

第8章

冷蔵食材の保存性を向上させる製造技術の開発

8.1 はじめに

共働き世帯や単身世帯、高齢者世帯の増加による社会構造の変化に伴い、食の簡便化・外部化が進行している。日本国民の食糧消費支出を、生鮮食品、加工食品および外食の三つに分類した統計値に着目すると、外食はほぼ一定で推移して今後もその構成比に大きな変化はない一方、生鮮食品と加工食品の構成比は、それぞれ減少と増加を続け、今後もその差は拡大すると推計されている¹⁾。したがって、北海道で生産される様々な農畜水産物においても、今後直面すると予想される生鮮食品として需要低下に備え、加工食品としての用途を考える必要がある。

ミールキットは、家庭での料理に必要な材料一式がセットになった製品で、上述の背景から需要が拡大している。多くの場合、不可食部分を除いた農畜水産物(素材)と調味料、レシピが同封されている(図)。市販のミールキットを保存温度で分類すると、主に冷凍タイプと冷蔵タイプの二つに分けられる。冷凍タイプは購入後も長期間保存できる一方、冷蔵タイプは数日で消費期限を迎える。そのため、休日に購入した冷蔵タイプのミールキットの当該週後半での利用は難しい。冷蔵タイプのミールキットの保存性が高まれば、購入週後半でも利用できるようになり、利便性向上が期待される。



図 市販ミールキット（冷蔵タイプ）の一例

冷蔵タイプのミールキットが数日で消費期限を迎えるのは、農畜水産物素材が非加熱であり、生鮮食品に近いことに起因すると推察される。すなわち、付着微生物や内在性酵素が制御されておらず、品質が速やかに低下する。したがって、冷蔵タイプのミールキットの保存性向上には、農畜水産物素材における微

生物の増殖や酵素反応の制御が肝要である。このような背景から、本研究では冷蔵タイプのミールキットの利便性向上に向けて、農産物素材の冷蔵での保存性向上に着目し、品質制御ならびに微生物制御技術の開発に取り組んだ。

8.2 農産物素材の加熱殺菌における真空蒸気加熱の有用性評価

背景

農産物は細胞内に様々な酵素を持っており、その活性が維持されたまま農産物を保存すると軟化や褐変、異臭といった品質低下の原因となる²⁾。そのため、非加熱農産物素材の保存性向上には、ブランチングと呼ばれる酵素失活のための加熱処理が必要である。さらに、一部の微生物はブランチング程度の加熱処理では死滅しないことが広く知られており、その中には冷蔵温度帯で増殖する種類も存在する³⁾。したがって、非加熱農産物素材の保存性向上には、ブランチングでは死滅せず冷蔵温度帯で増殖する微生物の低減が重要である。

農産物は加熱の経過に伴い組織の軟化や変色、栄養成分の減少などが進行する。そのため、微生物数の低減を目的とした長時間の加熱処理は、農産物素材が有する本来の食感や色調、風味など品質を損なう。ピーズやグリーンピース、ナス、ピーマンでは、このような品質低下挙動の速度論的解析がなされており、その熱感受性(z 値)は20~50℃と報告されている⁴⁾。一方、非加熱農産物素材の保存性向上において低減のターゲットとする微生物の熱感受性は概ね7~10℃である³⁾。すなわち、微生物は種々の品質項目より加熱温度の変化に脆弱であり、高温短時間加熱によって微生物数の低減と品質維持が図られる。

本研究では、高温短時間加熱の手段として真空蒸気加熱に着目した。真空蒸気加熱とは、加熱処理槽内を脱気して真空環境にした後、飽和蒸気を導入して加熱する方法である⁵⁾。熱伝達を阻害する空気がほとんど存在しないため、対象物の表面が速やかに昇温することに加え、100℃を超える温度での加熱処理が可能であるため、新たな加熱殺菌方法としての活用が期待される。

1) 真空蒸気加熱したグリーンアスパラガスの品質評価

(1) 目的

グリーンアスパラガスの加熱殺菌において、沸騰水加熱と比較したときの真空蒸気加熱の有用性を明らかにする。

(2) 試験方法

試料には生鮮グリーンアスパラガス（北海道産）を用いた。先端から 8 cm、4 cm、4 cm、4 cm の間隔でカットした後、各部位別に集め、ブランチングとして沸騰水中で 1 分間加熱した。本試料を対照として、それぞれの試料を真空蒸気加熱装置（短時間調理殺菌試験機、日阪製作所）にて 100～120℃で 1 分間ならびに沸騰水中で 1～5 分間加熱し、品質評価試料とした。

品質評価試料の破断特性は、レオメータ（RE2-33005C(XZ)、山電）で測定した。試料の長辺が測定台と平行となるよう試料を置き、円柱型プランジャー（φ3 mm）使って表面の中央部分を 1 mm/sec の速度で圧縮した。得られた応力-歪み曲線をソフトウェア（破断強度解析 for windows、model BAS-3305 ver. 2.5001、山電）で解析し、破断強度および破断歪み率を求めた。また、品質評価試料の食感（硬さ）は、食品加工研究センター職員 12 名をパネルとした官能評価で測定した。対照の硬さを基準（0 点）として各試料の硬さをとても軟らかい（-3 点）～とても硬い（+3 点）の 7 段階で評価した。品質評価試料の色調は、分光測色計（CM-5、コニカミノルタ）で測定した。ターゲットマスク（φ3 mm）を用いた反射光で試料表面の L^* 、 a^* および b^* を測定し、対照との色差（ ΔE^*ab ）を算出した。なお、1 箇所あたり 3 回測定したときの平均値を測定値とし、1 試料につき 2 箇所測定した。品質評価試料の保存性は、加熱処理直後および 10℃ 保存後の微生物数を測定した。構造が複雑であり、微生物汚染が最も大きいと推察される先端部分の試料 3 本を酸素バリア性透明樹脂パウチ（PET 12 μm/DLM/バリア ON 15 μm/DLM/ CPP 50 μm、大日本印刷）に密封し、10℃で 7 日間および 14 日間保存したときの一般生菌数（標準寒天培地（島津ダイアグノスティクス）、30℃、3 日間）を平板塗抹培養法で測定した。

(3) 結果および考察

沸騰水中での加熱および真空蒸気による加熱とともに加熱強度が高まるとともに、グリーンアスパラガスの破断荷重ならびに破断歪み率は低下し、軟化の進行が示唆された（表 1-1）。官能評価で調べた硬さの変化についても、破断特性の変化と同様の傾向を示し、沸騰水中での加熱および真空蒸気による加熱とともに加熱強度の高まりとともに、評点は低くなり軟化の進行が示唆された（表 1-2）。また、対照と比較したときの色差は、沸騰水中で 5 分間ならびに真空蒸気により 120℃で 1 分間加熱し

