BETTER CROPS CHINA　2009年5月（总第22期）

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

高效施肥

本期提要

加拿大钾肥公司在中国的平衡施肥示范项目报告 (22)
黑龙江省玉米磷肥适宜用量研究
章丘大葱施用钾肥效果研究
氮肥基／追比对小麦产量与氮肥利用率的影响
潮土施氮量对夏玉米产量和氮肥利用率的影响
施肥对玉米养分吸收利用及产量的影响
安徽玉米高效施肥技术研究
湖北花生主要养分限制因子研究
平衡施肥对花生产量及经济效益的影响
钾对莲藕生长和产量形成的影响
平衡施肥对杨梅产量及品质影响
菜心平衡施肥技术研究
有机农作物生产中的钾素管理
实施肥料氮最佳管理规程以减少氮素损失

高效施肥　2009 年 5 月

本期目录　　页数

加拿大钾肥公司在中国的平衡施肥示范项目报告（22）	1
黑龙江省玉米磷肥适宜用量研究	2
章丘大葱施用钾肥效果研究	6
氮肥基/追比对小麦产量与氮肥利用率的影响	9
潮土施氮量对夏玉米产量和氮肥利用率的影响	14
施肥对玉米养分吸收利用及产量的影响	18
安徽玉米高效施肥技术研究	24
湖北花生主要养分限制因子研究	27
平衡施肥对花生产量及经济效益的影响	31
钾对莲藕生长和产量形成的影响	35
平衡施肥对杨梅产量及品质影响	40
菜心平衡施肥技术研究	45
有机农作物生产中的钾素管理	50
实施肥料氮最佳管理规程以减少氮素损失	57

《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

邮件地址：

主编：金继运　jyjin@ipni.net

编辑：陈　防　fchen@ipni.net

涂仕华　stu@ipni.net

李书田　sli@ipni.net

何　萍　phe@ipni.net

梁鸣早　mzliang@ipni.net

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、梁鸣早

国际项目总部— Saskatoon, Saskatchewan, 加拿大

A.M. Johnston, Vice President, IPNI Asia and Oceania Group

理事会

Patricio Contesse, Chairman of the Board, SQM

M. M. Wilson, Vice Chairman of the Board, Agrium Inc.

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 Group and Director of Research.

东欧中亚项目部— Moscow, Russia

Svetlana Ivanova, Vice President, IPNI Eastern Europe and Central Asia Group

中国项目部

金继运	主　任	北京办事处
何　萍	副主任	北京办事处
李书田	副主任	北京办事处
梁鸣早	女　士	北京办事处
陈　防	副主任	武汉办事处
涂仕华	副主任	成都办事处

封面照片：柑桔缺钾症（陈防提供）

会员公司:

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

加拿大钾肥公司在中国的平衡施肥示范项目报告(22)

——国家支撑计划“高效施肥关键技术研究与示范”项目在北京启动

金继运

为了保障种植业生产的持续稳定发展和国家粮食安全，为了保障我国有限耕地的可持续利用和保持良好的农田生态环境，科学用好肥料资源，提高肥料利用效率，在科技部、农业部和有关政府部门的支持下，国家决定加强肥料科学施用技术研究和示范的支持力度。设立了“高效施肥关键技术研究与示范”国家支撑计划项目，该项目的启动会2009年5月18－19日在中国农业科学院农业资源与农业区划研究所报告厅举行，受农业部科教司委托，该项目的牵头单位中国农业科学院农业资源与农业区划研究所组织了该项目启动会，科技部、农业部及中国农业科学院有关领导出席了会议.

肥料是作物的“粮食”。随着作物产量的不断提高，化肥在农业生产中的作用越来越强。化肥投入是农业生产中投入最大的一项，据调查，化肥投入占总投入的39.3%，农民每年用于购买化肥的资金约4000亿元人民币。化肥的大量施用，一方面为促进粮食增产、农业增效、农民增收做出了重要的贡献，但另一方面，由于科学施肥水平整体不高，部分地区盲目施肥现象严重，这不仅增加农业生产成本，降低生产效益，而且造成肥料资源的巨大浪费，导致土壤养分失衡、生产力不稳，农产品品质下降、环境污染严重，直接影响到农业的可持续发展。

高效施肥是提高作物产量保证国家粮食安全的重要举措、是降低农业生产成本增加农民收入的重要途径、是提高肥料利用率的重要保证，是实现资源节约型农业、促进农业可持续发展的重要手段、是改善农业生态环境的重要基础，为此，由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所建议，国家设立了“高效施肥关键技术研究与示范”国家支撑计划项目，科技部通过公开申报的方式，组织了全国农业科研、教学、推广等50多家单位的近400名农业科研人员共同参与执行。

在2009年5月18－19日的项目启动会上，与会专家就各课题的目标、任务、研究内容、相关理论和技术等进行了深入的研讨。项目将围绕土壤养分测试方法、植物诊断及养分调控、施肥指标体系与信息化技术、果树蔬菜高效施肥等关键技术问题开展研究，同时结合我国不同生态类型区开展技术示范。该项目的研究将会为提高施肥效益、提升科学施肥技术水平、保证我国粮食安全起重要科技支撑作用。

该项目的实施可使我国肥料应用技术提高一个新台阶，使施肥工作更具科学性、系统性和规范性。在经济效益方面，通过该研究成果的推广应用，在肥料使用不合理地区，可使肥料利用率提高5－10个百分点，可使土壤养分测试化验工作效益提高8-10倍，可使目前化验室周年的工作量在1-2个月内完成，节约人工，减少人员费支出。

通过该项研究，可大大减少肥料的浪费，节约肥料资源，以氮肥为例，如果氮肥利用率提高10%，则可以节约2.5亿立方米的天然气或节约375万吨的原煤。该研究可使测土配方施肥的效率大为提高，真正做到不误农时，同时可节约大量人力物力，使基层农业技术人员从实验室中解放出来，能有更多的时间服务农民，提高对农民的科技服务质量。同时，通过该项目的研究，还可使测土配方施肥的科学性进一步提高，为我国测土配方施肥工作的长期稳定发展奠定良好的科学基础，并提供坚实的技术支撑。推动土壤肥料科学技术的进步。将产生重大的经济效益、生态效益和社会效益。（注：本文参考国家科技支撑计划“高效施肥关键技术研究与示范”新闻通稿整理而成。）

黑龙江省玉米磷肥适宜用量研究

李玉影[1] 刘双全[1] 姬景红[1] 刘颖[1] 张明怡[1] 史俊琴[2]
(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 黑龙江省海伦市农科所，海伦 152300)

摘要：*在黑龙江省主产区设玉米磷肥用量试验，以确定该地区玉米施磷效果和适宜的磷肥用量。结果表明，在黑龙江省玉米主产区及不同土壤类型磷肥对玉米都有较好的增产效果。从产量、经济效益和施肥风险等综合考虑，黑龙江省玉米磷肥适宜用量为 P_2O_5 3- 6 公斤 / 亩，可增产 50.3-89.3 公斤 / 亩，增产率 11.1-20.0%，增收 51.7-79.4 元 / 亩。*

关键词：*黑龙江，玉米，磷肥*

黑龙江省地处祖国东北边陲，位于东经 121° 11′ - 135° 11′ ，北纬 43° 33′ - 53° 25′ 之间，幅员面积 45.4 万平方公里，耕地面积约 1.73 亿亩，主要土壤类型为黑土、草甸土、黑钙土、白浆土和暗棕壤，分别占耕地面积的 31.2%、26.2%、13.8%、10.1% 和 10.0% [1]，主要作物为玉米、大豆、水稻、马铃薯和甜菜等。自 1978 年以来，黑龙江省玉米年播种面积平均为 3227 万亩，并呈逐年上升趋势，到 2007 年达 5826 万亩（图 1）；玉米总产和单产呈波浪式上升趋势，玉米总产年平均 876.2 万吨，平均单产 273.2kg/ 亩（图 2）[2]，呈现出单产不高、总产不稳的趋势，产量还有很大提高的空间。玉米是需磷较少的作物，在研究和生产上受重视的程度不够。黑龙江省玉米磷肥效果及适宜用量研究较少，玉米主要分布在松嫩平原盐碱土地区，而该土壤是缺磷土壤，因此研究玉米磷肥效果及适宜用量对提高黑龙江省玉米产量和确保国家粮食安全具有重要现实意义。

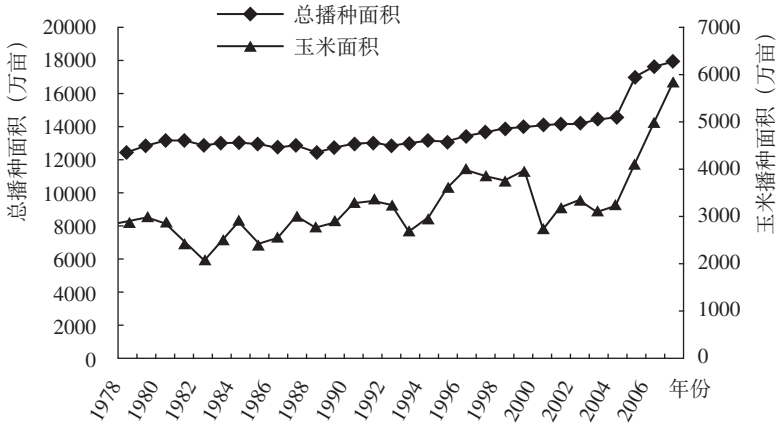

图 1　黑龙江省玉米年播种面积

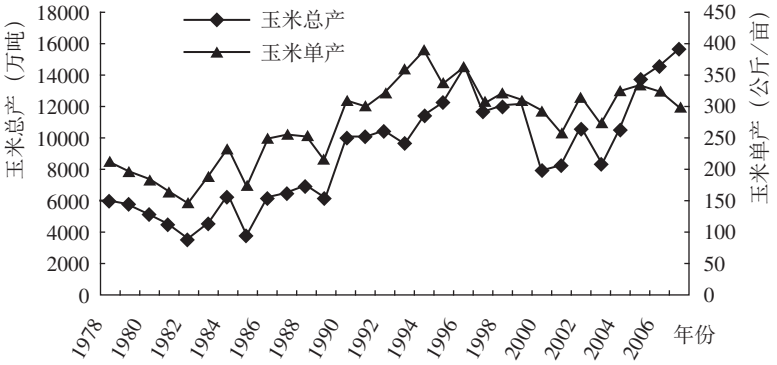

图 2　黑龙江省玉米产量状况

1　材料与方法

在黑龙江省玉米主产区双城、肇东、海伦和甘南设置 4 个试验。双城试验设在双城镇中兴村，土壤类型为薄层黑土；肇东试验设在海城乡长山村，土壤类型为碳酸盐黑钙土；海伦试验设在海伦市东林乡长荣村，土壤类型为黑土；甘南试验设在甘南镇东郊村，土壤类型为草甸土。各试验土壤基础肥力状况见表 1 。采用适合当地生态条件的优良玉米品种和适宜的栽培密度。试验设 6 个处理，3 次重复，随机区组排列，小区面积 30 平方米，试验处理见表 2。

表 1　试验点土壤基本理化特征

地点	pH	有机质(克 / 公斤)	NH_4-N(毫克 / 升)	速效 P(毫克 / 升)	速效 K(毫克 / 升)	有效 S(毫克 / 升)	有效 Zn(毫克 / 升)	有效 B(毫克 / 升)
双城	5.16	38.5	13.2	9.97	71.7	17.8	1.7	0.94
肇东	8.51	6.20	8.9	7.5	62.7	2.7	1.7	1.67
海伦	4.75	83.8	29.9	21.9	45.6	13.5	3.2	1.64
甘南	6.71	30.0	12.9	36.9	54.3	95.7	2.3	1.09

表 2　玉米磷肥试验养分用量 （公斤 / 亩）

处理	N	P_2O_5	K_2O	施肥成本(元 / 亩)
1. P0	10	0	5	72.8
2. P1	10	3	5	91.1
3. P2	10	6	5	109.4
4. P3	10	9	5	127.7
5. P4	10	12	5	145.8

注：尿素含 N46%，2200 元 / 吨；三料含 $P_2O_5$46%，2800 元 / 吨；氯化钾含 K_2O60%，3000 元 / 吨。

2 结果与分析

2.1 磷对玉米产量的影响

试验结果表明（表 3），磷肥对黑龙江省玉米产量有显著增产效果，施磷肥处理较对照平均增产 65.5 公斤 / 亩，平均增产率为 14.7%，平均增收 40.6 公斤 / 亩。双城黑土玉米磷肥效应方程，$Y = 480.13 + 29.54X - 2.09X^2$，$r = 0.9316$，最高产量磷肥推荐用量为 P_2O_5 7.1 公斤 / 亩。肇东碳酸盐黑钙土磷肥效应方程，$Y = 472.53 + 44.45X - 3.75X^2$，$r = 0.9969$，达显著水平，最高产量磷肥推荐用量为 P_2O_5 5.9 公斤 / 亩。海伦玉米磷肥效应方程，$Y = 393.92 + 18.08X - 1.53X^2$，$r = 0.8648$，最高产量磷肥推荐用量为 P_2O_5 5.9 公斤 / 亩。甘南磷肥效应方程，$Y = 404.39 + 23.57X - 1.20X^2$，$r = 0.8378$，最高产量磷肥推荐用量为 P_2O_5 9.8 公斤 / 亩。四个点的试验结果表明，黑龙江省玉米磷肥用量以 P2、P3 效果最好，即 P_2O_5 3-6 公斤 / 亩最为适宜。

表 3　不同处理对玉米产量的影响

地点	处理	产量（公斤 / 亩）	增产（公斤 / 亩）	增产率（%）	施肥成本（元 / 亩）	效益（元 / 亩）
双城市双城镇	1. P0	487.7c			72.8	
	2. P1	527.8b	40.1	8.2	91.1	52.2
	3. P2	603.3ab	78.6	16.1	109.4	65.6
	4. P3	571.0a	109.7	22.5	127.7	87.8
	5. P4	533.5b	45.8	9.4	145.8	-13.5
肇东市海城乡	1. P0	472.5b			72.8	
	2. P1	569.9b	97.3	20.6	91.1	108.2
	3. P2	610.8a	138.3	29.3	109.4	143.3
	4. P3	561.7a	89.1	18.9	127.7	61.0
	5. P4	467.6b	-4.9	-1.0	145.8	-79.4
海伦市东林乡	1. P0	396.7b			72.8	
	2. P1	424.0ab	27.3	6.9	91.1	17.2
	3. P2	462.0a	65.3	16.5	109.4	48.3
	4. P3	423.9ab	27.2	6.9	127.7	-19.5
	5. P4	393.0b	-3.7	-0.9	145.8	-77.8
甘南县甘南镇	1. P0	413.8d			72.8	
	2. P1	450.3cd	36.5	8.8	91.1	29.1
	3. P2	488.4bc	74.7	18.0	109.4	60.5
	4. P3	552.9a	139.2	33.6	127.7	126.1
	5. P4	500.9b	87.1	21.0	145.8	40.2
平均	1. P0	442.7			72.8	
	2. P1	493.0	50.3	11.1	91.1	51.7
	3. P2	541.1	89.3	20.0	109.4	79.4
	4. P3	527.4	91.3	20.5	127.7	63.9
	5. P4	473.7	31.1	7.1	145.8	-32.6

注：2008 年玉米价格 1.30 元 / 公斤。

2.2 磷对玉米经济效益的影响

高产能够满足国家粮食安全目标，但农民种地追求经济效益。既高产又高回报的施肥措施是我们追求的目标。从增产效果看，黑龙江省玉米磷肥用量 9 公斤 P_2O_5/ 亩略好于 6 公斤 P_2O_5/ 亩，但从经济效益上分析 6 公斤 P_2O_5/ 亩好于 9 公斤 P_2O_5/ 亩。从产量和经济效益综合考虑 6 公斤 P_2O_5/ 亩最好，平均可增产 89.3 公斤 / 亩，平均增产率 20.0%，平均增收 79.4 公斤 / 亩。

3 小结

黑龙江省不同生态区域及不同土壤类型磷肥对玉米增产效果不同，除海伦黑土玉米磷肥增产效果较低外，其它 3 个点玉米对磷肥反应都很敏感，磷肥增产效果都达到了极显著水平。从产量、经济效益和施肥风险等综合考虑，黑龙江省玉米磷肥适宜用量为 P_2O_5 3 - 6 公斤 / 亩，可增产 50.3 - 89.3 公斤 / 亩，增产率 11.1 - 20.0%，增收 51.7 - 79.4 元 / 亩。目前，黑龙江省农民生产中玉米磷肥用量偏低，只是复合肥中磷肥均一用量，没有考虑特殊土壤和高产条件下玉米生长对磷肥的需求，在今后的生产实践中应加以改进，真正实现高产、优质、高效目标。

主要参考文献：

[1] 黑龙江省统计局 . 黑龙江统计年鉴 . 中国统计出版社，2008.

[2] 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.

双城玉米磷肥试验效果

章丘大葱施用钾肥效果研究

魏建林　崔荣宗　杨果　李彦　田叶

（山东农业科学院土壤肥料研究所，济南，250100.）

***摘要：**在大葱栽培上进行了不同钾肥用量的试验，探讨钾肥在大葱生产上的效果与收益。结果表明，在施用等量氮磷基础上，各施钾处理均比不施钾处理显著增产，每亩施用 12、17.5、23 公斤 K_2O 的三个施钾处理，分别比不施钾的对照处理增产 11.1%、14.3%和 14.5%。随着施钾量的增加，每公斤钾养分对大葱增产的幅度明显减小。当地土壤养分条件下，在一定氮磷基础上，每亩施钾（K_2O）17.5 公斤时，经济效益最好。*

***关键词：**大葱，钾肥，不同用量，产量，收益。*

章丘大葱是山东省著名的特产蔬菜，大葱以棵大白长，质地充实，口感脆甜、味美、营养丰富等特点而饮誉国内外。章丘市及周边地区大葱种植历史悠久，早在明清时期当地的女郎山西麓平原一带已普遍种植，一度为朝廷贡品，目前是当地的主要栽培作物，每年的种植面积都在 10 万亩以上。葱农为追求高产量，在生产中以大肥大水模式为主，偏施肥料的情况较普遍。钾在大葱的发育中占有重要地位，尤其是对于改善产品品质，提高抗性等方面作用明显。本试验试图通过在一定氮磷基础上，设计不同钾肥用量的处理，探索钾对章丘大葱产量和生产收益的影响，以期为当地大葱生产合理施肥提供科学依据。

1　材料和方法

1.1　供试作物品种及土壤状况

试验安排在山东省章丘市枣园镇万新村，供试土壤为褐土，质地为轻壤。试验在大田栽培条件下，于 2006 年 6 月至 11 月进行。大葱栽培品种为万选一号。前茬作物为小麦，在葱苗定植前取耕层土采用 ASI 法[1][2]测定，土壤肥力状况见表 1。

表 1　供试土壤养分状况

测定项目	pH	OM (%)	NH_4-N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
			(毫克 / 升)										
测定值	7.35	1.0	17.1	28.3	94.11	3560.98	389.25	29.25	13.0	2.05	2.4	1.85	1.0

1.2　试验设计

试验设 4 个处理，3 次重复。小区面积 20 平方米，随机区组排列。各处理施肥量情况见表 2。

表 2　各处理施肥量情况

处理	N（公斤 / 亩）	P_2O_5（公斤 / 亩）	K_2O（公斤 / 亩）
1-NP	17.25	17.25	0
2-NPK1	17.25	17.25	12
3-NPK2	17.25	17.25	17.5
4-NPK3	17.25	17.25	23

供试肥料为尿素、磷酸二铵、氯化钾。6 月 20 日葱苗定植开沟前，施入 13%供试肥料做基肥，并浇足水。剩余肥料均分于 8 月 9 日、23 日做追肥两次施入。其它栽培管理措施各处理都一致，同当地习惯。收获后小区单打单收计产，每小区选代表性大葱 10 株统计株高、茎周长、葱白长、单株重。

2　试验结果与分析

2.1　施钾对大葱株高、茎周长、葱白长、单株重的影响

表 3　不同钾肥处理对大葱株高、茎周长、葱白长、单株重的效果

处理	株高（厘米）	茎周长（厘米）	葱白长（厘米）	单株重（克）
1-NP	103.0	5.5	52.3	157.5
2-NPK1	117.3	6.5	59.5	205.2
3-NPK2	125.9	6.6	61.9	258.5
4-NPK3	133.5	6.8	64.1	261.3

注：表内数据为 3 次重复的平均值

葱白是大葱的肥大假茎，是主要的食用部分，葱白的长短和粗细代表着大葱商品性的优劣，也直接关系到产量的高低[3]。从表 3 可看出，在施用一定氮、磷肥基础上，增施钾肥可提高大葱株高 14.3～30.5 厘米，茎周长增加 1～1.3 厘米，葱白长增加 7.2～11.8 厘米，增长 13.8%～22.6%，单株重增加 47.4～103.8 克。试验结果表明，增施钾肥对大葱的产量形成和商品性的提高有重要作用[4][5]。

2.2　施钾对大葱产量的影响

表 4　不同钾肥处理对大葱产量的效果

处理	小区产量（公斤）				平均亩产量	与对照比较增产		1 公斤钾增
	重复 1	重复 2	重复 3	平均	（公斤）	公斤	%	产量(公斤)
1-NP	132.11	120.41	126.02	126.18bB	4206.0	0.0	0.0	
2-NPK1	137.07	143.09	140.44	140.20aA	4673.3	7010.0	11.1	38.9
3-NPK2	142.68	148.05	141.76	144.16aA	4805.4	8991.7	14.3	34.3
4-NPK3	144.57	146.6	142.11	144.43aA	4814.2	9123.3	14.5	26.4

从大葱产量结果看，各施钾处理均比不施钾处理增产[4][5]。处理 2 每亩增产大葱 467.3 公斤，增产 11.1%，处理 3 每亩增产大葱 599.4 公斤，增产 14.3%，处理 4 每亩增产大葱 608.2 公斤，增产 14.5%。随着施钾量的增加，大葱增产幅度明显减小。统计分析显示各施钾处理与不施钾肥的处理产量对比达到极显著性差异水平，而各个施钾处理之间大葱产量并没有显著性差异。

2.3　不同施钾处理对大葱生产收益的影响

按当年大葱 0.6 元 / 公斤，氯化钾肥料 2100 元 / 吨，分析各处理经济效益情况见图 1。大葱施用氯化钾肥料后亩增产值 280.4～364.9 元，亩净增产值 237.2～282.1 元。从图中可看出亩增产值处理 4 最

高，处理 3 次之，但亩净增产值处理 3 最高。从产出投入比情况看，处理 2 和处理 3 的产出投入比分别为 11.1 和 9.8，施用钾肥的回报率比较高，虽然处理 3 产出投入比小于处理 2。但钾肥的多投入，使得每亩多增加了 60 余元的收益。说明在当地土壤养分条件下，在一定氮磷基础上，每亩施钾 17.5 公斤，增产效果最好，并且经济效益最佳。

3　小结

1. 在种植大葱情况下，在氮磷基础上增施钾肥，在一定用量范围内，对大葱有增产作用，随着钾肥用量的增加，大葱产量也不断增加。但大葱增产幅度明显减小。

2. 在试验条件下，各施钾处理比不施钾处理增产达到极显著性差异水平。而各个施钾处理之间大葱产量没有显著性差异。

3. 在当地土壤养分条件下，在一定氮磷基础上，每亩施钾 17.5 公斤，增产效果最好，并且经济效益最佳。

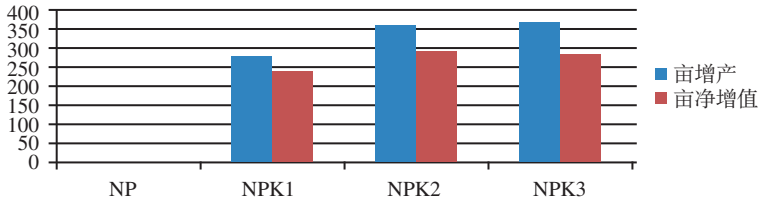

图 1　施钾对大葱生产的经济效益的影响（2006 年）

参考文献：

[1] 金继运，土壤养分系统研究法 . 北京：中国农业科技出版社，1992，17-41.

[2] 金继运，白由路，杨丽苹等 . 高效土壤养分测试技术与设备 . 北京：中国农业出版社，2006，11.74～87，148～153.

[3] 何其伟，苏德恕，赵德婉等 . 山东名产蔬菜，山东济南：山东科学技术出版社，1990，2. 178～180.

[4] 从同林，王在超，刘卫东，杜发印，张增俭 . 钾肥对大葱的增产效果及适宜用量 . 山东农业科学，1996，4:26.

[5] 王在超，刘卫东 . 大葱钾肥施用指标初探 . 中国蔬菜，1997(3):25.

