

粉粒体殺菌技術に関する研究

鎌田靖弘、喜屋武満*、仲程俊規*、中田幸也*、稲福桂一郎*、呉屋克宏*、比嘉賢一

パイロットスケール粉粒体殺菌機を用いて、共同企業5社が必要とする健康食品原料素材（モロヘイヤ粉末、シークワサー搾汁残渣粉末、ニガウリ粉末、ノニ搾汁残渣粉末、蒸気処理した春ウコン粉末）の粉粒体に対し、殺菌圧力と過熱温度を変えて殺菌試験を行った。

その結果、全ての素材において、0.1MPa(156℃)～0.2MPa(164℃)（ゲージ圧）の条件で製品規格内に菌数を低減させることができた。また、素材の物性や色調、風味、ポリフェノール含量などを調べることで、品質劣化を抑えられる殺菌条件(圧力や蒸気温度など)を得る手がかりとなった。素材によっては殺菌後の原料水分が数%上昇することや、機器内の冷却工程における2次汚染の可能性（洗浄法の改善）等が今後の課題となった。

1 緒言

沖縄県には、保健機能が期待される亜熱帯植物など、健康食品の原料素材が多種類存在する。そのため、県内健康食品製造業では、これら素材を活用した最終製品のみならず、乾燥原料や中間製品の業務用途(B to B)供給等も含めた、移出・輸出拡大の可能性が期待されている。

一方で、食品衛生法改正に伴う HACCP の考えを取り入れた規制等を含めて、食品品質に関する市場の要求は年々厳しさを増しており、安心・安全を軸とする衛生・殺菌面に関しては、特に厳格なレベルが求められるようになってきた。

しかし、中小零細企業が大半を占める本県健康食品業界では、原料作物の洗浄や加工、製品化までの諸工程において、衛生管理・微生物低減を十分に達成できる殺菌装置・殺菌技術を自社内に保有している事業者は少ない。殺菌工程は健康食品製造にとっても欠く事の出来ない重要な工程であるが、対象となる素材部位が、根、葉、茎、実と様々であり、またその形態も、原体、スライス、粒、粗粉、微粉等と、多岐に渡る事や、素材に付着している微生物種や初発菌数等の条件も大きく異なる事等から、使用する殺菌装置や殺菌条件等の課題も多い。特に粉体原料の殺菌法として一般的に用いられる、蒸気の性質を利用した湿熱殺菌法は、ハンドリングが難しく、素材の色調・風味・成分の劣化損失が増大してしまう可能性が高い。そのため、県外企業に殺菌工程を委託している企業も多く、コストの増加や製造期間の長期化を招いている。製品品質を左右する製造面を県外に依存する体制は、結果として、県内健康食品業界全体の発展を阻害する要因の一つとなっていると言える。

そこで本研究では、パイロットスケール粉粒体殺菌機を用いて、健康食品製造共同体（5社連携）と共同して、

県内生物資源を健康食品などへの活用促進を目的に、品質を保持しつつ、各社の製品規格内の菌数に低減させるための殺菌技術に関する研究を行った。なお、用いた粉粒体殺菌機は、沖縄県のバイオ関連インキュベーション施設である、沖縄健康バイオテクノロジー研究開発センター（以下、バイオセンター）設置で、県内企業等への開放機器である。

2 実験方法

2-1 原料

原料は、モロヘイヤ粉末、シークワサー搾汁残渣粉末、ニガウリ粉末、ノニ搾汁残渣粉末、蒸気処理した春ウコン粉末の5種類を用いた。

2-2 原料加工方法（洗浄、切断、乾燥等）

2-2-1 モロヘイヤ粉末

生原料を洗浄後、裁断機で一次切断し、乾燥（60℃、12時間）後、裁断機にて2次切断（4mスクリーン）した。殺菌後の粉砕は、ピンミル（0.1mmスクリーン）にて粉砕した。

2-2-2 シークワサー搾汁残渣粉末（以下、シークワサー粉末）

シークワサー搾汁残渣（搾汁率44.9%）を農業生産法人（有）勝山シークワサーより入手し、直ちに乾燥（65℃、約8時間）した。粉砕はバイオセンターにある粗粉砕機（MKCM-5：増幸産業（株））、3mスクリーンで粗粉末化した。

* 健康食品製造共同体（株式会社比嘉製茶、株式会社沖縄ウコン堂、農業生産法人株式会社仲善、金秀バイオ株式会社、有限会社沖縄長生薬草本社）

2-2-3 ニガウリ粉末

洗浄したニガウリを厚み約 1mm、長さ約 20~40mm にスライスし、乾燥（65℃、約 8 時間）した。乾燥ニガウリを粗粉碎機（MKCM-5：増幸産業（株））、3mm スクリーンで粉碎した。

2-2-4 ノニ搾汁残渣粉末

農業生産法人株式会社仲善で搾汁したノニの残渣（搾汁率約 50%）を、直ちに乾燥（80℃、20 時間）し、ピンミルにて粉碎（スクリーンなし）で行った。

2-2-5 蒸気処理した春ウコン粉末

春ウコン粉末は、春ウコン根塊を洗浄、ヒゲ取り、スライス乾燥させた後、一次殺菌（100℃蒸気中にて 30 秒程の加熱）させ、その後、乾燥粉碎（スクリーン無し）して調製した。

2-3 殺菌方法

パイロットスケール粉粒体殺菌機は、粉粒体気流式殺菌装置（KPU-10T-EPH：（株）大川原製作所）を用いた。殺菌試験は 0.1MPa（156℃）、0.2MPa（164℃）、0.2MPa（185℃）、0.3MPa（171℃）、0.3MPa（185℃）の 5 条件で行った。充填速度は、測定した各原料のかさ密度から推測し 30kg/h となるように調製した。なお、圧力単位である MPa は全てゲージ圧である。

2-4 水分測定

水分の測定は、加熱乾燥式水分計（ML-50：（株）A & D）を用いた。測定条件は、試料重量 5g、温度設定 105℃、終了条件 0.2%/min で行った。

2-5 水分活性（以下 Aw と称す）測定

水分活性測定装置（LabSwift-Aw：ノバシーナ社）を用いて測定した。

2-6 微生物検査

一般生菌数（標準寒天培地法）、大腸菌群（デソキシコレート培地法）、耐熱性芽胞菌数、真菌・酵母類（ポテトデキストロース寒天培地法）の 4 項目を測定した。耐熱性芽胞菌数（以下、耐熱性菌数）は、山本ら¹⁾の耐熱性試験を参考に、サンプルを沸騰水浴中（水温 90℃以上確認の上）にて 10 分間加熱処理させた後、一般生菌数（標準寒天培地法）と同様の方法にて測定した。

