Thesis Title Effects of High Pressure on the Physical Structure of Tofu

Author Ms. Suteera Saowapark

Degree Doctor of Philosophy (Food Science and Technology)

Thesis Advisory Committee Assoc.Prof.Dr. Arunee Apichartsrangkoon Chairperson
Dr. Alan E. Bell Member
Prof.Dr. Dave A. Ledward Member

ABSTRACT

This study evaluated the effects of high pressure on the physical structure of tofu. The 'filled' (packed) tofu gels were prepared from whole soymilk with an added coagulant, Glucono-δ-lactone (GDL), calcium sulphate ($CaSO_4.2H_2O$), or calcium chloride ($CaCl_2.2H_2O$), followed by heat or high pressure treatment.

The heat induced (Ht) tofu gels were prepared by preheating (97-100^oC for 7 min.) soymilk with added coagulant, they were then subjected to heat treatment (70^oC for 60 min).

The high pressure induced tofu gels were produced in two separated experiments. The first experiment used raw soymilk to prepare tofu with added coagulant, which was subsequently subjected to high pressure (HP tofu). The second experiment was conducted similarly to the first experiment but used preheated (97-100^oC for 7 min) soymilk instead of raw soymilk (htHP tofu).

The heated and pressurised tofus were examined for their rheological properties by the application of oscillatory testing. Other physicochemical determinations on their microstructure were made using confocal scanning laser microscopy (CSLM) and scanning electron microscopy (SEM), the water holding capacity (as water released per gram of sample) as well as the electrophoretic analysis

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

using native PAGE were also studied. The hydrophobicity of the proteins and activity of trypsin inhibitors of the soymilks were also analysed.

To compare the nature of the materials made by both high pressure processing (with raw soymilk, HP tofu) and heat induced gels, results from rheological measurements were examined. The results indicated that storage (G') and loss (G") moduli and their associated loss tangent (tan δ) values of the HP induced tofu gels with added GDL and $CaSO_4.2H_2O$ (0.26-0.29) were higher than those for the equivalent heat treated gels (0.20-0.21), indicating less 'solid like' structure for the HP induced tofu gels. However the plots of storage and loss moduli of both HP and Ht induced gels displayed a similar slight frequency dependence of the moduli, indicating both types of tofu had the underlying structures of weak viscoelastic gels. Although high pressure could produce tofu gels using raw soymilk, their texture appeared different from those of the Ht tofu gels. They showed a greater tendency to syneresis and a more 'open' structure which could be observed using CSLM. The high pressure treated sample appeared more 'open' structures whereas those heated samples displayed more uniformity structure. In order to overcome this difference consistency a subsequent reworking or moulding might be required.

To compare the experiment of high pressure (with preheated soymilk, htHP tofu) and heat induced gels, results from rheological measurement indicated that htHP tofu gel with added GDL and $CaSO_4.2H_2O$ gave storage and loss moduli higher than those produced by Ht alone, whereas for the gel with added $CaCl_2.2H_2O$ the moduli of Ht set gels were higher than those of the equivalent htHP set gels. Since the loss tangent of both htHP and Ht set gels laid in the range of 0.20-0.22, indicating similar solid like structure of the both htHP and Ht set gels. Compare with the HP tofu set gels, both htHP and Ht set gels displayed less syneresis after treatment condition.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

The SEM images of the Ht and htHP induced tofu appeared similar with uniformity of structure containing only small holes or voids. When considering the function of three coagulants used in making these gels, $CaCl_2$ seemed to set gels with bigger and course networks with a less uniform texture than other two coagulant set gels. The htHP tofu gels with added GDL and $CaSO_4.2H_2O$ had thicker strand in

structure and displayed poorer water holding capacities than those observed for the Ht gels.

An investigation of the protein electrophoregrams using native PAGE on the HP and Ht set gels, showed that, heat processing induced more protein denaturation than those gels set by pressure alone (HP). However subsequent investigations showed that htHP set gels had similar levels of protein denaturation as those observed for the heat set gels. It has been suggested that the denaturation of the protein under any of the treatment conditions may be due to breaking of hydrophobic interaction as indicated by hydrophobicity changes studied of observed in the soymilk.