氮肥基 / 追比对小麦产量与氮肥利用率的影响

孙克刚[1]　和爱玲　李丙奇

（1 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所，河南 郑州，450002）

***摘要：**在河南省延津县司寨乡平陵村以“郑麦 366”为材料，研究了氮肥不同基 / 追比例 对潮土区冬小麦生长发育及氮肥利用效率的影响。结果表明，追施氮肥处理比氮肥全部基施处理要好，其中小麦产量以 N33.3% 基 + 33.3% 返青 + 33.3% 拔节处理最高，达 532 公斤 / 亩，利润最高，为 663 元 / 亩。分蘖数、亩穗数、穗粒数和千粒重，也以该处理最高。追施氮肥处理氮素利用率均高于氮肥全部基施处理，以 N33.3% 基 + 33.3% 返青 + 33.3% 拔节处理最高，为 41.4%，不同处理的氮肥利用率为：（N33.3% 基 + 33.3% 返青 + 33.3% 拔节）处理 >（N25% 基 + 25% 返青 + 25% 拔节 +25% 抽穗）处理 >（N50% 基 + 50% 返青）处理 > 氮肥 100% 基施处理。*

***关键词：**小麦　氮肥基 / 追比　产量　氮肥利用率*

中国分类号：S14-33　　文献标识码：A

河南省是一个农业大省，耕地面积 1.19 亿亩，全省农作物总播种面积为 2.11 亿亩，其中粮食播种面积达 1.42 亿亩，占 67.2%。粮食作物中小麦播种面积为 7819 万亩，占总播种面积 37.0%。小麦平均产量为 381.1 公斤 / 亩，同时是全国小麦主要生产区，小麦产量占全国的 1/4 以上。全省化肥纯用量为 570.7 万吨，氮肥纯用量为 239.9 万吨，磷肥纯用量为 110.1 万吨，钾肥纯用量为 55.5 万吨。潮土是河南省面积最大、分布最广的一个土类，其土地面积为5358.7万亩，占全省土壤总面积的25.9%；耕地面积 4990.6 万亩，占全省耕地面积的 37.14%。

近年来，随着农村种植业结构的调整，农作物的品种更新换代，小麦产量有了明显增加。施氮量的逐步提高和施肥技术的不断改善是获取小麦高产的一个重要措施[1-4]。“一炮轰” 施肥技术，由于操作简便、减少用工，在灌溉地上大面积使用[5]，但氮肥损失大、利用率低[6-7]。针对一炮轰技术的弊端，很多专家提出了氮肥分次施用技术，即把用作基肥的一部分氮肥改作追肥[8-9]。研究氮肥基 / 追比对小麦生长发育及氮素利用率影响，有助于了解和调控小麦生长发育，实现高产和提高氮肥利用率。本实验结合河南潮土区小麦生长发育规律和生态特点，开展了不同氮肥基 / 追比条件下小麦产量、经济性状、氮肥利用率及经济效益的研究，为潮土区氮肥合理施用提供理论依据，为实现小麦高产创造条件。本研究是在国际植物营养研究所（IPNI）北京办事处资助下完成。

1　试验材料与方法

试验于 2007 年 10 月布置在新乡市延津县司寨乡平陵村。土壤类型为潮土。延津县位于河南省东北部，属华北黄河冲积平原。属暖温带大陆性季风气候，春季干旱少雨，夏季炎热雨量大，秋季凉爽

[1] 本研究得到国际植物营养研究所（IPNI）北京办事处资助。

时令短，冬季寒冷少雨雪。年平均气温 14℃，全年无霜期 216 天，年平均日照时数 2504.3 小时，年平均降雨量 614.2 毫米，较适合农作物生长。

根据氮肥追施时间和用量设置 5 个处理，分别为 T1:不施氮肥，T2：氮肥作为基肥一次施入（2007 年 10 月 26 日）；T3 ：50% 作为基肥（2007 年 10 月 26 日），50% 返青期施入（2008 年 2 月 20 日）；T4：氮肥 33.3% 作为基肥（2007 年 10 月 26 日），33.3% 返青期施入（2008 年 2 月 20 日）,33.3% 拔节期施入（2008 年 3 月 15 日）T5：氮肥 25% 作为基肥（2007 年 10 月 26 日），25% 返青期施入（2008 年 2 月 20 日）,25% 拔节期施入（2008 年 3 月 15 日），25% 抽穗期施入（2008 年 4 月 7 日）。

氮肥为尿素（N 46%），氮肥用量为 15 公斤 / 亩，施肥方法按各处理要求，磷钾肥作为基肥在播种时一次施入。磷肥用过磷酸钙(10%)，用量为 P_2O_5 7 公斤 / 亩，钾肥用氯化钾(60%)，用量为 K_2O 7 公斤 / 亩。钾肥用加拿大产氯化钾。

小区面积为 3 × 9.2=27.6m^2，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。小麦品种为：郑麦 366，播种量为：7.5 公斤 / 亩。试验于 2007 年 10 月 26 日播种，于 2008 年 6 月 2 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。

表 1　试验地土壤养分基本状况

地点	实验室编号	经度	纬度	pH	OM %	NH_4-N	P	K	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
						毫克 / 升								
平陵	BBQ|R|10	E114° 14′ 43.4″	N35° 12′ 12.6″	8.42	0.46	13.7	24.9	130.5	43.5	13.9	2.1	16.6	1.6	1.07

2　结果分析

2.1　氮肥不同基追比对小麦养分需求与供应的影响

氮肥不同基追比对小麦产量影响见表 2。五个处理中以 T4(N33.3% 基 + 33.3% 返青 + 33.3% 拔节)处理最高，达 532 公斤 / 亩，其利润也是最高为 663 元 / 亩，产投比为 4.5，生物产量也是最高 1144 公斤 / 亩，经济系数为 0.47，产量与其他各个处理相比差已达到 5% 和 1% 显著水平。其次为 T5(N25% 基 + 25% 返青 + 25% 拔节 +25% 抽穗)处理，产量达 496 公斤 / 亩，其利润为第 2 位 606 元 / 亩，产投比为 4.2，生物产量是第 2 位 1072 公斤 / 亩，经济系数为 0.46。T3(N50% 基 + 50% 返青)处理，产量为 452 公斤 / 亩，其利润是第 3 位 535 元 / 亩，产投比为 3.8，生物产量是第 3 为 976 公斤 / 亩，经济系数为 0.46。T2(N100% 基)处理产量为 414 公斤 / 亩，其利润是第 5 位 475 元 / 亩，产投比为 3.5，生物产量是第 4 为 899 公斤 / 亩，经济系数为 0.46。T1(不施氮肥处理)产量为第 5 位达 360 公斤 / 亩 其利润为第 4 位 478 元 / 亩，产投比为 5.9，生物产量是第 5 位 791 公斤 / 亩，经济系数为 0.45。 每公斤氮增产小麦 3.6～11.5 公斤。

由表 2 可以看到，施氮有明显的增产效果，氮肥分期施用对产量影响也有差别。各处理产量依次为 T4(N33.3% 基 + 33.3% 返青 + 33.3% 拔节)处理最高，达 532 公斤 / 亩，T5(N25% 基 + 25% 返青 + 25% 拔节 +25% 抽穗)处理，产量达 496 公斤 / 亩，T3(N50% 基 + 50% 返青)处理，产量为 452 公

斤 / 亩，T2(N100% 基)处理产量为 414 公斤 / 亩，T1(不施氮肥处理)产量为第 5 位达 360 公斤 / 亩。施氮处理比不施氮处理产量提高了 55-172 公斤 / 亩，以 T4 处理增产幅度最高，比不施氮肥处理产量提高了 47.9%。经济效益也以 T4 处理最高，为 663 元 / 亩，比不施氮肥处理提高了 185 元 / 亩。

表 2　氮肥基追比对产量及经济效益的影响

处理	产量 公斤 / 亩	显著性 0.05	显著性 0.01	增产 %	利润 元 / 亩	产投比	生物产量 公斤 / 亩	经济系数
T1	360	e	E	0.0	478			
T2	414	d	D	15.2	475	3.5	899	0.46
T3	452	c	C	25.6	535	3.8	976	0.46
T4	532	a	A	47.9	663	4.5	1144	0.47
T5	496	b	B	38.0	606	4.2	1072	0.46

价格（元 / 公斤）N 6、P_2O_5 6、K_2O 8.0、小麦 1.60

2.2　氮肥不同基追比对小麦经济性状的影响

施氮肥比不施氮肥显著提高了分蘖数、亩穗数、穗粒数和千粒重。在施氮的 4 个处理中，在分蘖数、亩穗数、穗粒数和千粒重方面，N33.3% 基 + 33.3% 返青 + 33.3% 拔节 > N25% 基 + 25% 返青 + 25% 拔节 +25% 抽穗 > N50% 基 + 50% 返青 > N100% 基。

T4 处理穗粒数最多，为 32.9 粒，T1 处理最少，27.9 粒。T4 处理穗粒数比 T5 处理多 0.3 粒，比 T3 处理多 0.7 粒，比 T2 处理多 1.6 粒，比 T1 处理多 5 粒。

千粒重变化与穗粒数变化一致，以 T4 处理千粒重最高，为 39.9 克，T1 处理最小，31.3 克。T4 处理千粒重比 T5 处理高 0.7 克，比 T3 处理高 1.1 克，比 T2 处理多 2.6 克，比 T1 处理高 8.6 克。

表 3　氮肥不同基追比对小麦经济性状的影响

处理	冬前分蘖 万 / 亩	最大分蘖 万 / 亩	株高 厘米	穗长 厘米	穗数 万 / 亩	穗粒 数粒	千粒重 g
T1	35	59	62.3	6.6	34	27.9	31.3
T2	43	80	75	7.7	44	31.3	37.3
T3	43	80	76.3	8	45	32.2	38.8
T4	43	80	76.9	8.2	46	32.9	39.9
T5	43	80	77.3	8.4	46	32.6	39.2

2.3　氮肥不同基追比对小麦氮肥利用率的影响

不同处理对小麦吸收氮素利用率的影响见表 4。从表 4 可看出，氮肥利用率以 T4(N33.3% 基 + 33.3% 返青 + 33.3% 拔节)处理最高，为 41.4%；其次为 T5(N25% 基 + 25% 返青 + 25% 拔节 +25% 抽穗)处理，30.9%；T3(N50% 基 + 50% 返青)处理，27.0%；T2(N100% 基)处理，18.5%。氮肥三次施用、四次施用、两次施用分别比氮肥全部基施处理氮肥利用率提高 22.9、12.4、8.5 个百分点，

说明氮肥分次追施有利于提高氮肥利用率，以T4(氮肥33.3%作为基肥，33.3%返青期追施,33.3%期拔节期追施)最高。子粒含氮量和秸秆含氮量处理间变化不大，不同处理的全株总氮量和氮肥利用率的结果一致。

表 4　氮肥不同基追比对小麦氮肥利用率的影响

处理	施氮量 公斤 / 亩	籽粒产量 公斤 / 亩	N 积累量 公斤 / 亩	秸秆产量 公斤 / 亩	N 积累量 公斤 / 亩	总吸氮量 公斤 / 亩	氮肥利用率 %
T1	0	360	7	432	1.4	8.4	
T2	15	414	9	485	2.6	11.6	18.5
T3	15	452	10	524	2.7	12.7	27.0
T4	15	532	12	612	3.4	15.4	41.4
T5	15	496	11	576	2.3	13.3	30.9

3　小结

追施氮肥处理比氮肥全部基施处理要好，其中小麦产量以N33.3%基 + 33.3%返青 + 33.3%拔节处理最高，达532公斤 / 亩，比不施氮肥处理提高了47.9%；利润最高，为663元 / 亩，比不施氮肥处理提高了185元 / 亩；氮肥利用率最高，达41.4%。氮肥三次施用、四次施用、两次施用分别比氮肥全部基施处理氮肥利用率提高22.9、12.4、8.5个百分点。

参考文献：

[1] 蒋家慧. 氮肥运筹对小麦碳素同化、运转和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(3): 69- 72.

[2] 戴廷波, 孙传范, 荆奇, 等. 不同施氮水平和基追比对小麦籽粒品质形成的调控[J]. 作物学报, 2005, 31(2): 248- 253.

[3] 赵荣芳, 陈新平, 张福锁. 基于养分平衡和土壤测试的冬小麦氮素优化管理方法[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 211-225.

[4] 王激清，马文奇，江荣风，等。我国水稻、小麦、玉米基肥和追肥用量及比例分析[J]. 土壤通报，2008，39(2): 329-333.

[5] 王绍中，小麦超高产主攻穗粒重研究[C], 中国农业出版社，1995.197-204.

[6] 陈磊，郝明德，张少民，等. 黄土高原旱地长期施肥对小麦养分吸收和土壤肥力的影响[J]，植物营养与肥料学报，2007，13(2): 230-235

[7] 胡田田，李岗，韩思明，等。冬小麦氮磷营养特征及其与土壤养分动态变化的关系[J]，麦类作物学报，2000, 20(4): 47-50.

[8] 刘新月, 乔蕊清, 卫云综, 等。冬小麦超高产栽培氮肥后移技术的研究[J], 山西农业科学, 2001, 29(2): 26-28.

[9] 盛华安, 张明慧, 周永寿, 等. 小麦氮肥后移技术对产量的影响[J], 安徽农业通报, 2003, 9(3): 64-67.

上接 26 页

3　玉米高效平衡施肥技术

根据平衡施肥试验结果，结合玉米需肥规律和当地土壤养分状况，拟定安徽省江淮丘陵黄褐土地区夏玉米高产高效平衡施肥技术方案，供参考。

施肥量：中等肥力地块，每亩施用 1500 公斤有机肥的基础上，适宜施肥量为，每亩施纯 N 9~12 公斤、P_2O_5 5~7 公斤，K_2O 5~8 公斤，折合尿素（含 N 量 46%）约 20~26 公斤，普通过磷酸钙（P_2O_5 含量 12%）40~60 公斤（或者 P_2O_5 含量 46% 的磷酸二铵 12~15 公斤），氯化钾（K_2O 含量 60%）8~12 公斤。土壤肥力低、缺乏有机肥时，可考虑应用较高的施肥量；反之，土壤肥力高，地力基础好时，可适当减少施肥量。高产玉米品种或高产栽培时，可适当加大施肥量。缺锌的土壤每亩可基施硫酸锌 1.0 公斤，或苗期叶面喷施锌肥 1~2 次。

施肥方法：玉米播种前，60% 的氮肥和全部磷钾肥混匀作基肥全层撒施，深翻入土。剩下的 40% 氮肥于大喇叭口期追施。

潮土施氮量对夏玉米产量和氮肥利用率的影响

李丙奇[1]　孙克刚　和爱玲

（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：**高产条件下研究了不同施氮量对玉米籽粒产量和氮肥利用率的影响。结果表明：施氮对夏玉米有明显的增产作用，籽粒产量随施氮量增加呈先增加后降低的趋势，以每亩施15 kg纯氮的处理籽粒产量最高。氮肥利用率在30.3%～40.2%之间，随施氮量增加，氮肥利用率呈下降的趋势。*

关键词：施氮量，玉米，氮肥利用率

玉米是我国第二大作物，在谷物生产上占有重要地位。20 世纪 50 年代以前，我国主要靠有机肥来维持作物产量。50 年代后，化肥，特别是化学氮肥在农业生产上开始发挥重要作用。由于玉米对氮肥敏感，施氮增产效果明显，且其具有较强的耐肥性，因此近年来玉米生产上逐渐出现了氮肥超量施用问题。但随着施肥量的增加，肥料利用率降低、经济效益下降等问题日益突出，朱兆良等[1]报道。现阶段我国氮肥利用率仅为 28%～ 41%，氮肥养分的损失还对生态环境造成污染[2]。关于玉米氮营养机理和需肥规律已有较多报道[3－5]，但是不同施氮量对玉米产量和氮肥利用率影响的研究尚少。确定适宜的氮肥用量是玉米高产优质高效栽培的重要措施。本试验在高产条件下设置不同的施氮量处理，研究了对玉米籽粒产量和氮肥利用率的影响，以期为制订潮土区玉米高产高效栽培技术提供理论依据。本研究是在国际植物营养研究所（IPNI）北京办事处资助下完成。

1　材料与方法

试验地点在新乡市延津县司寨乡平陵村。土壤类型为潮土，质地为中壤。试验日期为：2008 年 6 月至 2008 年 9 月。玉米品种为：郑单 958，种植密度为 5000 株 / 亩。播种前取 0～20cm 土壤样品送中国农业科学院区划所中—加合作土壤植物样品分析实验室和河南农科院资环所实验室分析。

表 1　试验地土壤养分基本状况

地点	实验室编号	pH	OM	NH_4+	P	K	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
			%	毫克 / 升								
平陵村	AYY|W|08	8.3	0.3	7.2	72.3	82.9	8.7	18.4	4	7.1	1.6	1.7

此试验设置 7 个处理，见表 2。

[1] 作者简介：李丙奇（1977-），男，河南禹州人，助理研究员，主要从事植物营养和精准农业养分管理与施肥方向研究。电话：13213040601，电子信箱：bqlisfi@126.com。本研究是在国际植物营养研究所（IPNI）北京办事处和河南省科技攻关计划（092102110041）：“小麦玉米一体化栽培、施肥简化优化措施研究”资助下完成。

表 2　试验设计方案

处理	肥料用量（公斤 / 亩）		
	N	P_2O_5	K_2O
CK	0	0	0
$N_0P_4K_6$	0	4	6
$N_9P_4K_6$	9	4	6
$N_{12}P_4K_6$	12	4	6
$N_{15}P_4K_6$	15	4	6
$N_{18}P_4K_6$	18	4	6

重复 3 次，随机区组排列。收获各小区籽粒（或收获部分）和秸秆产量；并取植株和籽粒进行 N、P、K 元素吸收分析和籽茎比计算。田间管理按丰产田要求，并记载生物学性状。磷钾肥全部做基肥，氮肥 1/3 作底肥施用，2/3 在大喇叭口期作追肥。氮磷钾肥分别以尿素（N 46%）、过磷酸钙（P_2O_5 10%）和氯化钾（K_2O 60%）形式施入。钾肥用加拿大产氯化钾。

2　结果与分析

2.1　不同施肥对玉米产量和经济效益的影响

试验结果经方差分析，F 值达到 5% 和 1% 显著水平。在 6 个处理中以 N15P4K6 处理产量最高，达 578.9 公斤 / 亩，其利润第 1 为 882.1 元 / 亩，产投比 6.1，生物产量是最高 1266.7 公斤 / 亩，经济系数为 0.46，产量与其他各个处理相比差异达到 5% 和 1% 显著水平。其次为 $N_{18}P_4K_6$ 处理，产量达 563.1 公斤 / 亩，利润是第 3 位 777.3 元 / 亩，产投比 5.3，生物产量第 2 是 1229.2 公斤 / 亩，经济系数为 0.45。$N_{12}P_4K_6$ 处理，产量达 552.0 公斤 / 亩，其利润为第 2 位 794.4 元 / 亩，产投比为 6.5，生物产量是第 3 位 1176.1 公斤 / 亩，经济系数为 0.45。$N_9P_4K_6$ 处理产量为 526.9 公斤 / 亩，其利润为第 4 位 769.8 元 / 亩，产投比为 7.1，生物产量是 1075.9 公斤 / 亩，经济系数为 0.45，$N_0P_4K_6$ 处理产量为 377.6 公斤 / 亩，其利润为第 5 位 569.9 元 / 亩，产投比为 8.9，生物产量是 888.3 公斤 / 亩，经济系数为 0.43，不施肥处理产量为 312.8 公斤 / 亩。

玉米产量随氮肥施用量的增加而增加，而后随氮肥施用量的增加产量又有所下降。氮肥施用水平分别为 9 公斤 / 亩、12 公斤 / 亩、15 公斤 / 亩和 18 公斤 / 亩；玉米的产量分别为：526.9 公斤 / 亩、552.0 公斤 / 亩、578.9 公斤 / 亩、563.1 公斤 / 亩。每公斤氮素增产玉米为：16.6 公斤、14.5 公斤、13.4 公斤和 10.3 公斤。

2.2　玉米氮肥用量效应函数的建立及施肥量推荐

由玉米产量和氮肥施用量通过回归计算得出氮肥用量和玉米产量的回归效应方程：

$Y=376.8+23.4*N-0.71*N^2$ （F=163.6，R =0.9939）

由方程计算出最高产量施肥量为 16.52 公斤 / 亩，玉米产量 580.7 公斤 / 亩。最佳产量施肥量为 14.0 公斤 / 亩，玉米产量为 576.4 公斤 / 亩。最佳产量施肥量 14.0 公斤 / 亩，比最高产量施肥量 16.5 公斤 / 亩，每亩施肥量减少 2.5 公斤，每公斤氮肥价格为 6.0 元，每亩少投入 14.9 元。而最高施肥量产量为 580.7 公斤 / 亩，最佳施肥量产量为 576.4 公斤 / 亩，每亩增产 4.3 公斤 / 亩，每公斤玉米价格为

表 3　不同处理比对玉米产量及经济效益影响（公斤 / 亩）

施肥量			产量	显著性		元 / 亩			产投比	生物	经济
N	P_2O_5	K_2O	平均	5%	1%	产值	成本	利润		产量	系数
0	0	0	312.8	f	E	531.7	0	531.7	-	735.1	0.43
0	4	6	377.6	e	D	641.9	72	569.9	8.9	888.3	0.43
9	4	6	526.9	d	C	895.8	126	769.8	7.1	1075.9	0.45
12	4	6	552.0	c	BC	938.4	144	794.4	6.5	1176.1	0.45
15	4	6	578.9	a	A	984.1	162	822.1	6.1	1266.7	0.46
18	4	6	563.1	b	B	957.3	180	777.3	5.3	1229.2	0.45

价格（元 / 公斤）N 6.0、P_2O_5 6.0、K_2O8.0、玉米 1.70

1.7 元，每亩增加效益 7.3 元，最高施肥量比最佳施肥量减少 7.64 元收入。因此，本地氮肥用量推荐为 14.0 公斤 / 亩较为合适。

2.3　不同施肥对玉米经济性状的影响

由表4可以看出，施氮肥比不施氮肥显著提高了株高、穗长、穗粒数和百粒重。在施氮的4个处理中，$N_{15}P_4K_6$ 处理的经济性状最好，比 $N_9P_4K_6$ 处理穗粒数多 24.6 粒 / 穗，百粒重高 0.3 克；比 $N_{12}P_4K_6$ 处理穗粒数多10.0粒/穗，百粒重高0.1克；比$N_{18}P_4K_6$处理穗粒数多1.6粒/穗，百粒重高0.1克。$N_{18}P_4K_6$ 比 $N_9P_4K_6$ 处理穗粒数多 23.0 粒 / 穗，百粒重高 0.2 克。$N_{18}P_4K_6$ 比 $N_{12}P_4K_6$ 处理穗粒数多 8.4 粒 / 穗，百粒重一样。$N_{12}P_4K_6$ 处理比 $N_9P_4K_6$ 处理穗粒数多 14.6 粒 / 穗，百粒重高 0.2 克。不施肥经济性状最差。

表 4　不同处理对小麦经济性状的影响

处理	株数 株 / 亩	株高 厘米	穗长 厘米	穗粗 厘米	穗粒数 粒 / 穗	百粒重 克
CK	5000	191	15.2	3.9	338.9	26
$N_0P_4K_6$	5000	212	15.9	4.0	342.3	26.4
$N_9P_4K_6$	5000	236	18.1	4.2	494.8	27
$N_{12}P_4K_6$	5000	240	18.2	4.9	509.4	27.2
$N_{15}P_4K_6$	5000	245	18.3	5.1	519.4	27.3
$N_{18}P_4K_6$	5000	241	18.3	5.0	517.8	27.2

2.4　不同施肥对氮肥利用率的影响

由表5可以看出，$N_9P_4K_6$处理的氮肥利用率最高为40.2%，$N_{12}P_4K_6$处理的氮肥利用率次之为37.5%，$N_{15}P_4K_6$ 处理的氮肥利用率第 3 为 35.7%，$N_{18}P_4K_6$ 处理的氮肥利用率第 4 为 30.3%。$N_9P_4K_6$ 处理的氮肥利用率比 $N_{12}P_4K_6$ 处理、$N_{15}P_4K_6$ 处理和 $N_{18}P_4K_6$ 处理分别高 2.7 个百分点、4.5 个百分点和 9.9 个百分点。$N_{12}P_4K_6$ 处理的氮肥利用率比 $N_{15}P_4K_6$ 处理和 $N_{18}P_4K_6$ 处理分别高 1.8 个百分点、和 7.2 个百分点。$N_{15}P_4K_6$ 处理的氮肥利用率比 $N_{18}P_4K_6$ 处理高 5.4 个百分点。随着产量的增高，氮肥的利用率呈降低的趋势。产量

最高的 $N_{15}P_4K_6$ 处理的氮肥利用率在第三位。过量施氮肥的 $N_{18}P_4K_6$ 处理的氮肥利用率最低。

表 5　不同处理的氮肥利用率的影响

处理	籽粒 N 积累量（公斤 / 亩）	秸秆 N 积累量（公斤 / 亩）	N 合计积累量（公斤 / 亩）	N 的利用率（%）
CK	3.8	1.8	5.6	-
$N_0P_4K_6$	6.2	2.5	8.7	-
$N_9P_4K_6$	8.4	3.9	12.3	40.2
$N_{12}P_4K_6$	8.9	4.3	13.2	37.5
$N_{15}P_4K_6$	9.4	4.6	14.0	35.7
$N_{18}P_4K_6$	9.3	4.8	14.1	30.3

注：氮肥利用率（%）=（施氮处理吸氮量－不施氮处理吸氮量）/ 施氮量 × 100

3　结果与讨论

本试验条件下，施氮对夏玉米籽粒产量有明显的增产作用，籽粒产量随施氮量增加呈先增加后降低的趋势，以每亩施 15 kg 纯氮的处理籽粒产量最高，经济效益也最好。氮肥施用水平分别为 9 公斤 / 亩、12 公斤 / 亩、15 公斤 / 亩和 18 公斤 / 亩，玉米的产量分别为：526.9 公斤 / 亩、552.0 公斤 / 亩、578.9 公斤 / 亩、563.1 公斤 / 亩。每公斤氮素增产玉米为：16.6 公斤、14.5 公斤、13.4 公斤和 10.3 公斤。

由玉米产量和氮肥施用量通过回归计算得出氮肥用量和玉米产量的回归效应方程可知最佳施肥量为 14.03 公斤 / 亩。

$N_9P_4K_6$ 处理的氮肥利用率最高为 40.2%。随着产量的增高，氮肥利用率呈降低的趋势。产量最高的 $N_{15}P_4K_6$ 处理的氮肥利用率在第三位为 35.7%。过量施氮肥 $N_{18}P_4K_6$ 处理的氮肥利用率最低为 30.3%。

参考文献：

[1] 朱兆良，文启孝．中国土壤氮素．江苏科学技术出版社，1992, 213-249.

