高效施肥

BETTER CROPS CHINA 2012年10月总第29期

青海省马铃薯平衡施肥技术研究 22 页

本期文章……

不同钾肥用量对番茄的影响

油菜施肥效应的土壤类型和区域差异分析

全膜双垄沟播玉米补灌及施氮效应

IPNI
INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

更多文章 敬请关注
www.ipni.net

CONTENTS | 目 录

《高效施肥》

国际植物营养研究所系列期刊
《BETTER CROPS》中文版专刊
2012 年 10 月 总第 29 期

主 编 金继运
编 辑 陈 防 涂仕华 李书田 何 萍 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, American
T.L. Roberts,
President, IPNI

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

东欧中亚项目部
Moscow, Russia
Svetlana Ivanova, Vice President, IPNI Eastern Europe/Central Asia and Middle East 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
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 · The Mosaic Company · PotashCorp · Simplot · Sinofert Holdings Limited · SQM · Uralkali.

加拿大钾肥公司在中国的平衡施肥示范项目报告——继往开来，谱写现代农业中科学施肥新篇章 1

水稻施钾效果及钾肥利用率的区域评价 3

番茄钾肥适宜用量研究 12

钾氮营养对香蕉抽蕾和产量的影响 16

青海省马铃薯平衡施肥技术研究 22

甘肃中部旱地全膜覆土免耕栽培小麦－小麦－马铃薯轮作体系的施肥技术研究 28

浙江省油菜施肥效应的土壤类型和区域差异分析 34

甘肃中部旱地补灌及氮肥对全膜双垄沟播玉米干物质积累及产量的影响 42

平衡施肥对特种莴苣产量和品质的影响 49

吉林省中部黑土区玉米氮肥效应研究 54

2012 年 IPNI 研究生奖学金评选结果揭晓 60

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。

加拿大钾肥公司在中国的平衡施肥示范项目报告
——继往开来，谱写现代农业中科学施肥新篇章

金继运
（IPNI 中国项目部，北京）

《高效施肥》(Better Crop China）自 1997 年创刊，至今已有 15 个春秋。15 年来，伴随国家经济高速发展，中国农业发生了举世瞩目的变化，中国的肥料科技有了显著进步。《高效施肥》作为 IPNI 中国项目部主办的科技读物，也为传播科学施肥理论、知识和技术做出了应有的贡献。当前，中国经济发展和农业生产都处于关键转型时期，对农业科技提出了更高要求，《高效施肥》也迎来了肥料科技快速发展新阶段。

创刊之初，本刊定名为《高产施肥》，2004 年更名为《高效施肥》，一字之改变反应的是中国农业发展进入了不同的阶段，对肥料科技的发展有了新的要求。15 年前，中国尚处于社会主义市场经济发展的初级阶段，中国农业还在为解决 13 亿人口的温饱问题而努力，世界还在质疑”谁来养活中国人”。当时农业发展的主要目标是提高产量，施肥的目的是提高农田生产力和保障作物持续高产。

进入新世纪，中国人民的温饱问题已经基本解决，在连续获得作物高产的同时，土肥水资源紧缺和资源高效利用问题逐渐凸显，人们开始更多关注农业资源的利用效率，关注农产品的质量和安全，关注生存的环境质量，包括 IPNI 合作研究项目在内的土壤肥料领域的研究工作也逐渐以高产和高效为主要目标，相应的本刊于 2004 年更名为《高效施肥》。

在此历程中，IPNI 中国项目部全体人员，在国家政策的正确指导下，在全国合作单位和同事的通力合作和支持下，结合各地区的特点，有计划有重点的开展了土壤养分状况、作物营养特性、作物需肥规律、平衡施肥技术等研究工作，研究工作的结果大部分通过《高效施肥》刊物登载出来，起到了传播知识、推广技术、服务农业的目的。

本刊的前期，IPNI 中国项目部有我们的老朋友 Sam Portch 博士的领导和王家骧博士、吴荣贵博士、刘荣乐博士等同事的共同努力，我 2003 年接任本刊主编以来，又有涂仕华博士、陈防博士、李书田博士、何萍博士、梁鸣早老师、孙桂芳博士等的同心同德和 IPNI 全体合作团队朋友的精诚合作和支持，这是 IPNI 在中国合作和本刊成功的关键。加拿大钾肥公司多年对中国平衡施肥项目连续的支持，为合作项目的发展和本刊的长期发行提供了可能。至此本人退休之际，对多年支持 IPNI 中国项目部和我本人工作的各位领导、同事、合作单位朋友和本刊读者，致以衷心感谢和崇高敬意。

当前，在党和政府领导下，全国人民为全

面建设小康社会而努力，为发展现代农业而奋斗，农业生产方式进入非常关键的转型时期。生产的目标也由原来的高产高效而更明确地转变为高产、优质、高效、安全和环保。农业生产将快速的向规模化、机械化、专业化、商品化、信息化等发展，逐渐发展形成有中国特色的现代农业生产体系。在此过程中，对土壤肥料科技提出了新的要求，要求有新观念，掌握新理论、新知识、新技术的年轻一代引领现代科技的发展。IPNI 为适应新的形式的要求，决定由何萍博士接替我的工作，全面负责 IPNI 中国项目部的北京办事处的工作，同时也将负责《高效施肥》刊物的编辑出版工作。长江后浪推前浪，一代更比一代强，相信在何萍博士带领下，有 IPNI 中国项目部各位同事同心同德，共同努力，有农业部和中国农业科学院领导和有关部门的支持，有各合作单位的精诚合作，IPNI 中国项目的明天会更加美好，《高效施肥》刊物也会办的越来越好，为我国现代农业生产体系建设作出更大贡献。

谢谢！

水稻施钾效果及钾肥利用率的区域评价

王伟妮[1]　鲁剑巍[1]　鲁明星[2]　李小坤[1]

（1 华中农业大学资源与环境学院，湖北 武汉 430070；　2 湖北省土壤肥料工作站，湖北 武汉 430070）

摘要：2006 至 2010 年，通过在湖北省 18 个县（市、区）布置多点田间肥效试验，从区域角度研究在当前生产条件下施用钾肥对早、中、晚稻产量及其构成因素的影响，分析当前水稻生产中的钾肥吸收和利用状况。结果表明，在氮、磷肥的基础上，早、中、晚稻施用钾肥的增产量平均分别为 47.7、45.3 和 46.1 公斤 / 亩，增产率平均分别为 12.6%、9.6% 和 12.0%，钾肥对产量的贡献率平均分别为 10.8%、8.2% 和 10.3%。结果说明，当前生产条件下，高产水稻生产必须依赖钾肥的施用。分析施钾增产原因，结果表明，施钾对早稻主要是增加了单位面积有效穗数，对中稻主要是同时增加单位面积有效穗数和每穗粒数，而对晚稻主要是增加每穗粒数和提高结实率。施用钾肥促进了水稻总吸钾量及百千克籽粒吸钾量的提高，但钾素收获指数因施钾而下降。在当前生产条件和推荐施钾量水平下，早、中、晚稻百千克籽粒吸钾（K_2O）量平均分别为 2.96、3.45 和 2.72 公斤，钾肥（K_2O）农学利用率平均分别为 9.6、8.2 和 7.2 公斤 / 公斤，偏生产力平均分别为 92.3、101.5 和 75.4 公斤 / 公斤，吸收利用率平均分别为 47.1%、53.8% 和 46.3%，生理利用率平均分别为 21.1、24.1 和 23.7 公斤 / 公斤。结果表明，早、中、晚稻对钾素的吸收和利用各不相同，在农业生产中应根据不同类型水稻对钾肥的反应采取相应的措施，实现钾肥的区域化合理配置及调控。

关键词：钾肥；产量；钾肥利用率；早稻；中稻；晚稻

钾作为植物必需的营养元素之一，参与植物体内的一系列生理生化过程，在植物生长、代谢、酶活性调节和渗透调节中发挥着重要作用。水稻是需钾量较大的作物，高产杂交水稻每年对钾的吸收量可达 17~20 公斤 / 亩[1]。长期以来，随着高产水稻品种的推广应用，水稻产量和复种指数的提高以及氮、磷肥用量的加大，水稻从土壤中带走的钾素大大增加。稻田土壤钾素亏缺已成为我国南方地区影响水稻产量和品质的主要限制因素之一[2]，又因我国钾矿资源相当缺乏，故研究如何通过合理施用钾肥，提高水稻产量和钾肥的利用效率具有重要的理论和实践意义，前人也已就此做了大量研究[3-5]。但这些研究主要是针对某一田块的单个试验开展的，因水稻品种、钾肥用量、土壤肥力水平及水分管理等的不同，结论不尽一致。因此，对大区域范围内水稻生产中钾肥的利用状况缺乏一个系统的认识，难以进行区域性的钾肥调控。本研究于 2006 年至 2010 年在湖北省 18 个县（市、区）分别布置早、中、晚稻田间肥效试验，研究在当前生产条件下施用钾肥对水稻产量及其构成因素的影响，明确水稻的钾肥利用率情况，以期为区域性的钾肥合理配置及调控提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

2006 年至 2010 年在湖北省团风、浠水、武穴、黄梅、黄陂、大冶、鄂州、孝昌、天门、仙桃、洪湖、荆州、荆门、赤壁、麻城、安陆、曾都、沙洋共 18 个县（市、区）布置多点水稻田间试验，获得大量试验结果。本研究所用数据共涉及 231 个试验，其中早稻试验 38 个，中稻试验 143 个，晚稻试验 50 个。供试土壤基本养分性状见表 1。

早稻供试品种主要有金优 402、鄂早 18、中优 974、原丰 1 号等；中稻供试品种主要有Ⅱ优 838、两优培九、扬两优 6 号、岗优 725 等；晚稻供试品种主要有中九优 288、鄂晚 17、金优 928、金优 207 等。早稻试验前茬作物为晚稻或油菜，中稻前茬为油菜，晚稻前茬为早稻。

表 1　供试土壤基本养分性状

水稻类型	项目	pH	有机质（克 / 公斤）	碱解氮（毫克 / 公斤）	有效磷（毫克 / 公斤）	速效钾（毫克 / 公斤）
早稻 (n=38)	变幅	4.7~7.2	15.3~52.2	98.6~195.3	4.2~60.2	25.4~119.6
	均值	5.8±0.6	28.3±9.1	141.0±29.8	15.7±12.3	71.5±28.4
中稻 (n=143)	变幅	4.8~8.1	7.0~55.2	10.8~233.0	1.3~62.4	26.6~263.2
	均值	6.5±0.9	28.0±9.4	125.4±44.0	15.2±9.8	102.9±46.1
晚稻 (n=50)	变幅	4.9~7.6	14.3~56.4	49.0~181.3	1.2~40.1	10.9~276.1
	均值	5.8±0.7	32.2±10.5	123.9±29.5	11.9±9.0	66.3±53.5

1.2 试验设计

231 个试验的试验设计及施肥处理不完全一致，本研究只利用每个试验的其中两个处理，分别为 NP（不施钾）处理和 NPK（施钾）处理，同一试验的两个处理施用等量的氮肥和磷肥。各试验的氮、磷、钾肥用量均是在综合考虑当地土壤养分含量、稻谷目标产量及农民习惯施肥水平下确定的（即推荐施肥量），所有试验点的肥料用量汇总如表 2 所示。氮肥用尿素（含

表 2　早、中、晚稻的施肥量（公斤 / 亩）

水稻类型	处理	K_2O 变幅	K_2O 均值	N 变幅	N 均值	P_2O_5 变幅	P_2O_5 均值
早稻 (n=38)	NP	--	--	10.0~12.0	11.1±0.7	3.0~6.0	4.9±0.7
	NPK	3.0~9.0	5.9±2.6	10.0~12.0	11.1±0.7	3.0~6.0	4.9±0.7
中稻 (n=143)	NP	--	--	9.0~14.0	11.8±1.3	3.0~6.0	4.5±0.7
	NPK	2.3~15.0	6.9±3.1	9.0~14.0	11.8±1.3	3.0~6.0	4.5±0.7
晚稻 (n=50)	NP	--	--	10.0~13.0	11.2±0.7	2.0~5.0	3.6±0.8
	NPK	3.0~12.0	6.8±2.4	10.0~13.0	11.2±0.7	2.0~5.0	3.6±0.8

N46%），磷肥用过磷酸钙（含 $P_2O_5$12%），钾肥用氯化钾（含 K_2O60%）。其中氮肥 60% 作基肥，40% 作追肥（均分两次追施），磷、钾肥全作基肥。试验小区面积 20 平方米，3 次重复。

1.3 试验方法

1.3.1 土壤养分性状的测定

水稻移栽前，各试验取表层（0~20 厘米）土壤样品测定 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量。土壤 pH 用电位法，有机质用外加热重铬酸钾容量法，碱解氮用碱解扩散法，有效磷用碳酸氢钠－浸提－钼锑抗比色法，速效钾用醋酸铵浸提－火焰光度法进行测定 [6]。

1.3.2 考种与测产

各小区于水稻成熟期取 6~10 蔸（不同试验有所不同，同一试验两个处理取样蔸数相同）进行考种，除去边行后实收测产。

1.3.3 植株全钾的测定

在水稻成熟期，对部分有代表性的试验进行植株取样，其中早、中、晚稻进行取样的试验个数分别为 20、44 和 15 个。取样后分稻谷和稻草分别烘干、粉碎、过筛，采用 H_2SO_4 － H_2O_2 消化，火焰光度计测定植株全钾含量 [6]。

1.3.4 有关参数的计算 [4]

钾肥贡献率 (%)=(施钾区产量－无钾区产量）/ 施钾区产量 ×100%；

总吸钾量 (公斤 / 亩)= 收获期单位面积地上部干物重 × 植株含钾量；

百千克籽粒吸钾量 (公斤)= 植株总吸钾量 / 稻谷产量 ×100；

钾素收获指数 = 稻谷吸钾量 / 植株总吸钾量；

钾肥农学利用率 (公斤 / 公斤)=（施钾区产量－无钾区产量）/ 施钾量；

钾肥偏生产力 (公斤 / 公斤)= 施钾区产量 / 施钾量；

钾肥吸收利用率 (%)=（施钾区植株总吸钾量－无钾区植株总吸钾量）/ 施钾量 ×100%；

钾肥生理利用率 (公斤 / 公斤)=（施钾区产量－无钾区产量）/（施钾区植株总吸钾量－无钾区植株总吸钾量）。

1.3.5 数据分析

数据统计分析和作图利用 SPSS Statistics 17.0 数据处理软件和 Microsoft Excel 2003。

2 结果与分析

2.1 施钾对早、中、晚稻产量及其构成因素的影响

2.1.1 施钾对产量的影响

本研究 231 个试验中有 5 个中稻试验和 1 个晚稻试验施钾后稻谷减产。统计分析时若保留这 6 个试验，143 个中稻试验和 50 个晚稻试验的施钾增产量平均分别为 43.1 和 44.8 公斤 / 亩，增产率平均分别为 9.2% 和 11.7%，钾肥贡献率平均分别为 7.8% 和 10.0%，这与删除 6 个试验后得到的结果很接近（表 3）。因此，为得到更合理的结果，在分析施钾效果时剔除了这 6 个试验。由表 3 可见，NP 处理的稻谷产量变幅在 163.0~751.0 公斤 / 亩之间，NPK 处理的产量变幅在 187.0~775.7 公斤 / 亩之间，说明早稻、中稻和晚稻在不同试验点的产量差异较大，

但在氮、磷肥的基础上施用钾肥对 3 种类型水稻均有较明显的增产效果。水稻在不同试验点的施钾增产效果差异也较大，3 种类型水稻增产量最低仅为 1.0 公斤 / 亩，最高可达 203.0 公斤 / 亩；增产率最低仅为 0.2%，最高可达 56.0%；钾肥对产量的贡献率最低仅为 0.2%，最高可达 35.9%。3 种类型水稻施钾增产量平均为 45.9 公斤 / 亩，增产率平均为 10.6%，钾肥贡献率平均为 9.1%。总的来说，虽然早、中、晚稻施钾增产量的平均值比较接近，但早、晚稻的增产率及钾肥贡献率明显高于中稻。

表 3　施钾对早、中、晚稻产量的影响

水稻类型	处理	产量（公斤 / 亩）		增产量（公斤 / 亩）		增产率 (%)		钾肥贡献率 (%)	
		变幅	均值	变幅	均值	变幅	均值	变幅	均值
早稻	NP	283.3～553.3	391.6±61.4	--	--	--	--	--	--
(n=38)	NPK	312.0～585.0	439.3±63.1	6.7～104.4	47.7±27.0	1.6～35.3	12.6±7.7	1.6～26.1	10.8±5.8
中稻	NP	316.7～751.0	510.0±81.5	--	--	--	--	--	--
(n=138)	NPK	350.0～775.7	555.3±77.5	1.0～203.0	45.3±35.8	0.2～56.0	9.6±9.2	0.2～35.9	8.2±6.6
晚稻	NP	163.0～642.0	406.5±91.7	--	--	--	--	--	--
(n=49)	NPK	187.0～710.0	452.6±97.2	5.0～123.3	46.1±29.0	1.1～38.5	12.0±8.0	1.1～27.8	10.3±6.0

图 1A 表明，早、中、晚稻的施钾增产量均主要集中在 20～70 公斤 / 亩，在此区间的比例分别占 60.5%、55.1% 和 71.4%，增产量超过 70 公斤 / 亩的试验分别占 26.3%、17.4% 和 13.7%。从图 1B 可以看出，早稻施钾增产率主要集中在 7%～20% 区间，占 52.6%；中稻主要集中在 4%～12% 区间，占 50.0%；晚稻则主要集中在 7%～15% 区间，占 51.0%；另外，3 种类型水稻增产率大于 20% 的试验分别有 21.1%、9.4% 和 16.3%。分析图 1C 发现，早、中、晚稻钾肥贡献率分别主要集中在 6%～15%、4%～10% 和 7%～13%，且分别有 26.3%、12.3% 和 16.3% 的试验钾肥贡献率大于 15%。

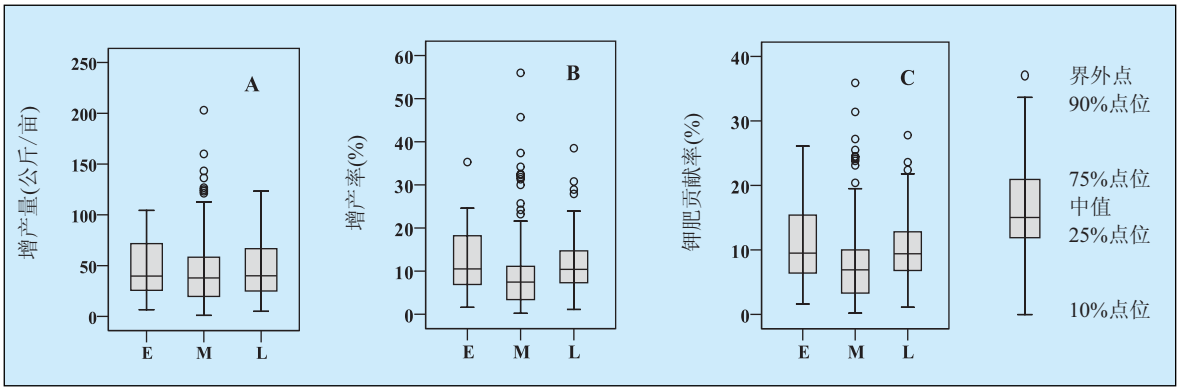


图 1　早、中、晚稻施钾增产量、增产率和钾肥贡献率分布图（图中符号及线条的具体注释在图的右侧）

注：E—早稻；M—中稻；L—晚稻。

2.1.2 施钾对产量构成因素的影响

从表 4 可以看出，在氮、磷肥的基础上，施用钾肥早稻和中稻单位面积有效穗数分别增加 1.3×10^4/ 亩和 0.6×10^4/ 亩，而晚稻的单位面积有效穗数基本不变。对于每穗粒数来说，施用钾肥后中稻和晚稻分别增加 4.7 和 1.6，而早稻变化不大。与 NP 处理相比，早、中、晚稻 NPK 处理的结实率分别提高 0.6%、0.6% 和 1.7%。但是，钾肥对 3 种类型水稻的千粒重均无明显影响。可见，水稻施钾后产量的提高，早稻主要是由于单位面积有效穗数增加所致，中稻主要是由于单位面积有效穗数和每穗粒数增加所致，晚稻则主要由于每穗粒数增加和结实率提高所致。

表 4　施钾对早、中、晚稻产量构成因素的影响

水稻类型	处理	有效穗数（$\times10^4$/ 亩）	每穗粒数（粒）	结实率 (%)	千粒重（克）
早稻 (n=38)	NP	22.3±4.7	101.1±25.4	72.0±13.9	25.3±1.4
	NPK	23.6±5.4	101.6±17.1	72.6±13.7	25.1±1.5
中稻 (n=138)	NP	15.6±2.5	164.3±35.6	80.9±10.1	27.3±2.4
	NPK	16.2±3.0	169.0±43.2	81.5±9.9	27.5±2.5
晚稻 (n=49)	NP	16.3±4.9	140.6±30.4	78.3±9.4	25.2±2.9
	NPK	16.3±4.5	142.2±29.6	80.0±7.8	25.2±2.9

