

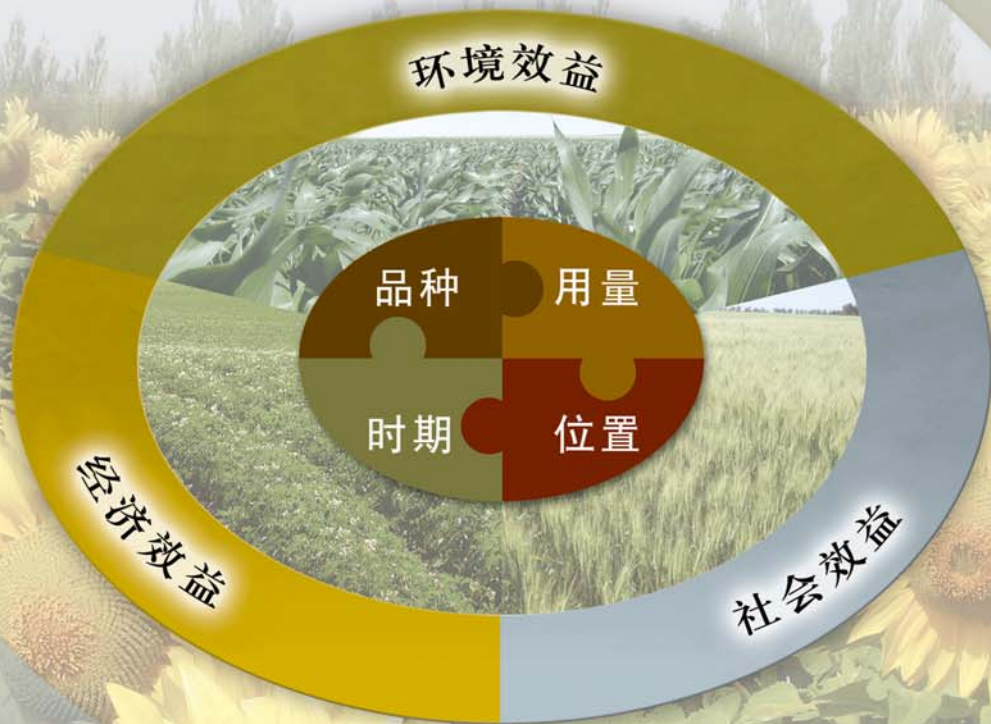
# 高效施肥

BETTER CROPS CHINA

2015年5月总第34期

本期文章……

## 4R 作物养分管理专辑



我国马铃薯的 4R 养分管理措施



西北地区向日葵 4R 养分管理



北方棉花的 4R 钾肥管理措施



更多文章 敬请关注

**4** nutrient stewardship

 IPNI  
www.ipni.net

# 高效施肥

国际植物营养研究所系列期刊  
《BETTER CROPS》中文版专刊

2015年5月总第34期

主编 何萍  
编辑 陈防 涂仕华 李书田  
孙桂芳

## 国际项目总部

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

## 理事会

Mostafa Terrab, Chairman (OCP Group)  
Jim T. Prokopanko, Vice Chairman (The Mosaic  
Company)  
Oleg Petrov, Finance Committee Chair (Uralkali)

## 行政办公室

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

## 美洲和大洋洲总部

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

## 东欧/中亚和中东项目部

Moscow, Russia  
Svetlana Ivanova, Vice President, IPNI Eastern Europe /  
Central Asia

## 中国项目部

何萍 主任 北京办事处 phe@ipni.net  
李书田 副主任 北京办事处 sli@ipni.net  
孙桂芳 女士 北京办事处 gfsun@ipni.net  
陈防 副主任 武汉办事处 fchen@ipni.net  
涂仕华 副主任 成都办事处 stu@ipni.net

## 会员公司:

Agrium Inc. • Arab Potash Company • Belarusian Potash  
Company • BHP Billiton • CF Industries Holdings, Inc. •  
Compass Minerals Plant Nutrition • International Raw  
Materials LTD • Intrepid Potash Inc. • K+S KALI GmbH •  
OCP S.A. • PhosAgro • PotashCorp • QAFCO • Shell  
Sulphur Solutions • Simplot • Sinofert Holdings Limited •  
SQM • The Mosaic Company • Toros Tarim • Uralchem •  
Uralkali.

## CONTENTS

## 目录

农业可持续发展中的“4R”养分管理 陈防 张过师	3
作物养分专家系统 (Nutrient Expert®) 与 4R 养分管理 何萍 徐新朋 申丽敏 赵蓉蓉	7
我国马铃薯的 4R 养分管理措施 李书田 何萍 段玉 妥德宝	12
西北地区向日葵 4R 养分管理 李书田 何萍 妥德宝 段玉	17
新疆加工番茄生产中 4R 钾肥管理措施 李书田 张炎	22
北方棉花的 4R 钾肥管理措施 李书田 张炎 崔荣宗 邢素丽	25
广西甘蔗 4R 养分管理技术 周柳强 谭宏伟 黄金生 曾艳 区惠平 谢如林 朱晓晖 涂仕华	29
香蕉最佳养分管理 姚丽贤 涂仕华	33
重庆莴笋作物 4R 养分管理技术 陈益 杨东 王正银 涂仕华	36
示例 1 正确的肥料品种提高水浇地马铃薯产量和氮肥利用率	40
示例 2 钾肥品种和用量对甘蓝产量的影响	41
示例 3 广东最佳氮钾平衡用量对香蕉产量和品质的影响	42
示例 4 湖北省油菜适宜的钾肥推荐量	43
示例 5 土壤肥力水平及氮肥用量对高粱产量的影响	44
示例 6 优化施氮平衡水稻产量、氮素利用率和氮素损失	45
示例 7 采后肥比例对妃子笑和桂味荔枝品种产量与种植效益 的影响	46
示例 8 甘蔗的施肥时间及用量比例	47
示例 9 不同施肥时间和分配比例对水稻产量的影响	48
示例 10 分次施氮肥提高了冬小麦籽粒产量和氮素利用率	50
示例 11 钾肥分次施用提高棉花皮棉产量和经济效益	51
示例 12 早期施氮对中国海南木薯生产的重要性	52
示例 13 不同施肥方式对香蕉生长和产量的影响	53
2014 年度 IPNI 中国合作项目年会暨 IPNI 研究生奖学金颁奖仪式在广西北海举行	54

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

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

此刊物由加拿大萨斯喀彻温省政府资助。  
特此致谢!

《高效施肥》为 IPNI 中国项目部的出版物, 每年五月及十月各一期。  
本刊物以推动科学化的合理施肥为目标。  
可免费向北京、武汉、成都办事处索取。

# 农业可持续发展中的“4R”养分管理

陈 防 张过师

(国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目部, 湖北武汉, 430074)

**摘要:** 本文简要介绍了“4R”养分管理概念及其科学原理, 并从经济、社会和环境层面讨论了影响“4R”养分管理的主要因素及其对农业可持续发展的影响, 提出了通过对各管理层面的完善和效果反馈逐步发展形成区域内的最佳管理系统的途径, 从改善作物养分管理的角度, 为实现现代农业生产的可持续发展指出了方向。

**关键词:** 养分管理; 利用效率; 4R; 可持续; 决策评价

## 前言

当今世界, 随着人口的不断增加和人类生产和社会活动的加剧, 地球自然资源正在快速耗竭, 生态环境亦在快速恶化, 其耗竭与恶化的程度已到了人们不容忽视的地步<sup>[1]</sup>。因此, 近年来对于象中国这样的在很大程度上依赖于自然资源的传统农业生产的国家来说, 如何在生产出满足人们需要之农产品的同时, 做到最大限度地减少自然资源的消耗和生态环境恶化, 提高农业生产效率和可持续性, 已成为人们关注的热点问题<sup>[2]</sup>。

可持续农业有许多特征, 其中最主要的是强调在满足日益增长的粮食和其他农产品需求的同时, 不危害农业生产赖以生存的自然资源。尽管可持续发展的定义多元化, 但仍有其共同特征, 其中一项重要的属性是其具有多元性。可持续发展的概念不仅仅只应用于社会、经济或环境的某一方面, 而是可以同时应用到各个方面。对农用多种资源进行明确划分的一种有效方法是把它们作为财产或资产按照 UNCTAD-UNEP<sup>[3]</sup> 方法分为 5 类: (1) 自然资产。这部分资产主要包括土地资源、水资源和能源等。(2) 社会资产。这部分资产与行为准则、价值观和态度联系在一起, 推动人与人之间紧密合作, 并能在社会活动互惠互利。缺乏联系和沟通的社会, 也缺少信任与合作, 更容易暴露出环境恶化和食品缺乏问题。(3) 人力资本。这部分资产指每个劳动力的生产能力, 而这种能力建立在个体知识、技能、健康和营养等状况基础之上。如农民对各项新技术发展过程的参与就是提升人力资本的例证, 良好的教育水平显然对提高施肥管理等农业措施的实施效果非常必要。(4) 实物资本/物质资产。实物资本是指能提高劳动生产率的人造物质资源, 如建筑物、灌溉设施、工具、

机械等, 这里还包括通信网络, 因为市场的开放往往由于缺少适当的通信基础设施而受到限制。(5) 金融资本。金融资本与系统中货币的流通相关, 而货币的流通受到诸多因素如价格、成本、收入、利率、存款、贷款和补贴的影响。农业系统的可持续性发展状况和潜力如何, 可通过对上述各项资产或资本产生的影响进行评估, 能够对自然、社会、人力、实体或者金融资产产生弹性增长的农业生产模式和技术应该具有可持续性。换句话说, 因为农业生产系统可与上述五类资产通过反馈调节而互相作用, 充分拥有和有效管理这五类资产会更有利于发挥其应有的作用。

## 1 “4R”养分管理的概念

为了在世界范围内促进农业生产的可持续发展, 兼顾养分管理中的经济、社会和环境效益, 自 2009 年以来国际植物营养研究所 (International Plant Nutrition

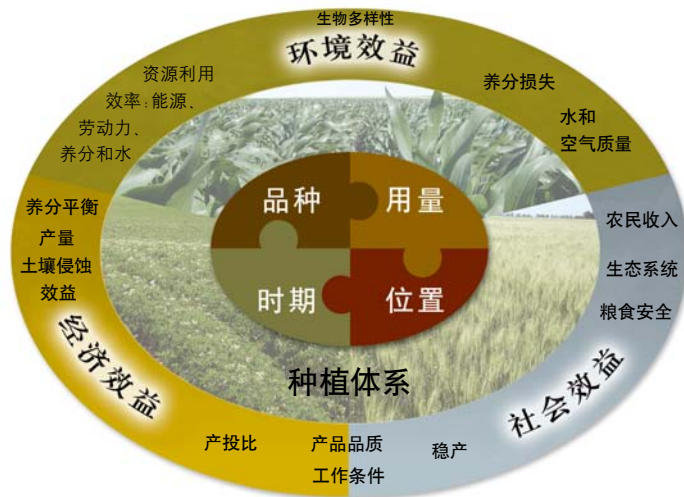


图 1 “4R”养分管理中涉及的主要影响因素

Institute, IPNI) 倡导“4R Nutrient Stewardship”即所谓“4R 养分管理”的概念<sup>[4]</sup>。所谓“4R”养分管理可简单归纳为选择正确的肥料品种(Right source)、采用正确的肥料用量(Right rate)、在正确的时间(Right time)将肥料施用在正确的位置上(Right place)。因这4个“正确”在英文中均用“Right”来表示,其第一个字母均为“R”,故简称为“4R”。图1示意了“4R”相互之间以及“4R”与环境效益、经济效益和社会效益之间的相互关系。“4R”养分管理涵盖了所有与养分管理相关的科学原理,实际生产中,具体的植物养分管理措施取决于农户的目标、拥有的资源、种植制度、土壤条件、气候条件以及影响养分管理措施的其他因素。

## 2 “4R”养分管理的基本原理

作物生产体系非常复杂,所以对于养分施用的管理需要明白其背后的基本科学原理并测定施肥对作物系统中性能指标的影响,这对不断优化管理措施非常重要。农作物的“4R”养分管理涉及多个学科及科学原理,其组成部分中肥料品种、用量、时间和位置等每一部分都有自己相应的科学理论作为依据。从学科来看,主要涉及土壤学、植物营养学、植物生理学、农业生态学、农业经济学等;从作物养分管理的科学原理来看,主要涉及植物矿质营养学说、土壤养分归还学说、营养元素不可替代律、最小养分律、肥料报酬递减律、营养因子综合律等。

虽然各地区因其土壤、作物、气候、经济发展和社会发展状况而异,但这些科学原理是全球通用的。对4个“R”的重视程度要均衡,避免强调一项而忽视其他措施。其中肥料用量最容易被过分重视,因为其简单并直接关系到施肥成本,而肥料种类、施肥时期和施肥位置却常常被忽视,因此在这三个方面往往有更多改善和提高的机会。不仅4个“R”中的各因素互相联系,它们与植物、土壤、气候和管理这些周围环境因素之间也相互关联。即使是养分充足的肥沃土壤,在排水不良、干旱、病虫害和其他因素的限制下作物仍然难以高产,因此,我们必须对其他影响因素有更深入的了解。

## 3 影响“4R”养分管理的主要因素

农业生产中许多因素都会影响生产者对不同的作物养分管理策略作出选择,这些因素通常包括作物因素、土壤因素、种植者因素、养分投入因素、水质因素、气候因素、

技术水平因素和经济因素等。作物因素通常包括产量潜力和农产品价格,在某些情况下植株营养状况及不同栽培措施都会影响养分管理决策。土壤因素通常需要考虑土壤养分供应潜力、指标或其他影响养分循环和作物生长的物理、化学和生物特性。种植者因素主要包括土地使用期限、资本可用性、机会成本、生产经验和受教育程度等。养分投入因素通常把可用肥源的信息整合在一起,如肥料的商品形态、肥料价格和使用成本。水质因素应包括河(湖)滨地区水质维护对施肥的限制。某些类型的模型支持系统、特定生长季节和短期天气预报信息等会受到气候因素的驱动影响。在特定的区域使用什么水平的技术,会影响最佳管理措施的选择。除经济因素外,与农户直接相关的其他因素和农产品的市场风险也会影响养分管理决策。

在选择“正确的肥料品种”时,除必须考虑施肥量、施肥时期和施肥位置外,还要注意:(1)提供作物可吸收利用的有效态养分,或在土壤中能及时转化成作物可以吸收利用的有效态养分。研究表明,在不同肥力的土壤上化肥配施有机肥可以改善养分供应、提高土壤肥力和生物多样性<sup>[5]</sup>。(2)使用与土壤理化性质相匹配的肥料,例如应避免在淹水土壤中施用硝酸盐类肥料,在pH高的土壤上表施尿素等。(3)注意不同营养元素和肥料种类间的协同效应。例如磷和锌之间的交互作用,有机与无机肥之间的配合施用等。(4)注意肥料的兼容性。例如不同肥料混合后容易吸潮,不同粒径比重肥料混合后出现的分层现象等。(5)注意伴随离子的影响,因为绝大多数营养元素有一个对作物可能有益、无害或者有害的伴随离子。例如一些磷肥品种中含有对植物有效的钙和硫以及少量镁和微量元素;氯化钾中钾的伴随离子氯对玉米有益,但超过一定数量对烟草和一些水果的品质可能有害。(6)控制非必需营养元素的影响。例如,一些天然磷矿石中含有少量非必需营养元素,这些元素的量应控制在允许的临界值范围内。

在确定“正确的施肥量”时,除必须考虑肥料品种、施肥时期和施肥位置外,还要注意:(1)评估作物对养分的需求。正确估计作物对各种养分的需求总量对达成目标产量具有关键作用。(2)评价土壤养分供应状况。评价方法包括土壤与植物分析、田间缺素试验等。研究表明,在施肥前先对土壤中特定的有效养分含量进行分析测定,是确定肥料施用量的有效方法<sup>[6]</sup>。(3)评价所有的养分来源。评价对象包括各种农家肥、作物秸秆、大气沉降、灌溉水和化肥中的养分总量及其植物有效性。(4)预测肥料利用率。(5)考虑对土壤肥力资源的影响,保持土壤养分平衡。如果作物栽培系统中养分的移走量超过投入量,从长远看土

壤肥力将会下降。(6) 考虑肥料使用的经济效益。对于那些难以保持在土壤中的营养元素, 经济的养分用量的临界值是根据报酬递减律计算出来的当投入的单位养分价值等于作物增产价值时的养分用量。对于易被土壤保持的营养元素, 应该考虑其后效。

在确定“正确的施肥时期”时, 除必须考虑肥料品种、肥料用量和施肥位置外, 还要注意: (1) 确定不同时期作物吸收养分的规律, 实现养分供应与作物养分需求同步。研究表明, 按照作物不同生育期对养分需求量的不同, 分次酌情施肥, 可以明显提高作物产量和肥料利用效率<sup>[7]</sup>。(2) 明确土壤养分供应的动态变化。尽管土壤矿物分解和有机质矿化后可以给作物提供大量养分, 但现代农业生产中仅靠这些土壤本底养分还远不能满足当季作物高产稳产的需要, 如果作物吸收养分的速率超过土壤养分释放速率, 就需要靠施肥来补充, 否则就会引起缺素, 导致减产。(3) 了解土壤养分损失的动态变化。例如, 土壤养分淋失主要发生在雨季, 淹水还原条件下土壤中的反硝化作用导致的氮素损失等。(4) 考虑施肥与其他田间管理措施的配合, 例如分次施肥时考虑是否与农药和除草剂混合使用等。

“正确的施肥位置”是指将养分施用在土壤中的合适位置上, 使作物易于吸收利用。选择正确的施肥位置会受到许多因素影响, 除必须考虑肥料种类、肥料用量和施肥时期外, 还要注意: (1) 考虑作物根系的分布状况, 肥料应尽可能施用在作物根系的主要分布范围内, 使作物根系易于吸收。当然, 作物的根系也是可塑的, 肥料的使用方式和施用部位也会影响作物根系的分布, Drew 的研究表明, 大麦根系在土壤高磷区有增生现象<sup>[8]</sup>。(2) 考虑土壤的化学反应, 集中施用那些易被土壤固定吸附的养分(例如磷肥), 或施用在靠近根系的较小范围内以提高其有效性。(3) 与适宜的耕作制度相配合。例如, 肥料施用在有秸秆覆盖的表土下有利于土壤养分保蓄及保墒。(4) 考虑土壤养分的空间变异情况。通过分析评估地块内和地块间以及区域内和区域间的土壤肥力空间差异状况, 在不同尺度上进行有针对性的精确施肥。

#### 4 “4R” 养分管理对农业可持续发展的影响

“4R” 养分管理在促进可持续农业发展方面是一项现实可行的措施, 因为它对上述提到的五类资产管理有多重有利影响, 并与其对自然资源各部分的有益影响如改善作物生长、提高土壤健康质量, 降低环境污染和保护野生

动物等之间直接关联。同样地, 金融资产也期望能带来相应的正面影响, 例如农民收益增加, 生活质量提高, 给社会经济活动带来更多的活力, 提高和改善社会、人力和物质资本。又如, 实施精准养分管理就意味着要在农户地块上进行调查研究, 需要农户积极参与, 从而促进各个层面, 包括农民、科研人员、经销商和政府机构代表之间的沟通。此外, 参与者也会通过这种正式或非正式活动而得到相关教育。国外有很多由农民自己管理的组织团体, 在开发和传播农业新技术方面已做得很成功。

与“4R” 养分管理相关的许多新技术的应用, 都对实物资本具有正面影响, 因为这些新技术的应用通常包括了那些与市场联系紧密的基础条件, 包括设施、产出和通讯。化肥和其他农业生产资料的投入以及产品的向外运输都需要良好的交通, 随着社会通信资源的改善, 农户对利用移动电话和数字通信工具获得新信息的需求越来越多。“4R” 植物养分管理在世界范围内适用于各种不同土壤和气候条件下的农作系统, 不仅适用于面积辽阔的大牧场和集约化种植一年生作物的大农场, 也适用于种植水果、蔬菜和观赏植物的可控温室。整体来看, “4R” 养分管理不仅对当前提高作物养分管理的效益有影响, 还对农业系统可持续发展具有深远影响。

农业生产的可持续性由三个层面构成: 经济层面、社会层面和环境层面。这三个层面在评价任何一种养分管理方法是否“正确”时都必须考虑。对任何指定的系统, 管理者都需要制定整体目标, 选择管理措施。为制定合理的目标, 我们需要了解植物养分管理如何影响作物生产系统。相关人员不仅包括农场经营者、技术顾问, 还包括购买产品的客户和与这个系统环境有关的人。因为以作物为主的生产体系涉及面很广, 人们依赖这些体系来获得粮食、燃料, 纤维和主人翁责任感, 所以, 作物生产系统应该包括经济层面上系统的产出和收益, 环境层面上系统对土壤、水分、空气和生物多样性的影响以及社会层面上系统对生活质量 and 就业机会的影响。

肥料生产企业自身的目标需要与该地区农业可持续性发展的整体目标应该相匹配, 正确肥料管理的实施必须以利益相关者为中心。但如何选择适合当地特定土壤、气候、作物生产条件以及当地法规的管理措施, 最终取决于农户, 只有那些符合当地实际情况的管理措施才最有可能实现以利益相关者为中心这一目标。

“4R” 养分管理的目标需要通过多个层面的一系列行动进行评价和反馈, 使各层面上的行动参与者尽可能采取并完善符合当地条件的管理方法, 最后形成一套最佳

的农业生产管理措施，实现可持续发展（图2）。植物的营养状况是动态系统的一部分，必须因地因时而变，各项措施都会与植物-土壤-气候系统相互作用，施肥的效应随上述因素的变化而变化。因此，今后农田养分状况的管理需要更加精准化、信息化。现代计算机技术和信息技术

的快速发展已经为实施信息化的精确养分管理提供了有利条件，因此，如果我们能在充分实践“4R”养分管理的基础上根据不同区域农业生产的环境条件来不断完善和提高各层面的管理水平，就一定能找到适合当地条件的最佳的管理措施，实现农业生产的可持续发展。

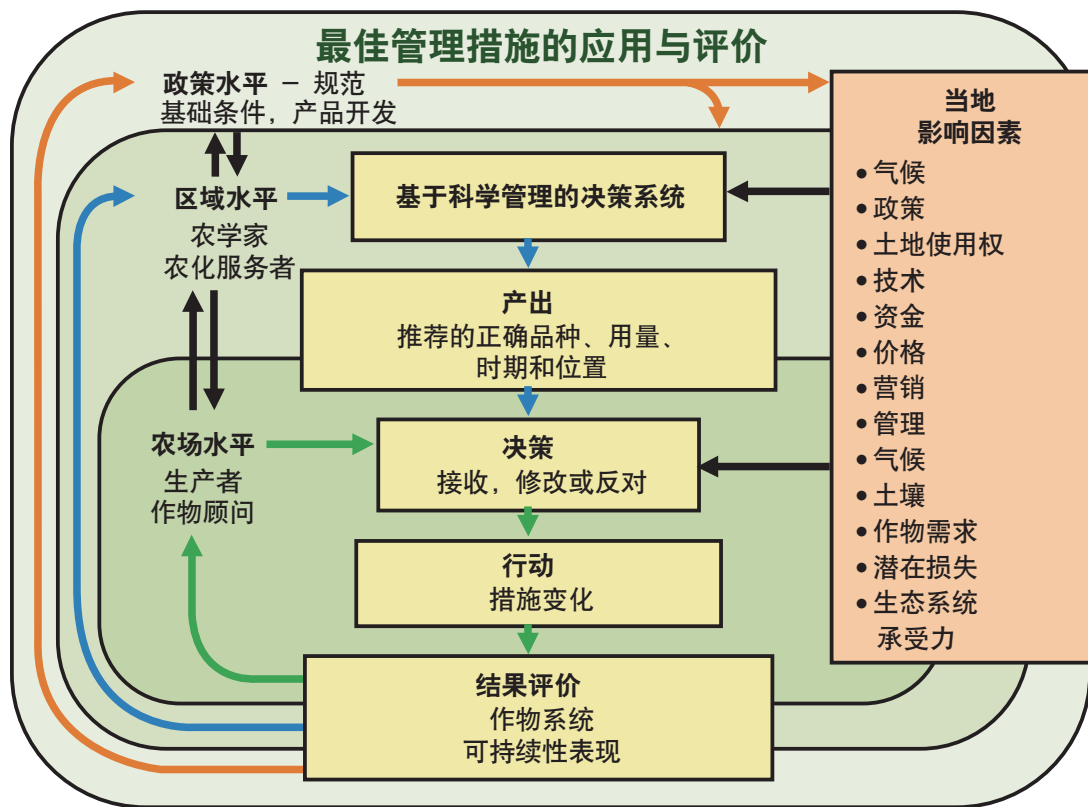


图2 4R 养分管理通过对各层面决策的循环评估逐步形成区域内的最佳管理系统

### 参考文献

- [1] Foley J.A, Defries R, Asner G.P, et al. Global consequences of land use [J]. Science, 2005, 309 (5734):570-574.
- [2] Foley J.A, et al. Solutions for a cultivated planet [J]. Nature, 2011, 478:337-342.
- [3] UNCTAD-UNEP. Organic Agriculture and Food Security, in Africa [M]. Document UNCTAD/DITC/TED/2007/15. 2008, Geneva, Switzerland. pp. 47.
- [4] Roberts T.L. Right product, right rate, right time and right place... the foundation of best management practices for fertilizer [M]. 2009, [On-line].
- [5] Zingor S. Maize Productivity and Response to Fertilizer Use as Affected by Soil Fertility Variability, Manure Application, and Cropping System [J]. Better Crops with Plant Food. 2011, 95 (1):4-6.
- [6] Bianchini A, Garcia F, Melchiori R. Nitrogen in the environment:sources, problems, and management [M]. In Hatfield J. and Follet R. (Eds), Elsevier-Academic Press, San Diego, CA. USA, 2008, pp 105-124.
- [7] Tong Y.A, Ma W.J, Gao Y.M, et al. Characteristics of Nutrient Uptake by Grape [J]. Better Crops with Plant Food, 2010, 94 (2):29-31.
- [8] Drew M.C. Comparison of the effects of a localised supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley [J]. New Phytol., 1975, 75:479-490.

