	1.52	1.39

## 2.4 速效磷

随着苏丹草、黑麦草轮作时间的增加(表4),CK处理的土壤速效磷较基础土壤变化较小,而NPK处理的土壤速效磷呈上升趋势,最高达57.25毫克/公斤。与CK处理相比,NPK处理的土壤速效磷含量增加幅度为36.3%~456.4%,说明氮磷钾肥配施能够明显增加土壤速效磷含量。

表4 苏丹草-黑麦草轮作制中土壤速效磷变化(毫克/公斤)

处理	基础土壤	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		2009-2010	
		苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草
CK	12.0	10.83	7.51	10.77	9.81	11.37	10.14	10.29	12.77	13.75	11.28
NPK	12.0	26.04	24.75	14.68	15.81	22.61	34.21	57.25	45.45	50.31	47.96

## 2.5 速效钾

表5显示,随着苏丹草、黑麦草不断种植,CK处理的土壤速效钾略有下降,但变化不大,NPK处理的土壤速效钾含量呈上升趋势。整体上,苏丹草-黑麦草轮作体系中NPK处理的土壤速效钾含量高于CK处理,说明氮磷钾肥配施能够提高土壤速效钾的含量。

表5 苏丹草-黑麦草轮作制中土壤速效钾变化(毫克/公斤)

处理	基础土壤	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		2009-2010	
		苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草	苏丹草	黑麦草
CK	121.7	128.48	114.73	104.28	109.50	114.12	133.22	105.61	115.43	115.31	112.09
NPK	121.7	153.89	124.41	129.35	101.81	155.59	117.58	143.46	146.68	166.15	128.71

## 3 小结

苏丹草-黑麦草轮作体系中,NPK处理的土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾含量高于CK处理,说明氮磷钾肥配施能够提高土壤养分含量,有利于改善土壤肥力。随着苏丹草、黑麦草连续轮作,NPK处理的土壤pH呈下降趋势,说明施肥改变了土壤pH值,这可能由于尿素施用后经水解未能被作物及时吸收而在土壤中积累,引起土壤酸度的增加<sup>[4]</sup>。试验条件下,与种植前土壤比较,CK处理的土壤有机质、全氮均不同程度增加,在开放的农田生态系统中,大气降雨、作物根系可能维持或改善了系统中土壤有机质、全氮含量<sup>[5]</sup>。

下接 16 页



## 玉米钾肥适宜用量研究

邢月华 汪仁 包红静 王聪翔 宫亮

(辽宁省农业科学院环境资源与农村能源研究所,  
辽宁沈阳 110161)

**摘要:** 通过田间试验方法,探索不同钾肥用量对玉米产量、效益及养分吸收的影响。试验结果表明:施钾可显著增加玉米产量和经济效益,各施钾处理比不施钾处理增产48~92公斤/亩,增收56~91元/亩。施用钾肥可促进玉米对氮磷养分的吸收,但随着施钾量的增加,钾肥的增产效益和利用率降低。因此,在一定氮磷肥基础上,应适当增施钾肥,有利于提高肥料的利用率。最高产量施钾( $K_2O$ )量为12.1公斤/亩,经济合理施钾( $K_2O$ )量为9.7公斤/亩,最高产量为550公斤/亩,经济产量为547公斤/亩。

**关键词:** 玉米, 钾肥, 产量, 利润, 养分吸收

近年来,我国土壤缺钾程度加剧,在土壤含钾相对丰富的北方地区,缺钾面积也逐渐扩大,在部分地区,已逐渐发展成为农业生产进一步发展的限制因素。原因主要有二:(一)高产、优质、喜肥品种的不断更新和氮磷肥料的大量投入增加了作物对钾素的需要量和移走量;(二)有机肥料用量下降、秸秆还田比例减小,钾肥供应不足,造成农田钾素收支严重不平衡<sup>[1,2]</sup>。因此,研究钾肥合理施用技术,对实现作物高产高效以及农业的可持续发展具有重要的意义。近年来,我省玉米钾肥研究越来越受到重视,有关玉米钾肥增产效果有了一些报道<sup>[3-6]</sup>,但对玉米钾肥适宜用量研究报道较少。本文主要探讨玉米施钾的适宜用量及钾肥对玉米的产量及养分吸收的影响,旨在为省玉米合理施肥提供科学依据。

## 1 材料与方方法

### 1.1 试验基本情况

试验布置在新民市兴隆堡镇五十家子村的草甸土上,供试土壤养分状况见表1。供试玉米品种为郑单958,种植密度4000株/亩,2007年4月23日种植,9月21日收获。

表1 土壤养分分析结果(ASI法)

OM(%)	pH	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
(毫克/升)													
1.24	5.05	28.2	38.9	76.9	67.8	2436.4	266.8	3	137.3	4.3	20.4	2.5	0.45

### 1.2 试验设计:

在氮、磷( $P_2O_5$ )施用量为12和2公斤/亩基础上,设置5个钾素用量处理,分别为0、3、6、9、12公斤/亩(表2)。氮肥为尿素(N46%),磷肥用磷酸二铵(N18%, $P_2O_5$ 46%),钾肥用氯化钾( $K_2O$ 60%)。全部磷钾肥和1/3氮肥作基肥施用,其余2/3氮肥在拔节期和大喇叭口期追施。小区面积30米<sup>2</sup>,3次重复,随机排列。

表2 玉米钾肥不同用量研究施肥方案

处理	施肥量(公斤/亩)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	12	2	0
2	12	2	3
3	12	2	6
4	12	2	9
5	12	2	12

### 1.3 测定项目与方法

在春季播种前采集耕层土样进行土壤养分分析；在秋季测产时采集玉米植株和籽粒样品进行全氮磷钾含量分析。

土壤养分含量分析采用土壤养分状况系统研究法测定。P、K的浸提剂为ASI溶液(0.25mol/L NaHCO<sub>3</sub>-0.01mol/L EDTA-0.01mol/L NH<sub>4</sub>F)，P用钼锑抗比色法测定，K用原子吸收分光光度计测定；NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的浸提剂为1mol/L KCl溶液，靛酚蓝比色法测定；有机质(OM)浸提剂为0.2mol/L NaOH-0.01mol/L EDTA-2%甲醇，比色测定；pH：水土比为2.5：1，复合电极测定。

玉米植株和籽粒全氮磷钾采用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮，氮采用凯氏法测定，磷采用钒钼黄比色法测定，钾采用火焰光度计法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 钾肥不同用量对玉米产量及效益的影响

从表3可以看出，各施钾处理比不施钾处理产量分别增加了48、68、75和92公斤/亩，相对增加了10.5%、14.6%、16.2%和20.0%。从各处理显著性分析来看，各施钾处理均比不施钾肥的处理增产达极显著水平，说明本试验条件下，施用钾肥对玉米产量有明显的促进作用。从经济效益分析来看，各施钾处理比不施钾处理增收56~91元/亩，平均增收72元/亩。可见，合理的施用钾肥不仅增加了产量，还增加了农民的经济收入。

表3 玉米钾肥不同用量下玉米产量及效益分析

处理	产量(公斤/亩)				增产		肥料成本	收益	施钾增收
	I	II	III	平均	(公斤/亩)	(%)			
1	460	461	464	462dD			60	587	
2	513	513	503	510cC	48	10.5	71	643	56
3	541	533	514	529bB	68	14.6	83	658	71
4	540	543	527	537bAB	75	16.2	94	657	70
5	554	554	554	554aA	92	20.0	105	678	91

注：纯N 4.2元/公斤，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>6.3元/公斤，K<sub>2</sub>O 3.8元/公斤，玉米1.4元/公斤。

### 2.2 钾肥不同用量对玉米养分吸收的影响

表4、5结果表明，不施钾处理的含氮量、含磷量、吸氮总量和吸磷总量都是最低的，可见增施钾肥能够增加玉米的含氮量、含磷量、吸氮总量和吸磷总量，这表明在施用氮磷肥的基础上施用钾



肥可以提高玉米对氮磷养分的吸收。表5还可以看出,随着施钾量的增加,钾肥的增产效益和利用率降低,因此,在一定氮磷肥基础上,应适当增施钾肥,有利于提高肥料的利用率。

表4 不同钾肥用量对玉米氮磷钾养分含量的影响

处理	籽粒(%)			秸秆(%)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	1.191	0.510	0.175	0.678	0.136	0.674
2	1.142	0.487	0.255	0.833	0.228	1.249
3	1.204	0.581	0.254	0.826	0.227	1.251
4	1.207	0.587	0.253	0.850	0.203	1.306
5	1.228	0.585	0.254	0.690	0.200	1.613

表5 不同钾肥用量对玉米氮磷钾养分吸收的影响

处理	产量		N吸收量			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸收量			K <sub>2</sub> O吸收量			钾肥 增产 效益 (公斤/ 公斤)	钾肥 利用 率 (%)
	(公斤/亩)		(公斤/亩)			(公斤/亩)			(公斤/亩)				
	籽粒	秸秆	籽粒	秸秆	总量	籽粒	秸秆	总量	籽粒	秸秆	总量		
1	462	358	5.5	2.4	7.9	2.3	0.5	2.9	0.8	2.4	3.2		
2	510	383	5.8	3.2	9.0	2.5	0.9	3.3	1.3	4.8	6.1	16.1	95.6
3	529	401	6.4	3.3	9.7	3.1	0.5	3.6	1.3	5.0	6.3	11.3	52.2
4	537	407	6.5	3.5	9.9	3.1	0.8	4.0	1.3	5.3	6.7	8.3	38.5
5	554	429	6.8	2.9	9.7	3.3	0.9	4.1	1.4	6.9	8.3	7.7	42.8

注: 钾肥利用率(%) =  $\frac{\text{施钾处理作物吸收的K}_2\text{O量 (公斤/亩)} - \text{无钾处理作物吸收的K}_2\text{O量 (公斤/亩)}}{\text{所施钾肥中K}_2\text{O总量 (公斤/亩)}} \times 100\%$

### 2.3 玉米施用钾肥的肥料效应

根据玉米不同钾肥用量试验产量结果,用一元二次方程拟合出产量Y和施钾(K<sub>2</sub>O)量的关系式,即钾肥的效应方程:  $Y=465.77+13.986K-0.5794K^2$  ( $R^2=0.971^{**}$ ,式中Y为玉米籽粒产量,K表示K<sub>2</sub>O用量)。按照今年当地的玉米平均收购价1.4元/公斤,K<sub>2</sub>O价格3.8元/公斤,计算出最高产量施钾(K<sub>2</sub>O)量为12.1公斤/亩,经济合理施钾(K<sub>2</sub>O)量为9.7公斤/亩,最高产量为550公斤/亩,经济产量为547公斤/亩。

## 3 小结

3.1 玉米施钾可显著增加玉米产量和经济效益。各施钾处理比不施钾处理增产48~92公斤/亩,增收56~91元/亩,平均增收72元/亩。

3.2 施用钾肥可以提高玉米对氮磷养分的吸收。但随着施钾量的增加,钾肥的增产效益和利用率降低,因此,在一定氮磷肥基础上,适当增施钾肥,有利于提高肥料的利用率。

3.3 钾肥的效应方程:  $Y=465.77+13.986K-0.5794K^2$  ( $R^2=0.971^{**}$ ,式中Y为玉米籽粒产量,K表示K<sub>2</sub>O用量)。按照今年当地的玉米平均收购价1.4元/公斤,K<sub>2</sub>O价格3.8元/公斤,计算出最高产量

施钾 ( $K_2O$ ) 量为12.1 公斤/亩, 经济合理施钾 ( $K_2O$ ) 量为9.7公斤/亩, 最高产量为550公斤/亩, 经济产量为547公斤/亩。

#### 参考文献:

- [1] 金继运. 我国北方土壤缺钾和钾肥应用的发展趋势[C]. 北方土壤钾素和钾肥效益. 北京: 中国农业科技出版社, 1994, 1-4.
- [2] 谢建昌, 周健民, Hardter R. 钾与中国农业[M]. 南京: 河海大学出版社, 2000, 153-154.
- [3] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 何萍. 东北地区黑土、草甸土长期施钾对玉米产量及耕层土钾素形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 850-855.
- [4] 王庆祥, 姜艳超, 吕桂兰. 氮、钾肥对甜玉米产量与品质的影响[J]. 玉米科学, 2006, 14(3): 145-146, 153.
- [5] 侯志研, 吴硕, 李开宇. 辽西风沙半干旱区玉米施用钾肥试验初报[J]. 杂粮作物, 2001, 21(3):52.
- [6] 宋国华. 玉米补钾的增产效果[J]. 杂粮作物, 2001, 21(1):43-44.

上接12页

#### 参考文献:

- [1] 鲁剑巍, 陈防, 梁友光, 等. 磷钾肥对鱼草产量及经济效益的影响[J]. 水利渔业, 2003, 23(2):58~59.
- [2] 李文西, 鲁剑巍, 鲁君明, 等. 苏丹草-黑麦草轮作制中施肥对饲草产量、养分吸收与土壤性质的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(7): 1350-1356.
- [3] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [4] 张喜林, 周宝库, 孙磊, 等. 长期施用化肥和有机肥料对黑土酸度的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(5): 1221-1223.
- [5] 王激清, 马文奇, 江荣风, 等. 中国农田生态系统氮素平衡模型的建立及其应用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 210-215.





## 氮肥运筹对超高产夏玉米产量及氮肥效率的影响

王宜伦, 张许, 韩燕来, 谭金芳\*

(河南农业大学资源环境学院/河南省高校农业资源与环境  
工程技术研究中心, 郑州 450002)

**摘要:** 采用田间试验研究了不同施氮量和施氮时期对超高产夏玉米产量和氮肥效率的影响。试验结果表明: 超高产夏玉米施氮显著增产, 增产幅度为5.21%~15.95%, 以“30%苗肥+30%大口肥+40%吐丝肥”方式施氮量20公斤/亩的产量和氮肥利用效率最高, 两年产量分别达到828.84公斤/亩和926.27公斤/亩, 氮肥利用率为25.82%, 农学效率为5.90公斤产量/公斤养分。综合考虑产量和氮肥利用率, 超高产夏玉米施氮量17~20公斤/亩, 施氮时期以“30%苗肥+30%大喇叭口肥+40%吐丝肥”方式施用为宜。

**关键词:** 夏玉米; 超高产; 氮肥; 产量; 氮肥效率

玉米是中国种植面积最大的粮食作物, 实现夏玉米高产和超高产( $\geq 800$ 公斤/亩)是提高玉米总产量、保障粮食安全的重要途径<sup>[1-2]</sup>。夏玉米生育期内吸肥能力强, 需肥量大, 充足的养分供应是夏玉米获得高产的关键。已有研究表明, 夏玉米对氮肥敏感, 且耐肥性强, 施氮增产效果显著, 合理施用氮肥对于提高夏玉米产量和氮肥利用率、减轻环境压力具有重要意义<sup>[3-5]</sup>, 有关氮肥用量、施氮时期和不同氮肥类型等对中产和高产水平夏玉米(450~700公斤/亩)产量、品质、氮素吸收利用、碳氮代谢和氮肥利用效率的影响研究报道较多<sup>[6-10]</sup>, 而对超高产夏玉米的研究多集中在栽培技术、气候条件、土壤性状、种植密度及生理特性等方面<sup>[11-14]</sup>, 超高产夏玉米合理施氮技术未见详细报道。针对目前超高产夏玉米生产中存在施用氮肥过量、施肥时期不合理等问题, 作者连续两年在河南省浚县高产土壤上研究不同施氮量、推荐施氮量不同施肥时期和比例对超高产夏玉米产量及氮肥效率的影响, 摸清超高产夏玉米合理施氮量和施氮时期, 为超高产夏玉米合理施用氮肥提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地基本情况

试验在河南省浚县矩桥镇的姜庄村(2007年)和刘寨村(2008年)进行。该区属暖温带大陆半湿润性季风气候, 年太阳辐射总量110.8 kJ/cm<sup>2</sup>, 年日照时数2311.8小时,  $\geq 0$ ℃积温5135.2℃, 无霜期221天, 一年两熟, 常年降水量627.3 mm。地下水资源丰富, 灌溉条件好。试验区土壤为潮土, 粘壤质, 土壤基本养分状况见表1。

本研究由国际植物营养研究所(IPNI)北京办事处资助。

作者简介: 王宜伦(1976-), 男, 山东郓城人, 博士, 从事植物营养与施肥研究, E-mail: wangyilunrl@163.com

通讯作者: 谭金芳(1958-), 男, 教授, 博导, 从事植物营养与施肥及新型肥料研制, tanjf@henau.edu.cn

表1 土壤农化性质

地点	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
	(%)	(毫克/升)								
姜庄村	0.90	12.45	10.00	82.10	4.85	0.65	2.30	12.75	3.95	0.60
刘寨村	0.91	9.90	42.00	83.20	4.80	0.43	4.20	15.80	5.00	2.00

注：本表数据为中国农业科学院中加合作实验室ASI法分析测定

## 1.2 试验设计

氮肥用量试验设5个氮水平，施氮时期为5个处理，详见表2。

表2 试验设计（施氮量，公斤/亩）

氮肥用量试验设计				施氮时期试验设计				
处理号	总N量	苗期	大口期	处理号	总N量	苗期	大口期	吐丝期
N0	0	0	0	T0	0	0	0	0
N1	10	5	5	T1	20	10	10	0
N2	20	10	10	T2	20	10	0	10
N3	30	15	15	T3	20	6	10	4
N4	40	20	20	T4	20	6	6	8

磷钾肥均一致， $P_2O_5$ 为6公斤/亩， $K_2O$ 为8公斤/亩。氮肥用尿素，磷肥用过磷酸钙，钾肥用氯化钾，磷、钾肥在苗期（5叶期）开沟一次施入，大口期和吐丝期采用穴施追施尿素。供试夏玉米品种两年均为郑单958，统一采用超高产玉米栽培的管理方法，3次重复，随机区组排列。

## 1.3 样品的采集与分析

在玉米播种前采集0-20厘米土壤样品，用于测定基础养分。在成熟期采集每个小区的有代表性的植株样品3株，称鲜重，分器官洗净，在105℃下杀青15分钟，再在65℃下烘干至恒重，粉碎后分析植株氮含量。采用浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮-蒸馏定氮法测定植株全氮<sup>[15]</sup>。完全成熟后全部收获中间两行玉米，装入尼龙网袋，晒干脱粒称重，以含水量14%的重量折算小区产量，另取10穗玉米进行考种，调查穗长、穗行数、穗粒数、行粒数和百粒重等。

## 1.4 有关指标计算和统计方法

氮肥利用率(%) = (施氮肥区植株地上部氮素积累量 - 不施氮肥区植株地上部氮素积累量) / 施氮肥量 × 100

氮肥农学效率(公斤产量/公斤养分) = 施肥作物增产量 / 施氮量

采用Excel2003和DPS7.05软件进行数据处理和统计分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 施氮量对夏玉米产量的影响

从图1可以看出，夏玉米施用氮肥增产显著，2007年增产幅度为7.43%~10.31%，2008年增产幅

度为5.21%~9.80%，两年均以N2产量最高。综合两年产量分析，施氮量超过20公斤/亩时产量没有差异。以施氮量和产量作肥料效应方程，2007年为 $y = -0.0004x^2 + 0.3435x + 717$  ( $R^2 = 0.9816$ )，求得经济最佳施肥量为16.95公斤/亩；2008年为 $y = -0.0005x^2 + 0.3865x + 803.56$  ( $R^2 = 0.9608$ )，经济最佳施肥量为17.10公斤/亩，两年结果较为一致，即超高产夏玉米经济最佳施氮量为17公斤/亩。

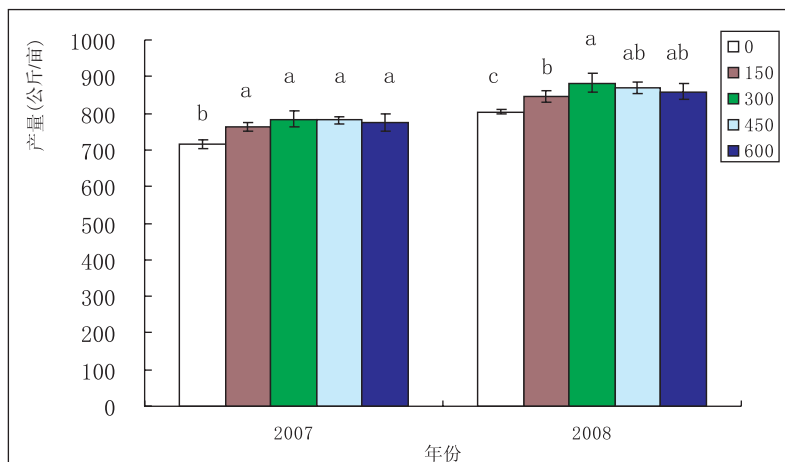


图1 不同施氮量对超高产夏玉米产量的影响

## 2.2 施氮时期对夏玉米产量的影响

图2表明，超高产夏玉米不同时期施氮增产较氮肥用量效果明显，2007年增产幅度为9.62%~15.95%，2008年增产幅度为9.80%~15.17%，两年均以T4产量最高，分别达到828.8公斤/亩和926.3公斤/亩。T4、T3和T2比T1两年平均分别增产5.33%、3.90%和2.27%，其中T4与T1产量差异达到显著水平。可见，不同施氮时期增产效果显著，将前期氮肥适当后移至吐丝期追施均比习惯施氮增产，以T4施氮方式增产效果最佳。

