

食品の乾燥加工保存における栄養学的評価

西川陽子*・石崎祐香**・野部瞳***

(2019年8月30日受理)

Nutritional Assessment on Drying Treatment of Food for Preservation

Yoko NISHIKAWA*, Yuka ISHIZAKI** and Hitomi NOBE***

(Accepted August 30, 2019)

はじめに

食品はほとんどの場合食すまでに消化やおいしさの向上、保存を目的に調理加工が施されるが、その際に温度、光、水分、pH、酸素などの物理的、化学的、生物的作用から本来の目的ではない望ましくない品質劣化とされる変化が同時に進行する。多くの食品は一過性に収穫されるため保存が必要であり、ヒトは長きにわたり生きていくために必要なエネルギーと栄養の確保のために食品保存においては多くの知恵と工夫を重ねてきた。そして、その結果が各地域の食文化の一部を築くに至っている。伝統的食品保存手段としては、塩蔵、糖蔵、乾燥、燻製、発酵などが代表的である。前者4つは主に水分活性を下げることにより保存性を高めるもので、燻製はそれに燻し成分に含まれる抗菌作用が加わる。発酵食品は有用菌を添加または成長しやすい環境にして増殖を図り、他の菌の侵入増殖を抑制することで保存性を高めるものである。漬物や納豆など、現在では冷蔵庫で保存されることが多いが、本来は味の変化はあるが常温で長期保存可能な食品である。現在のような冷凍冷蔵庫などの低温環境を維持する手段は1970年代以降に普及したものであり、それ以前の食生活、特に食品保存においては自然環境の影響を強く受け、必然的に自然環境との共生を図った多くの工夫がなされてきた。ゆえに、その結果生み出された伝統的保存食は環境負荷の少ないエコ食品と言える。近年、グローバル化が進み国を超えて持続可能な社会を目指す動きが強まっており、国連総会で国際開発目標として2000年にMDGs (Millennium Development Goals) が、これに引き続き2015年にSDGs (Sustainable Development Goals (持続可能な開発目標)) が採択された (United Nations 2015) ことなどはその表れである。これらは、民族や性など多様な人への理解なども含ま

*茨城大学教育学部 家政教育教室 食物研究室 (〒310-8512 水戸市文京 2-1-1 ; Laboratory of Food Science in Course of Home Economics Education, College of Education, Ibaraki University, Mito 310-8512 Japan).

**茨城大学教育学部 (〒310-8512 水戸市文京 2-1-1 ; College of Education, Ibaraki University, Mito 310-8512 Japan).

***茨城大学大学院教育学研究科 (〒310-8512 水戸市文京 2-1-1 ; Graduate School of Education, Ibaraki University, Mito 310-8512 Japan).

れ多面的に持続可能な社会を追求するものだが、この中で地球温暖化などの環境負荷低減も謳われている。環境負荷低減に向けて食生活においては、食品ロスなどの無駄をなくすことから地産地消をはじめ輸送や保存におけるエネルギーロスの低減への意識喚起など、既に多くの取組みが様々な国や地域で進められている。このような世界的な動きがある中で、2011年に起きた東日本大震災では我々の食生活における冷凍冷蔵庫への依存度の高さが浮き彫りになり、冷凍冷蔵庫に依らない乾物や発酵食品などを活用する伝統的食生活が改めて見直されるようになった。

食品の乾燥加工保存の歴史は古く、平安末期の御幸膳を記録した『類聚雑要抄（るいじゅうざつようしょう）』にはゴボウやレンコンの乾物の利用が既にあったことが記されている。また、江戸時代になるとダイコン、カブ、カブ菜、ヒョウタン、トウガン、シロウリ、ホウレンソウ、シソ、ショウガ、ナス、ワラビ、ゼンマイなど様々な野菜の乾物が利用されその料理活用書も出回り、日常の食生活において食品の乾燥加工保存が浸透していたことが記録から推察可能となっている。利用方法として、出しの素や飢饉の際の非常食用、更に、ショウガやシソなどは薬効目的での利用など、多彩な利活用が江戸時代には確立され、近年に至っても乾燥野菜類は冬などの野菜の収穫の少ない端境期を補うものとして、また、救荒食として重宝されていた。