[2] 朱兆良．农田中氮肥的损失与对策．土壤与环境，2000，9(1):1-6

[3] 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．土壤学报，2006,06:885-891

[4] 赵营，同延安，赵护兵．不同氮素水平对夏玉米养分积累、转运及对产量的影响．植物营养与肥料 学报 2006 12(5):622-627

[5] 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．作物学报，2006, 05:772-778

[6] 闫孝贡，武巍，刘铮．黑钙土玉米氮肥经济用量的研究．吉林农业科学，2007, 32(5):33-34

[7] 黄庆，孙映波，马曼庄．氮肥用量和氮源形态对饲料玉米氮素利用率及产量的影响．广东农业科学，2001, 06:27-28

[8] 霍竹，付晋锋，王璞．秸秆还田[1]　　作者简介：李丙奇（1977-），男，河南禹州人，助理研究员，主要从事植物营养和精准农业养分管理与施肥方向研究。电话：13213040601，电子信箱：bqlisfi@126.com。本研究是在国际植物营养研究所（IPNI）北京办事处资助下完成。

施肥对玉米养分吸收利用及产量的影响

李青军[1] 刘德江[2] 高伟[3] 饶晓娟[2] 齐士发[2] 张炎[1]

（1. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所，新疆乌鲁木齐 830091；2. 新疆农业职业技术学院，新疆昌吉 831100；3. 天津市农业资源与环境研究所，天津市 300192）

摘要：*通过田间小区试验，研究了施肥对玉米养分吸收利用及产量的影响。结果表明，2006 年测土推荐施肥处理（OPT）的植株 N、P、K 吸收量分别比不施肥处理提高 54.94%、41.87%、64.89%，每形成 100 公斤子粒的养分吸收量 N 3.15 公斤、P_2O_5 0.71 公斤、K_2O 3.92 公斤。施肥对玉米增产效果显著，OPT 处理的增产率达到 28.90%，氮、磷、钾肥对玉米产量的贡献率分别是 6.18%、20.69%、12.42%，增产效益分别为 2.83 公斤 / 公斤 N、24.89 公斤 / 公斤 P_2O_5、36.15 公斤 / 公斤 K_2O。两年的试验都表明磷素是供试土壤的第一养分限制因子，氮素的增收效益较小，因此要重视磷钾肥的施用，减少氮肥的用量，均衡土壤养分比例来提高化肥施用的效益。*

关键词：*玉米；施肥；产量；肥料效益；*

玉米在新疆农业生产中占有重要的地位，2006 年新疆玉米种植面积 756.6 万亩，平均单产 519.47 公斤 / 亩，2007 年新疆玉米种植面积 793.35 万亩，平均单产 499.13 公斤 / 亩。由于玉米对氮肥敏感，施氮增产效果明显，且其具有较强的耐肥性，玉米生产上逐渐出现了氮肥超量施用问题。近年来，随着化肥投入量的增加，出现了化肥利用率及产出下降的现象。研究表明，华北平原玉米氮肥利用率一般只有 20%~30%[1]，这不仅造成很大的浪费，而且还污染环境[2~6]。因此，合理施用化肥是协调养分供应与作物吸收，减少肥料损失，提高养分利用率的有效措施。但生产中，化肥不合理使用，如施肥上普遍存在重氮肥轻磷钾肥，易引起养分流失，降低养分利用率，仍是当前施肥实践中十分突出的问题。鉴于此，本文以减少肥料损失、提高玉米肥料利用率为着眼点，通过田间试验，研究了施肥对玉米养分吸收利用及产量的影响，为新疆农业生产中玉米的施肥技术的改进与提高提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试土壤的基本理化性状

试验于 2006~2007 年完成，试验地分别位于昌吉市六工镇东五工村、乌鲁木齐市农十二师三坪农场 5 连，土壤类型为灌耕灰漠土，质地属于砂质粘壤土，前茬作物均为玉米，供试土壤的养分状况见表 1。

表 1　ASI 法土壤养分分析结果

年份	地点	OM	N	P	K	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	pH
		%	毫克 / 升									
2006	昌吉市六工镇东五工村	1.17	21.31	13.61	93.4	17.09	1.25	2.26	16.42	10.68	1.17	8.15
2007	乌市农十二师三坪农场 5 连	1.29	25.3	18.8	125.9	10.8	1.0	2.1	13.5	3.1	0.8	8.35

1.2 试验设计

试验设 5 个处理，即 OPT, OPT-N, OPT-P, OPT-K, CK0（不施任何肥料），其中 OPT 为根据土壤测试值而确定的施肥量，各处理施肥量见表 2，总氮量 25%的尿素和全部的磷、钾肥做基肥，在播种前施入，其余 75% 的尿素分 2 次在玉米拔节期和抽雄期开沟施入。重复 3 次，随机排列，小区面积 33 米^2。供试玉米品种为郑单 958，试验玉米株距为 30 厘米，行距为 50cm，理论株数为 44000 株 / 亩。2006 年试验于 5 月 13 日播种，10 月 8 日收获；2007 年试验于 5 月 7 日播种，9 月 25 日收获。

表 2　玉米不同施肥处理的施肥量　（公斤 / 亩）

年份	处理号	氮肥总量	基肥			追肥
		N	P_2O_5	K_2O	N	N
2006	OPT	15.5	4.7	2.3	3.87	11.63
	OPT-N	0	4.7	2.3	0	0
	OPT-P	15.5	0	2.3	3.87	11.63
	OPT-K	15.5	4.7	0	3.87	11.63
	CK0	0	0	0	0	0
2007	OPT	14	7	5	3.5	10.5
	OPT-N	0	7	5	0	0
	OPT-P	14	0	5	3.5	10.5
	OPT-K	14	7	0	3.5	10.5
	CK0	0	0	0	0	0

1.3 玉米植株样品的采集与测定

1.3.1 植株样品的采集和干物质积累量的测定

2006 年试验分别于苗期（5 月 20 日）、拔节期（6 月 21 日）、大喇叭口期（7 月 8 日），灌浆期（8 月 18 日），成熟期（9 月 17 日）；2007 年试验分别于苗期（5 月 26 日）、拔节期（6 月 15 日）、大喇叭口期（7 月 13 日），灌浆期（8 月 12 日），成熟期（9 月 18 日），选取 CK0 和 OPT 处理各小区有代表性的玉米 3 株（苗期 10 株），采集玉米地上部分，成熟期采集所有处理小区的代表性样品，分成地上部营养体与籽粒两部分，在 105℃烘箱中杀酶 30 分钟，然后在 70℃条下烘至恒重，称重，计干物质累积量。

1.3.2 植株养分含量的测定

将成熟期采集的样品烘干、粉碎，用浓 H_2SO_4-H_2O_2 消煮，采用凯氏定氮法测氮、钒钼黄比色法测磷、原子吸收法测钾。

2 结果与分析

2.1 施肥对玉米干物质积累的影响

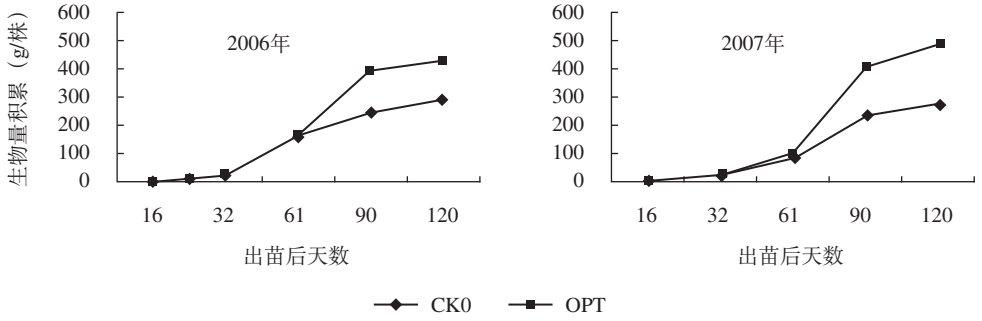

图 1　2006 年与 2007 年试验玉米地上部生物量积累

由图 1 可以看出，2006 年和 2007 年施肥对玉米干物质积累有相同的趋势，自出苗至成熟，玉米干物质逐渐增多。但这种增多并非等比例进行，而是苗期缓慢，拔节期增长加快，大喇叭口到灌浆期生物量增长最快，干物质迅速积累，到成熟期又逐渐减缓。图形接近“S”形，符合作物干物质迅速的一般规律。处理 OPT 各时期的生物量一直大于 CK0，但其差异在玉米出苗后 60 天前并不明显，而出苗后 90 天 120 天（灌浆期）和 120 天（成熟期）时却差异明显。表明试验地的基础养分可以满足玉米前期的生长需要，施肥效果不明显；随着时间的推移，玉米对养分的吸收量逐渐增加，基础养分不断消耗，施肥效果明显，施肥成为玉米增产的重要因素。

2.2 施肥对玉米植株养分含量的影响

表 3　玉米各器官及整株的 N、P_2O_5、K_2O 养分含量（%）

	处理	秸秆			子粒			整株		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
2006	OPT	1.12	0.24	2.88	1.50	0.35	0.32	1.28	0.29	1.58
	OPT-N	0.80	0.19	2.03	1.20	0.26	0.30	0.96	0.22	1.53
	OPT-P	1.12	0.19	2.68	1.32	0.22	0.31	1.19	0.20	1.47
	OPT-K	1.22	0.21	1.92	1.18	0.28	0.30	1.21	0.24	1.50
	CK0	1.13	0.21	2.34	1.28	0.29	0.31	1.20	0.25	1.62
2007	OPT	0.85	0.21	2.21	1.02	0.28	0.40	1.04	0.27	1.26
	OPT-N	0.80	0.24	2.65	0.97	0.28	0.40	0.83	0.26	1.38
	OPT-P	0.81	0.20	2.47	1.01	0.28	0.39	0.91	0.24	1.34
	OPT-K	0.65	0.19	2.44	1.00	0.29	0.40	0.85	0.25	1.28
	CK0	0.80	0.19	2.29	1.07	0.29	0.39	0.92	0.22	1.32

玉米成熟期各部位及整株的N、P_2O_5、K_2O含量见表3。2006年试验表明，玉米子粒的N、P_2O_5养分含量均大于秸杆的，而子粒的K_2O含量却远远低于秸杆的；从各处理的来看，OPT处理的整株N、P_2O_5、K_2O含量都大于其他处理，秸杆和子粒的N、P_2O_5、K_2O含量也具有相同的趋势；从施肥对植株体内N、P_2O_5、K_2O养分含量的影响来看，施氮对成熟期秸杆的P_2O_5含量及子粒的P_2O_5、K_2O含量影响不大，但可以明显提高秸杆和子粒中的N素的含量；施磷只提高子粒中P_2O_5的含量，而对N、K_2O含量的影响不明显；施钾提高了秸杆中的K_2O含量及子粒中N的含量，而秸杆中的N、P_2O_5含量及子粒的P_2O_5、K_2O含量影响不大。2007年的试验与2006年不同处在于OPT处理的秸秆的K_2O含量低于其它处理，造成玉米整株的K_2O含量低于其它处理，但2007年玉米子粒的K_2O含量有较大提高。

2.3　施肥对玉米养分吸收利用的影响

表4　玉米各器官及整株的N、P_2O_5、K_2O养分吸收量（公斤/亩）

	处理	秸秆			子粒			整株		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
2006	OPT	12.40	2.65	27.11	11.31	2.67	2.39	23.71	5.32	29.50
	OPT-N	8.68	2.07	22.03	8.49	1.84	2.15	17.17	3.91	24.18
	OPT-P	14.90	2.57	26.67	8.23	1.37	1.96	23.13	3.94	28.63
	OPT-K	14.60	2.56	25.94	7.93	1.87	2.01	22.52	4.44	27.95
	CK0	7.81	1.49	16.08	7.50	1.68	1.80	15.31	3.17	17.88
2007	OPT	7.54	1.87	16.74	9.87	2.37	3.26	17.41	4.24	20.00
	OPT-N	4.59	1.36	15.51	7.41	2.13	3.07	12.00	3.49	18.58
	OPT-P	4.78	1.15	14.53	7.00	1.92	2.71	11.77	3.07	17.23
	OPT-K	3.86	1.17	14.33	7.66	2.20	3.05	11.52	3.37	17.38
	CK0	5.20	1.27	14.89	6.69	1.53	2.07	11.88	2.80	16.96

玉米成熟期各部位及整株每公顷吸收的N、P_2O_5、K_2O养分量见表4。2006年OPT处理植株总的吸N量比OPT-N、OPT-P、OPT-K、CK0分别提高38.12%、2.52%、5.29%、54.94%，不施氮素或不施肥对玉米的吸N量都有比较明显的影响；OPT处理植株总的吸P_2O_5量比OPT-N、OPT-P、OPT-K、CK0分别提高36.08%、34.95%、19.88%、67.72%，可见N、P、K任何一种元素的缺失都对玉米的吸P_2O_5量有较大的影响；OPT处理植株总的吸K_2O量比OPT-N、OPT-P、OPT-K、CK0分别提高21.99%、3.04%、5.52%、64.98%。不施氮素或不施肥对玉米吸收钾量有明显影响。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N、P_2O_5、K_2O的吸收量都明显高于其它处理。

2006年玉米成熟期各处理子粒吸收的N、P_2O_5、K_2O的量分别占整株吸收该养分总量的N 35.19%~49.43%、P_2O_5 34.75%~53.09%、K_2O 6.85%~10.07%；2007年玉米成熟期各处理子粒吸收的N、P_2O_5、K_2O的量分别占整株吸收该养分总量的N 52.67%~66.49%、P_2O_5 54.55%~65.33%、K_2O 12.19%~17.55%。与2006年相比，2007年的玉米子粒的养分含量更高一些，这与2007年P_2O_5、K_2O施用量增加有关。2006年处理OPT在成熟期每亩玉米子粒中氮磷钾养分的吸收量分别为N 11.31公斤、P_2O_5 2.67公斤、K_2O 2.39公斤，每形成100公斤子粒的养分吸收量N 3.15公斤、P_2O_5 0.71公斤、

K_2O 3.92 公斤。2007 年处理 OPT 在成熟期每亩玉米子粒中氮磷钾养分的吸收量分别为 N 9.87 公斤、P_2O_5 2.37 公斤、 K_2O 3.26 公斤，每形成 100 公斤子粒的养分吸收量 N 2.11 公斤、P_2O_5 0.51 公斤、K_2O 2.42 公斤。

养分的吸收、同化与转运直接影响着作物的生长和发育，从而影响着产量[6]。了解养分吸收动态变化规律，有助于采取有效措施调控作物生长发育、提高产量。2006 年 OPT 处理的各肥料的利用率分别为 N 42.23%、P_2O_5 29.30%、K_2O 67.10%；2007 年处理 OPT 的各肥料的利用率分别为 N 38.66%、P_2O_5 16.66%、K_2O 52.35%。两年的试验结果都表明 K_2O 的利用率比国内其它大田作物的养分利用率高[7]，这可能与玉米的养分吸收特点、土壤养分底值偏低及作物对钾的惰性吸收有关。由于大量的钾素被玉米吸收，容易造成土壤中钾养分的不足，因此，在追施氮肥时应考虑后期补钾。但农民习惯在后期只追施氮肥，在今后生产中可考虑将 1/3 或 1/2 的钾随氮一起追施，以达到提高产量、改善品质目的。

2.4　施肥对玉米产量和肥料效益的影响

表 5　施肥对玉米产量和肥料效益的影响

	处理	产量（公斤 / 亩）	增产（公斤 / 亩）	增产率 (%)	肥料贡献率 (%)	肥料增产效益（公斤 / 公斤）	增收（元）
2006	OPT	752.40 a	168.67	26.88	~	~	~
	OPT-N	708.60 b	124.87	19.90	6.18	2.83	0.82
	OPT-P	635.40 c	39.67	6.32	12.42	36.15	6.58
	OPT-K	669.27 b	85.53	13.63	20.69	27.45	8.90
	CK0	583.73 c			~	~	~
2007	OPT	825.40 a	198.00	31.56	~	~	~
	OPT-N	762.07 b	134.67	21.46	8.31	4.52	1.55
	OPT-P	692.07 c	64.67	10.31	19.27	19.05	5.74
	OPT-K	765.40 b	138.00	22.00	7.84	12.00	4.03
	CK0	627.40 d			~	~	~

注：2006 年昌吉市玉米 1.2 元 / 公斤 N：4.13 元 / 公斤，P_2O_5：3.70 元 / 公斤，K_2O：6.59 元 / 公斤，2007 年昌吉市玉米 1.4 元 / 公斤 N：4.08 元 / 公斤，P_2O_5：5.39 元 / 公斤，K_2O：4.17 元 / 公斤

由表 5 可以看出，施肥对玉米增产效果显著。2006 年施用化肥的 OPT、OPT-N、OPT-P、OPT-K 处理分别比对照增产 168.67 公斤 / 亩、124.87 公斤 / 亩、51.67 公斤 / 亩、85.53 公斤 / 亩，其中 OPT 处理的增产率达到 26.90%。N、P_2O_5、K_2O 对玉米产量的贡献率分别是 6.18%、20.69%、12.42%。肥料的增产效益用每千克纯养分增产的玉米产量表示，每公斤纯 N 增产玉米为 2.83 公斤，每公斤 P_2O_5 增产玉米为 24.89 公斤，每公斤 K_2O 增产玉米为 36.15 公斤。按照当年当地的肥料和玉米价格计算，每投入 1 元的纯 N 可增收 0.82 元，每投入 1 元的 P_2O_5 可增收 8.07 元，每投入 1 元的 K_2O 可增收 6.58 元。2007 年优化的 OPT 处理比不施肥处理增产 31.56%，N、P_2O_5、K_2O 对玉米产量的贡献率分别是 8.31%、19.27%、7.84%。按照当年当地的肥料和玉米价格计算，每投入 1 元的纯 N 可增收 1.55 元，每投入 1 元的 P_2O_5 可增收 7.21 元，每投入 1 元的 K_2O 可增收 3.26 元。两年的试验都表明

磷素是供试土壤的第一养分限制因子，氮素的增收效益较小，因此在供试土壤上种植玉米，要重视磷钾肥的施用，减少氮肥的用量，均衡土壤养分比例来提高化肥施用的效益。

3　结论

3.1 施肥对玉米前期干物质积累的效果不明显，但在玉米生长后期，施肥效果明显，施肥成为玉米增产的重要因素。

3.2 2006 年施氮对成熟期秸杆的 P_2O_5 含量及子粒的 P_2O_5、K_2O 含量影响不大，但可以明显提高秸杆和子粒中的氮素的含量；施磷只提高子粒中 P_2O_5 的含量，而对 N、K_2O 含量的影响不明显；施钾提高了秸杆中的 K_2O 含量及子粒中氮素的含量，而秸杆中的 N、P_2O_5 含量及子粒的 P_2O_5、K_2O 含量影响不大；2007 年玉米子粒的 K_2O 含量有较大提高。

3.3 2006 年处理 OPT 的各肥料的利用率分别为 N 42.23%、P_2O_5 29.30%、K_2O 67.10%；2007 年处理 OPT 的各肥料的利用率分别为 N 38.66%、P_2O_5 16.66%、K_2O 52.35%。由于玉米的吸钾量较大，容易造成土壤中钾养分的不足，因此，在追肥时应考虑后期补钾。

3.4 施肥对玉米产量影响显著。2006 年 N、P_2O_5、K_2O 对玉米产量的贡献率分别是 6.18%、20.69%、12.42%，增产效益分别为 2.83 公斤 / 公斤 N、24.89 公斤 / 公斤 P_2O_5、36.15 公斤 / 公斤 K_2O；2007 年 N、P_2O_5、K_2O 对玉米产量的贡献率分别是 8. 31%、19.27%、7.84%，增产效益分别为 4.52 公斤 / 公斤 N、19.05 公斤 / 公斤 P_2O_5、12.00 公斤 / 公斤 K_2O。两年的试验都表明磷素是供试土壤的第一养分限制因子。

参考文献：

[1] 张福锁 . 测土配方施肥技术要揽[M]. 北京:中国农业大学出版社 ,2006.

[2] Zhu Z L．Loss of fertilizer N from Plant-soil system and strategies and techniques for its reduction[J]．Soil and Environmental Science，2000，9(1)：I-6、

[3] 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):148-150.

[4] 李世清 , 李生秀 . 半干旱农田生态系统的硝酸盐淋溶损失[J]. 应用生态学报 ,2000 ,11(2):240-242.

[5] A. R. Mosier,Zhu Z L.Changes in patterns of fertilizer nitrogen use in Asia and its consequences for N2O emissions from agricultural systems [J].Nutr. Cyc. in Agroecosystems,2000,57:107-117.

[6] Li Y E,Liu E D.Emissions of N2O,NH3 and NOx from fuel combustion , industrial processes and the agricultural sectors in China[J].Nutr. Cyc. in Agroecosystems,2000,57:99-106.

[7] 宋海星 , 李生秀 . 玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J] . 中国农业科学 , 2003,36(1):71-76.