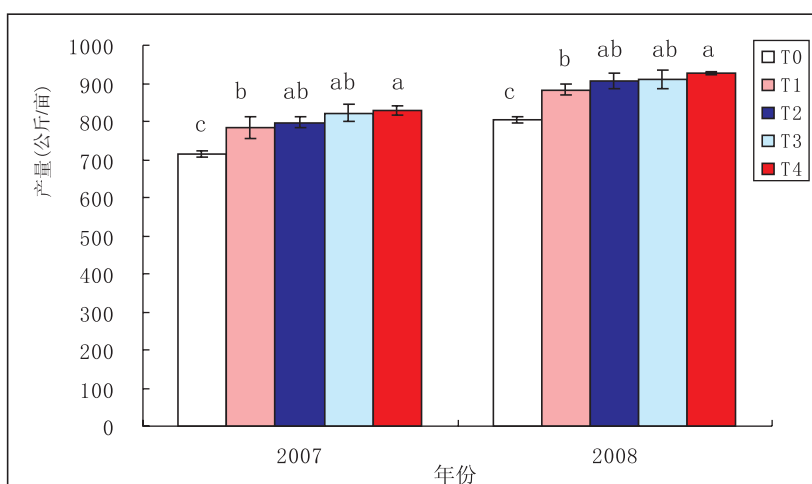


图2 施氮时期对超高产夏玉米产量的影响

### 2.3 施氮量对夏玉米氮肥利用效率的影响

从表3可以看出, 氮肥利用率和农学效率随施氮量的增加而逐渐降低, 施氮量超过20公斤/亩, 氮肥利用效率较低, 且没有显著差异。N1和N2氮肥利用率存在显著差异, 而农学效率没有显著差异。氮肥利用率两年平均为7.7%~21.8%, 农学效率平均为1.43~4.51公斤产量/公斤养分。综合考虑产量和氮肥利用率, 超高产夏玉米适宜施氮量为17~20公斤/亩。

表3 施氮量对超高产夏玉米氮肥利用效率的影响

处理号	2007年		2008年	
	氮肥利用率(%)	氮肥农学效率 (公斤产量/公斤N)	氮肥利用率(%)	氮肥农学效率 (公斤产量/公斤N)
N1	23.29a	4.83a	20.41a	4.19a
N2	17.49b	3.44ab	14.74b	3.94a
N3	11.34c	2.22b	9.13c	2.18ab
N4	8.16c	1.51b	7.28c	1.35b

### 2.4 施氮时期对夏玉米氮肥利用效率的影响

从表4可以看出, T4、T3和T2两年的氮肥利用效率均高于T1, 2007年氮肥利用率提高了3.11%~7.67%、农学效率提高了0.70~2.66公斤产量/公斤养分, 2008年氮肥利用率提高了0.64%~11.74%、农学效率提高了1.22~2.16公斤产量/公斤养分, 其中T4氮肥利用效率最高, 与T1差异达到显著水平。可见, 合理运筹氮肥可显著提高氮肥利用效率。

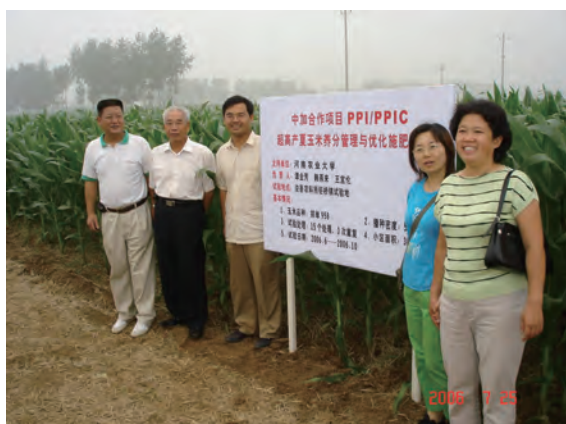
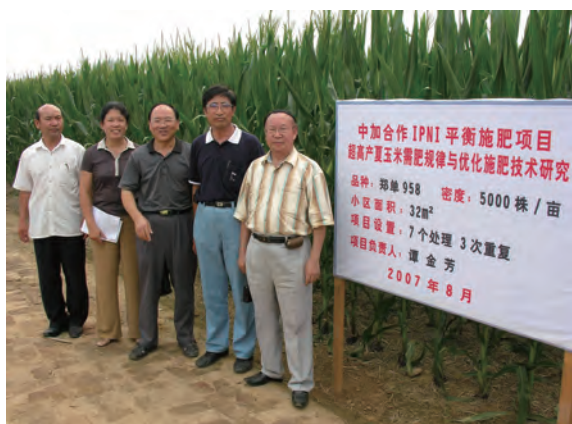
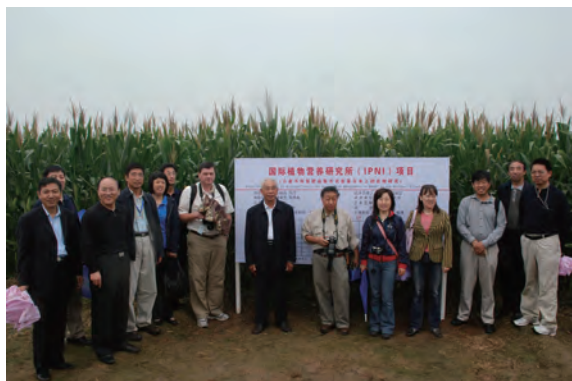
表4 施氮时期对超高产夏玉米氮肥利用效率的影响

处理号	2007年		2008年	
	氮肥利用率(%)	氮肥农学效率 (公斤产量/公斤N)	氮肥利用率(%)	氮肥农学效率 (公斤产量/公斤N)
T1	17.50b	3.44b	14.74b	3.94b
T2	20.61ab	4.14ab	15.38b	5.16ab
T3	24.11a	5.33a	25.58a	5.25ab
T4	25.17a	5.70a	26.48a	6.10a

## 3 小结

氮肥对超高产夏玉米产量有显著影响, 氮肥用量试验增产幅度为5.21%~10.31%, 施氮时期增产幅度为9.62%~15.95%。超高产夏玉米经济最佳施氮量为17公斤/亩。以“30%苗肥+30%大口肥+40%吐丝肥”方式施用氮肥的产量最高, 两年产量分别达到828.84公斤/亩和926.27公斤/亩。

氮肥利用率和农学效率随施氮量的增加而逐渐降低, 施氮量超过20公斤/亩, 氮肥利用效率显著降低, 综合考虑产量和氮肥利用率, 超高产夏玉米施氮量以17~20公斤/亩为宜。合理运筹氮肥显著提高了氮肥利用效率, 以“30%苗肥+30%大口肥+40%吐丝肥”方式施用氮肥利用效率最高, 氮肥利用率平均为25.82%, 农学效率为5.90公斤产量/公斤养分, 比习惯施氮氮肥利用率提高了9.7个百分点、农学效率提高了2.21公斤产量/公斤养分。



参考文献:

[1] 郭庆法, 王庆成, 汪黎明. 中国玉米栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 1-3.

[2] 李少昆. 当前玉米生产中存在的主要问题与对策[J]. 中国农业信息, 2008, (6): 37-38.

[3] 何萍, 金继运, 林葆. 玉米高产施肥营养生理研究进展[J]. 玉米科学, 1998, 6(2): 72-76.

[4] 王宜伦, 李潮海, 何萍, 等. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 559-566.

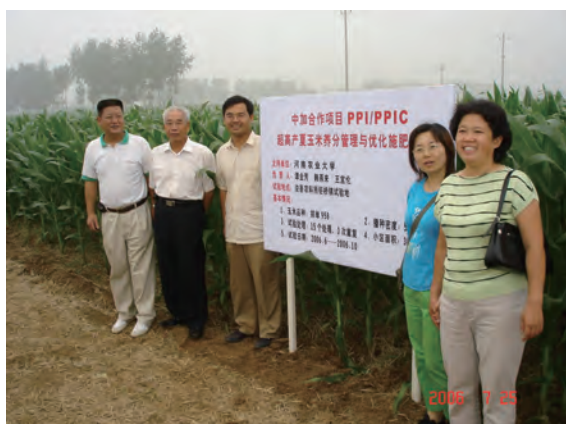
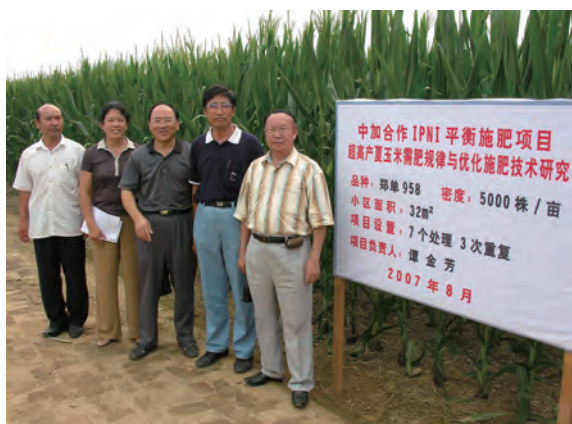
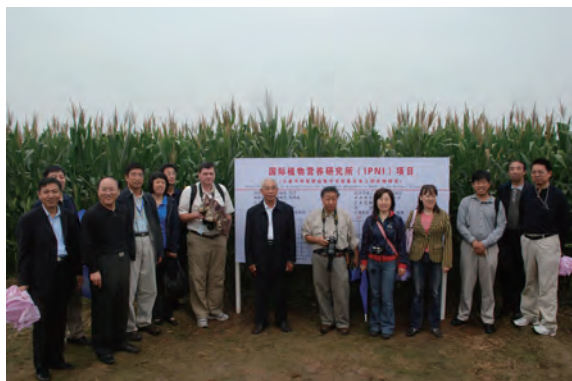
[5] 吕殿青, 同延安, 孙本华, 等. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 8-15.

[6] 易镇邪, 王璞, 申丽霞, 等. 不同类型氮肥对夏玉米氮素累积、转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 772-778.

[7] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 622-627.

[8] 王永军, 王空军, 董树亭, 等. 氮肥用量、时期对墨西哥玉米产量及饲用营养品质的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(3): 492-497.

下接28页



参考文献:

[1] 郭庆法, 王庆成, 汪黎明. 中国玉米栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2004: 1-3.

[2] 李少昆. 当前玉米生产中存在的主要问题与对策[J]. 中国农业信息, 2008, (6): 37-38.

[3] 何萍, 金继运, 林葆. 玉米高产施肥营养生理研究进展[J]. 玉米科学, 1998, 6(2): 72-76.

[4] 王宜伦, 李潮海, 何萍, 等. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 559-566.

[5] 吕殿青, 同延安, 孙本华, 等. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 8-15.

[6] 易镇邪, 王璞, 申丽霞, 等. 不同类型氮肥对夏玉米氮素累积、转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 772-778.

[7] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 622-627.

[8] 王永军, 王空军, 董树亭, 等. 氮肥用量、时期对墨西哥玉米产量及饲用营养品质的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(3): 492-497.

下接28页





## 农业面源污染防控中不同玫瑰品种磷养管理研究

付利波<sup>1</sup> 苏帆<sup>1</sup> 尹梅<sup>1</sup> 陈华<sup>1</sup> 洪丽芳<sup>1\*</sup> 赵光顺<sup>2</sup> 王家得<sup>2</sup>

(1 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明, 650023

2 晋宁县蔬菜花卉办公室, 云南昆阳, 650600)

**摘要:** 试验以滇池周边主要农业生产区晋宁县3个主栽玫品种为研究对象, 在有5年玫瑰栽培历史的土地上, 以减少磷素流失为目标, 在不影响花卉经济收入的情况下, 研究磷素养分精细化管理对植株、土壤和地下水磷含量变化规律的影响, 提出磷高效利用的污染防控型品种和养分最佳用量。结果表明, 从产量、经济效益、植株吸收磷量、土壤磷盈亏、地下水磷污染风险等方面综合考虑, 该试验条件下推荐磷高效利用、环境友好型玫瑰品种为超级, 推荐处理为农民习惯施肥减磷25%, 施肥量11.25公斤/亩。三个品种比较, 产量、经济效益、植株吸收磷量: 超级>艳粉>黑玫; 土壤速效磷、全磷、0~60厘米土层含磷总量、地下水磷含量: 黑玫>艳粉>超级。三个土层比较, 土壤磷: 上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米); 试验采收时与处理前采样进行土壤磷盈亏比较, 三个玫瑰品种不施磷处理均出现土壤磷亏缺; 减磷50%处理磷开始在土壤中富集, 并随施肥量增多而富集加剧。土壤速效磷、全磷、0~60厘米土层含磷总量、地下水磷含量却随磷施用量增加而增加, 加大了土壤、地下水的磷污染负荷。

**关键词:** 玫瑰 磷 产量 植株 土壤 地下水

磷(P)是植物生长所必需的大量营养元素, 又是水体产生富营养化的主要因素之一。研究表明, 在许多地区, 以农田排P为主的农业非点源污染已成为水体中P的最主要来源, 而且所占份额仍在不断增加。滇池流域也不例外, 近年随着农业产业结构的调整和种植方式的改变, 滇池周边地区以塑料大棚为主的花卉种植面积迅速扩大, 单位面积化肥施用量成倍提高, 农田中多余的P随着农田径流、侧渗和垂直下渗等多种途经输入滇池, 是滇池水体富营养化的重要原因之一<sup>[1-5]</sup>。而有关滇池流域精准化养分管理对植株、土壤(不同层次)、地下水P累积与环境风险研究尚未见报道, 本试验以减少磷素流失为目标, 在不影响花卉经济收入的情况下, 研究磷减施对植株、土壤和地下水磷含量变化规律的影响, 提出P高效利用的污染防控型品种和养分最佳用量。

## 1 试验设计与材料

### 1.1 试验材料

试验于2008年在云南昆明晋宁县昆阳镇凤踪村已种植5年的花卉大棚中进行。试验选三个玫瑰主栽品种: 超级、艳粉和黑玫, 三个品种试验布置在同一连体大棚中。

供试土壤为水稻土, 为当地中高肥力田块。试验前分别取0~20厘米、20~40厘米、40~60

国家科技支撑计划项目资助(2007BAD87B12)和国际植物营养研究所(IPNI)资助

通讯作者, E-mail: gredbean@163.com

作者简介: 付利波(1971.10), 女, 云南宣威人, 农学学士, 副研究员, 研究方向: 土壤肥料与农业环境资源研究。E-mail: fulibo001@yahoo.com.cn, Tel: 13888289163

厘米土层基础土样测定土壤碱解N(碱解扩散法)、全N(半微量凯氏法)、有效P(0.5mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提·钼锑抗比色法)、全P(碱熔·钼锑抗比色法)、速效K(乙酸铵溶液浸提·火焰光度计法)、全K(碱熔·火焰光度计法)、pH(玻璃电位法)和有机质(重铬酸钾容量法)<sup>[6-8]</sup>。结果见表1。

试验用氮肥为尿素(46%),磷肥为普通过磷酸钙(16%),钾肥为氯化钾(60%)。分别于平茬后7天、30天和初花期施入。

表1 供试土壤农化性状

品种	土层	N(克/公斤)		P(克/公斤)		K(克/公斤)		pH	OM (%)
		碱解N	全N	速效P	全P	速效K	全K		
超级	0-20厘米	0.25	2.046	0.151	1.83	0.276	15.709	5.96	3.08
	20-40厘米	0.307	2.085	0.134	1.82	0.285	15.726	6.05	3.25
	40-60厘米	0.311	2.091	0.096	1.79	0.239	16.035	6.53	2.87
艳粉	0-20厘米	0.337	2.086	0.046	2.17	0.328	11.957	6.87	3.12
	20-40厘米	0.327	2.093	0.09	2.14	0.31	15.767	6.87	2.68
	40-60厘米	0.248	2.102	0.037	2.12	0.201	16.659	6.87	1.94
黑玫	0-20厘米	0.312	2.079	0.216	2.22	0.337	16.318	4	3.25
	20-40厘米	0.376	2.089	0.208	2.19	0.347	17.726	4.77	3.29
	40-60厘米	0.354	2.097	0.269	2.16	0.362	17.21	5.7	3.07

## 1.2 试验设计

三个品种试验均设4个处理P0、P1、P2、P3,4次重复,每个小区面积8.4平方米,随机区组排列。其中P3为农民习惯施肥,P0为不施磷处理,P1为减磷50%处理,P2为减磷25%处理,评价减少磷施用量对玫瑰产量和环境的影响;所有处理氮、钾肥用量相同(N用量18.75公斤/亩、K<sub>2</sub>O用量21公斤/亩),具体各处理磷肥用量见表2,其它田间管理按常规栽培技术要求进行。

表2 试验处理及施肥量

处理	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (公斤/亩)			
	总量	第一次	第二次	第三次
P0	0	0	0	0
P1	7.5	2.5	2.5	2.5
P2	11.25	3.75	3.75	3.75
P3	15	5	5	5

## 1.3 样品采集及分析

**1.3.1 植株样品采集与测定:**根据玫瑰生长规律,每次施肥前各小区取植株2株,每处理共取8株测定植株全磷含量(硫酸-过氧化氢消煮法—钼蓝比色法)<sup>[8]</sup>。

**1.3.2 土样采取与测定:**土样采用土钻法,分别在每次施肥前和收获后,分三层(0~20厘米,20~40厘米,40~60厘米)取土样,每小区取3个样点,取样点在畦上两株之间。将取自相同处理同一土层的土样于田间混合均匀后自然风干,磨碎后过80目筛,分别测定土壤有效P(0.5mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提·钼锑抗比色法)、全P(碱熔·钼锑抗比色法)<sup>[6-8]</sup>。

**1.3.3 地下水样的采集与测定:**每次施肥前每处理挖深80厘米剖面一个,待剖面坑里水汇集至刚澄

清,取水样600ml,测定地下水总磷、水溶性总磷(过硫酸钾消解法—钼锑抗分光光度法)<sup>[9]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 不同养分管理对不同玫瑰品种产量与经济效益的影响

#### 2.1.1 不同养分管理对不同玫瑰品种产量的影响

玫瑰采收季节,按花农采收标准,对玫瑰实时采摘并计产得出小区产量,折算出各处理玫瑰产量,见表3。结果表明,在氮、钾用量相同的情况下,三个品种减少磷用量25%处理产量最高,比农民习惯施肥P3,都有不同程度增产,差异不显著,分别增0.35%、3%、3.66%;减磷50%和不施磷处理却出现减产现象,减磷50%处理减产0.75%、2.07%、0.79%,不施磷处理减产18.84%、7.37%和2.52%。三个品种产量比较,超级最高,艳粉次之,黑玫最低。

表3 不同养分管理对不同玫瑰品种产量(枝/亩)的影响

处理	超级		艳粉		黑玫	
	产量均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
P0	9881.3aA	1393.89	7976.6aA	333.62	4729.9bA	183.92
P1	12083.8aA	1657.78	8432.94aA	639.47	4813.87abA	148.25
P2	12217.8aA	1627.43	8869.5aA	1096.66	5029.67aA	155.21
P3	12175.5aA	1444.56	8611.5aA	474.01	4852.07abA	101.13
	处理间F值: 2.207		处理间F值: 1.162		处理间F值: 2.832	
	显著水平: 0.1400		显著水平: 0.3645		显著水平: 0.0832	