2-7 官能検査

官能検査は、各企業の方法に従って行った。

2-8 色度測定

色度は、色彩色差計（CR400 DP-400：コニカミノルタ（株））を用いて、n=6 で L*a*b*を測定し、色差（dE）を求めた。色差（dE）の感覚は、

表 1 色差値（dE）の評価

dE*	色差の感覚	
0~0.5	Trace	かすかな色差
0.5~1.5	Slight	わずかな色差
1.5~3.0	Noticeable	感知しうる色差
3.0~6.0	Appreceable	目だつほどの色差
6.0~12.0	Much	大きな色差
12以上	Very Much	多大な色差

表 1 に示した NBS 単位²⁾（米国標準局）で評価した。

2-9 物性測定

各粉末の物性測定は、パウダテスタ（PT-R：ホソカワミクロン（株））を用いて行った。n=3 で安息角、崩壊角、差角、ゆるみ見掛け密度、固め見掛け密度、圧縮度を測定し、カーの流動性指数と噴流性指数を求めた。

2-10 ポリフェノール測定

各素材 2g に 50%EtOH 30mL を加えて振とう抽出（振とう数；290 回 min-1、抽出時間；1h）を行い、遠心分離（10,000rpm、10min）後の上清を実験に供した。

ポリフェノール定量には、フォーリン・チオカルテ法を用い、マイクロプレートリーダー（BioTek Synergy HTX）を用いて行った³⁾。すなわち、n=3 でサンプル 20μL、フォーリン試薬 14μL、10%炭酸ナトリウム 40μL、水 106μL を加えた後、30 分後に 630nm にて分析し、没食子酸当量として求めた。

3 実験結果

3-1 モロヘイヤ粉末を用いた殺菌試験

モロヘイヤ粉末のかさ密度（170g/L）を考慮して、原料送り量は 13Hz で 31.5kg/h で行った。

微生物検査結果を表 2 に示す。一般生菌数では、初発菌数は 2.0×10^6 (cfu/g) であったが、0.1MPa（156℃）で 4.9×10^3 (cfu/g)、0.2MPa（164℃）で 7.2×10^2 (cfu/g) となり、それ以降も 8.4×10^2 (cfu/g) から 1.2×10^3 (cfu/g) までの値となった。一方、耐熱性菌数の初発菌数は 3.5×10^3 (cfu/g) であったが、0.1MPa（156℃）で 1.0×10^3 (cfu/g)、0.2MPa（164℃）で 3.0×10^2 (cfu/g) となり、それより高压 0.3MPa で高温（171℃ or 185℃）においても、300(cfu/g) 以下となった。このことから、モロヘイヤ粉末では、一般生菌数は 1/1000 にも菌数が減少し、殺菌効果は順調であったが、耐熱性菌数は 1/10 程度しか減少せず、残留した一般生菌数の半数以上が耐熱性菌数であることが推察された。

なお、0.3MPa、185℃ 1 回目の微生物検査での数値が高

いのは、検査工程での人為的ミス（サンプル調製に時間を要した）による結果である。

大腸菌群と酵母・真菌類は、初発菌数が各々 1.3×10^4 (cfu/g)、 1.9×10^4 (cfu/g)であったが、いずれも 0.1MPa (156°C)で陰性、300(cfu/g)以下となり、それより厳しい条件においても同様の結果となった。なお、表中にある（－）は、前後のデータより判断し試験を実施しなかった。

表 2 モロヘイヤ粉末における殺菌前後の微生物検査

(cfu/g)	一般生菌数	耐熱性菌数	大腸菌群	酵母・真菌類
殺菌前原料	2.0×10^6	3.5×10^3	陽性 (1.3×10^4)	1.9×10^4
0.1MPa,156°C	4.9×10^3	1.0×10^3	陰性	300以下
0.2MPa,164°C	7.2×10^2	3.0×10^2	－	－
0.2MPa,185°C	9.1×10^2	－	陰性	300以下
0.3MPa,171°C	1.2×10^3	300以下	－	－
0.3MPa,185°C (1回目)	1.8×10^3	1.4×10^3	陰性	300以下
0.3MPa,185°C (2回目)	8.4×10^2	300以下	－	－

殺菌前後の水分値、Aw 値および品質（色）の変化を表 3 に示す。水分値は、殺菌圧力が高くなるにつれ上昇した。0.2MPa および 0.3MPa の各条件において、過熱温度を 185°Cに上げることで、水分値は 0.7%程度低下した。Aw 値は、どの殺菌条件においても、数値的には各社の製品規格内であったため、水分値の上昇は問題なしとした。

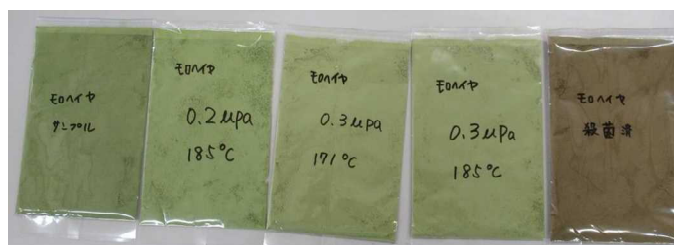
品質評価指標の 1 つである色について、5 名のパネルラーによる官能検査評価を行った。殺菌前原料を 5 点満点として劣化の程度を評価した。その結果、殺菌圧力が高いほど劣化する結果となった。一方、色彩色差計による dE は 1.7~3.1 となり、ほぼ「感知しうる色差」に留まった。今回殺菌試験に供した粗粉碎状態での色の評価は、官能評価・色差評価共にばらつきの多い結果となった。それに対し、表には示していないが、殺菌後、微粉碎することで、ばらつきは改善された。

従来用いていた静置型の加圧式蒸気殺菌装置での殺菌後サンプルと比較した結果、図 1 の写真で示すように、従来の殺菌では茶褐色化していたが、本試験で用いた気流式の加圧式過熱蒸気殺菌装置では、緑色をかなり維持でき品質が向上することが分かった。また殺菌条件の比較では、0.3MPa と比較して 0.2MPa の方がより緑色を呈しており、写真上からも表 2 に示した官能検査（色）

