

马铃薯对添加二羧酸聚合物磷肥的反应

Jeffrey C. Stark Bryan G. Hopkins

谢玲 译 涂仕华 校

(国际植物营养研究所成都代表处, 四川成都 原文译自《Better Crops》2013 第三期 7-10 页)

在碱性土壤上提高磷肥的利用率很难, 因为它溶解性很差。把一种二羧酸聚合物 (DCAP) 加入磷肥能提高马铃薯的吸磷量、肥料利用率和马铃薯产量。九个持续五年的田间试验研究了在含磷中、低水平的钙质土上, 马铃薯对液体和固体磷肥添加或不加 DCAP 的反应。结果表明, 在选定的磷肥用量 / 品种 / 施用时间情况下, 9 个试验中有 7 个施用 DCAP 后提高了第一流品质的“美国一级”马铃薯产量。

保持充足的磷供给对马铃薯植株生长发育、块茎生长和促进块茎成熟至关重要。缺磷会显著降低薯产量和大小。因此, 施肥措施必须针对立地条件和轮作系统的特点, 维持整个生育期中磷的有效供给。在美国太平洋西北部沿岸马铃薯种植区的土壤水溶性磷含量通常很低, 因此在马铃薯生长季节土壤水溶性磷必须得到持续补充。

在这些碱性土壤上, 确定磷肥推荐用量的主要因子是土壤磷素测定值、过多的 CaCO_3 含量和目标产量。土壤中过多的 CaCO_3 会增加 P 的表面吸附和形成难溶性 Ca-P 矿物。这些过程的综合作用总体上是降低磷肥的有效性。在反映该区域马铃薯的磷肥推荐中, 需要根据土壤 CaCO_3 含量进行调整。

在该区域, 马铃薯的磷肥主要在秋季或春季进行撒施, 或起垄时集中条施, 或播种时地表条施。钙质土壤上种植马铃薯条施磷肥的有效性因磷肥种类不同差异很大, 肥料溶液的酸度是主要影响因子。把磷肥带状集中在靠近早期根系发育的土壤中非常有效。

一种提高磷肥有效性的方法是在施肥时降低肥料附近的潜在活性阳离子数量。由马来酸和衣康酸聚合形成的长链二羧酸 (DCAP) 共聚物 (AVAIL[®]; SFP, Leawood, KS, USA) 被用来提高作物对磷的吸收效率 (图 1)。它水溶性高, 在土壤中移动性小。用 DCAP 包衣的磷酸一



马铃薯在茎块膨大期对磷的日均吸收量通常为 0.05-0.12 公斤 P_2O_5 / 亩 / 天

铵 (MAP) 能显著改善肥料颗粒附近土壤的化学特性, 从而提高磷的吸收和作物产量。DCAP 也用于液体磷肥。

据报道, DCAP 包衣能够产生高负电荷密度的化合物, 并很快在土壤中溶解。该聚合物能螯合土壤中的阳离子 (如 Ca, Mg), 因而提高磷的溶解性和作物吸收。有大量文献报道 DCAP 能显著提高多种作物产量。但是, 也有不少文献指出, DCAP 处理的磷肥没有增产作用, 与无 DCAP 处理的磷肥效果一样。在什么特定条件下 DCAP 才有效果还正在研究当中。

