ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ ก.1 เครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ

ภาพที่ ก.2 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ WBT Binder รุ่น BD/ED/FD with R3-Controller

ภาพที่ ก.3 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.001 กรัม ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CR323S

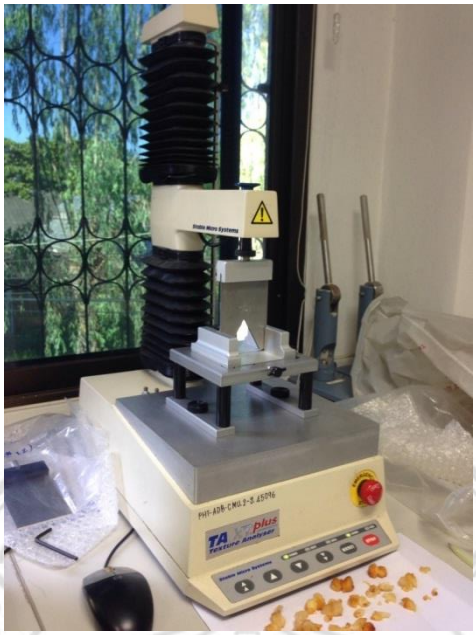
ภาพที่ ก.4 เวอร์เนียร์

ภาพที่ ก.5 เครื่องวัดสี Miniscan XE plus

ภาพที่ ก.6 เครื่องดูดอากาศและเครื่องผนึกถุง

ภาพที่ ก.7 โถดูดอากาศ

ภาพที่ ก.8 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Kane-May รุ่น KM330(type K)



ภาพที่ ก.9 เครื่องวัด Texture Analyzer (TA.XT2i/50 Texture Technologies, US)

ภาพที่ ก.10 อุปกรณ์คว้านลำไย (ตุ๊ดตู่)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการทดลองอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ

ความดัน 7 kPa และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	236	193	247	369.273	361.527	376.821
10	227	183	238	351.377	337.613	359.447
20	221	178	230	339.446	325.657	344.003
30	213	172	222	323.538	311.309	328.559
40	209	166	215	315.585	296.961	315.046
50	202	161	208	301.666	285.004	301.533
60	198	155	202	293.712	270.656	289.950
70	193	149	197	283.770	256.308	280.298
80	186	145	192	269.850	246.743	270.646
90	180	142	187	257.920	239.569	260.994
100	174	139	181	245.989	232.395	249.411
110	169	137	175	236.047	227.612	237.828
120	163	135	170	224.116	222.830	228.176
150	153	123	156	204.232	194.134	201.150
180	143	114	145	184.347	172.612	179.915
210	132	103	137	162.475	146.307	164.471
240	120	94	130	138.613	124.785	150.958
270	115	85	120	128.671	103.263	131.654
300	113	76	112	124.694	81.741	116.210
330	103	69	104	104.810	65.002	100.767
360	83	62	96	65.041	48.262	85.323
390	76	55	88	51.122	31.523	69.879
420	68	51	80	35.214	21.958	54.436
450	66		73	31.237		40.923
480	61		68	21.295		31.270
510			63			21.618

