

磷钾肥对云南旱作马铃薯产量和养分吸收的影响

尹 梅¹, 王贵宝², 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, 苏 帆¹

(1. 云南省农业科学院农业资源环境研究所, 云南 昆明 650205; 2. 云南省曲靖市麒麟区土肥站, 云南 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, 研究磷钾施用量对马铃薯生物量、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 10 305.00 ~ 20 140.20 kg·hm⁻²; 越州组 NP2K3(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 90 kg·hm⁻²; K₂O, 405 kg·hm⁻²) 处理产量产值最高, NP2K1(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 90 kg·hm⁻²; K₂O, 135 kg·hm⁻²) 处理净收益最高; 东山组 NP2K2(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 90 kg·hm⁻²; K₂O, 270 kg·hm⁻²) 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, 其次为 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; 东山组的马铃薯 PK 利用效率明显高于越州组。NP1K2(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 45 kg·hm⁻²; K₂O, 270 kg·hm⁻²) 处理的 P 肥利用率和 P 素农学效率较高, P 肥利用率和 P 素农学效率都有随施 P 量增加而降低的趋势。NP2K1 处理的 K 肥利用率和 K 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。

关键词: 马铃薯; 磷钾水平; 肥料利用率; 农学利用率; 产量

中图分类号: S532.06 **文献标志码:** A

Effect of phosphorus, potassium levels on yield and nutrition
absorption of upland potato in Yunnan

YIN Mei¹, WANG Gui-bao², HONG Li-fang¹, FU Li-bo¹, CHEN Hua¹, CHEN Jian-feng¹,
REN Shi-suo², ZHANG Qin-bing², HUANG Hui², SU Fan¹

(1. Agricultural Environment and Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205, China;
2. Fertility Station of Qujing Qiling in Yunnan Province, Qujing, Yunnan 655000, China)

Abstract: The field experiments have been set up on low and middle-high fertility farmland in Yunnan Qujing, with the aims of investigating the effects of phosphorus, potassium levels on biomass, yield and fertilizer utilization rate of upland potato. The results indicated that the yield of potato for middle-high fertility land in Dongshan was higher than that for low fertility land in Yuezhou, being 10 305.00 ~ 20 140.20 kg·hm⁻² when the same fertilizer rate was applied. In Yuezhou, yield with NP2K3(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 90 kg·hm⁻²; K₂O, 405 kg·hm⁻²) treatment and income with NP2K1(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 90 kg·hm⁻²; K₂O, 135 kg·hm⁻²) treatment are the highest. In Dongshan, yield and income with NP2K2(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 90 kg·hm⁻²; K₂O, 270 kg·hm⁻²) treatment are the highest. The change trends of potato dry biomass for both field experiments were similar. Potato dry biomass with NP2K2 treatment was higher than the others, and without P or K treatment was lower than the others. The amount of K accumulation was the highest in potato, followed by N and P. The high rate of NPK accumulation of potato occurred from tuber growth period to starch accumulation period. PK efficiency of potato in Dongshan was considerably higher than that in Yuezhou. P utilization rate and agronomic P efficiency of potato with NP1K2(N, 150 kg·hm⁻²; P₂O₅, 45 kg·hm⁻²; K₂O, 270 kg·hm⁻²) were higher than those of other treatments. P utilization rate and agronomic P efficiency of potato decreased with increasing of P application. K utilization rate and agronomic K efficiency of potato with NP2K1 were higher than those of other treat-

收稿日期: 2014-02-05
基金项目: 公益性行业科研专项经费项目(201203013); 国际植物营养所(IPNI)项目、国家科技支撑计划项目(2012BAD40B01)
作者简介: 尹 梅(1977—), 女, 云南腾冲人, 副研究员, 主要从事植物营养学研究。E-mail: ymmay@163.com。
通信作者: 苏 帆, 研究员, 主要从事土壤肥料研究。E-mail: sufanz@163.com。

ments. Kutilization rate and agronomic K efficiency of potato decreased with increasing of K application.

