



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of Maillard reaction based time temperature indicator/integrator for application of agricultural and food process engineering [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	李, 廷綯
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第13142号
Issue Date	2018-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/70137
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Junghyun_Lee_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博 士（農学）

氏名 李 廷絢

審査担当者	主 査	准 教 授	小関 成樹
	副 査	特任教授	川村 周三
	副 査	教 授	岩淵 和則
	副 査	教 授	韓 忠 洙（韓国忠北大学）

学 位 論 文 題 名

Development of Maillard reaction based time temperature indicator/integrator for application of agricultural and food process engineering

（農業および食品プロセス工学のためのメイラード反応に基づく積算温度インジケータの開発）

本論文は英文 152 頁，図 42，表 15 を含む 6 章からなり，参考論文 2 編が付されている。

農畜水産物およびそれら加工食品の収穫，保存，熟成，流通などのさまざまな過程において温度は食品の品質変化に影響を及ぼす最も重要な要因である。このような状況で温度履歴を簡易に確認する手段として積算時間温度インジケータ（Time-Temperature Indicator/Integrator, TTI）が注目されつつある。これまでに様々な反応様式の TTI が開発されているが，その適用範囲が限定的であること，反応性能，安全性などの面に課題があり，その普及実用化は限られた食品だけに留まっている。そこで本研究ではメイラード反応に着目した。メイラード反応は食品素材による反応であり安全であること，基質濃度および基質の組合せ条件，および反応温度によって様々な色変化を示すことから TTI として好適である。本研究では，農畜産物の生産・流通・加工における様々な温度過程に適用可能なメイラード反応を利用した TTI を開発し，実用場面での適用可能性を明らかにすることを目的とした。

1. メイラード反応による色調変化の特性解明

メイラード反応の反応剤として，高い反応性を持ち，優れた視認性が得られる D-キシロースとグリシンの組合せを利用した。D-キシロースとグリシンのみの反応（通常反応）は室温環境下でも反応速度が遅いため，反応促進剤として Na_2HPO_4 を利用して短期間で色変化を実現する変化速度（高速反応）に調節した。また，メイラード反応溶液の色変化の特性をデジタル画像として評価して，RGB（Red, Green, Blue）値によって分析した。RGB 値の変化曲線は

ロジスティック式として記述できた。さらに様々な環境下におけるメイラード反応の色変化を予測するために、基本のロジスティック式の各パラメータと反応温度および反応基質濃度との関係を数理モデル化して、温度履歴と反応基質濃度から色変化の予測を可能とした。

また、反応溶液の色変化は肉眼でも確認できる明確な色を示した。このことは TTI として極めて重要な特性である。色変化終了時間は反応温度にもよるが半日から一年以上までと広範囲な反応時間を実現した。したがって、D-キシロースとグリシンによるメイラード反応を TTI に活用することで、様々な状況に使用できる汎用的 TTI になる可能性が示唆された。

2. 輸入牛肉の流通・保存期間中の温度管理への TTI の適用

流通期間中の保存温度履歴を確認する手段として、実際の流通温度帯（-0.5℃付近）で長期間にわたり緩慢に反応するメイラード反応を利用した TTI を開発して、その利用可能性を検討した。開発した TTI はオーストラリアからの船舶輸送期間中の適切な温度管理を反映して色変化を示すことが可能であった。その結果 -0.5℃ の保存では 118 日で、4℃ の保存では 28 日で種々の品質変化が認められ、官能試験の匂いでも評価点数が低下した。これらの結果から牛肉の保存限界として判断した時に、TTI の色変化も明瞭に認められたことから TTI の色変化から長期保存中の牛肉品質の予測可能性が示唆された。

3. メロンの食べ頃判定への TTI の適用可能性の検討

メロンの食べ頃を判定するための TTI を開発した。特に、低温での長期保存後の追熟期間の判定が課題であることから、4-5℃の低温保存とその後の室温（20-25℃）での追熟条件を組み合わせた環境下で、メロンの品質変化（質量減少率、色調、糖度、硬度）と TTI の色変化との関連性を検討した。その結果、追熟による食べ頃の基準の一つである果肉硬度の 2 N 以下への低下に、TTI の色変化が合致する条件を見出した。これによって、用途に応じた硬度のメロンを選択するための TTI を調製することが可能となった。

4. 加熱調理工程における TTI の適用

食品の加熱時に中心温度と温度保持時間と「中心温度 75℃で 1 分間の加熱」を的確に把握する手段として、メイラード反応を利用した TTI の開発を目指した。75℃に達した後、1 分間の温度保持で色変化を目視確認可能とするために、より反応性の高いリボースとリジンを利用して TTI を開発した。開発した TTI をハンバーグに埋め込み、中心温度が 75℃で 1 分以上保持した際に明瞭な色変化（黄色から茶色）を示す条件を見出した。

以上、本研究はメイラード反応を基盤とした様々な温度条件で明瞭な色変化を示す TTI を開発した。農畜産物の流通、保存、追熟および加熱調理の過程における TTI の適用可能性を検討した結果、牛肉の流通・保存中の温度管理、メロンの食べ頃の判定、食品の加熱調理温度の判定に利用示唆された。よって、審査員一同は、李延絢氏が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。