ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการหาปริมาณเยื่อใยในผักตบชวา แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยในผักตบชวา

ตัวอย่าง	NDF (%)	ADF (%)	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
ผักตบชวา	65.37	36.54	31.57	28.83	3.31

หมายเหตุ : ปริมาณเยื่อใยคิดเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างแห้ง
: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในผักตบชวา ดังตารางที่ 3 พบว่าเมื่อต้มพืชตัวอย่าง (ผักตบชวา) ด้วยสารละลาย detergent ที่เป็นกลาง (neutral detergent) ทำให้ส่วนประกอบภายในเซลล์ และเพคตินจะละลายออกมา ส่วนที่เหลืออยู่เป็นส่วนที่ไม่ละลาย คือ ผนังเซลล์ที่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เรียกว่า neutral detergent fiber (NDF) มีค่าเท่ากับ 65.37% ต่อจากนั้นนำส่วนที่เหลืออยู่ไปต้มในสารละลาย detergent ที่เป็นกรด (acid detergent) ซึ่งจะไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสที่อยู่เป็นอิสระและที่อยู่รวมกับลิกนินออกมา ซึ่งส่วนที่เหลืออยู่ คือ เซลลูโลสและลิกนิน เรียกว่า acid detergent fiber (ADF) มีค่าเท่ากับ 36.54% จากนั้นนำส่วนที่เหลือย่อยต่อด้วยกรดกำมะถัน ซึ่งจะละลายเซลลูโลสออกมา ส่วนที่เหลือคือ ลิกนิน

ปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส คำนวณจาก

% Hemicellulose = % NDF - % ADF

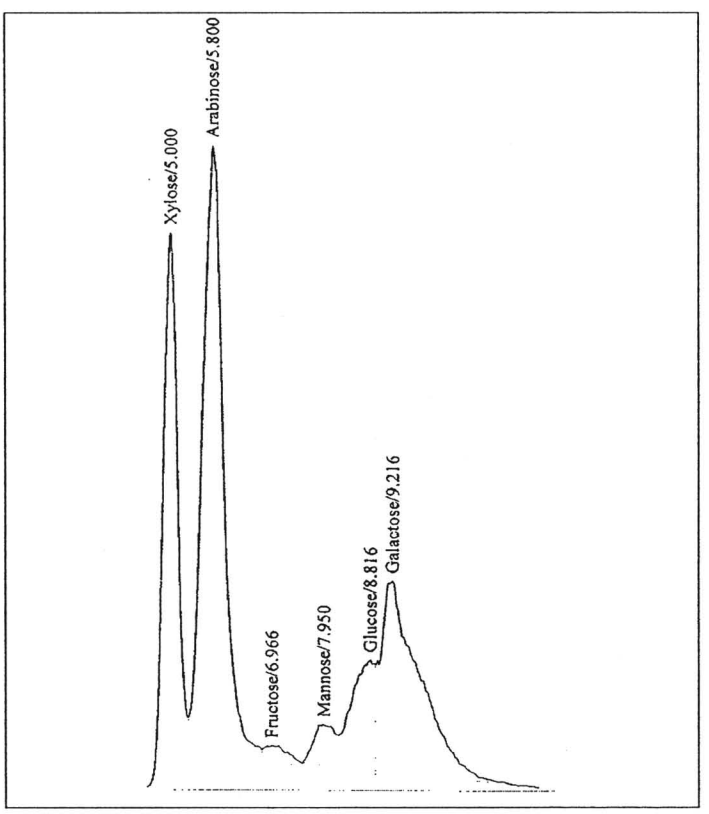
% cellulose = (น.น.ADF - น.น. เยื่อใยหลังย่อยด้วยกรด และอบแห้ง) x 100 / น.น. ตัวอย่าง

จากการคำนวณพบว่า ผักตบชวามีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 31.57%, 28.83% และ 3.31% ตามลำดับ จากการศึกษาของกองอาหารสัตว์ **[1]** ได้วิเคราะห์เยื่อใยของผักตบชวาซึ่งประกอบด้วยใบ และก้านใบพบว่าปริมาณ NDF, ADF เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลสและลิกนิน มีค่าเท่ากับ 52.2%, 34.2%, 18.0%, 32.7% และ 1.3% ตามลำดับ จากการศึกษาของ A. Kumar และคณะ **[11]** พบว่าผักตบชวาที่แห้งแล้ว (total solids: TSs) จะคิดเป็น 5.2-7.8% ของน้ำหนักเปียก และประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และโปรตีน เท่ากับ 18.4 ± 0.018%, 49.2 ± 0.024%, 3.55 ± 0.05% และ12.6± 0.018 % ของ TSs ตามลำดับ จากการศึกษาของ Poddar และคณะ **[12]** พบว่าผักตบชวาประกอบด้วย เซลลูโลส 25.61% เฮมิเซลลูโลส 18.42% และลิกนิน 9.93% จาก

การศึกษาของ Nigam JN **[13]** พบว่าผักตบชวาประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส 48.7% เซลลูโลส 18.2% และลิกนิน 3.5% จากการศึกษาของ Bhole AG **[14]** พบว่าผักตบชวาประกอบด้วย เซลลูโลส 21.2% และการศึกษาของ Bolenz และคณะ**[15]** พบว่าผักตบชวาประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส 22% เซลลูโลส 31% และลิกนิน 7% จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยในตัวอย่างผักตบชวาแตกต่างกัน เนื่องมาจากตัวอย่างผักตบชวาที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใยมาจากต่างสถานที่ ต่างสายพันธ์ ซึ่งมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ส่วนประกอบของผักตบชวาที่นำมาวิเคราะห์ก็แตกต่างกันด้วย งานวิจัยนี้ใช้ต้น ใบ และรากของผักตบชวา จึงทำให้มีปริมาณเยื่อใยสูงกว่า ยกเว้นงานวิจัยของ A. Kumar และคณะ **[11]** และ Nigam JN **[13]** พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

