

引言

1. 近年来对食品中存在丙烯酰胺的关注可以追溯到2002年。据瑞典科学家报告，富含碳水化合物的食品在高温烹调过程中，例如在油炸、烘焙、焗烤、烘烤和炙烤过程中，最多可形成“毫克/千克”的丙烯酰胺。这些发现迅速得到其他研究人员的证实；随后，国际人士付出了巨大努力，调查主要的饮食接触来源，评估相关健康风险，并制定风险管理策略。这些全球研究举措详见世卫组织/粮农组织丙烯酰胺信息网络（<http://www.acrylamide-food.org/>）和“丙烯酰胺信息库”¹ http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/contaminants/acryl_database_en.htm。关于丙烯酰胺缓解措施的研究工作，相关英文报告见CIAA丙烯酰胺工具箱（CIAA Acrylamide Tool Box）以及 http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/contaminants/acrylamide_en.htm and http://www.ciaa.be/asp/documents/brochures_form.asp?doc_id=65。
2. 食品中的丙烯酰胺主要是由天冬酰胺（一种氨基酸）与还原糖（特别是葡萄糖和果糖）反应形成的，这是美拉德反应的一部分；丙烯酰胺也可经由涉及3-氨基丙酰胺的反应形成。丙烯酰胺主要在高温（通常超过120℃）和低含水量的条件下形成产生。
3. 粮农组织/世卫组织食品添加剂联合专家委员会（JECFA）全面分析了24个国家的丙烯酰胺形成数据，其中大部分数据源自欧洲和北美。得出的结论是，促成丙烯酰胺的主要食品组别是炸薯条²、薯片³、咖啡、饼干⁴/糕点、面包和面包卷/烤面包。饮食中存在丙烯酰胺的全面情况仍不清楚。

¹ 这是一个包含欧盟成员国丙烯酰胺相关项目和活动信息的数据库。

² 切成厚条油炸的马铃薯产品（包括北美在内的一些地区称之为炸薯条，在英国称为薯片）。

³ 切成薄片油炸的马铃薯零食（包括北美在内的一些地区称之为薯片）。

⁴ 烘焙的谷物产品（包括北美在内的一些地区称之为曲奇饼干）。

范围

4. 本操作规范旨在为国家和地方主管部门、制造商和其他相关机构提供指导，预防和减少马铃薯产品和谷物产品中丙烯酰胺的形成。提供的指导意见涵盖了减少特定产品中丙烯酰胺形成的三种策略（具备相关信息的情况下）：
 - i) 原料；
 - ii) 控制/添加其他配料；以及
 - iii) 食品加工和加热。

制定预防措施的一般考虑事项和限制

5. 要采取旨在降低丙烯酰胺含量的措施就不能不考虑其他因素。需要采取预防措施，避免损害食品现有的化学安全和微生物安全。产品的营养特质及其感官特性和相关的消费者接受度也需要保持不受损害。这意味着所有减少丙烯酰胺的策略都需要对策略的益处和可能的不利影响进行评估。例如：
 - i) 当考虑丙烯酰胺预防措施时，应注意确保这些措施不会导致其他工艺污染物的增加。这些污染物包括N-亚硝胺、多环芳烃、氯丙醇、氨基甲酸乙酯、呋喃、杂环芳胺和氨基酸热解产物。
 - ii) 针对丙烯酰胺设计的预防措施不得有损最终产品的微生物稳定性。特别是需要注意最终产品的含水量。
 - iii) 应采取预防措施，避免最终产品的感官特性发生不利变化。丙烯酰胺的形成与煮熟食品特有的色香味的产生密切相关。对烹饪条件或实际原料和其他配料提出的更改建议必须从消费者对最终产品接受度的角度进行评估。
6. 可能需要对潜在的新添加剂和加工助剂（如天冬酰胺酶）进行正式的安全评估、使用效果论证和监管批准。有些公司在生产用于食品中的天冬酰胺酶，而一些国家已经批准将其用作加工助剂。
7. 应该注意的是，形成丙烯酰胺的程度可能有很大差异，例如在同一制造厂生产的一批次中、或使用相同的工艺、原料和配方的不同工厂之间都可能有很大差异。