た試料は、それぞれ 4.9 および 5.8 であり、それ以外の試料の色差は 2 以下であった（表 1-3）。加熱処理直後の対照の一般生菌数は 2.6 log CFU/g であったが、沸騰水中で 1 分間および真空蒸気加熱により 100℃で 1 分間加熱した試料の一般生菌数はそれぞれ 1.7 log CFU/g および 2.1 log CFU/g に低減した。さらに、沸騰水中で 3 分間および 5 分間、真空蒸気加熱により 110℃および 120℃で 1 分間加熱した試料の一般生菌数は、いずれも 1 log CFU/g 未満まで低減した。保存 7 日目の一般生菌数は、対照では約 5 log CFU/g であったのに対して、加熱処理試料はいずれも 2.5 log CFU/g 未満であった。保存 14 日目の一般生菌数は、対照は 6 log CFU/g 以上であり、沸騰水中で 1 分間および 3 分間、真空蒸気により 100℃で 1 分間加熱した試料でも 5 log CFU/g を超える試料が観察された。一方、沸騰水中で 5 分間および真空蒸気により 110℃および 120℃で 1 分間加熱した試料では、一般生菌数が 2.5 log CFU/g を超える試料は観察されなかった。

沸騰水中および真空蒸気で加熱した試料の破断特性を比較すると、沸騰水中で 1 分間、3 分間および 5 分間加熱した試料の破断特性は、それぞれ真空蒸気により 100℃、110℃および 115℃で 1 分間加熱した試料の破断特性と同等であることが推察された。また、官能評価で調べた硬さを比較すると、沸騰水中で 1 分間、3 分間および 5 分間加熱した試料の硬さは、それぞれ真空蒸気により 100℃、115℃および 120℃で 1 分間加熱した試料の硬さと同様であることが推察された。色差は 2～3 程度であれば対照と同じ色調であると考えられているため⁶⁾、沸騰水中での 3 分間以下の加熱や 115℃以下での 1 分間の真空蒸気加熱では、処理前後で色調差を識別できる程度の変化は生じていないと推察された。これらの品質変化と各試料の保存性を勘案すると、真空蒸気により 110℃で 1 分間加熱した試料は、沸騰水で 5 分間加熱した試料と同等の保存性である一方、沸騰水加熱の試料よりも軟化が抑制されていた。

以上のことから、試料表面を高温で速やかに加熱できる真空蒸気加熱は、沸騰水中での加熱と比較して同等の保存性が得られる処理条件において品質低下が抑制されたため、新たな加熱殺菌方法としての活用が期待された。

表 1-1 加熱済グリーンアスパラガスの物性変化における沸騰水及び真空蒸気加熱の影響

加熱方法	加熱温度 (°C)	加熱時間 (分)	色差 (ΔE*ab)	明度 (ΔL*)	赤み (Δa*)	黄色み (Δb*)
沸騰水	—	1	2.0	1.7	0.6	0.6
沸騰水	—	3	1.4	-0.3	1.4	0.1
沸騰水	—	5	4.9	3.4	-0.5	3.5
真空蒸気	100	1	1.2	-0.1	0.4	1.1
真空蒸気	105	1	1.5	-0.8	0.4	1.2
真空蒸気	110	1	0.8	0.4	0.1	0.7
真空蒸気	115	1	0.8	0.7	0.3	0.3
真空蒸気	120	1	5.8	4.3	-1.6	3.5

表 1-2 加熱済グリーンアスパラガスの硬さ変化における沸騰水及び真空蒸気加熱の影響

加熱方法	加熱温度 (°C)	加熱時間 (分)	評価
沸騰水	—	1	-0.5 ± 0.7
沸騰水	—	3	-1.9 ± 0.7
沸騰水	—	5	-2.5 ± 0.5
真空蒸気	100	1	-0.5 ± 1.2
真空蒸気	105	1	-0.8 ± 0.8
真空蒸気	110	1	-1.4 ± 0.9
真空蒸気	115	1	-1.8 ± 0.7
真空蒸気	120	1	-2.8 ± 0.9

対照の硬さを基準 (0点) として評価 (平均値±標準偏差)

表 1-3 加熱済グリーンアスパラガスの色調変化における沸騰水及び真空蒸気加熱の影響

加熱方法	加熱温度 (°C)	加熱時間 (分)	破断荷重 (N)	破断歪み率 (%)
対照	—	—	14.2 ± 2.3	38.2 ± 5.0
沸騰水	—	1	11.0 ± 3.0	34.1 ± 2.7
沸騰水	—	3	6.3 ± 1.6	30.6 ± 5.4
沸騰水	—	5	4.4 ± 1.2	25.5 ± 4.5
真空蒸気	100	1	11.0 ± 2.7	37.2 ± 6.0
真空蒸気	105	1	10.3 ± 2.7	36.0 ± 5.2
真空蒸気	110	1	5.9 ± 2.6	27.9 ± 7.9
真空蒸気	115	1	5.4 ± 1.4	28.6 ± 5.2
真空蒸気	120	1	2.7 ± 1.5	19.2 ± 6.2

対照：沸騰水で1分間加熱した試料 (平均値±標準偏差)

2) 小括

農産物素材の加熱殺菌方法の検討を目的に、沸騰水でのブラunching後、さらに真空蒸気ならびに沸騰水で加熱したときのグリーンアスパラガスの品質ならびに保存性を比較した。保存性が同等であった試料の品質を比較すると、真空蒸気で加熱した試料は破断荷重と破断歪率が高く、軟化の進行が抑制されていることが示唆された。この傾向は、官能評価でも観察することができた。これらのことから、真空蒸気加熱は保存性の向上と品質低下の低減を可能とする有効な殺菌方法であることが推察された。

8.3 ガス置換包装による二次汚染微生物の制御背景

前節では、真空蒸気加熱による直接加熱が農産物素材の保存性向上に有効であることを示した。一方、直接加熱の場合にはその後の工程で包装が必須となる。加熱処理後に包装する加工食品では、加熱処理から包装までの製造工程で製品へ混入する微生物 (二次汚染微生物) が腐敗原因の一つとなる。特に、

Pseudomonas 属細菌に代表されるグラム陰性ブドウ糖非発酵桿菌は、食品と接触する調理器具類やコンベアベルトの表面に付着し、バイオフィームと呼ばれる集合体を形成する。バイオフィームは多糖類などの菌体外成分に包まれた複雑な構造であり、一般的な洗浄殺菌では十分な除去が難しく二次汚染の一因となる。

加熱処理後の農産物素材では、静菌剤の添加や包装後の再度の加熱殺菌は難しく、二次汚染微生物対策として措置できる方法には限りがある。その中で、気相のガス組成を調整して内容物を密封するガス置換包装は、種々の微生物に対して増殖抑制効果を示すことが報告されている^{7,8)}。バイオフィーム形成菌の制御に対してもガス置換包装が効果を発揮すれば、真空蒸気加熱した農産物素材の二次汚染微生物対策としての活用が期待される。

