# บทที่ 4

## ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

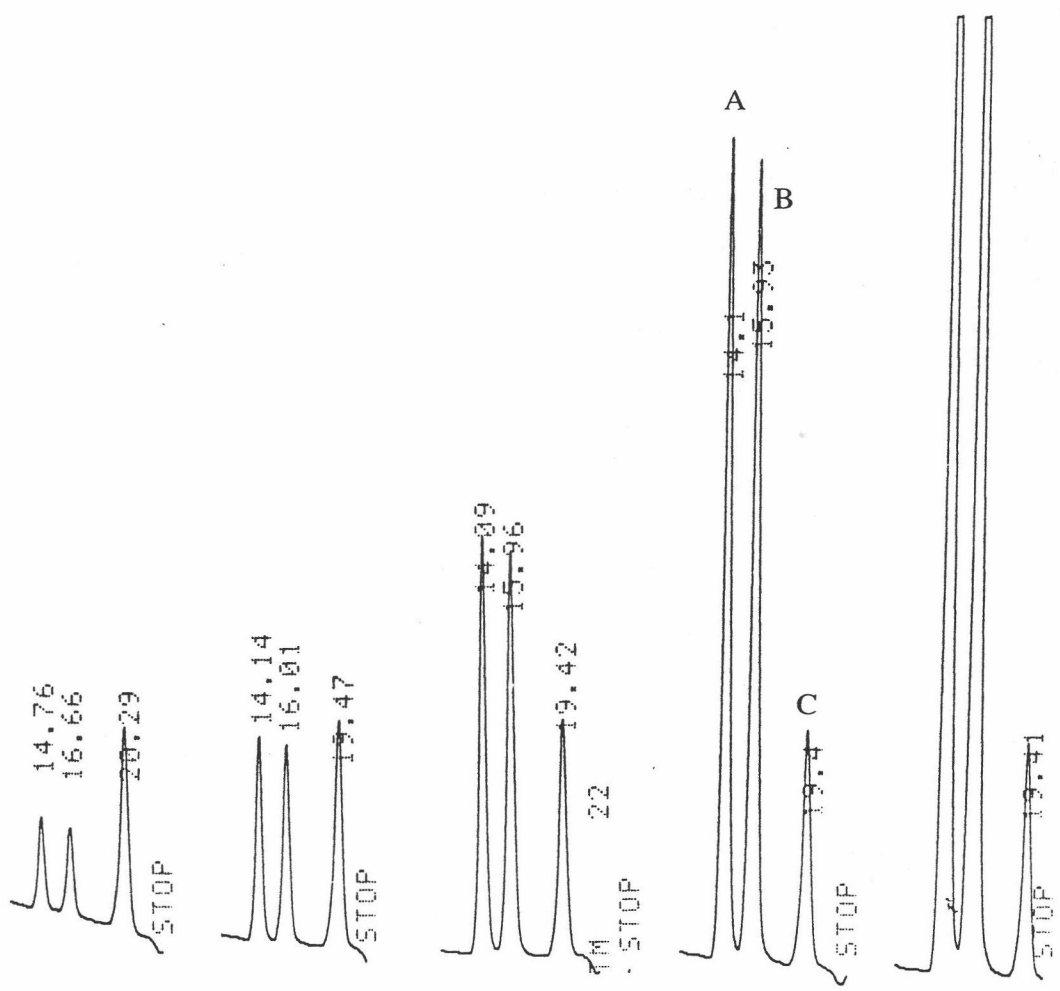
ในปัจจุบันนิยมนำเจลว่านหางจระเข้มาใส่ลงในเครื่องสำอาง เพื่อให้ผลในการเป็น moisturizer หรือ humectant ของตำรับ แต่เนื่องจากเจลว่านหางจระเข้มีความคงสภาพต่ำ จึงมีการเตรียมเจลว่านหางจระเข้ให้อยู่ในรูปผงแห้งแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความคงสภาพ การทำให้เจลว่านหางจระเข้อยู่ในรูปผงแห้งโดยวิธีไลโอฟิไลเซชันเป็นวิธีหนึ่งที่นำมาใช้

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของกระบวนการไลโอฟิไลซ์ต่อลักษณะทางกายภาพของเจลว่านหางจระเข้ และปริมาณกลูโคส แมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ (ส่วนใหญ่อยู่ในรูปกลูโคแมนแนน) ซึ่งถือเป็นสารสำคัญที่ให้ผลในการเป็น moisturizer หรือ humectant ของเจลว่านหางจระเข้ นอกจากนี้ยังศึกษาผลต่อปริมาณกรดอะมิโน เนื่องจากมีงานวิจัยที่รายงานว่าเมื่อเจลว่านหางจระเข้สูญเสียความคงสภาพปริมาณกรดอะมิโนจะลดลงอย่างมาก (Morsy,1982)

ผลิตภัณฑ์เจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งจากต่างประเทศที่มีขายอยู่ในปัจจุบันมักเติม carrier ลงไปด้วย เพื่อเพิ่มปริมาณให้สะดวกในการนำไปใช้งานและเพิ่มความสวยงามเนื่องจากผงเจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์มีลักษณะไม่สวยงามนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการตั้งตำรับเจลว่านหางจระเข้ผสม carrier ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่สวยงาม เมื่อละลายน้ำแล้วให้ลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกับเจลว่านหางจระเข้สด และศึกษาความคงสภาพต่อไป

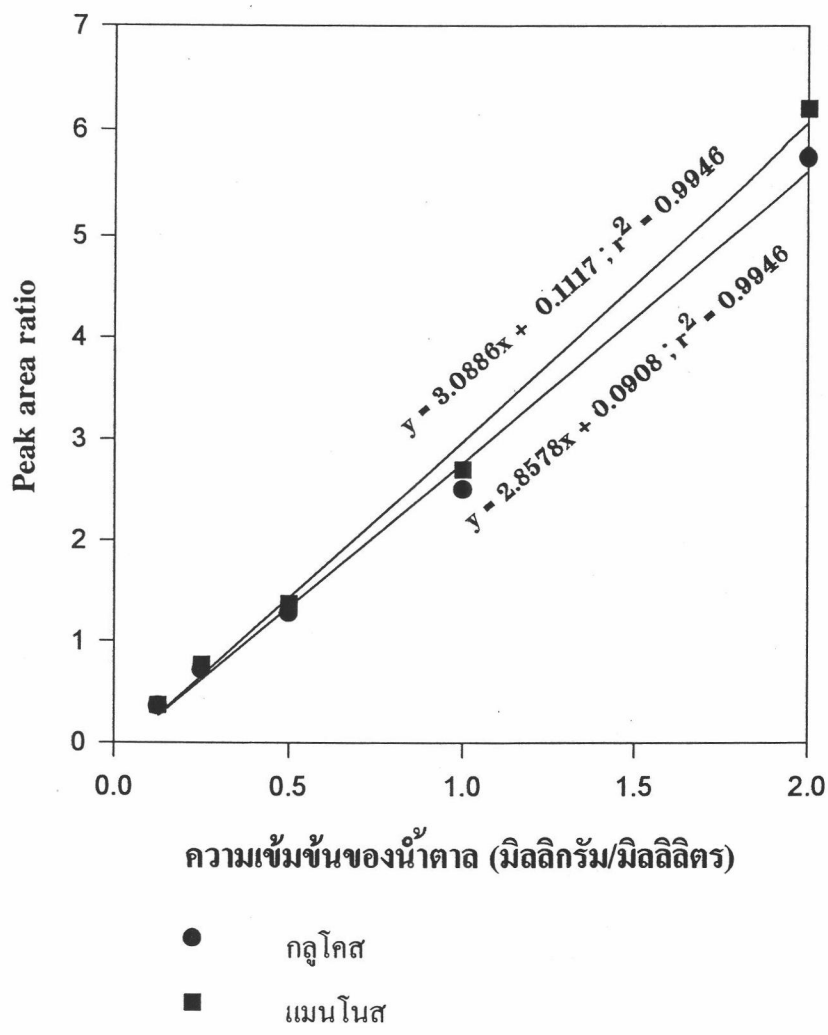
การศึกษาปริมาณสารสำคัญคือ กลูโคสและแมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ของเจลว่านหางจระเข้ในงานวิจัยนี้อาศัยการวิเคราะห์โดยใช้ High performance liquid chromatography (HPLC) แต่เนื่องจากไม่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงอุลตร้าไวโอเลตทั่วไปได้ ต้องอาศัยคุณสมบัติที่กลูโคสและแมนโนสสามารถทำให้เกิดการหักเหของแสงได้ และใช้ตัวตรวจสอบซึ่งเป็น Refractive index detector เพื่อวัดปริมาณดัชนีหักเหแสงที่เปลี่ยนไปเนื่องจากมีกลูโคส และแมนโนสผ่านเข้าสู่ตัวตรวจสอบ เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐาน

สามารถทราบปริมาณกลูโคส แมนโนสในเจลว่านหางจระเข้ได้ ตัวอย่างโครมาโตแกรมซึ่งแสดงการแยกของกลูโคส แมนโนส และ mannitol (internal standard) แสดงในภาพที่ 14 เรียงลำดับ Retention time โดยประมาณได้ดังนี้ 14.1, 16.0 และ 19.4 นาที ตัวอย่างกราฟมาตรฐาน แสดงในภาพที่ 15 การทำกราฟมาตรฐานทุกครั้งได้ $r^2$ มากกว่า 0.9900

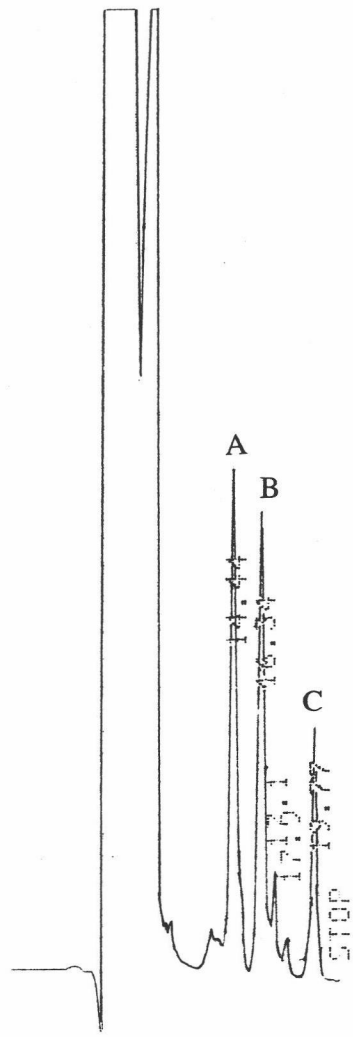



ภาพที่ 14 โครมาโตแกรมของกลูโคส และแมนโนสในสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.125, 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (A=กลูโคส, B=แมนโนส และ C=internal standard คือ mannitol)

| ความเข้มข้นของน้ำตาล (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) | 0.125 | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 2.00 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peak area ratio ของกลูโคส | 0.36 | 0.72 | 1.28 | 2.51 | 5.75 |
| Peak area ratio ของแมนโนส | 0.37 | 0.77 | 1.37 | 2.70 | 6.20 |




ภาพที่ 15 กราฟมาตรฐานของกลูโคส และแมนโนส ในสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.125, 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร




ภาพที่ 16 โครมาโตแกรมของกลูโคส และแมนโนสในเจลว่านหางจระเข้

(A=กลูโคส, B=แมนโนส และ C=internal standard คือ mannitol)

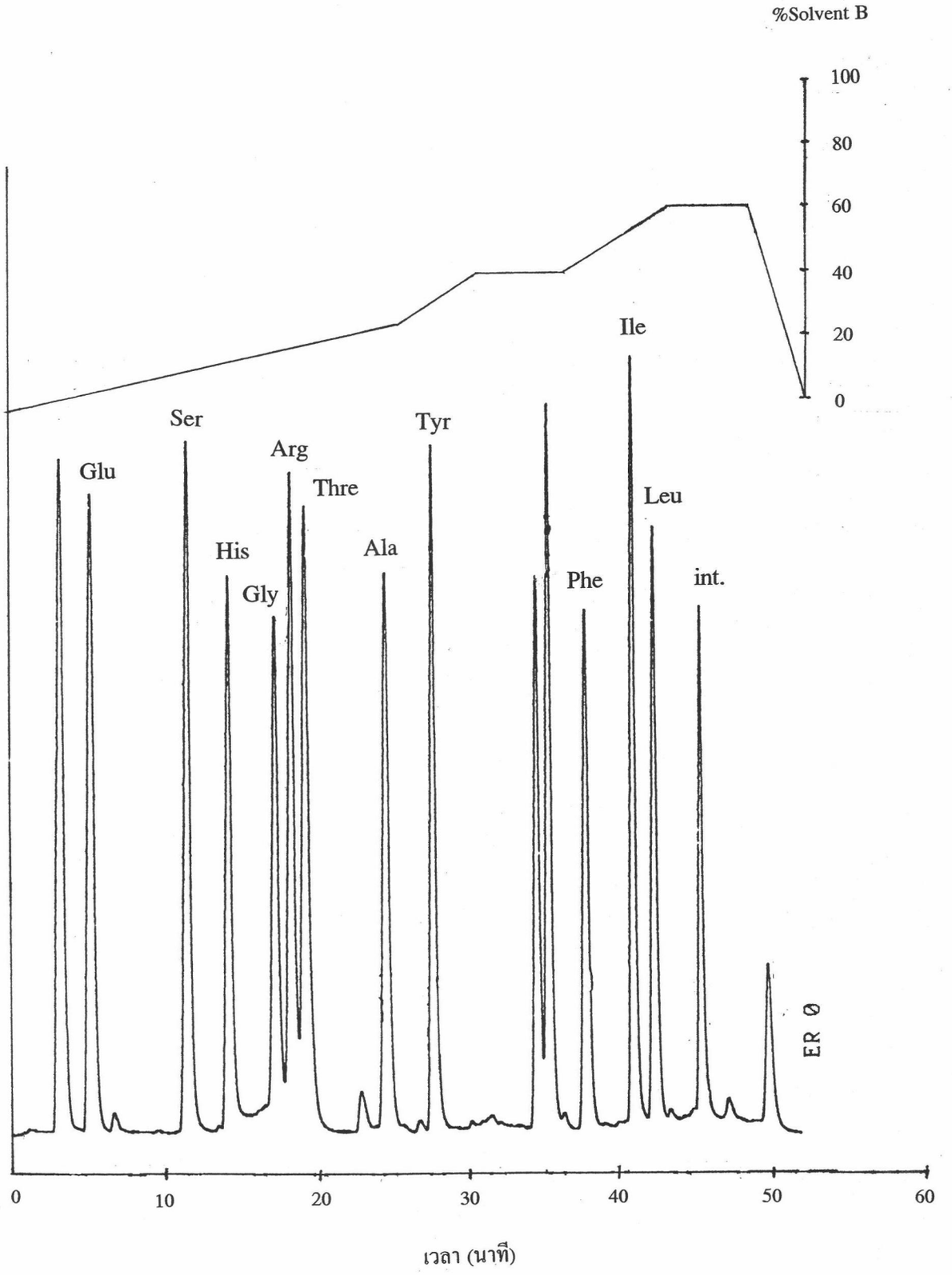
สำหรับการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในเจลว่านหางจระเข้นั้นใช้เทคนิค HPLC แต่เนื่องจากกรดอะมิโนไม่มีโครโมฟอร์ จึงไม่มีการดูดกลืนแสงช่วงอุตร้าไวโอเลตหรือฟลูออเรสเซนส์ จำเป็นต้องเปลี่ยนรูปเป็นอนุพันธ์ที่เหมาะสมก่อนผ่านเข้าสู่คอลัมน์โครมาโตกราฟีและตัวตรวจสอบตามลำดับ สารสร้างอนุพันธ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ OPA (*o*-phthaldialdehyde ) อนุพันธ์ที่ได้อยู่ในรูป 1-alkylthio-2-alkyl substituted สามารถตรวจสอบได้โดยใช้ fluorescence detector เฟสเคลื่อนที่มีลักษณะเป็น gradient elution ทำให้สามารถแยกกรดอะมิโนแต่ละตัวซึ่งมีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกันออกจากกันอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบเฟสเคลื่อนที่ที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ แสดงดังข้างล่าง

| เวลา(นาที) | %solvent A | %solvent B | flow rate (มิลลิลิตรต่อนาที) |
|---|---|---|---|
| 0 | 100 | 0 | 1.0 |
| 25 | 75 | 25 | 1.0 |
| 30 | 60 | 40 | 1.0 |
| 36 | 60 | 40 | 1.0 |
| 43 | 40 | 60 | 1.0 |
| 48 | 40 | 60 | 1.0 |
| 52 | 100 | 0 | 1.0 |

โดยที่ Solvent A = tetrahydrofuran: methanol: sodium acetate 0.1 โมลาร์ pH 7.2 (5:95:900)

Solvent B = methanol

โครมาโตแกรมซึ่งแสดงการแยกกรดอะมิโนแต่ละชนิดออกจากกัน แสดงในภาพที่ 17 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานแสดงในภาพที่ 18 การทำกราฟมาตรฐานของกรดอะมิโนทุกชนิดทุกครั้งได้ $r^2$ มากกว่า 0.9900

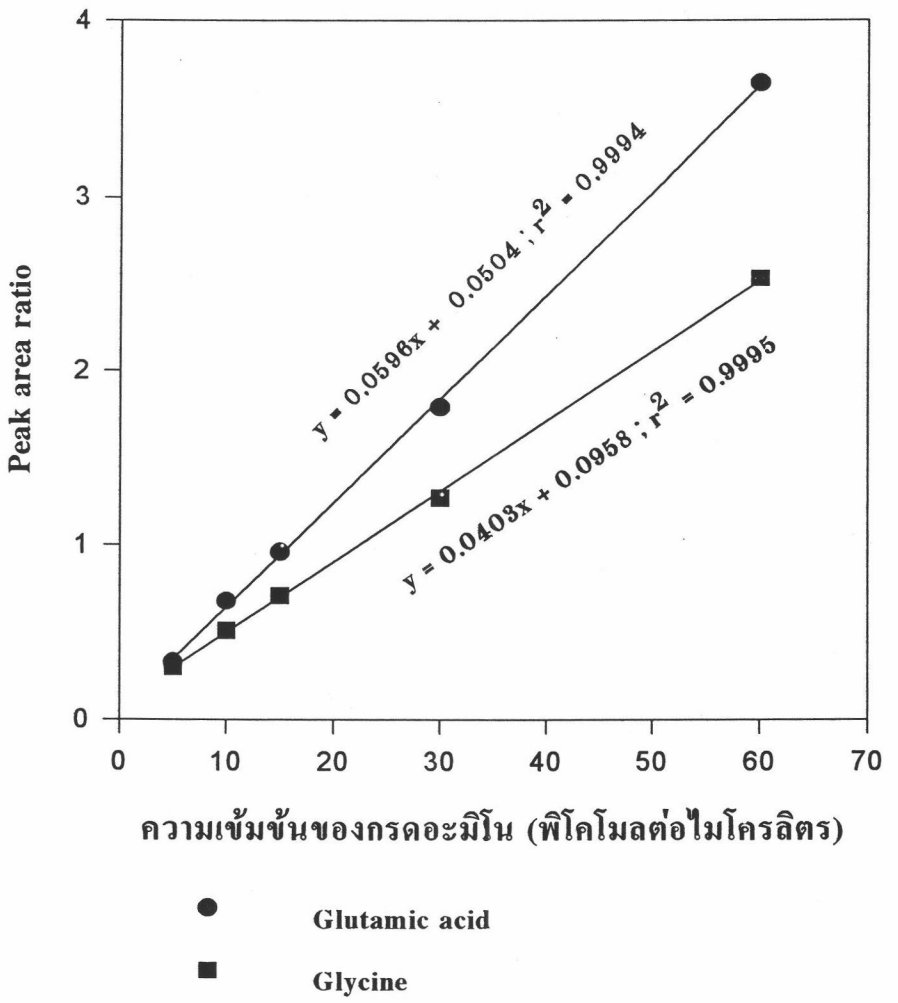



ภาพที่ 17 โครมาโตรแกรมของอนุพันธ์กรดอะมิโนในสารละลายมาตรฐาน

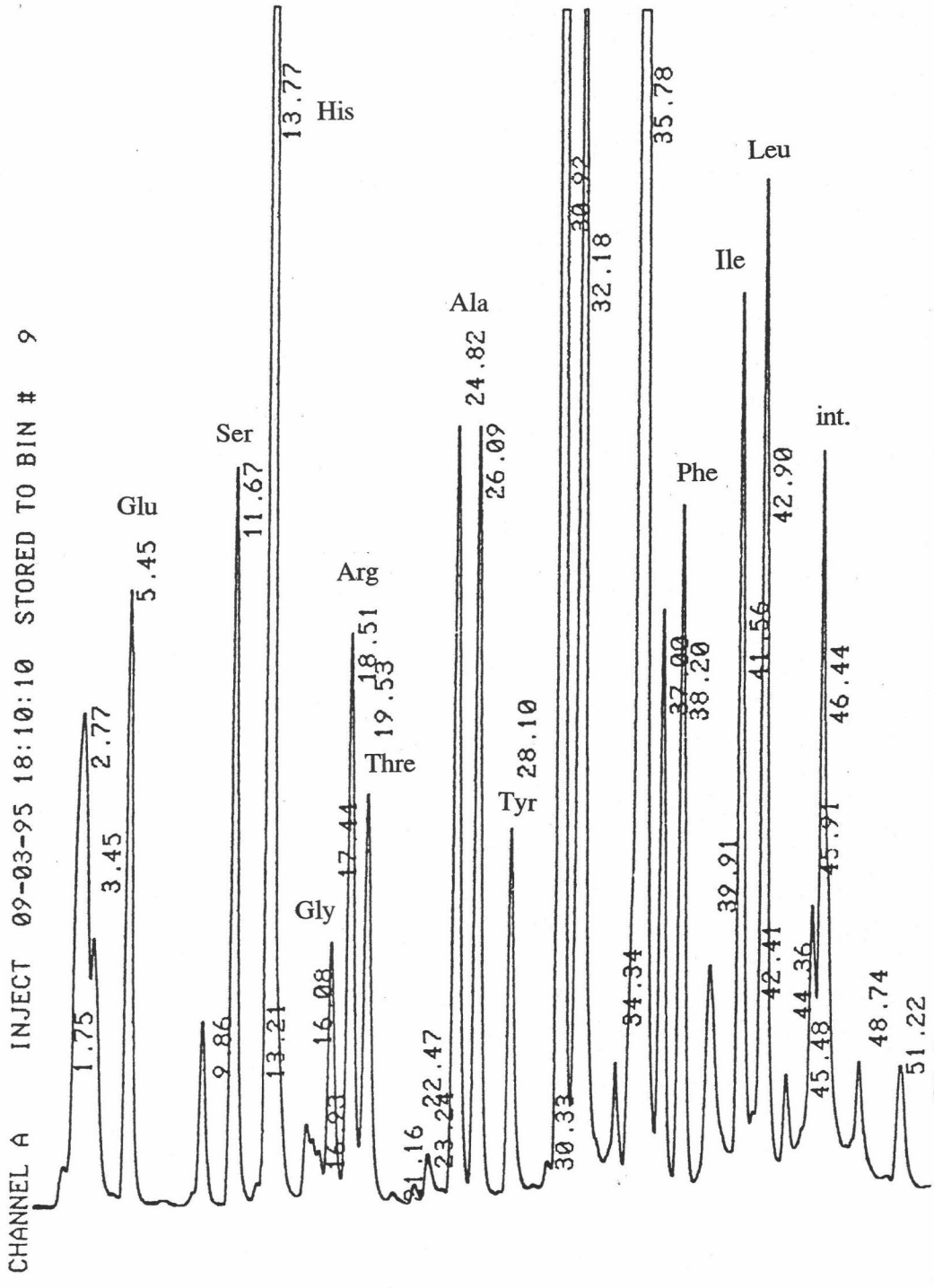
ตารางที่ 2: Retention time ของอนุพันธ์กรดอะมิโนแต่ละชนิดในสารละลายมาตรฐาน

| อนุพันธ์กรดอะมิโน | Rentention time (นาที) |
|---|---|
| glutamic acid (Glu) | 5.50 |
| serine (Ser) | 11.87 |
| histidine (His) | 13.78 |
| glycine (Gly) | 17.70 |
| arginine (Arg) | 18.76 |
| threonine (Thr) | 19.75 |
| alanine (Ala) | 25.05 |
| tyrosine (Tyr) | 28.39 |
| phenylalanine (Phe) | 38.38 |
| isoleucine (Ile) | 41.77 |
| leucine (Leu) | 43.07 |
| tyramine (int. = internal standard) | 46.34 |

| ความเข้มข้นของกรดอะมิโน (พิโคโมลต่อไมโครลิตร) | 5 | 10 | 15 | 30 | 60 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peak area ratio ของ Glutamic acid | 0.33 | 0.68 | 0.96 | 1.79 | 3.64 |
| Peak area ratio ของ Glycine | 2.53 | 1.27 | 0.71 | 0.51 | 0.3 |




ภาพที่ 18 กราฟมาตรฐานของ Glutamic acid และ Glycine ในสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 5, 10, 15, 30 และ 60 พิโคโมลต่อไมโครลิตร




