

食品中のアクリルアミドを低減するための指針

第 1 版

2013 年 11 月

農林水産省

This page intentionally left blank.

目次

序章	1
1. はじめに	2
2. 目的	3
3. 適用範囲	3
3.1. 対象食品	3
3.2. 対象	3
4. 本指針の構成及び性格	4
4.1. 本指針の構成	4
4.2. 本指針の性格	4
5. 低減対策を検討する上での留意点	5
5.1. 他の危害要因の発生防止	5
5.2. 食品の栄養特性・官能特性の維持	5
5.3. 関連法規の遵守	6
5.4. 関係者の理解の促進	6
5.5. 取引先への協力依頼	7
6. 食品中のアクリルアミドの分析とその結果の活用	7
6.1. 製品中のアクリルアミド濃度の把握	7
6.2. 候補となる低減対策の有効性の検証と対策の決定	7
6.3. 実施した低減対策の効果の検証	8
7. 管理項目の明確化	8
8. 継続的な情報収集と技術開発	8
第1章 アクリルアミドの低減対策	9
1. ばれいしょの加工食品、調理食品	10
1.1. 原料ばれいしょの調達	10
1.1.1. 基本的な考え方	10
1.1.2. 留意事項	10
1.1.3. 低減対策の具体例	11
1.1.3.1. 生鮮ばれいしょの調達	11
1.1.3.2. 生鮮ばれいしょの貯蔵、保管	11
1.1.3.3. 乾燥ばれいしょ、冷凍ばれいしょ、ばれいしょ粉の調達	12
1.2. ばれいしょ加工品の企画、設計及び開発	13
1.2.1. 基本的な考え方	13
1.2.2. 留意事項	13
1.2.3. 低減対策の具体例	13

1.2.3.1. 原料組成、配合比率の検討	13
1.2.3.2. ばれいしょ及び生地形状の検討	14
1.2.3.3. 乾燥、下揚げ条件の検討	15
1.2.3.4. 加熱条件の検討	15
1.3. ばれいしょ加工品の製造、加工又は調理	17
1.3.1. 基本的な考え方	17
1.3.2. 留意事項	17
1.3.3. 低減対策の具体例	17
1.3.3.1. 原料ばれいしょの受入、調整	17
1.3.3.2. 原料ばれいしょの選別、特定部位の除去	18
1.3.3.3. ばれいしょ及び生地の成型	18
1.3.3.4. 成型ばれいしょの洗浄、ブランチング	18
1.3.3.5. pH 調整	19
1.3.3.6. 乾燥	19
1.3.3.7. 加熱	20
1.3.3.8. 余熱の管理	21
1.3.3.9. 不良品の選別	21
1.4. 調理方法に関する情報提供	21
1.5. 製品のアクリルアミド濃度の把握	22
1.6. ばれいしょ加工品における取組検討項目	23
2. 穀類の加工食品、調理食品	25
2.1. 原料穀類の調達	25
2.1.1. 基本的な考え方	25
2.1.2. 留意事項	25
2.1.3. 低減対策の具体例	26
2.1.3.1. 穀類・穀粉の調達	26
2.2. 穀類加工品の企画、設計及び開発	27
2.2.1. 基本的な考え方	27
2.2.2. 留意事項	27
2.2.3. 低減対策の具体例	27
2.2.3.1. 原料組成、配合比率の検討	27
2.2.3.2. 生地の発酵、成型、乾燥条件の検討	29
2.2.3.3. 加熱条件の検討	30
2.3. 穀類加工品の製造、加工又は調理	32
2.3.1. 基本的な考え方	32
2.3.2. 留意事項	32

2.3.3. 低減対策の具体例	32
2.3.3.1. 原料穀類の受入.....	32
2.3.3.2. 原料穀類の調製	33
2.3.3.3. 生地が発酵、成型、乾燥	33
2.3.3.4. 加熱	33
2.3.3.5. 余熱の管理.....	34
2.3.3.6. 不良品の選別	34
2.4. 調理方法に関する情報提供	34
2.5. 製品のアクリルアミド濃度の把握.....	34
2.6. 穀類加工品における取組検討項目	36
第2章 基礎情報及び技術解説	37
1. 基礎情報	38
1.1. アクリルアミドについて	38
1.2. アクリルアミドの食品からの発見の経緯	38
1.3. 食品中のアクリルアミドの生成機序	39
1.4. アクリルアミドの毒性.....	41
1.5. 食品中のアクリルアミドによる健康リスク	45
1.6. 各国のアクリルアミドの低減のための取組.....	46
1.7. 食品中のアクリルアミドの分析.....	49
2. 原料農産物の調達段階での検討事項	50
2.1. 調達	50
2.2. 貯蔵、保管	52
2.3. 前駆体濃度の把握	53
2.4. 前駆体濃度の調整	54
3. 食品の企画、設計及び開発段階での検討事項.....	55
3.1. 原料組成、配合比率の検討①	55
3.2. 原料組成、配合比率の検討②	57
3.3. 原料組成、配合比率の検討③	58
3.4. 原料組成、配合比率の検討④	59
3.5. 食品の形状の検討	62
4. 食品の製造、加工又は調理段階での検討事項.....	63
4.1. 原料農産物の選別、特定部位の除去.....	63
4.2. 洗浄、ブランチング	64
4.3. pH 調整.....	65
4.4. 発酵	66
4.5. 加熱①	67

4.6. 加熱②	68
4.7. 加熱③	69
4.8. 余熱の管理	70
4.9. 不良品の選別	71
4.10. 調理方法に関する情報提供	72
5. 実用化が期待される低減技術	73
5.1. 生産段階	73
5.2. 加工段階	74
引用文献	76
第3章 用語解説	81
1. アミノ・カルボニル反応に関連した用語	82
1.1. アミノ・カルボニル反応	82
1.2. 前駆体	82
1.2.1. アスパラギン	82
1.2.2. 還元糖	82
1.2.3. カルボニル化合物	82
1.2.4. シッフ塩基	83
2. 国際機関に関連した用語	83
2.1. FAO/WHO 合同食品添加物専門家会合（JECFA）	83
2.2. コーデックス委員会（Codex 委員会）	84
2.3. 国際がん研究機関（IARC）	84
3. 食品汚染物質に関連した用語	85
3.1. 食品汚染物質	85
3.1.1. クロロプロパノール類	85
3.1.2. 多環芳香族炭化水素（PAH）	85
3.1.3. フラン	86
4. 毒性評価に関連した用語	86
4.1. 遺伝毒性	86
4.1.1. 染色体異常誘発性	86
4.1.2. 変異原性	86
4.1.3. DNA	86
4.1.4. 染色体	86
4.2. 生殖毒性	86
4.3. 発達毒性	87
4.4. NOAEL	87
4.5. NOEL	87

4.6. 遺伝子多型.....	87
4.7. 疫学調査	87
4.7.1. 食物頻度アンケート.....	87
5. 品質管理に関連した用語	88
5.1. アグトロ値	88
5.1.1. L*値.....	88
5.1.2. a*値	88
5.2. リコンディショニング	88
5.2.1. 低温糖化.....	88
5.3. キュアリング処理.....	88
6. その他の用語	89
6.1. 異性化液糖.....	89
6.2. グルタチオン抱合体	89
6.2.1. グルタミン酸.....	89
6.2.2. システイン	90
6.2.3. グリシン.....	90
6.2.4. メルカプツール酸	90
6.2.5. スルホキシド.....	90
6.3. 毒物及び劇物取締法	91

This page intentionally left blank.

序章

1. はじめに

人間は、食品に好ましい味、香り、色、食感を加えるとともに、栄養素の消化吸収を良くするために、加熱による加工・調理を行ってきた。加熱は、食品の保存性や安全性を高めるためにも重要である。しかし、近年の研究結果から、食品の加工中や調理中の加熱が原因となって、意図していなかった化学物質が生成し、食品に含まれることが分かってきた。アクリルアミド (acrylamide) は、それらの化学物質の一つで、その主な生成要因は、食品に含まれるアミノ酸の一種である遊離アスパラギン（以下単に「アスパラギン」という。）と還元糖（ぶどう糖や果糖など）の化学反応であることが明らかとなった。

食品に含まれるアクリルアミドが明らかに原因であると特定された健康被害はこれまで報告されていない。しかし、国際的なリスク評価機関は、食品を通じて長期間にわたってアクリルアミドを取り続けることによって健康への悪影響が生じる懸念があると結論し、食品のアクリルアミド濃度を低くするための適切な努力を継続すべきであると勧告した。このことは、アクリルアミドによる消費者の健康被害の発生を未然に防ぐには、食品のアクリルアミド濃度をできるだけ低くし、食品由来の摂取量（以下「暴露量」という。）を減らすことが重要であることを示している。

また、食品に含まれる化学物質によって何らかの健康被害が生じたり、健康被害が生じなくてもその化学物質が含まれること自体が社会問題となったりした場合には、消費者の信頼を失ったり、関連産業に大きな影響を与えたりする可能性がある。

消費者の健康保護に加え、このような観点からも、食品関連事業者は、原料の調達から最終製品の製造・販売に至るまでの工程の必要な段階において、食品の安全性向上のための対策を適切に講じる必要がある。このことは、食品中のアクリルアミド低減対策にもあてはまる。

そこで、農林水産省は、消費者の健康保護のために食品関連事業者が自主的に行う食品中のアクリルアミド低減の取組を支援するため、アクリルアミドに関してこれまで収集した情報や調査研究で得られた知見を整理し、食品関連事業者向けに食品中のアクリルアミド低減対策の指針としてまとめたので、食品関連事業者の皆様におかれては参考にしていただきたい。

本指針の内容は、今後、新しい科学的知見が得られた場合や、より有効な低減技術が開発された場合は、順次、更新する。

2. 目的

本指針は、食品関連事業者が、それぞれの食品の製造、加工又は調理の工程においてアクリルアミドの低減対策を自主的に実行することによって、アクリルアミド濃度を低減することを目的とする。

3. 適用範囲

3.1. 対象食品

アミノ酸の一種であるアスパラギンと還元糖（ぶどう糖や果糖など）を含み、主に、焼く、揚げる、煎るなど 120℃以上で加熱した食品を対象とする。

国内で流通する食品を対象とした農林水産省の実態調査では、様々な加工食品や調理食品にアクリルアミドが含まれていることが確認されている¹。本指針は、それらの調査結果などから、アクリルアミドを含む又は含む可能性のある加工食品及び調理食品（主に、焼く、揚げる、煎るなど 120℃以上で加熱したもの）を対象とする。

なお、消費者自身が調理し、摂取する食品にも、アクリルアミドを含む又は含む可能性があるものがあるが、それらについては本指針の対象外とする。

3.2. 対象

本指針は、アクリルアミドを含む又は含む可能性のある食品の製造、加工又は調理に関係する食品関連事業者（以下「事業者」という。）を対象とする。

ただし、食べる時に加熱が必要な食品の場合、表示などによって調理方法を情報提供する必要があることから、上記の事業者に加え、表示責任者である輸入者や販売者も対象に含む。

¹ 食品の安全性に関するサーベイランス・モニタリングの結果【有害化学物質】（農林水産省）
http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/risk_analysis/survei/result.html

4. 本指針の構成及び性格

4.1. 本指針の構成

本指針は、「第1章 アクリルアミドの低減対策」、「第2章 基礎情報及び技術解説」及び「第3章 用語解説」からなる。

第1章には、アクリルアミド低減対策に関する知見が多く存在し、事業者による自主的な低減対策が行われているばれいしょ又は穀類²を主原料とする加工食品及び調理食品について、アクリルアミド低減のために、事業者が、「原料の調達」、「製品の企画、設計及び開発」及び「製品の製造、加工又は調理」の各段階で検討することを推奨する事項を工程順に記載した。また、ばれいしょと穀類の項目の最後に、それぞれ取組検討項目の一覧を付した。ばれいしょと穀類以外の食品については、知見が明らかになり次第、低減対策の情報を追加する。

第2章には、食品中のアクリルアミドに関する基礎的な情報と、事業者がアクリルアミドの低減対策を行う際に参考となる、「原料の調達」、「製品の企画、設計及び開発」及び「製品の製造、加工又は調理」の各段階で適用が期待されるアクリルアミド低減技術についての解説（その実施例や根拠となる科学的なデータ、留意点など）を記載した。

4.2. 本指針の性格

本指針は、事業者に対して、対象製品の「原料の調達」、「企画、設計及び開発」及び「製造、加工又は調理」の各段階において、最終製品のアクリルアミド濃度を低く抑える対策及びその対策を実施する際の留意点を提供するものである。

また、設備、人員、予算などの状況は事業者ごとに異なるため、本指針で提供する対策を参考に、その実行可能性や低減効果などを考慮して、各事業者が、適切な対策を選択し、食品中のアクリルアミドの低減に自主的に取り組むことを支援するものである。

本指針の第1章は、ばれいしょ又は穀類を主原料とする加工食品及び調理食品の事業者を対象としているが、その他の食品にも低減対策を応用できる可能性があるため、ばれいしょ又は穀類を主原料とする加工食品及び調理食品以外の食品の事業者にも低減対策の情報を提供するものである。

なお、本指針では、食品やアクリルアミドについて予備知識がない方にも具体的な情報を提供するという観点から、必要に応じて具体例を記載した。指針中の各例は、国が特定の食品に対する使用の効果を保証したり、他のものの使用を制限したり、対象範囲を限定するものではない。

² 本指針では、小麦、コメ、トウモロコシなどのイネ科の種子及びソバの種子を穀類とする。

5. 低減対策を検討する上での留意点

5.1. 他の危害要因の発生防止

事業者は、アクリルアミドの低減対策によって、最終製品の食品全体としての安全性が低下することがないように留意する。

食品の加熱時間と加熱温度を変更すると、殺菌の効果や水分含有率に影響し、その結果、食中毒の原因となる有害微生物やカビの発生に起因する健康リスクにも影響を及ぼす可能性がある。

また、食品の製造、加工又は調理の工程や原料を変更すると、食品の加熱により生成するその他の化学物質、例えば多環芳香族炭化水素（polycyclic aromatic hydrocarbons）、フラン（furan）、クロロプロパノール類（chloropropanols）などの濃度に影響を及ぼす可能性がある。

そのため、事業者は、アクリルアミドの低減対策をそれ単独で検討するのではなく、すでに実施している食品安全に関するマネジメントシステムの中で検討する必要がある。

5.2. 食品の栄養特性・官能特性の維持

事業者は、アクリルアミドの低減対策によって、最終製品の栄養特性・官能特性が大きく損なわれることがないように留意する。

食品中のアクリルアミドの生成には、多くの場合、加熱食品の特徴的な色や風味、香りの形成に寄与するアミノ・カルボニル反応が深く関与している。例えば、加熱温度を低くしたり、加熱時間を短くしたりすると、食品中のアクリルアミドの生成は抑えられるが、食品の着色や風味、香りは弱くなる。

また、ブランチング（湯通し、下茹で）をすると、アクリルアミドの前駆体となる還元糖の濃度が低くなるが、過度に行うと、水溶性のビタミン類などの栄養成分が失われる。

したがって、事業者は、消費者が食品に期待する栄養特性や官能特性を保ちつつ、アクリルアミドを低減する対策を検討する必要がある。

5.3. 関連法規の遵守

事業者は、アクリルアミドの低減対策を検討、実施する際、国内外の関連法規を遵守する。

食品のアクリルアミド濃度の低減を目的として、食品添加物を食品の製造、加工又は調理に使用する際や、農薬などの資材を原料農産物の貯蔵に使用する際は、食品衛生法や農薬取締法などの関連する国内法規を遵守する。食品を輸出する場合は、輸出先国の基準値やガイドラインを満たしているかどうか、当該食品に使用する食品添加物やその他の資材の利用が認められているかどうかを確認する。

また、アクリルアミドの低減技術の中には、特許権が認められた発明や出願中の発明があることから、当該特許発明を使用する場合は、特許権者の許諾の必要性を確認する。

5.4. 関係者の理解の促進

事業者は、食品中のアクリルアミドの生成条件などを正しく理解し、低減対策に取り組むとともに、関係者の理解も促進する。

食品中のアクリルアミドは、主として、120℃以上の温度で原料農産物に天然に含まれているアスパラギンと還元糖が加熱されることによって化学反応し、意図せず生成する。

加熱していない農産物やアスパラギン及び還元糖そのものには、アクリルアミドは含まれていない。アスパラギンや還元糖は、それぞれを単独で加熱してもアクリルアミドは生成しない。また、加熱工程の後に調味や栄養強化を目的にそれらを添加しても、新たにアクリルアミドは生成しない。ただし、高温加熱中や高温加熱直後の食品にアスパラギンや還元糖を添加すると、より多くのアクリルアミドが生成する場合がある。

原料の種類によっては、製造後の時間の経過とともにアクリルアミド濃度が減少することから、同じ原料ロットでもアクリルアミド濃度を特定することが困難な場合がある。

アクリルアミドは加熱した様々な種類の食品に含まれているが、これまで、食品に含まれるアクリルアミドが明らかに原因であると特定された健康被害は報告されていない。また、アクリルアミドを気にして加熱した食品を食べるのをやめると、栄養バランスが崩れる可能性がある。健康の維持、増進には、バランスのとれた食生活を送ることが重要である。

事業者は、このような食品のアクリルアミド濃度や生成条件、食生活の留意点を正しく理解した上で低減対策に取り組むとともに、消費者、取引先など関係者に理

解してもらえよう努める。

5.5. 取引先への協力依頼

事業者は、本指針で提供する対策を参考に、その実行可能性や低減効果などを考慮して、適切な対策を選択することになる（「4.2. 本指針の性格」参照）。農産物中の前駆体濃度は気象条件、品種、産地により大きく異なる場合があり、農産物の一次加工品に含まれるアクリルアミド濃度が大きく異なり、濃度の特定が困難な場合がある。このため、事業者が、低減対策の一つとして原料調達段階での低減対策を検討する場合は、取り扱う原料の特性と取引先の対応可能性について十分考慮する必要がある。

6. 食品中のアクリルアミドの分析とその結果の活用

事業者は、食品中のアクリルアミドの低減対策を検討するにあたり、食品のアクリルアミド濃度を測定し、そのデータを次の各項目の検討に活用する。

6.1. 製品中のアクリルアミド濃度の把握

食品のアクリルアミド濃度は、同じ品目であっても、各製品の製造者や製造法、原料の配合によって大きく異なる場合がある。また、同じ製品であっても、原料農産物の品種、産地、生産年、生産者、貯蔵条件などによる品質の違いやわずかな加工条件の違いによって大きく変動する場合がある。

このため、事業者はまず各製品のアクリルアミド濃度を測定する。

6.2. 候補となる低減対策の有効性の検証と対策の決定

候補となる低減対策の適用可能性と有効性を検証するため、試作品を製造して、アクリルアミド濃度を測定したり、その製品の褐変度を確認したりする。

事業者は、初めに、本指針を参考にどの低減技術が適用しうるか候補を絞った上で、実験的に予備試験（ラボテスト）を行い、効果を予備的に確認した後、有効性が認められた低減対策については、必要があれば実際の製造工程と同等の機能を持った設備で小規模の試作試験（パイロットテスト）を行い、効果を確認する。

事業者は、これらの検証の結果をもとに、商品特性に及ぼす影響、費用対効果を考慮し、もっとも適切な低減対策を自ら決定する。その後、実際の生産ラインで製造試験（ラインテスト）を行って、風味や生産条件を確認し、必要な修正、変更を加えた上で、本生産を行う。

6.3. 実施した低減対策の効果の検証

事業者は、低減対策を導入・変更した時、原料を変更した時、製造工程を変更した時などには、製品のアクリルアミド濃度を測定し、対策が有効に機能しているか検証する。

7. 管理項目の明確化

事業者は、アクリルアミドの低減対策を既存の品質管理マニュアル、衛生管理マニュアル、作業マニュアルなどに組み込む。

食品の安全性を高め、高品質で均質な製品を安定して製造するために、対策の手順や方法を明確化し、従業員が確実に実施できるよう体制を整備する。明確化した内容は、6.3.の検証結果と併せて定期的に見直しを行う。

8. 継続的な情報収集と技術開発

事業者は、継続的にアクリルアミドに関する情報収集や技術開発を行い、食品の安全性のさらなる向上のために知見を更新・蓄積するよう努力する。また、関連業界内でアクリルアミドに関連する技術情報を共有する。

世界各国の政府、大学、食品関連企業などが、食品中のアクリルアミドの低減技術の開発や実態調査を進めている。そこで、事業者は継続的にそれらの情報を収集し、国内外の最新の食品の濃度と自社製品の濃度を比較して、適切な水準を維持しているか確認する。

また、事業者が自ら実施した技術開発の成果として新しい科学的な知見が得られた場合は、科学雑誌・業界誌における論文や技術情報としての発表、特許公開による情報公開を検討する。

なお、現時点では、食品の種類によっては、実行可能な、又は、有効な低減技術がない場合もあり得る。その場合にも情報収集、技術開発は継続し、将来的に対策が実行可能となった場合には速やかに実施する。

第 1 章 アクリルアミドの低減対策

1. ばれいしょの加工食品、調理食品

フレンチフライポテト、ポテトフライ、ポテト系スナック菓子³（ポテトチップスや成型ポテトスナック）など（主に、焼く、揚げる、煎るなど120℃以上で加熱したもの）を対象とする（以下これらをまとめて「ばれいしょ加工品」という。）。

本項には、アクリルアミド低減のために、事業者が、「原料の調達」、「製品の企画、設計及び開発」及び「製品の製造、加工又は調理」の各段階で検討することを推奨する事項を工程順に記載した。

1.1. 原料ばれいしょの調達

1.1.1. 基本的な考え方

ばれいしょ加工品に含まれるアクリルアミドは、主として、120℃以上で、原料ばれいしょに天然に含まれているアミノ酸の一種である遊離アスパラギン（以下単に「アスパラギン」という。）と還元糖（ぶどう糖や果糖など）が、加熱されると化学反応し生成する（加熱工程の後（高温加熱直後を除く。）に還元糖の含量が多い糖類を使用しても、新たにアクリルアミドは生成しない。）。

一般的に、フレンチフライポテトやポテトチップスのような簡易な加工による製品のアクリルアミド濃度は、原料ばれいしょの還元糖濃度との間に正の相関があることから、還元糖濃度の低いものを使うとアクリルアミドの生成量を減らすことができる。これは、加工用のばれいしょの場合には、還元糖濃度がアスパラギン濃度よりも大幅に低いためである。したがって、製造、加工又は調理の工程で適用する低減対策に加えて、どのような原料を調達するかが特に重要である。

複数の原料を使用した製品の場合も、最終製品のアクリルアミドを低減するためには、還元糖濃度が低いばれいしょ又はその一次加工製品（乾燥ばれいしょ、冷凍ばれいしょなど）を調達し、還元糖が増加しないよう適切に貯蔵・保管することが不可欠である。

1.1.2. 留意事項

加熱していない農産物やアスパラギン及び還元糖そのものには、アクリルアミドは含まれていない。アスパラギンや還元糖は、それぞれを単独で加熱してもアクリルアミドは生成しない。また、加熱工程の後（高温加熱直後を除く。）に調味や栄養強化を目的にそれらを添加しても、新たにアクリルアミドは生成しない。

³ 日本標準商品分類（1990年6月改訂）（総務省）に掲載されている商品の順番のとおり列記した。

1.1.3. 低減対策の具体例

1.1.3.1. 生鮮ばれいしょの調達

- ✓ 必要に応じて、還元糖濃度が低いばれいしょ（品種）を調達する。
- ✓ 品質、大きさなどが加工に適したばれいしょを調達する。

- フレンチフライポテト用やポテトチップス用のばれいしょを契約栽培によって調達する場合は、生産者と十分に協議した上で、必要に応じて、加工適性が高く、かつ、還元糖濃度が低い品種を選択する。併せて、可能な範囲で、生産者に対して肥培管理の方法、資材の使用方法、収穫時期、貯蔵方法などに関して、技術的な指導や助言を行う。

（留意点）

- ばれいしょの還元糖濃度は、品種だけでなく、栽培土壌、肥培管理、成熟度、気象条件、貯蔵条件などによっても異なる。
- 市場や商社からばれいしょを調達する場合は、加工適性が高く、かつ、還元糖濃度が低い品種であるか、貯蔵・保管時に低温糖化を抑えるための対策がとられたものかなどの情報を、可能であれば、市場関係者や商社を通じて生産者、集荷業者、出荷団体などから入手する。
- 可能であれば、未熟なものや傷害があるものが選別、除外され、品質、大きさなどが加工に適したばれいしょを調達する。

（参考）加工に適した国産ばれいしょ品種の例

- ー フレンチフライポテトに適した品種の例：こがね丸
- ー ポテトチップスに適した品種の例：トヨシロ、ワセシロ
- ー ポテトチップスに適した貯蔵用品種の例：スノーデン、きたひめ、らんらんチップ、北育 15 号

1.1.3.2. 生鮮ばれいしょの貯蔵、保管

調達した生鮮ばれいしょの貯蔵、保管を行う場合（生産者団体などに委託する場合を含む。）、次のことに留意して適切に管理する。

- ✓ 品質や品種特性に応じた貯蔵計画を立てる。
- ✓ 貯蔵及び保管温度を適切に管理する。
- ✓ 貯蔵中の還元糖濃度を定期的に確認し、必要に応じて、貯蔵条件の調整や出庫時期の見直しを行う。
- ✓ 必要に応じて、リコンディショニングを行う。

