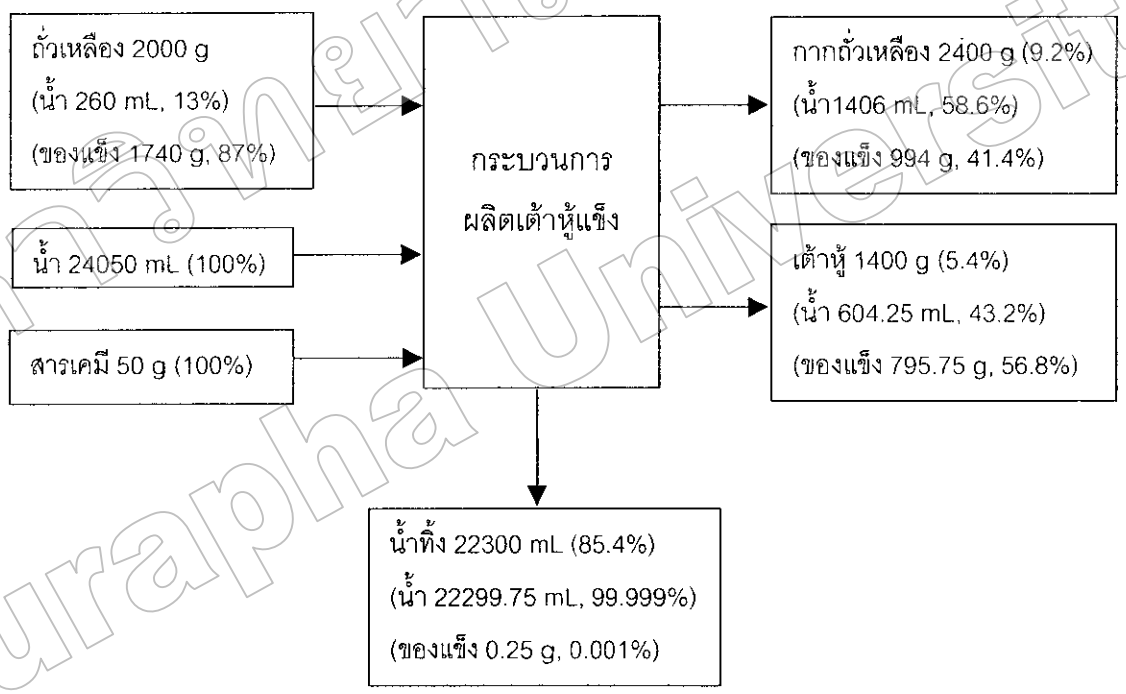
บทที่ 5
อภิปรายผลและสรุป

อภิปรายผล

1. สมดุลมวลสารของกระบวนผลิตเต้าหู้แข็ง

จากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็ง สามารถทำสมดุลมวลสารแสดงได้ดังสมการที่ [5-1] และภาพที่ 5-1 ได้ดังนี้

ถั่วเหลือง + น้ำ + สารเคมี (26100 g) = กากถั่วเหลือง + เต้าหู้ + น้ำทิ้ง (26100 g) [5-1] โดยกำหนดให้ 1 กรัม เท่ากับ 1 มิลลิลิตร



ภาพที่ 5-1 สมดุลมวลสารของกระบวนผลิตเต้าหู้แข็ง

จากภาพที่ 5-1 พบว่าถั่วเหลือง 2000 กรัม ใช้น้ำเริ่มต้น 24310 มิลลิลิตร ได้น้ำทิ้ง 22300 มิลลิลิตร คิดเป็น 85.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลืออยู่ที่กาก และเต้าหู้ สำหรับส่วนที่เป็นของแข็งพบอยู่ในกากถั่วเหลืองคิดเป็น 35.3 เปอร์เซ็นต์ เต้าหู้คิดเป็น 45.6 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าใช้วัตถุดิบ 2000 กรัม จะได้ส่วนที่เป็นเต้าหู้ 1400 กรัม และมีปริมาณน้ำทิ้งหลังกระบวนการผลิต

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

22300 มิลลิลิตร ซึ่งมีส่วนที่เป็นของแข็งอยู่ 0.25 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งและของแข็งหลังกระบวนการผลิตมีปริมาณสูงจึงต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำทิ้ง

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งก่อนกระบวนการตกตะกอน

จากผลการการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งก่อนกระบวนการตกตะกอนนำมาเปรียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539) แสดงได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ผลการการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งก่อนกระบวนการตกตะกอนนำมาเปรียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

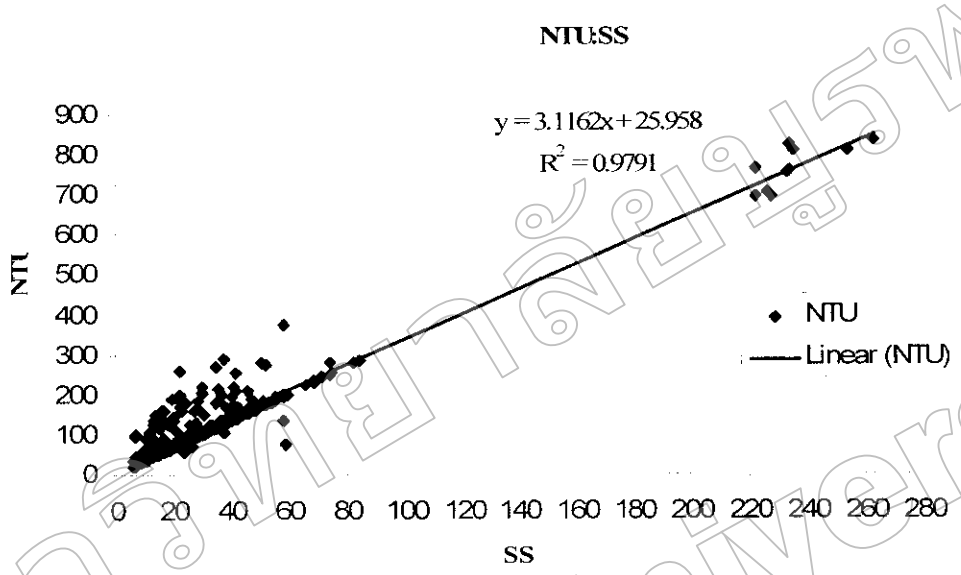
สมบัติทางเคมีกายภาพ	ค่าที่วัดได้	มาตรฐานน้ำทิ้ง
pH	4.94±0.02	5.5-9.0
ความขุ่น	804.80±29.27 NTU	-
ค่าของแข็งแขวนลอย	234.86±13.90 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	8.67±0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าของแข็งทั้งหมด	243.48±13.39 มิลลิกรัมต่อลิตร	-
ปริมาณโปรตีน (Lowry Assay)	0.720±0.022 กรัมต่อลิตร	-
ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl)	58.24±0.35 เปอร์เซ็นต์	-
ปริมาณเถ้า	5.0749±0.2550 เปอร์เซ็นต์	-

จากตารางที่ 5-1 พบว่า คุณภาพน้ำทิ้งมีค่าอยู่ในระดับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมคือ ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่พบว่า pH ยังต่ำกว่ามาตรฐานและค่าของแข็งแขวนลอยสูงกว่ามาตรฐาน ส่วนพารามิเตอร์อื่นไม่ได้ระบุไว้ในมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

