บทที่4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การศึกษาความแก่อ่อนของใบบัวบก

การศึกษาความแก่อ่อนของใบบัวบกโดยการแบ่งใบบัวบกออกเป็น3กลุ่มคือใบบัวบกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.6 - 4.5, 4.6 - 5.5 และ 5.6 - 6.5 เซนติเมตรตามลำดับแล้วทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าปริมาณความชื้นค่าสีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสมบัติการต้านออกซิเดชันและปริมาณเส้นใยผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

จากตารางที่4.1พบว่าใบบัวบกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของใบขนาด 4.6 ถึง 5.5 เซนติเมตรและ 5.6 ถึง 6.5 เซนติเมตรเป็นใบบัวบกที่มีความแก่อ่อนที่เหมาะที่สุดเนื่องจากมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) Sreelatha and Padma (2009) ได้ศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการยับยั้ง DPPH (IC_{50}) ของใบมะรุมที่มีความแก่อ่อนต่างๆพบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกในใบมะรุมแก่และอ่อนคือ 6.60 และ 5.81 mg/g d.b. ตามลำดับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในใบมะรุมแก่ (45.81 mg/g d.b.) มากกว่าใบมะรุมอ่อน (36.02 mg/g d.b.) และกิจกรรมการยับยั้ง DPPH (IC_{50}) ของใบมะรุมแก่และใบมะรุมอ่อนคือ 18.15 µg/ml และ 19.12 µg/ml ตามลำดับ

2. การศึกษาระยะเวลายังยั้งกิจกรรมเอนไซม์ Peroxidase ในใบบัวบก

ทำการลวกใบบัวบกลวกด้วยน้ำเดือดและเครื่องไมโครเวฟที่ระยะเวลา 15 30 45 และ 60 วินาที เพื่อยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสซึ่งผลของค่าสีของสารละลายแสดงในตารางที่ 4.3 และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าการลวกใบบัวบกด้วยน้ำเดือดและเครื่องไมโครเวฟตั้งแต่ 15 วินาทีเป็นต้นไปสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้ เพราะไม่เกิดสีน้ำตาลแดงในสารละลาย ส่วนระยะเวลาและวิธีในการลวกใบบัวบกที่เหมาะที่สุด คือ การลวกใบบัวบกด้วยเครื่องไมโครเวฟนาน 30 วินาที เนื่องจากการลวกใบบัวบกด้วยเครื่องไมโครเวฟนาน 30 สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้โดยมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงที่สุดสอดคล้องกับงานวิจัยของ Turkmen and others (2005) ซึ่งพบว่าถั่วเขียว (Green beans) ที่ผ่านการลวกด้วยเครื่องไมโครเวฟมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงกว่าถั่วเขียวที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือด

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้น ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านออกซิเดชัน ค่าสี และปริมาณเส้นใย ของใบบัวบก

ความแก่อ่อน (เส้นผ่านศูนย์กลาง, เซนติเมตร)	ปริมาณความชื้น (%d.b.)	ปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมด (mg/gd.b.)	สมบัติการต้าน ออกซิเดชัน (%inhibition)	ค่าสี			ปริมาณ เส้นใย (%d.b.)
				L*	a*	b*	
3.6-4.5	623.43±10.83^{a}	5.45±0.08^{a}	22.30±0.78^{a}	37.87±9.57^{a}	-11.40±0.80^{a}	21.86±3.30^{a}	11.13±0.66^{a}
4.6-5.5	657.41±57.24^{a}	6.18±0.13^{b}	25.93±0.09^{b}	40.32±1.40^{a}	-11.65±0.85^{a}	21.67±3.00^{a}	11.11±0.63^{a}
5.6-6.5	671.71±57.92^{a}	6.34±0.02^{b}	25.77±0.31^{b}	40.80±1.67^{a}	-11.37±0.85^{a}	20.49±3.30^{a}	11.00±0.50^{a}

ตารางที่ 4.2 ผลของวิธีและเวลาที่ใช้ในการลวกใบบัวบกต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชัน

เวลา(วินาที)	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg/g)		สมบัติการต้านออกซิเดชัน (%inhibition)	
	ลวกด้วยน้ำเดือด	ลวกด้วยเครื่องไมโครเวฟ	ลวกด้วยน้ำเดือด	ลวกด้วยเครื่องไมโครเวฟ
15	8.63±0.03^{b}	7.13±0.04^{c}	13.74±0.16^{d}	6.58±0.48^{a}
30	9.39±0.04^{c}	10.52±0.04^{d}	14.13±0.31^{d}	16.20±0.29^{e}
45	9.16±0.04^{c}	10.07±0.05^{d}	13.89±0.19^{d}	16.11±0.10^{e}
60	7.50±0.01^{a}	8.66±0.40^{b}	8.54±0.43^{b}	10.47±0.62^{c}

$^{a,b,c,...}$ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ตารางที่ 4.3 ผลของวิธีและเวลาที่ใช้ในการลวกใบบัวบกต่อเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส

เวลา(วินาที)	เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส	
	ลวกด้วยน้ำเดือด	ลวกด้วยเครื่องไมโครเวฟ
0	+	+
15	-	-
30	-	-
45	-	-
60	-	-

มายเหตุ + คือ ยังมีการทำงานของเอนไซม์

\- คือ ไม่มีการทำงานของเอนไซม์ถือว่าเป็นการลวกที่เพียงพอ

3. การศึกษาดีซอร์พชันไอโซเทิร์ม

การศึกษาดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกโดยนำใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยเครื่องไมโครเวฟเป็นเวลา 30 วินาที และไม่ผ่านการลวก มาทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสที่เวลาต่างๆ วัดปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่อุณหภูมิ 20 35 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เพื่อสร้างแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์ม โดยมีแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา 4 แบบจำลอง ดังนี้ Modified Henderson (Thompson and others 1968), Modified Oswin (Oswin 1946), Modified Chung-Pfost (Pfost and others 1976) และModified Halsey (Iglesias and Cherife 1976) (สมการที่ (2.6)-(2.13)) ซึ่งทั้ง 4 สมการเป็นสมการ 3 พารามิเตอร์สามารถทำนายข้อมูลดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกได้เหมาะสมซึ่งค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดและลวกเมื่อพิจารณาที่ค่า SEE และ R^2 พบว่าแบบจำลอง Modified Henderson สามารถทำนายดีซอร์พชันไอโซเทิร์มได้ดีที่สุดในรูปฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e, T)$ โดยมีค่า SEE ต่ำที่สุด คือ 1.387 และ 0.572 ตามลำดับ และ R^2สูงที่สุด คือ 0.975 และ 0.950 ตามลำดับส่วนแบบจำลอง Modifed Chung-Pfost สามารถทำนายดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มได้ดีที่สุดในรูปฟังก์ชัน $RH_e=f(X_e, T)$ โดยมีค่า SEE ต่ำที่สุด คือ 0.040 และ 0.028 ตามลำดับ และ R^2 สูงที่สุด คือ 0.953 และ 0.951 ตามลำดับ

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์มาแทนค่าในแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มสำหรับใบบัวบกสดคือแบบจำลอง Modified Henderson ในรูปฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e,T)$ และแบบจำลอง Modified Chung-Pfost ในฟังก์ชัน $RH_e=f(X_e,T)$ ดังสมการที่ (4.1) และ (4.2) แบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวกคือแบบจำลอง Modified Henderson ในรูปฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e,T)$ และแบบจำลอง Modified Chung-Pfost ในฟังก์ชัน $RH_e=f(X_e,T)$ ดังสมการที่ (4.3) และ (4.4) ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.4

Chen and Morey (1989) ได้เสนอให้ใช้แบบจำลอง 4 แบบจำลองในการแสดงดีซอร์พชันไอโซเทิร์มสำหรับผลิตผลทางการเกษตรชนิดต่างๆพบว่าไม่มีแบบจำลองใดที่สามารถใช้ได้ครอบคลุมทั้งหมดแบบจำลอง

Modified Henderson และModified Chung-Pfost เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับธัญพืชที่มีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบและวัสดุที่มีเส้นใยแบบจำลอง Modified Halsey เหมาะที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันและโปรตีนสูงแบบจำลอง Modified Oswin เหมาะที่สุดสำหรับข้าวโพดคั่วถั่วลิสงทั้งฝักข้าวโพดและข้าวสาลีชนิดอื่นๆเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของสิงหนาทพวงจันทน์แดงและคณะ (2546) พบว่าแบบจำลอง Modified Henderson ในรูปฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e,T)$ เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับกะเพราขาวและกะเพราแดงซึ่งเป็นพืชที่มีปริมาณเส้นใยสูงและเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของใบบัวบก (ตารางที่ 4.1) พบว่าใบบัวบกเป็นพืชที่มีปริมาณเส้นใยค่อนข้างสูงคือ ใบบัวบกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.6 - 4.5, 4.6 - 5.5 และ 5.6 - 6.5 เซนติเมตร มีปริมาณเส้นใยค่อนข้างสูงร้อยละ 11.13±0.66, 11.10±0.63 และ 11.00±0.50 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