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 7 kPa และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	250	210	256	352.634	361.106	368.097
10	243	198	242	339.961	334.757	342.498
20	235	188	231	325.476	312.800	322.384
30	219	175	223	296.508	284.255	307.756
40	205	167	213	271.160	266.689	289.471
50	201	160	201	263.918	251.319	267.529
60	195	153	191	253.055	235.949	249.244
70	184	145	181	233.139	218.383	230.959
80	177	138	172	220.465	203.013	214.503
90	172	134	163	211.412	194.230	198.046
100	166	130	155	200.549	185.447	183.418
110	161	127	150	191.496	178.860	174.276
120	155	123	145	180.633	170.077	165.133
150	143	111	131	158.907	143.728	139.534
180	131	100	110	137.180	119.574	101.135
210	121	87	98	119.075	91.030	79.193
240	103	80	90	86.485	75.660	64.565
270	98	71	84	77.433	55.898	53.594
300	91	64	78	64.759	40.528	42.623
330	83	59	75	50.275	29.549	37.138
360	78	62	68	41.222	36.136	24.338
390	73	58	66	32.169	27.353	20.681
420	70	55		26.738	20.766	
450	67			21.306		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 7 kPa และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	253	240	123	365.169	363.347	372.207
10	242	228	116	344.945	340.180	345.333
20	232	215	110	326.558	315.082	322.299
30	220	205	104	304.495	295.776	299.264
40	210	192	98	286.109	270.678	276.230
50	201	184	93	269.561	255.233	257.035
60	191	174	87	251.175	235.927	234.000
70	182	163	81	234.628	214.690	210.966
80	175	155	77	221.757	199.245	195.609
90	167	150	74	207.049	189.592	184.092
100	159	144	70	192.340	178.008	168.736
110	152	137	68	179.469	164.464	161.058
120	144	132	64	164.760	154.841	145.701
150	128	121	56	135.343	133.604	114.989
180	120	111	48	120.634	114.298	84.276
210	113	99	41	107.763	91.131	57.402
240	108	88	36	98.570	69.894	38.207
270	96	78	34	76.507	50.588	30.529
300	88	72	33	61.798	39.004	26.690
330	83	65	31	52.605	25.490	19.012
360	66	63		21.349	21.629	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 10 kPa และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	261	249	247	362.542	372.919	369.121
10	255	241	239	351.909	357.725	353.926
20	250	234	232	343.048	344.430	340.632
30	244	228	223	332.415	333.034	323.538
40	238	221	213	321.782	319.740	304.545
50	231	214	204	309.377	306.445	287.452
60	223	205	202	295.199	289.351	283.653
70	219	195	193	288.110	270.358	266.560
80	214	188	183	279.249	257.064	247.567
90	209	182	174	270.388	245.668	230.474
100	204	179	165	261.527	239.970	213.380
110	197	175	156	249.122	232.373	196.287
120	194	163	148	243.806	209.582	181.093
150	180	149	132	218.995	182.992	150.704
180	167	143	118	195.956	171.596	124.114
210	156	132	105	176.462	150.704	99.424
240	145	120	93	156.968	127.913	76.632
270	134	110	89	137.474	108.920	69.035
300	133	98	86	135.702	86.129	63.338
330	117	85	82	107.347	61.438	55.740
360	113	83	79	100.258	57.640	50.043
390	109	75	76	93.169	42.446	44.345
420	101	72	74	78.992	36.748	40.546
450	94	69	71	66.586	31.050	34.848
480	86	63	68	52.409	19.654	29.151
510	83		66	47.092		25.352
540	78		64	38.231		21.554

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 10 kPa และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ต่อ)						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
570	73			29.370		
600	68			20.509		

ความดัน 10 kPa และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	252	234	134	353.910	366.108	401.993
10	244	226	131	339.500	350.173	390.754
20	236	216	127	325.090	330.254	375.769
30	229	205	125	312.482	308.343	368.277
40	219	195	121	294.469	288.424	353.292
50	213	188	116	283.662	274.480	334.561
60	205	180	111	269.252	258.545	315.830
70	194	172	105	249.439	242.610	293.353
80	188	166	100	238.631	230.658	274.621
90	180	158	96	224.221	214.723	259.637
100	177	153	94	218.818	204.763	252.144
110	169	151	91	204.408	200.779	240.906
120	161	150	87	189.998	198.787	225.921
150	140	135	76	152.172	168.909	184.712
180	126	117	70	126.955	133.054	162.235
210	113	106	66	103.539	111.143	147.250
240	101	97	61	81.924	93.216	128.519
270	93	91	56	67.514	81.264	109.788
300	86	85	51	54.906	69.313	91.057
330	81	80	46	45.900	59.353	72.326
360	75	75	41	35.092	49.394	53.595

