



## 云南红壤旱坡地玉米氮磷钾肥效应\*

刘建香<sup>1</sup> 张国建<sup>2</sup> 郭云周<sup>1</sup> 杨袁刚<sup>2</sup> 吴杏红<sup>2</sup>

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明, 650205; 2. 云南农业职业技术学院, 昆明, 650031)

**摘要:** 通过田间试验研究了云南省昆明市小哨红壤旱坡地氮、磷、钾肥配合施用对玉米产量和养分吸收的影响。结果表明: 钾肥的农学效率>磷肥的农学效率>氮肥的农学效率; 施氮4公斤/亩, 玉米产量最高, 为653公斤/亩, 氮肥的农学效率最高, 每公斤氮肥增产玉米20.7公斤, 随着施氮量的增加, 氮肥的农学效率迅速下降; 玉米产量随施磷量的增加而增加, 施6公斤 $P_2O_5$ /亩, 磷肥的农学效率最高, 每公斤 $P_2O_5$ 增产玉米30.1公斤, 磷肥的农学效率随着施磷量的增加逐渐下降; 玉米产量随着施钾量的增加而增加, 施6公斤 $K_2O$ /亩, 钾肥的农学效率最高, 每公斤 $K_2O$ 增产玉米32.4公斤, 钾肥的农学效率随着施钾量的增加趋于下降。

**关键词:** 玉米, 氮磷钾肥, 产量, 农学效率

玉米是云南省主要旱粮作物, 常年种植面积约1500万亩, 总产500余万吨<sup>[1]</sup>。玉米生产的施肥习惯上, 人们往往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, 从而导致玉米产量不高, 种植玉米的经济潜力得不到充分发挥<sup>[2]</sup>, 玉米品质受到影响<sup>[3]</sup>。施用氮肥是提高作物产量的重要手段, 1996年以来全球氮肥用量超过8000万吨, 我国氮肥施用量1995年以来在2200~2500万吨之间<sup>[4]</sup>。尽管我国已经是化肥生产和施用大国, 但由于生态气候类型多种多样, 各地生产条件和生产水平千差万别, 合理施肥任重道远, 首先是化肥合理用量的快速、准确确定还面临不少的技术难题, 其次是化肥施用方法尚待改进。本试验基于中-加实验室土壤ASI测定结果, 在施用等量镁、锌的条件下, 研究不同氮、磷、钾肥配合施用与玉米产量和养分吸收的关系, 为玉米高产提供合理的施肥依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 基本情况

试验地点: 试验设在云南省昆明市官渡区大板桥街道办事处小哨村云南农业职业技术学院教学农场的旱坡地上。

供试土壤: 红壤, 养分状况见表1。

\* 国际合作项目: 云南持续农业的坡地管理 (NMS-YN200801), 国际植物营养研究所资助。作者简介: 刘建香 (1968—), 女, 云南河口人, 高级实验师, 从事土壤农化及作物栽培研究、推广。通讯作者: 郭云周 E-mail: gyzhou3959@sina.com

表1 供试土壤化学性状

pH	OM (%)	养分含量 (毫克/升)									
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	P	K	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn
5.36	3.60	18.7	15.2	6.7	42.6	129.9	55.6	172.3	4.0	20.7	6.3

## 1.2 试验设计

试验设置10个处理,4次重复,随机区组排列,小区规格6.25米×3.20米,面积20平方米。10个处理分别是: N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub>。

## 1.3 玉米播种

立夏节令播种,选用“会单-4号”杂交玉米品种,播种行距80厘米,开浅沟条播,每行播种70粒,出苗后定苗,株距20厘米,每个小区4行,每行31株,每个小区玉米定苗124株。

## 1.4 施肥量及施肥方法

以中-加试验室肥料推荐用量(OPT)N4公斤/亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>6公斤/亩、K<sub>2</sub>O6公斤/亩、硫酸锌0.1公斤/亩、石灰40公斤/亩、碳酸镁14公斤/亩,试验处理肥料用量:N<sub>0</sub>、N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>分别为纯氮0、4、8、12公斤/亩,P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>分别为P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>用量0、6、12、18公斤/亩,K<sub>0</sub>、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub>分别为K<sub>2</sub>O用量0、6、12、18公斤/亩。

