บทที่ 4

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งยีสต์ขนมปัง SG1 ที่ได้จากการเลี้ยงโดยใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนให้เป็นผลิตภัณฑ์ยีสต์ผงโดยในขั้นตอนแรกได้ศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการนับจำนวนเซลล์ระหว่างวิธี plate count method กับวิธี Methylene blue technique ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร เพื่อจะได้เลือกใช้วิธีการนับจำนวนเซลล์ที่ถูกต้องรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายในการนำมาใช้วัดคุณภาพของยีสต์ขนมปัง จากผลการทดลอง เมื่อนำตัวอย่างสารแขวนลอยยีสต์ที่ผ่านขั้นตอนตามวิธีการในข้อ 2.3 มานับจำนวนเซลล์ด้วยวิธีการทั้งสองพบว่า จำนวนเซลล์ที่ได้จากการนับทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันอย่างดียิ่งเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์แบบการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพัทธ์ (Correlation Coefficient) 0.9790 จากผลการทดลองดังกล่าวจึงเลือกใช้วิธี Methylene blue technique เป็นวิธีการในการนับจำนวนเซลล์รอดชีวิต ของยีสต์ขนมปัง SG1 เพราะเป็นวิธีการที่สะดวกรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายกว่า วิธี Plate count method ซึ่งในงานวิจัยนี้ ในส่วนที่แสดงค่าร้อยละการรอดชีวิตทั้งหมดได้มาจากการนับจำนวนเซลล์ด้วยวิธีนี้

ในกระบวนการอบแห้งยีสต์ขนมปัง โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ การเลี้ยงยีสต์ขนมปังเพื่อให้ได้ยีสต์ขนมปังสด การเก็บเกี่ยวเซลล์ยีสต์ การเติมสารเติมแต่งลงในยีสต์ขนมปังสดก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง การขึ้นรูป การอบแห้ง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Grylls, Rennie, and Kelly, 1978) ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเลี้ยงยีสต์ Saccharomyces cerevisiae สายพันธุ์ SG1 เพื่อให้ได้เป็นยีสต์ขนมปังสด ในการนำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการอบแห้ง โดยจากขั้นตอนนี้ เมื่อผ่านกระบวนการเก็บเกี่ยวเซลล์แล้วมีความจำเป็นต้องเก็บยีสต์ขนมปังสดไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาหนึ่งเนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านอุปกรณ์ที่ไม่สามารถดำเนินงานวิจัยอย่างต่อเนื่องได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบระยะเวลาในการเก็บยีสต์ขนมปังสดเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 1 วัน และ 3 สัปดาห์ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเก็บยีสต์ขนมปังสดไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาทำการอบแห้งจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งนานขึ้น คือใช้เวลา 7.97 นาที ในขณะที่ยีสต์ขนมปังสดที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 วัน ก่อนนำมาอบแห้งจะใช้เวลาเพียง 5.16 นาที่ เมื่อกำหนดให้ยีสต์ขนมปังอบแห้งมีความชื้น 6 เปอร์เซ็นต์ และใช้ภาวะในการอบแห้งเดียวกัน จากผลการทดลองดังกล่าว อาจจะอธิบายได้ว่า ยีสต์ขนมปัง