# 作物养分专家系统 ( Nutrient Expert<sup>®</sup> ) 与 4R 养分管理

何萍<sup>1,2</sup> 徐新朋<sup>1</sup> 串丽敏<sup>3</sup> 赵蓉蓉<sup>2</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. 国际植物营养研究所中国项目, 北京 100081; 3. 北京市农林科学院农业科技信息研究所, 北京 100097)

**摘要:** 当前农民过量和不平衡施用化肥现象严重, 导致肥料利用率降低, 影响到农田的可持续利用。因此, 发展适合我国农业生产特点的养分管理和施肥方法尤为重要。本文介绍了基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥新方法, 该方法是以改进的 SSNM ( Site - specific Nutrient Management ) 和改进的 QUEFTS ( Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils ) 模型为指导的养分管理和推荐施肥为原则, 同时考虑大、中微量元素的全面平衡, 并应用计算机软件技术把复杂和综合的养分管理原则智能化形成可为当地技术推广人员掌握的 Nutrient Expert<sup>®</sup> 推荐施肥专家系统软件。NE 系统在推荐施肥中采用作物的 4R 养分管理原则, 即把合适的肥料品种和肥料用量, 在合适的施肥时间施在合适的施肥位置。跨区域田间多点验证试验证明, 基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法是一种简单的易于掌握的作物增产增收、提高肥料利用率和保护环境的新方法。

**关键词:** 产量反应; 农学效率; Nutrient Expert; 4R 养分管理; 推荐施肥

我国人多地少的国情决定要在单位面积土地上生产更多的粮食, 才能满足日益增加的人口对粮食增长的需求。为此, 农民通过增加肥料投入来提高粮食产量, 形成了我国特有的靠化肥的大量投入来增加单产的农田高强度利用生产体系。研究表明, 在华北平原许多地区, 农民在冬小麦和夏玉米作物每季的氮肥用量超过每亩 20 公斤, 远远超过达最高产量时的优化施肥量。连续过量施氮使华北地区土壤矿质氮高量积累, 氮肥利用率显著降低。赵士诚等研究发现河北冬小麦收获后 0 - 100 厘米土层矿质氮积累达每亩 12 - 20 公斤, 且矿质氮积累量随施氮量的增加而增加。冬小麦的氮肥利用率也由上世纪 80 年代的 30% - 35% 下降为现在的 10% - 20%。大量研究证明, 高量化肥投入不仅不能带来产量进一步的增加, 而且还威胁到生态环境安全, 造成地表水或地下水硝酸盐含量超标, 并影响到农田的可持续利用。因此, 如何合理养分管理和优化施肥对于保障国家粮食安全、生态环境安全具有重要意义。

国内外在土壤养分管理和推荐施肥方面开展了大量研究, 发展了一些推荐施肥的方法, 有些方法仍然延用至今, 如地力分级法、目标产量、肥料效应函数法等等。这些研究方法都可以归结为两大类, 一类是以土壤测试为基础的测土推荐施肥方法, 另一类是以作物反应为基础的推荐施肥方法, 如肥料效应函数法和地上部冠层营养诊断等。目前我国指导施肥指标体系仍然延用上世纪八十年代

第二次土壤普查结果, 但是我国目前土壤养分状况已今非昔比, 在一些土壤测试值很高的土壤上有时仍表现出缺素症状, 过去指导施肥的指标体系难以适应当前高投入高产这种高强度利用农业生产体系的需求。为此, 国家农业部 2005 年起启动了“测土配方施肥行动工程”, 推动了各地测土推荐施肥工作的开展。然而, 对于土壤氮素而言, 由于其在土壤 - 作物体系比较活跃, 导致土壤氮素测定与作物地上部反应相关性差。目前国际上对于土壤氮的测试和氮肥推荐也没有令人满意的适合各种土壤类型的测试方法、指标和参数。在当前测土施肥的“大配方、小调整”的指导原则下, 对于我国主要以小农户为主要经营单元的农业生产体系, 也很难做到一家一户依据土壤测试结果推荐施肥。因此, 寻求一种适合我国国情的养分管理和推荐施肥方法尤为迫切。

## 1 基于作物产量反应和农学效率的养分管理和施肥推荐原则

作物施肥后主要通过作物产量高低来表征土壤养分供应能力和作物生产能力, 因此依据作物产量反应来表征土壤养分状况是更为直接的评价施肥效应的有效手段。该方法把土壤养分供应看作一个“黑箱”, 用不施该养分地上部的产量或养分吸收来表征, 因此解决了困扰广大科学工作者的土壤氮素供应问题。国际植物营养研究

所 (IPNI) 目前在中国、印度、菲律宾等亚洲一些主要以小农户为主要经营单元的国家和地区开展了基于作物产量反应和农学效率的小麦、玉米和水稻养分管理和推荐施肥研究。该养分管理和推荐施肥原则主要是在 Witt 等水稻养分管理的 SSNM (Site-specific Nutrient Management) 原则基础上改进, 并利用 QUEFTS (Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils) 模型在分析大量的来源于不同试验地点作物养分吸收和产量关系的基础上进行参数调整而成, 在此基础上结合不同作物种植体系和管理方式发展而成适合当地生产条件的养分管理和推荐施肥系统 (Nutrient Expert<sup>®</sup>, 简称 NE) (图 1)。该系统在中国的形成主要以 IPNI 在中国开展的多年多点田间试验为基础, 根据不同地区作物产量反应和农学效率进行调整, 从而根据不同试验地点的不同生态条件进行有针对性地推荐施肥。该养分管理方法的主要创新之处在于应用 QUEFTS 模型对来自我国多年多点 (2000 年以后) 田间试验的产量和养分吸收数据进行

了模拟和矫正, 得出一定目标产量下的养分最佳吸收曲线, 避免了较少数据点带来的因养分缺乏、过量或信息量少带来的数值偏差, 而且该养分最佳吸收曲线包含了我国作物主产区中的作物品种和环境条件等信息, 具有一定的普遍指导意义。该方法的创新点之处还体现在有效利用了来自于土壤、作物残体、前茬作物、有机肥以及灌溉水等土壤基础养分供应 (土壤基础养分供应主要由不施某种养分小区的养分吸收或产量来衡量), 并考虑作物的轮作体系。如果有土壤测试结果, 则该系统根据输入的土壤测试结果给出推荐施肥方案 (图 2)。该系统也考虑了对已知的中、微量元素缺乏的土壤进行推荐施肥。该推荐施肥方法同时避免作物对某种养分的奢侈吸收, 减少土壤肥力耗竭, 保证农民增产增收, 有效防止因过量施肥导致的潜在环境危险。

## 2 作物专家系统采用 4R 养分管理原则

基于以上养分管理原则, 应用计算机软件技术研制了可为农机推广人员方便使用的作物养分管理专家系统 (Nutrient Expert<sup>®</sup>) (图 3)。NE 系统主要通过获取用户所在地块过去 3-5 年的产量、施肥和栽培条件等基本信息 (这些信息可由农户和当地农技人员提供), 利用后台已有的包含多年多点的农学数据库就能给出基于农户个性

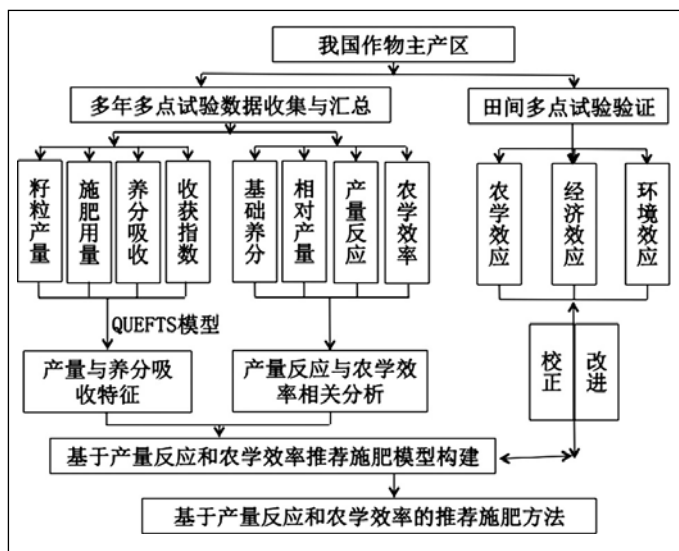


图 1. 基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法

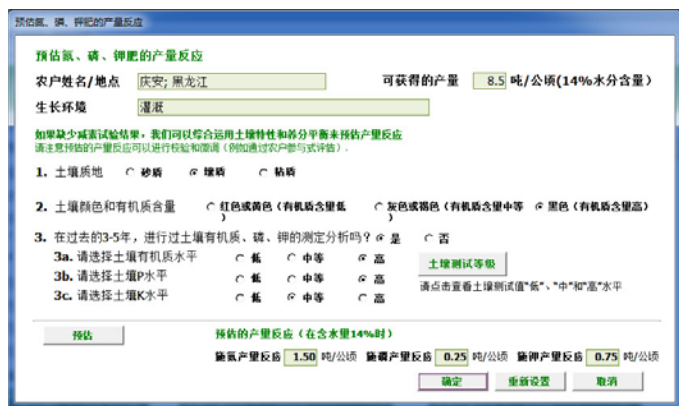


图 2 NE 系统考虑土壤测试的界面

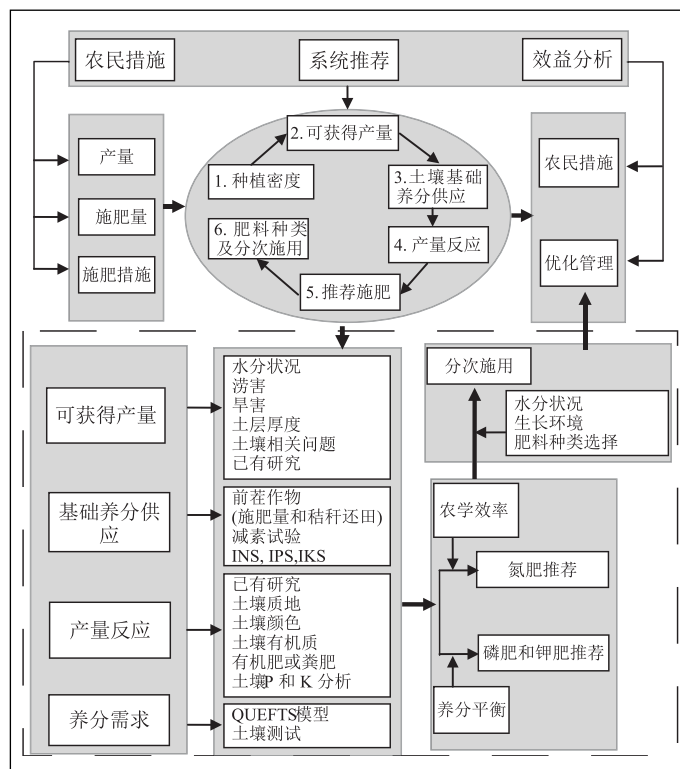


图 3 作物养分专家系统模块和流程图



化的包括栽培管理措施的推荐施肥套餐，如推荐采用合适的肥料品种、合适的肥料施用量、合适的施肥时间和次数等。对于玉米还推荐了适宜的种植密度，帮助农民实现增产增收的目标。NE 系统推荐施肥套餐中还给出了基于 NE 系统推荐和农户习惯施肥的经济效益对比分析，帮助农户进行经济效益比较和分析。

## 2.1 合适的肥料用量

估算肥料用量是 NE 专家系统最重要的内容。NE 系统中对肥料用量的估算主要依据土壤基础养分供应 (Indigenous Nutrient Supply, 简称为 INS), INS 可由不施肥小区或减素小区的产量高低来表征。确定施肥量首先需要确定目标产量 (可获得产量) (图 4)。目标产量是特定生长季节采用最佳养管理措施能够获得的产量, NE 系统中对目标产量的估算就是特定生长季节的可获得产量, 也即田间最佳管理措施且没有任何养分限制条件下的平均产量。可获得产量与减素小区的产量差即为产量反应, 产量反应越低, 表明土壤养分供应越高, 反之亦然。NE 系统根据 IPNI 研究网络在中国开展的以及公开发表的上万个田间试验数据进行收集、分析和整理, 建成了包含主要作物养分吸收、农学效率以及产量反应等信息的农学数据库。如果缺素小区试验资料缺乏时, NE 系统可根据作物生长条件 (如气候) 和土壤肥力状况等对可获得产量和氮、磷、钾施用的产量反应高低进行估算。当确定目标产量和产量反应后, NE 系统会给出基于目标产量和产量反应的 N、P 和 K 肥推荐用量。

对于氮素养分推荐施肥, 主要依据作物产量反应和农学效率 (施氮量 = 施氮的产量反应 / 氮素农学效率, 施



图 4 NE 系统中的养分优化管理施肥量

氮的产量反应由施氮和不施氮小区的产量差求得), 而对于磷钾养分推荐, 主要基于产量反应和一定目标产量下作物的移走量给出施肥量 (施磷或施钾量 = 作物产量反应施磷或施钾量 + 作物收获物移走量), 作物养分移走量主要依据 QUEFTS 模型求算的养分最佳吸收量来求算。如果作物施肥不增产, 则只考虑作物收获部分养分移走量。对磷钾肥料的推荐还考虑了养分盈亏平衡, 主要考虑包括作物秸秆处理方式、有机肥施入以及上季作物养分带入量等信息。

## 2.2 合适的肥料品种

NE 系统专门设置了无机肥料和有机肥料信息库 (图 5), 该肥料信息库包含了当前生产上常用的有机和无机肥料品种及其养分含量和肥料价格, 养分含量用于肥料推荐时根据养分含量折算成肥料实物量, 而价格信息主要用于 NE 系统的经济效益分析模块。如果用户发现某一新型肥料品种不在肥料信息库中, 则可以添加新的肥料品种, 也可以对库中已有信息进行编辑修改。这样, 农户就可以根据当地市场或者自己的喜好选择合适的肥料品种。

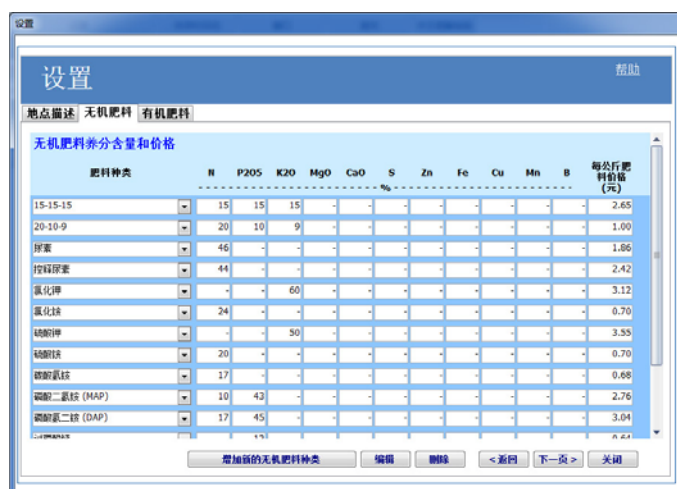


图 5 NE 系统设置界面中的肥料信息库

## 2.3 合适的施肥时间

NE 系统不仅采用合适的肥料用量和合适的肥料品种, 还建议在合适的时间进行施肥, 以与作物的养分吸收相同步。NE 系统建议在作物生长的关键时期进行分次施肥以及采用合适的施肥比例, 同时也考虑了不同地区的实际情况, 如有些农户愿意一次施肥, NE 系统也增加了一次施肥的选项, 但是建议一次施肥要采用控释肥料, 这样才能与作物养分吸收相同步 (图 6)。



图 6 NE 系统中的肥料种类和分次施肥推荐



图 7 水稻推荐施肥报告单

此模块的输出结果是一个针对作物特定生长环境确定合适肥料种类、合理肥料用量和合适施肥时间的施肥指南(图 7)，包括关键生育期分次施用肥料的汇总表，肥料种类和肥料用量和施肥时期。肥料施用量可以根据地块大小自动调整肥料用量。

## 2.4 合适的施肥位置

NE 系统设定所有施肥推荐都是按照合适的施肥位置进行施肥。随着现代化农业和农机具的推广应用，合理的

施肥位置需要与农机相结合。如东北玉米推荐施肥是随着耕作起垄带入基肥然后覆土，而华北小麦基肥是与土壤的机械翻耕一起进行的。

## 3 Nutrient Expert<sup>®</sup> 专家系统推荐施肥实践

自 2010 年开始，应用 Nutrient Expert<sup>®</sup> 专家系统在玉米、小麦和水稻上开展 1025 个田间验证试验进行推荐施肥，同时以农民习惯施肥和测土施肥为对照。田间验证结果表明，与农民习惯施肥比较，基于 Nutrient Expert<sup>®</sup> 系统推荐施肥具有降低成本、提高收益和一定的增产优势(表 1)。更为重要的是，基于 Nutrient Expert<sup>®</sup> 专家系统在小麦、玉米和水稻上分别比农民习惯施肥平均节约 7.7 公斤/亩(41.6%)、4.7 公斤/亩(30.9%)和 0.93 公斤/亩(8.3%)，同时平衡了磷、钾养分；小麦、玉米和水稻氮肥养分回收率分别 13、11 和 9 个百分点，氮肥农学效率分别提高 4、4 和 3 公斤/公斤。与测土施肥比较，虽然产量上没有显著差异，但是也一定程度上减少了肥料氮用量，平衡了磷钾养分，同时提高了氮肥的养分利用率。更为重要的是，本研究证明，在没有土壤测试的条件下，NE 养分专家系统是一种非常方面使用的推荐施肥方法。

应用 NE 专家系统推荐施肥能够增产增收提高肥料利用率的重要原因，在于该方法在优化用量的同时，还优化了其他养分管理措施，如肥料的施用次数和施肥方法等，也即采用的作物的 4R 养分管理措施，即采用合适的肥料品种和肥料用量，在合适的施肥时间施在了合适位置。而很多农民习惯施肥不仅肥料用量不合理，还大多采用一次性撒施肥料，过量的肥料尤其是氮肥则损失到土壤—作物系统外，造成氮肥利用率低和并加大了环境风险。

以上实践证明，Nutrient Expert<sup>®</sup> 推荐施肥专家系统是一种简便易行的增产增收、提高肥料利用率和保护环境的养分管理和推荐施肥方法。

表 1 Nutrient Expert 推荐施肥对作物产量、经济效益和氮肥利用率的影响

作物	处理	产量 (公斤/亩)	施肥量 (公斤/亩)			成本 (元/亩)	收益 (元/亩)	VCR	氮素回收率 (%)	氮素农学效率 (公斤/公斤)
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O					
小麦 (N=315)	农民习惯施肥	527 a	18.6	7.9	3.3	149	983	6.6	17.3	5.0
	NE 推荐施肥	540 a	11.0	5.6	4.9	113	1066	9.4	29.9	8.5
	测土施肥	553 a	15.9	7.1	4.7	142	1054	7.4	22.3	6.2
玉米 (N=573)	农民习惯施肥	660 a	15.3	4.1	3.3	114	1229	10.8	18.3	7.9
	NE 推荐施肥	680 a	10.5	3.5	4.5	97	1287	13.1	29.1	12.1
	测土施肥	686 a	13.3	3.7	4.9	113	1265	11.2	23.0	10.4
水稻 (n=137)	农民习惯施肥	520 a	11.3	3.9	5.7	110	1330	12.1	25.0	12.2
	NE 推荐施肥	540 a	10.4	4.7	5.8	110	1387	12.6	34.2	15.0
	测土施肥	527 a	10.8	4.1	6.4	112	1348	12.0	28.0	13.2

注：小麦、玉米和水稻数据分别为 2011–2014 年、2010–2014 年和 2013–2014 年数据。

### 参考文献

- [1] He P\*, Yang LP, Xu XP, et al. Temporal and spatial variation of soil available potassium in China (1990–2012) [J]. *Field Crops Research*, 2015, 173:49–56.
- [2] Qiu SJ, He P\*, Zhao SC, et al. Nitrogen rate influences on nitrogen partitioning and efficiency parameters in Northeast China rain-fed maize production systems [J]. *Agronomy Journal*, 2015, 107:1–9.
- [3] Zhao SC, He P\*, Qiu SJ, et al. Long-term effects of potassium fertilization and straw return on soil potassium levels and crop yields in north-central China [J]. *Field Crops Research*, 2014, 169:116–122.
- [4] Zhao SC, Qiu SJ, Cao CY, et al. Responses of soil properties, microbial community and crop yields to various rates of nitrogen fertilization in a wheat-maize cropping system in north-central China [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2014, 194:29–37.
- [5] Xu XP, He P\*, Qiu SJ, et al. Estimating a new approach of fertilizer recommendation across small-holder farms in China [J]. *Field Crops Research*, 2014, 163:10–17, 10.1016/j.fcr.2014.04.014.
- [6] Qiu SJ, Xie JG, Zhao SC, et al. Long-term effects of potassium fertilization on yield, efficiency, and soil fertility status in a rain-fed maize system in northeast China [J]. *Field Crops Research*, 2014, 163:1–9.
- [7] Xu XP, He P\*, Pampolino MF, et al. Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency [J]. *Field Crops Research*, 2014, 157:27–34.
- [8] Xu XP, He P\*, Pampolino MF, et al. Nutrient requirements for maize in China based on QUEFTS analysis [J]. *Field Crops Research*, 2013, 150:115–125.
- [9] Chuan LM, He P\*, Jin JY, et al. Estimating nutrient uptake requirements for wheat in China [J]. *Field Crops Research*, 2013, 146:96–104.
- [10] Chuan LM, He P\*, Pampolino MF, et al. Establishing a scientific basis for fertilizer recommendations for wheat in China: Yield response and agronomic efficiency [J]. *Field Crops Research*. 2013, 140:1–8.
- [11] Witt, C., Dobermann, A., Abdulrachman, S., Gines, H.C., et al. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia [J]. *Field Crops Res.*, 1999, 63, 113–138.
- [12] 何萍, 金继运, Pampolino MF, 等. 基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(2):499–505.

# 我国马铃薯的 4R 养分管理措施

李书田<sup>1</sup> 何萍<sup>1</sup> 段玉<sup>2</sup> 妥德宝<sup>2</sup>

(1. 国际植物营养研究所北京办事处 / 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院资源环境与监测技术研究所, 呼和浩特 010031)

土壤养分含量低和养分不平衡限制了我国马铃薯产量的提高, 获得高产、优质和提高肥料利用率的方法是因地制宜地采取最佳养分管理措施, 即 4R 养分管理。

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是继水稻、小麦和玉米后第四位粮食作物。全球 1/3 的马铃薯来自发展中国家。我国是世界上最大的马铃薯生产国, 2013 年产量达到 9594 万吨, 其中 2/3 产于 6 个省份, 即内蒙古、甘肃、四川、贵州、云南和重庆。肥料用量低且不平衡是马铃薯产量低和品质差的主要原因之一, 而且西南地区马铃薯种植区很大一部分在山区和高原地区, 限制产量的因素复杂多样。这篇文章主要介绍马铃薯对养分的需求和养分管理, 重点阐述马铃薯养分管理中如何利用 4R 养分管理的原则, 即选择正确的肥料品种, 用正确的用量, 在正确的时期施在正确的位置。

有效性具有一定影响。Westerman<sup>[1]</sup>总结了美国和加拿大马铃薯营养特性的数据指出, 每生产 1000 公斤马铃薯平均需要吸收 4.19 公斤 N、1.26 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 7.20 公斤 K<sub>2</sub>O。2002–2007 年, IPNI 在内蒙古的试验表明, 每生产 1000 公斤马铃薯平均需要吸收 6.03 公斤 N、1.30 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 6.18 公斤 K<sub>2</sub>O (表 1)。可见, IPNI 的结果中马铃薯对氮的吸收高于 Westerman<sup>[1]</sup> 的数据, 而磷、钾需求相当, 吸收氮素较高的原因可能与我国土壤熟化程度高和氮肥用量大有关。IPNI 的结果还表明, 雨养旱地马铃薯和水浇地马铃薯虽然产量差异较大, 但单位块茎产量需要吸收的氮磷钾养分没有明显的差异。

## 马铃薯对养分的需求

了解马铃薯对养分的需求对于制定最佳养分管理至关重要, 然而马铃薯对养分的需求受土壤养分状况和其他管理措施的影响很大。例如 P, 土壤表层施用石灰对其

## 正确的肥料品种

对氮肥来说, 最常用的可溶性氮肥是尿素和碳酸氢铵, 但也施用一些缓(控)释氮肥, 这些缓(控)释氮肥有的添加消化抑制剂(如 DCD)或脲酶抑制剂(如

表 1 旱地雨养马铃薯和水浇地马铃薯的养分需求

年份	水分管理	块茎产量 (吨/亩)	养分吸收量(公斤/吨)			
			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
2002	雨养	0.79	7.36	1.65	6.37	1:0.22:0.87
2002	水浇地	2.29	5.89	1.41	4.89	1:0.24:0.83
2003	雨养	0.64	4.23	1.37	5.45	1:0.32:1.29
2003	水浇地	2.16	5.71	1.15	5.64	1:0.20:0.99
2004	雨养	0.96	6.87	1.13	5.02	1:0.16:0.73
2004	水浇地	1.73	4.70	0.73	5.67	1:0.16:1.21
2005	雨养	1.29	4.79	1.23	4.18	1:0.26:0.87
2005	水浇地	2.50	4.40	1.58	6.63	1:0.36:1.51
2006	雨养	0.95	5.84	1.42	6.36	1:0.24:1.09
2006	水浇地	2.10	6.91	1.62	7.91	1:0.23:1.14
2007	雨养	0.69	8.04	1.09	6.55	1:0.14:0.81
2007	水浇地	2.04	7.58	1.21	9.44	1:0.16:1.25
平均		1.51	1.51	1.30	6.18	1:0.22:1.02

表 2 缓释尿素 (CRU) 与普通尿素比较对马铃薯块茎产量和氮素利用率的影响

处理 <sup>†</sup>	块茎产量 (吨/亩)	AEN (公斤块茎/公斤 N)	REN (%) <sup>§</sup>
CK	2.01 d	—	—
100% CRU	2.57 a	33.3 ab	45.3 ab
100% RU	2.43b	24.5 bc	32.1 c
75% CRU	2.47 ab	35.6 a	52.3 a
75% RU	2.31 c	22.4 c	40.6 bc

<sup>†</sup>CK = 不施氮; 100% CRU = 推荐氮量, 全部施用 CRU; 100% RU = 推荐氮量, 全部施用 RU。N, P, K 肥全部在种植前基施。  
<sup>‡</sup>AEN = 氮的农学效率; <sup>§</sup>REN = 氮素回收率; 同一列中数字后相同字母表示未达到 5% 显著差异。

