

酸素濃度調節によるスルメイカおよび 多種水産物の高鮮度保持技術に関する研究

学位論文内容の要旨

生鮮水産物の鮮度は、その商品価値を左右する最も重要な品質要素の一つである。生きている時のスルメイカは、表皮にも透明感があって内臓が透けて見えるほどである。この時、表皮内に存在する色素胞は、物理的な刺激に対して活発に拡張・収縮運動を繰り返す。このような状態にあるものは、生鮮イカの中で最も鮮度が良いと評価され価値が高い。一方、空気中で保管を続けると、色素胞の拡張が進んで体色が赤黒く変化（発色）していく。この時の色素胞の運動能は、発色の進行と同調して低下する。そして、その後は色素胞が収縮して体色が白く変化していく。こうなると、鮮度は悪いと評価され価値が低下する。このような背景から、イカでは、体色や色素胞の運動能が鮮度指標の一つとして利用されており、発色制御という視点からの鮮度保持技術に興味を持たれている。しかしながら、現状では、保管中に起こる発色のメカニズムは明らかでなく、それを制御する技術も開発されていない。そこで、本研究では、スルメイカの体色制御に着目し、その高鮮度を維持するための研究を行った。また、得られた結果により開発された技術が、より広範囲の水産資源の高鮮度保持技術として使用できることを示すため、イカ表皮とは組織性状が異なるウニ生殖腺およびワカメの品質変化に対する効果についても検証を行った。

第1章では、体色変化に注目した客観的な評価手法が確立されていないことから、色素胞運動能の評価法など、新しい表皮性状の評価手法を検討した。また併せて、一般的な保存・流通条件である、空気保管時の諸性状変化を追跡した。その結果、色素胞の運動能は、神経伝達物質として知られるグルタミン酸や γ -アミノ酪酸に対する反応性を観察することにより評価できることを明らかにした。そして、この手法を用いて評価した色素胞の運動能は、官能的な評価結果と良く一致し、発色の進行に伴って低下することを確認した。さらに、色素胞運動に重要な役割を果たすであろう表皮中のATP含量は、死後5日間にも亘って即殺直後と同等のレベルに保持されていることを見出した。

次に第2章では、ATPの生産が通常、酸素を要求する反応であることから、表皮のATP含量に対する酸素濃度の影響を検討した。また、このATP含量は色素胞運動能や体色変化に影響を与えると予想されることから、酸素濃度が発色にどのような影響を及ぼしているかを追跡した。さらに、イカ表皮でATPが長期間維持される理由を酵素学的な諸性質から検討した。その結果、表皮では、死後の保管中もATP

の再生が行われており、即殺時のレベルを維持するために必要な酸素濃度が 2.5%以上であることを見出した。一方で、発色は表皮の ATP 含量と無関係に、保管環境の酸素濃度によって制御されており、発色を起こさない酸素濃度帯 (2.5-7%) が存在することを明らかにした。この濃度帯は、海水中の環境と一致するものであった。ATP 再生系について検討した結果、表皮には、Mg によって活性化され、NaCl によって安定化される、極めて熱安定性に優れた酵素が存在していることがわかった。このような特性は、筋肉部で知られているものと著しく異なっていた。このことから、死後保管中の表皮の ATP 含量は、このような酵素に支えられて、再生・維持されていることが明らかとなった。一方で、酸素ガスと窒素ガスを用いて酸素濃度を 2.5-7% に調整した混合ガス中で保管した場合では、発色を抑制できるものの、色素胞運動能までは十分に保持できないことが判明した。色素胞運動能の保持には、酸素濃度以外の要因が存在すると推察された。

