アクアガス（微細水滴含有過熱水蒸気）による 農産物の加熱殺菌効果

増田弥恵・殿塚婦美子・香川芳子

（女子栄養大学）

（平成25年12月7日受付，平成26年8月4日受理）

Heating sterilization of vegetables by Aqua-Gas (micro-water droplets containing superheated steam)

Yae Masuda, Fumiko Tonozuka, Yoshiko Kagawa

Kagawa Nutrition University, 3-24-3, Komagome, Toshima-ku, Tokyo, 170-8481

〒170-8481 東京都豊島区駒込3-24-3

With the growing interest among consumers for food safety, many food service and catering facilities use the microbial sterilization of food by the scientific sterilization method; the chlorite and electrolyzed water acidic aqueous solution. However, this method is accompanied by residual chlorine and the drastic decrease in runoff of soluble nutrients and flavor due to the inevitable rinse with plenty of water.

Compared to this conventional way, Aqua-Gas (micro-water droplets containing superheated steam) can sterilize many vegetables without requiring a scientific sterilization method. Aqua-Gas has a higher heat transfer by control of the heating drying speed and possible adjustment of the moisture content of the ingredients heating by containing micro-droplets of superheated steam in the atmosphere. A remarkable bactericidal effect in a short time by the aquagas-treated heat occurs when compared to other heating methods with a high heat transfer efficiency, and the effects on the microbial control of the agricultural surface are already occurring, especially for vegetables and raw heating.

Results of the bactericidal effect on the extension of the viable cell count due to the aquagas-treated heating sterilization revealed that purpose of the various ingredients of the souring heating time on the measurement and experiment, and the heating time during the aquagas-treatment in many agricultural products, 10 seconds became safe and hygienic while retaining the texture life in 30 seconds. Also concerning the viable cell count due to the aquagas-treated heating ingredients, the viable cell count increased even after 96 hours of chilled storage, thus an increase in the shelf-life could improve the sterilization effect. Aquagas-treated heating having a high bactericidal effect suggests that it can lead to a simplification of work processes such as pre-heating and heat the ingredients faster.

1. 緒 言

食品の安全性に対する消費者の関心が高まっている中、2011（平成23）年6月に農林水産省消費・安全局から農産物を衛生的に保つための衛生管理指針が公表された¹⁾。

国内外において農産物の生産段階での微生物汚染が原因とされる集団食中毒も起きており、生産段階における微生物の付着・増殖を予防する重要性が重視されている。一方、食品の微生物汚染状況は流通・販売過程における保存状態等にも大きく影響されるため、多くの外食産

業・給食施設等では微生物殺菌方法として次亜塩素酸塩や電解水強酸性の水溶液による科学的殺菌法を用いている。しかし、この方法で殺菌効果を高めるには溶液浸漬時間がきゅうりの場合は30分以上を必要とすることや²⁾野菜に塩素が残留することが明らかになっている³⁾。また多量の水による洗い流しによって水溶性栄養成分の流出を伴うことも否めず、薬剤等を使用せずに微生物を制御できることが望ましい。

このような背景において農産物等の表面殺菌処理に過熱水蒸気による加熱が検討されている⁴⁾が、この加熱方法では食材表面が乾燥状態となる。そこで、加熱による乾燥速度を制御し食材の含水率を調整でき、かつ従来の過熱水蒸気より高い熱伝達性を持つ加熱方法が開発された。高温の微細水滴を含有した常圧の過熱水蒸気雰囲気(アクアガス)⁵⁾加熱である。この加熱方法は、軟水処理した水を2つの加熱プレート内でヒーターより加熱し、加熱チャンバー内のノズルから噴霧させる。加圧された加熱プレート内で115～120℃に加熱された水はチャンバー内で大気圧に戻り蒸発し水蒸気化し、この微細水滴の混在した状態をアクアガスと定義している^{6,7)}。アクアガス加熱は、他加熱法と比較して熱伝達効率が高く、農産物表面の微生物制御に対する効果があることがすでに明らかになっている。なかでも農産物の生の食感を損なわない短時間での加熱における殺菌効果が著しい⁸⁻¹¹⁾。

