风险评估研究

第 59 号报告书

化学物危害评估

茶和茶类饮品中的高氯酸盐

香港特别行政区政府
食物环境卫生署
食物安全中心
2018 年 8 月

本报告书由香港特别行政区政府食物环境卫生署食物安全中心发表。未经食物安全中心书面许可，不得翻印、审订或摘录或于其他刊物或研究著作转载本报告书的全部或部分研究资料。若转载本报告书其他部分的内容，须注明出处。

通讯处：
香港金钟道 66 号
金钟道政府合署 43 楼
食物环境卫生署
食物安全中心
风险评估组
电子邮箱：enquiries@fehd.gov.hk

目录

	页数
摘要	2
目的	4
背景	4
食物中的高氯酸盐	5
高氯酸盐污染的來源	5
毒性	6
健康参考值	7
规管上限 / 指引值	7
本地情况	8
研究范围	9
研究方法和化验分析	10
研究方法	10
化验分析	10
结果及讨论	11
高氯酸盐的含量	11
从茶和茶类饮品摄取高氯酸盐的分量	15
研究的局限和不确定性	18
结论及建议	18
参考数据	20
附录	
附录 1：来自不同地方的食物样本中高氯酸盐的含量水平	25
附录 2：是次研究抽取的干茶叶和茶类饮品样本中检测出的高氯酸盐水平	27

词　汇

本报告的用语简要解释如下：

用语	解释
茶叶	茶树(*Camellia sinensis*)的叶。
茶	用已煮沸的食水冲泡茶叶或茶粉，成为茶汤或茶类饮品。
茶类饮品	即饮或实时提供的茶类饮品。
茶类产品	茶叶，以及茶粉或含有茶或茶萃取物成份的饮品。

风险评估研究

第 59 号报告书

茶和茶类饮品中的高氯酸盐

摘要

高氯酸盐是一种在环境中天然存在的化学物，也是一种因使用含高氯酸盐的肥料种植及在制作火箭推进剂、爆炸品、烟火和汽车安全气垫等工业过程中产生的环境污染物。由于高氯酸盐无处不在，食物含有这种物质并不令人意外。

2. 过量摄入高氯酸盐可影响人体制造甲状腺激素的能力。2010 年，粮农组织／世卫组织食品添加剂联合专家委员会把高氯酸盐的暂定最高每日可容忍摄入量定为每公斤体重 0.01 毫克(即每日每公斤体重 10 微克)。

3. 这次研究的目的，是(一)检测本地市场常见的干茶叶和茶类饮品的高氯酸盐含量；以(二)估算本港成年人从这些茶类产品摄入这物质的分量；及(三)评估相关的健康风险。

结果

4. 食物安全中心(“中心”)共抽取 305 个市民日常饮用的茶类产品样本(包括干茶叶及茶类饮品)，以检测当中的高氯酸盐含量。

5. 研究结果显示，大部分样本(96%)皆含有高氯酸盐，其中干茶叶的高氯酸盐含量差异很大，介乎检测不出至每公斤 1 100 微克之间。高氯酸盐含量最高的干茶叶是“半发酵茶”(每公斤 250 微克)，其次是“花茶”(每公斤 150 微克)、“没发酵茶”(每公斤 140 微克)、“玄米茶(干) ”(每公斤 79 微克)及“全发酵茶／后发酵茶”(每公斤 69 微克)。假设干茶叶所含的高氯酸盐在冲泡过程中全数释出到茶汤，经估算后，各类茶汤中高氯酸盐的平均含量最高为每公升 1.6 微克，较世界卫生组织建议每公升食水含不多于 70 微克高氯酸盐的准则值为低。

6. 茶类饮品方面，高氯酸盐的含量一般偏低。当中以“奶茶”的高氯酸盐平均水平最高(每公升 3.1 微克)，其后顺序为“柠檬茶”(每公升 1.3 微克)、“珍珠奶茶”(每公升 0.84 微克)、“玄米茶(饮品)”(每公升 0.78 微克)及“调味茶／茶饮)”(每公升 0.59 微克)。

7. 膳食摄入量方面，摄入量一般和摄入量高的市民从茶和茶类饮品摄入的高氯酸盐分量，估计分别为每日每公斤体重 0.012 微克和 0.031 微克，仅及专家委员会暂定最高每日可容忍摄入量(每日每公斤体重 10 微克)的 0.12%和 0.31%。换言之，市民从本地市场出售的干茶叶和茶类饮品摄入高氯酸盐的分量，对健康构成不良影响的机会甚微。

结论及建议

8. 这项研究抽取的干茶叶和茶类饮品样本大多(96%)含有高氯酸盐。

9. 摄入量一般和摄入量高的市民，以及各个按年龄及性别划分的人口组别从干茶叶和茶类饮品摄入高氯酸盐的分量，均低于专家委员会订定的暂定最高每日可容忍摄入量(每日每公斤体重 10 微克)的百分之一。因此，市民从本地市场出售的干茶叶和茶类饮品摄入高氯酸盐的分量，对健康构成不良影响的机会甚微。

风险评估研究 –

茶和茶类饮品中的高氯酸盐

目的

这次研究的目的是：(一)检测本地市场常见的干茶叶和茶类饮品的高氯酸盐含量；(二)估算本港成年人从这些茶类产品摄入这物质的分量；以及(三)评估相关的健康风险。

背景

2. 高氯酸盐是一种在环境中天然存在的化学物。硝酸盐和钾盐矿床含有高氯酸盐，而高氯酸盐亦可在大气中形成[1]。此外，高氯酸盐可在工业过程中产生，源自不当贮存或弃置火箭推进剂、爆炸品、烟火、照明灯和汽车安全气垫中使用的高氯酸盐，被视为环境污染物[2]。

3. 高氯酸盐由一粒氯原子和四粒包围着氯原子的氧原子组成，呈四面体几何结构(图 1)。高氯酸盐极易溶于水。分解后的高氯酸盐离子非常稳定，被矿物或有机表面吸附的机会轻微。因此，高氯酸盐长时间存留在地下水中，在地面水或地下水的流动性甚高，以致高氯酸盐基本上随水流动。高氯酸盐是离子化合物，因此不会从泥土或水面挥发，但会积聚于制造或使用含有高氯酸盐产品地点的地下水和地面水中，或积聚于曾施加含有高氯酸盐肥料的泥土中[3,4]。

