

高效施肥

BETTER CROPS CHINA

2014年10月总第33期

本期文章……

施钾与秸秆还田对早稻生长、养分吸收及农田钾素平衡的影响



不同穴播种植与施肥对春小麦产量及其水分利用效率的影响



马铃薯对添加二羧酸聚合物磷肥的反应



更多文章 敬请关注



I-7
OPT₄-N
不施氮肥, K追4次

III-4
OPT₄
最佳施肥NK追4次

高效施肥

国际植物营养研究所系列期刊
《BETTER CROPS》中文版专刊

2014年10月总第33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 and Africa
Group

理事会

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

行政办公室

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

美洲和大洋洲总部

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

东欧/中亚和中东项目部

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

中国项目部

何 萍 主 任 北京办事处 phe@ipni.net
李书田 副主任 北京办事处 sli@ipni.net
孙桂芳 女 士 北京办事处 gfsun@ipni.net
陈 防 副主任 武汉办事处 fchen@ipni.net
涂仕华 副主任 成都办事处 stu@ipni.net

会员公司:

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

CONTENTS

目录

施钾与秸秆还田对早稻生长、养分吸收及农田钾素平衡的影响 李继福 鲁剑巍 李小坤 戴志刚	3
锌对西瓜幼苗生长及产量与品质的影响 黄翔 洪娟 张利红 葛米红 杜雷 叶莉霞 王素平 练志成 陈钢	8
应用叶绿素仪诊断西瓜氮营养状况的研究 洪娟 李红新 黄翔 张利红 王素萍 叶莉霞 陈钢	10
氮肥用量对巢湖流域水稻产量和经济效益的影响 李录久 王家嘉 徐宏军 李东平 尹学政 吴萍萍	13
不同穴播种植与施肥对春小麦产量及其水分利用效率的影响 张平良 郭天文 侯慧芝	17
安徽省长江流域棉区棉花氮肥运筹方式的初步研究 周可金 章力干 马世杰 马成泽 杨飞	22
水稻油菜施肥效益分析 陈防 张过师	26
西北地区主要粮食作物上的施肥效应 李书田	30
世界磷矿储量——一个不断变化和演绎的故事 Steven J. Van Kauwenbergh Mike Stewart Robert Mikkelsen 谢玲 译 涂仕华 校	34
硫与植物营养 Rob Norton Robert Mikkelsen Tom Jensen 谢玲 译 涂仕华 校	37
土壤与硫肥 Robert Mikkelsen Robert Norton 谢玲 译 涂仕华 校	40
马铃薯对添加二羧酸聚合物磷肥的反应 Jeffrey C. Stark Bryan G. Hopkins 谢玲 译 涂仕华 校	44
2014年IPNI研究生奖学金评选结果揭晓	48

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

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

此刊物由加拿大萨斯喀彻温省政府资助。
特此致谢!

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

施钾与秸秆还田对早稻生长、养分吸收及农田钾素平衡的影响

李继福^{1,2} 鲁剑巍^{1,2} 李小坤^{1,2} 戴志刚³

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 湖北武汉 430070; 2. 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北武汉 430070; 3. 湖北省土壤肥料工作站, 湖北武汉 430070)

摘要: 2011年在稻-稻-油三熟制主产区开展田间试验,研究了油菜秸秆还田配施钾肥对早稻生长、养分吸收和农田钾素平衡的影响。结果表明,(1)施用钾肥或者秸秆还田均能不同程度地增加稻根、稻草干物质量、产量以及各部位养分累积量,尤以秸秆还田配施钾肥增效最好。(2)与不施钾处理相比,秸秆还田配施钾肥显著提高了早稻分蘖数和每穗粒数,但稻谷结实率和千粒重有降低的趋势。(3)土壤供钾能力低时,早稻根系对钾素缺乏更敏感,其次是水稻地上部。施钾及秸秆还田均能提高水稻根系的钾素含量,但施用钾肥效果较明显。(4)秸秆钾素当季吸收利用率低于钾肥吸收利用率,秸秆还田条件下供钾能力强的土壤可以适当减少钾肥施用量,而对于供钾能力弱的土壤,钾肥用量不宜减少。

关键词: 秸秆还田; 施钾; 钾素利用; 早稻



钾是肥料三要素之一。对水稻而言,钾不仅是生长发育必不可少的营养元素,且需求量比氮、磷都多。随着农业生产水平的提高、高产新品种的推广,钾素在农业生产中的作用日益突出,部分地区土壤缺钾已成为限制农业发展的主要因素之一^[1]。秸秆中钾素含量较高,还田后可将大部分钾归还土壤,减少下茬作物的钾肥用量,可作为钾肥的补充资源缓解国内钾肥资源短缺、国际钾肥价格偏高的压力。

研究表明秸秆还田配施钾肥,可有效提高旱地土壤有效钾含量,缓解土壤钾素亏缺^[2],而南方稻区秸秆还田效果研究还相对薄弱。另外,稻-稻-油种植制度是中国南方尤其湖北、湖南和江西等地区的主要种植模式^[3],该轮作制度复种指数高、土地休闲期短,每年作物从土壤中带走的钾素总量约为240-360公斤/公顷,而钾素补给不够,出现土壤有效钾含量降低的趋势。为此,2011年在鄂东三熟制地区的武穴和蕲春开展油菜秸秆还田早稻试验,研究秸秆全量还田配施钾肥对早稻生长、养分累积以及土壤钾素收支平衡的影响,初步评价秸秆钾与化肥钾的等效性,以期为该地区乃至长江流域水旱轮作区秸秆还田技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验点1位于武穴市大金镇,供试土壤为第三纪粘土发育而成的水稻土,pH 5.6,有机质40.0克/公斤,全氮1.82克/公斤,有效磷29.5毫克/公斤,速效钾62.8毫克/公斤。试验点2位于蕲春县横车镇,供试土壤为花岗片麻岩母质发育的水稻土,pH 4.6,有机质27.3克/公斤,全氮0.85克/公斤,有效磷5.2毫克/公斤,速效钾53.4毫克/公斤。前茬作物均为冬油菜。武穴试验点还田油菜茎秆、角壳钾素含量分别为1.29%和2.48%。蕲春试验点还田油菜茎秆、角壳钾素含量分别为1.16%和2.41%。

1.2 试验设计

试验共设4个处理,分别为:(1)CK(-K);(2)+K;(3)+S;(4)K+S。其中K代表钾肥,S代表秸秆。钾肥用量为 K_2O 5公斤/亩,各处理氮磷肥用量均为N 11公斤/亩、 P_2O_5 3公斤/亩。氮肥分3次施用,基肥:蘖肥:穗肥=2:1:1;磷肥一次性基施;钾肥分2次施用,基肥:穗肥=2:1。油菜秸秆还田用量为300公

表 1 施钾与秸秆还田对早稻各部位干物质量的影响

地区	处理	稻根干物质量	稻草干物质量	产量	增产量	增产率
		(公斤/亩)				(%)
武穴	CK	76.8 b	283.6 b	456.2 b	--	--
	+K	79.0 ab	302.4 b	474.8 ab	18.6	4.1
	+S	81.1 a	318.5 ab	489.5 a	33.3	7.3
	K+S	82.4 a	334.3 a	498.6 a	42.4	9.3
蕲春	CK	59.7 c	220.0 c	325.8 c	--	--
	+K	66.8 b	254.1 b	369.4 ab	43.6	13.4
	+S	62.7 bc	237.0 bc	348.5 bc	22.6	6.9
	K+S	72.2 a	275.8 a	395.8 a	69.9	21.5

斤/亩(茎秆:角壳=1:1)与基肥一起翻压、泡水。小区面积 20 m², 3 次重复, 随机排列。各试验点 4 月初育苗, 5 月中旬插秧, 7 月底收获。

增产 26.2 公斤/亩和 47.2 公斤/亩, 增幅分别为 7.1% 和 13.5%。说明蕲春地区在秸秆还田的基础上进行推荐施肥能显著增加早稻的产量。

2 结果与分析

2.1 施钾与秸秆还田对早稻各部位干物质量的影响

表 1 数据显示, 在施用氮磷肥基础上, 与对照相比, 单施钾肥和秸秆还田均能不同程度地增加早稻各部位干物质量。武穴试验点, +K 处理和 +S 处理比 CK 处理的产量分别增加 18.6 公斤/亩和 33.3 公斤/亩, 增幅分别为 4.1% 和 7.3%。秸秆还田配施钾肥比对照 CK 显著增加早稻产量以及稻草、稻根的干物质量, 比 CK 处理分别增加 42.4 公斤/亩、50.7 公斤/亩和 5.6 公斤/亩, 增幅分别为 9.3%、17.8% 和 7.3%。

蕲春试验点结果表明不施钾会造成水稻生长受阻, +K 处理比 CK 处理的稻根、稻草、产量分别增加 7.1 公斤/亩、34.1 公斤/亩和 43.7 公斤/亩, 增幅分别为 11.9%、15.5% 和 13.4%, 表明施钾可显著增加稻草干物质量, 其次是稻谷产量和稻根干物质量。+S 处理与 CK 处理相比无差异。K+S 处理比 +K 处理、+S 处理分别

2.2 施钾与秸秆还田对早稻产量构成因素的影响

产量的形成与单位面积的有效穗数、穗粒数、结实率和籽粒的千粒重有密切关系。表 2 结果显示增施钾肥以及秸秆还田均能显著增加单位面积有效穗数和每穗粒数, 但有降低结实率和千粒重的趋势, 尤其是钾肥和秸秆配合施用, 两试验点的结实率和千粒重同 CK 相比, 均显著降低。

2.3 施钾与秸秆还田对早稻各部位养分含量的影响

秸秆不仅含有大量的钾素, 还有大量的有机氮和有机磷, 进行秸秆还田也会影响水稻各部位 N、P 和 K 养分的含量。表 3 结果显示施钾与秸秆还田对稻谷的养分含量没有显著影响, 但对于稻根和稻草, 不同地区、处理间存在一定的差异。武穴试验点稻根的 N 含量变化较大, 以 +K 处理最高, 为 1.04%; K+S 处理最低, 为 0.90%。蕲春试验点施钾与秸秆还田对稻根和稻草的养分含量均有影响, 尤其是钾素含量处理间变化极为显著。不施钾时,

表 2 施钾与秸秆还田对早稻产量构成因素的影响

地区	处理	总分蘖数	有效穗率	每穗粒数	结实率	千粒重
		(×10 ⁴ /亩)	(%)		(%)	(克)
武穴	CK	30.6 b	89.8 b	80 a	81.5 a	23.1 a
	+K	32.6 ab	92.8 ab	82 a	79.2 ab	23.5 a
	+S	33.1 a	93.6 ab	89 a	78.1 ab	22.7 a
	K+S	34.3 a	95.1 a	86 a	77.6 b	21.9 b
蕲春	CK	15.5 b	80.5 b	87 b	83.9 a	24.5 a
	+K	18.1 a	88.4 a	98 a	83.6 a	23.7 b
	+S	17.7 a	85.2 ab	93 a	79.5 b	24.6 ab
	K+S	19.6 a	89.3 a	100 a	80.8 b	23.9 b

表3 施钾与秸秆还田对早稻各部位养分含量的影响

地区	处理	稻根 (%)			稻草 (%)			稻谷 (%)		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
武穴	CK	0.93 ab	0.26 a	2.03 a	1.87 a	0.23 a	2.59 a	1.82 a	0.32 a	0.30 a
	+K	1.04 a	0.27 a	2.30 a	1.88 a	0.24 a	2.74 a	1.74 a	0.33 a	0.29 a
	+S	0.91 ab	0.30 a	2.43 a	1.93 a	0.23 a	2.63 a	1.79 a	0.32 a	0.31 a
	K+S	0.90 b	0.27 a	2.38 a	1.94 a	0.22 a	2.76 a	1.98 a	0.33 a	0.30 a
蕲春	CK	0.89 a	0.22 ab	0.62 c	1.32 bc	0.23 a	2.21 c	1.46 a	0.29 a	0.27 a
	+K	0.81 b	0.25 a	1.88 a	1.60 a	0.27 a	2.69 b	1.47 a	0.31 a	0.27 a
	+S	0.75 b	0.18 b	1.37 b	1.29 c	0.23 a	2.61 b	1.37 a	0.29 a	0.25 a
	K+S	0.77 b	0.22 ab	1.97 a	1.43 b	0.24 a	3.12 a	1.47 a	0.32 a	0.25 a

稻根比稻草、稻谷对钾素缺乏更敏感，施钾可显著提高稻根和稻草的钾素含量，且效果优于秸秆还田处理。可知，秸秆钾与化肥钾在农田实际情况下的效果存在一定的差异。

2.4 施钾与秸秆还田对早稻各部位养分累积量的影响

表4结果显示施钾以及秸秆还田对各早稻各部位的养分累积量因地区不同而有所差异。武穴试验点稻根和稻谷的氮、磷、钾养分累积量处理间没有显著差异。K+S处理的稻草氮、磷、钾累积量最高，其中氮、钾累积量比CK分别显著高出1.19公斤/亩和2.26公斤/亩，增幅达22.4%和25.6%。

蕲春试验点结果表明，施钾或秸秆还田稻根钾素累积量差异最明显，+K处理和+S处理比CK分别增加1.06公斤/亩和0.58公斤/亩，说明施钾比秸秆还田能明显增加稻根的钾素累积量。稻草养分累积量结果显示施钾或秸秆还田不仅可以增加钾素的累积吸收量，也可以增加氮和磷的吸收量。

2.5 施钾与秸秆还田对农田钾素平衡的影响

农田钾素平衡是指农田中的钾素投入与作物收获带走钾素总量的差值。本试验只考虑肥料、秸秆钾素的投入和作物地上部收获带走的量。表5结果显示武穴试验点不施钾处理作物带走的钾素为10.48公斤/亩，说明一季早稻收获后，土壤钾素亏缺量较大。施钾或秸秆还田均能不同程度的减少土壤钾素的亏缺，尤其是钾肥和秸秆配合施用，武穴试验点亏缺量减少到1.10公斤/亩，明显缓解因作物收获造成的土壤钾素损耗。

蕲春试验点钾素平衡同武穴点类似。不施钾肥情况下，早稻仍能从土壤中吸收钾素6.88公斤/亩，低于武穴试验点，可见蕲春试验点土壤供钾能力低于武穴试验点。投入钾肥5公斤/亩，地上部钾素累积量增加2.51公斤/亩；投入秸秆钾素6.07公斤/亩，地上部钾素累积量增加1.61公斤/亩。可知，钾肥和秸秆钾素的利用率分别为50.2%和26.5%，而秸秆还田配施钾肥的钾素综合利用率为41.9%，投入的秸秆钾素吸收利用率远低于钾肥吸收利用率。

表4 施钾与秸秆还田对早稻各部位养分累积量的影响

地区	处理	稻根			稻草			稻谷			公斤/亩
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
武穴	CK	0.71 a	0.45 a	1.87 b	5.30 b	1.49 a	8.83 b	8.32 b	3.40 a	1.65 a	
	+K	0.82 a	0.49 a	2.18 a	5.70 ab	1.66 a	9.93 ab	8.27 b	3.62 a	1.64 a	
	+S	0.74 a	0.56 a	2.37 a	6.13 a	1.69 a	10.04 a	8.77 ab	3.54 a	1.80 a	
	K+S	0.74 a	0.51 a	2.35 a	6.49 a	1.72 a	11.09 a	9.87 a	3.79 a	1.81 a	
蕲春	CK	0.53 a	0.30 b	0.45 c	2.91 b	1.17 b	5.82 b	4.74 b	2.19 c	1.05 a	
	+K	0.54 a	0.39 a	1.51 a	4.06 a	1.57 a	8.19 a	5.44 ab	2.59 ab	1.20 a	
	+S	0.47 a	0.26 ab	1.03 b	3.06 b	1.22 b	7.43 b	4.76 b	2.34 bc	1.06 a	
	K+S	0.55 a	0.36 ab	1.71 a	3.96 a	1.54 a	10.32 a	5.80 a	2.93 a	1.20 a	

地区	处理	投入			产出			平衡
		肥料	秸秆	合计	稻草	稻谷	合计	
武穴	CK	0	0	0	8.83	1.65	10.48	-10.48
	+K	5	0	5	9.93	1.64	11.57	-6.57
	+S	0	6.80	6.80	10.04	1.80	11.84	-5.04
	K+S	5	6.80	11.80	11.09	1.81	12.90	-1.10
蕲春	CK	0	0	0	5.82	1.05	6.88	-6.88
	+K	5	0	5	8.19	1.20	9.39	-4.39
	+S	0	6.07	6.07	7.43	1.06	8.49	-2.42
	K+S	5	6.07	11.07	10.32	1.20	11.52	-0.45

3 结论与讨论

两个试验点施钾与秸秆全量还田效果表现出一定的差异。武穴试验点增产效果表现为 $K+S > +S > +K$ ，而蕲春试验点增产效果表现为 $K+S > +K > +S$ 。这表明，(1) 秸秆还田对早稻生产的效应表现为正效应，秸秆还田配施钾肥可显著增加早稻产量和地上部干物质量；(2) 施钾或秸秆还田增产效果可能与土壤本身的肥力有关。虽然两地的速效钾含量相差不大，但是武穴试验田施钾增产不明显，可能是武穴试验点土壤供钾强度高，能满足早稻生

长需求。已有研究表明在供钾能力强的土壤上连续5年不施用钾肥对作物产量没有任何影响^[4]。而蕲春试验点土壤是片麻岩母质发育的水稻土，本身供钾能力较低。因此，作物施用钾肥后增产效果明显。同时，片麻岩发育的水稻土偏砂性、有机质含量低，土壤缓冲性能弱，秸秆还田释放养分的同时也会产生有机酸和酚类等有害物质，对作物产生负作用，进而影响养分吸收利用。早稻生育期短，但对养分的需求量大，产量越高，地上部干物质量也越大，



带走的钾素相应地会增多。通过施钾或秸秆还田，对耕层土壤速效钾和缓效钾有积极的促进作用。农田钾素平衡结果显示各处理亏缺量表现为： $-K > +K > +S > K+S$ 。从维持农田养分平衡和增加粮食产量的角度来讲，单施钾肥或秸秆还田并不能抵消水稻对土壤钾素的消耗。因此，开展稻田秸秆还田时，还要注意钾肥的合理配施。

由于稻草的 C/N 较高，在腐解过程中，需要消耗一

定的氮素。调查发现秸秆还田增加了早稻的无效分蘖，可能与分蘖期氮肥供应不足有关。另外，秸秆还田后，稻谷的结实率和千粒重有所下降，这一方面可能是后期土壤供氮增强，水稻徒长、贪青、晚熟；另一方面稻-稻-油轮作茬口时间紧，早稻收获时叶色普遍较青，籽粒灌浆不充分、成熟度不高。因此，秸秆还田种植早稻应注意氮肥调控，加强早期氮肥供应，相应地减少水稻后期氮肥施用。

参考文献

- [1] Cakmak I. Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways [J]. *Plant Soil*, 2002, 247:3-24.
- [2] 谭德水, 金继运, 黄绍文, 等. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响 [J]. *中国农业科学*, 2007, 40 (1):133-139.
- [3] 段红平. 我国三熟耕作区湖南省耕作制度演变规律、趋势与对策研究 [M]. 北京: 中国农业大学, 2000.
- [4] Niu L A, Hao J M. Influences of long-term fertilizer and tillage management on soil fertility of the North China plain [J]. *Pedosphere*, 2011, 21 (6):813-820.

锌对西瓜幼苗生长及产量与品质的影响

黄翔 洪娟 张利红 葛米红 杜雷 叶莉霞 王素平 练志成 陈钢^{1*}

(武汉市农业科学研究所, 湖北武汉 430345)



摘要: 研究了锌对西瓜幼苗生长及产量和品质的影响。结果表明: 在西瓜生长过程中施用锌肥, 可以促进幼苗生长均匀, 提高西瓜坐果数和单瓜重, 显著提高西瓜产量。锌肥可显著提高西瓜中糖和 Vc 含量。

根据试验结果建议, 在基肥中每公顷添加 30 公斤七水硫酸锌为宜。

关键词: 西瓜; 锌; 幼苗生长; 产量; 品质

前言

锌是植物生长发育的必需微量营养元素之一^[1], 对植物的生长发育具有重要的生理功能和营养作用^[2,3]。长期以来, 在农业实际生产中为了到达高产高效的结果, 经常大量施用只含氮、磷和钾高的化肥, 而有机肥的用量却在下降, 导致土壤中锌元素的含量逐渐降低, 作物缺锌大面积发生。土壤锌供应不足已经成为限制作物产量和品质的一个重要因素^[4]。近年来, 锌在油菜、玉米和水稻等作物上有大量研究成果^[5-7], 而锌在西瓜上的研究报告较少。本试验以西瓜“早春红玉”为研究材料, 研究不同锌处理对西瓜幼苗生长及产量与品质的影响, 旨在为西瓜种植施用锌肥提供理论依据和技术参考。

1 材料与方

1.1 试验材料

以西瓜早春红玉为供试作物, 试验地点设在湖北省

武汉市武湖生态农业园进行。试验土壤养分状况为: pH 值 7.88, 有机质 19.2 克/公斤, 铵态氮 0.5 毫克/公斤, 硝态氮 10.5 毫克/公斤, 有效磷 45.7 毫克/公斤, 速效钾 221.7 毫克/公斤, 有效钙 4327.9 毫克/公斤, 有效镁 161.4 毫克/公斤, 有效硼 1.8 毫克/公斤, 有效锌 3.9 毫克/公斤。

1.2 试验方法

试验于 2011 年 3—7 月在同一地块上进行, 设 5 个处理, 如下表所示:

每个处理小区面积为 40 平方米, 重复 3 次, 随机区组排列。4 月初在每个处理小区上调查西瓜幼苗生长长势情况, 6 月底在每个小区中调查坐果数; 并在每个小区中选取大小一致的 5 个西瓜考察西瓜单瓜重, 使用测糖仪测量西瓜中糖含量和边糖含量^[8]。西瓜果实 Vc 含量采用钼蓝比色法测定^[9]。

表 1 施钾与秸秆还田对土壤钾素 (K₂O) 平衡的影响不同处理间施肥情况表

处理	基肥	催蔓肥
T ₁	30 公斤/公顷 (复合肥)	3 公斤/公顷 (尿素)
T ₂	30 公斤/亩 (复合肥)+1 公斤/亩七水硫酸锌 (基施)	3 公斤/亩 (尿素)
T ₃	30 公斤/亩 (复合肥)+2 公斤/亩七水硫酸锌 (基施)	3 公斤/亩 (尿素)
T ₄	30 公斤/亩 (复合肥)+1 公斤/亩七水硫酸锌 (喷施)	3 公斤/亩 (尿素)
T ₅	30 公斤/亩 (复合肥)+2 公斤/亩七水硫酸锌 (喷施)	3 公斤/亩 (尿素)

注: 复合肥中 N : P₂O₅ : K₂O=15 : 15 : 15 总养分≥45% 由青岛金浪化工集团有限公司生产; 七水硫酸锌 由武汉无机盐化工有限公司生产纯度≥99% Zn≥21%; 尿素由中农嘉吉肥业有限公司生产 N≥46.5%。

项目来源: IPNI 武汉办事处; 武汉市农科院创新项目 (ycx2012010013) 资助。

作者简介: 黄翔 (1982—), 男, 农艺师, 硕士, 主要从事植物营养和植物逆境研究。E-mail: huangxiang@webmail.hzau.edu.cn

* 通讯作者, 陈钢, 正高级农艺师, 博士, 主要从事植物营养和土壤施肥研究。E-mail: gangch2006@yahoo.com.cn

2 结果与分析

2.1 不同锌处理对西瓜幼苗生长的影响

苗期,不同锌肥处理西瓜幼苗长势良好,均匀整齐,各处理间无明显差异;伸蔓期, T_2 和 T_3 处理长势良好,植株生长均匀,分支多,苗壮,蔓长且粗壮, T_4 和 T_5 长势一般,植株生长不均匀,蔓短, T_1 处理长势差,分枝少,植株生长不均匀,苗弱,蔓短。由此可见,在西瓜幼苗上施用锌肥,可以促进西瓜幼苗的生长发育,从而提高西瓜幼苗的素质,为高产打下基础。

2.2 不同锌处理对西瓜坐果数、单瓜重和产量的影响

由表2可知,不同锌处理对西瓜坐果数、单瓜重和产量均存在一定的影响。 T_2 和 T_3 处理,小区坐果数比 T_1 处理分别提高14.1%和18.8%,而 T_4 和 T_5 处理,小区坐果率比 T_1 处理只分别提高了7.8%和3.1%。单瓜重方面, T_2 和 T_3 处理,小区单瓜重比 T_1 处理分别提高7.7%和17.7%, T_4 和 T_5 处理,小区单瓜重比 T_1 处理分别提高

处理编号	小区坐果数(个)	单瓜重(公斤)	产量(公斤/亩)
T_1	64b	2.09 a	2229c
T_2	73a	2.25 a	2738ab
T_3	76a	2.46 a	3116a
T_4	69a	2.23 a	2453b
T_5	66b	2.37 a	2607b

参考文献

[1] 刘铮. 微量元素的农业化学 [M]. 北京: 农业出版社, 1991:62-66.
[2] 张福锁. 锌在植物细胞原生质膜稳定性方面的作用 [J]. 土壤学报, 1993, 30(10):104-110.
[3] 江行玉, 赵可夫. 植物重金属伤害及其抗性机理 [J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(1):92-97.
[4] 刘铮. 中国土壤微量元素 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996:177-203.
[5] 汪洪, 金继运, 周卫. 不同水分状况下施锌对玉米生长和锌吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1):91-97.

了6.7%和13.4%。方差分析结果表明:不同锌处理对西瓜亩产量影响显著($p < 0.05$),即基肥中添加七水硫酸锌可以显著提高西瓜的产量。

2.3 不同锌处理对西瓜品质的影响

由表3可以看出,不同锌处理间西瓜边糖含量差异不明显,各处理间中糖含量维持在7.5-8.0之间。西瓜中糖含量 T_3 处理最高,为11%;其次 T_2 处理与 T_5 处理西瓜中糖含量相同,均为10.5%; T_4 处理西瓜中糖含量为10%, T_1 处理最低为8%。 T_3 处理Vc含量与 T_2 、 T_4 和 T_5 差异不明显,却显著高于 T_1 处理。

处理编号	边糖含量(%)	中糖含量(%)	Vc(毫克/100克)
T_1	7.5a	8.0c	8.98c
T_2	8.0a	10.5ab	10.46ab
T_3	8.0a	11.0a	11.97a
T_4	7.7a	10.0b	9.64b
T_5	8.0a	10.5ab	10.15ab

3 结论

试验结果表明,在土壤上施用锌肥对西瓜幼苗的生长及产量和品质均有一定的促进作用。一定范围内,随着基施七水硫酸锌的增多,可以促进西瓜生长和提高产量,且每公顷基施30公斤硫酸锌比每公顷基施15公斤硫酸锌效果好。

[6] 徐建明, 李才生, 毛善国, 等. 锌对水稻幼苗生长及体内SOD、POD活性的影响 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(3):877-879.
[7] 熊桂云, 刘冬碧, 陈防, 等. 莲藕氮磷钾锌肥配合施用效应研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (1):31-34, 39.
[8] 孟文慧, 张显, 罗婷. 嫁接砧木对西瓜果实糖分积累及蔗糖代谢相关酶活性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(3):127-132.
[9] 高俊凤. 西瓜Vc含量采用钼蓝比色法的测定 [M]. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2006.

应用叶绿素仪诊断西瓜氮营养状况的研究

洪娟^{1,2} 李红新³ 黄翔¹ 张利红¹ 王素萍¹ 叶莉霞¹ 陈钢¹

(1. 武汉市农业科学研究所, 湖北武汉 430052; 2. 华中农业大学资源环境学院, 湖北武汉 430070;

3. 新洲区仓埠街农业服务中心, 湖北武汉 430413)



摘要: 采用盆栽试验方法探讨叶绿素仪 SPAD-502 进行西瓜氮素营养诊断的可行性。结果表明, 西瓜苗期上部叶和伸蔓期下部叶的 SPAD 值与叶片含氮量均有显著相关性, 可作为氮营养诊断的敏感时期和敏感部位。膨果期上部叶 SPAD 值与西瓜产量表现显著相关, 可用于预测西瓜产量。

关键词: 西瓜; SPAD 值; 含氮量; 营养诊断

氮素是影响作物生长发育和产量的主要养分之一。作物的氮素营养状况与其产量及品质性状有密切的联系^[1,2], 氮素营养诊断一直是作物营养诊断研究的主要内容。近年来, 应用叶绿素计在作物叶片养分间接速测上已取得较好的效果, 利用叶绿素计测定的 SPAD 值可以

间接反映作物叶片叶绿素的含量及含氮量^[3], 还可以进一步预测作物的产量^[4-6], 并用于指导追肥^[7]。目前, 叶绿素仪已应用于水稻、小麦、玉米、棉花、马铃薯、黄瓜等作物的氮素营养诊断^[8-10], 而在西瓜上尚未有人研究。本文通过盆栽试验, 研究不同施氮水平下西瓜不同生育期不同叶位 SPAD 值的变化规律及其与叶片氮含量和产量之间的关系, 以期在农业生产中利用 SPAD 值进行西瓜氮素营养诊断施肥提供理论依据和手段。

1 材料与方法

1.1 供试材料

西瓜 (*Citrullus lanatus*), 品种为早春红玉。

1.2 试验设计

沙培实验, 采用硬质塑料钵钵, 钵钵尺寸为 32 厘米 × 28 厘米 (直径 × 高), 每钵装沙约 50 公斤左右。盆栽实验置于塑料大棚内, 钵钵之间间隔约 20 厘米。

用水为去离子水, 采用改良的 Hoagland+Arnon 营养液配方。实验设 8 个氮水平, 3 次重复 (每重复 5 钵), $N_1=50$ 毫克/千克, $N_2=100$ 毫克/千克, $N_3=150$ 毫克/千克, $N_4=200$ 毫克/千克, $N_5=250$ 毫克/千克, $N_6=300$ 毫克/千克, $N_7=350$ 毫克/千克, $N_8=400$ 毫克/千克。

植株在生长过程中进行除草、间苗 (每钵留 1 株)、



基金项目: 武汉市农科院创新项目 (ycx200901008)

作者简介: 洪娟 (1980-), 女, 河南商丘人, 助理农艺师, 主要从事植物营养与土壤肥料研究。E-mail: hefengrui1980@163.com

杀虫、浇水、浇营养液。第一周用 1/4 营养液浓度浇施，第二周用 1/2 营养液浓度浇施，第三周之后用完全营养液浓度浇施。苗期每 7 天浇施 1 次；伸蔓期每 4 天浇施 1 次。结果期浇施每 4 天 1 次，每颗苗浇 1L 营养液。

分别在苗期、伸蔓期、膨果期、成熟期取样。

1.3 试验分析

叶片含氮量测定

用流动注射分析仪 (FLAstar 5000, 瑞典) 测定各样品的叶片全氮含量。

叶片叶绿素 SPAD 值测定。

用日本产的 SPAD-502 DL 型叶绿素计测定植株不同叶位完全展开叶每隔 2cm 左右的 SPAD 值, 取平均值, 作为每张叶片的 SPAD 值。每星期测一次。

采用 DPS 分析软件和 Excel 对数据进行分析, 用 LSD 法进行平均数间多重比较。

2 结果与分析

2.1 西瓜叶片 SPAD 值对氮水平的响应

表 1 可看出, 随施氮水平的提高, 西瓜各生育期不同叶位的 SPAD 值均有所增加, 但苗期上、下部叶、伸蔓期中、下部叶、膨果期上、下部叶的 SPAD 值随施氮水平的增加先增后降, 即在施氮量较低时(氮不足), 叶绿素仪测定值随氮水平的增加而增

加, 但是当供氮达到一定量后(正常供氮 $N_4 - N_5$), 再增加施氮量(氮过量)西瓜叶片叶绿素仪读数变化并不大。

表 1 还可看出, 各施氮水平下, 苗期和伸蔓期叶片 SPAD 值表现为中部叶 > 上部叶 > 下部叶。膨果期叶片的 SPAD 值表现为上部叶 > 中部叶 > 下部叶。

2.2 不同氮水平下西瓜各生育期叶片含氮量变化

图 1 表明, 各施氮水平下, 西瓜叶片含氮量苗期最高, 小于 200 毫克/千克时, 成熟期最低, 大于 200 毫克/千克时, 膨果期最低。即低氮水平供应时(氮不足), 叶片衰老较早, 叶部的氮向生长中心转移较多, 氮的再利用程度高; 高氮水平供应时(氮过量), 膨果期需氮量大, 根部吸收的氮优先供应生长中心, 氮向叶部转运少且慢。氮

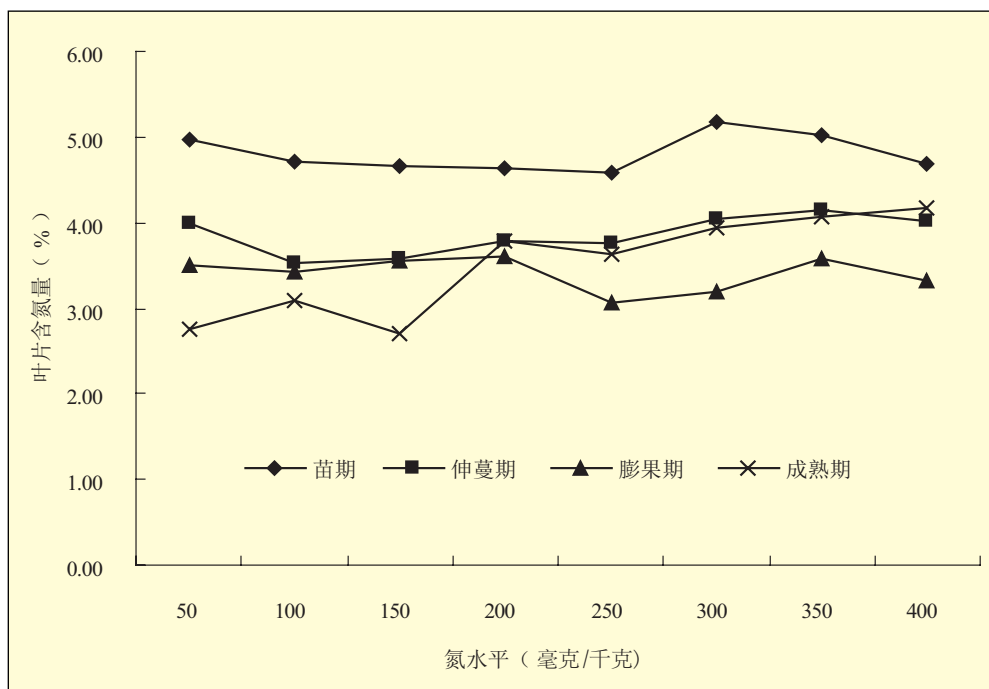


图 1 不同氮水平下西瓜各生育期叶片含氮量变化

表 1 西瓜各生育期不同叶位 SPAD 值对氮水平的响应

生育期 氮水平	苗期			伸蔓期			膨果期		
	上部叶	中部叶	下部叶	上部叶	中部叶	下部叶	上部叶	中部叶	下部叶
N_1	41.90a	36.87a	41.80cd	50.07cd	45.93b	34.83a	50.07cd	45.93b	34.83a
N_2	42.87a	37.63a	42.97bc	49.23d	51.37a	30.63abc	49.23d	51.37a	30.63abc
N_3	40.78a	36.27a	43.97abc	48.18d	52.03a	34.43a	48.18d	52.03a	34.43 a
N_4	41.28a	35.87a	45.87ab	50.03cd	54.77a	36.77a	50.03cd	54.77a	36.77a
N_5	42.55a	37.63a	47.10a	53.00ab	55.93a	33.63ab	53.00ab	55.93a	33.63ab
N_6	43.38 a	35.53a	38.63d	50.73bcd	55.50a	27.77bc	50.73bcd	55.50a	27.77bc
N_7	43.63a	39.17a	42.27bcd	52.60abc	55.43a	35.77a	52.60abc	55.43a	35.77a
N_8	41.43a	39.60a	41.67cd	53.70a	56.27a	25.87c	53.70a	56.27a	25.87c

过量时成熟期叶片衰老延迟, 叶部氮不需要或较少向中心转移再利用, 因而叶片含氮量仍很高。

2.3 西瓜不同生育期叶片的 SPAD 与西瓜叶片含氮量及产量的相关性

表 2 西瓜不同生育期不同叶位的 SPAD 值与西瓜叶片含氮量及产量的相关分析可看出, 苗期上部叶和伸蔓期下部叶的 SPAD 值与叶片含氮量均有显著相关性, 说明 SPAD 值可以初步判断西瓜植株氮营养状况, 可以作为西瓜前期氮营养诊断的指标。

西瓜苗期上部叶和下部叶的 SPAD 值、膨果期下部叶的 SPAD 值与西瓜产量均表现负相关, 其他时期及叶位均表现正相关关系, 伸蔓期各叶位的 SPAD 值与西瓜

产量相关系数较大, 但均未达显著水平。膨果期上部叶 SPAD 值与西瓜产量达显著相关, 可用于预测西瓜产量。

3 结论

西瓜苗期上部叶和伸蔓期下部叶的 SPAD 值与叶片含氮量均有显著相关性, 进而确定应用 SPAD 值进行西瓜氮营养诊断的最佳测定时期和测定部位是苗期上部叶、伸蔓期下部叶。膨果期上部叶 SPAD 值与西瓜产量表现显著相关, 可用于预测西瓜产量。这为田间快速进行西瓜氮素营养诊断提供了依据, 减少了室内分析工作量大、适时性差的难题。并使应用叶绿素仪诊断对大田西瓜进行施肥决策成为可能, 从而指导农业生产。

表 2 西瓜不同生育期不同叶位的 SPAD 值与西瓜叶片含氮量及产量的相关性 (r)

生育期		苗期	伸蔓期	膨果期
叶片含氮量	上部叶	0.6344*	0.3280	0.0207
	中部叶	0.0340	0.2224	0.5652
	下部叶	-0.1331	0.6451*	-0.5356
产量	上部叶	-0.4012	0.4509	0.7951*
	中部叶	0.3985	0.3385	0.3827
	下部叶	-0.1002	0.4615	-0.0197

参考文献

- [1] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 氮素营养水平对冬小麦氮代谢关键酶活性变化和籽粒蛋白质含量的影响 [J]. 作物学报, 2002, 28(6):743-748.
- [2] 刘敏娟, 李秧秧, 张岁岐. 小麦进化材料氮、磷养分利用效率间的关系 [J]. 麦类作物学报, 2002, 22(3):34-37.
- [3] 雷泽湘, 艾天成. 草莓叶片叶绿素含量、含氮量与 SPAD 值间的关系 [J]. 湖北农学院学报, 2001, (2):138-140.
- [4] 吴良欢, 陶勤南. 水稻叶绿素计诊断追氮法研究 [J]. 浙江农业大学学报, 1999, 25(2):135-138.
- [5] 沈掌泉, 王珂. 叶绿素计诊断不同水稻品种氮素营养水平的研究初报 [J]. 科技通报, 2002, 18(3):173-176.
- [6] 李志宏, 刘宏斌, 张福锁. 应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4):401-405.
- [7] 陈防, 鲁剑巍. SPAD2502 叶绿素计在作物营养快速诊断上的应用初报 [J]. 湖北农业科学, 1996(2):31-34.
- [8] Guler, S., Buyuk, G. Relationships among chlorophyll-meter reading value, leaf N and yield of cucumber and tomatoes [J]. Acta Horticulturae, 2007, 729: 307-311.
- [9] Cho YoungYeol, Oh SungBong, Oh MyoungMin, et al. Estimation of individual leaf area, fresh weight, and dry weight of hydroponically grown cucumbers (*Cucumis sativus* L.) using leaf length, width, and SPAD value [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 111(4):330-334.
- [10] Carlos Costa, Lianne M D, Pierre Dutilleul. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes [J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(8): 1173-1194.

氮肥用量对巢湖流域水稻产量和经济效益的影响

李录久¹ 王家嘉¹ 徐宏军² 李东平¹ 尹学政² 吴萍萍¹

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

摘要: 通过田间试验研究常规施氮、增加或减少氮肥施用量对安徽省巢湖流域一季中稻籽粒产量和经济效益的影响。结果表明, 施用氮肥对水稻生长发育有明显的促进作用, 产量性状改善, 籽粒产量提高 38.9%~56.1%, 平均增产 46.9%。施氮增收 276~483 元/亩, 施用氮肥的产投比高达 5.74~12.94:1。在施 N 量 12 公斤/亩的基础上增加 20% 氮肥用量, 水稻籽粒产量提高 9.3%。相反, 减少氮肥施用量 20%~40% 对水稻产量的影响也不明显, 两年试验平均增产 0.33%, 产量基本持平。当前生产水平下, 巢湖流域水稻土区, 适当减少氮肥施用量对水稻生长和籽粒产量影响不大, 同时可明显提高氮肥的农学效率和肥料利用率, 减轻面源污染。

关键词: 水稻; 氮肥用量; 产量; 经济效益; 巢湖流域

巢湖是我国著名的五大淡水湖泊之一, 位于安徽省中部、长江流域中下游, 盛产名特鱼虾等优质水产品。巢湖流域也是安徽省水稻特别是一季中稻重要产区^[1], 2008 年巢湖市水稻种植面积 398 万亩, 总产量 192.8 万吨, 种植面积占巢湖市农作物播种面积的 45.2%, 占安徽省水稻播种面积的 12.0%; 产量占巢湖市粮食作物总产量的 83.2%, 占全省水稻产量的 13.9%。加之巢湖流域周边的肥东、肥西、长丰、舒城、寿县和合肥郊区等县市区的全部或部分地区, 巢湖流域水稻常年种植面积近千万亩, 占安徽省水稻种植面积的三分之一左右, 是名副其实的鱼米之乡。

巢湖水体原本水质优良, 上世纪末还是省城合肥市及巢湖市等周边县市数百万人的饮用水源地。然而, 随着现代农业的发展, 农业生产施用的化肥数量不断增加。由于农民文化水平不高、科学施肥知识缺乏, 过量施肥、施肥结构不平衡等不合理施肥现象较为普遍, 氮磷化肥施用量较大, 施肥方法不当, 氮磷养分出现盈余, 通过稻田淋洗损失后进入水体环境, 再通过径流注入河流, 最终进入巢湖, 导致湖泊的富营养化, 巢湖水体水质不断恶化。据安徽省重点流域水质监测月报, 2010 年 11 月巢湖西半湖区水质重度污染, 西、东半湖水体均呈中度富营养化状态^[2]。调查表明, 面源污染已成为巢湖入湖全氮和全磷负

荷的主要来源^[3]。因此, 开展巢湖流域农业面源污染防治研究, 对保证安徽省粮食和农产品安全、解决巢湖的富营养化具有重要意义。氮是水稻需要量最多的营养元素, 也是巢湖富营养化的重要影响因子, 开展水稻氮肥用量研究, 合理施氮、平衡施肥, 提高氮肥利用率, 减少氮的径流损失, 对水稻高产优质和巢湖水体环境治理均具有重要作用。为此, 在国际植物营养研究所 (IPNI) 和国家十一五科技支撑计划等项目支持下, 在巢湖流域水稻主产区, 开展了水稻氮肥减量施用试验, 取得了显著的增产节肥效果。现将结果整理如下。

1 材料与方 法

1.1 土壤养分状况

试验于 2009 和 2010 年在安徽省合肥市长丰县岗集镇进行, 属巢湖流域的中上游。供试土壤为下属黄土发育而成的白土田水稻土, 前茬休闲, 肥力中等。试验前 0~20cm 耕层土壤采用常规分析法测定, 养分状况见表 1。

1.2 试验设计

试验在施磷 (P_2O_5) 5 公斤/亩和钾 (K_2O) 6 公斤/亩的等量磷、钾肥基础上进行, 以施纯氮 (N) 量 12 公斤/

表 1 供试土壤 0~20 厘米耕层基本农化性状

时间	pH (水, 2.5:1)	有机质 (克/公斤)	全氮 (N, 克/公斤)	全磷 (P, 克/公斤)	碱解氮 (毫克/公斤)	有效磷 (P, 毫克/公斤)	速效钾 (K, 毫克/公斤)
2009	5.14	15.2	1.28	0.59	87.4	9.4	64.3
2010	5.36	16.3	1.15	0.63	91.2	8.1	90.9

亩 (N₁₂, 100% N) 为基础, 设置 5 个不同氮肥用量水平, 构成 5 个处理: ① N₀ (CK, 不施氮), ② N_{7.2} (60% N), ③ N_{9.6} (80% N), ④ N_{12.0} (100% N), ⑤ N_{14.4} (120% N)。供试肥料品种: 氮肥—尿素, 磷肥—磷酸二铵或过磷酸钙, 钾肥—氯化钾。小区面积 15.0 m², 完全随机区组排列, 重复 3 次。全部磷钾肥作基肥, 氮肥按基肥—分蘖肥—穗肥—粒肥 60%—20%—15%—5% 的比例施用。基肥于水稻移栽前全层撒施, 与土壤充分混和。供试水稻品种为皖稻 116, 4 月下旬育秧, 5 月中下旬移栽, 9 月底收获, 栽插密度 13.3 厘米 × 30.0 厘米。其它栽培管理措施, 如病虫害防治以及水分管理, 同当地一般大田水稻。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥用量对水稻籽粒产量和氮肥农学效率的影响

从表 2 可看出, 巢湖流域上中游的江淮丘陵地区水稻土, 在施用磷钾肥的基础上, 增施氮肥对水稻籽粒产量具有极为显著的增加效应, 同时适当增加或减少氮肥施用量, 对水稻产量也有一定的影响。两年试验, 与处理 1 的不施氮肥的 CK 相比, 水稻施用不同数量氮肥的增产幅度分别为 38.9%~56.1% 及 44.1%~57.1%, 平均增产 44.3% 和 49.0%, 施氮的增产效应均达 1% 的极显著水平; 两

年试验平均, 施用氮肥的增产幅度达 43.3%~56.6%, 平均增产 46.9%。在施氮 12 公斤/亩的基础上进一步加大氮肥施用量, 水稻籽粒产量也有所提高, 两年试验, 增加 20% 氮肥用量较 100%N 用量分别增产 9.7% 和 9.0%, 平均增产 9.3%, 达 5% 的显著水平。相反, 不施氮肥, 水稻籽粒产量急剧下降, 与 100%N 处理相比, 不施氮的 CK 产量分别降低 29.7% 和 30.6%, 平均减产 30.2%, 达 1% 的极显著水平 (表 2)。这一结果表明氮肥对水稻正常生长发育和籽粒产量的提高有重大作用, 不施氮肥, 水稻无法获得高产, 当前氮肥仍然是巢湖流域水稻高产的物质基础, 水稻正常生长发育和高产必须施用氮肥。与此同时, 在施氮 12 公斤/亩的基础上适当减少氮肥施用量, 对水稻籽粒产量的影响也不明显。与处理 2 的 100%N 相比, 减少施 N 量 20~40% 即 80%N 和 60%N 处理, 2009 年试验分别减产 1.6% 和 2.4%, 2010 年试验相反却增产 1.9% 和 2.6%; 两年试验平均, 产量基本持平 (表 2), 表明在施 N 量 12 公斤/亩的基础上适当减少氮肥用量, 水稻仍然能够获得较高的籽粒产量。

进一步分析水稻施用氮肥的农学效率 (表 2), 结果表明, 2009 年和 2010 年试验氮肥的农学效率分别为 12.5~19.1 和 15.6~28.1 公斤籽粒/公斤 N, 随着氮肥用量的下降, 氮肥农学效率大幅度提高。

表 2 氮肥及其减量施用对水稻籽粒产量和经济效益的影响

年份	代号	施氮量 (N)		籽粒产量 (公斤/亩)	增产 (公斤/亩)	增产率 (%)	农学效率 (公斤/公斤)	经济效益 (元/亩)	施氮肥 产投比
		(公斤/亩)	(%)						
2009	N0	0	0	354.0	--	--	--	--	--
	N12.0	12.0	100	503.7	149.7	42.3**	12.5	299	5.74
	N14.4	14.4	120	552.6	198.6	56.1**	13.8	397	6.34
	N9.6	9.6	80	495.5	141.5	40.0**	14.7	283	6.78
	N7.2	7.2	60	491.9	137.9	38.9**	19.2	276	8.81
2010	N0	0	0	423.3	--	--	--	--	--
	N12.0	12.0	100	610.1	186.8	44.1**	15.6	374	7.16
	N14.4	14.4	120	664.9	241.5	57.1**	16.8	483	7.72
	N9.6	9.6	80	621.9	198.5	46.9**	20.7	397	9.51
	N7.2	7.2	60	625.8	202.5	47.8**	28.1	405	12.94
平均	N0	0	0	388.7	--	--	--	--	--
	N12.0	12.0	100	556.9	168.3	43.3**	14.0	337	6.45
	N14.4	14.4	120	608.7	220.1	56.6**	15.3	440	7.03
	N9.6	9.6	80	558.7	170.1	43.8**	17.7	340	8.15
	N7.2	7.2	60	558.9	170.2	43.8**	23.6	340	10.87

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

2. 水稻价格 = 2.00 元/公斤, N = 4.35 元/公斤。

2.2 施用氮肥的经济效益分析

表 2 还表明, 巢湖流域水稻土, 在施用磷钾肥的基础上, 增施氮肥提高水稻籽粒产量的同时, 可有效增加水稻产值, 提高农民种植水稻的经济收益。与不施氮肥的对照 CK 相比, 每亩施用 7.2~14.4 公斤的纯氮, 2 年试验经济收益分别增加 275.73~397 元 / 亩和 374~483 元 / 亩, 施用氮肥的产投比达 5.74~8.81:1 和 7.16~12.94:1, 平均分别增收 313.87 元 / 亩和 404.93 元 / 亩, 施氮产投比平均高达 6.92:1 和 9.33:1。2 年试验平均, 施用氮肥的经济收益提高 337~440 元 / 亩, 施用氮肥的产投比高达 6.45~10.87:1。4 种不同氮肥用量中, 2 年试验均是施氮量较高的 N14.4 处理经济收益最高, 产投比也较高, 表明在 12 公斤 / 亩氮肥用量的基础上适当加大氮肥施用量, 能有效增加水稻的产值, 提高农民经济收益。相反, 在 N12 的基础上适当减少氮肥施用量, 2009 年试验, 80% 和 60% 施氮量处理, 经济收益均略有减少, 分别下降 16.40 和 23.74 元 / 亩, 2010 年试验则增加 23.47 和 41.33 元 / 亩。

2.3 不同氮肥用量对水稻生长发育和产量性状的影响

不同氮肥用量对水稻籽粒产量的影响与水稻产量性状之间有着重要联系。从表 3 可看出, 巢湖流域水稻土区, 施用氮肥对水稻生长发育具有明显的促进作用, 同时适当减少氮肥施用量对水稻生长发育的影响也不明显。与处理 1 相比, 处理 2、3、4 和 5 的水稻分蘖数增多, 成穗率提高, 单位面积有效穗数大幅度增加; 水稻穗长、结实粒数和总粒数增多, 空瘪粒数减少, 千粒重增加, 结实率提高, 经济性状改善, 为籽粒产量的提高打下了基础。在施氮 12 公斤 / 亩的基础上适当增加氮肥施用量, 对水稻生长发育也有一定的促进作用, 与处理 2 (100%N) 相比, 处理 3 (120%N) 水稻分蘖数明显增多, 成穗率提高, 结实粒数和总粒数增多。但是, 增施氮肥也导致空瘪穗数增多, 结

实率有所下降, 千粒重明显降低 (表 3)。相反, 在处理 2 基础上, 适当减少氮肥施用量, 对水稻正常生长发育影响不大, 特别是处理 4, 除水稻株高略有下降外, 分蘖数、有效穗数和穗长等指标还略有增加, 结实籽粒数基本持平, 空瘪粒数略微减少, 千粒重和结实率明显提高。但是, 大幅度减少氮肥施用量对水稻生长发育也不利, 处理 5, 水稻生长发育迟缓, 成穗率降低, 穗子短小, 分蘖成穗率和结实籽粒数减少, 结实率下降, 从而最终影响籽粒产量的提高 (表 3)。

3 讨论和结论

氮是肥料的三要素之一, 是水稻需要量较大的营养元素, 对水稻正常生长发育和籽粒产量有重大影响, 氮肥过量或不足均影响水稻正常生长发育并最终影响籽粒产量, 只有合理施用氮肥才能促进水稻正常生长发育, 提高籽粒产量^[4,5]。本试验表明, 巢湖流域水稻土, 在施用磷钾肥的基础上, 增施氮肥能明显促进一季中稻的生长发育, 水稻株高、穗长、有效穗数增加, 穗粒数明显增多, 空瘪粒数减少, 穗粒重和千粒重提高, 产量性状改善, 为籽粒产量的提高打下了基础。2 年试验, 施用氮肥的增产率分别为 38.9%~56.1% 及 44.1%~57.1%, 平均增产 44.3% 和 49.0%, 达 1% 的极显著水平。氮肥的农学效率达 12.5~19.2 和 15.6~28.1 公斤籽粒 / 公斤 N, 平均为 15.0 和 20.3 公斤籽粒 / 公斤 N。施氮增收 276~397 和 374~483 元 / 亩, 施用氮肥的产投比达 5.74~8.81:1 和 7.16~12.94:1。在施氮 12 公斤 / 亩的基础上进一步加大氮肥施用量, 水稻产量也有所提高, 经济收益略有增加, 两年试验, 120%N 处理较 100%N 处理平均增产 9.3%, 达 5% 显著水平; 经济收益增多 104 元 / 亩。这一结果说明, 当前氮肥仍然是巢湖流域水稻正常生长发育和高产的物质基础, 无法省略和被代替, 单纯为了减少面源污染和保护

表 3 不同氮肥用量对水稻产量性状的影响

处理	施 N 量 公斤 / 亩	株高 厘米	分蘖数 穗 / 穴	有效穗 穗 / 穴	穗长 厘米	实粒数 粒 / 穗	空瘪粒 粒 / 穗	千粒重 克	结实率 %
N0	0 (0%)*	121.5	6.0	6.3	19.7	35.2	12.8	34.9	73.4
N7.2	7.2 (60%)	129.1	7.0	7.0	21.1	37.7	12.8	35.9	74.6
N9.6	9.6 (80%)	127.6	7.1	7.3	21.9	38.8	12.4	35.1	75.8
N12.0	12.0(100%)	131.6	7.0	7.2	21.5	38.8	12.9	34.9	75.0
N14.4	14.4(120%)	129.0	8.4	8.0	21.6	41.8	15.4	32.4	73.1

注: 施氮量一栏中, 括号中的百分数据表示相对施 N 量的百分数。

巢湖水体环境而不施氮肥是不可能的。

但是,大量施用氮肥也会对环境造成不利影响。据统计,目前我国氮肥用量占全球氮肥用量的30%,为世界第一氮肥消费大国。我国水稻种植面积占世界水稻面积的20%,而水稻氮肥用量占世界水稻氮肥总用量的37%,稻田单季氮肥平均用量为12公斤/亩,比世界单位面积平均用量高出65%左右;太湖稻区部分高产田的单季施氮量高达19~20公斤/亩^[6]。大量施用氮肥,氮肥利用率低、流失量大,是一直困扰我国农业生产的突出问题,直接和间接导致了一系列不良的环境反应,氮肥的表面及渗漏流失直接导致地下水污染和江河湖泊的富营养化。调查表明,

包括生活污水在内的面源污染成为巢湖入湖全氮和全磷负荷的主要来源^[3]。因此,提高氮肥利用率,减少氮肥施用量,保证粮食高产和安全,才能解决巢湖的富营养化。本试验表明,在施氮12公斤/亩的基础上适当减少氮肥施用量,对水稻籽粒产量影响不大,80%N及60%N处理,两年试验平均,水稻籽粒产量不但没有下降,相反相应还增产0.33%,产量基本持平;农学效率提高3.7~9.6公斤籽粒/公斤N,经济收益增加3.8元/亩。这一结果说明,巢湖流域一季中稻,氮肥用量减少20%左右,既能保证水稻高产,也能有效提高氮肥利用率,减少氮的流失,减轻面源污染,值得大力推广应用。

参考文献

- [1] 安徽省统计局. 安徽农村统计调查资料 [M]. 2008:3-20.
- [2] 安徽省环境保护厅. 安徽省重点流域水质月报(2010年11月).
- [3] 汪洪,李录久,王凤忠,等. 人工湿地技术在农业面源水体污染控制中的应用[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 441-446.
- [4] 陆景陵,陈伦寿. 植物营养学 [M]. 中国农业大学出版社, 1992.
- [5] 胡培松,翟虎渠,万建民. 中国水稻生产新特点与稻米品质改良[J]. 中国农业科技导报, 2002, 4(6):33-39.
- [6] 王光火,张奇春,黄昌勇. 提高水稻氮肥利用率、控制氮肥污染的新途径—SSNM [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(1): 67-70.

不同穴播种植与施肥对春小麦产量及其水分利用效率的影响

张平良^{1,2} 郭天文^{*1,2} 侯慧芝^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃兰州 730070)

摘要: 结果表明, 全膜覆土穴播种植方式有利于小麦碳水化合物合成, 增加小麦干物质积累量, N、P、K 平衡施肥干物质积累量增加效果明显; 该种植方式较全膜小垄沟覆土穴播、全膜不覆土穴播和露地穴播种植方式小麦产量分别增加 4.9%~8.0%、20.4%~22.6%、59.7%~72.8%, 干旱年份增产效果尤为突出; 该种植方式下, N、P₂O₅ 和 K₂O 的用量分别为 12 公斤/亩、8 公斤/亩、6 公斤/亩时, 小麦产量和水分利用效率最高较露地穴播显著提高 72.8% 和 111.1%。表明春小麦在全膜覆土穴播栽培技术条件下, 配方施肥可显著提高小麦籽粒产量和水分利用效率, 干旱年份效果极为明显。

关键词: 种植方式; 全膜覆土穴播; 施肥; 水分利用效率

干旱缺水和春季低温是导致甘肃省中东部雨养农业区作物低产的两个主要原因, 因此提高降水利用效率是本地区农田管理的关键环节, 合理耕作、增加地面覆盖、降低无效蒸发、合理施肥等措施是提高农田降水利用效率的基本途径, 发展抗旱节水农业成为我省农业发展的必然选择。全膜覆土穴播小麦栽培技术就是一项以集雨、抑制土壤水分蒸发、充分利用光热资源、节约劳动力、节本增效、免耕多茬种植为一体的高效旱作农业新技术^[1-3]。它能够最大限度地保蓄土壤水分, 并对小麦生育期农田降雨进行有效拦截与汇集, 大幅度提高了农田降

水的保蓄率和利用率, 使小麦、胡麻等作物产量得到大幅度提高^[1-5], 该项技术适用于甘肃省中东部干旱半干旱地区降雨量在 250~600 毫米之间的生态类型区, 针对这些区域, 本试验主要研究几种穴播种植模式及施肥对春小麦生长性状、产量及水分利用效率的影响, 探索寻求旱地春小麦高产栽培技术及其配套施肥水平, 以期对干旱半干旱区春小麦高产栽培提供技术支持和理论基础, 对确保我省粮食安全、促进旱作农业区经济稳步发展起到积极作用。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在定西市安定区团结镇唐家堡(地理位置: E104°35', N35°36'), 属黄土高原丘陵沟壑区, 土壤类型为黄绵土, 质地为粘壤土, 肥力中等^[6]。研究区属典型的干旱半干旱雨养农业区, 海拔约 1932~2520 米, 近几年年均降雨量 360 毫米左右, 季节分布不均, 多集中在 7、8、9 三个月。

1.2 试验材料

试验地耕层(0~20 厘米)土壤养分状况见表 1, 2010~2011 年 1~8 月份降水资料见表 2, 小麦品种为陇



全膜覆土穴播小麦

¹ 基金项目: 国际植物营养研究所(IPNI)项目(BPC-Gansu Potato-2012)资助。

作者简介: 张平良(1981-), 男, 助理研究员, 硕士, 从事旱作农业、植物营养与土壤肥料研究。Email: zhangpl2007@163.com

通讯作者: 郭天文(1963-), 男, 研究员, 从事旱作农业、植物营养与土壤肥料研究。Email: guotw2007@hotmail.com

表 1 供试土壤养分状况

pH	OM	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(%)	(毫克/升)											
8.25	0.7	4.5	21.7	35.2	159.3	1877	150.4	12.3	10.6	1.7	3.1	1.9	1.91

表 2 2010-2011 年 1—8 月份降水量

年份	降水量 (毫米)								
	1 月份	2 月份	3 月份	4 月份	5 月份	6 月份	7 月份	8 月份	合计
2010	1.3	4.2	18.1	32.7	74	43.2	34.6	21.8	229.9
2011	4.9	4.3	14.5	3.2	29.9	50.2	24.4	27	158.4

春 27 号, 肥料品种为尿素 (N46%)、过磷酸钙 (P₂O₅ 12~16%)、氯化钾 (K₂O 60%)。

1.3 试验设计与方法

试验设穴播种植方式和施肥水平两个因子, 穴播种植方式包括全膜覆土穴播 (Z₀)、全膜不覆土穴播 (Z₁)、全膜小垄沟覆土穴播 (Z₂)、露地穴播 (Z₃) 4 个水平, 即:

全膜覆土穴播种植方式为全地面、全生育期地膜覆盖, 铺膜时膜面要求平整, 使地膜紧贴地面, 同时在膜上覆一层薄土, 覆土厚度以 1~2 左右为宜, 铺膜覆土 1~2 天后进行播种, 采用穴播机播种, 播种深度一般为 3~5 厘米, 120 厘米宽的地膜种 6 行, 行距为 18~20 厘米, 穴距为 10 厘米, 播种密度为亩穴数在 3 万左右, 每穴 8~12 粒, 亩播种量 15 公斤左右。

全膜不覆土穴播种植方式 (传统地膜小麦) 为全地面、全生育期地膜覆盖, 铺膜时膜面要求平整, 使地膜紧贴地面, 在膜上不薄土, 铺膜 1~2 天后进行播种, 播种方式同上。

全膜小垄沟覆土穴播种植方式为整地之后用三角犁耕地起垄, 形成垄宽 20 厘米, 垄高 5 厘米大小均一的小垄, 起垄后全地面、全生育期地膜覆盖, 同时在垄沟里覆一层薄土, 覆土厚度以 1 厘米左右为宜, 铺膜覆土 1~2 天后在垄沟里进行播种, 播种方式同上。

露地穴播种植方式为将地整理后, 既不覆土, 也不覆膜, 同上述几种种植方式同时播种, 播种方式同上。

每种穴播种植方式下分设 3 个施肥水平, 即配方优化施肥水平 - N₁₂P₈K₆ (F₁)、当地农民习惯施肥水平 - N₁₀P₇K₀ (F₂)、不施肥 - N₀P₀K₀ (F₃), 组成 Z₀F₁、Z₀F₂、Z₀F₃、Z₁F₁、Z₁F₂、Z₁F₃、Z₂F₁、Z₂F₂、Z₂F₃、Z₃F₁、Z₃F₂、Z₃F₃ 共 12 个处理, 重复 3 次, 随机区组排列,

小区面积 20 平方米。试验于 2010 年 3 月穴播种植第一茬小麦, 所用肥料在第一茬试验全部作为基肥一次性施入, 2011 年进行二茬免耕穴播种植小麦, 不追施肥料。

1.4 测定项目及方法

测定试验地耕层 (0~20 厘米) 基础土样理化性质, 测定小麦各生育期地上部分干物质量, 收获期测定小麦产量; 测定播前、苗期、拔节期、孕穗期、收获期的 0~100 厘米土层土壤含水量, 计算水分利用效率。

干物质量的测定: 在小麦各生育期采取各处理 10 穴植株样带回室内, 在 105℃ 温度下杀青 30 分钟后, 在 70℃ 恒温下烘至恒重, 以获取地上部分生物量干重。

水分利用率 [公斤 / (毫米 · 亩)] = 小麦产量 (公斤 / 亩) / [播前土壤储水量 (毫米) + 生育期总降水量 (毫米) - 成熟期土壤储水量 (毫米)]

土壤贮水量 (毫米) = 土层深度 (毫米) × 土壤容重 × 土壤含水量

基础土样理化性质由中国农科院中-加合作土壤植株测试实验室采用 ASI 分析法^[7]测定, 气象资料是由甘肃省农业科学院定西综合试验站气象观测站提供。

1.5 数据分析

实验数据采用 DPS3.01 专业版软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同穴播方式及施肥对小麦地上部分干物质积累量的影响

由表 3 可知, 不同处理对 2010 年和 2011 年两年小麦各生育期地上部分干物质积累量的影响表现为: Z₀F₁

表 3 不同处理对小麦两年干物质积累量的影响 (2010、2011)

处理	种植方式	施肥量	干物质质量 (公斤 / 亩)			
			苗期	孕穗期	灌浆期	成熟期
Z ₀ F ₁	全膜覆土穴播	N ₁₂ P ₈ K ₆	98 a	585 a	1336 a	1690 a
Z ₀ F ₂		N ₁₀ P ₇ K ₀	84 a	508 abc	1196 a	1548 ab
Z ₀ F ₃		N ₀ P ₀ K ₀	76 a	446 bc	1062 abc	1419 abc
Z ₁ F ₁	全膜不覆土穴播	N ₁₂ P ₈ K ₆	100 a	537 ab	1057 abc	1529 ab
Z ₁ F ₂		N ₁₀ P ₇ K ₀	92 a	471 abc	896 bcd	1407 abc
Z ₁ F ₃		N ₀ P ₀ K ₀	79 a	404 bcd	805 cd	1125 bcd
Z ₂ F ₁	全膜小垄沟覆土穴播	N ₁₂ P ₈ K ₆	94 a	538 ab	1127 ab	1572 ab
Z ₂ F ₂		N ₁₀ P ₇ K ₀	82 a	458 bc	966 bcd	1512 ab
Z ₂ F ₃		N ₀ P ₀ K ₀	76 a	407 bc	827 cd	1350 bc
Z ₃ F ₁	露地穴播	N ₁₂ P ₈ K ₆	45 b	215 d	520 cd	765 cd
Z ₃ F ₂		N ₁₀ P ₇ K ₀	42 b	205 d	485 cd	686 cd
Z ₃ F ₃		N ₀ P ₀ K ₀	38 b	196 d	449 d	645 d

注：同一列数据后不同小写字母表示差异显著，下同。

处理小麦孕穗期、灌浆期、成熟期干物质积累量最高，明显高于其它处理，Z₃F₃ 处理最低；在相同施肥水平下，不同穴播种植方式对小麦孕穗期、灌浆期、成熟期干物质积累量均表现为：全膜覆土穴播 > 全膜小垄沟覆土穴播 > 全膜不覆土穴播 > 露地穴播；在相同穴播种植方式下，不同施肥水平对小麦各生育期干物质积累量的影响均表现为：N₁₂P₈K₆ > N₁₀P₇K₀ > N₀P₀K₀，全膜覆土穴播种植方式的施肥效果更加突出。上述结果表明：全膜覆土穴播种植方式有利于小麦的生长，可明显增加小麦干物质积累量，N₁₂P₈K₆ 施肥效果尤为明显，原因一方面由于覆膜能增加春季地表温度，促进植株根系生长，提高根系活力和促进地上部分生长^[8]，有利于小麦早期生长；另一方面由于地

膜表面覆土既可降低地表温度，避免后期气温升高导致小麦灌浆发生青干现象，有利于小麦籽粒灌浆，促进小麦生长后期干物质积累，同时也可有效保护地膜从而有利于二茬小麦的生长；此外，全膜覆土穴播种植方式由于能够有效积蓄自然降水、抑制土壤水分蒸发，保蓄了土壤水分，以水促肥、提高肥效的水肥耦合效应尤为明显，充分利用了水、肥、光热资源，促进小麦干物质质量的积累。

2.2 不同穴播种植方式及施肥对小麦产量的影响

由表 4 可知，Z₀F₁ 处理两年 (2010、2011) 的小麦产量最高，平均达 373 公斤 / 亩，显著 (p<0.05) 高于其它处理；在相同施肥条件下，不同穴播种植方式对两

表 4 小麦产量分析

处理	种植方式	施肥量	产量 (公斤 / 亩)		
			2010	2011	两年合计
Z ₀ F ₁	全膜覆土穴播	N ₁₂ P ₈ K ₆	269 a	104 a	373a
Z ₀ F ₂		N ₁₀ P ₇ K ₀	250 ab	95 a	345 ab
Z ₀ F ₃		N ₀ P ₀ K ₀	249 ab	80 ab	329 bc
Z ₁ F ₁	全膜不覆土穴播	N ₁₂ P ₈ K ₆	244 b	61 bc	304 bc
Z ₁ F ₂		N ₁₀ P ₇ K ₀	229 bc	54 bc	282 cd
Z ₁ F ₃		N ₀ P ₀ K ₀	226 bc	47 cd	273 cd
Z ₂ F ₁	全膜小垄沟覆土穴播	N ₁₂ P ₈ K ₆	252 ab	94 a	346 ab
Z ₂ F ₂		N ₁₀ P ₇ K ₀	238 bc	84 ab	322 bc
Z ₂ F ₃		N ₀ P ₀ K ₀	240 bc	74 bc	313 bc
Z ₃ F ₁	露地穴播	N ₁₂ P ₈ K ₆	199 cd	17 d	216d
Z ₃ F ₂		N ₁₀ P ₇ K ₀	191 cd	17 d	208 d
Z ₃ F ₃		N ₀ P ₀ K ₀	189 d	17 d	206 d

年小麦产量的影响表现为：全膜覆土穴播 > 全膜小垄沟覆土穴播 > 全膜不覆土穴播 > 露地穴播，全膜覆土穴播比全膜小垄沟覆土穴播、全膜不覆土穴播和露地穴播小麦分别增产 4.9%~8.0%、20.4%~22.6%、59.7%~72.8%，特别是在 2011 年极度干旱年份下（小麦生育期降雨量仅为 107.7 毫米（详见表 2）），全膜覆土穴播较全膜小垄沟覆土穴播、全膜不覆土穴播和露地穴播小麦分别增产 8.9%~13.7%、69.7%~77.4%、371.8%~507.9%，增产效果尤为明显；在相同穴播方式下，不同施肥量对小麦产量的影响均表现为： $N_{12}P_8K_6 > N_{10}P_7K_0 > N_0P_0K_0$ ，其中在全膜覆土穴播种植方式下， Z_0F_1 比 Z_0F_2 、 Z_0F_3 分别增产 8.1%、13.5%。上述结果表明，全膜覆土穴播方式可明显增加小麦产量， $N_{12}P_8K_6$ 施肥水平小麦产量最高，干旱年份增产效果更加明显，这是由于全膜覆土穴播方式通过覆膜、膜上覆土起到增加前期地温、蓄水抑蒸、降低后期地表温度，改善了土壤水热条件，水肥之间的耦合效应比较突出，肥料增产效果明显，有利于增加小麦产量。



2.3 不同穴播方式及施肥对小麦水分利用效率的影响

由表 5 可知，2010、2011 年全膜覆土穴播、全膜不覆土穴播和全膜小垄沟覆土穴播小麦水分利用效率明显高于露地穴播， Z_0F_1 处理最高，显著 ($p < 0.05$) 高于其他处理；在相同施肥水平下，全膜覆土穴播方式较全膜不覆土穴播、

全膜小垄沟覆土穴播和露地穴播方式小麦水分利用效率分别提高 19.8%~28.1%、6.5%~10.2%、83.0%~111.1%，特别在 2011 年极度干旱年份下，全膜覆土穴播较露地穴播小麦水分利用效率提高 364.1%~400%，水分利用效果尤为明显；在相同种植方式下，不同施肥水平对小麦水分利用效率的影响仍表现为： $N_{12}P_8K_6 > N_{10}P_7K_0 > N_0P_0K_0$ ，其中在全膜覆土穴播种植方式下， Z_0F_1 处理比 Z_0F_2 和 Z_0F_3 小麦水分利用效率分别提高 9.6%、17.5%。上述结果表明，全膜覆土穴播方式能够有效提高小麦水分利用效率，以水促肥、以肥调水的效果明显，干旱年份效果尤为突出。

表 5 小麦水分利用效率和耗水特性

处理	种植方式	施肥量	水分利用效率 [公斤/(毫米·亩)]		
			2010	2011	Average
Z_0F_1	全膜覆土穴播	$N_{12}P_8K_6$	0.88 a	0.63 a	0.76 a
Z_0F_2		$N_{10}P_7K_0$	0.83 b	0.55 ab	0.69 b
Z_0F_3		$N_0P_0K_0$	0.82 bc	0.47 bc	0.65 bc
Z_1F_1	全膜不覆土穴播	$N_{12}P_8K_6$	0.82 bc	0.37 cd	0.59 cd
Z_1F_2		$N_{10}P_7K_0$	0.80 bcd	0.31 cd	0.56 d
Z_1F_3		$N_0P_0K_0$	0.77 d	0.31 cd	0.54 d
Z_2F_1	全膜小垄沟覆土穴播	$N_{12}P_8K_6$	0.82 bc	0.61 ab	0.71 ab
Z_2F_2		$N_{10}P_7K_0$	0.79 cd	0.48 bc	0.63 c
Z_2F_3		$N_0P_0K_0$	0.80 bcd	0.39 cd	0.59 cd
Z_3F_1	露地穴播	$N_{12}P_8K_6$	0.60 e	0.13 e	0.36 e
Z_3F_2		$N_{10}P_7K_0$	0.59 e	0.11 e	0.35 e
Z_3F_3		$N_0P_0K_0$	0.61 e	0.10 e	0.35 e

3 讨论

全膜覆土穴播种植通过全地面、全生育期地膜覆盖,膜上覆土1~2厘米,能更好地抑蒸保墒,利用土壤深层水分,不仅可以解决春季低温和干旱等问题,而且延长了地膜的使用寿命,保证了留膜免耕多茬种植,有效降低了生产成本,操作简单易行,增产效果显著^[2,5]。本研究结果显示,全膜覆土穴播方式较露地小麦增产59.7%~72.8%,水分利用效率提高83.0%~111.1%,干旱年份可达3倍以上。元新华等^[9]研究指出地膜覆盖穴播具有明显增温保墒、节水和增产的效果,在高寒阴湿和不保灌地区应用此技术其增产率在30%以上。

全膜不覆土穴播种植(传统地膜小麦)对小麦前期的生长有一定的促进作用,但后期会出现严重的脱水现象。有研究认为由于地膜覆盖导致灌浆期地面温度的升高,导致青干现象的发生,致使小麦生长不良,易早熟,影响了地膜小麦的产量^[10]。本研究结果显示,全膜不覆土穴播种植(传统地膜小麦)较露地增加小麦产量,但由于

膜上不覆土田间操作造成地膜破损严重,不利于二茬免耕种植。

全膜小垄沟覆土穴播种植通过起垄形成的小垄面起到了良好的集水效果,对增加小麦产量起到了显著作用,但垄面上地膜由于长期裸露于空气中易老化,且操作比较繁琐,不利于该技术推广和二茬免耕种植。

4 结论

与其它穴播方式相比,全膜覆土穴播有利于小麦碳水化合物的合成,增加小麦干物质积累量和产量,并提高了水分利用效率,实施N、P、K平衡施肥增加效果显著。与露地相比,全膜覆土穴播方式小麦产量增加59.7%~72.8%,小麦水分利用效率提高了83.0%~111.1%,干旱年份可达3~5倍;在全膜覆土穴播方式下,配方推荐施肥(N₁₂P₈K₆)较农民习惯施肥(N₁₀P₇K₀)小麦产量增加79.0%,小麦水分利用效率提高了9.6%,水肥耦合效应明显。

参考文献

- [1] 孙大鹏,崔增团,张志成,等.小麦全膜覆盖膜上覆土多茬栽培技术[J].中国农技推广,2009,25(9):19-20.
- [2] 何春雨,周祥椿,杜久元,等.全膜覆土免耕穴播栽培技术对冬小麦产量效应的研究[J].农业现代化研究,2010,(6):20-22.
- [3] 李福,李城德,刘广才,等.旱地全膜覆土穴播免耕多茬种植技术[J].中国农技推广,2011,27(1):24-26.
- [4] 许婷,张平良,郭天文,等.全膜覆土穴播小麦养分积累规律及其水分利用效率研究[J].甘肃农业大学学报,2011,46(3):22-27.
- [5] 张平良,郭天文,侯慧芝,等.不同穴播种植方式与平衡施肥对旱地春小麦产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2012,(1):33-38.
- [6] 高世铭,杨封科,苏永生.陇中黄土丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究(《重塑黄土地》系列丛书)[M].郑州:黄河水利出版社,2003,8-12.
- [7] Dowdle S, Portch SA. Systematic approach for determining soil nutrient constraints and establishing balanced fertilizer recommendations for sustained high yield [C]. Proceedings of the International Symposium on Balanced Fertilization. 1988, Beijing, China, 243-251.
- [8] 张金文,马静芳,牛俊义,等.地膜覆盖穴播小麦光合和干物质积累特点分析[J].甘肃农业大学学报,1999,(4):42-44.
- [9] 元新华,董树亭.冬小麦地膜覆盖栽培理论与技术的研究[J].北京农学院学报,1988,(3):172-185.
- [10] 李守谦,兰念军,马忠明,等.春小麦地膜覆盖栽培技术评价干旱地区农作物需水量及节水灌溉研究[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1992,20-24.

安徽省长江流域棉区棉花氮肥运筹方式的初步研究

周可金¹ 章力干¹ 马世杰¹ 马成泽¹ 杨飞²

(1. 安徽农业大学农业学院, 安徽合肥 230036; 2. 无为县农业委员会, 安徽无为 238300)



摘要: 研究了6个不同氮肥运筹方式对沿江棉区棉花生长发育、产量和效益的影响。结果表明, 45%基肥+10%苗肥+45%花铃肥处理的各项生理和经济性状明显优于其他处理, 其产量、结铃数、单铃重、光合效率和纯收入比一次性基肥处理分别增加19.2%、48.6%、9.8%、13.4%, 增加33.4%。其次是10%基肥+65%花铃肥+25%桃肥处理。重施花铃肥45%–65%, 对棉花后期发育、防止早衰和提高产量十分重要。

关键词: 棉花; 沿江棉区; 氮肥运筹; 产量; 经济效益

安徽省是全国主要产棉省份之一, 地跨长江流域和黄河流域两大棉花优势区域, 常年播种面积近600万亩, 面积与总产量均位于全国第6位。其中长江流域棉区的棉花面积占全省棉花总面积的46%左右, 总产占一半以上。目前, 安徽省长江流域棉区土壤多为河流冲积物发育的石灰性砂泥田或灰泥土, 缺磷少钾, 氮肥施用水平较高, 但施用方法不当, 早衰现象严重。氮素是棉花整个生长发育过程中最活跃的一个营养元素, 因此氮素肥料的合理施用尤为关键^[1-2]。众多研究结果表明, 肥料运筹是有效地提高作物产量和品质的关键, 而且适宜的施氮均能促进植株健康成长, 优化株型, 改善蕾铃脱落的情况, 增加产量^[3-5]。为确定安徽省长江流域棉区棉花生产中氮肥适宜的施用时期和施用比例, 指导当地群众科学施肥, 改变习惯施肥方法, 特开展了氮肥运筹方式技术试验研究。

1 材料与方 法

试验于2012年在安徽省沿江棉区无为县福渡镇公路村进行。供试土壤为潮土, 质地为灰泥土。试验前采取耕层土壤样品(0~20厘米), 送至中国农科院中加实验室采用ASI法分析, 结果为有机质含量0.85%, 碱解氮38.8毫克/升, 速效磷15.8毫克/升, 速效钾52.4毫克/升, 有效硫38.6毫克/升, 有效硼0.7毫克/升。供试棉花品种为鄂杂棉9号。氮肥用尿素, 磷肥用过磷酸钙, 钾肥用加拿大产氯化钾。

试验设6个氮肥运筹处理, 分别为: (1) 一次性基肥; (2) 基肥50%+花铃肥50%; (3) 基肥10%+花铃肥65%+桃肥25%; (4) 1/3基肥+1/3苗肥+1/3花铃肥; (5) 基肥45%+苗肥10%+花铃肥45%; (6) CK(不施肥)。N、P₂O₅、K₂O用量均恒定, 分别为15、10、10公斤/亩。各处理氮肥用量见表1。

表1 不同时期氮肥的施用量

处理	公斤/亩							
	总量为15公斤纯氮				四肥比例			
	基肥	苗肥	花铃肥	桃肥	基肥	苗肥	花铃肥	桃肥
1	15	0	0	0	100	0	0	0
2	7.5	0	7.5	0	50	0	50	0
3	1.5	0	9.75	3.75	10	0	65	25
4	5	5	5	0	33	33	33	0
5	6.75	1.5	6.75	0	45	10	45	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0

基金项目: 国际植物营养研究所(IPNI)资助项目(Anhui-21)

作者简介: 周可金(1965-), 男, 安徽无为县人, 博士, 教授, 安徽省现代农业油菜产业技术体系首席专家。研究方向: 作物栽培与养分管理。

E-mail: zhoukejin@163.com

试验采用随机区组设计，重复3次。小区面积20平方米，种植密度1200株/亩。钾肥50%作基肥，50%作花铃肥。磷肥一次性作基肥施用。5月28日施基肥并移栽，6月2日施苗肥，7月22日施花铃肥，8月24日施补桃肥。4次化控，分别为：7月14日每亩用助壮素8毫升、7月24日10毫升、8月4日10毫升、8月12日15毫升。8月13日手扶棉花(因台风海葵造成部分植株倒伏)。8月18日打顶。受7月份台风影响，中部的单株铃数明显减少。

收获时，分别测定小区子棉产量、单铃重、衣分等品质等。子棉产量为实收产量，是从吐絮期开始分小区收获，到霜前结束。叶绿素含量测定部位为倒数第三果枝第二叶，光合效率测定部位为倒数第二叶，测定时间均为2012年9月23日。

2 结果与方法

2.1 不同氮肥运筹方式对棉花产量影响

从表2试验结果可以看出，产量以处理5(基肥:苗肥:花铃肥=4.5:1:4.5)最高，籽棉单产达283.9公斤/亩，处理3(基肥:花铃肥:桃肥=1:6.5:2.5)次之，籽棉单产达255.0 kg/亩，以上两个处理间差异达到显著水平，它

们分别比处理中最低产量处理1(基施100%)增产45.7公斤/亩和16.8公斤/亩，增产幅度达19.2%和7.1%，可见，以氮肥全部基施的产量最低。表2还表明，处理3、

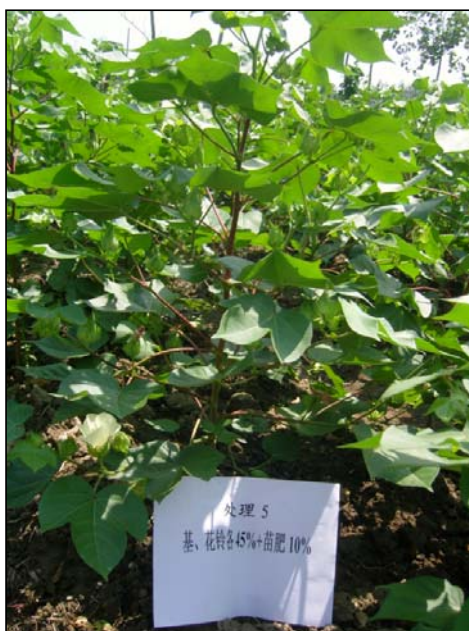


表2 不同氮肥运筹方式处理棉花小区产量及霜前花产量(籽棉)

处理	籽棉单产 (公斤/亩)	霜前花产量 (公斤)	霜前花比例
			(%)
1	238.2 c	2.94	41.11
2	244.2 bc	3.26	44.48
3	255.0 b	3.46	45.21
4	243.6 bc	2.88	39.45
5	283.9 a	3.36	39.42
6	241.4 bc	3.21	44.30

表 3 不同氮肥运筹方式处理棉花农艺性状

处理	株高 (厘米)	果枝 数	单株 铃数	单铃重 (克)	叶绿素 (SPAD值)	净光合速率 (微摩尔 CO ₂ / 平米 / 秒)
1 一次性基施	110.8	20.5	35.0	6.1	57.4	3.96
2 基肥 50%+ 花铃肥 50%	106.6	18.0	38.0	6.6	56.4	4.21
3 基肥 10%+ 花铃肥 65%+ 桃肥 25%	99.2	17.0	56.0	6.7	58.1	4.36
4 1/3 基肥 +1/3 苗肥 +1/3 花铃肥	108.1	21.0	38.5	6.5	57.1	4.13
5 基肥 45%+ 苗肥 10%+ 花铃肥 45%	93.3	18.5	52.0	6.7	58.4	4.49
6 不施肥 (CK)	100.3	20.5	39.5	6.2	57.5	4.17

表 4 不同氮肥运筹方式处理棉花主要品质性状

处理	纤维长(毫米)	衣分(%)	马克隆值
1 一次性基施	30.2	38.4	5.06
2 基肥 50%+ 花铃肥 50%	30.0	37.7	4.85
3 基肥 10%+ 花铃肥 65%+ 桃肥 25%	31.2	38.8	4.36
4 1/3 基肥 +1/3 苗肥 +1/3 花铃肥	30.3	38.4	4.75
5 基肥 45%+ 苗肥 10%+ 花铃肥 45%	31.0	38.8	4.29
6 不施肥 (CK)	30.3	38.5	5.07

处理 2 和不施肥处理的霜前花比例较高, 其他处理较低, 花铃期之前氮肥的施肥量所占比例越低, 霜前花比例越高, 反之越低。说明氮肥后移, 增加桃肥的比例会增加霜前花比例, 但也增加了晚秋桃的比例, 不利于棉花品质的提高。

2.2 不同氮肥运筹方式对棉花产量和品质性状的影响

试验表明(表 3), 高产处理(处理 5、处理 3)的单株铃数、单铃重、叶绿素含量以及叶片的净光合速率都比其它处理高, 脱落率较低, 充分表明, 氮肥合理的施用时期, 能充分而又及时地供给棉花生长发育所需的营养, 协调棉花营养生长和生殖的关系, 能获得高产的效果。同时,

表 4 表明, 氮肥的合理施用对棉花品质也产生明显影响, 处理 5、处理 3 的纤维长度和衣分均较其他处理大, 而马克隆值相反, 品质较好, 但各处理间的差异均不显著。其中马克隆值是棉花纤维细度和成熟度的综合反映, 成熟度不同, 不仅会引起纤维性能的变化, 而且对成纱工艺、质量及织物质量也会产生很大的影响, 棉纤维的马克隆值可作为评价棉纤维内在品质的一个综合指标, 品质最好的 A 级范围为 3.7~4.2。

2.3 不同氮肥运筹方式对棉花经济效益的影响

从表 5 可知, 氮肥不同施用时期对棉花生产效益影响较大, 处理中效益最好的与效益最差的相差 330.81 元/亩。

表 5 不同氮肥运筹方式的经济效益分析表

处理	产量(籽棉) (公斤/亩)	产值 (元/亩)	用工数量 (个/亩)	用工投入 (元/亩)	纯收入	产投 比
1 一次性基施	238.22	1906	16.0	560	989	2.08
2 基肥 50%+ 花铃肥 50%	244.17	1953	16.5	578	1019	2.09
3 基肥 10%+ 花铃肥 65%+ 桃肥 25%	255.00	2040	17.0	595	1088	2.14
4 1/3 基肥 +1/3 苗肥 +1/3 花铃肥	243.61	1949	17.0	595	997	2.05
5 基肥 45%+ 苗肥 10%+ 花铃肥 45%	283.95	2272	17.0	595	1320	2.39
6 不施肥 (CK)	241.39	1931	15.0	525	1049	2.19

注: 肥料价格, N 为 5.2 元/公斤, P₂O₅ 为 5.4 元/公斤, K₂O 为 5.8 元/公斤, 籽棉价格 8 元/公斤, 人工 35 元/天, 人工 15-18 个, 人工成本为 525-630 元/亩, 肥料及化控剂费用 220 元/亩, 种子和农药费用 96.67 元/亩, 机械作业 40 元/亩。

施肥效益以处理5(基肥:苗肥:花铃肥=4.5:1:4.5)最佳,纯收入达1320元/亩,其次为处理3(基肥:花铃肥:桃肥=1:6.5:2.5),纯收入为1088元/亩,效益最差的为处理1(氮肥一次性基肥),纯收入只有989元/亩,处理5和处理3比处理1的效益分别增加了33.4%和10.0%。在用工投入方面,处理5(基肥:苗肥:花铃肥=4.5:1:4.5)尽管比处理1(氮肥一次性基肥)大35元/亩,但产投比仍然以处理5为最高,达到2.39,其次为处理6(不施肥对照),产投比为2.19,再次为处理3,产投比2.14。可见,氮肥合理施用,不仅提高了棉花产量和品质,也提高了种植效益。

参考文献

- [1] Pettigrew W T, Heitholt J J, Meredith W R. Genotypic interactions with potassium and nitrogen in cotton of varied maturity [J]. *Agronomy Journal*, 1996, 88:89-93.
- [2] 丁少庆. 无为县沿江圩区棉花早衰原因及防治措施 [J]. *现代农业科技*, 2007, (5):106-108.
- [3] 郑曙峰, 唐胜, 李文才, 等. 江淮丘陵地区棉花氮肥运筹技术

3 结论

综上所述,科学施肥是棉花节本高效栽培的关键。长江流域棉花产区,在棉花不同生育时期,合理安排氮肥运筹,特别是增加花铃肥的比重,达到45%~65%,将有利于后期棉花生长发育和产量、品质的形成,有利于协调营养生长和生殖生长的关系,增加单株铃数、单铃重、成铃率,减少蕾铃脱落,防止早衰,从而增加有利于提高棉花产量、品质 and 经济效益。本试验结果表明,通过氮肥的合理施用,经济效益提高了33.4%。因此,推广棉花的科学施肥技术,引导当地农民改变传统施肥习惯,将有利于获得较大的经济效益和社会效益。

- 研究 [J]. *耕作与栽培*, 2001, (1):46.
- [4] 张海娜, 李存东, 肖凯. 氮素对不同衰老特性棉花品种光合特性和细胞保护酶活性的影响 [J]. *华北农学报*, 2008, 23(5):170-174.
- [5] 黄绍文, 金继运, 策悦厚, 等. 追肥运筹对优质小麦产量和品质的影响 [J]. *土壤肥料*, 2003, (2):2-6.

水稻油菜施肥效益分析

陈防 张过师

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

摘要: 本文根据国际植物营养研究所东南地区合作研究项目十年(2011-2010)的田间试验、示范、调查和中国农业年鉴的统计数据对该地区水稻和油菜两种主要农作物的产量及产品价格变化情况、商品肥料价格变化情况、水稻和油菜种植的纯收益变化情况进行了分析, 结果表明十年间水稻和油菜产量上升了 9.2%—31%, 产品价格上升了 80%-90.9%, 同时商品 NPK 肥料价格上升了 48.1%—236.8%, 纯收益上升了 42%—412.3%。在此基础上作者对将来肥料和产品的变化进行了估算和预测, 结果表明产品价格对水稻和油菜种植经济效益的影响最显著, 与之相比, 肥料价格变化的影响要小得多, 在肥料使用中我们主要关注的应该是如何进行合理配方, 科学施用, 提高施肥效益。

关键词: 水稻; 油菜; 产量; 肥料; 价格; 效益

水稻和油菜是中国南方, 特别是长江流域的主要大田作物, 也是商品化肥使用量较多的农作物^[1, 2]。近年来, 由于国家对粮食安全和油料生产需求的不断上升, 在单位面积上的作物产量还需要进一步提高, 虽然目前南方地区在水稻和油菜上的氮肥施用量已经达到每亩 10 公斤以上^[3, 4], 但可以预计, 在未来几年内这两种主要作物的肥料施用水平还可能有所上升。

根据国际植物营养研究所东南地区合作研究项目近 10 年来的田间试验、示范、调查^[5, 6, 7, 8]和中国农业年鉴^[9]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 435 公斤/亩, 晚稻产量一般可以达到 470 公斤/亩, 中稻(一季晚稻)产量一般可以达到 600 公斤/亩, 油菜产量一般可以达到 135 公斤/亩。与此同时, 这几种作物的相应的大量元素施肥量一般为, 早稻: N 10 公斤/亩, P₂O₅ 6 公斤/亩, K₂O 6 公斤/亩; 晚稻: N 12 公斤/亩, P₂O₅ 6 公斤/亩, K₂O 7 公斤/亩; 中稻: N 15 公斤/亩, P₂O₅ 6.5 公斤/亩, K₂O 8 公斤/亩; 油菜: N 12 公斤/亩, P₂O₅ 6 公斤/亩, K₂O 8 公斤/亩。

对于农业生产者来说, 生产的目的是首先是获得经济效益, 其具体形式是单位面积作物种植所获得的纯收入。其影响因素主要有农产品价格、生产资料价格(种子、肥料、农药等)、农业机械和

劳动力价格等, 其中农产品价格和肥料价格对纯收入的影响最大, 需给予特别关注。因此, 为了进一步明确化肥价格变化对特定区域作物种植经济效益的影响以及肥料价格与农产品价格之间的相互关系, 本文以国际植物营养研究所中国项目 2001—2010 年十年在中国东南地区 8 个省市(安徽、福建、湖北、湖南、江苏、江西、上海、浙江)实施的比较规范的 46 个水稻和 93 个油菜田间试验结果为基础、参考与这些试验相配套的大量田间试验示范区结果^[10, 11, 12, 13, 14, 15]和国家农业统计年鉴的资料, 将十年中肥料与作物产品价格变化对水稻和油菜经济效益的影响进行了初步分析。

研究结果与讨论

1) 由于高产品种的推广和种植技术水平的提高,

表 1 历年作物产量

年份	公斤/亩			油菜
	早稻	中稻	晚稻	
2001	400.7	550	436.7	109.7
2002	412.3	552	453	113.7
2003	412.7	556	462.3	117.2
2004	413.9	563.7	467.3	119.3
2005	426.3	570	477.3	125.7
2006	427.7	575.7	474.3	129
2007	432.7	583.3	477.3	135.3
2008	438.9	589.7	481.2	138.7
2009	443	595.7	482.7	141.7
2010	466	600.7	486.3	143.7

基金项目: 本文中的研究项目得到了国际植物营养研究所 (IPNI) 研究基金的资助。

作者简介: 陈防 (1959—), 男, 博士, 研究员, 从事植物营养与农业生态研究。fchen@ipni.ac.cn

2001—2010年的十年期间中国东南地区水稻和油菜平均产量均有明显上升。其中早稻平均产量由2001年的400.7公斤/亩上升到2010年的466公斤/亩，增加了16.3%；中稻平均产量由2001年的550公斤/亩上升到2010年的600.7公斤/亩，增加了9.2%；晚稻平均产量由2001年的436.7公斤/亩上升到2010年的486.3公斤/亩，增加了11.4%；油菜平均产量由2001年的109.7公斤/亩上升到2010年的143.7公斤/亩，增加了31%（表1）。由于中稻的基础产量较高，因此它的增产幅度相对较小，而油菜的基础产量与水稻比相对较低，因此其增产幅度相对较大。

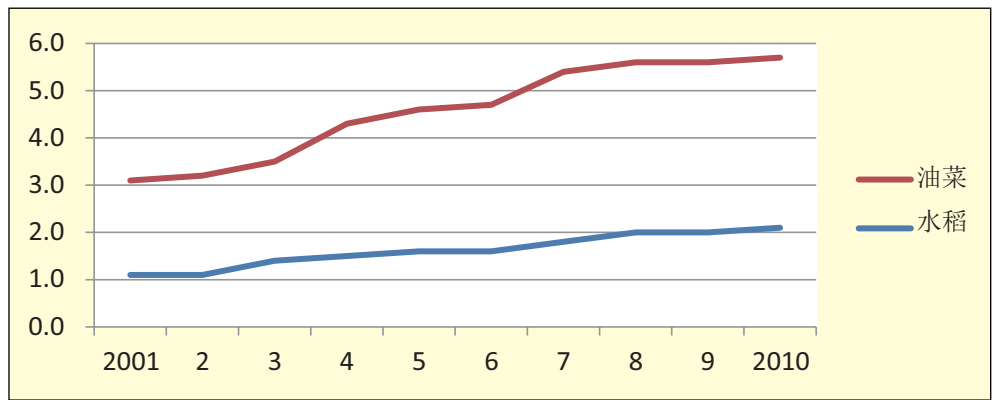


图1 2001—2010年中国东南地区水稻油菜产品价格上升情况 (元/公斤)

2) 2001—2010年的十年期间水稻和油菜的平均价格均大幅上升，其中水稻平均价格上升了90.9%，油菜平均价格上升了80%（图1）。产品价格的上升不仅明显提高了纯收益的增加，也提高了农民种植水稻和油菜的积极性。

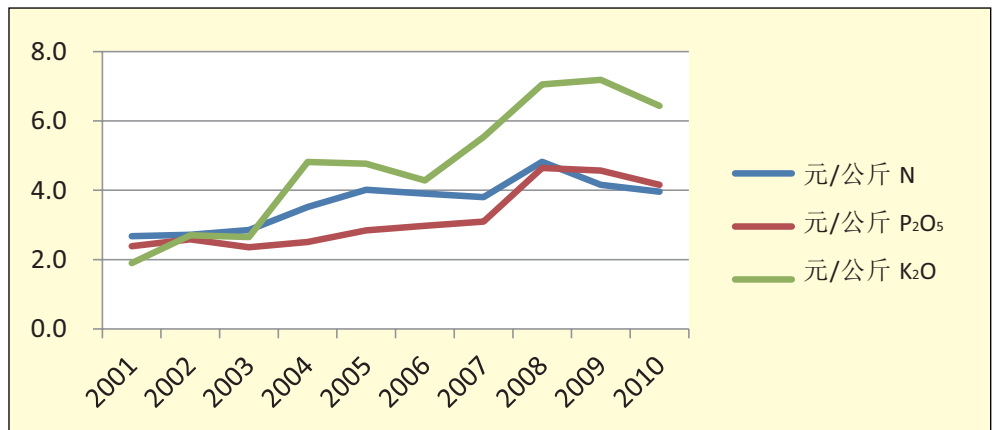


图2 2001—2010年中国东南地区商品肥料价格上涨情况

3) 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%（图2）。总的来看，这十年中肥料价格的上涨幅度大于水稻和油菜产品价格的上涨幅度，更是显著大于水稻和油菜产量的增加幅度（图3）。

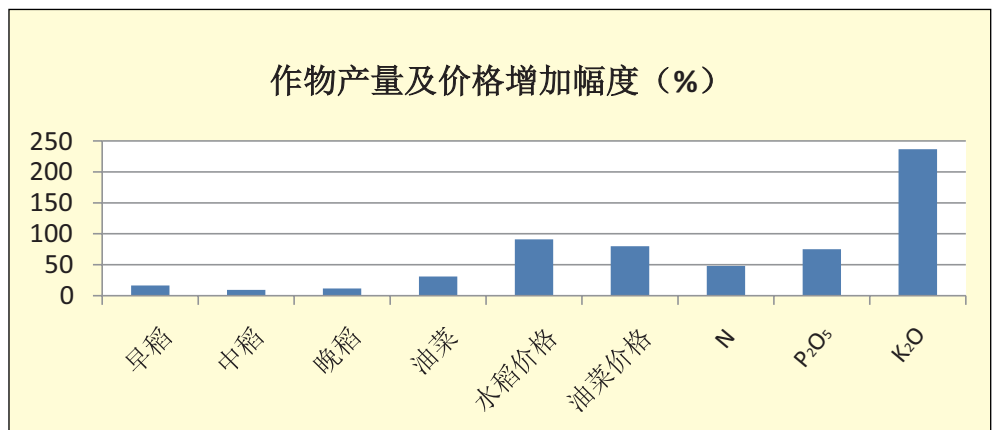


图3 十年来产量、产品和肥料价格增加的幅度比较

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，还使同期水稻纯收益上升了42—249%，油菜纯收益上升了100—412.3%。

4) 我们选择中稻和油菜来进行纯收益状况的比较。从2010年单个养分的纯效益来看，中稻施肥是

N>K₂O>P₂O₅，油菜施肥是N>P₂O₅>K₂O（表2）。据计算，无论是水稻还是油菜，其产品价格每上升一定幅度对纯效益增加的影响，是肥料价格上升同样幅度对纯效益减少影响的2—6倍。也就是说肥料价格上升对水稻和油菜种植纯效益的影响要比水稻和油菜价格上升的影响要小得多。例如，表2结果表明，2010年中稻施氮肥的纯收益是189.6元/亩，以此为基础，如果氮肥价格上升50%，

表 2 肥料与产品价格变化对水稻油菜种植纯收益的影响

(元/亩)

	中稻 N	中稻 P ₂ O ₅	中稻 K ₂ O	油菜 N	油菜 P ₂ O ₅	油菜 K ₂ O
2010 年纯收益	185.59	55.86	92.86	99.12	73.20	11.20
假如肥价增 50%	148.26	42.56	67.26	75.12	60.60	-14.40
假如肥价增 100%	110.93	29.26	41.66	51.12	49.20	-40.00
假如肥价减 50%	222.93	69.16	118.46	123.12	85.80	36.80
假如产品价增 50%	315.73	97.09	164.89	172.68	122.40	42.40
假如产品价增 100%	445.85	138.32	236.92	246.24	171.60	73.87
假如产品价减 50%	55.47	14.63	20.83	18.89	24.00	-20.00

则纯收益降为 148.3 元/亩, 下降 20.1%, 但如果稻谷价格上升 50%, 则纯收益可上升到 315.7 元/亩, 上升 70.1%, 是肥料涨价影响的 3.5 倍。又如, 2010 年油菜施钾肥的纯收益是 11.2 元/亩, 以此为基础, 如果钾肥价格上升 50%, 则纯收益降为负 14.4 元/亩, 下降 229%, 但如果稻谷价格上升 50%, 则纯收益可上升到 42.4 元/亩, 上升 279%, 是肥料涨价影响的 3.9 倍。在农业生产中, 水稻和油菜是大宗的主要农产品, 其价格相对较低也较稳定, 如果是其他高价值的经济作物, 其产品价格的变化对种植业纯收益的影响会更显著, 同时肥料价格变化对其经济效益的影响也相对更小, 这也是为什么我们经常看到在高价值经济作物上农民舍得大量施肥, 甚至是盲目地大量施肥的原因。

结论

作物种植的经济效益会受到多种因素的影响, 通过对中国东南地区水稻和油菜这两种主要作物的分析, 我们认为在这些因素中产品价格对经济效益的影响最显著, 与之相比, 肥料价格变化的影响要小得多。因此, 如果生产者在实际生产中能依据当前市场上农产品价格的变化来合理调整作物种类和面积, 其经济收益是有保障的。而在肥料使用时其价格仅供参考, 其价格变化对经济效益影响不是很大, 不必过于在乎肥料价格的高低。在肥料使用计划中我们更要关注的是如何进行合理配方, 科学施用, 减少价格变化对经济效益带来的负面影响, 在力所能及的范围内获得最大的收益, 保持农业可持续发展。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [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] 鲁剑巍, 陈防, 刘冬碧, 等. 钾素水平对油菜酶活性的影响, 中国油料作物学报, 2003, 24(1):61-66.
- [6] 陈防, 刘冬碧, 熊桂云, 等. 中亚热带两种水稻土土壤养分空间变异的对比研究 [J]. 土壤学报, 2006, 43(4):688-692.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 中国农业年鉴编辑委员会编, 中国农业年鉴 [M], 中国农业出版社, 北京, (2002-2011).
- [10] 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.
- [11] 郑圣先, 陈防. 中国南方地区作物高效施钾技术的研究 [M], 中国科学院南京土壤研究所 / 国际钾肥研究所 (瑞士) 第十次钾素讨论会论文集, 土壤钾素肥力评价与钾肥合理施用, 吉林科学技术出版社, 2004, 227-233. 中国农业年鉴 (2002-2011), 中国农业出版社, 北京.
- [12] Fang Chen, Kaiyuan Wan, Yong Tao, et al. Progress and strategy for rice nutrition management in China [M].

- Proceedings of Plant nutrition Management in Sustainable Agriculture, Jiangxi People's Publish House, 2008, 19-25.
- [13] Xiaokun Li, Jianwei Lu, Lishu Wu, et al. 2009. The difference of potassium dynamics between yellowish red Fang Chen, Sam Portch, and Jiyun Jin, Improving rice quality through crop and resource management, Mew TW, Brar DS, Peng S, Dawe D, Hardy B, editor. 2003. Rice science: innovations and impact for livelihood [C]. Proceedings of the International Rice Research Conference, 16-19 September 2002, Beijing:479-486.
- [14] 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 [M]. *Plant & Soil*, 13 January, 2009, 320:141-151. DOI 10.1007/s11104-008-9879-7.
- [15] 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。

西北地区主要粮食作物上的施肥效应

李书田

(国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目部北京办事处, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京, 100081)

摘要: IPNI 多年的试验表明, 西北地区主要粮食作物上限制产量的主要养分因子是氮, 其次是磷或钾。合理施肥是作物增产和增收的关键。氮、磷、钾农学效率 (AE) 小麦上分别为 4.9、3.8、10.0 公斤/公斤, 玉米上分别为 9.2、10.6、10.6 公斤/公斤, 水稻上分别 19.9、8.6、8.1 公斤/公斤, 马铃薯上分别为 35、32、41 公斤/公斤。平衡施肥较农民习惯施肥小麦上增收 21–181 元/亩, 玉米上增收 76–212 元/亩, 水稻上增收 129–534 元/亩, 马铃薯上增收 22–243 元/亩。

西北地区包括内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海和新疆六省, 占国土总面积的 45%。该地区阳光充足、昼夜温差大、作物产量潜力高。但干旱缺水、肥料投入低且不合理限制了作物产量潜力的发挥。

西北地区的氮磷钾化肥的消费量只有全国的 10% 左右, 尤其是钾肥消费量更低, 只占全国的 6%。陕西是西北地区主要肥料消费地区, 其次是内蒙古和新疆。

西北地区作物种类繁多, 许多作物种植面积和产量都位居全国首位, 如马铃薯是需钾量高的作物之一, 面积和产量占全国马铃薯面积和产量的 1/3 左右, 主要分布在甘肃和内蒙古。棉花是新疆的优势经济作物, 面积和产量占全国的 1/3 以上。陕西苹果和猕猴桃也分别占全国的 40% 和 70% 左右。粮食作物主要作物包括玉米、小麦和马铃薯, 这三种粮食作物分别占西北地区作物面积的 19%、17% 和 8%。宁夏的水稻虽然面积不大, 但

产量高、品质好。

小麦

西北地区小麦播种面积约 5888 万亩, 占全国小麦面积的 16%。IPNI 中国项目在西北地区多年的研究表明 (表 1), 合理施用 N、P、K 肥使小麦产量平均分别增加 20%、9.1% 和 10%, 氮、磷、钾的偏生产力 (PFP) 分别为 29、48、76 公斤/公斤, 农学效率 (AE) 分别为 4.9、3.8、10.0 公斤/公斤。应用 ASI 法进行土壤测试和推荐施肥 (OPT), 与农民习惯施肥 (FP) 相比, 多数情况下氮、磷用量减低, 而增加钾肥的用量。结果表明, 平衡施肥比农民习惯施肥平均增产 27–137 公斤/亩, 增收 21–181 元/亩, 因地点而有差异 (表 2)。

表 1 西北地区粮食作物施肥效应和养分利用效率

作物	试验数	养分平均用量 (公斤/亩)	平均增产效应 (%)	平均 PFP		平均 AE
				(公斤/公斤)		
小麦	N	10	16.1	20.0	29	4.9
	P ₂ O ₅	7	9.7	9.1	48	3.8
	K ₂ O	14	7.3	10.0	76	10.0
玉米	N	15	17.3	30.2	43	9.2
	P ₂ O ₅	16	9.5	14.1	87	10.6
	K ₂ O	22	9.2	11.3	104	10.6
水稻	N	5	15	68.9	50	19.9
	P ₂ O ₅	5	12.2	12.5	71	8.6
	K ₂ O	8	10.5	12.4	74	8.1
马铃薯	N	28	9.0	20.8	220	35
	P ₂ O ₅	34	8.3	14.8	291	32
	K ₂ O	66	9.3	15.8	306	41

注: PFP= 施肥产量 / 养分用量, AE= 施肥增产量 / 养分用量。

表 2 平衡施肥在小麦上的增产效应和经济效益

	处理	养分用量 (公斤/亩)			平均产量 (公斤/亩)	OPT - FP (公斤/亩)	OPT 比 FP 增收 (元/亩)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
甘肃	OPT	20	8	10	568	110	155
	FP	20	8	0	458		
甘肃	OPT	15	8	10	161	28	21
	FP	23	10	0	133		
甘肃	OPT	15	12	5	304	48	47
	FP	15	12	0	256		
	OPT	20	8	10	380	27	43
	FP	30	8	0	353		
陕西	OPT	18	9	15	527	137	181
	FP	20	7	0	390		

玉米

西北地区玉米播种面积约 9042 万亩，占全国玉米面积的 17%。IPNI 中国项目在西北地区多年的研究表明 (表 1)，合理施用 N、P、K 肥使玉米产量平均分别增加 30.2%、14.1% 和 11.3%，氮、磷、钾的偏生产力 (PPF) 分别为 43、87、104 公斤/公斤，农学效率 (AE) 分别为

9.2、10.6、10.6 公斤/公斤。推荐施肥 (OPT) 与农民习惯施肥 (FP) 相比，多数情况下氮、磷用量减低，而增加钾肥的用量。结果表明，平衡施肥比农民习惯施肥平均增产 21-148 公斤/亩，增收 76-212 元/亩，因地点而有所差异 (表 3)。



表 3 平衡施肥在玉米上的增产效应和经济效益

	处理	养分用量 (公斤/亩)			平均产量 (公斤/亩)	OPT - FP (公斤/亩)	OPT 比 FP 增收 (元/亩)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
甘肃	OPT	20	8	10	878	84	156
	FP	30	8	0	793		
	OPT	20	8	10	691	58	107
	FP	30	8	0	633		
	OPT	15	10	10	755	129	166
	FP	10	8	0	626		
	OPT	15	10	10	969	120	181
	FP	15	10	0	848		
	OPT	20	8	10	592	66	121
	FP	30	8	0	527		
新疆	OPT	15.5	4.7	2.3	752	21	76
	FP	18.3	11.5	0	731		
	OPT	12.8	9.2	15	1109	148	212
	FP	12.8	9.2	0	961		
	OPT	12.8	9.2	6	651	64	93
	FP	12.8	9.2	0	587		
	OPT	12.8	9.2	15	1109	137	190
	FP	12.8	9.2	0	973		
	OPT	12.8	9.2	15	921	93	110
	FP	12.8	9.2	0	827		

水稻

西北地区水稻播种面积不大, 只有 558 万亩, 占全国水稻面积仅 1.2%。宁夏是西北地区水稻主产区, 主要

集中在黄河灌区, 面积约 126 万亩, 占西北地区水稻面积的 23%。IPNI 中国项目在宁夏水稻上多年的试验表明

表 4 平衡施肥在宁夏水稻上的增产效应和经济效益

处理	养分用量 (公斤/亩)			平均产量 (公斤/亩)	OPT - FP (公斤/亩)	OPT 比 FP 增收 (元/亩)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
OPT	15	15	10	846	92	335
FP	15	15	0	754		
OPT	15	10	10	831	106	393
FP	15	10	0	725		
OPT	15	15	10	866	117	439
FP	15	15	0	749		
OPT	15	15	10	646	91	329
FP	15	15	0	556		
OPT	15	15	10	646	91	329
FP	15	15	0	556		
OPT	10	6	6	682	39	134
FP	10	6	0	643		
OPT	15	10	5	762	37	129
FP	15	10	0	725		
OPT	17	6	9	742	117	444
FP	17	6	0	625		
OPT	15	6	9	734	139	534
FP	18	7	0	595		

(表 1), 合理施用 N、P、K 肥使水稻产量平均分别增加 68.9%、12.5% 和 12.4%, 氮、磷、钾的偏生产力 (PFP) 分别为 50、71、74 公斤/公斤, 农学效率 (AE) 分别为 19.9、8.6、8.1 公斤/公斤。水稻上主要进行了钾肥的对比试验研究, 施钾 (OPT) 与不施钾相比平均增产 37–139 公斤/亩, 增收 129–534 元/亩 (表 4)。

马铃薯

马铃薯是西北地区的主要粮食作物之一, 面积 2939 万亩, 鲜薯产量 2890 万吨, 分别占全国马铃薯面积和产量的 35.4% 和 31.1%。研究表明 (表 1), 合理施用 N、P、K 肥使马铃薯产量平均分别增加 20.8%、14.8% 和 15.8%, 氮、磷、钾的偏生产力 (PFP) 分别为 220、291 和 306 公斤/公斤, 农学效率 (AE) 分别为 35、32、41 公斤/公斤。推荐施肥 (OPT) 与农民习惯施肥 (FP) 相比, 调整了氮磷比例, 增加钾肥的用量。结果表明, 平衡施肥比农民习惯施肥平均增产鲜薯 55–422 公斤/亩, 增



收 22–243 元/亩 (表 5)。

小麦和玉米上氮的农学效率远低于发达国家水平, 主要是因为发达国家的氮肥用量较低。水稻上氮肥的农学效率平均为 19.9 公斤/公斤 N, 远高于小麦和玉米。马铃薯上氮肥的农学效率平均为 35 公斤/公斤, 低于美国和加拿大。

表 5 平衡施肥在马铃薯上的增产效应和经济效益

处理	养分用量 (公斤/亩)			平均产量 (公斤/亩)	OPT – FP (公斤/亩)	OPT 比 FP 增收 (元/亩)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
OPT	8	8	10	2357	422	158
FP	4	2	0	1934		
OPT	7	5	5	1972	356	243
FP	7	0	0	1616		
OPT	8	8	7	947	60	24
FP	4	1	0	887		
OPT	17	15	13	2100	127	50
FP	9	3	0	1973		
OPT	11	5	9	2060	226	94
FP	16	3	6	1833		
OPT	11	5	9	1193	55	22
FP	16	3	6	1139		
OPT	12	21	15	3194	139	57
FP	13	34	15	3056		
OPT	20	21	15	1768	268	111
FP	24	0	0	1500		

世界磷矿储量——一个不断变化和演绎的故事

Steven J. Van Kauwenbergh Mike Stewart Robert Mikkelsen

谢玲 译 涂仕华 校

(国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 原文译自《Better Crops》2013 第三期 P18–P20)

磷是生命之本, 为满足全世界日益增长的人口需要, 磷肥的投入对生产充足食品、饲草、纤维和燃料非常重要。绝大多数现代磷肥都是由磷矿 (PR) 生产而来, 而它是一种不可再生的自然资源。在过去的几十年或更早, 人们总是担心世界上的磷矿资源会被很快耗尽, 面临磷缺乏的悲惨局面。但是, 最近对全球磷矿的完全评估表明磷矿危机并不紧急, 我们将不会很快用完磷矿。

今天所有的无机磷肥都是由磷矿生产出来的。磷矿是一个不精确的术语, 用来描述自然产生的含磷量相对较高的地质物质 (矿物质)。尽管 PR 术语是用于描述天然的 (未经精选的) 磷矿, 但同时也可以用来描述那些经过精选或是浓缩的产品。

世界上的磷矿既存在于沉积矿床也存在于火成矿床中 (图 1)。大多数 (80~90%) 用来生产化肥的 PR 是来自于沉积矿物, 它沉积于远古海洋大陆架环境。沉积矿床, 有时也称为磷灰石, 形成于整个地质时期。大多数 PR 是通过露天开采技术采矿, 但是在中国、俄罗斯和其他一些国家大量的沉积矿是通过地下采矿提取。磷灰石, 一种磷酸钙矿物, 是含 PR 的主要磷源。

现代磷肥生产的起源要回溯到 19 世纪中期, 当时授予的第一批专利是把“磷灰石类物质”如磷灰石和骨头与硫酸反应来生产“过磷酸钙”。1842 年, 英国的 John Bennet Lawes 和 James Murray 同时获得通过酸化作用来制造 P 肥的专利。尽管其他人, 包括 Justus von Liebig 也曾经研究过这个方法, 但只有 Lawes 和 Murray 得到“把想法变为永久商业化生产的创始人”的赞誉 (Jacob, 1964)。实际上, 当今所有的 P 肥都是通过这种“湿法工艺”, 即用酸 (如硫酸、硝酸或磷酸) 来处理 PR, 来生产出磷酸或三料 (重) 过磷酸钙 (TSP)。磷酸然后被用于生产颗粒状和液体 P 肥。

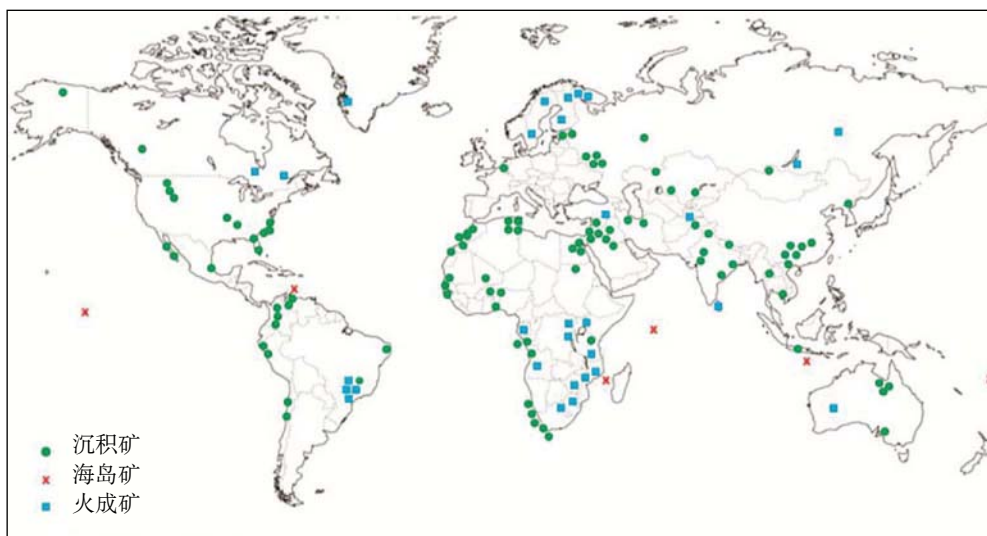


图 1 全球磷矿资源 (来源: IFDC)

磷是生命之本, 为满足全世界日益增长的人口需要, 磷肥的投入是生产充足粮食、饲草、纤维和燃料的关键。磷矿是一种有限而不可再生的自然资源, 我们有理由问全球究竟还有多少 PR 储量, 我们还能开采多长时间。这个问题引起广泛关注、讨论甚至争议。以下是有关世界上 PR 供应历史和现状的概述。

储量和资源

在讨论全球 PR 供应之前必须明确两个术语。Van Kauwenbergh (2010) 简单地把储量和资源定义为:

储量: 运用现有技术确定开采时可以用于商业生产的磷矿。

资源: 任一级别的 PR, 包括储量, 可能用于未来生产的磷矿。

相关历史

PR 商业生产从 19 世纪 60 年代中期至 20 世纪 70 年代大约增长了 1000 倍 (表 1)。随着开采的增加, 人们更多的认识到 PR 是一种有限的自然资源。在 20 世纪 70 年代早期, 生态研究所 (1971) 发表了一个学术研讨会的预测结果, 认为世界已知 PR 储量将可能会在 90~130 年以内被耗尽。一些人认为这一预测结果的发表在一段时期点燃了人们对 PR 储量和资源预测的激情。从 20 世纪 70 年代到 80 年代, 人们在这个领域开展了大量研究。这方面最主要的研究力量是美国矿业局 (USBM) 和美国地质调查局 (USGS)。然而在 90 年代中期, 对 PR 研究的主要资金和人力资源却转移到其他领域。1995 年美国国会投票从 USBM 抽回资金, 1996 年底被关闭。自从 USBM 关闭后, USGS 通过矿产品年鉴独立承担了发布美国 PR 统计的任务。从 90 年代早期至中期, 从 USGS 和其他国际机构那里公开发布的 PR 储量和资源的详细信息一直非常有限。

年份	PR 产量 吨
1847	500
1850	5,000
1853	10,000
1865	100,000
1885	1,000,000
1928	10,000,000
1974	100,000,000

从 2000 年的中后期开始, 一些文章和宣传认为全球性 PR 缺乏的局面正在悄然逼近。这些文章数据主要是根据当时 USGS 储量估算的。这些著名的文章之一是由 Cordell et al. (2009) 所写, 文章声称“全球 PR 储量将在 50~100 年耗尽”。各种其他文章主要通过网络和新闻传播, 它们被冠以忧虑的标题如“磷饥荒”、“正在消失的养分”和“无磷~无食品”。大多数这些文章是紧随 2007~08 年的全球粮食危机发表的, 当时商品价格飙升, 全球到处都出现有关抢购食品引发骚乱的新闻影像。这些因素结合在一起形成了有关未来全球 PR 供给极度短缺恐慌和惊悚的憧憬。

目前情况

针对这一热点, 国际化肥发展中心 (IFDC) 开始着手对全球 PR

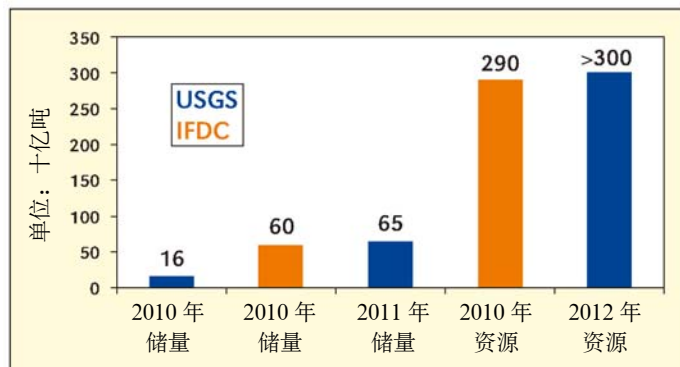


图 2 USGS 和 IFDC 对磷矿储量预估 (资料来源: USGS 和 Van Kauwenbergh, 2010)。

储量和资源的估算进行更新。该项工作包括对已知信息进行收集整理, 如政府和行业报告与统计、科学文献、会议论文集、大会报告, 等等。形成的综述报告由 IFDC 发表, 题为世界磷矿储量和资源 (Van Kauwenbergh, 2010)。

IFDC 报告表明, 目前 PR 的储量比之前由 USGS 预测的量要多许多。USGS 在 2010 年矿产品年鉴中报告预测 PR 的储量为 160 亿吨, 但是 IFDC 在当年随后发表的数据为 600 亿吨。2011 年, USGS 修订了这个预测值, 将其翻了近 4 倍, 从 160 亿吨增至 650 亿吨 (图 2)。从 2010 年起, USGS 的官方预测值就一直维持在 600~700 亿吨。

2011 年新增加到 USGS 全球 PR 储量报告中的磷矿来自摩洛哥。表 3 列举了 USGS/USBM 从 1989 至 2011 年一些主要国家的 PR 储量预估量。2011 年前, 摩洛哥的磷矿储量一直维持在 60 亿吨, 之后被修正为超过 500 亿吨。

从图 3 可以看出, 2003 年以前人们认为中国的 PR 储量相对较少, 但是 2003 年它突然比其他任何国家的磷

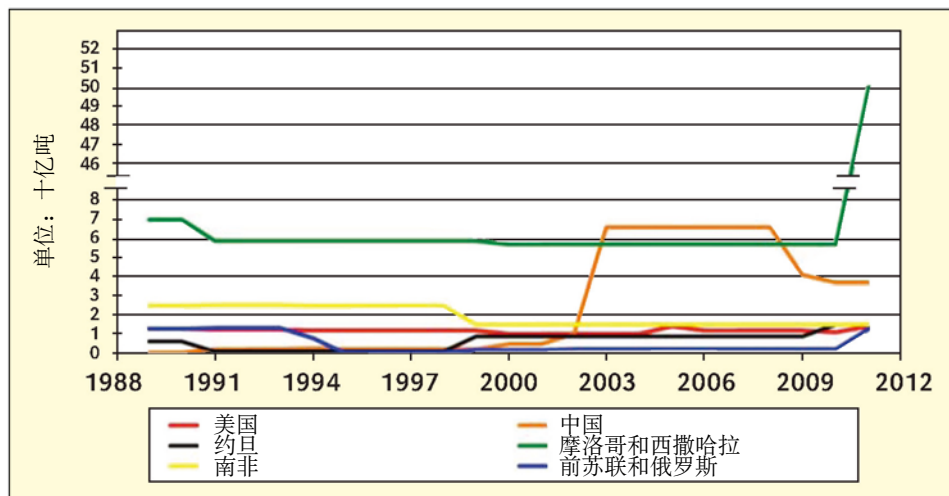


图 3 1989-2011 年一些国家磷矿储量预估 (资料来源: USGS)

矿储量都高。这是因为 2003 年中国政府第一次官方公布其 PR 数据。从那以后，USGS 向下修定了中国的估计值。摩洛哥和中国的储量修订表明这些估计值是易变的，可能出现戏剧性的变化，取决于新矿床的发现和可能获取信息的准确性。

表 2 显示了 USGS 对全球前 10 位 PR 储量最大国家的最新预测值。摩洛哥的储量约占全球磷矿的 75%，中国远居于第二，仅占 6%。美国 PR 储量仅占世界的 2%。而根据 IFDC 报告，在 20 世纪 70 年代后期美国被认为是拥有全球 76% 的可开采磷矿（~30% P₂O₅）。2010 年 IFDC 报告指出，全球磷矿储量和资源由于各种各样的原因波动很大。

图 4 表明从 1981 年至 2012 年间全球以及某些国家 PR 生产情况。尽管全球 PR 生产在这个时间内变化很大，但在最近几年来呈上升趋势。从 2009 年生产陡然增加，最新 USGS 报告为 2.1 亿吨。同一报告指出，第二年全球磷矿生产能力可以从 2.2 亿吨提高到 2.56

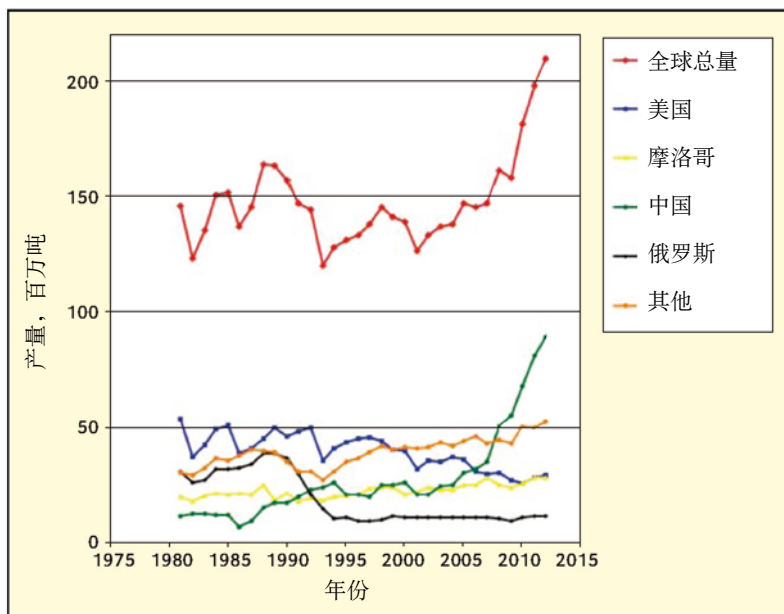


图 4 全球及某些国家磷矿生产（1981 年 - 2012 年）（资料来源：USBM 和 USGS）。

国家	储量 十亿吨	全球总量 %
摩洛哥和西撒哈拉	50,000	75
中国	3,700	6
阿尔及利亚	2,200	3
叙利亚	1,800	3
约旦	1,500	2
南非	1,500	2
美国	1,400	2
俄罗斯	1,300	2
秘鲁	820	1
沙特阿拉伯	750	1
其他	2,268	3
全球总量 (全面的)	67,000	100

亿吨，归因于摩洛哥最大磷矿项目的建设。

利用当前储量和生产图可粗略计算出 PR 储量寿命，即全球 PR 储量利用大于 300 年，资源利用大于 1400 年。因此，世界不会很快面临 PR 危机。需要再次强调的是，PR 储量是变化的，取决于不断更新的信息和新矿床发现，以及经济和技术变化的影响。在最近 5 年中，人们发现了许多新的沉积矿，以前发现的一些沉积矿床经研究后又确定了更多的储量。随着开采和加工技术的发展与进步，今天的资源可变为明天的储量。尽管如此，PR 还是一种不可再生的自然资源，因此我们在从生产到最终使用的整个过程中，都应当尽可能有效地管理它。

Van Kauwenbergh 先生是 IFDC 研究和发展部的一名地质学家和首席科学家 E-mail: svankauwenbergh@ifdc.org

Stewart 博士是 IPNI 南部和中部大平原项目部主任。

Mikkelsen 博士是 IPNI 美国西北部项目部主任。

参考资料 (略)

硫与植物营养

Rob Norton Robert Mikkelsen Tom Jensen

谢玲 译 涂仕华 校

(国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 原文译自《Better Crops》2013 第二期 10-12 页)

硫(S)是植物必需营养元素,但在植物中的浓度为所有大量元素之最低。植物能够同化硫酸盐并将它还原成必需氨基酸,在这一过程中S参与了一系列代谢功能,其中包括蛋白质合成。在全球很多地区,需要更多地关注硫在作物平衡营养中的作用。

硫(S)是植物必需营养元素,但在植物中的浓度为所有大量元素之最低。植物能够同化硫酸盐并将它还原成必需氨基酸,在这一过程中S参与了一系列代谢功能,其中包括蛋白质合成。在全球很多地区,需要更多地关注硫在作物平衡营养中的作用。

硫是植物和动物的必需大量元素,许多重要的代谢功能都离不开它。植物能将硫酸盐(SO_4^{2-})转化成有机化合物,但动物则必须食用含S氨基酸(蛋氨酸和半胱氨酸)。

近年来,作物对S的需求量越来越大,这是因为许多农作制中S的投入比以前显著减少。作物高产、有机质转化慢、含S投入品减少,以及改变农作模式都需要额外补充S肥。

虽然土壤中的S主要是在有机质中,但在绝大多数土壤中可溶性硫酸盐才是植物吸收的主要形态。这些硫被主动吸收(尤其是在根毛区)进入根,通过各种硫转运蛋白进入植物细胞。在植物体内,硫酸盐随蒸腾流移动,然后被贮存在液泡或参与一系列生化反应。叶片也能从大气中吸收二氧化硫(SO_2),但其吸收量通常 $<1/15$ 公斤S/亩/年。植物叶片也释放硫化氢(H_2S)气体,这被认为是暴露于高 SO_2 后的一种解毒机制。

大部分吸收的硫酸盐在叶绿体中被转化成半胱氨酸。植物体内大多数含硫有机化合物的合成从半胱氨酸开始。这一合成过程始于硫酸盐被还原成腺苷酰硫酸,最终形成不同的含S有机化合物(图1)。硫酸盐还原需要大量的生物能。其它重要的含S氨基酸包括胱氨酸(连接两个半胱氨酸分子)和甲硫氨酸(图2)。少量S与一些重要分子结合,如辅酶A、生物素、硫胺、谷胱甘肽和硫脂。



小麦缺S。插图显示的是一正常叶片(右)与缺素叶片(左)相比较(Sharma和Kumar, 2011)

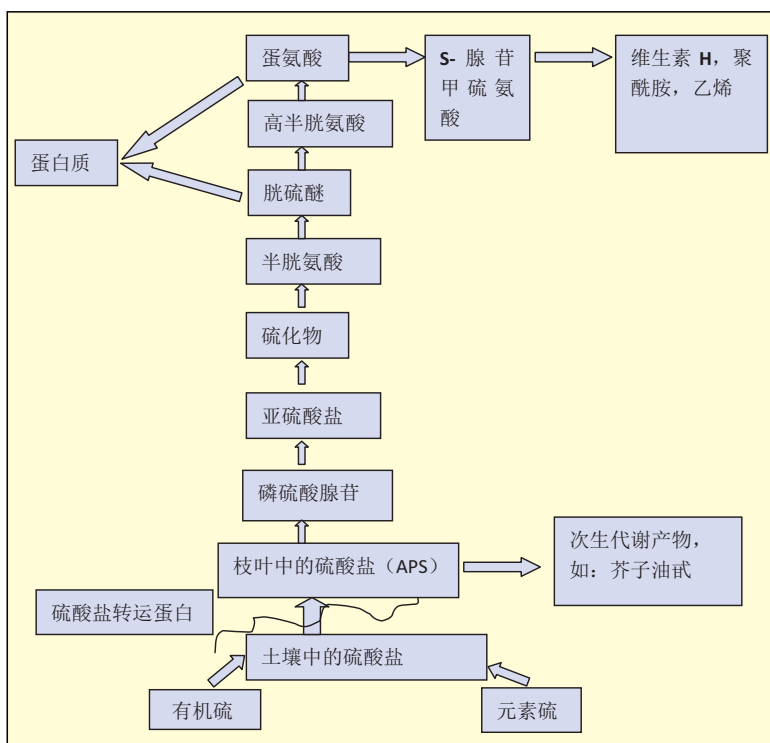


图1 硫酸盐还原和植物吸收的一般过程 (源自 Hawkesfor, 2012)

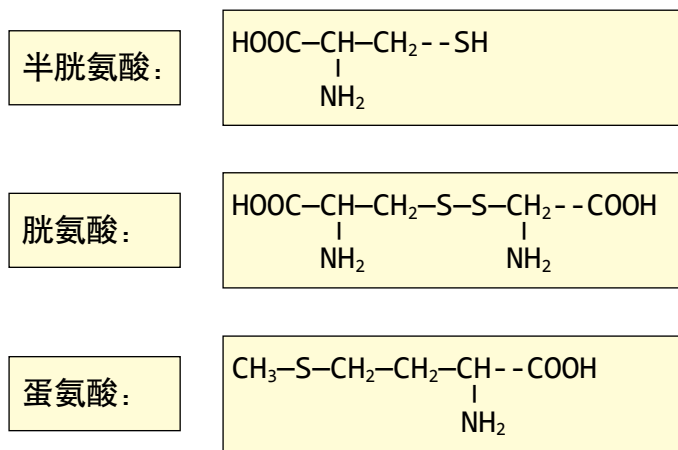


图 2 三种基本含 S 氨基酸

一旦硫酸盐转化成有机化合物，它们就通过植物韧皮部输送到活跃的蛋白质合成地点（特别是根和茎顶端、果实和籽粒），随后在植物体内基本上不再移动。缺 S 症状首先出现在比较幼嫩的组织上，叶片和叶脉由浅绿色变为黄色。这种失绿症状看起来与缺 N 相似，但是，因为 N 在植物体内移动性较强，所以缺 N 症状最先出现在较老的叶片上。当看见缺 S 症状时，再施用硫肥也许难以完全恢复某些作物的生长。

大量次生硫化物可为一些特殊植物种类提供生化优势。一些作物（如芸苔属的油菜和芥菜）需要较高的 S 来合成葡萄糖异硫氰酸盐化合物。葱属植物（如大蒜和洋葱）的蒜碱化合物含 >80% 的植物总 S。当洋葱和大蒜种在高硫土壤上，那些与挥发性 S 化合物有关的特殊味道和气味就会加重。这些化合物和其它含 S 化合物能抵御病虫害和环境胁迫。

作物对 S 的需求

作物对 S 的需求迥异，S 含量占作物干物重的 0.1 - 1%。芸苔属作物（如大白菜、花椰菜和油菜）对 S 的需求最大，其次是豆科，然后是禾谷类。

植物在生长过程中对 S 的需求也不同。例如，油菜在开花期和种子形成期对 S 的需求最大。玉米在整个生育期对 S 的需求基本稳定，其籽粒含 S 量大于整个 S 累积量的 50%。小麦在开花期和成熟期会消耗掉总 S 量的一半。需要检验每种作物的特殊养分需求（图 3）。

虽然作物种类和产量不同，在收获时带走的 S 量一般为 0.7 - 2 公斤 S/亩，尽管有些芸苔属作物的 S 吸收量可高达 4.7 公斤 S/亩（表 1）。

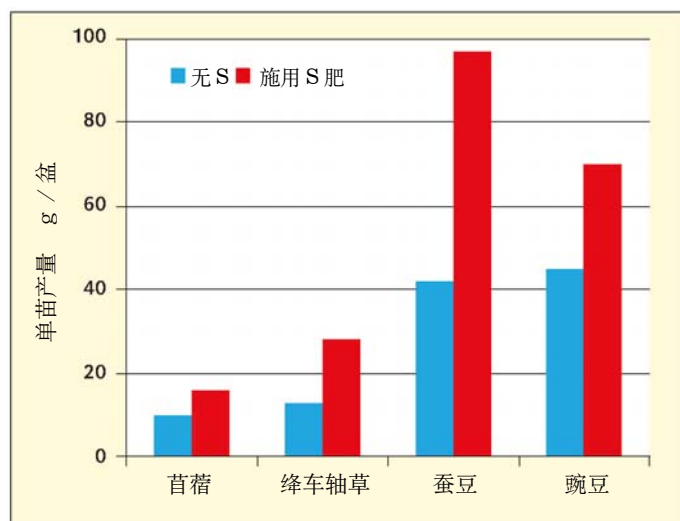


图 3 充足的 S 肥提高了苜蓿、红三叶草、蚕豆和豌豆的产量
(摘自 Lange,1998)

谷类	公斤 S/t	油料作物	kg S/t
小麦	1.4	油菜	5.0
大麦	1.2	向日葵	1.7
玉米	1.1	棉籽	2.9
水稻	0.9	亚麻籽	2.0
大豆	3.5	甘蔗（鲜重）	0.26
鹰嘴豆	1.8	苜蓿饲草（含水 13%）	2.6
紫花豌豆	2.1	青贮牧草（鲜重）	2.2
兵豆	1.4	啤酒花（干）	3.6

¹ 未收获植物部分的含 S 量可能与收获部分相同或更高。
来源：National Land and Water Resources Audit,2001。

作物品质

土壤缺 S 会导致作物产量和品质下降。提供充足的 S 是提高植物蛋白质品质的主要因素，S 对酶的结构和功能以及对叶片组织和籽粒的蛋白质影响很大。举例来说，充足的半胱氨酸对谷物蛋白质的形状和功能属性起到了关键作用。正因如此，用低 S 小麦面粉烘烤的面包不会发胀，导致面包不松软且形状不好。

硫的交互作用

由于 S 和 N 在蛋白质合成中都很重要，因此这两种养分总是紧密联系在一起，并通常被认为共同相互制约和相互促进。已知蛋白中每含 15 份 N，就大致含 1 份 S（N:S 比为 15:1）。然而，这一基本原则会因作物不同而改变。

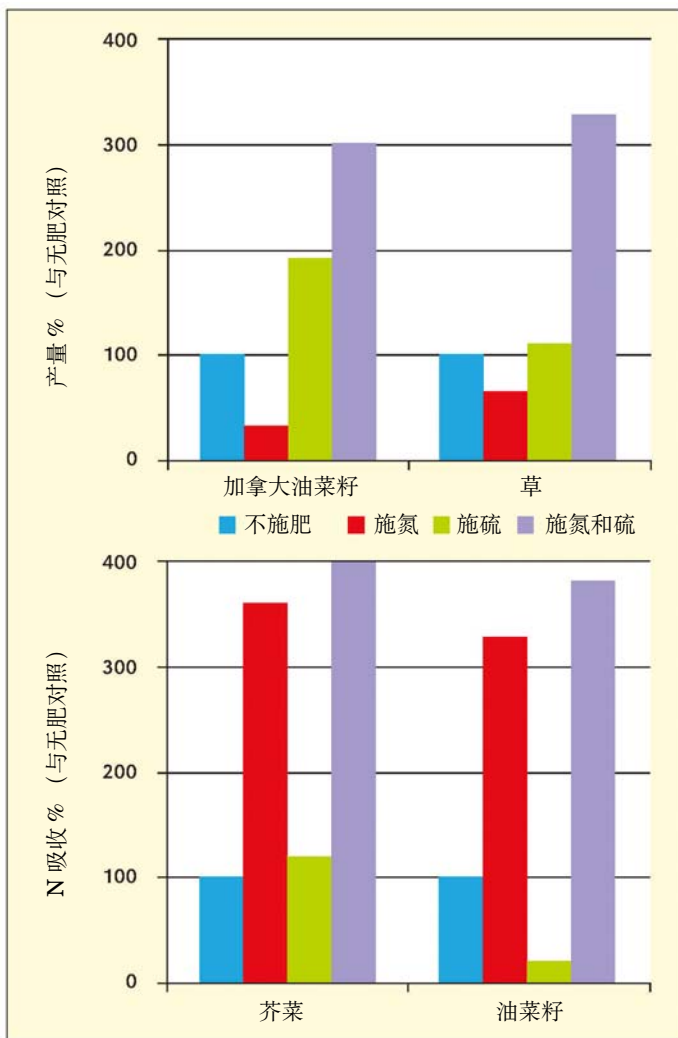


图4 单施N肥或S肥,或N和S肥配施对作物产量(上图)和N吸收(下图)的影响(Aulakh和Malhi,2004)

例如小麦籽粒的N:S比大约为16:1,而油菜籽的N:S比大约为6:1。

其它作物如小麦、糖甜菜和花生常被认为是需S较低的作物。有很多关于同时施用充足的N和S来获得理想产量的例子(图4)。豆类作物缺S同样可降低N的合理利用,这是因为缺S会减少根瘤数量和固氮效率。

过度依靠N:S比例用于缺S诊断会产生误导,这是因为即使N、S含量都很低时也可以得出合适的比例。同样,N或S任一过量也可使人们误认为另一养分缺乏。

施S不足不仅会降低产量和品质,而且会减少N利用率,增加N流失到环境的风险。研究表明对缺S牧草地施用S肥增加了牧草产量、提高了N肥利用率,减少了土壤N流失量。根据N与S的紧密关系,Schnug和Haneklaus(2005)估算,植物每缺少1个单位的S,就会导致15个单位的N损失到环境中。他们的计算认为,德国因缺S每年损失的N可达3亿公斤(或相当于全国

N肥消费量的10%)

施S量高可导致缺Mo。这是因为硫酸根和钼酸根(MoO_4^{2-})相互拮抗,竞争根部膜上的转运蛋白。巧合的是,Mo是调节有机硫化合物合成酶的重要组分。S和Se(尤其是硒酸根, SeO_4^{2-})因为同样的原因也相互拮抗。在正常含Se土壤上施S可减少牧草中的Se含量,导致食草动物缺Se。施用硫酸盐已被证明是减少植物从污染的土壤中吸收其它元素的有效方法。由于S氧化会使根际土壤酸化,因此,施用元素S可促进植物对金属微量元素(如Cu、Mn、Zn、Fe和Ni)的吸收。

用4R养分管理原则进行硫管理

4R养分管理原则(把正确的肥料品种和正确用量在正确时间施用到正确位置)适用于所有的植物养分。由于有多种S肥品种,包括粪肥,4R原则有助于这一养分的有效施用。作为这些4R理念的一个例子,硫酸铵[品种]通常在小种子作物播种时[时间]施入播种沟[位置],但是肥料用量[用量]必须要低,以降低种子受氨(NH_3)损害的风险,特别是播种沟很宽和在干燥及沙质土壤上。以下是把4R养分管理原理用于作物最佳S营养管理时应当考虑的事项。

肥料品种: S肥包括水溶性硫和可转换成水溶性硫的元素S。需要估算需要多少时间元素S才能转化成植物可吸收的水溶性硫。有多种S形态的优质固态和液态肥料,可作掺混肥或直接施用。将可溶性硫与元素S混合非常有用,它可以为植物提供即效和长效S营养。元素S的颗粒大小是决定这个估算的关键,因为小颗粒S氧化成硫酸盐比较大颗粒更快。

施用时间: 由于硫酸盐肥料品种具有速效性,因此应根据作物需肥时间来施用。但元素S必须提前施用,以保证有足够的时间让微生物氧化。冬季温度寒冷的地方,更要在作物吸收之前几个月施用。在温暖土壤条件下,硫从土壤有机质和作物残茬中的释放速度很快,在作物生长季节就能提供大量的S。绝大多数作物生长需要硫的稳定供给。

施用位置: 把S肥带状施用在一年生作物的种子带旁非常有效。但要注意避免大量硫酸盐直接与幼苗接触,防止反渗透对根部的损伤。由于硫酸盐在土壤中易移动,它会随水分移动通过根区。施用元素S最有效的方法是

(未完,下转43页)

土壤与硫肥

Robert Mikkelsen Robert Norton

谢玲 译 涂仕华 校

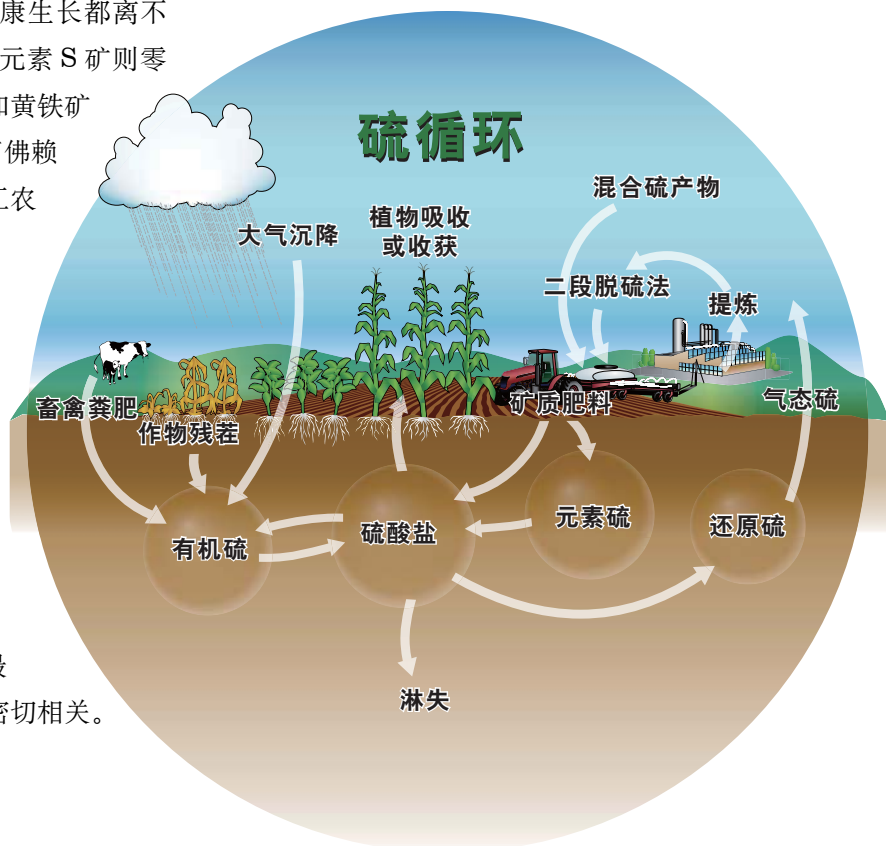
(国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 原文译自《Better Crops》2013 第二期 P7-P9)

植物生长离不开硫(S)的持续供给。虽然有机质是土壤中的最大S库,但它必须转化成可溶性硫酸盐才能被植物吸收。S肥的主要来源是通过清洗石化燃料来获得。当我们以正确用量在正确时间和正确位置施用S肥时,有多种优质的速效和缓效S肥可满足植物营养需求。

硫在自然界分布广泛,动、植物的健康生长都离不开它。硫通常在火山活动地区累积,大的元素S矿则零星分布在世界各地。到目前为止,火山S和黄铁矿(Fe_2S)都是S的主要来源。20世纪发明了佛赖什采磁法,它将地下的S矿溶解提取,为工农业生产提供更多的S源。

石化烃含S是因为S最先存在于形成石化烃的有机物中。这种石化S是石油、甲烷、油砂和煤炭生产的副产品。在燃烧过程中从石化燃料中回收硫减少了空气污染。目前,所有石油或天然气加工和精炼厂都在提取元素S。世界上的硫是以固态或熔融态进行交易的。

在许多工业生产中硫是一种非常重要的产品,特别是硫酸。磷肥生产则是S的最大用途。全球S的供应和价格与磷肥市场密切相关。



土壤中的硫

有机S

土壤中的S主要以有机化合物形态出现,赋存于作物残茬和土壤有机质中(占全S的98%)。尽管有机质中有多种含S复合物(如硫酸酯和C-S键化合物),但不能被植物根系吸收利用,除非它们被微生物转化成可溶性硫酸盐。

在微生物作用下,土壤中的硫在有机和无机形态之间不断转化。当硫作为微生物反应的副产物被释放出来时,矿化就发生了。当硫在微生物繁殖过程中成为微生物体的组成成分,固定就发生了。

用来预测土壤中的硫到底是净矿化还是净固定的一个简单技术就是测定土壤中的碳(C)硫比。当土壤有机质的C:S的比例 $<200:1$ 时,硫被释放;而当C:S比 $>400:1$ 时,硫被固定。当C:S比在这两个比值之间时,就很难说硫被固定还是被释放。

土壤有机质中的硫通常矿化太慢,不能满足高产作物的营养需求。必须施用矿质硫肥或有机肥来解决硫的供应不足。



元素 S



硫酸铵



无水钾镁矾



硫酸钾

无机 S

土壤中无机硫仅占全硫含量的很小一部分。硫酸盐是土壤无机 S 的主要形态。它溶于水，持留在土壤矿物表面，或存在于石膏矿物中。在湿地或排水不良的土壤中，硫化矿物（如黄铁矿）就会累积。

硫酸盐通常是可溶的，并随土壤水分移动。它仅被土壤粘粒和矿物微弱地吸持（吸附），特别是在低 pH 条件下。土壤吸附的硫酸盐可代表植物重要的营养库，尤其是在酸性底土中。一些土壤会产生硫的专性吸附，特别是在那些游离铁铝氧化物和水化物含量高的土壤上。可通过施用石灰和磷肥来减少非专性吸附的硫。

硫酸盐淋失

降雨或灌溉是硫酸盐从根区淋失的主要途径。虽然流失量的多少取决于土壤和环境因素，但每年的流失量大约为 0.3–4 公斤 S / 亩。从作物生长旺盛的土壤上流失的硫通常比空地少得多。覆盖作物常用来降低硝酸盐淋失，但它们同样有助于处于流失风险的硫酸盐的吸收和循环利用。

挥发

在厌氧土壤条件下，硫酸盐被细菌还原成各种植物不能吸收利用的化合物，包括二硫化碳、氧硫化碳、二甲基二硫醚、甲硫醇和挥发性硫化氢气体。硫化物常与铁反应形成黄铁矿。

大气 S

二氧化硫 (SO₂) 是很容易发生反应的气体之一，它由石化燃料燃烧排放而来。因为 SO₂ 排放会损伤呼吸系统和形成酸雨，政府出台规定对其释放进行限制。石化燃料中（特别是硫化氢）很多 S 在燃烧之前都要被洗去，是商品 S 的主要来源。

环境考虑

尽管政府没有饮用水中硫的限定指标，但考虑到饮用水的味道和气味，美国环境保护署还是提出了 250 毫克 / 升的限量。当井水含硫化氢时，哪怕只有几个毫克 / 升都会导致口感不好和气味难闻。在地表水中，硫酸盐几乎不是一个刺激水生生物生长的限制养分，但它可能参与继发反应。

植物养分硫

如果不施 S 肥，收获作物会逐逐渐耗竭土壤 S 库。有机物含量高的土壤可以不施硫肥，但定期施硫会提高作物产量和改善土壤肥力。

土壤和植株测试

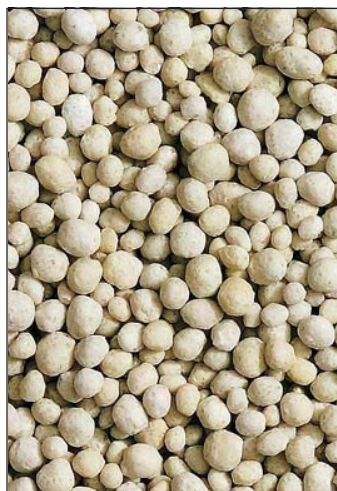
已经建立了各种土壤测试方法来预测 S 的植物有效性。这些测试在一些地区比另一些地区更为成功。由于估算的植物有效 S 部分取决于土壤有机质矿化，土壤测试就成了成功预估的一个方法。质地粗的土壤有机质含量低，植物生长对 S 肥的反应就很常见，但在世界上许多地方我们都观察到了施用 S 肥使作物增产的情况。

因为硫酸盐在土壤中易于移动，它可以在表土层下积累。用作 S 分析的土样应反映作物的整个根层，即表层以下 S 的状况。包括较深土层的分析通常会改善土壤 S 测定值的预测效果，尤其是对粗质地土壤。

植株分析一直是一种值得信赖的用于评估是否需要施用硫肥的方法。尽管不同作物种类的取样部位和取样时间各不相同，但一般来说是在作物需 S 高峰期采集植物的幼嫩部位。需要注意的是，如果出现养分分层，即 S 位于土壤较深的地方，只有当植物根系达到这一土层时，根系才能吸收到 S。



硫代硫酸钾



硫酸镁石



石膏



过磷酸钙

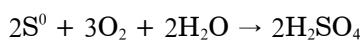
用于植物的 S 肥

如果诊断结果表明要施 S，有多种优质 S 肥品种可供选择用作土壤施用。

元素 S (99% S)：元素 S 不溶于水，它需要经过土壤微生物氧化成硫酸盐，植物才能吸收。硫的氧化速率受制于元素 S 的特性和各种土壤环境条件。

单位质量 S 颗粒的表面积与其颗粒大小成反比。土壤微生物对小颗粒 S 的氧化比大颗粒 S 更快，这是因为小颗粒的表面积更大。然而，想把细小的 S 颗粒均匀施用则相当困难，空气中的 S 尘可引起火灾隐患，并刺激呼吸系统，这使它们实际上很难成为常用肥料。增大 S 颗粒与土壤的接触面积会加速元素 S 转化成硫酸盐，因此把 S 与土壤混合比带状施用更可取。

各种土壤微生物都能氧化元素 S，特别是硫杆菌类(酸性硫杆菌)。当土壤温度、水分、pH 和通气条件都适合微生物生长时，S 的氧化就会比在凉爽干燥条件下更加快。



元素 S 硫酸

元素 S 也可被用作降低土壤和水 pH 的一种酸性物料。常用概算是 1t 元素 S 能中和 3t 石灰。它作为杀真菌剂已有很长历史了。

粘土硫 (90% S)：将熔融 S 与大约 10% 的斑脱土混合制成颗粒(或錠)。当颗粒中粘土在土壤中吸湿后，就会膨胀并分裂成许多碎片，这些碎片具有很大的反应表面积。许多粘土硫产品都添加了各种微量营养元素(包括

Zn、Fe 和 Mn)，这些微量营养元素可通过 S 氧化产生的酸性而提高有效性。

石膏 (16-18% S)：硫酸钙 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 微溶于水(0.2 克/升)，在缓慢溶解过程中给植物提供硫。此外，土壤缺钙时可作为钙肥施用，也被用来改良碱土。

过磷酸钙 (11-12% S)：这种肥料是硫酸与磷矿粉反应产生的磷酸一钙和石膏的混合物。该肥料已被逐渐淘汰，取而代之的是浓度更高、运输和处理成本更低的 P 肥。

硫酸铵 (24% S)：硫酸铵 [$(NH_4)_2SO_4$] 是一种同时能提供 N 和 S 的常用肥料。绝大多数硫酸铵为各种工业过程的副产品，尽管有时是通过氨水与硫酸反应而成。硫酸铵易溶于水且常被用于液态肥中。施用 $(NH_4)_2SO_4$ 使土壤酸化是铵的硝化作用(变成硝酸)的结果，而非硫酸盐本身。

硫酸钾 (17-18% S)：这种常用肥料 [K_2SO_4] 可直接从海洋卤水中提取或是通过不同的矿物和酸反应制成。它极易溶于水，因此它对植物来说是一种极好的硫酸盐品种。

硫酸钾镁(无水钾镁矾) (20-22% S)：无水钾镁矾 ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$) 是从地矿中提取的，给植物提供三种必需元素。它具有很好的溶解性。

硝铵硫酸 (6-14% S)：这种物质是通过硝酸与硫酸反应，再用氨中和而成。其含 S 量取决于反应物质。最近，一种新的硝铵硫酸肥料是将硝铵与硫酸铵熔融形成颗粒(14% S)。

富硫肥料：常用肥料(如磷酸一铵或磷酸氢二铵)有时会添加元素 S 和硫酸盐的小颗粒混合物，给作物提

供速效和缓效 S。元素硫产生的酸有利于保持 P 和 Zn 等养分的溶解性。

硫代硫酸盐 (10-26% S)：硫代硫酸盐肥为透明液态，S 形态为 $S_2O_3^{2-}$ 。这种液态肥通常与其它肥料溶液混合。在温暖土壤条件下，硫代硫酸盐在一周或两周以内就会转化为硫酸盐。

硫酸镁 (10-26% S)：这种物质有两种常见来源，硫酸镁石 ($MgSO_4 \cdot H_2O$) 和泻盐 ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)。这些物质易溶于水可提供速效硫酸盐。

粪肥和堆肥：粪肥和堆肥的含硫量不定，这取决于动物种类、饲料类型和处理方法。以干基计，粪肥和堆肥的含硫量大致为 0.3-1%。有机硫需要一定矿化时间转化成硫酸盐，植物才能吸收利用。

如何选择合适的 S 肥品种取决于土壤特性，如淋失潜力、pH 和有机质含量。是否要在硫肥中加入其它养分也需要考虑。对 S 肥速效性的需求会影响特定肥料品种的选择。

缩略语：N= 氮；P= 磷；S= 硫；Fe= 铁；Mn= 锰；Zn= 锌；ppm= 百万分之一。

Mikkelsen 博士是 IPNI 北美项目西部片区主任，E-mail: rmikkelsen@ipni.net

Norton 博士是 IPNI 澳洲和新西兰项目部主任，E-mail: rnorton@ipni.net

(上接 39 页)

撒施，随后耕入土中。在淹水土壤上，最好将元素 S 施用在土壤表面，从而使它在土-水界面这一薄层有氧区被氧化成硫酸盐。

施用量：施 S 量应根据作物需求、土壤条件（如土壤质地和有机质含量）和环境因素（如温度和降雨）而定。硫肥施用通常要考虑多年作物轮作。比如在加拿大西部的油菜-大麦-小麦轮作中，油菜的需 S 量很高，可以通过油菜季施用 S 肥来满足三年轮作对 S 的需要。

充分的 S 营养是维持作物产量和品质所需要的。缺 S 会降低蛋白质合成、N 肥利用率和豆科作物的固氮 (N_2) 能力。运用 4R 养分管理原则能明确是否需要补充 S 肥来解决植物潜在的缺 S 问题。

缩略语：N= 氮；Cu= 铜；Fe= 铁；Mn= 锰；Mo= 钼；Ni= 镍；Se= 硒；Zn= 锌。

Norton 博士是 IPNI 澳洲和新西兰项目部主任，E-mail: rnorton@ipni.net

Mikkelsen 博士是 IPNI 北美项目西部片区主任，E-mail: rmikkelsen@ipni.net

Jensen 博士是北部大平原地区主任，E-mail: tiensen@ipni.net

参考资料 (略)

马铃薯对添加二羧酸聚合物磷肥的反应

Jeffrey C. Stark Bryan G. Hopkins

谢玲 译 涂仕华 校

(国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 原文译自《Better Crops》2013 第三期 7-10 页)

在碱性土壤上提高磷肥的利用率很难, 因为它溶解性很差。把一种二羧酸聚合物 (DCAP) 加入磷肥能提高马铃薯的吸磷量、肥料利用率和马铃薯产量。九个持续五年的田间试验研究了在含磷中、低水平的钙质土上, 马铃薯对液体和固体磷肥添加或不加 DCAP 的反应。结果表明, 在选定的磷肥用量 / 品种 / 施用时间情况下, 9 个试验中有 7 个施用 DCAP 后提高了第一流品质的“美国一级”马铃薯产量。

保持充足的磷供给对马铃薯植株生长发育、块茎生长和促进块茎成熟至关重要。缺磷会显著降低薯产量和大小。因此, 施肥措施必须针对立地条件和轮作系统的特点, 维持整个生育期中磷的有效供给。在美国太平洋西北部沿岸马铃薯种植区的土壤水溶性磷含量通常很低, 因此在马铃薯生长季节土壤水溶性磷必须得到持续补充。

在这些碱性土壤上, 确定磷肥推荐用量的主要因子是土壤磷素测定值、过多的 CaCO_3 含量和目标产量。土壤中过多的 CaCO_3 会增加 P 的表面吸附和形成难溶性 Ca-P 矿物。这些过程的综合作用总体上是降低磷肥的有效性。在反映该区域马铃薯的磷肥推荐中, 需要根据土壤 CaCO_3 含量进行调整。

在该区域, 马铃薯的磷肥主要在秋季或春季进行撒施, 或起垄时集中条施, 或播种时地表条施。钙质土壤上种植马铃薯条施磷肥的有效性因磷肥种类不同差异很大, 肥料溶液的酸度是主要影响因子。把磷肥带状集中在靠近早期根系发育的土壤中非常有效。

一种提高磷肥有效性的方法是在施肥时降低肥料附近的潜在活性阳离子数量。由马来酸和衣康酸聚合形成的长链二羧酸 (DCAP) 共聚物 (AVAIL[®]; SFP, Leawood, KS, USA) 被用来提高作物对磷的吸收效率 (图 1)。它水溶性高, 在土壤中移动性小。用 DCAP 包衣的磷酸一



马铃薯在茎块膨大期对磷的日均吸收量通常为 0.05-0.12 公斤 P_2O_5 / 亩 / 天

铵 (MAP) 能显著改善肥料颗粒附近土壤的化学特性, 从而提高磷的吸收和作物产量。DCAP 也用于液体磷肥。

据报道, DCAP 包衣能够产生高负电荷密度的化合物, 并很快在土壤中溶解。该聚合物能螯合土壤中的阳离子 (如 Ca, Mg), 因而提高磷的溶解性和作物吸收。有大量文献报道 DCAP 能显著提高多种作物产量。但是, 也有不少文献指出, DCAP 处理的磷肥没有增产作用, 与无 DCAP 处理的磷肥效果一样。在什么特定条件下 DCAP 才有效果还正在研究当中。

本研究的目的是评估在中、低磷水平的钙质土壤上, 在秋季和春季施用经过 DCAP 处理的固体和液体磷肥对马铃薯产量的影响。马铃薯的最佳推荐施磷量比其他农作物高。

2004~2008 年, 在美国爱达荷州东南部开展了灌溉条件下的 9 个田间试验。其他试验细节参见 Hopkins

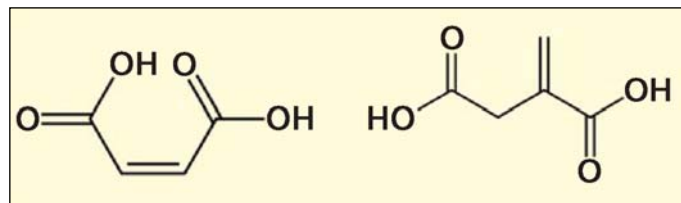


图 1 二羧酸聚合物是由一个马来酸 (左) 与衣康酸 (右) 长链组成。二羧酸是两个羧酸官能团的有机化合物。

试验	年份	土壤类型	pH	有机质	CaCO ₃	可提取土壤
				%		P 毫克/千克
1	2004	砂壤	8.0	2.1	1.0	35
2	2004	壤土	7.9	1.9	5.4	19
3	2004	壤土	8.0	1.7	3.4	18
4	2004	砂壤	8.1	2.4	2.9	21
5	2005	壤土	7.8	2.9	1.5	30
6	2005	砂壤	8.1	1.7	5.6	19
7	2006	壤土	8.1	2.8	9.7	17
8	2007	砂壤	8.1	1.9	6.8	18
9	2008	砂壤	8.3	2.1	7.2	21

¹Olsen-P

(2013) 和 Stark and Hopkins (2013) 的论文。试验用马铃薯品种为 Russet Burbank, 土壤 pH 7.8~8.3, CaCO₃ 含量在 1.0~9.7% 之间 (表 1)。

试验 1~5 (2004~2005)

表 1 中前 5 个试验于 2004~2005 年在爱达荷州立大学阿伯丁研究示范中心进行。小区宽 3.6 米 (4 行, 行间距 0.9 米), 长 12 米, 马铃薯株距 30 厘米, 重复 6 次, 小区完全随机区组排列。处理包括对照 (不施磷肥), 4.5 公斤 P₂O₅/亩 MAP, 4.5 公斤 P₂O₅/亩 MAP+1% (w/v) DCAP。

肥料在播种前 0~3 天撒施, 用常规耕作法混入土中。磷肥用量基于 0~25 厘米的土壤测试值, 但稍高于爱达荷州立大学的推荐量。所有小区的氮施用量相同, 氮肥品种为尿素, 与磷肥同时撒施。收获时, 薯块经分级和称重来确定总产和美国一级薯块产量, 这样就可以显示出获得市场最高价格马铃薯的一流品质。

5 个试验中有 3 个表现出磷肥的显著 ($p \leq 0.07$) 增产效果 (表 2)。在试验 2 与 4 中, 施用 MAP 比不施磷肥的对照显著提高了薯块总产, 但在试验 1 中 DCAP 降低了薯块总产, 因为这个试验土壤初始磷含量很高。

只有在试验 2 中施用磷肥才增加了美国一级薯块的产量。MAP 在其他试验中没有效果, 这毫不奇怪, 主要是因为这些试验土壤磷测试值都相对较高。有意思的是施用 MAP 获得增产的两个田块是五个试验中土壤磷测试值最低的两个 (表 1)。两个施用 MAP 获得增产的试验 (试验 2 和 4) 在加施 DCAP 时获得进一步增产。虽然在试验 3 中单施 MAP 没有增产效果, 但 MAP+DCAP 处理比对

肥料	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5
----- 总产量, 吨/公顷 -----					
对照	44.0	35.5	27.6	28.4	39.6
MAP	45.8	39.1	30.4	36.7	40.8
DCAP	35.5	43.5	34.3	42.3	44.8
LSD _{0.10}	5.3	3.5	3.7	5.3	NS
Pr>F	0.018	0.045	0.067	0.017	0.103
----- 美国一级薯块产量, 吨/公顷 -----					
对照	30.3	21.9	16.8	17.6	23.1
MAP	31.6	26.7	17.6	21.9	23.7
DCAP	17.3	30.7	19.1	23.8	25.1
LSD _{0.10}	4.5	3.8	NS	5.8	NS
Pr>F	0.012	0.033	0.218	0.038	0.246

照和单施 MAP 处理都增加了薯块总产。

美国一级薯块产量在试验 1、2 和 4 中差异显著 (表 2)。与总产一样, 试验 2 中 MAP+DCAP 处理比单施 MAP 处理显著提高了美国一级薯块的产量。在试验 4 中, MAP+DCAP 处理的美国一级薯块产量比不施磷处理显著提高, 但与单施 MAP 处理差异不显著。在试验 1~5 中, MAP+DCAP 处理在中后期所有取样时间的植株叶柄磷含量都显著高于其他处理 (数据没有列出)。

试验 6~9 (2005~2008)

试验 6、8 和 9 在爱达荷州立大学阿伯丁研究示范中心进行, 试验 7 在 Blackfoot, ID 附近的一个农场主的田块中进行。小区宽 3.6 米 (4 行, 行间距 0.9 米), 长 15~18 米, 马铃薯株距 30 厘米。试验 6 和 7 的处理包括一个对照处理 (不施 P), 不同用量 MAP+/-1% (w/v) DCAP。试验 8 和 9 的处理也包括一个对照处理 (不施 P), 不同用量 MAP+1% (w/v) DCAP 或聚磷酸铵 (APP) +/-0.5% (w/v) DCAP。

除磷以外所有其他养分的最佳 (产量) 用量都是基于上个秋季的土壤测试值。所有小区氮肥用量相同, 氮肥品种为尿素, 与磷肥同时撒施, 根据需要进行灌溉。收获时, 薯块经分级和称重来确定总产和美国一级薯块产量。

试验 6 和 7 使用裂区随机完全区组 (RCB) 设计, 秋季或春季施肥为主处理, 磷肥种类和用量为副处理, 试验 4 次重复。磷施用量分别为 0, 112 和 15 公斤 P₂O₅/亩。试验 8 的设计与试验 6 和 7 相似。只是春季磷肥不

用撒施，而是条带施用。磷处理包括：春、秋季都施磷肥（0, 12, 18 公斤 P_2O_5 /亩），只在春季带状施用磷肥（0, 12, 18 公斤 P_2O_5 /亩），即 APP+/-DCAP；分次施用：秋季+春季施肥包含秋季撒施 MAP（6 或 12 公斤 P_2O_5 /亩）+/-DCAP 加上春季条带施用 6 公斤 P_2O_5 /亩 APP+/-DCAP；对照处理不施用磷肥；APP 在起垄时带状条施到离垄顶面 15~20 厘米深和离种子行 9~10 厘米远处。

试验 9 的处理包括磷肥（0, 6, 12, 18 公斤 P_2O_5 /亩）全部在春季施用；磷肥处理为 45 或 6 公斤 P_2O_5 /亩 MAP+/-DCAP 撒施，其余为 APP+/-DCAP 在播种前条带施用，如前所述。

在试验 6 中，施磷显著提高马铃薯总产量（ $p \leq 0.10$ ）。施磷处理的平均总产量（2.86 吨/亩）高于对照处理的平均总产量（2.56 吨/亩），但磷肥类型、施用量以及配合施用 DCAP 对总产量的影响差异不显著（表 3）。

在试验 6 中，施磷对美国一级薯块产量增产显著（ $p \leq 0.05$ ）。所有施磷处理都比对照（春、秋两季施肥）处理获得更高的美国一级薯块产量。在秋季施用 MAP 15 公斤 P_2O_5 /亩和春季施用 MAP 7.5 公斤 P_2O_5 /亩时，DCAP 包衣处理比无 DCAP 包衣处理能显著增加美国一

级薯块产量。但是，DCAP 处理生产的美国一级薯块产量在施磷时间/施磷量的组合上没有差异。另外，秋季施磷比春季施磷能获得更高的美国一级薯块产量。

在试验 7 中，MAP+DCAP 处理比单施 MAP 能显著提高（ $p \leq 0.05$ ）薯块总产和美国一级薯块产量。DCAP 处理在较低施磷水平（7.5 公斤 P_2O_5 /亩）时对这两个产量参数的效果最好，特别是总产。除春季施用 15 公斤 P_2O_5 /亩外，DCAP 处理在所有施磷量/施磷时间组合上都获得更高的美国一级薯块产量。在试验 8 中，施用 DCAP 对总产和美国一级薯块产量影响都不显著（表 4）。但施磷对总产和美国一级薯块产量影响都显著，DCAP 只对部分施磷水平/时间组合有影响。例如，在 12 公斤 P_2O_5 /亩施磷水平下，春季和秋季施磷 +DCAP 比不施 DCAP 增加薯块总产。与之相反，在 18 公斤 P_2O_5 /亩施磷水平下，春季和秋季施磷 +DCAP 比不施 DCAP 降低薯块总产。

试验 9 是全面研究马铃薯对春季施磷的反应，并把磷肥中 MAP 撒施和 APP+/-DCAP 带状施用的量平均分配。与不施磷相比，每一施磷水平 +DCAP 都显著提高了美国一级薯块产量 18~26%。薯块总产也有相似趋势，但处理间差异不显著（表 5）

表 3 试验 6 和 7 春、秋施 MAP 及 MAP+DCAP 对 Russet Burbank 马铃薯总产和美国一级薯块产量的影响。

肥料	试验 6		试验 7	
	春施 P	秋施 P	总产量	美国一级薯块产量
	公斤 P_2O_5 /公顷	公斤 P_2O_5 /公顷	吨/公顷	吨/公顷
对照	0	0	37.9	23.7
MAP	112	0	43.0	30.0
DCAP	112	0	44.1	28.1
MAP	224	0	43.9	28.8
DCAP	224	0	44.2	32.5
对照	0	0	38.9	20.8
MAP	0	112	39.9	24.3
DCAP	0	112	43.1	29.2
MAP	0	224	42.2	24.3
DCAP	0	224	42.8	24.5
处理方法				
MAP			42.3	26.8
DCAP			43.6	28.6
秋施			43.8	29.9
春施			42.0	25.6
LSD _{0.05}			ns	2.8
PR>F			0.093	0.052

表 4 试验 8 春季和秋季施 MAP 或 APP+/-DCAP 对 Russet Burbank 马铃薯总产和美国一级马铃薯产量的影响。

肥料	秋施 P		春施 P		总 P 千克 P_2O_5 /公顷	总产量 吨/公顷	美国一级薯块产量吨/公顷
	公斤 P_2O_5 /公顷	公斤 P_2O_5 /公顷	公斤 P_2O_5 /公顷	公斤 P_2O_5 /公顷			
对照	0	0	0	0	0	44.3	25.7
MAP/APP	90	90	0	0	0	45.7	26.0
MAP/APP	90	90	+DCAP	180	180	49.7	26.6
MAP/APP	180	90	0	180	180	51.9	30.5
MAP/APP	180	90	+DCAP	270	270	47.7	26.6
对照	0	0	0	270	270	45.1	24.2
APP	0	180	0	0	0	48.1	29.8
APP	0	180	+DCAP	180	180	50.4	29.9
APP	0	270	0	180	180	50.1	31.3
APP	0	270	+DCAP	270	270	48.2	29.3
处理方法						270	
-DCAP						49.0	29.4
+DCAP						49.0	28.1
秋/春施						48.8	27.4
春施						49.2	30.1
LSD _{0.05}						3.9	5.1
PR>F						0.003	0.050

表 5 试验 9 春施 MAP 或 APP+/-DCAP 对 Russet Burbank 马铃薯总产和美国一级薯块产量的影响

总 P	MAP	APP	DCAP	总产量	美国一级薯块产量
	千克 P ₂ O ₅ / 公顷				
对照	0	0	0	40.4	21.8
90	45	45	0	44.1	22.3
90	45	45	+DCAP	43.6	28.2
180	90	90	0	41.8	22.5
180	90	90	+DCAP	50.0	26.6
270	90	180	0	43.1	25.2
270	90	180	+DCAP	45.6	29.8
处理方法					
磷肥				43.0	23.3
磷肥 +DCAP				46.6	28.2
LSD _{0.05}				ns	4.1
PR>F				0.37	0.05

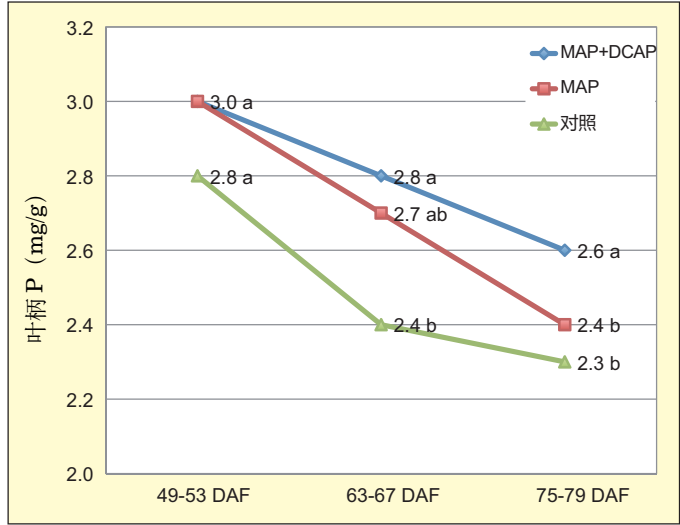


图 2 无 P 肥 (对照)、MAP 或 DCAP+MAP 处理的马铃薯叶柄磷含量 [数据整合了试验 1-5 (DAF= 施肥后的天数) 一组 DAF 数据点标明相同字母表明差异不明显]

在试验 1~5 中, MAP+DCAP 处理中、后期叶柄 P 含量比其他所有试验和处理显著高许多 ($p \leq 0.10$) (图 2)。但是在试验 6~9 中, 磷肥品种或施磷时间对薯茎、薯块和植物总吸磷量没有显著影响 ($p \leq 0.05$), 所有处理间的叶柄磷含量也没有显著差异 (数据没有列出)。

结论

9 个试验有 7 个在添加 DCAP 后能增加某些磷肥用量 / 品种 / 施用时间组合的薯块总产和美国一级薯块产量。毫不奇怪, 这些结果表明用 DCAP 处理磷肥的正效果似乎是只有在土壤含 P 量很低或在中、低施 P 水平下才会产生。这些试验结果和其他研究人员都认为, 过高的施磷量会掩盖 DCAP 的效果。

很显然, 根据大量研究人员的一系列田间肥料效应试验报道, 很多因素包括作物种类、土壤性质、肥料类型、施肥量、施用方法、施用时间等都会影响作物对磷肥 +DCAP 混合施用的效果。但是在马铃薯、水稻、玉米等作物上观测到的 DCAP 增产效果越来越多, 这为该产品的后续研究及进一步提高 DCAP 的效应和预测性提供了保障。

为了读者标明了商品名和公司名, 并不代表作者或 IPNI 有任何宣传性暗示或对产品的偏好。

Stark 博士是爱达荷州大学植物、土壤和昆虫学系教授; E-mail: jstark@uidaho.deu

Hopkins 博士是美国杨百翰大学植物和野生动物科学系的教授; E-mail: Hopkins@byu.edu

参考资料 (略)

2014 年 IPNI 研究生奖学金评选结果揭晓

为鼓励在植物营养和养分管理相关学科取得优异成绩的优秀研究生，2014 年国际植物营养研究所 (IPNI) 研究生奖学金获得者已揭晓。经过评审委员会严格按照标准对每一位申请者的学术业绩和其他各方面进行评价，结果有 30 位来自不同国家和地区的在读研究生获得 2014 年度 IPNI 研究生奖学金。中国有 5 位研究生获得了这项奖励，每位获奖者得到 2000 美元资助。



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

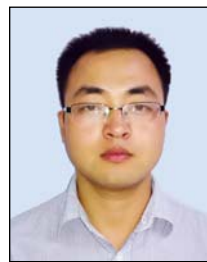


郝艳淑，华中农业大学植物营养学专业硕博连读研究生。主要从事棉花钾营养高效机理研究。通过探讨不同钾效率棉花基因型在根系构型，钾素吸收机制，光合产物的分配及其环境经济效益的差异揭示棉花钾素高效的生理机制。毕业后希望继续从事农业科学相关的研究，为农业的可持续发展贡献自己的力量。



陈延玲，中国农业大学植物营养学硕博连读研究生。主要研究玉米高产与氮高效利用的协同机制，为进一步优化现代玉米绿熟品种，实现玉米产量与氮转运效率的同步增加提供理论依据。毕业后希望在高校或农业科

研单位继续从事植物营养领域的科研和推广工作，为国家现代农业发展和粮食安全做贡献。



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



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

IPNI 研究生奖学金自 2008 年设立了研究生奖学金，凡有 IPNI 项目的任何国家，在具有学位授予资格的单位从事土壤和植物营养学相关学科的在读研究生都有资格申请。截止到 2014 年已有 25 位来自中国研究生获得此项殊荣。请符合条件的研究生请于每年 6 月 30 日前提交申请，详情请随时关注 www.ipni.net/awards。