

Acrilamida en patatas fritas: Revisión actualizada

Por Lillia Masson*, José Reinaldo Muñoz, Nalda Romero, Conrado Camilo, Cristián Encina, Luis Hernández, Julia Castro y Paz Robert

Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, Centro de Investigación y Desarrollo en Grasas y Aceites (CIDGRA), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile. Casilla 233, Santiago 1, Chile. lmasson@ciq.uchile.cl

RESUMEN

Acrilamida en patatas fritas: Revisión actualizada

Con posterioridad al anuncio efectuado por investigadores suecos en Abril del año 2002 sobre la detección de acrilamida en un amplio grupo de alimentos, se han originado decenas de trabajos de investigación en diferentes partes del mundo, donde se estudian diversas temáticas de gran importancia, entre las que se pueden mencionar la cinética de la formación y degradación de la acrilamida; los mecanismos propuestos para su reducción; los métodos instrumentales empleados para su determinación y los resultados experimentales generados tanto en modelos experimentales, como en el procesamiento habitual de patatas *crisps* y *french*.

En este trabajo se revisan los estudios relacionados con la formación de acrilamida en alimentos sometidos a tratamientos térmicos, en operaciones industriales básicas de fritura, horneado, tostado y extrusión. Esta revisión comprende además la aplicación de pretratamientos de lavado previo, escaldado e inmersión en soluciones ácidas de la patata y, finalmente, discute con especial énfasis la diferencia de los resultados obtenidos entre el proceso de fritura de patatas a presión atmosférica y a presión reducida así como la reciente información sobre probables riesgos para la salud humana.

PALABRAS- CLAVE: Acrilamida – Fritura a presión atmosférica y reducida – Patatas – Pre-tratamientos.

SUMMARY

Acrylamide in fried potatoes: An updated review

The announcement made by Swedish researchers in April 2002 concerning the detection of acrylamide in many different foods, has generated a great deal of scientific publications coming from different parts of the world. The wide spectra of subjects studied includes: the kinetics of the formation and degradation of the acrylamide, the mechanisms proposed for its reduction; the analytical methods and techniques used for its determination and the experimental results obtained either with model systems or by industrial processing in the case of potato crisps and french fries.

This review is focused on the state-of-the-art related to the occurrence of acrylamide in foods submitted to heat treatments in industrial operations such as frying, baking, toasting and extrusion. This review also considers the application of potato pre-treatments such as washing,

blanching, and immersion in acid solutions. Special emphasis is placed on the differences between atmospheric frying and vacuum frying and on the health risks related to acrylamide intake through common foods.

KEY-WORDS: Acrylamide – Atmospheric and vacuum frying – Potatoes – Pre-treatments.

1. INTRODUCCIÓN

El hallazgo de elevadas cantidades de acrilamida en diferentes alimentos de consumo habitual sometidos previamente a tratamientos térmicos para su preparación, fue anunciada conjuntamente por investigadores de la Universidad de Estocolmo y de la Administración Nacional de Alimentos de Suecia, en conferencia de prensa el 24 de Abril de 2002. Al mismo tiempo, datos analíticos de varios alimentos fueron puestos a disposición del público en el sitio *Web* de la Administración (Rosén y Hellenäs, 2002).

Estos resultados se confirmaron con rapidez por distintas agencias estatales de alimentos, creándose un Comité Científico que deliberó sobre el potencial riesgo de la acrilamida sobre la salud. Con posterioridad, todos los datos disponibles fueron difundidos por los grupos de expertos de organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (WHO), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Instituto Común para la Seguridad Alimentaria y Nutrición Aplicada/Centro Nacional para la Seguridad y la Tecnología Alimentaria (JIFSAN/NCFST) (JIFSAN/NCFST, 2002). Estos grupos han identificado y catalogado las investigaciones necesarias y sus prioridades para, definir los riesgos potenciales a la salud asociados a este inesperado hallazgo.

El descubrimiento de la acrilamida se origina a partir de resultados de la formación de un aducto específico con la hemoglobina en humanos, más adelante también encontrada por los científicos de la Universidad de Estocolmo en ratas alimentadas con alimentos fritos (Tareke *et al.*, 2000).

La acrilamida se ha clasificado como "probable carcinogénico para humanos" (Grupo 2A) por la

Agencia Internacional de Investigación sobre Cáncer (IARC) (IARC, 1994).

La exposición a la acrilamida causa daño al sistema nervioso en seres humanos y animales (Lopachin y Lehning, 1994; Tilson, 1981) y también se considera una toxina antireproductiva (Costa *et al.*, 1992; Dearfield *et al.*, 1988) con características mutágenas y carcinógenas en sistemas experimentales *in-vitro* e *in-vivo* (Dearfield *et al.*, 1995). Evidencias de ensayos experimentales en laboratorios mostraron que la acrilamida y su principal metabolito, la glicidamida (Figura 1), son genotóxicos y carcinogénicos *in vitro* e *in vivo* en altos niveles. En estudios celulares, estos dos compuestos indujeron un quiebre cromosomal y puntos de mutación (Rice, 2005).

2. FORMACIÓN DE ACRILAMIDA EN ALIMENTOS

En la actualidad, se dispone de amplia información sobre la formación de la acrilamida en los alimentos. Parece ser que se produce de forma natural en algunos alimentos que son sometidos a cocción o procesamiento a altas temperaturas y los niveles parecen incrementarse con la duración del calentamiento.

Los mayores niveles encontrados hasta ahora (del orden de $\mu\text{g/g}$) están en alimentos amiláceos (patatas y cereales). Investigaciones en curso tratan de explicar con mayor claridad porqué se forma la acrilamida y las condiciones que promueven o reducen su presencia en los alimentos.

La situación se complica por el hecho de que la acrilamida en una sustancia reactiva y volátil que puede reaccionar y autodegradarse después de su formación (Godnic, 2002).

Recientemente, los investigadores han focalizado sus estudios sobre los posibles mecanismos de formación en los alimentos (Zyzak *et al.*, 2003). Algunos grupos han confirmado que la mejor vía de síntesis es la reacción de Maillard (Coughlin, 2003; Mottram *et al.*, 2002) entre aminoácidos y azúcares reductores, siendo la asparragina, principal aminoácido libre presente en patatas (*Solanum tuberosum*) y cereales, un participante crucial en la producción de acrilamida por esta vía (Mottram *et al.*, 2002).

