

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

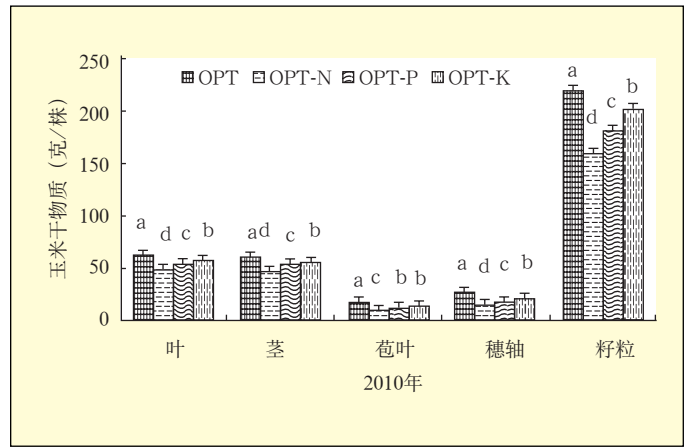
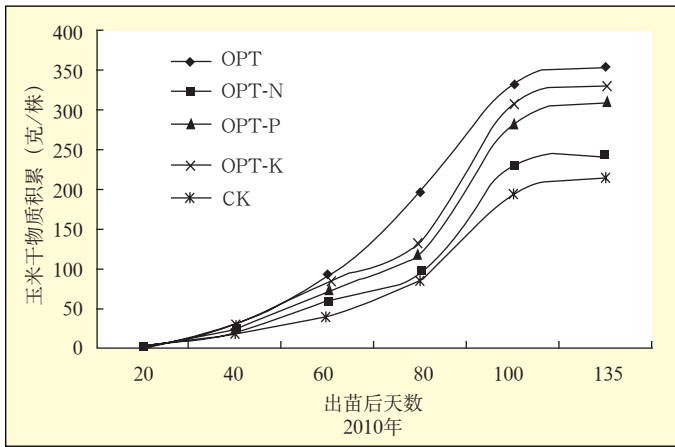