备注: P0: 不施肥、P1: P3减P50%、P2: P3减P25%、P3: 农民习惯施肥,下同。

#### 2.1.2 不同养分管理对不同玫瑰品种经济效益的影响

按花农采收标准,对试验玫瑰实时采摘并计产得出小区产量,按当时市场平均价计算产值,减去施用磷肥成本,折算出各处理玫瑰经济效益(表4)。结果表明,在已种植玫瑰5年、连续高强度施肥的土壤上,超级、艳粉、黑玫减磷25%经济效益最好。从表中数据可看出,在氮、钾用量相同的情况下,与农民习惯施肥P3处理比较,三个品种减磷25%处理经济效益增加最多,分别增0.58%、3.36%和4.32%;减磷50%处理超级、艳粉经济效益开始降低,降低0.31%和1.46%,黑玫仍保持增长,增0.35%;不施磷处理经济效益都有降低,三个品种分别降18.11%、6.18%和0.27%;三个品种经济效益比较,超级最高,艳粉次之,黑玫最低。

表4 不同养分管理对不同玫瑰品种经济效益(元/亩)的影响

处理	磷肥成本	扣除磷肥成本后经济效益		
		超级	艳粉	黑玫
P0	0	5928.78	4785.96	2837.94
P1	32.81	7217.47	5026.954	2855.512
P2	49.22	7281.46	5272.48	2968.582
P3	65.63	7239.67	5101.27	2845.612

备注: 普通过磷酸钙: 700元/吨, 经济效益仅为扣除磷肥成本而未考虑其它成本的经济效益; 花价: 按当时市场平均价12元/20枝计算。

## 2.2 不同养管理对不同玫瑰品种植株磷含量的影响

采收时对玫瑰整株取样进行植株全磷分析, 结果表明: 玫瑰植株吸收磷在整株、茎叶、根、花中均表现为: 超级>艳粉>黑玫; 在氮、钾用量相同的情况下, 三个品种植株整株、茎叶、根和花吸收磷量均随施磷量增加而增加, 磷用量到15公斤/亩时, 反而下降, 可能与高磷处理植株生长受影响有关。植株各部位吸收磷量(4个处理平均值)茎叶: 根: 花, 超级为1:0.92:0.20, 艳粉是1:0.96:0.26, 黑玫1:0.84:0.41。

表5 不同养管理对不同玫瑰品种植株吸收磷的影响

处理	超级(公斤/亩干基)				艳粉(公斤/亩干基)				黑玫(公斤/亩干基)			
	整株	茎叶	根	花	整株	茎叶	根	花	整株	茎叶	根	花
P0	1.42	0.70	0.60	0.14	1.13	0.00	0.51	0.48	0.14	0.73	0.31	0.29
P1	1.54	0.71	0.68	0.15	1.24	0.00	0.57	0.53	0.14	0.79	0.34	0.31
P2	1.62	0.76	0.71	0.15	1.32	0.00	0.60	0.57	0.15	0.78	0.36	0.28
P3	1.60	0.73	0.72	0.15	1.30	0.00	0.58	0.57	0.14	0.77	0.36	0.28

## 2.3 不同养管理对不同玫瑰品种土壤磷含量的影响

### 2.3.1 不同养管理对不同玫瑰品种土壤速效磷的影响

通过收获当天分三层(0~20厘米, 20~40厘米, 40~60厘米)在畦上两株之间采集土样, 进行土壤速效磷测试。结果可以看出, 在配施一定量氮、钾基础上, 随着磷肥用量的增加, 土壤速效磷含量也有不同程度增加, 增加了农业面源污染物磷对地下水的污染风险。三个品种土壤速效磷含量: 上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米), 不同品种间比较, 黑玫>艳粉>超级。

表6 收获时不同养管理对不同玫瑰品种土壤速效磷含量的影响

项目	处理	超级(克/公斤)			艳粉(克/公斤)			黑玫(克/公斤)		
		0-20厘米	20-40厘米	40-60厘米	0-20厘米	20-40厘米	40-60厘米	0-20厘米	20-40厘米	40-60厘米
速效磷 (克/公 斤)	P0	0.13	0.097	0.086	0.157	0.108	0.107	0.237	0.156	0.107
	P1	0.145	0.114	0.105	0.180	0.147	0.122	0.299	0.202	0.143
	P2	0.153	0.116	0.108	0.192	0.155	0.143	0.315	0.216	0.155
	P3	0.178	0.119	0.112	0.205	0.161	0.153	0.331	0.218	0.181

### 2.3.2 不同磷水平对不同玫瑰品种植花土壤全磷含量的影响

通过收获当天分三层(0~20厘米, 20~40厘米, 40~60厘米)取土, 进行土壤全磷分析测试。结果可以看出, 在配施一定量氮、钾基础上, 不施磷处理土壤全磷含量在1.789~2.222克/公斤之间; 与农民习惯施肥P3处理相比, 随着磷用量的减少, 3个品种各层土壤磷含量均表现出不同程度的降低(降幅在0.01%~1.37%), 一定程度上降低了磷在植花土壤中富集的风险。在玫瑰采收时, 由于磷的移动性差, 三个品种土壤全磷含量均表现为上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米)。植花土壤全磷含量, 黑玫>艳粉>超级。

### 2.3.3 不同磷水平对不同玫瑰品种收获后植花土壤含磷总量的影响

在试验地不同处理小区相应土层各取环刀土10个测容重，取平均值得土壤容重1.55g/厘米<sup>3</sup>，利用公式[每亩耕地土重(公斤/亩)=土壤容重(g/厘米<sup>3</sup>)×667(m<sup>2</sup>)×10000×20(土层厚度厘米)×土壤含磷量(克/公斤)/1000000]<sup>[10]</sup>计算出每亩土地20厘米厚度土层土壤磷总量。结果表明，在滇池湖滨区种植玫瑰5年的大棚植花土地上，经过一季花(3个半月)不同养分管理，在该试验磷肥不同管理水平下，20厘米厚土层土壤含磷总量在369.8~476.6公斤/亩之间。相同处理、相同品种、不同土层土壤磷总量比较：上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米)；相同处理、相同土层、不同品种土壤含磷总量比较：黑玫>艳粉>超级。0~60厘米土层土壤含磷总量，品种超级、艳粉、黑玫都表现为不施磷处理比基础样亏损，分别亏1.6公斤/亩、1.2公斤/亩和0.7公斤/亩；减磷50%处理比基础样盈余，分别盈余6.3公斤/亩、6.7公斤/亩和7.4公斤/亩；减磷25%处理比基础样分别盈余9.4公斤/亩、9.8公斤/亩和10.8公斤/亩；农民习惯施肥P3处理比基础样盈余最多，分别盈余12.8公斤/亩、13.4公斤/亩和13.9公斤/亩。

表7 收获时不同养分管理对玫瑰土壤磷的影响

项目	处理	超级			艳粉			黑玫		
		0-20厘米	20-40厘米	40-60厘米	0-20厘米	20-40厘米	40-60厘米	0-20厘米	20-40厘米	40-60厘米
土壤全磷 (克/公斤)	P0	1.823	1.814	1.789	2.169	2.133	2.114	2.222	2.185	2.161
	P1	1.836	1.826	1.801	2.182	2.146	2.126	2.235	2.198	2.173
	P2	1.841	1.831	1.806	2.188	2.151	2.130	2.241	2.203	2.178
	P3	1.848	1.836	1.810	2.195	2.155	2.136	2.247	2.208	2.182
	基	1.825	1.816	1.791	2.171	2.135	2.116	2.223	2.186	2.162
土壤磷总量 (20厘米 厚度) (公斤/亩)	P0	376.9	375.0	369.8	451.4	443.9	439.9	471.3	463.5	458.4
	P1	379.6	377.6	372.3	454.1	446.6	442.4	474.1	466.2	460.9
	P2	380.7	378.6	373.3	455.3	447.6	443.3	475.3	467.3	462.0
	P3	382.1	379.6	374.3	456.8	448.5	444.5	476.6	468.3	462.8
	基	377.4	375.5	370.3	451.8	444.3	440.3	471.5	463.7	458.6
土壤磷总量 比基础样增 减(20厘米) (公斤/亩)	P0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2
	P1	2.2	2.1	2.0	2.3	2.3	2.1	2.6	2.5	2.3
	P2	3.3	3.1	3.0	3.5	3.3	3.0	3.8	3.6	3.4
	P3	4.7	4.1	4.0	5.0	4.2	4.2	5.1	4.6	4.2
	基									
0~60厘 米土层土壤 磷总量亏盈 (公斤/亩)	P0		-1.6			-1.2			-0.7	
	P1		6.3			6.7			7.4	
	P2		9.4			9.8			10.8	
	P3		12.8			13.4			13.9	
	基									

### 2.4 不同养分管理对地下水磷含量的影响

样品采收期同时取地下水测定水溶性总磷和总磷含量，结果(表8)显示：三个品种地下水水溶性总磷，黑玫>超级>艳粉，最高达到1.846毫克/升；总磷为黑玫>艳粉>超级，黑玫最高可达4.112毫克/升。三个品种地下水水溶性总磷、总磷含量都随磷施用量增加而增加，地下水可溶性总磷占总磷比例艳粉明显低于超级和黑玫。

表8 不同品种、不同养管理对花地地下水磷含量的影响

处理	水溶性总磷 (毫克/升)			总磷 (毫克/升)		
	超级	艳粉	黑玫	超级	艳粉	黑玫
P0	0.508	0.097	1.271	1.251	1.277	2.387
P1	0.542	0.162	1.432	1.369	1.716	3.484
P2	0.798	0.235	1.548	1.433	1.854	3.826
P3	0.835	0.241	1.846	1.482	1.934	4.112

### 3 结论与讨论

在滇池周边玫瑰主栽地区已种植5年玫瑰的土壤上,减施25%磷肥所有品种玫瑰产量最高、经济效益最好。在氮、钾用量相同的情况下,三个品种减少磷用量25%处理产量最高,比农民习惯施肥P3,分别增0.35%、3%、3.66%;减磷50%和不施磷处理却出现减产,减磷50%处理减产0.75%、2.07%、0.79%,不施磷处理减产18.84%、7.37%和2.52%。三个品种产量比较,品种超级最高,艳粉次之,黑玫最低。从经济效益角度考虑,三个品种都是减磷25%处理最好,不施磷处理经济效益都有降低。三个品种经济效益比较,超级>艳粉>黑玫。

对植株磷含量进行比较,玫瑰整株、茎叶、根、花吸收带走磷的量均表现为:超级>艳粉>黑玫;随着磷用量的增加,三个品种植株整株、茎叶、根和花吸收磷量均随施磷量增加而增加,磷用量到15公斤/亩时,反而下降。玫瑰植株各部位吸收磷量(4个处理平均值)茎叶:根:花,超级为1:0.92:0.20,艳粉是1:0.96:0.26,黑玫1:0.84:0.41。

土壤速效磷、全磷含量随着磷肥用量的增加而增加。不同土层比较,上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米);不同品种间比较,黑玫>艳粉>超级;对不同土层土壤含磷总量进行计算,在磷素不同养管理水平下,20厘米厚土层土壤含磷总量在369.8~476.6公斤/亩之间。不同土层比较,上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米);不同品种比较,黑玫>艳粉>超级。0~60厘米土层土壤含磷总量,超级、艳粉、黑玫三个品种都表现为不施磷处理比基础样亏损,分别亏1.6公斤/亩、1.2公斤/亩和0.7公斤/亩;减磷50%处理比基础样盈余,分别盈余6.3公斤/亩、6.7公斤/亩和7.4公斤/亩;减磷25%处理比基础样分别盈9.4公斤/亩、9.8公斤/亩和10.8公斤/亩;农民习惯施肥P3处理比基础样盈余最多,分别盈余12.8公斤/亩、13.4公斤/亩和13.9公斤/亩。

各处理地下水总磷表现为黑玫>艳粉>超级,三个品种地下水水溶性总磷、总磷含量都随磷施用量增加而增加。

综上所述,从产量、经济效益、植株带走的磷、土壤磷盈亏、对地下水磷污染风险等方面综合考虑,该试验条件下推荐磷高效、环境友好型玫瑰种植品种为超级,推荐施肥量为农民习惯施肥减磷25%,施磷量为11.25公斤/亩。

#### 参考文献:

- [1] 陆轶峰,李宗逊,雷宝坤.滇池流域农田氮、磷肥施用现状与评价[J].云南环境科学,2003,(3),34-37
- [2] 高明,杨浩.滇池流域斗南不同土地利用下土壤养分的分布及其对环境的影响[J].安徽农业

科学, 2006, 34(23):6255-6257,6259

[3] 段永蕙,张乃明. 滇池流域农村面源污染状况分析[J]. 环境保护, 2003, (7). 28-30

[4] 张乃明,李成学,李阳红. 滇池流域土壤磷累积特征与释放风险研究[J]. 土壤, 2007, 39(4):665-667

[5] 黎明,刘德启,沈颂东,袁雯,姜海燕,蔡晔. 国内富营养化湖泊生态修复技术研究进展[J]. 水土保持研究, 2007,14(5):350-352,355

[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] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:中国农业出版社.2005

[8] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社.2005

[9] 魏复盛. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京:中国环境科学出版社.2002

[10] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京:农业出版社.1982

上接21页

[9] 吕丽华,陶洪斌,王璞,等. 施氮量对夏玉米碳、氮代谢和氮利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 630-637.

[10] 夏来坤,陶洪斌,许学彬,等. 不同施氮时期对夏玉米干物质积累及氮肥利用的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 138-140, 144.

[11] 谢瑞芝,李潮海,周苏玫,等. 超高产夏玉米生长机制研究[J]. 河南农业大学学报, 1999, 33(1): 11-16.

[12] 东先旺,刘树堂. 夏玉米超高产群体光合特性的研究[J]. 华北农学报, 1999, 14(2): 1-5.

[13] 黄振喜,王永军,王空军,等. 产量15000 kg·ha<sup>-1</sup>以上夏玉米灌浆期间的的光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898-1906.

[14] 李潮海,苏新宏,谢瑞芝,等. 超高产栽培条件下夏玉米产量与气候生态条件关系研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 311-316.

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 30-33, 56-57, 81-83, 106-107.



## 黑龙江省大豆磷肥效果研究

李玉影<sup>1</sup> 刘双全<sup>1</sup> 姬景红<sup>1</sup> 刘颖<sup>1</sup> 张明怡<sup>1</sup>

韩光<sup>1</sup> 佟玉欣<sup>1</sup> 王伟<sup>1</sup> 董树春<sup>2</sup>

(1 黑龙江省农科院土壤肥料与环境资源研究所, 哈尔滨 150086

2 黑龙江庆安县农委, 庆安 152300)

**摘要:** 在黑龙江省北部黑土和东部白浆土大豆主产区设置大豆磷肥用量试验, 以明确该地区大豆施磷效果和适宜的磷肥用量。结果表明, 黑龙江省大豆磷肥适宜用量为 $P_2O_5$  6公斤/亩, 平均增产51.7公斤/亩, 平均增产率为36.2%, 平均增收161元/亩, 适量施用磷肥是大豆高产高效的重要措施。

**关键词:** 黑龙江, 大豆, 磷肥效果, 产量, 效益

黑龙江省地处北纬 $43^{\circ} 26' \sim 53^{\circ} 33'$ , 幅员面积45.48万平方公里, 耕地面积17025万亩<sup>[1]</sup>, 是中国大豆生产的最大省份, 1978年大豆年平均播种面积为2288万亩, 2009年达7295万亩(图1); 大豆总产和单产呈波浪式上升趋势, 年平均总产421.3万吨, 年平均单产107.9公斤/亩(图2)<sup>[2]</sup>, 呈现出单产不高、总产不稳的态势, 产量还有很大的提高空间。黑龙江省大豆播种面积占全国的37%~44%, 总产占全国的38%~46%, 商品率80%以上<sup>[3]</sup>。近年来, 大豆生产有了较大的发展, 但也遇到了严峻的挑战, 如何进一步提高大豆单产, 对提高黑龙江省大豆总产量、稳定国内大豆市场、振兴国家大豆产业具有重要现实意义。

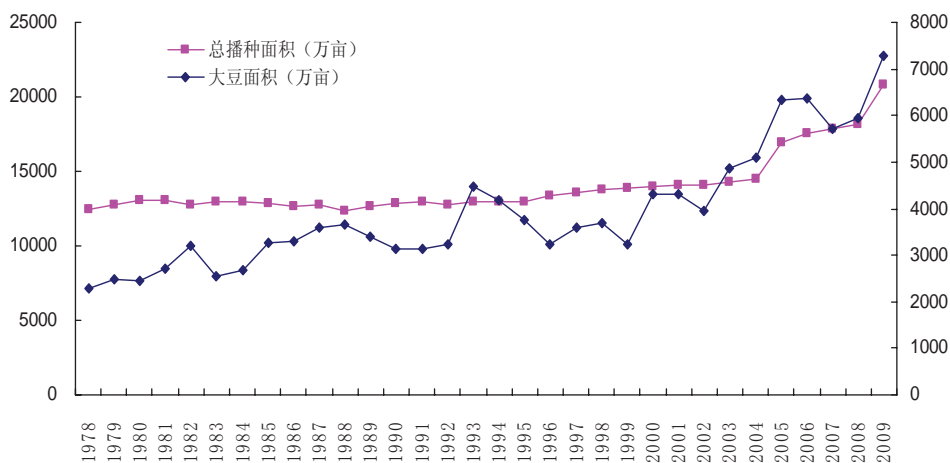


图1 黑龙江省大豆年播种面积



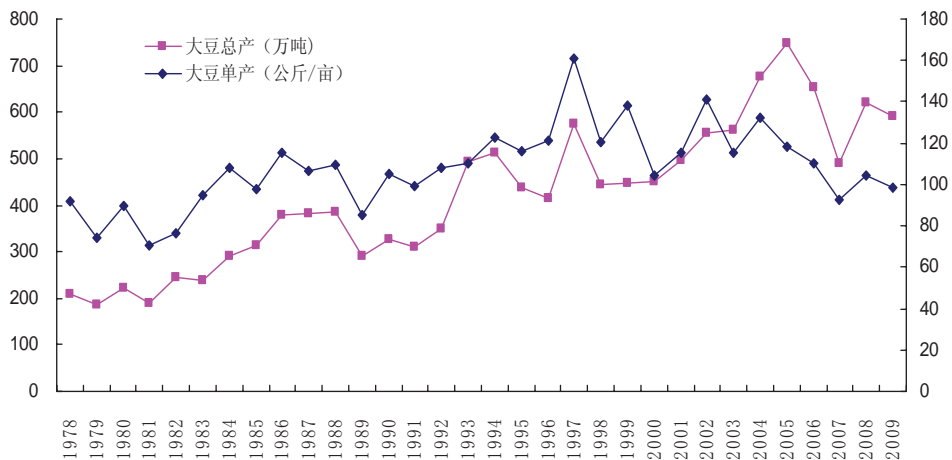


图2 黑龙江省大豆产量状况

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验地点为黑龙江省依安县先锋乡长山村、红兴隆分局853农场（宝清县境内）、海伦市东林乡长荣村，供试土壤分别为黑土、白浆土和黑土，土壤理化性状见表1。试验设5个处理，在氮钾基础上做磷肥单因素试验，磷设5个水平。采用小区试验方法，小区面积30平方米，3次重复，随机区组排列。依安县供试大豆品种为东农53，种植密度16667株/亩，海伦县大豆品种为绥农26，种植密度18667株/亩，853农场大豆品种为合丰50，种植密度18667株/亩。所有肥料全部作基肥施入，开深沟，侧条施，确保一次播种保全苗。氮肥用尿素，磷肥用重过磷酸钙，钾肥用氯化钾。2009年5月7日~12日播种，9月25日~10月4日收获，试验处理及肥料用量见表2。

表1 供试土壤基本理化性状

地点	pH	有机质 (克/公斤)	碱解氮	速效磷	速效钾	有效硫	有效锌	有效硼
			(毫克/公斤)			(毫克/升)		
依安	6.27	42.5	192.5	23.3	218.7	17.8	1.7	0.94
853农场	5.20	30.7	101.5	77.0	128.4	14.1	2.4	0.37
海伦	6.13	54.8	210.0	51.9	142.2	13.5	3.2	1.64

表2 试验处理及肥料成本 (公斤/亩)

处理	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	成本 (元/亩)
1.P0	3.5	0	4	0
2.P1	3.5	3	4	17.6
3.P2	3.5	6	4	35.2
4.P3	3.5	9	4	52.8
5.P4	3.5	12	4	70.4

注：2009年尿素含N 46%，2000元/吨；重过磷酸钙含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%，2700元/吨；氯化钾含K<sub>2</sub>O 60%，3600元/吨。

## 1.2 分析方法

有机质含量测定：重铬酸钾容量法（外加热法）；土壤碱解氮（N）：碱解扩散法；速效磷：0.5mol/LNaHCO<sub>3</sub>法；速效钾：1.0mol/LNH<sub>4</sub>OAc浸提，原子吸收法<sup>[4]</sup>；有效硫、有效硼、有效锌采用国际农化服务公司（ASI）方法<sup>[6]</sup>测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 磷肥对大豆生长发育的影响

