

风险评估研究

第 62 号报告书

化学物危害评估

食用油脂和婴儿配方奶粉中的缩水甘油酯

香港特别行政区政府

食物环境卫生署

食物安全中心

2020 年 7 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

	<u>页数</u>
摘要	1
目的	3
背景	3
缩水甘油酯如何形成	3
食物中缩水甘油酯的来源	3
毒性	4
规管	4
研究范围	5
研究方法及化验分析	5
研究方法	5
化验分析	6
分析值低于检测限的处理方法	6
结果及讨论	6
食用油脂中的缩水甘油酯	6
婴儿配方奶粉中的缩水甘油酯	7
与外国的研究结果比较	7
饮食中的油脂	9
不确定因素和局限	10
结论及建议	10
参考资料	12

摘要

这项研究旨在检测本地市场食用油脂和婴儿配方奶粉的缩水甘油酯含量。

2. 缩水甘油酯是加工过程的污染物，主要在提炼植物油的过程中进行脱臭步骤时形成。我们食用精炼油和含精炼油的食物，便会摄入缩水甘油酯。

3. 缩水甘油酯经摄入后，会在人体内分解，释出缩水甘油。缩水甘油是基因毒性致癌物，国际癌症研究机构基于从实验动物所得的充分证据，将其列为第 2A 组致癌物，即“很可能令人类患癌”。缩水甘油也可能对实验动物的神经、泌尿和生殖系统产生毒性作用。

结果

4. 这项研究检测了 207 个样本的缩水甘油酯含量，当中 169 个样本为食用油脂(包括棕榈油、芥花籽油、粟米油、花生油、大豆油、葵花籽油、其他植物油、牛油、猪油、起酥油、人造牛油及涂抹酱)，其余 38 个样本为婴儿配方奶粉。

5. 食用油脂的缩水甘油酯含量在每公斤 16 微克至 4 500 微克之间*，平均含量为每公斤 569 微克。至于婴儿配方奶粉，各个样本的缩水甘油酯含量介乎每公斤 3.1 微克至 53 微克之间，平均含量为每公斤 10.6 微克。

结论及建议

6. 这项研究所收集的食用油脂和婴儿配方奶粉样本，缩水甘油酯的平均含量全部低于欧洲食物安全局，以及新西兰食物安全局与澳洲新西兰食品标准管理局的同类型研究数据。此外，本研究所收集的食用油脂和婴儿配方奶粉样本，缩水甘油酯的含量幅度最高值亦较上述两项研究为低。

7. 精炼油及其制成的食物中的缩水甘油酯含量，可望因应业界对这个问题增加认知和采取各项改善措施而减低。随着世界各地的食物安全机构和业界对缩水甘油酯日渐关注，并遵从食品法典委员会在 2019 年发布的相关建议，预料这些食物中的缩水甘油酯含量将渐趋下降。事实上，食物安全中心在 2020 年重新检测本地市面一些食用油样本时，发现与 2018 年年底至 2019 年年初收集的同一产品相比，大部分样本的缩水甘油酯含量减幅超过四成，可见食物中的缩水甘油酯含量有下降迹象。

* 除另有订明外，本摘要所载的缩水甘油酯含量均为上限值。

8. 食物业宜参照食品法典委员会采纳的有关实务守则,按“可合理达到最低水平”的原则采取措施,把食品中的缩水甘油酯含量减至最低。
9. 市民宜保持均衡和多元化的饮食,以免因偏吃某几类食物而过量摄入任何污染物。一般来说,维持健康和低脂的饮食习惯,可减少膳食中缩水甘油酯的总摄入量。
10. 母乳喂哺对母婴健康有益,母亲宜授母乳;如不喂哺母乳,则应继续以婴儿配方奶粉喂哺婴儿,确保婴儿得到适当营养。

风险评估研究

食用油脂和婴儿配方奶粉中的缩水甘油酯

目的

这项研究旨在检测本地市场中食用油脂和婴儿配方奶粉的缩水甘油酯含量。

背景

2. 缩水甘油酯是精炼油脂的加工过程污染物，在含有精炼油脂的食物中可以找到。近年国际科学界研究食用油的其他污染物时，对这组化合物表示关注¹。

缩水甘油酯如何形成

3. 迄今为止，精炼植物油是食物中缩水甘油酯的唯一确知来源。缩水甘油酯在提炼植物油的过程中进行脱臭步骤时形成。在高温下，3-单氯丙二醇及2-单氯丙二醇会分解成为缩水甘油。温度超过摄氏200度时，缩水甘油与甘油二酯开始产生作用，形成缩水甘油酯；温度如超出摄氏230度，缩水甘油酯含量更会大幅提高。棕榈油的甘油二酯含量(4%至12%)高于其他油类^{1、2}，因此尤其值得关注。虽然甘油一酯脱水后亦会形成缩水甘油酯，然而，植物油中天然的甘油一酯含量不高，而且更会在脱臭步骤中进一步下降，因此，甘油一酯并非缩水甘油酯污染的主要来源²。

食物中缩水甘油酯的来源

4. 在2016年，欧洲食品安全局总结就食物中缩水甘油酯含量收集到的数据，指出“动植物油脂”组别的缩水甘油酯含量最高，中间水平的平均值为每公斤1176微克。在“植物油脂”组别中，“棕榈油脂”的缩水甘油酯含量中间值最高，为每公斤3955微克²。

毒性

动力学及新陈代谢

5. 缩水甘油和缩水甘油酯在摄入后会被人体高效吸收。缩水甘油部分经过多重的酶催化途径(包括与谷胱甘肽结合及产生硫醚胺酸盐)会快速代谢,随尿液大量排出体外²。至于缩水甘油酯,则会在胃肠道大幅水解,释出具毒性的缩水甘油²。

毒性

6. 动物研究发现,缩水甘油对神经系统和泌尿系统具毒性,并可以致癌、减低生育能力和产生基因毒性^{1、3}。大鼠在连续 28 天给喂食每日每公斤体重 200 毫克缩水甘油后,会出现神经系统中毒征状。在重复剂量研究中,大鼠和小鼠给喂食每日每公斤体重 150 毫克至 400 毫克的缩水甘油,亦会导致泌尿系统中毒。一项为期两年的缩水甘油致癌性研究发现,给小鼠喂食每日每公斤体重 25 毫克和 50 毫克的缩水甘油,以及向大鼠喂食每日每公斤体重 37.5 毫克和 75 毫克的缩水甘油,会诱发雄鼠和雌鼠多个器官长出肿瘤。此外,缩水甘油会令雄性的大鼠和小鼠生育能力下降,最低不良作用剂量为每日每公斤体重 25 毫克。在这剂量下,大鼠附睾的精子数量会减少 36%¹。

7. 在致癌性和基因毒性方面,对实验物进行体外及体内实验所得的数据,均证实缩水甘油具基因毒性。然而,未有体内实验数据证明缩水甘油酯有基因毒性^{1、2}。国际癌症研究机构认为在实验动物身上已取得充分证据,证明缩水甘油可以致癌,因此把缩水甘油列为第 2A 组致癌物,即“可能令人类患癌”。

规管

国际情况

8. 现时尚未有食物中缩水甘油酯或缩水甘油含量的国际标准,食品法典委员会亦未订定相关标准。欧洲联盟设定了某些食物的缩水甘油酯含量上限,但其他食品安全监管机构却未有就食物中的缩水甘油酯含量订定上限⁵。

9. 食品法典委员会以风险管理模式应对这方面的问题，于 2019 年制订《减少精炼油和以精炼油制作的食品中 3-单氯丙二醇酯及缩水甘油酯的含量的实务守则》(实务守则)，就如何减少在精炼油和精炼油制食品中形成缩水甘油酯，向有关当局、食品制造商和食物生产商提供指引⁶。

研究范围

10. 这项研究集中检测本地市场的(i)食用油脂和(ii)婴儿配方奶粉[†]，因为这些食品分别是成人和婴儿从膳食摄入缩水甘油酯的重要来源。

研究方法及化验分析

研究方法

11. 食物安全中心(食安中心)在 2018 年 12 月至 2019 年 2 月期间，从本港的零售商和食肆收集了 207 个食物样本，当中 169 个样本为食用油脂(包括棕榈油、芥花籽油、粟米油、花生油、大豆油、葵花籽油、其他植物油、牛油、猪油、起酥油、人造牛油及涂抹酱)，其余 38 个样本为婴儿配方奶粉。收集所得的各类食物样本列于表 1。

表 1：采集的食物样本类别

类别	样本数目
食用油脂	169
动物脂肪、人造牛油及涂抹酱	63
植物油脂*	106
婴儿配方奶粉	38
总计	207

* 包括棕榈油、芥花籽油、粟米油、花生油、大豆油、葵花籽油、混合植物油及其他植物油。

[†] 婴儿配方奶粉指拟供婴儿(12 个月或不足 12 个月大)作为母乳代用品食用，以提供唯一营养来源的产品。

化验分析

12. 食安中心的食物研究化验所负责进行缩水甘油酯的化验分析工作。这项研究共检测了 207 个食用油脂和婴儿配方奶粉样本，测试 14 种缩水甘油酯(脂肪酸的碳原子数在 6 至 20 之间)的含量，并以缩水甘油表示。

13. 这项研究是以超高效液相色谱质谱联用仪测定食物样本中缩水甘油酯的含量。化验人员首先称取一定重量的样本，然后按定量添加稳定同位素标记，再以超声波方式通过乙酸乙酯从婴儿配方奶粉和固体脂肪样本中萃取脂肪。食用油脂和从婴儿配方奶粉或固体脂肪样本萃取的脂肪会以正己烷溶解，然后注入氨丙基固相萃取柱进行净化。洗脱液中的缩水甘油酯会以乙腈萃取，再通过 LipiFitr®柱，然后以仪器进行分析。油脂和婴儿配方奶粉样本中每种缩水甘油酯的检测限，分别为十亿分之一和十亿分之零点二。

分析值低于检测限的处理方法

14. 这项研究采用下限值和上限值的方式处理数据。就含量下限而言，低于检测限的结果全部换作零；至于含量上限，低于检测限的结果全部换作检测限值。这种以下限值和上限值处理数据的方式，是考虑到分析结果低于检测限时，真正数值实际上可处于零至检测限之间。下限假设食物样本不含有关化学物，故低于检测限的分析结果设定为零；上限则假设食物样本所含化学物的分量为检测限值，故低于检测限的分析结果设定为相应的检测限值。采用下限值和上限值方式处理数据，可把两种极端情况互相比较。

结果及讨论

食用油脂中的缩水甘油酯

15. 我们分析了 169 个食用油脂样本，全部都验出缩水甘油酯。各个类别的样本验出的缩水甘油酯含量见表 2。

表 2：研究所收集不同类别样本验出的缩水甘油酯含量

类别	样本 数目	缩水甘油酯含量 (微克 / 公斤)(以缩水甘油计)		
		平均值	最低值	最高值
		下限-上限	下限-上限	下限-上限
动物油脂、人造牛油及 涂抹酱	63	116 - 123	2.5 - 16	980 - 980
植物油脂*	106	824 - 833	3.4 - 16	4 500 - 4 500
所有食用油脂	169	560 - 569	2.5 - 16	4 500 - 4 500

* 包括芥花籽油、粟米油、花生油、大豆油、葵花籽油、混合植物油及其他植物油。

16. 这项研究发现，在收集所得的食用油脂样本中，缩水甘油酯的平均含量为每公斤 569 微克(上限)，而同一类食品不同样本的缩水甘油酯含量会有差异。棕榈油的缩水甘油酯平均值最高(每公斤 4 050 微克)，与海外研究的结果一致。

