

不同磷钾水平下云南旱地玉米产量和养分吸收利用研究

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

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

摘要: 在云南省曲靖地区开展了2组旱地玉米的田间小区试验, 研究不同磷钾施肥量对玉米生物量和养分积累、养分利用、收获期玉米的产量和经济效益的影响。结果表明: 玉米的氮磷钾养分吸收积累高峰期在抽雄期前后。磷素和钾素的供应均对玉米的产量有显著影响, 钾素的影响大于磷素的影响。NP2K2处理因为搭配合理, 其地上部分的生物量积累、籽粒产量和经济效益是所有处理中最高的, 产量比其他处理高3.90%~24.74%, 净收益高3.65%~25.97%。NP1K2处理的P肥利用率和P素农学效率较高; NP2K2处理的K肥利用率和K素农学效率较高。

关键词: 玉米; 磷钾水平; 肥料利用率; 农学效率; 产量

旱作农业是云南农业的主要形式, 玉米是云南省种植面积最大的旱地作物。近年的农业生产实践中, 为追求玉米高产, 施肥量不断增长, 使得肥料利用率低下, 养分流失严重, 对环境产生了不良影响^[1-3]。磷和钾都是植物生长中重要的营养元素, 在植物的生长发育和生理生化代谢中具有重要的作用, 合理的磷钾营养也将促进氮素营养的吸收利用。提高肥料利用率, 减少养分流失对环境造成的不良影响, 保证玉米的品质和产量, 对云南省玉米生产具有重要意义^[4-5]。

玉米是典型的C⁴植物, 具有高效的光合作用能力, 生物量较大。氮磷钾养分的管理对玉米的产出、养分利用效率具有重要的影响, 前人已开展过不少研究^[5-10], 但对高原上的旱地玉米养分管理研究较少。本文针对云南省的玉米主产区曲靖地区近年来氮肥用量过高, 氮肥利用率低

下的问题, 磷钾肥比例和用量不合理的实际情况, 在云南省玉米主产区曲靖市麒麟区开展不同磷钾水平下玉米的产量和养分吸收利用研究, 分析在相同的施氮量条件下, 不同磷钾施肥量对玉米生物量积累动态、养分积累变化、养分利用、收获期玉米的农艺性状、产量、经济效益的影响, 为云南旱地玉米的实际生产和养分管理提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地位于云南省曲靖市麒麟区越州镇大梨树村和东山镇撒玛依村, 两地海拔分别是1891m和1912m; 两个试验地均为云南省典型的山原红壤旱地。

两个试验地肥力中上等, 养分状况见表1。

表1 试验地养分状况

试验地	pH	有机质 (克/公斤)	全N (%)	碱解N (毫克/公斤)	全P (%)	有效P (毫克/公斤)	全K (%)	速效K (毫克/公斤)
越州镇大梨树村	5.73	28.63	0.12	122.37	0.10	29.22	0.67	137.08
东山镇撒玛依村	7.01	34.86	0.15	175.79	0.11	23.15	0.83	146.52

表2 试验设计

	处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	NP2K2	20.00	8.00	5.00
2	NP0K2	20.00	0.00	5.00
3	NP1K2	20.00	4.00	5.00
4	NP3K2	20.00	12.00	5.00
5	NP2K0	20.00	8.00	0.00
6	NP2K1	20.00	8.00	2.50
7	NP2K3	20.00	8.00	7.50

两个试验点处理一致,均设7个处理,试验设计如下:
供试的氮肥为普通尿素,含氮量为46%,磷肥为含12%P₂O₅的普钙,钾肥为含60%K₂O的氯化钾。各个小区面积为20m²,3次重复,随机区组排列。

施肥时期与方法:磷钾肥作为底肥一次性施用,氮肥分3次施用,20%氮肥作为底肥同磷钾肥共同施用,40%氮肥作为苗肥施用,40%氮肥作为穗肥施用。种植密度为4200株/亩。