试验结果表明，磷肥对大豆生长发育有显著影响（表3）。施磷肥处理大豆株高、单株荚数、单株粒数和百粒重均高于不施磷肥处理，空瘪率则低于不施磷肥处理。对大豆生长发育效果最好的磷肥用量是P2处理，即P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6公斤/亩，与P0比较，3个点大豆平均株高增加16.0cm、单株荚数增加8.6个、单株粒数增加19.4个、百粒重增加1.99克、空瘪率降低2.9个百分点。可见，不施磷肥会严重影响大豆生长发育及干物质的积累。

表3 磷肥对大豆生长发育的影响

地点	处理	株高 (厘米)	单株荚数 (个/株)	单株粒数 (个/株)	空瘪率 (%)	百粒重 (克)
依安	1.P0	70.5	20.9	42.7	10.3	16.06
	2.P1	84.2	28.3	52.1	8.1	17.33
	3.P2	88.7	30.0	68.8	5.2	18.90
	4.P3	87.8	26.6	62.8	6.4	17.58
	5.P4	88.5	25.6	56.6	5.3	18.56
海伦	1.P0	69.4	27.3	57.1	6.1	17.06
	2.P1	85.2	31.1	62.4	4.9	17.94
	3.P2	89.1	35.7	66.9	4.1	18.10
	4.P3	91.6	35.7	68.0	3.5	17.85
	5.P4	87.2	33.6	64.2	4.7	18.03
853农场	1.P0	77.3	26.6	50.2	6.9	17.13
	2.P1	82.9	29.4	65.1	3.7	18.09
	3.P2	87.4	34.8	72.4	5.3	19.21
	4.P3	90.6	37.2	76.5	4.0	20.32
	5.P4	91.8	34.0	74.5	5.9	19.83
平均(3个点)	1.P0	72.4	24.9	50.0	7.8	16.75
	2.P1	84.1	29.6	59.9	5.6	17.79
	3.P2	88.4	33.5	69.4	4.9	18.74
	4.P3	90.0	33.2	69.1	4.6	18.58
	5.P4	89.2	31.1	65.1	5.3	18.81

### 2.2 磷肥对大豆产量及经济效益的影响

从3个点平均结果来看（表4），施磷肥增产幅度8.3%~45.3%，产量和经济效益最好的是P2处理，即P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6公斤/亩，平均增产51.7公斤/亩，平均增产率为36.2%，平均增收161.3元/亩；其次是P3处理，即P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9公斤/亩，平均增产51.5公斤/亩，平均增产率34.7%，平均增收142.9元/

亩；再次是P4、最差的是P1处理，磷肥过高和过低均达不到较好的增产和增收效果。依安试验点，产量和经济效益最好的是P2处理，其次是P3处理，增产幅度28.5%~45.3%，平均增产38.2%，平均增效145.1元/亩。海伦试验点，产量和经济效益最好的是P2处理，其次是P3处理，增产幅度22.3%~41.1%，平均增产32.4%，平均增效122.6元/亩。853农场试验点，产量和经济效益最好的是P3处理，其次是P2处理，增产幅度8.3%~27.1%，平均增产19.8%，平均增效92.2元/亩。

大豆是低产作物，目前，黑龙江省农民种植大豆施肥投入较低，一般N 2公斤/亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3公斤/亩、K<sub>2</sub>O 2.3公斤/亩，满足不了高产的需要<sup>[6,7]</sup>。研究表明，黑龙江省大豆主产区土壤含磷量较高，但种植大豆仍然需要施较高量的磷肥，主要原因是大豆磷肥利用率较低和大豆重茬对土壤养分消耗的不均衡造成的，因此，明确磷肥适宜用量是获得大豆高产高效的重要保障。

表4 磷肥对大豆产量及经济效益的影响

地点	处理	籽粒产量 (公斤/亩)	差异显著性		增产 (公斤/亩)	增产率 (%)	效益 (元/亩)
			0.05	0.01			
依安	1. P0	130.3	c	B	—	—	—
	2. P1	167.5	b	A	37.2	28.5	123.8
	3. P2	189.3	a	A	59.0	45.3	189.0
	4. P3	182.6	a	A	52.3	40.1	145.9
	5. P4	180.9	ab	A	50.5	38.8	121.5
海伦	1. P0	135.3	c	B	—	—	—
	2. P1	165.5	b	AB	30.2	22.3	97.2
	3. P2	190.9	b	AB	55.6	41.1	176.1
	4. P3	185.1	ab	A	49.8	36.8	136.4
	5. P4	175.1	ab	A	39.8	29.4	80.8
853农场	1. P0	140.2	b	C	—	—	—
	2. P1	152.9	b	BC	12.7	8.3	30.7
	3. P2	180.5	a	AB	40.3	22.3	117.9
	4. P3	192.5	a	A	52.3	27.1	145.9
	5. P4	178.3	a	AB	38.1	21.4	74.4
平均 (3个点)	1. P0	135.3			—	—	—
	2. P1	161.9			26.7	19.7	83.9
	3. P2	186.9			51.7	36.2	161.3
	4. P3	186.7			51.5	34.7	142.9
	5. P4	178.1			42.8	29.9	92.2

注：2009年大豆价格3.8元/公斤。

### 2.3 大豆施磷模型的建立

模型是指导科学施肥的依据之一，对大豆产量和施磷量进行回归分析，发现产量和施磷量之间具有显著的回归关系。依安黑土试验统计结果，产量与磷肥用量之间存在显著回归关系： $y=131.67+14x-0.8437x^2$ ， $R=0.9836$ ，上式中y为大豆产量，x为P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>用量，单位是公斤/亩，当施磷量为P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 8.3公斤/亩，产量最高达190.1公斤/亩。海伦黑土试验 $y=134.6+13.935x-0.8857x^2$ ， $R=0.9893$ ，当施磷量为P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 7.9公斤/亩，产量最高为189.4公斤/亩。853农场白浆土试验 $y=135.81+10.47x-0.5508x^2$ ， $R=0.9519$ ，当施磷量为P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9.1公斤/亩，产量最高为186.8公斤/亩。

上述三个试验点回归分析结果表明，大豆产量与施磷量间的回归关系显著，可以用来指导施肥。

### 3 小结

黑龙江省土壤肥沃，土壤中速效磷的含量也较高，但试验结果显示，大豆施用磷肥效果仍然显著。

3.1 适宜用量的磷肥对大豆生长发育具有显著的促进作用。与不施磷肥比较，施 $P_2O_5$  6公斤/亩，大豆株高、单株荚数、单株粒数、百粒重平均增加16.0cm、8.6个、19.4个、1.99克，空瘪率平均降低2.9个百分点。

3.2 适宜用量的磷肥对大豆产量和经济效益有显著的正效应。施磷肥增产幅度8.3%~45.3%；黑龙江省磷肥适宜用量为 $P_2O_5$  6公斤/亩，平均增产51.7公斤/亩，平均增收161元/亩；磷肥用量过低满足不了大豆高产需要，过高影响出苗、生长发育和产量，同时造成资源浪费和环境污染，适当施用磷肥是大豆高产高效的重要措施。

#### 参考文献：

- [1] 黑龙江土地管理局，黑龙江省土壤普查办公室. 黑龙江土壤. 农业出版社，1992.
- [2] 黑龙江省统计局. 黑龙江统计年鉴. 中国统计出版社，2010
- [3] 刘忠堂. 黑龙江省大豆生产形势分析与建议. 大豆科技，2009(4): 11-15
- [4] 鲍士旦主编. 土壤农化分析. 北京：中国农业出版社，2005，30-34，56-58，81-83，106-108.
- [5] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法. 中国农业出版社，1992，16-69.
- [6] 郝玥，吴颜春，徐金兰. 大豆不同肥料用量试验研究. 大豆通报，2005(3): 8-9
- [7] 韩秉进，陈渊，韩晓增. 黑土区大豆适宜NPK肥料用量研究. 农业系统科学与综合研究，2003，19(2): 145-148.



2009年依安县大豆磷肥试验效果



## 不同钾效率基因型棉花对不同钾水平反应的差异<sup>[1]</sup>

王晓丽, 姜存仓\*, 郝艳淑, 鲁剑巍

(华中农业大学资环学院植物营养实验室, 武汉 430070)

**摘要:** 为了研究不同钾水平对不同钾效率基因型棉花生长发育的影响, 在湖北省洪湖市大同湖试验基地进行了田间试验。结果表明: 高效基因型棉花 103 在营养生长转为生殖生长时进度较快, 较早进入生殖生长阶段, 有利于产量的形成; 而低效基因型棉花 122 营养生长期较长, 营养器官生长较旺盛。103 结桃数较多, 伏桃比例较大, 而 122 形成较多的秋桃, 不利于高产。103 的功能叶中钾含量均高于 122, 说明 103 吸钾效率较高。从肥料的产量效应、施肥的经济效益、施肥养分的利用效率三大方面分析, 103 各处理比 122 相应处理经济效益高, 钾肥农学利用率也较高。

**关键词:** 棉花; 基因型; 生长发育; 钾含量; 经济效率

钾是植物必需的营养元素之一, 在植物生长发育和代谢过程中具有重要的作用<sup>[1]</sup>。近几十年来, 由于多方面的原因, 作物对钾的需求量明显增加。我国大部分地区土壤含钾量偏低, 供钾能力不足, 施用钾肥后, 往往有显著的增产效果<sup>[2]</sup>。世界各国也甚为重视土壤钾素的研究和钾肥在农业上的应用, 近年来, 为获得钾营养高效的种质资源, 国内外学者们进行了营养基因型差异的研究<sup>[3-4]</sup>, 这不仅能为选育钾高效基因型提供遗传材料, 而且对提高土壤中钾素和钾肥的利用率具有重要意义。

棉花是重要的经济作物, 对钾需求较高, 钾的缺乏已经成为限制棉花提高产量和品质的最关键的营养元素<sup>[5]</sup>。本试验以钾高效高增产潜力基因型棉花 103 和钾低效低增产潜力基因型棉花 122 为材料, 通过大田试验探讨不同基因型棉花在不同钾营养水平下生长发育和钾含量的差异, 并计算经济效率, 以期选育钾高效基因型棉花提供材料, 也为棉农增产增收提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设计

#### 1.1.1 供试材料

供试材料为华中农业大学微量元素研究中心在 2001-2005 间通过“两步筛选法”从 86 个棉花种质资源中筛选出来的两个棉花品种<sup>[6]</sup>, 分别是钾“双高”(钾高效和高增产潜力)基因型 103 和钾“双低”(钾低效和低增产潜力)基因型 122。种子由华中农业大学作物遗传育种研究所和中国农业科学院棉花研究所种质资源室提供。供试土壤采自湖北省洪湖市大同湖农场, 为花岗片麻岩发育而成的黄褐土, 基本理化性状见表 1。

\* 国际植物营养研究所基金项目 (IPNI-HB-37) 资助

作者简介: 王晓丽, 女, 1987 年生, 硕士研究生, E-mail: Wangxiao.ying.1987@163.com

※ 通讯作者: 姜存仓, 男, 博士, 副教授, 主要从事植物营养机理与施肥研究。E-mail: jcc2000@mail.hzau.edu.cn

表1 土壤基本理化性状

pH	有机质	碱解氮	全氮	速效磷	速效钾	缓效钾	有效硼
	(克/公斤)	(毫克/公斤)	(克/公斤)	(毫克/公斤)			
8.0	17.5	75.3	0.74	5.6	133.4	375.3	0.41

### 1.1.2 试验设计

该试验为2个棉花品种和3个施钾水平的组合，共设6个处理，分别为：103K0：103品种不施钾，103K1：103品种低钾处理，施9公斤K<sub>2</sub>O/亩；103K2：103品种高钾处理，施18公斤K<sub>2</sub>O/亩；122K0：122品种不施钾；122K1：122品种低钾处理，施9公斤K<sub>2</sub>O/亩；122K2：122品种高钾处理，施18公斤K<sub>2</sub>O/亩。每个处理有4次重复，共24个小区，小区面积为20平方米。小区排列如表2：

表2 小区排列分布图

重复 I	重复 II	重复 III	重复 IV	小区株数
103K1	103K2	103K0	103K1	42
103K0	103K1	103K2	103K0	42
103K2	103K0	103K1	103K2	42
122K0	122K1	122K2	122K1	42
122K1	122K2	122K0	122K2	42
122K2	122K0	122K1	122K0	42

所施肥料为尿素(46% N)，磷酸二铵(15-42-0)，氯化钾(60% K<sub>2</sub>O)，硼砂。各处理施用相同的氮、磷和硼肥，每平方米施N 30克，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 9克。氮肥基施45%，提苗肥10%，花铃肥30%，补桃肥15%；磷肥全部基施；钾肥60%基施，40%作花铃肥。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 种植与管理

试验于4月6日播种，4月12日齐苗；4月19日大田施底肥(1厢2行棉花中间开一条底肥沟)；4月27日(1叶1心期)移栽；6月5日进入现蕾期；7月4日施花铃肥；8月1日施盖顶肥，打顶心；10月20日前累计统计产统计分析。种植过程中要注意水肥管理，防虫治病，定期记录考察棉株生长动态。

### 1.2.2 项目测定与数据处理

记录考察棉株的株高、叶片数、桃数等生长动态变化以及棉花产量，株高用直尺直接测量，叶片数以完全展开的真叶数为准。叶片中的钾含量采用1mol/L盐酸浸提，火焰光度计法测定。

#### ①肥料的产量效应

例如：处理① NP：Y<sub>1</sub>

处理② NPK：Y<sub>2</sub>

(1)增产量：Y = Y<sub>2</sub> - Y<sub>1</sub>；

(2)增产率：(Y<sub>2</sub> - Y<sub>1</sub>) × 100% / Y<sub>1</sub>；

#### ②施肥的经济效益

(1)增加收入：增产量 × 产品价格

(2)净收益(利润)：增加收入 - 增加成本

(3)产投比(VCR)：增加收入/增加成本

③施肥养分的利用效率

(2)肥料的农学利用率(公斤/公斤)：(施肥区产量—不施肥区产量)/增施纯养分量

(2)肥料贡献率(%)：(施肥区产量—不施肥区产量)/施肥区产量 × 100%

## 2 结果与分析

### 2.1 不同钾处理对不同基因型棉花生长发育的影响

#### 2.1.1 不同钾处理对不同基因型棉花叶片数的影响

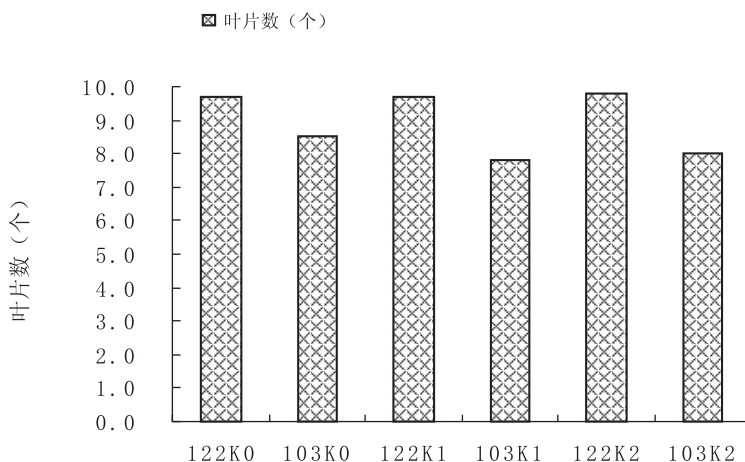


图1 不同钾处理对不同基因型棉花叶片数的影响

从6月5日叶片生长状况调查结果可以看出(图1),棉花进入现蕾期,122各处理的叶片数均多于103各处理。说明在此阶段122营养生长仍较旺盛,而103逐渐由营养生长为主转入营养生长和生殖生长并进的阶段,103营养生长逐渐放缓,营养物质更多的向生殖器官转移,有利于坐蕾、坐桃,为后期桃铃的形成奠定物质基础,这也许就是103之所以高产的机制之一。

#### 2.1.2 不同钾处理对不同基因型棉花桃数的影响

7月15日之前为伏前桃,由图2可以看出,103和122伏前桃数均随钾肥用量增加而增多,两种基因型差异不大。7月16日—8月15日所结的桃为伏桃,103在此阶段桃数大幅增加,且随施钾量增加桃数相应增加,而122则没有明显变化,这说明103能很好的吸收和利用钾素,较快较好的进入生殖生长,保证足够多的伏桃数目,而122伏桃数目较少,钾素的增加对伏桃的形成影响不显著。8月16日以后所结的桃为秋桃,103在此阶段桃数先增加后减少,在8月19日左右达到峰值,在9月21日以后,103缺钾处理晚秋桃极少,仅1.2个/株,随钾肥用量增加晚秋桃增多,最长达8.4个/株。122晚秋桃比例较大,且随时间推移桃数逐渐增加,9月21日左右,122在K1水平桃数就可达11.4个/株,K2与K1相近。但总体上看,103所结桃数大于122,且103桃数主要集中于伏桃,有利于棉花的优质高产。

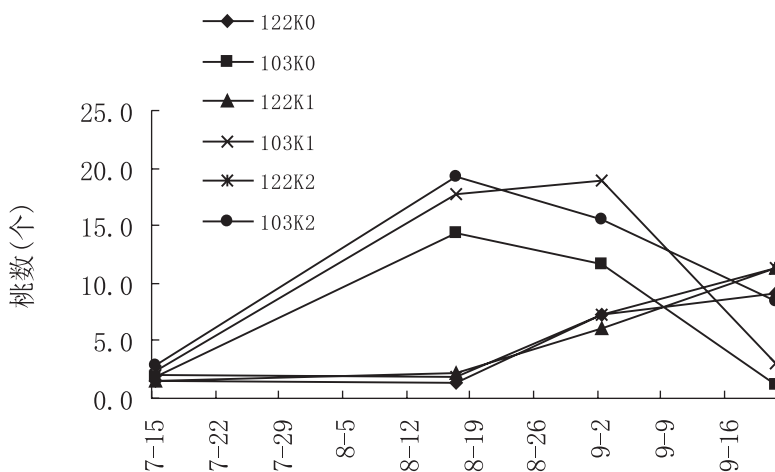


图2 不同钾处理对不同基因型棉花桃数的影响

## 2.2 不同钾处理对不同基因型棉花叶片钾含量的影响

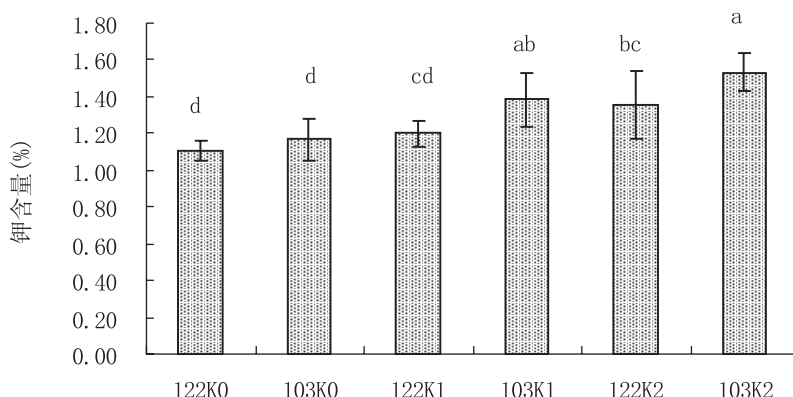


图3 不同钾处理对不同基因型棉花功能叶钾含量的影响

由图3可以看出，在花铃期两种基因型棉花叶片钾含量均随施钾量的增加而升高。但是，在相同的钾处理水平下，高效基因型棉花103的叶片钾含量均高于低效基因型棉花122的，由此可推断103对钾素的吸收效率较高，即使在低钾胁迫下，也能吸收较多的钾，保证了功能叶钾素的供应，促进叶片光合作用，为棉花的生长提供了物质基础。这意味着高效基因型棉花103之所以能够构建自身较大的生物量，达到较多的物质积累，是因为其能够以较低的土壤钾含量维持其正常的生理功能。因此，钾含量的差异常能间接反映高效和低效基因型棉花吸收土壤钾素能力的高低。



### 2.3 不同钾处理对不同基因型棉花产量及经济效益的影响

表3 不同钾水平对不同基因型棉花产量的影响 (公斤)