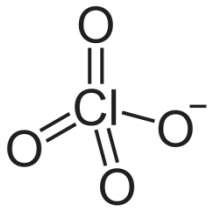


图 1. 高氯酸盐离子

4. 植物经根部迅速吸收高氯酸盐。水分从叶子蒸腾后，高氯酸盐因缺乏挥发性而留下，并积聚于叶子组织内。透过食用或饮用受高氯酸盐污染的饲料或食水[2,4,5,6]，高氯酸盐可被转移至动物或其乳汁。由于高氯酸盐属高溶性，高氯酸盐很可能轻易从大部分生物中排出，预料不会在水生食物网逐步增加[7]。食物和食水是人类摄入高氯酸盐的主要来源[6,8]。

食物中的高氯酸盐

5. 有外国研究发现，不同种类的食物，包括蔬菜、水果、奶类及乳产品、食米、婴儿奶粉、鱼及鱼类制品、冲泡茶及香草茶、果汁和含酒精饮品(附录 1)，均含有高氯酸盐[1,4,9]。

6. 2010 年，粮农组织/世卫组织食品添加剂联合专家委员会(专家委员会)检视了食物中高氯酸盐水平的数据，观察到蔬菜(平均每公斤 4.8 至 110 微克)、水果(平均每公斤 0.5 至 28 微克)、蔬菜汁和果汁(每公斤 26 微克)，以及婴儿奶粉(每公斤 10 微克)的高氯酸盐平均含量最高[1]。

7. 专家委员会[1]、美国食物及药物管理局[10,11]及欧洲食物安全局[4,9]过去进行的摄入量评估显示，蔬菜、水果、奶类及它们的产品是人类摄入高氯酸盐的重要来源。

高氯酸盐污染的来源

8. 食物和食水中的高氯酸盐来自数个天然和人为来源。

在大气和地面水中自然产生

9. 有证据显示，高氯酸盐可在各种自然现象发生的过程中自然产生，例如闪电和火山爆发，以及水中氯化物质的臭氧氧化[12,13]。高氯酸盐在大气和地面水中自然产生，或会导致食物和水中含有高氯酸盐。现有数据不足以论证在大气和地面水自然产生的高氯酸盐对食物和食水整体污染的影响，但预计这是个次要来源[4]。

使用含有高氯酸盐的肥料和灌溉用水

10. 使用可能含有高氯酸盐的天然肥料，被视为是高氯酸盐污染的人为来源之一。广为人知的例子有智利的硝酸盐，其高氯酸盐含量可高达 1.5%[14]。高氯酸盐可经植物根部迅速吸收，因此使用含有高氯酸盐的肥料或会导致水果和蔬菜含有大量高氯酸盐。同样，使用受高氯酸盐污染的水灌溉植物，亦可引致高氯酸盐在水果和蔬菜中积聚[4,5]。

工业排放

11. 高氯酸盐(特别是火箭及导弹中的固体推进剂所用的高氯酸铵)透过工业排放释出，是另一个污染食物和食水的人为来源[4]。举例来说，制造、测试及弃置火箭燃料，以及武器非军事化，都曾引致高氯酸铵释出至环境中，更被视为科罗拉多河的主要污染源头，导致美国西南部的饮用水受到污染[15,16]。

含氯消毒剂的降解

12. 含氯消毒剂降解时产生的高氯酸盐，也是一个潜在的污染来源。用于处理食水的氯化剂，特别是次氯酸钠和次氯酸钙，能降解为高氯酸盐。因此，制造和配制食物时使用这些食水，可导致食物和饮品含有高氯酸盐。德国联邦风险评估研究所认为，食物接触经含氯生物杀伤剂消毒的食水，很可能是高氯酸盐进入食物的其中一个主要途径[17]。此外，使用次氯酸钠和次氯酸钙消毒食物配制范围和进行其他用途(例如生物杀伤剂或植物保护产品)，预期亦会释出少量高氯酸盐[4]。

毒性

动力学和代谢作用

13. 经口服途径摄入的高氯酸盐，在人体和实验动物会被迅速吸收[6]。人体接触高氯酸盐后，其血清、血浆、尿液、唾液及母乳，均验出含有这种化学物。高氯酸盐在人体血清的半衰期短至 6.0 至 9.3 小时(平均值为 8.1 小时)[18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]。高氯酸盐在人体的代谢(如有)相对甚少，超过 90%摄入剂量会经尿液排出[4, 6, 27, 28]。

急性及长期毒性

14. 高氯酸盐在实验动物身上的急性口服毒性低[29]，现有数据显示并无基因毒性[4]的问题。观察结果显示，老鼠长期接触高氯酸盐，出现甲状腺肿瘤的机会会增加[30, 31, 32]，但高氯酸盐对人体不大可能构成甲状腺癌的风险，国际癌症研究机构也没有把高氯酸盐列为致癌物[1, 4, 6, 33, 34]。事实上，高氯酸钾一直用于治疗甲状腺功能亢进。报告指长期每天服用 200 毫克或以下的剂量，不会产生不良影响[4]。

对健康的影响

15. 高氯酸盐的主要毒性问题，是能够竞争性抑制甲状腺摄取碘化物，有可能引致甲状腺功能减退[1]。

16. 人体内的碘化物会由钠碘共同转运体(NIS)分子，以逆浓度梯度的方式，输送到甲状腺的滤泡细胞。进入甲状腺的滤泡细胞后，碘化物会氧化成碘。碘是制造甲状腺激素的必要元素，而甲状腺激素对调节正常生长和新陈代谢十分重要。碘化物阴离子与高氯酸盐离子无论在体积、形状和电荷方面都很相似，因此高氯酸盐会与碘化物在 NIS 竞争，抑制碘化物的吸收。高氯酸盐所造成的抑制情况，会减少供给制造甲状腺激素的碘，结果导致循环系统的甲状腺激素浓度降低，同时消耗甲状腺激素的存量[6, 11, 35, 36]。如果甲状腺持续减少摄取碘，便会出现甲状腺功能减退的临床情况。

17. 值得注意的是，甲状腺功能减退对胎儿、婴儿和儿童的脑结构和脑功能发展，以及成年人的新陈代谢及心血管、肠胃、骨骼、神经肌肉和生殖系统的功能，均会造成不良影响[1]。考虑到高氯酸盐的作用模式，容易受影响的群组包括孕妇、胎儿、初生婴儿、幼儿和患有甲状腺功能减退的人士，膳食中缺乏碘的人也容易受到影响[1]。

