

# 糖添加前処理のダイコン・ニンジン乾燥工程および乾燥製品への影響

小西靖之、木戸口恵都子

## Influence of the pretreatment on drying of carrot and Japanese radish.

Yasuyuki Konishi and Etsuko Kidoguchi

### 要 旨

本研究では、農産物乾燥工程の前処理に用いられ糖添加効果の評価を行った。乾燥材料としてダイコン、ニンジンを用い、ボイル処理後グルコース、ソルビトール、エリスリトールの10%及び20%濃度の糖溶液浸漬により糖添加したときの、乾燥材料の水分変化や糖含浸量、乾燥時脱水応答の影響、乾燥品の吸湿特性への影響を定量的に評価した。更に糖添加による製品色の安定化評価を行った。

糖液浸漬による糖添加加工により乾燥材料は脱水されると共に材料内に糖が含浸する。糖液濃度が高いほど脱水量及び糖含浸量は多く、グルコース及びソルビトールに比べエリスリトールの脱水量や含浸糖量は多い。添加した糖は食材中の水分束縛度合いを大きくし、乾燥工程中の脱水速度は糖添加により低下する。

乾燥品の保管評価では、保管中吸湿量についてはグルコース及びソルビトールの添加により乾燥品は吸湿しやすくなり、エリスリトールの添加は吸湿抑制効果があること、乾燥品の製品色についてはエリスリトール添加が褐変色への抑制効果があること、を明らかにした。

### 1. 緒 言

保存性や輸送性の向上目的に様々な農産物の乾燥が行われており、自在に品質設計できる乾燥操作技術が求められている。乾燥工程の最適化には、どの様な乾燥条件で乾燥操作を行うかが重要<sup>1~7)</sup>であるが、これと同様に乾燥材料の前処理が乾燥工程、製品品質に影響を与える。

農産物乾燥では、乾燥製品の製品色の向上、変質防止や復水性の良好化を目的に乾燥材料に糖を添加する前処理が用いられる。<sup>8~9)</sup>これは、乾燥加工前に糖処理を行い、乾燥食品中の水分の束縛性を向上させ乾燥製品の褐変などの変質や食材の変質変化を抑制したり、添加糖の溶解性特性より復水しやすくするものである。しかし、糖添加前処理をどの様に行うかの操作指標は明らかになっ

ていない。

そこで本研究では、グルコース、ソルビトール、エリスリトールの3種の糖を用い、前処理工程での糖添加特性、乾燥工程での脱水に与える影響、乾燥製品の褐変抑制効果などを評価した。

### 2. 実験方法

#### 2-1. 乾燥試料

テスト食材として、市販のダイコン及びニンジンを用いた。ダイコン及びニンジンは、表皮を剥皮後、スライサーを用いて約3mm角に細切りした。成形した各試料は93℃以上の熱水で3min間ブランチングを行い、水道水で速やかに冷却しハンドスピナーを用いて脱水後、所定濃度の糖液に浸漬した。

## 2-2. 糖液浸漬処理

ブランチング後の乾燥材料は、糖液浸漬を行った。グルコース、ソルビトール、エリスリトールの3種の糖を用い、浸漬糖液濃度は10%、20%の2種類で行った。浸漬するときの糖液量は、浸漬する乾燥材料量の2倍量で行い、浸漬時間は30分とした。

## 2-3. 乾燥テスト

乾燥材料はステンレス製の乾燥網(175×175×40mm)に入れ乾燥テストを行った。乾燥工程は乾燥温度( $T_D$ ) 50℃、相対湿度(RH) 30%、風速2.5m/sの条件で行った。乾燥工程中乾燥試料の重量変化は、微少加重ロードセル(LVS-500GA((株)共和電業))の出力をデータロガー(NR-1000((株)キーエンス))により連続的に計測した。

## 2-4. 吸湿テスト

吸湿性テストに、温度30℃±2℃、相対湿度70±2%の条件で行った。ダイコン及びニンジンの乾燥品は、設定温湿度に制御した恒温恒湿装置(PL4G、(株)Espec製)内に保管し、保管中の重量変化を測定することにより、吸湿挙動の評価を行った。