8. 制造商需要注意的是，进厂原料的差异变化和加热设备控制不佳会掩盖丙烯酰胺水平的变化，从而使减少丙烯酰胺策略的尝试变得复杂化。

对马铃薯产品（如炸薯条、薯片、马铃薯零食）生产行业的推荐做法

以下各节讨论的减少丙烯酰胺的措施并非按优先次序排列。建议对所有降低丙烯酰胺的措施进行试验，确定最适合自身产品的措施。

生产阶段	减低丙烯酰胺的措施
原料	考虑到地区性和季节性差异变化，选择还原糖含量尽可能低马铃薯品种。对到货的马铃薯进行还原糖含量测试，或油炸测试（以浅金黄色为目标）。
	避免使用在低于6℃的温度条件下储存的马铃薯。控制从农场到工厂的储存条件，在寒冷的天气里，保护马铃薯不受寒冷空气的影响。避免在冰冻条件下将到货的马铃薯长久置于室外（无保护），比如过夜。将低温贮藏的马铃薯置于较高温度（如12~15℃）下修复数周。
控制/添加其他配料	如果是用面团生产的马铃薯零食，在可能情况下，使用还原糖/天冬酰胺含量较低的其他配料（如米粉），替代部分马铃薯。 避免添加还原糖（如作为褐变剂、香料载体或涂层）。
	在某些情况下，添加天冬酰胺酶已证明可以减少天冬酰胺，从而降低由马铃薯面团制成的产品中的丙烯酰胺。
	用焦磷酸钠处理薯条以及在加工前用二价和三价阳离子（如钙盐）处理马铃薯产品，有助于减低丙烯酰胺。
食品加工和加热	炸薯条： 烹饪前将马铃薯条焯水，降低还原糖的含量。 在焯水的后期阶段，加入酸性焦磷酸钠降低pH值，可以进一步降低还原糖含量。 切成粗条状；14x14毫米的条状已证明比细条（8x8毫米）的丙烯酰胺含量低。如果合适，可预炸薯条。
	薯片： 优化时间、温度和炸锅的设置，生产出金黄色薯片。 如果有条件，考虑用真空油炸来加工还原糖含量高的马铃薯。 如果采用快速炸制，建议炸后迅速冷却。 在生产线上进行色泽分拣，去除深深色薯片。

原料

9. 有许多因素影响还原糖的含量，包括：
 - i) 气候条件和施肥率 — 这些因素已知会影响还原糖的含量，但目前尚无有关降低还原糖措施的具体信息可供制造商使用。
 - ii) 栽培品种 — 考虑到油炸和烘焙等高温烹饪工艺的地区性和季节性差异变化，要选择还原糖含量尽可能低的品种。
 - iii) 储存温度和时间 — 控制从农场到工厂的储存条件；温度高于6°C已被确定为长期储存待加工马铃薯的良好做法。避免将储存期间过度低温（4-6°C或低于4-6°C）甜化的马铃薯用于油炸、焗烤和烘烤。在寒冷的天气，要保护马铃薯免受寒冷空气的侵袭。避免将到货的马铃薯在冰冻条件下置于室外（无保护）过夜。有些栽培品种不如其他品种容易低温甜化。欧洲栽培马铃薯数据库和德国联邦植物品种办公室的数据库中含有关于某些栽培品种的信息。
 - iv) 修复温度和时间 — 在低温下储存的马铃薯应在较高温度（如12-15°C）下进行数周时间的修复。对储存马铃薯进行修复以及修复所需的时间，应根据油炸测试结果做出决定。
 - v) 块茎大小/未成熟的块茎 — 不成熟的块茎有较高的还原糖含量，生产出来的油炸产品颜色较深，丙烯酰胺含量可能较高。应在加工前的某个阶段对马铃薯进行挑选、分拣或分级，以免混入未成熟块茎。
10. 在温度超过6°C的仓库中，发芽抑制剂通常是必不可少的，尽管在某些情况下，地区性法规不允许使用发芽抑制剂。
11. 薯条和薯片的制造商应在可行的情况下，通过测定还原糖含量或评估油炸样品的颜色来筛选进货的各批次马铃薯。特别是要对长期低温储存的马铃薯进行油炸试验。在使用还原糖含量不够低的栽培品种时，在高温烹调过程前进行修复和焯水，并采用真空油炸加热，可能会降低丙烯酰胺的含量。

