

我国马铃薯的 4R 养分管理措施

李书田¹ 何萍¹ 段玉² 妥德宝²

(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. 内蒙古自治区农牧业科学院资源环境与监测技术研究所, 呼和浩特 010031)

土壤养分含量低和养分不平衡限制了我国马铃薯产量的提高, 获得高产、优质和提高肥料利用率的方法是因地制宜地采取最佳养分管理措施, 即 4R 养分管理。

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是继水稻、小麦和玉米后第四位粮食作物。全球 1/3 的马铃薯来自发展中国家。我国是世界上最大的马铃薯生产国, 2013 年产量达到 9594 万吨, 其中 2/3 产于 6 个省份, 即内蒙古、甘肃、四川、贵州、云南和重庆。肥料用量低且不平衡是马铃薯产量低和品质差的主要原因之一, 而且西南地区马铃薯种植区很大一部分在山区和高原地区, 限制产量的因素复杂多样。这篇文章主要介绍马铃薯对养分的需求和养分管理, 重点阐述马铃薯养分管理中如何利用 4R 养分管理的原则, 即选择正确的肥料品种, 用正确的用量, 在正确的时期施在正确的位置。

马铃薯对养分的需求

了解马铃薯对养分的需求对于制定最佳养分管理至关重要, 然而马铃薯对养分的需求受土壤养分状况和其他管理措施的影响很大。例如 P, 土壤表层施用石灰对其

有效性具有一定影响。Westerman^[1]总结了美国和加拿大马铃薯营养特性的数据指出, 每生产 1000 公斤马铃薯平均需要吸收 4.19 公斤 N、1.26 公斤 P₂O₅ 和 7.20 公斤 K₂O。2002–2007 年, IPNI 在内蒙古的试验表明, 每生产 1000 公斤马铃薯平均需要吸收 6.03 公斤 N、1.30 公斤 P₂O₅ 和 6.18 公斤 K₂O (表 1)。可见, IPNI 的结果中马铃薯对氮的吸收高于 Westerman^[1]的数据, 而磷、钾需求相当, 吸收氮素较高的原因可能与我国土壤熟化程度高和氮肥用量大有关。IPNI 的结果还表明, 雨养旱地马铃薯和水浇地马铃薯虽然产量差异较大, 但单位块茎产量需要吸收的氮磷钾养分没有明显的差异。

正确的肥料品种

对氮肥来说, 最常用的可溶性氮肥是尿素和碳酸氢铵, 但也施用一些缓(控)释氮肥, 这些缓(控)释氮肥有的添加消化抑制剂(如 DCD)或脲酶抑制剂(如

表 1 旱地雨养马铃薯和水浇地马铃薯的养分需求

年份	水分管理	块茎产量 (吨/亩)	养分吸收量(公斤/吨)			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
2002	雨养	0.79	7.36	1.65	6.37	1:0.22:0.87
2002	水浇地	2.29	5.89	1.41	4.89	1:0.24:0.83
2003	雨养	0.64	4.23	1.37	5.45	1:0.32:1.29
2003	水浇地	2.16	5.71	1.15	5.64	1:0.20:0.99
2004	雨养	0.96	6.87	1.13	5.02	1:0.16:0.73
2004	水浇地	1.73	4.70	0.73	5.67	1:0.16:1.21
2005	雨养	1.29	4.79	1.23	4.18	1:0.26:0.87
2005	水浇地	2.50	4.40	1.58	6.63	1:0.36:1.51
2006	雨养	0.95	5.84	1.42	6.36	1:0.24:1.09
2006	水浇地	2.10	6.91	1.62	7.91	1:0.23:1.14
2007	雨养	0.69	8.04	1.09	6.55	1:0.14:0.81
2007	水浇地	2.04	7.58	1.21	9.44	1:0.16:1.25
平均		1.51	1.51	1.30	6.18	1:0.22:1.02

表 2 缓释尿素 (CRU) 与普通尿素比较对马铃薯块茎产量和氮素利用率的影响

处理 [†]	块茎产量 (吨/亩)	AEN (公斤块茎/公斤 N)	REN (%) [§]
CK	2.01 d	—	—
100% CRU	2.57 a	33.3 ab	45.3 ab
100% RU	2.43b	24.5 bc	32.1 c
75% CRU	2.47 ab	35.6 a	52.3 a
75% RU	2.31 c	22.4 c	40.6 bc

[†]CK = 不施氮; 100% CRU = 推荐氮量, 全部施用 CRU; 100% RU = 推荐氮量, 全部施用 RU。N, P, K 肥全部在种植前基施。

[‡]AEN = 氮的农学效率; [§]REN = 氮素回收率; 同一列中数字后相同字母表示未达到 5% 显著差异。

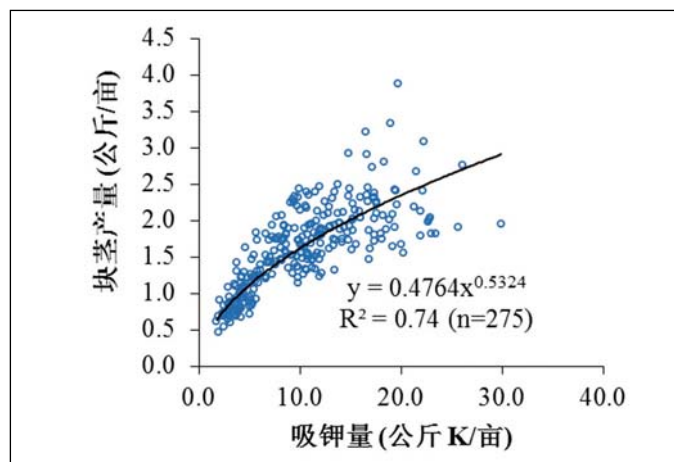
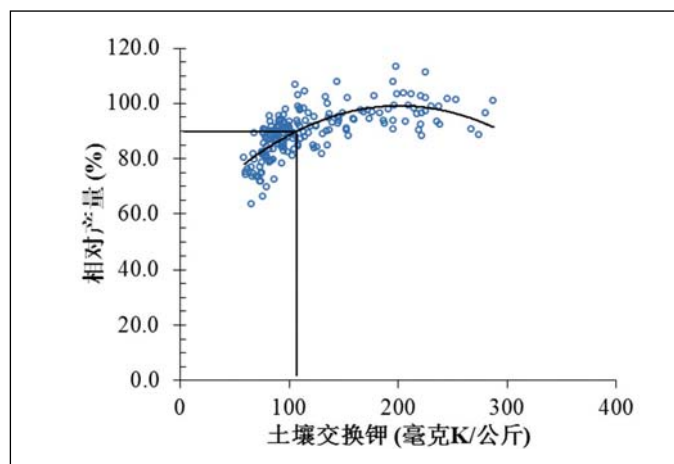
NBPT), 有些用无机材料 (如硫磺) 或有机聚合物包膜。缓 (控) 释氮肥可以随着时间调节氮素的释放, 通过实现养分释放与作物吸收的同步, 提高氮肥利用率, 同时减少氮肥用量和施肥次数, 节约劳动力成本。试验表明, 缓 (控) 释氮肥非常适合水浇地马铃薯, 通过土壤水分调节氮素释放, 提高产量和氮肥利用率。2009-2011 年在内蒙古水浇地马铃薯上的试验表明 (表 2), 在相同氮素用量下, 施用控释尿素 (CRU) 比普通尿素获得更高的产量和氮素利用率。75% 推荐氮素用量下的 CRU 与 100% 推荐氮用量下的 RU 相比, 产量相当, 氮素利用率提高, 说明施用 CRU 可以减少氮素用量 25%。

马铃薯上常用的磷肥有磷酸二氢铵 (MAP)、磷酸氢二铵 (DAP)、过磷酸钙 (SSP)、重过磷酸钙 (TSP)、钙镁磷肥等。常用的钾肥品种是氯化钾 (KCl), 还有硫酸钾 (K₂SO₄) 和硝酸钾 (KNO₃)。充足的土壤钾素供应是提高马铃薯块茎产量和品质不可缺少的, 而且钾肥品种的选择也很重要。研究表明, KCl 和 K₂SO₄ 都是很好的钾肥品种^[2, 3]。Qin 等^[2] 研究还指出, 施用 KCl 比施用 K₂SO₄ 提高块茎淀粉含量和 Vc 含量, 降低还原糖含量, 因而改善马铃薯块茎品质。

有机肥资源如畜禽粪肥或堆肥都是马铃薯生产中有效的养分资源, 然而有机肥与化肥配施的效果往往由于其单独施用^[4]。

正确的肥料用量

在中国有多种方法确定肥料用量, 通常根据土壤测试和目标产量进行马铃薯的推荐施肥。多年来我们利用引进的美国国际农化服务 (ASI) 联合浸提法进行土壤测试和推荐施肥在马铃薯上取得了很好的效果, 并在中国得到广泛应用。多年的试验数据表明, 与农民习惯施肥相比, 用 ASI 方法推荐的 OPT 平衡施肥平均提高产量 200 公斤/亩, 平均增加收入 83 元/亩 (表 3)。



根据土壤测试进行肥料推荐还可以建立在土壤测试值与相对产量关系的基础上确定土壤养分临界值, 再根据农学效率进行推荐施肥。以钾为例, 土壤交换钾与相对产量的关系可以用一元二次多项式表示: $y = -0.001x^2 + 0.418x + 57.194$ ($R^2=0.51$, $n=192$) (图 1)。通过计算在 90% 相对产量下土壤交换钾临界值为 105 毫克/公斤。根据以上关系方程可以求出在某一土壤交换钾水平下的相对产量 (RY, 不施钾产量/施钾产量 $\times 100\%$), 再根据目标产量 (Ya, 公斤/亩) 和钾的农学效率 (AE_K, 公斤块茎/公斤 K₂O) 进行推荐: 钾肥用量 (公斤 K₂O/亩) = $(1 - RY) \times Ya / 100 / AE_K$ 。这种推荐施肥方法要建立在大量前期试验数据基础上。

在大量数据基础上,也可根据养分吸收与产量的关系进行推荐施肥。研究表明,马铃薯块茎产量与钾素吸收的关系可以用回归方程表示(图2),根据这一关系可以得出在某一产量目标下需要吸收的钾素。钾肥用量确定不仅要考虑投入/产出平衡,还要考虑土壤钾素水平。如果保持土壤钾素水平,钾的用量与马铃薯移走量一致;如果土壤钾素水平高,施钾量就可以少于移走量,即施钾量为移走量减去土壤基础供钾量(不施钾时的吸钾量),从而消耗土壤中的钾;如果土壤供钾不足,钾肥推荐量就要高于目标产量下马铃薯移走量,以便提高土壤钾素肥力。

磷肥施用到土壤中以后,只有施肥点附近磷可溶性浓度较高,大多数P被土壤中Fe、Al或Ca固定^[5]。在我国磷肥的用量通常超过移走量(平均1.3公斤/吨块茎,见表1),以确保一定水平的土壤有效磷含量,满足作物需求。

水浇地马铃薯比旱地雨养马铃薯产量潜力大,因此需要更多的养分和较高的施肥量。滴灌比大水漫灌可以减少氮肥和钾肥的用量,同时维持较高的产量^[6]。

除氮、磷、钾外,马铃薯还移走大量的Ca和Mg^[1],尤其是南方酸性红壤上Ca和Mg普遍缺乏,需要施用大量的Ca和Mg,以满足马铃薯的需求。品种一般为石灰、石膏、MgSO₄、MgCl₂和白云石,用量为6公斤Ca/亩和4公斤Mg/亩。

正确的施肥时期

了解马铃薯整个生长期和每天对养分需求可以指导合适的施肥时期的确定。图1是内蒙古旱地雨养马铃薯和水浇地马铃薯的养分吸收和累积规律,可以看出养分快速积累在块茎膨大期。水地马铃薯最高吸收速率比旱地雨养马铃薯提前2周时间,表明水地马铃薯上的追肥应该比旱地雨养马铃薯提前,以达到供应与需求同步。

表3 用ASI方法推荐的平衡施肥(OPT)与农民习惯施肥(FP)比较

地点	处理	N(公斤/亩)	P ₂ O ₅ (公斤/亩)	K ₂ O(公斤/亩)	块茎产量 [†] (公斤/亩)	成本 [‡] (元/亩)	GRF [§] (元/亩)
甘肃积石山	OPT	8.0	8.0	10.0	2357a	132	1041
	FP	4.0	2.0	0.0	1934b	29	934
甘肃张家川	OPT	6.9	4.8	4.5	1972a	81	900
	FP	6.9	0.0	0.0	1616b	31	773
内蒙古武川	OPT	8.3	8.3	6.7	947a	118	353
	FP	4.0	1.2	0.0	887a	123	417
内蒙古武川	OPT	16.7	15.0	13.3	2100a	227	819
	FP#	9.4	3.4	0.0	1973b	358	921
青海互助	OPT	10.5	5.0	9.0	1193a	121	473
	FP	16.0	3.5	6.0	1146a	122	449
青海西宁	OPT	10.5	5.0	9.0	1193a	121	473
	FP	16.0	3.5	6.0	1139a	122	445
青海西宁	OPT	10.5	5.0	9.0	2060a	121	904
	FP	16.0	3.5	6.0	1833b	122	791
陕西滑县	OPT	12.1	21.5	15.0	3194a	250	1339
	FP	12.9	33.6	15.0	3056b	322	1199
陕西米脂	OPT	20.5	21.5	15.0	1768a	288	592
	FP	23.9	0.0	0.0	1500b	107	640
贵州织金	OPT	7.0	2.0	4.4	969a	65	417
	FP	5.0	1.5	0.0	682b	31	309

[†]: 每一地点平均收后相同字母标示差异未达到5%显著水平。

[‡]: N, P, K肥成本N=4.5元/公斤, P₂O₅=5.5元/公斤, K₂O=5.2元/公斤。

[§]: GRF是施肥效益,马铃薯块茎价格:0.5元/公斤。

[¶]: 有机肥500公斤/亩,198元/1000公斤。

[#]: 有机肥1500公斤/亩,198元/1000公斤。

在块茎形成初期过量施用氮肥会使营养生长延长而限制块茎的发育,降低产量。但后期过量施氮会延迟成熟,降低产量和品质。氮肥的分次施用可以满足马铃薯生育期对氮肥的需求,提高氮肥利用率,并可根据生长时期和气候变化灵活掌握施肥时期。在灌溉或降雨量高的地区,氮肥可以分3到4次施用,以提高产量和氮肥利用率;在有灌溉的砂质土壤上,氮肥分次施用可有效减少氮素淋失,减低环境风险^[7]。但在没有淋溶条件下,氮肥分次施用也没什么好处。

磷肥和钾肥通常在种植前施用并与土壤混合,微量元素肥料如Fe、Mn、Zn肥在种植前施用会被氧化或固定为作物不能吸收利用形态,尤其在石灰性土壤或pH高

的土壤上更明显。硫磺应该在种植前施用,以便使其氧化为植物可以吸收利用的硫酸盐,尤其在冷凉地区和氧化能力低的土壤上更应该早施。

正确的施肥位置

养分可以各种方式施用,大多数养分包括氮肥如果耕作到根层都可以在种植前施用,除上述所说的易被转化为无效态的养分如Mn、Zn、Fe等不宜提前施用。肥料品种也影响施肥方法和施肥量。种植后施肥一般在封垄前进行。追肥撒施后应该起垄覆盖。侧施通常距种属几厘米的侧面施入土壤中。

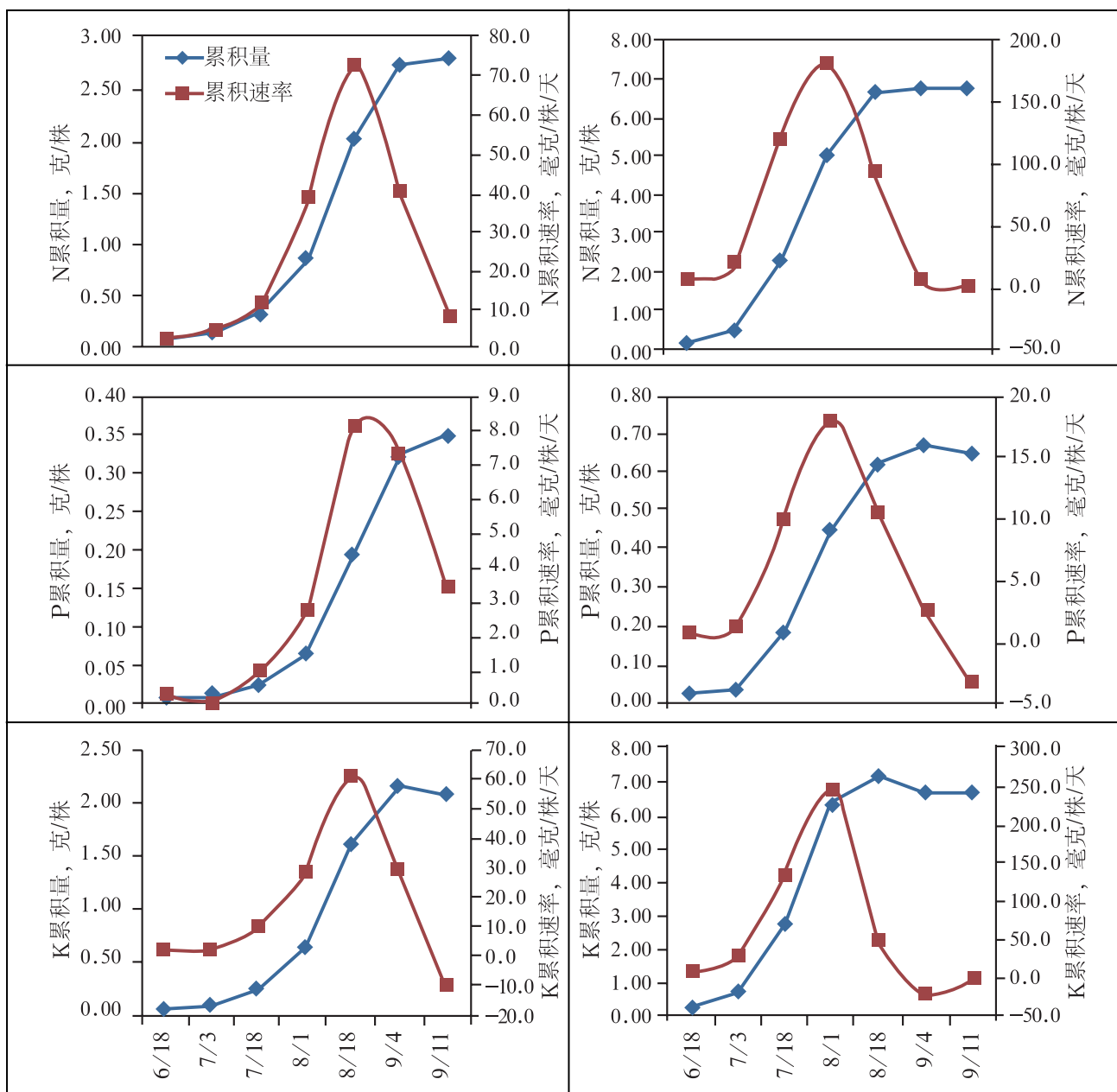


图1 内蒙古旱地雨养(左)和水浇地(右)马铃薯(紫花白)养分吸收累积特性

灌溉施肥是针对易在土壤中移动的养分如硝态氮而进行的施肥方式。当养分在灌溉施肥不会引起养分淋出根系层外时，其效果优于种植前基施。当养分易被土壤固定（如 P 在石灰性或酸性红壤上施用）时，不宜采用灌溉施肥。在北方，每年只有一季作物，每户 100 公顷马铃薯很多，而且具有喷灌设备，这样氮肥和钾肥可以考虑随水施肥。

肥料条施可以提高氮肥和磷肥的利用率，在马铃薯垄上条施可以减少硝酸盐被淋失的风险，因为水分大都在垄沟中^[8, 9]。因为马铃薯对磷肥的利用率很低，而且

在缺磷的土壤上又缺乏吸收磷的能力，因此磷肥应该条施以增加马铃薯根层磷的浓度。

结论

肥料用量的确定不但取决于马铃薯对养分的需求，还取决于肥料品种和施肥方法、水分管理和土壤条件。最佳的养管理措施是选择正确的肥料品种、用正确的用量，在正确的时期施在正确的位置（4R），以提高产量和养分利用效率。但确定 4 个正确需要因地制宜。



参考文献

- [1] Westermann, D.T. Am. J. Potato Res., 2005, 82:301-307.
- [2] Qin Yusheng, Tu Shihua, Feng Wenqiang, et al. Better Crops China, 2008, 21:13-16.
- [3] Kumar, P., S.K. Pandey, B.P. Singh, et al. Potato Res., 2007, 50:1-13.
- [4] Parmar, D.K., A. Sharma, S. Chaddha, et al. Potato J., 2007, 34(3-4):209-215.
- [5] Davenport, J.R., P.H. Milburn, C.J. Rosen, et al. Am. J. of Potato Res., 2005, 82:321-328.
- [6] Sasani, G.V., C.K. Patel, R.N. Patel, N.H. Patel, and S.H. Patel. Potato J., 2006, 33(3-4):131-133.
- [7] Errebhi, M., C.J. Rosen, S.C. Gupta et al. Agron J., 1998, 90:10-15.
- [8] Zebarth, B.J., and C.J. Rosen. Am. J. Potato Res., 2007, 84:3-18.
- [9] Dechassa, N, Schenk, M.K., Claassen, N. et al. Plant and Soil, 2003, 250:215-224.