

喷灌条件下玉米施肥肥效及养分吸收的研究

段玉 张君 妥德宝 赵沛义 李焕春

(内蒙古农牧业科学院植物营养与分析研究所, 010031)

摘要: 喷灌条件下在玉米上进行3年试验结果表明, 氮肥效果大于磷肥效果, 磷肥效果大于钾肥效果; 玉米经济最佳施肥量为N-P₂O₅-K₂O 15.2-6.4-4.9公斤/亩。氮、磷、钾肥的当季利用率分别为36.3%、18.6%和49.9%。每生产100公斤玉米籽吸收N、P₂O₅、K₂O分别为2.08公斤、0.69公斤和2.49公斤

玉米是我国播种面积最大、产量最高的粮食作物, 2009年全国播种面积为3073万公顷, 总产达15550万吨。内蒙古自治区2009年玉米播种面积为253.1万公顷, 总产达1522.1万吨, 占全国的8.5%。玉米主要种植在具有灌溉条件的高产农田, 科学合理施肥是玉米增产的重要措施之一, 研究玉米养分吸收分配规律和玉米平衡施肥可以为玉米高产高效种植提供科学依据。

育成品种“内单314”。试验用氮肥为尿素, 含N46%, 磷肥施氮区用磷酸二铵, 缺氮区用重过磷酸钙, 含P₂O₅46%, 钾肥为氯化钾, 含K₂O60%, 氮肥30%做种肥, 70%在拔节期和大喇叭口期2次追施, 二铵和氯化钾全部做种肥深施, 试验田采用喷灌, 2009年生育期灌水5次, 灌水量150mm, 2010年生育期灌水11次, 165mm, 2011年生育期灌水6次, 灌水量175mm。2009年是5月1日播种, 9月28日收获, 2010年是5月2日播种, 10月4日收获, 2011年是5月2日播种, 10月2日收获。

1 材料和方法

试验在内蒙古鄂尔多斯达拉特旗灌区进行, 土壤为潮土, 砂壤, 土壤养分状况见表1。

表1 供试土壤养分分析结果

年份	pH	有机质 (%)	(毫克/升)									
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	P	K	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
2009	8.82	0.24	9.4	6.8	10.6	96.6	0.0	7.0	0.9	3.1	1.7	1.72
2010	8.66	0.24	3.7	7.5	29.7	76.8	2.7	13.2	0.9	7.3	1.4	1.17
2011	8.46	0.18	6.9	9.8	34.7	62.4	13.0	11.2	1.3	6.2	0.6	0.51

试验采用“3414”试验设计(见表2), 设NPK三个因素, 四个养分用量, 重复三次, 随机排列。供试品种为内蒙古农牧业科学院

收获时各处理分别取样3株切碎风干, 称茎叶干重和籽实干重, 并分析茎叶和籽实的N、P、K养分含量。

表2 玉米试验因素水平编码值

年份	2009				2010				2011			
编码值	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
施氮量(N)(公斤/亩)	0	8.5	17	25.5	0	9	18	27	0	9	18	27
施磷量(P ₂ O ₅)(公斤/亩)	0	3.5	7	10.5	0	4	8	12	0	4	8	12
施钾量(K ₂ O)(公斤/亩)	0	3.0	6	9.0	0	6	12	18	0	6	12	18

2 结果与分析

2.1 玉米施肥的增产效果和推荐施肥参数的确定

分析整理 2009-2011 年 3 个玉米试验产量结果见表 3。

表3 玉米试验产量结果(公斤/亩)