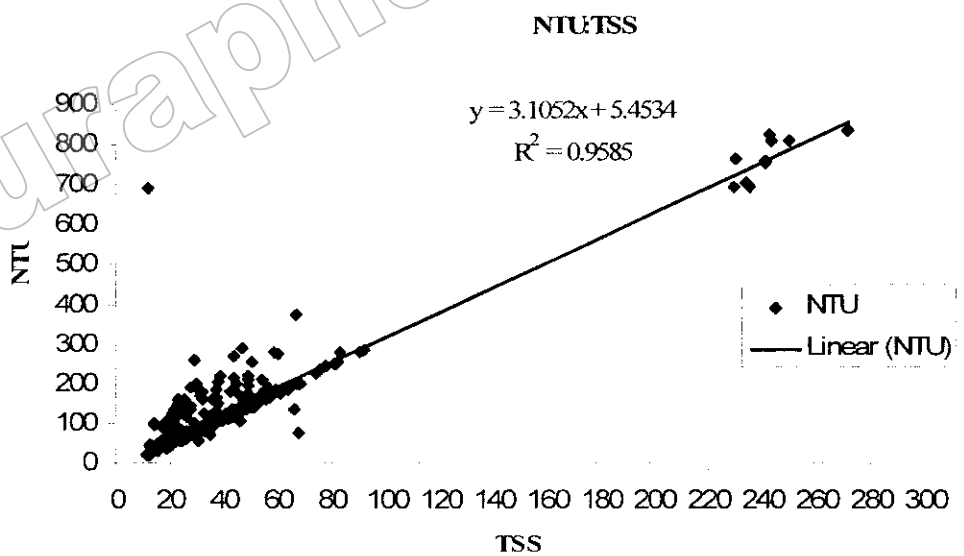
3. **ความขุ่น ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่าของแข็งทั้งหมด**

จากผลการทดลองค่าความขุ่นมีความสัมพันธ์กับค่าของแข็งแขวนลอย และค่าของแข็งทั้งหมด แสดงได้ดังภาพที่ 5-2 และภาพที่ 5-3 ตามลำดับ



ภาพที่ 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับค่าของแข็งแขวนลอย เป็นไปตามสมการ

$y = 3.1162X + 25.958$ ($R^2 = 0.9791$) ($r = 0.979$, $p < 0.05$)



ภาพที่ 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับค่าของแข็งทั้งหมด เป็นไปตามสมการ

$y = 3.1052X + 5.4534$ ($R^2 = 0.9585$) ($r = 0.989$, $p < 0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากภาพที่ 5-2 และภาพที่ 5-3 พบว่าค่าความความขุ่นที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับค่าของแข็งแขวนลอย เป็นไปตามสมการ y=3.1162X+25.958 (R^2 = 0.9791) และของแข็งทั้งหมดเป็นไปตามสมการ y =3.1052X+5.4534 (R^2 = 0.9585) จากค่า R^2 ค่าความขุ่นสามารถใช้เป็นตัวแทนในการวัดค่าของแข็งแขวนลอย และค่าของแข็งทั้งหมดที่ดี

ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุล ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายได้ทั้งหมด และของแข็งทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 5-2 (ภาพที่ 5-4 a, b) ตารางที่ 5-3 (ภาพที่ 5-5 a, b) ตารางที่ 5-4 (ภาพที่ 5-6 a, b) และตารางที่ 5-5 (ภาพที่ 5-7 a, b) ตามลำดับ

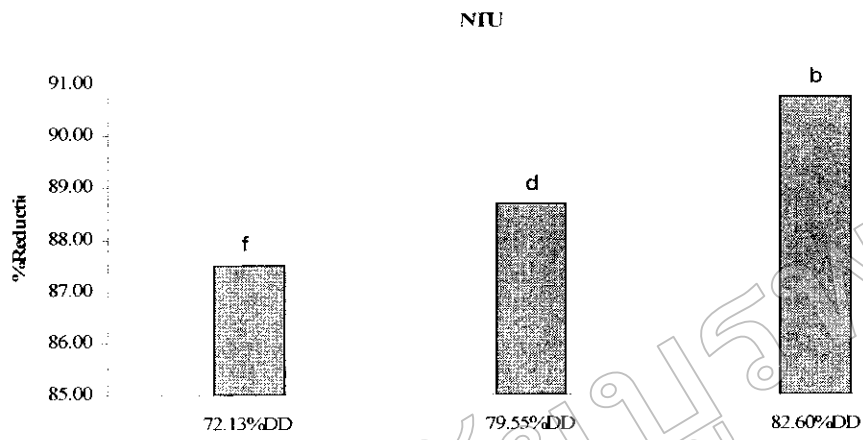
ตารางที่ 5-2 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่น

ผลการใช้ไคโตซาน (ที่ pH และปริมาณไคโตซานต่าง ๆ)	ความขุ่น (NTU)		
	ก่อนตกตะกอน (ns)	หลังตกตะกอน (ns)	เปอร์เซ็นต์การลดลง
72.13%DD	762.77±65.22	95.48±0.43	87.48±0.05^{f}
79.55%DD	753.11±57.78	85.23±0.11	88.68±0.01^{d}
82.60%DD	755.44±63.69	70.05±0.41	90.72±0.05^{b}
MW 0.50x10^6	762.61±69.55	74.55±0.30	90.21±0.04^{c}
MW 0.72x10^6	772.00±75.80	94.81±0.28	88.36±0.03^{e}
MW 1.28x10^6	797.47±69.96	72.75±0.55	90.88±0.07^{a}

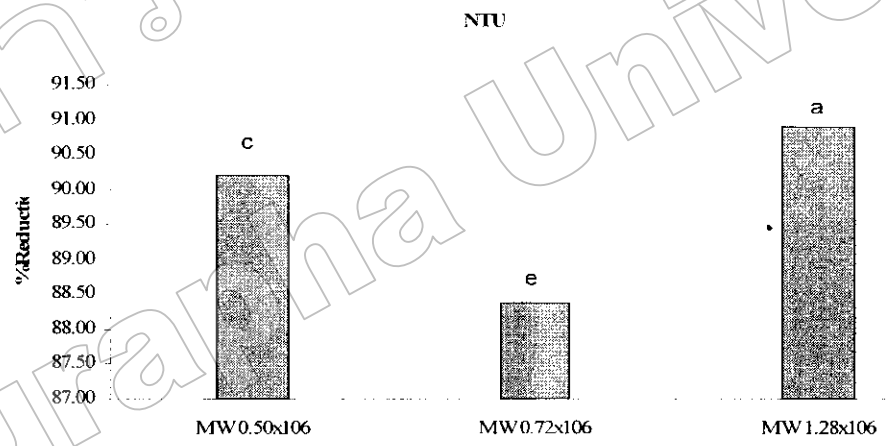
a,b,c. หมายถึง อักษรในแนวตั้งเดียวกันต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-4 (a) ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่น



ภาพที่ 5-4 (b) ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่น

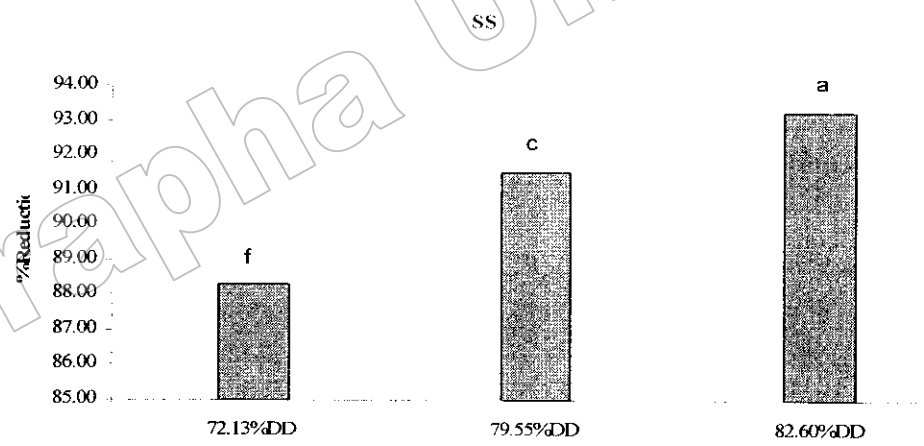
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5-3 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งแขวนลอย

