

筑波大学

朝永振一郎記念

第16回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ0975

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : β -カロテンの人体への吸収率を上げる～免疫力upのために～

学校名 : 岡山県 岡山県立倉敷天城中学校

学年 : 3年生

代表者名 : 山本 亜生子

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

β -カロテンの人体への吸収率を上げる
～免疫力 UP のために～

岡山県立倉敷天城中学校 3年 山本 亜生子

1. 研究動機

2021年現在、新型コロナウイルスによる感染症が世界中で流行しており、人々はマスクや換気、手洗いなどで感染予防に取り組んでいる。しかし、まずは自分の体が元気であることがウイルスに対抗するために重要である。「健康の第一歩は食事から」という言葉を聞いたことがある。また、ニンジンに多く含まれるβ-カロテンは感染症予防や免疫力の向上に役立つとされている。そこで、身近な「食」と「栄養」という観点で多くの人が元気に過ごすためにできるだけ効率よくβ-カロテンを吸収できる方法を考えたいと思った。

2. わかっていること

β-カロテンはビタミンAの前駆体であり、小腸壁でビタミンAに変換される脂溶性ビタミンである。のどや鼻、肺などの粘膜を正常に保つ働きがあり、感染症の予防や免疫力の向上に役立っている。ニンジンに含まれるβ-カロテンはオレンジ色の色素であり、油に溶け出すと人体に吸収されやすくなる。文献やインターネットで調べたが、β-カロテンを油に溶かすための方法や、どんな油に溶け出しやすいのかなど詳しいことはわからなかった。

3. 研究の目的と方法

研究目的は、β-カロテンの人体への吸収率を上げる方法を探ることとした。人体に吸収されたβ-カロテンの量を調べることは難しいため、本研究ではニンジン油の中に入れて、抽出されるβ-カロテンの量が多いほど人体への吸収率が上がると考えることにした。油に溶け出したβ-カロテンの量は分光光度計(METASH®分光光度計 V-5000)で測定した。波長は、β-カロテンの濃度が求めやすいとされている443nmと492nmとした。



図1 吸光度を測定する様子

4. 実験

加熱温度・加熱時間とβ-カロテン抽出量

【実験1】加熱時間によるβ-カロテン抽出量の変化

仮説：加熱時間が長いほどβ-カロテン抽出量が増える。

手順：①ピーカーにサラダ油10mLとすりおろしたニンジン1gを入れたものを5個、サラダ油10mLのみを入れたものを5個用意した。

②①を180°Cで2分ずつ時間を変えてホットプレートで加熱した。

③それぞれの油の吸光度を調べ、β-カロテン抽出量(図5)を求めた。



図2 実験で使用



図3 実験1加熱前の様子

結果：

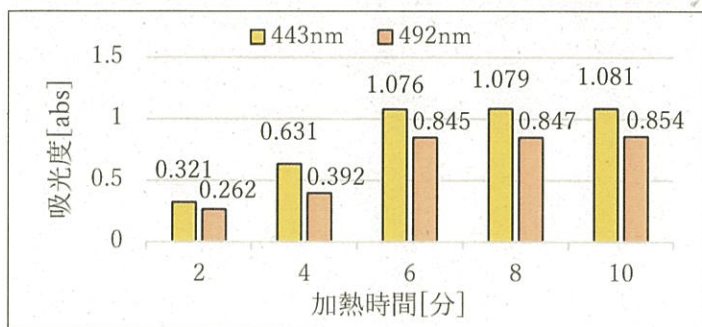


図4 180°Cで加熱したときの加熱時間とβ-カロテン抽出量の関係

・加熱時間が長くなるほど吸光度が高くなった。

〈β-カロテン抽出量〉

同じ時間、同じ温度で加熱した油の吸光度の差

$$\left(\begin{array}{c} \text{油+ニンジンの} \\ \text{吸光度} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{油のみの} \\ \text{吸光度} \end{array} \right)$$

図5 β-カロテン抽出量の求め方

【実験2】加熱温度によるβ-カロテン抽出量の変化

仮説：加熱温度が高くなるほどβ-カロテン抽出量は増える。

手順：①実験1の①と同じものを9個ずつ用意した。

②加熱温度を20°Cから180°Cとして20°Cずつ温度を変え、それぞれのピーカーを15分加熱した。ホットプレートでは160°C以下の温度が調整できなかったため、ホットマグネットスターラー(IKA®C-MAG HS4)を使用した。

③実験1の③と同様の操作を行った。

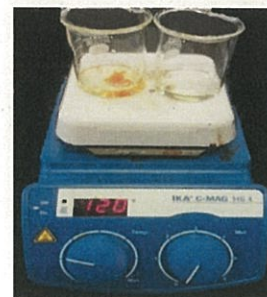


図6 実験2加熱の様子

結果：

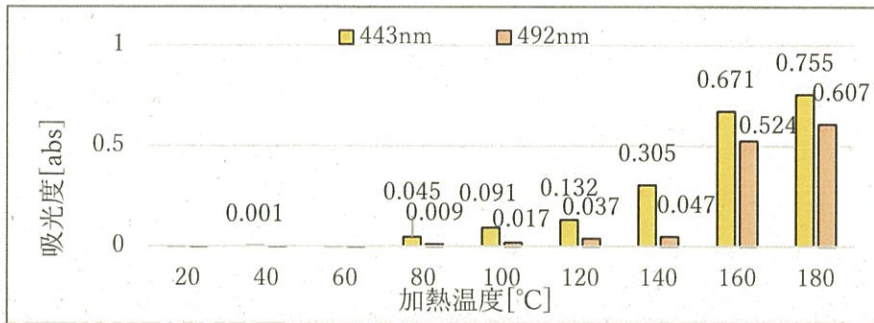


図7 加熱温度によるβ-カロテン抽出量の変化

・加熱温度が高くなるほど吸光度が高くなった。(図8は左から加熱温度20°C、100°C、180°C)



図8 油にニンジンを入れた場合の油の温度と色の变化

〈実験1、実験2の考察〉

実験1、実験2では加熱時間が長いほど、または加熱温度が高いほど油へのβ-カロテンの抽出量が増えることがわかった。実験中、β-カロテンが油に溶け出す様子を観察していると、加熱時間が長いものや加熱温度が高いものは油から盛んに気泡が出てくることに気がついた。また、なぜ加熱によってβ-カロテンは油に多く抽出されるようになるのか調べるためにβ-カロテンがニンジンの細胞膜の中に入っているものだと仮定した。細胞膜が外から気泡がぶつかるなどの衝撃を受けることで破壊されると、β-カロテンが油に溶け出すようになるのではないかと考えた。この予想を確かめるため、次の実験を行った。



図9 加熱によって油から気泡が出る様子

ニンジンの細胞膜の破壊とβ-カロテン抽出量

【実験3】ニンジンの細胞膜は加熱によって壊れるのか

仮説：ニンジンの細胞膜は加熱によって壊れる。

手順：①生のニンジンと180°Cで15分加熱した後のニンジンそれぞれ薄く切り、プレパラートを作った。

②顕微鏡でそれぞれのプレパラートを観察した。

③生のニンジンと加熱した後のニンジンの細胞膜の様子を比べた。

結果：



図10 生のニンジン(40倍)



図11 生のニンジン(100倍)



図12 図10の拡大図



図13 図12のイメージ図



図14 加熱したニンジン(40倍)

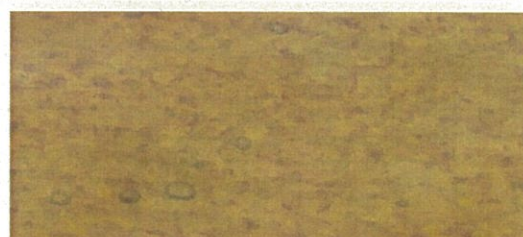


図15 加熱したニンジン(100倍)

- ・生のニンジンを顕微鏡で観察すると細胞膜(細胞壁)のようなものが多く並んでいた。また、生のニンジン倍率40倍以上で見ると、細胞膜の中にオレンジ色の細長い物体が入っているように見えた。
- ・加熱したニンジンも顕微鏡で観察しても、生のニンジンに見られたような細胞膜は見つからなかった。色は、生のニンジンと比べると全体が黄色に近いオレンジ色に見えた。

【実験4】 ニンジンの細胞膜は冷凍によって壊れるのか

仮説：ニンジンの細胞膜は冷凍によって壊れる。

手順：24時間冷凍した後のニンジンに薄く切り、プレパラートを作って顕微鏡で観察した。

結果：



図16 冷凍したニンジン(40倍)



図17 冷凍したニンジン(100倍)

- ・冷凍したニンジン顕微鏡で観察すると、加熱したニンジンと同様に生のニンジンに見られた細胞膜は見られなかった。
- ・色は、生のニンジンよりもオレンジ色に見えたが、加熱したニンジンよりも薄く水っぽいオレンジ色に見えた。

【実験5】 ニンジンをすりおろすと細胞膜は壊れるのか

仮説：ニンジンすりおろすと細胞膜は壊れる。

手順：生のニンジンすりおろし、プレパラートをつかって顕微鏡で観察した。

結果：



図18 すりおろしたニンジン(40倍)



図19 すりおろしたニンジン(100倍)

- ・すりおろしたニンジン顕微鏡で加熱すると、図12の生のニンジンと同じように細胞膜のようなものの中にオレンジ色の物体が入っているように見えた。
- ・色は、生のニンジン薄く切ったもの(図10、図11)に似ていた。

〈実験3、実験4、実験5の考察〉

ニンジン加熱した場合とニンジン冷凍した場合、どちらも生のニンジンに見られた細胞膜のようなものが見られなくなったことから、ニンジン細胞壁は加熱や冷凍によって壊れると考えられる。これは、「外からの衝撃を受けるとニンジン細胞膜は壊れるのではないか」という自分の予想と合っていた。しかし、ニンジンすりおろした場合は、ニンジンに「する」という衝撃が加わったものの細胞膜は壊れていなかった。これらのことより、ニンジン細胞膜を壊してβ-カロテンを油に溶けやすくするには、ニンジンに加熱や冷凍による温度の衝撃を加えることが重要なのではないかと考えた。

加熱したニンジンと冷凍したニンジン顕微鏡で観察したとき、冷凍したニンジンの方が色が薄く、水分を多く含んでいるように見えた。細胞壁は冷凍によって壊れるためβ-カロテンは外の油に溶け出すと予想した。しかし水と油は混ざらないため、水分を多く含んだ冷凍後のニンジン油と一緒に加熱してもβ-カロテンの抽出率はあまり上がらないのではないかと考えた。よって次の実験で、冷凍したニンジン油と加熱するとどんな結果になるのか調べた。

【実験6】すりおろしたニンジンを冷凍し、加熱した場合のβ-カロテン抽出量の変化

仮説：生のニンジン

手順：①すりおろしたニンジン

②ビーカーに①のニンジン 1g とサラダ油 10mL を入れた。これを 9 個用意した。

③加熱時間を 20°C から 180°C として 20°C ずつ温度を変え、それぞれのビーカーを 15 分加熱した。

④それぞれの油の吸光度を調べ、β-カロテン抽出量を求めた。

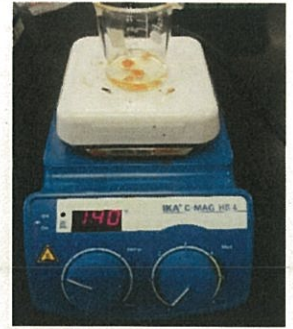


図 20 すりおろしたニンジン

結果：

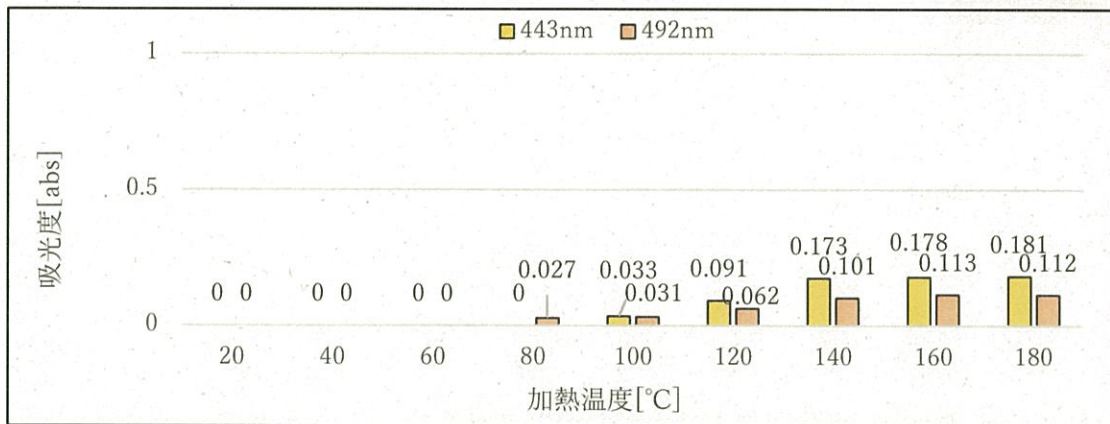


図 21 すりおろしたニンジン

- ・すりおろしたニンジン
- ・生のニンジン

【実験7の予備実験】冷凍するニンジンの最適な大きさを調べる

実験7でニンジン

仮説：冷凍するニンジン

手順：①ニンジン

③②をそれぞれ 1g すりおろし、サラダ油 10mL と一緒に 140°C で 15 分加熱した。冷凍するニンジン

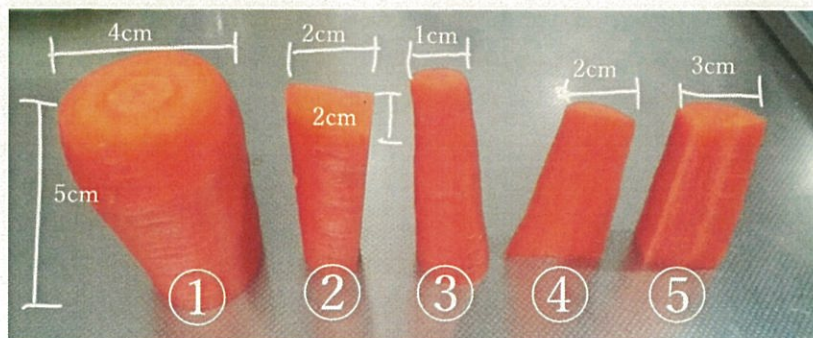


図 22 冷凍したニンジン

※図 22 の①～⑤はニンジン

結果：

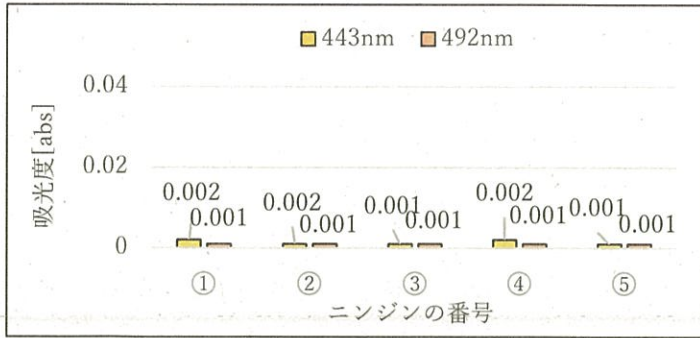


図 23 ニンジンを切った後冷凍したときのβ-カロテン抽出量 (加熱時間 15 分、加熱温度 140°C)

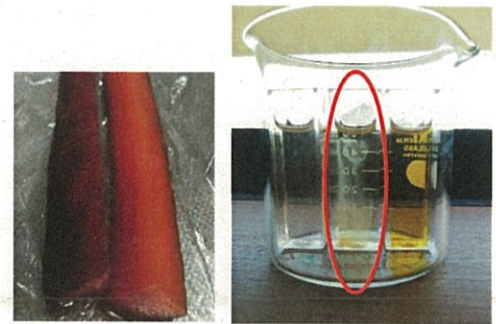


図 24 茶色く変色 図 25 正しく吸光度が測定できなかったもの

- ・冷凍する前のニンジンの大きさが違っても、油と一緒に加熱した後のβ-カロテン抽出量はほとんど同じだった。
- ・冷凍した後のニンジンは、生のニンジンより水分を多く含んでいて水っぽかった。
- ・冷凍した後のニンジンを実験室 28°C の部屋に 1 時間置いておくと、図 24 のようにニンジンが茶色く変色して柔らかくなった。変色したニンジンですりおろして油と一緒に加熱してみたが、図 25 のように油が白く濁って吸光度の測定ができなかった。

〈実験 7 の予備実験の考察〉

冷凍する前のニンジンの大きさが違っても、加熱後のβ-カロテン抽出量に影響はなかったため、すりおろしやすい形、大きさだった番号②のニンジンを実験 7 で使うことにした。

この実験後の文献調査により、ニンジンは冷凍すると水分が凍り、周りに氷を張ることや、凍ったニンジンは周りの水分が行き場を失いニンジンを含むため常温に戻ったときや加熱した時にニンジンが柔らかくなり、食感が悪くなってしまうことがわかった。茶色く変色する原因は、冷凍などで表面に傷がつくとニンジンに含まれるポリフェノールと酸化酵素が混ざり、空気に触れると褐変することだとわかった。変色したニンジンを使うと吸光度が測定できなかった理由は、ニンジンが常温に戻ったことで水分が多く出て、油と水分が混ざらなかったからではないかと考えた。

【実験 7】ニンジン冷凍した後すりおろし、加熱した場合のβ-カロテン抽出量の変化

仮説：生のニンジン加熱した場合よりもβ-カロテン抽出量が増える。

手順：①ニンジン幅 2cm、長さ 5cm のスティック状に切った(図 26)。

②ラップで①を包み、24 時間冷凍した。

③ピーカーで②をすりおろしたもの 1g とサラダ油 10mL を入れた。これを 9 個用意した。

④実験 6 の③、④と同様の操作を行った。

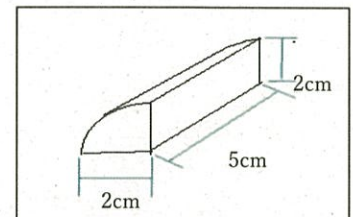


図 26 実験 7 で冷凍したニンジンの形

結果：

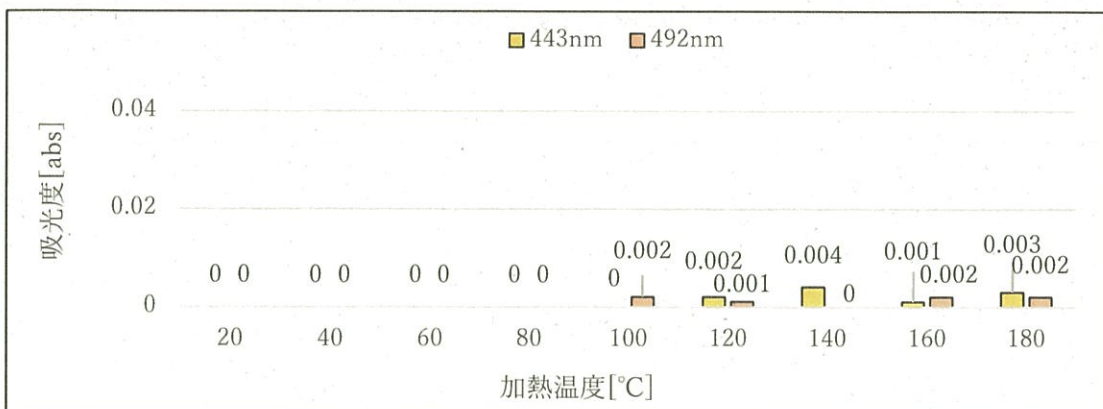


図 27 ニンジン冷凍した後すりおろし、加熱した場合のβ-カロテン抽出量の変化

- ・ニンジン冷凍した後すりおろして加熱した場合、加熱温度が高くなってもβ-カロテン抽出量は加熱前に比べてほとんど変わらなかった。

〈実験 6、実験 7 の考察〉

実験 6、実験 7 では冷凍したニンジンと油と一緒に加熱すると、β-カロテンがほとんど抽出されなくなることがわかった。これは、ニンジンと油を凍結することによってニンジンと油の間に水分が挟まれて脂溶性ビタミンであるβ-カロテンが油に溶け出せなくなったからではないかと考えた。これらの実験より、ニンジンと油を凍結するとニンジンと油の細胞膜は破壊できるが、β-カロテンの人体への吸収率は上げられないのではないかと考えた。また、見た目や食感が生のニンジンよりも悪くなってしまうのでニンジンと油を調理しておいしく食べるためにも、ニンジンと油を凍結することは推奨されないと思われる。

油の種類とβ-カロテン抽出量

【実験 8】油の種類によるβ-カロテン抽出量の違い

仮説：油の種類によってβ-カロテン抽出量は異なる。

手順：①オリーブオイル、ごま油、ツナ缶の油(成分：大豆油)を使って実験 2 と同様の操作を行った。



②①の結果と、サラダ油を使った実験 2 の結果と比べ、最もβ-カロテンの抽出量が多くなる油を調べた。

図 28 実験で使用したオリーブオイルとごま油
図 29 実験で使用したツナ

結果：

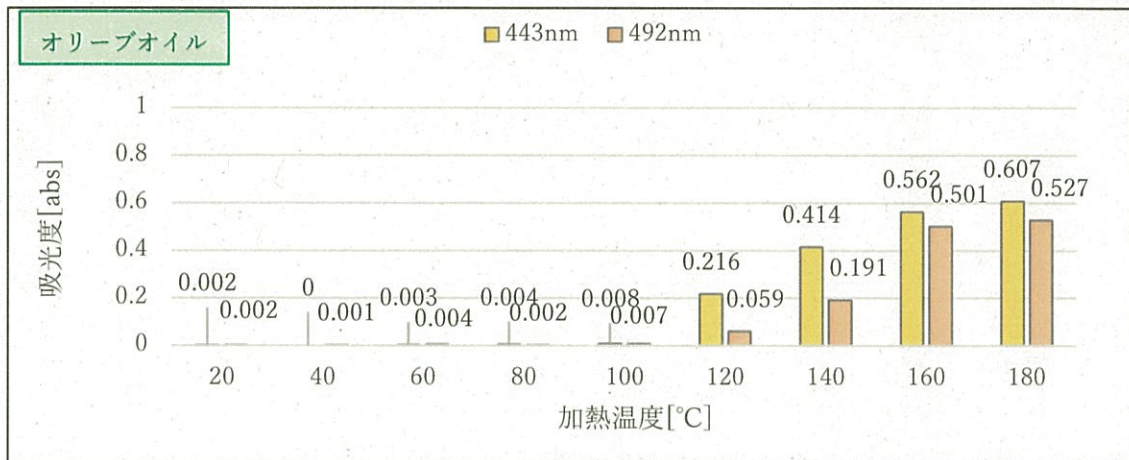


図 30 オリーブオイルを 15 分加熱した時の β-カロテン抽出量の変化

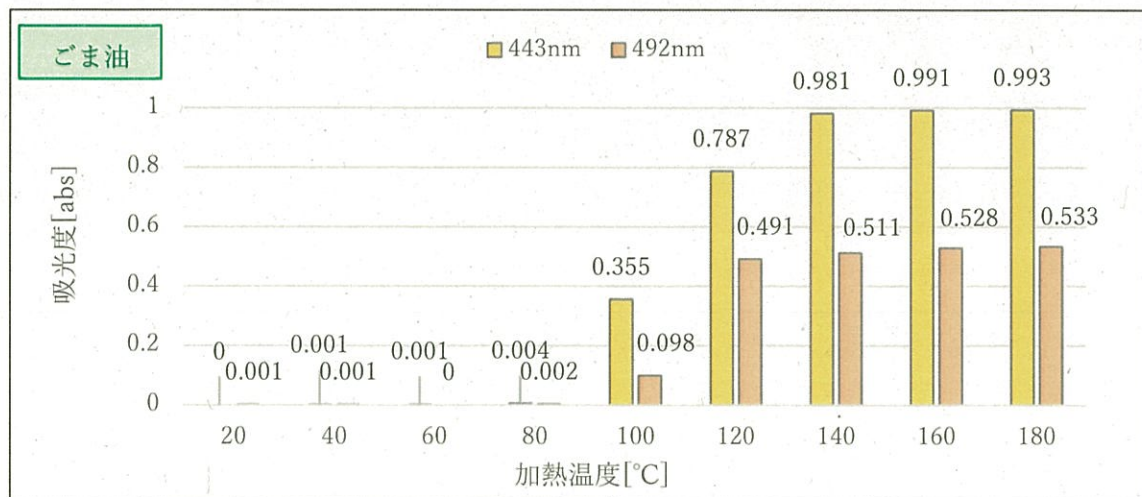


図 31 ごま油を 15 分加熱した時の β-カロテン抽出量の変化

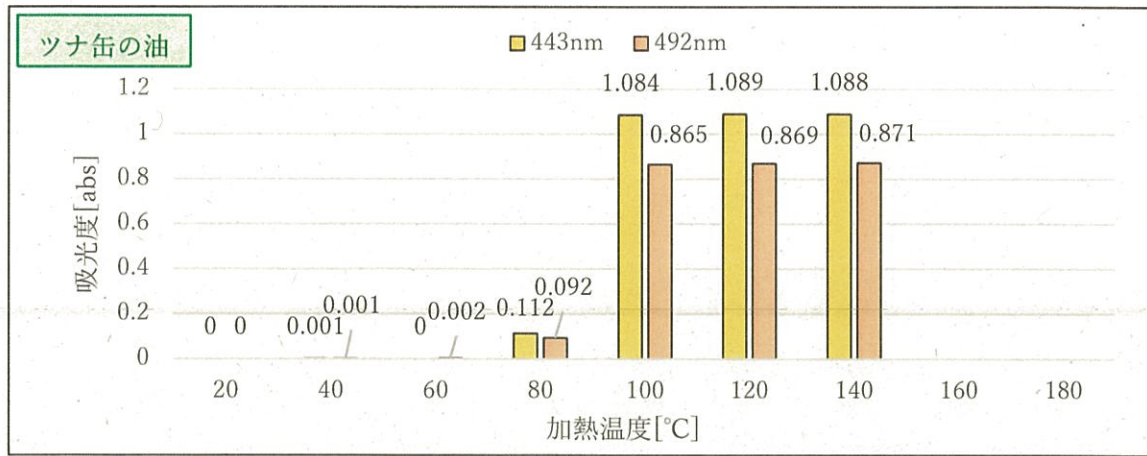


図 32 ツナ缶の油を 15 分加熱したときの β -カロテン抽出量の変化

- ・オリーブオイルとごま油は、加熱温度が高くなるほど β -カロテン抽出量が多くなった。
- ・ツナ缶の油は、加熱温度が 160°C を超えると図 33 のように油が固まってしまい、吸光度が測定できなかった。また、ツナ缶の油を 100°C から 140°C で加熱した後は図 34 のように油が透明の部分と白い部分に分離したため、吸光度が高くなったのは β -カロテンの抽出量が増えた影響ではないと考えられる。

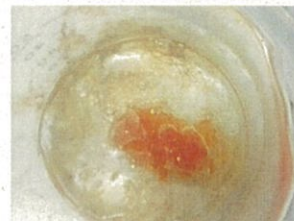


図 33 加熱によってツナ缶の油が固まった様子

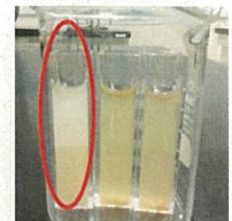


図 34 加熱後ツナ缶の油が分離した様子

〈実験 8 の考察〉

実験中に油の様子を見ていると、オリーブオイルは加熱温度が上がっても見た目は変化しないがごま油は加熱温度が上がるほど図 35、図 36 のように気泡が盛んに出るようになることがわかった。このごま油の状態は実験 1、実験 2 のサラダ油を加熱した時と同じような状態だった。オリーブオイルとごま油の結果を比べると、ごま油を使ったときの方が β -カロテン抽出量が多かった。よって、油の種類によって 180°C までの温度で加熱したときの気泡の出方が異なり、気泡が出る油ほどニンジンに衝撃が加わるためニンジンの細胞膜が壊れて β -カロテン抽出量が多くなるのではないかと考えた。

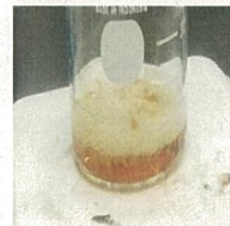


図 35 ごま油を加熱している様子



図 36 ごま油を加熱した時に出た気泡

ツナ缶の油では、 β -カロテン抽出量を正しく測定することができなかった。この原因は、図 37 のようにツナ缶の油に大豆油だけでなく調味料やかつおから出る成分が含まれていたことではないかと考えた。これらの物質が加熱されることによって固まったり、大豆油と分離したりしたからではないかと思う。

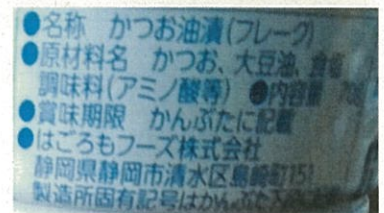


図 37 実験で使用したツナ缶の表示

実験 8 の結果とサラダ油を使った実験 2 の結果より、ニンジンと一緒に加熱した時最も β -カロテン抽出量が多くなる油はごま油であると考えた。

油の代わりに水を用いた場合のβ-カロテン抽出量

【実験9】油の代わりに水を用いた場合の加熱時間によるβ-カロテン抽出量の変化

仮説：加熱時間が長くなってもβ-カロテン抽出量は加熱前と変わらない。

手順：①ビーカーに水10mLとすりおろしたニンジン1gを入れた。これを5個用意した。

②ビーカーに水10mLを入れた。これを5個用意した。

③加熱時間を2分から10分として2分ずつ変え、それぞれのビーカーを80°Cで加熱した。

④それぞれの水の吸光度を調べ、β-カロテン抽出量を求めた。求め方は同じ時間、同じ温度で加熱した(①-②)とした。



図38 水にニンジンを入れて加熱する様子

結果：

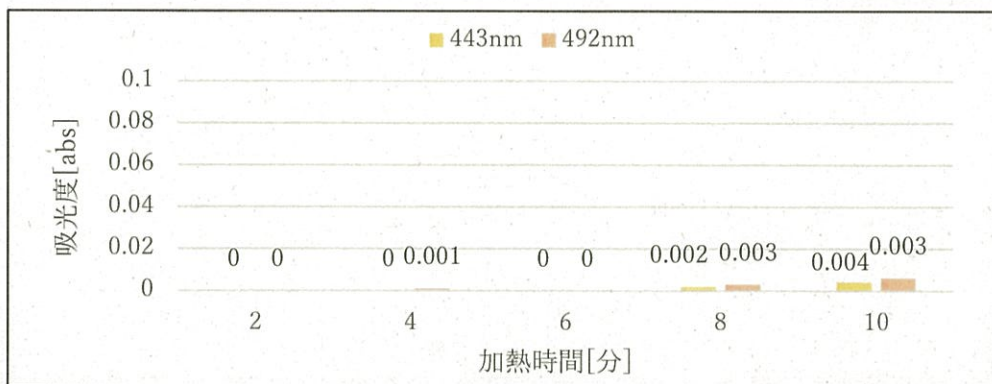


図39 油に代わりに水を用いた場合の加熱時間によるβ-カロテン抽出量の変化(加熱温度80°C)

・油の代わりに水を用いると、加熱時間が長くなってもβ-カロテン抽出量は加熱前とほとんど変わらなかった。

【実験10】油の代わりに水を用いた場合の加熱温度によるβ-カロテン抽出量の変化

仮説：加熱温度が高くなってもβ-カロテン抽出量は加熱前と変わらない。

手順：①実験9の①、②と同じものを5個ずつ用意した。

②加熱温度を20°Cから100°Cとして20°Cずつ変え、それぞれのビーカーを15分加熱した。※

③それぞれの水の吸光度を調べ、β-カロテン抽出量を調べた。

※油のときのように加熱温度180°Cまでの記録をとりたかったが、10mLの水を100°C以上で加熱すると、水が蒸発して減ってしまうため吸光度が測定できなかった。

結果：

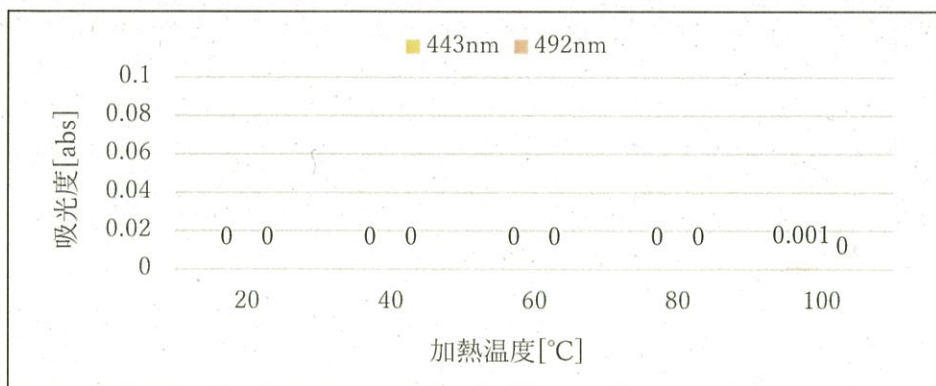


図40 油の代わりに水を用いた場合の加熱温度によるβ-カロテン抽出量の変化(加熱時間15分)

・油の代わりに水を用いると、加熱温度が高くなってもβ-カロテン抽出量は加熱前とほとんど変わらなかった。

〈実験9、実験10の考察〉

ニンジンと一緒に加熱しても、 β -カロテン抽出量は加熱前とほとんど変わらなかった。このことより、 β -カロテンは水には溶け出しにくいということが確認できた。 β -カロテンは脂溶性ビタミンであるため、ニンジンの外に出て人が吸収するためにはやはり油に溶かすことが大切なのではないかと考えた。

実験2、実験3、実験8では、油を加熱した時に出る気泡がニンジンにあたる衝撃で細胞膜が壊れて β -カロテンが外に出るのではないかと予想した。しかし実験9で水から気泡が出た場合と、実験10で水が沸騰した場合のどちらでも β -カロテン抽出量は沸騰しなかったものと比べてほとんど同じだった。これらのことより、ニンジンの細胞膜は油と加熱したときに出る気泡によって壊れ、 β -カロテンが外に出るが、水とニンジンの場合は脂溶性ビタミンである β -カロテンが外に溶け出せなかったのではないかと考えた。

〈全ての実験の考察〉

本研究の全ての実験から、ニンジンに含まれる β -カロテンを油に多く抽出させ人体への β -カロテンの吸収率を上げるためには、ニンジンと油と一緒に加熱調理することが効果的だと考えられる。特に、ニンジンと油を長時間、または高温で加熱できる調理は β -カロテンの抽出量が多くなるので良いと考える。

5. まとめ

本研究でわかったことは次のとおりである。

- 〈ニンジンに含まれる β -カロテンの人体への吸収率を上げるために効果的な方法〉
- 油とニンジンを経験、高温で加熱する。●ごま油とニンジンと一緒に加熱する。
- 加熱によってニンジンの細胞膜を破壊する。

- ・ニンジンを経験すると、細胞膜は破壊されるが β -カロテンの抽出量を増やすことはできない。
- ・ニンジンを経験しても β -カロテンの抽出量を増やすことはできない。

6. 研究結果の応用

本研究でわかったことを参考に、 β -カロテンを効率よく人体に吸収するためのニンジンの調理方法を考えた。

〈調理法①：炒める〉

炒めるという調理は油とニンジンを使って加熱調理ができるので、 β -カロテンを吸収しやすくなる調理法だと考える。ごま油を使ったり、高温で調理したりすることで効果が期待できると思う。

〈調理法②：揚げる〉

ニンジンを経験ることによって、油に β -カロテンが溶け出して人体に吸収しやすい状態になると考えられる。しかし、揚げている途中で多量の β -カロテンがニンジン以外の油に出てしまう可能性がある。本研究では調べられなかったが、ニンジンを経験した場合 β -カロテンはどのように抽出されるのか今後調べてみたい。

〈調理法③：煮る〉

煮物は、油を使うものや使わないものがあるが、ニンジンを経験するときはごま油を少量加えるなどの工夫をすれば加熱と油の条件がそろうので β -カロテンを吸収しやすくなると思う。

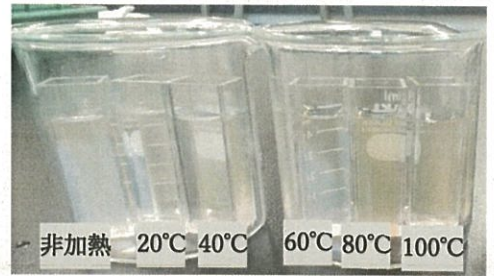


図41 水とニンジンと一緒に加熱した後の様子



図42 油とニンジンを経験炒める様子



図43 ニンジンを経験油で揚げる様子



図44 ニンジンを経験油を加えて煮る様子

7, 感想・今後の課題

本研究ではニンジンに含まれる β -カロテンの人体への吸収率を上げるための方法を探った。実験方法や準備物などを考えることが難しかったが今の自分にできる方法で実験や考察ができたと思う。私はニンジンが好きなので、本研究でニンジンを使った実験ができてとても良かった。本研究でわかったことを参考に、 β -カロテンを吸収しやすいニンジンの料理をさらに考えていきたいと思う。

今後の課題としては、実際に人体に吸収された β -カロテンの量を調べるための方法を考えることがあげられる。本研究では β -カロテンの人体への吸収量を油への抽出量に置き換えて実験を行ったため、加熱などによって本当に β -カロテンの抽出量が増えることを完全に証明できたことにはならない。しかし油への β -カロテンの抽出量を上げる方法がわかったことは、今後研究を進めていく上で役立つデータとなる。より確かな β -カロテンの人体への吸収率を上げる方法を探るために、本研究で経験したことや考えたことをもとにして、さらに研究を進めていきたいと思う。ニンジンと油と一緒に調理しなくても別々の料理から取り入れることで β -カロテンは吸収できるのかということや、肉や魚などに含まれる油分とニンジンを一緒に加熱すると β -カロテンは抽出されるのかということも調べてみたい。

新型コロナウイルスが世界中で猛威をふるう今の状況の中で、少しでも毎日の生活に役立つような研究ができれば嬉しい。

[参考文献]

- 尾岸恵三子、図解 看護に役立つ栄養の基本がわかる辞典、成美堂出版、2007
- 齋藤勝裕、「食品の科学」が1冊でまるごとわかる、ベレ出版、2019
- 中村丁次、栄養の基本がわかる図解辞典、成美堂出版、2020

[Web ページ]

- 厚生労働省、e-ヘルスネット、カロテノイド、<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/food/ye-007.html>
(最終アクセス：2021/08/05)
- 厚生労働省、e-ヘルスネット、ビタミン、<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/food/ye-027.html>
(最終アクセス：2021/08/05)
- 厚生労働省、脂溶性ビタミン、<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10901000-Kenkoukyoku-Soumuka/0000042635.pdf>
(最終アクセス：2021/08/05)
- 農研機構、ニンジンに含まれる α -カロテンと β -カロテンの簡易分別定量法、
<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/vegetea/2006/vegetea06-16.html>(最終アクセス：2021/08/13)
- 日本光合成協会、カロテノイド類の吸収スペクトル、<https://photosyn.jp>、2020
- 国立循環器病研究センター、栄養に関する基礎知識、<http://www.ncvc.go.jp/hospital/pub/knowledge/diet/diet01.html>、2021
- 中外製薬、小腸|からだどくすりのはなし、<https://www.chugai-pharm.co.jp/ptn/medicine/karada/karada016.html>
(最終アクセス：2021/08/15)
- 大塚製薬、免疫の仕組み|乳酸菌 B240 研究所|大塚製薬、<https://www.otsuka.co.jp/b240/mechanism/mechanism1.html>
(最終アクセス：2021/08/15)
- 日清オイリオ、油の使い分け|植物油のおいしいおはなし|植物のチカラ、<https://www.nisshin-oillio.com/story/p03-01.html>
(最終アクセス：2021/08/15)