- 調達したばれいしょを長期貯蔵に回す必要がある場合は、比重が大きいものや難糖化性の品種を選ぶ。

- 低温糖化を抑制するため、キュアリング処理後の貯蔵施設内温度を 8℃前後に保つ。併せて、可能であれば湿度（推奨 90～95%）、酸素濃度、二酸化炭素濃度もそれぞれ適切に管理する。

（留意点）

- 貯蔵の至適条件は品種ごとに異なる。
- 貯蔵期間中、定期的に、還元糖濃度、簡易加工試験試料の色調（例：テストフライによるアグトロ値や L*値、a*値の測定）、萌芽の伸長度、比重などを測定し、品質を確認する。これらは、事前に作業手順を定め、同じ条件で実施する。
- 品質確認の結果に基づき、貯蔵条件（温度、湿度、酸素濃度、二酸化炭素濃度、エチレン濃度など）の調整、貯蔵計画及び出庫時期の見直し、原料の用途変更などを行う。
- 還元糖濃度を測定した結果、低温糖化が認められた場合には、出庫時又は使用時に 15～18℃程度で 2 週間程度の昇温保管（リコンディショニング）を行い、還元糖濃度を低くする。
- 貯蔵施設から工場への輸送途中及び工場受入後は、貯蔵施設に準じた管理を行う。

1.1.3.3. 乾燥ばれいしょ、冷凍ばれいしょ、ばれいしょ粉の調達

✓ 必要に応じて、還元糖濃度が低い一次加工製品を調達する。

- 乾燥ばれいしょ、冷凍ばれいしょ、ばれいしょ粉などの一次加工製品を使用する場合は、可能であれば、一次加工製品の原料の還元糖濃度を製造者や輸入業者に照会して、還元糖濃度が低い原料を用いた一次加工製品を調達する。

（留意点）

- 原料の品種が同じ場合でも、一次加工製品の生産時期や原料の生産地によって製品の還元糖濃度は異なる。

1.2. ばれいしょ加工品の企画、設計及び開発

1.2.1. 基本的な考え方

ばれいしょ加工品の新製品の開発及び既存製品の更新の段階では、次の考え方に従い、最終製品のアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるよう、試作品の検証試験の結果に基づき、原料の組成、製品の形状、加熱条件などを設定する。

- ◆ アスパラギンと還元糖の濃度ができるだけ低い原料（加熱後に使用されるものを除く。）を用いる。
- ◆ 最終製品に求められる風味・食感の形成、殺菌などに必要な加熱温度・時間以上の高温、長時間で加熱しない。
- ◆ 必要に応じて、アクリルアミドの生成を阻害又は抑制する機能をもつ食品添加物を使用する。また、アクリルアミドの生成を促進する作用をもつ副原料又は食品添加物をできるだけ使用しない。

1.2.2. 留意事項

低減対策は、ばれいしょ加工品の風味、食感などの品質、栄養、生産コスト、さらには最終製品の食品としての安全性に影響を及ぼす可能性がある。したがって、各対策ごとにアクリルアミドの低減効果と、その対策を実施して製造された製品の味、香り、色、食感、栄養などが消費者に受け入れられるかどうかや、コストなどへの影響を考慮して、製品の仕様を定める。

その際、一つの低減対策だけでは製品のアクリルアミド濃度を十分に低減できない場合には、複数の対策を組み合わせで行う。

1.2.3. 低減対策の具体例

1.2.3.1. 原料組成、配合比率の検討

- ✓ できるだけ、還元糖濃度が低いばれいしょ（品種）を用いる。
- ✓ 必要に応じて、ばれいしょの使用割合を減らす。
- ✓ 必要に応じて、加熱工程前に意図的に使用する還元糖の使用割合を減らす。
- ✓ 必要に応じて、アクリルアミドの生成を抑える機能をもつ食品添加物を使用する。

- できるだけ、還元糖濃度が低いばれいしょ（品種）を原料に用いる。
- 成型ポテトフライや成型ポテトスナックなどの場合、必要に応じて、原料ばれいしょの一部を、ばれいしょよりもアスパラギンや還元糖の濃度が低い原料（例：米粉、小麦粉、コーンフラワー）で代替し、ばれいしょの使用割合を減らす。
- フレンチフライポテト、成型ポテトスナックなどの製造の加熱工程前に糖類

を使用する場合は、必要に応じて、還元糖の含量が少ない糖類を用いる。

（留意点）

- 加熱工程の後（高温加熱直後を除く。）に還元糖の含量が多い糖類を使用しても、新たにアクリルアミドは生成しない。
- 焼き色を付けるなどの目的で還元糖の含量が多い糖類を用いる場合は、その使用割合をできるだけ減らす。また、還元糖を使用する場合は、可能であれば、果糖よりぶどう糖を用いる。

（留意点）

- 一般的に、加熱前に還元糖を過剰に使用すると、食品の焼き色が濃くなり、また、焦げやすくなる。
- 還元糖の使用割合を減らしたり、果糖をぶどう糖に置き換えたりすると、食品の焼き色が薄くなる可能性がある。
- 成型ポテトフライや成型ポテトスナックなどの場合、必要に応じて、アクリルアミド生成反応を抑える機能をもつカルシウムを含む食品添加物（例：塩化カルシウム、乳酸カルシウム）を使用する。

（留意点）

- カルシウムを含む食品添加物を使用すると、風味や食感に影響する場合がある。
- 食品添加物に使用基準が定められている場合は、それを遵守する。
- 実験室における試験でアクリルアミド濃度の低減効果が報告されている食品添加物（例：グリシン、L-リシン、ビタミン C、ビタミン E）の使用を、必要に応じて検討する。

（留意点）

- 食品添加物に使用基準が定められている場合は、それを遵守する。

1.2.3.2. ばれいしょ及び生地形状の検討

✓ 加熱前のばれいしょ、成型生地などの形状を最適化する。

- 加熱加工後の製品のアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるよう、試作品の検証試験の結果に基づき、形状（太さ、長さ、厚さ、大きさ、形）に関する製品規格（製品仕様）を決定する。

（留意点）

- 最適な形状は、製品の調理方法、製品特性などによって異なる。
- フレンチフライポテトの場合、太くカットしたものに比べて、細くカットしたばれいしょは、表面積の割合が大きく加熱時間を短くできるが、中心部まで高温になりやすいため、アクリルアミド濃度が高くなる場合がある。

1.2.3.3. 乾燥、下揚げ条件の検討

- ✓ 生地が乾燥しすぎないように、最適な乾燥温度と乾燥時間を設定する。
- ✓ プリフライ（下揚げ）工程において、アクリルアミドの生成を抑えることができるような、最適な加熱温度と加熱時間を設定する。

- 成型ポテトスナックにおいて、加熱前に生地を乾燥させる場合は、必要な水準まで水分活性を下げつつ、乾燥しすぎないように、乾燥機の温度と時間を設定する。

（留意点）

- 120℃以上の温度で乾燥すると、乾燥工程でもアクリルアミドが生成する可能性がある。また、生地を乾燥しすぎると、最終加熱工程でアクリルアミド生成が促進される可能性がある。
- 最適な水分含有率は、加熱方法や加熱条件によって異なるため、試作品の検証試験の結果に基づき、製造、加工又は調理の工程全体でアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるように乾燥条件を定める。
- 冷凍フレンチフライにおけるプリフライ（下揚げ）は、アクリルアミドの生成をできるだけ抑えるように、加熱温度（推奨：160℃前後）と加熱時間を設定する。プリフライ後は、余熱を速やかに取り除きつつ、急速冷凍できるように手順、温度条件などを設定する。

（留意点）

- 冷凍フレンチフライの場合、喫食時の加熱調理でアクリルアミドが追加的に生成するため、プリフライの段階でのアクリルアミドの生成を最小限に抑える。

1.2.3.4. 加熱条件の検討

- ✓ 加熱しすぎないように、最適な加熱温度と加熱時間を設定する。
- ✓ 製品の揚げ色又は焼き色をできるだけ薄く設定する。
- ✓ 特に、水分含有率が低い状態での過加熱を避ける。

【揚げ調理の場合】

- 加熱後のアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるよう、製品の特性に合わせて加熱温度と加熱時間を設定する。
- 加熱条件を検討する際には、揚げ色だけではなく、試作品の検証試験において測定したアクリルアミド濃度も考慮して、判断する。
- 揚げ油の温度は製品特性や品質に影響を与えない範囲でできるだけ低くする。

（留意点）

- コーデックス委員会は、「食品中のアクリルアミド低減に関する実施規範（CAC/RCP-67）」において、フライドポテトの場合、揚げ始めの油の温

度を 170～175℃以下とするよう推奨している。

- 試作品の検証試験の結果に基づきばれいしょの投入量を決める（例：フレンチフライやポテトフライの場合、厨房などで用いられる一般的なフライヤーでは揚げ油 1 L に対して、ばれいしょ 100 g 以下が目安とされる。）。
- できるだけ薄い（明るい）揚げ色となるよう製品の色調に関する規格を設定する。また、「きつね色」などの曖昧な表現は避け、アグトロン値や L*値、a*値、色見本との比較など客観的な指標を用いる。

（留意点）

- 揚げ色などの外観の変更は、消費者の購入行動に影響する可能性がある。
- 可能であれば、油温勾配の設定（入口より出口の温度を低く設定する。）などが可能なフライヤーや真空フライヤー（減圧フライヤー）を用いて、水分含有率が低くなったばれいしょの高温加熱を避ける。
- 必要であれば、揚げ油に酸化防止剤を使用する。

【焼き調理の場合】

- 加熱後のアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるよう、製品の特性に合わせて加熱温度と加熱時間を設定する。
- オーブンの焼成温度、焼成時間、原料と熱源の距離などを検討する際には、試作品のアクリルアミド濃度の測定結果を判断に活用する。

（留意点）

- 焼き調理は、揚げ調理と比較して、熱源に近い部分が過加熱になりやすく、加熱斑が生じやすい。
 - できるだけ薄い（明るい）焼き色となるよう製品の色調に関する規格を設定する。また、「きつね色」などの曖昧な表現は避け、アグトロン値や L*値、a*値、色見本との比較など客観的な指標を用いる。
- （留意点）**
- 焼き色などの外観の変更は、消費者の購入行動に影響する可能性がある。
 - 可能であれば、温度勾配の設定などが可能なオーブンやスチームオーブン、ジェットオーブンを用いて、水分含有率が低くなったばれいしょの高温加熱を避ける。

1.3. ばれいしょ加工品の製造、加工又は調理

1.3.1. 基本的な考え方

ばれいしょ加工品の製造、加工又は調理の段階で生成するアクリルアミドを減らすために、次の考え方にに基づき、必要な調製や処理、各種条件の調整などを行う。

- ◆ 原料（加熱後に使用されるものを除く。）に含まれるアスパラギンと還元糖の濃度をできるだけ低くする。
- ◆ 最終製品に求められる風味・食感の形成、殺菌などに必要な加熱温度・時間以上の高温、長時間で加熱しない。
- ◆ 必要に応じて、アクリルアミドの生成を阻害又は抑制する機能をもつ食品添加物を使用する。

1.3.2. 留意事項

低減対策は、ばれいしょ加工品の風味、食感などの品質、栄養、生産コスト、さらには最終製品の食品としての安全性に影響を及ぼす可能性がある。したがって、各対策ごとにアクリルアミドの低減効果と、その対策を実施して製造された製品の味、香り、色、食感、栄養などが消費者に受け入れられるかや、コストなどへの影響を考慮して、製品の種類、製造、加工又は調理の工程、製品特性に最も適した対策を選択する。

その際、一つの低減対策だけでは製品のアクリルアミド濃度を十分に低減できない場合には、複数の対策を組み合わせで行う。

1.3.3. 低減対策の具体例

1.3.3.1. 原料ばれいしょの受入、調整

✓ 必要に応じて、原料ばれいしょの受入時に還元糖濃度の測定又はテストフライによる色調確認を行う。

✓ 必要に応じて、原料ばれいしょのリコンディショニングを行う。

- 調達した原料の還元糖濃度に関する情報がない場合には、工場又は調理施設での受入時に、必要に応じて、還元糖濃度の測定又はテストフライによる色調確認（例：アグترون値やL*値、a*値の測定、色見本との比較）を行う。
- 低温糖化により、ばれいしょに含まれる還元糖の量が増加したと考えられる場合には、必要に応じて、リコンディショニングを行う。

1.3.3.2. 原料ばれいしょの選別、特定部位の除去

- ✓ 必要に応じて、加工前にばれいしょを再選別する。
- ✓ 芽や傷害部を加熱前の調製段階で取り除く。

- 選別が不十分なものを調達した場合には、原料受入後に、品質、大きさなどで再選別する。
- 貯蔵したばれいしょに萌芽が認められる場合には、芽取りを徹底する。
- ばれいしょの切り傷、割れ傷、打撲、内部障害（中心空洞、褐色芯腐れ、黒色芯腐れなど）の有無を確認し、傷害部を取り除く。

（留意点）

- 萌芽や傷害の発生部位には焦げが生じやすい。

1.3.3.3. ばれいしょ及び生地成型

- ✓ 原料ばれいしょの品質に応じて、厚さや太さを調整する。
- ✓ 成型時に生じた小片や破片は取り除く。
- ✓ 傷害や病変が疑われるばれいしょは取り除く。

- 原料ばれいしょの品質に応じて、製品規格（製品仕様）の範囲内で厚さや太さを（可能であれば 1/100 mm 単位で）調整する。

（留意点）

- 原料ばれいしょの品質に応じた形状の調整が困難な場合には、その他の低減対策を実施する。
- 成型時に生じた小片や破片は、加熱前に、ふるいや目視によって取り除く。
- 成型後のばれいしょに傷害や病変が疑われる黒点や褐変があれば、色彩選別機（カラーソーター）や目視によって取り除く。

1.3.3.4. 成型ばれいしょの洗浄、ブランチング

- ✓ 成型後のばれいしょを洗浄する。
- ✓ ばれいしょを揚げ調理する前にブランチングする。

- カット又はスライスしたばれいしょを、水溶液で洗浄・浸漬又は 40～80℃の湯でブランチング（湯通し、下茹で）することによって、表面のでん粉粒やアスパラギン、還元糖を洗い流す。
- できるだけアクリルアミドが加熱工程で生成しないよう、原料ばれいしょの品質に応じて、洗浄やブランチングの条件を調整する（還元糖濃度が高い場合は、ブランチングの温度を上げたり、時間を長くしたりする。）。

（留意点）

- ブランチングしすぎると、風味や歩留まりが悪くなる可能性がある。

1.3.3.5. pH 調整

- ✓ 必要に応じて、ばれいしょ生地に pH を下げる機能をもつ食品添加物（酸味料など）を使用する。
- ✓ ばれいしょを酸性溶液で処理する。

- 成型ポテトフライや成型ポテトスナックの場合は、ばれいしょ生地の調製時に、必要に応じて、クエン酸、アスコルビン酸、乳酸などの pH を下げる機能をもつ食品添加物（酸味料など）を使用する。

（留意点）

- 食品の pH を下げることによりアクリルアミドの生成反応を抑制することができる。
- 酸味料や pH 調整剤などを使用すると、最終製品の風味に影響（例：酸味の増加）する場合がある。
- フレンチフライポテトやポテトチップスの場合は、カット又はスライスしたばれいしょを、洗浄したり、ブランチングの後に酸味料や pH 調整剤（例：ピロリン酸二水素二ナトリウム、クエン酸）などを用いて調整した弱酸性溶液に浸漬したりする（洗浄やブランチングと同時に処理することもできる。）。

（留意点）

- 酸性溶液による処理は、最終製品の風味に影響（酸味が増加）する場合がある。

1.3.3.6. 乾燥

- ✓ 必要に応じて、生地の乾燥工程での乾燥温度と乾燥時間を調整する。

- 成型ポテトスナックの生地を、加熱前に加熱乾燥させる場合には、気温や湿度に応じて、乾燥温度と乾燥時間を調整し、生地が乾燥しすぎないようにする。

（留意点）

- 生地を乾燥しすぎると、最終加熱工程でアクリルアミド生成が促進される可能性がある。

1.3.3.7. 加熱

- ✓ 必要に応じて、加熱条件を調整する。
- ✓ できるだけ均一な薄い色になるように調整する。

【揚げ調理の場合】

- 規定された温度や時間で加熱したときに、揚げ色が均一な薄い色（明るい色）か確認し、必要に応じて加熱条件を調整する。
- 原料の品質などに応じて、さらに 1℃単位で調整する（真空フライなどの特殊な加熱方法の場合を除く。）。

（留意点）

- コーデックス委員会は、「食品中のアクリルアミド低減に関する実施規範（CAC/RCP-67）」において、フライドポテトの場合、揚げ始めの油の温度を 170～175℃以下とするよう推奨している。
- 加熱時間は、ばれいしょの品質（還元糖濃度）、成型やブランチング工程での調整に応じて、ロットごとに秒単位で調整する。

（留意点）

- 揚げ色などの外観の変更は、消費者の購入行動に影響する可能性がある。
- 調理が自動化されていない場合は、設定した加熱時間又は揚げ色に達したら、すぐに油から引き上げ、過加熱を防ぐ。

（留意点）

- 加熱工程の後半では、ばれいしょ中の水分含有率が少ないため、中心部まで高温になりやすく、アクリルアミドの生成速度も速まる。そのため、数秒間でアクリルアミド濃度が急に高くなる。

【焼き調理の場合】

- 揚げ調理と同様に、設定した温度や時間で加熱した時に、焼き色が均一な薄い色（明るい色）か確認し、原料の品質や前処理条件、さらに気温及び湿度も考慮して、オープン条件を調整する。

（留意点）

- 焼き調理は、揚げ調理と比較して、加熱斑が生じやすいので、特に熱源に近い部分が過加熱にならないようにする。

【冷凍フレンチフライの調理の場合】

- 容器包装などに表示された使用方法に従う。使用方法が表示されていない場合には、油温 170～175℃で、できるだけ薄い揚げ色となるよう、加熱時間を調整する。

1.3.3.8. 余熱の管理

✓ 加熱後、余熱を速やかに取り除く。

- 高温で加熱した場合は、余熱を速やかに取り除く（120℃未満に冷却）。

1.3.3.9. 不良品の選別

✓ 焦げたものや小片、破片は、加熱調理後、選別によって取り除く。

- 焦げたものや小片、破片は、加熱調理後、調味付けなどの加工を行う前に、色彩選別機（カラーソーター）や目視によって取り除く。
- 調理中に生じた小片や破片がフライヤーやオーブン内に残らないよう、定期的に清掃する。
- 取り除いた小片や破片は、食品の原料として再利用又は二次利用しない。
- 焦げたものが多く発生する場合には、加熱条件や加熱前の工程を見直す。

1.4. 調理方法に関する情報提供

✓ 食べる時に加熱が必要な食品は、適切な調理方法を容器包装への表示又はその他の手段で提供する。

✓ 業務用製品と家庭用製品では、使用される調理器具の違いや実行可能性を考慮して、表示や情報提供の内容を変更する。

- 冷凍フレンチフライポテトや冷凍ポテトフライの場合は、できるだけアクリルアミドが生成しないように、推奨する調理器具、揚げ油やオーブンの温度、加熱時間、揚げ色の目安などを具体的に容器包装に表示するとともに、リーフレット、ウェブサイトなどを活用して情報提供する。
- 容器包装への表示又はリーフレット、ウェブサイトなどその他の手段を活用して、次の留意事項を食品調理事業者や消費者に情報提供する。
 - － できるだけ淡い揚げ色や焼き色にする。
 - － 標準よりも少ない分量を調理する場合は、加熱時間を短くする。
 - － 「焦がさない、焦げてしまった場合には食べない、又は焦げを取り除く」ことを心がける。

1.5. 製品のアクリルアミド濃度の把握

- ✓ 必要に応じて、製品のアクリルアミド濃度を測定する。
- ✓ アクリルアミド濃度のばらつきを考慮して、サンプル数を決定する。

（留意点）

- 製品のアクリルアミド濃度には、ロットごとにばらつきがあり、同じロットであっても製品ごとにばらつきがある。また、分析値そのものについても、測定によるばらつきがある。
 - ばれいしょ加工品の場合、アクリルアミド濃度を把握するための指標として、着色の程度（例：アグトロン値や L*値、a*値の測定、色見本との比較）を使用できる場合がある（調味料や着色料の影響が無視できる場合に限る。）。
 - 収穫直後のばれいしょと貯蔵後のばれいしょをそれぞれ原料に用いた場合、各々の最終製品のアクリルアミド濃度が大きく異なる場合がある。
-
- アクリルアミド濃度のばらつきを考慮して、サンプル数を決める。
 - 必要に応じて、製品（冷凍フレンチフライなど調理が必要な食品は、調理方法に従って調製したもの）のアクリルアミド濃度又はその他の指標を測定し、製造、加工又は調理の工程における低減対策が適切か、また、調理方法が適切か確認する。
 - 製造、加工又は調理の工程の一部を変更した場合には、それらの変更が製品のアクリルアミド濃度に及ぼす影響を評価する。
 - 対策実施前と比較してアクリルアミド濃度に有意な差が認められなかった場合や、平常値と比較して有意な濃度上昇が認められた場合には、その要因を解明し、各工程における低減対策を見直す。

1.6. ばれいしょ加工品における取組検討項目

	主な検討項目	第 1 章	第 2 章
原料の調達	還元糖濃度が低いばれいしょ・一次加工製品の調達	1.1.3.1 1.1.3.3	2.1
	品質、大きさなどが加工に適したばれいしょの調達	1.1.3.1	—
	原料の品質などに応じた貯蔵計画の策定	1.1.3.2	2.2
	貯蔵、保管又は輸送時の適切な温度管理	1.1.3.2	2.2
	貯蔵中の定期的な品質の確認	1.1.3.2	2.2, 2.3
	貯蔵条件の調整や出庫時期の見直し	1.1.3.2	2.2
	低温糖化時のリコンディショニング	1.1.3.2	2.4
企画、設計及び開発	ばれいしょの使用割合の低減	1.2.3.1	3.1
	加熱前に意図的に使用する還元糖の使用割合の低減	1.2.3.1	3.2
	アクリルアミドの生成を抑える機能をもつ食品添加物の使用	1.2.3.1	3.4
	加熱前のばれいしょ、成型生地の形状の最適化	1.2.3.2	3.5
	乾燥工程での最適な乾燥温度・時間の設定	1.2.3.3	—
	プリフライ工程での最適な加熱温度・時間の設定	1.2.3.3	—
	加熱工程での最適な加熱温度・時間の設定	1.2.3.4	4.5
	薄い揚げ色又は焼き色の設定	1.2.3.4	4.7
	水分含有率が低い状態での過加熱の防止	1.2.3.4	4.6
製造、加工又は調理	原料ばれいしょ受入時の還元糖濃度の測定又はテストフライによる色調確認	1.3.3.1	2.3
	原料ばれいしょのリコンディショニング	1.3.3.1	2.4
	原料ばれいしょの再選別	1.3.3.2	4.1
	原料ばれいしょの芽や傷害部の除去	1.3.3.2	4.1
	原料ばれいしょの品質に応じた厚さや太さの調整	1.3.3.3	3.5
	成型時に生じた小片や破片の除去	1.3.3.3	—
	傷害や病変が疑われるばれいしょの除去	1.3.3.3	4.1
	成型後のばれいしょの洗浄	1.3.3.4	4.2
	揚げ調理前のブランチング	1.3.3.4	4.2
	pH を下げる機能をもつ食品添加物の生地への使用	1.3.3.5	3.4
	ばれいしょの酸性溶液での処理	1.3.3.5	4.3
	生地の乾燥工程での乾燥温度・時間の調整	1.3.3.6	—
	原料の品質などに応じた加熱条件の調整	1.3.3.7	4.5
	加熱後の速やかな余熱の除去	1.3.3.8	4.8
	加熱調理後での焦げたものや小片、破片の除去	1.3.3.9	4.9
	適切な調理方法の情報提供	1.4	4.10
	製品のアクリルアミド濃度の測定	1.5	1.7

This page intentionally left blank.

