บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ความชื้นในเศษหนังตัวอย่างเป็นปัจจัยสำคัญในการแปรผันปริมาณการใช้เกลืออัลคาไลน์-เอิร์ท และปริมาณการใช้เอนไซม์ โดยเศษหนังที่เพิ่งออกจากเครื่องขูดบางใหม่ๆ จะมีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 50 และความชื้นจะลดลงเมื่อทิ้งในไว้ในอากาศ (open air) ดังนั้นควรเก็บเศษหนังไว้ในภาชนะปิดที่สามารถรักษาความชื้นไว้ได้ เช่นกล่องพลาสติก แล้วเก็บไว้ในตู้เย็น แต่ไม่ควรเก็บเศษหนังโดยการอบแห้ง เพราะจะทำให้ต้องเสียเวลาแช่เศษหนัง และต้องเพิ่มเวลาในการย่อยเศษหนังในสารละลายด่าง เศษหนังที่ใช้ในการวิจัยนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 25-32 และมี pH อยู่ในช่วง 3.58-3.67

เศษหนังที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็น chrome shavings ที่มีลักษณะเป็นแถบยาว มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวที่จะทำปฏิกิริยากับสารเคมี และเอนไซม์ต่างกัน ดังนั้นจึงต้องลดความแปรปรวนนี้ โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยการตัดและบดสับเศษหนังให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดเท่าๆ กัน ก่อนนำมาใช้ แต่สำหรับ chrome shavings ที่มีลักษณะเหมือนมะพร้าวขูด เป็นเม็ดเล็กๆ หรือ เศษหนังที่ได้จากขั้นตอนการขัดหนัง (buffing dust) จะไม่ต้องผ่านการบดสับ

ความแปรปรวนของปริมาณ chrome cake หรือความสามารถในการละลายของโปรตีนในเศษหนังส่วนหนึ่งมาจากขนาดของเศษหนัง แม้ว่าจะมีการบดสับตัวอย่างแล้วก็ตาม นอกจากนี้ความแปรปรวนอาจมาจากอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการย่อยสลายด้วยด่าง เนื่องจากในการทดลองนั้นจะใช้อุณหภูมิ 71 °C เป็นเวลา 90 นาที แต่อุณหภูมิเริ่มต้น (T_0) ของเครื่องเขย่าที่ใช้ในแต่ครั้งไม่เท่ากัน โดยจะเริ่มจับเวลา(T_1) เมื่ออุณหภูมิของเครื่องเขย่าเท่ากับ 71 °C ดังนั้นช่วงเวลาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก T_0 ไป T_1 จะไม่เท่ากัน ซึ่งอาจทำให้ระดับการ denature ของคอลลาเจนในสารละลายด่างต่างกัน

เหตุผลในการเลือกใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในการปรับ pH ของของผสม เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถปรับ pH ได้ในช่วงกว้าง โดย pH จะแปรผันตามปริมาณการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในขณะที่แมกนีเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถปรับ pH ได้อย่างจำกัด ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของสาร โดยแมกนีเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ จะสามารถปรับ pH ได้สูงสุดประมาณ pH 9.5 แต่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถปรับ pH 10.5 ได้ และการที่ไม่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยปรับ pH เพราะผลการวิจัยของ Taylor และคณะ (1994) แสดงให้เห็นว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แม้จะทำให้การย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้น แต่กลับทำให้ผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้มีปริมาณเถ้าสูง และมีโครเมียมอยู่ในโปรตีนไฮโดรไลเสตในปริมาณสูงขึ้น นอกจากนี้อะตอมของแคลเซียมยังเป็น cofactor ของเอนไซม์ และจะทำให้เอนไซม์เสถียรยิ่งขึ้น (เกษม, 2536) ในการใช้เกลืออัลคาไลน์-เอิร์ทต่างชนิดกัน จะทำให้ได้เกลือซัลเฟตต่างชนิดกันเกิดขึ้น ดังสมการต่อไปนี้

$$Cr_2(SO_4)_3 + 3\,Ca(OH)_2 \longrightarrow 3\,CaSO_4 + 2\,Cr(OH)_3$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 3\,Mg(OH)_2 \longrightarrow 3\,MgSO_4 + 2\,Cr(OH)_3$$