SG1สดที่เก็บไว้นานกว่าจะเริ่มเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากออโตไลซิส(autolysis)ซึ่งจะเห็นได้จากร้อยละการรอดชีวิตที่ลดลงเมื่อเก็บยีสต์ขนมปังสดไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนานขึ้นโดยเอนไซม์ของยีสต์จะส่งผลให้ผนังเซลล์แตกออกทำให้ของเหลวภายในเซลล์ เช่น โปรโตพลาสซึม ไขมัน โปรตีน และสารเกลือแร่ ออกมาภายนอกเซลล์ (Deniel, 1973) ทำให้การอบแห้งเป็นไปได้ยากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับ ยีสต์ขนมปังสด SG1ที่มีอายุการเก็บเพียง 1 วัน เมื่อเปรียบเทียบร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ขนมปัง SG1 ทั้งสองชนิดที่ผ่านการอบแห้งแล้วพบว่า ยีสต์ขนมปังที่มีอายุการเก็บ 1 วันก่อนนำมาผ่านกระบวนการอบแห้งมีร้อยละการรอดชีวิต 32.07 ในขณะที่ยีสต์ขนมปัง SG1 ที่มีอายุการเก็บ 3 สัปดาห์ มีร้อยละการรอดชีวิต 29.45 ซึ่งน้อยกว่ายีสต์ขนมปัง SG1 ที่มีอายุการเก็บ 1 วัน จากผลดังกล่าวทำให้ทราบว่าระยะเวลาการเก็บยีสต์สดก่อนนำมาผ่านกระบวนการอบแห้งมีผลต่อร้อยละการรอดชีวิต เนื่องจากเมื่อเก็บเซลล์ยีสต์ให้มีอายุยาวนานขึ้นจะส่งผลให้ยีสต์มีความคงทนน้อยลง จากผลการทดลองดังกล่าว ทำให้สามารถกล่าวได้ว่า เพื่อที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ ยีสต์ผงที่มีคุณภาพดี ปัจจัยข้อหนึ่งที่มีผล คือ ความสดของวัตถุดิบ ซึ่งก็คือยีสต์ขนมปังสดนั่นเอง

ในกระบวนการอบแห้งยีสต์ขนมปัง ในขั้นตอนการเตรียมยีสต์สดก่อนนำมาเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งซึ่งได้มีผู้ศึกษาไว้มากมาย โดยได้มีการเตรียมยีสต์สดโดยใช้สารเติมแต่งหลายชนิดเพื่อเพิ่มคุณภาพของยีสต์ขนมปังอบแห้ง โดยในการทดลองนี้ ได้สนใจสารเติมแต่ง 3 ชนิด คือ น้ำตาลซูโครส คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส และซอร์บิแทนโมโนโอลีเอท อันเนื่องมาจากสารเติมแต่งแต่ละชนิดดังกล่าว ส่งผลดีต่อการอบแห้งยีสต์ขนมปัง ในแต่ละด้าน คือ น้ำตาลซูโครสมีสมบัติช่วยในการปกป้องเซลล์ยีสต์ และยังช่วยเร่งการผ่านน้ำออกจากเซลล์ด้วย (Klein, 1922) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของน้ำตาลซูโครสที่จะนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในการอบแห้งยีสต์ขนมปัง โดยใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครส 3 ระดับ คือ 0 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อสังเกตผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยีสต์ขนมปัง SG1 โดยกำหนดให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้าย 6 เปอร์เซนต์เท่ากัน พบว่า เมื่อใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มสูงขึ้นจะใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นด้วย จากผลดังกล่าวอาจอธิบายได้ว่า เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสลงในยีสต์ขนมปังสด น้ำอิสระของยีสต์ขนมปังสดจะละลายกับน้ำตาลซูโครสได้ดี ทำให้เกิดเป็นสารละลายน้ำตาลอยู่ในของผสม ซึ่งเมื่อเติมน้ำตาลซูโครสในปริมาณมากขึ้น จะมีสารละลายน้ำตาลซูโครสอยู่ในยีสต์ขนมปังสดมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เมื่อนำมาทำการอบแห้ง จึงใช้ระยะเวลายาวนานขึ้น สำหรับผลของน้ำตาลซูโครสต่อร้อยละการรอดชีวิต พบว่าที่ปริมาณน้ำตาลซูโครส 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้ยีสต์ขนมปัง SG1 อบแห้งมีร้อยละการรอดชีวิตสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลซูโครส 5 และ 0 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนักตามลำดับ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า น้ำตาลซูโครสช่วยให้เพิ่มร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ขนมปังอบแห้ง อันเนื่องมาจากสมบัติในการป้องกันเซลล์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น สารเติมแต่งชนิดต่อมาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส ซึ่งจัดเป็น swelling agent ซึ่งสามารถควบคุมระดับการทำแห้งของยีสต์ในขั้นตอนการทำแห้งได้ รวมทั้งจะป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ที่เนื่องมาจากการทำแห้ง (Aizawa et al., 1968) ซึ่งจะทำให้เพิ่มร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ขนมปังอบแห้งได้ โดยในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาปริมาณของคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสที่ 0 5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อสังเกตเวลาที่ใช้ในการอบแห้งยีสต์ขนมปัง SG1 พบว่า ยิ่งใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลสในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้เวลาในการอบแห้งมากขึ้นด้วย สำหรับในส่วนของร้อยละการรอดชีวิต ยีสต์ขนมปัง SG1ที่ใช้คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นสารเติมแต่ง จะทำให้ร้อยละการรอดชีวิตสูงกว่าที่ระดับปริมาณ 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยมีร้อยละการรอดชีวิต 41.76 สำหรับสารเติมแต่งอีกชนิดหนึ่งที่งานวิจัยนี้สนใจ คือ ซอร์บิแทนโมโนโอลีเอท ซึ่งจัดเป็นสารประเภท wetting agent และสามารถทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ที่มีสมบัติในการก่อรูปฟิล์ม ซึ่งเหมาะสมสำหรับการป้องกันเซลล์ยีสต์ระหว่างการทำแห้ง โดยได้ศึกษาผลของสารเติมแต่งชนิดนี้ต่อเวลาในการอบแห้งและร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ขนมปัง SG1 พบว่าเมื่อใช้ซอร์บิแทนโมโนโอลีเอทในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง ในขณะที่ส่งผลต่อร้อยละการรอดชีวตในทางตรงข้าม คือมากขึ้น จากนั้นทำการศึกษาผลของสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดร่วมกัน โดยแต่ละชนิดจะใช้ในปริมาณที่ส่งผลดีต่อร้อยละการรอดชีวิตมากที่สุด จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่า ซอร์บิแทนโมโนโอลีเอท 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลงมากที่สุด ในขณะที่ปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละการรอดชีวิตมากที่สุด คือ คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และการใช้สารเติมแต่งทั้งสามชนิดร่วมกันมีผลต่อร้อยละการรอดชีวิตในระดับรองลงมา

