

风险评估研究

第 78 号报告书

化学物危害评估

**食物中的 T-2 毒素、HT-2 毒素和
4,15-二乙酰薰草镰刀烯醇**

香港特别行政区政府
食物环境卫生署
食物安全中心
2025 年 3 月

本報告書由香港特別行政區政府食物環境衛生署食物安全中心發表。未經食物安全中心書面許可，不得翻印、審訂或摘錄或於其他刊物或研究著作轉載本報告書的全部或部分研究資料。若轉載本報告書其他部分的內容，須註明出處。

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	2
目的	5
背景	5
食物中的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS	6
毒性	7
安全参考值	9
规管情况	9
研究范围	10
研究方法和化验分析	10
研究方法	10
化验分析	11
分析值低于检测限的处理方法	12
结果和讨论	12
T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的含量	12
从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量	14
主要膳食来源	19
与其他地方比较	21
研究的不确定因素和局限	23
结论和建议	24
参考数据	25
附录	27
附录 I 2024 年 4 月 9 日委员会规例(欧盟)第 2024/1038 号 就食物中的 T-2 毒素和 HT-2 毒素含量上限 对规例(欧盟)第 2023/915 号作出的修订	27

食物中的 T-2 毒素、HT-2 毒素和
4,15-二乙酰藨草镰刀烯醇

摘要

单端孢霉烯族霉菌毒素是一组有毒的真菌次生代谢产物，由多种菌属的真菌所产生，可细分为 A、B、C 和 D 型四大类。T-2 毒素、HT-2 毒素和 4,15-二乙酰薰草镰刀烯醇(DAS)是结构相近的 A 型单端孢霉烯族毒素，据报它们是由不同品种的镰刀菌所产生，这些镰刀菌可在收成前的阴凉潮湿条件下滋长和入侵农作物。亦有报告指，受 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 污染的主要食物类别为谷类及其制品。

2. 一些动物研究显示，T-2 毒素会影响免疫系统。T-2 毒素和 HT-2 毒素诱发不良影响的效能相若，但强度比 DAS 为高。国际癌症研究机构于 1993 年对“源于拟枝孢镰刀菌的毒素(T-2 毒素)”进行了评估，把源于拟枝孢镰刀菌的毒素列为第 3 组物质，即未能分类会否令人类患癌。
3. 联合国粮食及农业组织 / 世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(联合专家委员会)于 2022 年已重新评估 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的毒性，把 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS(单独或合并)的组别每日可容忍摄入量定为每公斤体重 25 纳克。在把 DAS 的膳食摄入量与组别每日可容忍摄入量作比较时，应乘以相对强弱因子值 0.2。
4. 这项研究旨在(i)检测本地市场选定食品中的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 含量；(ii)估算本港成年人和较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量；以及(iii)评估相关的潜在健康风险。

研究方法

5. 我们参照曾发现含有 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的食物种类，从本港零售市场采集了 327 个样本进行化验。这些样本属于 10 个食物组别，分别为“谷类”、“麪粉”、“淀粉代用品”、“粉麪”、“早餐谷类食品”、“烘焙食品”、“调味小食”、“蔬菜、坚果和种子”、“植物油”，以及“饮料”。

结果

6. 我们分析上述 327 个样本后发现，有 254 个(约 78%)没有检出 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS，有 73 个样本(约 22%)检出含有至少一种霉菌毒素(高于或等于检测限)。这 73 个样本当中有超过半数属于“谷类”这个食物组别(41 个样本，占 56%)，其次是“早餐谷类食品”(12 个样本，占 16%)和“烘焙食品”(9 个样本，占 12%)。至于“淀粉代用品”和“粉麪”的所有食物样本均没有检出 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS。

7. 经评估后发现，就本港成年人中摄入量一般和摄入量高(第 90 百分位)的消费者而言，从所采集的食物组别得出有关 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计膳食摄入总量上限^a，分别为每日每公斤体重 0.8455 纳克(占组别每日可容忍摄入量的 3.38%)和每日每公斤体重 1.2806 纳克(占组别每日可容忍摄入量的 5.12%)。

8. 至于较年轻羣组方面，摄入量一般和摄入量高的消费者从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计总量上限，分别为每日每公斤体重 1.4703 纳克(即组别每日可容忍摄入量的 5.88%)和每日每公斤体重 2.4047 纳克(即组别每日可容忍摄入量的 9.62%)。

^a 把所有檢測不到 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的樣本換作檢測限值來估算膳食攝入量上限。

9. 没有一个食物组别被发现为本港成年人和较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的主要来源。

结论和建议

10. 在本港成年人和较年轻羣组中，摄入量一般和摄入量高的消费者从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计总量远低于联合专家委员会所订定的组别每日可容忍摄入量，显示本港成年人和较年轻羣组从膳食中摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 而影响健康的机会不大。

11. 为了减少单端孢霉烯族霉菌毒素污染的风险，市民应向可靠的供货商购买谷类及其制品，并妥善存放在阴凉干燥的地方，以防止霉菌滋生。此外，市民宜遵从基本的健康饮食建议，保持均衡多元的饮食，以减低因偏吃而摄入某些污染物的风险。业界人士也应妥善贮存食品，避免霉菌滋长，而导致食品中的霉菌毒素含量增加。

风险评估研究 -

食物中的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 4,15-二乙酰薰草镰刀烯醇

目的

这项研究旨在(i)检测本地市场选定食品中的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 4,15-二乙酰薰草镰刀烯醇(DAS)含量；(ii)估算本港成年人和较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量；以及(iii)评估相关的潜在健康风险。