处理	I	II	III	IV	小区平均产量 (公斤)	平均亩产 (公斤)
103K0	6.1	6.25	6.4	5.35	6.03	200.6b
103K1	6.15	6.25	6.95	7.4	6.69	222.7a
103K2	6.55	6.4	6.7	7.5	6.79	226.0a
122K0	2.2	2.4	1.8	2.6	2.25	74.9c
122K1	2.25	2.75	1.95	2.65	2.4	79.9c
122K2	2.45	2.4	2.35	2.7	2.48	82.4c

从表3可以看出, 103利用钾的能力较强, 随着钾肥用量增加, 其平均产量随之升高。122随钾肥施用量的增加产量变化也较明显, 但是各处理平均产量远低于103, 不论在缺钾还是在高钾条件下, 103的平均产量几乎是122的3倍。从平均产量差异也可以说明103是钾高效高潜力基因型, 而122为钾低效低潜力基因型。

表4 不同钾处理对不同基因型棉花经济效益的影响

处理	平均产量	增产	增产率	增加收入	增加成本	净收益	钾肥农学	钾肥
	(公斤/亩)		(%)		(元/亩)		利用率	贡献率
							(公斤/公斤)	(%)
103K0	200.6	-	-	-	-	-	-	-
103K1	222.7	22.10	11	154.7	39.0	115.7	2.5	9.9
103K2	226.0	25.40	13	177.8	78.0	99.8	1.4	11.2
122K0	74.9	-	-	-	-	-	-	-
122K1	79.9	5.00	7	35.0	39.0	-4.0	0.56	6.3
122K2	82.4	7.50	10	52.5	78.0	-25.5	0.42	9.1

注: 籽棉的市场价为: 7元/公斤, 含60%K<sub>2</sub>O的氯化钾肥价格: 2.6元/公斤

由表4可知, 从肥料的产量效应分析, 103和122的K2处理均比K1处理增产量高, 说明在一定范围内增施钾肥有利于提高棉花的产量, 103各处理增产量分别为22.10公斤/亩和25.40公斤/亩, 显著高于122的相应处理, 此结果也可说明103品种比122品种对钾的利用效率高; 103K1和103K2处理相对于103K0处理的增产率分别为11%和13%, 显著高于对应的122各处理。按目前棉花的市场价格7元/公斤以及含60%K<sub>2</sub>O的钾肥价格2.6元/公斤, 从施肥的经济效益分析, 每亩地103K1处理和103K2处理比103K0处理增加的收入分别为154.7元和177.8元, 远高于122对应处理的35.0元和52.5元, 而103K1和103K2的净收益分别为115.7元和99.8元, 而122K1和122K2的净收益为负值。从产投比来看, 103各处理产投比均大于2, 因此可用于生产实践, 但122各处理产投比小于1, 呈现入不敷出的态势。从施肥养分的利用效果分析, 103K1和103K2的肥料农学利用率为分别为2.5和1.4公斤/公斤, 肥料的贡献率为9.9%和11.2%, 比122K1和122K2都要高, 这更直接的反映了103品种对钾的高效利用。

### 3 讨论

在刚刚现蕾的时期, 103的营养生长逐渐放缓, 较早的转向营养生长和生殖生长并进的阶段, 有利于把较多的营养物质转向生殖器官, 从而促进棉株生殖生长, 提高坐蕾、坐桃数, 为高产稳产奠定基础。低效基因型棉花122营养生长时期较长, 同一时期122营养器官生长较旺盛。因而, 两种基因型在养分的调节、分配方面存在差异, 营养物质在营养器官和生殖器官的积累和分配明显不同。

另外, 两种基因型棉花在形成三桃时也有明显差异, 103总的结桃数多于122。伏前桃是棉花早发稳产的标志, 但桃轻品质差; 伏桃在三桃中比例最大, 一般占总桃数的40%-60%, 伏桃大而重, 纤维品质较好, 是棉花夺取优质高产的关键。103所结桃中伏桃比重较大, 施钾量增加伏桃数随之增加, 说明103对钾较敏感, 钾肥的施用有利于高效基因型棉花高产稳产。122伏桃数较少, 即使施用了足量的钾肥, 也不能使产量达到一个相当水平, 虽然后期秋桃数增加较明显, 但秋桃桃小品质差, 不能达到理想产量。

在花铃期, 不同的基因型棉花叶片钾含量均随钾水平的升高而升高。但是, 不同钾处理条件下, 103叶片钾含量均高于122, 说明103对钾素的吸收效率较高, 这也是103高增产潜力的原因之一。

从肥料的产量效应、施肥的经济效益、施肥养分的利用效果三大方面分析, 以及通过增产量、增产率、增加收益、净收益、产投比、肥料农学利用率和肥料的贡献率7个指标的分析, 均得出103各处理比122相应处理经济效益高, 增施钾肥有利于高效基因型棉花产量的形成, 为农民增产增收提供了可行性方案。目前, 关于棉花钾素营养研究已有大量的报道<sup>[7-9]</sup>, 但是关于钾素对不同基因型棉花生理方面的影响机理还有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 姜存仓, 高祥照, 王运华, 等. 不同基因型棉花苗期钾效率差异及其机制的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 781-786
- [2] 高祥照, 马文奇, 崔勇, 等. 我国耕地土壤养分变化与肥料投入状况[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 363-369.
- [3] 刘国栋, 刘更另. 籼型杂交稻耐低钾基因型的筛选[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1044-1048
- [4] George M S, Lu G Q, Zhou J. Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L) [J]. *Field Crops Research*, 2002, 77(1): 7-15
- [5] 马健, 周桃华. 钾对棉花生育及光合生理特性的影响研究进展综述[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(12): 47-49
- [6] 姜存仓, 高祥照, 王运华, 等. 不同钾效率棉花基因型对低钾胁迫的反应[J]. 棉花学报, 2006, 18(2): 109-114.
- [7] 刘燕, 王进友, 张祥, 等. 钾营养对高品质棉不同部位棉铃发育及内源激素影响的研究[J]. 棉花学报, 2006, 18(4): 209-212.
- [8] 张志勇, 王刚卫, 田晓莉, 等. 棉花品种间苗期钾吸收效率的差异研究[J]. 棉花学报, 2007, 19(1): 47-51.
- [9] 张炎, 高媛, 胡伟, 等. 施钾对长绒棉干物质积累、分配和产量品质的影响[J]. 高效施肥, 2010, 24(1): 51-56.



## 基于土壤氮素收支平衡的油菜氮肥推荐施用量研究<sup>[1]</sup>

宁运旺<sup>1</sup> 朱德进<sup>2</sup> 张永春<sup>1\*</sup> 汪吉东<sup>1</sup> 许仙菊<sup>1</sup> 王寅<sup>3</sup> 鲁剑巍<sup>3</sup>

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京, 210014; 2 江苏省姜堰市农业局, 江苏姜堰, 225529; 3 华中农业大学资源与环境学院, 湖北武汉, 430070)

**摘要:** 本文以土壤氮素表观平衡作为推荐施肥依据, 研究氮素养分收获指数 (NHI) 作为油菜推荐施肥指标的可行性。我国农田氮肥施用状况表明, 在现有施肥技术下保持土壤氮素收支平衡时 NHI 为 0.863, 据此可以推荐作物的氮肥施用量。在此基础上, 于江苏省姜堰市设置了 3 点 5 个氮水平的田间试验进行验证, 结果表明: 与最高产量施氮量比较, 在保证产量变化不大的前提下 (减产 0.7%), NHI 为 0.863 时的推荐施氮量可节省氮肥 12.6%, 氮素偏生产力和农学效率分别提高 13.2% 和 10.8%。

**关键词:** 氮素收获指数 推荐施氮量 土壤养分表观平衡 油菜

对作物氮肥适宜用量实施的推荐方法很多<sup>[1-5]</sup>, 朱兆良把这些方法归纳为两类, 即通过土壤或植株测试以确定适宜施氮量的测试类方法和以田间肥料用量试验为基础的肥料效应方程类方法<sup>[6]</sup>。目前后一种方法作为农业部 2006 年 4 月发布的《测土配方施肥技术规范》中使用的方法, 在农业技术和推广领域大规模应用。

以田间肥料用量试验为基础的肥料效应方程类方法, 获得的作物推荐施肥量是一个相对概念, 与目标产量有关。通过目标产量可以计算出基于最高产量的推荐施肥量; 同时以经济效益为目标时, 可以计算出基于最佳经济效益的推荐施肥量。然而农业生产的目标是多元的, 产量、效益、品质、生态环境、可持续发展等都与施肥有非常密切的关系, 而且各目标间往往很难存在一致性, 因此追求单一目标的推荐施肥必然会影响到其它目标的实现<sup>[7]</sup>; 在以高产为目标的推荐施肥体系下, 虽然作物产量得到了保证, 但高用量的化肥投入导致肥料的生产效率降低<sup>[8]</sup>, 对生态环境造成破坏<sup>[9-12]</sup>。因此, 在当前的农业生产中, 一个兼顾作物产量和生态环境的氮肥推荐方法具有重要意义。

### 1 方法的提出

施肥的直接对象是土壤, 施肥对环境的影响与土壤密切相关。肥料是以物质 (养分) 的形式输入土壤的, 如果把土壤看成一个稳定的生态系统, 当系统中物质的输入输出保持平衡时对环境的影响最小。从施肥到作物收获这一过程, 土壤表观养分平衡可以用表 1 表示:

基金项目: 国家科技支撑计划 (2008BADA4B08, 2006BAD05B03), IPNI 国际合作项目

作者简介: 宁运旺 (1966-), 男, 安徽望江人, 学士, 副研究员, 从事植物营养研究。(Tel) 025-84391171; (Email) ningyunwang460@sian.com

通讯作者: 张永春, E-mail: yczhang66@sina.com

表1 土壤氮素养分输出输入平衡表

养分输入	养分输出
肥料养分	作物摄取养分
起始土壤养分	土壤残余养分
大气沉降、灌溉、种子带入、非生物固氮等	侵蚀、径流、渗漏、淋洗、挥发等损失

表1中，大气沉降、灌溉、种子带入、非生物固氮等环境养分向土壤输入，以及侵蚀、径流、渗漏或淋洗、挥发、蒸腾等土壤养分向环境输出均属于自然发生的行为，在不施肥的自然环境中土壤养分与环境的交换假设是平衡的。理论上如果通过改进施肥技术使施肥后土壤向环境输出的养分增值为零，在保持土壤养分平衡的条件下，则施入的肥料养分与收获时作物摄取的养分相等；但肥料施入土壤后打破了自然环境中的养分交换平衡，土壤养分向环境的输出会增加，增加量的大小取决于施肥技术：施肥技术越高，增加量越小。

以2004年我国农田氮素平衡状况为例（表2）<sup>[13]</sup>。土壤向环境输出的氮素为1132.8万吨，而环境向土壤的氮素输入为625.4万吨，因施肥使土壤氮素养分向环境的输出比环境氮向土壤的输入增加了507.4万吨，占当年氮肥投入3702.7万吨的13.7%<sup>[13]</sup>。为保持土壤氮素平衡，就必须使施入的肥料氮是收获时作物摄取氮的 $1/(1 - 0.137)=1.16$ 倍。因此，用氮素养分收获指数(NHI)来评价施肥对环境影响的指标是有意义的<sup>[14]</sup>。

表2 2004年中国农田生态系统氮素平衡状况

输入项目	氮量(万吨)	输出项目	氮量(万吨)
化肥	2428.1	作物收获	1894.1
有机肥	1274.6	氮挥发	513.0
生物固氮	395.2	反硝化	242.8
灌溉	51.5	植株蒸腾	130.0
大气沉降	152.9	淋溶径流	123.5
种子输入	25.8	侵蚀	123.5
总计	4328.1	输出总计	3026.9

氮素养分收获指数NHI是指作物收获后携出的养分与施入土壤的养分量的比值：

氮养分收获指数 $NHI = \text{作物氮素摄取总量} / \text{氮素供应量}$

NHI=1时表示作物氮素摄取总量与氮肥供应量相等，实际由于施肥使土壤与环境间的氮素交换为负值，因此在HI=1时的推荐施氮量下土壤氮素处于亏缺状态。

NHI=1/1.16（约为0.863）时已考虑现有施肥技术下氮肥施入土壤后的损失，作物收获后土壤养分可保持种植前的水平。此时的推荐施肥量可保持土壤养分平衡，是一种可持续发展的推荐施肥量。

## 2 方法的验证

### 2.1 材料与方法

#### 2.1.1 试验材料

田间试验于2008年10月~2009年5月在江苏省姜堰市大伦镇村的农户试验地进行，油菜品种为华双4号。试验土壤属于潮土类灰潮土亚类的勤泥土，试验共分三组进行，三组土壤理化性状见表3。

表3 试验土壤基本理化性状

农户	pH	有机质	全氮	碱解氮	速效磷	速效钾
		(克/公斤)		(毫克/公斤)		
1	8.18	14.86	0.81	0.95	2.60	32.90
2	8.03	12.38	0.77	0.81	8.70	29.67
3	8.26	13.40	1.17	1.05	7.36	7.03

### 2.1.2 试验设计

试验小区面积20平方米，采用随机区组设计，共设5个处理，每处理重复3次，分别为CK（不施肥）、N<sub>0</sub>PKB、N<sub>1</sub>PKB、N<sub>2</sub>PKB、N<sub>3</sub>PKB、N<sub>4</sub>PKB。其中P、K的用量分别为6公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/亩和8公斤K<sub>2</sub>O/亩，硼的用量为硼砂1公斤/亩，N<sub>0</sub>~N<sub>4</sub>的用量分别为0、6、12、18、24公斤/亩。育苗移栽，每小区210株油菜。试验用肥料品种为尿素（含N 46%）、普通过磷酸钙（含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%）、氯化钾（含K<sub>2</sub>O 60%）。肥料运筹方式为基肥：氮肥60%，磷肥的全部，钾肥的62.5%，结合耕翻撒施；追肥：第一次追肥在越冬期，氮肥20%，钾肥的20%，第二次追肥在抽苔前期，氮肥的20%，钾肥的17.5%，结合松土撒施。其它田间管理措施一致。

### 2.1.3 样品采集与分析

试验收获前在一个取样重复内定点取样，每小区取地上部分油菜植株6株，装入尼龙网袋，风干考种后植株茎秆、角壳、籽粒分别留样分析。土壤和植株的养分测定采用常规分析方法<sup>[15]</sup>。

### 2.1.4 数据处理

以区域内的三个大田试验作为三个重复进行统计，采用Excel表计算数据，SPSS统计软件处理数据，LSD检验进行处理间的多重比较。

## 2.2 结果分析

### 2.2.1 基于油菜最高产量和最佳经济效益的推荐施氮量

不同施氮量对油菜籽产量的影响如表4。氮肥对油菜有显著的增产作用。施用6公斤N/亩即可获得显著的增产效果，比不施氮处理增产33.8%；施氮量达18公斤N/亩时油菜籽产量进一步显著增加，增产幅度达78.7%，并获得最高产量，继续加大施氮量，产量呈下降趋势。

通过施氮量与油菜籽产量的回归方程计算出最高产量施氮（N）量和最佳经济施氮量分别为18.8公斤/亩和16.6公斤/亩，（氮肥价格按4.25元/公斤N，油菜籽价格按3.9元/公斤）。

表4 不同施氮水平对油菜籽产量的影响

施氮水平 (公斤/亩)	籽粒产量 (公斤/亩)	增产 (%)
0	112 ± 4.6 c	
6	150 ± 7.3 b	33.8
12	190 ± 7.9 a	68.8
18	201 ± 9.7 a	78.7
24	190 ± 9.6 a	68.6

### 2.2.2 基于NHI为0.863时的推荐施氮量

建立作物氮素收获指数NHI与施氮量之间的二次函数， $y=8 \times 10^{-6}x^2 - 0.007x + 2.0973$  ( $R^2=0.9963^{**}$ )，当NHI等于1时，氮素施用量为13.6公斤N/亩；当NHI值等于0.863时，氮素施用量为16.4公斤N/亩。

表5 不同施氮水平对油菜植株氮素收获指数的影响

施氮水平(公斤/亩)	NHI
0	/
6	1.54 ± 0.05a
12	1.07 ± 0.14 b
18	0.82 ± 0.06 bc
24	0.60 ± 0.22c

### 2.2.3 几种氮肥推荐用量下油菜的生产效率比较

表6 几种氮肥推荐用量下的油菜生产效率

推荐施氮量	基于最高产量	基于最佳经济	NHI=0.863	NHI=1
1 氮素施入量(公斤/亩)	18.8	16.6	16.4	13.6
相对值	100	88.5	87.4	72.7
2 籽粒产量(公斤/亩)	198.2	197.0	196.8	191.6
相对值	100	99.4	99.3	96.7
3 氮素偏生产力(公斤/公斤)	10.6	11.9	12.0	14.0
4 氮肥农学效率(公斤/公斤)	4.6	5.1	5.1	5.8
5 氮收获指数(HI)	0.761	0.831	0.863	1.00

表6列举了油菜在几种推荐施肥方法下的生产效率。与最高产量推荐施氮量比较，NHI=0.863时的推荐施氮量在减少氮肥用量12.6%时，油菜籽粒产量仅减少0.7%，氮素偏生产力和农学效率分别提高13.2%和10.8%，而NHI=1时的推荐施氮量在节氮27.3%时，也仅减产3.3%；NHI=0.863时的推荐施氮与基于最佳经济的推荐施氮比较，产量和氮素生产效率（偏生产力、农学效率）相差很小；这表明应用NHI作为推荐施氮的指标对油菜产量几乎没有影响或影响很小，而在节省氮肥用量上有较好的效果。实际上由于产量—施氮量曲线在推荐施氮量附近时已相当平缓，少量增加或减少氮肥的施用量对产量的影响不大。

朱兆良曾提出氮肥推荐“区域平均，具体微调”的概念原则，即在一个区域内针对某一作物进行大量的田间氮肥用量试验，以最佳经济推荐施氮量的平均值作为该作物的区域平均适宜施氮量，各田块根据具体情况适当调整，2003-2004年在江苏常熟的验证结果表明，在节氮14%时水稻只减产0.7%，与本研究结果一致<sup>[6]</sup>。

## 3 方法的讨论与应用

### 3.1 NHI作为推荐施肥指标的优势

土壤除了与环境之间的物质交换外，土壤本身由于有机氮的矿化、无机氮的硝化反硝化等，可被作物利用的有效氮素经常处于不确定状态，使得土壤N<sub>min</sub>测试值与作物产量之间相关性较差<sup>[6, 16]</sup>，

因此土壤氮素平衡也一直是研究中的难点,根据土壤Nmin.测试值的推荐施肥难以有效。基于土壤氮素收支平衡,使用NHI作为推荐施肥的指标,从表观上推导土壤养分平衡,不考虑土壤内部养分的复杂变化过程,使土壤肥力从施肥到作物收获后保持稳定,既能避开土壤氮测试的难题,又符合可持续发展的要求。

施氮量与NHI之间的关系可通过田间肥料效应试验获得,利用测土配方施肥体系中的“3414”试验或其它试验结果也可以很方便地计算出基于NHI的推荐施氮量。因此具有较好的适用性和推广价值。

基于最佳经济效益的推荐施氮量在我国测土配方施肥中应用较多,在本文中与基于NHI的推荐施氮量非常接近,但基于最佳经济效益的推荐施氮量的计算(公式 $dy/dx=px/py$ )受肥料和农产品的市场价格影响<sup>[17]</sup>,存在一定的不稳定性;而采用作物养分收获指数(NHI)只与肥料的施用技术有关。

### 3.2 NHI的范围与应用

$NHI > 1$ 。收获时作物摄取的养分大于投入的养分,加上施肥增加的养分损失,土壤养分快速耗竭,不利于农业的持续发展,不推荐使用。

$NHI = 1$ 。收获时作物摄取的养分等于投入的养分,但由于施肥增加的养分损失,土壤养分处于亏缺状态,可以作为施肥量下限的参考值;鉴于我国肥料使用存在明显的区域不平衡<sup>[18, 19, 20]</sup>,在华东、华北的一些土壤养分多年盈余、流失风险较大的地区可以尝试使用。

$NHI = 0.863$ 。以2004年的施肥技术,收获时作物摄取的养分与施肥增加的养分损失之和等于投入的养分,土壤养分保持平衡,有利于农业的持续发展和降低环境风险,在大部分地区推荐使用。

$NHI < 0.863$ 。以2004年的施肥技术,收获时作物摄取的养分与施肥增加的养分损失之和小于投入的养分,土壤养分盈余;基于最高产量的推荐施氮量处于这一范围,在土地贫瘠、产量较低的西北地区推荐使用。