本報では、外食産業・給食施設等で使用頻度の高い農産物について、より調理の現場に即した観点から、生の食感を保持しつつ衛生的に安全なレベルまで微生物を制御できる加熱時間における微生物検査と、生食および加熱食材の加熱後の一般生菌数の経時変化およびアクアガス加熱時間延長の殺菌効果を検討したので報告する。

2. 実験方法

(1) 試料および試料の調製

本実験では、1) 生食する食材のアクアガス加熱における短時間加熱殺菌効果、2) 生食および加熱食材の加熱後の一般生菌数の経時変化、3) アクアガス加熱時間の延長と殺菌効果について行った。試料はアクアガス加熱の特徴的な調理加工特性である短時間加熱殺菌を生かしたレシピ¹²⁾から選定した。各々豊島区内小売店より購入し、提供される際に頻度の高い切り方に調製した。なお以下、洗浄は水道水を用い給食施設の洗浄方法に準じた。未加熱のものについては、洗浄は行っていない。

1) 短時間加熱殺菌

かぶ	葉を切り落とし洗浄後、皮を剥き3 mmの半月切り
ミニトマト	ヘタを取り洗浄
カット野菜	購入時のまま
巨峰	房を取り皮付きのまま洗浄
メロン	洗浄後皮付きのままくし型にカット
レモン	洗浄後皮付きのままくし型にカット

キャベツ	外葉除去後葉をばらばらにして洗浄し3～4 cmのざく切り・5 mm幅のせん切り
パセリ	洗浄
大根	洗浄後皮を剥き洗浄後5～6 cmのマッチ棒大にカット
カットパイン	購入時のまま
赤たまねぎ	皮を剥き洗浄後5 mmの薄切り
ピーマン	洗浄後種子を除去し5 mm幅のせん切り
にんじん	洗浄後皮を剥き2 mmのせん切り
きゅうり	専用スポンジでこすりながら流水で洗浄、洗浄後3 mmの小口切り・せん切り

2) 一般生菌数の経時変化

もやし	洗浄
きゅうり	専用スポンジでこすりながら流水で洗浄、洗浄後3 mmの小口切り・せん切り
かいわれ大根	根を取り洗浄
長ねぎ	根を切り落として洗浄
カリフラワー	小房に切り分けて洗浄
ブロッコリー	小房に切り分けて洗浄
たまねぎ	皮を剥き洗浄した後5 mmの薄切り
レモン	洗浄
はくさい	外葉除去後葉をばらばらにして洗浄し3～4 cmのざく切り
にら	洗浄後3～4 cmの長さにカット

3) アクアガス加熱時間の延長と殺菌効果

きゅうり	洗浄後3 mmの小口切り・せん切り
根三つ葉	根を切り落とし3 cmの長さにカットし洗浄
にら	洗浄後3～4 cmの長さにカット
かいわれ大根	根を取り洗浄
万能ねぎ	根を切り落とし洗浄後3 mmの小口切り
カット野菜	購入時のまま
たまねぎ	皮を剥き洗浄後5 mmの薄切り
もやし	洗浄
セロリ	葉と根に近い部分を切り落とし専用スポンジで洗浄
長ねぎ	洗浄後3 mmの小口切り
マッシュルーム	洗浄
ブロッコリー	小房に切り分けて洗浄
青梗菜	根元を切り落とし洗浄後葉はざく切り、茎は削ぎ切り
おくら	なり口を切り落とし洗浄

(2) 使用機器・加熱条件

アクアガス加熱装置「アクアクッカー」[株式会社タイヨー製作所](厨房型 AQ-25G-SD5-OH)を使用した(外形寸法 W1067 mm × D1120 mm × H890 mm, 可能処理量 1/1 ホテルパン 5 枚, 電源 AC200V 3 相, 消費電力 8 kw)。アクアガスの発生メカニズムについては図 1 に示した。詳細は既報も参照されたい^{13, 14)}。

アクアガス状態を決定する加熱条件となる庫内蒸気量(spm)とファン回転速度(Hz)については、80～360 spm, 25～50 Hzの各段階で庫内温度上昇実験を行った結果を検討し、最適と思われる200 spm・25 Hzに設

図1 アクアガス発生メカニズム

定した。加熱チャンバ内処理温度は115℃、酸素濃度は0.2%、湿度は100%である。

調製した試料は穴あきホテルパン上に置き、任意の秒数アクアガス加熱を行った。

（3）細菌検査試料の調製

実験1）の加熱時間については、予備実験においてアクアガス加熱後の試料を食味テストにより、食感、外観が生の状態を保持できる最短加熱時間とした。実験2）、3）の加熱時間については食材の種類や切り方により通常の加熱時間を考慮して検討した。

（4）細菌検査の方法

保存環境・殺菌効果の評価方法：試料はアクアガス加熱後ただちに滅菌袋（96時間後測定分はポリエチレンジッパー付袋）へ入れ密封し、保冷剤を並べた冷蔵室内で十分に冷却した（チルド：0～3℃）。殺菌効果の評価は一般生菌数の測定により行った。菌数測定は外部検査機関に依頼したため、加熱後冷却した検体はクール便にて検査機関へ配送・測定を行った。物流の関係上検査

機関到着は翌日となるが、サンプル調製日を基準として加熱後時間を表記した。なお一般生菌数は、混積平板培養法にて培養・測定したものである。

3. 結果および考察

衛生的に安全とされるレベルについては、弁当・惣菜や洋生菓子など個別に衛生規範が提示されているが^{15, 16)}、がん研究振興財団助成研究の報告によれば、移植食の一般生菌数は 10^3 cfu/g レベルでの提供を目標としている¹⁷⁾。そこで本報では 10^3 cfu/g を衛生的に安全性が高いレベルと設定し、ほぼ無菌状態の300 cfu/g 以下については特記することとした。

（1）生食する食材のアクアガス加熱における短時間加熱殺菌効果

生の食感を保持したまま、かつ衛生的に安全な基準となる最短のアクアガス加熱秒数と一般生菌数の結果を表1に示した。各々アクアガスで表記の秒数加熱することにより、衛生的に安全な一般生菌数となった。数十秒という加熱時間でいずれも生の食感は保持したまま、

表1 生食する食材のアクアガス加熱における短時間加熱殺菌効果

検体名	加熱時間 (秒)	一般生菌数 (cfu/g)	検体名	加熱時間 (秒)	一般生菌数 (cfu/g)
かぶ	10	300 $\geq$	大根	20	300 $\geq$
ミニトマト	10	300 $\geq$	カットパイン	20	300 $\geq$
カット野菜	10	10^3	赤たまねぎ	30	10^2
巨峰	10	300 $\geq$	ピーマン	30	10^2
メロン	10	300 $\geq$	にんじん	30	300 $\geq$
レモン	10	10^2	きゅうり（ホール）	30	300 $\geq$
キャベツ（ざく切り）	10	10^3	きゅうり（小口切り）	30	300 $\geq$
キャベツ（せん切り）	15	300 $\geq$	きゅうり（せん切り）	30	10^2
パセリ	15	10^2			

キャベツ、メロン、カットパイン等においては食材の持つ甘味が顕著に引き出された。

アクアガスの表面殺菌能力の高さはその熱伝達効率の高さによるところが大きい。アクアガスとその他加熱法の熱伝達効率の比較実験⁵⁻⁷⁾によると、アクアガスは速やかに高温に達するため食材表面に付着している一般生菌に対し有効に働きかけることができる。

加熱後の一般生菌数と生食感の保持については、食材の初発菌数や形状によるところが大きい。また、組織が薄く熱が内部まで短時間に伝わり物性が変化しやすいものについては、生の食感を残したまま短時間で殺菌することができないと考えられている¹⁸⁾。著者らの実験においても、レタス、大葉、ミズナ等を短時間加熱した場合衛生的には問題ないが生の食感を保持することはできなかった。キャベツ等季節によってその品質が大きく異なる食材については、それぞれの品質に合わせて加熱秒数の検討を行うことが必要である。