2.2　早、中、晚稻的钾肥吸收与利用效率

2.2.1 施钾对钾素吸收的影响

与 NP 处理相比，早、中、晚稻 NPK 处理的总吸钾（K_2O）量分别平均提高 2.7、3.1 和 3.6 公斤 / 亩，百千克籽粒吸钾（K_2O）量分别平均提高 0.47、0.34 和 0.59 公斤（表 5），说明施用钾肥可以明显促进植株对钾素的吸收。施用钾肥后，早、中、晚稻的钾素收获指数平均分别下降 0.02、0.01 和 0.05，表明施钾降低了钾素在稻谷中的比例，提高了其在稻草中的比例。3 种类型水稻的钾素收获指数在 0.12～0.20 之间，即水稻吸收的钾有 12%～20% 在籽粒中，80%～88% 在茎杆中。另外，无论施钾与否，中稻的总吸钾量和百千克籽粒吸钾量均高于早、晚稻，而其钾素收获指数低于早、晚稻。这说明相对于早稻和晚稻，中稻的全生育期最长，产量最高，需要吸收更多的钾，且生产单位稻谷产量需要的钾也相对最多，但其吸收的钾素更多的积累在茎秆中而非籽粒中。

2.2.2 钾肥利用效率

由表 6 可见，目前 3 种类型水稻钾肥（K_2O）农学利用率的变幅在 0.1～50.7 公斤 / 公斤之间，平均值大约在 7～10 公斤 / 公斤左右，且表现为早稻 > 中稻 > 晚稻。钾肥（K_2O）偏生产力的变幅在 31.5～321.8 公斤 / 公斤之间，平均值大约在 75～100 公斤 / 公斤之间，其中中稻因其产量最高，故其偏生产力相对最高；而早稻因其施钾量较低，故其钾肥偏生产力也高于晚稻。钾肥（K_2O）吸收利用率的变幅在 2.5%～107.9% 之间，

表 5　施钾对早、中、晚稻钾素吸收的影响

水稻类型	处理	总吸钾量（公斤 / 亩）		百千克籽粒吸钾量（公斤）		钾素收获指数	
		变幅	均值	变幅	均值	变幅	均值
早稻 (n=20)	NP	5.2～14.0	9.7±2.7	1.80～3.42	2.49±0.46	0.11～0.24	0.16±0.03
	NPK	5.9～16.8	12.4±2.7	1.88～3.74	2.96±0.47	0.10～0.19	0.14±0.02
中稻 (n=44)	NP	6.1～26.5	15.8±4.8	1.45～4.53	3.11±0.66	0.09～0.20	0.13±0.03
	NPK	8.3～29.4	18.9±4.8	1.89～4.62	3.45±0.62	0.07～0.17	0.12±0.02
晚稻 (n=15)	NP	3.6～16.4	8.2±3.8	1.07～3.19	2.13±0.55	0.11～0.34	0.20±0.07
	NPK	5.4～21.0	11.8±4.5	1.80～3.44	2.72±0.48	0.10～0.21	0.15±0.03

表 6　早、中、晚稻的钾肥利用率

水稻类型	钾肥农学利用率		钾肥偏生产力（公斤 / 公斤）		钾肥生理利用率		钾肥吸收利用率 (%)	
	变幅	均值	变幅	均值	变幅	均值	变幅	均值
早稻 (n=38/20)	0.7～30.0	9.6±6.8	38.9～195.0	92.3±47.2	2.2～93.5	21.1±25.1	6.0～107.9	47.1±31.7
中稻 (n=138/44)	0.1～50.7	8.2±8.4	31.6～321.8	101.5±55.3	0.5～98.8	24.1±27.6	2.5～107.6	53.8±33.6
晚稻 (n=49/15)	1.3～24.8	7.2±4.9	31.5～160.2	75.4±30.3	1.8～101.9	23.7±26.8	3.6～98.4	46.3±30.0

注：表中钾肥农学利用率和钾肥偏生产力进行统计分析时所用样本数一致，早、中、晚稻分别为 38、138 和 49 个；钾肥吸收利用率和钾肥生理利用率进行统计分析时所用样本数一致，早、中、晚稻分别为 20、44 和 15 个。

平均值大约在 46%～54% 之间，大小顺序表现为中稻 > 早稻≈晚稻。钾肥（K_2O）生理利用率的变幅在 0.5～101.9 公斤 / 公斤之间，平均值大约在 21～24 公斤 / 公斤之间，表明在当前生产条件下，水稻体内每积累 1 公斤肥料 K_2O 可增收 21～24 公斤稻谷。

从图 2A 可以看出，早稻施钾后的百千克籽粒吸钾（K_2O）量主要集中在 2.7～3.3 公斤之间，占 45.0%；中稻主要集中在 3.0～4.0 公斤之间，占 56.8%；晚稻主要集中在 2.4～3.0 公斤之间，占 46.7%。分析图 2B 发现，水稻在不同试验点的钾肥农学利用率差异较大，其中中稻在不同试验点的变幅最大，而晚稻的变幅相对最小。早、中、晚稻钾肥农学利用率均主要集中在 4～13 公斤 / 公斤之间，在此区间的比例分别为 55.3%、44.2% 和 65.3%，且分别有 13.2%、13.8% 和 6.1% 的试验钾肥农学利用率大于 15 公斤 / 公斤。图 2C 中，早、中、晚稻钾肥吸收利用率分别主要集中在 20%～60%、20%～80% 和 20%～70% 区间，且 3 种类型水稻分别有 20.0%、27.3% 和 20.0% 的试验钾肥吸收利用率大于 80%。

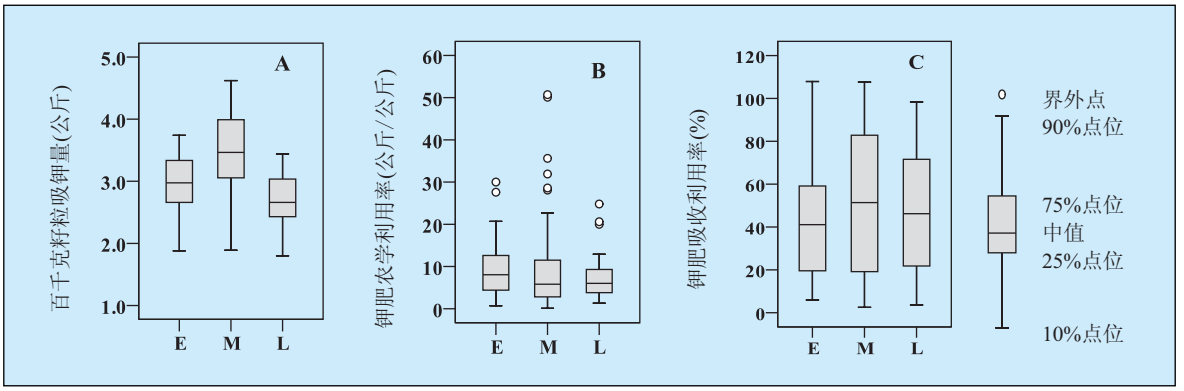


图 2　早、中、晚稻施钾处理的百千克籽粒吸钾量、钾肥农学利用率和吸收利用率分布图（图中符号及线条的具体注释在图的右侧）

注：E－早稻；M－中稻；L－晚稻。

3　讨论与结论

3.1　早、中、晚稻施钾增产效应现状

大量研究表明，合理施用钾肥能够增加水稻产量 [4-5]。本研究的结果也证实了这一点，早、中、晚稻 231 个试验中，除 5 个中稻试验和 1 个晚稻试验因施用钾肥而导致减产，其余 225 个试验的产量结果均表现为：NPK>NP，即在施用氮、磷肥的基础上，早、中、晚稻施用适量钾肥后的产量都有不同程度的增加。3 种类型水稻对钾肥投入的反应因水稻季别、品种、土壤肥力及气候条件等因素影响而差异很大。早、中、晚稻施钾增产量平均分别为 47.7、45.3 和 46.1 公斤 / 亩，增产率平均分别为 12.6%、9.6% 和 12.0%，钾肥贡献率平均分别为 10.8%、8.2% 和 10.3%。

水稻产量是由单位面积有效穗数、每穗粒数、结实率及千粒重 4 个因素构成的，钾肥对以上产量构成因素的影响在不同的研究中结论不同。有的研究认为施钾可以增加单位面积有效穗数和每穗粒数，提高结实率，而对千粒重无明显影响 [3]；有的则认为钾肥对单位面积有效穗数、每穗粒数及千粒重均有显著影响 [7]。本研究在多年多点田间试验的基础上，发现在氮、磷肥的基础上，施用钾肥后，早稻产量的提高主要是由于单位面积有效穗数增加所致；中稻产量的提高主要是由于单位面积有效穗数和每穗粒数增加所致；晚稻产量的提高则主要是由于每穗粒数增加和结实率提高所致。这说明，钾肥对不同类型水稻产量构成因素的影响是不同的，分析原因可能与 3 种类型水稻生长期间的环境温度不同有关，而温度又是影响水稻生长的一个重要因素。有学者指出，分蘖期气温低于 17℃，水稻秧苗伸长会受到抑制，分蘖少，成穗率低 [8]；而抽穗期的低温又会导致水稻结实率下降 [9]。3 种类型水稻分蘖期的温度表现为早稻 < 中稻 < 晚稻，幼穗分化期和抽穗期的温度则为晚稻 < 早稻 < 中稻。钾作为抗逆元素，可以在一定程度上减轻

低温和高温对作物生长产生的不利影响。本研究认为，钾肥施用后，缓解了低温条件下早稻分蘖成穗率低和晚稻结实率低的问题。因此，与不施钾相比，早稻施钾主要提高了单位面积有效穗数，而晚稻主要提高了每穗粒数和结实率，即穗实粒数。

3.2 早、中、晚稻钾肥吸收、利用效率现状

水稻对钾素的吸收、利用受水稻季别 [3]、水稻品种 [3-4]、土壤理化性状 [10]、施肥量 [4]、施肥方法 [4]、气候条件及水分管理等的影响。本研究是在模糊其他影响因素的基础上，按季别将水稻分为早稻、中稻和晚稻，从区域角度探讨目前生产条件下 3 种类型水稻对钾肥的吸收利用情况。结果表明，在氮、磷肥的基础上，施用钾肥不仅可以提高水稻产量，也可提高植株总吸钾量，说明水稻产量越高对钾素的需求量相应地也越高。不施钾时，早、中、晚稻的百千克籽粒吸钾（K_2O）量平均分别为 2.49、3.11 和 2.13 公斤，施钾时平均分别提高到 2.96、3.45 和 2.72 公斤。

本研究通过在湖北省布置多年多点田间肥效试验，发现在当前生产条件下，水稻钾肥（K_2O）农学利用率平均为 8.2 公斤 / 公斤，偏生产力平均为 94.3 公斤 / 公斤，吸收利用率平均为 50.7%，生理利用率平均为 23.3 公斤 / 公斤。张福锁等通过对全国 108 个试验的结果分析发现，我国目前水稻钾肥（K_2O）农学利用率平均为 6.3 公斤 / 公斤，偏生产力平均为 98.5 公斤 / 公斤，吸收利用率平均为 32.4%，生理利用率平均为 19.4 公斤 / 公斤 [11]。可见，目前湖北省水稻生产中的钾肥农学利用率、吸收利用率及生理利用率都明显高于全国的平均水平，原因可能是因为本研究中土壤的供钾水平低于全国平均水平，因而施钾效果较好。

钾肥吸收利用率也就是作物对施入土壤中的肥料钾的回收效率，反映了作物对肥料钾的吸收状况 [11]。本研究发现，早稻和中稻分别有 10.0% 和 6.8% 的试验钾肥吸收利用率大于或等于 100%，说明水稻吸收的钾素远远大于化肥提供的钾素，因此必须从土壤中吸收部分钾素。相似的结果在有关小麦肥料利用率的研究中也出现过 [12]。出现这种现象的原因，一方面可能是因为施用钾肥提高了土壤速效钾和缓效钾在土壤全钾中的比例，即施钾提高了土壤的供钾能力，促进了作物对土壤钾素的吸收；另一方面就是我们在用通用的差减法来计算钾肥吸收利用率时，低估了作物施钾后从土壤中吸收的钾量。

参考文献

[1] Dedatta S K，Gomez K A，Descalsota J P. Changes in yield response to major nutrients and in soil fertility under intensive rice cropping [J]. J. Soil Sci.，1988，146：350-358.

[2] 陈 防，万开元，陈树森，等．中国南方钾素研究进展与展望[A]. 周健民，MagenH. 土壤钾素动态与钾肥管理[C]. 南京：河海大学出版社，2008,99-104.

[3] 胡 泓，王光火．钾肥对杂交水稻养分积累以及生理效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2003，9(2)：184-189.

[4] 王强盛，甄若宏，丁艳锋，等．钾肥用量对优质粳稻钾素积累利用及稻米品质的影响[J]. 中国农业科学，2004，37(10)：1444-1450.

[5] 张玉屏，曹卫星，朱德峰，等．红壤稻田钾肥施用量对超级稻生长及产量的影响[J]. 中国水稻科学，2009，23(6)：633-638.

[6] 鲍士旦．土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社，2000,30-107.

[7] 丁玉川，罗 伟，徐国华．镁、钾营养及其交互作用对水稻产量、产量构成因素和养分吸收的影响[J]. 水土保持学报，2008，22(3)：178-182.

[8] 李景蕻，李刚华，杨从党，等．增加土壤温度对高海拔生态区水稻分蘖成穗及产量形成的影响[J]. 中国水稻科学，2010，24(1)：36-42.

[9] 郭萌生，张红林，谢勇，等．温度条件对杂交中晚稻结实率的影响[J]. 中国农业气象，2008，29(3)：304-307.

[10] Yadav R L. Assessing on-farm efficiency and economics of fertilizer N,P and K in rice wheat systems of India [J].Field Crops Res.,2003,81:39-51.

[11] 张福锁，王激清，张卫峰，等．中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报，2008,45(5):915-924.

[12] 黄绍敏，宝德俊，皇甫湘荣，等．长期定位施肥小麦的肥料利用率研究[J]. 麦类作物学报，2006，26(2)：121-126.

番茄钾肥适宜用量研究

邢月华　汪　仁　包红静　宫　亮

（辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所，沈阳 110161）

摘要：田间试验结果表明：番茄施用钾肥具有明显的增产增收效果，施钾处理比不施钾处理增产 12.9%～18.9%，增收 1225～1727 元 / 亩；增施钾肥可明显提高番茄果实中维生素 C 和可溶性总糖含量，改善番茄的品质；番茄钾肥的效应方程为：$Y= 6571.0+83.03K-1.667 K^2$（$R=0.871^{**}$），经济合理施钾（$K_2O$）量为 24 公斤 / 亩，经济产量为 7598 公斤 / 亩。

关键词：番茄；钾肥；适宜用量

番茄是在我国普遍栽培、深受人们喜爱的主要蔬菜种类之一。但在农业生产实践中，番茄栽培普遍存在偏施氮肥而不重视钾肥施用的问题。这种长期不平衡施肥必然导致菜田土壤养分的平衡失调，土壤肥力严重退化、氮素的利用率降低，更为严重的是在降低番茄产量的同时，产品品质明显下降。因此，番茄钾肥研究逐渐引起科研工作者的重视，并有了一些施钾对番茄产量和品质影响等方面的研究 [1-8]，但对番茄钾肥适宜用量研究较少。本试验探讨了保护地番茄钾肥适宜用量研究，旨在为番茄合理施肥提供理论依据，对实现蔬菜优质、高效和可持续发展具有重要的理论指导和实践参考价值。

1　材料与方法

1.1　试验地基本概况

试验布置在沈阳东郊榆树屯村的草甸土上，供试土壤 0–20cm 土层的养分状况见表 1。番茄品种为上海 903，种植密度为 2500 株 / 亩，2007 年 7 月 1 日定植。

表 1　土壤养分分析结果（ASI 法）

OM (%)	pH	速效养分含量（毫克 / 升）											
		NH_4^+-N	NO_3^--N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
1.01	5.97	5.7	149.8	142.3	84.2	2152.3	318.7	97.2	102.9	6.6	23.3	12.4	5.23

1.2　试验设计

在每亩施氮 23 公斤和磷 12 公斤基础上，设置 5 个钾肥用量处理，K_2O 用量分别为 0、6.7、13.3、20.0、26.7 公斤 / 亩，分别用 K_0、K_1、K_2、K_3、K_4 表示（表 2）。小区面积 15 平方米，3 次重复，随机排列。氮肥为尿素（N46%），磷肥为过磷酸钙（$P_2O_5$18%），钾肥为氯化钾（K_2O60%）。所有磷肥和 1/2 的钾肥、1/3 氮肥作基肥施用，剩余的氮、钾肥平均分两次在第一穗果膨大期和第二穗果膨大期追施。

表 2 番茄钾肥不同用量田间试验施肥方案

处理	施肥量（公斤 / 亩）		
	N	P_2O_5	K_2O
K_0	23	12	0.0
K_1	23	12	6.7
K_2	23	12	13.3
K_3	23	12	20.0
K_4	23	12	26.7

1.3 测定项目

播种施肥前采取 0–20 厘米耕层土壤样品，送中加合作实验室测定各种大中微量营养元素含量；在番茄收获时采取各处理代表性的果实样品 3–5 个，记录干物重，分析番茄果实 Vc 和可溶性总糖含量；收获时按小区单收，计番茄果实产量。

2 结果与分析

2.1 不同钾肥用量对番茄产量的影响

从表 3 可知，各施钾处理比不施钾处理产量分别增加了 834、851、945 和 1219 公斤 / 亩，相对增加了 12.9%、13.2%、14.6% 和 18.9%。从各处理显著性分析来看，各施钾处理均比不施钾肥的 K_0 处理增产达极显著水平。说明，本试验条件下，施用钾肥对番茄产量有明显的促进作用。

表 3 钾肥用量对产量的影响（公斤 / 亩）

处理	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	平均值	增产（%）	显著水平	
						5%	1%
K_0	6453	6506	6427	6462	--	c	C
K_{100}	7278	7326	7283	7296	12.9	b	B
K_{200}	7610	7180	7148	7313	13.2	b	B
K_{300}	7531	7332	7359	7407	14.6	b	AB
K_{400}	7695	7698	7650	7681	18.9	a	A

2.2 不同钾肥用量对番茄经济效益的影响

由表 4 可知，施钾处理比不施钾处理增收 1225～1727 元 / 亩，平均增收 1380 元 / 亩。可见，合理的施用钾肥不仅增加了产量，还增加了农民的经济收入。

表 4　钾肥用量对番茄经济效益的影响（元 / 亩）

处理	产值	肥料成本	利润	增收
K_0	9693	138	9555	--
K_1	10943	163	10781	1225
K_2	10970	188	10781	1226
K_3	11111	214	10897	1342
K_4	11522	239	11283	1727

注：N4.2 元 / 公斤，P_2O_5 3.3 元 / 公斤，K_2O 3.8 元 / 公斤，番茄 1.5 元 / 公斤。

2.3　不同钾肥用量对番茄品质的影响

在番茄盛果期采集果实样品进行化验分析，结果表明，增施钾肥可明显提高番茄果实中维生素 C 和可溶性总糖含量。与不施钾肥处理相比，维生素 C 含量提高 3.37～7.31 克 /100 克，可溶性总糖含量提高 0.1～0.5 个百分点，说明增施钾肥可改善番茄的品质。

表 5　不同钾肥用量对番茄品质的影响

处理	维生素 C（克 /100 克）	可溶性总糖（%）
K_0	9.85	2.70
K_1	15.62	3.20
K_2	17.16	2.80
K_3	13.22	2.80
K_4	13.68	3.00

2.4　番茄施用钾肥的肥料效应

根据番茄不同钾肥用量试验产量结果，用一元二次方程配置出产量 Y 和施钾（K_2O）量 K 的关系式，钾肥的效应方程：$Y=6571.0+83.03K-1.667K^2$（$R=0.871^{**}$，式中 Y 为番茄果实产量，K 表示 K_2O 用量）。按照当年当地的番茄平均收购价 1.5 元 / 公斤，K_2O 价格 3.8 元 / 公斤，由钾肥的效应方程可得出：经济合理施钾（K_2O）量为 24 公斤 / 亩，经济产量为 7598 公斤 / 亩。

3　小结

3.1　番茄施钾可显著增加番茄产量和经济效益。各施钾处理比不施钾处理增产 12.9%～18.9%，增收 1225～1727 元 / 亩。

3.2　增施钾肥可明显提高番茄果实中维生素 C 和可溶性总糖含量，改善番茄品质。

3.3　番茄钾肥的效应方程：$Y=6571.0+83.03K-1.667K^2$（$R=0.871^{**}$），经济合理施钾（K_2O）量为 24 公斤 / 亩，经济产量为 7598 公斤 / 亩。