結果と一致した。

表 3 モロヘイヤ粉末における殺菌前後の水分、水分活性、品質（色）の変化

	水分 (%)	水分活性 (Aw)	官能検査 (色)	色差 (dE)
殺菌前原料	4.6	0.3	5.0	－
0.1MPa,156°C	5.3	0.2	－	2.8±1.2
0.2MPa,164°C	6.0	0.3	4.6	1.7±0.6
0.2MPa,185°C	5.3	－	4.7	2.7±1.0
0.3MPa,171°C	6.8	0.2	4.0	2.1±1.1
0.3MPa,185°C (1回目)	6.0	0.3	4.0	－
0.3MPa,185°C (2回目)	6.0	0.3	4.0	3.1±1.7



①殺菌前原料 ②0.2MPa185°C ③0.3MPa171°C ④0.3MPa185°C ⑤従来の殺菌
(①と⑤はピンミル粉碎、②③④は気流式粉碎)

図 1 モロヘイヤ粉末における殺菌前後の品質（色）の変化

粉体物性の測定結果を表 4 に示す。安息角が殺菌前に対して全ての殺菌条件後で低くなり、流動性が改善された。ゆるみ見掛け比重および固め見掛け比重は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で高くなった。カーの流動性指数は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で高くなる傾向を示し、噴流性指数では低くなる傾向を示した。これらの結果は、水分値と関係があると推察された。

表 4 モロヘイヤ粉末における殺菌前後の粉体物性の变化

	原料	0.1MPa, 156°C	0.2MPa, 164°C	0.2MPa, 185°C	0.3MPa, 171°C	0.3MPa, 185°C
安息角 (度)	50.2±0.5	45.8±1.8	47.4±1.4	46.3±0.9	47.1±0.8	45.9±1.5
崩壊角 (度)	27±2.0	27.3±1.4	27.0±4.2	26.6±1.8	27.8±2.7	29.4±1.8
差角 (度)	23.2±2.5	18.4±1.0	20.4±5.1	19.7±2.7	19.9±1.6	16.6±0.3
ゆるみ見掛け比重 (g/cm³)	0.206±0.001	0.260±0.001	0.244±0.006	0.248±0.003	0.268±0.017	0.248±0.002
固め見掛け比重 (g/cm³)	0.236±0.003	0.295±0.002	0.276±0.001	0.285±0.002	0.276±0.004	0.272±0.004
圧縮度	13.1±1.1	12.5±1.4	11.4±1.9	13.0±1.2	10.4±1.7	8.7±1.7
流動性指数	33.0±0.0	35.3±2.1	34.7±2.1	34.0±1.7	34.8±2.4	36.5±1.3
噴流性指数	72.0±3.0	70.7±2.6	71.3±3.2	70.5±0.5	71.0±4.0	70.2±1.9

ポリフェノール含量(没食子酸当量 mM)を表4に示す。殺菌前に対して、全ての殺菌条件後で高くなったことから、モロヘイヤ由来のポリフェノールは熱に強いことが推察され、殺菌処理により、植物の細胞壁などが軟化し、抽出しやすくなったものと考えられた。

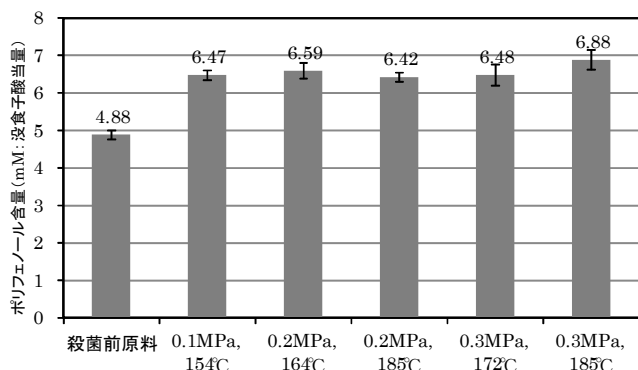


図2 モロヘイヤ粉末における殺菌前後のポリフェノール含量の変化

以上の結果より、生葉からの加工段階で初発菌数が 2.0×10^6 (cfu/g)以下であれば、0.2 MPa (164°C) 以下の殺菌条件でも効果が期待できる事が分かった。

本試験結果を基に、バイオセンターにて、2日間2名体制の製造規模での殺菌処理を行った。その結果、162kgの仕込量に対し、仕上がり量は165kgとなった。これは水分の増加によると推察された。殺菌後、株式会社比嘉製茶にて、本殺菌処理試料を更に粉碎加工した。この粉碎物の微生物検査でも殺菌効果が確認できた(表5)。

表5 モロヘイヤ粉末の製造規模での殺菌処理前後の微生物検査

(cfu/g)	一般生菌数	大腸菌群	試験条件
殺菌前原料	2.0×10^6	陽性	4h後
1日目	8.0×10^2	陰性	4h後
2日目	300以下	陰性	4h後
3日目	3.3×10^2	陰性	4h後
4日目	3.5×10^2	陰性	2week後

3-2 シークワサー粉末を用いた殺菌試験

シークワサー粉末のかさ密度(370g/L)を考慮して、原料送り量は5.0Hzで30.5kg/hで行った。搾汁残渣の乾燥物(搾汁粕)と粗粉碎物の形状、殺菌風景と殺菌試験

終了後の原料投入口の粉末付着状態の写真を図3に示す。原料投入口の粉末付着状態より、吸湿しやすい原料であることが分かる。



図3 原料の形状と殺菌風景および原料投入口の状態

微生物検査結果を表6に示す。一般生菌数では、初発菌数は300(cfu/g)以下であり、菌数の少ない状態で殺菌の必要が無い程度であった。それに対し、0.2MPa(185°C)で 2.8×10^3 (cfu/g)、0.2MPa(164°C)で 4.6×10^2 (cfu/g)、0.3MPa(185°C)で 5.6×10^2 (cfu/g)と、殺菌後に一般菌数が多い結果となった。同様に、耐熱性菌数と真菌・酵母類も、殺菌前原料は300(cfu/g)以下であったが、殺菌条件とは無関係的に、菌数増減が確認された。このことから、シークワサー粉末を用いた殺菌試験時では、殺菌不良よりも装置内の二次汚染が回収時の取扱不備が原因と考えられた。とりわけ、殺菌条件とは無関係であることから、殺菌工程以後(機器内の冷却工程等)の交差汚染防止と殺菌機の洗浄法も改善する必要がある。

表6 シークワサー粉末における殺菌前後の微生物検査

(cfu/g)	一般生菌数	耐熱性菌数	大腸菌群	酵母・真菌類
殺菌前原料	300以下	300以下	陰性	300以下
0.1MPa, 156°C	300以下	300以下	陰性	300以下
0.2MPa, 164°C	4.6×10^2	300以下	陰性	300以下
0.2MPa, 185°C	2.8×10^3	300以下	陰性	300以下
0.3MPa, 171°C	300以下	300以下	陰性	300以下
0.3MPa, 185°C	5.6×10^2	300以下	陰性	300以下

殺菌前後の水分値、Aw 値および品質（色）の変化を表 7 に示す。水分値および Aw 値は、殺菌圧力が高くなるにつれ上昇し、0.3MPa(171°C) では水分値 10.0%、Aw 値 0.7 に達した。0.2MPa および 0.3MPa の各条件において、過熱温度を 185°C に上げることで、水分値は 0.8~1.5% 低下した。水分値を規格内にするためには、低圧の殺菌条件にする必要があることが分かった。

表 7 シークワサー粉末における殺菌前後の水分、水分活性、品質（色）の変化

	水分 (%)	水分活性 (Aw)	色差 (dE)
殺菌前原料	4.2	0.3	-
0.1MPa, 156°C	7.5	0.5	3.6±1.5
0.2MPa, 164°C	8.9	0.6	3.7±1.8
0.2MPa, 185°C	8.1	0.5	3.8±2.1
0.3MPa, 171°C	10.0	0.7	5.4±1.8
0.3MPa, 185°C	8.5	0.6	4.3±1.8

品質評価指標である色と香りについて、4 名のパネラーによる官能検査評価（殺菌前の粗粉末との比較）を行った。色についてのパネラーによる評価では、果皮の粗粉碎であることから、部位ごとの色の差が大きいため比較は困難であったが、圧力の高い 0.3MPa の条件では少し濃い色になっていると評価された(図 4)。一方、色彩色差計による dE は 3.6~5.4 となり、ほぼ「目立つほどの色差」になった。3-1 のモロヘイヤと同様に、今回殺菌試験に供した粗粉碎末での色の評価は、官能評価・色差評価共にばらつきの多い結果となった。それに対し、表には示していないが、殺菌後、微粉碎することで、ばらつきは改善された。



殺菌前原料末 0.2MPa(164°C) 0.3MPa(185°C)
図 4 シークワサー粉末における殺菌前後の品質（色）の変化（抜粋）

香りは殺菌条件内容を把握した上で、ブラインド形式で試験を行った。その結果、全てのパネラーで同様な傾向が得られた。まず、0.3MPa では香ばしさが強いと評

価された。次に、0.2MPa(164°C)と 0.2MPa (185°C)との比較では、過熱温度の高い 185°Cの方が香りは弱まる結果となった。そして、最も粉碎末の香りが残る条件は 0.1MPa (156°C)であった。このことから、厳しい殺菌条件とするほど、シークワサー粉末の香りは損失することが分かった。

粉体物性の測定結果を表 8 に示す。安息角、崩壊角および圧縮度は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で低くなった。ゆるみ見掛け比重および固め見掛け比重は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で高くなった。カーの流動性指数および噴流性指数は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で高くなった。これらの結果より、殺菌することで流動性が改善され、重い締まった粉末となることが分かった。この事は水分値と関係があると推察できた。

表 8 シークワサー粉末における殺菌前後の粉体物性の変化

	原料	0.1MPa, 156°C	0.2MPa, 164°C	0.2MPa, 185°C	0.3MPa, 171°C	0.3MPa, 185°C
安息角 (度)	48.4±0.7	44.9±2.8	42.2±4.3	45.0±0.5	42.0±2.8	41.5±0.2
崩壊角 (度)	37.9±1.8	34.6±3.5	29.3±0.8	30.1±0.9	30.3±0.3	29.4±1.8
差角 (度)	10.4±1.1	10.3±0.8	12.9±5.1	15.0±1.4	11.7±2.5	30.4±0.6
ゆるみ見掛け比重 (g/cm ³)	0.379±0.001	0.420±0.002	0.430±0.002	0.424±0.001	0.430±0.003	0.434±0.003
固め見掛け比重 (g/cm ³)	0.481±0.003	0.521±0.007	0.523±0.003	0.518±0.004	0.525±0.005	0.540±0.002
圧縮度	21.1±0.6	20.3±2.2	17.6±0.8	18.0±0.4	17.9±1.2	19.7±0.2
流動性指数	28.5±0.5	31.5±1.5	34.0±1.8	32.7±0.3	34.5±1.5	33.8±0.6
噴流性指数	54.8±2.3	58.8±3.3	63.8±3.4	65.3±1.0	63.7±0.8	62.5±0.9

ポリフェノール含量（没食子酸当量 mM）を表 9 に示す。殺菌前に対して、全ての殺菌条件で変化が見られなかった事から、シークワサー由来のポリフェノールはこの程度の熱処理では変化しないことが推察された。

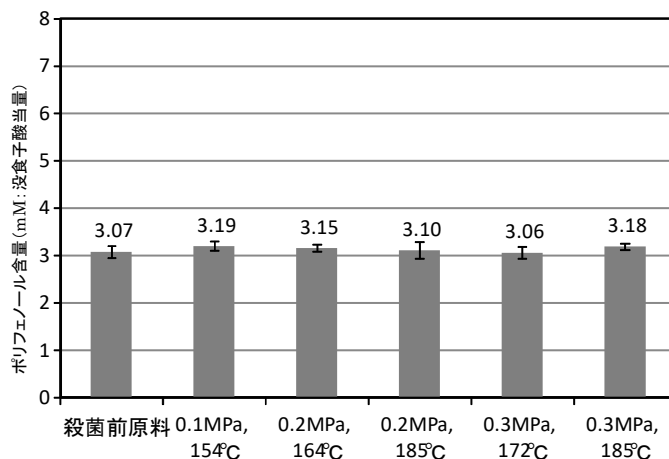


図 5 シークワサー粉末における殺菌前後のポリフェノール含量の変化

3-3 ニガウリ粉末を用いた殺菌試験

ニガウリ粉末のかさ密度 (310g/L) を考慮して、原料送り量は 9.5Hz で 30kg/h で行った。ニガウリスライス乾燥物と粗粉碎物の形状を図 6 に示す。比較的白っぽい粉末となった。