El calentamiento de cantidades equimolares de asparragina y glucosa a $180\text{ }^\circ\text{C}$ por 30 minutos producen $368\text{ }\mu\text{mol}$ de acrilamida por mol de asparragina (Stadler *et al.*, 2002). La formación es dependiente de la temperatura hasta $170\text{ }^\circ\text{C}$ iniciándose a temperaturas más elevadas, un proceso de auto-

degradación aún poco explicado. Otros aminoácidos que producen bajas cantidades de acrilamida son alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, metionina, treonina y valina.

En los estudios se describe la formación inicial de *N*-(*D*-glucos-1-il)-*L* asparragina, la cual está en equilibrio con la base de Schiff. Usualmente, cuando esta reacción se produce en medio acuoso, sigue la vía que termina en 1-amino-1-deoxicetosa de asparragina, conocido como el compuesto de Amadori, el cual representa el primer intermediario estable generado en un sistema acuoso (Taeymans *et al.*, 2004).

La base de Schiff puede experimentar una ciclación intramolecular resultando la oxazolidina-5-1-derivado, si este último compuesto se decarboxila, se obtiene el compuesto de Amadori decarboxilado, el que puede sufrir β -eliminación resultando finalmente una molécula de acrilamida y un amino azúcar (Taeymans *et al.*, 2004).

Corradini y Peleg (2006) describieron con gran detalle la cinética lineal y no lineal de la síntesis y degradación de acrilamida en alimentos y en sistemas modelos. Igualmente, Stadler *et al.* (2004) presentaron una minuciosa descripción de la formación de acrilamida y de otros compuestos producidos en la reacción de Maillard.

En general, no se encuentra acrilamida en alimentos que no han sido sometidos a tratamientos térmicos o en aquellos que sólo se han hervido. Sin embargo, Ezeji *et al.* (2003) descubrieron su formación durante la cocción del almidón en autoclave.

Otros resultados indican que cuando la asparragina reacciona con el glicerol, se forma acrilamida en un nivel de $4,42\text{ }\mu\text{g/g}$ de asparragina, pero no sucede lo mismo cuando este aminoácido reacciona con etilenglicol. El resultado sugiere que la formación de acrilamida se necesita de una molécula de tres carbonos, como el glicerol, para su formación (Yasuhara *et al.*, 2003).

3. FACTORES QUE AFECTAN LA FORMACION DE ACRILAMIDA EN PATATAS FRITAS

Los factores más importantes que determinan la cinética de formación de acrilamida y su posterior degradación son la composición de la patata y las variables de proceso. La patata aporta los precursores en una concentración dependiente de su variedad, de las condiciones del suelo, del periodo de cosecha y de las condiciones de almacenamiento postcosecha (Low *et al.*, 2006). Las variables de proceso fundamentales son la temperatura del aceite, el tiempo de fritura y ciertas propiedades de la patata como pH, actividad de agua, capilaridad y porosidad (Surdyk *et al.*, 2004; Gertz *et al.*, 2003).

3.1. Tipo de Aceite Empleado en la Fritura

Según Gertz *et al.* (2003) y Mestdagh *et al.* (2007), el tipo de aceite y su estado de oxidación

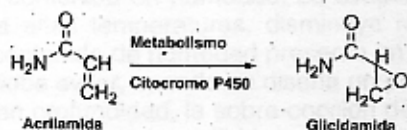


Figura 1
Metabolismo de la acrilamida a glicidamida.

e hidrólisis (mono- y diacilglicerol), no influyen significativamente en el contenido final de acrilamida. Sin embargo, debido a la hidrólisis del aceite, elevados contenidos de glicéridos parciales de carácter anfífilico, pueden modificar la tensión superficial entre el agua de la superficie del alimento y el aceite no polar, modificando la transferencia de calor del aceite al alimento en un período del tiempo fijo (Gertz, 2004; Gertz y Klostermann, 2002; Gertz *et al.*, 2003). Por otra parte, el contenido de acrilamida se incrementó del orden de 10 veces en las patatas *crisps* fritas a 150 °C en aceite usado en relación al mismo producto frito en aceite fresco a la misma temperatura (Dunovska *et al.*, 2004).

3.2. Precursores, Temperatura y Tiempo de Fritura

Según Matthäus *et al.* (2004) y Pedreschi *et al.* (2005), la temperatura y el tiempo de fritura son los factores iniciadores que más afectan la cantidad de acrilamida formada en las patatas. La cantidad final depende de la cantidad de precursores directos, asparragina y azúcares reductores, ya que las patatas, como materia prima, no contienen acrilamida (Olsson *et al.*, 2004; Williams, 2005).

La asparragina se considera que es la fuente de nitrógeno para la formación de la acrilamida; el calentamiento de este aminoácido solo, no produce acrilamida eficientemente, pero combinado con azúcares reductores como la glucosa o la fructosa, se acelera su formación. La asparragina presente en las patatas, no se afecta por la conservación de las mismas en ambientes a bajas temperaturas, menores a 10 °C, antes de su procesamiento industrial (Olsson *et al.*, 2004). Las altas temperaturas y las bajas condiciones de humedad, son necesarias para la formación de la acrilamida siguiendo la ruta de la reacción de Maillard (Dunovska *et al.*, 2004).

En relación con la temperatura, estudios de distintos autores demostraron que el límite inferior para la formación de acrilamida, es de 120 °C (Mottran *et al.*, 2002; Stadler *et al.*, 2002; Becalski *et al.*, 2003). Debido a la distribución de la temperatura, que disminuye desde el exterior al interior de la patata, por causa de la resistencia de su matriz a la transferencia de calor por la evaporación de agua, el porcentaje de acrilamida, desde su superficie hasta su centro geométrico, no es el mismo en todas las zonas de una misma porción de una patata tipo *french*. En el caso de patatas *crisps*, este comportamiento va a depender del grosor de la rodaja (Gökmen *et al.*, 2006). Se demuestra así la importancia del contenido en humedad. La evaporación de agua a altas temperaturas, disminuye rápidamente el contenido de humedad presente en la patata y se debe evitar, cuando se diseña un proceso de fritura en profundidad, la sobre-cocción del interior y que se seque la superficie de la patata.

Cuando la temperatura del aceite es alta, la deshidratación es más rápida y, por tanto, los altos ni-

veles de temperatura y la baja humedad favorecen la formación de acrilamida (Gökmen *et al.*, 2006). Una cantidad suficiente de agua presente en el material a freír, actúa como inhibidor de la formación de acrilamida, por lo que se hace muy relevante las relaciones contenido de agua-temperatura de fritura-temperatura interna de la patata durante la fritura.

