



บทที่ 3

ผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 เจลที่ได้จากต้นว่านทางจระเข้

พบว่าใบว่านทางจระเข้ 500 กรัมจะได้เจลประมาณ 350 กรัม เจลที่ได้มีลักษณะเป็นแท่งวุ้นใส สีเหลืองอ่อน ลื่น คั่งรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะแท่งวุ้นที่ได้จากใบว่านทางจระเข้

เมื่อนำมาปั่นละเอียดได้เป็นของเหลวใส สีเหลืองอ่อน หนืดเล็กน้อย ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะเจลที่ได้หลังจากนำแท่งวุ้นไปปั่นละเอียดและ centrifuge แล้ว

ขั้นตอนที่ 2 เสถียรภาพของเจลจากต้นว่านทางจระเข้

ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า pH, สี, ความหนืดและการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในเจลเมื่อตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ระยะเวลา (วัน)	pH	ความหนืด* (cps.)	สีของเจล**	การเจริญของเชื้อ จุลินทรีย์ในเจล
0	4.49	1.7227 ( $\pm$ 0.01)	0	-
1	4.55	1.5682 ( $\pm$ 0.01)	0	-
2	4.89	1.0693 ( $\pm$ 0.01)	0	-
3	5.02	0.7247 ( $\pm$ 0.01)	0	-
5	5.20	0.7135 ( $\pm$ 0.01)	0	-
7	6.31	a	+	พบเส้นใยของรา, กลืนเน่า

\* คือ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* กำหนดระดับความเข้มของสีของเจลไว้ 4 ระดับดังนี้

0 หมายถึง สีเหลืองอ่อนปกติของเจล

+ หมายถึง สีเหลืองเข้ม

++ หมายถึง สีน้ำตาลอ่อน

+++ หมายถึง สีน้ำตาลเข้ม

a คือ ไม่ได้ทำการวัดเนื่องจากเส้นใยของราอาจอุดตันใน Ostwald viscometer

- คือ ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

### ขั้นตอนที่ 3 ผลของการใช้สารถนอม

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าหลังจากตั้งเจลทิ้งไว้ 5-7 วัน จะมีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สารถนอมในเจล

ผลการใช้สารถนอมดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในเจลที่มีสารถนอมชนิดและปริมาณต่าง ๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

สารถนอม	ปริมาณสารถนอม (% w/v)	การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)			
		0	15	30	60
เจลที่ไม่เติมสารถนอม	0	-	มีเส้นใยของรา, กลิ่นเน่า	มีเส้นใยของรา, กลิ่นเน่า	มีเส้นใยของรา, กลิ่นเน่า
MP + PP	0.2+0.02	-	-	-	-
Bronidox L <sup>(R)</sup>	0.2	-	-	-	-
Sodium benzoate	0.05	-	มีเส้นใยของรา, กลิ่นเน่า	มีเส้นใยของรา, กลิ่นเน่า	มีเส้นใยของรา, กลิ่นเน่า
Sodium benzoate	0.075	-	"	"	"
Sodium benzoate	0.1	-	"	"	"
Potassium sorbate	0.025	-	"	"	"
Potassium sorbate	0.05	-	"	"	"
Potassium sorbate	0.1	-	"	"	"
Bronopol	0.01	-	"	"	"
Bronopol	0.015	-	"	"	"
Bronopol	0.02	-	"	"	"

- หมายถึง ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 3 จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย, ยีสต์ และ รา ในเจลที่มีสารถนอมชนิดและปริมาณต่าง ๆ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

สารถนอม	ปริมาณ สารถนอม (% w/v)	จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย, ยีสต์และ รา (CFU/ml) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)									
		0		1		15		30		60	
		แบคทีเรีย	ยีสต์และรา	แบคทีเรีย	ยีสต์และรา	แบคทีเรีย	ยีสต์และรา	แบคทีเรีย	ยีสต์และรา	แบคทีเรีย	ยีสต์และรา
เจลที่ไม่เติม สารถนอม	0	> 1 ล้าน	150,000	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน
MP + PP	0.2+0.02	> 1 ล้าน	150,000	2,350	200	120	0	550	15	400	42
Bronidox L <sup>(R)</sup>	0.2	> 1 ล้าน	150,000	1,233	600	10	0	5	0	5	0
Sodium benzoate	0.05	> 1 ล้าน	150,000	24,750	40,500	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน
Sodium benzoate	0.075	> 1 ล้าน	150,000	24,000	38,400	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน
Sodium benzoate	0.1	> 1 ล้าน	150,000	22,240	17,800	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน

ตารางที่ 3 ต่อ

สารนอม	ปริมาณ สารนอม (% w/v)	จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย, ยีสต์และรา (CFU/ml) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)									
		0		1		15		30		60	
		แบคทีเรีย	ยีสต์และรา	แบคทีเรีย	ยีสต์และรา	แบคทีเรีย	ยีสต์และรา	แบคทีเรีย	ยีสต์และรา	แบคทีเรีย	ยีสต์และรา
Potassium sorbate	0.025	> 1 ล้าน	150,000	24,100	17,900	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน
Potassium sorbate	0.05	> 1 ล้าน	150,000	15,650	5,800	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน
Potassium sorbate	0.1	> 1 ล้าน	150,000	7,400	2,025	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน
Bronopol	0.01	> 1 ล้าน	150,000	1,657	1,200	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน
Bronopol	0.015	> 1 ล้าน	150,000	1,577	1,405	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน
Bronopol	0.02	> 1 ล้าน	150,000	1,587	1,598	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน	> 1 ล้าน

ตารางที่ 4 ผลการตรวจหา Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli, Salmonella spp. ในเจลที่เติมสารนอมต่าง ๆ

สารนอม	ปริมาณสารนอม (% w/v)	การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)																			
		0			1			15			30			60							
		<u>S. aureus</u>	<u>P. aeruginosa</u>	<u>E. coli</u>	<u>Salmonella spp.</u>	<u>S. aureus</u>	<u>P. aeruginosa</u>	<u>E. coli</u>	<u>Salmonella spp.</u>	<u>S. aureus</u>	<u>P. aeruginosa</u>	<u>E. coli</u>	<u>Salmonella spp.</u>	<u>S. aureus</u>	<u>P. aeruginosa</u>	<u>E. coli</u>	<u>Salmonella spp.</u>				
เจลไม่เติมสารนอม	0	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
MP + PP	0.2+0.02	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Bronidox L <sup>(R)</sup>	0.2	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Sodium benzoate	0.05	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Sodium benzoate	0.075	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Sodium benzoate	0.1	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Potassium sorbate	0.025	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Potassium sorbate	0.05	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Potassium sorbate	0.1	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Bronopol	0.01	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Bronopol	0.015	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Bronopol	0.02	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-

- หมายถึง ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์  
 + หมายถึง มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ในการทดสอบเจลที่ไม่มีสารนอมจะพบเชื้อจำนวนมากและพบ Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli แต่ไม่พบ Staphylococcus aureus, Salmonella spp. หลังจากเติมสารนอมต่าง ๆ เชื้อลดจำนวนลงโดยเฉพาะ Bronidox L<sup>(R)</sup> (ร้อยละ 0.2) และ MP + PP (ร้อยละ 0.2 + 0.02) สามารถลดจำนวนเชื้อในเจลจนเข้ามาตรฐานทางจุลชีววิทยาของกระทรวงอุตสาหกรรม และสามารถฆ่าหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อ Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli ได้ ส่วน Bronopol<sup>(R)</sup> ร้อยละ 0.01, 0.015, 0.02 แม้จะสามารถยับยั้งการเจริญของ Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli ได้แต่เชื้อราและแบคทีเรียอื่น ๆ ยังเจริญได้ดีทำให้เจลเน่าเสีย สำหรับ Sodium benzoate และ Potassium sorbate ใช้ไม่ได้ผลกับเจล เนื่องจากจำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย, ยีสต์, รา สูงมาก เจลเกิดการเน่าเสีย อีกทั้งไม่สามารถยับยั้งการเจริญของ Pseudomonas aeruginosa ด้วย และการใช้ Potassium sorbate ความเข้มข้นต่ำ ๆ คือร้อยละ 0.025 ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของ Escherichia coli อีกด้วย ในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้ Bronidox L<sup>(R)</sup> ร้อยละ 0.2 เป็นสารนอมในเจล

#### ขั้นตอนที่ 4 ผลของการใช้ Chelating agents

ผลของการใช้ chelating agents ต่อเสถียรภาพของเจลเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ กัน ณ อุณหภูมิห้องและที่ 40°C ดังแสดงในตารางที่ 5-8 และรูปที่ 3-7



ตารางที่ 5 ค่า pH ของเจลที่เติม chelating agents เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

Chelating agents	ปริมาณ (% w/v)	ค่า pH* ที่ระยะเวลาต่าง ๆ					
		(วัน)					
		0	3	5	7	9	11
Pure gel**	0	4.45 (± 0.02)	4.50 (± 0.00)	4.63 (± 0.00)	4.71 (± 0.00)	4.77 (± 0.00)	4.81 (± 0.00)
Citric acid	0.05	4.34 (± 0.01)	4.35 (± 0.00)	4.34 (± 0.00)	4.36 (± 0.00)	4.38 (± 0.00)	4.40 (± 0.00)
Citric acid	0.075	4.25 (± 0.01)	4.26 (± 0.00)	4.28 (± 0.00)	4.29 (± 0.00)	4.31 (± 0.00)	4.32 (± 0.00)
Citric acid	0.1	4.09 (± 0.01)	4.11 (± 0.00)	4.14 (± 0.00)	4.17 (± 0.00)	4.21 (± 0.00)	4.20 (± 0.00)
EDTA	0.05	4.41 (± 0.02)	4.44 (± 0.00)	4.48 (± 0.00)	4.55 (± 0.00)	4.61 (± 0.00)	4.64 (± 0.00)
EDTA	0.075	4.40 (± 0.01)	4.42 (± 0.00)	4.45 (± 0.00)	4.56 (± 0.00)	4.61 (± 0.00)	4.64 (± 0.00)
EDTA	0.1	4.37 (± 0.01)	4.38 (± 0.00)	4.41 (± 0.00)	4.45 (± 0.00)	4.47 (± 0.00)	4.51 (± 0.00)

\* คือ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2%

ตารางที่ 6 ค่า pH ของเจลที่เติม chelating agents เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ  
ที่ 40° C

Chelating agents	ปริมาณ (%w/v)	ค่า pH* ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)					
		0	3	5	7	9	11
Pure gel I**	-	4.45 (± 0.02)	4.52 (± 0.00)	4.57 (± 0.00)	4.69 (± 0.00)	4.78 (± 0.00)	4.79 (± 0.00)
Citric acid	0.05	4.34 (± 0.01)	4.35 (± 0.00)	4.38 (± 0.00)	4.42 (± 0.00)	4.44 (± 0.00)	4.44 (± 0.00)
Citric acid	0.075	4.25 (± 0.01)	4.23 (± 0.00)	4.24 (± 0.00)	4.29 (± 0.00)	4.30 (± 0.00)	4.35 (± 0.00)
Citric acid	0.1	4.09 (± 0.01)	4.13 (± 0.00)	4.17 (± 0.00)	4.20 (± 0.00)	4.21 (± 0.00)	4.25 (± 0.00)
EDTA	0.05	4.41 (± 0.02)	4.41 (± 0.00)	4.45 (± 0.00)	4.47 (± 0.00)	4.51 (± 0.00)	4.71 (± 0.00)
EDTA	0.075	4.40 (± 0.01)	4.45 (± 0.00)	4.52 (± 0.00)	4.57 (± 0.00)	4.62 (± 0.00)	4.70 (± 0.00)
EDTA	0.1	4.37 (± 0.01)	4.40 (± 0.00)	4.43 (± 0.00)	4.51 (± 0.00)	4.56 (± 0.00)	4.61 (± 0.00)