乾燥の方法としては、そのまま天日乾燥、天日乾燥の前に湯通し（葉物類）や脱水の前処理をするもの、火力乾燥など、対象野菜によってより適切な方法が工夫されてきた。一方、食品の乾燥加工について環境負荷の低減からいえば伝統的な天日乾燥が望ましいが、現在では野菜や果物の乾燥加工方法として天日乾燥の他に熱風乾燥、凍結乾燥などが利用されている。これら機械を用いた乾燥は天日乾燥に比べてより環境負荷がかかることになるが、加工時間が短縮でき手軽で栄養成分の損失がより抑えられる可能性があり利点がある。より環境負荷の少ない食品保存手段といった観点から、冷凍冷蔵保存と機械を用いた乾燥加工のどちらがよいかについては未だ不明であり、これには長期の冷凍冷蔵保存にかかるエネルギーと機械による乾燥加工に必要なエネルギーとの詳細な比較検討が必要である。

食品の品質評価に関しては、栄養・安全にかかわる栄養特性（1次機能）、味・外観・香り・テクスチャーに関する嗜好特性（2次機能）、生理機能の調整に影響する生理特性（3次機能）の主に3つが評価のポイントになる。伝統的食品保存加工においては、旨味の向上などのメリットがある一方で、栄養成分の損失や微生物の増殖による新たな危険性の発生といったマイナス面があり、食品の品質評価観点の1次機能（安全・栄養）において弱い。乾物や発酵食品などは食品の保存手段の一つとして発展したものだが、現在では冷凍冷蔵庫による低温保存といった食品保存の選択肢があり、冷凍冷蔵保存においては手軽で栄養損失が少ない点で非常に優れている（西川ら 2018）。食生活を楽しみながら持続可能性を追求し伝統的食品保存手段を日常の食生活に取り入れようとする場合に、最も気になるのは栄養的側面である。伝統的食品保存手段がいくら環境に優しくても栄養の多くが失われてしまうのであれば、食品保存手段として取り入れるのは躊躇される。

以上のことから、本研究では調理加工操作で変化を受けやすい抗酸化成分であるビタミンC（アスコルビン酸（AsA））を指標として、食品、特に野菜類の乾燥加工が環境負荷の少ない食品保存手段として推奨できるか否かについて、加工操作による食品中のAsAの動態を分析することにより検討評価を試みる。

研究方法

(1) 干し野菜試料

根菜類及びイモ類などのデンプン含量の高いものについてそれぞれAsAオキシダーゼ (AAO) を含むものと含まないものを検討し (大羽 1999), 根菜類ではダイコンとニンジン, デンプン含量の高い野菜類ではジャガイモ (男爵) とカボチャ (西洋カボチャ) を試料とした。いずれも水戸市内のスーパーにて購入し, 購入後すぐに試料調製を行った。乾燥加工の試料として, いずれも中央 (赤道) 部に近い部分を使用し, 皮付きのまま 2 ~ 3 mm 厚さの輪切り (カボチャは半月切り) とした。試料 1 個当たりの平均重量はそれぞれダイコン $20.03 \pm 2.14\text{g}$, ニンジン $3.24 \pm 0.23\text{g}$, ジャガイモ $7.37 \pm 1.74\text{g}$, カボチャ $14.36 \pm 3.58\text{g}$ であった。

(2) 乾燥加工

<天日乾燥>

10 ~ 12 月の晴天の日中 (9:30 ~ 15:30), 試料を食品乾燥用のネットに入れて風通しのよい日向の場所に吊るし, 試料重量がもとの 3 割 (3 割干し), 2 割 (2 割干し), 1 割 (1 割干し) に減少するまで乾燥させた。加工した日の平均気温は $17.15 \pm 5.68^\circ\text{C}$, 平均湿度は $43.45 \pm 9.73\%$ であった。試料がもとの重量の 3 割 ~ 1 割になるまでに要した乾燥加工時間は 6 ~ 30 時間 (表 1) であった。