Keywords: potato; phosphorus and potassium levels; fertilizer utilization efficiency; agronomic efficiency; yield

马铃薯目前已成为云南省继玉米、水稻之后的第三大作物,种植面积已过 70 万公顷。2012 年,云南省马铃薯种植面积达到 70.27 万公顷,居全国第四位^[1]。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,合理施用氮磷钾肥也是马铃薯良好生长和高产优质的基础^[2-4]。磷是细胞质和细胞核的重要组成元素之一,也是光合作用、呼吸作用和物质运输等重要生理代谢过程的参与者,磷素的供应影响到马铃薯的产量和品质,还有研究证明磷营养可提高马铃薯抗旱性^[4-5]。马铃薯是需钾较多的作物,钾素能提高光合效率,还可影响光合产物的合成和运输,影响马铃薯品质及产量^[6-8],钾离子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^[9],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,通过在马铃薯主产区之一的曲靖市,开展不同土壤养分条件下,不同磷钾水平马铃薯产量和养分吸收利用研究;分析在相同的施氮量下,不同磷钾水平施肥量对马铃薯生物量积累变化、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

研究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
Table 1 Nutrient status of soils

试验地 Location	pH	有机质 OM /(g·kg ⁻¹)	全 N Total N /(g·kg ⁻¹)	碱解 N Available N /(mg·kg ⁻¹)	全 P Total P /(g·kg ⁻¹)	有效 P Available P /(mg·kg ⁻¹)	全 K Total K /(g·kg ⁻¹)	速效 K Available K /(mg·kg ⁻¹)
越州镇西关村 Xiguan village, Yuezhou township	5.10	26.19	1.1	69.92	0.7	12.89	3.7	77.83
东山镇背舍村 Beishe village, Dongshan township	5.00	44.40	1.3	108.38	1.0	12.42	6.6	105.79

两个试验点处理一致,试验均设 7 个处理,试验设计见表 2。

表 2 试验设计/(kg·hm⁻²)
Table 2 Experimental designs

处理 Treatment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
NP2K2	150.00	90.00	270.00
NP0K2	150.00	0	270.00
NP1K2	150.00	45.00	270.00
NP3K2	150.00	135.00	270.00
NP2K0	150.00	90.00	0
NP2K1	150.00	90.00	135.00
NP2K3	150.00	90.00	405.00

供试的氮肥为尿素,含氮量为 46%,磷肥为含 12% P₂O₅ 的过磷酸钙,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 20 m²,3 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 51 000 株·hm⁻²。

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,其他的管理措施一致,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

试验前每个试验点采集耕作层多点混合土样 1 个,重 1 kg 左右,风干后分析,分析指标主要为全 N、碱解 N、全 P、速效 P、全 K、速效 K、pH 值和有机质。其中有机质分析采用铬酸钾容量法;pH 值采用玻璃电位法;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 0.5 mol·L⁻¹ 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^[10-11]。

植株样品采集:马铃薯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,称重,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。植株和薯球样品采用硫酸－过氧化氢消煮法,TN 测定用蒸馏法测定,TP 用钼蓝比色法测定,TK 用火焰光度计法测定^[12]。

磷素农学利用率(%)=(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%

钾素农学利用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

两组旱作马铃薯试验的生育期见表 3。越州组马铃薯各个生育期阶段所用时间分别是 59、18、21、14 d 和 27 d;东山组马铃薯分别为 56、21、15、15 d 和 14 d。

2.1 磷钾肥对不同生育期马铃薯生物量积累的影响

两组旱作马铃薯试验不同生育期的生物量积累见表 4。

表 3 马铃薯试验的生育期(M－d)

Table 3 Growth stages of f potatoes at two sites

试验地 Location	播种期	苗期 Seeding period	块茎形成期 Tuber formation period	块茎膨大期 Tuber growth period	淀粉积累期 Starch accumulation period	收获期 Maturity period
越州组 Yuezhou	03－29	05－27	06－14	07－05	07－19	08－15
东山组 Dongshan	03－26	05－20	06－10	06－25	07－10	07－24

表 4 不同生育期各处理的马铃薯生物量积累/(kg·hm⁻²)

Table 4 Biomass accumulation of potato of different treatment at various growing stages

试验地 Location	处理 Treatments	苗期 Seedling period	块茎形成期 Tuber formation period		块茎膨大期 Tuber growth period		淀粉积累期 Starch accumulation period		收获期 Maturity	
		地上部分 Aerial part	地上部分 Aerial part	块茎 Tuber	地上部分 Aerial part	块茎 Tuber	地上部分 Aerial part	块茎 Tuber	地上部分 Aerial part	块茎 Tuber
越州组 Yuezhou	NP0K2	150.00	681.33	17.00	801.60	816.60	1002.00	1460.00	1117.50	2235.00
	NP1K2	150.00	712.13	18.00	864.56	854.11	1068.20	1526.00	1194.50	2289.00
	NP2K2	145.00	758.44	18.00	916.13	970.13	1137.66	1698.00	1358.50	2517.00
	NP3K2	153.00	770.93	15.00	913.12	903.12	1166.40	1652.00	1339.00	2478.00
	NP2K0	140.00	627.20	18.00	758.64	722.64	940.80	1344.00	1083.00	2166.00
	NP2K1	140.00	750.09	13.00	882.11	868.11	1115.13	1607.33	1220.50	2441.00
	NP2K3	145.00	762.27	15.00	966.72	982.29	1233.40	1762.00	1314.00	2628.00
东山组 Dongshan	NP0K2	235.00	920.00	43.75	1197.14	1155.00	1974.40	3975.83	1834.40	5448.00
	NP1K2	236.00	920.00	63.88	1437.62	1195.00	1984.40	4116.67	2041.40	6038.00
	NP2K2	242.00	960.00	58.63	1458.10	1415.00	2130.52	4788.33	2233.51	6544.04
	NP3K2	231.00	1100.00	56.88	1364.05	1435.00	2071.70	4550.00	2158.70	5729.00
	NP2K0	242.00	920.00	63.88	1030.24	1205.00	1398.10	3856.67	1568.10	4327.00
	NP2K1	236.00	940.00	63.88	1320.24	1250.00	1783.50	4441.67	1833.50	5545.00
	NP2K3	240.00	1000.00	63.88	1407.14	1530.00	2209.00	4983.33	2283.00	5910.00

两组试验马铃薯生物量变化趋势相似:苗期生物量积累较少,块茎形成期积累主要是靠地上部分,此时马铃薯的地上部分生物量积累占该时期总量的一大半,从块茎膨大期开始,块茎生长迅速,块茎生物量积累和地上部分的积累量几乎相等,淀粉积累期后,块茎生物量的增长量均超过地上部分。

两组试验结果表明,NP2K2 处理的生物积累量是所有处理中较高的(表 4),在越州试验组中,NP2K3 处理的生物量积累略高于 NP2K2 处理;平衡

适量的磷钾营养有利于马铃薯生物量的形成,过多或不足的养分都会影响生物量积累。两组试验均是无钾处理生物积累量最少,其次为无磷处理。

从苗期生长开始两组试验的马铃薯生物量就有差异,由于地块肥力水平的差异,随着马铃薯的生长,两组试验马铃薯生物量的差异越来越大。

2.2 磷钾肥对马铃薯氮磷钾养分积累的影响

两组马铃薯试验各个生育期 NPK 养分积累见表 5。

表 5 不同生育期各处理的马铃薯氮磷钾养分积累/(kg·hm⁻²)

Table 5 NPK accumulation of potato with different treatment at various growing stages