ในส่วนของการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งยีสต์ขนมปังในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ขึ้นรูปยีสต์ขึ้นต่อระยะเวลาในการอบแห้งและร้อยละการะอดชีวิตของยีสต์ขนมปัง SG1 โดยได้ทำการศึกษาเส้นโค้งของการอบแห้ง (drying curve) ของภาวะการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละอุณหภูมิ จะขึ้นรูปยีสต์ขนมปัง SG1 ขึ้นให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 0.6 และ 1.0 มิลลิเมตร จากเส้นโค้งของการอบแห้งในทุกกรณีเป็นไปตามรูปแบบทั่วไปของการอบแห้งคือประกอบด้วย ระยะอัตราคงที่(the constant rate period) และระยะอัตราลดลง (the falling rate period) โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะใช้

เวลาในการอบแห้งสั้นลงและในทำนองเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ขนมปัง SG1 ลดลงด้วย

ในส่วนของการศึกษา adsorption isotherm ของยีสต์ขนมปังอบแห้ง เพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับภาวะในการเก็บผลิตภัณฑ์นั้น พบว่า เส้นโค้งซอร์ฟชัน ไอโซเทอม ของยีสต์ขนมปัง SG1 อบแห้ง ที่ใช้สารเติมแต่งต่างๆในทุกกรณี มีลักษณะ S-shape หรือ sigmoid curve ซึ่งเป็นรูปแบบทั่วไปของเส้นโค้งไอโซเทอมและจากเส้นโค้งไอโซเทอม ทำให้สามารถบอกได้ว่ายีสต์ขนมปัง SG1 อบแห้งเป็นพวกที่มีความไวต่อความชื้น (Hygroscopic) เนื่องจากไม่มีความคงตัวเมื่ออยู่ในสภาพบรรยากาศห้องซึ่งมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และจากค่า monolayer warter ที่คำนวณได้จากกราฟ BET ทำให้สามารถบอกปริมาณน้ำที่คงตัวมากที่สุดของยีสต์ขนมปัง SG1 ที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้สารเติมแต่งต่างๆ ได้ โดยยีสต์ขนมปัง SG1 จะมีค่า monolayer water อยู่ที่ระหว่าง 2.73 - 5.68 กรัมน้ำต่อกรัมยีสต์(น้ำหนักแห้ง)โดยสารเติมแต่งจะไม่ส่งผลต่อค่า monolayer water อย่างมีนัยสำคัญ และจากเส้น โค้งไอโซเทอมเมื่อนำมาประมาณค่า Aw ของยีสต์ขนมปัง SG1 อบแห้ง จะได้ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง ประมาณ 0.1 - 0.2 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่ เกิดจากเอนไซม์ และอาจจะเกิดการออกซิเดชันได้ (Hall, 1980) จึงจำเป็นต้องเก็บผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีที่สามารถลดการเกิดออกซิเดชันได้ และเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงร้อยละความชื้นและร้อยละการรอดชีวิตเมื่อเก็บรักษายีสต์ขนมปังอบแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ 3 วิธี คือเก็บไว้ให้สัมผัสกับบรรยากาศรอบ ๆ เก็บไว้ในถุงสูญญากาศ และเก็บไว้ในถุงที่เต็มไปด้วยบรรยากาศไนโตรเจนจากนั้นนำถุงบรรจุดังกล่าวไปเก็บไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ ต่างกัน 3 ระดับ คือ 33 52 และ 71 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่า ในการเก็บยีสต์ขนมปังอบแห้งให้สัมผัสกับบรรยากาศรอบ ๆ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศสูงขึ้นจะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และในทางตรงกันข้ามจะทำให้ร้อยละการรอดชีวิตลดลงอย่างรวดเร็วด้วย สำหรับการเก็บยีสต์ขนมปังอบแห้งในถุงสูญญากาศจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 60 วัน ในส่วนของร้อยละการรอดชีวิตพบว่ามีการลดลงอย่างต่อเนื่องโดยพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือนร้อยละการรอดชีวิตลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการเก็บยีสต์ขนมปังอบแห้งในถุงที่เต็มไปด้วยบรรยากาศไนโตรเจนพบว่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงและร้อยละการรอดชีวิตมีการลดลงอย่างต่อเนื่องคือประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 1 เดือน

เนื่องจากวิธีการอบแห้งที่ผ่านมายังไม่สามารถทำให้ร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ขนมปังอบแห้งที่ได้เทียบเท่ากับร้อยละการรอดชีวิตของยีสต์ขนมปังจากทางการค้าซึ่งมีร้อยละการรอดชีวิต 68.94 เปอร์เซ็นต์ จึงมีแนวคิดว่าสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการตายของยีสต์ระหว่างกระบวนการ

อบแห้งคือการเกิดออกซิเดชันในช่วงสุดท้ายของการทำแห้งดังนั้นจึงทำการอบแห้งโดยให้ช่วงสุดท้ายอยู่ภายใต้ภาวะสูญญากาศและเก็บภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเพื่อกำจัดออกซิเจนซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันผลการทดลองพบว่าวิธีการดังกล่าวทำให้ยีสต์ขนมปังอบแห้งมีร้อยละการรอดชีวิต 66.45 เปอร์เซ็นต์ และมีร้อยละความชื้น 4.24 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีร้อยละการรอดชีวิตเพิ่มมากขึ้นจากกการอบแห้งโดยใช้กระบวนการในช่วงแรก

ข้อเสนอแนะ

4.1 การที่สามารถทำให้กระบวนการเลี้ยงยีสต์ขนมปังกับกระบวนการการอบแห้ง และขั้นตอนการเก็บผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น

4.2 ควรมีการใช้สารเติมแต่งเพิ่มเติมเพื่อช่วยในการกระจายตัวของยีสต์ในแป้ง