

不同磷钾水平下云南旱作马铃薯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: 在云南省曲靖地区的低肥力和中高肥力试验地分别开展旱作马铃薯的田间小区试验, 研究不同磷钾水平施肥量马铃薯生物量和养分积累、养分利用、产量和经济效益的影响。结果表明: 相同施肥量的条件下, 中高肥力试验地的东山组马铃薯产量远高于低肥力的越州组, 产量相差 687.00~1342.68 公斤/亩。越州组 NP2K3 处理产量和产值最高, NP2K1 处理净收益最高。东山组 NP2K2 处理产量、产值及净收益均是最高。两组试验的马铃薯干重变化趋势相似, NP2K2 处理的干重积累量较多, 无钾无磷处理干重积累少。马铃薯体内累积 K 最多, 其次 N, 最后为 P; NPK 养分吸收积累的高峰期在马铃薯块茎膨大期到淀粉积累期。东山组马铃薯 PK 利用效率明显高于越州组。NP1K2 处理的 P 肥利用率和 P 素农学效率较高; P 肥利用率和 P 肥农学效率都有随施 P 量增加而降低的趋势。NP2K1 处理的 K 肥利用率和 K 肥农学效率最高, K 肥利用率和 K 肥农学效率均有随施 K 量增加而降低的趋势。

关键词: 油菜; 马铃薯; 磷钾水平; 肥料利用率; 农学效率; 产量

马铃薯目前已成为云南省继马铃薯、水稻之后的第三大作物, 种植面积已超过千万亩。2012 年, 云南省马铃薯种植面积达到 1054 万亩, 居全国第四位。同其他植物一样, 马铃薯产量是通过同化产物的积累和分配形成的, 合理施用氮、磷和钾肥也是马铃薯良好生长发育和高产优质的基础^[1-3]。磷是细胞质和细胞核的重要组成元素之一, 也是光合作用、呼吸作用、物质运输等重要生理代谢过程的参与者, 磷肥的供应影响到马铃薯的产量和品质, 同时, 有研究证明磷营养可提高马铃薯的抗旱性^[3-4]。马铃薯是需

优化养分管理和资源高效利用提供理论依据。

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西关村和东山镇背舍村, 均为典型山原红壤旱地。

越州镇试验地土壤肥力偏低, 东山镇试验地肥力中上等, 试验地养分状况见表 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)
越州镇西关村	5.10	26.19	0.11	69.92	0.07	12.89	0.37	77.83
东山镇背舍村	5.00	44.40	0.13	108.38	0.10	12.42	0.66	105.79

钾较多的作物, 钾肥能提高马铃薯的光合效率, 还可影响光合产物的合成和运输, 影响马铃薯的品质以及产量的高低^[5-7], 钾离子也是最重要的渗透基质, 能维持细胞膨压和调节水分关系, 促进植物生长^[8], 提高作物抗旱性。

本文针对云南省马铃薯这种重要的旱作作物, 生长在持续干旱或季节性干旱明显的区域, 在马铃薯主产区之一的曲靖市, 开展在不同土壤养分条件下, 不同磷钾水平下马铃薯产量和养分吸收利用研究; 分析在相同的施氮量下, 不同磷钾施肥量对马铃薯生物量积累动态、养分积累变化、养分利用、产量和经济效益的影响, 为云南旱作马铃薯的

两个试验点处理一致, 均设 7 个处理, 试验设计见表 2。

表 2 试验设计 (公斤/亩)

	处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	NP2K2	10.00	6.00	18.00
2	NP0K2	10.00	0.00	18.00
3	NP1K2	10.00	3.00	18.00
4	NP3K2	10.00	9.00	18.00
5	NP2K0	10.00	6.00	0.00
6	NP2K1	10.00	6.00	9.00
7	NP2K3	10.00	6.00	27.00

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的氯化钾和含50%K₂O的硫酸钾各半。小区面积为20m²，3次重复，随机区组排列。

施肥方法：氮磷钾肥作为底肥一次性施用。种植密度为3400塘/亩。

越州镇西关村试验种植马铃薯品种为合作88号，2012年3月29日播种，8月15日收获。东山镇撒玛依村试验种植马铃薯品种为宣薯2号，2012年3月26日播种，7月24日收获。试验除养分用量不同外，其他管理措施一样，两组试验均无灌溉措施，完全靠自然降水。