Regarding the aspects of food safety due to residual effects of enzymic trypsin inhibitors in raw soymilk, it was observed that the preheating of the soymilk (97-100^{o}C for 7 min) had essentially inactivated activity these enzymes. Studies showed a more than 90% deactivation of the enzyme. Subsequently treatment of the preheated soymilk either by pressure or heat subsequently showed no further significant destruction of this enzyme. Thus the tofu products using any of the processing conditions used for this study (except those without passing through the preheated process) were safe to consume.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ผลของความดันสูงต่อโครงสร้างทางกายภาพของเต้าหู้

ผู้เขียน นางสาวสุธีรา เสาวภาคย์

ปริญญา วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต(วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. อรุณี อภิชาติสรางกูร	ประธานกรรมการ
Dr. Alan E. Bell	กรรมการ
Prof.Dr. Dave A. Ledward	กรรมการ

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของความดันสูงต่อโครงสร้างทางกายภาพของเต้าหู้โดยเตรียม 'เต้าหู้หลอด' จากน้ำนมถั่วเหลืองกับสารตกตะกอนคือ กลูโกโนเดลต้าแลคโตน (GDL) แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมคลอไรด์และให้เกิดเจลด้วยกระบวนการความร้อนหรือความดันสูง

เต้าหู้ที่ผลิตด้วยความร้อน (เต้าหู้ Ht) เตรียมโดยต้มน้ำนมถั่วเหลือง (97-100 องศาเซลเซียส นาน 7 นาที) ทิ้งให้เย็น เติมสารตกตกตะกอน จากนั้นต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที เพื่อให้เกิดเจล

การผลิตเต้าหู้ด้วยความดันสูงแบ่งเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรกเตรียมโดยเติมสารตกตะกอนในน้ำนมถั่วเหลืองดิบ แล้วนำไปผ่านความดันสูงภายใต้สภาวะที่กำหนด (เต้าหู้ HP) การทดลองที่สองกระทำคล้ายกับการทดลองแรก แต่ใช้น้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อน (97-100 องศาเซลเซียส นาน 7 นาที) แทนการใช้น้ำนมถั่วเหลืองดิบ (เต้าหู้ htHP)

ตรวจสอบสมบัติทางรีโอโรยีของเต้าหู้ทุกหน่วยทดลองโดยการทดสอบแบบสั่น และตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพอื่นๆ ได้แก่ โครงสร้างจุลภาคโดยเครื่องจุลทรรศน์เลเซอร์คอนโฟคอลและเครื่องจุลทรรศน์อิเลคตรอน ความสามารถในการอุ้มน้ำ (คิดจากปริมาณน้ำที่สกัดออกจากตัวอย่าง) รวมทั้งวิเคราะห์อิเลคโทรโฟรีซิสด้วยวิธี native PAGE นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรโฟบิกซิตี้และกิจกรรมของสารต้านทริปซินในน้ำนมถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการตรวจสอบทางรีโอโรยีของเต้าหู้ที่เตรียมโดยใช้ความร้อนเปรียบเทียบกับเต้าหู้ที่เตรียมจากน้ำนมถั่วเหลืองดิบแล้วใช้ความดันสูง (เต้าหู้ HP) พบว่า storage (G') และ loss (G") โมดูลัส และ loss tangent ของ เต้าหู้ HP ที่เติม GDL และแคลเซียมซัลเฟต มีค่ามากกว่าเต้าหู้Ht (loss tangent ของเต้าหู้ HP และ Ht มีค่า 0.26-0.29 และ 0.20-0.21 ตามลำดับ) แสดงว่าเต้าหู้ HP มีลักษณะยืดหยุ่นน้อยกว่าเต้าหู้ Ht อย่างไรก็ตามกราฟของ storage (G') และ loss (G") โมดูลัสของเต้าหู้ที่เตรียมโดยความดันสูง และที่เตรียมโดยความร้อนมีความสัมพันธ์กับความถี่คล้ายคลึงกันคือเป็น weak gel structure แม้ว่าความดันสูงจะผลิตเต้าหู้จากน้ำนมถั่วเหลืองดิบได้แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสจะต่างจากเต้าหู้ที่ผลิตจากความร้อนคือเต้าหู้ที่ผลิตโดยใช้ความดันสูงมีลักษณะน้ำแยกตัวออกและโครงสร้างหยาบ ในขณะที่เต้าหู้ที่เตรียมด้วยความร้อนมีโครงสร้างที่ละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นโดยได้จากรูปโดยโครงสร้างจุลภาพ การเพิ่มขั้นตอนการอัดขึ้นรูปในเต้าหู้ HP อาจช่วยแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างได้

