

BETTER CROPS CHINA 2010年5月(总第24期)



高效施肥

本期提要

加拿大钾肥公司在中国的平衡施肥示范项目报告 (24)

我国小麦最佳养分管理研究进展

春蚕豆钾肥用量研究

华北南部补灌区夏玉米氮肥适宜用量研究

施肥对甜菜产量、干物质积累和养分吸收规律的影响

有机食品的营养品质 —— 一篇系统综述

安徽省芝麻高效平衡施肥技术研究

施钾对饲用玉米产量与营养品质的影响

施肥水平对胡麻干物质积累及养分吸收特性的影响

施钾对长绒棉干物质积累、分配和产量品质的影响

秸秆移走对小麦及大麦田的影响综述

滇池周边不同玫瑰品种农业面源污染防控氮素管理研究

氮肥减施对稻麦轮作体系作物氮素吸收、利用的影响

金继运研究员荣获2010年国际肥料工业协会 (IFA) NORMAN BORLAUG 奖

高效施肥 2010年5月

本期目录

页数

| | |
|--|----|
| 加拿大钾肥公司在中国的平衡施肥示范项目报告 (24) | 1 |
| 我国小麦最佳养分管理研究进展 | 2 |
| 春蚕豆钾肥用量研究 | 17 |
| 华北南部补灌区夏玉米氮肥适宜用量研究 | 20 |
| 施肥对甜菜产量、干物质积累和养分吸收规律的影响 | 24 |
| 有机食品的营养品质——一篇系统综述 | 29 |
| 安徽省芝麻高效平衡施肥技术研究 | 37 |
| 施钾对饲用玉米产量与营养品质的影响 | 41 |
| 施肥水平对胡麻干物质积累及养分吸收特性的影响 | 46 |
| 施钾对长绒棉干物质积累、分配和产量品质的影响 | 51 |
| 秸秆移走对小麦及大麦田的影响综述 | 57 |
| 滇池周边不同玫瑰品种农业面源污染防控氮素管理研究 | 62 |
| 氮肥减施对稻麦轮作体系作物氮素吸收、利用的影响 | 69 |
| 金继运研究员荣获2010年国际肥料工业协会 (IFA) NORMAN BORLAUG 奖 | 74 |

《高效施肥》

为 IPNI 中国项目部的出版物，
每年五月及十月各出一期

本刊物以推动科学化的合理施肥为目标
可免费向北京、武汉、成都办事处索取

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

The Government of Saskatchewan helps make this publication possible through its resource tax funding. We thank the Government for this important educational project.
此刊物由加拿大萨斯喀彻温省政府资助。
特此致谢。

主编：金继运
编辑：陈防、涂仕华、李书田、何萍、梁鸣早

国际项目总部—Saskatoon, Saskatchewan, 加拿大
A.M. Johnston, Vice President, IPNI Asia and Oceania Group

理事会

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

行政办公室—Norcross, Georgia, 美国
T.L. Roberts, President, IPNI

北美项目总部—Brookings, South Dakota, 美国
P.E. Fixen, Senior Vice President, IPNI Americas Group and Director of Research.

东欧中亚项目总部—Moscow, Russia
Svetlana Ivanova, Vice President, IPNI Eastern Europe and Central Asia Group

中国项目部

| | | |
|---------|-------|--|
| 金继运 主任 | 北京办事处 | jyjin@ipni.net |
| 何萍 副主任 | 北京办事处 | phe@ipni.net |
| 李书田 副主任 | 北京办事处 | sli@ipni.net |
| 梁鸣早 女士 | 北京办事处 | mzliang@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 |

封面照片：

会员公司：

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



加拿大钾肥公司在中国的平衡施肥 示范项目报告 (24)

——提高耕地综合生产能力是保障国家粮食安全的基础

金继运

万物土中生，有土斯有粮。土壤是一切作物生产的基础。但是与世界上许多国家比较，我国的土壤这个基础十分脆弱。我国几千年的农耕历史创造了举世瞩目的中华文明，但是几千年掠夺式的耕作也严重消耗了土地资源。如将我国土壤和欧洲土壤进行比较，质量上的差距是十分惊人的。我国耕地土壤有机质含量，棕壤多为1%~1.5%，欧洲棕壤多在3%以上；我国的褐土多在1%左右，欧洲的褐土多在2%以上；我国的黑钙土多在3%左右，欧洲的黑钙土多在8%左右。我国耕地土壤的有机质含量总体上不及欧洲同类土壤的一半。根据第二次土壤普查结果综合评判，我国三分之二的耕地属于中低产田。

在这样相对生产性能低下的耕地上创造高产，只能依靠科技的进步，同时要加大物资的投入。改革开放以来，由于政策的正确引导和科技的进步，肥料尤其是化肥的投入在增加作物产量的同时，也起到了提高地力的作用。根据中国农业科学院农业资源与农业区划研究所《粮食丰产工程》“粮食主产区农田肥水资源可持续高效利用技术研究”课题组近几年的初步研究结果，和中国农业科学院国家测土施肥中心实验室对50000多个随机采取的土壤样品分析，结果表明，当前我国土壤有机质含量在除东北以外的主要农区均有不同程度的增加，但是，仍然有62%的土壤样品有机质含量属于极低水平；土壤样品速效磷含量为极低、低和中等水平的分别占20%，28%和22%；土壤样品速效钾含量为极低、低和中等水平的分别占9%，23%和23%。此外，土壤中量和微量元素的缺乏依然十分普遍。因此，尽管由于近年来我国不同地区出现了肥料投入过量或不均衡投入的现象，造成了部分农田氮磷等养分富集和非均匀化，但是总体上我国耕地中低产田依然占较大比例。

在十一五期间，各粮食主产省相关单位创造出许多高产典型，所有高产典型均是在肥沃、健康、耕层深厚的农田上实现的。高产高肥力土壤在作物高产稳产中的作用绝不是通过当季多施肥就可以替代的。中国农业科学院农业资源与农业区划研究所与吉林农业科学院和IPNI合作，2009年在吉林省玉米主产区开展的雨养春玉米肥料试验结果表明，高肥力地块地力支持的产量较低肥力地块的高31%；高肥力地块平衡施肥的产量和经济效益分别较低肥力地块的高8.8%和25元/亩。同时，高肥力农田作物产量稳定，抵抗干旱、低温等逆境条件的能力明显增强。从生产层面上证实了培育肥沃健康的土壤是实现作物稳定增产的重要基础。

我国小麦最佳养分管理研究进展

刘晓燕, 何萍, 金继运

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京, 100081

摘要: 科学的养分管理对于实现小麦的优质、高产、养分高效以及保护环境至关重要。本文主要介绍了我国小麦生产概况和小麦需肥规律, 分析了我国小麦施肥中存在的主要问题, 在总结国内外作物养分管理方法的基础上, 提出我国小麦养分最佳养分管理要点: 掌握养分正确的施用量、正确的施用时期、选择正确的肥料种类和施肥方法。最后, 针对我国小麦养分管理现状, 探讨了我国未来小麦养分最佳管理的方向。

关键词: 小麦, 养分管理, 高产优质

小麦是世界第一大粮食作物, 而中国又是世界上小麦播种面积最大、总产最高的国家。播种面积占世界总播种面积的 10.5%, 总产占世界总产的 15.3%, 但是单产不足荷兰、英国单产的 50%, 还有待提高。我国春小麦主要分布在长城以北, 播种面积不到全国小麦总播种面积的 7%; 北方和南方冬小麦播种面积分别占全国小麦总面积的 60% 和 33% 左右。近十年来, 我国优质小麦种植面积大幅度提高, 并逐步形成三个优质小麦生产带: 黄淮海强筋小麦带、大兴安岭沿麓强筋小麦带和长江下游弱筋小麦带。据统计, 2008 年我国优质小麦收获面积达 2.4 万亩, 达到小麦总播种面积的 67%, 主要集中在河南、山东、河北三省。

小麦养分管理是小麦生产的重要组成部分。在强调粮食安全、农业可持续发展的当今, 小麦科学的养分管理的目标逐渐呈现多元化, 不仅要提高产量、改善品质、提高经济效益, 还要减少环境风险。虽然, 我国的养分管理正在向这些多重目标努力, 但仍存在很多的问题, 主要表现在: 1) 部分麦区氮肥施用过量, 尤其是高产麦田氮肥施用过量的问题十分严重, 导致氮肥利用率较低, 在部分高肥力麦田肥料氮的利用率不到 10%, 同时给环境带来巨大压力^[1-3]。2) 养分施用不平衡。部分地区小麦磷、钾施用比例偏低, 如杨博等^[4]对山西省小麦化肥施用状况进行分析, 发现氮肥用量占到总肥料用量的 60%, 磷大约占 30%, 而钾肥仅占 10%。3) 施肥方式不当。在我国小麦生产中, 底肥和追肥比例不协调的现象普遍存在, 一些地区小麦底施氮肥量占全生育期施氮总量的 70% 以上, 造成小麦苗期肥料过剩, 后期肥力不足^[5]。4) 中、微量元素缺乏问题未引起重视。与第二次土壤普查资料相比, 目前我国农田土壤有效锌亏缺比例已经由 20 多年前的 51.1% 上升到 65.1%, 有效硫由 28% 上升到 34%。有效镁、铜和铁的缺乏比例分别上升了 10.9、16.7 和 19.4 个百分点^[6-7]。但我国中、微量元素的施用一直没有得到重视, 这必然严重制约我国小麦产量和品质的进一步提升。

本文将在总结小麦需肥规律的基础上, 结合我国小麦施肥中的实际问题, 对小麦最佳养分管理方法进行总结和分析。

1 小麦养分需求规律

小麦的需肥规律是指小麦随各生育时期的阶段性变化而表现出的对养分吸收的相对数量及动态变化趋势, 是指导小麦养分管理的重要理论依据。

1 国际植物营养研究所资助项目 (IPNI 33)

1.1 小麦养分需要量

小麦一生需要氮、磷、钾及多种中、微量元素，具体养分需求量又因气候条件、土壤肥力、小麦类型、品种等差异而不同。李斐^[8]通过研究内蒙古地区种植的6种春小麦的养分需求量，发现每生产100公斤子粒平均吸收N 3.38公斤、P 0.70公斤、K 2.56公斤、Ca 0.15公斤、Mg 0.26公斤、S 0.28公斤、Fe 51.6克、Mn 7.03克、Cu 1.57克、Zn 3.81克。党红凯^[9]通过对河北9种冬小麦的养分吸收量的研究，发现每生产100公斤籽粒平均吸收N 3.65公斤、P 0.71公斤、K 3.86公斤、Ca 0.8公斤、Mg 0.34公斤、B 0.95、Zn 4.47、Mn 11.83克。与春小麦相比，冬小麦单位养分需求量相对较高。另外，不同类型专用小麦对养分的吸收量基本表现为：强筋小麦 > 中筋小麦 > 弱筋小麦^[8,10-11]。

1.2 小麦养分吸收特性

根据小麦的生育进程，春小麦主要划分为苗期、分蘖期、起身期、拔节期、孕穗期、抽穗期、开花期、灌浆期和成熟期，冬小麦在分蘖期和起身期之间还有越冬期和返青期。小麦氮、磷、钾的吸收强度基本表现为：拔节-孕穗期 > 分蘖（或冬小麦起身期）-拔节期 > 孕穗-开花期，尤其是孕穗期吸收强度最大^[8-9]。出苗至分蘖期磷素吸收量较少，但却是小麦需磷敏感期。冬小麦越冬前氮、磷和钾的吸收量均较少；冬小麦返青至拔节期，各养分积累量增大，此期积累氮、磷、钾分别占其总吸收量的31.4%、28.5%和41.7%；拔节至扬花期仍是养分积累的重要时期，氮、磷和钾积累量分别占28.9、44.3%、41.9%；开花期到成熟期，植株对养分的吸收减少，氮和磷分别占总量13.8%和9.1%，而钾反而出现负吸收现象^[12]。总之，氮磷钾养分的吸收主要集中在返青-开花期，春小麦在拔节后养分吸收规律与冬小麦相似。

小麦对Ca、Mg、S的吸收强度最高值均出现在拔节至孕穗期。随着生育期的推进，Ca、S的累积吸收量在灌浆期达到最大值，成熟期有所下降；而Mg的累积一直呈现增加的趋势^[13-15]。小麦对Fe、Mn、Cu、Zn吸收均集中在拔节至乳熟期，并在乳熟期养分积累量达到最大值，后期有流失现象。但B积累量一直呈现增加趋势，至成熟期达到最大积累量，最大吸收强度出现在开花到成熟期，其次是拔节到孕穗期。总之，冬小麦对微量元素吸收的大致趋势是：越冬前较多，返青、拔节期吸收量缓慢上升，孕穗至乳熟期吸收量较多，约占总吸收量的50%；春小麦微量元素在分蘖期前吸收量较小，主要集中在拔节至乳熟期，此阶段吸收量占总吸收量的70%左右^[8-9]。

2 小麦最佳养分管理措施

就养分管理尺度而言，有大尺度和小尺度之分。大尺度的变异主要表现在土壤类型、气候条件等的差异；而小尺度则主要表现在土壤养分的空间变异上。本文介绍的小麦养分最佳管理侧重于小尺度的实地养分管理，其四个要点包括：正确的施用量、正确的施用时期、正确的施用方法和正确的肥料种类，力图通过以上措施的综合应用，最终实现小麦高产、优质、增收、环保的多重目标。

2.1 保证养分平衡，确定合理养分用量

土壤测试是实现小麦定量化养分管理的第一步。土壤养分测试方法很多，主要有常规分析法、土壤养分系统研究法（ASI）、速测法等。根据土壤养分测试结果，推荐施肥量是实现小麦养分优化管理的第二步。从定量施肥的依据来划分，主要归纳为以下三类：第一类是地力分区法；第二类是目标产量法，包括养分平衡法和地力差减法；第三类是田间试验法，包括肥料效应函数法、养分丰缺指标法、

氮磷钾比例法。其中，目标产量法是目前我国使用较为普遍的施肥推荐方法，它是根据作物产量的构成，由土壤和肥料两个方面供给养分的原理来计算施肥量。养分平衡法是目标产量法进行推荐施肥的常用方法，计算公式如下：

$$\text{肥料需要量} = \frac{\text{目标产量} \times \text{作物单位产量养分吸收量} - \text{土壤养分测定值} \times 0.15 \times \text{校正系数}}{\text{肥料养分含量} \times \text{肥料当季利用率}}$$

式中，作物单位吸收量 \times 目标产量=作物吸收量；土壤测定值 \times 0.15 \times 校正系数=土壤供肥量；校正系数=(空白区产量 \times 作物单位养分吸收量)/(养分测定值 \times 0.15)。这一方法的优点是概念清楚，容易掌握，但“校正系数”需要通过试验，加以调整。

2.1.1 氮肥用量

2.1.1.1 氮肥总量推荐

氮素是限制作物生长和产量形成的主要因素，氮肥的管理是小养分管理的核心和重点，它不仅关系到作物的高产、优质，而且若使用不当还会给环境造成严重威胁。我国农田土壤普遍缺氮，绝大部分土壤施用氮肥都有一定的增产效果。因此在实行推荐施肥时，氮肥不同于磷、钾肥，不明确是否需要施用，而是确定其适宜的施用量。但由于氮在土壤中的转化过程十分复杂，损失的途径也很多，如氨挥发、反硝化以及过量灌溉和遇到大量降雨而造成的硝酸盐向地下淋洗等，对环境的影响也最大(如对地下水、土壤和水等)，所以，准确的氮肥用量推荐仍是氮肥推荐的难点和关键问题^[16]。

小麦氮肥推荐包括总量推荐和追肥用量推荐。目前，在国际上普遍根据土壤硝态氮测试值决定施氮量。美国主要是根据硝态氮含量作为氮肥推荐的分级指标，而欧洲、拉丁美洲的一些地区将硝态氮作为土壤氮素供应的一部分，计算公式如下：

$$Nf = [(Nc + Nr) - ((Ni/ei) - (Nmin/emn))]/ef$$

Nf: 肥料N; Nc: 作物需N量; Nr: 成熟期残留无机氮量; Ni: 播种时期的无机氮，一般在播种前采样深度为60厘米; Nmin: 可矿化的氮量; ei: Ni的利用率; emn: Nmin的矿化率; Nf: 肥料N的利用率。一般而言，Nr视作0或Ni的一部分^[17]。

美国、欧洲等在氮肥用量推荐上均强调养分的综合管理，涉及的因素较多，如上茬作物残留氮、土壤无机氮、环境输入的氮等。美国各个州都有适合本地的养分推荐量，如内布拉斯加州在制定施氮量时不仅包括土壤无机氮水平、降水量多少等因素，还将价格因素纳入施肥量推荐中，肥料或作物价格发生变化，施肥量也随之调整，并制成表格，以便农户查用^[18]。目前，我国国家测土施肥重点实验室，根据养分分级范围、相应作物、目标产量制定了一套比较完整的推荐施肥方法。氮肥的施用量主要是根据土壤有机质含量、作物类型及目标产量决定的，在此基础上，根据土壤速效氮(铵态氮+硝态氮)水平进行调整^[19]。当然这套系统具有操作简单快速的特点，但在养分推荐用量还比较粗放，对环境因子考虑较少。因此，为提高我国小麦氮肥推荐的精度，有必要借鉴国外的方法，将由灌溉、降水等输入农田的氮素、土壤有机氮的矿化量、土壤本身的有机质、速效氮水平、氮肥利用效率、肥料和小麦价格等诸多因素尽可能包含在内，并逐步实现定量化。另外，不同类型小麦对氮肥的需求量也有明显差异。曹承富等^[20]研究表明，中筋小麦皖麦44达到最高产量和最佳品质的施氮量分别比强筋小麦皖麦38高出约8%和35%，因此，在确定氮肥用量推荐时，也要考虑小麦类型的差异。

2.1.1.2 生育期养分管理

关于小麦氮素诊断的研究始终是国内外研究的热点和难点。通过测定植株全氮含量确定追氮量,是氮素诊断和推荐中比较成熟的方法,但该方法破坏植株样本,并耗费大量的时间、人力和物力,在生产中难以快速的推广、应用。随着科技的发展,一些新的追肥推荐技术,如硝酸盐快速诊断技术、叶绿素仪(或叶色卡)诊断技术、光谱遥感技术等相继问世,它们可迅速、准确的对田间作物氮营养状况进行监测,作为测土施肥的辅助措施,及时提供追肥所需要的信息,如追肥时间、追肥量等。

研究发现,作物的硝酸盐含量可灵敏的反映作物氮素营养水平,小麦的硝酸盐快速诊断技术也应运而生^[21-22]。在美国、法国等国家小麦生产中采用播前土壤硝态氮测试和拔节期植株硝态氮测试相结合的方法进行氮肥用量推荐。我国利用小麦植株硝酸盐进行氮素快速诊断的研究也取得一些成果。张国印等^[23]研究表明,采用冬小麦拔节期植株硝态氮含量进行植株氮素营养评价是可行的,并确定河北曲周县冬小麦拔节期植株硝态氮含量缺乏临界值为1000毫克/公斤,充足的指标为1300毫克/公斤;冬小麦拔节期合理的氮肥追施量应控制在5-10公斤/亩。还有,在我国“北方精准农业示范区项目”开发的“北京地区冬小麦-夏玉米轮作植株营养诊断推荐施肥”系统中,拔节期茎部硝酸盐含量充足的指标为1800毫克/公斤,高过此值则无需追肥;硝酸盐含量在900-1000毫克/公斤,冬小麦拔节期氮肥追施量为5公斤/亩。大量研究表明,小麦拔节期植株诊断硝酸盐临界值范围较广,一般在1000-2500毫克/公斤^[17],且该临界值易受气候、土壤、作物品种、种植密度等因素的影响,所以,若以小麦植株硝酸含量为基础的氮肥推荐区域偏大,则会使精度降低。这种方法在若要大面积推广应用,仍需开展大量研究工作,明确不同地区、不同类型、品种小麦硝酸盐含量的临界值,进而制定更加科学的氮肥推荐量。

叶片的叶绿素含量与小麦的氮素营养显著相关,叶绿素测定仪在氮素诊断和氮肥推荐上的研究和应用也越来越多。由于产量和蛋白质形成不同步,在预测产量时,一般选用小麦拔节期上部展开叶片进行测定,而预测蛋白质含量则选取开花期旗叶进行测定^[24-25]。SPAD法具有操作简单、数据获取快速、对植株没有损害等优点^[26-29]。但由于SPAD法所需工作量较大,且仪器价格昂贵,限制了其在生产中推广应用。研究发现,LCC(Leaf Color Chart)值与SPAD值有很好的相关性^[30]。作为一种价格便宜的叶绿素仪替代品,采用叶色卡进行氮肥推荐在许多国家被尝试使用。在水稻上,利用LCC进行植株氮素诊断和氮肥推荐的研究较多^[31-33]。目前在我国东北和南方部分地区实施的水稻实地氮肥管理技术,就是在确定总的施氮量的基础上,在水稻主要生育期用快速叶色卡(LCC)或叶绿素仪观测叶片氮素状况,并依此指导施肥,从而最大限度地提高肥料利用效率,获得水稻优质、高产^[34-36]。同样,利用简单快速的LCC诊断方法进行植株养分快速诊断,在小麦氮素养分管理上也具有一定的应用潜力^[37-39],但目前关于小麦LCC指标体系在我国开展的研究还很少。SPAD和LCC的预设阈值是作物实地氮肥管理的关键技术参数。但是值得注意的是,氮素营养状况的SPAD或LCC的阈值并不是一个固定值,但其在实际应用中往往受作物的类型、品种、生育期、生长环境等的影响^[34,37,40]。另有报道称,可以用SPAD足量指数、叶片上下部SPAD读数的比值、叶色差RSPAD等代替SPAD阈值来消除上述因子干扰,指导作物施肥^[41-43],但稳定性还有待于验证。虽然,利用SPAD或LCC指标进行氮肥推荐得到快速发展,但如何进一步克服外界因素的干扰、提高诊断的可靠性、普适性仍是下一步努力的方向。

近20年来,高光谱遥感技术进行作物氮素实时监测和快速诊断一直是农业应用研究的热点,围绕小麦植株氮素营养水平与光谱反射特征的关系进行了大量的理论基础研究^[44-46]。Stone等^[47]发现在近红外波段冬小麦冠层光谱反射率随氮肥用量增加而增加,两者呈显著或极显著正相关关系,应用小麦

的反射光谱指导变量施肥,可节省N 2.1-3.8 公斤/亩,明显提高了总氮利用效率,并减少因过度施肥对环境造成的污染。宋晓宇等^[49]利用扫描式成像光谱仪获取冬小麦长势和小麦叶面积指数,并根据目标产量的需氮量和测得的作物吸收氮素的差值,提出了氮肥的适宜用量。但由于冠层光谱反射特征受到植株叶片水分含量、土壤覆盖度、大气对光谱的吸收等因素的影响,也限制了其在作物氮素诊断中的可靠性和普及性。

综上所述可以看出,各项植株氮素诊断技术都有其优缺点。虽然这些新技术的应用在我国还均处于探索阶段,各种技术的指标体系的适用性还有待完善。但外界环境差异较小的小区域内,应用这些新兴技术,仍然有助于提高小麦氮素营养诊断的速度和精度,增加对小麦生长期氮肥的调控效果。

2.1.2 磷、钾肥用量推荐

适宜的磷、钾养分不仅可提高小麦产量,改善品质,而且能够增加作物抗性。我国耕地全磷含量大体上从南向北有增加的趋势。由于磷肥的当季利用率为很低,移动性差,大部分的磷都残留在土壤中。因此近些年,我国主要麦区土壤速效磷水平有所增加^[7]。我国大部分地区,施钾均有效,目前就全国范围而言,东北和长江流域农田土壤钾素亏缺比例相对较高,这些地区应重视补充钾肥。

目前关于磷、钾肥的养分管理主要通过土壤测试和养分平衡进行监控。根据目标不同,主要分为两种方法: Nutrient sufficiency 和 Built up and Maintenance^[17,49]。在养分水平较低的土壤上, Nutrient sufficiency 的目标是追求最大化效益和最小化养分用量、经济投入,主要是满足当季作物需求,减少土壤中残留,所以一般磷、钾每季都需要施用。“Built up and Maintenance”策略,即构建并维持一定的土壤有效磷、钾水平以保持产量的稳定,同时防止过高的土壤磷、钾累积,以减少由土壤淋失和淋洗等造成的环境危害。对于土壤有效养含量较高的田块,采用少施或者不施的策略以适当降低其在土壤中的累积;在养含量较低的土壤上,这种方法不仅要满足当季的需要,还要将土壤养分逐渐提高到临界值以上水平,这一般这需要4-8年的时间。但当土壤磷、钾含量超过临界值后,施肥即以维持土壤肥力为主要目标^[49]。在英国,旱地作物土壤有效磷的目标值是16-25 毫克/公斤;旱地作物土壤有效钾的目标值是120-180 毫克/公斤^[50]。Tang 等^[51]在北京、郑州、杨陵等地的定位试验表明,冬小麦的土壤 Olsen-P 临界值为12.5-19.0 毫克/公斤。王兴仁等^[52]考虑长期施肥效应,建议将黄淮海平原壤质土谷类作物的有效磷、钾临界水平分别定为 Olsen-P 10-15 毫克/公斤、K (醋酸铵法) 90-100 毫克/公斤,每3-5年监测1次。

我国国家测土配方施肥实验室主要是根据 ASI 方法测定的土壤速效磷含量,将土壤速效磷、速效钾分为6个等级,并以小麦不同目标产量制定了相应的施肥量,根据我国小麦主产区400-600 公斤/亩的目标产量,需要施 P_2O_5 4-6 公斤/亩,这种方法与 Nutrient sufficiency 法类似。当然这种推荐用量只是一个参考用量,并没有区分小麦品种等在养分需求上的差异,还需要根据不同地区的试验进行校验。中国农业大学在我国测土施肥实施中主要采用了磷、钾恒量监控技术,类似于 Built up and Maintenance 法,实现了磷、钾养分的简化管理。

另外,在确定小麦磷、钾施用量时,除了进行土壤养分测试外,还要考虑小麦类型的差异和不同地区轮作体系的差异。不同类型小麦吸磷、钾特性不同,适宜磷、钾肥用量也存在差异,如强筋小麦的适宜用量要高于中、弱筋小麦^[8,53]。在我国华北小麦-玉米轮作体系下,应将磷肥重施在小麦上,玉米上少施或只利用小麦磷肥的后效即可。在钾肥用量推荐时,在施用有机肥或秸秆还田的地块,一定要减去因有机肥施入和秸秆还田所带入的钾量。

2.1.3 中、微量元素用量推荐

中微量元素需要量虽然不多,但是它们在保证植物的正常生长生长发育方面的重要性与大量元素是相同的。目前我国亏缺面积较大的中量元素主要是S和Mg,微量元素主要为:Zn、Mn、Fe、B。大量试验研究已经证实,适量的补充以上元素在相应地区可以取得明显增产效果(表1)。

表1 我国部分地区施用S、Mg、Zn、Mn对小麦的增产效果

| 小麦季节 | 试验年份 | 试验点 | 施用量 (公斤/亩) | 增产 | | 文献来源 |
|------|------|-------|---------------|--------|------|------|
| | | | | (公斤/亩) | (%) | |
| S | | | | | | |
| 冬小麦 | 1997 | 安徽凤阳 | 3 | 52 | 14.3 | [56] |
| 春小麦 | 2002 | 甘肃和政县 | 2.6 | 22 | 7.6 | [7] |
| 春小麦 | 2003 | 黑龙江克山 | 2 | 27 | 10.4 | [57] |
| 春小麦 | 2003 | 山东泰安 | 6 | 74 | 10.4 | [58] |
| 冬小麦 | 2005 | 河南郑州 | 3 | 60 | 15.6 | [55] |
| Mg | | | | | | |
| 冬小麦 | 2001 | 云南曲靖 | 1 | 29 | 8.7 | [7] |
| 冬小麦 | 2004 | 四川简阳 | 2.4 | 10 | 3.7 | [7] |
| Zn | | | | | | |
| 冬小麦 | 2001 | 江苏连云港 | 1.1 | 42 | 12.3 | [59] |
| 冬小麦 | 2001 | 西藏贡嘎县 | 0.5 | 67 | 24.0 | [7] |
| 冬小麦 | 2003 | 山西临汾 | 0.35 | 43 | 9.1 | [7] |
| 冬小麦 | 2004 | 山东鄄城 | 0.46 | 67 | 19.2 | [60] |
| Mn | | | | | | |
| 冬小麦 | 1998 | 四川简阳 | 0.65 | 40 | 14.3 | [61] |
| 春小麦 | 2000 | 山西应县 | 0.43 | 39 | 16.2 | [62] |
| 冬小麦 | 2004 | 云南弥勒县 | 0.65 | 67 | 17.3 | [63] |

对于中量元素,在北方的春麦区,如内蒙古、甘肃、东北地区等地缺硫问题突出。我国东北平原地区农田土壤有效硫亏缺面积占总面积的78.6%^[54]。制定适宜施硫量要综合考虑硫肥对产量与品质的影响,如刘万代^[55]研究表明,在沙薄地上弱筋小麦豫麦50优质高产的需硫量远低于中筋小麦豫麦49,其适宜施硫量分别为1.5和3.0公斤/亩。南方酸性土壤上有效镁含量相对较低,云南、江西、福建等省缺Mg问题开始显现,如在IPNI在云南曲靖的试验发现施用1公斤/亩的Mg可增产8.66%,同时可提高小麦面筋含量^[7]。

对于微量元素,在我国小麦主产如华北冬小麦区的山东、河北、河南、山西等省以及南方麦区的安徽、江苏等省的大部分地区缺Zn问题比较突出,在部分地区缺Zn已经成为小麦产量提高的首要限制因子。在西北、西南一些地区,缺Mn现象也已显现,应注意补充Mn肥。

根据IPNI测定的4万多个土壤样品的测试结果,发现西北麦区包括内蒙地区的微量元素水平较低,在小麦生产中要特别注重补充微肥Zn、Mn、Cu、Fe等;华北冬麦区要注意补充Zn和Fe;南方注意

补充Zn和B。对于中量元素，在北方的春麦区应注意补充S肥。南方的云南、江西、福建等地，小麦还需要施用适量的Mg肥。

2.2 正确的施用时期和比例

小麦每个生育时期有每个生育的吸肥特点，因此养分管理必须要以小麦对养分的阶段性需求为指导。小麦生育期间进行适量追肥是获得小麦高产、优质、提高肥效，减少环境污染的重要措施。为了防止降水造成氮素淋失，提高氮肥利用率，欧洲一些国家如英国，并不提倡将氮肥作底肥施用，提倡在作物主要需肥期前施用。

2.2.1 氮肥施用时期和比例

小麦在生育期间一般要进行1-3次追肥，分别在分蘖、拔节、孕穗期进行。适宜的施氮时期不仅能促进作物高产、优质，还能提高养分利用效率^[11, 64]。一般为认为基追比为5:5比较合适，但具体的基、追比例还要根据土壤的肥力、作物品种、降水量等条件而定。

2.2.1.1 根据土壤肥力、质地确定追氮时期和比例

华北地区冬小麦一贯注重基肥的施用，但基肥施用比例过大会导致小麦前期群体过大，后期氮素缺乏，影响灌浆，最终减产。“氮肥后移”技术可以解决这一生产问题，将氮素的基肥比例减少到50%，追肥比例增加到50%，土壤肥力高的麦田底肥比例为30%-50%，追肥比例为50%-70%。值得注意的是，这项技术的实施必须是在土壤肥力水平较高的情况下进行，在低肥力土壤上，基肥比例不宜过低，否则影响小麦前期生长，无法保障小麦分蘖的正常进行。

不同土壤肥力水平下，小麦对不同施用时期的氮肥利用效率也存在明显差异。王月福等^[65]利用土柱试验和¹⁵N示踪技术研究发现，高肥力土壤小麦对追施氮肥的利用率较高，而在低肥力土壤小麦则基施氮肥的利用率较高，这也从另一个侧面说明在高肥力土壤上氮肥以追施为主，在低肥力土壤以基施为主的必要性。

土壤质地决定了土壤的保肥能力。山东、河南小麦主产区主要为砂质壤土、粉土、砂质壤土等，宜增加追肥次数，以减少氮肥淋失。南方的贵州、云南、广西等地土壤质地粘重的地区可以减少追肥次数。西北地区虽然主要为砂土、壤土，但是降水较少的旱区麦田，可增加基肥投入量，氮肥2/3作底肥，1/3作拔节追肥，增产效果较好。

2.2.1.2 根据小麦类型确定追氮时期和比例

在小麦品质指标中，氮肥对蛋白质的影响最大^[66-67]。但氮肥施用时期对产量和蛋白质含量的效应并不同步，高蛋白的氮肥最大效应期晚于产量的氮肥最大效应期。为了提高小麦籽粒品质，一定要重视后期追氮^[66, 68-70]。研究发现，增加植株中后期氮素吸收与积累，有利于提高中、强筋小麦籽粒产量和改善品质，而适当降低植株氮素吸收与积累特别是中后期氮素积累，有利于实现弱筋小麦的优质高产。强筋小麦植株吸氮能力强，实现优质高产时宜采用基肥:分蘖肥:拔节肥:孕穗肥为3:1:3:3或5:1:2:2的运筹比例，中后期氮肥施用比例高，氮肥利用率也高；相反，弱筋小麦植株吸氮能力较弱，前期适用比例较高，孕穗期氮肥施用比例相对要低或不施，实现优质高产时宜采用基肥:分蘖肥:拔节肥为7:1:2或基肥:拔节肥:孕穗肥为7:2:1的运筹方式^[11, 71]。

2.2.1.3 根据水分条件决定追氮时期和比例

氮肥施用效果总是与水分密不可分。水分越充足，肥料的效果越突出。在有灌溉条件的地区，小麦对水分的需要可以随时补充，不受水分胁迫的限制，氮肥分次施用效果较好；但在有限灌溉的地区氮肥宜早施，随着施氮时期后延，氮肥效益明显下降^[72]。

2.2.1.4 生育后期喷施叶面肥

在抽穗—灌浆期进行追氮，可促进蛋白质合成和碳水化合物的转化，改善小麦品质。由于抽穗期以后根系吸收能力减弱，而土壤施氮作用较差，采用叶面喷施对增加产量和品质的效果较好，并提高氮肥利用率^[73]。

2.2.2 磷肥施用时期

小麦的磷素营养临界期在苗期，由于苗期气温低，土壤供磷能力差，因此磷肥宜早施，可作为种肥或基肥施用。由于磷素在作物体内再利用的运转率较高，可达吸收量的70%-80%，所以磷肥一般用作基肥即可满足整个生育期的需要。但有研究发现。在高产田上70%作基肥，30%在倒四叶期追施，效果较好，可获得小麦高产；基肥和追肥分别满足苗期磷临界期和拔节至开花期吸磷高峰的需要^[74]。

2.2.3 钾肥施用时期

长期以来，在小麦生产中钾肥多用作基肥一次施入。但小麦对钾素的吸收也存在阶段性差异，在拔节期前后钾素吸收量较大。在质地较轻的土壤上保肥能力弱，钾肥分次施用效果较好，如于振文等^[75]在山东土壤速效钾为118.5和79.0毫克/公斤的麦田上进行试验发现，基施3公斤/亩，拔节期再追施3公斤/亩，能够使土壤速效钾供应与小麦钾素需求同步，促进钾素吸收，同时提高植株对氮的吸收，减少氮肥损失。

2.2.4 中、微量元素的施用时期

冬小麦对中、微量元素吸收的大致趋势是：越冬前较多，返青、拔节期吸收量缓慢上升，抽穗至成熟期吸收量达最高^[9]。在小麦苗期和籽粒成熟期，应增强中、微量元素营养，前期基施结合后期喷施效果最好。为了提高喷施效果，一般在晴天傍晚或早晨进行。

2.3 正确的肥料种类和施用方法

选择适宜的施肥方法也是实现最佳养分管理的重要一环。相对于移动性较强的氮素，正确的施用方法对提高磷、钾及微量元素有效性的作用更大。

2.3.1 氮肥种类和施用方法

我国氮肥种类主要包括尿素、硝铵、碳铵、硫铵等品种，其中尿素是主要品种，占中国氮肥总消费量的60%以上。尿素适用于各种土壤，也适合作根外追肥。硝态氮肥施入土壤不易被土壤吸附，易被雨水或灌溉淋失，故不宜大量作基肥。碳酸氢铵具有较强的腐蚀性和挥发性，对种子有强烈的腐蚀作用，因此不宜作种肥。硫铵宜施在北方缺硫的麦田。

由于不同专用型小麦的氮素吸收特性存在差异，因此在选择氮肥种类时，要考虑不同专用型小麦

对产量和品质的双重需求。如强筋型小麦豫麦34对蛋白质含量要求较高,在施用酰胺态氮下,能满足其专用型的要求;中筋型豫麦49对蛋白质含量要求一般,施用铵态氮比较理想;弱筋型豫麦50对蛋白质含量的要求较低,虽然在施用酰胺态氮下蛋白质含量较高,但不能满足其专用型的要求,施用铵态氮效果较好。若以追求小麦产量为目标,则强筋型豫麦34宜用硝态氮,而中筋型豫麦49和弱筋型豫麦50宜用酰胺态氮。考虑小麦产量与品质的综合目标,强筋型小麦宜施铵态氮,中筋型小麦宜施酰胺态氮,弱筋型小麦宜施硝态氮^[76]。

2.3.1.1 氮肥深施

氮肥深施技术是提高小麦氮肥利用率、增产和增收的重要措施之一。氮肥深施可增强土壤对铵态氮的吸附,减少氨挥发、随水流失以及反硝化脱氮损失,提高氮素利用率^[77-79]。表施碳酸氢铵或尿素通过氨挥发损失可高达50%,但当这些氮肥在深施的条下,氨挥发损失率很容易降低到10%以下,氮肥施用深度一般为10-15厘米^[80-81]。

2.3.1.2 氮肥结合灌溉有利于提高氮肥利用效率

水分和养分是影响小麦产量的两个关键因素,尤其是在旱区。氮肥施用后配合灌水可明显提高小麦产量,提高肥料利用效率。在河南、河北、宁夏、北京等地的小麦田间试验表明,尿素表施后随即灌水,其氮素损失率低于施肥前灌水的处理,增产效果接近氮肥深施处理^[78,82]。

2.3.2 磷肥种类和施用方法

我国磷肥种类主要包括:磷酸二铵、磷酸一铵和重钙。磷酸一铵为弱酸性肥料,磷酸二铵为弱碱性肥料,重钙为酸性肥料。磷酸铵适合于各类土壤、作物,可做基肥和追肥。重钙最好施在北方石灰性土壤上,在南方酸性土壤上宜与石灰、有机肥配合施用。

磷肥提倡集中施用和分层施用。磷在土壤中扩散速率小,迁移慢,为了减少水溶性磷肥与土壤的接触面积,减少磷固定,尽量增加磷与根系的接触机会,促进根系吸收,磷肥不宜撒施,集中施用效果较好,如条施、穴施等^[83]。小麦在不同生育期其根系发育和分布状况明显不同,因此磷肥分层施用效果较好,即苗期根系分布较浅,气温较低,应浅施或作种肥(5厘米)^[84];随着小麦根系的生长,后期利用的磷肥应深施(约10厘米)^[85]。另外,磷肥极易被土壤固定,因此与有机肥配合施用效果较好。

2.3.3 钾肥种类和施用方法

我国应用的钾肥主要包括氯化钾和硫酸钾。氯化钾不宜施在盐碱地。在东北和内蒙缺硫的麦田,施用硫酸钾的效果优于氯化钾。在南方酸性土壤上,施用硫酸钾效果也较好,有利于减轻铝毒。

钾在土壤中的移动性大小介于氮和磷之间,钾肥一般作为基肥施用。播种前,与撒施相比,钾肥作种肥或行侧带状施用效果较好。但在华北地区砂质土壤较多,钾肥不宜全部一次施用基肥,而应该加大追施的比例,分次使用,减少淋失。质地粘重的土壤对钾素的固定能力强,为达到作物高产,施肥量可相应大些。另外,为避免表土干湿交替所引起的钾素固定,钾肥宜深施,促进根系吸收^[86]。

2.3.4 中、微量元素种类的施用方法

中、微量元素可用作基肥、种肥和追肥。硫肥主要包括硫酸盐类和单质硫肥。单质硫需在播种前

表施,以加快其氧化,提高有效性。在干旱条件下,硫肥作为种肥或行侧带状施用效果较好;若在水分充足的条件下,硫酸根移动性较强,撒施效果也较好。由于镁在土壤中移动性较小,易深施。

前期的基肥或种肥可以满足小麦生育前期对微量元素的需要,对于需要量较大的元素,在生育中后期上需要配合根外追肥。微量元素铁、锰、铜、锌等在土壤中的移动性比磷更弱,因此做种肥或叶面肥效果要优于撒施^[87]。研究表明,硫酸锌基施和拌种的效果优于喷施^[60]。由于Mn在小麦体内再移动能力不如Zn,硫酸锰喷施效果优于基施和拌种^[62,88],且前期拌种配合后期喷施效果更佳。另有研究表明,Zn肥有后效,施Zn肥的在小麦收获后,土壤Zn含量明显增加,可以隔一年或两年施一次^[89-90]。B比金属微量元素的移动性强,对种子有毒害,因此不宜作种肥,叶面喷施的效果较好。

2.3.5 重视养分配合施用

实践证明,养分配合施用是提高养分利用率的有效措施。通过对IPNI在我国1995-2006年的213个小麦养分平衡试验的总结,发现我国小麦最高产量所需氮、磷、钾养分配比为1:0.6:0.65;最佳经济效益养分配比为1:0.59:0.51^[7]。另外,养分配合不仅讲究氮、磷、钾三要素配合,还有大量元素和中、微量元素配合,以及有机肥和无机肥料配合施用。

3 我国小麦最佳养分管理展望

综上,在特定地区,通过上述科学的小麦养分管理措施的实施,必会实现小麦的优质、高产和养分高效,降低养分流失量,优化农田生态环境。但如何在区域尺度上实现这一综合目标,是值得思考的问题。小尺度的养分管理是大区域养分管理的基础,我国在小尺度上,特别是田块尺度上,对小麦养分管理模式做了大量有益的研究和探讨,但总体上比较零散,目前从田块尺度向区域尺度扩展和集成,还存在一定困难。要在全中国范围内建立不同区域尺度科学的小麦最佳养分管理系统,实现养分的定量化管理,未来还需要开展以下几方面工作:

- 1) 深入开展养分管理的理论基础研究,探讨农田系统中各种养分迁移、转化规律,以及外界环境对它的影响,力求更加准确的预测土壤供肥能力,量化施肥量与养分损失的关系;

- 2) 广泛开展不同地区小麦主推类型、品种对养分的反应特性研究,寻求目标产量、品质与小麦施肥量、施肥时期的关系;

- 3) 充分利用计算机信息系统,借鉴国际上养分资源综合管理的先进思想和技术,建立区域尺度的小麦施肥专家系统和小麦生长模型。虽然,我国目前也建立了多种多样的施肥推荐模型,但真正大规模应用的并不多。众所周知,小麦的生长一个动态的过程,因此真正的小麦最佳养分管理必须与小麦实际生长状况相结合,与作物栽培、气候、水分等因子综合起来,随时根据小麦的生长变化,调整养分管理措施,否则很难实现“最佳”。因此,通过方程对各因子之间的相互关系进行量化计算,建立或改善区域性小麦生产模型是未来小麦最佳养分管理的一个重要研究方向。近些年,国内外关于小麦生产模拟模型研究也取得了长足进展,其中在小麦上应用较广的便是CERES-wheat模型,我国也开发了WCSODS模型等。但这些模型的应用均存在区域局限性,要提高模拟精确度,就必须加强多学科协作,针对具体地区的水、热、气、土等条件开展大量有针对性的试验,积累试验资料,寻求更贴合实际的模型参数,结合其它栽培措施最终构建适合本区域的作物生产模型或修正现有模型,以进一步优化我国小麦养分最佳管理体系。

参考文献:

- [1] 介晓磊, 韩燕来, 谭金芳, 等. 不同肥力和土壤质地条件下麦田氮肥利用率的研究[J]. 作物学报, 1998, 24: 884-888.
- [2] Chen X. P. Optimization of the fertilizer management of a winter wheat/summer maize rotation system in the Northern China Plain [D]. Germany: PhD thesis of Hohenheim University. 2003.
- [3] Cui Z L, Zhang F S, Chen X P et al. On-farm estimation of indigenous nitrogen supply for site-specific nitrogen management in the North China plain[J]. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 2008, 81: 37-47
- [4] 杨博, 陈明昌, 杨治平, 等. 山西省小麦、玉米养分资源管理现状及其养分平衡研究[J]. 山西农业科学, 2008, 36 (1) : 3-7.
- [5] 赵广才. 北方冬麦区小麦高产高效栽培技术. 作物杂志, 2008, (5): 91-92.
- [6] Liu Z. Characterization of content and distribution of microelements in soils of China. Portch S. International symposium on the role of sulphur, magnesium and micronutrients in balanced plant nutrition, Potash and Phosphate Institute of Canada, Hong Kong, China, 1991, 54-61.
- [7] 刘晓燕. 我国农田土壤肥力和养分平衡状况研究. 北京: 中国农业科学院博士后研究报告. 2008.
- [8] 李斐. 不同品种春小麦养分吸收动态模型及分布规律的研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士论文, 2002.
- [9] 党红凯. 超高产冬小麦营养元素吸收、积累与分配规律的研究. 保定: 河北农大硕士论文.
- [10] Zubaidi A, McDonald G K, Hollamby G J. Nutrient uptake and distribution by bread and durum wheat under drought conditions in South Australia[J]. *Austr. J. Exper. Agric.*, 1999. 39:721-732.
- [11] 朱新开. 不同类型专用小麦氮素吸收利用特性与调控. 扬州: 扬州大学博士论文, 2006.
- [12] 韩燕来, 介晓磊, 谭金芳, 等. 超高产冬小麦氮磷钾吸收、分配与运转规律的研究[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 908-915.
- [13] Gregory P J, Crawford D V, McGowan M. Nutrient relations of winter wheat: 1. Accumulation and distribution of Na, K, Ca, Mg, P, S and N. *J. Agric. Sci.*, 1979, 93:485-494
- [14] 田奇卓, 贺明荣. 高产冬小麦钙镁元素吸收积累与分配规律的研究. 河南农业大学学报 1998, 32 (2): 138-143.
- [15] 吴静, 刘宝存, 孙明德. 冬小麦对硫的吸收及在体内的分布规律. 华北农学报, 2000, 15 (3): 103-108.
- [16] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论刍议. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1):1-4.
- [17] Garcia F O. Nutrient best management practices for wheat fertilization practices for intensive wheat production in Southern Latin America. 2006
- [18] Blumenthal J M. Soil testing, recommended rates, and timing for fertilizing winter wheat with nitrogen, potassium, and micronutrients. 2006
- [19] 金继运, 白由路, 杨莉苹. 高效土壤养分测试技术与设备. 中国农业出版社. 2006.
- [20] 曹承富, 孔令聪, 汪建来, 等. 施氮量对强筋和中筋小麦产量和品质及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (01): 46-50.
- [21] Knowles T C, Doerge T A, Ottman M J. Improved nitrogen management in irrigated durum

wheat using stem nitrate analysis: II. Interpretation of nitrate-nitrogen concentrations. *Agron J.*, 1991, 83: 353-356

[22] Riley EA, Thompson T L, White S A, Ottman M J. Developing Sap Nitrate Tests for Durum Maricopa [R]. Forage and Grain Agriculture Report," College of Agriculture, The University of Arizona, Tucson, Arizona. 1999

[23] 张国印, 孙世友, 秦凤书等. 冬小麦植株氮素营养诊断指标研究[J]. 河北农业科学, 2006,(4):1-4.

[24] 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.

[25] Debaeke P, Rouet P, Justes E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *J. Plant Nutr.*, 2006, 29: 75-92

[26] Fox R H, Piekielek W P, Macneal K M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1994. 25: 171-181.

[27] Prost L, Jeuffroy M H. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agron Sust. Dev.*, 2007. 27 (4): 321-330.

[28] Scharf P C, Brouder S M, Hoelt R G. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. *Agron. J.* 2006, 98: 655-665.

[29] 朱艳, 刘小军, 谭子辉, 等. 冬小麦叶色动态的量化研究. 中国农业科学, 2008, 41 (11): 3851-3857.

[30] Witt C, Pasuquin J M C A, Muters R, Buresh R J. New leaf color chart for effective nitrogen management in rice. *Better Crops.* 2005, 89: 36-39.

[31] Balasubramanian V, Morales AC, Cruz R T, Abdulrachman S. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice systems. *Nutr. Cycl. Agroec. osyst.*, 1999, 53:93-101.

[32] Peng S, Garcia F V, Laza R C, et al. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice[J]. *Field Crops Res.*, 1996, 47: 243-252.

[33] Yang W H, Peng S B, Huang J. L, et al. Using leaf color charts to estimate leaf nitrogen status of rice[J]. *Agron. J.*, 2003, 95: 212-217.

[34] 范立春, 彭显龙, 刘元英, 宋添星. 寒地水稻实地氮肥管理的研究与应用[J]. 中国农业科学 2005,38(9):1761-1766.

[35] 杨建昌, 杜永, 刘辉. 长江下游稻麦周年超高产栽培途径与技术[J]. 中国农业科学, 2008, 41(6): 1611-1621.

[36] Huang J L, He F, Cui KH, et al. Determination of optimal nitrogen rate for rice varieties using a chlorophyll meter. *Field Crop Res.*, 2008, 105 (1-2): 70-80.

[37] Maiti D, Das D. Management of nitrogen through the use of leaf color chart (LCC) and soil plant analysis development (SPAD) in wheat under irrigated ecosystem. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 2006, 52(1): 105-112.

[38] Singh B, Y Singh J K. Ladha K F et al. Chlorophyll meter-and leaf color chart-based nitrogen

management for rice and wheat in Northwestern India. *Agron. J.* 2002, 94:821-829.

[39] Shukla A K, Ladha J K, Singh V K et al. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a system perspective. *Agron. J.* 2004. 96: 1606-1621.

[40] Giunta, F, Motzo R, Deidda M. SPAD readings and associated leaf traits in durum wheat, barley and triticale cultivars. *Euphytica*, 2002, 125: 197-205.

[41] Hussain F, Bronson K F, Singh Y et al. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. *Agron. J.*, 2000, 92: 875-879.

[42] Hawkins J A, Sawyer J E, Barker D W, Lundvall J P. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn. *Agron J.*, 2007, 99(4): 1034-1040.

[43] Varvel G E, Wilhelm W W, Shanahan J F, Schepers J S. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agron J.*, 2007, 99 (3):701-706.

[44] Boegh E, Soegaard H, Broge N et al. Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. *Rem. Sens. Environ.* 2002, 81: 179-193.

[45] Shou L, Jia L L, Cui Z L, et al. Using high-resolution satellite imaging to evaluate nitrogen status of winter wheat. *J. Plant Nutr.*, 2007, 30 (10-12):1669-1680.

[46] 赵春江, 黄文江, 王纪华, 等. 不同品种、肥水条件下小麦光谱红边参数研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(8): 980-987.

[47] Stone, M I, Solie J B, Raun W R, et al. Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. *Trans. ASAE* 1996, 39: 1623-1631.

[48] 宋晓宇, 王纪华, 薛绪掌, 等. 利用航空成像光谱数据研究土壤供氮量及变量施肥对冬小麦长势影响[J]. *农业工程学报*, 2004, 20 (4): 45-49.

[49] Leikam D F, Lamond R E, Mengel D B. Providing flexibility in phosphorus and potassium fertilizer recommendations. *Bett. Crops*, 2003, 87 (3): 6-10.

[50] 贾良良, 张朝春, 江荣风, 等. 国外测土施肥技术的发展与应用. *世界农业*, 2008,(5): 60-63.

[51] Tang X, Ma Y B, Hao X Y et al, Determining critical values of soil Olsen-P for maize and winter wheat from long-term experiments in China[J]. *Plant Soil*, 2009. DOI 10.1007/s11104-009-9919-y.

[52] 王兴仁, 张福锁, 曹一平, 等. 养分资源管理的理论和技术及其在小麦玉米高产轮作中的应用[J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8 (增刊):36-41.

[53] 姜宗庆, 封超年, 黄联联, 等. 施磷量对不同类型专用小麦产量和品质的调控效应. *麦类作物学报*, 2006, 26 (5): 113-116.

[54] 王红娟. 我国北方粮食主产区土壤养分分布特征研究. 北京: 中国农业科学院博士学位论文. 2007.

[55] 刘万代, 朱云集, 谭金芳, 等. 沙薄地小麦追施硫肥的效应初报. *西南农业学报*, 2006, 19 (2): 196-199.

[56] 杨安中. 硫肥对小麦产量及品质的影响. *土壤通报*, 2000, 31 (5):236-237.

- [57] 李玉影, 刘双全. 硫对春小麦产量和品质的影响. 土壤肥料, 2004(1): 14-15.
- [58] 王东, 于振文, 王旭东. 硫肥对冬小麦硫素吸收分配和产量的影响. 作物学报, 2003, 29 (5): 791-793.
- [59] 李强. 锌对小麦生长发育及产量影响的研究. 耕作与栽培, 2003, (3): 52-53.
- [60] 李允国, 宋金锋, 周海涛, 等. 黄潮土小麦施锌效果及应用技术研究. 河南农业科学, 2006 (5): 70-71.
- [61] 涂仕华, 冯文强. 锰对小麦生长的影响及与其它元素的交互作用. 西南农业大学学报. 1999, 12(专辑): 13-20
- [62] 徐惠云, 李占成. 锌锰微肥对春小麦的增产作用. 作物杂志, 2002 (2): 38-39.
- [63] 杨宗飞. 微量元素锰对小麦产量的影响. 耕作与栽培, 2005 (3): 37-38.
- [64] Cassman K G, Dobermann A. Walters D T. Agroecosystems, nitrogen use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*, 2002, 31: 132-140.
- [65] 王月福, 姜东, 于振文, 曹卫星. 高低土壤肥力下小麦基施和追施氮肥的利用效率和增产效应[J]. 作物学报, 2003,29(04): 491-495.
- [66] Gooding M J, Davies W P. *Wheat production and utilization*. CAB Int., Wallingford, UK. 1997.
- [67] Sonmez F. Effect of nitrogenous fertilizer on grain yield and grain protein concentration in winter wheat. *Asian J. Chem.*, 2007,19(3): 2036-2044
- [68] 徐恒永, 赵振东, 刘爱峰, 等. 氮肥对优质专用小麦产量和品质的影响Ⅱ. 氮肥对小麦品质的影响. 作物杂志, 2002, (2): 38-39.
- [69] Ottman M J, Doerge T A, Martin E C. Durum grain qualities affected by nitrogen fertilization near anthesis and irrigation during grain fill. *Agron. J.* 2000, 92, 1035-1041.
- [70] Thomason W E, Griffey C A, Phillips S B. Nitrogen and sulfur fertilization for improved bread wheat quality in humid environments. *Bett. Crops*, 2008, 92 (1): 10-11
- [71] 陆增根, 戴廷波, 姜东, 等. 不同施氮水平和基追比对弱筋小麦籽粒产量和品质的影响. 麦类作物学报, 2006, 26(6): 75-80
- [72] 李生秀. 提高旱地土壤氮肥利用效率的途径和对策. 土壤学报, 2002, 39(增刊): 56-76.
- [73] Maitlo A, Hassan Z, Shah A N, Khan H. Growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) in relation to foliar and soil application of urea[J]. *Int. J. Agric. & Biol.*, 2006, 8:477-481.
- [74] 王龙俊, 郭文善, 封超年. 小麦高产优质栽培新技术. 上海:上海科学技术出版社. 2000.
- [75] 于振文, 梁晓芳, 李延奇, 王雪. 施钾量和施钾时期对小麦氮素和钾素吸收利用的影响. 应用生态学报, 2007, 18 (1): 69-74.
- [76] 马新明, 王小纯, 王志强. 氮素形态对不同专用型小麦生育后期光合特性及穗部性状的影响. 生态学报, 23(12): 2587-2593.
- [77] Adjetey J A, Campbell L C, Searle P G E, Saffigna P. Studies on depth of placement of urea on nitrogen recovery in wheat grown on a red-brown earth in Australia. *Nutr. Cyc. in Agroecosyst.* 1999, 54: 227-232.
- [78] 魏秀梅, 左东峰. 冬小麦氮肥深浅追施对氮素利用率和磷钾吸收量的影响. 核农学通报, 1996, 17 (5): 233-235.

- [79] 曹兵, 李新慧, 张琳, 等. 冬小麦不同基肥施用方式对土壤氨挥发的影响. 华北农学报, 2001, 16 (2): 83- 86.
- [80] 巨晓棠, 张福锁. 氮肥利用率的要义及其提高的技术措施. 科技导报, 2003, (4): 51-54.
- [81] Tewari K, Sukanuma T, Fujikake H. Effect of deep placement of N fertilizers and different inoculation methods of bradyrhizobia on growth, N₂ fixation activity and N absorption rate of field-grown soybean plants. J. Agron. Crop Sci. 2004, 190(1):46-58.
- [82] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
- [83] 孙羲. 植物营养原理. 北京: 中国农业出版社, 1995. 274-291.
- [84] Jackson G D, Kushnak G D, Carlson G R, Wichman D M. Correlation of the Olsen phosphorus test: Spring wheat response. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 1997, 28:813-822.
- [85] Jones C, Jacobsen J. Fertilizer placement and timing. MSU extension service, Nutrient Management Module No. 11. 2003.
- [86] Bordoli J M, Mallarino A P. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. Agron. J. 1998, 90: 27-33.
- [87] Havlin J L, Beaton J D, Tisdale S L, Nelson W L. Soil fertility and fertilizers(6th Ed.). Upper Saddle River, N.J. Prentice-Hall, Inc. 1999.
- [88] Garnett T P, Graham R D. Distribution and remobilization of iron and copper in wheat. Ann. Bot., 2005, 95: 817-826.
- [89] 张学军, 王兴仁, 张福锁, 罗代雄. 宁夏扬黄新灌区微肥对春小麦的有效性及适宜用量的研究. 土壤肥料, 2000, 6: 32-34.
- [90] 汪洪, 刘新保, 褚天铎, 等. 锌肥对作物产量、子粒锌及土壤有效锌含量的后效. 土壤肥料, 2003, (1): 3-9.



春蚕豆钾肥用量研究

张亚丽 陈占全

青海省农林科学院土壤肥料研究所，西宁，810016

摘要：在青海省互助县台子乡台子村（项目监测村）在施N、P肥基础上进行蚕豆钾肥用量试验，结果表明施钾处理与对照相比增产率为13.8~39.6%，增施钾肥后，蚕豆株高、分枝数、荚粒数、百粒重等农艺性状也表现出与产量结果一致的规律；在施N7.3公斤/亩、P₂O₅ 6.9公斤/亩基础上，蚕豆最佳施钾量为7.5公斤K₂O/亩。

前言

蚕豆在青海省种植历史悠久，是重要的出口创汇大宗农产品，是农民增收的优势作物之一。近年来青海各主产区推广种植大粒型品种，推广标准化栽培技术，提高产量和商品率，蚕豆产业优势显得非常重要。因此开展蚕豆增施钾肥用量研究，探索适合当地条件的钾肥适宜用量，对于提高蚕豆产量、和品质，促进农民增收具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验设在青海省互助县台子乡台子村（项目监测村），土壤类型为栗钙土，质地为壤土，试验播种前土壤养分状况测定（ASI法）结果见表1。

表1 试验地播种前基础养分状况

| pH | OM (%) | NH ₄ -N | NO ₃ -N | P | K | Ca | Mg | S | B | Zn |
|--------|--------|--------------------|--------------------|------|-------|--------|-------|------|------|-----|
| (毫克/升) | | | | | | | | | | |
| 8.4 | 1.25 | 11.6 | 37.2 | 13.8 | 112.9 | 2456.7 | 158.1 | 16.8 | 0.71 | 1.6 |

注：该结果由北京中加合作土壤测试实验室测定。

1.2 试验设计

试验设NPK0、NPK1、NPK2、NPK3、NPK4五个钾肥用量，4次重复，试验设计采用完全随机区组排列；小区面积15平方米，供试品种为“青海10号”。小区肥料用量见表2。

表2 试验肥料用量表

| 处理 | 肥料用量 (公斤/亩) | | |
|------|-------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| NPK0 | 7.3 | 6.9 | 0 |
| NPK1 | 7.3 | 6.9 | 3 |
| NPK2 | 7.3 | 6.9 | 6 |
| NPK3 | 7.3 | 6.9 | 9 |
| NPK4 | 7.3 | 6.9 | 12 |

注：N用尿素（N 46%），P₂O₅用过磷酸钙（P₂O₅ 12%），K₂O用氯化钾（K₂O 60%）

1.3 试验方法

施肥方法为整地后撒施，翻耙，N、P、K肥均作为底肥一次施入。2008年3月25日播种，蚕豆播种方式为点播，行距30厘米，各小区密度均匀一致。2008年9月20日收获，试验收获采用各小区单打单收，分别计产，按不同处理取20株进行考种。

2 结果与分析

2.1 钾肥用量对蚕豆产量的影响

表3 不同钾肥用量对产量与效益的影响

| 处理号 | 产量 公斤/亩 | 5%显著 水平 | 1%极显 著水平 | 增产 率 % | 收益 (元/亩) | 肥料投入 (元/亩) | 产投比 |
|------|------------|------------|-------------|-----------|-------------|---------------|-----|
| NPK0 | 201 ± 18 | c | C | - | 603 | 75 | 8.1 |
| NPK1 | 229 ± 17 | bc | BC | 13.8 | 687 | 95 | 7.3 |
| NPK2 | 281 ± 8 | a | A | 39.6 | 843 | 115 | 7.4 |
| NPK3 | 277 ± 37 | a | AB | 37.6 | 830 | 135 | 6.2 |
| NPK4 | 261 ± 31 | ab | AB | 29.8 | 783 | 155 | 5.1 |

注：大豆市场价为3.0元/公斤，纯N价格为4.3元/公斤，P₂O₅价格为6.25元/公斤，K₂O价格为6.67元/公斤。

表3蚕豆产量结果方差分析显示，NPK2与NPK0、NPK1达到显著和极显著差异，与处理NPK3、NPK4没有显著差异。NPK2产量最高，产量达到281公斤/亩，比对照增产39.6%。

蚕豆产量对施钾量的效应方程为： $y = -1.1332x^2 + 19.191x + 195.77$ ， $R^2 = 0.9248$ ，产量y对施钾量x作图呈“抛物线”型，即产量在一定范围内随着施钾量的增加而增加，继续增加钾肥用量，产量不再增长，反而会下降。根据该方程得出边际产量，计算出在该试验条件下，蚕豆的最大利润施钾量为7.5公斤/亩。

2.2 钾肥梯度对蚕豆农艺性状的影响

表4 钾肥用量对蚕豆性状的影响

| 处理号 | 株高 (厘米) | 分枝数 (个) | 株荚数 (个) | 荚粒数 (个) | 百粒重 (克) |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NPK0 | 101.4 | 0.81 | 4.52 | 1.70 | 172.0 |
| NPK1 | 106.2 | 1.00 | 5.42 | 1.65 | 181.3 |
| NPK2 | 105.4 | 1.14 | 5.76 | 1.72 | 178.0 |
| NPK3 | 107.8 | 1.54 | 6.36 | 1.71 | 192.6 |
| NPK4 | 107.6 | 0.96 | 6.17 | 1.79 | 191.5 |

从蚕豆考种结果 (表4) 可以看出, 施用钾肥各处理在株高、分枝数、株荚数、荚粒数、百粒重等农艺性状指标均比 NPK0 有明显增加, 其中 NPK2 和 NPK3 好于其他处理, 表现出与产量效应一致的规律, 说明蚕豆施用钾肥, 也有明显的改善农艺形状的作用。

3 结果与讨论

青海省东部雨养农业区, 当地称为旱地, 在施 N 7.3 公斤/亩, 施 P_2O_5 6.9 公斤/亩基础上, 增施 K_2O 3~12 公斤/亩均有增产效果。该地区蚕豆最佳施钾量为 K_2O 7.5 公斤/亩。

有灌溉条件的试验地收获后土壤中养分测定结果显示, 蚕豆增施钾肥后, 硝态氮含量降低, 而速效钾含量提高, 可说明施用钾肥可以提高蚕豆对氮肥的吸收作用, 但此结论还需进一步研究验证。

参考文献

- [1] 付利波, 苏帆, 陈华等. 平衡施肥在云南茶叶生产上的应用研究. 高效施肥[J]. 2006年5月 (总第16期): 20—24.
- [2] 刘冬碧, 熊桂云, 张继铭. 莲藕钾肥用量及其施用效应的初步研究. 高效施肥[J]. 2006年5月 (总第16期): 35—37.
- [3] 李辉桃, 周建斌. 作物营养与施肥[M]. 杨凌: 西北农业大学土壤农化系, 1993.



华北南部补灌区夏玉米氮肥适宜用量研究

孙克刚 李丙奇 胡颖 和爱玲

河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所，
河南 郑州，450002

摘要: 在驻马店市水屯镇新坡村, 我们根据生产需求, 布置夏玉米氮肥用量试验, 试验处理设6个处理: 氮肥施用水平分别为不施氮、4.7公斤/亩、9.3公斤/亩、14公斤/亩、18.7公斤/亩和23.3公斤/亩; 玉米的产量分别为: 378公斤/亩、444公斤/亩、509公斤/亩、561公斤/亩、552公斤/亩、539公斤/亩。根据产量和施肥量的关系建立氮肥用量一元二次效应方程为: $Y=370.9+20.556X-0.57X^2$ 根据效应方程计算氮肥最佳产量和最高产量氮肥施用量: 最高产量施肥量为18.0公斤/亩, 玉米产量为563公斤/亩。最佳产量施肥量为14.9公斤/亩, 玉米产量为551公斤/亩。

关键词: 夏玉米 氮肥施用量 砂姜黑土

河南省是一个农业大省, 全省面积16.7万平方公里, 其中耕地面积1.19亿亩, 全省农作物总播种面积为2.11亿亩, 其中粮食播种面积达1.42亿亩, 占67.2%。粮食作物中玉米播种面积为4168.5万亩, 占总播种面积29.4%。玉米平均产量为379.6公斤/亩。玉米总产1582.5万吨。全省化肥纯用量为570.7万吨, 氮肥纯用量为240.0万吨, 磷肥纯用量为110.1万吨, 钾肥纯用量为55.5万吨。氮肥用量占整个化肥用量的42.0%。砂姜黑土是河南省三大土类之一, 也是河南粮食主要产区, 其土地面积为190.9万亩, 占全省土壤总面积的9.3%; 耕地面积187.2万亩, 占全省耕地面积的13.9%。

近年来, 随着农村种植业结构的调整, 农作物的品种更新换代, 玉米产量有了明显增加。施氮量的逐步提高和施肥技术的不断改善是获取玉米高产的一个重要措施^[1-4]。但是过量使用氮肥, 其结果是氮肥损失大、利用率低, 同时造成环境破坏, 资源浪费, 生态退化, 土壤板结等一系列问题。因此, 在提高玉米产量同时, 研究玉米适宜氮肥用量, 为砂姜黑土区氮肥合理施用提供理论依据, 为实现玉米高产创造条件。本研究是在国际植物营养研究所(IPNI)北京办事处资助下完成。

1 试验材料与方法

试验于2008年6月布置在驻马店市驿城区新坡村。土壤类型为砂姜黑土。驻马店市位于河南省南部, 地处北纬32°18'~33°35'、东经113°10'~115°12'。东西长191.5公里, 南北宽137.5公里, 总面积15083平方公里, 占全省总面积的8.9%。驻马店地处亚热带与暖温带的过渡地带, 四季分明, 雨量充沛, 土地肥沃, 气候温和, 适宜多种农作物生长, 是国家和省重要的粮油生产基地, 素有“中原粮仓”、“中州油库”之称, 常年粮食总产量500多万吨, 占全省的1/10, 其中小麦300多万吨, 玉米160多万吨; 油料总产70万吨, 居河南省第一位;。年平均气温14.9℃-15.4℃, 全年无霜期210-240天, 年平均日照时数2554.3小时, 年平均降雨量800-1000毫米。

根据玉米生育需肥特点, 试验处理设置6个处理, 分别为T1:不施氮肥, T2:氮肥4.7公斤/亩; T3:氮肥9.3公斤/亩; T4:氮肥14公斤/亩; T5:氮肥18.7公斤/亩; T6:氮肥23.3公斤/亩。

氮肥为尿素 (N 46%)，磷肥用过磷酸钙 (10%)，用量为 (P₂O₅) 5 公斤/亩，钾肥用氯化钾 (60%)，用量为 (K₂O) 6.7 公斤/亩。钾肥用加拿大产氯化钾。氮磷钾肥在玉米三叶期一次施入。

小区面积为 40m²，重复 3 次，随机区组排列，田间管理按丰产田要求，并记载生物学性状。玉米品种为：郑单 958，播种量为：5000 株/亩。试验于 2008 年 6 月 3 日播种，于 2008 年 9 月 20 日收获。

收获各小区籽粒（或收获部分）和秸秆（或生物）产量；对植株和籽粒进行 N、P、K 元素吸收分析。

表 1 试验地土壤养分基本状况

| 地点 | 经度 | 纬度 | pH | OM % | 毫克/升 | | | | | | | | | |
|-----|---------------|--------------|------|---------|---------------------------------|------|------|-----|----|-----|------|-----|------|--|
| | | | | | NH ₄ ⁺ -N | P | K | S | Fe | Cu | Mn | Zn | B | |
| 新坡村 | E114°09'38.8" | N32°56'54.7" | 6.21 | 0.87 | 10.5 | 10.5 | 66.5 | 2.1 | 87 | 2.6 | 27.7 | 1.3 | 0.33 | |

2 结果分析

2.1 氮肥用量对夏玉米产量的影响

驻马店市驿城区水屯镇新坡村玉米氮素用量试验结果经方差分析，F 值达到 5% 和 1% 显著水平。在 6 个处理中以 N₁₄P₅K_{6.7} 处理产量最高，达 561 公斤/亩，其利润第 1 为 787 元/亩，产投比 5.7，生物产量是最高 1235 公斤/亩，经济系数为 0.45，产量与其他各个处理相比达到 5% 显著水平。其次为 N_{18.7}P₅K_{6.7} 处理，产量达 552 公斤/亩，利润是第 2 为 744 元/亩，产投比 4.8，生物产量第 2 是 1215 公斤/亩，经济系数为 0.45。N_{23.3}P₅K_{6.7} 处理，产量达 539 公斤/亩，其利润为第 4 位 692 元/亩，产投比为 4.1，生物产量是第 3 位 1201 公斤/亩，经济系数为 0.45。N_{9.3}P₅K_{6.7} 处理产量为 509 公斤/亩，其利润为第 3 位 725 元/亩，产投比为 6.2，生物产量是 1144 公斤/亩，经济系数为 0.44，N_{4.7}P₅K_{6.7} 处理产量为 444 公斤/亩，其利润为第 5 位 643 元/亩，产投比为 6.8，生物产量是 1020 公斤/亩，经济系数为 0.43，不施肥氮处理产量为 378 公斤/亩。

玉米产量先随氮肥施用量的增加而增加，而后随氮肥施用量的增加又有所下降。氮肥施用水平分别为 0 公斤/亩、4.7 公斤/亩、9.3 公斤/亩、14 公斤/亩、18.7 公斤/亩和 23.3 公斤/亩；玉米的产量分别为：378 公斤/亩、444 公斤/亩、509 公斤/亩、561 公斤/亩、552 公斤/亩、539 公斤/亩。每公斤氮素增产玉米为：14.1 公斤、14.0 公斤、13.1 公斤、9.4 公斤和 6.9 公斤。

表 2 氮肥用量对玉米产量及经济效益影响

| 施肥处理 | | | 产量 | 显著性 | | 减产 | | 元/亩 | | | | | 生物产量 | 经济系数 |
|------|-------------------------------|------------------|-----|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|
| N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | 5% | 1% | 公斤 | % | 产值 | 成本 | 利润 | 与最佳差 | 产投比 | | |
| 0 | 5 | 6.7 | 378 | e | D | 184 | 32.7 | 642 | 83 | 559 | 228 | 7.7 | 906 | 0.42 |
| 4.7 | 5 | 6.7 | 444 | d | C | 118 | 21.0 | 754 | 111 | 643 | 144 | 6.8 | 1020 | 0.43 |
| 9.3 | 5 | 6.7 | 509 | c | B | 53 | 9.4 | 865 | 139 | 725 | 62 | 6.2 | 1144 | 0.44 |
| 14 | 5 | 6.7 | 561 | a | A | 0 | 0.0 | 954 | 167 | 787 | 0 | 5.7 | 1235 | 0.45 |
| 18.7 | 5 | 6.7 | 552 | ab | A | 9 | 1.6 | 939 | 195 | 744 | 43 | 4.8 | 1215 | 0.45 |
| 23.3 | 5 | 6.7 | 539 | b | A | 23 | 4.0 | 916 | 223 | 692 | 95 | 4.1 | 1201 | 0.45 |

价格 (元/公斤) N 6.0、P₂O₅ 6.0、K₂O 8.0、玉米 1.7

2.2 夏玉米氮肥用量回归方程的建立

由玉米产量和氮肥施用量,通过回归建立夏玉米与氮肥用量一元二次回归效应方程:

$Y=370.9+20.556X-0.57X^2$ $R^2=0.9842$ 。根据效应方程,我们计算出夏玉米最高产量施肥量和最佳产量氮肥施用量;由方程计算出最高产量施肥量为 18.0 公斤/亩,玉米产量为 563 公斤/亩。最佳产量施肥量为 14.9 公斤/亩,玉米产量为 551 公斤/亩。

2.3 玉米不同生育期间叶绿素 SPAD 值的测定

由各个处理的各个生育期的叶绿素测定值可以看出(表3),以抽雄期为临界点呈现先增后降的明显趋势。叶绿素值与叶片氮素浓度之间具有线性相关关系,但相关关系具有显著的差异,差异取决于叶片位置,发育阶段以及叶片上的测点位置。玉米苗期,SPAD值和叶片含氮量相关性不显著;抽雄期,穗叶SPAD值和叶片氮浓度及产量呈正相关。

表3 不同时期叶绿素 SPAD 值

| 处理 | 苗期 | 拔节期 | 大喇叭口 | 抽雄期 | 灌浆期 | 成熟期 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| 1 氮肥 0 | 28.2 | 32.5 | 38.3 | 43.6 | 42.9 | 22.3 |
| 2 氮肥 1 | 29.1 | 34.7 | 39.6 | 49.2 | 40.8 | 21.6 |
| 3 氮肥 2 | 29.5 | 36.2 | 45.2 | 49.2 | 47.5 | 25.5 |
| 4 氮肥 3 | 31.3 | 38.1 | 46.7 | 50.3 | 48.3 | 26.7 |
| 5 氮肥 4 | 31.1 | 38.8 | 46.9 | 51.6 | 48.4 | 26.5 |
| 6 氮肥 5 | 31.3 | 38.7 | 46.5 | 50.8 | 49.7 | 27.1 |

2.4 不同氮肥用量对玉米经济性状的影响

由表4不同处理对玉米经济性状可以看出,随着施氮量的增加,株高、穗长和穗粗都有增加的趋势,但穗粒数和百粒重呈先增加后降低的趋势,可见过量施用氮肥反而不利于玉米的高产。

表4 不同处理对玉米经济性状的影响

| 处理 | 株数 株/亩 | 株高 厘米 | 穗长 厘米 | 穗粗 厘米 | 穗粒数 粒/穗 | 百粒重 克 |
|--------|-----------|----------|----------|----------|------------|----------|
| 1 氮肥 0 | 5000 | 241 | 15 | 3.9 | 287 | 26 |
| 2 氮肥 1 | 5000 | 246 | 18 | 4.2 | 419 | 27 |
| 3 氮肥 2 | 5000 | 250 | 18 | 4.9 | 431 | 27.2 |
| 4 氮肥 3 | 5000 | 255 | 18 | 5.1 | 440 | 27.3 |
| 5 氮肥 4 | 5000 | 261 | 19 | 5.2 | 450 | 27.3 |
| 6 氮肥 5 | 5000 | 264 | 19 | 5.2 | 435 | 27.1 |

3 结论:

在砂姜黑土区夏玉米适宜氮肥用量为 14 公斤/亩。玉米产量可以达到 550 公斤/亩以上。根据效应方程计算:玉米最高产量施肥量为 18.0 公斤/亩,玉米产量为 563 公斤/亩。玉米最佳产量施肥量为

14.9 公斤/亩，玉米产量为 551 公斤/亩。

参考文献：

- 1 高祥照, 马文奇, 杜森, 张福锁, 毛达如. 我国施肥中存在问题的分析[J]. 土壤通报, 2001. (6): 258-261.
- 2 李家康, 林葆, 梁国庆, 沈桂芹. 对我国化肥使用前景的剖析[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (1): 1-10
- 3 陈新平, 张福锁. 美国玉米带的推荐施肥技术. 土壤肥料. 1997. (3): 45-47
- 4 山东农业科学院. 1986. 中国玉米栽培学. 上海: 上海科学技术出版社
- 5 张起君, 黄舜阶, 刘绍棣, 李新政. 1992. 玉米高产开发原理与技术. 青岛: 山东科学技术出版社.





施肥对甜菜产量、干物质积累和养分吸收规律的影响

段玉 赵沛义 妥德宝 李焕春

内蒙古农牧业科学院，呼和浩特，010031

摘要：采用田间试验研究了施肥对甜菜产量、干物质积累和养分吸收规律的影响。结果表明：氮、磷、钾肥配合施用可以提高甜菜产量，制约甜菜产量的养分因子依次为 $N>P>K$ 。干物质日积累规律为：苗期增长缓慢，叶和块根分别在出苗后80和125天达到最大值，在60-80天时，块根の日积累量超过叶。氮的吸收速率，全株表现为慢-快-慢的规律，叶片和块根分别在出苗后100天和160天达到最大值，氮的累积总量在叶中较多。磷的吸收速率，叶片表现为出苗后40-80天最快，块根在40-120天快速增加并达到最大值；磷在叶和块根中的累积量分别在出苗后80天和120天达到最大，80天之后块根的累积量超过叶。对于钾，叶在出苗后40-120天快速吸收并达到最大值，块根在出苗60天后吸收加快，收获时达到最大；在整个生育期内块根对K的吸收量都低于叶。甜菜单株日吸收N和P量分别在出苗后100天和60天达到最大值；Kの日吸收量苗期较少，40-80天快速增加达到最大。

关键词：甜菜；产量；吸肥规律；干物质积累

甜菜是内蒙古主要的糖料作物和经济作物，由于农业结构调整，种植面积曾一度有所下降，但统计数据显示近年来内蒙古甜菜播种面积有回升的趋势，2006年内蒙古种植面积达73.3万亩，产量为174.6万吨，占农作物总产的10.2%，因此进一步研究内蒙古地区甜菜的平衡施肥模式对促进甜菜生产意义重大，不少学者曾经对施肥后影响甜菜产量及生理指标的因素进行了研究，但如何根据甜菜的吸肥规律和特点进行科学施肥，确定甜菜的合理施肥量，以及施肥后物质如何积累鲜有报道。本项研究旨在明确甜菜高产栽培的氮、磷、钾肥的合理用量，阐明氮磷钾化肥对甜菜养分吸收、干物质积累和产量的影响，为甜菜科学施肥提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验于2007年在内蒙古巴彦淖尔市农业科学院试验场进行，供试土壤为灌淤土，基础土壤养分状况见表1。

表1 供试试验地土壤基本性状

| pH | OM % | K | N | P | S | B | 毫克/升 | | | |
|-----|---------|-------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|
| | | | | | | | Cu | Fe | Mn | Zn |
| 8.8 | 0.57 | 176.4 | 31.4 | 30.0 | 69.5 | 4.1 | 2.7 | 17.0 | 14.1 | 2.5 |

试验采取随机区组设计，设OPT(NPK)、OPT-N(PK)、OPT-P(NK)和OPT-K(NP)4个处理，三次重复，N- P_2O_5 - K_2O 的用量(公斤/亩)分别为12-4-4，0-4-4，12-0-4，12-4-0。供试品种为甜研-309，4月15日播种，密度为5000株/亩，10月8日收获。

试验用氮肥品种为尿素 (N46%)；磷肥品种为三料过磷酸钙 (P₂O₅46%)；钾肥品种为加拿大氯化钾 (K₂O60%)，氮肥 40% 作种肥，60% 在 7 月 20 日 (块根膨大期) 追施，磷钾肥全部作种肥一次施用。

1.2 测定项目及方法

在甜菜出苗后每隔 20 天取 OPT 处理的三次重复样品各 3 株，将甜菜茎叶及块根洗净分别称取鲜重后先在网室阴干，再进行烘干称重，粉碎过筛，备用。全氮、全磷、全钾测定采用常规方法，土壤基础养分采用 ASI 法。

2 结果与分析

2.1 施肥对甜菜产量的影响

表 2 施肥对甜菜产量的影响

| 处理 | 产量 (吨 / 亩) | | | | 与 OPT 比较 (± %) | 养分农学效率 (公斤产量 / 公斤养分) | |
|-------|------------|------|------|----------------|-------------------|-------------------------------|-------|
| | I | II | III | 平均 | | | |
| OPT | 5.37 | 5.86 | 5.75 | 5.66 ± 0.26 aA | — | | |
| OPT-N | 4.56 | 4.76 | 4.44 | 4.59 ± 0.16 bB | -18.95 | N | 89.4 |
| OPT-P | 4.44 | 5.22 | 4.81 | 4.82 ± 0.39 bB | -14.79 | P ₂ O ₅ | 209.2 |
| OPT-K | 4.68 | 4.81 | 5.37 | 4.95 ± 0.37 bB | -12.49 | K ₂ O | 176.7 |

注：大小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。

从表 2 结果看出，不同处理产量顺序依次为 OPT>OPT-K>OPT-P>OPT-N，各减素处理间差异不显著。氮、磷、钾肥配合施用 (OPT) 产量最高，达到 5.66 吨 / 亩，与减氮、减磷和减钾处理相比差异显著，OPT-N 处理产量最低，仅为 4.59 吨 / 亩，减产 18.95%，每公斤 N 增产甜菜 89.4 公斤；OPT-P 处理减产次之为 14.79%，每公斤 P₂O₅ 增产甜菜 209.2 公斤；OPT-K 处理减产最小为 12.49%，每公斤 K₂O 增产甜菜 176.7 公斤；，通过本试验认为制约甜菜产量提高的养分限制因子依次为 N>P>K。

2.2 甜菜干物质积累规律

甜菜 5 月 2 日出苗，出苗后天数与叶、根及植株的干物质积累量和日累积量关系见图 1 和图 2。从干物质的积累规律看，在出苗后 40 天之内，叶片生长缓慢，日平均积累量为 543.8 毫克 / 株 / 天；出苗 40 天之后叶片开始旺盛生长，到 80 天日积累量达到最大值为 2020.3 毫克 / 株 / 天，之后生长趋缓，日积累量不断下降，到收获时成为负增长，蔡柏岩^[13]的研究也得出相同结论。根的干物质积累出苗 40 天之前较缓，之后日积累量持续增加，出苗 125 天根的日积累量达到最大值 4077.3 毫克 / 株 / 天，之后吸收缓慢降低。出苗后 60-80 天日积累量块根超过叶，这一时期是甜菜由叶片生长为主转移到以块根生长为主的转折期，也是块根快速膨大及水肥关键期。

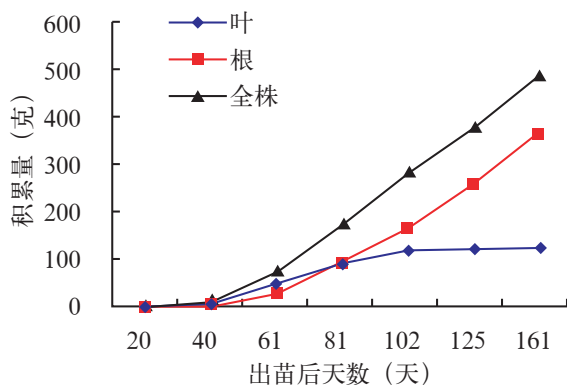


图1 甜菜干物质累积规律

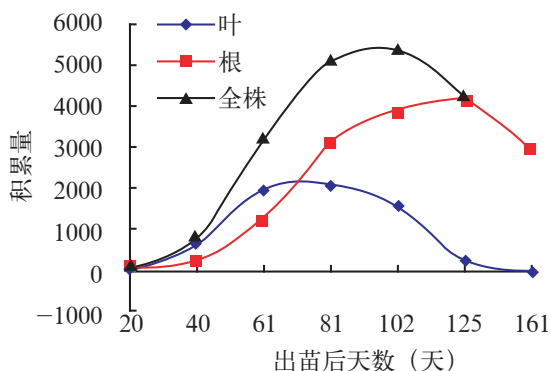


图2 甜菜干物质日积累量

2.3 甜菜养分吸收规律

甜菜对N的吸收情况见图3。图中显示甜菜单株吸收N速率表现为前期(出苗后60天之前)较慢,中期(出苗后60-125天)较快,后期(出苗后125天~收获)变慢的积累规律;叶片吸收氮素在出苗后100天达到最大值2.553克/株,之后逐渐下降;块根吸收氮素整个生育期没有叶吸收多,出苗80天之前吸收量较少,80-120天吸收最快,120天之后吸收放缓,收获时接近叶片对氮素的吸收量。

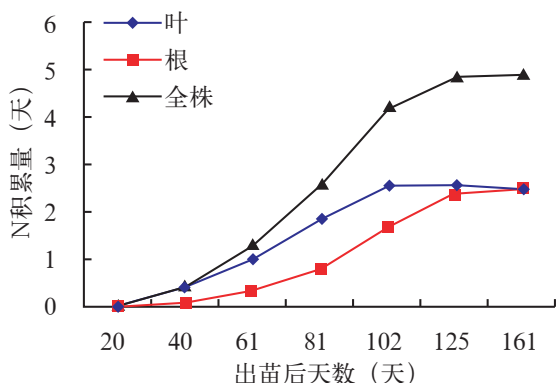


图3 N的吸收累积规律

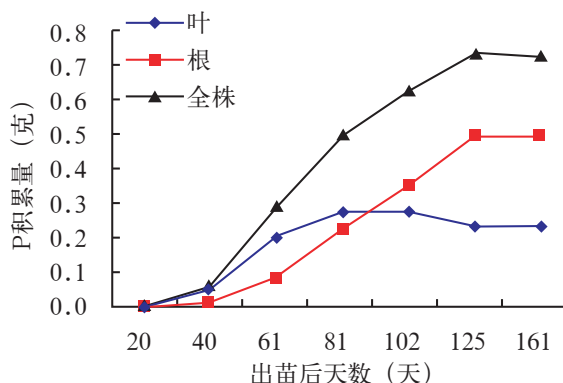


图4 P的吸收累积规律

从图4看出,甜菜对P的吸收总量表现为出苗40天之前较少,叶片吸收P在出苗40-80天最快,并在出苗后80天达到最大吸收量0.276克,此时块根吸收P的量超过叶片;块根吸收P量出苗40天之前较慢,40-120天快速增加,120天达到最大值0.49克。

甜菜对K的吸收规律如图5所示,甜菜吸收K主要集中在叶片中。叶片在出苗40天之前吸收K较少,出苗后40-120天是快速吸收时期,出苗后120天吸收量达到最大值,为6.36克,120天之后吸收量下降;块根在出苗后60天以前对K的吸收缓慢,之后吸收加快,收获时达到最大,占总吸收量的39.8%,在整个生长阶段块根对K的吸收量一直都低于叶片。

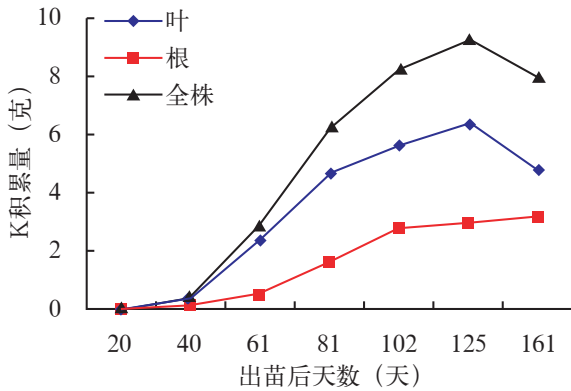


图5 甜菜K的吸收累积规律

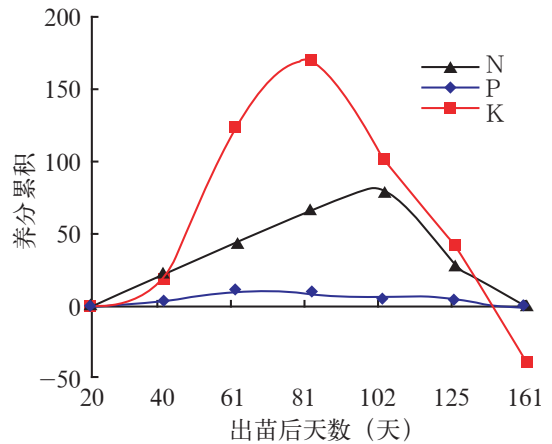


图6 甜菜N、P、K的日吸收量

甜菜对N、P、K的日积累量见图6，出苗后100天之前甜菜日吸收N平稳增加，100天时达到最大值80.3毫克/天/株，100天之后日吸收量逐渐减少；甜菜日吸收P量较少，吸收高峰出现最早，在出苗后60天达到最大值11.73毫克/天/株，之后缓慢减少；甜菜日吸收K量最多，苗期日吸收量较少，40-80天日吸收量快速增加并达到最大值169.27毫克/天/株，之后日吸收锐减，收获前出现负增长。

3 小结

3.1 氮、磷、钾肥配合施用 (OPT) 明显地提高了甜菜产量，减素处理与OPT比较都不同程度导致了甜菜减产，其中减氮处理 (OPT-N) 减产幅度最大，制约甜菜产量提高的养分限制因子依次为N>P>K。

3.2 甜菜苗期生长缓慢，出苗后80天叶片日积累量达到最大值，出苗后125天块根的日积累量达到最大值。出苗后60-80天日积累量块根超过叶，这一时期是甜菜由叶片生长为主转移到以块根生长为主的时期，也是块根快速膨大和水肥关键期，此阶段必须保证养分水分的充足供应。

3.3 甜菜单株吸收N速率表现为前期较慢，中期较快，后期变慢的积累规律；块根吸收氮素整个生育期没有叶吸收多，收获时接近叶片对氮素的吸收量。甜菜出苗40天之前吸收P较少，叶片吸收P在出苗40-80天最快，在出苗后80天吸收量最大；块根吸收P量出苗40天之前较慢，40-120天快速增加，120天达到最大值，在出苗后80天块根吸收P的量超过叶片。甜菜吸收K主要集中在叶片中。叶片在出苗40天之前吸收K较少，出苗后120天吸收量达到最大值；块根对K的吸收一直呈上升趋势，收获时达到最大值，在整个生长阶段块根对K的吸收量一直都低于叶片。甜菜单株日吸收N量在出苗后100天内平稳增加并达到最大值；日吸收P量在出苗后60天达到最大值；甜菜日吸收K量最多，苗期吸收量较少，40-80天日吸收量快速增加并达到最大值，之后日吸收锐减。

参考文献:

- [1] 金英姿. 影响甜菜品质的障碍因素及对策[J]. 新疆农业科技, 2005, 05: 35-39
- [2] 曲文章. 施肥量对甜菜产量和生理指标的影响[J]. 中国甜菜, 1993, 02: 25-29

- [3] 丁伟, 曲文章, 程鹏. 不同施钾水平下甜菜干物质积累与分配规律的研究[J]. 中国糖料, 2001, 01: 14-17
- [4] 龚学臣, 乔永明, 袁进成, 等. 甜菜高产高糖平衡施肥模式[J]. 中国糖料, 2004, 04: 32-34
- [5] 孙建军, 李俊杰, 查体翔. 博州甜菜种植区土壤养分状况及施肥对策[J]. 中国糖料, 2007, 01: 45-46
- [6] 刘华君, 王燕飞, 张立明, 等. 不同施肥水平对饲料甜菜产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2005, 06: 59-61
- [7] 龚学臣, 袁进成, 乔永明, 等. 氮磷钾肥配合施用对甜菜含糖率的效应分析[J]. 中国甜菜糖业, 2003, 04: 7-9
- [8] 苏永中, 秦来寿, 张树清. 甜菜平衡施肥中的钾效应[J]. 土壤肥料, 1997, 02: 37-38
- [9] 蔡柏岩, 葛菁萍, 曲文章. 氮素水平对甜菜干物质积累与分配的影响[J]. 中国糖料, 2004, 02: 6-9

有机食品的营养品质 —— 一篇系统综述

Alan D Dangour, Sakhi K Dodhia, Arabella Hayter, Elizabeth Allen, Karen Lock
和 Ricardo Uauy 著

国际植物营养研究所成都代表处 谢玲译 涂仕华校

资料来源: *American Journal of Clinical Nutrition* 2009, 90: 680-685.

Dangour 的通讯地址是: 英国伦敦 Keppel 街 伦敦卫生和热带医学院, 流行病和公众健康系, 营养和公众健康干预研究室。邮编 WC1E 7HT。E-mail: alan.dangour@lshtm.ac.uk

摘要

背景: 尽管消费者对有机生产食品的需求日益增长, 但是我们还缺乏对其营养品质系统评价的信息。

目的: 根据已有关于有机食品与常规食品养分含量的文献报道, 定量评估二者的营养差异。

设计: 我们系统查询了 1958 年 1 月 1 日至 2008 年 2 月 29 日 50 年期间的公众媒体(PubMed)、科学网和美国化学文摘(CAB), 接触了行业专家, 人工检索了这一专题的书目。我们在分析中还包括了那些通过同行评审并有英语摘要的文章, 只要它们含有比较有机食品和常规食品养分含量的内容。有两个作者专门负责提取研究论文的特性、质量和数据。其分析工作主要限制在报告中出现最多的养分上。

结果: 从得到的 52471 篇文章中, 我们确认了 162 个研究 (137 种作物和 25 个畜产品), 55 个研究质量令人满意。分析中, 只使用了那些质量满意的研究。常规方式生产的作物含氮量明显偏高, 而有机方式生产的作物含磷量和可滴定酸明显偏高。在 11 类作物养分中, 余下的 8 类未发现任何差别。根据非常有限的畜产品数据库分析, 也没发现常规方式生产和有机方式生产的畜产品在营养成分含量上有任何差别。

结论: 根据质量满意研究的系统评估, 常规食品与有机食品之间的养分品质没有差别。检测到的细小养分含量差异在生物学上是存在的, 并通常与生产方式相关。

引言

人们对有机食品的需求正不断增长。2007 年英国有机食品市场交易额估计为 20 亿英镑, 比 2005 年增长 22%^[1], 全球有机食品市场交易额约为 290 亿英镑^[2]。有机食品是依据特定标准生产, 并与其他措施结合, 限制作物生产中使用化学制品以及动物生产中使用药物, 强调把对环境的影响降至最低^[3, 4]。以前所作的非系统评估认为, 有机食品比常规食品更富营养^[5-7], 但这种观点前后不一致^[8, 9]。到目前为止, 还未看到关于对此主题的系统评估而公开发表的文献。

在所有的天然产品中, 其养分和其它相关营养物质的组成迥然不同^[10]。即使是同一种作物的不同栽培种, 其养分组成也不同, 因为这受控于化肥和杀虫剂的使用方法、生长条件、生长季节和其他因素。同样, 畜产品的养分组成也受牲畜的年龄和品种、饲养方法和饲养季节的影响。在食品被端上消费者餐桌之前, 养分含量的内在变异可能受贮存、运输和烹饪的影响 (参见网上“附录”中附图 1)。了

解到影响作物产品和畜产品养分变化的因素，对设计和解释有机食品与常规食品在养分含量上存在差异的研究结果非常重要。

尽管目前并还没有证据说明不同农业措施生产的食品在养分成分上存在差别，但是消费者似乎很乐意支付高价钱来购买有机食品，这仅仅是凭他们的感觉：有机食品更健康、营养^[11, 12]。根据现有证据确定有机食品的养分，就能有根有据地宣布有机食品含有的和潜在的营养成分，以及消费后对公众健康的利弊，可使消费者做出知情选择。

本报告是我们对有机或常规食品化学分析研究的系统评估。结果仅限于食品的养分及与营养相关的物质。我们没有强调污染物的差异（如除草剂、杀虫剂或菌类残留）或是有机和常规生产对环境带来的潜在影响，因为这不是本文讨论的内容。

方法

由于目前可用数据的质量参差不齐，我们不能用常规元分析来处理报告的数据结果。我们尽可能地遵循这样的原则：系统评估和报道所检索的观察研究。

查询策略

我们在PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>)网上开发了一种查询方法，即使用医学学科标题[MeSH]和摘要[tiab]术语。查询术语（包括所有含MeSH的标题、小标题和tiab术语）为“有机”、“健康食品”，“常规”结合“食品”、“农业作物”、“牲畜”和“农业”。把这些这些术语与养分和营养物质结合，再从近期全球有关饮食、营养和癌症预防的文章中查询[14]（参看网上“附录”中的附表1）。我们查询的数据库浏览有PubMed数据库、科学网(http://isiwebofknowledge.com/products_tools/multidisciplinary/webofscience/)和CAB摘要(<http://www.cabi.org/cababstracts>)，时间跨度从1958年1月1日至2008年2月29日(50年)。对论文标题和摘要与我们研究目的的相关性做了仔细审查，并确定了今后需要用到的文章。相关参考文献目录利用手工处理，旨在找到更多有用文献。从相关文献中确定了40位专家，并通过E-mail联系；共收到了29封E-mail回复和36篇发表的论文，其中有25篇与主题无关或在最初的查询中已被确认。

选取标准和数据提取

我们选用了经同行评审刊物上有英语摘要的论文，无论该论文属于哪种语言，只要它直接比较了有机（作者在论文中使用了有机、生态和生物有机）农业系统食品与常规（作者在论文中使用了常规和集约）农业系统食品中的养分或营养物质成分。我们剔除了那些把有机农业与综合农业(n = 10)或生态农业(n = 1)相比较的研究，因为这些农业措施特别少见。也剔除涉及不同施肥管理(n = 6)或非养分（如镉、铅和汞）污染物含量(n = 37)的研究或那些描述如何确定食品生产方法的技术研究(n = 11)。灰色文献（会议摘要和没有发表的研究）也不包括在入选论文中。

所有查询和数据提取由2位研究助理负责，有争议之处经由项目负责人组织讨论解决。数据被提取到作物和畜产品的独立数据库。外文文献的数据由讲该母语的人用标准模板处理，并与评估小组讨论后提取。对前10篇入选论文数据的提取采用两人平行作业，标明不同之处并进行修改。剩下文章的数据由一人录入，其他人核实；讨论所有存在的分歧，最终达成一致。

研究设计

调查有机和常规食品养分含量的研究基于3个独立设计：田间试验，它比较了有机农场和相邻常规农场抽取的样本；农场调查，它比较了采自有机和常规农场的样本，但这两类农场只有某些变量相同；菜篮子研究，它比较了零售商店的有机和常规食品样本，这些商品将直接卖给消费者。

研究质量

该领域的研究及报告质量极易变化。鉴于此，评估涉及的每一个研究都根据其试验设计考虑其关键因素。我们按5项标准划分质量等级：对有机生产方法定义清楚，包括(1)有机认证机构的名称，(2)作物品种或牲畜品种的详细说明，(3)注明所分析的养分和其他营养物质，(4)使用的实验室分析方法和(5)统计分析方法。如果研究满足这5项标准则会被定义为质量满意。我们没有进一步对所引用的有机认证机构或所使用的分析方法的再做质量评级。

定量数据合成

为了评价数据的全面性，涉及的所有研究设计和所有食品（农产品、畜产品、食品和饮料）都纳入了分析。文章报道了100种不同食品的化学分析数据和455种养分和营养物质数据，我们将它们分为98种养分类别来简化分析（参看网上“附加数据”中的附表2和3）。由于可比较的食品研究数量不够，以致不能对食品数据进行直接分析；因此，采用了对所有研究设计的养分类别进行分析。如有大量的养分数据可供分析，我们则事先采用实用性决策，即对养分种类 ≥ 10 的作物研究和养分种类 ≥ 4 的畜产品研究进行统计比较，但这样的研究实在太少。

有少量涵盖入内的研究只用图像格式展示了一些($n = 5$)或所有($n = 1$)相关数据；在分析中只使用了所提取的数据资料。所有剩余研究使用的都是养分平均值。当结果由一个以上平均数构成（如按月收获），则计算这些平均数的平均数。大多数研究都没有样本大小或中值的变异信息。因此，得出的分析只是一种实用选择，它使得可用数据能以得到充分利用。我们用以下公式来计算报告的平均养分含量的标准百分差：

$$[(\text{有机食品的养分含量} - \text{常规食品的养分含量}) / \text{常规食品的养分含量}] \times 100$$

正的百分差值表明有机食品中某种养分更多，而负值则表明常规食品中该养分更多。如果分析中包含了研究设计本身的差异，得到的百分差则不能转换成某种养分差值。我们利用t检验结合更强的标准差（SEs）（归因于研究中养分多重比较产生的聚类）以及5%的显著性差异来解释结果。极端值($n = 3$)不可能出现，它们被定义为与下一个最大值的绝对差 ≥ 1 SD，一旦出现则被剔除。采用STATA 10（2007年Stata统计软件，版本10；StataCorp LP, College Station, TX）来进行数据的统计分析。

附加评估

为了对整个评估实施进行监督和建议，特成立了一个独立专家评审团。该团由一个学科专家(Julie Lovegrove, 英国雷丁大学)和一个具有系统评估经验的公共健康营养专家(Martin Wiseman, 英国南安普敦大学和英国世界癌症研究国际基金会)组成。独立专家评审团对评估草案提供反馈意见，这些意见被采纳入2008年4月18日网上<http://www.lshtm.ac.uk/nphiru/research/organic/>公布的最终草案。相关学科专家和外部机构都得到通知，评估草案可以在以上网站看到。专家评估团的评议被纳入最终报

告, 报告然后送交项目资助方, 经由 5 位外部学科专家组成的同行评审, 相关同行评议也并入此份报告。

结果

确认研究概述

此次检索的 52471 篇文章中, 确认了 292 篇文章题目潜在相关。获取了其中 282 篇全文, 经过详细审查, 剔除了 145 篇(52%)。尽管经过多次尝试, 还余下 11 篇可能符合条件文章全文未能得到 (6 篇属同行评审, 5 篇属非同行评审) (参见网上附录下的附表 4)。此外, 有 15 篇相关文章是通过人工检索确认, 11 篇是通过直接与作者联系获得, 这些文章都出现在评估研究质量图 (图 1) 中 162 篇文章的最终名单中。

研究质量

确认了有超过一半 ($n = 87$; 54%) 的研究没有说明产品是否经过有机认证机构的认证 (其中 12 个例子 (7.5%) 没有标明认证机构, 我们用报告中的方法部分来推断), 20% 的研究 ($n = 33$) 没有说明研究对象是何种植物品种或牲畜品种, 所有的研究都声称分析了养分, 但有 1% 的研究 ($n = 2$) 没有叙述分析方法, 14% 的研究 ($n = 22$) 给出统计方法 (参见网上“附录”下的附表 5)。确认了 1/3 的研究 ($n = 55$; 34%) 为质量满意 (参见网上“附录”下的附表 6), 由 46 份有关作物 (20 个田间试验、22 个农场调查以及 4 组菜篮子调查) 的报告和 9 篇有关畜产品 (4 个田间试验、5 个农场调查) 的报告组成 (参见网上“附录”下的附表 8)。

养分和其他营养物质的含量比较

我们从 46 个质量满意的作物研究中提取了 1149 项养分含量比较, 10 个以上的研究报道了 11 类养分的数据。在这些质量满意报告的作物分析中, 11 类养分中有 8 类无差别 (VC、酚类化合物、镁、钾、钙、锌、铜和总可溶性固形物) (表 1)。常规生产中作物的氮含量明显偏高, 有机生产中作物的磷和可滴定酸含量明显偏高。我们从 9 个质量满意的畜产品研究中提取了 125 个养分对比, 有 4 个以上研究报道了 2 种养分。对这些非常有限的数据库分析表明, 有机和常规畜产品中的脂肪 (未分类) 或灰分含量无差别 (表 2)。

讨论

本文是第一份公开发表的研究有机食品和常规食品中养分含量差异的系统评估论文。它含有过去 50 年中经同行评审的有英语摘要的文献。有机运动已经有很长的历史^[15], 本文中有大量 2000 年后发表的论文都强调了目前科学界所关注前沿问题。

通过本文的分析建议, 有机和常规方法生产的食品在养分含量上相类似。在所分析了 13 种养分中, 有 10 种养分在两种生产方式的农产品中无明显差别。我们在作物上发现的差别似乎与生物学有关, 最有可能是由于肥料施用引起(氮和磷)^[3]以及收获时作物的成熟度(可滴定酸)^[16]。研究表明, 食用本研究中所涉及的养分含量水平的有机食品不可能比常规食品对健康更有益。因此得出一项重要的推论是: 有机生方式生产的食品在养分含量方面与常规方式生产的食品相当。

与以往的非系统性评估不同,我们的研究采用的是严格的文献检索方法,并对过去50年中的大量研究资料进行了确认。我们的系统方法强调的是质量满意的研究,认同过去的某些发现(有机食品中磷含量较高)但并非所有发现(有机食品中VC和钙含量较高)^[6,7,9]。

在我们的评估中,分析查明了450多种养分或营养物质。尽管有许多文章似乎把目的放在指导数据分析 and 文字表达上,但其他论文则着重于报道大量不同物质的信息。如果报道的养分种类数足够大,我们就能决定把他们分成不同的养分组,从而进一步开展分析研究。我们在论文中提供的数据都是从质量满意的研究中提取而来,作为营养和农业研究人员今后研究的数据源(参见网上“附录”中的附表7和8)。

我们的评估再次强调了该领域研究的参差不齐和整体质量低^[11]。我们用于评价出版物质量的标准被认为是研究设计的关键方法元素,特别是与检索词条(有机生产的认证和食品的定义)和输出结果(实验室分析方法和统计分析方法的说明)有关。我们没有打算对每种质量标准进一步分级;比如,有机认证机构的生产规定各有不同,不同实验室方法的灵敏度也不同^[7]。尽管我们在这份报告中对确认的质量满意的研究所使用的门槛值比较低,但质量满意的研究数量仍然不尽人意。我们督促研究者们研究有机食品的养分特性,以改善他们科学研究工作的质量,并在研究报告中提出了作为最小限度的5个标准。为了能评估食品营养质量与它们生长环境和生产方式的关系,我们尤其需要那些准确详细描述生产方式和精确控制的长期田间试验。我们进行了涵盖所有确认的162个研究的额外分析,无论质量如何,结果都同样表明:有机生产与常规生产的食品在养分含量上无重大差别。

这份评估报告有许多优势,如它系统全面的特性,广泛的收录标准,研究方法严谨。然而,由于所提取的数据有限,不能采用常规元分析。为了更好地利用这些数据,我们决定从不同的研究设计中综合数据,并通过养分分类来计算所有食品的标准差。这样可能会导致在对某些特定食品的个体研究中,一些更为细微的发现会被忽略掉,但被认定是以一种标准形式收录和报告所有可获得数据的最有效方法。

这份评估报告同样也有一些不足,更确切地说是与评估过程有关。我们剔除了灰色文献和非英语摘要的外文文献,我们不能找到少数($n = 11$)可能相关的文章,这可能会使我们在评估中缺少这些少量的相关数据。报道偏见,当作者在他们的研究中没有包含所有现存研究结果时,就可能产生;出版偏见,当刊物编辑对一些论文具有统计显著地发现产生偏爱时,出版偏见也就出现了,这些都是系统评估的潜在局限性^[18]。我们意识到有两篇研究文章^[19,20]发表都在这份评价截止日期以后。

所有的天然产品的养分组成和营养物质都受多种因素影响⁽¹⁰⁾,包括生产方法。生产方法,尤其是化肥、除草剂和杀虫剂的使用,可能会影响食品的化学成分。经认证的有机生产方法,会严格控制化学制品和药品的使用。这些措施对公众健康和环境健康的任何潜在好处势必会保证进一步的系统评估,但不属于本报告的研究内容。

目前的分析建议,尽管有机生产的食品和常规生产的食品在养分含量上的少量差异与生物学相关,但它们不会影响公众健康。这份评估报告得出的一个最广泛的结论是,没有证据支持选择有机食品会比常规食品更能增加某些养分或营养物质的吸收。同样很清楚的是,对该领域的研究,如果研究设计更为严谨,我们就会受益更多,并能更好理解决定食品养分含量的(除生产方法外)诸多因素。

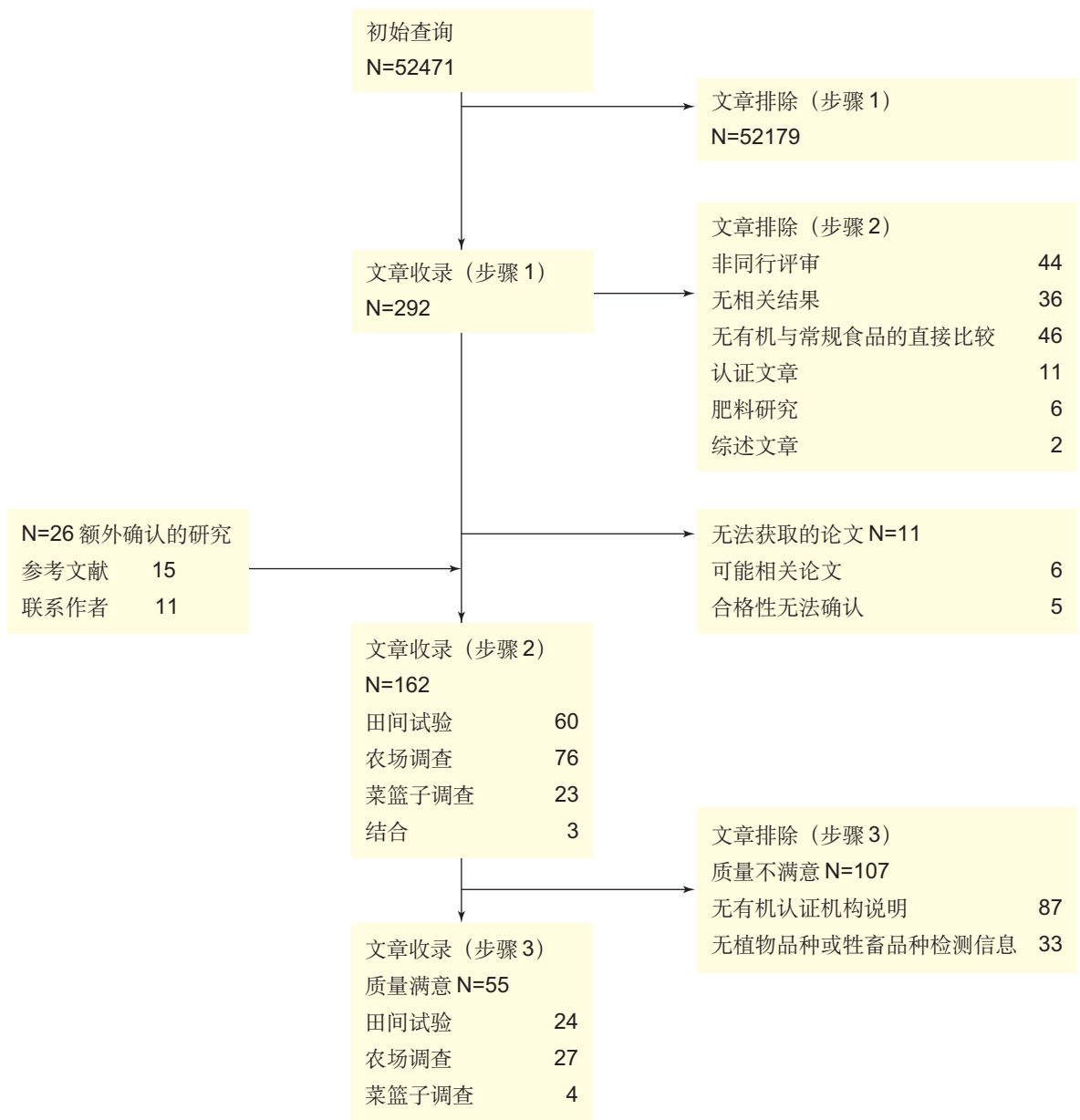


图 1 有机食品营养成分含量系统评估研究所选取的步骤。步骤 3 排除的原因不互相排斥。

我们十分感谢 Andrea Aikenhead 的技术支持。资助单位没有进行研究设计、数据搜集、分析和说明，或是撰写报告。评审团同资助单位召开了 6 次进展会议。通信作者对所有数据全权负责并对文章的提交出版最终负责。

作者及其负责工作介绍如下：ADD, EA, KL 和 RU 参加了研究设计；ADD 主管研究，有权处理所有数据，并对文章的提交出版负最终责任；EA 负责统计分析；SKD 和 AH 负责文献搜索和数据提取。所有作者都对报告的初始草稿和随后的草稿做出了贡献，并对提交的版本进行了修正。所有作者都声明无利益冲突。

表 1 在质量满意的研究报告中, 比较有机生产与常规生产的作物养分和其他营养相关物质含量

| 养分种类 ₁ | 分析结果 | | | | 是有机还是 常规作物 更优? |
|-----------------------------|------|-----|-----------------------|--------------|----------------------|
| | 研究数量 | 对比数 | 标准差 ₂ % | 显著性 <i>P</i> | |
| Nitrogen 氮 | 17 | 64 | 6.7 ± 1.9 | 0.003 | 常规 |
| Vitamin C VC | 14 | 65 | 2.7 ± 5.9 | 0.84 | 无差别 |
| Phenolic compounds 酚类化合物 | 13 | 80 | 3.4 ± 6.1 | 0.60 | 无差别 |
| Magnesium 镁 | 13 | 35 | 4.2 ± 2.3 | 0.10 | 无差别 |
| Calcium 钙 | 13 | 37 | 3.7 ± 4.8 | 0.45 | 无差别 |
| Phosphorus 磷 | 12 | 35 | 8.1 ± 2.6 | 0.009 | 有机 |
| Potassium 钾 | 12 | 34 | 2.7 ± 2.4 | 0.28 | 无差别 |
| Zinc 锌 | 11 | 30 | 10.1 ± 5.6 | 0.11 | 无差别 |
| Total soluble solids 总可溶固形物 | 11 | 29 | 0.4 ± 4.0 | 0.92 | 无差别 |
| Copper 铜 | 11 | 30 | 8.6 ± 11.5 | 0.47 | 无差别 |
| Titrateable acidity 可滴定酸 | 10 | 29 | 6.8 ± 2.1 | 0.01 | 有机 |

1 养分种类是以收录的研究的数字顺序排序

2 所有数值是平均值 ± SEs。

表 2 在质量满意的研究报告中, 比较有机生产与常规生产的作物养分和其他营养相关物质含量

| 养分种类 ₁ | 分析结果 | | | | 是有机还是 常规作物 更优? |
|-------------------|------|-----|-----------------------|--------------|----------------------|
| | 研究数量 | 对比数 | 标准差 ₂ % | 显著性 <i>P</i> | |
| 脂肪 (未分类) | 6 | 13 | 13.0 ± 14.6 | 0.42 | 无差别 |
| 灰分 | 4 | 8 | 13.7 ± 7.8 | 0.18 | 无差别 |

1 养分种类是以收录研究的数字顺序排序

2 所有数值是平均值 ± SEs。

参考文献:

[1] Soil Association. Soil Association organic market report 2007. Bristol, United Kingdom: Soil Association, 2007.

[2] Datamonitor. Organic food: global industry guide. London, United Kingdom: Datamonitor Ltd, 2008.

[3] European Community Council Regulation. Council Regulation (EC) no. 834/2007 of 28 June 2007 on organic production and labelling of organic products and repealing Regulation (EEC) no. 2092/91. In: EEC, ed. Official Journal of the European Union. Brussels, Belgium: European Community Council Regulation, 2007:123.

[4] International Federation of Organic Agriculture Movements. The IFOAM norms for organic

production and processing: version 2005. Bonn, Germany: International Federation of Organic Agriculture Movements, 2007.

[5] Worthington V. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *J Altern Complement Med* 2001;7: 16173.

[6] Soil Association. Organic farming, food quality and human health: a review of the evidence. Bristol, United Kingdom: Soil Association, 2000.

[7] Magkos F, Arvaniti F, Zampelas A. Organic food: nutritious food or food for thought? A review of the evidence. *Int J Food Sci Nutr* 2003;54: 35771.

[8] Bourn D, Prescott J. A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2002;42:134.

[9] Woese K, Lange D, Boess C, Böckl KW. A comparison of organically and conventionally grown foods — results of a review of the relevant literature. *J Sci Food Agric* 1999;74:28193.

[10] Food Standards Agency. McCance and Widdowson's the composition of foods. 6th summary edition. Cambridge, United Kingdom: Royal Society of Chemistry, 2002.

[11] Williams CM. Nutritional quality of organic food: shades of grey or shades of green? *Proc Nutr Soc* 2002;61:1924.

[12] Winter CK, Davis SF. Organic foods. *J Food Sci* 2006;71:R11724.

[13] Stroup DF, Berlin JA, Morton SC, et al. Meta-analysis of observational studies in epidemiology: a proposal for reporting. Meta-analysis Of Observational Studies in Epidemiology (MOOSE) group. *JAMA* 2000 283:200812.

[14] World Cancer Research Fund, American Institute for Cancer Research. Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective. Washington, DC: AICR, 2007.

[15] Heckman J. A history of organic farming: transitions from Sir Albert Howard's War in the Soil to USDA National Organic Program. *Renewable Agric Food Syst* 2006;21:14350.

[16] Aherne SA, O'Brien NM. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutrition* 2002;18:7581.

[17] Gibson RS. Principles of nutritional assessment. 2nd ed. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press, 2005.

[18] Higgins JPT, Green S, eds. Cochrane handbook for systematic review of interventions. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2008.

[19] Butler G, Nielsen JH, Slots T. Fatty acid and fat-soluble antioxidant concentrations in milk from high- and low-input conventional and organic systems: seasonal variation. *J Sci Food Agric* 2008;88:143141.

[20] Roose M, Kahl J, Ploeger A. Influence of the farming system on the xanthophyll content of soft and hard wheat. *J Agric Food Chem* 2009; 57:1828.

安徽省芝麻高效平衡施肥技术研究

李录久¹, 丁楠², 王家嘉¹, 李东平¹, 姚殿立², 郭熙盛¹, 柳希玉²
¹安徽省农科院土肥所 合肥 230031, ²临泉县农技推广中心 236400

摘要: 通过田间试验研究安徽省芝麻高产高效的平衡施肥技术。结果表明, 平衡施肥对芝麻的生长发育具有良好的促进作用, 并能增加产值, 提高经济效益。3年试验平均, 芝麻最佳施肥处理(OPT)较不施氮肥、磷肥、钾肥和氮磷钾的对照分别增产31.7%、8.6%和12.4%及41.0%, 施硼产量提高6.9%。施肥增收17.67~390.27元/亩, 产投比为1.89~20.35:1。

关键词: 芝麻, 平衡施肥, 砂姜黑土

芝麻是我国重要的油料作物, 种子含油率高达50%以上, 油脂清澈芳香, 品质优良, 营养丰富, 是一种高级食用植物油^[1,2]。芝麻在我国各地都有种植, 集中分布于黄淮平原, 是世界最大的芝麻生产国^[3]。安徽是我国著名的芝麻三大产区和集中产地之一, 全省常年种植面积240万亩。安徽省临泉县芝麻播种面积近50万亩, 约占全省芝麻种植面积的20%。安徽省芝麻种植面积虽然较大, 但单产较低, 产量长期处于低而不稳的状态^[4], 主要原因是芝麻生产栽培技术存在若干薄弱环节, 其中农民习惯性不施肥或偏施氮肥, 不施或很少施用磷钾肥及微量元素肥料, 主要依靠前茬小麦施肥的残效来维持芝麻的生长和发育^[5,6]。因此, 开展芝麻高效平衡施肥技术研究, 对指导农民合理施肥, 实现芝麻高产优质高效具有重要作用。2005~2008年, 在国际植物营养研究所(IPNI)的支持下, 在安徽省临泉县开展了芝麻营养诊断施肥研究, 取得了显著的增产增收效果。现将结果整理如下。

1 材料与方法

1.1 土壤养分状况

试验在安徽省临泉县白庙、姜寨等乡镇进行。供试土壤为砂姜黑土。播前0~20厘米耕层土壤样品经北京中一加合作实验室测定, 养分状况见表1。

表1 供试土壤耕层基本农化性状

| 时间 | 地点 | pH (水) | 有机质 (%) | 土壤有效养分含量 (毫克/公斤) | | | | | | | | |
|------|----|-----------|------------|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | 氮 N | 磷 P | 钾 K | 硫 S | 硼 B | 铜 Cu | 铁 Fe | 锰 Mn | 锌 Zn |
| 2006 | 白庙 | 6.65 | 0.40 | 11.05 | 17.60 | 79.6 | 9.20 | 1.15 | 2.45 | 72.4 | 40.9 | 1.40 |
| 2007 | 白庙 | 6.92 | 0.51 | 13.52 | 23.2 | 83.6 | 2.39 | 0.69 | 3.30 | 38.6 | 16.8 | 1.85 |
| 2008 | 姜寨 | 6.21 | 0.57 | 15.01 | 20.1 | 77.2 | 3.60 | 0.48 | 2.90 | 84.3 | 83.3 | 1.51 |

1.2 试验设计

试验设6个处理: ① CK (不施肥) ② OPT ($N_{10}P_6K_{10}$, 施N、 P_2O_5 和 K_2O 分别为10、6和10公斤/亩) ③ OPT-N ④ OPT-P ⑤ OPT-K ⑥ OPT+B_{0.7} (施硼砂0.7公斤/亩), 见表2、表3。氮肥—尿素, 磷肥—磷酸二铵或过磷酸钙, 钾肥—氯化钾。施肥方法为: 70%的氮肥和全部磷、钾肥作基肥,

剩下的30%氮肥作追肥，于芝麻初花期追施。小区面积20.0~21.6米²，4次重复，完全随机区组排列。供试芝麻品种为豫芝10号等当地主栽品种，每年6月上中旬播种，9月中旬收获计实产。其它栽培管理措施如病虫害防治同当地一般大田芝麻。

2 结果与讨论

2.1 施肥对芝麻生长发育的作用

表2的调查结果说明，氮磷钾化肥配合施用对芝麻的生长和发育具有良好的促进作用。与OPT-N、OPT-P、OPT-K或不施肥的对照CK相比，最佳施肥OPT处理芝麻株高、有效蒴、总蒴数和蒴粒数明显增多，始蒴位高度、无效蒴、空梢长和空梢率降低，千粒重提高，产量性状改善，为籽粒产量提高打下了基础。不施肥或不施氮肥，芝麻每蒴粒数显著减少，千粒重降低，对产量有较大的影响。

表2 施肥对芝麻产量构成因素的影响（2006年白庙）

| 处理 | 株高 (厘米) | 始蒴高 (厘米) | 空梢长 (厘米) | 空梢率 (%) | 有效蒴 (个/株) | 无效蒴 (个/株) | 合计 (个/株) | 蒴粒数 (粒/蒴) | 千粒重 (克) |
|-------|------------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|------------|
| OPT | 187.4 | 81.6 | 10.6 | 5.7 | 63.1 | 2.58 | 65.65 | 46.4 | 2.51 |
| OPT-N | 179.4 | 83.7 | 13.1 | 7.3 | 51.5 | 4.48 | 55.95 | 42.8 | 2.14 |
| OPT-P | 187.8 | 85.0 | 13.2 | 7.0 | 54.7 | 4.08 | 58.78 | 48.6 | 2.34 |
| OPT-K | 178.0 | 85.3 | 13.5 | 7.6 | 56.2 | 4.18 | 60.33 | 43.1 | 2.48 |
| CK | 177.2 | 79.0 | 15.0 | 8.5 | 47.3 | 4.48 | 51.75 | 41.6 | 2.29 |
| OPT+B | 182.2 | 84.0 | 9.4 | 5.2 | 58.5 | 3.20 | 61.73 | 43.5 | 2.58 |

2.2 平衡施肥的增产效应

从表3可以看出，淮北平原砂姜黑土地地区，氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥技术对芝麻具有显著的增产效应。与不施氮、磷、钾的对照相比，芝麻增施氮肥（OPT处理较OPT-N）的增产率为24.3~45.9%，施磷（OPT较OPT-P处理）产量相对提高5.8~10.8%，施钾（OPT较OPT-K）增产11.7~13.2%，OPT较不施肥的空白对照N0P0K0产量提高31.5~56.7%，3年试验平均，增产率分别为31.7%、8.6%和12.4%及41.0%，达5%或1%的显著水平。不施肥或不施氮肥、钾肥时，芝麻产量下降，相对产量相应只有最佳施肥处理OPT的63.9~76.0%、68.6~80.5%和88.3~89.5%，平均仅为70.9%、75.9%和88.9%，减产明显。其中不施氮肥对芝麻籽粒产量的影响最大，3年试验平均，减产幅度接近30%；其次为不施钾的处理，3年平均减产11.1%；不施磷对芝麻产量的影响相对较小，平均仅减产8.0%。在施用氮磷钾的基础上增施硼肥，NPKB处理芝麻产量较NPK增长1.5~10.1%，3年试验平均，增产6.4%，除2007年外，均达显著水平。芝麻氮磷钾硼肥料的增产效应顺序为N>K>P>B。

2.3 施肥的经济效益分析

氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥技术，可有效提高芝麻的产值，增加农民经济收入（表3）。最佳施肥处理OPT较不施氮肥的对照增收192.61~339.27元/亩，施用氮肥的产投比达4.92~7.43:1；较不施磷肥的对照增收53.55~105.07元/亩，施用磷肥的产投比达2.11~4.00:1；较不施钾肥的对照增收107.10~125.73元/亩，施用钾肥的产投比为1.89~3.64:1；较不施肥的空白对照增收234.60~390.27

表3 平衡施肥对玉米产量和经济效益的影响

| 年份 | 处理 | 籽粒产量 公斤/亩 | OPT 增产 公斤/亩 | OPT 增产率 % | 经济效益 元/亩 | 施肥 产投比 |
|------|-------|--------------|----------------|--------------|-------------|-----------|
| 2006 | OPT | 115.2 | -- | -- | -- | -- |
| | OPT-N | 92.7 | 22.5 | 24.3** | 192.61 | 4.92 |
| | OPT-P | 108.9 | 6.3 | 5.8 | 53.55 | 2.11 |
| | OPT-K | 102.6 | 12.6 | 12.3** | 107.10 | 3.30 |
| | CK | 87.6 | 27.6 | 31.5** | 234.60 | 2.42 |
| | OPT+B | 125.7 | -10.5 | -8.4* | -87.89 | 16.48 |
| 2007 | OPT | 115.5 | -- | -- | -- | -- |
| | OPT-N | 90.4 | 25.1 | 27.8** | 251.33 | 6.42 |
| | OPT-P | 105.4 | 10.1 | 9.6* | 101.40 | 4.00 |
| | OPT-K | 103.4 | 12.1 | 11.7* | 121.27 | 3.64 |
| | CK | 83.6 | 32.0 | 38.3** | 319.67 | 3.27 |
| | OPT+B | 117.3 | -1.8 | -1.5 | -17.67 | 3.22 |
| 2008 | OPT | 107.9 | -- | -- | -- | -- |
| | OPT-N | 74.0 | 33.9 | 45.9** | 339.27 | 7.43 |
| | OPT-P | 97.4 | 10.5 | 10.8* | 105.07 | 3.61 |
| | OPT-K | 95.3 | 12.6 | 13.2** | 125.73 | 1.89 |
| | CK | 68.9 | 39.0 | 56.7** | 390.27 | 2.76 |
| | OPT+B | 118.8 | -10.9 | -9.2* | -108.53 | 20.35 |
| 平均 | OPT | 112.9 | -- | -- | -- | -- |
| | OPT-N | 85.7 | 27.2 | 31.7** | 261.07 | 6.26 |
| | OPT-P | 103.9 | 9.0 | 8.6* | 86.67 | 3.22 |
| | OPT-K | 100.4 | 12.4 | 12.4** | 118.03 | 2.69 |
| | CK | 80.0 | 32.8 | 41.0** | 314.85 | 2.79 |
| | OPT+B | 120.6 | -7.7 | -6.4 | -71.36 | 13.71 |

*2006、2007和2008年芝麻价格分别为8.50、10.00和10.00元/公斤，N为3.91、3.91和4.57元/公斤，P₂O₅为4.23、4.23和4.84元/公斤，K₂O为3.25、3.33和6.67元/公斤，硼砂8.00元/公斤。

元/亩。3年试验，施用氮磷钾化肥每亩平均增收261.07元、86.67元和118.03元及314.85元，施肥产投比分别达6.26、3.22和2.69及2.79，施氮的平均效益最高。在施用氮磷钾的基础上增施硼肥，经济效益提高17.67~108.53元/亩，施用硼肥的产投比高达3.32~20.35:1；3年平均增收71.36元/亩，施硼产投比达13.71:1。

3 小结

施用氮磷钾对芝麻的生长发育具有良好的促进作用，芝麻株高、有效蒴、总蒴数和蒴粒数明显增多，始蒴位高度、无效蒴、空梢长和空梢率降低，千粒重提高，产量性状改善，为籽粒产量的提高打

下了基础。

氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥技术对芝麻具有显著的增产效果，芝麻施氮的增产率为24.3~45.9%，施磷产量相对提高5.8~10.8%，施钾增产11.7~13.2%，较不施肥的空白对照产量提高31.5~56.7%，3年试验平均，增产率分别为31.7%、8.6%和12.4%及41.0%，达5%或1%的显著水平。增施硼肥的增产率为1.5~10.1%，3年试验平均增产6.4%。

平衡施肥可有效增加芝麻产值，提高农民种植芝麻的经济效益。施用氮磷钾化肥增收53.55~390.27元/亩，施肥产投比为1.89~7.43:1。施硼增收17.67~108.53元/亩，施用硼肥的产投比高达3.22~20.35:1。

参考文献

- [1] 刁操铨主编. 作物栽培学各论. 中国农业出版社, 1994, 332-341.
- [2] 李贵宝, 张子武, 孙克刚等. 河南省夏芝麻区域施肥决策研究. 中国油料, 1997, 19(3):63-66.
- [3] 刘红艳, 赵应忠. 我国芝麻生产育种现状及展望. 安徽农业科学, 2005, 33(12):2475-2476.
- [4] 安徽省农业厅. 安徽省农业统计资料, 2000.
- [5] 倪锦华. 阜阳市芝麻的品种更新及几项关键增产技术. 安徽农学通报, 1997, 3(3):65-66.
- [6] 张子武, 沈阿林, 张桂兰等. 夏播芝麻营养吸收规律与平衡施肥. 华北农学报, 1994, 9(1):52-56.

施钾对饲用玉米产量与营养品质的影响

左启华^{1,2}, 李会彬¹, 张立峰^{1,2}, 杜雄¹, 边秀举¹

(1 河北农业大学农学院, 河北保定 071001; 2 农业部张北农业资源与生态环境重点野外观测试验站, 河北张家口 076450)

摘要: 在冀西北高寒区旱砂地条件下, 研究了钾肥施用量对饲用玉米产量和营养品质形成、根系吸收能力的影响。结果表明, 钾肥显著提高了饲用玉米的生物产量, 增产 5.3%~27.7%; 施用钾肥降低了粗蛋白、粗脂肪、全磷含量, 显著增加了粗纤维、粗灰分 and 全钾含量及其生物累积量, 含量增幅分别高达 6.9%、18.0% 和 85.9%, 生物累积量增幅分别高达 36.1%、50.4% 和 137.1%; 钾肥明显提高了伤流强度、各养分流量和钾离子浓度, 其中钾离子流量和浓度分别提高了 240.7% 和 42.9%, 降低了茎基部伤流液中全氮和无机磷的浓度。说明均衡的养分管理是提高饲用玉米产量及肥料效应的关键。

关键词: 饲用玉米; 生物产量; 钾肥; 伤流液; 营养品质

冀西北高原地处内蒙古高原南缘, 高寒干旱、土瘠地薄的资源环境成为植被生产的制约因素, 区域内农牧兼业, 少投多求, 管理粗放, 作物、牧草低产且不稳产^[1], 高达 40% 的畜群超载所产生的巨大环境负外部效应^[2], 使之成为华北地区重要的风沙源之一, 威胁着下风地区的生态安全, 严重影响了区域农牧业的协调与可持续发展^[3], 高产优质饲草的人工栽培是支撑区域畜牧业生产的必需。近来, 新兴作物饲用玉米的发展成为冀西北高寒区饲草增产的重要方面。

冀西北高原土壤以砂质栗钙土为主, 约占土地面积的 65%, 是饲用玉米主要种植区。砂质栗钙土土壤养分含量低、水肥储蓄力差, 传统作物秸秆麦所进行的施肥研究显示了氮肥高达 109.4% 的增产效应, 相应土壤磷素却亏缺 1.13 公斤/公顷^[4]; 新兴营养体作物饲用玉米同样表现出增产 36.1% 的氮肥效果^[5]。因此, 为了作物快速增产, 生产上普遍重施氮肥, 而少施或不施磷钾肥。长此以往, 将由于养分失衡而降低肥效。本研究旨在揭示砂质栗钙土农田下施钾对饲用玉米生物量、饲用品质、肥水利用效率的影响机制与效果, 为冀西北高寒区的饲草高效生产、优化饲用玉米养分管理技术提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

田间试验于 2006 年 5 月~9 月在河北省张家口市的农业部张北农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站进行。试验站生态条件代表了冀西北高原, 年均气温 2.6℃, 降水量 400 毫米, 无霜期 103 天。试验田土壤类型为砂质栗钙土, 采用 ASI 法^[6]测定耕层土壤养分含量, 有机质 0.7%, 铵态氮 20.5 毫克/升, 速效磷 9.85 毫克/升, 速效钾 43 毫克/升, 有效钙 1789.55 毫克/升, pH 值为 7.2。

试验共设 4 个钾肥处理: 在施用 6 公斤/亩纯氮、4 公斤/亩五氧化二磷基础上, 分别施用 0、2.5、5、7.5 公斤/亩氧化钾, 相应以 K0、K1、K2、K3 表示。磷肥全部基施, 氮钾肥 1/2 基施, 1/2 于拔节期追施。氮肥选用尿素, 磷肥选用重过磷酸钙, 钾肥选用加拿大产氯化钾。试验设 3 次重复, 小区面积 25m²。

饲用玉米品种选择杂交品种“金坤8号”，种植密度1万株/亩，5月10日播种，8月31日收获。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 生物量以及饲用营养品质的测定 从2006年6月20日至收获期2006年8月31日每隔10天取地上生物量一次。样品在105℃烘箱内杀青30分钟，然后在80℃条件下烘干至恒重。

植株样品全钾含量采用干灰化—火焰光度法测定；全磷含量采用干灰化—钒钼黄比色法测定；粗蛋白含量采用 $H_2SO_4-CuSO_4-K_2SO_4$ -凯式定氮法测定；粗脂肪（EE）含量采用索氏提取器—油重法测定；粗纤维（CF）含量采用酸碱法测定粗纤维（CF）含量；粗灰分（Ash）含量采用高温灼烧法测定。

1.2.2 茎基部伤流液的收集与测定 2006年7月3日拔节期后，收取地上秸秆的同时使用脱脂棉吸收法收集茎基部全天伤流液。伤流液经与脱脂棉分离后过滤待测。

游离氨基酸含量采用茚三酮法测定；铵态氮含量采用奈氏比色法测定；硝态氮含量采用硫酸—水杨酸比色法测定；无机磷含量采用钼黄法测定；钾离子含量采用火焰光度法测定。

1.2.3 计算方法

钾肥表观利用率% = [施钾处理的饲用玉米植株吸收钾量 - 未施钾处理的饲用玉米植株吸收钾量] × 100 / 施钾量；钾肥生理效率 = [施钾处理的饲用玉米生物产量 - 未施钾处理的饲用玉米生物产量] / [施钾处理的饲用玉米植株吸收钾量 - 未施钾处理的饲用玉米植株吸收钾量。^[7]

试验结果统计与分析应用 EXCEL2003 和 SAS V8 统计软件。

2 结果分析

2.1 不同施钾处理的饲用玉米产量和干物质积累特征

试验结果表明（表1），施钾有促进饲用玉米增产的趋势，除2.5公斤氧化钾/亩外，施钾与不施钾相比增产5.3%~27.7%。统计分析表明，只有当施钾量达到7.5公斤/亩时产量差异方达显著水平。

表1 不同钾肥处理饲用玉米生物产量

| 处理 | 重复 (公斤 / 亩) | | | | 平均产量 (公斤 / 亩) |
|----|-------------|-------|-------|-------|--------------------|
| K0 | 405.9 | 407.2 | 411.0 | 404.8 | 407.2 ^b |
| K1 | 461.1 | 362.7 | 384.2 | 387.8 | 399.0 ^b |
| K2 | 428.7 | 390.3 | 460.6 | 435.8 | 428.9 ^b |
| K3 | 513.7 | 485.4 | 619.1 | 462.2 | 520.1 ^a |

注：表中同列数字后不同小写字母表示5%显著差异，下同；

2.2 不同施钾处理的饲用玉米营养品质

2.2.1 不同施钾处理的饲用玉米营养品质指标结果（表2）表明，施钾显著降低了饲用玉米粗蛋白、粗脂肪和全磷的含量，K3处理的三指标含量分别比K0降低23.6%、16.0%和38.3%，全磷含量降低幅度最大。

施钾显著增加了饲用玉米粗纤维、粗灰分 and 全钾的含量。施钾处理的粗纤维、粗灰分 and 全钾的含量分别比 K0 提高了 4.8%~6.9%、7.3%~18.0% 和 42.2%~85.9%，全钾含量增幅最大。

表 2 不同钾肥处理饲用玉米的营养品质指标含量

| 处理 | 粗蛋白(%) | 粗脂肪(%) | 粗纤维(%) | 粗灰分(%) | 全磷(%) | 全钾(%) |
|----|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| K0 | 8.86 ^a | 1.69 ^a | 23.1 ^b | 4.40 ^d | 0.164 ^a | 0.64 ^d |
| K1 | 8.85 ^a | 1.53 ^b | 23.1 ^b | 4.72 ^c | 0.139 ^b | 0.91 ^c |
| K2 | 7.91 ^b | 1.59 ^{ab} | 24.2 ^a | 4.90 ^b | 0.122 ^c | 0.93 ^{bc} |
| K3 | 6.77 ^c | 1.42 ^c | 24.7 ^a | 5.19 ^a | 0.101 ^d | 1.19 ^a |

2.2.2 不同钾肥处理的饲用玉米品质指标生物累积量

由于钾肥对饲用玉米的产量和品质指标含量的双重作用，饲用玉米的各品质指标生物累积量出现了与两者不同的变化特征（表 3）。

施钾显著提高了粗纤维、粗灰分 and 全钾生物累积量，K3 比 K0 分别提高了 36.1%、50.4% 和 137.1%。全钾的生物累积量增幅最大。

施钾使饲用玉米全磷生物累积量降低 16.4%~21.1%，施钾处理间差异并不显著。

表 3 还表明，施钾对饲用玉米的粗蛋白与粗脂肪累积量没有产生生产意义的显著影响。

表 3 不同钾肥处理饲用玉米各品质指标生物累积量

| 处理 | 粗蛋白 (公斤/亩) | 粗脂肪 (公斤/亩) | 粗纤维 (公斤/亩) | 粗灰分 (公斤/亩) | 全磷 (公斤/亩) | 全钾 (公斤/亩) |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| K0 | 36.1 | 6.9 | 94.2 | 17.9 | 0.7 | 2.6 |
| K1 | 35.3 | 6.1 | 92.0 | 18.8 | 0.6 | 3.6 |
| K2 | 33.9 | 6.8 | 103.7 | 21.0 | 0.5 | 4.0 |
| K3 | 35.2 | 7.4 | 128.2 | 27.0 | 0.5 | 6.2 |

2.3 不同施钾处理的饲用玉米根系吸收能力

不同施钾处理的茎基部伤流液数量与浓度分析结果（表 4）表明，施钾显著提高了饲用玉米根系对土壤溶液的吸收能力，有利于向地上部输送更多的水分和养分。K3 处理的伤流强度、全氮、无机磷以及钾离子流量较 K0 分别增加了 94.8%、24.3%、61.0% 和 240.7%，其中钾离子流量增幅最大，其次为伤流强度。可见施钾显著增强了玉米植株对土壤水分和钾离子的摄取能力。这对于冀西北高寒区雨养农作下的降水高效利用具有重要意义。

茎基部伤流液中钾离子浓度明显增加，K3 比 K0 提高了 42.9%。施钾降低了茎基部伤流液中全氮、无机磷的浓度，K3 比 K0 分别下降了 22.7% 和 18.9%。施钾对伤流液 N、P 和 K 浓度的影响与生物量中诸营养元素的浓度效果相一致。

钾肥显著增强了水分和钾离子的吸收能力，但是氮素、磷素供应受限而降低伤流液中全氮和无机磷的浓度，生物量增产受到限制。表 4 中，钾离子浓度和流量均高于全氮和无机磷，相比钾肥的增产作用，钾离子的渗透调节作用显得尤为突出。

监测表明,施钾稳定的增加了茎基部伤流液中各营养成分的流量以及钾离子含量,而相应降低了氮、磷营养成分的含量。

表4 不同钾肥处理饲用玉米根系吸收能力

| 处理 | 流量 (克 / · m ² / 天) | | | | 含量 (毫克 / 公斤) | | |
|----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------------|------|-------|
| | 伤流液 | 全氮 | 无机磷 | 钾离子 | 全氮 | 无机磷 | 钾离子 |
| K0 | 245.8 | 0.0378 | 0.0082 | 0.0337 | 146.0 | 33.3 | 161.5 |
| K1 | 305.7 | 0.0411 | 0.0105 | 0.0483 | 129.3 | 29.0 | 142.3 |
| K2 | 289.1 | 0.0467 | 0.0120 | 0.0841 | 151.2 | 28.2 | 217.0 |
| K3 | 479.0 | 0.0470 | 0.0132 | 0.1148 | 112.8 | 27.0 | 230.7 |

注:表中各项数据均为各时期结果之平均。

3 结论与讨论

饲用玉米以生物量为核心,并不刻意追求籽粒产量,这就为冀西北高寒区极不稳定的水土资源环境下发展饲草生产提供了方向。研究表明,在无霜期只有110天的冀西北高原,增加肥料投入成为饲草增产的先决因素,增肥增产稳产的农作实践昭示了环境恶劣的寒旱地投入区资源深度合理开发的技术潜力。

施钾利于根系的生长发育^[9]以及钾离子作为渗透调节物质^[9]促进植株吸收土壤水分的效应,对冀西北高寒区雨养条件下的饲用玉米及时吸收土壤水起了重要作用。随施钾量的提高,株体递增的伤流总量以及钾离子浓度,表明饲用玉米生物量形成的钾肥增产机制;而相应伤流液以及玉米植株氮、磷营养成分含量的降低,则源于土壤中氮、磷营养存量较低及其加强的水分吸收、生物量增产对氮、磷的稀释作用。均衡农田的养分管理^[10]成为提高饲用玉米产量及肥料效应的关键。

研究表明,钾肥提高了饲用玉米的粗纤维、粗灰分 and 全钾的含量及其生物累积量,降低了粗蛋白、粗脂肪和全磷的含量以及全磷的生物累积量。钾肥提高了钾离子的吸收能力,而抑制了氮磷的吸收。在氮磷肥没有增加的情况下,增加施钾量的增产效应所产生的稀释作用^[11]使得植株体内全氮、全磷含量降低。钾肥对粗纤维生物累积量的增幅也超过了钾肥的增产幅度。可见钾肥促进了饲用玉米的光合作用,由于相对缺乏氮、磷元素的供应,光合产物更多地转化为利用价值较低的粗纤维,而不是与氮、磷元素有关的粗蛋白和粗脂肪。通过氮磷钾合理的配合施用以获得高产优质的饲用玉米成为冀西北高寒区畜牧业生产发展的有力保障。

参考文献

- [1] 张立峰. 论华北农牧交错带生态与经济建设的策略与途径[J]. 应用生态学报, 2003, 14 (11): 2054 ~ 2056.
- [2] 冯立肖, 杜雄, 张立峰. 华北农牧交错带畜牧业外部经济效应解析[J]. 草业学报, 2009, 18 (2): 155 ~ 162.
- [3] 杜雄, 张立峰, 李会彬, 等. 钾素营养对饲用玉米养分吸收动态及产量品质形成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (3): 393 - 397.

- [4] 刘建玲, 杨福存, 李仁岗, 等. 长期肥料定位试验栗钙土中磷肥在苜蓿上的产量效应及行为研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (2): 201 - 207.
- [5] 杜雄, 左启华, 冯丽肖, 等. 华北农牧交错区两种土壤类型下青饲玉米的施氮效应[J]. 作物学报, 2008, 34 (6): 1051 ~ 1059.
- [6] 加拿大钾磷肥研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.
- [7] 吴萍萍, 刘金剑, 周毅, 等. 长期不同施肥制度对红壤稻田肥料利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14 (2): 277 ~ 283.
- [8] 邹春琴, 李振声, 李继云. 小麦对钾高效吸收的根系形态学和生理学特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (1): 36 ~ 43.
- [9] 蔡昆争, 吴学祝, 骆世明. 不同生育期水分胁迫对水稻根叶渗透调节物质变化的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32 (2): 491 ~ 500.
- [10] 陈祥, 同延安, 杨倩. 氮磷钾平衡施肥对夏玉米产量及养分吸收和累积的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008 (6): 19 ~ 22.
- [11] 汪建飞, 邢素芝, 杨久峰. 施用 N, P, K 肥对杂交苏丹草吸收 Cu, Zn, Mn 的影响[J]. 草业科学, 2005, (6): 42 ~ 45.