随着施肥技术的提高,土壤与环境间的氮素交换趋于平衡,为保持土壤养分平衡,NHI的取值逐渐向1接近。本文以油菜为试验作物,通过3点5个施氮水平的大田实验,计算了基于NHI为0.863时的推荐施氮量与基于最高产量和最佳经济效益的推荐施氮量,比较了不同推荐施氮下油菜的籽粒产量和氮肥生产效率,结果发现,与最高产量施氮量比较,NHI为0.863时的推荐施氮量在节省氮肥12.6%时只减产0.7%,氮素偏生产力和农学效率分别提高13.2%和10.8%。

#### 参考文献:

- [1] 陈新平,张福锁.通过“3414”试验建立测土配方施肥技术指标体系[J].中国农技推广,2006,22(4):36-38.
- [2] 陈新平,李志宏,王兴仁,等.土壤、植株快速测试推荐施肥技术体系的建立与应用[J].土壤肥料,1999,(2):6-10.
- [3] K.Mengel, B. H. H. utsch, Y. Kane.Nitrogen fertilizer application rates on creal crops according to available mineral and organic soil nitrogen [J]. Europ. J. Agronomy, 2006, (24): 343-348

- [4] Vianney Houles, Martine Guerif, Bruno Mary. Elaboration of nitrogen nutrition indicator for winter wheat based on leaf area index and chlorophyll content for making nitrogen recommendation[J]. *Europ. J. Agronomy*, 2007, (27):1-11.
- [5] Lihong Xue, Lizhang Yang. Recommendations for nitrogen fertilizer topdressing rates in rice using canopy reflectance spectra[J]. *Biosystem Engineering*, 2008, (100):524-534.
- [6] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论论议[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(1): 1-4.
- [7] 侯彦林. 生态平衡施肥: I. 理论体系[J]. *磷肥与复肥*, 2008, 23(2): 66-70.
- [8] 金继运, 李家康, 李书田. 粮食作物对化肥的需求分析[J]. *磷肥与复肥*, 2006, 21(3): 1-5.
- [9] 朱兆良, 孙波. 中国农田面源污染控制对策研究[J]. *环境保护*, 2008, 394(48): 4-6.
- [10] 宋勇生, 范晓晖, 林德喜, 等. 太湖地区稻田氨挥发及影响因素的研究[J]. *土壤学报*, 2004, 41(2): 265-269.
- [11] 田玉华, 尹斌, 贺发云, 等. 太湖地区稻季的氮素径流损失研究[J]. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1010-1075.
- [12] 侯彦林, 周永娟, 李红英, 等. 中国农田面源污染研究: I 污染类型区划和分省污染现状分析[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(4): 1271-1276
- [13] 王激清, 马文奇, 江荣风, 等. 中国农田生态系统氮素平衡模型的建立及其应用[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(8):210-214.
- [14] 姜甜甜, 高如泰, 夏训峰, 等. 北京市农田生态系统氮素养分平衡与负荷研究-以密云县和房山区为例[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(11): 2428—2435.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000, 25-110
- [16] 陈伦寿, 李仁岗[M]. 农田施肥原理与实践. 北京: 农业出版社, 1984, 92-95.
- [17] 陈新平, 张福锁. 可持续农业中的推荐施肥[J]. *化肥工业*, 1996, 23(3): 7-11.
- [19] 金继运. 我国肥料资源利用中存在的问题及对策建议[J]. *中国农技推广*, 2005(11): 4-6.
- [20] 王激清, 马文奇, 江荣风, 张福锁. 养分资源综合管理与中国粮食安全[J]. *资源科学*, 2008, 30(3): 415-422.







## 施用氮磷钾对生姜生长和干物质积累的影响

李录久<sup>1</sup>, 王家嘉<sup>1</sup>, 丁楠<sup>2</sup>, 李东平<sup>1</sup>, 姚殿立<sup>2</sup>, 柳希玉<sup>2</sup>

(1 安徽省农科院土壤肥料研究所 合肥 230031,

2 安徽省临泉县农业技术推广中心 236400)

**摘要:** 通过田间试验研究平衡施肥对生姜产量和干物质积累的影响。结果表明, 氮磷钾配施的平衡施肥能明显促进生姜的生长发育, 增加各生育期干物质积累量, 提高块茎产量和经济收益。两年试验平均, 生姜最佳施肥处理 (OPT) 较不施氮肥、磷肥、钾肥和氮磷钾的对照分别增产46.7%、12.1%和30.5%及58.0%; 施肥增收1283~5193元/亩, 产投比为16.14~55.38:1。

**关键词:** 生姜, 平衡施肥, 干物质积累动态

生姜是人们日常生活中常用的重要调味品, 又是一种传统的中药材和工业原料, 应用领域广, 为我国名特出口创汇蔬菜品种<sup>[1, 2]</sup>。目前除西藏外, 全国各省(区)都有种植。安徽是我国生姜重要产区, 全省常年种植面积20多万亩<sup>[3, 4]</sup>。安徽临泉是全国著名的生姜产地, 有多家生姜加工企业, 是当地农民增收的重要经济来源。

生姜产量高, 需肥量大<sup>[5]</sup>。但是, 由于种植户文化素质不高, 科学施肥意识不强, 盲目施肥现象较为突出, 导致生姜病虫害加剧, 产量骤减, 品质变差, 种姜经济效益低下, 严重挫伤了姜农生产的积极性。国内外虽然对生姜进行了多年研究, 但主要集中于栽培技术方面<sup>[6, 7]</sup>, 施肥研究不多, 对不同施肥条件下生姜干物质积累动态的研究鲜有报道<sup>[8]</sup>。因此, 开展生姜高产平衡施肥技术研究, 探索生姜生长发育动态和干物质积累规律, 对制定生姜科学施肥方案有重要作用。在国际植物营养研究所IPNI的资助下, 在安徽省生姜主产区, 连续多年开展了生姜营养诊断施肥研究, 取得了显著的增产增收和改善品质效果。现将结果整理如下。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤养分状况

试验在安徽省临泉县单桥和杨桥等乡镇进行。供试土壤为砂姜黑土。播前0~20厘米耕层土壤样品经北京中--加合作实验室测定, 养分状况见表1。

表1 供试土壤基本农化性状

时间	地点	pH (水)	有机质 (%)	土壤有效养分含量 (毫克/公斤)								
				氮N	磷P	钾K	硫S	硼B	铜Cu	铁Fe	锰Mn	锌Zn
2007	单桥	6.2	0.81	13.1	15.0	62.0	8.2	0.1	1.6	42.3	15.1	2.4
2008	杨桥	6.6	0.94	18.3	17.0	59.0	12.1	2.2	2.6	16.3	69.2	1.2

### 1.2 试验设计

试验设5个处理: ① OPT (NPK), ② OPT—N, ③ OPT—P, ④ OPT—K, ⑤ CK, N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-

$K_2O$ 施用量(公斤/亩)分别为30-6-30, 0-6-30, 30-0-30, 30-6-0和0-0-0, 见表2。氮肥--尿素, 磷肥--磷酸二铵或过磷酸钙, 钾肥--氯化钾。施肥方法为: 40%的氮肥和钾肥及全部磷肥作基肥, 剩下的60%氮、钾肥作追肥, 8月初和9月上旬分两次追施。小区面积为20.0和21.6米<sup>2</sup>, 4次重复, 完全随机区组排列。供试生姜品种为当地主栽的狮头姜, 种植密度7100株/亩。3月底催芽, 5月初栽植, 10月下旬收获。其它栽培管理措施如灌水和病虫草害防治同当地一般大田生姜。

## 2 结果与讨论

### 2.1 施用氮磷钾对生姜生长和干物质积累的影响

茎叶是植物进行光合作用的主要器官, 生长量大小不仅反映了植株生长势的强弱, 而且对光合作用有较大的影响, 最终影响经济产量。图1(a)表明, 施用氮磷钾能有效促进生姜的生长发育, 增加各生育期生姜茎叶干物质积累量。生姜幼苗期, 各处理地上部茎叶生长量差异不大, 主要原因是这一时期生姜生长缓慢, 光合产物少, 各处理生长量均较小。随着生姜生育期的推进, 地上部生长量迅速增加, 各处理间的差异逐渐加大。9月份以后, 生姜进入旺盛生长期, 茎叶生长加快, 不同施肥处理间的差异逐步扩大, 不施肥的CK及不施氮的OPT-N处理, 与最佳氮磷钾配施的OPT处理相比, 茎叶干重分别减少了39.1%和32.5%, OPT-K处理减少26.0%。至收获时, CK的茎叶干重只有OPT的49.9%, 不到一半, OPT-N及OPT-K处理相应为OPT的77.6%和73.6%, 主要原因是旺盛生长期, 生姜生长需要大量的氮磷钾等营养元素, 不施氮、钾的处理土壤有效N、K供应不足, 生姜生长受到抑制而生长缓慢, 下部叶片易干枯脱落, 生长量较小, 与OPT的差异逐渐扩大。由于试验地土壤有效P含量在缺P的临界值以上, 不施磷肥的OPT-P处理, 生姜生长受到的影响较小, 茎叶干重与OPT的差异也较小。

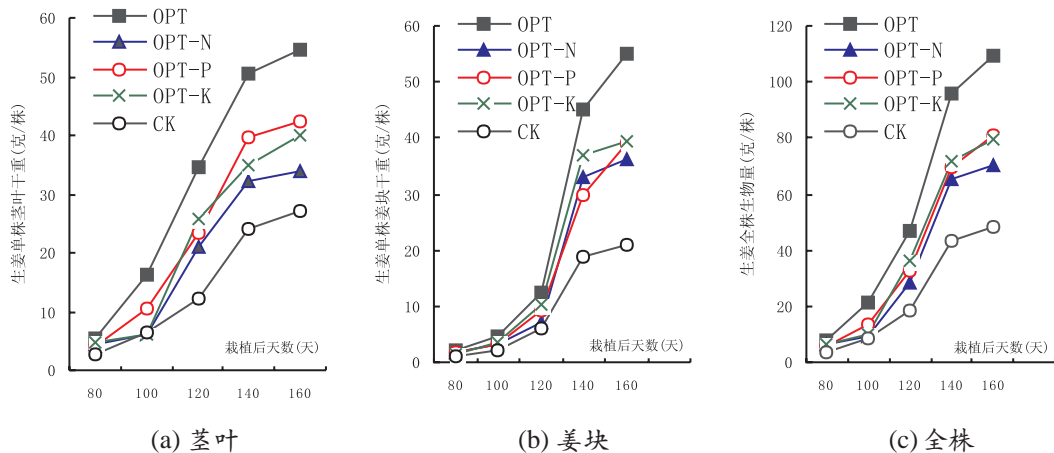


图1 施肥对生姜茎叶、姜块干物质积累量和全株生物量的影响

生姜产品器官(块茎)干重的生长动态与茎叶干重相似(图1b), 仍以不施肥的CK和不施氮肥的OPT-N处理受到的影响最大, 收获时姜块干重分别只有OPT处理的38.3%和66.0%。不施钾的OPT-K处理, 单株块茎重也较低, 表明钾对生姜块茎生长和膨大有较大的影响。不施磷肥对块茎膨大的影响较小, 单株姜块重与OPT的差异较小。与茎叶干重不同的是, 单株姜块重前期差异更小,

而后期差异则更大(图1b),主要原因是前期生姜以营养生长为主,后期块茎膨大为主;不施氮、钾的处理土壤N、K养分供应不足,严重影响了后期块茎的发育与膨大,最终姜块瘦小。

施用氮磷钾能明显增加生姜各生育期生物积累量(图1c)。幼苗期由于生姜生长发育缓慢,茎、叶、姜块干物质积累很少,除OPT外其它各处理间差异较小。进入旺盛生长期后,生姜生长发育加快,施用氮磷钾的OPT处理茎、叶、姜各部位积累的干物质质量迅速增多,干物质积累量快速增加,不施肥的空白对照与不施氮、钾的OPT-N、OPT-K处理生长受到抑制,茎、叶、姜块干物质积累少,与最佳施肥OPT处理间的差距逐渐扩大,生物积累量相差很多,收获时对照CK及OPT-N、OPT-K处理的生物积累量只有OPT的44.1%、63.9%和72.8%。不施磷肥对生姜生长影响较小,干物质积累量与OPT间的差异也较小(图1c)。

## 2.2 生姜平衡施肥的增产效应

从表2可以看出,不同施肥处理间生姜块茎产量存在较大的差异,产量高低顺序依次为OPT>OPT-P>OPT-K>OPT-N>CK,最佳氮磷钾配施的OPT处理显著高于各缺素的对照,表明淮北平原砂姜黑土地区,氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥能明显促进生姜的生长发育,大幅度提高块茎产量。两年试验,与不施氮、磷、钾的对照相比,生姜增施氮肥(OPT处理较OPT-N)的增产率分别为49.5%和43.9%,施磷(OPT较OPT-P处理)产量相对提高11.9%和12.3%,施钾(OPT较OPT-K)增产33.4%和27.7%,施用氮磷钾较不施肥的空白对照(OPT比CK)产量提高62.0%和54.0%,平均增产率分别为46.7%、12.1%和30.5%及58.0%,除施磷处理达5%的显著水平外,增施氮、钾肥和氮磷钾均达1%的极显著水平。不施肥或不施氮肥、钾肥时,生姜块茎产量下降,两年平均,相对产量相应只有最佳施肥处理OPT的63.3%、68.2%和76.6%,减产极其明显。其中不施氮肥对生姜块茎产量的影响最大,平均减产幅度超过30%;其次为不施钾的处理,2年平均减产23.4%;不施磷对生姜块茎产量的影响相对较小,平均减产9.8%。生姜氮磷钾肥料的增产效应顺序为N>K>>P,因此,淮北平原砂姜黑土地区,当前生姜养分限制因子主要和氮和钾。

表2 施肥对生姜块茎产量和经济效益的影响

年份	处理	代号	产量 (公斤/亩)	OPT处理较其它各处理				
				增产 (公斤/亩)	增产率 (%)	产值 (元/亩)	增收 (元/亩)	施肥 产投比
2007	N <sub>30</sub> P <sub>6</sub> K <sub>30</sub>	OPT	4106	--	--	12318	--	--
	N <sub>0</sub> P <sub>6</sub> K <sub>30</sub>	OPT-N	2746	1360	49.5**	8238	3963	34.76
	N <sub>30</sub> P <sub>0</sub> K <sub>30</sub>	OPT-P	3670	436	11.9*	11010	1283	52.90
	N <sub>30</sub> P <sub>6</sub> K <sub>0</sub>	OPT-K	3077	1029	33.4**	9231	2982	29.40
	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	CK	2535	1571	62.0**	7605	4466	19.07
2008	N <sub>30</sub> P <sub>6</sub> K <sub>30</sub>	OPT	3946	--	--	15784	--	--
	N <sub>0</sub> P <sub>6</sub> K <sub>30</sub>	OPT-N	2742	1204	43.9**	10968	4679	35.16
	N <sub>30</sub> P <sub>0</sub> K <sub>30</sub>	OPT-P	3513	433	12.3*	14052	1701	55.83
	N <sub>30</sub> P <sub>6</sub> K <sub>0</sub>	OPT-K	3091	855	27.7**	12364	3245	19.54
	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	CK	2562	1384	54.0**	10248	5193	16.14

\*2007年生姜价格=3.00元/kg, N=3.91元/kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=4.12元/kg, K<sub>2</sub>O=3.50元/kg; 2008年生姜价格=4.00元/kg, N=4.57元/kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=5.17元/kg, K<sub>2</sub>O=5.83元/kg计算。

### 2.3 生姜施肥的经济效益分析

表2的结果表明,淮北平原砂姜黑土地区,氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥技术,可有效提高生姜的产值,增加农民种植生姜的经济收入。两年试验,不考虑用工等差异,扣除肥料成本后,最佳施肥处理OPT较不施氮肥的对照(OPT处理较OPT—N)分别增收3963和4679元/亩,施用氮肥的产投比达34.76和35.16:1;较不施磷肥的对照(OPT处理较OPT—P)增收1283和1701元/亩,施用磷肥的产投比为52.90和55.83:1;较不施钾肥的对照(OPT处理较OPT—K)增收2982和3245元/亩,施用钾肥的产投比为29.40和19.54:1;较不施肥的空白对照(OPT处理较CK)增收4466和5193元/亩,施用氮磷钾的产投比为16.14和19.07:1。两年试验平均,施用氮磷钾化肥每亩分别增收4321元、1492元和3114元及4830元。从经济效益分析,施用氮、钾肥的收益较高,磷肥的收益较低,表明生姜增施适量的氮钾肥能明显提高经济收益。

## 3 小结

施用适量的氮磷钾对生姜的生长和发育具有良好的促进作用,生姜主要生育期,地上部茎叶和地下块茎干重明显增加,干物质积累量大幅度增多,最终为块茎产量的提高打下了坚实的物质基础。

氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥对生姜具有显著的增产效应,两年试验平均,生姜施氮的增产率为46.7%,施磷产量相对提高12.1%,施钾增产30.5%,较不施肥的空白对照产量提高58.0%,达5%或1%的显著或极显著水准。氮磷钾肥料的增产效应顺序为N>K>>P,当前该地区养分限制因子主要是氮和钾。

平衡施肥可明显增加生姜产值,提高农民种植生姜的经济效益。施用氮磷钾化肥增收1283~5193元/亩,施肥产投比为16.14~55.38:1。

#### 参考文献:

- [1] 胡繁荣主编. 蔬菜栽培学[M]. 上海, 上海交通大学出版社, 2003.
- [2] 张宏志, 管正学, 王建立, 等. 贵州生姜资源的应用研究[J]. 资源科学, 2001, 23(5): 90-94.
- [3] 李录久, 郭熙盛, 丁楠等. 钾氮配施对生姜产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2003 (5): 263-267.
- [4] 安徽省农业厅. 安徽省农业统计资料[M], 2000.
- [5] 徐坤, 徐峰. 氮肥对生姜生长及产量的影响[J]. 中国蔬菜, 1999, (6): 12~14.
- [6] 王玉萍, 孙中胜, 于瑛, 等. 北方寒地大棚复式生姜栽培技术[J]. 现代化农业, 2002, (4): 19-20.
- [7] 王跃华. 保护地生姜高产栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2002, (3): 16-17.
- [8] Behura, S. Effect of nitrogen and potassium on growth parameters and rhizomatic characters of mango-ginger (*Curcuma amada*) [J]. Indian Journal of Agronomy, 2001, 46: 747-751.



