

料理を科学する！～至高の食を目指して～

Chemistry of Cooking ~Aim in supreme dish~

(2017 年度卒業生 生徒 4 名)

☆ 個人情報保護のため氏名は削除しています。

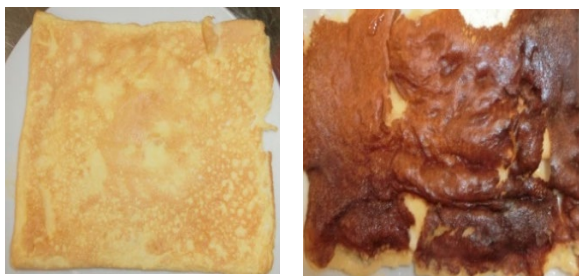
要旨

私たちは、生活に欠かすことのできない料理という観点に着目し、どうすればおいしく見た目の良い料理ができるか考えた。その結果様々な料理には、メイラード反応と呼ばれる糖とアミノ酸の反応が関わっているということが分かった。私たちはこの反応を促進したり抑制したりすることによってより良い料理を作ることができると考えた。そこでメイラード反応を制御するという目的のもと実験を行った。

1. 動機

メイラード反応とは、糖とアミノ酸を混合し加熱することでメラノイジンという褐色物質を生成する反応である。図 1 は砂糖の有無による卵焼きの比較である。砂糖を加えた卵だけが褐色に変化し、メイラード反応が起こっていることが確認できる。

〈図 1〉 反応の有無による卵焼きの比較



(卵のみ)

(卵+砂糖 20 g)

メラノイジンには抗酸化作用があり、生活習慣病の予防や老化を抑える働きがある。また、メイラード反応によって特有の香り成分が生じることが知られており、食品の風味が増し食欲促進につながっている。一方で、ブドウ糖(糖)とアスパラギン酸(アミノ酸)のメイラード反応によって生成されるアクリルアミドは、発癌性を有する劇物に指定されている。

以上のことから、メイラード反応を制御することは料理の面だけではなく、健康の面においても重要なことといえる。私達は最終的には実

際の食材に利用することを目標にメイラード反応の制御について研究を行った。

2. 実験内容及び結果と考察

【実験 1】最適な糖とアミノ酸の検討

[目的]

実験に使用するにあたって最適な糖とアミノ酸の組み合わせを調べた。

[方法]

試験管に糖、アミノ酸の水溶液 1 ml ずつ混合し、90~95℃で加温した。その後溶液が褐色に変化するまでの時間を目視計測した。

[結果 1]

〈表 1〉 糖とアミノ酸の組み合わせによる反応時間と色の付き方

糖 \ アミノ酸	グリシン	アラニン	リシン
グルコース	25分 Δ	22分 Δ	3.5分 Δ
フルクトース	20分 ○	26.5分 Δ	3分 ◎
スクロース	x	x	x

表の×は色の変化が見られなかった、△は少し色の変化が見られた、○、◎は色の変化がよく見られたものを表している。時間は色がつくまでの時間を表す。結果として、フルクトースとグリシン、フルクトースとリシンの組み合わせがよく条件を満たしていたので、今後の実験

で使用した。

[考察 1]

フルクトースとグルコースの違いによる有意差は見られなかった。またリシンの反応が速いのは側鎖部分のアミノ基の影響が大きいからだと考えた。そして塩基性条件下で反応が促進される理由については実験 3 で考察している。

【実験 2】濃度の影響

[目的]

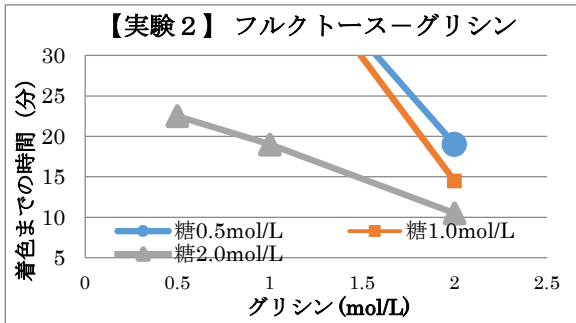
濃度がメイラード反応に及ぼす影響を調べた。

[方法]

フルクトース、グリシン溶液を 0.5, 1.0, 2.0 mol/L でつくり、それぞれ 1ml ずつ混合して 90°C で加温し、色の変化を見た。

[結果 2]

