

西北地区马铃薯施用氮磷钾效应和经济效益分析

李书田¹ 段玉² 陈占全³ 郭天文⁴ 李友宏⁵

(1. 国际植物营养研究所北京办事处, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 内蒙古农牧科学院植物营养与分析研究所, 呼和浩特 010031; 3. 青海省农业科学院土壤肥料研究所, 西宁 810016; 4. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070; 5. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002)

摘要: 2002-2011年在内蒙、甘肃、宁夏、青海四省进行田间试验研究马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 施用氮、磷、钾肥的增产效应和经济效益。试验设施氮(+N)、不施氮(-N)、施磷(+P)、不施磷(-P)、施钾(+K)、不施钾(-K)处理。结果表明,施用氮、磷、钾肥平均增产分别为377、264、356公斤/亩,分别有95%、75%、81%的试验增产达显著水平($P < 0.05$),说明氮是影响马铃薯产量的主要因素,其次是钾,然后是磷。氮、磷、钾肥的农学效率分别为37.6公斤/公斤N、45.0公斤/公斤 P_2O_5 和44.9公斤/公斤 K_2O 。施用氮、磷、钾肥平均分别增加收入348、246、276元/亩,平均产投比(VCR)9.3、12.7和8.8。通过分析不同肥料价格和马铃薯价格下的VCR表明,随着施肥增产效应的增加,即使施肥量增加,VCR也增加。无论现在还是将来,西北地区马铃薯上合理施用氮、磷或钾肥获得收益的概率超过75%,收益多少随增产效应、施肥量、肥料和马铃薯价格而变化。

关键词: 马铃薯; 肥料效应; 产投比; 经济效益

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是继水稻、小麦和玉米后第四位粮食作物^[1]。全球1/3的马铃薯来自发展中国家。中国是世界上最大的马铃薯生产国,2011年产量达到8800万吨^[2]。马铃薯也是我国西北地区的主要经济作物之一,面积和产量分别占全国的37%和34%。

马铃薯吸收氮、钾远高于磷^[3-5]。氮素管理对马铃薯的产量和品质至关重要^[6,7]。氮肥不足影响马铃薯生长和产量,氮肥过量则延迟马铃薯成熟,降低养分利用率并造成环境污染^[8]。钾是植株体内糖分运输和淀粉合成所必需的营养元素,因此,马铃薯需钾量较高^[9]。虽然马铃薯需磷量低于氮和钾,但磷可增加大薯产量和马铃薯的干物质产量^[10]。因此,氮、磷、钾养分管理对马铃薯生产至关重要。然而,目前马铃薯对施用氮、磷、钾肥的增产效应和经济效益还不十分清楚,对限制西北地区马铃薯产量、效益的影响因子也不明确。因此,本研究主要包括以下两方面:1)氮、磷、钾肥对马铃薯的增产效应和养分利用效率,2)马铃薯施肥的经济效益,以期为西北地区马铃薯养分管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2002-2011年在西北马铃薯主要种植区内蒙、甘肃、

宁夏、青海四省进行试验。氮肥试验44个,在施用磷钾基础上设施氮(+N)和不施氮(-N)处理;磷肥试验49个,在施用氮钾基础上设施磷(+P)和不施磷(-P)处理;钾肥试验80个,在施用氮磷基础上设施钾(+K)和不施钾(-K)处理。各处理重复三次,小区面积30平方米。氮、磷、钾用量根据ASI方法进行土壤测定并进行推荐^[11,12]。供试土壤理化性状和试验的详细情况请参见表1和2。其他管理措施包括中耕除草和病虫害防治等各处处理均一致。

1.2 测试方法

土壤理化性状采用ASI方法^[11,12]。土壤有机质采



用 0.2mol/L NaOH-0.01mol/L EDTA-2% 甲醇提取, 420nm 波长下紫外分光光度法测定; 矿质氮采用 1mol/L KCl 浸提, NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 分别用比色法和紫外分光光度法测定; 土壤速效磷、钾用 0.25mol/L NaHCO_3 -0.01mol/L EDTA-0.01mol/L NH_4F 浸提, 溶液中的磷和钾分别采用比色法和原子吸收法测定; 土壤 pH 采用水土比 2.5:1, pH 电极法测定。土壤质地用野外速测法测定。