\* คือ ค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2%

ตารางที่ 7 ค่าความหนืดของเจลที่เติม chelating agents เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

Chelating agents	ปริมาณ (% w/v)	* ค่าความหนืด (cps.) ของเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)					
		0	3	5	7	9	11
Pure gel 1**	-	1.6683 (+0.01)	1.6313 (+0.01)	1.6276 (+0.01)	1.6158 (+0.00)	1.4138 (+0.00)	0.8554 (+0.00)
Citric acid	0.05	1.6563 (+0.01)	1.6692 +0.00	1.6395 (+0.01)	1.6276 (+0.00)	1.5088 (+0.00)	0.8910 (+0.01)
Citric acid	0.075	1.6522 (+0.00)	1.6514 (+0.00)	1.6514 (+0.01)	1.6217 (+0.01)	1.5148 (+0.00)	0.8910 (+0.01)
Citric acid	0.1	1.6614 (+0.01)	1.6633 (+0.01)	1.6573 (+0.01)	1.6455 (+0.00)	1.5504 (+0.00)	0.9029 (+0.01)
EDTA	0.05	1.6663 (+0.00)	1.6514 (+0.00)	1.6276 (+0.01)	1.6395 (+0.01)	1.4732 (+0.01)	0.8554 (+0.00)
EDTA	0.075	1.6588 (+0.01)	1.6573 (+0.00)	1.6336 (+0.01)	1.6276 (+0.01)	1.4970 (+0.00)	0.9029 (+0.00)
EDTA	0.1	1.6514 (+0.01)	1.6442 (+0.01)	1.6395 (+0.01)	1.6217 (+0.01)	1.4791 (+0.01)	0.8673 (+0.01)

\* คือ ค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2%

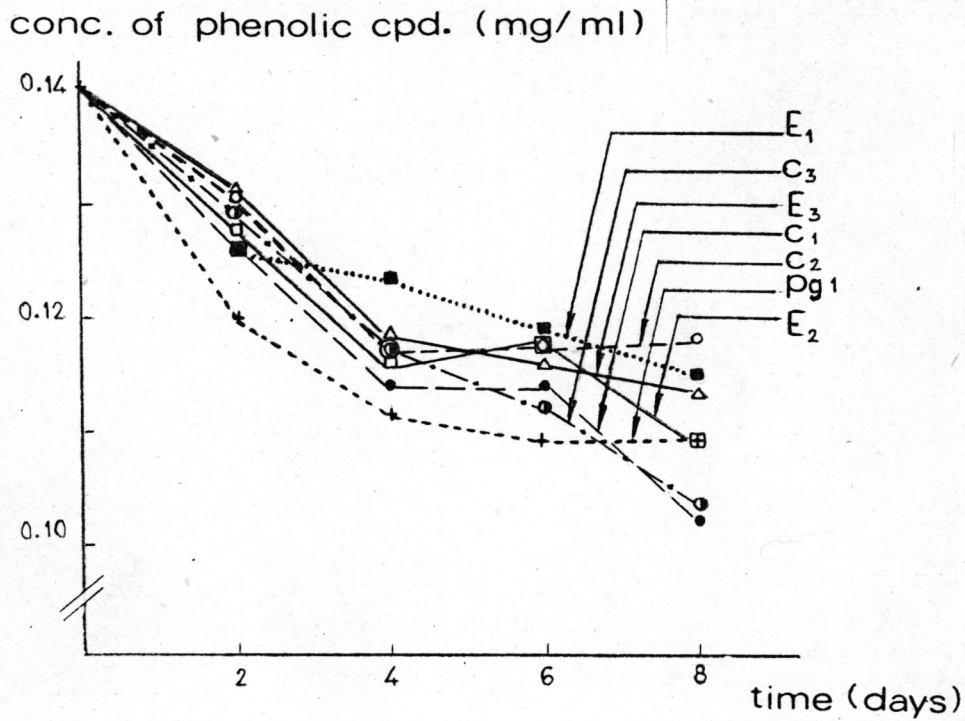
ตารางที่ 8 ค่าความหนืดของเจลที่เติม chelating agents เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่างๆ  
ที่ 40°C

Chelating agents	ปริมาณ (%w/v)	* ค่าความหนืด (cps.) ของเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)					
		0	3	5	7	9	11
Pure gel 1**	-	1.6683 (+0.01)	1.6039 (+0.00)	1.4851 (+0.00)	1.3544 (+0.00)	1.0099 (+0.00)	0.6950 (+0.01)
Citric acid	0.05	1.6563 (+0.01)	1.6633 (+0.01)	1.6276 (+0.01)	1.3841 (+0.00)	1.0217 (+0.00)	0.7069 (+0.00)
Citric acid	0.075	1.6522 (+0.00)	1.6455 (+0.00)	1.6514 (+0.00)	1.3782 (+0.00)	1.0277 (+0.01)	0.7069 (+0.01)
Citric acid	0.1	1.6614 (+0.01)	1.6573 (+0.00)	1.6514 (+0.01)	1.4019 (+0.00)	1.0574 (+0.00)	0.7128 (+0.01)
EDTA	0.05	1.6663 (+0.00)	1.6395 (+0.00)	1.6217 (+0.01)	1.3782 (+0.00)	1.0099 (+0.00)	0.6891 (+0.01)
EDTA	0.075	1.6588 (+0.01)	1.6395 (+0.01)	1.6276 (+0.01)	1.3782 (+0.01)	1.0158 (+0.01)	0.7128 (+0.00)
EDTA	0.1	1.6514 (+0.01)	1.6455 (+0.01)	1.6336 (+0.00)	1.3782 (+0.01)	1.0039 (+0.01)	0.6891 (+0.00)

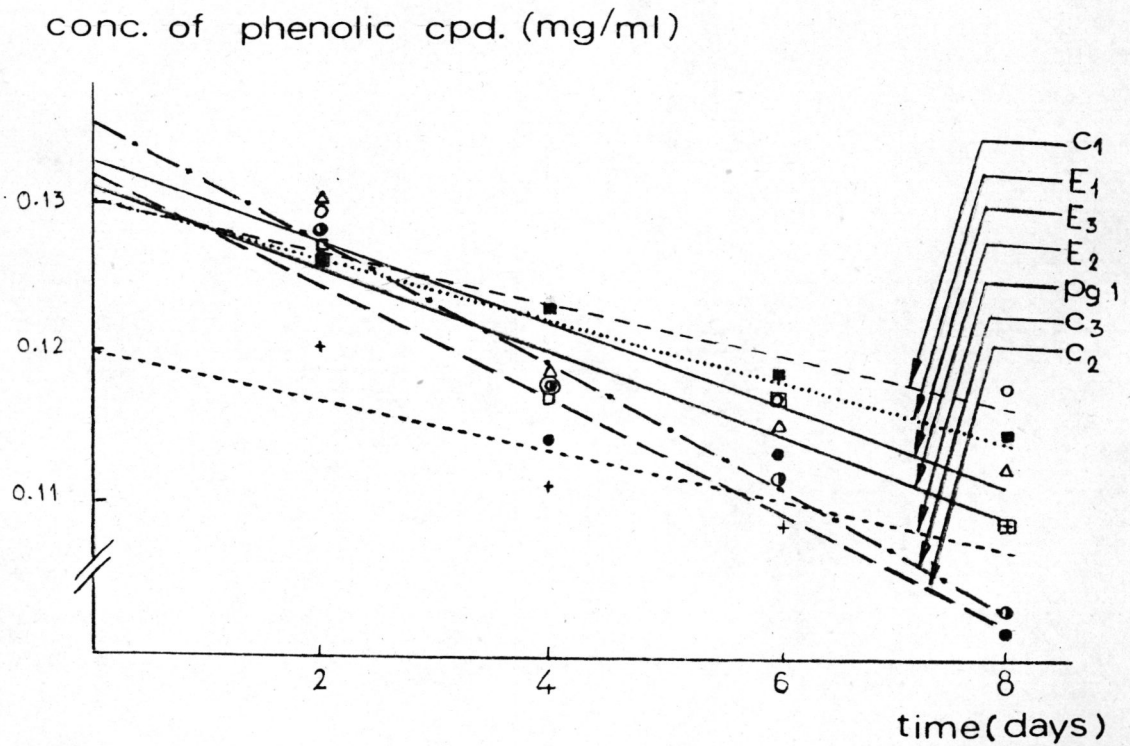
\* คือ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล +Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2%

รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม chelating agents เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

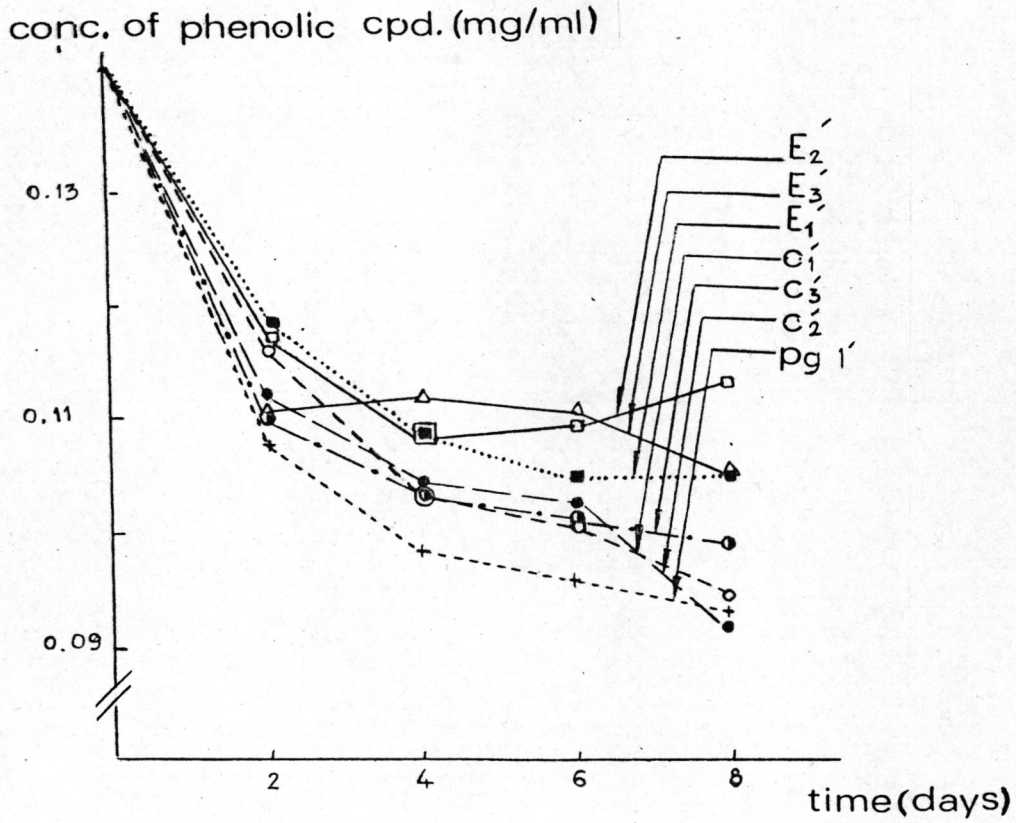


รูปที่ 4 แสดงเส้นดกคดของ ความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม chelating agents เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