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 10 kPa และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ต่อ)						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
390	68	71	38	22.484	41.426	42.356
420		67	33		33.458	23.625
450		63			25.491	
480		60			19.515	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 10 kPa และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	246	253	110	372.334	369.565	378.234
10	230	238	108	341.613	341.725	369.539
20	218	224	105	318.573	315.741	356.496
30	213	209	102	308.972	287.901	343.454
40	203	193	98	289.772	258.205	326.063
50	193	184	95	270.571	241.501	313.021
60	181	174	93	247.531	222.942	304.325
70	171	163	88	228.330	202.526	282.587
80	163	153	82	212.970	183.966	256.502
90	154	143	78	195.689	165.406	239.112
100	148	138	72	184.169	156.126	213.026
110	140	128	69	168.808	137.566	199.983
120	135	121	66	159.208	124.574	186.941
150	121	117	58	132.327	117.150	152.160
180	109	103	52	109.286	91.167	126.074
210	97	90	47	86.246	67.039	104.336
240	90	81	45	72.805	50.335	95.641
270	81	75	40	55.525	39.199	73.903
300	76	69	38	45.924	28.063	65.208
330	70	63	34	34.404	16.927	47.818
360	65		30	24.804		30.428
390	61		28	17.124		21.732

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 15 kPa และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	236	234	231	353.332	374.898	368.810
10	230	229	226	341.807	364.751	358.662
20	223	225	220	328.360	356.633	346.486
30	218	220	215	318.756	346.486	336.338
40	214	216	210	311.072	338.368	326.191
50	209	211	206	301.468	328.220	318.073
60	204	206	201	291.863	318.073	307.925
70	201	200	195	286.101	305.896	295.749
80	196	193	190	276.496	291.690	285.601
90	193	189	185	270.733	283.572	275.454
100	190	185	180	264.971	275.454	265.306
110	186	180	175	257.287	265.306	255.159
120	182	176	173	249.604	257.188	251.100
150	171	169	165	228.474	242.982	234.864
180	163	160	157	213.106	224.717	218.628
210	155	151	149	197.739	206.451	202.393
240	145	142	142	178.530	188.186	188.186
270	133	133	134	155.479	169.921	171.950
300	126	124	129	142.033	151.656	161.803
330	118	116	123	126.666	135.420	149.626
360	110	111	119	111.299	125.272	141.508
390	103	104	113	97.853	111.066	129.331
420	101	99	109	94.011	100.919	121.213
450	99	91	105	90.169	84.683	113.095
480	95	85	99	82.485	72.506	100.919
510	91	79	92	74.802	60.329	86.712
540	86	77	88	65.197	56.270	78.594

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 15 kPa และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ต่อ)						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
570	82	72	83	57.514	46.123	68.447
600	78	70	76	49.830	42.064	54.240
630	73	67	70	40.226	35.975	42.064
660	68	64	68	30.621	29.887	38.005
690	63	61	65	21.017	23.798	31.916
720		59	63		19.739	27.857
750			61			23.798
780			60			21.769

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 15 kPa และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	285	230	233	360.706	367.556	373.654
10	267	218	218	331.609	343.162	343.162
20	256	205	209	313.827	316.735	324.866
30	250	193	205	304.128	292.340	316.735
40	240	181	195	287.963	267.946	296.406
50	230	175	188	271.798	255.749	282.176
60	223	169	183	260.482	243.552	272.012
70	217	167	178	250.783	239.486	261.848
80	211	163	169	241.084	231.355	243.552
90	203	157	165	228.152	219.158	235.421
100	191	151	157	208.754	206.961	219.158
110	185	145	151	199.055	194.763	206.961
120	179	138	145	189.356	180.534	194.763
150	166	128	135	168.341	160.205	174.435
180	154	119	125	148.943	141.909	154.106
210	130	112	115	110.147	127.679	133.778
240	127	106	103	105.297	115.482	109.384
270	122	97	98	97.215	97.187	99.219
300	113	88	91	82.666	78.891	84.990
330	95	81	83	53.569	64.661	68.727
360	89	73	74	43.870	48.398	50.431
390	84	68	68	35.787	38.234	38.234
420	81	61	66	30.938	24.004	34.168
450	76	58	63	22.855	17.905	28.070
480	73		60	18.005		21.971