El contenido final de agua de la patata *crisps* va a depender del proceso de transferencia de calor y de masa, explicada como la salida de agua y la absorción de aceite. Gertz *et al.* (2003) proporcionaron una completa explicación acerca de la termodinámica y fisicoquímica que envuelve el proceso del movimiento del agua al interior de las patatas *french* sometidas a fritura. Si se quiere reducir el nivel de acrilamida formada durante el proceso de fritura en profundidad, se debe asegurar que las rodajas de patatas a freír contengan una cantidad de agua superior a 10% al momento de ingresar al aceite caliente ya que por debajo de este valor, se inicia la formación de acrilamida.

El pardeamiento de la patata *crisps* empieza cuando disminuye el contenido interno de agua y se incrementa la temperatura de fritura en la superficie. Por ello se piensa que un factor preponderante para la formación de acrilamida en la patata *crisps*, es la temperatura del aceite de fritura en el momento en que se inicia la reacción que da origen al pardeamiento. El proceso debe ser entonces regulado mediante la variable tiempo de fritura a fin de controlar la formación de acrilamida (Ishihara *et al.*, 2006).

Por encima de 150 °C, la producción de acrilamida aumenta significativamente. Posiblemente a esta temperatura, la humedad del producto se encuentra por debajo de los valores mínimos críticos y la reacción de Maillard se acelera (Dunovska *et al.*, 2004). Otros autores establecen la temperatura crítica alrededor de 175 °C (Gertz *et al.*, 2002; Yasuhara *et al.*, 2003).

Haase *et al.* (2003) señalaron que disminuyendo la temperatura de fritura de las patatas *crisps* de 185°C a 165°C, era posible reducir la formación de la acrilamida a la mitad.

El contenido de azúcares reductores también está influenciado sustancialmente por la temperatura de almacenamiento de las patatas; ya que esta acumulación de azúcares se da a temperaturas menores a 10 °C (Dunovska *et al.*, 2004). Sin embargo, la asparragina presente en las patatas, no se modifica durante su conservación a baja temperatura antes de su procesamiento industrial (Olsson *et al.*, 2004).

Si se congelan las patatas *crisps* en nitrógeno líquido inmediatamente después de la fritura, puede producirse una reducción en la formación de acrilamida, debido a que se elimina el calor remanente que queda en las patatas *crisps* al finalizar el proceso de fritura, comparado con el contenido de acrilamida en las patatas *crisps* que se almacenaron a temperatura ambiente (Ishihara *et al.*, 2006).

3.3. Pretratamientos de Lavado, Escaldado, Inmersión y Acidificación

La combinación de ciertos pretratamientos con distintas temperaturas de fritura, han permitido reducir el contenido de acrilamida en patatas *crisps* a nivel de laboratorio. Las patatas *crisps* obtenidas han sido sometidas a evaluación sensorial para determinar niveles de aceptabilidad y calidad organoléptica de estos productos por un panel entrenado (Masson, 2005, 2006).

Cuando se cortan las patatas en rodajas, queda almidón libre en la superficie, lo que favorece que se adhieran entre sí. Para evitar esto, el almidón se debe eliminar de la superficie mediante lavado antes de continuar con el proceso.

El efecto del lavado sobre las rodajas de patatas sin freír, se manifiesta especialmente por la disminución de los azúcares reductores. Ishihara *et al.* (2006) realizaron estudios a 20 °C, 40 °C, 60 °C y 80 °C para evaluar el efecto de la temperatura del agua de lavado en la cantidad de azúcares reductores. Se evidenció la reducción en los azúcares reductores a 60 °C y 80 °C aunque no a 40 °C. Los autores sugieren que a 40 °C, pudo actuar la inversa nativa de la patata e igualmente comentan que la disminución a 60 °C y 80 °C podría deberse en parte a la gelatinización del almidón, que generalmente se inicia a 60 °C \pm 5 °C.

Otra operación es el escaldado, cuyo objetivo es mejorar el color final de las patatas *crisps*; en esta operación se eliminan por lixiviación o se reducen significativamente los azúcares reductores (Nuñez, 2001).

A la temperatura de fritura de 120 °C, se evidencia una reducción significativa del contenido de acrilamida en patatas *crisps* de 26,8%, 61,5% y 71,4% respectivamente al aplicar cada uno de los tres tratamientos siguientes: 1) escaldado en agua destilada a 90 °C por 1 minuto, con agitación permanente; 2) inmersión en ácido cítrico 1% p/p por 1 hora, con agitación ocasional y 3) escaldado en agua destilada a 90 °C por 1 minuto, seguido de inmersión en ácido cítrico 1% p/p por 1 hora. De igual forma, reducciones de 57,0%, 65,0% y 99,4% respectivamente, se obtuvieron con una temperatura de fritura de 150 °C; y una reducción de 48,4% al aplicar escaldado e inmersión, en las condiciones anteriores mencionadas y friendo a 180 °C. (Masson, 2005, 2006).

La reducción del contenido de azúcares por escaldado o remojo, podría decrecer la concentración de acrilamida cerca de un 60% en patatas *crisps* (Haase *et al.*, 2003). El escaldado remueve más glucosa y fructosa que sacarosa. Se ha señalado una correlación de $r^2 = 0,64$ entre el contenido total de los azúcares reductores con el contenido de acrilamida en el producto frito. Para monosacáridos como la glucosa, la correlación fue: $r^2 = 0,60$; y para la fructosa: $r^2 = 0,56$, mientras que el contenido del disacárido no mostró ninguna correlación con el contenido de acrilamida (sacarosa $r^2 = 0,24$) (Haase *et al.*, 2003).

Baja temperatura de fritura (120 °C) y el tratamiento de escaldado en agua caliente antes de la fritura, redujeron drásticamente el contenido de acrilamida en patatas *crisps* con respecto a controles sin escaldar; la única diferencia es que las patatas obtenidas no presentaron una calidad sensorial deseable. El escaldado redujo la concentración de acrilamida en 68%, 75% y 49%, a temperaturas de 120 °C, 150 °C y 180 °C, respectivamente (Pedreschi *et al.*, 2005).