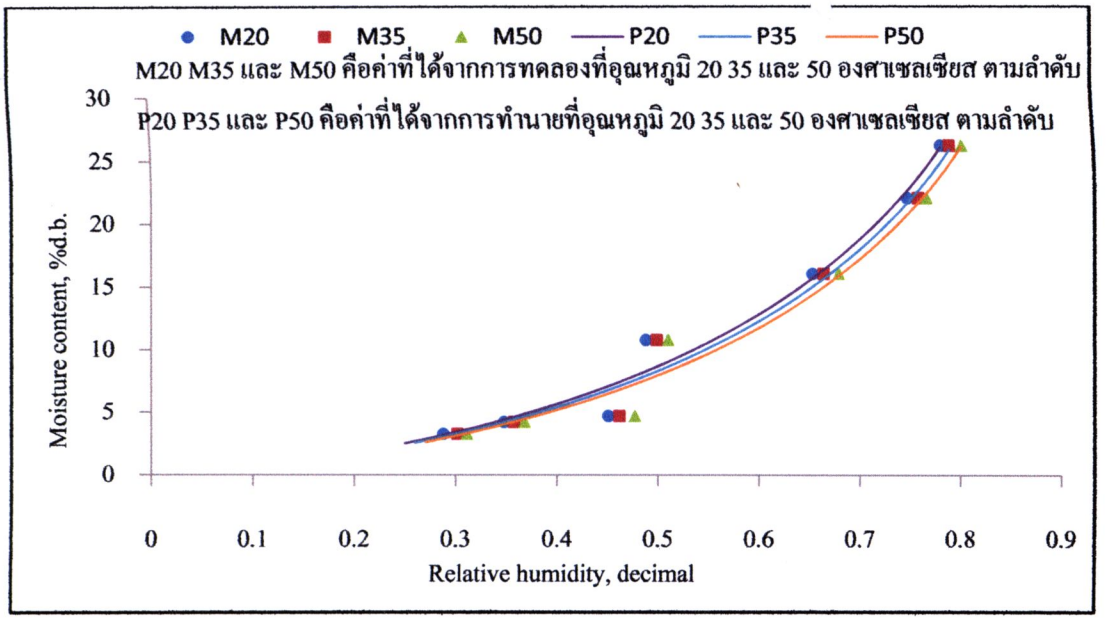
กราฟดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองModified Henderson ในรูปฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e,T)$ และแบบจำลอง Modified Chung-Pfost ในรูปฟังก์ชัน $RH_e=f(X_e,T)$ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ4.2 ตามลำดับและกราฟดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวกเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Henderson ในรูปฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e,T)$ และแบบจำลอง Modified Chung-Pfost ในรูปฟังก์ชัน $RH_e=f(X_e,T)$ แสดงดังภาพที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบก

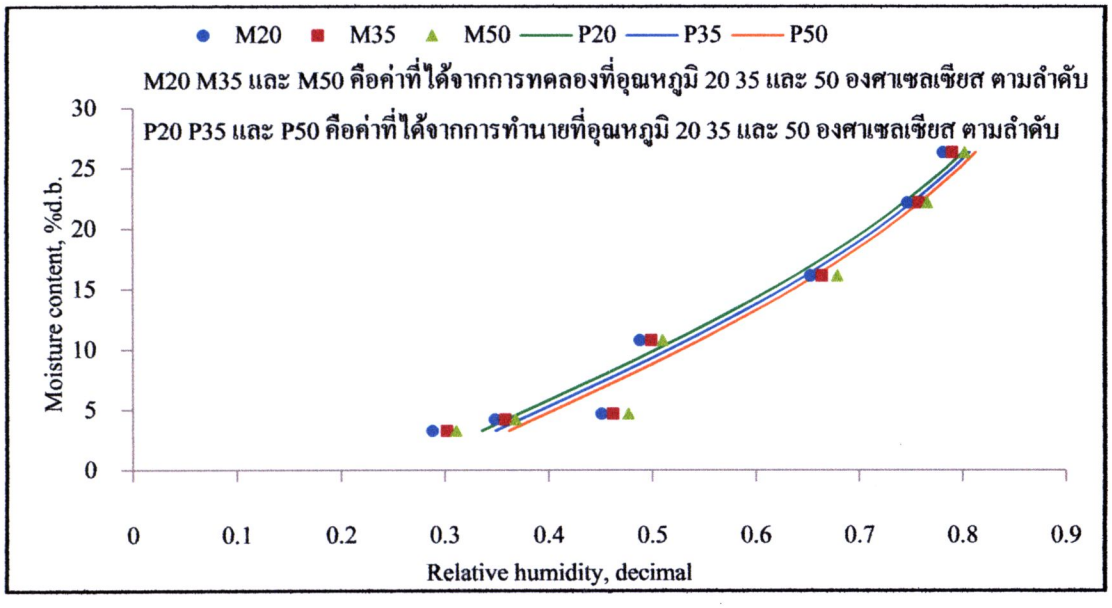
ชนิด	แบบจำลอง	ฟังก์ชัน	
ใบบัวบกสด	Modified Henderson	$X_e=\left[\frac{\ln(1-RH_e)}{-0.0003(T+440.236)}\right]^{\frac{1}{0.713}}$	(4.1)
	Modified Chung-Pfost	$RH_e=\exp\left[\frac{-559.562}{T+388.733}\exp(-0.069X_e)\right]$	(4.2)
ใบบัวบกลวก	Modified Henderson	$X_e=\left[\frac{\ln(1-RH_e)}{-0.00017(T+280.54781)}\right]^{\frac{1}{1.26453}}$	(4.3)
	Modified Chung-Pfost	$RH_e=\exp\left[\frac{-743.07748}{T+303.26660}\exp(-0.15051X_e)\right]$	(4.4)

ตารางที่ 4.5 ค่าคงที่ของแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดและลวก

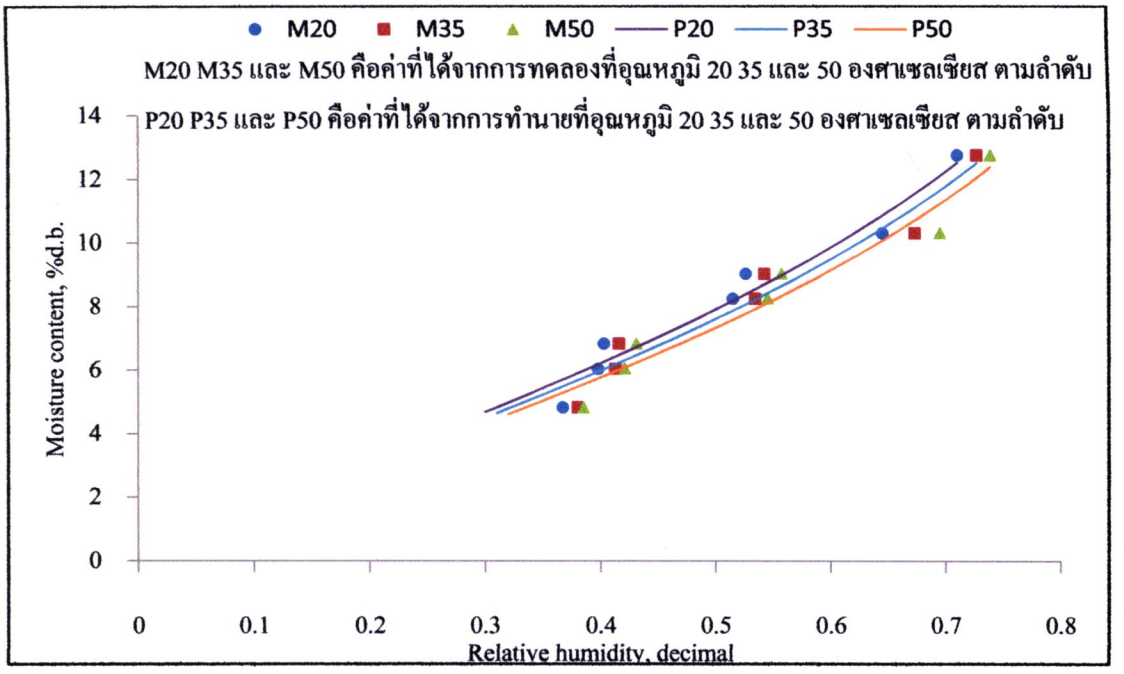
Model	C_1		C_2		C_3		SEE		R^2	
	สด	ลวก	สด	ลวก	สด	ลวก	สด	ลวก	สด	ลวก
$X_e=f(RH_e, T)$										
Modifed Henderson	**0.0003**	**0.00017**	**440.236**	**280.54781**	**0.713**	**1.26453**	**1.387**	**0.572**	**0.975**	**0.950**
ModifedHalsay	1.629	2.68273	-0.003	-0.00392	0.900	1.44898	1.685	0.657	0.963	0.935
Modifed Chung-Pfost	-2,211,678,545.214	-1,976,354,871.294	-1,630,873,677.454	-817,916,009.0104	15.199	7.15159	1.733	0.615	0.961	0.943
ModifedOswin	9.193	8.23363	-0.028	-0.01978	1.131	1.88719	1.517	0.610	0.970	0.944
$RH_e=f(X_e, T)$										
Modifed Henderson	0.0004	0.00019	405.960	299.76860	0.647	1.16563	0.042	0.031	0.948	0.942
ModifedHalsay	1.057	2.02935	-0.002	-0.00297	0.682	1.14957	0.049	0.040	0.929	0.902
Modifed Chung-Pfost	**559.562**	**743.07748**	**388.733**	**303.26660**	**0.069**	**0.15051**	**0.040**	**0.028**	**0.953**	**0.951**
ModifedOswin	8.516	8.14954	-0.0277	-0.01932	0.930	1.63027	0.046	0.035	0.938	0.925