施肥水平对胡麻干物质积累及养分吸收特性的影响

谭雪莲 郭天文 吕军峰

甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070

摘要: 本试验研究了不同肥料处理对胡麻干物质动态积累和养分积累变化规律及产量的影响。结果表明, 不同处理的胡麻地上部干物质积累量呈“S”型曲线变化, 不同处理最终干物质积累表现为: OPT>FP>CK, 胡麻地上部氮、磷、钾的养分积累也呈“S”型曲线变化, 胡麻对氮和钾的积累量要远远超过磷, 其氮、磷、钾的最终积累量为全氮>全钾>全磷, 且对氮和钾积累最快的时期是初花期和盛花期, 产量和纯收益表现为 OPT>FP>CK。

关键词: 胡麻 干物质 养分 施肥

胡麻又名亚麻, 属亚麻科亚麻属 1 年生草本植物。通常按它的用途分成纤维用亚麻、油用亚麻和油纤兼用亚麻。人们一般习惯上把纤维用亚麻叫亚麻, 把油用亚麻和油纤兼用亚麻叫胡麻。氮、磷、钾作为胡麻生长所必需的大量元素, 一直为国内外研究者所关注。前人研究了不同施肥水平和栽培措施对胡麻产量及品质的影响^[1-4], 对纤维亚麻生长发育规律及养分吸收规律^[5-7]也有报道, 但有关不同施肥水平对胡麻养分积累量及生长动态的影响尚未见报道。本研究旨在探讨中部半干旱区旱地胡麻干物质积累及氮、磷、钾养分的吸收积累特征, 以便为本区及同类地区旱地胡麻科学施肥提供理论依据, 做到胡麻施肥科学化、合理化、规范化、系统化, 从而进一步提高旱地胡麻产量和效益。

1 材料和方法

1.1 材料

以胡麻为研究材料, 供试品种为陇亚 9 号。

1.2 方法

试验设在定西市安定区团结镇唐家堡村, 土壤类型为黄绵土, 质地为粘壤土。试验前采取耕层土壤样品(0-20 厘米)进行分析。试验包括 3 个处理, 分别为 OPT、FP、CK, 重复 3 次, 施肥方案见表 1。各处理在胡麻不同生育期(苗期、现蕾期、初花期、盛花期、成熟期)分别取每个重复的有代表性的植株样品(苗期 0.5 平方米, 其他生育期 0.25 平方米), 记载取样面积, 称取鲜重, 80℃ 下烘至恒重, 称取干物重, 分别粉碎后取 10g, 以备分析全氮、全磷、全钾含量。全氮采用半微量凯氏定氮法; 全磷采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮—钼黄比色法测定; 全钾采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮—火焰分光光度计法测定。供试土壤基础肥力为: 有机质含量 0.66%, NH₄-N 4.8 毫克/升, NO₃-N 0.5 毫克/升, 速效磷 29.6 毫克/升, 速效钾 186.3 毫克/升, pH 为 8.38。测定方法见参考文献^[8], 数据采用 DPS 软件进行分析。

* 作者简介: 谭雪莲 (1979-), 女, 吉林桦甸人, 硕士, 主要从事植物营养方面的研作,
E-mail: tanxuelian_2002@163.com

通讯作者: 郭天文, 男 (1964-), 硕士, 研究员, 主要从事植物营养和土壤肥料方面的研究。
E-mail: guotw2007@hotmail.com

表1 中部半干旱区胡麻施肥方案

| 处理 | 养分施用量 (公斤/亩) | | |
|-----|--------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| OPT | 6 | 6 | 2 |
| FP | 10 | 8 | 0 |
| CK | 0 | 0 | 0 |

2 结果与分析

2.1 施肥水平对胡麻产量和经济效益的影响

表2 不同施肥水平的胡麻产量和经济效益

| 处理 | 产量 (公斤/亩) | 产值 (元/亩) | 肥料 (元/亩) | 纯收益 (元/亩) |
|-----|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| OPT | 226 ^a | 1444 | 69 | 1375 |
| FP | 174 ^{ab} | 1114 | 91 | 1024 |
| CK | 133 ^b | 849 | 0 | 849 |

注：尿素 1.8 元/公斤，普通过磷酸钙 0.5 元/公斤，氯化钾 2.4 元/公斤，胡麻 6.4 元/公斤。同一列中数字后相同字母表示差异未达 5% 显著水平。

由表 2 可以看出，平衡施肥处理对胡麻的产量有显著影响。平衡施肥 OPT 处理与对照 CK 间产量差异极显著，OPT 处理产量最高，其次是 FP 处理，CK 处理产量最低。OPT 与 FP 和 CK 相比分别增加产量 22.87% 和 41.21%。FP 比 CK 增产 23.78%，但两个处理间差异不显著。说明在胡麻生长发育过程中需要吸收适量氮素、磷素和钾素营养才能有效提高胡麻产量。

处理 OPT 肥料投入为 69 元/亩 (表 2)，比处理 FP 少投入 22 元/亩。OPT 的纯收益为 1375 元/亩，较 FP 增收 351 元/亩，较 CK 增收 526 元/亩。FP 较 CK 增收 175 元/亩。说明氮磷钾肥合理配施不仅能减少投入成本，而且可以增加收入。

2.2 施肥水平对胡麻干物质积累动态分析

图 1 所示，从胡麻整个生育期看，出苗到成熟，OPT、FP、CK 三个处理全株干物质重动态均呈“S”型曲线变化，不同施肥处理在苗期和蕾期干物质积累较慢，初花期以后均进入旺盛生长期，干物质积累量增加幅度加快，收获期各处理的干物质重达最大值。施肥不同处理间不同生育期最终积累量上表现为：OPT>FP>CK，各处理间差异极显著，氮、磷、钾配合施用的处理 OPT 干物

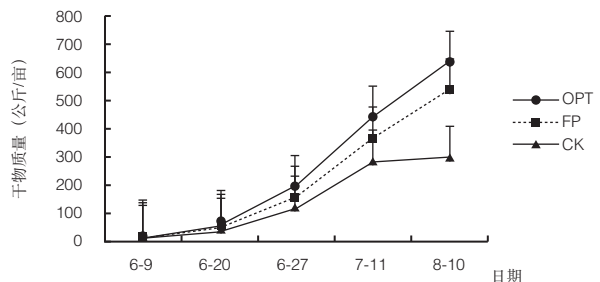


图 1 胡麻干物质积累变化规律

质积累最多，传统施肥处理 FP 氮磷用量虽高于 OPT 处理，但干物质积累低于 OPT，不施肥处理 CK 干物质积累量最低。可见，增施氮磷肥有助于提高胡麻干物质，而氮、磷、钾肥配合施用效果更佳。

2.3 施肥水平对胡麻不同生育时期养分吸收特性的影响

表3 胡麻不同生育时期对养分吸收特性

| 生育期 | 处理 | 氮吸收量 (公斤/亩) | | | | 磷吸收量 (公斤/亩) | | | | 钾吸收量 (公斤/亩) | | | |
|----------|-----|-------------|------|------|--------|-------------|------|------|-------|-------------|-----|-----|------|
| | | I | II | III | 平均 | I | II | III | 平均 | I | II | III | 平均 |
| 苗期 6-9 | OPT | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.5a | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03a | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.4a |
| | FP | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.4a | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02b | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.3a |
| | CK | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.4a | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02b | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.3a |
| 蕾期 6-20 | OPT | 1.9 | 1.5 | 1.6 | 1.7a | 0.15 | 0.10 | 0.12 | 0.12a | 1.5 | 1.2 | 1.3 | 1.3a |
| | FP | 2.5 | 1.2 | 1.3 | 1.7a | 0.17 | 0.07 | 0.07 | 0.10a | 1.7 | 1.1 | 1.1 | 1.3a |
| | CK | 1.2 | 1.2 | 1.5 | 1.3a | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.08a | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 1.0a |
| 初花期 6-27 | OPT | 5.9 | 6.0 | 6.4 | 6.1a | 0.41 | 0.39 | 0.39 | 0.40a | 5.1 | 4.7 | 5.3 | 5.0a |
| | FP | 5.0 | 4.3 | 4.3 | 4.5b | 0.29 | 0.23 | 0.25 | 0.26b | 3.8 | 3.7 | 3.5 | 3.7b |
| | CK | 3.5 | 3.4 | 3.4 | 3.5c | 0.27 | 0.28 | 0.29 | 0.28b | 3.0 | 3.0 | 3.1 | 3.0c |
| 盛花期 7-11 | OPT | 9.6 | 10.9 | 10.1 | 10.2a | 1.21 | 0.67 | 0.92 | 0.94a | 7.8 | 9.6 | 8.0 | 8.5a |
| | FP | 7.6 | 10.6 | 8.8 | 9.0b | 0.53 | 0.73 | 0.54 | 0.60a | 5.1 | 8.3 | 6.8 | 6.7b |
| | CK | 5.2 | 7.0 | 6.7 | 6.3c | 0.52 | 0.48 | 0.51 | 0.50a | 4.4 | 5.5 | 5.2 | 5.1c |
| 成熟期 8-10 | OPT | 14.0 | 13.1 | 14.8 | 14.0a | 1.68 | 1.49 | 1.73 | 1.63a | 4.6 | 5.0 | 4.7 | 4.7a |
| | FP | 13.3 | 11.1 | 14.4 | 12.9ab | 1.48 | 1.22 | 2.18 | 1.63a | 5.1 | 3.6 | 4.9 | 4.6a |
| | CK | 9.6 | 12.2 | 10.0 | 10.6b | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.20a | 4.3 | 4.6 | 4.4 | 4.4a |

同一时期同一列中数字后相同字母表示差异未达 5% 显著水平。

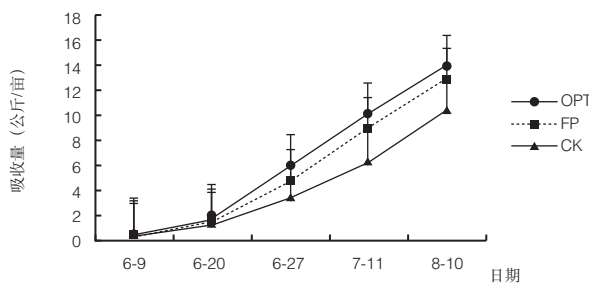


图2 不同生育期胡麻全株氮素积累变化规律

胡麻不同肥料处理地上部植株氮积累量均呈“S”型曲线变化(图2)，在胡麻整个生育期内，对氮素的积累持续增加，说明氮肥在胡麻的生长发育中起着至关重要的作用。OPT、FP和CK处理间氮积累量差异极显著，OPT对氮的吸收量最大，其次是FP，CK最小。初花期和盛花期是胡麻旺盛生长期，3个施肥处理间全株的养分含量差异极显著(表3)。

胡麻不同肥料处理地上部植株磷积累量均呈“S”型曲线变化，对磷素的积累前期比较缓慢，后期增幅较大，特别是在开花后（图3），胡麻对磷素的需求更大。这表明胡麻对磷肥需要虽较少，却不能忽视。OPT、FP和CK处理间磷积累量差异极显著（表3），整个生育期OPT对磷的吸收量最大，其次是FP，CK最低。

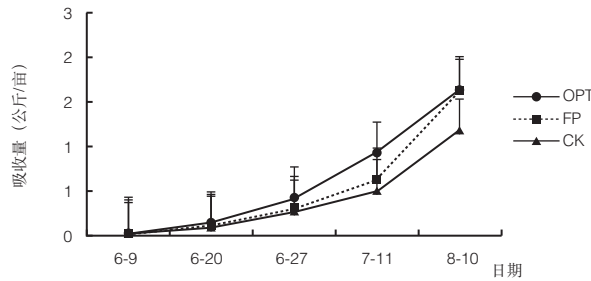


图3 不同生育期胡麻全株磷素积累变化规律

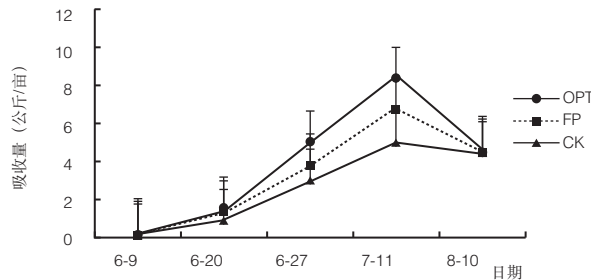


图4 不同生育期胡麻全株钾素积累变化规律

胡麻地上部钾积累量呈“S”型曲线变化，胡麻对钾素的积累表现为前期较快，特别在开花期前后速率有所上升，而生育后期吸收速率降低(图4)，表明胡麻在生育后期对钾素需求不多。OPT、FP和CK处理间钾素积累量差异极显著，整个生育期OPT对钾的吸收量最大，其次是FP，CK最小。初花期和盛花期OPT、FP和CK三个处理间差异显著（表3）。

3 讨论

对纤维亚麻干物质积累动态前人已有研究，周以贤等^[9]研究了纤维亚麻的干物质生产与分配规律。李明^[10]的研究表明，纤维亚麻花后大量积累干物质，除了分配给花序外，光合产物积累于茎中。贾云霄等^[6]研究认为纤维亚麻植株生长即株高的生长和重量的增加呈“S”型曲线，二者均随生育期的进展逐渐增大。亚麻植株在不同生育阶段干物质的积累速度和株高的增长速度不同，二者均符合二次抛物线型曲线，干物质的积累速度在开花期最大，每日平均积累0.065克；株高的增长速度在现蕾期最大，每日平均增长2.93厘米。但对不同施肥处理下胡麻干物质积累动态的研究则罕见报道。本试验根据施肥处理对胡麻生长动态的研究表明，氮肥、磷肥和钾肥配合施用能显著提高胡麻的干物质积累，不同施肥处理胡麻地上部干物质积累量均呈“S”型曲线变化，花期干物质积累最多，这与前人研究结论相符。从胡麻生育过程来看，各施肥处理下胡麻全株氮、磷和钾的积累量均呈“S”型曲线，胡麻对氮和

钾的积累量要远远超过磷。整个生育期3个施肥处理间全株氮吸收量差异极显著, OPT最大, 其次是FP, CK最低。OPT、FP和CK处理间磷钾积累量均差异极显著, 表现为 $OPT > FP > CK$ 。平衡施肥处理OPT的产量和纯收益也高于其他两个处理。说明胡麻高产栽培技术和平衡施肥技术的应用不但可提高养分的利用率, 而且增产增收效益显著, 可进行大面积的示范推广。

参考文献

- [1] 索全义, 都虎林, 索凤兰, 等. 氮磷化肥对胡麻产量形成的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2001 (土肥专辑): 18-19.
- [2] 高翔, 孙智, 白光哲. 胡麻氮磷肥施用方式的研究[J]. 内蒙古农业科技, 2001 (土肥专辑): 20-21.
- [3] 蒲武杰. 山旱地胡麻氮磷肥配合效应研究[J]. 陕西农业科学, 1999 (5) 13-15
- [4] 刘其宁, 符明联, 吴学英, 等. 播种密度、肥用量及比例与亚麻产量的关系[J]. 中国麻业, 2006(1):29-32
- [5] 贾霄云, 武跃通, 刘富强. 亚麻植株干物质积累及株高增长规律[J]. 内蒙古农业科技, 1995(4):12-13.
- [6] 徐丽珍. 高产纤维用亚麻生育规律的研究[J]. 中国麻作, 1998,20(3):22-24.
- [7] 郭小明, 李淑华, 张秀英. 亚麻营养特点及需肥规律的研究[J]. 黑龙江农业科学, 1991(6):16-20.
- [8] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京:农业出版社, 1988.
- [9] 周以贤, 徐丽珍, 郭永利. 纤维亚麻干物质生产与分配规律的探讨[J]. 中国麻作, 1989,22(5):42-46.
- [10] 李明. 亚麻原茎及纤维产量与不同生育期氮、磷、钾吸收量的相关分析[J]. 中国麻作, 1996,18(2):37-39.

施钾对长绒棉干物质积累、分配和产量品质的影响

张炎¹ 高媛¹ 胡伟¹ 姚银坤¹ 祁永春² 曾雄²

¹新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐, 830000

²新疆阿瓦提县农业技术推广中心土肥站, 阿克苏 843200

摘要:为了明确钾肥对新疆南疆地区长绒棉干物质积累以及对产量和品质的影响, 在新疆阿瓦提县进行了田间试验。试验结果表明, 各处理长绒棉总干物质的积累动态均呈“S”型曲线, 可用 Logistic 生长函数加以模拟, 效果良好。K1、K2、K3、K4 各处理总干物质积累速率最大时刻 t 分别为播种后的 84 天、86 天、90 天、85 天。施钾对长绒棉增产效果明显, 处理 K2、K3 分别比处理 K0 的皮棉产量增加了 11 公斤/亩、8.9 公斤/亩, 增幅达 12.4%、10%; 增产效果主要是通过增加单株铃数实现的。施钾可以改善长绒棉的纤维品质, 其中, 强度、马克隆值、成熟度和可纺系数均增加, 而对纤维长度、整齐度影响不大。

关键词: 钾肥; 长绒棉; 干物质积累; 产量; 品质

新疆历来被认为是缺氮少磷钾丰富的地区^[1], 在第二次土壤普查时, 新疆土壤全钾量在 12.5—24.9 克/公斤之间, 速效钾在 150 毫克/公斤—300 毫克/公斤之间^[2]。但 80 年代以来, 由于喜钾作物棉花的大面积连年种植和产量水平的不断提高, 从土壤中带走了较多的钾, 加之氮、磷化肥施用量的迅速增加, 农家肥用量的减少, 秸秆还田困难, 生产中钾肥用量少, 新疆农田土壤中氮磷钾的比例已发生较大变化, 土壤钾素含量已有明显的下降^[3]。根据姜益娟等对新疆农田土壤钾素的现状调查^[4], 发现调查中 90% 以上的土壤全钾含量比第二次土壤普查时土壤全钾含量范围的下限还低, 部分棉田钾素亏缺严重, 尤其是在高产棉田上。90 年代以来, 由于生产上缺钾而导致的棉花早衰已成为影响新疆棉花产量的主要因素之一^[5]。本试验研究施钾肥对长绒棉干物质积累和产量品质的影响, 初步探索了长绒棉钾肥的施用效果, 为新疆棉花高产的合理施用钾肥提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2006 年安排在新疆阿瓦提县。该县光照充足、热量丰富、降水稀少、蒸发强烈, 年平均降雨量为 61.2 毫米, 年平均蒸发量 2337.4 毫米, 年均日照时间 2778 小时, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 4252 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 205 天, 属典型的大陆荒漠性气候。

试验地前茬棉花, 供试品种为长绒棉新海 20, 宽膜覆盖种植, 一膜 4 行, 播幅内宽、窄行距配置为 50+30+55+30 = 165 厘米, 株距为 11 厘米, 理论株数为 14692 株/亩, 于 4 月 14 日播种。

供试土壤为砂壤质潮土, 0-20 厘米供试土壤的养分状况: 有机质 17.72 克/公斤, 全氮 0.821 克/公斤, 速效氮 138.1 毫克/公斤, 速效磷 10.90 毫克/公斤, 速效钾 168 毫克/公斤。土壤养分测试方法: 有机质重铬酸钾法、全氮扩散吸收法、速效氮碱解扩散吸收法、速效磷 0.5mol/LNaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法、速效钾醋酸铵-火焰光度法。

1.2 试验设计

试验设4个处理,3次重复,小区面积33m²。4个钾肥用量处理为K₂O:0、2.3、4.7、7公斤/亩,各处理氮肥、磷肥用量相同,分别为N15公斤/亩和P₂O₅9.3公斤/亩。30%的氮肥和全部的磷肥、钾肥做基肥,70%的氮肥作追肥,分别以15%、25%、20%和10%的比例分4次随水追施。各处理施肥量见表1。供试肥料:氮肥为尿素(46%N)、磷肥为三料磷肥(46%P₂O₅)、钾肥为硫酸钾(33%K₂O)。

表1 试验各处理施钾肥方案(公斤/亩)

| 处理 | 基肥 | | | 追施N肥 | | | |
|----|------------------|-----|-------------------------------|------|-----|------|------|
| | K ₂ O | N | P ₂ O ₅ | 6-24 | 7-5 | 7-25 | 8-16 |
| K0 | 0.0 | 4.5 | 9.3 | 2.3 | 3.8 | 3.0 | 1.5 |
| K1 | 2.3 | 4.5 | 9.3 | 2.3 | 3.8 | 3.0 | 1.5 |
| K2 | 4.7 | 4.5 | 9.3 | 2.3 | 3.8 | 3.0 | 1.5 |
| K3 | 7.0 | 4.5 | 9.3 | 2.3 | 3.8 | 3.0 | 1.5 |

1.3 样品的采集与测定

在棉花主要生育期:苗期(5月11日)、蕾期(6月11日)、花期(6月28日)、盛铃期(8月4日)和吐絮期(9月9日)于上午10:00~12:00之间采样,每小区随机选取有代表性的棉株3株(苗期取5株),采集棉株地上部分的植株样品,按茎、叶、蕾+花、棉壳、棉纤维、种子不同器官分离开,在105℃下杀青,80℃下烘干测定其干物质积累量。

棉花产量以测产方式获得。测产方法为试验小区内每隔2株测一株,调查结铃数,计算全区株数、铃数及单株结铃数。棉花吐絮后每小区分3次采收下、中、上部30、50、20朵完全吐絮棉桃,测定平均单铃重和衣分,计算棉花产量。

棉花品质检测方法是ASTM D5867-1995,主要仪器是HVI SPECTRUM-I型棉纤维品质监测仪。试验数据采用Excel和DPS软件分析。

2 结果与分析

2.1 施钾对长绒棉干物质积累和分配的影响

2.1.1 施钾对长绒棉干物质积累的影响

由图1各处理中干物质积累曲线可以看出,各处理中干物质积累过程的总趋势是一致的,随着生育期进展而逐渐增强,苗期到蕾期积累缓慢,从花期到铃期增长迅速,到盛铃期达到高峰,进入吐絮期后增长又趋于缓慢。用Logistic生长函数对不同施钾处理的棉花干物质积累进行拟合,各处理棉株干物质的累积动态,均呈现“S”型曲线,其Logistic模型及其特征值见表2。

从表2中可以看出,增施钾肥可以延长干物质积累的旺盛时期 Δt ,K1、K2和K3处理分别比K0处理延长3天、5天和1天,同时施钾也增加了棉株在 Δt 时期内的干物质积累量,在t₁-t₂期间,K0、K1、K2、K3各处理单株平均干物质的积累量分别是:29.76克、31.59克、36.15克、32.54克。棉株总干物质累积最快的时期在播种后63天至112天(6月17日至8月4日),此时棉株处于营养生长与生殖生长并进的花期和盛铃期,是生长最旺盛的时期,其干物质质量占全生育期积累总量由花期31.38%~33.27%增加到盛铃期88.45%~92.13%。K0、K1、K2、K3各处理总干物质积累速率最大

时刻 t_0 分别为播种后的 84 天(7 月 8 日)、86 天(7 月 10 日)、90 天(7 月 14 日)、85 天(7 月 9 日), 增施钾肥, 长绒棉干物质总量积累速率最大的时刻 t_0 推迟 1 天~6 天, 此时各处理单株平均干物质积累量分别为: 25.79 克、27.38 克、31.33 克、28.20 克。

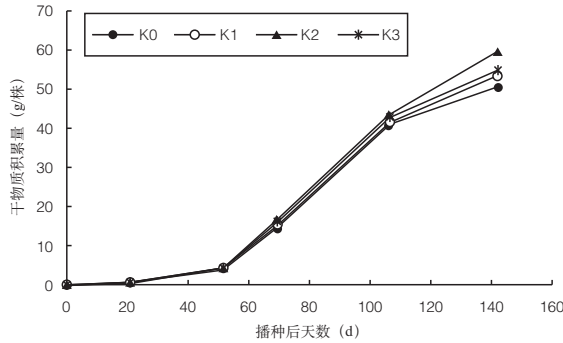


图 1 各处理长绒棉干物质的积累动态

表 2 棉株干物质积累的 Logistic 模型及其特征值

| 处理 | 方程 | t_1 | t_2 | Δt | t_0 | R^2 | F |
|----|---------------------------------|-------|-------|------------|-------|-------|--------|
| K0 | $y=51.58/(1+e^{(5.46-0.065t)})$ | 63 | 104 | 41 | 84 | 0.999 | 1305** |
| K1 | $y=54.76/(1+e^{(5.16-0.060t)})$ | 64 | 108 | 44 | 86 | 0.998 | 969** |
| K2 | $y=62.66/(1+e^{(5.09-0.057t)})$ | 66 | 112 | 46 | 90 | 0.997 | 447** |
| K3 | $y=56.40/(1+e^{(5.28-0.062t)})$ | 64 | 106 | 42 | 85 | 0.999 | 1050** |

注: t 为长绒棉播种后的天数(天), y 为长绒棉干物质积累量(克/株), t_0 为干物质积累速率最大时刻, t_1 和 t_2 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点, $\Delta t = t_2 - t_1$, 是棉株旺盛生长的时期。 $F(3,8)_{0.05} = 4.46$, $F(3,8)_{0.01} = 8.65$ 。

增施钾肥显著促进长绒棉干物质的积累, 棉花干物质生产是构成其经济产量的基础^[6]。通过增施一定量的钾肥延长了干物质积累时期和快速积累的时刻, 使长绒棉充分利用新疆棉区光热资源丰富的优势, 将有利于棉花产量的形成。

2.1.2 施钾对长绒棉干物质分配的影响

施钾对长绒棉干物质分配动态表现为: 叶的干物质百分比随着生育期的推进而逐渐降低, 由苗期的 81.76%~82.30% 降低到吐絮期的 12.11%~13.03%; 茎所占干物质百分比由苗期的 17.70%~18.24% 逐渐增大, 到花期达到最大 34.99%~36.49%, 花期后逐渐降低; 生殖器官百分比由蕾期到吐絮期逐渐增大, 由蕾期的 8.84%~9.00% 增加到吐絮期的 63.63%~66.78%。

苗期是长绒棉的营养生长时期, 各处理分配到叶的干物质达到 80% 以上, 增施钾肥对各处理干物质积累量影响不大; 蕾期是营养与生殖生长并进期, 各处理中 K3 分配到叶的干物质所占百分比最大, K2 分配到茎、蕾中的干物质百分比最大, 钾肥施用量影响叶茎蕾的分配比例, 钾肥施用量过多过少都会降低蕾干物质比例, 处理 K2 的蕾干物质比例最大, 为其高产打下基础; 花期中处理 K1、K2、K3 花的干物质百分比比 K0 增加了 0.32%、1.84%、0.71%, 增施钾肥在一定范围内可以增加花的干物质积

累量；铃期到吐絮期，营养生长衰退，生殖生长旺盛，主要增加棉纤维和棉籽的干物质量，处理K2的棉纤维、棉籽干物质增长量最大，说明在一定范围内，增施钾肥可以有效的提高棉纤维和棉籽的干物质重，从而提高产量。

表3 不同施钾量棉株干物质在不同器官的分配

| 生育时期 | 器官 | 干物质重 (克/株) | | | | 占总干物质 (%) | | | |
|------|----|------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | | K0 | K1 | K2 | K3 | K0 | K1 | K2 | K3 |
| 苗期 | 叶 | 0.57 | 0.57 | 0.56 | 0.58 | 82.28 | 81.76 | 82.30 | 82.12 |
| | 茎 | 0.12 | 0.13 | 0.12 | 0.13 | 17.72 | 18.24 | 17.70 | 17.88 |
| 蕾期 | 叶 | 2.46 | 2.70 | 2.24 | 2.74 | 59.22 | 61.35 | 57.95 | 61.43 |
| | 茎 | 1.33 | 1.32 | 1.28 | 1.32 | 31.94 | 30.02 | 33.05 | 29.72 |
| | 蕾 | 0.37 | 0.38 | 0.35 | 0.39 | 8.84 | 8.63 | 9.00 | 8.84 |
| 花期 | 叶 | 6.39 | 6.43 | 7.15 | 6.40 | 44.24 | 42.92 | 42.90 | 42.58 |
| | 茎 | 5.12 | 5.46 | 5.83 | 5.21 | 35.49 | 36.49 | 34.99 | 35.44 |
| | 花 | 2.93 | 3.08 | 3.69 | 3.08 | 20.27 | 20.59 | 22.11 | 20.98 |
| 铃期 | 叶 | 7.92 | 8.26 | 8.83 | 7.79 | 19.47 | 20.04 | 20.39 | 18.25 |
| | 茎 | 10.59 | 10.86 | 11.80 | 11.25 | 26.02 | 26.36 | 27.27 | 26.36 |
| | 壳 | 14.52 | 14.59 | 14.92 | 14.63 | 35.68 | 35.42 | 34.48 | 34.29 |
| | 纤维 | 4.36 | 4.22 | 4.44 | 5.49 | 10.71 | 10.25 | 10.25 | 12.85 |
| | 棉籽 | 3.31 | 3.27 | 3.29 | 3.52 | 8.13 | 7.93 | 7.61 | 8.25 |
| 吐絮期 | 叶 | 6.59 | 6.70 | 7.23 | 6.76 | 13.03 | 12.64 | 12.11 | 12.33 |
| | 茎 | 11.13 | 11.88 | 12.59 | 13.18 | 22.01 | 22.42 | 21.11 | 24.04 |
| | 壳 | 10.74 | 10.89 | 13.28 | 11.47 | 21.23 | 20.56 | 22.25 | 20.93 |
| | 纤维 | 12.78 | 13.95 | 14.44 | 12.16 | 25.28 | 26.32 | 24.20 | 22.18 |
| | 棉籽 | 9.33 | 9.56 | 12.13 | 11.25 | 18.45 | 18.05 | 20.33 | 20.53 |

2.2 施钾对长绒棉产量的影响

2.2.1 施钾对长绒棉产量及产量构成因子的影响

表4 不同钾肥用量棉花产量及产量结构

| 处理 | 单株铃数 (个/株) | 单铃重 (克) | 衣分 (%) | 产量 | | 纯收入 (元/亩) | 产投比 |
|----|---------------|------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----|
| | | | | 子棉 (公斤/亩) | 皮棉 (公斤/亩) | | |
| K0 | 7.04 B | 3.22 A | 33.46 A | 265.5 b B | 88.9 c B | - | - |
| K1 | 7.23 B | 3.15 A | 33.86 A | 266.6 b B | 90.3 bc AB | 30.81 | 1.9 |
| K2 | 7.92 A | 3.23 A | 33.28 A | 300.1 a A | 99.9 a A | 240.53 | 7.3 |
| K3 | 7.86 A | 3.20 A | 33.18 A | 294.6 a AB | 97.8 ab AB | 193.87 | 4.0 |

注：长绒棉皮棉价格21.8元/kg，K₂O价格7.0元/kg。每一列中不同大写字母表示差异达1%显著水平，小写字母表示差异达5%显著水平

由表4可以得出：增施钾肥对长绒棉单铃重、衣分影响不大，但可以显著增加棉花单株铃数，K2和K3处理分别比K0处理增加0.88和0.82个铃。增施钾肥可以显著增加棉花产量，处理K2、K3分别比处理K0处理增产子棉13%、10.9%，增产皮棉12.4%和10%。但是，施用钾量少的K1处理增产效果不显著。施钾对长绒棉的增产效果主要是通过增加单株铃数实现的，增施钾肥有效的保证了单株铃数，为棉花高产奠定了基础。

从表4可以看出，若不考虑用工、投资等其它因素，单从钾肥投资因素上计算棉花经济效益，处理K1、K2、K3纯收入分别为30.81元/亩、240.53元/亩、193.87元/亩。K1、K2、K3产投比分别为1.9、7.3和4，可见处理K2经济效益最高。

2.3 施钾对长绒棉品质的影响

钾素营养是人们公认的品质元素，对棉麻类作物的纤维品质具有提高作用^[7]。从表5的结果看，处理K1、K2、K3的长度分别比K0增加0.13毫米、0.76毫米、0.66毫米，处理K2的长度值增加最大，表明钾肥施用量增加到K2时，长度随之逐渐增大，超过K2时，长度又有所降低，施钾在一定范围内可增加长绒棉的长度，但过多钾肥也会影响长度的增加；从表5中可知，处理K1、K2、K3的整齐度分别比K0提高了0.25个百分点、0.80个百分点、-0.45个百分点，整齐度值越高，表明纤维中长纤维数量越多，纤维的一致性越好，处理K2的整齐度最高，纤维一致性最好，而过高的钾肥施用量则影响纤维数量，降低整齐度；长绒棉随着施钾量的增加成熟度逐渐提高，相对于处理K0分别增加了0.015、0.020、0.025；马克隆值是细度与成熟度的综合指标，马克隆值愈大，表示棉纤维愈粗，也表示纤维的成熟度愈高，马克隆值过高影响成纱强力，而过低则易产生有害疵点，不易染色，国际上称3.7~4.2马克隆值的棉纤维为最优马克隆值范围，各处理中马克隆值均达到最优范围。结果表明，马克隆值随施钾量增大而增大，各处理相对于处理K0分别增加了0.12、0.16、0.24，由此可以看出，增施钾可以提高纤维成纱能力；钾肥在0~7 kg/亩范围内，强度增加了1.2~2.2 g/tex；同时，短绒指数是随施钾量增大而减小，降幅为0.6%~8.7%。

表5 施钾对棉花品质的影响

| 处理 | 长度(毫米) | 整齐度% | 强度 g/tex | 短绒指数% | 马克隆值 | 可纺系数 | 成熟度指数 |
|----|--------|-------|----------|-------|------|--------|-------|
| K0 | 36.10 | 88.10 | 44.20 | 3.45 | 3.96 | 206.50 | 0.920 |
| K1 | 36.23 | 88.35 | 46.35 | 3.43 | 4.08 | 215.30 | 0.935 |
| K2 | 36.86 | 88.90 | 45.40 | 3.33 | 4.12 | 215.00 | 0.940 |
| K3 | 36.76 | 87.65 | 46.40 | 3.15 | 4.20 | 210.50 | 0.945 |

3 小结

3.1 施钾显著影响棉花各个生育阶段的干物质积累，但是总的积累趋势仍然是一致的，苗期积累缓慢，到盛铃期时达到高峰，进入吐絮期后积累又趋于缓慢。钾肥各处理长绒棉总干物质的积累动态都呈“S”型曲线，增施一定量的钾肥延长了干物质积累时期和推迟了干物质快速积累的时刻，促进长绒棉干物质的积累。从蕾期到盛铃期，随着钾肥施用量的增加，干物质分配给生殖器官的量逐渐增加。

3.2 长绒棉的氮磷化肥供应充足时，增施钾肥对长绒棉单铃重、衣分影响不大，但可以显著增加棉

花单株铃数,最多可增加0.88个铃。施钾对长绒棉的增产效果主要是通过增加单株铃数实现的,最高增产子棉可达13%,增产皮棉12.4%。但是,施用钾量少的K1处理增产效果不显著。根据效益回归方程式和边际理论,若不考虑用工、投资等其它因素,处理K2的产投比最高,经济效益最好。

3.3 施钾改善了长绒棉的纤维品质,其中,强度、马克隆值、成熟度和可纺系数均增加,但却对纤维长度、整齐度影响不大。结果表明,施钾可提高长绒棉可纺系数。总之,钾素与纤维品质有着密不可分的联系,施钾会明显改善棉花的纤维品质。但是关于钾素对纤维品质形成机理的影响研究未见报道。

参考文献:

- [1] 侯宗贤,张惠文,丁英.新疆土壤有效钾状况与棉花施钾肥效果[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2): 197- 198.
- [2] 丁纪元,艾尼,史久英,等.新疆棉花施钾效果初探[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2): 198-199.
- [3] 张炎,史军辉,罗广华,等.新疆农田土壤养分与化肥施用现状及评价[J].新疆农业科学,2006,43(5):375-379.
- [4] 姜益娟,郑德明,朱朝阳,等.新疆农田土壤的钾素现状调查[J].塔里木农垦大学学报 2001,12(2): 1-3.
- [5] 张炎,王讲利,李磐等.新疆棉田土壤养分限制因子的系统研究[J].水土保持学报 2005,12(6):58_60.
- [6] 张旺锋,等.北疆高产棉花养分吸收特性的研究[J].棉花学报,1998,10(2): 88-95.
- [7] 杨佑明,徐楚年.棉纤维发育的分子生理机制[J].植物学通报,2003,20(1): 1-9.