Todo pretratamiento de inmersión de las rodajas de patata contribuye a la disminución de aminoácidos. La temperatura del agua de inmersión no afecta el contenido de agua interna presente en el material sometido a este proceso; pero sí afecta el contenido de aminoácidos, lo que es positivo desde el punto de vista de la reducción de acrilamida, pero negativo desde el punto de vista organoléptico, ya que afecta a los componentes que determinan la calidad sensorial de las patatas *crisps*, es decir, a los aminoácidos y a los azúcares reductores. Este punto es muy importante considerarlo cuando el material se trata en agua a altas temperaturas antes de la fritura (Ishihara *et al.*, 2006). Tanto la reducción de aminoácidos como de azúcares reductores aumenta al incrementarse el tiempo de pretratamiento en agua. Se recomienda que el pretratamiento de inmersión se realice a una temperatura alta y por largo tiempo, pero este pretratamiento conlleva el riesgo de alterar la calidad sensorial del producto final.

Cuando se han ensayado diferentes temperaturas de fritura como 150 °C, 170 °C y 190 °C los contenidos de glucosa y asparragina se correlacionan con la formación de acrilamida después de la fritura, para cada una de las temperaturas señaladas. Esta formación se incrementa notablemente en patatas escaldadas, cuando la temperatura de fritura aumenta; por ejemplo, el contenido de acrilamida fue de 306, 2197 y 3562 $\mu\text{g}/\text{kg}$ después de freír a 150 °C, 170 °C y 190 °C, respectivamente, lo anterior es válido para rodajas de patatas escaldadas a 70 °C por 8 minutos (Pedreschi *et al.*, 2004).

Otro pretratamiento de interés es la acidificación. Según Namiki *et al.* (1988) y Mlotkiewicz (1998), junto a la temperatura, el tiempo de reacción, el contenido de agua y las concentraciones y tipos de reactantes presentes, el pH es determinante en el porcentaje y grado de formación de los productos de la reacción de la reacción de Maillard.

Jung *et al.* (2003) indicaron que, aunque no se pueden descartar otros posibles mecanismos involucrados en este complejo sistema de reacciones químicas, está claro que el mecanismo de reducción de acrilamida en un medio ácido es la conversión del grupo α -amino nucleofílico libre desprotonado a amino no nucleofílico protonado. La velocidad de reacción entre azúcares reductores y grupos amino de aminoácidos es máxima a pH débilmente ácido. La reducción del pardeamiento cuando se adicionan ácidos orgánicos, puede ser atribuida al efecto inhibitorio del pH ácido sobre el desarrollo del pardeamiento no enzimático, catali-

zado en medio alcalino. Por lo tanto, es posible que el ácido cítrico o aceites de fritura que lo contengan o se le adicione en niveles altos, induzcan la reducción del contenido de acrilamida en el alimento frito (Gertz *et al.*, 2003).

Jung *et al.* (2003) mostraron que resulta efectivo disminuir el pH con ácido cítrico antes de la fritura para reducir la formación de acrilamida (aproximadamente un 73%) en patatas *french* cuando se frieron por 6 minutos a 190 °C a presión atmosférica. La extracción más eficiente de azúcares (60%-80%) así como de asparragina (80%) se observó después de remojar las patatas *crisps* en soluciones de ácido acético o hidróxido de sodio, por un período de 60 minutos a 20 °C. El ácido cítrico reduce el contenido de estos compuestos en porcentajes menores al 20%. Sin embargo, en ácido cítrico, la extracción más eficiente de azúcares y asparragina (aproximadamente 40%) se obtuvo después de escaldar las rodajas de patatas por 3 minutos a 70 °C (Kita *et al.*, 2004).

El pretratamiento de inmersión de las rodajas de patata cruda en solución de ácido cítrico, puede generar modificaciones de tipo organoléptico. El estudio de Jung *et al.* (2003), sobre el efecto de la concentración de las soluciones de ácido cítrico, demostró que se detectaba un leve gusto amargo y una textura más dura en el ensayo en que se someten las patatas a inmersión en solución al 2% de ácido cítrico. Los autores establecieron que una concentración de 1% de ácido cítrico era el límite máximo para ser aplicado como pretratamiento.

El ácido cítrico adicionado al sistema de fritura de patatas *crisps*, tiene como efecto la disminución de la formación de dos grupos de compuestos característicos de la reacción de Maillard como son los aldehídos provenientes de la reacción de degradación de Strecker, metilpropanal y 2 y 3-metilbutanal, y las alquilpirazinas, 2-etil-3,5-dimetilpirazina, 2-etil-3,6-dimetilpirazina y 2,3-dietil-5-metilpirazina, lo cual afecta el desarrollo de aromas y sabores (Wagner y Grosch, 1998).

Gamma-Baumgartner *et al.* (2004) encontraron que el contenido de acrilamida en patatas *french*, después de 15 minutos de inmersión en una solución acuosa al 0,25% de ácido cítrico, disminuyó de 810 µg/kg a 400 µg/kg. Gran parte de este efecto se debió a la extracción de la asparragina y los azúcares reductores en el agua. Se obtuvieron mejores resultados cuando dicha solución se empleó en caliente, manejando el mismo tiempo de inmersión y la concentración de la solución ácida. La inmersión en una solución ácida fría, generó en las rodajas de patatas algunas regiones pardeadas que decrecieron con el tiempo de inmersión. Jung *et al.* (2003) demostraron que la acidificación durante el pretratamiento de patatas *french* es un tratamiento muy adecuado para reducir los niveles de acrilamida. Debe tenerse en cuenta que, a escala industrial, las patatas siempre se lavan, se escaldan y algunas veces se les adiciona ácido cítrico para mejorar la estabilidad de su color. Por lo tanto, la aplicación de ácido cítrico para reducir el contenido de acrilamida

no implica un paso adicional en el proceso de elaboración de este producto.

3.4. Influencia del Empleo de Presiones Reducidas en la Fritura

La fritura a presión reducida se ha ensayado como una técnica alternativa para desarrollar patatas *crisps* con bajo contenido de grasa. Se ha investigado el efecto de la temperatura del aceite (118 °C, 132 °C y 144 °C) y la presión reducida (16,661; 9,888 y 3,115 kPa) sobre la velocidad de absorción de aceite de las patatas *crisps* y la calidad del producto final según los atributos sensoriales de contracción o encogimiento, color y textura. A presiones reducidas más bajas y a altas temperaturas, es mayor la velocidad de absorción de grasa pero el contenido final de grasa de las patatas *crisps* es menor. Con la aplicación de la fritura de patatas *crisps* a presión reducida, comparada con la fritura a presión atmosférica, se ha logrado obtener un producto con una menor absorción final de aceite. Las patatas *crisps* obtenidas por fritura a presión reducida se encogieron más que las fritas a presión atmosférica; además, fueron más ligeras y más suaves (Garayo y Moreira, 2002).

