

高温加熱加工・調理食品に生じる発がん物質アクリルアミドへの対応

吉田 充

日本獣医生命科学大学・応用生命科学部・食品科学科・食品安全学教室

要約 2002年に高温加熱加工・調理食品中にアクリルアミドの存在が確認されて以来、食品におけるアクリルアミドの生成、様々な食品中の濃度、食品からの摂取量推定に関する研究・調査が進められてきた。日本においても、トータルダイエツトスタディに加えて、日本やアジア特有の食品を含めた市販加工品や、炊飯米を含めた調理食品の分析が行われた。アクリルアミドの毒性と摂取量とをあわせて考えると、食品中のアクリルアミドの人の健康に対するリスクは無視できず、低減の努力が必要と考えられる。そこで、食品規格に関する政府間機関Codexでも、2009年にじゃがいも加工品と穀物加工品に関するアクリルアミド低減のための実施規範が採択された。食品におけるアクリルアミドの生成抑制や、食品中のアクリルアミドのリスク管理のためには、簡易迅速な分析方法の確立が望まれていたところ、2011年にアクリルアミドのEIA検出キットが開発された。また、アクリルアミドの分析の精度管理に関しては、加熱食品をマトリクスとした標準物質や分析の技能試験も供給されており、利用しやすい状況になっている。

キーワード：アクリルアミド，加熱調理，発がん性，じゃがいも加工品，穀物加工品，メイラード反応，アスパラギン，還元糖

日獣生大研報 62, 8-16, 2013.

1. はじめに

アクリルアミドは、土壤凝固剤、土壤改良剤、紙力増強剤、水処理用凝集剤等として使用されるポリアクリルアミドの原料として知られているが、動物実験により神経毒性、発がん性、遺伝毒性、生殖・発生毒性が報告されており、国際がん研究機関による発がん性の分類で、「ヒトに対しておそらく発がん性がある」というグループ2Aに分類されている。アクリルアミドは生体内で-SH基や-NH₂基と反応し、ヘモグロビンのN末端のバリンと反応して生じる付加体(図1)は、アクリルアミドへの暴露の証拠となるバイオマーカーとして利用される。さらにDNAとの付加体の生成も知られており、このような生体分子に対する付加体の生成が、アクリルアミドの毒性の一因であろうと推測されている。アクリルアミドはまた、体内の酵素の働きにより酸化されてグリシダミドを生成し¹⁾(図-1)、この代謝物の生体分子との反応の方が毒性の主な原因であると見られている。一方、グルタチオン抱合されて尿中に排出される解毒機構も知られている¹⁾(図1)。

2002年4月24日にスウェーデンから、揚げたり焼いたりなど高温で加工調理された食品中に高濃度のアクリルアミドが検出されること^{2,3)}がプレス発表された。これは、スウェーデンのアクリルアミド職業暴露労働者の研究において対照とした暴露履歴がないと思われる人達の血液中にも

ヘモグロビン付加体が検出されたことに端を発する。このヘモグロビン付加体の起源を探るべく動物実験を行ったところ、揚げた餌を与えたラットの血液中にヘモグロビン付加体が検出され、またその揚げた餌中にアクリルアミドが検出された⁴⁾ので、暴露源として調理食品が疑われた。そこで、食品中のアクリルアミドの分析を行ったところ、広範な高温調理食品中にアクリルアミドが存在することが判明したのである。翌月には、英国からも同様な分析結果が発表され⁵⁾、国際連合食糧農業機関(FAO)と世界保健機関(WHO)も食品中のアクリルアミドが健康に関する重要な問題になりうると認識し、これを機に各国で食品中のアクリルアミドに関する研究が開始された。

アクリルアミドは、生やゆでた食品中には検出されず、オープンで加熱したり油で揚げたりするような120℃を超える高温加工・調理中に起こるメイラード反応の中で、主に食材中の遊離のアスパラギンがグルコースやフルクトースのような還元糖と反応してシッフ塩基を形成した後、脱炭酸を経て生成する⁶⁻¹⁰⁾(図2)。このような反応で生じるアクリルアミドの炭素と窒素はすべてアスパラギン由来であるが、アスパラギンのみを加熱した場合にはアクリルアミドの生成はあまり見られない^{7,9)}。アクリルアミドが効率よく生成するためには、アスパラギンが還元糖などカルボニル化合物と反応していったんシッフ塩基を形成することが重要である。