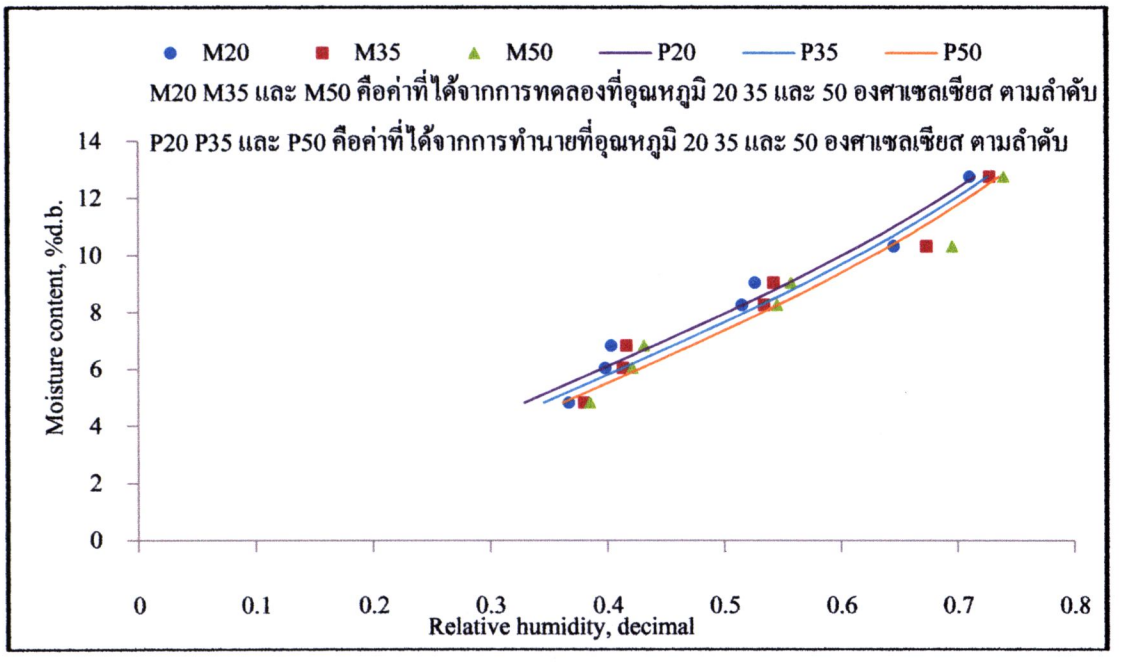
ภาพที่ 4.1 กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Henderson ในรูปฟังก์ชั่น $X_e=f(RH_e,T)$



ภาพที่ 4.2 กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของใบบัวบกสดเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Chung-Pfost ในรูปฟังก์ชั่น $RH_e=f(X_e,T)$



ภาพที่ 4.3 กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวกเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Henderson ในรูปฟังก์ชั่น $X_e=f(RH_e,T)$



ภาพที่ 4.4 กราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทิร์มของใบบัวบกลวกเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Chung-Pfost ในรูปฟังก์ชั่น $RH_e=f(X_e,T)$

4. การศึกษาแบบจำลองการทำแห้ง

จากการศึกษาการทำแห้งใบบัวบกด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียสวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศที่ใช้ในการทำแห้งตลอดการทดลองเพื่อนำมาทำนายค่าปริมาณความชื้นสมดุลทั้งใบบัวบกสดและใบบัวบกลวกแทนค่าในแบบจำลองดีซอร์พชันไอโซเทิร์มฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e,T)$ โดยใช้แบบจำลอง Modified Henderson สมการที่ (4.1) สำหรับใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกในฟังก์ชัน $X_e=f(RH_e,T)$ โดยใช้แบบจำลอง Modified Henderson สมการที่ (4.3) ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยและค่าปริมาณความชื้นสมดุลที่ได้จากการแทนค่าในแบบจำลอง Modified Henderson

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย(ทศนิยม)				ความชื้นสมดุล (%d.b.)			
	สด		ลวก		สด		ลวก	
	TD	HPD	TD	HPD	TD	HPD	TD	HPD
40	0.2439	0.1345	0.2801	0.1601	2.2991	0.9098	4.1756	2.5306
50	0.1385	0.1086	0.1525	0.1224	0.9247	0.6421	2.3681	1.9636
60	0.1052	0.1030	0.1076	0.1019	0.5948	0.5772	1.7207	1.6441

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

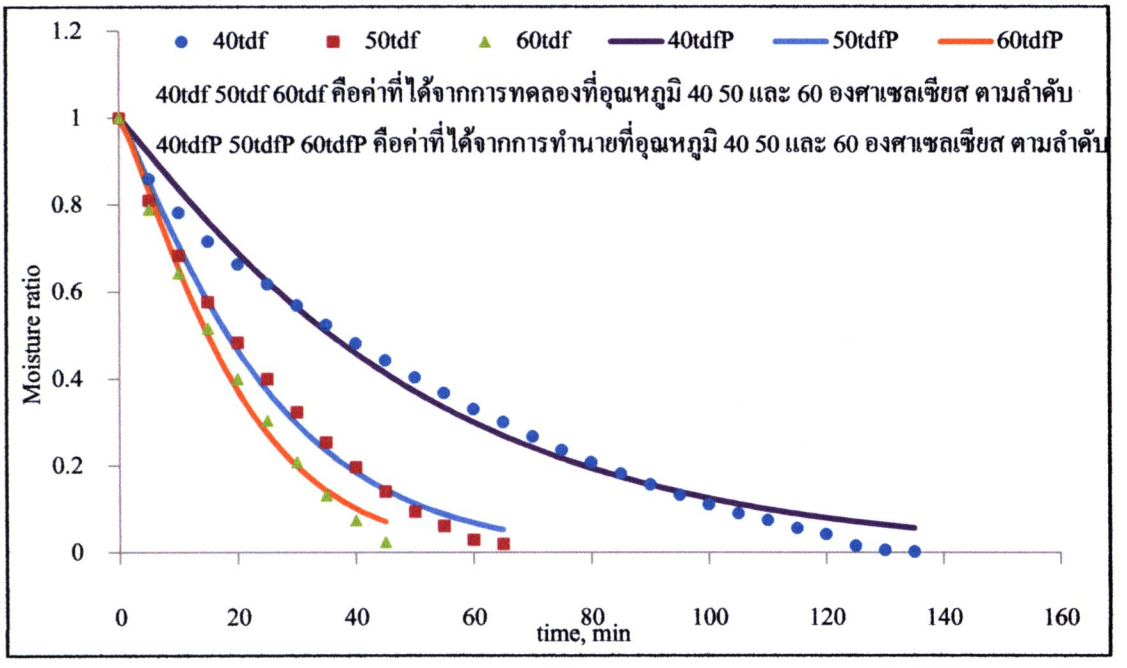
HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

จากการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียสมีค่าต่ำกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดและเมื่อแทนค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของอากาศในเครื่องทำแห้งในแต่ละเครื่องลงในแบบจำลอง Modified Henderson (สมการที่ (4.1) และ (4.3)) พบว่าปริมาณความชื้นสมดุลของใบบัวบกในเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นสมดุลในเครื่องทำแห้งแบบถาดที่ทุกๆอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งและแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาการทำแห้งของใบบัวบกคือ Modified Page (Overhults and others 1973), Henderson and Pabis (Henderson and Pabis 1961), Newton (Lewis 1921) และ Zero (Phoungchandang and Woods 2000) (สมการที่ (2.21) –(2.24)) ซึ่งค่าคงที่ของแบบจำลองการทำแห้งของใบบัวบกดังแสดงในตารางที่ 4.7

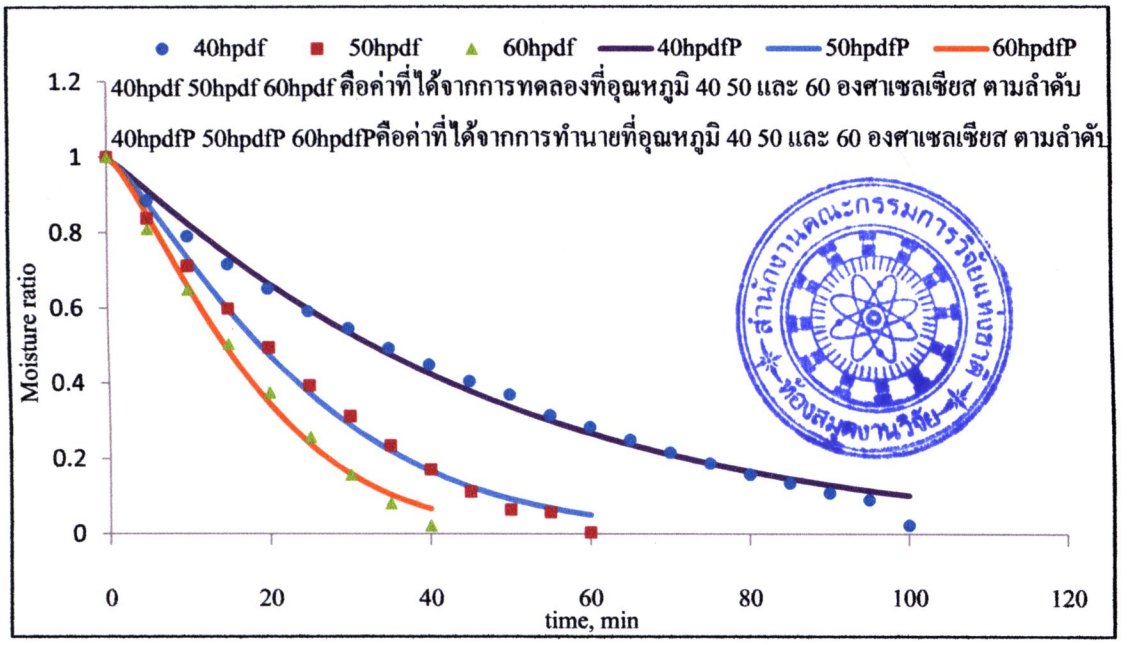
ตารางที่ 4.7 ค่าคงที่ของแบบจำลองการทำแห้งใบบัวบกโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