Granda *et al.* (2004) informaron que la acrilamida también se puede reducir en patatas *crisps* mediante la fritura a presiones reducidas. El efecto de la temperatura sobre la formación de acrilamida es menos dramático para fritura a presión reducida, debido a las bajas temperaturas que se han usado en esta investigación (118 °C, 125 °C y 140 °C).

Se ha obtenido una reducción de acrilamida de 94% a una temperatura de fritura de 118 °C, con resultados sensoriales deseables en textura y color.

4. DETERMINACIÓN DE LA ACRILAMIDA

Esta sección proporciona una descripción de los principales procedimientos analíticos adoptados por diferentes laboratorios, para determinar el contenido de acrilamida en los alimentos preparados, especialmente patatas. Los desafíos que aún quedan y la forma de como éstos se deben enfrentar, dependen de los recursos disponibles.

Debido a la alta solubilidad, alta reactividad y la carencia de un grupo cromóforo, la acrilamida no es fácilmente detectable (Mottran *et al.*, 2002; Jezussek y Schieberle, 2003).

En los últimos años, se han desarrollado numerosos métodos para determinar el monómero de la acrilamida, especialmente en agua, líquidos biológicos, y alimentos crudos (azúcar, cultivos de campo, setas). La mayoría son métodos clásicos basados en la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) o en la cromatografía de gases (Bologna *et al.*, 1999; Castle, 1993; EPA, 1996; Tekel *et al.*, 1989).

Sin embargo, debido a la complejidad de las matrices de los alimentos, estos métodos no son suficientes para el análisis de la acrilamida en alimentos procesados. Particularmente, carecen de

selectividad y del grado adicional de la certeza del analito requerido, para confirmar la presencia de una molécula tan pequeña como la acrilamida, en la matriz compleja del alimento.

El primer método de análisis de la acrilamida en diversos alimentos cocidos y procesados se publicó en Mayo de 2002 y se basa en el uso de la dilución isotópica en cromatografía líquida acoplada a la espectrometría de masas (LC-MS/MS) (Rosén y Hellenäs, 2002). Desde entonces, se han publicado en revistas científicas o se han presentado en las reuniones internacionales, varios métodos analíticos que describen la determinación de acrilamida en alimentos procesados (Wenzl *et al.*, 2003). Estos métodos se basan principalmente en el empleo de la espectrometría de masas (MS) como la técnica determinante, antecedido de una separación mediante cromatografía líquida (Ahn *et al.*, 2002; Becalski *et al.*, 2003; Hartig *et al.*, 2002; Höfler *et al.*, 2002; Gutsche *et al.*, 2002; Nemoto *et al.*, 2002; Tareke *et al.*, 2002), o cromatografía de gases donde el analito se derivatiza (Gertz y Klostermann, 2002; Höfler *et al.*, 2002; Ono *et al.*, 2003; Tareke *et al.*, 2002), o, se analiza directamente (Biedermann *et al.*, 2002; Tateo y Bononi, 2003).

El grupo de trabajo que se convocó durante la reunión sobre la acrilamida (JIFSAN/NCFST, 2002) para estudiar y desarrollar los métodos analíticos y Clarke *et al.*, (2002) concluyeron que la mayoría de laboratorios aplican el método de LC-MS/MS para el análisis de la acrilamida. La ventaja de los métodos basados en LC-MS/MS es que la acrilamida se puede analizar sin la derivatización previa (ejemplo, bromación), que simplifica considerablemente el análisis.

Otro método es la Reacción de Transferencia de Protones – Espectrometría de Masas (PTR-MS/MS), mostrado como un método conveniente por sus rápidas mediciones en línea de compuestos volátiles (Lindinger *et al.*, 1993, 1998; Yeretian *et al.*, 2002).

Wenzl *et al.* (2003) en su revisión, ha planteado la importancia de la preparación de la muestra, lo que presenta grandes diferencias entre los métodos. La revisión concluyó que la influencia en los resultados de las diversas técnicas de extracción, los solventes de la extracción (o mezclas de solventes), la relación temperatura/tiempo, el desengrasado o el tratamiento mecánico de la muestra, aún no han sido completamente resueltos y se requiere más información sobre el procedimiento de purificación de la muestra.

Petersson *et al.* (2006) plantearon un estudio optimizado del método de determinación de acrilamida mediante LC-MS/MS. Este estudio ha demostrado que la acrilamida se puede extraer eficientemente de varias matrices alimenticias usando agua pura. El uso de una mezcla de etanol-agua como solvente de extracción, o la eliminación de grasa con un solvente orgánico, tiene un efecto negativo o no significativo sobre la extracción de acrilamida. Por otra parte, la desintegración de la muestra en partículas pequeñas antes de la extracción hace innecesaria la homogenización y mezcla vigorosa con un homogenizador *Ultra Turrax*.

Generalmente, los resultados obtenidos, han señalado que la extracción incompleta es la causa más probable de llegar a errores en la determinación de acrilamida. Esto puede ocurrir cuando el alimento no se divide adecuadamente; cuando se usan solventes orgánicos en la extracción; o cuando se emplea un tiempo corto y una temperatura baja en la extracción. Otras fuentes de posible error se han atribuido a la destrucción de la acrilamida durante la extracción.

De acuerdo con estos resultados, se debe diseñar una extracción optimizada que sea conveniente a una amplia gama de las matrices alimenticias.

El método propuesto por Petersson *et al.* (2006) consistió en el uso de muestras desintegradas (tamaño de partícula < 1000 µm), agua como el solvente de la extracción y con la agitación de la muestra horizontalmente (100 RPM) a 25 °C durante 45 minutos. Este es un método simple, sin solventes orgánicos, que permite un alto rendimiento de procesamiento de muestras puesto que se pueden extraer en paralelo.