项目 Item	试验地 Location	处理 Treatment	播种—苗期 Sowing— seedling		苗期—块茎形成期 Seedling— tuber formation		块茎形成期— 块茎膨大期 Tuber formation —tuber growth		块茎膨大期— 淀粉积累期 Tuber growth —starch accumulation		淀粉积累期— 收获期 Starch accumulation —maturity	
			总积累量 Total	日积累量 Per day	总积累量 Total	日积累量 Per day	总积累量 Total	日积累量 Per day	总积累量 Total	日积累量 Per day	总积累量 Total	日积累量 Per day
N 积累 N Accumulation	越州组 Yuezhou	NP0K2	5.24	0.09	26.85	1.20	31.77	0.23	46.44	1.05	51.42	0.18
		NP1K2	6.56	0.11	29.43	1.27	35.03	0.27	44.04	0.64	56.83	0.47
		NP2K2	7.09	0.12	29.22	1.23	36.71	0.36	50.28	0.97	63.05	0.47
		NP3K2	6.42	0.11	25.41	1.06	41.48	0.77	51.60	0.72	63.58	0.44
		NP2K0	6.85	0.12	23.25	0.91	32.64	0.45	42.90	0.73	48.38	0.20
		NP2K1	5.58	0.09	29.51	1.33	37.16	0.36	51.82	1.05	57.91	0.23
		NP2K3	6.07	0.10	29.93	1.33	42.05	0.58	58.75	1.19	64.84	0.23
	东山组 Dongshan	NP0K2	8.20	0.15	38.39	1.44	46.36	0.53	106.87	4.03	108.25	0.10
		NP1K2	10.32	0.18	40.50	1.44	54.48	0.93	100.47	3.07	128.33	1.99
		NP2K2	11.84	0.21	39.53	1.32	56.54	1.13	119.30	4.18	138.78	1.39
		NP3K2	9.69	0.17	39.09	1.40	63.31	1.61	118.20	3.66	128.75	0.75
		NP2K0	11.84	0.21	36.63	1.18	47.87	0.75	96.57	3.25	96.81	0.02
		NP2K1	9.41	0.17	39.83	1.45	54.82	1.00	115.35	4.04	116.54	0.09
		NP2K3	10.05	0.18	42.07	1.52	62.79	1.38	140.05	5.15	141.15	0.08
P 积累 P Accumulation	越州组 Yuezhou	NP0K2	1.32	0.02	5.16	0.21	12.53	0.35	15.13	0.19	18.62	0.13
		NP1K2	1.47	0.02	5.33	0.21	14.07	0.42	15.50	0.10	21.59	0.23
		NP2K2	1.24	0.02	5.72	0.25	15.70	0.48	19.02	0.24	24.52	0.20
		NP3K2	1.25	0.02	5.79	0.25	14.97	0.44	20.92	0.43	25.88	0.18
		NP2K0	1.20	0.02	4.91	0.21	11.67	0.32	15.82	0.30	20.67	0.18
		NP2K1	1.22	0.02	5.51	0.24	14.22	0.41	18.52	0.31	23.09	0.17
		NP2K3	1.25	0.02	6.18	0.27	15.54	0.45	20.03	0.32	25.99	0.22
	东山组 Dongshan	NP0K2	2.07	0.04	7.23	0.25	18.17	0.73	36.48	1.22	42.33	0.42
		NP1K2	2.32	0.04	7.27	0.24	21.34	0.94	37.10	1.05	50.06	0.93
		NP2K2	2.07	0.04	7.64	0.27	23.82	1.08	47.59	1.58	55.40	0.56
		NP3K2	1.88	0.03	8.71	0.33	23.16	0.96	50.50	1.82	52.28	0.13
		NP2K0	2.07	0.04	7.60	0.26	17.79	0.68	37.47	1.31	37.48	0.00
		NP2K1	2.06	0.04	7.31	0.25	20.87	0.90	43.97	1.54	46.49	0.18
		NP2K3	2.07	0.04	8.52	0.31	23.50	1.00	49.16	1.71	53.62	0.32
K 积累 K Accumulation	越州组 Yuezhou	NP0K2	7.65	0.13	36.31	1.59	58.10	1.04	90.12	2.29	100.62	0.39
		NP1K2	7.93	0.13	37.84	1.66	68.95	1.48	96.64	1.98	104.09	0.28
		NP2K2	7.71	0.13	42.11	1.91	70.62	1.36	109.73	2.79	119.92	0.38
		NP3K2	7.99	0.14	40.51	1.81	67.88	1.30	106.15	2.73	114.66	0.32
		NP2K0	7.04	0.12	32.39	1.41	54.37	1.05	80.52	1.87	86.60	0.23
		NP2K1	7.20	0.12	40.92	1.87	67.66	1.27	103.38	2.55	104.79	0.05
		NP2K3	8.10	0.14	43.41	1.96	74.98	1.50	120.48	3.25	123.83	0.12
	东山组 Dongshan	NP0K2	11.99	0.21	49.79	1.80	84.77	2.33	203.10	7.89	214.13	0.79
		NP1K2	12.48	0.22	50.44	1.81	107.52	3.81	220.79	7.55	236.66	1.13
		NP2K2	12.86	0.23	54.61	1.99	108.30	3.58	263.32	10.33	264.84	0.11
		NP3K2	12.07	0.22	59.09	2.24	104.11	3.00	242.75	9.24	242.78	0.00
		NP2K0	12.17	0.22	48.78	1.74	80.67	2.13	181.34	6.71	181.46	0.01
		NP2K1	12.14	0.22	52.97	1.94	99.71	3.12	232.15	8.83	233.86	0.12
		NP2K3	13.41	0.24	58.67	2.16	112.32	3.58	280.94	11.24	280.98	0.00