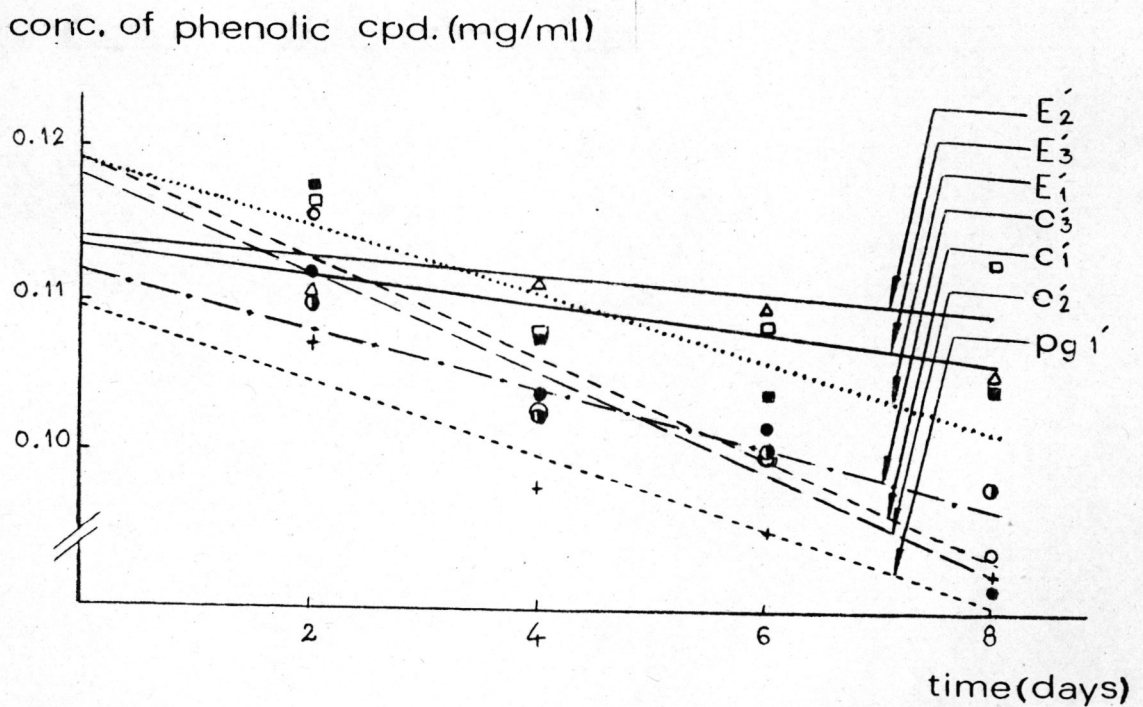


เมื่อ	Pg 1	คือ	Pure gel 1	แทนด้วย	+----+
	E 1	คือ	เจล + EDTA 0.05%	แทนด้วย	■.....■
	E 2	คือ	เจล + EDTA 0.075%	แทนด้วย	□——□
	E 3	คือ	เจล + EDTA 0.1%	แทนด้วย	△——△
	C 1	คือ	เจล + Citric acid 0.05%	แทนด้วย	○——○
	C 2	คือ	เจล + Citric acid 0.075%	แทนด้วย	●——●
	C 3	คือ	เจล + Citric acid 0.1 %	แทนด้วย	○——○

รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม chelating agents เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่ 40°C



รูปที่ 6 แสดงเส้นตกทอดของความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม chelating agents เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 40°C

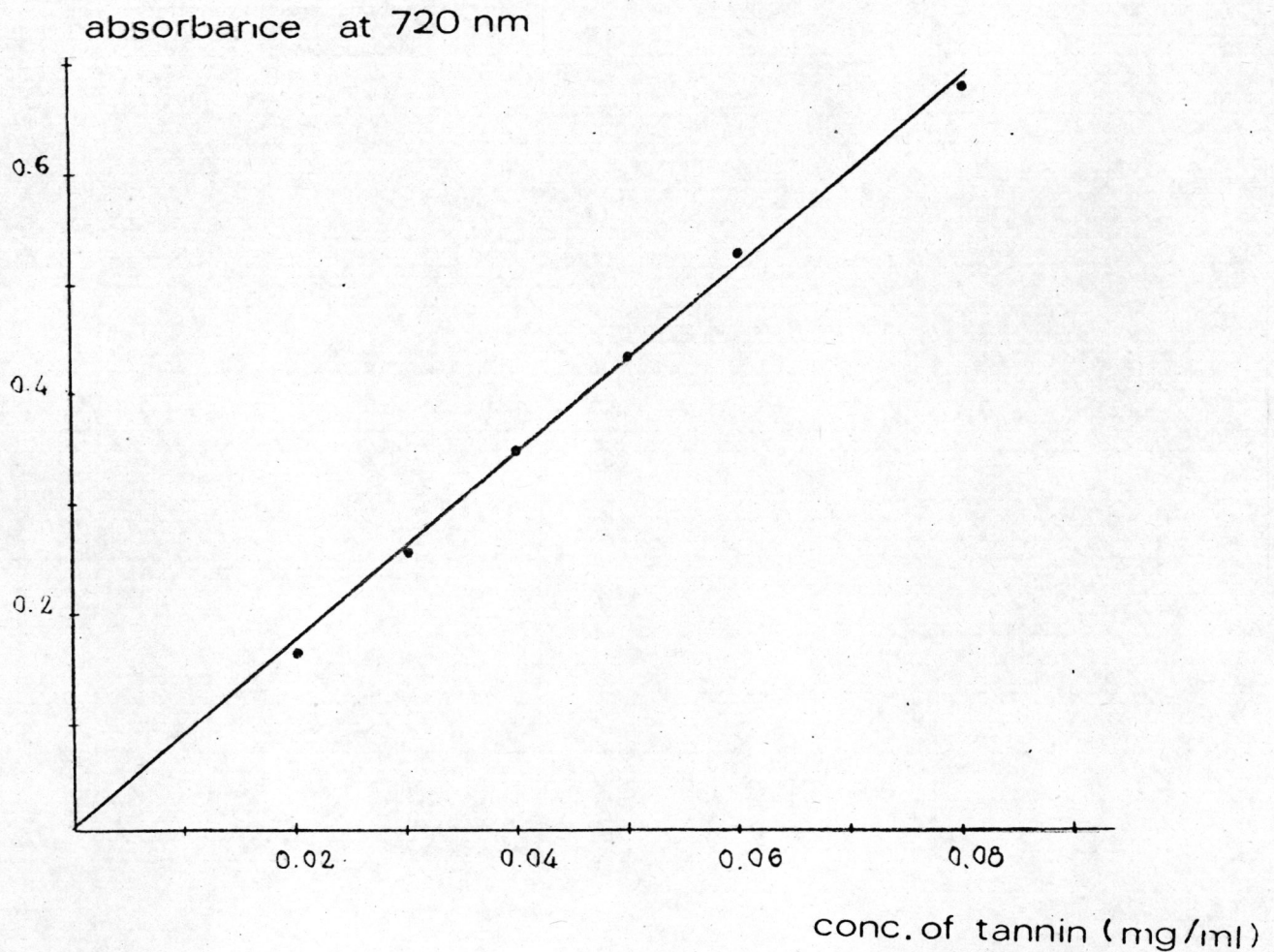


เมื่อ	Pg 1'	คือ Pure gel 1	แทนด้วย	+-----+
	E <sub>1</sub> '	คือ เจล + EDTA 0.05%	แทนด้วย	■.....■
	E <sub>2</sub> '	คือ เจล + EDTA 0.075%	แทนด้วย	□_____□
	E <sub>3</sub> '	คือ เจล + EDTA 0.1%	แทนด้วย	△_____△
	C <sub>1</sub> '	คือ เจล + Citric acid 0.05%	แทนด้วย	○____○
	C <sub>2</sub> '	คือ เจล + Citric acid 0.075%	แทนด้วย	●_____●
	C <sub>3</sub> '	คือ เจล + Citric acid 0.1%	แทนด้วย	●_____●





รูปที่ 7 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 720 nm กับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลาย tannin



สมการที่แสดงความสัมพันธ์คือ  $y = 8.4729x + 0.0036$  โดย  $r^2 = 0.9985$

เมื่อ  $y$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 720 nm

$x$  คือ ความเข้มข้นของสารละลาย tannin (mg/ml)

จากรูปที่ 3-7 เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้น phenolic compounds ในเจลที่เติม chelating agents ชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเจลที่ไม่ได้เติม chelating agents ณ อุณหภูมิห้อง และ 40°C โดย paired t-test พบว่า ที่อุณหภูมิห้อง นั้นเจลที่เติม EDTA (ร้อยละ 0.05, 0.075, 0.1) และ citric acid (ร้อยละ 0.05) มีความเข้มข้นของ phenolic compounds สูงกว่าเจลที่ไม่เติม chelating agents โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างเจลที่เติม chelating agents เหล่านั้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนที่ 40°C นั้น เจลที่เติม EDTA (ร้อยละ 0.05, 0.075, 0.1) และ citric acid (ร้อยละ 0.05, 0.1) มีความเข้มข้นของ phenolic compounds สูงกว่าเจลที่ไม่เติม chelating agents โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างเจลที่เติม EDTA ร้อยละ 0.05, 0.075, 0.1 ในขณะที่เจลที่เติม EDTA ร้อยละ 0.05 มีความเข้มข้นของ phenolic compounds สูงกว่าเจลที่เติม citric acid ร้อยละ 0.05, 0.1 ส่วนเจลที่เติม EDTA ร้อยละ 0.075, 0.1 ไม่แตกต่างจากเจลที่เติม citric acid ร้อยละ 0.05, 0.1 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงเลือกใช้ EDTA ร้อยละ 0.05 เป็น chelating agents ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

#### ขั้นตอนที่ 5 ผลของการใช้สารต้านออกซิเดชัน

การเพิ่มเสถียรภาพของเจลโดยการใช้สารต้านออกซิเดชันร่วมกับ chelating agents ที่ดีที่สุด คือ EDTA (ร้อยละ 0.05) ดังแสดงในตารางที่ 9-12 และรูปที่ 8-16

ตารางที่ 9 ค่า pH ของเจลที่มีสารต้านออกซิเดชันเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

สารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณ (%w/v)	ค่า pH* ของเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)								
		1	3	5	7	9	12	16	20	25
Pure gel 2**	0	4.41 ( $\pm 0.02$ )	4.46 ( $\pm 0.00$ )	4.48 ( $\pm 0.00$ )	4.45 ( $\pm 0.00$ )	4.67 ( $\pm 0.00$ )	4.69 ( $\pm 0.00$ )	4.69 ( $\pm 0.00$ )	4.71 ( $\pm 0.00$ )	4.74 ( $\pm 0.00$ )
Sodium metabisulfite	0.05	4.20 ( $\pm 0.01$ )	4.19 ( $\pm 0.00$ )	4.27 ( $\pm 0.00$ )	4.16 ( $\pm 0.00$ )	4.39 ( $\pm 0.00$ )	4.38 ( $\pm 0.00$ )	4.54 ( $\pm 0.00$ )	4.55 ( $\pm 0.00$ )	4.60 ( $\pm 0.00$ )
Sodium metabisulfite	0.1	3.92 ( $\pm 0.00$ )	4.03 ( $\pm 0.00$ )	4.09 ( $\pm 0.00$ )	3.93 ( $\pm 0.00$ )	4.13 ( $\pm 0.00$ )	4.14 ( $\pm 0.00$ )	4.16 ( $\pm 0.00$ )	4.19 ( $\pm 0.00$ )	4.22 ( $\pm 0.00$ )
Sodium metabisulfite	0.2	3.56 ( $\pm 0.00$ )	3.55 ( $\pm 0.00$ )	3.60 ( $\pm 0.00$ )	3.52 ( $\pm 0.00$ )	3.72 ( $\pm 0.00$ )	3.73 ( $\pm 0.00$ )	3.76 ( $\pm 0.00$ )	3.81 ( $\pm 0.00$ )	3.83 ( $\pm 0.00$ )
Sodium bisulfite	0.05	4.22 ( $\pm 0.00$ )	4.26 ( $\pm 0.00$ )	4.29 ( $\pm 0.00$ )	4.18 ( $\pm 0.00$ )	4.40 ( $\pm 0.00$ )	4.39 ( $\pm 0.00$ )	4.40 ( $\pm 0.00$ )	4.42 ( $\pm 0.00$ )	4.45 ( $\pm 0.00$ )
Sodium bisulfite	0.1	3.90 ( $\pm 0.00$ )	3.95 ( $\pm 0.00$ )	4.15 ( $\pm 0.00$ )	3.95 ( $\pm 0.00$ )	4.15 ( $\pm 0.00$ )	4.14 ( $\pm 0.00$ )	4.16 ( $\pm 0.00$ )	4.20 ( $\pm 0.00$ )	4.23 ( $\pm 0.00$ )
Sodium bisulfite	0.2	3.57 ( $\pm 0.00$ )	3.69 ( $\pm 0.00$ )	3.86 ( $\pm 0.00$ )	3.55 ( $\pm 0.00$ )	3.70 ( $\pm 0.00$ )	3.68 ( $\pm 0.00$ )	3.71 ( $\pm 0.00$ )	3.79 ( $\pm 0.00$ )	3.85 ( $\pm 0.00$ )

\* คือ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05%

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณ (%w/v)	ค่า pH* ของเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)								
		1	3	5	7	9	12	16	20	25
Sodium sulfite	0.05	4.42 ( <u>+0.00</u> )	4.56 ( <u>+0.00</u> )	4.61 ( <u>+0.00</u> )	4.52 ( <u>+0.00</u> )	4.77 ( <u>+0.00</u> )	4.75 ( <u>+0.00</u> )	4.77 ( <u>+0.00</u> )	4.80 ( <u>+0.00</u> )	4.92 ( <u>+0.00</u> )
Sodium sulfite	0.1	4.50 ( <u>+0.00</u> )	4.60 ( <u>+0.00</u> )	4.62 ( <u>+0.00</u> )	4.54 ( <u>+0.00</u> )	4.77 ( <u>+0.00</u> )	4.76 ( <u>+0.00</u> )	4.80 ( <u>+0.00</u> )	4.88 ( <u>+0.00</u> )	5.02 ( <u>+0.00</u> )
Sodium sulfite	0.2	4.55 ( <u>+0.00</u> )	4.59 ( <u>+0.00</u> )	4.63 ( <u>+0.00</u> )	4.55 ( <u>+0.00</u> )	4.85 ( <u>+0.00</u> )	4.97 ( <u>+0.00</u> )	5.16 ( <u>+0.00</u> )	5.14 ( <u>+0.00</u> )	5.20 ( <u>+0.00</u> )
L-Ascorbic acid	0.05	4.33 ( <u>+0.00</u> )	4.34 ( <u>+0.00</u> )	4.38 ( <u>+0.00</u> )	4.31 ( <u>+0.00</u> )	4.56 ( <u>+0.00</u> )	4.55 ( <u>+0.00</u> )	4.57 ( <u>+0.00</u> )	4.60 ( <u>+0.00</u> )	4.63 ( <u>+0.00</u> )
L-Ascorbic acid	0.1	4.25 ( <u>+0.00</u> )	4.24 ( <u>+0.00</u> )	4.25 ( <u>+0.00</u> )	4.20 ( <u>+0.00</u> )	4.44 ( <u>+0.00</u> )	4.43 ( <u>+0.00</u> )	4.45 ( <u>+0.00</u> )	4.48 ( <u>+0.00</u> )	4.51 ( <u>+0.00</u> )
L-Ascorbic acid	0.2	4.09 ( <u>+0.00</u> )	4.10 ( <u>+0.00</u> )	4.12 ( <u>+0.00</u> )	4.06 ( <u>+0.00</u> )	4.30 ( <u>+0.00</u> )	4.28 ( <u>+0.00</u> )	4.31 ( <u>+0.00</u> )	4.34 ( <u>+0.00</u> )	4.39 ( <u>+0.00</u> )

\* คือ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05%

ตารางที่ 10 ค่า pH ของเจลที่มีสารต้านออกซิเดชันเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่ 40°C

สารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณ (%w/v)	ค่า pH* ของเจลในระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)								
		1	3	5	7	9	12	16	20	25
Pure gel 2**	0	4.41 (+0.00)	4.41 (+0.00)	4.39 (+0.00)	4.51 (+0.00)	4.71 (+0.00)	4.70 (+0.00)	4.69 (+0.00)	4.71 (+0.00)	4.74 (+0.00)
Sodium metabisulfite	0.05	4.20 (+0.00)	4.25 (+0.00)	4.35 (+0.00)	4.42 (+0.00)	4.55 (+0.00)	4.54 (+0.00)	4.53 (+0.00)	4.55 (+0.00)	4.62 (+0.00)
Sodium metabisulfite	0.1	4.09 (+0.00)	4.20 (+0.00)	4.40 (+0.00)	4.40 (+0.00)	4.53 (+0.00)	4.48 (+0.00)	4.44 (+0.00)	4.50 (+0.00)	4.54 (+0.00)
Sodium metabisulfite	0.2	3.61 (+0.00)	3.88 (+0.00)	4.41 (+0.00)	4.36 (+0.00)	4.50 (+0.00)	4.40 (+0.00)	4.32 (+0.00)	4.46 (+0.00)	4.49 (+0.00)
Sodium bisulfite	0.05	4.22 (+0.00)	4.32 (+0.00)	4.40 (+0.00)	4.42 (+0.00)	4.53 (+0.00)	4.49 (+0.00)	4.49 (+0.00)	4.50 (+0.00)	4.49 (+0.00)
Sodium bisulfite	0.1	4.14 (+0.00)	4.24 (+0.00)	4.41 (+0.00)	4.42 (+0.00)	4.51 (+0.00)	4.44 (+0.00)	4.43 (+0.00)	4.45 (+0.00)	4.49 (+0.00)
Sodium bisulfite	0.2	3.87 (+0.00)	4.08 (+0.00)	4.41 (+0.00)	4.39 (+0.00)	4.54 (+0.00)	4.46 (+0.00)	4.41 (+0.00)	4.45 (+0.00)	4.47 (+0.00)

\* คือ ค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05%

ตารางที่ 10 (ต่อ)

สารต้านออกซิเดชั่น	ปริมาณ (%w/v)	ค่า pH* ของเจลในระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)								
		1	3	5	7	9	12	16	20	25
Sodium sulfite	0.05	4.45 (+0.00)	4.59 (+0.00)	4.63 (+0.00)	4.66 (+0.00)	4.80 (+0.00)	4.78 (+0.00)	4.77 (+0.00)	4.80 (+0.00)	4.83 (+0.00)
Sodium sulfite	0.1	4.57 (+0.00)	4.62 (+0.00)	4.76 (+0.00)	4.95 (+0.00)	4.83 (+0.00)	4.80 (+0.00)	4.80 (+0.00)	4.81 (+0.00)	4.84 (+0.00)
Sodium sulfite	0.2	4.61 (+0.00)	4.64 (+0.00)	4.92 (+0.00)	4.92 (+0.00)	4.92 (+0.00)	4.90 (+0.00)	4.89 (+0.00)	4.92 (+0.00)	4.95 (+0.00)
L-Ascorbic acid	0.05	4.32 (+0.00)	4.34 (+0.00)	4.40 (+0.00)	4.43 (+0.00)	4.56 (+0.00)	4.58 (+0.00)	4.59 (+0.00)	4.62 (+0.00)	4.68 (+0.00)
L-Ascorbic acid	0.1	4.24 (+0.00)	4.24 (+0.00)	4.30 (+0.00)	4.34 (+0.00)	4.51 (+0.00)	4.50 (+0.00)	4.51 (+0.00)	4.54 (+0.00)	5.60 (+0.00)
L-Ascorbic acid	0.2	4.10 (+0.00)	4.09 (+0.00)	4.15 (+0.00)	4.19 (+0.00)	4.34 (+0.00)	4.35 (+0.00)	4.35 (+0.00)	4.36 (+0.00)	4.39 (+0.00)

\* คือ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05%

ตารางที่ 11 ความหนืดของเจลที่มีสารต้านออกซิเดชันเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

สารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณ (%w/v)	ความหนืด* (cps.) ของเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)								
		1	3	5	7	9	12	16	20	25
Pure gel 2**	0	1.4613 (+0.00)	1.4019 (+0.00)	1.3663 (+0.00)	1.0930 (+0.01)	0.9386 (+0.00)	0.8198 (+0.00)	0.7485 (+0.00)	0.7135 (+0.01)	0.7193 (+0.01)
Sodium metabisulfite	0.05	1.4651 (+0.01)	1.4473 (+0.01)	1.4175 (+0.00)	1.3103 (+0.00)	1.0959 (+0.00)	0.9767 (+0.00)	0.8934 (+0.01)	0.8874 (+0.00)	0.8880 (+0.01)
Sodium metabisulfite	0.1	1.4648 (+0.00)	1.4470 (+0.00)	1.4172 (+0.01)	1.2147 (+0.01)	1.1433 (+0.01)	1.0599 (+0.00)	0.9766 (+0.00)	0.9051 (+0.01)	0.9057 (+0.00)
Sodium metabisulfite	0.2	1.4661 (+0.01)	1.4661 (+0.00)	1.4602 (+0.00)	1.4184 (+0.00)	1.2039 (+0.01)	1.0728 (+0.00)	0.9774 (+0.01)	0.8812 (+0.00)	0.9119 (+0.00)
Sodium bisulfite	0.05	1.4642 (+0.00)	1.4404 (+0.01)	1.4047 (+0.01)	1.1904 (+0.01)	1.1071 (+0.00)	1.0595 (+0.01)	0.8928 (+0.01)	0.8809 (+0.00)	0.8809 (+0.00)
Sodium bisulfite	0.1	1.4644 (+0.00)	1.4406 (+0.01)	1.4049 (+0.01)	1.1965 (+0.01)	1.0953 (+0.01)	1.0596 (+0.01)	0.8929 (+0.01)	0.8870 (+0.00)	0.8870 (+0.01)
Sodium bisulfite	0.2	1.4661 (+0.01)	1.4601 (+0.01)	1.4124 (+0.00)	1.2217 (+0.01)	1.1562 (+0.01)	1.0787 (+0.01)	0.9833 (+0.00)	0.9178 (+0.00)	0.9178 (+0.00)