## 2-5. 保管テスト

乾燥品を防湿性包材(KX-1723H、メイワパック)に入れ、50℃±2℃に制御したインキュベータ(MIR-153、三洋電機(株)製)に保管し、保管中の製品色変化を観察した。製品色は、D65蛍光灯照明下での製品外観をデジタルカメラで撮影し比較した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3-1. 糖液浸漬処理による乾燥材料の含水率低下

乾燥材料の前処理として、材料を糖液浸漬すると乾燥材料に糖が浸透する同時に、乾燥材料内の水分が糖溶液側に移動し脱水する。この脱水挙動は、一般に「糖絞り」と言われており、このとき脱水する水分の量の違いは、乾燥工程での除去する水分量に影響する。

ボイル後のダイコン及びニンジンをも所定濃度の糖液で糖液浸漬処理を行った後の含水率  $W$  を図1

に示した。ボイル後で糖液浸漬前の  $W$  は、ダイコンで4300~3700%-d.b. (乾量基準含水率)、ニンジンで2300~1400%-d.b. であるが、糖液浸漬処理を行うことにより、含水率は著しく低下する。ダイコンの場合、糖濃度10%の糖液浸漬で  $W=1190\sim1050\%$ -d.b.、糖濃度20%の糖液浸漬で  $W=640\sim490\%$ -d.b.、ニンジンの場合、糖濃度10%の糖液浸漬で  $W=970\sim890\%$ -d.b.、糖濃度20%の糖液浸漬で  $W=570\sim500\%$ -d.b. となる。糖液浸漬前後の  $W$  差が脱水された水分量に対応することより、乾量(乾燥品中の水分以外の量)1g当たりの脱水量は、20%濃度のグルコース溶液の場合、ダイコンで36.7g/g、ニンジンで18.2g/gとなる。材料種により糖液浸漬により脱水される水分量が異なり、ニンジンに対しダイコンは2倍程度の水分量が脱水される。

糖液浸漬による  $W$  低下は、糖濃度が高いほど大きな値となり、糖の種類による影響は比較的小さい。糖種について注目すると、糖濃度が10%と20%の両条件で、 $W$  の低下効果はエリスリトール>ソルビトール>グルコースの順に大きく、糖種により糖液浸漬による脱水効果に違いがあることが分かる。

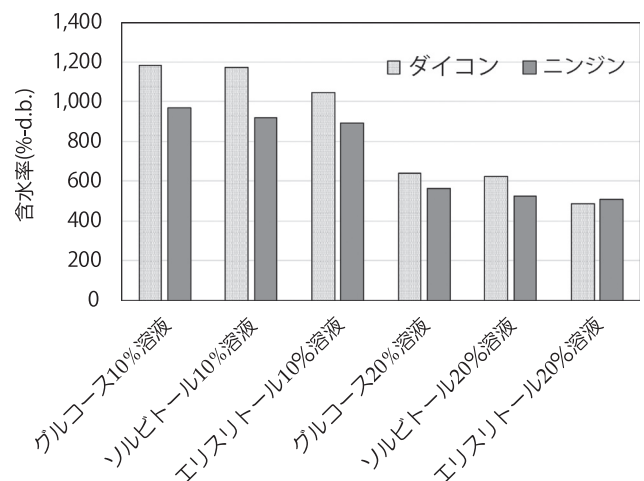


図1. 糖液浸漬による乾燥材料の含水率変化 (ダイコン・ニンジンの場合)

### 3-2. 糖液浸漬処理による乾燥材料への糖含浸量

図1に示した様に糖液浸漬処理により乾燥材料の水分が糖液側に移動し、 $W$  は低下する。この乾燥材料から糖液への水分移動と同時に、糖液から乾燥材料に糖移動し含浸する。この含浸した糖の量を乾燥後の乾燥品重量の比較により概算し