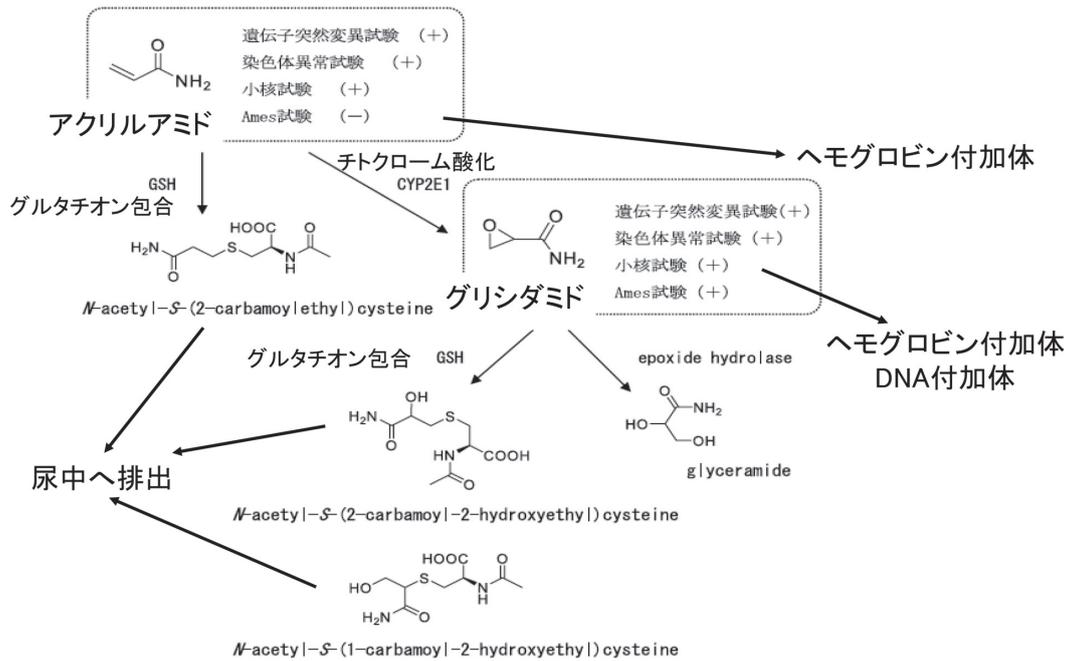


図1. アクリルアミドの体内動態
引用文献1)のFig. 1に加筆。

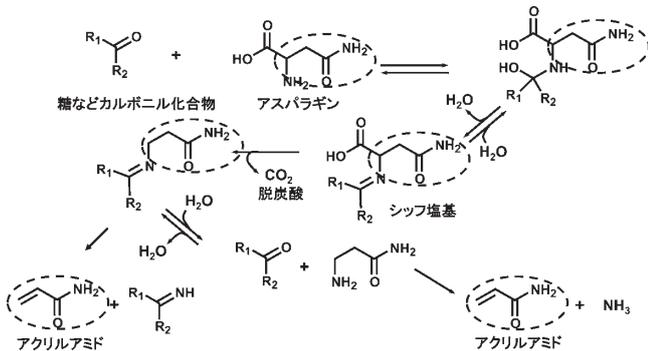


図2. アクリルアミドの生成機構
点線で囲った部分は、アクリルアミドとなる部分。

2. 食品中のアクリルアミドのリスク評価

2005年の第64回FAO/WHO食品添加物専門家会議(JECFA)¹¹⁾では、それまでに得られた欧米を中心とした24カ国の食品中のアクリルアミド含有量に関するデータと、17カ国における各食品の摂取量を合わせて、一般人の平均アクリルアミド摂取量は1μg/kg体重/日で、摂取量の多い人に関しては4μg/kg体重/日という値を算出した。一方、アクリルアミドのラットの神経に対する無作用量(NOEL)は200μg/kg体重/日で、乳がんに対するベンチマーク用量信頼下限値(BMDL)は300μg/kg体重/日と報告されている。NOELやBMDLと摂取量の比である暴露幅(MOE)は一般人で200及び300、摂取量の多い人では50及び75で、健康上の問題とならないとされるMOE値である

10,000に比してかなり小さい値となり、健康上のリスクを減らすために食品中のアクリルアミドを減らす努力が必要であると結論づけられた。

FAOとWHOはこのJECFAの報告を受けて、以下のことを勧告した¹²⁾。

- 各国の食品の安全に関わる部局は、食品業界に対して、アクリルアミドの主要摂取源となるフライドポテト、ポテトチップ、コーヒー、パン、クッキーなどについて、アクリルアミドを低減するための製造技術改善に向けた動きを求めること。
- アクリルアミドの含有量が多い食品のアクリルアミド低減に向けて、各国の食品の安全に関わる部局は、食品業界やその他の研究者に、得られたデータや技術を他の製造業者や消費者が利用できるような公開を促すこと。
- 各国の食品の安全に関わる部局は、家庭内調理におけるアクリルアミド低減とアクリルアミドが多く含まれる食品の摂取を減らすための指導を、健康のための栄養指導の一部として行うこと。
- アクリルアミド低減のために新たに開発した技術が、微生物汚染や化学汚染を増加させたり生じさせたりしないようにすること。また、同時に栄養価や消費者の好みも考慮すること。
- 各国の食品の安全に関わる部局は、引き続き消費者に、揚げ物や脂肪分の多い食品の摂取が過剰にならぬよう果物や野菜を多く含むバランスのよい食生活を勧めること。2010年の第72回JECFA¹³⁾におけるリスク評価においても、マウスにおけるハーダー腺腫誘発のBMDL 180μg/kg体重/日が報告され、一方、アクリルアミドは広範な高温

加熱食品中に存在するため (表 1)¹⁴⁾, 摂取量の劇的な削減が困難で, そのリスクは依然高いと考えられている。

3. 日本におけるアクリルアミド問題への対応

日本においては, 食品中のアクリルアミドの存在についてのスウェーデンでのプレス発表がなされた2002年の10月31日の厚生労働省薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会毒性部会においてアクリルアミド問題が取り上げられ, それまでに国立医薬品食品衛生研究所^{15,16)}と食品総合研究所 (現農研機構食品総合研究所)^{17,18)}が行った日本の市販加工