แบบจำลอง		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)											
		ไม่ผ่านการลวก						ผ่านการลวก					
		TD			HPD			TD			HPD		
		40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60
Newton	K (min^{-1})	0.0200	0.0403	0.0504	0.0217	0.0407	0.0536	0.0302	0.0620	0.0924	0.0444	0.0633	0.0986
	R^2	0.9846	0.9879	0.9821	0.9894	0.9788	0.9712	0.9769	0.9774	0.9700	0.9664	0.9618	0.9500
	SEE	0.0352	0.0342	0.0434	0.0287	0.0470	0.0575	0.0474	0.0517	0.0660	0.0618	0.0701	0.0887
Modified Page	K (min^{-1})	**0.0198**	**0.0395**	**0.0494**	**0.0216**	**0.0396**	**0.0523**	**0.0294**	**0.0599**	**0.0884**	**0.0426**	**0.0611**	**0.0949**
	N	**1.0719**	**1.1449**	**1.2160**	**1.0756**	**1.2676**	**1.3462**	**1.2482**	**1.2733**	**1.4202**	**1.3726**	**1.4480**	**1.5700**
	R^2	**0.9862**	**0.9932**	**0.9925**	**0.9912**	**0.9942**	**0.9937**	**0.9913**	**0.9917**	**0.9947**	**0.9917**	**0.9935**	**0.9893**
	SEE	**0.0333**	**0.0256**	**0.0282**	**0.0261**	**0.0245**	**0.0270**	**0.0291**	**0.0314**	**0.0277**	**0.0306**	**0.0288**	**0.0411**
Henderson and Pabis	K (min^{-1})	0.0199	0.0412	0.0520	0.0218	0.0426	0.0562	0.0316	0.0642	0.0957	0.0469	0.0668	0.1024
	A	0.9938	1.0208	1.0303	1.0063	1.0462	1.0492	1.0453	1.0362	1.0391	1.0592	1.0576	1.0427
	R^2	0.9846	0.9885	0.9836	0.9894	0.9819	0.9752	0.9798	0.9793	0.9725	0.9712	0.9669	0.9534
	SEE)	0.0351	0.0333	0.0416	0.0286	0.0435	0.0534	0.0443	0.0494	0.0632	0.0572	0.0652	0.0857
Zero	K (min^{-1})	0.0199	0.0402	0.0503	0.0216	0.0406	0.0537	0.0298	0.0616	0.0919	0.0440	0.0630	0.0981
	R^2	0.9852	0.9881	0.9823	0.9895	0.9790	0.9686	0.9783	0.9782	0.9706	0.9674	0.9625	0.9506
	SEE	0.0343	0.0338	0.0432	0.0285	0.0467	0.0604	0.0456	0.0506	0.0652	0.0607	0.0692	0.0880

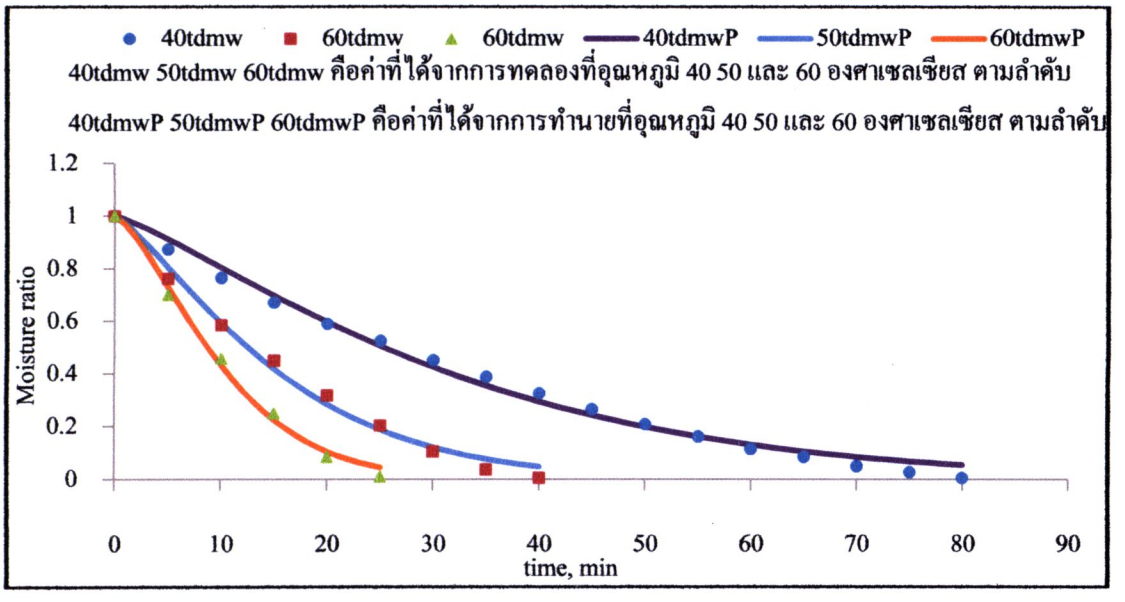
จากตารางที่ 4.7 แสดงค่าคงที่ของแบบจำลองการทำแห้งใบบัวบกเมื่อพิจารณาค่า SEE และ R^2 พบว่าทั้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกแบบจำลอง Modified Page มีค่า SEE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุดแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Modified Page สามารถแสดงข้อมูลการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกที่ได้จากการทดลองได้ดีที่สุดกราฟอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่เวลาการทำแห้งต่างๆเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page แสดงดังภาพที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับและกราฟอัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่เวลาการทำแห้งต่างๆเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page แสดงดังภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



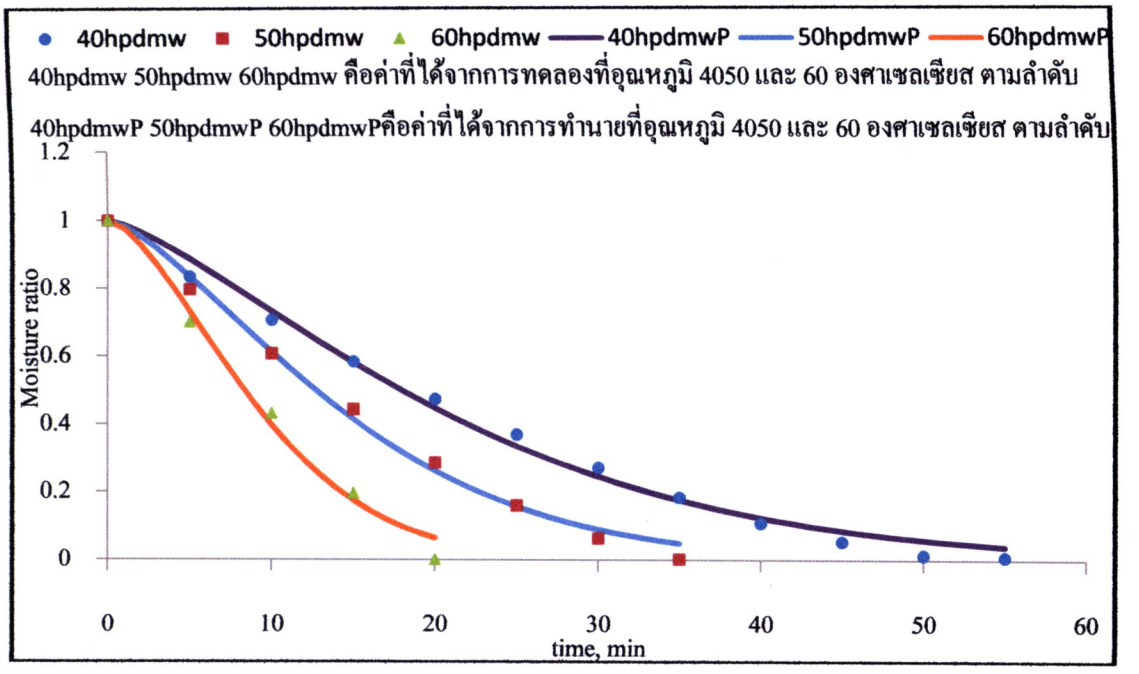
ภาพที่ 4.5 อัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.6 อัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส

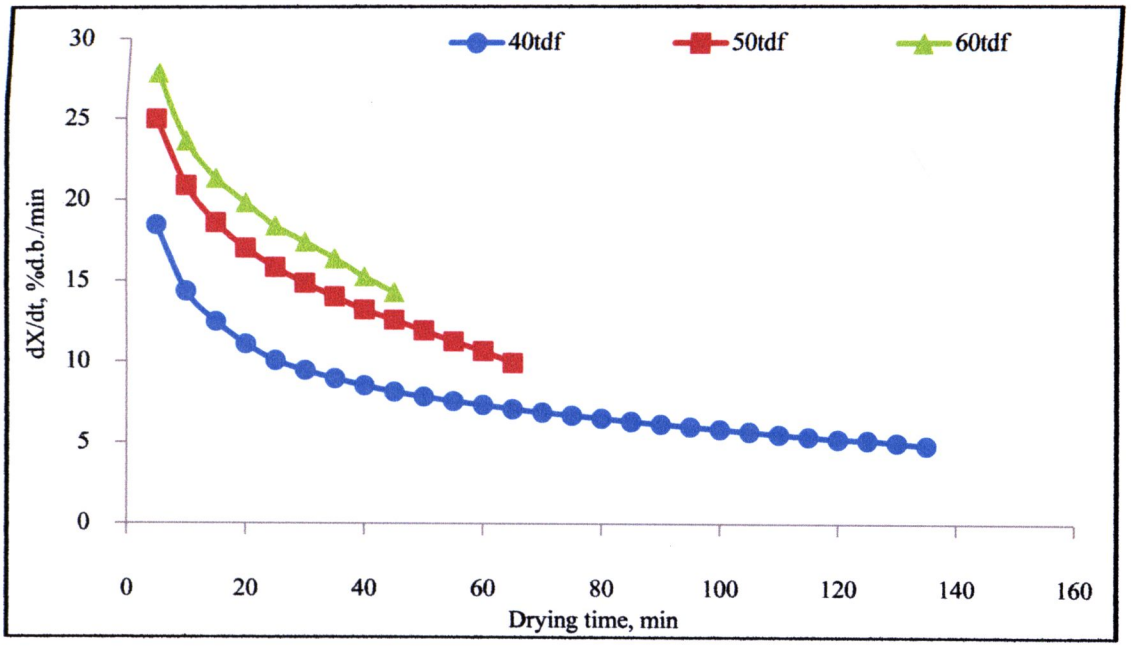


ภาพที่ 4.7 อัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส

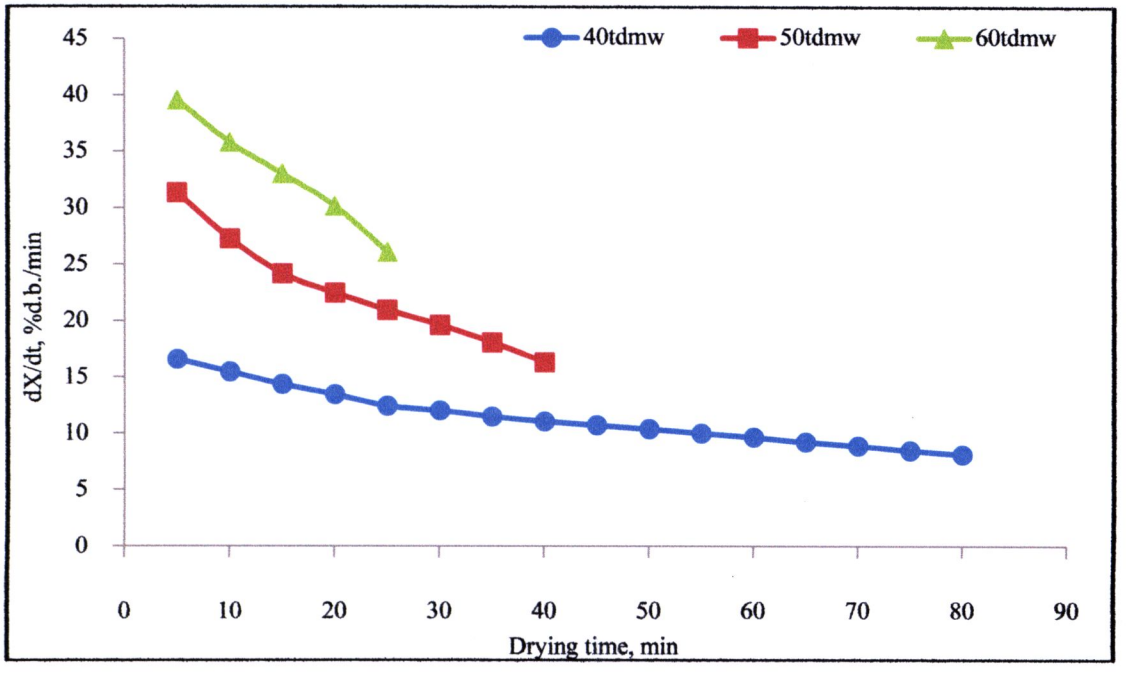


ภาพที่ 4.8 อัตราส่วนความชื้นของใบบัวบกลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบความร้อนเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส

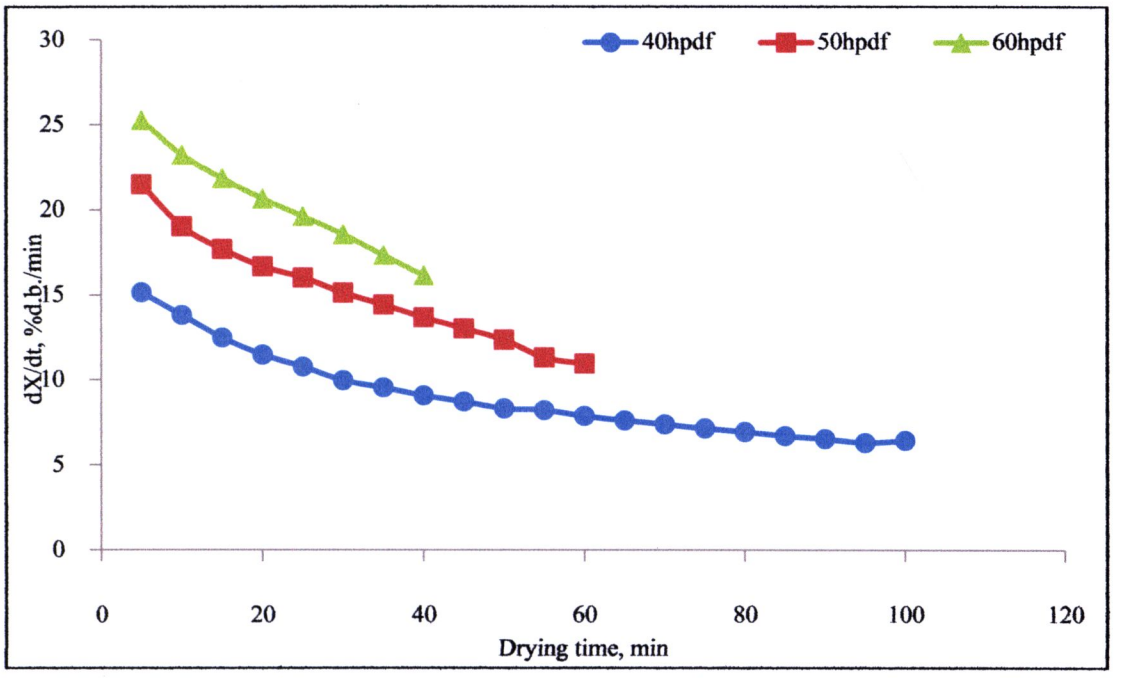
จากภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับระยะเวลาในการทำแห้งของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดตามลำดับและภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับระยะเวลาในการทำแห้งของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบความร้อนพบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับระยะเวลาในการทำแห้งของทั้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวก เป็นช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารไปยังผิวหน้าอาหารช้ากว่าอัตราการระเหยของน้ำจากผิวหน้าไปยังอากาศ



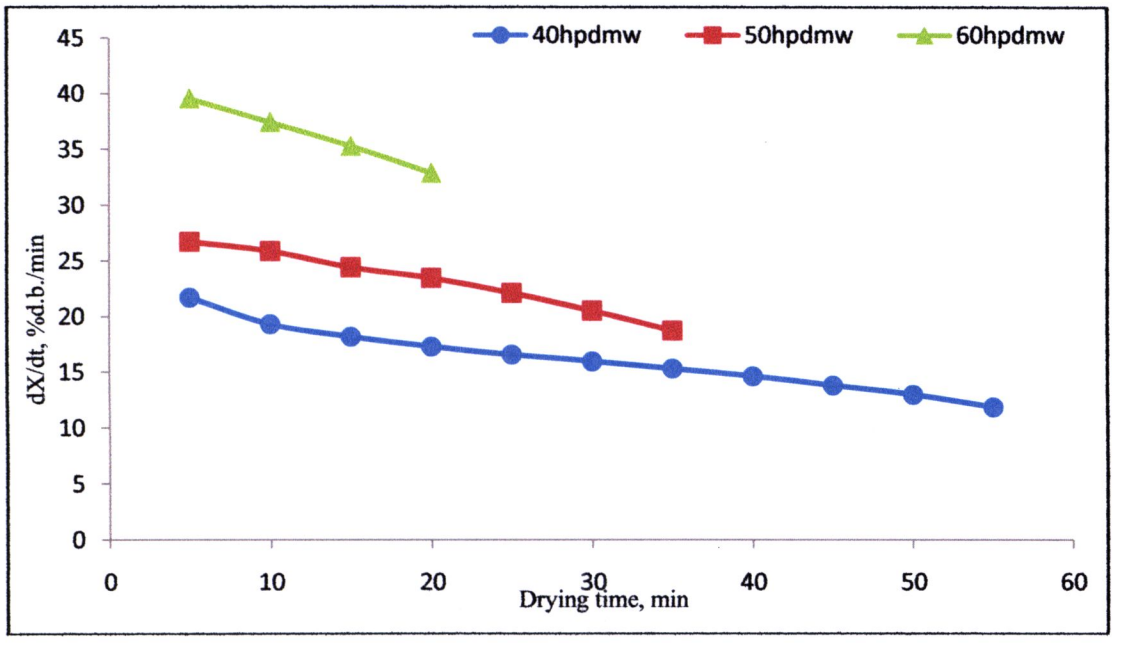
ภาพที่ 4.9 อัตราการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.10 อัตราการทำแห้งใบบัวบกลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.11 อัตราการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.12 อัตราการทำแห้งใบบัวบกลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.7 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อค่าคงที่การทำแห้ง (Drying constant, K) สำหรับการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดค่าคงที่การทำแห้งได้จากแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ60 องศาเซลเซียสอยู่ในช่วง 0.0198 – 0.0494 min^{-1} และเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนอยู่ในช่วง 0.0216 – 0.0523 min^{-1} สำหรับการทำแห้งใบบัวบกลวกค่าคงที่การทำแห้งได้จากแบบจำลอง Modified Page ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดอยู่ในช่วง 0.0294 – 0.0884 min^{-1} และเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนอยู่ในช่วง 0.0426 – 0.0949 min^{-1} พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการทำแห้งมีค่าสูงขึ้นด้วยเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจะเป็นการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนระหว่างอากาศในเครื่องทำแห้งกับใบบัวบกจึงทำให้น้ำระเหยออกจากผิวหน้าของใบบัวบกได้ดีขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่การทำแห้ง (K, min^{-1}) ในเครื่องทำแห้งทั้ง2ชนิดพบว่าเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีค่าคงที่การทำแห้งสูงกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดเนื่องจากการทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศในช่องทำแห้งต่ำกว่าดังแสดงในตารางที่ 4.6 จึงทำให้ใช้เวลาทำแห้งเร็วกว่าเมื่อนำค่าคงที่การทำแห้งใบบัวบกทั้ง2เครื่องทำแห้งมาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการทำแห้งโดยที่อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้นทำให้ค่าคงที่การทำแห้งสูงขึ้นตามไปด้วยและค่าคงที่การทำแห้งสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการทำแห้งตามแบบจำลองArrhenius เมื่อแทนค่าคงที่การทำแห้งจากตารางที่ 4.7 ในสมการArrhenius (สมการที่ (2.25)) จะได้ความสัมพันธ์ของค่าคงที่การทำแห้งที่ได้จากแบบจำลอง Modified Page ทั้งการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของค่าคงที่การทำแห้ง (K, min^{-1}) กับอุณหภูมิในการทำแห้งตามแบบจำลอง Arrhenius ของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

เครื่องทำแห้ง	สภาวะ	A	B	R^2	SEE (min^{-1})
TD	ไม่ลวก	11,768.8059	4,113.8400	0.9207	0.0042
	ลวก	559,336.9927	5,211.8724	0.9792	0.0043
HPD	ไม่ลวก	14,677.7952	4,172.0095	0.9617	0.0030
	ลวก	40,638.5745	4,322.4784	0.9954	0.0018

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

เมื่อนำค่าคงที่จากตารางที่ 4.8 มาแทนค่าในแบบจำลอง Arrhenius (สมการที่ (2.25)) จะได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แบบจำลอง Arrhenius ของใบบัวบก

เครื่องทำแห้ง	สภาวะ	สมการ	
TD	ไม่ลวก	$K_{TDF} = (11{,}768.8059)\exp\left(-\frac{4{,}113.8400}{T+273.15}\right)$	(4.5)
	ลวก	$K_{TDMW} = (559{,}336.9927)\exp\left(-\frac{5{,}211.8724}{T+273.15}\right)$	(4.6)
HPD	ไม่ลวก	$K_{HPDF} = (14{,}677.7952)\exp\left(-\frac{4{,}172.0095}{T+273.15}\right)$	(4.7)
	ลวก	$K_{HPDMW} = (40{,}638.5745)\exp\left(-\frac{4{,}322.4784}{T+273.15}\right)$	(4.8)

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

นอกจากนี้หาความสัมพันธ์ของค่าคงที่ N (Drying exponent) จากแบบจำลอง Modified Page กับอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศตามแบบจำลองของ Rapusas and Driscoll (1995) ค่าคงที่ N ที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 เมื่อนำค่าคงที่แทนค่าลงในสมการ 2.26 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าคงที่ N (Drying exponent) จากแบบจำลอง Modified Page กับอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในการทำแห้งได้ดังสมการที่ 4.9 – 4.12 ตามลำดับดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของค่าคงที่N (Drying exponent) จากแบบจำลอง Modified Page กับอุณหภูมิในการทำแห้งและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ในการทำแห้ง

เครื่องทำแห้ง	สภาวะ	A	B	C	R^2	SEE
TD	ไม่ลวก	2.9327	0.1597	31.2479	1.0000	0.0000
	ลวก	908.5401	1.4982	-187.4370	1.0000	0.0000
HPD	ไม่ลวก	0.4500	-0.5503	-9.3076	1.0000	0.0000
	ลวก	0.0561	-1.1262	45.0586	1.0000	0.0000

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

ตารางที่ 4.11 แบบจำลอง Rapusas and Driscoll ของใบบัวบก

เครื่องทำแห้ง	สภาวะ	สมการ	
TD	ไม่ลวก	$N_{TDF} = 2.9327RH^{0.1597} \exp\left(\frac{31.2479}{T}\right)$	(4.9)
	ลวก	$N_{TDMW} = 908.5401RH^{1.4982} \exp\left(\frac{-187.4370}{T}\right)$	(4.10)
HPD	ไม่ลวก	$N_{HPDF} = 0.4500RH^{-0.5503} \exp\left(\frac{-9.3076}{T}\right)$	(4.11)
	ลวก	$N_{HPDMW} = 0.0561RH^{-1.1262} \exp\left(\frac{45.0586}{T}\right)$	(4.12)

หมายเหตุ

TD	หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด
HPD	หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน
T	หมายถึง อุณหภูมิในการทำแห้ง (องศาเซลเซียส)
RH	หมายถึง ความชื้นสัมพัทธ์(ทศนิยม)

นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการทำแห้ง สามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (สมการที่ 2.27) ซึ่งหมายถึงสัมประสิทธิ์แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำในของแข็งโดยการแพร่ (Henderson and Perry 1976) จากการวิเคราะห์ด้วยNonlinear regression พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสูงขึ้นด้วยซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดมีค่าเท่ากับ 3.6865E-11 ถึง9.2501E-11 m^2/s ใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบมีค่าเท่ากับ3.8951E-11 ถึง 9.8238E-11 m^2/s ใบบัวบกลวกที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดมีค่าเท่ากับ 5.5643E-11 ถึง 1.7332E-10 m^2/s ใบบัวบกลวกที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบมีค่าเท่ากับ 8.2429E-11 ถึง 1.8351E-10 m^2/s ดังแสดงในตารางที่ 4.12 สอดคล้องกับการทำแห้งใบตำลึง (Potisate and Phoungchandang 2010) ซึ่งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของใบตำลึงทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดมีอยู่ค่าในช่วง 5.94×10^{-11} - 8.44×10^{-11} m^2/s และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของใบตำลึงทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีค่าในช่วง 5.93×10^{-11} – 1.16×10^{-10} m^2/s

ตารางที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ($D_{eff.}$, m^2/s) ของใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกและใบบัวบกลวกที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

เครื่องทำแห้ง		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
		ไม่ลวก			ลวก		
		40	50	60	40	50	60
$D_{eff.}$ (m^2/s)	TD	3.6865E-11	7.4527E-11	9.2501E-11	5.5643E-11	1.1544E-10	1.7332E-10
	HPD	3.8951E-11	7.5228E-11	9.8238E-11	8.2429E-11	1.1747E-10	1.8351E-10
R^2	TD	0.9339	0.9212	0.9007	0.8979	0.8996	0.8835
	HPD	0.9181	0.8983	0.8778	0.8823	0.8685	0.8506
SEE	TD	0.0728	0.0871	0.1023	0.0996	0.1089	0.1301
	HPD	0.0797	0.1030	0.1184	0.1156	0.1300	0.1534

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

ตารางที่ 4.13 เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง

เครื่องทำแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
	ไม่ลวก			ลวก		
	40	50	60	40	50	60
TD	135	65	45	80	40	25
HPD	100	60	40	55	35	20
ร้อยละของเวลาที่แห้งเร็วขึ้น	25.93	7.69	11.11	31.25	12.50	20.00