1.3 数据分析

施肥效应 (公斤/亩) = 施氮 (磷或钾) 处理块茎产量 (公斤/亩) - (不施氮 (磷或钾) 处理块茎产量);

养分的农学效率 (AE) (公斤/公斤) = 施肥效应 (公斤/亩) / 施肥量 (公斤/亩), AE_N 、 AE_P 、 AE_K 分别表示 N、P、K 的农学效率;

施肥效益 (元/亩) = 施肥效应 (公斤/亩) × 块茎价格 (元/亩);

肥料投入 (元/亩) = 肥料用量 × 肥料价格;

施肥纯收入 = 施肥效益 - 肥料投入;

产投比 = 施肥效益 / 肥料投入

2002-2011 年的肥料价格和马铃薯价格来源于全国农产品成本收益资料汇编^[13]。

方差分析采用 SAS(1999) 统计软件, 图形采用 Sigmaplot 10.0 统计软件。相关性分析采用 Microsoft Excel 10.0。

2 结果与分析

2.1 施肥效应

马铃薯块茎的产量范围很大 (图 1), 施氮处理的块茎产量为 604-4013 公斤/亩, 平均 1946 公斤/亩; 不施氮处理的块茎产量 475-3640 公斤/亩, 平均 1568 公斤/亩。施磷处理的块茎产量 604-4013 公斤/亩, 平均 1891 公斤/亩; 不施磷处理的块茎产量 393-3713 公斤/亩, 平均 1627 公斤/亩。施钾处理的块茎产量 604-4948 公斤/亩, 平均 2411 公斤/亩; 不施钾处理的块茎产量 529-

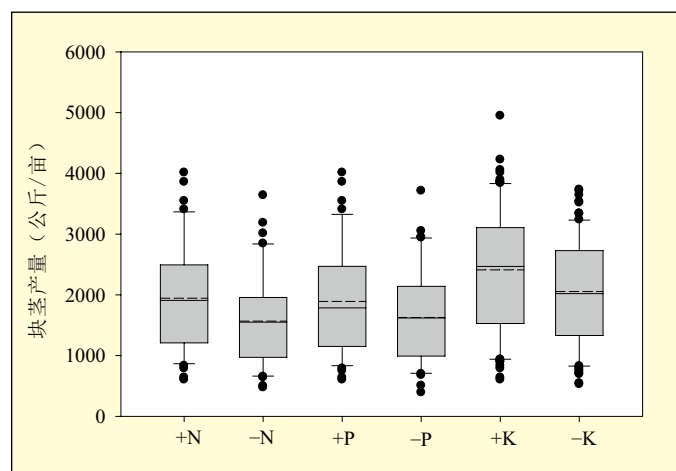


图 1 马铃薯 44 个氮肥试验、49 个磷肥试验、80 个钾肥试验的块茎产量 (图中方框下线为第 25% 个产量, 实线表示中数, 虚线表示平均数, 方框上限表示第 75% 个产量。误差线上下分别表示第 10% 和第 90% 个产量。误差线外黑点表示其他数。下同)

表 1 试验前供试土壤部分理化性状 (平均 ± 标准差)

土壤性状	N 肥试验	P 肥试验	K 肥试验
土壤质地	砂壤土, 壤土	砂壤土, 壤土	砂壤土, 壤土
pH (水: 土 2.5:1)	8.3 ± 0.3	8.2 ± 0.2	8.2 ± 0.2
有机质 (克/升)	10.0 ± 5.0	9.0 ± 5.0	9.0 ± 5.2
矿质 N (毫克/升)	29.1 ± 21.7	27.3 ± 22.1	25.8 ± 21.3
速效 P (毫克/升)	17.5 ± 8.8	17.8 ± 8.1	17.5 ± 8.2
速效 K (毫克/升)	99.0 ± 36	99.6 ± 33.5	99.4 ± 33.1