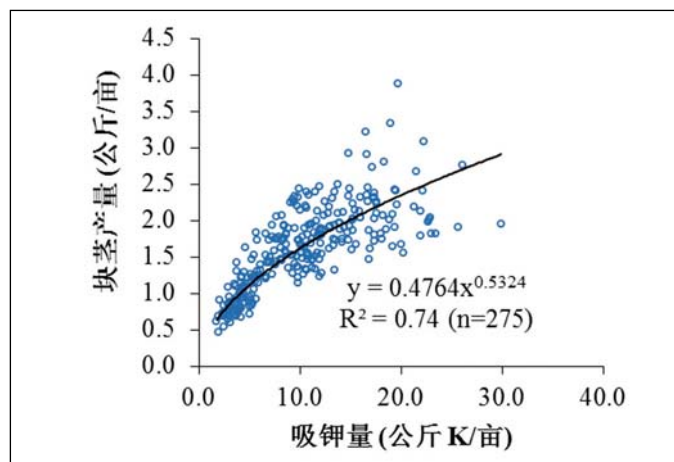
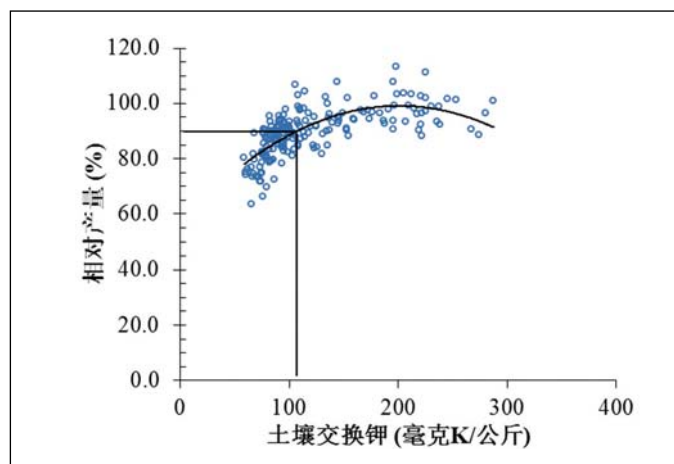
NBPT), 有些用无机材料 (如硫磺) 或有机聚合物包膜。缓 (控) 释氮肥可以随着时间调节氮素的释放, 通过实现养分释放与作物吸收的同步, 提高氮肥利用率, 同时减少氮肥用量和施肥次数, 节约劳动力成本。试验表明, 缓 (控) 释氮肥非常适合水浇地马铃薯, 通过土壤水分调节氮素释放, 提高产量和氮肥利用率。2009-2011 年在内蒙古水浇地马铃薯上的试验表明 (表 2), 在相同氮素用量下, 施用控释尿素 (CRU) 比普通尿素获得更高的产量和氮素利用率。75% 推荐氮素用量下的 CRU 与 100% 推荐氮用量下的 RU 相比, 产量相当, 氮素利用率提高, 说明施用 CRU 可以减少氮素用量 25%。

马铃薯上常用的磷肥有磷酸二氢铵 (MAP)、磷酸氢二铵 (DAP)、过磷酸钙 (SSP)、重过磷酸钙 (TSP)、钙镁磷肥等。常用的钾肥品种是氯化钾 (KCl), 还有硫酸钾 (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 和硝酸钾 (KNO<sub>3</sub>)。充足的土壤钾素供应是提高马铃薯块茎产量和品质不可缺少的, 而且钾肥品种的选择也很重要。研究表明, KCl 和 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 都是很好的钾肥品种<sup>[2, 3]</sup>。Qin 等<sup>[2]</sup> 研究还指出, 施用 KCl 比施用 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 提高块茎淀粉含量和 Vc 含量, 降低还原糖含量, 因而改善马铃薯块茎品质。

有机肥资源如畜禽粪肥或堆肥都是马铃薯生产中有效的养分资源, 然而有机肥与化肥配施的效果往往由于其单独施用<sup>[4]</sup>。

## 正确的肥料用量

在中国有多种方法确定肥料用量, 通常根据土壤测试和目标产量进行马铃薯的推荐施肥。多年来我们利用引进的美国国际农化服务 (ASI) 联合浸提法进行土壤测试和推荐施肥在马铃薯上取得了很好的效果, 并在中国得到广泛应用。多年的试验数据表明, 与农民习惯施肥相比, 用 ASI 方法推荐的 OPT 平衡施肥平均提高产量 200 公斤/亩, 平均增加收入 83 元/亩 (表 3)。



根据土壤测试进行肥料推荐还可以建立在土壤测试值与相对产量关系的基础上确定土壤养分临界值, 再根据农学效率进行推荐施肥。以钾为例, 土壤交换钾与相对产量的关系可以用一元二次多项式表示:  $y = -0.001x^2 + 0.418x + 57.194$  ( $R^2 = 0.51, n = 192$ ) (图 1)。通过计算在 90% 相对产量下土壤交换钾临界值为 105 毫克/公斤。根据以上关系方程可以求出在某一土壤交换钾水平下的相对产量 (RY, 不施钾产量/施钾产量  $\times 100\%$ ), 再根据目标产量 ( $Y_a$ , 公斤/亩) 和钾的农学效率 ( $AE_K$ , 公斤块茎/公斤 K<sub>2</sub>O) 进行推荐: 钾肥用量 (公斤 K<sub>2</sub>O/亩) =  $(1 - RY) \times Y_a / 100 / AE_K$ 。这种推荐施肥方法要建立在大量前期试验数据基础上。

在大量数据基础上,也可根据养分吸收与产量的关系进行推荐施肥。研究表明,马铃薯块茎产量与钾素吸收的关系可以用回归方程表示(图2),根据这一关系可以得出在某一产量目标下需要吸收的钾素。钾肥用量确定不仅要考虑投入/产出平衡,还要考虑土壤钾素水平。如果保持土壤钾素水平,钾的用量与马铃薯移走量一致;如果土壤钾素水平高,施钾量就可以少于移走量,即施钾量为移走量减去土壤基础供钾量(不施钾时的吸钾量),从而消耗土壤中的钾;如果土壤供钾不足,钾肥推荐量就要高于目标产量下马铃薯移走量,以便提高土壤钾素肥力。

磷肥施用到土壤中以后,只有施肥点附近磷可溶性浓度较高,大多数P被土壤中Fe、Al或Ca固定<sup>[5]</sup>。在我国磷肥的用量通常超过移走量(平均1.3公斤/吨块茎,见表1),以确保一定水平的土壤有效磷含量,满足作物需求。

水浇地马铃薯比旱地雨养马铃薯产量潜力大,因此需要更多的养分和较高的施肥量。滴灌比大水漫灌可以减少氮肥和钾肥的用量,同时维持较高的产量<sup>[6]</sup>。

除氮、磷、钾外,马铃薯还移走大量的Ca和Mg<sup>[1]</sup>,尤其是南方酸性红壤上Ca和Mg普遍缺乏,需要施用大量的Ca和Mg,以满足马铃薯的需求。品种一般为石灰、石膏、MgSO<sub>4</sub>、MgCl<sub>2</sub>和白云石,用量为6公斤Ca/亩和4公斤Mg/亩。

## 正确的施肥时期

了解马铃薯整个生长期和每天对养分需求可以指导合适的施肥时期的确定。图1是内蒙古旱地雨养马铃薯和水浇地马铃薯的养分吸收和累积规律,可以看出养分快速积累在块茎膨大期。水地马铃薯最高吸收速率比旱地雨养马铃薯提前2周时间,表明水地马铃薯上的追肥应该比旱地雨养马铃薯提前,以达到供应与需求同步。

表3 用ASI方法推荐的平衡施肥(OPT)与农民习惯施肥(FP)比较

地点	处理	N(公斤/亩)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (公斤/亩)	K <sub>2</sub> O(公斤/亩)	块茎产量 <sup>†</sup> (公斤/亩)	成本 <sup>‡</sup> (元/亩)	GRF <sup>§</sup> (元/亩)
甘肃积石山	OPT	8.0	8.0	10.0	2357a	132	1041
	FP	4.0	2.0	0.0	1934b	29	934
甘肃张家川	OPT	6.9	4.8	4.5	1972a	81	900
	FP	6.9	0.0	0.0	1616b	31	773
内蒙古武川	OPT	8.3	8.3	6.7	947a	118	353
	FP	4.0	1.2	0.0	887a	123	417
内蒙古武川	OPT	16.7	15.0	13.3	2100a	227	819
	FP#	9.4	3.4	0.0	1973b	358	921
青海互助	OPT	10.5	5.0	9.0	1193a	121	473
	FP	16.0	3.5	6.0	1146a	122	449
青海西宁	OPT	10.5	5.0	9.0	1193a	121	473
	FP	16.0	3.5	6.0	1139a	122	445
青海西宁	OPT	10.5	5.0	9.0	2060a	121	904
	FP	16.0	3.5	6.0	1833b	122	791
陕西滑县	OPT	12.1	21.5	15.0	3194a	250	1339
	FP	12.9	33.6	15.0	3056b	322	1199
陕西米脂	OPT	20.5	21.5	15.0	1768a	288	592
	FP	23.9	0.0	0.0	1500b	107	640
贵州织金	OPT	7.0	2.0	4.4	969a	65	417
	FP	5.0	1.5	0.0	682b	31	309

<sup>†</sup>: 每一地点平均收后相同字母标示差异未达到5%显著水平。

<sup>‡</sup>: N, P, K肥成本N=4.5元/公斤, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=5.5元/公斤, K<sub>2</sub>O=5.2元/公斤。

<sup>§</sup>: GRF是施肥效益,马铃薯块茎价格:0.5元/公斤。

<sup>¶</sup>: 有机肥500公斤/亩,198元/1000公斤。

<sup>#</sup>: 有机肥1500公斤/亩,198元/1000公斤。

在块茎形成初期过量施用氮肥会使营养生长延长而限制块茎的发育,降低产量。但后期过量施氮会延迟成熟,降低产量和品质。氮肥的分次施用可以满足马铃薯生育期对氮肥的需求,提高氮肥利用率,并可根据生长时期和气候变化灵活掌握施肥时期。在灌溉或降雨量高的地区,氮肥可以分3到4次施用,以提高产量和氮肥利用率;在有灌溉的砂质土壤上,氮肥分次施用可有效减少氮素淋失,减低环境风险<sup>[7]</sup>。但在没有淋溶条件下,氮肥分次施用也没什么好处。

磷肥和钾肥通常在种植前施用并与土壤混合,微量元素肥料如 Fe、Mn、Zn 肥在种植前施用会被氧化或固定为作物不能吸收利用形态,尤其在石灰性土壤或 pH 高

的土壤上更明显。硫磺应该在种植前施用,以便使其氧化为植物可以吸收利用的硫酸盐,尤其在冷凉地区和氧化能力低的土壤上更应该早施。

## 正确的施肥位置

养分可以各种方式施用,大多数养分包括氮肥如果耕作到根层都可以在种植前施用,除上述所说的易被转化为无效态的养分如 Mn、Zn、Fe 等不宜提前施用。肥料品种也影响施肥方法和施肥量。种植后施肥一般在封垄前进行。追肥撒施后应该起垄覆盖。侧施通常距种属几厘米的侧面施入土壤中。

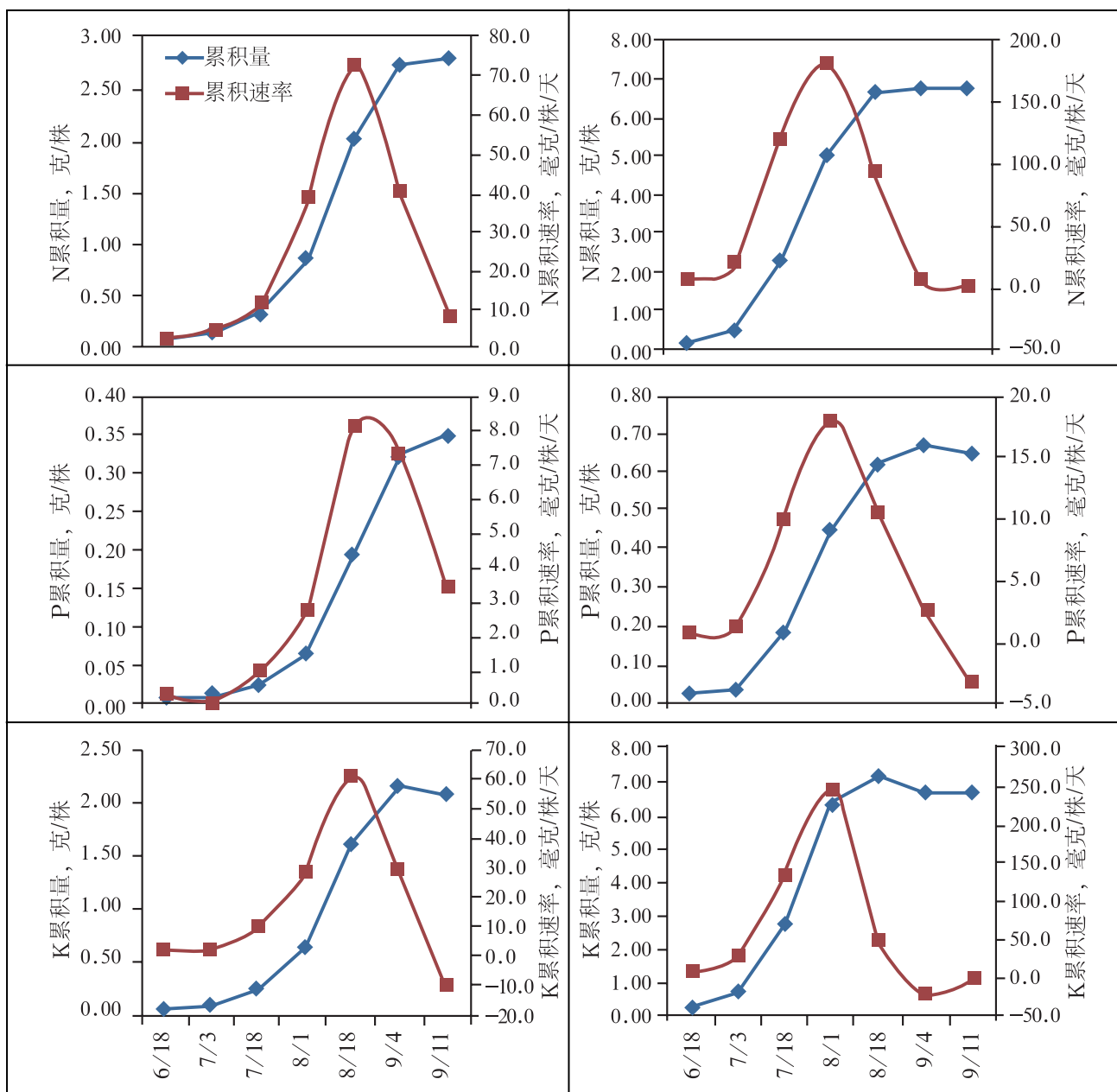


图1 内蒙古旱地雨养(左)和水浇地(右)马铃薯(紫花白)养分吸收累积特性

灌溉施肥是针对易在土壤中移动的养分如硝态氮而进行的施肥方式。当养分在灌溉施肥不会引起养分淋出根系层外时,其效果优于种植前基施。当养分易被土壤固定(如P在石灰性或酸性红壤上施用)时,不宜采用灌溉施肥。在北方,每年只有一季作物,每户100公顷马铃薯很多,而且具有喷灌设备,这样氮肥和钾肥可以考虑随水施肥。

肥料条施可以提高氮肥和磷肥的利用率,在马铃薯垄上条施可以减少硝酸盐被淋失的风险,因为水分大都在垄沟中<sup>[8, 9]</sup>。因为马铃薯对磷肥的利用率很低,而且

在缺磷的土壤上又缺乏吸收磷的能力,因此磷肥应该条施以增加马铃薯根层磷的浓度。

## 结论

肥料用量的确定不但取决于马铃薯对养分的需求,还取决于肥料品种和施肥方法、水分管理和土壤条件。最佳的养管理措施是选择正确的肥料品种、用正确的用量,在正确的时期施在正确的位置(4R),以提高产量和养分利用效率。但确定4个正确需要因地制宜。



## 参考文献

- [1] Westermann, D.T. Am. J. Potato Res., 2005, 82:301-307.
- [2] Qin Yusheng, Tu Shihua, Feng Wenqiang, et al. Better Crops China, 2008, 21:13-16.
- [3] Kumar, P., S.K. Pandey, B.P. Singh, et al. Potato Res., 2007, 50:1-13.
- [4] Parmar, D.K., A. Sharma, S. Chaddha, et al. Potato J., 2007, 34(3-4):209-215.
- [5] Davenport, J.R., P.H. Milburn, C.J. Rosen, et al. Am. J. of Potato Res., 2005, 82:321-328.
- [6] Sasani, G.V., C.K. Patel, R.N. Patel, N.H. Patel, and S.H. Patel. Potato J., 2006, 33(3-4):131-133.
- [7] Errebhi, M., C.J. Rosen, S.C. Gupta et al. Agron J., 1998, 90:10-15.
- [8] Zebarth, B.J., and C.J. Rosen. Am. J. Potato Res., 2007, 84:3-18.
- [9] Dechassa, N., Schenk, M.K., Claassen, N. et al. Plant and Soil, 2003, 250:215-224.



# 西北地区向日葵 4R 养分管理

李书田<sup>1</sup> 何萍<sup>1</sup> 妥德宝<sup>2</sup> 段玉<sup>2</sup>

(1. 国际植物营养研究所北京办事处 / 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院资源环境与监测技术研究所, 呼和浩特 010031)

过量或不足等养分不平衡施用已经严重限制了西北地区向日葵产量的提高。本文着重介绍向日葵生产上按照 4R 养分管理如何提高产量和养分利用效率。

向日葵是我国重要的油料作物之一, 西北地区是主产区, 面积占全国的 72% 以上, 超过 1000 万亩。在向日葵施肥上农民主要施用有机肥配合施用 N、P 肥, 尤其磷肥过量施用比较普遍, 而施钾肥的农户只有不足 10%<sup>[1]</sup>。即使施钾地区钾肥的用量不足向日葵需求量的 30%。因此, 钾肥的合理施用是提高向日葵产量和品质的主要措施之一。本研究总结现有的研究成果, 根据 4R 养分管理原则提出在向日葵选用正确的肥料品种, 采用正确的用量, 在正确的时期施在正确的位置, 以其为西北地区向日葵增产、增收、提高肥料利用效率提供参考。

## 选择正确的肥料品种

选择合适的肥料品种取决于土壤养分状况、灌溉方法、向日葵生育期和现有的有机肥资源。如内蒙古持续高产需要根据土壤测试(表 1)进行平衡施肥, 除施用氮、磷、钾大量元素肥料外, 还需施用中、微量元素 S、Zn、Mn、B 肥。土壤钾的有效性低限制了向日葵生长, 减低产量和品质。

在缺硫的土壤上, 硫酸铵( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )、过磷酸钙(SSP)和硫酸钾( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )是比较适合的氮、磷、钾肥,



表 1 内蒙古试验土壤理化性状

	pH	有机质 (%)	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P	K	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
			(毫克/升)									
最小	8.2	0.2	0.4	10.9	3.2	75.0	0.0	6.1	1.0	2.8	0.7	1.0
最大	9.1	2.0	35.8	80.2	40.2	149.0	176.8	18.8	78.9	14.5	2.5	12.5
平均	8.6	0.5	10.1	24.9	22.8	100.2	36.8	12.4	15.5	8.9	1.6	3.7

\* 分析方法采用 ASI 联合浸提法 (Portch 和 Hunter, 2005)。

表 2 钾肥品种对向日葵产量和经济效益的影响 (内蒙古, 2012)

处 理	籽粒产量 (公斤/亩)	比 CK 增产 (%)	产 值	肥料成本	施肥效益	施钾效益
CK	199.9c	--	1599	0	--	--
- K	240.6b	20.3	1924	93	232	--
KCl	263.0a	31.5	2103	136	368	136
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	269.3a	34.7	2153	156	398	166

\* 施肥量: N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=15-5-9 公斤/亩; 价格: N=4.5 元/公斤, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=5.0 元/公斤, K<sub>2</sub>O (KCl)=4.8 元/公斤, K<sub>2</sub>O (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)=7.0 元/公斤, 葵瓜子 =8.0 元/公斤。

因为其能够提供 S 营养。事实上, 在内蒙古的试验证实了 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 在向日葵上的效果优于 KCl (表 2)。姜雪峰<sup>[2]</sup> 研究表明, 在 B、Zn 含量低的土壤上施用 B 肥和 Zn 肥提高向日葵籽产量 9.9% - 11%。Jabeen 等<sup>[3]</sup> 指出, 在非咸水和咸水灌溉下叶面喷施硼砂 (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) 和氯化锰 (MnCl<sub>2</sub>) 增加粒数、粒重和含油率。

通过与有机肥配合施用可以提高化肥利用率, 因为有机肥可以改善土壤物理性状, 并提供一些必需营养元素。Reddy 和 Ahmed<sup>[4]</sup> 田间试验表明, 施用有机肥配合施用 75% 推荐量的氮肥有助于维持土壤肥力和养分水平, 增加向日葵产量和产量性状。Subha 和 Giri<sup>[5]</sup> 也指出, 施用有机肥和生物肥能减少 30% 的化肥用量。基施或追施可

溶性肥料如尿素、二铵或一铵、KCl 或 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 能够在向日葵快速生长阶段迅速供应所需养分。

## 确定正确的用量

不同的向日葵品种和种植区域影响向日葵对氮磷钾养分的需求, 但有一点可以肯定, 向日葵的需钾量远远高于氮和磷。一般来说, 每生产 100 公斤油用向日葵籽平均需要吸收 7.4 公斤 N, 1.9 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 16.6 公斤 K<sub>2</sub>O, 而每生产 100 公斤食用向日葵籽平均需要吸收 6.2 公斤 N, 1.3 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 14.6 公斤 K<sub>2</sub>O<sup>[2]</sup>。

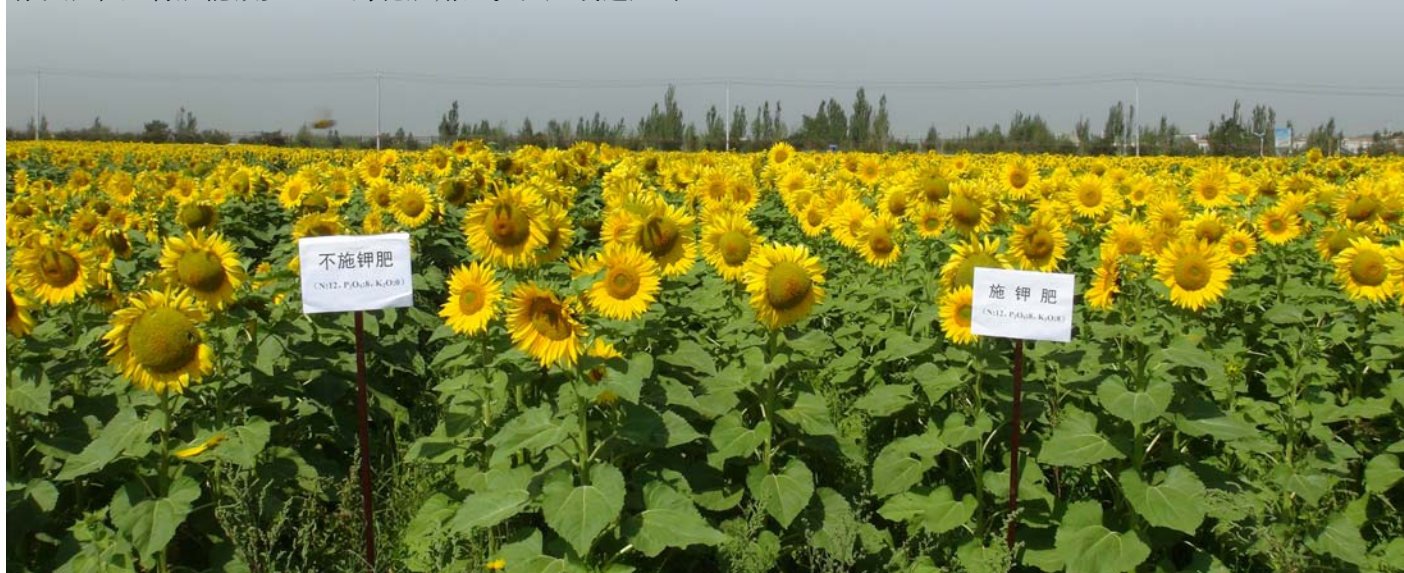


表 3 内蒙古向日葵养分吸收和利用效率 (2008-2012)

	施肥量 (公斤/亩)			籽粒产量 (公斤/亩)	百公斤籽粒养分吸收量 (公斤)			农学效率 (公斤/公斤)			养分回收率 (%)		
	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	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
平均	14	6	9	291	14	6	9	14	6	9	14	6	9
最大	19	11	12	358	19	11	12	19	11	12	19	11	12
最小	10	4	4	223	10	4	4	10	4	4	10	4	4

表 4 依据土壤测试推荐 P 和 K 用量 (白由路等, 2007)

土壤有效磷 (毫克 P/升)	0-7	7-12	12-24	24-40	40-60	>60
推荐施磷 (公斤 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /亩)	12	10	7	5	3	0
土壤有效钾 (毫克 K/升)	0-40	40-60	60-80	80-100	100-140	>140
推荐施钾 (公斤 K <sub>2</sub> O/亩)	15	15	13	10	7	4