\* คือ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05%

ตารางที่ 11 (ต่อ)

สารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณ (%w/v)	ความหนืด* (cps.) ของเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)								
		1	3	5	7	9	12	16	20	25
Sodium sulfite	0.05	1.4635 (+0.00)	1.4338 (+0.00)	1.4040 (+0.01)	1.1898 (+0.01)	1.0828 (+0.01)	1.0114 (+0.00)	0.9400 (+0.01)	0.9162 (+0.00)	0.8864 (+0.00)
Sodium sulfite	0.1	1.4609 (+0.01)	1.4312 (+0.01)	1.4015 (+0.00)	1.1877 (+0.00)	1.0808 (+0.01)	1.0096 (+0.00)	0.9383 (+0.01)	0.9146 (+0.01)	0.8849 (+0.00)
Sodium sulfite	0.2	1.4675 (+0.00)	1.4437 (+0.00)	1.4019 (+0.00)	1.1812 (+0.01)	1.0738 (+0.01)	0.9426 (+0.00)	0.8948 (+0.00)	0.8769 (+0.00)	0.8770 (+0.00)
L-Ascorbic acid	0.05	1.4657 (+0.01)	1.4181 (+0.00)	1.3823 (+0.00)	1.0963 (+0.00)	0.9533 (+0.00)	0.8342 (+0.00)	0.7627 (+0.00)	0.7388 (+0.00)	0.7388 (+0.00)
L-Ascorbic acid	0.1	1.4656 (+0.01)	1.4119 (+0.00)	1.3762 (+0.00)	1.0902 (+0.00)	0.9532 (+0.00)	0.8281 (+0.00)	0.7507 (+0.00)	0.7149 (+0.00)	0.7149 (+0.00)
L-Ascorbic acid	0.2	1.4666 (+0.01)	1.4189 (+0.00)	1.3712 (+0.00)	1.0970 (+0.00)	0.9420 (+0.00)	0.8227 (+0.00)	0.7154 (+0.00)	0.6975 (+0.00)	0.6975 (+0.00)

\* คือ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05%





ตารางที่ 12 ความหนืดของเจลที่มีสารต้านออกซิเดชันเมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่ 40°C

สารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณ (%w/v)	ความหนืด* (cps.) ของเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)								
		1	3	5	7	9	12	16	20	25
Pure gel 2**	0	1.4316 ( $\pm$ 0.01)	1.3900 ( $\pm$ 0.01)	1.3425 ( $\pm$ 0.00)	1.0693 ( $\pm$ 0.00)	0.9267 ( $\pm$ 0.00)	0.8198 ( $\pm$ 0.01)	0.7722 ( $\pm$ 0.01)	0.7128 ( $\pm$ 0.00)	0.7128 ( $\pm$ 0.00)
Sodium metabisulfite	0.05	1.4413 ( $\pm$ 0.01)	1.4413 ( $\pm$ 0.01)	1.4175 ( $\pm$ 0.01)	1.3162 ( $\pm$ 0.00)	1.0839 ( $\pm$ 0.00)	0.9529 ( $\pm$ 0.00)	0.8815 ( $\pm$ 0.00)	0.8815 ( $\pm$ 0.00)	0.8755 ( $\pm$ 0.00)
Sodium metabisulfite	0.1	1.4538 ( $\pm$ 0.00)	1.4419 ( $\pm$ 0.01)	1.4181 ( $\pm$ 0.00)	1.2512 ( $\pm$ 0.00)	1.1321 ( $\pm$ 0.00)	1.0725 ( $\pm$ 0.00)	1.0010 ( $\pm$ 0.01)	0.9414 ( $\pm$ 0.00)	0.9295 ( $\pm$ 0.01)
Sodium metabisulfite	0.2	1.4661 ( $\pm$ 0.00)	1.4661 ( $\pm$ 0.00)	1.4244 ( $\pm$ 0.01)	1.2397 ( $\pm$ 0.00)	1.1085 ( $\pm$ 0.01)	1.0609 ( $\pm$ 0.00)	1.0132 ( $\pm$ 0.00)	0.9357 ( $\pm$ 0.01)	0.9238 ( $\pm$ 0.01)
Sodium bisulfite	0.05	1.4421 ( $\pm$ 0.00)	1.4361 ( $\pm$ 0.01)	1.4182 ( $\pm$ 0.01)	1.1918 ( $\pm$ 0.01)	1.1084 ( $\pm$ 0.00)	1.0249 ( $\pm$ 0.01)	0.9534 ( $\pm$ 0.01)	0.8938 ( $\pm$ 0.01)	0.8879 ( $\pm$ 0.01)
Sodium bisulfite	0.1	1.4471 ( $\pm$ 0.01)	1.4292 ( $\pm$ 0.00)	1.4054 ( $\pm$ 0.00)	1.1970 ( $\pm$ 0.00)	1.0838 ( $\pm$ 0.00)	1.0183 ( $\pm$ 0.00)	0.9583 ( $\pm$ 0.00)	0.8932 ( $\pm$ 0.00)	0.8754 ( $\pm$ 0.00)
Sodium bisulfite	0.2	1.4661 ( $\pm$ 0.00)	1.4661 ( $\pm$ 0.00)	1.4482 ( $\pm$ 0.00)	1.4065 ( $\pm$ 0.00)	1.1919 ( $\pm$ 0.00)	1.1085 ( $\pm$ 0.00)	1.0370 ( $\pm$ 0.00)	1.9655 ( $\pm$ 0.00)	0.9535 ( $\pm$ 0.00)

\* คือ ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05%

ตารางที่ 12 (ต่อ)

สารต้านออกซิเดชัน	ปริมาณ (%w/v)	ความหนืด* (cps.) ของเจลที่ระยะเวลาต่าง ๆ (วัน)								
		1	3	5	7	9	12	16	20	25
Sodium sulfite	0.05	1.4431 (+0.01)	1.4253 (+0.01)	1.3896 (+0.00)	1.2352 (+0.01)	1.0808 (+0.00)	0.9502 (+0.00)	0.8789 (+0.01)	0.8552 (+0.00)	0.8433 (+0.00)
Sodium sulfite	0.1	1.4397 (+0.01)	1.4278 (+0.00)	1.3981 (+0.01)	1.2315 (+0.01)	1.0887 (+0.00)	0.9519 (+0.00)	0.8924 (+0.01)	0.8567 (+0.00)	0.8448 (+0.00)
Sodium sulfite	0.2	1.4501 (+0.01)	1.4322 (+0.00)	1.4083 (+0.00)	1.2412 (+0.00)	1.0741 (+0.00)	0.9429 (+0.00)	0.7638 (+0.00)	0.7400 (+0.00)	0.7042 (+0.01)
L-Ascorbic acid	0.05	1.4335 (+0.00)	1.4216 (+0.00)	1.3859 (+0.01)	1.2313 (+0.00)	1.0588 (+0.01)	0.8684 (+0.00)	0.7495 (+0.00)	0.6900 (+0.00)	0.6900 (+0.00)
L-Ascorbic acid	0.1	1.4411 (+0.01)	1.4172 (+0.01)	1.3934 (+0.00)	1.2267 (+0.01)	1.0719 (+0.00)	0.8932 (+0.00)	0.8932 (+0.00)	0.7265 (+0.00)	0.7146 (+0.00)
L-Ascorbic acid	0.2	1.4419 (+0.01)	1.4061 (+0.00)	1.3942 (+0.01)	1.2274 (+0.00)	1.0665 (+0.01)	0.8818 (+0.00)	0.7984 (+0.00)	0.7388 (+0.01)	0.6912 (+0.01)

\* คือ ค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัด 2 ครั้ง

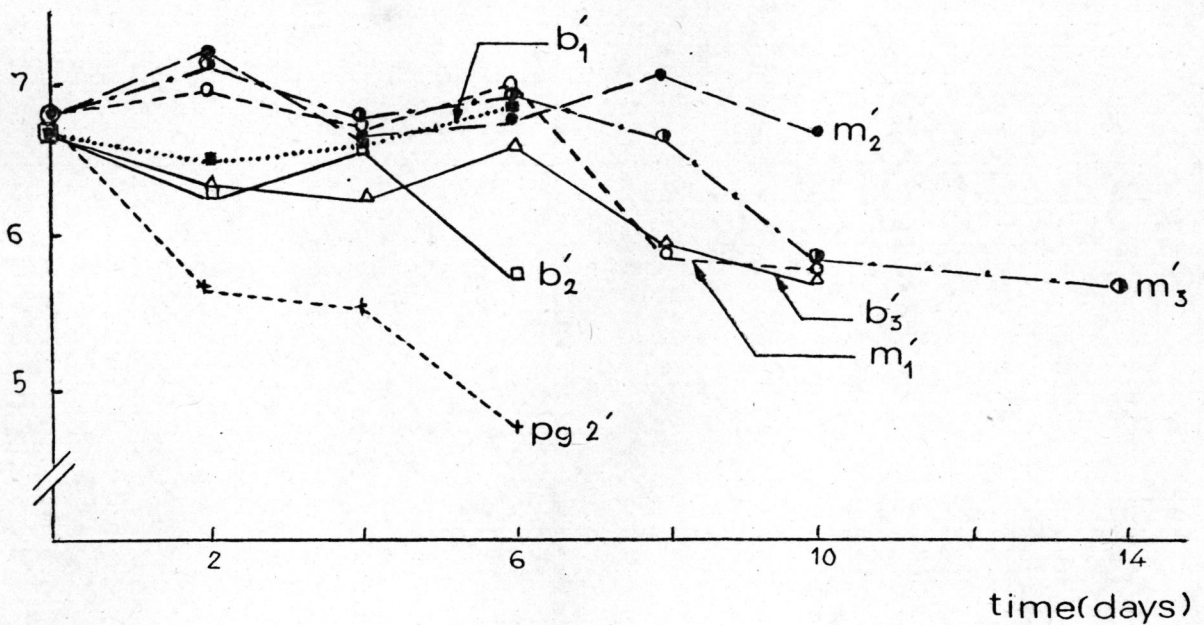
\*\* คือ เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05%



เมื่อ	Pg 2	ก๊อ	Pure gel 2	แทนด้วย	+-----+
	m <sub>1</sub>	ก๊อ	เจล + Sodium metabisulfite 0.05%	แทนด้วย	o---o
	m <sub>2</sub>	ก๊อ	เจล + Sodium metabisulfite 0.1%	แทนด้วย	●---●
	m <sub>3</sub>	ก๊อ	เจล + Sodium metabisulfite 0.2%	แทนด้วย	○---○
	b <sub>1</sub>	ก๊อ	เจล + Sodium bisulfite 0.05%	แทนด้วย	■.....■
	b <sub>2</sub>	ก๊อ	เจล + Sodium bisulfite 0.1%	แทนด้วย	□---□
	b <sub>3</sub>	ก๊อ	เจล + Sodium bisulfite 0.2%	แทนด้วย	△---△