1) ガス置換雰囲気におけるバイオフィーム形成菌のコロニー形成の観察

(1) 目的

バイオフィーム形成菌の一種であるグラム陰性ブドウ糖非発酵桿菌の増殖抑制に対するガス置換包装の効果を明らかにする。

(2) 試験方法

供試菌株には強固なバイオフィーム形成能を有する *Pseudomonas putida* 類縁菌 TF53 株 (豆腐製造環境由来) および *Stenotrophomonas maltophilia* 類縁菌 Cu1 株 (キュウリ由来) の2菌株を用いた¹⁰⁾。4°Cでの冷蔵保管菌体は、0.6 % (w/v) Yeast Extract (BD) 加 Tryptic Soy Broth (BD、TSBYE) に接種し、30°Cで24時間前培養した。この前培養液を TSBYE に接種し、30°Cで18時間培養して新鮮培養菌液を得た。新鮮培養菌液は、約3 log CFU/mL となるように滅菌生理食塩水に懸濁させた。この懸濁液 0.1 mL を標準寒天培地 20 mL で調製した寒天平板に塗抹した後、寒天平板を酸素バリア性透明樹脂パウチに入れて卓上型真空包装機 (V-490G、チャンバー容積約 40 L、TOSEI) でガス置換包装した。封入ガスには窒素 (N₂) ガス (>99.99995 %、大陽日酸)、二酸化炭素 (CO₂) ガス (>99.995 %、大陽日酸) ならびに N₂/CO₂ 混合ガス (N₂/CO₂ : 75/25 ; 50/50、いずれも大陽日酸) を用い、チャンパー内を真空度 99.9 %まで真空引きした後、真空度 10.0 %までガスを封入して密封した。対照は含気包装とした。密封した寒天平板は10°Cで14日間培養し、コロニー形成の有無を観察した。

(3) 結果および考察

TF53 株、Cu1 株ともに N_2 ガス置換包装した寒天平板には対照（含気包装）の寒天平板と同等数のコロニーが出現した。一方、 CO_2 を 25 % 以上含むガスを使ってガス置換包装した寒天平板にはコロニーは形成されなかった（表 2-1）。また、 N_2 ガス置換包装した寒天平板のコロニーは、対照の寒天平板のコロニーと比較して著しく小さかった（図 2-1）。

種々の細菌の増殖におけるガス置換雰囲気の影響を、寒天平板を用いて検討した藤井らの研究では、100 % の CO_2 を封入した雰囲気では増殖できない細菌は、 N_2/CO_2 混合ガス（40/60）を封入した雰囲気でも増殖できないことや、100 % の N_2 を封入した雰囲気では増殖が微弱になることが観察されている¹⁰⁾。本研究において、 N_2 ガス置換包装した寒天平板のコロニー数は、対照の寒天平板のコロニー数と同等であった一方、著しく小さなコロニーとなったことは、藤井らが N_2 ガス置換包装において観察した微弱な増殖に一致するものと推察された。寒天平板に形成されるコロニーは、一個の菌体が分裂を繰り返して目視できるまでの増加したものである。したがって、コロニー数が同等に関わらずそのサイズが小さいことは分裂の回数が少ないことを示唆している。したがって、 N_2 ガス置換包装では増殖抑制には至らないが、菌数増加の遅延が期待された。

表 2-1 ガス置換雰囲気におけるバイオフィーム形成菌のコロニー形成

雰囲気ガス	<i>P. putida</i> 類縁菌TF53	<i>S. maltophilia</i> 類縁菌Cu1
含気（対照）	205 (n=6)	156 (n=6)
N_2/CO_2 : 100/0	202 (n=6)	160 (n=6)
75/25	0 (n=3)	0 (n=3)
50/50	0 (n=6)	0 (n=6)
0/100	0 (n=6)	0 (n=6)

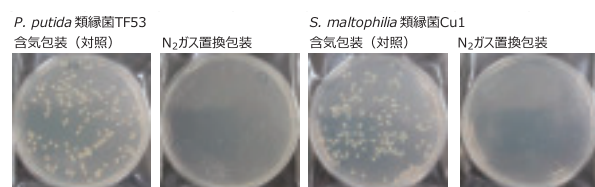


図 2-1 ガス置換包装した標準寒天平板で形成されたコロニーの外観

2) ガス置換包装した農産物素材におけるバイオフィーム形成菌の増殖の観察

(1) 目的

寒天平板上でのバイオフィーム形成菌のコロニー形成に対して抑制効果を示したガス置換包装に

ついて、農産物素材での増殖に対する効果を明らかにする。

(2) 試験方法

バイオフィーム形成菌の接種試料には加熱済ブロッコリーを用いた。すなわち、10g 前後の小花蕾にカットした生鮮ブロッコリーを流水洗浄した後、冷蔵での保存試験の妨げとなる微生物を殺滅するため沸騰水中で 10 分間加熱して接種試料とした。供試菌株には *S. maltophilia* 類縁菌 Cu1 株を用いた。新鮮培養菌の懸濁液は、前項と同様の方法で調製した。接種試料約 25 g を無菌的に滅菌シャーレに計り取り、花蕾部分に懸濁液 0.25 mL を滴下して供試菌株を接種した。この接種試料を酸素バリア性透明樹脂パウチに入れ、卓上型真空包装機でガス置換包装した。封入ガスには N_2 ガス、 CO_2 ガスならびに N_2/CO_2 混合ガス（ N_2/CO_2 : 75/25）を用い、前項と同様の方法で密封した。密封した試料は 10℃ で保存し、経日的に抜き取って平板塗抹培養法（標準寒天培地、30℃、3 日間）で一般生菌数を測定した。

(3) 結果および考察

冷蔵保存開始時に 1.1 log CFU/g であった生菌数は、対照（含気包装）では保存 4 日目には 5.2 log CFU/g まで増加し、7 日目には 8.8 log CFU/g に達して以降は緩やかに増加した。 N_2 ガス置換包装でも保存 4 日目には 4.9 log CFU/g まで増加し、7 日目には 7.6 log CFU/g に達して以降は一定で推移した。一方、 N_2/CO_2 : 75/25 の混合ガスで包装した試料の保存 4 日目および 7 日目の生菌数は、それぞれ 3.5 log CFU/g および 5.5 log CFU/g であり、対照や N_2 ガス置換包装した試料と比較して生菌数増加が遅延した（図 2-2）。

寒天平板に接種した前項の試験と比較して、ブロッコリーに接種した試験では菌量が同等であるにも関わらずガス置換包装の効果が低減した。ブロッコリーは花蕾部分の構造が複雑であるため、寒天平板と比較して脱気が難しく試料内の酸素濃度が高い可能性があることがガス置換包装の効果低減の要因として推察された。また、茹でブロッコリーの水分は 89.9 %¹¹⁾、調製した標準寒天平板の水分は 97.7 %（組成表からの計算値）であることから、寒天平板と比較して接種試料は水分が少なく、 CO_2 の溶解が小さい可能性があることも要因の一つと推察された。 N_2 ガス置換包装した試料は、保存 7 日目までは対照と類似の菌数増加挙動を示したが、それ以降の挙動は異なった。この挙動の違いは試料内の酸素濃度の違いに起因することが推察