参考文献

[1] 孙红梅，李天来，须晖，等．不同氮水平下钾营养对大棚番茄产量及品质的影响[J]．沈阳农业大学学报，2003，31(1)：68−71．

[2] 齐红岩，李天来，周璇，等．不同氮钾水平对番茄产量、品质及蔗糖代谢的影响[J]．中国农学报，2005，21(11)：251−255．

[3] 姜汉川，居立海．氮钾肥配施对番茄产量和品质的影响[J]．江苏农业科学，2005，21(5)：117−119．

[4] 刘玉环，秦嘉海．钾肥对加工型番茄的肥效研究[J]．土壤通报，2005，36(6)：986−988．

[5] 杨小燕，卜玉山，段小柱．施钾对番茄产量和品质效应研究[J]．新疆农业科学，2005，42(4)：272−275．

[6] 齐红岩，李天来，富宏丹，等．不同氮钾水平对番茄营养吸收和土壤养分变化的影响[J]．土壤通报，2006，37(2)：268−272．

[7] 韦海忠，戴勇斌，徐杏林，等．钾肥品种和用量对番茄产量与品质的影响[J]．浙江农业科学，2009，6：1072−1075．

[8] 陈连发，邹志荣，李建明．不同氮钾肥水平对温室番茄生长发育和产量的影响[J]．西北农业学报，2010，19(1)：121−125．

钾氮营养对香蕉抽蕾和产量的影响

杨苞梅[1]　黄汉森[2]　黄　强[2]　姚丽贤[1]　周昌敏[1]　何兆桓[1]

（1．广东省农业科学院土壤肥料研究所／广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室，广东广州 510640；

2．广东省高州市农业局，广东高州 525200）

摘要：在高州市香蕉主产区，研究了氮钾营养对香蕉抽蕾和产量的影响。结果表明，（1）缺氮对香蕉抽蕾、产量及效益的影响更甚于缺钾。（2）在 40.7 K_2O 公斤 / 亩基础上随着施氮量的增加，香蕉抽蕾率呈现提高的趋势。在 40.7 K_2O 公斤 / 亩基础上随着施氮量的增加，及在 37.0 N 公斤 / 亩基础上随着施钾量的提高，香蕉产量呈现先增加后下降的规律。（3）在高州市香蕉产区，为获得第一年蕉 2.7 吨 / 亩左右的高产，适宜施肥量为 N 37.8~42.0 公斤 / 亩、P_2O_5 11.1~14.3 公斤 / 亩、K_2O 47.5~52.3 公斤 / 亩。氮钾肥最佳配比为 N:K_2O 为 1: 1.25~1.26。

关键词：香蕉；氮；钾；抽蕾

香蕉为多年生大型草本植物，在我国热带亚热带水果产业中占有重要地位[1]，而广东是我国最大的香蕉产区[2]。由于水气热条件优越，一直以来茂名均是广东最大的香蕉优势区域[3]，近年来其香蕉种植面积及产量均稳步增长。2009 年茂名市香蕉种植面积及产量分别为 60 万亩和 126.9 万吨，分别占广东香蕉种植面积及产量的 31.7% 和 35.5%[4]。而同年高州市香蕉种植面积及产量分别为 33 万亩和 69.6 万吨，分别占茂名市香蕉种植面积及产量的 53.4% 和 54.8%[4]，在广东香蕉生产中占有重要的地位。香蕉株形高大，产量高，需肥量大，施肥量为一般粮食作物的 5~6 倍，蔬菜作物的 3~4 倍，因而肥料成为香蕉生产的最主要成本之一[5]。钾、氮为香蕉正常生长发育需求量最大的两个营养元素[6]。因此，该文研究了钾氮养分对香蕉抽蕾、产量和品质的影响，建立氮、钾肥产量效应方程，确定高州香蕉产区适宜的氮钾肥施用量，以期为高州地区香蕉生产提供科学施肥的依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2010 年分别在高州市顿梭镇大王垌村蕉园（N21.95990°,E110.78631°）和高州市宝光镇丁堂村蕉园（N22.00149°,E110.78770°）进行。试验前采集 0~50 厘米层土壤，参照文献[7]进行土壤理化性状分析，pH 应用电位法（水土比 =2.5:1），有机质应用重铬酸钾滴定法，碱解 N 应用碱解扩散法，有效 P 应用 Olsen 法，速效 K 应用乙酸铵浸提法，有效 Ca 和 Mg 应用 NH_4OAc 交换法，有效 S 应用磷酸－HOAc 浸提－$BaSO_4$ 比浊法，有效 Fe、Mn 及 Zn 应用 HCl 浸提－原子吸收分光光度法，有效 B 应用沸水浸提－姜黄素比色法，有效 Mo 应用草酸－草酸铵浸提－极谱法，土壤质地应用比重计法。顿梭点结果为：pH 4.33，有机质 16.6 克 / 公斤，碱解 N 104.5 毫克 / 公斤，有效 P 7.4 毫克 / 公斤，速效 K 112.0 毫克 / 公斤，有效 Ca 435.4 毫克 /

公斤，有效 Mg 62.2 毫克 / 公斤，有效 S 55.3 毫克 / 公斤，有效 B 0.16 毫克 / 公斤，有效 Mo 0.03 毫克 / 公斤，有效 Zn 2.5 毫克 / 公斤，土壤质地为砂质粘壤土。因此，该供试土壤为酸性，有机质和有效 P 含量中下，碱解 N 和速效 K 含量中上，有效 S 和有效 Zn 含量丰富，有效 Ca 和有效 Mg 含量缺乏，有效 B 和有效 Mo 含量很缺乏。宝光点结果为：pH 4.36，有机质 12.7 克 / 公斤，碱解 N 100.8 毫克 / 公斤，有效 P 16.7 毫克 / 公斤，速效 K 269.5 毫克 / 公斤，有效 Ca 372.0 毫克 / 公斤，有效 Mg 71.7 毫克 / 公斤，有效 S 61.3 毫克 / 公斤，有效 B 0.23 毫克 / 公斤，有效 Mo 0.06 毫克 / 公斤，有效 Zn 1.9 毫克 / 公斤，土壤质地为砂质粘壤土。因此，该土壤为酸性，有机质含量中下，碱解 N 和有效 P 含量中上，速效 K 含量丰富，有效 S 和有效 Zn 含量丰富，有效 Ca、有效 Mg 和有效 B 含量缺乏，有效 Mo 含量很缺乏。

试验均设 8 个处理，分别为① $N_0P_0K_0$，② $N_0P_2K_2$，③ $N_1P_2K_2$，④ $N_2P_2K_2$，⑤ $N_3P_2K_2$，⑥ $N_2P_2K_0$，⑦ $N_2P_2K_1$，⑧ $N_2P_2K_3$，每个处理三次重复，随机区组排列。供试品种为国内主栽品种巴西蕉（*Musa AAA Giant Cavendish cv.Brazil*），单畦双行之字形种植，种植规格为畦宽 4.6 米，行距 2.3 米，株距 2.3 米，小区面积 52.9 平方米，每个小区种植 10 株，种植密度为 126 株 / 亩。顿梭点于 2010 年 3 月 18 日种植试管苗，宝光点于 2010 年 3 月 7 日种植试管苗。各处理全年香蕉养分用量见表 1，试验肥料为尿素、过磷酸钙和氯化钾。

表 1　不同施肥处理香蕉全年养分用量（公斤 / 亩）

处理	宝光点养分用量			顿梭点养分用量		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
$N_0P_0K_0$	0.00	0.00	0.00	20.35	0.00	48.84
$N_0P_2K_2$	0.00	11.10	40.70	40.70	14.30	48.84
$N_1P_2K_2$	18.50	11.10	40.70	61.05	14.30	48.84
$N_2P_2K_2$	37.00	11.10	40.70	40.70	14.30	48.84
$N_3P_2K_2$	55.50	11.10	40.70	40.70	14.30	0.00
$N_2P_2K_0$	37.00	11.10	0.00	40.70	14.30	24.42
$N_2P_2K_1$	37.00	11.10	20.40	20.35	14.30	73.26
$N_2P_2K_3$	37.00	11.10	61.10	40.70	14.30	48.84

试验全生育期共施 7 次肥。2010 年 4 月 9 日施第一次肥，2010 年 5 月 13 日施第二次肥，2010 年 6 月 7 日施第三次肥，2010 年 7 月 7 日施第四次肥，2010 年 8 月 9 日施第五次肥，2010 年 9 月 4 日施第六次肥，2010 年 10 月 9 日施第七次肥。香蕉从试管苗定植至花芽分化前，氮肥施用量占总氮肥施用量的 20% 左右，钾肥占 15% 左右，磷肥占 50%。从花芽分化期前至抽蕾前，氮肥占 45% 左右，钾肥占 55% 左右，磷肥占 30%。抽蕾后，氮肥施肥量占 35% 左右，钾肥占 30% 左右，磷肥占 20%。在香蕉苗期施水肥，生长前期开沟施肥，香蕉生长中、后期挖穴施肥，施肥后覆土及淋水。

1.2 调查、计产及数据分析

抽蕾期调查香蕉抽蕾率。顿梭点试验香蕉在 2011 年 1 月 13 日 ~2 月 24 日间收获，宝光点试验香蕉在 2011 年 1 月 29 日 ~3 月 14 日间收获，期间记录每株香蕉产量。在蕉果黄熟阶段分析果实品质，可溶性糖采用蒽酮法 [8]，维生素 C 采用 2,6– 二氯靛酚滴定法测定 [8]，可溶性固形物采用 WYT（0~80%）手持糖量计测定。顿梭点 $N_0P_0K_0$ 和 $N_0P_2K_2$ 两个处理香蕉未能抽蕾无果实分析。

所有数据均为平均数，数据处理应用 Excel 软件，方差分析应用 SAS9.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 香蕉抽蕾率

抽蕾期间，顿梭点于 2010 年 9 月 25 日调查，$N_0P_0K_0$ 和 $N_0P_2K_2$ 处理香蕉抽蕾率均为 0.0%，$N_1P_2K_2$、$N_2P_2K_2$、$N_3P_2K_2$、$N_2P_2K_0$、$N_2P_2K_1$ 和 $N_2P_2K_3$ 处理香蕉抽蕾率依次为 76.7%、80.0%、100.0%、80.0%、80.0% 和 86.7%。试验结束后，于 2011 年 2 月 24 日调查，$N_0P_0K_0$ 处理和 $N_0P_2K_2$ 处理 100% 香蕉植株均始终无法抽蕾，$N_2P_2K_0$ 处理香蕉植株 100% 均能成功抽蕾但其中 20% 的蕉蕾无法形成商品产量。

抽蕾期间，宝光点于 2010 年 10 月 10 日调查，$N_0P_0K_0$、$N_0P_2K_2$、$N_1P_2K_2$、$N_2P_2K_2$、$N_3P_2K_2$、$N_2P_2K_0$、$N_2P_2K_1$ 和 $N_2P_2K_3$ 处理香蕉抽蕾率依次为 13.3%、13.3%、76.7%、80.0%、93.3%、93.3%、86.7% 和 73.3%。试验结束后，于 2011 年 3 月 14 日调查，$N_0P_0K_0$ 处理 83.3% 的香蕉植株始终无法抽蕾，$N_0P_2K_2$ 处理 66.7% 的香蕉植株始终无法抽蕾，$N_2P_2K_0$ 处理香蕉 100% 均能成功抽蕾但其中 20% 的蕉蕾无法形成商品产量。

可见，在高州市香蕉主产区，缺氮对香蕉抽蕾的影响更甚于缺钾，不施氮肥香蕉几乎无法抽蕾。$N_2P_2K_2$ 处理香蕉植株抽蕾时间较缺氮、缺钾处理早且抽蕾集中，有利于提早及集中收获。在 K_2 基础上随着施氮量的增加，香蕉抽蕾率呈现提高的规律。

2.2 香蕉果实品质

表 2 显示，顿梭点，在 K_2 基础上随着施氮量的增加，以及在 N_2 基础上随着施钾量的提高，香蕉果实 Vc 含量呈现先增加后下降。宝光点，在 K_2 基础上随着施氮量的增加，及在 N_2 基础上随着施钾量的提高，香蕉果实 Vc、可溶性糖及固形物含量均呈现先增加后下降，整体上看，分别以 N_2、K_2 水平下达到最大。缺氮处理香蕉果实可溶性糖和可溶性固形物含量显著低于缺钾处理，Vc 含量不显著低于缺钾处理。可见，缺氮对香蕉果实品质的影响更甚于缺钾。在所有处理中，$N_2P_2K_0$ 处理香蕉果实品质最好，其次是 $N_2P_2K_2$ 处理，其原因在于 $N_2P_2K_0$ 处理香蕉产量较低，产生浓缩效应所致。表明适量配施氮钾肥香蕉果实风味和品质最好，氮钾肥用量过高或过低均降低香蕉果实品质。

2.3 香蕉产量及效益

顿梭点，$N_0P_0K_0$、$N_0P_2K_2$、$N_1P_2K_2$、$N_2P_2K_2$、$N_3P_2K_2$、$N_2P_2K_0$、$N_2P_2K_1$ 和 $N_2P_2K_3$ 处理香蕉产量依次为 0、0、2061、2263、2054、1701、2174、2219 公斤 / 亩，利润依次为 2394、2719、6661、7492、6431、5168、7211 和 7159 元 / 亩。与 $N_2P_2K_2$ 处理相比较，$N_2P_2K_0$ 处理香蕉减产 24.8%，减收 31.0%。在所有处理中，$N_2P_2K_2$ 处理香蕉产量和种植利

表 2　不同处理果实品质比较

处理	顿梭点				宝光点			
	Vc（毫克 /100 克）	可溶性糖（%）	固形物（%）	可食率（%）	Vc（毫克 /100 克）	可溶性糖（%）	固形物（%）	可食率（%）
$N_0P_0K_0$	--	--	--	--	8.7ab	18.3c	23.2b	64.7a
$N_0P_2K_2$	--	--	--	--	8.9ab	18.1c	23.0b	66.6a
$N_1P_2K_2$	6.1a	17.8a	20.0a	66.5a	9.1ab	19.1abc	23.5b	66.6a
$N_2P_2K_2$	7.8a	17.5a	20.5a	65.8a	8.8ab	20.2ab	24.0ab	65.0a
$N_3P_2K_2$	6.3a	18.1a	20.5a	66.6a	8.9ab	18.8bc	23.5b	65.6a
$N_2P_2K_0$	6.0a	17.6a	20.5a	67.8a	9.3a	20.4a	25.2a	66.5a
$N_2P_2K_1$	6.4a	18.5a	21.7a	66.7a	8.6ab	18.7bc	23.2b	66.7a
$N_2P_2K_3$	7.4a	17.8a	20.8a	67.6a	8.4b	19.2abc	24.0ab	66.6a

注：同一列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平，下同。

润均最高。$N_0P_0K_0$ 处理和 $N_0P_2K_2$ 处理由于香蕉未能抽蕾而无产量。宝光点，$N_0P_0K_0$、$N_0P_2K_2$、$N_1P_2K_2$、$N_2P_2K_2$、$N_3P_2K_2$、$N_2P_2K_0$、$N_2P_2K_1$ 和 $N_2P_2K_3$ 处理香蕉产量依次为 326、630、2338、2508、2304、1863、2442 和 2564 公斤 / 亩，利润依次为 897、237、8004、8697、7666、5944、8501 和 8844 元 / 亩。与 $N_2P_2K_2$ 处理相比较，$N_0P_0K_0$、$N_0P_2K_2$ 和 $N_2P_2K_0$ 处理香蕉分别减产 87.0%、74.9% 和 25.7%，分别减收 110.3%、97.3% 和 31.7%。在所有处理中，$N_2P_2K_3$ 处理香蕉产量和种植利润均最高 $N_2P_2K_2$ 处理较 $N_2P_2K_3$ 处理不显著减产 2.2%、减收 1.7%。

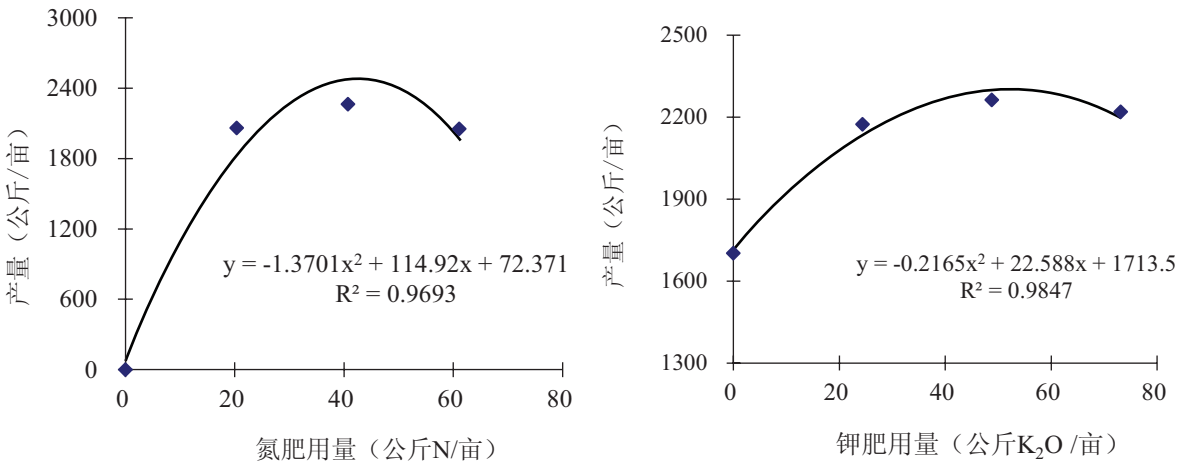


图 1 氮钾养分用量与香蕉产量关系（顿梭点）

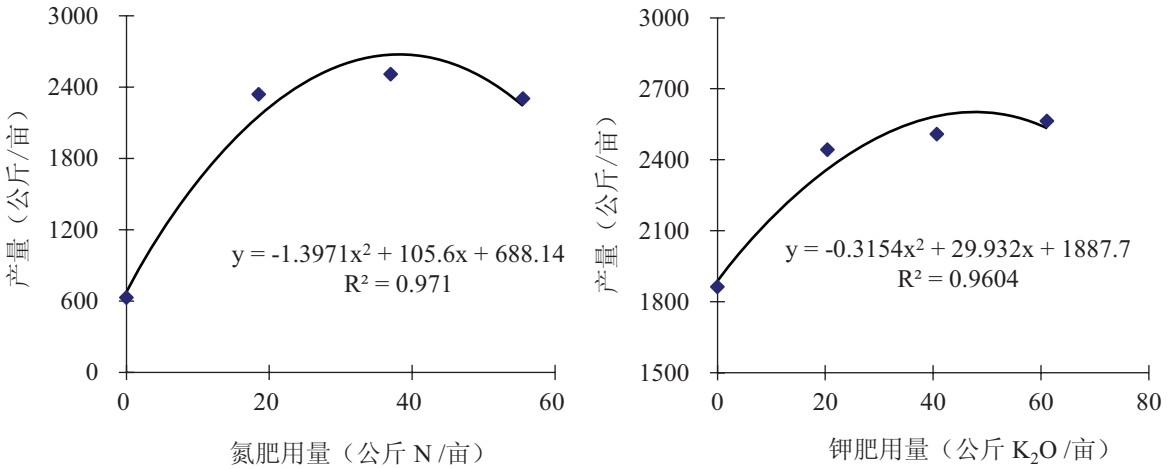


图 2 氮钾养分用量与香蕉产量关系（宝光点）

由图 1 及图 2 可知，在 K_2 基础上随着施氮量的增加，及在 N_2 基础上随着施钾量的提高，香蕉产量先增加后下降。N_3 处理香蕉产量均明显低于 N_1 处理，K_3 处理香蕉产量则明显高于 K_1 处理。对氮钾肥养分用量与香蕉产量关系进行拟合，顿梭点，计算出氮肥最佳用量为 N42.0 公斤 / 亩，钾肥最佳用量为 K_2O52.3 公斤 / 亩，氮钾肥最佳配比 N:K_2O 为 1:1.25。宝光点，计算出氮肥最佳用量为 N37.8 公斤 / 亩，钾肥最佳用量为 K_2O47.5 公斤 / 亩，氮钾肥最佳配比 N:K_2O 为 1:1.26。

3 小结

（1）缺氮对香蕉抽蕾、产量及效益的影响更甚于缺钾，不施氮肥香蕉几乎无法抽蕾。

（2）K_2 基础上随着施氮量的增加，香蕉抽蕾率呈现提高的趋势。在 K_2 基础上随着施氮量的增加，及在 N_2 基础上随着施钾量的提高，香蕉果实 Vc 含量呈先增加后下降的规律。

（3）K_2 基础上随着施氮量的增加，及 N_2 基础上随着施钾量的提高，香蕉产量呈现先增加后下降的规律。氮钾肥最佳配比 $N:K_2O$ 为 1:1.25～1.26。在高州市香蕉产区，为获得第一年蕉 2.7 吨 / 亩左右的高产，适宜施肥量为 N37.8～42.0 公斤 / 亩、$P_2O_5$11.1～14.3 公斤 / 亩、K_2O47.5～52.3 公斤 / 亩。

参考文献

[1] 邱优辉，李会，徐贞贞，等 . 我国香蕉产业现状与发展的科技措施 [J]. 农业现代化研究 ,2011,32(2):200−203.

[2] 杨培生，陈业渊，黎光华，等 . 我国香蕉产业—现状、问题与前景 [J]. 果树学报 ,2003,20(5):415−420.

[3] 洪少朋，周灿芳，万忠，等 .2009 年广东香蕉产业发展现状分析 [J]. 广东农业科学 2010,(5):215−217.

[4] 广东农村统计年鉴编辑委员会编纂 . 广东农村统计年鉴 [M]. 北京 : 中国统计出版社 ,2010:199−203.

[5] 姚丽贤，周修冲，蔡永发，等 . 香蕉园土壤养分空间变异性及适宜样本容量研究 [J]. 土壤通报 2005,36(2):169−171.

[6] 杨苞梅，林电，李家均，等 . 香蕉营养规律的研究 [J]. 云南农业大学学报 ,2007,22(1):117−121.

[7] 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.

[8] 南京农业大学 . 土壤农化分析 [M]. 北京 : 农业出版社 ,1981:245−280.

青海省马铃薯平衡施肥技术研究

张亚丽[1]　陈占全[1]　李月梅[1]　高玉亭[1]　刘永忠[2]　霍幸福[2]

（1. 青海省农林科学院土壤肥料研究所，西宁 810016；　2. 互助县农业技术推广中心，青海互助）

摘要：在青海省互助县威远镇进行马铃薯 3414 肥料试验，研究 N、P、K 不同配比对马铃薯产量等的影响。根据产量结果模拟出肥料的产量效应函数为 $y=31758.37+6.476N+208.06P-98.82K-2.658NP-2.78PK+0.77NK+0.085N^2+6.413P^2+0.82K^2$,F=1.432，推荐出马铃薯经济最佳施肥量为 N7.59 公斤 / 亩，$P_2O_5$4.06 公斤 / 亩，K_2O6.02 公斤 / 亩；同时发现，不同 N、P、K 配比及用量能不同程度地降低马铃薯还原糖含量、提高淀粉含量。

关键词：马铃薯；平衡施肥

马铃薯是青海省主要作物之一，近年来种植面积已达到 150 万亩，总产量近 40 万吨，仅次于春小麦，位居全省粮油豆薯类农作物总产排名第二位，成为青海省支柱农产品之一。近年来全省种植业结构调整为以经济效益高作物为主，马铃薯、油菜、蔬菜以及地膜覆盖面积迅速扩大，作物复种指数和产量较之过去有了大幅度的提高。相应收获作物从土壤中携走的养分量也随之增加，生产中习惯施肥大量或超量施入氮、磷肥，有机肥投入明显下降，极少施用钾肥等引起土壤养分结构失调。为此中加项目组在该区开展马铃薯平衡施肥技术研究，以期为当地马铃薯科学施肥提供依据，促进当地农民增产增收。

1　材料与方法

1.1 试验地基本情况试验地位于互助县威远镇农业示范园区，海拔高度 2600 米，年平均温度 5.8℃，年降雨量 400～500 毫米，属于雨养农业区，土壤类型为栗钙土。试验地前茬为春小麦，2010 年播前取土样，基础养分状况见表 1。该土壤养分属于中等偏高肥力水平，代表当地农田养分状况和生产力水平。

表 1　试验地基础养分状况

pH	OM(%)	速效养分含量（毫克 / 升）					
		NH_4^+–N	NO_3^-–N	P	K	Ca	Mg
8.17	1.27	17.7	22.5	33.2	112.6	3131.4	283.9

注：结果由北京中加项目实验室测定提供。

1.2 试验方法试验设计采用3414试验设计，共 14 个处理，3 次重复，小区面积 3×5=15 平方米。供试马铃薯品种为“下寨 65”。株距 23 厘米，行距 60 厘米，亩保苗 4667 株。小区间距 60 厘米，各小区株数密度要求一致。肥料混合均匀后一次性基施。其它栽培措施和管理条件与当地马铃薯生产管理一致。试验处理和田间布置图见表 2。

表 2　马铃薯试验处理及施肥量

代号	处理	施肥量（公斤 / 亩）		
		N	P_2O_5	K_2O
1	$N_0P_0K_0$	0	0	0
2	$N_0P_2K_2$	0	4	8
3	$N_1P_2K_2$	6	4	8
4	$N_2P_0K_2$	12	0	8
5	$N_2P_1K_2$	12	2	8
6	$N_2P_2K_2$	12	4	8
7	$N_2P_3K_2$	12	6	8
8	$N_2P_2K_0$	12	4	0
9	$N_2P_2K_1$	12	4	4
10	$N_2P_2K_3$	12	4	12
11	$N_3P_2K_2$	18	4	8
12	$N_1P_1K_2$	6	2	8
13	$N1P_2K_1$	6	4	4
14	$N_2P_1K_1$	12	2	4

考察及测试内容：

（1）收获期各处理植株取样，测定养分含量，统计分析养分吸收量和利用率。

（2）收获期各处理分别取块茎样，测定还原糖、淀粉等品质指标。

2　结果分析

2.1　马铃薯产量与经济效益分析

马铃薯于 9 月 20 日收获，产量结果见表 3。结果显示，各不同施肥处理均比对照有明显的增产，增产率 7.4%～52.8%。其中 $N_2P_2K_2$ 处理产量最高，达到 3324.9 公斤 / 亩，比对照增产 52.8%。其次为 $N_2P_1K_2$ 处理，产量达到 3133.8 公斤 / 亩，增产 44%；再次是 $N_2P_2K_3$、$N_2P_0K_2$、$N_1P_2K_2$、$N_2P_2K_1$、$N_1P_2K_1$，分别增产 38.7%、35.0%、32.5%、28.1%、27.1%， 其余各处理产量均较低。经济效益分析显示，较

对照而言，各处理产值除去肥料投入，马铃薯纯收入达到 172.3～2274.7 元 / 亩，产投比为 1.0～16.4:1，变化趋势与产量结果有相同之处但存在一定变化，相同之处，$N_2P_2K_2$ 处理经济效益最高，纯收入达到 2274.7 元 / 亩，产投比达到 16.4:1，也是 $N_2P_1K_2$ 位居其次，产投比为 14.9:1；不同的是，$N_2P_0K_2$、$N_1P_2K_2$ 处理纯收入高，但肥料投入较大导致产投比低于 $N_1P_2K_1$ 处理，$N_1P_2K_1$ 纯收入也较高，但产投比亦低于 $N_1P_2K_1$ 处理。根据以上分析，农户可根据自身经济条件选择合适的施肥量进行马铃薯施肥管理。

表 3　马铃薯平衡施肥技术试验产量及经济效益分析

处理	平均产量 (kg/ 亩)	增产率 (%)	肥料投入 (元 / 亩)	产值 (元 / 亩)	纯收入 (元 / 亩)	产投比
$N_0P_0K_0$	2175.6c	--	0.0	4568.8	--	--
$N_0P_2K_2$	2397.8bc	10.2	83.6	5035.4	383.0	4.6:1
$N_1P_2K_2$	2883.6abc	32.5	111.2	6055.6	1375.6	12.4:1
$N_2P_0K_2$	2936.4abc	35.0	113.6	6166.4	1484.1	13.1:1
$N_2P_1K_2$	3133.8ab	44.0	126.2	6581.0	1886.0	14.9:1
$N_2P_2K_2$	3324.9a	52.8	138.8	6982.3	2274.7	16.4:1
$N_2P_3K_2$	2641.8abc	21.4	151.4	5547.8	827.6	5.5:1
$N_2P_2K_0$	2447.6abc	12.5	80.4	5140.0	490.8	6.1:1
$N_2P_2K_1$	2786.2abc	28.1	109.6	5851.0	1172.7	10.7:1
$N_2P_2K_3$	3016.4abc	38.7	168.0	6334.4	1597.7	9.5:1
$N_3P_2K_2$	2336.9bc	7.4	166.4	4907.5	172.3	1.0:1
$N_1P_1K_2$	2605.3abc	19.8	98.6	5471.1	803.8	8.2:1
$N_1P_2K_1$	2764.9abc	27.1	82.0	5806.3	1155.5	14.1:1
$N_2P_1K_1$	2507.1abc	15.2	97.0	5264.9	599.2	6.2:1

注：肥料价格按 N 4.6 元 / 公斤，P_2O_5 6.3 元 / 公斤，K_2O7.3 元 / 公斤计，马铃薯当年市场价按 2.1 元 / 公斤计。

2.2　施肥对产量的关系函数模拟及经济最佳施肥量的推荐

按照表 2、表 3 模拟 N、P、K 肥料对马铃薯产量 y 的三元二次肥料效应方程为 :$y=31758.37+6.476N+208.06P-98.82K-2.658NP-2.78PK+0.77NK+0.085N^2+6.413P^2+0.82K^2$,$F=1.432$，（$F0.05=6$）。由处理 1、2、3、4、5、6、7、11、12 建立以 K_2 为基础的 N、P 肥料效应方程为 :$y=31380+159.98N+149.96P-0.337NP-0.496N^2-1.401P^2$，$F=1.87$，（$F0.05=9.01$）；由处理 2、3、6、8、9、10、11、13 建立以 P_2 为基础的 N、K 效应方程为 :$y=32171.2+128.83N+68.34K+0.274NK-0.58N^2-0.36K^2$，$F=4.36$，（$F0.05=9.01$）；建立以 N_2 为基础的 P、K 效

应方程为 :$y=31550.7+192.2P+136.2K-0.49PK-1.86P^2-0.27K^2$，$F=2.56$，（$F0.05=9.01$）；以处理 1、2、3、6、11 建立以 P_2K_2 为基础的 N 肥效应方程为 :$y=33810+202.26x-0.7186x^2$，$R^2=0.88$。但以上肥料效应函数 F 检验均不显著，故理论上不可用。但该试验结果对当地农业生产实践具有一定参考价值。按照肥料价格和马铃薯销售价格，考虑投入与产出比，根据边际产量的原理，推荐出试验条件下大田马铃薯生产的经济最佳施肥量为 N7.59 公斤 / 亩，$P_2O_5$4.06 公斤 / 亩，K_2O6.02 公斤 / 亩，产量可达 2942.6 公斤 / 亩。

2.3　马铃薯品质分析

表 4　马铃薯品质测定结果

处理	还原糖（%）	比对照降低（%）	粗淀粉（%）	比对照增加（%）
$N_0P_0K_0$	0.206	0.0	17.81	0.0
$N_0P_2K_2$	0.196	4.9	20.14	13.1
$N_1P_2K_2$	0.20	2.9	18.39	3.3
$N_2P_0K_2$	0.248	-20.4	18.39	3.3
$N_2P_1K_2$	0.197	4.4	19.67	10.4
$N_2P_2K_2$	0.198	3.9	18.00	1.1
$N_2P_3K_2$	0.191	7.3	17.62	-1.1
$N_2P_2K_0$	0.196	4.9	18.00	1.1
$N_2P_2K_1$	0.189	8.3	17.96	0.8
$N_2P_2K_3$	0.186	9.7	18.59	4.4
$N_3P_2K_2$	0.187	9.2	17.38	-2.4
$N_1P_1K_2$	0.344	-67.0	15.96	-10.4
$N1P_2K_1$	0.190	7.8	18.00	1.1
$N_2P_1K_1$	0.187	9.2	18.39	3.3

试验收获后对马铃薯块茎测定还原糖、淀粉含量（表 4）。结果表明，试验各处理还原糖含量均在 0.5% 以下，符合农作物品质标准中优质马铃薯的标准，粗淀粉含量均达到 15.96% 及其以上，达到全粉型和高淀粉型马铃薯标准。N、P、K 不同配比使还原糖、淀粉含量各不相同。还原糖含量除处理 $N_2P_0K_2$、$N_1P_1K_2$ 比对照高出 20.4%、67% 以外，其余处理均比对照有所降低，其中降低最多的是处理 $N_2P_2K_3$，其还原糖含量为 0.186%，比对照降低 9.7%，为品质最好的处理，其次为 $N_3P_2K_2$、$N_2P_1K_1$、$N_2P_2K_1$，还原糖降低率为 9.2%、9.2%、8.3%。粗淀粉

含量最高的处理为 $N_0P_2K_2$、$N_2P_1K_2$，分别为 20.14%、19.67%，分别比对照增加了 13.1%、10.4%。从该结果来看，中氮中磷高钾能降低马铃薯还原糖含量，而低氮中磷中钾能够提高马铃薯淀粉含量，当然，该结论还有待进一步验证。

3 结论

通过对马铃薯进行 3414 设计肥料试验，从产量和经济效益两方面，推荐出试验区马铃薯生产的经济最佳施肥量为 7.59 公斤 / 亩，$P_2O_5$4.06 公斤 / 亩，K_2O6.02 公斤 / 亩。

不同的 N、P、K 配比和用量能够在一定程度上降低马铃薯还原糖含量、提高淀粉含量，中氮中磷高钾能降低马铃薯还原糖品含量，而低氮中磷中钾能够提高马铃薯淀粉含量，但该结论尚需进一步验证。

马铃薯平衡施肥试验

青海马铃薯

参考文献

[1] 戴树荣 . 应用“3414”试验设计建立二次肥料效应函数寻求马铃薯氮磷钾适宜施肥量的研究 [J]. 中国农学通报 2010,26(12):154-159.

[2] 王辉，殷振江，李撑娟，等 . 长武县测土配方施肥对玉米产量及经济效益的影响 [J]. 陕西农业科学 ,2011，(6):18-19,56.

[3] 王丽 , 贾明英 . 旱地覆膜马铃薯“3414”施肥试验 [J]. 现代农业科技 ,2009，(7):147-149.

[4] 郭贤忠 , 刘永忠 . 互助县脑山地区马铃薯“3414”肥效试验 [J]. 现代农业科技 ,2010，(2):123-125.

[5] 刘兴娥 , 刘鑫 , 彭代忠 . 马铃薯“3414”肥料效应试验 [J]. 陕西农业科学 ,2011，(2):29-31.

[6] 曾桂兰 . 浅谈互助县半浅半脑地区马铃薯最佳施肥量 [J]. 陕西农业科学 ,2008，(2):15-17,20.

甘肃中部旱地全膜覆土免耕栽培小麦 / 小麦 / 马铃薯轮作体系的施肥技术研究

郭天文[1,2]　侯慧芝[1]　吕军峰[1,2]　张平良[1]

（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和农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点开放实验室，兰州 730070）

摘要：针对全膜覆土免耕栽培模式中后茬施肥技术难题，采用肥料统筹的方法研究了小麦 / 小麦 / 马铃薯轮作体系的施肥问题。结果表明，在旱地上采用一次高量施肥技术可以满足整个轮作体系的养分供应。不同肥料水平第一茬小麦干物质、产量和水分利用效率的差异不大；高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）二、三茬作物的干物质量、产量和水分利用效率均显著或极显著的高于一季小麦配方施肥（OPT）和传统施肥（FP），即肥料的后效可在第二、第三年体现出来。高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）三年的纯收益为 2482 元 / 亩，比一季小麦配方施肥（OPT）增加 7.4%，比传统施肥（FP）增加 19.3%。

目前在甘肃省大面积推广的全膜覆土栽培技术是在传统地膜覆盖栽培技术基础上发展起来的，是具有集雨、抑蒸、充分利用光热资源等作用的旱地作物栽培新技术，同时还具有节约劳动力、节本增效、适宜于免耕、密植作物多茬种植等技术特点。该技术具体方法是将地膜平铺整个地面后，在地膜上再覆土 1–2 厘米，利用专用地膜穴播机播种，第二、三茬可免耕播种的新型栽培技术。与露地栽培相比，全膜覆土栽培技术不但能最大限度地集蓄降水，抑制农田水分无效蒸散，保证作物生育期水分的供应，而且还具有早期提高地温，增加有效积温，促进作物出苗和返青，延长中晚熟作物品种生育期，发挥作物生产潜力等作用。目前采用该技术主要种植旱地小麦，与传统的地膜小麦相比，该技术不但可以避免膜穴错位，减少放苗工序，降低成本投入，还可以明显减小昼夜温差，促进小麦后期生长，具有广阔的应用前景。然而，不损坏地膜的免耕栽培条件下二、三茬作物施肥困难，极易造成作物生长后期脱肥，因此，研究全膜覆土免耕栽培的施肥技术，探索全膜覆土栽培高产施肥技术，对指导农民合理施肥，实现旱地作物高产具有重要作用。为此本试验主要研究全膜覆土栽培模式（小麦 / 小麦 / 马铃薯）施肥水平对春小麦、马铃薯生长性状、产量及水分利用效率的影响，试图探索该模式下小麦 / 小麦 / 马铃薯轮作体系的一次施肥技术，以期为干旱半干旱区旱地施肥技术供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验 2008~2010 年设在黄土高原丘陵沟壑区的安定区团结镇唐家堡（地理位置：

E104°35'，N35°36')，属典型的干旱半干旱雨养农业区，海拔约 1950 米，年均降雨量 400 毫米左右，季节分布不均，多集中在 7、8、9 三个月。年蒸发量 1531 毫米，年均气温 6.2℃，≥ 0℃积温 2787.7℃，≥ 10℃积温 2075.1℃；无霜期 140 天。土壤类型为黄绵土，土质绵软，土层深厚，质地均匀，保水性较好，肥力中等，0～200 厘米土壤容重平均为 1.17 克 / 厘米^3，试验地耕层（0–20 厘米）土壤养分状况见表 1，2008–2010 年 1 月至 9 月降水资料见表 2。

表 1　供试土壤养分状况

pH	OM	NH_4^+–N	NO_3^-–N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(%)	（毫克 / 升）											
8.56	0.73	10	6.7	22.4	116	1747.7	174.5	22.3	10.7	2	4.1	1.5	0.94

表 2　2008–2010 年 1–9 月份降水量

年份	降水量（毫米）									
	1 月份	2 月份	3 月份	4 月份	5 月份	6 月份	7 月份	8 月份	9 月份	合计
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
2010	1.3	4.2	18.1	32.7	74	43.2	34.6	34.1	65.9	308.1

1.2　试验设计与供试材料

试验设 3 个肥料处理 (见表 3)，供试肥料：氮肥为尿素、磷肥为普通过磷酸钙、钾肥为氯化钾，所有肥料于 2008 年播前一次施入，翻入土壤中。种植方式为定位 3 年，2008、2009 年种植春小麦，品种为陇春 27 号，利用地膜穴播机进行播种，每穴播 10±2 粒，行距为 20 厘米，穴距为 13 厘米；2010 年种植马铃薯，品种为新大坪，采用坑种方法播种，密度为 3300 株 / 亩。试验小区面积 5×3=15 平方米。3 次重复。

表 3　试验处理

代号	处理	肥料施用量
A	OPT+1/2N+1/2K	N15 公斤 / 亩 , $P_2O_5$12 公斤 / 亩 , K_2O10 公斤 / 亩
B	OPT	N10 公斤 / 亩 , $P_2O_5$12 公斤 / 亩 , K_2O6.7 公斤 / 亩
C	FP（CK）	N10 公斤 / 亩 , $P_2O_5$12 公斤 / 亩

1.3 样品采集与测定

基础土样理化性状：于 2008 年播前采集 0–20 厘米土壤样品，采用 ASI 法分析测定。

干物质积累：分别于 2008、2009 年春小麦苗期、拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期选取具有代表性的样株 20 株，剪去根部，称量鲜重，在 105℃的恒温箱内杀青 30 分钟，在 80℃的恒温下烘至恒重，然后称其干重。

产量：成熟时各小区单打单收，得到每个小区的实际产量。

主要参数计算：生育期总耗水量 = 播前土壤蓄水量 + 生育期间降水量 − 收获后土壤蓄水量；水分利用效率 = 产量 / 生育期总耗水量。

2 结果与分析

2.1 不同肥料处理对全膜覆土穴播小麦干物质积累的影响

由图 1 可看出：第一茬（2008 年）小麦各处理各生育期干物质量相差不大，说明 3 个处理的肥料用量能够满足当季小麦的生长所需。第二茬小麦（2009 年）除苗期之外，其它各生育期高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）的干物质积累量均明显高于一季小麦配方施肥（OPT）和传统施肥（FP）处理，一季小麦配方施肥处理的干物质积累量在灌浆期和成熟期均明显高于传统施肥处理。