[8] 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

安徽玉米高效施肥技术研究

李录久[1]，许圣君[2]，孙义祥[1]，李红松[2]，
郭熙盛[1]，吴萍萍[1]
（1 安徽省农科院土肥所 合肥 230031，
2 寿县农技推广中心 232200）

摘要：*通过田间试验研究安徽省江淮丘陵地区玉米高产高效的平衡施肥技术。结果表明，平衡施肥对玉米生长发育有良好的促进作用，并能增加产值，提高经济效益。4 年试验平均，玉米最佳施肥处理（OPT）比不施氮肥、磷肥和钾肥的对照分别增产 36.0%、11.1% 和 13.3%，较农民习惯施肥产量提高 10.0%。施肥增收 30.10~167.80 元 / 亩，产投比为 1.47~5.82:1。*

关键词：*玉米，平衡施肥，江淮丘陵区*

安徽省江淮丘陵区为缺水易旱地区，灌溉条件较差，适宜种植玉米、大豆和甘薯等旱粮作物。玉米是江淮丘陵地区主要饲料作物，常年播种面积 144 万亩，占江淮地区夏粮播种面积的 15.3%，占安徽省玉米播种总面积的 19.8%，小麦—玉米轮作是江淮丘陵旱地的主要轮作方式之一。江淮丘陵岗地土壤类型主要是黄褐土，有效养分含量低，玉米产量长期低而不稳，其中施肥结构不合理是重要原因，农民长期偏施氮磷肥，不施或很少施用钾肥及微量元素，导致土壤速效钾含量迅速下降，微量元素缺乏，影响了玉米产量的进一步提高，降低了施肥的经济效益。因此，开展玉米高效施肥研究，对指导农民合理施肥，实现玉米高产优质高效具有重要作用。2002 年起，在国际植物营养研究所中国项目部的资助下，开展了玉米营养诊断施肥研究，取得了显著的增产增收效果。现将结果整理如下。

1　材料与方法

1.1　土壤养分状况

试验在安徽省寿县堰口镇进行。供试土壤为普通黄褐土，肥力中等，播前 0～20 cm 耕层土壤样品经北京中—加土壤植株分析实验室分析，养分状况见表 1。

表 1　供试耕层土壤基本农化性状

试验年度	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
2002	5.55	0.65	12.7	20.4	73.2	25.2	0.70	3.25	103.5	99.8	1.70
2003	5.90	0.59	15.7	26.3	66.0	31.9	0.40	4.70	194.3	66.3	0.80
2004	6.20	0.57	9.3	14.1	77.4	27.1	0.26	4.10	83.6	45.2	1.70
2005	5.90	0.86	11.5	10.8	58.2	30.3	0.00	4.90	116.3	90.3	0.50

1.2 试验设计

试验设5个处理：① 最佳施肥处理OPT（$N_{12}P_6K_6$，施N、P_2O_5和K_2O分别为12、6和6公斤/亩）② OPT—N ③ OPT—P ④ OPT—K ⑤ 农民习惯施肥 Farmer Pr. (施过磷酸钙和碳酸氢铵各 50 公斤/亩，追尿素 20 公斤/亩)，见表2、表3。氮肥—尿素，磷肥—磷酸二铵，钾肥—氯化钾。施肥方法为：60% 的氮肥和全部磷、钾肥作基肥，剩下的 40% 氮肥作追肥。小区面积 28.0～31.5 米^2，重复 4 次，完全随机区组排列。供试玉米品种为农大 108 和鲁单 981 等当地主栽品种，每年 6 月上中旬播种，9 月下旬到 10 月上旬收获。其它栽培管理措施同当地一般大田玉米。

2 结果与讨论

2.1 施肥对玉米生长发育的作用

表 2 的调查结果说明，施用氮磷钾化肥对玉米的生长发育具有良好的促进作用，与不施氮肥、磷肥和钾肥的对照相比，最佳施肥处理 OPT 玉米穗长、穗粗、行数和穗粒数显著增加，秃尖长减少，秃顶率下降，百粒重提高，经济性状改善，为产量提高打下了基础。不施氮肥穗粒数急剧下降，百粒重降低，对产量影响较大。

表 2　施肥对玉米产量构成因素的影响（4 年平均）

处理	株高（厘米）	穗位高（厘米）	穗长（厘米）	穗粗（厘米）	行数（行 / 穗）	粒数（粒 / 穗）	秃尖（厘米）	秃顶率（%）	百粒重（克）
OPT	225.4	84.0	19.30	15.98	16.05	463.93	3.34	19.4	34.13
OPT-N	209.8	80.9	17.60	15.22	15.58	416.63	3.61	22.5	31.81
OPT-P	217.1	84.4	17.83	15.26	15.10	438.43	4.48	28.8	31.80
OPT-K	222.3	85.3	18.16	15.55	15.48	444.08	4.44	24.3	32.69
农民习惯	216.9	82.9	18.76	15.58	15.93	438.33	4.26	25.3	32.37

2.2 平衡施肥的增产效应

从表 3 可看出，江淮丘陵地区，氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥技术具有显著的增产效果。与不施氮、磷、钾的对照相比，玉米施氮的增产率为 32.0~40.6%，施磷产量相对提高 10.8~12.2%，施钾增产 12.0~15.7%；OPT 较农民习惯施肥产量增长 9.1~11.6%，4 年试验平均增产率分别为 36.0%、11.1% 和 13.3% 及 10.0%，达 5% 或 1% 显著或极显著水准。不施氮肥、磷肥或钾肥时，玉米产量下降，相应只有平衡施肥产量的71.1~75.8%、89.1~90.7%、86.4~89.3%和89.6~91.7%，平均仅73.5%、89.8%、88.1% 和 90.7%，减产明显。其中不施氮肥对玉米产量的影响最大，4 年平均减产幅度超过 25%；其次为不施钾的处理，不施磷对玉米产量的影响相对较小。玉米氮磷钾肥料的增产效应顺序为 N>>K>P，氮肥对玉米产量的贡献最大。

表 3　平衡施肥对玉米产量和经济效益的影响

年份	处理	代号	产量 公斤 / 亩	OPT 增产 公斤 / 亩	增产率 %	经济效益 元 / 亩	施肥 产投比
2002	$N_{12}P_6K_6$	OPT	503.6	—	—	—	—
	$N_0P_6K_6$	OPT-N	363.7	139.9	38.5**	167.87	5.36
	$N_{12}P_0K_6$	OPT-P	456.7	46.9	10.3*	56.27	2.84
	$N_{12}P_6K_0$	OPT-K	445.4	58.2	13.1**	69.87	5.82
	$N_{15}P_6K_0$	农民习惯	461.7	41.9	9.1*	50.27	—
2003	$N_{12}P_6K_6$	OPT	281.7	—	—	—	—
	$N_0P_6K_6$	OPT-N	200.4	81.3	40.6**	105.67	2.58
	$N_{12}P_0K_6$	OPT-P	251.4	30.3	12.1*	39.40	2.33
	$N_{12}P_6K_0$	OPT-K	243.4	38.3	15.7**	49.80	3.77
	$N_{15}P_6K_0$	农民习惯	254.9	26.8	10.5*	34.80	—
2004	$N_{12}P_6K_6$	OPT	462.8	—	—	—	—
	$N_0P_6K_6$	OPT-N	350.6	112.2	32.0**	145.87	3.38
	$N_{12}P_0K_6$	OPT-P	417.6	45.2	10.8*	58.80	2.45
	$N_{12}P_6K_0$	OPT-K	413.2	49.6	12.0*	64.53	4.04
	$N_{15}P_6K_0$	农民习惯	421.0	41.8	9.9*	54.33	—
2005	$N_{12}P_6K_6$	OPT	275.9	—	—	—	—
	$N_0P_6K_6$	OPT-N	206.1	69.8	33.9**	69.80	1.95
	$N_{12}P_0K_6$	OPT-P	245.8	30.1	12.2*	30.10	1.47
	$N_{12}P_6K_0$	OPT-K	243.5	32.4	13.3*	32.40	2.01
	$N_{15}P_6K_0$	农民习惯	247.3	28.6	11.6*	28.60	—
平均	$N_{12}P_6K_6$	OPT	381.0	—	—	—	—
	$N_0P_6K_6$	OPT-N	280.2	100.8	36.0**	122.30	3.32
	$N_{12}P_0K_6$	OPT-P	342.9	38.1	11.1*	46.14	2.27
	$N_{12}P_6K_0$	OPT-K	336.4	44.6	13.3**	54.15	3.91
	$N_{15}P_6K_0$	农民习惯	346.2	34.8	10.0*	42.00	—

*2002、2003、2004 和 2005 年玉米价格分别为 1.20、1.30、1.30 和 1.30 元 / 公斤，N 为 2.60、2.60、3.60 和 4.23 元 / 公斤，P_2O_5 为 3.30、3.33、4.00 和 4.43 元 / 公斤，K_2O 为 2.00、2.00、2.66 和 3.50 元 / 公斤。

2.3　施用钾肥的经济效益

氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥技术，可有效提高玉米的产值，增加农民经济收入（表 3）。最佳施肥处理 OPT 较不施氮肥的对照增收 69.80～167.87 元 / 亩，施用氮肥的产投比达 1.95～5.36:1；较不施磷肥的对照增收 30.10～58.80 元 / 亩，施用磷肥的产投比为 1.47～2.84；较不施钾肥的对照增收 32.40~69.87 元 / 亩，施用钾肥的产投比达 2.01~5.82；较农民习惯施肥增收 28.60～54.33 元 / 亩。4 年试验，施用氮磷钾化肥每亩平均增收 122.30 元、46.14 元和 54.15 元，较农民习惯施肥增收 42.00 元，施肥产投比分别达 3.32:1、2.27:1 和 3.91:1，施钾的平均效益最高。

下接 13 页

湖北花生主要养分限制因子研究

余常兵[1]，李志玉[1]，廖伯寿[1]，陈防[2]，胡小加[1]，廖星[1]
（1. 中国农业科学院油料作物研究所，武汉 430062；
2. 中国科学院武汉植物园，武汉 430074）

***摘要：**采用土壤养分状况系统研究法分析了湖北省花生主产区的土壤主要养分含量，并在田间试验条件下进行了验证。结果表明，湖北省花生主产区土壤普遍缺氮，部分地区缺磷，大面积缺钾和硼。平衡施肥能够明显提高花生产量，但不同地区花生对各元素的敏感程度有所不同，应该在测土基础上合理施肥。*

***关键词：**花生，土壤养分限制因子，土壤养分状况系统研究法，平衡施肥*

花生是湖北省主要油料作物之一，近几年发展较快，种植面积常年居全国10位左右，产量居全国6-7位[1]。合理的养分管理措施，不仅能提高花生产量，改善花生品质，还能减少不合理的肥料投入，最终能够提高农户经济效益，减少环境风险。然而，从农户调查结果看，我省的花生养分管理中存在很多问题，如氮肥施用过量、施用时期不合理，抑制了花生的结瘤固氮[2, 3]；磷、钾肥施用过量或不足，不施硼、钼等；没有考虑作物的需肥特点[4, 5]及不同季节之间的肥料分配[6, 7]。同时，地区之间肥料施用差异较大，经济条件较好的地区肥料用量较多，偏远地区肥料用量较少，形成了土壤肥力越高施肥越多、土壤越贫瘠施肥越少的恶性循环。

在国际植物营养研究所（IPNI）的资助下，从2006年开始在湖北省花生主产区开展了花生土壤养分状况调查、平衡施肥技术研究与示范推广工作。笔者将从湖北省花生主产区的土壤养分限制因子、平衡施肥对花生产量和经济效益的影响、平衡施肥对改善花生品质的作用、提高花生固氮能力的合理施氮水平、不同生态区花生的养分吸收积累变化规律、轮作条件下花生的养分运筹分配等几个方面，对近几年的研究工作进行总结，以期为我省花生产业的发展和合理的养分管理提供技术支持。本章重点讨论湖北省花生主产区土壤的主要养分限制因子。

1 材料与方法

1.1 土壤取样与分析

2006-2008 年在湖北省花生主产区的红安、襄樊、武汉、沙洋等地，在农户调查基础上，采集有代表性土壤样品23个。在花生播种前采集，多点取样，混匀后做好标签，室内风干后过60目与100目筛，用土壤养分系统研究法（ASI 法）[8]分析土壤有机质、pH 值、速效氮、速效磷、速效钾、有效钙和有效硼等。

1.2 试验安排

2006 年在红安丰岗（品种为89-01）和沙洋（A点，中花8号）设置OPT（施N7.4公斤/亩，P_2O_5 8公斤/亩，K_2O 8公斤/亩，硼砂0.6公斤/亩）、OPT-N、OPT-P、OPT-K和CK共5个处理；在红安原种场（中花8号）、油料所试验场（武汉，中花8号）和沙洋（B点，中花8号）设置OPT（N7.4公

斤/亩，P_2O_5 8公斤/亩，K_2O 8公斤/亩，CaO 10公斤/亩，硼砂0.6公斤/亩）、OPT-P、OPT-K、OPT-B、OPT-Ca和CK共6个处理。肥料品种为尿素（N46%），磷酸二铵（P_2O_5 42%、N 15%），氯化钾（K_2O 60%），国产硼砂（B 10.7%），硝酸钙（CaO 23%、N 11%），因为是以磷酸二铵作磷源，为保持处理间的氮平衡，OPT-N和CK处理增加氮N 2.8公斤/亩（所以OPT-N和CK是在一定氮基础上的不施氮）。

2007年在武汉（中花8号）和沙洋（中花8号）设置OPT（N8公斤/亩，P_2O_5 9公斤/亩，K_2O 9公斤/亩，硼砂0.6公斤/亩）、OPT-P、OPT-K、OPT-B和CK共5个处理，肥料品种为尿素（N 46%），过磷酸钙（P_2O_5 12%），氯化钾（K_2O 60%），国产硼砂（B 10.7%）。

田间试验各小区面积20m²，4次重复。磷、钾、硼和钙等作基肥一次性施入，氮一半做基肥，一半在初花期作追肥施入。

1.3 数据分析

土壤样品用ASI方法分析后，按地区分开，将测定值与ASI方法的临界值进行比较，评价各地养分丰缺情况。试验地在花生成熟后全小区收获，晾干测定花生果产量，根据推荐处理（OPT）与各缺素处理之间的产量差异，结合土壤养分测定结果，评价主要土壤养分丰缺状况。

2 结果与分析

2.1 湖北花生主产区土壤主要养分状况

按地理位置分布，将样点分为三个区，分别为长江中游江汉平原（武汉、沙洋），鄂东丘陵地区（红安）以及鄂北岗地（襄樊）。土样分析结果表明（表1），江汉平原土壤中性偏碱，其中武汉土壤有机质含量较高，沙洋较低，但变异较大；鄂东丘陵地区土壤酸化严重，有机质总体含量相对较高；鄂北岗地土壤偏碱性，有机质含量较低。

以ASI法的土壤临界值为标准判断，我省所有试验区的土壤速效氮都低于临界值，说明土壤缺氮普遍存在。但花生是固氮作物，其土壤氮临界值标准是否应该与普通作物一致，值得商榷。武汉和沙洋的土壤速效磷都高于临界值，红安、襄樊的土壤速效磷含量大多低于临界值。除武汉和红安外，其它试验地土壤速效钾都低于临界值。土壤硼变异较大，约70%以上土壤缺硼。

从土壤分析结果看，不同试验区的土壤pH差异较大，碱解氮普遍较缺，红安、襄樊缺磷严重，大面积缺钾和缺硼。

表1　花生不同产区的土壤主要养分含量

试验地点	土壤质地	pH	有机质 (%)	速效氮	速效磷	速效钾	有效硼	有效钙
				(毫克/升)				
武汉、沙洋 (n=7)	灰潮土、沙壤土	7.89 (0.10)	0.75 (0.9)	9.7 (2.5)	46.4 (7.0)	67.1 (8.9)	0.3 (0.1)	1710.2 (149.8)
红安 (n=13)	黄棕壤、砾砂土	4.33 (0.10)	0.80 (0.4)	17.1 (2.8)	14.6 (3.1)	57.3 (4.8)	0.3 (0.03)	767.7 (82.8)
襄樊 (n=3)	黄棕壤	8.28 (0.03)	0.64 (0.3)	23.4 (2.5)	12.9 (1.2)	41.9 (3.1)	0.2 (0.01)	1924.8 (97.1)
土壤养分临界值				50	14	78	0.3	400

注：括号内的数字为标准误（SE）

2.2 不同缺素下的花生产量及土壤养分状况评价

为了便于比较，将不同产区各处理的花生产量及其对应土壤速效养分含量列于表2，以OPT为100，计算出其它各处理的相对产量。结果表明，在所有产区，相比OPT，不施肥产量都显著降低，说明施肥对花生增产有显著效果，土壤都存在缺素状况。比较来看，不同地区不施某种元素对产量的影响不太一致。不施氮，沙洋、红安两点产量都显著下降，说明氮是土壤养分限制因子。不施磷，红安点产量都显著下降，武汉两试验点产量显著下降或有下降趋势，沙洋三试验点产量降低程度又低于武汉，说明磷在红安是土壤养分限制因子，武汉和沙洋部分地区缺磷、部分地区潜在缺磷。不施钾，三个地区有与磷一致的变化趋势。不施硼，产量都降低，以土壤速效硼含量较低的沙洋和武汉07年示范点变化最明显，红安原种场06年试验变化次之，说明各地土壤都缺硼或潜在缺硼。不施钙，各地区产量都降低或显著降低，表明虽然土壤速效钙含量都高于临界值，土壤还是有缺钙或潜在缺钙的状况存在。田间试验研究结果与土壤养分测试结果一致。

表 2　不同产区不同施肥处理对花生产量的影响

处理	沙洋农科所			武汉		红安	
	06(A)	06(B)	07	06	07	06 丰岗	06 原种场
OPT	100 (329.5/)	100 (279.1/)	100 (362.8/)	100 (308.6/)	100 (347.9/)	100 (183.2/)	100 (289.8/)
OPT -N	86.3* (284.5/16.3)	— (/16.3)	— (/13.2)	— (/16.3)	— (/10.0)	91.5* (167.7/17.7)	— (/17.0)
OPT -P	97.4 (320.5/28.0)	93.1* (259.8/40.6)	100.2 (363.6/64.3)	96.2 (295.1/23.9)	89.9* (312.9/38.4)	92.5* (169.4/8.2)	90.1* (261.1/14.6)
OPT -K	96.7 (318.5/43.0)	98.1 (273.8/46.9)	73.8* (267.7/64.4)	102.9 (315.7/113.4)	88.2* (306.8/72.8)	93.4* (171.2/35.2)	94.0 (272.5/93.8)
OPT -B	— (/0.40)	95.9 (267.8/0.45)	81.0* (293.9/0.2)	98.4 (301.8/0.70)	83.3* (289.9/0.1)	— (/0.40)	92.1* (266.8/0.45)
OPT -Ca	— (/1200)	93.4* (260.8/1220)	— (/1651)	95.3 (292.4/2407)	— (/1700)	— (/709)	96.3 (279.1/525)
CK	80.0* (263.5/)	89.2* (249.1/)	76.2* (276.3/)	80.8* (247.9/)	78.5* (273/)	86.2* (157.9/)	88.3* (255.8/)

注：括号外的数字为各处理相对OPT的产量，括号内斜线前的数字为花生实际产量（公斤/亩），斜线后的数字为该试验地对应的土壤速效养分含量（毫克/升）。

3 小结

ASI法提出的土壤养分临界值在我国多种作物的养分评价方面有较好的效果[9]，在花生方面也有应用[10]。从土壤分析和田间试验结果看，我省花生主产区土壤普遍缺氮，部分地区缺磷，大面积缺钾和硼。

因此，在花生养分管理过程中需要加强因土施肥。在施氮时，注意肥料用量和时期，避免对花生结瘤固氮的抑制作用，以充分发挥作物自身固氮优势。磷、钾应该在测定土壤有效含量的基础上，结

合作物对养分的需求特点施用，以维持土壤速效养分在临界值以上即可，避免养分在土壤中的累积。硼可以作底肥隔年施用。由于花生对钙需求较多，有条件的地方可以选择施用。

参考文献：

[1] 中华人民共和国国家统计局编 . 中国统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，1996-2008.

[2] 孙彦浩，陈殿绪 . 花生施氮肥效果与根瘤菌固 N 的关系[J]. 中国油料作物学报，1998，20（3）：69-72.

[3] 刘杏兰，张文成 . 陕北花生根瘤固氮，施肥与产量的研究[J]. 花生科技，1990，2：12-16.

[4] 李俊庆，朱红霞 . 旱地花生氮磷钾养分积累与分配规律初探[J]. 土壤肥料，1999，（5）：33-35.

[5] 杨小兰，雷全奎，马向利，等 . 夏花生对氮磷钾的吸收规律研究[J]. 安徽农学通报，2005，11（3）：47-47, 57.

[6] 宋志伟，寇长林，王秋杰 . 豫东沙区冬小麦套作花生轮作制度中磷肥分配施用效果的研究[J]. 土壤通报，2006，37（4）：727-731.

[7] 孔显民，郑亚萍，成波，等 . 冬小麦夏直播花生两熟制栽培钾肥用量与分配研究[J]. 花生学报，2003，32（3）：29-33.

[8] 加拿大钾磷肥研究所北京办事处 . 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京：中国农业科技出版社，1992.

[9] 金继运，张宁，梁鸣早，等 . 土壤养分状况系统研究法在土壤肥力研究及测土施肥中的应用[J]. 植物营养与肥料学报，1996，2（1）：8-15.

[10] 章明清，彭嘉桂，杨杰，等 . 土壤养分状况系统研究法在花生平衡施肥上的应用研究[J]. 福建农业学报，2000，15（1）：55-58.

平衡施肥对花生产量及经济效益的影响

余常兵[1]，李志玉[1]，廖伯寿[1]，陈防[2]，胡小加[1]，廖星[1]
（1. 中国农业科学院油料作物研究所，武汉 430062；
2. 中国科学院武汉植物园，武汉 430074）

摘要：*研究了平衡施肥对湖北省主产区花生产量和经济效益的影响。结果表明，对比不施肥，不同试验区平衡施肥后花生产量都增加，平均增产可达 26.3%；平衡施肥的产投比平均为 12.7；平衡施肥净收入为 134 元 / 亩，但不同地区净收入差异较大，部分增产幅度较低的地区出现增产不增收现象，说明此时土壤养分并不是主要的限制因子，生产上应注意提高平衡施肥的经济效益。*

关键词：*花生，平衡施肥，产量，经济效益*

花生作为主要的油料作物，其经济效益受作物产量、价格和生产资料投入的影响。肥料在生产资料投入中所占比例达到 50% 以上[1]。合理的养分管理，不仅能提高花生产量，还能减少不合理的肥料投入，提高农户经济效益[2-3]。从我省农户调查结果看，施肥增产增收、施肥增产不增收、甚至施肥减产减收现象同时存在。究其原因，可能与氮肥施用过量抑制了花生的结瘤固氮[4, 5]、磷、钾、硼等施用不平衡、没有考虑作物的需肥特点[6-7]及地区之间土壤肥力状况等因素有关。

有鉴于此，在测土推荐施肥的基础上，我们在湖北省花生主产区进行了平衡施肥对花生产量和经济效益影响的系列田间试验和示范，希望了解平衡施肥对我省不同种植区花生的产量和经济效益的影响，为促进农户科学施肥，提高花生种植管理水平提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验安排

2006-2008 年在武汉、沙洋、红安、襄樊等地开展了花生不同磷钾水平田间试验 2 个、平衡施肥对比试验 5 个、农户示范 5 个、不同品种平衡施肥对比试验 2 个。具体内容包括：

（1）不同磷钾施用水平试验

2008 年在红安和襄樊两个试验点安排不同磷钾施用水平田间试验，设 P9K9（P_2O_5 和 K_2O，公斤 / 亩，下同）、P6K9、P3K9、P9K6、P9K3 和 CK 共 6 个处理，小区面积为 13.3m^2，随机区组，重复 3 次。CK 完全不施肥，其它处理加施 N8 公斤 / 亩，硼砂 0.6 公斤 / 亩。

（2）单个品种的试验和示范：

2006 年在沙洋县两点，红安县两点，武汉（油料所试验场）一个点进行试验，处理及肥料用量为 OPT（N7.4 公斤 / 亩，P_2O_5 8 公斤 / 亩，K_2O 8 公斤 / 亩，）和 CK（N2.8 公斤 / 亩）。

2007 年在武汉，沙洋和红安进行农户示范，处理及肥料用量为 OPT（N8 公斤 / 亩，P_2O_5 9 公斤 / 亩，K_2O 9 公斤 / 亩，硼砂 0.6 公斤 / 亩）和 CK（完全不施肥）。

2008 年在红安和襄樊进行农户示范，处理及肥料用量为 OPT（红安县为 N 8 公斤 / 亩，P_2O_5 9 公斤 / 亩，K_2O 9 公斤 / 亩；襄樊市为 N 8 公斤 / 亩，P_2O_5 9 公斤 / 亩，K_2O 11 公斤 / 亩），习惯施肥（红

安县为 N 7.5 公斤 / 亩，P_2O_5 2.5 公斤 / 亩，K_2O 2.5 公斤 / 亩；襄樊为 N 3 公斤 / 亩，P_2O_5 3 公斤 / 亩，K_2O 3 公斤 / 亩）和 CK（完全不施肥）。

（3）不同品种平衡施肥对比试验

2006-2007 年在武汉进行，5 个供试品种分别为中花 4 号，中花 6 号，中花 8 号，R1549 和远杂 9102，设 OPT(N 7.5 公斤 / 亩，P_2O_5 8 公斤 / 亩，K_2O 8 公斤 / 亩，硼砂 0.6 公斤 / 亩)和 CK（完全不施肥）两处理。

单个品种田间试验采用随机区组排列，不同品种田间试验采用裂区设计（肥料用量为主区，花生品种为副区）随机排列，每个处理重复 4 次，单个小区面积 20m²。田间示范不设重复，面积 0.5-2 亩，依据具体田块确定面积和小区肥料用量。试验采用肥料及含量：N（尿素，46%），P_2O_5（过磷酸钙，12%），K_2O（氧化钾，60%），B（国产硼肥，10.7%）。肥料开沟条施，磷、钾和硼作底肥一次施用，氮一半基施，一半在初花期追施。

1.2　数据分析

试验前采集基础土壤样品，采用 ASI 法测定[8]，土壤养分状况见本期前一篇文章（余常兵，李志玉，廖星，等。湖北花生主要养分限制因子研究）。

在试验或示范结束后，全小区收获，风干测定花生果干重，转换成每公顷的产量，按照 N 4.2 元 / 公斤，P_2O_5 5.0 元 / 公斤，K_2O 4.8 元 / 公斤，硼砂 27.5 元 / 公斤，花生果 5.2 元 / 公斤的价格进行经济效益分析，以收入除以肥料投入计算产投比。