〈表 2〉濃度差による反応時間の変化



どちらの溶液も濃度が高くなるほど反応速度も速くなったので、今後の実験では、それぞれ 2.0 mol/L を使用することにした。

[考察 2]

濃度が高いほどの溶液中の糖、アミノ酸の粒子の数が増加するため粒子同士の衝突回数を増やし、反応速度が早くなると考えた。

【実験 3】添加物の影響（陽イオン）

[目的]

金属イオンがメイラード反応にどのような

影響を与えるかを調べた。

[方法]

フルクトース (2.0 mol/L) とグリシン (2.0 mol/L) またはリシン (0.1 mol/L) 1ml ずつの混合溶液に、NaCl(aq)、KCl(aq)、CaCl₂(aq)、AlCl₃(aq)、FeCl₃(aq)、をそれぞれ 0.1 mol/L を 1ml ずつ、及び FeCl₂(aq) 飽和水溶液を加え、90°C で加温し、色の変化を見た。

[結果 3]

〈表 3〉陽イオンによる反応速度の変化

① フルクトース+グリシン

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺
時間	17 分	17 分	17 分	(沈殿)
	Al ³⁺	Fe ³⁺	添加なし	
時間	17 分	(沈殿)	8.5 分	

② フルクトース+リシン

	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Fe ²⁺
時間	4.7 分	4.8 分	5 分	(2.5) 分
	Al ³⁺	Fe ³⁺	添加なし	
時間	45 分	(沈殿)	3 分	

* () は溶液が着色していたため推定

鉄イオンは二、三価ともに溶液に沈殿が生じた。また、グリシンは陽イオンの影響はあまり見られず、リシンはアルミニウムイオンのみ明確な抑制効果があったが、その他の陽イオンでは影響があまり見られなかった。また、陽イオンの価数による違いはなかった。

[考察 3]

沈殿物は、無機に何かしらの難溶性化合物であり、メイラード反応とは無関係であると考えた。リシンにおいてアルミニウムイオンが、抑制効果を持つことは分かったが、要因までわからなかったため次の実験 4 を行った。

【実験 4】添加物の影響（陰イオン）

[目的]

アルミニウム塩を用いて陰イオンの影響をしらべた。




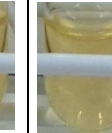
[方法]

フルクトース (2.0 mol/L) グリシン (2.0 mol/L) リシン (0.1 mol/L) 1ml ずつの混合溶液に、 $AlCl_3$ aq、 $Al_2(SO_4)_3$ aq、 $Al(NO_3)_3$ aq、 $AlK(SO_4)_2$ aq をそれぞれ 0.1 mol/L を 1ml ずつ加え、90°Cで加温し、色の変化を見た。

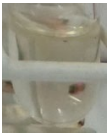



[結果4]

〈表4〉陰イオンによる反応時間の変化

① フルクトース+グリシン

	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^{2-}	$AlK(SO_4)_2$
時間	13.5分	(12)分	16分	(6)分
				

② フルクトース+リシン

	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^{2-}	$AlK(SO_4)_2$
時間	13.5分	>30分	16分	(6)分
				

* () は沈殿の生じた時間

$Al_2(SO_4)_3$ $AlK(SO_4)_2$ において白色沈殿が見られた。また、陰イオンの種類によって抑制効果の差はあまり見られなかった。

[考察4]

硫酸アルミニウム、硫酸カリウムアルミニウムに白色沈殿が生じたのは、何かしらの難溶性化合物が出来、それが水溶液中の糖と反応したために起こったと考えた。またこの結果により、実験3の抑制効果はアルミニウムイオンによるものであると考えられる。リシンとアルミニウムイオンは独自の錯イオンを形成することで、メイラード反応が抑制されているのではないかと考えた。

【実験5】金属イオンの濃度の変化

[目的]

実験4において陰イオンの影響が見られなかったため、陽イオンの価数とその濃度による反応に与える影響の変化を調べた。

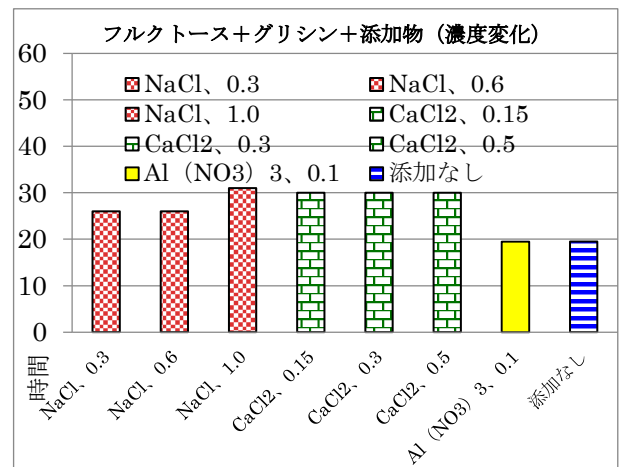
[方法]