図 6 スライス乾燥物原料と粗粉碎物の形状写真

微生物検査結果を表 9 に示す。一般生菌数では、初発菌数は 9.0×10^3 (cfu/g) 以下であったが、0.1MPa (156°C) で 9.9×10^2 (cfu/g)、0.2MPa (164°C) で 8.4×10^2 (cfu/g)、0.2MPa (185°C) で 3.2×10^2 (cfu/g) と、殺菌圧力に伴って減少した。しかしながら、0.3MPa (171°C) で 3.6×10^3 (cfu/g)、0.3MPa (185°C) で 1.6×10^3 (cfu/g) と、逆に高い値を示した。耐熱性菌数は殺菌条件に変化が認められなかった。大腸菌群は全ての殺菌条件で陰性となった。酵母・真菌類は全ての殺菌条件で 300 (cfu/g) 以下となった。どの殺菌条件でも殺菌前よりも一般生菌数を低減させることができ、殺菌効果が確認できた。殺菌試験を殺菌圧力の高い 0.3MPa から始め、0.2 MPa、0.1 MPa の順番で続けたためか、殺菌圧力の低い方より高い方で、一般生菌数が高くなったことから、殺菌不良よりも装置内の二次汚染か回収時の取扱不備が原因と考えられた。

表 9 ニガウリ粉末における殺菌前後の微生物検査

(cfu/g)	一般生菌数	耐熱性菌数	大腸菌群	酵母・真菌類
殺菌前原料	9.0×10^3	300以下	陽性 (1.6×10^2)	300以下
0.1MPa,156°C	9.9×10^2	300以下	陰性	300以下
0.2MPa,164°C	8.4×10^2	300以下	陰性	300以下
0.2MPa,185°C	3.2×10^2	300以下	陰性	300以下
0.3MPa,171°C	3.6×10^3	300以下	陰性	300以下
0.3MPa,185°C	1.6×10^3	300以下	陰性	300以下

殺菌前後の水分値、Aw 値および品質 (色) の変化を表 10 に示す。水分値および Aw 値は、殺菌条件に伴う変化は認められず、0.2MPa および 0.3MPa の各条件における過熱温度 (スーパーヒート) の効果も無かった。

全ての条件で規格値内に納まった。

品質評価の 1 つである色と香りについて、3 名のパネラーによる官能検査評価 (殺菌前の粗粉末との比較) を行った。色については検体が粗粉末であることと、ワタの白い部分と実の緑色の混合物であることから、バラつきが大きいことが予測された。そこで、粗粉碎した後、気流式粉碎機で微粉末化し、そのサンプルについても評価した。その結果、香りに関しては、原料粉末では、弱い青臭い香りがしたが、殺菌後の全てのサンプルでは、青臭さが減り、焙煎の香りが強くなったと評価された。色に関しては、原料粉末ではニガウリの緑と白が混在した色合いであったが、殺菌後の全てのサンプルでは白色部分が薄黄土色になり、緑と薄黄土色が混在した色合いになったとの評価であった。殺菌条件での大きな変化は、香り・色共に認められなかった (図 7)。一方、色彩色差計による dE は 3.1~4.8 となり、ほぼ「目立つほどの色差」になった。3-1 のモロヘイヤや 3-2 のシークワサーと同様に、今回殺菌試験に供した粗粉碎末での色差評価でも、ばらつきの多い結果となった。

殺菌後に微粉末化したサンプルの色の官能評価では、緑と薄黄土色が混在した色合いから、淡い緑色に均一化されたとの評価であった (図 7)。色彩色差計による 0.1MPa (156°C) 時のサンプルとの色差 (dE) は、0.6~1.0 となり、ほぼ「わずかな色差」となった。これは官能評価の結果と一致した。一方、データのばらつきは改善されなかった (表 10)。以上のことから、粗粉末で殺菌した後、微粉碎すると均一な色となることが分かった。

表 10 ニガウリ粉末における殺菌前後の水分、水分活性、品質 (色) の変化

	水分 (%)	水分活性 (Aw)	原料との色差 (dE)	0.1MPa,156°C のサンプルとの色差 (dE)
殺菌前原料	10.0	0.5	-	/
0.1MPa,156°C	9.8	0.5	3.1 ± 1.0	-
0.2MPa,164°C	9.9	0.5	4.5 ± 2.6	1.0 ± 0.5
0.2MPa,185°C	9.8	0.5	4.2 ± 1.5	1.1 ± 0.5
0.3MPa,171°C	10.5	0.5	4.1 ± 2.6	0.6 ± 0.3
0.3MPa,185°C	10.1	0.5	4.8 ± 1.7	0.7 ± 0.4

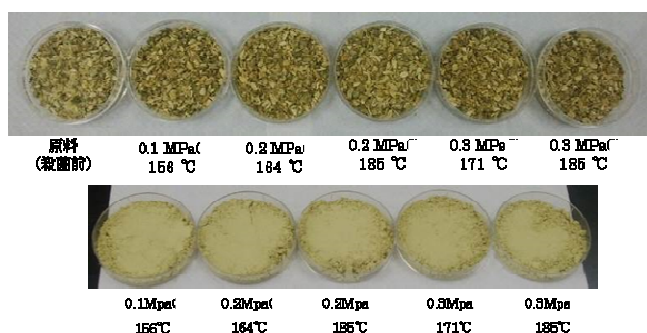


図 7 ニガウリ粉末における殺菌前後の品質(色)の変化

(上段：殺菌した粗粉末、下段：殺菌後の微粉末)

粉体物性の測定結果を表 11 に示す。安息角は殺菌条件に伴う変化は認められなかった。崩壊角および圧縮度は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で低くなった。差角、ゆるみ見掛け比重および固め見掛け比重は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で高くなった。カーの流動性指数および噴流性指数は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で高くなった。これらの結果より、殺菌することによる流動性は改善される傾向にあるが、その原因は安息角では無いことが推察された。

表 11 ニガウリ粉末における殺菌前後の粉体物性の変化

	原料	0.1MPa, 156°C	0.2MPa, 164°C	0.2MPa, 185°C	0.3MPa, 171°C	0.3MPa, 185°C
安息角(度)	41.8±0.0	38.8±1.6	40.7±2.8	37.8±1.8	41.4±0.8	43.5±1.8
崩壊角(度)	34.0±1.3	34.0±2.1	28.8±0.5	27.5±0.1	29.7±0.3	29.4±1.8
差角(度)	7.8±1.3	9.8±3.7	11.9±3.3	10.3±1.7	11.7±0.6	14.0±0.0
ゆるみ見掛け比重(g/cm ³)	0.277±0.005	0.318±0.005	0.354±0.006	0.344±0.007	0.355±0.003	0.361±0.006
固め見掛け比重(g/cm ³)	0.351±0.004	0.390±0.005	0.398±0.001	0.411±0.013	0.391±0.005	0.396±0.016
圧縮度	21.2±0.6	18.5±0.3	10.4±0.8	16.3±4.3	9.1±0.4	8.8±2.1
流動性指数	32.5±0.7	35.8±0.4	39.3±1.1	37.5±2.1	39.5±0.7	38.3±0.4
噴流性指数	56.4±1.6	62.6±4.1	69.5±2.1	66.3±3.9	69.7±0.7	70.3±1.1

ポリフェノール含量(没食子酸当量 mM)を図 8 に示す。殺菌前に対して、全ての殺菌条件で変化が見られなかった事から、ニガウリ由来のポリフェノールも比較的、熱に強いことが推察された。

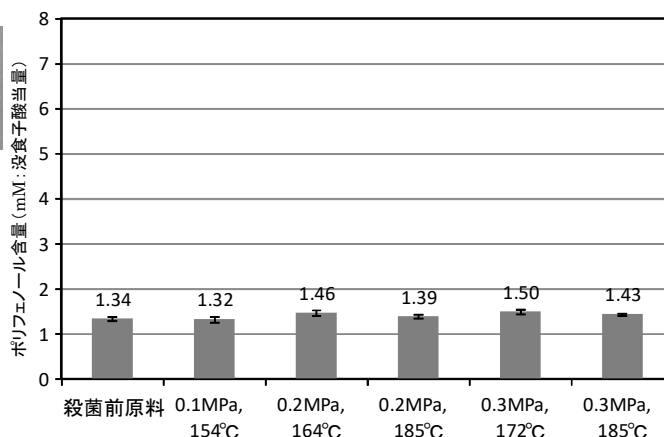


図 8 ニガウリ粉末における殺菌前後のポリフェノール含量の変化

3-4 ノニ搾汁残渣粉末を用いた殺菌試験

ノニ搾汁残渣粉末(以下、ノニ粉末)のかさ密度(320g/L)を考慮して、原料送り量は 7.0Hz で 30kg/h で行った。殺菌風景と現場での水分測定、ノニ粉末原料の形状写真と微生物検査の風景を図 9 に示す。焦げ茶色で種子部分はかなり硬い原料であった。



図 9 殺菌風景と現場での水分測定、ノニ粉末原料の形状写真と微生物検査の風景

微生物検査結果を表 12 に示す。一般生菌数では、初発菌数は 300(cfu/g)以下であり、菌数の少ない状態で殺菌の必要が無い程度であった。同様に、大腸菌群は陰性、酵母・真菌類も 300(cfu/g)以下の原料であった。それ故、全ての殺菌条件下で同じ結果となった。この事は、3-2 のシークワサーや 3-3 のニガウリの殺菌結果と異なり、装置内の二次汚染や回収時の取扱不備、殺菌工程以後

(機器内の冷却工程等)の交差汚染等が無かったことを示している。その原因がノニ原料の抗菌活性かどうかは不明である。

表12 ノニ粉末における殺菌前後の微生物検査

(cfu/g)	一般生菌数	大腸菌群	酵母・真菌類
殺菌前原料	300以下	陰性	300以下
0.1MPa,156°C	300以下	陰性	300以下
0.2MPa,164°C	300以下	陰性	300以下
0.2MPa,185°C	300以下	陰性	300以下
0.3MPa,171°C	300以下	陰性	300以下
0.3MPa,185°C	300以下	陰性	300以下

殺菌前後の水分値、Aw値の変化を表13に示す。ノニ粉末は香りや色を品質としないことから測定項目から外した。水分値およびAw値は、殺菌圧力が高くなるにつれ上昇した。0.2MPaおよび0.3MPaの各条件において、過熱温度を185°Cに上げることで、水分値は0.5~0.6%低下した。どの殺菌条件においても、数値的には各社の製品規格内であったため、水分値の上昇は問題なしとなった。Aw値は、0.2MPaおよび0.3MPaの各条件で0.1%上昇する程度であった。

表13 ノニ粉末における殺菌前後の水分、水分活性の変化

	水分 (%)	水分活性 (Aw)
殺菌前原料	5.3	0.4
0.1MPa,156°C	6.9	0.4
0.2MPa,164°C	7.1	0.5
0.2MPa,185°C	6.5	0.5
0.3MPa,171°C	7.6	0.5
0.3MPa,185°C	7.1	0.5

粉体物性の測定結果を表14に示す。ゆるみ見掛け比重および固め見掛け比重は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で高くなった。それ以外の項目は、殺菌条件に伴う変化は認められなかった。これらの結果より、殺菌することにより水分が増加したため、重質な粉末となったと推察された。またノニ粉末は殺菌に伴う流動性改善は認められなかった。原料によって湿熱殺菌に伴う粉体物性の変化は異なることが分かった。

表14 ノニ粉末における殺菌前後の粉体物性の変化

	原料	0.1MPa, 156°C	0.2MPa, 164°C	0.2MPa, 185°C	0.3MPa, 171°C	0.3MPa, 185°C
安息角(度)	45.1±1.8	45.3±2.4	41.6±1.6	45.5±0.4	42.4±0.8	43.9±1.9
崩壊角(度)	33.0±0.3	34.0±2.7	33.3±6.0	33.7±1.4	30.1±1.4	32.5±2.3
差角(度)	12.0±1.6	11.3±0.3	8.2±4.4	11.8±1.8	12.4±2.2	11.4±4.2
ゆるみ見掛け比重(g/cm³)	0.303±0.001	0.338±0.003	0.355±0.002	0.367±0.002	0.347±0.006	0.378±0.002
固め見掛け比重(g/cm³)	0.372±0.002	0.416±0.004	0.453±0.007	0.455±0.010	0.422±0.006	0.471±0.001
圧縮度	18.7±0.2	18.8±0.1	21.2±0.9	19.5±2.1	18.1±0.3	20.4±0.1
流動性指数	32.2±2.0	32.0±2.0	33.5±1.5	31.5±0.9	34.0±0.0	32.5±0.5
噴流性指数	61.3±0.8	60.5±2.5	57.3±7.5	59.7±2.4	63.3±3.3	60.9±5.2