2. ผลการหาชนิด และปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

นำสารละลายของน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์โมเลกุลผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริกไปวิเคราะห์ชนิดและปริมาณน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบด้วยเครื่อง HPLC พบว่า ประกอบด้วยน้ำตาล 6 ชนิด ได้แก่ กลูโคส ไซโลส อะราบิโนส ฟรุกโตส กาแลคโตส และแมนโนส ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 พีคของน้ำตาลในตัวอย่างผักตบชวา จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

3. ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก

3.1 การไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก ที่อุณหภูมิ 100 °C

ผลการย่อยสลายตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 500 kGy แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริก 3%, 5% และ 7% (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 10, 20, 30, 40 และ 60 นาที แสดงดังตาราง ที่ 4-6 และ รูปที่ 9 พบว่าสารละลายน้ำตาลที่ได้ประกอบด้วยน้ำตาล 6 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ไซโลส อะราบิโนส ฟรุกโตส กาแลคโตส และแมนโนส ปริมาณน้ำตาลโดยรวม 6 ชนิด จะเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ที่นานขึ้นในทุกความเข้มข้นของกรด และพบว่าเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ 60 นาที ที่ความเข้มข้นของกรด 3% และ 5% (มวลต่อปริมาตร) ให้ปริมาณน้ำตาลโดยรวมสูงที่สุดประมาณ 21 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโดยรวมจากการไฮโดรไลซ์ที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก และเวลาต่างๆ พบว่าเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ 60 นาที ด้วยกรดซัลฟูริก 5 % (มวลต่อปริมาตร) ให้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุด คือ 21.807 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 4.531, อะราบิโนส 8.149, กลูโคส 1.839, กาแลคโตส 5.893, ฟรุกโตส 0.804 และแมนโนส 0.591 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

ตารางที่ 4 ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100 °C

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่อุณหภูมิ 100 °C (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)						
	ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส	แมนโนส	น้ำตาลรวม
10	2.981±0.002	3.662±0.136	1.139±0.007	2.302±0.836	0.603±0.003	0.591±0.000	11.278
20	3.166±0.017	5.759±0.292	1.875±0.017	1.601±0.016	1.326±0.022	0.591±0.000	14.318
30	3.914±0.108	6.286±0.047	1.134±0.000	4.977±0.182	0.829±0.014	0.591±0.000	17.731
40	4.601±0.020	6.770±0.089	1.429±0.096	5.471±0.890	0.786±0.007	0.591±0.000	19.648
60	5.266±0.060	7.423±0.041	1.421±0.002	5.875±0.136	0.815±0.002	0.591±0.000	21.391

หมายเหตุ : ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 5 ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วย 5% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100 °C

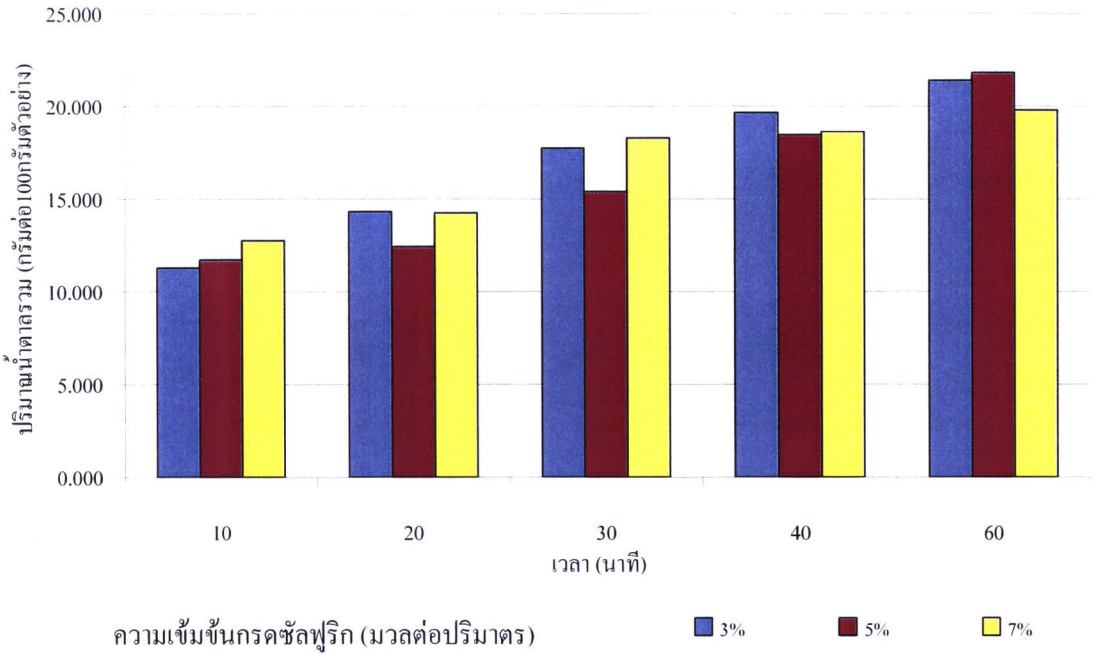
เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่อุณหภูมิ 100 °C (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)						
	ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	**ฟรุกโตส**	แมนโนส	น้ำตาลรวม
10	1.561±0.006	5.220±0.697	1.861±0.375	1.571±0.000	**0.853±0.377**	0.651±0.002	11.718
20	1.883±0.094	5.642±0.534	1.296±0.172	2.033±0.328	**0.987±0.119**	0.591±0.000	12.432
30	2.553±0.013	6.273±0.285	1.240±0.149	4.039±0.367	**0.626±0.052**	0.670±0.007	15.401
40	3.673±0.514	7.130±0.008	1.559±0.153	4.400±0.576	**0.801±0.171**	0.895±0.158	18.458
60	4.531±0.118	8.149±0.149	1.839±0.033	5.893±0.287	**0.804±0.014**	0.591±0.000	21.807

หมายเหตุ : ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 6 ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วย 7% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100 °C

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่อุณหภูมิ 100 °C (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)						
	ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	**ฟรุกโตส**	แมนโนส	น้ำตาลรวม
10	1.764±0.120	5.859±0.942	1.665±0.539	1.837±0.330	**1.051±0.374**	0.591±0.000	12.766
20	2.474±0.286	6.172±0.968	1.448±0.143	2.474±0.185	**1.096±0.075**	0.591±0.000	14.254
30	3.921±0.211	7.673±0.055	1.784±0.026	2.646±0.016	**1.683±0.129**	0.591±0.000	18.297
40	3.917±0.654	7.775±0.275	2.041±0.059	2.734±0.077	**0.962±0.070**	1.201±0.000	18.630
60	4.715±0.134	8.147±0.003	2.400±0.089	2.657±0.080	**0.872±0.122**	1.005±0.007	19.796