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采用半微量凯氏法测定，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-火焰光度计法测定，速效K用乙酸铵溶液浸提-火焰光度计法测定^[9-10]。

植株样品采集：在马铃薯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，每个小区的马铃薯单独计产和取样。植株的干物质采用烘干称重法。植株和薯球的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^[11]。

磷肥农学效率(公斤/公斤) = (施磷区马铃薯产量 - 对照区马铃薯产量) / 施磷量

磷肥利用率(%) = (施磷区马铃薯地上部吸磷量 - 对照区马铃薯地上部吸磷量) / 施磷量 × 100%

钾肥农学效率和钾肥利用率计算同上。

数据统计分析应用EXCEL和DPS软件。

2 结果与分析

2.1 不同生育期马铃薯干重的积累

两组旱作马铃薯试验不同生育期的生物量积累见表3。

越州组马铃薯的各个处理干重变化呈现这样的趋势：苗期干重积累量较少，块茎形成期的干重积累主要是靠马铃薯的地上部分，而且到这个时期，马铃薯的地上部分已经积累了一大半，此后地上部分的干重积累增长不多。从块茎膨大期开始，马铃薯的块茎生长迅速，干重积累的增多主要依靠块茎的生长。块茎膨大期时，马铃薯的块茎干重积累和地上部分的干重积累量几乎相等，到淀粉积累期后，马铃薯块茎的干重积累均超过地上部分的干重积累。在越州组马铃薯试验的各个处理中，NP2K3处理和NP2K2处理的干重积累量最多；无钾的处理干重积累量是所有处理中最少的，第二少的处理为无磷处理。

东山组马铃薯的各个处理干重变化趋势和越州组相近：苗期干重积累量较少，块茎形成期的干重积累主要是

表3 不同磷钾水平下的马铃薯生物量

(公斤/亩)

试验地	处理	苗期 地上部分	块茎形成期		块茎膨大期		淀粉积累期		收获期	
			地上部分	块茎	地上部分	块茎	地上部分	块茎	地上部分	块茎
越州组	NP2K2	9.67	50.56	1.20	61.08	64.68	75.84	113.20	90.57	167.80
	NP0K2	10.00	45.42	1.13	53.44	54.44	66.80	97.33	74.50	149.00
	NP1K2	10.00	47.48	1.20	57.64	56.94	71.21	101.73	79.63	152.60
	NP3K2	10.20	51.40	1.00	60.87	60.21	77.76	110.13	89.27	165.20
	NP2K0	9.33	41.81	1.20	50.58	48.18	62.72	89.60	72.20	144.40
	NP2K1	9.33	50.01	0.87	58.81	57.87	74.34	107.16	81.37	162.73
	NP2K3	9.67	50.82	1.00	64.45	65.49	82.23	117.47	87.60	175.20
东山组	NP2K2	16.13	64.00	3.91	97.21	94.33	142.03	319.22	148.90	436.27
	NP0K2	15.67	61.33	2.92	79.81	77.00	131.63	265.06	122.29	363.20
	NP1K2	15.73	61.33	4.26	95.84	79.67	132.29	274.44	136.09	402.53
	NP3K2	15.40	73.33	3.79	90.94	95.67	138.11	303.33	143.91	381.93
	NP2K0	16.13	61.33	4.26	68.68	80.33	93.21	257.11	104.54	288.47
	NP2K1	15.73	62.67	4.26	88.02	83.33	118.90	296.11	122.23	369.67
	NP2K3	16.00	66.67	4.26	93.81	102.00	147.27	332.22	152.20	394.00

靠马铃薯的地上部分，此时，马铃薯的地上部分已经积累近一半。块茎膨大期开始，马铃薯的块茎生长迅速，干重积累的增多主要依靠块茎的生长。块茎膨大期时，马铃薯的块茎干重积累和地上部分的干重积累量几乎相等，到淀粉积累期后，马铃薯块茎的干重积累迅速超过地上部分的干重积累。从块茎膨大期到淀粉积累期，这段时期是东山组马铃薯块茎干重增长速度最快的时期。在东山组马铃薯试验的各个处理中，NP2K2处理的干重积累量最多，其次为NP2K3处理和NP1K2处理；无钾的处理干重积累量是所有处理中最少的，第二少的处理为无磷处理。