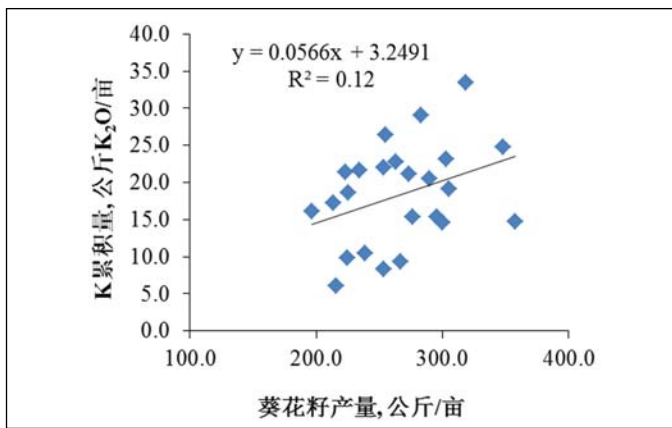
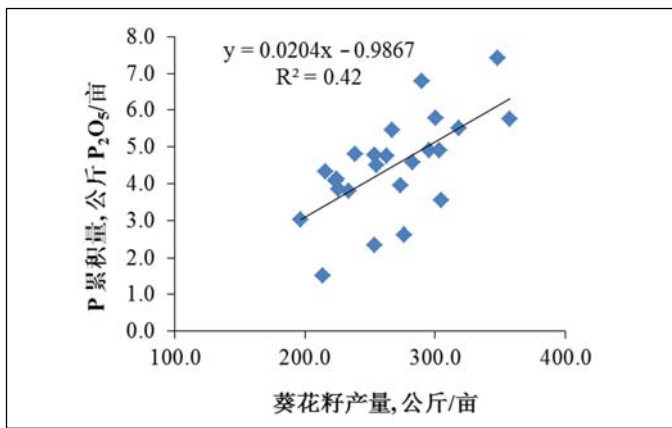
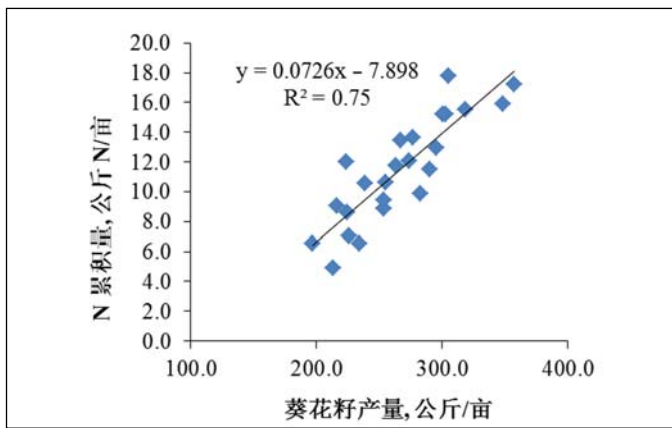


图 1 葵花籽产量与氮磷钾养分吸收的关系

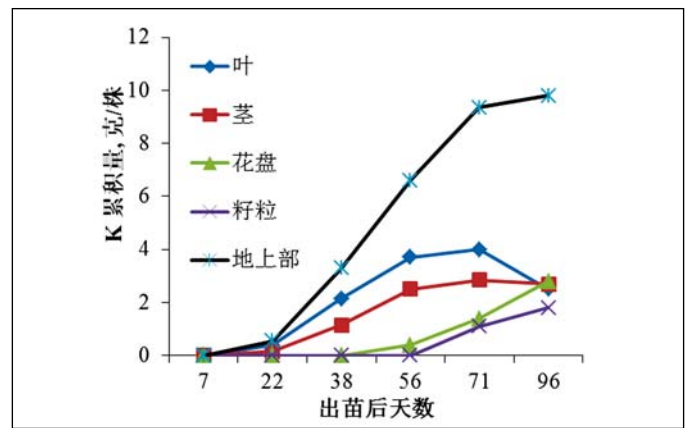
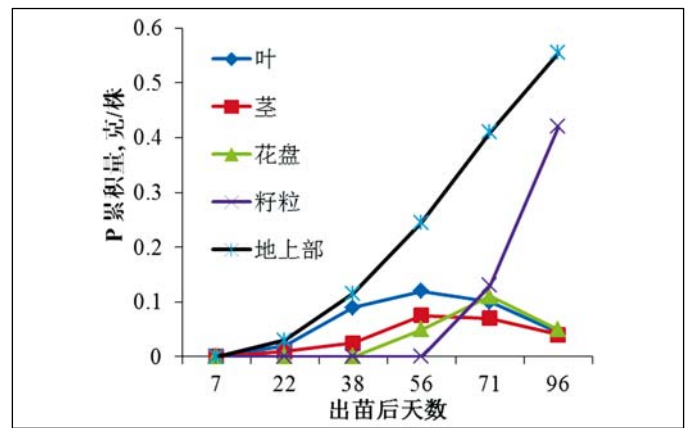
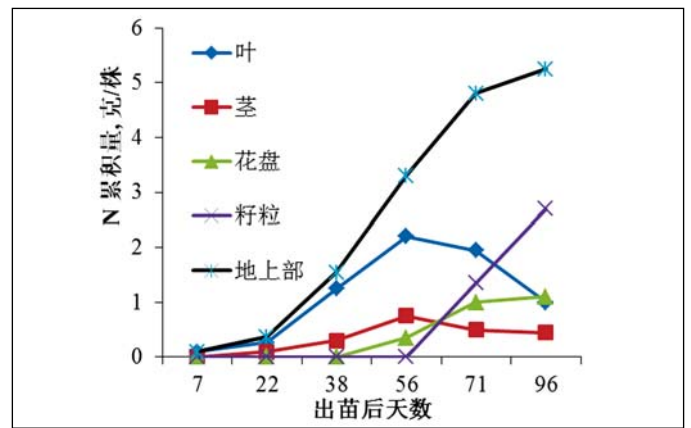


图 2 向日葵不同部位对氮磷钾的积累

IPNI 在内蒙古的研究结果表明。在油用向日葵平均产量为 290 公斤 / 亩情况下, 每生产 100 公斤向日葵籽平均需要吸收 4.8 公斤 N, 1.7 公斤  $P_2O_5$  和 7.2 公斤  $K_2O$ , 氮、磷、钾的农学效率 平均分别为 3.6 公斤 / 公斤 N、4.8 公斤 / 公斤  $P_2O_5$  和 3.5 公斤 / 公斤  $K_2O$  (表 3)。根据向日葵籽粒产量和氮或磷吸收量间的显著相关关系(图 1), 得出目标产量为 350 公斤 / 亩时氮、磷推荐量分别为 17.5 公斤 N / 亩和 6.1 公斤  $P_2O_5$  / 亩。向日葵籽粒产量与钾素吸收量间没有显著相关关系, 但可以用钾素的表现平衡估算施钾量。例如, 根据每生产 100 公斤向日葵籽需要吸收 7.2 公斤  $K_2O$  计算, 在目标产量为 350 公斤 / 亩的情况下, 需要吸收  $350 \times 7.2 / 100 = 25.2$  公斤  $K_2O$  / 亩。而根据 IPNI 试验, 不施钾处理向日葵产量平均 260 公斤 / 亩, 钾肥的平均回收率为 48%, 在目标产量为 350 公斤 / 亩时, 要想保持钾素的投入 / 产出平衡, 需要增产  $350 - 260 = 90$  公斤 / 亩, 则钾肥推荐量为:  $90 \times 7.2 / 0.48 / 100 = 13.5$  公斤  $K_2O$  / 亩, 说明还要消耗土壤中的钾素约 11.7 公斤  $K_2O$  / 亩。这种推荐方法适合在钾素供应高水平情况, 也叫耗竭施肥。如果土壤钾素供应中等, 则应该维持施肥, 吸收多少, 补充多少; 而在缺钾土壤上则应该培肥施肥, 即施用量超过吸收量, 以增加土壤钾素肥力。传统上通常根据土壤测试结果进行 P 和 K 的推荐, 目标产量通常在 270 - 350 斤 / 亩 (表 4)。

## 正确的施肥时期

不同生育期向日葵对氮、磷、钾养分吸收存在很大差异。苗期根系柔弱, 吸收养分的能力差, 所以苗期充足的养分供应极为重要。姜雪峰<sup>[2]</sup>指出, 从现蕾到开花期向日葵吸收的氮、磷、钾分别占整个生育期的 50%、55%

和 50%, 而开花后吸收的养分占 35%、25% 和 25%。李晓慧等<sup>[1]</sup>指出, 食葵对氮素的吸收在蕾期至开花期最快, 而 P 和 K 的吸收在开花期最快; 油葵对氮和钾的吸收速率最快在蕾期, 而钾的吸收高峰出现在开花至成熟期。

IPNI 在内蒙古的试验表明向日葵对氮、磷、钾的快速吸收出现在出苗后 38 - 71 天, 虽然积累在营养体中的养分在出苗 56 天后部分转移到籽粒中, 但 56 天后的氮、磷、钾吸收量仍然占生育期吸收的 13%、23% 和 11% (图 2), 表明后期充足的养分供应人很重要。因此需要追肥, 且最佳追肥时期为出苗后 38 天左右开花初期。Vijayakumar and Ramesh<sup>[7]</sup>也指出, 旱地雨养向日葵上氮肥分次施用比播前一次性基肥生长发育良好, 籽粒产量高。

## 正确的施肥位置

施肥方法通常包括条施、表面撒施、撒施结合耕作混合或接近作物行穴施。条施和撒施可以在播前作基肥施用, 许多小农户在出苗后表层撒施。穴施适合生长期追施, 与表层撒施相比节省肥料。条施或穴施肥料应距种子或根系 6 - 10 厘米, 避免烧种 (苗)<sup>[2]</sup>。穴施深度取决于肥料品种和土壤水分状况, 深施适合易挥发的肥料如碳酸氢铵或液氨。在干旱季节, 这些易挥发肥料应该施的更深一些或随灌溉施用, 以避免损失, 提高利用率。

## 总结

通过改进养分管理可以实现作物产量和环境保护的双重目标。向日葵的养分需求通过大量的试验数据确定, 而 4R 最佳养分管理措施是实现向日葵高产、优质和环境友好的最佳选择。



## 参考文献

- [1] 妥德宝, 安昊, 张君, 等. 国内外向日葵施肥栽培技术发展现状与发展趋势 [J]. 内蒙古农业科技, 2010, 6:1-2.
- [2] 姜雪峰. 向日葵吸肥规律及高产施肥技术 [J]. 现代农业科技, 2011, 18:103-105.
- [3] Jabeen, N., et al. J. Plant Nutr., 2013, 36 (6):1001-1011.
- [4] Reddy, M.C. and S.R. Ahmed. Green Farming, 2009, 2(9):584-587.
- [5] Subha, K.M. and G. Giri. Annals of Ag. Res., 2005, 26(2):248-253.
- [6] 李晓慧, 何文寿, 白海波, 等. 宁夏向日葵不同生育期吸收氮、磷、钾养分的特点 [J]. 西北农业学报, 2009, 18(5):167-175.
- [7] Vijayakumar, M. and S. Ramesh. J. Ecotoxicology and Env. Monitoring., 2005, 15(4):371-376.
- [8] Yassen, A. A., et al. Australian J. Basic and Applied Sci., 2011, 5(9):801-807.
- [9] Porteh, S. and A. Hunter. PPI/PPIC China Program Special Publication No. 5, 2005.

# 新疆加工番茄生产中 4R 钾肥管理措施

李书田<sup>1</sup> 张炎<sup>2</sup>

(1. 国际植物营养研究所北京办事处 / 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 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)

钾肥管理对新疆加工番茄的产量和品质至关重要。本文通过例证阐述 4R 钾肥管理措施对提高加工番茄产量和品质的作用。

新疆是我国加工番茄主要生产和加工基地, 番茄种植面积由 2001 年的 33 万亩, 增加到 2010 年的 140 万亩, 产量已达 500 万吨。新疆光照充足、昼夜温差大、湿度低等有利于加工番茄生长和干物质积累。

加工番茄的正常生长需要大量的钾素营养, 对钾的需求量超过氮。然而传统上认为在新疆灰漠土上钾充足, 从而导致农民长期不施用钾肥, 造成土壤钾素耗竭, 土壤有效钾含量下降, 从而影响了加工番茄产量和品质的进一步提高。因此, 需要施用钾肥缓解土壤钾素降低, 提高番茄产量和品质。近年来, 我们按照 Roberts<sup>[1]</sup> 提出的 4R 养分管理原则即选择合适的肥料品种, 宜合适的用量, 在合适的时期施在正确的位置, 在加工番茄开展了一系列研究, 取得了显著效果, 为加工番茄最佳养分管理提供依据。

## 正确的钾肥品种

目前, 在加工番茄上常用的钾肥品种有氯化钾 (KCl)、硫酸钾 (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)、磷酸二氢钾 (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 和硝酸钾 (KNO<sub>3</sub>)。其中 KCl 最便宜。Locascio 等<sup>[2]</sup> 总结大量试验结果指出, 钾肥品种对番茄果实产量和叶片中钾浓度没有显著影响。Chapagain 等<sup>[3]</sup> 指出, 在加工番茄生产中通过滴灌施用

KCl 可以全部或部分替代 KNO<sub>3</sub> 而不影响番茄生长和产量, 而且与 KNO<sub>3</sub> 相比 KCl 还改善果实品质如增加硬度和新鲜花萼, 减少烂果和劣果数。樊庆鲁等<sup>[4]</sup> 指出, 在膜下滴灌加工番茄上, 施用含 5% 腐殖酸和 49% NPK 的有机-无机复合肥比施用含 50-55% NPK 的传统滴灌肥增产 415 公斤/亩, 增收 82 元/亩, 而且还显著增加可溶性固形物、Vc 和番茄红素, 改善了品质。研究表明, 在肥料用量为 12-7.2-6 公斤 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/亩情况下, KCl 比硫酸钾镁和硫酸钾分别增产 7.2% 和 7.3%, 增加收入 116 元/亩和 111 元/亩 (表 1)。张炎等<sup>[5]</sup> 的研究也表明, 在相同钾用量下, 氯化钾 (KCl) 比硫酸钾 (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 增产 7.0%-9.2% (表 2)。

表 2 钾肥品种和用量对新疆加工番茄产量的影响

地点	K 品种	用量 (公斤 K <sub>2</sub> O / 亩)	产量 (公斤/亩)
屯河农产 5*	KCl	3.3	4215
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.3	3860
	不施钾	0	2823
屯河农场 1*	KCl	4.8	5234
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.8	4890

\* N 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 用量屯河农场 5:11.5 和 7.3 公斤/亩, 屯河农场 1:11.5 和 6.9 公斤/亩。

表 1 不同钾肥品种对新疆加工番茄产量和品质的影响

钾肥品种	产量 (公斤/亩)	番茄红素 (毫克/100 克)	固形物 (%)	Vc (毫克/100 克)	施肥收益 (元/亩)
KCl	6491 a*	2.26 a	1.50 a	6.14 a	171**
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·2MgSO <sub>4</sub>	6057 b	3.05 a	2.33 a	7.96 a	55
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6048 b	3.04 a	2.17 a	7.96 a	60

\* 同一列数字后不同字母表示 5% 显著差异; \*\* 价格: 番茄果实 =0.25 元/公斤; K<sub>2</sub>O=5.3 元/公斤 KCl, 5.5 元/公斤 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 6.9 元/公斤 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·2MgSO<sub>4</sub>。收益根据施钾处理与不施钾处理之差计算。肥料用量 11.9-7.2-6 公斤 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/亩。

## 正确的钾肥用量

研究表明,产量水平为 5000 – 7500 公斤/亩的情况下,每生产 1000 公斤加工番茄果实需要吸收 3.27 (2.88 ± 0.84) 公斤 N, 0.86 (0.76 ± 0.13) 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 4.02 (3.85 ± 0.17) 公斤 K<sub>2</sub>O。产量水平为 6000 – 6300 公斤/亩需要吸收 19 公斤 N / 亩, 2 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 亩和 19.3 公斤 K<sub>2</sub>O / 亩。以上数据表明生产 5000 – 7000 公斤番茄需要至少 20 – 27 公斤 K<sub>2</sub>O / 亩。钾肥的用量取决于土壤钾素供应和产量水平。王冀川等 (2011) 提出了一个根据目标产量计算钾肥用量的模型:

$$R_K = 830.3427 / (1 + e^{-0.00002 \times (T_Y - 99019.6011)})$$

其中, R<sub>K</sub> 为钾用量 (公斤 K<sub>2</sub>O / 公顷); T<sub>Y</sub> 为目标产量 (公斤 / 公顷); 1 公顷 = 15 亩。

IPNI 中国项目多年的试验也表明施钾增加加工番茄产量。例如在 2003 – 2004 年,在施用 12 公斤 N / 亩和 7.2 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 亩基础上施用 12 公斤 K<sub>2</sub>O / 亩比不施钾增产 14.6% – 717.8%, 并提高可溶性固形物、Vc 和番茄红素等品质指标 (表 3)。2008 年在马纳斯县试验上,施用 7 公斤 K<sub>2</sub>O / 亩比不施钾增产 11%, 增收 137 元 / 亩, 2009 年平衡施肥 (24 – 10 – 7 公斤 N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O / 亩) 比农民习惯施肥 (18.1 – 13 – 3 公斤 N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O / 亩) 增产 17%, 增收 223 元 / 亩。

研究表明,土壤有效钾为 260 毫克 / 公斤下,产量为 7500 公斤 / 亩的滴灌加工番茄最佳肥料用量为 20 – 7 – 5 公斤 N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O / 亩。滴灌使根系生长在少量的土体中,因此要想获得较高的产量,必须考虑有限土体中钾素的供应,以制定合理的养分管理策略,尤其在中低水平土壤有效钾情况下应该更加重视。

## 正确的施肥时期

研究表明,加工番茄在苗期、花 / 果期、果实成熟期和收获期吸收的钾分别占整个生育期钾素积累的 7.7%、27.4%、25.2% 和 32.3%, 这表明多数钾在生长后期 (开花后尤其果实成熟和收获期) 吸收。因此,钾肥的施用时期对获得高产优质的加工番茄至关重要,90% 以上的钾肥应该在花后果实膨大期施用。而传统上 50% – 60% 的钾肥种植前基施、40% – 50% 果实成熟期追施,虽然后期施用一部分,但与加工番茄对 K 的需求仍不一致。

钾肥的施用时期还与水分管理有关。由于新疆缺水,因此加工番茄大都利用膜下滴灌,因此影响养分在土壤中的运移,从而影响钾的有效性和番茄对钾的吸收。研究指出,钾随水的运动与 N 相似,主要分布在 30 厘米土层中。因此在滴灌系统中大多数氮 (63 – 84%) 和钾 (61 – 74%) 施在开花后到成熟期<sup>[6]</sup>。

## 正确的施肥位置

滴灌番茄通常在覆膜后种植,由于灌溉管道在膜下两行之间,因此除种植前施用部分基肥外,大多数氮肥和钾肥通过灌溉系统进行灌溉施肥,随水进入根系层。对直播、沟灌加工番茄来说,肥料通常侧施。在土壤下层滴灌时,水分从土层下向上渗出,而沟灌时水分从表层向下层渗透,把侧施的 N 或 K 带到下层根系层。肥料条施也是这种情况,调施在垄侧面是沟灌条件下的正确施肥位置,但不适合在滴灌条件下采用侧施。

表 3 钾肥用量对新疆加工番茄产量、品质 and 经济效益的影响

年份	K <sub>2</sub> O 用量	产量	番茄红素	固形物	Vc	施肥收益
	(公斤 / 亩)	(公斤 / 亩)	(毫克 / 100 克)	(%)	(毫克 / 100 克)	(元 / 亩)
2003*	0	5740b			10.48	
	6	6173b			19.21	80
	12	6753a			11.08	196
	18	6113b			9.17	6
2004*	0	6340b	6.11 b	8.88	8.03	
	6	6587b	7.97 ab	8.88	8.33	33
	12	7267a	10.48 a	10.5	9.73	173
	18	6360b	8.60 ab	8.5	8.92	- 83

\*N 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 用量为 12 和 7.2 公斤 / 亩; \*\* 同一列数字后不同字母表示 5% 显著差异; \*\*\* 番茄价格: 0.25 元 / 公斤, K<sub>2</sub>O: 4.85 元 / 公斤 KCl。

## 其他措施

番茄果实的养分含量很大程度上确定与基因特性和成熟期的环境因素，充足的水分供应有助于番茄果实大小一致，提高颜色指标，而减少灌水次数有助于提高Vc含量<sup>[7]</sup>。Favati et al.<sup>[8]</sup>指出，在加工番茄生长后期延长灌

水间隔，限制灌水量是最佳管理措施，有助于提高番茄产量和改善果实营养品质。

滴灌时，我们利用正确的肥料品种和用量精确地做到与作物吸收同步，以实现高产优质。今后应普及4R养分管理在加工番茄生产中的应用，作为提高产量和养分利用效率的有效手段。



## 参考文献

- [1] Roberts, T.L. 2007. In Fertilizer Best Management Practices. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9 March, 2007. Brussels, Belgium. pp. 29-32.
- [2] Locascio, S.J., G.J. Hochmuth, S.M. Olsan, et al. HortSci., 1997, 32, 1204-1207.
- [3] Chapagain, B.P., Z. Wiesman, M. Zaccari, et al. J. Plant Nutr., 2003, 26(3):643-658.
- [4] 梁称福, 陈正法, 李文祥, 等. 不同降湿处理对温室番茄作物生长及养分积累的影响研究 [J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2):79-81.
- [5] 张炎, 马海刚, 徐万里, 等. 施钾对加工番茄产量与品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2008, 3:40-51.
- [6] 王冀川, 高山, 陈立平, 等. 加工番茄肥料运筹的动态知识模型 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(2):285-292.
- [7] Mitchell, J.P., C. Shennan, S.R. Grattan, et al. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 1991, 116, 215-221.
- [8] Favati, F., S. Lovelli, F. Galgano, et al. Sci. Hortic., 2009, 122:562-571.
- [9] 汤明尧, 张炎, 胡伟, 等. 施肥对加工番茄生长发育和养分吸收利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, 3:26-30.



# 北方棉花的 4R 钾肥管理措施

李书田<sup>1</sup> 张炎<sup>2</sup> 崔荣宗<sup>3</sup> 邢素丽<sup>4</sup>

(1. 国际植物营养研究所北京办事处 / 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 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; 3. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 山东济南 250100; 4. 河北省农林科学院农业资源与环境研究所, 河北石家庄 050051)

钾对棉花高产优质至关重要, 但北方棉区施钾量不足。这篇文章着重阐述了棉花生产中按照正确的品种、正确的用量、正确的施肥时期和施肥方法的 4R 养分管理措施进行钾肥管理对棉花产量、品质和经济效益的有益作用。

棉花分布在全国 25 个省份, 面积超过 7500 万亩, 皮棉总产量达 650 万吨。北方棉区主要分布在新疆、河南、河北、山东, 面积和产量占全国的 2/3 以上, 是农民增收的主要经济作物之一。

棉花是需钾较多的作物, 钾能改善棉花的光和速率、碳水化合物代谢、氮代谢, 并具有抗黄萎病作用, 对提高棉花产量和品质非常重要。许多研究表明, 不施钾减少棉纤维长度、伸长率和成熟度, 尽管如此但北方棉田的施钾量依然不足。另外, 钾肥通常播前一次施用, 很

少在生长期追肥, 导致产量低、品质差, 从而影响农民收入。下面将阐述如何利用 4R 养分管理原则指导棉花钾肥管理中如何选择正确钾肥品种、用量、时期和施肥方法, 从而为棉花高产优质提供技术参考。

## 正确的钾肥品种

钾肥品种很多, 常用的有氯化钾 (KCl) 和硫酸钾 ( $K_2SO_4$ ), 棉农喜欢用价格相对低廉的 KCl。王文军



等<sup>[1]</sup>研究表明,在K<sub>2</sub>O用量均为12公斤/亩时,KCl、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>和硫酸钾镁肥(PMS)对棉花产量没有显著影响,尽管施用PMS效益较高。在缺硫的土壤上硫酸钾因其含硫、低盐指数和不吸湿而优先被选择。

在降雨量较高地区,尤其在砂性土壤上,棉花生长期中期缺钾与花后需钾量较高有关,因此在缓冲能力差、淋溶大的低供钾能力棉田上选择施用缓释钾肥,对缓解棉花缺钾、增加产量具有理想的效果。钾肥的物理性质也影响棉花产量和纤维品质,如王德鹏等<sup>[2]</sup>指出,颗粒状氯化钾能缓慢释放钾素到土壤中,对棉花后期生长有好处,并可减少钾的淋溶损失。

但当施用KCl时要注意其伴随离子Cl<sup>-</sup>在土壤中的积累问题,特别是在降雨量少或灌溉少的地区,因为在这些地区过多的Cl<sup>-</sup>不能被淋走,相反,蒸发使得下层Cl<sup>-</sup>向上移动,积累在土壤表层,形成次生盐渍化。因此,研究土壤中Cl<sup>-</sup>的平衡对确定合适的KCl用量或合适的KCl与K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>配比非常重要。

## 正确的钾肥用量

Pervez等<sup>[3]</sup>报道,棉花对土壤K素的移走量超过N和P,在棉花最高产量时,每生产1000公斤皮棉需要吸收120-150公斤的K<sub>2</sub>O。在印度,每亩棉花约移走8.9公斤N,2.3公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和12公斤K<sub>2</sub>O<sup>[4]</sup>。IPNI试验表明,每生产1000公斤皮棉需要69-150公斤K<sub>2</sub>O,并因地点和品种有所差异(表1)。如新疆棉花产量和K吸收量高于河北和山东。钾肥的需要量取决于目标产量和土壤供钾能力(或土壤有效钾水平)。在中等供钾水平土壤上,维持钾素水平是施肥的主要目标,如皮棉产量100公斤/亩时钾肥用量为7-15公斤/亩,接近棉花移走量。在低钾水平土壤上,需要培肥或维持施肥,施钾量应该

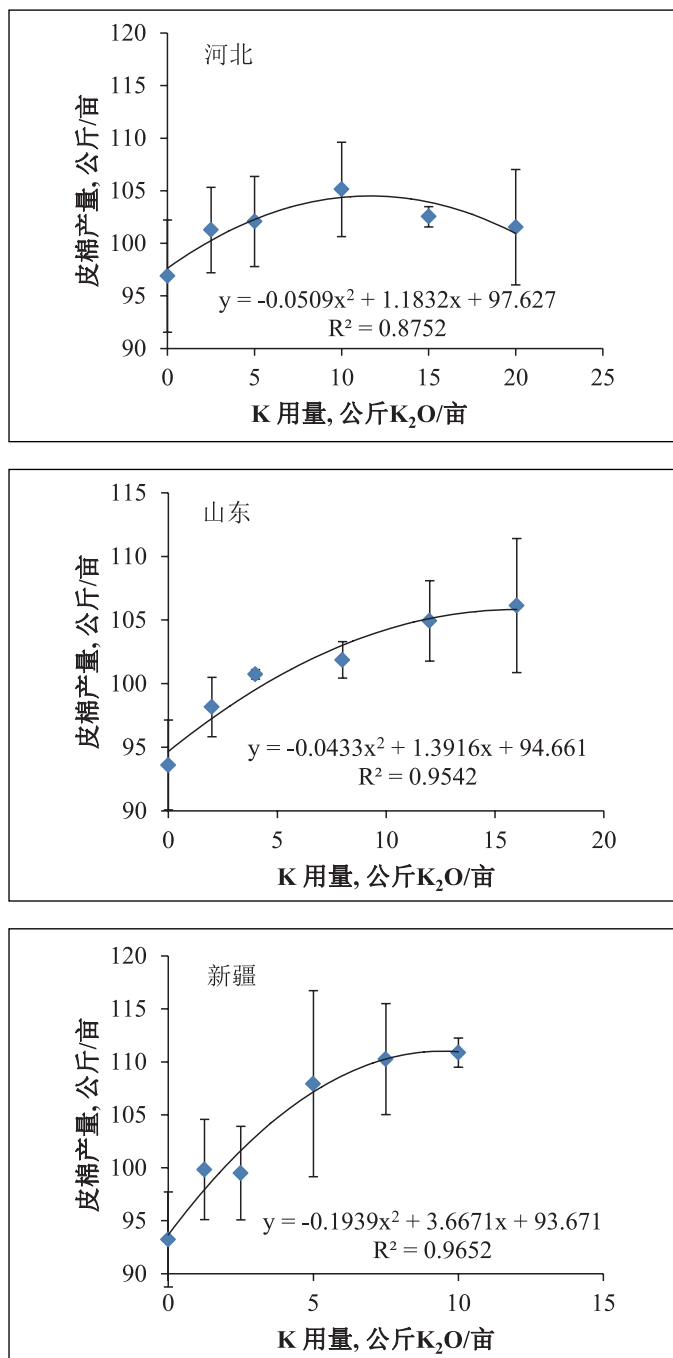


图1 钾肥用量与皮棉产量的关系

表1 北方三省在不同施钾量(K<sub>2</sub>O/亩)下每生产1000公斤皮棉需要吸收的钾量(公斤K<sub>2</sub>O)

河北		山东		新疆	
施钾量	吸钾量	施钾量	吸钾量	施钾量	吸钾量
0	68.5	0	88.9	0	145
2.5	80.5	2	93.4	1.25	145
5	76.9	4	98.8	2.5	149
10	89.0	8	99.4	5	150
15	85.0	12	104	7.5	148
20	89.1	16	106	10	150

高于移走量，不但满足棉花需求，还能有多余的钾素增加土壤钾肥力水平。在钾素肥力高如新疆的土壤上，可以降低施钾量，以消耗土壤多余的钾，提高施钾的经济效益。

IPNI 的试验表明，河北棉田施用 2.5–20 公斤  $K_2O$  / 亩、山东棉田施 2–16 公斤  $K_2O$  / 亩、新疆棉田施用 1.3–10 公斤  $K_2O$  / 亩比不施钾分别增加皮棉产量 4.5–8.5%、4.9–13.4% 和 6.7–18.9% (图 1)。按照钾肥用量和皮棉产量关系方程计算出河北、山东、新疆土壤速效钾含量为 89、82、177 毫克  $K$  / 公斤时的最佳经济施肥量分别为 10、14 和 9 公斤  $K_2O$  / 亩。范希峰等<sup>[5]</sup>的试验表明，在黄淮海平原土壤速效钾含量 100–130 毫克 / 公斤时棉花最佳施钾量为 6 公斤  $K_2O$  / 亩。曾胜河等<sup>[6]</sup>指出，在交换钾含量 184 毫克 / 公斤的灰漠土滴灌棉田钾肥最佳用量为 6.3 公斤  $K_2O$  / 亩，在交换钾含量 279 毫克 / 公斤草甸土滴灌棉田上最佳施钾量为 4.3 公斤 / 亩。

## 正确的施钾时期

IPNI 研究表明，棉花对钾的最大吸收发生在花铃期，这一时期的吸钾量占整个生育期吸钾量的 50%–60% (图 2)。当 50% 的钾肥基施 +50% 的钾肥在开花期或铃期施用可获得最高的皮棉产量 (表 2)。因此，棉花生长后期充足的钾供应对棉花高产很重要，主要因为棉花根系不发达，而且在后期棉铃发育阶段生长减弱。

王圣力等<sup>[7]</sup>指出，后期叶面喷施 0.3%  $KH_2PO_4$  增加铃数、铃重、籽棉产量、皮棉产量、衣分，促进正常生长和成熟。合理的施肥时期是分次施用硫酸钾 (1/2 基施，1/2 花铃期追施)，比全部基施增加皮棉产量和钾肥利用效率。分次施钾 (一半基施，一半花期施) 获得最高籽棉产量。但是，分次施用钾肥对纤维品质没有影响，钾肥分次施用可增加籽棉和皮棉产量的同时改善了纤维品质，依品种不同有一定差异。

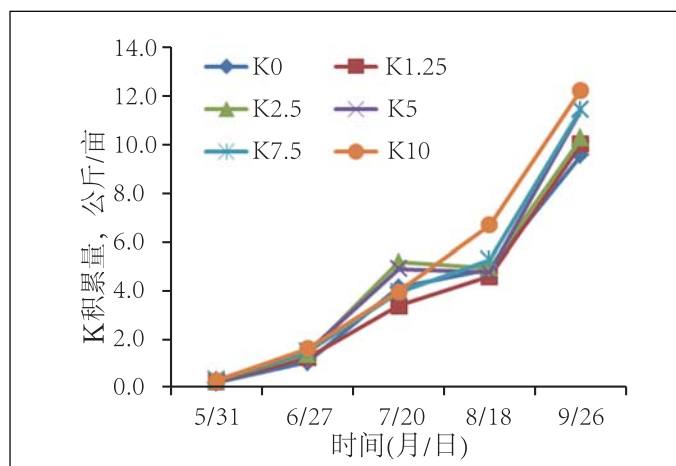
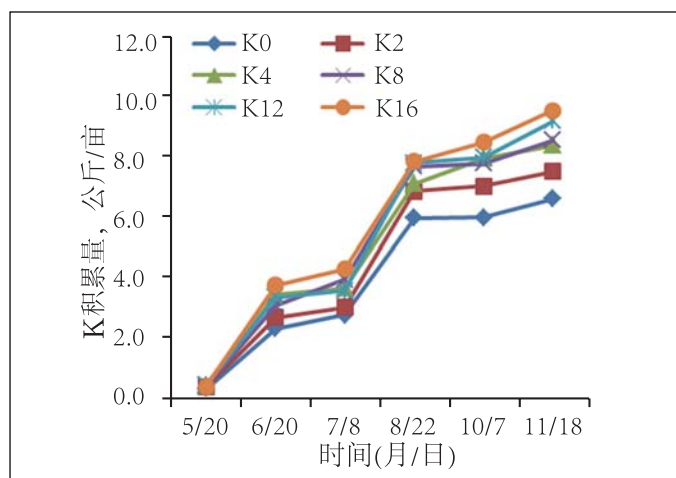
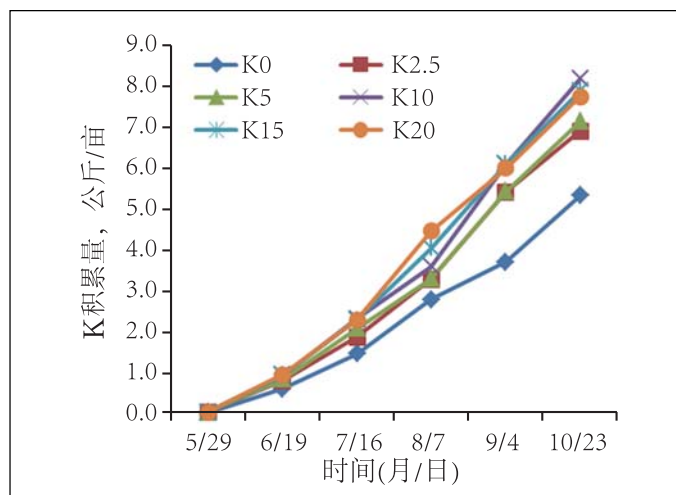


图 2 河北 (上)、山东 (中) 和新疆 (下) 棉花不同时期吸钾量

表 2 钾肥施用时期对皮产量的影响 (公斤 / 亩)

处 理	河北		山东		新疆	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
-K	95.6 a*	91.1 c	99.1 b	79.4 c	84.7 c	101.7 b
100% 钾肥基施	101.3 a	95.6 abc	107.3 ab	85.6 ab	95.7 ab	120.5 a
50% 钾肥基施, 50% 钾肥开花期施	100.9 a	96.3 abc	111.2 a	89.1 a	100.0 a	117.7 a
50% 钾肥蕾期施, 50% 钾肥铃期施	102.5 a	103.5 a	108.7 a	82.1 bc	101.1 a	127.5 a
50% 钾肥蕾期施, 50% 钾肥吐絮期施	102.7 a	100.6 ab	107.9 a	81.6 bc	94.4 b	118.1 a
50% 钾肥花期施, 50% 钾肥吐絮期施	100.2 a	93.5 bc	104.7 ab	80.4 bc	92.1 b	119.3 a

\* 同一列数字后不同字母表示差异达 5% 显著水平。

## 正确的施肥位置

棉花是深根作物，因此肥料需要深施以获得最大收益，深施钾肥可能是满足棉花钾肥需求的有效方法。播前基施钾肥应当翻耕到 20–30 厘米深层，钾肥追施最好条施在距棉株 5–10 厘米的 10–15 厘米深处。在美国密西西比三角洲研究报道，深施钾肥或与施肥同时深施提高皮棉产量<sup>[8]</sup>。但 Mullins 等<sup>[9]</sup>指出，钾肥的施用方法（表施与行间深施对比）不影响籽棉产量。还有一点需要注意的是在土壤 Cl<sup>-</sup> 含量 100–200 毫克/公斤时棉花幼苗对 Cl 很敏感，因此 KCl 不要施在种子行附近，应该有一段距离。

## 参考文献

[1] 王文军, 叶舒娅, 武际, 等. 硫酸钾镁肥对棉花生长、产量和经济效益的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(3):776–812.

[2] 王德鹏, 杨国正, 童军, 等. 棉花钾营养特性研究进展 [J]. 中国棉花, 2011, 38 (10):2–5.

[3] Pervez H., M. Ashraf, and M. I. Makhdam. J. Plant Nutr., 2005, 27 (7):1295–1317.

[4] Brar, M.S., A.S. Brar, P.N. Takkar, and T.H. Singh. J. Pot. Res., 1987, 3(4):149–154.

[5] 范希峰, 王汉霞, 田晓莉, 等. 钾肥对棉花产量的影响及最佳施用量研究 [J]. 棉花学报, 2006, 18(3):175–179.

其他施肥方法如条施或灌溉施肥也能提高钾肥效果，增加棉花产量。Adeli 和 Varco<sup>[10]</sup>指出，钾肥条施结合撒施在增加皮棉产量上比任何一种方法单独施用都有效，而且条施 2.27 公斤 K / 亩并撒施 9.07 公斤 K / 亩皮棉产量最高。对新疆的膜下滴灌棉花，钾肥通常通过滴灌系统灌溉施肥，从而钾肥随水到达根系层，有利于棉花吸收。

## 总结

4R 钾素管理，即选择合适的钾肥品种，确定合适的用量，在正确的时期施在合适的位置有利于提高棉花产量、改善纤维品质。

[6] 曾胜河, 吴志勇, 闫静, 等. 棉田生态系统中钾元素的施用效益研究 [J]. 新疆环境保护, 2004, 26(zk):91–94.

[7] 王圣力, 朱保玉, 李煌, 等. 不同施钾方式对抗虫杂交棉产量形成的影响 [J]. 中国棉花, 2007, 10:16.

[8] Tupper, G.R., III, H.C. Pringle, and M.W. Ebelhar. In 1988 Proc. Beltwide Prod. Res. Conf. Nat. Cotton Council of Am., Memphis, TN.

[9] Mullins, G.L., C.H. Burmester, and D.W. Reeves. Soil Till. Res., 1997, 40:145–154.

[10] Adeli A., and J. J. Varco. J. Plant Nutr., 2002, 25 (10):2229–2242.

# 广西甘蔗 4R 养分管理技术

周柳强<sup>1</sup> 谭宏伟<sup>1</sup> 黄金生<sup>1</sup> 曾艳<sup>1</sup> 区惠平<sup>1</sup> 谢如林<sup>1</sup> 朱晓晖<sup>1</sup> 涂仕华<sup>2</sup>

(1. 广西农业科学院农业资源与环境研究所, 广西南宁 530007; 2. 国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 610066)

甘蔗是中国的主要糖料作物, 种植在广西、云南、广东、海南、贵州、四川等南方省份。广西是我国最大的甘蔗种植区, 2012/13 榨季, 甘蔗种植面积达 1692 万亩, 占全国的 62.85%; 原料蔗产量 7830 万吨, 蔗糖产量达 907 万吨, 占全国蔗糖产量 69% 以上。统计资料显示, 广西甘蔗的平均单产仅 4627 公斤/亩, 还存在很大的提升空间。甘蔗单产低的原因是多方面的, 但土壤瘦瘠、土壤对养分的吸附固定能力强和不合理施肥是广西甘蔗低产的主要原因。因此, 加强对甘蔗科学施肥技术的研究与应用, 对甘蔗高产优质, 农民增产增效, 意义重大。

## 1 广西甘蔗种植区土壤养分状况及主要肥料品种

### 1.1 广西甘蔗种植区的土壤养分状况

表 1 的数据表明, 广西蔗区绝大多数土壤的有效氮、磷、钾含量处于中等或中下水平, 难以满足甘蔗高产优质生产的需求。因此, 在生产中如何重视甘蔗土壤培肥, 加强氮、磷、钾以及中微量养分的管理, 开展因土施肥, 是今后甘蔗高产优质生产的强化方向和重要工作。

### 1.2 广西甘蔗种植区土壤对养分的吸附特性

广西甘蔗主要种植区的土壤对钾、磷、硫等养分有很强的吸附作用。我们运用 ASI 法研究了广西甘蔗种植区主要成土母质发育而成的土壤对氮、磷、钾养分的吸附特性, 其主要结果如表 2 所示。在施用 3 倍临界值养分的溶液后, 平均有 83-97% 的磷、32-97% 的钾、66-87% 的硫养分被土壤暂时吸附或固定。虽然这些被吸附或固定的养分中有一部分会随甘蔗生长和土壤气候条件的改变而缓慢释放, 为甘蔗吸收利用, 但仍有相当一部分处于无效状态。

### 1.3 甘蔗种植主要施用的肥料品种

适合甘蔗生产的常用肥料包括尿素、缓控释尿素、过磷酸钙、磷酸一铵、磷酸二铵、钙镁磷肥、氯化钾、硫酸钾镁肥 (SPM) 或中低浓度的氮磷钾复混肥等。近年来的试验研究表明, 施用控释尿素或控释尿素配合普通尿素不但能减少施肥次数, 同时能显著提高甘蔗产量和氮肥利用率。由于蔗区土壤对养分有很强的吸附能力, 施用中低养分含量的磷钾肥料, 因为其实物量高于高养分含量的磷钾肥, 能增加肥料与土壤耕层的接触面, 增加养分的吸附量, 从而有效减少磷钾养分在高温多雨季节的流失量, 提

表 1 广西甘蔗种植区的土壤养分状况

分级	pH	有机质	全 N	全 P	全 K	有效 P	有效 K
		(克/公斤)				(毫克/公斤)	
样本数(个)	8836	8264	5497	5125	5040	5458	5499
分级指标	一级	>40	>2.0	>1.0	>20	>15	>150
	二级	30-40	1.5-2.0	0.8-1.0	15-20	10-15	100-150
	三级	20-30	1.0-1.5	0.6-0.8	10-15	5-10	50-100
	四级	10-20	0.5-1.0	0.4-0.6	5-10	<5	<50
	五级	<10	<0.5	<0.4	<5		
	六级	<4.5					
占样本总数 %	一级	17.2	26.7	13.1	7.5	25.4	5.2
	二级	23.4	23.7	8.2	19.6	35.2	9.2
	三级	34.4	27.3	14.9	20.3	24.9	29.5
	四级	19.4	18.1	30.1	25.7	14.6	56.1
	五级	5.6	4.2	33.7	26.9		
	六级	3.4					
合计	100	100	100	100	100	100	100

表2 广西甘蔗种植区主要成土母质发育而成土壤的养分吸附特性

养分	成土母质	土壤养分 含量 (毫克/升)	对加入养分的吸附量(公斤/亩)				
			1倍 临界量	2倍 临界量	3倍 临界量	4倍 临界量	5倍 临界量
K	浅海沉积物	47.37	2.29	4.53	9.39	15.99	31.40
	砂页岩	15.64	3.23	6.55	13.19	20.73	36.77
	第四纪红土	58.60	2.87	3.04	4.33	13.64	21.43
P	浅海沉积物	12.50	2.57	4.96	8.91	18.53	34.34
	砂页岩	4.50	2.63	5.16	10.36	20.25	34.70
	第四纪红土	13.85	1.97	4.23	8.87	18.06	31.52
S	浅海沉积物	18.80	1.29	2.44	3.53	4.45	13.32
	砂页岩	5.20	1.16	2.32	4.64	5.47	13.65
	第四纪红土	19.60	1.26	2.03	4.30	8.13	16.38

高甘蔗对养分的吸收利用率。目前农民的施用的主要肥料品种是中低浓度(N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O=25-35%)的氮磷钾复混肥,主要配方有13-5-7、12-5-8、12-5-13、15-8-12等。在生产实际中,若复混肥配方中钾素含量不足,可补充或单独施用氯化钾;若复混肥配方磷素含量不足,一般用过磷酸钙或钙镁磷肥补充。

## 2 甘蔗生长需要吸收的养分及施用量

### 2.1 广西甘蔗生长需要吸收的养分状况

甘蔗是禾本科四碳作物,利用光能效率高。在广西年生长期9-11个月中,每亩甘蔗生物产量一般为5-15吨,属高产作物,需要吸收大量的养分,一般甘蔗每亩要吸收N 6.2-12公斤、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.7-3公斤和K<sub>2</sub>O 6.8-16.7公斤(表3)。但甘蔗营养的最终目标是满足蔗茎的生长与糖分的积累,这有别于其他以收获籽实、块茎和块根等作物。甘蔗对养分的吸收,受土壤供肥能力、甘蔗品种特性、施肥等诸多因素的影响

表2表明,甘蔗氮、磷、钾的吸收量,因养分不同的配合,而有一定的差异。一般每生产1吨原料蔗需要吸收N 1.37-2.16公斤、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.37-0.50公斤和K<sub>2</sub>O 1.98-2.48公斤。

### 2.2 以目标产量为主的甘蔗分级推荐施肥技术

广西甘蔗单产较低,在综合技术措施配合下,通过合理施肥,可大幅度地提高甘蔗产量;而同一施肥措施在不同土壤肥力条件下,其肥效反应差异很大。在统计分析大量田间试验结果的基础上,并运用一元肥料效应曲线方程求算最佳的肥料用量及配比为:

每亩产原料蔗5-6吨,一般施用N 16-18公斤/亩, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 5-6公斤/亩, K<sub>2</sub>O 15-16公斤/亩。每亩产原料蔗6-7吨,一般施用N 18-20公斤/亩, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6-7公斤/亩, K<sub>2</sub>O 16-18公斤/亩。一般N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:(0.33-0.47):(0.80-1.20)。

同时参考甘蔗土壤磷、钾含量的丰缺指标(表4,表5),作为测土配方施肥的依据。土壤磷、钾含量缺乏的地区,磷肥施用量提高30-60%、钾肥施用量提高20-40%;土壤磷、钾含量丰富地区,磷肥施用量可以降低15-30%、钾肥施用量降低30-50%。

土壤中微量营养元素经测土确认缺乏后可补充施用(2-4年施用一次),一般每亩施S 4-5公斤, MgO

表4 甘蔗土壤速效磷丰缺指标

养分分级	丰富(高)	缺乏(中)	极缺(低)
速效磷(毫克/公斤)	> 20	5-20	< 5

表3 甘蔗不同施肥处理对养分的吸收量

处理	甘蔗产量 (公斤/亩)	养分吸收量(公斤/亩)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CK	3609	6.2±3.1	1.7±1.0	7.2±3.6
PK	4900	6.7±3.1	2.1±0.8	12.1±4.6
NK	5717	9.3±4.0	2.1±1.1	13.3±5.5
NP	3436	7.4±5.4	1.7±1.0	6.8±5.0
NPK	6825	11.8±1.4	3.0±0.3	16.7±1.6

表 5 甘蔗种植区土壤速效钾含量分级

质地 土壤速效钾 (毫克/公斤)	砂土			壤土			粘土		
	低	中	高	低	中	高	低	中	高
	< 46	46 ~ 90	> 90	< 52	52 ~ 110	> 110	< 60	60 ~ 120	> 120

4—6 公斤，硼砂 3 公斤，硫酸锌 1 公斤。硫肥与镁肥品种可结合施用磷、钾肥，选用过磷酸钙、钙镁磷肥、硫酸钾、硫酸铵、硫酸钾镁肥适当补充。

### 3 甘蔗生长的养分吸收规律及施肥技术特征

#### 3.1 甘蔗各生长阶段养分吸收动态以中、前期吸收量最多，有明显的吸肥高峰期

如图 1 所示，甘蔗在各生长阶段对氮、磷、钾养分吸收量各不相同，自苗期至伸长初期，氮、磷、钾吸收率分别占总吸收量的 54.99%、57.24%、50.70%；伸长初期至伸长末期分别为 35.27%、36.72%、41.19%；伸长末期至成熟期则吸收不多，分别为 9.74%、6.04%、8.11%。

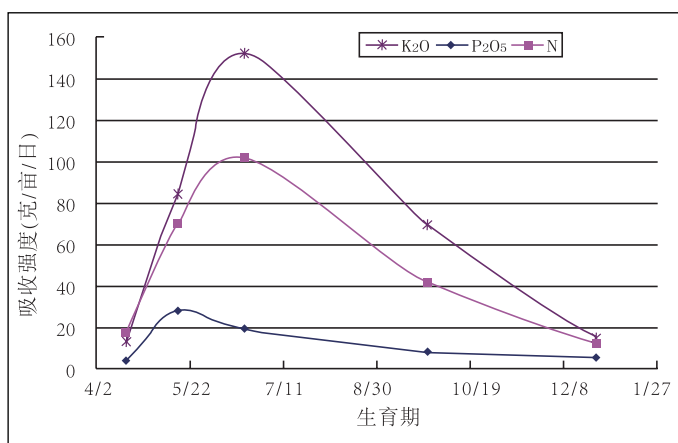


图 1 甘蔗各生育期对氮、磷、钾养分的吸收强度变化

#### 3.2 伸长期是甘蔗生长的关键时期，大部分肥料需要在伸长中期前施用

甘蔗自出苗至伸长初期，经过 4—5 个月时间，累计吸收量过半，说明生长前期要有足够的养分供应；而伸长初期至伸长末期约 2—3 个月时间，大量养分在此阶段所吸收，即为明显的吸肥高峰期，且时值高温多雨，蔗茎生长迅速，是影响蔗茎生长的关键时期。

#### 3.3 分蘖期以前是磷素营养的最大效率期，伸长期是钾素营养的最大效率期

至于氮、磷、钾元素间的吸收量比较，如在苗期至分蘖期，以吸收氮素最多，钾素次之，磷素最少；分蘖期后吸钾量超过吸氮量，直至成熟期。而不施钾的甘蔗则不同，由于土壤供钾不足，吸钾量推迟到伸长初期以后才逐渐超过吸氮量，使总吸钾量减少而影响蔗茎生长。

甘蔗对磷素的吸收量虽比钾、氮要少，但从各生长阶段看，分蘖期养分累计吸收率以磷素最高，为 26.31%，其次是氮为 16.09%，吸钾 13.68%，说明甘蔗分蘖期是需要吸收较多的磷素。

#### 3.4 甘蔗的施肥时期及分配

根据甘蔗的营养特点与吸肥规律，甘蔗施肥一般分基肥、分蘖肥与伸长肥。

3.4.1 基肥（破垄肥）：以磷肥为主，施用 100% 的磷肥，并配施各占总用量 15% 的氮、钾肥。

3.4.2 分蘖肥：当甘蔗苗长出 7—8 片叶时，施用各占总量 35% 的氮、钾肥，进行小培土，促进甘蔗苗分蘖。

3.4.3 伸长肥：当甘蔗苗茎节间开始伸长时，配合吸肥高峰期，重施余下 50% 的氮、钾肥，并结合大培土。一般在七月底至立秋前终止施肥。

### 4 甘蔗种植的施肥方式

#### 4.1 新植蔗的土地整理

广西甘蔗种植区的土壤特点主要是酸、粘、瘦、板，表现为土壤通气性差、有机质含量低，对甘蔗生长发育极为不利，是造成甘蔗产量低的主要之一。因此，改良土壤是提高广西甘蔗产量的重要措施之一。在有条件的地方，采用大马力拖拉机在新植前进行土壤的深耕深松，深耕 30—40 厘米，实行二犁二耙，用船耕耙耙碎，使耕作层

达到深、松、碎、平的土壤环境。甘蔗宜提倡“深沟浅植”。中等肥力以上的蔗地采用宽行种植(行距120—130厘米),沟深20—30厘米、沟底宽25—35厘米。

#### 4.2 宿根蔗的砍收及越冬管理

甘蔗成熟后根据糖厂的安排,在压榨前48小时进行,砍收的方法是:用锋利小锄低砍,入土2—5厘米最好,能促进低位芽萌发,宿根蔗苗粗苗壮,产量高。在砍收的时候,避免砍裂蔗头,损坏蔗芽。甘蔗收获后,运用机械粉碎蔗地内的秸秆,通过土地翻耕犁耙将粉碎的秸秆翻压在地下蔗芽附近,即可疏松土壤,改善土壤的理化性状,还能有效提高宿根芽的成活率。

#### 4.3 新植蔗的基肥

新植蔗的基肥一般选在天气晴朗、土壤温度较低的种植前一天施下较好。化肥应均匀施放在种植沟内,然后将肥料与土壤拌匀后再下种,尽量避免蔗种与肥料直接接触,以防止烧伤种苗。



#### 参考文献

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [2] 张肇元, 周清湘, 谭宏伟, 等. 广西土壤钾素状况与平衡施肥研究[U]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [3] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 等. 广西的主要作物对养分的吸收及土壤养分分级[J]. 中国农业杂志, 2010, 10:64—66.
- [4] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 等. 广西甘蔗种植区土壤钾素肥力分级研究[J]. 广西科学, 2003, 4:321—324.
- [5] Hongwei Tan, Liuqiang Zhou, Rulin Xie, et al. Better Sugarcane Production Acidic Red Soils (Southwest China)

#### 4.4 宿根蔗的破垄肥

宿根蔗一般一月下旬以后进行清园,2月后才砍的宿根蔗地,可以砍后马上清园,将秋冬笋全部砍完,移出蔗地。雨后及时给甘蔗破垄,将破垄肥沿蔗蔸两侧5—10厘米条施,然后沿施肥带用犁把肥料犁翻压入底部,犁翻深度大于20厘米,同时可把甘蔗兜四周的泥土松开,让蔗头充分裸露出表土,可有效提高宿根蔗的发芽率,保证甘蔗有足够的苗数。

#### 4.5 分蘖肥的施用

当甘蔗苗长出7—8片叶,田间平均每米有苗8—10株时,沿甘蔗苗其中一侧10—15厘米,条施分蘖肥,然后用犁沿施肥带犁翻土盖肥,并给甘蔗小苗培土。

#### 4.6 伸长肥的施用

当甘蔗苗已抽出15—18片,甘蔗茎节间开始伸长、变粗,沿甘蔗苗另外一侧15—25厘米条施分蘖肥,然后沿施肥带外侧犁翻土盖肥,犁翻深度>20厘米,同时给甘蔗大培土。

### 5 结论

甘蔗是广西重要的经济作物,种植区域广,地形地貌复杂,面广点多,以缓坡丘陵为主。而化肥施用是甘蔗持续发展的重要的物质保障,但不合理的施肥管理模式,造成区域性施肥效果差异很大,导致肥料利用率普遍偏低,环境恶化。如何根据区域性的生态环境及土壤条件适宜施肥,提高肥料利用率亟待解决。因而加强甘蔗合理施肥技术的研究,建立以养分平衡原理为依据、土壤养分测定为基础,选择对环境友好的肥料品种,采用正确的施用方式,是减轻农业面源污染的重要技术手段。

- [J]. Better Crops with Plant Food, 2005, 89(3):24—26.
- [6] Hongwei Tan, Liuqiang Zhou, Rulin Xie, et al. Effect of Fertilizer application and the main nutrient limiting factors for yield and quality of sugarcane production in Guangxi red soil [J]. Tropics, 2005, 14(4):383—392.
- [7] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 等. 酸性红壤地区甘蔗高产的施肥技术研究[J]. 农业种植天地, 2006, 1:34—36.
- [8] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 等. 甘蔗的施肥管理[U]. 北京: 中国农业出版社, 2009.



# 香蕉最佳养分管理

姚丽贤<sup>1</sup> 涂仕华<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510640; 2. 国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 610066)

香蕉是华南地区重要的热带亚热带水果之一, 在广东、广西、海南、福建和云南省具有规模种植。2012年我国香蕉种植面积为39.5万公顷, 其中广东省种植了12.5万公顷<sup>[1]</sup>, 约占全国种植面积的三分之一。广东省有史以来都是我国最大的香蕉产区, 主要分布在珠三角及粤西茂名地区。香蕉植株高大, 每年每亩生物量可高达上万公斤。因此, 香蕉需肥量大, 施肥量通常数倍于其他大田作物。在香蕉生产上, 施肥不足及过量施肥现象都同时存在。对蕉农施肥调查显示, 氮磷钾肥施用量差别约近10倍<sup>[2]</sup>。在珠三角产区, 每公顷香蕉可获得60吨的产量<sup>[3]</sup>, 但实际上华南香蕉平均产量长期低于每公顷30吨, 不足高产种植的一半。因此, 实施合理的养分管理对香蕉产量和品质的提升还有很大空间。香蕉施肥不当显著抑制香蕉的产量潜力和降低肥料利用率。在过去多年来对香蕉开展的大量试验、示范和测土配方施肥的基础上, 总结香蕉最佳养分管理技术、包括在恰当的时间、选用合适的肥源以合理的用量施在合适的位置, 对提高香蕉产量, 种植效益和肥料利用率, 减少不合理施肥对环境带来的不利影响等都具有重要实用意义。

## 1 合适的肥源

香蕉对肥料有广泛的适应性。常用肥料包括尿素、碳酸氢铵、过磷酸钙、磷酸一铵、磷酸二铵、氯化钾、硫酸钾、硝酸钙、硫酸镁等, 均可用于香蕉生产。作为一种需钾量大的作物, 过去曾有人认为, 施用硫酸钾的香蕉果实品质优于氯化钾。但田间试验结果表明, 施用氯化钾和硫酸钾

的香蕉果实大小、品质并没有明显差别(表1)。在广东省珠三角地区全年施用氯化钾可获得高达62.4吨/公顷的产量。当然, 这可能与华南地区丰沛的降雨量对氯离子的淋洗作用以及土壤含硫量丰富有关<sup>[2]</sup>。在土壤硫素不足或缺乏的地区, 考虑施用硫肥或硫酸钾是必要的。

## 2 合适用量

要获得60吨/公顷的高产, 每生产1吨香蕉果实需要吸收养分的数量(公斤)为: N 4.59, P 0.41, K 15.0, Ca 2.52 和 Mg 1.22, N:P:K:Ca:Mg 养分比例为 1:0.09:3.27:0.55:0.27<sup>[3]</sup>。然而, 香蕉养分需求比例与施肥比例存在较大差别。田间试验结果表明, 香蕉钾氮肥适宜施用比例在广东省珠三角地区为 1.12-1.2<sup>[4-5]</sup> 及在粤西茂名地区为 1.25-1.26<sup>[6]</sup>。在珠三角产区, 氮钾肥的平均农学效率(公斤香蕉/公斤养分)分别为 12.2 和 6.8, 在粤西产区氮磷钾肥的农学效率分别为 18.9、55.3 和 7.8(表2)。在粤西产区部分试验点的香蕉氮磷钾肥的农学效率非常高, 这是由于在这些试验点的香蕉在不施肥情况下营养生长基本正常, 但生殖生长所需养分不足而果穗很小。因此, 为获得相近果实产量, 与珠三角产区相比, 粤西产区香蕉需要施用更多的肥料及相对更多的钾肥。

表2 不同产区香蕉氮磷钾肥农学效率(公斤香蕉/公斤养分)

	珠三角 (n=2)		粤西 (n=11)		
	N	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
范围	9.0-15.4	6.7-6.8	5.3-50.8	0-135.6	0.8-15.8
平均	12.2	6.8	18.9	55.3	7.8

表1 广西甘蔗种植区的土壤养分状况

处理	果长	果围	梳重	固形物	Vc	可溶糖	产量	增产	产值	肥料成本	种植利润
	(厘米)	(厘米)	(公斤)	(%)	(毫克/100克)	(%)	(公斤/亩)	(%)	(元/亩)	(元/亩)	(元/亩)
K1(KCl)	26.4	13.2	3.36	22.5	6.54	17.6	3136 a	--	4991	507	4484
K2(KCl)	26.9	12.6	3.18	22.0	7.90	16.9	3142 a	0.18	5000	543	4457
K1(1/4K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +3/4KCl)	27.3	13.3	3.00	23.0	6.73	17.7	3140 a	0.12	4996	521	4476
K2(1/4K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +3/4KCl)	26.0	12.8	3.14	23.0	6.54	18.3	3130 a	-0.20	4980	560	4421

K1、K2 水平分别为 71.5 和 84.5 公斤 K<sub>2</sub>O/亩。N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 用量分别为 65 和 16.3 公斤/亩。肥料价格分别为 N 3.89 元/公斤, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4.04 元/公斤, K<sub>2</sub>O (KCl) 2.77 元/公斤, K<sub>2</sub>O (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 3.60 元/公斤, 香蕉收购价为 1.60 元/公斤。

钾和氮是香蕉需求量最大的两种养分，通常是香蕉产量最大的限制因子。在过去多年的研究基础上，我们提出了基于土壤碱解氮及有效钾分级的广东香蕉推荐施肥指标（表3和表4）。

土壤碱解氮 (毫克/公斤)	纯氮用量 (公斤/亩)	土壤有效钾 (K <sub>2</sub> O) (毫克/公斤)	K <sub>2</sub> O 用量 (公斤/亩)
>180	1.7-2.0	>300	2.3-2.7
150-180	2.0-2.3	200-299	2.7-3.0
120-149	2.3-2.5	150-199	3.0-3.3
90-119	2.5-2.8	100-149	3.3-3.7
60-89	2.8-3.1	50-99	3.7-4.0
<60	3.1-3.3	<50	4.0-4.3

\* 土壤有效钾 (K<sub>2</sub>O) 用 1M 醋酸铵浸提。

土壤碱解氮 (毫克/公斤)	纯氮用量 (公斤/亩)	土壤有效钾 (K <sub>2</sub> O) (毫克/公斤)	K <sub>2</sub> O 用量 (公斤/亩)
>180	>12	>300	2.7-3.3
150-180	10-12	200-299	3.3-3.8
120-149	8-10	150-199	3.8-4.1
90-119	6-8	100-149	4.1-4.5
60-89	4-6	50-99	4.5-4.8
<60	<4	<50	4.8-5.0

磷肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 的用量可根据纯氮推荐用量来计算。如珠三角磷肥用量为折纯氮肥用量的 0.28-0.3 倍，粤西产区为 0.24-0.28 倍。这是因为粤西产区蕉园土壤的有效磷含量整体上高于珠三角产区。

另外，由于香蕉园的施钾量大通常会抑制香蕉对镁的吸收，因此在土壤有效镁含量低或缺乏的地区，应重视镁肥的施用。粤西地区蕉园土壤缺镁较普遍，当施钾量从 66 公斤/亩增加到 78 公斤/亩时，施镁量也应作相应调整，即从 2.4 公斤/亩增加到 4.8 公斤/亩<sup>[7]</sup>。施镁量为 2.5 公斤 Mg/亩时，不但能提高果实产量，而且提高了果实的耐贮性<sup>[8]</sup>。然而，在珠三角产区，由于土壤含镁丰富，目前香蕉生产上还不需要施用镁肥<sup>[3]</sup>。

### 3 恰当的施肥时间

香蕉叶片营养状况在不同生育期变化较大(图1)<sup>[3]</sup>。叶片氮含量在营养生长期保持稳定，但从花芽分化期开始直至收获期均明显下降。叶片钾含量在营养生长期就逐渐提高，在花芽分化期开始明显提高，在抽蕾期达到最高后逐渐降低至收获期。从营养生长期至抽蕾期，叶片氮钾含量呈现出大致相反的变化规律，意味着孕蕾期(花芽分化

开始至抽蕾这段时间)是施肥的关键时期，而且，施肥应从营养生长期的以氮为主转变为以钾为主，在抽蕾前应及时补充足量的钾肥，在蕉指膨大期也需保持充足的钾素供应。在生产中，不少蕉农往往在抽蕾后才大量施钾。施钾太迟就难以充分发挥钾肥增产效果，降低了肥料利用率。同时，叶片钙和镁含量与钾含量均呈现大致相反的变化趋势。钾与钙、镁之间的这种拮抗关系说明了在整个香蕉生育期施钾的同时都需要补充钙镁营养。由于施用过磷酸钙及石灰一定程度上补充了钙素，在缺镁蕉园上补充镁肥就显得更为重要。叶片磷和硫含量在整个生育期均较低且稳定，全期保持适量供应即可。

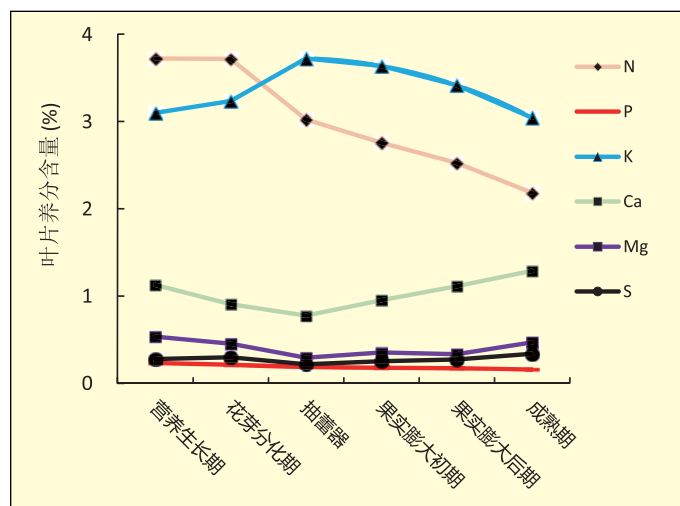


图1 香蕉不同生育期叶片养分含量变化

香蕉在不同生育期对氮磷钾养分的累积量也存在较大差别。在营养生长期，香蕉植株累积的 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 占全生育期 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 累积量的 19.3%、17.8% 和 16.5%。孕蕾期对养分、尤其是对钾的累积量最大，三种养分累积量分别占总累积量的 40.5%、45% 和 52.6%，抽蕾后的累积量分别占 40.2%、37.2% 和 41.4% (图2)。基于香蕉的养分需求特性及广东省的气候特点，推荐氮磷钾镁肥在香蕉不同生育期的分配比例见表5。

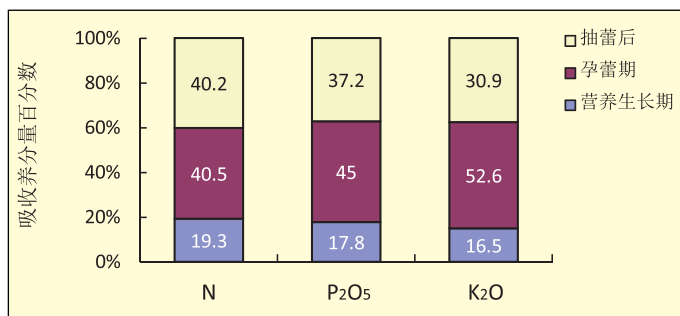


图2 香蕉不同生育期氮磷钾养分累积情况

生育期	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
营养生长期	25	100	20	0
孕蕾期	45	0	50	50
抽蕾后	30	0	30	50

生育期	最大根长	平均根长	单株根数
	(厘米)		
营养生长期	--	--	76
花芽分化期	236.0	46.0	230
抽蕾期	108.0	34.8	239
果实膨大期	192.6	36.4	321

## 4 适当的施肥位置

植物吸收养分的能力通常与其根系密切相关。香蕉具有发达的须根系(图3)。在香蕉花芽分化期,香蕉根系生长最为旺盛,最大根长可达23厘米,平均根长为46厘米(表6)。在抽蕾期及抽蕾后,虽然每株香蕉最大根长及平均根长有所下降,但根数量仍有一定程度增加,而且根系颜色洁白。说明香蕉从花芽分化期至成熟期,其根系仍然具有很强的吸收养分的潜力。根据香蕉根系生长分布,因此肥料宜沟施或穴施在距离球茎35-50厘米的环形区域内。由于广东香蕉生长旺盛的孕蕾期恰逢高温多雨

季节,香蕉根系往往会上浮露出土表,此时可撒施肥料或施肥后培土,避免伤害根系感染枯萎病。

## 5 小结

实施香蕉养分最佳管理技术可以进一步提升香蕉的增产潜力,明显缩小实际产量与产量潜力之间的差距,提高肥料利用率,降低施肥成本和减少施肥对环境的不利影响,提高种植效益及延长果实耐贮性,增强我国华南地区香蕉的市场竞争力。



图3 不同生育期香蕉根系的长势

## 参考文献

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [2] 姚丽贤, 周秀冲, 李国良, 等. 香蕉园土壤养分肥料时空变化研究 [J]. 土壤通报, 2006, 37(2):226-230.
- [3] 姚丽贤, 周修冲, 彭志平, 等. 巴西蕉的营养特性及钾镁肥配施技术研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1):116-121.
- [4] 姚丽贤, 周秀冲, 蔡永发, 等. 高产香蕉平衡施肥技术研究 [J]. 土壤肥料, 2004, 2:26-29.
- [5] 杨苞梅, 谢晓丽, 李国良, 等. 氮、钾营养对香蕉生长的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3):724-728.
- [6] 杨苞梅, 黄汉森, 黄强, 等. 钾氮营养对香蕉抽蕾和产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2011, 6:39-42.
- [7] 李国良, 姚丽贤, 付长营, 等. 香蕉钾镁肥配施效应研究 [J]. 广东农业科学, 2007, 1:45-47.
- [8] 杨苞梅, 李进权, 姚丽贤, 等. 钾钙镁营养对香蕉产量、品质及贮藏性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2):290-294.

# 重庆莴笋作物 4R 养分管理技术

陈益<sup>1</sup> 杨东<sup>1</sup> 王正银<sup>1</sup> 涂仕华<sup>2</sup>

(1. 西南大学资源环境学院, 四川重庆 400716; 2. 国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 610066)

## 引言

莴笋是一种常见的绿叶蔬菜, 其质地脆嫩, 风味独特, 深受人们喜爱。菜农为了获得莴笋高产、增加经济效益, 生产中过量施用氮肥的情况十分普遍, 而磷肥、钾肥、有机肥等用量往往不足, 造成蔬菜养分供应不平衡和土壤养分失衡<sup>[1]</sup>。例如, 在 pH 小于 5 的强酸性土壤上经常出现中、微量元素钙、镁、锌、硼、铁、钼等明显不足, 成为莴笋等作物生长的主要限制因子<sup>[2]</sup>。因此, 要实现莴笋优质高产, 就必须根据莴笋的需肥特性、土壤条件和肥料种类等进行养分的合理管理。本文在总结过去多年研究的基础上, 提出了重庆地区莴笋生产的 4R 养分管理技术。

## 正确的肥料品种

莴笋吸肥能力较强, 其生长发育需要充足的养分。莴笋不仅需要氮磷钾三种大量元素, 而且还需要钙、镁、硫、铁、铜、锌、硼和钼等中微量元素。根据土壤养分状况、灌溉方法和作物生长阶段等, 为莴笋选择适当的化学肥料品种和适宜的有机肥料非常重要。

在莴笋栽培中, 适宜的化学氮肥有尿素、硫酸铵、硝酸铵等, 其中尿素含氮高, 负作用小, 适合在多种土壤上施用。莴笋施用磷肥时, 在酸性和碱性土壤上一般均适宜选择磷酸二氢铵, 在酸性较强的土壤上施用钙镁磷肥效果较好, 在碱性土壤上则以施用过磷酸钙效果为佳。莴笋生

表 1 不同种类钾肥处理莴笋养分含量和吸收量

钾肥种类	试验年份	处理	钾含量 (%)	钾吸收量 (公斤/亩)	氮含量 (%)	氮吸收量 (公斤/亩)	磷含量 (%)	磷吸收量 (公斤/亩)
KCl	2008	KCl1	3.29	4.95	2.50	3.76	0.63	0.95
		KCl2	3.49	7.73	2.60	5.77	0.60	1.33
		KCl3	5.09	7.40	2.91	4.25	0.64	0.93
	2009	KCl1	3.34	6.55	2.63	5.15	0.66	1.29
		KCl2	3.49	7.53	2.75	5.95	0.62	1.35
		KCl3	5.23	11.60	2.96	6.57	0.67	1.49
		平均值	3.99	7.60	2.73	5.25	0.64	1.23
		标准差	0.83	30.10	0.17	14.70	0.03	3.15
		变异系数 (%)	20.90	26.30	6.09	18.60	3.96	17.20
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2008	KS1	3.26	4.87	2.74	4.09	0.72	1.08
		KS2	4.06	6.36	2.59	4.06	0.70	1.09
		KS3	5.11	7.33	3.11	4.47	0.71	1.01
	2009	KS1	3.37	7.00	2.73	5.65	0.70	1.45
		KS2	3.86	8.67	2.86	6.43	0.71	1.59
		KS3	5.10	11.53	3.14	7.07	0.73	1.65
		平均值	4.13	7.60	2.86	5.29	0.71	1.31
		标准差	0.74	31.30	0.20	17.60	0.01	3.89
		变异系数 (%)	18.00	27.30	7.06	22.10	1.73	19.70

注: 表中 KCl 后的 1, 2 和 3 代表 KCl 的用量, KS 后的 1, 2 和 3 代表 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的用量。

产中适宜的钾肥有氯化钾、硫酸钾和硝酸钾，其中氯化钾施用最广泛；在缺硫的土壤上种植莴笋，选择硫酸钾效果更佳。在重庆地区开展的田间试验表明，施用氯化钾和硫酸钾的莴笋产量差异不大，莴笋的养分含量和吸收量平均值差异也不明显（表1）。由于硫酸钾成本较氯化钾高，因此选择氯化钾在经济上更合算<sup>[3]</sup>。在缺硼、锌和镁等微量元素的土壤上，应适当补充硼肥、锌肥和镁肥。

狄彩霞等<sup>[4]</sup>研究了不同肥料组合对莴笋的营养效应，发现在氮磷钾处理的基础上配施镁肥和镁、锌、硼肥均能提高莴笋产量。此外，有机肥料既能提供一系列必需营养元素，又可以改善土壤理化性质。朱小梅等<sup>[5]</sup>发现不同施肥处理对莴笋产量、品质和经济效益有显著影响，增施菜籽粕、泥炭能显著提高莴笋产量。因此，在施用氮、磷和钾肥的基础上，增施微量元素和配合施用菜籽粕、泥炭等有机肥料，是有效提高莴笋产量、改善营养品质、发展无公害莴笋生产的一项重要农业技术措施<sup>[6]</sup>。

## 正确的肥料用量

莴笋对养分的数量需求是合理施肥的重要依据之一。在适宜的施肥量范围内，莴笋的产量水平与养分吸收量呈正相关；同时，养分需求量也受莴笋品种、土壤肥力、种植技术水平的影响。不同产量水平下莴笋植株体内的氮磷钾含量不同，其吸收总量也不同。据唐静<sup>[3]</sup>对重庆地区部分田间试验统计结果，莴笋对氮磷钾养分的吸收量随着产量水平的升高而增加。低产区（< 2000 公斤/亩）莴

笋对氮磷钾养分的吸收量分别为 0.94—3.49、0.18—0.81 和 0.94—6.0 公斤/亩，平均为 2.0、0.42 和 3.1 公斤/亩；每生产 1000 公斤莴笋需要吸收 1.60 公斤氮、0.33 公斤磷和 2.42 公斤钾。中产区（2000—3300 公斤/亩）莴笋对氮磷钾养分的吸收量分别为 2.34—5.93、0.39—1.39 和 2.29—11.6 公斤/亩，平均为 4.0、0.83 和 6.23 公斤/亩；每生产 1000 公斤莴笋需要吸收 1.85 公斤氮、0.38 公斤磷和 2.89 公斤钾。高产区（> 3300 公斤/亩）莴笋对氮磷钾养分的吸收量分别为 3.76—7.07、0.93—1.65 和 4.53—12.13 公斤/亩，平均为 5.31、1.25 和 8.0 公斤/亩；每生产 1000 公斤莴笋需要吸收 1.70 公斤氮、0.40 公斤磷和 2.55 公斤钾。一般来讲，同一产量水平下莴笋对三要素养分吸收量均表现为：钾>氮>磷。显示出莴笋养分需要量一般以钾为最大、氮次之、磷最小之特点，事实上这也是大多数蔬菜作物对三要素养分的需求特点。

张晓玲等<sup>[7]</sup>的研究结果表明，莴笋从高产到低产氮、磷、钾养分吸收量均差异明显，氮的平均吸收量范围为 1.19—5.46 公斤/亩，磷的平均吸收量范围为 0.14—0.75 公斤/亩，钾的平均吸收量范围为 1.43—8.60 公斤/亩。各产量水平的养分平均吸收比例范围为：（1.00 : 0.12 : 1.20）—（1.00 : 0.14 : 1.58）。受产量差异影响，从低产到中产莴笋氮、磷、钾的平均吸收量增加显著，中产各养分吸收量约为低产的 3 倍，但中产到高产的增加量均有所下降。

表 3 是按照农业部《测土配方施肥技术规范》对土壤养分的分级标准，将重庆地区缺素区莴笋的相对产量按 < 60%、60%—75%、75%—90%、90%—95%、> 95%

表 2 不同产量水平莴笋养分吸收特征

项目	养分	最大值	最小值	平均值	千公斤吸收量 (公斤)	标准差	变异系数 (%)
		(公斤/亩)					
低产区	N	3.61	0.94	2.02	1.60	9.96	32.8
	P	0.81	0.18	0.42	0.33	1.95	30.7
	K	6.01	0.94	3.06	2.42	17.1	37.2
中产区	N	5.93	2.34	4.00	1.85	12.8	21.4
	P	1.39	0.39	0.83	0.38	3.89	31.3
	K	11.60	2.29	6.23	2.89	40.4	43.2
高产区	N	7.07	3.76	5.31	1.70	14.6	18.4
	P	1.65	0.93	1.25	0.40	3.18	17.0
	K	12.13	4.53	8.00	2.55	34.7	29.0

表 3 根据缺素区相对产量划分土壤养分等级

土壤等级	低	较低	中	较高	高
相对产量 (%)	<60	60—75	75—90	90—95	≥ 95
碱解氮 (毫克/公斤)	<50	50—75	75—120	120—140	≥ 140
有效磷 (毫克/公斤)	<5	5—15	15—50	50—75	≥ 75
速效钾 (毫克/公斤)	<30	30—60	60—115	115—145	≥ 145

表 4 莴笋土壤有效养分和推荐施肥量

土壤等级	相对产量 (%)	碱解氮 (毫克/公斤)	推荐施氮量 (公斤/亩)	有效磷 (毫克/公斤)	推荐施磷量 (公斤/亩)	速效钾 (毫克/公斤)	推荐施钾量 (公斤/亩)
低	<60	<50	>32.0	<5	>13.3	<35	>27.9
较低	60-75	50-75	24.5-32.0	5-15	9.8-13.3	35-60	21.1-27.9
中	75-90	75-120	17.3-24.5	15-50	5.9-9.8	60-115	14.3-21.1
较高	90-95	120-140	15.0-17.3	50-75	4.7-5.9	115-145	12.1-14.3
高	≥95	≥140	≤15.0	≥75	≤4.7	≥145	≤21.1

划分为5级,相应的土壤养分丰缺指标为低、较低、中、较高、高<sup>[7]</sup>。根据这个分级标准,可以初步确定出重庆地区不同养分含量的莴笋土壤施用氮、磷、钾肥的适宜用量。

根据土壤有效养分和最佳施肥量对数模型、莴笋基础土壤养分分级临界值计算不同等级土壤推荐施肥量(表

4)<sup>[7]</sup>。在莴笋生产中,重庆地区莴笋的氮肥(N)、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾肥(K<sub>2</sub>O)施用范围分别为15-25、6-9和12-15公斤/亩;对于未经养分测试的土壤,种植莴笋建议一般氮肥(N)、磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾肥(K<sub>2</sub>O)用量分别为20、8和15公斤/亩。

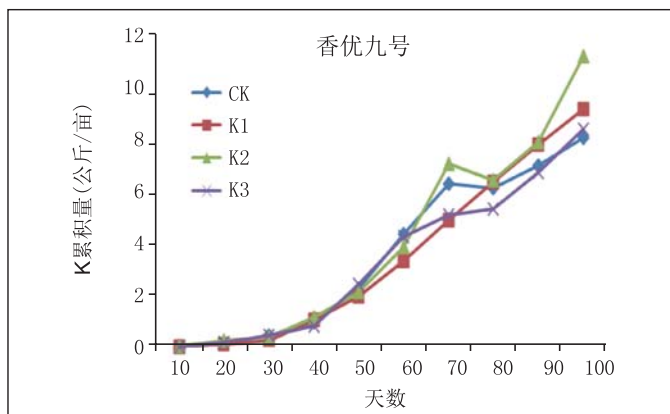
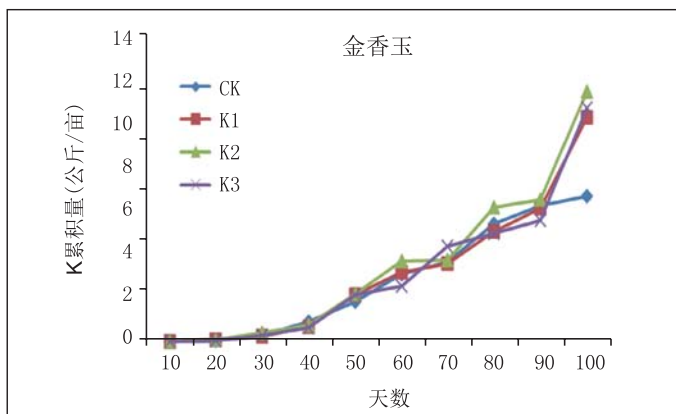
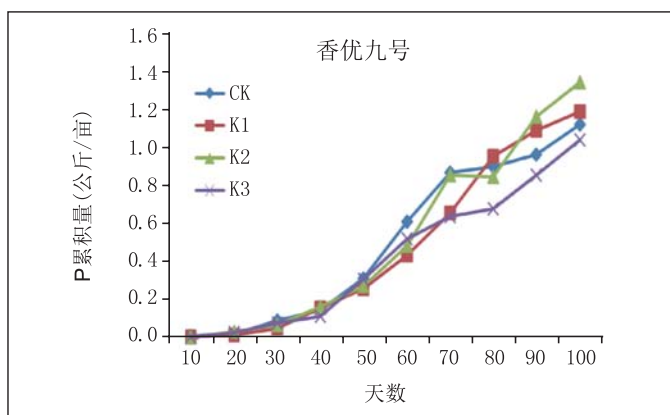
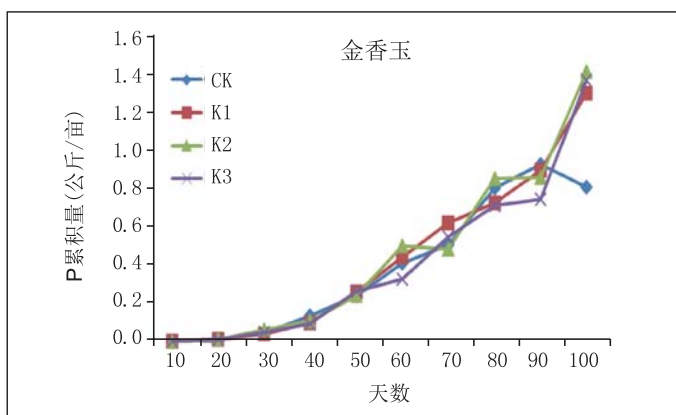
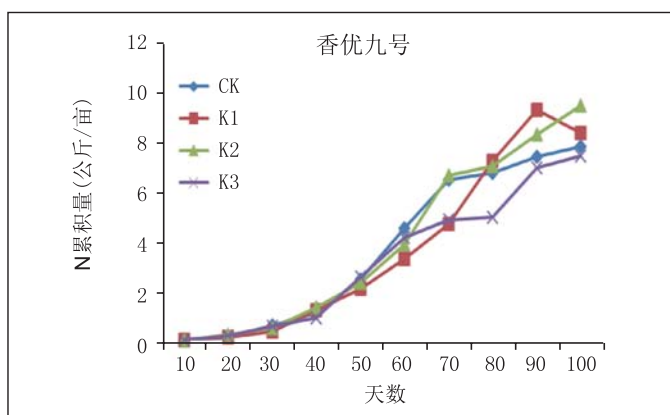
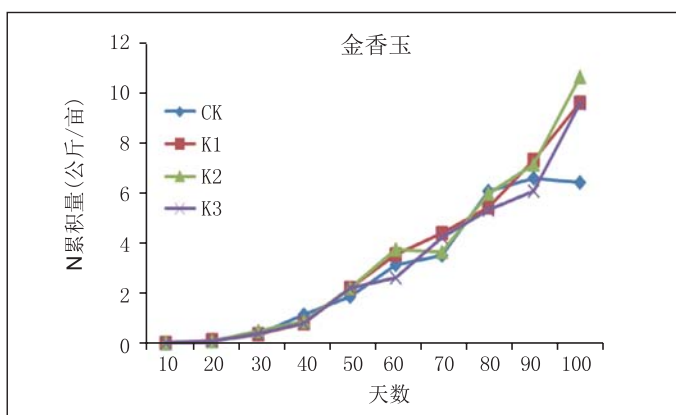


图 1 不同品种莴笋氮磷钾累计吸收量曲线

## 正确的肥料施用时间

不同品种和生育期莴笋的氮磷钾吸收量不同。金珂旭等<sup>[8]</sup>研究两个品种不同生育期莴笋氮磷钾累积吸收量(图1)可知,莴笋生长初期生长量较少,根系较浅,养分吸收能力较差,吸肥数量也少;随着生长量的逐渐增加,莴笋对氮、磷、钾的吸收量也逐渐增大;不同生育期莴笋氮、磷、钾累积吸收量均以香优九号高于金香玉。可见,充足的养分供应在莴笋不同生育期都至关重要。在莴笋栽培中,当土壤氮含量低于75-80毫克/公斤时,氮肥可作基肥;而为了提高氮肥利用效率,当土壤有效氮含量高于80毫克/公斤时,氮肥则作追肥施用,一般分3次追肥,莲座期追施30%,开盘期追施40%,旺长期追施30%。重庆夏季温度较高,莴笋整个生育期较短,一般分2次追肥;而秋季到冬季莴笋生育期较长,一般分3-4次追肥,施肥比例可做适当调整。莴笋最后一次追氮肥需在收获期15-20天之前进行,避免收获期硝酸盐累积。磷肥一般作基肥一次性施用,当土壤为酸性土( $\text{pH} < 5$ )或碱性土( $\text{pH} > 7.5$ )时,磷肥作早期追肥,基肥施入50%,然后在返青期追施50%。磷肥作追肥时一般宜采用磷酸一铵或重过磷酸钙,加水溶解后与同期追施的氮肥一起施入土壤中。莴笋生产中氯化钾和硫酸钾一般作基肥,若在春夏季雨水较多时,可考虑钾肥作莴笋生长早期(如返青期、莲座期等)的追肥,或基、追施相结合施用。唐静等<sup>[9]</sup>研究了不同时期追施氯化钾对莴笋产量和品质的影响,发现基施氯化钾有利于提高莴笋全氮、磷、钾含量,而不同时期追施氯化钾可降低莴笋硝酸盐含量。

## 参考文献

- [1] 李会合,王正银.不同施肥对酸性菜园土壤莴笋产量和叶片氮代谢的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2008,30(11):98-103.
- [2] Ye Xuejian, Wang Zhengyin, Tu Shihua, et al. Nutrient limiting factors in acidic vegetable soils [J]. Pedosphere, 2006, 16(5):624-633
- [3] 唐静.莴笋和大白菜钾肥效应研究[D].西南大学硕士学位论文,2013.
- [4] 狄彩霞,李会合,王正银,等.不同肥料组合对莴笋产量和品质的影响[J].土壤学报,2005,42(4):652-659.
- [5] 朱小梅,刘芳,吴家旺,等.不同施肥处理对莴笋营养效应

## 正确的肥料施用方法

肥料施用方法对养分有效利用莴笋高产优质生产十分关键。常用氮肥作基肥时一般与有机肥配合施用效果最好,将氮肥与有机肥料混匀后翻耕(或旋耕)入土,施用在耕作层。磷肥作基肥通常集中穴(窝)施,主要方法是在莴笋根际土壤周围施用。钾肥作基肥经常是在犁地和栽种前撒施,也可集中穴(窝)施。水溶性氮、磷和钾肥作追肥时用灌溉水或清粪水等溶解后进行穴施,以保证肥料分布在莴笋植株根层,有利于吸收,且肥效更佳。莴笋生产中,化学氮肥多次作追肥用水溶解后施用,可以大大提高肥料利用效率、减少氮素肥料用量。大多数情况下钾肥宜深施入水分状况较好的湿土层中,既有利于钾的扩散和减少土壤对钾的固定,又有利于莴笋的吸收。固定能力强和有效钾水平低的菜园土壤上,钾肥宜在根系附近条施或穴施。砂性菜园土壤施用钾肥,宜分次作追肥施用,以减少钾的损失、提高莴笋作物的有效吸收。莴笋生产上叶面喷施硝酸钾是一种简便可行的施肥方法,在莴笋营养生长重要阶段(开盘期、旺长期)喷施,可对莴笋同时提供钾素和氮素,作为从土壤中吸收养分的补充,有利于节肥增产。

## 结论

通过大量试验研究,重庆地区莴笋对三要素养分的需求已经基本确定。生产中采用4R养分管理技术可以更好地满足莴笋作物对养分的需求,达到莴笋高产、优质和可持续发展的栽培目标。

- 的研究[J].水土保持学报,2008,22(6):94-98.
- [6] 朱小梅,吴家旺,刘芳,等.优质有机肥对莴笋产量和品质的效应研究.农业持续发展中的植物养分管理[U].南昌:江西人民出版社,2008,629-635
- [7] 张晓玲.重庆莴苣土壤氮磷钾丰缺指标体系研究[D].西南大学硕士学位论文,2013.
- [8] 金珂旭.不同供钾水平莴笋钾氮磷吸收特性和钾素诊断研究[D].西南大学硕士学位论文,2014.
- [9] 唐静,颜家均,张晓玲,等.不同时期追施氯化钾对莴笋产量和品质的影响[J].中国农学通报,2014,30(10):227-232.

## 示例 1 正确的肥料品种提高水浇地马铃薯产量和氮肥利用率

马铃薯是内蒙古主要经济作物之一，近年来面积和产量不断增加，尤其是水浇地马铃薯增长迅速，因此氮肥用量也增加，以期获得高产。然而，过高的氮肥用量导致成本增加和氮肥利用率下降。因此，选择合适的氮肥品种，实现氮素供应与作物需求同步，减少氮肥用量、提高氮肥利用率，是当前马铃薯栽培中急需解决的主要营养问题。控释氮肥可以调节氮素释放速率，通过与作物需求协调，从而提高氮素利用率，同时降低施用量和减少施肥次数，节约劳动力成本。可以通过控制土壤水分的含量来调节控释氮肥氮素释放，适合水浇地马铃薯施用。2009–2011 在内蒙古水浇地马铃薯上的试验表明，在相同施氮量下，控释尿素比普通尿素可获得较高的块茎产量和氮素利用率，75% 推荐施氮量下的控释尿素与 100% 推荐施氮量下的普通尿素相比，块茎产量相当，但氮肥利用率提高，说明控释尿素可以降低氮肥用量，减少氮素损失（表 1）。

处 理	块茎产量 (公斤 / 亩)	AEN( 千克 / 千克 ) <sup>†</sup>	REN( % ) <sup>‡</sup>
不施氮	2013 d	--	--
推荐施氮量 CRU	2573 a	33.3 ab	45.3 ab
推荐施氮量 RU	2427 b	24.5 bc	32.1 c
75% 推荐施氮量 CRU	2467 ab	35.6 a	52.3 a
75% 推荐施氮量 RU	2307 c	22.4 c	40.6 bc

<sup>†</sup>AEN = 氮肥的农学效率, 施用每千克氮增加的块茎产量; <sup>‡</sup>REN = 氮素回收率, 施氮处理地上部吸氮量增量占施氮量的 %。  
所有处理 N、P、K 肥全部种植前基施。同一列中数字后相同字母表示差异没有达到 5% 的显著水平。

资料来源: Li, S. and J. Jin. Better Crops with Plant Food, 2012, 96 (1):20–23.



## 示例 2 钾肥品种和用量对甘蓝产量的影响

生产上常用的钾肥品种有氯化钾和硫酸钾。在粮、油作物上，人们早已习惯使用氯化钾；但在蔬菜上，究竟用哪一品种更为合适，是长期以来人们关心和争论的问题。过去的研究表明，在不缺硫的土壤上，两种钾肥肥效相当；但在缺硫土壤、喜硫作物或对高氯敏感的作物上，硫酸钾的效果则优于氯化钾。

表 1 的数据是氯化钾和硫酸钾在甘蓝上的肥效试验结果。两种钾肥对甘蓝产量的影响趋势一致，即随着钾肥用量增加而增加，当  $K_2O$  用量高于 15 公斤 / 亩时，甘蓝产量降低。由于甘蓝属于喜硫作物，在相同施钾水平下，硫酸钾对甘蓝的增产效果略优于氯化钾。该研究结果表明，在土壤硫素供应不足的情况下，甘蓝等喜硫蔬菜选用含硫肥料的效果优于不含硫的肥料。因此，甘蓝到底是施用硫酸钾还是氯化钾更好，取决于土壤的硫素状况和前作施用的钾肥品种。

钾肥品种	用量 (公斤 / 亩)	产量 (公斤 / 亩)	增产率 (%)
KCl	0	3045 d	--
	5	3610 c	6.03
	15	3993 a	17.3
	30	3770 bc	10.7
$K_2SO_4$	5	3637 c	6.81
	15	4038 a	18.6
	30	3913 b	14.9

资料来源：金珂旭，王正银，王菲，等．钾肥品种和用量对甘蓝产量、重金属和硝酸盐含量的影响 [J]．  
高效施肥，2013，31:33-35.

### 示例 3 广东最佳氮钾平衡用量对香蕉产量和品质的影响

与大多数其他作物不同，香蕉需要比氮更多的钾才能获得高产和优质。除施肥量外，钾氮比对香蕉的生长和产量也有显著影响。正确的钾氮比对香蕉生产非常重要。

实验设计：田间试验安排在广东省高州市宝光镇丁堂村蕉园，以探讨不同钾氮比对香蕉长势、产量和品质的影响。试验设置了 4 个氮水平（0, 15.2, 37.0 和 55.5 公斤 N / 亩），和 4 个钾水平（0, 20.4, 40.7 和 61.1 公斤 K<sub>2</sub>O / 亩）。各处理磷肥用量相同，为 11 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 亩。施用的肥料种类：氮为尿素，磷为过磷酸钙，钾为氯化钾。肥料分 7 次施用，包括 1 次基肥，营养生长期 3 次追肥，生殖生长期 3 次追肥。香蕉从试管苗定植至花芽分化前，氮肥施用量占总氮肥施用量的 20% 左右，钾肥占 15% 左右，磷肥占 50%。从花芽分化期前至抽蕾前，氮肥占 45% 左右，钾肥占 55% 左右，磷肥占 30%。抽蕾后，氮肥施用量占 35% 左右，钾肥占 30% 左右，磷肥占 20%。在香蕉苗期施水肥，生长前期开沟施肥，香蕉生长中、后期挖穴施肥，施肥后覆土及淋水。

结果：在相同施钾水平下，香蕉产量随着施氮量的增加而增加，当施氮量为 37 公斤 N / 亩时香蕉产量达到最高（表 1）。同样，在相同氮水平下，香蕉产量随着施钾量增加而增加，当施钾量为 41 公斤 K<sub>2</sub>O / 亩时香蕉产量达到最高。最佳氮钾用量配合获得了最高香蕉果实产量。但是，香蕉品质指标可溶性糖对氮的反应与钾不一样。回归分析表明，该区域香蕉最佳施肥量为 38 公斤 N / 亩 和 47 公斤 K<sub>2</sub>O / 亩，K<sub>2</sub>O : N 为 1.25。在该施肥水平和钾氮配比下，香蕉产量最高，经济效益最好。最佳的氮钾施肥量能显著提高香蕉产量和效益。本试验中，可溶性糖含量与氮相关，但与钾无关。这个研究结果与该区域的其他研究一致，可以用于指导该区域香蕉生产。

表 1 不同 N、K 用量对香蕉产量、品质指标和效益的影响

施肥量 (公斤 / 亩)		香蕉产量 (公斤 / 亩)	可溶性糖 (%)	效益 (元 / 亩)
N	K <sub>2</sub> O			
0	40.7	630 d	18.1 c	237
15.2	40.7	2340 ab	19.1 abc	8004
37.0	40.7	2508 a	20.2 ab	8697
55.5	40.7	2304 ab	18.8 bc	7666

化肥及香蕉价格 (元)：N 4.58 元 / 公斤，K<sub>2</sub>O 5.00 元 / 公斤，香蕉 4.33 元 / 公斤。

资料来源：杨苞梅，黄汉森，黄强，等．钾氮营养对香蕉抽蕾和产量的影响 [J]．高效施肥，2012，29(2):16-21.

## 示例 4 湖北省油菜适宜的钾肥推荐量

在中国的农作物生产中,钾肥是非常重要的且施用效果良好的化学肥料,为实现农业生产的可持续发展,在有限的钾肥资源条件下,我国面临着在农业生产中必须提高钾肥利用效率的严重挑战。大量田间不施钾肥小区试验和土壤速效钾分析测试结果表明,除少数对钾肥敏感的块茎类作物和牧草需土壤供钾水平较高外,大部分农作物在土壤中等供钾水平下就可获得正常产量。近三十年来的研究结果表明,南方土壤中 2/3 水稻土,1/2 旱地土壤表现出了缺钾状况,南方土壤缺钾面积占全国缺钾总面积的 4/5。

自 20 世纪 80 年代以来,在国际植物营养研究所 (IPNI) 的支持下,中国南方的项目合作者在不同种植类型、不同土壤供钾水平、钾与其他营养元素之间的相互作用等方面开展了大量研究,涉及水稻、玉米、花生和油菜等 30 余种农作物。研究结果表明,这些农作物对施钾肥均有明显的增产效应。

1990-2002 年湖北省进行的 41 个油菜田间钾肥试验结果表明,土壤速效钾含量为 40-70 毫克/公斤的情况下,油菜钾肥 ( $K_2O$ ) 的适宜用量为 7-8 公斤/亩 (表 1)。这些研究都是在首先进行土壤速效钾分析 (醋酸铵提取,火焰光度计法) 的基础上来研究如何实现油菜的目标产量并维持土壤钾素水平,其钾肥推荐技术已广泛应用于该地区的施肥推荐并在不断完善中。

表 1 基于土壤测试的油菜钾肥施用量及产量响应

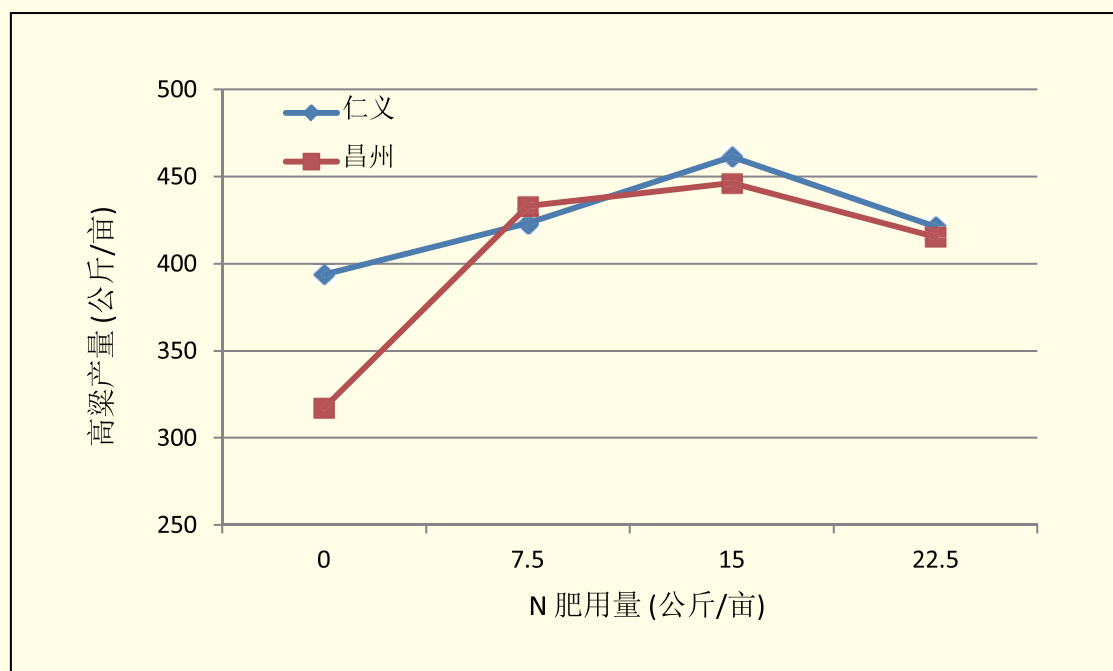
田间 试验数	土壤速效钾 (毫克/公斤)		$K_2O$ (公斤/亩)	产量 (公斤/亩)		每公斤 $K_2O$ 增产 (公斤)	产/投比
	范围	平均		NP	NPK		
8	<40	36.9	8	49.2	92.3	5.22	5.43
15	40-50	45.8	7.7	68.1	104.1	4.70	4.89
12	50-60	54.9	7.3	83.7	112.9	3.98	4.14
6	60-70	67.8	7.0	119.6	136.1	2.36	2.45

注:  $K_2O$  价格 = 5.00 元/公斤,油菜价格 = 5.20 元/公斤。

资料来源: Lu, J. et al. Evaluation of Soil K Fertility and Rational K Fertilization [A], In Proceedings of 10th International Potash Symposium, 2004, 66-72.

## 示例 5 土壤肥力水平及氮肥用量对高粱产量的影响

氮是作物需求量最大和反应最敏感的营养元素之一，因此氮肥施用量通常与作物产量具有很好的相关性。图 1 是李伟等在重庆市荣昌县开展的两个高粱氮肥用量试验的产量反应曲线。两个试验点的氮肥用量均为 0, 7.5, 15 和 22.5 公斤 / 亩四个水平。结果表明，高粱对氮肥用量有很好的反应，籽粒产量都随氮肥用量的增加而增加，达到最高产量后又随氮肥用量的增加而下降。不施氮肥时，仁义镇的高粱产量显著高于昌州镇，表明前者的基础氮素肥力明显高于后者。施用氮肥后，昌州镇的高粱最高产量高于仁义镇，表明昌州镇土壤的生产潜力高于仁义镇。该区域高粱的最佳施氮水平介于 7.5 - 15 公斤 / 亩之间。



资料来源：李伟，等．平衡施肥对高粱肥料效应和产量的影响研究 [M]．西南地区作物养分系统管理研究．四川大学出版社，2013．

## 示例 6 优化施氮平衡水稻产量、氮素利用率和氮素损失

氮肥施用对提高水稻产量具有至关重要的作用。但是过量施氮不仅不能增产，反而造成资源浪费、肥料利用率降低，并对环境造成危害。

在中国湖北省开展的田间试验研究了氮肥用量对氮肥利用率和表观氮素损失的影响。试验设 7 个氮肥用量，分别为 0、3、6、9、12、15 和 18 公斤 N / 亩，在水稻移栽前、分蘖期和孕穗期分别施用 40%、30% 和 30% 的氮肥，并于收获后测其籽粒产量、农学效率和表观氮素损失。



结果显示，籽粒产量随施氮量增加而增加，在施氮量 12 公斤 / 亩时产量达到最高，继续增加施氮量产量逐渐降低（图 1）。农学效率是指单位施氮量所增加的籽粒产量。施氮量较低时，籽粒产量随施氮量增加而显著增加，表现出较高的农学效率，但当施氮量继续增加时，农学效率就会降低，施氮量最高时，农学效率最低。

表观氮素损失是氮输入量与氮素输出量差值，作为氮素损失到环境中的近似估算值。氮输入量包括植物生长季的施氮量、土壤初始矿质氮和土壤氮素净矿化量。土壤氮素净矿化量由不施氮小区地上部氮吸收量与土壤残留的氮素矿化量之和，减去不施氮小区的土壤初始矿质氮计算得到。氮输出量包括收获后作物携走的氮素和土壤残留的矿化氮。表观氮素损失随施氮量的增加而增加。施肥量在 12 公斤 N / 亩时，不仅获得最高的籽粒产量，而且有相对较高的农学效率和相对较低的氮素表观损失，表明最佳施氮量（12 公斤 N / 亩）能平衡高产、农学效率和氮素表观损失，避免过量施氮对环境造成的潜在威胁。

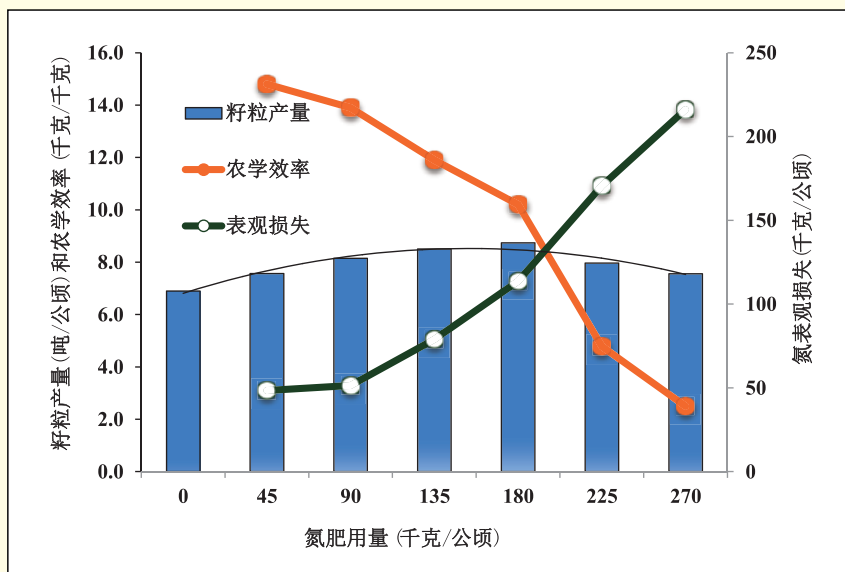


图 1 氮肥用量对湖北水稻籽粒产量、氮的农学效率和表观氮损失的影响

资料来源：张秀芝，等．植物营养与肥料学报，2011，17(4):782-788.