施肥方法:试验小区划分好以后,施入石灰和碳酸镁,并与耕层土壤混合;全部磷肥、20%的氮肥、20%钾肥作底肥,80%的氮肥、80%钾肥和全部锌肥作追肥。其中,五叶期追施30%的氮肥、50%钾肥和100%的锌肥,大喇叭口期追施50%的氮肥、30%钾肥。氮肥采用尿素,磷肥采用普通过磷酸钙,钾肥采用氯化钾,锌肥采用硫酸锌。

## 1.5 田间管理

玉米从播种到收获,田间管理的中心任务是培育壮苗,适时追肥和防治病虫害。

## 1.6 调查记载

玉米灌浆期穗位叶长和宽、取样考种、收获测产、籽粒和秸秆氮磷钾含量测定。

# 2 结果与分析

## 2.1 施氮量对玉米产量、氮肥农学效率和氮素吸收的影响

施用五氧化二磷12公斤/亩、氧化钾12公斤/亩的基础上,不同施氮条件下玉米产量、氮肥的农学效率、回收率见表2。

表2 不同施氮条件下玉米产量、氮肥农学效率与氮素吸收量

处理	施氮量 (公斤/亩)	籽粒产量 (公斤/亩)	氮的农学效率 (公斤/公斤N)	氮吸收量(公斤/亩)		氮回收率%
				总氮	籽粒氮	
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0	570.2a	—	12.1a	8.0a	—
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	4	652.8a	20.7	12.8a	8.1a	18.0
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	8	640.7a	8.8	14.6a	9.1a	31.3
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12	646.7a	6.4	13.1a	8.0a	8.3

不同施氮量处理玉米产量差异不显著,其中以施氮量4公斤/亩处理玉米产量最高,为653公斤/亩,之后再增施氮肥,玉米产量不增反降。施氮量为4公斤/亩时,氮肥的农学效率最高,每公斤氮素可增产玉米20.7公斤,而后随着施氮量的升高,氮肥的农学效率大幅降低。不同施氮量处理玉米吸收氮素差异不显著,收获籽粒带走氮素差异也不显著,施氮量为8公斤/亩时,氮的回收率最高,达到31.3%。以上结果表明,有机质含量较高的红壤旱坡地上,多施氮肥并没有产生相应的产量回报,相反氮肥浪费明显。

## 2.2 施磷量对玉米产量、磷肥农学效率和磷素吸收的影响

施用纯氮8公斤/亩、氧化钾12公斤/亩的基础上,不同施磷条件下玉米产量、磷肥的农学效率、回收率见表3。

表3 不同施磷量条件下玉米产量、磷肥农学效率与磷素吸收量

处理	施磷量 (公斤P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /亩)	籽粒产量 (公斤/亩)	磷的农学效率 (公斤/公斤P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 吸收量(公斤/亩)		磷回收率(%)
				总量	籽粒磷	
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	0	436.3b	—	3.8b	2.2b	—
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	6	617.0a	30.1	5.5a	3.9a	27.3
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12	640.7a	17.0	5.9a	3.8a	16.9
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	18	670.2a	13.0	6.2a	3.9a	16.6

与不施磷肥处理相比,施磷处理玉米增产显著,且玉米产量随着施磷量的增加而增加,但施磷由6公斤/亩增至12公斤/亩、18公斤/亩时,玉米产量增加不显著。从磷肥的农学效率来看,以施磷6公斤/亩最高,每公斤五氧化二磷可增产玉米30.1公斤,而后随着施磷量的升高而降低。施磷处理玉米吸收磷素、籽粒带走磷素显著高于不施磷处理,随着施磷量的增加,玉米吸收磷素、籽粒带走磷素呈增加趋势。施磷量为6公斤/亩时,磷的回收率最高,为27.3%。

## 2.3 施钾量对玉米产量、钾肥农学效率和钾素吸收的影响

施用纯氮8公斤/亩、五氧化二磷12公斤/亩的基础上,不同施钾条件下玉米产量、钾肥的农学效率、回收率见表4。

表4 不同钾量条件下玉米产量、钾肥农学效率与钾素吸收量

处理	施钾量 (公斤K <sub>2</sub> O/亩)	籽粒产量 (公斤/亩)	钾的农学效率 (公斤/公斤K <sub>2</sub> O)	K <sub>2</sub> O吸收量(公斤/亩)		钾回收率(%)
				总量	籽粒钾	
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	0	413.7b	—	3.7d	1.2b	—
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	6	608.1a	32.4	7.6c	1.8a	65.6
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	12	640.7a	18.9	12.7b	2.0a	75.5
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	18	668.3a	14.1	15.6a	1.8a	65.9

与不施钾肥处理相比,施钾处理玉米增产显著,且玉米产量随着施钾量的增加而增加,但施钾量由6公斤/亩增至12公斤/亩、18公斤/亩时,玉米产量增加不显著。从钾肥的农学效率来看,以施钾6公斤/亩最高,每公斤氧化钾可增产玉米32.4公斤,而后随着施钾量的升高而降低。施钾处理玉米吸收钾素、籽粒带走钾素显著高于不施钾处理,随着施钾量的增加,玉米吸收钾素、籽粒带走钾素呈增加趋势。施钾量为12公斤/亩时,钾的回收率最高,为75.5%。

### 3 讨论与小结

玉米对氮肥敏感,施氮增产效果明显,且其耐肥性较强,需氮肥较多,因此近年来随着用于玉米氮肥数量的逐年增加,出现了玉米氮肥超量施用问题,氮肥的增产效果逐年降低<sup>[5,6]</sup>,我国氮肥的当季利用率仅为30%~35%<sup>[7,8]</sup>。造成氮肥肥效降低的因素很多,其中主要因素是施肥过量和施用方法不当,如玉米所需要的必需营养元素供给不平衡<sup>[9]</sup>。华北平原夏玉米-冬小麦轮作体系中,氮肥超量施用现象十分普遍,1997年的调查表明,北京地区夏玉米田平均施肥量为N 17公斤/亩,有的达20公斤/亩以上<sup>[10]</sup>,造成氮肥利用率显著下降,北京地区一般为16%~22%<sup>[11]</sup>,黄淮海平原吴桥试区甚至仅为3.5%~11.6%<sup>[12]</sup>。氮肥在提高作物产量的同时,也对环境造成了极大的威胁,已经引起了人们的高度重视<sup>[4]</sup>,张淑香等在北京昌平褐潮土上进行的冬小麦和夏玉米轮作施用包膜尿素试验,玉米的氮肥表观利用率为55%~140%,高于小麦的氮肥表观利用率(30.0%~45.3%)<sup>[13]</sup>,蔡祖聪等在河南封丘潮土上进行的小麦、玉米轮作长期肥料试验结果,在等N、P、K的情况下,处理NPK、NP、1/2OM(1/2氮用有机肥)和OM(全部氮用有机肥)的氮回收率达到66%~75%,其中以处理1/2 OM最高,其次为OM<sup>[4]</sup>。云南小哨红壤旱坡地上,施用P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O各12公斤/亩的条件下,施氮4公斤/亩时,玉米产量最高,为653公斤/亩,氮肥农学效率最高,每公斤氮素可增产玉米20.7公斤,随着施氮量的增加,氮肥的农学效率迅速下降,氮肥回收率则以施氮8公斤/亩时最高,为31.3%。