越州镇大梨树村试验种植玉米品种为麒单8号,2012年4月25日播种,9月7日收获。东山镇撒玛依村试验种植玉米品种为海禾69号,2012年4月30日播种,9月12日收获。试验除养分用量不同外,其他的管理措施一样。两组试验均为覆膜种植,播种后灌溉一次,其余时间靠自然降水。

1.2 测定项目与方法

试验前每个实验点采集耕作层多点混合样1个,土样重1公斤左右,风干后进行分析,分析指标主要为全N(TN)、碱解N、全P、速效P、全K、速效K、pH和有机质。其中有机质分析采用铬酸钾容量法,pH采用玻璃电位法,全N采用半微量凯氏法,土壤碱解N用碱解扩散法,全P采用碱熔-钼锑抗比色法,有效P用0.5mol/L NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法,全K采用碱熔-火焰光度计法,速效K用乙酸铵溶液浸提·火焰光度计法测定^[11-12]。

植株样品采集:在玉米生长的每个生育期取各个处理生长中等的5棵植株,测定其鲜重,105℃杀青后烘干,

称干重,并制样,进行相关项目测定;收获期,每个小区的玉米单独计产,每个小区的玉米进行生物性状的测定和取样。植株的干物质采用烘干称重法。植株和玉米籽粒的TN测定采用硫酸-过氧化氢消煮法-蒸馏法,TP测定采用硫酸-过氧化氢消煮-钼蓝比色法,TK测定采用硫酸-过氧化氢消煮-火焰光度计法^[13]。

磷素农学效率(%)=(施磷区玉米产量-对照区玉米产量)/施磷量

磷肥利用率(%)=(施磷区玉米地上部吸磷量-对照区玉米地上部吸磷量)/施磷量×100%

钾素农学效率(%)=(施钾区玉米产量-对照区玉米产量)/施钾量

钾肥利用率(%)=(施钾区玉米地上部吸钾量-对照区玉米地上部吸钾量)/施钾量×100%

数据统计分析应用EXCEL和DPS软件。

2 结果与分析

2.1 不同生育期玉米地上部分的积累

两组旱地玉米试验地上部分不同生育期的总生物量积累见表3。

两组旱地玉米生物量的变化相似,前期生物量增长缓慢,大喇叭口期后迅速增长;两组旱地玉米总生物量均是NP2K2高,而缺磷和缺钾处理的总生物量最低。在大喇叭口期,两组旱地玉米的总生物量相差不大,但抽雄期和成熟期时,东山组的玉米总生物量明显高于越州组。

表3 不同磷钾水平下的玉米生物量

		公斤/亩				
试验地	处理	苗期	拔节期	大喇叭口期	抽雄期	成熟期
越州组	NP2K2	4.47	73.33	298.67	686.67	1666.60
	NP0K2	5.40	65.33	245.33	633.33	1345.93
	NP1K2	5.47	66.67	261.33	666.67	1575.73
	NP3K2	4.47	66.67	266.67	680.00	1530.53
	NP2K0	4.87	64.00	226.67	673.33	1342.40
	NP2K1	5.60	68.67	248.00	733.33	1371.20
	NP2K3	5.13	71.87	272.00	746.67	1439.33
东山组	NP2K2	6.00	76.00	355.00	901.67	1929.73
	NP0K2	5.67	70.00	321.27	803.33	1698.93
	NP1K2	6.33	68.67	347.87	863.33	1805.87
	NP3K2	5.60	76.67	341.27	884.00	1607.07
	NP2K0	5.00	69.33	321.53	821.67	1523.27
	NP2K1	5.67	70.00	346.00	885.00	1725.73
	NP2K3	6.00	71.33	345.00	905.00	1816.07

