

北方苹果生产中的 4R 钾肥管理

李书田¹ 同延安² 崔荣宗³ 汪仁⁴ Alexey Shcherbakov⁵

(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. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 3. 山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 济南 250100; 4. 辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所, 沈阳 110161; 5. Uralkali Trading SIA Singapore Branch, Singapore 239519)

摘要: 苹果树体中的钾素含量比其他矿质元素高, 与苹果果实产量和品质密切相关。钾肥品种对苹果产量和品质的影响没有差异, 但秋季基施结合果实膨大期追施钾肥有利于果实产量提高和品质改善。试验表明, 只要按照 4R 养分管理原则把合适的钾肥品种、用正确的用量、在合适的时期施在正确的位置, 就能生产高产优质的苹果。

苹果是中国主要水果之一, 面积 3400 多万亩, 产量约 4000 万吨, 占全国水果产量的 1/4。我国苹果主要分布在陕西、山东、河北、河南、甘肃、辽宁等北方地区, 面积占全国的 80%^[1], 也是这些地区农民增收的主要经济作物。合理施肥不仅保证苹果高产、优质, 还能增加收入。在苹果需要的营养中, 钾 (K) 起着至关重要的作用, 不仅影响产量, 还影响品质和耐储性。缺钾苹果产量显著下降^[2], 而钾过量会影响苹果钙营养, 诱发生理病害如苦痘病^[3]。因此, 合理的钾肥供应对提高苹果产量与改善品质至关重要。

研究表明, 每生产 6 吨/亩苹果需要从土壤中吸收 N-P₂O₅-K₂O 8-3-16 公斤/亩, 比例为 1:0.38:2.0^[4], 表明苹果树需要比 N 或 P 更多的 K。充足的钾素供应可增加果实含糖量, 改善果实色泽和风味^[5-6]。苹果施肥效应中, 施钾效应最高, 其次是施氮效应, 然后是施磷效应^[7-8]。另外, 钾还是品质元素。它显著影响果实硬度、

可溶性固形物和可滴定酸含量^[9]。水培试验表明, 生长在含钾量高的营养液中的苹果比生长在含钾低的营养液中的苹果品质好, 而且苹果含钾量高有利于储存^[10]。

本文的目的是通过总结 IPNI 中国项目的研究结果结合文献综述阐明 4R 钾肥管理 (即把合适的钾肥品种、用正确的用量、在合适的时期施在正确的位置) 对北方苹果产量品质的影响和施肥建议, 为苹果高产优质生产提供技术参考。

正确的钾肥品种

钾肥种类很多, 但在苹果生产中常用的钾肥品种有 KCl 和 K₂SO₄, KCl 比 K₂SO₄ 价格低, K₂O 用量相同情况下, 施用 KCl 可降低成本, 提高经济效益。在山东 15 年树龄果园的研究表明, 用 KCl 春季基施 0.6 公斤 K₂O/株比不施钾增产 16.7%^[11]。陕西 5 年定位试验表

表 1 钾肥品种对苹果产量品质的影响

地点	钾肥品种	果实产量 (吨/亩)	可滴定酸 (%)	果实硬度 (公斤/厘米 ²)	可溶性固形物 (%)	K (克/公斤干物重)
辽宁	不施钾	3.77b	0.37a	7.90b	11.30b	7.07a
	KCl	4.43a	0.37a	8.40a	12.60a	6.73a
	K ₂ SO ₄	4.41a	0.36a	8.60a	11.50b	6.93a
山东	不施钾	3.07b	0.83a	7.22a	10.80b	4.45b
	KCl	3.23a	0.78a	7.41a	12.04a	5.18a
	K ₂ SO ₄	3.25a	0.78a	7.17a	11.88a	5.47a
陕西	不施钾	4.45b	0.27a	11.08a	12.70a	6.63a
	KCl	6.00a	0.30a	9.84a	12.30a	7.46a
	K ₂ SO ₄	5.34a	0.24a	9.42a	11.46a	6.74a

注: 苹果产量是两年平均产量, 品质指标来自第二年果实测定。每个地点数字后不同字母表示 5% 显著差异。

明, 秋季基施 KCl 0.25 公斤 K_2O / 株, 增加 13 年树龄果园苹果产量 22.5%, 并增加果实硬度, 提高可溶性固形物含量^[12]。在辽宁 15 年树龄苹果园施用 K_2SO_4 1.2 公斤 K_2O / 株增加苹果产量 67%, 提高可溶性糖含量, 降低可滴定酸含量^[7]。在辽宁的另外一个试验表明, 施用 K_2SO_4 6-29 公斤 K_2O / 亩增加苹果产量和品质^[13]。在巴西的研究表明, 尽管土壤交换钾含量高 (127-240 毫克/公斤), 施用 KCl 仍可改善果实品质, 且着色好、糖含量高、酸含量高^[14]。

