

アスタキサンチンと植物 その2

はじめに

赤色カロテノイドの**アスタキサンチン**には、魚類の餌や家畜の飼料、また健康食品や付加価値のある化粧品などの需要があります。

このような多くの需要に応えるため、飼料用作物にも用いられるトウモロコシやダイズ、油糧作物のナタネ、身近な野菜に**アスタキサンチン**生合成遺伝子を導入する研究が行われています。

アスタキサンチン合成はパスウェイエンジニアリング

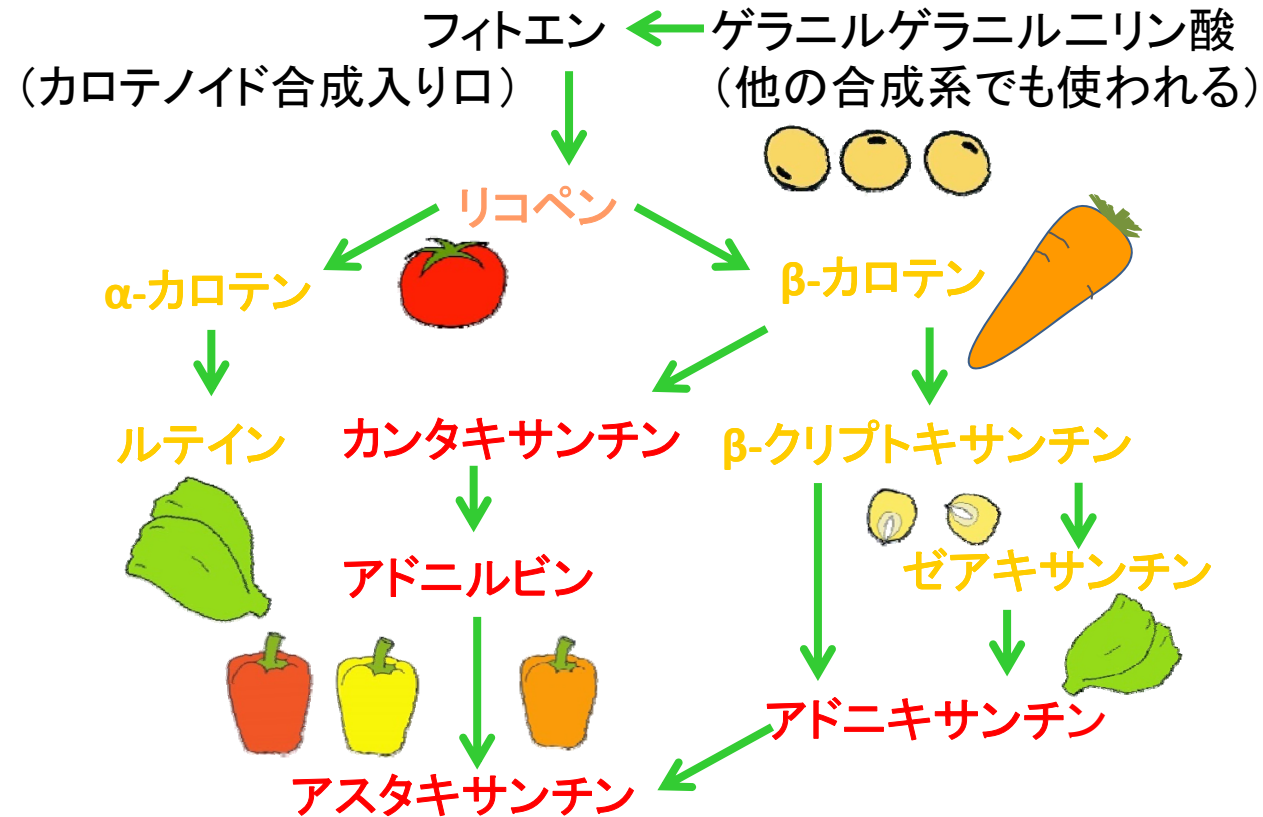
アスタキサンチン合成に必要な酵素遺伝子は、海洋細菌や藻類のヘマトコッカス、最近では唯一アスタキサンチンがつくられる植物である夏咲き福寿草で、すでに単離されています。