ซึ่งเกลือแต่ละชนิดจะมีค่าการละลาย(solubility) ต่างกัน เกลือแคลเซียมซัลเฟต มีค่าการละลาย 0.21 กรัมต่อน้ำ100 กรัม ที่อุณหภูมิ 20 °C ในขณะที่ แมกนีเซียมซัลเฟต มีค่าการละลาย 33 กรัมต่อน้ำ100 กรัม ดังนั้นเป็นไปได้ว่าการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์น่าจะทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีปริมาณเถ้าอยู่น้อยกว่า ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่า

ปฏิกิริยาการย่อยสลายเศษหนัง ในสภาวะที่ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในการละลายโปรตีนและการปรับ pH จะสามารถย่อยได้ดีกว่า การใช้ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ แมกนีเซียมออกไซด์ เปรียบเทียบ ปริมาณ chrome cake จะเหลือน้อยที่สุดเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ผลการทดลอง ข้อ 5.4.3)

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีราคาถูกกว่าแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และ แมกนีเซียมออกไซด์ รวมทั้งในกระบวนการฟอกหนังมีการใช้น้ำปูนขาวอยู่แล้ว ดังนั้นการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์จะไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับโรงงานฟอกหนังอีก หากโรงงานขนาดเล็กจะทำการบำบัดเศษหนังเองก็สามารถทำได้

นอกจากนี้แคลเซียมยังเป็นธาตุอาหารหลักสำหรับสัตว์ ความต้องการแร่ธาตุของสัตว์แบ่งตามปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในร่างกายสัตว์ สัตว์ทั่วไปจะมีแคลเซียมประมาณร้อยละ 1.5 ขณะที่แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรอง และร่างกายสัตว์ต้องการแมกนีเซียมในปริมาณน้อยประมาณร้อยละ0.04 โดยแคลเซียม แมกนีเซียมในร่างกายสัตว์เป็นองค์ประกอบอยู่ในกระดูก และของเหลวในร่างกาย เช่น ในพลาสมาจะมีแคลเซียมอยู่ประมาณ 8-12 มิลลิกรัม ต่อพลาสมา 100 มิลลิลิตร ส่วนแมกนีเซียมจะอยู่ในซีรัม (blood serum) 1.7- 4.0 มิลลิกรัม ต่อซีรัม 100 มิลลิลิตร (พันทิพา, 2535)

อัลคาไลน์โปรติเอส ที่ผลิตโดย *B.subtilis* TISTR 25 เป็นเอนไซม์ที่มีช่วงการทำงานใน pH ที่เป็นด่าง สามารถย่อยสลายโปรตีนในหนังสัตว์ และเนื่องจากคุณสมบัติของโปรตีนที่สามารถละลายได้ดีในสารละลายด่าง แต่โครเมียมจะละลายได้ที่ pH ต่ำ ๆ หรือในสารละลายกรด แต่จะไม่ละลายหรือละลายได้น้อยที่ pH ที่เป็นด่าง ประมาณ pH 8.5 โดยอัลคาไลน์โปรติเอสจะสามารถย่อยเศษหนังและละลายโปรตีน ในขณะเดียวกันโครเมียมจากเศษหนัง จะตกตะกอนในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ได้ตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($Cr(OH)_3$) ซึ่งจะไม่สามารถละลายกลับมาสู่สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตได้อีก

กลไกการย่อยสลายเศษหนังด้วยอัลคาไลน์โปรติเอสจะเกิดการตัดสายโพลีเปปไทด์ ที่พันธะเปปไทด์ และจะทำให้เกิดปลาย N (N-terminal residue) ของหมู่อะมิโน และปลาย C (C-terminal residue) ของหมู่คาร์บอกซิลิกที่เป็นอิสระปริมาณมากขึ้น เมื่อระดับการถูกย่อยเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ pH ของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตลดลง นอกจากนั้นจะพิจารณาปริมาณเศษหนังที่ไม่ถูกย่อย ในการบอกระดับ

การเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเศษหนังโดยเอนไซม์ ถ้า chrome cake เหลือน้อย แสดงว่าเอนไซม์สามารถย่อยเศษหนังได้มาก หรือมีค่าความสามารถในการละลายของเศษหนังสูง และจากการทดลองพบว่า pH ของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้ จะมีค่าลดลง เมื่อใช้เวลาในการย่อยมากขึ้น (ผลการทดลอง ข้อ 5.4.4)

สารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยสลายเศษหนังด้วยอัลคาไลน์โปรติเอส มีปริมาณของแข็งทั้งหมด อยู่ในช่วง 27,000 – 33,520 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Taylor และคณะ (1992) ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยเฉลี่ย 72,000 ppm อาจทำให้เข้าใจว่าประสิทธิภาพการย่อยต่างกันมาก แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณการใช้น้ำ พบว่างานวิจัยของ Taylor มีการใช้น้ำเพียง 500-1,000 % แต่งานวิจัยนี้มีการใช้น้ำมากถึง 2,000 % เนื่องจากเศษหนังที่ใช้ได้ผ่านขั้นตอนการบดสับทำให้เศษหนังมีลักษณะฟู เบา และดูดซับน้ำได้ดี หากใช้น้ำปริมาณน้อยจะไปจำกัดการละลายของเกลืออัลคาไลน์-เอิร์ท และเอนไซม์ที่ใช้ แต่อย่างไรก็ตาม สามารถแก้ปัญหาได้โดยการเตรียมเกลืออัลคาไลน์-เอิร์ท ให้เป็น stock ของสารละลายต่าง หรือการเตรียมเป็นสารละลายของเอนไซม์ แล้วเติมในเศษหนังที่แช่น้ำเตรียมไว้แล้ว การใช้ปริมาตรน้ำมาก ทำให้ต้องใช้เวลา และพลังงานในการทำให้โปรตีนเป็นผงแห้งมากยิ่งขึ้น

ปริมาณ chrome cake แสดงถึงปริมาณเศษหนังที่ไม่ถูกย่อย และปริมาณตะกอนโครเมียมที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนร่วม (co-precipitation) ระหว่างโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($Cr(OH)_3$) กับแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ประสิทธิภาพการตกตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ การเลือกชนิดด่าง, สภาวะการตกตะกอน, ระดับ pH , รวมทั้งวิธีการกรอง และขั้นตอนการล้างตะกอน

การนำโครเมียมจาก chrome cake กลับมาใช้ประโยชน์ (recycle) จะเป็นการช่วยลดปริมาณการนำเข้าโครเมียม และลดความเสี่ยงที่จะได้รับโครเมียม อันเนื่องจากการปนเปื้อนของโครเมียมในสภาพแวดล้อม มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการนำโครเมียมจากเศษหนังกลับมาใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะโดยการเผา การออกซิไดซ์ หรือ วิธีการอื่นๆ ดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 เนื่องจาก chrome cake มีปริมาณโครมิกออกไซด์สูงถึงร้อยละ 17.63 โดยน้ำหนักแห้งของตะกอน chrome cake เมื่อนำ chrome cake มาละลายด้วยกรดซัลฟุริกเจือจาง 5 เท่า ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตามวิธีของ Zhuang (1992) สารละลายโครเมียมซัลเฟตที่ได้สามารถนำไปใช้ในการดองกรด (pickling)หรือใช้ในการฟอกหนัง (tanning)ได้ โครเมียมที่นำกลับมาใช้จะสามารถทดแทนการใช้ ไบโครเมต ทั้งนี้ขึ้นกับสัดส่วนโดยโมลของกรดซัลฟุริกที่ใช้ และการปรับระดับความเป็นด่าง (basicity) โดยการเติมด่าง โดยปกติโครเมียมซัลเฟตที่เหมาะสมที่ใช้เป็นสารฟอกที่เรียก "Basic chromium sulfate" จะมี basicity ประมาณ 33 % ดังสมการที่ (2) (Hauck,1972 และ Sharphouse,1989)

สมการการละลายตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ด้วยกรดซัลฟุริก แสดงได้ดังนี้

$$8\,Cr(OH)_3 + 12\,H_2SO_4 \longleftrightarrow Cr_8(SO_4)_{12} + 24\,H_2O \qquad (1)$$

$$8\ Cr(OH)_3 + 8\ H_2SO_4 \longleftrightarrow Cr_8(OH)_8(SO_4)_8 + 16\ H_2O \qquad (2)$$

สารละลายโครเมียมซัลเฟตที่ได้มีฤทธิ์เป็นกรด สามารถตกตะกอนออกมาในรูปเกลือโครเมียมซัลเฟต โดยการทำให้เป็นกลางด้วยการเติมด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือแมกนีเซียมออกไซด์ ในการละลายตะกอน Chrome cake จะมีตะกอนสีขาวของแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ซึ่งไม่ละลายในกรด เป็นตะกอนหนักตกตะกอนอยู่ก้นหลอด สามารถแยกออกแล้วนำไปใช้ในการผลิตยิปซั่มได้ ส่วนตะกอนโปรตีนที่เหลือหลังจากละลาย chrome cake ด้วยกรดซัลฟุริกแล้ว ซึ่งเป็นตะกอนเบาแขวนลอยอยู่ในสารละลายโครเมียมซัลเฟต สามารถแยกออกโดยการรินส่วนสารละลายแล้วนำไปกรองหรือเหวี่ยงตกตะกอนที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที สามารถจะนำไปเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับไม้ดอก ไม้ประดับได้ (Zhuang,1992)

การล้างตะกอนจะสามารถลดปริมาณโปรตีนในตะกอน chrome cake ได้ (ผลการทดลองข้อ 5.4.6) ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปริมาณโปรตีนในสารละลายโครเมียมซัลเฟตที่ได้จากการละลายตะกอนโครเมียมไฮดรอกไซด์ด้วยกรดซัลฟุริก และจะทำให้สารละลายโครเมียมซัลเฟตที่จะนำกลับไปใช้ มีคุณภาพดีขึ้น

โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยสลายเศษหนัง ด้วยอัลคาไน์โปรติเอส 1 % จะได้ผลผลิตโปรตีนผงโดยเฉลี่ย 60.9 % มีปริมาณไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ย 12.45 % ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนในเศษหนังเริ่มต้น มีปริมาณโปรตีนในช่วง 75-85 % สูงกว่าโปรตีนจากพืชทุกชนิด และสูงกว่าโปรตีนจากปลาป่น (55-66%) เนื้อและกระดูกป่น (55-60%) (ทวี, 2527) อาหารโปรตีนที่ได้จากการย่อยสลายเศษหนังไม่เพียงแต่มีปริมาณโปรตีนสูง แต่ยังมีกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของคอลลาเจน ชนิด I อย่างครบถ้วน และเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับสัตว์อยู่ถึง 9 ชนิด คือ ฮิสติดีน ลูซีน ไอโซลูซีน อาร์จินีน ไลซีน เมทไธโอนีน ทรีโอนีน เฟนิลอะลานีน และ เวลีน เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Taylor (1992) ขาดเพียงทริปโตเฟน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดที่ไม่มีอยู่ในคอลลาเจน แต่สามารถทดแทนทริปโตเฟนได้ โดยการผสมกากเมล็ดฝ้ายในสูตรอาหารสัตว์ เนื่องจากกากเมล็ดฝ้ายมีทริปโตเฟน ในปริมาณสูง ผลการทดลองข้อ 5.7 ไม่รายงานผลปริมาณฮิสติดีน เนื่องจากฮิสติดีนจะถูกทำลายในขั้นตอนการทำ performic oxidation

โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีปริมาณไขมัน โดยเฉลี่ยร้อยละ 1.34 แม้ว่าจะมีปริมาณค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันในกากถั่วเหลือง (3.0-4.8%) แต่สามารถทดแทนไขมันโดยผสมกับวัตถุดิบอาหารสัตว์จากพืชที่มีไขมันสูงได้ เช่น ผสมกับกากถั่วเหลือง กากถั่วลิสง หรือ รำ แต่โดยปกติในการคำนวณสูตรอาหารสัตว์นั้นจะไม่เสริมไขมันเกิน 5 % สำหรับสัตว์กระเพาะเดี่ยว หรือไม่เกิน 2-3 % สำหรับสัตว์กระเพาะรวม การมีไขมันในอาหารมาก จะทำให้อาหารหืนเร็ว (จารุรัตน์,2533) ถ้าเสริมไขมัน

เกิน 5 % จะทำให้การย่อยได้ของเซลลูโลสลดลง และทำให้สัตว์กินอาหารลดลงด้วย (ศรีสกุล และ รณชัย, 2539)

ปริมาณเถ้าในโปรตีนไฮโดรไลเสตมีค่าประมาณร้อยละ 22 แสดงถึงปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในเศษหนังเริ่มต้นที่มีปริมาณเถ้าร้อยละ 17.8 และสารเคมีที่ใช้ในการย่อยสลายเศษหนัง มีปริมาณแคลเซียมร้อยละ 0.44 และมีปริมาณโครเมียมอยู่เพียงร้อยละ 0.0013 หรือ 13 ppm ซึ่งต่ำกว่าระดับสูงสุดของแร่ธาตุพิษ (Toxic minerals) ในอาหารที่สัตว์เลี้ยงต้านทานได้ คือ ระดับความต้านทานโครเมียมคลอไรด์ 1,000 ppm และ โครเมียมออกไซด์ 3,000 ppm (พันทิพา,2535)

การประเมินคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ ที่จะนำมาเป็นแหล่งโปรตีนนอกจากพิจารณาจากปริมาณโปรตีนแล้ว ยังจะต้องพิจารณาถึงกรดอะมิโนเป็นหลัก เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน และการให้พลังงานแก่สัตว์เป็นอันดับรองลงมา เพราะการที่สัตว์จะเจริญเติบโตให้เนื้อ(อัตราการแลกเนื้อ)อย่างเหมาะสม จะต้องมีจำนวนกรดอะมิโนที่จำเป็นที่เพียงพอ คุณภาพโปรตีนก็เป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีการเกาะตัวของกรดอะมิโน หรือเป็นโปรตีนที่ย่อยสลายให้เป็นกรดอะมิโนเล็กๆ ได้ยาก ทำให้สัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ (ทวี, 2527) แต่โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยสลายเศษหนังด้วยโปรติเอส เป็นโปรตีนโมเลกุลเล็ก ในงานวิจัยของ Taylor(1992)กล่าวว่า มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1,000-3,000 ดาลตัน จึงน่าจะมีความเหมาะสมในการนำไปเป็นอาหารสัตว์ หรือเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ได้

สรุปผลการทดลอง

1. อัลคาไลน์โปรติเอสที่ผลิตได้โดยเชื้อ *B. subtilis* TISTR 25 และตกตะกอนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต 70 % แล้วทำ dialyzed กำจัดเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตบางส่วน เมื่อนำไปทำให้เป็นผงโดยวิธี lyophilization จะได้เอนไซม์อัลคาไลน์โปรติเอสผง 10.3 กรัมต่อน้ำหมัก 3 ลิตร มีแอคติวิตีจำเพาะ 432.68 ยูนิตต่อมิลลิกรัมโปรตีน เปอร์เซนต์ผลผลิตที่ได้เท่ากับ 69.37 % มีความบริสุทธิ์กว่า crude enzyme 2.29 เท่า
2. ชนิดและปริมาณเกลืออัลคาไลน์-เอิร์ท ที่เหมาะสมในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเศษหนัง เพื่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ คือการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 6.5 % โดยน้ำหนักของเศษหนัง ที่มีความชื้น 25-32 % ในการปรับ pH เป็น 10.5
3. เวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายเศษหนังด้วยอัลคาไลน์โปรติเอส 2% คือน้อยกว่า3 ชั่วโมง ภายหลังการปรับ pH ของของผสมให้มี pH 10.5 ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์
4. สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเศษหนังด้วยอัลคาไลน์โปรติเอส คือการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในการปรับ pH เป็น 10.5 และที่อุณหภูมิ 45 °C ปริมาณอัลคาไลน์โปรติเอสที่ใช้ น้อยกว่า 1.0 % หรือปริมาณการใช้ในช่วง 0.2 - 1.0 % ที่ระดับการใช้อัลคาไลน์โปรติเอส 1.0 % จะทำให้เศษหนังละลายได้โดยเฉลี่ย 78.8 %
5. การล้างตะกอน chrome cake ด้วยน้ำกลั่น สามารถลดปริมาณโปรตีนในตะกอน chrome cake ได้
6. เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของโปรตีนไฮโดรไลเสตผงแห้งที่ได้เท่ากับ 60.9 % ซึ่งประกอบไปด้วยไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) 12.45 % ปริมาณไขมัน 1.34 % ปริมาณเถ้า 22.1 % ปริมาณแคลเซียม 0.44 % และปริมาณโครเมียม 0.0013 %
7. ปริมาณ chrome cake ที่เหลือจากการย่อยสลายด้วยอัลคาไลน์โปรติเอสเฉลี่ยประมาณ 21.27 % ปริมาณเถ้า 42.16 % ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 7.10 % ปริมาณไขมัน 1.14 % ปริมาณโครมิกออกไซด์ 17.63 % และ ปริมาณแคลเซียม 4.37 %
8. สามารถสกัดโครเมียมออกจาก chrome cake ด้วยกรดซัลฟุริกเจือจาง 5 เท่า หรือ H_2SO_4 : H_2O (1:4) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการนำ crude enzyme มาใช้ในการย่อยสลายเศษหนัง เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตเอนไซม์ โดยจะสามารถตัดค่าใช้จ่ายของแอมโมเนียมซัลเฟต และลดความต้องการใช้พลังงาน
2. การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรืออาจใช้แคลเซียมออกไซด์ ควรเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้สะดวกในการเติมด่าง และแก้ปัญหาการไม่ละลายของแคลเซียมออกไซด์ เมื่อใช้น้ำปริมาตรน้อยลง จะทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตมีค่าสูงขึ้น
3. ศึกษาการนำสารละลายโครเมียมซัลเฟต กลับไปใช้ในการกระบวนการฟอกหนัง รวมทั้งการตกตะกอนของเกลือโครเมียมซัลเฟตในรูป Basic chromium sulfate ด้วยด่าง
4. ศึกษาการนำผลิตภัณฑ์โปรตีนไปทดสอบการให้อาหารสัตว์ โดยพิจารณาในแง่ที่ใช้เป็นหัวอาหาร และการคำนวณสูตรอาหารสัตว์ที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาการย่อยได้ของสัตว์ที่ได้รับอาหารโปรตีน
5. ศึกษาการนำกากตะกอนโปรตีนที่ได้จากการละลายตะกอน chrome cake ไปใช้เป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับพืช เช่น พืชในกลุ่มไม้ดอก ไม้ประดับ
6. ศึกษาการนำตะกอนแคลเซียมซัลเฟตไปใช้ในการผลิตยิปซั่ม