ผลการใช้ไคโตซาน (ที่ pH และปริมาณไคโตซานต่าง ๆ)	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนตกตะกอน (ns)	หลังตกตะกอน (ns)	เปอร์เซ็นต์การลดลง
72.13%DD	242.46±21.82	28.34±0.16	88.31±0.07^{f}
79.55%DD	230.73±13.74	19.64±0.11	91.48±0.05^{c}
82.60%DD	230.24±3.59	15.63±0.03	93.20±0.01^{a}
MW 0.50x10^{6}	762.61±69.55	26.86±0.11	88.46±0.05^{e}
MW 0.72x10^{6}	772.00±75.80	22.93±12.34	90.05±0.09^{d}
MW 1.28x10^{6}	797.47±69.96	17.43±9.13	92.73±0.02^{e}

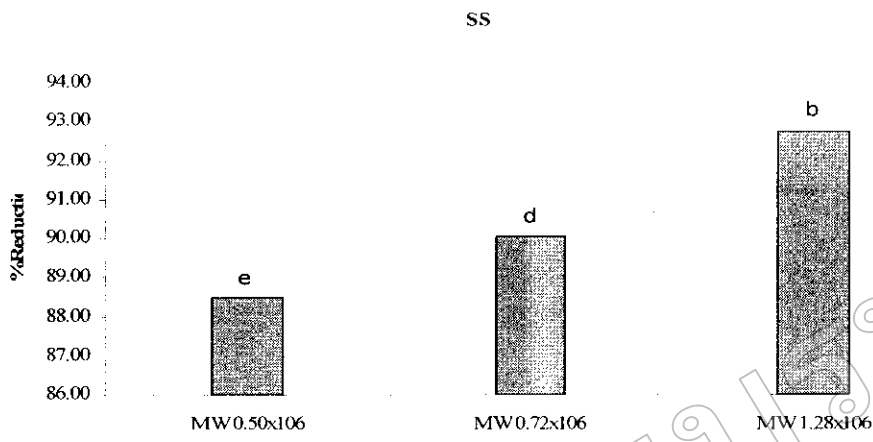
^{a,b,c} หมายถึง อักษรในแนวตั้งเดียวกันต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 5-5 (a) ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งแขวนลอย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-5 (b) ผลของหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งแขวนลอย

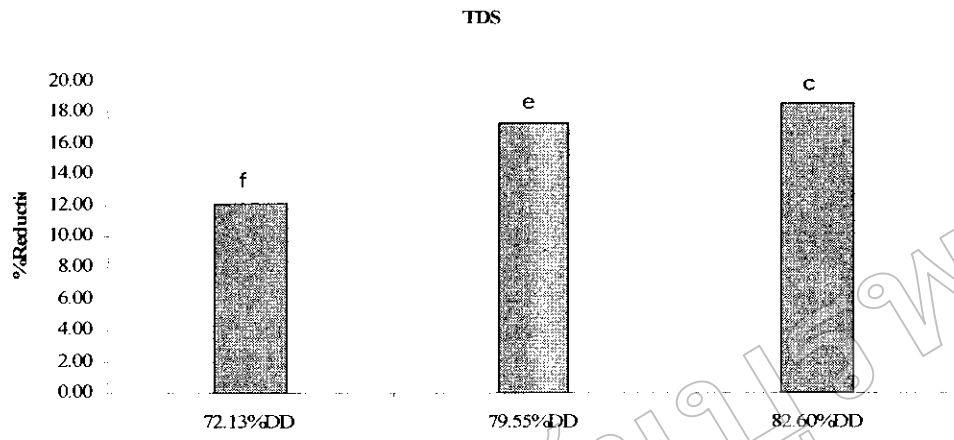
ตารางที่ 5-4 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งละลายได้ทั้งหมด

ผลการใช้ไคโตซาน (ที่ pH และปริมาณไคโตซานต่าง ๆ)	ของแข็งละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ก่อนตกตะกอน (ns)	หลังตกตะกอน (ns)	เปอร์เซ็นต์การลดลง
72.13%DD	8.45±1.16	7.43±0.01	12.11±0.01^{f}
79.55%DD	8.66±1.64	7.16±0.02	17.25±0.03^{e}
82.60%DD	8.62±0.75	7.03±0.01	18.49±0.02^{c}
MW 0.50x10^{6}	8.26±1.17	7.04±0.07	18.37±0.01^{d}
MW 0.72x10^{6}	8.67±1.27	6.82±0.02	21.24±0.03^{b}
MW 1.28x10^{6}	8.65±1.18	6.68±0.05	22.74±0.02^{a}

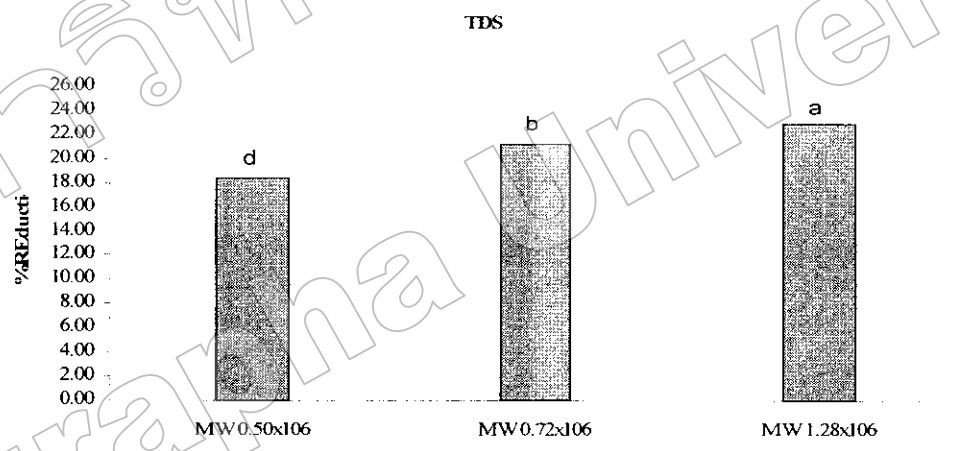
$^{a,b,c.}$ หมายถึง อักษรในแนวตั้งเดียวกันต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-6 (a) ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งละลายได้ทั้งหมด



ภาพที่ 5-6 (b) ผลของหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งละลายได้ทั้งหมด

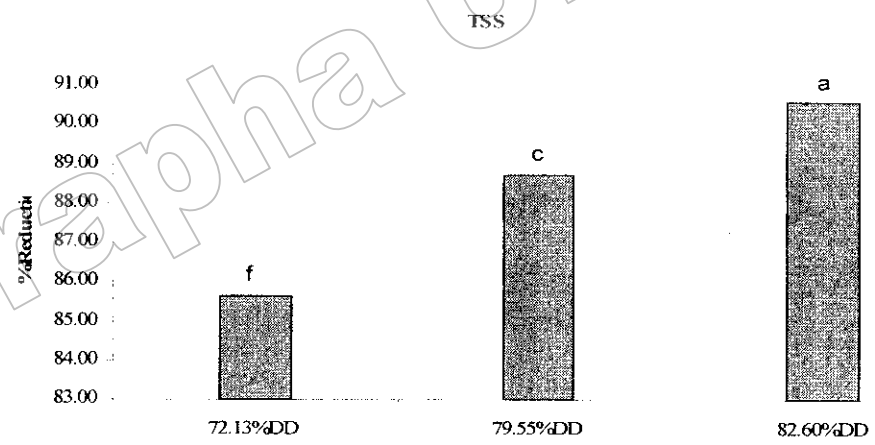
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5-5 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งทั้งหมด