しかしこれらを植物へ導入し、アスタキサンチンをつくらせるには、高いハードルがあります。アスタキサンチンも含めカロテノイドは、いくつかの反応を経て合成されるため、複数の酵素遺伝子を導入し、発現させなければならないのです。そのため、カロテノイド合成遺伝子導入は、パスウェイエンジニアリング (pathway engineering) といわれています。

そのハードルを越え、いろいろな作物や野菜でアスタキサンチン合成が報告されています。

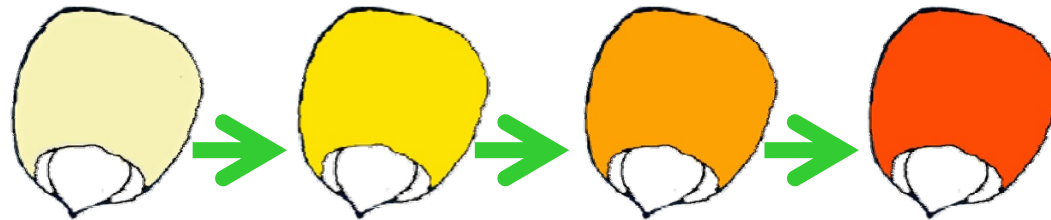
アスタキサンチン合成経路

矢印で示す主な反応に酵素が必要。同じ酵素を使うこともある。



橙色や赤色の遺伝子組換えトウモロコシ

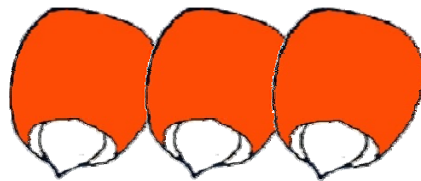
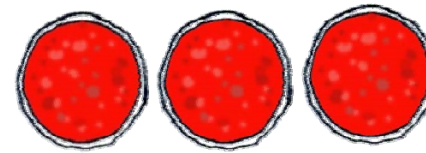
2008年、カロテノイド合成に関わる1～5個の酵素遺伝子が、白いカーネル(穀粒)のトウモロコシに導入されました。そして、総カロテノイド含量が増加するとともに、もともとトウモロコシにはなかった**リコピンで橙色**、**アスタキサンチンの赤色**を帯びた組換えトウモロコシがつくられました(PNAS、vol.105、pp18232-18237、2008)。。



遺伝子組換えトウモロコシ

ケトカロテノイド含量は

36 $\mu\text{g} / \text{g}$ 乾燥重でした。



ヘマトコッカスの商業生産では、

アスタキサンチン含量は

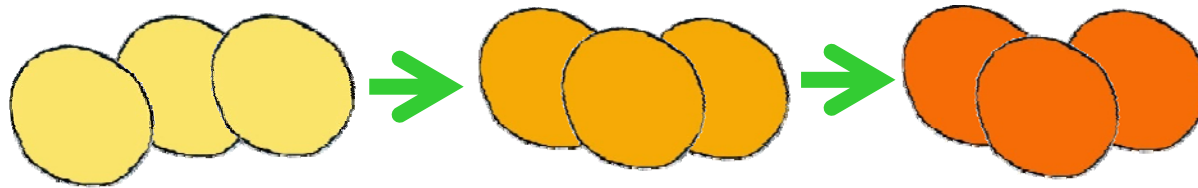
10,000～40,000 $\mu\text{g} / \text{g}$ 乾燥重

となります。

アスタキサンチンを商業生産する藻類のヘマトコッカスには及びませんが、いろいろな良さもあり期待されています。

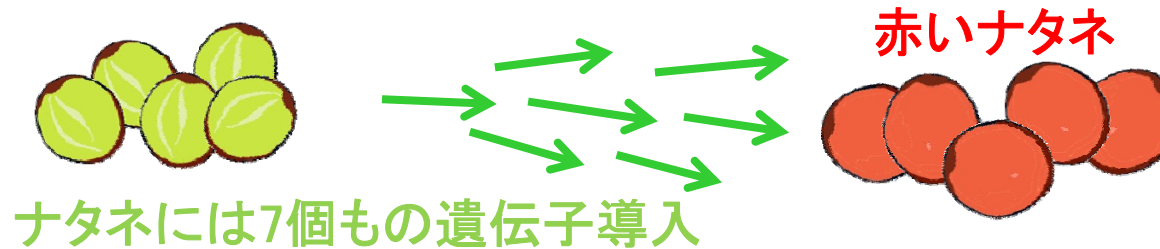
赤い遺伝子組換えダイズ

ダイズには、カンタキサンチン合成に至る2つの酵素遺伝子が導入されました。その結果、赤色のダイズ種子ができ、**カンタキサンチン**は $52 \mu\text{g/g}$ 乾燥重、その他少量のアスタキサンチンも検出されたと報告されています。アスタキサンチン合成では、もともとダイズがもっていた酵素が働いた可能性があると考えられています(PLoS One 10:e0138196, 2015年)。



