

高效施肥

BETTER CROPS CHINA

2013年10月总第31期

本期文章……

不同施肥方式下半干旱区全膜双垄沟播玉米干物质积累规律及高产施肥技术研究



钾肥品种和用量对甘蓝产量、重金属和硝酸盐含量的影响



现代杂交玉米品种的养分吸收模式



更多文章 敬请关注

高效施肥

国际植物营养研究所系列期刊
《BETTER CROPS》中文版专刊

2013年10月总第31期

主 编 何 萍
编 辑 陈 防 涂仕华 李书田
孙桂芳

国际项目总部

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

理事会

S.R. Wilson, Chairman (CF Industries Holdings, Inc.)
M. Ibnabdeljalil, Vice Chairman (OCP S.A.)
J.T. Prokopanko, Finance Committee Chair
(The Mosaic Company)

行政办公室

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

美洲和大洋洲总部

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

东欧/中亚和中东项目部

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

中国项目部

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

会员公司:

Agrium Inc. • Arab Potash Company • Belarusian Potash
Company • CF Industries Holdings, Inc. • Compass
Minerals Specialty Fertilizers • OCP S.A. • Incitec Pivot
• International Raw Materials LTD • Intrepid Potash, Inc.
• K+S KALI GmbH • PotashCorp • Qafco • Simplot
• Sinofert Holdings Limited • SQM • The Mosaic Company
• Toros Tarim • Uralkali.

CONTENTS

目录

江汉平原油菜磷肥施用效果及推荐用量研究 王 寅 鲁剑巍 李小坤 任 涛 从日环	3
滴灌施肥对玉米生长发育、养分吸收及产量的影响 李青军 张 炎 胡 伟 胡国智 孟凤轩 冯广平 刘新兰	7
不同磷钾水平下云南旱作马铃薯产量和养分吸收利用研究 尹 梅 王贵宝 苏 帆 洪丽芳 付利波 陈 华 陈检锋 任石所 张勤斌 黄 惠	14
钾肥对草莓产量和品质的影响 宋 科 姚 政 徐四新 罗国安	20
不同施肥方式下半干旱区全膜双垄沟播玉米干物质积累规律及 高产施肥技术研究 张平良 郭天文 吕军峰	24
钾肥用量对甜瓜生长发育、产量及品质的影响 陆雪锦 张 炎 胡国智 李青军 胡 伟 冯炯鑫	28
钾肥品种和用量对甘蓝产量、重金属和硝酸盐含量的影响 金珂旭 王正银 王 菲 张晓玲 唐 静 刘 辉 何德清	33
九江油茶林土壤养分限制因子的研究 龚丽娜 胡冬南 张 慧 邹丽华 杨 浪 施晓云 郭晓敏	36
长期施肥对双季稻田钾素吸收和水溶性钾动态变化的影响 鲁艳红 廖育林 谢 坚 杨曾平 聂 军	40
永春佛手茶最佳施肥模式研究 姚建族 章明清 李 娟	46
现代杂交玉米品种的养分吸收模式 Ross R. Bender Jason W. Haegele Matias L. Ruffo Fred E. Below 著 谢玲译 涂仕华 校	48
2013年IPNI研究生奖学金评选结果揭晓	52

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

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

此刊物由加拿大萨斯喀彻温省政府资助。
特此致谢!

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

江汉平原油菜磷肥施用效果及推荐用量研究

王寅 鲁剑巍* 李小坤 任涛 从日环

(华中农业大学资源与环境学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 在湖北省江汉平原布置油菜磷肥用量田间试验, 研究施磷对油菜生长发育、产量、磷素累积及籽粒品质的影响, 并确定该地区磷肥的推荐用量。结果表明, 油菜籽粒产量随磷肥用量的增加而显著提高, 在施磷 (P_2O_5) 9 公斤/亩时产量达到最高 235 公斤/亩。施磷显著提高了油菜的单株角果数、每角粒数和千粒重。油菜收获指数受磷肥的影响较小, 施磷主要通过增加地上部干重而提高了产量。油菜植株的磷素累积量随施磷量增加持续提高, 磷肥利用率则随之下降。菜籽的含油量在施磷后显著提高, 而蛋白质含量略有降低。说明江汉平原地区油菜的施磷效果显著, 因此生产中应注重磷肥的合理施用。通过线性加平台模型, 推算出该地区油菜的磷肥推荐用量为 8 公斤 P_2O_5 /亩。

关键词: 油菜; 磷; 产量; 磷素累积; 籽粒品质; 推荐施肥



湖北省是我国油菜种植第一大省, 产量连续多年居全国之首^[1], 江汉平原则是湖北省最重要的油菜主产区。磷是作物生长发育所必需的大量营养元素, 油菜对磷的需求量较大, 一旦缺乏将严重阻碍其正常的生长发育, 影响籽粒产量及品质^[2-5], 而过量施磷则可能会引发环境污染^[6-7], 因此磷肥的合理施用十分重要。现阶段江汉平原农民的磷肥施用量普遍较低^[8], 由于缺磷影响油菜生长而造成减产的情况时有发生。为此, 我们于 2011/2012 年度在江汉平原的沙洋县开展田间试验, 研究磷肥用量对油菜生长发育、产量、磷素累积及籽粒品质的影响, 并确定磷肥的推荐用量, 以期在当地油菜的合理施磷提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与设计

田间试验设置在湖北省沙洋县曾集镇, 该地区是油菜的传统种植区。试验田土壤为长江冲积物发育成的水稻土, 基本理化性质: pH6.24, 有机质 25.7 克/公斤, 全氮 1.35 克/公斤, 碱解氮 115.5 毫克/公斤, 速效磷 13.8 毫克/公斤, 速效钾 105.7 毫克/公斤, 有效硼 0.63 毫克/公斤。供试油菜品种为华双 5 号, 试验田前茬作物为水稻。

试验设 5 个磷肥用量水平, 分别为 0、3、6、9、12 公斤 P_2O_5 /亩, 其它肥料施用量一致, 分别为 N 12 公斤/亩、 K_2O 8 公斤/亩、硼砂 1 公斤/亩。磷肥和硼砂全部作基肥施用, 氮肥和钾肥分别施用 60% 和 70% 作基肥, 越冬期追施氮肥的 20%, 剩余的氮、钾肥在抽薹前期追施。供试肥料品种分别为尿素 (含 N 46%) 过磷酸钙 (含 P_2O_5 12%) 氯化钾 (含 K_2O 60%) 和硼砂 (含 B 11%)。除施肥措施以外, 其他试验进程和管理方式均按照当地习惯进行。2011 年 9 月 13 日播种育苗, 10 月 14 日移栽, 移栽密度为 7000 株/亩, 2012 年 5 月 17 日收获。试验处理均设 3 次重复, 小区面积 20 平方米, 随机区组排列。

1.2 样品采集与分析

土壤样品为油菜基肥施用前采集, 以整个试验田为采样单元均匀布点 15 个, 取 0-20 厘米耕层土壤, 实验室风干磨细过筛供理化分析用。土壤基本理化性质按常规法进行测定^[9]: pH 按水土比 2.5:1 用 pH 计测定; 有机质用重铬酸钾容量法; 全氮用半微量开氏法-标准酸滴定; 碱解氮用碱解扩散法-标准酸滴定; 速效磷用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提-钼锑抗比色法; 速效钾用 1mol/L NH_4OAc 浸提-火焰光度法; 有效硼用热水浸提-姜黄素比色法。

* 通讯作者: 鲁剑巍, E-mail: lujianwei@mail.hzau.edu.cn。

油菜收获前进行植株取样，每小区取6株代表性植株，网袋悬挂风干脱粒后分别统计茎秆、角壳和籽粒的干重，各部分样品于60℃下烘干磨细过筛供养分测试用。植物样品全磷测定采用H₂SO₄-H₂O₂联合消煮^[9]，流动注射分析仪（德国SEAL，AA3）测定。

1.3 田间调查和实产统计

2011年12月18日对油菜越冬期生育指标进行调查，内容包括株高、根颈粗、叶片数和开盘直径。2012年5月14日对油菜产量构成因素进行调查，内容包括单株角果数、每角粒数和千粒重。每小区选取10株有代表性植株进行调查，各项指标取平均值作为调查结果。

收获后对所有小区进行单收单打，测得实产。成熟期地上部干重根据取样考种结果按茎秆、角壳与籽粒的干重之比与籽粒实产相乘推算得出。

1.4 数据计算分析

试验数据采用Excel软件进行计算处理，采用SPSS软件进行统计分析，均用LSD法检验P<0.05水平上的差异显著性，并利用SAS软件进行线性加平台肥效模型的拟合分析。

线性加平台肥效模型： $y=a+bx(x \leq C)$ ， $y=P(x>C)$ 。式中y为油菜籽粒产量（公斤/亩），x为磷肥用量（公斤/亩），a为截距，b为回归系数，C为直线与平台的交点，P为平台产量（公斤/亩）。当 $b>P_x/P_y$ 时，C即为推荐施磷量，当 $b \leq P_x/P_y$ 时，推荐施磷0量为0公斤/亩。

2 结果与分析

2.1 油菜的生长和产量

施磷量 (公斤/亩)	株高 (厘米)	根颈粗 (厘米)	叶片数 (个)	开盘直径 (厘米)
0	43.3 b	1.50 c	11.8 b	57.7 c
3	46.5 ab	1.57 bc	12.8 ab	59.3 bc
6	50.5 a	1.65 ab	13.7 a	63.2 a
9	49.8 a	1.67 ab	13.2 a	63.7 a
12	50.0 a	1.70 a	13.8 a	62.8 ab

表1显示，施磷促进了油菜越冬期的生长发育，提高了株高和根颈粗，增加了叶片数及开盘直径，施磷超过6公斤/亩时各生育指标与不施磷处理相比均表现出显著差异。

相比不施磷对照，各施磷处理油菜的籽粒产量均有显

施磷量	产量 (公斤/亩)	增产量	增产率 (%)	单株角果数	每角粒数 (个)	千粒重 (克)
0	181.7 c	--	--	439.7 c	19.5 b	3.20 c
3	201.0 b	19.3	10.6	465.2 b	21.8 a	3.16 bc
6	220.6 a	38.9	21.4	476.8 ab	22.0 a	3.19 bc
9	235.1 a	53.4	29.4	477.7 ab	22.5 a	3.26 ab
12	234.9 a	53.2	29.3	486.0 a	21.7 a	3.33 a

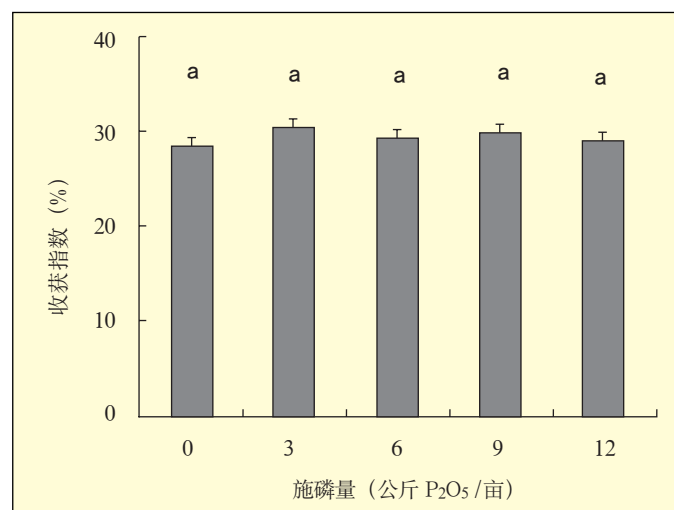
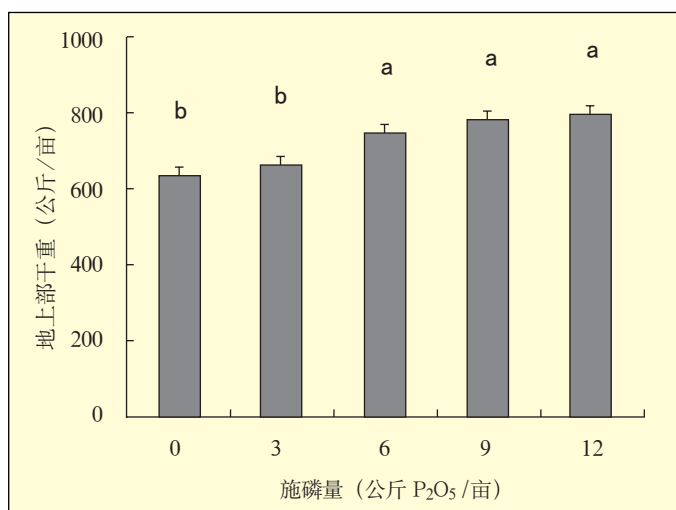


图1 施磷对油菜地上部干重和收获指数的影响

著提高(表2),施磷9公斤/亩时达到最高的235.1公斤/亩,增产量和增幅分别为53.4公斤/亩和29.4%。磷肥施用显著增加了油菜的单株角果数和每角粒数,而千粒重在施磷超过9公斤/亩后显著高于对照。

图1显示,油菜成熟期的地上部干重随施磷量增加呈明显的上升趋势,与籽粒产量的表现一致,施磷超过6公斤/亩后干重无明显差异。而收获指数在不同施磷水平下均无明显差异。说明施磷主要是靠增加地上部的干重而实现籽粒产量的提高。

2.2 油菜的磷素累积和磷肥利用率

施磷后油菜的地上部磷素累积量显著提高(表3),且随施磷量的增加持续上升,施磷12公斤/亩时达到最高,相比不施磷对照的增量和增幅分别为1.75公斤/亩和56.6%。磷肥利用率在施磷3公斤/亩时为29.3%,其后随施磷量增加呈明显的下降趋势。

施磷量	磷素累积量 (公斤/亩)	增量	增幅 (%)	磷肥利用率 (%)
0	3.09 c	--	--	--
3	3.97 b	0.88	28.4	29.3
6	4.40 ab	1.31	42.3	21.8
9	4.45 a	1.36	43.9	15.1
12	4.84 a	1.75	56.6	14.6

2.3 油菜的籽粒品质

油菜生产的最终目的是榨制菜籽油,而菜籽饼粕也可以作为良好的饲料蛋白来源,因此菜籽的油分含量和蛋白质含量是非常重要的品质指标。施磷后油菜籽粒的油分含量有显著提高(图2),施磷9公斤/亩时最高达到42.8%,每公顷籽粒的产油量随施磷量的增加呈显著上升的趋势(图3),在施磷9公斤/亩时达到最高的100.7公斤/亩。菜籽蛋白质含量随施磷量增加呈下降趋势,但各

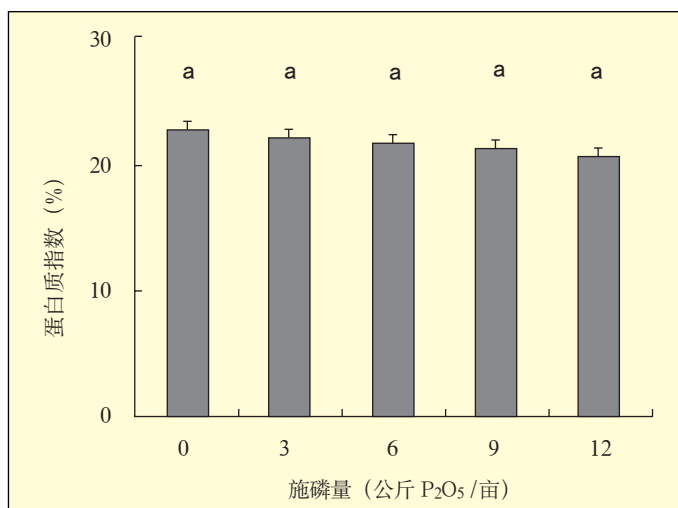
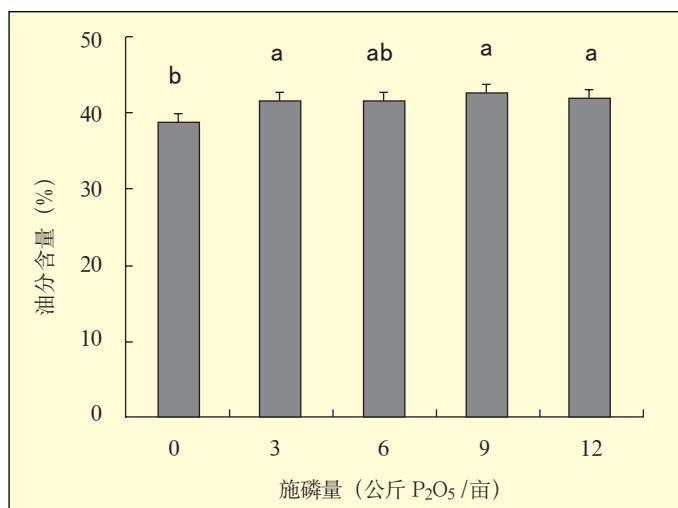


图2 施磷对油菜籽粒油分和蛋白质含量的影响

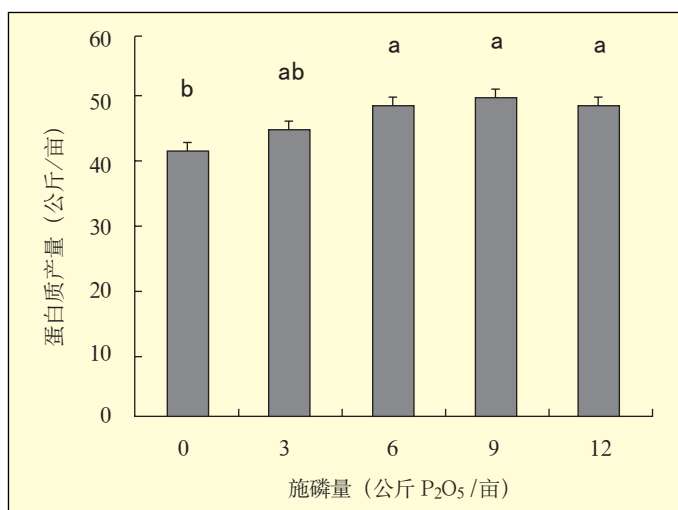
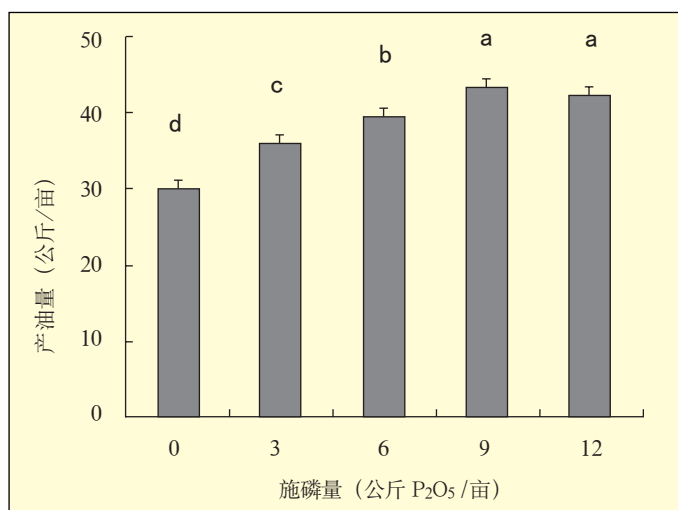


图3 施磷对油菜籽产油量和蛋白质产量的影响

施磷水平之间差异并不明显。由于施磷对籽粒产量的增加效应更为显著,因此蛋白质产量在施磷后出现显著的上升,施磷9公斤/亩处理最高,为49.6公斤/亩。

2.4 油菜的磷肥推荐用量

利用线性加平台肥效模型对油菜产量和磷肥施用量进行拟合(图4),模型方程为: $y=6.5x+181.7$, $x < 8.2$, $y=235$, $x \geq 8.2$, 相关系数 $R^2=0.9999$, 达极显著水平。由此推算可得该试验点磷肥(P_2O_5)的推荐施用量为8.2公斤/亩,相应油菜的籽粒产量可达235公斤/亩。从菜籽用途方面来看,该推荐用量下也可获得较高的产油量和蛋白质产量。为方便推广,确定该地区油菜的磷肥推荐用量为8公斤 P_2O_5 /亩。

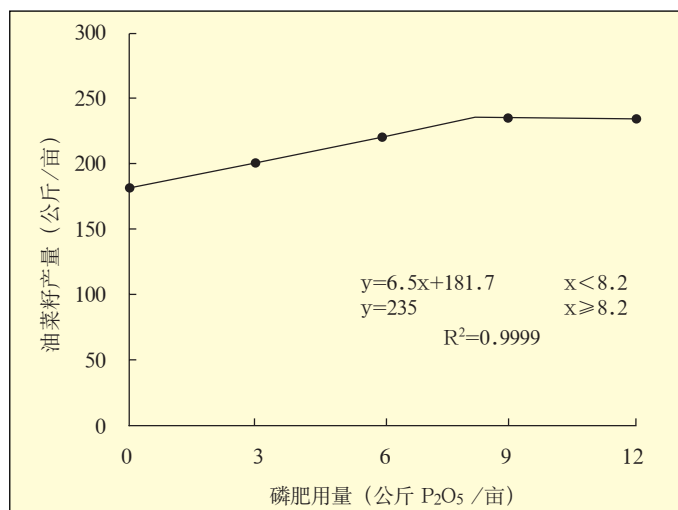


图4 线性加平台模型确定油菜的磷肥推荐施用量



3 结论

3.1 油菜籽粒产量随磷肥用量的增加显著提高,施9公斤 P_2O_5 /亩时产量最高,为235公斤/亩。施磷显著提高了油菜的单株角果数、每角粒数和千粒重。收获指数受磷肥的影响较小,施磷主要通过大幅增加地上部干重而提高产量。

3.2 施磷显著提高了油菜地上部的磷素累积量,磷肥利用率则随施磷量增加而下降。

3.3 施磷显著提高了菜籽的含油量,蛋白质含量则略有下降,产油量和蛋白质产量随磷肥施用均有显著的提高。

3.4 当前,江汉平原地区油菜施磷的效果显著,因此应注重磷肥的合理施用。通过线性加平台肥效模型,推算出该地区油菜磷肥的推荐用量为8公斤 P_2O_5 /亩。

参考文献

- [1] 钟燕,熊秋芳,雷建华.湖北省油菜产业发展现状与对策[J].中国农技推广,2010,(3):8-10.
- [2] 鲁剑巍,陈防,张竹青,等.磷肥用量对油菜产量、养分吸收及经济效益的影响[J].中国油料作物学报,2005,27(1):73-76.
- [3] 沈金雄,李志玉,廖星,等.磷对甘蓝型油菜产量及矿质营养吸收与积累的影响[J].作物学报,2006,32(8):1231-1235.
- [4] Brennan R.F, Bolland M.D.A.. Effect of fertilizer phosphorus and nitrogen on the concentrations of oil and protein in grain and the grain yield of canola (*Brassica napus* L.) grown in south-western Australia [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2007, 47:984-991.
- [5] 邹娟,鲁剑巍,李银水,等.氮、磷、钾、硼肥对甘蓝型油菜籽品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(5):961-968.
- [6] 单艳红,杨林章,王建国.土壤磷素流失的途径、环境影响及对策[J].土壤,2004,36(6):602-608.
- [7] Le C, Zha Y, Li Y, Sun D, et al. Eutrophication of lake waters in China: cost, causes, and control[J]. Environmental Management, 2010, 45:662-668.
- [8] 徐华丽,鲁剑巍,李小坤,等.湖北省油菜施肥现状调查[J].中国油料作物学报,2010,32(3):418-423.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 王圣瑞,陈新平,高祥照,等.“3414”肥料试验模型拟合的探讨[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):409-413.

滴灌施肥对玉米生长发育、养分吸收及产量的影响¹

李青军¹ 张炎^{1*} 胡伟¹ 胡国智² 孟凤轩¹ 冯广平¹ 刘新兰³

(1. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐 830091;

2. 新疆农业科学院哈密瓜研究中心, 乌鲁木齐 830091; 3. 新疆博尔塔拉蒙古自治州农技推广中心, 博乐 833421)

摘要: 分别于 2009 年和 2010 年, 通过田间小区试验, 进行了滴灌施肥对玉米生长发育、养分吸收及产量的影响。结果表明: 2009 年玉米干物质累积最快的时期是在播种后 59–99 天, OPT 处理(根据土壤测试值而确定的施肥量)的干物质积累速率的最大时刻 t_0 比其它处理提前了 5–6 天。处理间的 N 吸收量、 P_2O_5 吸收量和 K_2O 吸收量都达到了显著差异水平; 氮肥、磷肥和钾肥的利用率分别为 45.69%、24.89% 和 40.11%。玉米各处理间的产量都达到了极显著差异水平, OPT-N(不施氮)、OPT-P(不施磷)、OPT-K(不施钾)和 CK(不施肥)处理的产量分别相当于 OPT 处理的 68.48%、89.49%、94.95% 和 63.85%; 氮肥、磷肥和钾肥对玉米产量的贡献率分别是 31.52%、10.51% 和 5.05%。2010 年处理间的 N 吸收量、 P_2O_5 吸收量和 K_2O 吸收量也都达到了显著差异水平; 氮肥、磷肥和钾肥的利用率分别为 45.46%、28.01% 和 46.96%。玉米各处理间的产量都达到了极显著差异水平, OPT-N、OPT-P 和 OPT-K 处理的产量分别相当于 OPT 处理的 69.03%、80.94% 和 84.99%; 氮肥、磷肥和钾肥对玉米产量的贡献率分别是 30.97%、19.06% 和 15.01%。综合产量和养分积累方面的研究结果, 两年的试验都表明氮肥是玉米产量的主要限制因子, 其次为磷肥和钾肥。

关键词: 玉米; 滴灌施肥; 养分吸收; 产量

近年来随着玉米新品种的出现, 产量水平的提高, 不同条件下玉米的需肥特性及变化规律, 成为玉米再高产合理施肥中急需解决的问题之一。前人对不同水肥条件下作物氮、磷、钾吸收分配研究报道已经很多^[1-4], 研究结果表明, 玉米对氮素吸收量最多, 钾次之, 磷最少^[5,6], 随着玉米产量的提高, 氮、磷、钾的吸收量增加^[6,7]。施肥对玉米养分吸收动态的影响方面也有一些研究^[8-11], 但多集中于地面灌溉玉米, 对膜下滴灌玉米的营养特性、养分吸收规律、产量等方面的研究迄今未见报道。滴灌施肥是将肥料溶解于灌溉水, 通过滴灌进行施肥。这一方法可有效调节施用肥料的种类、比例、数量及时期, 可将肥料施于根区, 保证根区养分的供应, 减少养分的淋失, 可显著

提高养分的利用效率^[12-14]。本试验拟通过对膜下滴灌玉米干物质积累、养分吸收分配及产量的研究, 揭示膜下滴灌玉米养分吸收分配规律, 同时通过各肥料因素效应分析, 定量评价各肥料因子的增产作用, 以期为新疆绿洲区玉米高产施肥技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2009 年试验在新疆博州州农技推广中心试验场进行。试验地土壤为灌漠土, 试验前土壤理化状况由 ASI 法测定^[15](表 1)。试验设 5 个处理, 即 OPT, OPT-N,

表 1 ASI 法测定的耕层土壤基本农化性状

年份	pH	有机质 (%)	NH_4-N	NO_3-N	速效 P 速效 K 有效 Fe 有效 Mn 有效 Zn				
					(毫克/升)				
2009	8.3	0.53	37.6	18.6	7.6	171.8	13.9	7.7	1.6
2010	8.2	1.23	9.3	34.4	28.0	100.1	17.0	9.0	2.3

基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 项目 (BFDP-Xinjiang-2009) 和国家自然科学基金项目 (40961017) 资助。

作者简介: 李青军 (1979-), 男, 河南新乡人, 助理研究员, 主要从事植物营养与施肥方面的研究。

电话: 15199083938, E-mail: gyqc@163.com。

* 通讯作者: 张炎, E-mail: yanzhangyz@sohu.com。

OPT-P, OPT-K, CK(不施任何肥料), 重复4次, 其中OPT为根据目标产量和土壤测试值而确定的施肥量, OPT-N、OPT-P、OPT-K分别为不施氮、不施磷、不施钾处理。各处理氮肥全部滴灌追施, 磷钾肥及微肥全部基施。试验小区面积64平方米, 种植行距50厘米, 株距23-24厘米, 保苗5500株/亩, 采取膜下滴灌, 各处理灌溉量均为35方/亩, 全生育期灌溉8次。玉米品种为郑单958, 4月19日播种, 4月27日出苗。

2010年试验在新疆博乐市达勒特镇洪峰2队进行。试验地土壤为潮土。试验设4个处理, 即OPT, OPT-N, OPT-P, OPT-K, 重复4次, 各处理氮肥全部滴灌追施, 磷、钾肥均为50%基施, 50%滴灌追施。基施磷肥用重过磷酸钙, 滴施磷肥用磷酸一铵, 不施氮处理的磷肥用磷酸溶液, 各处理均基施羊肥1000公斤/亩。试验小区面积40平方米, 种植行距50厘米, 株距23-24厘米, 保苗5500株/亩, 采取膜下滴灌, 各处理灌溉量均为35方/亩, 全生育期灌溉8次。玉米品种为新玉50, 4月20日播种, 4月27日出苗。

各处理施肥量见表2。



玉米成熟后, 测定各试验小区的株数、穗数和穗粒数等产量构成因素, 测定所取籽粒样品的百粒重, 计算各试验小区的产量。

试验数据采用Microsoft Excel 2003和SPSS18.0统计软件进行分析。

表2 玉米各处理总施肥量

(公斤/亩)

年份	处理	纯养分					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe	Mn	Zn
2009	OPT	15	7	3	2	0.7	0.4
	OPT-N	0	7	3	2	0.7	0.4
	OPT-P	15	0	3	2	0.7	0.4
	OPT-K	15	7	0	2	0.7	0.4
	CK	0	0	0	0	0	0
2010	OPT	15	7	4	0	0	1
	OPT-N	0	7	4	0	0	1
	OPT-P	15	0	4	0	0	1
	OPT-K	15	7	0	0	0	1

1.2 样品采集与测定

播前采集0-20cm土样, 测定有机质、土壤速效氮(硝态氮、铵态氮)、速效磷、速效钾; 土壤中微量有效元素含量(Fe、Mn、Zn); 土壤pH。

2009年在苗期(5月17日)、拔节期(6月6日)、大喇叭口期(6月26日)、抽雄期(7月16日)、灌浆期(8月5日)、成熟期(9月8日)采集各处理小区玉米植株地上部样品, 2010年在成熟期(9月12日)采集各处理小区玉米植株地上部样品, 按不同器官(茎、叶、苞叶、穗轴、籽粒)分开, 烘干、称重、粉碎, 分析植株不同部位N养分含量(浓H₂SO₄-H₂O₂消解法)。