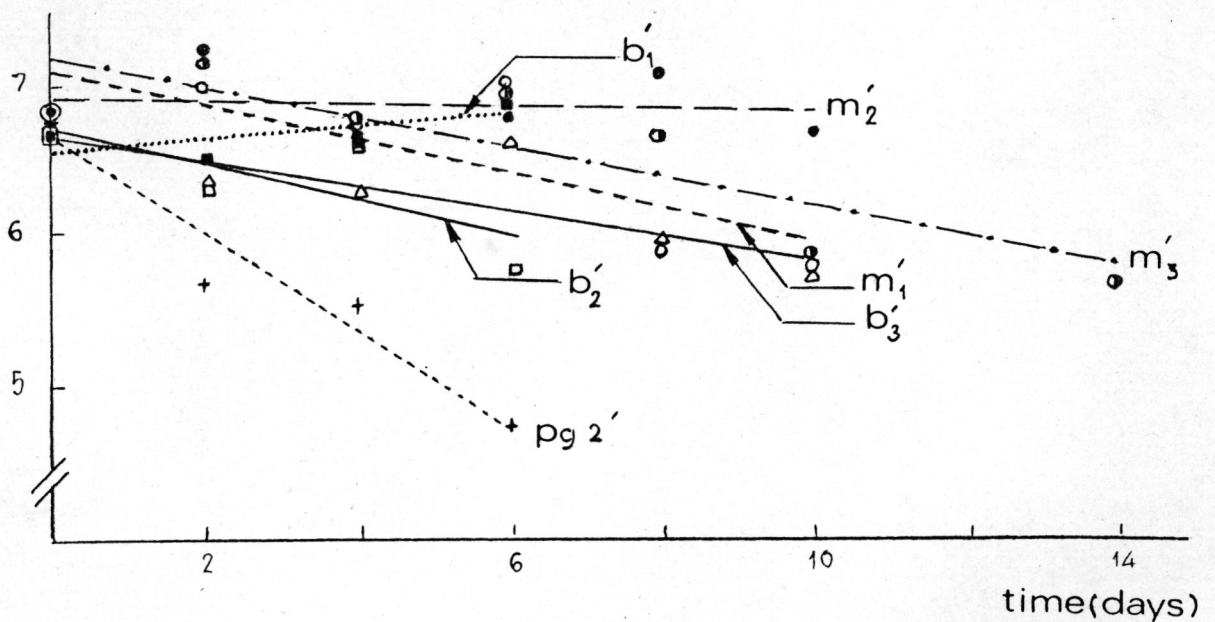
รูปที่ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม Sodium metabisulfite และ Sodium bisulfite เป็นสารต้านออกซิเดชัน เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 40°C

conc. of phenolic cpd. ( $\mu\text{g/ml}$ )



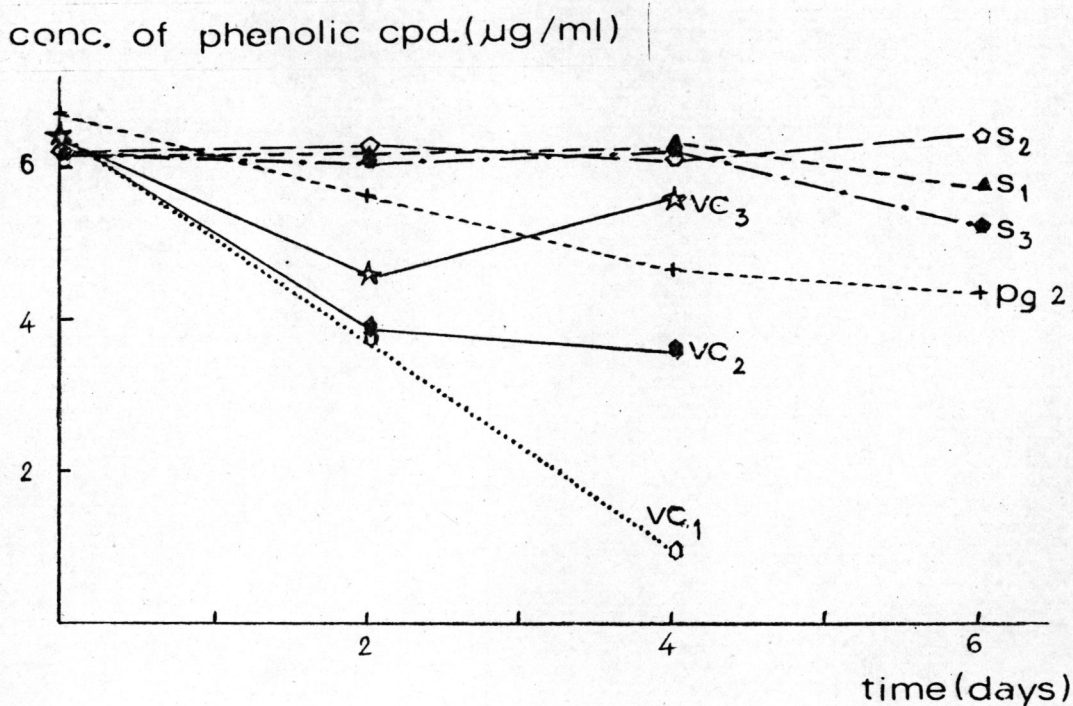
รูปที่ 11 แสดงเส้นดกคดของ ความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม Sodium metabisulfite และ Sodium bisulfite เป็นสารต้านออกซิเดชัน เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 40°C

conc. of phenolic cpd. ( $\mu\text{g/ml}$ )

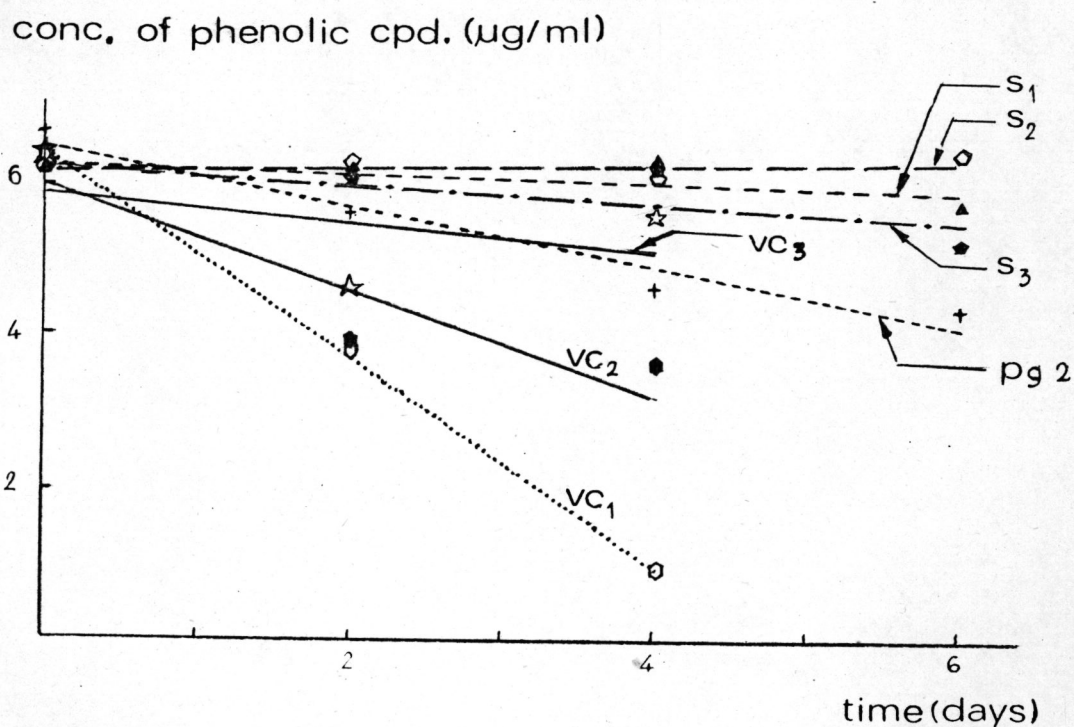


เมื่อ	Pg <sub>2</sub> <sup>1</sup>	กือ Pure gel 2	แทนด้วย	+-----+
	m <sub>1</sub> <sup>1</sup>	กือ เจล + Sodium metabisulfite 0.05%	แทนด้วย	○-----○
	m <sub>2</sub> <sup>1</sup>	กือ เจล + Sodium metabisulfite 0.1%	แทนด้วย	●-----●
	m <sub>3</sub> <sup>1</sup>	กือ เจล + Sodium metabisulfite 0.2%	แทนด้วย	⊙-----⊙
	b <sub>1</sub> <sup>1</sup>	กือ เจล + Sodium bisulfite 0.05%	แทนด้วย	■-----■
	b <sub>2</sub> <sup>1</sup>	กือ เจล + Sodium bisulfite 0.1%	แทนด้วย	□-----□
	b <sub>3</sub> <sup>1</sup>	กือ เจล + Sodium bisulfite 0.2%	แทนด้วย	△-----△

รูปที่ 12 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม Sodium sulfite และ L-ascorbic acid เป็นสารต้านออกซิเดชัน เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 13 แสดงเส้นถดถอยของความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม Sodium sulfite และ L-Ascorbic acid เป็นสารต้านออกซิเดชัน เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

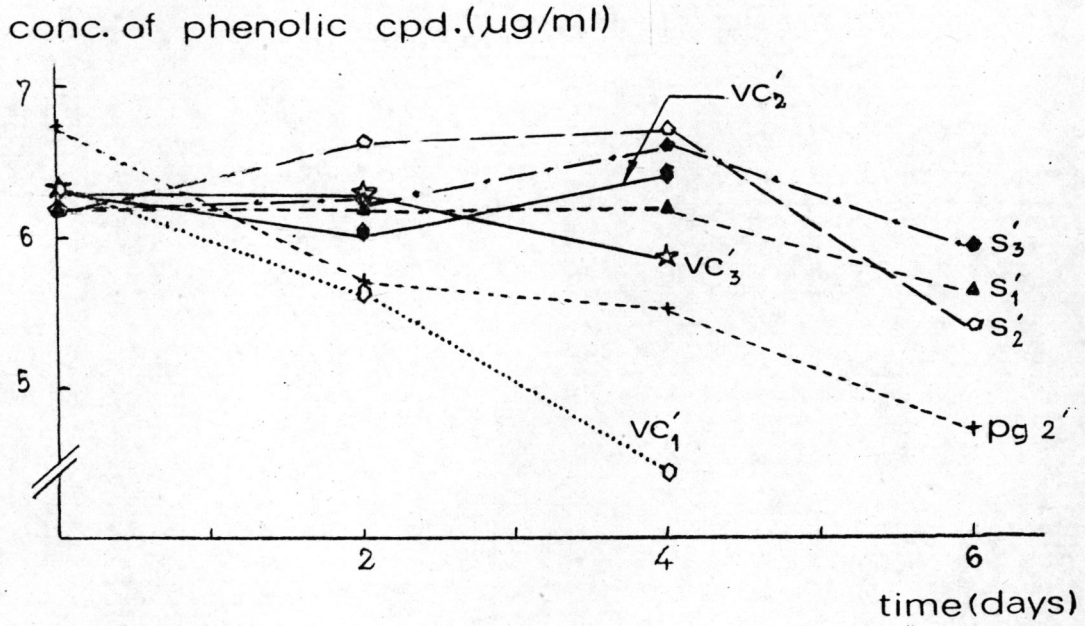


เมื่อ	Pg 2	คือ Pure gel 2	แทนด้วย	+-----+
	S <sub>1</sub>	คือ เจล + Sodium sulfite 0.05%	แทนด้วย	▲-----▲
	S <sub>2</sub>	คือ เจล + Sodium sulfite 0.1%	แทนด้วย	◇-----◇
	S <sub>3</sub>	คือ เจล + Sodium sulfite 0.2%	แทนด้วย	◆-----◆
	VC <sub>1</sub>	คือ เจล + L-ascorbic acid 0.05%	แทนด้วย	○-----○
	VC <sub>2</sub>	คือ เจล + L-ascorbic acid 0.1%	แทนด้วย	●-----●
	VC <sub>3</sub>	คือ เจล + L-ascorbic acid 0.2%	แทนด้วย	☆-----☆