## 云南红壤旱坡地玉米氮磷钾肥效应\*

刘建香<sup>1</sup> 张国建<sup>2</sup> 郭云周<sup>1</sup> 杨袁刚<sup>2</sup> 吴杏红<sup>2</sup>

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明, 650205; 2. 云南农业职业技术学院, 昆明, 650031)

**摘要:** 通过田间试验研究了云南省昆明市小哨红壤旱坡地氮、磷、钾肥配合施用对玉米产量和养分吸收的影响。结果表明: 钾肥的农学效率>磷肥的农学效率>氮肥的农学效率; 施氮4公斤/亩, 玉米产量最高, 为653公斤/亩, 氮肥的农学效率最高, 每公斤氮肥增产玉米20.7公斤, 随着施氮量的增加, 氮肥的农学效率迅速下降; 玉米产量随施磷量的增加而增加, 施6公斤 $P_2O_5$ /亩, 磷肥的农学效率最高, 每公斤 $P_2O_5$ 增产玉米30.1公斤, 磷肥的农学效率随着施磷量的增加逐渐下降; 玉米产量随着施钾量的增加而增加, 施6公斤 $K_2O$ /亩, 钾肥的农学效率最高, 每公斤 $K_2O$ 增产玉米32.4公斤, 钾肥的农学效率随着施钾量的增加趋于下降。

**关键词:** 玉米, 氮磷钾肥, 产量, 农学效率

玉米是云南省主要旱粮作物, 常年种植面积约1500万亩, 总产500余万吨<sup>[1]</sup>。玉米生产的施肥习惯上, 人们往往偏施氮肥而忽视了磷、钾肥配合施用对玉米生长发育、产量构成和养分吸收的促进作用, 从而导致玉米产量不高, 种植玉米的经济潜力得不到充分发挥<sup>[2]</sup>, 玉米品质受到影响<sup>[3]</sup>。施用氮肥是提高作物产量的重要手段, 1996年以来全球氮肥用量超过8000万吨, 我国氮肥施用量1995年以来在2200~2500万吨之间<sup>[4]</sup>。尽管我国已经是化肥生产和施用大国, 但由于生态气候类型多种多样, 各地生产条件和生产水平千差万别, 合理施肥任重而道远, 首先是化肥合理用量的快速、准确确定还面临不少的技术难题, 其次是化肥施用方法尚待改进。本试验基于中-加实验室土壤ASI测定结果, 在施用等量镁、锌的条件下, 研究不同氮、磷、钾肥配合施用与玉米产量和养分吸收的关系, 为玉米高产提供合理的施肥依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 基本情况

试验地点: 试验设在云南省昆明市官渡区大板桥街道办事处小哨村云南农业职业技术学院教学农场的旱坡地上。

供试土壤: 红壤, 养分状况见表1。

\* 国际合作项目: 云南持续农业的坡地管理 (NMS-YN200801), 国际植物营养研究所资助。作者简介: 刘建香 (1968—), 女, 云南河口人, 高级实验师, 从事土壤农化及作物栽培研究、推广。通讯作者: 郭云周 E-mail: gyzhou3959@sina.com

表1 供试土壤化学性状

pH	OM (%)	养分含量 (毫克/升)									
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	P	K	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn
5.36	3.60	18.7	15.2	6.7	42.6	129.9	55.6	172.3	4.0	20.7	6.3

## 1.2 试验设计

试验设置10个处理,4次重复,随机区组排列,小区规格6.25米×3.20米,面积20平方米。10个处理分别是: N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>3</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>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub>。

## 1.3 玉米播种

立夏节令播种,选用“会单-4号”杂交玉米品种,播种行距80厘米,开浅沟条播,每行播种70粒,出苗后定苗,株距20厘米,每个小区4行,每行31株,每个小区玉米定苗124株。

## 1.4 施肥量及施肥方法

以中-加试验室肥料推荐用量(OPT)N 4公斤/亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6公斤/亩、K<sub>2</sub>O 6公斤/亩、硫酸锌0.1公斤/亩、石灰40公斤/亩、碳酸镁14公斤/亩,试验处理肥料用量: N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>分别为纯氮0、4、8、12公斤/亩, P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>分别为P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>用量0、6、12、18公斤/亩, K<sub>0</sub>、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub>分别为K<sub>2</sub>O用量0、6、12、18公斤/亩。

施肥方法: 试验小区划分好以后,施入石灰和碳酸镁,并与耕层土壤混合;全部磷肥、20%的氮肥、20%钾肥作底肥,80%的氮肥、80%钾肥和全部锌肥作追肥。其中,五叶期追施30%的氮肥、50%钾肥和100%的锌肥,大喇叭口期追施50%的氮肥、30%钾肥。氮肥采用尿素,磷肥采用普通过磷酸钙,钾肥采用氯化钾,锌肥采用硫酸锌。

## 1.5 田间管理

玉米从播种到收获,田间管理的中心任务是培育壮苗,适时追肥和防治病虫害。

## 1.6 调查记载

玉米灌浆期穗位叶长和宽、取样考种、收获测产、籽粒和秸秆氮磷钾含量测定。

# 2 结果与分析

## 2.1 施氮量对玉米产量、氮肥农学效率和氮素吸收的影响

施用五氧化二磷12公斤/亩、氧化钾12公斤/亩的基础上,不同施氮条件下玉米产量、氮肥的农学效率、回收率见表2。

表2 不同施氮条件下玉米产量、氮肥农学效率与氮素吸收量

处理	施氮量 (公斤/亩)	籽粒产量 (公斤/亩)	氮的农学效率 (公斤/公斤N)	氮吸收量(公斤/亩)		氮回收率%
				总氮	籽粒氮	
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0	570.2a	—	12.1a	8.0a	—
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4	652.8a	20.7	12.8a	8.1a	18.0
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	8	640.7a	8.8	14.6a	9.1a	31.3
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12	646.7a	6.4	13.1a	8.0a	8.3

不同施氮量处理玉米产量差异不显著,其中以施氮量4公斤/亩处理玉米产量最高,为653公斤/亩,之后再增施氮肥,玉米产量不增反降。施氮量为4公斤/亩时,氮肥的农学效率最高,每公斤氮素可增产玉米20.7公斤,而后随着施氮量的升高,氮肥的农学效率大幅降低。不同施氮量处理玉米吸收氮素差异不显著,收获籽粒带走氮素差异也不显著,施氮量为8公斤/亩时,氮的回收率最高,达到31.3%。以上结果表明,有机质含量较高的红壤旱坡地上,多施氮肥并没有产生相应的产量回报,相反氮肥浪费明显。

## 2.2 施磷量对玉米产量、磷肥农学效率和磷素吸收的影响

施用纯氮8公斤/亩、氧化钾12公斤/亩的基础上,不同施磷条件下玉米产量、磷肥的农学效率、回收率见表3。

表3 不同施磷量条件下玉米产量、磷肥农学效率与磷素吸收量

处理	施磷量 (公斤P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /亩)	籽粒产量 (公斤/亩)	磷的农学效率 (公斤/公斤P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸收量(公斤/亩)		磷回收率(%)
				总量	籽粒磷	
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	0	436.3b	—	3.8b	2.2b	—
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	6	617.0a	30.1	5.5a	3.9a	27.3
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12	640.7a	17.0	5.9a	3.8a	16.9
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	18	670.2a	13.0	6.2a	3.9a	16.6

与不施磷肥处理相比,施磷处理玉米增产显著,且玉米产量随着施磷量的增加而增加,但施磷由6公斤/亩增至12公斤/亩、18公斤/亩时,玉米产量增加不显著。从磷肥的农学效率来看,以施磷6公斤/亩最高,每公斤五氧化二磷可增产玉米30.1公斤,而后随着施磷量的升高而降低。施磷处理玉米吸收磷素、籽粒带走磷素显著高于不施磷处理,随着施磷量的增加,玉米吸收磷素、籽粒带走磷素呈增加趋势。施磷量为6公斤/亩时,磷的回收率最高,为27.3%。

## 2.3 施钾量对玉米产量、钾肥农学效率和钾素吸收的影响

施用纯氮8公斤/亩、五氧化二磷12公斤/亩的基础上,不同施钾条件下玉米产量、钾肥的农学效率、回收率见表4。

表4 不同钾量条件下玉米产量、钾肥农学效率与钾素吸收量

处理	施钾量 (公斤K <sub>2</sub> O/亩)	籽粒产量 (公斤/亩)	钾的农学效率 (公斤/公斤K <sub>2</sub> O)	K <sub>2</sub> O吸收量(公斤/亩)		钾回收率(%)
				总量	籽粒钾	
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	0	413.7b	—	3.7d	1.2b	—
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	6	608.1a	32.4	7.6c	1.8a	65.6
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12	640.7a	18.9	12.7b	2.0a	75.5
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	18	668.3a	14.1	15.6a	1.8a	65.9

与不施钾肥处理相比,施钾处理玉米增产显著,且玉米产量随着施钾量的增加而增加,但施钾量由6公斤/亩增至12公斤/亩、18公斤/亩时,玉米产量增加不显著。从钾肥的农学效率来看,以施钾6公斤/亩最高,每公斤氧化钾可增产玉米32.4公斤,而后随着施钾量的升高而降低。施钾处理玉米吸收钾素、籽粒带走钾素显著高于不施钾处理,随着施钾量的增加,玉米吸收钾素、籽粒带走钾素呈增加趋势。施钾量为12公斤/亩时,钾的回收率最高,为75.5%。

### 3 讨论与小结

玉米对氮肥敏感,施氮增产效果明显,且其耐肥性较强,需氮肥较多,因此近年来随着用于玉米氮肥数量的逐年增加,出现了玉米氮肥超量施用问题,氮肥的增产效果逐年降低<sup>[5,6]</sup>,我国氮肥的当季利用率仅为30%~35%<sup>[7,8]</sup>。造成氮肥肥效降低的因素很多,其中主要因素是施肥过量和施用方法不当,如玉米所需要的必需营养元素供给不平衡<sup>[9]</sup>。华北平原夏玉米-冬小麦轮作体系中,氮肥超量施用现象十分普遍,1997年的调查表明,北京地区夏玉米田平均施肥量为N 17公斤/亩,有的达20公斤/亩以上<sup>[10]</sup>,造成氮肥利用率显著下降,北京地区一般为16%~22%<sup>[11]</sup>,黄淮海平原吴桥试区甚至仅为3.5%~11.6%<sup>[12]</sup>。氮肥在提高作物产量的同时,也对环境造成了极大的威胁,已经引起了人们的高度重视<sup>[4]</sup>,张淑香等在北京昌平褐潮土上进行的冬小麦和夏玉米轮作施用包膜尿素试验,玉米的氮肥表观利用率为55%~140%,高于小麦的氮肥表观利用率(30.0%~45.3%)<sup>[13]</sup>,蔡祖聪等在河南封丘潮土上进行的小麦、玉米轮作长期肥料试验结果,在等N、P、K的情况下,处理NPK、NP、1/2OM(1/2氮用有机肥)和OM(全部氮用有机肥)的氮回收率达到66%~75%,其中以处理1/2 OM最高,其次为OM<sup>[4]</sup>。云南小哨红壤旱坡地上,施用P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O各12公斤/亩的条件下,施氮4公斤/亩时,玉米产量最高,为653公斤/亩,氮肥农学效率最高,每公斤氮素可增产玉米20.7公斤,随着施氮量的增加,氮肥的农学效率迅速下降,氮肥回收率则以施氮8公斤/亩时最高,为31.3%。

玉米是典型磷敏感型作物,尤其苗期施用磷肥对提高土壤磷素供应、增加作物产量具有重要作用,施磷促进氮肥吸收,减少土壤氮素的耗竭,施N素10公斤/亩不配施磷的氮肥利用率只有11.6%,配施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.5~15公斤/亩后氮肥利用率达到26.5%~39.4%;施N 7.5公斤/亩不配施磷的氮肥利用率19.0%,配施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.5~10公斤/亩后氮肥利用率达到23.5%~33.2%,施磷促进氮的吸收,随配施磷量的增加氮肥利用率提高4.5%~27.7%,随施磷量的增加磷肥利用率降低<sup>[14]</sup>,缺磷是红壤旱地的主要障碍因子,施磷增产显著;补施磷肥后,缺钾逐渐成为主要障碍因子,补施钾肥有显著增产效果;磷肥必须与农家肥和钾肥配合施用,否则,随着年限延长,只施用氮磷肥将会导致地力下降,最后绝产<sup>[15]</sup>。刘建玲等报道,磷肥的当季利用率一般只有10%~25%,而75%~90%的磷肥以不同形态的磷酸盐积累在土壤中,小麦-玉米轮作长期定位试验中单施磷肥及氮、磷肥配合施用小麦、玉米均表现出显著的增产作用,12年间,与不施磷肥处理相比,年施磷4.5公斤/亩处理小麦、春玉米的平均增产率分别为79.3%、96.9%,1公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>增产小麦、春玉米分别为35.6、53.7公斤,在年施磷4.5公斤/亩基础上增施1倍的磷肥,磷肥增产效应显著下降,1公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>增产小麦、夏玉米分别为5.9、2.6公斤<sup>[16]</sup>。云南小哨红壤旱坡地上,施氮8公斤/亩、K<sub>2</sub>O 12公斤/亩的条件下,玉米产量随着施磷量的增加而增加,磷肥的农学效率和回收率以施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6公斤/亩时最高,每公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>可增产玉米30.1公斤,磷的回收率为27.3%,磷肥的农学效率和回收率随着施磷量的增加逐渐下降。

刘英等报道,江淮丘陵区下蜀黄土发育的马肝土上,施钾9公斤/亩时,每千克K<sub>2</sub>O增产玉米最



高,达6.89公斤;每千克N增产12.16公斤;在NP肥充足时,钾肥的增产效果极其显著;而氮肥仍是玉米高产的首要限制因子<sup>[17]</sup>。金凤霞等人在吉林蛟河市进行的玉米氮磷钾效应试验,白浆土上氮、磷、钾的增产效果为氮>钾>磷,且三要素间交互作用明显;氮、磷、钾肥配合施用优于磷钾、氮磷、氮钾配合施用,与对照相比,其余处理均有极显著增产效果,在该土壤条件下N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O最高施用量为14公斤/亩、4.5公斤/亩、4.3公斤/亩;最佳经济施肥量分别为12.2公斤/亩、4.2公斤/亩、4公斤/亩<sup>[18]</sup>。云南小哨红壤旱坡地上,施氮8公斤/亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12公斤/亩的条件下,玉米产量随着施钾量的增加而增加,钾肥的农学效率以施K<sub>2</sub>O 6公斤/亩时最高,每公斤K<sub>2</sub>O增产玉米32.4公斤,并随着施钾量的增加趋于下降,钾肥的回收率以施K<sub>2</sub>O 12公斤/亩时最高,为75.5%。

## 4 致谢

云南持续农业的坡地管理,长期得到国际植物营养研究所中国项目部的关心和支持,以及成都代表处涂仕华博士的悉心指导,在此致以衷心感谢。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴-2009[M].北京:中国统计出版社,2009:460-464
- [2] 武际,郭熙盛,王文军,等.磷钾肥配合施用对玉米产量及养分吸收的影响[J].玉米科学,2006,14(3):147-150
- [3] 王秀芳,张宽,王立春,等.科学管理与调控钾肥,实现玉米高产稳产[J].玉米科学,2004,12(3):92-95
- [4] 蔡祖聪,钦绳武.华北潮土长期试验中的作物产量、氮肥利用率及其环境效应[J].土壤学报,2006,43(6):885-891
- [5] 易镇邪,王璞.包膜复合肥对夏玉米产量、氮肥利用率与土壤速效氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(2):242-247
- [6] 游福欣,王向阳,王宗杰,等.夏玉米最佳施氮量研究[J].安徽农业科学,2005,33(5):765-766
- [7] 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策[J].土壤与环境,2000,(9):1-16
- [8] 李生秀.植物营养与肥料学科的现状与展望[J].植物营养与肥料学报,1999,5(3):193-205
- [9] 刘红霞,张会民,王定勋,等.氮、锌配施对夏玉米的增产效应研究[J].吉林农业大学学报,2004,26(5):538-541
- [10] 赵久然,郭强,郭景伦,等.北京郊区粮田化肥投入和产量现状的调查分析[J].北京农业科学,1997,(2):36-38
- [11] 李新慧.京郊粮田土壤氮素损失机制与提高氮肥利用率[J].北京土壤学会简讯,1999,2(5):5-8

下接66页

## 钾营养对水果和蔬菜食物品质的影响——一篇精简综述

Gene E. Lester, John L. Jifon 和 Donald J. Makus 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

(原文出自 BETTER CROPS 2010, No. 1 P18-21, [www.ipni.net](http://www.ipni.net))

在诸多作物矿质营养元素中，钾作为一个阳离子对水果品质的影响独树一帜。它决定了水果的商品性、消费者的偏爱和与人类健康相关的植物养分。但是，许多因素如植物种类、土壤和环境条件通常会限制植物在生长过程中从土壤中吸收充足的钾来满足果实的需要，优化上述提到的品质特性。本刊2007年登出的一篇研究论文 (Lester et al., 2007) 已报道了叶面喷施钾肥能明显地提高哈密瓜多项果实品质参数，尽管土壤测试结果显示该土壤钾含量丰富。本文在以前报道过的得克萨斯格兰德河流域所做的工作基础上进行了扩展，综述了已发表的论文摘要，包括土施和/或者叶面喷施钾肥对水果和蔬菜品质特性(包含植物营养素)的影响。



钾是一种关键的植物矿质元素(养分)，对水果和蔬菜中与人类健康息息相关的品质化合物含量的影响很大(Usherwood, 1985)。尽管钾不是任何有机分子或植物的结构成分，但它参与了与植物生长，产量和品质形成，以及应激反应相关的重要生物化学和生理过程(Marschner, 1995; Cakmak, 2005)。除调控植物蒸腾和光合作用过程中的气孔开闭外，钾还参与了光合磷酸化，光合产物从源组织经韧皮部到库组织的运移，酶的激活，维护细胞膨压和增强抗逆能力(Usherwood, 1985; Doman and Geiger, 1979; Marschner, 1995; Pettigrew, 2008)。充足的钾素营养与增加产量、水果大小、可

溶固型物和VC含量、改善水果着色度、延长保存期及保持园艺作物的运输品质密切相关(Geraldson, 1985; Lester et al., 2005, 2006, 2007; Kanai et al., 2007)。

尽管很多土壤都富含钾, 但大部份钾却不能被植物利用, 这是因为土壤中的植物有效钾库相对其它形态钾更小。土壤中的钾有几种形态, 包括矿物钾(占全钾的90% -98%), 非交换钾, 交换钾, 溶解钾或溶液钾( $K^+$ ), 植物只能直接吸收溶液钾(Tisdale et al., 1985)。反过来, 作物对钾吸收取决于许多作物和环境因素(Tisdale et al., 1985; Marschner, 1995; Brady and Weil, 1999)。比如, 充足的土壤水分能加快钾的扩散(通常占>75%钾的移动), 促进根系对钾的吸收。质流也担负一些土壤钾的运输, 同样需要充足的水分。Skogley和Haby(1981)发现把土壤水分从10%增加到28%, 在土壤中钾的运输总量就会翻倍。因此, 土壤水分不足就会影响土壤钾的运移和植物对钾的吸收, 从而导致缺钾。

土壤性质也会强烈影响钾的有效性。比如, 粘土可能因固钾能力强而使钾肥效应不明显, 因为施入土壤中的有效钾很快就会被粘土固定(Tisdale et al., 1985; Brady and Weil, 1999)。土壤对钾的持留能力有助于减少钾的淋失, 从长远来看, 因此而形成的土壤钾库对后作有益。相反, 砂质土壤一般供钾能力较弱, 这是因为其阳离子交换能力低。

石灰性土壤中钙离子( $Ca^{2+}$ )含量很高, 它占据了土壤表面和交换位点。尽管这会限制土壤对钾的吸附和增加溶液钾浓度, 但高养分阳离子含量—尤其是 $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ , 往往会因为竞争根系表面的吸附位而抑制钾的吸收。结果是, 生长在高石灰性土壤上的作物会表现出缺钾症状, 尽管土壤测试显示这土壤并不缺钾(Havlin et al., 1999)。

钾的吸收同样也取决于植物方面的原因, 包括植物基因型和生育期(营养生长期对生殖生长期, Rengel et al., 2008)。对结果期的许多果树来说, 养分吸收主要是在营养生长期, 这一阶段植物合成的碳水化合物必须足以供给根部生长和养分吸收过程的需要。在生殖生长期, 水果发育膨大和营养器官之间竞争光合产物会影响根系生长/活力和对钾的吸收。在此情况下, 增施钾肥可能并不会完全缓解这种发育诱导的缺钾, 这一方面是因为果树生殖生长期根系生长/活力的降低, 另一方面是因为与其它阳离子竞争根表吸收位点(Marschner, 1995)。

表1 钾影响果实的论文摘要综述: 作物, 钾肥施用方法和形态对果实属性的影响

作物	施钾方式	钾肥形态 <sup>a</sup>	改善的品质属性 <sup>b</sup>	参考文献 <sup>c</sup>
苹果 ( <i>Malus X domestica</i> )	土壤	KCl	颜色、结实度、甜度	Nava(2009);
		$K_2SO_4$	大小、颜色、结实度、甜度	El-Gazzar(2000);
		$K_2SO_4$	产量、结实度、甜度	Attala(1998)
苹果	叶面	未知	大小、颜色、结实度、甜度	Wojcik(2005);
		KCl	无变化	Hassanloui(2004)
香蕉( <i>Musa sp.</i> )	土壤	未知	品质	Naresh(1999);
		KCl	大小、甜度、酸度	Suresh(2002)
柑橘( <i>Citrus reticulata</i> )	叶面	KCl, $KNO_3$	无变化	Haggag(1990);
		未知	产量、品质	Dutta(2003);
		$K_2SO_4$	品质	Shawdy(2000)
柑橘( <i>Citrus sinensis</i> )	土壤	未知;	产量、品质	Lin(2006);
		未知	品质、储存期	Srivastava(2001)
柑橘( <i>Citrus reticulata</i> )	叶面	$KCl > KNO_3$	果皮厚度、品质	Gill(2005)
黄瓜( <i>Cucumis sativus</i> )	土壤	$K_2SO_4 > KCl$	氨基酸、品质	Guo(2004);
		KCl	无变化	Umamaheswarappa(2004)
黄瓜	叶面	$KCl > KNO_3$	“品质”、抗病能力	Magen(2003)