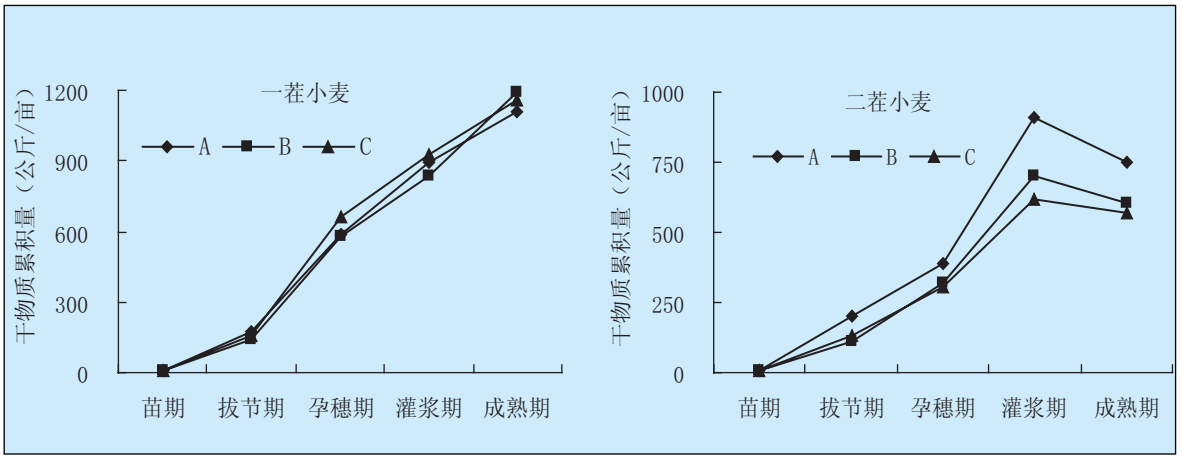


图 1　各施肥处理干物质累积量比较

2.2 不同肥料处理对全膜覆土穴播小麦水分利用效率及产量的影响

高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）全膜覆土一茬小麦水分利用效率为 0.75 公斤 / 亩·毫米，比传统施肥（FP）处理提高 11.0%，比一季小麦配方施肥（OPT）提高 0.64%；全膜覆土二茬小麦水分利用效率为 0.47 公斤 / 亩·毫米，比传统施肥（FP）提高 46.42%，比一季小麦配方施肥（OPT）提高 19.45%；全膜覆土三茬马铃薯水分利用效率为 3.24 公斤 / 亩·毫米，比传统施肥（FP）提高 18.74%，一季小麦配方施肥（OPT）提高 9.05%。

高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）全膜覆土第一茬小麦产量为 230.2 公斤 / 亩，比传统施肥（FP）略有增产（增产率为 2.98%），与一季小麦配方施肥（OPT）无差异；但二茬

小麦产量为 120.5 公斤 / 亩，明显高于其他处理，比传统施肥（FP）产量提高 29.97%，比一季小麦配方施肥（OPT）产量了提高 14.11%；三茬马铃薯的增产效果更为显著，高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）三茬马铃薯的产量为 1298.7 公斤 / 亩，比传统施肥（FP）处理提高了 17.57%，比一季小麦配方施肥（OPT）提高了 7.81%。由此可以看到对于全膜覆土免耕栽培小麦 / 小麦 / 马铃薯轮作模式，于第一季覆膜前一次性施足肥料可以满足后季作物的生长所需，其增产效果十分显著。

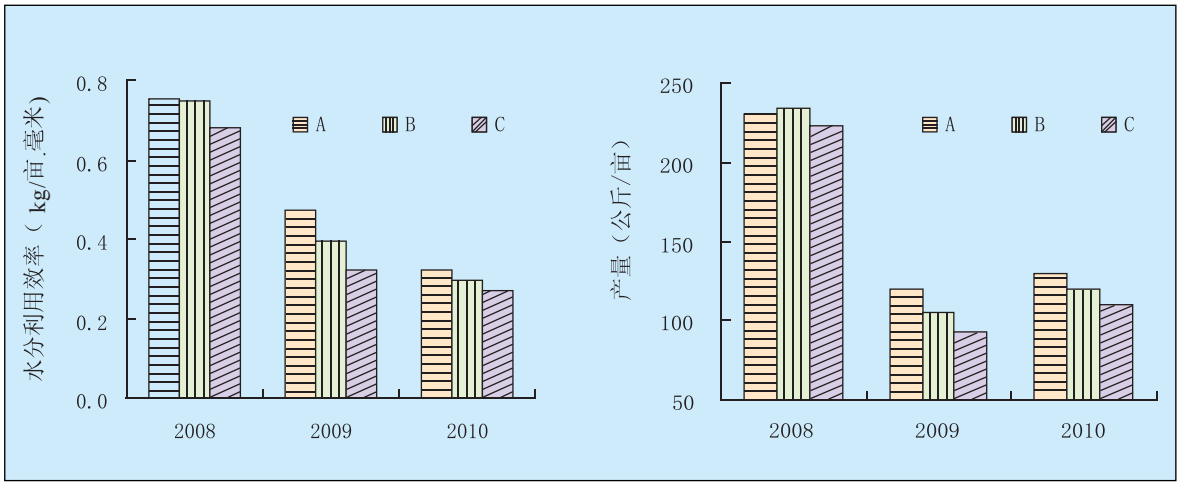


图 2　各施肥处理水分利用效率比较

图 3　各施肥处理产量比较

注：为作图方便，图中 2010 年马铃薯的水分利用效率 = 实际水分利用效率产量 /10，产量 = 实际产量 /10

2.3　不同肥料处理对全膜覆土穴播小麦经济效益的影响

表 4　各处理经济效益比较

处理	产量（公斤 / 亩）				产值（元 / 亩）				投资成本（元 / 亩）	纯收益（元 / 亩）
	2008	2009	2010	三季合计	2008	2009	2010	三季合计		
A	230.2	120.5	1298.7	1649.3	552.4	289.2	2597.3	3438.9	956.9	2482.0
B	234.6	105.6	1204.6	1544.7	563.0	253.5	2409.1	3225.6	914.3	2311.3
C	223.5	92.7	1104.6	1420.8	536.4	222.5	2209.1	2968.0	887.4	2080.6

注：肥料价格：N=4.3 元 / 公斤，P_2O_5=6.2 元 / 公斤，K_2O=4.8 元 / 公斤，小麦价格 =2.4 元 / 公斤，马铃薯价格 =2.0 元 / 公斤，地膜 70 元 / 亩，投资成本包括肥料、地膜、种子、人工等。

一茬小麦配方施肥（OPT）的收益最高为 563.0 元 / 亩，二茬小麦和三茬马铃薯的收益以高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）为最高，一季小麦配方施肥（OPT）次之，传统施肥（FP）最低。综合三年总的纯收益以高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）最高为 2482.0 元 / 亩，比一季小麦配方施肥（OPT）增加 7.39%，比传统施肥（FP）增加 19.29%。

3　结论与讨论

全膜覆土多茬少免耕栽培模式二、三茬施肥技术的研究目前还是一个空白，这在一定程度上制约着该技术的大面积推广。本试验就是考虑到这一点，在试验设计时加入了高水平配方施肥。试验结果表明：在不同肥料水平下，头茬小麦干物质、产量和水分利用效率的差异不太明显；高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）二、三茬作物的干物质量、产量和水分利用效率均显著或极显著高于一季小麦配方施肥（OPT）和传统施肥（FP），即肥料的后效在第二、第三年体现出来。高水平施肥处理（OPT+1/2N+1/2K）三年的纯收益为 2482.0 元 / 亩，比一季小麦配方施肥（OPT）增加 7.39%，比传统施肥（FP）增加 19.29%。鉴于全膜覆土栽培模式后茬施肥困难，在第一茬播种前底肥一定要施足，二、三茬时再适当考虑追肥，才能保证每茬作物都高产。

旱地全膜覆土免耕栽培小麦

参考文献

[1] 李世清，李东方，李凤民，等．半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应[J]．西北农林科技大学学报（自然科学版）.2003,31（5）21-29.

[2] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of plastic film mulch on yield of spring wheat [J].Field Crops Research, 1999, 63(1): 79-86.

[3] 李生秀，李世清，高亚军，等．施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果[J]．干旱地区农业研究，1994,12(1):39-46.

[4] 王勇，樊廷录．旱塬冬小麦周年覆膜穴播栽培技术研究[J]．干旱地区农业研究，1999,17,(1):13-19.

[5] 李守谦．在我国北方麦区扩大地膜小麦栽培技术的必要性及对策建议[J]．甘肃农业科技，1996,(8):4-6.

[6] 施万喜，宋廷新，等．陇东旱塬区晚播冬小麦地膜覆盖栽培技术及增产机理研究[J]．甘肃农业科技，1997,(3):1-4.

[7] 侯慧芝，吕军峰，张绪成，等．陇中半干旱区全膜覆土穴播小麦的土壤水分及产量效应[J]．作物杂志，2010,(1):21-24.

浙江省油菜施肥效应的土壤类型和区域差异分析

王　强[1]　姜丽娜[1]　单英杰[2]　符建荣[1]　马军伟[1]
叶　静[1]　俞巧刚[1]　孙万春[1]　邹　平[1]
（1．浙江省农业科学院 环境资源与土壤肥料研究所，浙江 杭州 310021；
2．浙江省土肥站，浙江 杭州 310029）

摘要：本文在汇总浙江省近年来油菜施肥效应试验的基础上，分析了浙江省油菜施肥效应的土壤类型和区域性差异。结果表明：全省油菜试验中 –N 区和 –P 区油菜平均产量仅分别为 OPT 处理产量的 52.5% 和 73.8%，油菜施 N 和施 P 增产效应明显，–K 区油菜平均产量为 OPT 处理平均产量的 95.1%，施 K 效应不显著，N 是目前浙江省油菜栽培中主要的土壤养分限制因子，P 是次于 N 的土壤养分限制因子，K 不成为土壤养分限制因子；不同土壤类型间的基础肥力为粉泥田、青粉泥田、汀煞白土田＞黄筋泥田、青紫泥田＞洪积泥沙田、黄泥砂田，油菜产量随土壤基础肥力的提高而增加，而施肥效应则随着土壤基础肥力的提高而降低；受土壤类型区域性分布及不同区域间长期施肥差异的影响，浙江省土壤肥力、油菜产量及施肥效应均表现出明显的区域性差异，水网平原区土壤基础肥力、油菜产量均高于丘陵山地，而施肥增产率和单位肥料增产效应则低于丘陵山地。浙江省油菜施肥应根据不同区域肥力状况合理施肥，其中水网平原区应控制氮肥用量，提高施肥效应，丘陵山地区则应提高施肥水平，提高油菜产量。

关键词：油菜；施肥；土壤类型；水网平原；丘陵

油菜是浙江省主要油料作物，2008 年种植面积为 250.5 万亩，占油料作物在作物种植面积的 90% 以上[1]，提高油菜产量和品质对确保浙江省油料供应十分重要。合理施肥是油菜增产的重要措施，但油菜合理施肥技术除了考虑不同油菜品种的养分需求特性外[2]，土壤基础肥力状况也直接影响着油菜的施肥量[3]。土壤类型和土壤基础肥力间往往有良好的相关性[4]，但由于土壤类型多样，同一地区往往存在多种不同的土壤类型，因而难以根据土壤类型进行有针对性的施肥指导。

浙江省地貌类型多样，从浙北到浙南由水网平原逐渐向山区变化，油菜主产区分布在浙北平原和浙中丘陵盆地区。不同区域间土壤类型具有明显的差异，而且由于气候、降雨量及农事操作等方面的区域性特征导致区域内土壤肥力具

国际植物营养研究所 IPNI 项目资助，国家支撑项目课题（2008BADA4B08）。
通讯作者：E-mail: jln@mail.hz.zj.cn
作者简介：王强（1979-03），男，浙江江山人，植物营养学硕士，助理研究员，研究方向：新型肥料研制及高效施肥技术研究。E-mail:qwang0571@126.com，Tel：0571-86404385

有一定的相似性，因此根据不同区域的土壤肥力特点进行有针对性的施肥指导更具有现实意义。本文通过汇总浙江省近年来进行的油菜施肥试验，分析了浙江省不同土壤类型、水网平原区和丘陵山地等不同区域土壤肥力的差异及油菜的施肥效应，提出不同区域油菜高效施肥策略，为浙江省油菜高产高效提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　田间试验

选择浙江省 2006_2010 年各油菜主产区布置的 32 个油菜施肥效应试验。试验的油菜品种以浙双 72 为主，还包括宁油、秦优及 9213 系等油菜品种。试验均为育苗移栽，前茬作物为水稻。试验采用“3414”试验（包括部分实施“3414”试验）和肥料用量综合试验方案，与本文相关的试验处理包括 OPT（最佳施肥量）、-N、-P、-K 等处理。各地采用的最佳施肥量预设值根据当地土壤状况有所不同，施肥时期一般分基肥、腊肥和薹肥。

1.2　土壤测试

试验前采集基础土样进行测定，有机质采用油浴加热重铬酸钾氧化容量法，pH 采用土水比 1:2.5 电位法测定，全氮采用凯氏蒸馏法测定，碱解氮采用碱解扩散法，有效磷用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定，速效钾采用乙酸铵浸提—火焰光度计法测定。

1.3　指标计算方法

试验中相对产量（%）= 缺素区产量 /OPT 处理产量 ×100%；施肥增产（公斤 / 亩）=OPT 处理产量 - 缺素区产量；施肥增产率（%）=（OPT 处理产量 - 缺素区产量）/ 缺素区产量 ×100%；单位肥料增产（公斤 / 公斤）=（OPT 处理产量 - 缺素区产量）/ 施肥量。

2　结果与分析

2.1　不同区域土壤基础养分含量差异

浙江省水网平原区和丘陵山地由于土壤类型和长期习惯施肥的不同，导致不同区域间土壤肥力具有一定的差异。将油菜试验中基础养分含量按水网平原和丘陵山地进行汇总分析（表 1），其中水网平原区包括粉泥田、青粉泥田、青紫泥田、汀煞白土田等土壤类型，丘陵山地包括黄筋泥田、红紫泥砂田等土壤类型。结果表明水网平原区土壤基础肥力总体优于丘陵山地。水网平原区土壤 pH 值平均为 6.2，高于丘陵山地而趋于中性，土壤有机质和全氮含量分别为 37.7 克 / 千克和 2.2 克 / 千克，也高于丘陵山地。速效养分中碱解氮和速效钾含量高于丘陵山地，而速效磷含量则低于丘陵山地。

表 1　浙江省不同区域土壤基础养分含量

区域	水网平原 (n=11)	丘陵山地 (n=9)
pH	6.2（5.7~7.1）	5.3（4.7~5.9）
有机质 (克 / 千克)	37.7（24.4~49.2）	35.0（23.4~40.8）
全氮 (克 / 千克)	2.2（1.32~2.6）	1.6（0.8~2.2）
碱解氮 (毫克 / 千克)	185.2（171.8~193.4）	166.4（162.3~184.7）
有效磷 (毫克 / 千克)	16.4（8.5~34.59）	36.4（9.4~62.37）
速效钾 (毫克 / 千克)	93.9（65.2~123.9）	72.3（50.0~162.2）
土壤类型	粉泥田、青粉泥田、青紫泥田、汀煞白土田	黄筋泥田、洪积泥砂田

2.2　不同土壤类型及区域间土壤基础肥力差异

土壤基础肥力是油菜施肥量的重要参考依据，试验中常用缺素处理的相对产量来反映土壤供应作物氮、磷、钾等营养元素的能力。32 个田间试验缺素区产量分析结果表明（表 2），浙江省不同区域油菜生产的氮、磷、钾供应能力有明显的差异。全省试验中 –N 区和 –P 区平均产量分别为 81.5 公斤 / 亩和 117.6 公斤 / 亩，分别占 OPT 处理产量的 52.5% 和 73.8%，表明 N 是目前浙江省主要的土壤养分限制因子，P 是次于 N 的土壤养分限制因子。–K 区全省平均产量为 146.8 公斤 / 亩，占 OPT 处理平均产量的 95.1%，K 在部分地区不成为现阶段的土壤养分限制因子。

不同土壤类型间养分的供应能力也有较大的差异。试验中包括了浙江省的 7 种主要水稻土类型，其中粉泥田、青粉泥田和汀煞白土田表现出较好的供氮能力，–N 区产量在 101.0 公斤 / 亩 ~150.1 公斤 / 亩，占 OPT 处理产量的 55%~79.3%，其次是黄筋泥田和青紫泥田，–N 区产量分别为 80.2 公斤 / 亩和 80.7 公斤 / 亩，而洪积泥沙田和黄泥砂田的供氮能力较低。不同土壤类型间 P 和 K 供应能力的差异与 N 相似，但黄泥砂田 –P 处理平均产量为 103.7 公斤 / 亩，洪积泥沙田 –K 处理平均产量为 152.7 公斤 / 亩，均超过了青紫泥田，分别表现出较好的 P 素和 K 素供应能力。综合不同土壤类型的氮、磷、钾供应能力，浙江省油菜主产区不同土壤类型间的基础肥力为粉泥田、青粉泥田、汀煞白土田＞黄筋泥田、青紫泥田＞洪积泥沙田、黄泥砂田。

浙江省油菜主产区土壤基础肥力还表现出明显的区域效应（表 2）。浙江省北部杭嘉湖平原和宁绍平原的绍兴、嘉兴、湖州等地区长期以来是浙江省主要的粮食生产基地，农田设施及水利灌溉完善，施肥量高，因此土壤基础肥力也较好。水网平原区缺素区油菜产量均高于浙中丘陵山地和全省平均产量。其中 –N 处理平均产量为 100.5 公斤 / 亩，比丘陵山地高出 59.8%，–P 和 –K 处理平均产量分别为 130.2 公斤 / 亩和 157.0 公斤 / 亩，也明显高于丘陵山地。浙江省土壤基础肥力的区域性差异，除受灌溉、施肥及农事操

作等因素的影响外，还受到土壤类型区域性分布的影响。不同土壤类型基础肥力差异分析表明，粉泥田、青粉泥田和汀煞白土田等肥力较好的土壤类型主要分布在绍兴、嘉兴及湖州等水网平原区，而洪积泥沙田和黄泥砂田土壤基础肥力较差的土壤则主要分布在临安、金华及龙泉等丘陵山地。

表 2　浙江省不同土壤类型及种植区域土壤基础肥力差异

土壤类型	试验地点	试验点数	−N 产量（公斤 / 亩）	−N 相对产量（%）	−P 产量（公斤 / 亩）	−P 相对产量（%）	−K 产量（公斤 / 亩）	−K 相对产量（%）
洪积泥沙田	临安	2	32.5	21.4	53.2	35.4	152.7	101.2
黄筋泥	仙居、金华	7	80.2	48.0	113.9	66.5	149.8	91.5
黄泥砂田	富阳、龙泉	5	50.9	48.5	103.7	96.4	103.6	98.7
丘陵山地平均		14	62.9	44.4	101.6	72.7	133.8	95.4
粉泥田	绍兴、平湖	3	110.1	59.3	183.0	94.5	182.0	102.5
青粉泥田	平湖	3	150.1	79.3	176.8	90.6	197.4	91.6
青紫泥	长兴、嘉兴、绍兴	9	80.7	53.2	93.9	61.8	129.5	96.0
汀煞白土田	长兴	3	101.0	55.0	139.7	76.0	174.4	93.3
水网平原区平均		18	100.5	58.9	130.2	74.5	157.0	94.8
全省平均		32	81.5	52.5	117.6	73.8	146.8	95.1

2.3　不同土壤类型和区域间油菜施肥效应差异

油菜施肥的增产效应受土壤基础肥力的影响。N 和 P 是浙江省油菜种植中主要的土壤养分限制因子，施 N 和施 P 均表现出良好的增产效应。试验中 N 肥和 P 肥的全省平均增产量分别为 70.6 公斤 / 亩和 37.8 公斤 / 亩，分别比 −N 和 −P 处理增加了 132.6% 和 57.3%，而施 K 的全省平均增产量为 8.5 公斤 / 亩，仅比 −K 处理增加了 11.2%（表 3），相对于 N 和 P 增产效应明显较小。

良好的土壤基础肥力有利于提高油菜产量，但降低了施肥的增产效应。粉泥田、青粉泥田和汀煞白土田等基础肥力较好的土壤中 OPT 处理产量达到了 181.8 公斤 / 亩 ~195.0 公斤 / 亩，高于全省平均产量，但施 N 和施 P 的增产率仅分别为 34.1%~88.8% 和 6.0%~38.2%。其次是黄筋泥田和青紫泥田，OPT 处理产量分别为 165.4 公斤 / 亩和 139.3 公斤 / 亩，N 肥和 P 肥的增产率则明显提高。洪积泥沙田和黄泥砂田由于土壤基础肥力较差，OPT 处理油菜产量也较低，但施氮增产率分别为 −N 处理的 384.2% 和 141.4%，洪积泥沙田施磷的增产百分率为 208.8%，表现出了较好的增产效应。黄泥砂田由于土壤 P 供应潜力较好，施 P 增产率仅为 4.9%。油菜 K 肥的增产效应较小，全省不同土壤 K 肥

表 3　浙江省不同土壤类型和种植区域的施肥效

土壤类型	OPT 产量	施氮增产	施磷增产	施钾增产	施氮增产	施磷增产	施钾增产
	（公斤 / 亩）				(%)		
洪积泥沙田	151.1	118.6	98.0	-1.6	384.2	208.8	-1.4
黄筋泥	165.4	85.2	51.4	15.6	125.1	81.9	21.1
黄泥砂田	107.1	56.2	3.4	3.4	141.4	4.9	6.3
丘陵山地平均	142.5	79.6	40.9	8.8	167.9	72.5	12.6
粉泥田	190.1	80.0	10.9	-2.4	84.0	6.0	-1.2
青粉泥田	195.0	44.9	19.7	12.4	34.1	10.7	15.0
青紫泥	139.3	58.6	48.0	7.4	141.1	73.4	8.0
汀煞白土田	181.8	80.8	42.2	13.2	88.8	38.2	14.7
水网平原区平均	164.1	63.6	35.5	8.4	105.0	46.1	10.1
全省平均	155.4	70.6	37.8	8.5	132.6	57.3	11.2

注：不同土壤类型及试验点数同表 2。

的平均增产效应在 −2.4 公斤 / 亩 ~15.6 公斤 / 亩，增产百分率仅为 −1.4%~21.1%。

浙江省油菜产量及施肥效应也表现出明显的区域特征。水网平原区土壤基础肥力优于丘陵山地，OPT 处理平均产量为 164.1 公斤 / 亩，比丘陵山地高出 15.1%。但丘陵山地表现出更好的施肥效应，氮肥和磷肥的增产量分别为 79.6 公斤 / 亩和 40.9 公斤 / 亩，增产率分别达到了 167.9% 和 72.5%，钾肥效应较低，施钾增产量和增产率分别为 8.8 公斤 / 亩和 12.6%。而水网平原区施肥增产量和增产率均低于丘陵山地，其中氮肥和磷肥的增产量分别为 63.6 公斤 / 亩和 35.5 公斤 / 亩，增产率分别为 105.0% 和 46.1%，均低于丘陵山地和全省平均水平，钾肥的增产量及增产率也略低。

2.4　不同土壤类型和区域间单位肥料增产效应差异

单位肥料的增产效应除受到土壤肥力影响外，还受到施肥量的影响。全省试验中预设最佳施肥处理的氮肥平均施用量为 15.9 公斤 / 亩，单位 N 的平均增产效应为 5.5 公斤 / 公斤，磷肥和钾肥施用量分别为 5.9 公斤 / 亩和 7.4 公斤 / 亩，单位 P 和单位 K 的平均增产效应分别为 7.2 公斤 / 公斤和 1.2 公斤 / 公斤，不同肥料的增产效应为磷肥 > 氮肥 > 钾肥。

预设施肥量是当地农技部门根据当地土壤肥力及施肥效应，总结确定的较佳施肥量，不同土壤类型及不同区域间有较大的差异。不同土壤类型间施肥量和单位肥料的增产效应没有明显的规律性，但不同区域间则有明显的差异。洪积泥沙田、黄筋泥、黄泥砂田等属于丘陵山区的土壤施肥量总体较低，但单位肥料的增产效应则高

于水网平原区。根据水网平原和丘陵山地分别统计平均施肥量和单位肥料平均增产效应（表 4），结果表明水网平原区氮肥和磷肥的施用量分别为 16.6 公斤 / 亩和 6.5 公斤 / 亩，分别比丘陵山地高了 11.4% 和 27.5%，但单位氮肥和磷肥的增产效应分别为 4.1 公斤 / 公斤和 6.2 公斤 / 公斤，低于丘陵山地。钾肥施用量略小于丘陵山地，单位钾的增产效应也小于丘陵山地。

表 4　浙江省不同土壤类型和区域间单位肥料的增产效应

土壤类型	肥料施用量（公斤 / 亩）			单位肥料增产（公斤 / 公斤）		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
洪积泥沙田	15.5	5.5	7.5	7.7	18.3	-0.2
黄筋泥	9.5	4.7	7.7	9.0	11.4	2.6
黄泥砂田	22.2	5.5	9.2	4.9	0.7	0.4
丘陵山地平均	14.9	5.1	8.1	7.3	8.5	1.4
粉泥田	20.2	6.0	9.7	3.8	2.1	-0.6
青粉泥田	20.1	3.6	4.5	2.0	4.8	1.7
青紫泥	15.2	7.8	6.6	4.2	7.9	1.1
汀煞白土田	13.9	6.0	7.0	6.0	7.0	2.0
水网平原区平均	16.6	6.5	6.8	4.1	6.2	1.1
全省平均	15.9	5.9	7.4	5.5	7.2	1.2

2.5　浙双 72 施肥效应的区域差异

为了进一步明确不同种植区域对油菜产量的影响，以浙江省主栽品种浙双 72 为例，分析其在水网平原区和丘陵山地的增产效应（表 5），结果表明浙双 72 在全省试验中的产量与施肥效应也表现出明显的区域效应。水网平原区 OPT 处理平均产量达到了 171.9 公斤 / 亩，比丘陵山地增加了 33.5%。由于水网平原区土壤基础肥力较好，缺 N 处理相对产量为 55.5%，施 N 增产量为 70.7 公斤 / 亩，均大于丘陵山地，但施 N 增产百分率和单位 N 增产量则略低。丘陵山地表现出更好的 P 肥增产效应，施 P 增产量和增产百分率均高于水网平原区。

3　结果与讨论

土壤对氮、磷、钾等营养元素的供应潜力是油菜合理施肥的重要依据 [5-6]。浙江省油菜试验中 –N 区和 –P 区全省油菜产量分别为 81.5 公斤 / 亩和 117.6 公斤 / 亩，仅占 OPT 处理产量的 52.5% 和 73.8%，而施 N 和施 P 的平均增产量达到了 70.6 公斤 / 亩和 37.8 公斤 / 亩，表现出良好的增产效应。–K 区平均产量为 146.8 公斤 / 亩，占 OPT 处理平均产量的 95.1%，施 K 的全省平均增产量仅为 8.5 公斤 / 亩。表明浙江省油菜栽培中土壤养分供应不均衡，N 和 P 是目前浙江省主要的土壤养分限制因子，K 在部分地区

表 5　浙双 72 在不同区域施肥的增产效应

试验处理	产量（公斤 / 亩）		施肥增产量（公斤 / 亩）		施肥增产（%）		单位肥料增产（公斤 / 公斤）		缺素区相对产量（%）	
	水网平原	丘陵山地	水网平原	丘陵山地	水网平原	丘陵山地	水网平原	丘陵山地	水网平原	丘陵山地
OPT	171.9	128.8	--	--	--	--	--	--	--	--
OPT-N	99.9	62.5	70.7	66.3	134.0	138.2	4.2	5.6	55.5	48.2
OPT-P	144.0	97.0	30.8	31.8	40.3	63.0	5.5	5.3	78.2	77.3
OPT-K	158.8	128.0	7.7	0.8	8.9	2.7	1.0	0.1	94.7	100.4

不成为土壤养分限制因子。因此应根据土壤养分供应状况，有针对性的施用氮肥和磷肥，而钾肥的用量可适当降低。

农业生产中由于土壤特性、地形地貌、作物种类、栽培管理技术及气候等因素的区域性特征致使同一区域的农民习惯施肥具有相似性，而不同区域间则具有较大的差别，进而导致土壤肥力的区域性差异。浙江省水网平原区土壤有机质、全氮及速效养分含量均普遍高于丘陵山地，试验中水网平原 OPT 处理产量及各缺素区油菜产量均高于丘陵山地。考虑到油菜品种对产量的影响，本文以浙江省主栽油菜品种浙双 72 为例，分析了其在水网平原区和丘陵山地的增产效应，也表现出相同的趋势。说明水网平原区土壤肥力普遍高于丘陵山地，可根据浙江省区域特征有针对性的指导油菜施肥。

不同土壤类型间由于成土母质及长期施肥的影响，土壤肥力具有较大的差异 [7]，但由于土壤类型的多样性，限制了其对全省油菜施肥指导的效果。同时土壤类型表现出明显的区域性特点，其中粉泥田、青粉泥田和汀煞白土田等肥力较好的土壤类型主要分布在绍兴、嘉兴及湖州等水网平原区，而洪积泥沙田和黄泥砂田土壤基础肥力较差的土壤则主要分布在临安、金华及龙泉等丘陵山地。土壤类型的区域性分布为浙江省油菜区域性施肥提供了基础。

适宜的施肥量对于提高油菜产量及养分利用率，增加施肥的经济效益具有重要影响 [8]。但浙江省水网平原区和丘陵山地由于土壤基础肥力的差异，适宜施肥量及施肥增产效应间也有明显的差异。水网平原区氮肥和磷肥的施用量分别为 16.6 公斤 / 亩和 6.5 公斤 / 亩，分别比丘陵山地高了 11.4% 和 27.5%，但单位氮肥和磷肥的增产效应则低于丘陵山地。因此有必要根据水网平原区和丘陵山地不同肥力状况，调整施肥量，水网平原区应控制氮肥用量，提高施肥效应，丘陵山地区则应提高施肥水平，提高油菜产量。

参考文献

[1] 中国统计年鉴编委会．中国统计年鉴（2009）[M]．北京：中国统计出版社，2010．

[2] 左青松，唐瑶，石剑飞，等．油菜不同产量类型品种氮素吸收与利用特性研究[J]．中国农学通报，2009，25(03)：117−121．

[3] 单英杰，姜丽娜，王强，等．浙江省油菜主产区氮、磷、钾肥效应与土壤测试值关系[J]．浙江农业学报，2010，22(4)：495−501．

[4] 刘文娜，吴文良，王秀斌，等．不同土壤类型和农业用地方式对土壤微生物量碳的影响[J]．植物营养与肥料学报，2006，12(3)：406−411．

[5] 邹娟，鲁剑巍，陈防，等．基于 ASI 法的长江流域冬油菜区土壤有效磷、钾、硼丰缺指标研究[J]．中国农业科学，2009，42(6)：2028−2033．

[6] 鲁艳红，廖育林，罗尊长，等．湖南省油菜施钾效应及土壤速效钾临界值研究[J]．作物研究，2011，25(1)：26−29．

[7] 于寒青，孙楠，吕家珑，等．红壤地区三种母质土壤熟化过程中有机质的变化特征[J]．植物营养与肥料学报，2010，16(1)：92−98．

[8] 宋小林，刘强，宋海星，等．密度和施肥量对油菜植株碳氮代谢主要产物及籽粒产量的影响[J]．西北农业学报，2011，20(1)：82−85．

甘肃中部旱地补灌及氮肥对全膜双垄沟播玉米干物质积累及产量的影响

张平良[1,2]　郭天文[1,2]　吕军峰[1,2]　谭雪莲[1,2]　侯慧芝[1,2]

（1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所，兰州 730070；

2 . 农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点开放实验室，兰州 730070）

摘要：采用田间试验的方法研究补灌及施氮对全膜双垄沟播玉米干物质积累及产量的影响。结果表明，在不同施肥方式下，玉米各生育期全株、秸秆干物质积累均呈现出“S”型曲线变化规律，玉米全株干物质量均随生育期的延长而增长，相同 PK 肥条件下，增施 N 肥可增加玉米秸秆干物质量，补灌优势明显；补灌（50 毫米）条件下，相同施肥处理玉米产量和 N 肥农学效率分别比无灌溉增加 4%～21%、1.8%～20%，N、P_2O_5 和 K_2O 的用量分别为 15 公斤 / 亩、8 公斤 / 亩、4 公斤 / 亩时 (W1N4 处理)，玉米产量最高，可达到 731 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，补灌效果明显。

关键词：全膜双垄沟播玉米；补灌；干物质积累；产量

全膜双垄沟播玉米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，最大限度地保蓄自然降水，使地面蒸发降到最低，特别能使春季 10mm 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 250～500mm 的旱作农业区推广[1,4]，为了配套全膜双垄沟播技术大面积推广，在此项技术改变了土壤水热条件基础上，研究不同施氮量和补水灌溉对春玉米干物质积累及产量的影响，以期为该地区科学施肥和确定高产、高效栽培模式提供一定理论依据，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。

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

1.2　试验材料

试验地耕层（0–20 厘米）土壤养分状况见表 1，2008–2010 年 1 月至 9 月降水资料见表 2。玉米品种为承单 20 号，肥料品种为尿素（N46%）、过磷酸钙（$P_2O_5$12–16%）、氯化钾（K_2O60%）。

表 1　供试土壤养分状况

pH	OM	NH_4^+-N	NO_3^--N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	(%)	(毫克 / 公斤)											
8.56	0.73	10	6.7	22.4	116	1747.7	174.5	22.3	10.7	2	4.1	1.5	0.94

表 2　2008—2010 年 1—9 月份降水量（毫米）

年份	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
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
2010	1.3	4.2	18.1	32.7	74	43.2	34.6	34.1	65.9	308.1

1.3　试验设计与方法

试验设灌水和施氮两个因子，灌水包括不灌溉（W0）和补充灌溉 50 毫米（W1）2 个水平；氮肥分设施氮 6 公斤 / 亩、10 公斤 / 亩、15 公斤 / 亩、20 公斤 / 亩、不施氮 5 个水平，组成完全试验方案，共 10 个处理组合，重复 3 次，随机区组排列，小区面积 36 平方米。施肥方案见表 3，所用肥料除氮肥 60% 作追肥，在大喇叭口期追施，其余肥料全部作基肥在播前浅耕时一次性施入。灌水在喇叭口期进行，栽培方式为全膜双垄沟播栽培，栽培密度为：4000 株 / 亩。

表 3　施肥方案

编号	处理	灌水量（毫米）	养分施用量（公斤 / 亩）		
			N	P_2O_5	K_2O
1	W0N1	0	0	8	4
2	W0N2	0	6	8	4
3	W0N3	0	10	8	4
4	W0N4	0	15	8	4
5	W0N5	0	20	8	4
6	W1N1	50	0	8	4
7	W1N2	50	6	8	4
8	W1N3	50	10	8	4
9	W1N4	50	15	8	4
10	W1N5	50	20	8	4

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，测定各生育期玉米干物质量，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 DPS3.01 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

表 4 不同处理对玉米干物质积累的影响

处理	干物质量（公斤 / 亩）				
	苗期	拔节期	大喇叭口期	灌浆期	收获期
W0N1	4.88cd	46.2b	230b	497b	608ab
W0N2	5.60bc	66.9ab	241ab	642ab	614ab
W0N3	6.27abc	84.2ab	292ab	713a	609ab
W0N4	6.27abc	91.2a	332a	818a	753a
W0N5	7.04a	105.9a	326a	764a	759a
W1N1	4.09d	47.4b	262ab	692a	669a
W1N2	5.57bc	69.0ab	293ab	678ab	699a
W1N3	6.12abc	89.8a	319a	691ab	696a
W1N4	6.34abc	87.4ab	340a	734a	778a
W1N5	6.76a	108.7a	366a	759a	802a

注：表中同一列不同小写字母表示数值之间差异显著（$P<0.05$）。

由表 4 可知，在无灌溉、补灌条件下，玉米各生育期干物质积累量均随着施氮量的增加呈现出增加趋势，其中在补灌条件下，W1N5 处理各生育期干物质积累量最高，其次是 W1N4 处理，是由于在大喇叭口期之前降雨条件与往年相比较好（表 2），有利于促进肥效，大喇叭口期补灌之后肥效增强，随着施氮量的增加促进干物质量的积累；在无灌溉条件下，玉米苗期、拔节期干物质量 W0N5 处理最高，大喇叭口期、灌浆期 W0N4 处理最高。试验结果表明，在 PK 肥用量相同条件下，增施 N 肥可增加玉米秸秆干物质量，尤其是玉米苗期、拔节期表现突出，玉米生长中期补灌能促进肥效，有利于玉米干物质积累。

2.2 不同处理条件下玉米干物质累积规律

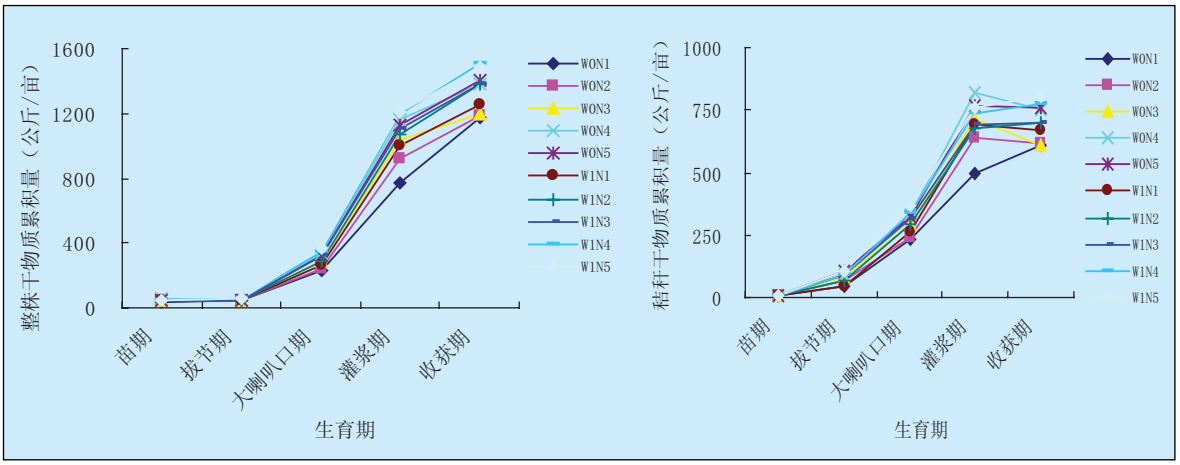


图 1　玉米各生育期全株干物质积累变化规律　　**图 2　玉米各生育期秸秆干物质积累变化规律**

由图 1 和图 2 可知，各处理玉米各生育期全株、秸秆干物质积累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[7-10]，玉米全株、秸秆干物质积累最快时期出现在拔节期—大喇叭口期—灌浆期，玉米全株干物质积累量最高出现在收获期，秸秆干物质积累量最高出现在灌浆期，

灌浆期—收获期秸秆干物质积累速度开始放缓及下降。金继运[7]、孙文涛[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，表现出的只是籽粒中干物质的积累。本研究认为可能是由于玉米生长后期籽粒碳水化合物积累逐渐加快，从茎秆、叶片获取的养分量增大，导致茎秆、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，茎叶开始枯萎，部分叶片由于雨水冲打及人为因素脱落于地面，最终导致收获期玉米秸秆干物质积累出现速度变慢和下降趋势。

全膜双垄沟播玉米

2.3 不同处理玉米产量及经济效益分析

表 5 不同处理的玉米产量及效益分析

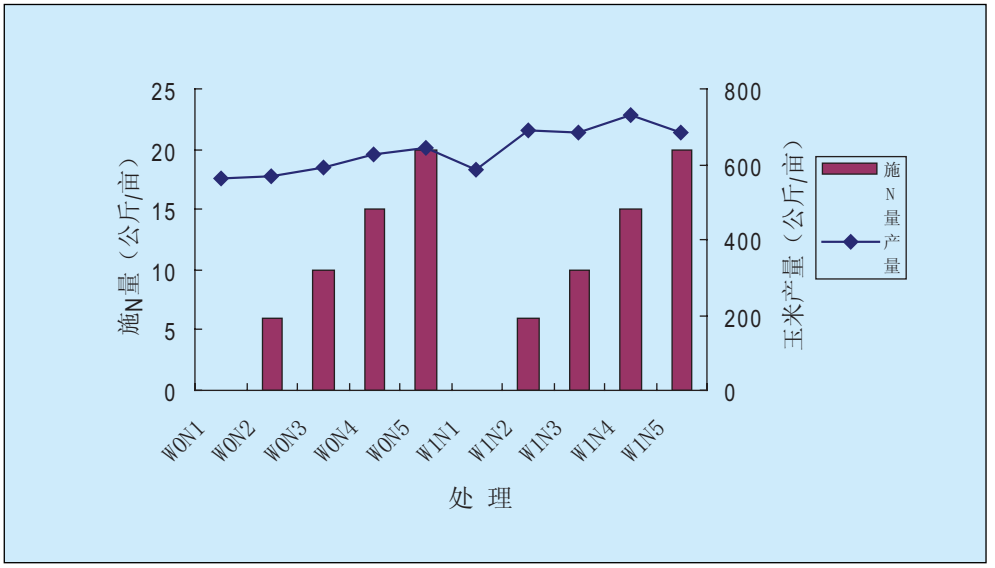
处理	产量	显著水平	与 W0N1 相比		与 W1N1 相比		农学效率	产值	肥料成本	纯收益
			增产	增产率	增产	增产率				
	（公斤 / 亩）	(5%)	（公斤 / 亩）	(%)	（公斤 / 亩）	(%)	（公斤 / 公斤）	（元 / 亩）		
W0N1	561	c	0.0	0.0	-22.2	-3.8	0.0	1066	62	1004
W0N2	568	bc	7.3	1.3	-14.9	-2.5	1.2	1080	89	991
W0N3	590	bc	29.3	5.2	7.1	1.2	1.1	1121	107	1015
W0N4	628	abc	67.1	12.0	44.9	7.7	4.5	1193	129	1064
W0N5	645	abc	84.1	15.0	61.9	10.6	4.2	1225	152	1074
W1N1	583	bc	22.2	4.0	0.0	0.0	0.0	1108	62	1046
W1N2	688	ab	127.0	22.6	105.0	18.0	17.5	1307	89	1218
W1N3	684	ab	123.0	21.9	101.0	17.3	10.1	1299	107	1193
W1N4	731	a	171.0	30.4	148.0	25.4	9.9	1390	129	1261
W1N5	681	ab	120.0	21.5	98.0	16.9	4.9	1295	152	1143

注：产量为各处理三次重复的平均产量；农学效率（公斤 / 公斤）：施入单位养分的增产量 [9-10]; N4.5 元 / 公斤、$P_2O_5$5.7 元 / 公斤、K_2O4.0 元 / 公斤，玉米 1.7 元 / 公斤。

从表 5 可知，各处理玉米产量表现为 W1N4＞W1N2＞W1N3＞W1N5＞W0N5＞W0N4＞W0N3＞W1N1＞W0N2＞W0N1，在补灌条件下，相同施肥处理玉米产量和 N 肥农学效率均高于无灌溉，增产幅度明显，其中 W1N4 处理玉米产量最高，达到 731 公斤 / 亩，明显高于其它处理，与 W0N1 处理相比，增产 171 公斤 / 亩，增产率达到 30.4%。与无灌溉相比，补灌条件下相同施肥处理玉米产量可增加 4%～21%，平均为 12.6%，其中 W1N2 比 W0N2 增产 21.0%,W1N4 比 W0N4 增产 16.5%，W1N3 比 W0N3 增产 15.9%；N 肥农学效率提高 1.8%～20%，平均为 10%。在补灌和相同 PK 肥条件下，玉米产量表现为 W1N4＞W1N2＞W1N3＞W1N5＞W1N1，与 W1N1 相比，W1N4 处理玉米增产 148 公斤 / 亩，增产率达到 25.4%；N 肥农学效率表现为 W1N2>W1N3>W1N4>W1N5; 在无灌溉条件下，各处理玉米产量随着施氮量的增加呈现出增加趋势（如图 3），表现为 W0N5＞W0N4＞W0N3＞W0N2＞W0N1，与 W0N1 处理相比，W0N5、W0N4 处理玉米分别增产 84.1 公斤 / 亩、67.1 公斤 / 亩，增产率分别为 15.0%、12.0%，其中 W0N4 处理 N 肥农学效率最高，可达到 4.5%。结果表明：在 PK 肥相同水平下，合理施 N 量可增加玉米产量，补灌可提高 N 肥农学效率，肥料增产效果明显，以 W1N4（N:15 公斤 / 亩、P:8 公斤 / 亩、K:4 公斤 / 亩）处理产量最高。

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，在补灌条件下，相同施肥处理纯收益均高于无灌溉（表 5），增加 4.2%～22.9%，平均为 13.9%；N、P_2O_5 和 K_2O 的用量分别为 15 公斤 / 亩、8 公斤 / 亩、4 公斤 / 亩时 (W1N4 处理)，玉米籽粒产值最高，每亩达到 1390 元，除去肥料成本，纯收益为 1261 元 / 亩，均高于其它处理。说明在补灌和相同 PK 肥条件下，合理施 N 量在提高玉米产量的同时，有效提高了经济效益。



3　讨论与结论

3.1　玉米各生育期全株和秸秆干物质积累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。半干旱区相同 PK 肥条件下，增施 N 肥可增加玉米秸秆干物质量，补灌优势明显，有利于玉米干物质积累。

3.2　在相同 PK 肥水平下，合理施 N 量可增加玉米产量；补灌条件下，相同施肥处理玉米产量和 N 肥农学效率、纯收益分别比无灌溉增加 4%～21%、1.8%～20%、4.2%～22.9%，N、P_2O_5 和 K_2O 的用量分别为 15 公斤 / 亩、8 公斤 / 亩、4 公斤 / 亩时 (W1N4 处理)，玉米产量可达到 731 公斤 / 亩，分别比 W0N4、W1N1 处理增产 16.5%、25.4%。

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植技术[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 S A. Systematic approach for determining soil nutrient constrains and establishing balanced fertilizer recommendations for sustained high yield[C]. Proceedings of the International Symposium on Balanced Fertilization. 1988, Beijing, China, 243-251.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 赵萍萍，王宏庭，李丽，等．氮肥用量对夏玉米产量、收益、农学效率及氮肥利用率的影响[J]. 山西农业科学，2010,11:45-47.

[10] 崔云玲，郭天文，郭永杰，王成宝，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.

平衡施肥对特种莴苣产量和品质的影响

李录久[1]　赵德群[2]　王家嘉[1]　刘加廷[2]
李东平[1]　张兆坤[2]　吴萍萍[1]
（1．安徽省农科院土肥所，合肥 230031；　2．涡阳县农业技术推广中心，涡阳 233600）

摘要：通过田间试验研究平衡施肥对特种莴苣产量、品质和经济效益的影响。结果表明，施用氮磷钾对莴苣生长发育具有明显的促进作用，并能改善品质，增加产量和产值，提高施肥经济效益。二年试验平均，特种莴苣平衡施肥较不施氮肥、磷肥、钾肥及不施肥的空白对照的增产率分别为 36.2%、10.9% 和 17.3% 及 47.4%，不同养分对莴苣影响的大小顺序为 N > K > P。莴苣肉质茎维生素 C 含量提高 8.5%～21.9%，硝酸盐含量降低 8.0%～29.5%，经济收益增加 484～1685 元 / 亩，施肥产投比达 8.25～18.99。

关键词：特种莴苣，平衡施肥，产量，品质，经济收益

莴苣为菊科草本植物，味甘苦、性凉，入胃后利五脏、通经脉、清胃热，治口臭。莴苣食用部分主要为茎，含有较多的维生素 E，常食能延缓人体细胞衰老，是人类抗衰老保健食品之一[1]。莴苣适应性较强，我国栽培极为普遍，品种繁多。安徽省涡阳特种莴苣为尖叶莴苣品种，其肉质茎加工制成的干菜——涡阳苔干为我国名贵特产蔬菜之一，早在清朝就曾作为贡品晋献朝廷，被纳为宫中贵菜[2]。涡阳苔干加工细腻，风味独特，畅销国内外。加工苔干的特种莴苣主要分布于安徽省涡阳县及亳州市樵城区，常年栽培面积 30 万亩，占全国苔干用特种莴苣总面积的 80%。

莴苣产量高，吸收的养分较多。有关研究表明，每生产 1000 公斤茎用莴苣需吸收氮（N）2.08 公斤，磷（P_2O_5）0.71 公斤，钾（K_2O）3.18 公斤，N:P_2O_5:K_2O 为 1:0.34:1.53，对氮钾需求量大，对钾素营养敏感[1]。淮北平原涡河流域潮土地区，莴苣种植户偏施氮肥或氮磷肥，不施或很少施用钾肥，氮磷钾比例失调，导致莴苣营养失衡，病虫害加剧，产量剧减，肉质茎和苔干品质变差，生产效益低下。因此开展苔干专用特种莴苣平衡施肥技术研究，对指导农民合理施肥，促进苔干生产有重要作用。2006 年起，在国际植物营养研究所（IPNI）的资助下，开展了特种莴苣优质高产平衡施肥研究与示范，取得了显著的增产增收效应。现将结果整理如下。

1　材料与方法

1.1　供试土壤

平衡施肥试验 2007～2008 年在安徽省涡阳县义门、陈大等乡镇同时进行。供试土壤为黄潮土（淮河支流涡河冲积土），肥力中等。特种莴苣移栽前 0～20 厘米耕层土壤样品采用常规方法分析，养分状况见表 1。

表 1　试验点基本情况和相关农化性状

试验年份	地点	pH（水）	有机质（克 / 公斤）	碱解 N（毫克 / 公斤）	有效 P（毫克 / 公斤）	速效 K（毫克 / 公斤）	缓效 K（毫克 / 公斤）
2007 年	义门	6.9	8.7	65.0	9.5	91.0	453.5
2008 年	陈大	6.7	9.3	71.5	8.0	86.5	372.0

1.2　试验设计

试验设 6 个处理：① CK（不施肥的空白对照）②平衡施肥 OPT（$N_{16}P_6K_{13}$，施 N、P_2O_5 和 K_2O 分别为 16、6 和 13 公斤 / 亩）③ OPT–N（不施氮肥）④ OPT–P（不施磷肥）⑤ OPT–K（不施钾肥）⑥ FP（农民习惯施肥，施纯 N20 公斤 / 亩，$P_2O_5$10 公斤 / 亩，K_2O_5 公斤 / 亩）。供试肥料品种：氮肥 – 尿素，磷肥 – 磷酸二铵或过磷配钙，钾肥 – 硫酸钾。施肥方法为：40% 的氮肥、全部磷肥和 40% 的钾肥作基肥，剩下的 60% 氮、钾肥作追肥，莴苣蹲苗后及茎膨大期分两次追施。小区面积为 20.0 平方米，4 次重复，完全随机区组排列。供试特种莴苣品种为尖叶莴苣 1 号，每年 7 月下旬播种育苗，9 月初移栽，10 月底收获。其它栽培管理措施同当地一般大田特种莴苣。

分析方法：土壤基本性状用常规法测定。特种莴苣维生素 C 含量的测定采用 2,6– 二氯靛酚滴定法，硝酸盐含量用酚二磺酸比色法分析[3]。

2　结果与分析

2.1　平衡施肥对特种莴苣生长发育的作用

表 2 的调查结果说明，氮磷钾配合施用的平衡施肥能有效促进特种莴苣的生长发育。与不施氮、磷、钾及不施肥的空白对照 CK 和农民习惯施肥 FP 相比，最佳施肥 OPT 处理莴苣的株高、叶片数、茎周长和苔长明显增加，茎鲜重、干重、鲜干比及生物量大幅度提高，产量性状改善，为经济产量的提高打下了基础

表 2　施肥对特种莴苣生长的影响

处理	叶片数（个）	株高（厘米）	茎周长（厘米）	苔长（厘米）	茎鲜重（克 / 株）	茎干重（克 / 株）	生物量（克 / 株）	鲜 / 干比 (%)
OPT (NPK)	42.3	34.9	8.5	38.1	226.0	34.3	62.3	15.20
OPT – N	38.8	32.9	8.0	30.6	157.0	22.9	46.8	14.60
OPT – P	40.0	36.8	8.3	34.8	208.0	31.5	52.1	15.13
OPT – K	36.8	34.4	8.3	31.8	195.0	26.6	50.2	13.66
CK	29.3	22.1	6.7	20.5	136.0	14.6	32.3	10.72
FP	41.9	34.6	8.1	32.5	205.5	30.2	51.5	14.70

2.2 特种莴苣施用氮磷钾的增产增收效应

从表 3 可看出，淮河流域潮土地区，氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥对特种莴苣具有显著的增产效应。与不施氮、磷、钾的对照 OPT-N、OPT-P 和 OPT-K 相比，最佳氮磷钾配施的 OPT 处理，莴苣增施氮肥的增产率为 35.0%～37.6%，施磷产量相对提高 10.7%～11.0%，施钾增产 16.4%～18.3%，较不施肥的空白对照 CK 经济产量提高 45.1%～49.8%，与农民习惯施肥 FP 相比，增产 10.1%～11.9%，2 年试验平均，增产率分别为 36.2%、10.9% 和 17.3% 及 47.4% 和 11.0%，均达 5% 或 1% 的显著或极显著水准。不施肥或不施氮肥时，特种莴苣经济产量显著下降，相对产量相应只有最佳施肥处理 OPT 的 66.8%～68.9% 和 72.7%～74.1%，平均仅为 67.8% 和 73.4%，减产效应极显著。不施磷、钾肥，莴苣相对产量只有 OPT 产量的 90.1%～90.3% 和 84.5%～85.9%，平均相对产量分别为 90.2% 和 85.2%，不施磷减产显著，不施钾减产极显著。总之，不施氮肥对特种莴苣经济产量的影响最大，2 年试验平均，减产幅度超过 26%；其次为不施钾的处理，2 年平均减产 15%；不施磷对特种莴苣经济产量的影响相对较小，平均减产 10% 左右。特种莴苣氮磷钾肥的增产效应顺序为 N>K>P。

表 3　平衡施肥对特种莴苣产量和经济效益的影响

年份	处理	代号	产量（公斤 / 亩）	OPT 增产（公斤 / 亩）	增产率 (%)	农学效率（公斤 / 公斤）	经济效益（元 / 亩）	施肥产投比
2007-2008 两年平均	$N_{16}P_6K_{13}$	OPT	2484	--	--	--	--	--
	$N_0P_6K_{13}$	OPT-N	1823	661	36.2**	41.3	1252	18.99
	$N_{16}P_0K_{13}$	OPT-P	2240	244	10.9*	40.7	459	16.87
	$N_{16}P_6K_0$	OPT-K	2117	367	17.3**	28.2	647	8.25
	$N_0P_0K_0$	CK	1685	799	47.4**	--	1413	8.53
	$N_{20}P_{10}K_5$	FP	2238	246	11.0*	--	475	17.25

注 1：2007 和 2008 年莴苣价格均按 2.00 元 / 公斤；N=4.35, P_2O_5=4.84, K_2O=6.67 元 / 公斤计算。
注 2：* 表示产量差异达 5% 的显著水准，** 表示产量差异达 1% 的极显著水准。

进一步分析特种莴苣施用氮磷钾肥的农学效率，结果表明，氮肥为 41.1～41.5 公斤经济产量 / 公斤 N，磷肥 40.3～41.0 公斤经济产量 / 公斤 P_2O_5，钾肥达 26.8～28.2 公斤经济产量 / 公斤 K_2O，平均为 41.3 公斤经济产量 / 公斤 N、40.67 公斤经济产量 / 公斤 P_2O_5 和 27.5 公斤经济产量 / 公斤 K_2O，氮磷钾三要素中氮的农学效率最高，超过 41 公斤经济产量 / 公斤 N；磷与氮相近，也超过 40 公斤经济产量 / 公斤 P_2O_5，钾最低，接近 28 公斤经济产量 / 公斤 K_2O（表 3）。

表 3 的结果还说明，氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥技术，可有效增加种植特种莴苣的产值，提高农民施肥的经济收益。最佳

施肥处理 OPT 较不施氮肥的对照 OPT-N 增收 1315~1329 元 / 亩，施用氮肥的产投比分别为 18.9 和 19.1；较不施磷肥的对照 OPT-P 增收 484~492 元 / 亩，施用磷肥的产投比为 16.7~17.0；较不施钾肥的对照 OPT-K 增收 715~753 元 / 亩，施用钾肥的产投比达 8.0~8.5；较不施肥的空白对照 CK 相应增收 1685 和 1513 元 / 亩，施用氮磷钾肥的产投比相应为 9.0 和 8.1。2 年试验平均，施用氮、磷、钾每亩分别增收 1321 元、488 元和 733 元及 1598 元，施肥产投比分别达 19.0、16.9 和 8.3 及 8.5。平衡施肥处理 OPT 与农民习惯施肥 FP 相比，增收 447~538 元 / 亩，平均增收 492 元 / 亩，平均施肥产投比高达 17.3。

2.3　施肥对特种莴苣品质的影响

从图 1 和图 2 可以看出，氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥能有效提高特种莴苣肉质茎维生素 C 的含量，显著降低硝酸盐的含量，改善莴苣的内在和外观品质。维生素 C 含量，最佳施肥 OPT 处理较不施氮肥的对照 OPT-N 提高 1.65 毫克 / 公斤，相对提高 10.5%；较不施磷肥的对照 OPT-P 及不施钾肥的对照 OPT-K 分别提高 1.36 和 3.12 毫克 / 公斤，相应提高 8.5% 和 21.9%；较不施肥的对照 CK 及农民习惯施肥处理 FP 相对提高 10.8% 和 13.1%，增施钾肥对提高特种莴苣维生素 C 含量的作用最明显，即不施钾肥莴苣肉质茎维生素 C 含量会急剧降低。硝酸盐含量，最佳施肥处理 OPT 较不施磷、钾肥的对照 OPT-P 和 OPT-K 及农民习惯施肥 FP 分别降低 25.3 和 68.2 及 121.6 毫克 / 公斤，相对降低 8.0% 和 19.0% 及 29.5%，与农民习惯施肥 FP 相比硝酸盐降低的幅度最大，这是因为农民习惯施肥 FP 施用大量氮肥，导致莴苣肉质茎硝酸盐含量较高。但是，与维生素 C 含量不同的是，不施肥或者不施氮肥，特种莴苣硝酸盐含量也较低，表明适当减少氮肥施用量可有效控制莴苣硝酸盐含量。说明合理的氮磷钾配施、氮磷钾比例协调时，才能有效提高特种莴苣维生素 C 的含量，显著降低硝酸盐的含量。

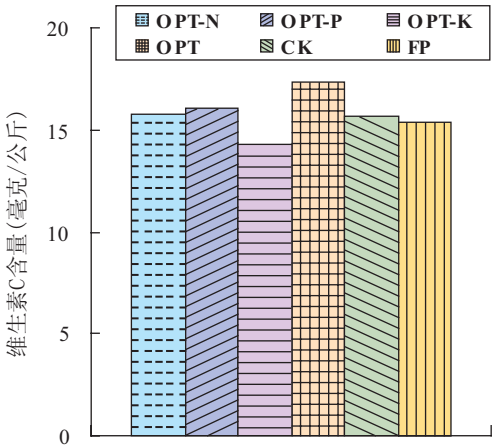


图 1　施肥对特种莴苣维生素 C 含量的影响

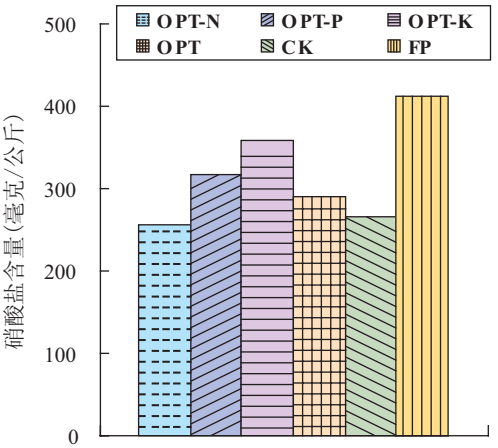


图 2　施肥对特种莴苣硝酸盐含量的影响

3 小结

3.1 施用氮磷钾对淮河流域特种莴苣的生长发育具有明显的促进作用，莴苣株高、叶片数、茎周长和苔长明显增加，鲜重、干重及干鲜比大幅度提高，产量性状改善，为经济产量的提高打下了基础。

3.2 安徽省淮河流域潮土区，氮磷钾化肥配合施用的平衡施肥对特种莴苣具有显著的增产效应。莴苣增施氮肥的增产率为 35.0%～37.6%，施磷产量相对提高 10.7%～11.0%，施钾增产 16.4%～18.3%，较不施肥的空白对照经济产量提高 45.1%～49.8%，与农民习惯施肥 FP 相比，增产 10.1%～11.9%，2 年试验平均，增产率分别为 36.2%、10.9% 和 17.3% 及 47.4% 和 11.0%，均达 5% 或 1% 的显著水平。特种莴苣施用氮磷钾的增产效应顺序为 N＞K＞P，农学效率平均为 41.28 公斤经济产量 / 公斤 N、40.67 公斤经济产量 / 公斤 P_2O_5 和 27.49 公斤经济产量 / 公斤 K_2O。

3.3 氮磷钾配合的平衡施肥可有效提高特种莴苣茎内维生素 C 等有益物质含量，降低硝酸盐等有害物质的含量，改善品质，增加产值，提高农民种植特种莴苣的经济效益。维生素 C 含量提高 8.5%～21.9%，硝酸盐含量降低 8.0%～29.5%，经济收益增加 484～1685 元 / 亩，施肥产投比达 8.3～19.0。

参考文献

[1] 胡繁荣 . 蔬菜栽培学 [M]. 上海：上海交通大学出版社，2003.

[2] 杨敏 . 涡阳秋苔干栽培加工技术 [J]. 小康生活 ,2005,(8),33.

[3] 南京农业大学 . 土壤农化分析 [M]. 北京：中国农业出版社，1994.