2. 穀類の加工食品、調理食品

即席めん類、パン類（トーストなどの調理品を含む。）、オートミール、パン粉、ふ（麴）、朝食シリアル、ビスケット類、焼き菓子、米菓、油菓子、和生菓子（焼きもの）、洋生菓子、コーン系スナック菓子、小麦系スナック菓子⁴など（主に、焼く、揚げる、煎るなど 120℃以上で加熱したもの）を対象とする（以下これらをまとめて「穀類加工品」という。）。

本項には、アクリルアミド低減のために、事業者が、「原料の調達」、「製品の企画、設計及び開発」及び「製品の製造、加工又は調理」の各段階で検討することを推奨する事項を工程順に記載した。

2.1. 原料穀類の調達

2.1.1. 基本的な考え方

穀類加工品に含まれるアクリルアミドは、主として、120℃以上で、原料穀類に天然に含まれているアミノ酸の一種である遊離アスパラギン（以下単に「アスパラギン」という。）と還元糖（ぶどう糖や果糖など）が、加熱されると化学反応し生成する（加熱工程の後（高温加熱直後を除く。）に還元糖の含量が多い糖類を使用しても、新たにアクリルアミドは生成しない。）。

穀類加工品のアクリルアミド濃度と、原料穀類の還元糖濃度との間には相関は認められないが、原料穀類のアスパラギン濃度との間には正の相関があるため、アスパラギン濃度が低い穀類を原料として用いることでアクリルアミドの生成量を減らすことができる可能性がある。

したがって、穀類加工品の原料として、アスパラギン濃度が低い穀類・穀粉を調達することが可能か検討する。ただし、アスパラギンと還元糖の濃度は、穀類の種類、部位、精白度の違いなどによって大きく異なる。

2.1.2. 留意事項

加熱していない農産物やアスパラギン及び還元糖そのものには、アクリルアミドは含まれていない。アスパラギンや還元糖は、それぞれを単独で加熱してもアクリルアミドは生成しない。また、加熱工程の後（高温加熱直後を除く。）に調味や栄養強化を目的にそれらを添加しても、新たにアクリルアミドは生成しない。

⁴ 日本標準商品分類（1990年6月改訂）（総務省）に掲載されている商品の順番のとおり列記した。朝食シリアルは同分類の「その他の穀類加工品」に含まれる。

2.1.3. 低減対策の具体例

2.1.3.1. 穀類・穀粉の調達

- ✓ 加工に適した穀類・穀粉を調達する。
- ✓ 必要に応じて、アスパラギン濃度が低い穀類（種類）・穀粉（種類、部位、精白度）を調達することが可能か検討する。

（留意点）

- 同種の穀類の中でもアスパラギン濃度に大きなばらつきがある。
- 穀類のアスパラギン濃度は、部位（外皮、果皮、胚芽、胚乳）によって異なる。
- 一般的に、果皮・種皮（ふすま、米ぬか、麦ぬかなど）・胚芽を除いた穀粉（例：小麦粉、米粉）は、これらを含む穀粉（例：全粒粉、オートミール、玄米粉）よりもアスパラギン濃度が低い。
- 穀類の加工適性や、必要に応じてアスパラギン濃度に関するデータを収集する。

2.2. 穀類加工品の企画、設計及び開発

2.2.1. 基本的な考え方

穀類加工品の新製品の開発及び既存製品の更新の段階では、次の考え方に従い、最終製品のアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるよう、試作品の検証試験の結果に基づき、原料の組成、製品の形状、加熱条件などを設定する。

- ◆ アスパラギンと還元糖の濃度ができるだけ低い原料（加熱後に使用されるものは除く。）を用いる。
- ◆ 最終製品に求められる風味・食感の形成、殺菌などに必要な加熱温度・時間以上の高温、長時間で加熱しない。
- ◆ 必要に応じて、アクリルアミドの生成を阻害又は抑制する機能をもつ食品添加物を使用する。また、アクリルアミドの生成を促進する作用をもつ副原料又は食品添加物をできるだけ使用しない。

2.2.2. 留意事項

低減対策は、穀類加工品の風味、食感などの品質、栄養、生産コスト、さらには最終製品の食品としての安全性に影響を及ぼす可能性がある。したがって、各対策ごとにアクリルアミドの低減効果と、その対策を実施して製造された製品の味、香り、色、食感、栄養などが消費者に受け入れられるかどうかや、コストなどへの影響を考慮して、製品の仕様を定める。

その際、一つの低減対策だけでは製品のアクリルアミド濃度を十分に低減できない場合には、複数の対策を組み合わせる行う。

2.2.3. 低減対策の具体例

2.2.3.1. 原料組成、配合比率の検討

- ✓ 必要に応じて、穀類の種類及び使用割合を見直す。
- ✓ 必要に応じて、加熱工程前に意図的に使用する還元糖の使用割合を減らす。
- ✓ できるだけ、アクリルアミド濃度が高い原料の使用割合を減らす。
- ✓ できるだけ、アクリルアミドの生成を促す作用をもつ食品や食品添加物を使用しない。
- ✓ 必要に応じて、アクリルアミドの生成を抑える機能をもつ食品添加物を使用する。

（留意点）

- 穀類又は穀粉の種類や配合比率を変更すると、風味や商品特性、栄養特性にも大きく影響する。

- 穀粉を原料として用いる場合は、製品設計の際にその使用割合などを考慮する。
- 必要に応じて、ライ麦粉、エン麦粉、全粒粉、発芽小麦粉、玄米粉などの使用割合を減らし、小麦粉、米粉、トウモロコシ粉などの使用割合を増やす。

（留意点）

- 全粒粉などの使用割合を大きく減らすと、最終製品の栄養価に影響する。
- ライ麦粉、エン麦粉、全粒粉などには食物繊維が多く含まれている。
- 穀類や糖類以外に、アスパラギン又は還元糖の濃度が高い副原料（例：乾燥ばれいしょ）を使用する場合は、できるだけ、その使用割合を減らす。
- 加熱工程前に穀類や穀粉を主原料とする生地などを調味する場合は、必要に応じて、還元糖の含量が少ない糖類を用いる。

（留意点）

- 加熱工程の後（高温加熱直後を除く。）に還元糖の含量が多い糖類を使用しても、新たにアクリルアミドは生成しない。
- 焼き色を付けるなどの目的で還元糖の含量が多い糖類を用いる場合は、その使用割合をできるだけ減らす。また、還元糖を使用する場合は、可能であれば、果糖よりぶどう糖を用いる。

（留意点）

- 一般的に、加熱前に還元糖を過剰に使用すると、食品の焼き色が濃くなり、また、焦げやすくなる。
- 還元糖の使用割合を減らしたり、果糖をぶどう糖に置き換えたりすると、食品の焼き色が薄くなる可能性がある。
- アクリルアミド濃度が高い原料を用いる場合は、その使用割合をできるだけ減らす。

（留意点）

- アクリルアミドを含む原料は、加熱工程後に使用したとしても最終製品のアクリルアミド濃度に影響するため、その寄与も見積もる。
- 原料の種類によっては、製造後の時間の経過とともにアクリルアミド濃度が減少することから、同じ原料ロットでもアクリルアミド濃度を特定することが困難な場合がある。
- アンモニウムを含む膨脹剤（例：塩化アンモニウム、炭酸アンモニウム、炭酸水素アンモニウム、硫酸アルミニウムアンモニウム）を使用する場合は、必要に応じて、カリウムやナトリウムを含有するその他の膨脹剤（例：炭酸水素ナトリウム（重曹）や炭酸カリウム）に替える。

(留意点)

- アンモニウムは、アミノ・カルボニル反応を促進し、食品の着色を強める作用がある。
- ナトリウムを含む膨脹剤を使用すると、最終製品のナトリウム濃度を高める可能性がある。
- 膨脹剤を変更すると、風味、食感、色などに影響する場合がある。
- 硫酸アルミニウムカリウムなどアルミニウムを含む膨脹剤を使用すると、製品のアルミニウム濃度を高める可能性がある⁵ので、使用量を減らす⁵。
- 必要に応じて、カルシウムを含む食品添加物（例：炭酸カルシウム、塩化カルシウム、乳酸カルシウム、硫酸カルシウム）を使用する。

(留意点)

- カルシウムを含む食品添加物を使用すると、風味や食感に影響する場合がある。
- 食品添加物に使用基準が定められている場合は、それを遵守する。
- 必要に応じて、L-アスコルビン酸、クエン酸などの pH を下げる機能をもつ食品添加物を使用する。

(留意点)

- 食品の pH を下げることによりアクリルアミドの生成反応を抑制することができる。
- pH 調整剤などを使用すると、最終製品の風味に影響（例：酸味の増加）したり、クロロプロパノール類濃度が増加したりする場合がある。
- 食品添加物に使用基準が定められている場合は、それを遵守する。

2.2.3.2. 生地が発酵、成型、乾燥条件の検討

- ✓ 酵母による生地が発酵を行う場合は、発酵時間を十分に確保する。
- ✓ 加熱前の成型生地などの形状を最適化する。
- ✓ 焼成前の乾燥工程において、生地が乾燥しすぎないように、最適な乾燥温度と時間を設定する。

- 酵母を利用して生地を発酵させる場合は、発酵時間をできるだけ長く設定する。

(留意点)

- 一般的に、発酵によって生地の pH が低くなる。
- 生地の pH が低いほど、焼成によるクロロプロパノール類の生成が増

⁵ 食品中のアルミニウムに関する情報（厚生労働省）
http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/shokuhin/syokuten/aluminium/index.html

加するとの報告がある。

- 発酵時間が長すぎると、生地加工適性に影響する。
- 加熱加工後の製品のアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるよう、試作品の検証試験の結果に基づき、生地の太さ、厚さ、形状などに関する製品規格（製品仕様）を決定する。

（留意点）

- 最適な形状は、焼成条件や製品特性によって異なる。
- 生地の表面にアクリルアミドが生成しやすいため、生地を厚くしたり、太く大きく成型したりすることで、アクリルアミド濃度を低くできる場合がある。
- 加熱前に生地を乾燥させる場合は、必要な水準まで水分活性を下げつつ、乾燥しすぎないように、乾燥機の温度と時間を設定する。

（留意点）

- 120℃以上で乾燥すると、乾燥工程でもアクリルアミドが生成する可能性がある。また、生地を乾燥しすぎると、最終加熱工程でアクリルアミド生成が促進される可能性がある。
- 最適な水分量は、焼成条件や製品特性によって異なるため、試作品の検証試験の結果に基づき、製造、加工又は調理の工程全体でアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるように乾燥条件を設定する。

2.2.3.3. 加熱条件の検討

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">✓ 加熱しすぎないように、最適な加熱温度と加熱時間を設定する。✓ 特に、水分含有率が低い状態での過加熱を避ける。✓ 製品の焼き色又は揚げ色をできるだけ薄く設定する。 |
|--|

- 加熱後のアクリルアミド濃度をできるだけ低く抑えるよう、製品の特性に合わせて加熱温度と加熱時間を設定する。
- 加熱条件を検討する際には、焼き色だけではなく、試作品の検証試験において測定したアクリルアミド濃度も考慮して、判断する。

（留意点）

- 穀類加工品は、ばれいしょ加工品と比較して、色調とアクリルアミド濃度の相関が弱い。
- 意図的な焦げや焼き目を特徴とする製品設計は控え、できるだけ薄い（明るい）焼き色又は揚げ色となるよう設定する。また、「きつね色」などの曖昧な表現は避け、アグトロン値、L*値、a*値、色見本との比較など客観的な指標を用いる。

(留意点)

- 焦げ目や焼き目がアクリルアミド濃度に影響しない製品の場合にはあてはまらない。
- 焼き色又は揚げ色などの外観の変更は、消費者の購入行動に影響する可能性がある。
- 可能であれば、温度勾配の設定などが可能なオーブンやスチームオーブン、ジェットオーブン又は油温勾配の設定が可能なフライヤーを用いて、水分含有率が低い状態での長時間の高温加熱を避ける。
- 揚げ調理の場合は、180℃未満を油温の目安とする（真空フライを除く。）。
- 焼成の場合は、できるだけ低い温度で加熱するよう設定する。

(留意点)

- 焼成などの温度を下げすぎると焼き色がつかなくなる。
- 焼成などの温度を下げる場合は、生地が中心が加熱不足とならないように十分に注意する。
- 焼成条件の変更などに伴う焼き色などの外観の変化は、消費者の購入行動に影響する可能性がある。

2.3. 穀類加工品の製造、加工又は調理

2.3.1. 基本的な考え方

穀類加工品の製造、加工又は調理の段階で生成するアクリルアミドを減らすために、次の考え方に基づき、必要な調製や処理、各種条件の調整などを行う。

- ◆ 原料（加熱後に使用されるものは除く。）に含まれるアスパラギンと還元糖の濃度をできるだけ低くする。
- ◆ 最終製品に求められる風味・食感の形成、殺菌などに必要な加熱温度・時間以上の高温、長時間で加熱しない。
- ◆ 必要に応じて、アクリルアミドの生成を阻害又は抑制する機能をもつ食品添加物を使用する。

2.3.2. 留意事項

低減対策は、穀類加工品の風味、食感などの品質、栄養、生産コスト、さらには最終製品の食品としての安全性に影響を及ぼす可能性がある。したがって、各対策ごとにアクリルアミドの低減効果と、その対策を実施して製造された製品の味、香り、色、食感、栄養などが消費者に受け入れられるかどうかや、コストなどへの影響を考慮して、製品の種類、製造、加工又は調理の工程、製品特性に最も適した対策を選択する。

その際、一つの低減対策だけでは製品のアクリルアミド濃度を十分に低減できない場合には、複数の対策を組み合わせで行う。

2.3.3. 低減対策の具体例

2.3.3.1. 原料穀類の受入

- ✓ 必要に応じて、原料穀類の受入時にアスパラギン濃度を測定する。
- ✓ 必要に応じて、副原料のアスパラギン、還元糖、アクリルアミドの濃度を測定する。

- 主原料である穀類及び穀粉のアスパラギン濃度に関する情報がない場合には、必要に応じて、アスパラギン濃度の測定を行う。
- 穀類及び穀粉以外の副原料についても、必要に応じて、アスパラギン及び還元糖の濃度を測定する。
- 穀類及び穀粉以外の副原料のうち、その製造又は加工工程で高温加熱を行うものは、アクリルアミドを含む可能性があるため、必要に応じて、アクリルアミド濃度を測定する。

2.3.3.2. 原料穀類の調製

✓ 穀類の品質に応じて精白度を調製する。

- 精白を行う場合は、調達した穀類の品質に応じて精白度を調製する。

2.3.3.3. 生地が発酵、成型、乾燥

✓ 酵母による生地が発酵を行う場合は、穀粉の品質や気温、湿度に応じて発酵時間を調整する。

✓ 成型時や乾燥時に生じた小片や破片は取り除く。

✓ 生地を乾燥させる場合は、生地の品質や気温、湿度に応じて乾燥条件を調整する。

- 酵母を利用し生地を発酵させる場合は、十分に発酵が進むよう、穀粉の品質や気温、湿度に応じて発酵時間を調整する。
- 成型時や乾燥時に生じた小片や破片は、加熱前に、ふるいや目視によって取り除く。
- 生地を乾燥させる場合は、生地の品質や気温、湿度に応じて乾燥温度と乾燥時間を調整し、生地が乾燥しすぎないようにする。

2.3.3.4. 加熱

✓ 必要に応じて、加熱条件を調整する。

✓ できるだけ均一な薄い色になるように調整する。

- 規定された温度や時間で加熱したときに、焼き色又は揚げ色が均一な薄い色（明るい色）か確認し、必要に応じて加熱条件を調整する。
- 原料や生地の品質、気温、湿度に応じて、加熱温度と時間を 1℃単位、1秒単位で調整し、加熱しすぎないようにする。
- 生地の水分含有率が少なくなる加熱工程の後半での加熱温度は、製品の品質を変えない範囲内でできるだけ低くする。

（留意点）

- 加熱工程の後半では、生地中の水分含有率が少ないため、中心部まで高温になりやすく、アクリルアミドの生成速度も速まる。そのため、数秒間でアクリルアミド濃度が急に高くなる。
- 冷凍生地など半加工品を利用する場合は、容器包装などに表示された使用方法に従う。使用方法が表示されていない場合には、できるだけ薄い焼き色又は揚げ色となるよう、加熱時間と加熱温度を調整する。

2.3.3.5. 余熱の管理

✓ 加熱後、余熱を速やかに取り除く。

- 高温で加熱した場合は、余熱を速やかに取り除く（120℃未満に冷却）。

2.3.3.6. 不良品の選別

✓ 焦げたものや小片、破片を、加熱調理後、選別によって取り除く。

- 焦げたものや小片、破片は、加熱調理後、調味付けなどの加工を行う前に、色彩選別機（カラーソーター）や目視によって取り除く。
- 調理中に生じた小片や破片がフライヤーやオーブン内に残らないよう、定期的に清掃する。
- 取り除いた小片や破片は、食品の原料として再利用又は二次利用しない。
- 焦げたものが多く発生する場合には、加熱条件や加熱前の工程を見直す。

2.4. 調理方法に関する情報提供

✓ 食べる時に加熱が必要な食品は、適切な調理方法を容器包装への表示又はその他の手段で情報提供する。

✓ 業務用製品と家庭用製品では、使用される調理器具の違いや実行可能性を考慮して、情報提供の内容を変更する。

- 冷凍パン生地、冷凍ピザなどの焼成が必要な製品の場合は、できるだけアクリルアミドが生成しないように、推奨する調理器具、オーブンの温度、加熱時間などを具体的に容器包装に表示するとともに、リーフレット、ウェブサイトなどを活用して情報提供する。
- 容器包装への表示又はリーフレット、ウェブサイトなどその他の手段を活用して、次の留意事項を食品調理事業者や消費者に情報提供する。
 - － できるだけ薄い（明るい）焼き色にする。
 - － 「焦がさない、焦げてしまった場合には食べない、又は焦げを取り除く」ことを心がける。

2.5. 製品のアクリルアミド濃度の把握

✓ 必要に応じて、製品のアクリルアミド濃度を測定する。

✓ アクリルアミド濃度のばらつきを考慮して、サンプル数を決定する。

（留意点）

- 製品のアクリルアミド濃度には、ロットごとにばらつきがあり、同じロットであっても製品ごとにばらつきがある。また、分析値そのものについても、測定によるばらつきがある。

- アクリルアミド濃度のばらつきを考慮して、サンプル数を決める。
- 必要に応じて、製品（調理が必要な食品は、調理方法に従って調製したもの）のアクリルアミド濃度を測定し、製造、加工又は調理の工程における低減対策が適切か、また、調理方法が適切か確認する。
- 製造、加工又は調理の工程の一部を変更した場合には、それらの変更が製品のアクリルアミド濃度に及ぼす影響を評価する。
- 対策実施前と比較してアクリルアミド濃度に有意な差が認められなかった場合や、平常値と比較して有意な濃度上昇が認められた場合には、その要因を解明し、各工程における低減対策を見直す。

2.6. 穀類加工品における取組検討項目

	主な検討項目	第 1 章	第 2 章
原料の調達	加工に適した穀類・穀粉の調達	2.1.3.1	—
	アスパラギン濃度が低い穀類（種類）・穀粉（種類、部位、精白度）の調達	2.1.3.1	2.1
企画、設計及び開発	原料穀類の種類及び使用割合の変更	2.2.3.1	3.1
	加熱前に意図的に使用する還元糖の使用割合の低減	2.2.3.1	3.2
	アクリルアミド濃度が高い原料の使用割合の低減	2.2.3.1	—
	アクリルアミドの生成を促す作用をもつ食品や食品添加物の使用の抑制	2.2.3.1	3.3
	アクリルアミドの生成を抑える機能をもつ食品添加物の使用	2.2.3.1	3.4
	最適な生地発酵時間の設定	2.2.3.2	4.4
	加熱前の成型生地などの形状の最適化	2.2.3.2	3.5
	乾燥工程での最適な乾燥温度・時間の設定	2.2.3.2	—
	加熱工程における最適な加熱温度・時間の設定	2.2.3.3	4.5
	水分含有率が低い状態での過加熱の防止	2.2.3.3	4.6
	薄い焼き色又は揚げ色の設定	2.2.3.3	4.7
製造、加工又は調理	原料受入時のアスパラギン濃度の測定	2.3.3.1	2.3
	副原料のアスパラギン、還元糖、アクリルアミドの濃度の測定	2.3.3.1	1.7, 2.3
	穀類の品質に応じた精白度の調製	2.3.3.2	—
	穀粉の品質、気温などに応じた発酵・乾燥条件の調整	2.3.3.3	4.4
	成型時や乾燥時に生じた小片や破片の除去	2.3.3.3	—
	生地の品質、気温などに応じた乾燥条件の調整	2.3.3.3	—
	原料や生地の品質などに応じた加熱条件の調整	2.3.3.4	4.5
	加熱後の速やかな余熱の除去	2.3.3.5	4.8
	加熱調理後での焦げたものや小片、破片の除去	2.3.3.6	4.9
	適切な調理方法の情報提供	2.4	4.10
	製品のアクリルアミド濃度の測定	2.5	1.7

第 2 章 基礎情報及び技術解説

※第 2 章で使用了た図表は、引用許諾を取って掲載しています。

これらの図表を引用する場合は、必ず著作権者から引用許諾を取って下さい。

本章には、食品中のアクリルアミドに関する基礎的な情報と、事業者がアクリルアミドの低減対策を行う際に参考となる、「原料の調達」、「製品の企画、設計及び開発」及び「製品の製造、加工又は調理」の各段階で適用が期待されるアクリルアミド低減技術についての解説（その実施例や根拠となる科学的データ、留意点など）を記載した。

なお、食品製造にそのままの条件を適用できないが、低減対策の参考となり得る各種モデル試験のデータなどについても記載した。

1. 基礎情報

1.1. アクリルアミドについて

アクリルアミドは、アクリル酸を母体化合物としたアミドの一種であり（図1）、「毒物及び劇物取扱法」で劇物に指定されている。モノマー（1分子）のアクリルアミドは水に溶けやすく、ヒトや動物に対して強い毒性がある。

一方、複数のアクリルアミドモノマーが重合して（つながって）できるポリアクリルアミドは水に溶けにくく、毒性が弱い。ポリアクリルアミドは、合成樹脂の一種として、紙力増強剤、排水処理剤、土壌凝固剤、漏水防止剤、化粧品（シェービングジェルや整髪剤）など工業用途に広く用いられている。



図1 アクリルアミドとアクリル酸の構造

1.2. アクリルアミドの食品からの発見の経緯

1990年代後半、スウェーデンのトンネル工事で、ポリアクリルアミドを主成分とする漏水防止剤を大量に使用したところ、工事現場の周辺で、淡水魚が死亡したり、家畜が麻痺症状を示したりするなどの被害が発生した。さらに、トンネル工事作業員や周辺住民の健康状態に関する調査の結果、作業員にも末梢神経の障害が生じていた。その後の調査により、ポリアクリルアミドを主成分とする漏水防止剤に不純物として含まれていたモノマーのアクリルアミドが原因であることが分かった。

ところが、トンネル工事とは直接関係のない作業員や汚染地域外の住民の血液からもモノマーのアクリルアミドが検出され、アクリルアミドの暴露経路が、トンネル工事による環境汚染に由来するものだけでない可能性が示唆された。その後の調査により、食品からの暴露の可能性が示唆されたこと、また、タバコの煙からもアクリルアミドが検出されたことから、食品を加熱することによってアクリルアミドが生成するとの仮説が立てられた。こうして、食品中のア

クリルアミドに関する研究が開始された。

2002 年 4 月、スウェーデン食品安全庁とストックホルム大学が、炒めたり、焼いたり、揚げたりしたばれいしょや穀類の加工品に、ヒトに対して発がん性が疑われているアクリルアミドが含まれることを発表した (NFA, 2002)。このことをきっかけとして、世界中の関係者が、食品中のアクリルアミドを食品安全上の新たな問題として注目し始めた。

1.3. 食品中のアクリルアミドの生成機序

食品中のアクリルアミドの主要な生成経路は、アミノ酸の一種である遊離アスパラギンと還元糖に分類されているぶどう糖や果糖によるアミノ・カルボニル反応であることが報告されている (Mottram, et al., 2002; Stadler, et al., 2002)。

実験的にアクリルアミドの炭素鎖は主としてアスパラギン由来であることが確認されている。また、近年の研究でアスパラギナーゼ (本章 5.2 参照) による食品中のアクリルアミドの低減効果が極めて大きいことが示されていることから、食品中のアクリルアミドの生成はアスパラギンからの経路が主なものであると考えられている。

還元糖以外にカルボニル化合物も、アスパラギンとのアミノ・カルボニル反応に関与しており、アスパラギンからアクリルアミドが生成する経路は複数存在すると考えられている (Jin, et al., 2013)。3-アミノプロパンアミド (3-APA) をアクリルアミド生成反応の主要な中間体であるとする説もあるが (Granvogl, et al., 2004; Granvogl, et al., 2006; Zyzak, et al., 2003)、3-APA を経由する経路がどの程度寄与するのかよくわかっていない。