玉米是典型磷敏感型作物,尤其苗期施用磷肥对提高土壤磷素供应、增加作物产量具有重要作用,施磷促进氮肥吸收,减少土壤氮素的耗竭,施N素10公斤/亩不配施磷的氮肥利用率只有11.6%,配施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.5~15公斤/亩后氮肥利用率达到26.5%~39.4%;施N 7.5公斤/亩不配施磷的氮肥利用率19.0%,配施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.5~10公斤/亩后氮肥利用率达到23.5%~33.2%,施磷促进氮的吸收,随配施磷量的增加氮肥利用率提高4.5%~27.7%,随施磷量的增加磷肥利用率降低<sup>[14]</sup>,缺磷是红壤旱地的主要障碍因子,施磷增产显著;补施磷肥后,缺钾逐渐成为主要障碍因子,补施钾肥有显著增产效果;磷肥必须与农家肥和钾肥配合施用,否则,随着年限延长,只施用氮磷肥将会导致地力下降,最后绝产<sup>[15]</sup>。刘建玲等报道,磷肥的当季利用率一般只有10%~25%,而75%~90%的磷肥以不同形态的磷酸盐积累在土壤中,小麦-玉米轮作长期定位试验中单施磷肥及氮、磷肥配合施用小麦、玉米均表现出显著的增产作用,12年间,与不施磷肥处理相比,年施磷4.5公斤/亩处理小麦、春玉米的平均增产率分别为79.3%、96.9%,1公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>增产小麦、春玉米分别为35.6、53.7公斤,在年施磷4.5公斤/亩基础上增施1倍的磷肥,磷肥增产效应显著下降,1公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>增产小麦、夏玉米分别为5.9、2.6公斤<sup>[16]</sup>。云南小哨红壤旱坡地上,施氮8公斤/亩、K<sub>2</sub>O 12公斤/亩的条件下,玉米产量随着施磷量的增加而增加,磷肥的农学效率和回收率以施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6公斤/亩时最高,每公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>可增产玉米30.1公斤,磷的回收率为27.3%,磷肥的农学效率和回收率随着施磷量的增加逐渐下降。

刘英等报道,江淮丘陵区下蜀黄土发育的马肝土上,施钾9公斤/亩时,每千克K<sub>2</sub>O增产玉米最

高, 达6.89公斤; 每千克N增产12.16公斤; 在NP肥充足时, 钾肥的增产效果极其显著; 而氮肥仍是玉米高产的首要限制因子<sup>[17]</sup>。金凤霞等人在吉林蛟河市进行的玉米氮磷钾效应试验, 白浆土上氮、磷、钾的增产效果为氮>钾>磷, 且三要素间交互作用明显; 氮、磷、钾肥配合施用优于磷钾、氮磷、氮钾配合施用, 与对照相比, 其余处理均有极显著增产效果, 在该土壤条件下N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O最高施用量为14公斤/亩、4.5公斤/亩、4.3公斤/亩; 最佳经济施肥量分别为12.2公斤/亩、4.2公斤/亩、4公斤/亩<sup>[18]</sup>。云南小哨红壤旱坡地上, 施氮8公斤/亩、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12公斤/亩的条件下, 玉米产量随着施钾量的增加而增加, 钾肥的农学效率以施K<sub>2</sub>O 6公斤/亩时最高, 每公斤K<sub>2</sub>O增产玉米32.4公斤, 并随着施钾量的增加趋于下降, 钾肥的回收率以施K<sub>2</sub>O 12公斤/亩时最高, 为75.5%。

## 4 致谢

云南持续农业的坡地管理, 长期得到国际植物营养研究所中国项目部的关心和支持, 以及成都代表处涂仕华博士的悉心指导, 在此致以衷心感谢。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2009[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009: 460-464
- [2] 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
- [3] 王秀芳, 张宽, 王立春, 等. 科学管理与调控钾肥, 实现玉米高产稳产[J]. 玉米科学, 2004, 12(3): 92-95
- [4] 蔡祖聪, 钦绳武. 华北潮土长期试验中的作物产量、氮肥利用率及其环境效应[J]. 土壤学报, 2006, 43(6): 885-891
- [5] 易镇邪, 王璞. 包膜复合肥对夏玉米产量、氮肥利用率与土壤速效氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 242-247
- [6] 游福欣, 王向阳, 王宗杰, 等. 夏玉米最佳施氮量研究[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(5): 765-766
- [7] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, (9): 1-16
- [8] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(3): 193-205
- [9] 刘红霞, 张会民, 王定勋, 等. 氮、锌配施对夏玉米的增产效应研究[J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26(5): 538-541
- [10] 赵久然, 郭强, 郭景伦, 等. 北京郊区粮田化肥投入和产量现状的调查分析[J]. 北京农业科学, 1997, (2): 36-38
- [11] 李新慧. 京郊粮田土壤氮素损失机制与提高氮肥利用率[J]. 北京土壤学会简讯, 1999, 2(5): 5-8

下接66页