健康参考值

18. 健康参考值为风险评估提供准则。如果消费者摄取化学物的分量低于健康参考值，便不会对健康构成明显的风险。膳食摄入量通常以相关健康参考值的百分比表示。

19. 2010 年，专家委员会评估高氯酸盐的健康风险后，把高氯酸盐的暂定最高每日可容忍摄入量定为每日每公斤体重 10 微克。

规管上限 / 指引值

20. 目前，食品法典委员会没有为食物中高氯酸盐的最高含量订定标准。美国、欧盟、澳洲、新西兰、加拿大、中国大陆、日本、台湾和香港等地方，也未有就食物中高氯酸盐的最高含量订定法定标准。

21. 虽然欧洲目前没有就食物中高氯酸盐的最高含量订定规管标准，但欧洲委员会在2013年为某些食物组别的高氯酸盐含量引入‘参考’或暂定管制水平，作为欧盟成员国之间进行该等食物组别贸易的标准，而该等食物组别是从膳食中摄入高氯酸盐分量的最主要来源[37](表1)。在规管国内生产/在当地市场出售的产品时，各欧盟成员国的主管当局可以决定在多大程度上执行作为欧盟成员国之间进行贸易的高氯酸盐含量参考水平[38]。

表1. 欧洲委员会引入供欧盟成员国之间的贸易作为参考的高氯酸盐含量水平[38]

食物	含量(微克/公斤)
水果和蔬菜	100
以下蔬果种类除外	
— 葫芦科和叶菜类蔬菜，不包括：	200
• 在温室/有盖种植区内种植的芹菜和菠菜	500
• 在温室/有盖种植区内种植的香草、生菜及沙律植物(包括芝麻菜)	1000
干香料(除香草(干)和甜红椒(干)外)、蛇麻(干)	500
茶(*Camellia sinensis*) (干)	750
香草茶和果茶(干)	750
婴幼儿食品(即食)	20
其他食物	50

22. 2016年，世界卫生组织(世卫)根据专家委员会的标准，暂定最高每日可容忍摄入高氯酸盐分量为每日每公斤体重10微克，建议把食水的高氯酸盐的准则值设定为每公升70微克。世卫亦认为食水中的高氯酸盐含量普遍低于每公升10微克。

本地情况

23. 在香港，茶是仅次于水的第二大最常饮用的饮品[39]。根据政府统计处的资料，2016年从全球不同地方进口的茶叶超过13 000公吨[40]。根

据发酵程度和处理程序，茶叶通常分为六大类：绿茶、白茶、黄茶、乌龙茶、黑茶(在中国称为红茶)和后发酵茶(亦称为黑茶或普洱茶)(表 2)。各类茶叶是否含有高氯酸盐，含量为多少，文献中记载的数据有限[41,42,43,44,45,46]。

表 2. 根据发酵程度的茶叶分类

发酵程度	茶叶	例子
没发酵	绿茶	绿茶、碧螺春、龙井
半发酵	白茶、黄茶、乌龙茶	香片、铁观音、寿眉、乌龙、水仙
全发酵	黑茶、中国红茶	伯爵茶、英式早餐茶、大吉岭茶、锡兰茶、中国红茶、工夫茶
后发酵	黑茶或 普洱茶	六安、普洱

24. 2016 年年初，本地传媒报道欧洲发现部分产自中国内地的茶叶含有高氯酸盐，引起公众关注。就此，食物安全中心(食安中心)从本地市场抽取了 30 个进口茶叶样本，检测其高氯酸盐含量，结果全部样本通过检测。

25. 为进一步响应公众对茶含有高氯酸盐和其相关健康风险的关注，食安中心进行了这次研究，目的是(一)检测本地市场常见的干茶叶和茶类饮品的高氯酸盐含量；(二)估算本港成年人从这些茶类产品摄入这物质的分量；以及(三)评估相关的健康风险。这项研究结果，亦可为中心准备第二次总膳食研究(将包括估算本地市民摄入高氯酸盐的分量)时提供额外的本地茶含高氯酸盐水平的数据。

研究范围

26. 为分析本地市民日常饮用的干茶叶和茶类饮品中的高氯酸盐含量，食安中心从各零售点(例如茶庄、超级市场、便利店、快餐店、食肆、外卖茶店等)收集干茶叶(包括没发酵茶、半发酵茶、全发酵、后发酵茶、花茶和玄米茶)及茶类饮品(例如奶茶、柠檬茶、调味茶和珍珠奶茶)。

研究方法和化验分析

研究方法

27. 2017年6月至8月，食安中心从本地零售市场合共抽取了305个干茶叶和茶类饮品样本。就这项研究而言，食安中心把这些样本分为九类，即“没发酵茶”、“半发酵茶”、“全发酵茶／后发酵茶”、“花茶”、“玄米茶”、“柠檬茶”、“调味茶／茶饮”、“奶茶”和“珍珠奶茶”。

28. 由于茶常为市民饮用，这次研究根据本地普遍的泡茶方法，估算由干茶叶释出至茶汤的高氯酸盐分量，以评估市民从膳食中摄取高氯酸盐的情况。食安中心的食物研究化验所进行的初步研究显示，当两克干茶叶以150毫升已煮沸的蒸馏水(摄氏100度)浸泡五分钟两次(即冲泡两次)时，大部分高氯酸盐由干茶叶释出至茶汤。因此，评估茶汤的高氯酸盐水平时，是假设在上述冲泡条件下，干茶叶中的所有高氯酸盐释出至300毫升蒸馏水(冲泡两次的总容量)。至于估算由茶粉冲泡的茶的高氯酸盐水平，则按照制造商在标签上的指示(例如制造商建议的用水分量)，并假设已饮用所有茶粉。

29. 茶和茶类饮品中的高氯酸盐水平与2005年至2007年香港市民食物消费量调查所得不同人口组别的食物消费量数据合并处理，从而计算本地成年人从膳食摄入高氯酸盐的分量。实际上，食安中心利用由内部研发名为“摄入量评估系统”的网络计算机系统，评估膳食摄入量。这次研究分别以膳食摄入量的平均值和第95百分位的数值，作为摄入量一般和摄入量高的本地人口(只限于饮用茶的市民)的数值。这个估计摄入量与每日每公斤体重10微克的暂定最高每日可容忍摄入量比较，并以这基准的百分比表示。

化验分析

30. 高氯酸盐的化验分析工作由食安中心的食物研究化验所负责。所有样本均单独进行检测，并以其购买时的状态来进行测试。

31. 在干茶叶样本方面，样本经均质化后，混和甲酸铵溶液一同摇动，以作萃取，然后把萃取物经固相萃取净化。至于茶类饮品样本，经均质化后仅以离心式过滤器作过滤。经处理的样本会加入同位素标记的高氯酸盐作为内标物，并利用离子色谱-质谱联用仪(IC-MS/MS)测定高氯酸盐的