2 结果与分析

2.1 滴灌施肥对玉米干物质积累和分配的影响

由图1可以看出, 2009年各处理玉米干物质积累有相同的趋势, 自出苗至成熟, 玉米干物质逐渐增多。但这种增多并非等比例进行, 而是苗期缓慢, 拔节期增长加快, 大喇叭口到灌浆期生物量增长最快, 干物质迅速积累, 到成熟期又逐渐减缓。图形接近“S”形, 符合作物干物质累积的一般规律。2010年玉米干物质处理间差异显著, OPT处理干物质最大, 为382.03克/株, OPT-N最小为279.82克/株。籽粒占干物质比例最高, 为56.40%~58.02%, 苞

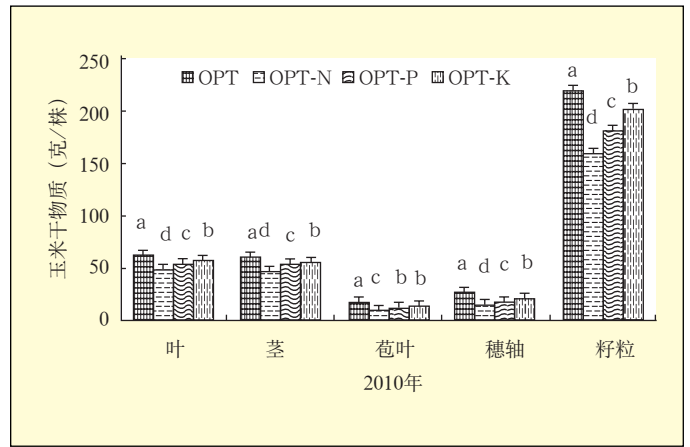
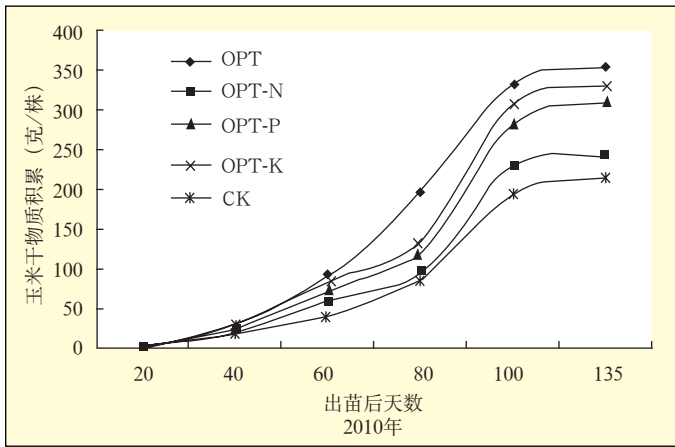


图1 玉米干物质的积累

叶所占比例最小，为 3.69%~4.33%。

用 Logistic 生长函数对 2009 年的玉米干物质积累过程进行拟合，其 Logistic 模型及其特征值见表 3。OPT 处理的干物质积累速率最大时刻 t_0 ，比 OPT-N、OPT-P、OPT-K、CK 处理提前 5~6 天。玉米总干物质积累最快的时期在播种后 59 天~99 天 (6 月 25 日至 8 月 4 日)，此时玉米处于营养生长与生殖生长并进的大喇叭口期和灌浆

期，是生长最旺盛的时期，在此期间，OPT、OPT-N、OPT-P、OPT-K 和 CK 处理单株干物质的积累量分别是 241.53 克、168.73 克、214.45g、230.64 克、148.06 克，OPT-N、OPT-P、OPT-K 和 CK 处理单株干物质的积累量分别比 OPT 处理减少 72.80 克、27.08 克、10.89 克、93.47 克。干物质的积累是形成产量的基础，延长干物质积累时间和快速积累的时期将有利于玉米产量的形成。

表 3 2009 年玉米干物质积累的 Logistic 模型及其特征值

处理	方程	t_1	t_2	Δt	t_0	R^2
OPT	$y=366.8272/(1+e^{(5.7511-0.075597t)})$	59	93	34	76	0.9934
OPT-N	$y=256.2605/(1+e^{(6.4215-0.078859t)})$	65	98	33	81	0.9702
OPT-P	$y=325.7058/(1+e^{(6.2254-0.075984t)})$	65	99	34	82	0.9763
OPT-K	$y=350.2897/(1+e^{(5.9419-0.073162t)})$	63	99	36	81	0.9716
CK	$y=224.8752/(1+e^{(6.9767-0.084776t)})$	67	98	31	82	0.9849

注： t 为玉米出苗后的天数 (d)， y 为玉米干物质积累量 (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， $\Delta t = t_2 - t_1$ ，是玉米旺盛生长的时期。

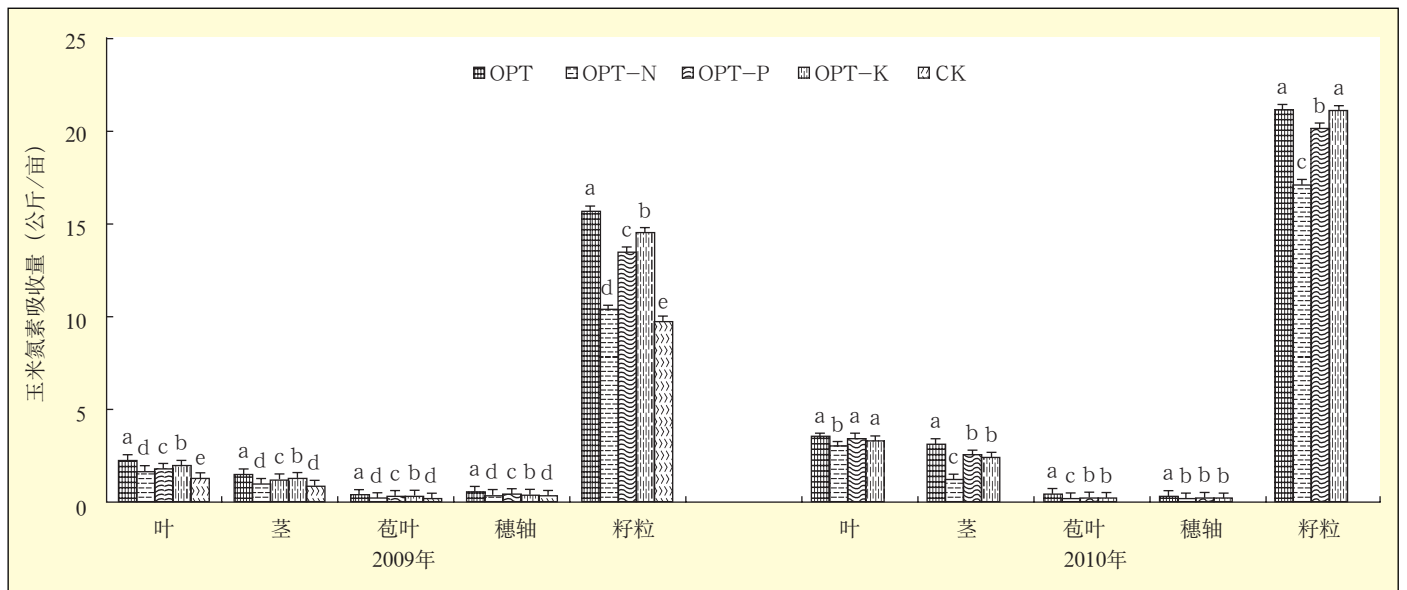


图2 玉米不同处理 N 吸收量

注：柱上不同字母表示差异达 5% 显著水平，下同。

2.2 滴灌施肥对玉米地上部分 N 积累和分配的影响

玉米氮素吸收量见图 2，两年试验的各处理间的玉米 N 吸收量差异都达到了显著水平。

2009 年 OPT 处理总 N 吸收量为 20.19 公斤 / 亩，氮肥利用率为 45.69%；各处理不同器官中氮素水平不一致，在营养器官中，氮吸收量为叶高于茎。生殖器官中，氮吸收量表现为籽粒 > 穗轴 > 苞叶；OPT 处理籽粒 N 吸收量为 15.72 公斤 / 亩，分别比 OPT-N、OPT-P、OPT-K、CK 处理高 5.36 公斤 / 亩、2.23 公斤 / 亩、1.18 公斤 / 亩、5.98 公斤 / 亩，OPT 处理每生产 100 公斤玉米籽粒需吸收纯 N 1.95 公斤。

2010 年 OPT 处理总 N 吸收量为 28.24 公斤 / 亩，氮肥利用率为 45.46%；各处理不同器官中氮素吸收量表现为籽粒 > 叶 > 茎 > 穗轴 > 苞叶，其中籽粒占总吸收量的 74.47%~79.30%，OPT 处理每生产 100 公斤玉米籽粒需吸收纯 N 2.28 公斤。

公斤 / 亩，高于其它处理，OPT 处理每生产 100 公斤玉米籽粒需吸收 P_2O_5 0.89 公斤。

2010 年 OPT、OPT-N、OPT-P、OPT-K 处理玉米 P_2O_5 总吸收量分别为 13.70 公斤 / 亩、10.19 公斤 / 亩、11.73 公斤 / 亩、13.01 公斤 / 亩，OPT 处理的磷肥利用率为 28.01%。不同处理各器官中 P_2O_5 吸收量变化趋势与 2009 年相同，表现为籽粒 > 叶 > 茎 > 穗轴 > 苞叶，其中 OPT 处理籽粒 P_2O_5 吸收量为 6.98 公斤 / 亩，高于其它处理，OPT 处理每生产 100 公斤玉米籽粒需吸收 P_2O_5 1.11 公斤。

2.4 滴灌施肥对玉米地上部分 K_2O 积累和分配的影响

由图 4 可以看出，两年试验的各处理间的玉米 K_2O 吸收量都达到了显著差异水平。

2009 年收获期玉米各处理 K_2O 吸收量表现为：OPT 25.96 公斤 / 亩 > OPT-K 24.75 公斤 / 亩 > OPT-P 23.82

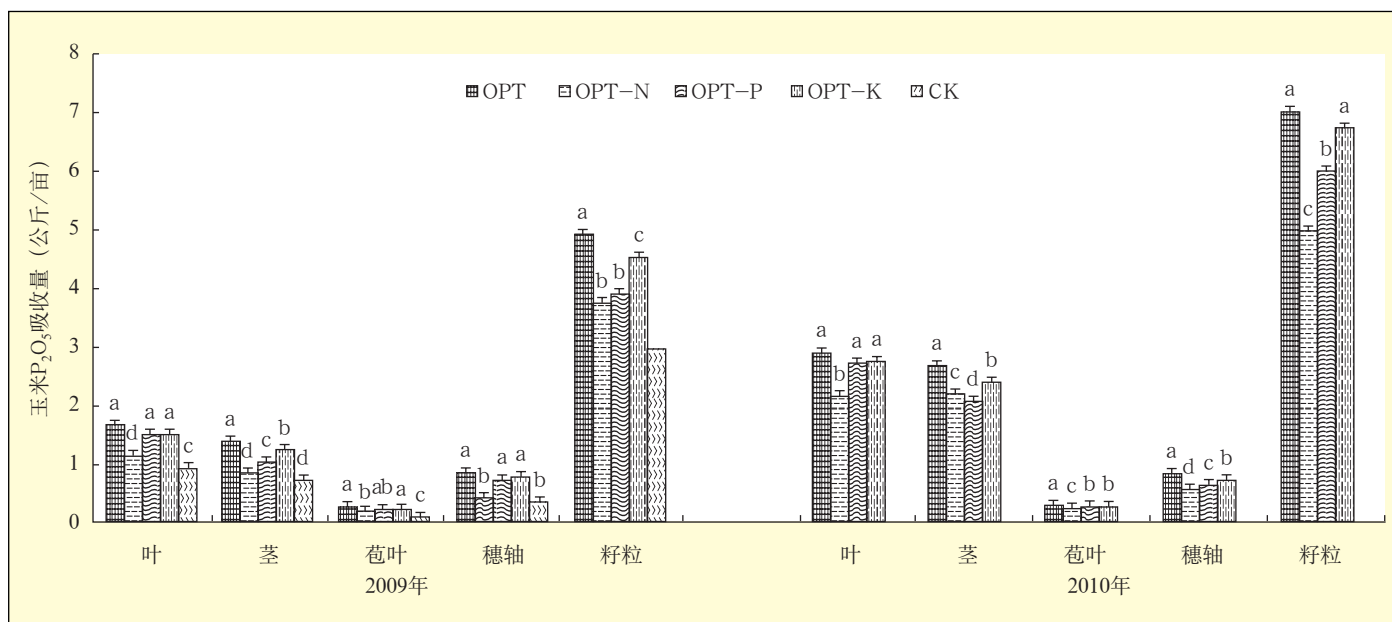


图 3 玉米不同处理 P_2O_5 吸收量

2.3 滴灌施肥对玉米地上部分 P_2O_5 积累和分配的影响

由图 3 可以看出，两年试验的各处理间的玉米 P_2O_5 吸收量都达到了显著差异水平。

2009 年 OPT、OPT-N、OPT-P、OPT-K、CK 处理玉米 P_2O_5 总吸收量分别为 9.15 公斤 / 亩、6.36 公斤 / 亩、7.41 公斤 / 亩、8.29 公斤 / 亩、5.09 公斤 / 亩，OPT 处理的磷肥利用率为 24.89%。不同处理各器官中 P_2O_5 吸收量变化与吸 N 量变化呈相同趋势，表现为籽粒 > 叶 > 茎 > 穗轴 > 苞叶，其中 OPT 处理籽粒 P_2O_5 吸收量为 4.96

公斤 / 亩 > OPT-N 19.63 公斤 / 亩 > CK 17.98 公斤 / 亩，其中 OPT 处理的钾肥利用率为 40.11%。各处理不同器官的 K_2O 吸收量与氮磷呈不同的变化趋势，表现为茎 > 叶 > 籽粒 > 穗轴 > 苞叶，其中籽粒 K_2O 吸收量仅占总吸收量的 15.33%~17.70%，而 OPT 处理籽粒 K_2O 吸收量为 4.59 公斤 / 亩，高于其它处理籽粒吸收量，OPT 处理每生产 100 公斤玉米籽粒需吸收 K_2O 2.51 公斤。

2010 年收获期玉米各处理 K_2O 吸收量表现为：OPT 18.06 公斤 / 亩 > OPT-K 16.19 公斤 / 亩 > OPT-P 14.47

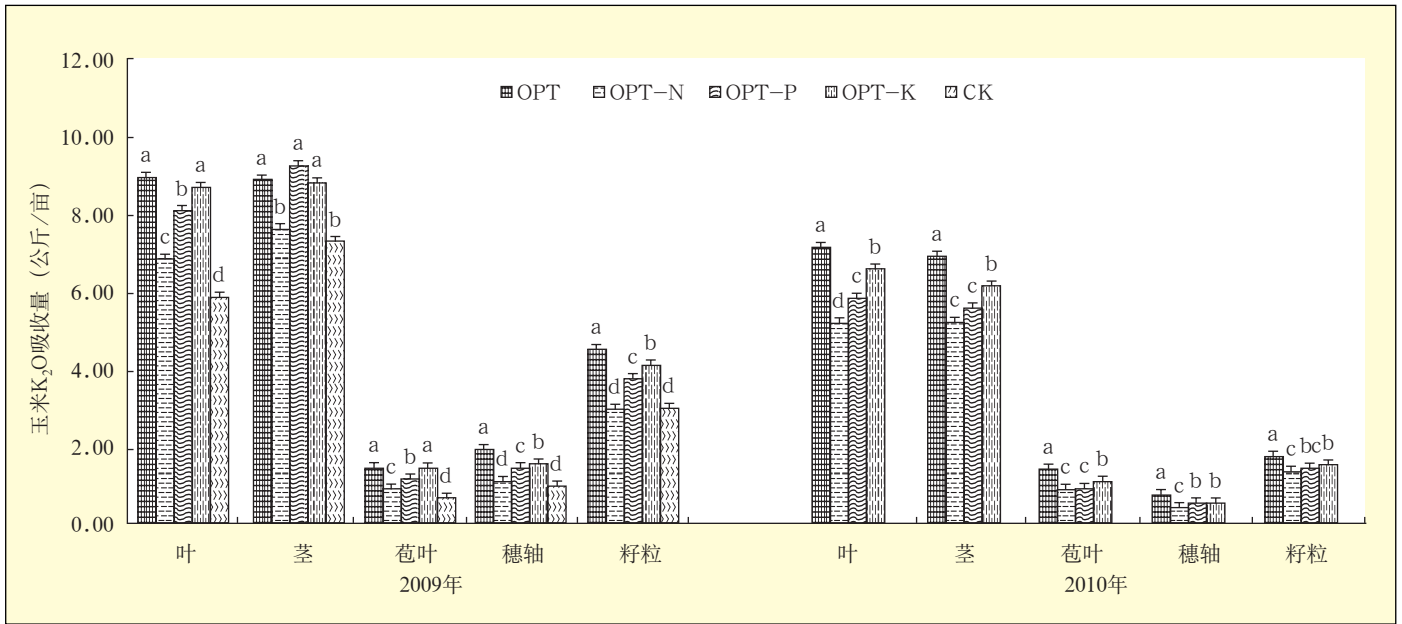


图4 玉米不同处理 K₂O 吸收量

公斤/亩 > OPT-N 13.29 公斤/亩，其中 OPT 处理的钾肥利用率为 46.96%。各处理不同器官的 K₂O 吸收量与 2009 年 K₂O 吸收量呈不同的变化趋势，表现为叶 > 茎 > 籽粒 > 苞叶 > 穗轴，其中籽粒 K₂O 吸收量仅占总吸收量的 9.50%~10.52%，而 OPT 处理籽粒 K₂O 吸收量为 1.76 公斤/亩，高于其它处理籽粒吸收量，OPT 处理每生产 100 公斤玉米籽粒需吸收纯 K₂O 1.46 公斤。

2009 年试验玉米茎 K₂O 吸收量大于叶，而 2010 年则相反，这可能与玉米品种有关。郑丹 958 株型紧凑，叶片较窄，生物量小于茎，而新玉 50 则叶片较宽，生物量大于茎。

2.5 滴灌施肥对玉米产量的影响

两年试验的玉米各处理间产量都达到了 1% 的极显著差异 (表 4)。2009 年 OPT 处理的产量为 1034 公斤

/亩，OPT-N、OPT-P、OPT-K 和 CK 处理的产量分别相当于 OPT 处理的 68.48%、89.49%、94.95% 和 63.85%，比 OPT 处理分别减产 31.52%、10.51%、5.05% 和 36.15%。各处理间玉米百粒重都达到了 1% 的极显著差异；OPT、OPT-P、OPT-K 处理间穗粒数差异不显著，但与 OPT-N、CK 处理差异都达到了显著水平，表明缺磷、缺钾对玉米穗粒数没有显著影响，而缺氮对玉米穗粒数有显著影响。2010 年 OPT 处理的产量为 1236 公斤/亩，OPT-N、OPT-P、OPT-K 处理的产量分别相当于 OPT 处理 69.03%、80.94%、84.99%，比 OPT 处理分别减产 30.97%、19.06%、15.01%。不施氮和不施磷降低了玉米百粒重，分别为 34.42 克和 36.10 克，与 OPT 处理相比差异极显著，而不施氮、不施磷和不施钾显著降低了玉米穗粒数，其中不施氮处理穗粒数最少，仅为 451 粒。

表 4 玉米产量及产量构成因子

年份	处理	产量 (公斤/亩)	相对产量		百粒重 (克)	穗粒数 (粒)
			相对产量 (%)	减产		
2009	OPT	1034 a A	--	--	35.71 a A	530 a A
	OPT-N	708 b B	68.48	31.52	29.23 b B	444 b B
	OPT-P	925 c C	89.49	10.51	31.43 c C	539 a A
	OPT-K	981 d D	94.95	5.05	33.13 d D	544 a A
	CK	660 e E	63.85	36.15	26.70 e E	454 b B
2010	OPT	1236 a A	--	--	39.15 b A	574 a A
	OPT-N	853 c C	69.03	30.97	34.42 c B	451 b B
	OPT-P	1000 b B	80.94	19.06	36.10 c B	504 b AB
	OPT-K	1051 b B	84.99	15.01	41.12 a A	467 b B

表5 玉米的肥料效益

年份	处理	肥料贡献率 (%)	增产效益 (公斤/公斤)	增收 (元/元)	产值	肥料成本	收益
					(元/亩)	(元/亩)	(元/亩)
2009	OPT	--	--	--	1447	137	1310
	OPT-N	31.52	21.72	6.73	991	69	922
	OPT-P	10.51	15.52	4.55	1295	104	1191
	OPT-K	5.05	17.41	4.87	1374	115	1259
	CK	--	--	--	924	0	924
2010	OPT	--	--	--	1731	216	1514
	OPT-N	30.97	25.52	7.90	1195	148	1046
	OPT-P	19.06	33.67	9.86	1401	183	1218
	OPT-K	15.01	46.38	8.66	1471	186	1285

注：2009年和2010年博乐市玉米1.4元/公斤，N 4.52元/公斤，P₂O₅ 4.78元/公斤，K₂O 7.5元/公斤，FeSO₄ 0.7元/公斤，MnSO₄ 7.8元/公斤，ZnSO₄ 5元/公斤。

2.6 滴灌施肥对玉米肥料效益的影响

从表5可以看出，2009年氮、磷、钾肥对玉米产量的贡献率分别是31.52%、10.51%、5.05%。肥料的增产效益用每公斤纯养分增产的玉米产量表示，每公斤纯N增产玉米21.72公斤，每公斤P₂O₅增产玉米15.52公斤，每公斤K₂O增产玉米17.41公斤。按照当年当地的肥料和玉米价格计算，每投入1元的纯N可增收6.73元，每投入1元的P₂O₅可增收4.55元，每投入1元的K₂O可增收4.87元；扣除肥料成本，OPT处理每亩收益1310元，比OPT-N、OPT-P、OPT-K和CK处理分别增收388元/亩、119元/亩、51元/亩和386元/亩。

2010年氮、磷、钾肥对玉米产量的贡献率分别是30.97%、19.06%、15.01%。每公斤纯N增产玉米25.52公斤，每公斤P₂O₅增产玉米33.67公斤，每公斤K₂O增产玉米46.38公斤。按照当年当地的肥料和玉米价格计算，每投入1元的纯N可增收7.90元，每投入1元的P₂O₅可增收9.86元，每投入1元的K₂O可增收8.66元；扣除肥料成本，OPT处理每亩收益1514元，比OPT-N、OPT-P和OPT-K处理分别增收468元/亩、296元/亩和229元/亩。

3 结论与讨论

本试验表明，平衡施肥可显著提高玉米产量和经济效益。平衡土壤中的中、微量元素养分后，氮、磷、钾是限制玉米产量提高的养分限制因子，限制顺序为N>P>K。氮磷钾平衡施肥对夏玉米的生长有着重要的作用，然而在玉米施肥中却存在严重问题，在施肥习惯上，农民为获得较高产量，过量或不合理施用肥料，往往注重偏施氮肥，而忽视了磷、钾肥配合施用对玉米生长发育、产量构成和养分吸收的促进作用^[16]，从而导致玉米



产量不高,肥料利用率很低,种植玉米的经济潜力得不到充分发挥,更令人担忧的是对环境(尤其是水环境)造成的污染和对人畜健康造成的潜在危害^[17]。因此当地高产夏玉米施肥的重点是氮肥的合理施用,这与农民的施肥习惯基本一致,但要保持土壤养分平衡或提高土壤肥力必须重视磷、钾肥的配合施用。

生物产量的提高是作物高产的基础,2009年试验表明,OPT处理的干物质积累速率最大时刻 t_0 比OPT-N、OPT-P、OPT-K、CK处理提前5~6天。了解作物对氮、磷、钾的吸收和累积规律,有助于采取有效的施肥措施调控作物的生长发育,提高作物产量^[18]。本研究结果表明,2009年与2010年OPT处理每生产100公斤玉米籽粒产量分别需吸收纯N 1.95公斤和2.28公斤、纯P 0.39公斤

和0.48公斤、纯K 2.09公斤和1.22公斤,与何萍^[9]研究结果比较,2009年氮磷素吸收量相近,钾素吸收量明显上升,这可能与在高钾土壤上施用钾肥有关;2010年氮素吸收量明显上升,磷钾素吸收量相近,这可能与土壤速效氮含量高有关。新疆地面灌溉玉米的肥料利用率分别为N 38.66%、 P_2O_5 16.66%、 K_2O 52.35%^[11],相比地面灌溉,滴灌能够精确地在时间和空间上调控水、肥供应,使作物水肥条件始终处在最优状态下,避免了地面灌溉产生的周期性水、肥过多或不足,为促进作物生长、提高养分利用效率奠定了基础,本试验的氮、磷肥料利用率都明显高于地面灌溉,只有钾肥利用率低于地面灌溉,这可能与地面灌溉的土壤速效钾基础值较低有关。

参考文献

- [1] 崔水利,张炎,王讲利,等. 施磷对棉花根系形态及其对磷吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1997,3(3):249-253.
- [2] 王朝辉,李生秀. 不同生育期缺水和补充灌水对冬小麦氮、磷、钾吸收及分配影响[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(3):265-270.
- [3] 赵炳梓,徐富安. 水肥条件对小麦、玉米N、P、K吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(3):260-266.
- [4] 宋海星,李生秀. 不同水、氮供应条件下夏玉米养分累积动态研究[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(4):399-403.
- [5] 张颖. 不同产量类型春玉米养分吸收特点及其分配规律的研究[J]. 玉米科学,1997,5(3):70-72.
- [6] 佟屏亚,凌碧莹. 夏玉米氮、磷、钾积累和分配态势的研究[J]. 玉米科学,1994,2(2):65-69.
- [7] 郭景伦,张智猛,李伯航. 不同高产夏玉米品种养分吸收特性的研究[J]. 玉米科学,1997,5(4):50-52,59.
- [8] 李永孝,崔如,丁发武. 夏大豆植株氮、磷、钾含量与水肥的关系[J]. 作物学报,1992,18(6):463-473.
- [9] 何萍,金继运,林葆,等. 不同氮磷钾用量下春玉米生物产量及其组分动态与养分吸收模式研究[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(2):123-130.
- [10] Mengel K, Kirkby E A. Principles of Plant Nutrition[M], International Potash Institutes, Bern, Switzerland, 1987:247-252.
- [11] 刘德江,李青军,高伟,等. 施肥对玉米养分吸收利用、产量及肥料效益的影响[J]. 中国土壤与肥料,2009(4):56-59.
- [12] 李伏生,陆中年. 灌溉施肥的研究和应用[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(2):233-240.
- [13] 周建斌,陈竹君,李生秀. Fertigation—水肥调控的有效措施[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(4):16-21.
- [14] Bar-Yosef B. Advances in fertigation[J]. Advances in Agronomy,1999,(65):1-77.
- [15] Hunter A H. Laboratory and greenhouse techniques for nutrient survey to determine the soil amendments required for optimum plant growth. Mimeograph[M]. Agro Service International, Florida, USA, 1980.
- [16] 武际,郭熙盛,王文军,等. 磷钾肥配合施用对玉米产量及养分吸收的影响[J]. 玉米科学,2006,14(3):147-150.
- [17] 石维,同延安,赵营,等. 灌溉施肥对冬小麦土壤氮素盈亏的影响[J]. 麦类作物学报,2006,26(2):93-97.
- [18] 赵营,同延安,赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(5):622-627.