控制/添加其他配料

12. 用马铃薯面团生产的塑形或成型马铃薯零食，有时可在一些产品中使用还原糖/天冬酰胺含量较低的其他配料（例如米粉），替代部分马铃薯。
13. 添加天冬酰胺酶已被证明可以减少天冬酰胺，从而降低由马铃薯面团制成的马铃薯产品中的丙烯酰胺含量。天冬酰胺酶可能最适合用于由液化或浆状材料制成的食品。在实践中，天冬酰胺酶可以有效减少预制薯片中的丙烯酰胺，但是，生马铃薯产品中的天冬酰胺含量通常很高，为了达到显著减少丙烯酰胺的目的，必须添加大量的天冬酰胺酶。这可能排除了对某些马铃薯产品使用酶的可能性。
14. 在油炸阶段之前用各种其他试剂（如焦磷酸钠和钙盐）进行处理，也被证明可以减少丙烯酰胺的形成。应根据适当的国家或国际立法来使用添加剂。
15. 由于还原糖有可能导致大量丙烯酰胺的形成，所以还应尽可能避免将还原糖用作褐变剂、香料载体或涂层。

食品加工和加热

16. 可以采用减少表面积的方法；例如在炸薯条时，将马铃薯切成较厚的片状；14 x 14毫米的粗条已证明比细条（8 x 8毫米）的丙烯酰胺含量低，或者在油炸之前或之后去除细碎物（马铃薯碎片），减少油炸或烤制马铃薯中的丙烯酰胺含量。
17. 在烹饪步骤之前，可以采用清洗、焯水或预煮的处理方法，从马铃薯表面滤出天冬酰胺/还原糖反应物。在焯水的后期还可以加入各种降低pH值的试剂，进一步降低丙烯酰胺的含量，这些试剂包括用酸性焦磷酸钠处理薯条，用钙盐和其他一些二价和三价阳离子的盐处理（这种方法已证明可以减少用马铃薯面团制作的薯条中丙烯酰胺的形成），以及用氯化钠溶液焯水（尽管这种方法可能增加膳食中的钠含量）。
 - i) 焯水或浸泡马铃薯已证明可降低丙烯酰胺含量，但也会对最终产品的味道和质地产生负面影响。焯水还可能导致马铃薯中维生素C和矿物质的滤出。在油炸/

烤制前的焯水步骤可能会降低最终产品的脂肪含量，但关于这一主题的信息资料存在相互矛盾的情况。

- ii) 焯水也可能不适合某些产品（如薯片），因为焯水可能导致水分吸收过多，因而丧失质感一致性/脆性，或可能产生微生物腐败。

18. 薯片中的丙烯酰胺含量可以通过控制热输入来降低。真空油炸可能有机会降低用还原糖含量较高的马铃薯制成的薯片中的丙烯酰胺含量。快速炸制的薯片通过迅速冷却，也可以降低最终产品中的丙烯酰胺含量。利用在生产线上进行光学分拣去除深色薯片，已证明是减少丙烯酰胺的有效措施。用于生产低脂薯片的预煮远红外加热和干蒸处理也可减少丙烯酰胺。
19. 为了显著降低薯条的丙烯酰胺含量，在烹调炸后即食的产品时，将初始油温设为**170-175℃**以下，炸成金黄色而不是金褐色。根据油炸机的加热功率，浸在油中的马铃薯数量应力求使实际油炸温度从大约**140℃**开始，到大约**160℃**结束。在加入马铃薯后，较大的持久温度下降将增加脂肪的吸收，而较高的出锅结束温度将导致过多丙烯酰胺的形成。
20. 预制油炸薯条的制造商应确保其包装上的烹饪说明符合尽量减少丙烯酰胺形成的需要。如果油炸是“预制”薯条包装上所作的建议之一，则建议的油炸温度不应高于**175℃**。烹调说明还应提到，消费者在烹调少量薯条时应减少烹调时间，并应将薯条烹炸至金黄色。
21. 有些“烤箱”薯条或预制马铃薯产品的生产是供冷藏而非冷冻储存的。在这些条件下储存可能有利于低温甜化，因为残留的淀粉酶活性会导致由淀粉形成还原糖。如果发生这种情况，就必须对焯水处理进行调整（延长时间和/或提高温度），使淀粉酶活性完全失活。

对谷类产品（如面包、脆饼、饼干/烘焙食品、早餐麦片）生产行业的推荐做法。

以下各节讨论的减少丙烯酰胺的措施并非按优先次序排列。建议对所有降低丙烯酰胺的措施进行试验，确定最适合自身产品的措施。

生产阶段	减低丙烯酰胺的措施
原料	应避免使用缺硫的土壤，或对土壤充分施肥。 应避免施用过多氮肥。
控制/添加其他配料	一般事项： 考虑所用面粉的类型。高提取率面粉的天冬酰胺含量明显低于全麦面粉。然而，降低全麦粉含量会降低最终产品的营养价值。 考虑用大米粉替代部分小麦粉。
	饼干/烘焙制品： 如果使用含铵膨松剂，应考虑用其他膨松剂替代，如含钾和含钠的膨松剂。 在姜饼的生产中，用葡萄糖替代果糖。 添加天冬酰胺酶已被证明可以减少天冬酰胺，从而减少曲奇饼干和薄脆饼干等采用硬小麦面团制成产品中的丙烯酰胺。
	面包： 避免在配方中使用还原糖。添加钙盐，如碳酸钙，可减少丙烯酰胺的形成。
	早餐麦片： 在烹饪阶段尽量减少还原糖。考虑其他配料带来的影响，例如烤坚果、干果，如果其存在的形式有可能显著增加丙烯酰胺含量，是否有必要添加
食品加工和加热	一般事项： 不要过度烘焙。
	面包： 调整烘焙工艺的时间-温度曲线，即降低最后阶段的温度，此时产品达到低含水量阶段。 延长面包面团的发酵时间。
	脆饼： 控制最终的含水量。 生产非发酵脆饼时，控制加工温度和烤箱速度
	早餐麦片： 不要过度烘烤或过度烤制。 管控烤制过程，使产品颜色均匀。

原料

22. 通常，天冬酰胺在小麦中的含量每公斤75至2200毫克，燕麦为每公斤50至1400毫克，玉米为每公斤70至3000毫克，黑麦为每公斤319至880毫克，大米为每公斤15至25毫克。这种变化差异程度表明，通过了解利用品种库中不同品种天冬酰胺含量的差异性，可能有机会减少丙烯酰胺。然而，与马铃薯的情况相似，这种方法可能需要相当长的准备时间，而且还需要考虑其他因素，如产量和对真菌感染（田间霉菌毒素的形成）的抗性。
23. 土壤中硫含量的不足会导致小麦和大麦中天冬酰胺含量上升。因此，应避免使用缺硫的土壤，或对土壤充分施肥。土壤含氮量高可导致谷物中天冬酰胺含量升高，应避免施用过多氮肥。
24. 在混合谷物类产品中，可能有机会通过加入天冬酰胺含量较低的谷物来减少丙烯酰胺的主要来源物的比例。例如，这种策略可包括用大米取代黑麦和小麦，但必须考虑营养和感官方面的影响。

控制/添加其他配料

25. 应考虑到产品中所用面粉的类型。高提取率面粉的天冬酰胺含量明显低于全麦面粉。事实证明，用大米粉替代部分小麦粉可以减少起酥甜饼干和姜饼中的丙烯酰胺。然而，降低全麦粉含量会降低最终产品的营养价值。各类面粉的天冬酰胺含量不同，选择时应在营养价值和尽量减少丙烯酰胺形成之间求得平衡。
26. 碳酸氢铵已证明可能会增加烘焙产品中丙烯酰胺的含量。因此，制造商需要考虑是否可以减少使用含铵蓬松剂。应根据适用的国家或国际立法来使用添加剂。商用替代膨松剂包括：
 - i) 碳酸氢钠 + 酸化剂；
 - ii) 二磷酸二钠、碳酸氢钠和有机酸；
 - iii) 碳酸氢钾 + 酒石酸氢钾；
 - iv) 碳酸氢钠 + 酸式焦磷酸钠（SAPP）。