水平。茶叶和茶类饮品的高氯酸盐检测限分别为每公斤 1 微克和每公升 0.1 微克。

结果及讨论

高氯酸盐的含量

32. 这次研究从本地零售市场抽取共 305 个样本，以检测当中的高氯酸盐含量。这些样本分别为“没发酵茶”、“半发酵茶”、“全发酵茶 / 后发酵茶”、“花茶”、“玄米茶”、“柠檬茶”、“调味茶 / 茶饮”、“奶茶”和“珍珠奶茶”。

33. 这项研究抽取的“干茶叶”和“茶类饮品”样本大多(96%)检出高氯酸盐。“干茶叶”样本的高氯酸盐平均含量介乎每公斤 50 微克至 300 微克之间，而“茶类饮品”样本的高氯酸盐平均含量则介乎每公升 0.59 微克至 3.4 微克之间。没有检出高氯酸盐的样本，主要是预先包装的茶类饮品(在 13 个样本中占 11 个)，可能是因为这类饮品的成分甚多，茶只是其中一种。各种茶类产品的高氯酸盐含量平均值和中位数概述于附录 2。

干茶叶

34. “干茶叶”样本检测出的高氯酸盐含量差异很大，由低于检测限到每公斤 1 100 微克不等(表 3)。“半发酵茶”的高氯酸盐平均含量最高(每公斤 250 微克)，其次是“花茶”(每公斤 150 微克)和“没发酵茶”(每公斤 140 微克)，而“全发酵茶 / 后发酵茶”的高氯酸盐含量则最低(每公斤 69 微克)。

表 3. 干茶叶样本检测出的高氯酸盐水平

样本分类和细项	样本数量	高氯酸盐平均水平* (微克 / 公斤) [范围]
半发酵茶叶	**76**	**250 [1.2-1100]**
茉莉茶叶	20	300 [35-1100]
铁观音茶叶	16	250 [65-690]
寿眉茶叶	10	240 [26-650]
乌龙茶叶	21	220 [19-530]
水仙茶叶	9	190 [1.2-760]
花茶	**25**	**150 [1.4-470]**
没发酵茶叶	**54**	**140 [检测不到-790]****
碧螺春茶叶	5	190 [22-310]
绿茶茶叶	34	140 [检测不到-790]**
龙井茶叶	15	130 [50-340]
玄米茶 (干)	**16**	**79 [检测不到-840]****
全发酵茶叶 / 后发酵茶叶	**75**	**69 [1.3-660]**
六安茶叶	5	190 [52-320]
红茶茶叶	50	64 [1.3-660]
普洱茶叶	20	50 [1.7-190]

* 数值取至两位有效数字。

** 如样本的高氯酸盐含量低于检测限(每公斤 1 微克)，则以检测限值的一半计算平均含量。

半发酵茶

35. 这次研究检测了 5 类半发酵茶叶共 76 个样本的高氯酸盐含量。“茉莉茶叶”的高氯酸盐平均含量最高(每公斤 300 微克)，其次是“铁观音茶叶”(每公斤 250 微克)和“寿眉茶叶”(每公斤 240 微克)。事实上，在是次检测的所有干茶叶中，这三类茶叶的高氯酸盐含量是最高的。

36. 虽然这次研究发现半发酵茶叶的高氯酸盐含量最高，但另有研究显示乌龙茶(一种半发酵茶叶)的高氯酸盐含量，较其他受检测的茶叶为低[47]。

全发酵茶／后发酵茶

37. “全发酵茶／后发酵茶”的高氯酸盐平均含量最低(每公斤 69 微克)。其他研究也显示，普洱茶(一种后发酵茶)的高氯酸盐平均含量相若(每公斤 70.6 微克和 71 微克)[42,44]。在这次研究中，“普洱茶叶”的高氯酸盐平均含量为每公斤 50 微克，是检测中的所有干茶叶中含量最低的。

38. “全发酵茶／后发酵茶”经过长时间(视乎制茶方法和环境条件，通常为数月至多年)的微生物发酵过程，令茶叶的微生物羣落出现重大变化。

39. 新鲜采摘的茶树(*Camellia sinensis*)树叶经过微生物发酵过程制成普洱茶叶，而研究发现，在发酵过程中，变形菌门(*Proteobacteria*)是最常观察到的其中一组细菌[48]。研究亦显示变形菌门的细菌在厌氧条件下能减少高氯酸盐。不过，普洱茶的高氯酸盐含量偏低是否与茶中存在变形菌门有关，两者的关系仍有待确定。

<u>茶／茶汤</u>

40. 这次研究按照载述于第 28 段和撮述于表 4 的程序，估算干茶叶冲泡的茶汤中和茶粉冲调的茶的高氯酸盐含量，从而估计市民从茶类产品摄入的高氯酸盐分量。

表 4 茶 / 干茶叶冲泡的茶汤的高氯酸盐含量

每个组别的茶 / 茶汤	样本数目	高氯酸盐平均含量* (微克 / 公升) [范围]
半发酵茶#	76	1.6 [0.0080-7.3]
花茶#	25	0.98 [0.0093-3.1]
没发酵茶#、^	54	0.96 [检测不到-5.3]†
玄米茶(干)#	16	0.53 [检测不到-5.6]†
全发酵茶 / 后发酵茶#	75	0.46 [0.0087-4.4]

* 数值取至两位有效数字。

干茶叶冲泡的茶 — 在估算茶的高氯酸盐含量时，假设 2 克茶叶每次以 150 毫升已煮沸的蒸馏水冲泡 5 分钟，经过两次冲泡后，高氯酸盐已完全释放出来。

^ 五个样本是茶粉 — 在估算茶粉冲调的茶的高氯酸盐含量时，假设喝茶人士已按照制造商的说明冲茶，并把茶粉全部喝下。

† 如样本的高氯酸盐含量低于检测限(每公斤 1 微克)，则以检测限值的一半计算平均含量。

41. 根据观察，茶的高氯酸盐平均含量偏低(每公升 0.46 微克至 1.6 微克)，而且与 2008 年至 2012 年美国食品及药物管理局总膳食研究所发表在茶中的高氯酸盐平均含量大致相若[11]。

茶类饮品

42. 在所有茶类饮品中，“奶茶”的高氯酸盐平均含量最高(每公升 3.1 微克)，其次是“柠檬茶”(每公升 1.3 微克)和“珍珠奶茶”(每公升 0.84 微克)，而“调味茶 / 茶饮”的高氯酸盐平均含量则最低(每公升 0.59 微克)(表 5)。