された。すなわち、対照の気相は空気であるため、接種した *Cu1* 株は豊富な酸素を使った好気呼吸によってエネルギーを獲得し続けて菌数が増加した一方、 N_2 ガス置換包装したときの気相の酸素濃度は数%と推定され、7 日目までの増殖で酸素が消費されて以降は増殖が停止した可能性がある。このことは、密封条件が同様であるために試料内の酸素濃度も N_2 ガス置換包装試料と同程度と推定される N_2/CO_2 混合ガスを封入した試料の生菌数の推移からも推察できる。そのため、ガス置換包装に脱酸素剤を組み合わせることで試料内の酸素濃度を速やかに低減することでバイオフィーム形成菌は制御可能であることが推察された。

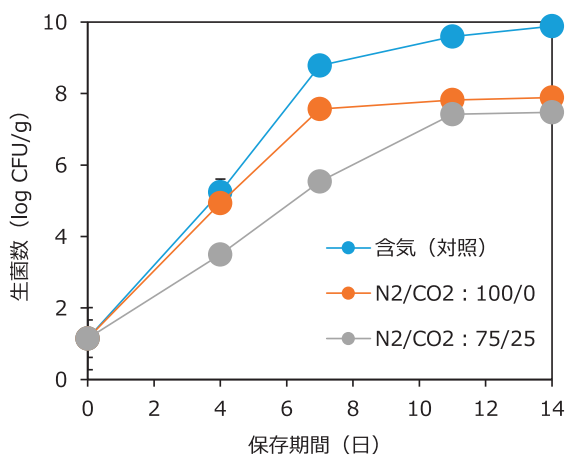


図 2-2 ガス置換包装したボイルブロッコリーにおける *S. maltophilia* 類縁菌 *Cu1* 株の増殖

3) 小括

N_2 を封入するガス置換包装は、バイオフィーム形成菌の増殖抑制には効果がなかった。 CO_2 を封入するガス置換包装は、寒天平板ではバイオフィーム形成菌の増殖抑制に対して効果を発揮したが、ブロッコリーでは増殖を一定期間遅延させるに留まった。したがって、加熱処理後の農産物素材において、ガス置換包装でバイオフィーム形成菌を完全に制御することは難しいが、一定濃度以上の CO_2 を封入することで数日程度の増殖遅延は可能であると考えられた。

8.4 冷蔵保存した農産物素材の品質評価背景

農産物素材の保存性向上を目的に、第2節ではブラunching後の農産物に生残する微生物の低減方法として真空蒸気加熱の有用性を検討した。第3節では加熱処理後から包装までの工程での汚染が懸念される二次汚染微生物への対策として、ガス置換包装

によるバイオフィーム形成菌の制御を検討した。しかしながら、加工食品の保存性向上においては、保存中の微生物数の変化の観察に加えて色調や風味といった品質の変化も観察し、品質低下が認められる場合には対策を講じる必要がある。

店頭販売される食品は、光や空気に長時間暴露される。特に、第1節で紹介した市販ミールキット（冷蔵タイプ）の各素材（図）は透明ポリ袋に入れて口部をバグシーラーで止めたのみであり、光や空気の影響による保存中の品質低下が推察される。すなわち、クロロフィルやカロテノイド、アントシアニンなど様々な色素成分が含まれている農産物素材では色調が劣化（退色）する。これまでに、色素成分の光劣化はよく研究されており、様々な対策が示されている¹²⁾。一方、これまでの研究では、冷蔵環境での保存したときの農産物の光劣化に取り組んだ事例は報告されていない。

1) 光照射下における農産物素材の色調変化の観察

(1) 目的

加熱済農産物素材を光照射下で冷蔵保存したときの色調変化と包装方法の関連を明らかにする。

(2) 試験方法

試料には加熱済冷凍カット野菜を用いた。グリーンアスパラガス（北海道産、クレードル興農）、インゲン（海外産、ニチレイフーズ）およびニンジン（海外産、大冷）は、冷凍状態のまま沸騰水中で2分間加熱して試料とした。ブロッコリー（海外産、ニチレイフーズ）は、3℃で解凍した後、沸騰水中で2分間加熱して試料とした。それぞれをチャック付ポリ袋（ユニパック F-4、PE 製、生産日本社）、酸素バリア性透明樹脂パウチ（PET 12 μ m/DLM/バリア ON 15 μ m/DLM/ CPP 50 μ m、大日本印刷）、酸素バリア性遮光樹脂パウチ（PET 12 μ m/DLM/GL 12 μ m/DLM/ ON 15 μ m/DLM/ CPP 50 μ m、凸版印刷）およびアルミパウチ（大日本印刷）に入れ、含気包装ならびに卓上型真空包装機で真空包装した。真空包装について、チャンバー内の真空度は99.9%に設定した。密封した試料は、蛍光灯付インキュベータ（MRI-252、三洋電機）内にて光照射下において10℃で7日間保存した。光照射条件は、光源に蛍光灯（FL10WF、色温度4200 K、白色、Panasonic）を用い、各試料の上下面に約1500 Lxの光が照射されることとした（図3-1）。

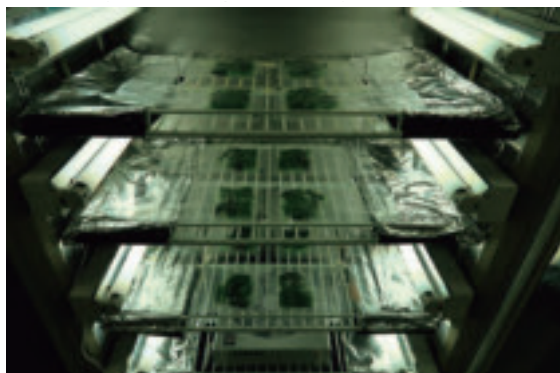


図 3-1 蛍光灯点灯下での保存試験

(3) 結果および考察

蛍光灯点灯下で 7 日間保存したニンジン、ブロッコリー、グリーンアスパラガスおよびインゲンでは、包装資材や包装方法に関わらず対照と比較しても大きな変化は観察されなかった。一方、ブロッコリー、グリーンアスパラガスおよびインゲンでは、特定の包装資材ならびに包装方法で色調が大きく変化した。すなわち、チャック付ポリ袋での包装、酸素バリア性透明樹脂パウチでの含気包装では著しく白色化した。また、酸素バリア性遮光樹脂パウチやアルミパウチでの含気包装でも変色が観察された。一方、チャック付きポリ袋以外では、真空包装した試料の変色程度は小さく、対照に近い色調であった（図 3-2）。

ブロッコリーやグリーンアスパラガス、インゲンの変色は、それらの主要な色素成分であるクロロフィルの光分解が原因と推察される。ニンジンの主要な色素成分であるカロテノイドも光分解が報告されている¹³⁾が、本試験においては、ブロッコリーやグリーンアスパラガス、インゲンで観察されたような顕著な変色は生じなかったことから、蛍光灯点灯下での冷蔵保存下においては、カロテノイドの分解速度はクロロフィルのそれよりも顕著に遅い可能性があることが推察された。また、クロロフィルの光劣化防止には脱酸素が重要であることが報告されている¹²⁾。本試験においても、透過性の高いポリエチレン製のチャック付きポリ袋に包装した試料は真空包装しても白色化が顕著であった一方、酸素透過性の低い樹脂パウチや透過しないアルミパウチに包装した試料は真空包装すると対照に近い色調を保持できたことから、このことは、冷蔵保存下でも同様であることが推察された。

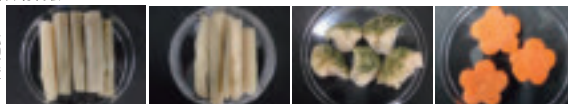
以上のことから、光と酸素のいずれか一方を遮断すれば、ブロッコリーやグリーンアスパラガス、インゲンなどの緑色農産物素材の光劣化は低減で

きることを示唆された。酸素を遮断する真空包装では内容物が潰れてしまい喫食時に本来の食感が得られない可能性が高い。また、光を遮断する遮光パウチやアルミパウチでの包装では内容物の状態を目視確認できないため、購買意欲は高まらない。したがって、内容物が潰れず、状態も目視確認できる酸素バリア性透明樹脂パウチでの、不活性ガスを封入するガス置換包装の活用が期待された。

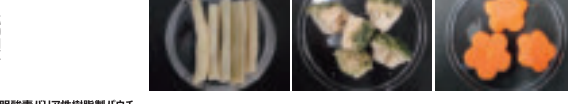
対照（保存試験前）



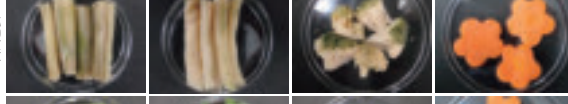
チャック付ポリ袋



含気包装



透明酸素バリア性樹脂製パウチ



真空包装



遮光酸素バリア性樹脂製パウチ



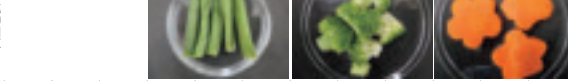
含気包装



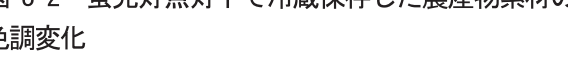
真空包装



アルミパウチ



含気包装



真空包装

図 3-2 蛍光灯点灯下で冷蔵保存した農産物素材の色調変化

2) 光照射下における農産物素材の色調劣化に対するガス置換包装の影響

(1) 目的

加熱済農産物素材を光照射下で冷蔵保存したときの色調劣化におけるガス置換包装の影響を明らかにする。

(2) 試験方法

試料には加熱済冷凍インゲンおよびブロッコリーを用い、前項と同様の方法で解凍・加熱した。各

試料は酸素バリア性透明樹脂パウチに詰め、含気包装ならびに卓上型真空包装機でガス置換包装および真空包装した。ガス置換包装では、封入ガスに N_2 ガスおよび CO_2 ガスを用い、チャンバー内を真空度99.9%まで真空引きした後、真空度10.0%までガスを封入して密封した。密封した試料は、前項と同様に蛍光灯点灯下にて10℃で7日間保存した。保存後の試料は色調と微生物数を測定した。照射後の試料の色調は分光測色計で測定した。ターゲットマスク(φ3 mm)を用いた反射光で試料表面の L^* 、 a^* および b^* を測定し、対照との色差(ΔE^*ab)を算出した。対照は測定当日に調製した蛍光灯未照射試料とし、測定値は1箇所あたり3回測定したときの平均値をとした。微生物数は、平板塗抹培養法(標準寒天培地、30℃、3日間)で一般生菌数を測定した。

(3) 結果および考察

含気包装で観察された試料の白色化は N_2 および CO_2 ガス置換包装では観察されず、色調劣化は低減された(図3-3)。詳細な色調変化に注目すると、ブロッコリーの明度(L^*)を除き、 N_2 ガス置換包装と真空包装の試料の色調変化は同様の傾向であった。 CO_2 ガス置換包装した試料では、白色化した含気包装試料のような明度(L^*)の増加は観察されなかったが、赤み(a^*)の増加が顕著であり、含気包装試料に次ぐ色調変化であった(表3-1)。 CO_2 ガス置換包装した試料では生菌は検出されなかった一方、それ以外の試料で生菌が検出された。

N_2 ガス置換包装は、蛍光灯点灯下で冷蔵保存したインゲン、ブロッコリーに対して真空包装と同等水準で色調劣化を抑制することが示唆された。また、真空包装した試料は外圧(大気圧)で潰れ、包装前の形状を維持できなかった一方、当該試料は形状を維持しており、農産物素材の好ましい密封方法と考えられた。 CO_2 ガス置換包装による試料の色調変化は、 CO_2 の溶解によるpH低下で引き起こされるクロロフィルの構造変化に起因すると推察された。 CO_2 が微生物の増殖を抑制することはこれまでも報告されており、第3節においてもバイオフィーム形成菌に対して増殖遅延効果を示している。本試験においても CO_2 ガス置換包装した試料では生菌は検出されず、微生物制御の手段としては好ましい密封方法であることが推察された。したがって、色調変化に対する封入ガスの CO_2 濃度を検討することで微生物制御効果を保ったまま色調変化を低減できる可能性が期待された。

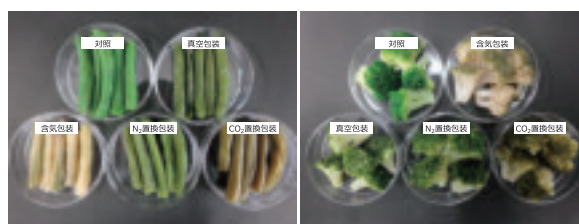


図 3-3 蛍光灯点灯下で冷蔵保存した農産物素材の色調変化における密封方法の影響

表 3-1 蛍光灯点灯下で冷蔵保存した農産物素材の色調変化における密封方法の影響

試料	包装方法	色差 (ΔE^*ab)	明度 (ΔL^*)	赤み (Δa^*)	黄色み (Δb^*)
インゲン	含気	16.5	14.1	8.5	-0.7
	真空	5.4	-0.1	5.3	0.5
	N_2 ガス置換	5.3	0.7	5.2	0.8
	CO_2 ガス置換	10.7	0.9	10.5	1.7
ブロッコリー	含気	14.2	7.5	11.4	-4.1
	真空	7.3	4.5	5.8	1.0
	N_2 ガス置換	6.6	-1.5	6.4	-0.4
	CO_2 ガス置換	13.3	-0.6	13.2	-1.6