越州组马铃薯 N 素积累量是 NP2K3 处理最多,其次为 NP3K2 处理,第三是 NP2K2 处理。东山组马铃薯 N 素积累量为 NP2K2 处理最多,其次为 NP2K3 处理,第三是 NP3K2 处理。两组试验 N 素积累量最少的都是 NP2K0 处理,次少的是 NP0K2 处理。

越州组马铃薯 P 素积累量 NP2K3 处理最多,其次为 NP3K2 处理,第三是 NP2K2 处理。东山组马铃薯 P 素积累量是 NP2K2 处理最多,其次为 NP2K3 处理。两组试验 P 素积累量最少是 NP0K2 处理和 NP2K0 处理。各处理从块茎形成期到块茎膨大期、块茎膨大期到淀粉积累期 P 素日积累量最快。

越州组和东山组马铃薯 K 素积累量最多是 NP2K3 处理和 NP2K2 处理,K 素积累量最少的是

NP2K0 处理和 NP0K2 处理。各处理从块茎膨大期到淀粉积累期 K 素日积累量最快。

两组马铃薯试验 NPK 累积结果表明: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。K 素营养对马铃薯的 NPK 累积有显著影响,不仅影响 K 积累,还影响 P 素和 N 素积累。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 累积速度就开始明显低于东山组。

2.3 磷钾肥对马铃薯产量和经济效益的影响

表 6 显示了两组马铃薯试验的产量和经济效益的结果。

表 6 马铃薯产量和经济效益
Table 6 Yield and profit of potato

试验地 Location	处理 Treatments	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	产值/(元·hm ⁻²) Value/(Yuan·hm ⁻²)	成本/(元·hm ⁻²) Cost/(Yuan·hm ⁻²)	净收益/(元·hm ⁻²) Net earning/(Yuan·hm ⁻²)
越州组 Yuezhou	NP0K2	11175.00cd	13410.00	2817.72	10592.28
	NP1K2	11445.00bcd	13734.00	3192.72	10541.28
	NP2K2	12585.00a	15102.00	3567.72	11534.28
	NP3K2	12390.00ab	14868.00	3942.72	10925.28
	NP2K0	10830.00d	12996.00	1565.22	11430.78
	NP2K1	12205.00abd	14646.00	2566.47	12079.53
	NP2K3	13140.00a	15768.00	4568.97	11199.03
东山组 Dongshan	NP0K2	27240.00ab	32688.00	2817.72	29870.28
	NP1K2	30690.00a	36828.00	3192.72	33635.28
	NP2K2	32725.20a	39270.24	3567.72	35702.52
	NP3K2	27645.00ab	33174.00	3942.72	29231.28
	NP2K0	21135.00b	25362.00	1565.22	23796.78
	NP2K1	27225.00ab	32670.00	2566.47	30103.53
	NP2K3	28050.00a	33660.00	4568.97	29091.03

注:同列标以不同小写字母的值差异达 5%显著水平。马铃薯 1.20 元·kg⁻¹;尿素 2.50 元·kg⁻¹;普钙 1.00 元·kg⁻¹;氯化钾 3.50 元·kg⁻¹;硫酸钾 4.50 元·kg⁻¹。
Note: Different lowercase letters in the same rows denote significance at 0.05 level. Potato 1.20 yuan·kg⁻¹; Urea 2.50 yuan·kg⁻¹; SSP 1.00 yuan·kg⁻¹; KCl 3.50 yuan·kg⁻¹; K₂SO₄ 4.50 yuan·kg⁻¹.

越州组马铃薯试验中, NP2K3 处理产量最高,达到 13 140.00 kg·hm⁻²; NP2K2 处理产量次之, NP2K3 和 NP2K2 处理与其他处理的差异达到显著水平。NP2K0 处理产量最低,其次为 NP0K2 处理。NP2K3 处理产值最高,但因其成本较高,净收益并不是最高的。NP2K1 处理产量不是最高,但净收益最高。

东山组马铃薯试验中, NP2K2 处理的产量最高,达到 32 725.20 kg·hm⁻²; NP1K2 处理产量次之;第三为 NP2K3 处理。这 3 个产量高的处理与其他处理产量差异达到显著水平。NP2K0 处理产量最低。NP2K2 处理的产量、产值及净收益最高, NP1K2 处理

和 NP2K1 处理次之。

该试验所用的品种合作 88 和宣薯 2 号均是当地比较适宜种植的马铃薯品种,在当地产量潜力相当。两组试验中马铃薯产量有明显差异,东山组产量远高于越州组。相同处理的产量相差极大,两地 NP2K0 处理产量相差较小,为 10 305.00 kg·hm⁻², NP2K2 处理产量相差最大,为 20 140.20 kg·hm⁻²;相同处理的净收益相差也极大,两地 NP2K0 处理相差较小,为 12 366.00 元·hm⁻², NP2K2 处理产量相差最大,为 24 168.24 元·hm⁻²。

2.4 磷钾肥对马铃薯磷钾养分利用的影响

表 7 显示了两组旱作马铃薯试验的 PK 素利用。

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 素农学效率是该组试验中最高的。在东山组试验中, 均是 NP2K1 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。

越州组 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。

表 7 磷钾养分利用效率
Table 7 Nutrient use efficiency of P and K

试验地 Location	处理 Treatments	P 吸 收量 P uptake /(kg·hm ⁻²)	P 投 入量 P input /(kg·hm ⁻²)	P 肥利 用率/% P utilization efficiency	P 素农学 效率/% P agronomic efficiency	K 吸 收量 K uptake /(kg·hm ⁻²)	K 投 入量 K input /(kg·hm ⁻²)	K 肥利 用率/% K utilization efficiency	K 素农学 效率/% K agronomic efficiency
越州组 Yuezhou	NP0K2	18.62	0.00	—	—	86.60	0.00	—	—
	NP1K2	21.59	45.00	6.59	6.00	103.38	135.00	12.43	10.19
	NP2K2	24.52	90.00	6.55	15.67	119.92	270.00	12.34	6.50
	NP3K2	25.88	135.00	5.38	9.00	123.83	405.00	9.19	5.70
东山组 Dongshan	NP0K2	42.33	0.00	—	—	181.46	0.00	—	—
	NP1K2	50.06	45.00	17.18	76.67	233.86	135.00	38.81	45.11
	NP2K2	55.40	90.00	14.52	60.95	264.84	270.00	30.88	42.93
	NP3K2	52.28	135.00	7.37	3.00	280.98	405.00	24.57	17.07

3 讨论与结论

试验所用的马铃薯品种在云南省曲靖地区均是较适宜栽种的品种, 两者产量潜力相近。试验的两组马铃薯试验产量有明显差异, 东山组产量远高于越州组, 这与东山组试验地养分状况优于越州组有关, 东山组试验地的有机质、全 N、碱解 N、全 K 和速效 K 含量明显高于越州组试验地。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 10 305.00 kg·hm⁻², NP2K2 处理产量相差最大, 为 20 140.20 kg·hm⁻²。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, 而且钾素对产量的影响大于磷素。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。

两组试验的马铃薯生物量变化趋势相似; NP2K2 处理生物积累量是所有处理中较高的, 越州组 NP2K3 处理生物量积累略高于 NP2K2 处理; 两组

试验都是 NP2K0 处理生物积累量最少, 其次为 NP0K2 处理。块茎膨大期之前, 马铃薯生物量积累主要是以地上的茎叶为主, 地上部分为干物质积累的“库”; 从块茎膨大期开始, 块茎生长迅速, 植物的“库”和“源”发生转变, 块茎变成了“库”, 生物量积累的增多主要依靠块茎的生长, 前人有相似研究结果^[13]。越州组马铃薯块茎膨大期前的地上部分生物积累量就少, 说明茎叶生长不如东山组, 其光合作用和合成转运物质能力也差于东山组, 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, 此为养分吸收积累高峰期, 这与前人的研究结果相似^[14-15]。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 吸收量均最高, 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%^[16],东山组的 P 肥利用率也只有 7.37% ~ 17.18%。岳红丽等研究结果表明,在膜下滴灌条件下马铃薯的 P 肥利用率为 6.03% ~ 10.51%^[17];韩瑛祚等加入磷活化剂的马铃薯磷素试验中,P 肥利用率为 6.75% ~ 13.03%^[18];而陈洪等研究则显示,马铃薯的 P 肥利用率可以达到 33.8%^[3]。越州组的 K 肥利用率较低,为 9.19% ~ 12.43%,东山组的 K 肥利用率为 24.57% ~ 38.81%,前人的研究表明^[19-21],不同地区不同养分管理的马铃薯 K 肥利用率差异十分显著,K 肥利用率可从百分之几到百分之九十以上。说明在云南省曲靖地区种植马铃薯的生产中,提高 P 肥利用率和 K 肥利用率还有很大潜力。

本研究结果表明,在一定范围内增施磷肥和钾肥能提高马铃薯产量、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,营养元素之间要平衡配合。云南省的地形地貌复杂,土壤养分差异大,立体性气候特征明显,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时,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] 刘彦和.云南马铃薯产业现状及前景展望[J].云南农业,2013,(5):83.

[2] 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

[3] 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.

[4] 王国兴,徐福利,王渭玲,等.氮磷钾及有机肥对马铃薯生长发育和干物质积累的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):106-111.

[5] 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.

[6] P.M.哈里斯.蒋先明,田玉丰,赵 越,等译.马铃薯改良的科学基础[M].北京:农业出版社,1984:155-185.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 慕成功.钾素营养及施肥技术[M].北京:中国农业科技出版社,1995.

[10] 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.

[11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2005.

[12] 劳家桢.土壤农化分析手册[M].北京:农业出版社,1988.

[13] 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素积累与分配特性[J].应用生态学报,2013,24(2):423-430.

[14] 高聚林,刘克礼,盛晋华,等.旱作马铃薯磷素的吸收、积累和分配规律[J].中国马铃薯,2003,17(6):326-330.

[15] 盛晋华,刘克礼,高聚林,等.旱作马铃薯钾素的吸收、积累和分配规律[J].中国马铃薯,2003,17(6):331-335.

[16] 鲁如坤.我国的磷矿资源和磷肥生产消费Ⅱ.磷矿消费与需求[J].土壤,2004,36(2):113-116.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 刘 飞,张 民,诸葛玉平,等.马铃薯玉米套作下控释肥对土壤养分垂直分布及养分利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(6):1351-1358.

[20] 段 玉,妥德宝,赵沛义,等.马铃薯施肥肥效及养分利用率的研究[J].中国马铃薯,2008,22(4):197-200.

[21] 龚成文,冯守疆,赵欣楠,等.不同钾肥品种对甘肃中部地区马铃薯产量及品质的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):112-117.