秸秆移走对小麦及大麦田的影响综述

David D. Tarkalson, Brad Brown, Has Kok, Dave L. Bjorneberg 著

国际植物营养研究所武汉代表处 张过师 译 陈防 校

摘要:从对土壤属性及养分循环的影响来看,持续性移走小麦和大麦田中的秸秆问题值得关注。作者查阅近期的文献发现,在灌溉条件下,小谷类作物秸秆移走对土壤有机碳含量无负面影响;而在雨养条件下,其影响则会随不同地方的生产力水平而有所不同。秸秆移走会带走大量的养分,从而加速土壤养分消耗并增加培肥成本。

小谷类作物的秸秆从田间移走后可用作圈养动物的垫料和饲料,亦可用于以纤维素为原料的酒精生产。目前秸秆不还田对土壤性质和养分循环的影响日益受到关注,主要表现在对肥料和燃料价格的影响。小谷类作物(如小麦和大麦)的秸秆是生物燃料生产过程中纤维素的来源。美国2001-2006年小麦及大麦地上部分生物量年均约7,090万吨(干物质),这只相当于美国2000年玉米秸秆产量的25%。

作物秸秆还田很重要,它是土壤有机碳和养分的重要来源。有机碳对土壤肥力,土壤结构,水渗透,土壤持水力,土壤容重有积极作用,可以保持微生物的活性。作物地上部分残留对田地也会有多种有益作用,它们起到了土壤与风、雨等侵蚀力之间隔离层的作用,可以减少水分蒸发,提高水渗透,同时也是养分的来源。本文通过参阅相关文献,重点研究了小谷类作物秸秆不还田与否对土壤有机碳含量变化和土壤养分流失的影响。

灌溉条件下

Brodovsky等(1999)在11年中分别测定了德克萨斯州可灌溉的少耕和传统耕作条件下小麦地和小麦—高粱轮作地0~8厘米表层土壤中有机碳的含量,他们发现无论秸秆不还田与否,土壤有机碳的含量都有所增加,而且还田时增加更快。试验期间,两种耕作条件下的平均谷物产量和地上生物量在秸秆不移除处理中均比移除处理提高了6%。

Bahrani等(2002)在伊朗进行了一个3年期沟灌条件下的小麦试验,发现0~30厘米耕层土壤有机碳含量最后会因作物秸秆还田而有升高的趋势,在此期间土壤有机碳含量即使在作物秸秆被带走时也没有下降,同时发现作物秸秆被移走或燃烧的小区的平均小麦产量和秸秆产量都明显高于作物秸秆还田的小区。

Undersander等(1985)在德克萨斯州一个14年期的灌耕地秸秆不还田试验中并未发现不同处理间土壤有机碳含量会有不同。他们发现1967年到1980年间所有处理0~15厘米土层中有机碳含量增



秸秆移除的影响取决于灌溉及其他耕作措施

表1 文献中提出的维持土壤有机碳水平所需的年均碳及秸秆投入量
(改编于表3, 来自 Johnson 等的数据)

| 地点 | 研究年限 | 耕作 | 作物 | 灌溉 | MSC | MSR |
|--------|------|--------------|-------|----|---------|-------|
| | | | | | 公斤/公顷/年 | |
| 蒙大拿州 | 6 | V形刮板 9-12 厘米 | 小麦 | 无 | 300 | 750 |
| 华盛顿州 | 30 | 铧式犁 | 小麦—休耕 | 无 | 4,000 | 9,999 |
| 内布拉斯加州 | 22 | 铧式犁 | 小麦—休耕 | 无 | 899 | 2,249 |
| 科罗拉多州 | 84 | 铧式犁 | 小麦—休耕 | 无 | 1,100 | 2,750 |
| 华盛顿州 | 23 | 铧式犁 | 小麦—休耕 | 无 | 1,200 | 2,999 |
| 墨西哥 | 5 | 铧式犁 | 小麦—玉米 | 有 | 1,449 | 3,623 |
| 瑞典 | 31 | 手推犁 | 小麦—大麦 | 无 | 1,500 | 3,750 |
| 华盛顿州 | 30 | 铧式犁 | 小麦 | 无 | 1,999 | 4,999 |
| 堪萨斯州 | 42 | 铧式犁 | 小麦 | 无 | 1,999 | 4,999 |
| 俄勒冈州 | 45 | 铧式犁 | 小麦—休耕 | 无 | 2,100 | 5,251 |

MSC = 维持土壤有机碳含量水平所需的最小年均地上部分碳投入量 (减去谷物中的碳)。数字基于地上部分秸秆残留而不包括地下根系残留。来自相关科研成果。

MSR = 维持土壤有机碳含量水平所需的最小年均地上部分生物量投入 (减去谷物生物量)。MSR = MSC/0.4



秸秆处理变得日益重要

加了0.76~1.24%, 15~30 厘米土层有机碳含量稳定在 0.67%。在长期不同作物残留处理方式之间小麦产量 (平均 3.4 吨/公顷) 和地上部分生物量 (平均 4.15 吨/公顷) 并没有不同。

Crutin 等 (2003) 在新泽西州一个 6 年期的 喷灌地试验中发现土壤总有机碳含量在不同作物残留处理方式间最后也没有什么不同。在试验期间除有 1 年秸秆还田后谷物产量有所下降外, 作物残留处理方式对秸秆和谷物产量并无影响。

Follett 等 (2005) 在超过 5 年带状灌溉并施氮肥条件下的不同作物残留处理方式试验中发现 0~30 厘米耕层土壤中有机碳含量都有所提高, 其

中作物残留免耕留于地表时其增加会快于作物残留按传统方式翻耕入土或就地燃烧。作物残留被燃烧并翻耕入土时其平均小麦产量 (6.5 吨/公顷) 高于作物残留直接耕入土壤时的平均小麦产量 (5.7 吨/公顷)。作物残留返还土壤对有机碳含量的持续增加作用大于作物残留被移除或燃烧。

作物残留被移除或燃烧后有机碳含量仍得以维持并提高这一点值得注意, 这可能主要是作物根系和微生物的贡献。已有研究报告提出了地下生物量对有机碳贡献的大约范围, 地下生物质含碳量约占总有机碳量的 25~50%。

由于取样和测定根系及其分泌物的碳投入量方面的困难, 很难对地下的生物质量进行精确测算。同时, 作物残留被移除时并不是所有的生物量都被移走, 剩余的作物残留量往往很难确定。

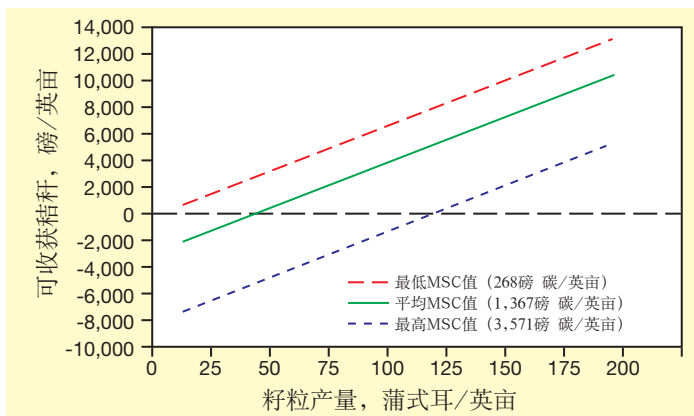


图1 维持一定范围的谷物产量所需的有机碳含量时可收获的年均小麦秸秆量 (MSC)。

维持土壤有机碳含量所需的最低年均作物地上部分残留

有人测定过雨养条件下为维持土壤有机碳水平所需的由小麦地上部分残留所提供的碳量,这对生产者在灌溉条件下采取何种秸秆不还田策略有参考意义。Johnson等(2006)通过参考全球文献发布了小麦生产中的MSC值(表1)。这些研究大多是在雨养或水供应变化比较大的条件下进行的,而灌溉条件下作物产量一般都会稳定在较高水平,因此,不同灌溉条件之间MSC值的直接换算只是近似值。

我们用Johnson等(2006)提出的MSC值测算了维持一定范围的谷物产量所需的有机碳含量时可收获的小麦秸秆量(图1)。中间线是7项研究平均得出,为维持土壤有机碳水平年均要投入有机碳1,531公斤/公顷,从这条曲线可看出,如谷物产量在3,091公斤/公顷以下,要维持有机碳含量水平就不应移走秸秆。在谷物产量达6,720公斤/公顷时,超过3,920公斤/公顷的秸秆可以被移除而不会降低有机碳含量。红短线和蓝短线是从文献中得出来的极限值。详细计算方法可从原作者处获取。

养分损失

表2 小麦和大麦秸秆中的养分平均含量。数值源于多处文献。

| 作物 | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|----|------|-------------------------------|------------------|
| | 克/公斤 | | |
| 小麦 | 8.1 | 1.2 | 10.3 |
| 大麦 | 6.4 | 0.8 | 16.5 |

小麦及大麦秸秆中含有大量的养分,移除会加速养分损失并降低经济效益。表2列出了众多文献中提出的其秸秆中的平均养分含量。通过表2中的平均养分含量和一定范围内的肥料价格计算可以得出小麦秸秆中养分价值在7.05~22.05美元/吨之间,大麦秸秆中养分价值在7.84~25.01美元/吨之间(表3)。

表3 2001-2008年间不同肥料价格时小麦及大麦秸秆中养分的经济价值

| 作物 | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | 总和 |
|---------|-------|-------------------------------|------------------|-------|
| 美元 / 公斤 | | | | |
| 低价 | 0.49 | 0.55 | 0.31 | |
| 美元 / 吨 | | | | |
| 小麦 | 3.94 | 0.66 | 3.19 | 7.81 |
| 大麦 | 3.12 | 0.44 | 5.12 | 8.69 |
| 美元 / 公斤 | | | | |
| 高价 | 1.39 | 1.98 | 1.04 | |
| 美元 / 吨 | | | | |
| 小麦 | 11.31 | 2.39 | 10.72 | 24.43 |
| 大麦 | 8.93 | 1.60 | 17.18 | 27.71 |

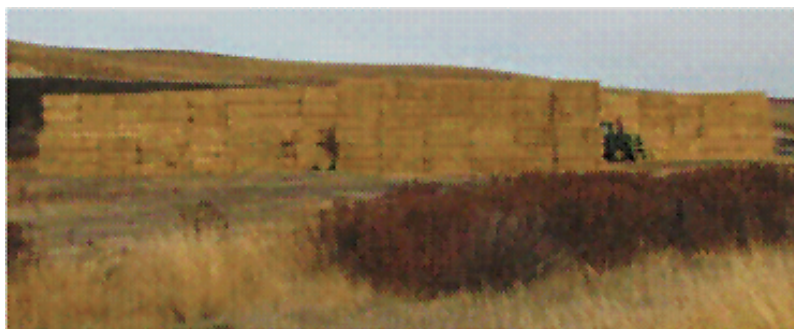
相对于仅收获谷物，若同时收获谷物和秸秆会加快养分（尤其是钾）的消耗速度。与籽粒相比，秸秆中含氮磷少而含钾高。氮磷钾在小麦秸秆和籽粒中含量的平均比值分别是 0.47, 0.26 和 4.12，氮磷钾在大麦秸秆和籽粒中含量的平均比值分别是 0.49, 0.35 和 5.04。

秸秆中养分的价值

评估秸秆的实际价值时应考虑到来年需要的养分补充。例如，含钾高的土壤可能不需要立即补充因秸秆不还田所带走的钾，但长远来看，秸秆不还田所带走的养分最终要被补充才能维持生产。更难的是确定秸秆不还田带走的氮的价值。作物秸秆不移除时，可以额外再加施氮肥以克服暂时的土壤固氮，施肥也可以提高土壤有机碳累积。而在秸秆被移除的情况下，在一个新的土壤有机质平衡达成之前，下茬作物需要的氮肥要少些。

农业生产中承租人和土地所有人之间常会有一个租赁协议，承租人可能更关心短期经济效益而土地所有人会更关注长期效益和可持续性。双方在作决定时都需要考虑到基础的作物养分问题。

在有灌溉条件并包含有小麦和大麦在内的复杂轮作系统中，情况可能与本文所总结的观点有所不同。如在太平洋西北地区，小谷类作物轮作中常包括苜蓿、玉米、马铃薯或者糖用甜菜，而直接研究这些多样的灌溉轮作制的相关数据资料很少见。



灌溉条件下产出大量的多余秸秆

总结

综合数据表明,灌溉条件下小谷类作物秸秆不还田不会降低土壤有机碳含量,而雨养条件下一般需要一些地上部分作物残留来维持土壤有机碳含量。在有灌溉的高产条件下,较高的生产水平可能会为土壤提供足够的地下部分生物量来维持或随着时间推移逐步提高土壤中的有机碳含量。秸秆不还田会带走大量的养分,生产者在衡量秸秆的实际价值时要考虑到未来养分补充所需的花费。

Tarkalson 博士 (E-mail: david.tarkalson@ars.usda.gov) 和 Bjorneberg 博士分别是位于爱达荷州 Kimberly 市的美国农业部农业研究中心的土壤学家/行业体系农学家和农业工程师, Brown 博士是位于 Parma 市的爱达荷州大学作物管理专家, Kok 博士是位于爱达荷州 Moscow 市的华盛顿大学/爱达荷州大学保护耕作学专家。

参考文献:

Bahrani, M.J., M. Kheradnam, Y. Emam, H. Ghadiri, and M.T. Assad. 2002. *Exper. Agric.* 38:389-395.

Bordovsky, D.G., M. Choudhary, and C.J. Gerard. 1999. *Soil Sci.* 164:331-340. Curtin, D. and P.M. Fraser. 2003. *Aus. J. Soil Res.* 41:95-106.

Follett, R.F., J.Z. Castellanos, and E.D. Buenger. 2005. *Soil Tillage Res.* 83:148-158.

Johnson, J.M.-F., R.R. Allmaras, and D.C. Reicosky. 2006. *Agron. J.* 98:622-636.

Rasmussen, P.E., R.R. Allmaras, C.R. Rohde, and N.C. Roager, Jr. 1980. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44:596-600.

Tarkalson, D., B. Brown, H. Kok, and D.L. Bjorneberg. 2009. *Western Nutrient Management Conf. Proc.* 8:32-37.

Undersander, D.J. and C. Reiger. 1985. *Agron. J.* 77:508-511.

原文自 *Better Crops with Plant Food*, 2009(3):17-19, 国际植物营养研究所武汉代表处张过师译, 陈防校。

滇池周边不同玫瑰品种农业面源污染防控氮素管理研究

付利波¹ 苏帆¹ 陈华¹ 尹梅¹ 洪丽芳^{1*} 赵光顺² 王家德²

¹ 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明, 650023

² 昆明市晋宁县蔬菜花卉办公室, 昆明, 650600

摘要: 以滇池周边主要农业生产区晋宁县3个玫瑰主栽品种为研究对象, 在有5年玫瑰栽培历史连续高强度施肥的土壤上, 以减少氮素流失为目标, 研究养分精准管理对产量、经济效益、植株、土壤和地下水氮含量变化规律的影响, 提出N素高效利用的污染防控型玫瑰品种和最佳养分量。通过试验初步得出结论: 从产量、经济效益、植株带走的氮、土壤氮盈亏、地下水氮污染风险等方面综合考虑, 该试验条件下推荐氮高效、环境友好型玫瑰品种为超级, 推荐施肥处理为农民习惯施肥减氮25% (施氮量为18.8公斤/亩)。玫瑰植株茎叶、根、花吸收氮量占整株比例: 超级为48.6%、42.3%和9.1%, 艳粉是29.8%、45.3%和24.9%, 黑玫49%、40.4%和10.6%。土壤水解氮含量, 上层>中层>下层; 土壤全氮含量, 下层>中层>上层; 20厘米厚土层土壤含氮总量在422-449公斤/亩之间, 其中下层>中层>上层; 与试验处理前土壤相比, 0-60厘米土层土壤含氮总量, 超级、艳粉、黑玫三个品种不施氮处理都出现亏缺 (分别减少4.8公斤/亩、4.2公斤/亩和3.4公斤/亩), 其他处理都有盈余, 盈余在6.8-11.5公斤/亩之间。地下水氮含量随施肥量增加而呈递增趋势, 黑玫地下水氮含量远远高于超级和艳粉, 最高达到364.7毫克/升; 三个品种比较: 黑玫>艳粉>超级。

关键词: 玫瑰 氮 产量 植株 土壤 地下水

滇池素有高原明珠之称, 其周边地区气候宜人、水利资源丰富, 是云南省居民最密集、人为活动最频繁、经济最发达、种植水平最高的地区, 近年随着农业产业结构的调整, 玫瑰集约化生产面积不断扩大, 滇池流域地区逐步形成了滇中温带鲜切花主要生产区。随着玫瑰种植面积的不扩大, 花农种植水平参差不齐, 玫瑰施肥不合理现象突出, 造成氮肥流失严重, 大量的氮素随着农田径流流入滇池, 成为滇池水体富营养化的重要原因^[1,2]。针对这一现象, 本试验以滇池周边主要农业生产区晋宁县3个玫瑰主栽品种为对象, 以氮减施为目标, 在不影响花农经济收入的情况下, 研究不同养管理对植株、土壤和地下水氮含量变化规律, 提出氮养分高效利用的、土地可持续经营的污染防控型氮素养分最佳用量。

1 试验设计与材料

1.1 试验材料

试验于2008年8月在云南昆明市晋宁县昆阳镇凤踪村已种植5年的玫瑰花大棚中进行。试验选三个玫瑰主栽品种超级、艳粉和黑玫, 三个品种试验布置在同一连体大棚中。

国际植物营养研究所 IPNI 项目资助。

* 通讯作者: E-mail: gredbean@163.com

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

供试土壤为水稻土,为当地中高肥力田块。试验前分别取0~20厘米、20~40厘米、40~60厘米土层基础土样分别测定土壤碱解N(碱解扩散法)、全N(半微量凯氏法)、有效P(0.5mol/L NaHCO₃浸提·钼锑抗比色法)、全P(碱熔·钼锑抗比色法)、速效K(乙酸铵溶液浸提·火焰光度计法)、全K(碱熔·火焰光度计法)、pH(玻璃电位法)和有机质(重铬酸钾容量法)^[3-4]。结果见表1。

试验用氮肥为尿素(含N 46%),磷肥为普通过磷酸钙(含P₂O₅ 16%),钾肥为氯化钾(含K₂O 60%)。分别于平茬(8月16日)后7天、30天和初花期施入。

表1 供试土壤农化性状

| 品种 | 土层 | N(克/公斤) | | P(克/公斤) | | K(克/公斤) | | pH | OM (%) |
|----|----------|---------|-------|---------|------|---------|--------|------|--------|
| | | 碱解N | 全N | 速效P | 全P | 速效K | 全K | | |
| 超级 | 0-20 厘米 | 0.25 | 2.046 | 0.151 | 1.95 | 0.276 | 15.709 | 5.96 | 3.08 |
| | 20-40 厘米 | 0.307 | 2.085 | 0.134 | 2.01 | 0.285 | 15.726 | 6.05 | 3.25 |
| | 40-60 厘米 | 0.311 | 2.091 | 0.096 | 1.63 | 0.239 | 16.035 | 6.53 | 2.87 |
| 艳粉 | 0-20 厘米 | 0.337 | 2.086 | 0.046 | 1.92 | 0.328 | 11.957 | 6.87 | 3.12 |
| | 20-40 厘米 | 0.327 | 2.093 | 0.09 | 1.89 | 0.31 | 15.767 | 6.87 | 2.68 |
| | 40-60 厘米 | 0.248 | 2.102 | 0.037 | 1.61 | 0.201 | 16.659 | 6.87 | 1.94 |
| 黑玫 | 0-20 厘米 | 0.312 | 2.079 | 0.216 | 2.06 | 0.337 | 16.318 | 4 | 3.25 |
| | 20-40 厘米 | 0.376 | 2.089 | 0.208 | 2.16 | 0.673 | 17.726 | 4.77 | 3.29 |
| | 40-60 厘米 | 0.354 | 2.097 | 0.269 | 1.62 | 0.569 | 17.21 | 5.7 | 3.07 |

1.2 试验设计

三个品种试验均设4个处理N0、N1、N2、N3,4次重复,每个小区面积8.4平方米,随机区组排列。其中N3为农民习惯施氮量处理,N0为不施氮处理,N1为减氮50%处理,N2为减氮25%处理,试验目的在于评价减少氮施用量对玫瑰产量和环境的影响;所有处理磷、钾肥用量相同(P₂O₅ 11.3公斤/亩,K₂O 21公斤/亩),所有肥料分三次(每次按1/3量)施入,具体各处理肥料用量见表2,其它田间管理按常规栽培技术要求进行。

表2 试验处理及施氮量(公斤/亩)

| 处理 | 总施N量 | 第一次施N量 | 第二次施N量 | 第三次施N量 |
|----|------|--------|--------|--------|
| N0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N1 | 12.5 | 4.2 | 4.2 | 4.2 |
| N2 | 18.8 | 6.3 | 6.3 | 6.3 |
| N3 | 25.0 | 8.3 | 8.3 | 8.3 |

备注: N0: 不施肥、N1: N3减N50%、N2: N3减N25%、N3: 农民习惯施肥

1.3 样品采集及分析

1.3.1 植株样品采集与测定: 根据玫瑰生长规律,每次施肥前各小区取植株2株,每处理共取8株烘干、

粉碎过筛，分别测鲜重和烘干重，并测定植株全氮（硫酸-过氧化氢消煮法—蒸馏法）^[5]

1.3.2 土样采集与测定：土样采集分别在每次施肥前和收获后，分三层（0~20厘米，20~40厘米，40~60厘米）取土样，每小区取3个样点，取样点在畦上两株之间。将取自同一土层的土样于田间混合均匀后自然风干，磨碎后过60、80目筛，分别测定土壤水解性氮（碱解扩散法）、全N（半微量凯氏法）^[3-5]。

1.3.3 地下水样的采集与测定：每次施肥前每处理挖深80厘米剖面一个，待剖面坑里水汇集至刚澄清，取水样600毫升，测定地下水总氮（过硫酸钾氧化—紫外分光光度法）^[6]。

2 结果分析

2.1 不同施氮量对不同玫瑰品种产量和经济效益的影响

2.1.1 不同施氮量对玫瑰不同品种产量的影响

玫瑰采收季节，按花农采收标准对小区试验玫瑰实时采摘并计产得出小区花枝产量，折算出各处理玫瑰产量(表3)。结果可以看出，在磷、钾用量相同的基础上，超级减氮25%处理的产量最高，比农民习惯处理增产35.5%，差异极显著，减氮50%处理比农民习惯施肥出现小幅增产，增0.42%，不施肥处理最低，比农民习惯处理减产1.82%；艳粉减氮50%处理的产量最高，比农民习惯处理增产18.4%，差异达显著水平，不施氮处理次之，比农民习惯处理增产11.7%，减氮25%处理比农民习惯处理小幅增产，增2.5%，农民习惯处理最低；黑玫减氮25%处理的产量最高，比农民习惯处理略有增产，增1.72%，增产不显著，农民习惯处理次之，减氮50%处理第三，比农民习惯处理减产6.91%，不施氮肥处理最低，比农民习惯处理减产20.54%。三个品种比较，相同处理条件下超级产量>艳粉>黑玫。

以上数据说明在已种植玫瑰5年、连续高强度施肥的土壤上，超级、黑玫品种减氮25%的产量最高，艳粉减氮50%处理产量最高。

表3 不同养分管理对不同品种玫瑰产量的影响

| 处理 | 超级 | | 艳粉 | | 黑玫 | |
|----|----------|------|----------|------|---------|------|
| | 均值(枝/亩) | 标准差 | 均值(枝/亩) | 标准差 | 均值(枝/亩) | 标准差 |
| N0 | 8854 bB | 1127 | 9663 abA | 1592 | 3929 aA | 1278 |
| N1 | 9056 bB | 1148 | 10239 aA | 615 | 4603 aA | 1028 |
| N2 | 12218 aA | 1627 | 8869 abA | 1097 | 5030 aA | 155 |
| N3 | 9018 bB | 1251 | 8651 bA | 205 | 4945 aA | 478 |

备注：N0：不施肥、N1：N3减N50%、N2：N3减N25%、N3：农民习惯
相同列数字后相同小写字母表示差异未达5%，相同大写字母表示未达1%显著水平

2.1.2 不同施氮量对玫瑰不同品种经济效益的影响

按采收时市场平均价计算产值，减去施用氮肥成本，折算出各处理玫瑰经济效益(表4)。结果可以看出，在磷、钾用量相同的基础上，三个品种经济效益减氮25%的处理最高，比农民习惯处理增产36.72%，减氮50%处理比农民习惯小幅提高，增1.45%，不施肥处理比农民习惯增0.19%；艳粉减氮

50%处理最高,比农民习惯处理增19.81%,不施氮处理次之,比农民习惯处理增14.09%,减氮25%处理比农民习惯处理提高3.11%,农民习惯处理最低;黑玫减氮25%处理最好,比农民习惯处理略有提高,增2.73%,但减氮50%处理比农民习惯降5.27%,不施肥处理最低,比农民习惯处理降17.52%。以上数据说明在已种植玫瑰5年、连续高强度施肥的土壤上,超级、黑玫品种减氮25%经济效益最好,艳粉减氮50%处理经济效益最好,艳粉不施氮处理仍保持大幅度增长态势。三个品种比较,相同处理条件下超级经济效益>艳粉>黑玫。

表4 不同品种、不同养分管理对玫瑰经济效益的影响

| 处理 | 超级 (元/亩) | | 艳粉 (元/亩) | | 黑玫 (元/亩) | |
|----|----------|------|----------|------|----------|------|
| | 氮肥成本 | 经济效益 | 氮肥成本 | 经济效益 | 氮肥成本 | 经济效益 |
| N0 | 0 | 5929 | 0 | 4786 | 0 | 2838 |
| N1 | 54 | 7196 | 54 | 5005 | 54 | 2834 |
| N2 | 82 | 7249 | 82 | 5240 | 82 | 2936 |
| N3 | 109 | 7197 | 109 | 5058 | 109 | 2803 |

备注:尿素:2000元/吨,经济效益仅为扣除氮肥成本而未考虑其它成本;花价:按当时市场平均价12元/20枝计算。N0:不施肥、N1:N3减N50%、N2:N3减N25%、N3:农民习惯施肥

2.2 不同氮养分管理对不同玫瑰品种植株氮含量的影响

采收时每处理取整株玫瑰植株8株测鲜重,105℃杀青1小时后调至70℃烘干称干重,并粉碎过筛进行植株氮分析,结果表明,植株地上部、地下部氮含量均表现为:超级>艳粉>黑玫,说明在氮水平相同情况下,单位植株体超级对肥料氮的吸收高于其它两个品种;在磷、钾用量相同的情况下,三个品种植株整株、茎叶、根和花吸收氮均随施氮量增加而增加,但当氮施用量达到25公斤/亩时,即在高氮水平下,各部位所吸收的氮反而降低。三个品种比较,玫瑰整株吸收氮量超级>艳粉>黑玫,茎叶吸收氮量超级>黑玫>艳粉,根吸收氮量超级>艳粉>黑玫,花吸收氮量艳粉>超级>黑玫。玫瑰植株各部位吸收氮结果显示,茎叶、根、花吸收氮量占整株比例:超级为48.6%、42.3%和9.1%,艳粉是29.8%、45.3%和24.9%,黑玫49%、40.4%和10.6%。

表5 不同养分管理对不同品种玫瑰植株吸收氮的影响

| 处理 | 超级 (公斤/亩干基) | | | | 艳粉 (公斤/亩干基) | | | | 黑玫 (公斤/亩干基) | | | |
|----|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| | 整株 | 茎叶 | 根 | 花 | 整株 | 茎叶 | 根 | 花 | 整株 | 茎叶 | 根 | 花 |
| N0 | 4.88 | 2.39 | 2.02 | 0.47 | 3.47 | 1.03 | 1.57 | 0.87 | 3.09 | 1.44 | 1.31 | 0.33 |
| N1 | 5.25 | 2.39 | 2.38 | 0.47 | 3.61 | 1.09 | 1.63 | 0.90 | 3.38 | 1.68 | 1.36 | 0.35 |
| N2 | 5.86 | 2.97 | 2.41 | 0.48 | 3.70 | 1.11 | 1.66 | 0.93 | 3.52 | 1.76 | 1.40 | 0.36 |
| N3 | 4.97 | 2.45 | 2.06 | 0.47 | 3.46 | 1.01 | 1.60 | 0.85 | 3.25 | 1.62 | 1.27 | 0.36 |