有些研究比较 KCl 和 K_2SO_4 对苹果产量和品质的影响。在 K_2O 用量一致的情况下, K_2SO_4 的增产效果优于 KCl^[15], 而有研究指出, K_2SO_4 与 KCl 相比在提高苹果品质上没有明显优势^[11]。IPNI 中国项目在三地的试验表明, 施用钾肥比不施钾显著增加苹果产量, 相同用量 (0.30 公斤 K_2O / 株) 下 KCl 对产量和品质的影响与 K_2SO_4 相当 (表 1)。

正确的钾肥用量

我国苹果研究人员推荐苹果施用 N : P_2O_5 : K_2O 比例为 2 : 1 : 2。但实际推荐中富士苹果按照生产 100 公斤果实所需 0.8-0.56-0.64 公斤 N - P_2O_5 - K_2O 加上 200 公斤有机肥^[16]来计算。然而, 不同地区推荐量差异很大。例如, 目标产量 4 吨/亩的果园推荐施用 25.6 公斤 K_2O / 亩加上 8000 公斤有机肥。在陕西渭北干旱地区产量 2 吨

/ 亩的富士果园推荐平衡施肥量为 33.3-16.7-27.8 公斤 N - P_2O_5 - K_2O / 亩^[17]。在山东每生产 100 公斤苹果果实推荐 0.7-0.35-0.7 公斤 N - P_2O_5 - K_2O / 亩^[18]。巴西南部的研究表明, 欲获得 4.9-8.0 吨/亩的苹果最高产量, 每年需要施用 13-15 公斤 K_2O / 亩^[2]。以上这些结果很难比较, 因为苹果的推荐施肥量受各种因素如树龄、气候因子、土壤基础养分状况和水分管理等的影

响。确定 K 肥用量的另一个方法是依据果实、叶片和修剪枝条带走的 K 量而定。某一产量下施用适量的钾肥来补充移走的钾, 施用量比移走量多或少需根据土壤钾素水平和钾的损失情况确定。IPNI 中国项目研究指出, 在辽宁、山东和陕西果园每年通过果实、叶片和修剪枝条带走的 K 量平均分别为 13.9-18.3、4.9-5.6、7.7-9.8 公斤 K_2O / 亩 (表 2)。理论上欲保持 K 平衡施钾量至少等于移走量。在土壤钾肥力低的土壤上, K 推荐量应高于移走量, 以逐渐培肥土壤, 而在土壤钾肥力高的土壤上,



表 2 不同地点的苹果园钾素年均移走量

地点	公斤 K_2O / 株	果实 叶片 修剪枝条			总量
		----- (公斤 K_2O / 亩) -----			
辽宁	0	4.33	5.10	4.47	13.90
	0.15	4.97	6.23	4.70	15.90
	0.30	4.70	5.57	5.37	15.63
	0.45	4.77	6.03	5.73	16.53
	0.60	5.07	6.90	6.23	18.20
山东	0	2.43	2.27	0.23	4.93
	0.15	2.57	2.43	0.27	5.27
	0.30	2.83	2.30	0.30	5.43
	0.45	2.70	2.43	0.23	5.37
	0.60	3.07	2.20	0.30	5.57
陕西	0	4.90	2.27	0.53	7.70
	0.15	5.70	2.50	0.47	8.67
	0.30	6.63	2.53	0.47	9.63
	0.45	6.40	2.87	0.57	9.83
	0.60	4.83	2.77	0.43	8.03

施钾量应该低于移走量，以利用土壤钾素。

钾肥用量试验也可用于确定钾肥用量。IPNI 中国项目试验表明，在辽宁、山东、陕西果园施用 KCl 比不施钾分别增加苹果产量 6.7%—25.5%、1.3%—5.6%、15.2%—34.9%。根据 KCl 用量和苹果平均产量的关系计算出这三省经济最佳施钾量分别为 43.9、26.7、38.9 公斤 K_2O / 亩 (0.79、0.45、0.35 公斤 K_2O / 株)，最高产量施钾量为 44.9、29.7、38.9 公斤 K_2O / 亩 (0.81、0.50、0.35 公斤 K_2O / 株) (图 1)。这一结果与西 10 年红富士果园研究推荐 40 公斤 K_2O / 亩 (0.36 kg K_2O / 株) 的结果一致^[19]，在辽宁红富士果园施用 44 公斤 K_2O / 亩 (0.44 kg K_2O / 株) 可获得最高产量^[20]。

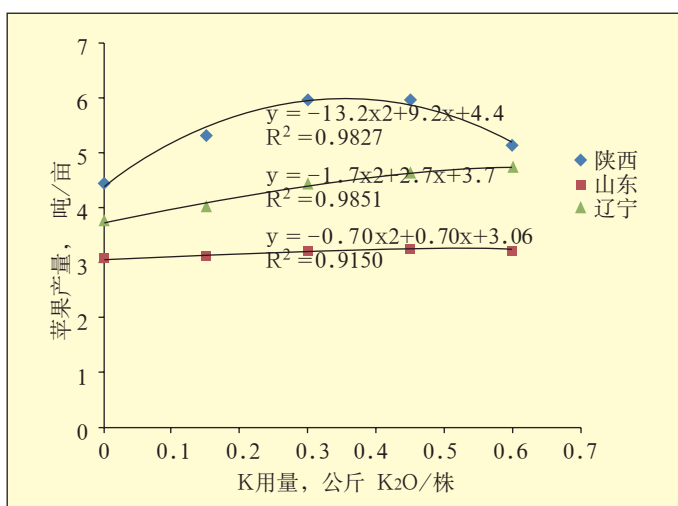


图 1 KCl 用量与苹果产量的关系

正确的钾肥施用时期

通常情况下从秋季收获到冬季苹果树体从土壤中吸收养分储存起来确保来年春季发芽、开花和新枝生长过程中充足的养分供应。养分吸收在春季开花后增加，果实膨大到成熟达到吸收高峰。苹果树从土壤中累积钾主要发生在花期到果实膨大期 (4 月 30 日—9 月 21 日) 和秋季收获到冬季 (9 月 21 日—1 月 15 日)^[21]。从 4 月 30 日到 7 月 30 日整株树体累积钾量增加 82.6%，果实累积钾量从 7 月 30 日到 9 月 21 日显著增加。这些数据说明一年中生长后期的钾素营养对苹果产量和品质很重要。

IPNI 中国项目研究表明，把钾肥推荐量的一半或全部在开花期或果实膨大期施用比全部钾肥基施可获得更高的苹果产量 (表 3)，此结果与其他研究结果一致，即钾肥正确的施肥时期为果实膨大期^[5]。而有研究指出，钾肥分次施用比全部基施增加苹果产量 20.5%—27.7%，正确的施肥时期是 50% 的钾肥基施，50% 的钾肥果实膨大期施^[22]。然而，值得注意的是施用钾肥降低果实钙 (Ca) 含量，增加 K / Ca 比，而且钾肥施用越晚越影响果实 Ca 含量，导致果实硬度下降 (表 3)。果实硬度与果实钾或钙含量正相关，但与 K / Ca 比呈负相关 (图 2)，与 Dilmaghani 等的研究结果相似^[23]。Nava 和 Dechen 也指出，施钾果实含钾量和 K / Ca 比高，而果实 Ca 含量降低^[3]。这些数据说明施钾时补充钙素营养非常重要。



表3 KCl施用时期对苹果果实品质的影响

地点	K施用时期	果实产量 (吨/亩)	硬度 (公斤/厘米 ²)	K		K/Ca
				Ca (克/公斤干物质)		
辽宁	- K	3.87c	7.90d	7.07a	1.03a	6.9
	100% B	4.56b	9.00a	6.80b	0.93a	7.3
	50% B+50% FE	4.83a	8.80ab	7.03a	0.93a	7.6
	50% FL+50%FE	4.69ab	8.60bc	7.03a	0.97a	7.2
	100% FE	4.54b	8.57c	6.83b	0.50b	13.7
山东	- K	3.03b	7.26a	5.07c	0.47ab	10.8
	100% B	3.21a	7.30a	5.33ab	0.43bc	12.4
	50% B+50% FE	3.31a	7.30a	5.48a	0.43ab	12.7
	50% FL+50%FE	3.21a	7.30a	5.26bc	0.39cd	13.5
	100% FE	3.14a	7.32a	5.27b	0.38d	13.9
陕西	- K	4.47b	11.08ab	7.63a	1.17a	6.5
	100% B	4.54b	10.95ab	9.01a	0.97ab	9.3
	50% B+50% FE	5.18a	11.31a	7.52a	1.02a	7.4
	50% FL+50%FE	5.61a	10.13ab	8.01a	1.15a	7.0
	100% FE	5.51a	8.97b	8.56a	0.71c	12.1