不同磷钾水平下云南旱作马铃薯产量和养分吸收利用研究

尹梅¹ 王贵宝² 苏帆¹ 洪丽芳¹ 付利波¹ 陈华¹ 陈检锋¹ 任石所² 张勤斌² 黄惠²

(1. 云南省农业科学院农业资源环境研究所, 昆明 650205; 2. 云南省曲靖市麒麟区土肥站, 曲靖 655000)

摘要: 在云南省曲靖地区的低肥力和中高肥力试验地分别开展旱作马铃薯的田间小区试验, 研究不同磷钾水平施肥量马铃薯生物量和养分积累、养分利用、产量和经济效益的影响。结果表明: 相同施肥量的条件下, 中高肥力试验地的东山组马铃薯产量远高于低肥力的越州组, 产量相差 687.00~1342.68 公斤/亩。越州组 NP2K3 处理产量和产值最高, NP2K1 处理净收益最高。东山组 NP2K2 处理产量、产值及净收益均是最高。两组试验的马铃薯干重变化趋势相似, NP2K2 处理的干重积累量较多, 无钾无磷处理干重积累少。马铃薯体内累积 K 最多, 其次 N, 最后为 P; NPK 养分吸收积累的高峰期在马铃薯块茎膨大期到淀粉积累期。东山组马铃薯 PK 利用效率明显高于越州组。NP1K2 处理的 P 肥利用率和 P 素农学效率较高; P 肥利用率和 P 肥农学效率都有随施 P 量增加而降低的趋势。NP2K1 处理的 K 肥利用率和 K 肥农学效率最高, K 肥利用率和 K 肥农学效率均有随施 K 量增加而降低的趋势。

关键词: 油菜; 马铃薯; 磷钾水平; 肥料利用率; 农学效率; 产量

马铃薯目前已成为云南省继马铃薯、水稻之后的第三大作物, 种植面积已超过千万亩。2012 年, 云南省马铃薯种植面积达到 1054 万亩, 居全国第四位。同其他植物一样, 马铃薯产量是通过同化产物的积累和分配形成的, 合理施用氮、磷和钾肥也是马铃薯良好生长发育和高产优质的基础^[1-3]。磷是细胞质和细胞核的重要组成元素之一, 也是光合作用、呼吸作用、物质运输等重要生理代谢过程的参与者, 磷肥的供应影响到马铃薯的产量和品质, 同时, 有研究证明磷营养可提高马铃薯的抗旱性^[3-4]。马铃薯是需

优化养分管理和资源高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地位于云南省曲靖市麒麟区越州镇西关村和东山镇背舍村, 均为典型山原红壤旱地。

越州镇试验地土壤肥力偏低, 东山镇试验地肥力中上等, 试验地养分状况见表 1。

表 1 试验地养分状况

试验地	pH	有机质 (克/公斤)	全 N (%)	碱解 N (毫克/公斤)	全 P (%)	有效 P (毫克/公斤)	全 K (%)	速效 K (毫克/公斤)
越州镇西关村	5.10	26.19	0.11	69.92	0.07	12.89	0.37	77.83
东山镇背舍村	5.00	44.40	0.13	108.38	0.10	12.42	0.66	105.79

钾较多的作物, 钾肥能提高马铃薯的光合效率, 还可影响光合产物的合成和运输, 影响马铃薯的品质以及产量的高低^[5-7], 钾离子也是最重要的渗透基质, 能维持细胞膨压和调节水分关系, 促进植物生长^[8], 提高作物抗旱性。

本文针对云南省马铃薯这种重要的旱作作物, 生长在持续干旱或季节性干旱明显的区域, 在马铃薯主产区之一的曲靖市, 开展在不同土壤养分条件下, 不同磷钾水平下马铃薯产量和养分吸收利用研究; 分析在相同的施氮量下, 不同磷钾施肥量对马铃薯生物量积累动态、养分积累变化、养分利用、产量和经济效益的影响, 为云南旱作马铃薯的

两个试验点处理一致, 均设 7 个处理, 试验设计见表 2。

表 2 试验设计 (公斤/亩)

	处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	NP2K2	10.00	6.00	18.00
2	NP0K2	10.00	0.00	18.00
3	NP1K2	10.00	3.00	18.00
4	NP3K2	10.00	9.00	18.00
5	NP2K0	10.00	6.00	0.00
6	NP2K1	10.00	6.00	9.00
7	NP2K3	10.00	6.00	27.00

供试的氮肥为普通尿素，含氮量为46%，磷肥为含12%P₂O₅的普钙，钾肥为含60%K₂O的氯化钾和含50%K₂O的硫酸钾各半。小区面积为20m²，3次重复，随机区组排列。

施肥方法：氮磷钾肥作为底肥一次性施用。种植密度为3400塘/亩。

越州镇西关村试验种植马铃薯品种为合作88号，2012年3月29日播种，8月15日收获。东山镇撒玛依村试验种植马铃薯品种为宣薯2号，2012年3月26日播种，7月24日收获。试验除养分用量不同外，其他管理措施一样，两组试验均无灌溉措施，完全靠自然降水。

1.2 测定项目与方法

试验前每个实验点采集耕层多点混合样1个，土样重1公斤左右，风干后进行分析，分析指标主要为全N(TN)、碱解N、全P、速效P、全K、速效K、pH和有机质。其中有机质分析采用铬酸钾容量法，pH采用玻璃电位法，全N采用半微量凯氏法测定，土壤碱解N用碱解扩散法，全P采用碱熔-钼锑抗比色法，有效P用0.5mol/L NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法，全K采用碱熔-火焰光度计法测定，速效K用乙酸铵溶液浸提-火焰光度计法测定^[9-10]。

植株样品采集：在马铃薯生长的每个生育期取各个处理生长中等的5棵植株，测定其鲜重，105℃杀青后烘干，称干重，并制样，进行相关项目测定；收获期，每个小区的马铃薯单独计产和取样。植株的干物质采用烘干称重法。植株和薯球的TN测定采用硫酸-过氧化氢消煮法-蒸馏

法，TP测定采用硫酸-过氧化氢消煮-钼蓝比色法，TK测定采用硫酸-过氧化氢消煮-火焰光度计法^[11]。

磷肥农学效率(公斤/公斤) = (施磷区马铃薯产量 - 对照区马铃薯产量) / 施磷量

磷肥利用率(%) = (施磷区马铃薯地上部吸磷量 - 对照区马铃薯地上部吸磷量) / 施磷量 × 100%

钾肥农学效率和钾肥利用率计算同上。

数据统计分析应用EXCEL和DPS软件。

2 结果与分析

2.1 不同生育期马铃薯干重的积累

两组旱作马铃薯试验不同生育期的生物量积累见表3。

越州组马铃薯的各个处理干重变化呈现这样的趋势：苗期干重积累量较少，块茎形成期的干重积累主要是靠马铃薯的地上部分，而且到这个时期，马铃薯的地上部分已经积累了一大半，此后地上部分的干重积累增长不多。从块茎膨大期开始，马铃薯的块茎生长迅速，干重积累的增多主要依靠块茎的生长。块茎膨大期时，马铃薯的块茎干重积累和地上部分的干重积累量几乎相等，到淀粉积累期后，马铃薯块茎的干重积累均超过地上部分的干重积累。在越州组马铃薯试验的各个处理中，NP2K3处理和NP2K2处理的干重积累量最多；无钾的处理干重积累量是所有处理中最少的，第二少的处理为无磷处理。

东山组马铃薯的各个处理干重变化趋势和越州组相近：苗期干重积累量较少，块茎形成期的干重积累主要是

表3 不同磷钾水平下的马铃薯生物量

(公斤/亩)

试验地	处理	苗期 地上部分	块茎形成期		块茎膨大期		淀粉积累期		收获期	
			地上部分	块茎	地上部分	块茎	地上部分	块茎	地上部分	块茎
越州组	NP2K2	9.67	50.56	1.20	61.08	64.68	75.84	113.20	90.57	167.80
	NP0K2	10.00	45.42	1.13	53.44	54.44	66.80	97.33	74.50	149.00
	NP1K2	10.00	47.48	1.20	57.64	56.94	71.21	101.73	79.63	152.60
	NP3K2	10.20	51.40	1.00	60.87	60.21	77.76	110.13	89.27	165.20
	NP2K0	9.33	41.81	1.20	50.58	48.18	62.72	89.60	72.20	144.40
	NP2K1	9.33	50.01	0.87	58.81	57.87	74.34	107.16	81.37	162.73
	NP2K3	9.67	50.82	1.00	64.45	65.49	82.23	117.47	87.60	175.20
东山组	NP2K2	16.13	64.00	3.91	97.21	94.33	142.03	319.22	148.90	436.27
	NP0K2	15.67	61.33	2.92	79.81	77.00	131.63	265.06	122.29	363.20
	NP1K2	15.73	61.33	4.26	95.84	79.67	132.29	274.44	136.09	402.53
	NP3K2	15.40	73.33	3.79	90.94	95.67	138.11	303.33	143.91	381.93
	NP2K0	16.13	61.33	4.26	68.68	80.33	93.21	257.11	104.54	288.47
	NP2K1	15.73	62.67	4.26	88.02	83.33	118.90	296.11	122.23	369.67
	NP2K3	16.00	66.67	4.26	93.81	102.00	147.27	332.22	152.20	394.00

靠马铃薯的地上部分，此时，马铃薯的地上部分已经积累近一半。块茎膨大期开始，马铃薯的块茎生长迅速，干重积累的增多主要依靠块茎的生长。块茎膨大期时，马铃薯的块茎干重积累和地上部分的干重积累量几乎相等，到淀粉积累期后，马铃薯块茎的干重积累迅速超过地上部分的干重积累。从块茎膨大期到淀粉积累期，这段时期是东山组马铃薯块茎干重增长速度最快的时期。在东山组马铃薯试验的各个处理中，NP2K2处理的干重积累量最多，其次为NP2K3处理和NP1K2处理；无钾的处理干重积累量是所有处理中最少的，第二少的处理为无磷处理。

两组试验的马铃薯干重变化趋势相似；NP2K2处理的干重积累量都是所有处理中最多，在越州试验组中，

NP2K3处理的干重积累略高于NP2K2处理；两组试验均是无钾和无磷处理干重积累量最少。

2.2 马铃薯地上部分 NPK 养分的积累

两组旱地马铃薯地上部分各个生育期 NPK 养分积累分别见表 4、表 5 和表 6。

越州组的马铃薯 N 素积累量是 NP2K3 处理最多，其次为 NP3K2 处理，第三是 NP2K2 处理；N 素积累量最少的是 NP2K0 处理，N 素积累量第二少的是 NP0K2 处理。各个处理从苗期到块茎形成期的时候，N 素日积累量最快，N 素日积累量第二快的时期是从马铃薯块茎膨大期到淀粉积累期的时候。

表 4 不同磷钾水平下的马铃薯 N 养分积累

(克/亩)

试验地	处理	播种-苗期		苗期-块茎形成期		块茎形成期-块茎膨大期		块茎膨大期-淀粉积累期		淀粉积累期-收获期	
		总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量
越州组	NP2K2	472.67	8.00	1948.00	82.00	2447.33	24.00	3352.00	64.67	4203.33	31.33
	NP0K2	349.33	6.00	1790.00	80.00	2118.00	15.33	3096.00	70.00	3428.00	12.00
	NP1K2	437.33	7.33	1962.00	84.67	2335.33	18.00	2936.00	42.67	3788.67	31.33
	NP3K2	428.00	7.33	1694.00	70.67	2765.33	51.33	3440.00	48.00	4238.67	29.33
	NP2K0	456.67	8.00	1550.00	60.67	2176.00	30.00	2860.00	48.67	3225.33	13.33
	NP2K1	372.00	6.00	1967.33	88.67	2477.33	24.00	3454.67	70.00	3860.67	15.33
	NP2K3	404.67	6.67	1995.33	88.67	2803.33	38.67	3916.67	79.33	4322.67	15.33
东山组	NP2K2	789.33	14.00	2635.33	88.00	3769.33	75.33	7953.33	278.67	9252.00	92.67
	NP0K2	546.67	10.00	2559.33	96.00	3090.67	35.33	7124.67	268.67	7216.67	6.67
	NP1K2	688.00	12.00	2700.00	96.00	3632.00	62.00	6698.00	204.67	8555.33	132.67
	NP3K2	646.00	11.33	2606.00	93.33	4220.67	107.33	7880.00	244.00	8583.33	50.00
	NP2K0	789.33	14.00	2442.00	78.67	3191.33	50.00	6438.00	216.67	6454.00	1.33
	NP2K1	627.33	11.33	2655.33	96.67	3654.67	66.67	7690.00	269.33	7769.33	6.00
	NP2K3	670.00	12.00	2804.67	101.33	4186.00	92.00	9336.67	343.33	9410.00	5.33

表 5 不同磷钾水平下的马铃薯 P 养分积累

(克/亩)

试验地	处理	播种-苗期		苗期-块茎形成期		块茎形成期-块茎膨大期		块茎膨大期-淀粉积累期		淀粉积累期-收获期	
		总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量
越州组	NP2K2	82.67	1.33	381.33	16.67	1046.67	32.00	1268.00	16.00	1634.67	13.33
	NP0K2	88.00	1.33	344.00	14.00	835.33	23.33	1008.67	12.67	1241.33	8.67
	NP1K2	98.00	1.33	355.33	14.00	938.00	28.00	1033.33	6.67	1439.33	15.33
	NP3K2	83.33	1.33	386.00	16.67	998.00	29.33	1394.67	28.67	1725.33	12.00
	NP2K0	80.00	1.33	327.33	14.00	778.00	21.33	1054.67	20.00	1378.00	12.00
	NP2K1	81.33	1.33	367.33	16.00	948.00	27.33	1234.67	20.67	1539.33	11.33
	NP2K3	83.33	1.33	412.00	18.00	1036.00	30.00	1335.33	21.33	1732.67	14.67
东山组	NP2K2	138.00	2.67	509.33	18.00	1588.00	72.00	3172.67	105.33	3693.33	37.33
	NP0K2	138.00	2.67	482.00	16.67	1211.33	48.67	2432.00	81.33	2822.00	28.00
	NP1K2	154.67	2.67	484.67	16.00	1422.67	62.67	2473.33	70.00	3337.33	62.00
	NP3K2	125.33	2.00	580.67	22.00	1544.00	64.00	3366.67	121.33	3485.33	8.67
	NP2K0	138.00	2.67	506.67	17.33	1186.00	45.33	2498.00	87.33	2498.67	0.00
	NP2K1	137.33	2.67	487.33	16.67	1391.33	60.00	2931.33	102.67	3099.33	12.00
	NP2K3	138.00	2.67	568.00	20.67	1566.67	66.67	3277.33	114.00	3574.67	21.33

表 6 不同磷钾水平下的马铃薯 K 养分积累

(克/亩)

试验地	处理	播种-苗期		苗期-块茎形成期		块茎形成期-块茎膨大期		块茎膨大期-淀粉积累期		淀粉积累期-收获期	
		总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量
越州组	NP2K2	514.00	8.67	2807.33	127.33	4708.00	90.67	7315.33	186.00	7994.67	25.33
	NP0K2	510.00	8.67	2420.67	106.00	3873.33	69.33	6008.00	152.67	6708.00	26.00
	NP1K2	528.67	8.67	2522.67	110.67	4596.67	98.67	6442.67	132.00	6939.33	18.67
	NP3K2	532.67	9.33	2700.67	120.67	4525.33	86.67	7076.67	182.00	7644.00	21.33
	NP2K0	469.33	8.00	2159.33	94.00	3624.67	70.00	5368.00	124.67	5773.33	15.33
	NP2K1	480.00	8.00	2728.00	124.67	4510.67	84.67	6892.00	170.00	6986.00	3.33
	NP2K3	540.00	9.33	2894.00	130.67	4998.67	100.00	8032.00	216.67	8255.33	8.00
东山组	NP2K2	857.33	15.33	3640.67	132.67	7220.00	238.67	17554.67	688.67	17656.00	7.33
	NP0K2	799.33	14.00	3319.33	120.00	5651.33	155.33	13540.00	526.00	14275.33	52.67
	NP1K2	832.00	14.67	3362.67	120.67	7168.00	254.00	14719.33	503.33	15777.33	75.33
	NP3K2	804.67	14.67	3939.33	149.33	6940.67	200.00	16183.33	616.00	16185.33	0.00
	NP2K0	811.33	14.67	3252.00	116.00	5378.00	142.00	12089.33	447.33	12097.33	0.67
	NP2K1	809.33	14.67	3531.33	129.33	6647.33	208.00	15476.67	588.67	15590.67	8.00
	NP2K3	894.00	16.00	3911.33	144.00	7488.00	238.67	18729.33	749.33	18732.00	0.00

东山组的马铃薯 N 素积累量是 NP2K2 处理最多, 其次为 NP2K3 处理, 第三是 NP3K2 处理; N 素积累量最少的是 NP2K0 处理, N 素积累量第二少的是 NP0K2 处理。各个处理从块茎膨大期到淀粉积累期的时候, N 素日积累量最快, N 素日积累量第二快的时期是从苗期到块茎形成期的时候。

越州组的马铃薯 P 素积累量是 NP2K3 处理最多, 其次为 NP3K2 处理, 第三是 NP2K2 处理; P 素积累量最少的是 NP0K2 处理, P 素积累量第二少的是 NP2K0 处理。各个处理从块茎形成期到块茎膨大期的时候, P 素日积累量最快。

东山组的马铃薯 P 素积累量是 NP2K2 处理最多, 其次为 NP2K3 处理, 第三是 NP3K2 处理; P 素积累量最少的是 NP2K0 处理, P 素积累量第二少的是 NP0K2 处理。各个处理从块茎膨大期到淀粉积累期的时候, P 素日积累量最快, P 素日积累量第二快的时期是从块茎形成期到块茎膨大期的时候。

越州组的马铃薯 K 素积累量是 NP2K3 处理最多, 其次为 NP2K2 处理, 第三是 NP3K2 处理; K 素积累量最少的是 NP2K0 处理, K 素积累量第二少的是 NP0K2 处理。各个处理从块茎膨大期到淀粉积累期的时候, K 素日积累量最快。

东山组的马铃薯 K 素积累量是 NP2K3 处理最多, 其次为 NP2K2 处理; K 素积累量最少的是无 K 和无 P 处理。各个处理从块茎膨大期到淀粉积累期的时候, K 素日积累量最快。

两组马铃薯的 PK 高效利用试验 NPK 的累积结果表

明: 马铃薯体内累积 K 素是最多的, 其次为 N 素, 最后为 P 素。NPK 都是在马铃薯块茎膨大期到淀粉积累期这段时间累积较多。K 素营养对马铃薯的 NPK 累积有显著影响, 不仅影响到马铃薯的 K 积累, 还影响 P 素和 N 素的积累。越州组试验的 NPK 积累明显低于东山组试验, 数据反映从块茎形成期开始, 越州组的马铃薯 NPK 积累速度就开始明显低于东山组。

2.3 不同磷钾水平马铃薯产量和经济效益分析

表 7 显示了两组试验的产量及其产量构成因素的结果。

越州组马铃薯试验中, NP2K3 处理的产量是所有处理中最高的, 达到了 876.00 公斤/亩, NP2K2 处理产量第二高, NP2K3 和 NP2K2 处理与其他处理的产量差异达到显著水平。试验中, NP2K0 处理的产量最低, 比 NP2K2 处理低了 13.95%; NP0K2 处理的产量第二低, 比 NP2K2 处理低了 11.20%。NP2K3 处理产值最高, 但因其成本较高, 故净收益并不是最高的。NP2K1 处理的产量不是最高的, 但净收益却最高。

东山组马铃薯试验中, NP2K2 处理的产量最高, 达到了 2181.68 公斤/亩; NP1K2 处理产量第二高, 比 NP2K2 处理低了 6.22%; 第三为 NP2K3 处理。这 3 个产量高的处理与其他处理的产量差异达到显著性。试验中, NP2K0 处理的产量最低, 比 NP2K2 处理低了 35.42%。NP2K2 处理的产量、产值及净收益最高, NP1K2 处理和 NP2K1 处理的净收益次之。

两组试验的产量有明显的差异, 东山组马铃薯产量

表 7 马铃薯产量和经济效益

试验地	处理	产量 (公斤/亩)	显著水平		比 NP2K2± (%)	产值	成本	净收益	比 NP2K2± (%)
			(5%)	(1%)					
越州组	NP2K2	839.00±9.95	a	AB	--	1006.80	237.85	768.95	--
	NP0K2	745.00±68.17	cd	BC	-11.20	894.00	187.85	706.15	-8.17
	NP1K2	763.00±18.72	bcd	BC	-9.06	915.60	212.85	702.75	-8.61
	NP3K2	826.00±48.66	ab	AB	-1.55	991.20	262.85	728.35	-5.28
	NP2K0	722.00±44.48	d	C	-13.95	866.40	104.35	762.05	-0.90
	NP2K1	813.67±53.04	abc	ABC	-3.02	976.40	171.10	805.30	4.73
	NP2K3	876.00±50.79	a	A	4.41	1051.20	304.60	746.60	-2.91
东山组	NP2K2	2181.68±250.20	a	A	--	2618.02	237.85	2380.17	--
	NP0K2	1816.00±291.32	ab	AB	-16.76	2179.20	187.85	1991.35	-16.34
	NP1K2	2046.00±378.01	a	A	-6.22	2455.20	212.85	2242.35	-5.79
	NP3K2	1843.00±143.31	ab	AB	-15.52	2211.60	262.85	1948.75	-18.13
	NP2K0	1409.00±153.42	b	B	-35.42	1690.80	104.35	1586.45	-33.35
	NP2K1	1815.00±235.78	ab	AB	-16.81	2178.00	171.10	2006.90	-15.68
	NP2K3	1870.00±182.34	a	AB	-14.29	2244.00	304.60	1939.40	-18.52

远远高于越州组。相同处理的马铃薯产量相差极大，两地 NP2K0 处理产量相差较小为 687.00 公斤/亩，NP2K2 处理产量相差最大为 1342.68 公斤/亩；相同处理的净收益相差也极大，两地 NP2K0 处理相差较小为 824.40 元/亩，NP2K2 处理产量相差最大为 1611.22 元/亩。

2.4 不同磷钾水平下马铃薯的 PK 养分利用

表 8 显示了两组旱作马铃薯试验的 PK 素利用。

在越州组试验中，NP3K2 处理的 P 吸收量最高，NP2K2 处理的 P 吸收量次高，无磷处理的吸收量最少；P 肥利用率有随施 P 量增加而降低的趋势，NP2K2 处理的 P 肥农学效率是该组试验中最高的。在东山组试验中，均是 NP1K2 处理的 P 肥利用率和 P 素农学效率最高，两者都有随施 P 量增加而降低的趋势。

在越州组试验中，NP2K3 处理的 K 吸收量最高，无钾处理和低钾处理的钾吸收量较少。NP2K1 处理的 K 肥利用率和 K 素农学效率在该组试验中最高，K 肥利用率和

K 素农学效率均有随施 K 量增加而降低的趋势。东山组试验的 K 素利用趋势同越州组。

东山组的 PK 利用效率明显高于越州组。

3 结论

在云南省曲靖地区开展的这两组马铃薯试验中，东山组试验地养分状况优于越州组，两组试验的产量有明显的差异，东山组马铃薯产量远高于越州组。相同处理的马铃薯产量相差极大，两地 NP2K0 处理产量相差较小为 687.00 公斤/亩，NP2K2 处理产量相差最大为 1342.68 公斤/亩。在相同的施肥量前提下，土壤养分和降水量是影响云南省旱作马铃薯产量的两大因素。在越州组试验中，NP2K3 处理和 NP2K2 处理产量最高，这与越州组试验地 K 养分含量低有关；在东山组试验中，NP2K2 处理和 NP1K2 处理是产量最高的处理，两组试验都是无钾处理和无磷处理的产量最低，而且无钾处理对产量的影响大于

表 8 磷钾养分利用效率

试验地	处理	P 吸收量		P 肥利用率 (%)	P 肥农学效率 (公斤/公斤)	处理	K 吸收量		K 肥利用率 (%)	K 肥农学效率 (公斤/公斤)
		(公斤/亩)	P 投入量				(公斤/亩)	K 投入量		
越州组	NP0K2	1.24	0.00	--	--	NP2K0	5.77	0.00	--	--
	NP1K2	1.44	3.00	6.59	6.00	NP2K1	6.89	9.00	12.43	10.19
	NP2K2	1.63	6.00	6.55	15.67	NP2K2	7.99	18.00	12.34	6.50
	NP3K2	1.73	9.00	5.38	9.00	NP2K3	8.26	27.00	9.19	5.70
东山组	NP0K2	2.82	0.00	--	--	NP2K0	12.10	0.00	--	--
	NP1K2	3.34	3.00	17.18	76.67	NP2K1	15.59	9.00	38.81	45.11
	NP2K2	3.69	6.00	14.52	60.95	NP2K2	17.66	18.00	30.88	42.93
	NP3K2	3.49	9.00	7.37	3.00	NP2K3	18.73	27.00	24.57	17.07

无磷处理。在越州组试验中, NP2K3 处理的产量产值最高, NP2K1 处理的净收益最高。东山组试验中, NP2K2 处理的产量、产值及净收益最高。

两组试验的马铃薯干重变化趋势相似; NP2K2 处理的干重积累量都是所有处理中最多, 在越州试验组中, NP2K3 处理的干重积累略高于 NP2K2 处理; 两组试验都是无钾处理干重积累量是所有处理中最少的, 第二少的处理为无磷处理。块茎膨大期之前, 马铃薯的干重积累主要是以地上部分的茎叶为主, 地上部分为干物质积累的“库”; 从块茎膨大期开始, 马铃薯的块茎生长迅速, 植物的“库”和“源”发生转变, 块茎变成了“库”, 干重积累的增多主要依靠块茎的生长, 前人有相似研究结果^[12]。越州组马铃薯块茎膨大期前的地上部分干物质积累量就少, 说明茎叶生长不如东山组, 其光合作用能力和合成转运物质的能力也差于东山组, 导致产量低。

两组马铃薯 NPK 的累积结果说明: 马铃薯体内累积 K 素最多, 其次为 N 素, 最后为 P 素。NPK 都是在马铃薯块茎膨大期到淀粉积累期这段时间累积较多, 养分吸收积累有一个高峰期, 就在块茎膨大期, 这与前人的研究结果相似^[13-14]。K 素营养对马铃薯的 NPK 累积有显著影响, 不仅影响到马铃薯的 K 积累, 还影响 P 素和 N 素的积累。

东山组的马铃薯 PK 利用效率明显高于越州组。两组试验中, 除越州组试验为 NP2K2 的 P 素农学效率是最高的以外, 其他的 P 肥利用率和 P 素农学效率都是 NP1K2

处理最高, 并有随施 P 量增加而降低的趋势。无论是越州组试验还是东山组试验, NP2K3 处理的 K 吸收量最高, 无钾处理和低钾处理的钾吸收量较少; NP2K1 处理的 K 肥利用率和 K 素农学效率最高, K 肥利用率和 K 素农学效率均有随施 K 量增加而降低的趋势。

越州组的 P 肥利用率极低, 只有 5.38%~6.59%, 低于我国当季作物的磷肥利用率 10%~20%^[15], 东山组的 P 肥利用率也只有 7.37%~17.18%。岳红丽等研究表明, 在膜下滴灌条件下马铃薯的 P 肥利用率为 6.03%~10.51%^[16]; 韩瑛祚等加入磷活化剂的马铃薯磷肥试验中, P 肥利用率为 6.75%~13.03%^[17]; 而陈洪等研究则显示, 马铃薯的 P 肥利用率可以达到 33.8%^[2], 说明在种植马铃薯生产中, 提高 P 肥利用率还具有很大的潜力。

本研究表明, 在一定范围内增加磷肥和钾肥施用能提高马铃薯产量、经济效益和肥料利用率, 但磷钾肥用量过高也不利于马铃薯生长, 营养元素之间要配合平衡才能有利于马铃薯的生长发育、提高产量和肥料利用效率。同时, 对于磷钾肥对提高马铃薯的抗旱性应开展进一步研究。云南省由于其地形地貌复杂、土壤养分差异大和立体性气候特征明显, 而马铃薯这种旱作作物多种植于持续干旱或季节性干旱明显的区域, 在对马铃薯进行养分管理的时候, 应以能满足马铃薯营养需求为原则, 平衡 NPK 用量, 并且应根据具体的地块养分状况和气候以及实际情况来考虑养分管理措施。

参考文献

- [1] 孔令郁, 彭启双, 熊艳, 等. 平衡施肥对马铃薯产量及品质的影响 [J]. 土壤肥料, 2004(3):17-19.
- [2] 陈洪, 张新明, 全锋, 等. 氮磷钾不同配比对冬作马铃薯产量、效益和肥料利用率的影响 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(4):224-229.
- [3] 张西露, 刘明月, 伍壮生, 等. 马铃薯对氮、磷、钾的吸收及分配规律研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(4):237-241.
- [4] 龚学臣, 抗艳红, 赵海超, 等. 干旱胁迫下磷营养对马铃薯抗旱性的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(4):48-52.
- [5] P.M. 哈里斯. 马铃薯改良的科学基础 [M]. 蒋先明, 田玉丰, 赵越, 等译. 北京: 农业出版社, 1984:155-185.
- [6] 张东昱, 王多成, 张荣, 等. 钾肥对鲜食型马铃薯产量及品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2009, 23(3):152-154.
- [7] 殷文, 孙春明, 马晓燕, 等. 钾肥不同用量对马铃薯产量及品质的效应 [J]. 土壤肥料, 2005(4):44-47.
- [8] 慕成功. 钾肥营养及施肥技术 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995.
- [9] 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, 2000:127-129, 146-149, 302-311.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [11] 劳家桢. 土壤农化分析手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [12] 卢建武, 邱慧珍, 张文明, 等. 半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾肥积累与分配特性 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(2):423-430.
- [13] 高聚林, 刘克礼, 盛晋华, 等. 旱作马铃薯磷肥的吸收、积累和分配规律 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(6):326-330.
- [14] 盛晋华, 刘克礼, 高聚林, 等. 旱作马铃薯钾肥的吸收、积累和分配规律 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(6):331-335.
- [15] 鲁如坤. 我国的磷矿资源和磷肥生产消费 [J]. 土壤, 2004, 36(2):113-116.
- [16] 岳红丽, 张胜, 蒙美莲, 等. 施磷量对膜下滴灌马铃薯产质量及磷肥利用效率的影响 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2013, 34(3):40-45.
- [17] 韩瑛祚, 娄春荣, 王秀娟, 等. 不同磷肥利用方式对马铃薯产量及磷肥效率的影响 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3):76-78.