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

จากตารางที่ 4.13 เมื่อพิจารณาเวลาในการทำแห้งพบว่าเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนใช้เวลาในการทำแห้งเร็วกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดสำหรับการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60องศาเซลเซียสคิดเป็นร้อยละ 25.9 37.69 และ 11.11 ตามลำดับสำหรับการทำแห้งใบบัวบกลวกที่อุณหภูมิ 40 50 และ60องศาเซลเซียสคิดเป็นร้อยละ 31.25 12.50 และ 20.00 ตามลำดับ

การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำแห้งในเครื่องทำแห้งเดียวกันตลอดการทดลองพบว่าการลวกใบบัวบกใช้เวลาในการทำแห้งเร็วกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกโดยในเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียสคิดเป็นร้อยละ 40.74 38.46 และ 44.44 ตามลำดับสำหรับเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้

เครื่องสูบความร้อนการลวกใบบัวบกใช้เวลาในการทำแห้งเร็วกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียสคิดเป็นร้อยละ45.00 41.67 และ 50.00 ตามลำดับ

5. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของใบบัวบกหลังการทำแห้ง

5.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

5.1.1 อัตราส่วนการทำแห้ง (Drying ratio)

จากการศึกษาอัตราส่วนการทำแห้งของใบบัวบก นั้นสามารถหาได้จากน้ำหนักตัวอย่างหลังการตัดแต่ง(ก่อนการทำแห้ง) หารด้วยน้ำหนักตัวอย่างหลังการทำแห้ง เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง มีผลต่ออัตราส่วนการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ซึ่งการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้อัตราส่วนการทำแห้งสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงทำให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้น ดังนั้นจึงกำจัดน้ำอิสระออกไปได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งและเครื่องทำแห้งมีผลต่ออัตราส่วนการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ซึ่งพบว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีผลทำให้อัตราส่วนการทำแห้งสูงกว่าการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาด เนื่องจากการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดจึงมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในใบบัวบกเกิดการแพร่และขับออกมานอกเซลล์ได้ดีกว่าทำให้น้ำหนักสุดท้ายของใบบัวบกทำแห้งเหลือน้อยกว่า นอกจากนี้ใบบัวบกลวกจะมีอัตราส่วนการทำแห้งที่สูงกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวก ซึ่งเป็นผลมาจากการลวกที่นอกจากจะสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้แล้วยังช่วยไล่อากาศระหว่างเซลล์ของพืช ทำให้เยื่อหุ้มผนังเซลล์ของพืชเสียหาย (Turhan and others 1997) เซลล์อ่อนตัวลง ตลอดจนมีการเปลี่ยนแปลงของไซโตพลาสซึมต่อการผ่านเข้าและออกของน้ำหรือสารละลายในเซลล์ (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2545; Aguilera and Stanley 1999; Lewieki 2006) เมื่อนำไปทำแห้งน้ำในเซลล์จึงสามารถระเหยออกไปได้มากกว่า อีกทั้งการลวกยังช่วยกำจัดสารเคลือบผิว (Waxy) และสูญเสียปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (Soluble solid) (Cinquanta and others 2002) มีการละลายของโครงสร้างที่เป็นพอลิเมอร์ เช่น protopectin (Mate and others 1998) ดังนั้นจึงทำให้น้ำหนักของใบบัวบกลวกภายหลังการทำแห้งน้อยกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกจึงทำให้อัตราส่วนการทำแห้งสูง การลวกทำให้อัตราการทำแห้งสูงและมีการแพร่ของน้ำภายในใบบัวบกเกิดการเคลื่อนที่และการแพร่ออกไปได้ดีกว่าทำให้มีน้ำหนักตัวอย่างหลังการทำแห้งต่ำกว่าการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าอัตราส่วนการทำแห้งใบบัวบกลวกสูงกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rocha and others (1993) และสิงหนาท พวงจันทน์แดง (2546)

ตารางที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่ออัตราส่วนการทำแห้งใบบัวบก

ปัจจัย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนการทำแห้ง
อุณหภูมิในการทำแห้ง	40	6.8148±0.33[a]
	50	6.9815±0.33[b]
	60	7.054±0.33[b]

[a,b,c,...]ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งและเครื่องทำแห้งต่ออัตราส่วนการทำแห้งใบบัวบก

การเตรียมตัวอย่าง	เครื่องทำแห้ง	อัตราส่วนการทำแห้ง
ใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวก	TD	6.5540±0.11[a]
	HPD	6.7586±0.16[b]
ใบบัวบกลวก	TD	7.2483±0.13[c]
	HPD	7.2396±0.12[c]

[a,b,c,...]ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

5.1.2 ค่าสี

ค่าสีเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญใช้บ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การวัดค่าสีเป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ในการวิจัยนี้ประเมินโดยใช้ค่า L* เป็นค่าความสว่าง –a* เป็นค่าความเขียว b* เป็นค่าความเหลืองของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ และใบบัวบกที่ผ่านการดูดน้ำกลับคืน ดังแสดงในตารางที่ 4.16 - 4.19

(1) ค่าสีของใบบัวบกหลังการทำแห้ง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของใบบัวบกหลังการทำแห้ง พบว่าการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งโดยการลวกมีอิทธิพลทำให้ค่า L* a* b* และค่า ΔE^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)ดังแสดงในตารางที่ 4.16นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ทำแห้งมีอิทธิพลทำให้ค่าสี L* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 สอดคล้องกับรายงานการทำแห้งใบ Yerba mate (*Ilex Paraguariensis* Saint Hilaire) หลังการทำแห้งพบว่าค่า L* ระหว่างใบที่ไม่ผ่านการลวกและผ่านการลวกมีค่า L* ต่างกันเล็กน้อย เมื่อเทียบกับใบสด (ก่อนการทำแห้ง) โดยค่า –a* หลังทำแห้งลดลงทั้งใบที่ผ่านและไม่ผ่านการลวก ซึ่งชนิดที่ผ่านการลวกจะมีสีเขียวลักษณะ green bright (Miguel and Stella 2001) การที่ค่าสี –a* มีแนวโน้มลดลงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคลอโรฟิลล์เป็นพีโอไฟทิน (สีเขียวอมน้ำตาล) ซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนและการสะท้อนแสงและมีผลต่อค่าสีเขียว (-a*) ลดลงทำให้ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) สูงขึ้น (Miglio and

others 2008) นอกจากนี้การลวกใบบัวบกยังมีผลไปยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (browning reaction) และการลวกยังช่วยรักษาการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ (Heaton and Marangoni 1996) จึงทำให้ใบบัวบกหลังทำแห้งยังคงมีสีเขียว

ตารางที่ 4.16 ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งต่อค่า L* a*b* และΔE* ของใบบัวบกหลังการทำแห้ง

ระดับปัจจัย	L*	a*	b*	ΔE*
ใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวก	40.5214±2.88^{b}	-3.1858±0.69^{a}	18.1817±0.94^{b}	9.2764±0.76^{b}
ใบบัวบกลวก	37.0364±1.79^{a}	-7.7517±0.79^{b}	16.0033±1.55^{a}	7.4311±1.76^{a}

$^{a,b,c,\cdots}$ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อค่า L* ของใบบัวบกหลังการทำแห้ง

ปัจจัย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	L*
อุณหภูมิในการทำแห้ง	40	40.4558±2.81^{b}
	50	38.9321±2.86^{ab}
	60	36.9488±2.31^{a}

$^{a,b,c,\cdots}$ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

(2) ค่าสีของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน

เมื่อนำตัวอย่างใบบัวบกหลังทำแห้งไปแช่ในน้ำและวัดค่าสีภายหลังการดูดน้ำกลับคืน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน พบว่ากระบวนการก่อนการทำแห้งมีอิทธิพลทำให้ค่า L* a* และ b* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ดังตารางที่ 4.18 เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งพบว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกทำแห้งมีค่า L* a* และ b* มากกว่าใบบัวบกลวกทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องจากการลวกช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตลอดทั้งลดการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์จึงช่วยรักษาสีเขียวของใบบัวบกหลังการทำแห้งไว้ได้ดีกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกทำให้หลังการดูดน้ำกลับกลับคืนจึงแสดงสีเขียวได้ดีกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวก ส่วนค่า ΔE* พบว่าการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งโดยการลวก เครื่องทำแห้งและอุณหภูมิในการทำแห้งมีอิทธิพลต่อค่า ΔE*ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.005$) ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งต่อค่า L* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน

ระดับปัจจัย	L*	a*	b*
ใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวก	36.4484±3.14[b]	-2.6181±0.69[b]	16.6042±1.18[b]
ใบบัวบกลวก	33.4165±2.09[a]	-7.3273±0.94[a]	14.6208±1.55[a]

[a,b,c,...]ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งโดยการลวกผ่านการทำแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดและแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนและอุณหภูมิในการทำแห้งต่อค่า ΔE^* ของใบบัวบกหลังการดูดน้ำกลับคืน

เครื่องทำแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง	
		ไม่ผ่านการลวก	ลวก
Tray Dryer	40	10.2479±0.77[a]	10.2275±1.53[a]
	50	10.2786±0.70[a]	10.9730±1.63[a]
	60	12.3222±1.82[a]	10.3937±1.20[a]
Heat Pump Dryer	40	10.1018±0.02[a]	11.0322±1.46[a]
	50	10.9151±0.51[a]	10.5166±3.56[a]
	60	13.1736±1.39[a]	11.3089±0.40[a]

[a,b,c,...]ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.1.3 การศึกษาอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน(Rehydration ratio)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนดังแสดงในตารางที่ 4.20 – 4.22 เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งพบว่าใบบัวบกลวกทำแห้งมีค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนมากกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.20 เนื่องจากในการลวกจะช่วยกำจัดอากาศในเซลล์แล้วทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ของใบบัวบกดูดน้ำเข้าไปเซลล์เพื่อแทนที่อากาศเมื่อนำไปทำแห้งน้ำภายในเซลล์จึงถูกกำจัดออกไปได้มากขึ้นทำให้ใบบัวบกลวกสามารถดูดน้ำกลับคืนได้ในปริมาณที่มากกว่า และการลวกยังทำให้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าซึ่งมีผลต่อการทำลายใบบัวบกน้อยกว่าจึงมีอัตราส่วนการคืนรูปที่สูงกว่า สอดคล้องกับรายงานของMazza and LeMaguer (1980) และ Neumann (1972) ซึ่งพบว่าการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง (pretreatment) มีผลอย่างยิ่งต่อการดูดน้ำกลับคืนของผลิตภัณฑ์ทำแห้ง เช่นเดียวกับรายงานของ Mazza (1983) พบว่าแครอทที่ผ่านกระบวนการลวกมีอัตราการดูดน้ำกลับคืนได้สูงกว่าชนิดไม่ผ่านการลวก และเมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของเครื่องทำแห้งต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของใบบัวบกแห้งพบว่าการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนสูงกว่าการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.21

การใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนต่ำกว่าจึงใช้ระยะเวลาในการทำแห้งที่สั้นกว่าการทำแห้งแบบถาด สืบเนื่องจากระยะเวลาที่ให้ความร้อนมีผลทำให้โครงสร้างเซลล์เกิดการแตกหักและถูกทำลาย เกิดความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างอีกทั้งท่อคาพิลลารีที่อยู่ในเซลล์เกิดการหดตัวมากขึ้นทำให้สมบัติทาง Hydrophilic สูญเสียไปจึงทำให้ท่อคาพิลลารีขาดความสามารถในการดูดน้ำกลับคืนได้อย่างเต็มที่ ทำให้อัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนลดลงไปด้วย (Krokida and Marinos-Kouris 2003) และเมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลอุณหภูมิในการทำแห้งต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนพบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้อัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนสูงกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.20 ผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้งต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของใบบัวบกแห้ง

ระดับปัจจัย	อัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน
ใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวก	3.4944 ± 0.77^{a}
ใบบัวบกลวก	5.1639 ± 0.70^{b}

$^{a,b,c,\ldots}$ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.21 ผลของเครื่องทำแห้งต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของใบบัวบกแห้ง

เครื่องทำแห้ง	อัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน
TD	3.9503 ± 1.17^{a}
HPD	4.7079 ± 0.96^{b}

$^{a,b,c,\ldots}$ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

ตารางที่ 4.22 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของใบบัวบกแห้ง

ปัจจัย	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน
อุณหภูมิในการทำแห้ง	40	4.7858 ± 1.33^{b}
	50	4.3322 ± 1.12^{ab}
	60	3.8694 ± 0.77^{a}

$^{a,b,c,\ldots}$ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

5.2 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี

5.2.1 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

จากการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 4.23 พบว่าใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเพราะว่าความร้อนสามารถทำลายปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดได้ในปริมาณมากและใบบัวบกลวกก่อนการทำแห้งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องจากการลวกทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่มลงทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ได้ง่ายทำให้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกจึงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าสำหรับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และพบว่าใบบัวบกลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ50 องศาเซลเซียสมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือ 4.63±0.04 และ 4.50±0.08 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับเพราะว่าใช้อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่า

Phoungchandang and others (2008a) พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณสารรูตินซึ่งเป็นสารสำคัญของชาเขียวใบหม่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนโดยที่ชาเขียวใบหม่อนที่ผ่านการทำแห้งทุกๆอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณสารรูตินน้อยกว่าใบหม่อนสดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ชาเขียวใบหม่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีปริมาณสารรูตินมากกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดและพบว่าชาเขียวใบหม่อนที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีปริมาณสารรูตินสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือ 352.29±0.55 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

Phoungchandang and others (2008b) ศึกษาปริมาณน้ำมันและสารสำคัญซึ่งได้แก่สารซิโทรเนลลาลของใบมะกรูดพบว่าปริมาณสารซิโทรเนลลาลที่พบในใบมะกรูดที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจะทำให้ปริมาณสารซิโทรเนลลาลคงเหลือน้อยเมื่อเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียสส่วนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนพบว่าปริมาณสารซิโทรเนลลาลจะสูงกว่ากาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนในทุกอุณหภูมิเนื่องจากการทำแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิสูงเป็นผลทำให้ความร้อนสามารถทำลายสารสำคัญซึ่งเป็นสารประกอบที่ไวต่อความร้อนนอกจากนี้พืชกลุ่มที่มีความสามารถในการผลิตน้ำมันระเหยง่ายจะมีต่อมน้ำมันที่อยู่บริเวณผิวหน้าของใบทำให้ในระหว่างการทำแห้งสารสำคัญจะระเหยออกไปได้ง่าย (Asekun and others 2007) Phoungchandang and others (2009) พบว่าการทำแห้งขิงโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบที่ 40 องศาเซลเซียสทำให้มีอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนและปริมาณ 6-gingerolสูงกว่าเครื่องทำแห้งแบบถาดอีกทั้งการทำแห้งแบบถาดจะใช้เวลาการทำแห้งที่นานกว่าการทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนทำให้สารสำคัญถูกทำลายมากกว่า

ตารางที่ 4.23 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้ง (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)

เครื่องทำแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง	
		ไม่ผ่านการลวก	ลวก
TD	40	2.76±0.07^{bc}	3.29±0.05^{e}
	50	2.60±0.03^{b}	3.14±0.10^{de}
	60	2.16±0.10^{a}	3.09±0.01^{de}
HPD	40	3.06±0.80^{de}	4.63±0.04^{g}
	50	2.97±0.03^{cd}	4.50±0.08^{g}
	60	2.91±0.00^{cd}	3.63±0.31^{f}

$^{a,b,c,...}$ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน

5.2.2 สมบัติการต้านออกซิเดชัน

จากการศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันในใบบัวบกแห้ง โดยวิธี DPPH radical scavenging พบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สมบัติการต้านออกซิเดชันลดลงกระบวนการก่อนการทำแห้งใบบัวบกมีผลต่อสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยใบบัวบกที่ผ่านการลวกมีสมบัติการต้านออกซิเดชันมากกว่าการทำแห้งใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.24เนื่องจากการลวกทำให้ผนังเซลล์อ่อนนุ่มลงทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ได้ง่ายทำให้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าใบบัวบกที่ไม่ผ่านการลวกจึงมีสมบัติการต้านออกซิเดชันมากกว่าในกระบวนการก่อนการทำแห้งเดียวกันใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนมีคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากกว่าใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดใบบัวบกลวกที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีคุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันมากที่สุดคือมีร้อยละการยับยั้ง 87.52±0.55

สิงหนาทพวงจันทน์แดงและคณะ (2546) ได้ศึกษาปริมาณน้ำมันระเหยง่ายในใบกะเพราจากการทำแห้งโดยจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณสาร Eugenal และ Methyl eugenol ซึ่งมีเป็นสารต้านออกซิเดชันในใบกะเพราและหาปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้โดยพบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งใบกะเพรามีผลต่อปริมาณของ Eugenol ที่วิเคราะห์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณของ Eugenol ที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อยลงซึ่งเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไปเพิ่มความสามารถในการระเหยของน้ำมันระเหยง่าย

Chan and others (2009) ได้ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อใบขิงพบว่าการทำแห้งแบบไมโครเวฟทำให้สูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันร้อยละ 50 และ 58 ตามลำดับการทำแห้งแบบลมร้อนสูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันร้อยละ 43 และ 49 ตามลำดับ

และการทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์สูญเสียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันร้อยละ 47 และ 57 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 สมบัติการออกซิเดชันของใบบัวบกที่ผ่านการทำแห้ง

เครื่องทำแห้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การเตรียมตัวอย่างก่อนการทำแห้ง (% inhibition)	
		ไม่ผ่านการลวก	ลวก
TD	40	32.17 ± 0.26^{c}	81.56 ± 0.56^{g}
	50	23.30 ± 0.69^{b}	60.14 ± 0.63^{e}
	60	13.78 ± 3.85^{a}	78.43 ± 0.63^{f}
HPD	40	40.21 ± 0.27^{d}	87.52 ± 0.55^{h}
	50	21.06 ± 1.03^{b}	79.40 ± 0.27^{fg}
	60	30.33 ± 0.27^{c}	59.86 ± 1.26^{e}

$^{a,b,c,\cdots}$ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

หมายเหตุ TD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบถาด

HPD หมายถึงเครื่องทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบความร้อน