บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนของวัสดุ

5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุทั้งชนิดไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์เซลลูโลสโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารละลายสีความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แล้วนำไปทำการทดลองแบบแบตช์ โดยกวนด้วยเครื่องจาร์เทส ที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 90 นาที ปริมาณวัสดุชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์เซลลูโลสที่ใช้ในการทดลองแต่ละแบตช์ เท่ากับ 0.5 กรัม จากนั้นนำน้ำสีที่ผ่านการกำจัดแล้วมากรองวัสดุออกด้วยกระดาษกรองแล้วจึงนำไปวัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยวัดในหน่วย SU ที่ความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร

จากตารางที่ 5.1 พบว่าวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพทั้งสามวัสดุนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำมากกล่าวคือ ซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์คือ Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL และ Best Direct Black B อยู่ในช่วง 0.56 – 8.49 %, 0.65 – 7.54 % และ 0.37 – 8.11 % ตามลำดับ สีรีแอคทีฟคือ Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS และ Remazol Black B อยู่ในช่วง 2.61 – 9.39 %, 7.52 – 10.76 % และ 2.11 – 5.88 % ตามลำดับ เปลือกถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์ได้บ้างสองสีคือ Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL อยู่ในช่วง 3.68 – 22.46 % และ 2.93 – 18.66 % ส่วน Best Direct Black B อยู่ในช่วง 1.66 – 5.18 % ส่วนสีรีแอคทีฟ Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS และ Remazol Black B ประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 0.78 – 3.36 %, 5.10 – 11.40 % และ 1.35 – 16.91 % ตามลำดับ ส่วนก้านดอกทานตะวันมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์ได้ปานกลางคือสี Sirius Blue KCFN 9.05 – 23.35 % และกำจัดได้บ้างคือสี Sirius Rubine KZBL และ Best Direct Black B อยู่ในช่วง 0 – 11.86 % และ 1.41 – 5.27 %

ตารางที่ 5.1 แสดงประสิทธิภาพของวัสดุแต่ละชนิดในการกำจัดสีย้อมไดเรกท์และสีรีแอคทีฟ

สีย้อม	ความเข้มข้นสีย้อม (mg/l)	ซังข้าวโพด		เปลือกถั่วเหลือง		ก้านตอกทานตะวัน	
		Untreat	Q-R	Untreat	Q-R	Untreat	Q-R
Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์)	50	8.49	99.77	10.39	100	20.93	100
	70	6.13	98.88	13.59	98.32	23.35	99.97
	90	0.56	99.00	22.46	91.94	15.43	99.98
	150	4.30	99.87	11.93	68.07	9.05	88.73
	200	2.50	99.90	3.68	58.62	11.55	73.84
Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์)	50	6.60	99.86	12.21	100	0	98.87
	70	7.19	99.46	5.52	96.49	2.05	99.70
	90	7.54	99.77	3.19	83.89	1.93	99.77
	150	0.65	100	18.66	63.64	11.86	98.72
	200	6.28	100	2.93	64.27	7.31	88.54
Best Direct Black B (สีไดเรกท์)	50	8.11	76.42	5.18	62.49	5.27	79.79
	70	5.23	66.77	1.92	47.75	4.83	63.99
	90	0.37	63.46	1.66	41.98	5.06	56.39
	150	1.54	53.04	1.77	41.76	1.41	51.07
	200	2.28	47.27	2.85	30.74	2.69	42.59
Remazol Brilliant Blue R (รีแอคทีฟ)	50	3.37	100	1.67	99.67	0	98.76
	70	4.05	99.53	2.05	99.52	0	99.87
	90	4.80	99.87	3.36	100	0	100
	150	9.39	99.94	0.78	98.52	0	99.91
	200	2.61	99.93	3.33	97.88	0	99.54
Remazol Brilliant Red 3BS (รีแอคทีฟ)	50	10.46	97.31	5.11	100	7.42	99.84
	70	10.76	98.19	6.23	100	5.73	99.40
	90	10.27	97.52	7.43	100	7.57	99.92
	150	8.00	98.70	11.40	100	6.81	100
	200	7.52	99.14	5.10	100	5.09	100
Remazol Black B (รีแอคทีฟ)	50	2.11	97.79	1.77	99.89	10.08	99.63
	70	5.85	98.65	1.35	99.87	8.70	99.99
	90	5.88	98.11	1.97	99.82	4.96	100
	150	4.94	99.20	1.76	99.96	9.40	99.87
	200	5.70	99.61	16.91	99.40	13.25	99.83

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์เซลลูโลสพบว่า วัสดุทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟ 97.31 – 100 % โดยก้านดอกทานตะวันมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟดีที่สุด คือมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 98.76 – 100 % สำหรับสีรีแอคทีฟรองลงมาคือ เปลือกถั่วเหลืองและซังข้าวโพด มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 97.88 – 100 % และ 97.31 – 100 % ตามลำดับ ส่วนสีไดเรกท์ซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBLอยู่ในช่วง 99.00 – 99.90 % และ 99.46 – 100 % ส่วนสี Best Direct Black B มีประสิทธิภาพ 63.46 – 76.42 % ที่ความเข้มข้น 50 – 90 มิลลิกรัม/ลิตร และลดลงเหลือ 53.04 และ 47.27 % ที่ความเข้มข้น 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เปลือกถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL อยู่ในช่วง 91.94 – 100 % และ 96.49 – 100 % ที่ความเข้มข้น 50 – 90 และ 50 – 70 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ประสิทธิภาพจะลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นคือเหลือ 68.07 % และ 58.62 % ที่ความเข้มข้น 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร และเหลือ 64.27 - 83.89% ที่ความเข้มข้น 90 – 200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนสี Best Direct Black B มีประสิทธิภาพ 30.74 – 62.49 % โดยประสิทธิภาพลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ก้านดอกทานตะวันมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Sirius Blue KCFN 99.97 – 100 % ที่ความเข้มข้น 50 – 90 % และลดลงเหลือ 88.73 % และ 73.84% ที่ความเข้มข้น 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ สำหรับสี Sirius Rubine KZBL ประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 98.72 – 99.77 % ที่ความเข้มข้น 50 – 150 มิลลิกรัม/ลิตร และลดลงเหลือ 88.54 % ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร ความเข้มสีหลังการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ข.

5.1.2 การศึกษาความสามารถสูงสุดในการกำจัดสีโดยใช้ไอโซเทอมการดูดติดผิวแบบแลงมัวร์ (Langmuir Isotherm) (Laszlo, 1996 และ Sun, 1997) ในการอธิบายเนื่องจากผลการทดลองเข้ากับสมการของแลงมัวร์ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$C_e/Q_e = 1/K_L + (a_L/K_L)C_e$$

a_L คือ ค่าคงที่ Langmuir isotherm (ลิตร.มิลลิกรัม)

K_L คือ ค่าคงที่ Langmuir equilibrium (ลิตร/กรัม)

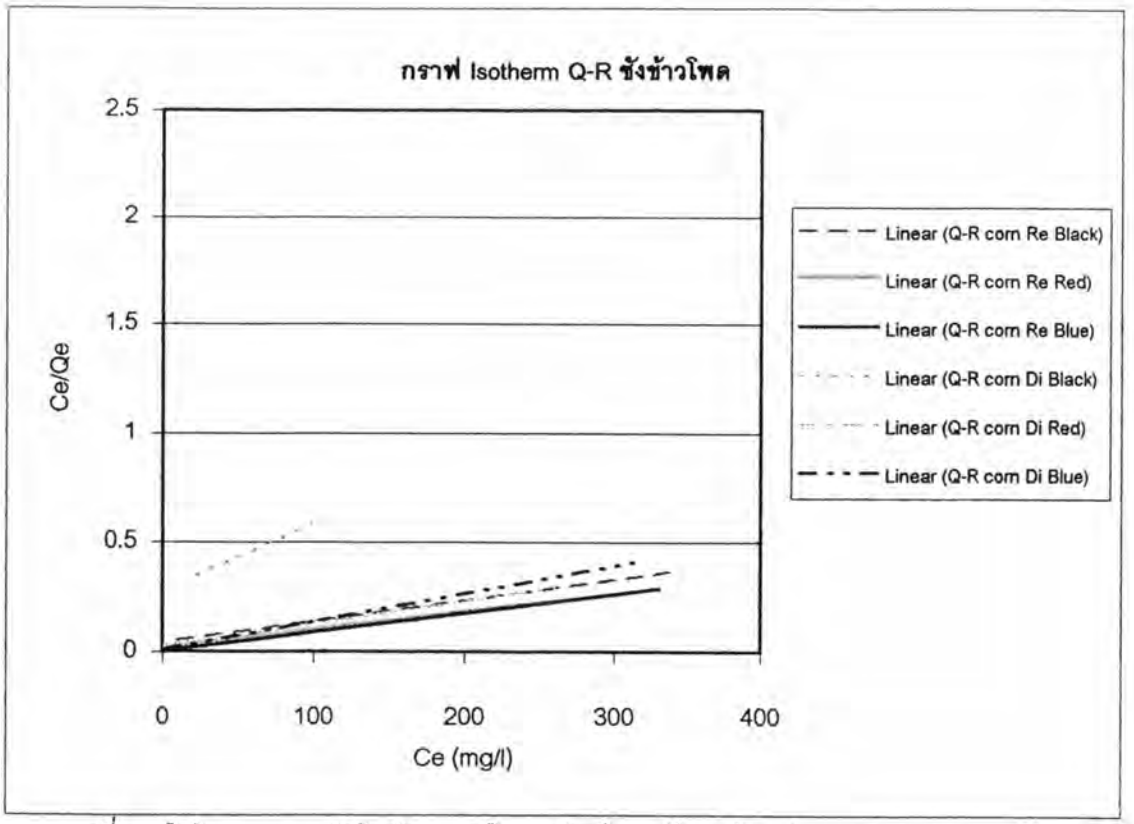
C_e คือ ความเข้มข้นสีที่จุดสมดุลในของเหลว (มิลลิกรัม/ลิตร)

Q_e คือ ความเข้มข้นสีที่จุดสมดุลในของแข็ง (มิลลิกรัม/กรัม)

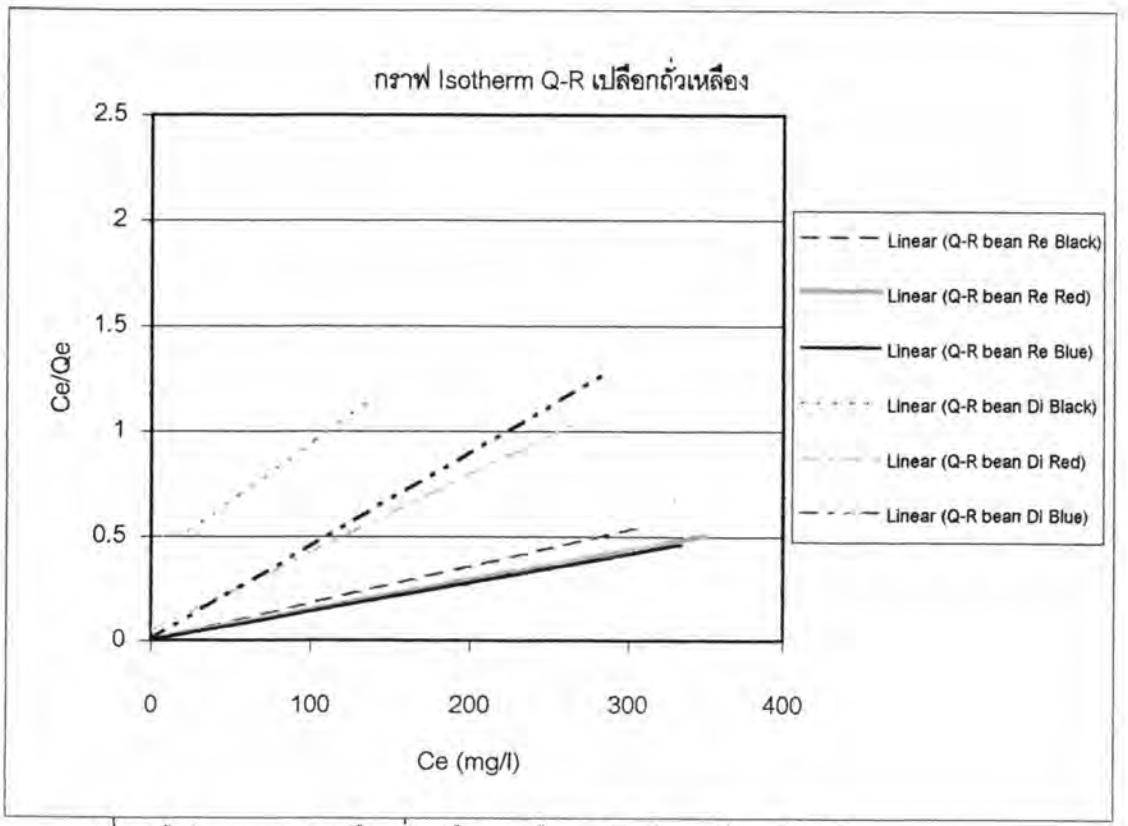
จากสูตรค่า K_L/a_L คือค่าความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุ (q_{max}) หรือคือค่าส่วนกลับของความชันที่ได้จากการเขียนกราฟโดยให้แกนตั้งคือ C_e และแกนนอนคือ C_e/Q_e ดังแสดงในรูปที่ 5.1 – 5.3 โดยจากส่วนกลับของความชันของกราฟแต่ละเส้นจะได้ค่าความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุดังแสดงในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.4 ข้อมูลจากการทดลองแสดงในภาคผนวก ค.

ตารางที่ 5.2 ความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุกับสีต่างๆ

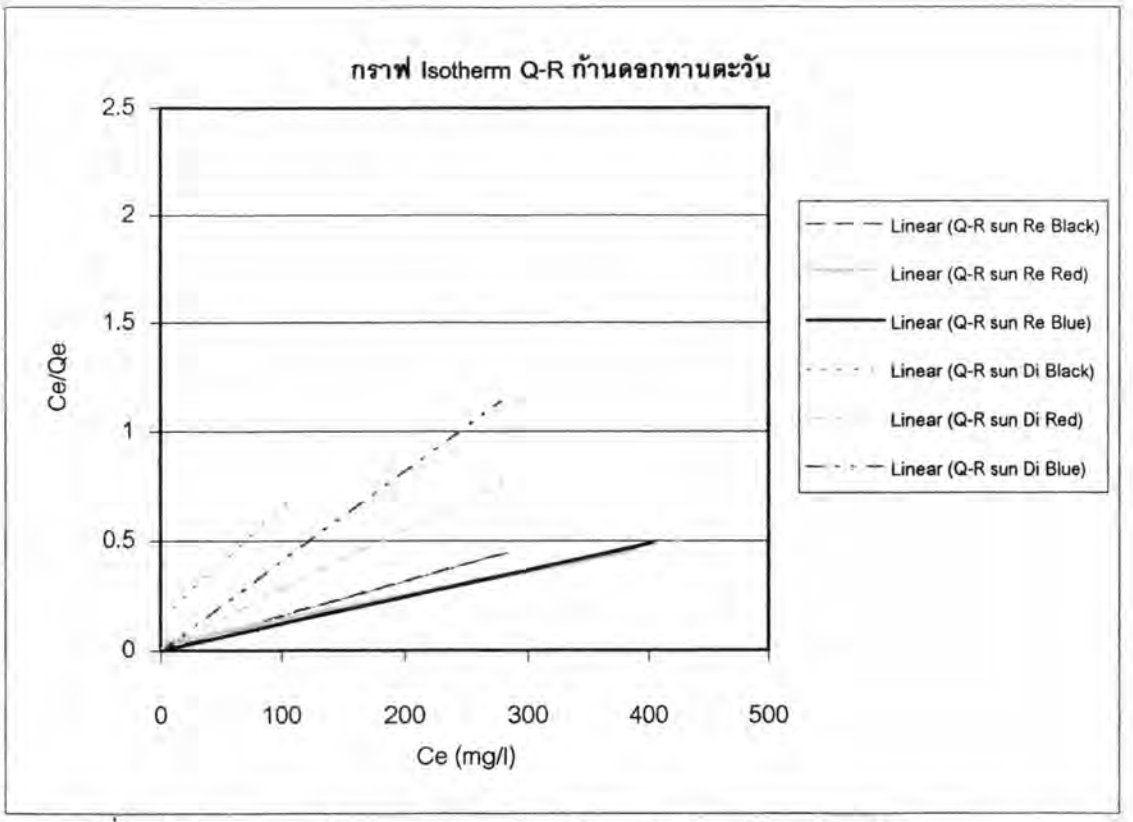
สี	วัสดุ	q_{max} (มิลลิกรัม/กรัม)	Correlation coefficient (R^2)
Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์)	ซังข้าวโพด	769.23	1.00
	เปลือกถั่วเหลือง	222.22	0.99
	ก้านดอกทานตะวัน	243.90	1.00
Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์)	ซังข้าวโพด	1,000.00	0.95
	เปลือกถั่วเหลือง	263.16	0.98
	ก้านดอกทานตะวัน	370.37	0.99
Best Direct Black B (สีไดเรกท์)	ซังข้าวโพด	322.58	0.92
	เปลือกถั่วเหลือง	181.82	0.85
	ก้านดอกทานตะวัน	192.31	0.94
Remazol Brilliant Blue R (สีรีแอคทีฟ)	ซังข้าวโพด	1,111.11	1.00
	เปลือกถั่วเหลือง	714.29	1.00
	ก้านดอกทานตะวัน	833.33	0.99
Remazol Brilliant Red 3BS (สีรีแอคทีฟ)	ซังข้าวโพด	1,250.00	0.93
	เปลือกถั่วเหลือง	714.29	1.00
	ก้านดอกทานตะวัน	909.10	0.99
Remazol Black B (สีรีแอคทีฟ)	ซังข้าวโพด	1,000.00	0.90
	เปลือกถั่วเหลือง	555.56	1.00
	ก้านดอกทานตะวัน	625.00	1.00



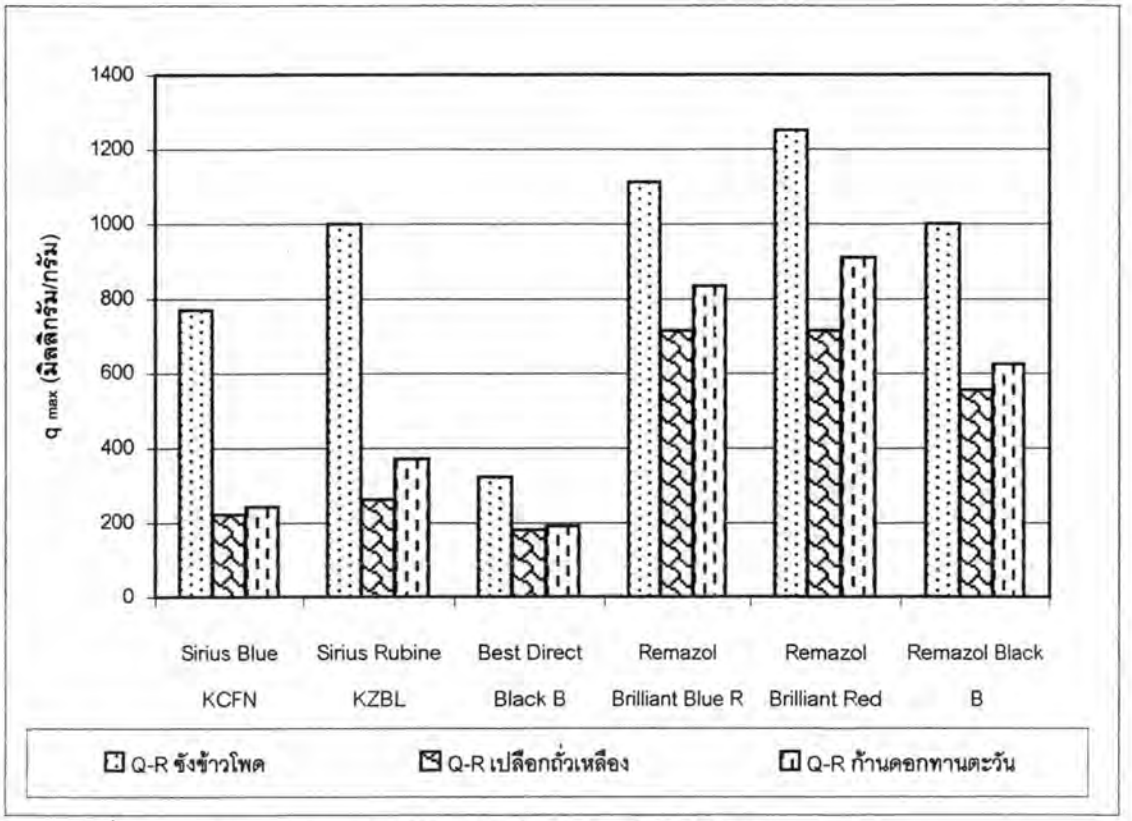
รูปที่ 5.1 ไอโซเทอม Q-R ซังข้าวโพดของสีไดเรกท์ 3 สี และสีรีแอคทีฟ 3 สี



รูปที่ 5.2 ไอโซเทอม Q-R เปลือกถั่วเหลืองของสีไดเรกท์ 3 สี และสีรีแอคทีฟ 3 สี



รูปที่ 5.3 ไอโซเทอม Q-R ก้านดอกทานตะวันของสีไดเรกท์ 3 สี และสีรีแอคทีฟ 3 สี



รูปที่ 5.4 กราฟความสามารถสูงสุดในการจับสีของแต่ละวัสดุกับสีต่างๆ

5.2 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของวัสดุชนิดต่าง ๆ

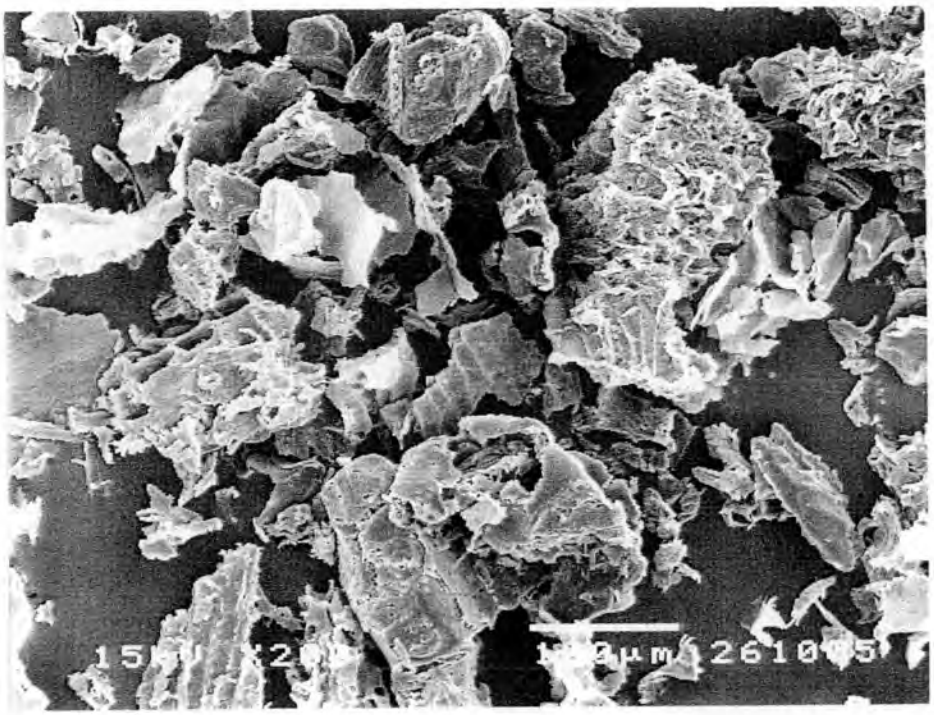
วัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดมีสองประเภท คือ

1. วัสดุที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ (Untreated Cellulose) ได้แก่ ซังข้าวโพด (Untreated Corn Cob) เปลือกถั่วเหลือง (Untreated Soy Bean Hull) และ ก้านดอกทานตะวัน (Untreated Sunflower Stalks)
2. วัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยอีพิคลอโรไฮดริน และ CHMAC ได้แก่ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพด (Quarternized-Crosslinked Corn Cob) ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลือง (Quarternized-Crosslinked Soy Bean Hull) และ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านดอกทานตะวัน (Quarternized-Crosslinked Sunflower Stalks)

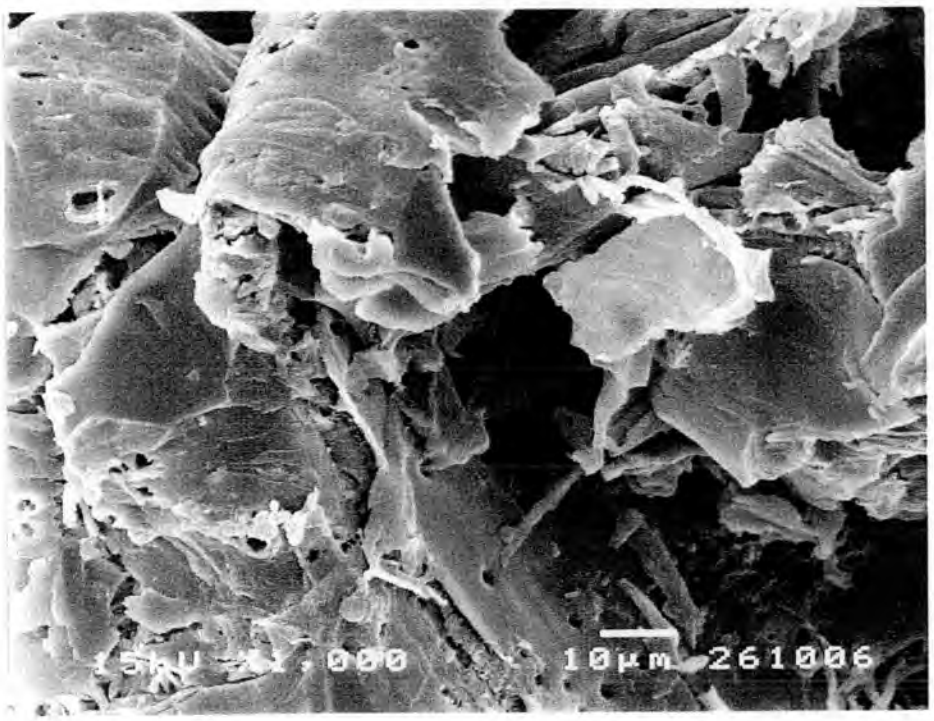
5.2.1 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุแต่ละชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน

รูปที่ 5.5 – 5.10 แสดงลักษณะพื้นผิวของวัสดุเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 เท่าและ 1,000 เท่า พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีลักษณะคล้ายกันในกลุ่มของตัวเองคือ มีลักษณะเป็นชิ้นๆ มองเห็นได้ชัดเจน บริเวณผิวของวัสดุมีลักษณะยุ่ย ไม่มีร่องรอยหยักมากนักและเป็นร่องรอยที่ตื้น จะแตกต่างกันเพียงลักษณะรูปร่างของก้อนวัสดุคือ ซังข้าวโพดจะมีลักษณะเป็นชิ้นๆ ด้านหนึ่งเรียบอีกด้านหนึ่งเป็นช่องๆ ส่วนเปลือกถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นชิ้นๆ เช่นกันแต่จะมีลักษณะผิวเป็นแผ่นยุ่ย และก้านดอกทานตะวันจะมีลักษณะเป็นแท่งยาว รอยร่องเป็นร่องตามแนวยาวของวัสดุ ซึ่งวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการปรับสภาพแล้วคือควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสจะมีลักษณะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดกับวัสดุที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพคือ จะมีลักษณะวัสดุรวมตัวกันแน่นขึ้น เนื้อวัสดุเป็นหยัก บริเวณผิวของวัสดุขรุขระและร่องรอยที่เกิดลึกมากขึ้น ส่วนรูปร่างของวัสดุยังคงเหมือนก่อนนำมาปรับสภาพ

หลังจากผ่านการกำจัดสีแล้วเลือกวิเคราะห์วัสดุ Q-R ซังข้าวโพดเนื่องจากมีความสามารถสูงสุดในการกำจัดสี พบว่าวัสดุที่ผ่านการกำจัดสีทุกสีแล้วผิวจะมีลักษณะเรียบมากขึ้น ร่องรอยหยักจะตื้นขึ้นเปลี่ยนเป็นลักษณะโค้งมน ดังแสดงในรูปที่ 5.11 – 5.16

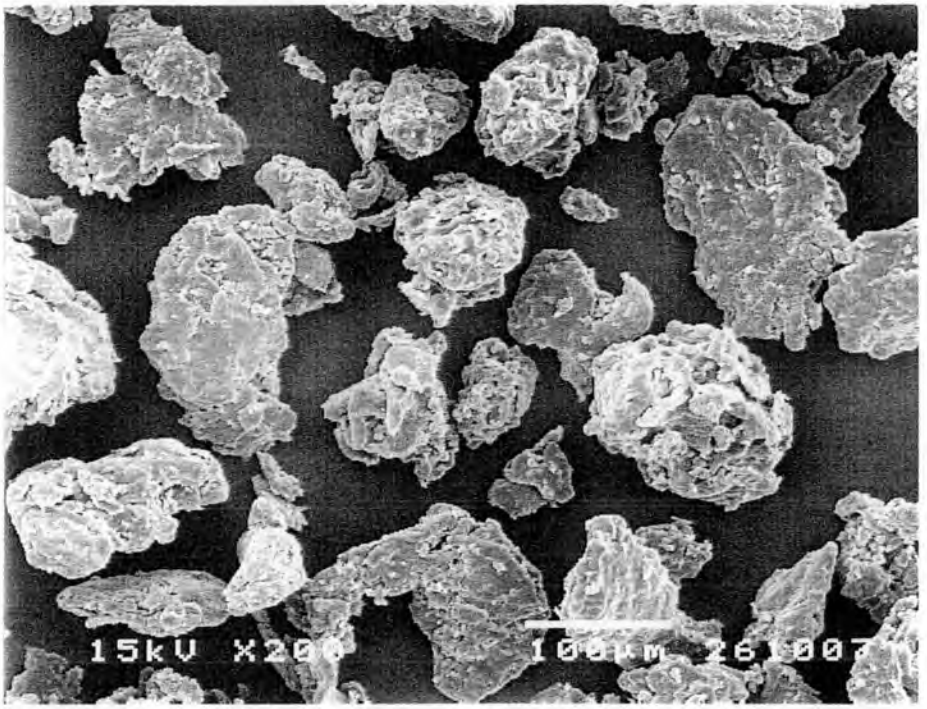


ก)

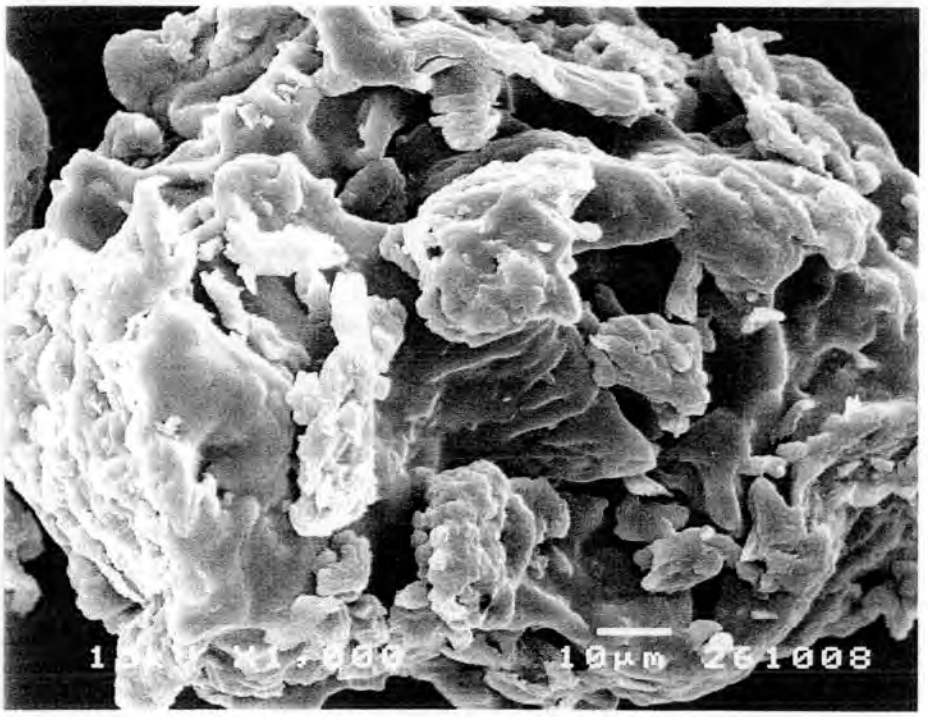


ข)

รูปที่ 5.5 ลักษณะพื้นผิวของซังข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

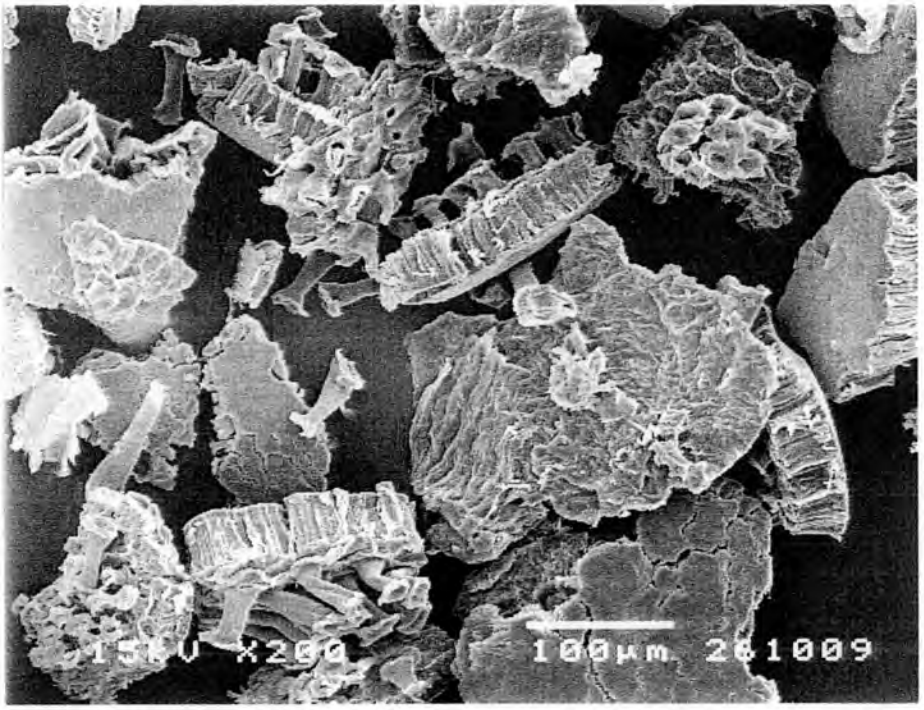


ก)

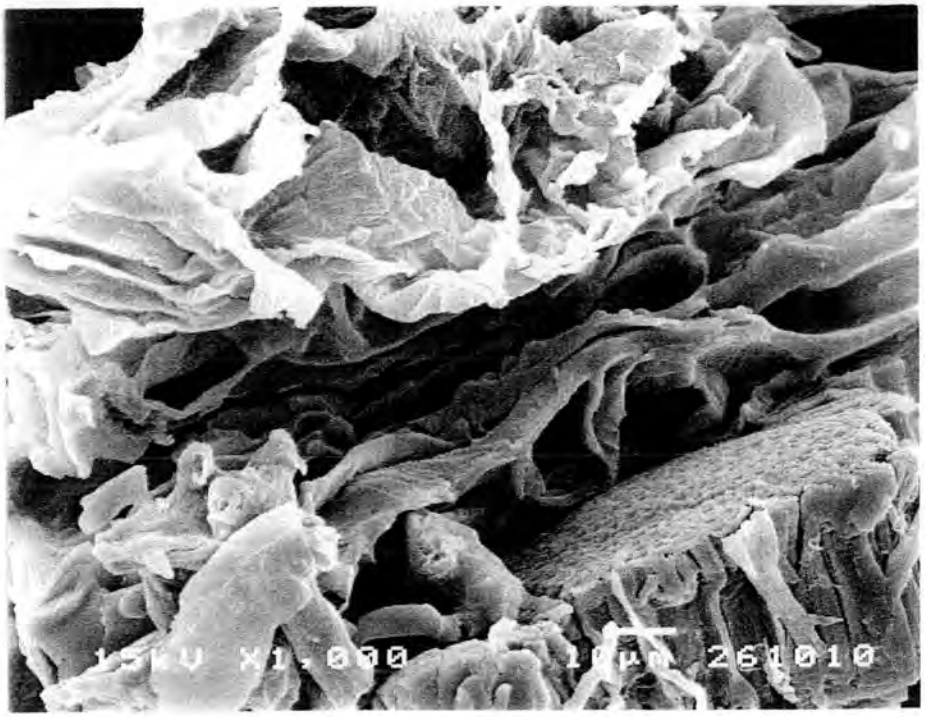


ข)

รูปที่ 5.6 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

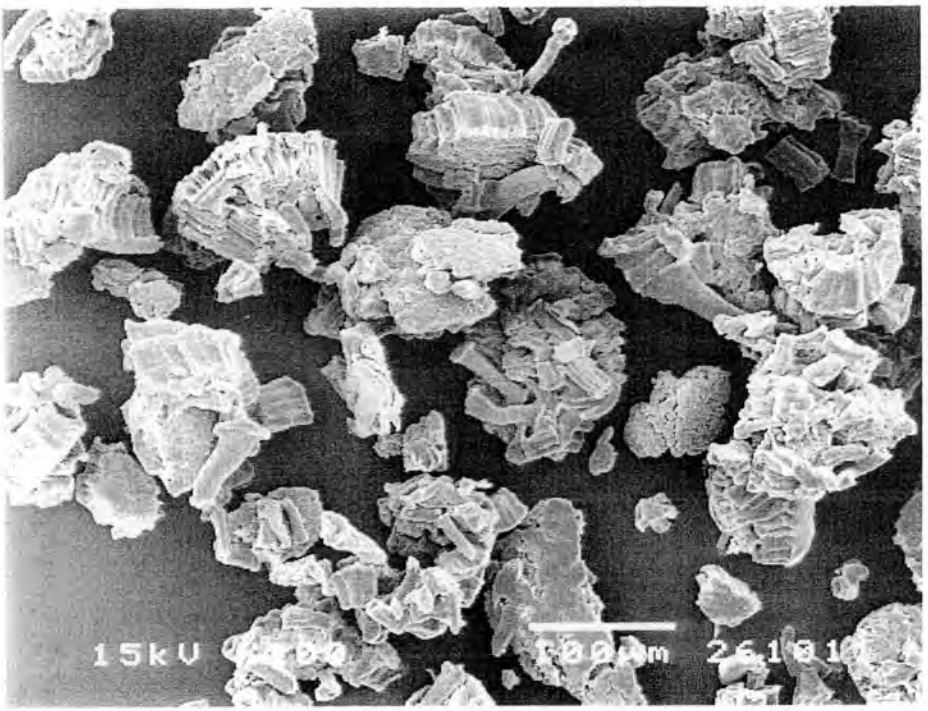


ก)

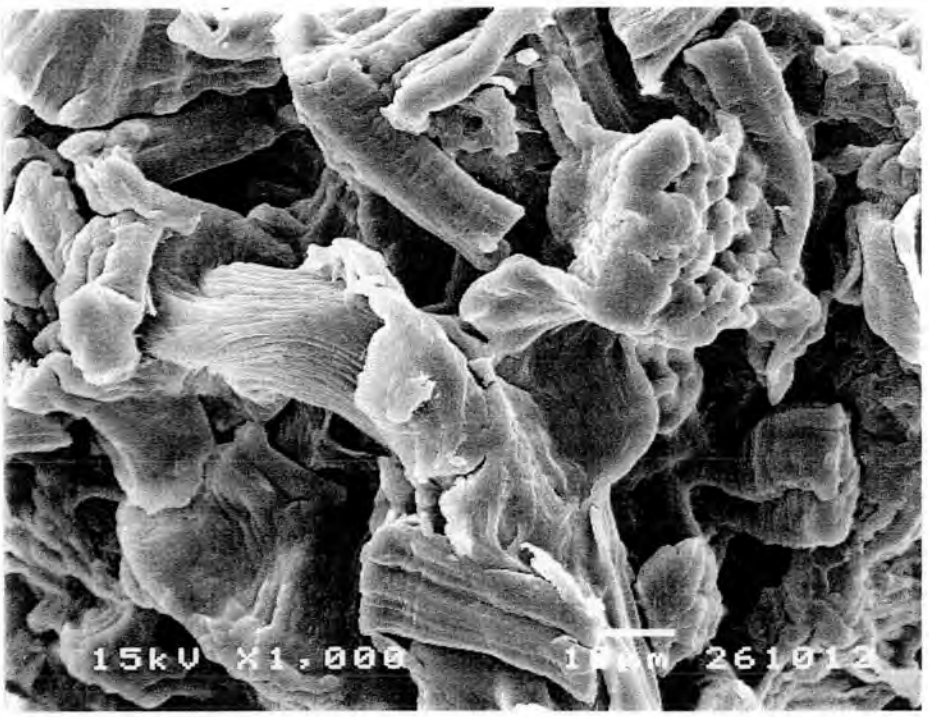


ข)