このように生の食感を損なわずに衛生的に安全に提供できるという点は病院等でも注目されている。がん治療により免疫不全状態にある患者に対しては、衛生的な観点から危険性の高い生野菜やカット果実を提供できていない施設が多い。アクアガスによる短時間加熱殺菌はこれを可能にし、患者の希望に応え QOL の向上をもたらしている¹⁹⁾。今後は学校給食等においても、アクアガス加熱による衛生的に安全な生野菜サラダ等の提供を期待したい。

(2) 生食および加熱食材の加熱後の一般生菌数の経時変化

アクアガス加熱により減少した一般生菌数が日持ち性与える影響について、加熱直後とチルド保存96時間後の一般生菌数により評価した。

それぞれの検体の一般生菌数の経時変化を図2、図3に示した。未加熱の状態での一般生菌数は食材により $10^3 \sim 10^7$ cfu/g であった。図2は初発菌数の多少にかかわらず、加熱直後に一般生菌数が300 cfu/g 以下となっ

たものである。これらをチルド保存した96時間後、すべての検体において300 cfu/g 以下のままであった。この結果から、アクアガス加熱により一般生菌数を300 cfu/g 以下に減少できると、衛生的安全性が非常に高い状態で日持ち性を向上できる可能性が高いことが示唆された。1996年の食中毒事故以降、一般的に生で提供するのが難しいとされているかいわれ大根⁸⁾をはじめ農産物において、薬剤等を使用せずにこのような日持ち性を持たせられることは画期的であると考ええる。

図3は加熱直後に比較的菌数が多かったものと、96時間後の一般生菌数に増加がみられたものである。上述したかいわれ大根の加熱処理時間を10秒にした場合の一般生菌数を調べてみると、未加熱時 10^6 cfu/g で加熱直後に 10^4 cfu/g まで減少がみられた検体は、96時間後の一般生菌数に増加はみられず、 10^4 cfu/g のままであった。また、その他食材に関しても加熱直後と96時間後の一般生菌数に増加がみられず、 10^4 cfu/g のままであった。

一方、加熱直後の一般生菌数が多かった検体については96時間後に 10^6 cfu/g となった。これらの検体は食材の組織が薄く食材間にアクアガスが十分に行き渡らないため、加熱直後の一般生菌数も 10^5 cfu/g と多かったと考えられる。しかし加熱直後と96時間後の一般生菌数の増加は10倍に留まったので、保存中に大幅に菌数が増加したわけではないといえる。従来の殺菌法である中性洗剤と次亜塩素酸ナトリウム溶液を用いた生野菜の保存実験の報告によると、すすぎ・殺菌で一般生菌数には若干の減少がみられ、 $10^\circ\text{C} \cdot 24$ 時間保存後には初発菌数より増加し48時間後には 10^7 cfu/g にまで達している²⁰⁾。これと比較するとアクアガスによる加熱殺菌をした食材の一般生菌数は、96時間後に増加をしても初発菌数を上回ることとはなく、従来の殺菌法よりも保存性に優れていると推察される。

アクアガス加熱による保存試験については調理品についても報告されている。豚角煮および牛スジ煮込みにおいて $10^\circ\text{C} \cdot 5$ 日間保存後、通常調理法では一般生菌数の増加がみられた(300 cfu/g 以下 $\rightarrow 10^3$ cfu/g) のに対し、

図2 一般生菌数の経時変化 (1)

※ () 内はアクアガス加熱秒数

図3 一般生菌数の経時変化（2）

※（ ）内はアクアガス加熱秒数

アクアガス加熱による調理では300 cfu/g 以下のままと、一般生菌数は抑制されていた⁹⁾。またポテトサラダにおいては10℃・4日間保存後、通常調理法では一般生菌数の増加がみられた（10³cfu/g → 10⁵cfu/g）のに対し、アクアガス加熱では300 cfu/g 以下のままであった⁸⁾。

これらのことから、アクアガス加熱による一般生菌数の減少は日持ち性の向上に大きく貢献できると判断できる。

（3）アクアガス加熱時間の延長と殺菌効果

加熱時間の延長が殺菌効果に及ぼす影響について検討した結果を図4に示した。万能ねぎやたまねぎなど加熱時間10秒では殺菌効果がみられなかったものにおいても、

加熱時間の延長により確実に一般生菌数は減少しており、衛生的に安全な状態にまで殺菌できることが明らかになった。きゅうりにおいて五月女らも、加熱時間を60秒まで延長した結果一般生菌数が検出されなくなったと報告している^{8, 18)}。どの食材においても微生物による汚染状況は、流通・販売・保存状態にも左右されるため、衛生的に安全といえるレベルまで菌数を減少させるに要する加熱時間は異なる。しかし生の食感を維持することよりも衛生的に安全な一般生菌数にすることに着眼した場合、アクアガス加熱時間の延長が確実な効果をあげることが明らかになった。

生および加熱して使用される食材について、衛生的に安全となる加熱時間の検討を行った結果を表2に示した。これらは食材によって加熱の状態が異なるが加熱調理の際のブランチング（予備加熱）として利用できると考える。食材自体に菌数の多いもやしについては、30秒の加熱では一般生菌数は1/10しか減少しなかったが、加熱を60秒に延長したところ300 cfu/g 以下まで減少させることができた。もやしは通常生で食すことはないため、60秒の加熱を予備加熱として調理に利用できる。このようにアクアガスでの短時間加熱は食材に確実な殺菌効果をもたらすとともに、高い熱伝達率による加熱時間の短縮により作業工程の簡略化も図ることができる。さらにアクアガス加熱は通常の加熱方法と比べて、食感・色・おいしさ・栄養成分面についても評価が高いことがブロッコリー等において報告されており^{7, 10)}、衛生的安全

図4 アクアガス加熱時間の延長と殺菌効果

表2 衛生的に安全となるアクアガス加熱時間

検体名	加熱時間 (秒)	一般生菌数 (cfu/g)	検体名	加熱時間 (秒)	一般生菌数 (cfu/g)
根三つ葉	20	10 ³	ブロッコリー	60	300 ≧
長ねぎ	30	10 ²	セロリ	60	300 ≧
万能ねぎ	30	10 ³	もやし	60	300 ≧
にら	30	10 ³	青梗菜	60	300 ≧
かいわれ大根	30	300 ≧	おくら	60	300 ≧
マッシュルーム	45	300 ≧			

性の高さと美味しさを併せ持った予備加熱にも効果的であるといえる。これら十分に殺菌できた食材は、調理法によっては適当な食感として扱えると考えられる。たとえばきゅうりの小口切りの場合、10秒加熱なら生の食感を十分に保持できるので生野菜サラダへ利用できる。20秒加熱だとわずかにテクスチャーの変化がみられるが生食の食感が残るのでポテトサラダ用として、30秒まで加熱時間を延長すると生とはいえない食感となるため塩もみや漬物等への利用が考えられる。

このように食味、食感を良好に保ちながら効果的な殺菌効果を行えることは、惣菜類など加工食品の消費期限の延長や安全性の向上に活用できると考えられる^{8,9)}。

4. 要 約

アクアガス加熱による加熱殺菌効果を明らかにすることを目的に、さまざまな食材の生の食感を損なわない加熱時間を検討し、一般生菌数の測定、保存実験および加熱時間の延長による殺菌効果の検証を行った結果は以下のとおりである。

- (1) 多くの農産物において、アクアガス加熱10~30秒で生の食感を保持しつつ衛生的に安全な状態となった。
- (2) アクアガス加熱により一般生菌数が減少した食材のほぼすべてにおいて96時間チルド保存後も一般生菌数の増加がみられず、日持ち性を高めることができた。
- (3) アクアガス加熱時間の延長は、一般生菌数を減少させる傾向が認められた。
- (4) アクアガス加熱による高い殺菌効果は、食材の保存性を高めるため安全性が向上し、加工食品の予備加熱や加熱時間の短縮等、作業工程の簡略化にもつながることが推察された。

謝 辞

この研究は株式会社タイヨー製作所、有限会社梅田事務所からの委託研究費により実施したものである。アクアガスの技術については、独立行政法人農業・食品産業総合研究機構・生物系特定産業技術研究支援センター(生研センター)の異分野融合研究支援事業で実施された「アクアガスを用いた高品質汎用食材の新規調製技術の開発」成果によるものである。ここに記して関係各位に謝意を表する。

文 献

- 1) 農林水産省消費・安全局：生鮮野菜を衛生的に保つために一栽培から出荷までの野菜の衛生管理指針―(2011)
- 2) 太田義雄，高谷健市，中川禎人：次亜塩素酸ナトリウムによるキュウリの殺菌洗浄効果，日本食品化学工学会誌，42(9)，661-665 (1995)

- 3) 日高利夫，桐ヶ谷忠司，上條昌彌，木川寛，河村太郎，河内佐十：次亜塩素酸ナトリウム処理野菜における残留塩素の消失とクロロホルムの生成，食品衛生学雑誌，33(3)，267-273 (1992)
- 4) 阿部茂：過熱水蒸気による農水産加工品の表面殺菌技術，フレッシュ食品の高品質殺菌技術，389-397 (2008)
- 5) 五月女格，坂本晋子，竹中真紀子，小笠原幸雄，名達義剛，五十部誠一郎：微細水滴を含む過熱水蒸気の伝熱・乾燥特性，日本食品工学会誌，6(4)，229-236 (2005)
- 6) 五十部誠一郎，小笠原幸雄，根岸由紀子，殿塚婦美子：アクアガス(微細水滴含有過熱水蒸気)システムの開発と農産加工への応用，日本食品科学工学会誌，58(8)，351-358 (2011)
- 7) 五十部誠一郎：アクアガスの加熱機構と農産加工への応用，日本食生活学会誌，17(3)，193-197 (2006)
- 8) 五月女格，小関成樹，鈴木啓太郎，五十部誠一郎，山中俊介，小笠原幸雄，名達義剛：微細水滴を含む過熱水蒸気処理による野菜の高品質殺菌処理，防菌防黴，33(10)，523-530 (2005)
- 9) 山中俊介，五月女格，津田升子，竹中真紀子，小笠原幸雄，名達義剛，五十部誠一郎：微細水滴を含んだ過熱水蒸気の殺菌効果の評価と食品調理加工への応用，防菌防黴，35(6)，341-349 (2007)
- 10) 殿塚婦美子，長田早苗，谷武子，根岸由紀子，奥崎政美，香川芳子：アクアガス加熱食材の基礎的調理加工特性に関する研究 第1報 ブロッコリーについて，日本食生活学会誌，16(3)，242-248 (2005)
- 11) 五月女格，鈴木啓太郎，小関成樹，坂本晋子，竹中真紀子，小笠原幸雄，名達義剛，五十部誠一郎：微細水滴を含む過熱水蒸気によるジャガイモの1次加工処理，日本食品科学工学会誌，53(9)，451-458 (2006)
- 12) 殿塚婦美子：アクアクッカーレシピ集 アクアクッカーで安全・高品質・簡単レシピ150選，アクアガス技術普及協議会 (2013)
- 13) アクアガス技術普及協議会：アクアガスオープン アクアクッカーカタログ
- 14) 五十部誠一郎：アクアガスによる生鮮食材の殺菌と応用，フレッシュ食品の高品質殺菌技術，369-374 (2008)
- 15) 厚生省環境衛生局食品衛生課長通知：弁当及びそうざいの衛生規範について 環食第161号 (1979)
- 16) 厚生省環境衛生局食品衛生課長通知：洋生菓子の衛生規範について 環食第五四号 (1983)
- 17) がん研究振興財団助成研究：病院食での食品衛生状況の現状と展望 微細水蒸気による殺菌効果の有用性と患者満足度の向上に向けて 同種造血幹細胞移植における食事内容の見直し(報告書)，3-4
- 18) 五十部誠一郎：青果物／カット青果物の衛生管理法と微生物制御技術 [11] 物理的微生物制御技術 (2) 熱殺菌，防菌防黴，35(8)，519-526 (2007)
- 19) 桑原節子，松原弘樹，殿塚婦美子：がん治療患者(造血幹細胞移植患者)に対する栄養食事管理の改善―微細水蒸気の殺菌効果，臨床栄養，121(7)，822-826 (2012)
- 20) 横山佳子：野菜サラダ加工過程における細菌叢の変化に関する検討，日本食生活学会誌，24(1)，21-27 (2013)