钾肥对草莓产量和品质的影响

宋科 姚政 徐四新 罗国安

(上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403)



摘要: 通过小区试验研究了不同比例的氮、钾肥配施对草莓产量和品质的影响, 结果表明: 对上海浦东新区栽种的“章姬”草莓而言, 最佳施肥处理为 N20K30, 最佳处理的草莓产量为 2488 公斤/亩, 与不施氮、钾肥的对照相比, 最佳处理在每亩增施 20 公斤氮, 30 公斤钾的条件下, 草莓增产 1114 公斤/亩, 增产幅度最高达 80.99%, 增加的经济效益为 19776 元/亩。对草莓的品质而言, 施钾量在 30 公斤/亩的范围内, 增加施钾量对草莓果实中的可溶性固形物、维生素、糖度和固酸比等指标都有一定程度的提升作用, 同时高的施钾量也增加了草莓的酸度。在一定范围内, 增加施氮量也明显提升了评价草莓品质的各项指标, 但过高的施氮量也导致草莓含糖量和固酸比降低, 影响草莓品质。

关键词: 草莓; 氮; 钾; 产量; 品质; 施肥效应; 适宜用量

草莓 (*Fragaria ananassa*) 是蔷薇科草莓属多年生草本植物, 植株矮小, 果实汁多味香, 形美色艳, 风味可口, 是人们喜爱的果中珍品。且其营养成分不仅含糖和酸, 还含有丰富的 Vc, 经济价值较高。在上海市浦东新区大洪村种植草莓已有 10 年以上的历史, 当前种植的草莓品种以“章姬”为主, 主要采用大棚设施栽培。这种栽培方式不仅延长了鲜果的供应期, 而且产量高, 经济效益好, 其种植面积在当地逐年增加。但因果农施肥品种单一, 方式不合理, 导致草莓品质下降, 口感差, 不仅影响了经济效益, 而且在位置相对固定的大棚内连年种植, 造成了土壤结构变差, 次生盐渍化发生严重, 甚至因养分流失引起周边水体富营养化。

据研究, 产生 1 吨草莓果实需要吸收氮素 6~9kg, 五氧化二磷 1~3kg, 氧化钾 6~9kg^[1]。可见草莓对氮和钾的需求量较大, 对磷的需求量较低。而且以往的研究也表明随着施氮量的增加, 草莓的产量增加, 氮素的主要作用是为茎叶的生长发育提供物质保障, 是形成草莓体内蛋白质和叶片内叶绿素的重要组分, 也是保证草莓高产的最重要营养因素^[2]。除了氮, 草莓对钾也非常敏感, 钾可以促进果实成熟, 提高果实含糖量, 改善果实品质^[3]。同时, 钾也是草莓体内许多酶的活化剂, 能够促进一系列代谢过程的发生^[4]。因而, 在草莓发育的过程中, 尤其是在其生育的关键时期, 如果氮和钾的施用量不足会影响草莓的产量和品质。相反, 施用量太多也会导致草莓果实风味变淡, 着色欠佳, 达不到应有的质量要求。

当前设施栽培中有关草莓高产优质施肥技术的研究还

较少, 尤其是针对氮、钾肥配合施用影响草莓产量和品质的报道更少。本研究通过田间小区试验探讨氮、钾肥施用对草莓生长的养分吸收规律和果实产量与品质的影响, 以期能为草莓设施栽培提供合理有效的氮、钾肥施用模式。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 草莓: 供试草莓品种为“章姬”, 又称牛奶草莓、甜宝草莓, 果实呈圆锥形。果肉细腻, 品质好, 香味浓, 成熟早, 江浙沪地区一般九月种, 十一月开始收获, 亩产约 2000 至 2500kg。

1.1.2 土壤: 供试土壤为黄斑青紫土, 中壤, 基本理化性质如表 1 所示:

pH	盐度	有机质	全氮	有效磷	速效钾
(H ₂ O)	(克/公斤)		(毫克/公斤)		
7.24	2.02	22.48	1.86	36.24	48.22

1.2 方法

1.2.1 试验设计:

本实验为 2 因素 4 水平的 OPT 正交试验, 其中 1 个因素为施氮量 (N), 即在施磷量 (P₂O₅) 为 10 公斤/亩, 施钾量 (K₂O) 为 20 公斤/亩的条件下, 施氮量 (N) 设为 4 个水平分别为 N0(不施氮), N10(10 公斤/亩),

N20(20 公斤 / 亩), N30(30 公斤 / 亩)。另 1 个因素为施钾量 (K_2O), 即在施氮量 (N) 为 20 公斤 / 亩, 施磷量 (P_2O_5) 为 10 公斤 / 亩的条件下, 施钾量 (K_2O) 也设为 4 个水平分别为 K0(不施钾), K10(10 公斤 / 亩), K20(20 公斤 / 亩), K30(30 公斤 / 亩)。因此, 最终形成的处理组合包括 N0K0, N10K20, N20K10, N20K20, N20K30, N30K20 共 6 个处理。每个处理设 3 个重复, 每个重复小区的面积为 $5 \times 2 = 10m^2$, 按随机区组排列, 所有试验小区均设置在一个塑料设施大棚内。

供试的三种肥料分别为尿素, 过磷酸钙和硫酸钾。不同肥料的施用方法为: 尿素 50% 做基肥, 25% 做壮苗肥, 25% 做促果肥; 过磷酸钙全部做基肥, 硫酸钾 50% 做基肥, 50% 做促果肥。

期 N10K20, N20K20 和 N30K20 三个处理中的单株草莓的含氮量分别比不施氮肥的 N0K0 处理增加了 743.72 毫克、980.19 毫克和 1029.66 毫克, 分别达到了 2.6 倍、3.1 倍和 3.2 倍。虽然施氮量的增加提高了氮素在草莓植株中的累积, 促进了草莓的生长发育。但随着施氮量 (N) 的增加, 氮素在植株内累积量的增加幅度逐渐减小, N20K20 和 N30K20 两个处理中草莓植株的含氮量没有显著差异, 说明当施氮量超过 20 公斤 / 亩时, 再增加施氮量, 效果不明显。在磷和氮施用量相同, 钾施用量不同的条件下, 草莓成熟期 N20K10, N20K20 和 N20K30 三个处理中植株含氮量逐渐增加, 分别为不施氮和钾肥的 N0K0 处理的 2.8 倍, 3.1 倍和 3.2 倍, 说明施钾肥能够在一定程度上提高草莓对氮素的吸收。

表 2 不同施肥处理对草莓植株氮素吸收和利用的影响

(毫克 / 株)

处 理	幼苗期	壮苗期		现蕾期		膨果期		成熟期	
	含氮量	含氮量	吸氮量	含氮量	吸氮量	含氮量	吸氮量	含氮量	吸氮量
N0K0	25.42	166.52	141.1	253.97	87.45	387.43	133.46	458.26	70.83
N10K20	25.42	355.87	330.45	686.51	330.64	1101.64	415.13	1201.98	100.34
N20K10	25.42	458.38	432.96	789.34	330.96	1186.32	396.98	1310.68	124.36
N20K20	25.42	460.25	434.83	791.82	331.57	1211.54	419.72	1438.45	226.91
N20K30	25.42	482.32	456.90	812.36	330.04	1258.14	445.78	1469.27	211.13
N30K20	25.42	487.18	461.76	816.23	329.05	1268.25	452.02	1487.92	219.67

1.2.2 数据分析

氮肥利用率 = (施氮区作物吸氮总量 - 无氮区作物吸氮总量) / 所施肥料中氮素总量

施氮区作物吸氮总量 = 施氮区成熟期单株草莓氮含量 × 植株数

无氮区作物吸氮总量 = 无氮区成熟期单株草莓氮含量 × 植株数

氮生产指数 = (施氮区草莓果实产量 - 无氮区草莓果实产量) / 所施肥料中氮素总量

所有数据为 3 次重复的平均值, 采用 SPSS11.5 统计软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对草莓吸收和利用氮素的影响

从表 2 所列的结果可以看出, 伴随着草莓的生长, 氮素在草莓植株内不断累积。对不同时期而言, 壮苗期和膨果期是草莓吸氮的两个高峰期, 分别占到总吸氮量的 30% 左右。对不同处理而言, 随着施氮量的增加, 植株中的氮素累积量增加。在磷和钾施用量相同的条件下, 成熟

2.2 不同施肥处理对草莓产量及其构成因素的影响

施用氮肥能够增加作物产量, 但并不是氮肥施用量越高, 作物产量越高, 每一种作物都有一个保证其高产的氮肥适宜用量, 这个适宜用量甚至是随着土壤肥力、气候条件、耕作管理和作物品种等因素变化的。对“章姬”草莓而言, 如表 3 的所示, 以 N20K30 处理的产量最高, 此处理的施氮量为 20 公斤 / 亩, 施氮量超过这一水平时产量有增有减, 但均没有显著差异。已有的研究也表明, 对草莓而言, 施氮量过高会因花序数量减少而减产^[5]。

在施氮量相同、施钾量不同的条件下, N20K10, N20K20 和 N20K30 的比较表明, 随着施钾量的增加, 单位面积草莓产量增加, 但 N20K10 处理和 N20K20、N20K30 两个处理有显著差异, N20K20 和 N20K30 之间差异不显著, 说明氮肥的施用虽然对草莓产量起着决定性的作用, 但绝不是影响产量的唯一因素。增加施钾量在一定程度上也能提高草莓的产量。

分析各处理的产量构成因素可以看出, 在适宜的施氮量范围内增加施氮量能够提高草莓单果重和单株结果数, 这两个因素促成了草莓产量的提升。N20K20 处理的平均单果重比 N10K20 处理高出 2.72 克, 差异显著。在

施氮量相同的条件下，增施钾肥主要是提高了单果重，N20K30，N20K20 两个处理平均单果重分别比 N20K10 处理高出 1.04 克和 0.43 克。

处 理	单果重 (克)	单株结果数	产量		折合单位面积产量 (公斤/亩)
			单株产量 (公斤)	小区产量 (公斤)	
N0K0	19.18±0.021c	9.6	0.18	20.62	1374.89d
N10K20	21.54±0.028b	12.6	0.27	30.40	2026.58c
N20K10	23.83±0.022ab	13.2	0.32	35.32	2354.72b
N20K20	24.26±0.028a	13.4	0.33	36.41	2427.42a
N20K30	24.87±0.024a	13.4	0.33	37.32	2488.45a
N30K20	24.66±0.032a	13.4	0.33	37.01	2467.44a

注：表中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

2.3 不同施肥处理的氮肥利用效率

处 理	单株含氮量 (毫克/株)	株 数 (株/亩)	氮投入量		氮肥利用率 (%)	氮生产指数 (公斤/公斤)
			吸氮量 (公斤/亩)	氮投入量 (公斤/亩)		
N0K0	458.26d	7500	3.44d	0	--	--
N10K20	1201.98c	7500	9.01c	10	64.35	65.17a
N20K10	1310.68b	7500	9.83b	20	36.25	48.99c
N20K20	1438.45a	7500	10.79a	20	41.04	52.63bc
N20K30	1469.27a	7500	11.02a	20	42.20	55.68b
N30K20	1487.92a	7500	11.16a	30	28.60	36.42c

注：表中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

表 4 的数据表明，随着施氮量的增加氮肥利用率和氮生产指数逐渐降低。在磷和钾施用量相同氮施用量不同的条件下，成熟期的 N10K20，N20K20 和 N30K20 三个处理中植株含氮量逐渐增加，而且 N10K20 和 N20K20 两个处理差异显著，说明随着施氮量的增加植株吸收和利用的氮素含量增加。与此相反，随着氮肥施用量的增加这三个处理中的氮肥利用率和氮生产指数降低，但就氮肥利用率而言，在施氮量同样是相差 10 公斤的条件下 N10K20 处理比 N20K20 处理高出 23.31 个百分点，而 N20K20 处理比 N30K20 处理高出 12.44 个百分点，三者之间差异显著。氮生产指数也具有相同的规律。说明草莓对氮素的吸收是有限度的，随着施氮量的增加氮肥的生产效率逐渐降低，过量的氮素不能完全被草莓吸收，会累积在土壤中不但浪费，而且容易造成环境污染。表 4 的结果表明，供试的草莓

品种在施氮量(N)为 20 公斤/亩之内，可增加产量维持较高的氮肥利用率和氮生产指数，再增加施氮量不能明显提高产量，而会显著降低氮肥利用效率。在施磷量相同，

施氮量为 20 公斤/亩的条件下，不同施钾量的 N20K10，N20K20 和 N20K30 三个处理，氮肥利用率和氮生产指数逐渐升高，而且 N20K10 和 N20K30 两个处理差异显著，说明在施氮量相同的条件下，增加施钾量在一定程度上能够提高氮肥生产效率。

2.4 不同施肥处理对草莓品质的影响

可溶性固形物、还原性维生素 C、糖度和酸度等指标是评价浆果类果实品质的几个重要参数^[6]。从实验结果可以看出(表 5)，不同施氮和施钾处理导致同一指标在各处理间存在显著差异。草莓果实中 Vc 的含量是衡量草莓营养品质的重要依据，随着施

氮量的增加，维生素 C 的含量逐渐增加，但 N10K20 与 N20K20 之间差异显著，而 N20K20 与 N30K20 之间差异不显著。施钾量的不同也产生相同的效果。糖度是衡量草莓口感的最常用指标，表 5 的数据表明，随着施钾量的增加，草莓糖度增加，而且不同处理间差异显著。而过高的施氮量反而导致草莓的含糖量降低。可溶性固形物的含量和酸度高低反映了草莓果实的风味，两者的比值决定了果实品质的优劣。一般条件下，

固酸比越大，果实品质越好。表 5 的结果表明，在氮和钾都相对充足的条件下，N20K20，N20K30 和 N30K20 三个处理的可溶性固形物和固酸比两项指标均较高，显著高于其他处理，说明较为充足的氮和钾施用量能够保证草莓果实的品质。三个处理相比而言，氮：钾为 1:1.5 的 N20K30 处理固酸比最高，草莓品质最好。但表 5 的数据也表明随着施钾量的增加，果实的酸度也提高。

处 理	可溶性固形物 (%)	维生素 C (毫克/100 克)	糖 度		固 / 酸
			糖 度 (%)	酸 度 (%)	
N0K0	4.94c	33.12d	8.8d	0.51d	9.69
N10K20	8.33b	42.66c	12.7b	0.71b	11.73
N20K10	9.25b	48.24b	11.1c	0.68c	13.60
N20K20	10.65a	53.82a	12.5b	0.73b	14.59
N20K30	11.27a	54.61a	13.9a	0.77a	14.64
N30K20	10.42a	53.96a	12.2b	0.72b	14.47

3 结论与讨论

本研究主要讨论了在氮、钾配施的条件下草莓对氮肥的吸收利用规律和氮、钾对草莓产量和品质的影响。结果表明,氮肥对促进大棚草莓生长发育,增加单果重有十分明显的作用,草莓在整个生长期对氮素的吸收有两个高峰期:分别为壮苗期和膨果期。草莓对氮肥的吸收利用也遵循施肥报酬递减率,随着施氮量的增加草莓产量的增加率呈递减趋势,在其他技术条件相对稳定的条件下,“章姬”草莓的适宜施氮量约为 20 公斤/亩,在这一范围内增加施氮量能够提高草莓单果重和结果数,这两个因素提升了草莓产量。在施氮量相同的情况下,增加施钾量也能够一定程度上的提高氮肥生产效率,增加草莓产量。

钾素在大棚草莓的碳水化合物代谢过程中起着重要作用,它能够协调氮素利用,提高果实含糖量,改善果实品质,增强抗逆性^[7]。本研究的结果表明,施钾量在 30 公斤/亩的范围内,增加施钾量对草莓果实中的可溶性固形物,维



生素,糖度和固酸比等指标都有一定程度的提升作用,同时高的施钾量也增加了草莓的酸度。在一定范围内,增加施氮量也明显提升了评价草莓品质的各项指标,但过高的施氮量也导致草莓含糖量和固酸比降低,影响草莓品质。

综合比较的结果表明,在纯氮施用量为 20 公斤/亩, N:K 接近 1:1.5 的条件下,“章姬”草莓的产量最高,品质最好。

参考文献

- [1] 陈龙娟,王坚. 草莓配方施肥试验研究初报[J]. 上海农业科技,2011,(1):95-98.
- [2] 刘林,张良英. 不同肥料配施对西藏林芝草莓生长特征、产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(36):17931-17932.
- [3] 张鹏飞,程扶旗. 草莓施肥的作用与措施[J]. 现代农业科技,2011,(18):174-176.
- [4] 李姣清,杨和生,李玉容. 不同施钾量对丰香草莓品质的影响[J]. 园艺与种苗,2012,(2):34-35.
- [5] Haynes R.J. Effects of application of nitrogen and potassium on growth, yields and quality of strawberry[J]. Commun Soil Sci Plant Anal.1987, 18(4):457-471.
- [6] 路河. 钾肥对草莓品质的影响研究初报[J]. 温室园艺,2010,(2):44-45.
- [7] 刘红,张建军. 不同生育期施肥比例对草莓产量水平的影响[J]. 陕西农业科学,2009,(3):39-41.

不同施肥方式下半干旱区全膜双垄沟播玉米干物质积累规律及高产施肥技术研究

张平良^{1,2} 郭天文^{*1,2} 吕军峰^{1,2}

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

摘要: 采用田间试验的方法研究玉米干物质积累规律及高产施肥技术。结果表明, 在不同施肥方式下, 玉米各生育期全株、籽粒、叶片、茎秆 + 穗芯干物质积累均呈现出“S”型曲线变化规律, 玉米全株干物质质量均随生育期的延长而增长; N、P₂O₅ 和 K₂O 的用量分别为 15 公斤/亩、8 公斤/亩、6 公斤/亩时, 玉米产量最高, 可达到 601.9 公斤/亩, 明显高于其它处理, 表明玉米在全膜双垄沟播栽培技术条件下, 平衡施肥可显著增加玉米籽粒产量, N、P、K 缺素施肥及不施肥都会对玉米产量造成不同程度的影响。

关键词: 全膜双垄沟播玉米; 干物质积累; 高产施肥^[1]

玉米全膜双垄沟播栽培技术是旱作农业的一项突破性创新技术, 该项技术集覆盖抑蒸、膜面集雨、垄沟种植技术为一体, 最大限度地储蓄自然降水, 使地面蒸发降到最低, 特别能使春季 10 毫米以下的降雨集中入渗于作物根部, 被作物有效利用, 实现了集雨、保墒、增产^[1-3]。该项技术适宜在年降水 300~500 毫米的旱作农业区推广^[1,4], 为了配套全膜双垄沟播栽培技术大面积推广, 在此项技术改变了土壤水、热条件基础上, 开展玉米干物质积累规律和高产施肥试验研究, 探索寻求全膜双垄沟播玉米高产施肥技术, 对指导农民合理施肥, 实现玉米产业高产优质高效具有重要作用, 对于提高旱作农业区综合生产能力, 确保我省粮食安全、促进旱作农业区经济稳步发展意义重大。



海拔约 1932~2520 米, 年平均温度 5.6℃, 年蒸发量 1531 毫米。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在定西市安定区团结镇唐家堡(地理位置: E104°35', N35°36'), 是黄土高原半干旱 400 毫米降水量旱作农区的典型代表, 土壤类型为黄绵土, 质地为粘壤土, 肥力中等^[5]。降雨季节分布不均, 多集中在 7、8、9 三个月。

1.2 试验材料

试验地耕层(0-20cm)土壤养分状况见表 1, 2005-2009 年 1 月至 9 月降水资料见表 2。玉米品种为沈单 16 号, 肥料品种为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P₂O₅ 12-16%)、氯化钾(K₂O 60%)。

表 1 土壤养分状况

PH 值	OM (%)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
		(毫克/升)											
8.26	0.71	1.7	15.4	30.5	145.2	2215.3	169.9	17	10.7	1.9	3.1	2.2	1.99

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

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

E-mail: zhangpl2007@163.com。

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

表 2 2005-2009 年 1-9 月份降水量

处 理	降水量(毫米)									
	1 月份	2 月份	3 月份	4 月份	5 月份	6 月份	7 月份	8 月份	9 月份	合计
2005	3	10.9	11.2	36.6	88	55.3	119.7	37.6	71.9	434.2
2006	2.1	18.8	11.9	12.3	76.4	37.4	104.9	93.2	63.5	420.5
2007	1.9	0.2	25.6	21	14.6	91.1	74.9	98.9	75.3	403.5
2008	13.6	3.4	2.7	17.5	30.5	62.3	58.6	97.5	94.5	380.6
2009	2.2	9.8	14	12.9	28.5	19.5	68.2	106.6	10.1	271.8

1.3 试验设计与方法

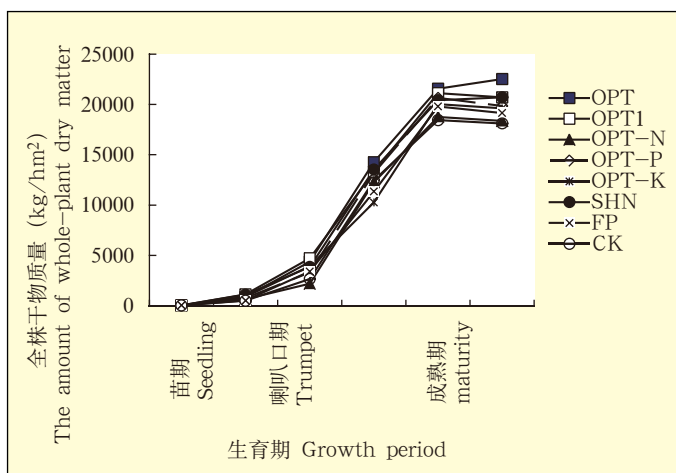
试验共设 8 个处理,分别为: OPT、OPT1、OPT-N、OPT-P、OPT-K、SHN(超高施肥量)、FP(农民传统施肥)、CK, 3 次重复,共 24 个试验小区,各小区完全按随机区组排列,小区面积为 21.6 平方米。施肥方案见表 3,其中氮肥 60% 做基肥,40% 在喇叭口期进行一次追施,其它肥料在播前全部作基肥一次施入。栽培方式为全膜双垄沟播栽培,栽培密度为 4500 株/亩。

表 3 施肥方案

处 理	养分施用量 (公斤/亩)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
OPT	15	8	6
OPT1	18	4	2
OPT-N	0	8	6
OPT-P	15	0	6
OPT-K	15	8	0
SHN(超高施肥量)	22	12	8
FP	10	7	0
CK	0	0	0

1.4 测定项目及方法

测定试验地耕层(0-20 厘米)土壤基础土样理化性质和玉米生育期降水资料,测定各生育期玉米(茎秆、叶片、



籽粒)干物质质量和收获期玉米籽粒产量。

基础土样理化性质由中-加合作土壤植株测试实验室采用 ASI 分析法^[6]测定,并根据目标产量提供推荐施肥量(OPT1 处理);气象资料是由甘肃省农业科学院定西试验站气象观测站观测。

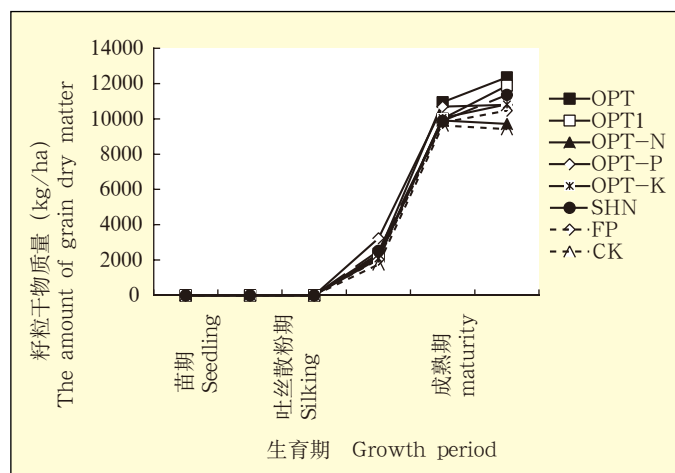
1.5 数据分析

实验数据采用 DPS 3.01 专业版软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米各生育期干物质积累的影响

不同处理对玉米各生育期全株、籽粒、叶片、茎秆 + 穗芯干物质积累影响均表现为前期慢中期快后期又慢或开始降低的“S”型曲线变化规律(图 1),全株干物质积累量最快时期出现在拔节期-成熟期,成熟期-收获期干物质积累速率开始放缓及下降,可能是由于玉米生长后期籽粒碳水化合物积累逐渐加快,从秸秆、叶片获取的养分量增大,导致秸秆、叶片满足其碳水化合物合成的养分量下降,从而出现衰败现象,茎秆开始枯萎,叶片干死脱落于地面,同时人为采样不完整造成的误差,最终导致收获期玉米干物质出现积累速度变慢和下降趋势,茎、叶尤为明显。



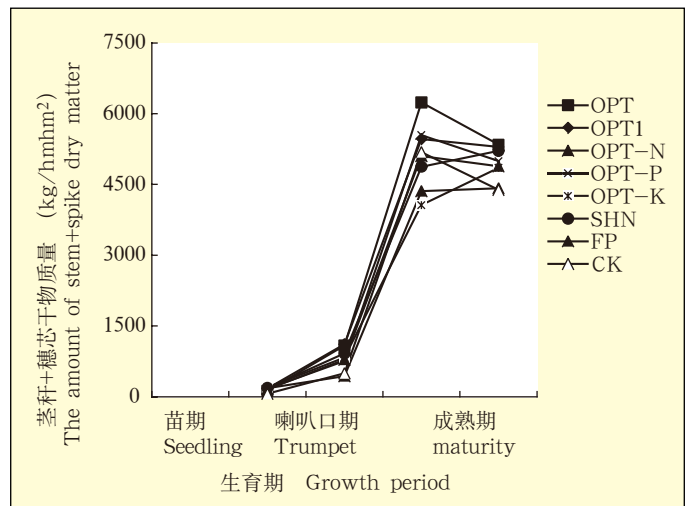
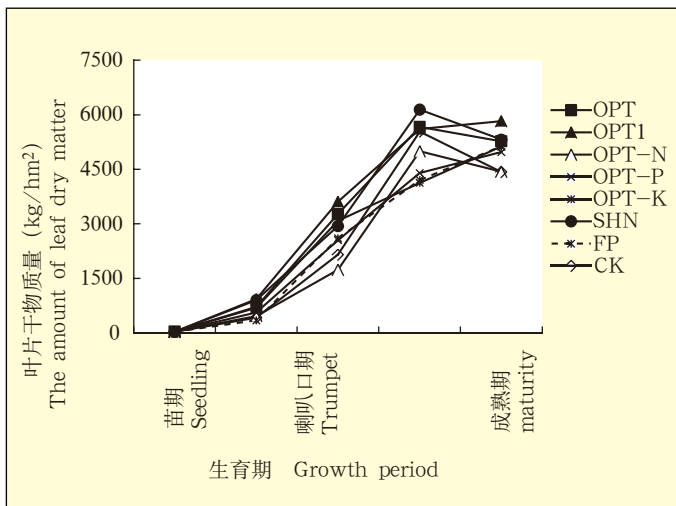


图1 玉米全株、籽粒、叶片、茎秆 + 穗芯生育期干物质积累变化规律

籽粒干物质积累基本上呈上升趋势，灌浆期-成熟期籽粒干物质积累最快；叶片干物质积累最快时期出现在拔节期-喇叭口期-灌浆期；茎秆 + 穗芯干物质积累最快时期出现在喇叭口期-灌浆期。孙文涛^[7]、金继运^[8]研究指出玉米在灌浆期以后干物质积累增加量较为平缓，主要是此时玉米秸秆和叶片的增加量已呈缓慢下降趋势，表

最高，CK处理最低；OPT处理与SHN、OPT-P处理之间玉米产量差异显著 ($p < 0.05$)，与OPT-N、FP、CK处理之间产量差异极显著 ($p < 0.01$)，与OPT1处理之间差异不显著。与OPT处理相比，其它处理玉米籽粒产量均低于OPT，其中OPT-K、SHN和OPT-P、OPT-N、FP、CK处理玉米籽粒产量依次减产幅度越来越大，

表4 不同处理对玉米产量及经济效益的影响

处理	产量 (公斤/亩)	显著水平		相对产量 (%)	减产 (公斤/亩)	减产率 (%)	农学效率 (kg/kg)	产值	肥料成本 (元/亩)	纯收益
		(5%)	(1%)							
OPT	601.9	a	A	100	0.0	0.00	--	1023.2	137.1	886.1
OPT1	578.7	ab	AB	96	-23.1	-3.85	--	983.9	111.8	872.1
OPT-N	546.3	cd	BC	91	-55.6	-9.23	3.7	928.7	69.6	859.1
OPT-P	564.8	bcd	ABC	94	-37.0	-6.15	4.6	960.2	91.5	868.7
OPT-K	575.6	abc	ABC	96	-26.2	-4.36	4.4	978.6	113.1	865.5
SHN	564.8	bcd	ABC	94	-37.0	-6.15	--	960.2	197.9	762.3
FP	544.8	cd	BC	91	-57.1	-9.49	--	926.1	84.9	841.2
CK	534.0	d	C	89	-67.9	-11.28	--	854.3	0.0	854.3

注1：产量为各处理三次重复的平均产量；* 相对产量 = 其它处理产量 / OPT 产量 × 100；* 减产 (公斤 / 亩) = OPT 产量 - 其他处理产量；* 减产率 (%) = [(OPT 产量 - 其他处理产量) / OPT 产量] × 100；* 农学效率 (公斤 / 公斤) = (OPT 产量 - 缺素处理产量) / 施入的养分量。
注2：N 4.5 元 / 公斤、P₂O₅ 5.7 元 / 公斤、K₂O 4.0 元 / 公斤，玉米 1.7 元 / 公斤。

现出的只是籽粒中干物质的积累，试验结果与此结论是一致的。玉米全株干物质积累量在收获期 OPT 处理最高，不施肥 CK 处理最低，表明 N、P、K 平衡施肥能够满足作物整个生育期从营养生长到生殖生长过程的养分需求，有利于植株和籽粒碳水化合物的有效积累，最终导致作物干物质积累量增加。

2.2 不同处理对玉米产量及经济效益的影响

从表4得知，不同施肥处理对玉米籽粒产量的影响表现为：OPT 与 OPT1 处理产量相对较高，OPT 处理产量

而 OPT1 处理的减产幅度相对较小。OPT-K 处理减产 26.2 公斤 / 亩，减产率达到了 4.36%；SHN 和 OPT-P 处理都减产 37 公斤 / 亩，减产率达到了 6.15%；OPT-N 处理减产 55.6 公斤 / 亩，减产率达到了 9.23%；传统施肥 FP 处理减产 57.1 公斤 / 亩，减产率达到了 9.49%；不施肥 CK 处理减产 67.9 公斤 / 亩，减产率达到了 11.28%；N、P₂O₅、K₂O 养分农学效率分别为 3.7、4.6、4.4 公斤 / 公斤。表明在甘肃省中部半干旱地区推广的玉米全膜双垄沟播栽培技术条件下，平衡施肥可显著增加玉米籽粒产量；N、P、K 缺素施肥及不施肥都会对玉米产量造成不同程度的

影响^[9]，由于不能够提供作物生长过程的全部养分需求，尤其是玉米生长后期，不利于籽粒碳水化合物化合物的有效积累，最终导致玉米减产；超高施肥量 (SHN) 对玉米籽粒产量的影响并不明显，原因可能是由于该地区从 2005 至 2009 年 1—9 月份降水量逐年降低 (表 2)，2009 年 10 月份之前降水量仅为 271.8 毫米，尤其是 7 月份之前降水量不到 100 毫米，在无灌溉条件下，土壤耕层极为干旱，土壤水分供应不足，玉米生长对水分的需求越来越大，不仅导致玉米叶片开始萎蔫，影响植株正常生长，而且降低了肥料的溶解和养分的释放，肥料效果相对减弱，从而影响到作物对养分的吸收与利用，最终直接影响玉米的生长和产量，说明在旱地雨养农业区，水肥之间的耦合效应与制约尤为突出，土壤水分丰缺状况在很大程度上影响肥料发挥作用。

通过对玉米生产的投入和产出进行分析可得出结论，在进行 N、P、K 营养元素平衡施肥的情况下，N、P₂O₅ 和 K₂O 的用量分别为 15 公斤/亩、8 公斤/亩、6 公斤/亩时 (OPT 处理)，玉米籽粒产值最高，每亩达到 1023.2 元，除去肥料成本，亩纯收益为 886.1 元，均高于其它处

理，表明平衡施肥在提高玉米产量的同时，有效提高了经济效益。

3 结论

3.1 本研究中玉米干物质质量累积曲线呈现“S”型变化趋势，玉米全株干物质质量均随生育期的延长而增长，在拔节期后均大量积累，到成熟期积累开始平缓，可见玉米整个生育期能持续吸收养分以满足自身碳水化合物合成的需要，保证后期养分的充足供应是玉米高产的关键。

3.2 在极度干旱年份下全膜双垄沟播玉米进行平衡施肥，N、P₂O₅ 和 K₂O 的用量分别为 15 公斤/亩、8 公斤/亩、6 公斤/亩时 (OPT 处理)，玉米产量可达到 601.9 公斤/亩，与当地农民习惯施肥 (FP 处理) 相比，增产 57.1 公斤/亩，增产率达到 10.5%，纯收益增加 45.0 元/亩，增产增效明显。

参考文献

- [1] 杨祁峰, 孙多鑫, 熊春蓉, 等. 玉米全膜双垄沟播栽培技术 [J]. 中国农技推广, 2007, 8(23): 20-21.
- [2] 贺峰. 在甘肃推广玉米全膜双垄沟播栽培技术的必要性分析 [J]. 粮经栽培, 2008(13): 12-13.
- [3] 王成刚, 水建兵. 玉米全膜双垄沟播栽培技术 [J]. 甘肃农业科技, 2008(4): 40-41.
- [4] 郑兴文. 依靠科技抗旱全面推广玉米全膜双垄沟播栽培技术 [J]. 粮经栽培, 2008(17): 13-14.
- [5] 高世铭, 杨封科, 等. 陇中黄土丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究 (《重塑黄土地》系列丛书) [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003, 5-9.
- [6] Dowdle S, Portch SA. Systematic approach for determining soil nutrient constraints and establishing balanced fertilizer recommendations for sustained high yield [C]. Proceedings of the International Symposium on Balanced Fertilization. 1988, Beijing, China, 243-251.
- [7] 孙文涛, 汪仁, 安景文, 等. 平衡施肥技术对玉米产量影响的研究 [J]. 玉米科学, 2008, 16(3): 109-111.
- [8] 金继运, 何萍. 氮钾互作对春玉米生物产量及其组分动态的影响 [J]. 玉米科学, 1999, 7(4): 57-60.
- [9] 崔云玲, 郭天文, 郭永杰, 等. 氮磷营养对高寒阴湿区春玉米产量及品质的影响 [J]. 西北农业学报, 2009, 18(6): 134-137.