背景

2. 单端孢霉烯族霉菌毒素是一组有毒的真菌次生代谢产物，由多种菌属的真菌所产生^{1,2}。所有单端孢霉烯的基本结构均为四环结构，在 C-12 和 C-13 之间有一个螺环氧基，在 C-9 和 C-10 之间有一个烯烃双键¹⁻⁴(图 1)。根据这个骨干结构四周不同位置的不同取代基，单端孢霉烯可细分为 A、B、C 和 D 型四大类¹⁻⁵。

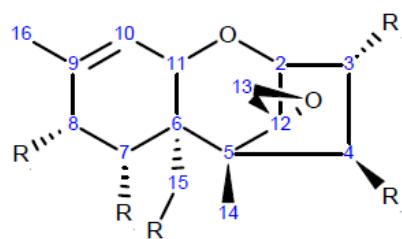


图 1. 单端孢霉烯的骨干结构²

3. T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 是结构相近的 A 型单端孢霉烯族毒素^{3,5-6}。HT-2 毒素是 T-2 毒素的初生代谢产物^{3,6-8}。T-2 毒素和 HT-2 毒素在 C-8 位置均有一个酯类官能基，HT-2 毒素在 C-4 位置还有一个羟基^{2,3,5-6}（图 2）。DAS 与 T-2 毒素的区别在于 前者在 C-8 位置没有异戊酰^{2,9}。据报它们是由不同品种的镰刀菌（例如拟枝孢镰刀菌、梨孢镰刀菌和朗塞斯镰刀菌等）所产生，这些镰刀菌可在收成前的阴凉潮湿条件下滋长和入侵农作物^{5-7,9-10}。

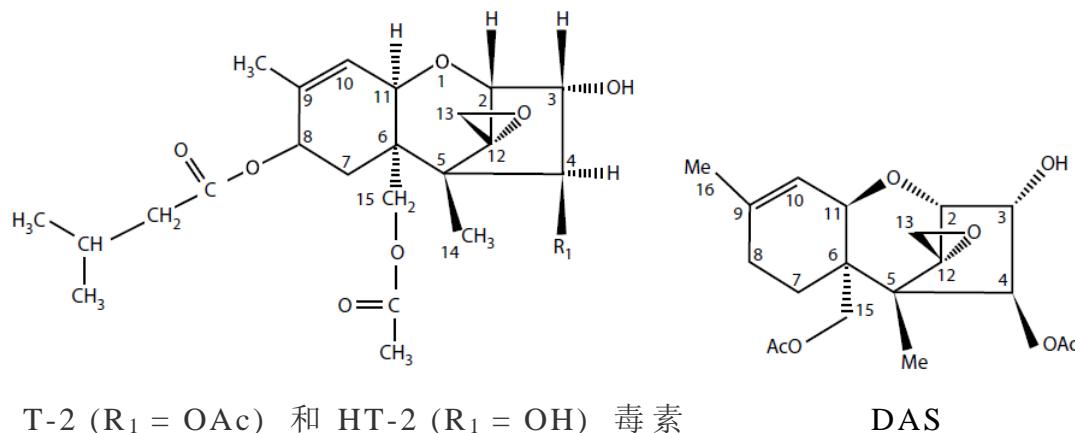


图 2. T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的化学结构⁵

食物中的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS

4. 有报告指出，受 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 污染的主要食物类别为谷类(例如小麦、燕麦、大麦、大米、黑麦、粟米和高粱)^{2,5-7,9-10}。一些研究亦发现，麴粉、麴包、早餐谷类食品、粉麴和啤酒等谷类制品含有上述单端孢霉烯族毒素^{5-7,9-10}。除谷类及其制品外，咖啡豆亦检测出 DAS^{5,9-10}。

5. 一般而言，食物业多个常用工序可减少食物中的 T-2 毒素和 HT-2 毒素⁶。举例而言，清洗、分类、筛选和去壳等工序可令谷粒的镰刀菌毒

素总含量显著减少达 98%⁷。谷粒的外层含有较多 T-2 毒素和 HT-2 毒素，相比其他碾磨部分，这些毒素在外壳、麸皮和胚芽的浓度较高^{6,9}。

6. 食物在摄氏 150 度左右烹煮时，其 T-2 毒素和 HT-2 毒素浓度会降低⁶。根据一些研究，较高的温度会加剧毒素降解⁶。不过，有些研究却发现，烘焙和烹煮对食物中 T-2 毒素和 HT-2 毒素的浓度影响不大⁷。

毒性

7. 短期摄入 T-2 毒素会影响免疫系统^{6,9}。从各种不同动物观察所得，敏感毒理指标还包括厌食、体重增长减少和器官重量有变^{6,9}。一些动物研究所得的证据显示，T-2 毒素和 DAS 经口服途径进入动物体内所引致的免疫毒性和血液毒性影响相近³⁻⁶。T-2 毒素和 HT-2 毒素在体外、体内诱发不良影响的效能相若¹⁰，但强度比 DAS 为高⁵⁻⁶。

8. T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的共同毒理机制包括透过与核糖体结合抑制蛋白质合成、抑制核糖核酸及脱氧核糖核酸(DNA)合成、破坏细胞膜，以及诱导细胞凋亡(特别是在淋巴和造血器官组织中)^{1,4-5,7-9}。

动力学及新陈代谢

9. T-2 毒素或 HT-2 毒素在人体中的毒物代谢动力学目前尚未明确^{7-8,11}。在实验动物中，T-2 毒素经口服途径摄入后会被迅速吸收并分布到肝脏、肾脏和其他器官，但不会异常地积聚^{4,7-8}。T-2 毒素在胃肠道内迅速转化为多种代谢物，当中以 HT-2 毒素为主⁷。大部分 T-2 毒素及其代谢物会在 72 小时内经尿液和粪便排出^{4,7}。