编号	处理	2009年				2010年				2011年			
		I	II	III	平均	I	II	III	平均	I	II	III	平均
1	N ₀ P ₀ K ₀	436	431	452	440	697	655	688	680	444	548	431	474
2	N ₀ P ₂ K ₂	524	460	477	487	758	706	698	721	409	713	689	604
3	N ₁ P ₂ K ₂	680	629	704	671	772	795	878	815	614	795	642	684
4	N ₂ P ₀ K ₂	673	611	654	646	783	768	786	779	570	650	633	618
5	N ₂ P ₁ K ₂	683	704	692	693	850	831	856	846	666	672	732	690
6	N ₂ P ₂ K ₂	705	716	761	727	942	961	870	924	681	703	804	729
7	N ₂ P ₃ K ₂	712	696	674	694	912	881	893	895	667	686	685	680
8	N ₂ P ₂ K ₀	654	653	629	645	844	859	821	841	625	626	685	646
9	N ₂ P ₂ K ₁	697	650	671	673	871	916	906	897	706	704	747	719
10	N ₂ P ₂ K ₃	667	719	671	686	878	963	856	899	663	706	604	658
11	N ₃ P ₂ K ₂	644	670	703	672	895	877	808	860	703	659	702	688
12	N ₁ P ₁ K ₂	602	617	654	624	888	877	902	889	665	700	573	646
13	N ₁ P ₂ K ₁	599	678	713	663	893	880	838	870	664	656	630	650
14	N ₂ P ₁ K ₁	625	704	715	681	844	871	903	873	700	620	626	649

注：方差分析 2009 年 F=20.22**，2010 年 F=13.06**，2011 年 F=2.90*，处理间存在显著差异。

2.1.1 玉米施肥的增产效果

从表4可以看出,玉米施用氮肥增产13.1%—49.3%，平均为26.0%，施用磷肥增产7.3%—

18.6%，平均为12.1%，施用钾肥增产1.9%—13.0%，平均为8.1%。总的来看，N₂P₂K₂处理增产效果最好，施肥效果N>P₂O₅>K₂O。

表4 玉米施肥的增产效果

处理	N 的增产率 (%)				处理	P ₂ O ₅ 的增产率 (%)				处理	K ₂ O 的增产率 (%)			
	2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均
N ₀ P ₂ K ₂	--	--	--		N ₂ P ₀ K ₂	--	--	--		N ₂ P ₂ K ₀	--	--	--	
N ₁ P ₂ K ₂	37.8	13.1	13.2	21.4	N ₂ P ₁ K ₂	7.3	8.6	11.7	9.2	N ₂ P ₂ K ₁	4.2	6.7	11.3	7.4
N ₂ P ₂ K ₂	49.3	28.3	20.8	32.8	N ₂ P ₂ K ₂	12.6	18.6	18.0	16.4	N ₂ P ₂ K ₂	12.7	9.9	13.0	11.8
N ₃ P ₂ K ₂	38.0	19.3	14.0	23.8	N ₂ P ₃ K ₂	7.4	15.0	10.0	10.8	N ₂ P ₂ K ₃	6.3	6.9	1.9	5.0
平均	41.7	20.2	16.0	26.0		9.1	14.1	13.2	12.1		7.7	7.8	8.7	8.1

2.1.2 玉米施肥的农学效率

从表5可以看出，玉米施用氮肥每公斤N增产玉米3.1–21.6公斤，平均为9.9公斤。施用磷肥每公斤P₂O₅增产玉米4.6–18.2公

斤，平均为12.4公斤。施用钾肥每公斤K₂O增产玉米0.7–13.7公斤，平均为7.4公斤。以低养分处理(N₁P₂K₂)效果更好，施肥肥效P₂O₅>N>K₂O。

表5 玉米施肥的农学效率

处理	N (公斤 / 公斤)				处理	P ₂ O ₅ (公斤 / 公斤)				处理	K ₂ O (公斤 / 公斤)			
	2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均
N ₀ P ₂ K ₂	--	--	--		N ₂ P ₀ K ₂	--	--	--		N ₂ P ₂ K ₀	--	--	--	
N ₁ P ₂ K ₂	21.6	10.5	8.9	13.7	N ₂ P ₁ K ₂	13.4	16.7	18.1	16.1	N ₂ P ₂ K ₁	9.1	9.3	12.2	10.2
N ₂ P ₂ K ₂	14.1	11.3	7.0	10.8	N ₂ P ₂ K ₂	11.6	18.2	13.9	14.6	N ₂ P ₂ K ₂	13.7	6.9	7.0	9.2
N ₃ P ₂ K ₂	7.3	5.2	3.1	5.2	N ₂ P ₃ K ₂	4.6	9.7	5.1	6.5	N ₂ P ₂ K ₃	4.5	3.2	0.7	2.8
平均	14.3	9.0	6.3	9.9		9.9	14.9	12.4	12.4		9.1	6.5	6.6	7.4