两组试验的马铃薯干重变化趋势相似；NP2K2处理的干重积累量都是所有处理中最多，在越州试验组中，

NP2K3处理的干重积累略高于NP2K2处理；两组试验均是无钾和无磷处理干重积累量最少。

2.2 马铃薯地上部分 NPK 养分的积累

两组旱地马铃薯地上部分各个生育期 NPK 养分积累分别见表 4、表 5 和表 6。

越州组的马铃薯 N 素积累量是 NP2K3 处理最多，其次为 NP3K2 处理，第三是 NP2K2 处理；N 素积累量最少的是 NP2K0 处理，N 素积累量第二少的是 NP0K2 处理。各个处理从苗期到块茎形成期的时候，N 素日积累量最快，N 素日积累量第二快的时期是从马铃薯块茎膨大期到淀粉积累期的时候。

表 4 不同磷钾水平下的马铃薯 N 养分积累

(克/亩)

试验地	处理	播种-苗期		苗期-块茎形成期		块茎形成期-块茎膨大期		块茎膨大期-淀粉积累期		淀粉积累期-收获期	
		总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量
越州组	NP2K2	472.67	8.00	1948.00	82.00	2447.33	24.00	3352.00	64.67	4203.33	31.33
	NP0K2	349.33	6.00	1790.00	80.00	2118.00	15.33	3096.00	70.00	3428.00	12.00
	NP1K2	437.33	7.33	1962.00	84.67	2335.33	18.00	2936.00	42.67	3788.67	31.33
	NP3K2	428.00	7.33	1694.00	70.67	2765.33	51.33	3440.00	48.00	4238.67	29.33
	NP2K0	456.67	8.00	1550.00	60.67	2176.00	30.00	2860.00	48.67	3225.33	13.33
	NP2K1	372.00	6.00	1967.33	88.67	2477.33	24.00	3454.67	70.00	3860.67	15.33
	NP2K3	404.67	6.67	1995.33	88.67	2803.33	38.67	3916.67	79.33	4322.67	15.33
东山组	NP2K2	789.33	14.00	2635.33	88.00	3769.33	75.33	7953.33	278.67	9252.00	92.67
	NP0K2	546.67	10.00	2559.33	96.00	3090.67	35.33	7124.67	268.67	7216.67	6.67
	NP1K2	688.00	12.00	2700.00	96.00	3632.00	62.00	6698.00	204.67	8555.33	132.67
	NP3K2	646.00	11.33	2606.00	93.33	4220.67	107.33	7880.00	244.00	8583.33	50.00
	NP2K0	789.33	14.00	2442.00	78.67	3191.33	50.00	6438.00	216.67	6454.00	1.33
	NP2K1	627.33	11.33	2655.33	96.67	3654.67	66.67	7690.00	269.33	7769.33	6.00
	NP2K3	670.00	12.00	2804.67	101.33	4186.00	92.00	9336.67	343.33	9410.00	5.33

表 5 不同磷钾水平下的马铃薯 P 养分积累

(克/亩)

试验地	处理	播种-苗期		苗期-块茎形成期		块茎形成期-块茎膨大期		块茎膨大期-淀粉积累期		淀粉积累期-收获期	
		总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量
越州组	NP2K2	82.67	1.33	381.33	16.67	1046.67	32.00	1268.00	16.00	1634.67	13.33
	NP0K2	88.00	1.33	344.00	14.00	835.33	23.33	1008.67	12.67	1241.33	8.67
	NP1K2	98.00	1.33	355.33	14.00	938.00	28.00	1033.33	6.67	1439.33	15.33
	NP3K2	83.33	1.33	386.00	16.67	998.00	29.33	1394.67	28.67	1725.33	12.00
	NP2K0	80.00	1.33	327.33	14.00	778.00	21.33	1054.67	20.00	1378.00	12.00
	NP2K1	81.33	1.33	367.33	16.00	948.00	27.33	1234.67	20.67	1539.33	11.33
	NP2K3	83.33	1.33	412.00	18.00	1036.00	30.00	1335.33	21.33	1732.67	14.67
东山组	NP2K2	138.00	2.67	509.33	18.00	1588.00	72.00	3172.67	105.33	3693.33	37.33
	NP0K2	138.00	2.67	482.00	16.67	1211.33	48.67	2432.00	81.33	2822.00	28.00
	NP1K2	154.67	2.67	484.67	16.00	1422.67	62.67	2473.33	70.00	3337.33	62.00
	NP3K2	125.33	2.00	580.67	22.00	1544.00	64.00	3366.67	121.33	3485.33	8.67
	NP2K0	138.00	2.67	506.67	17.33	1186.00	45.33	2498.00	87.33	2498.67	0.00
	NP2K1	137.33	2.67	487.33	16.67	1391.33	60.00	2931.33	102.67	3099.33	12.00
	NP2K3	138.00	2.67	568.00	20.67	1566.67	66.67	3277.33	114.00	3574.67	21.33