表 2 试验的详细情况

项目	内蒙古	青海	甘肃	宁夏
马铃薯品种	脱毒紫花白	下寨 -65	陇薯 -3	青薯 -168
种植时间	5 月 5-20	4 月 19-29	3 月 30-4 月 17	4 月 22
收获时期	9 月 12-15	9 月 15	9 月 22	9 月 7
种植密度 (株/亩)	2667-3333	2667-3333	3333-4000	3333-4000
养分用量 (公斤/亩)				
N	3-20	9-14.3	5-15	10
P ₂ O ₅	2-16.7	4-11.5	4-10	10-15
K ₂ O	2-15	5.6-15	4-10	10-20

3733 公斤 / 亩，平均 2055 公斤 / 亩。

氮、磷、钾肥试验中分别有 42、37、65 个试验施肥效应显著 ($P < 0.05$)，占试验总数的 95%、76% 和 81%。氮、磷、钾肥的施肥效应平均分别为 377 公斤 / 亩 (25.4%)、264 公斤 / 亩 (17.6%) 和 356 公斤 / 亩 (17.7%) (图 2)。氮和钾是限制马铃薯产量的主要因子，其次是磷。

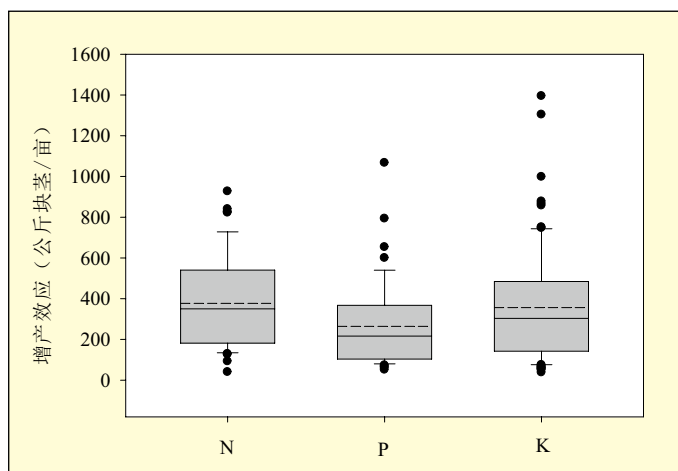


图 2 马铃薯施用氮肥、磷肥和钾肥的施肥效应

2.2 养分的农学效率

氮、磷、钾的农学效率变异范围较大 (图 3)。 AE_N 为 8.6–90.5 公斤 / 公斤 N，平均 37.6 公斤 / 公斤 N， AE_P 为 4.1–133.3 公斤 / 公斤 P_2O_5 ，平均 45.0 公斤 / 公斤 P_2O_5 ， AE_K 为 6.4–232.5 公斤 / 公斤 K_2O ，平均 44.9 公斤 / 公斤 K_2O 。

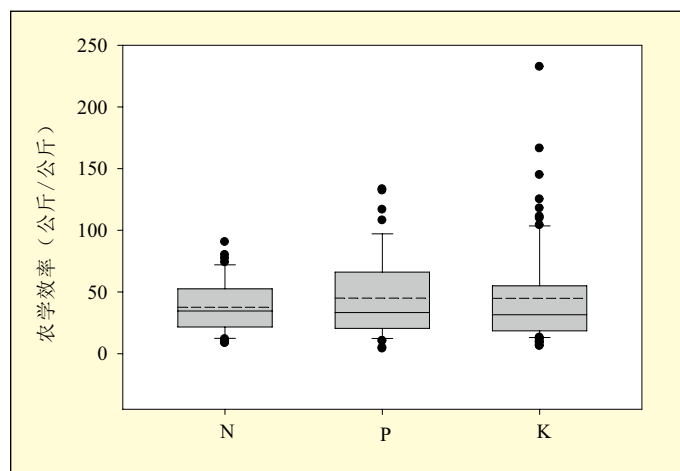


图 3 马铃薯施用氮、磷、钾肥的农学效率



2.3 施肥的经济效益分析

施用氮、磷、钾肥比相应的不施肥平均增加纯收入 348、246、276 元/亩(图 4)，氮、磷、钾肥的产投比(VCR)平均分别为 9.3、12.7 和 8.8(图 5)，说明马铃薯上施用氮、磷或钾肥可以获得较高的经济收益。施肥效应和纯收入是 $N>K>P$ ，而 VCR 是 $P>N>K$ 。