5. CONSIDERACIONES FINALES

La Confederación de Industrias de Alimentos y Bebidas de la Unión Europea (CIAA, por sus siglas en francés), reunida en Septiembre de 2005 (CIAA, 2005) elaboró un manual que refleja los resultados de más de tres años de cooperación de la industria para entender los pasos de la formación de la acrilamida y su potencial riesgo en la salud. Este acercamiento permite que los fabricantes individuales, incluyendo también las empresas de tamaño pequeño y medio, con los recursos limitados de sus programas de Investigación y Desarrollo, determinen y evalúen cuales de los pasos de la intervención identificados hasta ahora, pueden ser provechosos para reducir la formación de la acrilamida en sus productos específicos de fabricación. Así, se han definido una serie de normas y parámetros para la fabricación de productos de calidad constante y que causen buenas expectativas en el consumidor, que pueden ser además de gran interés en la preparación doméstica de alimentos y en establecimientos de *catering*, en donde el control riguroso de las condiciones de proceso puede ser más difícil. Las normas o parámetros para reducir el contenido de acrilamida en alimentos y, específicamente, en patatas, se concentran en los siguientes 8 puntos, que están relacionados con distintas fases de la producción y comercialización:

5.1. Azúcares (Escala industrial)

- Selección de las variedades de la patata con el contenido de azúcares reductores más bajo (menos de 1.5%, peso seco).
- Prácticas agrícolas para reducir al mínimo el nivel del azúcar.
- Selección de la porción de la patata basada en contenido de los azúcares reductores.

- Condiciones de almacenamiento desde el cultivo a la fábrica (ejemplo, $>6^{\circ}\text{C}$) identificado como buena práctica para el almacenamiento largo (De Meulenaer y Verhe, 2004).

Estas medidas se pueden poner en ejecución por medio de la industria. Los desafíos futuros incluyen:

- La producción de nuevas variedades de la patata con un contenido más bajo de los azúcares y/o menos efecto de dulcificación por frío.
- Optimizar las prácticas agrícolas.

5.2. Asparragina (Escala de laboratorio y producción piloto)

- Producción de variedades de patata con contenido más bajo de asparragina.
- El impacto de prácticas agrícolas en los niveles de asparragina.
- El impacto del almacenamiento en los niveles libres de asparragina.
- Ensayos de laboratorio donde las rodajas de la patata se han empapado en soluciones de glicina o glutamina (Bråthen *et al.*, 2005).
- Desactivación de la asparragina mediante el uso de cationes di- y trivalentes.

5.3. Dilución (Escala de laboratorio y producción piloto)

- Para algunos productos reconstituidos, el reemplazo parcial en la formulación, de los componentes de la patata por ingredientes que presenten un contenido más bajo en los precursores dominantes; por ejemplo, el uso de cereales con un contenido de asparragina más bajo que la patata (trigo, arroz, maíz) es una buena alternativa (CIAA, 2004).

5.4. Fermentación (Escala de laboratorio)

Uso de *Lactobacillus*.

5.5. Tratamientos Térmicos (Escala industrial)

- Patatas *crisps*: diversas soluciones para optimizar la transferencia térmica y así, controlar la acrilamida, se han puesto en ejecución conforme al equipo de proceso existente.
- Patatas *french*: prefreír no produce niveles significativos de acrilamida en el producto semielaborado, ni determina su nivel en el producto final. Es la preparación final la que tiene una influencia notoria.

5.6. Pre-tratamientos (Escala de laboratorio y producción piloto)

- Patatas *french*: El proceso de escaldado es la herramienta más importante de la industria para controlar los azúcares reductores. Se

agrega pirofosfato ácido de sodio. De esta manera se baja el pH como una medida adicional de reducir la formación de la acrilamida.

- Patatas *crisps*: diversas soluciones para controlar los precursores clave, se han puesto en ejecución, con variado éxito, dependiendo del equipo de proceso existente: lavado o control del pH.
- Productos de la patata: La asparragina se ha ensayado para reducir perceptiblemente la acrilamida. Hasta ahora, solamente los ensayos se han conducido en la escala de laboratorio, debido a la carencia de la disponibilidad de la enzima comercial en las cantidades adecuadas (Taeymans *et al.* 2005).

5.7. Color Final (Escala industrial)

- Patatas *french*: las instrucciones de preparación escritas sobre el envase deben ser revisadas, a fin de alcanzar el color amarillo dorado, deseable en el producto final.
- Patatas *crisps*: la eliminación de color oscuro mediante el uso de un clasificador óptico en línea, ha demostrado ser efectivo para reducir el contenido de acrilamida en el producto final.

5.8. Preparación final: Almacenamiento, Vida útil, Consumidor final (Escala industrial)

Instrucciones para el envase final:

- Para papas fritas:
 - Freír a máximo 175°C , por un tiempo pre-establecido.
 - Evitar que se queme el producto.
 - Hornear hasta alcanzar el color amarillo deseado.
 - Cuando se horneen pequeñas cantidades, reducir el tiempo de horneado.
- Para productos horneados:
 - Evitar que se queme el producto.
 - Freír hasta alcanzar el color pardo deseado.
 - Cuando se frían pequeñas cantidades, reducir el tiempo de fritura.
- Patatas *crisps*: el almacenamiento del producto final, no influye en la cantidad final de acrilamida formada.

En resumen, se trata de controlar los factores agronómicos (asparragina y azúcares reductores), la formulación del producto cuando sea posible mediante dilución de los precursores, las variables del proceso involucradas en la fabricación del producto (fermentación, pre-tratamientos y tratamiento térmico) y las variables implicadas en su preparación final por el consumidor.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del Proyecto UE "HEATOX": Heat-generated food toxicants, identificación,

