

高效施肥

BETTER CROPS CHINA

2016年5月总第36期

本期文章……

北方苹果生产中的4R钾肥管理



元素硫和硫酸盐混合颗粒肥及其在作物营养中的作用



“化肥零增长下养分高效利用国际学术研讨会”在北京召开



更多文章 敬请关注



高效施肥

国际植物营养研究所系列期刊
《BETTER CROPS》中文版专刊

2016年5月总第36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

Norbert Steiner, Chairman (K+S Aktiengesellschaft)
Tony Will, Vice Chair (CF Industries)
Mr. Dmitry Osipov, 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 • BHP Billiton •
CF Industries Holdings, Inc. • Compass Minerals Plant
Nutrition • International Raw Materials LTD • K+S KALI
GmbH • Kingenta • Ecological Engineering Group Co. •
LUXI Fertilizer Industry Group • OCP S.A. • PhosAgro •
PotashCorp • Shell Sulphur Solutions • Simplot • Sinofert
Holdings Limited • SQM • The Mosaic Company •
Uralchem, JSC • Uralkali • Yara International ASA .

CONTENTS

目录

中国土壤有效磷的时空变化 (1990 – 2012) 马进川 何 萍	3
北方苹果生产中的 4R 钾肥管理 李书田 同延安 崔荣宗 汪 仁 Alexey Shcherbakov	10
中国水稻生产及平衡施肥效果和技术简介 陈 防 张过师 涂仕华	15
侧条施肥技术对宁夏水稻产量和氮素利用效率的影响 刘汝亮 王 芳 李友宏 赵天成 陈 晨 洪 瑜	18
土壤理化及生物特性和作物产量对生物炭的响应 聂新星 李志国	22
不同控氮比对春玉米产量、效益及氮肥利用率的影响 姬景红 李玉影 刘双全 佟玉欣	27
中国棉花的养分管理 陈 防 汪 霄	30
内蒙古马铃薯氮磷钾养分管理 段 玉 张 君 张三粉 景宇鹏 王 博 栗艳芳 李书田	34
中国油菜的生产及平衡施肥效果和技术简介 陈 防 张过师	42
控释肥对都市桂花苗圃环境效应的研究 李在凤 尹 梅 陈检锋 王志远 陈 华 付利波 洪丽芳	46
比较叶面施肥与土壤施肥对作物养分供应的优点与缺点 涂仕华 译	52
元素硫和硫酸盐混合颗粒肥及其在作物营养中的作用 谢玲 译 涂仕华 校	53
镍是植物营养元素……是真的吗? 涂仕华 译	57
作物营养中的锰 涂仕华 译	58
“化肥零增长下养分高效利用国际学术研讨会”在北京召开	59

网页: <http://www.ipni.net>
<http://china-zh.ipni.net>

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。

中国土壤有效磷的时空变化 (1990—2012)

马进川¹ 何萍^{1, 2, 3*}

(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北京办事处, 北京 100081; 3. 中国农业科学院与国际植物营养研究所植物营养创新研究联合实验室, 北京 100081)

摘要: 磷肥对作物产量的提高有着举足轻重的作用。本文利用 59,956 个土壤测试数据和 4,837 个田间试验数据对我国土壤有效磷的时空变化进行研究。结果表明, 从 1990 到 2012 年我国土壤有效磷含量呈上升趋势, 经济作物生产中磷肥的大量投入是导致土壤有效磷含量增加的主要因素。我国不同地区土壤有效磷含量差异显著, 迫切需要针对不同区域不同作物开展精准养分管理。

关键词: 土壤有效磷; 产量反应; 磷素养分管理

前言

磷 (P) 是作物生长所必需的矿质元素, 是集约化农业生产中获得高产不可或缺的元素。在低磷土壤中, 施用磷肥是保持土壤磷素养分供应的一种有效途径^[1]。磷是不可再生资源, 大量磷肥的施用导致全球磷矿储量的急剧减少。因此, 通过合理施肥, 提高磷素养分利用效率对合理利用磷矿资源至关重要。

土壤有效磷含量分析可以为磷肥的施用提供参考。在我国, 许多地区仍存在过量施肥问题并且已经引起了严重的环境问题^[2]。在农业生态系统中, 土壤磷素含量与土壤生产力紧密相关, 是衡量土壤肥力和品质的重要指标。磷肥施用直接影响土壤有效磷含量。为了保证土壤有效磷含量, 即使在不发达的国家也普遍施用磷肥^[3]。为保证粮食安全, 从上个世纪六十年代我国开始大量施用化学肥料, 包括磷肥^[4]。化肥的施用促进我国粮食产量的显著提高^[5], 然而磷肥的过量施用也导致了严重的环境问题, 如水体污染。研究表明在 2004 年我国平均磷素输入量为 1.26 公斤/亩、输出量为 0.95 公斤/亩, 导致了 0.31 公斤/亩的盈余^[2]。“三湖”水域研究表明, 滇池、太湖和巢湖磷素总负荷量的 30—60%、38—90% 和 40—52% 均来自农业^[6]。因此, 了解土壤磷素状况对合理的磷素养分管理、提高磷肥利用效率和减少非点源污染至关重要。已有研究主要在流域、省和农田水平对磷素状况进行研究^[7-11], 全国层面上关于土壤有效磷时空变化的研究尚少。因此, 本研究对土壤有效磷含量在时间和空间尺度的变化及磷肥产量效应进行研究。

1 材料与方法

1.1 数据来源

土壤有效磷和作物产量数据来源于 1990—2012 年国际植物营养研究所中国项目数据库。在本研究中, 我们从数据库中得到 59,956 个土壤有效磷含量数据和 4,837 个田间试验数据 (图 1)。所有土壤有效磷含量数据均来源于田间试验, 播种前采集 0—20 厘米的土层, 用 ASI 法对土壤有效磷含量进行测定^[12]。作物产量数据包括施用氮磷钾肥所得产量数据 (NPK, 氮磷钾施肥量根据土壤测试推荐) 和仅施用氮钾肥产量数据 (NK, 在 NPK 处理的基础上不施用磷肥)。

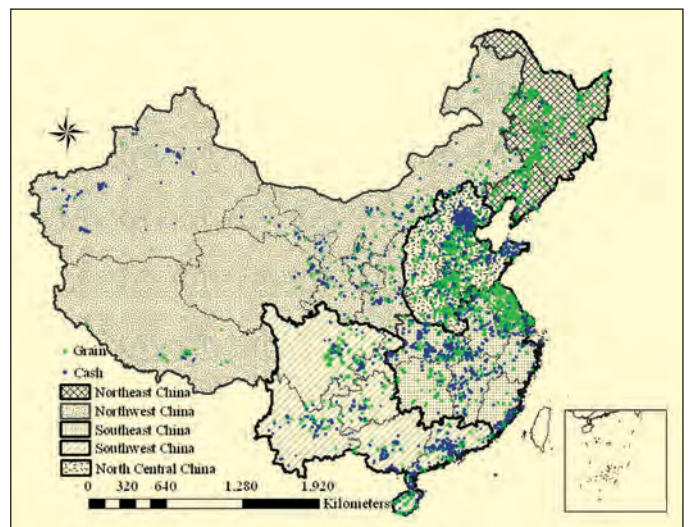


图 1 1990—2012 年试验点在五个区的分别 (其中 NE、NC、NW、SE 和 SW 分别代表东北、华北、西北、东南和西南)

为分析我国土壤有效磷含量的空间变化，基于地理位置和行政区划将全国划分为五个区，分别为：东北、华北、西北、东南和西南。另外，基于土地利用方式，将每个区进一步划分为两个类型，即粮食作物和经济作物类型区。粮食作物类型区指种植小麦、玉米、水稻，经济作物类型区指种植马铃薯、大豆、蔬菜、水果、油菜籽、向日葵、棉花、糖类等经济作物。不同区域的土壤采样数量见表1，五个区的试验点信息参见前期研究^[13]。

1.2 数据处理

用 SPASS 13.0 对数据进行方差分析，并由 Sigmpilot 12.0 作出相应的箱型图。用最小显著差数法 (LSD) 计算 0.05 水平下不同时期的平均值差。

2 结果分析

2.1 1990—2012 年农田土壤有效磷变化

研究表明，从 1990 年到 2012 年土壤有效磷含量总体呈上升趋势，线性回归分析表明，其增长率为 1.51。为进一步分析影响土壤有效磷含量增长的主要因素，我们根据土地利用类型进行研究。结果表明，1990—2012 年粮食作物和经济作物土壤有效磷含量均呈增加趋势。基于线性回归分析，粮食作物土壤有效磷含量增长率仅为 0.76，与之相比经济作物同期大幅增加，其增长率为 2.75(图 2)。施肥方面，粮食作物平均施磷量为 5.47 公斤/亩 (P_2O_5) (0.67—24.00 公斤/亩 (P_2O_5))，经济作物平均施磷量为 9.40 公斤/亩 (P_2O_5) (0.67—105.33 公斤/亩 (P_2O_5))。

表 1 我国不同地区和不同时期的试验观测数 (个)

项目	地区	全部作物		粮食作物		经济作物	
		1990s	2000s	1990s	2000s	1990s	2000s
土壤测试	东北	434	6986	403	5983	31	1003
	华北	2532	18063	2188	13009	344	5054
	西北	342	6964	105	2843	237	4121
	东南	546	17189	370	11887	176	5302
	西南	677	6223	584	3644	93	2579
相对产量	东北	62	847	44	771	18	76
	华北	80	1370	42	1261	38	109
	西北	96	577	24	174	72	403
	东南	193	840	119	637	74	203
	西南	84	688	39	421	45	267

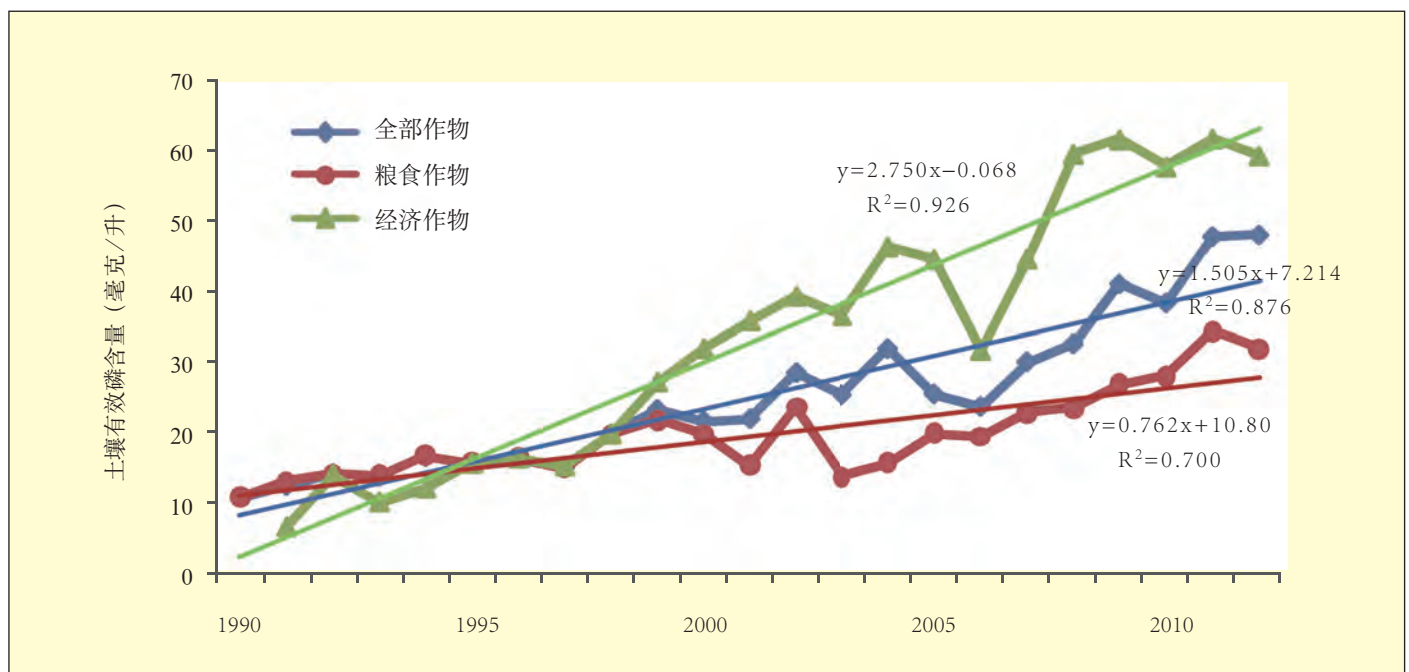


图 2 土壤有效磷含量随时间变化趋势

以上结果表明，磷肥的大量投入是经济作物土壤有效磷积累的主要原因，同时也是导致整体土壤有效磷含量增加的主要因素。

2.2 土壤有效磷的时空变化

自上个世纪 80 年代，中国开始倡导平衡施肥；然而，在很多地区过量施肥仍是一个普遍现象，不仅导致了土壤的退化也引起作物产量的下降。在我国，不同地区土壤平均有效磷含量差异显著，如东北、华北、西北、东南和西南土壤平均有效磷含量分别为 17.53、47.78、25.10、29.35、18.70 毫克/升。为了更好地评估土壤有效磷含量的时间变异，本文比较了 1990 年代（1990–1999）和

2000 年代（2000–2012）两个时期土壤有效磷含量。结果表明，土壤平均有效磷含量从 1990s 的 17.09 毫克/升增加到 2000s 的 33.28 毫克/升。从 1990s 到 2000s，五个地区土壤平均有效磷含量分别增加了 10.1%、113.1%、23.1%、16.1% 和 21.4%（图 3）。

从 1990 年代到 2000 年代，五个地区粮食作物土壤平均有效磷含量分别增加了 7.4%（17.08–18.90 毫克/升）、37.1%（21.09–28.91 毫克/升）、2.2%（21.91–22.39 毫克/升）、2.1%（21.68–22.13 毫克/升）和 1.3%（14.97–15.16 毫克/升）；经济作物土壤有效磷含量分别增加 19.7%（17.45–20.8 毫克/升）、155.4%（42.40–108.27 毫克/升）、36.8%（19.98–27.34 毫克/升）、38.4%（33.21–45.96 毫克/升）和 46.8%（17.66–25.91 毫克/升）。

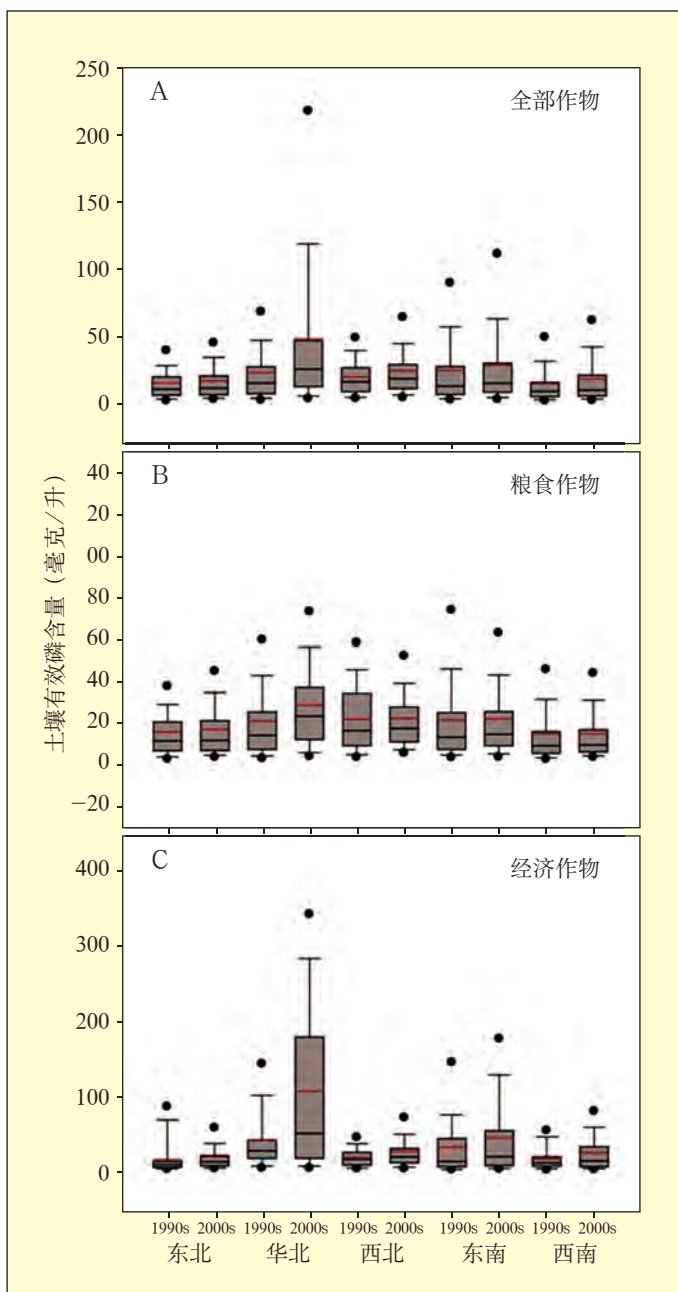


图 3 土壤有效磷含量的时空变化

2.3 不同地区作物的施磷效应

相对产量，用来评估作物的施磷效应，由氮钾处理小区所得产量除以氮磷钾处理小区所得产量计算得到。相对产量越大表明土壤基础磷素供应量越大。研究结果表明，东北、华北、西北和东南地区作物相对产量相差不大，分别为 87.8%、87.8%、84.4%、88.1% 和 86.0%；相对而言，东南地区土壤基础磷素供应能力最高（图 4）。时间变异分析结果表明，相对产量从 1990 年代的 84.8% 增加到 2000 年代的 87.4%，但区域之间存在一定差异。如华北地区相对产量增加了 9.2%，但其它地区之间没有显著差异。

对粮食作物而言，五个地区相对产量范围为 85.8%–89.0%，与总的作物相对产量 84.4–88.1% 相比差异不显著。粮食作物相对产量在东北、华北、东南、西南地区分别增长 2.6%、7.6%、6.9% 和 8.6%，表明土壤基础磷素供应能力在 22 年有所提升。西北地区粮食作物相对产量从 1990 年代到 2000 年代下降了 4.9%，这可能与当地的环境条件，作物类型和土壤理化性质有关。曹宁等^[14]研究表明，不同的环境条件，作物系统，和土壤理化性质对土壤有效磷的含量具有显著的影响，也直接影响相对产量。

在这五个地区，经济作物相对产量没有显著差异。然而从 1990 年代到 2000 年代时间尺度上差异显著。五个地区中东北、东南和西南地区经济作物相对产量分别下降了 6.7%、6.0% 和 1.6%，而华北和西北地区，相对产量分别增加了 8.3% 和保持基本不变。经济作物相对产量数据结果表明，东北、东南和西南地区土壤基础磷素供应能力下降，而华北地区呈上升态势，而西北地区基本保持不变。

3 讨论

农业管理实践如轮作、施肥和耕作等影响土壤有效磷含量^[15-17]。研究发现从1990到2012年土壤有效磷含量随磷肥施用量的增加而提高,通过提高施肥量可以提高农田生产力,该结果与Hart^[18]研究结果一致。李海港等^[19]研究表明全国土壤平均有效磷含量从1980的7.4毫克/公斤增加2007年的24.7毫克/公斤;本研究与前人研究结果一致,土壤有效磷从1990年代的17.09毫克/升增加到2012年的33.28毫克/升。土壤平均有效磷含量的增加主要由经济作物生产中大量施肥引起,如在蔬菜生产中磷肥的过量施用是普遍现象^[20]。

相对产量是一个评价土壤肥力直接有效的指标,也可用来评价土壤养分供应能力^[13, 21]。在本研究中,虽然粮食作物土壤有效磷含量低于经济作物,但除西南地区外其它地区粮食作物的相对产量均高于经济作物。该结果也说明除西南地区外,其它地区土壤磷素供应量更接近粮食作物生长的需求;而对于经济作物的生产,应该推荐施用更多的磷肥以满足高产的需求。该结果与经济作物(0.852)氮钾处理产量与氮磷钾处理产量之间的斜率低于粮食作物(0.911)相吻合(图5)。本文结论与土壤速效钾时空变异研究结果一致,在不施用磷肥的情况下经济作物减产比粮食作物更严重^[13]。

不同作物和土壤类型(包括土壤结构、pH等因素)对土壤临界值有明显影响^[22-23]。对大部分作物来说土壤有效磷浓度在5.3-18.3毫克/升即能满足作物生产需求,当土壤有效磷浓度高于41.2毫克/升时土壤磷素具有淋溶风险;然而65.6毫克/升的土壤有效磷被认为是

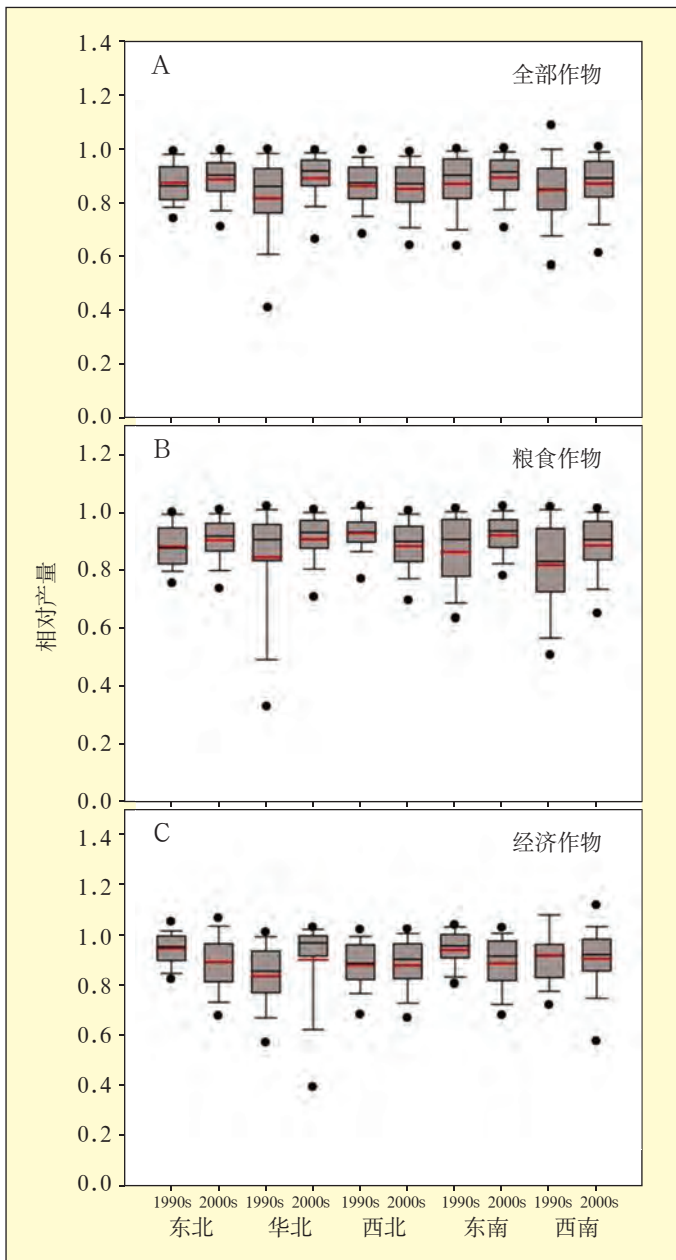


图4 相对产量的时空变化

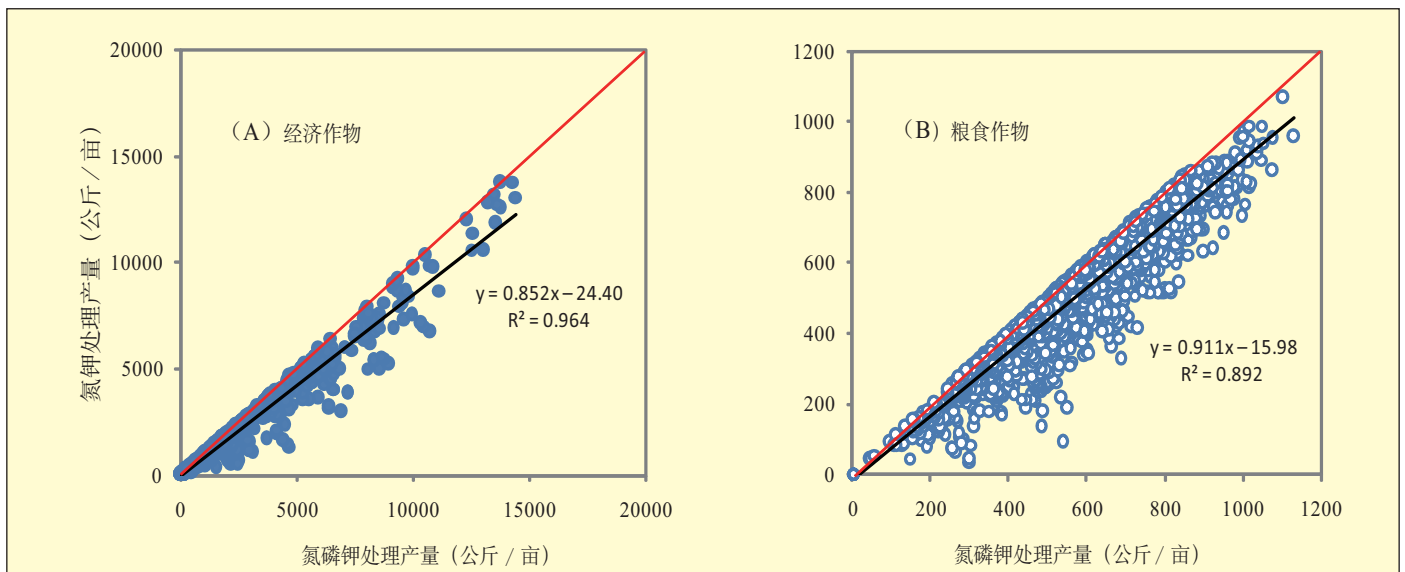


图5 粮食作物与经济作物氮钾处理产量与氮磷钾处理产量相关性比较。(A) 粮食作物; (B) 经济作物。虚线为1:1界限

蔬菜生产所需磷素临界值，其明显高于土壤淋溶风险临界值^[24-27]。因此，对于蔬菜生产需要一套不同与其它作

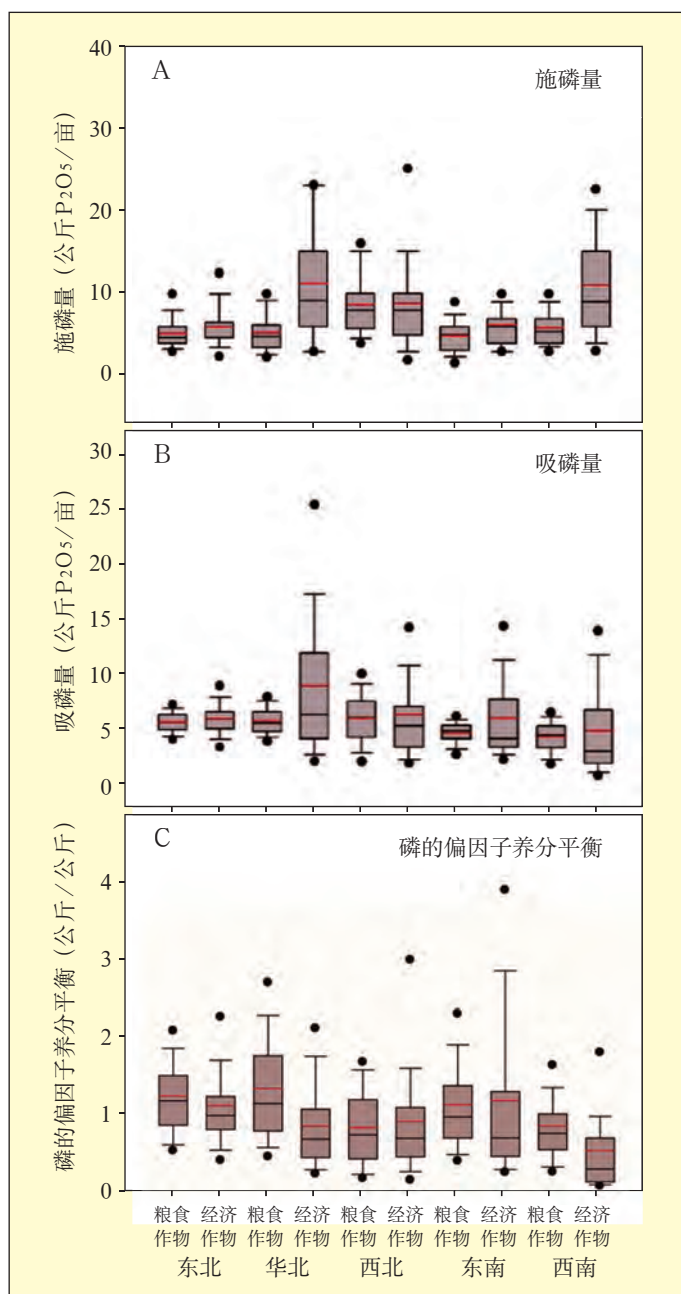


图 6 不同地区粮食作物和经济作物的施磷量 (A)、吸磷量 (B) 和磷的偏因子养分平衡 (C)

物的养分管理体系。本文研究结果表明，在 1990 年代，除了华北和东南种植经济作物地区外，其它地区土壤有效磷含量均处于作物生产临界值范围内。在 2000 年代，东北和西南地区粮食作物土壤有效磷含量处于作物生产临界值范围附近，其它地区粮食作物土壤有效磷含量均高于作物最佳产量临界范围但低于土壤淋溶风险值。对经济作物而言，在华北和东南地区土壤磷素具有淋溶风险。其它地区经济作物土壤有效磷含量高于最佳产量临界值范围低于淋溶风险值。磷肥的大量施用，不仅导致了农田磷素的非点源污染，也引起了水体的富营养化。这个现象不仅是一个区域性问题的同时也是全球面临的挑战^[28]。由长期过量施肥导致的磷素盈余是磷素扩散性损失的主要原因^[29]。控制额外磷素的输入是控制水体富营养化最有效的方法^[30]。

在农业生态系统中，理想的磷素循环是输入等于输出，同时也最大化磷素的利用效率。本文引入磷的偏因子养分平衡 (PPB) (磷素总的输出量 / 磷素总的输入) 去评估磷素平衡状况。研究发现，经济作物地上部分磷素吸收量均高于粮食作物地上部分磷素吸收量，这也说明经济作物磷素养分移走量大于粮食作物。五个地区粮食作物和经济作物偏因子磷素平衡均有显著差异，与已有研究结果一致^[31-32] (图 6)。鉴于不同地区土壤有效磷和偏因素磷平衡的显著差异，急迫切需要针对不同区域的农田磷素养分管理。

4 结论

磷是农业生产必需的大量元素，我国平均土壤有效磷含量呈上升趋势。经济作物生产中磷肥的大量施用是导致我国土壤有效磷含量增加的主要原因。磷肥推荐，对于粮食作物，我们要保持土壤有效磷高于产量最低临界值同时低于淋溶风险值；对于经济作物，针对具有较高施磷产量反应的地区也要适当加大推荐施肥量。本文将为以后关于磷素养分循环和基于非点源污染下的养分管理提供参考。

参考文献

- [1] Ibrikci, H., Ryan, J., Ulger, A.C., et al. Maintenance of phosphorus fertilizer and residual phosphorus effect on corn production [J]. *Nutr. Cycl Agroecosyst.*, 2005, 72(3):279–286.
- [2] Chen, M., Chen, J., Sun, F. Agricultural phosphorus flow and its environmental impacts in China [J]. *Sci. Total Envir.*, 2008, 405(1–3):140–152.
- [3] Ryan, J., Masri, S., Pala, M. Residual and current effects of phosphorus in rotational trials [J]. *Soil Fertility Workshop, Aleppo (Syria)*, 19–23 Nov 1995, ICARDA., 1997.
- [4] 鲁如坤. 中国农业中的磷. 中国磷肥应用研究现状与展望学术讨论会 [C], 中国农业出版社, 中国南宁, 2001.
- [5] Sheldrick, W.F., Syers, J.K., Lingard, J. Soil nutrient audits for China to estimate nutrient balances and output/input relationships [J]. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2003, 94(3):341–354.
- [6] Chen, M., Chen, J., Du, P. An inventory analysis of rural pollution loads in China [J]. *Water Sci. Technol.*, 2006, 54(11–12):65–74.
- [7] Chen, F.S., Zeng, D.H., He, X.Y. Small-scale spatial variability of soil nutrients and vegetation properties in semi-arid northern China [J]. *Pedosphere*, 2006, 16(6):778–787.
- [8] Huang, S.W., Jin, J.Y., Yang, L.P., et al. Spatial variability of soil nutrients and influencing factors in a vegetable production area of Hebei Province in China [J]. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2006, 75(1–3):201–212.
- [9] Zhang, X.Y., Sui, Y.Y., Zhang, X.D., et al. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China [J]. *Pedosphere*, 2007, 17(1):19–29.
- [10] Wang, Y.Q., Zhang, X.C., Huang, C.Q. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China [J]. *Geoderma*, 2009, 150(1):141–149.
- [11] Gao, R.T., Liu, S.Q., Zhang, Y.G., et al. Temporal-spatial variability and fractal characteristics of soil nitrogen and phosphorus in Xinji District, Hebei Province, China [J]. *Environ. Monit. Assess.*, 2011, 174(1–4):229–240.
- [12] Hunter, A.H. Laboratory and greenhouse techniques for nutrient survey to determine the soil amendments required for optimum plant growth. Mimeograph [J]. *Agro Service International (ASI), Florida, USA.*, 1980.
- [13] He, P., Yang, L.P., Xu, X.P., Zhao, et al. Temporal and spatial variation of soil available potassium in China (1990–2012) [J]. *Field Crops Res.*, 2015, 173:49–56.
- [14] Cao, N., Chen, X.P., Cui, Z.L., et al. Change in soil available phosphorus in relation to the phosphorus budget in China [J]. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2015, 94(2–3):161–170.
- [15] Karasawa, T., Takebe, M. Temporal or spatial arrangements of cover crops to promote arbuscular mycorrhizal colonization and P uptake of upland crops grown after nonmycorrhizal crops [J]. *Plant Soil*, 2012, 353(1–2):355–366.
- [16] Cade-Menun, B.J., Carter, M.R., James, D.C., et al. Phosphorus forms and chemistry in the soil profile under long-term conservation tillage: A phosphorus-31 nuclear magnetic resonance study [J]. *J. Environ. Qual.*, 2010, 39(5):1647–1656.
- [17] Messiga, A.J., Ziadi, N., Bélanger G., et al. Process-based mass-balance modeling of soil phosphorus availability in a grassland fertilized with N and P [J]. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2012, 92(3):273–287.
- [18] Hart, M.R., Cornish, P.S. Available soil phosphorus, phosphorus buffering and soil cover determine most variation in phosphorus concentration in runoff from pastoral sites [J]. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2012, 93(2):227–244.
- [19] Li, H., Huang, G., Meng, Q., et al. Integrated soil and plant phosphorus management for crop and environment in China [J]. A review. *Plant Soil*, 2011, 349(1–2):157–167.
- [20] Yan, Z.J., Liu, P.P., Li, Y.H., et al. Phosphorus in China's intensive vegetable production systems: Overfertilization, soil enrichment, and environmental implications [J]. *J. Environ. Qual.*, 2009, 42(4):982–989.
- [21] Xu, X.P., He, P., Pampolino, M.F., et al. Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency [J]. *Field Crops Res.*, 2014, 157:27–34.
- [22] Poulton, P.R., Johnston, A.E., White, R.P. Plant-available soil phosphorus. Part I: the response of winter wheat and spring barley to Olsen P on a silty clay loam [J]. *Soil Use Manage.*, 2013, 29(1):4–11.
- [23] Johnston, A.E., Poulton, P.R., White, R.P. Plant available soil phosphorus. Part II: the response of arable crops to Olsen P on a sandy clay loam and a silty clay loam [J].

- Soil Use Manage., 2013, 29(1):12–21.
- [24] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护 [J]. 磷肥与复肥, 2003, 18(1):4–8.
- [25] 钟晓英, 赵小蓉, 鲍华军, 等. 我国 23 个土壤磷素淋失风险评估 I. 淋失临界值 [J]. 生态学报, 2004, 24(10):2275–2280.
- [26] Bai, Z.H., Li, H.G., Yang, X.Y., et al. The critical soil P levels for crop yield, soil fertility and environmental safety in different soil types [J]. Plant Soil, 2013, 372(1–2):27–37.
- [27] 熊桂云, 刘东碧, 陈防, 等. ASI 法测定土壤有效磷、有效钾和铵态氮与我国常规分析方法的相关性 [J]. 中国土壤与肥料, 2007, 3:73–76.
- [28] Ryan, J., Ibrikci, H., Delgado, A., et al. Significance of phosphorus for agriculture and the environment in the west Asia and north Africa region [J]. Advan. Agron., 2012, 114:91–153.
- [29] Kleinman, P.J., Sharpley, A.N., McDowell, R.W., et al. Managing agricultural phosphorus for water quality protection: principles for progress [J]. Plant Soil, 2011, 349 (1–2):169–182.
- [30] Schelske, C.L. Eutrophication: focus on phosphorus [J]. Science, 2009, 324:722–722.
- [31] 刘钦普. 中国化肥投入区域差异及环境风险分析 [J]. 中国农业科学, 2014, 47(18):3596–3605.
- [32] 李书田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡 [J]. 中国农业科学, 2011, 44(20):4207–4229.

北方苹果生产中的 4R 钾肥管理

李书田¹ 同延安² 崔荣宗³ 汪仁⁴ Alexey Shcherbakov⁵

(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. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 3. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 济南 250100; 4. 辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所, 沈阳 110161; 5. Uralkali Trading SIA Singapore Branch, Singapore 239519)

摘要: 苹果树体中的钾素含量比其他矿物质高, 与苹果果实产量和品质密切相关。钾肥品种对苹果产量和品质的影响没有差异, 但秋季基施结合果实膨大期追施钾肥有利于果实产量提高和品质改善。试验表明, 只要按照 4R 养分管理原则把合适的钾肥品种、用正确的用量、在合适的时期施在正确的位置, 就能生产高产优质的苹果。

苹果是中国主要水果之一, 面积 3400 多万亩, 产量约 4000 万吨, 占全国水果产量的 1/4。我国苹果主要分在陕西、山东、河北、河南、甘肃、辽宁等北方地区, 面积占全国的 80%^[1], 也是这些地区农民增收的主要经济作物。合理施肥不仅保证苹果高产、优质, 还能增加收入。在苹果需要的营养中, 钾 (K) 起着至关重要的作用, 不仅影响产量, 还影响品质和耐储性。缺钾苹果产量显著下降^[2], 而钾过量会影响苹果钙营养, 诱发生理病害如苦痘病^[3]。因此, 合理的钾肥供应对提高苹果产量与改善品质至关重要。

研究表明, 每生产 6 吨 / 亩苹果需要从土壤中吸收 N - P₂O₅ - K₂O 8-3-16 公斤 / 亩, 比例为 1 : 0.38 : 2.0^[4], 表明苹果树需要比 N 或 P 更多的 K。充足的钾素供应可增加果实含糖量, 改善果实色泽和风味^[5-6]。苹果施肥效应中, 施钾效应最高, 其次是施氮效应, 然后是施磷效应^[7-8]。另外, 钾还是品质元素。它显著影响果实硬度、

可溶性固形物和可滴定酸含量^[9]。水培试验表明, 生长在含钾量高的营养液中的苹果比生长在含钾低的营养液中的苹果品质好, 而且苹果含钾量高有利于储存^[10]。

本文的目的是通过总结 IPNI 中国项目的研究结果结合文献综述阐明 4R 钾肥管理 (即把合适的钾肥品种、用正确的用量、在合适的时期施在正确的位置) 对北方苹果产量品质的影响和施肥建议, 为苹果高产优质生产提供技术参考。

正确的钾肥品种

钾肥种类很多, 但在苹果生产中常用的钾肥品种有 KCl 和 K₂SO₄, KCl 比 K₂SO₄ 价格低, K₂O 用量相同情况下, 施用 KCl 可降低成本, 提高经济效益。在山东 15 年树龄果园的研究表明, 用 KCl 春季基施 0.6 公斤 K₂O / 株比不施钾增产 16.7%^[11]。陕西 5 年定位试验表

表 1 钾肥品种对苹果产量品质的影响

地点	钾肥品种	果实产量 (吨 / 亩)	可滴定酸 (%)	果实硬度 (公斤 / 厘米 ²)	可溶性固形物 (%)	K (克 / 公斤 干物重)
辽宁	不施钾	3.77b	0.37a	7.90b	11.30b	7.07a
	KCl	4.43a	0.37a	8.40a	12.60a	6.73a
	K ₂ SO ₄	4.41a	0.36a	8.60a	11.50b	6.93a
山东	不施钾	3.07b	0.83a	7.22a	10.80b	4.45b
	KCl	3.23a	0.78a	7.41a	12.04a	5.18a
	K ₂ SO ₄	3.25a	0.78a	7.17a	11.88a	5.47a
陕西	不施钾	4.45b	0.27a	11.08a	12.70a	6.63a
	KCl	6.00a	0.30a	9.84a	12.30a	7.46a
	K ₂ SO ₄	5.34a	0.24a	9.42a	11.46a	6.74a

注: 苹果产量是两年平均产量, 品质指标来自第二年果实测定。每个地点数字后不同字母表示 5% 显著差异。

明, 秋季基施 KCl 0.25 公斤 K_2O / 株, 增加 13 年树龄果园苹果产量 22.5%, 并增加果实硬度, 提高可溶性固形物含量^[12]。在辽宁 15 年树龄苹果园施用 K_2SO_4 1.2 公斤 K_2O / 株增加苹果产量 67%, 提高可溶性糖含量, 降低可滴定酸含量^[7]。在辽宁的另外一个试验表明, 施用 K_2SO_4 6-29 公斤 K_2O / 亩增加苹果产量和品质^[13]。在巴西的研究表明, 尽管土壤交换钾含量高 (127-240 毫克/公斤), 施用 KCl 仍可改善果实品质, 且着色好、糖含量高、酸含量高^[14]。

有些研究比较 KCl 和 K_2SO_4 对苹果产量和品质的影响。在 K_2O 用量一致的情况下, K_2SO_4 的增产效果优于 KCl^[15], 而有研究指出, K_2SO_4 与 KCl 相比在提高苹果品质上没有明显优势^[11]。IPNI 中国项目在三地的试验表明, 施用钾肥比不施钾显著增加苹果产量, 相同用量 (0.30 公斤 K_2O / 株) 下 KCl 对产量和品质的影响与 K_2SO_4 相当 (表 1)。

正确的钾肥用量

我国苹果研究人员推荐苹果施用 N : P_2O_5 : K_2O 比例为 2 : 1 : 2。但实际推荐中富士苹果按照生产 100 公斤果实所需 0.8-0.56-0.64 公斤 N - P_2O_5 - K_2O 加上 200 公斤有机肥^[16]来计算。然而, 不同地区推荐量差异很大。例如, 目标产量 4 吨/亩的果园推荐施用 25.6 公斤 K_2O / 亩加上 8000 公斤有机肥。在陕西渭北干旱地区产量 2 吨

/ 亩的富士果园推荐平衡施肥量为 33.3-16.7-27.8 公斤 N - P_2O_5 - K_2O / 亩^[17]。在山东每生产 100 公斤苹果果实推荐 0.7-0.35-0.7 公斤 N - P_2O_5 - K_2O / 亩^[18]。巴西南部的研究表明, 欲获得 4.9-8.0 吨/亩的苹果最高产量, 每年需要施用 13-15 公斤 K_2O / 亩^[2]。以上这些结果很难比较, 因为苹果的推荐施肥量受各种因素如树龄、气候因子、土壤基础养分状况和水管理等的影

响。确定 K 肥用量的另一个方法是依据果实、叶片和修剪枝条带走的 K 量而定。某一产量下施用适量的钾肥来补充移走的钾, 施用量比移走量多或少需根据土壤钾素水平和钾的损失情况确定。IPNI 中国项目研究指出, 在辽宁、山东和陕西果园每年通过果实、叶片和修剪枝条带走的 K 量平均分别为 13.9-18.3、4.9-5.6、7.7-9.8 公斤 K_2O / 亩 (表 2)。理论上欲保持 K 平衡施钾量至少等于移走量。在土壤钾肥力低的土壤上, K 推荐量应高于移走量, 以逐渐培肥土壤, 而在土壤钾肥力高的土壤上,



表 2 不同地点的苹果园钾素年均移走量

地点	公斤 K_2O / 株	果实 叶片 修剪枝条			总量
		----- (公斤 K_2O / 亩) -----			
辽宁	0	4.33	5.10	4.47	13.90
	0.15	4.97	6.23	4.70	15.90
	0.30	4.70	5.57	5.37	15.63
	0.45	4.77	6.03	5.73	16.53
	0.60	5.07	6.90	6.23	18.20
山东	0	2.43	2.27	0.23	4.93
	0.15	2.57	2.43	0.27	5.27
	0.30	2.83	2.30	0.30	5.43
	0.45	2.70	2.43	0.23	5.37
	0.60	3.07	2.20	0.30	5.57
陕西	0	4.90	2.27	0.53	7.70
	0.15	5.70	2.50	0.47	8.67
	0.30	6.63	2.53	0.47	9.63
	0.45	6.40	2.87	0.57	9.83
	0.60	4.83	2.77	0.43	8.03

施钾量应该低于移走量，以利用土壤钾素。

钾肥用量试验也可用于确定钾肥用量。IPNI 中国项目试验表明，在辽宁、山东、陕西果园施用 KCl 比不施钾分别增加苹果产量 6.7%—25.5%、1.3%—5.6%、15.2%—34.9%。根据 KCl 用量和苹果平均产量的关系计算出这三省经济最佳施钾量分别为 43.9、26.7、38.9 公斤 K_2O / 亩 (0.79、0.45、0.35 公斤 K_2O / 株)，最高产量施钾量为 44.9、29.7、38.9 公斤 K_2O / 亩 (0.81、0.50、0.35 公斤 K_2O / 株) (图 1)。这一结果与西 10 年红富士果园研究推荐 40 公斤 K_2O / 亩 (0.36 kg K_2O / 株) 的结果一致^[19]，在辽宁红富士果园施用 44 公斤 K_2O / 亩 (0.44 kg K_2O / 株) 可获得最高产量^[20]。

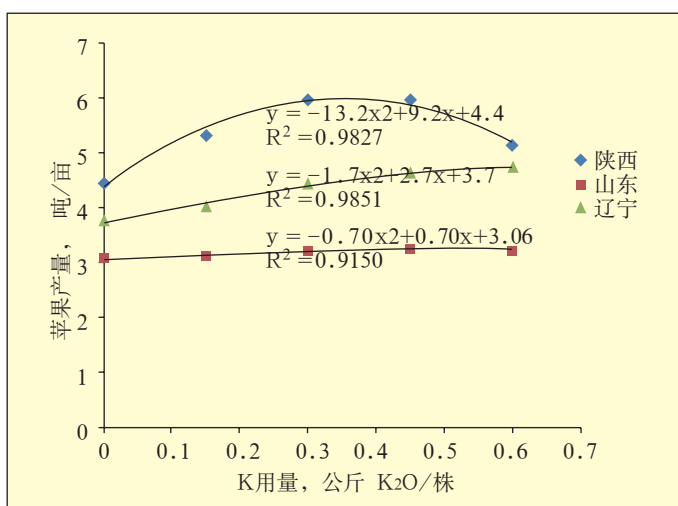


图 1 KCl 用量与苹果产量的关系

正确的钾肥施用时期

通常情况下从秋季收获到冬季苹果树体从土壤中吸收养分储存起来确保来年春季发芽、开花和新枝生长过程中充足的养分供应。养分吸收在春季开花后增加，果实膨大到成熟达到吸收高峰。苹果树从土壤中累积钾主要发生在花期到果实膨大期 (4 月 30 日—9 月 21 日) 和秋季收获到冬季 (9 月 21 日—1 月 15 日)^[21]。从 4 月 30 日到 7 月 30 日整株树体累积钾量增加 82.6%，果实累积钾量从 7 月 30 日到 9 月 21 日显著增加。这些数据说明一年中生长后期的钾素营养对苹果产量和品质很重要。

IPNI 中国项目研究表明，把钾肥推荐量的一半或全部在开花期或果实膨大期施用比全部钾肥基施可获得更高的苹果产量 (表 3)，此结果与其他研究结果一致，即钾肥正确的施肥时期为果实膨大期^[5]。而有研究指出，钾肥分次施用比全部基施增加苹果产量 20.5%—27.7%，正确的施肥时期是 50% 的钾肥基施，50% 的钾肥果实膨大期施^[22]。然而，值得注意的是施用钾肥降低果实钙 (Ca) 含量，增加 K / Ca 比，而且钾肥施用越晚越影响果实 Ca 含量，导致果实硬度下降 (表 3)。果实硬度与果实钾或钙含量正相关，但与 K / Ca 比呈负相关 (图 2)，与 Dilmaghani 等的研究结果相似^[23]。Nava 和 Dechen 也指出，施钾果实含钾量和 K / Ca 比高，而果实 Ca 含量降低^[3]。这些数据说明施钾时补充钙素营养非常重要。



表 3 KCl 施用时期对苹果果实品质的影响

地点	K 施用时期	果实产量 (吨/亩)	硬度 (公斤/厘米 ²)	K		Ca	K / Ca
				(克/公斤干物质)		(克/公斤干物质)	
辽宁	- K	3.87c	7.90d	7.07a	1.03a	6.9	
	100% B	4.56b	9.00a	6.80b	0.93a	7.3	
	50% B+50% FE	4.83a	8.80ab	7.03a	0.93a	7.6	
	50% FL+50%FE	4.69ab	8.60bc	7.03a	0.97a	7.2	
	100% FE	4.54b	8.57c	6.83b	0.50b	13.7	
山东	- K	3.03b	7.26a	5.07c	0.47ab	10.8	
	100% B	3.21a	7.30a	5.33ab	0.43bc	12.4	
	50% B+50% FE	3.31a	7.30a	5.48a	0.43ab	12.7	
	50% FL+50%FE	3.21a	7.30a	5.26bc	0.39cd	13.5	
	100% FE	3.14a	7.32a	5.27b	0.38d	13.9	
陕西	- K	4.47b	11.08ab	7.63a	1.17a	6.5	
	100% B	4.54b	10.95ab	9.01a	0.97ab	9.3	
	50% B+50% FE	5.18a	11.31a	7.52a	1.02a	7.4	
	50% FL+50%FE	5.61a	10.13ab	8.01a	1.15a	7.0	
	100% FE	5.51a	8.97b	8.56a	0.71c	12.1	

注：果实产量为两年平均值，B：基肥，FE：果实膨大期，FL：开花期

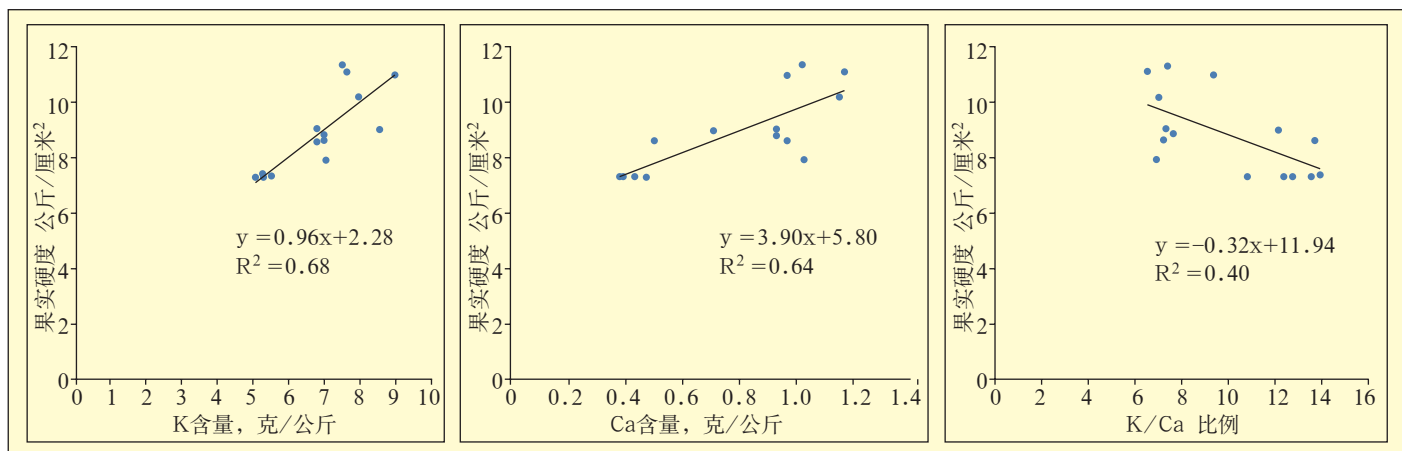


图 2 苹果果实硬度与果实 K、Ca 含量及 K/Ca 比的关系

总之，北方苹果正确的钾肥施用时期是秋季基肥和果实膨大期追施各半。

正确的钾肥施用位置

苹果树水平根系主要分布在树冠投影区域，根系深度分布在 20—50 厘米。这种根系分布有利于根区施肥时养分吸收。一般情况下有三种施肥方法，包括环状沟施肥、条状沟施肥和从树干开始的放射施肥法，具体用何种施肥方法取决于树龄和种植密度。幼树一般用环状沟施肥，即距树干 20—30 厘米挖 40—50 厘米宽、50—60 厘米深沟施肥。高密度果园通常采用条状沟施肥，即离树干 40—50 厘米沿树行开沟（40—50 厘米宽、50—60 厘米深）施肥。密度低大果树通常采用自树干放射性施肥，即把肥料施在

离树干 50 厘米远、围绕果树 3—6 条长 0.5—1 米的放射状沟（20—40 厘米宽、20—40 厘米深）中。以上三种施肥方法都要注意避免挖沟时伤根，并且施肥后覆土、灌水。

另一种施肥方法是通过滴灌施肥，灌溉施肥是把可溶性养分通过与灌水结合施在根区，是提高养分和水分利用效率的好方法。Raina 等研究指出，灌溉施肥比漫灌下的常规施肥提高 35% 的苹果产量、节省 25% 的灌水^[24]。因此，在水分缺乏、肥料利用率低的北方苹果生产中灌溉施肥是最合适的施肥方法。

叶面施肥也可用于苹果各生育时期补充钾素营养。苹果果实膨大期液面喷施 K_2SO_4 和其他营养元素如 Ca 是提高产量、改善品质、防止苦痘病等生理病害最有效的方法^[5, 25]。

小结

这篇文章阐明了钾在苹果生产中的重要作用。KCl 和 K_2SO_4 对苹果产量和品质的影响无显著差异。钾肥用量取

决于产量、钾素移走量以及土壤基础钾素状况；钾肥在秋季收获后和果实膨大期各施一半有利于苹果产量提高和品质改善。钾肥施肥位置决定于树龄和密度。按照 4R 养分管理原则管理钾肥可获得高产和优质的苹果。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部 (MOA). 中国农业统计资料 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [2] Ernani PR, Dias J, Flore JA. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil [J]. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 2002, 33(7&8):1291-1304.
- [3] Nava G, Dechen AR. Long-term annual fertilization with nitrogen and potassium affect yield and mineral composition of Fuji apple [J]. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)*, 2009, 66(3):377-385.
- [4] 高义民, 同延安, 路永莉, 等. 长期施用氮磷钾肥对黄土高原地区苹果产量及土壤养分累积与分布的影响 [J]. *果树学报*, 2012, 29(3):322-327.
- [5] 王勤, 何为华, 郭景南, 等. 增施钾肥对苹果品质和产量的影响 [J]. *果树学报*, 2002, 19(6):424-426.
- [6] 张立新, 张林森, 李丙智, 等. 旱地苹果矿质营养及其在生长发育中的作用 [J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(3):111-115.
- [7] 王春枝, 朱福磊, 刘丽杰, 等. 氮磷钾肥对红富士苹果产量品质和叶片矿质元素含量的影响 [J]. *中国果树*, 2009, (2):14-17.
- [8] 孙霞, 柴仲平, 蒋平安. 氮磷钾配比对南疆红富士苹果产量和品质的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(6):130-134.
- [9] 张东, 赵娟, 韩明玉, 等. 黄土高原富士苹果叶片矿质养分与果实品质相关性分析 [J]. *园艺学报*, 2014, 41(11):2179-2187.
- [10] Yoshioka H, Aoba K, Fukumoto M, et al. Effect of nitrate and potassium nutrition on the storability of apple fruit [J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1989, 58(3):475-481.
- [11] 唐旭日. 密植苹果园施钾肥对产量及品质的影响 [J]. *北方园艺*, 2007, (10):38-39.
- [12] 赵佐平, 同延安, 高义民, 等. 不同肥料配比对富士苹果产量及品质的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(5):1130-1135.
- [13] 薛文辉. 施用钾肥对苹果产量及果实品质的影响 [J]. *现代农业科技*, 2015, 5:103-104.
- [14] Nava G, Dechen AR, Nachtigall GR. Nitrogen and potassium fertilization affect apple fruit quality in Southern Brazil [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2008, 39(1-2):96-107.
- [15] 陈卫平, 渠慎春, 陈国强, 等. 配方施肥对苹果产量及品质的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2006, (5):165-166.
- [16] 席瑞卿. 苹果树养分吸收利用特征及其养分资源管理 [D]. 中国农业大学硕士学位论文, 2006:pp7.
- [17] 刘汝亮, 同延安, 高义民, 等. 渭北旱塬苹果园土壤养分状况分析与平衡施肥研究 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2008, 36(3):135-140.
- [18] 郝文强, 李翠梅, 姜远茂, 等. 栖霞市苹果园养分投入状况调查分析 [J]. *山东农业科学*, 2012, 44(6):77-78.
- [19] 金会翠, 张林森, 李丙智, 等. 增施钾肥对红富士苹果叶片营养及果实品质的影响 [J]. *西北农业学报*, 2007, 16(3):100-104.
- [20] 冯振. 不同施钾水平对红富士苹果产量和品质的影响 [J]. *安徽农学通报*, 2015, 21(03-04):56-57.
- [21] 樊红柱, 同延安, 吕世华, 等. 苹果树体钾含量与钾累积量的年周期变化 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2007, 35(5):168-172.
- [22] 路永莉, 杨宪龙, 李茹, 等. 不同施钾时期对红富士苹果产量和品质的影响 [J]. *应用生态学*, 2015, 26(4):1179-1185.
- [23] Dilmaghani MR, Malakouti MJ, Neilsen GH, et al. Interactive effect of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Iran [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2004, 27(7):1149-1162.
- [24] Raina JN, Suman S, Kumar P, et al. Effect of drip fertigation with and without mulch on soil hydrothermal regimes, growth, yield, and quality of apple (*Malus domestica* Borkh) [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2013, 44:2560-2570.
- [25] Doroshenko T N, Ostapenko V I, Ryazanova L G. Formation of the quality of apple fruits under the effect if the foliar application of potassium [J]. *Russian Agricultural Sciences*, 2005, 5:29-32.

中国水稻生产及平衡施肥效果和技术简介

陈防^{1,3} 张过师^{1,3} 涂仕华^{2,4}

(1. 国际植物营养研究所武汉办事处, 武汉 430074; 2. 国际植物营养研究所成都办事处, 成都 610066; 3. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074; 4. 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066)

一 水稻生产的基本状况

人类栽培水稻的历史大约有一万年, 主要起源于泰国、缅甸和中国。世界上水稻品种成千上万, 但栽培稻 (*Oryza L.*) 均起源于野生稻, 包括籼稻、粳稻、黏稻、糯稻、深水稻、陆稻。从水稻种质资源类型来看, 普通栽培的水稻又可分为印度稻 (*Indica*), 日本稻 (*Japonica* 或 *Sinica*), 爪哇稻 (*Javanica*), 我国相应称之为籼稻、粳稻、爪哇稻。以上三个亚种中, 爪哇稻实际属于中间类型。从主要稻作类型与分布来看, 世界上灌溉稻有 7900 万公顷, 占 52%; 雨养稻约 5400 万公顷, 占 34%; 旱稻约 1500 万公顷, 占 10%; 深水稻、浮稻约 500 万公顷, 占 3-4%^[1]。

目前全世界水稻常年种植面积基本稳定在 1.5 亿公顷, 各大洲均有水稻栽培, 其中亚洲水稻面积约占世界的 90%, 美洲约占 4%, 非洲约占 3%。栽培大国主要是中国 (约占世界水稻面积的 20%, 产量的 32%) 和印度 (约占世界水稻面积的 29%, 产量的 22%), 此外还有孟加拉、印尼和泰国, 这些国家的水稻面积达本国作物栽培面积的 70%。亚洲的印度、中国、印尼、泰国和菲律宾 5 个国家的水稻栽培面积占了全世界总面积的 65%。虽然全世界水稻栽培的总面积变化不大, 但近几十年来随着良种和改良栽培技术的推广, 水稻单产已大幅提高, 平均产量从 1975 年的 113 公斤/亩增加到 2008 年的 275 公斤/亩。目前各主要水稻生产国的水稻主要用于本国消费, 仅有 6-7% 的稻谷用于出口^[2-3]。

中国是世界上的水稻消费大国, 水稻种植面积占粮食种植面积的 1/3, 产量占粮食总量的一半, 人均年消费稻米 150 公斤以上。中国稻作分布广泛, 从南到北跨越热带、亚热带、暖温带、中温带和寒温带 5 个温度带。除青海外, 从南到北 (海南-黑龙江漠河), 从东到西 (台湾-新疆), 不同海拔高度 (沿海平原-云南宁蒗县山区, 海拔 2965 米) 均有水稻种植。目前中国水稻种植主要在

秦岭-淮河以南并以籼稻为主, 而北方主要在东北地区并以粳稻为主。

按世界品种类型划分, 中国目前籼稻约占 70%, 粳稻约占 30%; 杂交水稻和常规水稻约各占 50% (其中: 杂交粳稻约占粳稻的 30%, 杂交籼稻约占籼稻的 70%)。按世界稻作类型划分, 中国灌溉稻约占 93%, 雨养稻约占 4%, 旱稻约占 3%。按栽培季节划分, 中国早稻占 22.0%, 中稻 (单季稻) 占 55.5%, 晚稻占 22.5%。水稻的一生中从种子萌芽到新种子形成, 整个生育期需要 90-180 天, 经历发芽、出苗、分蘖、拔节、长穗、抽穗、结实等阶段。从生育进程来看, 要经历营养生长期 (包括秧苗期、分蘖期和拔节期) 和生殖生长期 (包括成穗期和结实期)^[1]。

二 水稻的营养特性

水稻对土壤肥力和养分平衡状况较敏感, 任何一种必需营养元素的失调都会对其正常发育、产量形成和抗胁迫能力造成影响。土壤贫瘠时施肥往往增产提质, 但高量施肥常增产降质, 而单一高量施肥常减产且低质。适量施氮和分次施氮可提高水稻精米率、米粒透明度和蛋白质含量, 减少米粒的白垩和直链淀粉含量。水稻孕穗期追施氮肥通常可增加千粒重和蛋白质含量, 但过量施氮, 特别是在灌浆期过量施氮, 会由于蛋白质增加而导致稻米口味变差。不同土壤类型对稻米品质如蛋白质含量和垩白大小有明显影响, 种植在花岗岩母质发育的水稻土上的稻谷口感往往好于火山母质发育的水稻土, 湿地好于旱稻, 平原好于山区, 深耕及容重小的土壤好于浅耕和紧实的土壤。

在不同的营养元素中, 水稻产量、品质和抗性受 N、K 营养失调的影响最大, 其他养分如 P、Zn、S、Si、Mg、Ca 等也有影响, 但不如 N 和 K 的影响大。到目前为止发现水稻必需的营养元素有 18 种 (C, H, O, N, P, K, Si, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Cl,

Se)。通常每生产 100 公斤稻谷需要吸收 N 1.6–2.5 公斤, P_2O_5 0.6–1.3 公斤, K_2O 1.4–3.1 公斤, Si 17.5–20 公斤, 平均比例为 1 : 0.5 : 1.3 : 10.9。而且随着产量的提高, 每生产 100 公斤稻谷的养分需要量也随之升高。土壤氮、磷和硫的含量与水稻蛋白质、精米率和直链淀粉含量呈正相关, 锰含量高则垩白大, 香稻一般生长在含锌量较高的土壤上。钾素可以促进水稻氮的代谢和光合产物向子粒的输送, 研究表明, 施用钾肥可提高水稻的风选率 1.3–1.7%, 增加糙米蛋白质含量 2.8–6.8%^[3]。另外, 施钾还可以减轻真菌病害, 且早稻和晚稻的趋势相同。

三 IPNI 中国项目水稻平衡施肥的效果

自 1982 年开始至今, 国际植物营养研究所 (IPNI) 及其前身国际钾磷研究所 / 加拿大钾磷研究所 (PPI / PPIC) 中国项目部在全国范围的研究与技术示范合作项目中开展了 1500 余个水稻平衡施肥田间试验, 较全面地研究了平衡施肥对主产区水稻生产的影响和效果, 建立了全国水稻试验数据库, 并通过田间示范田、技术培训和新闻媒体等不同形式进行了大面积的技术示范和推广。水稻土壤养分的化验分析和平衡施肥研究结果表明, 全国约有 80% 的水田土壤缺氮且有机质低于 1.5%, 40% 缺磷, 45% 缺钾, 65% 缺锌。根据多年多点的试验结果, 已初步提出水田土壤分析的有效养分含量临界值并用于区域性水稻推荐施肥。这些前期的研究结果为目前进一步实施 IPNI 的 4R 养分管理策略和应用开发水稻养分管理专家系统 (Nutrient Expert[®]) 打下了良好基础^[4]。

根据 2001–2011 年 IPNI 中国项目在我国南方地区 8 个省的 46 个早稻氮肥试验, 55 个磷肥试验和 55 个钾肥试验的统计结果表明: 早稻施氮平均增产 22.6%, 氮肥农学效率 (AE) 为 11.9 公斤 / 公斤 N; 施磷平均增产 10.6%, 磷肥农学效率为 11.2 公斤 / 公斤 P_2O_5 ; 施钾平均增产 11.2%, 钾肥农学效率为 5.5 公斤 / 公斤 K_2O 。晚稻施氮平均增产 26.2%, 氮肥农学效率为 11.5 公斤 / 公斤 N; 施磷平均增产 7.4%, 磷肥农学效率为 10.6 公斤 / 公斤 P_2O_5 ; 施钾平均增产 12.3%, 钾肥农学效率为 7.2 公斤 / 公斤 K_2O 。中稻或一季晚稻施氮平均增产 24.8%, 氮肥农学效率为 9.2 公斤 / 公斤 N; 施磷平均增产 8.9%, 磷肥农学效率为 9.0 公斤 / 公斤 P_2O_5 ; 施钾平均增产 8%, 钾肥农学效率为 4.6 公斤 / 公斤 K_2O 。总的来看氮肥的效果

好于钾肥, 钾肥的效果好于磷肥, 平衡施肥处理产量比习惯施肥明显提高^[5-7]。

IPNI 中国项目近 10 年来的田间试验、示范、调查和中国农业年鉴的统计数据显示, 目前在我国南方地区早稻产量一般可以达到 433 公斤 / 亩, 晚稻产量一般可以达到 467 公斤 / 亩, 中稻 (一季晚稻) 产量一般可以达到 600 公斤 / 亩。我们的试验结果表明, 平衡施肥在早稻上产量可达到 562 公斤 / 亩, 平均增产 29.6%; 在晚稻上可达 580 公斤 / 亩, 平均增产 24.3%; 在中稻或一季晚稻上可达 647 公斤 / 亩, 平均增产 7.8%^[8-10]。我国东北地区水稻平衡施肥试验结果也表明, 平衡施肥或推荐施肥处理通常比农民习惯施肥增产 7–16%。

从水稻施肥的经济效益来看, 2001–2010 年的十年期间肥料市场上商品化肥的平均价格上涨明显, 以纯养分计算, 其中 N 平均价格上升了 48.1%, P_2O_5 平均价格上升了 75%, K_2O 平均价格上升了 236.8%。总的来看, 这十年中肥料价格的上涨幅度大于水稻价格的上涨幅度, 更是显著大于水稻产量的增加幅度。但由于产品价格对种植业纯收益的影响比较大, 因此, 产品价格的上升, 是在抵消了肥料价格上涨带来的效益下降之后, 还使同期水稻种植的纯收益上升了 42–249%^[11]。

四 水稻平衡施肥的策略与技术

与其他作物一样, 为了获得水稻高产优质和生态环境安全, 在水稻养分管理上我们提倡把正确的肥料品种, 以正确的用量在正确的时间施在正确位置 (4R 养分管理)。土壤是作物生长和农业生产的基础。因此, 当我们进行水稻施肥时首先应对土壤肥力状况有所了解, 必要时应取土化验或进行养分空白田间试验, 根据研究结果和种植的作物来选择合适的肥料并进行施肥量和施肥方法的推荐, 在条件允许的情况下尽可能采用增施有机肥、秸秆还田、稻草覆盖等农艺措施对土壤进行培肥。水稻生长过程中的养分管理特别是氮素的调控目前可以采用的几种主要方法包括: 叶龄法、植株营养诊断法、目标产量法、定时 (实时) 监控法。

根据前期的研究结果, 水稻的相应的大量元素施肥量一般为, 早稻: N 10–12 公斤 / 亩, P_2O_5 4–6 公斤 / 亩, K_2O 4–6.7 公斤 / 亩; 晚稻: N 12–14 公斤 / 亩, P_2O_5 4–6 公斤 / 亩, K_2O 5–7 公斤 / 亩; 中稻: N 15–18.7

公斤/亩, P_2O_5 5–6.3 公斤/亩, K_2O 5–8 公斤/亩。在长江中下游地区, 一般中等肥力的水田每亩施用 N 10–12 公斤/亩, P_2O_5 4–7 公斤/亩, K_2O 4–8 公斤/亩。从施肥方式来看, 有机肥、磷、钾肥通常可作为基肥在插秧前一次施入, 钾肥亦可分为基肥和追肥分次施入; 氮肥(普通尿素)的 50–70% 作基肥, 其余可作分蘖肥、穗肥和粒肥分次施入; 亦可选用适合当地土壤条件的水稻专用肥及其配套施肥技术^[8]。在水稻施用缓控释尿素的情况下, 一般可将氮肥的用量减少 20% 左右。施肥时可将全部缓控释尿素作基肥, 或与普通尿素按缓控释尿素 70–80%, 普通尿素 20–30% 的比例配合施用。

目前国际植物营养研究所中国项目正在全国范围内开发推广水稻养分管理专家系统(Nutrient Expert[®]), 该系统是在遵循 4R 养分管理策略的前提下, 以经过实际验证的数学模型和计算机程序为手段, 以大量的自然环境背景资料和当地作物种植的关键数据为基础, 充分考虑和利用土壤本身的肥力条件和养分资源、作物类型、轮作制度及肥料的种类, 在作物需要时给予施肥推荐的一种作物养分管理专家系统, 具有与作物反应的相关性好、操作简便、及时, 价格低廉、可利用网络进行推荐施肥等优点, 已在世界的许多国家和我国许多地区进行推广。

参考文献

- [1] 中国农业百科全书编辑委员会编, 中国农业百科全书—农作物卷 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- [2] 中国农业年鉴编辑委员会编. 中国农业年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002–2011.
- [3] Fang Chen, Kaiyuan Wan, Yong Tao, et al. Progress and strategy for rice nutrition management in China [J]. Proceedings of Plant nutrition Management in Sustainable Agriculture, Jiangxi People's Publish House, 2008, 19–25.
- [4] 陈防, 郑圣先. 我国南方作物高效施钾技术的研究进展 [J]. 土壤肥料, 2004, (6):28–32.
- [5] 陈防, 刘冬碧, 熊桂云, 等. 中亚热带两种水稻土壤养分空间变异的对比研究 [J]. 土壤学报, 2006, 43(4):688–692.
- [6] 刘冬碧, 熊桂云, 张继铭, 等. 湖北省粮食主产区土壤养分的空间变异性研究 [J]. 湖北农业科学, 2007, 46(6):904–907.
- [7] Xiaokun Li, Jianwei Lu, Lishu Wu, et al. The difference of potassium dynamics between yellowish red soil and yellow cinnamon soil under rapeseed (*Brassica napus* L.)–rice (*Oryza sativa* L.) rotation [J]. Plant & Soil, 2009, 320:141–151. DOI 10.1007/s 11104–008–9879–7.
- [8] 刘冬碧, 范先鹏, 杨利, 等. 江汉平原水稻肥水管理现状与技术对策 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49(8):1831–1835.
- [9] 王伟妮, 鲁剑巍, 陈防, 等. 湖北省水稻施肥效果及肥料利用率现状研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2):289–295.
- [10] 汤雷雷, 万开元, 李祖章, 等. 施肥模式对双季稻产量、养分吸收及经济效益的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2):259–268.
- [11] 陈防, 张过师. 中国东南地区水稻和油菜化肥施用的产量和效益分析 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(21):141–144.

侧条施肥技术对宁夏水稻产量和氮素利用效率的影响

刘汝亮 王芳 李友宏 赵天成 陈晨 洪瑜

(宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002)

摘要: 利用田间小区试验, 系统研究了基于缓释肥料的侧条施肥技术对水稻产量和氮素利用效率的影响。试验结果表明: 与农民常规施肥处理 (FP) 比较, 侧条施肥技术高缓释肥处理 (HF) 水稻氮素投入比农民常规施肥处理 (FP) 降低约 40%, 水稻产量没有显著降低, 穗粒数比农民常规施肥处理增加了 8.36%。侧条施肥技术显著提高了水稻地上部吸氮量和氮肥偏生产力, 降低了氮素的表观损失量。侧条施肥各处理氮肥偏生产力在 39.1–67.8 公斤/公斤之间, 显著高于 FP 处理的 23.7 公斤/公斤。FP 处理氮素表观损失量高达 11.6 公斤/亩, 侧条施肥各处理表观损失量在 1.55–4.13 公斤/亩之间。综合考虑水稻产量和环境因素, 基于缓释肥料的侧条施肥技术是一种资源节约和环境友好的施肥技术。

关键词: 侧条施肥; 水稻; 产量; 氮平衡

随着农业生产水平日益提高, 农田尤其是稻田化肥过量施用导致的退水面源污染正在成为影响宁夏引黄灌区黄河水质的重要原因。长期以来, “大肥大水”促高产是农民追逐高产的主导思想, 宁夏引黄灌区化肥的投入已经处于较高水平, 加上大水漫灌等不合理灌溉方式, 不仅造成水资源的浪费, 而且还导致肥料流失严重。据统计, 宁夏引黄灌区近年来单位面积施用纯 N 量为 20–24 公斤/亩^[1-2]。氮素在土壤中的迁移受到灌溉的显著影响, 随着水分运移淋失是导致各种环境问题产生的直接原因^[3-4]。因此, 减少因稻田退水导致的农业面源污染对保障宁夏段黄河水质安全与整个黄河流域社会经济的可持续发展, 具有现实迫切性与长远的战略意义。

选择适当的氮肥种类和改进施用方式是降低肥料用量和提高利用率的有效途径^[5]。近年来国内研究结果表明缓/控释肥料因其溶解和释放速度缓慢, 可以减少肥料损失, 提高氮素利用率^[6]。翟军海等^[7]报道了施用控释/缓释肥料可使氮肥利用率达 60%–80%, 达到相同作物产量氮肥用量降低 10%–50%, 减少淋溶损失, 降低 NO₃⁻-N 污染。侧条施肥技术在提高氮肥利用率、降低养分流失方面效果显著, 为控制农业面源污染, 日本从上世纪 90 年代开始推广应用。侧条施肥是指利用侧条施肥机器在水稻插秧时将肥料呈条状集中施在水稻一侧 3–5

厘米左右, 施肥深度为 2–5 厘米, 肥料在水稻根际形成一个贮肥库逐渐释放供给水稻吸收, 降低了养分的固定和流失, 从而提高了肥料的利用率^[8]。扈艳萍等^[9]研究结果表明, 水稻机插侧条施肥与常规施肥相比, 肥料利用率提高了 19.9%, 增产 16.0%。国内将缓释肥料和侧条施肥技术结合起来的研究还未见报道, 本文利用中日政府合作项目—环境友好型农业技术开发和利用, 从日本引进了侧条施肥机在宁夏引黄灌区开展田间试验, 旨在明确基于缓释肥的侧条施肥技术对提高水稻产量和减少氮素损失的效果, 为环境友好型农业技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

田间试验于 2011 年 4 月–10 月宁夏灵武市灵武农场三队农田进行。试验点位于东经 106°17′58″, 北纬 38°07′33″, 该区属温带大陆性半干旱气候, 海拔为 1110 米, 多年平均降水量 192.9 毫米, 年蒸发量 1762.9 毫米, 平均温度 8.9℃, 全年日照 4434.7 小时, 无霜期 163 天, 年平均积温为 3866.3℃。供试土壤类型为灌淤土, 2011 年试验开始前农田土壤基本理化性质如表 1 所示, 供试田块土壤基础肥力中等偏上。

本研究由中国—国际植物营养研究所 (IPNI) 北京办事处, 宁夏农业综合开发办公室科技推广项目资助

作者简介: 刘汝亮 (1982–), 男, 博士, 副研究员, 从事施肥与环境 and 农业面源污染防控, E-mail: ruliang_liu@126.com

通讯作者: 王芳 (1968–), 女, 硕士, 研究员, 从事植物营养和农业环境保护研究, E-mail: berrywang@vip.sina.com

表 1 供试土壤的基本理化性质

土壤层次 (厘米)	容重 (克/厘米 ³)	质地	有机质	全氮	速效氮	速效磷	速效钾
			(克/公斤)				
0~20	1.48	中壤	13.5	0.94	78.2	29.7	167.0

1.2 试验设计

田间小区试验设以下 5 个处理：1) 不施肥料 (CK)；2) 低量缓释肥 (LF)；3) 中量缓释肥 (MF)；4) 高量缓释肥 (HF)；5) 农民常规施肥 (FP)；各处理施肥量见表 2。缓释肥料由山东烟台农资金太阳有限公司生产，其中 N 含量为 23.0%，P₂O₅ 为 13.0%，K₂O 为 10.0%。农民常规施肥处理氮素用尿素 (N, 46%)，磷肥用重过磷酸钙 (P₂O₅, 46%)，钾肥用氯化钾 (K₂O, 60%)。缓释肥料全部做基肥在插秧时用机器一次施入，农民常规处理 60% 的氮素肥料和全部磷钾肥料在整田时做基肥施入，剩余氮肥分别在水稻分蘖期和孕穗期做追肥施入，两次追肥量均为 20%。

供试水稻品种为 96D10。5 月 20 日育秧，6 月 17 日插秧，10 月 12 日收获。用侧条插秧机配套的专用育秧盘，每盘 448 穴。当秧苗高度长至 12 厘米左右时用侧条施肥机器插秧。水稻株距为 16 厘米，行距 33 厘米，每穴 3—4 株。试验小区长 43.5 米，宽 7.8 米，面积 340 米²。各试验小区之间在水稻种植前用双层塑料膜隔离，地下埋深 30 厘米，地面田埂包高 30 厘米，以减少处理间的侧渗和

串流。每个小区都设有单独的排水口和灌水口，单排单灌，灌溉水引自黄河水，其余田间管理同当地的农作习惯。水稻生长期间，水不人为排出田外，保持田面原有水深，让其自然渗漏和蒸发。每个处理重复 3 次，小区随机区组排列。水稻测产方法为小区全部收获，同时采集 1.2 米的样品进行室内考种。

1.3 测定方法

水样硝态氮和铵态氮用法国产 FUTURA 流动分析仪测定，土壤容重用环刀法，土壤和植株全氮用凯氏法，全磷用钼锑抗比色法，全钾用火焰光度法。

数据处理采用 EXCEL 和 SAS (8.0) 软件，方差分析用 LSD 检验。

2 结果与分析

2.1 侧条施肥技术对水稻产量的影响

施肥是水稻获得高产的保障。试验结果表明，各处理水稻植株和籽粒产量均随着施肥量的提高而增加。各施肥处理间比较，农民常规处理 (FP) 子粒产量最高，为

表 2 侧条施肥试验设计

处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	缓释肥料用量 (公斤/亩)
	(公斤/亩)			
CK	0.0	0.0	0.0	0.0
LF	4.9	2.8	2.1	21.4
MF	8.3	4.7	3.6	36.2
HF	11.7	6.6	5.1	51.0
FP	20.0	6.0	5.0	0.0

表 3 侧条施肥对水稻产量的影响

处理	秸秆产量	增产率	子粒产量	增产率
	(公斤/亩)	(%)	(公斤/亩)	(%)
CK	196d	--	226d	--
LF	274c	39.4	334c	48.1
MF	309c	57.4	387b	71.2
HF	362b	84.2	459a	103.1
FP	386a	96.3	473a	109.6

注：同列内不同字母表示差异显著 (p < 0.05)，下同。

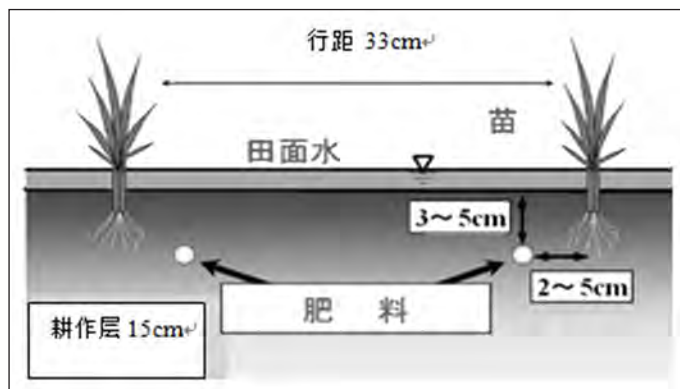


图 1 侧条施肥技术示意图

473 公斤/亩，其次是高缓释肥 (HF)，子粒产量为 459 公斤/亩，分别比对照提高了 247 公斤/亩和 233 公斤/亩，但农民常规处理 (FP) 处理与高缓释肥处理 (HF) 间差异不显著。中量缓释肥 (MF) 处理子粒产量为 387 公斤/亩，显著低于 FP 和 HF 处理。利用缓释肥料配合侧条施肥技术，HF 处理在氮素投入降低约 40% 的条件下，水稻子粒产量与 FP 处理比较没有显著降低，原因是因为缓释肥料在水稻根际附近形成的贮肥库可以缓慢释放养分供给水稻的需求，为水稻产量形成奠定了基础。

表4 侧条施肥对水稻产量构成因素的影响

处理	株高	穗长	穗粒数	有效穗	千粒重
	(厘米)		(个)	(个/米 ²)	(克)
CK	69.4 c	12.1 c	71.8 b	182 c	25.2 a
LF	84.8 b	14.9 b	93.2 a	286 b	26.2 a
MF	89.7 b	16.2 a	107.8 a	347 a	26.7 a
HF	97.8 a	17.8 a	118.4 a	384 a	26.5 a
FP	99.6 a	15.9ab	109.3 a	417 a	23.8 a

水稻苗期之后分蘖消长是水稻生长发育的基本特性之一，也是形成水稻健康群体进而实现高产的前提^[11]。农民常规施肥处理模式一般为基肥占60%，分蘖期追施20%。由于在水稻分蘖前就投入了大量的氮素，能够促进水稻早生快发，形成较高的分蘖数，从而为水稻高产打下基础。缓释肥料由于前期分解速率慢，势必会影响到水稻分蘖。在本研究条件下，农民常规处理（FP）水稻有效穗为417个/平方米，高于其它处理。高缓释肥处理（HF）由于在水稻生育后期可以持续提供养分供应，提高了水稻的穗粒数，比FP处理增加了8.3%，所以最终水稻产量并没有出现显著的降低。研究表明，侧条施肥还可以降低水稻籽粒的空秕率，提高千粒重，从而增加水稻的产量，增产幅度在16%左右^[10, 12]。

2.2 侧条施肥技术对水稻氮素吸收和偏生产力的影响

不同施肥处理对水稻秸秆吸氮量、籽粒吸氮量和地上部总吸氮量都有显著影响。氮素吸收累积主要在集中在子粒中，作物秸秆也累积相当量的氮素，且其与秸秆产量密切相关。水稻秸秆和子粒吸氮量随着施肥量提高而增加，FP处理和HF处理水稻地上部总吸氮量显著高于其它施肥处理，但FP处理和HF处理差异不显著。FP处理吸氮量为10.5公斤/亩，其次为HF处理的9公斤/亩，其它施肥处理总吸氮量显著低于FP处理和HF处理。HF处理可以满足水稻生育期对氮素的需求，在减少氮肥用量

的前提下并没有减少植株对氮素的吸收量，降低了氮素流失的风险。

氮肥偏生产力（PFPN）表示施用每千克氮肥能生产的粮食产量，其大小可以表征提高氮肥利用率的潜力。从PFPN角度评价了水稻氮肥生产效率情况，结果表明，施用每公斤氮肥不同施肥处理可生产作物子粒产量存在差异，PFPN随着施氮量的增加呈现出降低的趋势。LF处理、MF处理、HF处理和FP处理PFPN分别为67.8、46.4、39.1和23.7公斤/公斤。侧条施肥各处理的PFPN均显著高于农民常规施肥（FP处理）。可见，侧条施肥技术可以显著提高氮肥的生产效率。

2.3 侧条施肥技术对土壤-水稻体系中氮素表观平衡的影响

根据水稻整个生育期间的氮素输入和输出项，以0-100厘米深度土层为界面，计算水稻-土壤体系内氮素表观平衡，结果如表6所示。氮肥投入和残留的N_{min}是当季水稻的主要氮素输入途径，其次是灌水带入的氮，稻田土壤长期处于淹水状态，矿化作用很难发生，当季土壤氮素矿化量仅有0.16公斤/亩。水稻氮素输出主要是表观损失、水稻收获携走和土壤无机氮残留。氮素的表观损失量随着施氮量的增加表现为提高的趋势，不同施肥处理下表观损失量分别为3.3-11.6公斤/亩，最高的为FP处理，显著高于各侧条施肥处理，整个水稻生育期氮素的表观损失量为11.6公斤/亩，其次是MF处理，氮素的表观损失为4.1公斤/亩。各处理间土壤N_{min}残留差异不大，CK处理在水稻收获后0-100厘米土层N_{min}是3.6公斤/亩，而FP处理虽然施氮量高达20公斤/亩，水稻收获后0-100厘米土层N_{min}残留也只有6.2公斤/亩。说明施入的氮肥随着渗漏水淋洗损失严重，大部分损失逸出了水稻-土壤体系，造成对环境的潜在危害。

表5 侧条施肥对水稻氮素吸收和氮肥偏生产力的影响

处理	秸秆吸氮量	子粒吸氮量	总吸氮量	氮肥偏生产力
	(公斤/亩)			(公斤/公斤)
CK	1.0d	2.4c	3.3d	--
LF	2.4c	2.8b	5.3c	67.8
MF	2.8c	3.9b	6.7b	46.4
HF	3.8b	5.2a	9.0a	39.1
FP	4.6a	5.9a	10.5a	23.7

注：氮肥偏生产力 = 作物产量 / 施氮量。

表6 水稻生育期0-100厘米土层氮素表观平衡(公斤/亩)

项目	CK	LF	MF	HF	FP
N 输入					
施氮量 r	0.0	4.9	8.3	11.7	20.0
灌水带入氮	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
秧苗带入氮	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
播前无机氮	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
净矿化 Ne	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
总量	8.6	13.5	16.9	20.3	28.6
N 输出					
水稻收获携走	3.4	5.8	7.3	10.0	10.8
残留无机氮	3.6	4.4	5.4	6.4	6.2
氮表观损失	1.5	3.3	4.1	3.8	11.6
总量	8.6	13.5	16.9	20.3	28.6

3 结论

1) 采用侧条施肥技术, HF 处理在氮肥用量减少约 40% 的条件下, 与农民常规施肥 (FP) 处理比较子粒产量没有显著降低; HF 处理水稻有效穗低于农民常规施肥, 但穗粒数比 FP 增加了 8.3%。

2) 水稻地上部吸氮量随着施肥量提高而增加, FP 处理和 HF 处理水稻地上部总吸氮量显著高于其它处理, 但

FP 处理和 HF 处理差异不显著。氮肥偏生产力 (PFPN) 随着施氮量的增加呈现出降低的趋势, 侧条施肥各处理的 PFPN 在 39.1-67.8 公斤/公斤之间, 显著高于 FP 处理, 侧条施肥技术可以显著提高氮肥生产效率。

3) FP 处理氮素表观损失量最高, 为 11.6 公斤/亩, 大部分氮素损失逸出了水稻-土壤体系, 造成对环境的危害。侧条施肥各处理氮素表观损失量在 3.3-4.1 公斤/亩, 显著低于常规施肥处理。

参考文献

- [1] 刘汝亮, 李友宏, 张爱平, 等. 育秧箱全量施肥对水稻产量和氮素流失的影响 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(7):1853-1860.
- [2] 张晴雯, 张惠, 易军, 等. 青铜峡灌区水稻田化肥氮去向研究 [J]. 环境科学学报, 2010, 30(8):1707-1714.
- [3] 刘汝亮, 李友宏, 张爱平, 等. 氮肥后移对引黄灌区水稻产量和氮素淋溶损失的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 26(2):16-20.
- [4] 赵营, 同延安, 张树兰, 等. 氮磷钾施用量对灌淤土水稻产量及肥料利用率的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(2):118-121.
- [5] 刘汝亮, 李友宏, 马世铭, 等. 供氮水平对引黄灌区春小麦氮平衡及产量和加工品质的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4):94-98.
- [6] 徐明岗, 李菊梅, 李东初, 等. 控释氮肥对双季水稻生长和氮肥利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5):1010-1015.
- [7] 翟军海, 高亚军, 周建斌. 控释/缓释肥料研究概述 [J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1):45-48.
- [8] 易军, 张晴雯, 王明. 宁夏黄灌区灌淤土硝态氮运移规律研究 [J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10):2046-2053.
- [9] 扈艳萍, 朱彪, 高振芹. 水稻机插侧条施肥效果研究 [J]. 辽宁农业科学, 2005, (3):22-23.
- [10] 李昊儒, 梅旭荣, 郝卫平, 等. 山东省夏玉米侧条施肥技术应用研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(27):130-133.
- [11] 张惠, 杨正礼, 罗良国, 等. 黄河上游灌区稻田 N₂O 排放特征 [J]. 生态学报, 2011, 31(21):6606-6615.
- [12] 朱兆良, 张福锁. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2010, 24-26.

土壤理化及生物特性和作物产量对生物炭的响应

聂新星^{1, 2} 李志国¹

(1. 中国科学院武汉植物园, 中国科学院水生植物与流域生态重点实验室, 武汉 430074; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 生物炭作为一种新型的土壤改良剂在农业上的应用已展现巨大的前景。为促进生物炭在江汉平原灰潮土上的科学应用, 作者采用田间试验, 以冬小麦鄂麦 596 为供试作物, 研究了灰潮土土壤理化性质、微生物数量和冬小麦产量对施用生物炭、化肥及生物炭与化肥配施的响应。结果表明: 单施生物炭与空白对照相比, 以及生物炭化肥配施与单施化肥处理相比, 施用生物炭能显著提高土壤有机碳和速效钾含量, 分别增加了 69.9% 和 21.5% 以及 47.1% 和 59.7%, 但短期内对土壤容重、pH、碱解氮、速效磷的影响不显著, 其中土壤 pH 和速效磷含量呈增加趋势, 而土壤容重和碱解氮含量呈降低趋势。施用生物炭还提高了冬小麦越冬期、抽穗期和成熟期土壤中的细菌和放线菌数量且在越冬期达到显著差异水平, 同时对三个时期内土壤中的真菌数量均表现出一定的抑制作用。单施生物炭与空白对照相比, 秸秆和籽粒干重分别增加 6.8% 和 4.2%; 生物炭与化肥配施与单施化肥相比, 秸秆和籽粒干重分别提高 4.4% 和 16.5%; 且生物炭与化肥配施的秸秆和籽粒干重高于二者单施。总的来看, 施用生物炭能有效改善灰潮土理化性质和养分状况, 提高土壤细菌和放线菌数量, 在一定程度上促进了冬小麦产量的增加。

关键词: 冬小麦; 生物炭; 化肥; 土壤微生物

引言

生物炭 (Biochar) 是指生物质等在完全或部分缺氧条件下缓慢热解 (通常小于 700℃) 得到的一类高度芳香化、富含碳的固态物质^[1]。生物炭作为一种有效的土壤改良剂, 受到国内外学者的广泛关注, 并取得大量研究进展^[2]。通常来说, 生物炭呈碱性, 能提高土壤特别是酸性土壤的 pH 值^[3]; 具有发达的孔隙结构及大量羟基、羧基基团^[4], 可以降低土壤容重^[5], 提高土壤的持水能力^[6]和阳离子交换量 (CEC)^[7]; 富含有机碳且含有一定的矿质养分, 能提高土壤有机碳含量^[8]以及矿质养分的有效性^[9-10]等。因此, 生物炭施入土壤可以有效改善土壤供应与协调水肥气热的能力, 促进作物生长和产量的增加^[11], 尤其是与矿质肥料配施增产效果更显著^[12], 但也有作物无增产甚至减产的研究报道。如 Kloss^[9] 等研究了 3 种热解原料 (小麦秸秆、木屑、葡萄枝) 在不同温度下热解得到的生物炭施用到不同温带土壤中对轮作作物芥菜、大麦、红三叶草产量的影响, 结果表明: 添加生物炭造成了前两季作物减产, 最高可达 68%; 而对第三季红三叶草的产量无显著影响, 甚至增产 6%。Van Zwieten^[13] 等则将造纸污泥热解得到 2 种生物炭单施或与化肥配施在

红壤和钙质土上, 结果表明: 红壤上单施生物炭对小麦生物量无显著影响, 与化肥配施则显著提高小麦生物量; 而钙质土中, 生物炭 1 无论单施还是与化肥配施均显著降低小麦生物量, 而生物炭 2 对小麦生物量则无显著影响。这是因为生物炭对作物的增产效应受到土壤性质、生物炭特性与用量以及作物类型、气候区域等多方面的影响^[14]。因此, 为了加强生物炭在农业生产中的有效利用, 有必要开展不同气候区、不同土壤类型、不同作物类型等条件下生物炭对土壤的改良作用和作物学效应的研究。

江汉平原是我国重要的冬小麦主产区, 灰潮土是其主要的耕作土壤类型之一^[15]。灰潮土砂粒含量较高, 易漏水漏肥, 保水保肥能力较差^[16], 施用生物炭能否有效改善灰潮土的理化性质, 促进作物增产, 还缺乏相关的研究报告。因此, 本研究拟通过田间试验探究生物炭及其与化肥配施对灰潮土土壤理化性质、微生物数量以及小麦产量等的影响, 以期为生物炭在江汉平原灰潮土上的推广应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2014 年 10 月 25 日至 2015 年 5 月 21 日在湖

表1 供试生物炭基本化学性质和元素含量

生物炭	pH	全氮	全磷	全钾	C	Ca	Mg	Zn
	(H ₂ O)	(%)						
	9.48	0.22	0.14	1.88	79.8	0.28	0.17	0.007

北省武汉市农科院武湖试验基地进行。供试灰潮土的基本理化性质为：pH 值 7.81，有机质含量 13.74 克 / 公斤，全氮含量 1.05 克 / 公斤，速效磷含量 24.50 毫克 / 公斤，速效钾含量 117.11 毫克 / 公斤。生物炭为竹炭，由上海时科生物科技有限公司生产，基本理化性质如表 1。供试小麦品种为鄂麦 596。

1.2 试验设计

田间试验共设 4 个处理：空白对照 (CK)；单施生物炭 (B)；单施化肥 (F)；生物炭与化肥配施 (BF)，每个处理设 3 次重复，共计 12 小区，小区面积为 10 平方米，随机区组排列。生物炭施用量根据前人研究结果设置为 1333 公斤 / 亩^[17]。化肥用量分别为 N：12 公斤 / 亩；P₂O₅：6 公斤 / 亩；K₂O：8 公斤 / 亩，肥料品种分别为尿素、过磷酸钙、氯化钾。除氮肥用量的 50% 于拔节期追施外，其余均为基施。小麦采用撒播播种，播种量为 12 kg / 亩。分别于 2014 年 12 月 16 日 (越冬期)、2015 年 3 月 25 日 (抽穗期)、2015 年 5 月 21 日 (成熟期) 每小区按 S 型取样法布 5 点采集 0-10 厘米混合土样，4℃ 保存用于微生物数量的测定。收获时采取小区单打单收，取样烘干计算每小区的秸秆和籽粒干重。收获后取 0-15 厘米混合土样风干过筛，用于土壤基本理化性质分析。

1.3 测定项目与方法

土壤微生物数量采用涂抹平板计数法^[18]，分别用 LB 培养基、马丁氏培养基、高泽氏一号培养基进行涂布培养，细菌 30℃ 下培养 1-2 天，真菌 28℃ 下培养 3-4 天，放线菌 28℃ 下培养 5-7 天，对其进行菌落计数。

土壤容重采用环刀法测定。土壤样品的测定均参照鲍士旦《土壤农化分析》^[19] 的测定方法。土壤 pH 值按土水比 1：2.5 测定，土壤碱解氮采用碱解扩散法测定，速效磷采用碳酸氢钠-钼锑抗比色法，速效钾采用乙酸铵提取-火焰光度计法测定，土壤有机碳采用重铬酸钾氧化-外加热法测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据的计算与处理，采用 SPASS 16.0 软件对数据进行方差分析，LSD 法进行多重比较，并用 Origin 8.6 作图。

2 结果与分析

2.1 生物炭配施化肥对土壤理化性质和养分含量的影响

研究表明，与空白对照 (CK) 相比，单施生物炭 (B) 能显著提高土壤有机碳和速效钾含量，分别提高了 69.9% 和 21.5%，土壤容重、pH 值和碱解氮、速效磷含量则无显著差异，其中 pH 值和速效磷含量分别提高了 0.03 和 12.6%，而土壤容重和碱解氮含量则分别降低了 2.0% 和 5.4% (表 2)。与施肥对照 (F) 相比，生物炭与肥料配施 (BF) 得到的结果与前述结果变化趋势基本一致，土壤有机碳和速效钾含量显著提高，分别提高了 47.1% 和 59.7%，土壤容重、pH 值和碱解氮、速效磷含量则无显著差异，其中 pH 值和速效磷含量分别提高了 0.04 和 32.1%，而土壤容重和碱解氮含量则分别降低了 2.0% 和 2.5%。

表2 生物炭对土壤理化性质和养分含量的影响

处理	容重	pH	有机碳	碱解氮	速效磷	速效钾
	(克 / 厘米 ³)	(H ₂ O)	(克 / 公斤)	(毫克 / 公斤)		
CK	1.48 ± 0.01a	8.11 ± 0.03ab	7.44 ± 0.27b	51.57 ± 0.62ab	16.88 ± 2.07b	119.08 ± 4.51c
B	1.45 ± 0.01ab	8.14 ± 0.01a	12.64 ± 0.85a	48.77 ± 3.27b	19.00 ± 0.43b	144.71 ± 6.89b
F	1.47 ± 0.02ab	8.09 ± 0.02b	7.92 ± 0.39b	56.23 ± 1.68a	22.18 ± 3.39ab	124.99 ± 3.92c
BF	1.44 ± 0.01b	8.13 ± 0.01ab	11.65 ± 0.59a	54.83 ± 1.63ab	29.31 ± 2.55a	199.63 ± 6.31a

注：同一列的不同小写字母表示不同处理之间的差异显著 (LSD 检验, p < 0.05)。下同。

表3 生物炭对土壤细菌和放线菌数量的影响

处理	越冬期		抽穗期		成熟期	
	细菌	放线菌	细菌	放线菌	细菌	放线菌
	(10 ⁵ cfu/g)		(10 ⁵ cfu/g)		(10 ⁵ cfu/g)	
CK	26.2±3.50c	35.23±2.23c	142.70±4.64a	62.18±3.25a	84.50±2.77b	42.43±3.31b
B	44.00±4.04b	57.23±1.35a	155.14±3.20a	67.21±2.44a	109.10±4.53a	46.97±2.11ab
F	42.63±2.54b	44.43±3.31b	145.32±7.01a	67.33±5.72a	93.00±4.45ab	46.67±3.38ab
BF	63.48±3.00a	54.47±2.26a	147.00±4.64a	73.78±3.89a	100.00±7.70ab	56.47±2.66a

2.2 生物炭配施化肥对土壤微生物数量的影响

2.2.1 生物炭配施化肥对土壤细菌和放线菌数量的影响

试验结果表明(表3),土壤细菌和放线菌数量在冬小麦越冬期、抽穗期和成熟期总体呈先增加后降低的趋势,表现为抽穗期土壤细菌和放线菌数量最高,成熟期次之,越冬期最少。与CK相比,B处理土壤中的细菌和放线菌数量在小麦越冬期、抽穗期和成熟期分别提高了67.9%和62.4%、8.7%和8.1%、29.1%和10.7%,其中越冬期的细菌和放线菌数以及成熟期的细菌数均达到显著差异水平。与F处理相比,BF处理土壤中的细菌和放线菌数量在小麦越冬期、抽穗期和成熟期也呈增加趋势,分别提高了48.9%和22.6%、1.2%和9.6%、7.5%和21.0%,其中越冬期的细菌和放线菌数显著提高。说明施用生物炭能促进灰潮土中细菌和放线菌数量的增加,且在越冬期作用效果更好。

2.2.2 生物炭配施化肥对土壤真菌数量的影响

由表4看出,土壤中的真菌数量在冬小麦越冬期、抽穗期和成熟期也呈先增加后降低的趋势,表现为抽穗期最高,成熟期次之,越冬期最少。与CK相比,B处理的土壤真菌数在小麦越冬期、抽穗期和成熟期均呈降低趋势,分别降低了7.2%、8.2%和9.4%,但差异均未达到显著水平;与F相比,BF处理的土壤真菌数在三个时期内也未显著变化,除抽穗期真菌数有所增加外,越冬期和成熟期也表现出降低趋势,分别降低了3.2%和8.1%。说明施用生物炭对灰潮土真菌数量有一定的抑制作用。

表4 生物炭配施化肥对土壤真菌数量的影响

处理	真菌(10 ³ cfu/g)		
	越冬期	抽穗期	成熟期
	CK	43.83±4.71bc	79.00±5.65a
B	40.67±5.40c	72.53±4.00ab	57.89±5.59a
F	60.23±3.68a	60.80±2.02b	59.11±3.10a
BF	58.33±4.24ab	67.18±0.48ab	54.33±4.19a

2.3 生物炭配施化肥对冬小麦秸秆和籽粒干重的影响

与CK相比,B处理的秸秆和籽粒干重分别增加6.8%和4.2%;而BF处理较F相比秸秆和籽粒干重也分别提高4.4%和16.5%。说明施用生物炭当季也能在一定程度上促进冬小麦秸秆和籽粒干重的提高,但差异未达到显著水平。此外,BF处理的秸秆和籽粒干重高于B或F处理,表明生物炭与化肥配施具有正的交互作用。

3 结论与讨论

生物炭富含有机碳且呈碱性,容重值远低于矿质土壤^[20],因此施用生物炭通常会提高酸性土壤的pH值、有机碳含量,土壤容重值则相应降低^[6]。本研究表明,施用生物炭能显著提高灰潮土的有机碳含量,同时降低了土壤容重值,但对pH值则无显著影响。这与陈心想^[21]和Zhao^[22]等的研究结果较为一致。这可能与灰潮土本身偏碱性,盐基饱和度较高,生物炭中可溶性的K、Ca、Na、Mg等盐基离子不能显著提高灰潮土的盐基饱和度有关。

生物炭具有发达的孔隙结构以及较大的比表面积,且含有一定的K、Ca、Mg等矿质元素。因此,生物炭既能通过直接添加作用,也能通过提高土壤CEC来减少养分淋溶损失^[23],从而提高土壤中养分的有效性。本试验结果表明,施加生物炭对土壤碱解氮含量无显著影响,且碱解氮含量呈一定的下降趋势,郭伟^[24]等也得到了相同的研究结果。其原因可能是:一方面,作为生物炭生产原料的有机质在热解过程中形成作物不能有效利用的杂环氮结构^[20],生物炭对土壤矿质态氮的添加作用有限^[25],且生物炭含碳量高,能显著提高土壤C/N值,降低了土壤微生物对有机氮矿化速率^[24],最终导致土壤碱解氮的来源减少;另一方面,施入生物炭后土壤容重值降低,土壤通气性得到改善,且碱性灰潮土的pH值也有升高趋势,从而加速了土壤中氨的挥发^[24]。此外,单施生物炭或与化

肥配施均能提高作物籽粒干重,作物对氮素的吸收增加,最终导致土壤碱解氮的去向增加。Angst 等^[26]研究发现,生物质中的 P 和 K 在热解过程中绝大部分被保留到生物炭中,且其有效性高。因此,生物炭施入土壤可以提高土壤速效磷、速效钾含量^[6]。本研究也得到了较为一致的结果,土壤的速效磷、速效钾含量均呈增加趋势,且土壤速效钾含量显著提高。这除了生物炭自身含钾量较高(1.88%)外,还可能与生物炭提高土壤 CEC,减少钾的淋溶损失,以及生物炭对土壤中矿物钾的释放有促进作用等因素有关。

土壤微生物是土壤有机物和矿物质的主要分解者,在土壤 N、P 等养分转化和循环方面扮演重要角色^[20],是构成土壤肥力的重要因素。有关生物炭与土壤微生物的研究很多,结果普遍表明:生物炭的多孔性可为微生物的生长与繁殖提供良好的栖息环境^[27],且生物炭能有效改善土壤水分、养分、温度等影响微生物生长的因子,从而显著提高土壤微生物的活性和数量^[28-29]。本研究表明,施用生物炭后土壤中的细菌和放线菌数量增加,且在小麦越冬期均达到显著水平,原因可能是越冬期土壤温度较低,但施用生物炭能降低土壤表面反射率,提高土壤温度^[30],从而使生物炭对土壤微生物数量的影响更加显著。生物

炭处理对各时期的土壤真菌数量的影响则不显著,且表现出轻微的抑制作用,这在一定程度上可减少小麦真菌类病害的发生。顾美英等^[31]在新疆灰漠土上研究生物炭对土壤微生物数量的影响也得到了相似的结果。这可能与土壤 pH 值有关^[32],真菌最适宜生长在酸性土壤中,灰潮土偏碱性,生物炭的添加对土壤 pH 值还有一定的提升作用。

生物炭施入土壤对上述土壤或生物因子的改善,往往会最终促进作物产量的增加。Uzoma^[33]等将牛粪生物炭施用在砂质土上,结果表明,土壤养分有效性增加,玉米产量随生物炭施用量的增加而增加,并在 1000 公斤/亩时达到最大。王耀锋^[34]的研究结果也表明,单施生物炭或与肥料配施均可提高土壤养分状况,显著促进水稻产量增加。本试验中,施用生物炭能有效改善土壤理化性质和养分状况,提高土壤细菌和放线菌数量,促进冬小麦秸秆和籽粒干重的增加。尽管施用生物炭后,冬小麦秸秆和籽粒干重在当季未见显著提高,但有研究指出,生物炭的性质会随着施入土壤时间的延长而改变^[35],对作物的增产效应也会随之变化^[36],表现出一定的后效作用。因此,为促进生物炭在灰潮土上更科学、合理的施用,还有待进一步开展生物炭对灰潮土土壤性质改良以及作物学效应的田间长期定位研究。

参考文献

- [1] Lehmann J. Bio-energy in the black [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, 5(7):381-387.
- [2] 何绪生,张树清,余雕,等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(15):16-25.
- [3] Smider B, Singh B. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 191:99-107.
- [4] Joseph S D, Camps-Arbestain M, Lin Y, et al. An investigation into the reactions of biochar in soil [J]. *Aust J Soil Res.*, 2010, 48:501-515.
- [5] Liang F, Li G T, Lin Q M, et al. Crop Yield and Soil Properties in the First 3 Years After Biochar Application to a Calcareous Soil [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13:525-532.
- [6] Laird D A, Fleming P, Davis D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil [J]. *Geoderma*, 2010, 158:443-449.
- [7] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2006, 70:1719-1730.
- [8] Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, et al. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics [J]. *Naturwissenschaften*, 2001, 88:37-41.
- [9] Kloss S, Zehetner F, Wimmer B, et al. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions [J]. *J Plant Nutr Soil Sci.*, 2014, 177:3-15.
- [10] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review [J]. *Biol Fertil Soils*, 2002, 35:219-230.
- [11] Steiner C, Teixeira W G, Lehmann J, et al. Long term

- effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil [J]. *Plant and Soil*, 2007, 291:275–290.
- [12] 金梁, 魏丹, 郭文义, 等. 化肥单施及生物炭与化肥配施对土壤物理性质、大豆形态学指标及产量影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2015, (2):29–32.
- [13] Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility [J]. *Plant and Soil*, 2010, 327:235–246.
- [14] 卜晓莉, 薛建辉. 生物炭对土壤生境及植物生长影响的研究进展 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23(3):535–540.
- [15] 朱应远. 江汉平原灰潮土几种旱作物锰肥效应研究 [J]. *华中农业大学学报*, 1999, 18(5):448–451.
- [16] 吴明来. 不同施肥方式对改良沿江灰潮土类耕地的效果分析 [J]. *现代农业科技*, 2012, 20:251–252+255.
- [17] 曾爱, 廖允成, 张俊丽, 等. 生物炭对壤土土壤含水量、有机碳及速效养分含量的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(5):1009–1015.
- [18] 程丽娟, 薛泉宏. 微生物学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000:63–83.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 25–114.
- [20] 武玉, 徐刚, 吕迎春, 等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2014, 29(1):68–79.
- [21] 陈心想, 何绪生, 耿增超, 等. 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 [J]. *生态学报*, 2013, 33(20):6534–6542.
- [22] Zhao X, Wang J W, Xu H J, et al. Effects of crop–straw biochar on crop growth and soil fertility over a wheat–millet rotation in soils of China [J]. *Soil Use and Management*, 2014, 30:311–319.
- [23] Laird D, Fleming P, Wang B Q, et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil [J]. *Geoderma*, 2010, 158:436–442.
- [24] 郭伟, 陈红霞, 张庆忠, 等. 华北高产农田施用生物质炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响 [J]. *生态环境学报*, 2011, 20(3):425–428.
- [25] Bridle T R, Pritchard D. Energy and nutrient recovery from sewage sludge via pyrolysis [J]. *Water Sci. Technol.*, 2004, 50:169–175.
- [26] Angst T E, Sohi S P. Establishing release dynamics for plant nutrients from biochar [J]. *GCB Bioenergy*, 2013, 5:221–226.
- [27] Warnock D D, Mummey D L, McBride B, et al. Influences of non–herbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: Results from growth–chamber and field experiments [J]. *Appl Soil Ecol*, 2010, 46:450–456.
- [28] Kolb S E, Fermanich K J, Dornbush M E. Effect of Charcoal Quantity on Microbial Biomass and Activity in Temperate Soils [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2009, 73:1173–1181.
- [29] 陈心想, 耿增超, 王森, 等. 施用生物炭后壤土土壤微生物及酶活性变化特征 [J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(4):751–758.
- [30] Oguntunde P G, Abiodun B J, Ajayi A E, et al. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana [J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2008, 171:591–596.
- [31] 顾美英, 徐万里, 唐光木, 等. 生物炭对灰漠土和风沙土土壤微生物多样性及与氮素相关微生物功能的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2014, 51(5):926–934.
- [32] Rousk J, Brookes P C, Baath E. Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2009, 75:1589–1596.
- [33] Uzoma K C, Inoue M, Andry H, et al. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition [J]. *Soil Use and Management*, 2011, 27:205–212.
- [34] 王耀锋, 刘玉学, 吕豪豪, 等. 水洗生物炭配施化肥对水稻产量及养分吸收的影响 [J]. *植物营养与肥料学报* (出版中).
- [35] Cheng C H, Lehmann J. Ageing of black carbon along a temperature gradient [J]. *Chemosphere*, 2009, 75:1021–1027.
- [36] Liang F, Li G T, Lin Q M, et al. Crop Yield and Soil Properties in the First 3 Years After Biochar Application to a Calcareous Soil [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13:525–532.

不同控氮比对春玉米产量、效益及氮肥利用率的影响

姬景红 李玉影 刘双全 佟玉欣

(黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 哈尔滨 150086)

摘要: 通过田间试验, 研究相同氮肥用量条件下, 不同比例包膜控释尿素 (CRU) (100%、75%、60%、45%、30%) 与普通尿素混合施用对春玉米产量、经济效益及氮肥利用率的影响。结果表明, 随着控释氮肥施用比例的增加玉米籽粒产量、生物产量及肥料利用率均呈现先增加后降低的趋势。与 100% 普通尿素一次性基施相比, 45%–75% CRU 与普通尿素配比的处理玉米增产幅度及效益较高; 各配比处理平均增加氮肥农学效率 3.6–6.5 公斤/公斤, 增加氮肥利用率 3.1%–14.9%。其中哈尔滨地区以 60% CRU 处理玉米产量效益最高, 增产 13.2%, 增效 103.6 元/亩, 双城地区以 75% CRU 处理玉米产量效益最高, 增产 12.9%, 增效 93.5 元/亩。在黑龙江省早春冷凉的气候条件下, 玉米生产不宜施用 100% 控释尿素, 应将控释尿素比例控制在 45%–75%, 以达到高产高效的目的。

关键词: 控释氮肥; 春玉米; 产量; 氮肥利用率

氮肥是玉米生长发育过程中需求量最多的营养元素。不合理的氮肥施用不但降低了氮素利用率, 同时也增加了成本投入, 造成环境污染^[1-2]。控释尿素与普通尿素相比, 可以控制氮素的释放速率, 提高氮肥利用效率^[3-4], 增加作物产量^[5-6], 因此, 控释肥料已成为世界肥料研究的热点^[7], 也是肥料产业的发展方向^[8]。然而由于生产工艺及原材料等原因, 控释肥的价格偏高, 生产中若完全施用控释肥, 会影响经济效益。而速效肥料与控释肥混合施用理论上可以满足玉米对氮素的需求, 是一条降低施肥成本的重要途径, 已经成为大田玉米生产中推广应用的一个方向^[9]。

科学合理搭配控释尿素比例可以充分发挥不同特点肥料的最佳效率, 达到增产、节肥和省工的效果^[10]。本文通过大田试验, 研究不同控释尿素与普通尿素配合施用对春玉米产量、效益、光合特性及氮素利用效率的影响, 目的是明确春玉米普通尿素与控释尿素的适宜配比及其增产机制, 为黑龙江省制订春玉米高产优质安全的配方施肥生产方案提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2013 年进行, 设在哈尔滨市民主乡现代农业示范园区和双城市双城镇中兴村两个典型玉米主产区。供试肥料: 普通尿素 (BU) 为市售普通尿素 (含 N46%), 控释尿素 (CRU) (含 N44%) 由加阳公司 (Agrium, Canada), 控释期为 60 天。磷肥为重过磷酸钙 (含 P₂O₅ 46%), 钾肥为氯化钾 (含 K₂O 60%)。供试玉米品种分别为德美亚 3 号和利民 33, 土壤类型为黑土, 基本理化性状列于表 1。

1.2 试验设计

试验设 7 个处理, 氮磷钾用量根据土壤测试结果和目标产量确定, N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 12 公斤/亩、4.5 公斤/亩和 4 公斤/亩, 氮磷钾肥全部基施。各处理 3 次重复, 小区面积 39 米², 随机区组排列。哈尔滨和双城玉米种植密度分别为 5000 株/亩和 4000 株/亩, 播种

表 1 供试土壤基本化学性状

地点	有机质	全氮	碱解氮	有效磷	有效钾	pH
	(克/公斤)		(毫克/公斤)			
哈尔滨民主	34.8	2.2	125.7	42.8	176.2	6.65
双城中兴村	37.3	2.3	165.5	30.8	160.3	6.61

表2 试验处理及养分用量(公斤/亩)

处理编号	处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	肥料投入成本(元/亩)
1. N0	不施 N 肥	0	4.5	4	58.3
2. BU 100%	普通尿素	12	4.5	4	118.3
3. CBU100%	控释尿素 100%	12	4.5	4	194.7
4. CBU75% +BU25%	控释尿素 75%, 普通尿素 25%	12	4.5	4	175.6
5. CBU60% +BU40%	控释尿素 60%, 普通尿素 40%	12	4.5	4	164.1
6. CBU45% +BU55%	控释尿素 45%, 普通尿素 55%	12	4.5	4	152.7
7. CBU30% +BU70%	控释尿素 30%, 普通尿素 70%	12	4.5	4	141.3

日期分别为 5 月 17 日和 5 月 15 日, 收获日期分别为 9 月 27 日和 9 月 29 日。试验处理及养分用量如表 2 所示。

1.3 测定项目及方法

土壤基本化学性质: 试验前按 S 点取样法采集 0—20 厘米耕层土壤, 采用常规方法分析土壤基本化学性质。

产量及吸氮量: 玉米成熟后, 取小区中间 4 垄 60 穗测产。采集各小区代表性玉米 5 株, 将植株和籽粒样品于 105℃ 杀青 30 分钟, 70℃ 烘干, 称重, 凯氏法测定样品中全氮含量。

1.4 数据处理及计算公式

试验所得数据用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 专业版数据处理系统进行统计分析。

氮肥利用率 (NUE) = [施氮处理氮素吸收量 - 不施氮处理氮素吸收量] / 施氮量 × 100%。

氮肥农学效率 (AEN) = (施氮处理籽粒产量 - 不施氮处理籽粒产量) / 施氮量。

氮收获指数 (HIN%) = 玉米籽粒吸 N 量 / 玉米地上部植株总吸 N 量 × 100;

2 结果与分析

2.1 不同控氮比对玉米产量、效益的影响

不同控释尿素 (CRU) 与普通尿素 (BU) 配比显著影响玉米产量、效益 (表 3)。哈尔滨和双城两地试验结果均表明, 控释尿素与普通尿素以一定比例混合施用均较普通尿素单独施用具有显著的增产作用, 且随着控释氮肥施用比例的增加籽粒产量及生物产量先增加后降低, 以 45—75% CRU 处理增产幅度较高。相同氮肥用量条件下, 与 100% 普通尿素一次性基施 (处理 2) 相比, 哈尔滨和双城不同控释尿素比例的处理 (处理 3、处理 4、处理 5、处理 6 和处理 7) 分别增产玉米 7.5%—13.2% 和 6.0%—12.9%; 平均增效 9.1 元/亩—103.6 元/亩和 (-6.3) 元/亩—93.5 元/亩 (表 3)。其中哈尔滨地区以 60% CRU 处理玉米产量效益最高, 双城地区以 75% CRU 处理玉米产量效益最高, 这可能与两地区土壤基础肥力不同有关, 哈尔滨地区土壤初始速效氮 (碱解氮) 含量低于双城地区 (表 2), 因此应增加普通尿素施用比例, 降低控释尿素施用比例, 以保证玉米营养生长阶段充足的氮素供应, 双城地区则恰好相反。上述研究结果表明, 控释尿素与普通尿素

表3 玉米籽粒产量(公斤/亩, 干基)

处理	哈尔滨			双城		
	产量 (公斤/亩)	增产 (%)	增益 (元/亩)	产量 (公斤/亩)	增产 (%)	增益 (元/亩)
1. N0	496.5 d	--	--	529.7 f	--	--
2. BU 100%	629.5 c	--	--	650.2 e	--	--
3. CBU100%	676.9 b	7.5 b	9.1 c	689.1 d	6.0 d	- 6.3 d
4. CBU75% +BU25%	694.9 ab	10.4 a	60.5 b	733.9 a	12.9 a	93.5 a
5. CBU60% +BU40%	712.5 a	13.2 a	103.6 a	721.6 ab	11.0 ab	82.7 ab
6. CBU45% +BU55%	693.2 ab	10.1 a	80.4 ab	709.7 bc	9.1 bc	72.7 bc
7. CBU30% +BU70%	679.3 b	7.9 b	66.8 b	696.3 cd	7.1 c	60.1 c

注: 2013 年普通尿素 2.3 元/公斤; 控释尿素 4.2 元/公斤; 三料 3.1 元/公斤; 氯化钾 4.2 元/公斤; 玉米平均价格 1.8 元/公斤。以处理 2 为对照, 计算增产率和效益增量。

混合一次性施用,以控释尿素比例在45-75%效果较好,不同地区略有不同,应根据土壤肥力状况及外界环境因素等确定适宜的控释尿素与普通尿素的施用比例。

2.2 不同控氮比对玉米吸氮量及氮肥利用率的影响

不同控释尿素与普通尿素配比会影响玉米吸氮量、氮农学效率、氮肥表观利用率及氮收获指数(表4)。各处理间吸氮量、氮农学效率和氮肥表观利用率变化规律相似,各施氮处理中表现为以100%BU处理最低,随控氮比的增加玉米吸氮量、氮农学效率、氮肥利用率均先增加后降低。氮肥农学效率各处理间差异显著,哈尔滨试验点在11.1-18.0公斤/公斤之间,双城试验点在10.0-17.0公斤/公斤之间。两试验点100%、75%、60%、45%、30%的控释掺混处理比100%BU处理分别平均增加氮肥农学效率3.6、6.2、6.5、5.2和4.0公斤/公斤。各处理间氮肥利用率差异显著,哈尔滨试验点在26.8%-43.1%之间,双城试验点在24.5%-37.9%之间,两试验点100%、75%、60%、45%、30%的控释掺混处理比100%BU处理分别平均增加氮肥利用率8.1、14.9、10.7、7.7和3.1%。说明,施用一定比例的控释尿素有利于玉米氮素吸收,提

高氮肥表观利用率。氮收获指数以100%CRU处理显著低于其它各处理,说明控释氮肥能延缓玉米叶片的衰老,增加其光合作用时间。

3 结论

(1)控释尿素与普通尿素以一定比例混合施用均较普通尿素增加籽粒产量、植株氮素吸收量、氮农学效率和氮肥利用率,且随着控释氮肥施用比例的增加呈现出先增加后降低的趋势。

(2)哈尔滨和双城地试验表明,100%、75%、60%、45%、30%的控释掺混处理比100%BU处理分别平均增加氮肥农学效率3.6、6.2、6.5、5.2和4.0公斤/公斤;增加氮肥利用率8.1、14.9、10.7、7.7和3.1%。

(3)从玉米产量效益、氮农学效率及养分回收率方面考虑,控释尿素与普通尿素混合一次性施用以控释尿素比例在45-75%效果较好,但不同地区略有不同,哈尔滨地区以60%CRU处理经济效益最高,双城地区以75%CRU处理经济效益最高。

表4 不同控氮比处理对玉米氮素利用效率的影响

处理	哈尔滨				双城			
	吸氮量	AE _N	NUE	HI _N	吸氮量	AE _N	NUE	HI _N
	(公斤/亩)	(公斤/公斤)	(%)		(公斤/亩)	(公斤/公斤)	(%)	
1	8.5 e	--	--	61.6 a	9.4 c	--	--	62.4 a
2	11.8 d	11.1 c	26.8 e	61.0 a	12.3 b	10.0 d	24.5 d	62.1 a
3	12.8 b	15.0 b	35.7 bc	58.6 b	13.2 ab	13.3 c	31.8 b	59.9 b
4	13.7 a	16.5 ab	43.1 a	60.9 a	13.9 a	17.0 a	37.9 a	62.5 a
5	13.2 ab	18.0 a	39.2 ab	61.4 a	13.4 a	16.0 ab	33.4 ab	62.8 a
6	12.6 bc	16.4 ab	33.7 cd	61.4 a	13.3 a	15.0 b	32.9 b	62.1a
7	12.2 cd	15.2 b	30.1 d	61.0 a	12.6 b	13.9 bc	27.3 c	61.6 ab

参考文献

- [1] 霍中洋,葛鑫,张洪程,等.施氮方式对不同专用小麦氮素吸收及氮肥利用率的影响[J].作物学报,2004,30(5):449-454.
- [2] 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策[J].土壤与环境,2000,9(1):1-6.
- [3] 薛高峰,张贵龙,孙焱鑫,等.包膜控释尿素(追施)对冬小麦生长发育及土壤硝态氮含量的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(2):377-384.
- [4] 李敏,郭熙盛,叶舒娅,等.树脂膜控释尿素及普通尿素配施对强筋小麦产量、品质和氮肥利用率的影响[J].麦类作物学报,2013,33(2):339-343.
- [5] 樊小林,刘芳,廖照源.我国控释肥料研究的现状和展望[J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):463-473.
- [6] 曹宁,陈志怡,闫飞,等.控释尿素对玉米产量、氮肥利用率及土壤氮素的影响[J].吉林农业大学学报,2012,34(1):86-89.
- [7] 武志杰,周健民.我国缓释、控释肥发展现状、趋势及对策[J].中国农业科技导报,2001,3(1):73-76.
- [8] 孙克刚,胡颖,和爱玲,等.控释尿素对小麦增产效果与提高氮肥利用率的研究[J].磷肥与复肥,2009,24(5):84-85.
- [9] 李伟,李絮花,李海燕,等.控释尿素与普通尿素混施对夏玉米产量和氮肥效率的影响[J].作物学报,2012,38(4):699-706.
- [10] 杨俊刚,曹兵,徐秋明,等.包膜控释肥料在旱地农田的应用研究进展与展望[J].土壤通报,2010,41(2):494-500.

中国棉花的养分管理

陈防^{1,2} 汪霄²

(1. 国际植物营养研究所中国项目部, 中国武汉, 430074; 2. 中国科学院武汉植物园, 中国武汉, 430074)

摘要: 为了提高棉花生产中养分管理效率, 实现国家减肥增效的战略目标, 本文通过收集整理各方面资料, 从世界和中国棉花生产概况、棉花的生长习性、我国棉花栽培与养分管理中的主要问题、棉花的需肥规律和施肥原则、棉花叶面肥的施用方法及后期管理等方面对我国棉花生产中存在问题进行了分析、对多年来国际植物营养研究所国际合作项目中棉花作物养分管理方面的研究成果和成功经验进行了整理, 提出了相应的现代农业中棉花养分管理对策与技术。

关键词: 棉花; 施肥; 养分效率; 养分管理对策

1 世界和中国的棉花生产简况

棉花 (Cotton), 锦葵科棉属 *Gossypium* L. 植物, 是由种子生产纤维的经济作物。棉纤维是纺织工业的主要原料, 棉籽是食品工业的原料, 棉短绒也是化学工业和国防工业的重要物资。棉属有 4 个栽培种: 草棉、亚洲棉、陆地棉和海岛棉。陆地棉占世界棉花总量的 90%, 海岛棉占 5–8%, 亚洲棉占 2–5%。

世界棉花栽培已有 1100 多年的历史, 全球自 47°N 至 32°S 的地区 70 多个国家均有棉花种植, 年产皮棉 100 万吨以上的国家有中国、美国、俄罗斯和印度; 年产皮棉 40–80 万吨的国家有巴基斯坦、巴西、埃及和土耳其。20 世纪 50 年代以来, 世界棉花种植总面积稳定在 3,200 万公顷。

中国的棉花在 18°N 至 46°N 的地区都有种植, 主要分布在黄河流域、长江流域和新疆。1946–1949 年, 中国年产皮棉仅 40 万吨左右, 在此之后, 棉花的总产量和单产增长迅速, 1984 年皮棉总产达 607.7 万吨, 2010 年达 596 万吨, 约占世界棉花总产量的 1/4, 成为世界棉花生产的第一大国, 而且纤维品质有所提高, 平均纤维长度比 1949 年增长 4–7 毫米, 衣分增加 3–5%^[1-2]。

根据 2010 年的统计资料^[2], 黄河流域棉花种植区面积占全国总面积的 39.7%, 占全国总产的 31.4%, 单产皮棉平均 71 公斤/亩, 主要种植省份有山东、河北、河南; 长江流域棉花种植区面积占全国总面积的 27.9%, 占全国总产的 24.4%, 单产皮棉平均 76 公斤/亩, 主要种植省

份有湖北、安徽、江苏、湖南; 新疆棉花种植区面积占全国总面积的 30.1%, 占全国总产的 41.6%, 单产皮棉平均 113 公斤/亩。

2 棉花的生长习性

棉花生育时期一般 130–175 天。共经历五个生育期: 1. 播种出苗期, 需经历 10–15 天; 2. 苗期需经历 40–45 天; 3. 蕾期需经历 25–30 天; 4. 花铃期需经历 50–60 天; 5. 吐絮期需经历 30–70 天。棉花喜温好光, 最适宜气温为 25–30℃, 每日最佳光照时间为 12 小时。

适宜土壤条件对棉花生长非常重要, 棉花喜爱土层深厚, 土壤肥沃、质地疏松的土壤。一般土壤温度以 18–25℃ 为宜, 土壤水分含量为田间持水量的 60–70% 为宜, 适宜的土壤 pH 值为 6.5–8.5。

3 我国棉花栽培与养分管理中的主要问题

我国棉花种植中的养分管理问题与其他作物类似, 既有许多共同之处, 也有自身特点。主要表现在下列几方面:

3.1 氮肥和磷肥的施用量和施用比例偏高, 而钾肥、微量元素肥料 (如硼肥和锌肥)、有机肥用量偏少甚至完全不施。棉花产区经常可以看见由于缺钾引起的落花落铃和叶缘卷曲, 由于缺硼引起的落花落果和叶柄环带, 由于缺铁、缺锌引起的黄叶病和小叶病。

3.2 棉花追肥方式不合理，肥料撒施多，特别是在浇水和下雨前撒施，容易造成肥料流失，利用效率低。

3.3 棉花种植模式多年不变，连作障碍明显，有些传统棉区的连作病害如枯萎病等发生的频率越来越大，棉花产量和品质均受影响。

3.4 深耕和冬耕减少。由于目前我国还是以小农户经营为主，棉花种植中农业机械化程度不高，棉田翻耕时多数用小型旋耕机，其土壤翻耕深度一般为 12—15 厘米，导致耕层变浅，土壤板结。有研究表明，深耕至 25—30 厘米后，当季皮棉产量可提高 6.5—18.3%。另外，冬耕还可以消灭部分病菌和虫蛹，减轻土传病虫害。

3.5 棉花新型肥料及其配套施用技术应用少。目前棉花种植中虽然已普遍推广施用棉花专用复混肥、配方肥，但是一些新型商品肥料如缓控释肥、水溶性肥、尿素硝铵液体肥 (UAN) 和生物肥等应用面积还很小。要实现棉花栽培中的水肥一体化，大幅度提高水分和肥料资源的利用效率还有很长的路要走。在棉花生产的机械化进程中，与机械操作相配套的肥料产品和施肥技术也缺乏相应研究和示范。

3.6 棉花生产过程中的信息化管理和农化服务水平低，体系不健全。棉农往往在最需要的时候得不到技术咨询、买不到需要的肥料，造成肥料的施用不当和浪费，甚至污染环境。

4 棉花的需肥规律与施肥原则

棉花产量不同，需要的氮、磷、钾数量也不同。一般每生产 100 公斤皮棉，约需吸收 N 12—18 公斤， P_2O_5 4—6 公斤， K_2O 12—16 公斤，其 $N : P_2O_5 : K_2O \approx 100 : 33 : 100$ 。随产量的提高，该需肥量有减少的趋势。因此，提高产量不是单纯依靠肥料因素，而是各项栽培措施综合作用的结果。不同生育时期，棉花吸收氮、磷、钾的数量也不同。棉花对氮的吸收，在出苗至现蕾期占全生育期氮吸收的 5% 左右，现蕾至开花期占 10% 左右，开花期最多，约占 55% 左右。对磷、钾的吸收量，则表现为前期少、中后期多，开花后磷、钾吸收量分别占全生育期的 70% 和 80% 左右。

棉花种子含氮 2.8—3.5%，纤维含氮 0.28—0.33%，

表 1 不同棉区根据目标产量确定的施肥量

肥力等级	目标产量 (公斤/亩)	推荐施肥量(公斤/亩)		
		N	P_2O_5	K_2O
长江流域棉区				
低肥力	80	16	5	9
中肥力	100	19	6	12
高肥力	120	21	7	15
西北棉区				
低肥力	120	14	9	2
中肥力	150	18	12	3
高肥力	180	22	15	4

表 2 长江流域棉区根据土壤测定值的磷钾肥推荐施用量及施用方法

速效 P (毫克/公斤)	P_2O_5 用量 (公斤/亩)	施用方法	速效 K (毫克/公斤)	K_2O 用量 (公斤/亩)	施用方法
<10	7—9	基肥花铃肥各半	<50	9—12	基肥花铃肥各半
10—20	5—7	基肥花铃肥各半	50—100	6—9	基肥花铃肥各半
20—30	3—5	基肥	100—150	4—6	基肥
>30	1—2	基肥	>150	1—3	基肥

表 3 棉田土壤有效硼、有效锌含量分级指标

微量元素 (毫克/公斤)	含量等级		
	低	中	高
有效 B	<0.4	0.4—0.8	>0.8
有效 Zn	<0.7	0.7—1.5	>1.5

茎秆含氮 1.2—1.8%，是含氮较高的作物。研究结果表明，皮棉产量水平为 63—95 公斤/亩时，棉株出苗至现蕾期积累的 N 约占总累积量的 4.5%，现蕾期至开花期约占 27.8—30.4%，开花期至吐絮期约占 59.8—62.4%，吐絮期至收获约占 2.7—7.8%^[3]。棉花积累氮最多的时期为开花至吐絮期，成熟棉花植物体各器官氮的分布是生殖器官高于营养器官。棉花缺氮时先是下部老叶变黄，然后蔓延全株，叶色转红棕并干枯，植株矮小，枝条稀弱，减产严重。但氮肥施用过多也会引起棉花徒长，贪青晚熟，加重病虫害发生，影响产量和品质，降低肥效并增加面源污染风险。

棉株吸收积累的磷，出苗至先蕾期约占总累积量的 3—3.4%，现蕾期至开花期约占 25.3—28.7%，开花期至吐絮期约占 64.4—67.1%，吐絮期至收获约占 1.1—6.9%^[3]。棉花幼苗期 2—3 片真叶前后对磷素敏感，幼苗缺磷时植株矮小，叶片小，叶色暗绿，叶柄含 P 一般小于 50 毫克/公斤。现蕾期棉花功能叶含磷低于 2.8 克/公斤（干重）为缺乏，大于 3 克/公斤为正常。棉花对磷的吸收高峰在开花期，花铃期棉株叶柄含 P 小于 50 毫克/公斤时表示缺磷。磷肥施用最好是与氮钾肥和有机肥配合集中深施，主要用于基肥^[4]。

棉花需钾量大，但钾利用率偏低，植株出苗至现蕾期吸收的钾占总吸钾量的 3.7—4%，现蕾期至开花期占 28.3—31.6%，开花期至吐絮期占 61.6—63.2%，吐絮期至收获期占 1.2—6.3%^[3]。棉花缺钾时生长显著延迟，叶缘卷起，叶脉间出现红褐色斑点，叶尖发黄变褐，焦枯脱落，抗性降低，不仅严重减产，而且棉纤维品质明显下降。现蕾期上部新展开的功能叶 K 含量低于 16 克/公斤（干重）为缺乏，初花期低于 14 克/公斤（干重）为缺乏，花铃期低于 6 克/公斤（干重）为缺乏。一般长江流域棉区土壤速效钾含量低于 100 毫克/公斤时就需要施用钾素肥料，钾肥的施用以集中早施、基施为宜，在质地较轻的土壤可以分 2—3 次施用^[4]。

微量元素在棉株生长中的作用是不可替代的，一般 B、Zn 各占棉株干重的 0.003%，Mg 占 0.005%，Cu 占 0.001%，Fe 占 0.03%。每亩产皮棉 74 公斤以上的棉花，需吸收 B 0.397 公斤，Zn 0.205 公斤，正常棉株含 B 量为 19.6 毫克/公斤，正常棉花幼苗的含 Zn 量为 26.71 毫克/公斤^[5]。

棉花需肥量大，生育期长，施肥次数多。要想科学、经济施肥，在肥料的搭配上应掌握以基肥为主，追肥为辅，有机肥为主，化学肥料为辅；氮磷钾肥配合的原则。

在施肥时期上，要施足基肥（一般约占总施肥量的 60%），根据棉花不同生育时期的需肥特点，掌握“轻施苗肥，稳施蕾肥，重施花铃肥，补施盖顶肥，适时喷施叶面肥”的原则。表 1 显示了在长江流域棉区和西北棉区，根据目标产量和土壤肥力情况确定的氮磷钾肥参考施肥量。表 2 示意长江流域棉区根据土壤测定值确定的磷钾肥推荐施用量及施用方法。表 3 为棉田土壤有效硼、有效锌含量分级指标，一般土壤分析结果显示低时，可以考虑施用硼肥或锌肥^[6]。

当土壤有效 B 低于 0.4 毫克/公斤时，每亩可苗期追施施用硼砂 0.4—0.8 公斤，或在蕾期、初花期和花铃期连续喷施 3 次，每次以 2% 浓度加水 60 公斤。当土壤有效 Zn 低于 0.7 毫克/公斤时，每亩可基施硫酸锌 1—2 公斤。或在苗期至花铃期连续喷施 2—3 次，每次浓度 0.2% 的水溶液 60 公斤。

5 棉花叶面肥的施用方法及后期管理

由于叶面施肥具有效率高、肥效快、操作方便、可与灌溉和打农药相结合等优点，它已成为棉花养分管理的一个重要部分，因此，采用合适的方法很有必要。

苗期喷肥：苗期叶部喷肥，能促使棉苗早发，促使弱苗转化为壮苗，并能控制株高，防止徒长。一般每亩选喷 1% 的尿素和 1%—2% 的过磷酸钙浸泡过滤液混合液 50—75 公斤。

蕾期生长正常的棉田，可用磷酸二氢钾 300—500 倍液加适量锌肥喷施；棉株增长高峰出现在开花前，营养生长过快，会提早封行，增加中下部的蕾铃脱落，这类棉田需要喷施抑制剂，控制棉株主茎和果枝顶端生长。可在棉花蕾期，每亩用缩节胺或调节胺 1.5 克，兑水 50 公斤喷洒。

花铃期喷肥：棉花花铃期需肥量大，是形成产量的关键时期。植株矮小，根系不发达，叶色暗中有紫的棉田，每亩喷 2% 的过磷酸钙或 0.2%—0.3% 的磷酸二氢钾溶液 60 公斤，能减少蕾铃脱落和壮桃促绒的作用。生长不旺，叶色淡黄时，可喷洒 1% 的尿素溶液 50 公斤。

吐絮期喷肥：棉花吐絮期，营养生长几乎停止，叶片逐渐衰老，根部吸收肥水的能力减弱。脱肥早衰的棉花，每亩可喷洒 1%—1.5% 的尿素溶液 60—75 公斤；生长正常或长势偏旺的棉田，喷施 2%—3% 的过磷酸钙浸出液 60—75 公斤，既防早衰，又促早熟。贪青晚熟的棉花，开始采收时，用 40% 的乙烯利 100—150 克，兑水 30 公斤喷洒，以促进棉花早熟，提高棉花的等级。

棉花后期管理：整个9月份，上部棉铃都还在继续生长充实，到10月下旬采收完毕，还有50多天的时间，如放松了管理，仍可能遭受重大损失。对于因缺钾造成的早衰棉田，如果上部还有挺立的绿叶或还有部分早衰程度轻的棉株，可再喷一次2%的硫酸钾肥溶液。

6 棉花平衡施肥效果与对策

1990—1995年，国际植物营养研究所(IPNI)中国项目部在全国三大棉区开展了90个棉花平衡施肥田间试验，较全面地研究了平衡施肥对主产区棉花的影响和效果，建立了全国棉花试验数据库，并通过田间示范田、技术培训和新闻媒体等不同形式进行了大面积的技术示范和推广。这些前期的研究结果为目前进一步实施IPNI的4R养分管理策略和应用开发棉花养分管理专家系统(Nutrient Expert[®])打下了良好基础。

棉花肥效试验的统计结果表明，新疆棉区的平均推荐施肥量为 $N - P_2O_5 - K_2O = 15.7 - 9.8 - 5.1$ 公斤/亩，棉花施氮处理平均产量为312公斤/亩，比不施氮处理增产18.5%，氮肥农学效率为3.01公斤/公斤N；施磷处理平均产量为299公斤/亩，比不施磷处理增产14.7%，磷肥农学效率为3.50公斤/公斤 P_2O_5 ；施钾处理平均产量为303公斤/亩，比不施钾处理增产14.3%，钾肥农学效率为7.45公斤/公斤 K_2O 。长江流域棉区的统计结果表明，该区的平均推荐施肥量为 $N - P_2O_5 - K_2O = 18.7 - 8.5 - 15$ 公斤/亩，棉花施氮处理平均产量为268公斤/亩，比不施氮处理增产12.2%，氮肥农学效率为1.53公斤/公斤N；施磷处理平均产量为261公斤/亩，比不施磷处理增产5.52%，磷肥农学效率为1.43公斤/公斤 P_2O_5 ；施钾处理平均产量为261公斤/亩，比不施钾处

理增产18.3%，钾肥农学效率为2.46公斤/公斤 K_2O 。华北棉区的统计结果表明，该区的平均推荐施肥量为 $N - P_2O_5 - K_2O = 16 - 3 - 9.3$ 公斤/亩，棉花施氮处理平均产量为251公斤/亩，比不施氮处理增产7.26%，氮肥农学效率为1.06公斤/公斤N；施磷处理平均产量为251公斤/亩，比不施磷处理增产4.50%，磷肥农学效率为3.60公斤/公斤 P_2O_5 ；施钾处理平均产量为253公斤/亩，比不施钾处理增产15.4%，钾肥农学效率为3.48公斤/公斤 K_2O 。

以上结果表明，三个棉产区中棉花推荐施肥量以长江流域最大，比华北棉区和新疆棉区分别高49.3%和37.9%，但棉花单产则是新疆棉区最高，比华北棉区和长江流域棉区分别高21.2%和15.6%，区位优势明显。三个棉区钾肥的增产效果和农学效率均最高，其次是磷肥，氮肥最低，说明钾肥的施用必须引起重视，“控氮、稳磷、增钾”的施肥策略对大部分棉区是适用的。从各棉区目前具体肥料用量来看，长江流域棉区的钾肥用量还可增加10%左右，华北棉区的磷肥用量还可增加10—20%，新疆棉区的钾肥用量还可增加20%左右。

目前国际植物营养研究所中国项目正在全国范围内研究开发棉花养分管理专家系统(Nutrient Expert[®])，该系统是在遵循4R养分管理策略的前提下，以经过实际验证的数学模型和计算机程序为手段，以大量的自然环境背景资料和当地作物种植的关键数据为基础，充分考虑和利用土壤本身的肥力条件和养分资源、作物类型、轮作制度及肥料的种类，在作物需要时给予施肥推荐的一种作物养分管理专家系统，具有与作物反应的相关性好、操作简便、及时，价格低廉、可利用网络进行推荐施肥等优点，已在世界的许多国家和我国许多地区进行推广。

参考文献

- [1] 何康，刘瑞龙主编. 中国农业百科全书(农作物卷)[M]. 北京：中国农业出版社，1991.
- [2] 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，2011.
- [3] 李俊义，刘荣荣主编. 棉花平衡施肥与营养诊断[M]. 北京：中国农业科技出版社，1992.
- [4] 姜存仓，陈防主编. 棉花营养诊断与现代施肥技术[M]. 北京：中国农业出版社，2011.
- [5] 中国农业科学院土壤肥料研究所主编. 中国肥料[M]. 上海：上海科学技术出版社，1994.
- [6] 鲁剑巍主编. 测土配方与作物配方施肥技术[M]. 北京：金盾出版社.2010.

内蒙古马铃薯氮磷钾养分管理

段玉¹ 张君¹ 张三粉¹ 景宇鹏¹ 王博¹ 栗艳芳¹ 李书田²

(1. 内蒙古农牧业科学院资源环境与检测技术研究所, 呼和浩特, 2. 国际植物营养研究所北京办事处, 中国农科院农业资源与农业区划研究所, 北京)

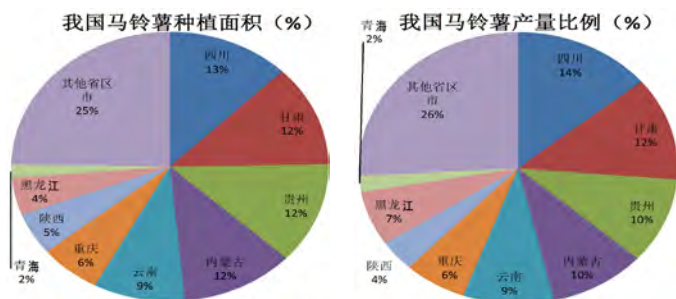
摘要: 为了构建马铃薯生产中氮磷钾养分管理的科学方法, 采用多年多点田间试验方法, 研究了马铃薯施用氮磷钾肥的产量反应、农学效率、养分利用率、单位产量养分吸收量等, 以及产量反应与农学效率的相关关系, 基于土壤养分含量与相对产量的相关关系确定的土壤养分丰缺指标等。结果表明, 施用 NPK 肥的产量反应分别为 268、228 和 179 公斤/亩, 农学效率 (AEN、AEP 和 AEK) 分别为 27.5、46.6 和 29.3 公斤。施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 与缺素区的相对产量 (y) 和农学效率 (y) 之间有显著的正相关关系, 可以采用基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法进行马铃薯的施肥推荐。生产 1000 公斤马铃薯吸收 N、P₂O₅ 和 K₂O 分别为 5.62、1.52 和 6.13 公斤, 由此参数可确定一定马铃薯产量下的养分吸收量。土壤速效氮磷钾含量 (x) 和缺氮区相对产量 (y) 之间有显著的线性相关关系, 依据这一相关关系可以确定内蒙古马铃薯生产的土壤矿质氮、土壤有效磷和土壤交换性钾的养分丰缺指标, 可以指导测土推荐施肥。马铃薯可以采用基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法进行施肥推荐。

关键词: 马铃薯; 氮磷钾肥; 产量反应; 农学效率; 丰缺指标; 施肥推荐

1 引言

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 由于营养价值较高, 容易栽培, 产量较高, 在世界各地广泛种植, 是世界上仅次于稻、麦、玉米的四大粮食作物之一。我国是世界上最大的马铃薯生产国, 马铃薯播种面积是仅次于大豆的第五大作物。2010-2014 年平均马铃薯播种面积平均为 8205 万亩, 总产达 9081 万吨, 占世界总产量的 25% 左右。西部地区是我国马铃薯的主要产区, 四川、甘肃、贵州、内蒙古和云南 5 个省区的播种面积约占全国总播面积的 60%, 产量占全国总产量的 55%。内蒙古自治区是我国马铃薯主产区之一, 2010-2014 年, 全区马铃薯播种面积平均 968 万亩, 占全国的 12%, 总产占全国的 10%^[1]。

马铃薯是浅根系块茎类作物, 通常种植在沙土地和排水良好的土壤上, 这种类型的土壤由于保水保肥能力差, 易造成硝酸盐等养分的淋失, 使得马铃薯养分管理更加困难。科学合理施肥是保证产量、降低投入、增加品质的重要途径^[2]。马铃薯吸收钾素最多, 其次是氮素, 磷素最少, 每生产 1000 公斤马铃薯需要吸收 N、P₂O₅、K₂O 分别为 5.32 公斤, 1.42 公斤和 6.01 公斤^[2-3]。马铃薯生产中由于过量施肥和施肥不平衡现象比较普遍, 导致肥料利用率较低, 施肥效益低下, 甚至增产不增收, 不平衡施肥是限制该区域马铃薯产量和质量的主要因素之一。NPK 肥平衡施用对提高马铃薯产量和品质有很大潜力, 然而, 由于缺乏科学的信息和推荐方法, 种植者不知道应该施用多少氮磷钾肥。常用的推荐施肥方法是采用土壤测试, 可以有效地用于指导施肥, 但适合于不同作物的土壤氮磷钾测定值临界水平难以确定。基于产量反应与农学效率的推荐施肥方法在有或没有土壤测试值的情况下都可以使用, 已在小麦和玉米上进行了大面积应用^[4-5]。另一种推荐施肥量的方法是基于土壤和植物系统的养分平衡。然而, 施用氮磷钾的产量反应、养分利用率、土壤养分供应和生产潜力及马铃薯块茎和植株氮磷钾的吸收和土壤氮磷钾的临界水平



¹ 基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 资助项目。

作者简介: 段玉 (1963-), 男, 研究员, 长期从事植物营养与施肥研究。yduan@ipni.ac.cn

之间的关系等相关研究缺乏。本文采用多年多点试验, 研究明确马铃薯施用氮磷钾养分的产量反应, 建立科学的马铃薯生产的养分推荐, 为马铃薯最佳养分管理提供技术支持。

2 材料与方 法

2.1 试验地点

2002—2014 年在内蒙古武川县 62 个、察右中旗 20 个和固阳县 34 个试验地块共进行 116 项次试验。试验地土壤为栗钙土, 砂壤, 土壤养分状况见表 1。

表 1 供试土壤养分状况								
	有机质 (克/公斤)	有效氮	有效磷 (毫克/公斤)	交换钾	pH (1:2.5)	施 N 量	施 P ₂ O ₅ 量 (公斤/公顷)	施 K ₂ O 量
最小值	3.3	23.0	4.6	59.0	7.7	45.0	30.0	30.0
最大值	38.3	152.0	30.9	325.0	8.9	300.0	150.0	225.0
平均	15.7	68.5	9.5	117.0	8.2	172.3	75.2	94.2
标准差	7.41	26.72	4.37	50.02	0.24	48.58	22.92	37.63

2.2 试验处理

试验设四个处理: OPT (NPK), OPT-N, OPT-P, OPT-K。(1) OPT (NPK): N、P、K 化肥配合施用的最优施肥处理, 由中加合作实验室推荐^[6-8]。(2) OPT-N: 不施氮肥处理, 即在 OPT 的基础上减去氮肥;(3) OPT-P: 不施磷肥处理, 即在 OPT 的基础上减去磷肥;(4) OPT-K: 不施钾肥处理, 即在 OPT 的基础上减去钾肥。推荐用量为 3—20 公斤 N/亩, 2—10 公斤 P₂O₅/亩, 2—15 公斤 K₂O/亩, 平均 N—P₂O₅—K₂O 为 11.5—5.0—6.3 公斤/亩。

供试马铃薯品种为“克新一号”。试验用氮肥为尿素, 按 N 46% 计算, 磷肥为重过磷酸钙, 按 P₂O₅ 46% 计算, 钾肥为氯化钾, 按 K₂O 60% 计算, 磷钾肥全部做基肥一次深施, 氮肥 40% 基施, 60% 在生育期间追施。田间管理同一般生产田。

2.3 分析方法

收获时各处理分别收获记产, 并随机取样 3 株, 测定茎、叶和块茎的鲜重, 切碎后 80℃ 烘干测定茎、叶和块茎干物质重, 混匀后粉碎, 过 2 毫米筛备用。植株样品用 H₂SO₄—H₂O₂ 消解后, 全氮用凯氏定氮法, 全磷用钒钼黄比色法, 全钾用火焰光度法测定。

有关计算公式:

某元素的相对产量 (%) (RY) = 缺该元素区产量 / 全肥区产量 × 100

某养分元素的产量反应 (公斤/亩) (YR) = 全肥区产量 - 缺该元素区产量

某养分元素的农学效率 (公斤/公斤) (AE) = (全肥区产量 - 缺该养分区产量) / 该养分施入量;

某养分元素的利用率 (%) (RE) = (全肥区该元素吸收量 - 缺该元素区养分吸收量) / 全肥区该元素养分用量 × 100。

某养分元素的吸收系数 (公斤/1000 公斤) = 全肥区该元素吸收量 (公斤/亩) / 全肥区产量 (公斤/亩)。

2.4 统计分析

缺素区的相对产量、施肥的产量反应、农学效率、NPK 的养分利用率的频率分布图和统计表使用 SPSS 20 软件包。用线性模型来描述土壤可交换的 K (x) 和土壤本身供 K 能力或生产率 (y) 之间的关系。分别用二次模型和线性模型来描述产量反应 (x) 与相对产量 (y) 和农艺效率 (y) 之间的关系。块茎产量 (y) 和总吸 K (x) 量之间的关系用功率模型, 相对产量 (y) 和土壤可交换 K (x) 之间的关系用二次模型描述。回归方程的系数 (R²) 测定模型由 Microsoft EXCEL 2010。

3 结果与分析

3.1 缺氮磷钾区的相对产量

整理了 2002—2014 年进行的 116 项次马铃薯田间试验, 结果见表 2。马铃薯 OPT 处理的产量水平为 355.9—4013.3 公斤/亩, 平均为 1490.7 公斤/亩; OPT-N 的产量为 281.5—3412.0 公斤/亩, 平均 1257.6 公斤/亩; OPT-P 为 296—3426 公斤/亩, 平均为 1297.5 公斤/亩; OPT-K 为 327.8—3702 公斤/亩, 平均为 1312.2 公斤/亩。采用中加合作实验室进行的养分推荐用量 (OPT) 的产量都是最高的且与缺素处理存在显著差异, 说明中加合作实验室的推荐用量是合理的。

表 2 施用 NPK 养分对马铃薯的相对产量、产量反应和农学效率的影响

	缺氮区的	缺磷区的	缺钾区的	施氮的产	施磷的产	施钾的产	施氮的农学	施磷的农学	施钾的农学	
	相对产量	相对产量	相对产量	量反应	量反应	量反应	效率 AE_N	效率 AE_P	效率 AE_K	
	(%)			(公斤/亩)			(公斤/公斤 N) (公斤/公斤 P_2O_5) (公斤/公斤 K_2O)			
样本数	62	62	116	62	62	116	62	62	116	
平均值	81.7	84.5	87.8	267.8	227.9	178.5	27.5	46.6	29.3	
标准差	8.1	7.7	7.1	192.8	199.2	156.0	18.7	32.7	20.7	
最小值	55.7	61.5	69.8	46	11	11	4.6	1.8	1.7	
最大值	97.3	98.8	99.1	840	1067	867	90.3	133.3	95.0	
百分位数	25%	76.7	80.0	81.9	126.8	87.5	80.8	12.5	20.4	14.7
	50%	81.8	83.5	89.2	194.5	153.0	128.5	26.5	38.0	23.9
	75%	88.4	90.1	93.3	413.5	292.5	217.0	36.9	65.9	39.8

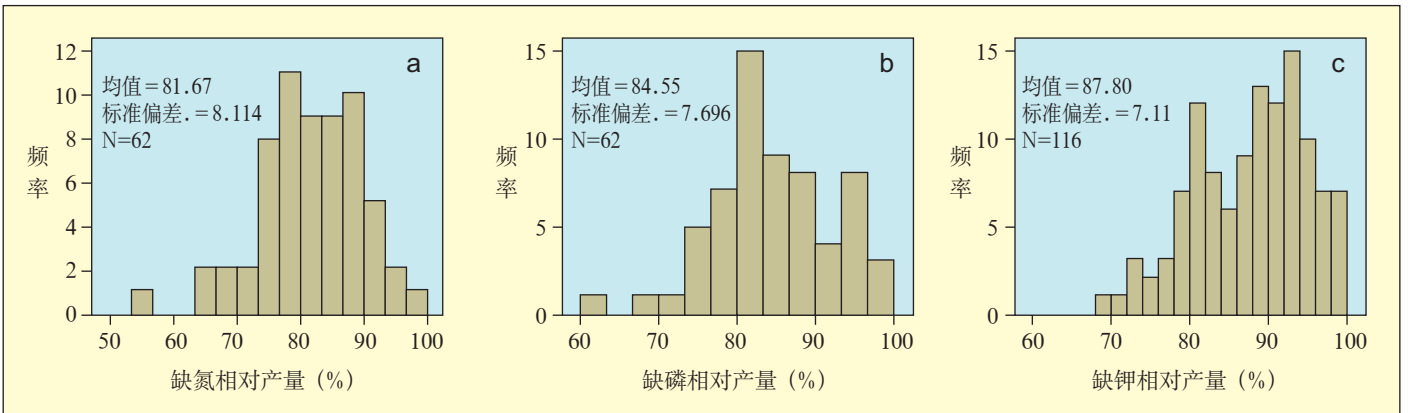


图 1. 不施氮磷钾肥的相对产量的频率分布

马铃薯缺乏区的相对产量（不施用氮磷钾肥）是缺乏处理占全肥区处理的百分数，它反映了该元素对马铃薯产量影响的重要程度。不施氮肥的相对产量（ $n=62$ ）为 55.7%–97.3%，平均为 81.7%，其频率分布如图 1, a, 出现频率较高的是 75%–90%，占 72.5%。不施磷肥的相对产量（ $n=62$ ）为 61.5%–98.8%，平均为 84.5%，其频率分布如图 1, b, 出现频率较高的是 75%–90%，占 64.5%。不施钾肥的相对产量（ $n=116$ ）为 69.8%–99.1%，平均为 87.8%，其频率分布如图 1, c, 出现频率较高的是 80%–95%，占 72.4%。从中看出，氮肥是影响

马铃薯产量的主要因素，其次是磷肥，钾肥对产量的影响相对最小。

3.2 施用氮磷钾肥的马铃薯产量反应

施用氮磷钾肥区（OPT）比缺乏区（OPT-N, OPT-P, OPT-K）的马铃薯产量增加值称为缺该元素的产量反应。施用氮肥的产量反应范围为 46–840 公斤/亩，平均为 267.8 公斤/亩（ $n=62$ ），频率分布表明（图 2, a），80–500 公斤/亩占 77.5%，>500 公斤/亩占 11.3%，<80 公斤/亩占 11.3%；施用磷肥的产量反应范围为 11–

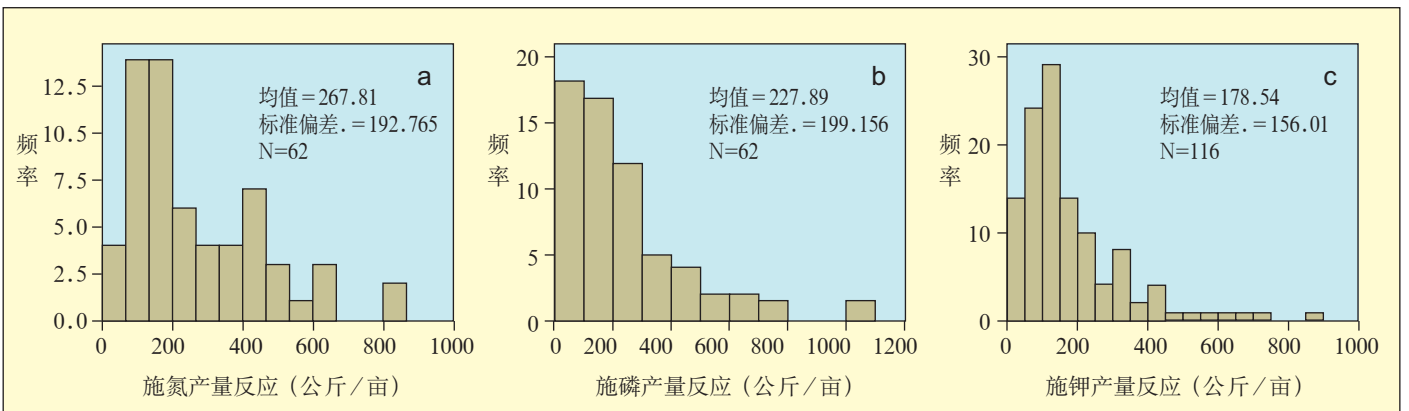


图 2 施用氮磷钾肥的产量反应的频率分布

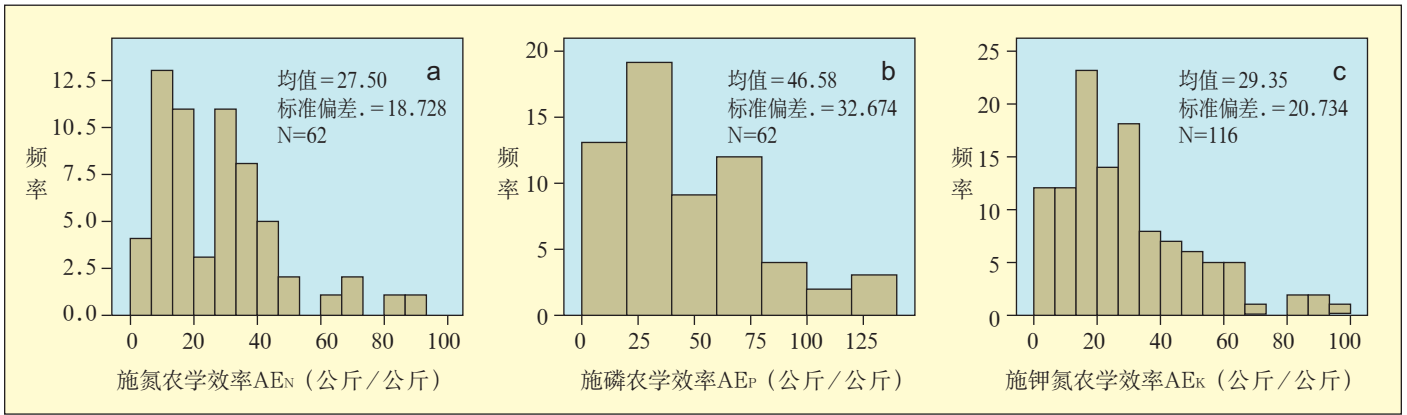


图3 施用氮磷钾肥的农学效率的频率分布

1067 公斤/亩，平均为 227.8 公斤/亩 (n=62)，频率分布表明(图 2, b)，50-300 公斤/亩占 69.4%，>300 公斤/亩占 24.2%，<50 公斤/亩占 6.4%；施用钾肥的产量反应范围为 10.5-866.7 公斤/亩，平均为 178.5 公斤/亩 (n=62) 频率分布表明(图 2, c)，50-250 公斤/亩占 70%，>250 公斤/亩占 20%，>50 公斤/亩占 10%。

3.3 施用氮磷钾肥的农学效率

施用氮肥每公斤 N 增产马铃薯块茎 4.6-90.3 公斤，平均为 27.5 公斤，频率分布表明(图 3, a)，10-40 公斤占 64.5%，>40 公斤占 16.1%，<10 公斤占 19.4%；施

用磷肥每公斤 P_2O_5 增产马铃薯块茎 1.8-133.3 公斤，平均为 46.6 公斤，频率分布表明(图 3, b)，20-70 公斤占 77%，>70 公斤占 15%，<20 公斤占 8%；施用钾肥每公斤 K_2O 增产马铃薯块茎 1.7-95.0 公斤，平均为 29.3 公斤，频率分布表明(图 3, c)，15-40 公斤占 50%，>40 公斤占 24%，<15 公斤占 26%。

3.4 施用 NPK 肥的养分利用率

施用氮肥当季回收率 (REN, N) 为 16%-58%，平均为 32.3%，频率分布表明(表 3, 图 4, a)，20%-40% 占 86.5%，>40% 占 10.8%，<20% 占 2.7%；施用磷

表 3 施用 NPK 养分对马铃薯养分利用率和吸收量的影响							
	氮回收率 AE_N	磷回收率 AE_P	钾回收率 AE_K	N 吸收系数	P_2O_5 吸收系数	K_2O 吸收系数	
	(%)			(公斤/1000 公斤)			
样本数	37	37	91	36	36	90	
平均值	32.3	15.3	37.4	5.6	1.5	6.1	
标准差	8.0	3.5	14.2	1.4	0.4	1.9	
最小值	16.0	7.5	10.2	3	1	3	
最大值	58.0	20.9	92.6	8	3	14	
百分位数	25%	26.4	12.8	25.8	4.3	1.2	4.9
	50%	31.6	14.6	39.1	5.3	1.5	5.7
	75%	36.8	18.35	46.6	6.9	1.8	6.8

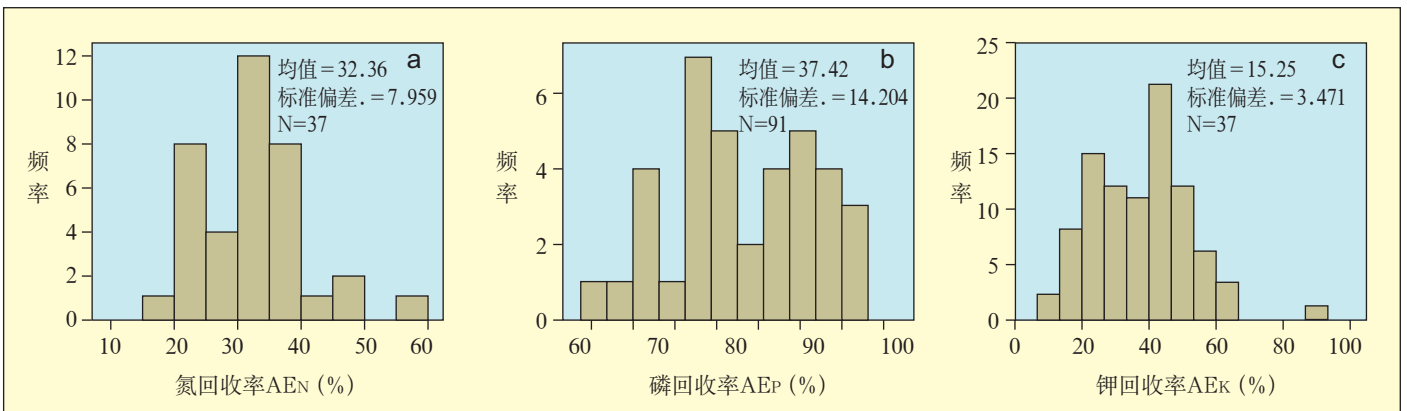


图4 马铃薯施用氮磷钾肥的养分回收率频率分布

肥的当季回收率 (REP, P₂O₅) 为 7.5%–20.9%, 平均为 15.3%, 频率分布表明 (图 4, b), 13%–20% 占 64.9%, >20% 占 8.1%, <13% 占 27.0%; 施用钾肥的当季回收率 (REK, K₂O) 为 10.2%–92.6%, 平均为 37.4%, 频率分布表明 (图 4, c), 20%–55% 占 81.3%, >55% 占 8.8%, <20% 占 9.9%。

3.5 生产 1 吨马铃薯养分吸收量

生产 1 吨马铃薯的养分量称作养分吸收系数, 施用氮肥的吸收系数 (N) 为 3.0–8.0 公斤/吨, 平均为 5.62 公斤/吨, 频率分布表明 (表 3, 图 5, a), 4.0–6.0 公斤/吨占 62%, >6.0 公斤/吨占 30%, <4.0 公斤/吨占 8%; 施用磷肥的吸收系数 (P₂O₅) 为 1.0–3.0 公斤/吨, 平均为 1.52 公斤/吨, 频率分布表明 (图 5, b), 1.0–2.0 公斤/吨占 83%, >2.0 公斤/吨占 14%, <1.0 公斤/吨占 3%; 施用钾肥的吸收系数 (K₂O) 为 3.0–14.0 公斤, 平均为 6.13 公斤/吨, 频率分布表明 (图 5, c), 4.0–8.0 公斤/吨占 88%, >8.0 公斤/吨占 8%, <4.0 公斤/吨占 4%。

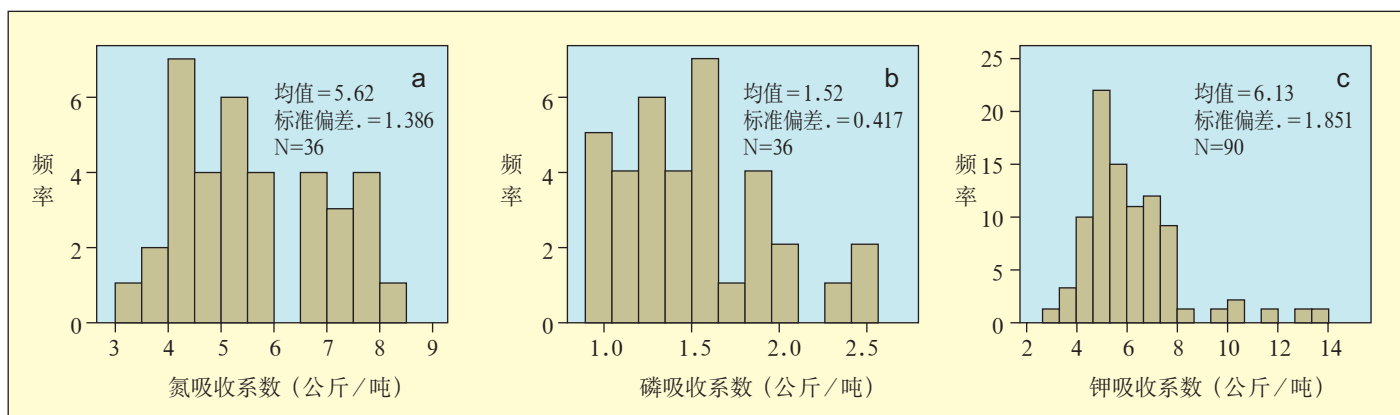


图 5 马铃薯施用氮磷钾肥的养分吸收量频率分布

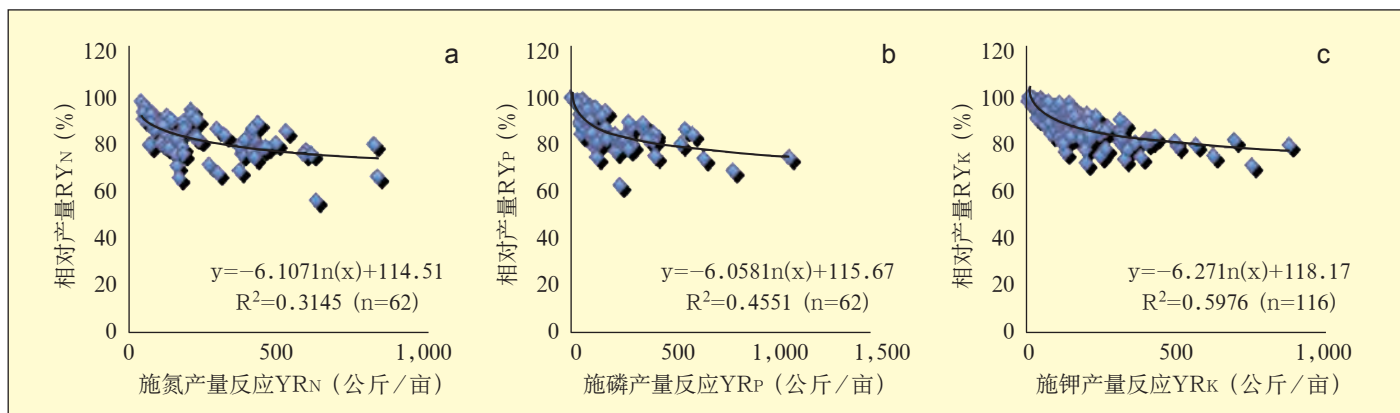


图 6 产量反应与相对产量的相关关系

3.6 产量反应与相对产量和农学效率的相互关系

施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 与缺素区的相对产量 (y) 有显著的负相关关系 (见图 5, a, b, c), 施用氮肥为: $y_N = -6.107 \ln(x) + 114.51$ $R^2 = 0.3145^*$ (n=62); 施用磷肥为: $y_P = -6.058 \ln(x) + 115.67$ $R^2 = 0.4551^{**}$ (n=62); 施用钾肥为: $y_K = -6.27 \ln(x) + 118.17$ $R^2 = 0.5976^{**}$ (n=116)。相对产量较高表明土壤本身供肥能力较强, 土壤本身生产能力和可获得的产量差距较小, 这样施肥后产量反应也较小。这种情况也在小麦、玉米等粮食作物中也有相同的表现 (Chuan et al., 2013; Xu et al., 2014)。

施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 和农学效率 (y) 之间也有一个显著的正相关关系 (见图 6, a, b, c), 表明产量反应越高农学效率越大。施用氮肥为: $y_N = 17.94 \ln(x) - 68.943$ $R^2 = 0.5562^{**}$ (n=62); 施用磷肥为: $y_P = 30.652 \ln(x) - 111.13$ $R^2 = 0.719^{**}$ (n=62); 施用钾肥为: $y_K = 18.676 \ln(x) - 61.095$ $R^2 = 0.6235^{**}$ (n=116)。

通常产量反应越小表明土壤的肥力越高, 导致农学效

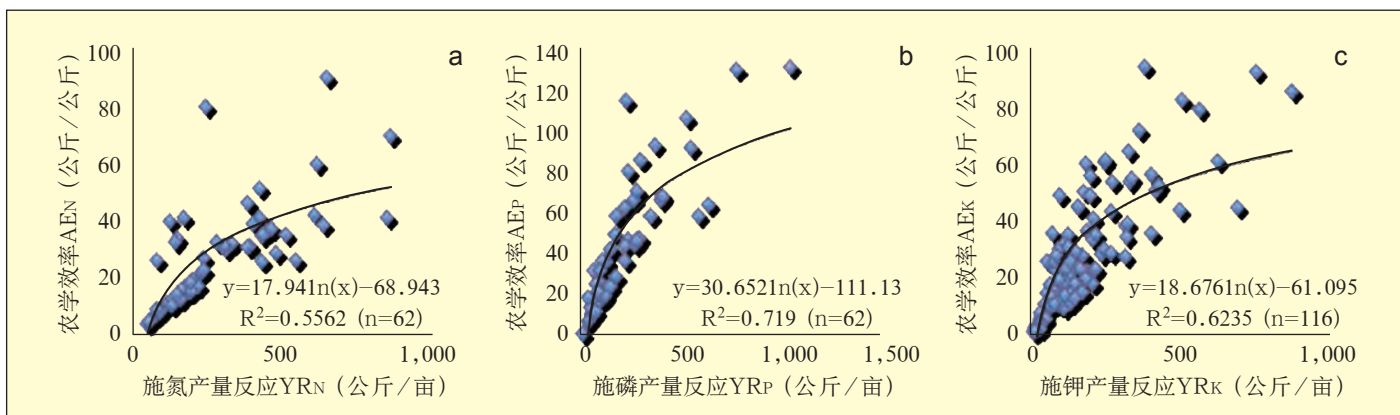


图7 产量反应与农学效率的相关关系

率较低。相反，产量反应越高意味着土壤供肥能力越低，因而施肥农学效率（AE）相对较高。

基于这一相关关系，能够通过给定的产量反应进行推荐施肥。

3.7 土壤氮磷钾养分丰缺指标马铃薯施肥推荐

土壤测试值是评价土壤肥力的重要依据，可以用于指导马铃薯生产的推荐施肥。土壤矿质氮（ x ）和缺氮区相对产量（ yN ）之间可用对数曲线表达： $yN=12.5851\ln(x)+29.787$ $R^2=0.4223^*(n=62)$ ；土壤有效磷（ x ）和缺磷区相对产量（ yP ）之间也可用对数曲线表达：

表4 土壤养分丰缺指标				
丰缺评价	丰缺值 (%)	土壤养分丰缺指标 (毫克/公斤)		
极丰富	>95	>178	>16	>179
丰富	90-95	120-178	12-16	12-179
中等	80-90	54-120	7-12	64-127
缺乏	70-80	24-54	4-7	32-64
极缺	<70	<24	<4	<32

$yP=16.417\ln(x)+49.152$ $R^2=0.6361^{**}(n=62)$ ；土壤速效钾（ x ）和缺钾区相对产量（ yK ）之间也可用对数曲线表达： $yK=14.59\ln(x)+19.323$ $R^2=0.5126^{**}(n=116)$ 。

如果把缺素区相对产量低于70%设定为土壤养分极缺水平，相对产量70%—80%为缺乏水平，相对产量80%—90%为中等水平，相对产量90%—95%为丰富水平，相对产量大于95%为极丰富水平，共5个等级，从而可通过基于上述3个回归方程计算确定内蒙古马铃薯生产的土壤矿质氮、土壤有效磷和土壤交换性钾的养分丰缺指标（见表4）。

可见土壤矿质氮大于120毫克/公斤为土壤氮素丰富水平，可以不施氮肥。土壤有效磷达到12毫克/公斤以上时，说明土壤磷素比较丰富，不需要施用磷肥。土壤速效钾达到127毫克/公斤以上时，说明土壤钾素比较丰富，可以不施钾肥。

推荐施肥量 = (目标产量吸收养分量 - 土壤养分供应量) / 养分利用率

但本方法需要取土测试，针对每一农户田块进行测土

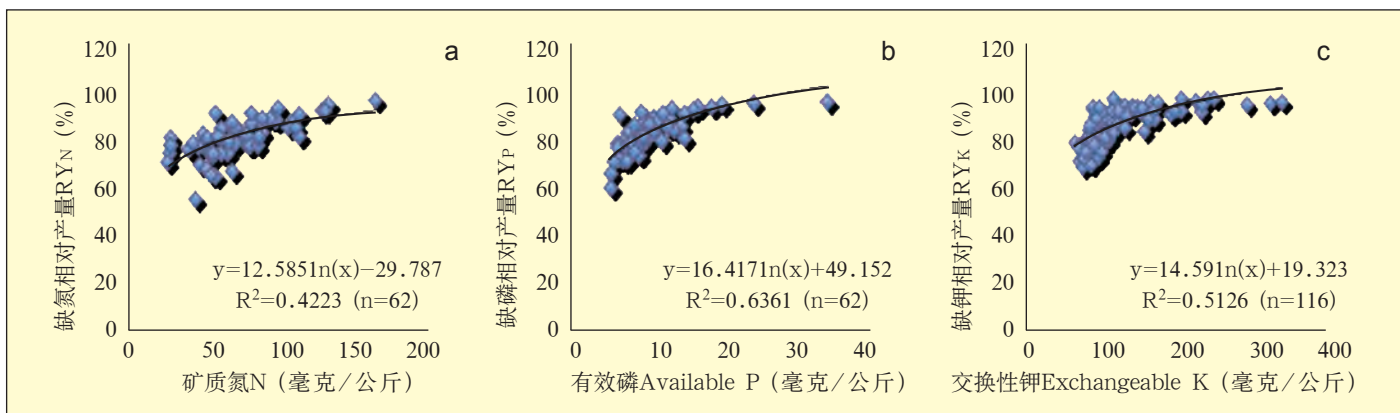


图8 土壤养分状况与相对产量的相关关系

推荐施肥存在困难。

基于施肥的产量反应与农学效率 (AE) 的推荐施肥量 (F) 如下:

推荐养分量 (N 或 P_2O_5 或 K_2O 公斤 / 亩) = 产量反应 (公斤 / 亩) / 农学效率 (AEN 或 AEP 或 AEK) (公斤 / 公斤)

$$F = YR / AE$$

其中: F 是推荐养分量 (公斤 / 亩);

YR 是施用氮磷钾肥的产量反应 (公斤 / 亩), 施用氮肥的产量反应为 46 - 840 公斤 / 亩, 平均为 267.8 公斤 / 亩; 施用磷肥的产量反应为 11 - 1067 公斤 / 亩, 平均为 227.8 公斤 / 亩; 施用钾肥的产量反应为 10.5 - 866.7 公斤 / 亩, 平均为 178.5 公斤 / 亩 (见 2.2);

AE 是施肥的农学效率 (每公斤养分增产的块茎产量, 公斤 / 公斤), 施用氮肥每公斤 N 增产马铃薯块茎 4.6 - 90.3 公斤, 平均为 27.5 公斤; 施用磷肥每公斤 P_2O_5 增产马铃薯块茎 1.8 - 133.3 公斤, 平均为 46.6 公斤; 施用钾肥每公斤 K_2O 增产马铃薯块茎 1.7 - 95.0 公斤, 平均为 29.3 公斤 (见, 2.3);

由 $YR = (1 - RY) \times Ya$, 那么 $F = (1 - RY) \times Ya / AE$

RY 是特定土壤养分测试水平下的相对产量 (%), 如果已知土壤养分的测定值, 那么 RY 可用图 7 中的土壤养分测定值与相对产量之间的回归方程进行估计, 也可由多年试验结果进行估计;

Ya 是施肥获得的产量 (生产实践中的目标产量) (公斤 / 亩);

对于氮素养分推荐施肥, 主要依据产量反应和农学效率, 在内蒙古阴山北麓马铃薯种植区域平均氮素的推荐用量 = 267.8 公斤 / 亩 / 27.5 公斤 / 公斤 = 9.7 公斤 / 亩。

在内蒙古阴山北麓马铃薯种植区域如果目标产量 3000 公斤 / 亩, P_2O_5 的推荐用量平均为: 227.8 公斤 / 亩 / 46.6 公斤 / 公斤 = 4.9 公斤 / 亩。

在内蒙古阴山北麓马铃薯种植区域如果目标产量 3000 公斤 / 亩, K_2O 的推荐用量平均为: 178.5 公斤 / 亩 / 29.3 公斤 / 公斤 = 6.1 公斤 / 亩。

4 结论与讨论

缺素区的马铃薯相对产量越高表明缺少该养分元素

对产量的影响较小, 反之对产量影响较大。本研究表明不施氮肥的相对产量为 81.7%, 不施磷肥的相对产量为 84.5%, 不施钾肥的相对产量为 87.8%。从中看出, 氮肥是影响马铃薯产量的主要因素, 其次是磷肥, 钾肥对产量的影响相对最小。

马铃薯施用 NPK 肥的产量反应分别为 268 公斤 / 亩、228 公斤 / 亩和 179 公斤 / 亩。施用氮肥的农学效率 (AEN) 为 27.5 公斤, 施用磷肥的农学效率 (AEP) 为 46.6 公斤, 施用钾肥的农学效率 (AEK) 为 29.3 公斤。

施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 与缺素区的相对产量 (y) 有显著的负相关关系, 相对产量较高表明土壤本身供肥能力较强, 土壤本身生产能力和可获得的产量差距较小, 这样施肥后的产量反应也较小。施用氮磷钾肥的产量反应 (x) 和农学效率 (y) 之间也有显著的正相关关系, 通常产量反应越小表明土壤的肥力越高, 导致农学效率较低。相反, 产量反应越高意味着土壤供肥能力越低, 因而施肥的农学效率 (AE) 相对较高。可以采用基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法^[4, 5]进行马铃薯的施肥推荐。

生产单位产量马铃薯块茎需要吸收的养分量受土壤养分供应状况、栽培管理技术和气候条件等综合因素的影响其数值不是绝对稳定的而是相对的。试验研究表明, 生产 1000 公斤马铃薯吸收氮素 (N) 为 5.62 公斤 / 1000 公斤, 生产 1000 公斤马铃薯吸收 P_2O_5 为 1.52 公斤 / 1000 公斤, 生产 1000 公斤马铃薯吸收 K_2O 为 6.13 公斤 / 1000 公斤。可以依据这些参数确定一定马铃薯产量下的养分吸收量。

土壤测试值是评价土壤肥力的重要依据, 可以用于指导马铃薯生产的推荐施肥。土壤速效氮磷钾含量 (x) 和缺氮区相对产量 (y) 之间有良好的线性相关关系, 依据这一相关关系可以确定内蒙古马铃薯生产的土壤矿质氮、土壤有效磷和土壤交换性钾的养分丰缺指标, 可以指导测土推荐施肥。

马铃薯可以采用基于作物产量反应和农学效率的推荐施肥方法进行施肥推荐

通有关马铃薯施肥效果、养分利用率、单位产量的养分吸收量这些参数在相关参考文献中都有报道, 但是通过多年多点试验取得的资料较少, 本文总结了 12 年 116 项次的马铃薯试验提出的养分推荐参数有重要的实用价值。

参考文献

- [1] 中国种植业信息网·农作物数据库 [2016-2-5]. 网址: <http://zzys.agri.gov.cn/nongqing.aspx>
- [2] 段玉, 张君, 李焕春, 等. 马铃薯氮磷钾养分吸收规律及施肥肥效的研究 [J]. 土壤 (Soil), 2014, 46(2):212-217
- [3] Duan, Y., Tuo, D., Zhao, P., et al. Response of potato to fertilizer application and nutrient use efficiency in Inner Mongolia [J]. Better Crops, 2013, 97, 24-26.
- [4] Chuan, L., He, P., Pampolino, M.F., et al. Establishing a scientific basis for fertilizer recommendations for wheat in China: yield response and agronomic efficiency [J]. Field Crops Res., 2013, 140, 1-8.
- [5] 何萍, 金继运, Mirasol, F., 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.
- [6] Hunter, A.H. Laboratory and Greenhouse Techniques for Nutrient Survey to Determine the Soil Amendments Required for Optimum Plant Growth [M]. Agro Service International, Florida, USA., 1980.
- [7] Portch, S., Hunter, A. Modern agriculture and fertilizers [M]. In: PPI / PPIC China Program Special Publication No. 5, Beijing, China., 2002.
- [8] Bai, Y., L. Yang, and J. Jin. Principles and Practices of Soil Test Based Fertilizer Recommendations [M]. China Agriculture Press., 2007.
- [9] Shutian Li, Yu Duan, Tianwen Guo, et al. Potassium management in potato production in Northwest region of China [J]. Field Crops Research, 2015, 174:48-54
- [10] Patricia, I. and S.K. Bansal. Potassium and Integrated Nutrient Management in Potato [C]. Presented at the Global Conference on Potato 6-11 December, New Delhi, INDIA., 1999.
- [11] Robert, M. and Bryan, H. Fertilizer Management Practices for Potato Production in the Pacific Northwest. [http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/1510bfb2a4649f7c8525756f005899e9/\\$FILE/BMPPotato.pdf](http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/1510bfb2a4649f7c8525756f005899e9/$FILE/BMPPotato.pdf).

中国油菜的生产及平衡施肥效果和技术简介

陈防^{1, 2} 张过师^{1, 2}

(1. 国际植物营养研究所武汉办事处, 武汉, 430074; 2. 中国科学院武汉植物园, 武汉, 430074)

一 油菜生产的基本情况

油菜 (*Brassica L*) 是十字花科芸薹属一年生或二年生直根系草本植物, 茎直立, 分枝较少, 一般株高 30–90 厘米, 部分现代栽培种的株高可达 2 米。总状无限花序, 着生于主茎或分枝顶端; 花黄色, 花瓣 4 片, 为典型十字形; 长角果条形, 长 3–8 厘米, 宽 2–3 毫米; 种子球形, 紫褐色。油菜是粮食作物的良好前作, 在农作物轮作复种中 (特别是水旱轮作中) 占有重要地位^[1]。油菜根系能分泌有机酸, 可溶解土壤粘土矿物中难以溶解的磷、钾等矿物质元素, 提高其生物有效性。油菜根、茎、叶、花、果壳等组织含有丰富的氮磷钾等营养元素, 生长后期大量落花落叶以及收获后的残茬和秸秆还田, 能有效保持土壤肥力。

油菜是中国乃至世界的主要农作物和油料作物之一, 经济价值较高。油菜籽除榨油外, 其饼粕可作饲料、肥料。油菜亦可作绿肥和新垦荒地、盐碱地、休闲地等的先锋作物, 还可以根据不同用途作为能源作物、青饲料作物、蔬菜作物、景观作物来栽培。此外, 油菜花器多, 花期长, 具有蜜腺, 是良好的蜜源植物, 可以养蜂。芥菜型油菜的种子既可以制作芥末, 也是芳香料的重要来源之一。

一般认为油菜有两个起源中心, 白菜型油菜和芥菜型油菜的起源中心主要在中国和印度, 白菜型油菜在中国古代称为芸薹、胡菜; 甘蓝型油菜的起源中心在欧洲, 20 世纪 30–40 年代, 甘蓝型油菜由朝鲜、日本引入中国。世界上种植油菜最多的地区在亚洲、欧洲、北美洲, 种植油菜最少的地区在南美洲和非洲, 亚洲和欧洲的油菜产量占全世界的 78%。

虽然油菜在中国已有三千多年的种植历史, 但生产迅速发展阶段始于二十世纪八十年代, 1999 年起我国成为世界上最大的油菜生产国, 近年来油菜年种植面积达 700 万公顷, 年产量达 1000 万吨, 油菜总产和播种面积均占世界的 30%。中国油菜产区分布广泛, 目前除北京、天津、辽宁和海南外, 其余 27 个省区市均有种植。油菜生长期不同, 可分为春油菜和冬油菜两大产区。我国六盘山以东和延河以南、太岳山以东为冬油菜区, 六盘山以西和延河

以北、太岳山以西为春油菜区。从种植面积和总产量来看, 我国油菜生产以冬油菜为主^[2]。

按其农艺性状, 油菜可分为白菜型油菜、芥菜型油菜和甘蓝型油菜三个类型。我国的油菜种植目前以甘蓝型油菜为主, 约占总面积的 70% 以上。甘蓝型油菜 (*Brassica napus L.*) 又称洋油菜、黑油菜, 其特点是株型较高大、子叶肾脏形, 基叶椭圆、半抱茎, 分枝部位中等、花瓣较大、角果大、种子大。分枝多、角果大, 种子无辛辣味; 适应高肥力条件、生长旺盛、增产潜力大、生育期长, 为目前中国长江流域主要栽培品种类型。春油菜生育期一般 80–130 天, 冬油菜生育期一般 160–280 天。目前中国油菜籽单产平均约 120 公斤/亩, 油菜籽含油率 39%–42%, 出油率为 35% 左右; 含蛋白质 25%、芥酸 45%–48%。双低油菜品种的芥酸含量一般在 1% 以下、硫甙的含量也较低^[1, 3]。

二 油菜的营养特性和养分管理存在的问题

油菜的一生可划分为发芽出苗期、苗期、现蕾抽薹期、开花期和角果发育期等五个主要生育阶段, 不同生育阶段的生育特点和对环境条件的要求各不相同。油菜在土壤 pH 值 3.5–7.4 的条件下种子均能正常萌发生长, 以 pH5.9 为佳。它需肥较多, 氮和钾的需要量是谷类作物的 3 倍, 磷的需要量是谷类作物的 3.5 倍, 对钙和硼的吸收量也大大超过其他作物, 缺硼容易造成落花、落角果, 花而不实。因此, 栽培油菜要求土层深厚, 土壤肥沃, 排灌和通气条件良好。油菜的不同品种、不同生育期、不同部位的适宜养分含量有所不同, 但总体上有一个适宜的范围, 一般 N 含量为 3.5–5.5%, P 为 0.3–0.7%, K 为 2–5%, Mg 为 0.15–0.6%, Ca 为 1–2%, S 为 0.5–0.6%, Fe 为 50–150 毫克公斤, Mn 为 20–250 毫克公斤, Zn 为 25–70 毫克公斤, Cu 为 4–25 毫克公斤, B 为 20–60 毫克公斤, Mo 为 0.3–1 毫克公斤^[4–6]。甘蓝型油菜每形成 100 公斤油菜籽, 需要吸收 N 10 公斤、P 3.9 公斤、K 11.5 公斤。白菜型油菜每形成 100 公斤油菜籽, 需要

吸收 N 6 公斤、P 2.4 公斤、K 5.6 公斤。一般中等以上产量的油菜其吸收 N、P 和 K 的比例大约为 1 : 0.4 : 1.2^[7-8]。

目前我国油菜养分管理上存在的主要问题有：①有机肥料用量偏低、商品肥料养分间比例不协调；②养分管理技术的更新跟不上品种更新（缺少高产条件下现行推广品种的养分吸收规律）和种植技术发展的需要（缺少机械播种配套施肥技术、缺少免耕种植配套施肥技术）；③缺乏不同轮作体系的肥料运筹和土壤培肥技术；④缺少必要的技术规程（施肥指标技术体系），油菜施肥中的盲目性和随意性较大，投入的肥料利用效率较低，由于氮磷肥的流失造成的面源污染风险较大。长江流域是我国冬油菜主产区，其面积和产量分别占全国的 80% 和 85%，该区土壤肥力状况和养分循环有其独特性，主要表现在：①耕地复种指数较高，作物收获从耕地中带走的养分多；②耕地养分的自然补充少，主要靠大量施用商品化肥；③该区域降雨充沛但全年雨量分布不均匀，雨季土壤养分流失量大，农业面源污染风险较大；④经过多年的集约化种植和不尽合理的施肥习惯，耕地不同养分间肥力水平不平衡，常表现单个或多个养分的缺乏症状，在油菜生产上常见的有缺磷、缺钾、缺硼等症^[9]。

三 IPNI 中国项目油菜平衡施肥效果

自 1982 年开始至今，国际植物营养研究所（IPNI）及其前身国际钾磷研究所 / 加拿大钾磷研究所（PPI / PPIC）中国项目部在全国范围的研究与技术示范合作项目中开展了 500 余个油菜平衡施肥田间试验，较全面地研究了平衡施肥对主产区油菜生产的影响和效果，建立了全国油菜试验数据库，并通过田间示范田、技术培训和新闻媒体等不同形式进行了大面积的技术示范和推广。根据国际植物营养研究所（IPNI）东南地区合作研究项目田间试验、示范、调查和中国农业年鉴的统计数据显示，目前我国南方地区油菜产量一般可以达到 133.3 公斤 / 亩。在长江流域油菜主产区多年多点的试验研究结果表明，最近四十年来，我国冬油菜主产区土壤除 pH 值由 6.6 下降为 6.4 外，其他土壤肥力指标如有机质含量，有效氮含量，有效磷含量，有效钾含量和有效硼含量都有不同程度上升。每年的残茬量随着油菜产量的增加而增加，最高可达 267 公斤 / 亩，这是同期土壤有机质提升的主要原因之一。由于施用硼肥已成为油菜栽培的主要施肥措施，它也直接提升了土壤有效硼的含量水平。虽然目前长江流域油菜田土壤肥力水平比上世纪的 1960 年代和 1980 年代有所

上升，但土壤 N、P、K、B 缺乏的现象仍然很常见，其主要原因是施肥不合理以及集约化生产提高了油菜对土壤的缺素临界指标。这些前期的研究结果为目前进一步实施 IPNI 的 4R 养分管理策略和应用开发油菜养分管理专家系统（Nutrient Expert[®]）打下了良好基础。

研究表明，如果我们以 90% 最高产量条件下的土壤有效养分含量为标准，则推荐以 160 毫克 N / 公斤，25 毫克 P / 公斤，135 毫克 K / 公斤 和 0.6 毫克 B / 公斤作为这几种有效养分的土壤临界值。以此临界值为标准，长江流域油菜主产区土壤 N、P、K 和 B 缺素的面积分别达 95%、89%、79% 和 87%。比较合理的养分管理提高了油菜的产量和品质，估计 55% 的增产来自于近年实施的平衡施肥技术。根据 2001 - 2011 年 IPNI 中国项目在我国南方地区 8 个省的 93 个油菜氮肥试验，106 个磷肥试验和 110 个钾肥试验的统计结果表明：油菜施氮处理平均产量为 145 公斤 / 亩，比不施氮处理增产 80.2%，氮肥农学效率（AE）为 4.89 公斤 / 公斤 N；施磷处理平均产量为 145 公斤 / 亩，比不施磷处理增产 30.4%，磷肥农学效率为 5.64 公斤 / 公斤 P₂O₅；施钾处理平均产量为 149 公斤 / 亩，比不施钾处理增产 13%，钾肥农学效率为 2.21 公斤 / 公斤 K₂O。总的来看氮肥的效果好于磷肥，磷肥的效果好于钾肥，平衡施肥处理产量比习惯施肥明显提高^[10-11]。

从施肥的经济效益来看，2001 - 2010 年的十年期间肥料市场上商品化肥的平均价格也有明显的上涨，以纯养分计算，其中 N 平均价格上升了 48.1%，P₂O₅ 平均价格上升了 75%，K₂O 平均价格上升了 236.8%。十年中肥料价格的上涨幅度大于油菜产品价格的上涨幅度，更是显著大于油菜产量的增加幅度。但由于产品价格对种植业纯收益的影响比较大，因此产品价格的大幅上升，是在抵消了肥料价格上涨带来的效益下降之后，还使同期油菜纯收益上升了 100 - 412.3%^[12]。

四 油菜平衡施肥的策略与技术

通过对土壤有效养分的分析测定，可以为油菜施肥提供较可靠的参考。例如，土壤钾的测试新方法及评价指标研究结果表明，在目前常用的 9 种土壤速效钾提取分析方法中，比较易于操作、代表性好的方法为：HNO₃ 0.5 摩尔 / 升提取 30 分钟，火焰光度法测定。这种方法在水稻和小麦上都表现出了作物吸钾与其他钾素评价因子之间较好的相关性，更适宜用来表示土壤有效钾含量。表 1、2 和表 3 举例列出了长江流域土壤有效氮和有效钾的分级指

表 1 长江流域土壤速效氮分级及油菜氮肥用量推荐

产量水平 (公斤/亩)	肥力 等级	速效 N (毫克/公斤)	N 用量 (公斤/亩)
150	极低	<60	11.3
	低	60-110	9
	中	110-160	7.5
	高	160-200	6
250	极高	>200	4.5
	极低	<60	21.1
	低	60-110	16.9
	中	110-160	14.1
	高	160-200	11.3
	极高	>200	8.4

表 2 长江流域土壤有效磷分级及油菜磷肥用量推荐

产量水平 (公斤/亩)	肥力 等级	有效 P (毫克/公斤)	P ₂ O ₅ 用量 (公斤/亩)
150	极低	<5	8
	低	5-10	6
	中	10-20	4.7
	高	>20	3
250	极高	<5	12
	低	5-10	10
	中	10-20	7
	高	>20	5

表 3 长江流域土壤速效钾分级及油菜钾肥用量推荐

产量水平 (公斤/亩)	肥力 等级	有效 P (毫克/公斤)	P ₂ O ₅ 用量 (公斤/亩)
150	低	26-60	10.1
	中	60-135	6
	高	135-180	4
	极高	>180	2
250	低	26-60	18.8
	中	60-135	11.3
	高	135-180	7.7
	极高	>180	4

标和油菜推荐施肥量^[10-11]。

油菜施肥时要注意施足底肥、早施提苗肥、重视腊肥、看苗施基肥、花期进行根外追肥，以保证各生育期对营养的要求。应结合土壤化验结果保持平衡施用氮、磷、钾、硼肥，建议肥料开沟深施及分次施用（包括苗床肥、基肥、苗肥、基肥、花肥），有条件的可以施用农家肥或商品有机肥，也可以覆盖稻草 400 公斤/亩左右。当土壤 pH 值小于 5.5 时，可施用石灰 50-100 公斤/亩。目前长江流域地区一般每亩推荐施用 N 10-12 公斤/亩，P₂O₅ 4-6 公斤/亩，K₂O 8-10 公斤/亩，硼砂 1-2 公斤/亩。一般用 40%-50% 的氮肥、全部磷肥、钾肥和有机肥作基肥，如土壤质地较轻，建议用 30-40% 的钾肥作追肥。苗肥在定苗后施用，占氮肥追肥量的 50%。基肥在抽基前施用，占氮肥追肥量的 40%-50%。花肥一般情况下可以不施。如要施用，则多用于高产田或后期有脱肥现象的地块。宜在初花期施用，过迟则容易引起贪青晚熟，其施肥量占氮肥追肥量的 10% 左右。使用缓控释氮肥时，肥料可以全部基施，氮肥总用量可以减少 20% 左右。油菜对硼反应敏感，缺硼容易造成茎秆开裂、落花、落荚，花而不实。一般情况下，当土壤有效硼含量小于 0.5 毫克/公斤时，就应该施用硼肥^[7, 9]。

目前国际植物营养研究所中国项目正在全国范围内开发推广油菜养分管理专家系统（Nutrient Expert[®]），该系统是在遵循 4R 养分管理策略的前提下，以经过实际验证的数学模型和计算机程序为手段，以大量的自然环境背景资料和当地作物种植的关键数据为基础，充分考虑和利用土壤本身的肥力条件和养分资源、作物类型、轮作制度及肥料的种类，在作物需要时给予施肥推荐的一种作物养分管理专家系统，具有与作物反应的相关性好、操作简便、及时，价格低廉、可利用网络进行推荐施肥等优点，已在世界的许多国家和我国许多地区进行推广。

参考文献

- [1] 中国农业百科全书编辑委员会编 [M]. 中国农业百科全书—农作物卷. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- [2] 中国农业年鉴编辑委员会编. 中国农业年鉴 [J]. 北京: 中国农业出版社, 2002–2011.
- [3] 邹娟, 鲁剑巍, 李银水, 等. 氮、磷、钾、硼肥对甘蓝型油菜籽品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 14(5):961–968.
- [4] 刘冬碧, 熊桂云, 张继铭, 等. 湖北省粮食主产区土壤养分的空间变异性研究 [J]. 湖北农业科学, 2007, 46(6):904–907.
- [5] 鲁剑巍, 陈防, 刘冬碧, 等. 成土母质及土壤质地对油菜施钾效果的研究 [J]. 湖北农业科学, 2001, (6), 42–43.
- [6] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 等. 我国冬油菜区土壤肥力变化及施肥效果演变 [J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(3):275–279.
- [7] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 等. 氮磷钾硼肥施用对长江流域油菜产量及经济效益的影响 [J]. 作物学报, 2009, 35(1):87–92.
- [8] 陈防, 郑圣先. 我国南方作物高效施钾技术的研究进展 [J]. 土壤肥料, 2004, (6):28–32.
- [9] 鲁剑巍, 陈防, 刘冬碧, 等. 根据土壤速效钾确定油菜钾肥推荐用量的研究 [J]. 湖北农业科学, 2001, (5), 46–48.
- [10] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 等. 基于 ASI 法的长江流域冬油菜区土壤有效磷、钾、硼丰缺指标研究 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(6):2028–2033.
- [11] 陈防, 张过师. 中国东南地区水稻和油菜化肥施用的产量和效益分析 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(21):141–144.

控释肥对都市桂花苗圃环境效应的研究

李在凤¹ 尹梅² 陈检锋² 王志远² 陈华² 付利波² 洪丽芳²

(1. 大理州南涧县农业局农业技术推广中心, 南涧 655700; 2. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205)

摘要: 在云南省昆明市郊桂花苗圃连续3年设置田间试验, 研究控释肥对地栽桂花苗圃土壤氮磷含量、地下渗水和地表径流水质的影响, 为桂花苗圃科学施肥、减少都市苗圃面源污染提供科学数据。研究表明, 控释肥与常规肥相比, 控释肥处理耕层土壤中氮和磷较常规肥含量高, 控释肥处理的地下渗水和地表径流水的各个污染物含量指标均低于常规肥处理, 差异显著。在用肥量减少15%–45%的范围内桂花苗圃土壤、地下渗水和径流水中的农业面源污染物含量随肥料用量减少而降低, 差异显著。控释肥能有效减少苗圃农业面源污染, 推荐在都市苗圃中替代常规肥使用。在不影响桂花苗木正常生长的前提下, 在习惯用肥量16公斤N/亩、6.7公斤P₂O₅/亩和4公斤K₂O/亩的基础上, 使用控释肥可减少15%–45%的用肥量, 能显著降低土壤NP养分淋失, 提高耕层土壤NP含量, 减轻NP淋失对地下渗水及地表径流水质的影响, 使桂花苗圃的面源污染负荷得到有效的控制。

关键词: 控释肥; 常规肥; 桂花苗圃; 面源污染; 土壤; 地下渗水; 地表径流

近年来, 随着我国大力推进生态建设和城乡绿化, 加大了对绿化苗木产业的需求, 都市苗圃种植业成为新型农业发展的重要组成部分。云南园林苗木行业通过十多年的发展, 已具相当大的产业规模。但苗圃生产者为了寻求苗木的“卖相”, 一味过量施肥^[1-2]。过量施肥不仅造成面源污染, 还导致苗木养分供应失衡, 也致使土壤健康功能衰退和生产性能下降, 造成恶性循环^[3-4]。源头控制是减少面源污染的根本所在, 肥料品种选择和减少肥料用量是实现源头控制途径之一^[5]。

控释肥料是一种能使养分的供应能力与作物生长发育的需肥要求相一致的新型肥料^[6-7]。近年来在一些经济作物上开始进行推广应用。但在苗圃上应用还很少见。为有效减少都市苗圃面源污染, 在云南省昆明市郊桂花苗圃上设置控释肥和常规肥比较试验, 对比其对桂花苗圃土壤、地下渗水以及径流水中污染物的影响, 为桂花苗圃的科学施肥, 减少苗圃面源污染提供数据支撑。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于2013–2015年在云南省昆明市官渡区大板桥镇瓦角村连续实施3年。供试苗圃选择都市栽种面积较大、具有代表性的桂花苗圃。

试验地海拔为1931米。土壤为山原红壤, 地栽苗圃0–30厘米土壤理化性状为pH6.6, 有机质18.73克/公斤, 总氮1.61克/公斤, 总磷0.61克/公斤, 总钾13.32克/公斤, 有效磷6.4毫克/公斤, 速效钾61.3毫克/公斤。30–60厘米土壤理化性状为pH6.4, 有机质17.45克/公斤, 总氮1.30克/公斤, 总磷0.55克/公斤, 总钾12.64克/公斤, 有效磷6.2毫克/公斤, 速效钾54.0毫克/公斤。

供试肥料 控释肥来自云南威鑫农业科技股份有限公司, 肥料配方为24–10–6。常规单质肥中的氮肥用普通尿素(纯N含量为46%), 磷肥用普通过磷酸钙(P₂O₅含量为12%), 钾肥用硫酸钾(K₂O含量为50%)。

¹ 基金项目: 国际植物营养研究所(IPNI)云南项目; 国家水体污染控制与治理科技重大专项

作者简介: 李在凤(1978–, 云南省基层人才培养计划入选者), 女, 农艺师, 长期从事农业技术推广。344068237@qq.com

1.2 试验设计

本试验采用随机区组设计, 设9个处理, 不施肥处理(CK), 常规单质肥全量及减量4个处理(CF100%, CF85%, CF70%, CF55%), 控释肥全量及减量4个处理(CRF100%, CRF85%, CRF70%, CRF55%), 具体用量和施用方式见表1。其中CF为常规单质肥料, CRF为控释肥料, 100%, 85%, 70%, 55%分别代表四种施肥水平。试验小区选择栽种面积较大、具有代表性的桂花苗圃, 小区面积为20平方米, 重复3次, 共计27个小区, 每个小区面积、形状、规格完全相等, 小区规格一般为4×5米。施肥方法采用环施。6月将控释肥1次施入, 常规单质肥施肥于6-9月份4次施入。

处理	施肥方式	N P ₂ O ₅ K ₂ O (公斤/亩)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	不施肥	0	0	0
CF100%	基施 + 追肥	16	6.7	4
CRF100%	基施	16	6.7	4
CF85%	基施 + 追肥	13.6	5.7	3.4
CRF85%	基施	13.6	5.7	3.4
CF70%	基施 + 追肥	11.2	4.7	2.8
CRF70%	基施	11.2	4.7	2.8
CF55%	基施 + 追肥	8.8	3.7	2.2
CRF55%	基施	8.8	3.7	2.2

1.3 测定项目及方法

土壤的采样和测定项目: 在每个小区中取代表性样点5个, 每个点分别取0-30厘米和30-60厘米土层样品, 同一个小区的0-30厘米土层样品混合, 30-60厘米土层样品混合。新鲜样和风干样各2份(每份不低于1.0公斤)。新鲜土样即时检测铵态氮(纳氏试剂比色法)、硝

态氮(紫外分光光度法)和含水量指标。风干土样检测全氮(土壤全氮测定法 NY/T 53-1987)、有效磷(《土壤分析技术规范》中国农业出版社2006年)和全磷(土壤全磷测定法 NY/T 88-1988)等指标。

地下渗水中污染物的采样和测定项目: 在每个小区土层60厘米处理置地下渗水取水器, 采集其渗滤液, 分析其氨氮(纳氏试剂分光光度法 HJ 535-2009)、硝酸盐氮(酚二磺酸分光光度法 GB 7480-1987)、总氮(碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法 HJ636-2012)、水溶性总磷(过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法)、总磷(钼酸铵分光光度法 GB 11893-89)、化学需氧量(快速消解分光光度法 HJ/T 399-2007)、五日生化需氧量(HJ 505-2009)。

地表径流相关项目的采样方法和测定项目同地下渗水。取样频次: 每年取样频次7次。旱季(3月份-4月份)和雨季(5月份-9月份)每月取样1次。每年各处理每个指标的7个测试数据取平均值进行当年数据统计分析。

每年9月测量并记载苗圃各处理桂花树的主干高度和胸径粗。经统计分析, 处理间差异未达到显著水平。

1.4 数据分析

试验结果利用 Excel 2007 和 SPSS 进行数据分析和统计。三年试验结果为3组试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 控释肥和常规肥对桂花苗圃土壤氮和磷的影响

2.1.1 控释肥和常规肥不同用量对0-30厘米土壤氮和磷的影响

控释肥和常规肥不同用量对0-30厘米土层土壤氮

处理	氨态氮 硝态氮 (毫克/公斤)		全氮 (%)	有效磷 (毫克/公斤)	全磷 (%)
	氨态氮	硝态氮			
CK	2.3Hh	2.7Ii	0.041Hh	3.2Gg	0.033Hh
CF100%	12.2Bb	13.2Cc	0.209Bb	10.3Bb	0.104Bb
CRF100%	13.2Aa	15.1Aa	0.222Aa	12.5Aa	0.116Aa
CF85%	11.5Cc	12.2Dd	0.189Dd	8.4Dd	0.086Dd
CRF85%	12.2Bb	14.3Bb	0.189Cc	9.7Cc	0.094Cc
CF70%	9.5Ee	10.4Ff	0.164Ff	7.3EEe	0.072Ee
CRF70%	10.3Dd	11.5Ee	0.175Ee	8.7Dd	0.084Dd
CF55%	7.8Gg	8.4Hh	0.152Gg	6.6Ff	0.058Gg
CRF55%	8.5Ff	9.1Gg	0.165Ff	7.3Ee	0.064Ff

注: 大写字母代表1%差异显著水平, 小写字母代表5%差异显著水平。下同。

磷含量的影响见表 2。

肥料中的氮磷元素既是植物生长必需的营养元素，也是农业面源污染的主要指标。

从表 2 可以看出，控释肥在不同用量处理 0-30 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均随施肥量的减少（在用肥量减少 15%-45% 的范围内）而减少的趋势。CRF100%、CRF85%、CRF70% 和 CRF55% 处理氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量差异达 1% 极显著水平。常规肥在不同用量处理对 0-30 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量的影响规律与控释肥一致。

控释肥和常规肥在相同用量条件下，0-30 厘米土层两种肥料处理比较可以看出，控释肥处理中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均有比常规肥处理的高的趋势。两种肥料在四种水平处理下氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量差异达 1% 极显著水平。

以上结果说明：在用肥量减少 15%-45% 的范围内，控释肥和常规肥在 0-30 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均随施肥量的减少而显著降低。相同用量条件下，控释肥处理在 0-30 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均比常规肥处理的高，差异达极显著水平。

2.1.2 控释肥和常规肥不同用量对 30-60 厘米土壤氮和磷的影响

从表 3 可以看出，常规肥在不同用量处理 30-60 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均随施肥量的减少而有不同程度的降低。CF100% 处理氨氮差异与 CF85% 处理比较达到 5% 显著水平，与 CF70%

和 CF55% 处理氨氮差异达到 1% 极显著水平；CF100% 与 CF85%、CF70% 和 CF55% 处理硝态氮和全氮含量差异达 1% 极显著水平。CF100% 与 CF85%、CF70% 和 CF55% 处理间有效磷和全磷含量差异达 1% 极显著水平。

控释肥在不同用量处理 30-60 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均随施肥量的减少而减少。其中，CRF100% 与 CRF85% 处理氨氮含量差异达 5% 极显著水平，与 CRF70% 和 CRF55% 处理氨氮含量差异达 1% 极显著水平；CRF100% 与 CRF85%、CRF70% 和 CRF55% 处理硝态氮和全氮含量相比差异达 1% 极显著水平。CRF100% 和 CRF55% 处理间有效磷和全磷含量差异均达 1% 极显著水平。

在相同用量条件下，30-60 厘米土层两种肥料处理比较可以看出，控释肥处理中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均比常规肥处理的含量低，大部分差异达到 5% 的显著水平，呈现明显的规律性。

以上分析得出：在用肥量减少 15%-45% 的范围内，控释肥和常规肥在 30-60 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均随施肥量的减少而显著降低。相同用量条件下，控释肥处理在 30-60 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均比常规肥处理的显著降低。说明控释肥能显著降低 NP 向深层土壤中的移动。

2.2 控释肥和常规肥对桂花苗圃地下渗水污染物的影响

控释肥和常规肥不同用量对桂花苗圃地下渗水污染物的影响见表 4。

氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、总磷、化学需氧量、五日生化需氧量和悬浮物的含量是衡量水体污染的重要指标。

表 3 控释肥和常规肥不同用量对 0-30 厘米土壤氮和磷的影响

处理	氨态氮	硝态氮	全氮 (%)	有效磷 (毫克/公斤)	全磷 (%)
	(毫克/公斤)				
CK	1.5Gg	1.8Hh	0.024Gg	2.3Fg	0.022Fh
CF100%	10.2Aa	12.1Aa	0.188ABa	9.3Aa	0.090Aa
CRF100%	8.9BCc	11.4Bb	0.192Aa	8.3Bb	0.083Ab
CF85%	9.5ABb	11.0Bb	0.178BCb	7.4Cc	0.071Bc
CRF85%	8.2CDde	10.3Cc	0.170Cc	6.8CDd	0.064Bd
CF70%	8.7Ccd	9.2Dd	0.155Dd	6.5Dde	0.063BCd
CRF70%	7.8DEe	8.2Ee	0.147DEe	6.1DEe	0.055CDe
CF55%	7.2Eff	7.5Ff	0.141Ee	6.1DEe	0.047DEf
CRF55%	6.7Ff	6.3Gg	0.127Ff	5.4Ef	0.041Eg

从表4可以看出, 常规肥在不同用量处理桂花苗圃地下渗水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量均随肥料用量减少而降低的趋势。CF100%、CF85%、CF70%和CF55%处理间氨氮含量比较达到5%显著水平, CF100%与其他处理间氨氮含量达1%极显著差异; CF100%和CF85%处理硝酸盐氮含量达到5%显著水平, CF100%和CF85%处理硝酸盐氮含量分别与CF70%和CF55%处理硝酸盐氮含量比较, 其差异达1%极显著水平, CF70%和CF55%处理间硝酸盐氮含量达到极显著水平; CF100%与其他处理总氮含量比较, 差异均达到1%极显著水平。CF100%、CF85%和CF70%处理间水溶性总磷含量差异达到1%极显著水平, CF70%和CF55%处理间水溶性总磷含量差异达到5%显著水平; 常规肥各处理间总磷含量差异达到1%极显著水平。常规肥不同用量处理间化学需氧量含量差异均达到显著水平。五日生化需氧量含量差异达到极显著水平。

控释肥在不同用量处理桂花苗圃地下渗水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量随肥料用量减少而不同程度降低。CRF100%和CRF85%处理与CRF70%和CRF55%处理氨氮含量差异达5%显著水平; 各处理间硝酸盐氮含量差异达到显著水平; CRF85%处理和CRF70%两处理总氮含量分别与CRF100%和CRF55%处理比较达到极显著水平。四个不同用量处理间水溶性总磷、总磷含量差异达极显著水平。CRF100%处理与其他三个减量处理间化学需氧量含量差异达到显著水平。CRF100%和CRF85%两处理分别与CRF70%和CRF55%处理比较五日生化需氧量含量差异达到显著水平。

控释肥和常规肥在相同用量条件下比较可以看出, 控释肥处理中桂花苗圃地下渗水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量含量均比常规肥处理的含量低。其中, 各个用量水平下控释肥和常规肥处理中氨氮含量差异达到极显著水平; 除100%用量时控释肥和常规肥处理中硝酸盐氮含量的差异达到显著水平, 其他用量时控释肥和常规肥处理中硝酸盐氮含量的差异达到极显著水平; 除85%用量水平外, 其他三个不同用量处理间控释肥和常规肥处理中的总氮含量比较差异达极显著水平。三个不同用量处理间控释肥和常规肥处理中的水溶性总磷含量差异达到极显著水平, 85%处理下控释肥和常规肥中的总磷含量差异也达到显著水平。100%和70%处理中控释肥和常规肥中的化学需氧量含量差异达到极显著水平, 85%处理中控释肥和常规肥中的化学需氧量含量差异达到显著水平。100%用量时控释肥和常规肥中的五日生化需氧量含量差异达到极显著水平, 70%和55%用量时控释肥和常规肥中的五日生化需氧量含量差异达到显著水平。

从上述分析可以看出, 控释肥和常规肥在不同用量处理桂花苗圃地下渗水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量均随肥料用量减少而显著降低。控释肥和常规肥在相同用量水平下, 控释肥处理中桂花苗圃地下渗水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量含量均比常规肥处理的含量低。

2.3 控释肥和常规肥对地栽桂花径流水污染物的影响

控释肥和常规肥不同用量对桂花苗圃径流水污染物的影响见表5。

表4 控释肥和常规肥的不同用量对桂花苗圃地下渗水污染物的影响(毫克/升)

处理	氨氮	硝酸盐氮	总氮	水溶性总磷	总磷	化学需氧量	五日生化需氧量
CF100%	1.47Aa	6.6Aa	10.0Aa	0.122Aa	0.296Aa	9.7Aa	4.95Aa
CRF100%	0.77Cd	6.0Ab	9.0Bb	0.105Bb	0.269ABab	8.4Bb	3.98Bb
CF85%	1.28Bb	6.1Ab	8.7BCbc	0.107Bb	0.243BCb	8.4Bb	3.89Bb
CRF85%	0.69CDdc	5.5Bc	8.1CDc	0.094Cc	0.211CDc	7.5BCc	3.72BCbc
CF70%	1.19Bc	4.6Cd	8.3BCc	0.084Dd	0.181DEd	7.5BCc	3.47CDc
CRF70%	0.64CDef	3.9De	7.2Dd	0.073Ee	0.165Ed	6.5Dd	3.13Dd
CF55%	0.74Cd	3.6De	7.3Dd	0.076DEe	0.110Fe	6.7CDd	2.67Ee
CRF55%	0.60Df	2.9Ef	6.2Ee	0.063Ff	0.0909Fe	6.1Dd	2.33Ef

从表 5 可以看出, 常规肥在不同用量处理地栽桂花苗圃径流水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量随肥料用量减少而降低的趋势。各个用量下处理氨氮、硝酸盐氮、总氮、化学需氧量含量差异达到 1% 极显著水平。CF100%、CF85% 和 CF70% 处理间水溶性总磷、总磷和五日生化需氧量含量差异达到 5% 显著水平。

控释肥在不同用量处理桂花苗圃径流水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量随肥料用量减少而有不同程度的降低。CRF100% 处理和 CRF85% 两处理地栽桂花苗圃径流水中氨氮、硝酸盐氮含量分别与 CRF70% 和 CRF55% 处理比较达到极显著水平, 不同用量处理间总氮含量差异达到 1% 极显著水平。CRF100%、CRF85%、CRF70% 和 CRF55% 不同用量处理间水溶性总磷; 除 CRF70% 和 CRF55% 处理间总磷含量差异不显著外, 其余处理间总磷含量差异达 5% 显著水平; 四个不同用量处理间桂花苗圃径流水中化学需氧量和五日生化需氧量含量差异均达到 5% 显著水平。

控释肥和常规肥在相同用量条件下比较, 控释肥处理桂花苗圃径流水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量含量均比常规肥处理的含量低。其中, 100%、70% 和 55% 用量水平下控释肥和常规肥处理桂花苗圃径流水中氨氮含量的差异达到 1% 极显著水平, 85% 用量水平下控释肥和常规肥处理桂花苗圃径流水中氨氮含量的差异达到 5% 显著水平; 100% 和 55% 用量水平下控释肥和常规肥处理桂花苗圃径流水中硝酸盐氮含量的差异达到 1% 极显著水平, 75% 用量水平下控释肥和常规肥处理桂花苗圃径流水中硝酸盐氮含量的差异达到 5% 显著水平; 100%、85% 和 70% 用量水平下控释肥和常规肥处理桂花苗圃径流水中总氮含量的差异达到 1%

极显著水平, 55% 用量水平下控释肥和常规肥处理桂花苗圃径流水中总氮含量的差异达到 5% 显著水平。100% 与 85% 处理间水溶性总磷含量差异达到极显著水平, 70% 处理间水溶性总磷含量差异达到显著水平; 100%、85%、70% 处理下控释肥和常规肥中的总磷含量差异达显著水平。70% 处理下控释肥和常规肥中的化学需氧量含量差异达显著水平。85%、70% 和 55% 处理下控释肥和常规肥桂花苗圃径流水中的五日生化需氧量含量差异达显著水平。

由此可见, 控释肥和常规肥在不同用量处理桂花苗圃径流水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量随肥料用量减少而有不同程度的降低, 差异显著。相同用量条件下比较, 控释肥处理桂花苗圃径流水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量含量均比常规肥处理的含量低。

3 结论

3.1 控释肥和常规肥在用肥量减少 15%—45% 的范围内对桂花 0—30 厘米、30—60 厘米土层中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量随肥料用量的减少而有不同程度的降低。在不影响桂花苗圃生长情况下, 降低肥料的用量 15%—45% 可以明显减少地栽桂花苗 0—30 厘米和 30—60 厘米土层中的氮磷面源污染物含量。

控释肥和常规肥相同用量处理比较, 桂花苗 0—30 厘米土层控释肥处理中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均比常规肥处理的高, 而 30—60 厘米土层控释肥处理中氨氮、硝态氮、全氮、有效磷和全磷的含量均比常规肥处理的低。说明控释肥能有效保持 NP 养分在耕层中的含量, 防止 NP 的流失。

表 5 控释肥和常规肥不同用量对桂花苗圃径流水中污染物的影响 (毫克/升)

处理	氨氮	硝酸盐氮	总氮	水溶性总磷	总磷	化学需氧量	五日生化需氧量
CF100%	2.79Aa	10.62Aa	14.1Aa	0.395Aa	0.680Aa	23.16Aa	6.56Aa
CRF100%	2.61Bb	9.98Bb	12.9Bb	0.281Bb	0.594ABb	21.43ABab	6.24ABa
CF85%	2.60Bb	9.77Bbc	12.3Bb	0.321Bb	0.551ABb	19.78Bbc	5.64BCb
CRF85%	2.48Bc	9.40Bc	10.7Cc	0.275Cc	0.471BCc	19.29Bc	5.27CDc
CF70%	2.21Cd	8.09Cd	8.9Dd	0.251CDc	0.448BCc	16.10Cd	5.23CDc
CRF70%	2.00De	7.54CDe	7.8Ee	0.209CDd	0.375Cd	13.96CDe	4.67DEd
CF55%	1.88Df	7.22DEf	6.5Ff	0.205DEde	0.369Cd	11.97DEef	4.34Ed
CRF55%	1.69Fg	6.80Eg	5.7Fg	0.179Ee	0.331Cd	10.68Ef	3.97Ee

3.2 控释肥和常规肥在用量减少 15% – 45% 范围内桂花苗圃地下渗水和径流水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量和五日生化需氧量随肥料用量减少而显著降低。因此,在不影响桂花苗圃生长情况下,减量施肥 15% – 45% 可以大大降低桂花苗圃地下渗水和径流水中的面源污染物含量。

控释肥和常规肥相同用量处理比较,控释肥处理桂花苗圃地下渗水和径流水、以及袋栽桂花渗漏水中氨氮、硝酸盐氮、总氮、水溶性总磷、化学需氧量、五日生化需氧量含量均比常规肥处理的含量低,大部分处理差异达到显著以上。由此可见,控释肥可以有效降低桂花苗圃地下渗

水和径流水中的面源污染物含量。

综上所述,施用控释肥能减少耕层土壤 NP 损失,减少地下渗水和径流水的各项面源污染指标,降低了苗圃的面源污染的风险。同时,还达到减少施肥次数,节省劳力提高劳动效率目的。

在保证桂花苗正常生长的前提下,推荐在习惯施肥 16 公斤 N / 亩、6.7 公斤 P_2O_5 / 亩和 4 公斤 K_2O / 亩的基础上减少用肥量 15% – 45%,可以降低桂花苗圃深层土壤、地下渗水和径流水中的面源污染物含量,降低了桂花苗圃的面源污染,为控释肥的大面积推广及减轻农业面源污染等提供了科学依据。

参考文献

- [1] 郭敏,等.农业面源污染的成因及控制对策[J].河北农业科学,2009,13(4):93-96.
- [2] 杨帆,等.2013 年我国种植业化肥施用状况分析[J].植物营养与肥科学报,2015,21(1):217-225.
- [3] 张维理,等.中国农业面源污染控制中存在问题分析[A].全国农业面源污染与综合防治学术研讨会论文集[C],2004,1-8.
- [4] 胡心亮,等.农业面源污染现状及防治对策[J].贵州农业科学,2011,39(6):211-215.
- [5] 薛利红.农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——源头减量技术[J].农业环境科学学报,2013,32(5):881-888.
- [6] 樊小林,等.控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J].植物营养与肥科学报,1998,4(3):219-223.
- [7] 王亮,等.新型缓控释肥的研究现状及展望[J].吉林农业科学,2008,33(4):38-42.

比较叶面施肥与土壤施肥对作物养分供应的优点与缺点

涂仕华 译

(国际植物营养研究所成都代表处, 原文译自 Plant Nutrition Today, Spring 2016, No. 2)

大田作物一般通过根系从土壤中吸收主要的养分, 但地上部分, 特别是叶片, 也能有限地吸收某些养分。正因为如此, 提供给作物的大多数养分都是通过土壤施肥, 可溶性肥料在土壤中与根系表面接触, 然后被根系吸收、转移到其它生长器官参与新陈代谢。然而叶片, 其次为茎, 以及花组织, 也能吸收有限的植物养分。了解哪些养分在土壤供应不足的情况下能够通过叶面施用来保证作物的最佳生长, 这非常重要。

在几种情况下, 叶面施肥比土壤追肥更能有效地给作物补充养分

第一种情况。对某种养分的需求量非常小, 而且该养分在土壤中的移动性很差, 以叶面肥的方式施用就非常有效。这既适用于大量元素, 也适用于微量元素。当土壤条件使养分对根系的有效性变得很低时, 叶面施肥也很有效。有一个例子是在碱性土壤 ($\text{pH} > 8.0$) 上, 气温低而土壤特别潮湿, 铁对某些作物 (如大豆缺铁黄化) 的有效性很低, 甚至在播种前已经施过铁肥, 叶面喷施铁肥就特别见效。

第二种情况。作物生育期已经推迟, 时间很紧, 也没有雨水让土施的肥料移动到作物根系表面, 并及时从根部转移到生长器官供作物生长需要, 这时叶面施肥是必须的。同样, 这也适用于大量元素和微量元素。示例之一就是高蛋白面包小麦在抽穗初期叶面喷施低浓度的尿素溶液来补充氮素。低浓度的尿素溶液, 0.75 公斤 N / 亩, 就足以满足小麦籽粒蛋白质含量增加 1%。即使撒施 3 倍用量

的尿素 (2.24 公斤 N / 亩) 也未必就能保证氮素被适时有效地吸收利用, 从而达到籽粒蛋白质含量增加的效果, 特别是在播种较晚、施肥后无雨或少雨的情况下。

在其它情况下, 与播种前施肥或后期追肥或撒施, 叶面施肥的效果较差或不适用或经济上不划算。

情况之一是作物对养分需求量很大, 肥料土施易于操作和能被作物有效吸收利用, 叶面施肥不能提供足够量的养分。示例之一就是玉米施肥, 有一半是在播种前施入土中, 另一半作为追肥侧施。

另一种情况是虽然叶面施肥相当有效, 但一次施肥不能提供作物所需的养分量, 这通常需要多次叶面施肥, 而且两次施肥之间需要足够间隔期 (比如一周时间)。在田间进行多次叶面施肥费用很高, 需要耗费燃油、设备和劳动力, 而且可能没有足够的时间进行多次施肥来给作物提供足够的养分。示例之一就是作物严重缺磷时, 没有时间等待你使用低浓度磷肥溶液一次次喷施, 而且施肥成本也很高。在这种情况下, 必须认识到没有别的更有效的措施可以及时补救作物缺磷。最佳选择是在播种前土壤施入足够的磷肥来矫正作物缺磷。

叶面施肥虽然有效, 但在决策前必须考虑很多因素, 包括养分在叶片和土壤中的移动性, 促进作物生长所需要施用的养分量, 以及两种施肥方式所需肥料种类及施用过程中产生的费用等。

欲获取更多信息联系 Dr. Thomas L. Jensen 主任, IPNI 北美项目, Tel: (306) 652-3535, E-mail: tjensen@ipni.net.

元素硫和硫酸盐混合颗粒肥及其在作物营养中的作用

谢玲 译 涂仕华 校

(国际植物营养研究所成都代表处, 原文译自《Better Crops》2015 第三期 P7 – P10)

硫强化的磷酸铵同时含有速效和缓释硫, 其释放速度取决于作物生长的环境。在硫酸盐易淋失的环境中, 元素硫则具有优势。在淋失风险较小的环境中, 硫酸盐形态硫效果最好。但是, 把硫酸盐与元素硫混合制成大小适宜的颗粒会同样有效。



对油菜这样能在全世界各种气候条件和土壤中都可生长的农作物来说, 使用强化硫肥是一个非常有效的选择

硫元素是植物生长的 18 种必需元素之一, 仅次于氮、磷和钾, 排在第四位。它参与植物光合作用及氨基酸和蛋白质的合成, 在植物营养中发挥关键作用。硫在土壤和植物中的行为与氮相似—易淋失, 易被有机物质固定, 以不同氧化态存在。硫的还原形态包括元素硫, 在淹水土壤中(比如水稻田)的硫化铁, 以及与碳结合而存在于土壤有机质中的硫。氧化态硫包括硫酸盐矿物(如石膏), 土壤有机质中的硫酸酯和土壤溶液中的硫酸盐形态硫。

作物从土壤中吸收的硫主要是土壤溶液中的硫酸盐形态硫。所以, 像氮一样, 土壤中硫的有效性也受土壤有机质矿化或固定反应的影响。与氮另外一个相似点是氧化态硫(硫酸盐)在土壤中具有很高的移动性(像硝酸

盐), 在降雨量高的环境中易被淋出土壤, 从而降低硫肥利用率。

硫肥主要是基于硫酸盐形态存在(如硫酸铵, 石膏, 硫酸钾)或基于元素硫形态存在(如硫磺颗粒, 氨化或含元素硫的钙基磷酸盐的化肥, 如硫强化重过磷酸钙, 硫强化磷酸一铵, 硫强化磷酸二铵)。硫酸盐基化肥提供的硫能被作物快速吸收利用, 但是这类肥料含硫量相对较低(含硫 < 25%), 所以肥料的施用量和运输成本都相对较高。元素硫肥的优势是硫含量很高(含硫 > 90%), 因此其用量和运输成本都较低。然而, 纯元素硫肥首先需要被氧化成硫酸, 然后才能被植物吸收利用, 因此它给作物提供硫的速度比硫酸盐要慢些。把这两种硫源结合在一起就能给

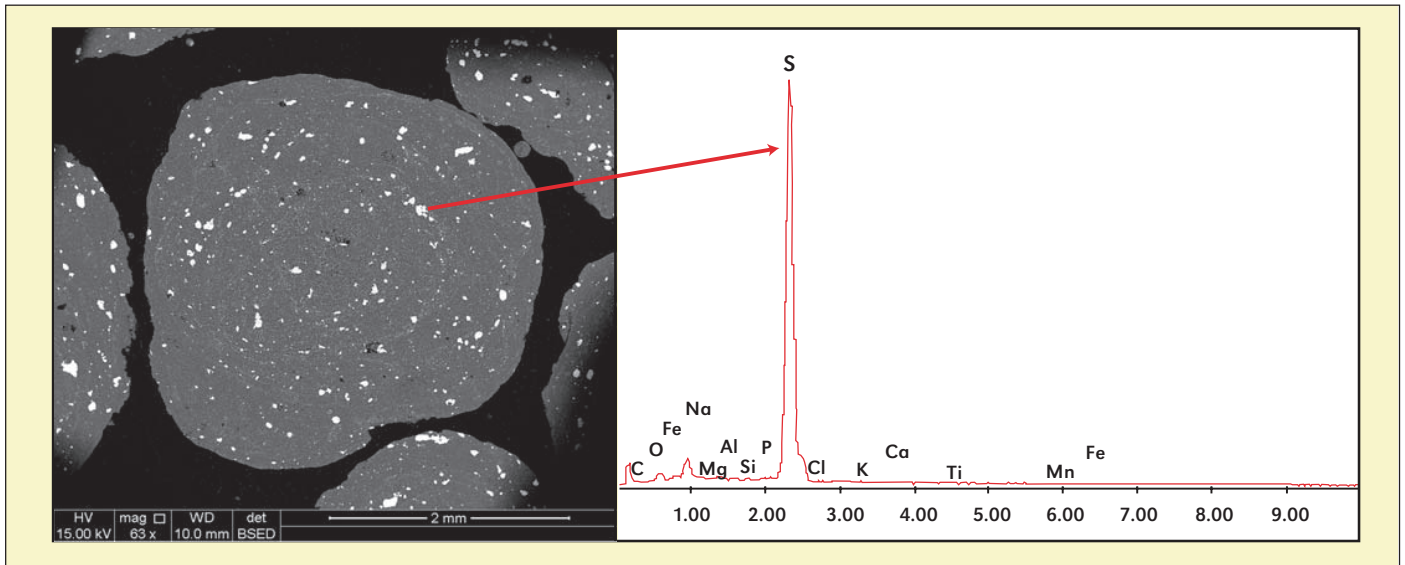


图1 典型元素硫/硫酸盐肥料和磷酸铵混合颗粒的X光分析，大颗粒里发亮的小粒被证实是元素硫

作物提供快慢相宜的硫素营养。但是在这些肥料中的元素硫要多久才能被释放出来呢？

元素硫在土壤中的氧化已经研究了几十年，众所周知元素硫的颗粒大小决定了硫的氧化率和硫酸的释放速度。研究显示小颗粒元素硫氧化更快，因为随着颗粒直径的减小，颗粒的比表面不断增加。

元素硫的氧化是由土壤中一系列微生物完成的，因此它受土壤中微生物丰富程度和活性这些因素的影响。其中最重要的因素是土壤温度和土壤pH值，但是有机碳以及土壤水分含量（影响程度稍小）也发挥作用。温暖气候下有机质含量高的非酸性土壤中元素硫氧化最快。

假设元素硫充分混合到土壤中，基于前面提及的控制氧化的关键因素，预测元素硫氧化的模型已经研发出来了。然而，这种直接施用硫磺粉的情况很少见。元素

硫通常是用粘结剂或分散剂制成小颗粒或颗粒/小锭施入土壤中，或包裹在大量元素肥料表面或与大量元素肥料混合造粒施用。在大棚试验中，发现这些产品中的元素硫，尽管是以小粒嵌入肥料颗粒中（图1），但比同等粒径充分混合到土壤中的元素硫的氧化慢得多（Friesen, 1996）；纯元素硫小颗粒/颗粒的氧化最慢。

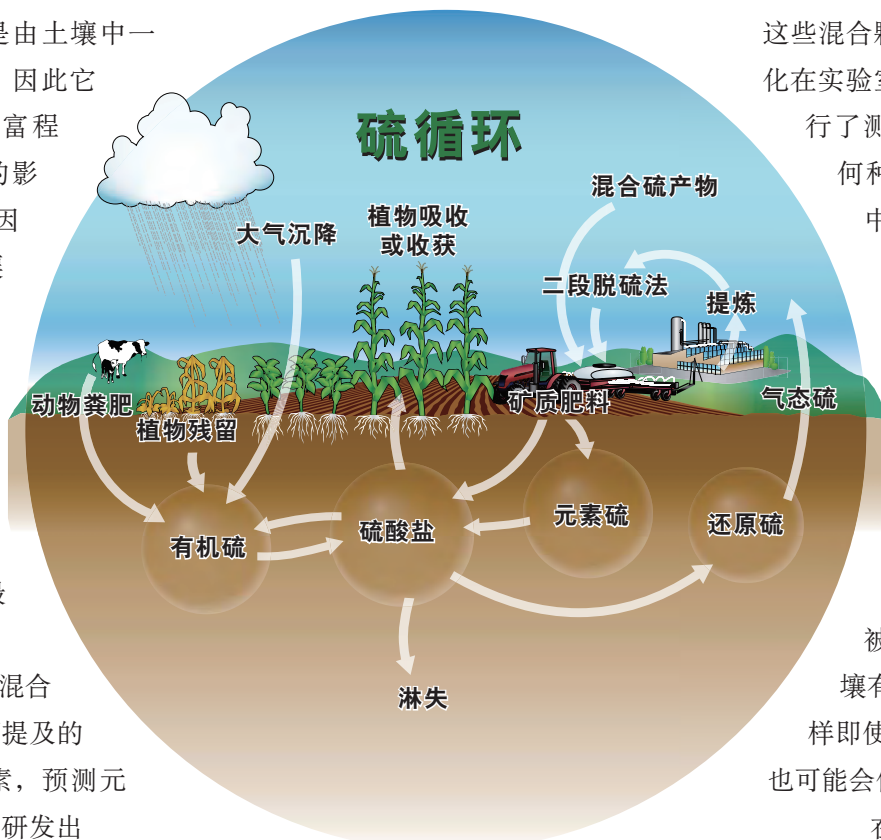


图2 肥料硫的去向，以元素硫或硫酸盐形态硫施入土壤中。硫酸盐的主要损失途径为作物收获带走，土壤有机物质固定和淋失。

这些混合颗粒产品中元素硫的氧化在实验室、大棚和试验田中进行了测试，以进一步明确是哪种因素控制着这些产品中元素硫的氧化。测试土壤中元素硫肥的氧化刚开始看似简单，因为测定氧化后生成的硫酸盐只是相对简单的一个化学程序。然而，从元素硫肥中释放出来的硫酸盐可以被淋洗，被植物吸收或结合到土壤有机物质中（图2），这样即使测得的硫酸盐在增加，也可能会低估元素硫的氧化。

在实验室试验中，通过定期把硫酸盐淋洗出土体以减少其形成土壤有机质（图

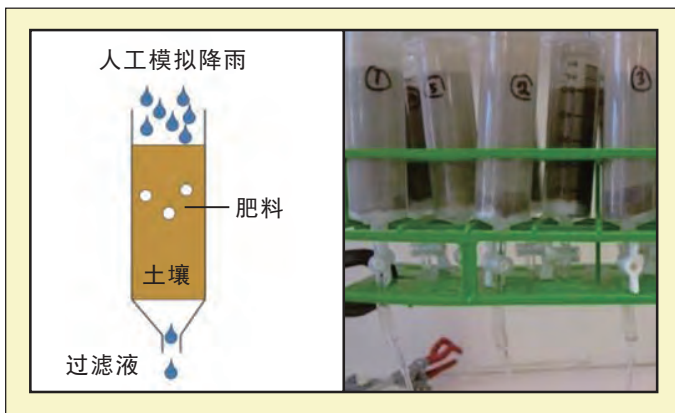


图3 测量土壤中元素硫氧化淋失过程图示
(左边:示意图,右边:淋洗土柱)

3), 以及在试验结束时(通过溶剂提取)测定土壤中剩余的元素硫来核实硫的物质平衡, 测定了三种肥料中元素硫的氧化。

经过12个月的试验, 元素硫颗粒中的硫氧化慢, 元素硫/磷酸一铵/硫酸盐混合颗粒中硫氧化快, 而氧化最快的是那些均匀混入土壤中的元素硫(图表4)。与此相对照, 在硫酸铵处理中, 几乎所有加入的硫在第一次淋洗中都被除去了。

之所以混合颗粒产品中元素硫(与元素硫颗粒大小相同)氧化慢的原因是因为元素硫和土壤(还有土壤微生物)的接触面比同等大小颗粒的元素硫完全混入到土壤中时要小。当可溶性营养元素(氮, 磷)从大颗粒中溶解扩散后, 只有崩塌的空洞与元素硫留在那里。进一步氧化取决于元素硫颗粒表面与土壤的接触情况, 颗粒大小, 肥料中元素硫的含量以及元素硫颗粒的直径(见图5)。基于这些几何学考虑, 我们可以与元素硫完全混入到土壤中相比较, 从而建立混合颗粒中元素硫氧化率下降的模型。

盆栽试验已经证实, 大颗粒元素硫的氧化速率比硫强化磷酸一铵中的硫要慢得多, 但硫对植物的有效性与磷酸一铵对照相比没什么不同。从第二季作物来看, 硫混合颗粒中硫的有效性则高于硫酸铵(图6)。植物从大颗粒元素硫处理中吸收的硫较低是因为硫氧化慢, 而从硫酸铵处理中吸收的硫相对较低则是因为第一季作物吸收较多硫以及一部分硫被结合到土壤有机质中。

利用硫的同位素 ^{34}S 标记硫肥试验, 测定了作物从硫酸盐-S和两种硫源混合颗粒中元素硫的回收率。 ^{34}S 标记的元素硫肥或硫酸盐硫肥在加工生产后, 在北美和南美开展了多点田间试验。

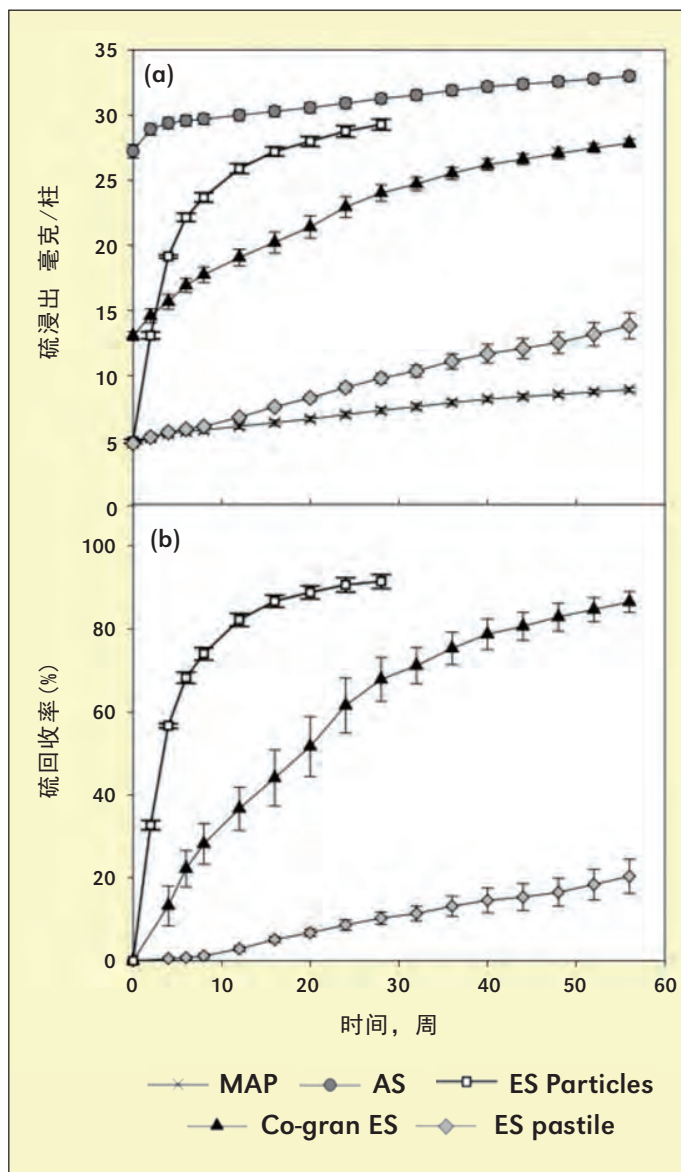


图4 (a) 淋洗液中硫酸盐形态硫的释放试验结果 (b) 由元素硫氧化而来的硫酸盐回收试验结果。土壤 (pH 6.3, 沙粒 73%, 有机碳 2.8%) 与磷酸一铵或各种含硫肥料 (含 24 毫克硫) 在 25 °C 下培养 12 个月, 定期淋洗 (Degryse et al., 2015)。MAP= 磷酸一铵; AS = 硫酸铵; ES Particles= 元素硫颗粒 (直径为 65 μm) 与土壤充分混合; Co-gran ES= 磷酸一铵中的元素硫/硫酸盐硫; ES pastile= 含 90% 元素硫大颗粒 +10% 的膨润土; 误差柱表示的是 4 个重复的标准差。

正如所期待的那样, 在硫酸盐淋洗存在潜在风险的地方(例如北美为秋季施肥), 元素硫肥就比硫酸盐肥更有效(见图7)。另一方面, 在硫酸盐淋洗不明显的地方, 硫酸盐肥料对作物的初始有效性最高, 而元素硫肥则是在作物生长后期缓慢释放, 并给后季作物提供硫。如前所述, 元素硫的氧化速度主要受温度和土壤 pH 控制。

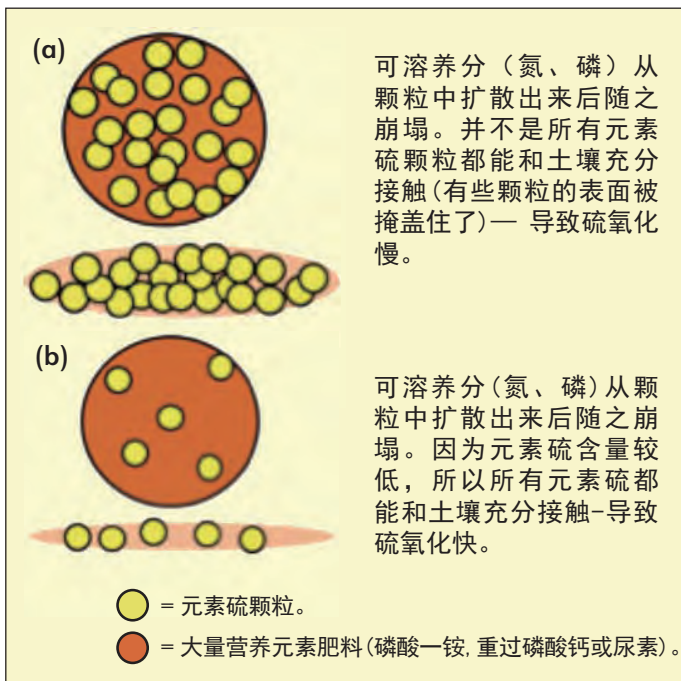


图5 含元素硫的化肥颗粒溶解图,(a) 含元素硫高或 (b) 含元素硫低。

结论

作者正在建立一个模型来预测混合颗粒产品中元素硫的氧化速率, 模型参数基于元素硫粒径大小, 混合颗粒的直径, 肥料中元素硫含量, 以及控制硫氧化的各种环境变量(主要是土壤温度和土壤 pH 值)。一旦该模型被验证, 就可以用来制定各种硫肥配方, 以满足作物在

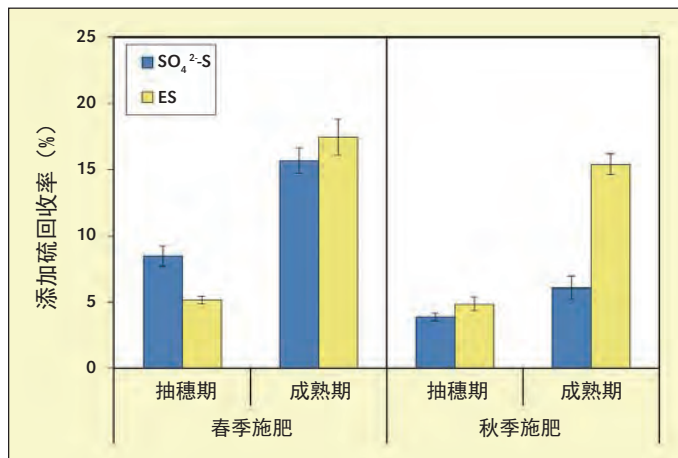


图7 在春季和秋季施用硫酸盐态硫或元素硫强化磷酸一铵, 分别在玉米抽穗期和成熟期(地上生物量)用同位素 ³⁴S 测定硫回收率百分数 (Trial in Illinois, 2013-2014)。误差线代表四次重复的标准差。

不同环境和生长条件下对硫的需求。

鸣谢

作者特此鸣谢 Mosaic 有限公司的大力支持。澳大利亚阿德雷德大学肥料技术研究中心 (www.adelaide.edu.au/fertiliser/) 的 McLaughlin 教授 (E-mail: michael.mclaughlin@adelaide.edu.au), Degryse 博士, da Silva 博士和 Baird 女士。

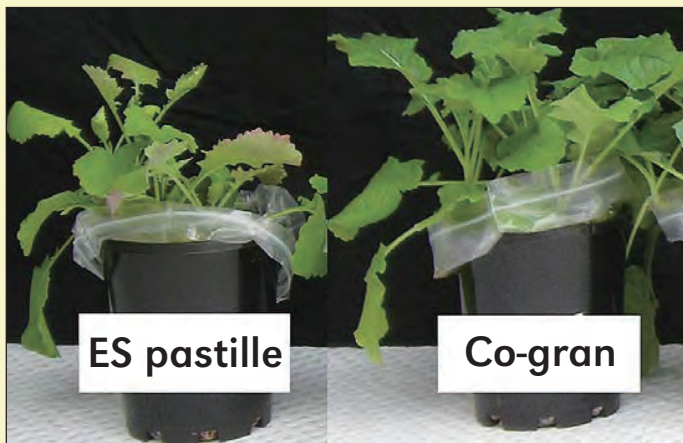
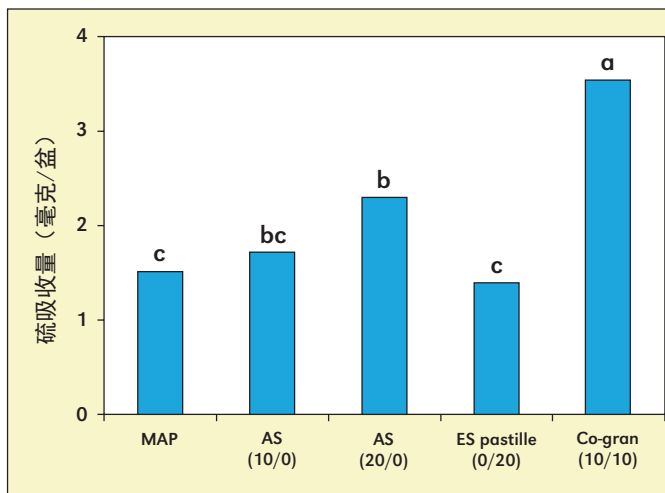


图6 左边一盆栽里第二季油菜的硫的吸收情况。肥料处理包括只施磷酸一铵 (MAP) (对照), 硫酸铵 (AS), 元素硫颗粒或硫强化磷酸一铵 (括号里的数字是施入的硫酸盐态硫/元素硫的量(毫克/公斤))。柱体上的字母表示处理间的显著性差异 ($p < 0.05$)。

右边—硫强化磷酸一铵处理油菜的生长情况(左边那盆是元素硫处理, 右边那盆是硫强化磷酸一铵处理)

参考文献

- [1] Degryse, F., B. Ajiboye, R. Baird, R.C. da Silva and M.J. McLaughlin. 2016. Soil Sci. Soc. Am. J. (accepted).
- [2] Friesen, D.K. Nutrient Cycling in Agroecosystems., 1996, 46:81-90.

镍是植物营养元素……是真的吗？

涂仕华 译

(国际植物营养研究所成都代表处, 原文译自 Plant Nutrition Today, Winter 2015 / 16, No. 6)

1987年, 镍被证实为植物必需元素, 成为列入必需元素名单的最新一员。与其他植物养分相比, 人们对植物镍营养的了解相对甚少。因此, 它通常也被称为“被遗忘的必需营养元素”。

植物中的镍

植物以 Ni^{2+} 形态从土壤中吸收镍。它在植物体内移动性好, 在某些植物种类中被优先转移到正在发育的种子中。大多数植物体内的镍浓度一般为 0.1–0.5 毫克/公斤 (干基), 但可能随其土壤有效性、植物种类、植物部位和生长季节而产生很大变化。在敏感品种中, 镍的中毒浓度为 >10 毫克/公斤; 而在中度耐性品种中, >50 毫克 Ni / 公斤才会产生毒害。某些品种可以忍耐高达 5000 毫克/公斤 (干基) 的镍浓度。这类植物被称为“超富集植物”, 被定义为镍累积量 >1000 毫克/公斤而不产生毒害的植物。

美国的山核桃 (又称为碧根果), 由于其独特的生理特性, 是一类对镍需求量相对较高的植物。当山核桃体内 $\text{Ni} < 1$ 毫克/公斤时, 则出现缺镍症状; 镍中毒浓度为 >100 毫克/公斤。估计适量镍为 2.5–30 毫克/公斤。然而, 这些阈值取决于竞争离子 (如 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Fe^{2+}) 的浓度。

镍是脲酶中不可替代的组分

脲酶有一个金属中心, 这使得镍对脲酶具有活性而必不可少。脲酶帮助尿素水解为氨态氮, 然后才能被植物有效利用。因此, 镍在植物氮素营养中的作用非常重要。在某些情况下, 当镍供给不足而尿素又是主要氮源时, 尿素就可能在叶片中累积并形成中毒点。这种尿素毒害通常表现为叶尖坏死, 实际上就是一种缺镍症状。镍营养还有另

外一种作用, 那就是抗病。例如, 它参与一类化合物 (植物抗毒素) 的合成, 植物合成这类物质用于抵御病菌入侵。

土壤中的镍

镍几乎存在于所有农业土壤中, 其浓度通常在 20–30 毫克/公斤, 很少超过 50 毫克/公斤。影响镍有效性的最重要单一土壤因素是 pH—随着土壤 pH 的升高, 镍的植物有效性下降。因此, 生长在高 pH 土壤上的植物最容易出现缺镍。同时, 土壤溶液中的二价离子 (如 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Fe^{2+}) 浓度高时也会抑制对镍的吸收。把镍作为植物养分的实用土壤测试方法目前还没有建立, 因为对大多数作物的镍营养还缺少研究。

生产中很少需要施用镍肥, 因为对大多数植物来说土壤能提供充足的镍。同时, 常用肥料中含有微量镍。当植物出现缺镍和确实需要施用镍肥时, 通常使用叶面喷施。镍盐 (如硫酸镍和硝酸镍) 和有机镍络合物 (如木质素磺酸镍和庚葡萄糖酸镍) 都是有效的叶面肥。田间施用木质素磺酸镍效果最好、最安全。

尽管主要作物生产中一般不需要施用镍肥, 但作为一种被承认的植物必需元素, 还是需要对镍作一定的了解。欲进一步了解镍营养, 参见 <http://www.ipni.net/nutrifacts> 网址上 IPNI 最新养分系列在线简介或由 Wood 编写的最新最全面的章节 (Wood, B.W. 2015. Nickel. p. 511–536. In A.V. Baker and D.J. Pilbeam (ed.) Handbook of plant nutrition. CRC Press, Boca Raton, FL)。

欲获取更多信息联系 Dr. W. M. (Mike) Stewart 主任, IPNI 北美项目, Tel: (210) 764–1588, E-mail: mstewart@ipni.net

作物营养中的锰

涂仕华 译

(国际植物营养研究所成都代表处, 原文译自 *Plant Nutrition Today*, Spring 2016, No. 6)

1922年, 锰(Mn)最先被证实为植物必需元素。植物对锰的需求量很小, 与其他微量元素和大量元素一样, 锰是作物生长必不可少的。

植物中的锰。植物从土壤中吸收 Mn^{2+} 以及有机络合形态锰。植物根系通过分泌小分子有机酸来帮助从土壤中吸收锰。植物体内的锰移动性差。这一点非常重要, 因为它意味着缺素症状会首先出现在新叶上, 因为植物老组织中的锰很难转移而被再利用。植物的正常含锰量为20–300毫克/公斤, 低于15–20毫克/公斤时就会出现缺锰症状。

在植物体内, 大多数情况下锰的功能是生物酶的激活剂, 同时也是酶系统的组分。它对植物光合作用以及催化水的光解必不可少。木质素(增加细胞的强度与硬度)合成也需要锰。木质素被认为是植物抵御病原菌入侵的重要组分, 锰缺乏时植物抗性可能减弱, 特别是对那些侵染根部的病原菌。一个著名的案例就是锰与小麦根腐病的关系, 一些研究报道了在小麦叶片出现症状前施用锰肥能抑制根腐病的发生。

一些作物比另一些对缺锰更敏感。敏感作物包括大豆、小粒谷类作物、花生、瓜类蔬菜、葱、豌豆、萝卜和豆类。

土壤中的锰: 地壳中的锰含量约为0.11%。土壤全锰含量为20–3000毫克/公斤(0.002–0.30%), 但仅有少量锰是植物可利用的。土壤溶液中最常见的锰形态是 Mn^{2+} , 它常与有机物络合存在。

土壤溶液中锰浓度的大小高度依赖于土壤pH值。理论上讲, pH每升高1个单位, 土壤溶液中锰浓度下降100倍。因此, 植物有效锰随土壤pH降低而升高, 缺锰在碱性和碱性钙质土壤上更常见。在另一个极端, 如果土壤pH太低(<5)则可能对敏感作物产生锰中毒。

作物缺锰在高pH(碱性)土壤上最常见, 以及那些含锰量天然就低的土壤。当然, 在有机质含量高的土壤(如泥炭土和腐殖土)上也是一个问题, 这些土壤有利于形成无效锰络合物。应当注意的是Cu、Fe或Zn含量过高也会降低锰的吸收。土壤分析中最常用的锰浸提剂是络合剂DTPA。用络合剂DTPA提取的锰临界值通常为1毫克/公斤, 但这可能因各地的矫正试验结果而不同。

硫酸锰($MnSO_4$)是一种最常用的锰肥。它水溶性好, 适合土壤或叶面施用。其它锰肥包括络合剂、氯化物、氧化物和硫酸氧锰等。锰肥可用作撒施、条施或叶面喷施。锰肥用量更取决于使用方法。撒施用量一般为0.73–1.13公斤/亩, 条施用量为0.23–0.37公斤/亩, 而叶面喷施用量为0.07–0.15公斤/亩。欲获得更多有关锰和其它养分的信息, 参见<http://www.ipni.net/nutrifacts>网址上IPNI最新养分系列在线简介。

欲获取更多信息联系Dr. W. M. Stewart主任, IPNI北美项目,
Tel: (210) 764–1588, E-mail: mstewart@ipni.net

“化肥零增长下养分高效利用国际学术研讨会”在北京召开

我国是化肥生产量和消费量最高的国家，常年化肥用量高达 6000 万吨，占世界化肥消费总量的 35%。单位耕地面积化肥用量是世界平均水平的 3 倍，是欧美国家的 2.5 倍。肥料利用率氮 30%–35%，磷 10%–20%，远低于发达国家的氮肥利用率 50%–60%。我国东北、华北、长江中下游、华南、西南和西北等均存在化肥过量施用现象，主要粮食作物、大田经济作物、蔬菜、果树过量施肥普遍存在。造成中国化肥用量居高不下的原因主要是国家层面养分限量标准缺失，测土施肥实现困难；有机养分资源利用不足，畜禽有机肥和秸秆还田率低；新型肥料缺乏，尤其是作物专用肥、缓控释肥料、水溶肥料等利用不足；施肥方式落后，化肥撒施、表施普遍，机械化智能化施肥率低，肥料浪费损失严重。

针对我国化肥不合理施用引起环境污染等问题，2015 年农业部制订了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》，提出力争到 2020 年主要农作物化肥使用量实现零增长。为凝练当前化肥减施中的重大科学需求、借鉴发达国家化肥减施中的成功经验，以及交流肥料高效利用中

的最新进展，2016 年 3 月 16–18 日，IPNI 联合中国农业科学院农业资源与农业区划研究所和中国植物营养与肥料学会化学肥料专业委员会在北京召开了“化肥零增长下养分高效利用国际学术研讨会”，旨在提出化肥科学减施和提高肥料利用率的对策与途径，助力国家化肥零增长计划的实现。中国农业科学院副院长唐华俊院士对大会召开表示热烈祝贺。何萍博士作为组委会主席主持了开幕式，农业部国际合作司副处长叶全宝博士致开幕辞，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所副所长徐明岗研究员致欢迎辞，国际植物营养研究所副所长 Adrian Johnston 博士讲话，中国植物营养与肥料学会副理事长周卫研究员出席了开幕式。这次会议有来自美国、英国、德国、加拿大、澳大利亚、印度、法国、意大利等的国外专家和国内学者共 300 余人参加大会。共举行大会报告 31 场，报告内容包括粮食作物、经济作物、蔬菜、果树化肥减施增效技术以及新型肥料等 5 个方面的议题。大会特邀中国农业科学院农业资源与农业区划研究所周卫研究员和 IPNI 澳大利亚和新西兰项目主任 Rob Norton 博士作主旨报告，



美国普渡大学的 Tony Vyn 教授，加拿大农业与农业食品部的 Jingyi Yang 博士，德国钾盐 K+S 集团的 Andreas Gransee 博士，英国华威大学的 Ian Burns 教授，美国达克萨斯农机大学的 Mengmeng Gu 博士，意大利博洛尼亚 (Bologna) 大学的 Adamo Domenico Rombola 教授，美国国际肥料发展中心 (IFDC) 的 Prem S. Bindraban 博士，以及国际肥料工业协会 (IFA) 的 Patrick Heffer 博士等作主题报告。大会在总结发达国家提高肥料利用率经验基础上，提出了我国化学肥料减施增效技术途径，形

成了养分资源高效利用的北京倡议。此次大会还发布了基于产量反应和农学效率的作物推荐施肥养分专家系统，这次发布的 NE 系统除了电脑版本的小麦和玉米更新版外，还有电脑版本的水稻和大豆 NE 系统，iphone 版本的小麦 NE 系统，安卓版本的玉米 NE 系统以及基于网络版本的玉米 NE 系统。会议还颁发了 2015 年 IPNI 研究生奖学金，并评选出大会优秀墙报奖。大会还得到国际肥料工业协会 (IFA) 和加拿大钾肥公司 (Canpotex) 的经费赞助和其他方面的大力支持。