2002–2011 年肥料价格和马铃薯价格具有增加趋势，因此我们设定几个肥料价格：最低价格、中间价格和最高价格以及最高价格的 1.25 倍和 1.5 倍分别代表现在和将来的价格，以计算不同马铃薯价格下肥料投入的产投比 VCR。根据施肥效应(图 2)，把施用氮、磷、钾肥的第 25%、50% 和 75% 个施肥效应和施肥量作为低、中、高三个施肥效应进行经济分析(图 6–8)。结果表明，当氮、磷、钾肥用量低(分别为 8 公斤 N/亩、4.1 公斤 P_2O_5 /亩、6 公斤 K_2O /亩)、施肥效应低(180 公斤/亩、100 公斤/亩、140 公斤/亩)，而肥料价格最高(7.23 元/公斤 N、6.98 元/公斤 P_2O_5 、10.79 元/公斤 K_2O)、马铃薯价格最低(0.5 元/公斤)时的 VCR 分别为 1.6、1.7 和 1.1。当氮、磷、钾肥用量高(分别为 14 公斤 N/亩、7.7 公斤 P_2O_5 /亩、10 公斤 K_2O /亩)、施肥效应高(533 公斤/亩、361 公斤/亩、459 公斤/亩)，而肥料价格最高(7.23 元/公斤 N、6.98 元/公斤 P_2O_5 、10.79 元/公斤 K_2O)、马铃薯价格最低(0.5 元/公斤)时的 VCR 分别为 2.6、3.4 和 2.1。这些数据说明，在西北地区马铃薯上施用氮、磷或钾肥获得收益的概率超过 75%，并随增产效应的增加而增加，而且无论施肥效应高低，施用磷肥的 VCR 最高，其次是

施用氮肥，施用钾肥的 VCR 相对较低。

按照 2002–2011 年马铃薯最低价格(0.67 元/公斤)计算不同肥料用量和肥料价格下获得效益的施肥效应临界值(表 3)，表明施钾肥需要获得较高的施肥效应才能获得收益，而施磷获得收益所需的施肥效应最低。当肥料价格比 2011 年的价格增加 50%，并且施肥量最高时(20 公斤 N/亩、10 公斤 P_2O_5 /亩、15 公斤 K_2O /亩)，获得收益的氮、磷、钾肥最低施肥效应分别为 215 公斤/亩、101 公斤/亩和 224 公斤/亩，至少分别有 72.7%、75.5% 和 60.0% 的试验点能获得施肥收益。如果按照 2011 年的肥料价格和最高肥料用量计算，分别有 88.6%、93.9% 和 73.8% 的试验点施用氮肥、磷肥、钾肥能获得经济收益。综合以上分析可知，无论现在还是将来，西北地区马铃薯上施用氮、磷和钾肥能够增加农民收入。