characterization and risk minimization 506820 y del Proyecto CONICYT N° HEATOX RUE01.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahn JS, Castle L, Clarke DB, Lloyd AS, Philo MR, Speck DR. 2002. Verification of the findings of acrylamide in heated foods. *Food Addit. Contam.* **19**, 1116-1124.
- Becalski A, Lau BP, Lewis D, Seaman S. 2003. Acrylamide in foods: Occurrence, sources and modelling. *J. Agric. Food Chem.* **51**, 802-808.
- Biedermann M, Biedermann-Brem S, Noti A, Grob K, Egli P, Mändli H. 2002. Two GC-MS methods for the Analysis of Acrylamide in Foods. *Mitt. Lebensm. Hyg* **93**, 638-652.
- Bologna LS, Andrawes FF, Barvenik FW, Lentz RD, Sojka REJ. 1999. Analysis of residual acrylamide in field crops. *Chrom. Sci* **37**, 240-244.
- Bräthen E, Kita A, Knutsen SH, Wicklund T. 2005. *J. Agric. Food Chem.* **53**, 3259-3262.
- Castle L. 1993. Determination of acrylamide monomer in mushrooms grown on polyacrylamide gel. *J. Agric. Food Chem.* **41**, 1261-1263.
- CIAA Technical Report "Acrylamide Status Report December 2004" A summary of the efforts and progress achieved to date by the European Food and Drink Industry (CIAA) in lowering levels of acrylamide in food. Brussels.
- CIAA. 2005. The CIAA Acrylamide "Toolbox". Rev. 6.
- Clarke DB, Kelly J, Wilson LA. 2002. Assessment of performance of laboratories in determining acrylamide in crisp bread. *J. AOAC Int.* **85**, 1370-1373.
- Corradini M, Peleg M. 2006. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **46**, 489-517.
- Costa LG, Deng H, Greggotti C, Manzo L, Faustman EM, Bergmark E, Calleman CJ. 1992. Comparative studies on the neuro and reproductive toxicity of acrylamide and its epoxide metabolite glycidamide in the rat. *Neurotoxicology* **13**, 219-224.
- Coughlin JR. 2003. Acrylamide: What we have learned so far. *Food Technology* **57** (2) 100.
- De Meulenaer, Verhe R. Agripom Project Summary, Universiteit Gent, Belgium, Sept. 2004.
- Dearfield KL, Abernathy CO, Ottley MS, Brantner JH, Hayes PF. 1988. Acrylamide: Its metabolism, developmental and reproductive effects, genotoxicity, and carcinogenicity. *Mutation Research* **195**, 45-77.
- Dearfield KL, Douglas GR, Ehling UH, Moore MM, Sega GA, Brusick DJ. 1995. Acrylamide: A review of its genotoxicity and an assessment of heritable genetic risk. *Mutation Research* **330**, 71-99.
- Dunovská L, Hajšlová J, Šajka T, Holadová K, Hájková K. 2004. Changes of acrylamide levels in food products during technological processing. *Czech J. Food Sci.* **22**, Special Issue, 283-286.
- EPA SW 846, Method 8032A, U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC, 1996.
- Ezeji T, Groberg M, Qureshi N, Blaschek H. 2003. Continuous production of butanol from starch-based packing peanuts. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **106**, 375-382.
- Gama-Baumgartner F, Grob K, Biedermann M. 2004. Citric acid to reduce acrylamide formation in French fries and roasted potatoes? *Mitt. Lebensm. Hyg.* **95**, 110-117.
- Garayo J, Moreira RG. 2002. Vacuum frying of potato crisps. *J. Food Eng.* **55** (2) 181-191.
- Gertz C, Klostermann S. 2002. Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **104**, 762-771.
- Gertz C, Klostermann S, Kochhar P. 2003. Deep frying: the role of water from food being fried and acrylamide formation. *Oléagineux Corps Gras Lipides* **10** (4) 297-303.
- Gertz C. 2004. Optimising the baking and frying process using oil-improving agents. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **106**, 736-745.
- Godnic, M., 2002. Acrilamida en los alimentos. Disponible en: [Http://www.nutrinfo.com.ar](http://www.nutrinfo.com.ar). Visitado el 15 de diciembre de 2005.
- Gökmen V, Palazo lu T, fiennyuva H. 2006. Relation between the acrylamide formation and time-temperature history of surface and core regions of French fries. *Journal of Food Engineering* **77**, 972-976.
- Granda C, Moreira RG, Tichy SE. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato crisps by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science* **69** (8) 405-411.
- Gutsche B, Weisshaar R, Buhler J. 2002. Acrylamid in Lebensmitteln—Ergebnisse aus der amtlichen Lebensmittelüberwachung Baden-Württembergs. *Deutsche Lebensm. Rund* **98**, 437-443.
- Haase UN, Matthaas B, Vosmann K. 2003. Acrylamide formation in foodstuffs - Minimising strategies for potato crisps. *Deutsche Lebensm. Rund* **99** (3) 87-90.
- Hartig, L.; Hummert, Ch.; Buhler, J.; Von Czapiewski, K. y Schreiber. 2002. Detection of acrylamide in starch enriched foods with HPLC-MS/MS. 17th Symposium on Liquid Chromatography/Mass Spectrometry. Montreux, Switzerland.
- Höfler, F.; Maurer R. y Cavalli, S., 2002. Schnelle Analyse von Acrylamid in Lebensmitteln mit ASE und LC/MS. *GIT Labor-Fachzeitschrift* **48**: 986-970.
- IARC. Acrylamide. In IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogen Risk to Humans: Some Industrial Chemicals; International Agency for Research on Cancer: Lyon, France, 1994; Vol. 60: 389-433.
- Ishihara K, Matsunaga A, Nakamura K, Sakuma K, Koga H. 2006. Examination of conditions inhibiting the formation of acrylamide in the model system of fried potato. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **70**(7), 1616-1621.
- Jezussek M, Schieberle P. 2003. A new LC/MS method for the quantitation of acrylamide based on a stable isotope dilution assay and derivatization with 2-mercaptopbenzoic acid. Comparison with two GC/MS methods. *J. Agric. Food Chem.* **51**, 7866-7871.
- JIFSAN/NCFST Workshop "Acrylamide in Food, scientific issues, uncertainties, and research strategies" 28-30th October 2002. Rosemont, USA. Disponible en www.jifsan.umd.edu/acrylamide/acrylamideworkshop.html.
- Jung MY, Choi J, Ju JW. 2003. A novel technique for limitation of acrylamide formation in fries and baked corn crisps and in French fries. *Journal food science* **68** (4) 1287-1290.
- Kita A, Bräthen E, Knutsen S, Wicklund T. 2004. Effective ways of decreasing acrylamide content in potato crisps during processing. *J. Agric. Food Chem.* **52**, 7011-7016.
- Lindinger W, Hirber J, Paretzke H. 1993. An ion/molecule-reaction mass spectrometer used for online trace gas analysis. *Int. J. Mass Spectrom. Ion Proces* **129**, 79-88.
- Lindinger W, Hansel A, Jordan A. 1998. Online monitoring of volatile organic compounds at pptv levels by means of Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry

- (PTR-MS). Medical applications, food control and environmental research. *Int. J. Mass Spectrom.* **173**, 191–241.
- Lopachin RM, Lehning EJ. 1994. Acrylamide induced distal axon degeneration. A proposed mechanism of action. *Neurotoxicology* **15**, 247–260.
- Low MY, Koutsidis G, Parker J, Elmore, Dodson A, Mottram D. 2006. Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. *J. Agric. Food Chem.* **52**, 7011–7016.
- Masson L, Romero N, Castro J, Robert P. 2005. Informe de avance Proyecto HEATOX 506820. Vvageningen, Holanda.
- Masson L, Romero N, Castro J, Camilo C, Encina C, Hernández L, Muñoz J, Robert P. 2006. Informe de avance Proyecto HEATOX 506820. Graz, Austria.
- Matthäus B, Haase N, Vosmann K. 2004. Factors affecting the concentration of acrylamide during deep-fat frying of potatoes. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **106**, 793–801.
- Mestdagh F, De Meulenaer B, Van Peteghem C. 2007. Influence of oil degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in French fries. *Food Chemistry* **100**, 1153–1159.
- Mlotkiewicz JA. 1998. The Role of the Maillard Reaction in the Food Industry. In: O'Brien J *et al.* The Maillard Reaction in Foods and Medicine. Ed. The Royal Society of Chemistry. Cambridge, U.K. 19–27.
- Mottram DS, Wedzicha BL, Dodson AT. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* **419**, 448–449.
- Namiki M. 1988. Chemistry of Maillard reactions: Recent studies on the browning reaction mechanism and the development of antioxidants and mutagens. *Adv. Food Res.* **32**, 115–84.
- Nemoto S, Takatsuki S, Sasaki K, Maitani T. 2002. Determination of acrylamide in food by GC/MS using ¹³C-labelled acrylamide as internal standard. *J. Food Hyg. Soc. Japan* **43**, 371–376.
- Núñez H. 2001. Calidad en la producción de papas fritas. En: Hurtado ML. Presente y perspectivas de la industria de *snacks* en Chile. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 50. Santiago, Chile. 41–48.
- Olsson K, Svensson R, Rostlund C. 2004. Tuber components affecting acrylamide formation and colour in fried potato: variation by variety, year, storage temperature and storage time. *Journal of the Science of Food Agriculture* **84**, 447–458.
- Ono H, Chuda Y, Ohnishi-Kameyama M, Yada H, Ishizaka M, Kobayashi H, Yoshida, M. 2003. Analysis of acrylamide by LC-MS/MS and GC-MS in processed Japanese foods. *Food Add. Contam.* **20**, 215–220.
- Pedreschi F, Kaack K, Granby K. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *LWT* **37**, 679–685.
- Pedreschi F, Moyano P, Kaack K, Granby K. 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International* **38**, 1–9.
- Petersson E, Rosén J, Turner C, Danielsson R, Hellenäs K. 2006. Critical factors and pitfalls affecting the extraction of acrylamide from foods: An optimisation study. *Analytica Chimica Acta* **557**, 287–295.
- Rice JM. 2005. The carcinogenicity of acrylamide. *Mutation Research* **580**, 3–20.
- Rosén J, Hellenäs KE. 2002. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analyst* **127**, 880–882.
- Stadler RH, Blank I, Varga N, Robert F, Hau J, Guy PA, Robert MC, Riediker S. 2002. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature* **419**, 449–450.
- Stadler R, Robert F, Riediker S, Varga N, Davidek T, Devaud S, Goldmann T, Hau J, Blank I. 2004. In-Depth Mechanistic Study on the Formation of Acrylamide and Other Vinylous Compounds by the Maillard Reaction. *J. Agric. Food Chem.* **52**, 5550–5558.
- Surdyk N, Roseán J, Andersson Roger, Aman Per. 2004. Effects of Asparagine, Fructose, and Baking. Conditions on Acrylamide Content in Yeast-Leavened Wheat Bread. *J. Agric. Food Chem.* **52**, 2047–2051.
- Taeymans D, Wood J, Ashby P, Blank I, Studer A, Stadler R, Gondé P, Van Eijck P, Lalljie S, Lingnert H, Lindblom M, Matissek R, Müller D, Tallmadge D, O'Brien J, Thompson S, Silvani D, Whitmore T. 2004. A review of acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation, and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **44**, 323–347.
- Taeymans D, Andersson A, Ashby P, Blank I, Gonde P, Van Eijck P, Faivre V, Lalljie SP, Lingnert H, Lindblom M, Matissek R, Muller D, Stadler RH, Studer A, Silvani D, Tallmadge D, Thompson G, Whitmore T, Wood J, Zyzak D. 2005. Acrylamide: Update on selected research activities conducted by the European Food and Drink Industry. *J AOAC Int.* **88** (1) 234–241.
- Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M. 2000. Acrylamide: A cooking carcinogen? *Chemistry Research Toxicology* **13**, 517–522.
- Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M. 2002. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* **50**, 4998–5006.
- Tateo F, Bononi M. 2003. A GC/MS method for the routine determination of acrylamide in food. *Italian J. Food Sci.* **15**, 149–151.
- Tekel J, Farkas P, Kovác M. 1989. Determination of acrylamide in sugar by capillary GLC with alkali flame-ionization detection. *Food Addit. Contam.* **6**, 377–381.
- Tilson HA. 1981. The neurotoxicity of acrylamide: An overview. *Neurobehavioral Toxicol Teratol* **3**, 445–461.
- Wagner R, Grosch W. 1998. Key odorants of French fries. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **75**, 1385–1392.
- Wenzl T, De la Calle B, Anklam E. 2003. Analytical methods for the determination of acrylamide in food products. A review. *Food Addit. Contam.* **20**, 885–902.
- Williams J. 2005. Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato crisps. *Food Chemistry* **90**, 875–881.
- Yasuhara A, Tanaka Y, Hengel M, Shibamoto T. Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. 2003. *J. Agric. Food Chem.* **51**: 3999–4003.
- Yeretian C, Jordan A, Brevard H, Lindinger W. 2002. Time-resolved headspace analysis by proton-transfer-reaction mass-spectrometry. In: Roberts DD, Taylor AJ. Flavor Release. ACS Symposium Series 763. American Chemical Society, Washington, D.C., USA. 58–72.
- Zyzak D, Sanders RA, Stojanovic M, Tallmadge DH, Ebehart L, Ewald DK, Gruber DC, Morsch TR, Strothers MA, Rizzi GP, Villagran MD. 2003. Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J. Agric. Food Chem.* **51**, 4782–4787.