钾肥用量对甜瓜生长发育、产量及品质的影响

陆雪锦¹ 张炎^{1*} 胡国智² 李青军¹ 胡伟¹ 冯炯鑫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 830091; 2. 新疆农业科学院哈密瓜研究中心, 乌鲁木齐 830091)

摘要 通过田间小区试验, 研究甜瓜在膜下滴灌栽培条件下, 不同施钾量 (0、5、10、15 公斤/亩) 对甜瓜生长发育及产量品质的影响。结果表明: (1) 随施钾量的增加, 甜瓜干物质积累快增期 (Δt) 延长, 施钾处理比不施钾处理延长了 1~6 天; 施钾增加了甜瓜在 Δt 时期内的干物质积累量, 在快增期时施钾处理单株积累量比不施钾处理增加 95.15~139.67 克; 不同钾肥处理总干物质积累速率依次在播种后 63 天、66 天、65 天、64 天达到最大值。(2) 合理施用钾肥有利于甜瓜茎粗增长, 成熟期 K_2 处理比 K_0 、 K_3 处理的茎粗值分别高出 3.49 毫米、3.17 毫米。(3) 施钾量在 10 公斤/亩时, 叶绿素含量、含糖量达到最大值。(4) 施钾对甜瓜有显著的增产作用, 施钾量在 10 公斤/亩时, 甜瓜产量达 2082 公斤/亩; 通过一元二次方程模拟推荐钾肥最佳经济施用量为 7.7 公斤/亩。

关键词: 钾肥; 甜瓜; 产量; 品质

钾是植物必需的一价阳离子^[1], 可作为 60 多种酶的活化剂^[2], 且钾素可以调节气孔开闭^[3]、形成叶肉阻抗力^[4], 从而提高叶片的光合速率和光合化学活性, 以此协调光合同化物的合成、运输与转化, 最终改善农作物品质^[5]。因此研究钾肥用量对提高甜瓜产量及品质具有重要意义。目前在甜瓜生产中, 普遍存在重施氮磷肥、忽视钾肥、或者过量施用氮肥而引起钾营养不平衡的问题^[6], 一方面影响了甜瓜产量的提高和品质的改善; 另一方面, 造成氮、磷肥资源的浪费, 同时引起环境污染^[7]。甜瓜是喜钾作物^[8], 适量的钾肥对甜瓜有增产提质的作用^[9]。然而, 新疆土壤的速效钾含量相对较高^[10], 如何在高钾地区合理的施用钾肥且提高钾肥的利用率, 是当前农学家和植物营养家们面临的难题^[11]。自 1865 年 Lucanus 最先提出钾是高等植物生长所必需的元素以后, 钾素研究取得了很大进展^[1]。我国科技工作者采用不同作物作为研究对象, 开展了钾肥对作物产量及品质的影响的研究。目前, 国内外关于钾对农作物生长发育、营养品质和产量影响的研究多见于小麦、棉花、玉米等大田作物^[12] 以及大白菜、番茄等蔬菜上^[13-14], 但钾肥对新疆甜瓜产量和品质的影响却鲜有报道, 且研究项目大多侧重于氮磷钾互作效应和营养液与栽培基质中钾素的研究上^[6,15]。本研究在膜下滴灌生产栽培条件下, 通过田间小区试验探讨钾肥用量对甜瓜产量、品质、生长特性的影响。根据 Logistic 生长函数与肥料效应方程确定甜



瓜最佳施肥量以及最佳施肥时间, 从而建立科学的施肥制度, 为新疆甜瓜高产、高效、可持续发展提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验设在吐鲁番亚尔乡新疆农科院哈密瓜研究中心试验基地, 当地属暖温带干旱荒漠气候, 年平均降水量 16.4 毫米, 蒸发量为 2837.8 毫米, 年积温 4500℃—5400℃, 日最高气温在 35℃ 以上的天数达 100 天。

供试品种为新蜜杂 36 号, 于 4 月 12 日播种, 7 月 14

基金项目: 国际植物营养研究所项目 (NMBF-Xinjiang 2011) 资助; 国家自然科学基金 (40961017);

国家西甜瓜产业技术体系项目 (CARS-26-NO.15)。

作者简介: 陆雪锦 (1986—), 女, 新疆昌吉人, 硕士研究生, 主要从事植物营养方面的研究, E-mail: lxj19861213@163.com。

* 通讯作者: 张炎 (1965—) 女, 天津人, 研究员, 硕士生导师, 研究方向为作物营养与施肥技术, E-mail: yanzhangyz@sohu.com。

日收获。试验采用覆膜滴灌生产模式，株距 50 厘米，一膜两行，起垄覆膜穴播，一株一瓜，理论种植密度为 888 株/亩。供试土壤养分状况为：有机质 11.57 克/公斤，全氮 0.795 克/公斤，碱解氮 17.4 mg/kg，速效磷 8.4 毫克/公斤，速效钾 178 毫克/公斤。

1.2 试验设计

试验设 4 个水平的施钾量，分别为 0、5、10、15 公斤/亩，用 K₀、K₁、K₂、K₃ 表示，各处理有机肥及氮磷施用量均相同，即腐熟有机肥 2 m³/亩，油渣 200 公斤/亩，纯 N 为 15 公斤/亩，P₂O₅ 为 9.3 公斤/亩，将有机肥、油渣及基肥肥料深翻施入。试验所用肥料：氮肥为尿素 (46 %N)，全部追施；磷肥采用重过磷酸钙 (44 %P₂O₅)，60 % 基施，40 % 追施；钾肥为硫酸钾 (51 %K₂O)，50 % 基施，50 % 追施。追肥根据甜瓜的生长发育规律分期随水滴施。试验小区随机区组排列，小区面积为 5 米 × 9 米，重复 3 次。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 植株叶绿素及植株茎粗

每小区随机选取 3 株并做标记，选择晴天无云天气，在追施肥前一天，即甜瓜播种后 34 天 (苗期)、44 天 (拉蔓期)、50 天 (花期)、59 天 (膨大期) 和 84 天 (成熟期) 测定标记瓜株的 SPAD 值和茎粗。测定叶绿素利用便携式 SPAD-502 叶绿素仪，选择倒四叶不同位置测定 3 次 (取

1.3.2 干物质

在甜瓜主要生育期：苗期 (4 月 26 日)、拉蔓期 (5 月 16 日)、花期 (6 月 5 日)、果实膨大期 (6 月 20 日)、成熟期 (7 月 5 日) 采集甜瓜地上部分，按小区随机选取有代表性的 3 株 (苗期取 10 株)，采集甜瓜地上部分的植株样品，按茎、叶、果实、种子不同器官分离开，在 105℃ 下杀青 30 分钟，然后在 70℃ 下烘干至恒重，称重并记录。

1.3.3 甜瓜品质的测定

在甜瓜成熟时，每个试验小区随机挑选 5 个甜瓜，测定甜瓜的纵横径、皮厚、肉厚以及种腔直径。同时利用测糖仪测定甜瓜的边糖及心糖。

1.3.4 甜瓜产量

甜瓜成熟后按小区全部采摘称重，记录各小区实产。同时，记录总瓜数及劣瓜数并计算甜瓜商品率，甜瓜商品率 = (总瓜数 - 劣瓜数) / 总瓜数 × 100%。

1.3.5 数据处理

用 Excel、DPS 等软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同施钾量对甜瓜生长特性的影响

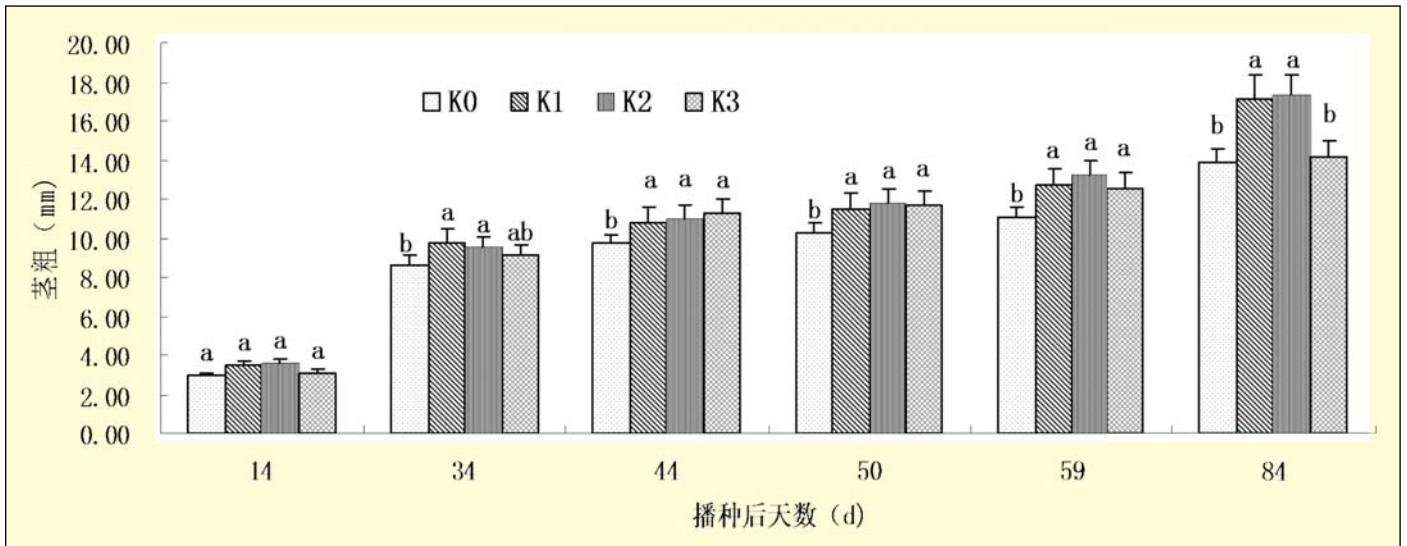


图 1 施钾对甜瓜茎粗的影响

叶片的底部、中部和顶部的平均值，测定时避开叶脉)。利用数显卡尺测定茎粗。

2.1.1 不同施钾量对甜瓜茎粗的影响

从图 1 可以看出，各处理茎粗都随生育期进程而增加。

苗期各处理之间差异不显著, K_2 处理的茎粗略高于其它处理, 而 K_0 处理的茎粗最小; 在拉蔓期、花期和膨大期, 施钾处理与 K_0 处理差异达到显著水平; 成熟期 K_1 、 K_2 与 K_0 、 K_3 之间的差异达到显著水平, 茎粗最大值出现在 K_2 处理, 平均茎粗为 17.34 毫米, 茎粗最小值出现在 K_0 处理, 平均茎粗为 13.85 毫米。综合比较分析得出: 在整个生育期中, K_2 处理茎粗增长最快, 说明施钾 10 公斤/亩有利于甜瓜茎粗的增长, 过高或过低的钾肥用量不利于甜瓜茎粗的增长。

2.1.2 不同施钾量对甜瓜干物质积累影响

干物质积累是作物产量形成的基础^[16]。对甜瓜地上部分干物质积累用 Logistic(表 1) 方程模拟可知, 各处理甜瓜地上部分干物质积累均呈缓慢-快增-缓降的变化趋势, 其中 K_0 处理两个时间拐点在出苗后 53 天和 73 天; K_1 处理两个时间拐点在出苗后 53 天和 79 天; K_2 处理两个时间拐点在出苗后 55 天和 77 天; K_3 处理两个时间拐点在出苗后 54 天和 75 天。表明 K_2 处理第一拐点时间较晚, 快增期持续时间相对较短, 但速度特征值 (V_m) 与生长特征值 (GT) 较大; 而 K_0 处理第一拐点时间出现早, 其中 K_0 快增期 (Δt) 缩短, 生长特征值 (GT) 较小, 速度特征值 (V_m) 达到最大值; K_1 处理快增期持续时间最长, 速度特征值 (V_m) 为最小值, 而生长特征值 (GT) 为最大值。与对照相比, 施钾延长了干物质积累快增期 (Δt), K_1 、 K_2 和 K_3 处理分别延长了 6 天、2 天和 1 天; 施钾也增加了甜瓜在 Δt 时期内的干物质积累量。在快增期, K_1 、 K_2 、 K_3 各处理单株积累量依次比 K_0 处理增加 128.11 克、139.67 克、95.15 克。而此时正为花期, 是甜瓜营养生长和生殖生长的关键时期, 也是生长最旺盛的时期, 因此干物质积累速率最大。

2.2 施钾对甜瓜叶片中叶绿素含量的影响

绿色植物的产量形成取决于其叶片的光能利用率, 而叶片的光能利用率高低与叶片叶绿素含量直接相关, 因此研究植物叶片的叶绿素含量意义重大^[17]。由表 2 可知, 各处理叶片中 SPAD 值随植株的生长都呈现先增长后下降的趋势, 且整个生育期施钾处理叶片 SPAD 值都高于 K_0 处理。播种后 34 天, 施钾处理与 K_0 处理之间的差异达到显著水平。播种后 44 天, K_2 处理 SPAD 值最高, 达到 51.4, 与其它处理差异均达到显著水平。播种后 50 天 K_2 处理 SPAD 值为最高, 且与其它各处理均达到显著差异水平。播种后 59 天, SPAD 值最大值出现在 K_2 水平, 最小值出现在 K_0 水平, 且 K_0 与 K_1 和 K_2 处理之间差异达到显著水平。由此可知, 施钾可以提高叶片的 SPAD 值; 施钾量在 K_2 水平时, 叶片 SPAD 值为最大值。播种后 84 天, 已进入甜瓜成熟期, 各处理叶片 SPAD 值为整个生育期中的最小值, 且处理间差异不显著, 这可能是由于甜瓜进入生殖生长时期, 叶片叶绿素含量降低, 导致 SPAD 值的下降^[18]。

表 2 不同施钾水平对叶片 SPAD 值的影响

处 理	播 种 后 天 数 (天)				
	34	44	50	59	84
K_0	43.1b	48.7b	48.7b	44.1b	36.8a
K_1	46.8a	49.9b	49.6b	53.1a	39.7a
K_2	46.9a	51.4a	59.8a	53.3a	40.2a
K_3	46.7a	49.1b	49.1b	48.9ab	37.1a

注: 每一列中不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同

2.3 不同施钾量对甜瓜产量的影响

从不同施钾处理对甜瓜产量及商品率的计算结果可知 (表 3), 处理间差异达到显著水平。产量最高为 2082 公斤/亩, 最低为 1733 公斤/亩。与 K_0 相比, K_1 、 K_2 、 K_3 三个处理产量依次增加 12%、20% 和 2%, 呈现先升高后降低的二次曲线。从表中还可以看出, 施用钾肥能增加甜瓜

表 1 甜瓜干物质积累的 Logistic 模型及其特征值

处 理	V_m 公斤/天	t_1 (天)	t_2 (天)	t_m (天)	Δt (天)	方 程	r^2	F
K_0	13.11	53	73	63	20	$y=239.4314/(1+e^{(8.1557-0.128977t)})$	0.9973	365**
K_1	11.03	53	79	66	26	$y=434.0094/(1+e^{(6.7187-0.101674t)})$	0.9990	1044**
K_2	13.03	55	77	65	22	$y=451.5601/(1+e^{(7.6181-0.115447t)})$	0.9984	640**
K_3	11.69	54	75	64	21	$y=383.8985/(1+e^{(7.8634-0.121819t)})$	0.9979	468**

注: t 为甜瓜播种后的天数 (天), y 为甜瓜干物质积累量 (克·株⁻¹), t_m 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, $\Delta t=t_2-t_1$, 是甜瓜旺盛生长的时期。 V_m 为干物质最大相对增长速率。 $F(3,5)_{0.05}=5.41$, $F(3,5)_{0.01}=12.1$ 。

表3 各处理甜瓜产量及商品率

处理	产量 (公斤/亩)				增产率 (%)	商品率 (%)
	I	II	III	平均		
K ₀	1838	1755	1605	1733b	-	63
K ₁	1931	1911	1989	1944a	12	73
K ₂	1991	2068	2186	2082a	20	84
K ₃	1788	1764	1730	1760b	2	71

的商品率, 提高幅度达 8~21 个百分点。

根据不同施钾量甜瓜产量结果, 用一元二次方程模拟甜瓜产量 Y 与施钾量 (K_2O) 的关系式, 即钾肥的效应方程为: $Y = -5.32K^2 + 84.27K + 1713.4 (r^2 = 0.7474, n = 12)$, 按照当地的甜瓜收购价 2 元/公斤, K_2O 价格 4.5 元/公斤, 由钾肥的效应方程可得出: 最大施钾量为 7.9 公斤/亩, 最大产量为 2047.1 公斤/亩; 经济施钾量为 7.5 公斤/亩, 经济产量为 2046 公斤/亩。

2.4 施钾对甜瓜品质的影响

表4 施钾对甜瓜品质的影响

处理	纵径	横径	皮厚 肉厚 种腔直径			边糖	心糖
			(厘米)				
K ₀	22.95a	14.74b	0.56a	3.53b	7.22a	7.72c	11.83c
K ₁	24.88a	15.92a	0.51b	3.89a	6.60b	8.28ab	13.01ab
K ₂	23.59a	15.37ab	0.55a	3.63b	6.60b	9.03a	13.31a
K ₃	23.57a	14.76b	0.57a	3.42b	7.14a	7.69c	12.20bc

钾肥对甜瓜品质的影响见表 4。在不同钾肥用量条件下, K₁ 处理的甜瓜的横径、纵径、肉厚均为最高, 依次为 15.92 厘米、24.88 厘米、3.89 厘米。K₁ 处理的皮厚为 0.51



厘米, 低于其他处理, 由此说明, 甜瓜生长性状以 K₁ 处理最优。由果实含糖量测定结果可知, 施钾处理的含糖量均高于 K₀ 处理, 说明适当的施用钾肥对果实含糖量有积极影响。其中, 边糖的百分含量最大值出现在 K₂ 处理, 比 K₀、K₁、K₃ 处理分别高出 17%、9%、18%, 且与 K₀、K₃ 处理之间的差异都达到了显著差异水平; 心

糖百分含量最大值也出现在 K₂ 处理, 分别比 K₀、K₁、K₃ 处理高出 13%、2%、9%, 且与 K₀、K₃ 处理之间的差异达到了显著差异水平。由此可见, 在施钾量为 10 公斤/亩水平时有利于甜瓜糖分积累。

我国农业生产实践中施用化肥已有近 50 年的历史, 钾肥在 20 世纪 90 年代才开始大量推广使用^[19]。作为农作物必需的矿质营养元素, 钾素在一定范围内能够促进农作物生殖生长并提高其营养品质^[20-21]。第二次土壤养分状况

调查结果表明新疆耕地土壤“缺氮、少磷、钾有余”, 但是随着农业的发展, 新疆耕地土壤的养分状况已经发生了较大变化, 针对这种变化, 目前农学家们提出的施肥策略是增氮、稳磷、补钾^[22]。因此科学合理的施用钾肥成了现阶段新疆农田施肥研究的重要课题。试验施用钾肥后, 对甜瓜品质产生不同程度影响, 尤其是显著提高了甜瓜含糖量, 此结果与林

多^[17]、张爱慧^[23]的研究结果是一致的; 其次, 在钾肥用量增加的情况下增加了甜瓜产量。而作物过多吸收钾素将会降低对其它阳离子的摄取率^[24], 可能导致其它阳离子的不足, 从而影响作物正常生长, 所以钾肥施用量应根据地力和目标产量科学确定。

3 结论

(1) 适量的钾肥供应有利于甜瓜茎粗的增长; 过高或过低的钾肥用量对甜瓜茎粗有负面作用, 不利于甜瓜生长。除苗期外, 甜瓜不同生育期 K₂ 处理茎粗值均极显著高于 K₀ 处理。

(2) 随施钾量的增加, 干物质积累快增期 (Δt) 延长; 施钾增加了甜瓜在 Δt 时期内的干物质积累量。

(3) 施钾可以提高叶片 SPAD 值, 播种后 34 天, 施钾处理叶片 SPAD 值显著高于不施钾处理; 播种后 44 天、50 天, K_2 水平甜瓜叶片 SPAD 值显著高于其它处理; 而播种后 84 天, 各处理间 SPAD 值差异不显著。

(4) 施用钾肥对甜瓜具有显著的增产提质作用, 显著促进甜瓜对糖分的积累并提高了甜瓜的商品率; 用一元二次方程对钾肥用量和产量进行模拟, 推荐钾肥最佳施用

量为 7.7 公斤/亩。

综上所述, 钾肥可显著促进甜瓜干物质的积累, 有利于甜瓜产量的形成。通过增施一定量的钾肥延长了甜瓜干物质积累快增期的时间, 使甜瓜可以充分利用吐鲁番地区丰富的光热资源, 有利于甜瓜干物质和糖分的积累, 从而提高甜瓜的产量和品质。

参考文献

- [1] 胡笃敬,董任瑞,葛旦之. 植物钾营养的理论与实践[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社,1993,58-109.
- [2] 李廷强,王昌全. 植物钾素营养研究进展[M]. 四川农业大学学报,2001,281-285.
- [3] Zheng BS,Cheng XJ,Jiang DA. Metal effects of potassium on Rubisco,RCA and photosynthetic rate plant [J]. Journal of Zhejiang Forestry College,2002,19(1): 104-108.
- [4] Longstretch DJ,Nobel PS. Nutrient influences on leaf photosynthesis Effects of nitrogen,phosphorus and potassium for Gossypium hirsutum L [J]. Plant Physiology,1980,65: 541-543.
- [5] Liang XF,Yu ZW.Effect of potassium application stage on photosynthetic characteristics of winter wheat flag leaves and on starch accumulation in wheat grains [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2004,15(8): 1349-1352.
- [6] 张立峰. 高寒半干旱区农牧业持续发展理论与实践[M]. 北京: 气象出版社,2001,28-33.
- [7] 刘树庆,张立峰. 旱地农业研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社,1995,69-75.
- [8] 张漱茗,闰华,刘施辉,等. 钾及钾镁肥配合对酿酒葡萄产量、品质的效应[J]. 葡萄栽培与酿酒,1998(2):7-9.
- [9] 李家康. 我国北方施用硫酸钾对提高蔬菜和果树产量与品质的作用[J]. 土壤肥料,1996,(2):32-33.
- [10] 牛在垒,刘建辉,杜军志,等. 不同氮-钾供肥量对甜瓜产量和品质的影响[J]. 北方园艺,2008(10):8-12.
- [11] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 第5版. 北京: 高等教育出版社,2004.
- [12] 黄伟,张晓光. 钾素对薄皮甜瓜光合作用和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2009(2):23-26.
- [13] 姚宇卿,雷全奎,郭建秋,等. 大白菜施钾及氮钾配施效果[J]. 土壤肥料,2000,2:37-43.
- [14] 许前欣,赵振达,李秀文,等. 钾肥对蔬菜产量品质效应的研究[J]. 土壤肥料,1999,(2):23-25.
- [15] 高慧,孙春香. 不同钾水平对番茄幼苗生长的影响[J]. 长江蔬菜,2007,8:54-55.
- [16] 孙群,胡景江. 植物生理研究技术[M]. 第1版. 西北农林科技大学出版社,2006.
- [17] 林多,黄丹枫. 钾素水平对基质栽培网纹甜瓜光合及品质的影响[J]. 园艺学报,2003(2):221-223.
- [18] 王娟,韩登武,任岗,等. SPAD 值与棉花叶绿素和含氮量关系的研究[J]. 新疆农业科学,2006,43(3):167-170.
- [19] 张炎,毛端明,王讲利,等. 新疆棉花平衡施肥技术发展现状[J]. 土壤肥料,2003(4):7-10.
- [20] 魏红国,张巨松,王飞,等. 杏棉间作棉花干物质积累分配与养分吸收的分配模拟[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(5): 1220-1226.
- [21] 沈镇昭. 中国西瓜甜瓜[M]. 北京: 中国农业出版社,2001,459.
- [22] 王仲田,陈远富,朱跃金. 不同施肥处理对甜瓜产量和含糖量的影响[J]. 新疆农业科学,1989,(1):22-24.
- [23] 张爱慧. 氮钾营养对甜瓜生理效应及品质的影响[J]. 金陵科技学院学报,2004,(3):55-58.
- [24] 王西和,刘骅,张炎,等. 不同钾营养水平对西瓜产量及品质的影响[J]. 新疆农业科学,2010,(10):2001-2004.

钾肥品种和用量对甘蓝产量、重金属和硝酸盐含量的影响

金珂旭¹ 王正银¹ 王菲¹ 张晓玲¹ 唐静¹ 刘辉² 何德清²

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 重庆市沙坪坝区农业委员会, 重庆 400030)



摘要: 采用田间小区试验研究了不同钾肥品种和用量对喜硫作物甘蓝产量、重金属和硝酸盐含量的影响。结果表明, 不同施钾处理能显著提高甘蓝生物产量和商品产量, 各处理以中量硫酸钾与泥炭组合处理(K₂(S)+M)的增幅最大; 两种钾肥均以中量水平(15 公斤/亩)的增产作用最大。各施肥处理均降低了甘蓝可食部分的硝酸盐含量, 以高量硫酸钾的降低作用最大(11.8%)。施用氯化钾大幅度(14.3%–60.0%)降低甘蓝的砷、镉、铬和汞含量, 以对汞和镉的降低幅度最大; 施用硫酸钾对甘蓝的镉、铬和汞含量均有降低作用, 以对镉的降低作用最大。从总体上看, 氯化钾降低甘蓝重金属含量的效果优于硫酸钾。

关键词: 甘蓝; 氯化钾; 硫酸钾; 重金属; 硝酸盐

蔬菜是人们日常生活中必不可少的食物之一, 也是十分重要的经济作物。蔬菜食用安全是当前人们普遍关注的问题, 而重金属污染又是影响蔬菜食用安全的重要因素之一。施肥作为农业生产中重要的增产措施, 在促进植物生长的同时, 也会带入一些重金属, 造成其在土壤中的积累^[1]。迄今国内外对肥料不同形态以及肥料中阴阳离子对土壤重金属影响的研究表明, 钾肥对土壤中重金属的影响主要表现在钾肥伴随阴离子影响重金属形态、吸附解吸过程及其生物有效性方面^[2]。蔬菜的高钾需求特性及土壤钾素供应不足, 使很多种类的蔬菜对施用钾肥具有良好的效果^[3,4], 然而不同钾肥品种、用量对蔬菜产量和品质的影响有差异^[5]。国内也有一些研究表明, 硫酸钾提高产量和品质的效果优于氯化钾^[6,7]。尽管如此, 不同钾肥品种对蔬菜产量与品质影响之间的差异研究资料仍不多, 特别是钾肥对蔬菜重金属影响的研究结果甚少。为了合理施用钾肥, 针对性选择和使用适宜的钾肥品种与用量, 提高钾肥在安全农产品生产中的施用效益, 本试验研究了不同钾肥种类和用量对甘蓝产量、重金属和硝酸盐含量的影响, 旨在为无公害甘蓝生产确定合理的施钾技术提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试土壤为三叠纪石灰岩黄壤, pH 为 6.38, 有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别为 2.50 克/公斤、156 毫克/公斤、20.3 毫克/公斤、138 毫克/公斤。供试蔬菜

品种为甘蓝“西园 818”。供试肥料为尿素(N, 46%)、过磷酸钙(P₂O₅, 12%)、氯化钾(K₂O, 60%)、硫酸钾(K₂O, 50%)和泥炭。

1.2 试验方法

田间小区试验于 2010 年 9 月 1 日~12 月 23 日在重庆市沙坪坝区中梁镇龙泉村蔬菜基地进行。小区面积 6.8×1.1=7.48 平方米, 试验施用 2 种钾肥(KCl 和 K₂SO₄)各 3 个水平共 8 个处理(表 1), 3 次重复, 随机排列。甘蓝于 2010 年 6 月 18 日育苗, 9 月 1 日移栽, 每小区 2 行(行距 55 厘米), 每行 11 株(窝)(株距 62 厘米), 每小区共栽 22 株。氯化钾、硫酸钾、泥炭、磷肥一次性施入, 尿素在移栽后分 3 次按 30%–30%–40%(分别为苗期 9 月 15 日、开盘期 9 月 30 日和结球期 10 月 15 日)施用。12 月 9 日收获后取样测定甘蓝的生物量、商品产量、硝酸盐、重金属含量(砷、铬、镉、铅、汞)。

表 1 试验处理和施肥量 (公斤/亩)

代号	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	M
K0	20	10	0	0
K1 (Cl)	20	10	5	0
K2 (Cl)	20	10	15	0
K3 (Cl)	20	10	30	0
K1 (S)	20	10	5	0
K2 (S)	20	10	15	0
K3 (S)	20	10	30	0
K2 (S)+M	20	10	15	150

*M 代表泥炭。



K2(S)+M 处理的增幅最大。可见，在无机肥的基础上配施优质泥炭，能显著提高甘蓝的生物产量。这可能是因为有机肥的施用不仅均衡了各养分含量，且改善了土壤的物理和生物环境。两种钾肥不同施用水平对甘蓝生物产量的影响规律相似，均以中量水平增产作用最大，增幅分别为 12.0% 和 12.6%，表明甘蓝适宜的两种钾肥施用量均为 15 公斤 / 亩，过多施用增产作用降低。在相同施用量条件下两种钾肥对甘蓝的增产效果以硫酸钾优于氯化钾。