ผลการใช้ไคโตซาน (ที่ pH และปริมาณไคโตซานต่าง ๆ)	ของแข็งทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ก่อนตกตะกอน (ns)	หลังตกตะกอน (ns)	เปอร์เซ็นต์การลดลง
72.13%DD	249.14±19.99	35.79±0.16	85.63±0.06^{f}
79.55%DD	237.-3±11.84	26.81±0.11	88.69±0.05^{c}
82.60%DD	239.93±13.98	22.66±0.03	90.55±0.01^{a}
MW 0.50x10^{6}	244.66±13.88	33.90±0.11	86.14±0.04^{e}
MW 0.72x10^{6}	237.23±8.53	29.22±0.22	87.68±0.09^{d}
MW 1.28x10^{6}	249.09±12.18	24.11±0.06	90.32±0.02^{b}

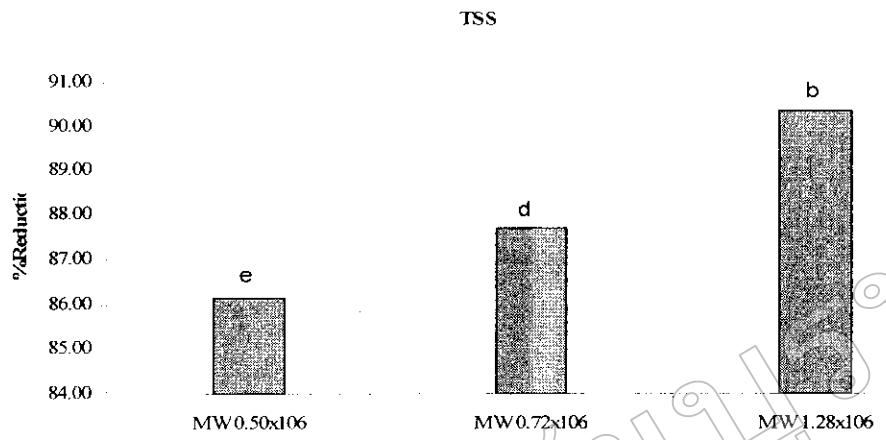
^{a,b,c} หมายถึง อักษรในแนวตั้งเดียวกันต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 5-7 (a) ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งทั้งหมด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-7 (b) ผลของหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งทั้งหมด

จากตารางที่ 5-2 (ภาพที่ 5-4 a, b) ตารางที่ 5-3 (ภาพที่ 5-5 a, b) ตารางที่ 5-4 (ภาพที่ 5-6 a, b) และตารางที่ 5-5 (ภาพที่ 5-7 a, b) พบว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซนต์การลดลงของทุกค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการใช้ไคโตซานที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลเป็น 82.60 เปอร์เซ็นต์ ให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย และของแข็งทั้งหมดสูงสุด ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ส่วนการใช้ไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.28x10^6$ ดาลตัน ให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งละลายได้ทั้งหมดสูงสุด ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะระดับการกำจัดหมู่อะซิติล

เมื่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของแข็งแขวนลอยและของแข็งทั้งหมดมากขึ้น ในขณะเดียวกันทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของของแข็งละลายได้ทั้งหมด มีค่าลดลงพบว่าค่าดังกล่าวมีความสัมพันธ์ต่อกัน

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 82.60±3.85 เปอร์เซ็นต์ pH 5.0 และปริมาณไคโตซาน 0.30 กรัมต่อลิตร และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.28\pm1.15x10^6$ ดาลตัน pH 5.0 และปริมาณไคโตซาน 0.30 กรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความขุ่นสุดท้ายสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 97.10±0.10 เปอร์เซ็นต์ และเท่ากับ 97.51±0.58 เปอร์เซ็นต์ ค่าของแข็งแขวนลอยสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 97.40±0.10 เปอร์เซ็นต์ และ 97.59±0.04 เปอร์เซ็นต์ ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ

38.40±0.00 เปอร์เซ็นต์ และ 43.32±0.24 เปอร์เซ็นต์ และและค่าของแข็งทั้งหมดสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 95.40±0.10 เปอร์เซ็นต์ และ 95.82±0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใกล้เคียงกับรายงานของ Jun et al. (1994) ซึ่งพบว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.5x10^6$ ดาลตัน pH 5.8 ปริมาณไคโตซาน 0.3 กรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 97 เปอร์เซ็นต์ รายงานของอุไรรัตน์ รัตนวิจิตร (2545) และ ธนานันท์ วัฒนมงคล (2545) พบว่าที่ pH 5.9 และ 6.0 ปริมาณไคโตซาน 5 กรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเนยแข็งเกาด้าได้ 93.3 และ 99.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รายงานของ Wibowo et al. (2004) พบว่าไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 84 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับอัลจิเนต 0.3 กรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นจากน้ำล้างซูริมิได้ 97 เปอร์เซ็นต์ รายงานของนิตยา เดชชีวะ (2547) พบว่าไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 81.23 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดความขุ่นจากน้ำมะนาวได้ 80.11 เปอร์เซ็นต์ รายงานของ Bough et al. (1975), Bough (1975 a), Bough (1975 b); วิไล ทบหลง (2535) และ Shahidi et al. (1999) ซึ่งพบว่าที่ pH ระหว่าง 4.7-7.8 ปริมาณไคโตซานระหว่าง0.0025-0.20 กรัมต่อลิตร สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้อยู่ระหว่าง 70-97 เปอร์เซ็นต์ และใกล้เคียงกับรายงานของ Guerrero et al. (1997) ซึ่งพบว่าที่ pH 7.2-7.8 สามารถลดค่าของแข็งทั้งหมดจากอุตสาหกรรมปลาได้ 75 เปอร์เซ็นต์

ตามคำนิยามของความขุ่นกล่าวว่า ความขุ่นเกิดจากสารต่าง ๆ หลายชนิดที่อยู่ในน้ำ ทั้งที่อยู่ในรูปที่สามารถละลายได้และละลายไม่ได้รวมกัน ส่วนค่าของแข็งแขวนลอยคือสารต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปที่ไม่สามารถละลายได้ (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

4. ปริมาณโปรตีน (Lowry) ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl) และปริมาณเถ้า

ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุล ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณโปรตีน แสดงได้ดังตารางที่ 5-6 (ภาพที่ 5-8 a, b) ส่วนผลต่อเปอร์เซ็นต์การได้ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl) กลับคืน และเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้า แสดงได้ดังตารางที่ 5-7 (ภาพที่ 5-9 a, b) และตารางที่ 5-8 (ภาพที่ 5-10 a, b)