หมายเหตุ : ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง



รูปที่ 9 ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก 3%, 5% และ 7% (มวลต่อปริมาตร) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 100 °C

3.2 การไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสี 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก ที่อุณหภูมิ 121 °C

ผลการย่อยสลายตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 500 kGy แล้วไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริก 3%, 5% และ 7% (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 10, 30, 40 และ 60 นาที แสดงดังตาราง ที่ 7-9 และรูปที่ 10 พบว่าสารละลายน้ำตาลที่ได้ประกอบด้วยน้ำตาล 6 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ไซโลส อะราบิโนส ฟรุกโตส กาแลคโตส และแมนโนส การไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) จะได้ปริมาณน้ำตาลโดยรวมสูงเมื่อใช้เวลาในการไฮโดรไลซ์นาน 30 นาที ส่วนการไฮโดรไลซ์ด้วย 5% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) จะได้ปริมาณน้ำตาลโดยรวมสูงใกล้เคียงกันในทุกช่วงเวลาของการไฮโดรไลซ์ การไฮโดรไลซ์ด้วย 7% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) จะให้ปริมาณน้ำตาลโดยรวมสูงในเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์เพียง 10 นาที แต่เมื่อเพิ่มเวลานานขึ้น ปริมาณน้ำตาลที่ได้เริ่มลดลง เนื่องจากน้ำตาลบางตัวเริ่มสลายตัวไปเป็นสารอื่น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลโดยรวมจากการไฮโดรไลซ์ที่ความเข้มข้นกรดซัลฟูริก และเวลาต่างๆ พบว่าเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ 30 นาที ด้วยกรดซัลฟูริก 3 % (มวลต่อปริมาตร) ให้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุด คือ 26.765 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 5.835,

อะราบิโนส 8.401, กลูโคส 3.359, กาแลคโตส 7.8799, ฟรุกโตส 0.700 และแมนโนส 0.591 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

ตารางที่ 7 ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก 3% (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่อุณหภูมิ121 °C (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)						
	ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส	แมนโนส	น้ำตาลรวม
10	5.296±0.259	7.751±0.447	1.134±0.000	8.4301±0.2241	0.725±0.007	0.591±0.000	23.926
30	5.835±0.063	8.401±0.056	3.359±0.064	7.8799±0.0975	0.700±0.041	0.591±0.000	26.765
40	5.583±0.068	7.812±0.117	3.490±0.006	7.9295±0.3624	0.602±0.011	0.591±0.000	26.007
60	5.866±0.357	9.014±0.476	7.815±0.483	1.5710±0.0000	0.753±0.013	0.591±0.000	25.608

หมายเหตุ : ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 8 ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก 5% (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C

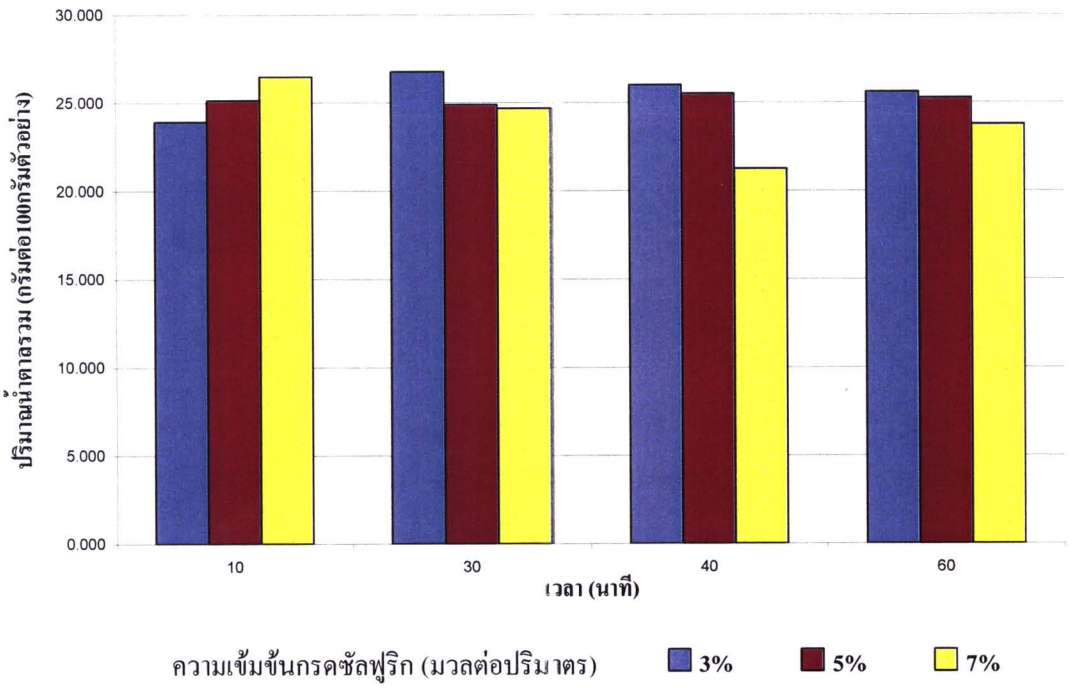
เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่อุณหภูมิ 121 °C (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)						
	ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส	แมนโนส	น้ำตาลรวม
10	5.339±0.470	7.830±0.651	1.134±0.000	9.665±0.972	0.568±0.000	0.591±0.000	25.127
30	5.502±0.019	8.837±0.250	7.312±0.077	1.571±0.000	1.072±0.004	0.591±0.000	24.885
40	5.395±0.017	7.695±0.200	5.427±0.011	5.782±0.980	0.635±0.062	0.591±0.000	25.525
60	5.611±0.121	9.189±0.155	7.543±0.298	1.571±0.000	0.765±0.051	0.591±0.000	25.270

หมายเหตุ : ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 9 ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก 7% (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C