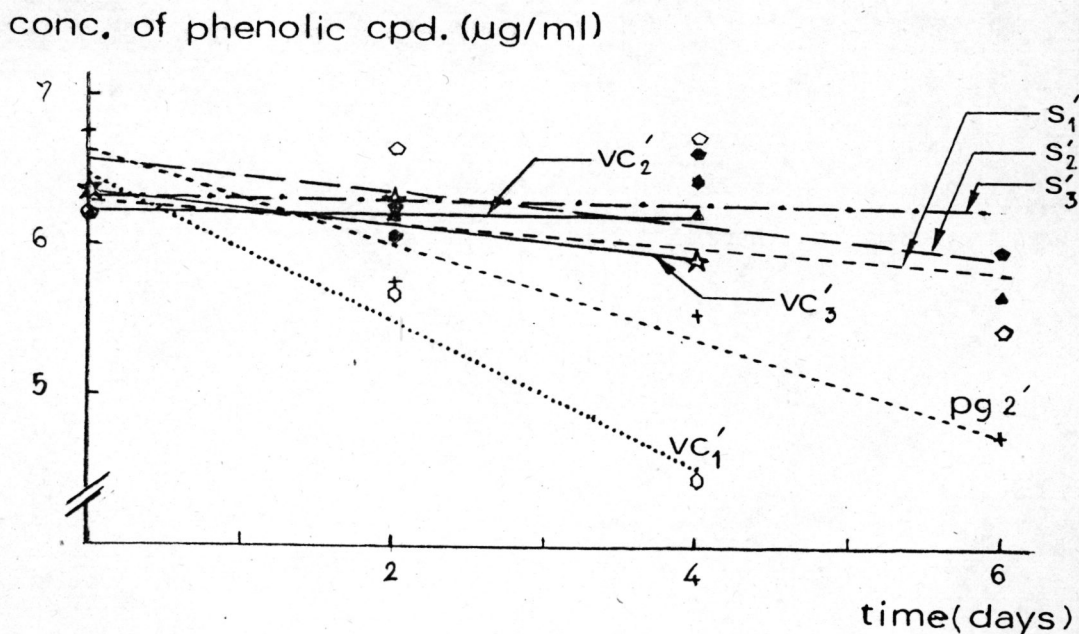




รูปที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม Sodium sulfite และ L-ascorbic acid เป็นสารต้านออกซิเดชัน เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 40°C



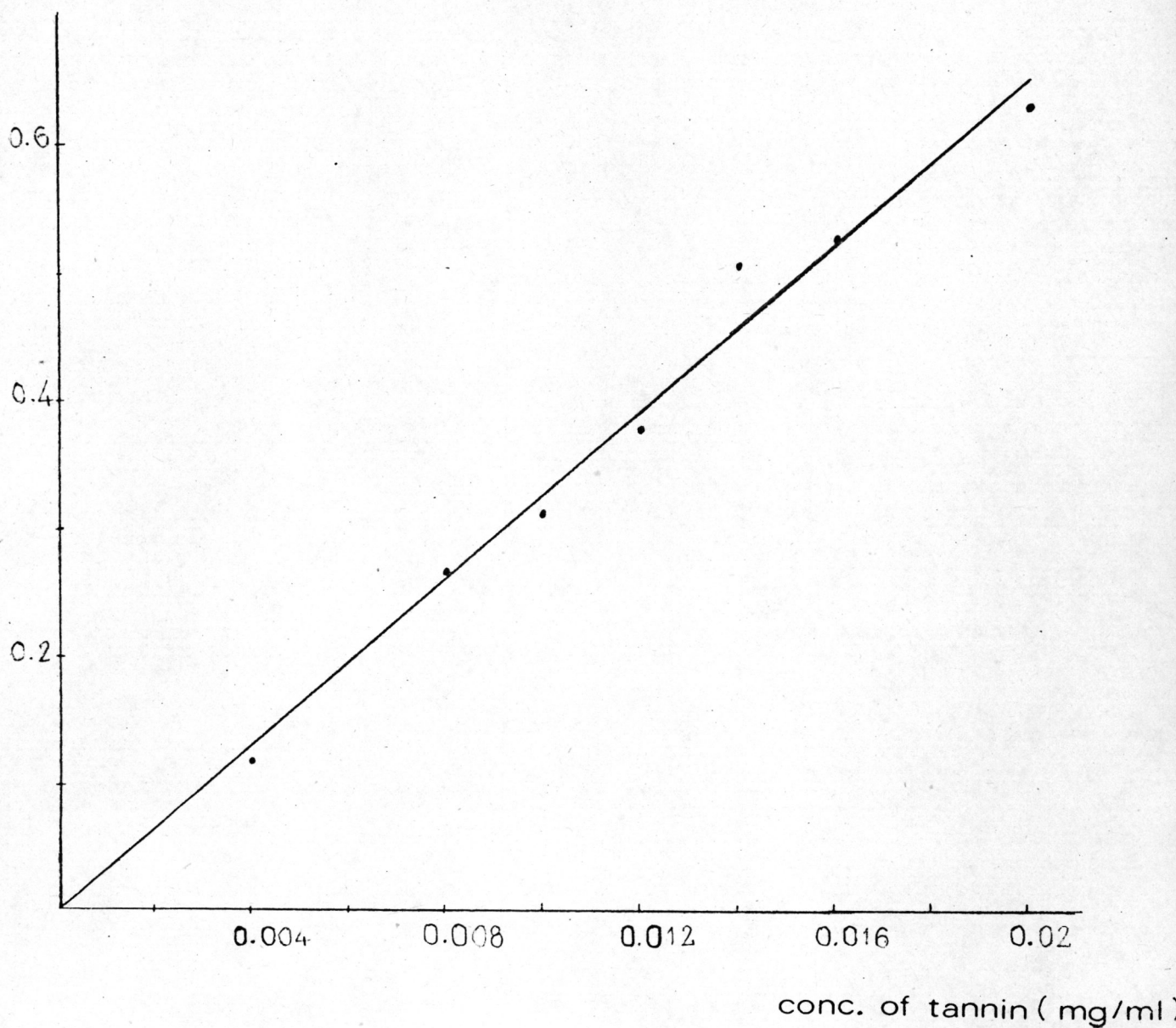
รูปที่ 15 แสดงเส้นตกคดยของความเข้มข้นของ phenolic compounds ในเจลที่เติม Sodium sulfite และ L-Ascorbic acid เป็นสารต้านออกซิเดชัน เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 40°C



เมื่อ	Pg' 2	ก๊อ	Pure gel 2	แทนด้วย	+-----+
	S <sub>1</sub> '	ก๊อ	เจล + Sodium sulfite 0.05%	แทนด้วย	▲-----▲
	S <sub>2</sub> '	ก๊อ	เจล + Sodium sulfite 0.1%	แทนด้วย	○-----○
	S <sub>3</sub> '	ก๊อ	เจล + Sodium sulfite 0.2%	แทนด้วย	●-----●
	VC <sub>1</sub> '	ก๊อ	เจล + L-ascorbic acid 0.05%	แทนด้วย	○.....○
	VC <sub>2</sub> '	ก๊อ	เจล + L-ascorbic acid 0.1%	แทนด้วย	●-----●
	VC <sub>3</sub> '	ก๊อ	เจล + L-ascorbic acid 0.2%	แทนด้วย	☆-----☆

รูปที่ 16 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 320 nm กับความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลาย tannin

Absorbance at 320 nm



สมการที่แสดงความสัมพันธ์นี้คือ  $y = 32.4923 x - 0.0157$  โดย  $r^2 = 0.9808$

เมื่อ  $y$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 320 nm

$x$  คือ ความเข้มข้นของสารละลาย tannin (mg/ml)

จากรูปที่ 8-16 เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้น phenolic compounds ในเจลที่เติมสารต้านออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเจลที่ไม่ได้เติมสารต้านออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิห้องและที่ 40°C โดย unpaired t-test พบว่า ที่อุณหภูมิห้องนั้นเจลที่เติม Sodium metabisulfite (0.05-0.2%) และ Sodium bisulfite (0.1, 0.2%) มีความเข้มข้นของ phenolic compounds สูงกว่าเจลที่ไม่ได้เติมสารต้านออกซิเดชัน โดย p-value < 0.05 และ Sodium metabisulfite(0.05-0.2%), Sodium bisulfite (0.1, 0.2 %) ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนที่ 40°C นั้น เจลที่เติม Sodium metabisulfite 0.1% มีความเข้มข้นของ phenolic compounds สูงกว่าเจลที่ไม่ได้เติมสารต้านออกซิเดชัน โดย p-value < 0.05 จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวเลือกใช้ Sodium metabisulfite 0.1% w/v เป็นสารต้านออกซิเดชันในการทดลอง ต่อไป

#### ขั้นตอนที่ 6 ผลการศึกษาความเข้ากันได้ของเจลกับยา<sup>๕ ๕๕</sup>พ่นขี้ผึ้งและการปรับปรุงสูตรยา<sup>๕ ๕๕</sup>พ่นขี้ผึ้ง

##### 1. ผลการศึกษาความเข้ากันได้ของเจลกับยา<sup>๕ ๕๕</sup>พ่นขี้ผึ้ง

จากการสังเกตความเข้ากันได้ของเจลกับยา<sup>๕ ๕๕</sup>พ่นขี้ผึ้งเมื่อผสมเจล 25 ml กับยา<sup>๕ ๕๕</sup>พ่นขี้ผึ้งหนัก 25 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณของเจลที่เข้ากันได้กับยา<sup>๕ ๕๕</sup>พ่นขี้ผึ้งชนิดต่าง ๆ

<sup>๕ ๕๕</sup> ยาพ่นขี้ผึ้ง	ปริมาณเจล (%v/w)	ลักษณะยา <sup>๕ ๕๕</sup> พ่นขี้ผึ้งหลังผสม
Hydrophilic Petrolatum USP.	22.40	เจลแยกตัวจากยา <sup>๕</sup> พ่น
Hydrophilic Ointment USP.	100	ยา <sup>๕</sup> พ่นเหลวลง
Polyethylene Glycol Ointment USP.	4	ยา <sup>๕</sup> พ่นเหลวลงและกลายเป็นของเหลวใสเมื่อเจลเพิ่ม <sup>๕</sup> ขึ้น

จะเห็นว่า เจลสามารถเข้ากันได้กับยาพื้นทั้ง 3 ชนิด โดยเข้ากันได้ดีที่สุด  
กับ Hydrophilic ointment USP. ในขณะที่เข้ากับ Hydrophilic petrolatum  
USP. ได้ 22.40% สำหรับกรณีผสมเจลกับ Polyethylene Glycol ointment USP.  
นั้น ถ้าเจลมากกว่า 4% ยาพื้นจะละลายในเจลได้ของเหลวใส จึงนำ Hydrophilic  
ointment USP. ซึ่งเป็น O/W Emulsion ointment base มาปรับปรุงเพื่อให้ได้  
ยาพื้นขผึ้งของเจลที่มีลักษณะสวยงามนำไปใช้ต่อไป