食品中のアクリルアミドの緊急サーベイ分析結果が発表された。そして, この国立医薬品食品衛生研究所の分析結果と平成14年の厚生労働省の国民栄養調査における各食品の摂取量のデータをもとに, 日本人の食事からのアクリルアミド摂取量として, 2.8 μ g/kg体重/日という値が報告された¹⁹⁾。その後, 農林水産省のリスク管理型の実用技術開発事業の中でトータルダイエツトスタディによる摂取量調査が行われ, 農林水産省が公開しているアクリルアミドについての食品安全に関するリスクプロファイルシートには, 0.3 μ g/kg体重/日から2.2 μ g/kg体重/日という値が記載さ

表 1. 食品中のアクリルアミド含有量¹⁴⁾

食品群	食品	アクリルアミド濃度 (μ g/kg)	
		最小値	最大値
じゃがいも加工品	ポテトチップス (Potato crisps)	117	3770
	フライドポテト (Chips/French fries)	59	5200
	ポテトフリッター (Potato Fritters /Rosti (fried))	42	2779
	じゃがいも (生) (Potatoes raw)	10未満	50未満
穀類加工品	コーンスナック (Corn crisps)	120	220
	ケーキ・パイ類 (Bakery products & biscuits)	18	3324
	パン類 (Bread)	20未満	130
	トースト (Bread (toast))	10未満	1430
	朝食用シリアル (乳幼児用を除く) (Breakfastcereals (non-infant))	11	1057
	クリスピーブレッド (Crisp bread)	30未満	2838
	糖尿病患者用ケーキ・ビスケット類 (Diabetic cakes& biscuits)	20	3044
	ポップコーン (Popcorn (sweet & salted))	57	300
ごま菓子 (Sesame snacks)	55	160	
米, 麺類	インスタント麺 (Fried noodle)	3	581
	チャーハン (Fried rice)	3未満	67
	インスタント麺のスープ (Instant noodle soup)	3未満	152
	米菓 (Rice cracker, grilled or fried)	17	500
果物, 野菜類	缶詰詰め黒オリーブ (Canned black olive)	123	1925
	ブルージュース (Bottled prune juice)	53	267
	揚げた野菜 (天ぷらを含む) Fried vegetable (including tempura vegetables)	34	34
ナッツ類	ナッツ (ピーナッツバターを含む) (Nuts, includingpeanut butter)	28	339
揚げ物	衣をつけて揚げた魚介類 (Fish and seafoodproducts, crumbed or battered)	2未満	39
	衣をつけて揚げた畜肉, 鶏肉 (Meat/Poultry products, crumbed orbattered (fried))	10未満	64
	素揚げの畜肉, 家禽肉, 魚肉 (Carcass Meat,Poultry and Fish (fried))	5未満	52
ココア製品	チョコレート製品 (Chocolate product)	2未満	826
	ココアパウダー (Cocoa powder)	10未満	909
飲料	コーヒー豆 (焙煎) (Coffee (roasted))	45	975
	代用コーヒー (Coffee substitute)	116	5399
	インスタントコーヒー (Coffee extract/powder)	195	4948
	ほうじ茶, ウーロン茶 (Roasted Tea (hoji-cha) and Oolong Tea)	9未満	567
	煎り大麦 (麦茶用) (Roasted barley grains (for tea))	140	578
	ビール (Beer)	6未満	30未満
乳幼児用食品	乳幼児用ビスケット・ラスク (Infant biscuits/rusks)	20未満	910
	缶詰詰めベビーフード (Jarred/canned baby foods)	10未満	121

れており²⁰⁾、日本における摂取量も欧米諸国とほぼ同じレベルであると考えられている。

アクリルアミドの含有量調査がなされている食品は、欧米で食されているものが中心であり、欧米人とは食事内容が異なる日本をはじめとしたアジアの食品に関しては比較的情報が少ない。そこで、上記の農林水産省の実用技術開発事業で農研機構食品総合研究所を中心とした研究グループが、国内のスーパーマーケットで売られている総菜や、ファーストフード店やファミリーレストランのメニューにある食品の分析を行った。その結果は農林水産省のアクリルアミドについての食品安全に関するリスクプロファイルシートに掲載されている²⁰⁾。さらに家庭等で調理される食事も含めて、調理品の分析も行っている^{21,22)}。焙煎飲料についても、お茶や麦茶の調査がなされている^{20,23)}。その他、農林水産省が2003年から行っている国内の市販食品の実態調査の結果がホームページ等で公表されている^{20,24)}。

欧米では主食のパンの中にアクリルアミドが検出され、パンがアクリルアミドの主要な摂取源のひとつとして注目されている。日本人の主食の米については、水を使った炊飯調理がなされ、120℃以上に加熱されることはないため、アクリルアミドは生じないと推測されてきたが、最近では家庭用の炊飯器の中にも加圧炊飯が可能なものがあり、100℃を超える温度で炊飯がなされる場合もある。また、米は主食であるため摂取量が多く、アクリルアミドが生じていた場合、その濃度は低くても1日あたりの総摂取量が多くなる可能性があると考え、農林水産省のレギュラトリーサイエンス研究事業の中で農研機構食品総合研究所が炊飯実験を実施した²⁵⁾。その結果、家庭用炊飯器での炊飯で白飯に生じるアクリルアミドの濃度は0.54~1.18 $\mu\text{g}/\text{kg}$ で、平成23年国民健康・栄養調査結果報告にある炊飯米の1日平均摂取量約320gを摂取する場合を考えると、アクリルアミドの精白米からの摂取量は約0.4 $\mu\text{g}/\text{日}$ にとどまり、体重60kgの成人の場合、アクリルアミド摂取量を0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日とすると、1日の総摂取量は18 μg で、炊飯した精白米からの1日あたりの摂取量0.4 $\mu\text{g}/\text{日}$ はその約2%に過ぎず、炊飯米のアクリルアミドに関しては特に注意を払う必要はないと考えられる。アミノ酸含量が多くアクリルアミドが精白米よりも生じやすい玄米や発芽玄米についても、焦げ付きにくいコーティングした釜の炊飯器で炊飯すれば、炊飯米からのアクリルアミド摂取量はその他の食品からの摂取量に比べ十分少ないと考えられる。しかし、「おこげ」がしやすい条件で玄米を炊いた場合には、摂取量は2 $\mu\text{g}/\text{日}$ 前後で、1日のアクリルアミド総摂取量を18 μg と見積もった場合の約1割となるので、アクリルアミドの摂取源の一つとして無視できないものとなり得ると考えられる。