3) 光照射下における農産物素材の色調劣化に対する二酸化炭素の影響

(1) 目的

加熱済農産物素材を光照射下で冷蔵保存したときの色調劣化における CO_2 の影響を明らかにする。

(2) 試験方法

試料には生鮮グリーンアスパラガス(北海道江別市産)を用いた。先端から4 cm間隔でカットした後、部位別に分取し、沸騰水中で1分間加熱した。部位別の割合が同じとなるように10片ずつ酸素バリア性透明樹脂パウチに詰め、卓上型真空包装機でガス置換包装した。封入ガスには N_2 ガス、 CO_2 ガスおよび N_2/CO_2 混合ガス(N_2/CO_2 :75/25、25/75)を用い、前項と同様の方法で密封した。密封した試料は、明所では10℃、7日間、暗所では10℃で7日間および14日間保存した。明所は前項と同様に約1500 Lxの蛍光灯点灯下とし、暗所は遮光インキュベータ(CN-25C、三菱電機エンジニアリング)内とした。保存後の試料の色調は、色調は前項と同様の方法で測定し、対照は試料調製時の未照射試料とした。なお、1箇所あたり3回測定したときの平均値を測定値とし、1試料につき5片(3箇所/1片)を測定した。微生物数は、平板塗抹培養法(標準寒天培地、30℃、3日間)で一般生菌数を測定した。

(3) 結果および考察

封入ガスの CO_2 濃度の増加に伴い、色差は大きくなった。この傾向は光照射の有無に関わらず同様であり、明所および暗所で保存した試料間の色調に大きな差はなかった(表3-2)また、試料の保存性について、暗所で14日間保存したときの一般生

菌数を比較すると、N₂ ガス置換包装では 5.6 log CFU/g であった一方、CO₂ 濃度が 75 %以上のガスを封入した試料では 3 log CFU/g 未満であり、CO₂ 濃度が 25 %の混合ガスを封入した試料でも N₂ ガス置換包装試料より生菌数が低かった。

農産物素材の保存性向上において、生菌数の増加が抑制された CO₂ ガスの封入は、非常に有望な包装手段であることが推察された。一方、CO₂ 濃度が 25 %の混合ガスを封入した試料でも赤みが増加したことから、CO₂ を使ったガス置換包装は農産物素材には応用が難しいことが推察された。

表 3-2 蛍光灯点灯下で冷蔵保存した農産物素材の色調変化における CO₂ の影響

保存環境	封入ガス (N ₂ /CO ₂)	色差 (ΔE*ab)	明度 (ΔL*)	赤み (Δa*)	黄色み (Δb*)
明所	100/0	8.3	1.5	7.9	1.9
	75/25	12.1	3.7	11.0	3.2
	25/75	13.7	3.7	12.7	3.4
	0/100	13.6	3.0	12.9	2.8
	100/0	9.2	2.0	8.5	2.8
暗所	75/25	11.7	2.9	10.9	3.1
	25/75	13.6	2.7	12.8	3.9
	0/100	14.0	3.7	12.8	4.2

4) 小括

含気包装した緑色農産物素材は、蛍光灯点灯下で冷蔵保存すると著しく白色化した。この光劣化は、酸素透過性の低い包材を使った真空包装やアルミパウチでの包装によって低減できたことから、光もしくは空気の遮断が重要であることが示唆された。その対策として、真空包装では外圧による内容物の潰れが、アルミパウチや遮光樹脂パウチでは内容物の状態を目視確認できないことが欠点であるため、酸素バリア性透明樹脂パウチに不活性ガスを封入するガス置換包装で光劣化対策を試みたところ、N₂ ガス置換包装が有効であることが示唆された。CO₂ ガス置換包装でも光劣化は防止できたが、CO₂ の作用による変色が生じた。CO₂ ガス置換包装には、N₂ ガス置換包装にはない微生物の増殖抑制効果があったが、変色作用のため緑色農産物素材には応用が難しいことが推察された。

8.5 高い保存性を有する農産物素材の試作背景

第2節では、ブランチングした農産物の加熱殺菌方法として、真空蒸気加熱の有用性を見出した。第4節では、N₂ ガス置換包装が緑色農産物素材の色調の光劣化低減に有効であることを示した。これら二つの技術を組み合わせた緑色農産物素材を試作し、それぞれの効果を検証することで実用化に向けた機運の高まりが期待される。

1) 緑色農産物素材の試作に向けた加熱処理条件の検討

(1) 目的

農産物素材の食感変化における沸騰水加熱と真空蒸気加熱の組み合わせの関係を明らかにする。

(2) 試験方法

試料には生鮮ブロッコリー（福岡県産）を用いた。小花蕾に切り分けて流水洗浄した後、ブランチングとして沸騰水中で2分間、3分間および4分間加熱した。ブランチング後の試料は空冷した後、真空蒸気加熱装置にて103℃および105℃でそれぞれ1分間および3分間加熱した。加熱処理試料の硬さは、パネル5人による合議制の官能評価で調べた。評価においては、基準は設けず、良好、やや不良、不良の3段階の絶対評価とした。

(3) 結果および考察

沸騰水中で2分間加熱したのみの試料は、許容できる硬さまで軟化しておらず不良と評価された。それ以外の試料では、ブランチング時間の延長や真空蒸気による時間の延長に伴って軟化し、硬さの評価は良好からやや不良、不良と変化した。合議制の官能評価で食感が良好であった加熱処理条件の組み合わせは、沸騰水中で2分間加熱した試料では103℃もしくは105℃で1分間の真空蒸気加熱、沸騰水中で3分間加熱した試料では103℃で1分間の真空蒸気加熱であった（表4-1）。

第2節でも述べたように、加熱殺菌においては、微生物の低減と品質低下の抑制の両立を図るためには高温短時間加熱が望ましい。そこで、微生物およびブロッコリー組織の加熱感受性を、それぞれz値=10℃および25℃と仮定して100℃相当の加熱時間を算出した。加熱処理条件だけでは優劣の判断が難しい二つの条件：沸騰水加熱2分間と真空蒸気加熱105℃、1分間の組み合わせ；沸騰水加熱3分間と真空蒸気加熱103℃、1分間の組み合わせについて、微生物に対する加熱時間は、それぞれ100℃で5.0分および5.2分相当である一方、組織に対しては、それぞれ100℃で4.3分および3.6分相当であった。すなわち、僅かな時間差であったが、二つの条件で微生物および組織に対する加熱時間は逆転し、2分間の沸騰水加熱と105℃で1分間の真空蒸気加熱の組み合わせは、微生物に対しては長時間、組織に対しては短時間の加熱であることが示唆された。これらのことから、ブロッコリー素材の試作においては、2分間の沸騰水加熱と105℃で1分間の真空蒸気加熱の組み合わせが最も効果的であると推察された。