2　结果与分析

2.1　平衡施肥对花生产量的影响

红安和襄樊两点试验都表明（表 1），对比不施肥，不同施肥处理都显著增加了花生产量。两点都是在P9K9处理下产量增加最大，但红安点在高磷条件下增产幅度较大，襄樊点在高钾条件下增产幅度更大，相同施肥水平下红安点增产幅度大于襄樊点。

表 1　不同磷钾施用水平对花生产量的影响

试验地点（品种名称）	处理（公斤 / 亩）	产量（公斤 / 亩）	比 CK 增减（%）	肥料投入（元 / 亩）	净收入（元 / 亩）	增加收入（元 / 亩）	产投比
红安（品种为 H-183）	P9K9	353.9	64.3	123.6	1840.1	720.1	15.9
	P6K9	328.2	52.4	108.6	1706.7	586.7	16.7
	P3K9	292.3	35.7	93.6	1520.0	400.0	17.2
	P9K6	343.6	59.5	109.2	1786.7	666.7	17.4
	P9K3	312.8	45.2	94.8	1626.7	506.7	18.2
	CK	215.4	--	0	1120.1	--	--
襄樊（品种为白沙 101）	P9K9	276.0	42.6	123.6	1435.2	429.0	12.6
	P6K9	259.5	34.1	108.6	1349.4	343.2	13.4
	P3K9	247.0	27.6	93.6	1284.4	278.2	14.7
	P9K6	231.5	19.6	109.2	1203.8	197.6	12.0
	P9K3	217.5	12.4	94.8	1131.0	124.8	12.9
	CK	193.5	--	0	1006.2	--	--

连续三年的试验示范结果表明（表2），平衡施肥对花生都有显著增产作用。受降雨等条件影响，以08年在红安和襄樊田间示范的增产比例最高，达67.9%。农户习惯施肥也有显著的增产作用，但推荐施肥增产效果更加明显。

表 2　平衡施肥对不同区域花生产量和经济效益的影响

年份	试验地点（品种名称）	处理（公斤 / 亩）	产量（公斤 / 亩）	比 CK 增减（%）	肥料投入（元 / 亩）	净收入（元 / 亩）	增加收入（元 / 亩）	产投比
06	沙洋 1	CK(N2.8)	263.5	--	11.8	1358.3	--	--
	（中花 8 号）	N7.4P8K8	329.5	25.1	109.5	1603.9	245.7	15.7
	沙洋 2	CK(N2.8)	249.1	--	11.8	1283.7	--	--
	（中花 8 号）	N7.4P8K8	279.1	12.5	109.5	1342.1	58.4	13.3
	红安县 1	CK(N2.8)	157.9	--	11.8	809.1	--	--
	(89-01)	N7.4P8K8	183.2	16.1	109.5	843.1	34.0	8.7
	红安县 2	CK(N2.8)	255.8	--	11.8	1318.3	--	--
	(89-01)	N7.4P8K8	289.8	13.3	109.5	1397.5	79.2	13.8
	武汉	CK(N2.8)	247.9	--	11.8	1277.3	--	--
	（中花 8 号）	N7.4P8K8Ca10B0.6	306.8	15.0	126.0	1469.5	192.1	12.7
07	武汉	CK	273.0	--	0	1419.6	--	--
	（中花 8 号）	N8P9K9B0.6	347.9	27.4	138.3	1670.6	251.0	13.1
	沙洋	CK	276.3	--	0	1436.7	--	--
	（主栽品种）	N8P9K9B0.6	362.8	31.3	138.3	1748.3	311.5	13.6
	红安	CK	232.8	--	0	1210.5	--	--
	（主栽品种）	习惯施肥	255.2	9.5	40.0	1287.1	76.5	33.2
		N8P9K9B0.6	279.3	19.8	138.3	1314.2	103.7	10.5
08	红安	CK	170.5	--	0	886.8	--	--
	（鄂花 6 号）	习惯施肥	248.3	45.6	56.0	1235.0	348.2	23.1
		N8P9K9B0.6B0.6	286.4	67.9	126.0	1363.4	476.6	11.8
	襄樊	CK	215.6	--	0	1121.2	--	--
	(白沙 101)	习惯施肥	229.2	6.3	42.0	1149.9	28.7	28.4
		N8P9K11B0.4	316.4	46.8	134.5	1510.9	389.7	12.2

不同品种之间平衡施肥的增产效果差异较大（表3），06年远杂9102增产达26.6%，而R1549增产7.3%。07年品种之间的增产趋势与06年相同，但增产比例下降，R1549增产只有4.1%。两年结果平均后平衡施肥增产达12.4%。

表 3　平衡施肥对不同花生品种产量和经济效益的影响

年份	品种	处理 (公斤 / 亩)	产量 (公斤 / 亩)	比 CK 增减 (%)	肥料投入 (元 / 亩)	净收入 (元 / 亩)	增加收入 (元 / 亩)	产投比
06	中花 4 号	CK	222.1	--	0	1154.9	--	--
		N7.5P8K8	271.5	22.2	126.0	1285.8	130.9	11.2
	中花 6 号	CK	204.8	--	0	1064.9	--	--
		N7.5P8K8	231.1	12.9	126.0	1075.7	10.8	9.5
	中花 8 号	CK	293.5	--	0	1526.2	--	--
		N7.5P8K8	331.5	13.0	126.0	1597.8	71.6	13.7
	R1549	CK	300.2	--	0	1561.1	--	--
		N7.5P8K8	322.2	7.3	126.0	1549.5	-11.6	13.3
	远杂 9102	CK	235.5	--	0	1224.6	--	--
		N7.5P8K8	298.2	26.6	126.0	1424.7	200.1	12.3
07	中花 4 号	CK	300.2	--	0	1560.8	--	--
		N7.5P8K8	338.8	12.9	126.0	1635.8	75.0	14.0
	中花 6 号	CK	278.9	--	0	1450.5	--	--
		N7.5P8K8	299.4	7.3	126.0	1430.9	-19.6	12.4
	中花 8 号	CK	295.6	--	0	1537.1	--	--
		N7.5P8K8	331.2	12.1	126.0	1596.4	59.3	13.7
	R1549	CK	373.7	--	0	1943.1	--	--
		N7.5P8K8	388.8	4.1	126.0	1895.9	-47.1	16.0
	远杂 9102	CK	282.0	--	0	1466.2	--	--
		N7.5P8K8	319.9	13.4	126.0	1537.3	71.1	13.2
两年	品种平均	CK	278.6	--	0	1448.9	--	--
		N7.5P8K8	313.3	12.4	126.0	1503.0	54.1	12.9

将全部试验结果平均后表明，不施肥平均产量为256.4公斤/亩，平衡施肥平均产量为323.9公斤/亩，与不施肥相比，平衡施肥平均增产26.3%。

平衡施肥有较高的产投比（表1-3），除红安县一个点外和06年中花6号品种外，其它试验地都超过10.0，以红安施P9K3公斤/亩处理最高，达18.2，平均产投比可达12.7。

2.2　平衡施肥对花生经济效益的影响

平衡施肥平均增加收入（只考虑OPT和CK处理）134.1元/亩（表1-3），但标准误达31.5元/亩。增收情况因年度、地域之间的差异变化较大，如红安08年平衡施肥增产可达720元/亩，06年只有34元/亩。但平衡施肥比农户习惯施肥增加收入要多。另外，受花生产量、价格和肥料投入的影响，平衡施肥后净收入变化与产量变化并不一致（表1-3）。

不同品种之间的增收差异也较大。由于增产较低，R1549在06和07年，中花6号在07年都出现减收现象。

下接 39 页

钾对莲藕生长和产量形成的影响

刘冬碧[1]，熊桂云[1]，陈防[2]，范先鹏[1]，杨利[1]，
余延丰[1]，张继铭[1]
（1 湖北省农科院植保土肥所，武汉 430064；
2 中国科学院武汉植物园，武汉 430074）

***摘要：**采用盆栽试验研究了钾对莲藕生长和产量形成的影响，结果表明：施钾明显增加莲藕立叶数量和光合作用面积、提高立叶SPAD值和组织器官含水量、延缓叶片衰老，从而促进莲藕生育前期光合产物的形成和累积；施钾还可适当延长莲藕成熟期，促进干物质从叶片转移并贮存到产品中，并最终增产20.4%。*

***关键词：**莲藕，钾营养，生长，产量形成*

莲藕（*Nelumbo nucifera* Gaertn），又名藕、荷、水芙蓉，为睡莲科莲属多年生宿根大型水生草本植物，按其产品器官的利用价值可分为藕莲、子莲和花莲[1, 2]。以膨大的地下根状茎为食用的藕莲（习惯上仍称为莲藕）是我国种植面积最大的水生经济作物，也是我国的特色水生蔬菜。据2004年统计，全国种植面积405万亩，总产量734万吨，主要分布在长江流域的湖北、江苏、安徽和浙江等省[1]。过去有关莲藕理论方面的研究主要侧重于分类与生长发育、遗传育种、组织培养和生理学特性等方面[2-5]，生产实践方面的应用研究主要为综合栽培技术、栽培模式探讨等[1, 6]，有关莲藕营养特性及施肥方面的研究仅有零星报道。近年来有研究表明，在潮土性和黄棕壤性水稻土上为莲藕增施钾肥，均有较好的增产效果，并证实莲藕为喜钾作物[7]。本研究拟通过大盆试验，深入探讨钾素对莲藕生长发育、干物质累积和产量形成的影响，为莲藕生产中制定合理的施肥措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自武汉市东西湖区走马岭农场，为长江冲积物母质发育的潮土性水稻土，其属性及养分状况为：pH值7.92，有机质1.16%，铵态氮20.4毫克/升(单位下同)，硝态氮20.5，速效磷6.2，速效钾76.2，有效锌1.6，有效硼0.4。莲藕品种为鄂莲五号，由武汉市东西湖区柏泉农场提供。

1.2 试验处理

大盆试验设最佳（即OPT）和减钾（-K） 2个处理，每盆装粉碎风干土100公斤，重复25次，2处理交错排列。OPT处理N、P_2O_5和K_2O用量分别为0.45、0.15和0.45克/公斤土，大粒锌（Zn 30%）0.5克/盆，硼砂0.5克/盆。氮肥用尿素（N 46%），60%基施，余下40%在5月底和6月下旬分2次平均追施，磷肥用普钙（P_2O_5 12%），钾肥用氯化钾（K_2O 60%），70%基施，余下30%于6月下旬和尿素同施，磷肥和硼肥全部基施，基肥与土拌匀施入，锌肥在2叶期溶于水后一次性施入。

1.3 试验方法

试验于 2007 年度在湖北省农科院盆栽场网室内进行。将网室内微池（1.3 米 × 1 米 × 0.7 米）中的土壤由中心向四周分开，形成与试验大盆尺寸相当（0.65 米 × 0.5 米 × 0.35 米）的方形凹槽，把洗净的试验大盆置于凹槽中，使微池土壤成为试验大盆的“支持介质”。装入已按处理拌好基肥的 100 公斤风干土，浇水浸泡，使水层高度约为 5 厘米，并使盆内外土体大致水平。在微池中灌水，让支持试验大盆的土体呈淹水状态，使试验土体的环境温度一致并接近于大田。2 天后（4 月 11 日）每盆移栽 0.5 公斤经消毒处理、长势基本一致且已萌发的健康子藕。在网室的试验区域顶部固定透明塑料膜以防雨水进入，自来水浇灌，及时防病、虫、草害。

主茎上每片立叶完全展开后挂上标明叶序和日期的吊签，分别在不同时期调查莲藕叶片的数量和立叶大小，计算立叶面积。从 5 月下旬 2 叶期开始，每隔 10 天用 SPAD-502 叶绿素仪测定主茎上完全展开 8-10 天的成熟立叶 SPAD 值(每片立叶沿叶缘测 8 次取平均值，下同)，后栋叶展开后同时测定其 SPAD 值。分别于移栽后 55 天（6 月 5 日，4-5 叶期）、76 天（6 月 26 日，结藕始期）、97 天（7 月 17 日，76-97 天为地下茎膨大成型期）、118 天（8 月 7 日， 97-118 天为新藕充实前期）、139 天（8 月 28 日，118-139 天为充实中期）和 160 天（9 月 18 日，139-160 天为充实后期）采取整盆植株样，每次取 3 次重复，按叶片、叶柄、地下茎、膨大茎（文中亦称“成藕”）4 部分记录鲜、干重量，计算含水量和干物质累积总量（根系很难收集完全且其干重比例不及 3%，故忽略），最后 7 次重复在 190 天（10 月 18 日，立叶完全枯黄后）全部收获。

2 结果与分析

2.1 钾对莲藕生长的影响

2.1.1 钾对莲藕叶片生长的影响

无性繁殖的莲藕其叶片包括浮叶和立叶，早期以浮叶为主，随着生育进程的推进和立叶不断生长，浮叶逐渐衰老枯死或腐烂于水中，立叶成为主要功能叶。由表 1 可见：(1) 莲藕早期发生的浮叶数 OPT 处理略少于 -K 处理，6 月下旬后，OPT 处理的浮叶衰老速度明显比 -K 处理慢，使其浮叶数反而比 -K 处理的多；(2) 不同处理的立叶数在早期相差不明显，6 月下旬以后，OPT 处理立叶发生明显加快，到 7 月中旬达最高值，OPT 处理比 -K 处理平均多 3.1 片 / 盆，此后由于光合产物开始大量向膨大茎中转移，叶片生长变缓并逐渐衰老枯黄，到 8 月下旬 OPT 处理的立叶数比 -K 处理仍多 3.2 片 / 盆；(3) 莲藕立叶总面积与其数量的变化趋势一致，两者呈极显著正相关（r=0.9942**, n=10）。可见，施钾明显促进莲藕立叶生长，增加立叶数量和光合作用面积，并延缓浮叶和立叶衰老。

表 1　钾对莲藕浮叶、立叶生长和立叶总面积的影响

调查日期	浮叶数(片 / 盆)		立叶数(片 / 盆)		立叶总面积(米 2/ 盆)	
(月 - 日)	-K	OPT	-K	OPT	-K	OPT
06-06	10.3 a	9.0 ab	4.7 a	5.2 a	0.93 a	0.92 a
06-26	6.7 a	7.2 a	8.8 a	9.5 a	1.65 a	1.69 a
07-18	3.9 b	5.6 a	12.8 b	15.9 a	2.50 ab	2.88 a
08-09	3.0 b	5.0 a	10.9 b	13.4 a	1.95 b	2.41 a
08-24	2.4 ab	3.0 a	8.9 b	12.1 a	1.71 b	2.25 a

2.1.2 钾对莲藕立叶 SPAD 值的影响

由图 1 可见，不同时期叶龄基本一致（8-10 天）的成熟立叶其 SPAD 值均为 OPT 处理明显高于 -K 处理，6 月下旬两者差异最大，立叶 SPAD 值在 7 月中旬前随生育进程推进而增加，以后趋于下降（7 月 22 日前后主茎上出现终止叶）。莲藕在前期发生的立叶呈阶梯状变大、变高，后期发生的立叶呈阶梯状变小、变矮，中间出现的最大最高的立叶称为后栋叶[2, 6]。其后为正常主藕的第一节，后栋叶出现标志着莲藕地下茎开始形成和膨大[6]。调查表明，后栋叶绝大部分集中在 6 月 18-20 日完全展开，-K 处理的后栋叶主要为第 6、7 立叶，个别为第 8 立叶；OPT 处理主要为第 7、8 立叶，个别为第 6 立叶，说明 OPT 处理的立叶数较多。图 1 结果还表明，OPT 处理的后栋叶 SPAD 值在 8 月上旬以前明显高于 -K 处理，8 月上、中旬两者相当，以后反而低于 -K 处理，两者都在 7 月下旬达到最大值。

成熟立叶是莲藕进行光合作用的主要功能叶，SPAD 值反映叶片叶绿素含量的相对大小并体现其光合作用能力。综上所述，在 8 月上旬以前，无论是主茎上叶龄一致的成熟立叶，还是不同时期的后栋叶，其 SPAD 值均为 OPT 处理明显高于 -K 处理，表明施钾提高了叶片叶绿素含量从而增强其光合作用能力，为后期高产奠定物质基础。

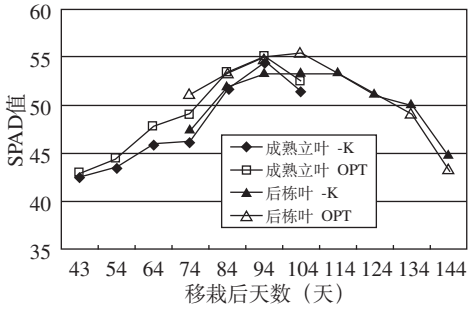

图 1　主茎上成熟立叶和后栋叶 SPAD 值

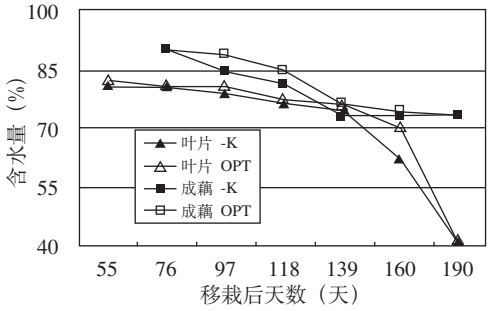

图 2　立叶和成藕含水量变化曲线

2.1.3 钾对莲藕组织器官含水量的影响

植物组织或器官的含水量是其生命活动是否旺盛的一个重要指标。凡是生命活动旺盛的部分，水分含量都较高[8]。以立叶和成藕为例（图 2），不同施肥处理立叶的含水量在 76 天及以前和 190 天相差不大，从 97 天到 160 天均为 OPT 处理明显高于 -K 处理；OPT 处理的成藕含水量在 76 天与 -K 处理相当，从 97 天到 160 天为 OPT 处理明显高于 -K 处理，-K 处理的成藕含水量在 139 天（充实中期末）以后即稳定在一个较低水平（73% 左右），OPT 处理在 160 天（充实后期末）之后也稳定在这个较低水平上，比 -K 处理推迟 21 天。可见，施钾肥能提高莲藕组织或器官的含水量，增强生育后期的新陈代谢能力、适当延长成熟期，为光合产物的运输和贮存创造条件。

2.2 钾对莲藕产量形成的影响

2.2.1 钾对莲藕叶片干物质累积的影响

由图 3 可见，叶片的干物质累积量在 97 天（7 月 17 日）增加到最高值，此后由于光合产物的转移和新藕的充实而不断降低；不同施肥处理叶片的干物质累积量在移栽后 76 天（6 月 26 日）内差异较小，此后 OPT 处理明显高于 -K 处理，在移栽 97 天新藕膨大成型后的不同生育时期，OPT 处理的叶片

干物质累积量比-K处理高23.2- 42.5% 。叶柄干物质累积量的变化趋势与叶片相似，但其累积量较低，累积量最高值推迟，出现在 118 天。

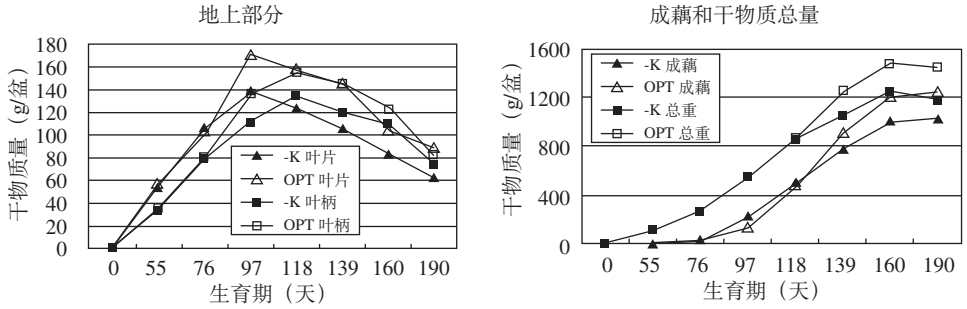

图 3　不同生育期莲藕各部分干物质累积量变化曲线

2.2.2 钾对莲藕产量形成的影响

图 3 结果表明，在 76-97 天、97-118 天、118-139 天、139-160 天和 160-190 天这 5 个时期，-K 处理的成藕日均干物质累积量分别为 8.9、13.7、12.9、10.8 和 0.45 克 / 天，OPT 处理分别为 5.2、16.4、20.1、14.4 和 1.0 克 / 天，可见，OPT 处理日均干物质累积量尽管在 97-118 天（充实前期）已高于 -K 处理的最高值，其日均累积量最高值却比 -K 处理推迟 21 天，显示出生育前期叶片较强的干物质生产能力。成藕的干物质累积量从 76 天（结藕始期）到 118 天（充实前期末）均为 OPT 处理低于 -K 处理，以后 OPT 处理的成藕干物质累积明显加快，在 139 天超过 -K 处理并比后者高 15.6%；在 160 天整株干物质累积量最大值时比 -K 处理高 19.7%，此时成藕干物重占总干物重的 81.2%；在 190 天立叶完全枯黄后比 -K 处理高 21.1%，此时成藕干物重占总干物重的 86.1%。

图 3 结果还表明，在移栽 160 天（9 月 18 日，充实后期末）以后，莲藕接近完全成熟，其干物质重量基本不再增加，干物质总重则因地上部分枯黄腐烂而略有降低，因此可认为这时已是一季成熟藕的收获时期。本研究取 160 天和 190 天成藕干物重平均值为最终产量，-K 处理为 1013 克 / 盆，OPT 处理为 1220 克 / 盆，因此施钾最终增产 20.4%。成熟末期不同施肥处理的莲藕含水量相同（73.2%），所以鲜产量的施钾增产幅度与干产量也是一致的。

参考文献：

[1] 沈康荣 . 水稻与莲藕覆膜节水高效技术 . 中国农业科学技术出版社 . 2007. 162-172.

[2] 中国科学院武汉植物研究所 . 中国莲 . 科学出版社 , 1987.

[3] 刁英 , 韩延闯 , 何建军 , 等 . 莲藕研究进展 . 氨基酸和生物资源 , 2004, 26(1): 8-11.

[4] 朱明超 , 蔡汉 , 罗伯祥 , 等 . 莲藕膨大过程的观察与分析 . 江苏农业学报 ,2003,19(4): 255-256.

[5] 许金蓉 , 周明全 , 何建军 , 等 . 莲藕不同生长期的生理活性研究 . 湖北农业科学 , 2005, 44(2): 79-81.

[6] 周明全 , 张俊兵 , 张年云 , 等 . 莲藕地下茎膨大因素研究耕作与栽培 , 1994, 2: 6-7.

[7] 刘冬碧 , 熊桂云 , 陈防 , 等 . 不同母质类型水稻土上莲藕施肥效应研究 . 安徽农业科学 , 2008, 36(5)：1946-1948.

[8] 潘瑞炽 , 董愚得 . 植物生理学（第二版）上册 . 北京: 高等教育出版社 . 1983. 6, 181-191.

7 月 17 日采取的完整成型藕，包括主藕、子藕和孙藕。

上接 34 页

3　结论

平衡施肥能够显著增加花生产量，平均增产达 26.3%，也高于农户习惯施肥产量。不同花生品种之间产量增加幅度有所不同，供试 5 个花生品种中以中花 4 号和远杂 9102 增产幅度更明显；不同磷钾用量的增产效果不同，以施 P_2O_5 9 公斤 / 亩，K_2O 9 公斤 / 亩产量最高。

平衡施肥可以获得较高的产投比，平均可达 12.7。

平衡施肥能够增加花生种植经济效益，但其受花生产量、肥料用量和市场价格的影响，波动较大。在增产幅度较低的情况下，可能出现增产不增收现象。此时肥料施用水平不是影响种植效益的首要限制因子，应综合考虑其它因素，达到经济效益和肥料用量的平衡。

参考文献：

[1] 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.

[2] 王学勤，张书中 . 氮钾肥对夏花生的增产效应及经济施用量[J]. 土壤通报，2000，31：213-214.

[3] 尹迪信，李裕荣，朱青，等 . 贵州省铜仁地区花生平衡施肥试验研究[J]. 土壤肥料，2001，21-23.

[4] 孙彦浩，陈殿绪 . 花生施氮肥效果与根瘤菌固 N 的关系[J]. 中国油料作物学报，1998，20(3)：69-72.

[5] 刘杏兰，张文成 . 陕北花生根瘤固氮，施肥与产量的研究[J]. 花生科技，1990，2：12-16.

[6] 杨小兰，雷全奎，马向利，等 . 夏花生对氮磷钾的吸收规律研究[J]. 安徽农学通报，2005，11（3）：47-47, 57.

[7] 李俊庆，朱红霞 . 旱地花生氮磷钾养分积累与分配规律初探[J]. 土壤肥料，1999，（5）：33-35.