备注: N0:不施肥、N1:N3减N50%、N2:N3减N25%、N3:农民习惯施肥

2.3 不同氮素水平对不同玫瑰品种植花土壤氮含量的影响

收获后分三层(0~20厘米, 20~40厘米, 40~60厘米)在畦上两株之间采集土样, 进行土壤水解氮、全氮分析, 结果见表6。

2.3.1 不同氮水平对不同玫瑰品种植花土壤水解性氮含量的影响

结果表明, 在玫瑰采收时, 与农民习惯施肥N3处理相比, 随着氮用量的减少, 3个品种、各层土壤氮含量均表现出不同程度的降低(降幅在1.57%~26.48%)。三个品种土壤水解氮都表现为, 在0~60厘米土层之间, 上层(0~20厘米) > 中层(20~40厘米) > 下层(40~60厘米); 三层土壤分析结果同时显示, 植花土壤水解氮含量: 黑玫 > 艳粉 > 超级。

表6 收获时各处理对不同土层土壤水解性氮含量的影响

| 项目 | 处理 | 超级 | | | 艳粉 | | | 黑玫 | | |
|----------------|----|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 |
| 水解氮 (毫克/公斤) | N0 | 231 | 181 | 142 | 309 | 280 | 231 | 336 | 289 | 234 |
| | N1 | 244 | 200 | 161 | 311 | 281 | 241 | 363 | 293 | 258 |
| | N2 | 251 | 206 | 168 | 333 | 286 | 250 | 411 | 324 | 297 |
| | N3 | 257 | 224 | 176 | 360 | 332 | 254 | 457 | 359 | 312 |

备注: N0: 不施肥、N1: N3减N50%、N2: N3减N25%、N3: 农民习惯施肥

2.3.2 不同氮水平对不同玫瑰品种植花土壤全氮含量的影响

从表7结果可以看出, 不施氮处理土壤全氮含量在2.04~2.093克/公斤之间。与农民习惯N3处理相比, 随着氮用量的减少, 3个品种、各层土壤氮含量均表现出不同程度的降低(降幅在0.23~7.40%), 一定程度上降低了氮在植花土壤中富集的风险。在玫瑰采收时, 三个品种土壤全氮含量均表现为下层(40~60厘米) > 中层(20~40厘米) > 上层(0~20厘米), 在0~60厘米土层间土壤氮有明显向下转移倾向, 这可能与取样时地下水水位高(50~60厘米), 土壤氮随灌溉水向下移动有关。植花土壤不同土层全氮含量都是黑玫 > 艳粉 > 超级。

2.3.3 不同氮水平对不同玫瑰品种收获后植花土壤总含氮量的影响

在试验地不同处理小区相应土层各取环刀土10个测容重, 取平均值得土壤容重1.55克/厘米³, 利用公式 [每亩耕地土重(公斤/亩) = 土壤容重(克/厘米³) × 667(米²) × 10000 × 20(土层厚度厘米) × 土壤含氮量(克/公斤) / 1000000] 计算出每亩土地20厘米厚度土层土壤氮总量。结果表明, 在滇池湖滨区种植玫瑰5年的大棚植花土地上, 经过一季花(3个半月)不同养分管理, 在该试验氮肥不同管理水平下, 20厘米厚土层土壤含氮总量在422-449公斤/亩之间。相同处理、相同品种、不同土层土壤氮总量比较: 下层(40~60厘米) > 中层(20~40厘米) > 上层(0~20厘米); 相同处理、相同土层、不同品种土壤含氮总量土壤氮总量比较: 黑玫 > 艳粉 > 超级。0~60厘米土层土壤含氮总量, 超级、艳粉、黑玫三个品种都表现为, 不施氮处理比基础样亏损, 分别亏4.8公斤/亩、4.2公斤/亩和3.4公斤/亩; 减氮50%处理比基础样盈余, 分别盈6.8公斤/亩、7.7公斤/亩和8.3公斤/亩; 减氮25%处理比基础样分别盈余8.9公斤/亩、10.0公斤/亩和10.6公斤/亩; 农民习惯施肥N3处理比基础样盈余最多, 分别盈余11.2公斤/亩、11.0公斤/亩和11.5公斤/亩。

表7 收获时各处理对不同土层土壤全氮含量的影响

| 项目 | 处理 | 超级 | | | 艳粉 | | | 黑玫 | | |
|---------------------------------------|----|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 |
| 全氮 (克/公斤) | N0 | 2.04 | 2.08 | 2.08 | 2.08 | 2.08 | 2.09 | 2.08 | 2.09 | 2.09 |
| | N1 | 2.06 | 2.10 | 2.11 | 2.09 | 2.10 | 2.11 | 2.10 | 2.11 | 2.12 |
| | N2 | 2.06 | 2.10 | 2.11 | 2.10 | 2.11 | 2.11 | 2.10 | 2.11 | 2.12 |
| | N3 | 2.06 | 2.10 | 2.11 | 2.10 | 2.11 | 2.12 | 2.10 | 2.11 | 2.12 |
| 土壤氮总量 (20厘米厚 土层,公 斤/亩) | N0 | 421.8 | 429.7 | 430.3 | 433.1 | 434.3 | 435.6 | 440.1 | 441.8 | 443.5 |
| | N1 | 424.9 | 433.2 | 435.3 | 436.4 | 438.3 | 440.1 | 443.3 | 445.8 | 448.0 |
| | N2 | 425.7 | 434.0 | 435.7 | 437.4 | 438.9 | 440.8 | 444.4 | 446.7 | 448.4 |
| | N3 | 426.2 | 434.8 | 436.7 | 437.6 | 439.3 | 441.2 | 444.6 | 446.9 | 448.8 |
| | 基础 | 423.1 | 431.1 | 432.4 | 434.1 | 435.6 | 437.4 | 441.0 | 443.1 | 444.8 |
| 土壤氮总量比 基础样增减 (20厘米厚土 层,公斤/亩) | N0 | -1.24 | -1.45 | -2.07 | -1.04 | -1.25 | -1.87 | -0.85 | -1.27 | -1.27 |
| | N1 | 1.86 | 2.07 | 2.90 | 2.29 | 2.71 | 2.71 | 2.33 | 2.76 | 3.18 |
| | N2 | 2.69 | 2.90 | 3.31 | 3.33 | 3.33 | 3.33 | 3.39 | 3.61 | 3.61 |
| | N3 | 3.10 | 3.73 | 4.35 | 3.53 | 3.75 | 3.75 | 3.61 | 3.82 | 4.03 |
| 0~60厘米 土层土壤 氮总量亏盈 (公斤/亩) | N0 | -4.75 | | | -4.16 | | | -3.39 | | |
| | N1 | 6.83 | | | 7.70 | | | 8.27 | | |
| | N2 | 8.89 | | | 9.99 | | | 10.61 | | |
| | N3 | 11.17 | | | 11.03 | | | 11.46 | | |

备注：N0：不施肥、N1：N3减N50%、N2：N3减N25%、N3：农民习惯

2.4 不同氮素养分管理对不同玫瑰品种花地地下水氮含量的影响

样品采收期同时取地下水进行分析,结果(表8)显示:三个品种所有处理地下水氮含量均比农民习惯施肥处理降低,最大降幅为36.6%,同时对表中三个品种各处理地下水氮含量进行比较发现,艳粉远远高于超级和黑玫,最高达到364.7毫克/升;三个品种均表现为不施氮(N0P2K2)处理地下水氮含量最低,并且地下水氮含量随施肥量增加而呈递增趋势。三个品种比较:黑玫>艳粉>超级。

表8 不同品种、不同养分管理对花地地下水氮含量的影响

| 处理 | 超级 | | 艳粉 | | 黑玫 | |
|----|---------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|
| | N含量 (毫克/升) | 比N3 (%) | N含量 (毫克/升) | 比N3 (%) | N含量 (毫克/升) | 比N3 (%) |
| N0 | 100.1 | -29.3 | 99.8 | -33.2 | 104.3 | -36.6 |
| N1 | 138.0 | -2.5 | 139.4 | -6.7 | 142.8 | -13.3 |
| N2 | 140.6 | -0.7 | 143.3 | -4.0 | 158.6 | -3.7 |
| N3 | 141.6 | 0 | 149.4 | 0 | 164.7 | 0 |

备注：N0：不施肥、N1：N3减N50%、N2：N3减N25%、N3：农民习惯

3 结论

在滇池周边玫瑰主栽地区已种植玫瑰5年、连续高强度施肥的土壤上,从产量、经济效益角度考虑,超级、黑玫都是减氮25%处理最好;艳粉为减氮50%处理最好,甚至艳粉不施肥处理产量、经济效益还好于减氮25%和农民习惯施肥N3处理。

对不同处理玫瑰植株整株取样进行植株氮分析,植株地上部、地下部氮含量均表现为:超级>艳粉>黑玫;在磷、钾用量相同的情况下,植株整株、茎叶、根和花吸收氮量随施氮量增加而增加,但当氮施用量达到25公斤/公顷时,三个品种玫瑰各部位吸收氮量反而降低。三个品种比较,玫瑰整株吸收氮量超级>艳粉>黑玫,茎叶吸收氮量超级>黑玫>艳粉,根吸收氮量超级>艳粉>黑玫,花吸收氮量艳粉>超级>黑玫。玫瑰植株茎叶、根、花吸收氮量占整株比例:超级为48.6%、42.3%和9.1%,艳粉是29.8%、45.3%和24.9%,黑玫49%、40.4%和10.6%。

土壤水解氮含量在磷钾用量相同的基础上,3个品种、上中下层土壤均随氮用量的增加而不同程度增加;在0~60厘米土层之间,上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米);三个品种比较,黑玫>艳粉>超级。土壤全氮含量,3个品种、不同土层土壤均随着氮用量的减少而不同程度的降低(降幅在0.23~7.40%),一定程度上降低了氮在植花土壤中富集的风险。三个品种均表现为下层>中层>上层,在0~60厘米土层间土壤氮有明显向下转移倾向。

土壤含氮总量,经过该试验不同养分管理,在该试验条件下,20厘米厚土层在6327.2~6732.2 Kg/hm²之间;不同土层、相同处理、相同品种土壤氮总量比较:下层>中层>上层;不同品种、相同处理、相同土层土壤氮总量比较:黑玫>艳粉>超级;与试验处理前相比,0~60厘米土层土壤含氮总量,超级、艳粉、黑玫三个品种都表现为,不施氮处理出现不同程度亏损,亏3.4-4.8公斤/亩,减氮50%处理开始出现盈余,盈余6.8-8.3公斤/亩,减氮25%处理盈余更多,盈余8.9-10.6公斤/亩,农民习惯施肥N3处理盈余最多,盈11.0-11.4公斤/亩。

地下水氮含量随施肥量增加而呈递增趋势,艳粉地下水氮含量远远高于超级和黑玫,最高达到364.7毫克/升;三个品种比较:黑玫>艳粉>超级

综上所述,从产量、经济效益、植株带走的氮、土壤氮盈亏、对地下水氮污染风险等方面综合考虑,该试验条件下推荐氮高效、环境友好型玫瑰种植品种为超级,推荐施肥量为农民习惯减氮25%,施氮量为18.7公斤/亩。

参考文献:

- [1] 杨新泉,冯锋,宋长青,冷疏影.植物营养与肥料学报.主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究2003,9(3):373-376
- [2] 张兴昌 邵明安.草地学报.植被覆盖度对流域有机质和氮素径流流失的影响2000,8(3):198-203
- [3] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业科技出版社.2000
- [4] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版).北京:中国农业出版社.2005
- [5] 李酉开.土壤农业化学常规分析方法.北京:科学出版社.2005
- [6] 魏复盛.水和废水监测分析方法(第四版).北京:中国环境科学出版社.2002
- [7] 朱祖祥.土壤学(全国高等农业院校试用教材、土壤农化专业用).北京:农业出版社.1982

氮肥减施对稻麦轮作体系作物氮素吸收、利用的影响

易琼¹, 张秀芝¹, 何萍¹, 杨利², 熊桂云²

¹ 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081

² 湖北省农业科学院植保土肥所, 武汉 430064

摘要: 田间试验条件下研究了稻麦轮作体系中减施氮肥对作物氮素吸收、利用的影响。结果表明, 与当地农民习惯施肥(小麦为15公斤/亩, 基肥与分蘖肥各半, 水稻为14公斤/亩, 基肥和分蘖肥为3:2, 减氮20%-30%处理产量并没有降低, 而氮肥当季利用率、氮素农学利用率以及氮素偏因子生产力则有所增加, 而且, 氮肥分次追施, 能增加籽粒产量, 减少氮肥成本。因此, 初步认为, 在长江中下游平原稻麦轮作体系氮素过量施用地区第一个轮作周期氮肥减施20%-30%不仅不影响产量, 而且还提高了氮素利用率, 有利于保护环境。

关键词: 氮肥减施; 稻麦轮作; 氮肥利用率; 土壤无机氮

稻麦轮作是我国长江中下游粮食主产区一种主要的种植制度^[1], 近年来, 水稻和小麦的单产和总产都有很大幅度的提高^[2,3], 然而这种高产的维持大多是以高氮肥用量以及由此可能导致的大气、土壤及水污染等为代价的, 是一种不科学, 不经济的和不安全的非可持续农业发展之路, 非我国农业发展的长久之计。我国农民习惯施氮具有一定的盲目性和随众性, 人们只注重前期氮肥的供应而忽略了作物后期对N素的需求, 当土壤氮素供应与氮肥投入超过作物对氮素的需求, 土壤剖面氮素积累与环境压力显著增加^[4-5]。为此, 本试验通过不同氮肥用量和运筹来探求水稻和小麦轮作体系土壤氮素供应和作物需求同步机制, 为长江中下游稻麦体系合理氮肥管理和养分资源高效利用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2007年11月-2008年9月在湖北省潜江市浩口镇进行。供试土壤为潮土, 土层深厚, 排灌条件一般, 土壤质地为砂壤, 地力水平中等。土壤基本理化性状见表1。

供试小麦品种为湖北省主栽品种郑麦9023, 播种量为7.5公斤/亩, 播种方式为撒播, 水稻品种为当地主栽水稻高产品种II优838, 氮磷钾肥分别以尿素(46%)、过磷酸钙(12%)和氯化钾(60%)的形式施入。

表1 供试土壤基本理化性状

| pH | 有机质 (克/公斤) | 全氮 (克/公斤) | 速效氮 (毫克/公斤) | 速效磷 (毫克/公斤) | 速效钾 (毫克/公斤) | 阳离子交换量 (厘摩尔/公斤) |
|-----|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 7.1 | 20.62 | 1.534 | 121.28 | 19.16 | 72.5 | 14.85 |

1.2 试验设计

大田试验设7个处理：处理1为对照(N0)，处理2为农民习惯施肥(FP/2)，处理3-5分别为在农民习惯施氮的基础上减施20%、30%、40%的氮肥(FP-20%/2,FP-30%/2,FP-40%/2)，分两次施用，处理6-7分别为在减施30%农民习惯施氮量条件下(FP-30%/3, FP-30%/4)，分三次、四次施用。各小区磷、钾施用量相同，磷肥全部作基肥，钾肥基肥和分蘖肥各占50%。试验设3次重复，随机区组排列。

1.3 测定项目及分析(计算)方法

植株全氮含量 按照国标 GB2905-82 用半微量凯氏定氮法测定植株全氮含量^[6]。

1.4 数据统计和结果分析

试验数据采用 Excel 13.0 和 SAS 8.0 统计软件进行数据计算、绘图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 产量与氮肥利用率

由表2可知，氮肥减施，小麦和水稻的产量并未显著降低。小麦季，各施氮处理产量较不施氮处理产量显著增加。与农民习惯施肥量相比，小麦产量并未随着施氮量的降低而降低，即使减少40%的氮肥用量，也没有降低小麦产量，表明当地农民采用15公斤N/亩的氮肥用量是过量的。由于氮肥过量施用，减氮30%的三个氮素运筹处理之间产量也无显著差异。各施氮处理中，籽粒产量，氮肥利用率及氮素收获指数均未达到显著水平，以减氮40%的处理FP-40%/2处理其氮肥利用率、氮肥农学利用率以及氮素偏生产力最高，分别为66.6%、8.0公斤/公斤，33.9公斤/公斤。

水稻季产量结果表明，在农民习惯施肥的基础上适量减施氮肥并未降低产量，处理FP-20%/2产量最高，为559公斤/亩，略高于农民习惯施肥处理。各施氮处理籽粒产量均显著高于不施氮处理。与小麦结果不同的是，水稻季减氮40%处理FP-40%/2处理产量较减氮20%处理FP-20%/2处理产量显著降低，该结果表明，氮肥的减量施用效果在第二季作物中体现的较为明显，过量减施氮肥会降低水稻产量。减氮30%的三个处理其产量在水稻季仍未表现出任何统计上的差异。水稻各施氮处理氮肥利用率、氮肥农学利用率及氮素偏生产力之间均无显著差异。氮肥利用率普遍较高，笔者认为产生这种结果的主要原因可能是因为氮素土壤背景值比较低所致。

从整个稻麦轮作周期的结果来看，施氮处理增加了稻麦轮作体系的生产能力，但是各施氮处理之间以及同一氮素用量的不同氮素运筹处理之间产量差异不显著。氮素当季回收率除了减氮30%分次施用的FP-30%/4显著高于同一氮素用量的FP-30%/2和农民习惯施氮处理外，其他处理并无显著差异；而氮素偏因子生产力则以减氮40%处理最高，其次为减氮20%和减氮30%的各处理，农民习惯施氮处理最低；而氮素的农学利用率在不同施氮处理间则无显著差异。综上可知，适当减少氮肥用量，不仅不会减少作物的产量，而且还可以减少生产成本，提高氮肥的利用率。

表 2 水稻-小麦体系产量及氮肥利用率

| 处理 | 籽粒产量 (公斤/亩) | 氮收获指数 (%) | N 肥利用率 (%) | N 肥农学利用率 (公斤/公斤) | 氮素偏生产力 (公斤/公斤) |
|-----------|----------------|--------------|---------------|---------------------|-------------------|
| 小麦 | | | | | |
| N0 | 233 b | 80.7 a | | | |
| FP/2 | 283 a | 53.9 c | 54.8 a | 3.3 c | 18.9 d |
| FP-20% /2 | 288 a | 59.1 bc | 60.6 a | 4.6 bc | 24.0 c |
| FP-30% /2 | 285 a | 63.7 b | 56.7 a | 4.9 bc | 27.1 b |
| FP-40% /2 | 305 a | 66.8 b | 66.6 a | 8.0 a | 33.9 a |
| FP-30% /3 | 293 a | 64.5 b | 53.9 a | 5.7 b | 27.9 b |
| FP-30% /4 | 299 a | 63.0 b | 64.7 a | 6.3ab | 28.5 b |
| 水稻 | | | | | |
| N0 | 320 c | 69.4 a | | | |
| FP/2 | 525 ab | 53.2 b | 52.2 a | 14.7 a | 37.5 a |
| FP-20% /2 | 557 a | 60.7 ab | 58.1 a | 21.1 a | 49.7 a |
| FP-30% /2 | 489 ab | 60.8 ab | 51.5 a | 17.2 a | 49.9 a |
| FP-40% /2 | 459 b | 65.8 ab | 59.1 a | 16.5 a | 54.6 a |
| FP-30% /3 | 495 ab | 55.1 ab | 62.1 a | 17.8 a | 50.5 a |
| FP-30% /4 | 492 ab | 50.9 b | 67.8 a | 17.6 a | 50.2 a |
| 稻麦 | | | | | |
| N0 | 553 b | 75.1 a | | | |
| FP/2 | 808 a | 55.7 c | 53.6 b | 8.8 a | 27.9 c |
| FP-20% /2 | 845 a | 59.0 bc | 59.4 ab | 12.6 a | 36.4 b |
| FP-30% /2 | 773 a | 61.6 b | 54.2 b | 10.9 a | 38.1 b |
| FP-40% /2 | 764 a | 64.1 b | 63.0 ab | 12.1 a | 43.9 a |
| FP-30% /3 | 788 a | 62.0 b | 57.9 ab | 11.6 a | 38.8 b |
| FP-30% /4 | 792 a | 60.3 bc | 66.2 a | 11.8 a | 39.0 b |

注：同一作物各项目数字后小写字母表示差异间达 5% 显著水平

2.2 地上部氮素吸收和积累

由图 1 所示，小麦季各处理的氮素累积量随作物生育时期的推进总体呈增加趋势，小麦氮素积累最快阶段出现在拔节-灌浆期，此阶段氮素积累量占氮素总积累量的 34%-64%，这说明小麦在越冬返青后，随着气温回升，小麦进入旺盛生长期，吸收大量的氮素以供干物质的累积^[7]。而水稻季不同处理的氮素积累趋势基本相同，自移栽至返青，水稻的氮素吸收量较低，自返青期至分蘖期，水稻吸氮量增加较快，分蘖期后，吸氮量继续增加，增幅有所下降。

小麦和水稻的氮素积累总体趋势均表现为随施氮量的增加氮素积累量增加，各施氮处理氮素积累显著高于不施氮处理。

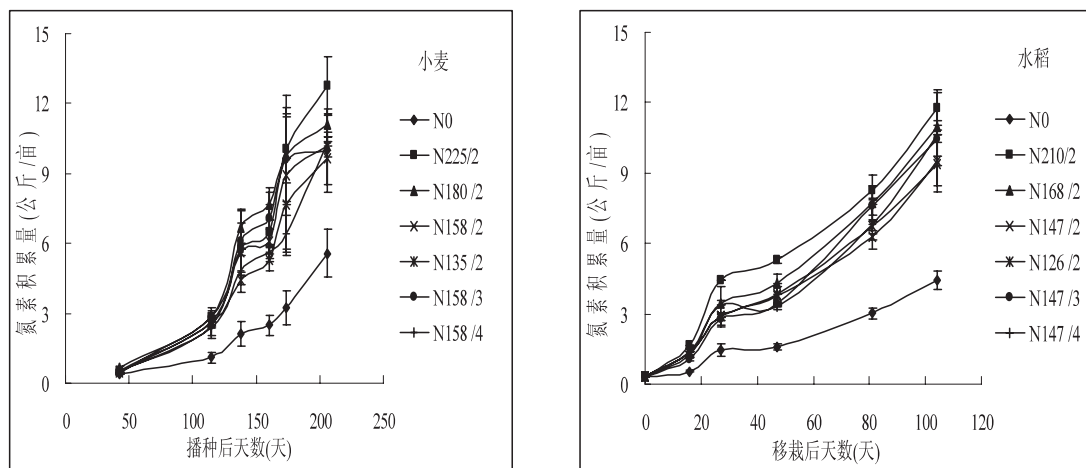


图1 小麦和水稻生育期内氮素积累动态

试验数据(未列出)表明,小麦季100公斤籽粒需氮量略高于水稻季100公斤稻谷需氮量,这一结果与相关研究小麦耐肥特性高于水稻的结论相一致^[9]。单位小麦籽粒产量的氮素需求量随施氮量的增加而增加,最高施氮量时,总吸氮量达到最高为13.6公斤/亩,并且100公斤小麦籽粒需氮量最高为4.80公斤。水稻季结果表明,随着施氮量的增加,水稻吸氮量也增加,当施氮总量相同时,氮肥施用时期和比例不同也会引起水稻吸氮量的改变,且由处理吸氮量为FP-30%/4 > FP-30%/3 > FP-30%/2,可知随着氮肥施用时期的向后迁移,氮素吸收量相应增加,整个稻麦轮作体系也呈现相同的趋势。

2.3 经济效益

通过调查可知,07-08年水稻平均价格为1.88元/公斤,小麦平均价格为1.52元/公斤,尿素单价为2元/公斤,磷肥单价为0.5元/公斤,钾肥单价为2.2元/公斤。结合小麦和水稻的产量可计算出各处理的经济效益,如表3所示。由表3可知,小麦季处理FP-30%/3经济效益最高,为340元/亩,较农民习惯施肥增加55元/公顷,而水稻季处理FP-20%/2经济效益最高,较农民习惯施肥处理增加71元/亩,整个轮作体系属减施20%氮肥处理经济效益最高,较农民习惯施肥处理增加了91元/亩。从整个轮作体系来看,不施氮处理经济效益最低,在最高产量时,即减施20%氮肥时,其经济效益最高,同一氮肥水平下,以肥料分三次施用处理经济效益最高。由此可知,在一定范围内,随着施氮量的增加,经济效益提高,当施氮量达到一定水平,再增施氮肥,经济效益反而下降。因此,适宜的氮肥用量和运筹比例是获得高产和高效的有力保证。

表3 稻麦轮作经济效益分析

元/亩

| 处理 | N0 | FP/2 | FP-20%/2 | FP-30%/2 | FP-40%/2 | FP-30%/3 | FP-30%/4 |
|-----|-----|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 小麦 | 295 | 286 | 306 | 328 | 340 | 340 | 334 |
| 水稻 | 552 | 877 | 947 | 826 | 775 | 837 | 833 |
| 稻-麦 | 846 | 1162 | 1253 | 1154 | 1116 | 1178 | 1167 |

3 结论与讨论

肥料的施用一直是我国广大农民公认的粮食增产的法宝，然而肥料过量施用只会物极必反，导致氮肥利用率下降和产量降低，因此确定合适的氮肥用量，使土壤氮素供应与作物需求达到同步一直是研究工作者的目标。钟旭华（2007）等研究表明，控制氮肥总用量，适当的减少作物生长前期氮肥的供应，增加后期氮肥用量，将氮肥后移，能很有效的实现氮肥高效的目的。本研究结果显示，在江汉平原稻麦轮作体系氮素用量过量地区，第一个轮作周期在农民习惯施肥的基础上减施20%-30%的氮肥用量能保证产量不下降的同时减少环境风险，是可行的施肥措施，并且当氮肥用量一定时，增加氮肥的追施次数，且将氮肥后移，不仅不降低产量，且能减少氮肥用量，提高氮肥利用效率。然而在当前农民习惯施肥量下这一减肥比例能够持续多长时间既不减产也不降低土壤肥力和影响农田可持续利用则有待于多年多点持续定为研究才能得出明确结论。

参考文献：

- [1] 杨仁朋,王德科,刘长庆,刘春生..冬小麦夏玉米轮作体系优化施氮对土壤硝态氮的影响[J].中国农学通报,2006,22(12):369-372
- [2] 申建波,张福锁.水稻养分资源管理理论与实践[M].中国农业出版社,2006,2-5
- [3] 宋歌,孙波.县域尺度稻麦轮作农田土壤无机氮的时空变化[J].农业环境科学学报,2008,28(2):636-642
- [4] Cui Z L, Chen X P, Miao Y X et al. On-Farm evaluation of winter wheat yield response to residual soil nitrate-N in north China plain[J]. Agron . J, 2008, 100(6):1527-1534
- [5] Slam M M, Ladha J K, Foyjunnessa et al. Nitrogen management for increased productivity of rice-wheat cropping system in Bangladesh[J]. Field Crops Res . , 2006, 96:374-386
- [6] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000,147-159
- [7] 裴雪霞,王秀斌,何萍,等.氮肥后移对土壤氮素供应和冬小麦氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):9-15.
- [8] 李伟波,吴留松,廖海秋.太湖地区高产稻田氮肥施用与作物吸收利用的研究[J].土壤学报,1997,34(1):67-72

金继运研究员荣获2010年国际肥料工业协会（IFA） NORMAN BORLAUG 奖

2010年4月12日国际肥料工业协会（IFA）把2010年度IFA Norman Borlaug 奖授予了中国农业科学院农业资源与农业区划研究所研究员、国际植物营养研究所（IPNI）中国项目部主任金继运博士。

1993年以来，IFA颁发一年一度的“国际作物营养奖”以鼓励在高效、平衡和环保施肥研究和推广方面作出贡献的科学家。IFA的国际作物营养奖今年首次更名为Norman Borlaug 奖，以纪念美国著名育种学家、诺贝尔和平奖得主Norman Borlaug 博士在与全世界饥饿斗争中做出的杰出贡献，倡导他把科学研究与农民教育紧密结合的务实精神。金继运博士于今年6月1号在巴黎举行的IFA年会的开幕式上正式接受此项奖励。

金继运博士1985年从美国弗吉尼亚理工大学获得博士学位回国，一直在科研第一线结合国情从事植物营养与施肥研究，现任中国农业科学院“植物营养与肥料”优秀创新团队首席科学家，农业部作物营养与施肥重点实验室主任，中国植物营养与肥料学会理事长，《植物营养与肥料学报》主编。先后主持多项国家自然科学基金、科技攻关、973和863课题、国际合作等项目。出版学术著作10册，发表论文129篇。获国家科技进步二等奖1项，三等奖2项，均为第一完成人；获省部级科技进步奖5项。1992年获国务院突出贡献特殊津贴，1995年被评为农业部中青年有突出贡献专家，2001年被中国农学会评为全国优秀农业科技工作者，2004年获首届中国土壤学会奖，2004年被中国科协评为全国优秀科技工作者，2007年评为全国农业科技推广标兵。

金继运博士多年致力于植物营养和肥料资源高效利用方面的研究和教育工作，在测土推荐施肥、土壤钾素状况评价、平衡施肥、土壤养分精准管理等方面做出了显著成绩，为我国植物营养科学发展和科学施肥技术进步做出了贡献。金继运博士在开展研究工作的同时，注意把科学技术送到农民手中，以田间示范、农民会议、田间考察、小册子、视频、电视节目、广播、墙报和网站等各种形式把研究成果宣传推广，推动了科学技术向生产力的转移，使众多农民受益。

正如IPNI所长Terry L. Roberts 博士所说：“IFA把著名的Norman Borlaug 奖授予了这样一位名副其实的科学家”，“他不仅在中国而且在世界上都是众所周知和值得尊敬的科学家，这项殊荣对致力于此方面研究、教育、推广等领域的科学家们也是一种激励”。