表 6 不同磷钾水平下的马铃薯 K 养分积累

(克/亩)

试验地	处理	播种-苗期		苗期-块茎形成期		块茎形成期-块茎膨大期		块茎膨大期-淀粉积累期		淀粉积累期-收获期	
		总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量	总积累量	日积累量
越州组	NP2K2	514.00	8.67	2807.33	127.33	4708.00	90.67	7315.33	186.00	7994.67	25.33
	NP0K2	510.00	8.67	2420.67	106.00	3873.33	69.33	6008.00	152.67	6708.00	26.00
	NP1K2	528.67	8.67	2522.67	110.67	4596.67	98.67	6442.67	132.00	6939.33	18.67
	NP3K2	532.67	9.33	2700.67	120.67	4525.33	86.67	7076.67	182.00	7644.00	21.33
	NP2K0	469.33	8.00	2159.33	94.00	3624.67	70.00	5368.00	124.67	5773.33	15.33
	NP2K1	480.00	8.00	2728.00	124.67	4510.67	84.67	6892.00	170.00	6986.00	3.33
	NP2K3	540.00	9.33	2894.00	130.67	4998.67	100.00	8032.00	216.67	8255.33	8.00
东山组	NP2K2	857.33	15.33	3640.67	132.67	7220.00	238.67	17554.67	688.67	17656.00	7.33
	NP0K2	799.33	14.00	3319.33	120.00	5651.33	155.33	13540.00	526.00	14275.33	52.67
	NP1K2	832.00	14.67	3362.67	120.67	7168.00	254.00	14719.33	503.33	15777.33	75.33
	NP3K2	804.67	14.67	3939.33	149.33	6940.67	200.00	16183.33	616.00	16185.33	0.00
	NP2K0	811.33	14.67	3252.00	116.00	5378.00	142.00	12089.33	447.33	12097.33	0.67
	NP2K1	809.33	14.67	3531.33	129.33	6647.33	208.00	15476.67	588.67	15590.67	8.00
	NP2K3	894.00	16.00	3911.33	144.00	7488.00	238.67	18729.33	749.33	18732.00	0.00

东山组的马铃薯 N 素积累量是 NP2K2 处理最多, 其次为 NP2K3 处理, 第三是 NP3K2 处理; N 素积累量最少的是 NP2K0 处理, N 素积累量第二少的是 NP0K2 处理。各个处理从块茎膨大期到淀粉积累期的时候, N 素日积累量最快, N 素日积累量第二快的时期是从苗期到块茎形成期的时候。

越州组的马铃薯 P 素积累量是 NP2K3 处理最多, 其次为 NP3K2 处理, 第三是 NP2K2 处理; P 素积累量最少的是 NP0K2 处理, P 素积累量第二少的是 NP2K0 处理。各个处理从块茎形成期到块茎膨大期的时候, P 素日积累量最快。

东山组的马铃薯 P 素积累量是 NP2K2 处理最多, 其次为 NP2K3 处理, 第三是 NP3K2 处理; P 素积累量最少的是 NP2K0 处理, P 素积累量第二少的是 NP0K2 处理。各个处理从块茎膨大期到淀粉积累期的时候, P 素日积累量最快, P 素日积累量第二快的时期是从块茎形成期到块茎膨大期的时候。

越州组的马铃薯 K 素积累量是 NP2K3 处理最多, 其次为 NP2K2 处理, 第三是 NP3K2 处理; K 素积累量最少的是 NP2K0 处理, K 素积累量第二少的是 NP0K2 处理。各个处理从块茎膨大期到淀粉积累期的时候, K 素日积累量最快。

东山组的马铃薯 K 素积累量是 NP2K3 处理最多, 其次为 NP2K2 处理; K 素积累量最少的是无 K 和无 P 处理。各个处理从块茎膨大期到淀粉积累期的时候, K 素日积累量最快。