<機械乾燥>

機械乾燥はより均一な乾燥条件設定が可能であることと, 紫外線の影響を受けないことが天日乾燥との大きな違いである。近年一般家庭でも利用されている小型食品乾燥機 (静岡製機株式会社, DSJ-mini) を用い, 温度はカビの発生が最も少なく且つ食品中の成分分解が起こりにくい 40°C とし, 庫内送風により試料重量が元の重量の 3 割, 2 割, 1 割になるまで乾燥させた。3 割 ~ 1 割の試料重量になるまでに要した乾燥加工時間は 3 ~ 11 時間 (表 1) であり, 乾燥加工時間はいずれも天日乾燥の概ね 1/3 程度であった。

表 1 試料乾燥に要した時間 (単位: 時間)

		3 割干し	2 割干し	1 割干し
天日乾燥	ダイコン	14	20	30
	ニンジン	6	12	20
機械乾燥	ダイコン	6	8	11
	ニンジン	3	4	7
機械乾燥	ジャガイモ	4	7	-
	カボチャ	4	7	-

(3) AsAの測定

還元型AsA量及び酸化型AsA (デヒドロアスコルビン酸 (DHA)) 量を高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いて文献記載の方法 (Nishikawa and Kurata 2000) により測定した。DHA量は, 還元型AsA量とジチオトレイトール (DTT) によって還元した還元試料から測定される総AsA量を用いて, [総AsA量 - 還元型AsA量] により算出した。AsA量測定において試薬は全て和光純薬工業のものを使用し, 以下のHPLC分析条件にて分析した。

<HPLC 分析条件>

システム：コントローラ（SCL-10A vp, SHIMADZU），分析処理（CLASS-VP, SHIMADZU）
カラム：ODS-2（Inertsil, 4.6 mm × 150 mm），25℃
溶離液：リン酸バッファー（0.05 M, pH 2.3），0.7 ml / min
検出：UV 245 nm（SPD-10AV vp, SHIMADZU）

結果および考察

2011年に起きた東日本大震災によって日常生活の過剰なエネルギー消費が問題視されるようになったことや、2015年の国連総会でSDGsが採択されたことなどの影響から、冷凍冷蔵庫などに過剰に頼らない環境負荷の少ない食生活スタイルへの関心が高まっている。このような動きから、伝統的食品保存手段として生まれた発酵食品や乾物などが見直されている。これら伝統的保存食品は、旨味の生成などをはじめとする食生活を豊かにすることや環境負荷の少ない食品保存手段であるといった利点がある一方で、加工や管理に手間がかかることから家庭における利用は冷凍冷蔵庫の普及に伴って減少した。現在の家庭における食品保存の主流となっている冷凍冷蔵庫による保存は、菌類の繁殖を抑制する安全面とビタミン等の栄養保持においては手軽且つ非常に優れている。環境負荷の少ない食生活を目指して冷凍冷蔵庫の利用を控え伝統的食品保存手段である発酵食品や乾物の利用を取り入れようとする場合、加工によって生じる栄養損失が気になるところだが、その詳細は未だ明らかにされていない。食品は調理加工や保存中に酸化を受けやすく、これにより変色、栄養損失などの食品劣化が進む。食品中に含まれるAsAは抗酸化物質であり、食品の調理加工や保存中には酸化抑制として働き、自身は酸化分解され失われやすい（Nishikawa *et al.* 2001, 石神 2011）。そのため、AsAの量的変化を追うことにより、その食品の酸化障害の度合い、食品の保存状態の良否等を間接的に推察することが可能であり、更に栄養的評価が可能であると考えられる。

果実の乾燥加工においては、AsAの損失が著しく多くの場合ほぼゼロとなるため、果実の乾燥加工品はビタミン類の栄養摂取源としては期待できず、味や風味を楽しむ嗜好品としての利用が適当であることが既に明らかにされている（西川ら 2004）。しかし、野菜類においては果実類に比べて酸化酵素の働きが弱く、食品成分表における数値等を参考にすると乾燥加工品からの栄養摂取はある程度期待できることが推察可能である。ゆえに、伝統的食品保存手段である乾燥加工について、野菜の乾燥加工操作による食品中のAsA量の変化を分析することで、栄養的側面からの有用性を検討した。野菜や果実などにはAAOが含まれるものと含まれないものがあり、AAOの有無により保存中や調理加工の過程でAsAの動態が異なる可能性がある。そのため、検討においては、試料として根菜類、デンブンを多く含む主類等の2つのタイプの野菜類を分析対象とし、それぞれにAAOを含まないものと含むものを試料とした。分析に用いた試料は、根菜類ではダイコン（AAO無し）とニンジン（AAO有り）、デンブン含有量の高い野菜類ではジャガイモ（AAO無し）とカボチャ（AAO有り）であり、それぞれの乾燥加工操作におけるAsA量の変化を分析した。

近年、天候に左右されることなく手軽に干し野菜ができる家庭用小型食品乾燥機が普及している。このような機械乾燥は天日乾燥に比べて環境負荷低減の趣旨からは外れるが、常時電気を消費する冷凍冷蔵庫に頼らない食品保存ということでは利用検討の余地があると考えられる。また、機械乾

乾燥の場合天日乾燥と比べて、より短時間で乾燥が可能であることや紫外線を受けないことから食材の酸化障害はより低く抑えられるものと予想される。もし天日乾燥野菜における栄養保持がかなり悪い場合に、機械乾燥ではある程度栄養損失が抑制されるのであれば、一般家庭での野菜の乾燥加工手段として推奨できることになる。以上の考えから、天日乾燥と機械乾燥の栄養的な比較検討を行うため、ダイコンとニンジンを用いて両者の乾燥加工におけるAsA量の変化を分析した(図1, 2)。

いずれの乾燥方法ともに、もとの重量の1割までのかかなりきつい乾燥状態まで乾燥加工した場合でも、もとの試料中に含まれていたAsA量の6割以上が保持可能であり、野菜の場合は果実と異なり乾燥加工においてAsAの酸化分解の割合は大きくはなく、乾燥加工した野菜類はAsA供給源になり得るものと考えられた。また、乾燥割合が大きくなるのに従って乾燥加工時間は長くなるが、AsA量は濃縮され増すことから、試料中のAsAは比較的安定した状態にあることが推察された。一方、天日乾燥と機械乾燥を比べると、ダイコンとニンジンのいずれの場合も機械乾燥のほうがAsAの保持がよく、栄養的観点からは天日乾燥よりも機械乾燥のほうが推奨可能と考えられた。AAOの有無による影響については、AAOを含むニンジンのほうがAAOを含まないダイコンに比べてAsAの損失が予想通り大きかったが、AAOを含むニンジンにおいても1割干しまで乾燥させた場合でもAsAは保持されており、野菜の乾燥加工による保存が栄養的に悪くはないものと推察された。また、3割干しでは冷蔵保存をしない場合にカビ発生の可能性があること、1割干しでは非常に硬い仕上がりとなり利用に際して支障があることから、保存性と実用性から考えて2割干しが野菜の乾燥加工として適当であることが推察された。

根菜類以外に乾燥加工に用いられやすく、調理加工においてAsAが比較的安定に保たれAsAの供給源になりやすいことが明らかにされているデンプン含有量の高いイモ類等についても同様に乾燥加工における栄養的評価を行った。乾燥方法は、より栄養保持が良いことが明らかになった機械乾燥を用い、実用可能な乾燥割合範囲ということで3割干し、2割干しについてAsA量の分析を行った(表2, 図3)。デンプンを多く含有するイモ類等の乾燥加工においても3割干し、2割干しともに果実のようにほとんど損失するようなことはなく、最低でももとの試料に含まれていた総AsA量の2割以上が保持可能であることが推察可能となった。また、AAOの有無においても根菜類と同様に、AAOを含有するカボチャのほうがよりAsAの損失が大きかった。デンプン含有量の高いイ

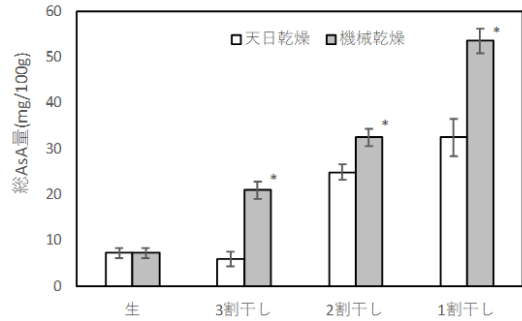


図1 ダイコンの乾燥加工における総AsA量
*P<0.05 同じ乾燥割合の天日乾燥試料に対して

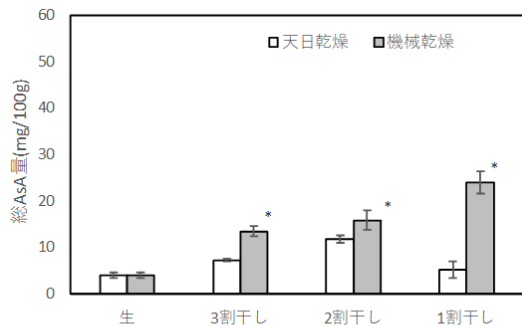


図2 ニンジンの乾燥加工における総AsA量
*P<0.05 同じ乾燥割合の天日乾燥試料に対して

表2 機械乾燥における試料中総AsA量 (mg/100g)

	生	3割干し	2割干し	1割干し
ダイコン（根菜類, AAO無）	7.24 ± 1.04	21.00 ± 1.87	32.53 ± 1.90	53.53 ± 2.67
ニンジン（根菜類, AAO有）	4.00 ± 0.60	13.51 ± 1.09	15.90 ± 2.05	24.03 ± 2.46
ジャガイモ（デンプン系, AAO無）	20.82 ± 2.14	32.93 ± 1.67	31.27 ± 3.34	
カボチャ（デンプン系, AAO有）	28.26 ± 1.02	35.45 ± 1.49	25.72 ± 0.41	

モ類などの加熱調理におけるAsAの保持は他の野菜類に比べてよいことが明らかにされているが、乾燥加工においてはダイコンやニンジンなどの根菜類に比べてAsAの保持率は低く、一般の加熱調理の傾向とは異なる結果であった。この要因として、乾燥加工時間が根菜類とほぼ同等であったことから（表1）、加熱以外の脱水による細胞変化等の他の要因によるものと推察された。

野菜の乾燥加工においては、果実と異なり栄養の損失は少なく酸化分解されやすいビタミン類の摂取源となり、野菜類における環境負荷の少ない長期保存手段として栄養の観点から推奨可能であることが明らかになった。しかし、野菜の乾燥加工品の場合、調理での利用に際して水等の溶液に戻す作業が不可欠であるため、生で直接摂取する場合と異なり調理における栄養損失が見込まれる。乾燥野菜の利用方法については、煮る、焼く、漬けるといった調理への利用が多い（濱田 2011）。これらの調理加工のうち、甘酢漬けにおいてAsA量の損失が大きいことがこれまでの研究から明らかにされている（西川ら 2019）。乾燥野菜を甘酢漬けに利用した際にAsA摂取が望めるのであれば、他の調理に乾燥野菜を利用した場合もそれ以上のAsA摂取が可能であると考えられる。そのため、機械乾燥させた2割干しダイコンを用いて甘酢漬け調理をした場合のAsA量について分析した。甘酢液に漬けてから5日目が食べ頃であり、家庭で一般的に利用される可能性の高い漬け込み上限日数の10日目までのAsA量を測定した（図4）。甘酢に漬けることで甘酢液が試料に浸み込み膨潤することにより含まれるAsAが薄まること

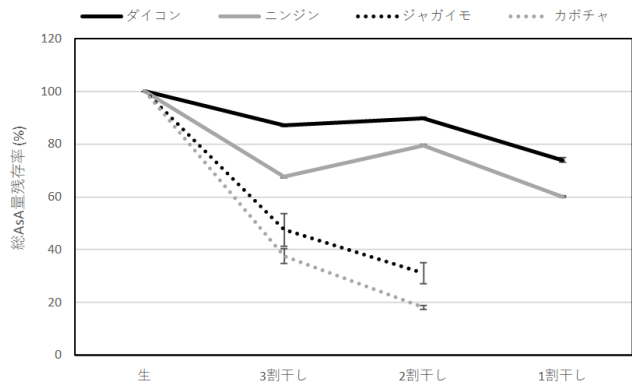


図3 根菜類及びデンプン含有量の高い野菜類の機械乾燥における総AsA量の保持率
 （乾燥前の生の試料中における総AsA量を100%とし、乾燥により失われた水分量を付加補正し算出したもの）

