

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 農 学 )	氏名	OMWANGE KEN ABAMBA
論文題目	Selection and development of algorithms based on surface fluorescence compounds of fish for non-destructively monitoring freshness during storage (貯蔵段階における魚体表の蛍光物質を用いた非侵襲的な鮮度評価のためのアルゴリズムの選定と開発)		
(論文内容の要旨)			
<p>魚は優れた栄養価と良質なタンパク源として注目され、近年消費量が増加している。しかし鮮度の低下が早く、傷みやすい食材であることから、生食として利用するには注意が必要となる。魚の鮮度評価には様々な方法が提案されているが、破壊試験であることや分析に手間がかかるといった課題が残されている。一方、近年目覚ましい進歩を遂げている照明や画像計測技術により、様々な場面でマシンビジョン技術の応用が進んでいる。また、魚の鮮度低下に伴う代謝過程において、種々の物質が分解、生成されており、それらの変化を簡便に計測するには、蛍光法が有効であるとの着想から、本研究では非破壊で魚の鮮度を評価する技術を目指し、魚の貯蔵段階における紫外励起・可視蛍光による鮮度評価技術の開発を行った。</p> <p>本論文は6章で構成され、第1章では研究の背景と既存の鮮度評価技術の概要を説明し、現状の課題を抽出した上で、本研究の目的について述べている。第2章では、本論文で用いた材料情報や各実験で用いた実験装置を解説するとともに、測定条件や統計的解析方法について論じている。本実験で使用したウグイ (<i>Tribolodon hakonensis</i>) は、和歌山県で養殖された10か月齢の養殖魚で、大きさは160±15 mmのものを扱い、実験における鮮度保存時の庫内温度は4±1°Cに設定した。</p> <p>先行研究によって眼球の抽出液が鮮度評価指標となり得ることが分かっていることや本研究の目的が、蛍光による非破壊鮮度評価技術の開発であることをふまえると、魚の眼や体表面をはじめとする各部位の分光特性の把握が必須となる。そこで画像計測に先立ち、第3章では眼球および鱗を含む体表面の励起蛍光スペクトルを取得し、既存の鮮度評価法として知られているK値との相関を調べた。Front-face蛍光測定法の光学配置で励起波長域200～585 nm、蛍光波長域220～600 nmにおいて励起蛍光マトリックスを測定し、K値との相関を部分最小二乗回帰 (PLSR) で調査した。その結果、2つの励起・蛍光のペアを比較することで鮮度を推定することが可能であり、その励起波長は、眼球では275と355 nm、体表では280と355 nmの励起で生じる蛍光強度変化が有効であることが明らかとなった。また、部位ごとではなく魚全体を非破壊で評価する場合には、280と350 nmの2波長の励起で良好な予測精度 (<math>r^2=0.96</math>) が得られる事を示した。</p> <p>第4章では前章での知見と入手性から、紫外照明として365 nmのLEDを用いた蛍光イメージングシステムを構築し、虹彩や瞳孔を含む魚眼に着目した紫外励起・可視蛍光画像による鮮度評価方法を検討した。4±1°Cの環境下で保存し、52時間に渡って鮮度変化をモニタリングした結果、鮮度の低下と共に、眼の色相や彩度に変化が見られた。この結果は、同じ保存条件の破壊試験により眼球から抽出した眼液の蛍光分光測定の結果でも裏付けられたため、眼球の中で鮮度低下に伴う化学反応によって蛍光画像の色の変化として現れていると考察した。また、本手法は簡便な鮮度評価方法として有用で、鮮度による迅速な魚の等級付けに利用できるとの結論を得た。</p> <p>第5章では魚全体の画像を取得する際に、照明光の波長を変え (白色、365、395、280 nm) で画像を取得し、それらと鮮度との関係を調査した。特に、背側、腹側、虹彩、瞳孔に着目してそれぞれの画像を解析し、多波長照明による画像を組み合わせる解析したところ、前章の眼のみに着目した評価方法よりも僅かに優れた結果を得た。それは体表面の鱗の構造変化に由来するものと考えられた。</p> <p>第6章では各章をまとめると共に、本論文を総括し、紫外励起による可視蛍光画像</p>			

は非破壊で魚の鮮度をモニタリング可能との結論を得た。同時に、眼と鱗を含む表面からの蛍光変化に着目すれば、2つの励起波長（280と350 nm）で貯蔵中の魚の鮮度の劣化を監視するのに十分であると結論付けている。このように、本研究は迅速な魚の鮮度評価を行えるため食の安全・安心に貢献でき、本知見に基づくオンラインモニタリングや小型センサが開発されれば、流通過程だけでなく冷蔵庫内の鮮度モニタリングも可能となることから家庭内で発生する食品ロスの低減にも貢献できるとまとめている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

本研究は蛍光反応を利用した魚の鮮度モニタリング技術の開発を目指し、ウグイ (*Tribolodon hakonensis*) を対象に魚表面からの蛍光を計測し、虹彩や瞳孔を中心とした眼や鱗を含む魚体表面の蛍光の時間変化と従来法であるK値による鮮度との関係を詳細に調査することで、紫外励起・可視蛍光画像計測の有用性を提案したものである。すなわち、鮮度と共に変化する代謝生成物や成分組成、微細構造等も関わる蛍光特性変化を利用した非破壊計測手法を提案するものであり、評価できる点は以下の通りである。

1. 蛍光分光光度計を用いて、魚の眼球や鱗を含む体表面の蛍光計測を実施し、鮮度評価と相関の高い励起波長や蛍光強度を詳細に調査した結果、特に280 nmと350 nmの励起波長を用いることが有効であることを明らかにした。
2. 鮮度低下に伴い観察される眼球の蛍光画像において青色が強くなる要因が、尿酸の蛍光に由来すること、眼球表面だけでなく眼球内の房水の変化にも由来していることを明らかにし、その色の変化を利用したイメージングシステムにより鮮度の指標であるK値と高い相関 ( $r^2=0.92$ ) を見出した。
3. アミノ酸、尿素、コラーゲン等に由来する蛍光波長に着目したマルチスペクトルイメージングシステムを構築し画像解析を行った結果、白色、365 nm、395 nm、280 nmの4枚の画像からの虹彩、瞳孔、腹側、背側の領域の特徴量を利用することで、鮮度の指標であるK値と高い相関 ( $r^2=0.94$ ) が得られることを明らかにした。

以上のように、本論文は鮮魚の紫外励起・可視蛍光情報が鮮度評価に利用可能であること、および適切な波長のLED光源や光学フィルタを有したマシンビジョンシステムによる鮮度評価システムの実現性を示していることより、食品ロスの削減や食の安全・安心に関して大きな貢献が期待される。このことから生物センシング工学、フィールドロボティクス、農業システム工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和4年7月15日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)