た。糖液浸漬処理を行うテストと行わないテストとで、同じボイル重量の乾燥原料を準備し、両者の乾燥品重量の比較より乾燥品への糖含浸量を概算した。得られた糖含浸量を、糖を添加しないときの単位乾量当たりの量として整理した結果が図2である。材料種（ダイコン・ニンジン）の違い、浸漬糖液濃度の違いで整理した。

含浸糖量はダイコンとニンジンとで大きく異なり、同じ糖液浸漬で比較するとニンジンに比べダイコンは1.9~2.3倍の含浸糖量を与える。このことは、図1に示した脱水される水分量がニンジンに比べダイコンが2倍である結果と同じ傾向を示す。

糖の種類に対する含浸糖量は、グルコースとソルビトールではほぼ同じ値を示し、乾量1g当たりの含浸糖量は10%及び20%溶液でそれぞれ2.9±0.1g/g、6.1±0.1g/gであるが、エリスリトールでは3.5g/g及び7.5g/gとなり、エリスリトールはグルコースなどに比べ20%以上含浸糖量が多いことが分かる。

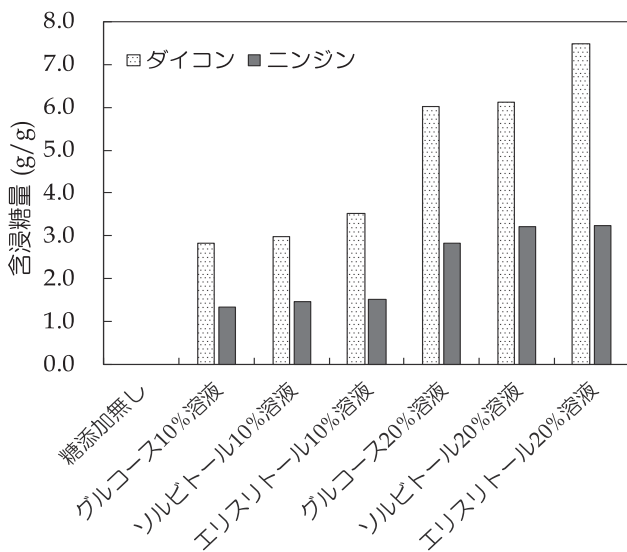


図2. 糖液浸漬による乾燥材料への含浸糖量 (ダイコン及びニンジン)

### 3-3. 糖液浸漬処理の乾燥時脱水挙動への影響

糖液浸漬処理を行ったダイコン、ニンジンの通風乾燥時の脱水挙動を図3及び図4に示した。乾燥テストは乾燥温度  $T_D=40^\circ\text{C}$ 、相対湿度30%、風速2.5m/sの条件で行い、乾燥工程中のサンプル重量を連続的に測定することにより、含水率変化を求めた。

図3はダイコンの脱水応答を示しており、糖液浸漬の条件により乾燥開始時の含水率（乾燥初期含水率,  $W_D$ ）は異なる。糖液浸漬を行わない場合は  $W_D=3700\%$ -d.b.だが、グルコース溶液に浸漬した場合、その溶液濃度が10%で  $W_D=1170\%$ -d.b.、20%で  $W_D=640\%$ -d.b.なり、糖液浸漬により  $W_D$  は低下する。エリスリトール20%の場合は  $W_D=580\%$ -d.b.であり、グルコース溶液よりわずかに小さな  $W_D$  を示す。乾燥時間に対する  $W$  変化は、 $W_D$  が大きいほど急激に減少し、 $W_D$  が小さいと緩やかに減少する。図4に示したニンジンの場合もダイコンの同じ傾向を示した。