奶茶

43. 这次研究共抽取 15 个奶茶样本，当中 3 个样本是茶粉，故须按制造商的说明以水冲调。由于冲调后的奶茶在性质 / 成分方面与其他即饮的奶茶饮品大致相同，因此被视为属“奶茶”类别。“奶茶”的高氯酸盐含量介乎每公升 0.49 微克至 8.3 微克之间，整体平均含量为每公升 3.1 微克。奶茶的高氯酸盐含量较高，可能是由于奶茶含有其他成分，以及冲泡

奶茶所用的茶叶较多所致。"奶茶"的高氯酸盐平均含量虽然是所有茶类饮品中最高的，但仍较世卫建议每公升食水含不多于70微克高氯酸盐的准则值为低。

表5 茶类饮品的高氯酸盐含量

每个组别的茶类饮品	样本数目	高氯酸盐平均含量* (微克／公升) [范围]
奶茶@	15	3.1 [0.49-8.3]
柠檬茶	15	1.3 [检测不到-3.2]†
珍珠奶茶	10	0.84 [0.51-1.2]
玄米茶(饮品)	4	0.78 [检测不到-2.5]†
调味茶／茶饮	15	0.59 [检测不到-1.8]†

* 数值取至两位有效数字。

@ 所抽取的奶茶样本中有三个样本是茶粉。在估算冲调后的奶茶的高氯酸盐含量时，假设喝茶人士已按照制造商的说明以蒸馏水把茶粉冲调成奶茶，并把茶粉全部喝下。

† 如样本的高氯酸盐含量低于检测限(每公升0.1微克)，则以检测限值的一半计算平均含量。

从茶和茶类饮品摄入高氯酸盐的分量

44. 研究结果显示，本港人口(仅指喝茶人士)中摄入量一般和摄入量高的市民(体重62.24公斤，喝茶人士人数：经加权处理人数=3 734 432；喝茶人士人数：未经加权处理人数=3 407)，从茶和茶类饮品摄入高氯酸盐的分量，分别为每日每公斤体重0.012微克(为暂定最高每日可容忍摄入量的0.12%)和0.031微克(为暂定最高每日可容忍摄入量的0.31%)。本港摄入量一般的市民从茶和茶类饮品摄入高氯酸盐的估计分量，与上海市药品和医疗器械不良反应监测中心于2016年就上海市居民从茶叶摄取高氯酸盐的分量所作的评估相若，当地居民每日从茶叶摄取高氯酸盐的平均分量为每日每公斤体重0.012微克[46]。

45. 这次研究显示，"半发酵茶"和"奶茶"是摄入量一般的市民从茶和茶类饮品摄入高氯酸盐的两大主要来源，两者合计占总摄入量约74%。这两种茶占较高比例的高氯酸盐摄入量，很可能是与两者的食用量大和高氯酸盐含量相对偏高有关。

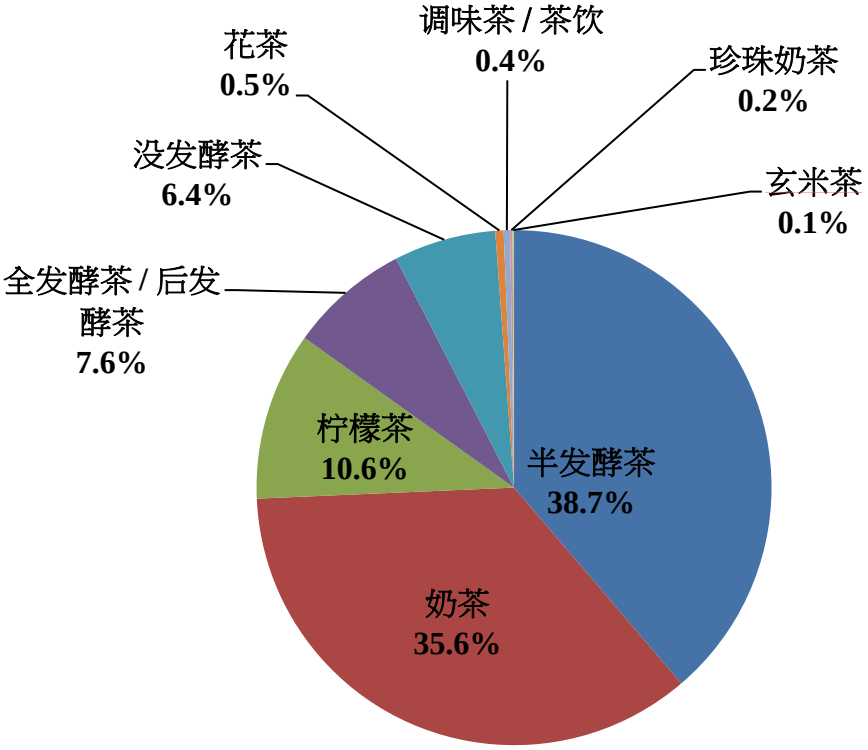
46. “柠檬茶”、“全发酵茶/后发酵茶”、“没发酵茶”、“花茶”、“调味茶/茶饮”、“珍珠奶茶”、“玄米茶(饮品)”合共占高氯酸盐摄入量26%。市民从不同组别的茶所摄取的高氯酸盐分量载于表6和图2。

表 6. 摄入量一般的市民从不同组别的茶和茶类饮品摄入的高氯酸盐分量和有关分量占膳食摄入量的百分比

茶类	从膳食摄入高氯酸盐的分量(微克/每日每公斤体重)	占膳食摄入量的百分比*
半发酵茶	0.00474	38.7%
奶茶	0.00436	35.6%
柠檬茶	0.00129	10.6%
全发酵茶/后发酵茶	0.00092	7.6%
没发酵茶	0.00078	6.4%
花茶	0.00006	0.5%
调味茶/茶饮	0.00005	0.4%
珍珠奶茶	0.00002	0.2%
玄米茶	0.00001	0.1%
总数	**0.01223**	**100%**

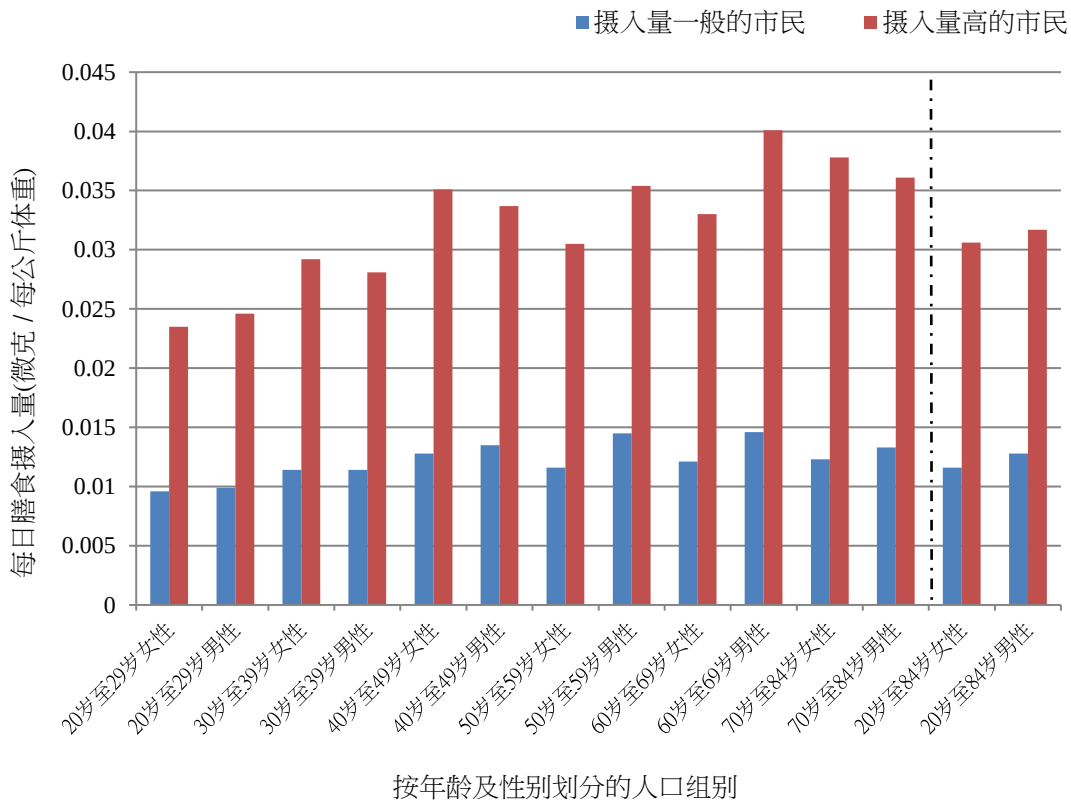
* 由于四舍五入的关系，数值相加未必等于总和

图 2. 摄入量一般的市民从各个组别的茶所摄入的高氯酸盐占膳食摄入量的百分比



47. 这次研究进一步按年龄及性别分析不同人口组别的膳食摄入量，有关分析载于图 3。对各个按年龄及性别划分的人口组别而言，从茶和茶类饮品摄入高氯酸盐，不会对健康构成影响。在所有按年龄及性别划分的人口组别中，60 至 69 岁男性组别摄入高氯酸盐的分量最高。在这个组别中，摄入量一般者为每日每公斤体重 0.015 微克，而摄入量高者则为每日每公斤体重 0.040 微克。

图 3. 按年龄及性别划分的人口组别列出摄入量一般和摄入量高的市民从茶及茶类饮品所摄入的高氯酸盐分量



研究的局限和不确定性

48. 虽然检测分析的样本数目愈多，对摄入量的估算便愈精确。然而，碍于资源所限，必须有所取舍。这次研究所检测分析的样本数目有限，仅占市面上可供本地消费者选购的产品的一小部分，研究只能概略地反映干茶叶和茶类饮品的高氯酸盐含量。

49. 这次研究假设干茶叶所含的高氯酸盐完全释放到茶汤中，以致高估了市民从膳食摄入高氯酸盐的分量。然而，计及高估这个因素后，研究仍会得出相近的结论。

结论及建议

50. 这次研究抽取的干茶叶和茶类饮品样本大多(96%)验出高氯酸盐。

51. 摄入量一般和摄入量高的市民，以及各个按年龄及性别划分的人口组别从干茶叶和茶类饮品摄入高氯酸盐的分量，均低于专家委员会订定的暂定最高每日可容忍摄入量(每日每公斤体重 10 微克)的百分之一。因此，市民从本地市场出售的干茶叶和茶类饮品摄入高氯酸盐的分量，对健康构成不良影响的机会甚微。

参考数据

1 World Health Organization (WHO). Safety Evaluation of Certain Contaminants in Food: Perchlorate; WHO Food Additives Series: 63. Geneva: WHO; 2011.
[引用日期：2017 年 8 月 2 日]
网址： http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44520/1/9789241660631_eng.pdf

2 Canadian Food Inspection Agency (CFIA). Perchlorate in Fresh Fruits and Vegetables, Dairy Products and Infant Formulae. Food Safety Action Plan Report 2010-2011 Targeted Surveys Chemistry.
[引用日期：2017 年 8 月 2 日]
网 址 ： http://www.inspection.gc.ca/food/chemical-residues-microbiology/chemical-residues/perchlorate/eng/1400161465324/1400161466746

3 Brown GM and Gu B. The Chemistry of Perchlorate in the Environment. In: Perchlorate. Environmental Occurrence, Interactions and Treatment. Chapter 2. Eds Gu B and Coates JD, Springer Science, New York, Philadelphia, USA, 2006: 17-47.

4 European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of perchlorate in food, in particular fruits and vegetables. EFSA Journal 2014; 12(10): 3869.
[引用日期：2017 年 8 月 2 日]
网址： http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2014.3869/epdf

5 Jackson WA, Joseph P, Laxman P, Tan K, Smith PN, Yu L and Anderson TA. Perchlorate Accumulation in Forage and Edible Vegetation. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2005; 53: 369-373.
[引用日期：2017 年 8 月 2 日]
网址： http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf0493021

6 Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) of the U.S. Department of Health and Human Services. Toxicological Profile for Perchlorates. October 2008.
[引用日期：2017 年 8 月 15 日]
网址： https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp162.pdf

7 Furin CG, von Hippel FA, Hagedorn B and O'Hara TM. Perchlorate trophic transfer increases tissue concentrations above ambient water exposure alone in a predatory fish. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A 2013; 76(18): 1072-84.

8 Charnley G. Perchlorate: Overview of risks and regulation. Food and Chemical Toxicology 2008; 46: 2307-2315.

9 European Food Safety Authority (EFSA). Dietary exposure assessments to perchlorate in the European population. EFSA Journal 2017; 15(10): 5043.
网址： http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2017.5043/epdf

10 Murray CW, Egan SK, Kim H, Beru N and Bolger PM. US Food and Drug Administration's Total Diet Study: Dietary intake of perchlorate and iodine. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 2008; 18: 571-580.

11 Abt E, Spungen J, Pouillot R, Gamalo-Siebers M, Wirtz M. Update on dietary intake of perchlorate and iodine from U.S. Food and Drug Administration's total diet study: 2008-2012. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 2016; doi:10.1038/jes.2016.78.

12 Kang N, Anderson TA and Jackson WA. Photochemical formation of perchlorate from aqueous oxychlorine anions. Analytica Chimica Acta 2006; 567: 48-56.

13 Kang N, Jackson WA, Dasgupta PK and Anderson TA. Perchlorate production by ozone oxidation of chloride in aqueous and dry systems. The Science of the Total Environment 2008; 405: 301-309.

14 Susarla S, Collette TW, Garrison AW, Wolfe NL and McCutcheon SC. Perchlorate identification in fertilizers. Environmental Science & Technology 1999; 33: 3469-3472.

15 Brandhuber P, Clark S and Morley K. A review of perchlorate occurrence in public water systems. Journal of American Water Works Association 2009; 101: 63-73.

16 Urbansky ET. Perchlorate Chemistry: Implications for Analysis and Remediation. Bioremediation Journal 1998; 2: 81-95.

17 The German Federal Institute for risk assessment (BfR). Frequently asked question about perchlorate in food. Updated on 15 February 2018.
[引用日期：2018 年 3 月 28 日]
网址：http://www.bfr.bund.de/cm/349/frequently-asked-questions-about-perchlorate-in-food.pdf

18 Kirk AB, Martinelango PK, Tian K, Dutta A, Smith EE and Dasgupta PK. Perchlorate and iodide in dairy and breast milk. Environmental Science & Technology 2005; 39: 2011-2017.

19 Kirk AB, Dyke JV, Martin CF and Dasgupta PK. Temporal patterns in perchlorate, thiocyanate, and iodide excretion in human milk. Environmental Health Perspectives 2007; 115: 182-186.

20 Téllez RT, Michaud Chacón P, Reyes Abarca C, Blount BC, Van Landingham CB, Crump KS and Gibbs JP. Long-term environmental exposure to perchlorate through drinking water and thyroid function during pregnancy and the neonatal period. Thyroid 2005; 15: 963-975.

21 Pearce EN, Leung AM, Blount BC, Bazrafshan HR, He X, Pino S, Valentin-Blasini L and Braverman LE. Breast milk iodine and perchlorate concentrations in lactating Boston-area women. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism 2007; 92: 1673-1677.

22 Dasgupta PK, Kirk AB, Dyke JV and Ohira S. Intake of iodine and perchlorate and excretion in human milk. Environmental Science & Technology 2008; 42: 8115-8121.

23 Kannan K, Praamsma ML, Oldi JF, Kunisue T and Sinha RK. Occurrence of perchlorate in drinking water, groundwater, surface water and human saliva from India. Chemosphere 2009; 76: 22-26.

24 Leung AM, Pearce EN, Hamilton T, He X, Pino S, Merewood A and Braverman LE. Colostrum iodine and perchlorate concentrations in Boston-area women: a cross-sectional study. Clinical Endocrinology 2009; 70: 326-330.

25 Oldi JF and Kannan K. Analysis of perchlorate in human saliva by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Environmental Science & Technology, 2009; 43: 142-147.

26 Oldi JF and Kannan K. Perchlorate in human blood serum and plasma: Relationship to concentrations in saliva. Chemosphere 2009; 77: 43-47.

27 Wolff J. Perchlorate and the thyroid gland. Pharmacological Reviews 1998; 50: 89-105.

28 Lawrence JE, Lamm SH, Pino S, Richman K and Braverman LE. The effect of short-term low-dose perchlorate on various aspects of thyroid function. Thyroid 2000; 10: 659-663.

29 European Chemicals Agency (ECHA). Published information on the REACH Registration Dossier on ammonium perchlorate (CAS Number 7790-98-9). European Chemicals Agency. 2008.
[引用日期：2017 年 8 月 25 日]
网址： http://echa.europa.eu/information-on-chemicals/registered-substances

30 Fernandez Rodriguez A, Galera Davidson H, Salguero Villadiego M, Moreno Fernandez A, Martin Lacave I and Fernandez Sanz J. Induction of thyroid proliferative changes in rats treated with antithyroid compound. Anatomia Histologia Embryologia 1991; 20: 289-298.

31 Pajer Z and Kalisnik M. The effect of sodium perchlorate and ionizing irradiation on the thyroid parenchymal and pituitary thyrotropic cells. Oncology 1991; 48: 317-320.

32 Toro Guillen M. Reversibility of proliferative thyroid lesions. Dissertation Abstracts International C 1991; 54: 1186.

33 National Research Council (NRC). Health implications of perchlorate ingestion. National Academics Press, Washington DC, 2005.
网址： http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309095689

34 Integrated Risk Information System (IRIS). Perchlorate and perchlorate salts. Washington, DC: Integrated Risk Information System. U.S. Environmental Protection Agency. 2007.
网址：
https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/1007_summary.pdf

35 Srinivasan A and Viraraghavan T. Perchlorate: health effects and technologies for its removal from water resources. International Journal of Environmental Research and Public Health 2009; 6(4):1418-1442.

36 Schier JG, Wolkin AF, Valentin-Blasini L, Belson MG, Kieszak SM, Rubin CS, Blount BC. Perchlorate exposure from infant formula and comparisons with the perchlorate reference dose. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 2010; 20(3): 281-287.

37 UK Food Standards Agency (FSA). Perchlorate - Questions and Answers.
[引用日期：2017 年 11 月 16 日]
网址： https://www.food.gov.uk/sites/default/files/perchlorate-qa.pdf

38 European Commission (EC). Statement as regards the presence of perchlorate in food endorsed by the Standing Committee on Plants, Animals, Food and Feed on 10 March 2015, updated on 23 June 2015.
[引用日期：2017 年 8 月 29 日].
网址：
https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_perchlorate_statement_food_update_en.pdf

39 食物环境卫生署：《2005 年至 2007 年香港市民食物消费量调查》(只备英文本)。香港：食物环境卫生署，2010 年。网址：
http://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_firm/files/FCS_final_report.pdf

40 政府统计署：《香港商品贸易统计：进口》。香港：政府统计署。2016 年 12 月。
网址： http://www.statistics.gov.hk/pub/B10200012016MM12B0100.pdf

41 Liu X, Fang C, Liu H, Li R and Yan C. Determination of perchlorates in tea by ion chromatography-tandem mass spectrometry. Chinese Journal of Chromatography 2016; 34(10): 986-988.