10. DAS 会被迅速吸收和代谢，于血浆的浓度会在口服后 30 至 60 分钟内达到峰值⁵。DAS 存在于胃肠道、肝脏、肾脏和淋巴造血系统的组织⁵，在组织内的浓度会迅速下降，不会在任何组织内明显积聚。大部分 DAS 会在 24 小时内经尿液和粪便排出^{5,9}。

急性毒性

11. T-2 毒素对各种动物的急性口服毒性(即半数致死剂量)介乎每公斤体重 4 至 10.5 毫克不等¹¹，而 HT-2 毒素的口服半数致死剂量则尚未订定⁷。多种实验动物经口服途径摄入 T-2 毒素后引致急性中毒，诱发氧化应激、食量下降、致吐、免疫系统中毒、血液中毒、肝肾受损和神经中毒等影响^{4,6,8}。

12. 至于 DAS 方面，对实验动物的急性口服半数致死剂量介乎每公斤体重 2 至 15 毫克不等^{5,9}。经口服途径摄入 DAS 引致的急性中毒会影响小鼠的食量和使水貂出现致吐反应，其作用模式与 T-2 毒素和 HT-2 毒素相若⁶。

慢性毒性

13. 有关 T-2 毒素的毒性和致癌性的长期研究不多⁶。联合专家委员会断定，T-2 毒素诱发毒性的作用模式不大可能包含与 DNA 的直接相互作用⁶。

14. 就 DAS 而言，在细菌或真核细胞体外系统进行的基因毒性检测一律得出阴性结果⁵。现时尚未有关于哺乳类动物以口服途径摄入 DAS 的长期毒性或致癌性研究，也没有生殖或发育毒性研究⁵。

15. 国际癌症研究机构曾于 1993 年对“源于拟枝孢镰刀菌的毒素(T-2 毒素)”进行评估，把源于拟枝孢镰刀菌的毒素列为第 3 组物质，即未能分类会否令人类患癌¹¹。

安全参考值

16. 联合专家委员会于 2022 年已重新评估 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的毒性，断定在幼猪进行的三星期毒性研究中，重复从膳食摄入毒素后所观察到的影响是最敏感、可靠和可重复的⁶。该项研究选定每日每公斤体重 1.8 微克这个诱发每日体重增幅减少 10% 的基准剂量可信限下限 (BMDL₁₀)，作为最合适的分离点(point of departure)，并把 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS(单独或合并)的组别每日可容忍摄入量定为每公斤体重 25 纳克⁶。在把 DAS 的膳食摄入量与组别每日可容忍摄入量作比较时，应乘以相对强弱因子值 0.2⁶。

规管情况

17. 现时，食品法典委员会和其他司法管辖区(例如澳洲、加拿大、中国内地、新西兰和美国)均未有为食物中 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的含量上限订定标准。

18. 欧盟曾制订委员会规例(欧盟)第 2023/915 号，就食物中若干污染物订定含量上限，其后于 2024 年 4 月 9 日经委员会规例(欧盟)第 2024/1038 号作出修订，当中就若干食物类别(附录 I)订明的 T-2 毒素和 HT-2 毒素总含量上限于 2024 年 7 月生效¹²。

19. 虽然香港没有为食物中 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的含量上限订定具体标准，但《公众卫生及市政条例》(第 132 章)订明，所有在香港出售的食物必须适宜供人食用。

研究范围

20. 这项研究集中分析据报含有 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的食物，主要包括谷类及其制品。选取食物的准则如下：(i)文献所载的含量数据、(ii)在本地的受欢迎程度，以及(iii)抽样期内在本地市场的供应情况。

研究方法和化验分析

研究方法

21. 2023 年 10 月至 12 月期间，我们从本港零售商(例如超级市场、网店和杂货店)收集了 327 个食物样本。样本分为 10 个食物组别，分别为“谷类”、“麪粉”、“淀粉代用品”、“粉麪”、“早餐谷类食品”、“烘焙食品”、“调味小食”、“蔬菜、坚果和种子”、“植物油”，以及“饮料”。样本列表涵盖 61 项食物(附录 II)。除麪粉、淀粉代用品和植物油外，其余所有食物在化验前均处理至食用状态，即生的食物先经烹煮才进行 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的化验分析。

22. 这项研究按照联合专家委员会的评估，把 DAS 的化验分析结果乘以强弱因子值 0.2，再与 T-2 毒素和 HT-2 毒素的结果相加，然后把 DAS、T-2 毒素和 HT-2 毒素的合计结果与第二次全港性食物消费量调查(2018-2020)和较年轻羣组的食物消费量调查(2021-2022)所得的食物消费量数据结合，分别计算出本港成年人和较年羣组的膳食摄入量。

23. 这项研究以名为“摄入量评估系统”的内部研发网络计算机系统估算膳食摄入量。消费者从选定食物摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量是由消费者从有关食物摄入毒素的分量加总得出。这项研究分别以膳食摄入量的平均值和第 90 百分位的数值，作为摄入量一般和摄入量高的本港成年人和较年轻羣组的数值，并把 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计摄入量与组别每日可容忍摄入量(每公斤体重 25 纳克)作出比较，然后以其占这个基准数值的百分比表示。

化验分析

24. T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的化验分析工作由食物安全中心(食安中心)的食物研究化验所负责进行。这项研究检测了全部样本中 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的含量。

25. 这项研究利用超高效液相色谱—质谱联用仪分析食物样本中 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的含量。化验人员首先秤取一定重量的样本，然后按定量添加具稳定同位素标记的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS。样本加入乙腈、水和醋酸的混合物，以振荡方式萃取。样本萃取物以净化柱(含有一组用以分析 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的特定吸收剂)进一步净化。样本净化后，经浓缩的样本溶液再以仪器进行分析。样本中 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的检测限为每公斤 0.05 微克。

分析值低于检测限的处理方法

26. 这项研究同时采用下限值和上限值的方式处理数据^b。这种处理数据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。下限假设食品样本不含有关化学物，故低于检测限的分析结果设定为零；上限则假设食品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。同时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。

结果和讨论

T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的含量

27. 在 327 个样本中，有 254 个(约 78%)没有检出 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS，有 73 个样本(约 22%)检出含有至少一种霉菌毒素(高于或等于检测限)。

28. 这 73 个样本当中有超过半数属于“谷类”这个食物组别(41 个样本，占 56%)，其次是“早餐谷类食品”(12 个样本，占 16%)和“烘焙食品”(9 个样本，占 12%)。至于“淀粉代用品”和“粉麪”的所有食物样本均没有检出 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS。

^b 關於檢測不到的分析結果的賦值原則對於膳食攝入量的估算至關重要。在保證科學合理的情況下，濃度數據應充分考慮營養或毒理學意義。如果化學物很有可能存在於食物中(例如天然存在的污染物和霉菌毒素)，應分別計算下限值和上限值所對應的化學物平均濃度。下限值的計算是對所有檢測不到有關化學物的樣本賦值為零，然後計算膳食攝入量；上限值的計算是對所有檢測不到有關化學物的樣本賦值為檢測限，然後計算膳食攝入量。

29. 在 73 个样本当中，有 10 个检出这次研究分析的全部三种霉菌毒素，其中 6 个属于“早餐谷类食品”这个食物组别，4 个则属于“谷类”。

30. 不同食物组别的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 总含量平均值撮载于表 1。“早餐谷类食品”这个食物组别的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 总含量平均值最高(每公斤 2.687 微克至 2.726 微克(下限至上限))，其次是“植物油”(每公斤 1.075 微克至 1.222 微克(下限至上限))和“谷类”(每公斤 0.304 微克 0.381 微克(下限至上限))。T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 总含量平均值最低的食物组别为“调味小食”(每公斤 0.005 微克至 0.113 微克(下限至上限))。不同食物的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 总含量撮载于附件 1。

表 1：各食物组别检出的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的
总含量平均值(微克 / 公斤)

食物组别	样本数量	低于检测限的样本百分比	T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的平均值 (微克 / 公斤)* [范围]	下限	上限
早餐谷类食品	17	29	2.687 [0-23.718]	2.726	[0.11-23.718]
植物油	6	33	1.075 [0-3.43]	1.222	[0.11-3.44]
谷类	190	78	0.304 [0-7.038]	0.381	[0.11-7.038]
烘焙食品	51	82	0.168 [0-4.3]	0.264	[0.11-4.31]
饮料	6	67	0.027 [0-0.1]	0.120	[0.11-0.16]
麴粉	6	67	0.019 [0-0.08]	0.119	[0.11-0.14]
蔬菜、坚果和种子	9	78	0.008 [0-0.036]	0.115	[0.11-0.136]
调味小食	6	83	0.005 [0-0.028]	0.113	[0.11-0.128]
淀粉代用品	6		所有样本的含量均低于检测限		
粉麴	30		所有样本的含量均低于检测限		
总数	327	78			

*调整至小数点后 3 个位

从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量

成年人

31. 表 2 载列从所采集的食物得出有关本港成年人从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计总量。就本港成年人从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量而言，摄入量一般的消费者的估计摄入量下限和上限，分别为每日每公斤体重 0.0753 纳克和 0.8455 纳克(组别每日可容忍摄入量的 0.3% 和 3.38%); 摄入量高(第 90 百分位)的消费者的估计摄入量下限和上限，则分别为每日每公斤体重 0.1907 纳克和 1.2806 纳克(组别每日可容忍摄入量的 0.76% 和 5.12%)。上述结果显示，摄入量一般

和摄入量高的消费者从膳食中摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 而影响健康的机会不大。

表 2：本港成年人从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量

以及占组别每日可容忍摄入量的百分比

	摄入量一般的消费者 (下限 - 上限)	摄入量高的消费者 (第 90 百分位)(下限 - 上限)
膳食摄入量 (纳克 / 每日每 公斤体重)	0.0753 - 0.8455	0.1907 - 1.2806
占组别每日可 容忍摄入量的 百分比	0.3% - 3.38%	0.76% - 5.12%

32. 我们进一步按年龄及性别分析本港成年人从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的分量，结果载于表 3。有关结果亦显示，所有年龄及性别组别摄入量一般和摄入量高的消费者从膳食中摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 而影响健康的机会不大。

表 3：按年龄和性别列出本港成年人从膳食摄入 T-2 毒素、
HT-2 毒素和 DAS 的总量

膳食摄入量 (纳克 / 每日每公斤体重)			
	摄入量一般的消费者 (下限 - 上限)	摄入量高的消费者 (第 90 百分位) (下限 - 上限)	
18 至 49 岁	男性	0.0643-0.9035	0.1504-1.3549
	女性	0.0701-0.8019	0.1628-1.2723
50 至 64 岁	男性	0.0907-0.9456	0.2659-1.3937
	女性	0.0894-0.7925	0.1998-1.2400
65 岁以上	男性	0.0719-0.8516	0.1840-1.2573
	女性	0.0758-0.7685	0.1897-1.1586
18 岁至 65 岁以上	男性	0.0737-0.9052	0.1943-1.3458
	女性	0.0768-0.7923	0.1851-1.2388