การตรวจสอบทางรีโอโรยีของเต้าหู้ที่เตรียมโดยใช้ความร้อนเปรียบเทียบกับเต้าหู้ที่เตรียมจากน้ำนมถั่วเหลืองที่ผ่านความร้อนแล้วใช้ความดันสูง (เต้าหู้ htHP) พบว่า storage (G') และ loss (G") โมดูลัสของเต้าหู้ htHP ที่เติม GDL และแคลเซียมซัลเฟต มีค่ามากกว่าเต้าหู้ Ht แต่เต้าหู้ Ht ที่เตรียมจากแคลเซียมคลอไรด์มีค่า storage (G') และ loss modulus (G") ต่ำกว่าเต้าหู้ htHP อย่างไรก็ตามค่า loss tangent ของเต้าหู้ทั้งสองชนิดอยู่ในช่วงเดียวกันคือ 0.20-0.22 แสดงว่าเต้าหู้ทั้งสองชนิดมีโครงสร้างเชิงกลที่คล้ายคลึงกัน นอกจากนี้เต้าหู้ htHP มีน้ำแยกตัวออกน้อยกว่าเต้าหู้ HP

โครงสร้างจุลภาคของเต้าหู้ htHP คล้ายกับของเต้าหู้ Ht คือมีโครงสร้างสม่ำเสมอและมีช่องว่างเล็กๆ เต้าหู้ htHP ที่เตรียมจากการเติม GDL และแคลเซียมซัลเฟตมีเส้นใยโครงสร้างหนากว่าจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อยกว่าเต้าหู้ Ht เมื่อพิจารณาจากผลของสารตกตะกอนที่ใช้เตรียมเต้าหู้พบว่าเต้าหู้ที่เตรียมจากแคลเซียมคลอไรด์มีโครงสร้างที่เป็นตาข่ายใหญ่และหยาบและเนื้อสัมผัสไม่เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับสารตกตะกอนอีกสองชนิด

การตรวจสอบอิเลคโตรโฟลิแกรมของโปรตีนในเต้าหู้โดยวิธี native PAGE จากเต้าหู้ HP และเต้าหู้ Ht พบว่าความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพมากกว่าการใช้ความดันสูง อย่างไรก็ตามในเต้าหู้ htHP มีระดับการเสียสภาพของโปรตีนคล้ายกับในเต้าหู้ Ht การเสียสภาพของโปรตีนอาจเกิดจากการการสลายของพันธะไฮโดรโฟบิกซึ่งเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าไฮโดรโฟบิกที่ศึกษาในน้ำนมถั่วเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในด้านความปลอดภัยของอาหารซึ่งเป็นผลตกค้างจากสารต้านทริปซินในน้ำนมถั่วเหลือง ดิบพบว่าการให้ความร้อน 97-100 องศาเซลเซียส นาน 7 นาทีแก่น้ำนมถั่วเหลืองดิบมีผลยับยั้งสารต้านทริปซินได้มากกว่าร้อยละ 90 ส่วนความดันและความร้อนที่ใช้ในขั้นตอนต่อไปไม่ได้ทำให้สารต้านทริปซินลดลง ดังนั้นเต้าหู้ที่ผลิตในสภาวะที่ศึกษานี้จึงปลอดภัยต่อการบริโภค (ยกเว้นชุดทดลองที่ไม่ต้มน้ำนมถั่วเหลืองก่อนเติมสารตกตะกอน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved