

# 钾肥用量和施用时期对苹果产量品质和果园钾素平衡的影响

李书田<sup>1</sup> 崔荣宗<sup>2</sup> 同延安<sup>3</sup> 汪仁<sup>4</sup>

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

**摘要:** 在辽宁盖州、山东栖霞、陕西凤翔开展田间试验研究了氯化钾 (KCl) 用量和施钾时期对苹果产量、品质的影响, 并与硫酸钾 ( $K_2SO_4$ ) 比较。辽宁、山东、陕西试验点经济最佳 KCl 用量分别为 0.79、0.45、0.35 公斤  $K_2O$ /株, 最高产量 KCl 用量分别为 0.81、0.50、0.35 公斤  $K_2O$ /株。适量施用 KCl 提高可溶性固形物含量, 增加果实硬度, 减低果实酸度。在 0.3 公斤  $K_2O$ /株用量下, KCl 与  $K_2SO_4$  对苹果产量和品质影响相当。施钾降低果实 Ca、Mg 含量, 施钾量越高降低越明显。施钾处理果园钾素均有盈余。与 100% 钾肥基施相比, 50% 钾肥或 100% 钾肥在开花期或果实膨大期施用提高苹果果实产量, 但降低果实硬度和果实钙、镁含量。合理用量和施用时期下 KCl 可增加苹果产量和品质, 提高果园钾肥力, 但施钾尤其开花后施钾时应注意补充 Ca、Mg 营养。

苹果主要分布在陕西、山东、河北、河南、辽宁、甘肃, 面积和产量分别占全国的 80% 以上, 是这些地区农民增收的主要经济作物之一。肥料的正确选择和准确施用是苹果高产优质的保证。在苹果需要的多种养分中, 钾起着至关重要的作用。对产量为 6 吨/亩高产苹果园, 每年需要从土壤中吸收 N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$  的数量大约为 8、3.1、16 公斤/亩, 比例为 1 : 0.38 : 2.0<sup>[1]</sup>。因此, 苹果对钾素的需求量较多, 充足的钾素营养可增加苹果含糖量, 提高品质, 对果面着色度、香味、果实风味和耐贮性均有显著提高<sup>[2-3]</sup>。一些研究指出, 苹果施肥效应中钾肥的增产效应最大, 其次为氮肥, 磷肥最小<sup>[4-5]</sup>。合理的钾肥用量能提高叶片光和速率, 增加叶片矿质养分含量<sup>[6]</sup>, 钾素营养比氮磷营养对苹果果实品质指标如硬度、可溶性固形物、可滴定酸含量的影响更大<sup>[7]</sup>。

钾肥的种类很多, 但常用的有氯化钾 (KCl) 和硫酸钾 ( $K_2SO_4$ ), KCl 比  $K_2SO_4$  价格低廉, 相同的用量下, 可降低成本、提高效益。苹果钾肥管理研究多集中在施钾的增产效果上, 如山东滨州 15 年富士苹果上春季基施 KCl (0.6 公斤  $K_2O$ /株) 增产 16.7%<sup>[8]</sup>; 陕西合阳县 13 年富士苹果园秋季基施 KCl (0.25 公斤  $K_2O$ /株) 5 年平均增产 22.5%, 并增加果实可溶性固形物和硬度<sup>[9]</sup>; 辽宁瓦房店 15 年树龄富士苹果园施  $K_2SO_4$  (1.2 公斤  $K_2O$ /株) 2 年平均增产 67%, 提高果实可溶性糖、降低可滴定酸含量<sup>[4]</sup>。江苏连云港市 10 年富士苹果施  $K_2SO_4$  (0.25 公斤  $K_2O$ /株) 平均增产 43.1%, 并提高果实硬度和可溶性固形物含量<sup>[10]</sup>。郭全恩等 (2001) 进行  $K_2SO_4$  用量试验指

出, 在土壤速效钾含量 430 毫克/公斤下, 苹果上经济最佳  $K_2SO_4$  用量为 10 公斤  $K_2O$ /亩, 最高产量施钾量为 13 公斤  $K_2O$ /亩<sup>[11]</sup>。但有关钾肥尤其是 KCl 在苹果上的用量研究鲜有报导。

在钾肥的施肥时期上大多采用春季发芽前“一炮轰”施肥, 然而在年周期内苹果树体对钾素的吸收主要在花期—果实膨大期和秋冬季, 而生长季内果实中钾素累积速率最高则出现在果实快速膨大期<sup>[12]</sup>, 这说明了果树后期钾素营养的重要性。但在钾肥施用时期的研究方面只有零星报导证明后期补钾对苹果产量提高和品质改善的重要性, 但以后期叶面喷施硫酸钾为主<sup>[2,13-14]</sup>。关于氯化钾施用时期的研究未见报导。

由此可见, 研究氯化钾在苹果上的用量与施肥时期对实现苹果最佳养分管理, 提高产量和改善品质, 增加农民收入具有重要的实际价值。本研究目的: 1) 不同用量的 KCl 对苹果产量、品质和果园钾素平衡的影响, 确定 KCl 合理用量, 并与等钾量下的  $K_2SO_4$  比较; 2) KCl 的不同施肥时期对苹果产量、品质的影响, 确定 KCl 正确的施用时期。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计和实施方案

2012—2013 年在苹果主产区陕西凤翔、山东栖霞、辽宁盖州开展钾肥用量和施肥时期试验研究。供试土壤理化性状见表 1。

表 1 供试土壤理化性状

项目	陕西	山东	辽宁
地点	凤翔县糜杆桥镇太相寺村	栖霞市观里镇筐里村	盖州市仙人岛化工园区正黄旗村
土壤类型	娄土	棕壤	棕壤
pH	8.2	5.1	4.1
有机质(克/公斤)	6.9	8.4	9.4
矿质氮(毫克/升)	13.4	14.4	26.9
有效磷(毫克/升)	55.9	34.5	192.6
有效钾(毫克/升)	159.6	69.9	77.1

钾肥用量试验设 6 个处理：1) 对照不施钾 (-K)；2) KCl, 0.15 公斤 K<sub>2</sub>O/株；3) KCl, 0.30 公斤 K<sub>2</sub>O/株；4) KCl, 0.45 公斤 K<sub>2</sub>O/株；5) KCl, 0.60 公斤 K<sub>2</sub>O/株；6) K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.30 公斤 K<sub>2</sub>O/株。各处理重复 3 次，随机排列。各处理氮(尿素)、磷(普通过磷酸钙)用量相同。所有养分在苹果秋季收获后以基肥施用。期间记录灌水量，收集灌溉水样品，记录树叶、枝条、苹果产量，并采集样品、烘干、粉碎后分析含钾量。2013 年收获时随机从果树不同部位选取 5 个果实样品测定可滴定酸、硬度、可溶性固形物和 K、Ca、Mg 含量。

钾肥施用时期试验设 6 个处理：1) 对照不施钾 (-K)；2) 钾肥全部基施；3) 50% 的钾肥基施 +50% 的钾肥果实膨大期施；4) 50% 的钾肥开花期施 +50% 的钾肥果实膨大期施；5) 钾肥全部在果实膨大期施；6) 果农习惯施肥

(陕西：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=0.3-0.12-0.3 K<sub>2</sub>O/株，K 肥全部在 6 月底施用；山东：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=0.64-0.32-0.3 K<sub>2</sub>O/株，50% K 基施，25% K 花期施，25% K 果实膨大期施；辽宁：N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=0.7-0.92-0.3 K<sub>2</sub>O/株，全部钾秋季基施)。各处理重复 3 次，随机排列。各处理氮(尿素)、磷(普通过磷酸钙)、钾(氯化钾)用量相同。氮、磷肥在苹果秋季收获后以基肥施用，钾肥按照处理要求施用。期间记录灌水量，收集灌溉水样品，收获期测定树叶、枝条、苹果产量，并采集样品、烘干、粉碎后分析其含钾量。2013 年收获时随机从不同部位选取 5 个果实样品测定可滴定酸、硬度、可溶性固形物和 K、Ca、Mg 含量。

三个试验地点果园的栽培品种均为红富士，连续试验 2 年。试验详细情况见表 2。





## 1.2 分析测试

土壤有机质、pH、矿质氮、有效磷、有效钾含量采用高效土壤养分测试方法(ASI法)<sup>[15]</sup>,植物样品中钾、钙、镁含量测定采用常规分析方法<sup>[16]</sup>。可溶性糖含量用蒽酮比色法;可溶性固性物用WYT-4型糖量计;果实硬度用GY-1型硬度仪;可滴定酸含量用酸碱滴定法测定。

## 1.3 统计方法

方差分析采用SAS统计软件,显著性检测概率值为0.05。

# 2 结果与分析

## 2.1 KCl用量对苹果产量品质的影响

2012-2013连续两年的研究表明,施钾比不施钾增加苹果产量,尤其在第二季2013年更明显(表3)。

在陕西和山东试验点,施KCl 0.3和0.45公斤K<sub>2</sub>O/株获得较高产量,而在辽宁施KCl 0.6公斤K<sub>2</sub>O/株时产量较高。三个地点的结果都表明,施钾量0.30公斤K<sub>2</sub>O/株时,K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>和KCl的增产效果相当。

根据辽宁、山东、陕西试验点两年平均产量(y)与K<sub>2</sub>O用量(x)关系: $y = -24.9x^2 + 40.2x + 56.0$  ( $R^2 = 0.9851$ ),  $y = -0.5x^2 + 10.5x + 45.9$  ( $R^2 = 0.915$ ),  $y = -198.3x^2 + 138.5x + 65.8$  ( $R^2 = 0.9827$ ),计算出经济最佳施钾量分别为0.79、0.45、0.35公斤K<sub>2</sub>O/株,最高产量施钾量分别为0.81、0.50、0.35公斤K<sub>2</sub>O/株。

施钾对苹果品质具有一定影响(表4)。与不施钾相比,施钾对果实可滴定酸含量影响不显著或有降低作用。在山东施用KCl 0.45公斤K<sub>2</sub>O/株和辽宁施用KCl 0.6公斤K<sub>2</sub>O/株显著降低可滴定酸含量,而陕西KCl用量对可滴定酸没有显著影响。在辽宁试验点施用KCl或K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.3公斤K<sub>2</sub>O/株可增加果实硬度,但在山东和陕西试验点钾

表2 试验详细信息

项目	陕西凤翔	山东栖霞	辽宁盖州
树龄(年)	9	11	15
株距×行距(米)	2×3	2.5×4.5	3×4
各处理株数	6	5	3
2012年肥料用量、施肥时期与施肥方法	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> =0.3-0.12公斤/株 氮肥:基施50%,果实膨大期追施50%; 磷、钾肥:秋季全部基施。 施肥方法:肥料沿树旁开沟条施。	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> =0.32-0.16公斤/株 有机肥:全部基施; 氮肥和磷肥:基施50%,开花期和果实膨大期各25%; 钾肥:全部秋季基施。 施肥方法:肥料围绕树旁开沟条施。	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> =0.6-0.36公斤/株 有机肥:全部春季基施; 氮肥和磷肥:75%基施,25%果实膨大期施; 钾肥:全部秋季基施。 施肥方法:肥料树旁放射状开沟条施。
2013年肥料用量、施肥时期与施肥方法	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O=0.3-0.12-0.3公斤/株 氮肥:基施50%,果实膨大期追施50%; 磷肥:秋季全部基施。 施肥方法:肥料沿树旁开沟条施。	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O=0.32-0.16-0.3公斤/株 有机肥:全部基施; 氮肥和磷肥:基施50%,开花期和果实膨大期各25%。 施肥方法:肥料围绕树旁开沟条施。	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O=0.6-0.36-0.6公斤/株 有机肥:全部春季基施; 氮肥和磷肥:75%基施,25%果实膨大期施。 施肥方法:肥料树旁放射状开沟条施。
灌溉(毫米)	2012: 700; 2013: 75	2012: 120; 2013: 270	2012: 41.2; 2013: 61.9
降雨(毫米)	2012: 602; 2013: 650	2012: 754; 2013: 694	2012: 636; 2013: 600
年均温(℃)	2012: 11.5; 2013: 11.4	2012: 11.3; 2013: 13.6	2012: 9.5; 2013: 9.5
无霜期(天)	2012: 207; 2013: 209	2012: 207; 2013: 209	2012: 189; 2013: 189

表3 KCl用量对苹果产量的影响

钾肥用量 (公斤K <sub>2</sub> O/株)	钾肥品种	陕西		山东		辽宁	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013
0		49.3c	84.1d	46.4a	45.8b	48.9a	64.1d
0.15	KCl	57.9bc	102.7abc	47.3a	46.1b	50.3a	70.3c
0.30	KCl	70.4a	109.6ab	48.4a	48.4a	56.7a	76.3ab
0.45	KCl	66.4ab	112.1a	48.5a	48.7a	60.5a	78.2ab
0.60	KCl	56.7c	97.0bcd	48.0a	48.6a	62.0a	79.8a
0.30	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	65.8ab	94.3bcd	48.8a	48.6a	58.4a	73.8bc

注:同一列中数字后不同字母表示差异显著(p<0.05)。

肥对果实硬度没有影响。与不施钾相比, 适量施钾增加可溶性固形物含量, 辽宁试验点施 KCl 0.3 公斤  $K_2O$ / 株, 山东和陕西试验点施 KCl 0.45 公斤  $K_2O$ / 株可获得较高的可溶性固形物含量。相同  $K_2O$  用量下,  $K_2SO_4$  比 KCl 降

低可溶性固形物含量, 对其他品质的影响差异不明显。因此, 适量施用 KCl 提高可溶性固形物含量, 增加果实硬度, 减低果实酸度。另外, 施钾显著降低果实 Ca、Mg 含量, 钾肥用量越高降低越多。

表 4 KCl 用量对苹果品质指标的影响

地点	钾肥 品种	钾肥用量 公斤 ( $K_2O$ / 株)	可滴定酸 (%)	硬度 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	可溶性固形物 (%)	K Ca Mg		
						(克/公斤)		
辽宁		0	0.37ab	7.90d	11.30cd	7.07a	1.03a	0.50a
	KCl	0.15	0.40a	8.10cd	11.70b	7.03a	1.00a	0.50a
	KCl	0.30	0.37ab	8.40ab	12.60a	6.73a	0.90b	0.50a
	KCl	0.45	0.34bc	8.20bc	11.60bc	7.00a	0.90b	0.50a
	KCl	0.60	0.32c	8.10cd	11.00d	6.80a	0.86b	0.40b
	$K_2SO_4$	0.30	0.36abc	8.60a	11.50bc	6.93a	0.90b	0.40b
山东		0	0.83a	7.22a	10.80c	4.45e	0.44ab	0.54a
	KCl	0.15	0.78ab	7.19a	10.91c	4.53de	0.47a	0.52ab
	KCl	0.30	0.78ab	7.41a	12.04ab	5.18bc	0.43b	0.48ab
	KCl	0.45	0.74b	7.30a	12.64a	4.88cd	0.36c	0.37c
	KCl	0.60	0.76ab	7.19a	12.29ab	6.71a	0.29d	0.29d
	$K_2SO_4$	0.30	0.78ab	7.17a	11.88b	5.47b	0.43b	0.46b
陕西		0	0.27ab	11.08a	12.70ab	6.63a	1.17a	0.58a
	KCl	0.15	0.28ab	10.02a	12.6ab	6.97a	0.73b	0.36b
	KCl	0.30	0.30ab	9.84a	12.30b	7.46a	0.81b	0.41b
	KCl	0.45	0.31a	10.64a	13.80a	7.41a	0.69b	0.41b
	KCl	0.60	0.27ab	10.95a	13.46ab	6.12a	0.75b	0.35b
	$K_2SO_4$	0.30	0.24b	9.42a	11.46b	6.74a	0.88b	0.39b

注: 同一地点同一列中数字后不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

表 5 施钾对苹果园钾素投入/产出平衡的影响 (2012-2013)

地点	处理		钾投入			钾产出			平衡	
	钾肥 品种	钾肥用量 (公斤 $K_2O$ / 株)	(公斤 $K_2O$ / 亩)						(公斤 $K_2O$ / 亩)	(公斤 $K_2O$ / 株)
			化肥	有机肥	灌溉水	果实	叶片	修剪枝条		
辽宁		0.00	0.0	73.6	0.3	8.7	10.2	8.9	46.1	0.83
	KCl	0.15	16.7	73.6	0.3	9.9	12.5	9.4	58.7	1.06
	KCl	0.30	33.3	73.6	0.3	9.4	11.1	10.7	75.9	1.37
	KCl	0.45	50.0	73.6	0.3	9.5	12.1	11.5	90.8	1.64
	KCl	0.60	66.7	73.6	0.3	10.1	13.8	12.5	104.1	1.88
	$K_2SO_4$	0.30	33.3	73.6	0.3	10.1	11.7	9.7	75.7	1.36
山东		0.00	0.0	3.1	0.8	4.9	4.5	0.5	-5.9	-0.10
	KCl	0.15	17.8	3.1	0.8	5.1	4.9	0.5	11.2	0.19
	KCl	0.30	35.5	3.1	0.8	5.7	4.6	0.6	28.6	0.48
	KCl	0.45	53.3	3.1	0.8	5.4	4.9	0.5	46.5	0.79
	KCl	0.60	71.1	3.1	0.8	6.1	4.4	0.6	63.9	1.08
	$K_2SO_4$	0.30	35.5	3.1	0.8	5.7	4.1	0.5	29.2	0.49
陕西		0.00	0.0	0.0	0.6	9.8	4.5	1.1	-14.7	-0.13
	KCl	0.15	33.3	0.0	0.6	11.4	5.0	0.9	16.6	0.15
	KCl	0.30	66.7	0.0	0.6	13.3	5.1	0.9	48.1	0.43
	KCl	0.45	100.0	0.0	0.6	12.8	5.7	1.1	80.9	0.73
	KCl	0.60	133.3	0.0	0.6	9.7	5.5	0.9	117.9	1.06
	$K_2SO_4$	0.30	66.7	0.0	0.6	10.6	4.8	0.9	51.0	0.46

对两年试验后果园钾素投入 / 产出平衡进行估算 (表 5), 在陕西和山东试验点不施钾对照处理果园土壤钾素亏缺, 而辽宁试验点因为施用较多有机肥的缘故虽不施钾仍有盈余。三个地点所有施钾处理果园土壤钾素均有盈余, 并随用量增加盈余增加。但这种盈余不能简单地认为钾的投入过量, 因为有多少钾贮存在树体中, 多少钾残留在土壤中还不清楚, 有待进一步研究。

## 2.2 KCl 施用时期对苹果产量品质的影响

陕西两年的试验表明, KCl 施用时期显著影响苹果产量, 开花后或果实膨大期施用 50% 或全部 KCl 比全部基施和果农习惯施肥显著提高果实产量 (表 6), 果农习惯施肥产量相对较低, 低于或相当于钾肥全部基施, 除与氮、磷用量高有关外, 还与钾肥施用不合理有关,

如辽宁果农习惯把全部钾肥基施, 陕西果农习惯把全部钾肥施在果实膨大期。在山东和辽宁, 50% 钾肥基施和 50% 钾肥果实膨大期施比钾肥全部基施增加苹果产量, 但差异不显著 (表 6)。

钾肥施用时期对果实可滴定酸的影响不明显, 但果实硬度随钾肥的后移而降低, 尤其在辽宁和陕西试验点更明显。对可溶性固形物的影响各地不一, 随钾肥后移而下降或影响不显著。而钾肥后移有降低果实钙、镁含量的趋势, 后期施钾越多, 钙、镁含量降低越明显 (表 7)。

综合 KCl 施用时期对苹果产量、品质的影响, 辽宁和山东钾肥适宜的施用时期是基施 50% 钾肥 + 果实膨大期施 50% 钾肥, 陕西钾肥适宜的施用时期是花期施 50% 钾肥 + 果实膨大期施 50% 钾肥。

表 6 KCl 施用时期对苹果产量的影响 (公斤 / 亩)

KCl 施用时期	陕西		山东		辽宁	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013
- K	3287	5640	3093	2953	3260	4467
100% B	3400	5673	3267	3153	4147	4973
50% B+50% FE	4327	6027	3413	3213	4180	5467
50% FL+50%FE	4380	6827	3240	3173	4120	5247
100% FE	4133	6873	3227	3047	4187	4887
FP	3633	5547	3340	3193	3473	4827

B: 基施; FE: 果实膨大期; FL: 开花期; FP: 习惯施肥, 下同。

表 7 KCl 施用时期对苹果品质指标的影响

地点	钾肥施用时期	可滴定酸 (%)	硬度 (公斤 / 厘米)	可溶性固形物 (%)	K Ca Mg (克 / 公斤干重)		
					K	Ca	Mg
辽宁	- K	0.37a	7.90d	11.30c	7.07a	1.03a	0.50a
	100% B	0.34b	9.00a	12.33a	6.80b	0.93a	0.43ab
	50% B+50% FE	0.32bc	8.80ab	12.10a	7.03a	0.93a	0.43ab
	50% FL+50%FE	0.33bc	8.60bc	11.80b	7.03a	0.97a	0.43ab
	100% FE	0.34b	8.57c	10.93d	6.83b	0.50b	0.40b
	FP	0.31c	8.43c	10.93d	6.70b	0.50b	0.40b
山东	- K	0.83a	7.26a	10.94b	5.07c	0.47ab	0.55a
	100% B	0.78ab	7.30a	12.05a	5.33ab	0.43bc	0.52ab
	50% B+50% FE	0.78ab	7.30a	12.02a	5.48a	0.43ab	0.55a
	50% FL+50%FE	0.74b	7.30a	12.65a	5.26bc	0.39cd	0.50b
	100% FE	0.86a	7.32a	12.49a	5.27b	0.38d	0.50b
	FP	0.78ab	7.33a	12.10a	5.36ab	0.48a	0.50b
陕西	- K	0.27a	11.08ab	12.70a	7.63a	1.17a	0.58a
	100% B	0.31a	10.95ab	12.07a	9.01a	0.97ab	0.48a
	50% B+50% FE	0.33a	11.31a	12.66a	7.52a	1.02a	0.51a
	50% FL+50%FE	0.30a	10.13ab	12.16a	8.01a	1.15a	0.56a
	100% FE	0.34a	8.97b	12.63a	8.56a	0.71c	0.41b
	FP	0.29a	11.04ab	13.33a	8.64a	0.78bc	0.44ab

### 3 讨论

本研究表明, 适量施用钾肥不仅增加苹果产量, 而且可改善果实品质, 但不同地点最高产量和最佳经济施肥量不同, 原因可能与果树树龄和种植密度有关。陕西、辽宁、山东试验点树龄分别为 9、15、11 年, 密度分别为 111、56、59 株/亩, 钾肥经济最佳施用量分别为 0.35、0.79、0.45 公斤  $K_2O$ /株, 按照面积计算则为 38.9、43.9、70.5 公斤  $K_2O$ /亩。对三个试验点周围果农调查结果表明(数据未列出), 陕西果园钾肥平均用量为 25.5 公斤  $K_2O$ /亩, 有机肥平均投入 7.3 公斤  $K_2O$ /亩, 共 32.8 公斤  $K_2O$ /亩。辽宁果园钾肥平均用量 12 公斤  $K_2O$ /亩, 有机肥投入 10.4 公斤  $K_2O$ /亩, 共 22.4 公斤  $K_2O$ /亩。山东钾肥平均用量 51.5 公斤  $K_2O$ /亩, 有机肥投入 2 公斤  $K_2O$ /亩, 共 53.5 公斤  $K_2O$ /亩。相比陕西、辽宁、山东试验点钾肥经济最佳施用量, 陕西果园的钾肥投入略显不足, 辽宁果园的钾肥投入不足, 而山东果园钾肥投入过量。因此, 确定合理的施钾量应综合考虑树龄、密度和其他来源投入等。

在相同  $K_2O$  用量下,  $K_2SO_4$  与  $KCl$  的增产作用相当, 在品质影响上除在辽宁试验点  $K_2SO_4$  比  $KCl$  降低可溶性固形物含量外, 对其他品质的影响差异不明显。这一点与其他研究有异同。有研究表明, 在等量钾肥下,  $K_2SO_4$  在提高苹果产量, 改善外观和内在品质上优于  $KCl$ <sup>[17]</sup>。但有研究指出, 虽然  $K_2SO_4$  对产量的增加效果优于  $KCl$ , 但与等当量氯化钾相比降低一级果率、可溶性糖含量和糖酸比<sup>[8]</sup>。因此, 只要  $KCl$  用量合理, 就不会影响产量和品质。

从果园钾素平衡结果看三个地点所有钾肥用量下果园钾素投入大于产出, 造成表观钾盈余, 尤其在有机肥投入多的辽宁试验点更明显(表 6)。这种多余的钾素对提高果园土壤钾素肥力水平具有一定作用, 有研究指出<sup>[1]</sup>, 连续 8 年施用钾肥 0.25 公斤  $K_2O$ /株(27.8 公斤  $K_2O$ /亩), 使得 0-20、20-40、40-60 厘米土壤速效钾含量分别增加 50.9, 61.8 和 31.2 毫克/升。但多少年能使土壤速效钾含量达到优质高产所需的土壤有效钾水平, 还要结合果园土壤现有的速效钾含量、土壤质地以及有机肥投入多少等因素综合判断。有研究指出<sup>[18]</sup>, 土壤有效钾在

583-600 毫克/公斤范围内富士苹果就可以达到理想品质。还有研究指出<sup>[19]</sup>, 当土壤有效钾含量大于 300 毫克/公斤时可以不施钾肥。因此, 通过施用钾肥提高土壤有效钾含量是苹果园钾肥管理的重点。另外, 有机肥的投入能否替代部分钾肥, 在施用有机肥的前提下能否减少钾肥用量等还有待进一步研究。

本研究表明, 三个地点钾肥的适宜施用时期是 50% 或 100% 的钾肥在花期后施用。这一结果与豫西地区富士苹果树(树龄 5-7 年, 密度 83 株/亩)施钾效应相似, 施钾量为 0.29-0.43 公斤  $K_2O$ /株时, 施钾时期以当年果实膨大期(6-8 月)追施为好<sup>[2]</sup>。还有研究指出<sup>[13]</sup>, 收获前 40 天用 0.5%  $K_2SO_4$  叶面喷施可提高苹果产量, 增加果实可溶性固形物含量。