较年轻羣组

33. 表 4 载列从所采集的食物得出有关本港较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计总量。就较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量而言，摄入量一般的消费者的估计摄入量下限和上限，分别为每日每公斤体重 0.3407 纳克和每日每公斤体重 1.4703 纳克(组别每日可容忍摄入量的 1.36% 和 5.88%); 摄入量高(第 90 百分位)的消费者的估计摄入量下限和上限，则分别为每日每公斤体重 0.7078 纳克和每日每公斤体重 2.4047 纳克(组别每日可容忍摄入量的 2.83% 和 9.62%)。上述结果显示，摄入量一般和摄入量高的消费者从膳食中摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 而影响健康的机会不大。

表 4：本港较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量以及占组别每日可容忍摄入量的百分比

	摄入量一般的消费者 (下限-上限)	摄入量高的消费者 (第 90 百分位) (下限-上限)
膳食摄入量 (纳克 / 每日每公斤体重)	0.3407-1.4703	0.7078-2.4047
占组别每日可容忍摄入量 的百分比	1.36%-5.88%	2.83%-9.62%

34. 下文将会进一步分析较年轻羣组的次组别(即 6 至 11 岁的儿童和 12 至 17 岁的青少年)的膳食摄入量。

儿童(6 至 11 岁)

35. 表 5 载列从所采集的食物得出有关本港儿童从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计总量。就儿童从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量而言，摄入量一般的消费者的估计摄入量下限和上限，分别为每日每公斤体重 0.4694 纳克和每日每公斤体重 1.8328 纳克(组别每日可容忍摄入量的 1.88% 和 7.33%)；摄入量高(第 90 百分位)的消费者的估计摄入量下限和上限，则分别为每日每公斤体重 1.2601 纳克和每日每公斤体重 2.9497 纳克(组别每日可容忍摄入量的 5.04% 和 11.80%)。上述结果显示，摄入量一般和摄入量高的消费者从膳食中摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 而影响健康的机会不大。

表 5：儿童从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量
以及占组别每日可容忍摄入量的百分比

	摄入量一般的消费者 (下限 - 上限)	摄入量高的消费者 (第 90 百分位) (下限 - 上限)
膳食摄入量		
(纳克 / 每日每公斤体重)	0.4694 – 1.8328	1.2601 – 2.9497
占组别每日可容忍摄入量的百分比	1.88% - 7.33%	5.04% - 11.80%

青少年(12 至 17 岁)

36. 表 6 载列从所采集的食物得出有关青少年从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计总量。就青少年从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量而言，摄入量一般的消费者的估计摄入量下限和上限，分别为每日每公斤体重 0.2046 纳克和每日每公斤体重 1.0870 纳克(占组别每日可容忍摄入量的 0.82% 和 4.35%)；摄入量高(第 90 百分位)的消费者的估计摄入量下限和上限，则分别为每日每公斤体重 0.3077 纳克和每日每公斤体重 1.7155 纳克(占组别每日可容忍摄入量的 1.23% 和 6.86%)。上述结果显示，摄入量一般和摄入量高的消费者从膳食中摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 而影响健康的机会不大。

表 6：青少年从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量
以及占组别每日可容忍摄入量的百分比

	摄入量一般的消费者 (下限-上限)	摄入量高的消费者 (第 90 百分位) (下限-上限)
膳食摄入量 (纳克 / 每日每 公斤体重)	0.2046 – 1.0870	0.3077 – 1.7155
占组别每日可 容忍摄入量的 百分比	0.82% - 4.35%	1.23% - 6.86%

37. 考虑到青少年在饮食方面存在性别差异，青少年的膳食摄入量估算会再按性别细分(表 7)。结果显示，摄入量一般和摄入量高的消费者从膳食中摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 而影响健康的机会不大。

表 7：按性别列出青少年从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素
和 DAS 的总量

	摄入量一般的消费者 (下限-上限)	摄入量高的消费者 (第 90 百分位) (下限-上限)
男性	0.2164-1.1894	0.2170-1.7656
女性	0.1922-0.9787	0.3683-1.5745

主要膳食来源

38. 摄入量一般的成年人和较年轻羣组从各食物组别摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量占整体膳食摄入量(下限)的百分比，分别载于表 8 及表 9。

39. 从个别食物组别摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的分量占整体摄入量的实际比重，宜以下限方式表达，原因是下限不受某些食物组别有多个样本低于检测限的影响。组别每日可容忍摄入量的百分比也采用估计下限计算。

成年人

40. 与其他食物组别相比，从“谷类”摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的分量占整体摄入量的比重最高，其次是“饮料”和“烘焙食品”。然而，研究结果显示，从各食物组别摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的分量占组别每日可容忍摄入量的百分比均低于 5%，因此，没有一个食物组别是本港成年人从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的主要来源。

表 8：本港成年人从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的平均分量

食物组别	膳食摄入量 (纳克 / 每日 每公斤体重)	占膳食摄入量 的百分比	占组别每日可 容忍摄入量的 百分比
谷类	0.02560	33.98%	0.1024%
饮料	0.01621	21.52%	0.0648%
烘焙食品	0.01477	19.60%	0.0591%
早餐谷类食品	0.01306	17.34%	0.0522%
植物油	0.00368	4.89%	0.0147%
麴粉	0.00186	2.47%	0.0074%
调味小食	0.00012	0.15%	0.0005%
蔬菜、坚果和种子	0.00004	0.05%	0.0002%
总数	0.07534	100%	0.3%

较年轻羣组

41. 与其他食物组别相比，从“早餐谷类食品”摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的分量占整体摄入量的比重最高，其次是“烘焙食品”和“谷类”。然而，研究结果显示，从各食物组别摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的分量占组别每日可容忍摄入量的百分比均低于 5%，因此，没有一个食物组别是较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的主要来源。

表 9：较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的平均分量

食物组别	膳食摄入量 (纳克 / 每日 每公斤体重)	占膳食摄入量 的百分比	占组别每日 可容忍摄入量 的百分比
早餐谷类食品	0.28063	82.37%	1.1225%
烘焙食品	0.02388	7.01%	0.0955%
谷类	0.02388	7.01%	0.0955%
植物油	0.01008	2.96%	0.0403%
麴粉	0.00159	0.47%	0.0064%
调味小食	0.00049	0.14%	0.0020%
蔬菜、坚果和种子	0.00014	0.04%	0.0006%
总数	0.3407	100%	1.36%

与其他地方比较

42. 中国国家食品安全风险评估中心、欧洲食物安全局和法国国家食品、环境及劳动卫生署曾发表数个有关 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 膳食摄入量或其总和的研究报告。

43. 联合专家委员会亦曾检视不同国家的研究，并提供了从科学文献所得有关 T-2 毒素和 HT-2 毒素的估计摄入量范围概要。2022 年，联合专

家委员会重新评估了 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的合并膳食摄入量，在考虑相关风险时，只采纳 T-2 毒素和 HT-2 毒素的合并膳食摄入量，因为 DAS 的估计膳食摄入量远低于 T-2 毒素和 HT-2 毒素的估计合并膳食摄入量¹。海外及这项研究报告的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的平均膳食摄入量或其总和摘录于表 10。我们留意到，本港成年人和较年轻羣组从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的平均分量处于范围的低端。

44. 在比较不同研究的结果时，应小心谨慎。除检测方法有别外，其他因素(例如研究方法、抽样策略、收集和处理食物消费量数据的方法和检测限)也会影响研究结果。

表 10：海外及这项研究报告的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的
平均膳食摄入量或其总和

报告 / 研究	霉菌毒素	平均膳食摄入量 (纳克 / 每日每公斤体重)			
		儿童 / 较年轻羣组		成年人	
		下限	上限	下限	上限
法国国家食 品、环境及 劳动卫生署 (2011 年) ¹³	T-2 毒素	4.0	38.0	1.78	19.6
	HT-2 毒素	10.5	53.1	7.16	32.2
欧洲食物安 全局(2017 年) ³ (2018 年) ⁹	T-2 毒素和 HT-2 毒素 的总和	4.37-18.0	15.4-62.1	1.82-10.2	13.4-26.4
	DAS	0.2-27.9	23.5-174.3	0.2-8.9	12.2-66.2
	T-2 毒素和 HT-2 毒素 的总和	不适用		52	
中国国家食 品安全风险 评估中心 (2018 年) ¹⁴	T-2 毒素和 HT-2 毒素 的总和	不适用			
	T-2 毒素和 HT-2 毒素 的总和	0.8-53	8.2-169	0.3-27	2.7-60
联合专家委 员会(2020 年) ⁵	T-2 毒素、 HT-2 毒素 和 DAS 的 总和	0.2046	1.8328	0.0753	0.8455
目前的研究 (2024 年)					

研究的不确定因素和局限

45. 这项研究只选取一些较常食用和据报较有可能含有 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的食物作为样本。由于就本地食物的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 含量所发表的研究数目有限，这项研究所采集的样本或未涵盖本港市民日常饮食中 T-2 毒素、HT-2 毒素或 DAS 含量偏高的所有食品，特别是食用量不多的食品。

46. 虽然检测分析的样本愈多，对摄入量的估算会愈精确，但碍于资源有限，化验工作必须有所取舍。即使是同一款食品，不同批次的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 含量也可能存在差异。这项研究的结果只能概略反映本地选定类别食品在某一时间所含上述霉菌毒素的分量。

结论和建议

47. 这项研究中，有 78% 的样本(327 个样本中有 254 个)没有检出 T-2 毒素、HT-2 毒素或 DAS，只有 73 个样本(22%)检出含有上述至少一种霉菌毒素。“早餐谷类食品”这个食物组别的 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 总含量平均值最高，其次是“植物油”。

48. 在成年人和较年轻羣组中，摄入量一般和摄入量高的本地消费者从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的估计总量远低于联合专家委员会所订定的组别每日可容忍摄入量。总而言之，研究结果显示，本港成年人和较年轻羣组中摄入量一般和摄入量高的消费者从膳食摄入 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的总量不大可能构成健康风险。

49. 为了减少单端孢霉烯族霉菌毒素污染的风险，市民应向可靠的供货商购买谷类及其制品，并妥善存放在阴凉干燥的地方，以防止霉菌滋生。此外，市民宜遵从基本的健康饮食建议，保持均衡多元的饮食，以减低因偏吃而摄入某些污染物的风险。

50. 业界人士应妥善贮存食品，保持湿度于安全水平，并把温度变化降至最低，以免霉菌滋长而导致食品中的霉菌毒素含量增加。详情请参阅食品法典委员会的《预防与降低谷物中真菌毒素污染操作规范》。

参考数据

1. Rocha, O., Ansari, K., & Doohan, F. M. (2005). Effects of trichothecene mycotoxins on eukaryotic cells: A review. *Food Additives and Contaminants*, 22(4), 369-378. 网址：<https://doi.org/10.1080/02652030500058403>
2. Foroud, N. A., Baines, D., Gagkaeva, T. Y., Thakor, N., Badea, A., Steiner, B., Bürstmayr, M., & Bürstmayr, H. (2019). Trichothecenes in cereal grains – An update. *Toxins*, 11(11), 634. 网址：<https://doi.org/10.3390/toxins11110634>
3. European Food Safety Authority (EFSA), Arcella, D., Gergelova, P., Innocenti, M. L., & Steinkellner, H. (2017). Scientific report on human and animal dietary exposure to T-2 and HT-2 toxin. *EFSA Journal*, 15(8), 4972. 网址：<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4972>
4. EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen H-K, Barregard L, Bignami M, Br€uschweiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Edler L, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Nebbia CS, Oswald I, Petersen A, Rose M, Roudot A-C, Schwerdtle T, Vleminckx C, Vollmer G, Wallace H, Dall'Asta C, Gutleb A, Metzler M, Oswald I, Parent-Massin D, Binaglia M, Steinkellner H and Alexander J, 2017. Scientific opinion on the appropriateness to set a group health based guidance value for T2 and HT2 toxin and its modified forms. *EFSA Journal* 2017;15(1):4655, 53 pp. 网址：<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4655>
5. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). (2016). Evaluation of certain contaminants in food: Eighty-third meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (WHO technical report series; no. 1002).
6. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). (2023). Evaluation of certain contaminants in food: Ninety-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (WHO Technical Report Series, No. 1040).
7. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2011). Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of T-2 and HT-2 toxin in food and feed. *EFSA Journal*, 9(12), 2481. 网址：<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2481>

8. European Commission. 2001. Opinion of the Scientific Committee on Food on Fusarium Toxins Part 5: T-2 Toxin and HT-2 Toxin. SCF/CS/CNTM/MYC/25 Rev 6 Final. 网址：
https://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out88_en.pdf
9. EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen HK, Alexander J, Barregard L, Bignami M, Br€uschweiler B, Ceccatelli S, Cottrill B, Dinovi M, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom LR, Nebbia CS, Oswald IP, Petersen A, Rose M, Roudot A-C, Schwerdtle T, Vleminckx C, Vollmer G, Wallace H, De Saeger S, Eriksen GS, Farmer P, Fremy J-M, Gong YY, Meyer K, Parent-Massin D, van Egmond H, Altieri A, Colombo P, Horvath Z, Levorato S and Edler L, 2018. Scientific Opinion on the risk to human and animal health related to the presence of 4,15-diacetoxyscirpenol in food and feed. EFSA Journal 2018;16(8):5367, 106 pp. 网址：
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5367>
10. JECFA. (2002). Evaluation of certain mycotoxins in food: fifty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (WHO technical report series; 906).
11. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (1993). Some Naturally Occurring Substances: Food Items and Constituents, Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 56). Lyon, FR: International Agency for Research on Cancer. 网址：
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513624/>
12. European Union. (2024). COMMISSION REGULATION (EU) 2024/1038 of 9 April 2024 amending Regulation (EU) 2023/915 as regards maximum levels of T-2 and HT-2 toxins in food. 网址：
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32024R1038>
13. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety. 2011. Second French Total Diet Study (TDS 2). Report 1 Inorganic contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phytoestrogens. 网址：
<https://www.anses.fr/en/system/files/PASER2006sa0361Ra1EN.pdf>
14. 吴永宁、赵云峰、李敬光。《第五次中国总膳食研究》。科学出版社：中国北京，2018年。

附录 I

2024 年 4 月 9 日委员会规例(欧盟)第 2024/1038 号

就食物中的 T-2 毒素和 HT-2 毒素含量上限对规例(欧盟)第 2023/915 号

作出的修订

1.9	T-2 和 HT-2 毒素	含量上限 (微克 / 公斤)	备注
		T-2 和 HT-2 毒素的总量	对于 T-2 和 HT-2 毒素的总 量，含量上限指根据所有 低于定量限的数值均为零 这个假设计算所得的浓度 下限。
1.9.1	未加工谷类(1.9.1.1、 1.9.1.2 、 1.9.1.3 和 1.9.1.4 所列食品除外)	50	拟进行湿磨加工的未加工 粟米粒除外，大米除外。 含量上限适用于市场上用 于第一阶段加工的未加工 谷类。
1.9.1.1	未加工的麦芽大麦粒	200	含量上限适用于市场上用 于第一阶段加工的未加工 麦芽大麦粒。
1.9.1.2	未加工的大麦粒，但不 包括麦芽大麦粒	150	含量上限适用于市场上用 于第一阶段加工的未加工 大麦粒。
1.9.1.3	未加工的粟米粒和未 加工的硬质小麦粒	100	通过标签或目的地等方式 表明仅用于湿磨加工(淀

			粉生产)的未加工粟米粒除外。 含量上限适用于市场上用于第一阶段加工的未加工粟米粒和未加工硬质小麦粒。
1.9.1.4	带有不可食用外壳的未加工燕麦粒	1250	含量上限适用于市场上用于第一阶段加工的带壳未加工燕麦粒。 含量上限适用于带有不可食用外壳的燕麦粒。
1.9.2	市场上供最终消费者食用的谷类(1.9.2.1 和 1.9.2.2 所列食品除外)	20	大米除外。
1.9.2.1	市场上供最终消费者食用的燕麦	100	
1.9.2.2	市场上供最终消费者食用的大麦、粟米和硬质小麦	50	
1.9.3	谷类碾磨食品(1.9.3.1 和 1.9.3.2 所列食品除外)	20	大米碾磨食品除外。