吉林省中部黑土区玉米氮肥效应研究

侯云鹏　谢佳贵　尹彩侠　秦裕波　张　宽　王秀芳

（吉林省农科院农业环境与农业资源研究中心，长春 130124）

摘要：在吉林省中部地区黑土条件下，通过田间试验，研究了氮肥对玉米的增产效应和氮肥利用率。结果表明，施用氮肥处理极显著高于不施氮肥处理，但产量并不随施 N 量的增加而持续增加，两者的关系符合二次曲线 $Y=ax^2+bx+c$ 方程。从施肥效益考虑，最大效益施氮量为 10.2–11.6 公斤 / 亩，能获得玉米产量 587–809 公斤 / 亩。玉米对氮肥的利用率有随施氮量的增加而降低的趋势。范家屯、陶家屯和万发镇三个试验点的施氮量由 6.0 公斤 / 亩增加到 17.0 公斤 / 亩，其氮肥利用率则分别由 42.7%、58.9% 和 30.8% 降低到 14.5%、21.7% 和 11.2%。

关键词：黑土；氮肥用量；玉米产量

吉林省黑土区主要集中在中部地区，土壤肥沃，是重要的玉米生产基地。但近年来，玉米氮肥超量施用问题日益严重，造成氮肥利用率显著下降，对生态环境构成潜在威胁，这不仅增加成本，降低效益，而且导致土壤环境的污染[1]，直接影响到粮食持续增产、农业增效、农民增收和农产品质量安全。本文通过吉林省中部黑土区玉米施氮肥效应研究，明确玉米施肥模式，为玉米合理施肥、提高玉米产量和品质、预防由于过量施氮所造成的农田污染等提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试土壤

本试验在吉林省中部地区公主岭市范家屯镇、陶家屯乡和梨树县万发镇进行。播种前采集取 0–20cm 土壤样品测定，供试土壤的基本肥力见表 1。

1.2　供试玉米品种与种植密度

供试玉米品种均选择先玉 335，种植密度为 0.4 万株 / 亩；

表 1　供试土壤地理位置与农化性状

试验地点	经度	纬度	有机质（克 / 千克）	速效 N（毫克/千克）	速效 P_2O_5（毫克/千克）	速效 K_2O（毫克/千克）	pH
公主岭市范家屯镇	124°59'63.8"	43°39'58.5"	23.5	124.77	43.87	133.41	5.13
公主岭市陶家屯镇	124°58'40.6"	44°39'26.5"	22.5	121.75	30.15	165.62	5.20
梨树县万发镇	125°01'37.5"	43°45'19.8"	15.9	103.95	48.79	132.84	5.11

1.3 试验处理与田间设计

试验均设三次重复，小区面积30m^2，六行区，小区随机排列，试验重复间留过道 1.5 米，试验大区周边设保护行 4–6 垅。试验处理见表 2。

1.4 供试肥料与施用方法

本项试验所用氮肥为尿素（含 N46%），磷肥为重过磷酸钙（含 $P_2O_5$46%），钾肥为氯化钾（含 K_2O60%）；施肥方法是 1/4 氮肥同全部磷钾肥于整地时施入，3/4 氮肥于拔节期追施。

表 2 试验处理

处理代号	施肥量（公斤/亩）		
	N	P_2O_5	K_2O
N0	0.0	5	6
N1	6.0	5	6
N2	9.7	5	6
N3	13.3	5	6
N4	17.0	5	6

1.5 测定项目与方法

1.5.1 玉米营养体（植株、籽粒）全 N 的测定：在玉米成熟期（9 月 30 日）取样，按小区独立取样，每小区取代表性玉米 5 株，样品将植株和籽粒部分分别采取，样品于105℃杀青30分钟，然后 80℃烘干称重；采用凯氏定氮法测定全氮含量。

1.5.2 氮素收获指数等相关指标按如下公式计算：

氮收获指数[2-5](%)= 子粒吸氮量（公斤/亩）/ 植株总吸氮量（公斤/亩）×100%

氮肥农学效率（公斤/公斤）=[施氮处理子粒产量（公斤/亩）– 对照子粒产量（公斤/亩）]/ 施氮量（公斤/亩）

氮肥利用率（%）=（施氮区地上部分吸氮量 – 无氮区地上部吸氮量）/ 施氮量 ×100%

1.5.3 SPAD 测定在玉米拔节期至灌浆期间，用 SPAD 分析仪（SPAD–5200, 日本产）测定玉米叶片的叶绿素读数，该仪器可以立即测量植物相对叶绿素含量，其测量读数与叶片叶绿素含量具有密切的相关性。拔节期和大口期测定最新完全展开叶，抽雄后测定穗位叶，测定部位为玉米叶片 1/2 处，避开叶脉位置。每小区选择长势均匀的玉米 30 株。用塑料标签定位并标记叶位，测定记录每一处理叶片的读数值。

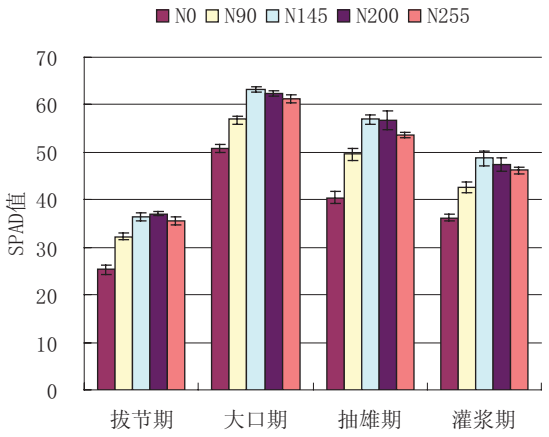
1.5.4 数据统计分析采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件处理。

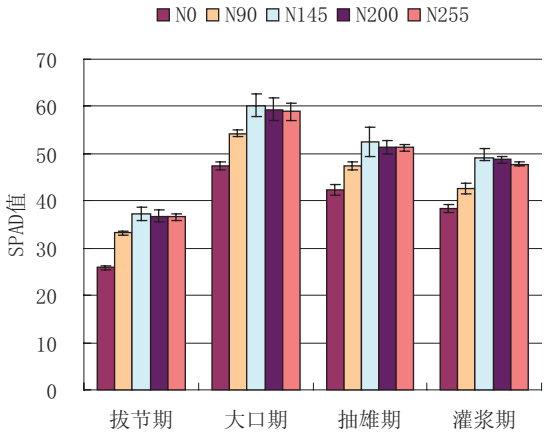
1.6 秋收与测产

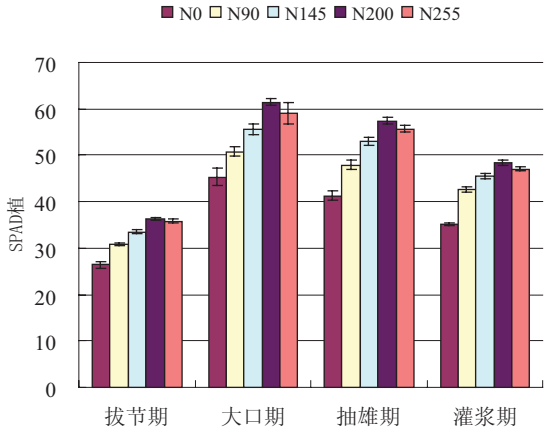
玉米成熟后，每个小区单收、单测产，以 14% 含水量计产。

2 结果与分析

2.1 不同 N 水平对玉米功能叶 SPAD 的影响







叶片的氮含量具有重要的生理学意义[4]，同时也是诊断作物氮营养的一个重要指标。由于绝大部分的叶片氮存在于叶片的叶绿素分子中，植株的含氮量与叶片的叶绿素含量呈正相关[6]，可以用叶绿素含量估计植株的含氮量[6]。从图 1-图 3 可以看出，在吉林省中部黑土区，SPAD 值随生育期发生变化，拔节期 SPAD 值比较低，到大喇叭口期SPAD值达到最大值，以后缓慢下降，这种变化规律和玉米营养生长的变化相一致。施氮能有效地提高玉米叶片 SPAD 值，在各生育时期，施氮处理 SPAD 值均显著高于不施氮肥处理的 SPAD 值，但 SPAD 值并不是随施氮量增加而持续增加，在玉米各生育期，范家屯和陶家试验点均以 N9.7 公斤 / 亩处理最高，当施 N 量高于 9.7 公斤 / 亩时，SPAD 值有下降的趋势，但差异不显著。万发试验点施 N 量 13.3 公斤 / 亩处理 SPAD 值最高，说明过量施用氮肥反而抑制玉米的对 N 的吸收，从而降低叶片的叶绿素含量，最终影响产量。

2.2 不同 N 水平对春玉米产量的影响

从表 3 范家屯、陶家屯和万发镇的试验结果看出，与不施氮肥处理相比，施氮各处理玉米产量差异均达到显著水平，说明氮对玉米有明显的增产效果。施用 6、9.7、13.3 和 17 公斤 / 亩平均产量较不施 N 处理分别增产 121.7 公斤 / 亩 (22.6%)、182.1 公斤 / 亩 (33.9%)、162.3 公斤 / 亩 (30.4%) 和 148 公斤 / 亩 (27.7%)，增收 164 元 / 亩、242 元 / 亩、198 元 / 亩、159 元 / 亩。其中以施 N9.7 公斤 / 亩的产量和效益最高，当施氮量达到 13.3kg/ 亩和 17kg/ 亩时，产量开始下降，下降幅度分别为 2.61% 和 4.85%。

从氮肥用量与籽粒产量的回归方程得出 (图 4-6)，在吉林省中部黑土区最高产量施氮 N 量

表 3　不同氮水平对玉米产量的影响

试验地点	处 理	产量结果（元 / 亩）	显著性检验（5%）	显著性检验（1%）	比 N0 增产（公斤 / 亩）	比 N0 增产（%）	比 N0 增收（元 / 亩）
范家屯镇	N0	675	d	C	--	--	--
	N1	774	c	B	99	14.65	129
	N2	816	a	A	141	20.89	178
	N3	793	b	AB	118	17.50	127
	N4	783	bc	B	107	15.91	94
陶家屯镇	N0	465	d	C	--	--	--
	N1	652	c	B	187	40.16	266
	N2	752	a	A	287	61.73	406
	N3	723	ab	A	258	55.36	344
	N4	705	b	AB	240	51.49	300
万发镇	N0	473	c	C	--	--	--
	N1	553	b	B	79	16.79	98
	N2	592	a	A	118	24.95	143
	N3	585	a	A	111	23.48	116
	N4	573	ab	AB	99	21.01	82

注：表内小写字母为差异显著，大写字母为差异极显著，注：N4.31 元 / 公斤、玉米 1.56 元 / 公斤

为 11.5–12.4 公斤 / 亩，能获得玉米产量 589–829 公斤 / 亩。最大效益施氮量为 10.2–11.6 公斤 / 亩，能获得玉米产量 587–809 公斤 / 亩。

最高产量施氮量是氮肥用量的上限，而最大效益施氮量是当前生产上的推荐用量。此用量不仅降低玉米生产成本、增加施氮效益，而且对粮食安全生产、保护生态环境均有重要意义。

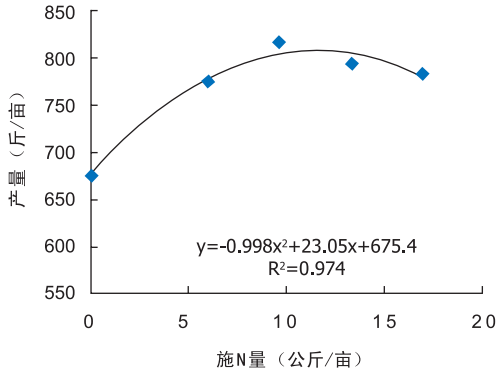


图 4　吉林省中部黑土氮肥施用模式（范家屯）

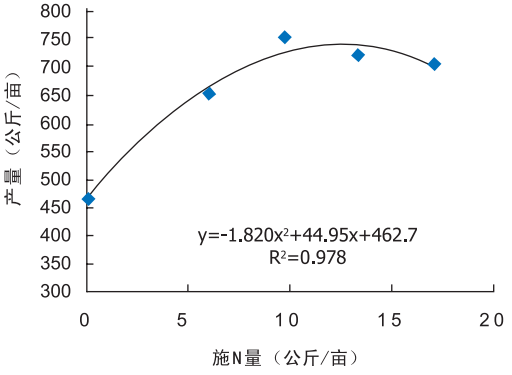


图 5　吉林省中部黑土氮肥施用模式（陶家镇）

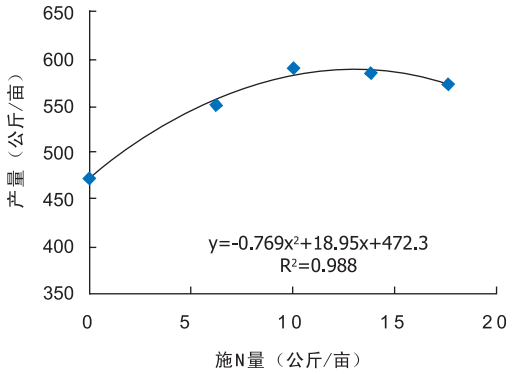


图 6　吉林省中部黑土氮肥施用模式（万发镇）

2.3　不同 N 水平对春玉米氮肥利用率的影响

从表 4 可见，在吉林省中部地区黑土区，施 N 各处理的玉米平均吸 N 总量均高于 N0 处理。但玉米吸 N 总量不是随施氮量增加而持续增加，当施 N 量达到 9.7 公斤 / 亩时玉米吸 N 总量最高，平均为 6.8 公斤 / 亩，较 N13.3 和 N17 处理分别高出 0.23 公斤 / 亩和 0.5 公斤 / 亩。从表 4 的肥料利用率来看，玉米对氮肥的利用率

表 4　不同氮水平对春玉米氮肥利用率的影响

试验地点	处理	N 吸总量（公斤 / 亩）	N 肥利用率 (%)	氮收获指数 (%)	氮肥农学效率（公斤 / 公斤）
公主岭市范家屯镇	N0	3.9	--	56.69 c	--
	N1	6.5	42.71 a	57.31 c	16.49
	N2	6.6	27.96 b	63.70 a	14.59
	N3	6.5	19.36 c	60.20 b	8.86
	N4	6.4	14.52 d	58.60 bc	6.32
公主岭市陶家屯镇	N0	3.3	--	58.03 d	--
	N1	6.8	58.95 a	62.08 ab	31.14
	N2	7.9	47.85 b	63.70 a	29.70
	N3	7.5	31.79 c	60.20 bc	19.31
	N4	7.0	21.74 d	59.60 cd	14.09
梨树县万发镇	N0	3.7	--	56.27 b	--
	N1	5.6	30.81 a	57.10 b	13.24
	N2	5.9	22.86 b	61.87 a	12.22
	N3	5.7	15.14 c	61.30 a	8.67
	N4	5.6	11.16 c	57.49 b	5.85

有随施 N 量的增加而降低的趋势。范家屯、陶家屯和万发镇三个点的施 N 量均由 6 公斤 / 亩增加到 17 公斤 / 亩，其氮肥利用率则分别由 42.71%、58.95% 和 30.81% 降低到 14.52%、21.74% 和 11.16%。

3 结论

3.1 施氮能有效地提高了玉米叶片 SPAD 值，在各生育时期，施氮处理 SPAD 值均显著高于不施氮肥处理的 SPAD 值，但是 SPAD 值并不随着施肥量的增加而持续增大，从整个生育期来看，施以 N13.3 公斤 / 亩的 SPAD 值最大。

3.2 在吉林省中部黑土区，施氮对玉米有显著的增产效应，但产量并不随施 N 量的增加而持续增加，当施氮量增加到一定数量时，玉米产量最高，再增加施肥量，其产量下降。说明氮肥用量与玉米产量之间存在函数相关，符合二次曲线 $Y=ax^2+bx+c$。从施肥效益考虑，最大效益施氮量为 10.2-11.6 公斤 / 亩，能获得玉米产量 587-809 公斤 / 亩。

3.3 每亩施用氮肥 9.7 公斤的玉米平均吸氮量最高，为 6.8 公斤 / 亩，可见玉米氮肥的适宜用量有利于玉米对 N 肥的吸收，与 SPAD 读数和产量结果表现基本吻合。

参考文献

[1] 谢佳贵，王立春，尹彩侠，等，吉林省不同类型土壤玉米施肥效应研究[J]. 玉米科学，2008，16(4)：167-171.

[2] 吴迪，黄绍文，金继运，等，氮肥运筹、配施有机肥和坐水种对春玉米产量与养分吸收转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15(2)：317-326.

[3] 王小燕，褚鹏飞，于振文．水氮互作对小麦土壤硝态氮运移及水、氮利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15(5)：992-1002.

[4] 隽英华，汪 仁，孙文涛，等．春玉米产量、氮素利用及矿质氮平衡对施氮的响应[J]. 土壤学报，2012，49(3)：544-551.

[5] 任小龙，贾志宽，陈小莉，等．半干旱区沟垄集雨对玉米光合特性及产量的影响[J]. 作物学报，2008，34(5)：838-845.

[6] 郭建华，王 秀，孟志军，等．主动遥感光谱仪 Greenseeker 与 SPAD 对玉米氮素营养诊断的研究[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14(1)：43-47.

2012 年 IPNI 研究生奖学金评选结果揭晓

2012 年国际植物营养研究所（IPNI）研究生奖学金获得者已揭晓，每位获奖者得到 2000 美元奖励，以鼓励其在植物营养和养分管理相关学科取得的优异成绩。国际植物营养研究所所长 Terry L. Roberts 博士告诉我们：“今年国际植物营养研究所（IPNI）收到来自阿根廷、澳大利亚、巴西、中国、印度、俄罗斯、南非、斯里兰卡、乌拉圭、美国等国家的优秀学生申请，竞争异常激烈。这些年轻学者们非常优秀，我们为能够帮助他们将来在植物营养研究上取得突出成绩而感到自豪。”

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 24 位来自不同国家和地区的在读研究生获得 2012 年度 IPNI 研究生奖学金。

非洲

Ms. Tesha Mardamootoo, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa

澳大利亚 / 新西兰

Mr. Jian Jin, La Trobe University, Melbourne, Australia

Ms. Humaira Sultana, The University of Melbourne, Melbourne, Australia

中国

王伟妮，华中农业大学

李光杰，中国科学院南京土壤研究所

刘占军，中国农业科学院研究生院

彭云峰，中国农业大学

东欧 / 中亚

Ms. Anastasia Dolgodvorova, Moscow State University, Moscow, Russia

Ms. Alina Arginbaeva, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

Ms. Elena Yakovleva, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

北美

Mr. Matt Yost, University of Minnesota, St. Paul, USA
Mr. Tom Bottoms, University of California, Davis, USA
Mr. Ross Bender, University of Illinois, Urbana-Champaign, USA
Mr. Ryan Van Roekel, University of Arkansas, Fayetteville, USA
Ms. Yumiko Kanke, Louisiana State University, Baton Rouge, USA

南美

Mr. Guillermo A. Divito, University of Mar del Plata, Argentina
Ms. María Florencia Varela, University of Buenos Aires, Argentina
Ms. Luciana Paula Di Salvo, University of Buenos Aires, Argentina
Mr. Agustín Núñez, University of the Republic, Montevideo, Uruguay
Mr. Rodrigo Coqui da Silva, University of São Paulo, Piracicaba, Brazil

南亚

Mr. Pardeep Kumar, Punjab Agricultural University, Ludhiana, India
Ms. Ekta Joshi, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India
Ms. Angelene Mariaselvam, University of Peradeniya, Peradeniya, Sri Lanka

东南亚

Mr. Choon Cheak Sim, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia

研究生奖学金是由 IPNI 在其成员公司支持下提供的赞助，有 IPNI 项目的任何国家，在具有学位授予资格的单位在读的研究生都有资格申请。鼓励从事土壤和植物科学包括农学、园艺、生态、土壤肥力、土壤化学、作物生理以及其他与植物营养有关的领域的在读研究生申请，每年大约在 6 月底结束申请，请随时关注 IPNI 网站：www.ipni.net 了解申请程序和要求。

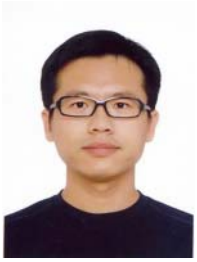
2012 年 IPNI 研究生奖学金评选结果揭晓

下面是 2012 年中国获奖的 4 位同学：

王伟妮，华中农业大学植物营养学硕博连读研究生。研究湖北水稻施用氮磷钾肥效果和合理施肥量，包括稻田肥力变异，水稻对肥料的利用率，稻田基础土壤养分供应能力，水稻合理施肥量和施肥方法等。毕业后希望继续从事与植物营养有关的科研和推广，为粮食增产和农民增收服务。

李光杰，中国科学院南京土壤研究所博士研究生。探索利用基因诱变技术研究植物对高铵低钾胁迫的适应机理，主要研究优化植物钾素吸收效率提高植物对因过量施氮造成高铵环境的适应能力及机理。毕业后希望在高水平大学从事与植物营养相关的科学研究和技术推广工作。

刘占军，中国农业科学院研究生院植物营养学在读博士研究生。主要研究南方低产水稻土的土壤质量特征和评价，找出限制水稻产量进一步提高的土壤物理、化学以及生物学方面的障碍因子，建立数据库。毕业后想作为一名农业科学家，为提高粮食产量、增加农民收入和农业可持续发展服务。



彭云峰，中国农业大学博士研究生。主要研究氮素供应对根系和土壤剖面矿质氮分布的影响以及田间条件下玉米源库碳／氮互作。毕业后想当一名农业科学家研究作物生长对养分胁迫的反应，建立新的作物养分管理措施提高作物产量和肥料利用率。