[8] 加拿大钾磷肥研究所北京办事处 . 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京：中国农业科技出版社，1992.

平衡施肥对杨梅产量及品质影响

姜丽娜 符建荣 马军伟 王强 汪建妹

（浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所，浙江杭州 310021）

***摘要：**在浙江省余姚市进行了平衡施肥对杨梅产量和品质影响的研究，结果表明平衡施肥对杨梅高产稳产十分重要，杨梅对氮、磷、钾用量比较敏感，不施或过多施用都明显降低杨梅产量。试验中 $N_2P_1K_1$ 处理获得最高产量 37.7 公斤 / 株及最高获利润 318.1 元 / 株，并有较佳的杨梅商品性状和品质。在本试验条件下，杨梅每株施用 0.6 公斤 N、0.18 公斤 P_2O_5、0.9 公斤 K_2O 为最佳氮、磷、钾用量，其 $N:P_2O_5:K_2O$ 为 1:0.3:1.5。*

***关键词：**杨梅，平衡施肥，产量，品质*

杨梅，学名 Myrica rubra Sieb.et Zucc.，亚热带常绿果树，原产中国，栽培历史悠久，主要分布在长江以南各省。杨梅是浙江省仅次于柑桔的第二大水果，种植面积5.7万公顷，约占全国杨梅种植面积的五分之一。在杨梅生产中，大小年结果现象明显，果品品质退化突出，严重影响杨梅市场竞争力与农民收入的提高。杨梅产量不稳及品质退化与施肥技术落后有较大关系，许多产区农民仍采用传统的“采后一斗灰”的施肥方法，杨梅果树营养缺乏，而有的产区农民为追求高产大量地施用化学肥料，使品质明显下降，不合理施肥是杨梅产量和品质变异的主要影响因子。改变不合理的施肥技术对提高杨梅产量和品质十分重要。本研究通过田间试验，明确氮磷钾平衡施肥对杨梅产量的效应及对果品品质的影响，为指导农民合理施肥提供理论论据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验在浙江余姚市三七市镇相岙水库杨梅园进行，品种为荸荠种杨梅，试验开始时整枝改造移栽后3年果园，属未成龄果园，经两年试验，产量水平已接近成龄果园，杨梅树种植密度为18株 / 亩。供试土壤测定结果（中加实验室ASI法）：OM 1.35%, N 46.6 毫克 / 升 , P 4.85 毫克 / 升 , K 97.75 毫克 / 升 , Ca 332.65 毫克 / 升 , Mg 108.15 毫克 / 升 , S 8.65 毫克 / 升 , Fe 61.05 毫克 / 升 , Cu 0.7 毫克 / 升 , Mn 65.25 毫克 / 升 , Zn 3.7 毫克 / 升 , B 0.6 毫克 / 升 , pH 4.35, AA 1.6 cmol/L, Ca/Mg3.08, Mg/K1.11。供试氮肥为尿素（含 N 46%），磷肥为过磷酸钙（含 P2O514%），钾肥为氯化钾（含 K2O 60%），发酵鸡粪（含 N1.35%、 P_2O_5、2.45%、 K_2O 2.02%），硼砂（含硼 11 %）。各处理肥料一般按采后肥、春梢肥、膨果肥三次施用，有机肥、硼砂全部作采后肥施用，氮肥按采后肥 30%，春梢肥 40%，膨果肥 30% 施用，磷钾肥按采后肥 60%，膨果肥 40% 施用。

1.2　试验处理与田间设计

试验设三个氮水平、三个钾水平、两个磷水平，不完全设计 试验具体处理见表 1。试验为小区试验，小区面积为 0.05 亩，设三个重复，随机排列。

表 1　试验处理

	处理	N 公斤 / 株	P_2O_5 公斤 / 株	K_2O 公斤 / 株	有机肥 公斤 / 株	硼砂 克 / 株
1	N0P1K1	0	0.18	0.9	5	50
2	N2P1K1	0.6	0.18	0.9	5	50
3	N3P1K1	0.9	0.18	0.9	5	50
4	N2P1K0	0.6	0.18	0	5	50
5	N2P1K2	0.6	0.18	1.2	5	50
6	N2P0K1	0.6	0	0.9	5	50

1.3　测定项目与方法

试验原始土壤测定采用 ASI 法，果品中总糖用蒽酮比色法，总酸用中和滴定法，Vc 采用 2,6- 二氯靛酚滴定法，蛋白质含量根据果品中氮含量计算。

2　试验结果与分析

2.1　平衡施肥对杨梅产量的影响

两年试验结果（表 2）表明，平衡施肥对杨梅高产十分重要，杨梅对氮、磷、钾用量比较敏感，不施或过多施用都明显降低杨梅产量。试验中产量最高处理为 $N_2P_1K_1$ 处理，连续两年产量都是最高，总产达 37.8 公斤 / 株，比不施氮、不施磷、不施钾处理分别增产 34.52%、20.49% 和 83.17%。过高量施用氮肥，杨梅产量比不施氮肥处理还低，过高量施用钾肥虽然比不施钾处理有所增产，但增产效果明显低于施低量钾肥处理。从不同处理年度间产量结果看，不施氮肥、$N_3P_1K_1$ 处理都是 07 年产量明显低于 06 年，而 $N_2P_1K_1$ 处理 2007 年产量明显高于 2006 年，表明不施氮肥或过高量施用氮肥不利于杨梅的持续高产，而合理的氮肥用量则可使杨梅持续高产稳产。合理施用钾肥处理 07 年效应大于 06 年，而过量钾处理施用钾肥效果不随年度增加。试验结果表明，在本试验条件下，杨梅每株施用 0.6 公斤 N、0.18 公斤 P_2O_5、0.9 公斤 K_2O 为最佳氮、磷、钾用量，其 $N:P_2O_5:K_2O$ 为 1:0.3:1.5。

表 2　平衡施肥对杨梅产量的影响

处理	2005 年基础产量 * 公斤 / 株	2006 年产量 公斤 / 株	2007 年产量 公斤 / 株	两年总产量 公斤 / 株	施氮增产 每株公斤 /%	施磷增产 每株公斤 /%	施钾增产 每株公斤 /%
$N_0P_1K_1$	5.4	15.0	13.0	28.0	-		
$N_2P_1K_1$	5.3	16.4	21.4	37.8	9.7/34.52	6.4/20.49	17.1/83.17
$N_3P_1K_1$	5.3	13.2	8.9	22.1	-6.0/-21.21		
$N_2P_1K_0$	5.5	8.5	12.1	20.6			-
$N_2P_1K_2$	7.4	10.7	14.8	25.5			4.9/23.79
$N_2P_0K_1$	7.6	11.1	20.2	31.3		-	

*2005 年产量为试验前未处理基础产量

2.2 平衡施肥对杨梅经济效益的影响

杨梅试验经济效益分析结果表明（表3）：两年总收益以$N_2P_1K_1$处理为最高，获利润318.1元/株，分别比不施氮、不施磷、不施钾处理增加利润92.9元/株(增41.3%)、62.9元/株(增24.6%)和162.3元/株(增104.2%)，取得最高经经济效益的处理与最高产量处理相一致。过量施用氮、钾肥都使利润明显减少。

表3　杨梅施肥试验经济效益分析

处理	施肥量 N-P_2O_5-K_2O-M 公斤/株	施肥投入 元/株	投入总和 元/株	产出 元/株	利润	产投比
$N_0P_1K_1$	0-0.18-0.9-5	15.29	55.29	280.5	225.2	5.1
$N_2P_1K_1$	0.6-0.18-0.9-5	19.20	59.20	377.3	318.1	6.4
$N_3P_1K_1$	0.9-0.18-0.9-5	21.16	61.16	221.0	159.8	3.6
$N_2P_1K_0$	0.6-0.18-0-5	10.20	50.20	206.0	155.8	4.1
$N_2P_1K_2$	0.6-0.18-1.2-5	22.20	62.20	255.0	192.8	4.1
$N_2P_0K_1$	0.6-0-0.9-5	17.91	57.91	313.2	255.3	5.4

注：杨梅单价：10元/公斤。肥料N：3.26元/公斤，P_2O_5：3.57元/公斤，K_2O：5.0元/公斤(K_2SO_4)，有机肥0.5元/公斤。投入总和中包括每株其它投入：劳动力、防病除虫、采摘等费用40元/株。

2.3 施肥对杨梅果品性状及品质的影响

试验中果品性状及品质指标测定结果(表4)表明：两年测定结果基本一致，获得最高产量的$N_2P_1K_1$处理杨梅商品性状在各个处理中是较好的，平均单果重、平均单果径都比不施氮区、不施钾区增加，略低于不施磷区；品质指标中，Vc、粗蛋白、总糖含量也较高，但是杨梅酸度也略偏高，使糖/酸比相应低于高氮及不施磷处理，荸荠种杨梅以高糖/酸比为特点，在口味上以甜味为主，但风味略显不足，酸度略提高可能有助于杨梅风味的提高。氮、磷、钾施用水平对果品品质的影响分析表明，施用氮肥对杨梅果径及单果重的影响两年结果比较一致，表现为适施氮肥增加单果重及果径，对内含物的影响两年结果有差异，2006年试验中以N2水平品质最佳，但2007年试验中氮肥水平间差异较小。施用钾肥增加杨梅单果重、单果径，K1水平时，Vc、总糖、总酸含量两年试验中都处于最高含量，糖/酸比在2006年表现为降低，而在2007年则表现为增加，在余姚荸荠种杨梅上，糖/酸比大于12时适当增加酸度有利于杨梅风味的增加，而在糖/酸比小于10时，明显表现出口味偏酸，增加糖/酸比使口味变好，所以两年施用钾肥的结果都能使杨梅的口味得到改善。施用磷肥对杨梅果品品质的影响在两年试验中比较一致，都表现有降低单果重的趋势，单果径基本没有影响，对Vc、总糖也基本没有影响，有增加总酸含量及降低糖/酸比的趋势。

表 4　平衡施肥对杨梅果品性状与品质的影响

处理	平均单果重 克	平均果径 厘米	Vc (毫克 / 公斤)	粗蛋白 (克 / 公斤)	总糖 (克 / 公斤)	总酸 (克 / 公斤)	糖 / 酸
2006 年							
$N_0P_1K_1$	9.47	2.64	91.6	72.9	101.3	8.23	12.31
$N_2P_1K_1$	9.87	2.67	101.1	70.0	103.2	8.50	12.14
$N_3P_1K_1$	9.19	2.62	99.0	71.7	104.7	7.60	13.78
$N_2P_1K_0$	9.13	2.61	92.1	67.1	103.1	8.23	12.52
$N_2P_1K_2$	10.12	2.69	93.1	62.3	102.2	8.27	12.36
$N_2P_0K_1$	10.01	2.67	92.1	63.5	102.5	7.90	12.98
2007 年							
$N_0P_1K_1$	8.49	2.55	152.3	55.4	105.0	11.0	9.29
$N_2P_1K_1$	8.61	2.55	143.6	56.5	105.0	12.0	8.97
$N_3P_1K_1$	8.67	2.56	143.8	59.0	105.0	11.0	9.24
$N_2P_1K_0$	8.24	2.51	140.7	54.2	103.0	12.0	8.86
$N_2P_1K_2$	8.72	2.56	137.5	54.2	103.0	11.0	9.33
$N_2P_0K_1$	8.64	2.56	143.3	58.8	105.0	10.0	10.13

3　小结

平衡施肥对杨梅高产、高效、优质十分重要，杨梅对氮、磷、钾用量比较敏感，不施或过多施用都明显降低杨梅产量。杨梅最佳的株氮磷钾肥用量分别为 N 0.6, P_2O_5 0.18, K_2O 0.9 公斤，N: P_2O_5: K_2O 为 1:0.3:1.5。采用最佳施肥方案获得试验中最高产量和最高利润，产品商品性状及品质指标都较佳。最佳施肥处理两年总产 37.8 公斤 / 株，比不施氮、不施磷、不施钾处理分别增产 34.52%、20.49% 和 83.17%，获利润 318.1 元 / 株，分别比不施氮、不施磷、不施钾处理增加利润 92.9 元 / 株、62.9 元 / 株和 162.3 元 / 株。过高量施用氮肥，杨梅产量比不施氮肥处理还低，过高量施用钾肥虽然比不施钾处理有所增产，但增产效果明显低于施最佳量钾肥处理。适量施用氮肥、钾肥明显增加杨梅单果重及单果直径，施用磷肥有降低单果重的趋势，施用氮肥对果品中糖 / 酸比有提高趋势，施用钾肥有改善杨梅风味的作用，施用磷肥有提高杨梅酸度的趋势。

参考文献：

[1] 孟赐福 . 浙江省杨梅若干问题的探讨 . 浙江农业科学，1996, 266-267.

[2] 吴益伟 , 孟赐福 , 傅庆林 , 郑纪慈 . 成龄木叶杨梅树需肥量的初步研究 . 浙江农业学报 1995,7 (4): 301-303.

[3] 傅雨露 . 浙江省杨梅大小年的成因及其对策 . 浙江林业科技，1996, 16（1）：70-73.

[4] 龚洁强 , 王允镔 , 梁克宏 . 杨梅的营养特性与施肥技术，柑桔与亚热带果树信息，2001,17（11）：29-30.

[5] 张跃建 . 东魁杨梅对主要矿质养分的年间吸收量 . 浙江农业学报 1999, 11(4):208～211.

[6] 张兴旺 . 杨梅树的需肥特性和施肥要点 . 云南林业 , 2003, 24（2）：18

[7] 缪松林，张跃建，梁森苗 . 施肥时期对杨梅大小年的影响 . 果树科学 ,1996，13（1）：15-18.

中国—加拿大合作项目
杨梅优质高产施肥技术研究试验田
China-Canada cooperation program
Waxberry good-quality and high-yielding fertilization experiment
试验开始日期Start date of experiment: 2005年6月 June. 2005
试验处理Treatment:
1.最佳-N（N,P,K.） OPT-N
2.最佳（N,P,K.） OPT
3.最佳+N（N,P,K.） OPT+N
4.最佳-钾（N,P,K.） OPT-K
5.最佳+钾（N,P,K.） OPT+K
6.最佳-磷（N,P,K.） OPT-P
7.最佳（采后一次施） OPT（After harvest application）
试验农户Farmer: 王信年 Wang Xinnian
实施Institute: 余姚市农业科学研究所Yuyao Institute of Agricultural Science,
浙江省农科院环境资源与土壤肥料研究所
Institute of Environment, Resource, Soil and Fertilizer, ZAAS
JUN 4 20

JUN 13 2007

$N_2P_1K_1$
$N_2P_1K_0$
JUN 26 2006

$N_2P_1K_1$
$N_0P_1K_1$
JUN 26 2006

菜心平衡施肥技术研究

李国良，杨苞梅，何兆桓，周昌敏，姚丽贤
（广东省农科院土壤肥料研究所，广州 510640）

***摘要：**在土壤缺钼和硼、其它养分为中上至丰富水平条件下进行连续两茬菜心不同养分配施试验。结果表明：不施氮菜心产量与种植效益极显著下降，不施磷也有一定下降；不施钾则增产增收。施有机肥、喷钼和喷硼提高第一茬菜心产量和种植效益，第二茬则稍有下降，菜心 Vc、总糖和亚硝酸盐含量均下降。根据菜地土壤养分状况，平衡施用氮、磷、钾、钼、硼和有机肥，才能获得高产、高效、安全的蔬菜生产。*

***关键词：**菜心；肥料配比；平衡施肥*

由于蔬菜种植效益较高，人们通常施肥较多。但是，生产上蔬菜施肥基本以氮、磷、钾化肥为主，有机肥和中微量元素肥料较少施用，在较大程度上限制了蔬菜产量的提高，而且蔬菜品质不高。这往往导致人们对化肥的误解，认为施用化肥降低蔬菜品质。另外，近年越来越多的试验研究表明，菜地土壤盈余养分的环境风险较大。菜心是华南地区最重要的叶类蔬菜之一，栽培面积大，生长期短，复种指数高。广东省内众多大型蔬菜基地均以生产菜心为主。因此，根据近年广东省菜地土壤养分调查资料，选择有代表性菜地土壤，进行菜心不同养分配合施用大田试验，为我省菜心合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

试验于2007年9~11月在广州市花都区花东镇利农村兴隆菜场进行。试验地土壤基本性状为：pH 5.39、有机质20.6 克 / 公斤、有效N 90.5、P 97.9、K 140.7、Ca 1078、Mg 239.1、S 46.0、Cu 2.0、Zn 3.1、Fe 159.4、Mn 3.0、B 0.322、Mo 0.083 毫克 / 公斤。土壤有效 B、Mo 含量缺乏，其他养分含量为中上至丰富水平。

试验设 8 个处理，分别为：1 CK、2 NP、3 NK、4 PK、5 NPK、6 NPKM（鸡粪，250 公斤 / 亩）、7 NPKMo（喷 0.02% 钼酸铵溶液）、8 NPKB（喷 0.2% 硼砂溶液）。每个处理 3 次重复，随机区组排列。小区面积为 12.32 平方米（0.018 亩）。进行两茬试验。第二茬试验是在第一茬试验收获后原小区翻土进行。两茬试验各处理养分施入量见表 1。

两茬试验品种均为四九菜心，两茬鸡粪养分含量分别为：N 3.75%、2.93%，P_2O_5 2.82%、2.89%，K_2O 2.25%、2.22%，种植密度为 27000 株 / 亩。第一茬试验于 2007 年 9 月 11 日播种，9 月 26 日移栽，在 2007 年 10 月 13 日收获。第二茬试验于 2007 年 10 月 15 日播种，10 月 26 日移栽，在 2007 年 11 月 10 日收获。

移栽前把 25% 氮、钾肥和全部磷肥作为基肥，配施有机肥处理的鸡粪全部作基肥。其余氮、钾肥用作追肥，移栽后共追肥 3 次，第一茬分别在移栽后 4d、9d 和 13d 追肥，第二茬分别在移栽后 5d、9d 和 12d 追肥。两茬氮、钾肥追肥量分别为 18.75%、18.75%、37.5%，硼、钼肥分别在每次追肥时喷施。在菜心收获期记录产量，并采集样品分析菜心鲜样 Vc、可溶糖及亚硝酸盐含量。

表 1　不同处理养分施入量（公斤 / 亩）

处理	第一茬			Mo	B	第二茬		
	N	P_2O_5	K_2O			N	P_2O_5	K_2O
CK	0	0	0	0	0	0	0	0
NP	8	3	0	0	0	8	3	0
NK	8	0	6	0	0	8	0	2.4
PK	0	3	6	0	0	0	3	2.4
NPK	8	3	6	0	0	8	3	2.4
NPKM	8	3	6	0	0	8	3	2.4
NPKMo	8	3	6	*	0	8	3	2.4
NPKB	8	3	6	0	**	8	3	2.4

* 为喷施 0.02% 钼酸铵溶液，** 为喷施 0.2% 硼砂溶液。

2　结果与分析

2.1　菜心产量及种植效益

从第一茬试验菜心产量（图 1）来看，除 PK 处理比 CK 增产未达显著水平外，其它处理均比 CK 显著增产。与 NPK 处理相比，CK 与 PK 处理菜心极显著减产 53.2% 与 46.8%，减收 63.8% 与 57.1%；NK 处理减产 13.8%，但未达显著水平。这可能是由于菜心对钾素营养需求相对不高（菜心 N、P、K 养分需求比例为 1:0.18:1.07[1]）及土壤钾素含量较高所致；NP 处理产量不但没有下降，反而增产 3.7%；在 NPK 基础上增施有机肥、喷施钼酸铵和硼砂，菜心分别增产 5.8%、16.9% 和 14.9%。

由于第一茬NP处理菜心比NPK处理稍有增产，第二茬降低了钾肥用量。第二茬产量结果显示（图 1），除 PK 处理外的其它处理均比 CK 显著提高产量。PK 处理产量比 CK 减产 12.5%，这是由于施入磷钾肥加剧了土壤氮素供应的相对不足，土壤氮磷钾养分供应比 CK 更为不平衡，因此产量甚至比 CK 下降。由此可见，氮肥对于叶菜生产具有极其重要的作用。与 NPK 处理相比，CK 与 PK 处理菜心产量极显著降低，分别减产 42.6% 与 49.8%。然而，NP 处理则获得最高产量，达到 1053 公斤 / 亩，比 NPK 处理增产 9.5%。这表明第二茬降低钾肥用量是可行的，但钾肥用量仍可进一步降低。本试验与前人在土壤速效钾含量中等至丰富条件下菠菜、菜心和白菜仍需施用较高量钾肥的研究结果有所差别[1]。在 NPK 基础上增施有机肥，菜心产量与 NPK 处理极为接近，喷施钼酸铵和硼砂处理则稍微减产。以上结果表明，可能第二茬偏高的钾肥用量部分抵消了有机肥、钼酸铵和硼砂的增产效果。另外，即使土壤有效 P 丰富，但在温度较低的秋冬季节，磷肥有效性较低，为获得蔬菜高产，施用适量磷肥仍是必要的。

另外，比较第一和第二茬不同处理菜心产量，除 CK 为第二茬产量高于第一茬外，其它所有处理均为第一茬高于第二茬。不施钾处理产量下降幅度低于 NPK 处理和其它 NPK 配施处理，可能是由于第一茬钾肥过多的残留与第二茬仍偏高的施钾量导致产量进一步下降。

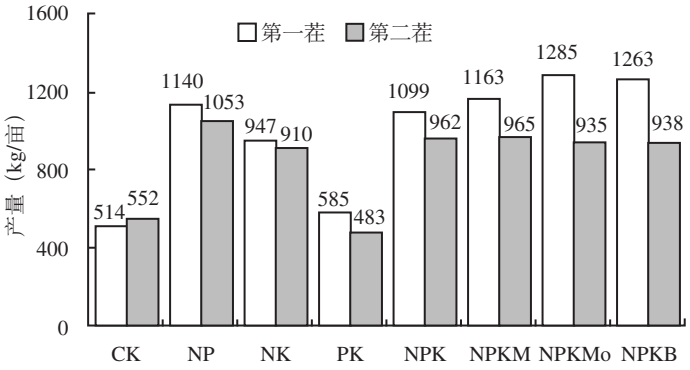

图 1　两茬菜心不同施肥处理产量

两茬菜心种植效益（表2）显示，第一茬菜心CK与PK处理菜心极显著减收63.8%与57.1%，NK处理减收16.8%，NP处理反而增收5.5%；第二茬情况与第一茬一致，CK与PK处理分别极显著减收52.0%与63.0%，NK处理减收6.5%，NP处理增收13.2%。在NPK基础上增施有机肥、喷施钼酸铵和硼砂，第一茬效益分别提高3.5%、21.1%和18.7%；第二茬效益由于产量被偏高的钾肥用量抵消而下降3.3%~4.1%。

表 2　两茬菜心种植效益比较

处理	第一茬			第二茬		
	利润	增收		利润	增收	
	（元 / 亩）	（元 / 亩）	%	（元 / 亩）	（元 / 亩）	%
CK	889	-1570	-63.8	996	-1080	-52.0
NP	2595	136	5.5	2351	275	13.2
NK	2046	-413	-16.8	1942	-134	-6.5
PK	1055	-1404	-57.1	769	-1307	-63.0
NPK	2459	-	-	2076	-	-
NPKM	2545	86	3.5	1991	-85	-4.1
NPKMo	2979	520	21.1	1999	-77	-3.7
NPKB	2918	459	18.7	2008	-68	-3.3

注：1 肥料售价（元 / t）：尿素 2000，普钙 500，氯化钾 2080，钼酸铵 450000，硼砂 15000，鸡粪 371。
2 其他成本（元 / 亩）：地租 100，人工 350，农药 100。
4 菜心收购价为：2.8 元 / 公斤。

2.2　菜心品质

两茬试验菜心品质分析结果显示（表3），两茬均以PK处理菜心Vc含量最高，CK次之。这两个处理Vc含量均明显高于其它所有处理。与NPK处理相比，两茬菜心增施有机肥、喷施钼酸铵和硼砂处理Vc含量均下降，两茬菜心NP和NK处理均有不同程度下降。两茬菜心总糖含量则以CK最高，PK

处理次之，其它所有处理总糖含量均显著低于这两个处理。在NPK处理基础上施用有机肥、喷Mo和B均降低两茬菜心的总糖含量。究其原因，这主要是由于其它所有施肥处理比CK和PK处理显著提高产量而造成产量对Vc和总糖含量产生稀释效应所致。在NPK处理基础上施用有机肥、喷Mo和B降低第一茬菜心的Vc和总糖含量可能也是由于产量的稀释作用造成，但第二茬的原因则有待进一步探讨。

对于菜心亚硝酸盐含量，两茬均以CK最低，PK处理次之。其它所有处理亚硝酸盐含量均明显高于这两个处理。第一茬所有施肥处理中以NP处理亚硝酸盐含量最高，已经超过我国食品卫生标准（BB 2762-2005）的亚硝酸盐限值（4毫克/公斤）。第二茬以NK处理最高为3.08毫克/公斤，未超过食品标准限值。在NP处理基础上增施钾肥，两茬菜心亚硝酸盐含量均下降，这与前人研究施用钾肥可以降低亚硝酸盐含量结果一致[2]。另外，在NPK处理基础上施用有机肥和喷Mo和B，也降低两茬菜心亚硝酸盐含量，其中以喷Mo的效果更为明显。这也与前人研究结果[3-5]吻合。以上结果表明，偏施氮肥显著提高菜心亚硝酸盐含量，氮、磷、钾、钼、硼和有机肥平衡施用则显著降低亚硝酸盐含量。从菜心品质和食用安全来看，平衡施用氮、磷、钾、钼、硼和有机肥是极为必要的。

表3　不同处理两茬菜心品质

处理	Vc（毫克/100克）		总糖（%）		亚硝酸盐（毫克/公斤）	
	第一茬	第二茬	第一茬	第二茬	第一茬	第二茬
CK	73.7ab	73.9a	0.856a	1.012a	1.13d	1.36c
NP	66.0cde	69.5ab	0.478b	0.561c	5.46a	2.73ab
NK	69.3abc	64.9bc	0.411bc	0.422d	3.60b	3.08a
PK	75.1a	75.8a	0.805a	0.863b	1.18d	1.55c
NPK	66.7bcd	70.4ab	0.457b	0.436cd	3.32bc	2.58ab
NPKM	58.9de	62.4bc	0.390bc	0.391d	2.30c	2.20abc
NPKMo	61.6de	57.6c	0.394bc	0.321d	2.39c	1.97bc
NPKB	62.9cde	62.4bc	0.349c	0.378d	3.37bc	2.24abc

3　结论

在土壤缺钼和硼、而其它养分为中上至丰富水平条件下，与NPK处理相比，不施N处理两茬菜心产量与种植效益极显著下降，不施P处理也有下降，但不施K处理增产增收。在NPK处理基础上施有机肥、喷Mo和B提高第一茬菜心产量和种植效益，第二茬产量和种植效益稍有下降，这可能主要是由于第二茬钾肥用量偏高而抵消了有机肥、钼肥和硼肥的增产作用。在NPK处理基础上施用有机肥、喷Mo和B，第一茬菜心由于产量稀释作用降低Vc和总糖含量，第二茬原因则有待进一步探讨，两茬菜心亚硝酸盐含量均下降。

综合两茬菜心试验，根据菜地土壤养分状况，平衡施用氮、磷、钾、钼、硼和有机肥，才能获得高产、高效、安全的蔬菜生产。

参考文献：

[1] 黄东风，罗涛，邱少煊．氮抑制剂对蔬菜产量和硝态氮含量的影响[J]．中国蔬菜，2005，(12)：14-16

[2] 熊国华，林咸永，章永松，等．钾、尿素与有机物料或双氰胺配施对菠菜体内硝酸盐、亚硝酸盐含量影响的研究[J]．土壤通报，2005，36（1）：62-67

[3] 杨涛，汤惠华．施肥对苋菜硝酸盐及亚硝酸盐含量的影响[J]．福建热作科技，2006，31（1）：1-2，7

[4] 李芳亭，鲁强，王世国，等．黄土丘陵区土壤钼锌含量及农作物对钼锌的反应[J]．农业环境保护，2002，21（6）：559-561

[5] 朱凤林．钼、硼对花椰菜产量及品质的影响[J]．园艺学报，2005，32（2）：310-313

上接 65 页

378525731E006066D5).

Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, and T.L. Jensen. 2007. Greenhouse gas emissions from cropping systems and the infl uence of fertilizer management—aliterature review. International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, U.S.A. (http://www.ipni. net/ghgreview)

Trenkel, M.E. 1997. Improved Fertilizer Use Effi ciency. Controlled- release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. (http://www. fertilizer.org/ifa/publicat/pdf/trenkel.pdf)

Wolt, J.D. 2004. A meta-evaluation of nitrapyrin agronomic and environmental effectiveness with emphasis on corn production in the Midwestern USA. Nutrient Cycling in Agroecosystems 69: 23C41.

有机农作物生产中的钾素管理

Robert Mikkelsen

张过师（IPNI 武汉办事处）译　　陈防 校

充足的钾供应在有机农业和传统农业中都是重要的。钾参与很多植物生理反应，包括渗透调节，蛋白质合成，酶活化和光合运移。钾在许多农田中都是不平衡的，因作物收获而带走的钾往往多于返还到土壤中的钾。本文对有机农业生产中常用的钾肥进行了调查和分析。

钾是植物生长所需的必需元素，但在农业生产中往往得不到如同对 N 和 P 那样的重视。美国的很多地区和加拿大所有省份中因作物收获带走的钾都多于以化肥及有机肥形式返还到土壤中的钾（图1）。在美国，作物收获所带走钾的3/4被化肥或有机肥返还，这引起土壤中的养分耗竭，许多地方出现了钾素不足的现象。

在不考虑养分管理原则的情况下，钾素总是植物生长需要量最大的土壤阳离子。大量的钾是维持植物健康和活性所必需的。钾在植物渗透调节、内部阴阳离子平衡、酶活化、正常水循环、光合转化和蛋白质合成等方面有着特殊的功能。正常的钾含量有助于提高植物对冻害、干旱、高温、强光照等恶劣外部环境的抗逆性。足够的钾供应也会减少病虫害的发生。尽管缺钾对环境及人体的危害未见报道，但缺钾对作物生长、其他养分（如 N 和 P）的利用率影响明显。在有机农业和传统农业中，保证足够的钾供应都很重要。更多详细信息和参考文章请访问网站：www.ipni.net/organic/kreference。

外源钾亦被称为“锅灰（potash），”最初的钾是来源于一口大铁锅中蒸发和浓缩木材燃烧灰烬而得出的沥出物，因而得名。这种钾的收集方法是基于树根吸收了土壤中的钾素，然后在树被砍伐和燃烧后得以获取的。很明显这种钾的生产方式不再可行，同时也不是环境友好的。大部分的钾肥，不论是应用于有机农业的还是传统农业的，都是来源于古老的海洋盐类，是内陆海水蒸发时的沉淀物。这种自然地理过程今天在大盐湖和死海等地方仍可看到。

有机农业生产

无论什么农业生产系统，植物养分管理的原则都是相同的。有机农业生产和传统农业生产在相同的全球资源下有着同样的目标和基本任务。尽管这两种生产系统中特定的养分管理技术和选择可能会有不同，但保证土壤肥力和植物养分供应的基本要求不会改变。

一般而言，有机农业生产的目标是（i）在自然系统和循环中，（ii）维持和提高土壤长期肥力，(iii)尽可能使用可更新资源，(iv)生产出安全、卫生和有营养的食物。

应遵从哪些有机农业标准？

许可使用的养分资源由各种地方、国家和国际观察组织监管。每个组织都会依他们对有机农业的理解有一些不同的养分资源使用标准。因此，种植者在寻找合适的养分资源时首先要知道他们的产品将要在哪些地方销售以适合当地市场标准。

一般而言，矿物钾源必须是那些未经处理的、纯净的，或者是仅由原始形态改变而来的矿物。然而，不同认证组织对具体使用什么样的钾源的要求却有不同。尤为不幸的是，其中一些对养分来源物的限制并没有可靠的科学依据，他们的关于包括或不包括某种养分资源的各种规定不足以被用作判别该养分资源是更“安全”或更“危险”于其他肥料来源的依据。

利用农田资源

在有机农业生产系统中成功进行钾素管理有很多不同方法。最大的区别在同时进行畜牧和农作物生产的农田和仅进行农作物生产而后离地售出的农田之间。在畜牧/农作物混作系统中，一般优先考虑动物所需要的养分，其排泄物会返还给周边农田。在这种情况下，通过饲料和草垫引入的钾量往往高于通过牛奶和肉产品带走的钾量，这有时会引起施用有机肥的农田中钾素的积累。在有机肥堆肥和矿化时，这类农田中就会出大量的钾素流失。因为钾素大多通过尿液排泄，如果这部分不能随着固态的有机肥有效返还，农田中钾就不能得到补充。

轮作是有机农业生产中的重要部分。尽管有豆科作物参与的轮作将有助于 N 的供应，也可减少钾的淋失，但仅靠轮作是不能额外供应钾素的。研究证明植物根系通过耗尽根际钾素，引起钾素平衡发生转化进而促进土壤矿化。这种转化可以加速自然进程，提高矿化率。下层土壤钾储备对一些轮作系统而言是重要的，其深根植物释放的钾可以被后续的浅根植物吸收利用。当然，轮作可能会影响到土壤中钾的有效性，连续的作物收获会耗竭土壤养分，最终导致长期产量下降。

植物有效钾往往仅在上层土壤中进行测定，但有些深根植物会从下层土壤中吸收相当量的钾素。下层土壤钾素的供应水平取决于上层土壤中植物有效钾含量、潜在的根限制因子和具体的植物根系分布。土壤表层进行的土壤测试并不能计算出这种下层土壤的钾供应水平。

钾素平衡

由于产品外销总会带走土壤中的钾，同时因淋洗和径流引起的钾的损失也是不可避免的，因此通过有效的作物管理来补充土壤钾库是必要的。运用农田预算来描述农田系统中的养分运移以及帮助制定长期轮作、混作农田系统中的养分规划是很有效的。考虑众多因素影响，有机农业中农田 N、P 和 K 的平衡状况从富余到缺乏都得以展示。

通过对成熟作物养分组成的测定，已得知不同作物对钾的需求量（表 1）。但是，我们对作物生长所需的钾的供应速度却极少关注。作物生长所需的总量（数量）和供应速度（强度）同等重要。这一理念对所有作物生长都是重要的，尤其是在使用虽然可能产生足够的总钾量但却不能满足植物生长高峰时所需钾的供应强度的低溶解度的养分资源时。

土壤矿物中钾的释放

土壤中最常见的钾的矿质来源是长石和云母等原生母质中的土壤矿物。这些原生矿物经过风化产生的一系列次生矿物也可以是土壤中钾的来源。这些矿物包括云母类粘土矿物如伊利石和蛭石。

很多大田和温室实验中都把破碎的岩石和矿物视作钾源。一般来讲，植物仅能从黑云母、金云母、白云母和霞石这些矿物中吸收很有限的钾量，长石钾未经处理或矿化则不能被植物直接利用。

很多因素影响矿物中钾的释放速率，如土壤 pH 值、温度、湿度、微生物活性、反应表面积和植物种类。因此，某种矿物在这个条件下是有效的钾源，换个条件可能就不再是。

有些土壤矿物可以从土壤溶液中吸收钾并贮藏。当钾被吸收到伊利石、蛭石和其他蒙脱石类粘土矿物的层间结构时，其粘粒层间崩解，将钾包被在矿物晶格内。这种固定过程相对比较快，释放则很慢。非交换钾和矿物钾不应混为一谈，因为非交换钾是被固定在粘土矿物结构中相邻四面体之间，而非在矿物晶体结构中形成共价健结构。

有机农业的钾源

周期性地施用可溶性钾，不论其来源如何，都可提高土壤溶液中钾的浓度和其所占阳离子交换位比例。常用的可溶性钾源（包括有机肥，堆肥和绿肥）中钾都简单地以 K^+ 的形式存在。大多数可溶性无机肥和有机肥实际上可以互换作为植物养分需求的钾源。一般来讲，当使用有效性钾时，返还因收

获而带走的钾这个总体目标要比不同钾源之间的微小差异更显重要。作物施肥表现不同通常是由于伴随离子，如氯离子（Cl^-），硫酸根离子（SO_4^{2-}），或伴随加入钾而来的有机物质的不同

目前并没有全面的证据说明作为植物有效性钾源，硫酸钾（K_2SO_4）比氯化钾(KCl)更有效，而且SO_4^{2-}和Cl^-都可以为植物健康生长提供所需的基本养分。氯化物有时被视为是对土壤有害的物质，但在一般施用量条件下并没有证据证实这一说法。而且有很多文献说明它有助于植物健康生长并帮助预防一系列植物病害。氯盐在对一般土壤微生物的作用上同硫酸盐一样（如Li等，2006），并且加入的钾可以降低盐分对土壤微生物活性的不良影响（Okur等，2002）。

许可的和限制的钾源

美国国家有机管理委员会和加拿大综合标准部把用于有机农业生产的产品划分为许可、限制和禁止三类。许可的产品是指当按照标签所示进行施用时允许用于有机农业生产的产品。限制的肥料仅用于特定目的并在一定的条件下可以使用。禁止产品则绝不许用于有机农业生产。这些作为植物养分资源的材料的性质和价值有极大的不同。下面的钾源可应用于有机农业生产。

绿砂(Greensand)　绿砂是指一种含高百分比的绿色矿质海绿沙的沙质岩石或沉积物。由于含钾最高可达5%，绿砂100多年来一直被看作是天然化肥和土壤调节剂。绿砂的钾释放率极低，被认为可以减小化肥“烧根”造成的植物伤害，同时它的持水力可以辅助土壤调节。然而，过低的钾释放率导致在生产实际中很难为植物提供有效的养分供给。其有效性钾往往不到总钾量的0.1%。目前美国很多州都有绿砂矿藏，但北美唯一开采的绿砂矿位于新泽西州。

无水钾镁矾(钾镁硫) (Langbeinite)　这种物质如果仅以原始态、粉碎而没有再进一步提炼或净化的形态施用可以用于有机农业生产，这一许可的产品有很多极好的来源用于有机农业生产。无水钾镁矾一般含植物有效钾、镁和硫分别为18%、11%和22%。北美无水钾镁矾主要来源是新墨西哥州的地下矿藏。

有机肥和堆肥　由于这种有机物质变数极大（有不同的原料和处理），它们的含钾量也大不相同。有机物堆肥一般被视作许可养分源。未腐熟的有机肥在施肥时间选择上有一些限制，具体依不同认证机构而定。如同许可的无机肥源，这些有机肥中含有的钾大多是植物有效性钾。多次大量地施用有机肥会引起土壤中钾的累积，进而引起植物对钾的奢侈吸收。为最大效益地使用这些有机肥或堆肥，施肥前可以对其进行一个化学分析。由于不论堆肥过程还是动物咀嚼过程都不会产生任何养分，所以考察一下有机肥或堆肥中钾的来源是有好处的，

硫酸钾　自然采来的K_2SO_4可以用来进行有机农业生产。目前北美有机农业许可的K_2SO_4大多来自犹他州的大盐湖。其开采或经蒸发后可以进行粉碎或筛选，但不可再进一步加工或净化。在一些欧洲国家如没有认证机构的许可，这类产品是不能用于有机农业生产的。一般硫酸钾中钾和硫的含量分别接近40%和17%。

岩石粉末　矿藏岩石，包括沙石、黑云母、云母、长石、花岗岩和绿砂等都是许可用于有机农业生产的。这些矿物源的钾释放率大不相同。它们中有一些由于极低的溶解度和大、重的自然特性而完全不适于作为植物钾源，有一些则可能在长时间内才有效。一般来讲，小的颗料意味着大的表面积、活动性和矿化率。在实际使用前应了解该矿藏岩石的详细信息。

海藻　由于海水中平均约含0.4克/升的钾，这使得海藻中会有最高达百分之几的钾的累积。收获的海藻可以直接用作钾源或用于提取可溶性钾。这种钾源是易溶钾，而且一般含量低于2%。虽然海藻类产品是很好的钾源，但由于它们较低的钾含量和高额的运输费用使其在农田规模上的使用成问题，特别是对离海藻收获地较远的地方。

钾盐（氯化钾） KCl 如不是直接来源于矿藏（如钾盐岩）且无再处理，其在美国农业部(USDA)标准中是受限的钾源。它们必须以尽量减小氯在土壤中累积的方式施用。一般来讲，KCl在施用前应咨询认证机构。加拿大综合标准部已把KCl列入其有机农业“许可名单”。未处理的钾盐其钾含量通常接近 17%。

草木灰 阔叶木的燃烧灰烬是一种构建土壤肥力的早期钾源。这种变数很大的材料由原来木料中已有而经燃烧仍未挥发的成份构成。草木灰是一种碱性材料（pH 值约为 9 – 13），可达商用石灰石石灰效应的 8 – 90%。作为商用肥料，草木灰应平均含 1% P 和 4% K。有机肥、生物固体、煤炭和其他物质燃烧而得的灰烬不可用于有机农业生产。土壤中施用灰烬前应具体咨询认证机构。

结论

进行有机农业生产的生产者同样需要提供足够的土壤钾来维持作物健康生长和高产。有很多极好的钾源可用于返还因作物收获而从土壤中带走的养分。根区钾不足会引起水分利用率下降、严重虫害、产品产量和质量降低。周期性进行土壤钾含量测定是明确土壤施肥需求的基础。如果土壤有补充外源钾的需求，生产者应首先考虑使用当地可用资源并以矿物资源进行补充。运输和使用低养分含量改良剂的花费也必须考虑到。

Mikkelsen 博士，国际植物营养研究所北美地区西部区主任，加利福尼亚州默塞德县。电邮：rmikkelsen@ipni.net

更多详细信息及参考文献列表请访问：www.ipni.ne/organic/kreferences

主要参考文献：

Li, X., F.Li, B.Singh,and Z.Rengel.2006.Biol.Fertility Soils.42:366-370.

Mikkelsen,R.L.2007.Hort Technology.17:455-460.

Okur,N.,M.Çengel,and S.Göçmez.2002.Acta Hort.573:189-194.

原文选自 Better Crops with Plant Food, 2008(2):26-29, 国际植物营养研究所武汉办事处张过师译，陈防校。

表 1　一些常见农学、园艺作物因收获带走的平均钾量
（国际植物营养研究所，2007；自然资源保护服务中心，2007）

作物	学名	带走钾量（公斤 / 吨）
苜蓿	Medicago sattiva	22.5
杏仁	Prunus dulcis	50
普通玉米	Zea mays	4
青贮玉米	Zea mays	3.5
马铃薯	Solanum tuberosum	5
菠菜	Spinacia oleracea	5.5
南瓜	Cucurbita pepo	5
水稻	Oryza sativa	4
西红柿	Lycopersicon esculentum	3
小麦	Triticum aestivum	5

水分含量按市场常规值进行计算。

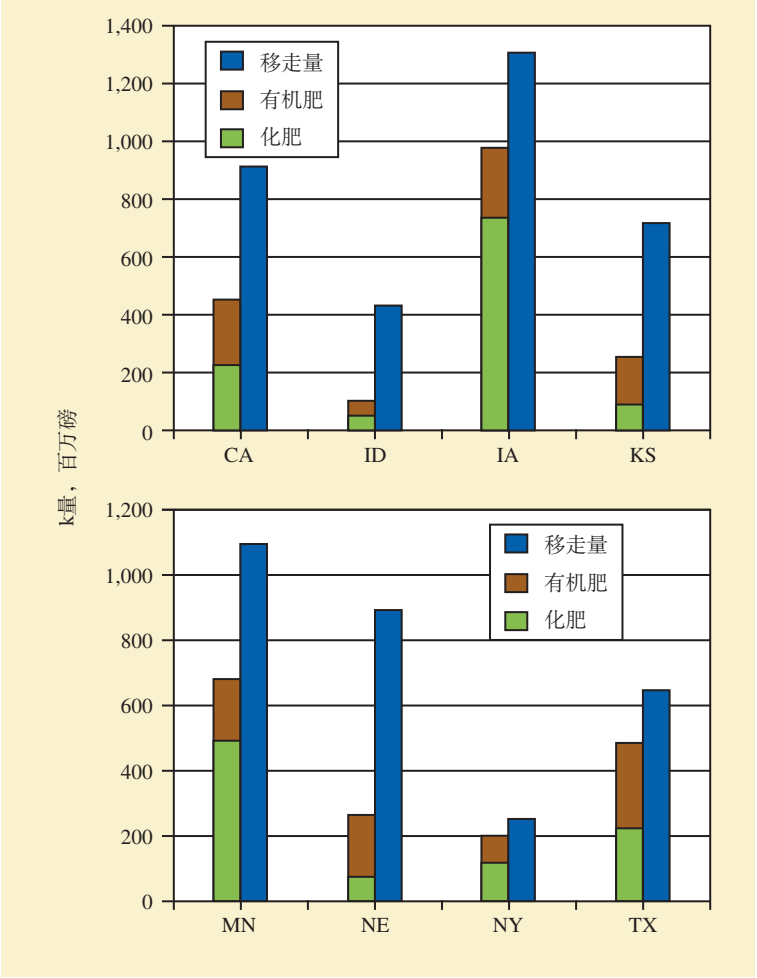

图 1　美国八个州每年通过化肥施入和有机肥返还的钾量与作物收获带走的钾量对比。包括：加利福尼亚州（CA）、爱达荷州（ID）、衣阿华州（IA）、堪萨斯州（KS）、明尼苏达州（MN）、内布拉斯加州（NE）、纽约州（NY）和德克萨斯州（TX）

干草和草料 农作物每年从土壤中带走数百磅钾，对土壤供应水平要求极高

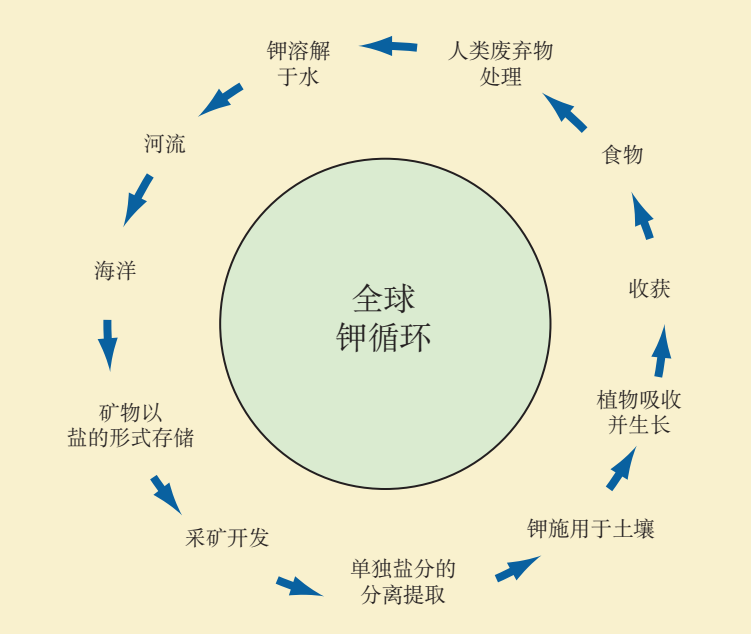

图 2　全球钾循环

经常出现在易于使用许可的有机农业钾源以维持土壤肥力的小型农场的有机农产品

绿砂（Greensand)的钾释放率极低，从而降低了它的供养价值

无水钾镁矾可有多种来源，其原始态、粉碎而没有再进一步加工态可作为有机农业的养分来源。

注重合理的土壤养分可以保证高质量的农产品

实施肥料氮最佳管理规程以减少氮素损失

C.S.Snyder 著

原文译自 Fertilizer Nitrogen BMPs to Limit Losses that Contribute to Global Warming

国际植物营养研究所成都代表处 谢玲译 涂仕华校

肥料最佳管理规程(BMPs)不是一个新概念，大约在 20 年前就有了(Roberts,2007)。今天，它比以前任何时候都显得重要。肥料最佳管理规程必须基于一个简单的概念 C 在最大限度减少田间养分流失的同时，保证养分供应能满足作物的需求。所有肥料用户都应该适时、适量、适位地施用肥料，以满足作物对养分的需求—即“正确的肥料，正确的施肥量、正确的施肥时间和正确的施肥位置。”肥料最佳管理规程必须考虑所有农业体系，因为单一的规程不可能放之四海而皆准(Roberts, 2007)。

结合肥料最佳管理的作物养分平衡通过作物光合作用和碳截存而最大限度地捕获二氧化碳(CO_2)；优化单位面积土地的作物生产力，并使农民获益和实现可持续生产的目标。任何增加作物产量、养分吸收和肥料利用率的肥料最佳管理规程都可能减少或控制养分向水体及大气损失的可能性。

科学和经验表明，肥料最佳管理规程对作物产量、质量、收益和向水体及空气损失的影响在很大程度上受控于其它农艺措施，如种植密度、作物品种、耕作措施、病虫防治，以及水土保持措施，如坡地梯化、条带种植、作物残茬管理、河岸缓冲带、防护林带和其它措施(Fixen, 2007)。那些在农场肥料使用决策中认为非常有用的措施，只有与其它适宜的农艺和最佳保护性管理措施结合使用时，才能算作是“最佳”的。一个最佳的肥料管理规程，如果被用于存在其它严重缺陷的种植体系，很可能完全无效(Fixen, 2007)。

接下来的讨论和指南是针对美国中部的玉米带，但也适用于其它类似作物地理条件下的种植体系。这些讨论和指南有助于肥料氮素管理决策，减少施氮对温室气体(GHG)排放的影响并且有助于降低全球温室效应潜能(GWP)- 用 CO_2 的质量当量表示。农业产生的三种温室气体是：氧化亚氮(N_2O)、甲烷(CH_4)和二氧化碳 CO_2。CH_4 和 N_2O 的温室效应潜能分别是 CO_2 的 23 倍和 296 倍。因为 N_2O 排放可能与氮肥相关，且温室效应潜能大大高于 CO_2，所以在该实用性指南中，特别强调了肥料氮最佳管理规程如何减少 N_2O 的排放。例如，氮肥最佳管理规程有助于减少温暖、潮湿或渍水条件下累积硝态氮(NO_3^-)，降低 N_2O 的排放的风险。

一般原则

在施氮肥之前

- 根据田间土壤和气候条件制定一个现实的产量目标。
- 弄清以下情况：1) 现有土壤肥力，2) 灌溉、农家肥和豆科作物提供的养分，3)作物对养分的总需求量和季节性需求量，从而帮助确定适宜的施肥量。
- 确认影响氮素有效利用的其它因素，从而尽可能对症管理。例如，除 N 以外的其它养分含量低、作物立苗差、杂草多、排水不良和土壤板结都是造成施氮效果变差的因素。
- 评估土壤及环境条件，确定导致该区氮素流失最可能的途径和强度。
- 选取一个或多个田块对生长季节的植物养分状况进行监测。
- 植株分析典型地监测了植株在养分需求高峰期的养分浓度，通常在植物授粉前或授粉初期。
- 使用叶绿素仪测定需要在生长前供氮充足的植物带作为参考。

- 作物反射测定，一个活跃的研究领域，是调整作物生长季节氮肥用量颇具前景的测定方法。
- 选取一个或多个田块，监测季后(即开花后)植株养分含量状况。有几个州都提供了玉米茎秆NO_3^-测定指南。这个测定能为作物生长季节施氮量是充分、不足还是过多提供信息。
- 确认在你所在流域或地区可能存在的与养分相关的环境问题：1)地下水NO_3^-含量高，2)地表水体富营养化或水源毒藻爆发，或 3) “下游”水体养分富集问题如低氧(缺氧)。

设备、合理施肥和施肥技术

- 如果田间土壤易受重型机械碾压而板结，要避免或推迟施肥。评估机械轮轴负荷和轮胎压力，以及它们对土壤压实的影响。增加土壤紧实度会加剧或促进土壤N_2O排放。考虑耕作系统，减少机械在田间的往返次数，同时采取必要的水土流失控制。
- 校准施肥器，保证配方施氮量准确和施肥位置正确。避免重复施肥和输送偏离目标，保证肥料在施肥器覆盖面下均匀一致。如果采用亚表层施肥，确保适宜的施肥深度。
- 在机械深施氮肥后，要保证施肥口土壤闭合良好和氮在土壤中的保存。

利用土壤测试来确定 pH 值和养分状况。分析氮的形态也很重要。

肥料氮素最佳管理规程—实现四个“正确”

氮肥

- 选择的氮肥品种既经济合理又能减少氮素损失(表 1)。氮肥品种的选择会影响施肥量、施肥时间和施肥位置。

铵态氮肥与硝态氮肥比较

- 只要是可能或可行，施用铵态氮(NH_4^+)肥比硝态氮肥(NO_3^-)更能减少温室气体排放。该指南的意图不是做农田氮素循环分析，但重要地是要认识到生产铵态氮肥比生产硝态氮肥排放更少的温室气体(使用智利硝石可能除外)。此外，硝态氮肥更易产生反硝化作用，从而导致N_2O 和N_2 排放(Harrison and Webb, 2001; Firestone,1982)。
- 在作物根系建立之前的生长早期施用氮肥，选择铵态氮肥优于硝态氮。如果使用含有NO_3^-的氮肥品种，生长前期土壤特别湿或渍水时就不要施入。温暖渍水(晚春至夏季)，虽然渍水比春季好点，可能会排放更多N_2O。
- 硝化抑制剂放在“施氮时间”部分讨论。

表 1　在减少氮流失和温室气体排放上的管理方案相对效果对比，方案 1 优于方案 2。效果评级代表对农场和流域内相对潜在 N 损失减少量的估算值。

			对 N_2O 释放的间接作用			N_2O 温室气体直接排放[3]
			硝态氮随水流失		氨挥发	
氮肥品种[2]	肥料氮管理措施		淋失	流失		
	正确的施 N 量					
	方案 1	方案 2				
所有品种	土壤供氮和其它投入（如粪肥灌溉水等等）	没有这类 N 的记账（假定施肥过量）				
所有品种	氮肥精准管理（变量和 / 或源）	非精准管理				
	正确的施 N 量					
	方案 1	方案 2				
AA	在秋季当土温低于 10℃时对春种作物进行施肥	不用等待				
AA,AS,PA,U,UAN,	春播作物（如玉米）在春季施肥	秋季施肥				
AA,AS,PA,U,UAN,AN,PN	春播作物在春天分次施肥或追施	在播种前把肥施完				
AA,AS,PA,U,UAN,AN,PN	秋播作物（如小麦、油菜）在春季施肥或秋季至春季分次施肥	所有肥料秋季施用				
AA,AS,PA,U,UAN,AN,PN	使用硝化抑制剂	不使用				
U	采用控释技术	不采用				
	正确的施 N 量					
	方案 1	方案 2				
AS,PA,U,UAN,AN	施入亚表层	表面撒施				
U,UAN	表面带施	表面撒施				
AS,PA,U,UAN,AN,PN	浅条施追肥 -2 厘米	追肥条施深度必须≥ 10 厘米				
U,UAN	与脲酶抑制剂结合表面施肥；作物残茬多	抑制剂				
U,UAN	与脲酶抑制剂结合表面施肥；作物残茬少	无抑制剂				

[1] 方案 1 优于方案 2 的相对比的百分数，由可用文献和经验观察资料估算。这个评级图没有明确 N 的损失量，它在某些情况下可能相当小 <1 to 2 kg/ha。相对影响不包括生产或运输相关的排放。该评级受研究进程变化的影响。

[2] 氮源：AA= 液氨，AS= 硫酸铵，PA= 含铵态氮为主，主要为 NH_4-N，U= 尿素，UAN= 尿素硝铵溶液，AN= 硝酸铵，PN= 含硝态氮为主，主要含 NO_3-N。

[3] 没有足够的数据来对其他两种主要温室气体 CH_4 和 CO_2 的排放评级。

表中评级图例

评级可以代表广泛、多范围（如从负值到正值），或单一的四分位数。评级方案在某种程度上是基于 EPA SAB (2008)表 17 中一种保守方法的评级方案

尿素和含尿素物质

● 最理想的是，施用的尿素、尿素硝铵 (UAN)和其它含尿素产品能与耕层土壤充分结合，如果通过降雨或灌溉施肥，需施入 0.6-1.2 cm 的土壤中;若通过耕作施肥，则需在施肥后 24-48 小时内进行。在有利于氨(NH3)挥发的环境条件下尤其要使用这个方法(Jones et al., 2007; Trenkel, 1997 ;Kissel, 1988)。

目前研发的强增效尿素形态（右）。化学或物理方法也可用来提高尿素利用率。

● 表面带施尿素有助于减少作物残茬与肥料接触。

● 尿酶抑制剂放在“施氮时间”部分讨论。

施氮量

● 适宜的施氮量与其它主要必要元素平衡施用可提高作物产量，保护环境。过量施氮会导致环境污染，降低产量，增加成本。氮素用量管理应符合以下目标：

● 尽可能减少土壤中 NO_3-N 的残留，以及

● 降低 N_2O 释排放风险(Halvorson et al., 2008b;McSwiney and Robertson, 2005)，特别是排水较差的土壤。

● 实施养分管理计划要考虑土壤供氮能力和所有施用的肥源提供的养分。正确估算其它来源如土壤有机质矿化、豆科作物、农家肥、灌溉水和大气沉降提供的植物有效氮。

● 根据你的产量目标和基于施肥推荐或设置重复的田间施氮量比较研究的结果来确定施氮量

● 作物收获以后，评估偏因子生产力(PFP)和偏养分平衡(PNB)，若如有可能，计算氮肥的农学效率(AE)和回收率(RE) (Snyder and Bruulsema, 2007)。可通过这些估算来优化氮肥管理。这些计算可运用到田间的那些清晰可分、面积足够大的区域，以保证肥料的精准管理。

● 使用生长季节或季后评估（参看以上提到的一般原则部分）来判定植物是供氮充分足、缺氮还是潜在的氮过剩。

施氮时间

● 适宜的施氮时间是影响作物氮吸收和提高土壤 NO_3^- 含量的主要因素，后者增加 N_2O 的排放风险。

● 在所有土壤上，把玉米和其它春播作物秋施的铵态氮肥（如液 NH_3），推迟到 10 - 15 cm 耕层土温 10℃时，再经历冬天，研究证明这项措施的农学效果非常理想。秋季施肥过早会使更多的铵态氮肥转换为 NO_3^-（图 1），增加了 NO_3^- 的流失和 N_2O 的排放。

● 对于那些很可能在冬、春季 NO_3-N 通过淋失或排水流失潜力高的土壤上，不要秋季施氮，如质地粗、渗漏力强的土壤或湿润地区年降雨量超过 71 cm 中等质地、排水良好的土壤。

● 在以下土壤条件下，避免春播作物在秋天施氮肥：

● 硝化作用快速 - NH_4^+ 转化成硝态氮 NO_3^-，通常是在土壤温度 >21℃，湿度较高(Schmidt, 1982);

● NO_3^- 淋湿失 / 或水土流失严重，其流失量为 6 - 11 kg N/ 年；

● 通过反硝化作用(微生物将 NO_3^- 转化为 NO_2^-, 进一步还原成 N_2 和 N_2O), 硝态氮被还原成 N_2O。例如，每公顷要排放 0.6-2 kg N, 在土壤充水空隙 >60%，存在可利用 C(即土壤有机质)，土壤温度 >21℃的条件下，只需连续 2-3 天。

● 从实用性和合理性来讲，尽可能地使施氮时间与作物最大需氮时期吻合，从而增加作物对氮的吸收，减少 NO_3^- 残留，避免氮排放到空中或流入水体。避免过早或过迟施氮，错过作物最佳需求时期。

追施氮肥对玉米和其它作物有许多潜在好处。

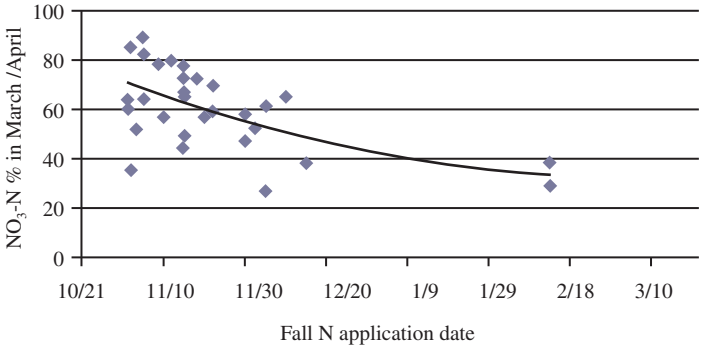

图 1　2003 和 2004 年春季三月，在上个秋季（11 月以后）施用的无水液 NH_3-N 转化成 NO_3-N 的比例。(Scharf and Mueller, 2005).。

● 对春播玉米、棉花或马铃薯，可以把一部分氮肥的施氮推迟变为作为追肥施用 (比如玉米 V4-V6 生长期、棉花第一个棉蕾出现至第一朵花开、 马铃薯培土期)。如果当地或地区的研究已经表明这项措施对产量和收益影响不大，采用它有助于减少氮的淋失和 N_2O 释排放。

- 对生长在春、夏季的作物和饲草采用分次施氮(即春季至夏初施用两次或两次以上追肥)，能改善供氮与作物吸收同步。分次施氮能增加氮肥有效利用率。要比较分次施肥与作物种植前或种植时一次施肥的效果，可查阅本地或地区的研究资料。
- 避免在潮湿或渍水土壤中施用任何氮肥品种，尤其是春季晚期至夏季，或其它温暖时期，这时氮肥可能会快速转换成NO_3^-，容易经反硝化作用释放N_2O（水稻淹田耕作例外，作物生长旺季施氮，这样水稻的生理机能和快速吸收氮的特性可导致其对氮的充分吸收）。
- 避免在潮湿或渍水土壤上表施尿素或铵态氮品种（水稻淹田栽培、生长旺季施氮除外）以限制NH3挥发，或是避免施入至周围环境湿度大、施肥后几天内肥料难于与土壤结合的旱地中。
- 在NO_3-N容易淋失和/或者N_2O容易释放的环境中结合硝化抑制剂使用铵态氮肥(Wolt, 2004; Hoeft, 1984)。例如：
- 潮湿、降雨量大，如年降雨量超过58-71 cm的环境中；
- 排水差的土壤 (土壤充水空隙 >60% WFPS) 或是施氮肥后几周内土壤湿度大于60%田间持水性量；
- 大量的NH_4-N（包括含尿素品种）没有施在作物快速生长期和养分需求高峰期。
- 对存在NH_3挥发风险的地方（免耕和少耕（如分区耕作、条带耕作、凿耕等）作物体耕作制，以及多年生饲草作物耕作体制中）结合脲酶抑制剂施用尿素或含尿素氮肥。在以下条件下通常使用表面施肥：
- 土壤表面作物残茬多、温暖、潮湿、多风；
- 氮肥撒施或是滴灌施肥：
- 施用的氮肥不太可能与耕层土壤充分结合：即通过降雨或灌溉不能把肥料带入0.6-1.2 cm的土层中，或在施肥后不能在24-48小时内进行耕作。
- 实施使用缓、控释技术来控制氮从肥料中释放的时机间，从而减少NO_{3-}的淋失，NH_3的挥发和N_2O的排放。(Blaylock et al., 2005; Burton et al., 2008; Halvorson et al., 2008a and 2008b; Merchan-Paniagua, 2006; Motavalli et al., 2008; Shaviv, 2000; Trenkel, 1997). 这些肥料在春播作物对生长早期，在NO_{3-}淋失和/或者N_2O排放风险高的情况下效果不错；例如：
- 潮湿、降雨量高，年降雨量大于60 - 70 cm;
- 施氮几周内土壤充水空隙 >60% 的土壤（接近或大于田间持水量），或土壤基本上很潮湿。
- 了解缓控肥氮释放特征（例如：获取经过证实的田间试验研究资料），选择一种适合特定作物需肥特性、土壤水分状况和气候条件的肥料品种。

目前研究中的作物反射测定是一种指导生长季节施氮量的方法。

施氮位置

- 根据当地研究的施肥推荐，在大多数土壤中把将无水液NH_3施入15- 20 cm的土层，以减少NH_3和N_2O的排放风险（表 1）。注意：把将液NH_3施入 10 cm 以上的中、细质地土层中比施入更深位置减少 36% 的N_2O排放。
- 无论何种氮肥，若直接与植物残茬接触，可增加N_2O排放(Parkin and Kaspar, 2006)。
- 如果土壤太湿，应避免氮肥撒施或带施，应为高土壤含水量不能使雨水或灌溉水（通过渗透）把肥料带入土层，地表径流将产生严重氮肥流失而进入水体。
- 与撒施不同，表面条施尿素硝酸溶液，有利于提高氮肥农艺效率，减少氮的潜在氮流损失（如NH_3挥发）
- 考虑其它条施或施入土层的其它影响，如水分损失、苗床扰动、杂草和残茬管理。
- 一次性作业系统能把播种和施肥一次完成。
- 把尿素或含尿素肥料施入土表以下 (Jones et al., 2007; Kissel, 1988);
- 通过亚表层条施；
- 通过降雨或灌溉把肥料带入 0.6-1.2 cm 的土层中，或在施肥后在 24-48 小时内进行耕作。
- 脲酶抑制剂放在“施肥时间”部分讨论。

以下农场管理措施对玉米带提供了关键方法以减少温室气体直接排放，并减少其它导致间接温室气体排放的损失（例如：NH_3挥发，NO_3^-淋失和流失）。实施这些管理措施可极有效地减少温室效应潜能。

1. 认真评价田间土壤和天气状况以确定作物产量潜力及氮损失的可能途径与数量。考虑土壤供氮能力和所有氮的投入，力争做到氮肥充分施用充足但不过量，保证作物最佳产量和品质。
2. 使用氮肥高效利用和低损失的种植管理措施规程（例如：充足和平衡施用所有必需养分、选择优良基因的作物栽培品种或杂交品种，实施保护性耕作和适宜的病虫害防治措施等等）。
3. 适时施氮或施用适宜氮肥品种来降低N_2O直接和间接排放，同时也可减少氮通过其它途径的损失（例如：把春播作物的施肥时间由秋季改为春季可有效提高氮肥利用率，而其也更符合实际）
4. 使用氮肥增效技术，如脲酶和氮硝化抑制剂以及氮肥缓控释技术。这些技术一般可降低氮流失的可能性并且增加氮肥利用效率，尤其是在氮肥难以适时施用，氮素流失风险很大的情况下。
5. 把含尿素氮肥施入亚表层，在NH_3易于挥发的条件下更需如此。
6. 利用性能指标如生长季节植物组织测试和生长季后营养分析，根据精确的农场记录来评估施氮效果。
7. 在确定氮肥品种、施氮量、施氮时间和位置时要充分考虑所有影响作物氮肥利用效率损失途径。避免仅注意对N_2O排放的管理，因为氮素的其它损失途径可能控制了氮肥利用率的降低，这取决于地理和具体条件。

玉米茎秆NO_{3-}测试可为作物生长季节中施氮量不足还是或过多提供信息。

结论

肥料最佳管理操作指南的实施有助于改善作物利用氮肥，增加作物产量和 CO_2 的捕获，减少温室气体排放，降低因氮肥相关的温室效应潜能。农民应当寻求更加具体的、经研究印证的不同耕作制度的氮素管理指南，这些指南应该来自于经过认证的作物咨询机构(CCAs)、农业咨询家、肥料专家、大学研究和推广专家以及政府机构。很显然，应用正确的肥料品种、正确施肥量、正确的施肥时间和施肥位置原则有利于减少氮流失。需要更多的研究来进一步提高我们对氮肥对温室气体排放的影响和特定条件下其它环境氮损失的认识。同样也需要更多的研究和监测来评估这些氮肥最佳管理规程对目前和将来一几代人可持续发展和经济、社会以及生态目标方面的影响。

Snyder 博士是国际植物营养研究所氮素项目的主任。地址是：Conway，Arkansas. 电话 e:501.336.8110. E-mail: csnyder@ipni.net.

感谢：IPNI 成员的科学贡献，包括 Tom Bruulsema 博士、Paul Fixen 博士、Tom Jensen 博士、Scott Murrell 博士、Rob Mikkelsen 博士以及大力感谢他们对此指南翻译工作的帮助。同时也大力感谢以下科学家的校对工作：Ron Follett博士USDA-ARS, Colorado; Timothy Parkin博士，USDA-ARS, Iowa; Dale Leikam 博士 Fluid Fertilizer Foundation and Kansas State University;和 Cynthia Grant 博士，Agriculture and Agri-Food Canada。

参考资料：

Blaylock, A.D., G.D. Binford, R.D. Dowbenko, J. Kaufmann,and R. Islam. 2005. ESN, controlled-release nitrogen for enhancednitrogen effi ciency and improved environmental safety.pp. 381-390. In Proc. 3rd International Nitrogen Conference-Contributed Papers, October 12-16, 2004, Nanjing, China. ZZhu, K. Minami, and G. Xing, editors. Science Press and Science Press USA, Monmouth Junction, NJ.

Breitenbeck, G.A and J.M. Bremner. 1986b. Effects of rate and depth of fertilizer application on emission of nitrous oxide from soil fertilized with anhydrous ammonia. Biol. Fert. Soils 2:201C204. Burton, D.L., X. Li, and C.A. Grant. 2008. Infl uence of fertilizer nitrogen source and management practice on N2O emissions from two Black Chernozemic soils. Can. J. Soil Sci. 88:219-227.

EPA SAB. 2008. Hypoxia in the northern Gulf of Mexico: an update by the EPA Science Advisory Board. 275 pp. Available on-line at:http://yosemite.epa.gov/sab/sabpeople.nsf/Search?ReadForm&Query=hypoxia&committee=BOARD

Firestone, M.K. 1982. Soil nitrogen budgets. pp. 289-326. In F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in Agricultural Soils. Agron.Monogr. 22. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI.

Fixen, P.E. 2007. Can we defi ne a global framework within which fertilizer best management practices can be adapted to local conditions? pp. 77-86. In Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption, and Voluntary Initiatives vs. Regulations. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels, Belgium.

Halvorson, A.D., S.J. Del Grosso, and C.A. Reule. 2008a. Nitrogen fertilization effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. pp. 28-33 In Proc. of 2008 Great Plains Soil Fertility Conference,

March 4-5, 2008, Denver, CO.

Halvorson, A.D., S.J. Del Grosso, and C.A. Reule. 2008b. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. J. Environ. Qual. (accepted for publication). **Harrison, R. and J. Webb.** 2001. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. Adv. Agron. 73:65-108.

Hoeft, R.G. 1984. Current status of nitrifi cation inhibitor use in U.S. Agriculture. Ch. 37 pp. 561-570. In Nitrogen in Crop Production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, WI.

Jones, C.A., R.T. Koenig, J.W. Ellsworth, B.D. Brown, and G.D. Jackson. 2007. Management of urea fertilizer to minimize volatilization. EB 173. Montana State University Extension and Washington State University Extension.

Kissel, D.E. 1988. Management of urea fertilizers. North Central Region Extension Publication. #326. Kansas State University. Manhattan, KS.

McSwiney, C.P. and G.P. Robertson. 2005. Nonlinear response of N2O fl ux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (Zea mays L.) cropping system. Global Change Biology. 11:1712C1719.

Merchan-Paniagua, S. 2006. Use of slow-release N fertilizer to control nitrogen losses due to spatial and climatic differences in soil moisture conditions and drainage in claypan soils. M.S.Thesis. 104 pp. University of Missouri-Columbia.

Motavalli, P.P., K.W. Goyne, and R.P. Udawatta. 2008. The environmental impacts of enhanced effi ciency nitrogen fertilizers. Crop Management (in review). Plant Management Network. St. Paul, MN.

Parkin, T.B. and T.C. Kaspar. 2006. Nitrous oxide emissions from corn-soybean systems in the Midwest. J. Environ. Qual. 35:1496-1506.

Roberts, T.L. 2007. Right product, right rate, right time and right place...the foundation of best management practices for fertilizer. pp. 29-32. In Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption, and Voluntary Initiatives vs. Regulations. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels, Belgium.

Scharf, P. and L. Mueller. 2005. Evaluating fall N applications for corn; 3-year summary report, 2002-2004. pp.78-81. In Missouri Soil Fertility and Fertilizers Research Update. Agronomy Miscellaneous Publication #05-01. University of Missouri.

Schmidt, E.L. 1982. Nitrifi cation in soil. pp. 253-288. In F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in Agricultural Soils. Agron. Monogr. 22. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI.

Shaviv, A. 2000. Advances in controlled release fertilizers. Advances in Agronomy 71:1-49.

Snyder, C.S., G.W. Randall, R.E. Lamond, and R.G. Hoeft. 2001. Fall Nitrogen Management for Agronomic Response and Environmental Protection. Fall Fertilization Facts 2001- Opportunities and Considerations. International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA. U.S.A. (http://www.ipni.net/ppiweb/ppibase.nsf/$webindex/article=E6C8028C8525694E002D096DBFA77B79)

Snyder, C.S. and T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use Effi ciency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefi t. 4 pp. International Plant Nutrition Institute. June 2007. Reference # 07076. Norcross, GA, U.S.A. (http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/D58A3C2DECA9D7

下接 49 页

Balanced fertilization and Banana Production

IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

Banana, a principal tropical fruit and source of farmers' income, is consumed by people worldwide. It requires large quantity of fertilizers to achieve good quality and yield, particularly for potassium (K). In China, the fertilizer rates for banana are 500-800 kg N and 800-1200kg K2O/ha per year. China grows 286,000 ha of banana, produces 7 Mt of total yield based on a 24 t/ha average yield. This is an increase of 85% compared to 1990 when it was 13 t/ha. Balanced fertilizer technology has made the greatest contribution to this yield improvement.

Banana is a perennial ratoon crop, but it only ratoons three times in China for disease control and follows rice/vegetable rotation

→

→

Banana yield and income between an average farmer and a banana grower running collective land

Farmer type	Yield (t/ha)	Area (ha)	Net income ($US)
Average farmer	24-30	0.4	1,765-3,530
Advanced farmer	60	7	73,530-147,060

Common nutrient deficiency on banana: N, K, Mg, B, Ca

Banana:600-450-1200-Mg

Severe K deficiency

Severe N deficiency