赤い遺伝子組換えナタネ

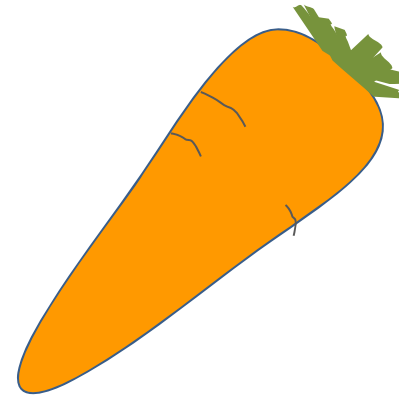
セイヨウアブラナの種子ナタネでは、カロテノイドとアスタキサンチン合成に関わる**7個の遺伝子が導入**されました(J. Experiment. Bot., 60, pp1319–1332, 2009年)。そして**アスタキサンチン**などケトカロテノイド含量が60～190 $\mu\text{g/g}$ 新鮮重の赤いナタネがつくられました。トウモロコシ同様、ダイズ、ナタネともに、総カロテノイド含量も増加しています。



アスタキサンチンをつくるニンジン

β -カロテンが多い根菜と言えばニンジンです。藻類のアスタキサンチン生合成遺伝子を導入した組換えニンジンの根では、カロテノイド生合成も活発になり、ケトカロテノイド含量は2400 μ g/g乾燥重、そのうち

アスタキサンチンは916 μ g/g乾燥重
換算にもなったそうです (Transgenic.
Res. vol.17、pp489-501、2008)。



アスタキサンチン含量が最大だった遺伝子組換えトマト

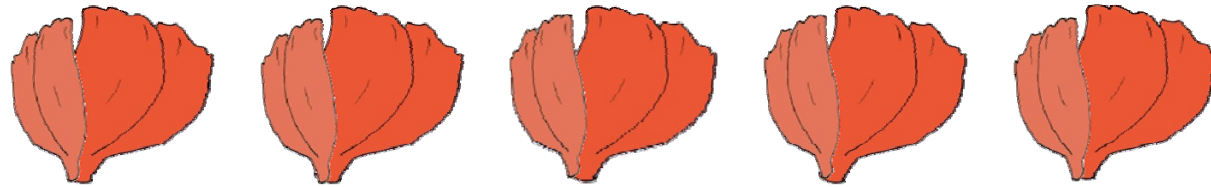
遺伝子組換え体でアスタキサンチン含量が最大だったのは、トマトです(Metabolic Engineering 17,pp59-67、12013年)。アスタキサンチン含量は16.1mg/g乾燥重と、ヘマトコッカスに匹敵する含量になっています。組換えトマトの果実では総カロテノイド含量が非組み換え体の16倍にもなるにもかかわらず、生育には影響がなかったそうです。



植物工場のレタスでアスタキサンチン合成

カロテノイド合成酵素は、葉緑体や色素体で働きます。前述の組換えでは遺伝子は核へ導入されますが、つくられた合成酵素は葉緑体や色素体へ移動するよう工夫されています。

核ではなく**葉緑体にアスタキサンチン合成遺伝子を導入**するという画期的な研究が、日本のグループによりタバコ、次いでレタスで行われました。組換えレタスでは、乾燥重1gに換算して1.78 mgの**アスタキサンチン**がつけられたそうです。レタスは植物工場で安定生産されるので、期待されています（Transgenic Res., 23, pp303–315, 2008、生物工学会誌93巻、第7号、pp403–406、2015年）。



おわりに

いろいろな作物や野菜で、アスタキサンチンを合成させる遺伝子組換えが成功しています。次は収量や安定性などの調査のため、ある程度の規模での栽培試験などが必要となるでしょう。