42 刘慧、高立红及李仁勇：《离子色谱-质谱/质谱法检测茶叶中的高氯酸盐》。赛默飞世尔科技（中国）有限公司 Application Notes_C_IC-105。[引用日期：2017 年 11 月 16 日]
网址：
https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/brochures/AN_C_IC-105%20%E7%A6%BB%E5%AD%90%E8%89%B2%E8%B0%B1-%E8%B4%A8%E8%B0%B1-%E8%B4%A8%E8%B0%B1%E6%B3%95%E6%A3%80%E6%B5%8B%E8%8C%B6%E5%8F%B6%E4%B8%AD%E7%9A%84%E9%AB%98%E6%B0%AF%E9%85%B8%E7%9B%90v2.pdf

43 Kaufmann-Horlacher I, Wauschkuhn C, Ströher Kolberg DI, Wildgrube C, Anastassiades M and Scherbaum E. Perchlorate contamination in foods of plant origin. EURL-SRM at the EPRW 2014.
网址：
http://www.eurl-pesticides.eu/userfiles/file/EurlSRM/EPRW2014_Kaufmann-Horlacher_Perchlorate-Contamination-in-Foods-of-Plant-Origin_119.pdf

44 刘小芳、方从容、刘慧、李仁勇及阎超：《离子色谱-串联质谱法检测茶叶中的高氯酸盐》。色谱 2016；34(10)：986-988。

45 Kaufmann-Horlacher I. Perchlorate residues in plant-based food – an update. 2015. [引用日期：2017 年 11 月 16 日]
网址：
http://www.cvuas.de/pub/beitrag.asp?subid=1&Thema_ID=5&ID=2094&lang=EN&Pdf=No

46 宇盛好、李亦奇、张旭晟、张露菁及彭少杰：《上海市市售食品中高氯酸盐污染的暴露评估》。上海预防医学 2017；29(6)： 426-430。

47 洪玮靖、张娴桢、张美华、廖家鼎、高雅敏、王德原及陈惠芳：《茶叶中过氯酸盐之检验研究》。食品药物研究年报 2017；8：6-14。

48 Zhang Y, Skaar I, Sulyok M, LiuX, Rao M and Taylor JW. The microbiome and metabolites in fermented Pu-erh tea as revealed by high-throughput sequencing and quantitative multiplex metabolite analysis. PLoS ONE 2016; 11(6): e0157847.

附录 1

来自不同地方的食物样本中高氯酸盐的含量水平

食物	样本数目	高氯酸盐平均水平 [范围] (微克/公斤或微克/升)
蔬菜 [i]		
生菜	372	11.6
菠菜	64	111
马铃薯	90	4.8
西红柿	95	14
红萝卜	120	10.5
茄子	60	78
西兰花	115	19
椰菜花	68	7
椰菜	31	10
水果 [i]		
苹果	33	0.5
葡萄	39	28
橙	50	5
蜜瓜类	98	19
其他		
蔬果汁 [i]	53	25.8
蜜露 [i]	6	0.3
全麦面粉 [i]	38	3.5
米 [i]	94	1
奶类 [i]	221	6.8
婴儿配方奶粉 (粉末) [i]	20	10
鱼和鱼类产品 [i]	186	资料不详 [0.32 至 1593]
酒类 [i]	104	6
啤酒 [i]	144	1.04
冲泡茶和冲泡香草茶 (固体) [ii]	17	56
冲泡茶和冲泡香草茶 (固体) [iii]	1193	324

数据源：

i) World Health Organization (WHO). Safety evaluation of certain contaminants in food: Perchlorate; WHO Food Additives Series: 63. Geneva: WHO; 2011.
网址： http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44520/1/9789241660631_eng.pdf

ii) European Food Safety Authority (EFSA). Scientific opinion on the risks to public health related to the presence of perchlorate in food, in particular fruits and vegetables. EFSA Journal 2014; 12(10): 3869.
网址： http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2014.3869/epdf

iii)European Food Safety Authority (EFSA). Dietary exposure assessments to perchlorate in the European population. EFSA Journal 2017; 15(10): 5043.
网址： http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2017.5043/epdf

附录 2

是次研究抽取的干茶叶和茶类饮品样本中检测出的高氯酸盐水平

样本分类和细项	样本数量	高氯酸盐平均水平* (微克 / 公斤)[范围]	高氯酸盐水平中位数*(微克 / 公斤或微克 / 升)
干茶叶			
没发酵茶叶	**54**	**140 [检测不到至 790]****	**120**
碧螺春茶叶	5	190 [22 至 310]	230
绿茶叶	34	140 [检测不到至 790]**	65
龙井茶叶	15	130 [50 至 340]	120
半发酵茶叶	**76**	**250 [1.2 至 1100]**	**180**
茉莉茶叶	20	300 [35 至 1100]	200
铁观音茶叶	16	250 [65 至 690]	180
寿眉茶叶	10	240 [26 至 650]	220
乌龙茶叶	21	220 [19 至 530]	190
水仙茶叶	9	190 [1.2 至 760]	120
全发酵茶叶 / 后发酵茶叶	**75**	**69 [1.3 至 660]**	**24**
六安茶叶	5	190 [52 至 320]	230
红茶叶#	50	64 [1.3 至 660]	5.0
普洱茶叶	20	50 [1.7 至 190]	41
花茶	**25**	**150 [1.4 至 470]**	**80**
玄米茶 (干)	**16**	**79 [检测不到至 840]****	**2.6**
茶类饮品			
柠檬茶	**15**	**1.3 [检测不到至 3.2]****	**1.4**
调味茶 / 茶饮	**15**	**0.59 [检测不到至 1.8]****	**0.44**
奶茶	**15**	**3.1 [0.49 至 8.3]**	**2.7**
奶茶 (粉末)	3	19 [5.3 至 30]	23
奶茶 (饮品)	12	3.4 [0.49 至 8.3]	2.9
珍珠奶茶	**10**	**0.84 [0.51 至 1.2]**	**0.81**
玄米茶 (饮品)	**4**	**0.78 [检测不到至 2.5]****	**0.28**

* 数值取至两位有效数字。

** 如样本的高氯酸盐水平低于检测限，则以检测限值的一半计算平均含量。

[#] 包括伯爵茶、英式早餐茶、大吉岭茶、锡兰茶、中国红茶和功夫茶。