两组马铃薯的 PK 高效利用试验 NPK 的累积结果表

明: 马铃薯体内累积 K 素是最多的, 其次为 N 素, 最后为 P 素。NPK 都是在马铃薯块茎膨大期到淀粉积累期这段时间累积较多。K 素营养对马铃薯的 NPK 累积有显著影响, 不仅影响到马铃薯的 K 积累, 还影响 P 素和 N 素的积累。越州组试验的 NPK 累积明显低于东山组试验, 数据反映从块茎形成期开始, 越州组的马铃薯 NPK 积累速度就开始明显低于东山组。

2.3 不同磷钾水平马铃薯产量和经济效益分析

表 7 显示了两组试验的产量及其产量构成因素的结果。

越州组马铃薯试验中, NP2K3 处理的产量是所有处理中最高的, 达到了 876.00 公斤/亩, NP2K2 处理产量第二高, NP2K3 和 NP2K2 处理与其他处理的产量差异达到显著水平。试验中, NP2K0 处理的产量最低, 比 NP2K2 处理低了 13.95%; NP0K2 处理的产量第二低, 比 NP2K2 处理低了 11.20%。NP2K3 处理产值最高, 但因其成本较高, 故净收益并不是最高的。NP2K1 处理的产量不是最高的, 但净收益却最高。

东山组马铃薯试验中, NP2K2 处理的产量最高, 达到了 2181.68 公斤/亩; NP1K2 处理产量第二高, 比 NP2K2 处理低了 6.22%; 第三为 NP2K3 处理。这 3 个产量高的处理与其他处理的产量差异达到显著性。试验中, NP2K0 处理的产量最低, 比 NP2K2 处理低了 35.42%。NP2K2 处理的产量、产值及净收益最高, NP1K2 处理和 NP2K1 处理的净收益次之。

两组试验的产量有明显的差异, 东山组马铃薯产量

表 7 马铃薯产量和经济效益

试验地	处理	产量 (公斤/亩)	显著水平		比 NP2K2± (%)	产值	成本 (元/亩)	净收益	比 NP2K2± (%)
			(5%)	(1%)					
越州组	NP2K2	839.00±9.95	a	AB	--	1006.80	237.85	768.95	--
	NP0K2	745.00±68.17	cd	BC	-11.20	894.00	187.85	706.15	-8.17
	NP1K2	763.00±18.72	bcd	BC	-9.06	915.60	212.85	702.75	-8.61
	NP3K2	826.00±48.66	ab	AB	-1.55	991.20	262.85	728.35	-5.28
	NP2K0	722.00±44.48	d	C	-13.95	866.40	104.35	762.05	-0.90
	NP2K1	813.67±53.04	abc	ABC	-3.02	976.40	171.10	805.30	4.73
	NP2K3	876.00±50.79	a	A	4.41	1051.20	304.60	746.60	-2.91
东山组	NP2K2	2181.68±250.20	a	A	--	2618.02	237.85	2380.17	--
	NP0K2	1816.00±291.32	ab	AB	-16.76	2179.20	187.85	1991.35	-16.34
	NP1K2	2046.00±378.01	a	A	-6.22	2455.20	212.85	2242.35	-5.79
	NP3K2	1843.00±143.31	ab	AB	-15.52	2211.60	262.85	1948.75	-18.13
	NP2K0	1409.00±153.42	b	B	-35.42	1690.80	104.35	1586.45	-33.35
	NP2K1	1815.00±235.78	ab	AB	-16.81	2178.00	171.10	2006.90	-15.68
	NP2K3	1870.00±182.34	a	AB	-14.29	2244.00	304.60	1939.40	-18.52

远远高于越州组。相同处理的马铃薯产量相差极大，两地 NP2K0 处理产量相差较小为 687.00 公斤/亩，NP2K2 处理产量相差最大为 1342.68 公斤/亩；相同处理的净收益相差也极大，两地 NP2K0 处理相差较小为 824.40 元/亩，NP2K2 处理产量相差最大为 1611.22 元/亩。

2.4 不同磷钾水平下马铃薯的 PK 养分利用

表 8 显示了两组旱作马铃薯试验的 PK 素利用。

在越州组试验中，NP3K2 处理的 P 吸收量最高，NP2K2 处理的 P 吸收量次高，无磷处理的吸收量最少；P 肥利用率有随施 P 量增加而降低的趋势，NP2K2 处理的 P 肥农学效率是该组试验中最高的。在东山组试验中，均是 NP1K2 处理的 P 肥利用率和 P 素农学效率最高，两者都有随施 P 量增加而降低的趋势。

在越州组试验中，NP2K3 处理的 K 吸收量最高，无钾处理和低钾处理的钾吸收量较少。NP2K1 处理的 K 肥利用率和 K 素农学效率在该组试验中最高，K 肥利用率和

K 素农学效率均有随施 K 量增加而降低的趋势。东山组试验的 K 素利用趋势同越州组。

东山组的 PK 利用效率明显高于越州组。

3 结论

在云南省曲靖地区开展的这两组马铃薯试验中，东山组试验地养分状况优于越州组，两组试验的产量有明显的差异，东山组马铃薯产量远高于越州组。相同处理的马铃薯产量相差极大，两地 NP2K0 处理产量相差较小为 687.00 公斤/亩，NP2K2 处理产量相差最大为 1342.68 公斤/亩。在相同的施肥量前提下，土壤养分和降水量是影响云南省旱作马铃薯产量的两大因素。在越州组试验中，NP2K3 处理和 NP2K2 处理产量最高，这与越州组试验地 K 养分含量低有关；在东山组试验中，NP2K2 处理和 NP1K2 处理是产量最高的处理，两组试验都是无钾处理和无磷处理的产量最低，而且无钾处理对产量的影响大于

表 8 磷钾养分利用效率

试验地	处理	P 吸收量		P 肥利用率 (%)	P 肥农学效率 (公斤/公斤)	处理	K 吸收量		K 肥利用率 (%)	K 肥农学效率 (公斤/公斤)
		(公斤/亩)	P 投入量 (公斤/亩)				(公斤/亩)	K 投入量 (公斤/亩)		
越州组	NP0K2	1.24	0.00	--	--	NP2K0	5.77	0.00	--	--
	NP1K2	1.44	3.00	6.59	6.00	NP2K1	6.89	9.00	12.43	10.19
	NP2K2	1.63	6.00	6.55	15.67	NP2K2	7.99	18.00	12.34	6.50
	NP3K2	1.73	9.00	5.38	9.00	NP2K3	8.26	27.00	9.19	5.70
东山组	NP0K2	2.82	0.00	--	--	NP2K0	12.10	0.00	--	--
	NP1K2	3.34	3.00	17.18	76.67	NP2K1	15.59	9.00	38.81	45.11
	NP2K2	3.69	6.00	14.52	60.95	NP2K2	17.66	18.00	30.88	42.93
	NP3K2	3.49	9.00	7.37	3.00	NP2K3	18.73	27.00	24.57	17.07

无磷处理。在越州组试验中, NP2K3 处理的产量产值最高, NP2K1 处理的净收益最高。东山组试验中, NP2K2 处理的产量、产值及净收益最高。

两组试验的马铃薯干重变化趋势相似; NP2K2 处理的干重积累量都是所有处理中最多, 在越州试验组中, NP2K3 处理的干重积累略高于 NP2K2 处理; 两组试验都是无钾处理干重积累量是所有处理中最少的, 第二少的处理为无磷处理。块茎膨大期之前, 马铃薯的干重积累主要是以地上部分的茎叶为主, 地上部分为干物质积累的“库”; 从块茎膨大期开始, 马铃薯的块茎生长迅速, 植物的“库”和“源”发生转变, 块茎变成了“库”, 干重积累的增多主要依靠块茎的生长, 前人有相似研究结果^[12]。越州组马铃薯块茎膨大期前的地上部分干物质积累量就少, 说明茎叶生长不如东山组, 其光合作用能力和合成转运物质的能力也差于东山组, 导致产量低。

两组马铃薯 NPK 的累积结果说明: 马铃薯体内累积 K 素最多, 其次为 N 素, 最后为 P 素。NPK 都是在马铃薯块茎膨大期到淀粉积累期这段时间累积较多, 养分吸收积累有一个高峰期, 就在块茎膨大期, 这与前人的研究结果相似^[13-14]。K 素营养对马铃薯的 NPK 累积有显著影响, 不仅影响到马铃薯的 K 积累, 还影响 P 素和 N 素的积累。

东山组的马铃薯 PK 利用效率明显高于越州组。两组试验中, 除越州组试验为 NP2K2 的 P 素农学效率是最高的以外, 其他的 P 肥利用率和 P 素农学效率都是 NP1K2

处理最高, 并有随施 P 量增加而降低的趋势。无论是越州组试验还是东山组试验, NP2K3 处理的 K 吸收量最高, 无钾处理和低钾处理的钾吸收量较少; NP2K1 处理的 K 肥利用率和 K 素农学效率最高, K 肥利用率和 K 素农学效率均有随施 K 量增加而降低的趋势。

越州组的 P 肥利用率极低, 只有 5.38%~6.59%, 低于我国当季作物的磷肥利用率 10%~20%^[15], 东山组的 P 肥利用率也只有 7.37%~17.18%。岳红丽等研究表明, 在膜下滴灌条件下马铃薯的 P 肥利用率为 6.03%~10.51%^[16]; 韩瑛祚等加入磷活化剂的马铃薯磷肥试验中, P 肥利用率为 6.75%~13.03%^[17]; 而陈洪等研究则显示, 马铃薯的 P 肥利用率可以达到 33.8%^[2], 说明在种植马铃薯生产中, 提高 P 肥利用率还具有很大的潜力。

本研究表明, 在一定范围内增加磷肥和钾肥施用能提高马铃薯产量、经济效益和肥料利用率, 但磷钾肥用量过高也不利于马铃薯生长, 营养元素之间要配合平衡才能有利于马铃薯的生长发育、提高产量和肥料利用效率。同时, 对于磷钾肥对提高马铃薯的抗旱性应开展进一步研究。云南省由于其地形地貌复杂、土壤养分差异大和立体性气候特征明显, 而马铃薯这种旱作作物多种植于持续干旱或季节性干旱明显的区域, 在对马铃薯进行养分管理的时候, 应以能满足马铃薯营养需求为原则, 平衡 NPK 用量, 并且应根据具体的地块养分状况和气候以及实际情况来考虑养分管理措施。

参考文献

- [1] 孔令郁, 彭启双, 熊艳, 等. 平衡施肥对马铃薯产量及品质的影响 [J]. 土壤肥料, 2004(3):17-19.
- [2] 陈洪, 张新明, 全锋, 等. 氮磷钾不同配比对冬作马铃薯产量、效益和肥料利用率的影响 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(4):224-229.
- [3] 张西露, 刘明月, 伍壮生, 等. 马铃薯对氮、磷、钾的吸收及分配规律研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(4):237-241.
- [4] 龚学臣, 抗艳红, 赵海超, 等. 干旱胁迫下磷营养对马铃薯抗旱性的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(4):48-52.
- [5] P.M. 哈里斯. 马铃薯改良的科学基础 [M]. 蒋先明, 田玉丰, 赵越, 等译. 北京: 农业出版社, 1984:155-185.
- [6] 张东昱, 王多成, 张荣, 等. 钾肥对鲜食型马铃薯产量及品质的影响 [J]. 中国马铃薯, 2009, 23(3):152-154.
- [7] 殷文, 孙春明, 马晓燕, 等. 钾肥不同用量对马铃薯产量及品质的效应 [J]. 土壤肥料, 2005(4):44-47.
- [8] 慕成功. 钾肥营养及施肥技术 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995.
- [9] 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.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [11] 劳家桢. 土壤农化分析手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [12] 卢建武, 邱慧珍, 张文明, 等. 半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾肥积累与分配特性 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(2):423-430.
- [13] 高聚林, 刘克礼, 盛晋华, 等. 旱作马铃薯磷肥的吸收、积累和分配规律 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(6):326-330.
- [14] 盛晋华, 刘克礼, 高聚林, 等. 旱作马铃薯钾肥的吸收、积累和分配规律 [J]. 中国马铃薯, 2003, 17(6):331-335.
- [15] 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.
- [16] 岳红丽, 张胜, 蒙美莲, 等. 施磷量对膜下滴灌马铃薯产质量及磷肥利用效率的影响 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2013, 34(3):40-45.
- [17] 韩瑛祚, 娄春荣, 王秀娟, 等. 不同磷肥利用方式对马铃薯产量及磷肥效率的影响 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3):76-78.