图1 玉米干物质的积累

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。

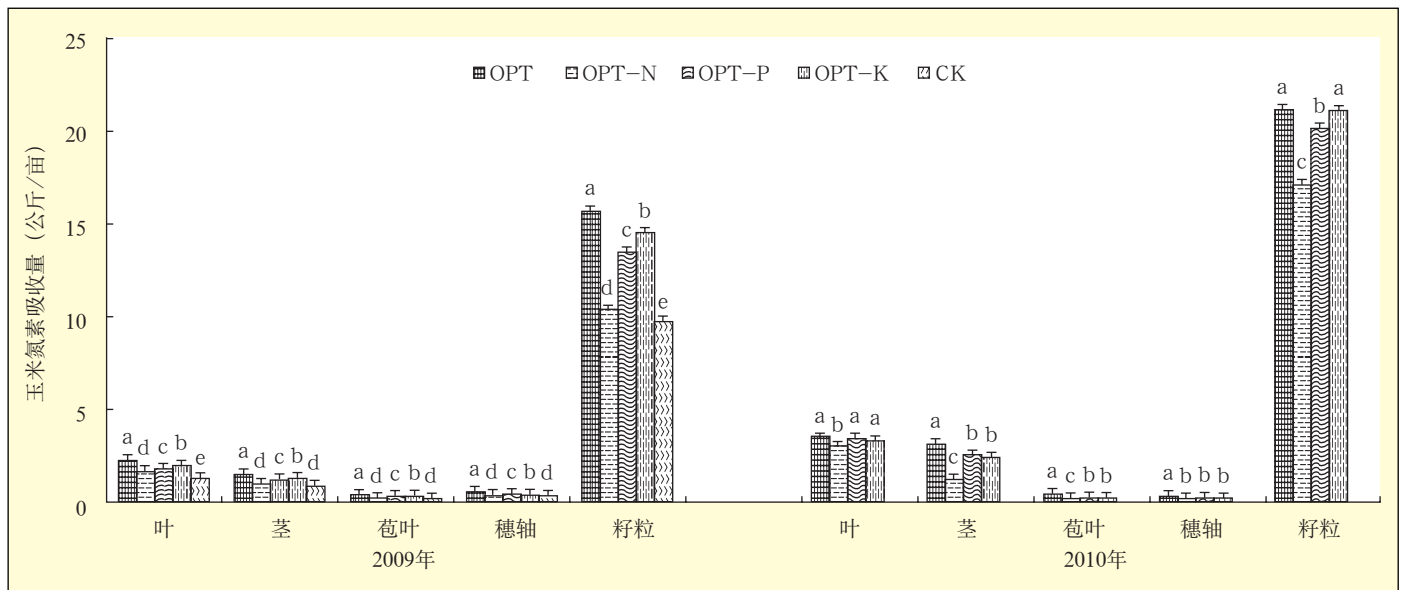


图2 玉米不同处理 N 吸收量

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

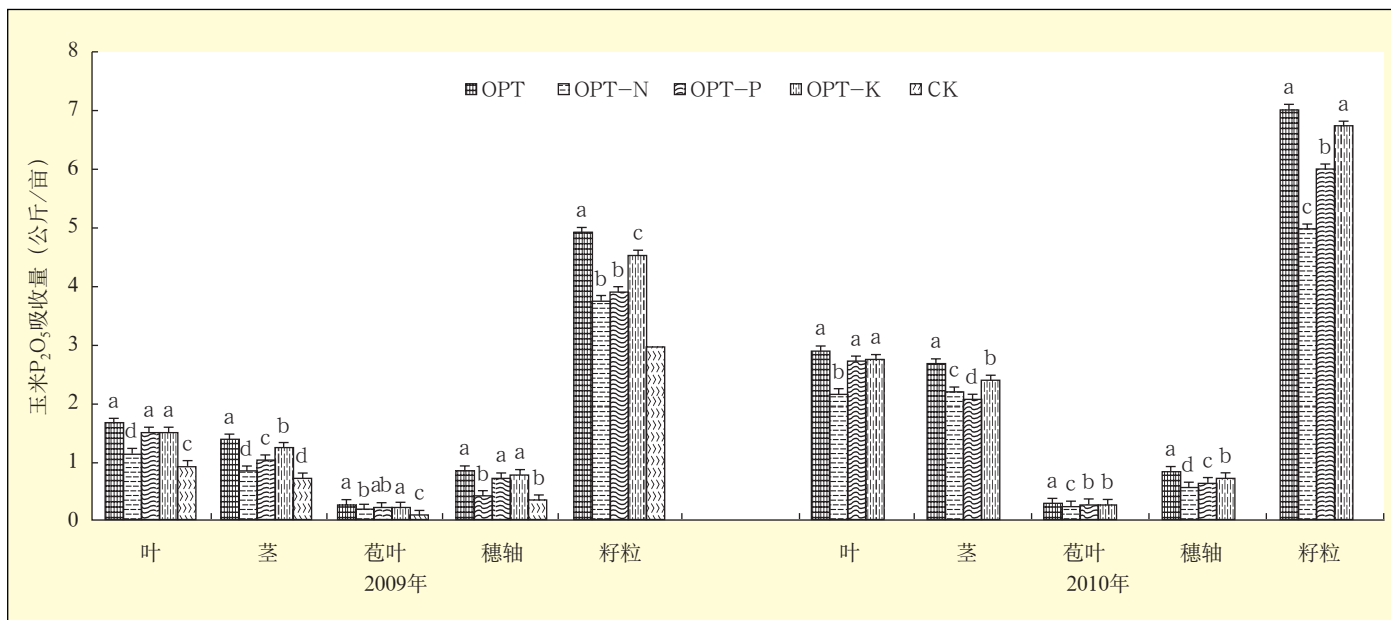


图 3 玉米不同处理 P_2O_5 吸收量

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

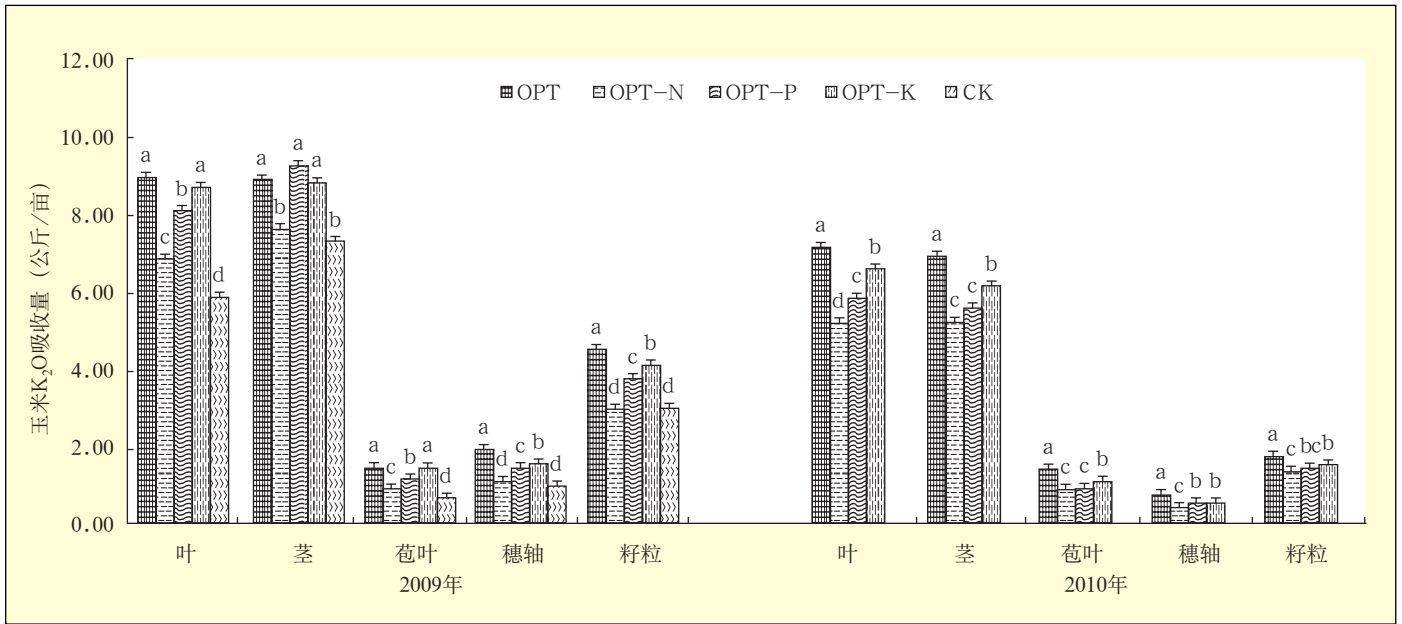


图4 玉米不同处理 K₂O 吸收量

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 (元/亩)	收益	收益
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.