1.9.3.1	燕麦碾磨食品(包括燕麦麸)	100	
1.9.3.2	由燕麦和粟米碾磨食品以外的谷类制成的麸皮	50	
1.9.4	烘焙食品(1.9.5 所列食品除外), 以及麪食、谷类小食和早餐谷类食品(1.9.6、1.9.7 和 1.9.8 所列食品除外)	20	大米食品除外。 包括小型烘焙食品。 麪食是指含水量约为 12% 的麪食(干)。
1.9.5	含有至少 90% 燕麦碾磨食品的烘焙食品	100	大米食品除外。 包括小型烘焙食品。
1.9.6	燕麦片	100	
1.9.7	早餐谷类食品(含有至少 50% 的谷类麸皮、燕麦粒碾磨食品、粟米粒碾磨食品、全燕麦粒、大麦粒、粟米粒或硬质小麦粒, 并含有少于 40% 的燕麦粒碾磨食品和全燕麦粒)	50	
1.9.8	早餐谷类食品(含有至少 50% 的谷物麸皮、燕	75	

	麦粒碾磨食品、粟米粒碾磨食品、全燕麦粒、大麦粒、粟米粒或硬质小麦粒，并含有至少40%的燕麦粒碾磨食品和全燕麦粒)		
1.9.9	供婴幼儿食用的婴儿食品和加工谷类食品	10	大米食品除外。 含量上限适用于市场上有关食品的干物质。
1.9.10	具特殊医学用途的婴幼儿食品	10	大米食品除外。 含量上限适用于市场上有关食品的干物质。

附录 II

不同食物中 T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的
总含量平均值(微克 / 公斤)

食物	样本数目	低于检测限 的样本 百分比(%)	T-2 毒素、HT-2 毒素和 DAS 的 总含量平均值(微克 / 公斤)[范围]		
			下限	上限	
谷类	190	78	0.304	[0-7.038]	0.381
白米	13		所有样本均低于检测限		
红米	13	77	0.005	[0-0.038]	0.113
糙米	13	85	0.157	[0-0.19]	0.124
十谷米	12	67	0.059	[0-0.46]	0.162
糯米	13	92	0.001	[0-0.016]	0.111
燕麦米	12	83	0.394	[0-3.78]	0.488
意大利米	12		所有样本均低于检测限		
小米	13	85	0.613	[0-7.038]	0.7056
藜麦	13		所有样本均低于检测限		
大麦	12	83	0.214	[0-1.4]	0.311
荞麦	12		所有样本均低于检测限		
干制粟米	12	92	0.064	[0-0.77]	0.166
薏米	13	38	0.572	[0-2.2]	0.673
小麦	12	58	0.215	[0-0.84]	0.296
麦麸	3	33	2.804	[0-4.402]	2.844
麦胚芽	12	25	1.534	[0-6.27]	1.573
麴粉	6	67	0.019	[0-0.08]	0.119
小麦麴粉	3		所有样本均低于检测限		
粘米粉	3	33	0.037	[0-0.08]	0.127
淀粉代用品	6		所有样本均低于检测限		
粟粉	3		所有样本均低于检测限		

澄麪粉	3					
粉麪	30		所有样本均低于检测限			
即食麪	3		所有样本均低于检测限			
全蛋麪	3					
担担麪	3					
拉麪	3					
刀削麪	3					
乌冬	3					
米粉 / 米线	3					
河粉	3					
蒙粉	3					
荞麦麪	3					
早餐谷类食品	17	29	2.687	[0-23.718]	2.726	[0.11-23.718]
麦皮	3	67	0.103	[0-0.31]	0.180	[0.11-0.32]
粟米片	3	33	0.405	[0-0.884]	0.441	[0.11-0.884]
即食早餐	5	20	7.823	[0-23.718]	7.859	[0.11-23.718]
谷物条	3	33	0.847	[0-1.56]	0.890	[0.11-1.57]
脆麦条	3	0	0.835	[0.36-1.588]	0.839	[0.37-1.588]
烘焙食品	51	82	0.168	[0-4.3]	0.264	[0.11-4.31]
白麪包	3			所有样本均低于检测限		
麦包	3					
薄饼饼底	3	67	0.767	[0-0.23]	0.170	[0.11-0.29]
贝加包	3	0	0.607	[0.21-1.15]	0.633	[0.27-1.16]
印度薄饼	3			所有样本均低于检测限		
多谷麦包	3					
麪包糠	3	67	0.023	[0-0.07]	0.117	[0.11-0.13]
梳打饼	3			所有样本均低于检测限		
夹心饼	3					

消化饼	3	33	1.587	[0-4.3]	1.630	[0.11-4.31]
麦芽饼	3	67	0.183	[0-0.55]	0.277	[0.11-0.61]
朱古力味	3	67	0.377	[0-1.13]	0.453	[0.11-1.14]
饼干						
海绵蛋糕	3			所有样本均低于检测限		
瑞士卷	3					
忌廉蛋糕	3					
蛋糕/西饼	3					
芝士蛋糕	3					
调味小食	6	83	0.005	[0-0.028]	0.113	[0.11-0.128]
薯片	3	67	0.009	[0-0.028]	0.116	[0.11-0.128]
爆谷	3			所有样本均低于检测限		
蔬菜、坚果 和种子	9	78	0.008	[0-0.036]	0.115	[0.11-0.136]
大豆	3			所有样本均低于检测限		
葵花籽	3	67	0.012	[0-0.036]	0.119	[0.11-0.136]
栗子	3	67	0.011	[0-0.032]	0.117	[0.11-0.132]
植物油	6	33	1.075	[0-3.43]	1.222	[0.11-3.44]
橄榄油	3	67	0.093	[0-0.28]	0.187	[0.11-0.34]
葵花籽油	3	0	2.057	[0.92-3.43]	2.257	[0.98-3.44]
饮料	6	67	0.027	[0-0.1]	0.120	[0.11-0.16]
咖啡	3			所有样本均低于检测限		
啤酒	3	33	0.053	[0-0.1]	0.130	[0.11-0.16]