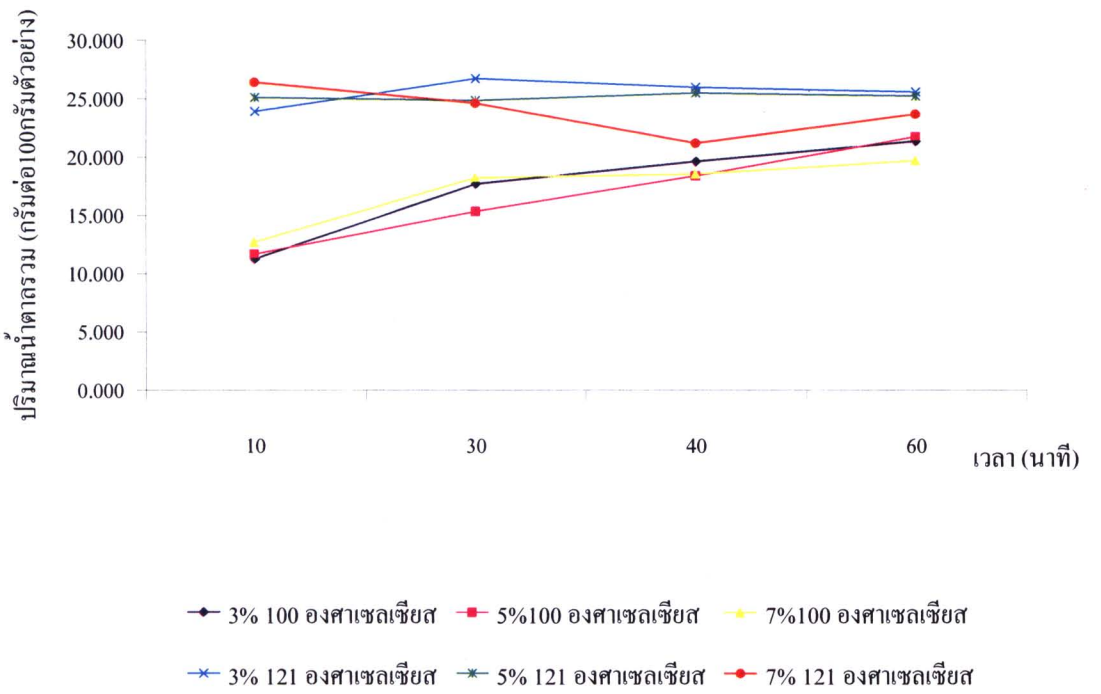
เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่อุณหภูมิ 121 °C (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)						
	ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส	แมนโนส	น้ำตาลรวม
10	5.548±0.232	7.797±0.575	1.134±0.000	10.846±0.611	0.568±0.000	0.591±0.000	26.484
30	5.129±0.016	8.538±0.241	7.885±0.194	1.571±0.000	0.966±0.053	0.591±0.000	24.680
40	4.527±0.169	7.437±0.435	5.913±0.372	1.571±0.000	0.784±0.076	1.017±0.061	21.249
60	5.001±0.383	8.040±0.428	6.582±0.383	2.507±0.124	0.810±0.016	0.815±0.003	23.756

หมายเหตุ : ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง



รูปที่ 10 ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวา ที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก 3%, 5% และ 7% (มวลต่อปริมาตร) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 121 °C

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยอุณหภูมิ 100 °C และ 121 °C ด้วยความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นต่างๆ ดังรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาด้วยอุณหภูมิ 100 °C ในทุกความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยกว่าการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาด้วยอุณหภูมิ 121 °C ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการไฮโดรไลซ์ผักตบชวา คือ 121 °C ส่วนความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกสามารถใช้ได้ทั้ง 3 ความเข้มข้นคือ 3%, 5% และ 7% (มวลต่อปริมาตร) กล่าวคือ ถ้าใช้ 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ควรทำการไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 30 นาที เป็นอย่างน้อย ถ้าใช้ 5% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ควรทำการไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 10 นาที และถ้าใช้ 7% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ควรทำการไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 10 นาที แต่การวิจัยในขั้นตอนต่อไปจะเลือกใช้กรดซัลฟูริก 3% (มวลต่อปริมาตร) ทำการไฮโดรไลซ์เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ประหยัดต้นทุน



รูปที่ 11 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ได้จากไฮโดรไลซ์โมเลกุลผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy ด้วยอุณหภูมิ 100 °C และ 121 °C ด้วยความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกต่างๆ

จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ฉายรังสี 500 kGy ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 30 นาที ได้น้ำตาลรวม (ไซโลส, อะราบิโนส, กลูโคส, กาแลคโตส, แมนโนส) สูงสุดประมาณ 27 % คิดเป็น 44.7 % ของปริมาณเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลสที่มีอยู่ในตัวอย่างผักตบชวา ดังนั้นจะยังคงมีกากเหลืออยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งในกากดังกล่าวยังมีเซลลูโลสเหลืออยู่ใน

ปริมาณมาก จึงนำกากที่เหลือไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 10 %และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 30, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ

3.3 การไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2-5 ของผักตบชวาที่ฉายรังสีแกมมา 500 kGy

ผลการนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1 ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 121 °C มาไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 10 % และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 30, 60 และ 120 นาที แสดงดังตารางที่ 10-11 พบว่าสารละลายของน้ำตาลที่ได้ประกอบด้วยน้ำตาล 3 ชนิด คือ ไซโลส อะราบิโนส และกลูโคส น้ำตาลที่พบมากที่สุดคือน้ำตาลกลูโคส

ตารางที่ 10 ผลการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ของผักตบชวา ด้วย 10% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 30-120 นาที