## 示例 7 采后肥比例对妃子笑和桂味荔枝品种产量与种植效益的影响

荔枝是华南地区（广东、广西、海南和福建等）的主要热带水果之一，是荔枝主产区农民增收的主要来源。明确和提出荔枝最佳养分管理技术，能有效提高荔枝产量和品质，增加果农收入。为此，从事热带果树研究的植物营养学家们先后开展了对肥料种类、用量、施用时间和施用方法的研究，展示了最佳养分管理对提高荔枝产量和品质的效果。表 1 表明在相同施肥总量的前提下，通过调整两个主栽荔枝品种“桂味”和“妃子笑”果实采后肥料用量比例对产量和效益的影响。结果表明：在三种采后肥比例中，“桂味”和“妃子笑”荔枝采后肥施用量为全年施肥量 45%处理的产量最高，效益也最好。与该施肥比例相比，采后肥施用量降低或提高均不同程度减产减收。因此，在施肥量和投入成本相同时，调节适当的荔枝采后肥施用比例能提高荔枝产量，增加收入。

荔枝品种	采后肥比例 (%)	荔枝产量	增产	产值	成本	利润
		(公斤/亩)			(元/亩)	
妃子笑	30	286	--	2517	1596	920
	45	344	58	3509	1596	1909
	60	257	-29	2848	1596	1252
桂味	30	157	--	1148	484	664
	45	219	62	1205	484	721
	60	178	21	900	484	415

资料来源：李国良，等．肥料运筹对荔枝生长、品质及产量的影响[J]．热带作物学报，2011，32(1):15-20.

## 示例 8 甘蔗的施肥时间及用量比例

甘蔗是我国主要的糖料作物，其面积占我国常年糖料面积的 85% 以上，产糖量占食糖总产的 90% 以上。广西是我国甘蔗主产区，甘蔗播种面积占全国的 63%，蔗糖产量约占全国的 70%，是广西 2000 多万农民的主要经济收入来源之一。甘蔗属于多年生作物。春植蔗采收后留桩待翌年春天再发，成为宿根蔗。从春植蔗开始，一般可连续收获三季才重新播种春植蔗。每季甘蔗从种 / 再发到收获需生长 8-10 个月，属于常生育期作物。因此，为了甘蔗的高产优质和肥料高效，必须多次施肥才能达到目的。表 1 是广西农业科学院土壤肥料研究所开展的不同生育期施肥及用量比例对甘蔗产量影响的研究。结果表明，在相同肥料用量的前提下，分次施肥比基肥一次施用能显著提高甘蔗产量。在三个分次施肥处理中，分三个关键生育期施肥比只施两次肥能提高或显著提高甘蔗产量。在两个分两次施肥的处理中，基肥 + 分蘖肥的增产效果优于基肥 + 伸长肥，这是因为分蘖肥有利于促进甘蔗苗期多分蘖，能形成更多有效茎。因此，在甘蔗养分管理中，根据甘蔗需肥关键时期实施多次施肥是甘蔗高产优质的重要保障，也是提高肥料利用率的重要措施之一。

表 1 甘蔗不同生育期施肥及用量比例对广西甘蔗产量的影响

处 理	甘蔗产量 (公斤 / 亩)	比一次施肥增产 (%)	甘蔗产量 (公斤 / 亩)	比一次施肥增产 (%)
基肥一次施用	6867 b	--	6208 c	--
基肥 + 分蘖肥 (3 : 7)	7347 a	6.99	6683 b	7.65
基肥 + 伸长肥 (3 : 7)	7200 a	4.85	6525 b	5.11
基肥 + 分蘖肥 + 伸长肥 (3 : 3 : 4)	7453 a	8.53	6817 a	9.81

资料来源：周柳强，等．甘蔗不同生育期施肥及用量比例对甘蔗产量的影响．2010 年 IPNI 年度总结报告．  
(未发表资料)

## 示例 9 不同施肥时间和分配比例对水稻产量的影响

水稻的氮肥管理是迄今为止研究历史最长、投入精力最多和最具挑战性的题目之一。如何通过合理调节氮肥最佳施用时间和比例来提高水稻产量和品质，节约氮肥用量，吸引了众多植物营养学和水稻栽培学科学家们的兴趣。近年来很多研究结果表明，氮肥后移有利于提高水稻的产量；而另一些研究则认为，传统的施肥方式水稻产量最高；甚至还有报道显示，无论氮肥是否后移都不会明显影响水稻产量。为什么会这样呢？怎么去分析和解释这些相互矛盾的结论呢？徐富贤等（2014）近年来的研究结果为我们揭示和解释这些现象提供了帮助。

他们首先在同一地点开展不同品种的氮肥后移肥效试验（表 1），然后与西南地区其他省份的科研单位在不同地点开展了氮肥后移肥效试验（表 2）。表 1 是 20 个水稻杂交组合对前氮后移（底肥：促花肥：保花肥 = 6 : 2 : 2）和重底早追（底肥：分蘖 = 7 : 3）施肥时间及比例的反应。前 5 个杂交组合代表前氮后移显著增产的水稻品种，后 4 个杂交组合代表前氮后移显著减产的水稻品种，其它杂交组合代表对施肥时间与比例变化的反应差异不显著的品种。在这些反应差异不显著的品种中，Y 两优 973 为最不敏感的品种。这些结果说明，前氮后移是否会增加水稻产量，取决于水稻品种的需氮特性和对氮肥的利用能力。总体来看，试验中有 25% 的水稻品种前氮后移增产 > 5%，有 20% 的品种重底早追增产 > 5%。因此，在生产上是否采用前氮后移措施，要根据具体品种而定。

表 1 不同施肥时间和比例 20 个水稻杂交组合稻谷产量比较

品种	水稻产量 (公斤 / 亩)		比重底早追 ± (公斤 / 亩)	t 值
	前氮后移 (底肥 : 促花肥 : 保花 = 6 : 2 : 2)	重底早追 (底肥 : 分蘖 = 7 : 3)		
内 5 优 317	644.73 a	577.64 def	67.09	21.34**
蓉 18 优 447	645.41 a	591.73 cdef	53.67	11.73**
川谷优 7329	646.41 a	604.81 bcd	41.60	8.67*
德香优 4103	597.10 bcde	562.89 f	34.22	8.75*
内 5 优 306	634.67 ab	600.46 bcde	34.22	8.75*
蓉优 22	621.92 abc	593.08 cdef	28.85	2.08
F 优 498	590.39 cde	563.56 f	26.84	3.28
蓉优 1808	614.54 abcde	589.05 def	25.49	3.70
宜香优 800	617.23 abcd	595.09 bcdef	22.14	2.86
乐优 198	595.76 bcde	574.29 def	21.47	3.57
川优 6203	532.02 gh	519.28 g	12.75	1.28
冈优 725	599.78 bcde	591.73 cdef	8.05	0.96
Y 两优 973	625.95 abc	626.62 bc	- 0.67	- 0.02
冈比优 99	572.28 ef	584.35 def	- 12.08	- 1.08
渝香优 203	548.8 fg	565.57 ef	- 16.77	- 2.82
川农优华占	577.64 def	595.76 bcdef	- 18.11	- 1.51
花香优 1	628.63 abc	660.17 a	- 31.53	- 15.24*
金冈优 983	607.16 bcde	640.04 b	- 32.88	- 8.37*
炳优 900	486.40 h	521.29 g	- 34.89	- 6.44*
冈优 169	589.05 bcde	627.96 bc	- 38.91	- 7.79*

注：表中同一栏平均值后字母相同时表示不同品种间差异不显著 (p<0.05)。  
资料来源：徐富贤，等．冬水田杂交中稻品种适应氮肥后移的筛选指标 [J]．植物营养与肥料学报，2014，20(6):1329-1337。



在不同地点和不同年份，不同氮肥用量与分配比例对水稻产量的影响各不相同（表 2）。2011 年，不同氮肥用量与分配比例对重庆永川和四川泸县水稻产量的影响没有显著差异，虽然在重庆永川底肥 + 追肥的传统施肥方式在不同氮肥用量下都最高。云南文山两种氮肥后移比例的施肥方式在不同氮肥用量下都高于传统施肥。在贵州贵阳和四川绵阳两地，不同氮肥配比对水稻产量的影响没有规律可循。

2012 年，在重庆永川不同氮肥用量与分配比例对水稻产量仍然没有明显影响，而在其余 5 个地方影响显著。在云南文山氮肥分配比例为 8 : 0 : 2 的水稻产量高于其他处理，在贵州贵阳氮肥分配比例为 6 : 0 : 4 的水稻产量高于其他处理，在四川绵阳和四川广汉各处理的影响没有明显规律可循，在四川泸县氮肥分配比例为 7 : 0 : 3 的水稻产量略高于其他处理。与作者间的深入讨论后发现，水稻对氮肥后移是否有效，除品种特性外，还取决于土壤肥力水平。在土壤质地较重、基础肥力较高的情况下，氮肥后移通常没有明显效果。只有在基础肥力较差或质地较轻的土壤上，氮肥后移才可能产生显著增产效果。

表 2 同一试验点上不同氮肥施用量和氮肥分配比例对水稻产量的影响

施氮量 (公斤/亩)	施氮比例 B:T:P*	籽粒产量(公斤/亩)					
		重庆永川	云南文山	贵州贵阳	四川绵阳	四川泸县	四川广汉
2011 年							
7	7:3:0	614.62 a	529.02 b	715.00 de	509.07 d	633.61 a	---
	6:0:4	592.27 a	535.75 ab	717.50 de	500.73 d	650.22 a	---
	5:0:5	589.88 a	596.00 a	694.17 e	511.37 d	647.91 a	---
10	7:3:0	610.63 a	514.18 b	750.84 bc	540.13 bc	638.22 a	---
	6:0:4	599.53 a	582.00 a	755.00 bc	543.17 abc	640.07 a	---
	5:0:5	599.46 a	600.82 a	730.84 cd	531.80 c	640.68 a	---
13	7:3:0	628.19 a	526.71 b	821.67 a	562.13 a	642.37 a	---
	6:0:4	620.21 a	556.26 ab	811.67 a	559.83 ab	636.07 a	---
	5:0:5	603.45 a	566.67 ab	780.00 b	556.03 ab	641.91 a	---
2012 年							
7	7:3:0	616.43 a	396.79 c	604.23 bc	604.90 d	563.86 abc	481.72 i
	6:0:4	598.88 a	436.55 ab	635.21 bc	611.73 cd	581.85 ab	546.46 g
	8:0:2	598.09 a	440.02 a	626.01 ab	601.97 d	566.77 abc	581.36 f
	7:0:3	622.01 a	421.60 b	617.77 bc	616.67 bcd	587.38 a	565.87 f
10	7:3:0	598.09 a	430.18 a	625.60 bc	636.27 abc	542.97 bcd	530.59 h
	6:0:4	594.90 a	445.75 a	673.36 a	662.77 a	546.06 bcd	629.73 cd
	8:0:2	614.83 a	438.86 a	663.84 ab	660.80 a	569.93 abc	618.54 cd
	7:0:3	591.71 a	424.44 b	643.56 ab	648.03 ab	581.50 ab	655.21 a
13	7:3:0	594.90 a	414.97 c	641.02 ab	658.8 a	529.54 cd	607.33 e
	6:0:4	617.22 a	436.48 b	668.11 ab	636.27 abc	522.97 d	648.8 ab
	8:0:2	581.34 a	455.67 a	651.85 ab	647.07 ab	518.62 d	636.58 bc
	7:0:3	603.83 a	416.34 c	583.72 c	638.23 abc	542.3 bcd	623.17 cde

\* 底肥 : 分蘖肥 : 穗肥。

资料来源：徐富贤，熊洪，张林，等．西南地区氮肥后移对杂交中稻产量及构成因素的影响[J]．植物营养与肥料学报，2014，20(1):29-36.

## 示例 10 分次施氮肥提高了冬小麦籽粒产量和氮素利用率

氮素营养对于我国华北冬小麦产量至关重要。田间试验研究了氮肥不同基 / 追比对小麦籽粒产量、氮素吸收和利用率的影响。基肥是在播种时施入，而追肥在播种 150 天后施入。下面的表格显示了氮肥施用增加了籽粒产量 20% - 35%，与一次性施肥相比，氮肥分次施用增加了 10% - 20% 的产量。氮肥分次施用也使氮素吸收增加了 2% - 7%，氮素回收率增加了 9% - 25%。最佳的氮肥分次施用是基施 4 公斤 N / 亩和追施 12 公斤 N / 亩。这一研究结果表明了正确的氮肥施用时间对提高产量和氮素利用率的重要性。

处理 (公斤 N/ 亩)	籽粒产量 (公斤 / 亩)	氮素吸收 (公斤 / 亩)	氮素回收率 (%)
0 N	360	8	--
16 N (0/16)	433	11.3	19
16 N (4/12)	487	12.1	24
16 N (8/8)	480	11.6	21

资料来源：赵士诚，等 . 植物营养与肥料学报，2011，17(3):517-525.

## 示例 11 钾肥分次施用提高棉花皮棉产量和经济效益

棉花比其他大田作物需要吸收更多的钾。钾能提高棉花植株光和速率、碳水化合物代谢、氮代谢和抗黄萎病的能力。因此，施钾对棉花产量和品质的提高具有重要作用。研究表明，棉花吸钾高峰期在花铃期，49%–73%的钾在开花后积累，表明后期充足的钾素供应对棉花钾素营养具有重要影响。一般来讲，农民习惯把钾肥一次性作为基肥施用，与棉花对钾的需求不同步。

2012–2013年IPNI在河北、河南、新疆进行钾肥施用时期试验，设4个处理：(1)对照不施钾；(2)100%钾肥播前基施；(3)50%的钾肥基施+50%的钾肥开花期施；(4)50%的钾肥蕾期施+50%的钾肥铃期施。两年平均结果表明，钾肥分次施用比一次性基肥施用的产量和经济效益都增加，最佳施钾时期是50%的钾肥蕾期施、50%的钾肥铃期施，比100%钾肥基施提高皮棉产量5%–33%，增加收益141–657元/亩（表1）。这种施肥比例可能会根据土壤钾素水平进行调整，但有一点可以肯定，那就是棉花生长中期施用部分钾肥对皮棉产量和效益的提高是必不可少的。

表1 钾肥施用时期对棉花产量和经济效益的影响(2012–2013)

处 理	皮棉产量(公斤/亩)			施肥效益(元/亩)		
	河北	河南	新疆	河北	河南	新疆
对照	93b	58d	93c			
100% 钾肥基施	98a	66c	108b	100	160	425
50% 钾肥基施 + 50% 钾肥开花期施	99a	79b	109b	130	550	455
50% 钾肥蕾期施 + 50% 钾肥铃期施	103a	88a	114a	250	820	605

肥料用量河北、河南、新疆分别为15–3–10、16–9–16、16–10–5公斤N–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–K<sub>2</sub>O/亩。价格：N = 4.5元/公斤，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 5.0元/公斤，K<sub>2</sub>O = 5.0元/公斤，皮棉 = 30元/公斤。同一列中数据后不同字母表示差异达5%显著水平。

资料来源：IPNI未发表数据，由IPNI北京办事处李书田提供。

## 示例 12 早期施氮对中国海南木薯生产的重要性

本田间试验的目的是研究中国南方地区氮肥施用时间对木薯产量的影响。供试土壤 pH 为 5.3，有机质含量 7 克 / 公斤，全氮 0.03%，有效磷 21 毫克 / 公斤，速效钾 97 毫克 / 公斤，土壤肥力偏低。试验结果表明，施氮时间对木薯生长、单株块茎数和块茎产量影响非常显著（表 1）。所有农艺性状数据都随着施氮时间的延迟而下降。即施肥时间越晚，木薯生长速度越慢，块茎产量也越低。在施基肥 3 公斤  $P_2O_5$  / 亩和 12 公斤  $K_2O$  / 亩的基础上，在播种后 30 天和 60 天分两次施用或在播种后 30 天、60 天、90 天和 130 天后分四次施用 6 公斤 N / 亩，木薯产量与在播种后 30 天一次施用 6 公斤 N / 亩的相同。在木薯生长后期（90 天和 130 天）施用氮肥，块茎产量显著下降。结果表明，在木薯生长早期（本试验为 30 天）施用氮肥，哪怕是少量的速效氮，对木薯的生长和高产非常关键，特别是在中低肥力土壤条件下。

表 1 氮肥施用时间对中国海南木薯生长和块茎产量的影响

播种后天数（施肥次数）	植株高度（厘米）	块茎数（个 / 株）	产量（公斤 / 亩）
30（1 次）	214 a	11.8	1813 a
60（2 次）	191 b	9.0	1653 b
90（1 次）	189 b	8.5	1613 b
130（1 次）	163 bc	7.9	1467 b
30 和 60（2 次）	195 ab	11.1	1833 a
90 和 130（2 次）	170 b	9.7	1580 b
30、60、90 和 130（4 次）	185 b	10.2	1833 a
CK（不施 N 肥）	138 d	8.5	967 c

标注相同字母表示差异不显著（ $p < 0.05$ ）。

资料来源：张伟特. 不同时间施肥对木薯生长及产量的影响 [J]. 热带作物研究, 1990, 1:49-53.

## 示例 13 不同施肥方式对香蕉生长和产量的影响

香蕉是生育期长、需肥量大、生物产量和经济产量高的多年生热带水果之一。要获得香蕉的高产优质，不仅需要正确的肥料品种、正确的肥料用量、正确的施用时间，还需要正确的施用方法。为了探索香蕉的正确施肥方式，李国良等人在施用正确氮磷钾肥品种、用量和时间的条件下，研究了四种不同施肥方式对香蕉生长和产量的影响。

这四种施肥方式分别为 (1) 生长全期撒施肥料后浇水 (全撒)；(2) 生长前期撒施，中、后期沟施或穴施肥料 (前撒后沟穴)；(3) 生长前期施用水肥 (氮磷钾肥水溶液)，中、后期撒施肥料 (前水后撒) 和 (4) 生长前期施用水肥，中、后期沟施或穴施 (前水后沟穴)。各处理全年氮磷钾养分施用量相同 (37.1 公斤 N/亩，11.9 公斤  $P_2O_5$ /亩和 42.1 公斤  $K_2O$ /亩)，肥料分 9 次施用 (前期 4 次，中期 3 次，后期 2 次)。不同施肥方式在香蕉生长期间的肥料分配为：全生长期撒施与前期撒施，中、后期沟施或穴施处理生育前期氮肥施用量占总施肥量的 18%，钾肥占 11%；生育中期氮肥占总施肥量的 55%，钾肥占 59%；生育后期氮肥占总施肥量的 27%，钾肥占 30%。两个前期水肥处理生育前期氮肥施用量占总施肥量的 13%，钾肥占 8%；生育中期氮肥占总施肥量的 58%，钾肥占 60%；生育后期氮肥占总施肥量的 29%，钾肥占 32%。磷肥分前、中、后期各占 1/3 用量比例施用。

四种不同施肥方式对香蕉生产、产量、品质和效益有明显影响。在营养生长期，全生育期撒施处理和前期撒施、中后期沟施或穴施处理由于前期氮钾肥施用量比两个水肥处理稍多，长势比水肥处理好，表现为植株稍高和茎围稍粗。至孕蕾期，前撒后沟穴处理香蕉株高最高，显著高于前水后撒处理。茎围则以全撒处理最粗，显著大于前水后沟穴处理，但与前撒后沟穴和前水后撒处理差别不大。至抽蕾期，各处理间株高和茎围差异缩小。虽然不同施肥方式抽蕾率差异未达显著水平，但全撒和前撒后沟穴处理香蕉抽蕾率明显高于 2 个前期水肥处理，表明前期施用水肥比前期撒施更能促进香蕉在抽蕾期长高增粗，前期养分相对较低的处理会延缓香蕉抽蕾 (表 1)。前期水肥，中、后期沟施或穴施施肥方式能提高果梳重和果指数，改善香蕉果实品质，提高果实风味，增产效果好。但该方法施肥成本较高，利润偏低；且中后期开沟或穴施肥容易伤根，在香蕉枯萎病病区的感病风险相对较大。全生育期撒施后浇水的处理香蕉产量较高，由于施肥简便、成本低，经济效益最高。

表 1 不同施肥方式对香蕉不同生育期生长的影响

处理	营养生长期		孕蕾期		抽蕾期		
	株高 (厘米)	茎围 (厘米)	株高 (厘米)	茎围 (厘米)	株高 (厘米)	茎围 (厘米)	抽蕾率 (%)
全撒	136.7a	35.8a	217.2ab	54.6a	252.8a	62.9a	36.7a
前撒后沟穴	137.7a	35.8a	218.7a	53.5ab	250.2a	61.0a	40.0a
前水后撒	136.5a	35.1a	212.4b	54.1ab	249.9a	62.1a	26.7a
前水后沟穴	132.6a	34.5a	217.3ab	52.9b	251.1a	61.6a	20.0a

表 2 不同施肥方式对香蕉产量、品质和经济效益的影响

处理	产量 (公斤/亩)	可溶性 固形物	VC (%)	可溶 性糖	产值	成本	利润
全撒	3323a	21.7a	9.08a	16.74a	6646	3224	3422
前撒后沟穴	3250a	22.7a	9.52a	17.28a	6500	3504	2996
前水后撒	3258a	22.5a	8.75a	17.20a	6517	3344	3173
前水后沟穴	3381a	22.0a	9.30a	18.12a	6762	3644	3118

资料来源：李国良，姚丽贤，张育灿，等. 不同施肥方式对香蕉生长和产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(6):188-192.

# 2014 年度 IPNI 中国合作项目年会暨 IPNI 研究生奖学金颁奖仪式在广西北海举行

2015 年 2 月 11 - 12 日, 2014 年度 IPNI 中国项目合作年会在广西北海召开。来自全国 21 个省(市)的近 100 名专家、学者和学生参加了本次会议。IPNI 中国项目部主任何萍博士主持会议并作了题为“基于养分专家系统(Nutrient Expert)推荐施肥”的报告。IPNI 副所长 Adrian Johnston 博士作了题为“IPNI 全球战略以及中国项目工作重点”的报告。IPNI 中国项目副主任涂仕华博士、陈防博士和李书田博士分别作了“IPNI 西南地区合作项目研究进展”、“中国项目钾肥研究与示范进展”和“4R 养分管理研究进展”的报告。来自全国 21 个省(市)的 IPNI 合作单位对 2014 年的合作研究成果和 2015 年研究计划进行了总结和讨论。会上, Adrian Johnston 博士、农业部国际合作司美大处叶全宝处长、中国农业科学院国际合作局冯东昕副局长、中国农科院资源区划所徐明岗副所长、IPNI 中国项目部主任何萍博士为 2014 年度 IPNI 研究生奖学金获得者分别颁奖。



2014 年度中国 IPNI 研究生奖学金 5 位获奖者分别为：

艾超，中国农业科学院植物营养学博士研究生。主要研究长期施肥条件下作物 - 微生物互作关系的演变规律，揭示不同施肥制度下作物根际土壤碳、氮循环的微生物学机制，为有效调控根际微生态养分循环、促进作物高效生产奠定基础。毕业后希望继续从事与植物营养和土壤微生物生态相关的科学研究，为农业高效生产和可持续发展做出自己的贡献。

陈延玲，中国农业大学植物营养学硕博连读研究生。主要研究玉米高产与氮高效利用的协同机制，为进一步优化现代玉米绿熟品种，实现玉米产量与氮转运效率的同步增加提供理论依据。毕业后希望在高校或农业科研单位继续从事植物营养领域的科研和推广工作，为国家现代农业发展和粮食安全做贡献。

郝艳淑，华中农业大学植物营养学专业硕博连读研究生。主要从事棉花钾营养高效机理研究。通过探讨不同钾效率棉花基因型在根系构型，钾素吸收机制，光合产物的分配及其环境经济效益的差异揭示棉花钾素高效的生理机制。毕业后希望继续从事农业科学相关的研究，为农业的可持续发展贡献自己的力量。

潘俊峰，安徽农业大学植物营养学硕士研究生。主要研究不同施肥模式对农田杂草群落的影响，探索通过科学的土壤养分管理来实现农田杂草的生态防控，为制定杂草综合管理策略和保护农田生态环境提供新的思路。毕业后打算攻读博士学位，将来致力于现代施肥技术的研究和推广工作。

汪霄，中国科学院武汉植物园在读博士研究生。主要侧重研究干旱、低钾胁迫下不同钾效率基因型棉花的响应差异及作物—土壤体系钾素动态变化，旨在探明钾高效基因型棉花的钾高效机理及根际土壤钾素有效性机理，为充分开发土壤供钾潜力，提高钾高效基因型棉花耐逆境胁迫，保证高产稳产的生物学潜力提供理论依据。毕业后希望在高校或农业科研单位继续从事植物营养与农业生态方向的科研和教育工作，为可持续农业发展贡献一份力量。

IPNI 研究生奖学金评审每年一次，大约在 4 月底结束申请，凡是在具有学位授予资格的研究所或高校攻读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的领域的在读研究生均有资格申请。请随时关注 IPNI 网站：[www.ipni.net](http://www.ipni.net) 了解申请程序和要求。

# 4R Nutrient Management



## 4R 养分管理

4R 养分管理措施是 IPNI 养分管理策略的核心之一，旨在保障持续的粮食生产能力，是被化肥企业普遍采用的肥料最佳养分管理新方法。4R 养分管理策略可简单归纳为选择正确的肥料品种、采用正确的用量、在正确的时间施在正确的位置，原理虽简单，但也需要充分了解当地的实际情况，因地制宜地采取措施。其兼顾养分管理中的经济、社会和环境效益，对农业系统的可持续发展具有重要作用。

4R 养分管理涵盖所有与养分管理相关的原理。实际生产中，具体的植物养分管理措施取决于农户的目标、现有的资源、种植制度、土壤条件、气候条件以及影响养分管理措施的其他因素。4R 养分管理策略在世界各地小型企业到大型商业农场和种植园中各种作物体系上都得到了广泛应用。4R 养分管理是农户及相关技术指导人员、推广人员、研究人员、监督管理者以及植物养分管理人员的实用工具，从而合理利用社会、人力和物质资本。如实施精准养分管理意味着在农户地块上进行研究工作，需要他们积极参与，从而有利于各利益相关者，包括农民、研究人员、商人和政府层面的代表之间的沟通。此外，参与者的受教育水平也会通过这种正规或非正规活动而得到提高。另外，很多由农民自己管理的组织团体，在开发和传播农业新技术方面也会逐渐取得成功。

从全方位审视，4R 养分管理策略不仅对农业系统可持续发展具有作物营养上的现实影响，还具有潜在的深远影响。4R 养分管理就是把合适的肥料品种，用合适的用量，在合适的时期施在合适的位置。

详情参见：<http://www.ipni.net/4R> 或 <http://ipni.info/CNP-3103>