このようにして、食品中にアクリルアミドの存在が確認されて10年が経過し、食品からのアクリルアミド摂取の実態が明らかになってきている。

4. アクリルアミド生成抑制の対策

食品の分野では、近年、一次生産から消費にわたっての安全対策によって、最終産物の安全を確保するという考え方がなされるようになり、国際食品規格に関する政府間機関Codexでもこの考え方に従って、生産・製造・流通の現場で守るべき規範が定められつつある。実施規範が遵守できれば、食品の汚染レベル全体が下がるので、基準値を定めて食品を検査し、違反食品のみを取り締まるよりも有効な安全対策となり、同時に行政コストや時間の節約も期待できる。

アクリルアミドについても、この考え方で2009年の第32回Codex総会で、アクリルアミドの摂取源として寄与の大きいじゃがいも加工品と穀物加工品に関して、アクリルアミド低減のための実施規範²⁶⁾が採択された。コーヒーもアクリルアミド濃度が高い食品ではあるが、アクリルアミド低減に有効な手だてが今のところないので、実施規範の作成は見送られている。

この実施規範案の主な内容は以下のようなものである。

4.1 じゃがいも加工品について

- 加工原料となる生のじゃがいもに関しては、こげ色が強くない範囲での高温加工後のアクリルアミド含量を決定する実質的な因子は還元糖の含量であるので（図3）²⁷⁾、揚げ加工・調理に用いる場合は、できるだけ還元糖含量が少ないものを使用する。還元糖含量の高いイモの混入を避けるために、原料イモ入荷時に一部をサンプリングして還元糖量をチェックするか、揚げテストを行ってこげ色をチェックする。
- 生のじゃがいもは6℃以下の低温で数日間貯蔵するとデンプンが分解されて還元糖であるグルコースやフルクトースが増加し、それを高温で調理するとこげやすくなり、アクリルアミド生成量が増加する（図