ポリフェノール含量(没食子酸当量 mM)を図10に示す。殺菌前に対して、0.1MPa(156°C)を除いた殺菌条件後で高くなったことから、ノニ由来のポリフェノールは熱に強いことが推察され、加熱処理により、ノニ果実の搾汁残渣の細胞壁などが軟化し、若干抽出しやすくなったものと考えられた。

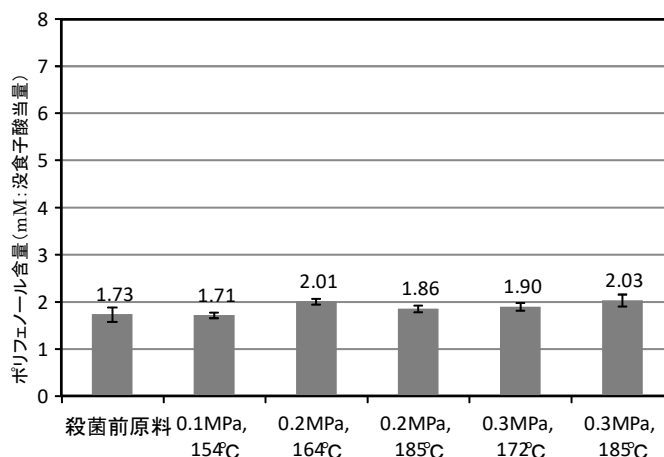


図10 ノニ粉末における殺菌前後のポリフェノール含量の変化

3-5 蒸気処理した春ウコン粉末(耐熱性菌あり)を用いた殺菌試験

本素材では、通常の蒸気殺菌(100°C蒸気中にて30秒程の加熱)でも残存する菌(耐熱菌等)を低減できる殺菌条件の確認を主たる目的として試験を行った。

蒸気処理した春ウコン粉末(以下、一次処理春ウコン粉末)のかさ密度(405g/L)を考慮して、原料送り量は10.0Hzで30kg/hで行った。ホッパー中の原料形状と原料投入口の状態を図11に示す。原料投入口の形状より、3-2のシークワサー粉末と同様に、付着しやすい原料であることが分かる。



ホッパー中の原料 原料投入口の状態

図 11 ホッパー中の原料形状と原料投入口の状態

微生物検査結果を表 15 に示す。一般生菌数では、初発菌数は 1.7×10^3 (cfu/g) であり、菌数の少ない状態であった。その内、耐熱性菌数は 300(cfu/g) 以下であった。300(cfu/g) 以下ではあったが、殺菌条件を厳しくすると、一般生菌数および耐熱性菌数共に低下することが分かった。大腸菌群は全て陰性、酵母・真菌類も 300(cfu/g) 以下であった。

表 15 蒸気処理した春ウコン粉末における殺菌後の微生物検査

(cfu/g)	一般生菌数	耐熱性菌数	大腸菌群	酵母・真菌類
殺菌前原料	1.7×10^3	300以下	陰性	300以下
0.1MPa, 156°C	300以下	300以下	陰性	300以下
0.2MPa, 164°C	300以下	300以下	陰性	300以下
0.3MPa, 171°C	300以下	300以下	陰性	300以下

殺菌前後の水分値、Aw 値および品質（色）の変化を表 16 に示す。水分値および Aw 値は、殺菌圧力が高くなるにつれ上昇したが、各社の製品規格内に納まる程度であった。0.2MPa および 0.3MPa の各条件において、過熱温度を 185°C に上げることで、水分値は 0.2~0.8% 低下したが、これは過熱温度（スーパーヒート）の効果と推察された。

品質評価指標である色と香りについて、殺菌前後の計 6 サンプルを再粉砕し、粉末の状態で行った。4 名のパネラーによる官能検査評価（殺菌前の粗粉末との比較）を行った。その結果、3 名は「殺菌前サンプルは、殺菌後のサンプルと比較して、明るい色調に感じられる。殺菌後のサンプル間には差異は感じられない」との評価であった。残りの 1 名は「6 サンプルとも差異を感じない」であった。データには示さないが、色彩色差計での L 値は、0.3MPa で少し低下傾向が見られたが、ほとんど変化していなかった。

香りに関しては、4 名のパネラーが春ウコン独特の香

り（おそらくは 1,8-シネオール等の精油）が、「殺菌前サンプルは、殺菌後のサンプルと比較して、微妙に減少している様に感じる。殺菌後のサンプル間には差異は感じられない。」と評価した。またその内の 1 名は、「0.3MPa (185°C) では、コゲ臭を微妙に感じる」と評価した。残りの 3 名は「コゲ臭も含めて、殺菌後 5 検体間には差異を感じない。」と評価した。以上、官能試験の結果、この殺菌処理によって揮発成分の僅かな減少が推測されるものの、全ての殺菌条件において、品質の変化（色調と香りの劣化）はごく小さなものであることが分かった。

次に、殺菌前原料との色差を求めた。その結果を表 16 に示す。色彩色差計による殺菌前原料に対する dE は 3.0~5.3 となり、「目立つほどの色差」になった。また、ばらつきの程度も大きかった。それに対し、殺菌後に粉末化したサンプルでは、殺菌前原料に対する dE は 2.0~2.7 となり、「感知しうる色差」となり、データのばらつきも改善された。

以上のことから、粗粉末で殺菌した後、微粉砕すると均一な色となり、ウコンの場合にはばらつきも小さくなることが分かった。

表 16 蒸気処理した春ウコン粉末における殺菌後の水分、水分活性、品質（色）の変化

	水分 (%)	水分活性 (Aw)	原料との色差 (dE)	粉末サンプルとの色差 (dE)
殺菌前原料	4.9	0.1	-	-
0.1MPa, 156°C	5.9	0.2	3.0 ± 1.3	2.7 ± 0.7
0.2MPa, 164°C	6.5	0.3	3.7 ± 1.6	2.0 ± 0.5
0.2MPa, 185°C	6.3	0.3	3.7 ± 3.7	2.1 ± 0.3
0.3MPa, 171°C	7.6	0.4	5.2 ± 3.9	2.0 ± 0.7
0.3MPa, 185°C	6.8	0.3	5.3 ± 2.6	2.5 ± 0.7

粉体物性の測定結果を表 17 に示す。安息角、崩壊角および圧縮度は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で低くなった。崩壊角は、殺菌前に対して 0.1MPa(156°C)を除いた殺菌条件で低下した。差角は、殺菌前に対して 0.1MPa (156°C)を除いた殺菌条件で高くなった。ゆるみ見掛け比重、固め見掛け比重、カーの流動性指数および噴流性指数は、殺菌前に対して全ての殺菌条件後で高くなった。これらの結果より、殺菌することで流動性が改善され、重い締まった粉末となることが分かった。水分を含むことによって、粉体の帯電率などが低下し、見かけ比重が増加したためではないかと推察された。

表 17 蒸気処理した春ウコン粉末における殺菌後の粉体物性の変化

	原料	0.1MPa, 156°C	0.2MPa, 164°C	0.2MPa, 185°C	0.3MPa, 171°C	0.3MPa, 185°C
安息角 (度)	42.1±0.6	40.2±0.7	40.5±0.1	40.3±+1.0	40.6±0.3	39.5±1.7
崩壊角 (度)	33.1±0.4	34.0±1.6	30.9±3.1	30.0±2.6	29.8±0.8	29.0±2.9
差角 (度)	9.1±0.9	8.5±1.7	9.6±3.1	10.3±1.6	10.8±1.1	10.5±1.2
ゆるみ見掛け 比重(g/cm ³)	0.378±0.003	0.415±0.002	0.407±0.001	0.418±0.004	0.424±0.001	0.431±0.002
固め見掛け 比重(g/cm ³)	0.462±0.006	0.499±0.001	0.485±0.004	0.478±0.021	0.485±0.003	0.503±0.004
圧縮度	18.4±0.5	16.8±0.4	16.3±0.7	16.1±0.6	12.5±0.7	14.3±0.3
流動性指数	34.0±0.0	36.0±0.5	36.2±1.0	35.7±0.3	38.2±0.3	38.0±1.0
噴流性指数	59.0±1.0	60.7±3.0	62.6±4.8	63.2±2.3	67.0±1.3	67.0±4.1

ポリフェノール含量(没食子酸当量 mM)を図 12 に示す。殺菌前に対して、全ての殺菌条件で変化が見られなかった事から、春ウコン由来のポリフェノールも比較的、熱に強いことが推察された。

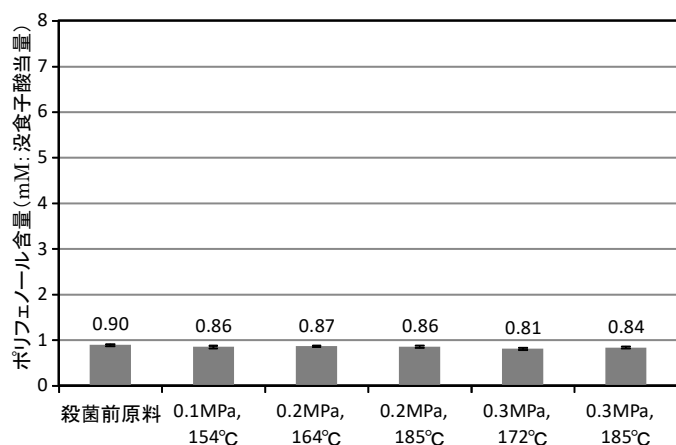


図 12 蒸気処理した春ウコン粉末における殺菌後のポリフェノール含量の変化

4 考察

全ての素材において、各社の製品規格内の菌数に低減させることができ、素材の物性や色調、風味、ポリフェノール含量などの品質変化を調べることで、素材に適した殺菌条件(圧力や蒸気温度など)を得る基礎データが得られた。

とりわけ、モロヘイヤ粉末では、従来の静置型蒸気殺菌では褐変化していたが、本殺菌機を用いることで、緑色がかなり維持でき、品質が向上することが分かった。事業内に、実生産(沖縄健康バイオテクノロジー研究開

発センターにて実施)まで進んだ。また、全ての素材において、粗粉末で殺菌後、微粉末化することで品質(色)が均一化することも確認できた。

一方で、湿熱殺菌の故に、殺菌後の原料に、数%の水分上昇が見られた。過熱温度を上昇させることで改善は認められたが、今後の課題となった。また、殺菌試験は、殺菌圧力の高い 0.3MPa の条件から始め、0.2 MPa、0.1 MPa の順番で実施したが、微生物検査の結果、殺菌圧力の低い方より高い方が、一般生菌数が高い素材もあった。一般的には、殺菌条件の厳しい(殺菌圧力の高い)方が菌数は低下する。これらの事から、機器内の冷却工程における 2 次汚染が疑われ、殺菌機の洗浄法も改善する必要があることが分かった。

4 謝辞

本研究を遂行するに当たり、粉粒体気流式殺菌装置(型番 KPU-10T-EPH、(株)大川原製作所)の運転から洗浄、メンテナンスにおいてご指導・ご助言を賜りました、沖縄健康バイオテクノロジー研究開発センター指定管理者の一般社団法人トロピカルテクノプラスの大城慎也様、儀間健司様に深くお礼申し上げます。

本研究は平成 30 年度企業連携共同研究支援事業(平成 30 年度)の「粉粒体殺菌技術の開発(2018 技 022)」として実施した。

5 参考文献

- 1) 山本泰、小野尚之、東和男、好井久雄「嫌気性芽胞菌の生育と芽胞の耐熱性に及ぼすアジピン酸の影響」Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi Vol.36, No.7, 551～556 (1989) [報文]
- 2) 山下怜子「色を表現するために～Ⅱ.半透過色の測定事例と色差」テクニカルシート No.16004 地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所
- 3) 前田剛希「沖縄伝統野菜の低密度リポタンパク質(LDL)の酸化抑制能」沖縄県工業技術センター研究報告書 第 8 号 2006 年 PP.65-70