施钾降低苹果果实钙、镁含量, 而且随钾肥用量增加和钾肥后移降低更明显, 同时果实硬度也有降低趋势。这预示着施用钾肥尤其施用高量钾肥有引起果实缺钙、缺镁, 引起生理病害的风险, 从而影响果实的外观品质和贮藏品质<sup>[20]</sup>。研究发现, 果实硬度与钙含量呈正相关<sup>[21-22]</sup>, 而与果实中氮、钾含量呈负相关<sup>[23]</sup>, 施钾提高果实钾含量和  $K:Ca$  比, 减低  $Ca$  含量<sup>[24]</sup>。一些研究人员也发现结球甘蓝上施钾肥可降低叶球中  $Ca$ 、 $Mg$  含量<sup>[25]</sup>。但也有研究指出, 在土壤有效钾含量低的果园, 采收前 2-6 周叶面喷施钾有助于提高果实硬度和可溶性固形物含量<sup>[14]</sup>。因此, 合理的钾肥用量和正确的施用时期对苹果的高产优质非常重要, 注意在施钾的同时补充钙、镁营养, 从而协调产量与品质。

### 4 结论

1) 辽宁、山东、陕西试验点施钾比不施钾增加苹果产量, 经济最佳  $KCl$  用量分别为 0.79、0.45、0.35 公斤  $K_2O$ /株, 最高产量  $KCl$  用量分别为 0.81、0.50、0.35 公斤  $K_2O$ /株。

2)  $KCl$  的适宜施用时期是 50% 或 100% 的钾肥在开花期后施用。

3) 适量施钾改善果实品质, 但施钾尤其后期施钾降低果实  $Ca$ 、 $Mg$  含量, 应注意补充  $Ca$ 、 $Mg$  营养。



## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 郭雯, 李丙智, 张林森, 等. 不同施钾量对红富士苹果叶片光合特性及矿质营养的影响 [J]. 西北农业学报, 2010, 19(4):192-195.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 孙小波. 沼液配施钾肥对苹果产量和品质的影响 [J]. 落叶果树, 2012, 44(3):07-09.
- [11] 郭全恩, 郭天文, 再生斌. 苹果施用钾肥的肥效试验研究 [J]. 甘肃农业科技, 2001, (9):36-37.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] WOJCIK P. Effect of foliar potassium sprays on apple tree yielding, and fruit quality under conditions of low soil potassium availability [A]. LIBEK A, KAUFMANE E, SASNAUSKAS A. Proceedings of the international scientific conference: Environmentally friendly fruit growing. Polli, Estonia, 7-9 September 2005, 44-50.
- [15] 金继运, 白由路, 杨俐苹. 高效土壤养分测试技术与设备 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006, 74-84.
- [16] 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, 315-318.
- [17] 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.
- [18] 张强, 魏钦平, 刘惠平, 等. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案 [J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1654-1661.
- [19] JAFARPOUR M. 2010. Effect of two potassium fertilizers with balanced requirement of other nutrients on quantitative and qualitative characteristics of apple fruit trees ("Red Delicious") [J]. Acta Horticulturae, 877: 229-234.
- [20] 张新生, 周卫, 陈湖. 不同钙处理对苹果贮藏品质的影响 [J]. 河北果树, 2005, 1:15-16.
- [21] FALLAHI E, SIMONS B R. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in "Delicious" apples [J]. Journal of Tree Fruit Production, 1996, 1(1):15-25.
- [22] FALLAHI E, CONWAY W S, HICKEY K D. The role of calcium and nitrogen in post harvest quality and disease resistance of apples [J]. HortScience, 1997, 32 (5):831-835.
- [23] 张强, 魏钦平, 蒋瑞山, 等. 富士苹果矿质营养含量与几个主要品质指标的相关性分析 [J]. 园艺学报, 2011, 38(10):1963-1968.
- [24] NAVA G, DECHEN A R. Long-term annual fertilization with nitrogen and potassium affected yield and mineral composition of "Fuji" apple [J]. Scientia Agricola, 2009, 66(3):377-385.
- [25] 郭熙盛, 叶舒娅, 王文军. 不同氮钾水平对结球甘蓝养分吸收和分配的影响 [J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(1):62-66.