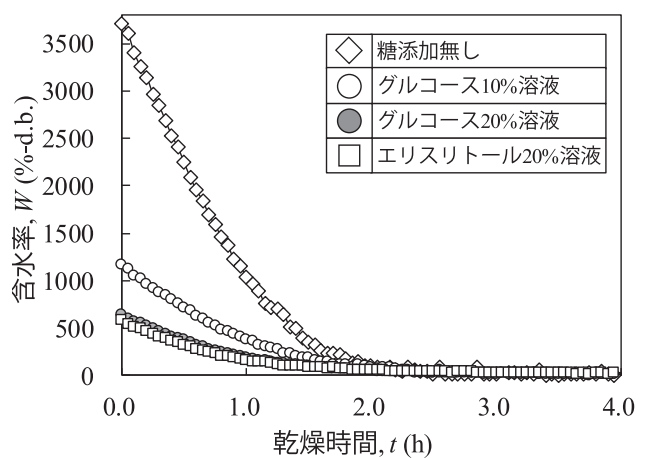


図3. 糖液浸漬の乾燥工程中の脱水応答挙動への影響 (ダイコン)

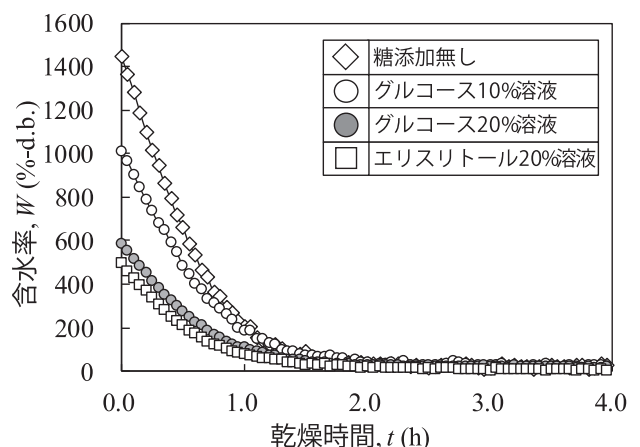


図4. 糖液浸漬の乾燥工程中の脱水応答挙動への影響 (ニンジン)

図3及び図4の脱水応答曲線の微係数より脱水速度を算出できる。<sup>7)</sup> 脱水速度  $Dr$  (g/(g/h)) は、乾燥時間1時間、乾量1g当たりの脱水量 (g) として算出した。図5にダイコンの場合の乾燥工程中  $Dr$



変化を乾燥時間  $t$  に対して整理した結果を示した。糖液浸漬を行わない場合は、乾燥開始初期において  $D_r$  が一定の恒率乾燥期間を示し、その後減率乾燥期期間に移行する。一方、糖液浸漬処理を行った場合は、糖液浸漬を行わない場合に比べ明らかに  $D_r$  が低下し、浸漬糖液濃度が高いほどその低下度合いも大きい。乾燥開始時の初期  $D_r$  を比較すると、糖液浸漬処理を行わない場合は初期  $D_r$  が  $30.0 \text{ g}/(\text{g}\cdot\text{h})$  であるが、10% 糖液浸漬処理で  $10.5 \text{ g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 、20% 液処理で  $5.5\sim 5.7 \text{ g}/(\text{g}\cdot\text{h})$  へと低下する。これは糖液浸漬により乾燥材料内に含浸した糖により食品内の水分が束縛され脱水速度  $D_r$  が低下していることを示している。

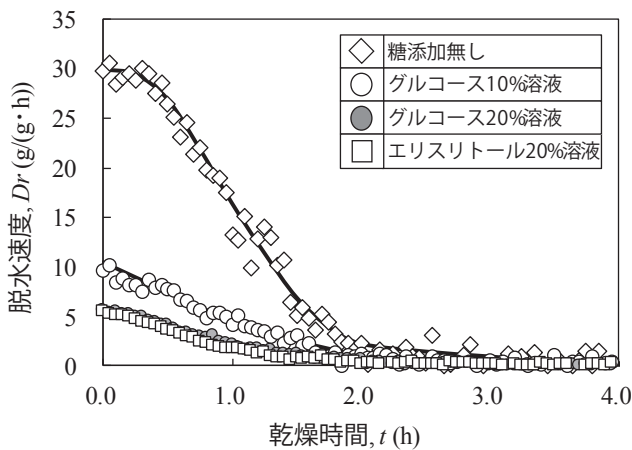


図5. 糖液浸漬の乾燥工程中の脱水速度  $D_r$  への影響 (ダイコン)

図6は糖液浸漬によるダイコン乾燥工程中の  $D_r$  低下効果を再評価するために、乾燥試料  $W$  に対し  $D_r$  を再整理した結果である。乾燥工程の進行により  $W$  が低下するため、図6では高含水率側より低含水率側、すなわち右側より左側に乾燥工程が進行していることを示している。サンプル  $W$  に対する  $D_r$  も、糖液浸漬を行わないものより糖液浸漬を行ったものが、明らかに小さな  $D_r$  値を示し、乾燥原料への糖含浸は乾燥材料中の水分の束縛度合いを増加させ、食材内の水分移動性を低下させるため、 $D_r$  が低下すると考えられる。グルコース10% 溶液と20% 溶液の  $D_r$  (図6中○と●のプロット) を比較すると、両者の  $W$  領域幅に違いはあるが同じ  $W$  値では  $D_r$  値はほぼ同じである。このことは、糖含浸による乾燥材料中の水分の束縛性は、ダイコンの場合、グルコース10% 溶液と20% 溶液とで大きな違いがないこと

を示している。また、グルコース溶液20% とエリスリトール溶液20% (図6中●と□のプロット) でも、 $W$  に対する  $D_r$  値にも大きな違いがなかった。この  $W$  に対する  $D_r$  特性は、ニンジンの場合も同じ傾向を示した。これらのことは、ニンジン及びダイコンの糖浸漬による乾燥材料内の水分の束縛は糖液濃度の違い (10% と20%)、糖種の違い (グルコース、ソルビトール、エリスリトール) で差が無いことを示している。

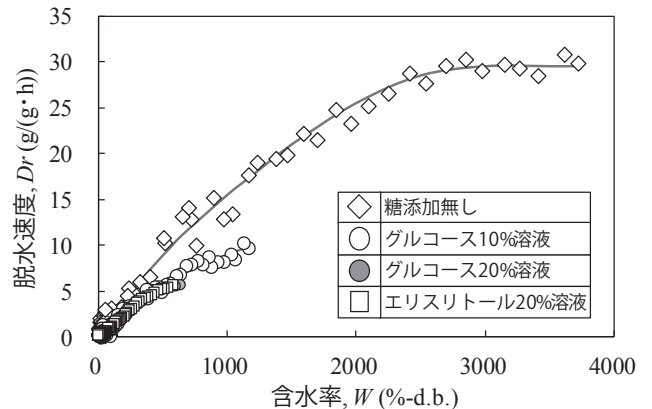


図6. 含水率に対する脱水速度  $D_r$  (ダイコン)

### 3.4. 糖添加による吸湿性

糖液浸漬による糖添加は、乾燥品の吸湿性に影響を与える。糖添加を行ったダイコン及びニンジン乾燥品の吸湿特性を評価した。モデル的な吸湿条件として、保管温度  $30^\circ\text{C}$ 、相対湿度70% で保管したときの吸湿量を重量測定により評価した。吸湿量の変化は、以下の式に示した重量係数として示した。

$$\text{重量係数 (\%)} = \frac{\text{保管時間 } t_s \text{ 後の乾燥品重量 (g)}}{\text{保管前の乾燥品重量 (g)}} \times 100 \dots (1)$$

図7に糖添加したダイコン乾燥品の吸湿特性を示した。糖添加を行っていない乾燥品 ( $\diamond$ ) では、保管時間  $t_s = 5\text{h}$  まで重量係数が増加し109% となり、その後一定値を与える。糖添加しない場合には、乾燥品重量の9% に相当する水分を吸湿する。グルコース ( $\circ$  及び  $\bullet$ ) 及びソルビトール ( $\triangle$  及び  $\blacktriangle$ ) を添加した場合は、糖添加しない場合に比べ吸湿量が増加し、重量係数はグルコースで  $116 \pm 1\%$ 、ソルビトールで  $118 \pm 1.5\%$  を与え、吸湿量が増加する。一方、エリスリトールを添加した場合は、 $t_s = 25\text{h}$  後においても重量係数は102

～104%の低い値を与え、エリスリトール添加は糖添加しない場合より吸湿量が低下する。乾燥品へのエリスリトールの添加は防湿効果があることが分かる。

これらのことは、添加する糖種により乾燥品の吸湿特性は影響を受けること、エリスリトールの添加は吸湿抑制に効果があることを示している。

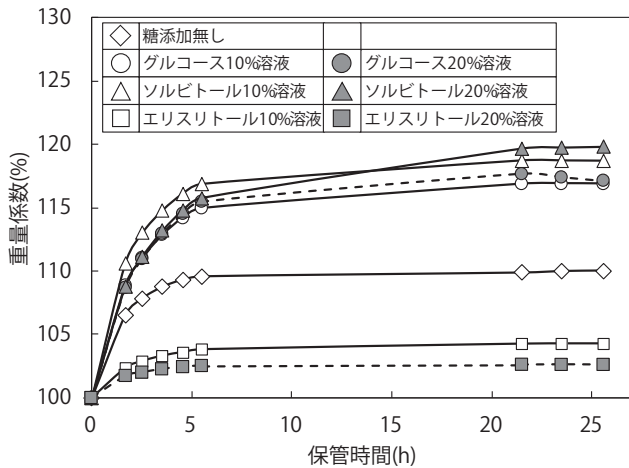


図7. 糖浸漬処理による乾燥材料への糖の浸透状況 (ダイコン及びニンジン)

### 3-5. 糖添加による褐変変化

乾燥品は保管状況により褐変変化などにより製品色の変化が起こる。ダイコン乾燥品の保管中製品色変化に対する糖添加の影響を評価した。評価サンプルは保管中の吸湿変化を抑制するために防湿性包材に密閉し保管し、保管条件の設定温度は50°Cで行った。乾燥品の保管を50°Cの高温に設定することにより、製品色の変化を加速して評価出来る。保管中の製品色はD65蛍光灯照明下で撮影した。

糖液浸漬処理により糖添加を行ったダイコン乾燥品の保管テスト結果を図8に示した。図8-(A1)～(D1)は保管テスト開始前の乾燥製品色を示しており、添加する糖種の違いにより乾燥品色は異なり、糖添加無し(A1)に比べ、グルコース(B1)及びエリスリトール(D1)を添加した乾燥品色は白色側に变化する。

50°Cで22day保管した結果を図8-(A2)～(D2)に示した。糖添加無しの乾燥品(A2)は褐変変化により製品色が赤黄色側に变化するが、グルコース(B2)、エリスリトール(D2)を添加した乾燥品は製品色変化が抑制される。この結果は添加する糖種

により製品色変化挙動が異なることを示しており、ダイコン乾燥品ではグルコース、エリスリトールの添加は褐変変化による製品色変化の抑制効果があることを示している。

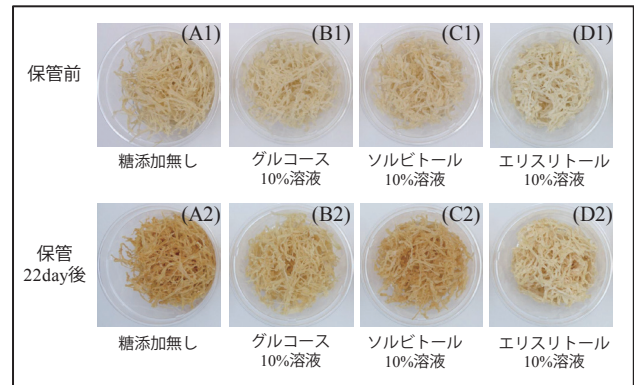


図8. ダイコン乾燥品保管中の乾燥品色の変化状況 (保管温度: 50°C)

## 4. 結論

食品乾燥工程の前処理に用いられる糖添加効果について、グルコース、ソルビトール、エリスリトールの3種の糖を用い、前処理工程での糖添加特性、乾燥工程での脱水挙動への影響、乾燥製品の安定性などを評価し、以下の結果を得た。

(1) 糖液浸漬処理による乾燥材料の脱水は、糖溶液濃度が高いほど脱水量が多く、その含水率低下効果はエリスリトール>ソルビトール>グルコースの順に大きく、糖種により糖液浸漬による脱水効果に違いがある。

(2) 糖液浸漬処理による乾燥材料への糖含浸量は、ニンジンに比べダイコンは1.9～2.3倍多い。20%糖溶液時の含浸糖量は、グルコースとソルビトールでは $6.1 \pm 0.1 \text{g/g}$ だが、エリスリトールでは $7.5 \text{g/g}$ であり、エリスリトールは20%以上含浸糖量が多い。

(3) 乾燥材料の糖添加により、材料中の水分は束縛度合いが増加し、脱水速度  $D_r$  が低下する。その脱水速度の低下効果は、評価した3種の糖種で違いは無かった。

(4) 乾燥品保管中の吸湿特性は添加する糖種の影響を受け、糖添加を行わない場合に比べグルコース、ソルビトールの添加は吸湿量が増加させ、エリスリトール添加は吸湿量を減少させる。

(5) 乾燥品保管中の製品色変化に対し、ソルビトール添加に抑制効果は無いが、グルコース、エリス

リトールの添加は褐変抑制効果がある。

### 参考文献

- 1) Y. Konishi, and M. Kobayashi: Dualism of the Hydration Water Visualized in Drying Processes of Foods, *Drying Technology*, Volume 34, Issue 8(2016),883-891.
- 2)Y. Konishi, and M. Kobayashi: Advantage of the Hybrid Method of Chemical Engineering - Proton NMR Technique for Food Engineering, *Food Science and Technology Research*, Vol.19, No.5(2013), 717-727.
- 3)Y. Konishi, and M. Kobayashi : Oscillating Self-organization of Hydration Water in Foods Derived by Forced Temperature Cycling, *AIDIC Conference Series, Selected Papers of the eleventh international conference on chemical and process engineering( IChEap-11, 2-5 Jun, 2013, Milan, Italy)*, published by AIDIC & Reed Business Information S.p.A., Vol. 11(2013), pp181-190.
- 4)Y.Konishi, and M.Kobayashi: Challenging Evaluation of the Hybrid Technique of Chemical Engineering - Proton NMR Technique for Food Engineering , *Advances in Chemical Engineering*, Ed. Z. Nawaz and S. Naveed., published by InTech, Rijeka(2012), P69-92.
- 5)Y.Konishi, and M.Kobayashi: Dynamism of the water species as a probe molecule in food, *Chemical Engineering Transactions*, 24(2011), 475-480.
- 6)Y. Konishi, M. Kobayashi, and Y. Kawai: Bacterial growth trend of a dried Japanese common squid (*Todarodes pacificus* Steenstrup) characterised by dehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, 46 (2011), 2035-2041.
- 7)Y.Konishi, and M.Kobayashi: Challenge to the food engineering due to a hybrid method of chemical engineering-proton NMR technique –Meat jerky design by the scientific parameters-, *Chemical Engineering Transaction*, 20, (2010), 217-222.
- 8)Y.Konishi, and M.Kobayashi: The New Evidences Driver from a Consecutive Reaction Model for The Maillard Reaction , *Chemical Engineering Transactions*, 27(2012), 307-312
- 9)La Choviya Hwaw, Suriah Binti Ali, Sachie Fujii, Noriko Yoshimoto, and Shuichi Yamamoto: Effects of Pre-Treatments on Browning of Lemon Peels during Drying, *Japan Journal of Food Engineering*, Vol. 15, No. 3(2014), 181 - 18.