2. ผลของการปรับปรุงสูตรยาพื้นขผึ้งให้มีลักษณะสวยงามและมีปริมาณของเจล  
สูงสุด

หลังจากได้ปรับปรุงสูตรยาพื้นแล้วสังเกตลักษณะของยาพื้นขผึ้งที่มีและไม่มี  
เจล ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ลักษณะของยาพื้นขผึ้งตำรับต่าง ๆ หลังจากที่ได้ปรับปรุงสูตรแล้ว

ตำรับ	เมื่อไม่มีเจล	เมื่อมีเจล (%w/w)		
		60	70	80
A	สีครีม, เนียนนุ่ม, ทาแล้ว เป็นปื้นขาว	สีครีม, เนียนนุ่ม, ทา แล้วเป็นปื้นขาว	สีครีมเข้ม, เนียนนุ่ม, ทาแล้วเป็นปื้นขาว	สีครีมเข้ม, เนียนนุ่ม, ทาแล้วเป็นปื้นขาว
B	สีครีม, เนียนนุ่ม	สีครีมเข้ม, เนียน เหลวลง	สีครีมเข้ม, เนียน เหลวลง	สีครีมเข้ม, เนียน เหลวลง
C	สีขาว, เนียนเนียน, ไม่เหนอะ หนะ	สีครีมอ่อน, เนียน เนียนดีไม่เหนอะ หนะ	-	-
D	สีขาว, เนียนนุ่ม	สีครีมอ่อน, เนียนนุ่ม	สีครีม, เนียนเหลวลง	-
E	สีขาว, เนียนเนียน	สีครีมอ่อน, เนียน เนียน	สีครีม, เนียนนุ่ม	-
F	สีขาว, เนียนเนียน	สีครีมอ่อน, เนียน เนียน	สีครีม, เนียนนุ่ม	-

- คือ ไม่ได้ทำการทดลองเนื่องจากสูตรตำรับมีวิฤภาคน้ำไม่สูงพอจะเติมเจลได้ถึง 70 หรือ 80%

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่ายาพื้นที่มีลักษณะคือหลังผสมเจลแล้วได้แก่ตำรับ C, D, E, F ส่วนตำรับ A, B ผสมเจลแล้วสีค่อนข้างเหลือง โดยเฉพาะเมื่อเพิ่มเจลมากขึ้น และพบว่าความเข้มข้นของเจลร้อยละ 60, 70, 80 โดยน้ำหนักไม่ทำให้เสถียรภาพของยาซิงค์แตกต่างกันแต่จะมีผลต่อสีของยาซิงค์และความแข็งของตำรับ โดยเจลร้อยละ 60 จะมีสีครีมอ่อนและความแข็งของซิงค์ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เจลร้อยละ 70, 80 สีครีมค่อนข้างเหลืองและเนือเหลวลงกว่าเดิม จึงเลือกใช้เจลร้อยละ 60 ของตำรับในการทดลองต่อ ๆ ไป

จากนั้นนำไปทดสอบเสถียรภาพทางภาพโดย Freeze and Thaw 2 วงจร ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ลักษณะของยาซิงค์ตำรับต่าง ๆ หลัง Freeze and Thaw 2 วงจร

ตำรับ	เมื่อไม่มีเจล	เมื่อมีเจล 60 %w/w
C	S	S
D	S	S
E	S	S
F	S	S

กำหนดลักษณะของยาซิงค์หลัง Freeze and Thaw ดังนี้

S คือ ยาซิงค์ที่มกลืน, สีคงเดิมไม่แยกชั้น

U คือ ยาซิงค์ที่มกลืนหรือสีเปลี่ยนแปลงไป หรือ แยกชั้น

จากตารางที่ 15 จะเห็นว่าทุกตำรับเสถียรที่หมกหลัง Freeze and Thaw 2 วงจรในการทดลองขึ้นไป จึงเลือกตำรับใดตำรับหนึ่งเป็นตัวแทนเพื่อศึกษาเสถียรภาพต่อไป ในที่นี้เลือกตำรับ C เนื่องจากเมื่อทดลองหา ผิวหนังของคน 5 คนพบว่า กระจายตัวได้ดี, ไม่เหนอะหนะ, ให้สัมผัสที่นุ่มนวลกว่าตำรับอื่น

### ขั้นตอนที่ 7 ผลการศึกษาเสถียรภาพของยา<sup>๕๕</sup>ของเจล

#### 1. ผลของสารทนต่อเสถียรภาพของยา<sup>๕๕</sup>ของเจล

เมื่อนำยา<sup>๕๕</sup>ตำรับ C ซึ่งมี Bronidox L<sup>(R)</sup> ร้อยละ 0.2 เป็นสารทนอมาคูลการเสถียรภาพของยา<sup>๕๕</sup>ของเจล เปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่มีสารทนอมาคูล ดังแสดงในตารางที่ 16

#### ตารางที่ 16 การเจริญของเชื้อราในยา<sup>๕๕</sup>เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ตำรับ	การเจริญของเชื้อราในยา <sup>๕๕</sup>
ตำรับ C + เจล	มีราดำ เมื่อทิ้งไว้ 14 วัน
ตำรับ C + เจล + Bronidox L <sup>(R)</sup> 0.2%	ไม่พบการเจริญของเชื้อราใน 60 วัน

#### 2. ผลของ Chelating agents และสารต้านออกซิเดชันต่อเสถียรภาพของยา<sup>๕๕</sup>ของเจล

เมื่อนำยา<sup>๕๕</sup>ตำรับ C ซึ่งมี EDTA ร้อยละ 0.05 เป็น chelating agents และ Sodium metabisulfite ร้อยละ 0.1 เป็นสารต้านออกซิเดชัน มาสังเกตลักษณะภายนอกและวัดปริมาณ phenolic compounds เปรียบเทียบกับยา<sup>๕๕</sup>ที่ไม่มี chelating

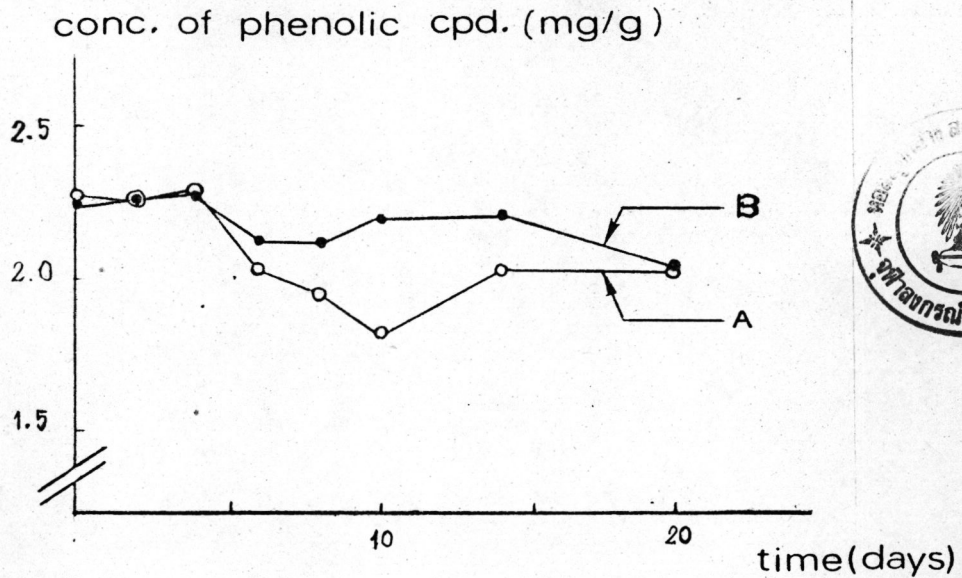
agents และสารต้านออกซิเดชัน ดังแสดงในตารางที่ 17 และรูปที่ 17-18

ตารางที่ 17 ลักษณะยาขผึ้งของเจลเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 เดือน

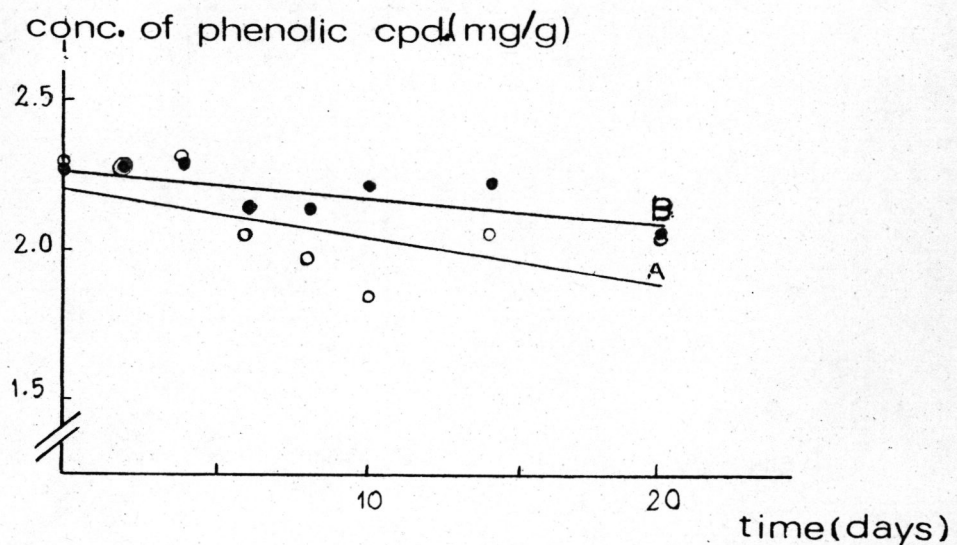
ตำรับ	ลักษณะภายนอก
ตำรับ C + เจล + Bronidox L <sup>(R)</sup> 0.2% (A)	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี, กลิ่น
ตำรับ C + เจล + Bronidox L <sup>(R)</sup> 0.2 % + EDTA 0.05% + Sodium metabisulfite 0.1% (B)	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี, กลิ่น



รูปที่ 17 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ phenolic compounds ในยาขี้ผึ้งของ เจล เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 18 แสดงเส้นดัดโดยของความเข้มข้นของ phenolic compounds ในยาขี้ผึ้งของเจล เมื่อตั้งทิ้งไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง



เมื่อ A คือ ตำรับ C + เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% แทนด้วย ○—○  
 B คือ ตำรับ C + เจล + Bronidox L<sup>(R)</sup> 0.2% + EDTA 0.05% + Sodium metabisulfite 0.1% แทนด้วย ●—●

จากรูปที่ 17-18 เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้น phenolic compounds ในยาขี้ผึ้งของเจลที่เติม EDTA ร้อยละ 0.05 เป็น chelating agents และ Sodium metabisulfite 0.1% เป็นสารต้านออกซิเดชัน เปรียบเทียบกับยาขี้ผึ้งของเจลที่ไม่เติม chelating agents และสารต้านออกซิเดชัน ที่อุณหภูมิห้อง โดย paired t-test พบว่า ยาขี้ผึ้งของเจลที่เติม EDTA 0.05% และ Sodium metabisulfite 0.1% มีความเข้มข้นของ phenolic compounds สูงกว่ายาขี้ผึ้งของเจลที่ไม่เติม chelating agents และสารต้านออกซิเดชัน โดย p-value < 0.05 (เมื่อวิเคราะห์จากวันที่ 0 ถึงวันที่ 20)