2.2 玉米地上部分 NPK 养分的积累

两组旱地玉米地上部分各个生育期 NPK 养分积累见表 4。

试 验 地	处理	N 积累					P 积累					K 积累				
		苗 期	拔节 期	大喇叭 口期	抽雄 期	成熟 期	苗 期	拔节 期	大喇叭 口期	抽雄 期	成熟 期	苗 期	拔节 期	大喇叭 口期	抽雄 期	成熟 期
越 州 组	NP2K2	0.15	1.97	4.37	8.27	17.31	0.15	1.97	4.37	8.27	17.31	0.15	1.97	4.37	8.27	17.31
	NP0K2	0.15	1.71	3.19	6.09	13.78	0.15	1.71	3.19	6.09	13.78	0.15	1.71	3.19	6.09	13.78
	NP1K2	0.15	1.74	3.91	6.75	16.20	0.15	1.74	3.91	6.75	16.20	0.15	1.74	3.91	6.75	16.20
	NP3K2	0.15	1.83	4.05	7.31	15.29	0.15	1.83	4.05	7.31	15.29	0.15	1.83	4.05	7.31	15.29
	NP2K0	0.12	1.65	3.53	6.25	11.78	0.12	1.65	3.53	6.25	11.78	0.12	1.65	3.53	6.25	11.78
	NP2K1	0.15	1.57	3.47	8.32	12.59	0.15	1.57	3.47	8.32	12.59	0.15	1.57	3.47	8.32	12.59
	NP2K3	0.21	1.93	3.42	9.80	16.32	0.21	1.93	3.42	9.80	16.32	0.21	1.93	3.42	9.80	16.32
东 山 组	NP2K2	0.21	2.13	8.72	12.39	21.43	0.21	2.13	8.72	12.39	21.43	0.21	2.13	8.72	12.39	21.43
	NP0K2	0.21	1.40	7.89	9.65	16.59	0.21	1.40	7.89	9.65	16.59	0.21	1.40	7.89	9.65	16.59
	NP1K2	0.29	1.85	6.94	11.04	20.41	0.29	1.85	6.94	11.04	20.41	0.29	1.85	6.94	11.04	20.41
	NP3K2	0.27	2.15	8.23	12.66	17.97	0.27	2.15	8.23	12.66	17.97	0.27	2.15	8.23	12.66	17.97
	NP2K0	0.19	1.35	7.41	9.90	15.53	0.19	1.35	7.41	9.90	15.53	0.19	1.35	7.41	9.90	15.53
	NP2K1	0.23	1.63	9.73	11.91	19.09	0.23	1.63	9.73	11.91	19.09	0.23	1.63	9.73	11.91	19.09
	NP2K3	0.27	2.04	9.76	11.99	20.90	0.27	2.04	9.76	11.99	20.90	0.27	2.04	9.76	11.99	20.90

越州组的玉米 NPK 养分积累显示, 整个生育期玉米对氮的吸收最多, 其次为钾, 最后为磷。本组试验还显示玉米体内的氮素和磷素在抽雄期前积累了一半或一半不到, 而玉米体内的钾素在抽雄前就积累了大部分。NP2K2 处理的氮磷钾积累数值最高, 其次是 NP3K2 处理和 NP2K3 处理的氮磷钾积累数值高, 而缺磷和缺钾处理的氮磷钾积累数值低。

东山组的玉米 NPK 养分积累同样显示, 整个生育期玉米对氮的吸收最多, 其次为钾, 最后为磷。本组试验玉米体内的氮素在抽雄期已积累过半, 比越州组试验积累早一些, 磷素抽雄期积累不到一半的量, 钾素在抽雄期积累了大部分。NP2K2 处理的氮磷钾积累数值最高, NP2K3 处理和 NP1K2 处理的氮磷钾积累数值也较高; 无钾处理的氮磷钾积累数值低。