フルクトース (2.0 mol/L) と、グリシン (2.0 mol/L) またはリシン (0.1 mol/L) 1ml ずつの混合溶液に、 $NaCl$ aq (0.3, 0.6, 1.0 mol/L)、 $CaCl_2$ aq (0.15, 0.3, 0.5 mol/L)、 $Al(NO_3)_3$ aq (0.1 mol/L) をそれぞれ 1ml ずつ加え、90°Cで加温し、色の変化を見た。また、色がつくまでの時間を反応時間と定めた。

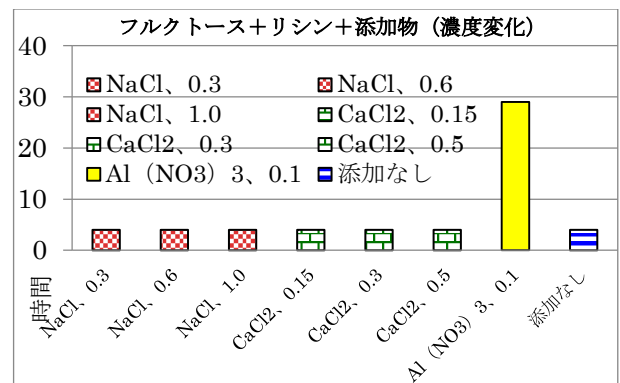
[結果5]

〈表5〉金属イオン濃度による反応時間の変化

① フルクトース+グリシン



② フルクトース+リシン



グリシンにおいてはあまり反応の変化が見られなかった。またリシンにおいて $Al(NO_3)_3$ には抑制効果が見られたが、そのほかには見られなかった。

[考察5]

リシンとアルミニウムイオンの反応以外で

濃度を変化させてもメイラード反応の進行具合に変化が見られなかったのは、アミノ酸と金属イオンの間で反応が起こらず、阻害する要因となりうるものが生成されなかったためだと考えた。

【実験6】 pHの影響

[目的]

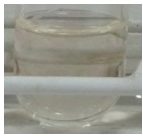

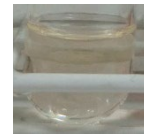
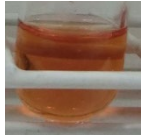

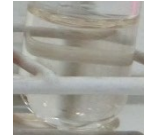
pHの変化でメイラード反応速度に影響を与えるかどうかを調べた。

[方法]


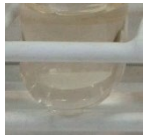
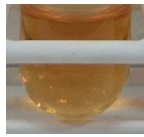
フルクトースと、グリシンまたはリシン溶液 1 ml ずつの混合溶液に HCl aq、CH₃COOH aq、NaCl aq、NH₃ aq、NaOH aq (0.1 mol/L) をそれぞれ加え、pH 3~10 の溶液を作成した。それらを 90°C で加温し、色が変わるまでの時間を調べた。

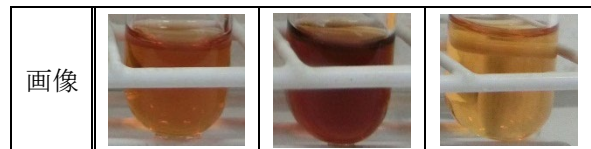
[結果2]

① フルクトース+グリシン

pH	3	5	7
時間	18.5分	18分	14分
画像			
pH	9	10	添加なし
時間	4.5分	4分	14分
画像			

② フルクトース+リシン

pH	3	5	7
時間	6分	5.8分	5分
画像			
pH	9	10	添加なし
時間	3分	2分	3.5分

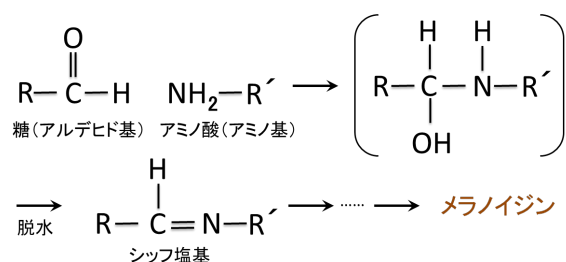


塩基性条件下で反応速度が速かった。一方で、酸性条件下で著しく反応が遅くなった。

[考察6]

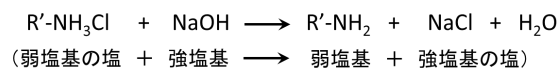
メイラード反応の初期において、糖のアルデヒド基とアミノ酸のアミノ基が反応して中間生成物が生成され、これが脱水することによって Schiff 塩基と呼ばれる化合物ができる。この Schiff 塩基はその後いくつかの反応を経て褐色物質であるメラノイジンへとなる。(図2)

(図2)



またこの反応の中において、弱塩基の塩と強塩基が反応して弱塩基と強塩基の塩ができる反応が起こる。(図3)

(図3)



つまり、強塩基条件下では、アミノ酸が遊離してアミノ基が存在しやすくなり、アミノ基の供給が安定する。その結果 Schiff 塩基が多量に生成し、メラノイジンが多く生成されるため、全体を通して促進効果が得られたと考えた。逆に酸性条件下では、この反応が起こりにくいいため、メラノイジンがあまり生成されず、全体を通して抑制効果が得られたと考えた。

【実験7】食パンへの応用

[目的]

メイラード反応の進行具合を実際の食材で確認できるかどうかを調べた。







[方法]

パン生地を作成し、そこにクエン酸、ベーキ

ングパウダーを加え pH を調整した。その後 250℃のオーブンで約 15 分加熱し、パンの内側の色の変化を見た。

[結果 7]

〈表 7〉添加物によるパンの色の变化

添加物	クエン酸	ベーキング	添加無し
加熱前			
加熱後			

実際の食材においても塩基性条件下ではメイラード反応の促進効果が、酸性条件下では抑制効果が得られた。

[考察 7]

実験 4 においても実験 3 と同様の反応が進み、上記のような結果が得られたと考えた。

【実験 8】

[目的]

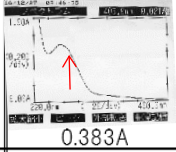
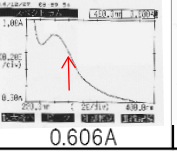
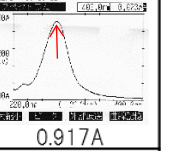


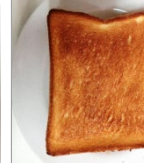
メイラード反応のデータの数値化ができるかどうか調べた。

[方法]

食パンを砕き、250℃のオーブンで 0, 2, 5 分焼いた。その後 60~70℃の温水を加え静置し、それをろ過した。その後 5 分間遠心分離機にかけ、吸光光度計で計測した。

[結果 8]

〈表 8〉焼き時間の差とグラフの変化

	焼き時間 0分	焼き時間 2分	焼き時間 5分
吸光光度計	 0.383A	 0.606A	 0.917A
	遅し ← → 速い		
パンの焼き色			

メイラード反応の進行具合を吸光光度計を用いて数値化できることが確認できた。

3. まとめ

メイラード反応の反応速度は、用いる糖とアミノ酸によって大きく異なった。また、アルミニウムイオンはリシンとフルクトースとの反応においてのみ抑制効果を示した。また、反応は塩基性条件下では促進、酸性条件下では抑制され、実際の食材においても同じような傾向が見られた。さらに、吸光光度計を用いることで反応の確認、数値化が可能であるとわかった。

4. 今後の課題

試行回数を増やし、データの信頼性を上げる。また、アミノ酸だけでなく糖にも注目して実験を行う。さらに、別の食品でも実験を行い、またその実験の結果を応用して新たな調理法の開発につなげる。

5. 謝辞

本研究に際して、滋賀県立大学人間文化学部生活栄養学科福渡努教授より、丁寧なご指導を賜りました。

6. 引用・参考文献

サイエンスビュー 科学総合資料 実教出版 東京書籍 高校化学

「にがりの成分のメイラード反応に及ぼす影響」 石川県立大学生物資源環境学部

「食品の褐反応」

<http://ebn.arkray.co.jp/disciplines/glycation/ages-12/> (2017/7)

「家庭でも生成するアクリルアミド」

foocom.net 化学的根拠に基づく食情報