รูปที่ 5.7 ลักษณะพื้นผิวของเปลือกถั่วเหลืองที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

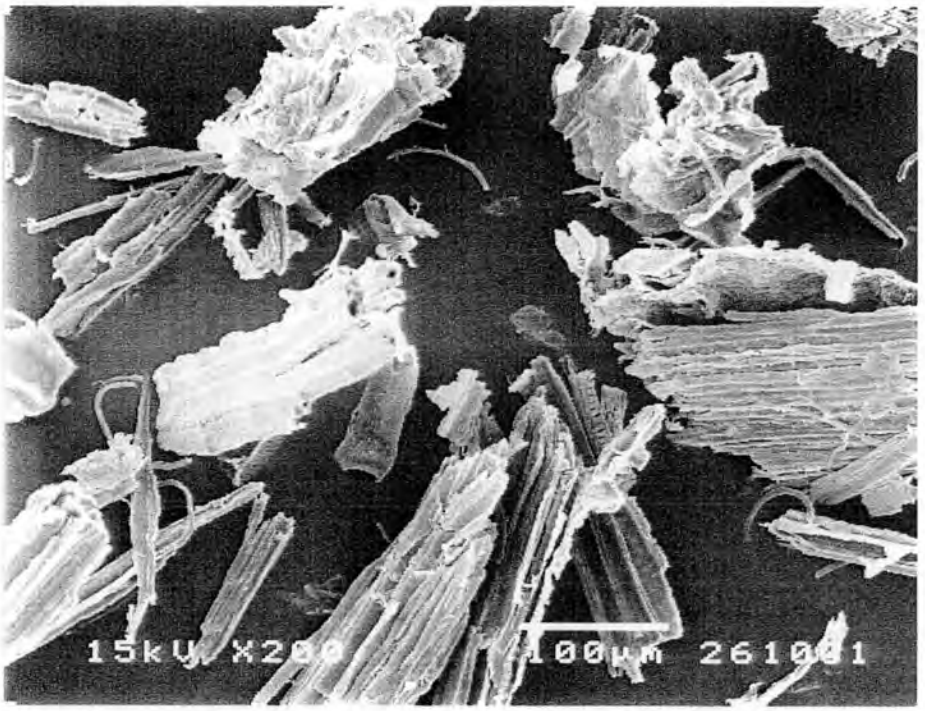


ก)

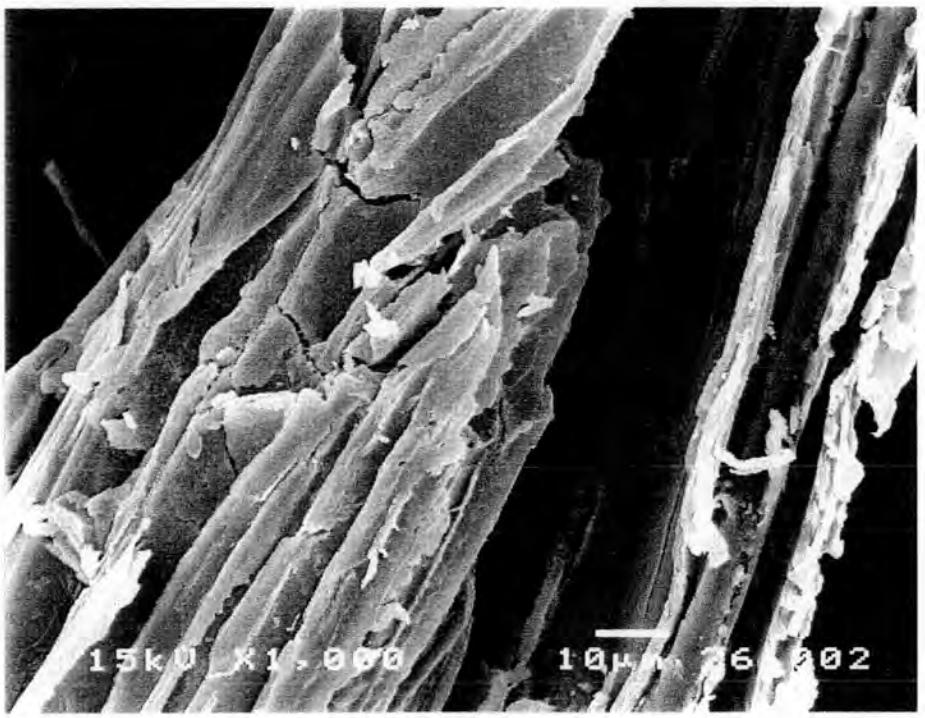


ข)

รูปที่ 5.8 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลืองเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

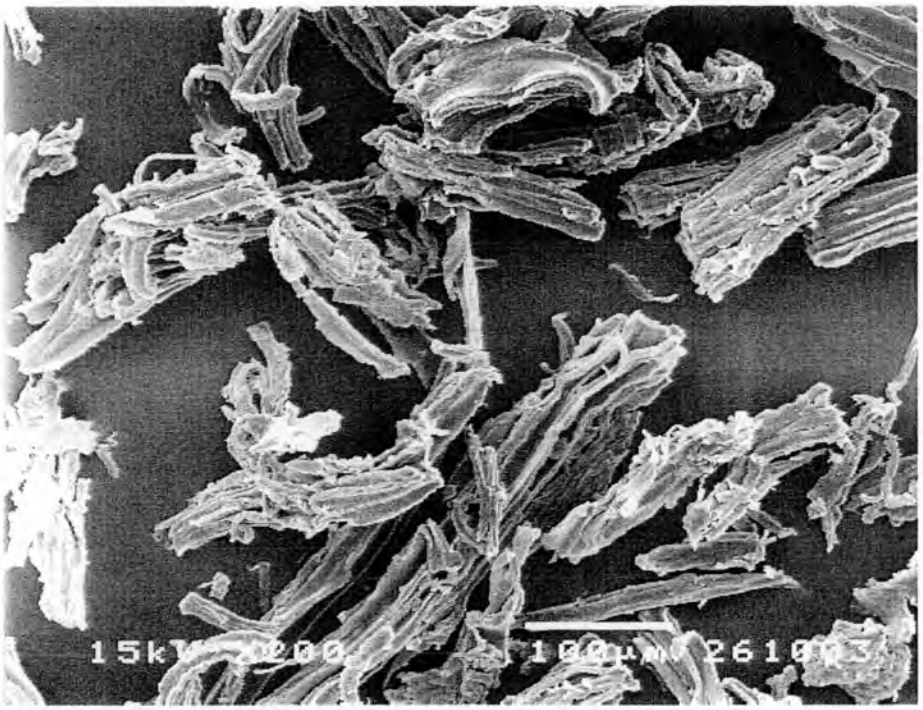


ก)

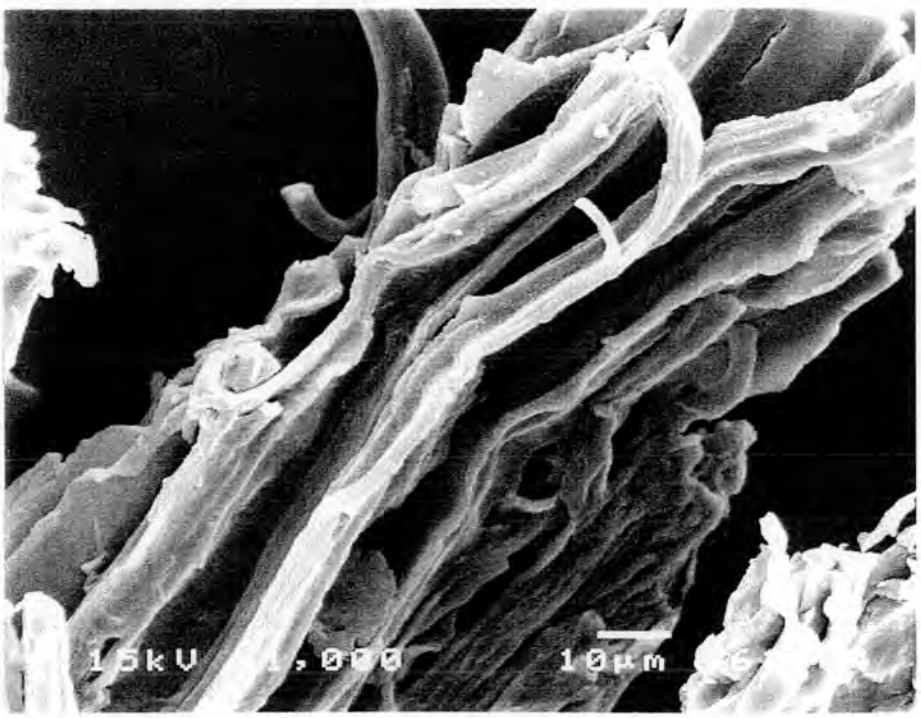


ข)

รูปที่ 5.9 ลักษณะพื้นผิวของก้านดอกทานตะวันที่ไม่ได้ปรับสภาพเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

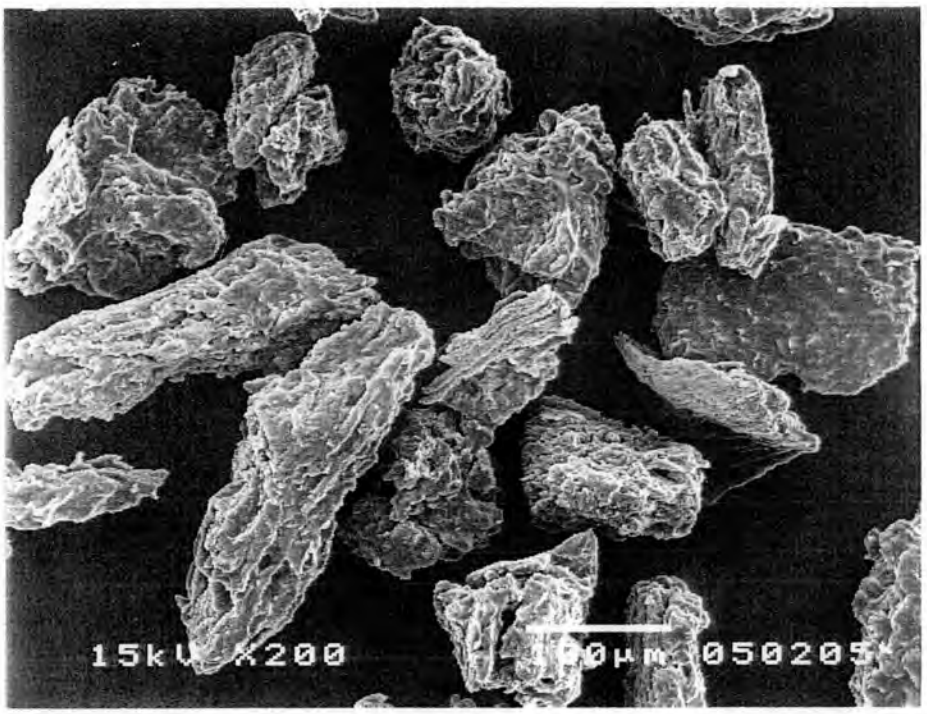


ก)

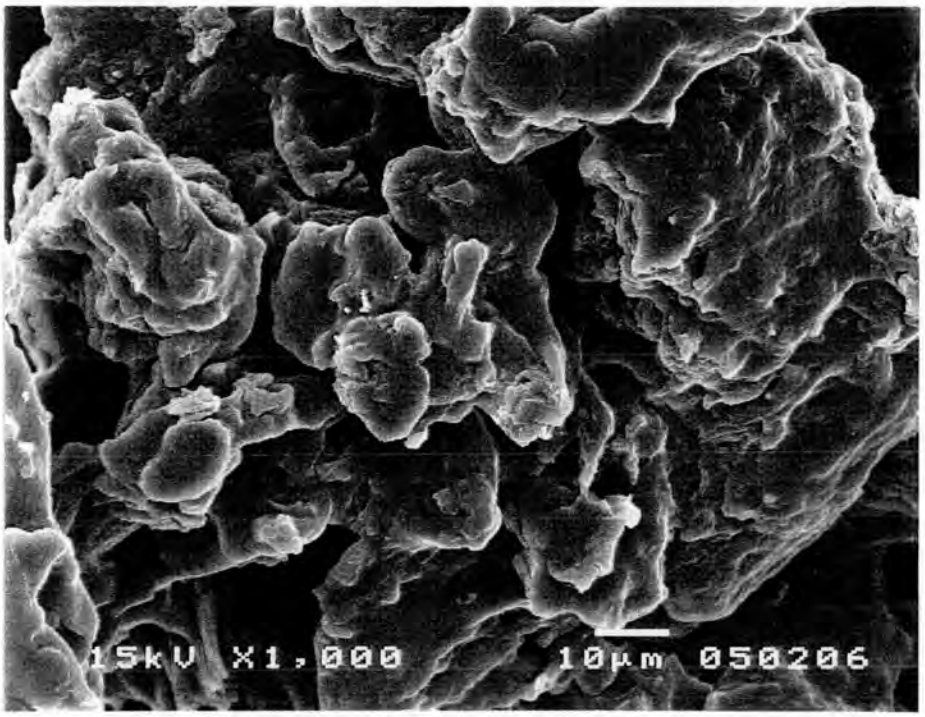


ข)

รูปที่ 5.10 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านดอกทานตะวันเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

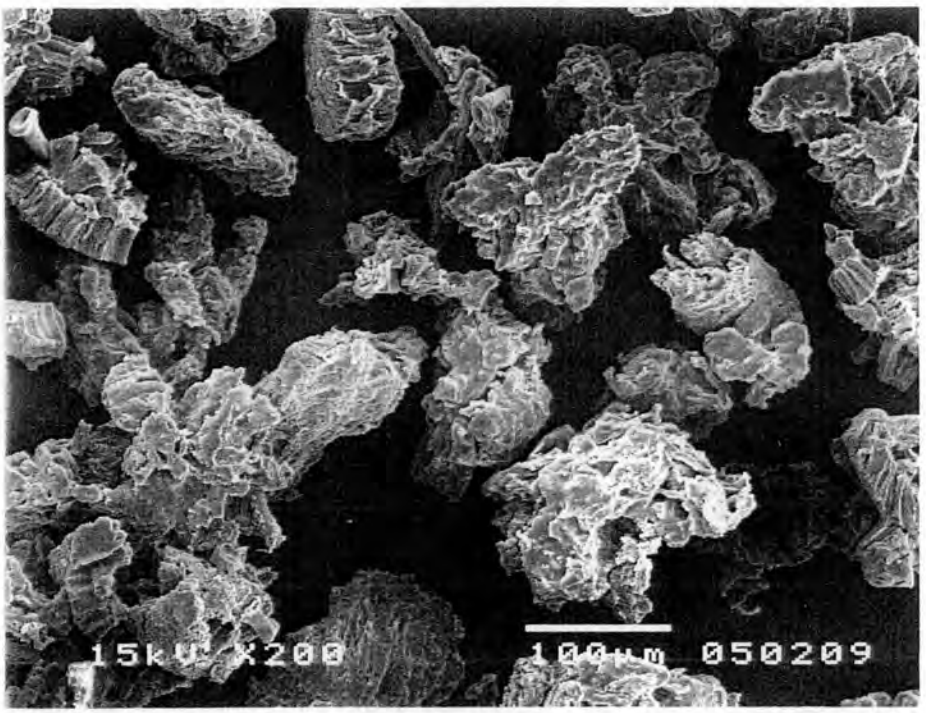


ก)

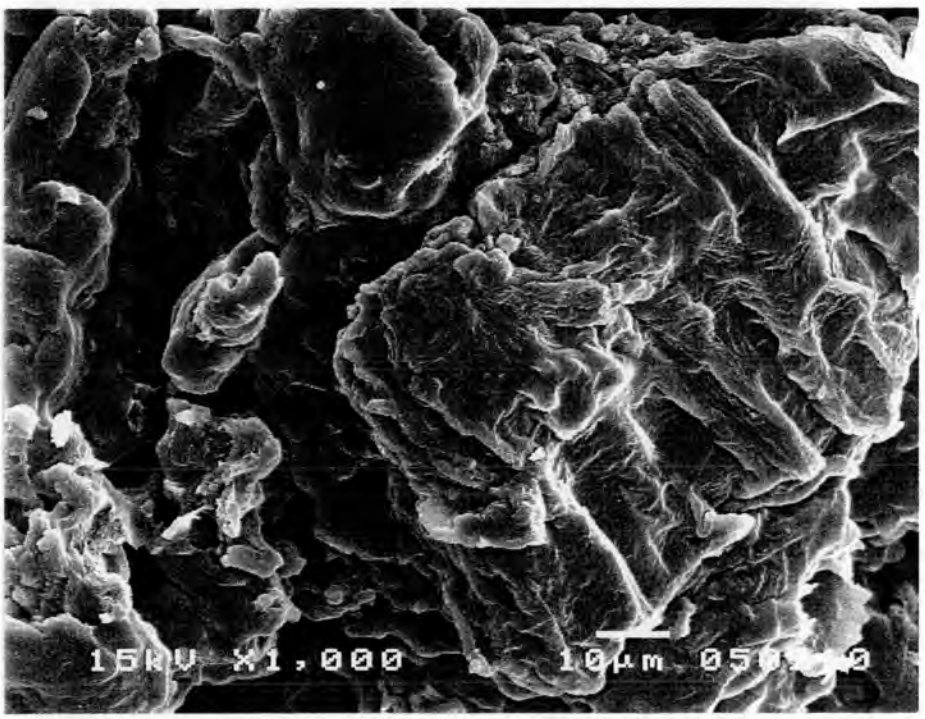


ข)

รูปที่ 5.11 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Sirius Blue KCFN เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

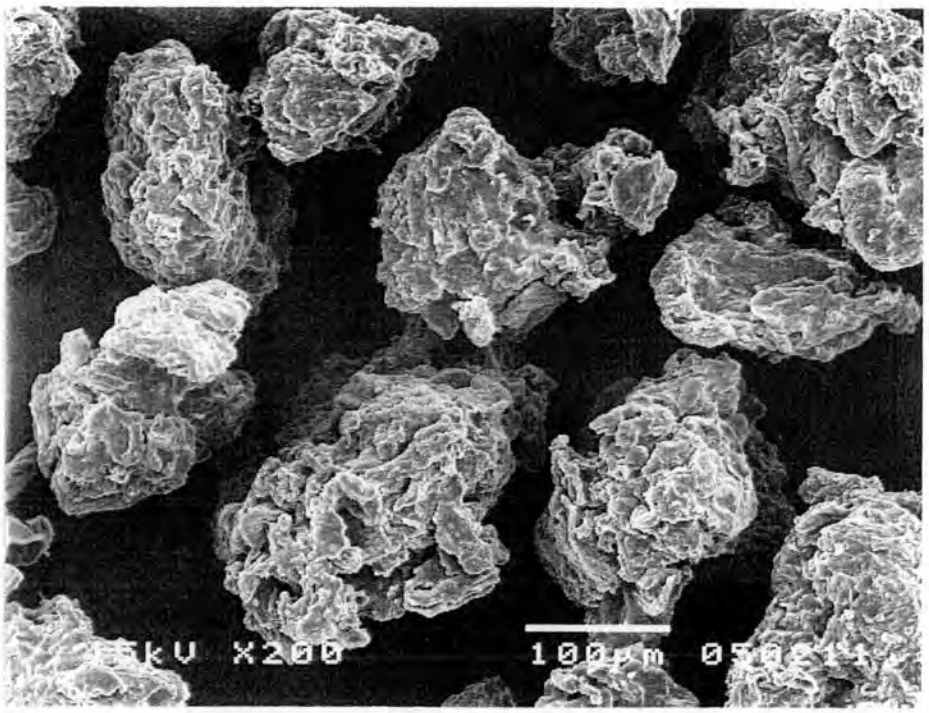


ก)

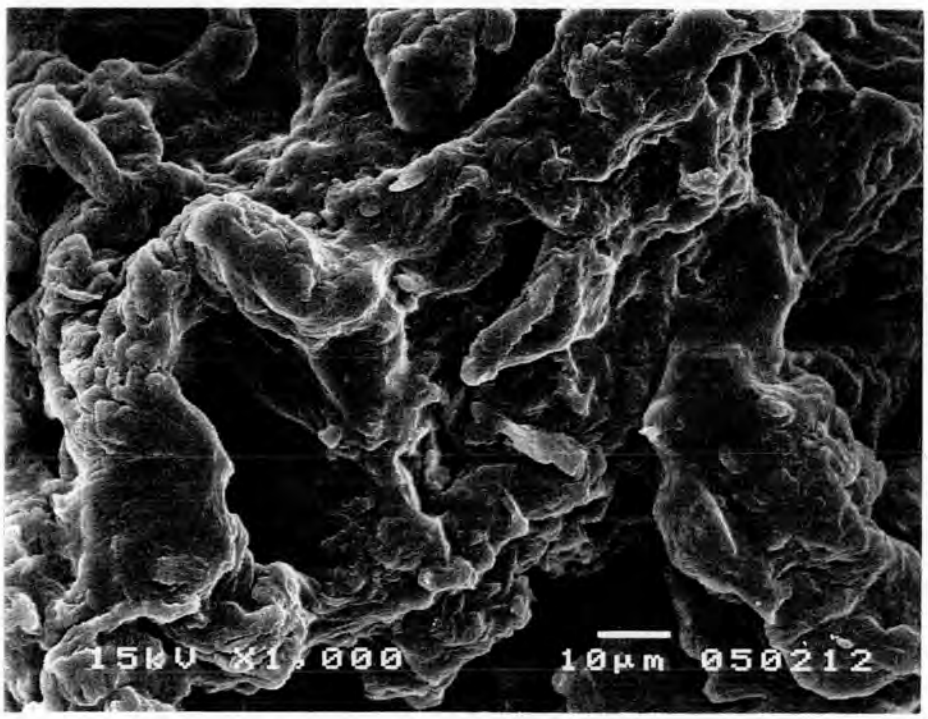


ข)

รูปที่ 5.12 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Sirius Rubine KZBL เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

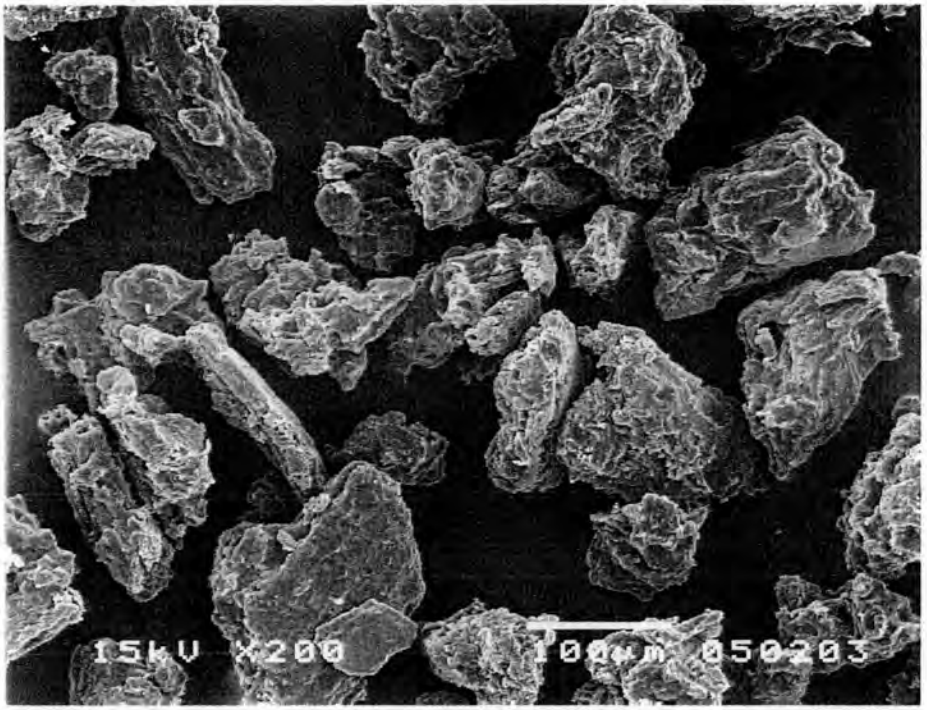


ก)

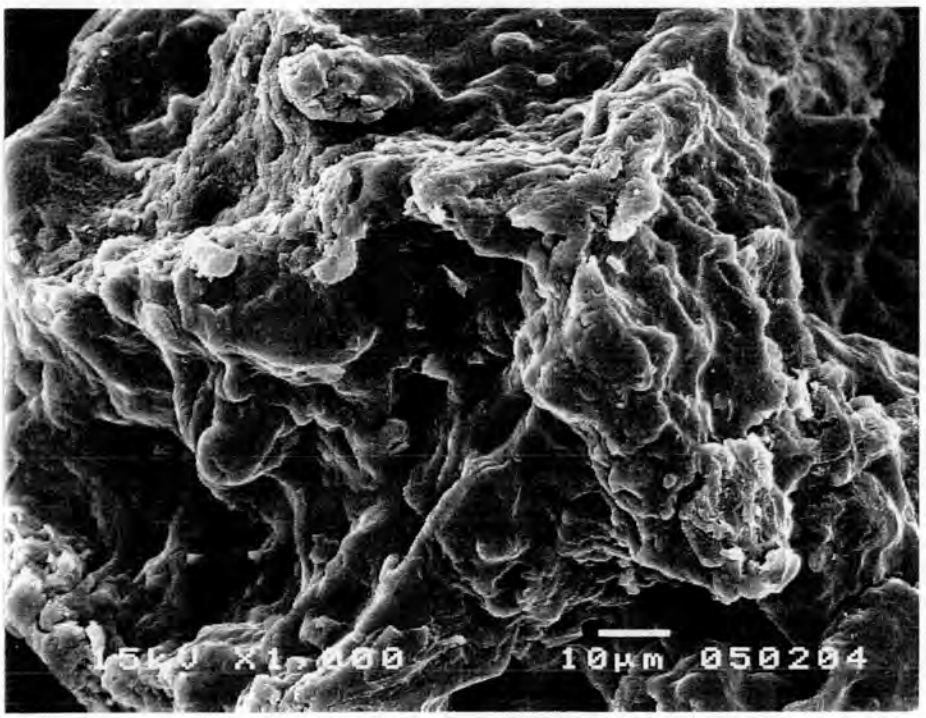


ข)

รูปที่ 5.13 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Best Direct Black B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

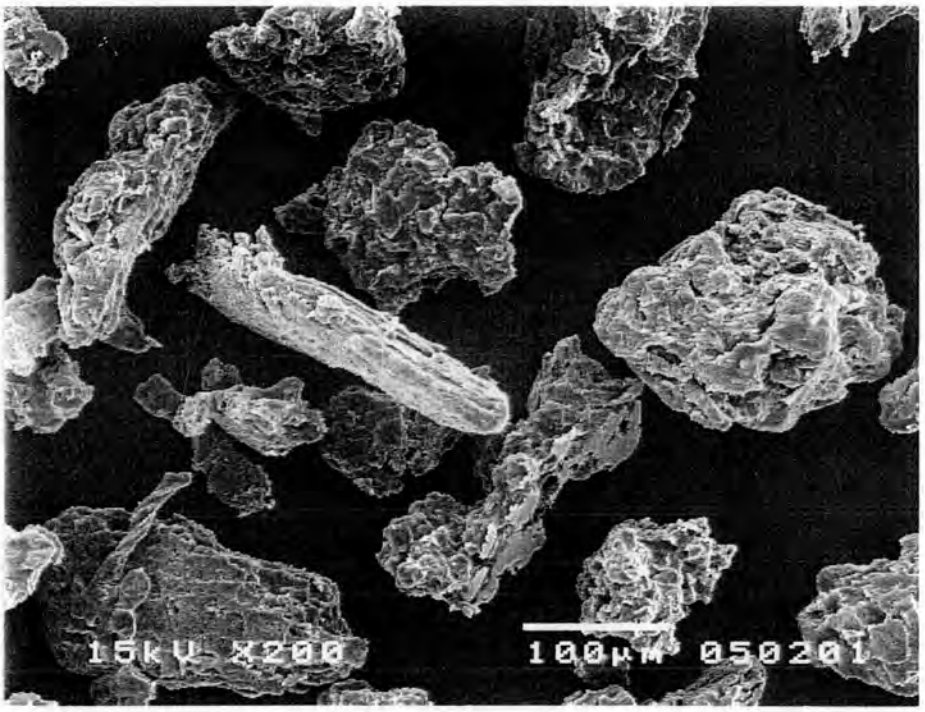


ก)

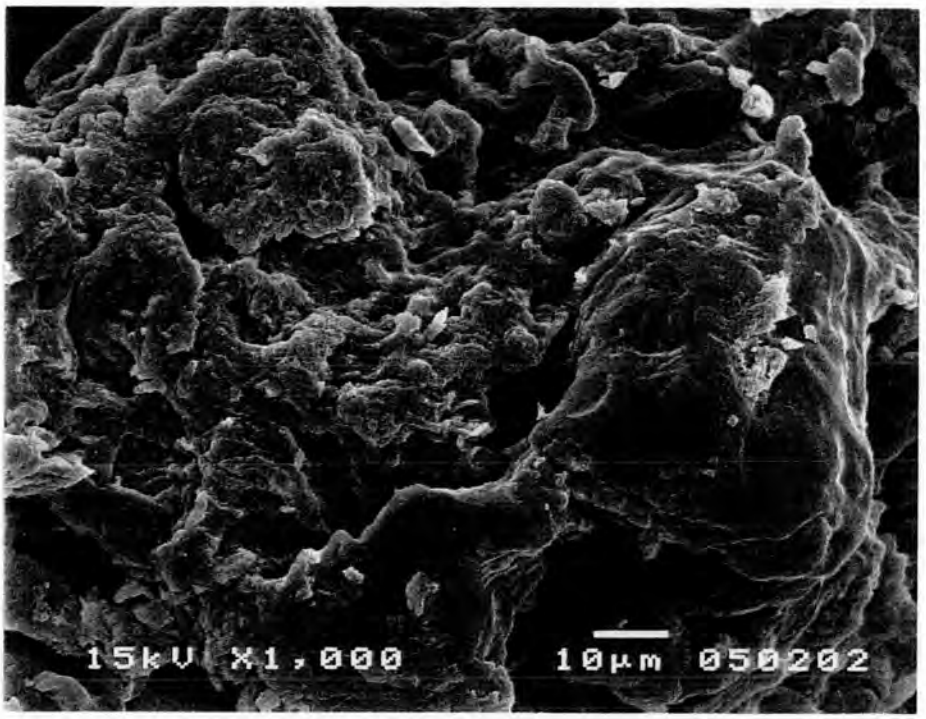


ข)

รูปที่ 5.14 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

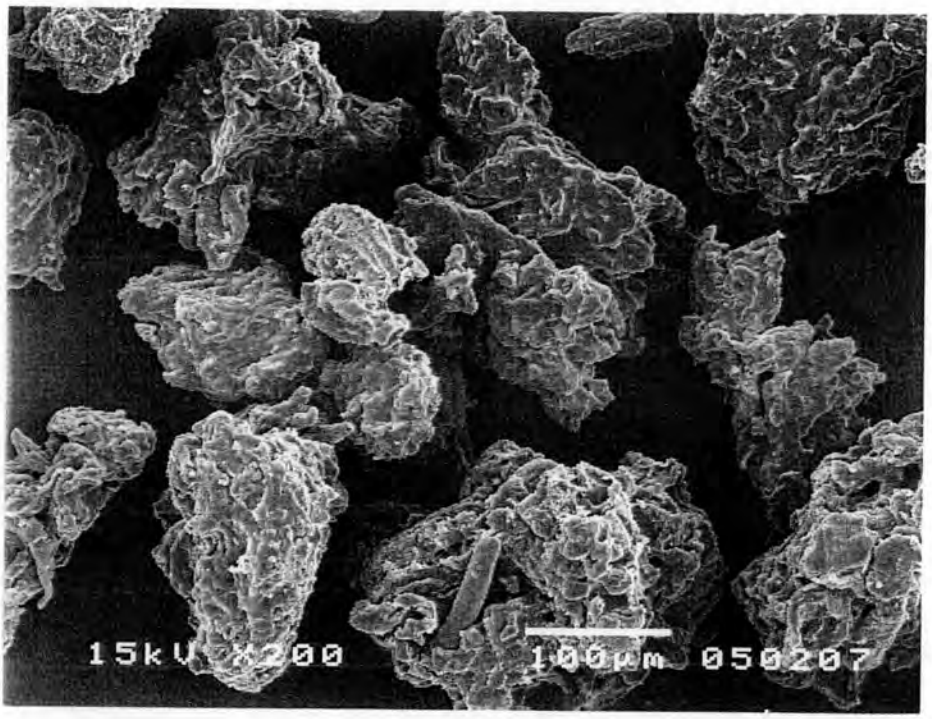


ก)

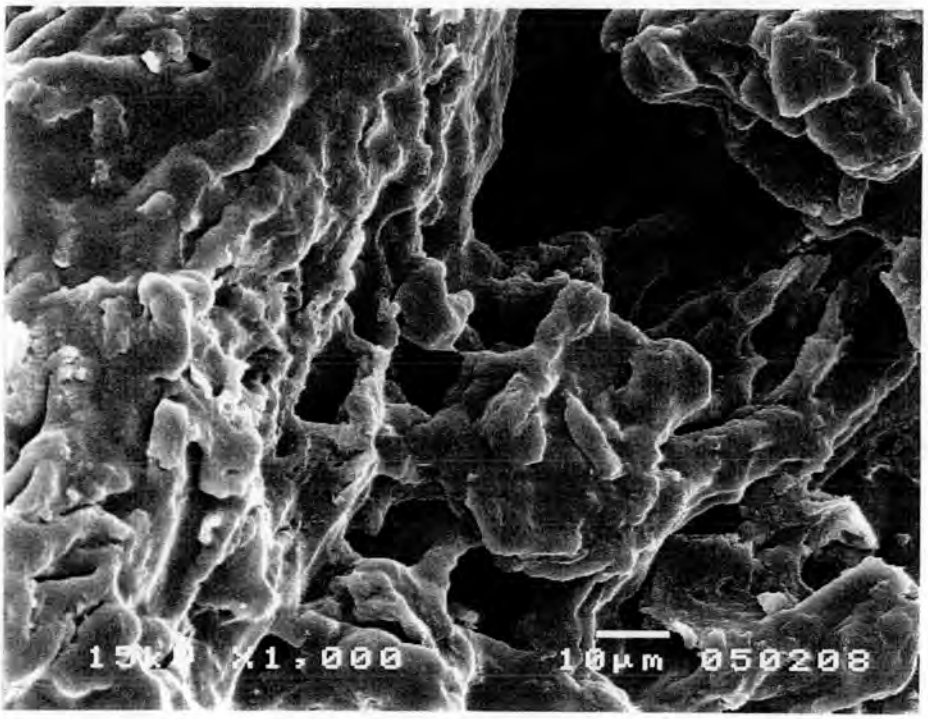


ข)

รูปที่ 5.15 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Red 3BS เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)



ก)



ข)

รูปที่ 5.16 ลักษณะพื้นผิวของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงก์ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Black B เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 200 ก) และ 1000 เท่า ข)

5.2.2 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

ความหนาแน่น (Specific density และ Bulk density) และการบวมน้ำของวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพและวัสดุควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสของทั้งสามวัสดุได้ทำการหาสามครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งพบว่าค่า Specific density, Bulk density และการบวมน้ำ ของทั้งสามวัสดุหลังผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์และครอสส์ลิงก์แล้วจะมีค่าสูงขึ้น ค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความหนาแน่นและการบวมน้ำของวัสดุ

วัสดุ		Specific density* (กรัม/มล.)	Bulk density (กรัม/มล.)	การบวมน้ำ (มล. เปียก/มล.แห้ง)
ซังข้าวโพด	Q-R	6.24	0.58	6.30
	UNT	4.44	0.20	1.42
เปลือกถั่วเหลือง	Q-R	3.29	0.53	2.50
	UNT	3.14	0.48	1.73
ก้านดอกทานตะวัน	Q-R	4.61	0.25	5.00
	UNT	4.11	0.13	1.30

หมายเหตุ: *ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ฉ.

5.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุเพื่อหาองค์ประกอบของวัสดุโดยใช้เครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR; Fourier Transform Infared Spectrometer)

<u>วัสดุที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ</u>

ผลการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้งสามชนิดคือ ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวันทั้งก่อนวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพและควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส พบว่าวัสดุมีโครงสร้างหลักคือ Alkyl group, Hydroxy or NH compound และ Aliphatic alcohol (โครงสร้างแสดงในภาคผนวก ง.)

จากช่วงความยาวคลื่น 1170 – 1040 cm^{-1} และ 1640 – 1400 cm^{-1} แสดงหมู่โครงสร้างของเซลลูโลส (Hwang,1993) โดยที่ช่วงความยาวคลื่น 1170 – 1040 cm^{-1} จะแสดงปริมาณเซลลูโลสในองค์ประกอบของวัสดุ ซึ่งเมื่อพิจารณาวัสดุที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพทั้งสามวัสดุพบว่าซังข้าวโพดมีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุด รองลงมาคือก้านดอกทานตะวันและเปลือกถั่วเหลือง ตาม

ลำดับ จากผล FTIR นี้จะสอดคล้องกับผลการทดลองหาความสามารถสูงสุดในการกำจัดสีของทั้งสามวัสดุ คือ Q-R ซังข้าวโพด มีความสามารถสูงสุดในการกำจัดสี รองลงมาคือ Q-R ก้านดอกทานตะวัน และQ-R เปลือกถั่วเหลือง ตามลำดับ แต่ขัดแย้งกับข้อมูลองค์ประกอบวัสดุคือก้านดอกทานตะวันมีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุดรองลงมาคือ เปลือกถั่วเหลือง และซังข้าวโพด ตามลำดับ อาจเป็นเพราะข้อมูลที่ได้มาเป็นของต่างประเทศพันธุ์ของพืชเป็นคนละพันธุ์กัน เส้นกราฟการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์แสดงในภาคผนวก ง.

<u>วัสดุที่ผ่านการควอร์เทอร์ไนซ์และครอสส์ลิงก์แล้ว</u>

เมื่อพิจารณาวัสดุทั้งสามชนิดหลังผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์และครอสส์ลิงก์แล้ว พบว่าเมื่อดูที่ช่วงความยาวคลื่น 3500 – 3300 และ 2990 – 2850 cm^{-1} แสดงหมู่ O-H ของเซลลูโลส (Hwang, 1993) และหมู่ C-H (ปรานอม, 2539) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์และครอสส์ลิงก์แล้วทั้งสามวัสดุมีปริมาณหมู่ O-H ที่เซลลูโลสและหมู่ C-H เพิ่มมากขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากการทำควอร์เทอร์ไนซ์ด้วยสาร CHMAC แต่เมื่อพิจารณาที่ช่วงความยาวคลื่น 1800 – 1560 cm^{-1} แสดงหมู่ C=C ซึ่งน่าจะเป็นโครงสร้างของลิกนิน พบว่าหลังผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์และครอสส์ลิงก์แล้วทั้งสามวัสดุมีปริมาณหมู่ C=C ลดลงอาจจะเกิดจากลิกนินถูกละลายในด่างและกรดในขั้นตอนการเตรียมวัสดุ และเมื่อพิจารณาที่ช่วงความยาวคลื่น 1200 – 1000 cm^{-1} แสดงหมู่ C-OH พบว่า Q-R ก้านดอกทานตะวัน และ Q-R เปลือกถั่วเหลืองมีปริมาณหมู่ C-OH เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากสาร CHMAC มาจับกับโครงสร้างเซลลูโลส แต่วัสดุ Q-R ซังข้าวโพดมีปริมาณหมู่ C-OH ลดลง ซึ่งจากสมมุติฐานคาดว่าน่าจะมีปริมาณมากขึ้น อาจจะเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องวัดได้ เนื่องจากในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR อาจมีค่าผิดพลาด 10%

<u>วัสดุควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสที่ผ่านการกำจัดสีแล้ว</u>

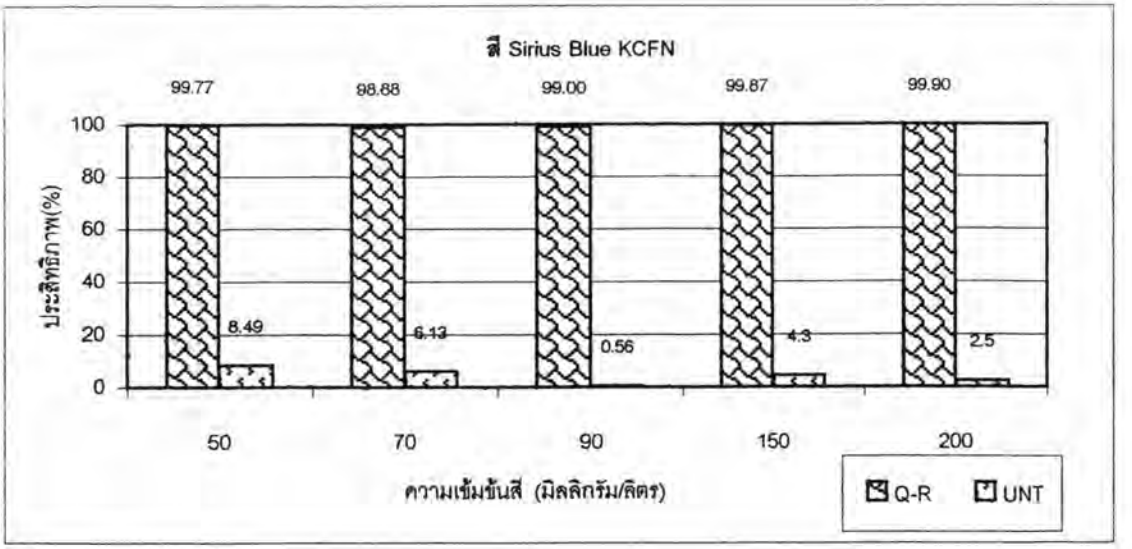
หลังจากผ่านการกำจัดสีแล้วเลือกวัสดุ Q-R ซังข้าวโพดที่ผ่านการกำจัดสีทุกสีมาวิเคราะห์เพียงวัสดุเดียวเนื่องจากผลการทดลองมีความสามารถในการกำจัดสูงสุด ส่วน Q-R ก้านดอกทานตะวัน และ Q-R เปลือกถั่วเหลืองวิเคราะห์เฉพาะกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Black B เนื่องจากเป็นสีที่รู้สูตรโครงสร้าง ซึ่งพบว่า Q-R ซังข้าวโพดเมื่อผ่านการกำจัดสี Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL, Best Direct Black B และ Remazol Black B แล้วหมู่ O-H ในโครงสร้างของวัสดุมีปริมาณลดลง แต่เมื่อผ่านการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS แล้วหมู่ O-H มีปริมาณเพิ่มขึ้นและเท่าเดิมตามลำดับ และจากช่วงความยาวคลื่น 1100 – 1230 cm^{-1} แสดงหมู่ –C-N- (ปรานอม, 2539) ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นในวัสดุ Q-R ซังข้าวโพดหลังผ่านการกำจัดสี Remazol Black B แล้วน่าจะเกิดจากสีมาจับติดที่วัสดุ

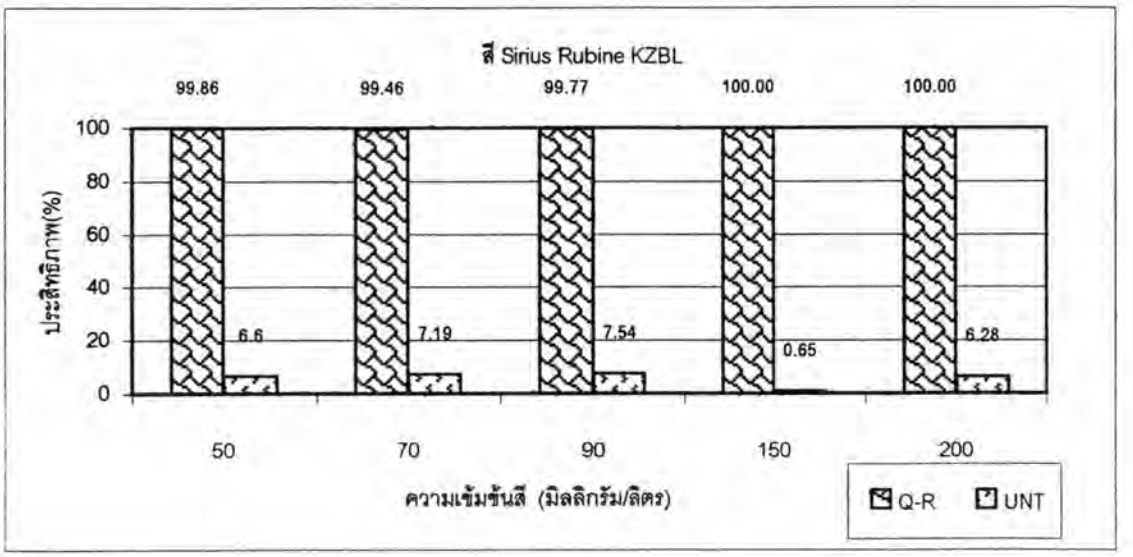
5.4 การเปรียบเทียบผลของกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพ ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวัน ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี

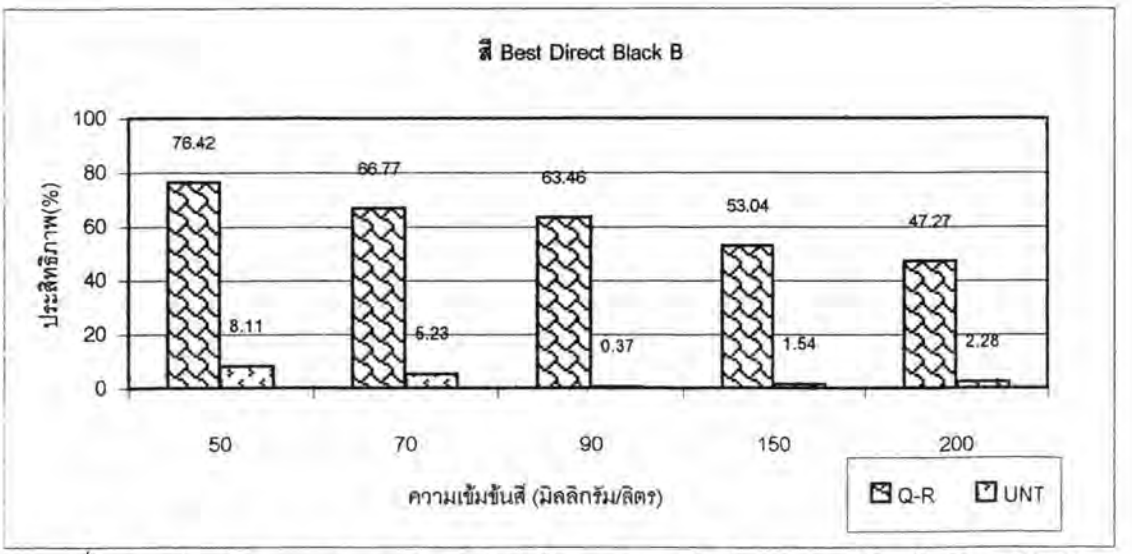
ในการทดลองศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดของซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีซึ่งเป็นสารควอร์เทอร์ไนซ์ คือ CHMAC และสารสร้างพันธะคือ อีพิคลอโรไฮดริน จุดประสงค์ในการทำขั้นตอนนี้เพื่อสร้างพันธะและเติมหมู่ฟังชันก์ให้แก่วัสดุ จึงเรียกวัสดุชนิดนี้ว่าควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลส

ผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวันทั้งสองชนิดสามารถสรุปเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 5.17 – 5.22 เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.1 และกราฟพบว่า ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสของทั้งสามวัสดุมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟได้ดีกว่าสีไดเรกท์ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ คือ 97.31 – 100 % และ 1.53 – 11.78 % ส่วนสีไดเรกท์ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสซังข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์ดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ คือ 47.27 – 100 % และ 0.37 – 8.49 % ตามลำดับ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เปลือกถั่วเหลืองมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ คือ 97.88 – 100 % และ 0.78 – 16.91 % ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์ดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ คือ 30.74 – 100 % และ 1.07 – 18.66 % ส่วนควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก้านดอกทานตะวันมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอคทีฟดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ คือ 99.40 – 100 % และ 0 – 13.25 % ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีไดเรกท์ดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้ปรับสภาพ คือ 42.59 – 100 % และ 0 – 23.35 % ตามลำดับ

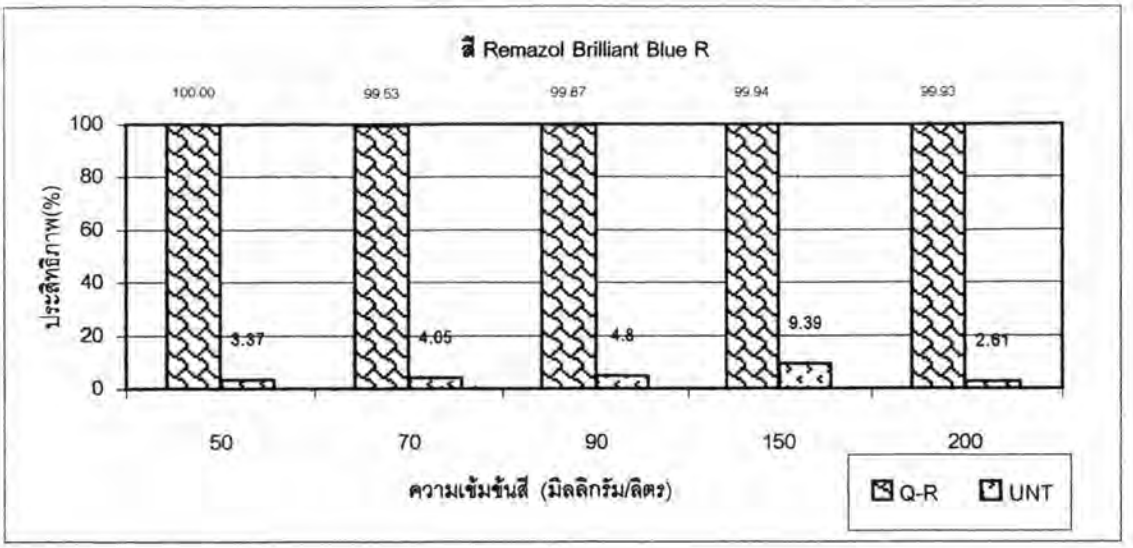
สารละลายสีที่ได้หลังจากผ่านการกำจัดด้วยวัสดุทั้งสองประเภทแล้ว แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด สารละลายสีที่ผ่านการกำจัดสีด้วย ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวันนั้น ส่วนใหญ่จะใสเหลือสีเจือปนน้อย ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นสี Sirius Blue KCFN และ Best Direct Black B จะยังคงมีสีเหลืออยู่มาก ดังรูปที่ 5.23 – 5.26 แสดงให้เห็นสีของสารละลายก่อนการทำจาร์เทส (รูปที่ 5.23) และภายหลังการทำจาร์เทสแล้วตั้งทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที (รูปที่ 5.24 – 5.26) ด้วยวัสดุควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์เซลลูโลสทั้งสามชนิด สำหรับสารละลายสีที่ผ่านการกำจัดสีด้วยซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลืองและก้านดอกทานตะวันที่ไม่ได้ปรับสภาพนั้นจะยังมีสีหลงเหลืออยู่มากและสีที่ได้ยังคงเข้มเกือบเท่าก่อนกำจัด

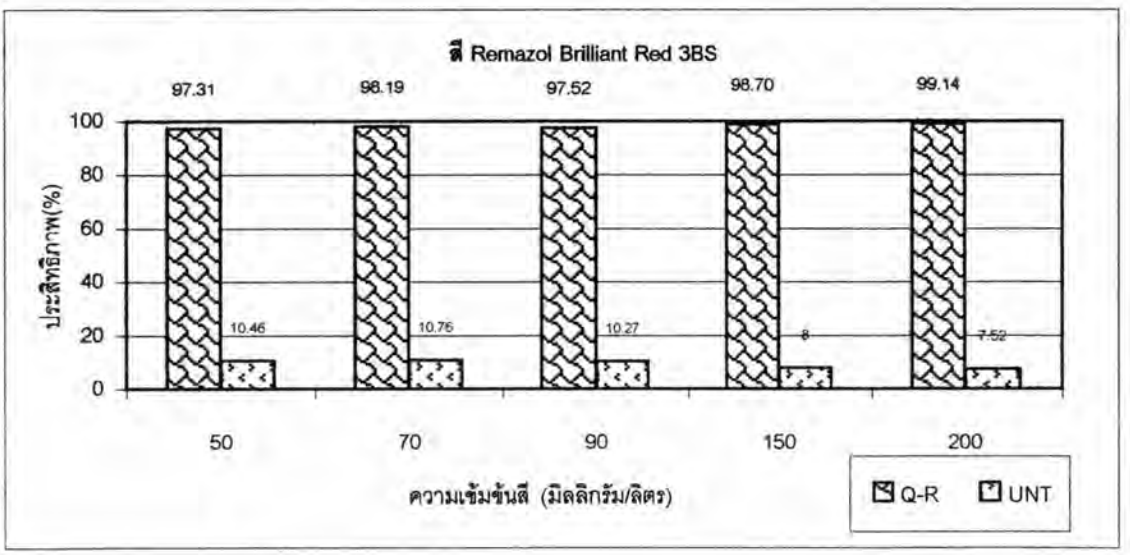


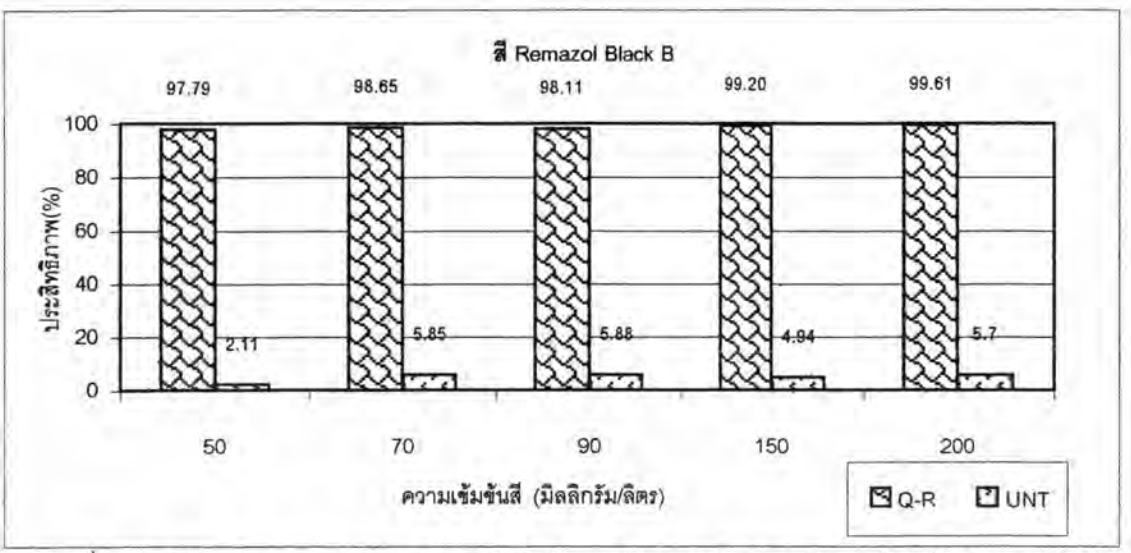




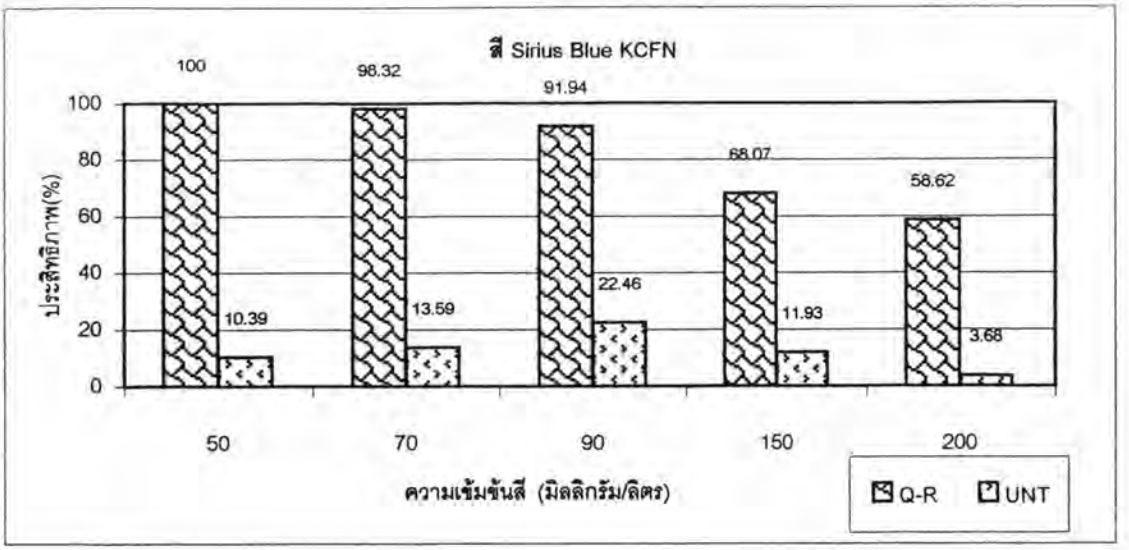
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกท์ของซังข้าวโพดชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์ซังข้าวโพดและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ

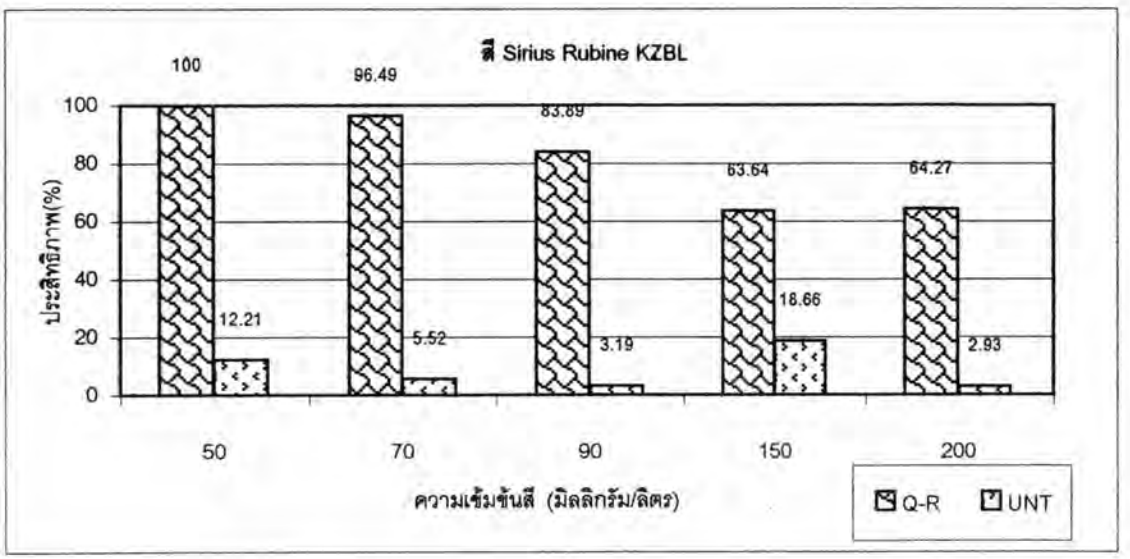


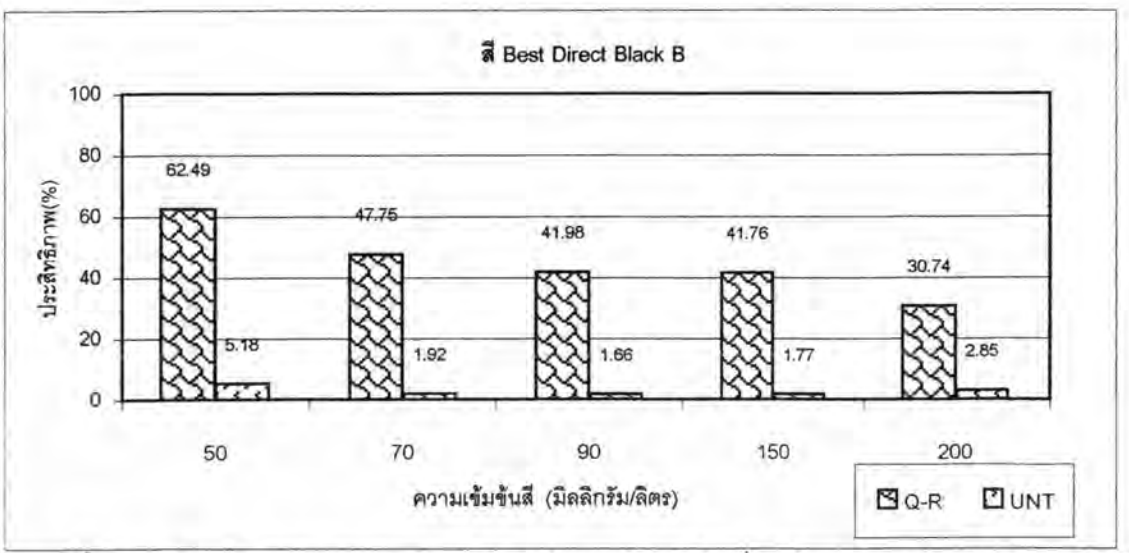




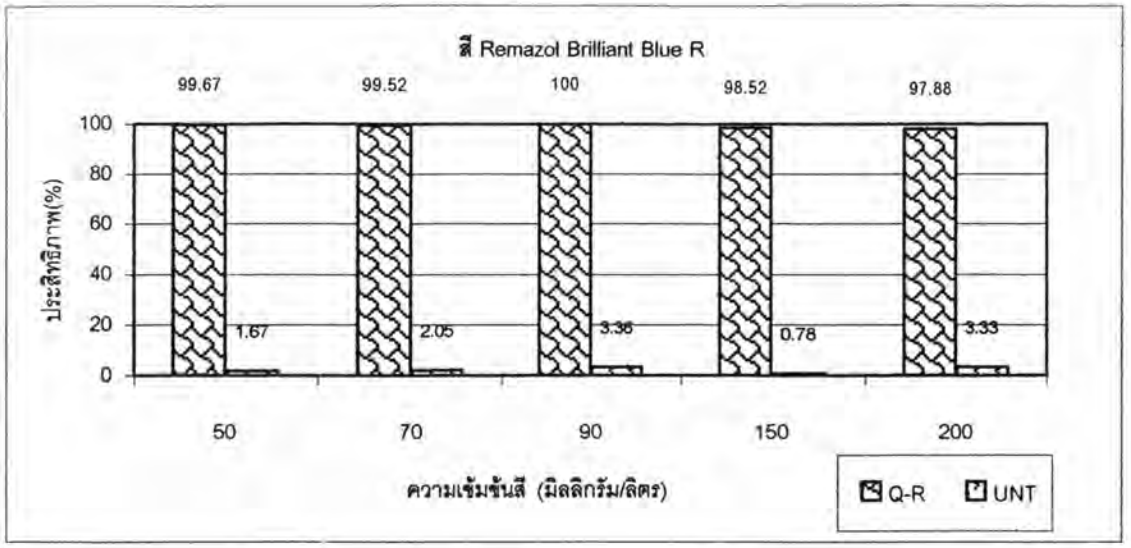
รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของซังข้าวโพดชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์ซังข้าวโพดและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ

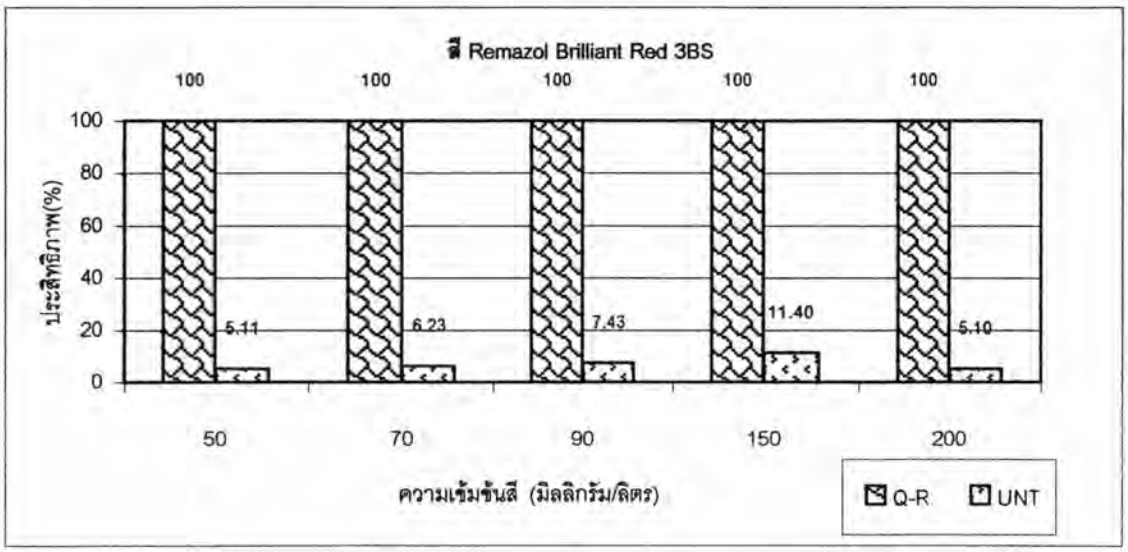


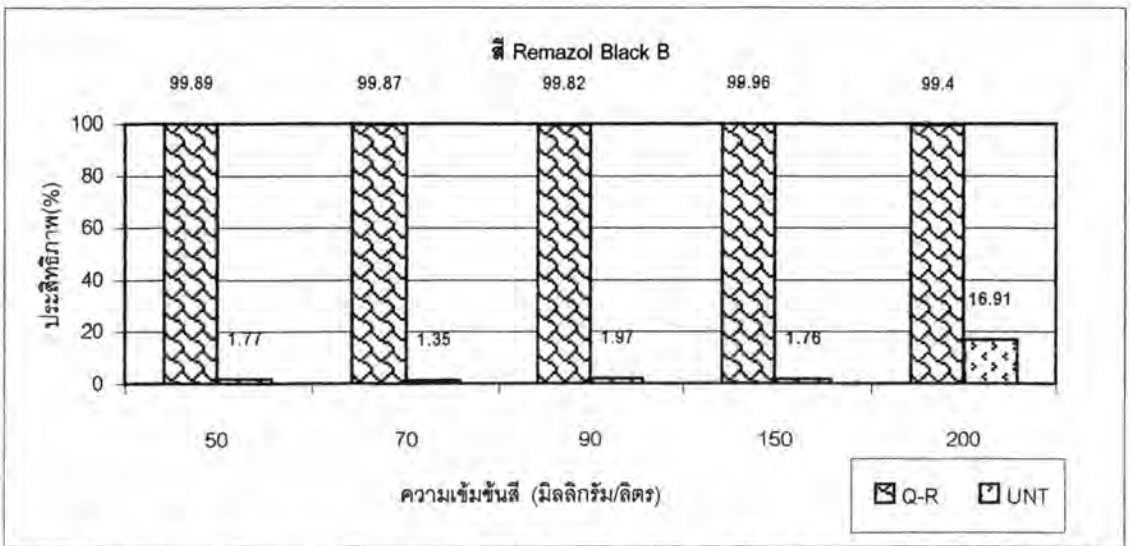




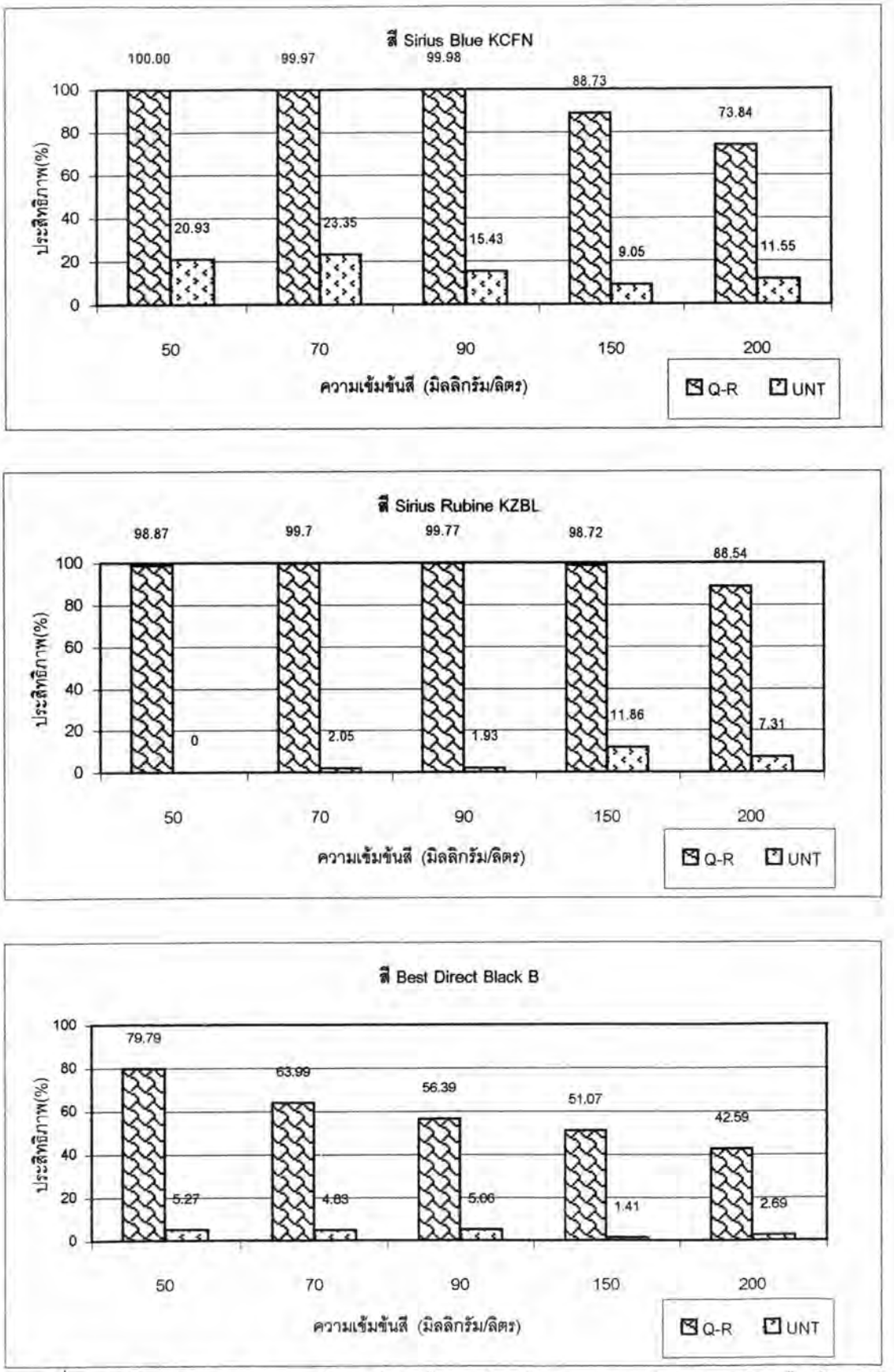
รูปที่ 5. 19 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกท์ของเปลือกถั่วเหลืองชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์เปลือกถั่วเหลืองและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ



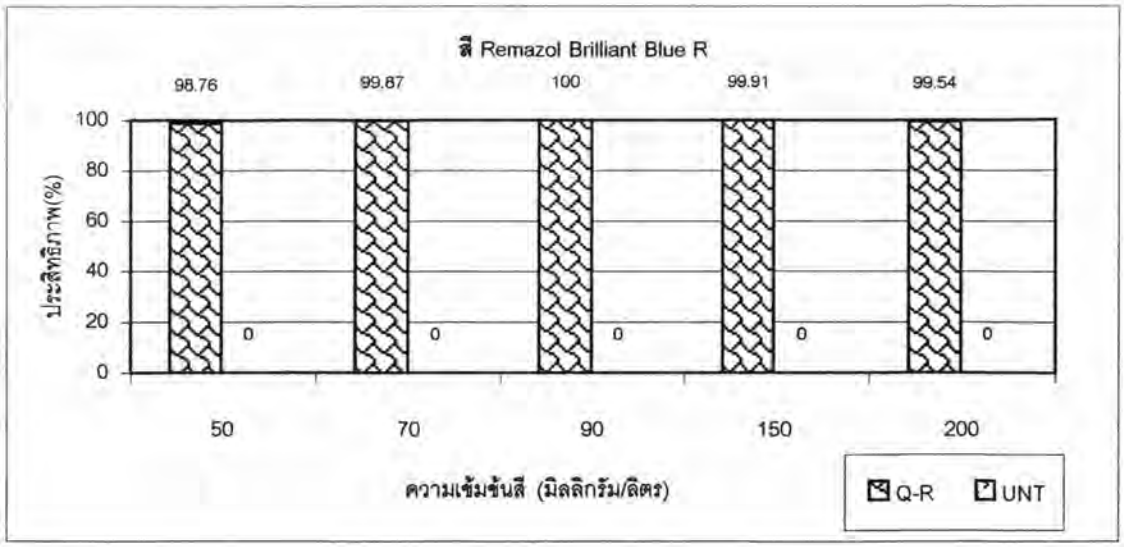


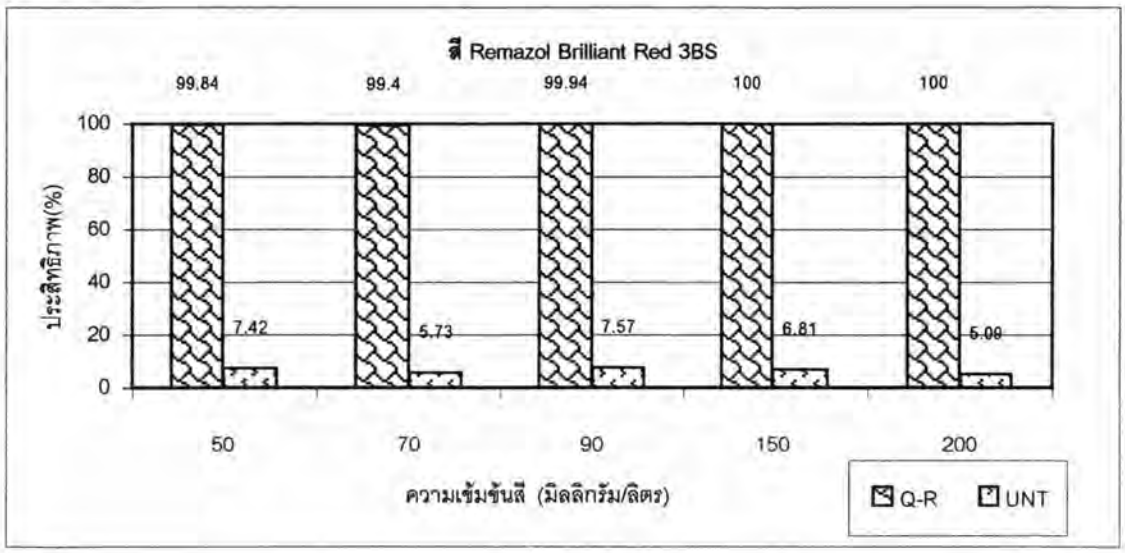


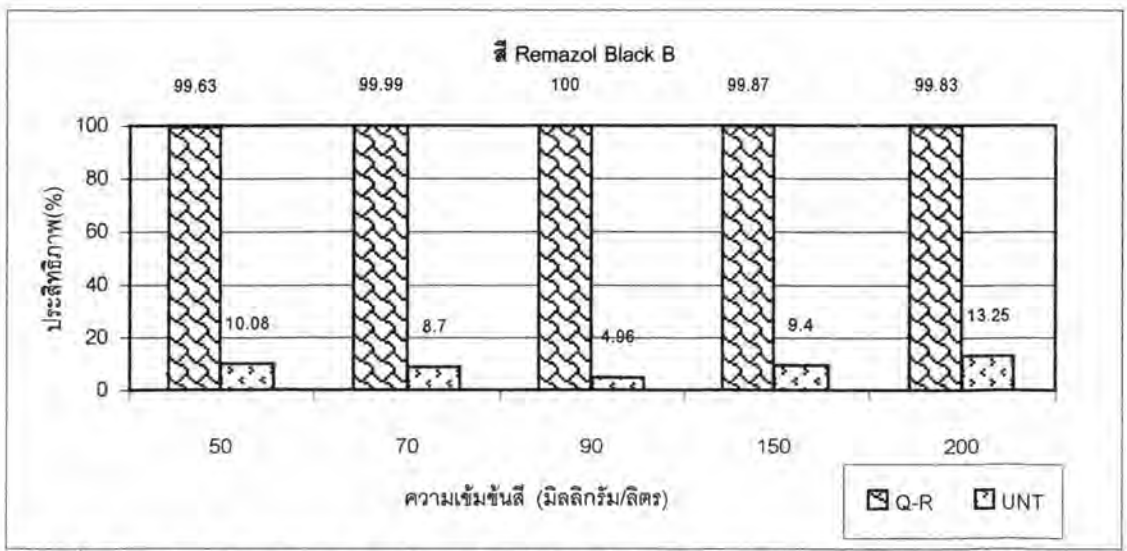
รูปที่ 5. 20 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของเปลือกถั่วเหลืองชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์เปลือกถั่วเหลืองและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ



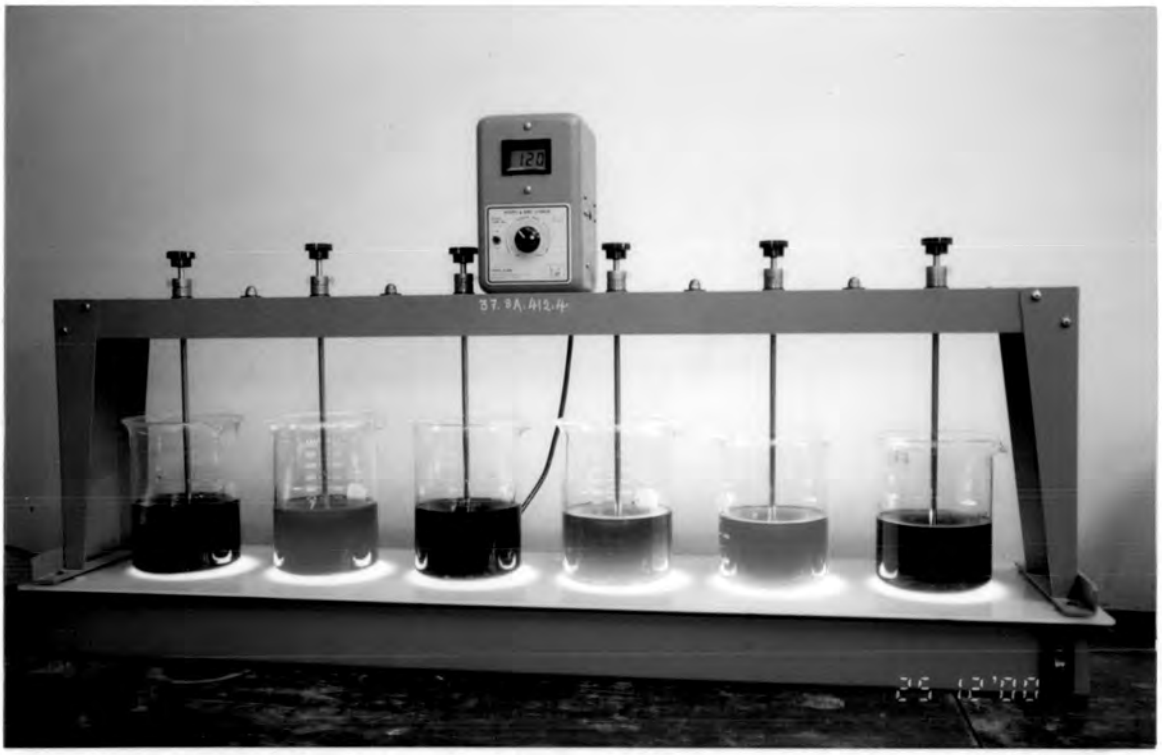
รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีไดเรกท์ของก้านดอกทานตะวันชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์ก้านดอกทานตะวันและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ



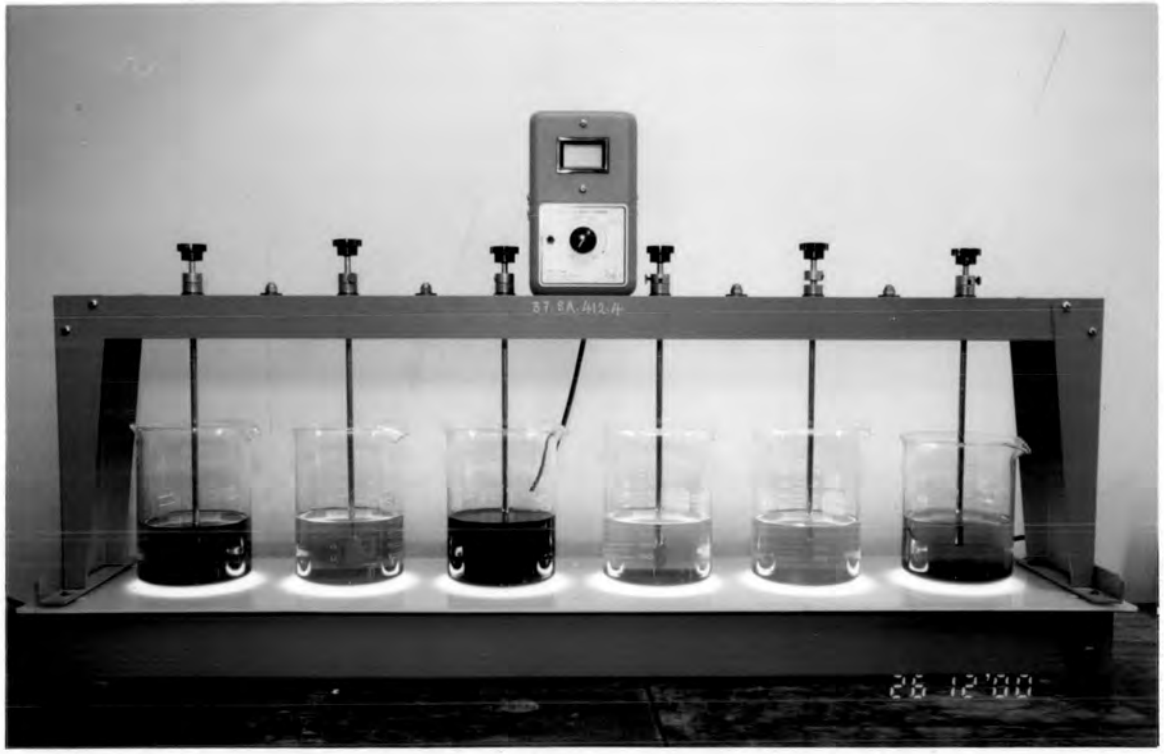




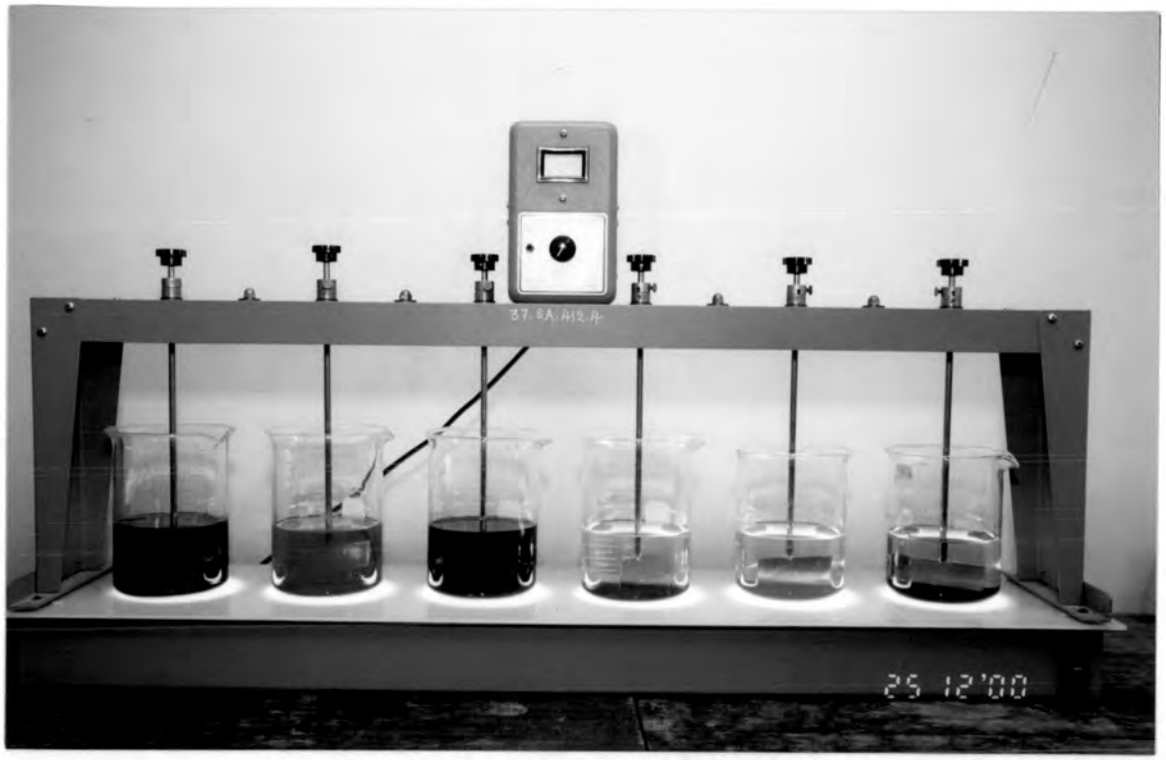
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของก้านตอกทานตะวันชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสลิงค์ก้านตอกทานตะวันและชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ



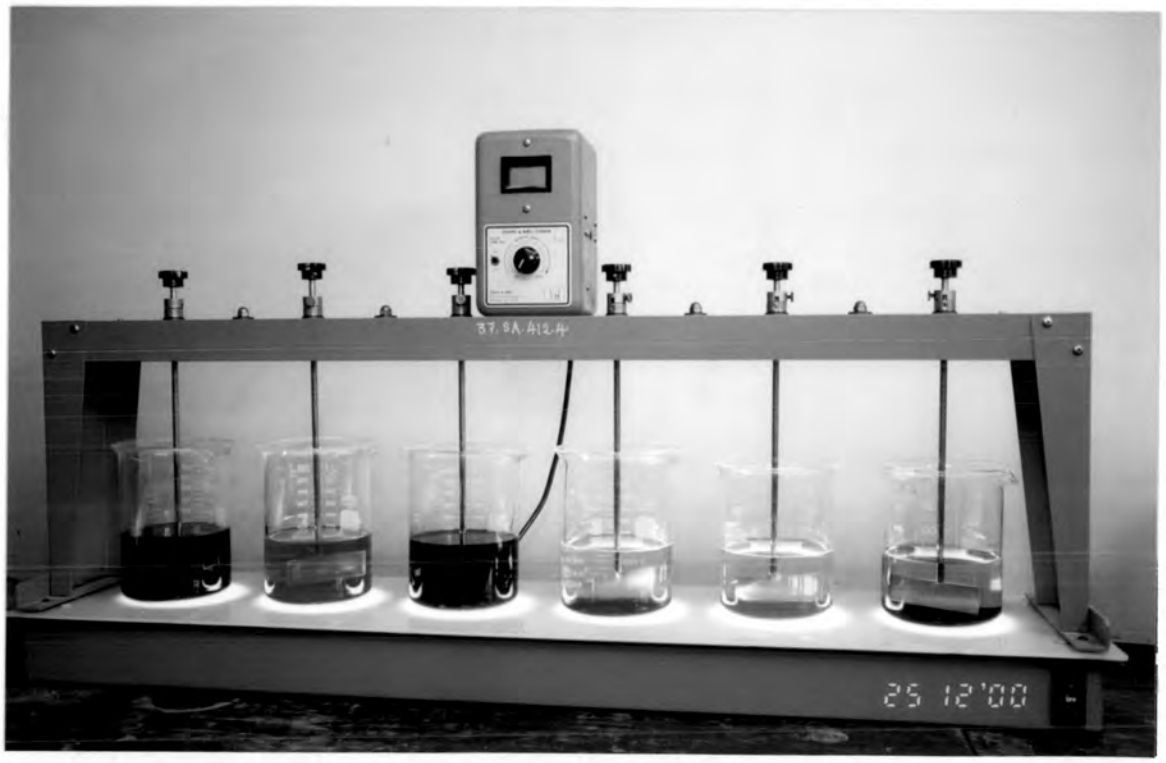
รูปที่ 5.23 สีก่อนกำจัดที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร เรียงจากซ้ายไปขวา Sirius Blue KCFN, Sirius Rubine KZBL, Best Direct Black B, Remazol Brilliant Blue R, Remazol Brilliant Red 3BS และ Remazol Black B



รูปที่ 5.24 สีหลังกำจัดตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร ของวัสดุ Q-R ซังข้าวโพด



รูปที่ 5.25 สีหลังกำจัดตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตรของวัสดุ Q-R เปลือกถั่วเหลือง



รูปที่ 5.26 สีหลังกำจัดตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตรของวัสดุ Q-R ก้านดอกทานตะวัน

5.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของซังข้าวโพด เปลือกถั่วเหลือง และก้านดอกทานตะวันทั้งชนิดไม่ได้ปรับสภาพและชนิดควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ที่มีต่อชนิดสี

เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดสีของวัสดุทั้งสามชนิดจากตารางที่ 5.1 พบว่าวัสดุทั้งสามชนิดมีความสามารถในการกำจัดสีแต่ละสีไม่เท่ากัน คือ กำจัดสีรีแอคทีฟได้ดีกว่าสีไดเรกท์ โดยสีรีแอคทีฟที่กำจัดได้ดีที่สุดคือสีแดง รองลงมาคือสีน้ำเงินและสีดำตามลำดับ ส่วนสีไดเรกท์สีที่กำจัดได้ดีที่สุดคือสีแดง รองลงมาคือสีน้ำเงินและสีดำตามลำดับ

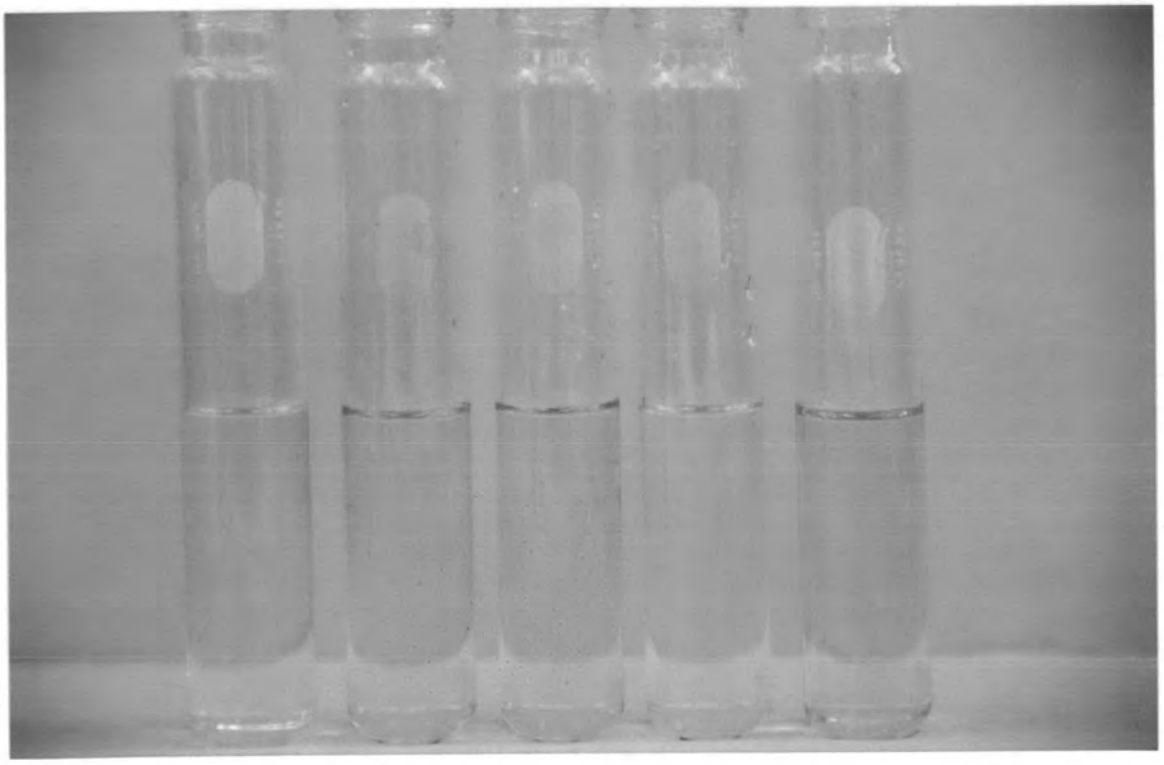
5.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุที่มีต่อความเข้มข้นสี

จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของวัสดุบางชนิดกับสีรีแอคทีฟค่อนข้างแปรผันในความเข้มข้นที่ทำการทดลอง แต่จากข้อมูลโดยรวมพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสีเพิ่มขึ้นจาก 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจะลดลง ดังรูปที่ 5.27 – 5.32 แสดงสีก่อนและหลังกำจัดด้วยวัสดุ Q-R ซังข้าวโพด

5.7 พีเอชของน้ำหลังผ่านการกำจัดสี

น้ำที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออน ผสมกับสีย้อมชนิดต่างๆให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการทดลองกับวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว (ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์, Q-R) ด้วยสารละลายสีรีแอคทีฟพบว่า ค่าพีเอชของน้ำก่อนการทดลองมีค่าประมาณ 5 ภายหลังการทดลองแล้วพบว่าพีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงบ้างคืออยู่ที่ประมาณ 4 แสดงว่าวัสดุที่ใช้ในการทดลองส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำลดลงเล็กน้อย ดังตารางที่ 5.4 เมื่อทดลองกับสีไดเรกท์ค่าพีเอชของน้ำก่อนการทดลองมีค่าประมาณ 7 ภายหลังการทดลองแล้วพบว่า พีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงกว้างคืออยู่ที่ประมาณ 3 - 7 แสดงว่า วัสดุที่ใช้ในการทดลองส่งผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำบ้าง คือที่ความเข้มข้นต่ำพีเอชจะลดลง ส่วนวัสดุที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (UNT) ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงลดลงบ้างเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 5.4

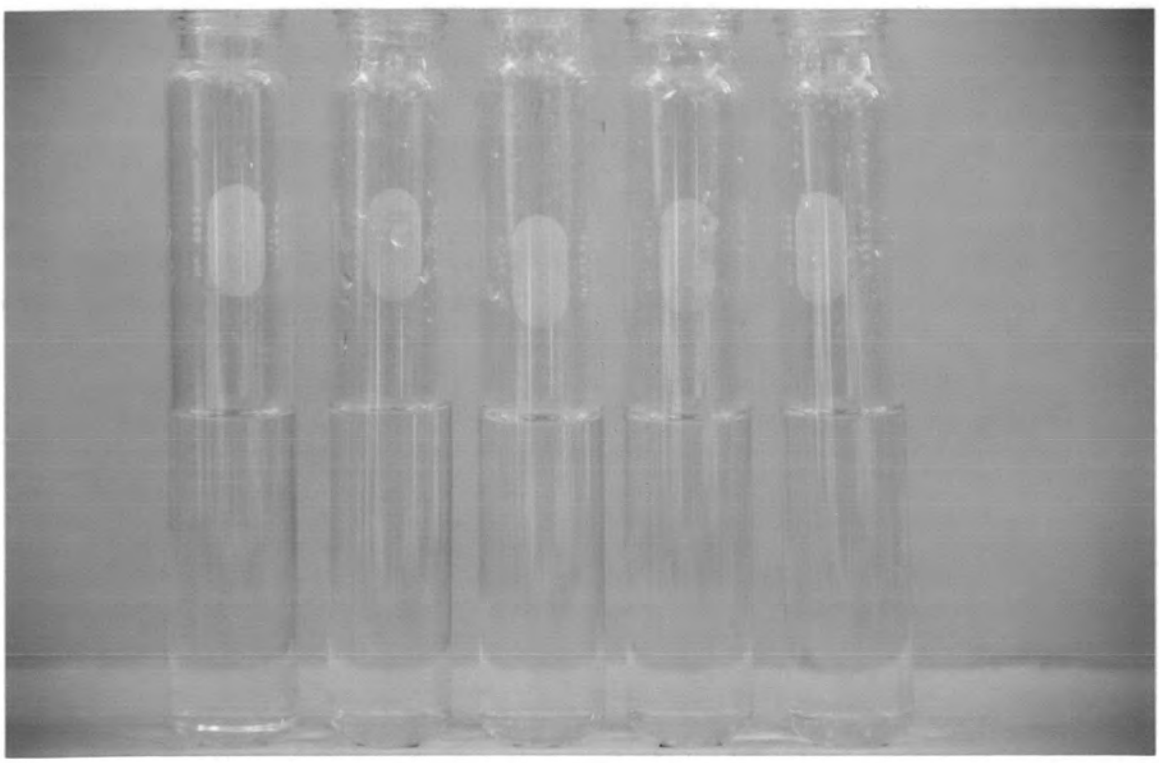
ก)



ข)

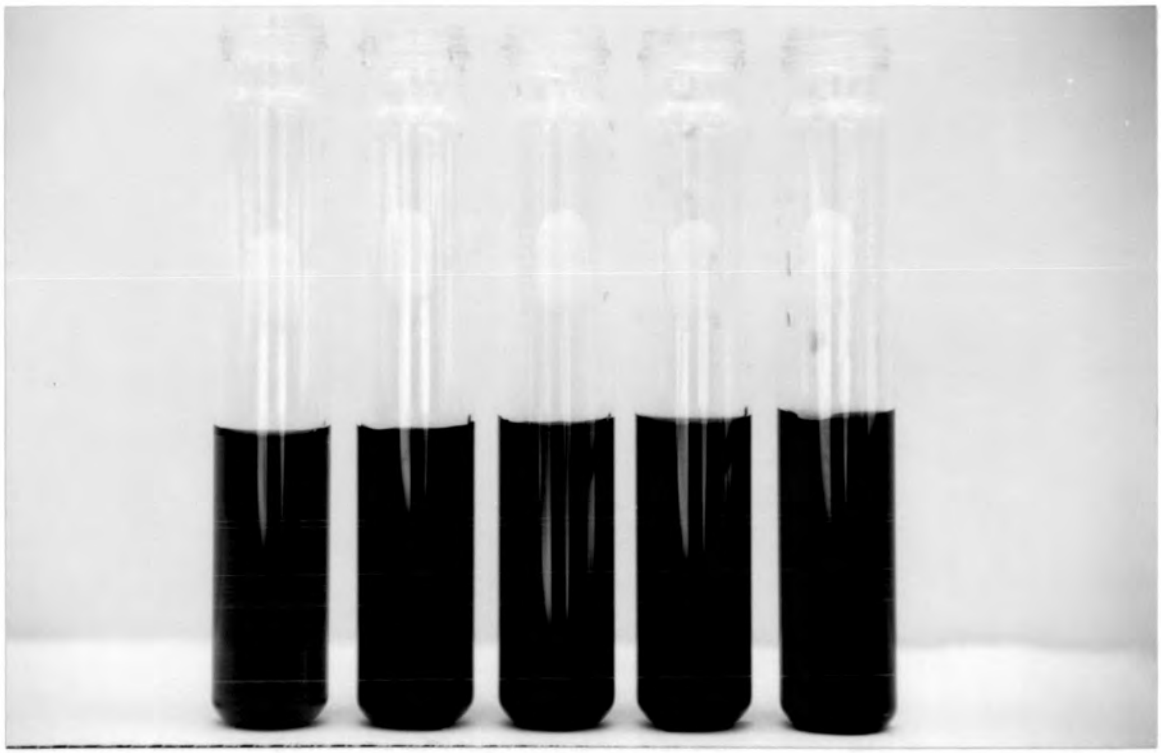
รูปที่ 5.27 สี Sirius Blue KCFN ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร

ก)

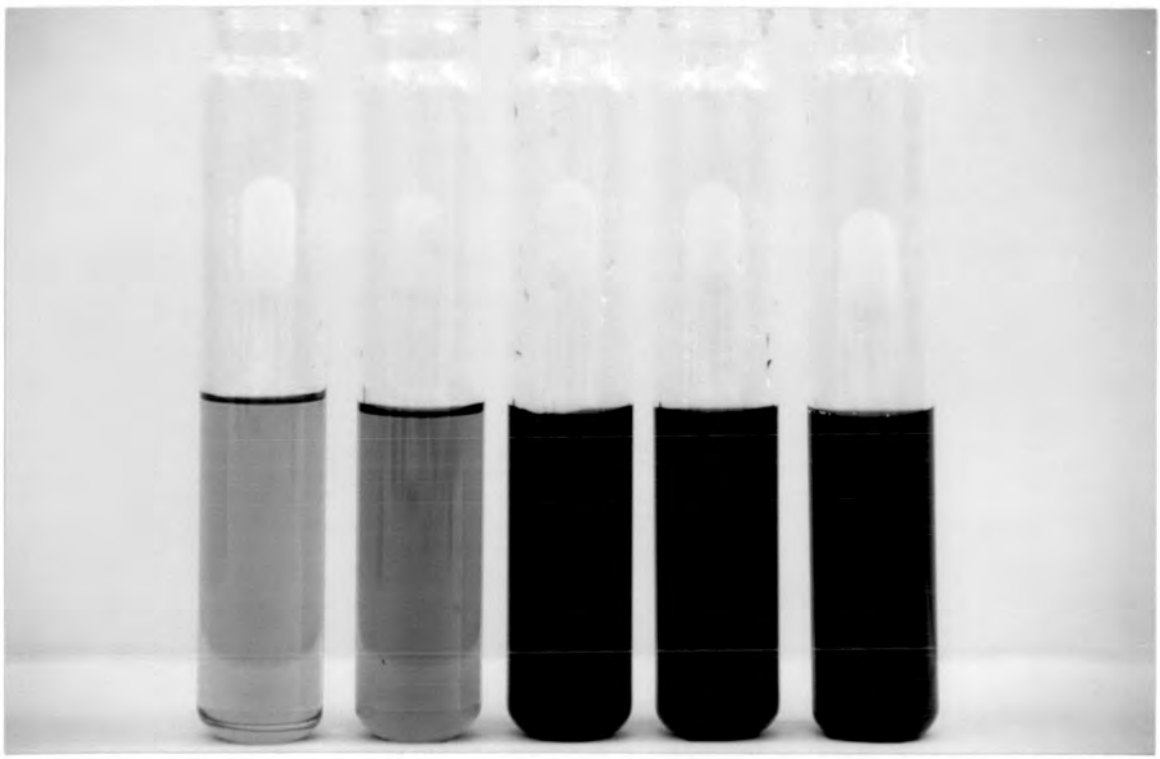


ข)

รูปที่ 5.28 สี Sirius Rubine KZBL ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร

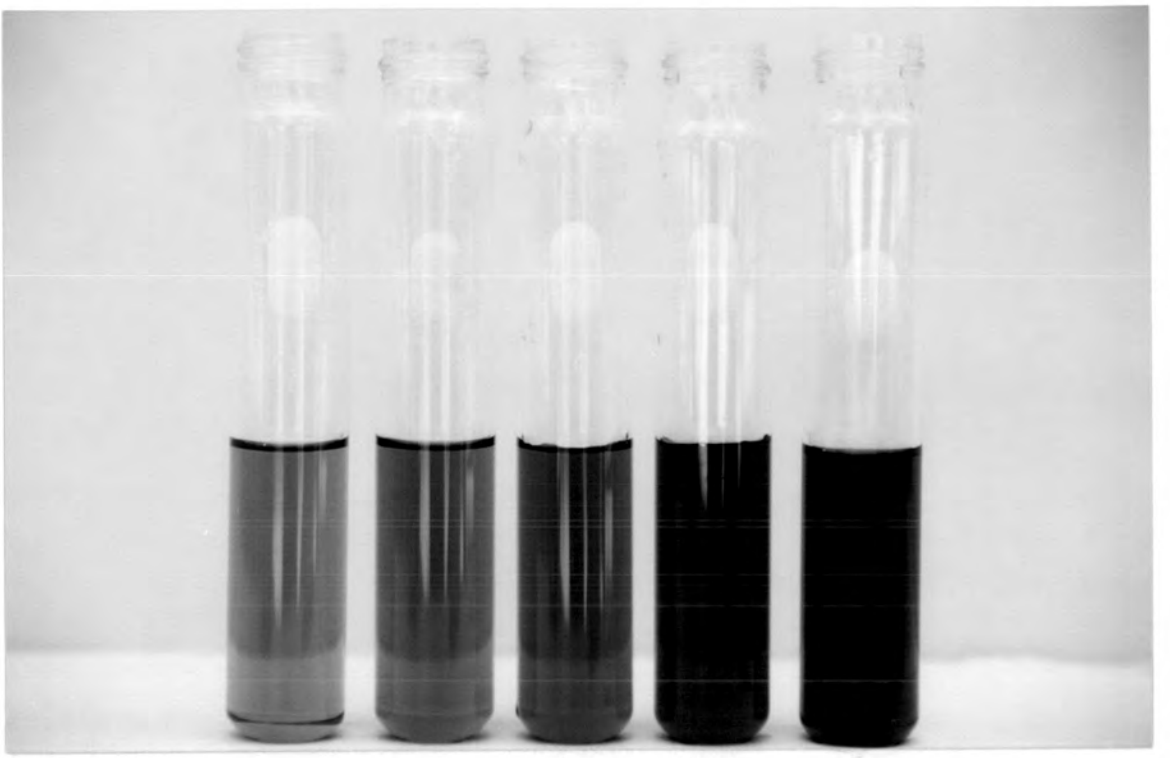


ก)

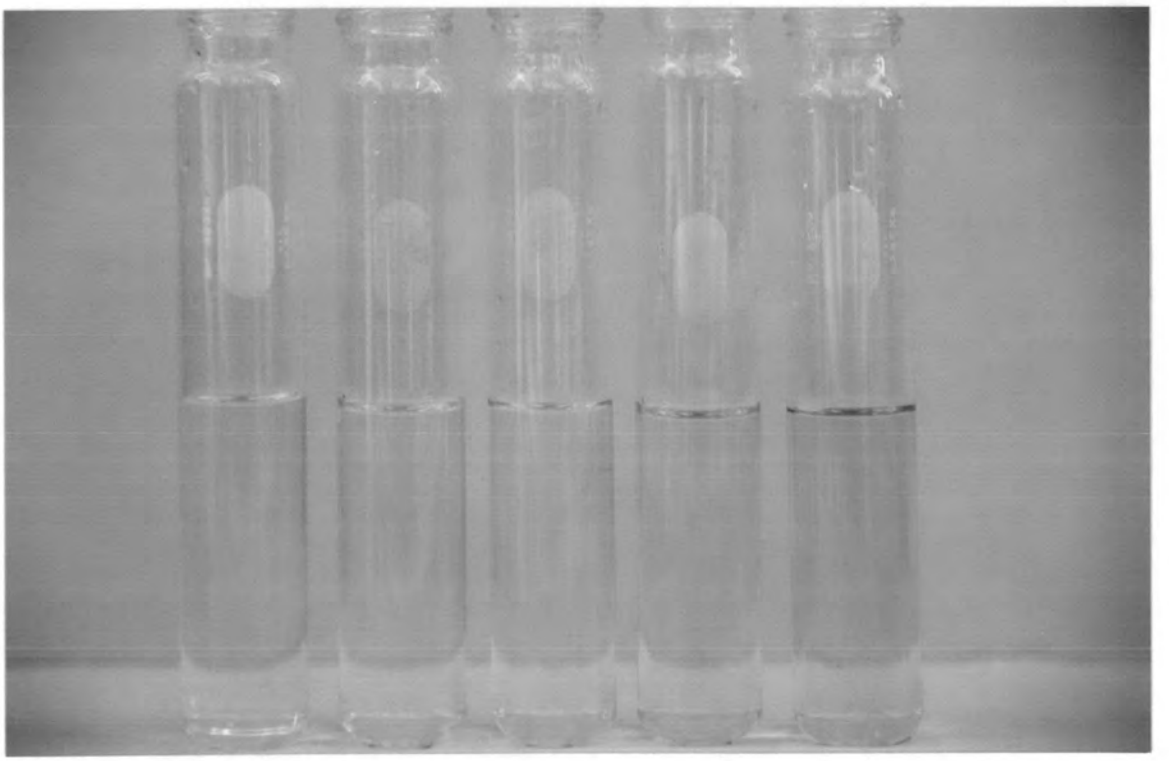


ข)

รูปที่ 5.29 สี Best Direct Black B ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร

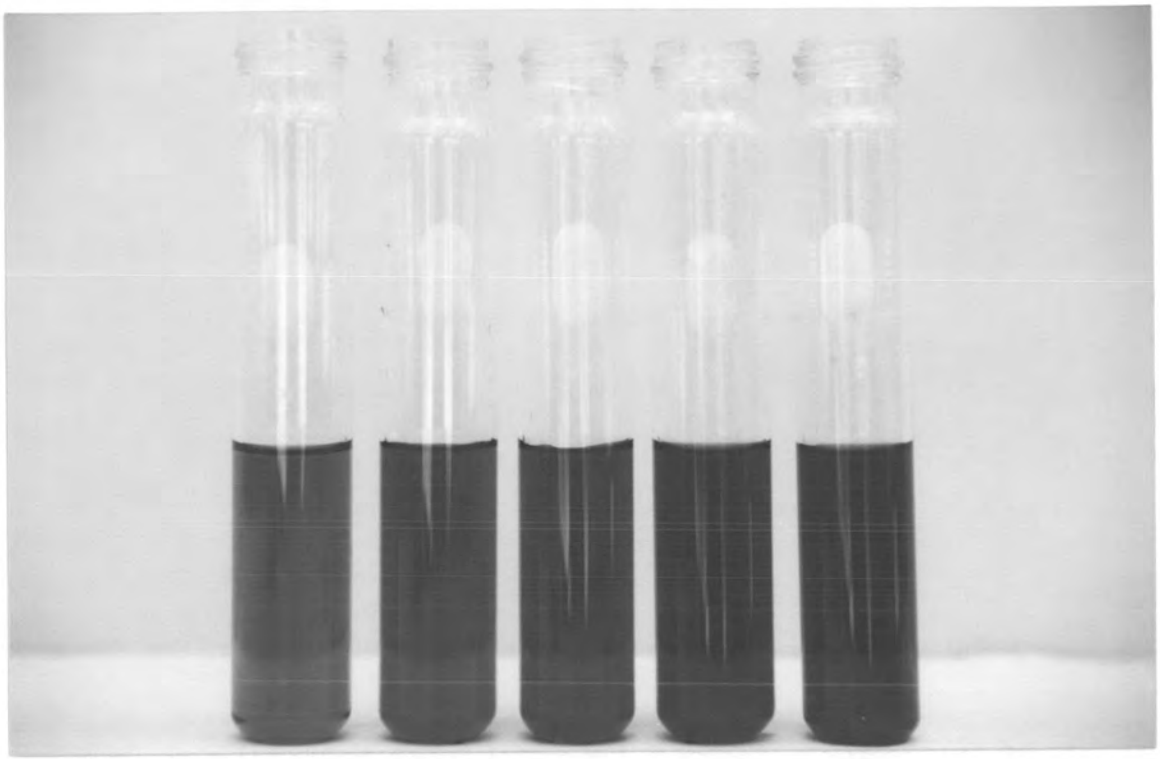


ก)

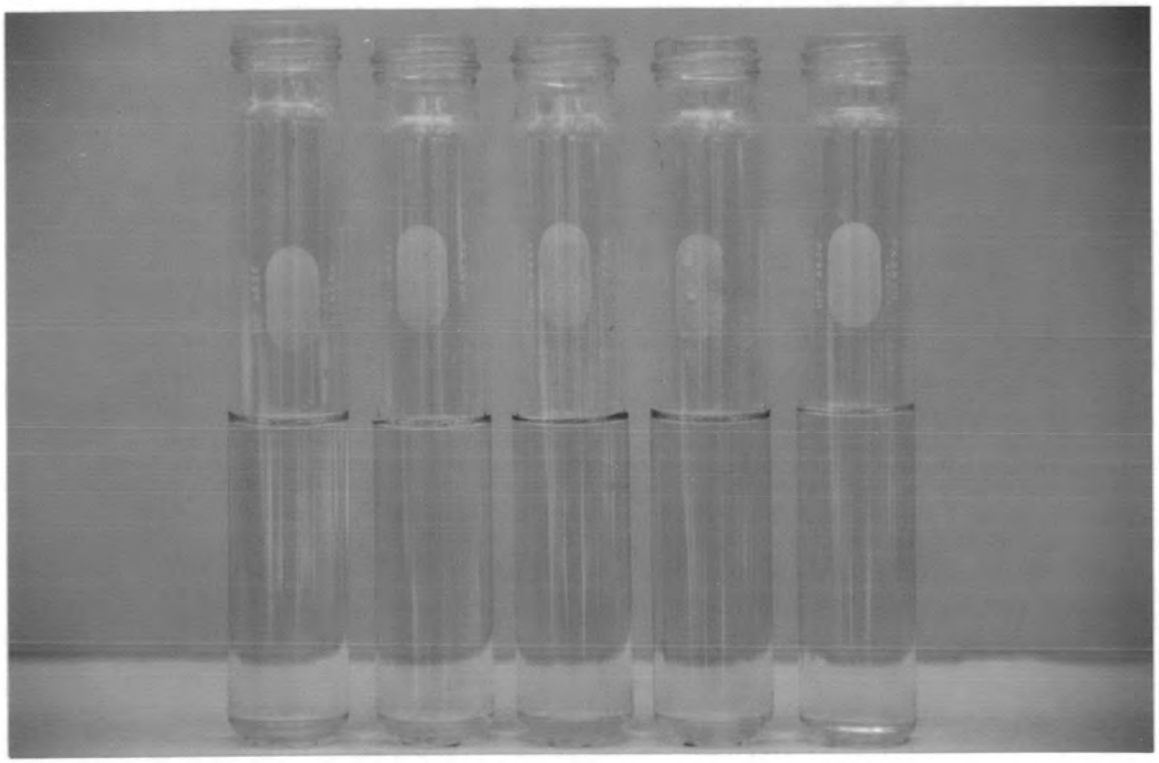


ข)

รูปที่ 5.30 สี Remazol Brilliant Blue R ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร



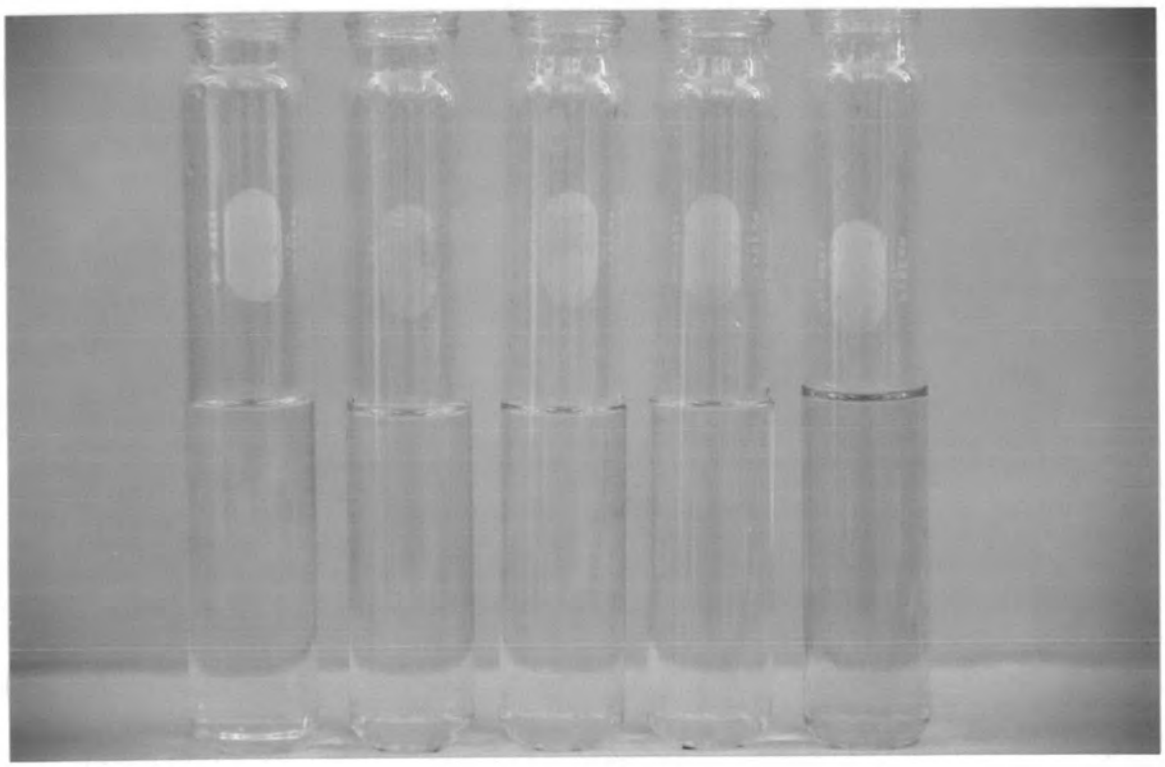
ก)



ข)

รูปที่ 5.31 สี Remazol Brilliant Red 3BS ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร

ก)



ข)

รูปที่ 5.32 สี Remazol Black B ก่อนกำจัด ก) และหลังกำจัดด้วย Q-R ซังข้าวโพด ข) ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 5.4 ค่าพีเอชของสารละลายสีหลังการกำจัดด้วยวัสดุที่ปรับภาพและไม่ได้ปรับสภาพ

สีย้อม	ความเข้มข้นสีย้อม (mg/l)	ซังข้าวโพด		เปลือกถั่วเหลือง		ก้านดอกทานตะวัน	
		UNT	Q-R	UNT	Q-R	UNT	Q-R
Sirius Blue KCFN (สีไดเรกท์)	50	5.52	4.85	6.55	3.88	7.56	4.06
	70	5.77	4.82	6.55	3.92	7.30	4.07
	90	5.67	4.96	6.69	3.90	7.23	4.12
	150	5.99	5.76	6.91	3.98	7.01	4.11
	200	6.21	6.11	6.95	4.05	7.01	4.42
Sirius Rubine KZBL (สีไดเรกท์)	50	5.60	5.86	6.41	3.54	5.52	4.12
	70	5.44	4.91	6.23	3.67	5.76	4.14
	90	5.46	4.88	6.18	3.66	5.96	4.13
	150	5.58	5.08	6.19	3.76	6.12	4.19
	200	5.68	5.28	6.14	4.03	6.17	4.29
Best Direct Black B (สีไดเรกท์)	50	7.46	6.50	8.37	4.26	8.01	5.63
	70	7.64	6.77	8.26	4.64	8.06	6.39
	90	7.69	7.01	8.20	5.92	8.14	6.67
	150	7.19	7.44	8.45	6.98	8.78	7.07
	200	7.20	7.62	8.73	7.32	9.11	7.97
Remazol Brilliant Blue R (สีรีแอคทีฟ)	50	6.19	8.16	6.34	3.86	6.46	3.96
	70	6.25	5.92	6.62	3.86	7.17	3.95
	90	5.97	5.31	6.62	3.87	6.91	3.99
	150	5.57	4.82	663	3.93	6.56	4.02
	200	5.39	4.62	6.65	3.88	6.42	4.07
Remazol Brilliant Red 3BS (สีรีแอคทีฟ)	50	6.76	6.33	6.82	3.85	6.10	3.87
	70	6.25	6.00	6.52	3.86	5.90	3.92
	90	5.46	4.39	6.32	3.84	5.75	3.92
	150	4.68	4.16	5.79	3.58	5.42	3.90
	200	4.49	4.13	5.52	3.63	5.21	3.90
Remazol Black B (สีรีแอคทีฟ)	50	7.97	6.54	8.06	3.78	8.02	3.94
	70	7.78	6.43	7.93	3.80	7.84	4.02
	90	7.29	4.73	6.84	3.79	7.66	4.04
	150	6.59	4.84	6.32	3.85	7.51	4.09
	200	6.39	4.74	6.81	3.93	7.44	4.15