两组试验都表明, 虽然试验各个处理所用氮肥量一样, 但由于磷钾水平的不同而影响到玉米生物量及玉米植株氮含量, 从而各个处理的氮积累差异是明显的。

2.3 不同磷钾水平对玉米产量及构成因素的影响

表 5 显示了两组旱地玉米试验的产量及其产量构成因素的结果。

结果表明, 越州组玉米各个处理行数无显著性差异, 实粒数和千粒重差异较大, NP2K2 处理的实粒数较多, 千粒重较大。东山组玉米行粒数无显著性差异, 实粒数差异较大, 实粒数最多的处理为 NP2K2。在越州组玉米试验中, NP2K2 处理的籽粒产量最高, 达到 828.55 公斤/亩, 比其他处理的产量高出 5.4%~24.7%; 产量第二高的处理为 NP1K2 处理, 第三高的处理为 NP3K2 处理, 三个产量最高的处理均为钾适量的处理。该试验中, 产量最低的处理为无钾处理和无磷处理, NP2K1 处理和 NP2K3 处理的产量也较低。在东山组玉米试验中, NP2K2 处理的籽粒产量最高, 达到 959.66 公斤/亩, 比其他处理的产量高出 3.9%~19.1%; 产量第二高的处理为 NP2K3 处理, 第三高的处理为 NP3K2 处理和 NP1K2 处理, 产量最高的几个处理均为钾适量和高钾的处理。产量最低的处理也是无钾处理和无磷处理。

两组玉米试验的试验地土壤都属于中高肥力土壤, 在适量的施肥条件下, 两组玉米试验的产量均较高, 东山组的玉米产量更高于越州组。在两组试验中, NP2K2 处理的籽粒产量均是最高, 而无钾处理和无磷的籽粒产量是最低的。结果还显示, 钾素对玉米产量的影响大于磷素。

表 5 玉米产量及其构成因素

试验地	处理	行数	行粒数	实粒数	千粒重(克)	产量(公斤/亩)	与 NP2K2 相比(%)
越州组	NP2K2	17.3 a	30.2 b	524.3 c	309.3 a	828.55 a	--
	NP0K2	15.3 a	32.0 ab	489.0 d	267.7 c	666.54 c	-19.55
	NP1K2	16.7 a	31.2 ab	517.3 cd	288.3 abc	786.32 ab	-5.10
	NP3K2	17.3 a	31.5 ab	544.7 bc	296.7 abc	752.38 b	-9.19
	NP2K0	16.7 a	34.3 a	572.7 ab	266.7 c	664.22 c	-19.83
	NP2K1	15.3 a	34.3 a	526.0 c	275.0 bc	680.21 c	-17.90
	NP2K3	17.3 a	33.5 ab	580.0 a	308.0 ab	722.25 bc	-12.83
东山组	NP2K2	15.6 a	35.4 a	552.2 a	332.3 a	959.66 a	--
	NP0K2	14.7 ab	33.1 a	484.5 c	312.3 b	824.26 bc	-14.11
	NP1K2	14.3 b	33.0 a	492.0 c	321.0 a	859.09 b	-10.48
	NP3K2	14.9 ab	34.3 a	513.1 bc	328.0 a	855.76 b	-10.83
	NP2K0	15.1 ab	35.3 a	531.4 ab	314.7 b	805.65 c	-16.05
	NP2K1	14.8 ab	34.4 a	509.0 bc	323.3 a	845.18 bc	-11.93
	NP2K3	14.9 ab	34.3 a	514.0 bc	332.0 a	924.53 a	-3.66

注：同列标以不同小写字母的值差异达 5% 显著水平。

2.4 不同磷钾水平下玉米的经济效益分析

表 6 分析了两组旱地玉米试验的经济效益。

在越州组试验中，NP2K2 处理的产量、产值及净收益都是最高的，NP1K2 处理的净收益也较高，其他处理的收益就明显差于二者。在东山组试验中，同样也是 NP2K2 处理的产量、产值及净收益最高，NP2K3 处理的净收益次高，NP1K2 处理的净收益第三高。

2.5 不同磷钾水平下玉米 PK 养分利用

表 7 显示了两组旱地玉米试验的 PK 素利用。

在越州组试验中，NP2K2 处理的 P 吸收量最高，NP3K2 处理的 P 吸收量次高，而无磷处理的吸收量最少。NP1K2 处理的 P 肥利用率和 P 素农学效率是该组试验中最高。NP2K3 处理的 K 吸收量最高，NP2K2 处理的 K 吸收量次高，无钾处理和低钾处理的钾吸收量较少。该