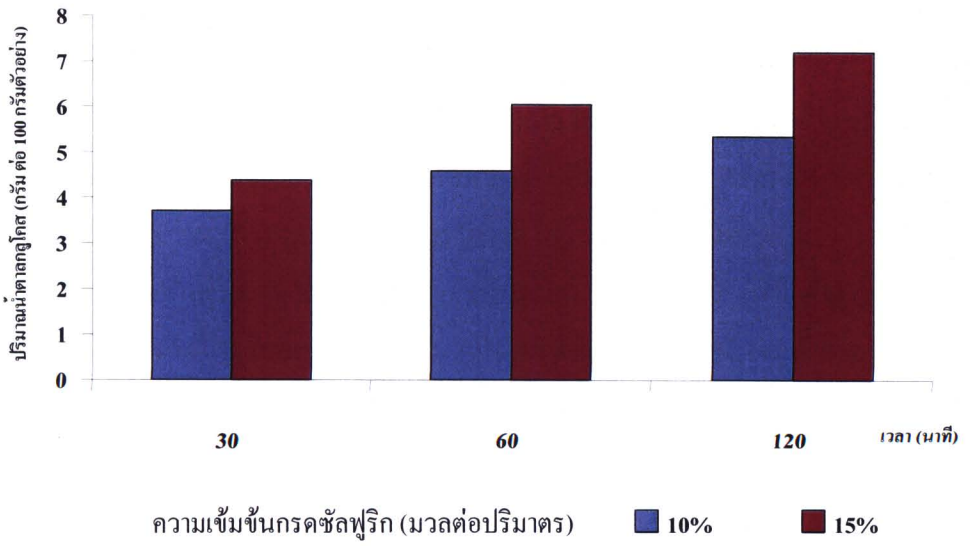
เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)			
	ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	น้ำตาลรวม
30	1.767±0.0056	2.907±0.0010	3.709±0.0879	8.383
60	1.713±0.0052	2.869±0.0258	4.590±0.0275	9.172
120	1.677±0.0520	2.875±0.0948	5.353±0.4702	9.905

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

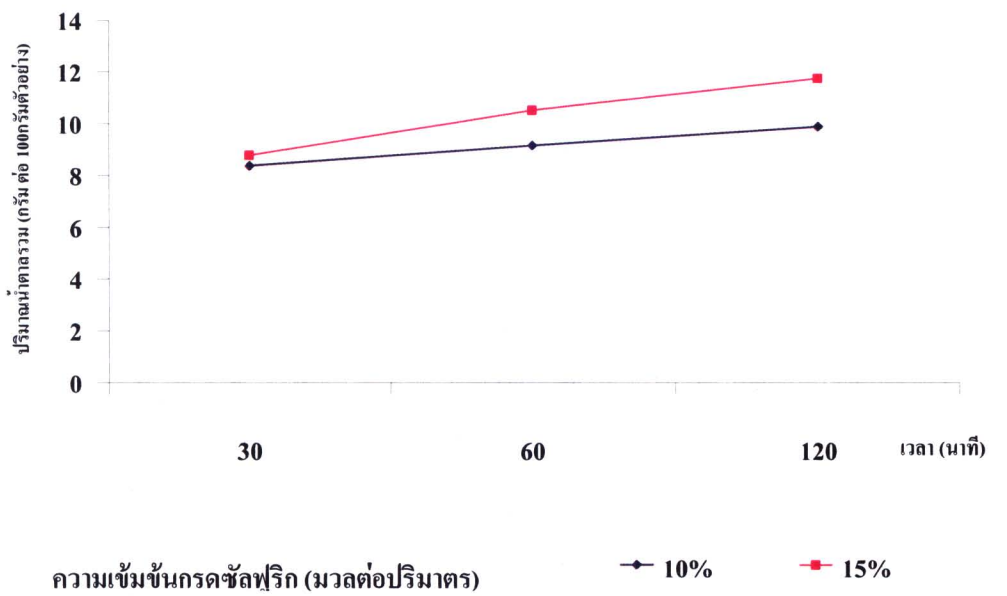
ตารางที่ 11 ผลการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ของผักตบชวา ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 30-120 นาที

เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)			
	ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	น้ำตาลรวม
30	1.636±0.0466	2.789±0.0315	4.378±0.3121	8.803
60	1.647±0.142	2.844±0.0509	6.051±0.2970	10.542
120	1.659±0.0087	2.911±0.0141	7.205±0.0639	11.775

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง



รูปที่ 12 ปริมาณน้ำตาลกลูโคสจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ของผักตบชวา ด้วย 10% และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 30-120 นาที



รูปที่ 13 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ของผักตบชวา ด้วย 10% และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 30-120 นาที

จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการไฮโดรไลซ์ พบว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสสูงสุดจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งได้น้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 7.205 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง รองลงมาคือน้ำตาลกลูโคสที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาทีซึ่งได้น้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 6.051 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ของผักตบชวา ด้วย 10% กรดซัลฟูริก กับ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 30-120 นาที ดังรูปที่ 13 พบว่าทุกระยะเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก ให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากกว่าการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 10% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) และปริมาณน้ำตาลรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 สูงที่สุด คือการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 120 นาที ได้น้ำตาลรวมเท่ากับ 11.775 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 1.659, อะราบิโนส 2.911และ กลูโคส 7.205 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง รองลงมาคือการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ได้น้ำตาลรวมเท่ากับ 10.542 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 1.647, อะราบิโนส 2.844 และ กลูโคส 6.051 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ซึ่งจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 จากทั้งสองสภาวะ คือ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และ 120 นาที ให้ปริมาณน้ำตาลรวมไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 คือ การไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ต่อด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 120 นาที และการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที

หลังจากไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 พบว่ายังมีกากเหลืออยู่จำนวนหนึ่งซึ่งในกากดังกล่าวยังมีเซลลูโลสเหลืออยู่ ดังนั้นจึงนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ที่ให้ปริมาณน้ำตาลสูงไปไฮโดรไลซ์ต่อเป็นครั้งที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ คือ นำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์กากครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 120 นาที ไปไฮโดรไลซ์ต่อด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ดังตารางที่ 12-13

จากตารางที่ 12-13 ผลการนำกากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ไปไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 60 นาที พบว่าประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสเพียงชนิดเดียว ไม่พบน้ำตาลไซโลส และน้ำตาลอะราบิโนส

ตารางที่ 12 ผลการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 3, 4 และ 5 ของผักตบชวา ที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1 ด้วย 3%กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 121 °C และไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 60 นาที

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)
3	15	60	4.510 ± 0.254
4	15	60	2.076 ± 0.020
5	15	60	1.299 ± 0.005

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 13 ผลการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 3, 4 และ 5 ของผักตบชวา ที่ผ่านไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 1 ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 121 °C และไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 120 นาที

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	น้ำตาลกลูโคส (กรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)
3	15	120	3.496 ± 0.133
4	15	120	1.794 ± 0.027
5	15	120	1.279 ± 0.010

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 14 ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างผักตบชวา ที่ผ่านการฉายรังสี 500 kGy และนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C (ไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 เป็นเวลา 60 นาที)

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)			
			ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	ฟรุกโตส
1	3	30	6.032 ± 0.0353	9.584 ± 0.2352	7.661 ± 0.0301	1.178 ± 0.0135
2	15	60	1.647 ± 0.142	2.844 ± 0.0509	6.051 ± 0.2970	0.00 ± 0.00
3	15	60	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	4.510 ± 0.254	0.00 ± 0.00
4	15	60	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	2.076 ± 0.020	0.00 ± 0.00
5	15	60	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.299 ± 0.005	0.00 ± 0.00
รวม			7.679	12.428	21.597	1.178
ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด = 42.882 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง						

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 15 ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 500 kGy และนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C (ไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 เป็นเวลา 120 นาที)

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)			
			ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	ฟรุกโตส
1	3	30	6.343 ± 0.1632	9.974 ± 0.3161	7.218 ± 0.1420	1.291 ± 0.0443
2	15	120	1.659 ± 0.0087	2.911 ± 0.0141	7.205 ± 0.0639	0.00 ± 0.00
3	15	60	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	3.496 ± 0.133	0.00 ± 0.00
4	15	60	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.794 ± 0.027	0.00 ± 0.00
5	15	60	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.279 ± 0.010	0.00 ± 0.00
รวม			8.002	12.885	20.992	1.291
ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด = 43.17 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง						

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ผลการนำตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 500 kGy มาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเป็นจำนวน 5 ครั้ง ด้วย 3% และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C แยกเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 ในครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 3 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 4 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และครั้งที่ 5 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ผลการวิจัยแสดงในดังตารางที่ 14 พบว่า จากการไฮโดรไลซ์ทั้ง 5 ครั้ง ได้ปริมาณรวมทั้งหมด 42.882 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสรวมทั้งหมด 7.679 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลอะราบิโนสรวมทั้งหมด 12.428 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคสรวมทั้งหมด 21.597 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างและน้ำตาลฟรุกโตสรวมทั้งหมด 1.178 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง วิธีที่ 2 ในครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 120 นาที ครั้งที่ 3 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 4 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และครั้งที่ 5 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ผลการวิจัยแสดงในดังตารางที่ 15 พบว่า จากการไฮโดรไลซ์ทั้ง 5 ครั้ง ได้ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด 43.17 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสรวมทั้งหมด 8.002 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลอะราบิโนสรวมทั้งหมด 12.885กรัมต่อ

กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคสรวมทั้งหมด 20.992 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างและน้ำตาลฟรุกโตสรวมทั้งหมด 1.291 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

ตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 500 kGy มาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเป็นจำนวน 5 ครั้ง วิธีที่ 1 ได้ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด 42.882 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และวิธีที่ 2 ได้ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด 43.17 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง คิดเป็น 71% และ 71.6% ของปริมาณเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในตัวอย่างผักตบชวา ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีได้ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมดใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในการย่อยสลายผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 500 kGy ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำตาลสูง คือ วิธีที่ 1 โดยในครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 3 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 4 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และครั้งที่ 5 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที เพราะในการไฮโดรไลซ์ครั้งที่ 2 ใช้เวลาน้อยกว่า ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะใช้สภาวะที่เหมาะสมนี้สำหรับหาปริมาณน้ำตาลจากตัวอย่างผักตบชวาที่ฉายรังสี 100, 300, 700 และ 900 kGy ต่อไป

4. ผลการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 100, 300, 700 และ 900 kGy ด้วยกรดซัลฟูริก

ทำการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 100, 300, 700 และ 900 kGy ด้วยกรดซัลฟูริกตามสภาวะที่เหมาะสม คือในครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 ไฮโดรไลซ์กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งแรกด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 3 ไฮโดรไลซ์กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่สองด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 4 ไฮโดรไลซ์กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่สามด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และครั้งที่ 5 ไฮโดรไลซ์กากที่เหลือจากการไฮโดรไลซ์ครั้งที่สี่ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที แสดงดังตารางที่ 16-19

ตารางที่ 16 ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างผักตบชวา ที่ผ่านการฉายรังสี 100 kGy และนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)				
			ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส
1	3	30	6.164±0.201	9.022±0.315	1.912±0.009	8.072±0.156	0.598 ±0.002
2	15	60	1.553±0.009	2.650±0.010	3.041±0.015	0.000±0.000	0.000 ±0.000
3	15	60	0.000±0.000	0.000±0.000	2.681±0.058	0.000±0.000	0.000 ±0.000
4	15	60	0.000±0.000	0.000±0.000	2.173±0.054	0.000±0.000	0.000 ±0.000
5	15	60	0.000±0.000	0.000±0.000	1.871±0.081	0.000±0.000	0.000 ±0.000
รวม			7.717	11.672	11.679	8.072	0.598
ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด = 39.738 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง							

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ผลการนำตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 100 kGy มาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเป็นจำนวน 5 ครั้ง ด้วย 3% และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C โดยในครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 3 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 4 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และครั้งที่ 5 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 16 พบว่า จากการไฮโดรไลซ์ทั้ง 5 ครั้ง ได้ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด 39.738 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 7.717 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลอะราบิโนส 11.672 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคส 11.679 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกาแลคโตส 8.072 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และน้ำตาลฟรุกโตส 0.598 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

ตารางที่ 17 ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างผักตบชวา ที่ผ่านการฉายรังสี 300 kGy และนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)				
			ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส
1	3	30	6.380 ± 0.115	9.306 ± 0.211	2.324 ± 0.119	7.838 ± 0.762	0.647 ± 0.025
2	15	60	1.534 ± 0.019	2.635 ± 0.014	4.070 ± 0.160	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
3	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	3.296 ± 0.092	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
4	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	2.198±0.068	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
5	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	1.779±0.010	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
รวม			7.914	11.941	13.666	7.838	0.647
ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด = 42.006 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง							

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ผลการนำตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 300 kGy มาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเป็นจำนวน 5 ครั้ง ด้วย 3% และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C โดยในครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 3 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 4 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และครั้งที่ 5 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 17 พบว่า จากการไฮโดรไลซ์ทั้ง 5 ครั้ง ได้ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด 42.006 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 7.914 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลอะราบิโนส 11.941 กรัมต่อ100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคส 13.666 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกาแลคโตส 7.838 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และน้ำตาลฟรุกโตส 0.647 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง

ตารางที่ 18 ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างผักตบชวา ที่ผ่านการฉายรังสี 700 kGy และนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)				
			ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส
1	3	30	5.190 ± 0.051	7.229 ± 0.005	2.547 ± 0.286	8.288 ± 0.240	0.000 ± 0.000
2	15	60	1.578 ± 0.067	2.662 ± 0.080	6.166 ± 0.154	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
3	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	3.402 ± 0.152	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
4	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	1.803 ± 0.025	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
5	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	1.219 ± 0.022	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
รวม			6.768	9.891	15.138	8.288	0.000
ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด = 40.085 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง							

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ผลการนำตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 700 kGy มาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเป็นจำนวน 5 ครั้ง ด้วย 3% และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C โดยในครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 3 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 4 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และครั้งที่ 5 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 18 พบว่า จากการไฮโดรไลซ์ทั้ง 5 ครั้ง ได้ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด 40.085 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 6.767 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลอะราบิโนส 9.891 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคส 15.138 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และน้ำตาลกาแลคโตส 8.288 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนน้ำตาลฟรุกโตสไม่พบ

ตารางที่ 19 ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างผักตบชวา ที่ผ่านการฉายรังสี 900 kGy และนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)				
			ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส
1	3	30	5.827 ± 0.207	7.899 ± 0.201	3.357 ± 0.439	10.052 ±1.380	0.000 ± 0.000
2	15	60	1.542 ± 0.014	2.694 ± 0.006	7.504 ± 0.261	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
3	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	3.384 ± 0.182	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
4	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	1.459 ± 0.082	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
5	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
รวม			7.369	10.594	15.704	10.052	0.000
ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด = 43.719 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง							

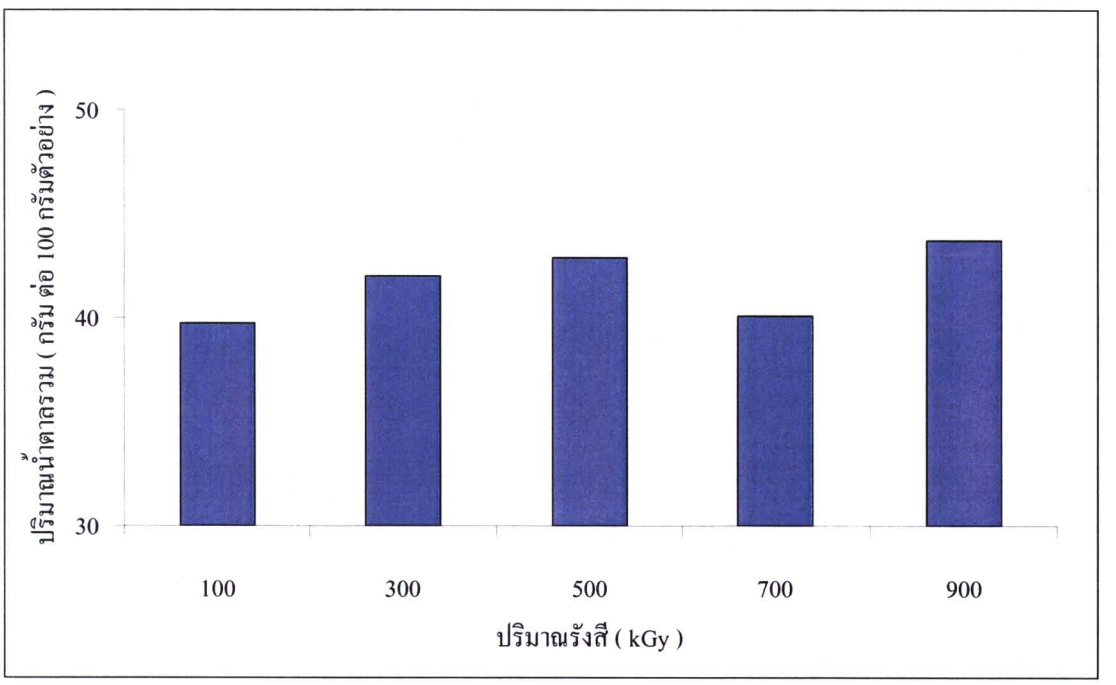
หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ผลการนำตัวอย่างผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 900 kGy มาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเป็นจำนวน 5 ครั้ง ด้วย 3% และ 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C โดยในครั้งแรกไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที ครั้งที่ 2 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 3 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ครั้งที่ 4 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที และครั้งที่ 5 ไฮโดรไลซ์ด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 60 นาที ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 19 พบว่า จากการไฮโดรไลซ์ทั้ง 5 ครั้ง ได้ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด 43.719 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 7.369 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลอะราบิโนส10.594 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคส 15.707 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และน้ำตาลกาแลคโตส 10.052 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนน้ำตาลฟรุกโตสไม่พบ

ตารางที่ 20 และรูปที่ 14 แสดงปริมาณน้ำตาลรวม ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวา ที่ฉายรังสีแกมมา 100-900 kGy พบว่า ที่ปริมาณรังสี 300, 500 และ 900 kGy ให้ปริมาณน้ำตาลรวมสูงใกล้เคียงกัน คือ 42.006, 42.882 และ 43.718 กรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง คิดเป็น 69.58%, 71% และ 72.4% ของปริมาณเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในตัวอย่างผักตบชวา ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับฉายรังสีผักตบชวา คือ 300, 500 และ 900 kGy

ตารางที่ 20 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวา ที่ฉายรังสีแกมมา 100-900 kGy

ปริมาณรังสี (kGy)	ปริมาณน้ำตาลรวม (กรัม ต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)
100	39.737
300	42.006
500	42.882
700	40.085
900	43.718



รูปที่ 14 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ผักตบชวา ที่ฉายรังสีแกมมา 100-900 kGy

5. ผลการผลิตน้ำตาลจากผักตบชวาจากสภาวะที่เหมาะสม

จากการวิจัยหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจากผักตบชวาฉายรังสีแกมมาร่วมกับกรดซัลฟูริก พบว่าปริมาณรังสีที่เหมาะสม คือ 300, 500 และ 900 kGy การผลิตน้ำตาลจากผักตบชวาที่สภาวะที่เหมาะสมจะเลือกทำการผลิตจากผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 500 และ 900 kGy

การผลิตน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจากผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 500 และ 900 kGy เพื่อทำให้โมเลกุลของผักตบชวามีขนาดเล็กลงทำให้ง่ายต่อการไฮโดรไลซ์ด้วยกรด จากนั้นนำมาไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริกเป็นจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C โดยในครั้งแรก ไฮโดรไลซ์ด้วย 3% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไฮโดรไลซ์โมเลกุลของเฮมิเซลลูโลส และนำกากที่เหลือมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วย 15% กรดซัลฟูริก (มวลต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 60 นาที จำนวน 4 ครั้ง เพื่อย่อยโมเลกุลของเซลลูโลสให้หมด ผลการทดลองดังตารางที่ 21-22

ตารางที่ 21 ผลการผลิตน้ำตาลจากผักตบชวาจากสภาวะที่เหมาะสม จากผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 500 kGy และนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)				
			ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส
1	3	30	6.190 ± 0.359	8.573± 0.202	3.829 ± 0.156	3.942 ±1.590	0.000 ± 0.000
2	15	60	1.531± 0.007	2.626 ± 0.004	6.441 ± 0.021	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
3	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	4.718 ± 0.564	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
4	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	2.193 ± 0.158	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
5	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	1.500 ± 0.073	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
รวม			7.721	11.200	18.680	3.942	0.000
ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด = 41.542 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง							

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

ตารางที่ 22 ผลการผลิตน้ำตาลจากผักตบชวาจากสภาวะที่เหมาะสม จากผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสี 900 kGy และนำมาไฮโดรไลซ์ต่อด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 5 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 121 °C

ไฮโดรไลซ์ครั้งที่	กรดซัลฟูริก (%)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)				
			ไซโลส	อะราบิโนส	กลูโคส	กาแลคโตส	ฟรุกโตส
1	3	30	6.102 ± 0.130	8.403 ± 0.165	5.004 ± 0.083	6.882 ±0.920	0.000 ± 0.000
2	15	60	1.511 ± 0.012	2.638 ± 0.009	8.271 ± 0.175	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
3	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	4.116 ± 0.198	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
4	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	1.466± 0.016	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
5	15	60	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	1.170 ± 0.007	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
รวม			7.613	11.041	20.026	6.882	0.000
ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมด = 45.562 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง							

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ครั้ง

จากผลการวิจัยพบว่าสามารถผลิตน้ำตาลจากผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 500 และ 900 kGy ได้ทั้งหมด 41.542 และ 45.562 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง คิดเป็น 68.8% และ 75.4% ของปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในตัวอย่างผักตบชวา ตามลำดับ ซึ่งน้ำตาลจากผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 500 kGy ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลส 7.721 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลอะราบิโนส 11.2 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคส 18.68 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และน้ำตาลกาแลคโตส 3.942 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนน้ำตาลฟรุกโตสไม่พบ และน้ำตาลจากผักตบชวาที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา 900 kGy ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสร 7.613 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลอะราบิโนส 11.041 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง น้ำตาลกลูโคส 20.026 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และน้ำตาลกาแลคโตส 6.882 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนน้ำตาลฟรุกโตสไม่พบ

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การศึกษาของ A. Kumar และคณะ **[11]** ทำการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาด้วยกรดซัลฟูริก (2% v/v) พบว่าได้น้ำตาล reducing sugar ทั้งหมด 18.8 กรัมต่อ100 กรัมตัวอย่าง จากการศึกษาของ Nigam JN **[13]** ทำการไฮโดรไลซ์ผักตบชวาด้วยกรดซัลฟูริก (1% v/v) พบว่าได้น้ำตาลทั้งหมด 21% ของตัวอย่างผักตบชวาที่แห้งแล้ว ประกอบด้วยน้ำตาล D-xylose 12.4%, D-glocose 1.7%, L-arabinose 2.2%, D-galactose 1.2% และ D-mannose 3.5% และการศึกษาของ U.S. Aswathy และคณะ **[16]** ทำการวิจัยผลิตเอทานอลจากผักตบชวาโดยใช้เอนไซม์ โดยนำตัวอย่างผักตบชวาไปเข้าสู่กระบวนการทางเคมี (pretreated) ก่อนนำไปย่อยสลายต่อด้วยเอนไซม์ พบว่าได้น้ำตาล reducing sugar สูงสุด 639.42 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง คิดเป็น

57% ของปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่ในตัวอย่าง จะเห็นได้ว่ากระบวนการในการย่อยสลายเยื่อใยที่แตกต่างกันจะทำให้ได้น้ำตาลในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยนี้ทำการผลิตน้ำตาลโดยใช้รังสีร่วมกับกรดซัลฟูริกสามารถผลิตน้ำตาลได้มากกว่าวิธีอื่น

อย่างไรก็ตามการจะเลือกวิธีใดในการผลิตต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตเป็นหลัก วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ให้ผลผลิตน้ำตาลในปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น แต่มีค่าใช้จ่ายในเรื่องการฉายรังสี สามารถแก้ได้โดยฉายรังสีด้วยกากกัมมันตรังสีที่เก็บไว้เพื่อรอการจัดการในอนาคต จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยมาก ส่วนกรดซัลฟูริกที่ใช้ควรนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยกระบวนการที่เหมาะสม เช่น ion exclusion, simulated moving bed chromatographic separation เป็นต้น