- v) 用含钠蓬松剂代替含铵蓬松剂可能会增加膳食中钠的摄入量，还可能对姜饼的物理特性和饼干的感官质量产生负面影响。碳酸氢钠和有机酸（如酒石酸和柠檬酸）的组合，可能会导致产品的膨松性有所降低。需要限制有机酸的添加量，因为可能会产生酸味，而且面团中的气体释放速度可能太快。
 - vi) 如果还原糖是果糖而非葡萄糖，会形成更多的丙烯酰胺。商业调查显示，在产品配料（糖浆、果泥、蜂蜜）中去除果糖来源或用葡萄糖替代，可成功减少丙烯酰胺的形成。如果必须使用葡萄糖浆（在北美也称为玉米糖浆），这种糖浆中的果糖含量应尽可能低。如果褐变不那么重要，用蔗糖代替还原糖是另一种有效的方法，可以显著减少甜味烘焙食品中的丙烯酰胺。
27. 添加天冬酰胺酶已证明可以减少天冬酰胺，从而减少曲奇饼干和薄脆饼干等采用硬小麦面团制成产品中的丙烯酰胺。
28. 在生产早餐麦片时，还原糖的使用也应注意。使用这种糖时，通常是在烘烤过程之后加入，这样就不会产生额外的丙烯酰胺。但在烘烤前添加还原糖会形成丙烯酰胺，但这种做法是可以避免的。
29. 其他次要配料也会有影响。在有些配方中，如果在饼干生产过程中加入生姜、蜂蜜和小豆蔻等成分，则会增加丙烯酰胺的形成。相反，在某些情况下，肉豆蔻已证明会导致丙烯酰胺的减少。为了降低最终产品中的丙烯酰胺含量，制造商可研究其配方中不同香料的效果。
30. 再加工（重新使用剩余料的做法）在某些情况下会增加丙烯酰胺含量，但在其他情况下则不会。制造商需检查各个产品的生产工艺，确定是否可以通过减少再加工来减低产品中的丙烯酰胺含量。

食品加工和加热

31. 小麦面包面团的酵母发酵可降低游离天冬酰胺的含量。发酵两小时可利用小麦粉面团模型中的大部分天冬酰胺；发酵时间缩短则效果减弱，用酸酵头发酵也是如此。

32. 可以通过改变烘烤工艺的时间-温度曲线来减少丙烯酰胺的形成，特别是降低最后阶段的温度，产品在此时达到低含水量的极为脆弱阶段。可通过提高烘烤早期阶段的温度进行补偿，因为这一阶段的含水量应该很高，足以防止丙烯酰胺形成，不应导致丙烯酰胺的显著增加。仔细控制烤炉温度和时间曲线可有效降低丙烯酰胺含量。这些原则已成功应用于生产饼干和非发酵的脆饼。

咖啡

33. 目前尚无减少咖啡中丙烯酰胺含量的商业措施。
34. 研究显示，咖啡粉在密闭容器中储存一段时间后，丙烯酰胺的浓度会下降，目前正在研究其中的基础机理，以期为今后减低丙烯酰胺提供机会。但是，为降低丙烯酰胺含量而对烘培特性进行更改，或故意延长储存期，都可能对产品的感官特性和消费者的接受度产生重大影响。

消费者习惯

35. 国家和地方主管部门应考虑建议消费者在高温烹调过程中避免过度加热马铃薯和谷物类食材。这种建议可包括将炸薯条和焗烤马铃薯做成金黄色而非金褐色，同时仍确保食物完全煮熟。同样，可以建议消费者在烘烤面包和相关产品时以烘烤至浅棕色为目标。
36. 国家和地方主管部门还应考虑鼓励消费者避免在低温和/或冷藏条件下储存用于高温烹饪的马铃薯。
37. 在相关情况下，业界应努力向消费者提供烹饪和处理食品的适当建议说明，帮助减少产品中丙烯酰胺的形成。