1.3 测定内容及方法

土壤 pH 值、有机质、碱解氮、速效磷和速效钾采用常规方法测定^[8]。甘蓝品质分析中，硝酸盐含量采用紫外分光光度法^[8]，蔬菜全量 Pb、Cd、Cr、Hg、As 按 GB/T5009 的规定执行^[8]。

试验数据采用新复极差法 (SSR 检验法) 进行统计分析^[9]。

2 结果与分析

2.1 钾肥对甘蓝产量的影响

2.1.1 生物产量

表 2 显示，与对照 (K0) 相比，不同施钾处理使甘蓝生物产量提高了 4.32%~14.6%，其增幅顺序为：K2(S)+M > K2(S) > K2(Cl) > K3(S) > K3(Cl) > K1(S) > K1(Cl)，

处 理	甘蓝生物产量		甘蓝商品产量		
	产量 (公斤/亩)	增产率 (%)	产量 (公斤/亩)	增产率 (%)	商品率 (%)
K0	5499c	0	3405d	0	61.9
K1 (Cl)	5737bc	4.32	3610c	6.03	62.9
K2 (Cl)	6159a	12.0	3993a	17.3	64.8
K3 (Cl)	5927b	7.78	3770bc	10.7	63.6
K1 (S)	5788bc	5.24	3637c	6.81	62.8
K2 (S)	6195a	12.6	4038a	18.6	65.2
K3 (S)	6040b	9.83	3913b	14.9	64.8
K2 (S)+M	6305a	14.6	4091a	20.2	64.9

注：同一列中数据后不同字母表示 5% 差异显著，下同

2.1.2 商品产量

表 2 显示，两种钾肥对甘蓝商品产量的影响与生物产量的影响相似，即各处理下的商品产量均有一定程度的增加，但其增产幅度大于生物产量，为 6.03%~20.2%。以 K2(S)+M 处理下的增幅最大，两种钾肥均以中量水平增产作用最大。同时，施用钾肥还明显改善甘蓝的商品率，增加量为 1.0~3.3 个百分点，以硫酸钾的作用优于氯化钾。

2.2 施用钾肥对甘蓝硝酸盐和重金属含量的影响

2.2.1 硝酸盐

表 3 显示，与对照 K0 相比，除低量氯化钾处理以外，各施钾肥处理均降低了甘蓝可食部分的硝酸盐含量，以高量硫酸钾的降低作用最大 (11.8%)，该处理达到了国家无公害叶菜的限量标准 ≤ 3000 毫克 / 公斤。

2.2.2 重金属

表 3 显示，各处理下甘蓝可食部分的重金属除铅含量几乎都超标外，其余重金属含量均大大低于国家的限量标准。两种钾肥中，施用氯化钾大幅度 (14.3%~60.0%) 降低了甘蓝的砷、镉、铬和汞含量，以对汞和镉的降低作用最大；硫酸钾处理下除了砷含量有所增加外，镉、铬和汞含量都有显著的降低 (7.20%~60.0%)；但是随着硫酸钾施用量的增加，甘蓝的砷和铅含量不断增加，在高量钾水平下增量达到 50% 以上。从总体上看，在降低甘蓝重金属含量方面氯化钾的效果优于硫酸钾。

表3 不同处理甘蓝的硝酸盐和重金属含量

处 理	砷 (毫克/公斤) (±%)	比 CK (%)	镉 (毫克/公斤) (±%)	比 CK (%)	铬 (毫克/公斤) (±%)	比 CK (%)	汞 (毫克/公斤) (±%)	比 CK (%)	铅 (毫克/公斤) (±%)	比 CK (%)	硝酸盐 (毫克/公斤) (±%)	比 CK (%)
K0	0.0055	--	0.0061	--	0.14	--	0.0025	--	0.25	--	3.4×10^3	-
K1 (Cl)	0.0045	-18.2	0.0031	-48.5	0.11	-21.5	0.00091	-64.0	0.35	+40.0	3.6×10^3	+5.90
K2 (Cl)	0.0033	-39.9	0.0041	-32.6	0.10	-28.6	0.0015	-40.0	0.31	+24.0	3.1×10^3	-8.80
K3 (Cl)	0.0044	-20.7	0.0033	-46.6	0.12	-14.3	0.0010	-60.0	0.20	-20.0	3.3×10^3	-3.00
K1 (S)	0.0063	+14.0	0.0038	-37.5	0.13	-7.20	0.0023	-8.00	0.28	+12.0	3.4×10^3	0
K2 (S)	0.0075	+36.2	0.0036	-41.6	0.078	-44.3	0.0022	-12.0	0.34	+36.0	3.2×10^3	-5.90
K3 (S)	0.0083	+50.5	0.0040	-34.5	0.098	-30.0	0.0010	-60.0	0.46	+84.0	3.0×10^3	-11.8
K2 (S)+M	0.0045	-18.2	0.0049	-19.5	0.12	-14.3	0.0026	4.00	0.29	+16.0	3.4×10^3	0
GB18406.1-2001	≤ 0.5		≤ 0.05		≤ 0.5		≤ 0.01		≤ 0.2		≤ 3000	

3 结论与讨论

3.1 钾肥对甘蓝的增产作用

钾肥可显著提高甘蓝的生物产量和商品产量，产量效应大小与钾肥种类、用量以及土壤钾素含量关系密切。硫酸钾的增产效果优于氯化钾，这是因为甘蓝属于喜硫作物，甘蓝球中的S含量显著高于很多其他作物^[10]。同时，在无机肥基础上配施优质有机肥泥炭，能显著提高甘蓝产量。

3.2 钾肥对甘蓝硝酸盐含量的影响

在旱地生长的蔬菜吸收的氮素以硝态氮为主，蔬菜硝酸盐含量和作物产量品质之间的关系密切^[11]。施钾降低了甘蓝硝酸盐含量，这可能与施钾提高甘蓝产量有关。研究

表明，硝酸盐含量的差异主要是由于植株生物量及生长速率的差异造成的，这是增施钾肥能普遍降低蔬菜硝酸盐含量的一个重要原因^[12]。

3.3 钾肥对甘蓝重金属含量的影响

各钾肥处理下甘蓝可食部分的重金属除铅含量几乎都超标外，其余重金属含量均大大低于国家的限量标准。施用氯化钾对汞和镉的降低作用最大；施用硫酸钾对镉、铬和汞含量都有显著的降低。从总体上看，在降低甘蓝重金属含量方面的作用氯化钾的效果优于硫酸钾。这可能是由于作物本身营养特性、土壤中重金属含量、肥料伴随离子综合作用的结果。

参考文献

- 王正银. 蔬菜营养与品质 [M]. 北京: 科学出版社, 2009, 235.
- 刘平. 钾肥伴随阴离子对土壤铅和镉有效性的影响及其机制. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2006.
- 李家康, 陈培森, 沈桂琴, 等. 几种蔬菜的养分需求与钾素增产效果 [J]. 土壤肥料, 1997, (3): 3-6.
- 刘双全. 钾对蔬菜产量和品质影响的研究 [J]. 黑龙江农业科学, 2000, (4): 25-26.
- 倪吾钟, 何念祖, 林荣新. 不同钾肥对大白菜氮营养状况的影响 [J]. 土壤学报, 1997, 34(5): 254-257.
- 范钦楨. 硫酸钾和氯化钾对蔬菜产量与品质的效应 [M]. 谢建昌, 陈际型等主编, 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997, 233-236.
- 张箬茗, 江丽华, 闫华. 济南市售蔬菜的硝酸盐含量与施肥 [M]. 谢建昌, 陈际型等主编, 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997, 207-210.
- 杨剑虹. 土壤农化分析与环境监测 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008, 26-75.
- 白厚义, 肖俊璋. 试验研究及统计分析 [M]. 西安: 世界图书出版社, 1998, 120-128.
- Duke SH, Reisenauer HM. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition [J]. In Tabatabai MA (ed.) Sulfur in Agriculture. Agronomy, 1986, 27: 123-168.
- 叶勤. 几种叶类蔬菜硝酸盐与营养品质的关系 [J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(2): 112-114.
- Terman G L, Allen S E. Crop yield-nitrate-N, total N and total K relationship: leafy vegetables [J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1978, 9: 813-825.

九江油茶林土壤养分限制因子的研究

龚丽娜 胡冬南 张慧 邹丽华 杨浪 施晓云 郭晓敏*

(江西农业大学林学院, 江西南昌 330045)



摘要: 应用土壤养分状况的温网室调查方法, 研究江西省九江市庐山区海会镇和永修县军山镇两地的油茶林土壤养分状况, 结果表明: 两地的土壤对 P、S 和 K 都具有较强的吸附固定能力; 而对 Mn 和 Cu 的吸附固定能力较弱; 军山土对 Zn 的吸附固定明显高于海会土; 对 B 的吸附只在军山土中出现。盆栽试验中养分亏缺顺序海会油茶林土壤为: $Ca > P > N > Mo > K > Mg > Cu > Zn$; 军山油茶林土壤为: $Ca > P > N > K > Mg$; 值得注意的是, Ca、P、N、K、Mg 均为两地的限制因子; Mo 作为海会土壤中的限制因子, 其缺乏程度也占居重要位置。实验室测定结果与盆栽试验结果有较好的一致性。

关键词: 土壤养分; 温网室研究; 限制因子

土壤养分状况与作物的生长发育密切相关。根据土壤本身养分含量的丰缺程度与土壤对养分的吸附固定能力, 来统筹考虑土壤中各种营养元素的均衡供应, 从而推荐施肥, 是高效施肥的重要途径之一。本文应用土壤养分状况的温网室调查方法^[1], 对江西省九江市海会和军山两地的油茶林土壤养分状况及其限制因子进行系统研究, 旨在探明两地油茶林土壤养分状况、限制因子及其亏缺程度, 为制定最佳施肥方案提供理论依据并指导油茶平衡施肥。

1 材料与方

1.1 土壤样品的采集与常规分析

供试土壤分别为采自海会和军山油茶基地的油茶林地土壤。通过多点随机取样法(15~20个点)各采集耕层土样混合约70公斤, 室内风干后过2毫米筛, 两地土样都通过多点取样法得1公斤干样本, 此样本送至北京中一加合作实验室按ASI法进行常规分析^[2-8], 分析项目包括pH、有机质(OM)、活性酸、 NH_4-N 、活性Ca和Mg、

速效P、K、Fe、Cu、Mn、Zn、S和B, 其余样品做吸附试验及盆栽用。

1.2 吸附试验

根据ASI确定的各营养元素亏缺临界值, 凡测定值低于3倍临界值的元素均进行土壤吸附试验。两地土样均进行了P、K、S、B、Fe、Cu、Mn、Zn等的吸附研究, 并作出吸附曲线。

1.3 盆栽试验

1.3.1 试验处理的确定

结合土壤常规分析和吸附试验结果, 可确定最佳处理, 其基本原则是保证各营养元素的均衡供应。若土壤中某化学元素含量高于3倍临界值, 在OPT中不再施加; 当低于3倍临界值时, 结合其吸附曲线使在OPT中的量达到其3倍临界值。从OPT配方中除去或加入某一元素, 构成元素的丰缺处理(见表1)。

表1 盆栽试验处理

土壤来源	处 理													
海会	OPT	-N	-P	-K	+S	+B	-Cu	+Fe	+Mn	-Mo	-Zn	-Ca	-Mg	CK
军山	OPT	-N	-P	-K	+S	-B	-Cu	+Fe	+Mn	-Mo	-Zn	-Ca	-Mg	CK

基金项目: 国家十一五科技支撑项目(2009BADB1B0202); 江西省自然科学基金项目(2007GZN0242); 国际植物营养研究所(IPNI)项目(Jiangxi-29)。

作者简介: 龚丽娜(1988-), 女, 贵州六盘水人, 硕士研究生, E-mail: hongdouhuahua@163.com。

* 通讯作者: 郭晓敏, 教授, 博士生导师, 从事经济林栽培与研究。E-mail: gxmjxau@163.com。

1.3.2 盆栽试验的设计与管理

先将各待加入的养分元素配成溶液，一次性加入1200毫升风干土中，室内放置阴干后充分拌匀；用500毫升底部穿孔的塑料杯装土，每杯装400毫升，每一处理设3次重复。通过过滤嘴的毛细作用供应水分。-N和CK处理用去离子水，其他处理用0.3克/升NH₄NO₃溶液作灌溉液。

以高粱作指示作物，种子经过24小时催芽，然后播入1厘米土壤深处，每杯播15粒，出苗后2天间苗，定苗8株。当植株停止最快生长时收获地上部分烘干称重。

2 结果与分析

2.1 供试土壤的基本养分状况

根据ASI确定的各营养元素与亏缺临界值和要求，凡化学测定值低于该临界值的3倍均可作为缺素对象加以研究。分析结果表明，两地土壤的S、Fe和Mn含量都非常丰富，军山土的B含量也相对充足；其他养分含量均明显低于3倍的养分亏缺临界值。

2.2 吸附试验的结果与分析

土壤来源	pH值	OM(%)	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Ca/Mg	Mg/K
海会	4.39	1.14	41.7	9.3	125	235.7	57.5	70.2	61.7	1.5	101.5	2.1	0.37	4.1	0.5
军山	4.47	0.49	38.0	6.3	50.4	578.2	87.5	107.6	113.4	1.5	35.4	1.7	1.97	6.6	1.7
临界亏缺值			--	12.0	78.2	400.8	121.5	12.0	12.0	1.0	5.0	2.0	0.2	--	--

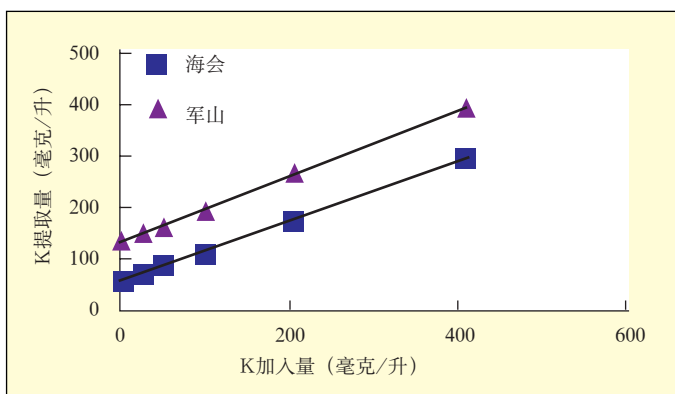


图1 钾的吸附曲线

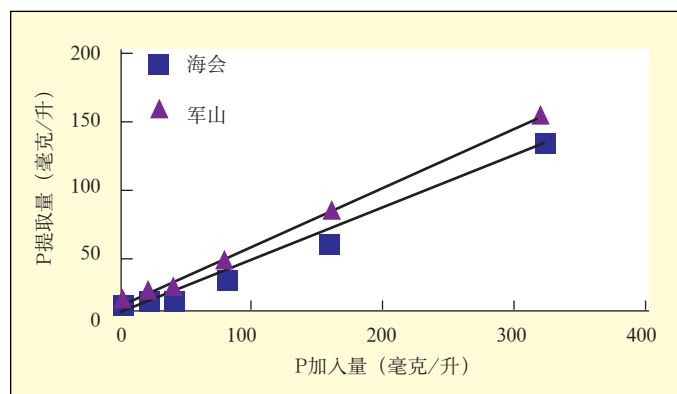


图2 磷的吸附曲线

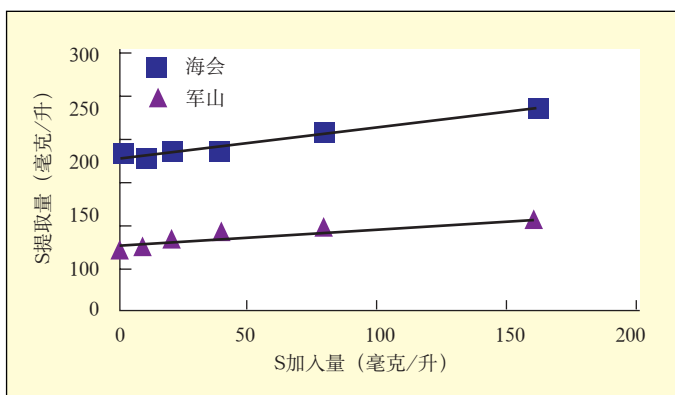


图3 硫的吸附曲线

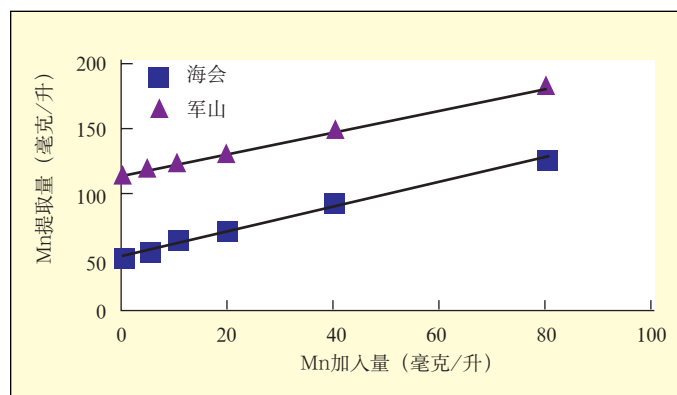


图4 锰的吸附曲线

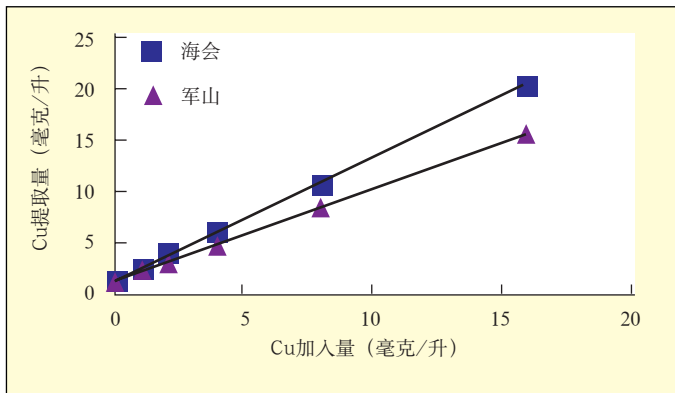


图 5 铜的吸附曲线

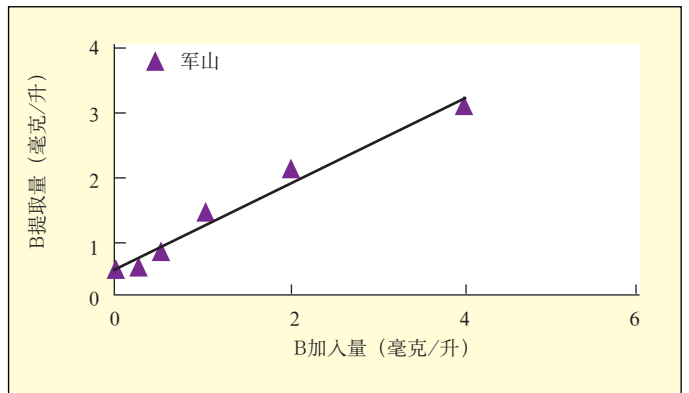


图 6 硼的吸附曲线

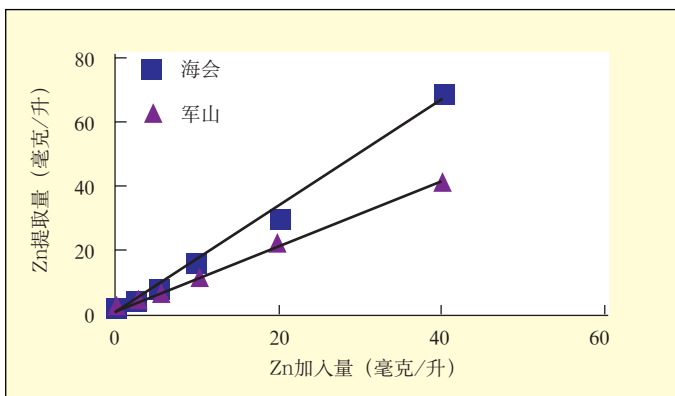


图 7 锌的吸附曲线

土壤对养分的吸附固定能力，直接影响着土壤养分肥效的发挥。根据吸附曲线图（图 1—图 7）可知，供试土壤几种元素的吸附试验表明，两地的土壤对 P、S 和 K 都具有较强的吸附固定能力；而对 Mn 和 Cu 的吸附固定能力较弱；军山土对 Zn 的吸附固定明显高于海会土；对 B 的吸附只在军山土中出现。

结合吸附特征曲线和化学分析值可知，N、K、P、Ca、Mg 可能是军山油茶林土壤的限制因子；N、K、P、Ca、Mg、Zn 是海会油茶林土壤的限制因子。

2.3 盆栽实验结果与分析

由于土壤—作物之间关系的复杂性，土壤的常规分析和吸附试验只用于定性判别养分限制因子存在的可能性，而其亏缺程度及顺序则需要盆栽试验验证。分别对两地土样的盆栽结果进行了方差分析，各土壤的处理间差异显著，多重比较表明，海会土壤（表 3）严重缺 Ca、P、N，相对产量依次为 42.9%、45.4%、49.7%，其缺乏程度为 Ca >



P > N；明显缺 Mo、K、Mg、Cu、Zn，相对产量依次为 67.8%、71.5%、81.5%、85.9%、86.9%；土壤增施 Mn、S、Fe 反而对高粱生产有不良影响。军山土壤（表 4）严重缺 Ca，其相对产量为 55.1%，为第一限制因子；明显缺 P、N、K、Mg，相对产量依次为 64.3%、64.9%、88.1%、89.9%；土壤不缺 B、Mo、S、Fe、Zn；此外，盆栽不施 Cu 可增产，增施 Mn 反而减产。值得注意的是，Ca、P、N、

表 3 海会土样盆栽实验结果

处 理	平 均 干重(克)	差异显著性		相对产量 (%)	养分状况评价
		0.05	0.01		
OPT	10.96	a	A	100.0	
-Ca	4.66	f	D	42.9	土壤缺 Ca
-Mg	8.95	bcd	BC	81.5	土壤缺 Mg
-N	5.40	f	D	49.7	土壤缺 N
-P	4.95	f	D	45.4	土壤缺 P
-K	7.79	cde	BC	71.5	土壤缺 K
+B	8.96	bcd	BC	82.7	B 过剩，土壤应不加 B
-Cu	9.35	b	AB	85.9	土壤缺 Cu
+Fe	9.11	bc	ABC	83.3	Fe 过剩，土壤应不加 Fe
+Mn	7.64	de	BC	69.4	Mn 过剩，土壤应不加 Mn
-Mo	7.44	e	C	67.8	土壤缺 Mo
+S	8.60	bcde	BC	79.3	S 过剩，土壤应不加 S
-Zn	9.48	b	AB	86.9	土壤缺 Zn
CK	4.32	f	D	39.9	不施任何元素，明显减产

表 4 军山土样盆栽试验结果

处理	平均干重(克)	差异显著性		相对产量 (%)	养分状况评价
		0.05	0.01		
OPT	8.80	bc	BCD	100.0	
-Ca	4.85	g	EF	55.1	土壤缺 Ca
-Mg	7.90	de	D	89.9	土壤缺 Mg
-N	5.70	f	E	64.9	土壤缺 N
-P	5.66	f	E	64.3	土壤缺 P
-K	7.75	e	D	88.1	土壤缺 K
-B	8.35	cde	BCD	95.0	土壤不缺 B
-Cu	10.97	a	A	124.9	盆栽不施 Cu 可增产
+Fe	8.56	bcd	BCD	97.3	土壤不缺 Fe
+Mn	7.74	e	D	88.0	Mn 过剩, 盆栽可不施 Mn
-Mo	8.21	cde	CD	93.3	土壤不缺 Mo
+S	9.26	b	BC	136.2	土壤不缺 S
-Zn	9.32	b	B	106.0	土壤不缺 Zn
CK	4.37	g	F	49.8	不施任何元素, 明显减产

栽试验结果与实验室分析和吸附试验结果基本上是一致的。

3 结论与讨论

针对两地的盆栽试验结果, 可得出: 海会油茶林土壤主要养分限制因子及亏缺顺序为: $Ca > P > N > Mo > K > Mg > Cu > Zn$; 军山油茶林土壤主要养分限制因子及亏缺顺序为: $Ca > P > N > K > Mg$ 。两地土壤都极显著缺 Ca、P、N, 应合理对其的施用, 其它营养元素应针对其亏缺状况及土壤吸附特性进行配合施用; 值得注意的是, 海会和军山同属九江市内, 虽然两地都普遍缺乏大、中量元素 Ca、P、N、K、Mg, 但是它们之间

也存在差异, 海会油茶林土壤的养分限制因子表现更为缺乏, 微量元素 Mo、Cu 和 Zn 也为其限制因子; Mo 作为海会土壤中的限制因子, 其缺乏程度也占居重要位置。我们对这两地的施肥时应充分考虑各自的养分配比状况, 从而在生产中达到高产优质, 减少对肥料的浪费和环境的污染。

应用土壤养分状况的温网室调查方法能有效快速地对诸多土壤养分限制因子作全面系统的评价, 同时可确定所筛选限制因子的缺乏程度, 提高了试验的准确性, 减少盲目性。但是, 由于存在指示作物对各营养元素的需求程度的差异, 种植制度及气候条件的不同, 可能导致分析结果和实际会有一定的差异。因此, 盆栽试验仍然需要与田间试验配合作更进一步的研究。



K、Mg 均为两地的限制因子; Mo 作为海会土中的限制因子, 其缺乏程度也占居重要位置。不难看出, 两地土样盆

参考文献

- [1] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.
- [2] 庞宁菊, 洪世奇, 等. 土壤养分限制因子的温网室系统研究 [J]. 西北农业学报, 1994(3):4:58-63.
- [3] 胡冬南, 郭小敏, 刘细燕, 等. 笋用林土壤养分限制因子的研究 [J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(1):105-108.
- [4] 杨苞梅, 林电, 吴多能, 等. 海南省蕉园燥红土养分状况及其限制因子的研究 [J]. 西北农林科技大学学报, 2007. 35(10):168-172.
- [5] 赵良菊, 肖洪浪, 刘晓宏, 等. 甘肃省河西地区灌漠土养分限制因子研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(2):50-53.
- [6] 刘平, 涂仕华, 等. 土壤养分系统研究法的改进及应用 [J]. 西南农业学报, 2001, 14(1):65-69.
- [7] 尹力初, 罗兰芳, 等. 桑植县旱地与水田土壤养分限制因子的差异分析 [J]. 湖南农业大学学报, 2010, 36(5):594-597.
- [8] 杨熙, 林电, 等. 海南省主要橡胶园土壤养分限制因子 [J]. 热带作物学报, 2009, 30(12):1747-1751.