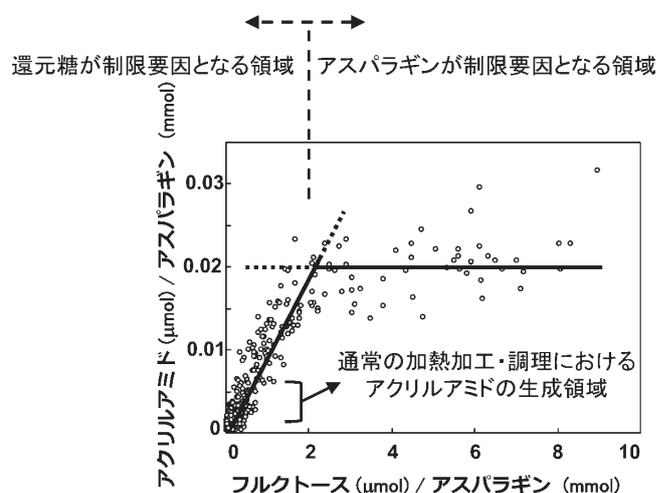


図3. 還元糖（フルクトース）／アスパラギンの比率が異なるじゃがいものアスパラギンの揚げ加工後のアクリルアミドへの変換率

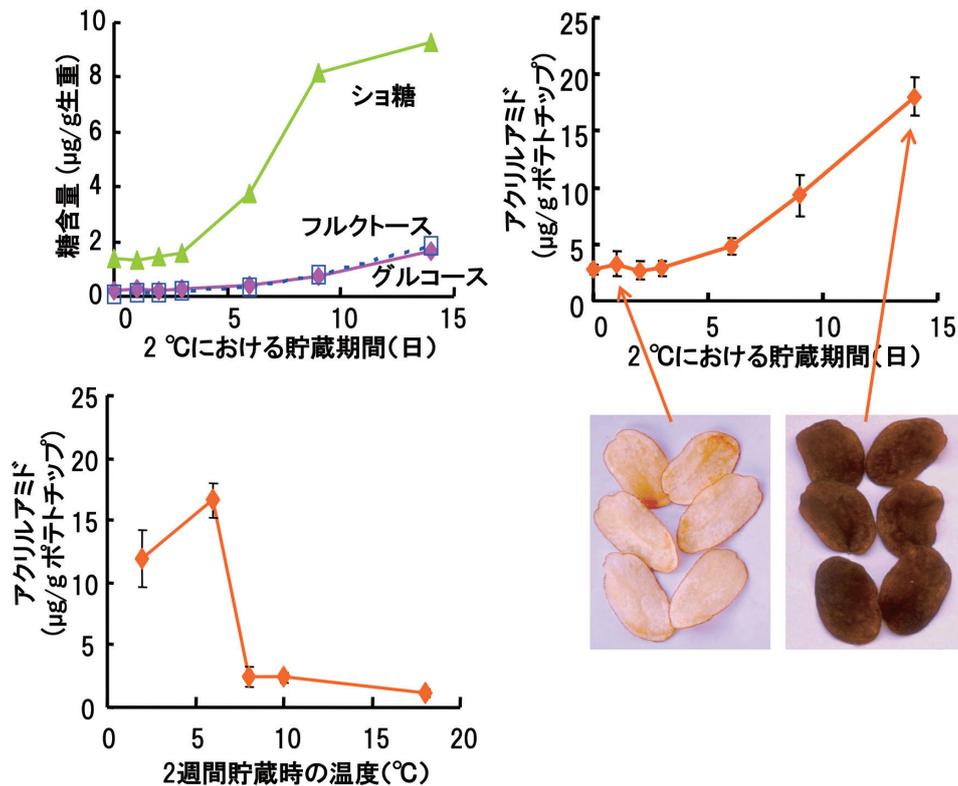


図4. 生じゃがいもの低温貯蔵がポテトチップへの揚げ加工後のアクリルアミド含量に及ぼす影響^{28,29)}
使用品種はトヨシロ。加熱条件は、180°C, 90秒。

4)^{28,29)}。よって、高温加工に用いるイモは低温に長時間さらさないようにする。低温保存してしまったイモは、2, 3週間12~15°Cの環境に置いてリコンディショニングを行ってから加工する。

- ドウを使用するポテトスナック類に関しては、できればその一部を米粉のような還元糖やアスパラギン含量が少ない原料に置き換える。また、こげ色をつけるためやコーティングのために還元糖を高温加工前に添加するのを避ける。アスパラギンをアスパラギン酸に変換する酵素、アスパラギナーゼをドウに添加するのもアクリルアミド低減に有効であることが知られている。(しかし日本では、まだアスパラギナーゼは食品添加物として認められていないので、この方法は使用できない。)
- フライドポテトでは、揚げる前に湯がくと(ブランチング処理)還元糖の量が減り、アクリルアミド生成を抑えることができる。特に、酸性ピロリン酸ナトリウムを入れたpHが低い水や、カルシウム塩のような2価や3価の陽イオンをブランチングの後半に使用すると効果的である。また、材料のじゃがいもを太く切るとアクリルアミド低減につながる。
- ポテトチップでは、褐色(golden brown)ではなく焦げ色のない黄金色(golden yellow)のチップとするために、加熱時間や温度を最適化する。還元糖量の多いイモは、減圧フライすることも考える。揚げ加工後、速や

かに冷却して余熱によるアクリルアミドの生成を少なくしたり、加工後の工場ラインでこげたチップを除去することも最終製品のアクリルアミド低減につながる。

4.2 穀物製品について

- 小麦や大麦においては、硫黄欠乏土壌で栽培したものはアスパラギン含量が多くなり、高温加工後のアクリルアミド生成量が多くなるので、硫黄が欠乏しないように施肥を行う。また、アスパラギン含量を増やさぬよう窒素が過剰になるような施肥も避ける。
- 小麦やライ麦に比べて米はアスパラギン含量が少なく、小麦粉では全粒粉がアスパラギン含量が多いというように、粉のタイプによりアスパラギン含量が異なりアクリルアミドの生じやすさが異なるので、栄養価や製品の品質との兼ね合いも考慮して使用する粉を選択する。
- 膨張剤に重炭酸アンモニウムのようにアンモニウムが含まれているものを使用するとアクリルアミド生成量が増す。代わりに重炭酸ナトリウムと酸剤、二リン酸二ナトリウムと重炭酸ナトリウムと有機酸、重炭酸カリウムと重酒石酸カリウム、重炭酸ナトリウムと酸性ピロリン酸ナトリウムなどを使用する方法が商業的に知られている。
- 焼き色がつきにくくてもよい場合は、還元糖であるグルコースやフルクトースをショ糖と置き換えれば、アクリルアミド含量を減らせる。また、還元糖でもフルクトースの方がグルコースよりもアクリルアミドを生成しやす

いので、フルクトースが多く含まれるシュガーシロップやフルーツピューレ、はちみつをグルコースで置き換えるとアクリルアミド生成量を減らせる。グルコースを主成分とするコーンシロップを使用する場合も、その中のフルクトース含量をできるだけ低く抑える。

- 朝食シリアルの場合、還元糖は加熱加工後に加える。ナッツ類やドライフルーツを混ぜる場合は、それらがアクリルアミド源となり得る時には必要かどうか考える。
- 成形ポテトスナックの場合と同様に、アスパラギナーゼをドウに添加すると、クッキーやクラッカーのアクリルアミドを低減できる。(しかし日本では、まだアスパラギナーゼは食品添加物として認められていないので、この方法は使用できない。)
- 小麦粉パンのドウの酵母による発酵はアスパラギン消費して焼成後のアクリルアミド含量を低下させる効果があるので、発酵時間を長くする。炭酸カルシウムのようなカルシウム塩の添加で、アクリルアミドの生成を抑制できることがある。
- 焼成時の温度や時間を調整して焼きすぎないようにする。水分含量が低くなる焼成の最終段階における高温はアクリルアミド含量を増加させるので、最終段階の温度を低くする。その代わりに水分含量がまだ高い焼成初期の温度を高くしても、アクリルアミド生成はそれほど増えない。

4.3 消費者へのアドバイス

- 工場での加工食品の製造の場合と同様に、消費者が家庭で調理を行う場合に関しても、国や地方公共団体は、高温調理の場合に加熱のしすぎがないよう、しかし加熱不足にならない程度に、じゃがいもを揚げる場合は褐色ではなくではなく黄金色に、トーストは軽く焼き色が付く程度(light brown)に焼くことを勧めるようにする。高温調理に使用するじゃがいもは低温貯蔵を避けることも勧める。食品製造業も必要に応じて、アクリルアミドの生成低減に役立つ調理法や食品の扱いに関するアドバイスを消費者に与えるよう努める。

5. アクリルアミドの分析について

アクリルアミドは加熱時のメイラード反応によって生成するため、同じ食品であっても原料や加工条件が異なれば、生成量が10倍以上異なる場合がある。そこで、工場に入荷する原材料や製造ラインにおける原材料の前処理や加熱温度や時間の調整により、製品の品質低下をもたらさないようにしてアクリルアミド生成の抑制を試みることになる。工場ラインでの製造条件検討のたびに製品のアクリルアミドを分析して、低減できる条件を見出す必要が生じるが、これまでアクリルアミドの分析は、誘導体化してGC-MSで測定するか、誘導体化せずにLC-MS/MSで測定する場合がほとんどであり、簡易迅速な検出法が望まれてはいたもののその開発は遅れていた。その理由は、アクリルアミドが水溶性で分子量が71と小さく、アミノ酸と同じ位の大き

きさで、食品に含まれる低分子の水溶性成分との分離が難しいためと思われる。

このような状況の中で、農林水産省のレギュラトリーサイエンス新技術開発事業の「食品中のアクリルアミドを簡易・迅速に測定できる分析技術の開発」において開発された技術を用い、2011年10月に森永生科学研究所がアクリルアミドのEIA検出キットの発売を開始した。この検出キットでは、検出対象のアクリルアミドを誘導体化することで、抗原抗体反応を利用した特異的検出を可能にしている。本キットでは最大24検体を一度に測定でき、アクリルアミドの検出下限は0.9ng/mLで、測定範囲は3~200ng/mL(180~12,000 μ g/kg食品)である。食品中の検出濃度範囲の下限が180 μ g/kgとやや高いものの、このEIAキットが発売されたことで、MSを使用せずにアクリルアミドの定量が可能となり、大がかりな設備を有する分析所でもなくとも、食品加工の現場での検査が可能になった。日常の食生活におけるアクリルアミドの摂取に寄与の大きい食品中のアクリルアミド低減加工条件の検討には充分利用できる性能のものと思われる、加工食品からのアクリルアミド摂取の抑制に役立つものと期待できる。

食品中のアクリルアミドの分析の精度管理に関しては、クリスプブレッド、トースト、ラスク、ポテトチップ、ピーナツバターをマトリクスとした標準物質が販売されており、分析の技能試験もクリスプブレッド、ビスケット、ポテトチップのようなマトリクスで英国のThe Food and Environment Agencyが定期的に行っているため、利用しやすい状況にある。

6. 総 括

加熱調理は人類が火を使い始めて以来行われてきたことであり、加熱により食材を柔らかくして固いものや難消化性のものを食べられるようにしたり、殺菌により安全性を高めたり、保存性を向上させたりする作用があり、人類の生存になくはならない技術である。また、食欲をそる好ましい香りや色を生じさせ、食の楽しみを増強させてくれる効果もある。しかし、加熱加工・調理時に食材の成分が反応を起こして有害物質を生成する場合があります、そのひとつが2002年に高温加熱・調理食品中に存在することが発見されたアクリルアミドである。この発がん物質は、アミノ酸の一種であるアスパラギンがグルコースやフルクトースのような還元糖との共存下で加熱されて生じるため、広範な加熱食品中に検出され、その摂取量は1 μ g/kg体重/日のレベルと推定され、NOELやBMDLと摂取量の比であるMOEは数百から数十のレベルとなり、同じように加熱により食品に生成する発がん物質であるベンツピレンをはじめとする多環芳香族炭化水素類やフランに比べて健康に対するリスクが大きいと考えられる。

アクリルアミドは、主食となるパン等の小麦粉を原料としたオープン加熱食品やジャガイモを揚げた食品中に数百 μ g/kgと高い濃度レベルで存在するものの、市販品に限ら

