

食品の褐変機構および制御方法

村田 容常^{*,†}^{*}東京農業大学応用生物科学部農芸化学科 東京都世田谷区桜丘1-1-1 (〒156-8502)[†]Corresponding Author, E-mail: murata.masatsune@ocha.ac.jp

(2025年6月5日受付, 2025年6月19日受理, 2025年8月20日公開)

要 旨

食品は加工や貯蔵中にさまざまな原因で変色, 褐変する。ここでは酵素的褐変とメイラード反応による褐変についてその機構と制御法について概説する。果物や野菜などでしばしば見られる酵素的褐変は, ポリフェノールオキシダーゼ (PPO) によるポリフェノール類の酸化と引き続く化学的重合により起こる。PPOを阻害したり, ポリフェノールの生合成を抑えたりすることで制御する。メイラード反応は, アミノ基とカルボニル基の縮合から始まる一連のさまざまな反応を含み, 食品の変色・着色を引き起こすとともに香気成分など多種多様な化学物質を生成し, その品質に大きな影響を及ぼす。温度管理や基質の制御などによりコントロールできるが, 十分とは言えない。

キーワード: 酵素的褐変, ポリフェノールオキシダーゼ, メイラード反応, アミノカルボニル反応

1. 食品の褐変

食品を加熱・調理したり, 貯蔵・熟成したりすると食品成分が化学反応を起こし変色・着色することがよく起こる。その中でも黄色っぽくなったり, くすんだり, 茶色くなったりすることがしばしば起こり, この現象を英語のブラウニングを訳して褐変と呼んでいる。表-1にさまざまな食品の褐変をまとめた¹⁾。

表-1 食品の褐変とその例

食品の褐変	機構	例
クロロシス	クロロフィルの分解	ビケルス, 豆の缶詰, 漬物
肉の加熱変色	ミオグロビンの酸化	焼き肉, ビフテキ, ハンバーガー
カラメル化	糖の分解重合反応	カラメル
酵素的褐変	ポリフェノール類の酵素的酸化と重合	カットリング, リンゴジュース, カットレタス, もやしの貯蔵, アボガドペースト, 紅茶
メイラード反応	糖 (カルボニル基) とアミノ酸もしくはタンパク質 (アミノ基) との反応	パンのクラスト (皮の部分), トースト, ビール, 醤油, 味噌, チョコレート, コーヒー



〔氏名〕 むらた まさつね
 〔現職〕 東京農業大学 教授
 〔趣味〕 山登り, テニス, 読書
 〔経歴〕 1979年東京大学農学部農芸化学科卒業。同年サッポロビール㈱入社。1988年お茶の水女子大学講師。2004年同大学教授。2021年同大学定年退職。同年東京農業大学教授。現在に至る。

【図表について】電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai-char/ja/

クロロシス (黄化) というのは緑色のクロロフィルが分解して黄色くなることで植物生理学的にも起こるが, 野菜類を漬物にしたり, 缶詰にしたりすることでも起こる。クロロフィル中のマグネシウムイオンが酸性になることで外れ緑色が消失する。また, フィトール残基が外れることで水溶性になる。

肉を焼いたり, 茹でたりすると茶色くなる。この現象は, 酸素と結合すると鮮赤色を示す肉中の色素であるミオグロビンタンパク質が加熱変性すると同時にミオグロビンに結合しているポルフィリン中の鉄イオンが2価から3価に酸化されるために起こる。

カラメル化というのは糖を100℃以上の高温にすると分解重合する反応で, 茶色になると同時に甘さを想起するさまざまな糖由来の香気成分を生じる。酵素的褐変とメイラード反応については以下詳述する。

2. 酵素的褐変とその制御^{2,3)}

2.1 酵素的褐変とは

酵素的褐変というのは, リンゴを切っておいておくと表面が茶色くなってくる, リンゴをジュースにすると即座に茶色くなるというような現象で, 果物や野菜でよく起こる。これはクロロゲン酸やカテキンなどのポリフェノール類が酸素の存在下酵素により酸化されて起こる現象である。この酸化の過程をポリフェノールオキシダーゼ (PPO) などの酵素が担うことから酵素的褐変と呼ばれる (図-1)。PPOは*o*-ジフェノールを基質にするが, モノフェノールも基質となる。たとえば, *o*-ジフェノールであるL-ドーパは基質であるが, モノフェノール構造を有するアミノ酸のL-チロシンも基質となる。ポリフェノール類が対応するキノンに酸化されたあとは, 自動的 (非酵素的) に重合が起こる。

酵素的褐変を褐変する時間の点からみると, リンゴ^{4,5)} のよ