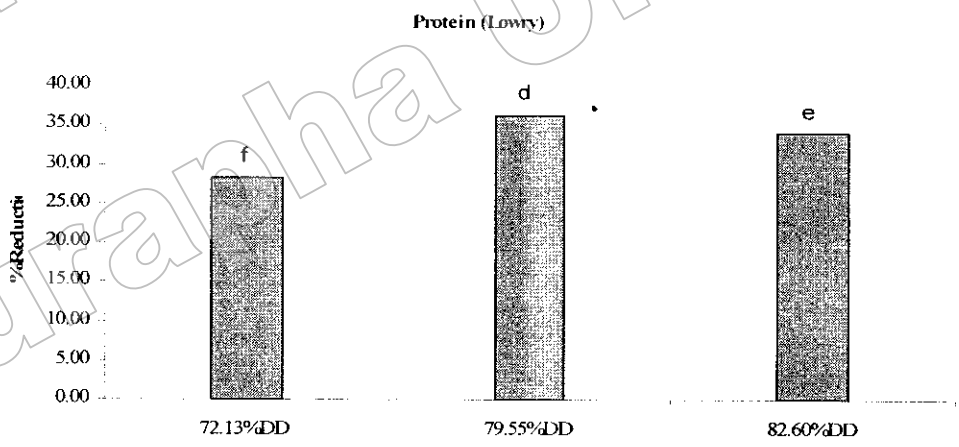
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5-6 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุล ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณโปรตีน (Lowry)

ผลการใช้ไคโตซาน (ที่ pH และปริมาณไคโตซานต่าง ๆ)	ปริมาณโปรตีน (Lowry)		
	ก่อนตกตะกอน (ns)	หลังตกตะกอน (ns)	เปอร์เซ็นต์การลดลง
72.13%DD	0.714±0.035	0.512±0.001	28.21 ± 0.09^{f}
79.55%DD	0.750±0.029	0.480±0.001	35.98 ± 0.054^{d}
82.60%DD	0.730±0.003	0.483±0.002	33.813 ± 0.391^{e}
MW 0.50×10^{6}	0.804±0.104	0.479±0.002	40.46 ± 0.22^{b}
MW 0.72×10^{6}	0.740±0.064	0.463±0.001	37.52 ± 0.144^{c}
MW 1.28×10^{6}	0.730±0.003	0.398±0.001	45.477 ± 0.266^{a}

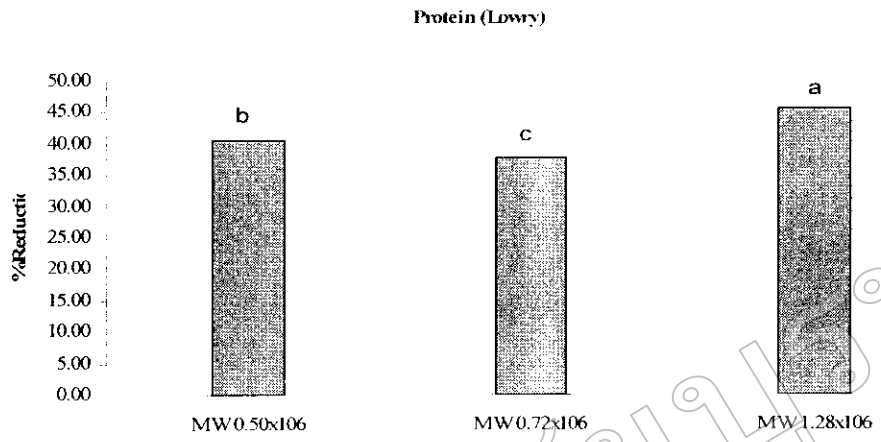
a,b,c. หมายถึง อักษรในแนวตั้งเดียวกันต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 5-8 (a) ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณโปรตีน (Lowry)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-8 (b) ผลของหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณโปรตีน (Lowry)

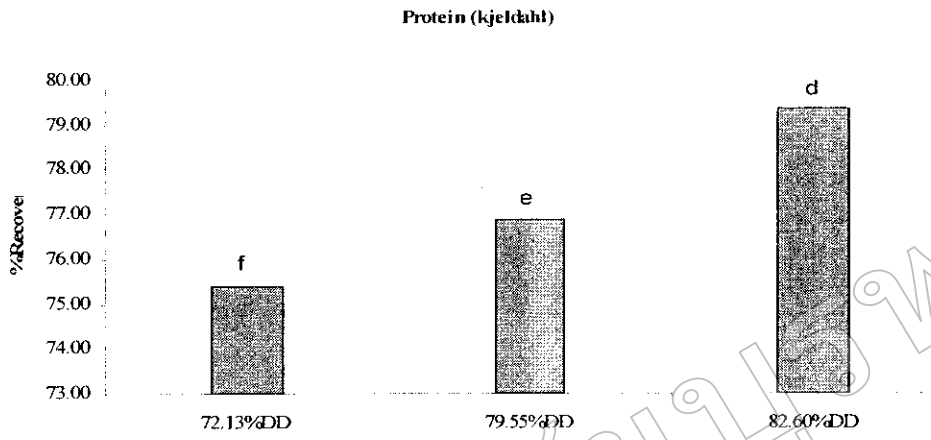
ตารางที่ 5-7 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุล ต่อเปอร์เซ็นต์การได้ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl) กลับคืน

ผลการใช้ไคโตซาน (ที่ pH และปริมาณไคโตซานต่าง ๆ)	ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl)		
	ก่อนตกตะกอน (ns)	หลังตกตะกอน (ns)	เปอร์เซ็นต์การได้กลับคืน
72.13%DD	58.24±0.35	43.79±0.34	75.38 ± 0.36^{f}
79.55%DD	58.24±0.35	44.68±0.28	76.87 ± 0.34^{e}
82.60%DD	58.24±0.35	46.12+±0.22	79.35 ± 0.13^{d}
MW $0.50x10^6$	58.24±0.35	46.72±0.39	80.45 ± 0.37^{c}
MW $0.72x10^6$	58.24±0.35	48.69±0.30	83.78 ± 0.32^{b}
MW $1.28x10^6$	58.24±0.35	49.42±0.30	84.66 ± 0.23^{a}

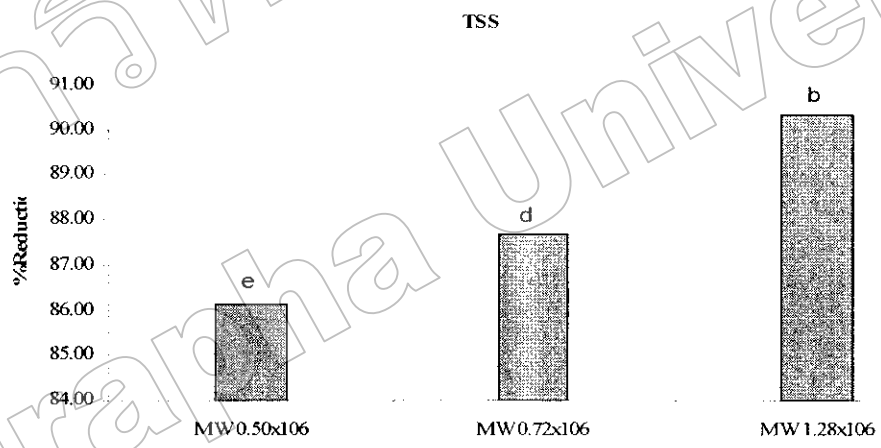
^{a,b,c} หมายถึง อักษรในแนวตั้งเดียวกันต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-9 (a) ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การได้ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl) กลับคืน



ภาพที่ 5-9 (b) ผลของหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การได้ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl) กลับคืน

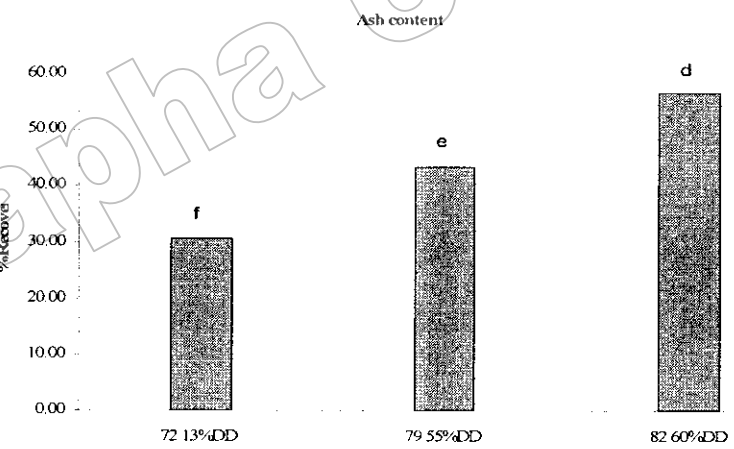
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 5-8 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้า