これまでに報告されている食品中のアクリルアミドの代表的な生成経路を図 2 に示した。

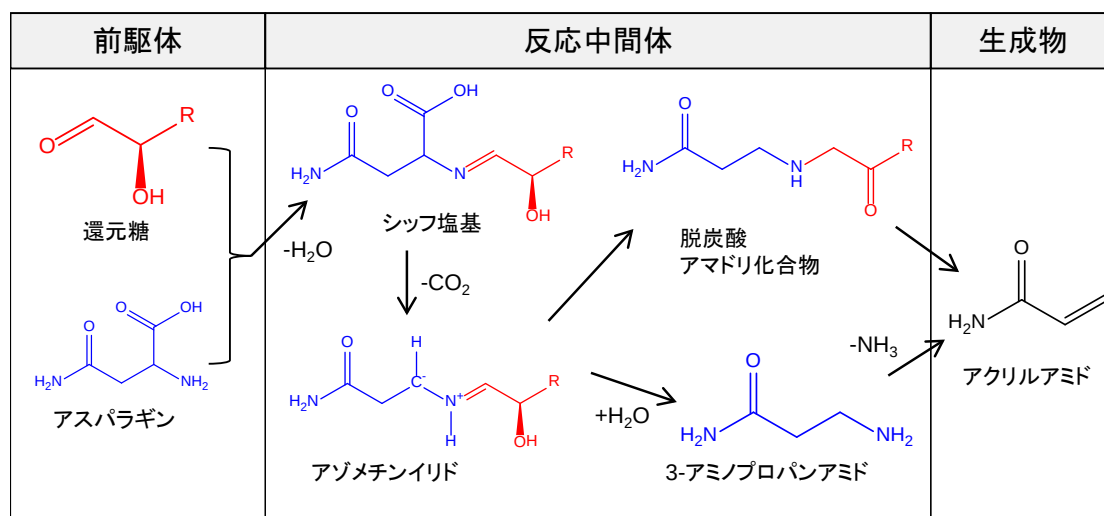


図 2 食品中のアクリルアミドの主な生成経路

なお、アミノ・カルボニル反応以外の化学反応によってもアクリルアミドが生成する可能性が報告されている。例えば、食品に含まれる脂質が分解して生成するアクロレインの酸化による経路、アスパラギンから生成したアクリル酸がアンモニアと反応して生成する経路、セリンやシステインなどのアミノ酸から生成した乳酸がアンモニアと反応して生成する経路などが報告されている。

1.4. アクリルアミドの毒性

第 64 回及び第 72 回の FAO/WHO 合同食品添加物専門家会合（JECFA）の評価書（JECFA, 2006; JECFA, 2011)に基づいて、アクリルアミドの毒性を概説する。

アクリルアミドの体内動態

経口摂取したアクリルアミドは、腸管でほとんどが吸収され、全身の組織に分布する。母乳や胎児へ移行することも観察されている。

吸収されたアクリルアミドの一部が、代謝酵素（CYP2E1）の働きによって、より反応性の高いエポキシド構造（図 3 中の丸囲みの構造）を持つグリシドアミド（図 3）へと変化する。ヒトの場合、体内でアクリルアミドがグリシドアミドに代謝される割合は個人差が大きいことが知られている。

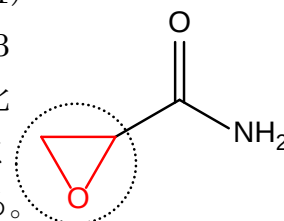


図 3 グリシドアミド

グリシドアミドはさらにグリセルアミド又はグルタチオン抱合体へと代謝されて尿中へと排泄されるか、もしくはヘモグロビンや DNA と反応して付加体を形成する。アクリルアミドの大部分はグルタチオン抱合によりメルカプツール酸及びそのスルホキシドへと代謝されて尿中へ排泄され（図 4）、一部はヘモグロビンと反応して付加体を形成する。

発がん性

国際がん研究機関（IARC）は、発がん性に関する証拠の強さから、アクリルアミドを「ヒトにおそらく発がん性がある物質（グループ 2A）」に分類している（IARC, 1994）。

アクリルアミドを含む飲水を 2 年間げっ歯類（ラットやマウス）に投与したところ、多くの組織、器官に腫瘍が発生した（表 1）（NTP, 2010）。これらの腫瘍形成は、一部を除き、グリシドアミドを用いた同様の試験でも観察され、腫瘍の発生率はアクリルアミドと同程度か、それより高かった。このことから、アクリルアミドの代謝物であるグリシドアミドが、がんの原因物質であることが強く示唆された。

表 1 飲水中のアクリルアミドが試験動物に与える影響

試験動物	飲水中のアクリルアミドによる影響
ラット	（雌雄）甲状腺、乳腺に腫瘍を形成
	（雄）精巢中皮の腫瘍、心臓のシュワン腫、脾臓腫瘍の形成
マウス	肺、ハーダー腺、前胃、乳房、卵巣に腫瘍を形成

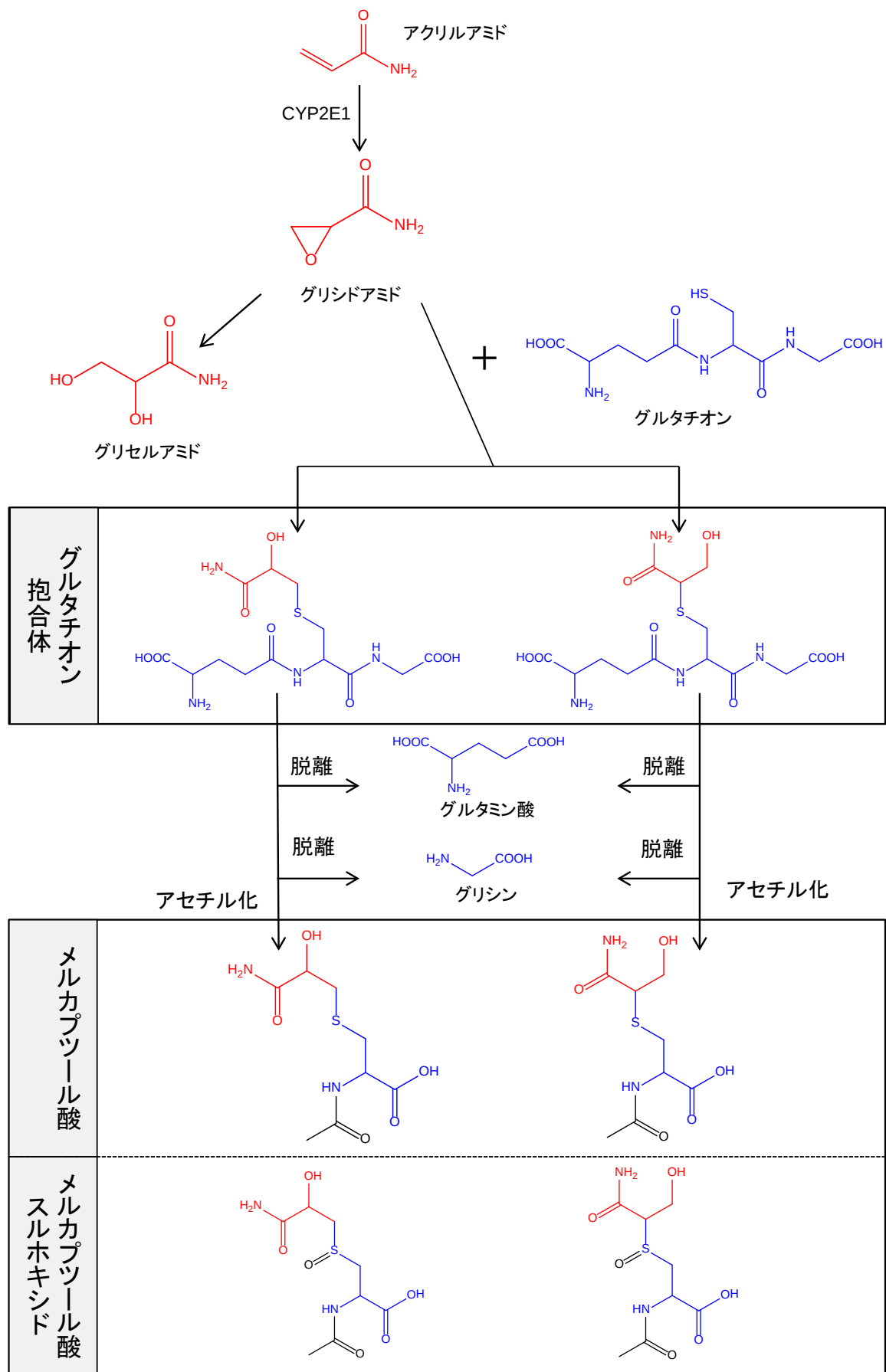


図 4 生体内のアクリルアミドの代謝経路

遺伝毒性

多くの遺伝毒性試験において、アクリルアミド及びグリシドアミドに染色体異常誘発性及び変異原性があることが確認されている。

神経毒性

アクリルアミドの毒性として、発がん毒性以外に重要なのは神経毒性であり、多くの動物試験によって確認されている。これまでに報告されている最も低い無毒性量 (NOAEL) は、0.2 mg/kg 体重/日である (アクリルアミドを含む飲料水を 90 日間ラットに投与した試験において、電子顕微鏡による観察で神経組織の形態変化が見られない最大投与量から決定された。)。

その他の毒性

上記の毒性の他に、生殖毒性と発達毒性が観察されている。ただし、これらの毒性に関して報告されている NOAEL は、いずれも神経毒性の NOAEL である 0.2 mg/kg 体重/日より大きい。

ヒトの疫学調査及び暴露事例

ヒトの職業暴露や事故の事例から、アクリルアミドを大量に吸入又は経皮吸収すると、中枢神経及び末梢神経に障害 (筋力低下、感覚異常、知覚麻痺、歩行異常など) が起きることが分かっている。

一方、職業暴露や経口暴露とヒトの発がんの関連については、疫学調査などでも一貫性のある証拠は得られていない。アクリルアミドを含む食品の摂取とある種の発がんに関係があることを示唆するいくつかの報告はあるが、JECFA は、疫学調査に用いられる食物頻度アンケートに基づく暴露量推定には限界があり、さらなる検証が必要としている。

用量-反応分析

JECFA は、各器官において腫瘍の発生率が 10%増加する投与量 (BMD₁₀) とその 95%信頼下限値 (BMDL₁₀) を算出し、もっとも低い BMDL₁₀ である雄マウスのハーダー腺における腫瘍形成の 0.18 mg/kg 体重/日と、雌ラットの乳腺繊維腺腫形成の 0.31 mg/kg 体重/日を、発がん性の指標値として使用するのが適当とした。ハーダー腺はヒトには存在しないが、アクリルアミドによって、げっ歯類 (ラットやマウス) でハーダー腺以外にも多くの組織・器官で腫瘍が形成されたことを考慮した。

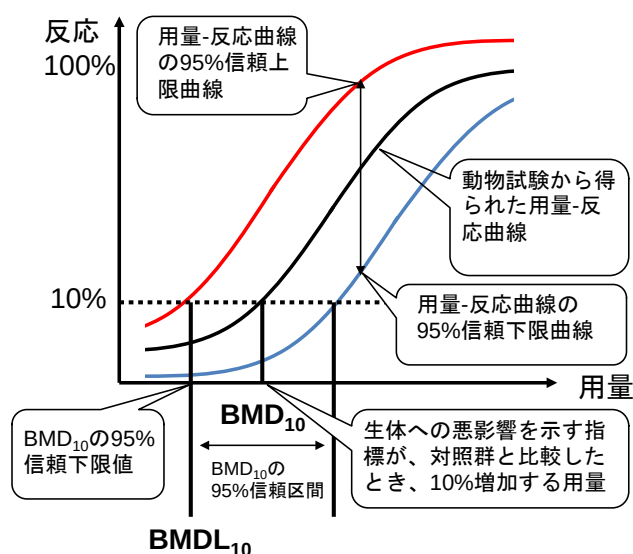
また、ラットの神経組織の形態変化が起きない最大の濃度である 0.2 mg/kg 体重/日を、発がん性以外の毒性に関する最も低い NOAEL とした。

(参考) BMD₁₀ と BMDL₁₀

動物を用いた毒性試験では、比較のために、化学物質を投与する動物群（試験群）と、化学物質を投与しないが試験群と同様の条件で飼育する動物群（対象群）を設定する。この時、投与する化学物質の用量を変えた複数の群を用意する。これらの動物群を観察することで、化学物質の用量と生体影響の関係を調べることができる。

BMD (benchmark dose : ベンチマーク用量) とは、化学物質の用量と生体影響の関係から算出した、毒性評価上の用量である。対照群と比較したとき、生体への悪影響を示す指標（発がん試験の場合は腫瘍の発生率や発生数）が、X%増加する化学物質の用量を BMD_x と表す。生体への悪影響を示す指標の増加率には、10%、5%、1%などを用い、増加率が低いほど BMD は小さくなる。発がん性の評価では、通常、腫瘍の発生率が 10%増加する用量である BMD₁₀ を用いる。BMD は、無毒性量（NOAEL）とは異なり、閾値（ある用量までは毒性を示さない化学物質が、毒性を示しはじめる用量）がなくても設定できることから、遺伝毒性発がん物質のように、閾値がないと考えられている化学物質の評価の際、特に有効である。

実際には、試験に用いることができる動物数は限られており、また、結果にはばらつきがあることから、BMD の真の値を知ることは困難である。そこで、BMD の真の値を 95%の確率で含む範囲（95%信頼区間）を統計学的に推定し、BMD の 95%信頼下限値 (benchmark dose lower confidence limit : BMDL) を使用する。発がん性のリスク評価では、通常、BMDL₁₀ を用いる（概念図参照）。



1.5. 食品中のアクリルアミドによる健康リスク

ここでは第 72 回 JECFA のリスク評価の結果と勧告を紹介する (JECFA, 2011)。

2003 年以降、アクリルアミド濃度が高かった食品などで濃度が低減してきていることが報告されているが、一般的な消費者の暴露量に変化はなく、推定したアクリルアミドの経口暴露量は、2005 年の第 64 回会合のときと同じく、一般的な消費者で 0.001 mg/kg 体重/日、アクリルアミド暴露量の多い消費者で 0.004 mg/kg 体重/日であった。

JECFA は、この暴露評価と毒性評価（「1.4. アクリルアミドの毒性」参照）の結果から、暴露マージン (MoE) を指標として健康リスクの程度を推定した。その概要と結論を表 2 に示した。

さらに、JECFA は、食事からの暴露に大きく寄与する食品に含まれるアクリルアミドを低減する方法のさらなる開発及び実施を勧告した。

なお、国内では、現在、食品安全委員会が加熱時に生じるアクリルアミドの食品健康影響評価（リスク評価）を実施している。

表 2 第 72 回 JECFA のリスク評価結果

影響	NOAEL 又は BMDL ₁₀ (mg/kg 体重/日)	暴露マージン (MoE)		結論/コメント
		平均摂取	高摂取	
ラットにおける神経組織の形態変化	0.2 (NOAEL)	200	50	平均摂取量では神経への影響はないと考えられるが、摂取量が多い場合には神経に形態変化が生じる可能性は無視できない。
雌ラットにおける乳腺腫	0.31 (BMDL ₁₀)	310	78	遺伝毒性及び発がん性を有する化合物としては MoE が小さく、健康への悪影響が生じる可能性は無視できない。
雄マウスにおけるハダ腺腫	0.18 (BMDL ₁₀)	180	45	

(参考) 暴露マージン (Margin of Exposure: MoE)

暴露マージンは、ある化学物質について、動物試験などに基づく用量-反応分析の結果得られた NOAEL や BMDL₁₀ などの指標値と、ヒトの暴露量の比であり、以下の式により表される。

$$\text{暴露マージン (MoE)} = \frac{\text{NOAEL や BMDL}}{\text{食品からの体重 1 kg 当たりの暴露量}}$$

暴露量が大きいほど、または、毒性が強く NOAEL や BMDL が小さいほど、MoE の値は小さくなり、健康影響が生じる可能性が高いことを示す。一般に、遺伝毒性発がん性の場合は 10,000 未満、それ以外の毒性（例：神経毒性）の場合は 100 未満であると、健康への悪影響が生じる可能性が無視できないとして、低減対策を実施する必要性が高いと解釈される。

1.6. 各国のアクリルアミドの低減のための取組

日本を含むほとんどの国や地域では、食品のアクリルアミド濃度を規制していないが、食品事業者は政府と連携して、自主的に濃度を低減する取組を行っている。

コーデックス委員会は、フードチェーンアプローチの観点から、行政、食品事業者などの関係者向けの手引きとして「食品中のアクリルアミド低減に関する実施規範(CAC/RCP-67)」を2009年に採択し、加盟国がこの規範に従って食品中のアクリルアミド低減に取り組むことを勧告している (Codex, 2009)。

欧州委員会 (EC) は、欧州食料飲料産業連盟 (FoodDrinkEurope) が EC や各国政府の協力の下で作成した Acrylamide Toolbox に基づいて低減対策を行っている。2012 年には、EC が主要品目に指標値 (indicative value) を導入し (2013 年に改定) (表 3)、現在、事業者による自主的な低減対策の検証が進められている (EC, 2011; FoodDrinkEurope, 2011)。この指標値は、EU 加盟各国政府が事業者を調査する際の目安としてのみ活用されているもので、この指標値を超える濃度の製品があった場合には、事業者が適切な措置をとっているかどうかを各国政府が確認することを EC は推奨している。

米国食品医薬品局 (US FDA) は、食品中のアクリルアミドを低減するための事業者向けガイドラインのドラフトを公表し、パブリックコメントを募集している (2013 年 11 月現在) (US FDA, 2013)。

日本では、一部の食品業界や事業者が自主的にアクリルアミドの低減対策を行っている。農林水産省は、主要な食品について定期的に含有実態調査を実施し、アクリルアミドへの暴露の原因として無視できない様々な食品について、低減の取組を推進している。

(参考) 事業者が自主的に指標値を設定する場合

事業者が自主的に製品のアクリルアミド濃度について管理指標値や低減目標値を設定する場合は、それらの指標値や目標値は、実態調査のデータなどの科学的な根拠に基づいて設定することが望ましい。例えば、実態調査のデータを統計解析し、90 パーセンタイル値や 95 パーセンタイル値を参考に設定する方法がある。これらの指標値や目標値は、直近の実態調査の結果や技術開発の状況に応じて見直す。

表 3 食品中のアクリルアミド指標値 (EC, 2013)

品目	指標値(μg/kg)
調理済みフレンチフライポテト	600
ポテトチップス	1000
ばれいしょを主原料とするクラッカー	1000
ソフトブレッド	
(a) 小麦を主原料とするソフトブレッド	80
(b) 小麦を主原料とするソフトブレッド以外のソフトブレッド	150
朝食用シリアル（ポリッジ ⁶ を除く）	
ふすま製品、全粒穀類、膨化穀粒（膨化処理の表示があるものに限る）	400
小麦及びライ麦を主原料とする製品	300
とうもろこし、エン麦、スペルト小麦、大麦及び米を主原料とする製品	200
ビスケット、ウェハース	500
クラッカー（ばれいしょを主原料とするクラッカーを除く）	500
クリスプブレッド	450
ジンジャーブレッド	1000
本カテゴリーの他の製品と同様な製品	500
焙煎コーヒー	450
インスタント（ソリュブル）コーヒー	900
代用コーヒー	
(a) 穀類を主原料とする代用コーヒー	2000
(b) その他の代用コーヒー	4000
ベビーフード（穀類加工品を除く）	
(a) プルーンを含まないもの	50
(b) プルーンを含むもの	80
乳幼児用ビスケット及びラスク	200
乳幼児用穀類加工品（ビスケット及びラスクを除く）	50

※この指標値は、EU 各国における食品中のアクリルアミドの含有実態等に基づき設定されたものであり、日本国内で流通する食品の実態を示したものではない。また、農林水産省が目標値を設定したり、事業者目標値の設定を求めたりするものではない（農林水産省注釈）。

⁶ ポリッジとは、オートミールなどの穀類を牛乳や水などで煮た粥のこと。

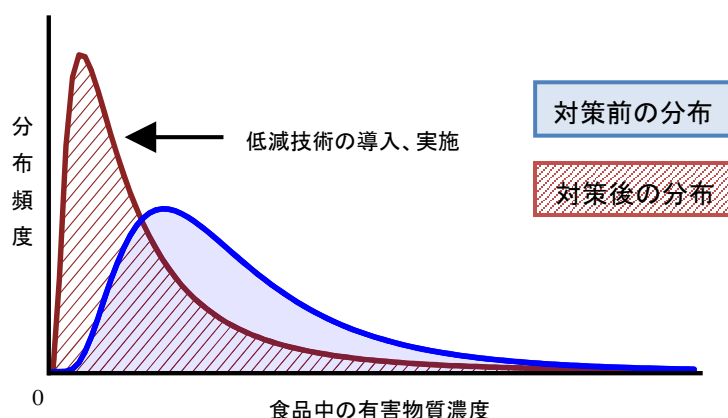
(参考) 国際的に合意された考え方

食品の製造、加工又は調理の工程で意図しないにもかかわらず生成する有害物質の濃度を低くするためには、農場から食卓までの食品供給工程の必要な段階において、次の対策を講じ、有害物質の生成を防止、抑制することが有効である。

- 有害物質に変化する前駆体を減らす。
- 有害物質の生成をできるだけ低く抑える。
- 生成した有害物質を分解、除去する。

これらの低減対策の実施によって、食品に含まれる有害物質の濃度分布が従来よりも低濃度側に移行すると、有害物質の経口暴露量も低減する。すなわち、有害物質に起因する健康リスクの低下が期待できる（下図参照）。

それゆえ、食品に意図しないにもかかわらず含まれる有害物質については、低減のためのガイドラインや指針の策定とその実施が極めて重要であると国際的に認識されており、コーデックス委員会でも食品に含まれている濃度を可能な範囲でできるだけ低くするため、実施規範の作成が優先的に行われている。



低減技術の導入と有害物質濃度分布の関係（模式図）（農林水産省作成）

食品中にいったん生成した有害物質を化学的に分解・除去する方法は、それによってその有害物質やその他の食品成分がより有害なものに変化する可能性を科学的に否定できない限り、採用すべきではない。

なお、食品中の有害物質の最大基準値や指標値（指標値は、法令に基づかないものであり、政府だけでなく事業者が自主的に設定することができる。）は、低減対策の実施によってどの水準まで濃度を下げる必要があるのかを、事業者が知るための指標として有効である。しかし、最大基準値や指標値を設定しても、低減対策を実施しなければ食品自体の安全性が高まることはない。

1.7. 食品中のアクリルアミドの分析

食品を分析する場合、分析結果が科学的に信頼できることが重要である。このためには、①いつ、どこで、誰が分析しても同様の分析結果が得られることが客観的・科学的に検証（妥当性確認）された分析法を使用すること、②組織管理、分析者の教育、測定手順などの文書化、内部での分析の品質管理などのマネジメント体制が整っていることが必要である。

外部の分析機関に分析を発注する場合、国際的に通用する品質の分析結果を得るためには、アクリルアミドの分析について ISO/IEC 17025 の認定を取得しているか又はそれと同等の分析技術を有していることを科学的に証明できる分析機関を選ぶ必要がある。

事業者が自ら分析する場合、マネジメント体制の構築、分析法の妥当性確認、測定値の検証（認証標準物質の定期的な使用／又は二次標準物質を用いた品質管理、技能試験プログラムへの参加、反復分析の実施等）、記録・データの適切な管理など ISO/IEC 17025 の要求事項にできるだけ従う。

対象食品は何か、どの程度の濃度を分析するのかなどによって適した分析法は異なる。代表的なアクリルアミドの分析法の概要を表 4 に示した。

表 4 代表的なアクリルアミドの分析法とその特徴

	GC/MS 法	LC/MS/MS 法	ELISA 法 ^(注 3)
初期導入コスト	800 万～2 千万円程度	2 千万～5 千万円程度	100 万円程度
分析単価	20,000～30,000 円 ^(注 1)	20,000～30,000 円 ^(注 1)	3000 円程度
測定時間	1 日	1 日	6 時間程度
測定濃度範囲	約 0.02 mg/kg 以上 ^(注 2)	約 0.01 mg/kg 以上 ^(注 2)	0.18 mg/kg 以上
適用食品	食品全般	食品全般	濃度の低い食品以外

(注 1) 分析機関に発注した場合のおよその単価（分析点数、分析機関により異なる。）

(注 2) 食品の種類によっても異なる。

(注 3) 市販されている ELISA キットのカタログ値に基づく。

ある食品のアクリルアミド濃度を知るためには、どのくらいの量の調査試料を、いつ、どのように採取するかということも重要である。

一般的に、食品の均質性の違いによって、ロット中の化学物質の濃度を知るために必要な抜取点数、試料量は異なる。不均質な食品は、出来るだけ抜取点数・量を増やし、良く均一化したものを分析用試料とする必要がある。

食品中のアクリルアミドの分析に関連する情報を入手する際は、農林水産省のウェブサイト⁷も参照されたい。

⁷ 食品中のアクリルアミド分析について（農林水産省）

http://www.maff.go.jp/syoutan/seisaku/acryl_amide/a_syosai/about/bunseki.html

2. 原料農産物の調達段階での検討事項

2.1. 調達

- ・ 可能であれば、アスパラギン及び/又は還元糖濃度が低い原料農産物を調達する。
- ・ 穀類の場合、加工に適した穀類・穀粉を調達する。また、必要に応じて、アスパラギン濃度の低い穀類（種類）・穀粉（種類、部位、精白度）を調達することが可能か検討する。

同じ種類の農産物でも、品種や生産地、生産年、収穫後の貯蔵条件、貯蔵期間によって、天然に含まれる遊離アスパラギンや還元糖（以下「前駆体」という。）の濃度が大きく異なる。原料農産物に含まれる前駆体の濃度が低ければ、加熱によって生成するアクリルアミドの量は少なくなる。そのため、前駆体濃度の低い原料農産物（一次加工品を含む。）の調達は、アクリルアミドを低減するための有効な手段の一つである。ただし、現時点で適切な品種がない場合や、供給量が少なく調達が困難な場合は、製造、加工又は調理の工程で、アクリルアミドの生成を抑制するための対策を行う。

前駆体濃度が低い原料農産物を用いると、製造、加工又は調理の工程を大きく変更しなくても、アクリルアミドを低減することができる可能性がある。したがって、国や地方自治体、育種者、種苗販売者、生産者などが連携し、新たな品種の開発や、原料農産物の安定供給のための産地育成などを継続することが重要である。

なお、ばれいしょ加工品（フライドポテト、ポテトチップス）中のアクリルアミド濃度と原料ばれいしょ中の還元糖濃度との間には高い正の相関があるが（図 5）、遊離アスパラギン濃度との間には相関が認められない（図 6）（Amrein, et al., 2007; De Wilde, et al., 2006; Ohara-Takada, et al., 2005）。一方、穀類製品のアクリルアミド濃度と原料穀類の遊離アスパラギン濃度との間には正の相関があるが、還元糖濃度との間には相関が認められない（図 7）（Hamlet, et al., 2008; Weber, et al., 2008）。

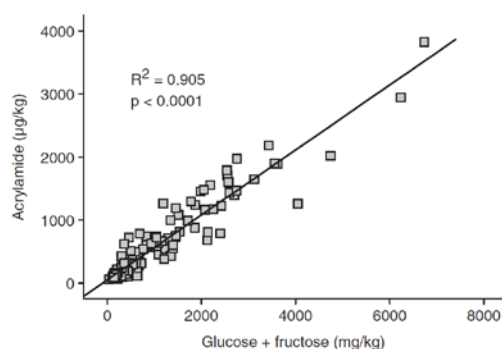


図 5 原料ばれいしょの還元糖（ぶどう糖、果糖）濃度とフライドポテト（120℃で 40 分間加熱）の アクリルアミド濃度の関係（Amrein, et al., 2007）

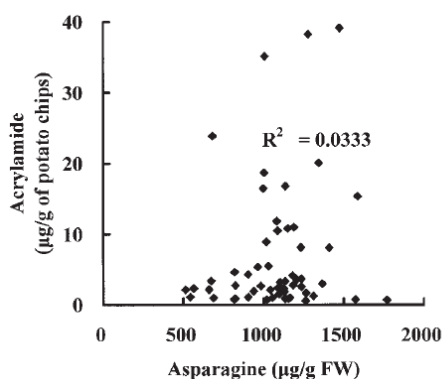


図 6 原料ばれいしょ（トヨシロ）の遊離アスパラギン濃度とポテトチップスのアクリルアミド濃度の関係（Ohara-Takada, et al., 2005）

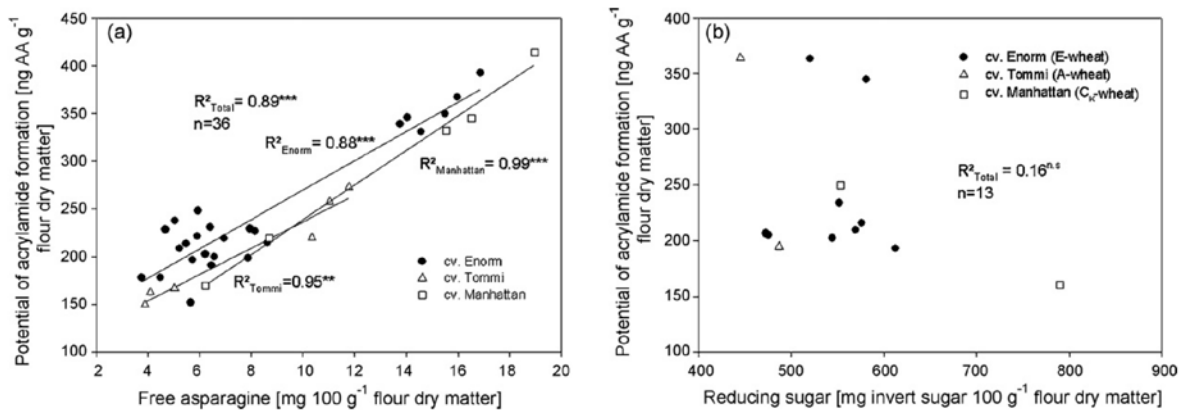


図 7 (a) 原料小麦の遊離アスパラギン濃度と生成する可能性があるアクリルアミドの濃度の関係、(b) 原料小麦の還元糖濃度と生成する可能性があるアクリルアミドの濃度の関係 (Weber, et al., 2008)

2.2. 貯蔵、保管

- ・ 原料農産物の貯蔵及び保管温度を適切に管理する。

植物に含まれるアミノ酸には、遊離アミノ酸として存在するものの他に、ペプチドやたんぱく質を構成するものがあり、酵素によってペプチドやたんぱく質が分解されると遊離アミノ酸の量が増加する。また、酵素などによって、植物に含まれているでん粉はぶどう糖に、ショ糖はぶどう糖と果糖にそれぞれ分解される。したがって、収穫後の取扱いによって、農産物に天然に含まれる遊離アスパラギンや還元糖濃度が増加する可能性があるため、原料農産物を適切な条件で保管、貯蔵する必要がある。

貯蔵施設内での低温貯蔵（雪中貯蔵や氷室貯蔵を含む。）や冷蔵庫内での低温保管は、農産物の発芽や減耗を抑制する効果や低温糖化によってばれいしょの甘みを増す効果が期待できるため、しばしば意図的に行われている。このような低温で貯蔵、保管されたばれいしょは、蒸したり、茹でたりする場合には問題とはならないが、揚げたり、焼いたりする場合には低温貯蔵による還元糖の増加によってアミノ・カルボニル反応が進み、アクリルアミドの生成量が増えるほか、焦げによって商品価値が低下する可能性がある。

そのため、ばれいしょなど低温糖化の生じやすい加工用農産物を貯蔵、保管する際（生産者団体や倉庫業者に委託する場合を含む。）は、還元糖濃度の増加を抑制するよう、低温糖化が生じない温度（例：ばれいしょの場合、8℃以上）に管理することが有効である（図 8）（Matsuura-Endo, et al., 2006）。

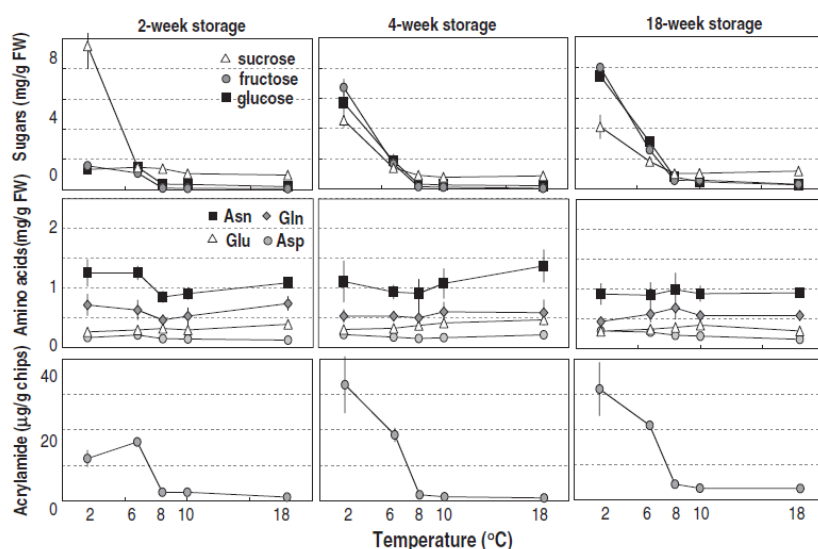


図 8 ばれいしょ（トヨシロ）の貯蔵温度と、貯蔵期間、糖濃度、遊離アミノ酸濃度及びチップス中のアクリルアミド濃度の関係（Matsuura-Endo, et al., 2006）

2.3. 前駆体濃度の把握

- ・ 必要に応じて、原料農産物の調達、貯蔵、受入の必要な段階で前駆体濃度を測定する。または、前駆体濃度の代替指標を測定する。

原料農産物の品質に応じて、原料調達の是非を判断したり、食品の製造、加工又は調理工程における対策の必要性を検討したりするため、原料の調達、貯蔵、受入などの必要な段階で、ロットごとに前駆体濃度を把握することが重要である。これは、生鮮原料に限らず、一次加工品（乾燥、冷蔵、冷凍などの処理をしたもの）を原料とする場合も同様である。また、主原料と同様に、副原料も、必要な段階で前駆体濃度を把握することが望ましい。

前駆体の濃度が著しく高い場合には、食品の製造、加工又は調理工程の必要な段階において、アクリルアミドの生成を抑制するための対策をとる必要がある。可能であれば、原料農産物の用途変更も選択肢の一つとなる。

食品の遊離アスパラギン濃度は、ガスクロマトグラフ（GC/FID）や高速液体クロマトグラフ（HPLC/UV）、高速液体クロマトグラフタンデム質量分析計（HPLC/MS/MS）、アミノ酸自動分析計を用いて測定できる（Mustafa, et al., 2006; Benedito de Barber, et al.）。

食品のぶどう糖、果糖の濃度は、高速液体クロマトグラフ（HPLC）を用いて測定できる【厚生省, 1999】。食品中の還元糖の総量は、ソモギー・ネルソン法、ベルトラン法、レイン・エイノン法などで測定できる【菅原, ほか, 2000; 小原, ほか, 1982】。

また、これらの前駆体濃度を直接測定する方法以外に、原料農産物中の前駆体濃度との間に高い相関がある指標があれば、それを前駆体濃度の代わりとして用いることができる。

例えば、加熱後の農産物の着色の程度と前駆体濃度との間に高い相関がある場合、アグトロンカラーメーターや色差計で測定できる指標（アグトロン値やL*値又はa*値）を用いて前駆体濃度の水準を推定することができる。

ただし、ある原料農産物で適用可能な代替指標が報告されていたとしても、自らが取り扱う原料農産物にその代替指標が適用可能か確認する必要がある。

2.4. 前駆体濃度の調整

- ・ 必要に応じて、原料ばれいしょのリコンディショニングを行う。

加工用の原料ばれいしょについては、低温貯蔵による糖化で増加した還元糖によって加熱時に焦げが発生するのを防止するため、貯蔵終了後、出庫時に15℃前後で2週間程度保管し、還元糖の濃度を低くする対策（リコンディショニング）が一般的に行われている（図9）（Hironaka, et al., 2003）。

低温糖化によって原料ばれいしょの還元糖濃度が増加した場合、リコンディショニングを行って還元糖濃度を低くすることで、アクリルアミドの生成量も少なくすることができる。リコンディショニングには特別な装置や設備は必要ないため、原料貯蔵時だけでなく、原料受入後に食品製造事業者が実施することも可能である。

ただし、リコンディショニングはすべての品種に有効ではないこと、リコンディショニングにより萌芽の伸長や減耗が進む可能性があることに留意する必要がある。

リコンディショニング（15℃で10日間）によって、「トヨシロ」に比べて、「きたひめ」と「スノーデン」は揚げ色が薄くなったことが報告されている（図10）[道総研, 2011b]。

なお、同調査では、リコンディショニング前の芽の伸びが5 cm 以上場合には、チップカラー（チップの揚げ色）改善効果が低い傾向であった。また、リコンディシ

ョニングによるチップカラー改善効果は、処理温度を15℃から18℃に上げても顕著な差は認められず、また、処理期間は5～10日で著しく改善し、10日以上ではほとんど変わらなかった。

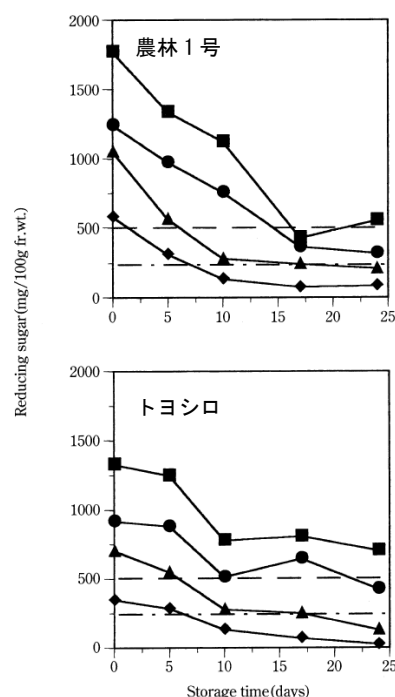
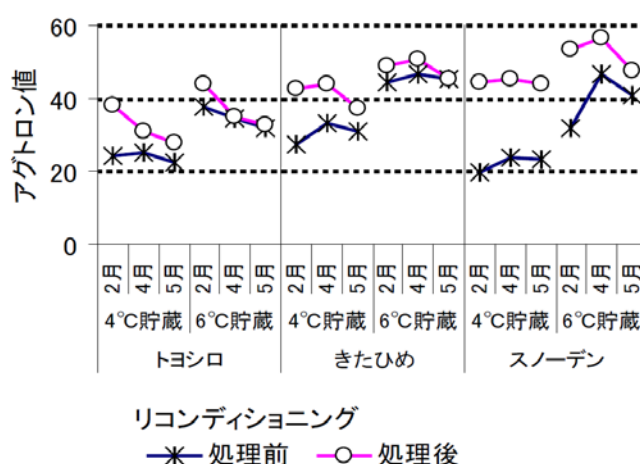


図9 16℃のリコンディショニングによるばれいしょの還元糖濃度の変化（7℃で3ヶ月貯蔵したばれいしょを使用、n=8）
■ストロン部 ●中央ストロン部 ▲中央頂芽側 ◆頂芽部
(Hironaka, et al., 2003)



リコンディショニング
—*— 処理前 —○— 処理後
図10 リコンディショニングとチップカラー
[道総研, 2011a]

3. 食品の企画、設計及び開発段階での検討事項

3.1. 原料組成、配合比率の検討①

- ・ 必要に応じて、原料農産物の種類を見直す。

遊離アスパラギンと還元糖の濃度が高い農産物は、加熱によってアクリルアミドが生成しやすいが、種類によって遊離アスパラギンと還元糖の濃度が異なる。

コーデックス委員会の実施規範では、穀類の典型的な遊離アスパラギン濃度は、小麦では 75～2200 mg/kg、エン麦では 50～1400 mg/kg、ライ麦では 319～880 mg/kg、米では 15～25 mg/kg、トウモロコシでは 70～3000 mg/kg の間にあるとされている (Codex, 2009)。このように、同種の穀類の中でも遊離アスパラギン濃度に大きなばらつきがあるが、十分な知見はまだ得られていない。

(参考) 穀類中の遊離アスパラギン

一般的に、ライ麦は小麦よりも遊離アスパラギン濃度が高く、コメは小麦よりも遊離アスパラギン濃度が低い。したがって、複数の穀類原料を使用する製品の場合、ライ麦や小麦の割合を減らし、コメの割合を増やすことで、アクリルアミドの生成量を減らすことができる可能性がある。

また、同じ穀類であっても胚芽や果皮、種皮（いわゆる、ふすま、麦ぬか、米ぬかなど）を含むか否かでアミノ酸濃度が大きく異なり、胚芽、果皮、種皮などを含む全粒粉は、それらを取り除いた穀粉と比較して、遊離アスパラギン濃度が高い。そのため、全粒粉の割合を減らし、精製した穀粉の割合を増やすことで、アクリルアミドの生成量を減らすことができる可能性がある。

ただし、全粒粉、ライ麦粉、エン麦粉などには食物繊維やビタミンなどが通常の小麦粉より多く含まれており、それらの使用割合を大きく減らすと、最終製品の栄養価や風味に影響する。

穀類の遊離アスパラギン (Asn) 濃度

穀類の種類	Asn 濃度(mg/kg)	穀類の種類	Asn 濃度(mg/kg)
全粒小麦粉	347	エン麦胚芽	819
ふるいにかけた小麦粉	88 - 99	大麦粉	315
小麦麦芽	931	玄米粉	36
全粒ライ麦粉	656	米胚芽	282
ライ麦麦芽	1140	精米粉	26
エン麦	298		

出典：食品の遊離アミノ酸含有量表（公益社団法人日本栄養・食糧学会）

小麦粉の遊離アスパラギン濃度 (Horita, et al., 2005)

Amino acid	Variety								Product name
	Ayahikari		Turupikari		Nourin 61		Bandouwase		ASW ^{a)}
	Type of fertilizer application								
	A ^{b)}	B ^{c)}	A	B	A	B	A	B	
L-Aspartic Acid	10.85	13.88	11.84	24.43	9.47	17.38	10.16	10.53	11.22
L-Asparagine	5.24	20.44	4.50	14.52	3.87	17.95	6.05	23.04	4.34
L-Glutamic Acid	5.91	16.99	3.83	7.84	1.89	16.22	3.57	14.88	4.02
L-Alanine	5.08	6.30	3.68	4.00	3.06	4.88	2.89	5.65	2.65
L-Tyrosine	1.16	1.58	0.78	1.47	0.64	1.38	1.01	2.12	1.16
L-Phenylalanine	1.16	1.30	0.92	1.34	0.65	1.27	0.95	1.32	1.06
L-Tryptophan	28.40	9.47	18.21	10.54	8.52	4.66	16.25	3.64	12.95

Figures are mg per 100 g dry weight.

a) ASW : Austraria Standard White

b) 窒素肥料の施用量：初期 0.9 kg N/a、追肥なし

c) 窒素肥料の施用量：初期 0 kg N/a、追肥 0.3 kg N/a

3.2. 原料組成、配合比率の検討②

- ・ 食品に使用する糖類の種類を見直し、還元糖を低減する。

加熱前に、主に食品に甘みを付与するために、砂糖、はちみつ、メープルシロップ、水あめ、ぶどう糖、果糖、異性化液糖、トレハロース、キシリトール、ソルビトールなどが原料として使用される場合がある。還元糖を多く含む甘味原料を還元糖の割合が少ない甘味原料で代替すれば、アクリルアミドの生成量を減らせる可能性がある。

また、還元糖を含む甘味原料は、しばしば着色の目的でも使用されるが、還元糖の中でも、果糖はぶどう糖よりもアクリルアミドを生成しやすいことが知られている (Amrein, et al., 2006; Codex, 2009; Hamlet, et al., 2008)。このため、着色の目的で還元糖を使用する場合には果糖よりもぶどう糖を用いることが推奨される。

農林水産省が行った試験において、ビスケット類では、原料のグラニュー糖を上白糖へ置き換えた場合には、アクリルアミド濃度に有意な差はなかったが、グラニュー糖の一部を異性化液糖又はぶどう糖に置き換えた場合には、その置換率によっては有意にアクリルアミド濃度が高くなった(図11)。なお、本試験では、異性化液糖やぶどう糖の使用により、香ばしさや焼き色の美しさが増した一方で、置換率が大きいと焦げが発生するなど、風味への影響も確認された。

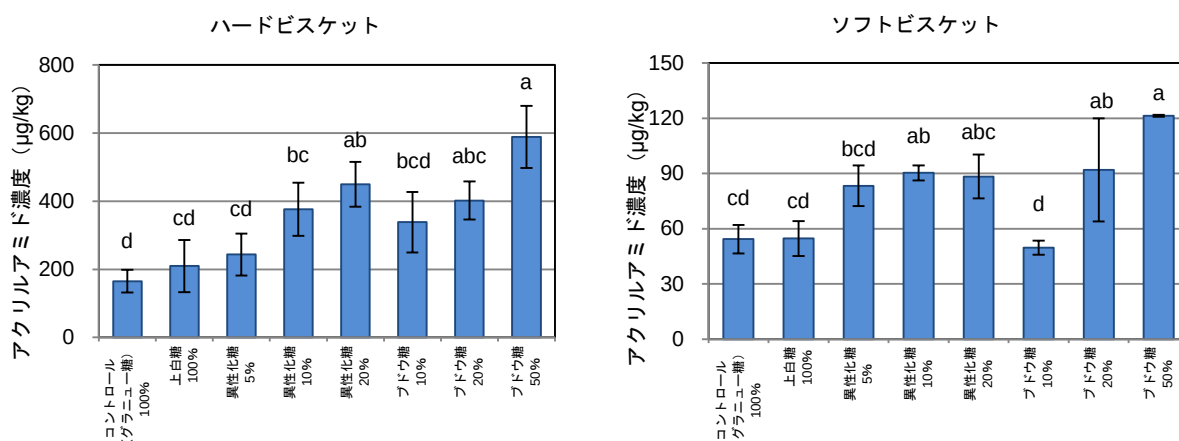


図11 ハードビスケット及びソフトビスケットにおける、糖類のアクリルアミド濃度への影響
 繰返し試験数: n=3、縦棒は平均値、エラーバーは標準偏差、糖類の%表示はグラニュー糖からの置換率
 異なるアルファベット間には Tukey の HSD 検定で有意水準 5%で有意差あり
 (農林水産省、試験協力: 一般社団法人全国ビスケット協会)

3.3. 原料組成、配合比率の検討③

- ・ アクリルアミド生成反応を促進する食品や食品添加物の使用を控える。

食品や食品添加物の中にはアクリルアミドの生成を促進するものがあり、その要因として、食品の pH や食品添加物中のアンモニウムが考えられている。

アミノ・カルボニル反応は、一般的に pH が高くなるほど促進される。水酸化ナトリウム又は硝酸で pH を調整したばれいしょ粉を、170℃で 6 分間加熱したモデル試験では、pH が 7～7.5 の場合にアクリルアミド濃度が最も高く、pH が低くなるほど（酸性側になるほど）アクリルアミド濃度が低くなった（図 12）。したがって、食品の pH を上げる作用のある食品添加物を使用するとアクリルアミドの生成を促進する可能性がある（Mestdagh, et al., 2008a）。

アンモニウム塩は、アミノ・カルボニル反応を促進し、食品の着色を強める作用がある。ジンジャーブレッドの場合、膨張剤の炭酸水素アンモニウム（ NH_4HCO_3 ）の添加量を増やすほど、アクリルアミド濃度が高くなり、炭酸水素アンモニウムがアクリルアミド生成に強い影響を及ぼすことが報告されている（図 13）（Amrein, et al., 2004）。

また、同試験で、膨張剤を炭酸水素アンモニウム（ NH_4HCO_3 ）から炭酸水素ナトリウム（重曹、 NaHCO_3 ）に変更するとアクリルアミド濃度が 60%以上低減したことが報告されている（図 14）。炭酸水素アンモニウムを使用したものは炭酸水素ナトリウムを使用したものより食品の pH が低いことから、本試験では、pH よりもアンモニウム塩濃度の方がアクリルアミド生成の大きな要因であったことが示唆されている（Ciesarová, et al., 2009; Kukurová, et al., 2013; Sadd, et al., 2008）。

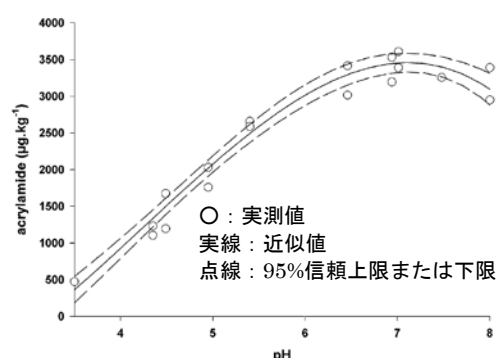


図 12 ばれいしょモデル試験でのアクリルアミド生成における pH の影響（Mestdagh, et al., 2008a）

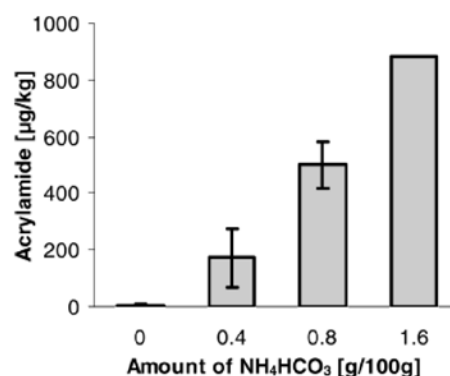


図 13 異なる濃度の炭酸水素アンモニウムを膨張剤として使用した場合のジンジャーブレッドのアクリルアミド濃度（エラーバーは標準偏差、n=2（1.6 g/100g を除く））（Amrein, et al., 2004）

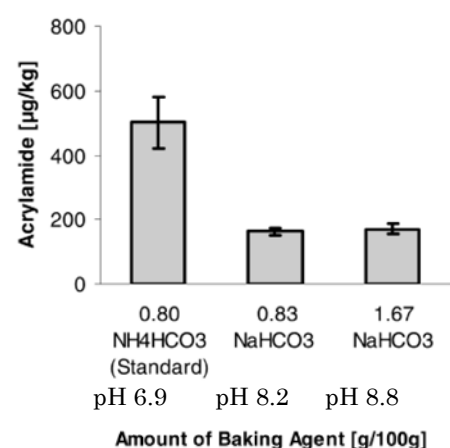


図 14 異なる膨張剤を使用した場合のジンジャーブレッドのアクリルアミド濃度（Amrein, et al., 2004）

3.4. 原料組成、配合比率の検討④

- ・ アクリルアミド生成を抑制する機能をもつ食品や食品添加物を使用する。

食品や食品添加物には、アクリルアミドの生成を抑制する機能をもつものがある。アクリルアミドの生成を抑制する代表的な食品添加物は、有機酸、二価の陽イオンを含む食品添加物、アミノ酸（L-システイン、グリシン、L-リシン（L-Lysine））、ビタミンである。