そこで第 3 章では、安定した 2.5-7% の酸素濃度環境下で、種々の物質が色素胞運動能に及ぼす効果を検討する目的で、イカを海水に浸漬して保管した時の性状変化を追跡した。まず、海水保管した際の体色がどのような変化を示すのか、まったく知見がなかったので、初めに人工海水中で外套膜を保存した際の性状を評価した。その結果、この環境では、死後 5 日間にも亘って発色がおこらず、しかも色素胞の運動能が良好に保持されることを見出した。そこで次に、色素胞運動能の保持要因を探るため、海水の主要ミネラルである Ca、Mg、K の有無が表皮性状に及ぼす影響を検討したところ、色素胞の運動は Ca によって直接的に制御されていることが明らかになった。なお、 ^{45}Ca をトレーサーに用いた実験から、海水と表皮の間では Ca の交換が起こっていることを確認した。そして、これらの基礎的な実験室レベルの成果を基に、溶存酸素濃度を高めた海水とともに包装・保管する生鮮スルメイカの保存方法を提案し、実証試験を行った結果、保管 24 時間後でも色素胞運動能が良好に保持されていることを確認した。これらの取り組みにより、刺激に対する色素胞の反応性を保持した、新しいスタイルの生鮮スルメイカの保存・流通技術を開発することができた。

第 4 章では、これまでの成果が表皮以外の組織にも応用できないかを知る目的で、ウニ生殖腺の保存中の鮮度に対する影響を検討した。ここでは、塩水ウニの調製直後から保存時間の経過に伴っておこる海水の濁りの進行を鮮度低下と捉えた。その結果、共存させる酸素量と生殖腺の ATP 含量は良く一致し、酸素量が多いほど保管中の生殖腺の ATP 含量が高く保持され、外観的な海水の濁り発生が抑制されることがわかった。この間、一般細菌や海洋細菌の増殖も認められなかったことから、酸素を供給した貯蔵は塩水ウニの鮮度保持に有効と判断した。

最後に第 5 章では、このような技術が植物組織の鮮度保持にも適用できるかを明らかにするため、ワカメを実験材料に検討を行った。生鮮ワカメは加熱によって褐色から緑色へと変化するが、この特性は貯蔵時間の経過に伴い徐々に失われる。そこで初めに、この緑変現象を鮮度指標に利用できるかを検討し、次いで、高酸素濃度下で保存することによってその機能保持が図れないか検証を行った。加熱前後の葉体の反射スペクトルを測定したところ、加熱前のワカメでは 580nm に最大反射率を示す波長が存在するが、加熱によって緑変したものはその波長が 560nm へとシフトすることがわかった。この変化を指標に、酸素がワカメの鮮度に与える影響を検討したところ、酸素ガス中で貯蔵することによって、波長

が変化するまでの期間が長く保たれることを見出した。これにより、酸素ガス中での貯蔵は生鮮ワカメの鮮度保持にも有効であることが明らかとなった。

以上の結果から、酸素濃度調節による保存は生鮮水産物の鮮度保持にとって有効な技術であると結論した。特に、スルメイカ表皮においては、保管中の酸素濃度を調節することによって、ATP 再生といった一部の組織機能を保持したり発色現象を制御することが可能となり、加えて Ca 濃度を調節することにより、刺激に対する色素胞の反応性といった生物活性の一部をも持続させたまま保存できることを示し、これらが死後も人為的に制御できることを初めて明らかにした。生物が有する種々の機能は、致死直後の時点で全てが完全に停止してしまうものではない。生物の特性を把握し、適切な保存条件を見出すことによって、さらに多くの生鮮水産物の超鮮度・高品質保持技術の進展が可能になるものと期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 今 野 久 仁 彦

副 査 教 授 川 合 祐 史

副 査 教 授 佐 伯 宏 樹

学 位 論 文 題 名

酸素濃度調節によるスルメイカおよび 多種水産物の高鮮度保持技術に関する研究

スルメイカは、函館の重要な水産物である。多くは、比較的価格の低い発泡スチロール容器や木箱で流通される鮮イカであり、価格の高い「生け簀イカ」や活イカは流通量が限られている。函館地域における、イカの付加価値を一層高めるためには、大量の流通量のある鮮イカ（生鮮スルメイカ）の高鮮度化を図り、付加価値を向上させる技術の開発が望まれている。