表 4-1 加熱処理条件の組み合わせによるブロッコリーの硬さの変化

ブランチング時間 (分)	真空蒸気加熱				
	無処理	103℃、1分間	103℃、3分間	105℃、1分間	105℃、3分間
2	不良 (硬い)	良好	やや不良	良好	不良
3	良好	良好	不良	やや不良	不良
4	やや不良	やや不良	未評価	やや不良	未評価

2) 真空蒸気加熱と N₂ ガス置換包装を併用した緑色農産物素材の試作

(1) 目的

真空蒸気加熱と N₂ ガス置換包装を併用して試作した緑色農産物素材の保存性および品質を明らかにする。

(2) 試験方法

試料には生鮮ブロッコリー (北海道江別市産) を用いた。小花蕾に切り分けて流水洗浄した後、ブランチングとして沸騰水中で 2 分間加熱した。試料は空冷した後、樹脂トレイ (7G860110、エフピコ) に 6 個 (合計約 50~60g) を肉詰し、酸素バリア性透明樹脂パウチにトレイごと挿入してから真空蒸気加熱装置にて 105℃で 1 分間加熱した。加熱後の試料は、3-2) - (2) と同様の方法で N₂ ガス置換包装した後、3-1) - (2) と同様に蛍光灯点灯下にて 10℃で 7 日間保存した。

加熱処理後の試料の品質 (色調、食感、風味) は、食品加工研究センター職員をパネルとした 11 名による官能評価で確認した。すなわち、前項において食感が良好であった沸騰水中で 3 分間加熱した試料の各品質を基準として、沸騰水中で 2 分間加熱した後、真空蒸気加熱装置にて 105℃で 1 分間加熱した試料および沸騰水中で 3 分間加熱した試料の各品質を評価した。各品質の評価は三段階 (色調および風味: 悪い、同じ、良い; 食感: 軟らかい、同じ、硬い) とし、それぞれ-1、0 および 1 を付してスコア化した。7 日間保存後の試料については、色調および微生物数を測定するとともに、食品加工研究センター職員をパネルとした 13 名による官能評価で喫食の可否を確認した。色調は、3-2) - (2) と同様の方法で測定した。微生物数は、平板塗抹培養法 (標準寒天培地、30℃、3 日間) で一般生菌数を測定した。喫食の可否は、色調とにおいを勘案し、加熱済ブロッコリーとしての喫食の可否を絶対評価した。

(3) 結果および考察

沸騰水中で 2 分間加熱した後に真空蒸気加熱装置にて 105℃で 1 分間加熱した試料の色調、食感および風味は、沸騰水中で 3 分間加熱した試料と同等であった (いずれも評価項目も $p>0.99$, tukey 法、

表 4-2)。N₂ ガス置換包装した当該試料は、蛍光灯点灯下にて 10℃で 7 日間保存した後も、含気包装した試料と比較して緑色が保持されていた (図 4-1)。また、沸騰水中で 3 分間加熱した試料 (照射前) と比較したときの色差 (ΔE^*ab) は 7.7 であった。喫食可否の調査では、パネル 13 名のうち 12 名が喫食可能と回答した ($p<0.01$ 、二項検定)。冷蔵保存後の一般生菌数について、沸騰水中で 3 分間加熱した後に N₂ ガス置換包装した試料と比較したところ、保存 7 日ではいずれも腐敗水準の生菌は検出されなかった (沸騰水 2 分間-真空蒸気 105℃、1 分間: 0/9 試料; 沸騰水 3 分間: 0/6 試料) が、保存 14 日では沸騰水加熱のみの試料では腐敗水準以上の生菌が検出された (沸騰水 2 分間-真空蒸気 105℃、1 分間: 0/6 試料; 沸騰水 3 分間: 2/3 試料)。

沸騰水中で 2 分間加熱した後に真空蒸気加熱装置にて 105℃で 1 分間加熱した試料の食感と保存性に着目すると、食感は沸騰水中で 3 分間加熱した試料と同等であり、保存性はそれよりも優れ、14 日間保存可能であった。第 2 節においてグリーンアスパラガスで得られた結果と同様に、真空蒸気加熱装置による加熱処理を加えることにより、加熱による品質低下を抑制しながらの微生物的な保存性の延長を達成できた。また、第 4 節において見出した緑色の光劣化対策における N₂ ガス置換包装の有用性も再現された。特に、照射後試料 (沸騰水中で 3 分間加熱した試料を対照とした色差 (ΔE^*ab): 7.7) の官能評価において、92.3 % (12/13 名) のパネルが喫食可能と回答したことから、保存前の色調と比較して約 8 程度の色差であれば、色調変化の許容範囲内であることが示唆された。このことは、第 4 節での試験では、N₂ ガス置換包装して照射下で 7 日間冷蔵保存したグリーンアスパラガスやインゲンの色差 (対照: 照射前の沸騰水加熱試料) は、5~8 程度であったことから、これらの色調変化についても喫食の許容範囲内であり、N₂ ガス置換包装は様々な緑色農産物の光劣化対策に応用可能と推察された。

表 4-2 真空蒸気加熱したブロッコリー素材の品質

沸騰水加熱	真空蒸気加熱	色調	食感	風味
2分間	105℃、1分間	-0.1 ± 0.7	-0.5 ± 0.9	-0.3 ± 0.8
3分間	-	0.0 ± 0.4	-0.1 ± 0.5	-0.3 ± 0.6

(平均値±標準偏差)



図 4-1 ブロッコリー素材の光劣化における N_2 ガス置換包装の効果

3) 小括

第2節および第4節において、ブランチング後の生残微生物対策や冷蔵保存中の光劣化対策として有用性を示した真空蒸気加熱と N_2 ガス置換包装を併用したブロッコリー素材を試作し、保存性と品質を評価した。微生物的な保存性においては、ブランチングとしての沸騰水中での加熱時間を短縮し、その代替として真空蒸気で加熱することにより、加熱による品質低下を抑制しながらの保存期間の延長を達成した。品質保持においては、 N_2 ガス置換包装により緑色の光劣化を抑制し、保存期間の延長を達成した。これらのことから、真空蒸気加熱と N_2 ガス置換包装の組み合わせは緑色農産物素材の保存性向上技術として期待される。

8.6 総括

日本国民の食料消費支出における生鮮食品と加工食品の構成比は、それぞれ減少と増加を続け、今後もその差は拡大すると推計されている。北海道で生産される様々な農畜水産物においても、今後直面すると予想される生鮮食品として需要低下に備え、加工食品としての用途を考える必要がある。本研究では、食の簡便化・外部化の進行に対応して需要が拡大しているミールキットに着目し、その構成素材の一部である農産物素材の冷蔵での保存性向上を目的とした微生物制御技術および品質制御技術の開発に取り組んだ。