婴儿配方奶粉中的缩水甘油酯

17. 我们又分析了 38 个婴儿配方奶粉样本，全部都验出缩水甘油酯，平均值为每公斤 8.8 微克-10.6 微克(下限-上限)，检测到的含量在每公斤 3.1 微克至 53 微克(上限)之间。

与外国的研究结果比较

18. 根据外地进行的研究，缩水甘油酯通常会在精煉食用植物油脂中找到，含量以棕榈油为最高。这项研究的结果与外地的研究结果吻合。比对(i)欧洲食物安全局²及(ii)新西兰食物安全局与澳洲新西兰食品标准管理局⁷的研究结果，这项研究收集到的食用油脂和婴儿配方奶粉样本中缩水甘油酯的平均含量较低(见表 4)。此外，这项研究所收集的食用油脂和婴儿配方奶粉样本中缩水甘油酯的含量幅度最高值也较外地的研究结果为低(见表 5)。然而，与外地的研究作比较时，应考虑到进行研究的时间会有差异，并应顾及研究方法、采样策略、测试方法等因素。

表 4：欧洲食物安全局、新西兰食物安全局 / 澳洲新西兰食品标准管理局及食安中心研究中食用油脂和婴儿配方奶粉的缩水甘油酯平均含量比较

	缩水甘油酯平均含量 (微克 / 公斤)(以缩水甘油计)		
	欧洲食物安全局 (下限-上限)	新西兰食物安全局 / 澳洲新西兰食品 标准管理局	食安中心 (下限-上限)
食用油脂	1 167 - 1 184	758 ^a	560 - 569
婴儿配方奶粉	80 - 94	26	8.8 - 10.6

^a 按报告所载的个别结果计算。低于检测限的结果全部换作检测限值。

表 5：欧洲食物安全局、新西兰食物安全局 / 澳洲新西兰食品标准管理局及食安中心研究中食用油脂和婴儿配方奶粉的缩水甘油酯含量幅度比较

	缩水甘油酯含量幅度 (微克 / 公斤)(以缩水甘油计)		
	欧洲食物安全局	新西兰食物安全局 / 澳洲新西兰食品 标准管理局	食安中心 (上限)
食用油脂	<172 ^a - >6 070 ^b	<126 - 7 110	16 - 4 500
婴儿配方奶粉	<56 ^a - >220 ^b	<1.7 - 484	3.1 - 53

^a 定量限幅度的最高值

^b 第 95 百分位(中间)

19. 由于缩水甘油酯带有基因毒性并可致癌，食物业界应采取措施，把食品中的缩水甘油酯减至可合理达到的最低水平。食品法典委员会于 2019 年采纳的实务守则载有多项建议，范围涵盖制造精炼食油，以及如何选用精炼食油制作食品。这些建议为业界提供实用的参考信息 ⁶。

20. 随着世界各地的食物安全机构和食物业界对缩水甘油酯增加认识，预料在各方遵行食品法典委员会的实务守则后，食品中的缩水甘油酯含量会渐趋下降。事实上，食安中心在 2020 年重新检测本港市面部分食油样本时，发现与 2018 年年底至 2019 年年初收集的同一产品相比，大部分样本的缩水甘油酯含量下跌超过四成。

饮食中的油脂

21. 油脂是大众日常饮食的一个重要部分，除了提供人体所需的必需脂肪酸和能量，还含有脂溶性维他命(即维他命 A、D、E 和 K)，因此在膳食中不可或缺。

22. 油脂是浓缩的能量来源，每 1 克脂肪能提供 9 千卡能量。摄取过量脂肪(特别是饱和脂肪及反式脂肪)对身体有害，它与一些严重的健康问题相关，包括增加患上心脏病、肥胖症、高血压、糖尿病及某些癌症的风险。因此，保持均衡和多元化饮食，以及避免高糖、高脂和高盐的饮食，对保持健康至为重要。世界卫生组织(世卫)建议，人体从不同食物来源(例如肉类、奶类制品、种子、坚果和煮食油脂)摄取的总脂肪量，应占总能量摄取量的 15 至 30%。为预防上述非传染性疾病，除了避免摄取过量脂肪外，世卫还建议限制摄入饱和脂肪^{8、9、10}。众所周知，棕榈油不仅缩水甘油酯含量高，也含有大量饱和脂肪。因此，无论从营养或污染物的角度考虑，均宜减少进食棕榈油，以维持健康饮食。此外，世卫建议以不饱和脂肪(特别是多元不饱和脂肪)取代饱和脂肪及反式脂肪^{8、7、10}。事实上，多种含丰富多元不饱和脂肪的油(例如大豆油、芥花籽油、粟米油和葵花籽油)与棕榈油相比，缩水甘油酯含量都较低，而且容易在本地市场买到。

23. 缩水甘油酯是在精炼植物油及其制成的食品中可以找到的一种污染物。为确保食物所含的污染物减至可合理达到的低水平，以保障公众健康，国际和国家食品安全机构可采取多个风险管理方案，包括发出指引和实务守则、设定含量上限，以及向消费者作出食用忠告等。缩水甘油酯是加工过程的污染物，主要在提炼植物油的过程中进行脱臭步骤时形成，原则上可透过遵行优良制造规范，把缩水甘油酯含量降低。为处理这方面的问题，食品法典委员会发布了实务守则，这项措施能有效减低缩水甘油酯的含量，从而减少人体摄入量。在设定缩水甘油酯含量上限方面，现时科研知识仍有不足，因此未能进行全面的风险评估。联合国粮食及农业组织/世卫联合食物添加剂专家委员会指出，不足之处包括生物标记、检测分析方法及含量数据等方面³。此外，欧洲食品安全局建议对缩水甘油及缩水甘油酯的慢性致癌效应进行更广泛的研究，以减少风险评估的不明确性²。原则上，在决定含量上限之前，应先考虑科研知识不足及其他方面的问题，例如控制某一污染问题在技术上是否可行¹¹。

24. 婴儿配方奶粉是根据与婴儿所需营养有关的最新科研知识，按婴儿的特定营养需要而配制的。一直以来，精炼植物油脂被用作提供这些产品的脂肪成分¹²。德国联邦风险评估研究所表示，食用婴儿配方奶粉的

婴儿摄入较多缩水甘油酯，这情况可能持续已久，但没有证据显示，以婴儿配方奶粉喂哺的幼童因摄入缩水甘油酯而健康受影响。因此，该研究所认为，婴儿配方奶粉喂哺的婴儿因目前的缩水甘油酯摄入量以致健康受损的可能性不高¹²。现时有关的缩水甘油酯数据并未有显示在食用婴儿配方奶粉方面需作任何改变。不过，我们仍需在这课题上进一步研究，以取得全面信息进行风险评估。

25. 尽管如此，这项研究发现，即使是同一种食用油脂或婴儿配方奶粉，不同产品的缩水甘油酯含量可能有很大差异，食品制造商仍有空间按“可合理达到最低水平”的原则，减少各种产品的缩水甘油酯含量。欧洲食物安全局 2016 年的报告显示，在 2010 年至 2015 年期间，棕榈油脂制造商已把产品的缩水甘油酯平均含量降低，由 2010 年每公斤 9 000 微克的高水平减少一半²。

不确定因素和局限

26. 虽然检测分析的样本越多，对缩水甘油酯摄入量的估算便越精确，但化验所资源有限，进行化验工作必须有所取舍。由于缩水甘油酯是加工过程的污染物，会受加工过程中不同的因素影响，因此，这项研究的结果仅能反映某个时刻食物中的缩水甘油酯含量。

27. 在比较不同研究的结果时，应时刻谨慎，因为除检测方法有别外，其他因素(例如研究方法、抽样策略、收集和處理食物消费量数据的方法等)也会影响研究结果。

结论及建议

28. 这项研究旨在检测本地市场食用油脂和婴儿配方奶粉的缩水甘油酯含量，提供基线数据，以评估业界应采取的改善措施。与(i)欧洲食物安全局及(ii)新西兰食物安全局与澳洲新西兰食品标准管理局的研究结果比较，这项研究所收集的食用油脂和婴儿配方奶粉样本的缩水甘油酯平均含量较低。此外，在这项研究收集到的食用油脂和婴儿配方奶粉样本中，缩水甘油酯含量幅度的最高值也较低。

29. 食物中的缩水甘油酯含量，可望因应业界增加有关认知和采取相关改善措施而减低。随着世界各地的食物安全机构和业界对食物中的缩水甘油酯增加认识，并遵从食品法典委员会 2019 年实务守则的相关建议，预料这些食品的缩水甘油酯含量将渐趋下降。事实上，食安中心在 2020

年重新检测本地市面部分食用油样本时，发现与 2018 年年底至 2019 年年初收集的同一款产品相比，大部分样本的缩水甘油酯含量减幅超过四成，可见食物中的缩水甘油酯含量有下降迹象。

30. 食物业界宜参照食品法典委员会 2019 年的相关实务守则，按“可合理达到最低水平”的原则采取措施，把食品中的缩水甘油酯含量减至最低。

31. 市民宜保持均衡和多元化的饮食，以免因偏吃某几类食物而过量摄入任何污染物。一般来说，维持健康和低脂的饮食习惯，可减少膳食中缩水甘油酯的总摄入量。

32. 母乳喂哺对母婴健康有益，母亲宜授母乳。如不是喂哺母乳，则应继续以婴儿配方奶粉喂哺婴儿，确保婴儿得到适当营养。

参考资料

1. JECFA. Summary report of the eighty-third meeting of JECFA. 2016. 网址：
<http://www.fao.org/3/a-bq821e.pdf>
2. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Risk for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. EFSA Journal 2016; 14(5):4426. 网址：
<https://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/pub/4426>
3. JECFA. Glycidyl esters. In: Evaluation of certain contaminants in food. Eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series 1002. WHO and FAO. 2017. 网址：
<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/254893/1/9789241210027-eng.pdf?ua=1>
4. IARC. IARC Monograph Volume 77 (2000). Glycidol. 网址：
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol77/mono77-19.pdf>
5. European Union. Commission Regulation (EU) 2018/290 of 26th February 2018 amending Regulation (EC) No. 1881/2006 as regards maximum levels of glycidyl fatty acid esters in vegetable oils and fats, infant formula, follow-on formula and foods for special medical purposes intended for infants and young children. 网址：
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0290&from=EN>
6. Codex Alimentarius Commission. Code of practice for the reduction of 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPDEs) and glycidyl esters (GEs) in refined oils and food products made with refined oils. 2019. 网址：
http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B79-2019%252FCXC_079e.pdf
7. New Zealand Food Safety. Snapshot Survey for 2-MCPD, 3-MCPD, glycidol and their esters in selected vegetable oils and infant formulas in Australia and New Zealand. New Zealand Food Safety Technical Paper No.: 2020/05. 网址：
<https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/39890-snapshot-survey-for-2-mcpd-3-mcpd-glycidol-and-their-esters-in-selected-vegetable-oils-and-infant-formulas-in-australia-and-new-zealand-technical-paper>
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation. Rome: FAO; 2010.
9. World Health Organization. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Geneva: WHO; 2003.
10. World Health Organization. Fact Sheets- Healthy Diet. October 2018. 网址：
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

11. Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed. CXS 193-1995.
网 址：
http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193e.pdf

12. The German Federal Institute for Risk Assessment. Frequently asked questions regarding the contamination of foods with 3-MCPD, 2-MCPD and glycidyl fatty acid esters.2016.
网 址：
<https://www.bfr.bund.de/cm/349/frequently-asked-questions-regarding-the-contamination-of-foods-with-3-mcpd-2-mcpd-and-glycidyl-fatty-acid-esters.pdf>