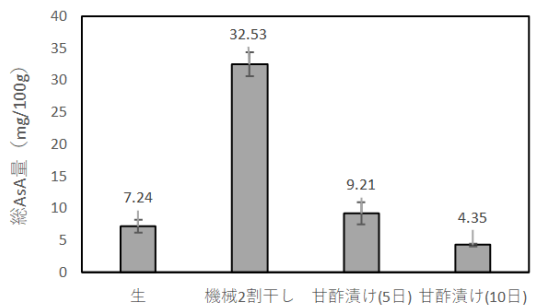


図4 機械乾燥ダイコン（2割干し）の甘酢漬けにおける総AsA量

が主な要因となって、もとの2割干しダイコンのAsA量に対して漬け込み5日のもので28.3%が、漬け込み10日のもので13.4%までAsA量が低下することが明らかになった。食べ頃の漬け込み5日のものを食した場合のAsA摂取量を計算すると、1食当たり干しダイコンのスライスを5枚（甘酢漬けにした場合に50g相当）食すとすると、4.6mgのAsAが摂取可能となる。AsAの1日当たりの摂取推奨量は100mgでありそのおよそ5%相当になる。甘酢漬けが最も損失の大きい調理利用例ということ考えると、2割干し乾燥ダイコンを使用した調理では1食当たりこれ以上のAsA摂取が期待でき、決して多くはないが貴重なAsA摂取源になり得るものと考えられた。以上のことから、野菜の乾燥加工保存は果実のように酸化障害は大きく進まず、栄養的観点から評価可能な保存手段であると考えられた。

まとめ

本研究により以下の結果が得られた。

- ・野菜の伝統的長期保存手段の一つである乾燥加工は、AsAの酸化分解は果実のように大きくは進まず比較的安定に保たれることが明らかになり、栄養的観点から推奨可能な野菜の保存手段であると考えられた。
- ・野菜の乾燥加工方法としては、実用性と栄養的観点から天日乾燥よりも機械乾燥が推奨可能となった。環境負荷の低減に向けた野菜の保存方法として機械による乾燥加工が推奨可能か否かについては、冷凍冷蔵保存と機械乾燥加工にかかるエネルギー量の更なる詳細な比較検討が必要と考えられた。
- ・加熱をはじめとする調理においてAsAが比較的安定に保持されるとされるイモ類等について、乾燥加工においては特にAsAの高い安定性は認められず、逆にこれらの野菜類では乾燥加工操作において他の野菜類よりも酸化障害が進みやすい性質があることが推察された。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会学術研究助成基金助成金基盤研究(C) (課題番号:19K02313, 研究代表者:西川陽子)の助成を受けて行われた。

引用文献

- 石神昭人. 2011. ビタミンCの事典. pp.88-131. 東京堂出版.
- 濱田美里. 2011. 干し野菜百科. pp.2-14, 46-49. 河出書房新社.
- 西川陽子・吉澤明子・沼田美智子. 2004. 渋柿の脱渋とこれに関連する果実の追熟におけるアスコルビン酸の動態. 茨城大学教育学部紀要(自然科学), 54, 79-90.
- 西川陽子・上杉望・森三千歌. 2019. 伝統的食品保蔵手段の栄養学的評価. 茨城大学教育学部紀要(自然科学), 68, 93-100.
- Nishikawa Y., Kurata, T. 2000. Chemical characteristics of dehydro-L-ascorbic acid. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 64,

1651-1655.

Nishikawa Y., Toyoshima Y., Kurata, T. 2001. Identification of 3,4-dihydroxy-2-oxo-butanal (L-threosone) AsAn intermediate compound in oxidative degradation of dehydro-L-ascorbic acid and 2,3-diketo-L-gulonic acid in a deuterium oxide phosphate buffer. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 65, 1707-1712.

大羽和子. 1996. 新鮮野菜のアスコルビン酸オキシダーゼ. 日本調理科学会誌, 29(2), 120-124.

United Nations. 2015. 持続可能な開発のための2030アジェンダ. <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/000101401.pdf>, (2019年7月25日閲覧).