2.1.3 玉米施肥的养分利用率

从表6看出，玉米施用氮肥(N)养分利用率22.9%–46.2%，平均为36.3%，施用磷

肥(P₂O₅)养分利用率7.4%–26.8%，平均为18.6%，施用钾肥(K₂O)养分利用率22.1%–62.3%，平均为49.9%。

表6 玉米施肥的养分利用率

处理	N%				处理	P ₂ O ₅ %				处理	K ₂ O%			
	2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均		2009	2010	2011	平均
N ₀ P ₂ K ₂	--	--	--		N ₂ P ₀ K ₂	--	--	--		N ₂ P ₂ K ₀	--	--	--	
N ₁ P ₂ K ₂	45.9	37.6	25.2	36.2	N ₂ P ₁ K ₂	17.6	23.3	18.4	19.8	N ₂ P ₂ K ₁	60.8	59.0	62.3	60.7
N ₂ P ₂ K ₂	45.4	35.6	46.2	42.4	N ₂ P ₂ K ₂	26.8	24.7	23.0	24.8	N ₂ P ₂ K ₂	56.3	54.2	60.0	56.8
N ₃ P ₂ K ₂	22.9	25.2	43.0	30.4	N ₂ P ₃ K ₂	12.1	7.4	13.9	11.1	N ₂ P ₂ K ₃	46.3	28.6	22.1	32.3
平均	38.1	32.8	38.2	36.3		18.8	18.5	18.4	18.6		54.5	47.3	48.1	49.9

3年试验结果表明(表7),生产100公斤玉米吸收N0.92-3.06公斤,平均为2.08公斤,吸收P₂O₅0.41-1.06公斤,平均为0.69公斤,吸收K₂O1.54-3.44公斤,平均为2.49公斤。

最佳施肥处理(N₂P₂K₂)生产100公斤玉米吸收的N、P₂O₅、K₂O分别为2.34公斤、0.78公斤和2.67公斤。

表7 每生产单位籽实产量需要吸收养分量(公斤/100公斤)

处理	N				P ₂ O ₅				K ₂ O			
	2009	2010	2011	平均	2009	2010	2011	平均	2009	2010	2011	平均
N ₀ P ₂ K ₂	2.08	2.63	0.93	1.88	0.78	0.81	0.64	0.74	2.92	2.92	1.54	2.46
N ₁ P ₂ K ₂	2.09	2.74	1.43	2.09	0.74	0.85	0.50	0.70	2.59	2.89	1.81	2.43
N ₂ P ₀ K ₂	2.14	2.50	1.01	1.88	0.90	0.57	0.41	0.63	2.87	3.44	2.57	2.96
N ₂ P ₁ K ₂	2.03	2.59	1.59	2.07	0.93	0.64	0.47	0.68	2.69	2.59	1.99	2.42
N ₂ P ₂ K ₂	2.46	2.74	1.83	2.34	1.06	0.70	0.60	0.78	2.60	2.89	2.52	2.67
N ₂ P ₃ K ₂	2.19	3.02	1.08	2.10	1.02	0.60	0.62	0.75	2.54	2.03	1.68	2.08
N ₂ P ₂ K ₀	2.09	2.44	1.35	1.96	0.78	0.67	0.41	0.62	2.40	2.40	1.73	2.18
N ₂ P ₂ K ₁	2.57	3.06	0.92	2.18	0.70	0.58	0.59	0.62	2.58	2.65	2.08	2.43
N ₂ P ₂ K ₃	2.15	2.60	1.11	1.95	0.86	0.68	0.51	0.68	2.87	2.82	2.31	2.67
N ₃ P ₂ K ₂	2.38	3.00	1.58	2.32	0.78	0.78	0.58	0.71	2.65	3.29	1.82	2.58
平均	2.22	2.73	1.28	2.08	0.85	0.69	0.53	0.69	2.67	2.79	2.00	2.49

2.2 玉米经济最佳施肥用量的确定

对2009年三次重复平均值进行回归分析,其回归方程为:

$$Y=439.6+21.18N-0.721N^2+23.05P-1.404P^2+2.129K-2.113K^2-0.391NP+1.141NK+0.546PK$$

$$R^2=0.987* \quad F=33.5>F_{0.05}=6 \quad \text{说明回归方程差异显著,可以进行拟合分析。}$$

对2010年三次重复平均值进行回归分析,其回归方程为:

$$Y=684.6+11.81N-0.684N^2+12.99P-2.381P^2+25.96K-2.104K^2+1.565NP+0.096NK-0.614PK$$

$$R^2=0.932* \quad F=6.06>F_{0.05}=6 \quad \text{说明回归方程差异显著,可以进行拟合分析。}$$

对2011年达旗试验三次重复平均值进行回归分析,其回归方程为:

$$Y=469.6+7.81N-0.289N^2+21.81P-1.7279P^2+32.31K-2.710K^2+0.488NP-0.015NK-0.807PK$$

$$R^2=0.956* \quad F=9.64>F_{0.05}=6 \quad \text{说明回归方程差异显著,可以进行拟合分析。}$$

对上述3个方程分别求N、P、K的偏导并令其为零,得到3个联立方程组,解之得到获得最高产量的施肥量。对上述3个方程分别求N、P、K的偏导并令其边际产量为零,得到3个联立方程组,解之得到经济最佳施肥量。

表8结果表明，在鄂尔多斯沿黄河灌区喷灌下，获得最高产量的玉米施N量为：17.7–20.2公斤/亩，平均为18.7公斤/亩；施P₂O₅量为6.9–8.1公斤/亩，平均为7.7公斤/亩；施K₂O量为4.7–6.2公斤/亩，平均为5.4

公斤/亩。

经济合理施N量为：14.7–15.5公斤/亩，平均为15.2公斤/亩；施P₂O₅量为6.2–6.7公斤/亩，平均为6.4公斤/亩；施K₂O量为4.6–5.1公斤/亩，平均为4.9公斤/亩。

表8 玉米最佳施肥量及产量

年份	获最高产量的施肥量 (公斤/亩)				经济最佳施肥量 (公斤/亩)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	产量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	产量
2009 达旗	17.7	6.9	6.2	713.5	15.5	6.2	5.1	709.2
2010 达旗	18.1	8.0	5.4	914.0	14.7	6.4	5.1	908.0
2011 达旗	20.2	8.1	4.7	712.7	15.3	6.7	4.6	705.5
平均	18.7	7.7	5.4		15.2	6.4	4.9	

注：每公斤 N 按照 4.35 元，每公斤 P₂O₅ 按照 4.84 元，每公斤 K₂O 按照 3.67 元，玉米按照 2 元/公斤计算。

3 结论

3.1 玉米是内蒙古自治区的第一大作物，3年的试验结果表明氮肥效果大于磷肥效果，磷肥效果大于钾肥，说明当前玉米推荐施肥仍应当注意氮磷钾肥的配合施用。

3.2 在玉米生长发育过程中矿质元素通过参与同化物的合成、转运和分配过程，对玉米的生长发育及产量形成有着重要作用。3年试验结果表明在磷钾基础上增施氮肥的肥料利用率(N)平均为36.3%；在氮钾基础上增施磷肥的肥料

利用率(P₂O₅)平均为18.6%；在氮磷基础上增施钾肥，钾肥的肥料利用率(K₂O)平均为49.9%。生产100公斤玉米籽粒吸收N、P₂O₅、K₂O平均分别为2.08公斤、0.69公斤和2.49公斤。这些数据的获得为玉米推荐施肥提供了技术参数。

3.3 回归分析表明，在鄂尔多斯沿黄河灌区喷灌下，玉米经济最佳施肥量为：N–P₂O₅–K₂O为15.2公斤/亩、6.4公斤/亩和4.9公斤/亩。

参考文献：

- [1] 冯沛, 范学东, 赵涛, 等. 淮北地区玉米养分需求特性及高产施肥技术[J]. 农技服务. 2008(25)9:51-52
- [2] 张慧, 王锋有, 刘乙俭, 等. 不同施肥条件下玉米养分吸收规律及优化配方施肥技术研究[J]. 杂粮作物, 2008, (28)2:118-120
- [3] 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
- [4] 高洪军, 朱忠, 彭畅, 等. 淡黑钙土玉米养分平衡调控技术初探[J]. 吉林农业科学, 2005, 30(5): 43-45, 53

