HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	遠赤外線の加熱特性 （第２報）：色素の分解度
Author(s)	韓, 忠洙; 伊藤, 和彦
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 16(3), 277-281
Issue Date	1989-03-30
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/12103
Type	bulletin (article)
File Information	16(3)_p277-281.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大農邦文紀要 16(3): 277～281, 1989

遠赤外線の加熱特性 (第2報)

色素の分解度

韓 忠洙・伊藤和彦
(北海道大学農学部農畜産加工機械学教室)

(昭和63年12月28日受理)

Studies on a Heating Characteristics of Far Infrared Rays (Part. 2)

Decomposition rate of Coloring Matter

Chung Su HAN and Kazuhiko ITOH
(Laboratory of Agricultural Process Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

緒　言

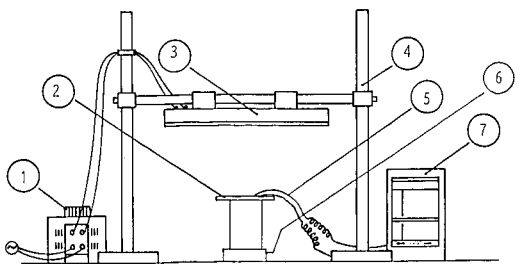
前報で[1], 遠赤外線の加熱特性として熱源の種類, 熱源への供給電圧, 熱源と受熱板との距離, 受熱板 (被加熱面) の色調および相対湿度と吸収熱量との関係について述べた。

本報では, 遠赤外線を熱源とした野菜乾燥法を確立するための基礎資料を得る目的で色素を用いて分解度の測定を行ったのでその結果を述べる。

実験方法

1. 実験装置および供試材料

Fig. 1 に供試実験装置の概要を示す。使用した遠赤外線ヒーターおよび近赤外線ランプは第1報で述べたものと同一である。



1. Transformer 2. Basin 3. Heater
4. Shelf 5. Thermocouple 6. Shelf
7. Temperature Recorder

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

実験に先立って試料温度の分布を調べるため, シャーレ表面の6箇所に銅・コンスタンタン熱電対を貼り, 多点式温度記録計を用いて温度を測定した。

熱源と試料との間隔は自由に調節でき, 周囲空気の移動の影響を防止するために木製の枠で装置を囲んだ。

供試材料として β-カロチンとクロロフィルaを用いた。

溶剤として β-カロチンにはベンゼン (99.5%) を, クロロフィルaはエチルアルコール (95%)を用いた。

2. β-カロチンの分解度測定

1) 試料の調整法

試料溶液中の色素量を分光光度計で測る際, Twyman-Lothian の曲線より知られているように濃度が極端に薄すぎるとか, また濃すぎると誤差は急激に大きくなり, 吸光度が 0.434 (透過度 36.8%) のとき誤差が最小となる[2]。

従って, 本研究において試料の濃度は, 吸光度が 0.434 に近くなるように調整した。

試料の調整は, β-カロチン 19 mg をベンゼン 50 mℓ に溶かし, この溶液を原液とする。原液 3 mℓ をシャーレ (φ 118 mm) に取り, 常温で約 50 分間真空乾燥 (真空度 600～650 mmHg) した。これを下記の条件で加熱または照射した後, シャーレ上の β-カロチンを再びベンゼン 50 mℓ で溶かし, これを 10 倍に稀釈して調整した。

2) 試料の加熱および照射条件

予備実験と伊藤[3]らの方法に基づいて試料の分解度を測定するために遠赤外線, 近赤外線および熱風加熱を行った。これの対照区として常温下の紫外線と太陽光照射区を設定した。

(1) 遠赤外線加熱 (Far infrared ray heating)

面状遠赤外線ヒーター (定格 100 V・380 W) を用いて，供給電圧 75 および 100 V において試料温度がそれぞれ 60°C, 80 になるようにヒーターと試料表面との距離を調節して加熱した。試料温度の測定は非接触放射温度計 (タスフジャパン社製，測定範囲 0～300°C) を用いて行った。

シャーレを直接床面に置くと，床面が加熱され，その熱によって試料分解度が影響を受けるおそれがあるため，針金製の台を用いてシャーレを床面から約 70 mm 離した。

(2) 赤外線加熱 (Infrared ray heating)

近赤外線ランプ (定格 100 V・375 W) を用い，供給電圧 75 および 100 V において試料温度がそれぞれ 60°C, 80°C になるようにランプと試料表面との距離を調節して加熱した。

(3) 熱風加熱 (Air heating)

電気恒温器を用い，試料を 60°C, 80°C で加熱した。

(4) 紫外線照射 (Ultraviolet ray irradiation)

紫外線螢光灯 (定格 100 V・20 W，波長 0.355～0.360 μm) を用いて常温下で紫外線を照射した。

(5) 太陽光照射 (Sunlight irradiation)

常温下で太陽光を照射した。

以上の各方式における加熱および照射時間は 1～3 時間とした。

3. クロロフィル a の分解度測定

1) 試料の調整法

試料の調整は，クロロフィル a 6 mg をエチルアルコール 50 mℓ に溶かし，この溶液を原液とした。

原液 3 mℓ をシャーレ (ϕ 118 mm) に取り，β-カロチンの場合と同様の方法で乾燥した。これを下記の条件で加熱または照射した後，シャーレのクロロフィル a を再びエチルアルコール 50 mℓ で溶かしてこれを分光光度計を用いて吸光度を求めた。測定回数は 4～12 回とし，これの平均値をもって示した。

2) 試料の加熱および照射条件

既述した β-カロチンの場合と同様の方法で行った。ただし遠赤外線および近赤外線加熱は供給電圧は 75 V のみ行い，太陽光照射は実施しなかった。

4. 試料の分解度測定

分光光度計 (日立製作所製，101 型) を用い，β-カロチンは波長 466 nm，クロロフィル a は波長 665 nm において吸光度を測定し，あらかじめ作成した検量線図を用いて試料溶液中の色素濃度を求めた。

検量線図において吸光度と試料の濃度とは，測定した範囲内では直線関係にあることが確認され，β-カロチンおよびクロロフィル a の吸光度と試料の濃度との回帰式を最小二乗法により求めると，

β-カロチンに対しては

$$Y = 5.79\times10^{-3}\,X - 0.788\times10^{-4}$$

クロロフィル a に対しては

$$Y = 1.51\times10^{-2}\,X + 0.346\times10^{-4}$$

ここに，X は吸光度

Y は色素濃度 (mg/mℓ)

となる。

これらの回帰式により加熱前後の色素量を求め，これから分解度を算出した。

すなわち分解度 D (%) は

$$D = (Y_1 - Y_2)/Y_1\times100$$

ここで

D: 色素の分解度 (%)

Y_1: 加熱前の色素量

Y_2: 加熱または照射後の色素量

として求めた。

実験結果及び考察

1. β-カロチンの分解度

Fig. 2 に，試料温度をに調節した場合の加熱時間と β-カロチン分解度の関係を加熱方式別に示した。なお対照区として太陽光照射の結果も合わせて示した。

遠赤外線ヒーターと近赤外線ランプへの供給電圧は 100 V とし，試料との距離は遠赤外線ヒーターの場合は 250 mm，近赤外線ランプは 200 mm に調整した。

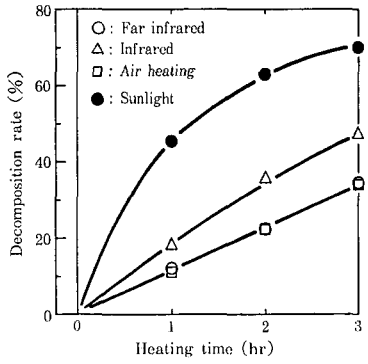


Fig. 2. Change in decompositior rate of β-carotene.
(Sample temp. 60°C)

本図より，加熱方式の違いにかかわらず，加熱時間の経過と共に β-カロチン分解度が増加することが分かった。

3時間後の β-カロチン分解度は，遠赤外線加熱が34.6%，熱風加熱の分解度が32.6%，近赤外線加熱は遠赤外線加熱による分解度の1.4倍に相当する47.7%，同様に太陽光照射はほぼ2倍に相当する70.1%であった。

遠赤外線加熱による β-カロチン分解度は熱風加熱による値とほとんど差が認められなかった。近赤外線加熱による分解度は遠赤外線加熱に比べて大きかった。これはカロチノイドが光や熱処理によって異性化され，退色の原因になる[4,5]ことから，近赤外ランプから発する可視光線と近赤外線加熱との複合効果によって分解度が増したものと考えられる。

太陽光照射による分解度が極めて高い原因として，太陽光中の可視光線，近紫外線 (0.2～0.4 μm) によって分解が進んだものと考えられる。

Fig. 3 に，試料温度を80°C に調節した場合の加熱時間と β-カロチン分解度の関係を加熱方式別に示した。なお対照区として太陽光照射の結果も合わせて示した。

遠赤外線ヒーターと近赤外線ランプへの供給電圧は100 V とし，試料との距離は遠赤外線ヒーターの場合170 mm，近赤外線ランプは132 mm に調整した。

本図に示すように，β-カロチン分解度は加熱時間とともに増加するが，Fig. 2 に示した試料温度60°C の場合に比べ，分解度は大きく増加し，加熱方式間の分解度の差は小さくなった。

3時間後の β-カロチン分解度は，遠赤外熱加熱が50.9%，熱風加熱の分解度が48.8%，近赤外線加熱は遠赤外線加熱による分解度の1.4倍に相当する68.2%で太陽光照射とほぼ同じ値を示した。

遠赤外線加熱と熱風加熱は，試料温度が高くなっても β-カロチン分解度に差が認められなかった。

β-カロチンの n-ヘキサン溶液に各波長の光を照射すると0.40 μm 以上の光に対しては分解促進作用は認められない[6]との報告があるが，試料温度が高温になり，これに近赤外線ランプから発する可視光線が加わることによって β-カロチンの分解度が増加したものと考えられる。

Fig. 4 に，遠赤外線ヒーターと近赤外線ランプへの供給電圧を75 V とした場合，加熱時間と β-カロチン分解度との関係を加熱方式および試料温度別に示した。

遠赤外線ヒーターと試料との距離は60°C 場合150 mm，80°C の場合85 mm とし，近赤外線ランプの場合それぞれ126 mm と74 mm に調整した。

本図に示すように，加熱方式の違いにかかわらず，加熱時間の経過による β-カロチン分解度の変化は既述した Fig. 2, 3 と同じ傾向を示した。

試料温度60°C の場合，3時間加熱後の β-カロチン分解度は，遠赤外線加熱が28.3%，近赤外線加熱が35.5%，熱風加熱が32.6%であった。試料温度80°C の場合は，遠赤外線加熱が45.9%，赤外線加熱が54.0%，熱風加熱が48.8%であった。

このように試料温度を60°C から80°C に上昇すると分解度は遠赤外線加熱が1.6倍，赤外線加熱が1.5倍，熱風加熱が1.5倍それぞれ高くなった。

なお，遠赤外線加熱と熱風加熱との分解度の差はほとんど認められなかった。

近赤外線加熱の分解度について Fig. 2, 3 に示した分解度と比較すると，試料温度が同じにもかかわらず，遠赤外線および熱風加熱との分解度差が小さくなった。この原因として次のことが考えられる。

すなわち，放射体の温度が低下すると放射エネルギーの強さが急速に減少し，最大放射エネルギーを示す波

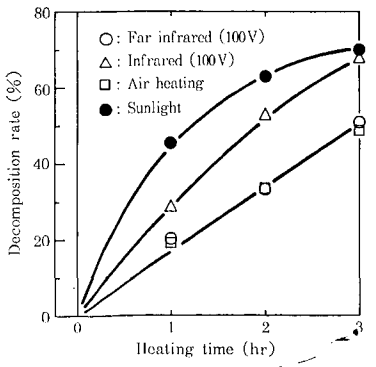


Fig. 3. Change in decomposition rate β-carotene. (Sample temp. 80°C)

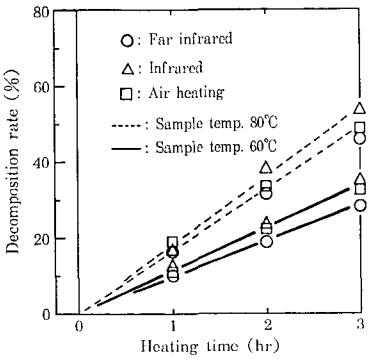


Fig. 4. Change in decomposition rate of β-carotene.

長は長波長側に移行していく（ウィーンの変位則）[7]。近赤外線ランプ加熱の場合，電圧を下げることによりフィラメント温度が低下し，放射波長も長波長にずれる。従って，色素分解に影響を及ぼす可視光線が減少するため分解度差が小さくなったと考えられる。

2. クロロフイル a の分解度

クロロフィルaの分解度測定は遠赤外線ヒーターと近赤外線ランプへの供給電圧を 75 V に固定して行った。

Fig. 5 に，試料温度 60°C および 80°C の時のクロロフィルaの分解度を示す。

熱源と試料との距離調整は既述したクロロフィルaの分解度測定 (Fig. 4) と同一条件下で行った。

試料温度 60°C の場合，3時間加熱後の β-カロチン分解度は，遠赤外線加熱が 10.6%，近赤外線加熱が 30.3%，熱風加熱が 8.3% であった。試料温度 80°C の場合は，遠赤外線加熱が 12.0%，近赤外線加熱が 34.7%，熱風加熱が 14.5% であった。

試料温度が 60°C から 80°C に上昇しても分解度の増加割合は比較的小さい傾向を示した。遠赤外線加熱と熱風加熱とでは，試料加熱時間の経過と試料温度の上昇による分解度の増加割合は非常に小さく，両加熱方式による分解度の差は認められなかった。

しかし，近赤外線ランプ加熱の場合，試料加熱時間の経過とともに分解度の増加割合が大きくなり，遠赤外線および熱風加熱による分解度より大きな値を示した。

近赤外線ランプ加熱が他の加熱に比べてクロロフィルaの分解度が大きくなった原因は，近赤外線ランプから放射される可視光部の吸収極大波長附近の光線によって分解されることによるもの[9]と考えられる。

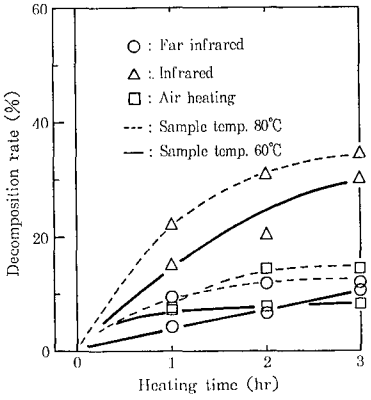


Fig. 5. Change in decomposition rate of chlorophyll-a.

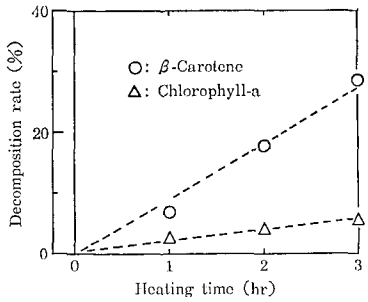


Fig. 6. Comparison of chlorophyll-a and β-carotene decomposition rates by ultraviolet irradiation. (Room temp.)

3. β-カロチンとクロロフイル a の分解度の比較

遠赤外線加熱による β-カロチンおよびクロロフィルaの分解度 (Fig. 4, 5) を比較すると，β-カロチンは加熱時間の経過と試料温度の上昇による分解度の増加割合が大きく，クロロフィルaは加熱時間の経過と試料温度の上昇による分解度の増加割合が小さい傾向が認められた。

すなわち，遠赤外線加熱に対してクロロフィルaは安定であるが，β-カロチンは不安定であると考えられる。

また，熱風加熱による分解度は遠赤外線加熱と同じ傾向が認められた。

しかし，近赤外線加熱による β-カロチンおよびクロロフィルaの分解度は加熱時間の経過と試料温度の上昇によって分解度の増加割合が大きかった。この原因に前述したものと同じである。

したがって，β-カロチンおよびクロロフィルaは近赤外線加熱に対し不安定なことが明かになった。

Fig. 6 に，紫外線照射による β-カロチンとクロロフィルaの分解度を示す。

1, 2, 3 時間照射後の β-カロチンの分解度は，それぞれ 6.9%, 17.8%, 28.5% であり，クロロフィルaの分解度はそれぞれ 2.8%, 4.2%, 5.8% であった。

本図に示すように，β-カロチンの分解度の増加割合は加熱時間の経過とともに大きくなり，クロロフィルaの分解度の増加割合は非常に小さかった。

したがって，クロロフィルaは紫外線に対して安定であるが，β-カロチンは不安定であることが明らかになった。

要　約

遠赤外線の加熱特性を把握するために加熱方式及び加熱条件等が β-カロチンとクロロフィルa色素の分解度

に与える影響を知る目的で以下の実験を行った。

遠赤外線ヒーターと近赤外線ランプは供給電圧を75V, 100Vに調整し，試料温度を60°C, 80°Cとした。熱風加熱は試料温度を60°C, 80°Cとして実験を行った。また，常温下で太陽光および紫外線を照射した。

加熱または照射した試料の吸光度を分光光度計を用いて測定し，これより各色素の分解度を求めた。

その結果，以下のことが明らかになった。

(1) β-カロチンは加熱方式の違いにかかわらず，試料温度の上昇と加熱時間の経過と共に分解度が増加した。特に，太陽光と近赤外線の照射により高い分解度を示した。

(2) クロロフィルaは近赤外線加熱のみ（太陽光照射無し）が試料温度の上昇と加熱時間の経過と共に分解度が大きくなり，遠赤外線と熱風加熱による分解度は増加割合が非常に小さかった。

(3) 遠赤外線加熱による色素分解度は，近赤外線加熱より低くなったが，熱風加熱との差は小さかった。

(4) 近赤外線加熱では一部可視光線が照射されることにより色素分解を促進することが分かった。

(5) β-カロチンは紫外線照射に対して分解度の増加割合が大きいが，クロロフィルは分解度の増加割合が小さかった。

引 用 文 献

1. 韓忠洙，伊藤和彦： 遠赤外線の加熱特性（第1報）受熱板の色調と吸収熱量について，北大農学部紀要，**16**(3): 256-262. 1989
2. 日本文析化学会北海道支部編： 分析化学実験，331-339. 1971
3. 伊藤和彦，韓忠洙： 野菜乾燥に関する基礎的研究，農業機械学会北海道支部会研究発表会講演要旨，**38**: 63-64. 1987
4. 伊藤良仁： β-カロチンに関する知見，New Food Industry, **29**(8): 22-29. 1987
5. 緒方邦安： 園芸食品の加工と利用，養賢堂，1-382. 1963
6. 石谷孝佑，梅田圭司ら： 天然色素の分析に関する研究，第1報 リコピン，β-カロチンの光分析について，日本食品工業学会誌，**23**(10): 480-485. 1976
7. Henry L. HACKFORTH 著，和田正信，中野朝安 訳： 赤外線工学，近代科学社，3-288. 1963

Summary

The purpose of this study is to find out the heating characteristics of far infrared radiation through the determination of the decomposition rate of coloring matter (β-Carotene and Chlorophyll-a) as measured by the heating methods and heating conditions. The experimental conditions are as follows:

(1) The far infrared radiation heater and near infrared radiation lamp was adjusted to voltages of 75 and 100 V and sample heating temperatures of 60 and 80°C. (2) The air heating experiment was made by using sample heating temperatures of 60 and 80°C. (3) For the comparative experiment, samples were irradiated by sunlight and ultraviolet ray in normal temperature. (4) The absorbance in the above samples was measured by spectrophotometer and through this the decomposition rate was found.

The experimental results can be summarized as follows:

1) The decomposition rate of β-Carotene in all heating methods increased with the rise of heating temperature and elapsed heating time. Snulight and near infrared radiation heating especially showed higher decomposition rates.

2) The decomposition rate of Chlorophyll-a was increased largely by the rising temperature and elapsed heating time of near infrared radiation heating. However, far infrared radiation and air heating increased the decomposition to a lower degree.

3) The coloring matter decomposition of far infrared radiation heating is lower than that of near infrared radiation heating, but the difference between far infrared radiation and air heating is trivial.

4) Visible ray irradiated with near infrared radiation heating was especially an important factor that accelerated coloring matter decomposition.

5) In ultraviolet ray irradiation, the rate at which β-Carotene was decomposed was increasingly larger than that of Chlorophyll-a.