葡萄 ( <i>Vitis vinifera</i> )	土壤	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	“品质”、敏感度	Sipiora(2005)
番石榴 ( <i>psidium guajava</i> )	土壤	未知	产量、果重、“品质”	Ke(1997)
番石榴	叶面	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	酸度、“品质”	Dutta(2004)
猕猴桃 ( <i>Actinidia deliciosa</i> )	土壤	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	结实度、酸、等级	He(2002)
荔枝 ( <i>Litchi chinensis</i> )	叶面	KNO <sub>3</sub>	果重、产量	Ashok(2004)
芒果 ( <i>Mangifera indica</i> )	土壤	KNO <sub>3</sub>	无变化	Simoies(2001)
芒果	叶面	KNO <sub>3</sub>	无效	Rebolledo-Martinez(2008)
		未知	组织、香味、颜色、保存期	Shinde(2006)
香瓜 ( <i>Cucumis melo</i> )	土壤	未知	产量	Demiral(2005)
香瓜	叶面	Gly-amino-K	维它命	Lester(2005);
		Gly-amino-K> KCl	结实度、甜度、维它命	Lester(2006);
		Gly-amino-K=K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl>KNO <sub>3</sub>	结实度、维它命糖、产量、商品果实	Jifon(2009)
油桃 ( <i>Prunus persica</i> )	土壤	未知	结实度、储存期、裂痕减少	Zhang(2008)
黄秋葵 ( <i>Abelmoschu esculentus</i> )	叶面	Naphthenate-K	叶绿素、蛋白质、胡萝卜素	Jahan(1991)
西番莲 ( <i>Passiflora edulis</i> )	水培	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	产量、种子数、“品质”	Costa-Araujo(2006)
番木瓜 ( <i>Carica papaya</i> )	土壤	未知	重量、甜度、“品质”	Ghosh(2007)
梨 ( <i>Pyrus communis</i> )	土壤	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	无变化	Jonson(1998)
Phalsa ( <i>Grewia subinaequalis</i> )	叶面	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	大小、重量、“品质”	Singh(1993)
甜椒 ( <i>Capsicum annum</i> )	土壤	KCl	几乎无变化	Hochmuth(1994);
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	辣味、品质	Ananthi(2004);
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KNO <sub>3</sub>	辣味、产量、果重	Golcz(2004);
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	“品质”	El-Masry(2000)
甜椒	水培	KNO <sub>3</sub>	无变化	Flores(2004)
菠萝 ( <i>Ananas conosus</i> )	土壤	KCl	VC、果实中间褐色部分减少	Herath(2000)
石榴 ( <i>Punica granatum</i> )	叶面	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	生长、产量、“品质”	Muthumanickam(1999)
草莓 ( <i>Fragaria X ananassa</i> )	土壤	KCl	无变化	Albregts(1996);
	水培	KCl>KNO <sub>3</sub>	“品质”	Lbrahim(2004)
草莓	滴灌施肥	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	产量、综合品质	Khayyat(2007)
蕃茄 ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	土壤	KCl	番茄红素	Taber(2008);
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	“品质”	Si(2007);
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	产量、早熟、品质	Hewedy(2000)
蕃茄	水培/无土	KCl>KNO <sub>3</sub>	外观、品质	Chapagain(2003);
		KCl>KNO <sub>3</sub>	产量、“品质”	Chapagain(2004);
		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	类胡萝卜素、维它命E	Fanasca(2006);
		未知;	抗氧化剂	Li(2006);
		未知;	番茄红素、“品质”	Yang(2005)
蕃茄	叶面	未知	生长、蛋白质、维它命C、甜度、酸度	Li(2008)
蔬菜	土壤	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> > KCl	干物质量、维它命C	Ni(2001)
西瓜 ( <i>Citrullus lanatus</i> )	土壤	KCl	无变化	Locascio(2002);
		KCl	无变化	Perkins-Veazie(2003)

a 不同研究来源的数据用分号隔开；一种钾形态对品质的贡献大于另一种形态时，用>符号表示。

b 源自不同研究的属性用分号隔开。“品质”意为作者没有特指，或因因素太多而不能一一列举。

c 不同研究的参考文献用分号隔开，因省略之故只列出第一作者。

注: Gly-amino-K 甘氨酸钾 Naphthenate-K 环烷酸钾

在本刊或别处登出的一项研究报告(Lester et al., 2005, 2006, 2007)表明, 叶面喷施钾对哈密瓜商品质量的提高是通过增加果实的结实度和含糖量来实现的, 对人体健康品质的提高是通过增加维生素C和 $\beta$ -胡萝卜素含量来实现的, 土壤测试表明该土壤钾含量处于较高水平。尽管如此, 文献中有关施用不同钾肥品种、土施对比叶面喷施、环境(季节)因素、施肥时间和施用频次的好处仍然很含混。本综述总结了一些已发表的有关果树施用钾肥效果的论文摘要, 重点放在各种钾肥品种、土施对比叶面喷施钾肥对水果品质的作用效果。



## 比较不同钾肥品种对水果的影响

尽管很多研究报道了施用钾肥有助于提高果实的抗病性, 增加产量、果重、结实度、含糖量、感官属性、货架时间和有益于人体的生物活性物质含量, 但科学文献中也有施用钾肥对水果品质无影响的报道(表1)。这些相互矛盾的研究结果, 虽然难以明断谁是谁非, 但可用每一研究所采用的施肥方法(如土施对比叶面喷施, 灌溉施肥或水培)和钾肥品种(如KCl,  $K_2SO_4$ ,  $KNO_3$ , 氨基酸络合钾)的不同而进行解释。

本文综述了过去20年来发表的相关论文摘要(表1)。回顾这些研究, 大多数显示钾肥对作物品质属性有影响。然而, 有8个研究结果例外, 包括苹果(Hassanloui, et al., 2004); 黄瓜(Umamaheswarappa and Krishnappa, 2004), 芒果, (Rebolledo-Martinez et al., 2008), 梨(Johnson

et al., 1998), 甜椒 (Hochmuth et al., 1994), 草莓 (Albregts et al., 1996) 和西瓜 (Locascio and Hochmuth, 2002; Perkins-Veazie et al., 2003)], 即钾肥对水果品质影响很小或没有影响。有趣的是, 除苹果研究外, 其余研究都有一个共同之处, 那就是钾肥是直接施入土中, 多数情况下作者没有提供钾肥的施用时间和土壤理化性状的信息。这些因素会影响土壤养分的有效性和作物吸收。同时, 在某些条件下土施钾肥可能对作物吸收、产量和果实品质影响很小或根本没有影响 (Tisdale et al., 1985; Brady and Weil, 1999)。

很多对结果作物 (如黄瓜、芒果和香瓜) 的研究是将土施钾肥与叶面喷施相比较。结果是, 所有叶面喷施钾肥都改善了果实品质属性。相反, 土施钾肥对果实品质的影响一般很小或无 (Demiral and Koseoglu, 2005; Lester et al., 2005, 2006; Jifon and Lester, 2009; 表 1)

此外, 在钾肥形态的研究中, 果实品质似乎取决于钾肥品种。比如, Jifon 和 Lester (2009) 指出, 在作物生长中后期土施或叶面喷施  $KNO_3$  对水果的商品品质属性和有益于人体健康的营养品质属性的影响很小或没有; 在某些情况下, 这些属性甚至比对照还差。

本文表明, 在制定钾肥施用方案时, 实施者应明白仅凭土壤测试数据并不能做出最佳决策。虽然土壤测试数据在制定施肥方案时非常重要且有用, 但还必须考虑其他重要因素, 如施肥时间, 作物需肥动态以及钾肥品种。单凭高的土壤含钾量并不一定就能肯定作物对钾肥没有反应。此外, 果实发育膨大期对钾的需求量很高, 叶面喷施钾肥能改善水果的几种品质属性。

Lester 博士 (gene.lester@ars.usda.gov) 和 Makus 博士在美国农业部、农业研究服务中心 (USDAARS)、Kika de la Garza 亚热带农业研究中心工作, 地址是: 2413 East Business Highway 83, Building 200, Weslaco, Texas 78596 USA。Jifon 博士任职于得克萨斯农业生活中心、水果蔬菜改良中心、Texas A&M 系统, 地址是: East Business Highway 83, Weslaco, Texas 78596 USA。

参考资料 略

## 全球作物集约化减少了温室气体排放

Cliff Snyder, Tom Bruulsema, Valter Casarin, 陈防, Raúl Jaramillo, Tom Jensen,  
Robert Mikkelsen, Rob Norton, T. Satyanarayana, 涂仕华 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  
(原文出自 BETTER CROPS, 2010, No. 4 P16-17, www.ipni.net)

全球人口从1961年的30.8亿增加到2005年的65.1亿(增长率为111%),预计2050年将达到近90亿。人口增长将导致食物需求增加70%。我们能否保证人口快速增长对食物的需求?如果能,这将对温室气体(GHG)排放和气候变化产生何种影响呢?近期发表的一篇科技文章(Burney et al., 2010)对这些问题提供了一些答案。

从1961年至2005年,全球作物生产的增加是通过扩大耕地面积(粗放农业)以及通过集约化生产增加现有耕地上的作物单产来实现的。在此期间,作物种植面积从9.6亿公顷上升至12.08亿公顷,增长27%。同时,作物产量(即各类作物产品的总量),从1.84 t/ha增长至3.96 t/ha (135%)。这些作物产量的提高是通过农民采用作物高产品种和杂交品种,增加肥料用量,加强病虫害防治,改善灌溉条件,采用水土保持技术以及提高农业机械化水平来实现的。

据估计,2005年由农业生产排放的温室气体占全球总排放量的10-12%。这些排放的气体主要是笑气( $N_2O$ )和甲烷( $CH_4$ ),其总量相当于50-60亿吨(GT)的二氧化碳当量( $CO_{2e}$ )。全球大约有60%的笑气和50%的甲烷排放源自农业生产(Flynn and Smith, 2010)。因森林砍伐和农业垦荒改变土地利用方式所产生的温室气体占全球总排放量的6-17%。

2005年,大气中的 $N_2O$ 浓度已由工业革命前的270  $\mu$ l/L上升至319  $\mu$ l/L,每年递增0.26% (Davidson, 2009);  $CO_2$ 浓度从1961年的318 ml/L上升至2005年的380 ml/L([ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2\\_annmean\\_mlo.txt](ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/trends/co2_annmean_mlo.txt)),每年递增0.44%。这些温室气体浓度的增加被普遍认为是加剧全球变暖和导致气候变化的元凶。

2005年全球N肥使用量大约为9300万吨。政府间气候变化专门委员会的数据表明,按1%的 $N_2O$ 排放为1个 $N_2O$ 排放系数(即每施用100 kg N排放出1 kg  $N_2O-N$ ),估计这一用氮量会排放146万吨的 $N_2O$ 或433吨的 $CO_{2e}$ 。照此计算,2005年全球氮肥消费所产生的温室气体占全球总排放量的7.0-8.6%(Flynn and Smith, 2010)。



农业研究的投入有助于避免温室气体排放

现代农业生产很大程度上依赖于化肥使用。为了帮助回答有关温室气体排放净影响的问题,美国斯坦福大学的科学家(Burney et al., 2010)把1961-2005年的温室气体排放情况按两个可选的虚拟情景与真实情况相比较。在虚拟世界1中,耕地面积不断扩大,但作物产量却保持在1961年的水平;

而真实世界中人们的生活水平却在不断提高。在虚拟世界2中，耕地面积也是不断扩大，但人们的生活仍然维持在1961年的水平。表1说明的是这些假定和全球温室气体排放估量。

表1 1961-2005年满足全球食物需求条件下真实和虚拟世界情景中温室气体排放量  
(prepared from data in Burney et al., 2010).

	真实世界		虚拟世界1	虚拟世界2
	集约型作物生产		粗放型作物生产	
	1961	2005	2005	2005
生活水平		提高	与真实世界相同	与1961年相同
作物产量, 吨/公顷	1.84	3.96	1.84	1.84
作物生产, 百万吨	1776	4784	4784	3811
农业拖拉机, 百万台	11.3	28.5	28.5 <sup>1</sup>	23.7
灌溉面积, 百万公顷	139	284	284	298
肥料 (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O) 施用量, 公斤/公顷	32	136	32	32
全球化肥使用量, 百万吨	31	165	88	67
自1961年作物耕地增加面积, 百万公顷	-	248	1761	1111
与真实世界相比温室气体排放量的净增长, 十亿吨 CO <sub>2e</sub>	-	-	590	317

<sup>1</sup>虚拟世界1保守假定机械化利用和灌溉面积与真实世界相同

在虚拟世界1中，假定施肥量和作物产量都始终保持在1961年的水平，为了满足全球食物需求，就需要比真实世界扩大更多的耕地(≥7倍)和侵占更多天然非农用地。假定虚拟世界2的肥料消费与虚拟世界1相同，但人均粮食生产(生活水平)不变。即使如此，虚拟世界2仍需要更多的耕地面积(4.5倍以上)来满足全球对食物的需求。在虚拟世界1和虚拟世界2中，全球CO<sub>2e</sub>排放比真实世界明显地增加。

尽管单位耕地面积的温室气体排放量已经增加，但集约化农业在很大程度上遏制了排放(表1)。同时，不断增加的化肥生产和使用对全球作物和食物生产的贡献达40%-60% (Stewart et al., 2005; Erisman et al., 2008)。用另一种方式来表达集约化作物生产，即每年减少了131亿吨的CO<sub>2e</sub>排放，每投入一美元用于农作物生产可减少249 kg CO<sub>2e</sub>排放。这些数字是与1961年所用技术相比的结果(Burney et al., 2010)。

## 重要意义

这项研究可得出两个重要结论。首先，提高作物生产力的投资是一项防止温室气体排放的划算途径。其次，减缓措施必须保证所采用的温室气体减排策略要考虑对整个系统的影响。增加作物生产投入效率是一项切实可行的战略，但通过减少投入而限制产量的增加则不可行。

对人类来说，为90亿人类提供食物需求的同时又要保护地球和耕地的持续生产力，是一项从未面临过的巨大挑战(Foley et al., 2005)。为了满足我们对食物生产的需求，同时维护地球的繁荣和保护其重要天然生态区域，发展生态集约生产系统(Cassman, 1999)，通过最佳管理措施(BMPs)提高养分利用率(Dobermann, 2007)以及改善养分管理，实现肥料工业和农业委员会的成员们一直倡导和致力推动的经济、环境和社会目标(Bruulsema et al., 2008; IFA, 2009; Snyder et al., 2009)。

作为一个全球化的社会，我们是否已经准备好了如何去迎接这些挑战呢？





增加投入的有效利用是一项切实可行的战略。

作者系国际植物营养研究所 (IPNI) 养分和环境工作组的成员, 均为 IPNI 职员, 遍及全球不同地区。Snyder 博士是工作组组长。(e-mail: [csnyder@ipni.net](mailto:csnyder@ipni.net))。

鸣谢

作者感谢 IPNI 的资深副总裁、科研主管 Paul Fixen 博士在这篇文章写作中所做的贡献。

#### Abbreviations and notes: N = nitrogen.

1 gigaton (Gt) =  $10^9$  tonnes =  $10^{12}$  kg = 1,000 Tg

CO<sub>2e</sub> = carbon dioxide equivalent in radiative forcing or global warming potential

CO<sub>2e</sub> is 296 for N<sub>2</sub>O and 23 for CH<sub>4</sub> (IPCC, 2006)

简写及注释:

N = 氮 1

1 gigaton (Gt) = 109 吨 =  $10^{12}$  公斤 = 1,000 兆克

#### 参考资料:

Bruulsema, T.W., C. Witt, F. García, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, and S. Ivanova.

2008. Better Crops 92(2): 13-15.

Burney, J.A., S.J. Davis, and D.B. Lobell. 2010. Proc. Natl. Acad. Sci.

107(26):12052-12057.

Cassman, K.G. 1999. Proc. Natl. Acad. Sci. 96: 5952-5959.

Davidson, E.A. 2009. Nature Geoscience 2: 659-662.

Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management.

pp. 1-28. In Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations. 259

pp. Proc. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007, Brussels, Belgium. International Fertilizer

Industry Association, Paris, France.

Erisman, J.W., M.A. Sutton, J. Galloway, Z. Klimont, and W. Winiwarer. 2008.

Nature Geoscience 1: 636-639.

Flynn, H.C. and P. Smith. 2010. Greenhouse gas budgets of crop production –

current and likely future trends. 67 pp. International Fertilizer Industry

Association. Paris, France.

Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F. S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty, and P.K. Snyder. 2005. *Science* 309: 570-574.

IFA. 2009. The Global “4R” Nutrient Stewardship Framework. Developing Fertilizer Best Management Practices for Delivering Economic, Social and Environmental Benefits. 10 pp. International Fertilizer Industry Association. Paris, France.

IPCC. 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 11: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_11\\_Ch11\\_N<sub>2</sub>O&CO<sub>2</sub>.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf) (verified 30 July 2010).

Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, and P.E. Fixen. 2009. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133: 247-266.

Stewart, W.M., D.W. Dobb, A.E. Johnston, and T.J. Smyth. 2005. *Agron. J.* 97:1-6.

## IPNI中国项目部2010—2011工作会议



1、2011年3月20日-21日，IPNI中国北方地区2010年工作会议在北京市顺义区国家发改委培训中心召开，来自中国北方的15个省（直辖市）的60余名植物营养专家参加了此次会议。各单位与会代表对2010年工作进行总结和汇报，同时各合作单位与IPNI各项目负责人确定了2011年度新的工作计划和工作目标。

2、中加合作项目数据库管理工作会议于2011年3月22日-23日在北京市顺义区和园景逸大酒店顺利进行。中国农科院以及全国30个省（直辖市）的农科院、大学的100余名土壤肥料专家参加了此次会议。国际植物营养研究所副总裁Adrian Johnston博士专程到华参加了此次会议。

3月22日，中加合作项目数据库管理工作会议对数据库建设中的在线网页制作和视频会议使用等集中和与会代表进行了交流和培训，与会代表对这一新技术产生了极大的兴趣。

3月23日，IPNI中国项目部对全国各省（直辖市）在数据库建设中有突出贡献的合作单位进行了表彰和奖励。其中，吉林省农业科学院农业环境与资源研究中心和山西省农业科学院农业环境与资源研究所获等一等奖，河北省农林科学院农业资源环境研究所、天津市农业资源与环境研究所、湖北省农业科学院植保土肥研究所和四川省农业科学院土壤肥料研究所荣获二等奖，辽宁省农业科学院环境资源与农村能源研究所、河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所、山东省农业科学院农业资源与环境研究所、甘肃省农业科学院旱地农业研究所、宁夏农林科学院农业资源与环境研究所、安徽省农业科学院土壤肥料研究所、福建省农业科学院土壤肥料研究所、浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所、贵州省土壤肥料研究所、广东省农业科学院土壤肥料研究所、广西农业科学院农业资源与环境研究所、云南省农业科学院农业环境资源研究所和黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所等单位荣获三等奖。



IPNI 副总裁 Adrian Johnston 博士和 IPNI 中国项目部成员同数据库建设中获奖单位代表合影。



2011 年 3 月 23 日，国际植物营养研究所副总裁 Adrian Johnston 博士为 2010 年 IPNI 研究生奖学金中国项目部获奖人员中国农业科学院研究生院硕士研究生易琼颁奖。

研究生奖学金由IPNI成员公司提供赞助，他们是氮磷钾和其他肥料的生产者。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各位莘莘学子积极踊跃申请（详情请到<http://www.ipni.net/>了解）。申请者资格：在具有学位授予资格的单位在读研究生均有资格申请。

上接54页

[12] 周顺利. 高产条件下冬小麦、夏玉米氮营养特性的基因型差异及氮肥推荐[D]. 北京：中国农业大学博士学位论文，2000

[13] 张淑香，赵林萍，八木一行，等. 包膜尿素对玉米和小麦的生物学与环境效应[J]. 植物营养与肥料学报，2007，13(6)：1086-1091

[14] 边秀芝，盖嘉慧，郭金瑞，等. 玉米施磷肥的生物效应[J]. 玉米科学，2008，16(5)：120-122

[15] 戴茨华，王劲松. 从长期定位试验论红壤施磷的效应[J]. 土壤肥料，2002，(2)：29-32

[16] 刘建玲，张福锁. 小麦-玉米轮作长期肥料定位试验中土壤磷库的变化[J]. 应用生态学报，2000，11(3)：360-364

[17] 刘英，王允青，孙秀伦. 玉米对钾、氮的吸收特性与施肥效应研究[J]. 土壤肥料，2005，(6)：36-38

[18] 金凤霞，颜秀娟，林艳波，等. 玉米氮、磷、钾肥料效应的研究[J]. 吉林农业科学，2008，33(6)：48-50