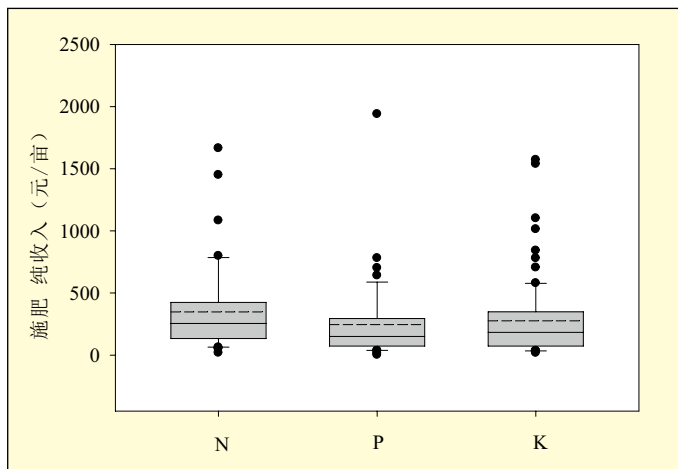


图 4 马铃薯施用氮、磷、钾肥的纯收入

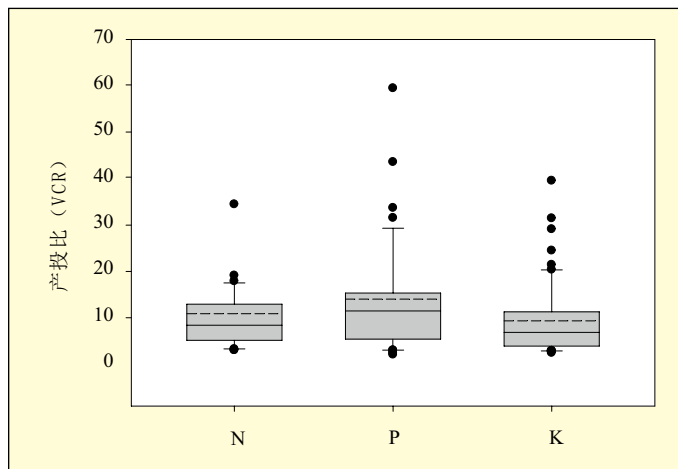


图 5 马铃薯施用氮、磷、钾肥的产投比(VCR)

氮肥施肥效应 180 公斤 / 亩
氮肥用量 8 公斤 N / 亩

氮肥施肥效应 333 公斤 / 亩
氮肥用量 10.5 公斤 N / 亩

氮肥施肥效应 533 公斤 / 亩
氮肥用量 14 公斤 N / 亩

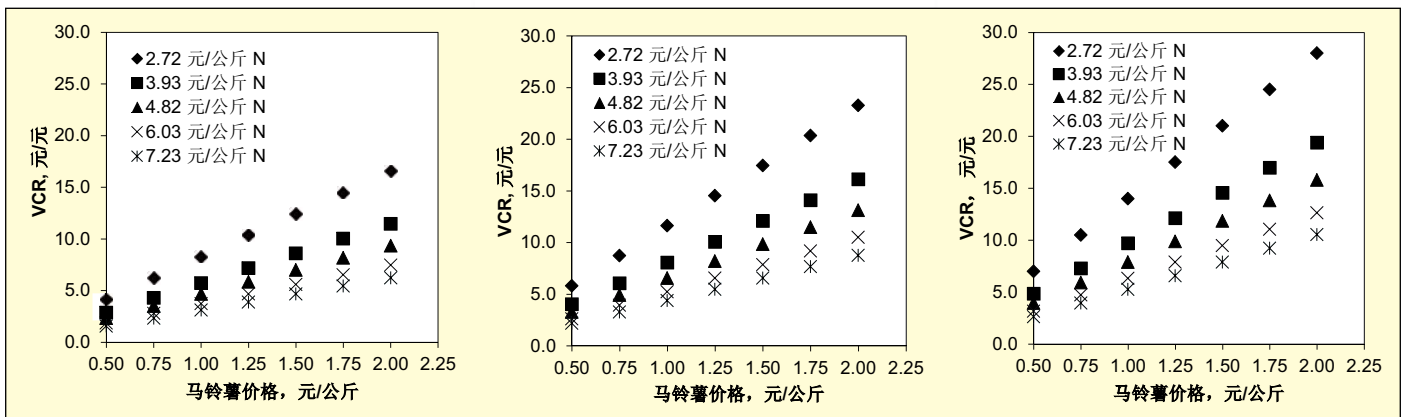


图 6 马铃薯上氮肥不同施肥效应下产投比 (VCR) 随氮肥价格与马铃薯价格的变化

磷肥施肥效应 100 公斤 / 亩
磷肥用量 4.1 公斤 P_2O_5 / 亩

磷肥施肥效应 217 公斤 / 亩
磷肥用量 6.0 公斤 P_2O_5 / 亩

磷肥施肥效应 361 公斤 / 亩
磷肥用量 7.7 P_2O_5 / 亩

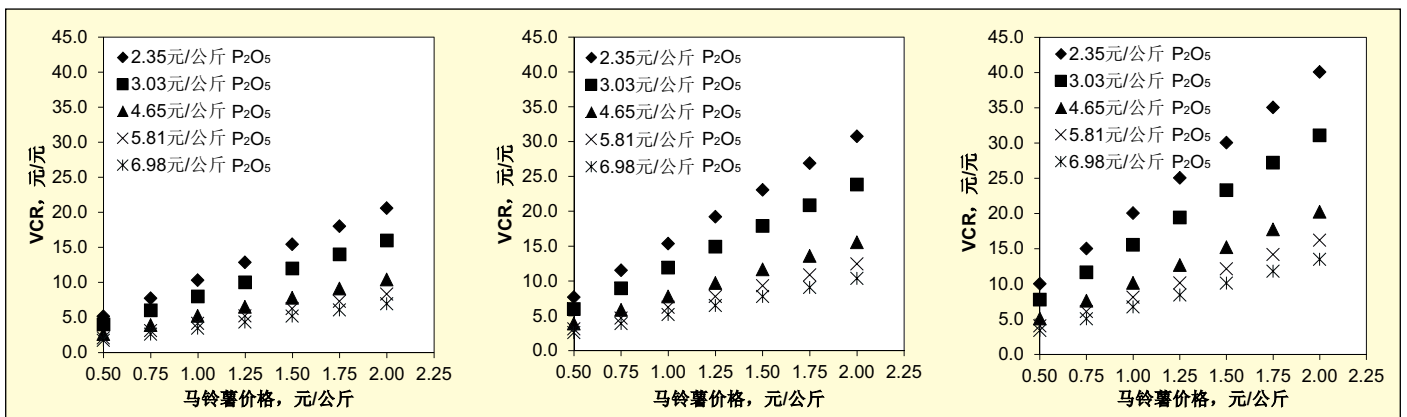


图 7 马铃薯上磷肥不同施肥效应下产投比 (VCR) 随磷肥价格与马铃薯价格的变化

钾肥施肥效应 140 公斤 / 亩
钾肥用量 6.0 公斤 K_2O / 亩

钾肥施肥效应 293 公斤 / 亩
钾肥用量 8.0 公斤 K_2O / 亩

钾肥施肥效应 459 公斤 / 亩
钾肥用量 10.0 公斤 K_2O / 亩

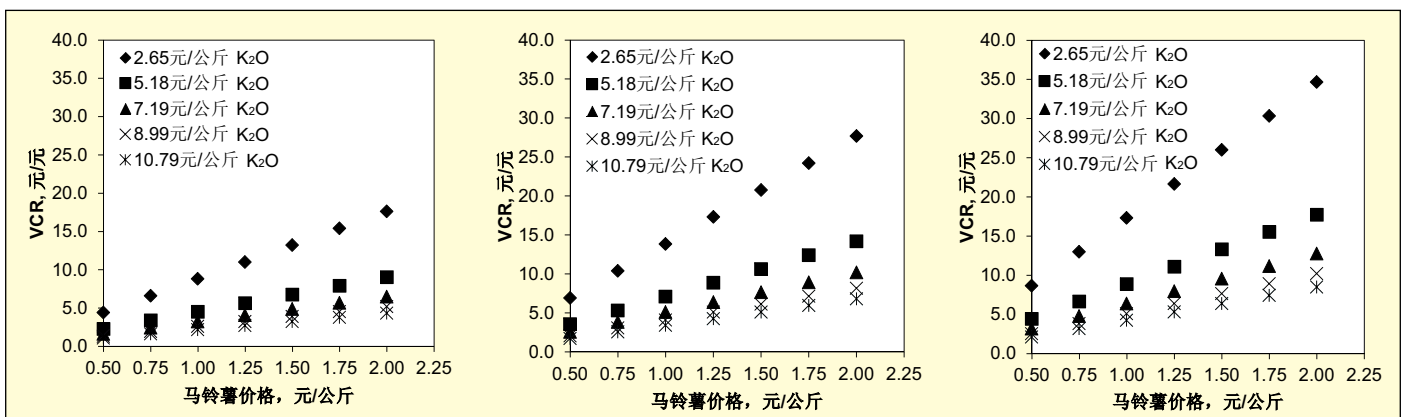


图 8 马铃薯上钾肥不同施肥效应下产投比 (VCR) 随钾肥价格与马铃薯价格的变化

表3 不同肥料用量和肥料价格下获得效益的施肥效应临界值 (VCR=1)

						公斤 / 亩
氮肥用量, 公斤 N/ 亩		6.7	10.0	13.3	16.7	20.0
氮肥价格, 元 / 公斤 N						
2011 年价格:	4.80	47.7	71.7	95.5	119.4	143.3
增加 25%:	6.00	59.7	89.5	119.4	149.3	179.1
增加 50%:	7.20	71.7	107.5	143.3	179.1	214.9
磷肥用量, 公斤 P ₂ O ₅ / 亩		3	4	6	8	10
磷肥价格, 元 / 公斤 P ₂ O ₅						
2011 年价格:	4.52	20.3	27.0	40.5	54.0	67.5
增加 25%:	5.65	25.3	33.7	50.6	67.5	84.3
增加 50%:	6.78	30.3	40.5	60.7	80.9	101.2
钾肥用量, 公斤 K ₂ O/ 亩		6	8	10	12	15
钾肥价格, 元 / 公斤 K ₂ O						
2011 年价格:	6.67	59.7	79.7	99.5	119.5	149.3
增加 25%:	8.34	74.7	99.6	124.5	149.4	186.7
增加 50%:	10.01	89.7	119.5	149.4	179.3	224.1
注: 马铃薯价格按 2002-2011 的最低价格 0.67 元 / 公斤计算。						

3 讨论

本研究中马铃薯的施氮量为 3–20.5 公斤 N/ 亩, 平均 10.7 公斤 N/ 亩, 低于其他国家和地区的氮肥用量。如在美国密西根中部施用 13.3–20 公斤 N/ 亩使马铃薯增产, 进一步增加氮肥用量产量并不增加^[6]; 美国华盛顿州哥伦比亚盆地的马铃薯合理施氮量为 22.4–29.9 公斤 / 亩^[14,15]。磷的情况则不同, 本研究中磷肥的用量为 2–21.5 公斤 P₂O₅/ 亩, 平均 7.7 公斤 P₂O₅/ 亩, 高于其他国家和地区。如印度北部马铃薯合理的磷肥用量为 6 公斤 P₂O₅/ 亩^[16], 印度中西部平原马铃薯上磷肥最高用量为 5.3 公斤 P₂O₅/ 亩^[10]。然而, 有关马铃薯施钾效应的报道不多, 可能与马铃薯需钾量高于氮和磷而必然施用有关^[3-5], 大多数研究集中在钾肥的品种、施肥时期和施肥方法上^[17-20]。

本文阐述了不同施肥效应和肥料用量下, 产投比 (VCR) 随肥料和马铃薯价格的变化而变化的情况, 同时计算了不同肥料用量和肥料价格下马铃薯施肥能够获得效益的施肥效应临界值 (当 VCR=1 时的产量反应), 从不同侧面了解西北地区马铃薯施肥的经济效益。实际上许多因素包括市场因素、经济因素、肥料投向等也影响肥料的用量与农产品的价格。施肥效益在一定程度上取决于肥料的用量, 在相同施肥效应下施肥量越低, 收益越多,

VCR 越高。然而, 不断增长的人口对粮食的需求, 要求在集约化条件下进一步提高作物产量, 不可避免地增加肥料投入, 而肥料资源尤其是磷钾资源匮乏, 成本不断提高, 因此, 要想在作物产量增加的同时提高肥料的 VCR, 就要提高养分的科学管理水平, 并结合其他最佳农艺措施如水分管理和病虫害防治等, 提高养分利用效率, 增加收入, 减少对环境的负面影响。今后应重点研究马铃薯的 4R 养分管理策略, 用正确的肥料品种和最佳的用量, 在最佳的施肥时期, 采用正确施肥方法, 以实现经济、环境和社会效益协调发展。

4 结论

西北地区影响马铃薯生产的主要养分限制因子是氮, 其次是钾, 然后是磷。在现有推荐施肥量下, 马铃薯施用氮、磷或钾能够获得收益。施肥效应低、中、高水平下, 施用磷肥的 VCR 高于氮肥、钾肥。今后工作重点应着重研究马铃薯的 4R 养分管理策略, 并结合其他农艺措施实现更高的施肥效益。

致谢: 本研究得到国际植物营养研究所 (IPNI) 资助。

参考文献

- [1] Errebhi M, Rosen C J, Lauer F I, et al. Evaluation of tuber-bearing *Solanum* species for nitrogen use efficiency and biomass partitioning [J]. *Am J potato Res*, 1999, 76:143-151.
- [2] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [3] Perrenoud S. Fertilizing for High Yield Potato. IPI Bulletin 8 [M]. 2nd Edition. International Potash Institute, Basel, Switzerland, 1993.
- [4] Fageria N K, Baligar V C, Jones C A. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. 2nd Edition [M]. Marcel Dekker Inc., New York, 1997.
- [5] Westermann D T. Nutritional requirements of potatoes [J]. *Am J Potato Res*, 2005, 82:301-307.
- [6] Long C M, Snapp S S, Douches D S, et al. Tuber yield, storability and quality of Michigan cultivars in response to nitrogen management and seedpiece spacing [J]. *Am J Potato Res*, 2004, 81:347-357.
- [7] Love S L, Stark J C, Salaiz T. Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer [J]. *Am J Potato Res*, 2005, 82:21-30.
- [8] Kumar P, Pandey S K, Singh B P, et al. Effect of nitrogen rate on growth, yield, economics and crisps quality of Indian potato processing cultivars [J]. *Potato Res*, 2007a, 50:143-155.
- [9] Rhue R D, Hensel D R, Kidder G. Effect of K fertilization on yield and leaf nutrient concentrations of potatoes grown on a sandy soil [J]. *Am Potato J*, 1986, 63:665-681.
- [10] Kumar P, Pandey S K, Singh B P, et al. Optimizing phosphorus requirement of chipsona varieties for west-central plains of India [J]. *Potato J*. 2007b, 34 (3-4):199-202.
- [11] 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.
- [12] Portch S, Hunter A. A systematic approach to soil fertility evaluation and improvement [M]. Modern Agriculture and Fertilizers, PPI/PPIC China Program Special Publication No. 5. 2002.
- [13] 国家发展和改革委员会价格司编. 全国农产品成本收益资料汇编 [M]. 北京: 中国统计出版社. 2000-2012.
- [14] Roberts S, Weaver W H, Phelps J P. Effect of rate and time of fertilization in nitrogen and yield of 'Russet Burbank' potatoes under center pivot irrigation [J]. *Am Potato J*, 1982, 59, 77-86.
- [15] Lauer D A. 'Russet Burbank' yield response to sprinkler-applied nitrogen fertilizer [J]. *Am Potato J*, 1986, 63:61-69.
- [16] Grewal J S, Sud, K C. Potato response to phosphorus in northern India [J]. *Fert News*, 1990, 35:25-29.
- [17] Chadha S, Rana S S, Rameshwar, et al. Effect of split doses of N and K and FYM level on the productivity of seed potato in cold desert regions of HP [J]. *Potato J*, 2006, 33 (1-2):94-96.
- [18] Haase T, Schöler C, Heß J. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum Tuberosum* L.) for processing [J]. *Europ J Agron*, 2007, 26:187-197.
- [19] Kumar P, Pandey S K, Singh B P, et al. Influence of source and time of potassium application on potato growth, yield, economics and crisp quality [J]. *Potato Res*, 2007c, 50:1-13.
- [20] Sasani G V, Patel C K, Patel R N, et al. Efficient use of water and fertilizers through drip fertigation in potato [J]. *Potato J*. 2006,33(3-4):131-133.