长期施肥对双季稻田钾素吸收和水溶性钾动态变化的影响

鲁艳红 廖育林 谢坚 杨曾平 聂军*

(湖南省土壤肥料研究所 / 农业部湖南耕地保育科学观测实验站, 长沙 410125)



摘要: 以红壤双季稻区长期定位施肥试验(1981~2012年)为基础,研究了长期施用化肥和稻草对双季水稻集约化种植下3年期间(2010~2012)水稻产量、作物吸钾量、田面水和不同土层渗漏水中钾动态变化及钾素平衡的影响。结果表明,施钾肥能增加水稻稻谷和稻草的产量;水稻从土壤中的吸钾量随钾肥施用量的增加而显著增加,年平均吸钾量 $NPK+RS>NPK>NP+RS>CK>NP$;各处理田面水的钾浓度差异主要表现在施肥后的前40天,早、晚稻中田面水的钾浓度随施肥时间的延长逐渐下降,施肥后第40天,各处理田面水的钾浓度高低差异不大;三个施钾处理不同深度土层的渗漏水钾浓度均随施肥时间的延长而逐渐下降,而不施钾肥的NP和CK两处理随施肥时间的延长变化幅度较小;在水稻施肥后的70天期间,三个施钾处理随着土层深度的增加,渗漏水钾浓度呈下降的变化趋势;早、晚稻三个土层各处理不同时间渗漏水平均钾浓度的高低顺序均为 $NPK+RS>NPK>NP+RS>CK>NP$;除 $NPK+RS$ 处理处于钾盈余外,其它4个处理均处于钾素亏缺状态。试验结果说明,在施氮磷肥的基础上,配施钾肥和稻草还田不仅能提高水稻高产、稳产的能力,而且对促进钾素养分循环、保持农田钾素平衡、提高土壤钾素肥力有重要的作用。

关键词: 长期施肥;红壤水稻土;产量;钾素运移;钾素平衡

钾是植物生长所必需的大量营养元素,在农业生产中具有不可替代的重要作用。众所周知,土壤水溶性 K^+ 是土壤钾库中最活跃的组分, K^+ 在固液相间的转化速率及数量取决于 K^+ 与土壤固相表面的作用方式,并决定着肥料 K^+ 进入土壤后的去向和土壤固 K^+ 能力。

钾在土壤-植物体系中不形成有机态,几乎不进入大气。钾随水的迁移流动比磷强,比氮弱,循环途径也比氮少^[1]。氮和磷进入水系循环,有两个消极的问题,不仅养分大量流失,而且造成水体的污染;相反,钾不会造成水体的富营养化,一旦钾从土壤溶液转入水系循环时,大部分将流失。土壤溶液的 K^+ 或被淋洗,或被植物和土壤吸收,有许多因子影响着土壤中 K^+ 的移动,其中包括土壤阳离子交换量、土壤 pH、施钾的方法和施钾量及植物对 K^+ 的吸收。施入的钾肥或原有的土壤溶液钾移动和淋失的数量与土壤质地,降雨强度、持续时间和频率,钾肥用量和施用方法,地面覆盖情况,土壤 pH,钾肥品种和其它一起施用的肥料品种等因素有关^[2]。

有时在作物对钾肥反应与土壤测试值之间的相关性不好,可归因于作物从底土吸收了钾。在河南封丘土壤上进

行的定位试验表明,土壤虽含钾不高,但不施钾处理经过3年种植后,钾肥效果仍不明显,看来与耕层以下土壤的供钾有关^[3]。

在农业生态系统中,钾的平衡是指钾的投入与支出之间的差别状况。大量试验结果表明,在目前施肥情况下,农田三要素的平衡中,钾素一般处于亏缺状态,有的还严重亏缺。由于钾素收支不平衡,土壤钾的消耗加剧,因此缺钾矛盾日益暴露^[4]。

本文就红壤双季稻种植制度下,施用钾肥和稻草还田对水稻产量、作物吸钾量、田面水和不同土层渗漏水中钾动态变化及钾素平衡的影响进行了初步探讨,对了解钾素养分在土壤固相表面的作用机理及评价土壤保持、供应钾素能力有重要的理论与实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

长期肥料试验点位于湖南省望城县黄金乡(北纬 $28^{\circ}37'$, 东经 $112^{\circ}80'$, 海拔高度为 100 米)。试验于 1981

项目来源:本研究由国际植物营养研究所(IPNI)项目资助。

作者简介:鲁艳红(1974-),女,湖北武穴人,副研究员,博士,主要从事植物营养与作物施肥研究。

*通讯作者:聂军(1972-),男,湖南沅江人,研究员,博士,主要从事土壤与植物营养研究。

年开始, 1981~2012 年的年均降雨量为 1393 毫米, 年平均气温 18℃, 年平均无霜期大约为 300 天。供试土壤为第四纪红土发育的水稻土(粉质轻粘土, 土壤分类为普通筒育水耕人为土)。试验开始前 0~15 厘米土壤基本性状为: pH 值 6.6, 土壤有机质 34.7 克/公斤, 全 N 2.05 克/公斤, 碱解 N 151.0 毫克/公斤, 全 P 0.66 克/公斤, 有效 P 10.2 毫克/公斤, 全 K 14.2 克/公斤, 交换性 K 62.3 毫克/公斤。

1.2 试验方法

该长期肥料试验共设 9 个处理, 在本研究中选择了 5 个处理: (1)CK(不施任何肥料); (2)NP(施氮、磷化肥); (3)NPK(施氮、磷、钾化肥); (4)NP+RS(施氮、磷化肥+稻草); (5)NPK+RS(施氮、磷、钾化肥+稻草)。氮、磷和钾化肥品种分别是尿素、过磷酸钙和氯化钾。在 1981~2012 年期间, 氮肥按早稻 10 公斤 N/亩和晚稻 12 公斤 N/亩施入; 磷肥按早、晚稻每季 2.58 公斤 P/亩施入; 钾肥按早、晚稻每季 6.64 公斤 K/亩施入; 稻草还田量按早、晚稻每季干稻草 140 公斤/亩施入。全部的磷肥、钾肥和稻草在插秧前 1 天施入, 氮肥分两次施入: 50% 在插秧前 1 天施入, 50% 在分蘖始期施入。

于 2010 年试验前耕作准备期的干土状态下, 利用螺旋钻钻孔(孔径 3.5 厘米, 孔深分别为 30 厘米、60 厘米和 90 厘米), 再将自行研制的 PVC 取水管分别垂直埋入并压实复原土壤, 用以提取不同深度土层(20~30 厘米、50~60 厘米和 80~90 厘米)的渗漏水。2010~2012 年连续 3 年于早、晚稻基肥施入后的第 1 天、第 3 天、第 7 天、第 14 天、第 29 天、第 40 天和第 70 天采集渗漏水水样, 同时采集田面水水样。

1.3 样品测试与数据分析

每小区单打单收称计实产, 多点混合采集植株样品;



水样和植株样品中钾素含量采用火焰光度计法测定^[5]。

K 素表观输入-输出平衡计算公式: $K_{ap} = K_{inp} - (K_{up} - K_{rec})$, 式中: K_{ap} 是表观钾素平衡(公斤/亩·年), K_{inp} 是通过化肥、稻草、秧苗、雨水和灌溉水输入的钾素量(公斤/亩·年), K_{up} 是稻草和稻谷吸收的钾素量(公斤/亩·年), K_{rec} 是通过稻桩和根茬残留循环的钾素量(公斤/亩·年)。

稻草、秧苗、雨水和灌溉水输入的钾素量为 2010~2012 年试验期间 3 年测定的平均值。渗漏水和田面水中的钾素浓度也为试验期间 3 年测定的平均值。

数据处理及分析采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 7.5 等数据处理系统。

2 结果与分析

2.1 长期施用化肥和稻草对水稻产量和吸钾量的影响

研究期间早晚稻稻谷和稻草的平均产量及钾素吸收量见表 1。施钾肥能增加水稻稻谷和稻草的产量, 早、晚稻稻谷的产量高低顺序均为 $NPK+RS > NPK > NP+RS > NP > CK$ 。施化肥钾的 NPK 和 NPK+RS 处理比相应

表 1 长期施钾对水稻产量和水稻 K 吸收量的影响

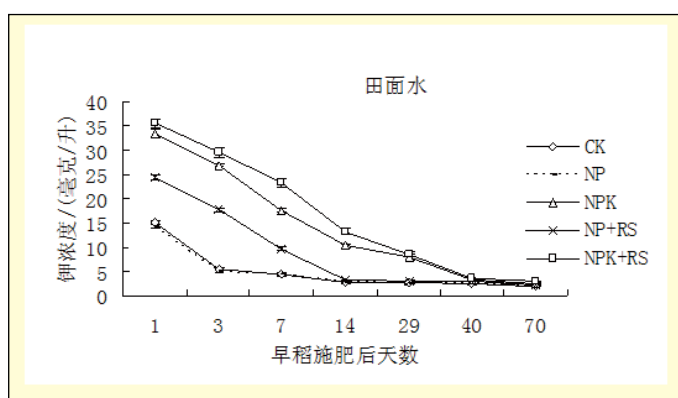
(公斤/亩)

处 理	早 稻				晚 稻			
	稻谷产量	稻草产量	稻谷吸钾量	稻草吸钾量	稻谷产量	稻草产量	稻谷吸钾量	稻草吸钾量
CK	200eE	194cC	0.42cC	2.98dD	247eE	217cC	0.51dD	3.23dD
NP	327dD	243bBC	1.01bB	2.21eE	339dD	256bcC	0.87cC	2.28eE
NPK	405bB	316aA	1.15aA	7.56bB	405bB	350aAB	1.12aAB	7.98bB
NP+RS	367cC	269abAB	1.07bAB	4.81cC	389cC	294bBC	1.02bB	5.23cC
NPK+RS	439aA	305aAB	1.16aA	8.56aA	471aA	379aA	1.19aA	9.00aA

注: 同列数据后不同小写和大写字母分别表示差异达 5% 和 1% 显著性水平。

的 NP 和 NP+RS 处理早稻稻谷产量分别增加 23.88% 和 19.60%，稻草产量分别增加 29.86% 和 13.12%；晚稻稻谷分别增加 19.45% 和 20.89%，稻草产量分别增加 36.72% 和 28.80%。水稻从土壤中吸收钾的量随钾肥施用量的增加而显著增加。不施钾肥的 NP 处理钾素吸收量最低 (6.36 公斤/亩·年)，其次是不施肥的对照处理 (7.14 公斤/亩·年)。NPK+RS 和 NP+RS 处理中籽粒和稻草的平均钾素吸收量比相对应的 NPK 和 NP 处理的高，施稻草能够满足水稻钾素的需要，同时提高水稻的产量。另外，稻草为水稻也提供了 N、P 养分和有机质等养分。

2.2 长期施用化肥和稻草对田面水钾浓度的影响



46.3%、15.3% 和 10.8%；施肥后第 70 天早稻分别增加 48.5%、32.1% 和 12.8%，晚稻分别增加 19.9%、12.4% 和 6.5%。钾素输入量的不同是造成各处理间田面水钾浓度差异的主要原因。

2.3 长期施用化肥和稻草对不同深度渗漏水钾浓度的影响

从图 2 可以看出，三个施钾处理不同深度土层的渗漏水钾浓度均随施肥时间的延长而逐渐下降，而不施钾肥的 NP 和 CK 两处理随施肥时间的延长变化幅度较小。在水稻施肥后的 70 天期间，20-30 厘米土层的渗漏水钾浓度 NPK+RS 处理早稻在 5.26~17.63 毫克/升之间变化，

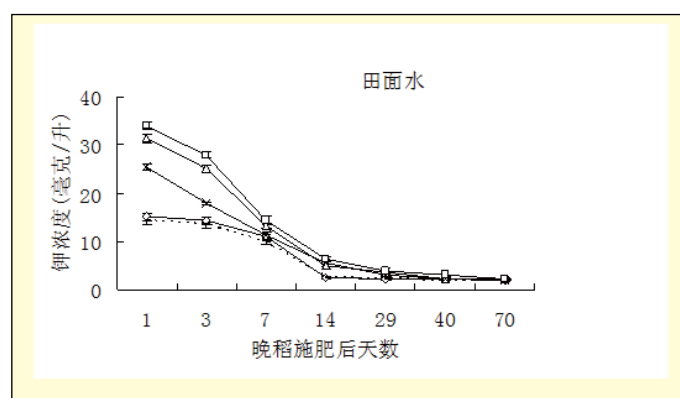


图 1 施肥处理水稻生长期间田面水溶液钾浓度

从图 1 中可以看出，各处理田面水的钾浓度差异主要表现在施肥后的前 40 天，早、晚稻中田面水的钾浓度随施肥时间的延长而逐渐下降，施肥后第 40 天，各处理田面水的钾浓度高低差异不大，早稻在 2.34~3.43 毫克/升之间，晚稻 2.03~2.97 毫克/升之间。早、晚稻各处理不同时间田面水钾浓度的高低顺序为 NPK+RS>NPK>NP+RS>CK>NP。与不施钾肥的 NP 处理中田面水钾浓度相比，施肥后第 1 天早稻 NPK+RS、NPK 和 NP+RS 处理分别增加 148.7%、133.6% 和 70.0%，晚稻分别增加 137.7%、119.9% 和 77.9%；施肥后第 3 天早稻分别增加 493.2%、441.0% 和 255.7%，晚稻分别增加 108.6%、86.1% 和 34.0%；施肥后第 7 天早稻分别增加 445.8%、314.1% 和 127.0%，晚稻分别增加 45.3%、34.5% 和 14.3%；施肥后第 14 天早稻分别增加 391.8%、280.7% 和 21.5%，晚稻分别增加 154.7%、105.7% 和 129.8%；施肥后第 29 天早稻分别增加 244.9%、220.8% 和 27.3%，晚稻分别增加 82.6%、67.0% 和 43.1%；施肥后第 40 天早稻分别增加 46.6%、38.5% 和 26.5%，晚稻分别增加

晚稻在 4.81~15.89 毫克/升之间变化；NPK 处理早稻在 3.25~9.65 毫克/升之间变化，晚稻在 3.93~15.04 毫克/升之间变化；NP+RS 处理早稻在 2.65~7.45 毫克/升之间变化，晚稻在 2.45~8.64 毫克/升之间变化；NP 处理早稻在 0.02~0.32 毫克/升之间变化，晚稻在 0.36~0.93 毫克/升之间变化；CK 处理早稻在 0.02~0.35 毫克/升之间变化，晚稻在 0.41~0.85 毫克/升之间变化。在水稻施肥后的 70 天期间，50~60 cm 土层的渗漏水钾浓度 NPK+RS 处理早稻在 4.29~12.33 毫克/升之间变化，晚稻在 4.31~12.12 毫克/升之间变化；NPK 处理早稻在 2.93~7.15 毫克/升之间变化，晚稻在 2.37~8.68 毫克/升之间变化；NP+RS 处理早稻在 1.63~4.72 毫克/升之间变化，晚稻在 2.08~7.85 毫克/升之间变化；NP 处理早稻在 0.20~1.19 毫克/升之间变化，晚稻在 0.47~1.63 毫克/升之间变化；CK 处理早稻在 0.18~1.40 毫克/升之间变化，晚稻在 0.52~1.60 毫克/升之间变化。在水稻施肥后的 70 天期间，80~90 cm 土层的渗漏水钾浓度 NPK+RS 处理早稻在 3.44~7.75 毫克/升之间变化，晚稻在 3.30~6.91 毫克/升之间变

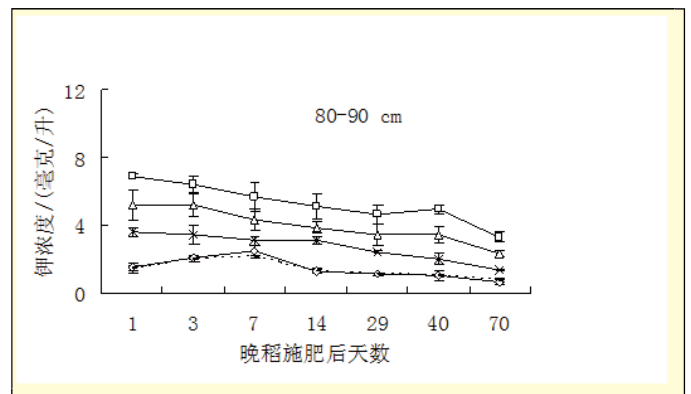
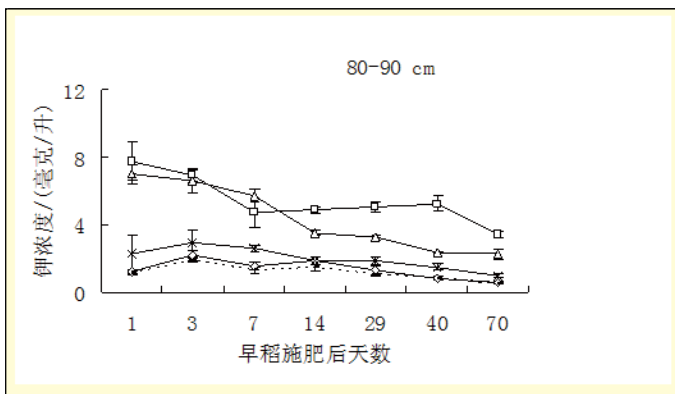
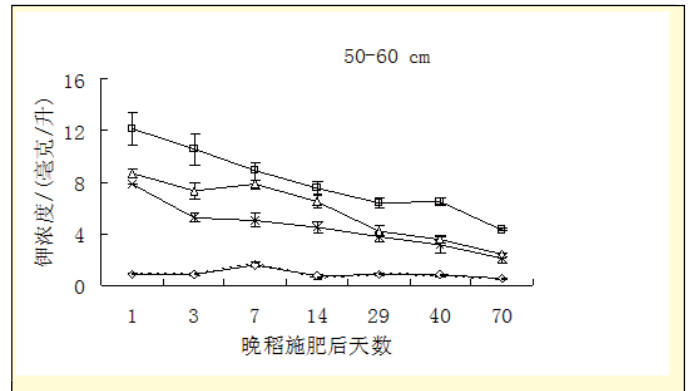
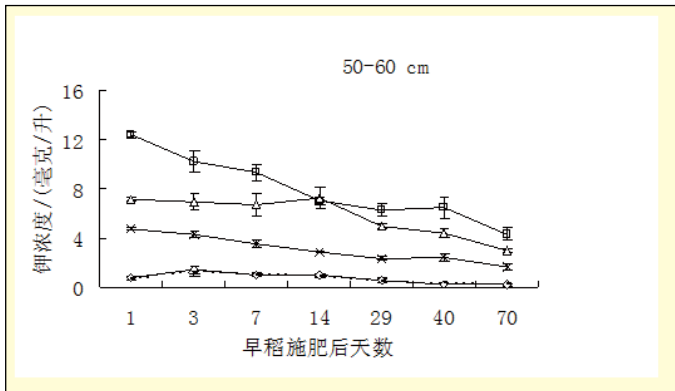
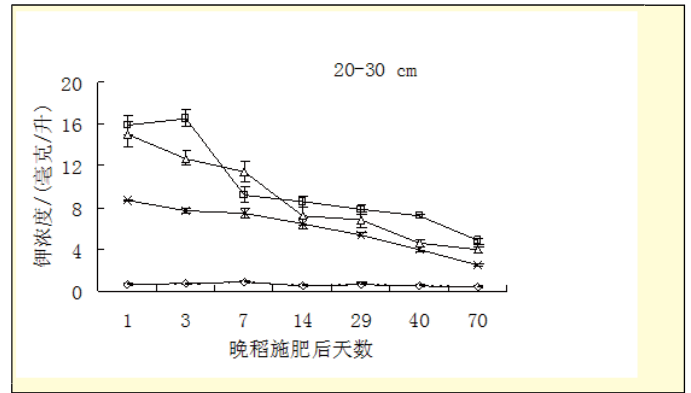
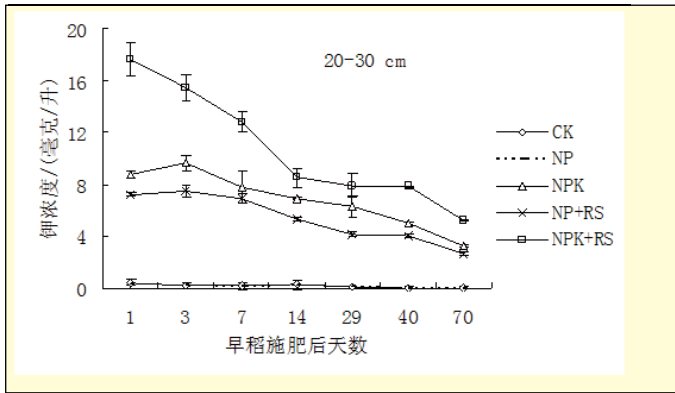


图2 施肥处理水稻生长期间不同土层水溶液钾浓度



化；NPK 处理早稻在 2.27~7.04 毫克 / 升之间变化，晚稻在 2.30~5.18 毫克 / 升之间变化；NP+RS 处理早稻在 1.00~2.90 毫克 / 升之间变化，晚稻在 1.34~3.62 毫克 / 升之间变化；NP 处理早稻在 0.52~1.90 毫克 / 升之间变化，晚稻在 0.70~2.16 毫克 / 升之间变化；CK 处理早稻在 0.57~2.17 毫克 / 升之间变化，晚稻在 0.68~2.51 毫克 / 升之间变化。水稻生育期间，三个施钾处理随着土层深度的增加，渗漏水钾浓度呈下降的变化趋势。早、晚稻三个土层各处理不同时间渗漏水平均钾浓度的高低顺序均为：NPK+RS>NPK>NP+RS>CK>NP。

2.4 长期施用化肥和稻草对钾素平衡的影响

3年平均每年通过化肥、稻草、秧苗、灌溉水和雨水输入K量分别为13.3、7.3、0.2、1.0和0.4公斤/亩·年(表2)。水稻年均吸钾量大小顺序为NPK+RS>NPK>NP+RS>CK>NP。通过稻桩和根茬残留循环的钾素量大小顺序与水稻年吸钾量一致。在NPK+RS处理中通过施化肥钾和稻草增加的钾素超过了水稻植株移出的钾素,处于正钾素平衡4.0公斤/亩·年,其它处理均处于负钾素平衡,CK处理的负钾素平衡最低(4.9公斤/亩·年),依次为NP、NP+RS和NPK处理。水稻植株吸收的钾主要保留在稻草中(表1),稻草的循环使用能改变钾素的平衡。

晚稻中田面水的钾浓度随施肥时间的延长而逐渐下降,施肥后第40天,各处理的钾浓度高低差异不大,早稻在2.34~3.43毫克/升之间,晚稻2.03~2.97毫克/升之间。地表径流发生的钾素流失风险主要出现在施肥后的40天内。各处理中田面水钾浓度差异会导致相同径流量而损失的钾量存在差异,钾素输入量的不同是造成各处理间田面水钾浓度差异的主要原因。

从降水和灌溉所带入的钾量与淋洗和径流损失平衡的状况,有人认为,两者是基本平衡的,可是当淋洗损失很大时,则是亏缺的^[8]。本试验中三个施钾处理不同深度土层的渗漏水钾浓度均随施肥时间的延长而逐渐下降,而不施钾肥的NP和CK两处理随施肥时间的延长变化幅度较

表2 长期施用化肥和稻草不同处理的年表观K平衡 (公斤/亩)

处理	年输入钾量					年吸钾量		
	化肥	稻草	秧苗	灌溉水	雨水	吸收	循环*	表观K平衡
CK	0	0	0.2	1.0	0.4	7.1	0.6	-4.9
NP	0	0	0.2	1.0	0.4	6.7	0.5	-4.6
NPK	13.3	0	0.2	1.0	0.4	17.8	1.6	-1.4
NP+RS	0	7.3	0.2	1.0	0.4	12.1	0.9	-2.3
NPK+RS	13.3	7.3	0.2	1.0	0.4	19.9	1.8	4.0

*通过稻桩和根茬残留循环的钾素养分

3 结论与讨论

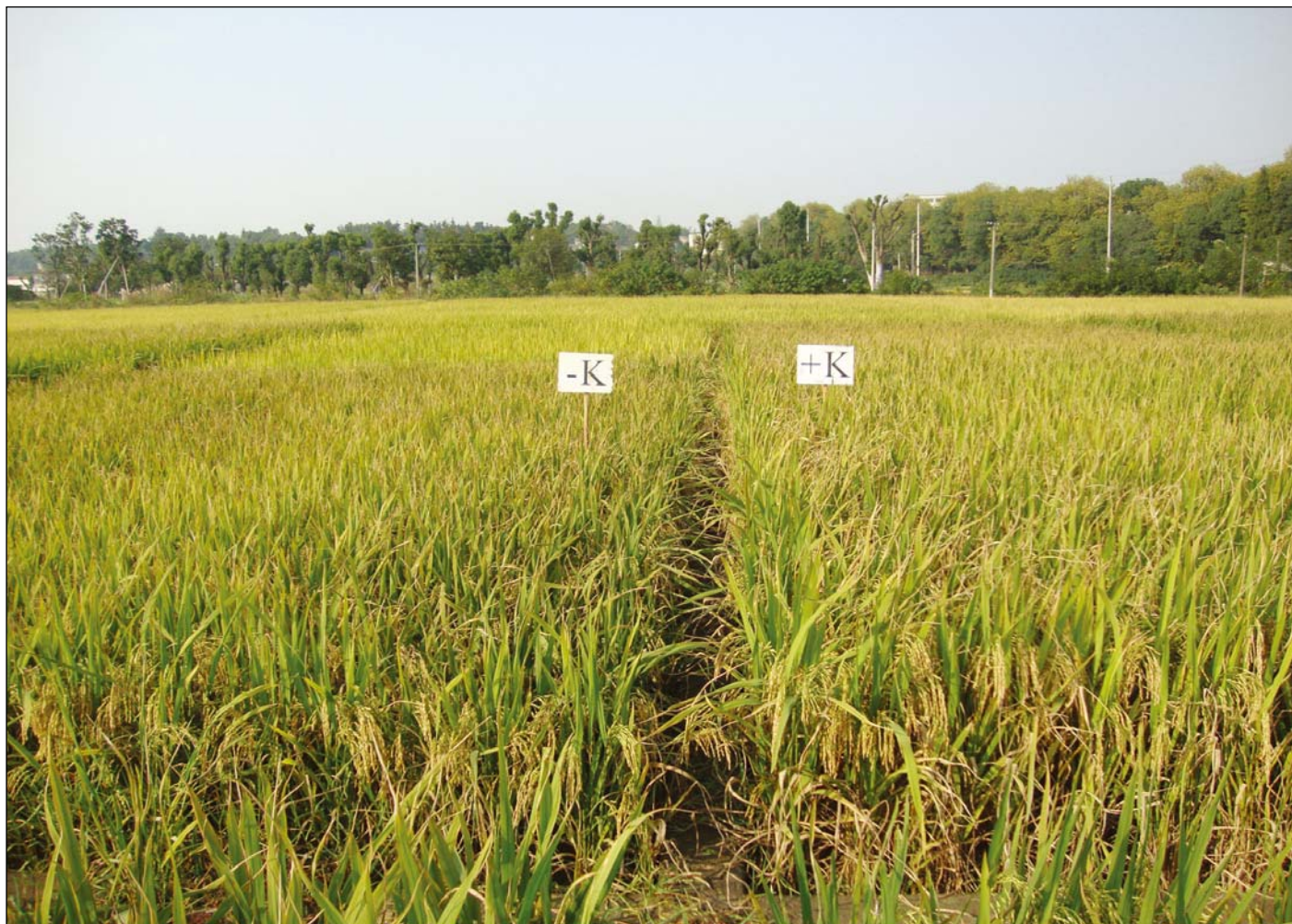
施钾肥能增加水稻稻谷和稻草的产量,施化肥钾的NPK和NPK+RS处理比相应的NP和NP+RS处理早稻稻谷产量分别增加23.88%和19.60%,晚稻稻谷产量分别增加19.45%和20.89%;施稻草的NP+RS和NPK+RS处理比相应的NP和NPK处理早稻稻谷产量分别增加12.45%和8.57%,晚稻稻谷产量分别增加14.73%和16.12%。该结果比本试验田1981-2007年的平均结果增加的幅度大,这可能与高产水稻品种的推广和长期施用钾肥及植物耗钾造成处理间土壤钾素含量差异的逐年增大有关^[4, 6-7]。水稻从土壤中的吸钾量随钾肥施用量的增加而显著增加,年平均吸钾量顺序为NPK+RS>NPK>NP+RS>CK>NP。

土壤溶液中的钾以阳离子形态存在,当被土壤胶体吸附后,不易被淋失。一般说来,溶解在表面径流水中的K的损失较淋洗损失低得多。本试验的结果表明,各处理田面水的钾浓度差异主要表现在施肥后的前40天,早、

小。在水稻施肥后的70天期间,三个施钾处理随着土层深度的增加,渗漏水钾浓度呈下降的变化趋势。早、晚稻三个土层各处理不同时间渗漏水平均钾浓度的高低顺序均为:NPK+RS>NPK>NP+RS>CK>NP。

15年定位试验的研究结果表明,在红壤稻田粮食3熟制农田中,每茬作物施K₂O 4.3公斤/亩后,或每茬施1000公斤/亩有机肥及150公斤/亩稻草均不能维持农田钾素的平衡,推荐有机肥加施K₂O 7.5公斤/亩处理为红壤稻田粮食轮作制中既能获得作物高产又能提高土壤钾素肥力的最佳施肥处理,每茬施K₂O 9.6公斤/亩是单施化肥条件下的推荐施钾量^[9]。本试验的结果也表明,除NPK+RS处理处于钾盈余外,其它4个处理均处于钾素亏缺状态。

综上所述,在目前水稻种植条件下,坚持有机肥和化学钾肥配合施用的原则,能促进水稻高产和作物对钾素养分的吸收,同时促进了钾素养分循环,保持农田钾素平衡,提高土壤钾素肥力。



参考文献

- [1] Alfaro M A, Jarvis S C, Gregory P J. Factors affecting potassium leaching in different soils[J]. *Soil Use and Management*, 2004, 20(2): 182-189.
- [2] 周健民, 范钦桢, 谢建昌. 农田养分平衡与管理[M]. 南京: 河海大学出版社, 2000.
- [3] 范钦桢. 铵对土壤钾素释放、固定影响的研究[J]. *土壤学报*, 1993, 30(3): 245-252.
- [4] 廖育林, 郑圣先, 鲁艳红, 等. 长期施钾对双季稻种植制度下红壤水稻土水稻产量及土壤钾素状况的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6): 1373-1380.
- [5] 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.
- [6] 廖育林, 郑圣先, 聂军, 等. 长期施用化肥和稻草对红壤水稻土肥力和生产力持续性的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(10): 3541-3550.
- [7] 廖育林, 郑圣先, 鲁艳红, 等. 长期施用化肥和稻草对红壤性水稻土钾素固定的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(1): 70-73, 95.
- [8] Dobermann A, Cassman K G, Stacuz P C, et al. Fertilizer inputs, nutrient balance, and soil nutrient supplying power in intensive, irrigated rice systems II Effective soil K supplying capacity [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1996, 46: 11-21.
- [9] 姜丽娜, 詹长庚, 符建荣, 等. 长期施肥对钾肥效应及农田钾平衡和土壤钾肥力的影响[C]. 中国土壤学会. 迈向 21 世纪的土壤科学, 北京: 中国环境科学出版社, 1999.

永春佛手茶最佳施肥模式研究

姚建族¹ 章明清² 李娟²

(1 福建省永春县土肥站, 永春 362600; 2 福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013)

摘要: 为探讨永春佛手茶的最佳施肥模式, 在当地主产区 7 年生中产茶园设置一个 3 年定位试验。结果表明, 最佳施肥模式分别为亩施 N 18 公斤、P₂O₅ 8 公斤和 K₂O 5 公斤, 同时每亩配施 200 公斤有机肥, 可获得最佳茶青产量和净收入。平衡施肥处理比在最佳施肥模式下减氮、磷、钾化肥和有机肥处理分别增产 25.8%、11.0%、8.73% 和 9.44%, 净增收分别提高了 25.5%、10.8%、8.62% 和 5.38%, 氮磷钾产投比分别为 11.3、10.5 和 11.4。

关键词: 佛手茶; 施肥; 产量; 效益



永春茶叶种植历史悠久, 现有茶园近 15 万亩, 年产量 1.1 万吨, 是全国著名的乌龙茶主产区和福建省乌龙茶三大出口基地县之一, 其中, 佛手茶是独具永春县地方特色的优良茶种, 是全国最大的佛手茶生产和出口基地。为提高永春茶的施肥水平, 作者在永春县佛手茶主产区设置了施用氮磷钾肥和有机肥的 3 年定位试验, 现将试验结果总结如下。

1 材料与方 法

田间试验在 2009~2011 年进行, 试验点位于永春县苏坑镇嵩安村的丘陵低山坡麓平坦地的佛手茶产区, 树龄 7 年, 品种为当地主栽品种佛手茶。试验地土壤为花岗岩发育的赤红壤, 土壤主要理化性状: pH 4.4, 有机质 21.50 克/公斤、碱解氮 122 毫克/公斤、有效磷 14.4 毫克/公斤和速效钾 49 毫克/公斤。

试验设计见表 1, 不设重复, 进行 3 年定位试验。小区面积为 20 平方米。氮肥用尿素 (N 46%)、磷肥用过磷酸钙 (P₂O₅ 12%)、钾肥用硫酸钾 (K₂O 50%), 有机肥为南安市鸿赢天然有机肥有限公司生产的鸿赢精制有机肥 (N+P₂O₅+K₂O>4%)。有机肥和过磷酸钙于茶季结束时基施, 氮肥和钾肥分春肥、夏肥和秋肥追施; 氮肥基肥占 10%, 春肥占 40%, 夏、秋肥各占 25%; 钾肥春肥用量占 50%, 夏、秋肥各占 25%。基、追肥施用均采用开沟, 基肥沟深 20~30 厘米, 追肥深度 10~15 厘米, 施肥后覆土。

每年茶叶采摘标准为驻芽中、小开面 3~4 叶时开始采摘。分别记录试验点每个处理小区的春、秋、冬茶鲜叶产量, 当年试验结束后分别汇总为全年鲜叶产量。

处 理	施 肥 量			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	有机肥
1 平衡施肥	18	8	5	200
2 不施氮肥	0	8	5	200
3 不施磷肥	18	0	5	200
4 不施钾肥	18	8	0	200
5 不施有机肥	18	8	5	0
6 加 30% 氮	23.4	8	5	200
7 减 30% 氮	12.6	8	5	200
8 加 30% 钾	18	8	6.5	200
9 减 30% 钾	18	8	3.5	200
10 空白 (CK)	0	0	0	0

2 结果与分析

2.1 佛手茶最佳施肥模式

根据 10 个施肥处理 3 年定位试验产量结果 (表 2) 进行方差分析, 表明不同施肥模式对茶青产量具有显著影响 (F=10.6^{**})。与平衡施肥处理相比, 空白处理的平均产量为 605.7 公斤/亩, 土壤对茶青产量的贡献率只有 78.4%; 在平衡施肥基础上增施 30% 氮肥, 茶青平均产量达到 804.3 公斤/亩, 但与平衡施肥处理的茶青产量差异不显著, 而显著高于不施氮、不施磷、不施钾、不施有机肥和减施 30% 氮肥以及增施或减施 30% 钾肥的施肥处理。

根据每公斤 N 4.3 元、P₂O₅ 5 元、K₂O 6 元、有机肥 0.9 元和茶青 6 元的平均市场价, 计算施肥净效益 (表 2)。方差分析表明, 不同施肥模式对茶青的净增收具有显著影响 (F=7.2^{**}); 平衡施肥及其在此基础上增施 30% 氮肥 2 个处

表 2 不同施肥模式对茶青产量和净增收的影响

处理	年度茶青产量 (公斤 / 亩)				年度茶青净收入 (元 / 亩)			
	2009	2010	2011	平均	2009	2010	2011	平均
1 平衡施肥	730	770	817	772.3ab	4052.6	4292.6	4574.6	4306.4ab
2 不施氮肥	584	620	637	613.7d	3254.0	3470.0	3572.0	3432.2d
3 不施磷肥	704	683	700	695.7c	3936.6	3810.6	3912.6	3886.8bc
4 不施钾肥	724	697	710	710.3bc	4046.6	3884.6	3962.6	3964.4bc
5 不施有机肥	624	700	793	705.7c	3596.6	4052.6	4610.6	4086.6b
6 加 30% 氮肥	767	793	853	804.3a	4251.4	4407.4	4767.4	4475.2a
7 减 30% 氮肥	684	690	770	714.7bc	3799.8	3835.8	4315.8	3984.0bc
8 加 30% 钾肥	687	710	797	731.3bc	3785.6	3923.6	4445.6	4051.4b
9 减 30% 钾肥	667	657	730	684.7c	3685.4	3625.4	4063.4	3791.6bcd
10 CK	627	600	590	605.7d	3762.0	3600.0	3540.0	3634.2cd

注：产量方差分析： $LSR_{0.05}=64.0$ 公斤 / 亩， $LSR_{0.01}=86.9$ 公斤 / 亩；净收入方差分析： $LSR_{0.05}=384.1$ 元 / 亩， $LSR_{0.01}=521.2$ 元 / 亩。

理的净增收分别达到 4306.4 元 / 亩和 4475.2 元 / 亩，但二者间没有显著差异；与平衡施肥相比，减施 30% 氮肥、增施或减施 30% 钾肥处理的净增收虽然没有显著差异，但具体净增收数分别比平衡施肥降低了 7.5%、5.9% 和 12.0%。

因此，综合考虑茶青产量水平及其净效益，在本试验条件下，表 2 的平衡施肥处理是佛手茶的最佳施肥模式，即亩施 N、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 18 公斤、8 公斤和 5 公斤，同时每亩配施 200 公斤有机肥。

2.2 氮、磷、钾和有机肥对茶叶产量和效益的影响

在最佳施肥模式即处理 (1) 下，为探讨施用氮、磷、钾肥料和有机肥对佛手茶产量和经济效益的影响，根据处理 (1) 至处理 (5) 5 个处理的 3 年定位试验的产量结果 (表 2)，表明平衡施肥的茶青产量显著高于不施氮、不施磷和不施有机肥处理，而与不施钾肥处理的产量差异未达显著水平；不施磷肥、不施钾肥和不施有机肥的处理产量间差异不显著，但不施氮肥的茶青产量显著最低。氮、磷、钾缺素区和不施有机肥区与平衡施肥处理相比，氮、磷、钾化肥和有机肥对茶青产量分别增产 25.8%、11.0%、8.73%



和 9.44%，表明施肥增产效果是 N > P > 有机肥 > K。

根据肥料和茶青平均市场价，计算平衡施肥基础上的氮磷钾和有机肥的施肥效益 (表 2)。结果表明，平衡施肥比 CK 处理的净增收增加了 672.2 元 / 亩，提高 15.6%；增施氮、磷、钾化肥和有机肥的净增收则分别增加 874.2 元 / 亩、419.6 元 / 亩、342.0 元 / 亩和 219.8 元 / 亩，平衡施肥处理比减氮、磷、钾和不施有机肥处理分别提高了 25.5%、10.8%、8.62% 和 5.38%；氮磷钾化肥的产投比分别为 11.3、10.5 和 11.4。

2.3 不同氮钾肥用量对茶叶产量的影响

在最佳施肥模式下，不同氮钾肥施用量的 3 年定位试验产量结果 (表 2) 的方差分析表明，增加 30% 氮肥施用量处理的茶青产量虽然比平衡施肥增产 32.0 公斤 / 亩，但差异不显著。在平衡施肥基础上，增施 30% 钾肥处理的产量与平衡施肥产量差异虽然未达到显著水平，但减产了 5.3%；减施 30% 钾肥处理的产量水平显著低于平衡施肥，平均减产 11.3%。因此，适宜的氮钾肥用量才能取得最佳的增产效果。

3 结论

3 年定位试验表明，不同施肥模式对佛手茶的茶青产量和净收入具有显著影响。根据茶青产量和净收入水平，以处理 (1) 为最佳施肥模式，即：亩施 N、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 18 公斤、8 公斤和 5 公斤，同时每亩配施 200 公斤有机肥。

平衡施肥处理比减氮、磷、钾化肥和有机肥处理分别增产茶叶 25.8%、11.0%、8.73% 和 9.44%，表明施肥增产效果是 N > P > 有机肥 > K。增施氮、磷、钾化肥和有机肥的净收入分别提高了 25.5%、10.8%、8.62% 和 5.38%，氮磷钾化肥的产投比分别为 11.3、10.5 和 11.4。

现代杂交玉米品种的营养吸收模式

Ross R. Bender Jason W. Haegele Matias L. Ruffo Fred E. Below 著

谢玲 译 涂仕华 校

(国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都;

原文译自《Better Crops》2013 第一期 P7-P10)

虽然生物、育种和农艺技术的进步已把玉米产量推向了一个个新高, 但缺少让这些现代杂交玉米品种获得最高产量潜力的施肥指导。目前的施肥措施是几十年前制定的, 也许与现代杂交玉米的营养吸收能力完全不符, 因为这些品种含抗虫基因, 且种植密度比以前更大。当我们致力于实现玉米最高产量潜力的时候, 重新评估玉米对营养的吸收和在体内的分配可为完善施肥措施奠定基础。

正如 Bruulsema 等人 (2012) 总结的那样, 养分最佳管理包括在正确时间把正确肥料品种和正确用量施用到正确位置—4 个“正确”(4R) 方法。尽管以前对玉米杂交种的施肥和管理措施基本正确, 但主要是针对大量营养元素吸收、分配以及施用时间方面的相关研究 (Sayre, 1948; Hanway, 1962; Karlen et al., 1988), 不能代表高产环境下现代杂交玉米的营养需求特征。这篇文章的目的就是研究现代转基因抗虫杂交玉米在高产条件下如何吸收和利用养分的。

在玉米生育期中, 选择了 6 个生育阶段测定玉米植株中 N、P、K、S、Zn 和 B 的含量: V6(营养生长期叶龄 6), V10, V14, R2(籽粒形成期/灌浆期), R4(籽粒腊熟期) 以及 R6(生理成熟期)(Hanway, 1963)。田间试验安排在美国北伊利诺斯州的 Dekalb 农业研究中心和伊利诺斯州的厄巴纳作物科学研究与教育中心。试验使用了 6 个含抗性基因的杂交种, 在 111~114 天期间(相对成熟)喂食西部玉米食虫 (*Diabrotica virgifera virgifera*), 欧洲玉米钻心虫 (*Ostrinia nubilalis*) 以及鳞翅目类的害虫。所有条件下的玉米播种密度均为 34,000 株/英亩。选取、分析并测定了代表性植株的 1) 茎秆和叶鞘, 2) 叶片, 3) 穗、玉米芯和苞叶和 4) 玉米籽粒, 分别代表玉米的茎、叶、生殖和籽粒组织。播种时的农艺管理包括了使用土壤杀虫剂, 撒播 150 磅 P_2O_5 /英亩的 MicroEssentials SZ™ 和 180 磅 N/英亩的尿素。在 V6 时侧施了 60 磅 N/英亩的增效尿素(尿酶与硝化抑制剂), 并在 VT/R1(抽雄/吐丝)期施用了杀菌剂。

养分吸收及带走

2010 年, 这些转基因抗虫玉米杂交种在两个试验点



籽粒饱满的玉米穗—土壤养分供应与作物需求完全吻合的标志

常见缩写与注释:

N = 氮; P = 磷; K = 钾; S = 硫; Zn = 锌; B = 硼;

HI = 收获指数; R1 = 吐丝 (玉米须吐出苞叶外); R2 = 籽粒形成期 (籽粒变白, 类似鼓起的籽粒); R4 = 籽粒腊熟 (籽粒中奶状浆液增稠); R5 = 形成凹痕 (几乎所有籽粒形成凹痕); R6 = 生理成熟期 (形成黑色脱落层); V6 = 6 片叶, 叶枕可见; V10 = 10 片叶, 叶枕可见; V14 = 14 片叶, 叶枕可见; VT = 最后一个雄穗分支完全可见。

的平均产量为 230 蒲式耳/英亩 (变幅为 190-255 蒲式耳/英亩), 我们对玉米营养需求的讨论都是以该产量水平为基础。

在制定推荐施肥方案时, 有两个主要的植物营养问题非常重要, 有助于我们对玉米高生产力的理解和管理。它们是 1) 在整个生长季节需要获得的某种矿质养分量, 称为“养分吸收总量”, 或生产所需养分量; 2) 籽粒所含养分量, 称为“籽粒带走量”(表 1)。籽粒的营养含量单位为磅/蒲式耳(表 1), 这与近来化肥行业用来确定肥料施

用量 (Bruulsema et al., 2012) 的单位是一致的。但是, 在过去的 50 年中, 作物生产中的 N、P 和 K 用量和玉米籽粒带走量比 20 世纪 60 年代的各种管理系统翻了一番 (Hanway,1962)。

我们计算出每种养分的收获指数 (HI), 它量化了籽粒养分含量占植株吸收总量的百分比。生产中需求量大的养分 (N、P 和 K) 或收获指数高的养分 (P、Zn、S 和 N) 都说明它们是玉米高产的关键养分 (表 1)。就养分吸收总量来说, 举个例子, 近 80% 的 P 被玉米籽粒带走, 而 K 和 B 在秸秆中的含量较高。对每种养分来说, 没有进入籽粒的养分则留在叶、秆和生殖组织, 构成地上部分, 最终

被还到田间。全部或部分利用玉米秸秆 (如纤维素乙醇、玉米青贮饲料) 的生产实践会多带走 20.8 磅 N、4.0 磅 P₂O₅、23.3 磅 K₂O、1.9 磅 S、0.5 盎司 Zn 和 0.2 盎司 B/t 干物质。

最大吸收量

进一步提高肥力的措施需要当季作物养分吸收与养分供应一致, 即把正确的肥料品种和正确用量在正确的时间施用。在营养生长期, 所有观察的养分 (表 1) 最大吸收量要与干物质最大积累时期一致 (表 2-7)。在 V10 和 V14 期之间, 超过 1/3 的 B 已被吸收, 而其它养分的吸收仅占

表 1 在 Urbana,IL 和 DeKalb,IL(2010) 大量元素和微量元素吸收及带走总量				
养 分	养分 吸收总量	籽粒吸收 养分量	收获指数 (%)	养分移除指数 (磅 / 蒲耳式)
N	256	148	58	0.64
P ₂ O ₅	101	80	79	0.35
K ₂ O	180	59	33	0.26
S	23	13	57	0.06
Zn(盎司) ⁺	7.1	4.4	62	0.019
B(盎司)	1.2	0.3	23	0.001

⁺Zn 和 B 均以单位盎司计量 (如盎司 / 英亩和盎司 / 蒲耳式)

表中每个数值是两个试验地中六个杂交品种的均值 (下图 1-7 中数值同), 产量平均值=230 蒲耳式 / 英亩。收获指数以百分数表示, 其为籽粒养分吸收量与养分吸收总量之间的比值。养分移除指数乘以产量可以计算出作物养分移除数量。

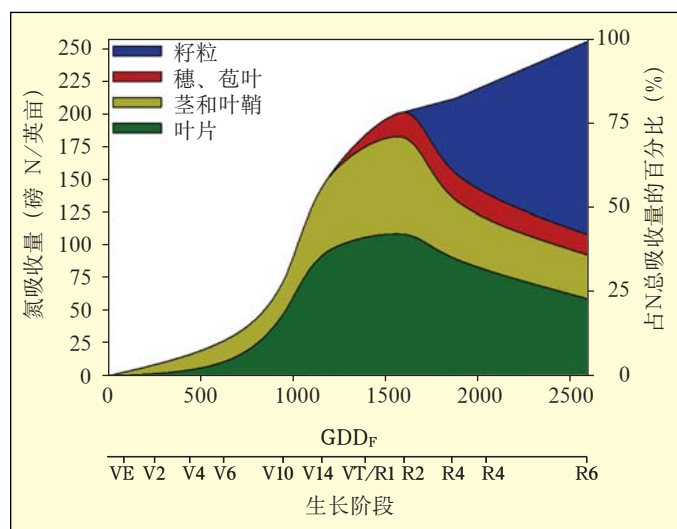


图 1. 玉米干物质总量以及 4 个秸秆部分所占比例: 叶、秆、生殖组织和籽粒。GGD_F= 有效积温 (华氏度, 下同)

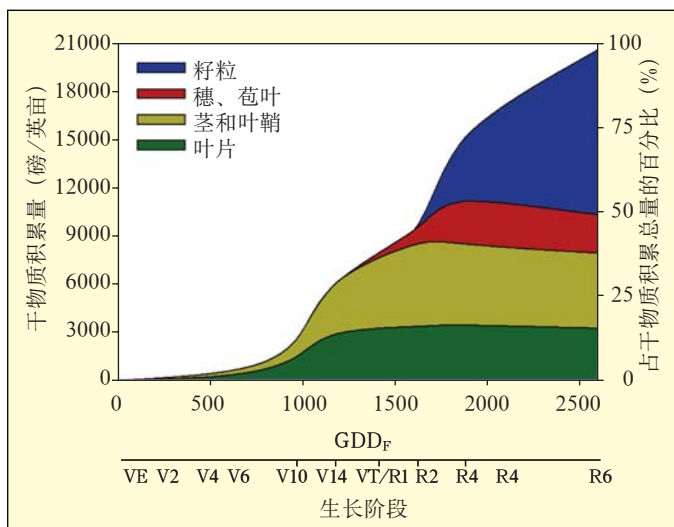


图 2. 玉米 N 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例: 叶、秆、生殖组织和籽粒。

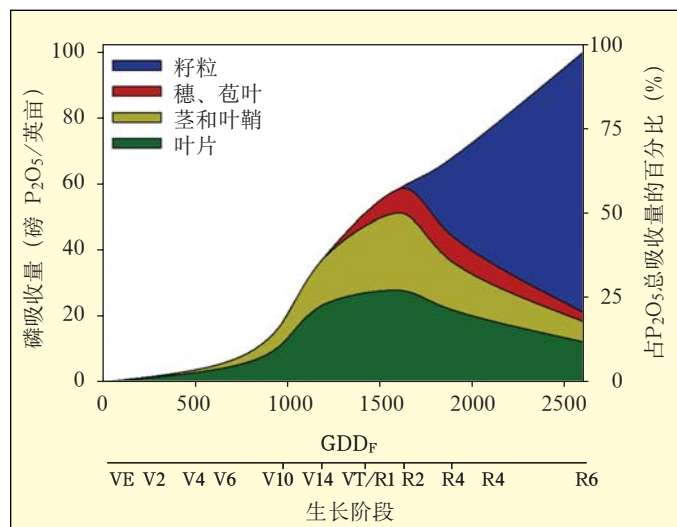


图 3. 玉米 P 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例: 叶、秆、生殖组织和籽粒。

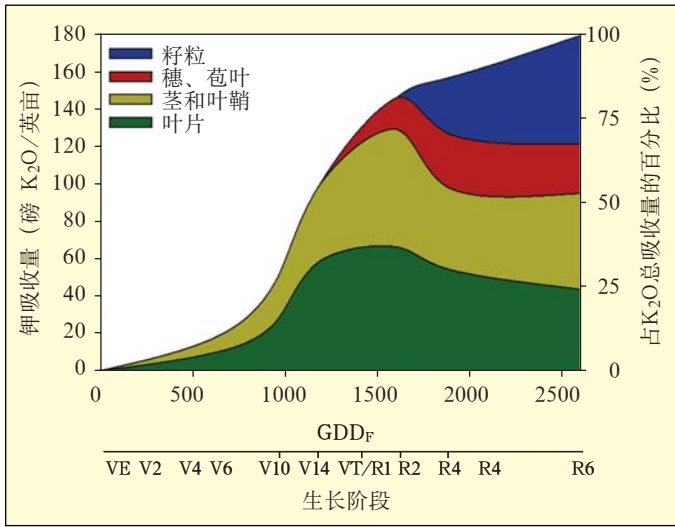


图 4. 玉米 K 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例：叶、秆、生殖组织和籽粒。

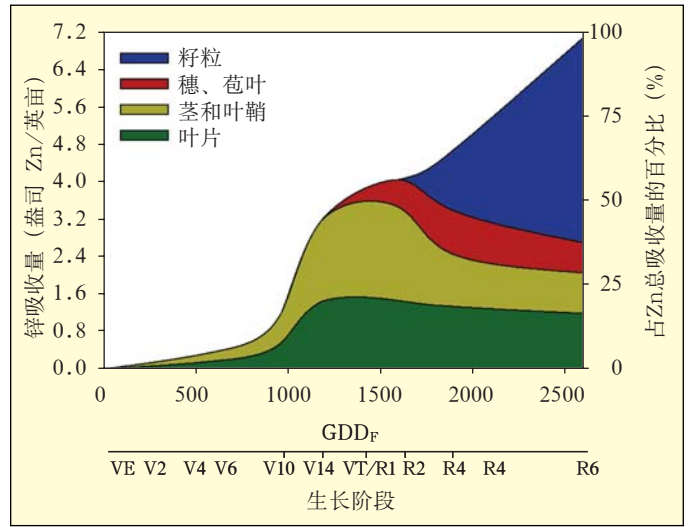


图 5. 玉米 S 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例：叶、秆、生殖组织和籽粒。

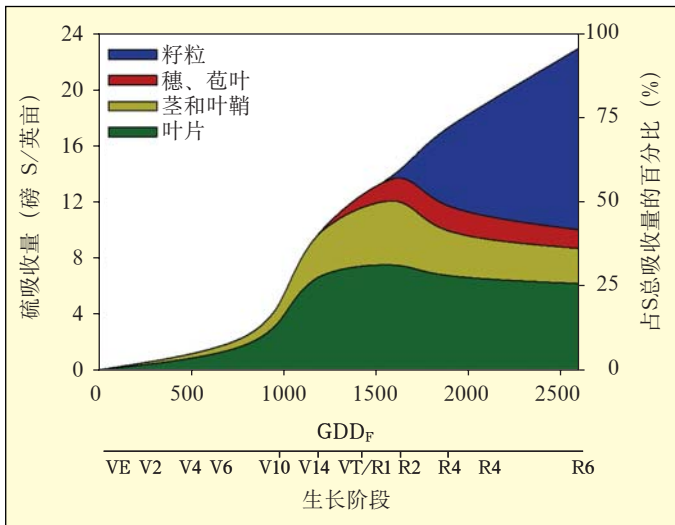


图 6. 玉米 Zn 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例：叶、秆、生殖组织和籽粒。

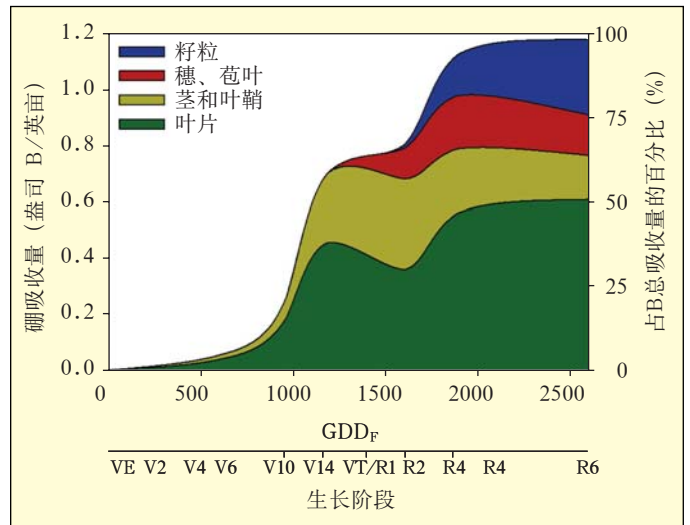


图 7. 玉米 B 吸收总量以及 4 个秸秆部分所占比例：叶、秆、生殖组织和籽粒。

20–30%；玉米生长每天所需吸收的养分为 7.8 磅 N、2.1 磅 P_2O_5 、5.4 磅 K_2O 、0.56 磅 S、0.21 盎司 Zn 和 0.05 盎司 B。在正确的时间使用正确肥料品种和用量，满足玉米对养分的需求，是提高养分利用率和产量的关键。

养分吸收时间

有效减少养分胁迫需要养分供应与作物需求一致，尤其是在高产条件下。举例来说，在提高养分利用率和吸收率的总目标下，S 和 N 易遭受同样的环境胁迫。然而，玉米对 N 的吸收时间（图 2）与 S（图 5）是惊人的不同，表明采用的措施可能对一种养分吸收有效，而对另一种养分的吸收则没有效。N 的吸收与 S 不同，为传统的 S 型吸收模式，有 2/3 的养分是在 VT/R1 期间吸收的。相反，S 在

灌浆期积累较高，超过一半的 S 是在 VT/R1 期以后吸收的（图 5）。与 N 一样，玉米在 VT/R1 期间累积了 2/3 的 K（图 4）。有趣的是，超过一半的 P 也是在 VT/R1 期以后吸收（图 3）。这些图表明，玉米的 P 和 S 营养在整个生育期都很重要，而对 N 和 K 的吸收主要在营养生长期。

玉米对 N、P、K、S 养分的吸收规律为 S 型或相对恒定，而对微量元素的吸收模式则更为复杂。举例来说，玉米在营养生长前期对 Zn 和 B 的吸收呈 S 型，在 VT/R1 期达到峰值（图 6 和图 7）。随后对 Zn 的吸收率保持恒定，与 P 和 S 的吸收相似；而对 B 的吸收则进入了第二个主要 S 型阶段，最后在 R5（凹痕）结束。与大量元素相比，Zn 和 B 更倾向于在短期内集中吸收。在只有 1/3 的生长季节，即营养生长后期和生殖生长期，玉米对 Zn 的吸收

量达到 71%(图 6)。玉米对 B 的吸收具有类似趋势,即在 1/5 的生育期内吸收了高达 65% 的 B(图 7)。在高产条件下,要满足玉米对微量元素的需求,必须在关键生育期给玉米提供正确的肥料品种和用量。

植物养分移动性

与植物干物质不同,特定养分具有移动特性,这允许它们在一个组织中被利用后,还可以被转移(再活化)到别的组织中(Sayre,1948; Hanway,1962; Karlen et al., 1988)。很多养分包括 N、P、S 和 Zn,玉米吸收的绝大部分在成熟时都被贮存在籽粒中(表 1)。在灌浆期(VT/R1 以后),收获指数高的养分的累积是同化作用和从植株其它部位再活化的结果。以 P 为例,大于一半以上的吸收量是在 VT/R1 期以后累积的,有很大一部分是再活化而来的,源自于最初贮存在叶片和茎秆中的 P(图 3)。尽管 N 和 S 的累积机制不同,但二者具有类似的收获指数。开花后,玉米籽粒中的 S 主要来自于从土壤的吸收(图 5),而 N 则主要是来自再活化的结果(图 2)。植株体内的 Zn 表现出独特的移动特性,茎秆作为主要但仅为短暂的籽粒 Zn 源。到了 R6 期,茎秆中近 60% 的 Zn 被再活化转移,进入籽粒。与 Karlen et al(1988)的报道相似,叶片中的 B 在 VT/R1 期前后开始下降,表明它在生殖生长中的作用(图 7)。

优化养分管理

尽管养分管理是一个复杂的过程,深入了解玉米对养分的吸收时间、吸收量、在体内的分配和再活化规律,有助于优化肥料用量,品种和施肥时间。与其它养分不同,P、S 和 Zn 的积累量在灌浆期比营养生长期更大。因此,在整个生育期中保证这些养分的供应对玉米平衡营养至关重要。微量营养元素比大量营养元素养分的吸收时间更短,特别是 Zn 和 B。就吸收总量的百分比来说,带走的 P 大于其它养分。在伊利诺伊州的玉米-大豆轮作中,最常见的就是在玉米种植年对两茬作物都施肥。但农民却在玉米

季施用平均 93 磅 P_2O_5 (肥料和化学利用,2011),而 80% 大豆田不施 P 肥,仅有 13 磅 P_2O_5 残留(肥料,化学利用,生物技术种类,2010)。这些数据表明,随着生产力提高而施肥量没有得到相应充分调整的话,就会出现土壤肥力下降的危机。这些植物养分知识,对我们深刻理解当今养分管理所面临的挑战至关重要。

总结

在过去 50 年中,随着农艺、育种和生物技术的进步,作物产量达到了历史最高纪录。但是产量的提高伴随着土壤大量和微量营养元素水平的显著下降。由 IPNI 总结的最新北美土壤测试水平表明,最近五年来美国和加拿大土壤 P、K、S 和 Zn 含量下降到或低于临界值水平的土壤样品百分数正在增加(Fixen et al.,2010)。土壤肥力不断下降加上高产杂交品种,表明种植者目前采用的准确维持施肥量没有充分平衡养分的吸收与带走。集成关键作物(包括玉米)的新技术和升级技术使我们能更好地实现养分管理的基本目标:把正确的肥料品种和正确用量在正确时间施用到正确位置,以满足作物的营养需求。

感谢

作者感谢 Mosaic 公司对该研究的资助。本文是《农学报》2013 年 1 月/2 期一篇研究论文的摘要。

Ross Bender 先生是伊利诺伊州大学的研究生(研究助理), E-mail:bender14@illinois.edu。Haegele 博士是伊利诺伊州大学的博士后, E-mail:Haegelel@illinois.edu。Ruffo 博士是 Mosaic 公司驻阿根廷布宜诺斯艾利斯市的全球农学经理, E-mail:matias.ruffo@mosaicco.com。Below 博士是伊利诺伊州大学作物科学系的教授, E-mail:fblow@illinois.edu。

参考(略)

2013 年 IPNI 研究生奖学金评选结果揭晓

为鼓励在植物营养和养分管理相关学科取得优异成绩的莘莘学子，2013 年国际植物营养研究所 (IPNI) 研究生奖学金获得者已揭晓。经过评审委员会严格按照标准对每一位申请者的学术业绩和其他各方面进行评价，结果有 26 位来自不同国家和地区的在读研究生获得 2013 年度 IPNI 研究生奖学金。中国有 5 位研究生获得了这项奖励，每位获奖者得到 2000 美元资助。



陆宇振，中国科学院南京土壤研究所硕士研究生。主要研究利用傅里叶变换红外光声光谱技术，快速无损地表征油菜籽的营养品质，旨在揭示油菜籽的光声光谱特征，建立油菜籽营养品质的定量校正模型，为油菜籽育种产业提供一种新的快速无损的分析工具。毕业后打算攻读博士学位，将来为中国现代农业的发展贡献一份力量。



王敏，南京农业大学植物营养学专业博士研究生。主要研究黄瓜枯萎病的发病机制及其与氮素营养的关系，探讨不同形态氮素营养在黄瓜枯萎病中的作用，阐明其对枯萎病的防治机制。毕业后希望继续从事与植物营养相关的科学研究，为农业生产和可持续发展做贡献。



王寅，华中农业大学植物营养学硕博连读研究生。主要研究直播和移栽冬油菜在生长发育、产量形成和养分吸收利用特性方面的差异，以探索适合于当前中国长江流域直播冬油菜的养分管理策略。毕业后希望在高校或农业科研单位继续从事植物营养领域的科研和推广工作，服务于国家

农业发展和粮食安全。



徐新朋，中国农业科学院植物营养学在读博士研究生。主要研究构建基于产量反应和农学效率的玉米和水稻推荐施肥系统，不断完善“Nutrient Expert for Hybrid Maize”和“Nutrient Expert for Rice”系统，提高肥料利用率。毕业后想做一名农业科学家，不断研究新的作物养分管理措施，提高粮食产量和肥料利用效率。



赵佐平，西北农林科技大学博士研究生。主要研究水肥管理对陕西苹果、猕猴桃树体生长、产量及品质的调控效应，包括陕西果园肥力评价，果树对肥料的利用率，果园养分平衡供应，果园合理施肥量和施肥方法等。毕业后希望在大学从事与果园养分管理及环境污染等相关的科学研究和技术推广工作。

2013 年 10 月 15 日，国际植物营养研究所 (IPNI) 副所长 Adrian Johnston 博士、中国农业科学院农业资源与区划研究所王道龙所长、中国农业科学院国际合作局冯东昕副局长、福建省农林科学院翁伯琦院长、植物营养与肥料学会杨少海副理事长在厦门参加了颁奖仪式。

研究生奖学金评审每年一次，大约在 6 月底结束申请，在具有学位授予资格的单位从事土壤和植物营养学相关学科如农学、园艺、生态、土壤肥力、土壤化学、作物生理等专业的在读研究生均有资格申请。请随时关注 IPNI 网站：www.ipni.net 了解申请程序和要求。