注：果实产量为两年平均值，B：基肥，FE：果实膨大期，FL：开花期

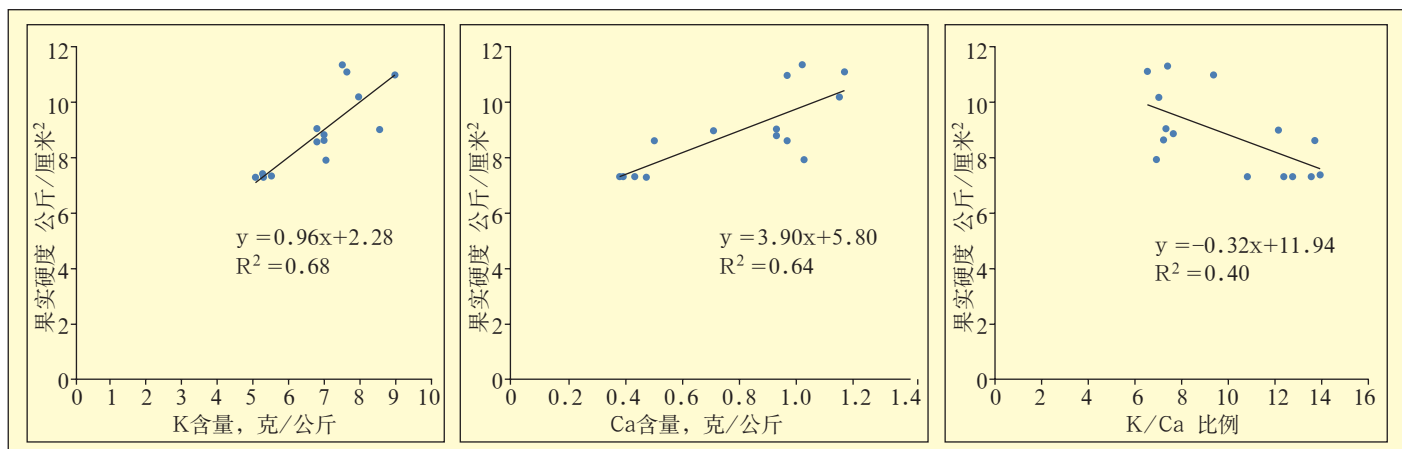


图2 苹果果实硬度与果实 K、Ca 含量及 K/Ca 比的关系

总之，北方苹果正确的钾肥施用时期是秋季基肥和果实膨大期追施各半。

正确的钾肥施用位置

苹果树水平根系主要分布在树冠投影区域，根系深度分布在 20—50 厘米。这种根系分布有利于根区施肥时养分吸收。一般情况下有三种施肥方法，包括环状沟施肥、条状沟施肥和从树干开始的放射施肥法，具体用何种施肥方法取决于树龄和种植密度。幼树一般用环状沟施肥，即距树干 20—30 厘米挖 40—50 厘米宽、50—60 厘米深沟施肥。高密度果园通常采用条状沟施肥，即离树干 40—50 厘米沿树行开沟（40—50 厘米宽、50—60 厘米深）施肥。密度低大果树通常采用自树干放射性施肥，即把肥料施在

离树干 50 厘米远、围绕果树 3—6 条长 0.5—1 米的放射状沟（20—40 厘米宽、20—40 厘米深）中。以上三种施肥方法都要注意避免挖沟时伤根，并且施肥后覆土、灌水。

另一种施肥方法是通过滴灌施肥，灌溉施肥是把可溶性养分通过与灌水结合施在根区，是提高养分和水分利用效率的好方法。Raina 等研究指出，灌溉施肥比漫灌下的常规施肥提高 35% 的苹果产量、节省 25% 的灌水^[24]。因此，在水分缺乏、肥料利用率低的北方苹果生产中灌溉施肥是最合适的施肥方法。

叶面施肥也可用于苹果各生育时期补充钾素营养。苹果果实膨大期液面喷施 K_2SO_4 和其他营养元素如 Ca 是提高产量、改善品质、防止苦痘病等生理病害最有效的方法^[5, 25]。