第2節および第3節では、それぞれ原料由来および製造環境由来の微生物の制御技術を検討した。原料由来の微生物の制御では、沸騰水でのブランチング処理後に生残する耐熱性の高い微生物が対象となる。そこで、沸騰水でブランチングした後のグリーンアスパラガスの保存性と品質へ影響について、沸騰水中での加熱殺菌時間の延長と真空蒸気加熱による 100°C 超での高温短時間殺菌の効果を比較し、同等の

保存性を付与する処理条件において、真空蒸気加熱では沸騰水中での加熱よりも組織の軟化を低減できることを明らかにした。真空蒸気で直接加熱する農産物素材においては、加熱処理後から包装工程までの間における二次汚染が想定される。したがって、製造環境由来の微生物の制御では、製造ラインや調理器具に付着してバイオフィルムを形成し、二次汚染の原因となる可能性の高い *Pseudomonas* 属細菌に代表されるグラム陰性ブドウ糖非発酵桿菌を対象とした。加熱処理後の農産物素材では、静菌剤の添加や包装後の再度の加熱殺菌は難しく、二次汚染微生物対策として措置できる方法には限りがある。そこで、 N_2 、 CO_2 およびその混合ガスによるガス置換包装の増殖抑制効果を検討したところ、ブロッコリー中での増殖抑制において、 N_2 ガス置換包装は効果がなかったが、封入ガスに CO_2 を混合することで数日間の増殖遅延が可能であることを明らかにした。

第4節では、包装した農産物素材の店頭販売を想定し、蛍光灯点灯下（約 1500 Lx ）で冷蔵保存したときの品質変化を観察してその制御技術を検討した。ブロッコリーやグリーンアスパラガス、インゲンといった緑色農産物は、豊富な酸素と接触する条件において蛍光灯点灯下で保存すると光劣化が著しく進行した。この光劣化は、アルミパウチでの包装や透明樹脂パウチでも真空包装、不活性ガスを封入するガス置換包装で低減されたことから、酸素と光のうち、いずれか一方を遮断することで制御できることを明らかにした。また、 CO_2 には光劣化を伴わない変色作用があり、緑色農産物の包装には不適であることも明らかにした。したがって、明らかにした光劣化対策と購買意欲を惹起する製品形態（内容物が潰れないこと、内容物を目視確認できること）を勘案すると、緑色農産物素材に好ましい包装方法は、 N_2 ガス置換包装であると結論した。

第5節では、真空蒸気加熱と N_2 ガス置換包装の効果を確認するため、ブランチングしたブロッコリーを真空蒸気で加熱した後、 N_2 ガス置換包装して蛍光灯点灯下で冷蔵保存した。官能品質（色調、硬さ、風味）が同等であることが示唆された沸騰水加熱2分間-真空蒸気加熱 105°C 、1分間と沸騰水加熱3分間の試料について、 10°C で14日間保存したところ、沸騰水加熱のみの試料では腐敗水準以上の生菌が検出された（沸騰水2分間-真空蒸気 105°C 、1分間：0/6 試料；沸騰水3分間：2/3 試料）。 N_2 ガス置換包装は、第4節での試験と同様に光劣化の抑制に有効であり、光照射後の試料の色調は喫食に際して許容範囲内であることを官能評価で明らかにした。したがって、真空

蒸気加熱と N₂ ガス置換包装を併用することにより、蛍光灯点灯下において 10℃で 7 日間保存しても色調は大きく劣化せず、微生物数の増加も抑制できることが示唆された。

以上より、本研究では真空蒸気による加熱殺菌と N₂ ガス置換包装による光劣化を組み合わせた緑色農産物素材の保存性向上技術を開発した。本研究で対象としたブロッコリーやグリーンアスパラガス、インゲン北海道を代表する緑色農産物であり、豊富な生産量（インゲンは豆を含む）を誇る。現在、これらの農産物は主に生鮮で流通しており、冷蔵タイプの加熱済素材は見当たらない。したがって、これら農産物の生鮮需要が低下した際には、本技術を活用することで加工食品用途としての活路が期待できる。研究期間内では本技術の実用化には至らなかったが、今後、関連する加工食品製造企業等を対象に普及活動を続けることで今後の活用・展開が期待される。

引用文献

- 1) 総務省統計局. “家計調査/家計収支編 総世帯年報” : (https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?stat_infid=000032221006) (2023. 4. 14)
- 2) 今泉鉄平 (2024). 野菜・果物の加工におけるブランチングの有効性とは. 生物工学会誌, 102 巻, 415.
- 3) Kobayashi T., Azuma T., Yasokawa D., Yamaki S., and Yamazaki K. (2021). Spore Heat Resistance and Growth Ability at Refrigeration Temperatures of *Bacillus* spp. and *Paenibacillus* spp., *Biocontrol Science*, 26, 147-155.
- 4) Eyarkai N.V., Gupta, R.K., and Kumar, S. (2016). Degradation kinetics of bioactive components, antioxidant activity, colour and textural properties of selected vegetables during blanching. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 3073-3082.
- 5) 葛原 武、堤 隆一、今村 恵、浅原哲雄 (2004). 海老類の殺菌処理方法. 特許第 3614497 号
- 6) 株式会社鹿光生物化学研究所. “天然色素／天然着色料の色調の表し方（色差）” : (<https://www.rokkou-co.jp/wp/color-difference/>) (2025. 1. 28)
- 7) 荻原博和、蟹江 誠、矢野信禮、春田三左夫 (1993). ガス置換包装における二酸化炭素、酸素、及びその混合ガスが食品媒介病原細菌・腐敗細菌の発育に及ぼす影響. 食品衛生学雑誌, 34 巻, 283-288.
- 8) 小林哲也 (2020). 窒素濃度および二酸化炭素濃度を調整したガス置換雰囲気における低温性 *Bacillus* 属細菌および *Paenibacillus* 属細菌の発育. 北海道立総合研究機構食品加工研究センター研究報告, 15 号, 39-46.
- 9) 三上加奈子、東 孝憲、河野慎一 (2020). 食品工場におけるバイオフィルムの評価と除去剤の検証. 北海道立総合研究機構食品加工研究センター研究報告, 15 号, 33-38.
- 10) 藤井建夫、杉本和弘、奥積昌世 (1993). ガス置換包装における食品関連細菌の挙動. 日本包装学会誌, 2 巻, 167-172.
- 11) 文部科学省. “食品成分データベース” : (<https://fooddb.mext.go.jp/index.pl>) (2025. 1. 29)
- 12) 津志田藤二郎、寺尾純二、平田孝 (2001). 食品の光劣化防止技術. サイエンスフォーラム、東京