表 6 经济效益分析

试验地	处理	产量	产值	成本	净收益	比 NP2K2 ±
		(公斤/亩)	(元/亩)	(元/亩)	(元/亩)	(%)
越州组	NP2K2	828.55	1657.11	204.53	1452.58	--
	NP0K2	666.54	1333.07	137.86	1195.21	-17.72
	NP1K2	786.32	1572.63	171.20	1401.44	-3.52
	NP3K2	752.38	1504.75	237.86	1266.89	-12.78
	NP2K0	664.22	1328.45	175.36	1153.08	-20.62
	NP2K1	680.21	1360.42	189.95	1170.47	-19.42
	NP2K3	722.25	1444.51	219.11	1225.39	-15.64
东山组	NP2K2	959.66	1919.31	204.53	1714.78	--
	NP0K2	824.26	1648.51	137.86	1510.65	-11.90
	NP1K2	859.09	1718.17	171.20	1546.98	-9.79
	NP3K2	855.76	1711.51	237.86	1473.65	-14.06
	NP2K0	805.65	1611.29	175.36	1435.93	-16.26
	NP2K1	845.18	1690.36	189.95	1500.41	-12.50
	NP2K3	924.53	1849.07	219.11	1629.95	-4.95

注：同列标以不同小写字母的值差异达 5% 显著水平。

表7 磷钾养分利用效率

试验地	处理	P 吸收量	P 投入量	P 肥利用率	P 素农学效率	处理	K 吸收量	K 投入量	K 肥利用率	K 素农学效率
		(公斤/亩)		(%)	(公斤/公斤)		(公斤/亩)		(%)	(公斤/公斤)
越州组	NP0K2	3.22	0.00	--	--	NP2K0	8.58	0.00	--	--
	NP1K2	4.64	4.00	35.57	29.9	NP2K1	8.76	2.50	7.47	6.4
	NP2K2	5.05	8.00	22.88	20.3	NP2K2	11.02	5.00	49.00	32.9
	NP3K2	4.73	12.00	12.60	7.2	NP2K3	11.17	7.50	34.53	7.7
东山组	NP0K2	3.87	0.00	--	--	NP2K0	11.79	0.00	--	--
	NP1K2	5.15	4.00	32.00	8.7	NP2K1	13.41	2.50	64.85	15.8
	NP2K2	5.89	8.00	25.26	16.9	NP2K2	14.13	5.00	46.67	30.8
	NP3K2	4.82	12.00	7.96	2.6	NP2K3	14.39	7.50	34.61	15.9

试验中, P 肥利用率和 P 素农学效率有随施 P 量增加而降低的趋势。NP2K2 处理的 K 肥利用率和 K 素农学效率是该组试验中最高的, 分别达到 49% 和 32.9%; NP2K3 处理的 K 肥利用率也较高, 达到 34.5%。而 NP2K1 处理的 K 肥利用率和 K 素农学效率都比较低。

在东山组试验中, 同样也是 NP2K2 处理的 P 吸收量最高, P 吸收量次高的是 NP1K2 处理, 而无磷处理的吸收量最少。该组试验中, NP1K2 处理的 P 肥利用率和 NP2K2 处理的 P 素农学效率是最高的。P 肥利用率有随施 P 量增加而降低的趋势。NP2K3 处理的 K 吸收量最高, K 吸收量次高的是 NP2K2 处理, 而无钾处理的吸收量最少。该组试验中, NP2K1 处理的 K 肥利用率和 NP2K2 处理的 K 素农学效率是最高的。K 肥利用率有随施 K 量增加而降低的趋势。

3 结论

玉米氮磷钾的吸收规律是一个研究的重要问题, 有研究认为玉米氮磷钾的吸收只有一个吸收高峰^[14], 也有研究表明为两个吸收高峰^[15], 在本试验中, 云南旱地玉米的氮磷钾养分吸收积累高峰期在抽雄期前后, 这与前人的研究结果一致^[10,14]。

在试验中, NP2K2 处理因为搭配合理, 其地上部分的生物量积累和籽粒产量是所有处理中最高的, 越州组籽粒产量比其他处理高出 5.4%~24.7%, 东山组籽粒产量比其他处理高出 3.9%~19.1%; 在产量构成因素上, 粒重是增产的主要因素。NP2K2 处理的产值和净收益也是最高

的, 越州组净收益比其他处理高出 3.7%~26.0%, 东山组净收益比其他处理高出 5.2%~19.4%。

越州组和东山组的 P 肥利用率均是 NP1K2 处理最高, 分别达到 35.6% 和 32.0%, 比我国当季作物的磷肥利用率 10%~20% 都高出不少^[16], 越州组 P 素农学效率也是 NP1K2 处理最高, 同 P 肥利用率一样, 磷肥农学效率有随 P 肥施用量增大而减小的趋势。东山组 P 素农学效率为 NP2K2 处理最高。越州组试验中 NP2K2 处理的 K 肥利用率和 K 素农学效率最高; 东山组 K 肥利用率 NP1K2 处理最高, K 肥利用率有随 K 肥施用量增大而减小的趋势, K 肥农学效率以 NP2K2 处理最高。

在云南省曲靖地区开展的这两组玉米试验土壤养分属于中上等肥力水平, 两组试验的玉米产量都较高, 东山组更高于越州组, 甚至无磷和无钾的处理玉米产量也不低, 达到了本地玉米产量的中上等水平。在合理的施肥水平下, 玉米的产量就更高, 东山组玉米试验的 NP2K2 处理达到了 960 公斤/亩, 在当地来说是很高的产量。磷素和钾素的供应均对玉米的产量有显著影响, 钾素的影响大于磷素的影响。在试验中, 所有处理的用氮量是一致的, 但氮素的积累有差异, 说明磷和钾的施用量和比例影响了玉米的产量和对氮素的吸收, 合理的磷钾量可以提高氮肥的利用率, 减少氮素的流失。研究中, 为了保证磷肥和钾肥的效果, 氮肥的用量并不低, 虽然低于本地习惯施肥的 22~32 公斤/亩, 但 20 公斤/亩的纯氮用量还是偏高的, 在磷钾用量适宜的情况下, 可以降低氮肥的用量, 以期同时达到产量、经济效益和环境效益的最佳。

参考文献

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-782.
- [2] 朱兆良, 孙波. 中国农业面源污染控制对策研究 [J]. 环境保护, 2008, 394:4-6.
- [3] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略 [J]. 植物学通报, 2007, 24(6):687-694.
- [4] 杜红霞, 吴普特, 王百群, 等. 施磷对夏玉米土壤硝态氮、吸氮特性及产量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(8):121-126.
- [5] 齐文增, 陈晓璐, 刘鹏, 等. 超高产夏玉米干物质与氮、磷、钾养分积累与分配特点 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1):26-36.
- [6] 左启华, 李会彬, 张立峰, 等. 施钾对华北高寒区饲用玉米产量与营养品质的影响 [J]. 玉米科学, 2011, 19(2):119-122.
- [7] 李明, 裴占江, 张明, 等. 寒地高肥条件下玉米氮磷钾积累规律研究 [J]. 玉米科学, 2010, 18(1):121-125.
- [8] 战秀梅, 韩晓日, 杨劲峰, 等. 不同氮、磷、钾肥用量对玉米源、库干物质积累动态变化的影响 [J]. 土壤通报, 2007, 38(3):495-499.
- [9] 王宜伦, 谭金芳, 韩燕来, 等. 不同施钾量对潮土夏玉米产量、钾素积累及钾肥效率的影响 [J]. 西南农业学报, 2009, 22(1):110-113.
- [10] 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.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000:127-129, 146-149, 302-311.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [13] 劳家桢. 土壤农化分析手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [14] 佟屏亚, 凌碧莹. 夏玉米氮、磷、钾积累和分配态势研究 [J]. 玉米科学, 1994, 2(2):65-70.
- [15] 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):50-53.
- [16] 鲁如坤. 我国的磷矿资源和磷肥生产消费 [J]. 土壤, 2004, 36(2):113-116.