小结

这篇文章阐明了钾在苹果生产中的重要作用。KCl 和 K_2SO_4 对苹果产量和品质的影响无显著差异。钾肥用量取

决于产量、钾素移走量以及土壤基础钾素状况；钾肥在秋季收获后和果实膨大期各施一半有利于苹果产量提高和品质改善。钾肥施肥位置决定于树龄和密度。按照 4R 养分管理原则管理钾肥可获得高产和优质的苹果。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部 (MOA). 中国农业统计资料 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [2] Ernani PR, Dias J, Flore JA. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil [J]. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 2002, 33(7&8):1291-1304.
- [3] Nava G, Dechen AR. Long-term annual fertilization with nitrogen and potassium affect yield and mineral composition of Fuji apple [J]. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)*, 2009, 66(3):377-385.
- [4] 高义民, 同延安, 路永莉, 等. 长期施用氮磷钾肥对黄土高原地区苹果产量及土壤养分累积与分布的影响 [J]. *果树学报*, 2012, 29(3):322-327.
- [5] 王勤, 何为华, 郭景南, 等. 增施钾肥对苹果品质和产量的影响 [J]. *果树学报*, 2002, 19(6):424-426.
- [6] 张立新, 张林森, 李丙智, 等. 旱地苹果矿质营养及其在生长发育中的作用 [J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(3):111-115.
- [7] 王春枝, 朱福磊, 刘丽杰, 等. 氮磷钾肥对红富士苹果产量品质和叶片矿质元素含量的影响 [J]. *中国果树*, 2009, (2):14-17.
- [8] 孙霞, 柴仲平, 蒋平安. 氮磷钾配比对南疆红富士苹果产量和品质的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(6):130-134.
- [9] 张东, 赵娟, 韩明玉, 等. 黄土高原富士苹果叶片矿质养分与果实品质相关性分析 [J]. *园艺学报*, 2014, 41(11):2179-2187.
- [10] Yoshioka H, Aoba K, Fukumoto M, et al. Effect of nitrate and potassium nutrition on the storability of apple fruit [J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1989, 58(3):475-481.
- [11] 唐旭日. 密植苹果园施钾肥对产量及品质的影响 [J]. *北方园艺*, 2007, (10):38-39.
- [12] 赵佐平, 同延安, 高义民, 等. 不同肥料配比对富士苹果产量及品质的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(5):1130-1135.
- [13] 薛文辉. 施用钾肥对苹果产量及果实品质的影响 [J]. *现代农业科技*, 2015, 5:103-104.
- [14] Nava G, Dechen AR, Nachtigall GR. Nitrogen and potassium fertilization affect apple fruit quality in Southern Brazil [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2008, 39(1-2):96-107.
- [15] 陈卫平, 渠慎春, 陈国强, 等. 配方施肥对苹果产量及品质的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2006, (5):165-166.
- [16] 席瑞卿. 苹果树养分吸收利用特征及其养分资源管理 [D]. 中国农业大学硕士学位论文, 2006:pp7.
- [17] 刘汝亮, 同延安, 高义民, 等. 渭北旱塬苹果园土壤养分状况分析与平衡施肥研究 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2008, 36(3):135-140.
- [18] 郝文强, 李翠梅, 姜远茂, 等. 栖霞市苹果园养分投入状况调查分析 [J]. *山东农业科学*, 2012, 44(6):77-78.
- [19] 金会翠, 张林森, 李丙智, 等. 增施钾肥对红富士苹果叶片营养及果实品质的影响 [J]. *西北农业学报*, 2007, 16(3):100-104.
- [20] 冯振. 不同施钾水平对红富士苹果产量和品质的影响 [J]. *安徽农学通报*, 2015, 21(03-04):56-57.
- [21] 樊红柱, 同延安, 吕世华, 等. 苹果树体钾含量与钾累积量的年周期变化 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2007, 35(5):168-172.
- [22] 路永莉, 杨宪龙, 李茹, 等. 不同施钾时期对红富士苹果产量和品质的影响 [J]. *应用生态学*, 2015, 26(4):1179-1185.
- [23] Dilmaghani MR, Malakouti MJ, Neilsen GH, et al. Interactive effect of potassium and calcium on K/Ca ratio and its consequences on apple fruit quality in calcareous soils of Iran [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2004, 27(7):1149-1162.
- [24] Raina JN, Suman S, Kumar P, et al. Effect of drip fertigation with and without mulch on soil hydrothermal regimes, growth, yield, and quality of apple (*Malus domestica* Borkh) [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2013, 44:2560-2570.
- [25] Doroshenko T N, Ostapenko V I, Ryazanova L G. Formation of the quality of apple fruits under the effect if the foliar application of potassium [J]. *Russian Agricultural Sciences*, 2005, 5:29-32.