スルメイカは、死後の保存時間の経過に伴って、体色が全体的に赤褐色に変化する。そして、貯蔵時間が長くなるにつれ、退色が起こり、白色化する。この変化は、目視で容易に捉えられることから、流通関係者や一般消費者の間でイカの簡易な鮮度指標として広く利用され、発色した外観を示すイカは鮮度がよいと評価される。また、目視で容易に捉えられる鮮度指標に、指で表皮に刺激を与えたときに、色素胞が拡張・収縮という運動性を維持してものは鮮度がよいと評価されている。水揚げ直後のイカで認められるこの反応は、保存中発色の進行に伴って起こらなくなる。このため、イカ表皮の体色制御に対する産業界の関心は高いが、発色のメカニズム、およびそれらに影響を与える因子などに関する研究はほとんどないのが現状である。それゆえ、表皮の性状を科学的に評価する手法も確立されていない。そこで、本研究では、なるべく即殺直後の状態に近い状態、すなわち、発色を起こす前の状態を保持し、色素胞の運動性を維持するための生鮮スルメイカの保管・流通技術を開発することを目的としている。

そこで、まず、生鮮スルメイカの発色程度の定量化技術を確立した。この定量的な指標を用いて、イカの空気保存時の発色および種々の性状変化を追跡した。体の中心を体軸に沿って通っている神経切断という方法を用いて即殺し、その後の保存中の体色変化を追跡したところ、貯蔵期間とともに次第に発色が起こり、24 時間後には、十分発色した。また、色素胞の運動性が維持しているかどうかは、指で刺激を与えるという単純なことで評価もできたが、神経伝達物質に対する反応性、すなわち L-Glu による発色と GABA

によるその抑制作用が見られるかどうか評価すればよいことを初めて示した。一般的に運動にはATPをエネルギーが用いられるので、表皮中のATPの消長を追跡した。その結果、ほとんど酸素を含まない窒素環境下（0.1%の酸素濃度）で保存されたイカ外套膜の表皮では、24時間以内にATPが顕著に減少するが、空気中のような酸素を取り入れることができる環境では全く低下しないことが分かった。このことから、イカ表皮内では、死後の保存中にも酸素が十分に供給される環境であればATPの再生が行われていることが確かめられた。また、表皮内には、ATP再生系と思われるMg-ATPaseが脂質膜構造として存在していることが、遠心力を変えた沈殿実験やゲルろ過による分子量分画から明らかにされた。高酸素濃度下ではATPは保持されるが、発色が起きてしまうが、2.5-7%濃度では発色が起こらないままの状態の数日間保存できることを見出した。この酸素濃度を維持する方法として、海水貯蔵という新しい方法を試みたところを、ガス中より制御が簡単であることが分かった。そして、酸素曝気した海水貯蔵という新しい貯蔵方法を提案した。海水に含まれるミネラル成分から Ca^{2+} を除くと短時間で表皮全体が白色化するが、 Ca^{2+} の再添加で回復したので、色素細胞の運動を制御している最終的な制御因子は Ca^{2+} であることを初めて実証した。そして、これら、基礎的な研究成果を基に、海水パック詰めしたイカを東京までの陸上輸送の実証試験を行い、高い評価を受けることを示した。また、生体細胞に酸素を供給し、生きている状態での細胞の反応を維持させるという考え方を他の水産物に応用できるかを検討するため、塩水ウニ生殖腺および生ワカメ葉体という全く性状のことなる水産物を用いて検討した。その結果、ウニ生殖腺が活着している指標としてATP含量が使用できることを示し、塩水ウニのバッグへの酸素の供給によって保存中に卵巣の細胞が死に至り構造が破壊され、内容物が浸漬海水中に漏洩し、海水の濁りが生じるという現象が著しく抑制されることを示した。また、生のワカメは、茶褐色をしているが、加熱によって緑色に変化、それが品質の指標として利用されている。貯蔵とともに、この変化が起こらなくなり、加熱後も褐色のままになります。生ワカメを酸素共存下で保存すれば、緑色への変化をかなり長期間維持させることができたのでワカメでも酸素が鮮度保持に利用できることを示した。

これらの研究成果は、鮮度低下が著しく速く、高鮮度のままで遠方まで流通させることができないというスルメイカ鮮度保持、流通上の問題を解消すると同時に、新たな可能性を示している。よって、審査員一同は申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格があると判定した。