本研究的目的是评估在中、低磷水平的钙质土壤上, 在秋季和春季施用经过 DCAP 处理的固体和液体磷肥对马铃薯产量的影响。马铃薯的最佳推荐施磷量比其他农作物高。

2004~2008 年, 在美国爱达荷州东南部开展了灌溉条件下的 9 个田间试验。其他试验细节参见 Hopkins

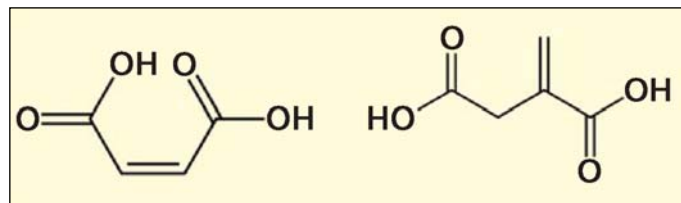


图 1 二羧酸聚合物是由一个马来酸 (左) 与衣康酸 (右) 长链组成。二羧酸是两个羧酸官能团的有机化合物。

试验	年份	土壤类型	pH	有机质	CaCO ₃	可提取土壤
				%		P 毫克/千克
1	2004	砂壤	8.0	2.1	1.0	35
2	2004	壤土	7.9	1.9	5.4	19
3	2004	壤土	8.0	1.7	3.4	18
4	2004	砂壤	8.1	2.4	2.9	21
5	2005	壤土	7.8	2.9	1.5	30
6	2005	砂壤	8.1	1.7	5.6	19
7	2006	壤土	8.1	2.8	9.7	17
8	2007	砂壤	8.1	1.9	6.8	18
9	2008	砂壤	8.3	2.1	7.2	21

¹Olsen-P

(2013) 和 Stark and Hopkins (2013) 的论文。试验用马铃薯品种为 Russet Burbank, 土壤 pH 7.8~8.3, CaCO₃ 含量在 1.0~9.7% 之间 (表 1)。

试验 1~5 (2004~2005)

表 1 中前 5 个试验于 2004~2005 年在爱达荷州立大学阿伯丁研究示范中心进行。小区宽 3.6 米 (4 行, 行间距 0.9 米), 长 12 米, 马铃薯株距 30 厘米, 重复 6 次, 小区完全随机区组排列。处理包括对照 (不施磷肥), 4.5 公斤 P₂O₅/亩 MAP, 4.5 公斤 P₂O₅/亩 MAP+1% (w/v) DCAP。

肥料在播种前 0~3 天撒施, 用常规耕作法混入土中。磷肥用量基于 0~25 厘米的土壤测试值, 但稍高于爱达荷州立大学的推荐量。所有小区的氮施用量相同, 氮肥品种为尿素, 与磷肥同时撒施。收获时, 薯块经分级和称重来确定总产和美国一级薯块产量, 这样就可以显示出获得市场最高价格马铃薯的一流品质。

5 个试验中有 3 个表现出磷肥的显著 ($p \leq 0.07$) 增产效果 (表 2)。在试验 2 与 4 中, 施用 MAP 比不施磷肥的对照显著提高了薯块总产, 但在试验 1 中 DCAP 降低了薯块总产, 因为这个试验土壤初始磷含量很高。

只有在试验 2 中施用磷肥才增加了美国一级薯块的产量。MAP 在其他试验中没有效果, 这毫不奇怪, 主要是因为这些试验土壤磷测试值都相对较高。有意思的是施用 MAP 获得增产的两个田块是五个试验中土壤磷测试值最低的两个 (表 1)。两个施用 MAP 获得增产的试验 (试验 2 和 4) 在加施 DCAP 时获得进一步增产。虽然在试验 3 中单施 MAP 没有增产效果, 但 MAP+DCAP 处理比对

肥料	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5
----- 总产量, 吨/公顷 -----					
对照	44.0	35.5	27.6	28.4	39.6
MAP	45.8	39.1	30.4	36.7	40.8
DCAP	35.5	43.5	34.3	42.3	44.8
LSD _{0.10}	5.3	3.5	3.7	5.3	NS
Pr>F	0.018	0.045	0.067	0.017	0.103
----- 美国一级薯块产量, 吨/公顷 -----					
对照	30.3	21.9	16.8	17.6	23.1
MAP	31.6	26.7	17.6	21.9	23.7
DCAP	17.3	30.7	19.1	23.8	25.1
LSD _{0.10}	4.5	3.8	NS	5.8	NS
Pr>F	0.012	0.033	0.218	0.038	0.246

照和单施 MAP 处理都增加了薯块总产。

美国一级薯块产量在试验 1、2 和 4 中差异显著 (表 2)。与总产一样, 试验 2 中 MAP+DCAP 处理比单施 MAP 处理显著提高了美国一级薯块的产量。在试验 4 中, MAP+DCAP 处理的美国一级薯块产量比不施磷处理显著提高, 但与单施 MAP 处理差异不显著。在试验 1~5 中, MAP+DCAP 处理在中后期所有取样时间的植株叶柄磷含量都显著高于其他处理 (数据没有列出)。

试验 6~9 (2005~2008)

试验 6、8 和 9 在爱达荷州立大学阿伯丁研究示范中心进行, 试验 7 在 Blackfoot, ID 附近的一个农场主的田块中进行。小区宽 3.6 米 (4 行, 行间距 0.9 米), 长 15~18 米, 马铃薯株距 30 厘米。试验 6 和 7 的处理包括一个对照处理 (不施 P), 不同用量 MAP+/-1% (w/v) DCAP。试验 8 和 9 的处理也包括一个对照处理 (不施 P), 不同用量 MAP+1% (w/v) DCAP 或聚磷酸铵 (APP) +/-0.5% (w/v) DCAP。

除磷以外所有其他养分的最佳 (产量) 用量都是基于上个秋季的土壤测试值。所有小区氮肥用量相同, 氮肥品种为尿素, 与磷肥同时撒施, 根据需要进行灌溉。收获时, 薯块经分级和称重来确定总产和美国一级薯块产量。

试验 6 和 7 使用裂区随机完全区组 (RCB) 设计, 秋季或春季施肥为主处理, 磷肥种类和用量为副处理, 试验 4 次重复。磷施用量分别为 0, 112 和 15 公斤 P₂O₅/亩。试验 8 的设计与试验 6 和 7 相似。只是春季磷肥不

用撒施，而是条带施用。磷处理包括：春、秋季都施磷肥（0, 12, 18 公斤 P₂O₅/亩），只在春季带状施用磷肥（0, 12, 18 公斤 P₂O₅/亩），即 APP+/-DCAP；分次施用：秋季+春季施肥包含秋季撒施 MAP（6 或 12 公斤 P₂O₅/亩）+/-DCAP 加上春季条带施用 6 公斤 P₂O₅/亩 APP+/-DCAP；对照处理不施用磷肥；APP 在起垄时带状条施到离垄顶面 15~20 厘米深和离种子行 9~10 厘米远处。

试验 9 的处理包括磷肥（0, 6, 12, 18 公斤 P₂O₅/亩）全部在春季施用；磷肥处理为 45 或 6 公斤 P₂O₅/亩 MAP+/-DCAP 撒施，其余为 APP+/-DCAP 在播种前条带施用，如前所述。

在试验 6 中，施磷显著提高马铃薯总产量（ $p \leq 0.10$ ）。施磷处理的平均总产量（2.86 吨/亩）高于对照处理的平均总产量（2.56 吨/亩），但磷肥类型、施用量以及配合施用 DCAP 对总产量的影响差异不显著（表 3）。

在试验 6 中，施磷对美国一级薯块产量增产显著（ $p \leq 0.05$ ）。所有施磷处理都比对照（春、秋两季施肥）处理获得更高的美国一级薯块产量。在秋季施用 MAP 15 公斤 P₂O₅/亩和春季施用 MAP 7.5 公斤 P₂O₅/亩时，DCAP 包衣处理比无 DCAP 包衣处理能显著增加美国一

级薯块产量。但是，DCAP 处理生产的美国一级薯块产量在施磷时间/施磷量的组合上没有差异。另外，秋季施磷比春季施磷能获得更高的美国一级薯块产量。

在试验 7 中，MAP+DCAP 处理比单施 MAP 能显著提高（ $p \leq 0.05$ ）薯块总产和美国一级薯块产量。DCAP 处理在较低施磷水平（7.5 公斤 P₂O₅/亩）时对这两个产量参数的效果最好，特别是总产。除春季施用 15 公斤 P₂O₅/亩外，DCAP 处理在所有施磷量/施磷时间组合上都获得更高的美国一级薯块产量。在试验 8 中，施用 DCAP 对总产和美国一级薯块产量影响都不显著（表 4）。但施磷对总产和美国一级薯块产量影响都显著，DCAP 只对部分施磷水平/时间组合有影响。例如，在 12 公斤 P₂O₅/亩施磷水平下，春季和秋季施磷 +DCAP 比不施 DCAP 增加薯块总产。与之相反，在 18 公斤 P₂O₅/亩施磷水平下，春季和秋季施磷 +DCAP 比不施 DCAP 降低薯块总产。

试验 9 是全面研究马铃薯对春季施磷的反应，并把磷肥中 MAP 撒施和 APP+/-DCAP 带状施用的量平均分配。与不施磷相比，每一施磷水平 +DCAP 都显著提高了美国一级薯块产量 18~26%。薯块总产也有相似趋势，但处理间差异不显著（表 5）

表 3 试验 6 和 7 春、秋施 MAP 及 MAP+DCAP 对 Russet Burbank 马铃薯总产和美国一级薯块产量的影响。

肥料	试验 6		试验 7			
	春施 P	秋施 P	总产量	美国一级薯块产量		
	公斤 P ₂ O ₅ /公顷	公斤 P ₂ O ₅ /公顷	吨/公顷	吨/公顷		
对照	0	0	37.9	23.7	44.9	31.3
MAP	112	0	43.0	30.0	45.8	31.5
DCAP	112	0	44.1	28.1	50.5	37.6
MAP	224	0	43.9	28.8	48.3	35.6
DCAP	224	0	44.2	32.5	50.0	38.4
对照	0	0	38.9	20.8	44.8	31.5
MAP	0	112	39.9	24.3	45.6	31.7
DCAP	0	112	43.1	29.2	49.1	36.7
MAP	0	224	42.2	24.3	46.8	31.9
DCAP	0	224	42.8	24.5	46.4	34.6
处理方法						
MAP			42.3	26.8	46.6	32.7
DCAP			43.6	28.6	49.0	36.8
秋施			43.8	29.9	48.7	35.8
春施			42.0	25.6	47.0	33.7
LSD _{0.05}			ns	2.8	1.8	2.8
PR>F			0.093	0.052	0.001	0.001

表 4 试验 8 春季和秋季施 MAP 或 APP+/-DCAP 对 Russet Burbank 马铃薯总产和美国一级薯块产量的影响。

肥料	秋施 P		春施 P		总 P 千克 P ₂ O ₅ /公顷	总产量 吨/公顷	美国一级薯块产量吨/公顷
	公斤 P ₂ O ₅ /公顷	公斤 P ₂ O ₅ /公顷	公斤 P ₂ O ₅ /公顷	公斤 P ₂ O ₅ /公顷			
对照	0	0	0	0	0	44.3	25.7
MAP/APP	90	90	0	0	0	45.7	26.0
MAP/APP	90	90	+DCAP		180	49.7	26.6
MAP/APP	180	90	0	180	180	51.9	30.5
MAP/APP	180	90	+DCAP		270	47.7	26.6
对照	0	0	0	270	270	45.1	24.2
APP	0	180	0	0	0	48.1	29.8
APP	0	180	+DCAP	180	180	50.4	29.9
APP	0	270	0	180	180	50.1	31.3
APP	0	270	+DCAP	270	270	48.2	29.3
处理方法						270	
-DCAP						49.0	29.4
+DCAP						49.0	28.1
秋/春施						48.8	27.4
春施						49.2	30.1
LSD _{0.05}						3.9	5.1
PR>F						0.003	0.050

表 5 试验 9 春施 MAP 或 APP+/-DCAP 对 Russet Burbank 马铃薯总产和美国一级薯块产量的影响

总 P	MAP	APP	DCAP	总产量	美国一级薯块产量
	千克 P ₂ O ₅ / 公顷				
对照	0	0	0	40.4	21.8
90	45	45	0	44.1	22.3
90	45	45	+DCAP	43.6	28.2
180	90	90	0	41.8	22.5
180	90	90	+DCAP	50.0	26.6
270	90	180	0	43.1	25.2
270	90	180	+DCAP	45.6	29.8
处理方法					
磷肥			43.0	23.3	
磷肥 +DCAP			46.6	28.2	
LSD _{0.05}				ns	4.1
PR>F				0.37	0.05

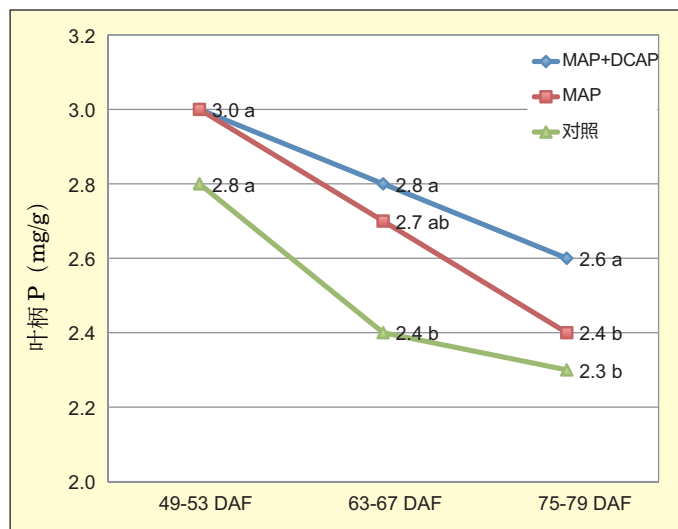


图 2 无 P 肥 (对照)、MAP 或 DCAP+MAP 处理的马铃薯叶柄磷含量 [数据整合了试验 1-5 (DAF= 施肥后的天数) 一组 DAF 数据点标明相同字母表明差异不明显]

在试验 1~5 中, MAP+DCAP 处理中、后期叶柄 P 含量比其他所有试验和处理显著高许多 ($p \leq 0.10$) (图 2)。但是在试验 6~9 中, 磷肥品种或施磷时间对薯茎、薯块和植物总吸磷量没有显著影响 ($p \leq 0.05$), 所有处理间的叶柄磷含量也没有显著差异 (数据没有列出)。

结论

9 个试验有 7 个在添加 DCAP 后能增加某些磷肥用量 / 品种 / 施用时间组合的薯块总产和美国一级薯块产量。毫不奇怪, 这些结果表明用 DCAP 处理磷肥的正效果似乎是只有在土壤含 P 量很低或在中、低施 P 水平下才会产生。这些试验结果和其他研究人员都认为, 过高的施磷量会掩盖 DCAP 的效果。

很显然, 根据大量研究人员的一系列田间肥料效应试验报道, 很多因素包括作物种类、土壤性质、肥料类型、施肥量、施用方法、施用时间等都会影响作物对磷肥 +DCAP 混合施用的效果。但是在马铃薯、水稻、玉米等作物上观测到的 DCAP 增产效果越来越多, 这为该产品的后续研究及进一步提高 DCAP 的效应和预测性提供了保障。

为了读者标明了商品名和公司名, 并不代表作者或 IPNI 有任何宣传性暗示或对产品的偏好。

Stark 博士是爱达荷州大学植物、土壤和昆虫学系教授; E-mail: jstark@uidaho.deu

Hopkins 博士是美国杨百翰大学植物和野生动物科学系的教授; E-mail: Hopkins@byu.edu

参考资料 (略)