ผลการใช้ไคโตซาน (ที่ pH และปริมาณไคโตซานต่าง ๆ)	ปริมาณเถ้า		
	ก่อนตกตะกอน (ns)	หลังตกตะกอน (ns)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้น
72.13%DD	5.07±0.26	1.54±0.03	30.5±0.24^{f}
79.55%DD	5.07±0.26	2.24±0.14	43.27±1.19^{e}
82.60%DD	5.07±0.26	2.89±0.11	56.63±1.58^{d}
MW 0.50x10^{6}	5.07±0.26	2.92±0.05	58.02±0.62^{c}
MW 0.72x10^{6}	5.07±0.26	3.37±0.07	65.98±0.71^{b}
MW 1.28x10^{6}	5.07±0.26	4.09±0.08	80.96±1.25^{a}

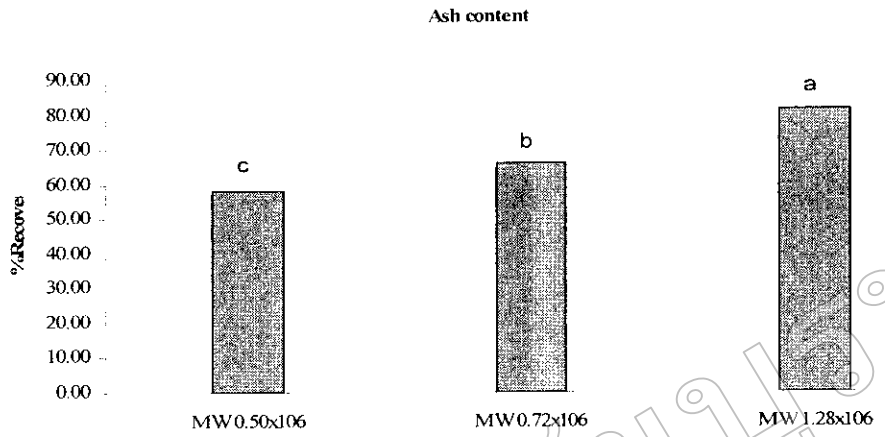
^{a,b,c} หมายถึง อักษรในแนวตั้งเดียวกันต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 5-10 (a) ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล ต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-10 (b) ผลของหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้า

จากตารางที่ 5-6 (ภาพที่ 5-8 a, b) ตารางที่ 5-7 (ภาพที่ 5-9 a, b) และตารางที่ 5-8 (ภาพที่ 5-10 a, b) พบว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณโปรตีน (Lowry) ในส่วนใสเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) ส่วนผลต่อเปอร์เซ็นต์การได้ปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนกลับคืนและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้า พบว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณดังกล่าวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าปริมาณโปรตีนในส่วนใส และปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนมีความสัมพันธ์กันโดยเมื่อปริมาณโปรตีนในส่วนใสลดลงจะส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.28\pm1.15\times10^6$ ดาลตัน ให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณโปรตีนในส่วนใส การได้ปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนกลับคืนและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าสูงสุด ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ส่วนปริมาณเถ้าจะสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนโดยเมื่อปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนเพิ่มขึ้นปริมาณเถ้าจะเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 82.60 ± 3.85 เปอร์เซ็นต์ pH 5.0 และปริมาณไคโตซาน 0.30 กรัมต่อลิตร และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.28\pm1.15\times10^6$ ดาลตัน pH 5.0 และปริมาณไคโตซาน 0.30 กรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การลดลงปริมาณโปรตีนสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 84.13 ± 0.84 เปอร์เซ็นต์ และ92.42 ± 0.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับส่วนผลต่อเปอร์เซ็นต์การได้ปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนกลับคืนและเปอร์เซ็นต์การ

เพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าพบว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 82.60±3.85 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.28±1.15x10^6 ดาลตัน ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เป็น 46.13±0.22 เปอร์เซ็นต์ และ49.42±0.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และให้ปริมาณเถ้าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เป็น 2.90±0.11 เปอร์เซ็นต์ และ 4.09±0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ใกล้เคียงกับรายงานของ Jun et al. (1994) ซึ่งพบว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.5x10^6 ดาลตัน ให้ปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 41.9 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้รายงานของ Savent and Torres (2000) พบว่าปริมาณไคโตซานผสมกับอัลจิเนต 0.03 กรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การได้ปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนกลับคืนจากกระบวนการผลิตเซ็ดด้าชีสเวย์ได้ 70 เปอร์เซ็นต์

5. กลไกการตกตะกอน

กลไกการตกตะกอนดูจากค่า n โดยจากผลการทดลองที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานโดยใช้สมการที่ [3-1] เพื่อหาค่า n พบว่า ค่า n มีค่าเท่ากับ 3.16 ทั้งนี้จาก Similarity Theory ที่รายงานโดย Farley and Morel (2001 cited in Grant et al., 2001) เสนอว่า

ถ้า n เท่ากับ 1.4 กลไกเป็นแบบ Brownian Motion

เท่ากับ 2 กลไกเป็นแบบ Fluid Shear

เท่ากับ 3 กลไกเป็นแบบ Differential Settling

ดังนั้นค่า n มีค่ามากกว่า 3 กลไกการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งเป็นแบบ Differential Settling จากรายงานของ Kim and Stolzenbach (2004) กล่าวว่ากลไกแบบ Differential Settling เป็นกลไกที่ทำให้เกิดการรวมกันของอนุภาคสารแขวนลอย ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับขนาด และความหนาแน่นของอนุภาคโดยถ้าขนาดและความหนาแน่นสูง ทำให้ สารแขวนลอยจมลงอย่างรวดเร็วมากกว่าพวกที่มีขนาด และความหนาแน่นน้อย

6. การทำนายและการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าจากการทำนาย

ผลจากการนำค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด และปริมาณโปรตีนจากการทดลองมาทำนาย พบว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเพิ่มขึ้นจาก 72.13±4.40 เป็น 82.60±3.85 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ไคโตซานเพิ่มขึ้นจาก $0.50\pm0.18\times10^{6}$ เป็น$1.28\pm1.15\times10^{6}$ ดาลตัน ทำให้ค่าดังกล่าวมีค่าลดลง ส่วนเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 5.0 เป็น 6.0 ทำให้ค่าดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น

ผลจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าจากการทำนายที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานพบว่า ค่าความข่น มีค่า r = 0.70858 ($p < 0.05$), ค่า n มีค่า r = 0.42469 ($p < 0.05$), ค่าของแข็งแขวนลอย มีค่า r = 0.73056 ($p < 0.05$), ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่า r = 0.93889 ($p < 0.05$), ค่าของแข็งทั้งหมด มีค่า r = 0.75128 ($p < 0.05$) และปริมาณโปรตีน มีค่า r = 0.82582 ($p < 0.05$) ซึ่งจริญ จันทวงศ์ (2544) กล่าวว่า

ถ้าค่า r มีค่า 0.20-0.50 จะมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับน้อย

ค่า r มีค่า 0.50-0.80 จะมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับปานกลางถึงมาก

ค่า r มีค่า 0.80-1.00 จะมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับสูงมาก

เพราะฉะนั้น ค่า n จากการทดลองและค่าจากการทำนายมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับน้อย ส่วนค่าความข่น ค่าของแข็งแขวนลอย และค่าของแข็งทั้งหมดจากการทดลองและค่าจากการทำนายมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับปานกลางถึงมาก และค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณโปรตีนจากการทดลองและค่าจากการทำนายมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับสูงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าการทำนายนั้นไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำนายค่า n เพราะมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับน้อย โดยมีค่า r น้อยกว่า 0.5 ส่วนค่าอื่น ๆ มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับปานกลางถึงสูงมากซึ่งมีค่า r มากกว่า 0.5 จึงถือได้ว่าสามารถใช้ทำนายค่าดังกล่าวได้

ส่วนที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานพบว่า ค่าความข่น มีค่า r = 0.58333 ($p < 0.05$), ค่า n มีค่า r = 0.67064 ($p < 0.05$), ค่าของแข็งแขวนลอย มีค่า r = 0.82838 ($p < 0.05$), ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่า r = 0.96198 ($p < 0.05$), ค่าของแข็งทั้งหมด มีค่า r = 0.85109 ($p < 0.05$) และปริมาณโปรตีน มีค่า r = 0.94090 ($p < 0.05$) ซึ่ง จริญ จันทวงศ์ (2544) กล่าวว่า

ถ้าค่า r มีค่า 0.50-0.80 จะมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับปานกลางถึงมาก

ค่า r มีค่า 0.80-1.00 จะมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับสูงมาก

ดังนั้นค่าความข่น ค่า n จากการทดลองและค่าจากการทำนายมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกันในระดับปานกลางถึงมาก ส่วนค่าของแข็งแขวนลอย ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าของแข็งทั้งหมด และปริมาณโปรตีนจากการทดลองและค่าจากการทำนายมีความสัมพันธ์ใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทางเดียวกันในระดับสูงมากเพราะฉะนั้นค่า r มากกว่า 0.5 จึงถือได้ว่าสามารถใช้ทำนายค่าดังกล่าวได้

7. ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน pH และปริมาณไคโตซาน

7.1 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด และ ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Huang, Chen & Pan, 2000) ทำให้จำนวนประจุบวกที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่อะมิโนเป็นแอมโมเนีย (NH_3^+) มีจำนวนมากขึ้น (Lin & Chao, 2001) และทำให้สามารถจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น (Ahmed et al., 2005)

7.2 ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่น, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ของแข็งทั้งหมด และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น อาจจะเกิดจากเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูงขึ้นจะทำให้สายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นยาวมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lin and Chao (2001) พบว่าความยาวของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน เมื่อความยาวของสายโซ่โมเลกุลเพิ่มขึ้นน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะเพิ่มขึ้น ทำให้หมู่อะมิโนและหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นด้วย

Tsaih and Chen (1997); Chen and Tsaih (1998) รายงานว่า น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะสัมพันธ์กับ Intrinsic Viscosity โดยพบว่าถ้าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูง Intrinsic Viscosity จะสูง (Bough, Salter, Wu & Perkins, 1978; Muzzarelli, 1985) เนื่องจากกลุ่มประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเกิดการผลักกันทำให้สายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นตรงและรูปร่างของ ไคโตซานแผ่ขยายออกได้ดี และทำให้โมเลกุลไคโตซานไม่สามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงได้การต้านทานการไหลจึงเกิดมากขึ้น (พรทิพย์ จารุดำรงศักดิ์, 2544 อ้างอิงจาก ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) ดังนั้นเมื่อสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นยาวมากขึ้น แอมโมเนีย (NH_3^+) ซึ่งเป็นประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลไคโตซานจะมีจำนวนมากขึ้น ทำให้สามารถจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น (Lin & Chao, 2001; Xu & Du, 2003)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

7.3 ปริมาณไคโตซาน

ปริมาณไคโตซานกับระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด และ ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Huang, Chen & Pan, 2000) ทำให้จำนวนประจุบวกที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่อะมิโนเป็นแอมโมเนีย (NH_3^+) มีจำนวนมากขึ้น (Lin & Chao, 2001) และทำให้สามารถจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น (Ahmed et al., 2005) นอกจากนี้ Huang et al. (2000) รายงานว่าปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมจะแปรผันกับระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน โดยเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมลดลง

ปริมาณไคโตซานกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของความขุ่นของแข็งแขวนลอย, ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ของแข็งทั้งหมด และ ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น อาจจะเกิดจากเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูงขึ้นจะทำให้สายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นยาวมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lin and Chao (2001) พบว่าความยาวของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน เมื่อความยาวของสายโซ่โมเลกุลเพิ่มขึ้นน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะเพิ่มขึ้น ทำให้หมู่อะมิโนและหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นด้วย

7.4 ผลของ pH

ผลของ pH กับระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อ pH ลดลงทำให้ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด และปริมาณโปรตีนลดลง เนื่องจากที่ pH ต่ำจะทำให้จำนวนประจุบวกเพิ่มขึ้นโดยหมู่อะมิโนของไคโตซานถูกโปรโตเนตเป็นแอมโมเนีย (NH_3^+) และทำให้ประจุของคอลลอยด์หรือ ซีต้าโพเทนเชียลระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ลดลง(มั่นสิน ตันฑุลเวศน์, 2532; Pan et al., 1999; Ahmed et al., 2005 citing Chiou & Li, 2003, p. 184) นอกจากนี้ Pinotti et al. (1997) รายงานว่าเมื่อประจุของคอลลอยด์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้ค่าความขุ่นมีลดลงจนต่ำสุด และยังพบว่าประจุของคอลลอยด์ และค่าความขุ่นจะสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณไคโตซานที่ใช้ Mukhopadhyay et al. (2003 citing O' Mellia, 1972, p. 383) รายงานว่าการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์อาจเกิดจากกลไก Charge Neutralization และ Bridge Formation ส่วนรายงานของ Pinotti and Zaritzky (2001) พบว่ากลไก Charge Neutralization

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เหมาะสำหรับการบำบัดด้วยไคโตซานมากกว่า Bridge Formation เพราะเมื่อประจุของคอลลอยด์มีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้ค่าความขุ่นต่ำสุด นอกจากนี้ Pan et al. (1999) รายงานว่า ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสม จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ pH โดยเมื่อ pH มีค่าลดลง ปริมาณไคโตซานที่เหมาะสมจะลดลงด้วย

ผลของ pH กับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อ pH ลดลง ทำให้ความขุ่น, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ของแข็งทั้งหมด และปริมาณโปรตีนลดลง เนื่องจากที่ pH ต่ำจะทำให้หมู่อะมิโนอิสระของไคโตซานเกือบทุกหน่วยซ้ำจะถูกโปรโตเนตเป็นแอมโมเนีย (NH_3^+) ซึ่งเป็นประจุบวก ทำให้เกิดการผลักกันมีผลทำให้ไคโตซานยืดออกเป็นเส้นตรงยาว (วิภาวี โฮเวน, 2544) สอดคล้องกับรายงานของ Pan et al. (1999) พบว่าในสารละลายกรด โมเลกุลของไคโตซานยืดได้ออกมากทำให้จำนวนประจุบวกมีจำนวนมากและจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น

Tsaih and Chen (1997) รายงานว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานนอกจากจะสัมพันธ์กับ Intrinsic Viscosity แล้วยังสัมพันธ์กับแรงประจุไฟฟ้า (Ionic Strength) ด้วย โดยพบว่า ถ้าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูง ให้ intrinsic viscosity สูง แต่ Ionic strength จะต่ำ จะทำให้รูปร่างโมเลกุลของไคโตซานแผ่ขยายออกได้มากกว่า Ionic Strength นอกจากนี้ Tsaih and Chen (1997) รายงานว่าถ้า pH มีค่าเท่ากับ 3 หรือต่ำกว่าจะทำให้โมเลกุลของไคโตซานหดแคบและติดกันมากขึ้น

จากการลดลงของปริมาณโปรตีนในส่วนใสนอกเหนือจากเหตุผลข้างต้นแล้ว อีกเหตุผลที่สอดคล้องเกี่ยวข้องกับ pH เพราะที่ pH ต่ำ (pH 5.0) จะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในถั่วเหลือง คือ โกลบูลิน ซึ่งมีค่าประจุไฟฟ้าเท่ากับ 0 หรือมีค่าเท่ากับจุดไอโซอิเล็กตริก โดยสมบัติของโกลบูลิน นั้นสามารถที่ละลายในน้ำหรือสารละลายเจือจางซึ่งมี pH สูง หรือต่ำกว่า จุดไอโซอิเล็กตริกของมัน เนื่องจากจุดไอโซอิเล็กตริกของโกลบูลินที่เป็นองค์ประกอบในถั่วเหลืองมีค่าอยู่ที่ระหว่าง pH 4-5 (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง, 2530) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำทิ้งที่ pH 5.0 จึงทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในถั่วเหลืองไม่ละลาย และตกตะกอนลงมา ดังนั้นที่ pH 5.0 จึงทำให้ปริมาณโปรตีนของส่วนใสน้อยที่สุด

นอกจากนี้พบว่า pH 5.0 เป็นค่าที่เหมาะสมจากการทดลองซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ pH ก่อนกระบวนการตกตะกอน (ไม่ผ่านการปรับ pH) คือ 4.94 และผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับผู้วิจัยหลายท่าน ซึ่งพบว่า ไคโตซานเป็นสารโคแอกกูแลนท์ที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โคแอกกูเลชั่น ซึ่งมีความสามารถในการลดของแข็งแขวนลอยจากกระบวนการแปรรูปอาหาร แม้ว่าน้ำเสียนั้นไม่ได้ผ่านการปรับ pH (Bough, 1975; Moore et al., 1987; Jun et al., 1994)

ดังนั้นถ้าต้องการปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนที่มีปริมาณสูง เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ต่อไปควรเลือกไคโตซานที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลเป็น 82.60±3.85 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.28±1.15 x10^6 ดาลตัน pH 5.0 และปริมาณ 0.30 กรัมต่อลิตร

สรุปผลการทดลอง

1. จากการทำสมดุลมวลสารของกระบวนผลิตเต้าหู้แข็งพบว่า วัตถุดิบที่ใช้ 2000 กรัม จะได้ส่วนที่เป็นเต้าหู้ 1400 กรัม และมีปริมาณน้ำทิ้งหลังกระบวนการผลิต 22300 มิลลิลิตร ซึ่งมีส่วนที่เป็นของแข็งอยู่ 0.25 เปอร์เซ็นต์

2. จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งก่อนกระบวนการตกตะกอนว่ายังมีค่าที่เกินมาตรฐานอยู่คือ pH และค่าของแข็งแขวนลอย จึงต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำ

3. ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน (72.13±4.40, 79.55±1.90 และ 82.60±3.85 เปอร์เซ็นต์) pH (5.0, 5.5 และ 6.0) และปริมาณไคโตซาน (0.00, 0.01, 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.30 กรัมต่อลิตร) ต่อการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็ง พบว่ามีอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย ต่อการลดลงของความขุ่น, ของแข็งแขวนลอย, ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ของแข็งทั้งหมด และ ปริมาณโปรตีน (Lowry) ($p < 0.05$) โดยพบว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 82.60±3.85 เปอร์เซ็นต์ pH 5.0 และปริมาณไคโตซาน 0.30 กรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าดังกล่าวสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 97.10±0.10, 97.40±0.10, 38.40±0.00, 95.40±0.10 และ 84.13±0.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนตะกอน พบว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 82.60±3.85 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl) และปริมาณเถ้าสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 46.13±0.22 และ 2.90±0.11 เปอร์เซ็นต์

4. ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน (0.50±0.18x10^6, 0.72±1.00 x10^6 และ 1.28±1.15x10^6 ดาลตัน pH (5.0, 5.5 และ 6.0) และปริมาณไคโตซาน (0.00, 0.01, 0.05, 0.10, 0.20 และ 0.30 กรัมต่อลิตร) ต่อการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็ง พบว่ามีอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย ต่อการลดลงของความขุ่น, ของแข็ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

แขวนลอย, ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ของแข็งทั้งหมด และปริมาณโปรตีน (Lowry) ($p < 0.05$) โดยพบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $1.28\pm1.15x10^6$ ดาลตัน pH 5.0 และปริมาณไคโตซาน 0.30 กรัมต่อลิตร ให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าดังกล่าวสูงสุด ($p < 0.05$) เท่ากับ 97.51 ± 0.58, 97.59 ± 0.04, 43.32 ± 0.24, 95.82 ± 0.03 และ 92.42 ± 0.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนตะกอน พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $1.28\pm1.15x10^6$ ดาลตัน ให้ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl) และปริมาณเถ้าสูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 49.42 ± 0.30 และ 4.09 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่น กับค่าของแข็งแขวนลอย เป็นไปตามสมการ $y = 3.1162X+25.958$ ($R^2 = 0.9791$) และค่าของแข็งทั้งหมดเป็นไปตามสมการ $y = 3.1052X+5.4534$ ($R^2 = 0.9585$) จากค่า R^2 ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มาก แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ค่าความขุ่นเป็นตัวแทนในการวัดค่าของแข็งแขวนลอย และค่าของแข็งทั้งหมดได้

6. ผลจากการนำค่าความขุ่นที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน มาหาค่า n เพื่อทำนายกลไกลพบว่ากลไกการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งเป็นแบบ differential settling

7. ผลจากการนำค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด และปริมาณโปรตีนจากการทดลองมาทำนาย พบว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเพิ่มขึ้นจาก 72.13 ± 4.40 เป็น 82.60 ± 3.85 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเพิ่มขึ้นจาก $0.50\pm0.18x10^6$ เป็น $1.28\pm1.15 x10^6$ ดาลตัน ทำให้ค่าดังกล่าวมีค่าลดลง ส่วนเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจาก 5.0 เป็น 6.0 ทำให้ค่าดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น

8. ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด และปริมาณโปรตีนจากการทดลอง และค่าจากการทำนาย พบว่ามีความสัมพันธ์ ในทางเดียวกันในระดับน้อยถึงสูงมาก

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน pH และปริมาณไคโตซานต่อการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็ง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการใช้ไคโตซานในการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้แข็งดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. ควรมีการใช้ไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล น้ำหนักโมเลกุล pH และปริมาณไคโตซานที่ระดับอื่น ๆ เพราะจากผลการทดลองพบว่าค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วงที่ต่ำสุดและสูงสุด ซึ่งอาจจะมีค่าที่เหมาะสมมากกว่านี้

2. ควรมีการวัดค่าของแข็งทั้งหมดควบคู่กับการวัดความขุ่นที่เวลาต่าง ๆ เพื่อสามารถอธิบายและยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างสองค่านี้

3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการใช้ไคโตซานในน้ำทิ้งที่มีความขุ่นในปริมาณน้อยเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของไคโตซานให้มากกว่านี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University