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดัน 15 kPa และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส						
เวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)			ความชื้น (%d.b.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	246	243	241	345.133	370.706	366.832
10	233	230	230	321.610	345.524	345.524
20	220	217	218	298.087	320.342	322.279
30	210	207	206	279.992	300.972	299.035
40	199	197	195	260.087	281.601	277.727
50	190	186	185	243.802	260.293	258.356
60	180	177	176	225.707	242.860	240.923
70	172	171	168	211.231	231.237	225.426
80	166	165	162	200.374	219.615	213.804
90	161	157	157	191.327	204.119	204.119
100	154	151	150	178.661	192.496	190.559
110	149	146	145	169.613	182.811	180.874
120	142	143	142	156.947	177.000	175.063
150	127	128	128	129.805	147.944	147.944
180	113	113	113	104.472	118.888	118.888
210	101	103	102	82.758	99.517	97.580
240	95	93	93	71.901	80.147	80.147
270	88	83	87	59.235	60.776	68.524
300	80	75	82	44.759	45.280	58.839
330	75	72	75	35.711	39.468	45.280
360	70	64	68	26.664	23.972	31.720
390	68	62	65	23.045	20.098	25.909
420	66		62	19.426		20.098

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของอุณหภูมิและความดัน
ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

Pressure(kPa)	Temperature(°C)	Time(min)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
7	70	480	420	510
	80	450	420	390
	90	360	360	330
10	70	600	480	540
	80	360	480	420
	90	390	330	390
15	70	690	720	780
	80	480	450	480
	90	420	390	420

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งลำไยคว้านเมล็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ง.1 แสดงค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีของลำไยคว้านเมล็ด

Contidion		k (h^{-1})			R^2		
P (kPa)	T (°C)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
7	70	0.004097	0.004504	0.004138	0.9942	0.9925	0.9979
	80	0.005545	0.006649	0.006865	0.9977	0.9977	0.9986
	90	0.007005	0.006282	0.008008	0.9981	0.997	0.9977
10	70	0.003438	0.004608	0.005687	0.9983	0.9961	0.9853
	80	0.005492	0.005584	0.004839	0.9917	0.9987	0.9941
	90	0.006926	0.008416	0.005578	0.9991	0.9982	0.9879
15	70	0.002967	0.002994	0.002891	0.9979	0.9979	0.9957
	80	0.005263	0.005649	0.005188	0.9974	0.9905	0.9861
	90	0.006702	0.006495	0.006412	0.9994	0.9983	0.9928

ตารางที่ ง.2 แสดงค่าคงที่การอบแห้งแบบเอมไพริเคิลของลำไยคว้านเมล็ด

Contidion		k (h^{-1})			n			R^2		
P (kPa)	T (°C)	ครั้งที่			ครั้งที่			ครั้งที่		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
7	70	0.00271	0.00371	0.00418	1.07952	1.03807	0.99792	0.9955	0.9925	0.9979
	80	0.00579	0.00876	0.00498	0.99114	0.94336	1.06683	0.9977	0.9980	0.999
	90	0.00827	0.00729	0.00532	0.96533	0.96928	1.08665	0.998	0.9973	0.999
10	70	0.00211	0.00616	0.00319	1.09457	0.94503	1.11691	0.9990	0.9935	0.9974
	80	0.00187	0.00585	0.00243	1.2183	0.99066	1.13724	0.9992	0.9987	0.9975
	90	0.00643	0.00981	0.00748	1.01547	0.96721	0.94428	0.9992	0.9984	0.9825
15	70	0.00231	0.00672	0.0032	1.04892	0.86271	0.9859	0.9981	0.9868	0.9968
	80	0.01712	0.01095	0.00609	0.76771	0.86692	0.96818	0.98461	0.99552	0.99804
	90	0.00741	0.00755	0.00772	0.97921	0.96914	0.96179	0.9995	0.99861	0.99907

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

- การคำนวณความชื้นวัสดุ
- การวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด
- กรวิเคราะห์ความแปรปรวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การคำนวณหาความชื้นของวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับมวลวัสดุชื้นหรือวัสดุแห้ง การหาค่าความชื้นของวัสดุโดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุ แล้วนำไปเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ประมาณ 72 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักที่ได้คือน้ำหนักมวลแห้ง จึงสามารถนำไปคำนวณหาค่าความชื้นได้ตามสมการดังนี้

ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{(w - d)}{w} x100 \quad (1)$$

หรือความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} x100 \quad (2)$$

เมื่อ M_w = ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis,%w.b.) หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมเนื้อวัสดุ

M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis,%d.b.) หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมมวลแห้ง

w = มวลวัสดุเปียกหน่วยเป็นกิโลกรัม

d = มวลวัสดุแห้งสนิทหน่วยเป็นกิโลกรัมมวลแห้ง

2. การวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square)

ในการวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์มีหลายวิธีและวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด โดยเบื้องต้นจะอธิบายในลักษณะสมการเชิงเส้นดังนี้

$$y_i = a + bx_i \quad (3)$$

โดยที่จำนวนข้อมูลเท่ากับ n ค่าคือ (x_1,y_1), (x_2,y_2), (x_3,y_3),…., (x_n,y_n) ค่าผลรวม S จะอยู่ในรูปดังนี้

$$S = \sum_{i=1}^{n} (y_i - a - bx_i)^2 \quad (4)$$

เมื่อ S คือผลรวมของค่ายกกำลังสองของค่าแตกต่าง ซึ่งค่าที่น้อยที่สุดของ S เกิดขึ้นเมื่อการอนุพันธ์ย่อย $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$ และ $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$ ดังนี้

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2\sum_{i=1}^{n} (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (5)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2\sum_{i=1}^{n}(x_i y_i - a x_i - b x_i^2) = 0 \quad (6)$$

จัดสมการใหม่จะเท่ากับ

$$a(n) + b(\sum_{i=1}^{n} x_i) = \sum_{i=1}^{n} y_i \quad (7)$$

$$a(\sum_{i=1}^{n} x_i) + b(\sum_{i=1}^{n} x_i^2) = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \quad (8)$$

ซึ่งเมื่อทำการแทนค่าผลรวมของตัวแปรทั้งหมด $\sum_{i=1}^{n} x_i$, $\sum_{i=1}^{n} y_i$, $\sum_{i=1}^{n} x_i^2$ และ $\sum_{i=1}^{n} x_i y_i$ จะสามารถหาค่าคงที่ a และ b เพื่อที่จะนำกลับไปแทนลงในสมการเส้นตรง y=a+bx ซึ่งสมการดังกล่าวจะสามารถแทนค่าของข้อมูล เพื่อหาค่าความแตกต่างจากข้อมูลการทดลองกับสมการได้

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(\bar{y} - y_i)^2} \quad (9)$$

เมื่อ y_i = ค่าตัวแปรตามที่คำนวณได้จากสมการการวิเคราะห์แบบกำลังสองน้อยที่สุด

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง

$\hat{y}_i$ = ค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง

หากลักษณะสมการไม่เป็นแบบเชิงเส้นขอยกตัวอย่างเป็นลักษณะแบบเอ็กโปเนนเทียล สามารถวิเคราะห์ได้โดย

$$y_i = ae^{bx} \quad (10)$$

สมการนี้สามารถแปลงให้เป็นเชิงเส้นได้โดยเทคล็อกการิทึมทั้งสองข้าง

$$\ln y_i = \ln a + bx_i \ln e = \ln a + bx_i \quad (11)$$

หากเรานิยามตัวแปร $Y_i = \ln y_i$ เราสามารถใช้ linear regression ฟิตค่าสัมประสิทธ์ดังกล่าวด้วย

$$Y_i = a_0 + a_1 x_i \quad (12)$$

โดยที่ $a_0 = \ln a$ และ $a_1 = b$ เป็นสัมประสิทธ์ค่าใหม่ที่สามารถคำนวณได้ด้วยวิธี linear regression

หมายเหตุ : ในการวิจัยครั้งที่ใช้โปรแกรม Statistica เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติ การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะแบ่งตัวแปรออกเป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม และในการวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้น ตัวแปรตามจะมี 1 ตัว ตัวแปรอิสระอาจจะมี 1 ตัว หรือมากกว่าก็ได้ และเรียกการวิเคราะห์นี้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way-ANOVA) แต่ถ้าตัวแปรอิสระมีมากกว่า 1 ตัว จะเรียกตามจำนวนตัวแปรอิสระเช่น ตัวแปรอิสระ 2 ตัว เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way-ANOVA)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนมักนำค่าสถิติต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณมาสรุปไว้ในรูปของตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

แหล่งความแปรปรวน	**df**	**SS**	**MS**	**F**	**P**
ระหว่างกลุ่ม (B)	k-1	SSB	MSB=SSB/(k-1)	MSB/M	
ภายในกลุ่ม (W)	n-k	SSW	MSW=SSW/(n-k)	SW	
รวม (T)	n-1	SST			

เมื่อ df คือ ระดับขั้นความเสรี
SS คือ ผลรวมกำลังสอง
MS คือ ค่ากำลังสองเฉลี่ย
F คือ ค่าทางสถิติ
P คือ ความน่าจะเป็นของค่าสถิติ F
k คือ จำนวนกลุ่ม
n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
SSB คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม
MSB คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยภายในกลุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

1. ระดับข้อมูล
2. สมมุติฐาน
3. ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ
4. ระดับนัยสำคัญ
5. การตัดสินใจ
6. การแปรผล

หมายเหตุ: ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม SPSS เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way-ANOVA)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ฉ

บทความตีพิมพ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Proceedings

The 31st Conference

of Mechanical Engineering Network of Thailand

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31

ระหว่างวันที่ 4 – 7 กรกฎาคม 2560

ณ โรงแรมภูเขางาม รีสอร์ท จ.นครนายก

การอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ

Drying of Longan without Stone Using Low-pressure Superheated Steam

ปิยวิทย์ มั่งมูล[1*], กอดขวัญ นามสงวน[1], ศิวะ อัจฉริยวิริยะ[1] และ อารีย์ อัจฉริยวิริยะ[1]

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 239 ถนนห้วยแก้ว, อำเภอเมือง, จังหวัดเชียงใหม่ 50200
*ติดต่อ: piyawit_m@cmu.ac.th , 087-788-2286

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์ การอบแห้งของลำไยคว้านเมล็ดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ และศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีผลต่อเวลาการอบแห้งรวมถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เงื่อนไขของสภาวะการอบแห้งที่ทำการพิจารณาคืออุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วง 70-90 °C และที่ความดันสัมบูรณ์ 7, 10 และ 15 kPa ทำการอบแห้งไปจนถึงความชื้นสุดท้าย 18 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก พิจารณาคุณภาพของลำไยคว้านเมล็ดหลังการอบแห้งในด้านการหดตัว จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิและความดันมีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความดันลดลงทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในส่วนของคุณภาพการหดตัวจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความดันลดลง ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งลำไยคว้านเมล็ดในรูปแบบกึ่งทฤษฎีและเอมไพริคเคิลพบว่า สมการทั้งสองสามารถทำนายการลดลงของความชื้นได้ใกล้เคียงกับการทดลอง เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดคืออุณหภูมิ 90 °C และความดัน 7 kPa โดยพิจารณาเวลาการอบแห้งและคุณภาพ

คำหลัก: การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนความดันต่ำ, คุณภาพ, ลำไย, สมการจลน์พลศาสตร์

Abstract

The present study aimed at investigating a novel strategy and developing a model for longan without stone drying using a low-pressure superheated steam (LPSS). The effects of drying conditions, i.e., drying temperature and pressure on the drying kinetics and the quality of the dried product was investigated. The experiments were conducted using superheated steam temperatures at 70, 80 and 90 °C and absolute pressures at 7, 10 and 15 kPa. The moisture content of longan at the end was about 18% wet basis. The quality of the dried longan was then evaluated in terms of shrinkage. The results showed that drying rate ware found to be affected by temperature and pressure, when the drying rate was increasing by temperature increased and pressure decreased. The shrinkage decreased with the increasing temperature and decreasing pressure. In this research, The drying kinetic model in terms of semi – theoretical model and empirical model was developed and results agreed well with the experimental results. Considering drying time and product quality, drying at temperature of 90 °C and pressure of 7 kPa was the best condition for drying longan without stone in this case.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายปิยวิทย์ มั่งมูล

วัน เดือน ปี เกิด 14 กุมภาพันธ์ 2534

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษามัธยมตอนต้นและตอนปลาย
โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จังหวัดเชียงราย

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved