

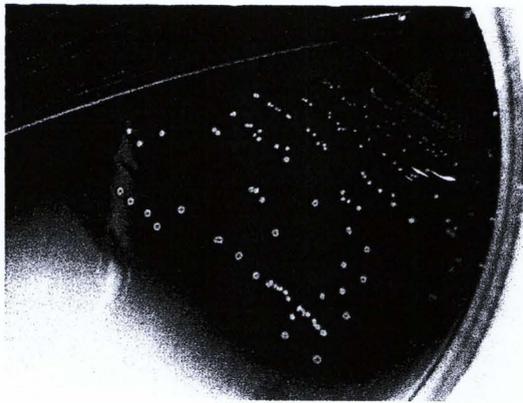
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

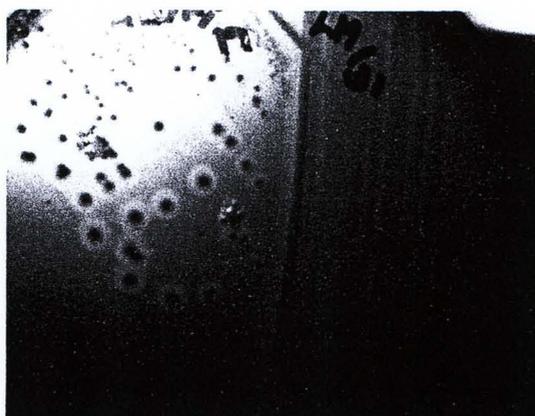
การศึกษาผลของอุณหภูมิ ร่วมกับความเข้มข้นกลีเซอรีนต่อการเจริญของ *L. monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุก สำหรับการพัฒนา และทวนสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายอัตราการเจริญของ *L. monocytogenes* ซึ่งผลการศึกษาประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

4.1 การสำรวจหา *L.monocytogenes* จากเนื้อไก่ดิบ เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษา

จากการสุ่มตัวอย่างชิ้นส่วนเนื้อไก่ดิบ เพื่อแยกหา *L.monocytogenes* ตามวิธีมาตรฐาน ISO 11290-1:1996 พบลักษณะโคโลนี เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด oxford ที่ 24 ชั่วโมง โคโลนี มีสีเทา ขนาด 1 มิลลิเมตร รอบๆโคโลนีมีสีดำ หลังจาก 48 ชั่วโมง โคโลนีจะสีเข้มขึ้น ขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร รอบๆโคโลนีมีสีดำ ตรงกลางโคโลนีนูน (ตามรูปที่ 5) และ บน ALOA โคโลนีรูปร่างกลม สีเขียวอมฟ้า เกิดโซนล้อมรอบโคโลนี (ตามรูปที่ 6)



รูปที่ 5 : ลักษณะโคโลนีของ *L.monocytogenes* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ oxford agar

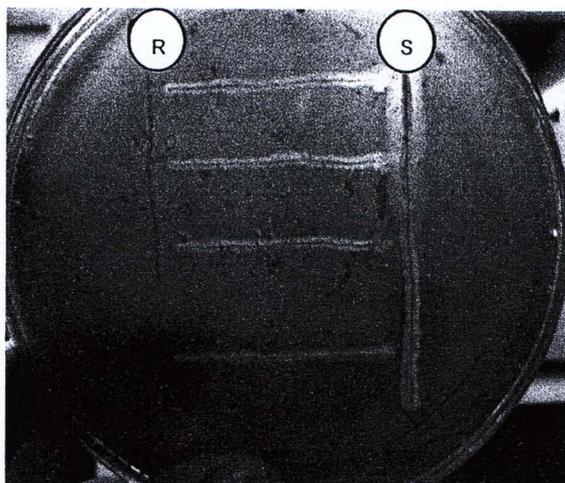


รูปที่ 6 : ลักษณะโคโลนีของ *L.monocytogenes* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ALOA agar

จากนั้นคัดเลือกโคโลนีที่สงสัย (suspected colony) บนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งสองชนิดมาทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 : แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีของ suspected colony

การทดสอบ	ผลการทดสอบ
Catalase test	ให้ผลเป็นบวก
Gram'stain	ติดสีม่วงน้ำเงิน เป็นลักษณะของแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างเป็นแบบท่อนสั้น
Motility test	มีการเคลื่อนที่ลักษณะคล้ายร่ม (Umbrella-like)
Haemolysis test	สามารถย่อยสลายเม็ดเลือดแดงแบบ β -haemolysis
Carbohydrate utilization	ใช้น้ำตาล Rhamnose โดยเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรด
CAMP test	เกิด β -haemolysis คล้ายหัวลูกศรกว้างประมาณ 2 mm. ทางด้านเชื้อ <i>S. aureus</i> (รูปที่ 7)

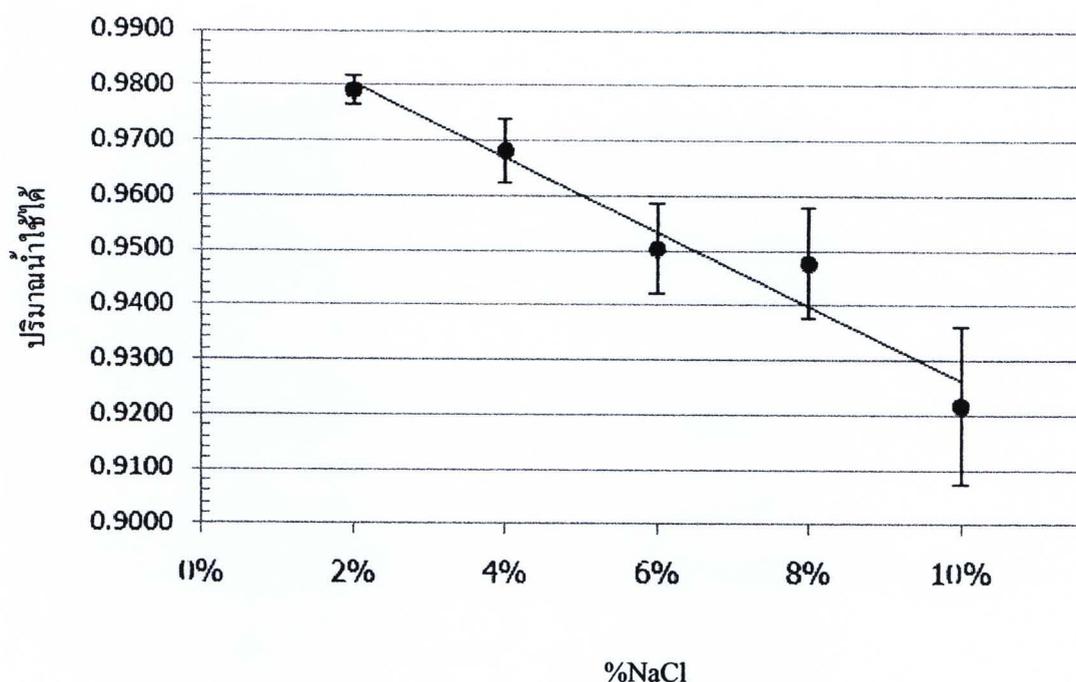


รูปที่ 7: ลักษณะการแสดงผลการทดสอบ CAMP ของ *L.monocytogenes*

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี ในตารางที่ 7 สามารถยืนยันได้ว่าไอโซเลทที่แยกได้จากตัวอย่างชิ้นส่วนเนื้อไก่ดิบ เป็น *Listeria monocytogenes*

4.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิ และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่ออัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่สุก

เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงในตัวอย่างเนื้อไก่แต่ละความเข้มข้น เมื่อนำไปวัดค่าปริมาณน้ำใช้ได้ (water activity) ในเนื้อไก่ ด้วยเครื่อง AQUALAB model series 38 3TB จะได้ค่าเฉลี่ยที่ร้อยละความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 เท่ากับ 0.979, 0.968, 0.950, 0.947 และ 0.921 ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ร้อยละความเข้มข้นของน้ำหนักเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำได้ในเนื้อไก่ลดลง ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8: แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำใช้ได้ในเนื้อไก่ปรุงสุก หลังเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ร้อยละความเข้มข้นต่างๆ (ร้อยละ 2-10)

จากการศึกษาอัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่สุก ที่มีปัจจัยกระทบจาก อุณหภูมิ ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งอุณหภูมิที่ดำเนินการศึกษา คือ 5, 10, 15, 20 และ 25 องศาเซลเซียส และเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ร้อยละความเข้มข้นเท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 ของ น้ำหนักเนื้อไก่ โดยการสร้างเส้นโค้งการเจริญ (Growth curve) ระหว่างเวลากับจำนวน *L.monocytogenes* ในหน่วยของเลขยกกำลัง ของแต่ละคู่ปัจจัย แล้วดำเนินการประเมิน ค่าพารามิเตอร์ตามสมการของ Gompertz เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลการเจริญของ *L.monocytogenes* ในแต่ละสภาวะการทดสอบ ซึ่งประเมินจากค่า RMSE พบว่า สมการของ Gompertz สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของจำนวน *L.monocytogenes* ที่เพิ่มขึ้นเทียบกับเวลา ได้ดี มีค่า RMSE อยู่ระหว่าง 0.2-0.5 ดังรายละเอียดตามตารางที่ 8 ถึง 12

ตารางที่ 8: การวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลการเจริญของ *L.monocytogenes* ตามสมการของ Gompertz ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ

อุณหภูมิ	%NaCl		ค่าพารามิเตอร์ ของสมการ Gompertz				RMSE
			A	B	C	M	
5	2	1	2.000	0.009	6.782	149.491	0.252
		2	2.000	0.009	6.836	146.845	0.216
		3	2.000	0.009	6.831	148.820	0.227
5	4	1	2.000	0.007	6.684	225.996	0.223
		2	2.000	0.007	6.697	224.891	0.240
		3	2.000	0.007	6.686	224.816	0.236
5	6	1	2.001	0.001	6.524	693.186	0.522
		2	2.004	0.001	6.719	721.946	0.492
		3	2.000	0.001	6.621	690.720	0.526
5	8	1	2.740	0.002	6.524	1148.571	0.406
		2	2.045	0.001	7.888	1075.801	0.466
		3	2.031	0.001	7.966	1059.942	0.434

Gompertz equation ; $L_t = A + C \exp\{-\exp[-B(t-M)]\}$

ตารางที่ 9: การวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลการเจริญของ *L.monocytogenes* ตามสมการของ Gompertz ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ

อุณหภูมิ	%NaCl		ค่าพารามิเตอร์ ของสมการ Gompertz				RMSE
			A	B	C	M	
10	2	1	2.000	0.018	5.711	64.929	0.268
		2	2.000	0.017	5.725	65.364	0.263
		3	2.000	0.018	5.731	65.616	0.248
10	4	1	2.000	0.012	6.067	78.863	0.421
		2	2.000	0.012	6.020	87.747	0.438
		3	2.000	0.011	6.035	85.957	0.445
10	6	1	2.000	0.004	6.664	308.522	0.400
		2	2.000	0.004	6.621	295.625	0.425
		3	2.000	0.004	6.701	319.593	0.439
10	8	1	2.000	0.001	6.921	785.264	0.392
		2	2.000	0.001	7.205	820.690	0.421
		3	2.000	0.001	6.766	775.224	0.434

Gompertz equation ; $L_t = A + C \exp\{-\exp[-B(t-M)]\}$

ตารางที่10: การวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลการเจริญของ *L.monocytogenes* ตามสมการของ Gompertz ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ

อุณหภูมิ	%NaCl		ค่าพารามิเตอร์ ของสมการ Gompertz				RMSE
			A	B	C	M	
15	2	1	2.000	0.037	6.586	31.948	0.301
		2	2.000	0.036	6.598	30.523	0.307
		3	2.000	0.034	6.582	30.029	0.313
15	4	1	2.000	0.030	6.804	38.352	0.239
		2	2.000	0.027	6.770	40.812	0.302
		3	2.000	0.028	6.807	40.024	0.250
15	6	1	2.000	0.020	6.772	59.002	0.416
		2	2.000	0.020	6.749	55.544	0.393
		3	2.000	0.021	6.772	54.422	0.426
15	8	1	2.000	0.005	6.463	150.000	0.397
		2	2.000	0.005	6.452	159.433	0.386
		3	2.000	0.005	6.441	153.496	0.435

Gompertz equation ; $L_t = A + C \exp\{-\exp[-B(t-M)]\}$

ตารางที่ 11: การวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลการเจริญของ *L.monocytogenes* ตามสมการของ Gompertz ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ

อุณหภูมิ	%NaCl		ค่าพารามิเตอร์ ของสมการ Gompertz				RMSE
			A	B	C	M	
20	2	1	2.000	0.049	6.744	23.891	0.393
		2	2.000	0.049	6.734	23.701	0.445
		3	2.000	0.048	6.770	23.896	0.432
20	4	1	2.000	0.046	6.549	20.390	0.522
		2	2.000	0.042	6.640	22.462	0.551
		3	2.000	0.043	6.625	23.627	0.484
20	6	1	2.000	0.025	6.446	23.161	0.491
		2	2.000	0.033	6.451	25.577	0.585
		3	2.000	0.026	6.423	24.102	0.566
20	8	1	2.000	0.026	6.423	24.102	0.566
		2	2.000	0.024	6.061	38.046	0.455
		3	2.000	0.024	6.076	37.893	0.386

Gompertz equation ; $L_t = A + C \exp\{-\exp[-B(t-M)]\}$

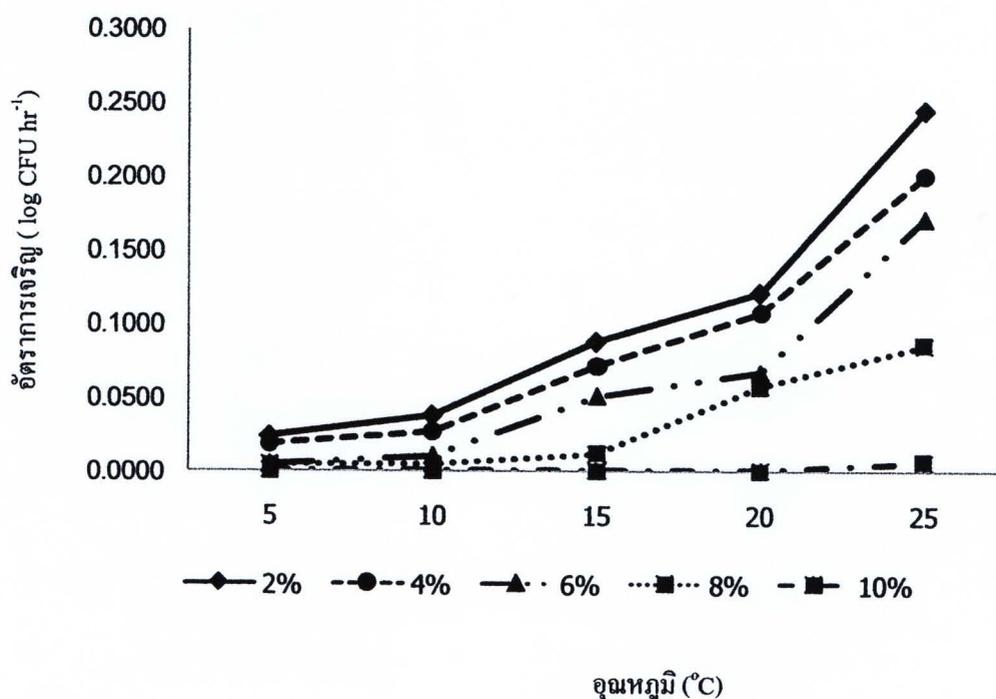


ตารางที่ 12: การวิเคราะห์ความเหมาะสมของข้อมูลการเจริญของ *L.monocytogenes* ตามสมการของ Gompertz ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ร่วมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ

อุณหภูมิ	%NaCl		ค่าพารามิเตอร์ ของสมการ Gompertz				RMSE
			A	B	C	M	
25	2	1	2.000	0.102	6.381	12.521	0.184
		2	2.000	0.103	6.336	12.521	0.217
		3	2.000	0.108	6.328	11.656	0.244
25	4	1	2.000	0.080	6.462	15.003	0.262
		2	2.000	0.090	6.487	14.729	0.277
		3	2.000	0.082	6.501	15.991	0.266
25	6	1	2.000	0.070	6.606	17.671	0.311
		2	2.000	0.070	6.617	17.730	0.337
		3	2.000	0.069	6.614	17.704	0.329
25	8	1	2.000	0.034	6.159	29.016	0.292
		2	2.000	0.037	6.202	29.210	0.255
		3	2.000	0.041	6.167	27.542	0.306

Gompertz equation ; $L_t = A + C \exp\{-\exp[-B(t-M)]\}$

จากผลการหาอัตราการเจริญ (growth rate : r) ของ *L.monocytogenes* ตามสมการของ Gompertz พบว่า ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมเดียวกัน *L.monocytogenes* มีแนวโน้มของอัตราการเจริญในเนื้อไก่ปรุงสุกเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 9 จะเห็นว่าอัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุก ที่ร้อยละความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 2 ของน้ำหนักเนื้อไก่ ที่อุณหภูมิ 5,10,15,20 และ 25 จะเท่ากับ 0.023 , 0.037, 0.087, 0.121 และ 0.245 ตามลำดับ ซึ่งจะให้ผลลักษณะเดียวกันที่ร้อยละความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 4 และ 6 ยกเว้นที่ร้อยละความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 8 ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการเจริญใกล้เคียงกัน คือ 0.005 และ 0.004 ตามลำดับ ที่ร้อยละความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 10 จะพบอัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ในอัตราที่ต่ำมาก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีอัตราการเจริญเท่ากับ 0.006 และสังเกตไม่พบการเจริญของ *L.monocytogenes* ที่อุณหภูมิ 5, 10, 15 และ 20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 9: เปรียบเทียบอัตราการเจริญ (log CFU hr⁻¹) ของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่สุกของแต่ละคู่ปัจจัยของอุณหภูมิ และความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์

ตารางที่ 13: อัตราการเจริญ (r) เฉลี่ย ของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่สุก โดยมีปัจจัยกระทบจากอุณหภูมิระหว่าง 5 – 25 องศาเซลเซียส ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 - 10

%NaCl (w/w)	a_w	Growth rate (log CFU h ⁻¹) **				
		Temperature (°C)				
		5	10	15	20	25
2	0.979	0.0237±0.0006	0.0378±0.0008	0.0879±0.0032	0.1210±0.0012	0.2453±0.0071
4	0.968	0.0186±0.0003	0.0274±0.0021	0.0716±0.0033	0.1075±0.0048	0.2010±0.0121
6	0.950	0.0045±0.0001	0.0104±0.0001	0.0509±0.0013	0.0669±0.0102	0.1710±0.0010
8	0.947	0.0050±0.0007	0.0045±0.0001	0.0121±0.0002	0.0574±0.0044	0.0856±0.0084
10	0.921	NG	NG	NG	NG	0.0066±0.0015

NG ; no growth

** Gompertz equation $L_t = A + C \exp\{-\exp[-B(t-M)]\}$ ----- (1) EGR = BC/e ----- (2)

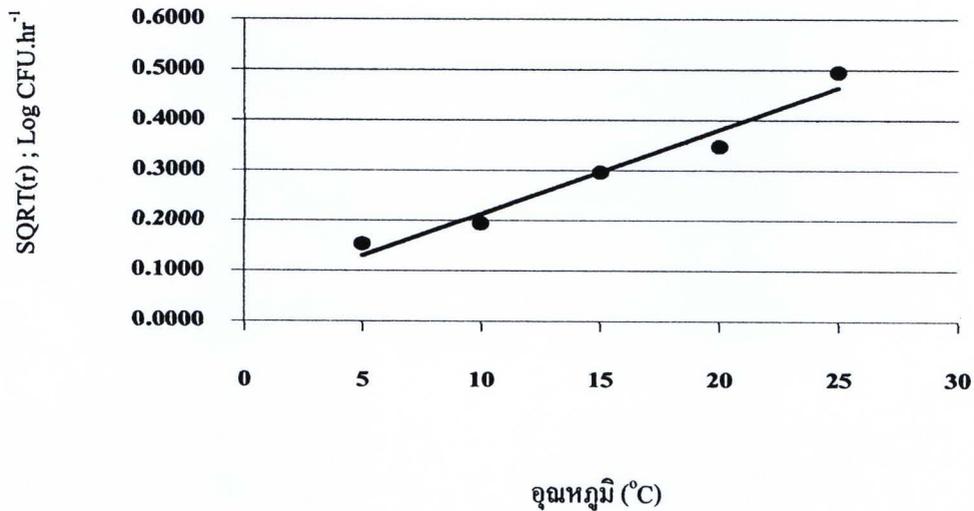
4.3 การทดสอบแบบจำลองผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญในรูป \sqrt{r} ของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุก

ดำเนินการทดสอบ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญ ตามสมการ

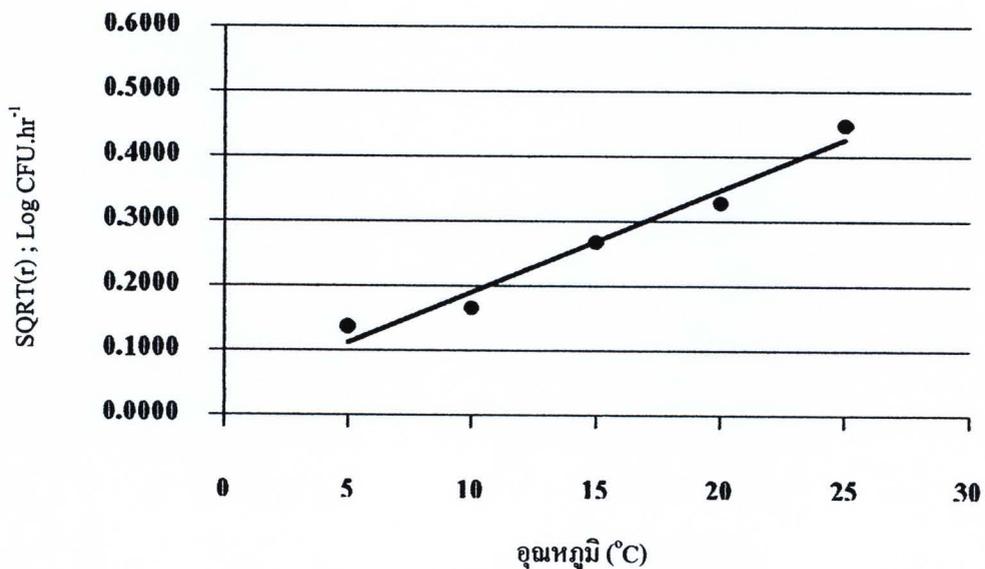
$$\sqrt{r} = b(T - T_{\min}) \quad \text{----- (1)}$$

โดย	r	คือ	อัตราการเจริญ (log CFU h ⁻¹)
	b	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย
	T	คือ	อุณหภูมิใดก็ได้ที่สนใจ หน่วยเป็น เคลวิน (K)
	T _{min}	คือ	อุณหภูมิต่ำสุดที่ <i>L.monocytogenes</i> สามารถเจริญได้

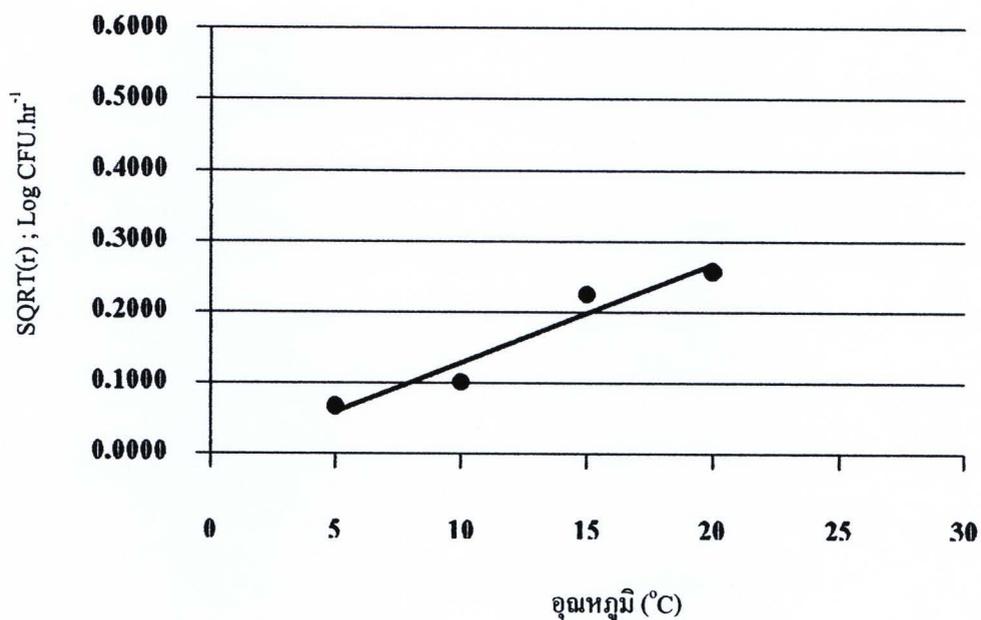
จากการทดสอบบ่งชี้ว่าอุณหภูมิ กับอัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุก มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงในทุกๆ ร้อยละความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยมีค่า R square อยู่ระหว่าง 0.885 ถึง 0.967 ดังรูปที่ 10 ถึง 13



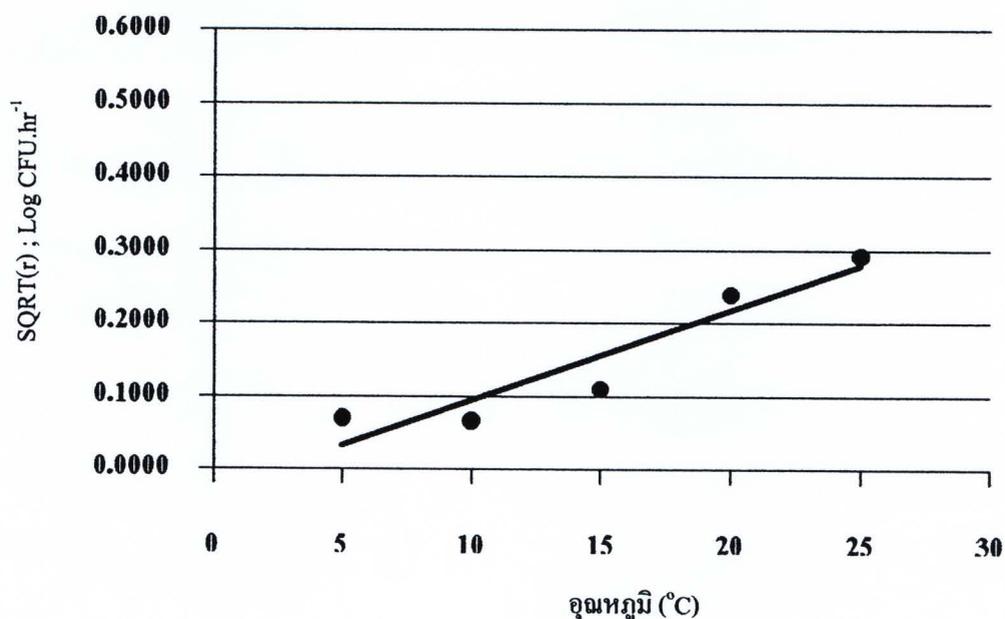
รูปที่ 10 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และอัตราการเจริญ (\sqrt{r}) ของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่สุก ที่ร้อยละความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 2, R square เท่ากับ 0.959



รูปที่ 11 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และอัตราการเจริญ (\sqrt{r}) ของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่สุก ที่ร้อยละความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 4, R square เท่ากับ 0.967



รูปที่ 12 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และอัตราการเจริญ (\sqrt{r}) ของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่สุก ที่ร้อยละความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 6, R square เท่ากับ 0.937



รูปที่ 13: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และอัตราการเจริญ (\sqrt{r}) ของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่สุก ที่ร้อยละความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 8, R square เท่ากับ 0.886

เมื่อวิเคราะห์ค่า RMSE ที่ได้จากการถดถอย มีค่าเท่ากับ 0.031 , 0.026 , 0.036 และ 0.040 ที่ร้อยละความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 2 ,4 ,6, และ 8 ตามลำดับ รายละเอียดตามตารางที่ 14 จะเห็นว่า RMSE มีค่าน้อยมาก แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้ในแต่ละชุดการทดสอบจากการทวนสอบแบบจำลอง $\sqrt{r} = b(T - T_{\min})$ มีความเหมาะสม สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับอัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุกในแต่ละร้อยละความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$)

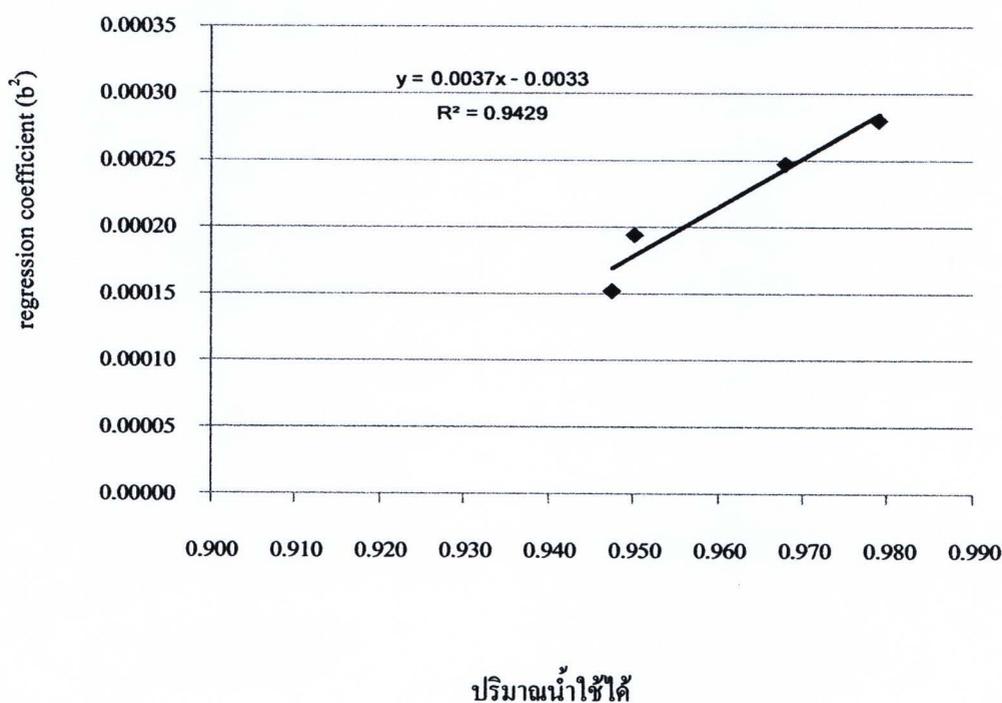
ตารางที่ 14: ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย (b) สมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับอัตราการเจริญ (\sqrt{r}) ของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุกในแต่ละร้อยละความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

%NaCl	a_w	b value	T_{\min} (K)	RMSE	R^2	P value
2	0.979	0.017	270.4	0.032	0.959	0.003
4	0.968	0.016	271.0	0.026	0.967	0.002
6	0.950	0.014	272.8	0.036	0.937	0.032
8	0.947	0.012	275.5	0.041	0.886	0.017
10	0.922	NA	NA	NA	NA	NA

จากสมการที่ได้ สามารถนำไปประมาณหาค่าอุณหภูมิต่ำสุด (T_{\min}) ของ *L.monocytogenes* สามารถเจริญได้ในเนื้อไก่ปรุงสุก ที่มีช่วงความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2 ถึง 8 ของน้ำหนัก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 272.4 องศาเซลวิน

4.4 การทวนสอบความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำใช้ได้ และ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของ สมการที่ (1) ในรูป b^2

เมื่อดำเนินการทวนสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำใช้ได้ และค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของสมการที่ (1) โดยสร้างเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำใช้ได้ กับค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย ในรูป b^2 ซึ่งแสดงตามรูปที่ 14 พบว่า ปริมาณน้ำใช้ได้ กับค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง จะเห็นได้จากค่า R square เท่ากับ 0.943 และเมื่อนำไปวิเคราะห์ค่า RMSE โดยสมการถดถอย ได้เท่ากับ $1.6E05$ ซึ่งมีค่าน้อยมาก บ่งชี้ได้ว่าสมการมีความเหมาะสม สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำใช้ได้และค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของสมการที่ (1) ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 14: แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง a_w และค่า b^2 จากสมการ $\sqrt{r} = b(T - T_{\min})$

จากเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำใช้ได้ และ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของสมการที่ (1) จะได้สมการความสัมพันธ์ คือ

$$b = \beta \sqrt{a_w} \quad \text{----- (2)}$$

โดยที่ b คือ สัมประสิทธิ์ถดถอยของสมการที่ (1)

β คือ regression coefficient หรือ สัมประสิทธิ์ถดถอยของสมการที่ (2)

จากสมการความสัมพันธ์ สามารถประเมินหาค่าปริมาณน้ำใช้ได้ต่ำสุด ($a_{w \min}$) ที่ *L.monocytogenes* สามารถเจริญได้ในเนื้อไก่ปรุงสุก ในแต่ละร้อยละความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.902 และค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย ซึ่งเป็นค่าจำเพาะของแบบจำลอง คือ 0.061

เมื่อแทนที่ b ในสมการที่ (1) ด้วย $\beta \sqrt{a_w}$ จากสมการที่ (2) จะได้สมการใหม่เป็น

$$\sqrt{r} = \beta \cdot \sqrt{a_w - a_{w \min}} \cdot (T - T_{\min}) \quad \text{----- (3)}$$

โดยที่ r = อัตราการเจริญ (Log CFU·hr⁻¹)

T = อุณหภูมิโคไคที่สนใจ ในหน่วยองศาเซลเซียส

T_{\min} = อุณหภูมิต่ำสุดที่จุลินทรีย์เจริญได้

a_w = ปริมาณน้ำใช้ได้ที่สนใจ

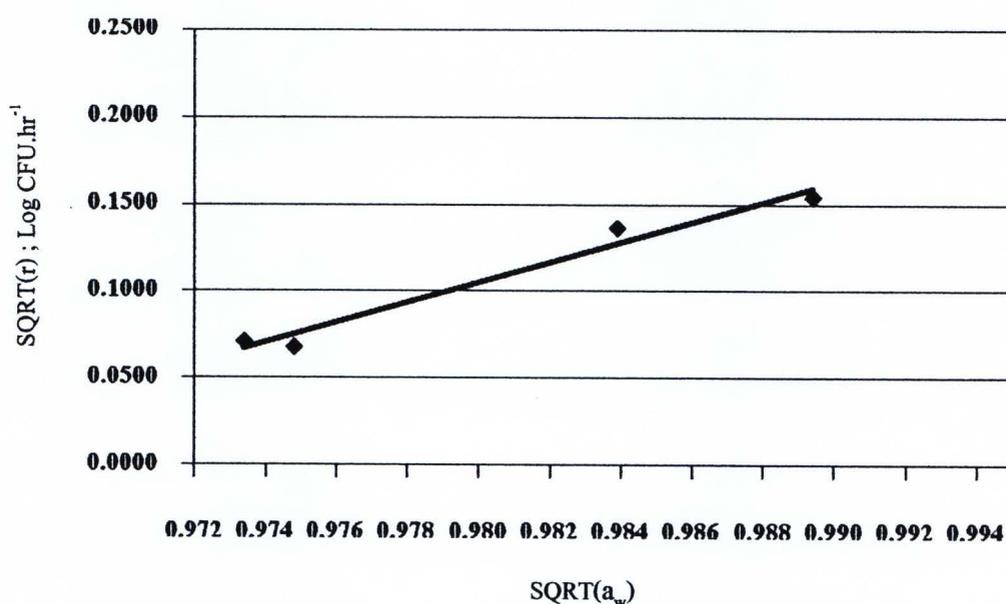
$a_{w \min}$ = ปริมาณน้ำต่ำสุดที่จุลินทรีย์เจริญได้

จากที่ค่า b ในสมการที่ (1) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยของสมการเส้นตรงระหว่างอัตราการเจริญ และอุณหภูมิ จะเปลี่ยนแปลงโดยมีผลมาจากค่าปริมาณน้ำใช้ได้ ขณะเดียวกันอัตราการเจริญจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ร่วมกับปริมาณน้ำใช้ได้ จึงสามารถแทนที่ค่า b ในสมการที่ (1)

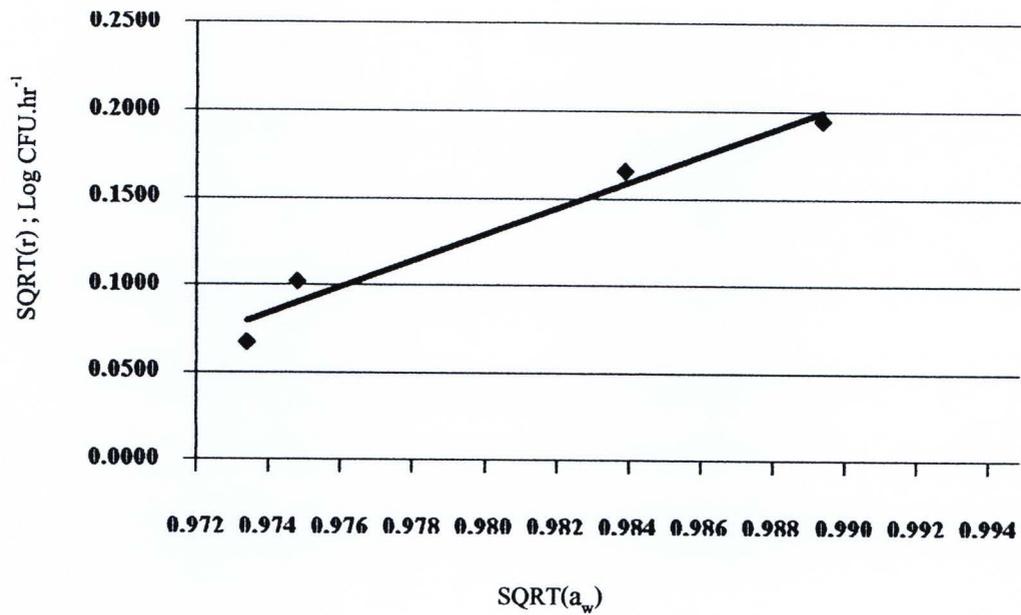
ด้วยปริมาณน้ำใช้ได้ที่สัมพันธ์กับค่า b นั้นๆ ดังนั้นถ้า b^2 ซึ่งเป็นสัดส่วน (proportion) กับค่า r มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับปริมาณน้ำใช้ได้ หรือความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้น r ก็ย่อมมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับปริมาณน้ำใช้ได้หรือความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ด้วย

4.5 การทวนสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญ และปริมาณน้ำใช้ได้

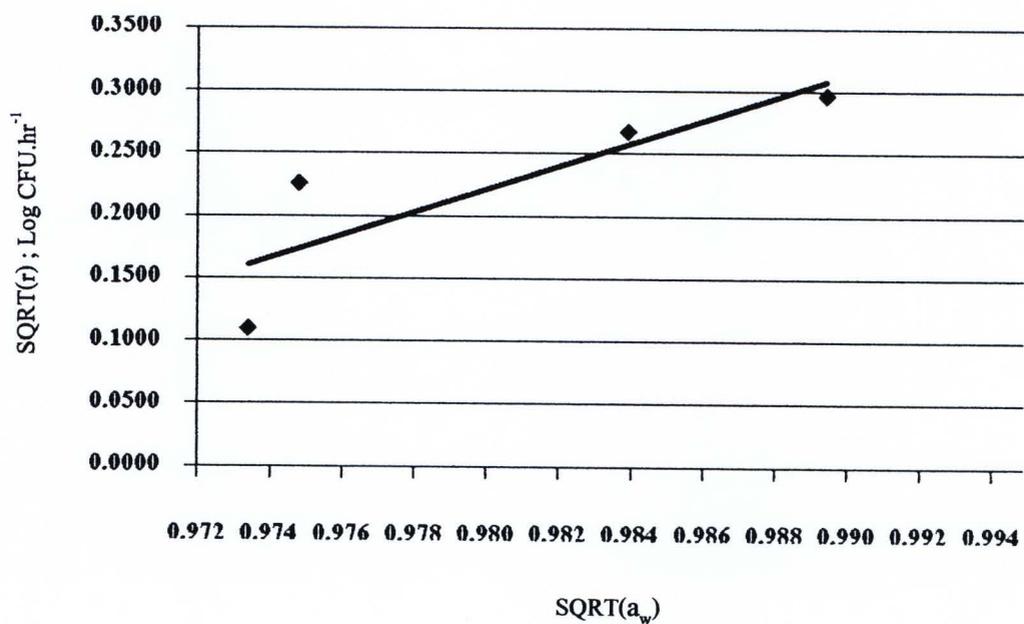
จากเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง \sqrt{r} และ $\sqrt{a_w}$ ในแต่ละอุณหภูมิ ตามรูปที่ 15 ถึง 19 เมื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้ สมการเส้นตรง (linear equation) โดยการประเมินค่า RMSE พบว่า ค่า RMSE ที่แสดงตามตาราง 4.4.1 ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.009 ถึง 0.054 สามารถอธิบายได้ว่าระหว่าง \sqrt{r} และ $\sqrt{a_w}$ มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง



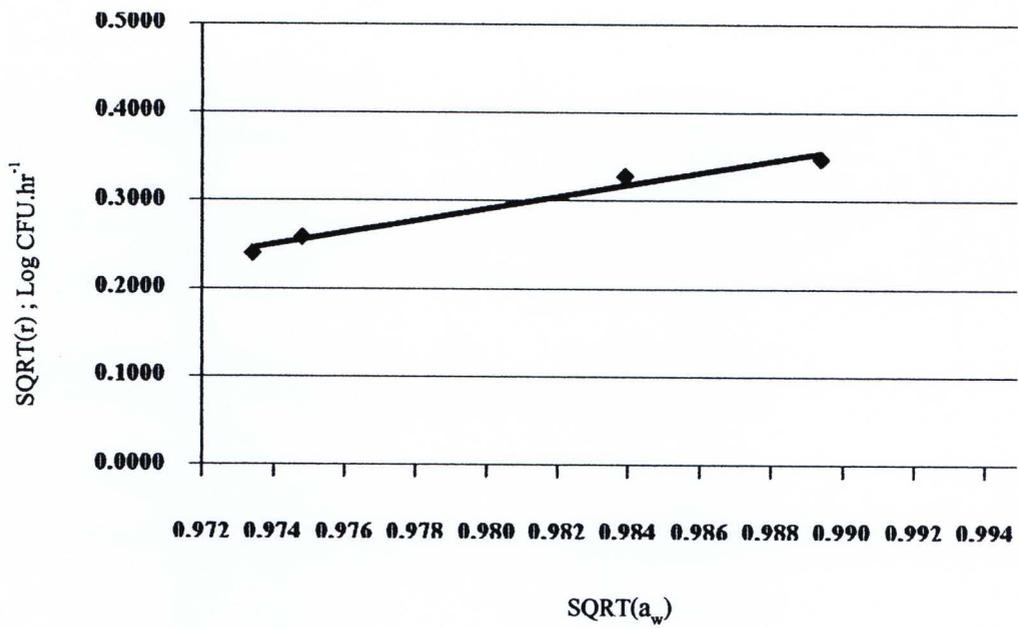
รูปที่ 15 : ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญ \sqrt{r} ของ *L.monocytogenes* และ $\sqrt{a_w}$ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส, R square เท่ากับ 0.969



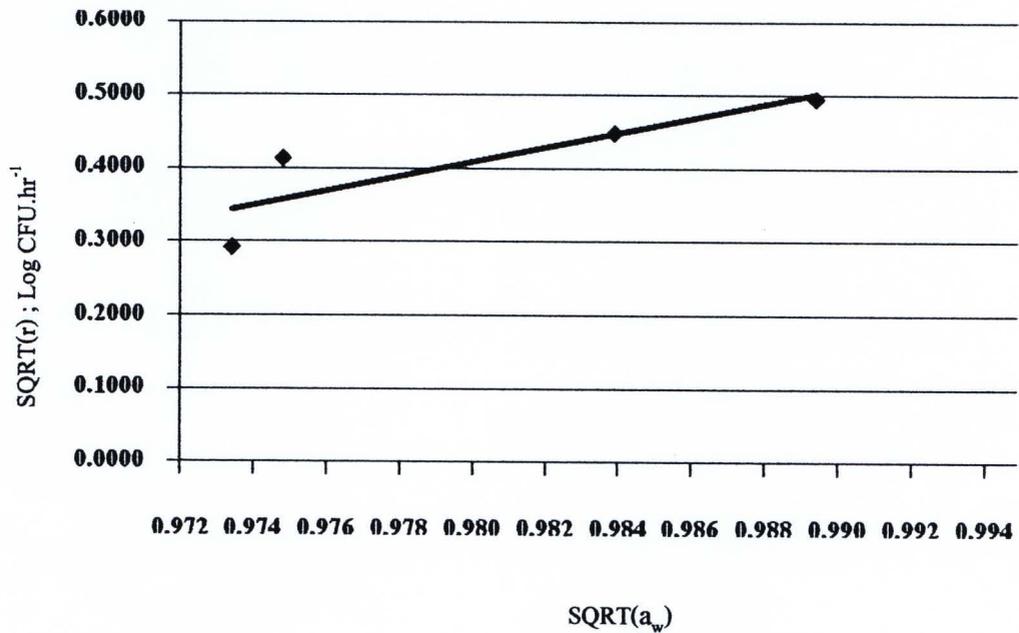
รูปที่ 16 : ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญ \sqrt{r} ของ *L.monocytogenes* และ $\sqrt{a_w}$ ที่ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส, R square เท่ากับ 0.962



รูปที่ 17 : ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญ \sqrt{r} ของ *L.monocytogenes* และ $\sqrt{a_w}$ ที่ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส, R square เท่ากับ 0.724



รูปที่ 18 : ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญ \sqrt{r} ของ *L.monocytogenes* และ $\sqrt{a_w}$ ที่ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส, R square เท่ากับ 0.974



รูปที่ 19 : ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญ \sqrt{r} ของ *L.monocytogenes* และ $\sqrt{a_w}$ ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส, R square เท่ากับ 0.741

ตารางที่ 15 : ค่า RMSE ของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง \sqrt{r} และ $\sqrt{a_w}$ ของ *L.monocytogenes* ในแต่ละอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (°C)	RMSE	R ²	P value
5	0.009	0.969	0.015
10	0.013	0.962	0.019
15	0.052	0.724	0.149
20	0.010	0.974	0.012
25	0.054	0.741	0.139

เมื่อแทนค่าที่ประเมินได้จากข้อ 4.3 และ 4.4 จะได้แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเจริญของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุก ที่มีปัจจัยกระทบเป็นอุณหภูมิ และเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังต่อไปนี้

$$\sqrt{r} = 0.061 \cdot \sqrt{a_w} - 0.902 \cdot (T - 272.4)$$

- โดย r = อัตราการเจริญ (Log CFU·hr⁻¹)
 T = อุณหภูมิใดโด้ที่สนใจ ในหน่วยองศาเซลเซียส
 a_w = ปริมาณน้ำใช้ได้ที่สนใจ

4.6 การทวนสอบแบบจำลองผลของอุณหภูมิ และเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ออัตราการเจริญเติบโตของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุก

เบื้องต้นเมื่อนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ $\sqrt{r} = 0.061 \cdot \sqrt{a_w} - 0.902 \cdot (T - 272.4)$ มาทดสอบการทำนายอัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ในช่วงอุณหภูมิ และปริมาณน้ำใช้ได้ที่ค่าต่างๆ รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 16 จะสังเกตเห็นว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ ในช่วงอุณหภูมิ 5-25 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 2, 4, 6, และ 8 เท่ากับ 22.72 , 18.45 , 39.17 และ 136.24 ตามลำดับ แต่เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทวนสอบความใช้ได้ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ ด้วยค่าทางสถิติ พบว่า มีค่า RMSE เท่ากับ 0.02 ค่า Bias factor เท่ากับ 0.93 และค่า Accuracy factor เท่ากับ 1.47 จากการวิเคราะห์ค่าดังกล่าว บ่งชี้ได้ว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้จากการศึกษา สามารถนำไปใช้ทำนายอัตราการเจริญของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุกได้

ตารางที่ 16: แสดงผลการทวนสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเจริญของ *L.monocytogenes* ในเนื้อไก่ปรุงสุก ในแต่ละสภาวะ

$$\sqrt{r} = 0.061 \cdot \sqrt{a_w} - 0.902 \cdot (T - 272.4)$$

%NaCl (a_w)	Temp. (°C)	Growth rate (cfu.h ⁻¹)		%diff
		Predicted*	observed	
2 (0.979)	25	0.192	0.245	21.537
	20	0.125	0.121	3.300
	15	0.072	0.088	18.039
	10	0.034	0.038	11.288
	5	0.010	0.024	59.460
4 (0.968)	25	0.165	0.201	17.698
	20	0.107	0.107	0.085
	15	0.062	0.072	13.626
	10	0.029	0.027	5.241
	5	0.008	0.019	55.579
6 (0.950)	25	0.121	0.171	29.027
	20	0.079	0.067	18.312
	15	0.045	0.051	10.819
	10	0.021	0.010	104.015
	5	0.006	0.005	33.676
8 (0.947)	25	0.115	0.085	34.291
	20	0.074	0.057	29.873
	15	0.043	0.012	256.206
	10	0.020	0.004	345.633
	5	0.006	0.005	15.211