1. 有機酸

有機酸は、食品の pH を下げることによりアクリルアミドの生成反応を抑制すると考えられている（「3.3. 原料組成、配合比率の検討③」参照）。

ばれいしょ粉に有機酸（クエン酸、酢酸、L-乳酸）を加えた混合物（pH 3.7～4.7）を 170℃で 6 分間加熱したモデル試験では、ばれいしょ粉に水を加えたものと比較して、アクリルアミド濃度が 35～78%低かった（表 5）（Mestdag, et al., 2008a）。また、pH が低いほどアクリルアミド濃度が低かった。

2. 二価の陽イオン

二価の陽イオンは、アクリルアミド生成経路における主要な中間体であるシッフ塩基の生成を抑制することにより、アクリルアミドの生成反応を抑制すると考えられている（Açar, et al., 2012; Gökmen, et al., 2007a; Gökmen, et al., 2007b; Mestdag, et al., 2008b; Sadd, et al., 2008）。

ばれいしょ粉に塩化マグネシウム、塩化カルシウムを加えた混合物を 170℃で 6 分間加熱したモデル試験では、ばれいしょ粉に水を加えたものと比較して、アクリルアミド濃度が 46～82%低かった（表 5）（Mestdag, et al., 2008a）。

表 5 ばれいしょ粉のモデル試験における添加物の影響 (Mestdag, et al., 2008 を改変)

	添加物の濃度 (µg/g mixture)	pH	アクリルアミド濃度 (µg/kg)	水を加えた場合と 比較した 濃度の変化率(%)
水	—	5.4	2,492	—
クエン酸	50	4.0	754	-70
	100	3.7	553	-78
酢酸	50	4.7	1,613	-35
	100	4.5	1,341	-46
L-乳酸	100	4.2	937	-62
塩化マグネシウム	100	4.6	1,058	-58
塩化カルシウム	50	5.0	1,353	-46
	100	4.5	459	-82
L-システイン	50	5.5	208	-92
グリシン	50	5.4	1,891	-24
L-リシン(L-Lysine)	50	5.4	1,522	-39

また、小麦粉 40 g に対して、塩化カルシウムの濃度が 0.005~0.04 mol/L となるように調製した水溶液 25 mL を加えて調製した生地を、140℃で 40 分間加熱したモデル試験では、対象群と比較して、アクリルアミド濃度が 11~40%低かった（表 6）（Levine, et al., 2009）。

表 6 小麦粉生地のモデル試験における塩化カルシウムの影響 (Levine, et al., 2009 を改変)

	水溶液中の濃度 (mol/L)	pH	アクリルアミド濃度 (μg/kg)	コントロールと 比較した 濃度の変化率(%)
コントロール	—	5.53	110.5	—
	0.005	5.52	98.3	11.0
塩化カルシウム	0.01	5.52	93.6	15.3
	0.02	5.41	83.1	24.8
	0.04	5.05	65.9	40.4

3. アミノ酸

ある種のアミノ酸は、還元糖とアスパラギンが反応する際に、アスパラギンと競合することにより、アクリルアミドの生成反応を抑制すると考えられている（Mestdagh, et al., 2008b）。

ばれいしょ粉に L-システイン、グリシン、L-リシンを加えた混合物を 170℃で 6 分間加熱したモデル試験では、ばれいしょ粉に水を加えたものと比較して、アクリルアミド濃度が 24~92%低かった（表 5）（Mestdagh, et al., 2008a）。ただし、L-システインなどの含硫アミノ酸を使用すると香りに大きく影響するため、実際の食品に使用することは難しい。

小麦パンでは、焼成前の生地濃度が 0.005%となるようにシステインを加え、220℃で 30 分間焼成すると、対照群（システイン無添加）と比較して、アクリルアミド生成が約 50%抑制されたことが報告されている。ただし、システイン濃度が 0.01%の場合には、生地の形状に影響し、逆にアクリルアミドの生成抑制効果が低下したことが報告されている（図 15）（Claus, et al., 2007）。

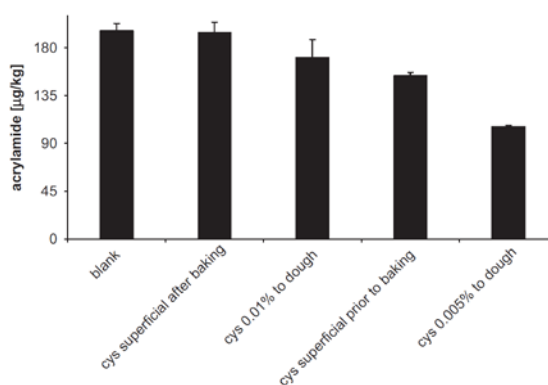
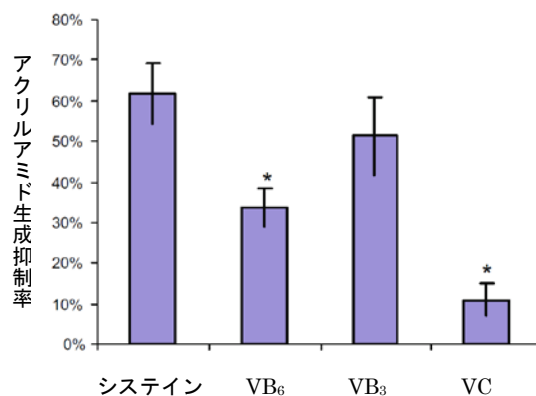


図 15 生地へのシステイン添加が与える小麦パンのアクリルアミド濃度への影響 (n=3、エラーバーは標準偏差を示す) (Claus, et al., 2007)

4. ビタミン（食品添加物としての使用）

各種のビタミンを使用するとアクリルアミドの生成が抑制されたことが報告されている（Li, et al., 2012; Zeng, et al., 2009）。ここでのビタミンの使用は栄養強化を目的としたものではない。また、ビタミンによる生成抑制効果のメカニズムは現時点ではよく分かっていない。

加熱前のポテトを、それぞれ 1% の各種ビタミン又はシステインを含む溶液に 60 分間浸漬してから、170℃で 10 分間揚げたモデル試験では、ビタミン B₆（ピリドキシン塩酸塩、VB₆）、ビタミン B₃（ニコチン酸、VB₃）、ビタミン C（L-アスコルビン酸、VC）を用いた場合、ビタミンを用いなかった場合と比較して、アクリルアミドの生成がそれぞれ 35%、50%、11%抑制されたことが報告されている（図 16）（Zeng, et al., 2009）。また、小麦粉とグルコース、



*は有意水準 5%でシステイン添加と有意差あり

図 16 フレンチフライポテトの各ビタミンによるアクリルアミド生成抑制率（n=3, 平均値±標準偏差）（Zeng, et al., 2009）

アスパラギン、各種ビタミンを混合したものに水を加え攪拌した後、170℃で 5 分間加熱したモデル試験では、水溶性ビタミンを使用した場合はアクリルアミドの生成抑制効果がみられたが、脂溶性ビタミンを使用した場合は生成抑制効果がみられなかった（Zeng, et al., 2009）。一方、クッキーのモデル試験では、脂溶性ビタミンの 1 つであるビタミン E（トコフェロール）を使用した場合はアクリルアミドの生成が抑制された（Li, et al., 2012）。

このように、ビタミンによるアクリルアミドの生成抑制効果は、食品とビタミンの種類の組合せにより異なるため、アクリルアミドの生成抑制を目的としてビタミンを使用する場合は、食品に応じて適切なビタミンを選ぶ。

3.5. 食品の形状の検討

- ・ 加熱前の原料、成型生地などの形状を最適化する。

同じ原料組成であっても、成型後の形状によって、加熱時のアクリルアミドの生成速度や生成量が異なる。これは、形状が違えば表面積と体積の比率が異なり、食品全体への熱の通り方も異なるためである。一般的に、アクリルアミドは食品を高温で加熱するほど生成しやすいため、熱源に近く高温になりやすい食品の表面部は、食品の中心部と比較してアクリルアミド濃度が高くなりやすい。また、表面積／体積比が大きいほど水分が蒸発しやすく、カリカリ、パリパリとした食感が生まれるが、温度が上昇しやすいので、アクリルアミド濃度が高くなりやすい。

また、食品の形状は、食感、風味、生産効率及び油調理の場合の製品の脂質含有量にも影響する。したがって、これらの要素を十分に考慮して、アクリルアミド濃度が低くなるような形状を設計する必要がある。

例えば、パン類では、同じ重量の生地を焼成する場合、細長い棒状よりも丸い塊に成型する方が表面積／体積比が小さくなり、また、パンの皮(耳)の部分が少なくなるため、柔らかくふんわりした食感となり、アクリルアミド濃度を低減できる。また、パン類やビスケット類では生地を多く使い大きく成型する方が、フレンチフライポテトではやや太めにばれいしょをカットする方が表面積／体積比が小さくなるため、アクリルアミド濃度を低減できる (FoodDrinkEurope, 2011)。例えば、14×14 mm にカットしたフレンチフライは、8×8 mm にカットしたものよりも有意にアクリルアミド濃度が低かったことが報告されている (Matthäus, et al., 2004)。

4. 食品の製造、加工又は調理段階での検討事項

4.1. 原料農産物の選別、特定部位の除去

- ・ 原料を大きさや品質で選別する。
- ・ 原料にアスパラギン、還元糖の濃度が高い部位がある場合、加熱前の調製段階で除去する。

同じ種類の農産物でも、大きさによって前駆体濃度が異なる場合がある。

また、農産物に含まれるアスパラギンや還元糖の濃度は、農産物の部位によっても異なる。一般的に、農産物の外皮や種皮、胚芽はアスパラギン濃度が高く、また、病害や傷害を受けた部分は還元糖の濃度が高い。そのような部位があらかじめ分かっており、最終製品の品質特性や栄養特性の観点から重要性が低い場合、その部位を原料の調製時（加熱前）に除去すれば、アクリルアミドの生成量を減らすことができる。

農産物の内部に傷害があっても外観からは分からないことがあるので、製造、加工又は調理の工程で判別可能であれば、適切に傷害部を除去する。この際、近赤外線を利用した光センサーを活用すれば、作物によっては加工前の段階で不良品を選別することが可能である。また、ばれいしょをフレンチフライポテトやポテトチップスに成型した後やブランピング、プリフライなどを実施した後に、黒変部や褐変部があるものを目視や色彩選別機（カラーソーター）によって選別し、除去すると、アクリルアミド低減に有効であり、既に事業者が実施している。

ばれいしょの品種によっては、貯蔵前の打撲の回数が多いと、増加した還元糖が長期貯蔵後の還元糖濃度に影響する（図 17）〔農林水産省, 2013〕。したがって、打撲のないものを調達したり、打撲箇所を取り除いたりすることで、アクリルアミドの生成量を減らすことができ、既に事業者が実施している。

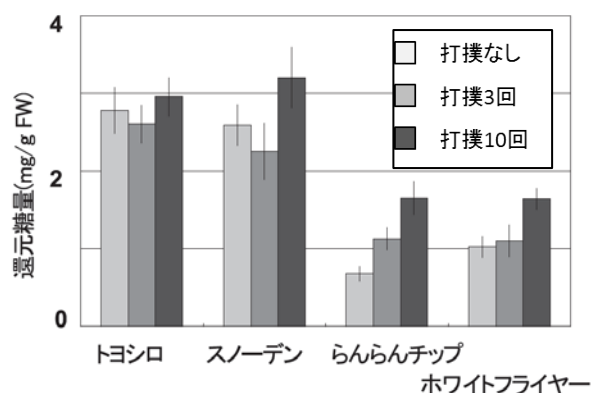


図 17 打撲がばれいしょの長期貯蔵後の還元糖濃度に与える影響〔農林水産省, 2013〕
収穫後に意図的に打撲し、キュアリング後、8℃で 230 日間貯蔵した時の還元糖濃度を調査。打撲 3 回が、一般的な収穫機を用いて収穫した時の打撲回数に相当する。

4.2. 洗浄、ブランチング

- ・ 原料表面のアスパラギンや還元糖を洗い流す。
- ・ 原料をブランチングし、アスパラギンや還元糖を溶出させる。

野菜類やいも類を原料とする場合、加熱前に、カット又はスライスした原料を水にさらしたり、流水で洗ったりすると、農産物の表面にある遊離したアスパラギンや還元糖を洗い流すことができる。また、水での洗浄に加え、約 40～80℃の湯でブランチングすると、アスパラギンや還元糖の溶出効果を高めることができる。さらに、ブランチングによって一次加熱することで、揚げ調理における二次加熱の時間を短縮することができる。これらを行うことによって、アクリルアミドの生成量を減らすことができる。

フレンチフライポテトでは、ブランチング時間が長く、水温が高いほど、カットしたばれいしょの還元糖濃度が低くなり、フレンチフライポテトに加工した際のアクリルアミド濃度も低くなることが報告されている（図 18）（Mestdagh, et al., 2008）。

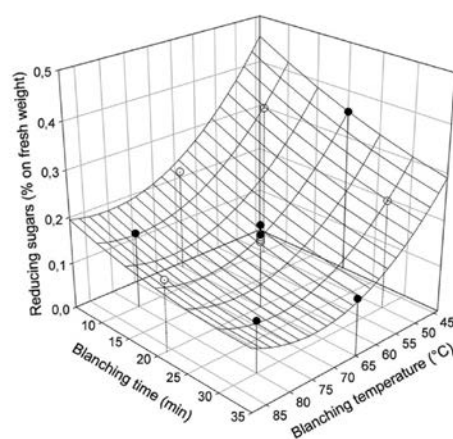


Fig. 1. Response surface plot of the reducing sugar content of potato strips as influenced by blanching time and temperature, with the measured values above (●) and below (○) the surface.

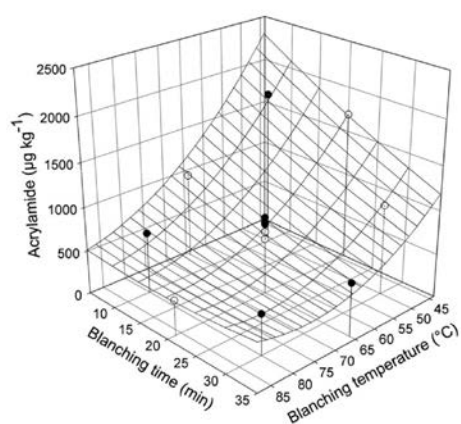


Fig. 2. Response surface plot of the acrylamide content in French fries as influenced by blanching time and temperature, with the measured values above (●) and below (○) the surface.

図 18 ブランチング時間、温度がばれいしょの還元糖濃度及びフレンチフライのアクリルアミド濃度に及ぼす影響 (Mestdagh, et al., 2008c)

なお、ブランチングによって、アスパラギン以外の遊離アミノ酸、還元糖、でん粉、水溶性のビタミン類などが溶出する可能性があり、製品の風味や栄養にも影響する可能性がある。

4.3. pH 調整

- ・ 原料農産物を酸性溶液で処理する。

一般的に pH が低いほどアミノ・カルボニル反応が抑制されるため、食品の pH が低くなるように調整すると加熱によるアクリルアミドの生成を抑制することができる（「3.3. 原料組成、配合比率の検討③」参照）。

そのため、洗浄やブランチングを行う農産物については、使用する溶液に pH を下げる効果のある食品添加物を使用することで、アクリルアミドの生成を抑制できる場合がある。

例えば、クエン酸を加えると、アクリルアミドの低減に効果があることが複数報告されている【中野, ほか, 2007; Jung, et al., 2003; Pedreschi, et al., 2007）。

また、有機酸（クエン酸、酢酸、L-乳酸）又はピロリン酸二水素二ナトリウムを含む溶液を用いて、1.5 mm の厚さにスライスしたばれいしょを 65℃で 5 分間ブランチングして、170℃で 3 分間揚げた場合、いずれの物質でもアクリルアミドの生成が抑制されたことが報告されている（表 7）（Mestdagh, et al., 2008a）。

なお、アクリルアミドの低減対策としてブランチング溶液の pH を下げると製品の酸味に影響することがあるので、低減対策を実施する前に、風味に与える影響についても検証する必要がある。

表 7 ブランチング溶液の pH がアクリルアミドの生成に与える影響（Mestdagh, et al., 2008 を改変）

	添加物の濃度 (mol/L)	ブランチング 溶液の pH	ブランチング後の ばれいしょの pH	水を加えた場合 と比較したアクリルアミド濃度 の変化率(%)※
水	—	7.1	6.7	0
クエン酸	0.025	2.5	4.1	-98 (±16)
	0.05	2.3	3.4	-100 (±16)
酢酸	0.025	3.8	4.8	-80 (±13)
	0.05	3.7	4.6	-79 (±13)
L-乳酸	0.025	3.2	4.8	-89 (±14)
	0.05	2.9	3.9	-100 (±16)
ピロリン酸二 水素二ナトリ ウム	0.05	4.7	6.0	-83 (±13)

※括弧内は 95%信頼区間を示す。

4.4. 発酵

- ・ 酵母による生地を発酵を行う場合、発酵時間を十分に確保する。

パンを製造する際に生地を発酵させると、酵母が生育のために生地中に含まれる遊離アミノ酸や糖を消費するため、生地中のアスパラギンや還元糖の濃度も低くなる。また、生地が発酵によって二酸化炭素や乳酸、酢酸が生成するため、生地の pH が低くなる。そのため、十分に生地を発酵させることで、生地の焼成時に生じるアクリルアミドの生成抑制が期待できる。

小麦パンでは、90 分間の発酵によって、発酵させる前の生地と比較してアスパラギン濃度が 80%以上低減したことや、クラッカーでは、100 分間の発酵によって、発酵させる前の生地と比較してアスパラギン濃度が 3 分の 1 に低下したことが報告されている (Granby, et al., 2008; Sadd, et al., 2008)。ただし、発酵時間が長すぎると、生地の加工適性に影響する。

中国式揚げパン（油条）では、生地中の酵母の添加量を増やすほど、また、発酵時間を長くするほど、生地の遊離アスパラギン濃度が低下するため、アクリルアミドの生成が抑制されたことが報告されている（図 19）(Huang, et al., 2008)。

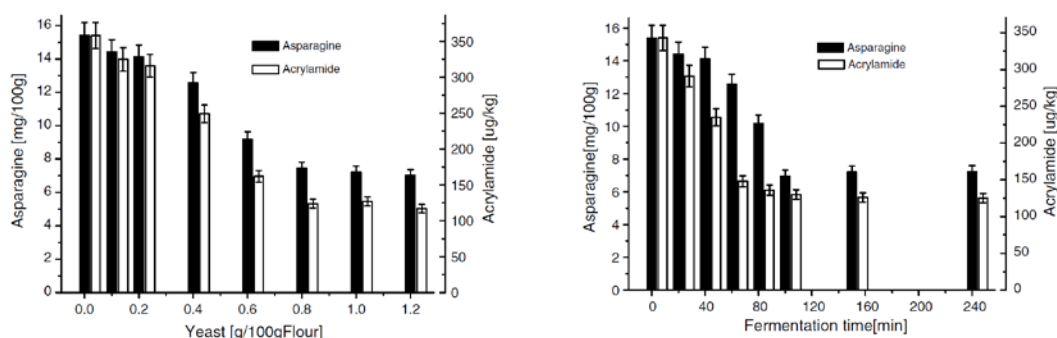


図 19 油条の酵母添加量及び発酵時間がアスパラギンとアクリルアミドの濃度に及ぼす影響 (Huang, et al., 2008)

乳酸菌(*Lactobacillus plantarum* NC8)は、糖を乳酸に代謝するので、乳酸発酵によって還元糖の濃度を低下させるとともに pH も低下させることができる。フレンチフライポテトでは、プリフライの前に 37°C で 120 分間の乳酸発酵を行うと、揚げた時のアクリルアミドの生成が 70%抑制されたことが報告されている (Baardseth, et al., 2006)。

なお、生地の pH が低くなると焼成時のアクリルアミドの生成は抑えられるが、3-MCPD の濃度は逆に高くなることが報告されている（図 20）(Sadd, et al., 2008)。

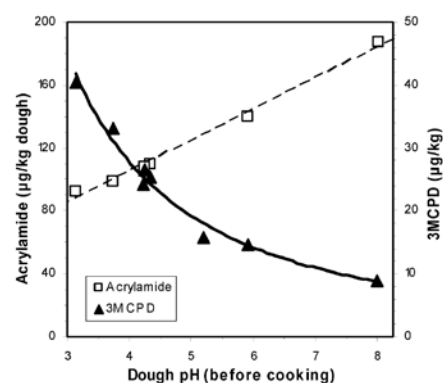


図 20 生地の pH によるアクリルアミド及び 3-MCPD 濃度への影響 (Sadd, et al., 2008)

4.5. 加熱①

- ・ 加熱しすぎないように、最適な加熱温度と加熱時間を設定する。
- ・ 意図的に強く焼き目や焦げ目をつけることを避ける。

一般的に、加熱温度が高いほど、また、加熱時間が長いほど、食品のアクリルアミド濃度は高くなる。アクリルアミドの生成を抑制するためには、食品の加熱条件を最適化し、過加熱を避ける必要がある。

アクリルアミドは、加熱温度が120℃以上で生成しやすくなり、100℃以下では加熱前と比較し有意に増加しない（図 21）（Tareke, et al., 2002）。

ビスケット類では、加熱時間が長いほどアクリルアミド濃度が高いこと、また、加熱温度が高いほどアクリルアミド生成速度が大きいことが報告されている（図 22）。

一般的に、食品を意図的に焦がしたり、焼き色を強くつけたりすると、アクリルアミドが生成しやすい。

さらに、食品を強く加熱した場合には、アクリルアミドだけでなく、その他の有害化学物質が意図せず生成する可能性があるため、食品の安全性向上のためには、意図的に強い焦げ目をつける行為は避けることが望ましい。

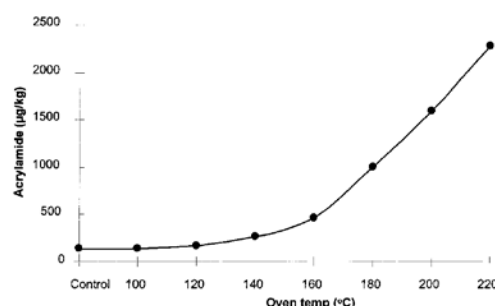


図 21 温度制御したオープンで加熱したフレンチフライポテトのアクリルアミド濃度（重量補正）
(Tareke, et al., 2002)

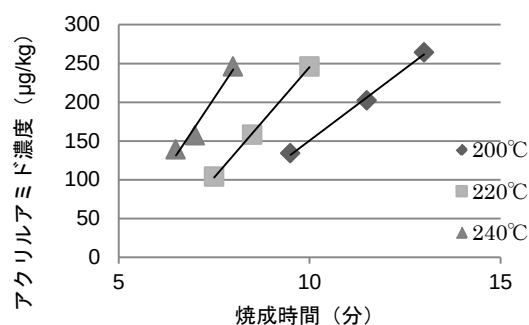


図 22 ビスケットの焼成時間とアクリルアミド濃度
(農林水産省、試験協力：一般社団法人全国ビスケット協会)

4.6. 加熱②

- ・ 食品の水分含有率が低い状態での過加熱を避ける。

食品の水分含有率が低い状態は、高い状態と比較して、加熱した時に食品の温度が上がりやすく、アクリルアミドが生成しやすくなる。したがって、一般的に、加熱によって水分含有率が低くなりやすい食品表面はアクリルアミド濃度が高く、水分含有率が低くなりにくい中心部はアクリルアミド濃度が低い。アクリルアミド生成を抑制するためには、食品表面の水分含有率と温度を管理することが特に重要である。

例えば、ビスケットの試験では、厚さ 10 mm の生地を 200℃で 15 分間焼成したとき、表層 1 mm の部分のアクリルアミド濃度は 380 µg/kg であったが、中心部分からは検出されなかったことが報告されている (Açar, et al., 2009)。また、同様に調製した厚さ 1 mm と厚さ 10 mm の生地（焼成前の水分含有率 16-17%）を 180℃で焼成したとき、厚さ 1 mm の生地では加熱後速やかに水分含有率が 4%未満に低下し、同時にアクリルアミド濃度が上昇して 8 分後には最大濃度（その後、指数関数的に減少）となったのに対し、厚さ 10 mm の生地では水分含有率が 10%以下まで減少するのに 15 分かかり、その時点まではアクリルアミドの生成が認められなかったことが報告されている (Açar, et al., 2009)。

生地表面の乾燥、過加熱を防ぐには、スチームや降温制御が利用なオーブンが有効である (HEATOX, 2007)。パンを、スチーム有り又は降温制御で焼成した場合、スチームなしかつ恒温焼成の場合と比較して、パン表面のアクリルアミドの生成が有意に抑制されたことが報告されている (図 23) (Ahrné, et al., 2007)。