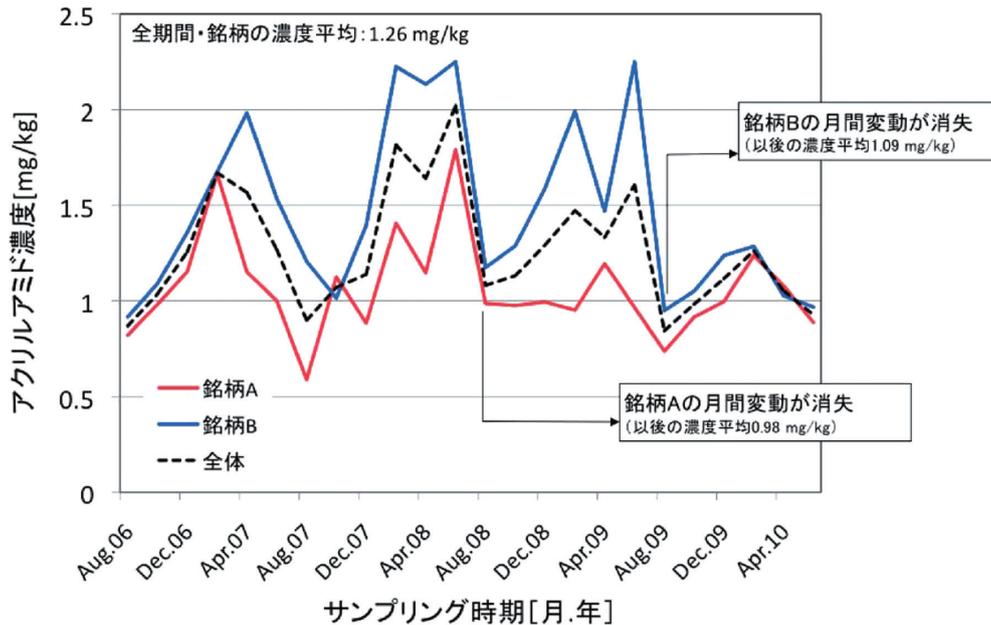


図 5. 日本国内の市販ポテトチップ中のアクリルアミドの平均濃度の変動³¹⁾

2006年8月から2010年6月までの4年間に、6都市(札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡)で、2ヶ月おきに、メーカーが異なる2銘柄(A、B)について、製造日の異なる2ロットの市販ポテトチップ各1袋を購入してアクリルアミド濃度を分析した。調査開始後の2年間は、いずれの銘柄でも原料イモの貯蔵中のデンプンの分解による還元糖生成の影響によるアクリルアミド濃度の周年変動(低:8,10月、高:2,4月)が見られるが、銘柄Aは2008年8月以降、銘柄Bも2009年8月以降はほとんど変動が見られなくなっている。また、周年変動消失後は、いずれの銘柄についても以前に比べてアクリルアミドが低減している。

ず、家庭調理によっても生成することや、民族の文化と深く結びついた食習慣の変更の難しさからみて、規制値を定めて市販品を規制するよりも、生成をできるだけ抑えるような実施規範が制定され、それに従った加工や調理がなされる方向で対策が取られている。アクリルアミド濃度が特に高いポテトチップについては、実施規範の検討段階から製造業者によって生成低減対策が試みられ、すでにその成果が市販製品のモニタリングに結果にも現れているように見受けられる(図5)^{30,31)}。この規範については、食品の栄養やおいしさや衛生面での問題をもたらさずに発がん物質のリスクを減らすよう、食品製造業者だけでなく消費者も実行に努めることが求められている。また、食の安全に係る行政機関は、リスクコミュニケーションによって、この内容を国民全体に広める必要がある。

引用文献

- 1) 登田美桜, 畝山智香子, 山本都, 森川馨. (2005). 食品中のアクリルアミドに関する最近の動き - JECFAによる新しいリスク評価を中心に -. 国立医薬品食品衛生研究所報告. **123** : 63-67.
- 2) ROSÉN, J. and HELLENÄS, K. (2002). Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *The Analyst*. **127** : 880-882.
- 3) TAREKE, E., RYDBERG, P., KARLSSON, P., ERIKSSON, S. and TÖRNQVIST M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.* **50** : 4998-5006.
- 4) TAREKE, E., RYDBERG, P., KARLSSON, P., ERIKSSON, S. and TÖRNQVIST, M. (2000). Acrylamide: A cooking carcinogen? *Chem. Res. Toxicol.* **13** : 517-522.
- 5) AHN, J. S., CASTLE, L., CLARKE, D. B., LLOYD, A. S., PHILO, M. R., and SPECK, D. R. (2002). Verification of the findings of acrylamide in heated foods. *Food Addit. Contam.* **19** : 1116-1124.
- 6) MOTTRAM, D.S., WEDZICHA, B.L. and DODSON A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*. **419** : 448-449.
- 7) STADLER R.H., BLANK I, VARGA N, ROBERT F, HAU J, GUY P.A., ROBERT M, RIEDIKER S. (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*. **419** : 449-450.
- 8) BECALSKI, A, LAU, B. P. Y., LEWIS, D. and SEAMAN, S. W. (2003). Acrylamide in foods: occurrence, source, and modeling. *J. Agric. Food Chem.* **51** : 802-808.
- 9) YAYLAYAN, V. A., WNIOROWSKI and LOCAS, C. P. (2003). Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *J. Agric. Food Chem.* **51** :

- 1753-1757.
- 10) ZYZAK, D. V., SANDERS, R. A., STOJANOVIC, M., TALLMADGE, D. H., EBERHART, B. L., EWALD, D. K., GRUBER, D. C., MORSCH, T. R., STROTHERS, M. A., RIZZI, G. P. and VILLAGRAN, M. D. (2003). Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J. Agric. Food Chem.* **51** : 4782-4787.
 - 11) FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS AND WORLD HEALTH ORGANIZATION (2005). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Sixty-fourth Meeting, Summary and Conclusions. pp. 7-17. (ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa64_summary.pdf)
 - 12) INTERNATIONAL FOOD SAFETY AUTHORITY NETWORK. (2005). Acrylamide in food is a potential health hazard. http://www.who.int/foodsafety/fs_management/en/No_02_Acrylamide_Mar05_en_rev1.pdf.
 - 13) FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS AND WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2010). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Seventy-second Meeting, Summary and Conclusions. p. 2 (http://www.who.int/foodsafety/chem/summary72_rev.pdf)
 - 14) 農林水産省. アクリルアミドが含まれている食品. http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/acryl_amide/a_syosai/about/syokuhin.html.
 - 15) NEMOTO S., TAKATSUKI S. SASAKI K. and MAITANI T. (2002). Determination of acrylamide in foods by GC/MS using ¹³C-labeled acrylamide as an internal standard. *食品衛生学雑誌*. **43** : 371-376.
 - 16) TAKATSUKI, S., NEMOTO, S., SASAKI, K. and MAITANI, T. (2003). Determination of acrylamide in processed foods by LC/MS using column switching. *食品衛生学雑誌*. **44** : 89-95.
 - 17) 吉田充, 小野裕嗣, 亀山眞由美, 忠田吉弘, 箭田浩士, 小林秀誉, 石坂眞澄. (2002). 日本で市販されている加工食品中のアクリルアミドの分析. *日本食品科学工学会誌*. **49** : 822-825.
 - 18) ONO, H., CHUDA, Y., OHNISHI-KAMEYAMA, M., YADA, H., ISHIZAKA, M., KOBAYASHI, H. and YOSHIDA, M. (2003). Analysis of acrylamide by LC-MS/MS and GC-MS in processed Japanese foods, *Food Addit. Contam.* **20** : 215-220.
 - 19) 製品評価技術基盤機構, 化学物質評価研究機構. (2007). アクリルアミド. 化学物質の初期リスク評価書. Ver. 1.0, No.35. 製品評価技術基盤機構, 東京.
 - 20) 農林水産省. (2010). 食品安全に関するリスクプロフィールシート (検討会用). http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/priority/pdf/121107_acrylamide.pdf.
 - 21) 山澤広之, 小野裕嗣, 竹中真紀子, 吉田充, 堀端 薫, 三好恵子, 漆山哲生, 辻山弥生, 山田友紀子. (2007). 給食調理実習献立中のアクリルアミド含有量. *日本食品科学工学会第54回大会講演要旨集*. p.156. 福岡.
 - 22) 山澤広之, 小野裕嗣, 竹中真紀子, 吉田充, 堀端 薫, 三好恵子, 漆山哲生, 大島潔, 山田友紀子. (2008). 調理実習による各種調理品中のアクリルアミド含有量. *日本食品科学工学会第55回大会講演要旨集*. p.139. 京都.
 - 23) MIZUKAMI, Y. KOHATA, K. YAMAGUCHI, Y. HAYASHI, N. SAWAI, Y. CHUDA, Y. ONO, H. YADA, H. and YOSHIDA M. (2006). Analysis of acrylamide in green tea by gas chromatography-mass spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* **54** : 7370-7377.
 - 24) 農林水産省. 食品中のアクリルアミドの含有実態調査. http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/acryl_amide/a_syosai/nousui/ganyu.html.
 - 25) 吉田充, 三好恵子, 堀端薫, 水上裕造, 竹中真紀子, 安井明美. (2011). 日本における炊飯米由来のアクリルアミド摂取量評価. *日本食品科学工学会誌*. **58** : 525-530.
 - 26) CODEX ALIMENTARIUS. (2009). Code of Practice for the Reduction of acrylamide in foods. (http://www.codexalimentarius.net/web/more_info.jsp?id_sta.11258)
 - 27) MATUURA-ENDO, C., OHARA-TAKADA, A., CHUDA, Y., ONO, H., YADA, H., YOSHIDA, M., KOBAYASHI, A., TSUDA, S., TAKIGAWA, S., NODA, T., YAMAUCHI, H. and MORI, M. (2006). Effects of storage temperature on the contents of sugars and free amino acids in tubers from different potato cultivars and acrylamide in chips. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **70** : 1173-1180.
 - 28) CHUDA, Y., ONO, H., YADA, H., OHARA-TAKADA, A. MATSUURA-ENDO, C. and MORI, M. (2003). Effects of physiological changes in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) after low temperature storage on the level of acrylamide formed in potato chips. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **67** : 1188-1190.
 - 29) OHARA-TAKADA, A., MATSUURA-ENDO, C. CHUDA, Y., ONO, H., YADA, H., YOSHIDA, M., KOBAYASHI, A., TSUDA, S., TAKIGAWA S., NODA T., YAMAUCHI H., and MORI M. (2005). Change in content of sugars and free amino acids in potato tubers under short-term storage at low temperature and the effect on acrylamide level after frying. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **69** : 1232-1238.
 - 30) TSUKAKOSHI, Y., ONO, H., KIBUNE N., ISAGAWA, S., YAMAZAKI, K., WATAI, M., YOSHIDA, M. (2012). Monitoring of acrylamide concentrations in potato chips in Japan between 2006 and 2010. *Food Addit. Contam. Part A.* **29** : 1212-1218.
 - 31) 小野裕嗣, 塚越芳樹, 吉田充. (2013). 市販ポテト

チップのアクリルアミド濃度モニタリング手法. 食品試験研究成果情報. 25 : 4-5. (http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/h24_seika_p04-p05.pdf)

[affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/h24_seika_p04-p05.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/h24_seika_p04-p05.pdf)