また、ビスケット類のアクリルアミド生成の抑制にも、スチームオーブンの使用が有効であることが報告されている (Isleroglu, et al., 2012)。

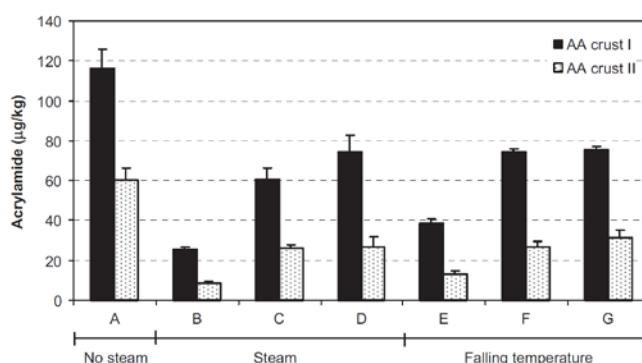


図 23 スチーム焼成又は降温焼成した場合のパン表面のアクリルアミド濃度（焼成時間 20 分） (Ahrné, et al., 2007)

A: スチームなし（恒温焼成）、B: スチーム（5-20 分）、C: スチーム（10-20 分）、D: スチーム（15-20 分）、E: スチームなし（焼成 5 分後に降温）、F: スチームなし（焼成 10 分後に降温）、G: スチームなし（焼成 15 分後に降温）

クラスト I: 表面 1 mm、クラスト II: 表面 2 mm

4.7. 加熱③

- できるだけ均一な薄い色になるように加熱する。

食品の種類によっては、加熱後の食品の着色度とアクリルアミド濃度との間に正の相関が認められるものがあり、焼き色や揚げ色がアクリルアミド濃度の目安となる場合がある。

ポテトチップスやフレンチフライポテトでは、アグトロ値や CIELAB の L*値又は a*値と高い相関があることが知られており（図 24）、一般的に、焼き色や揚げ色が薄い（明るい）ほどアクリルアミド濃度が低い傾向にある（表 8）（Vinci, et al., 2010）。

表 8 各指標値とフレンチフライポテトのアクリルアミド濃度のピアソン相関係数（Vinci, et al., 2010）の Table. 2 を改編）

指標	r（ピアソン相関係数）
USDA 色見本	0.68 ^a
アグトロ値	-0.88 ^a
L*	-0.59 ^a
a*	0.80 ^a
b*	-0.22 ^b

注釈 ^ap<0.01; ^bp<0.05

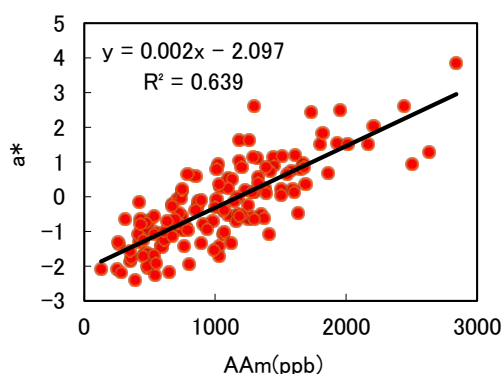


図 24 テストフライしたポテトチップスのアクリルアミド濃度と a*値の関係（カルビー株式会社提供）

したがって、加熱による食品の着色度をアクリルアミド濃度の目安にできる食品の場合は、最終製品の基準色を設定し、それよりも色が薄くなるようにすれば、最終製品のアクリルアミド濃度を一定水準以下に抑制できる。

農林水産省が行った冷凍フレンチフライの調理試験では、加熱時間を長くするほど色が濃くなり、アクリルアミド濃度も高くなった（図 25）。一般の人による試食では、揚げ色が薄くても、濃い場合と比べて風味に遜色はないと評価された。

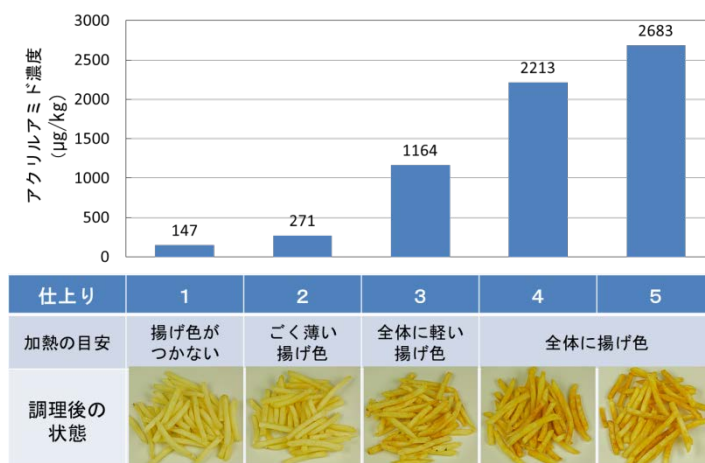


図 25 フレンチフライの揚げ色とアクリルアミド濃度（農林水産省、試験協力：（独）農研機構食品総合研究所、女子栄養短期大学）

4.8. 余熱の管理

- ・ 加熱後、余熱を速やかに取り除く。

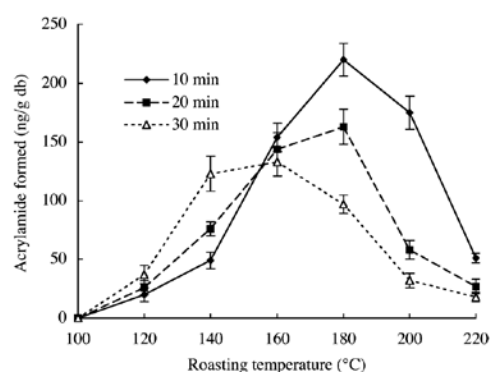
食品を 120℃よりも高い温度で加熱した際、加熱終了後に食品の温度が 120℃以上を保っており、かつ、前駆体が食品中に残っていると、余熱でアクリルアミドが生成する可能性がある。したがって、加熱後に速やかに食品の余熱を取り除き、120℃未満まで冷却すれば、加熱終了後にアクリルアミドが追加的に生成するのを抑制できる (EFSA, 2003)。例えば、ばれいしょをスライスした試料を 180℃で 20 分間揚げ、液体窒素で急冷した場合のアクリルアミド濃度は、室温まで自然冷却したものよりも 14%低減したことが報告されている (Ishihara, et al., 2006)。

食品製造現場で比較的簡単に食品の余熱を除去するために、送風機やスポットクーラーを活用することが考えられる。ただし、実行可能性やアクリルアミド生成抑制効果は製造、加工又は調理の条件により異なるため、施設に応じて最適な余熱除去方法を選択する。ポテトチップスを高温でごく短時間揚げの場合は、加熱後の冷却がアクリルアミド生成の抑制に有効であり (FoodDrinkEurope, 2011)、送風機やスポットクーラーはすでに実用化されている。

(参考) 余熱の除去が逆効果となる事例

一部の焙煎食品（コーヒー豆、ほうじ茶など）では、ある一定以上の温度又は時間加熱するとアクリルアミド濃度が低くなるため

(Mizukami, et al., 2006; Summaa, et al., 2007; Taeymans, et al., 2004)、余熱の除去はアクリルアミドの低減に効果がないばかりか、むしろ逆効果となる場合がある。ただし、それらの食品を強く加熱した時にアクリルアミド濃度が低くなるメカニズムは現時点ではよく分かっていない。



ほうじ茶の焙煎温度、焙煎時間とアクリルアミド濃度 (Mizukami, et al., 2006)

4.9. 不良品の選別

- ・ 焦げたものや小片、破片は、加熱調理後、選別によって取り除く。

黒く焦げた部位や加熱により強く着色した部位は、通常よりもアクリルアミド濃度が高い可能性があるため、加熱後、色彩選別機（カラーソーター）や目視によって選別し、除去することで製品のアクリルアミド濃度を低く抑えることができる。これらの選別は、食品の色をより正しく判断するため、調味付けや二次加工の前に行う必要がある。

実際に、ビスケットやポテトチップスでは、焦げの面積とアクリルアミド濃度には高い正の相関があり、ライン上での画像解析がアクリルアミド濃度の管理に有効であることが報告されている（Gökmen, et al., 2010）。

焦げたり、加熱により強く着色したりした食品の除去に適した様々な色彩選別機が市販され、既にポテト系スナックなどを製造している事業者が導入しており、アクリルアミドの低減対策にも活用できる。

これらの不良品の選別は、食品事業者が製造、加工又は調理の工程の最後に実施可能な低減対策であり、丁寧に行う。選別工程で不良品が多く生じるような場合には、原料の調製や加熱の条件などを見直す。

なお、加熱装置内に取り残された小片や破片は、過加熱されやすく、また、繰り返し加熱されることでアクリルアミドの濃度が高くなる可能性があるため、それらの小片や破片が選別工程で適切に除去されず最終製品に混入すると、最終製品のアクリルアミド濃度が高くなる可能性がある。そのため、加熱調理後の食品から焦げた不良品を選別するだけでなく、バッチ式の加熱方法を採用している場合にはバッチ毎に、連続式の加熱方法を採用している場合には定期的に、フライヤーやオーブン内の清掃を行い、小片や破片を除去する。

4.10. 調理方法に関する情報提供

- ・ 食べる時に加熱が必要な食品は、適切な調理方法を容器包装への表示又はその他の手段で情報提供する。

食品事業者がアクリルアミド濃度の低い製品を消費者や飲食業者に提供したとしても、最終調理者がその製品を適切に調理しないと、消費者のアクリルアミドへの暴露の低減にはつながらない。

食べる前の加熱によるアクリルアミドの生成を抑制するためには、容器包装への表示や、ウェブサイト、講習会などの機会を活用し、食品の調理者に対して、適切な取扱いについて分かりやすく情報提供することが有効である。そして、情報提供の内容は、実行可能なものであり、アクリルアミドの生成抑制を通じて消費者の暴露の低減につながるものであり、誤解を招かない表現でなければならない。例えば、調理例の写真を用いると分かりやすく、調理者が参考にできる。逆に、「きつね色になるまで加熱する」などの人によって解釈が異なると考えられる表現や、「お好みの色まで加熱する」などの曖昧な表現は適切ではない。

例えば、フレンチフライポテトのアクリルアミド低減調理に関する指示（原料の解凍方法、加熱温度、加熱時間など）の効果を検証した試験では、指示を忠実に実施した店舗ではアクリルアミド濃度が指示前と比較して統計学的に有意に低減した。一方、好みの揚げ色や堅さを優先し、揚げ油の温度や加熱時間の指示に忠実に従わなかった店舗では、指示前と比較してアクリルアミド濃度に有意な変化が無いか、むしろ、高くなったことが報告されている（Sanny, et al., 2013）。

5. 実用化が期待される低減技術

アクリルアミド低減を目的とする技術や資材は、現時点では研究開発の段階であったり、日本では認可されていなかったりするが、将来、実用化が期待できるものもある。以下に、諸外国で実用化されていたり、国内外で実用化が期待されていたりするものを示す。

5.1. 生産段階

- **ばれいしょ新品種の開発**

貯蔵中に還元糖が増加すると、アクリルアミドがより多く生成し、また、チップカラーが悪くなるため、現在、我が国では、低温でも還元糖が増加しにくい「スノーデン」などの品種が使用されている。この「スノーデン」にも中晩生でジャガイモシストセンチュウに対する抵抗性がないなどの課題がある。新たに開発された「北育 15 号」は、中生で「スノーデン」よりも枯ちよう期が早く、チップ品質が優れ、ジャガイモシストセンチュウに対する抵抗性がある（北見農試育成、品種登録申請済み、出願公表はまだされていない）。

また、加工用ばれいしょを周年で供給するためには、北海道産のばれいしょを貯蔵するだけではなく、暖地産の供給も必要である。現在は「トヨシロ」が主に栽培されているが、より暖地の栽培に適する品種の育成が進められている。

- **ばれいしょの貯蔵技術の開発**

海外では、貯蔵中に萌芽抑制剤を使用し、芽の伸張を抑制しているが、日本では認可されている萌芽抑制剤がない。エチレンは、一般的に萌芽抑制作用があるといわれているが、品種によってその効果が異なり、エチレン処理直後にはチップカラーの悪化が見られるなどの課題もあるため、適切な処理方法や処理後のチップカラーを改善する対策の検討が進められている。

5.2. 加工段階

• アスパラギナーゼ（アスパラギン分解酵素）の利用

アスパラギナーゼを加熱前の食品に添加すると、アスパラギンをアスパラギン酸とアンモニアに加水分解し、アクリルアミドの生成を抑制する。海外の多くの国や地域では、遺伝子組換え微生物を利用して製造されたアスパラギナーゼが既に複数の事業者から市販されており、食品中のアクリルアミドの低減のために利用されている。

現在、我が国では、アスパラギナーゼは食品衛生法で食品添加物として指定されていないので、国内で販売する食品にアスパラギナーゼを使用するためには、食品安全委員会が食品健康影響評価を行った後、厚生労働省が食品添加物として新たに指定する必要がある。

(参考) 我が国における「*Aspergillus niger* ASP-72 株を用いて生産されたアスパラギナーゼ」の審査の状況（2013 年 11 月時点）

- ・ 2012 年 9 月 24 日 メーカーが厚生労働省に当該アスパラギナーゼの食品添加物指定を要請
- ・ 2012 年 9 月 26 日 厚生労働省が食品安全委員会に対して当該アスパラギナーゼの食品健康影響評価を依頼

食品安全委員会での審議状況

(遺伝子組換え微生物を利用して製造された添加物としての安全性審査)

- ・ 2012 年 11 月 2 日 第 109 回遺伝子組換え食品等専門調査会で審議
- ・ 2013 年 8 月 2 日 第 484 回食品安全委員会です承
- ・ 2013 年 8 月 6 日～9 月 4 日 パブリックコメントを募集（終了）
(食品添加物としての安全性審査)
- ・ 2013 年 2 月 22 日 第 115 回添加物専門調査会で審議
- ・ 2013 年 9 月 30 日 第 489 回食品安全委員会です承
- ・ 2013 年 10 月 22 日～11 月 20 日 パブリックコメントを募集

• アスパラギン分解効果の高い酵母の利用

海外では、アスパラギン分解能力の高い酵母によるアクリルアミド低減技術について、商業レベルでの検証が進められている。

• アクリルアミド低減に効果がある食品添加物の利用

海外では、アクリルアミドの生成を抑制するために、クエン酸一ナトリウムが使用される場合がある。現在、我が国では、クエン酸一ナトリウムは食品添加物として指定されていないので、国内で販売する食品にクエン

酸一ナトリウムを使用するためには、厚生労働省が食品添加物として新たに指定する必要がある。

引用文献

- Açar Ö. Ç. [et al.]** Effect of Calcium on Acrylamide Level and Sensory Properties of Cookies [Journal] // Food and Bioprocess Technology. - 2012. - 2 : Vol. 5. - pp. 519-526.
- Açar Ö. Ç. and Gökmen V.** Investigation of acrylamide formation on bakery products using a crust-like model [Journal] // Molecular Nutrition & Food Research. - 2009. - 12 : Vol. 53. - pp. 1521–1525.
- Ahrné L. [et al.]** Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: Steam and falling temperature baking [Journal] // LWT - Food Science and Technology. - 2007. - 10 : Vol. 40. - pp. 1708–1715.
- Amrein T. M. [et al.]** Acrylamide in Gingerbread: Critical Factors for Formation and Possible Ways for Reduction [Journal] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. - 2004. - 13 : Vol. 52. - pp. 4282-4288.
- Amrein T. M. [et al.]** Investigations on the Promoting Effect of Ammonium Hydrogencarbonate on the Formation of Acrylamide in Model Systems [Journal] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. - 2006. - 26 : Vol. 54. - pp. 10253–10261.
- Amrein T. M. [et al.]** Occurrence of acrylamide in selected foods and mitigation options [Journal] // Food Additives & Contaminants. - 2007. - Supplement 1 : Vol. 24. - pp. 13-25.
- Baardseth P. [et al.]** Lactic Acid Fermentation Reduces Acrylamide Formation and Other Maillard Reactions in French Fries [Journal] // Journal of Food Science. - 2006. - 1 : Vol. 71. - pp. C28–C33.
- Benedito de Barber C., Prieto J.A. and Collar C.** Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography Analysis of Changes in Free Amino Acids During Wheat Bread Dough Fermentation [Journal]. - [s.l.] : Cereal Chemistry. - 4 : Vol. 66. - pp. 283-288.
- Ciesarová Z. [et al.]** Improvement of Cereal Product Safety by Enzymatic Way of Acrylamide Mitigation [Journal] // Czech Journal of food sciences. - 2009. - Vol. 27. - pp. S96-S98.
- Claus A. [et al.]** Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls [Report]. - [s.l.] : Journal of Cereal Science, 2007.
- Codex** Report [Conference] // Thirty-Second Session Codex Alimentarius Commission. - Rome, Italy : Codex Alimentarius, 2009. - Vol. ALINORM 09/32/REP.
- De Wilde T. [et al.]** Selection criteria for potato tubers to minimize acrylamide formation during frying [Journal] // Journal of agricultural and food chemistry. - 2006. - 6 : Vol. 54. - pp. 2199-2205.

- EC COMMISSION RECOMMENDATION** of 10.1.2011 on investigations into the levels of acrylamide in food. - [s.l.] : EUROPEAN COMMISSION, 10 1, 2011.
- EC COMMISSION RECOMMENDATION** of 8.11.2013 on investigations into the levels of acrylamide in food. - 2013.
- EFSA Report of the Workshop [Conference]** // Workshop on Acrylamide Formation in Food. - 2003.
- FoodDrinkEurope** The FoodDrinkEurope Acrylamide Toolbox 2011 [Online] // The FoodDrinkEurope Acrylamide Toolbox. - 9 30, 2011. - http://www.fooddrink europe.eu/uploads/publications_documents/Toolboxfinal260911.pdf.
- Gökmen V. and Burçe A.** Computer vision-based image analysis for rapid detection of acrylamide in heated foods [Journal] // Quality Assurance and Safety of Crops & Foods. - 2010. - 4 : Vol. 2. - pp. 203–207.
- Gökmen V. and Şenyuva H. Z** Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction [Journal] // Food Chemistry. - 2007a. - 1 : Vol. 103. - pp. 196–203.
- Gökmen V. and Şenyuva H. Z.** Effects of some cations on the formation of acrylamide and furfurals in glucose-asparagine model system [Journal]. - [s.l.] : Eur Food Res Technol, 2007b. - Vol. 225. - pp. 815-820.
- Granby K. [et al.]** Acrylamide–asparagine relationship in baked/toasted wheat and rye breads [Journal] // Food Additives & Contaminants: Part A. - 2008. - 8 : Vol. 25. - pp. 921-929.
- Granvogl M. [et al.]** Quantitation of 3-Aminopropionamide in Potatoes A Minor but Potent Precursor in Acrylamide Formation [Journal] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. - 2004. - 15 : Vol. 52. - pp. 4751-4757.
- Granvogl M. and Schieberle P.** Thermally Generated 3-Aminopropionamide as a Transient Intermediate in the Formation of Acrylamide [Journal] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. - 2006. - 16 : Vol. 54. - pp. 5933-5938 .
- Hamlet C. G., Sadd P. G. and Liang L.** Correlations between the Amounts of Free Asparagine and Saccharides Present in Commercial Cereal Flours in the United Kingdom and the Generation of Acrylamide during Cooking [Journal]. - [s.l.] : J. Agric. Food Chem, 2008. - Vol. 56. - pp. 6145-6153.
- HEATOX** HEATOX: Heat-generated food toxicants: identification, characterisation and risk minimisation. Final report [Online] // [heatox.org](http://www.slv.se.wstub.archive.org/www.slv.se/upload/heatox/documents/Heatox_Final%20_report.pdf). - 2007. - http://www.slv.se.wstub.archive.org/www.slv.se/upload/heatox/documents/Heatox_Final%20_report.pdf.
- Hironaka K. [et al.]** Sugar and starch contents of processing potatoes during reconditioning [Journal] // Food Preservation Science. - 2003. - 2 : Vol. 29. - pp. 95-100.
- Horita H. and Honda I.** Relationship between Flour Color Index of Darkness and Free Tryptophan Content of Domestically Produced Wheat Flour [Journal]. -

- [s.l.] : Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2005. - 11 : Vol. 52. - pp. 538-541.
- Huang W. [et al.]** Effects of frying conditions and yeast fermentation on the acrylamide content in you-tiao, a traditional Chinese, fried, twisted dough-roll [Journal] // Food Research International. - 2008. - 9 : Vol. 41. - pp. 918–923.
- IARC** IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans [Journal]. - [s.l.] : IARC, 1994. - Vol. 60.
- Ishihara K. [et al.]** Examination of Conditions Inhibiting the Formation of Acrylamide in the Model System of Fried Potato [Journal] // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. - 2006. - 7 : Vol. 70. - pp. 1616-1621.
- Isleroglu H. [et al.]** Effect of Steam Baking on Acrylamide Formation and Browning Kinetics of Cookies [Journal] // Journal of Food Science. - 2012. - 10 : Vol. 77. - pp. E257–E263.
- JECFA** Safety evaluation of certain contaminants in food. [Journal] // WHO Food Additives Series. - [s.l.] : WHO, 2006. - Vol. 55.
- JECFA** Safety evaluation of certain food additives and contaminants. [Journal] // WHO Food Additives Series. - [s.l.] : FAO and WHO, 2011. - Vol. 63.
- Jin C., Wu X. and Zhang Y.** Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review [Journal] // Food Research International. - [s.l.] : Elsevier, 2013. - 2 : Vol. 51. - pp. 611–620.
- Jung M.Y., Choi D.S. and Ju J.W.** A Novel Technique for Limitation of Acrylamide Formation in Fried and Baked Corn Chips and in French Fries [Journal] // Journal of Food Science. - 2003. - 4 : Vol. 68. - pp. 1287–1290.
- Kukurová K. [et al.]** Raising agents strongly influence acrylamide and HMF formation in cookies and conditions for asparaginase activity in dough [Journal] // European Food Research and Technology. - [s.l.] : Springer-Verlag, 4 2013. - Vol. in press.
- Li D. [et al.]** Study on Mitigation of Acrylamide Formation in Cookies by 5 Antioxidants [Journal] // Journal of Food Science. - 2012. - 11 : Vol. 77. - pp. C1144–C1149.
- Matsuura-Endo C. [et al.]** Effects of Storage Temperature on the Contents of Sugars and Free Amino Acids in Tubers from Different Potato Cultivars and Acrylamide in Chips [Journal] // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. - 2006. - pp. 1173-1180.
- Matthäus B., Haase N. U. and Vosmann K.** Factors affecting the concentration of acrylamide during deep-fat frying of potatoes [Journal] // European Journal of Lipid Science and Technology. - 2004. - 11 : Vol. 106. - pp. 793-801.
- Mestdagh F. [et al.]** Impact of additives to lower the formation of acrylamide in a potato model system through pH reduction and other mechanisms [Journal] // Food Chemistry. - 2008a. - 1 : Vol. 107. - pp. 26-31.
- Mestdagh F. [et al.]** Impact of chemical pre-treatments on the acrylamide formation and sensorial quality of potato crisps [Journal] // Food Chemistry. -

- 2008b. - 3 : Vol. 106. - pp. 914–922.
- Mestdagh F. [et al.]** Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes [Journal] // *LWT - Food Science and Technology*. - 2008c. - 9 : Vol. 41. - pp. 1648–1654.
- Mizukami Y. [et al.]** Analysis of Acrylamide in Green Tea by Gas Chromatography-Mass Spectrometry [Journal] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. - 2006. - 19 : Vol. 54. - pp. 7370-7377.
- Mottram D. S., Wedzicha B. L. and Dodson A. T.** Acrylamide is formed in the Maillard reaction [Journal] // *Nature*. - 2002. - Vol. 419. - pp. 448-449.
- Mustafa A. [et al.]** Analysis of free amino acids in cereal products [Journal]. - [s.l.] : Food Chemistry, 2006. - 105. - pp. 317-324.
- NFA** Acrylamide is formed during the preparation of food and occurs in many foodstuffs [Online] // Swedish National Food Administration. - 4 24, 2002.
- Ohara-Takada A. [et al.]** 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 [Journal] // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. - 2005. - 7 : Vol. 69. - pp. 1232-1238.
- Pedreschi F. [et al.]** Acrylamide reduction under different pre-treatments in French fries [Journal] // *Journal of Food Engineering*. - 2007. - 4 : Vol. 79. - pp. 1287–1294.
- Sadd P. A., Hamlet C. G. and Liang L.** Effectiveness of Methods for Reducing Acrylamide in Bakery Products [Journal] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. - 2008. - 15 : Vol. 56. - pp. 6154-6161.
- Sanny M. [et al.]** Effect of Frying Instructions for Food Handlers on Acrylamide Concentration in French Fries: An Explorative Study. [Journal] // *Journal of Food Protection*. - 2013. - 3 : Vol. 76. - pp. 462-472.
- Stadler R. H. [et al.]** Food chemistry: Acrylamide from Maillard reaction products [Journal] // *Nature*. - 2002. - Vol. 419. - pp. 449-450 .
- Summaa C. A. [et al.]** Impact of the roasting degree of coffee on the in vitro radical scavenging capacity and content of acrylamide [Journal] // *LWT - Food Science and Technology*. - 2007. - 10 : Vol. 40. - pp. 1849–1854.
- Taeymans D. [et al.]** A Review of Acrylamide: An Industry Perspective on Research, Analysis, Formation, and Control [Journal] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. - 2004. - 5 : Vol. 44. - pp. 323-347.
- Tareke E. [et al.]** Analysis of Acrylamide, a Carcinogen Formed in Heated Foodstuffs [Journal] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. - 2002. - 17 : Vol. 50. - pp. 4998–5006.
- US FDA** Acrylamide Questions and Answers [Online] // U.S. Food and Drug Administration. - 6 6, 2013. - <http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/ChemicalContaminants/ucm053569.htm>.
- Vinci R. M. [et al.]** Effective quality control of incoming potatoes as an acrylamide mitigation strategy for the French fries industry [Journal] // *Food Additives &*

- Contaminants: Part A. - 2010. - 4 : Vol. 27. - pp. 417-425.
- Weber E.A. [et al.]** Impact of nitrogen amount and timing on the potential of acrylamide formation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [Journal] // Field Crops Research. - 2008. - 106. - pp. 44-52.
- Zeng X. [et al.]** Inhibition of acrylamide formation by vitamins in model reactions and fried potato strips [Journal] // Food Chemistry. - 2009. - 1 : Vol. 116. - pp. 34-39.
- Zyzak D. V. [et al.]** Acrylamide Formation Mechanism in Heated Foods [Journal] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. - 2003. - 16 : Vol. 51. - pp. 4782-4787.
- 厚生省 栄養表示基準における栄養成分等の分析方法等について [論文/レポート]. - 1999.
- 小原哲二郎, 鈴木隆雄, 岩尾裕之 改訂 食品分析ハンドブック [書籍]. : 建帛社, 1982.
- 菅原龍幸, 前川昭男 新 食品分析ハンドブック [書籍]. : 建帛社, 2000.
- 中野敦博 [ほか] アクリルアミド生成を抑制するポテトチップ製造法 [定期刊行物] // 北海道立食品加工研究センター報告. - 2007 年. - 第 7 巻. - ページ: 51-53.
- 道総研 加工用 (ポテトチップス用) 馬鈴しょの長期貯蔵における品質安定化技術 [オンライン] // 道総研 農業研究本部 中央農業試験場. - 2011a 年. - <http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/panf/23/21.pdf>.
- 道総研 加工用バレイショ周年供給のための長期貯蔵技術の開発 [オンライン] // 道総研 農業技術情報広場. - 2011b 年 1 月. - <http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/23/f1/07.pdf>.
- 農林水産省 低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発 第 2 分冊 [書籍]. : 農林水産省, 2013. - 研究成果 485 巻.

第 3 章 用語解説

1. アミノ・カルボニル反応に関連した用語

1.1. アミノ・カルボニル反応

食品の色や風味の形成に寄与する反応の一つ。アミノ酸などのアミノ基をもつ化合物と、還元糖などのカルボニル基をもつ化合物を一緒に加熱等すると反応が進み、褐色の色素（メラノイジン）や香気成分が生成する（食品の色が褐色に変化する原因の一つ）。

例えば、パンをトーストしたり、クッキーを焼いたりすると、アミノ・カルボニル反応によって、生地が表面が黄褐色に変化し、香ばしい風味がつく。

1.2. 前駆体

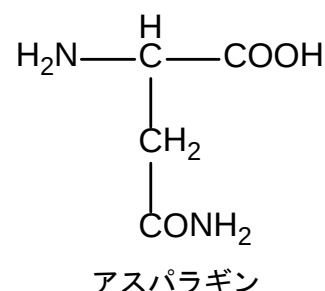
一連の化学反応によってある化学物質が生成するとき、その化学物質が生成する前の段階の物質のこと。食品中のアクリルアミドの場合、主な前駆体は、アミノ酸の一種であるアスパラギンと還元糖に分類されているぶどう糖や果糖である。

1.2.1. アスパラギン

タンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸の一種。アスパラギンという名称は、アスパラガスの芽の抽出液から単離されたことに由来する。

食品中のアミノ酸には、タンパク質の一部として存在しているものと、単体で存在しているもの（遊離アミノ酸）がある。食品中のアスパラギンのうち、アクリルアミドの生成に寄与するのは、遊離アスパラギンである。

なお、アスパラギンは生体内ではアスパラギン酸から生合成されるので、必須アミノ酸ではない。また、アスパラギンは、アスパラギン酸とは異なるアミノ酸である。



1.2.2. 還元糖

他の物質を還元する（他の物質に電子を与える）性質を持つ糖類のこと。ぶどう糖や果糖を含む全ての単糖類や、麦芽糖などの一部の少糖類が還元糖に分類される。

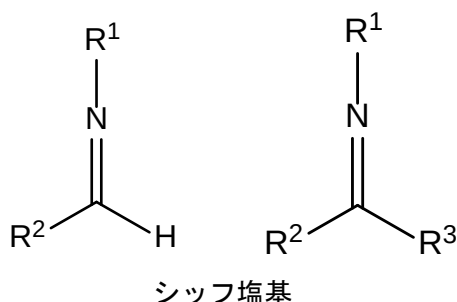
なお、ショ糖（砂糖の主成分）は、還元糖であるぶどう糖と果糖が結合したものであるが、ぶどう糖の還元性を示す部位と果糖の還元性を示す部位が結合し、分子中に還元性を示す化学構造を持たないため、還元糖ではない。

1.2.3. カルボニル化合物

分子中に、カルボニル基（ $-(\text{C}=\text{O})-$ ）と呼ばれる部分構造を持つ有機化合物の総称。代表的なカルボニル化合物には、酢酸（ CH_3COOH ）がある。還元糖もカルボニル基を持つので、カルボニル化合物の一種である。

1.2.4. シッフ塩基

第1級アミン (R^1NH_2) とアルデヒド (R^2CHO) 又はケトン (R^2COR^3) が反応して生成する $R^1N=CHR^2$ 又は $R^1N=CR^2R^3$ という構造の化合物の総称。遊離アスパラギンと還元糖によるアミノ・カルボニル反応の途中で生成する化合物である。



2. 国際機関に関連した用語

2.1. FAO/WHO 合同食品添加物専門家会合 (JECFA)

国連食糧農業機関 (FAO) と世界保健機構 (WHO) が合同で開催する専門家会合の一つ。FAO と WHO の加盟国及びコーデックス委員会に対する科学的な助言機関として、食品添加物、食品汚染物質、動物用医薬品のリスク評価を行っている。

(参考)

- ・ JECFA のウェブサイト

(<http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/en/>)

- ・ アクリルアミドの評価書 (JECFA)

第72回 JECFA (2010 年)

WHO Technical Report Series, No. 959, Evaluation of certain contaminants in food (Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives).

([http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO TRS 959 eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_959_eng.pdf))

WHO Food Additives Series No. 63, Safety evaluation of certain contaminants in food.

(http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241660631_eng.pdf)

第64回 JECFA (2005 年)

WHO Technical Report Series, No. 930, Evaluation of certain food contaminants (Sixty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives).

([http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO TRS 930 eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_930_eng.pdf))

WHO Food Additives Series No. 55, Safety evaluation of certain contaminants in food.

(http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241660554_eng.pdf)

2.2. コーデックス委員会（Codex 委員会）

消費者の健康の保護、食品の公正な貿易の確保等を目的として、1963年にFAO及びWHOにより設置された国際的な政府間機関。国際食品規格の作成等を行っている。日本は1966年からCodex委員会に参加している。

WTO加盟国は、WTO/SPS協定によって、自国の衛生植物検疫措置をCodex委員会が制定した基準、指針又は勧告に調和するように努める必要がある。

（参考）

- ・ Codex 委員会のウェブサイト

(<http://www.codexalimentarius.org/>)

- ・ 食品中のアクリルアミド低減に関する実施規範（Codex 委員会）

Code of Practice for the Reduction of Acrylamide in Foods

(http://www.codexalimentarius.net/download/standards/11258/CXP_067e.pdf)

2.3. 国際がん研究機関（IARC）

発がん状況の監視、発がん原因の特定、発がん性物質のメカニズムの解明、発がん制御の科学的戦略の確立を目的として活動しているWHOの一機関。IARCは発がん性が疑われている物質や要因を発がん性の証拠の強さ（注：発がんリスクの大きさではない）から5段階に分類している。各グループの説明は下表のとおりである。

なお、IARCは、アクリルアミドを、グループ2A（ヒトに対しておそらく発がん性がある）に分類している。

グループ	グループの説明
1	ヒトに対して発がん性がある Carcinogenic to humans
2A	ヒトに対しておそらく発がん性がある Probably carcinogenic to humans
2B	ヒトに対して発がん性があるかもしれない Possibly carcinogenic to humans
3	ヒトに対する発がん性について分類できない Not classifiable as to its carcinogenicity to humans
4	ヒトに対しておそらく発がん性はない Probably not carcinogenic to humans

（参考）

- ・ IARC のウェブサイト

(<http://www.iarc.fr/>)

3. 食品汚染物質に関連した用語

3.1. 食品汚染物質

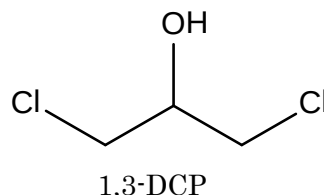
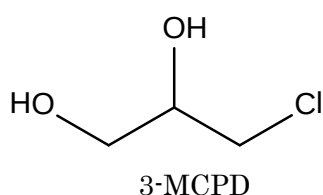
食品の生産、製造、加工、調理、流通、消費の過程で、意図せず食品を汚染する有害物質。

食品を加熱することによって生成する食品汚染物質には、アクリルアミドの他、クロロプロパノール類、多環芳香族炭化水素（PAH）、フラン、ヘテロサイクリックアミン（HCA）などがある。

3.1.1. クロロプロパノール類

プロパノール（分子内に炭素原子を 3 個含むアルコール）に塩素が結合した化合物の総称。医薬品等の原料として利用されているが、酸加水分解植物性たんぱく（アミノ酸液）の製造の過程で意図せずに生成し、アミノ酸液を含む食品に含まれる場合がある。

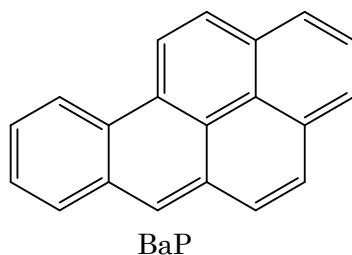
動物実験で、クロロプロパノールの一種である 3-クロロプロパン-1,2-ジオール（3-MCPD）を長期間大量に摂取し続けると、腎臓に悪影響があることや発がん性があることが確認されている。また、別のクロロプロパノールである 1,3-ジクロロ-2-プロパノール（1,3-DCP）には、遺伝毒性発がん性があると考えられている。国際がん研究機関は、3-MCPD と 1,3-DCP をグループ 2B（ヒトに対して発がん性があるかもしれない）に分類している。



3.1.2. 多環芳香族炭化水素（PAH）

有機物の不完全燃焼や熱分解などで生成する化学物質。食品の加工・調理（特に直火加熱や燻製）の過程や、環境由来の汚染によって、意図せずに食品に含まれる場合がある。

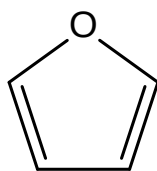
PAH として数百種類以上の物質があり、まとめて多環芳香族炭化水素類（PAHs）と呼ぶ。このうち食品に含まれる代表的な PAH としてベンゾ[a]ピレン（BaP）がある。人が職業上の理由などで BaP を大量に呼吸から吸収したり、皮膚から吸収したりした場合に発がんが増えるため、国際がん研究機関は、BaP をグループ 1 に分類している。その他の多くの種類の PAH についても、動物実験の結果などから、人への発がん性が疑われている。



3.1.3. フラン

食品中の不飽和脂肪酸、アスコルビン酸、アミノ酸、還元糖又はカロテノイドが、高温での加熱により変化し、意図せず生成する化学物質。フランは気体になりやすいため、缶詰、瓶詰、レトルトパウチ食品のような密閉容器中に含有しやすい。

フランは、動物実験で発がん性が確認されており、国際がん研究機関はフランをグループ 2B（ヒトに対して発がん性があるかもしれない）に分類している。



フラン

4. 毒性評価に関連した用語

4.1. 遺伝毒性

遺伝子の DNA の配列を壊したり、DNA の構造を変化させたりすることで、遺伝情報に異常を引き起こす性質のこと。遺伝毒性がある化学物質は、直接的または間接的に遺伝子の DNA の配列や構造に変化を与える。DNA が損傷し、自己修復が追いつかなくなった細胞は通常死滅するが、まれに死滅せず、がん細胞になることがある。

4.1.1. 染色体異常誘発性

染色体の形態や数に異常を引き起こす性質のこと。染色体は DNA とタンパク質で構成されており、DNA やタンパク質が有害物質による悪影響を受けると、染色体に異常が現れる。染色体異常は、さまざまな障害や疾患を引き起こす。

4.1.2. 変異原性

遺伝子の DNA に直接作用して DNA を損傷し、遺伝子の突然変異を誘発する性質のこと。

4.1.3. DNA

デオキシリボ核酸（deoxyribonucleic acid）のことであり、生物の遺伝情報を担う物質。細胞核の中に存在する。染色体の構成要素のひとつである。

4.1.4. 染色体

DNA とタンパク質から構成される生物の遺伝情報を担う構造体。細胞核の中に存在する。染色体という名称は、塩基性色素によって染色されることに由来する。

4.2. 生殖毒性

性機能や生殖能力に悪影響を及ぼす性質のこと。性機能への悪影響として、生殖器官や生殖周期の異常など、生殖能力への悪影響として、受精や受胎がしにくくなることなどが例に挙げられる。

4.3. 発達毒性

胎児期や生後の発達期に身体の構造や機能に悪影響を及ぼす性質のこと。妊娠期や授乳期の母体が有害物質に暴露された場合、胎盤や母乳を介して間接的に胎児や乳児も有害物質に暴露され、奇形、発達障害などが見られることがある。

4.4. NOAEL

No observed adverse effect level（無毒性量）の略称であり、ある物質について何段階かの異なる投与量を用いて毒性試験を行ったとき、有害影響が認められなかった最大の投与量のこと。通常、NOAELは用量を変えた複数の試験群を用いた動物実験によって求められる。

4.5. NOEL

No observed effect level（無影響量）の略称であり、ある物質について何段階かの異なる投与量を用いて毒性試験を行ったとき、投与群が対照群と比べて、毒性学的にみて有害な影響であるかどうかにかかわらず、生物学上何の影響もないといえる最大の投与量のこと。通常、NOELは用量を変えた複数の試験群を用いた動物実験によって求められる。一般的に、NOELはNOAELより小さい。

4.6. 遺伝子多型

通常、同じ生物種の集団の中でも、個体によって遺伝子型（遺伝子の構成）は少しずつ異なり、異なった遺伝子型を持つ個体グループが一定割合以上存在する場合、遺伝的多型という。人の場合、人口の1%以上の頻度で存在する遺伝子の変異をいう。遺伝子型が異なると、同じ生物種であっても、体内で合成されるタンパク質に違いが見られることがある。例えば、代謝酵素の遺伝子型が異なると、個体間で、代謝酵素の活性の違いや機能の異常が見られることがある。

4.7. 疫学調査

病気の発症等とその原因と考えられる要因（生活習慣や有害化学物質の摂取など）との間に、統計学的に意味のある関連があるかどうかを証明するため、ヒトの特定の集団を対象として行う統計学的調査のこと。

4.7.1. 食物頻度アンケート

習慣的な食品の摂取頻度や摂取量、摂取品目などを調査するためのアンケート。疫学調査では、特定の食事習慣と疾病との間に、統計学的に意味のある関連があるかどうかを調べるために、行われる。

食物頻度アンケートによって得られた情報は、被験者の食事の実態と一致しているとは限らない。したがって、どれぐらい被験者の食事の実態と一致しているのかを検証することが重要である。

5. 品質管理に関連した用語

5.1. アグトロン値

物質の色調の程度を示す指標。アグトロンカラーメーター（食品用分光光度計）を用いて測定できる。色調が薄い（明るい）と、アグトロン値が高い。

アグトロン値は、ポテトチップスの揚げ具合やコーヒー豆の焙煎度合いなど、食品の色調を示す指標として食品業界で用いられている。

なお、同様の指標に、色差計（色彩を数値化し、対象とする物質の色と基準となる色との差を測定する機器）によって測定される L^* 値や a^* 値がある。

5.1.1. L^* 値

物質の色の明るさを示す指標。色差計を用いて測定できる。物質の色が明るいとき L^* 値が高い。

国際照明委員会（CIE）が 1976 年に推奨した CIE1976 ($L^*a^*b^*$) 表色系における単位の一つ。

5.1.2. a^* 値

物質の色あいを示す指標。色差計を用いて測定できる。物質の色が赤いとき a^* 値が高い。

国際照明委員会（CIE）が 1976 年に推奨した CIE1976 ($L^*a^*b^*$) 表色系における単位の一つ。

5.2. リコンディショニング

低温糖化が生じたばれいしょを 15℃程度で数週間保管することによって、ばれいしょの還元糖濃度を低くする処理のこと。

5.2.1. 低温糖化

低温下で、植物中のでん粉等の多糖類が、少糖類や単糖類に分解すること。ばれいしょの場合、およそ 6℃を下回ると、低温糖化が進む。

5.3. キュアリング処理

収穫した作物を貯蔵前の一定期間（3～4 日間）、高温多湿（温度 30～33℃、湿度 90～95%）の条件下に置くことで、作物のコルク層（傷を治す組織）を発達させ、収穫時等にできた傷口をふさぐ処理のこと。

6. その他の用語

6.1. 異性化液糖

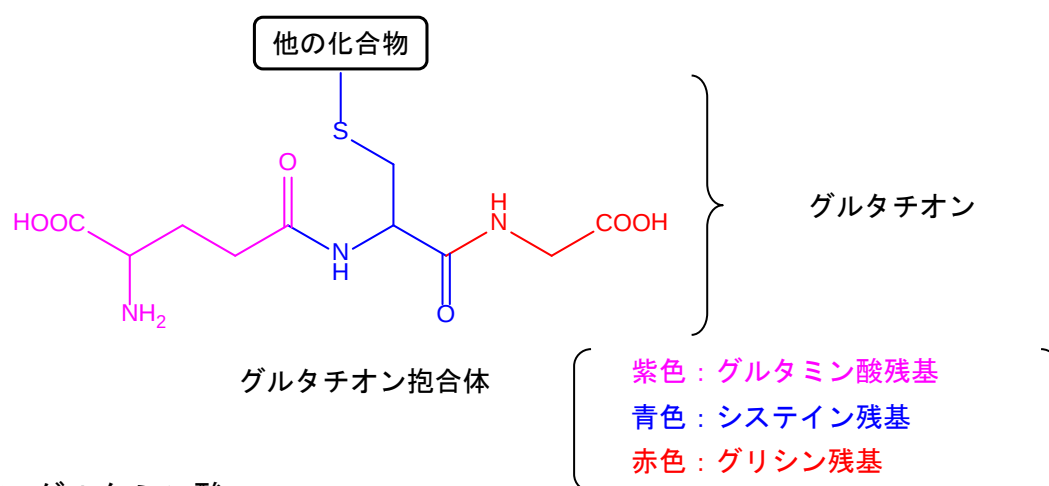
でん粉を加水分解して得られる糖液中のぶどう糖の一部を、酵素処理等によって果糖に変化（異性化）させた液状の糖のこと。日本農林規格（JAS）は、果糖の含有率等に応じて、異性化液糖を次の4つに分類している。

異性化液糖の種類	定義
ぶどう糖果糖液糖	果糖含有率（糖のうちの果糖の割合）が 50%未満のもの
果糖ぶどう糖液糖	果糖含有率が 50%以上 90%未満のもの
高果糖液糖	果糖含有率が 90%以上のもの
砂糖混合異性化液糖	上記の液糖に、糖のうちの砂糖の割合が 10%以上となるよう砂糖を加えたもの（その液糖がぶどう糖果糖液糖なら「砂糖混合ぶどう糖果糖液糖」とする。）

6.2. グルタチオン抱合体

ある化合物とグルタチオンが結合してできる化合物のこと。グルタチオンとは、グルタミン酸、システイン、グリシンがこの順番でペプチド結合したものであり、システイン残基のチオール基（-SH）が、様々な物質と結合する。

ほ乳類の場合、グルタチオン抱合体は細胞外に排出され、血中を移動し腎臓まで運ばれる。その後、腎臓でグルタチオン抱合体はメルカプトツール酸やそのスルホキシドに変換され、胆汁中や尿中に排出される。



6.2.1. グルタミン酸

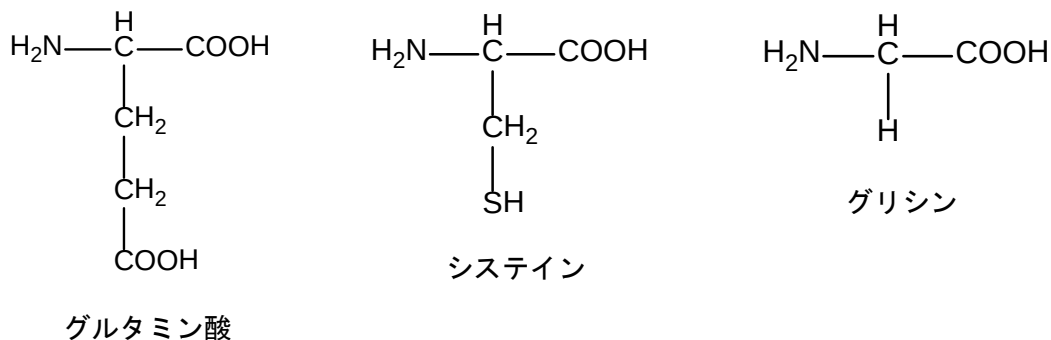
タンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸の一種。グルタミン酸という名称は、小麦グルテンの加水分解物から発見されたことに由来する。生体内で生合成されるので、必須アミノ酸ではない。

6.2.2. システイン

タンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸の一種であり、分子内に硫黄 (S) を含む含硫アミノ酸の一種である。システインという名称は、腎臓結石から発見されたことにちなんで、ギリシャ語で「膀胱」を意味する *kustis* に由来する。生体内で生合成されるので、必須アミノ酸ではない。

6.2.3. グリシン

タンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸の一種。グリシンという名称は、グリシンが甘かったことにちなんで、ギリシャ語で「甘い」を意味する *glykys* に由来する。生体内で生合成されるので、必須アミノ酸ではない。

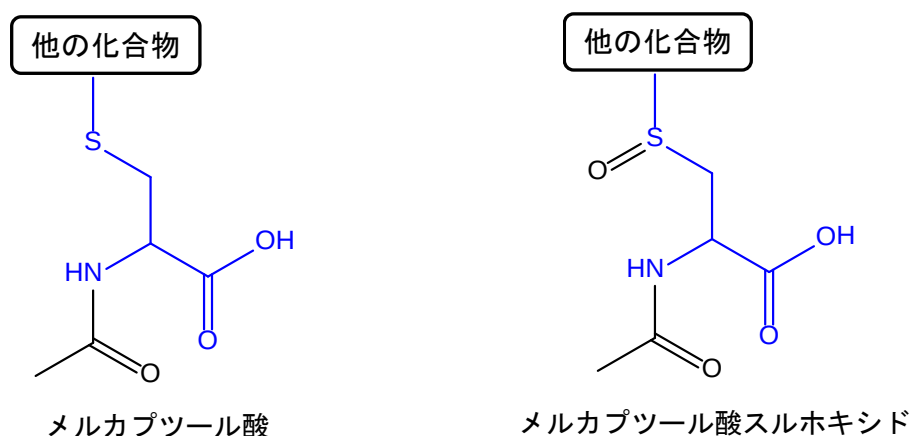


6.2.4. メルカプツール酸

グルタチオン抱合体から、グルタミン酸とグリシンが脱離したものが、アセチル化を受けることによってできる化合物。

6.2.5. スルホキシド

スルホキシドは、スルフィニル基 ($-(\text{S}=\text{O})-$) に 2 つのアルキル基 (炭化水素基の一種) が結合している有機化合物のこと。メルカプツール酸のスルフィド結合部位 ($-\text{S}-$) が酸化すると、メルカプツール酸スルホキシドになる。



6.3. 毒物及び劇物取締法

毒物及び劇物について、保健衛生上の見地から必要な取締りを行うことを目的として昭和 25 年につくられた法律である。ある化学物質が毒物や劇物であるかを判定する際、動物における急性毒性や皮膚等への刺激性に関する知見の他、ヒトにおける中毒事故などの知見を基礎にして検討される。毒物として判定する際の基準は、成人の致死量に換算すると 2 g 程度以下であること、劇物として判定する際の基準は、成人の致死量に換算すると 2～20 g 程度であることなどである。ある化学物質が毒物や劇物に指定されると、その製造、輸入、販売、取扱い等が規制される。

なお、アクリルアミドは毒物及び劇物取締法で劇物に指定されている。

食品中のアクリルアミドを低減するための指針 第1版

2013年11月27日 発行

編集・発行：農林水産省消費・安全局 食料産業局 生産局

〒100-8950

東京都千代田区霞が関 1-2-1

TEL：03-3502-8111（代表）