ภาพที่ 19 โครมาโตแกรมของอนุพันธ์กรดอะมิโน ในเจลว่านหางจระเข้

**1. การศึกษาผลของกระบวนการไลโอฟิไลซ์ต่อความหนืด ความเป็นกรดด่าง และส่วนประกอบทางเคมีของเจลว่านหางจระเข้**

ไลโอฟิไลเซชันเป็นวิธีหนึ่งในการทำให้เจลว่านหางจระเข้มีความคงสภาพมากขึ้น ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาผลของกระบวนการไลโอฟิไลซ์ต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของเจลว่านหางจระเข้ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของเจลว่านหางจระเข้ ก่อนผ่านกระบวนการไลโอฟิไลซ์ และเมื่ออยู่ในรูปผงแห้งแล้ว (ต้องละลายน้ำให้มีปริมาตรเท่าเดิมก่อน) โดยใช้คุณสมบัติซึ่งสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ได้เมื่ออยู่ในรูปสารละลายมาเป็นตัวเปรียบเทียบ คือ ความเป็นกรด-ด่าง, ความหนืด, ปริมาณสารสำคัญ คือ กลูโคสและแมนโนส ในโพลิแซค-คาไรด์ รวมทั้งกรดอะมิโนในเจลว่านหางจระเข้ จากนั้นจึงใช้สถิติ paired t-test ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพคือ ความเป็นกรด-ด่าง และความหนืดของเจลว่านหางจระเข้ ก่อนและหลังทำเป็นผงแห้งโดยวิธีไลโอฟิไลเซชัน (ตารางที่ 3) พบว่าความเป็นกรด-ด่าง และความหนืดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 6) โดยความเป็นกรด-ด่างลดลงร้อยละ 0.43 ในขณะที่ความหนืดลดลงร้อยละ 10.53 แสดงว่ากระบวนการไลโอฟิไลซ์มีผลต่อ ความเป็นกรด-ด่าง และความหนืดของเจลว่านหางจระเข้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ (ตารางที่ 4) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปกลูโคสและแมนโนส (กลูโคแมนแนน) จะพบว่า ปริมาณกลูโคสและแมนโนสลดลงร้อยละ 9.85 และ 6.46 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ paired t-test เปรียบเทียบค่าที่ได้ระหว่างก่อนและหลังทำไลโอฟิไลเซชันพบว่า ปริมาณกลูโคสและแมนโนสมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 6) เนื่องจากปริมาณโพลิแซคคาไรด์มีความสัมพันธ์กับความหนืดโดยตรง ดังนั้นสาเหตุที่ความหนืดของเจลว่านหางจระเข้ลดลง อาจเนื่องมาจาก การลดลงของปริมาณโพลิแซคคาไรด์ในรูปกลูโคแมนแนนหลังจากการทำไลโอฟิไลเซชัน

ปริมาณกรดอะมิโนทั้ง 11 ชนิด ที่ตรวจได้โดย HPLC ซึ่งได้แก่ glutamic acid, serine, histidine, glycine, arginine, threonine, alanine, tyrosine, phenylalanine, isoleucine

และ leucine จะพบว่า ปริมาณของกรดอะมิโนมีแนวโน้มลดลงภายหลังจากไลโอฟิไลซ์เจลว่านหางจระเข้ให้อยู่ในรูปผงแห้ง (ตารางที่ 5) อย่างไรก็ดีผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีเพียงปริมาณของ serine และ histidine เท่านั้นที่มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นั่นคือกระบวนการไลโอฟิไลซ์มีผลค่อนข้างน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอะมิโนโดยทั่วไป

ตารางที่ 3: การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ ระหว่างเจลว่านหางจระเข้สดกับสารละลายของเจลว่านหางจระเข้ที่เตรียมจากผงแห้ง

| ลักษณะของเจลว่านหางจระเข้ | ลักษณะทางกายภาพที่ต้องการเปรียบเทียบ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ความเป็นกรด-ด่าง | | | | ความหนืด (cps) | | | |
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | $\bar{X}$±SD | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | $\bar{X}$±SD |
| เจลว่านหางจระเข้สด | 4.69 | 4.69 | 4.69 | 4.69 ±0.00 | 1.52 | 1.52 | 1.51 | 1.52 ±0.01 |
| สารละลายของเจลว่านหางจระเข้จากผงแห้ง | 4.66 | 4.67 | 4.67 | 4.67 ±0.01 | 1.36 | 1.35 | 1.36 | 1.36 ±0.01 |
| ความแตกต่างระหว่างเจลสดและเจลผงแห้ง (%)* | 0.43 | | | | 10.53 | | | |

* โดยคิดจาก (ค่าของเจลว่านหางจระเข้สด - ค่าเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้ง) 100
ค่าของเจลว่านหางจระเข้สด

ตารางที่ 4: การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ ระหว่างเจลว่านหางจระเข้สด กับสารละลายของเจลว่านหางจระเข้ที่เตรียมจากผงแห้ง

| ลักษณะของเจลว่านหางจระเข้ | ปริมาณน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ (มิลลิกรัม ต่อ 20 มิลลิลิตร ของเจล) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | กลูโคส | | | | แมนโนส | | | |
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | $\bar{X}$±SD | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | $\bar{X}$±SD |
| เจลว่านหางจระเข้สด | 2.54 | 2.66 | 2.71 | 2.64 ±0.09 | 6.73 | 6.89 | 6.83 | 6.81 ±0.08 |
| สารละลายของเจลว่านหางจระเข้จากผงแห้ง | 2.36 | 2.42 | 2.35 | 2.38 ±0.04 | 6.48 | 6.31 | 6.33 | 6.37 ±0.09 |
| ความแตกต่างระหว่างเจลสดและเจลผงแห้ง (%)* | 9.85 | | | | 6.46 | | | |

* โดยคิดจาก (ค่าของเจลว่านหางจระเข้สด - ค่าเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้ง) 100
ค่าของเจลว่านหางจระเข้สด

ตารางที่ 5: การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะมิโน ระหว่างเจลว่านหางจระเข้สด กับสารละลายของเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้ง

| ชนิดกรดอะมิโน | ปริมาณกรดอะมิโน (nmole ต่อ 20 มิลลิลิตร ของเจล) | | | | | | | | ความแตกต่างระหว่างเจลสดและเจลผงแห้ง (%)* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | เจลว่านหางจระเข้สด | | | | สารละลายเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้ง | | | | |
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | $\bar{X}$±SD | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | $\bar{X}$±SD | |
| Glu | 34.66 | 32.18 | 31.99 | 32.94 ±1.49 | 31.30 | 31.22 | 29.89 | 30.80 ±0.79 | 6.50 |
| Ser | 73.24 | 72.11 | 74.21 | 73.19 ±1.05 | 66.17 | 67.07 | 68.96 | 67.40 ±1.42 | 7.91 |
| His | 358.20 | 363.98 | 353.75 | 358.64 ±5.13 | 341.67 | 342.01 | 320.13 | 334.60 ±12.54 | 6.70 |
| Gly | 21.52 | 21.88 | 22.03 | 21.81 ±0.26 | 20.01 | 20.37 | 22.48 | 20.62 ±0.77 | 5.46 |
| Arg | 68.18 | 71.58 | 67.60 | 69.12 ±2.15 | 64.71 | 62.10 | 65.22 | 64.01 ±1.67 | 7.39 |
| Thre | 34.13 | 33.50 | 33.93 | 33.85 ±0.32 | 32.22 | 33.48 | 34.88 | 33.52 ±1.33 | 0.97 |
| Ala | 107.83 | 105.24 | 104.11 | 105.73 ±1.91 | 100.48 | 95.62 | 102.91 | 99.67 ±3.71 | 5.73 |
| Tyr | 36.19 | 37.66 | 37.98 | 37.28 ±0.95 | 37.78 | 38.33 | 35.47 | 37.19 ±1.52 | 0.24 |
| Phe | 142.13 | 145.85 | 138.29 | 142.09 ±3.78 | 146.74 | 142.25 | 134.97 | 141.32 ±5.94 | 0.54 |
| Ile | 132.29 | 127.55 | 128.37 | 129.40 ±2.53 | 128.05 | 120.83 | 134.16 | 127.68 ±6.67 | 1.33 |
| Leu | 224.76 | 220.23 | 213.02 | 219.34 ±5.92 | 198.85 | 201.62 | 213.40 | 204.62 ±7.72 | 6.71 |

* โดยคิดจากปริมาณกรดอะมิโนใน [(เจลสด-เจลแห้ง)/เจลสด]X100

ตารางที่ 6: การเปรียบเทียบผลของกระบวนการไลโอฟิไลซ์ ต่อความหนืด ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกลูโคส แมนโนส และกรดอะมิโน โดยใช้ paired t-test (two-tailed)

| ลักษณะที่ต้องการเปรียบเทียบ | ค่า t จากการคำนวณ | $t_{0.05}$ df(2) จากตาราง | นัยสำคัญทางสถิติ * |
|---|---|---|---|
| ความเป็นกรด-ด่าง | -6.90 | 4.303 | มีนัยสำคัญ |
| ความหนืด | -27.71 | 4.303 | มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณกลูโคส | -4.91 | 4.303 | มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณแมนโนส | -4.43 | 4.303 | มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ glutamic acid | -3.09 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ serine | -8.93 | 4.303 | มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ histidine | -4.77 | 4.303 | มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ glycine | -3.72 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ arginine | -2.31 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ threonine | -0.39 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ alanine | -2.55 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ tyrosine | -0.06 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ phenylalanine | -0.29 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ isoleucine | -0.45 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| ปริมาณ leucine | -1.88 | 4.303 | ไม่มีนัยสำคัญ |

* มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $P<0.05$

ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $P>0.05$

## 2. การพัฒนาตำรับเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้ง โดยการใช้ carrier

การพัฒนาตำรับเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งโดยการใช้ carrier มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ตำรับที่มีลักษณะภายนอกสวยงาม เมื่อละลายน้ำแล้ว มีความหนืด และความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกับเจลว่านหางจระเข้สด สาเหตุที่มีความจำเป็นต้องมีการพัฒนาตำรับเนื่องจากผงเจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์มีลักษณะไม่สวยงามไม่น่าใช้ ปริมาณที่ได้หลังจากการเตรียมน้อยมากคือประมาณร้อยละ 0.5 ของเจลว่านหางจระเข้ ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการนำไปใช้ carrier ที่เติมลงไปจะช่วยเพิ่มปริมาณ และความสวยงามให้แก่ตำรับ

ในงานวิจัยนี้ใช้ว่านหางจระเข้ซึ่งปลูกอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน อายุประมาณ 1 ปี มีความหนืดเฉลี่ย 1.53 ± 1.02 cps และความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 4.69 ± 0.02 (ตารางที่ 7) ตำรับเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งที่พัฒนาขึ้น เตรียมโดยการใช้ carrier ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในช่วงระหว่าง 0.5-2.0% w/v เพื่อคัดเลือกตำรับที่มีผงละเอียด สีค่อนข้างขาว ละลายน้ำง่าย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง และความหนืดอยู่ในช่วง ± 10% ของค่าเฉลี่ยของเจลว่านหางจระเข้สด

ตารางที่ 7: ค่าความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของเจลว่านหางจระเข้จากใบต่างๆกัน

| ตัวอย่างว่านหางจระเข้ | ความหนืด (cps) | ความเป็นกรด-ด่าง |
|---|---|---|
| 1 | 1.54 | 4.72 |
| 2 | 1.55 | 4.68 |
| 3 | 1.51 | 4.69 |
| 4 | 1.51 | 4.69 |
| 5 | 1.52 | 4.71 |
| 6 | 1.51 | 4.70 |
| 7 | 1.54 | 4.68 |
| 8 | 1.53 | 4.65 |
| 9 | 1.55 | 4.70 |
| 10 | 1.51 | 4.71 |
| ค่าเฉลี่ย | 1.53 | 4.69 |
| ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 1.02 | 0.02 |
| ร้อยละของสัมประสิทธิ์แห่งการกระจาย | 1.07 | 0.43 |

ตารางที่ 8 สรุปลักษณะภายนอกของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆที่เตรียมขึ้น จะเห็นได้ว่า ตำรับเจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์ในรูปผงแห้งมีสีคล้ำ มีความละเอียดปานกลาง การเติม carrier คือ acacia และ polyvinylpyrrolidone (K30) ลงไป จะทำให้ผงเจลมีความละเอียดมากขึ้น ตำรับที่มี polyvinylpyrrolidone (K30) 1.5% w/v และ 2.0% w/v มีความละเอียดมากที่สุด ส่วนตำรับที่มี methylcellulose (15cps.) หรือ (25cps.) จะมีความละเอียดปานกลาง ตำรับที่มี polyvinylpyrrolidone (K90) และ Poloxamer จะมีลักษณะผงเจลหยาบ คล้ายคลึงกับลักษณะของตัว carrier เอง สำหรับ carrier ที่เติมลงไปแล้วทำให้เจลผงแห้งมีสีคล้ำลดลง ได้แก่ acacia, methylcellulose และ polyvinylpyrrolidone (K30) โดยเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งที่เติม methylcellulose (15cps.) จะมีสีขาวที่สุด ส่วนตำรับที่เติม sodium carboxymethylcellulose (low viscosity), polyvinylpyrrolidone (K90) และ Poloxamer ยังคงมีสีคล้ำคล้ายคลึงกับเจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์ในรูปผงแห้ง ในการทดลองนี้ คุณลักษณะในด้านความขาว และ ความละเอียดของตำรับขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของ carrier โดยถ้า carrier ที่ใช้มีความขาว และ ความละเอียดมากกว่า จะทำให้ตำรับผงเจลว่านหางจระเข้ผสม carrier มีความขาว และ ความละเอียดมากกว่าด้วย

สำหรับการละลายน้ำของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ พบว่ามีความสามารถในการละลายน้ำใกล้เคียงกันคือ 1 กรัมของผงเจลต่อปริมาตรของน้ำ 3-4 มิลลิลิตร (ตารางที่-9) ยกเว้น ตำรับที่มี methylcellulose (15cps.) (ประมาณ 1 กรัมต่อ 7.5 มิลลิลิตร) และ methylcellulose (25cps.) (ประมาณ 1 กรัมต่อ 9.0 มิลลิลิตร) เป็น carrier เนื่องจาก methylcellulose จะพองตัวในน้ำ เกิดเป็น colloidal suspension จึงต้องใช้น้ำปริมาณมากและเวลาในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันนานกว่าตำรับอื่น ๆ

สำหรับค่าความหนืด และความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ที่เตรียมขึ้น (ตารางที่ 10) พบว่าตำรับผงแห้งที่ให้สารละลายเจลที่มีความหนืดอยู่ในช่วงที่ต้องการคือ ตำรับที่ผสม acacia 1.0% w/v, methylcellulose (15cps.) 0.6% w/v, polyvinylpyrrolidone (K30) 2.0%, polyvinylpyrrolidone (K90) 0.5% w/v และ Poloxamer 2.0% w/v โดยค่าความหนืดของตำรับเหล่านี้อยู่ในช่วง ± 10% ของค่าเฉลี่ยของเจลว่านหาง-จระเข้สด (1.53±10% คิดเป็นช่วง 1.377-1.683 cps) สำหรับค่าความเป็นกรดด่างนั้น ทุกตำรับมีค่าอยู่ในช่วงที่ต้องการ (4.69±10% คิดเป็นช่วง 4.221-5.159)

จากผลการทดลองในตารางที่ 8, 9 และ 10 ดังกล่าวข้างต้น จึงได้เลือกตำรับเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งผสม carrier ที่มีลักษณะดีตามต้องการ ได้ดังนี้

- เจลว่านหางจระเข้ผสม acacia 1.0% w/v
- เจลว่านหางจระเข้ผสม polyvinylpyrrolidone (K30) 2.0% w/v
- เจลว่านหางจระเข้ผสม methylcellulose (15cps) 0.6% w/v

ตำรับเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาความคงสภาพทางกายภาพ เคมี และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

ตารางที่ 8: ลักษณะภายนอก ของผงเจลว่านหางจระเข้ ตำรับต่างๆ

| ตำรับ | หลังออกจากไลโอฟิไลเซอร์ | ความละเอียดหลังผ่านการบด | ความขาวของผงเจล ** |
|---|---|---|---|
| 1. เจลบริสุทธิ์ | แผ่นโปร่งพอง ค่อนข้างแข็ง | + + + | + |
| 2.เจลผสม PA* | แผ่นโปร่งพอง ค่อนข้างแข็ง | + + + | + + |
| 3. เจลผสม acacia | | | |
| - 0.5% w/v | แผ่นโปร่งฟู | + + + + | + + |
| - 1.0% w/v | แผ่นโปร่งฟู | + + + + | + + + |
| - 1.5 %w/v | แผ่นโปร่งฟู | + + + + | + + + |
| 4. เจลผสม MC (15cps) | | | |
| - 0.5% w/v | แผ่นเหนียวหยุ่นฟู | + + + | + + + + + |
| - 0.6% w/v | แผ่นเหนียวหยุ่นฟู | + + + | + + + + + |
| - 0.7% w/v | แผ่นเหนียวหยุ่นฟู | + + | + + + + + |
| 5. เจลผสม MC (25cps) | | | |
| - 0.5% w/v | แผ่นเหนียวหยุ่นฟู | + + | + + + |
| 6. เจลผสม SCMC (LV) | | | |
| - 0.5% w/v | แผ่นโปร่งฟู | + + | + |
| 7. เจลผสม PVP (K30) | | | |
| - 0.5% w/v | แผ่นโปร่งพอง | + + + | + + |
| - 1.0% w/v | แผ่นโปร่งพอง ค่อนข้างแข็ง | + + + + | + + + |
| - 1.5% w/v | แผ่นโปร่งพอง ค่อนข้างแข็ง | + + + + + | + + + + |
| - 2.0% w/v | แผ่นโปร่งพอง แข็ง | + + + + + | + + + + |
| 8.เจลผสม PVP (K90) | | | |
| - 0.5% w/v | ร่างแหโปร่ง แข็ง ค่อนข้างใส | + | + |
| 9. เจลผสม Poloxamer | | | |
| - 0.5% w/v | แผ่นโปร่งฟู | + + + | + |
| - 1.0% w/v | แผ่นโปร่งฟู | + + | + + |
| - 2.0% w/v | แผ่นโปร่งฟู | + + | + + |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05w/v

** จำนวนบวกที่มาก หมายถึงผงเจลมีสีขาวมาก

ตารางที่ 9: ความสามารถในการละลายน้ำ ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ

| ตำรับ | ความสามารถในการละลายน้ำ (g:ml)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | $\bar{X}$±SD |
| 1. เจลบริสุทธิ์ | 1:2.94 | 1:2.94 | 1:2.94 | 1:2.94±0.00 |
| 2.เจลผสม PA* | 1:3.33 | 1:3.33 | 1:3.33 | 1:3.33±0.00 |
| 3. เจลผสม acacia | | | | |
| - 0.5% w/v | 1:2.94 | 1:2.94 | 1:2.94 | 1:2.94±0.00 |
| - 1.0% w/v | 1:3.33 | 1:3.33 | 1:3.33 | 1:3.33±0.00 |
| - 1.5 %w/v | 1:3.33 | 1:3.36 | 1:3.33 | 1:3.34±0.02 |
| 4. เจลผสม MC (15cps) | | | | |
| - 0.5% w/v | 1:7.18 | 1:7.18 | 1:7.26 | 1:7.23±0.05 |
| - 0.6% w/v | 1:7.41 | 1:7.46 | 1:7.38 | 1:7.42±0.04 |
| - 0.7% w/v | 1:7.78 | 1:7.78 | 1:7.78 | 1:7.78±0.00 |
| 5. เจลผสม MC (25cps) | | | | |
| - 0.5% w/v | 1:9.18 | 1:9.18 | 1:9.18 | 1:9.18±0.00 |
| 6. เจลผสม SCMC (LV) | | | | |
| - 0.5% w/v | 1:3.08 | 1:3.08 | 1:3.08 | 1:3.08±0.00 |
| 7. เจลผสม PVP (K30) | | | | |
| - 0.5% w/v | 1:2.98 | 1:2.98 | 1:2.98 | 1:2.98±0.00 |
| - 1.0% w/v | 1:2.96 | 1:2.96 | 1:2.96 | 1:2.96±0.00 |
| - 1.5% w/v | 1:2.85 | 1:2.85 | 1:2.85 | 1:2.85±0.00 |
| - 2.0% w/v | 1:2.83 | 1:2.83 | 1:2.83 | 1:2.83±0.00 |
| 8.เจลผสม PVP (K90) | | | | |
| - 0.5% w/v | 1:3.33 | 1:3.33 | 1:3.33 | 1:3.33±0.00 |
| 9. เจลผสม Poloxamer | | | | |
| - 0.5% w/v | 1:3.19 | 1:3.19 | 1:3.19 | 1:3.19±0.00 |
| - 1.0% w/v | 1:3.62 | 1:3.62 | 1:3.62 | 1:3.62±0.00 |
| - 2.0% w/v | 1:4.06 | 1:4.06 | 1:4.06 | 1:4.06±0.00 |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

** หมายถึง ความสามารถในการละลายน้ำ โดยคิดเทียบเป็น 1 กรัมของผงเจลต่อมิลลิลิตรของน้ำที่ใช้ในการละลาย

ตารางที่ 10: ค่าความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ

| ตำรับ | ความหนืด (cps) | | | | ความเป็นกรด-ด่าง | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่3 | $\bar{X}$±SD | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่3 | $\bar{X}$±SD |
| 1. เจลบริสุทธิ์ | 1.35 | 1.36 | 1.36 | 1.35 ±0.01 | 4.66 | 4.66 | 4.66 | 4.66 ±0.00 |
| 2.เจลผสม PA* | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 ±0.01 | 5.14 | 5.14 | 5.14 | 5.14 ±0.00 |
| 3. เจลผสม acacia | | | | | | | | |
| - 0.5% w/v | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 ±0.00 | 4.72 | 4.71 | 4.71 | 4.71 ±0.01 |
| - 1.0% w/v | 1.52 | 1.52 | 1.52 | 1.52 ±0.00 | 4.71 | 4.71 | 4.71 | 4.71 ±0.00 |
| - 1.5 %w/v | 1.69 | 1.69 | 1.69 | 1.69 ±0.01 | 4.74 | 4.74 | 4.74 | 4.74 ±0.00 |
| 4. เจลผสม MC (15cps) | | | | | | | | |
| - 0.5% w/v | 1.37 | 1.37 | 1.37 | 1.37 ±0.01 | 4.86 | 4.86 | 4.86 | 4.86 ±0.00 |
| - 0.6% w/v | 1.55 | 1.56 | 1.56 | 1.56 ±0.01 | 4.85 | 4.84 | 4.84 | 4.84 ±0.01 |
| - 0.7% w/v | 1.83 | 1.83 | 1.83 | 1.83 ±0.00 | 4.85 | 4.85 | 4.85 | 4.85 ±0.00 |
| 5. เจลผสม MC (25cps) | | | | | | | | |
| - 0.5% w/v | 2.13 | 2.13 | 2.13 | 2.13 ±0.01 | 4.54 | 4.54 | 4.54 | 4.54 ±0.00 |
| 6. เจลผสม SCMC (LV) | | | | | | | | |
| - 0.5% w/v | 1.74 | 1.74 | 1.74 | 1.74 ±0.00 | 4.90 | 4.91 | 4.91 | 4.91 ±0.01 |

ตารางที่ 10: ค่าความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ (ต่อ)

| ตำรับ | ความหนืด (cps) | | | | ความเป็นกรด-ด่าง | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่3 | $\bar{X}$±SD | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่3 | $\bar{X}$±SD |
| 7. เจลผสม PVP (K30) | | | | | | | | |
| - 0.5% w/v | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 ±0.00 | 4.69 | 4.69 | 4.69 | 4.69 ±0.00 |
| - 1.0% w/v | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 ±0.01 | 4.69 | 4.70 | 4.71 | 4.70 ±0.01 |
| - 1.5% w/v | 1.37 | 1.37 | 1.38 | 1.37 ±0.01 | 4.72 | 4.72 | 4.72 | 4.72 ±0.00 |
| - 2.0% w/v | 1.40 | 1.41 | 1.41 | 1.41 ±0.01 | 4.75 | 4.76 | 4.76 | 4.76 ±0.01 |
| 8.เจลผสม PVP (K90) | | | | | | | | |
| - 0.5% w/v | 1.58 | 1.58 | 1.58 | 1.58 ±0.00 | 4.88 | 4.88 | 4.88 | 4.88 ±0.00 |
| 9. เจลผสม Poloxamer | | | | | | | | |
| - 0.5% w/v | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 ±0.00 | 4.80 | 4.79 | 4.77 | 4.79 ±0.02 |
| - 1.0% w/v | 1.37 | 1.36 | 1.36 | 1.36 ±0.01 | 4.82 | 4.82 | 4.83 | 4.82 ±0.01 |
| - 2.0% w/v | 1.41 | 1.41 | 1.41 | 1.41 ±0.00 | 4.86 | 4.86 | 4.86 | 4.86 ±0.00 |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v +EDTA 0.05% w/v

## 3. การศึกษาความคงสภาพทางกายภาพ เคมี และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ของเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งตำรับต่าง ๆ

ตำรับเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งที่นำมาศึกษาความคงสภาพ คือ

- เจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งบริสุทธิ์
- เจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L® 0.2% v/v, sodium metabisulfite 0.1% w/v และ EDTA 0.05% w/v
- เจลว่านหางจระเข้ ผสม acacia 1.0% w/v
- เจลว่านหางจระเข้ ผสม polyvinylpyrrolidone (K30) 2.0% w/v
- เจลว่านหางจระเข้ ผสม methylcellulose (15cps) 0.6% w/v

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาความคงสภาพของผงเจลว่านหางจระเข้แต่ละตำรับ รวมทั้งมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของ Bronidox-L® 0.2% v/v, sodium metabisulfite 0.1% w/v และ EDTA 0.05% w/v ซึ่งเป็นสารถนอม สารต้านออกซิเดชัน และ chelating agent ตามลำดับ ต่อความคงสภาพของตำรับ และผลของ carrier คือ acacia 1.0%w/v, polyvinylpyrrolidone (K30) 2.0% w/v, methylcellulose (15cps) 0.6% w/v ต่อความคงสภาพของตำรับด้วย โดยการศึกษาความคงสภาพนี้ ได้รวมถึงความคงสภาพทางกายภาพ ทางเคมี และการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์

### 3.1 การศึกษาความคงสภาพทางกายภาพ

การศึกษาความคงสภาพทางกายภาพ ทำโดยการเก็บตำรับเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งที่ต้องการศึกษา ที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของ ความละเอียดและความขาวของผงเจล, ปริมาณน้ำในตำรับ, ความสามารถในการละลายน้ำ, ความเป็นกรด-ด่าง และความหนืด

จากตารางที่ 11 และ 12 จะเห็นได้ว่าเมื่อเก็บเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งตำรับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้องในขวดสีชาปิดสนิท เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ความละเอียดและความขาวของผงเจล ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปในทุกตำรับ ส่วนปริมาณน้ำในตำรับ (ตารางที่ 13

และภาพที่ 20) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไป โดยในแต่ละตำรับมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่แตกต่างกันในระยะเวลา 6 เดือนที่ทำการศึกษา ซึ่งหากเรียงลำดับตำรับที่มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจากมากไปน้อยจะได้ลำดับดังนี้ เจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งผสม MC (15cps.) 0.6% w/v, เจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งบริสุทธิ์, เจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งผสม Bronidox-L® 0.2% v/v, sodium metabisulfite 0.1% w/v และ EDTA 0.05%, เจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งผสม acacia 1.0% w/v และเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งผสม PVP (K30) 2.0% w/v

สำหรับความสามารถในการละลายน้ำ, ความเป็นกรด-ด่าง และความหนืด พบว่าในทุกตำรับมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ambinent temperature) เป็นเวลา 6 เดือน (ตารางที่ 14, 15 และ 16)

จากการศึกษาความคงสภาพทางกายภาพของเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งตำรับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน อาจสรุปได้ว่า ทุกตำรับยังมีความคงสภาพดี โดยมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับลักษณะของตำรับเมื่อเตรียมเสร็จใหม่ ๆ ยกเว้นปริมาณความชื้นซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 11: ความละเอียดของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | ความละเอียดของผงเจลว่านหางจระเข้** ที่ระยะเวลาต่าง ๆ (เดือน) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| เจลบริสุทธิ์ | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + |
| เจลผสม PA* | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | + + + + | + + + + | + + + + | + + + + | + + + + | + + + + | + + + + |
| เจลผสมPVP (K30) 2.0%w/v | + + + + + | + + + + + | + + + + + | + + + + + | + + + + + | + + + + + | + + + + + |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

** จำนวนบวกที่มาก หมายถึง ผงเจลมีความละเอียดมาก

ตารางที่ 12: ความขาวของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | ความขาวของผงเจลว่านหางจระเข้**ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| เจลบริสุทธิ์ | + | + | + | + | + | + | + |
| เจลผสม PA* | + + | + + | + + | + + | + + | + + | + + |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + | + + + |
| เจลผสมPVP (K30) 2.0%w/v | + + + + | + + + + | + + + + | + + + + | + + + + | + + + + | + + + + |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | + + + + + | + + + + + | + + + + + | + + + + + | + + + + + | + + + + + | + + + + + |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

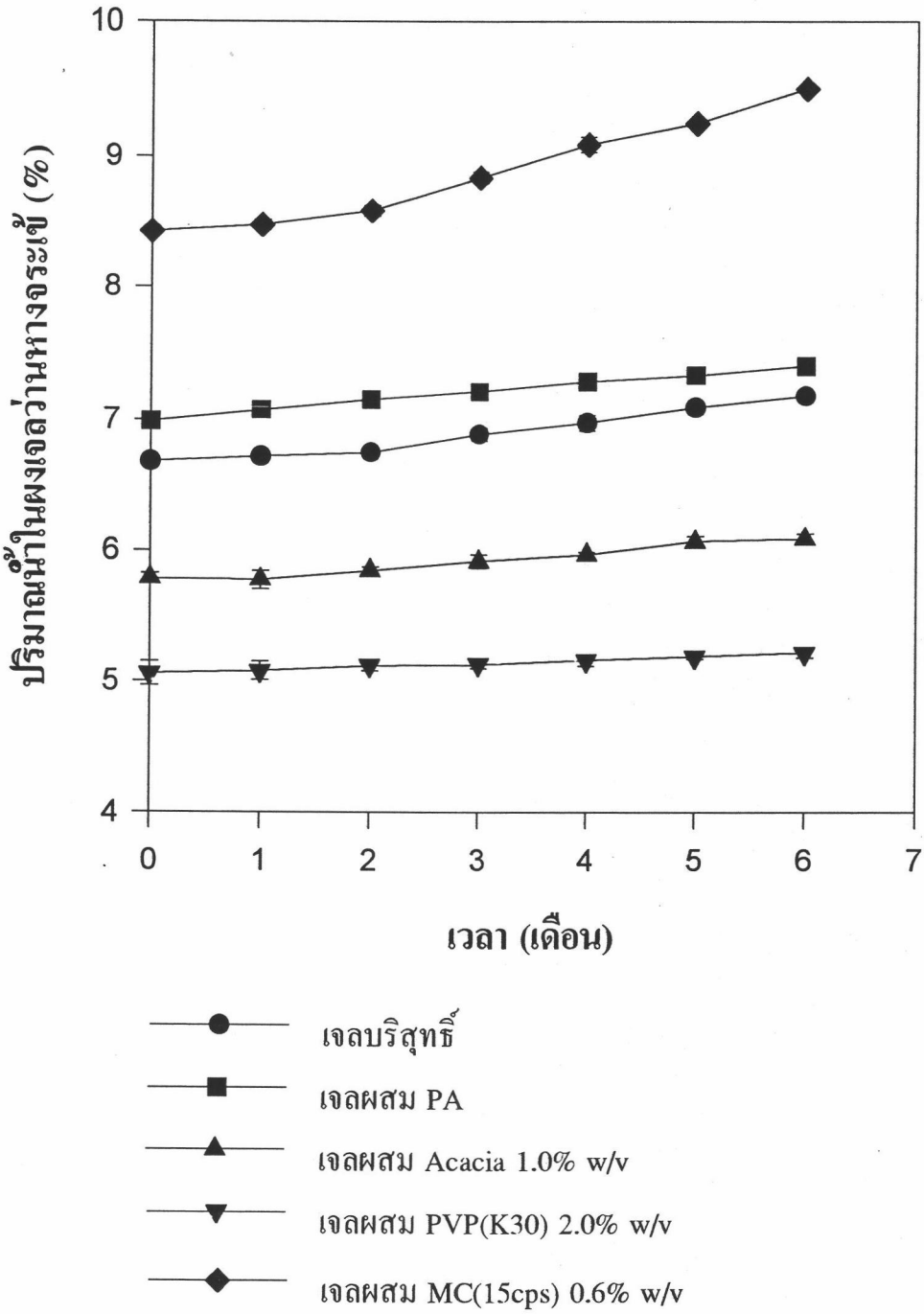
** จำนวนบวกที่มาก หมายถึง ผงเจลมีสีขาวมาก

ตารางที่ 13: ปริมาณน้ำในตำรับที่เพิ่มขึ้น ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | ปริมาณน้ำในผงเจลว่านหางจระเข้ (%)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | | | ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในระยะเวลา 6 เดือน |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | (%) |
| เจลบริสุทธิ์ | 6.68 ±0.03 | 6.72 ±0.03 | 6.75 ±0.02 | 6.89 ±0.05 | 6.98 ±0.06 | 7.10 ±0.03 | 7.19 ±0.03 | 0.51 |
| เจลผสม PA* | 6.99 ±0.04 | 7.08 ±0.02 | 7.16 ±0.02 | 7.22 ±0.03 | 7.30 ±0.03 | 7.35 ±0.03 | 7.42 ±0.04 | 0.43 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 5.79 ±0.04 | 5.78 ±0.07 | 5.85 ±0.03 | 5.92 ±0.05 | 5.97 ±0.02 | 6.07 ±0.04 | 6.09 ±0.04 | 0.30 |
| เจลผสมPVP (K30) 2.0%w/v | 5.06 ±0.09 | 5.08 ±0.07 | 5.12 ±0.04 | 5.13 ±0.03 | 5.16 ±0.04 | 5.19 ±0.02 | 5.22 ±0.04 | 0.16 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 8.43 ±0.03 | 8.48 ±0.04 | 8.59 ±0.04 | 8.84 ±0.04 | 9.09 ±0.06 | 9.25 ±0.03 | 9.51 ±0.03 | 1.08 |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05%w/v

** หมายถึง mean±SD ; n = 3




ภาพที่ 20: ปริมาณน้ำในตำรับที่เพิ่มขึ้น ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 14: ความสามารถในการละลายน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | ความสามารถในการละลายน้ำ (g:ml)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| เจลบริสุทธิ์ | 1:3.06 ±0.00 | 1:3.06 ±0.00 | 1:3.06 ±0.00 | 1:3.06 ±0.00 | 1:3.06 ±0.00 | 1:3.06 ±0.00 | 1:2.93 ±0.22 |
| เจลผสม PA* | 1:3.20 ±0.00 | 1:3.20 ±0.00 | 1:3.09 ±0.18 | 1:3.20 ±0.00 | 1:3.20 ±0.00 | 1:3.20 ±0.00 | 1:3.20 ±0.00 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 1:3.10 ±0.00 | 1:3.10 ±0.00 | 1:3.10 ±0.00 | 1:3.10 ±0.00 | 1:3.05 ±0.09 | 1:3.10 ±0.01 | 1:3.10 ±0.01 |
| เจลผสมPVP (K30) 2.0%w/v | 1:2.82 ±0.00 | 1:2.82 ±0.00 | 1:2.82 ±0.00 | 1:2.82 ±0.00 | 1:2.82 ±0.00 | 1:2.82 ±0.00 | 1:2.82 ±0.00 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 1:7.19 ±0.00 | 1:7.19 ±0.00 | 1:7.19 ±0.00 | 1:6.99 ±0.00 | 1:7.06 ±0.11 | 1:6.99 ±0.00 | 1:6.99 ±0.00 |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

** หมายถึง ความสามารถในการละลายน้ำ โดยคิดเทียบเป็น 1 กรัม ของผงเจลต่อมิลลิลิตรของน้ำที่ใช้ในการละลาย (แสดงค่าในรูป mean±SD; n=3)

ตารางที่ 15: ความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงไป ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | ความเป็นกรด-ด่าง** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| เจลบริสุทธิ์ | 4.64 ±0.00 | 4.64 ±0.00 | 4.65 ±0.00 | 4.64 ±0.00 | 4.64 ±0.01 | 4.64 ±0.00 | 4.64 ±0.00 |
| เจลผสม PA* | 5.13 ±0.00 | 5.12 ±0.01 | 5.13 ±0.18 | 5.13 ±0.00 | 5.13 ±0.01 | 5.13 ±0.00 | 5.13 ±0.00 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 4.72 ±0.01 | 4.73 ±0.00 | 4.72 ±0.00 | 4.72 ±0.00 | 4.72 ±0.00 | 4.72 ±0.00 | 4.72 ±0.00 |
| เจลผสมPVP (K30) 2.0%w/v | 4.76 ±0.00 | 4.76 ±0.00 | 4.76 ±0.01 | 4.76 ±0.00 | 4.75 ±0.01 | 4.76 ±0.00 | 4.75 ±0.01 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 4.84 ±0.00 | 4.84 ±0.00 | 4.84 ±0.01 | 4.81 ±0.01 | 4.84 ±0.00 | 4.83 ±0.01 | 4.84 ±0.00 |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

** หมายถึง mean±SD; n=3

ตารางที่ 16: ความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไป ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | ความหนืด** (cps) ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| เจลบริสุทธิ์ | 1.37 ±0.01 | 1.35 ±0.00 | 1.36 ±0.01 | 1.36 ±0.01 | 1.37 ±0.00 | 1.37 ±0.00 | 1.36 ±0.00 |
| เจลผสม PA* | 1.34 ±0.00 | 1.35 ±0.01 | 1.35 ±0.00 | 1.35 ±0.00 | 1.33 ±0.01 | 1.34 ±0.00 | 1.34 ±0.00 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 1.53 ±0.01 | 1.53 ±0.01 | 1.53 ±0.00 | 1.53 ±0.00 | 1.53 ±0.00 | 1.52 ±0.01 | 1.53 ±0.01 |
| เจลผสมPVP (K30) 2.0%w/v | 1.44 ±0.00 | 1.44 ±0.00 | 1.43 ±0.02 | 1.44 ±0.01 | 1.44 ±0.01 | 1.44 ±0.00 | 1.43 ±0.00 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 1.57 ±0.00 | 1.57 ±0.00 | 1.57 ±0.00 | 1.56 ±0.00 | 1.57 ±0.02 | 1.57 ±0.01 | 1.56 ±0.00 |

* หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

** หมายถึง mean±SD; n=3

## 3.2 การศึกษาความคงสภาพทางเคมี

การศึกษาความคงสภาพทางเคมีในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองโดยการเก็บเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งตำรับต่าง ๆ ทั้งในสภาพเร่งคือ ที่อุณหภูมิ 45 °ซ, ความชื้นสัมพัทธ์ 75% เป็นเวลา 4 เดือน (ตามกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, กระทรวงสาธารณสุข) และสภาพอื่น ๆ คือ ที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) และในตู้เย็น การทดลองในหลายสภาพดังกล่าว ทำให้ต้องใช้เจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งตำรับต่าง ๆ ในจำนวนมาก ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถเตรียมทุกตำรับพร้อมกันได้ เจลว่านหางจระเข้สดที่ใช้ในการเตรียมแต่ละตำรับจึงต่างชุดกัน ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าการใช้เจลว่านหางจระเข้สดต่างชุดกันจะไม่มีผลในการเปรียบเทียบความคงสภาพระหว่างตำรับ จึงได้ทำการทดลองเสริมการทดลองในสภาพเร่ง โดยในการทดลองนี้ตำรับต่าง ๆ ถูกเตรียมจากเจลว่านหาง-จระเข้ชุดเดียวกัน แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณกลูโคส แมนโนส และกรดอะมิโนเริ่มต้นในแต่ละตำรับว่าเท่ากันหรือไม่ ผลจากการทดลองที่ได้จะสามารถประเมินผลของสารอื่น ๆ นอกจากเจลว่านหางจระเข้ที่เติมลงในตำรับต่อปริมาณกลูโคส แมนโนส และกรดอะมิโนของเจลว่านหางจระเข้ จากนั้นจึงเก็บไว้ในสภาพเร่ง 2 เดือนก่อนที่จะวิเคราะห์หาปริมาณสารต่าง ๆ อีกครั้งหนึ่งเพื่อสนับสนุนการทดลองในสภาพเร่งข้างต้น

### 3.2.1 การศึกษาความคงสภาพทางเคมีในสภาพเร่ง

ตารางที่ 17: ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดอะมิโนในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* โดยใช้เจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกัน

| กรดอะมิโน | ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดอะมิโน (nmole/g)** ในตำรับต่าง ๆ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | เจลบริสุทธิ์ | เจลผสม PA*** | เจลผสม acacia 1.0% w/v | เจลผสม PVP 2.0% w/v | เจลผสม MC 0.6% w/v |
| Glu | 487.46±18.21 | 119.86±5.47 | 476.50±20.57 | 482.76±13.00 | 484.95±16.67 |
| Ser | 524.90±21.61 | 167.03±16.23 | 520.26±9.70 | 518.78±14.62 | 521.44±37.89 |
| His | 1871.70±79.85 | 478.66±28.66 | 1817.02±142.62 | 1793.96±112.77 | 1865.04±152.84 |
| Gly | 185.97±6.81 | 48.08±2.81 | 180.67±14.88 | 184.34±10.21 | 184.53±16.88 |
| Arg | 419.23±14.70 | 189.85±16.10 | 421.97±12.96 | 417.20±7.73 | 427.82±26.73 |
| Thr | 187.32±8.31 | 71.41±2.31 | 181.32±8.27 | 189.16±13.47 | 196.84±20.50 |
| Ala | 835.87±9.70 | 483.53±30.20 | 838.37±24.51 | 835.92±18.09 | 811.68±32.00 |
| Tyr | 180.28±3.55 | 97.17±6.59 | 189.19±14.41 | 178.59±16.14 | 178.89±7.31 |
| Phe | 537.05±41.59 | 351.85±28.98 | 564.51±24.60 | 556.51±38.39 | 560.58±16.05 |
| Ile | 651.73±10.20 | 486.38±51.49 | 669.25±26.37 | 647.48±48.52 | 661.03±35.96 |
| Leu | 918.34±14.43 | 557.09±30.68 | 882.18±8.62 | 881.26±15.83 | 890.84±25.78 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n=3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05%w/v

ตารางที่ 18: ความเข้มข้นของกรดอะมิโนในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* โดยใช้เจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 2 เดือน

| กรดอะมิโน | ความเข้มข้นของกรดอะมิโน (nmole/g)** ในตำรับต่าง ๆ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | เจลบริสุทธิ์ | เจลผสม PA*** | เจลผสม acacia 1.0% w/v | เจลผสม PVP 2.0% w/v | เจลผสม MC 0.6% w/v |
| Glu | 188.77±8.46 | 23.66±1.37 | 208.52±11.57 | 247.77±8.93 | 161.65±3.64 |
| Ser | 235.93±17.02 | 45.86±1.17 | 244.05±6.56 | 264.99±9.56 | 204.81±11.25 |
| His | 570.61±10.66 | 74.81±2.23 | 683.69±14.51 | 757.63±19.35 | 428.87±21.11 |
| Gly | 59.93±2.48 | 4.26±0.54 | 54.70±2.93 | 80.39±1.92 | 41.56±3.74 |
| Arg | 102.00±6.43 | 13.34±1.05 | 163.63±4.44 | 172.66±5.63 | 93.57±4.26 |
| Thr | 61.62±2.26 | 11.97±0.61 | 64.09±1.69 | 93.07±2.26 | 58.84±1.38 |
| Ala | 374.14±7.55 | 149.91±4.44 | 501.97±21.22 | 518.70±25.31 | 338.11±16.75 |
| Tyr | 40.46±1.16 | 4.66±0.42 | 60.28±1.96 | 65.99±3.04 | 26.46±1.40 |
| Phe | 26.78±1.74 | 12.02±0.77 | 99.06±9.69 | 102.39±3.22 | 28.71±1.11 |
| Ile | 98.74±1.23 | 22.80±0.69 | 211.48±8.16 | 221.54±9.32 | 109.84±5.85 |
| Leu | 108.94±4.03 | 23.18±1.23 | 170.83±3.13 | 231.39±16.96 | 109.47±4.75 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n=3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 19: ความเข้มข้นของกลูโคส และแมนโนส ในโพลิแซคคาไรด์ในผงเจลว่านหาง-จระเข้ตำรับต่าง ๆ* โดยใช้เจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45°ซ, 75%RH เป็นเวลา 2 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของกลูโคส (mg/g)** | | ความเข้มข้นของแมนโนส (mg/g)** | |
|---|---|---|---|---|
| | 0 เดือน | 2 เดือน | 0 เดือน | 2 เดือน |
| เจลบริสุทธิ์ | 30.41±1.68 | 10.38±0.47 | 58.24±1.28 | 41.73±0.51 |
| เจลผสม PA*** | 29.71±1.90 | 2.69±0.38 | 61.15±2.54 | 23.32±0.90 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 30.69±1.26 | 14.70±0.40 | 61.65±2.12 | 43.95±2.34 |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | 28.74±1.25 | 16.15±1.42 | 60.50±1.86 | 44.27±0.86 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 29.63±1.10 | 9.69±0.42 | 61.02±3.63 | 34.09±1.04 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

การศึกษาผลของ carrier และสารอื่น ๆ ที่เติมลงไปในตำรับต่อปริมาณสารสำคัญ คือ กลูโคส แมนโนส ในโพลิแซคคาไรด์และกรดอะมิโนในเจลว่านหางจระเข้ ดำเนินการทดลองโดยเตรียมทุกตำรับจากเจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกัน ดังนั้นถ้าสารต่าง ๆที่เติมลงไปมีผลต่อสารสำคัญในเจลว่านหางจระเข้ ผลในการวิเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสำคัญในตำรับนั้นควรจะไม่เท่ากับผงเจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์ การเปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นของกลูโคส แมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ และกรดอะมิโนในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆว่าแตกต่างกันหรือไม่ ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างของตำรับแต่ละคู่โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test จากผลการทดลอง (ตารางที่ 19) และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของกลูโคส แมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ของผงเจลว่าน

หางจระเข้ทุกตำรับแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าสารต่าง ๆที่เติมลงไปในตำรับไม่มีผลต่อกลูโคสและแมนโนสของโพลิแซคคาไรด์ในเจลว่านหางจระเข้ ส่วนผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดอะมิโนทั้ง 11 ชนิด (ตารางที่ 17 และภาคผนวก ง) คือ glutamic acid, serine, histidine, glycine, arginine, threonine, alanine, tyrosine, phenylalanine, isoleucine และ leucine ให้ผลเหมือนกันคือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดอะมิโนในทุกตำรับไม่เท่ากันเมื่อใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว จากนั้นจึงวิเคราะห์ว่าตำรับคู่ใดมีความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันบ้างโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test พบว่าผงเจลว่านหางจระเข้ทุกตำรับมีความเข้มข้นของกรดอะมิโนเริ่มต้นเท่ากันยกเว้น ตำรับที่ผสม Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v จะมีความเข้มข้นต่ำกว่าตำรับอื่น ๆ ทุกตำรับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่า acacia 1.0% w/v, methylcellulose (15cps) 0.6% w/v และ polyvinylpyrrolidone (K30) 2.0% w/v ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของกรดอะมิโนในเจลว่านหางจระเข้

การที่ตำรับผงเจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v มีความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดอะมิโนต่ำกว่าตำรับผงเจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์ แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างกรดอะมิโนกับสารต่าง ๆเหล่านี้ ซึ่งมีผลให้ปริมาณกรดอะมิโนลดลง จากการค้นคว้ายังไม่พบข้อมูลซึ่งอธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ แต่ในประเทศเยอรมันมีงานวิจัยที่ศึกษาความคงสภาพของสารละลายกรดอะมิโน (Seydel and Voigt,1972 ; Seydel and Voigt,1974) ซึ่งพบว่า กรดอะมิโนที่ทำการศึกษาคือ phenylalnine, histidine, methionine, lysine, threonine, glycine, valine, isoleucine และ tryptophan จะมีปริมาณลดลงเมื่อเก็บไว้ในสภาพที่มีออกซิเจน และ sodium metabisulfite อยู่ร่วมกัน สำหรับ methionine และ tryptophan มีการศึกษาถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งยังไม่สามารถสรุปได้แน่นอน กล่าวเพียงมีหลายวิถีทาง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ปริมาณ sodium metabisulfite และความเข้มข้นของออกซิเจน ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่า กรดอะมิโนในเจลว่านหางจระเข้เกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกับงานวิจัยดังกล่าว ทำให้ปริมาณกรดอะมิโนที่เวลาเริ่มต้นของตำรับเจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L®0.2v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v ต่ำกว่าตำรับอื่น ๆ

ผลการทดลองในตารางที่ 17 และ 19 นอกจากจะบอกให้ทราบว่า ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสำคัญในแต่ละตำรับเท่ากันหรือไม่แล้ว ยังสามารถบอกให้ทราบว่ากรดอะมิโนที่มีปริมาณมากในเจลว่านหางจระเข้ได้แก่ histidine, leucine และ alanine ส่วนกรดอะมิโนที่มีจำนวนน้อย ได้แก่ glycine, threonine และ tyrosine สำหรับปริมาณน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ (กลูโคแมนแนน) จะมีปริมาณแมนโนสต่อกลูโคสเป็น 2:1 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในเจลว่านหางจระเข้จะมีปริมาณแมนโนสมากกว่ากลูโคส แต่อัตราส่วนไม่แน่นอนโดยปริมาณสารในเจลว่านหางจระเข้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายอย่าง ทั้งภูมิอากาศ ดิน น้ำ ฤดู อายุ และอื่น ๆ ทำให้ปริมาณสารในแต่ละใบแตกต่างกัน

เมื่อเก็บเจลว่านหางจระเข้ในรูปผงแห้งตำรับต่าง ๆ ที่เตรียมจากเจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกันในสภาพเร่งคือ ที่อุณหภูมิ 45 °ซ, ความชื้นสัมพัทธ์ 75% พบว่าสีของตำรับเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำขึ้นภายใน 1 เดือน โดยตำรับที่มีความคล้ำมากที่สุดคือ ตำรับเจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L®, sodium metabisulfite, และ EDTA รองลงมาคือ เจลผสม MC, เจลผสม acacia และ เจลผสม PVP ตามลำดับ และทุกตำรับจะมีสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อเก็บต่อไป แสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงให้สารประกอบที่มีสีน้ำตาล และปริมาณสารประกอบนี้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ซึ่งปรากฏการณ์นี้บ่งบอกถึงการสูญเสียความคงสภาพทางเคมีของเจลว่านหางจระเข้ ได้มีรายงานว่าการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบในเจลว่านหางจระเข้ อาจเกิดได้ทั้ง (Morsy,1982)

- ปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์
- ปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์

ปฏิกิริยาเคมีแบบที่ใช้เอนไซม์ เกิดขึ้นโดยอาศัยเอนไซม์ภายในเจลว่านหางจระเข้ (Morsy, 1982) และเอนไซม์ที่มีผลต่อการสลายตัวของเจลมากที่สุดคือ peroxidase, oxidase และ catalase โดยเอนไซม์เหล่านี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล, กรดอะมิโน, แทนนิน และแอนทราควิโนน เกิดเป็นสารประกอบที่มีสีน้ำตาล (เกิดการสร้างเม็ดสี หรือเมลานิน) ซึ่งเรียกว่า melanoidin ขึ้นมา ปัจจัยที่มีส่วนช่วยเร่งปฏิกิริยาคือ ความเป็นกรด-ด่าง, อุณหภูมิ, แสง, ออกซิเจน และความชื้น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30-50 °ซ และความชื้นยิ่งสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยายิ่งเพิ่มมากขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีแบบที่ไม่ใช้เอนไซม์ เป็นปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของคาร์โบไฮเดรต (Morsy,1982) ทำให้เกิดสารประกอบพวก highly reactive carbonyl (reactive sugar) ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อไปกับกรดอะมิโน, โปรตีน ในเจลว่านหางจระเข้ เกิดเป็นสารประกอบสีน้ำตาล อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิ แสง และความชื้นเพิ่มขึ้น

ดังนั้นเมื่อเกิดการสูญเสียความคงสภาพทางเคมีของเจลว่านหางจระเข้ จะทำให้ปริมาณสารสำคัญหลายตัวลดลงคือ โพลิแซคคาไรด์ (คาร์โบไฮเดรต) และ กรดอะมิโนต่าง ๆ

จากผลการทดลองเมื่อเก็บผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ที่เตรียมจากเจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกัน ในสภาพเร่งที่อุณหภูมิ 45°ซ, ความชื้นสัมพัทธ์ 75% ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีทั้งแบบที่ใช้เอนไซม์ และไม่ใช้เอนไซม์ เป็นเวลา 2 เดือน (ตารางที่ 18 และ 19) พบว่าปริมาณกลูโคส แมนโนส ในโพลิแซคคาไรด์ และปริมาณกรดอะมิโนลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป โดยปริมาณสารสำคัญในแต่ละตำรับจะเปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกัน

เนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดอะมิโน ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่างๆ เท่ากัน เมื่อใช้เจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกันเตรียมตำรับ (ยกเว้น ตำรับที่มี Bronidox-L®, sodium metabisulfite และ EDTA) จึงเปรียบเทียบความคงสภาพของตำรับทั้ง 4 คือ ผงเจลบริสุทธิ์ เจลผสม acacia, MC และ PVP โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดอะมิโนในผงเจลว่านหางจระเข้ทั้ง 4 ตำรับ ที่เวลา 2 เดือนว่าเท่ากันหรือไม่ในทางสถิติ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นของกรดอะมิโน ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ภาคผนวก จ) ส่วนตำรับเจลผสม Bronidox-L®, sodium metabisulfite และ EDTA จากผลการทดลอง (ตารางที่ 18) พบว่า มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนทั้ง 11 ชนิด ต่ำกว่าตำรับอื่น ๆ เมื่อเก็บไว้ในสภาพเร่งเป็นเวลา 2 เดือน แต่เนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำกว่าตำรับอื่นด้วย จึงไม่นำมาเปรียบเทียบในที่นี้

สำหรับกรดอะมิโนผลการวิเคราะห์ทางสถิติ สรุปได้ดังตารางที่ 20 เมื่อพิจารณากรดอะมิโนชนิดต่าง ๆในภาพรวมแล้ว พบว่ากรดอะมิโนส่วนใหญ่มีความเข้มข้นในตำรับเจลบริสุทธิ์เท่ากับเจลผสม MC และตำรับเจลผสม acacia เท่ากับเจลผสม PVP โดยตำรับเจลบริสุทธิ์กับเจลผสม MC มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนที่เวลา 2 เดือน น้อยกว่าตำรับเจลผสม acacia กับเจลผสม PVP นั่นคือ ตำรับเจลบริสุทธิ์กับเจลผสม MC มีความคงสภาพทางเคมีน้อยกว่าตำรับเจลผสม acacia กับเจลผสม PVP จึงอาจสรุปความคงสภาพทางเคมีของกรดอะมิโนของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ที่เตรียมจากเจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกันในสภาพเร่งเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 2 เดือนได้ดังนี้

(เจลผสม MC = เจลบริสุทธิ์) < (เจลผสม acacia = เจลผสม PVP)

ตารางที่ 20: ผลการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นของกรดอะมิโนแต่ละชนิด ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ โดยใช้เจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกัน ที่เวลา 2 เดือน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

| ชนิดกรดอะมิโน | ความแตกต่างของความเข้มข้นของกรดอะมิโน ในแต่ละตำรับ* |
|---|---|
| Glu | เจลผสม MC < เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |
| Ser | เจลผสม MC < เจลผสม acacia < เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม PVP |
| His | เจลผสม MC ≤ เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |
| Gly | เจลผสม MC < เจลผสม acacia < เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม PVP |
| Arg | เจลผสม MC < เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |
| Thre | เจลผสม MC < เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |
| Ala | เจลผสม MC < เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |
| Tyr | เจลผสม MC < เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |
| Phe | เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม MC < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |
| Ile | เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม MC < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |
| Leu | เจลบริสุทธิ์ < เจลผสม MC < เจลผสม acacia < เจลผสม PVP |

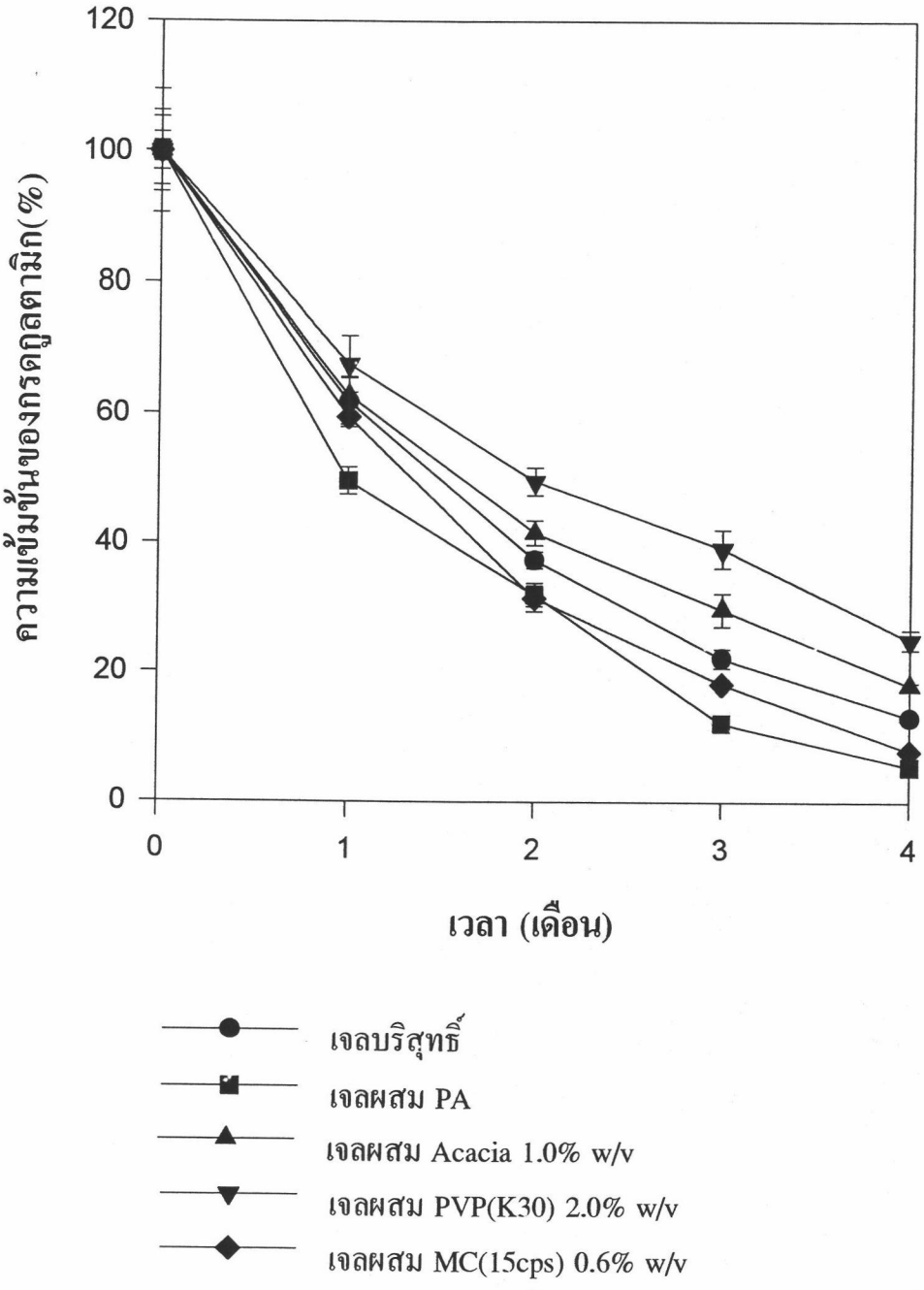
*ตำรับที่มีเส้นโยงถึงกัน แสดงว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ในการศึกษาความคงสภาพของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ซึ่งเตรียมโดยใช้ว่านหางจระเข้ชุดเดียวกัน เมื่อเก็บในสภาพเร่งเป็นเวลา 2 เดือน นั้น เนื่องจากความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ของเจลว่านหางจระเข้ในทุกตำรับเท่ากัน จึงสามารถเปรียบเทียบความคงสภาพทางเคมีของตำรับทั้ง 5 จากความเข้มข้นของกลูโคส และแมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ ที่เวลา 2 เดือน โดยตำรับใดมีความเข้มข้นน้อยแสดงว่ามีความคงสภาพทางเคมีต่ำ การเปรียบเทียบใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และ Duncan's New Multiple Range Test (ภาคผนวก จ) ผลการเปรียบเทียบเป็นดังนี้

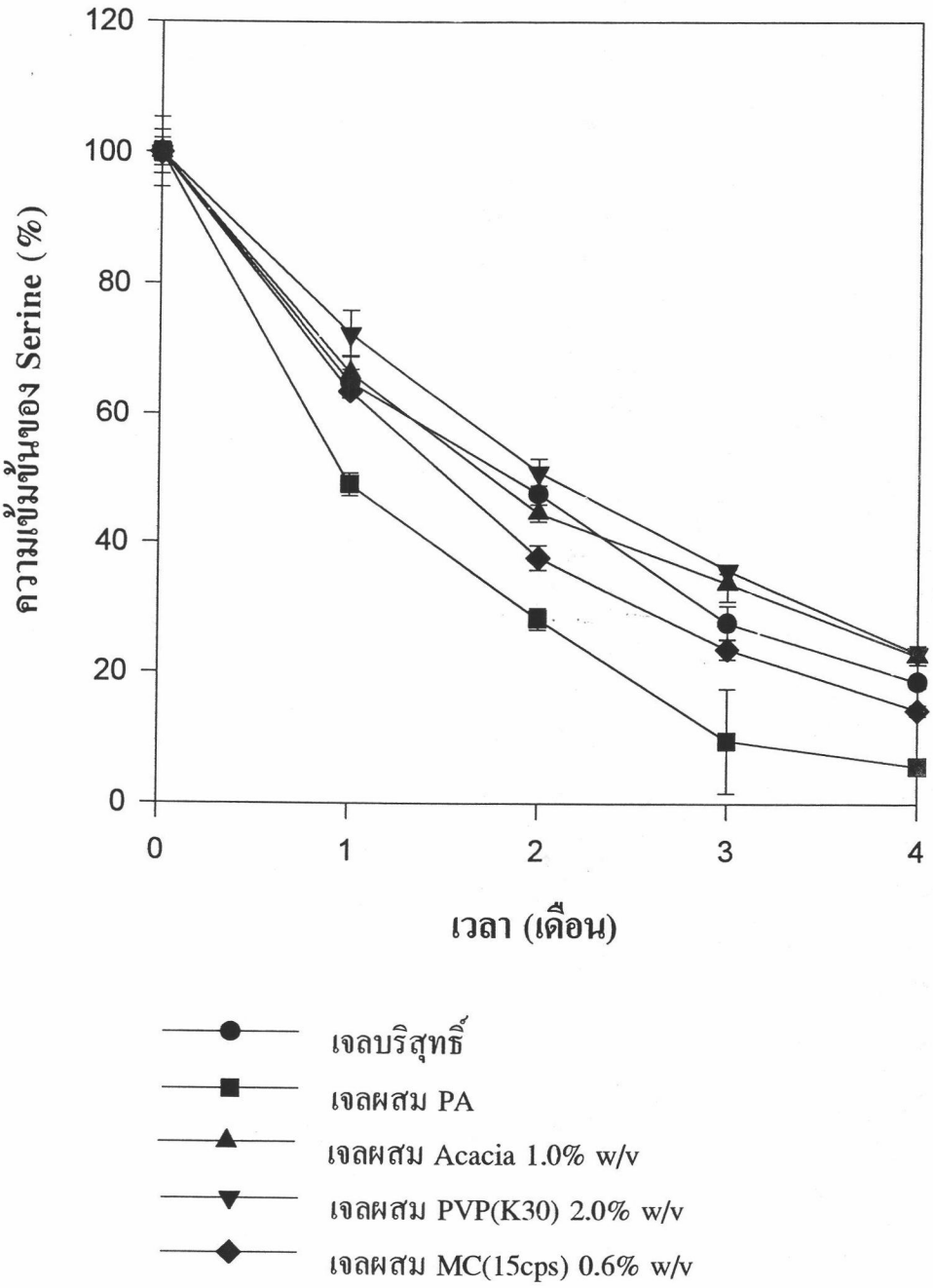
สำหรับกลูโคส: เจลผสม PA<เจลผสม MC<เจลบริสุทธิ์<เจลผสม acacia<เจลผสม PVP

สำหรับแมนโนส: เจลผสม PA<เจลผสม MC<เจลบริสุทธิ์<เจลผสม acacia<เจลผสมPVP

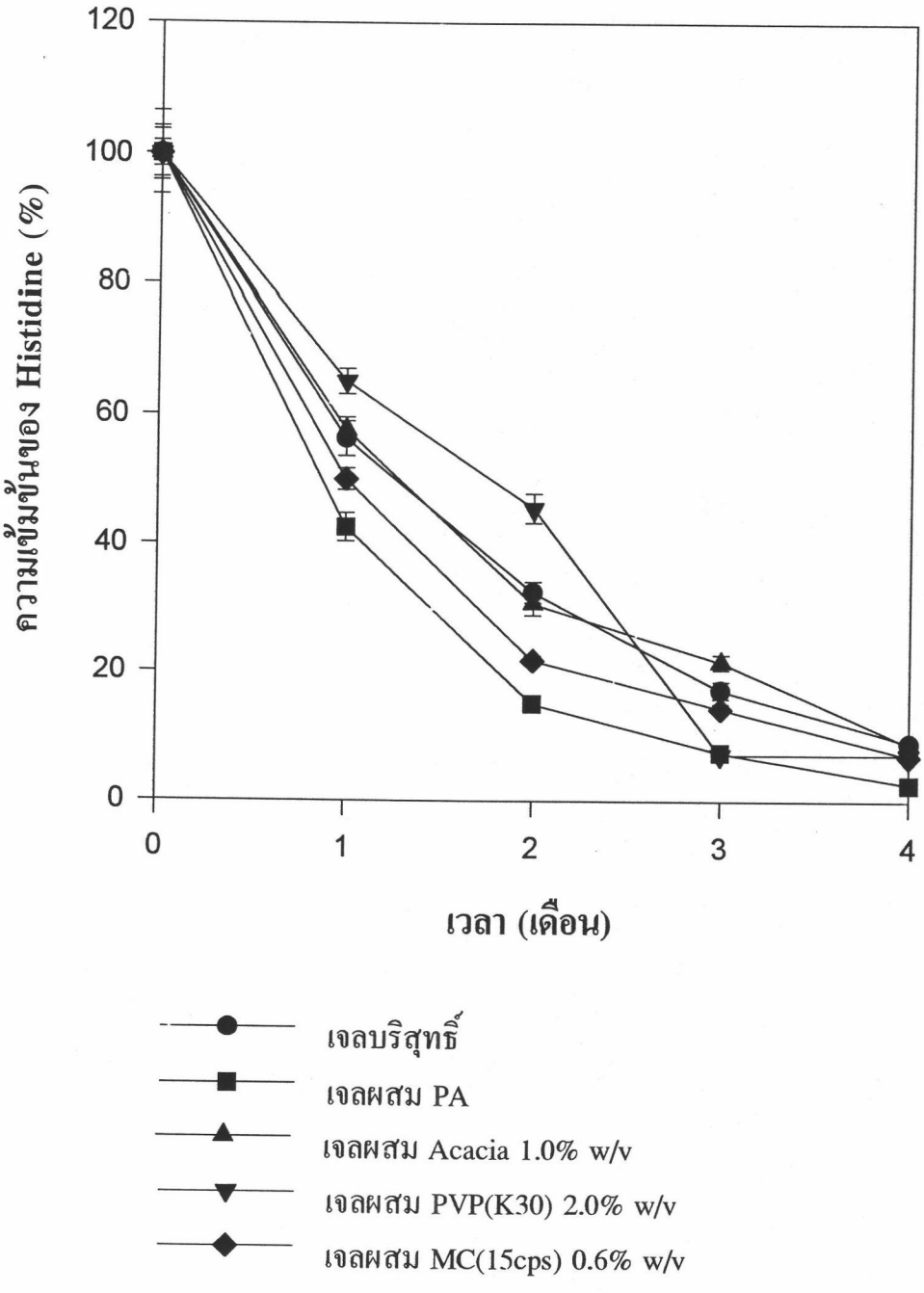
ตำรับที่มีเส้นโยงถึงกันแสดงว่า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นของกลูโคสในตำรับต่าง ๆ (ภาคผนวก จ) พบว่าความแตกต่างของความเข้มข้นของกลูโคสในตำรับเจลผสม acacia กับเจลผสม PVP เท่ากับ 1.45 ขณะที่ Least significant range (คือค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่มีนัยสำคัญทางสถิติ) เท่ากับ 1.34 คือเกือบที่จะไม่แตกต่างกัน และจากการทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นของแมนโนส พบว่าตำรับเจลบริสุทธิ์และเจลผสม MC มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจาก เจลผสม acacia และ เจลผสม PVP ไม่มากนัก เมื่อมองในภาพรวมของน้ำตาลทั้ง 2 ในโพลิแซคคาไรด์เป็นไปได้ว่า ตำรับเจลผสม MC, เจลบริสุทธิ์, เจลผสม acacia และเจลผสม PVP อาจจะมีความเข้มข้นของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ไม่แตกต่างกันเมื่อเก็บไว้ในสภาพเร่ง 2 เดือน (คือมีความคงสภาพทางเคมีของน้ำตาลเท่ากัน) หรือตำรับเจลผสม MC เท่ากับเจลบริสุทธิ์ แต่น้อยกว่า เจลผสม acacia กับเจลผสม PVP หรืออื่น ๆ ซึ่งยังไม่สามารถสรุปได้ในที่นี้



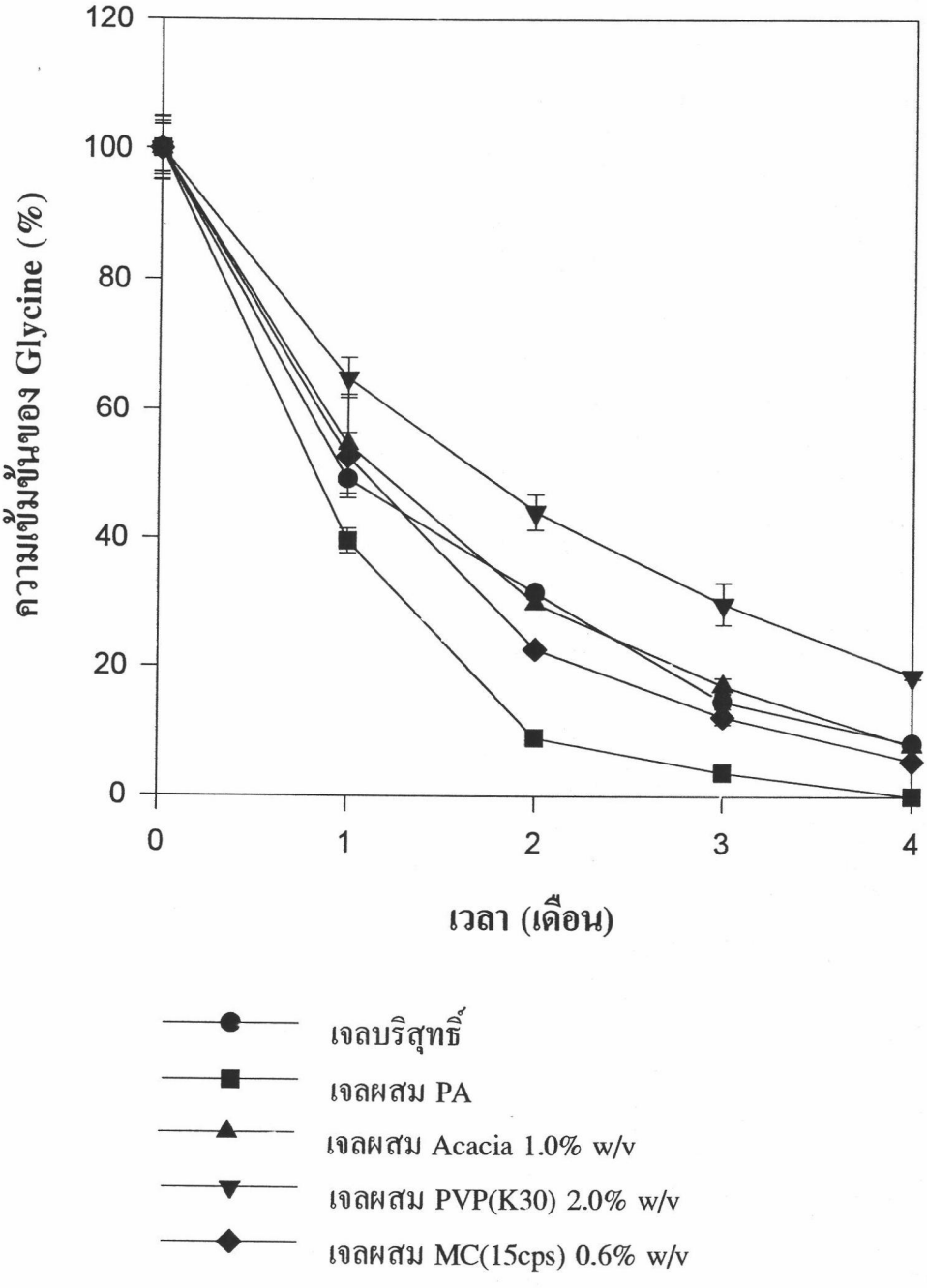

ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของกรดกูลตามิก (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



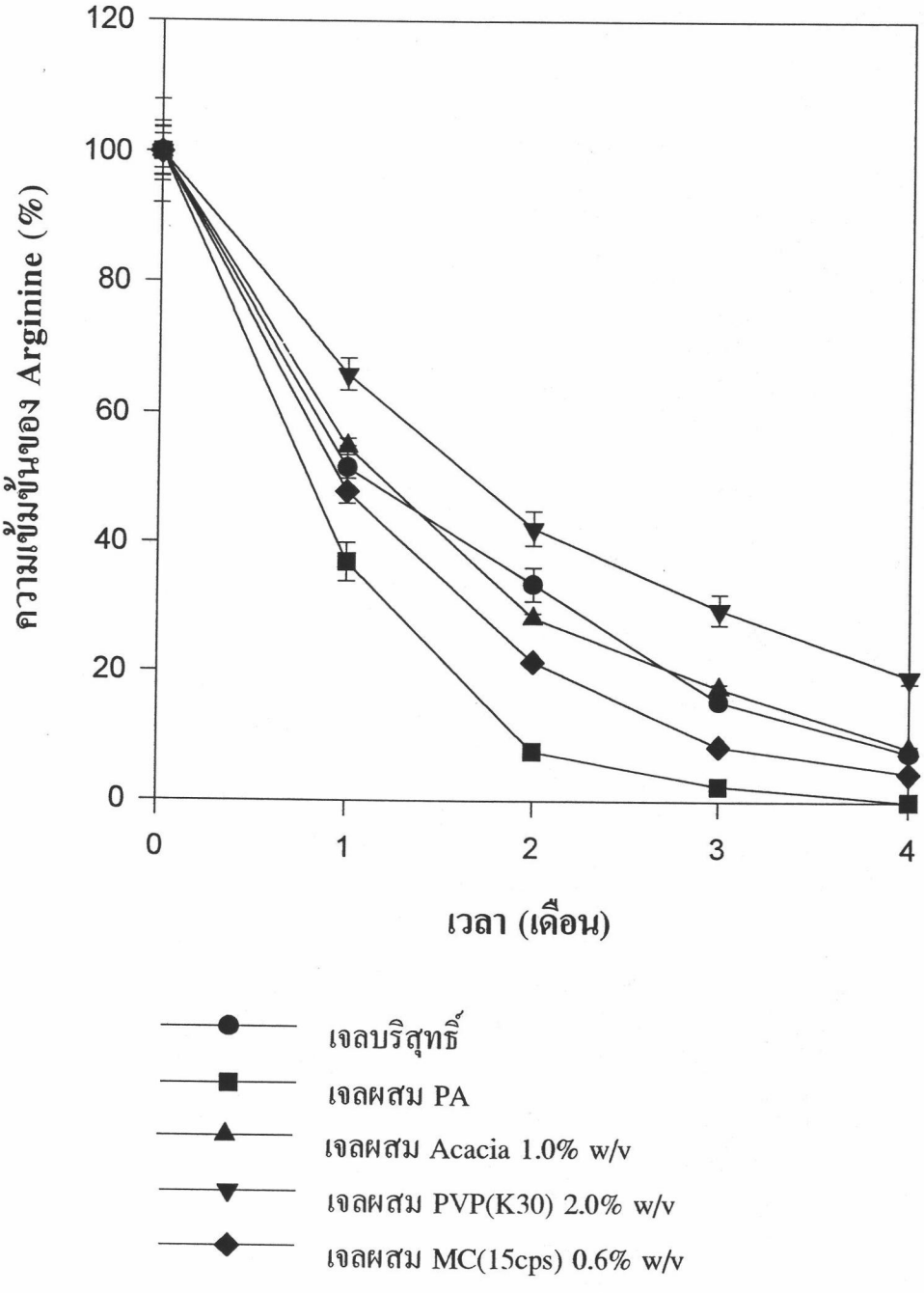

ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Serine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



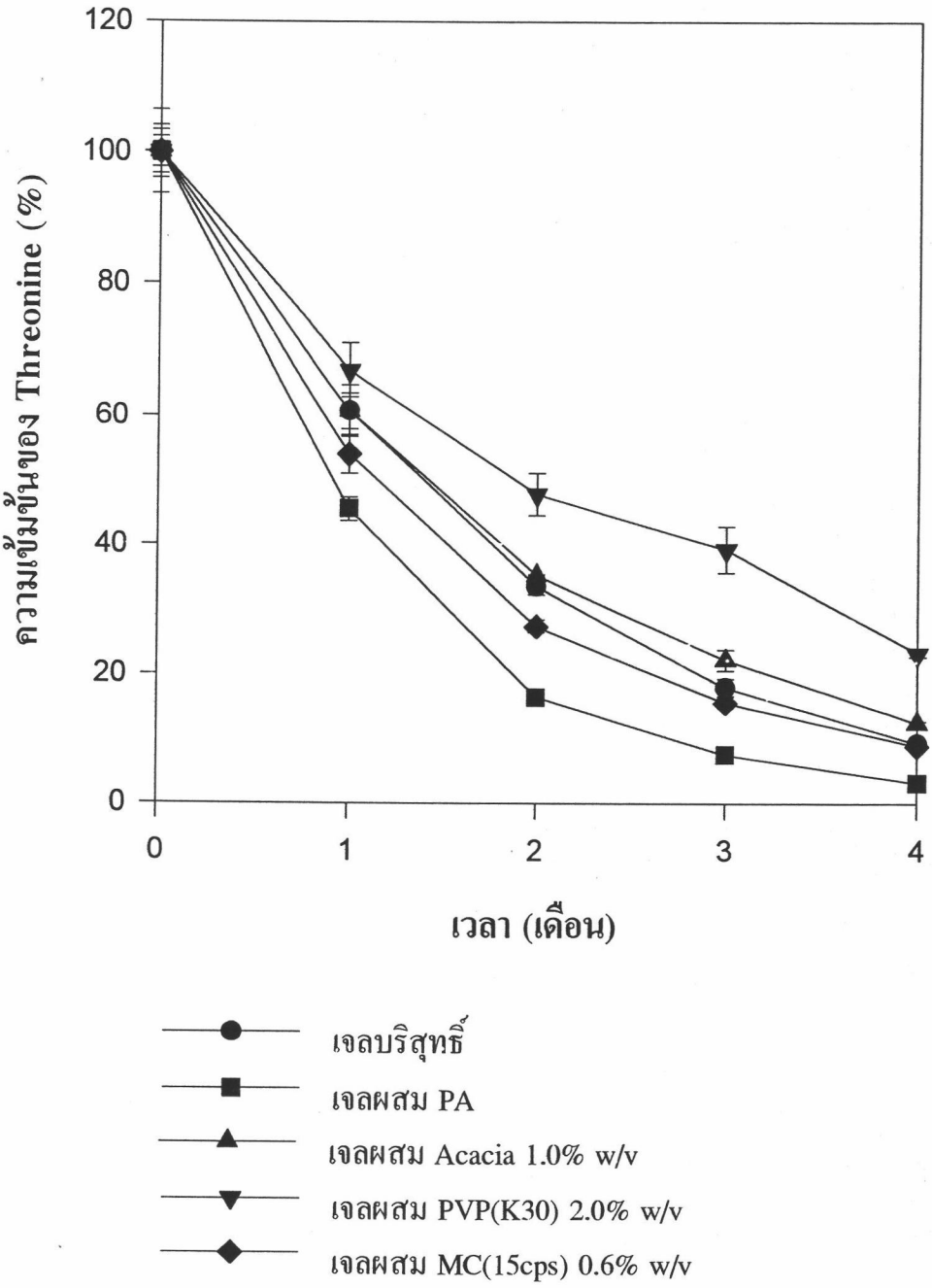

ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Histidine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



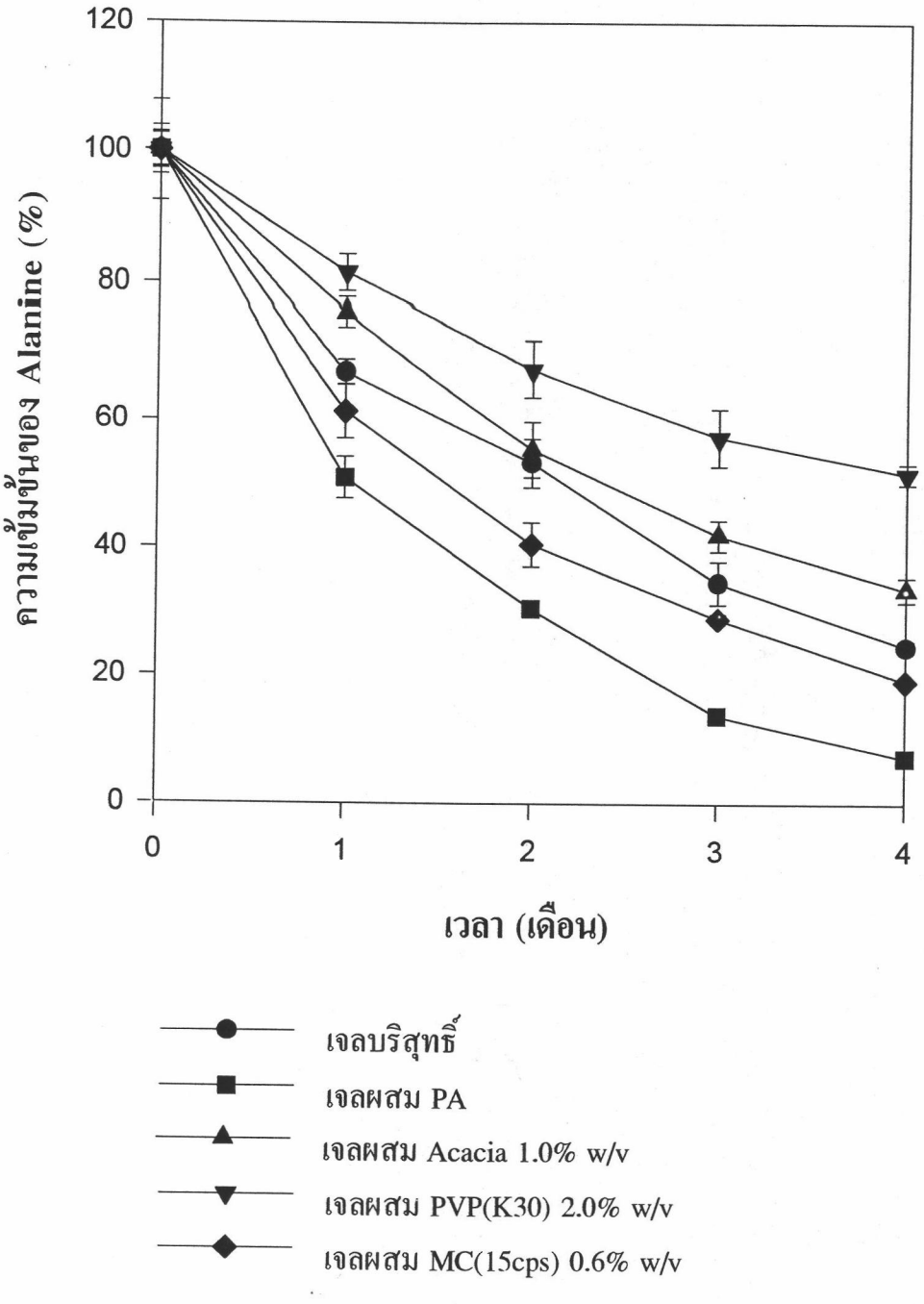

ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Glycine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



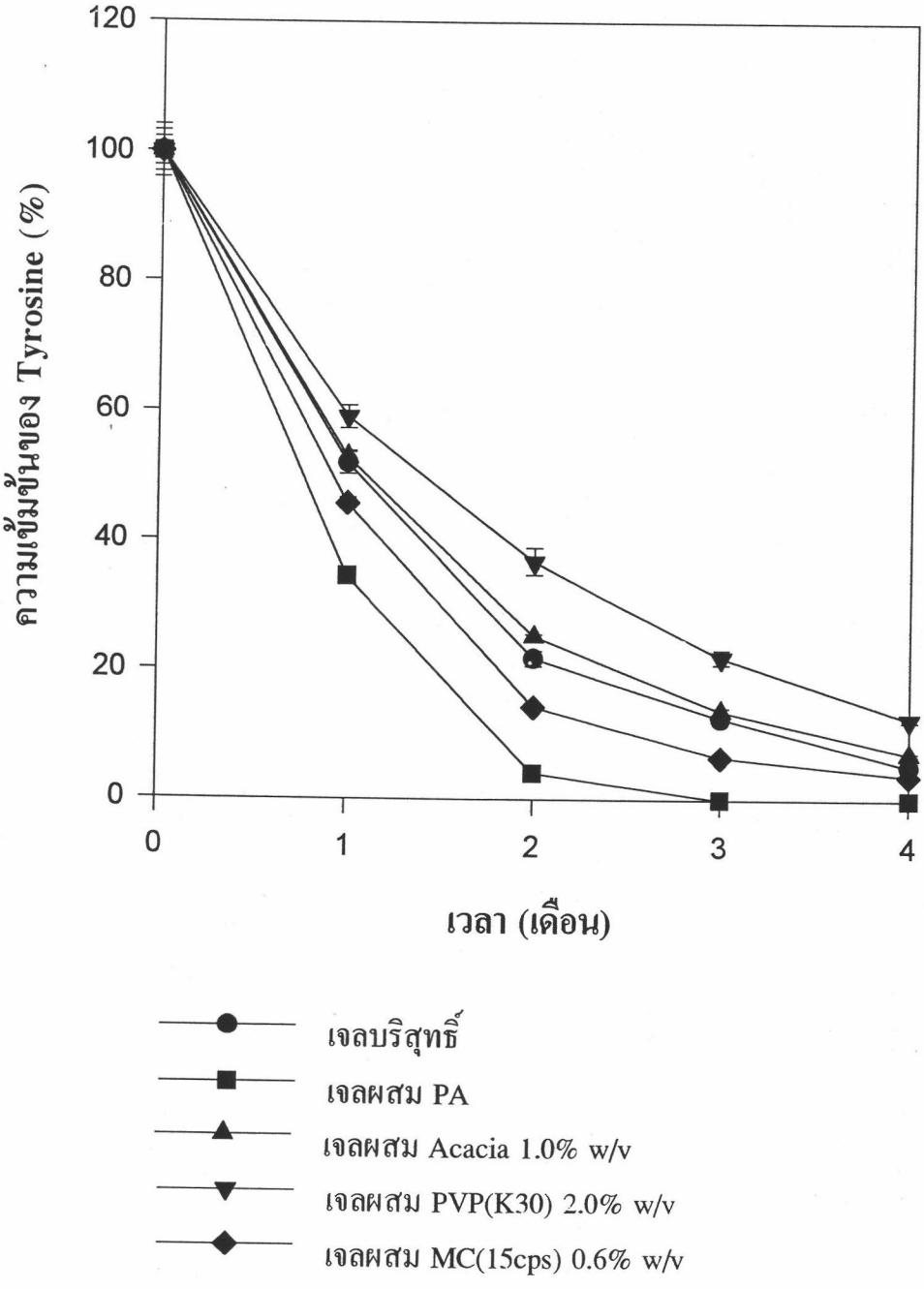

ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Arginine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



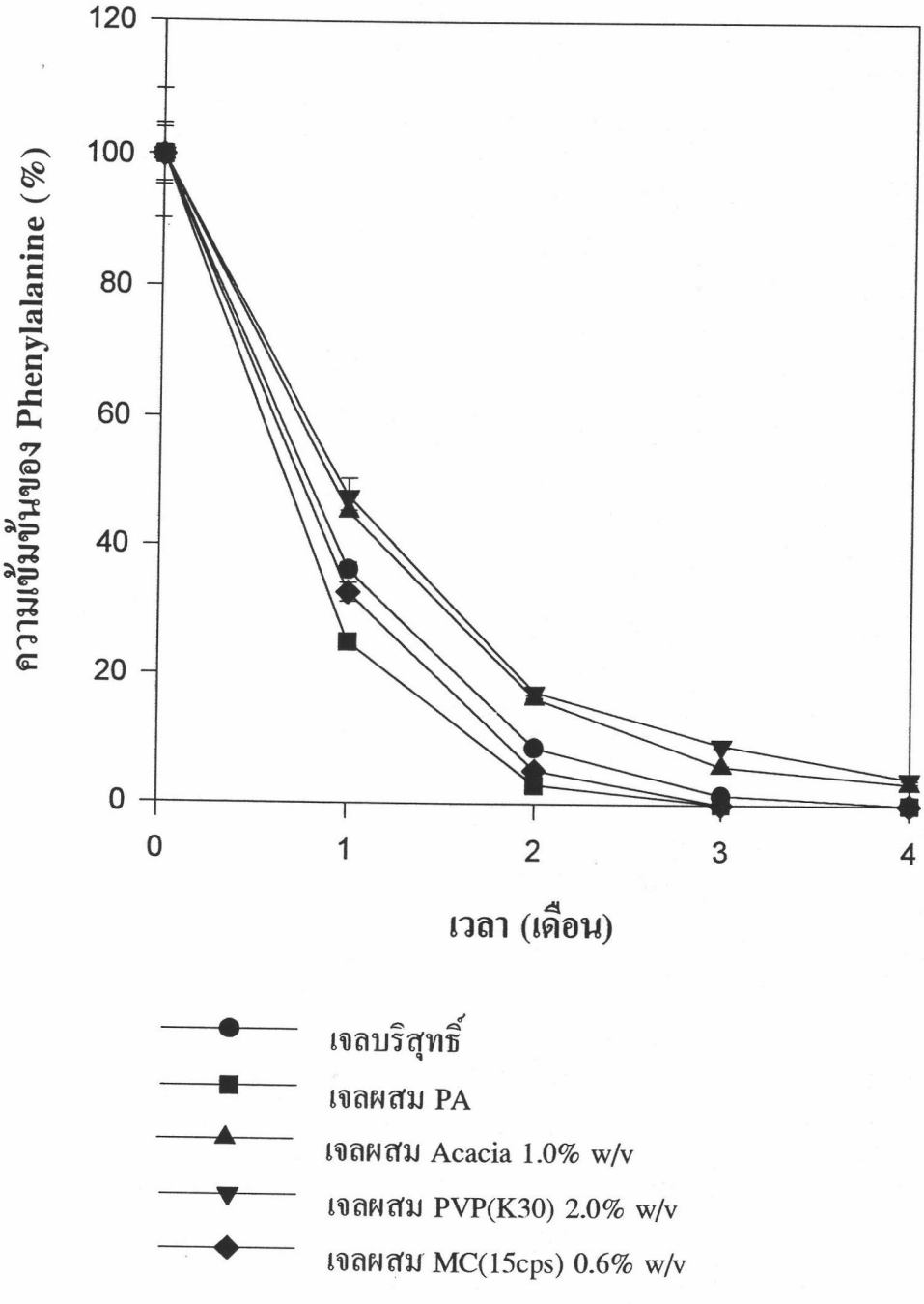

ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Threonine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



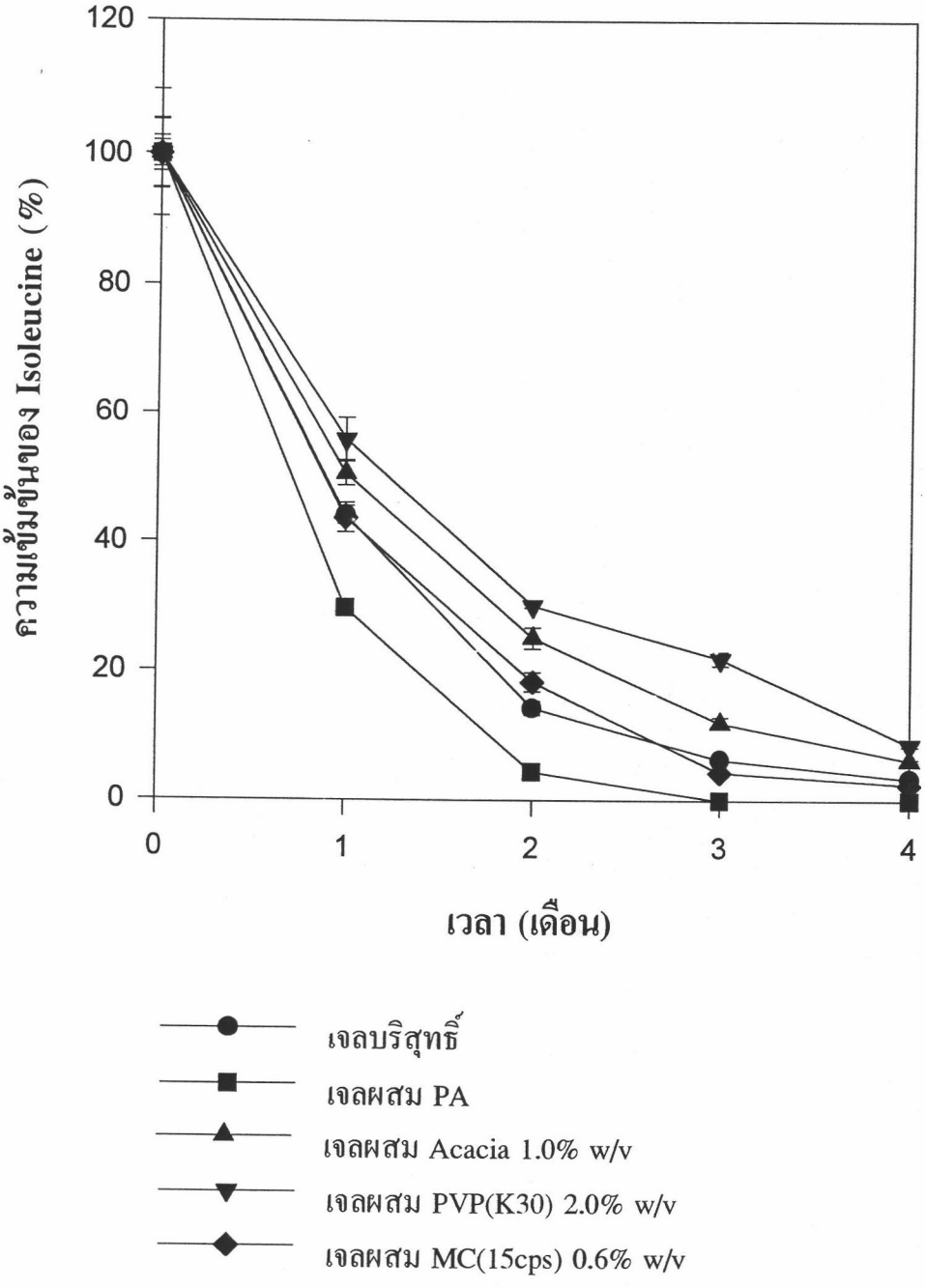

ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Alanine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



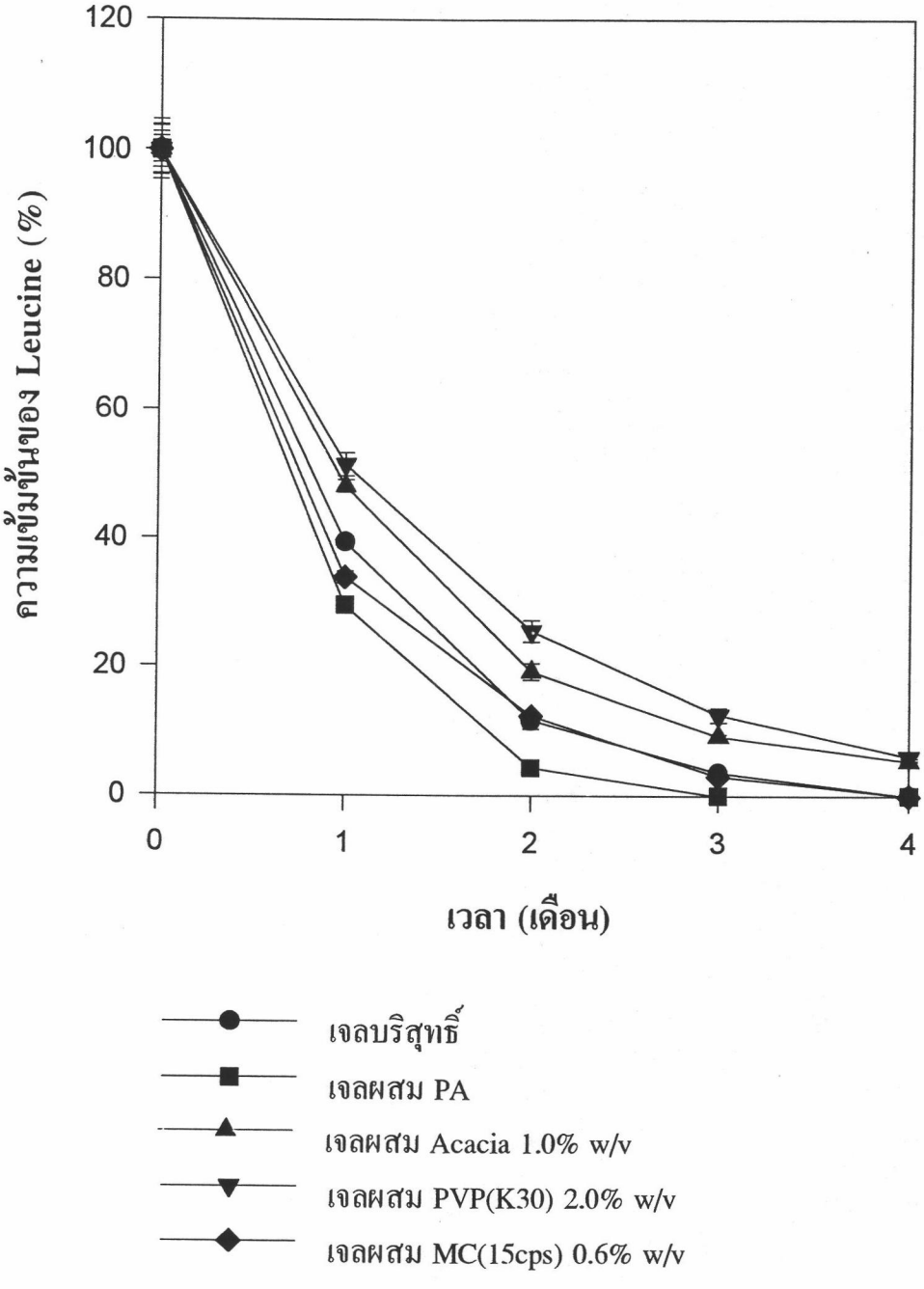

ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Tyrosine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



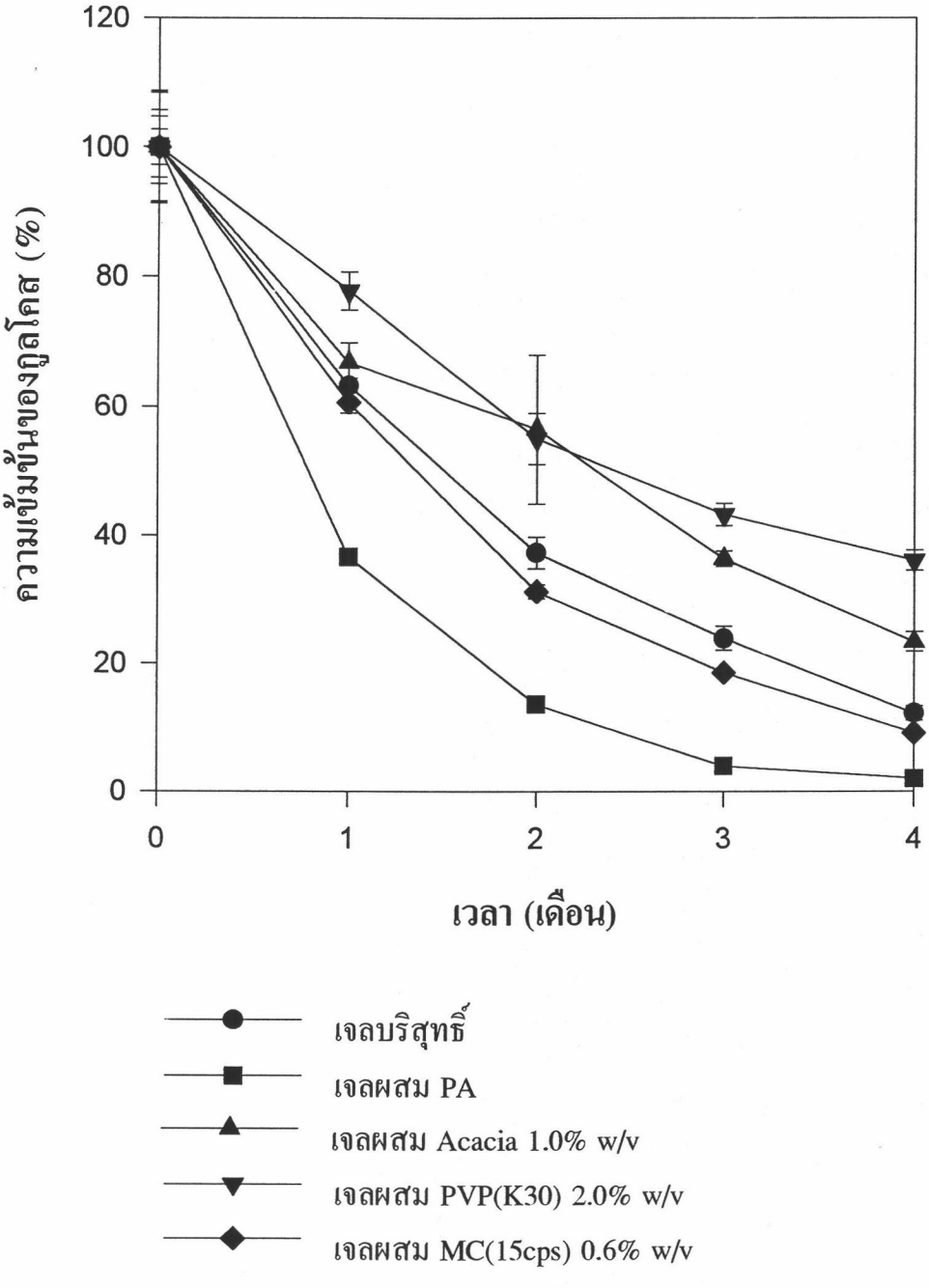

ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Phenylalanine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



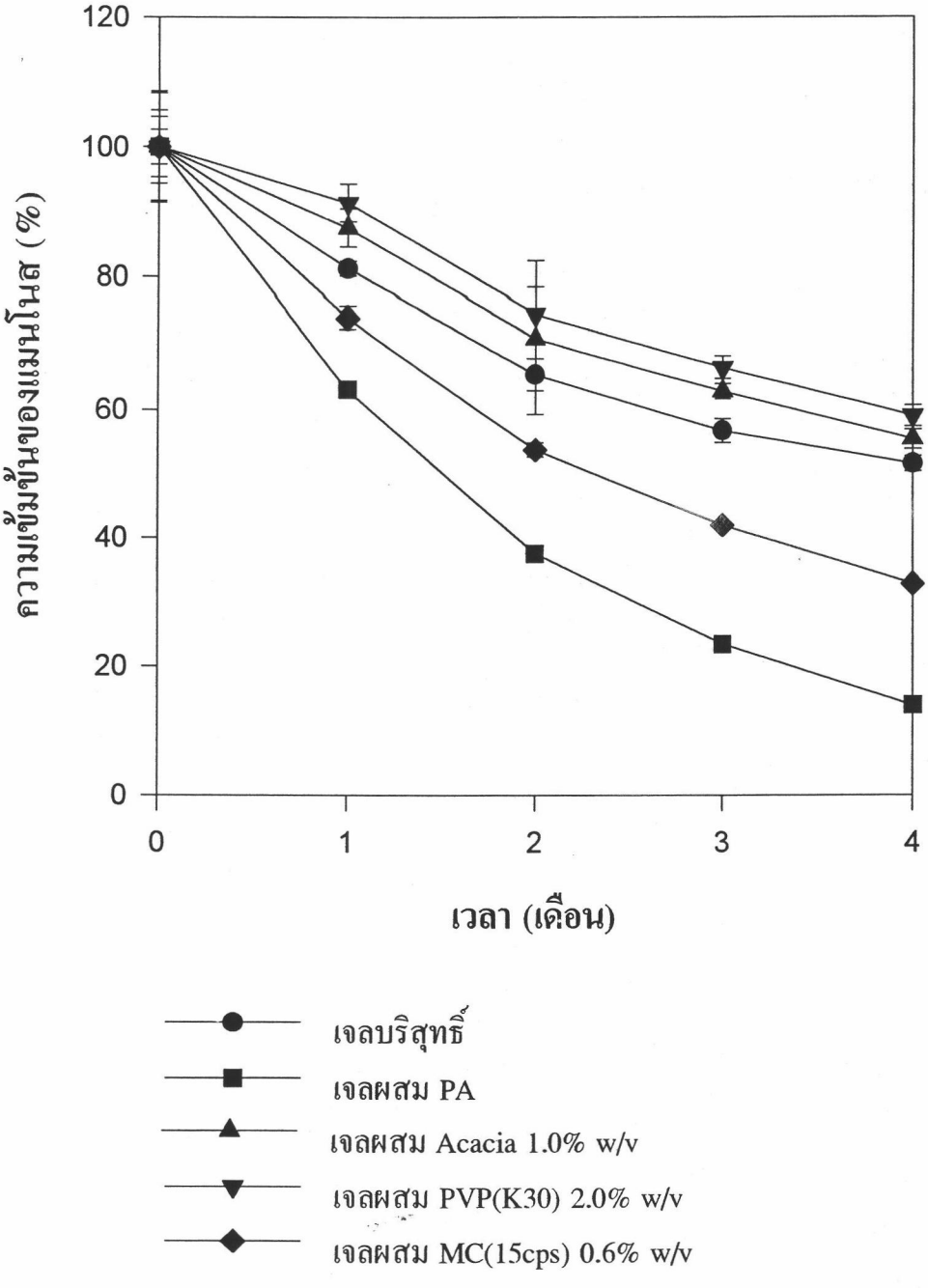

ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Isoleucine (%) กับเวลา(เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



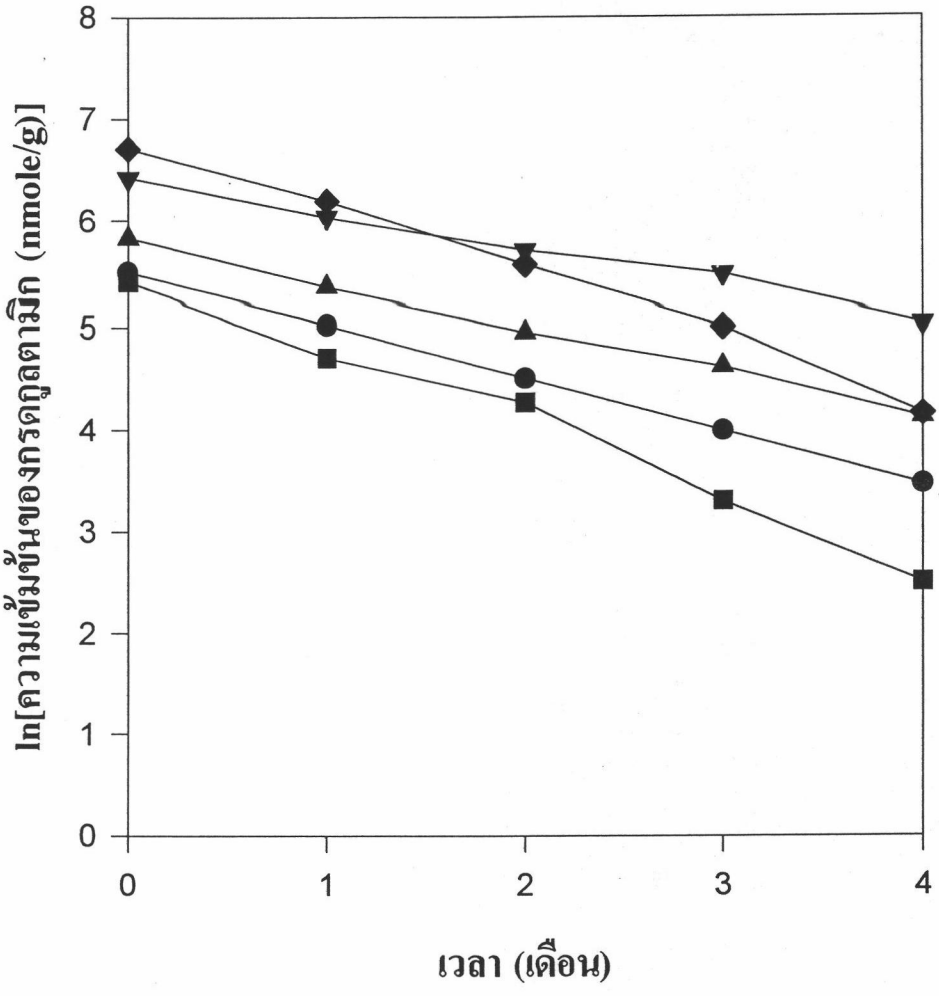

ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ Leucine (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน




ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของกลูโคส (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน

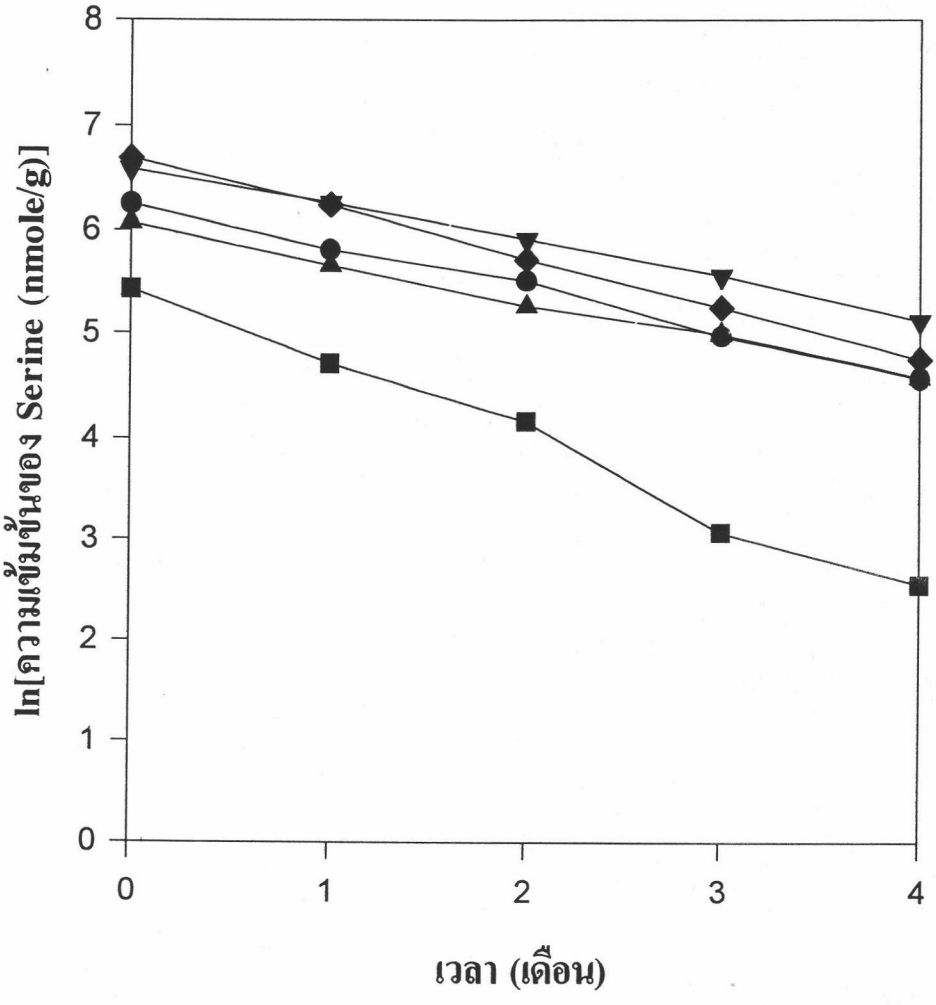



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแมนโนส (%) กับเวลา (เมื่อเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละตำรับเป็น 100%) ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



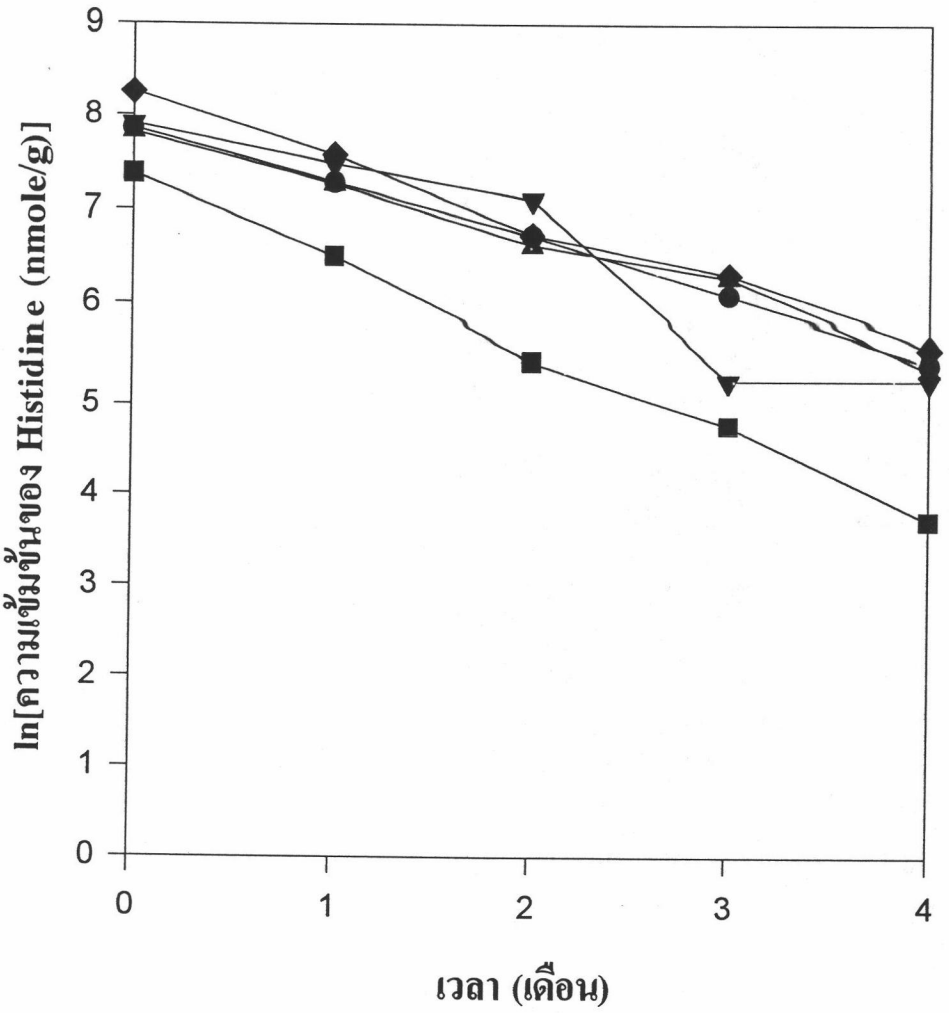

| | |
|---|---|
| เจลบริสุทธิ์ | $y = 5.518 - 0.511x$ ; $r^2 = 0.9996$ |
| เจลผสม PA | $y = 5.484 - 0.723x$ ; $r^2 = 0.9867$ |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 5.808 - 0.416x$ ; $r^2 = 0.9963$ |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 6.400 - 0.333x$ ; $r^2 = 0.9910$ |
| เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 6.784 - 0.629x$ ; $r^2 = 0.9922$ |

ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของกรดกูลตามิก) กับเวลา ในผงเจลว่าน-หางจระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



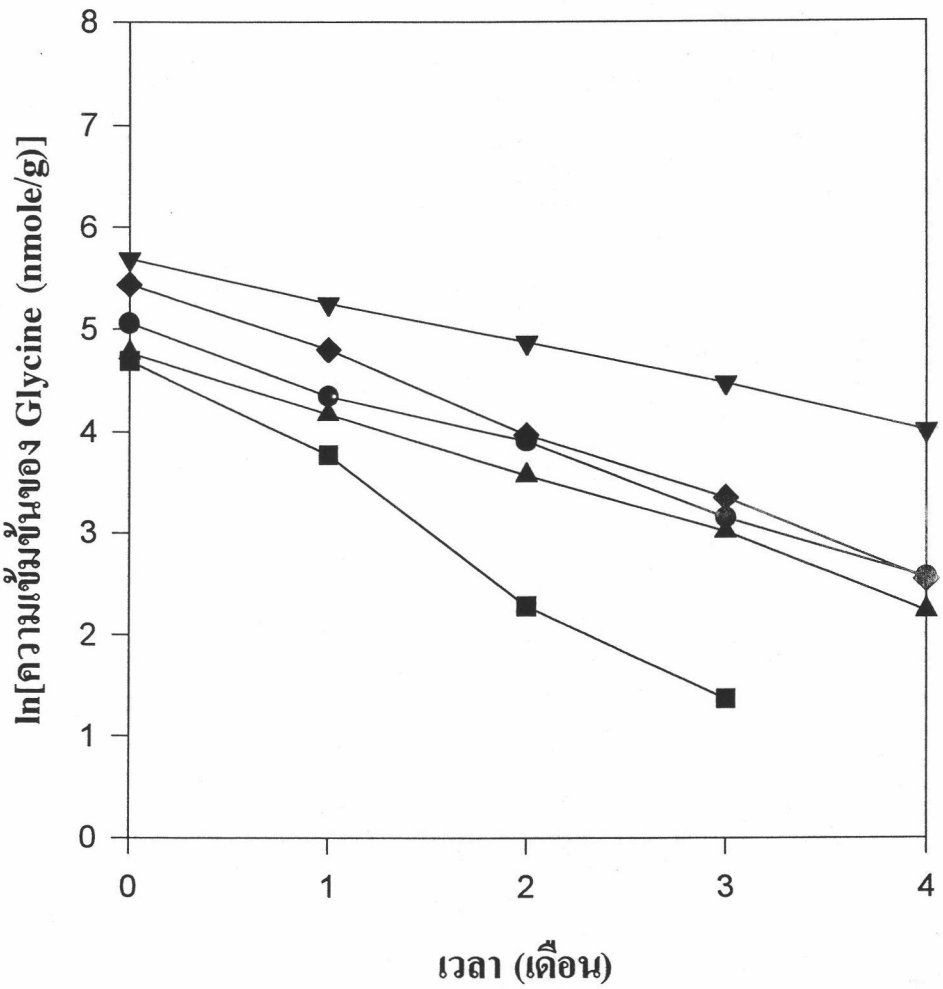

| | |
|---|---|
| เจลบริสุทธิ์ | $y = 6.262 - 0.420x$ ; $r^2 = 0.9943$ |
| เจลผสม PA | $y = 5.466 - 0.740x$ ; $r^2 = 0.9877$ |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 6.042 - 0.365x$ ; $r^2 = 0.9958$ |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 6.610 - 0.362x$ ; $r^2 = 0.9964$ |
| เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 6.704 - 0.487x$ ; $r^2 = 0.9996$ |

ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Serine) กับเวลา ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



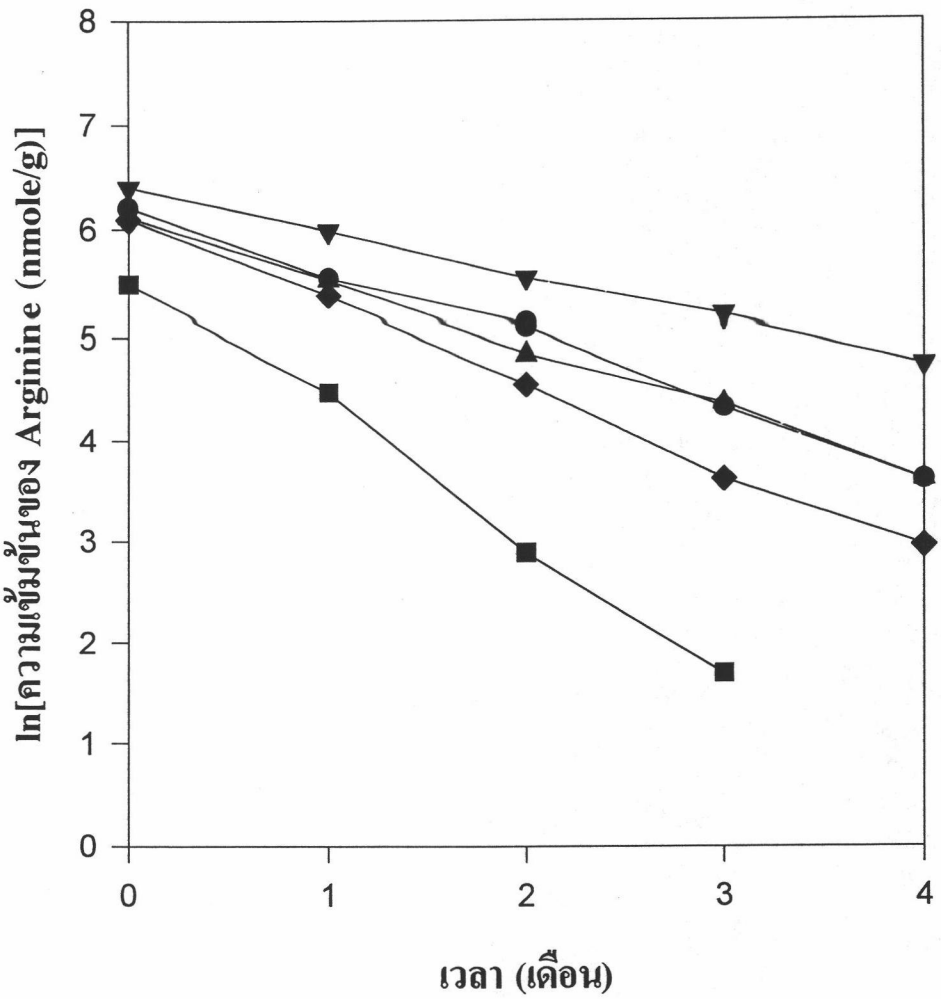

| | |
|---|---|
| เจลบริสุทธิ์ | $y = 7.880 - 0.601x$ ; $r^2 = 0.9986$ |
| เจลผสม PA | $y = 7.378 - 0.906x$ ; $r^2 = 0.9970$ |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 7.840 - 0.584x$ ; $r^2 = 0.9841$ |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 8.096 - 0.746x$ ; $r^2 = 0.8912$ |
| เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 8.214 - 0.660x$ ; $r^2 = 0.9927$ |

ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Histidine) กับเวลา ในผงเจลว่าน-หางจระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



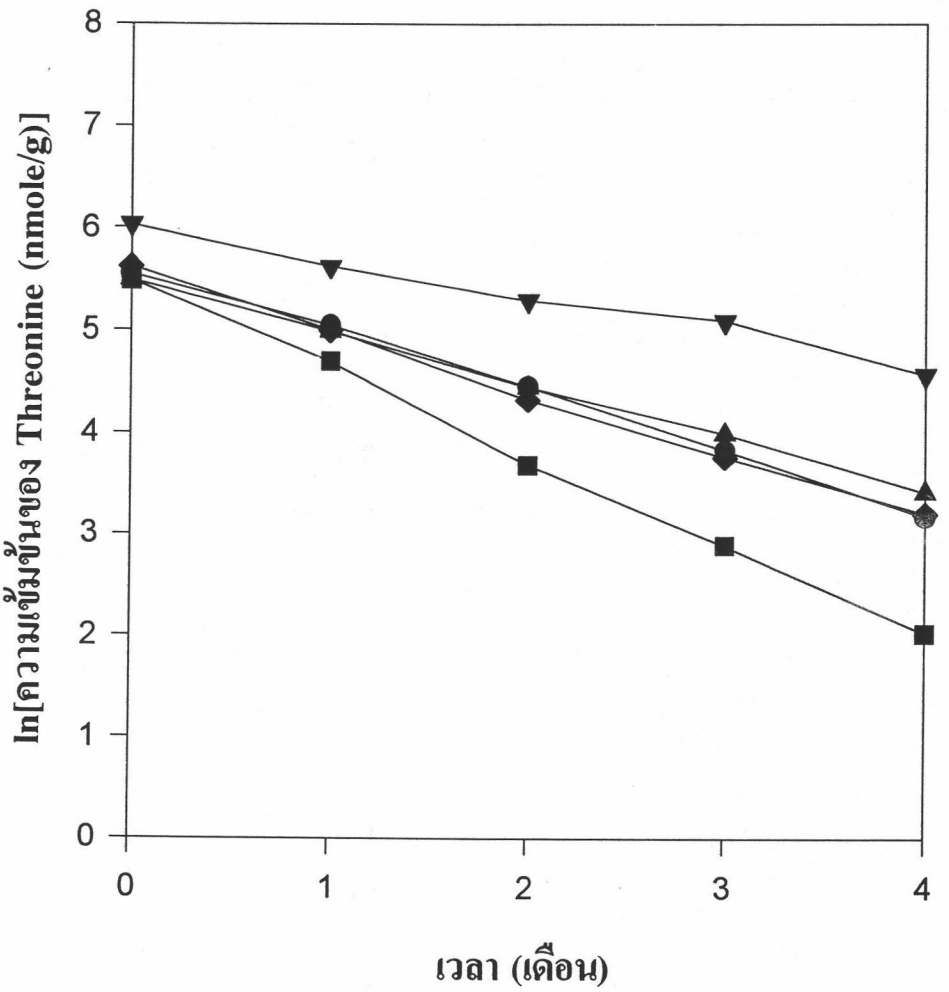

| | | |
|---|---|---|
| ● | เจลบริสุทธิ์ | $y = 5.046 - 0.620x$ ; $r^2 = 0.9953$ |
| ■ | เจลผสม PA | $y = 4.778 - 1.178x$ ; $r^2 = 0.9945$ |
| ▲ | เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 4.798 - 0.624x$ ; $r^2 = 0.9966$ |
| ▼ | เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 5.686 - 0.413x$ ; $r^2 = 0.9986$ |
| ◆ | เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 5.470 - 0.725x$ ; $r^2 = 0.9980$ |

ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Glycine) กับเวลา ในผงเจลว่านหางจระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



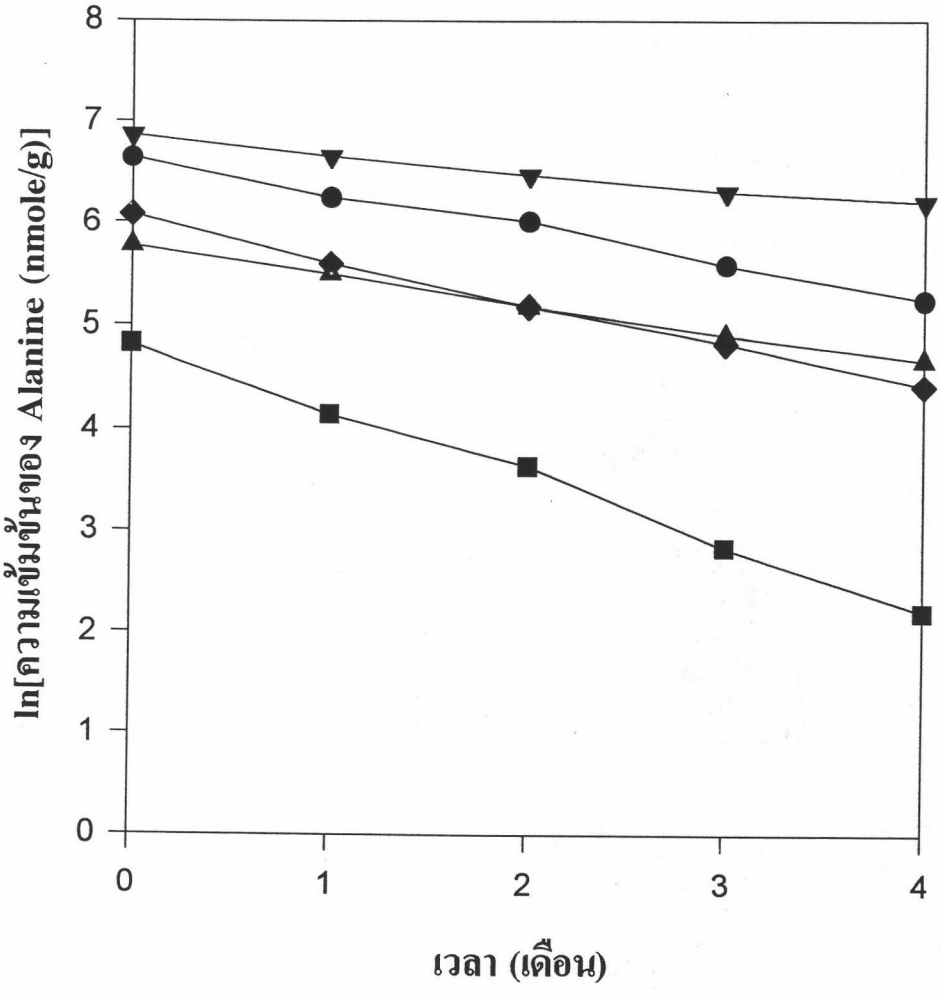

| | |
|---|---|
| เจลบริสุทธิ์ | $y = 6.230 - 0.638x$ ; $r^2 = 0.9925$ |
| เจลผสม PA | $y = 5.572 - 1.293x$ ; $r^2 = 0.9929$ |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 6.118 - 0.614x$ ; $r^2 = 0.9965$ |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 6.382 - 0.408x$ ; $r^2 = 0.9989$ |
| เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 6.118 - 0.800x$ ; $r^2 = 0.9975$ |

ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Arginine)กับเวลา ในผงเจลว่านหาง-จระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



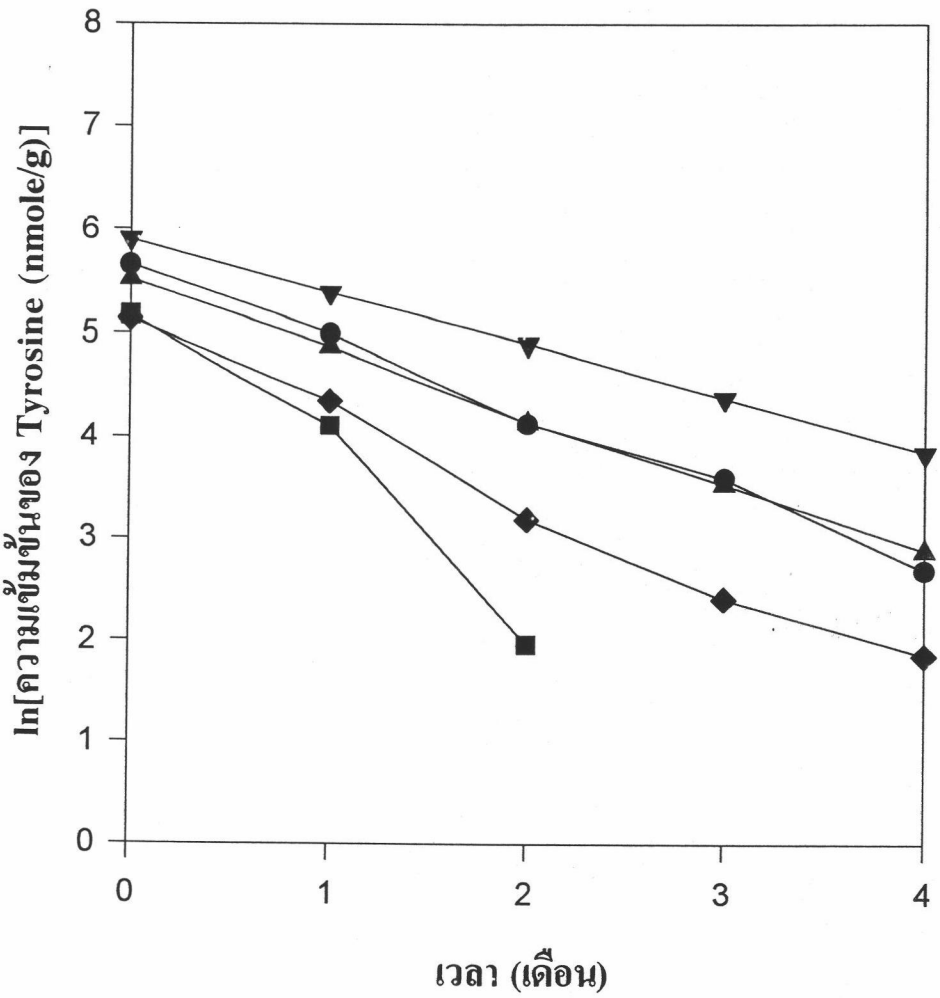

| | |
|---|---|
| เจลบริสุทธิ์ | $y = 5.608 - 0.598x$ ; $r^2 = 0.9973$ |
| เจลผสม PA | $y = 5.500 - 0.873x$ ; $r^2 = 0.9985$ |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 5.498 - 0.516x$ ; $r^2 = 0.9990$ |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 6.010 - 0.345x$ ; $r^2 = 0.9833$ |
| เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 5.598 - 0.608x$ ; $r^2 = 0.9987$ |

ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Threonine) กับเวลา ในผงเจลว่านหาง-จระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



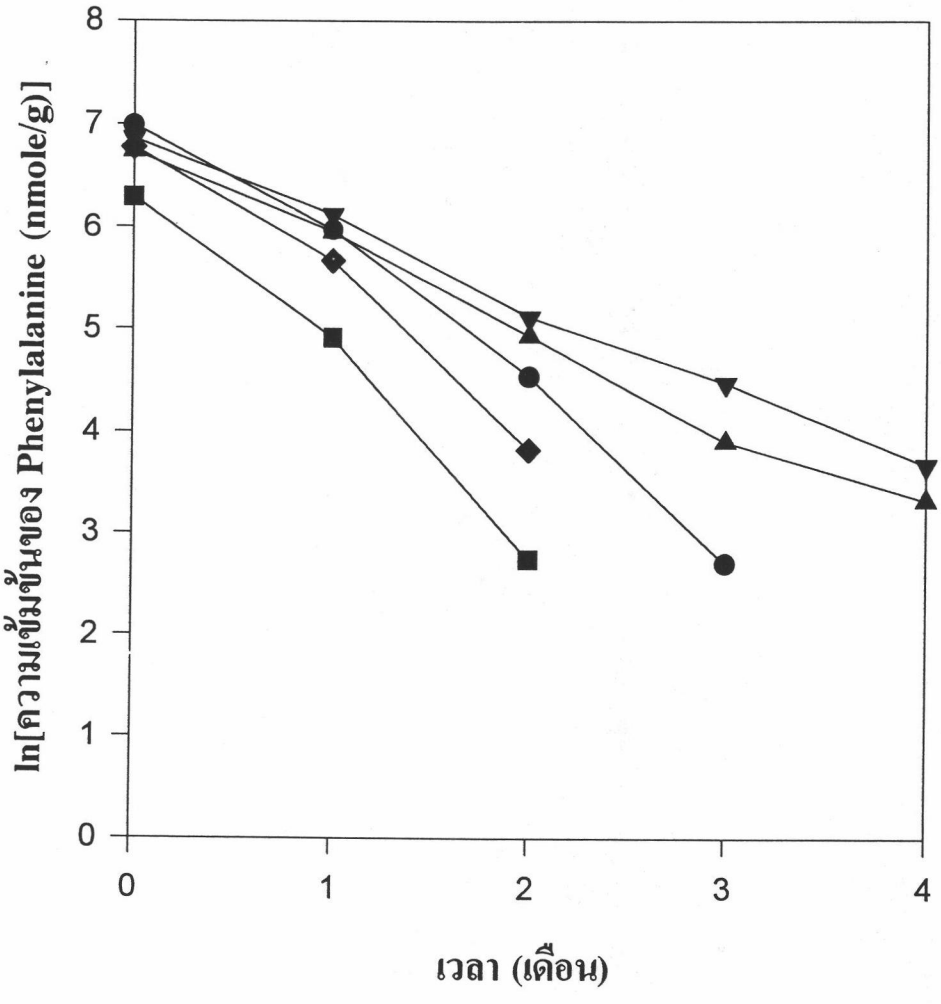

| | |
|---|---|
| เจลบริสุทธิ์ | $y = 6.634 - 0.346x$ ; $r^2 = 0.9939$ |
| เจลผสม PA | $y = 4.846 - 0.657x$ ; $r^2 = 0.9965$ |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 5.758 - 0.276x$ ; $r^2 = 0.9974$ |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 6.830 - 0.167x$ ; $r^2 = 0.9857$ |
| เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 6.034 - 0.405x$ ; $r^2 = 0.9962$ |

ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Alanine) กับเวลา ในผงเจลว่านหาง-จระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



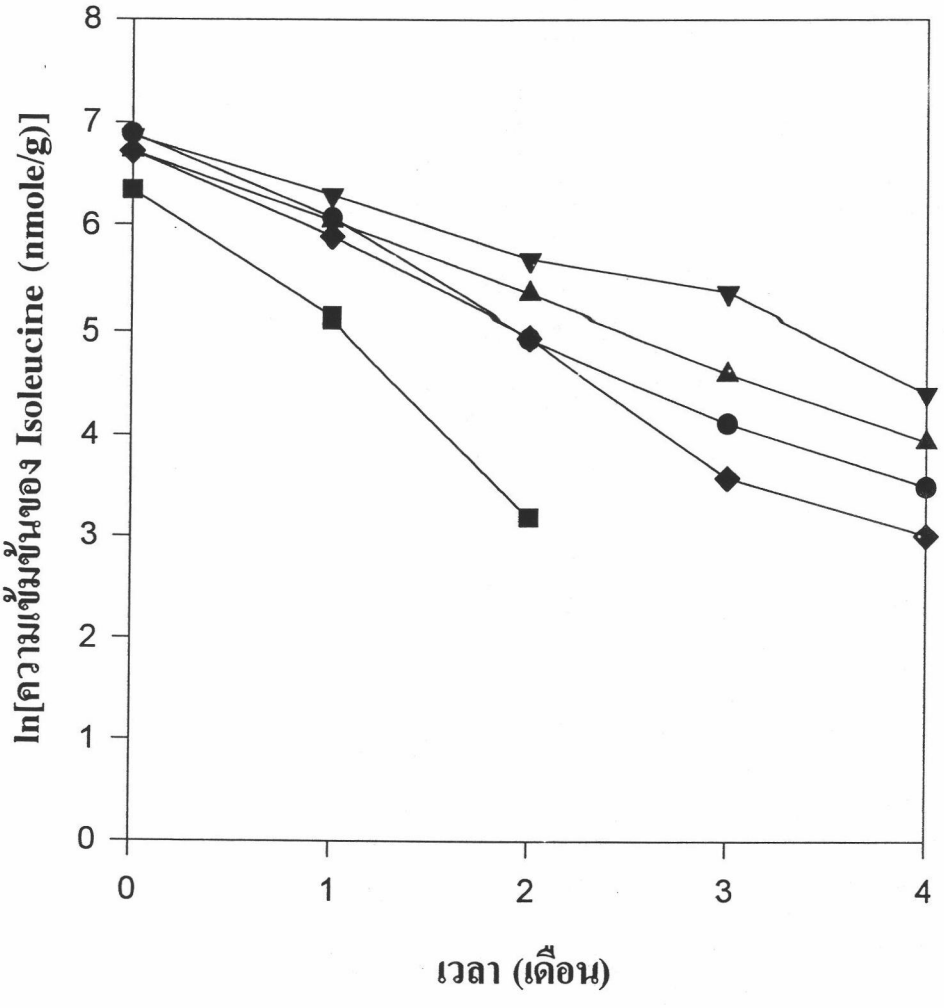

| | |
|---|---|
| เจลบริสุทธิ์ | $y = 5.678 - 0.733x$ ; $r^2 = 0.9952$ |
| เจลผสม PA | $y = 5.352 - 1.605x$ ; $r^2 = 0.9630$ |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 5.510 - 0.661x$ ; $r^2 = 0.9992$ |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 5.906 - 0.511x$ ; $r^2 = 0.9993$ |
| เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 5.096 - 0.853x$ ; $r^2 = 0.9865$ |

ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Tyrosine) กับเวลา ในผงเจลว่านหางจระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



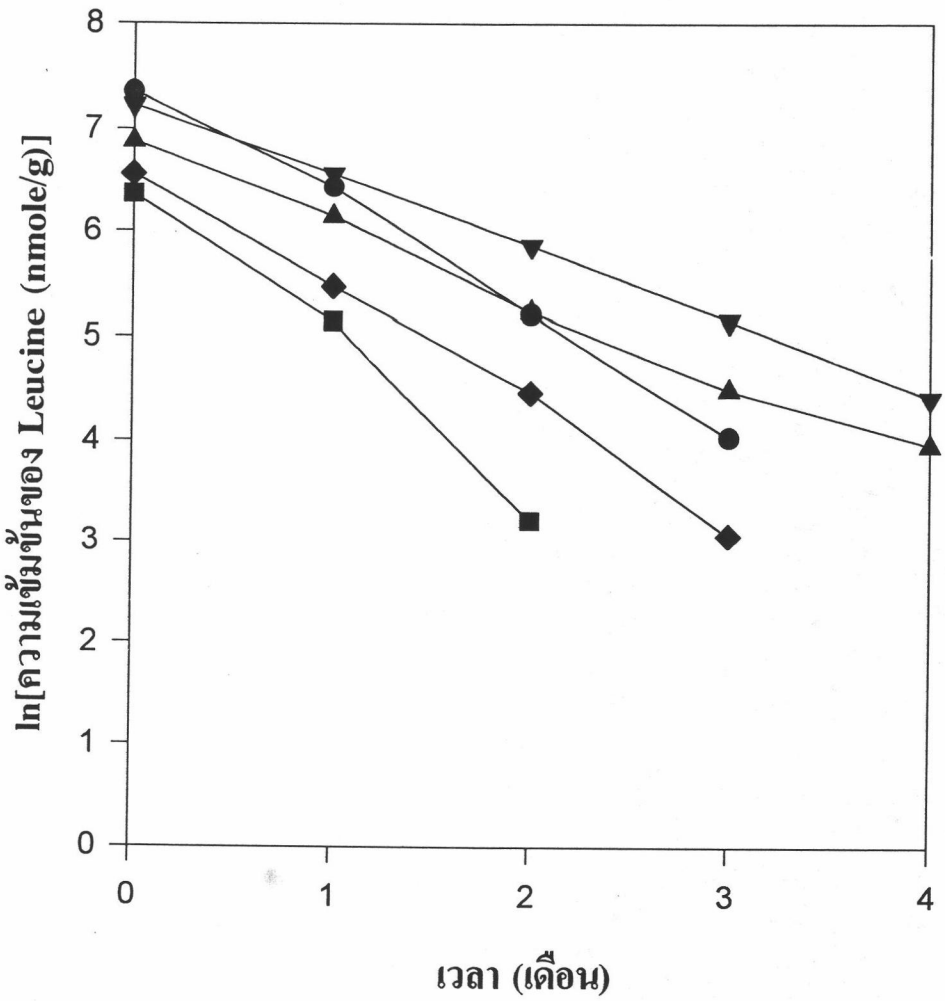

| | | |
|---|---|---|
| ● | เจลบริสุทธิ์ | $y = 7.195 - 1.430x$ ; $r^2 = 0.9838$ |
| ■ | เจลผสม PA | $y = 6.422 - 1.775x$ ; $r^2 = 0.9838$ |
| ▲ | เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 6.746 - 0.889x$ ; $r^2 = 0.9926$ |
| ▼ | เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 6.852 - 0.802x$ ; $r^2 = 0.9960$ |
| ◆ | เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 6.903 - 1.480x$ ; $r^2 = 0.9796$ |

ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Phenylalanine) กับเวลา ในผงเจลว่าน-หางจระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



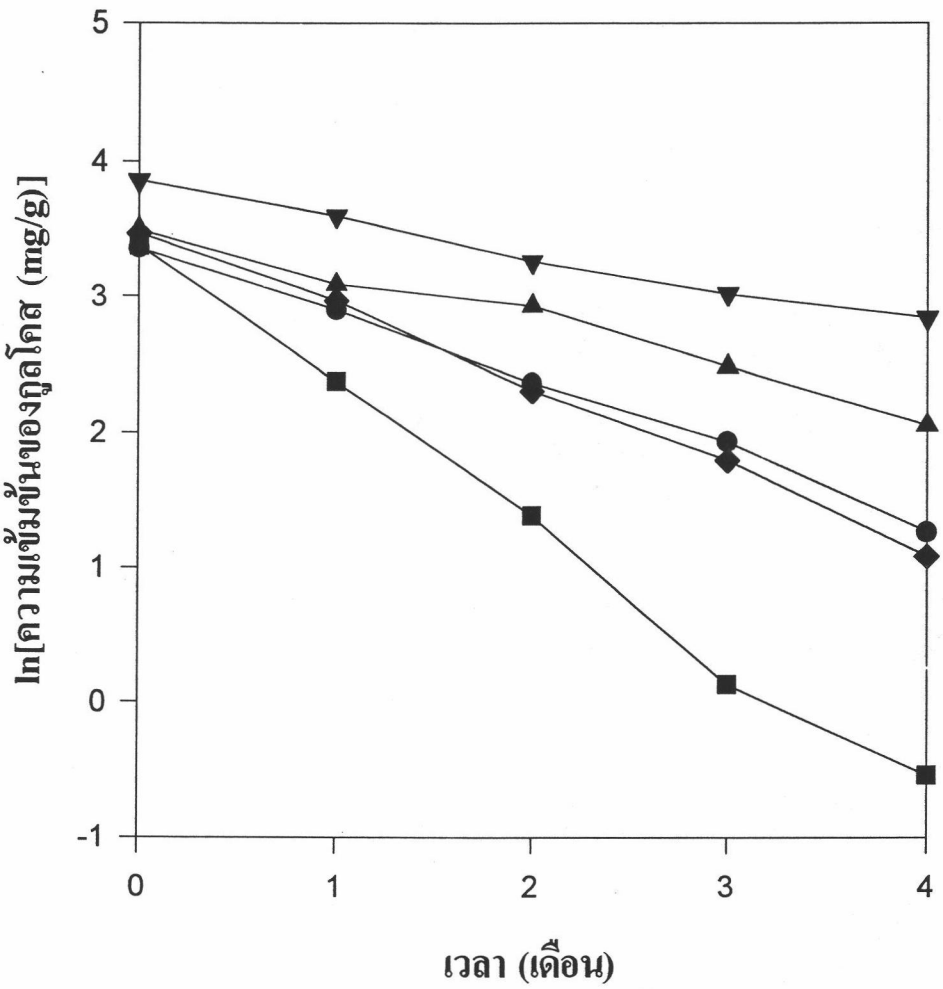

| | | |
|---|---|---|
| ● | เจลบริสุทธิ์ | $y = 6.852 - 0.875x$ ; $r^2 = 0.9913$ |
| ■ | เจลผสม PA | $y = 6.458 - 1.575x$ ; $r^2 = 0.9833$ |
| ▲ | เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 6.728 - 0.699x$ ; $r^2 = 0.9998$ |
| ▼ | เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 6.888 - 0.584x$ ; $r^2 = 0.9809$ |
| ◆ | เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 6.776 - 0.973x$ ; $r^2 = 0.9877$ |

ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Isoleucine) กับเวลา ในผงเจลว่านหางจระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน



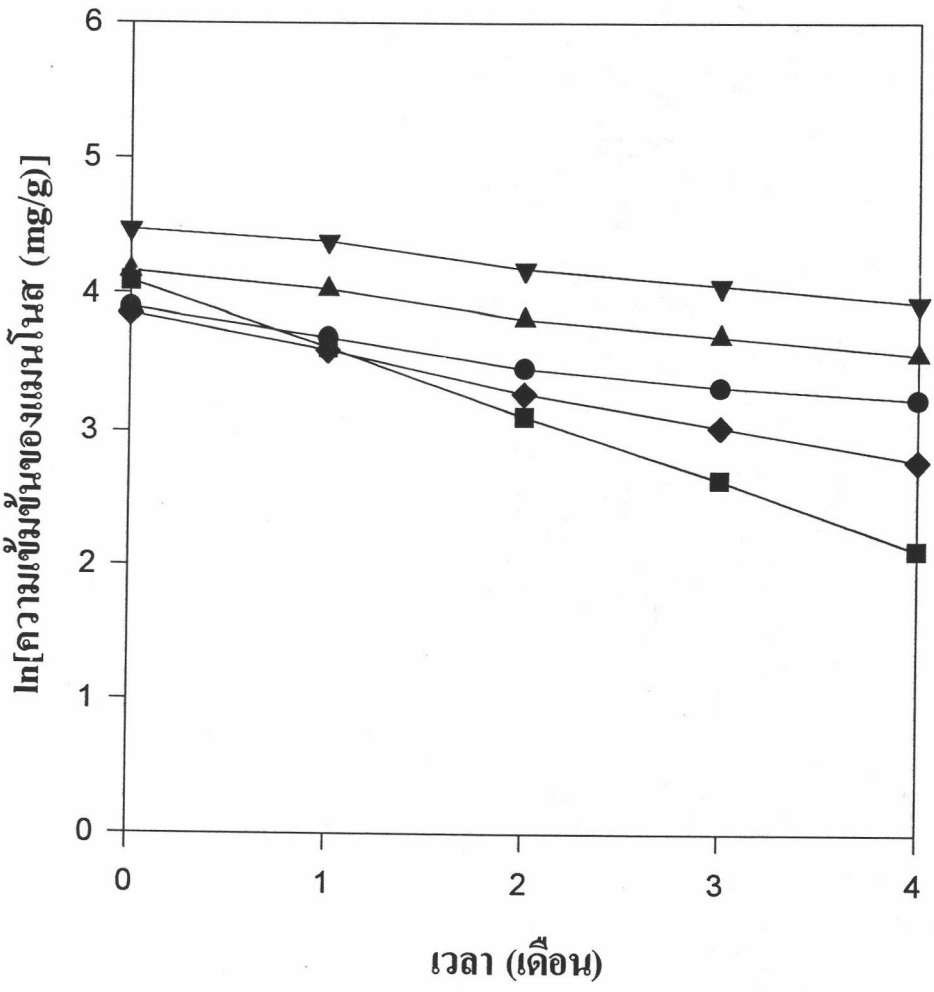

| | |
|---|---|
| เจลบริสุทธิ์ | $y = 7.439 - 1.121x$ ; $r^2 = 0.9967$ |
| เจลผสม PA | $y = 6.478 - 1.575x$ ; $r^2 = 0.9833$ |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 6.840 - 0.751x$ ; $r^2 = 0.9933$ |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 7.25 - 0.703x$ ; $r^2 = 0.9997$ |
| เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 6.615 - 1.150x$ ; $r^2 = 0.9943$ |

ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของ Leucine) กับเวลา ในผงเจลว่านหาง-จระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน




| | | |
|---|---|---|
| ● | เจลบริสุทธิ์ | $y = 3.398 - 0.517x$ ; $r^2 = 0.9949$ |
| ■ | เจลผสม PA | $y = 3.364 - 1.009x$ ; $r^2 = 0.9939$ |
| ▲ | เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 3.512 - 0.350x$ ; $r^2 = 0.9809$ |
| ▼ | เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 3.840 - 0.262x$ ; $r^2 = 0.9892$ |
| ◆ | เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 3.516 - 0.596x$ ; $r^2 = 0.9968$ |

ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของกลูโคส) กับเวลา ในผงเจลว่านหาง-จระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน




| | | |
|---|---|---|
| ● | เจลบริสุทธิ์ | $y = 3.862 - 0.168x$ ; $r^2 = 0.9728$ |
| ■ | เจลผสม PA | $y = 4.102 - 0.494x$ ; $r^2 = 0.9996$ |
| ▲ | เจลผสม Acacia 1.0% w/v | $y = 4.158 - 0.1510x$ ; $r^2 = 0.9908$ |
| ▼ | เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | $y = 4.482 - 0.138x$ ; $r^2 = 0.9882$ |
| ◆ | เจลผสม MC(15cps) 0.6% w/v | $y = 3.856 - 0.273x$ ; $r^2 = 0.9980$ |

ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของแมนโนส) กับเวลา ในผงเจลว่านหาง-จระเข้ ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน

โดยทั่วไปการศึกษาความคงสภาพทางเคมีในสภาพเร่ง ใช้เวลาในการศึกษา 4 เดือน (ตามกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, กระทรวงสาธารณสุข) จากผลการทดลองเมื่อเก็บผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 45°ซ, ความชื้นสัมพัทธ์ 75% เป็นเวลา 4 เดือน (ภาคผนวก ฉ,ช และ ภาพที่ 21-33) พบว่าความเข้มข้นของกลูโคส แมนโนส และกรดอะมิโนที่ลดลงในแต่ละตำรับมีอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของกลูโคสหรือแมนโนส หรือ กรดอะมิโน) กับเวลา จะได้ดังภาพที่ 34-46

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ ln (ความเข้มข้นของกลูโคสหรือแมนโนส หรือ กรดอะมิโน) กับเวลา มีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงอาจกล่าวได้ว่า การสลายตัวของกลูโคส แมนโนส และกรดอะมิโนในเจลว่านหางจระเข้เป็นแบบ first order reaction (ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง) หรือ pseudo first order reaction (Carstensen, 1990) สมการแสดงปฏิกิริยาชนิดนี้คือ

$$\ln C = \ln C_o - kt$$

เมื่อ C เป็นความเข้มข้นของกลูโคส แมนโนส และกรดอะมิโน ที่เวลา t เดือน

$C_o$ เป็นความเข้มข้นของกลูโคส แมนโนส และกรดอะมิโน ที่เวลา 0 เดือน

k เป็นค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกลูโคส แมนโนส และกรดอะมิโน

t เป็นเวลา

จากสมการข้างต้น จะได้ว่าความชันของกราฟเส้นตรงคือค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของสาร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ทั้ง 11 ชนิด (ตารางที่ 21) พบว่าค่าที่ได้ของผงเจลว่านหางจระเข้แต่ละตำรับและค่าของกรดอะมิโนแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 21: ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน

| กรดอะมิโน | ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัว (k) ของกรดอะมิโน (nmole/g.s) ในผงเจลว่านหางจระเข้ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | เจลบริสุทธิ์ | ผสม PA | ผสม acacia 1.0% w/v | ผสม PVP 2.0% w/v | ผสม MC 0.6%w/v | รวม | ค่าเฉลี่ย |
| Glu | 0.511 | 0.723 | 0.416 | 0.333 | 0.629 | 2.612 | 0.522 |
| Ser | 0.420 | 0.740 | 0.365 | 0.362 | 0.487 | 2.374 | 0.475 |
| His | 0.601 | 0.906 | 0.584 | 0.746 | 0.660 | 3.497 | 0.699 |
| Gly | 0.620 | 1.178 | 0.624 | 0.413 | 0.725 | 3.560 | 0.712 |
| Arg | 0.638 | 1.293 | 0.614 | 0.408 | 0.800 | 3.753 | 0.751 |
| Thre | 0.598 | 0.873 | 0.516 | 0.345 | 0.608 | 2.940 | 0.588 |
| Ala | 0.346 | 0.657 | 0.276 | 0.167 | 0.405 | 1.851 | 0.370 |
| Tyr | 0.733 | 1.605 | 0.661 | 0.511 | 0.853 | 4.363 | 0.873 |
| Phe | 1.430 | 1.775 | 0.889 | 0.802 | 1.480 | 6.376 | 1.275 |
| Ile | 0.875 | 1.575 | 0.699 | 0.584 | 0.973 | 4.706 | 0.941 |
| Leu | 1.121 | 1.575 | 0.751 | 0.703 | 1.150 | 5.300 | 1.060 |
| รวม | 7.893 | 12.900 | 6.395 | 5.374 | 8.770 | 41.332 | |
| ค่าเฉลี่ย | 0.717 | 1.173 | 0.581 | 0.488 | 0.797 | | |

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ซึ่งเก็บในสภาพเร่งเป็นเวลา 4 เดือน โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way analysis of variance) เมื่อ treatment เป็นผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ และ Block เป็นชนิดของกรดอะมิโน พบว่าค่า Variance ratio ในการเปรียบเทียบค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนระหว่างตำรับต่าง ๆ เท่ากับ 40.41 (ตารางที่ 22) ซึ่งสูงกว่า $F_{0.05}(4,40)$ จากตาราง จึงปฏิเสธสมมุติฐานที่ว่าผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ มีค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนเท่ากัน นอกจากนี้ Variance ratio ในการเปรียบเทียบค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ สูงกว่า $F_{0.05}(10,40)$ เช่นกัน(ตารางที่ 22) ดังนั้นค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน($p<0.05$)

ตารางที่ 22: การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของค่าคงที่อัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน

| Source | df | SS | MS | Variance ratio | $F_{0.05}$ จากตาราง |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 3.0665 | 0.7666 | 40.14 | $F_{0.05}(4,40) = 2.37$ |
| Block | 10 | 3.6277 | 0.3628 | 18.99 | $F_{0.05}(10,40) = 1.85$ |
| Error | 40 | 0.7624 | 0.0191 | | |
| Total | 54 | 7.4566 | | | |

การทดสอบความแตกต่างของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนในผงเจลว่านหางจระเข้แต่ละตำรับ เพื่อดูว่าตำรับคู่ใดที่มีค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวแตกต่างกัน ใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (ตารางที่ 23) พบว่าค่าเฉลี่ยการสลายตัวของตำรับต่าง ๆ เรียงจากน้อยไปมาก มีลำดับดังนี้ เจลผสม PVP < เจลผสม acacia < เจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์ < เจลผสม MC < เจลผสม Bronidox-L®, sodium metabisulfite และ EDTA ซึ่งมีค่า 0.488<0.581<0.717<0.797<1.173 (nmole/g.s) ตามลำดับ เมื่อทดสอบโดย Duncan's New Multiple Range Test แล้ว พบว่า ตำรับเจลบริสุทธิ์กับเจลผสม MC มีค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวไม่ต่างกัน (ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p>0.05$) และตำรับเจลผสม PVP กับ เจลผสม acacia มีค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนไม่ต่างกันเช่นกัน จึงสามารถเรียงลำดับอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ จากน้อยไปมากได้ดังนี้

(เจลผสม PVP(K30) = ผสม acacia) < (เจลบริสุทธิ์ = ผสม MC (15cps.)) < เจลผสม PA

ผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับการทดลองเมื่อเก็บผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ซึ่งเตรียมจากเจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกันไว้ในสภาพเร่งเป็นเวลา 2 เดือน ดังนั้นจึงสามารถสรุปความคงสภาพทางเคมีของตำรับต่าง ๆ ได้ดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 23: การทดสอบความแตกต่างของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนใน ผงเจลว่านหางจระเข้แต่ละตำรับ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

| ตำรับ* | ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย | LSR** | นัยสำคัญทางสถิติ*** |
|---|---|---|---|
| 1 กับ 2 | 0.456 | 0.126 | มีนัยสำคัญ |
| 1 กับ 3 | 0.136 | 0.119 | มีนัยสำคัญ |
| 1 กับ 4 | 0.229 | 0.126 | มีนัยสำคัญ |
| 1 กับ 5 | 0.080 | 0.119 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| 2 กับ 3 | 0.592 | 0.129 | มีนัยสำคัญ |
| 2 กับ 4 | 0.685 | 0.132 | มีนัยสำคัญ |
| 2 กับ 5 | 0.376 | 0.119 | มีนัยสำคัญ |
| 3 กับ 4 | 0.093 | 0.119 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| 3 กับ 5 | 0.216 | 0.126 | มีนัยสำคัญ |
| 4 กับ 5 | 0.309 | 0.129 | มีนัยสำคัญ |

* ตำรับที่ 1 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์

ตำรับที่ 2 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L®, sodium metabisulfite และ EDTA

ตำรับที่ 3 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้ผสม acacia 1.0% w/v

ตำรับที่ 4 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้ผสม PVP (K30) 2.0% w/v

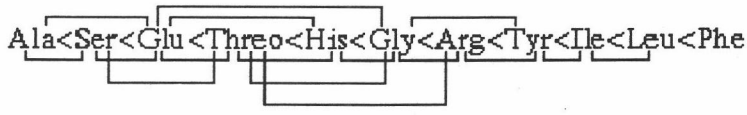
ตำรับที่ 5 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้ผสม MC (15cps.) 0.6% w/v

** LSR = Least significant range

*** มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p<0.05$

ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p>0.05$

สำหรับค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ เมื่อเรียงจากน้อยไปหามากจะได้ลำดับดังนี้ Ala<Ser<Glu<Threo<His<Gly<Arg<Tyr<Ile<Leu<Phe คือ 0.370<0.475<0.522<0.588<0.699<0.712<0.751<0.873<0.941<1.060<1.275 (nmole/g.s) ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ตารางที่ 24) พบว่า ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆเป็นดังนี้ โดยคู่ที่มีเส้นโยงต่อกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)




alanine, serine และ glutamic acid มีการสลายตัวน้อยที่สุด ส่วน phenylalanine มีการสลายตัวมากที่สุด

ตารางที่ 24: การทดสอบความแตกต่างของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนแต่ละชนิด โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

| ชนิดกรดอะมิโน | ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย | LSR | นัยสำคัญทางสถิติ*** |
|---|---|---|---|
| Glu กับ Ser | 0.047 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ His | 0.177 | 0.186 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ Gly | 0.190 | 0.192 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ Arg | 0.229 | 0.196 | มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ Thre | 0.066 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ Ala | 0.152 | 0.186 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ Tyr | 0.351 | 0.199 | มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ Phe | 0.753 | 0.206 | มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ Ile | 0.419 | 0.202 | มีนัยสำคัญ |
| Glu กับ Leu | 0.538 | 0.204 | มีนัยสำคัญ |
| Ser กับ His | 0.224 | 0.192 | มีนัยสำคัญ |
| Ser กับ Gly | 0.237 | 0.196 | มีนัยสำคัญ |
| Ser กับ Arg | 0.276 | 0.199 | มีนัยสำคัญ |

ตารางที่ 24: การทดสอบความแตกต่างของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนแต่ละชนิด โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ต่อ)

| ชนิดกรดอะมิโน | ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย | LSR | นัยสำคัญทางสถิติ*** |
|---|---|---|---|
| Ser กับ Thre | 0.113 | 0.186 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Ser กับ Ala | 0.105 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Ser กับ Tyr | 0.398 | 0.202 | มีนัยสำคัญ |
| Ser กับ Phe | 0.800 | 0.207 | มีนัยสำคัญ |
| Ser กับ Ile | 0.466 | 0.204 | มีนัยสำคัญ |
| Ser กับ Leu | 0.585 | 0.206 | มีนัยสำคัญ |
| His กับ Gly | 0.013 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| His กับ Arg | 0.052 | 0.186 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| His กับ Thre | 0.111 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| His กับ Ala | 0.329 | 0.196 | มีนัยสำคัญ |
| His กับ Tyr | 0.174 | 0.192 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| His กับ Phe | 0.576 | 0.202 | มีนัยสำคัญ |
| His กับ Ile | 0.242 | 0.196 | มีนัยสำคัญ |
| His กับ Leu | 0.361 | 0.199 | มีนัยสำคัญ |
| Gly กับ Arg | 0.039 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Gly กับ Thre | 0.124 | 0.186 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Gly กับ Ala | 0.342 | 0.199 | มีนัยสำคัญ |
| Gly กับ Tyr | 0.161 | 0.186 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Gly กับ Phe | 0.563 | 0.199 | มีนัยสำคัญ |
| Gly กับ Ile | 0.229 | 0.192 | มีนัยสำคัญ |
| Gly กับ Leu | 0.348 | 0.196 | มีนัยสำคัญ |
| Arg กับ Thre | 0.163 | 0.192 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Arg กับ Ala | 0.381 | 0.202 | มีนัยสำคัญ |
| Arg กับ Tyr | 0.122 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Arg กับ Phe | 0.524 | 0.196 | มีนัยสำคัญ |
| Arg กับ Ile | 0.190 | 0.186 | มีนัยสำคัญ |
| Arg กับ Leu | 0.309 | 0.192 | มีนัยสำคัญ |
| Thre กับ Ala | 0.218 | 0.192 | มีนัยสำคัญ |

ตารางที่ 24: การทดสอบความแตกต่างของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกรดอะมิโนแต่ละชนิด โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ต่อ)

| ชนิดกรดอะมิโน | ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย | LSR | นัยสำคัญทางสถิติ*** |
|---|---|---|---|
| Thre กับ Tyr | 0.285 | 0.196 | มีนัยสำคัญ |
| Thre กับ Phe | 0.687 | 0.204 | มีนัยสำคัญ |
| Thre กับ Ile | 0.353 | 0.199 | มีนัยสำคัญ |
| Thre กับ Leu | 0.472 | 0202 | มีนัยสำคัญ |
| Ala กับ Tyr | 0.503 | 0.204 | มีนัยสำคัญ |
| Ala กับ Phe | 0.905 | 0.209 | มีนัยสำคัญ |
| Ala กับ Ile | 0.571 | 0.206 | มีนัยสำคัญ |
| Ala กับ Leu | 0.690 | 0.207 | มีนัยสำคัญ |
| Tyr กับ Phe | 0.402 | 0.192 | มีนัยสำคัญ |
| Tyr กับ Ile | 0.068 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| Tyr กับ Leu | 0.187 | 0.186 | มีนัยสำคัญ |
| Phe กับ Ile | 0.334 | 0.186 | มีนัยสำคัญ |
| Phe กับ Leu | 0.215 | 0.177 | มีนัยสำคัญ |
| Ile กับ Leu | 0.119 | 0.177 | ไม่มีนัยสำคัญ |

* LSR = least significant range

** มีนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$

ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ $p>0.05$

สำหรับการสลายตัวของกลูโคสและแมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ของเจลว่านหาง-จระเข้ในรูปผงแห้ง ที่เก็บในสภาพเร่งเป็นเวลา 4 เดือน มีค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ไม่เท่ากัน และการสลายตัวของกลูโคส และแมนโนสไม่เท่ากันเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 25) เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way analysis of variance) (ตารางที่ 26) พบว่า ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ ในผงเจลว่านหางจระเข้แต่ละตำรับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจาก Variance ratio ของ treatment เท่ากับ 8.4248 และ $F_{0.05}(4,4)$ เท่ากับ 6.39 ดังนั้นจึงตกอยู่ในช่วงไม่ยอมรับสมมุติฐานที่ว่า แต่ละตำรับมีค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์เท่ากัน ส่วนค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของกลูโคสและแมนโนสในโพลิแซคคาไรด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เช่นเดียวกันเนื่องจาก Variance ratio เท่ากับ 20.77 สูงกว่า $F_{0.05}(1,4)$ จากตารางซึ่งเท่ากับ 7.71 (ตารางที่ 26) โดยที่กลูโคสมีค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวมากกว่า

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในโพลิ-แซคคาไรด์ ในผงเจลว่านหางจระเข้แต่ละตำรับ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ตารางที่ 27) จะได้ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เรียงจากค่ามากไปน้อยได้ลำดับดังนี้

เจลผสม PA>[เจลผสมMC(15cps.)=เจลบริสุทธิ์=เจลผสม acacia=เจลผสม PVP (K30)]

ตารางที่ 25: ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ ในผงเจลว่านหาง-จระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน

| น้ำตาล | ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัว (k) ของน้ำตาล (mg/g.s) ในผงเจลว่านหางจระเข้ | | | | | รวม | เฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | เจลบริสุทธิ์ | ผสม PA | ผสม acacia 1.0% w/v | ผสม PVP(K30) 2.0% w/v | ผสม MC (15cps.) 0.6% w/v | | |
| กลูโคส | 0.517 | 1.009 | 0.350 | 0.262 | 0.596 | 2.734 | 0.547 |
| แมนโนส | 0.168 | 0.494 | 0.151 | 0.138 | 0.273 | 1.224 | 0.245 |
| รวม | 0.685 | 1.503 | 0.501 | 0.400 | 0.869 | 3.958 | |
| เฉลี่ย | 0.343 | 0.752 | 0.251 | 0.200 | 0.435 | | |

ตารางที่ 26: การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 °ซ, 75% RH เป็นเวลา 4 เดือน

| Source | df | SS | MS | Variance ratio | $F_{0.05}$ จากตาราง |
|---|---|---|---|---|---|
| Treatment | 4 | 0.3806 | 0.0952 | 8.4248 | $F_{0.05}(4,4) = 6.39$ |
| Block | 1 | 0.2280 | 0.2280 | 20.1770 | $F_{0.05}(1,4) = 7.71$ |
| Error | 4 | 0.0452 | 0.0113 | | |
| Total | 9 | 0.6538 | | | |

ตารางที่ 27: การทดสอบความแตกต่าง ของค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาล ใน โพลิแซคคาไรด์ ในผงเจลว่านหางจระเข้แต่ละตำรับ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

| ตำรับ* | ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย | LSR** | นัยสำคัญทางสถิติ*** |
|---|---|---|---|
| 1 กับ 2 | 0.409 | 0.302 | มีนัยสำคัญ |
| 1 กับ 3 | 0.092 | 0.296 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| 1 กับ 4 | 0.143 | 0.302 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| 1 กับ 5 | 0.092 | 0.296 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| 2 กับ 3 | 0.501 | 0.302 | มีนัยสำคัญ |
| 2 กับ 4 | 0.552 | 0.302 | มีนัยสำคัญ |
| 2 กับ 5 | 0.317 | 0.296 | มีนัยสำคัญ |
| 3 กับ 3 | 0.051 | 0.296 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| 3 กับ 4 | 0.184 | 0.302 | ไม่มีนัยสำคัญ |
| 4 กับ 5 | 0.235 | 0.302 | ไม่มีนัยสำคัญ |

* ตำรับที่ 1 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้บริสุทธิ์

ตำรับที่ 2 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L®, sodium metabisulfite และ EDTA

ตำรับที่ 3 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้ผสม acacia 1.0% w/v

* ตำรับที่ 4 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้ผสม PVP (K30) 2.0% w/v

ตำรับที่ 5 หมายถึง ผงเจลว่านหางจระเข้ผสม MC (15cps.) 0.6% w/v

** LSR = Least significant range

*** มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p<0.05$

ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p>0.05$

เนื่องจากการศึกษาความคงสภาพทางเคมีในสภาพเร่งเป็นเวลา 2 เดือน ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ซึ่งเตรียมจากเจลว่านหางจระเข้ชุดเดียวกัน ยังไม่สามารถสรุปได้ว่า เมื่อมองในภาพรวมของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์แล้วความคงสภาพของตำรับเป็นอย่างไร แต่อาจเป็นไปได้ว่า ตำรับเจลบริสุทธิ์, ตำรับซึ่งผสม acacia, MC และ PVP มีความคงสภาพไม่แตกต่างกัน หรือ ตำรับเจลผสม MC เท่ากับ เจลบริสุทธิ์ แต่มีความคงสภาพของน้ำตาลต่ำกว่าเจลผสม acacia และ PVP หรืออื่น ๆ แต่จากการศึกษาในสภาพเร่ง 4 เดือน ได้ผลว่า ค่าคงที่ของอัตราการสลายตัวของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์เป็นดังกล่าวข้างต้นคือ เจลผสม PA>[เจลผสมMC=เจลบริสุทธิ์=เจลผสม acacia=เจลผสม PVP] ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ความคงสภาพทางเคมีของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาเรียงลำดับได้ดังนี้

เจลผสม PA<[เจลผสมMC(15cps.)=เจลบริสุทธิ์=เจลผสม acacia=เจลผสม PVP (K30)]

จากข้อสรุปความคงสภาพทางเคมีของกรดอะมิโน และน้ำตาลโพลิแซคคาไรด์ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ในสภาพเร่งคือ

**สำหรับกรดอะมิโน: เจลผสม PA < (เจลผสม MC = เจลบริสุทธิ์) < (เจลผสม acacia = เจลผสมPVP)**

**สำหรับน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์: เจลผสม PA < (เจลผสม MC = เจลบริสุทธิ์ = เจลผสม acacia = เจลผสมPVP)**

พบว่าตำรับเจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L® 0.2% v/v, sodium metabisulfite 0.1% w/v และ EDTA 0.05% w/v มีความคงสภาพทางเคมีน้อยที่สุดทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติกรดอะมิโนในเจลว่านหางจระเข้ถูกออกซิไดซ์ได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม แต่ตำรับนี้มี sodium metabisulfite ซึ่งเกิดปฏิกิริยาอย่างใดอย่างหนึ่งกับกรดอะมิโน (ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น) ด้วย จึงเสริมกันในการทำให้กรดอะมิโนในตำรับลดลงมากกว่าตำรับอื่น ๆ เมื่อเก็บในสภาพเร่ง ส่วนการที่น้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์สลายตัวมากกว่าตำรับอื่น ๆ ยังไม่สามารถหาเหตุผลอธิบายได้ สำหรับตำรับอื่น ๆ พบว่า เจลผสม MC กับเจลบริสุทธิ์มีความคงสภาพทางเคมีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเจลผสม acacia กับเจลผสม PVP

13) เมื่อตำรับเจลผสม MC ดูดความชื้นง่ายกว่าตำรับอื่น จึงมีความคงสภาพค่อนข้างต่ำกว่า เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะมิโนและเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของน้ำตาลในโพลิแซคคาไรด์ได้มากกว่า หรือขึ้นอยู่กับปริมาณโดย MC ที่ใส่ลงในตำรับมีปริมาณ 0.6% w/v ในขณะที่ acacia และ PVP ใช้ในปริมาณ 1.0%w/v และ 2.0%w/v ตามลำดับ ผลในการทำให้เกิดความไม่สะดวกในการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ของสารสำคัญจึงน้อยกว่า หรือ อาจขึ้นอยู่กับทั้งชนิดและปริมาณ แต่ทั้งนี้ควรมีการทดลองในส่วนนี้เพิ่มเติมต่อไป

### 3.2.2 การศึกษาความคงสภาพทางเคมีที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) และตู้เย็น

การศึกษาความคงสภาพทางเคมีที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) และตู้เย็น ใช้เวลา 4 เดือน นำผลที่ได้ (ตารางที่ 28-40) มาเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ และกลูโคส แมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ในผงเจลว่านหางจระเข้แต่ละตำรับ ที่เวลา 0, 2 และ 4 เดือน เพื่อศึกษาว่า ในเวลา 4 เดือน ปริมาณสารต่าง ๆ ในแต่ละตำรับมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างของความเข้มข้นของสารในเดือนต่าง ๆ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (ภาคผนวก ซ และ ฌ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเข้มข้นของกรดอะมิโนทุกชนิด กลูโคส และแมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ พบว่า ความเข้มข้นของสารแต่ละตัวในแต่ละตำรับ ที่เวลา 0, 2 และ 4 เดือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) และในตู้เย็น ยกเว้นความเข้มข้นของ leucine ในตำรับผงเจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L®, sodium metabisulfite และ EDTA เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยที่เวลา 4 เดือนจะมีความเข้มข้นของ leucine น้อยกว่าในเดือนแรก และเดือนที่สอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการทดลองแสดงว่า เมื่อเก็บผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ในตู้เย็น จะทำให้ตำรับมีความคงสภาพทางเคมีดีกว่าที่อุณหภูมิห้องซึ่งในเดือนที่ 4 เริ่มเห็นความไม่คงสภาพของ leucine (เป็นกรดอะมิโนที่มีความคงสภาพต่ำ) ในตำรับที่มีความคงสภาพต่ำที่สุด คือ เจลผสม Bronidox-L®, sodium metabisulfite และ EDTA นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ

ความคงสภาพทางเคมีในสภาพเร่ง, อุณหภูมิห้อง และในตู้เย็น พบว่าในสภาพเร่งทุกตำรับไม่มีความคงสภาพทางเคมีแต่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องและตู้เย็นทุกตำรับยังมีความคงสภาพดีอยู่ สามารถสรุปได้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในการเก็บ มีผลต่อความคงสภาพของตำรับสูงมาก เนื่องจากความชื้น และอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะมิโน และปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของโพลิแซคคาไรด์ ซึ่งจะเกิด reactive sugar ทำปฏิกิริยาต่อไปกับกรดอะมิโน โดยถ้าความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาจะยิ่งสูงขึ้นด้วย ดังนั้นสภาพการเก็บตำรับที่ดีที่สุดคือเก็บในตู้เย็นเนื่องจากมีความชื้น และอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังกล่าว

ตารางที่ 28: ความเข้มข้นของ glutamic acid ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บในตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ glutamic acid (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 243.87 ±7.23 | 244.01 ±13.2 | 242.55 ±6.69 | 243.87 ±7.23 | 242.70 ±8.52 | 242.24 ±11.79 |
| เจลผสม PA*** | 223.25 ±11.91 | 229.54 ±12.57 | 225.00 ±5.59 | 223.25 ±11.91 | 224.78 ±3.66 | 224.99 ±7.47 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 340.07 ±32.42 | 355.39 ±3.66 | 354.54 ±15.84 | 340.07 ±32.42 | 354.45 ±33.37 | 349.79 ±15.13 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 612.10 ±38.34 | 608.74 ±23.35 | 606.42 ±24.06 | 612.10 ±38.34 | 610.90 ±6.95 | 611.78 ±17.96 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 818.57 ±13.04 | 822.23 ±34.12 | 815.65 ±46.94 | 818.57 ±13.04 | 821.92 ±38.95 | 828.30 ±38.07 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 29: ความเข้มข้นของ serine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บในตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ serine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 516.87 ±10.92 | 513.14 ±7.89 | 511.90 ±20.81 | 516.87 ±10.92 | 513.11 ±13.45 | 512.80 ±17.36 |
| เจลผสม PA*** | 227.32 ±3.47 | 219.47 ±8.25 | 220.95 ±2.20 | 227.32 ±3.47 | 224.20 ±2.98 | 221.19 ±10.92 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 432.01 ±22.65 | 433.22 ±13.53 | 434.39 ±3.80 | 432.01 ±22.68 | 432.84 ±24.03 | 434.61 ±17.13 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 724.41 ±24.29 | 736.21 ±23.52 | 726.40 ±22.46 | 724.41 ±24.20 | 726.79 ±14.24 | 724.99 ±20.68 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 809.40 ±10.02 | 814.76 ±53.47 | 812.81 ±42.00 | 809.10 ±10.02 | 817.75 ±39.53 | 817.82 ±18.48 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 30: ความเข้มข้นของ histidine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บใน ตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ histidine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 256.97 ±96.13 | 2549.85 ±73.60 | 2549.97 ±147.72 | 2565.97 ±96.13 | 2532.52 ±166.94 | 2561.84 ±41.22 |
| เจลผสม PA*** | 1581.03 ±101.49 | 1585.34 ±95.48 | 1509.61 ±139.04 | 1581.03 ±104.19 | 1580.73 ±59.28 | 1583.58 ±94.76 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 2462.22 ±104.58 | 2480.18 ±94.73 | 2471.51 ±41.42 | 2462.22 ±104.58 | 2469.87 ±69.81 | 2464.64 ±83.85 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 2694.00 ±54.48 | 2654.14 ±119.96 | 2703.88 ±44.02 | 2694.00 ±54.48 | 2705.96 ±80.31 | 2698.55 ±88.12 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 3856.97 ±33.27 | 3845.13 ±231.24 | 3857.24 ±150.18 | 3856.97 ±33.27 | 3882.26 ±227.35 | 3947.34 ±138.20 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 31: ความเข้มข้นของ glycine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บใน ตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ glycine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 158.11 ±5.89 | 156.98 ±3.42 | 159.57 ±6.71 | 158.11 ±5.89 | 157.41 ±6.78 | 157.18 ±5.66 |
| เจลผสม PA*** | 109.11 ±3.92 | 108.35 ±3.70 | 102.10 ±3.79 | 109.11 ±3.92 | 106.49 ±9.78 | 107.08 ±6.30 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 118.58 ±4.85 | 112.08 ±3.75 | 112.36 ±1.70 | 118.58 ±4.85 | 109.66 ±7.94 | 111.69 ±4.03 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 294.82 ±14.41 | 293.70 ±7.21 | 293.16 ±16.08 | 294.82 ±14.41 | 293.60 ±7.55 | 292.62 ±10.94 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 231.42 ±10.76 | 232.91 ±21.83 | 236.46 ±19.61 | 231.2 ±10.76 | 241.62 ±18.13 | 235.36 ±14.87 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 32: ความเข้มข้นของ arginine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บใน ตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ arginine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 490.88 ±12.83 | 490.24 ±17.23 | 495.64 ±22.25 | 490.88 ±12.83 | 494.12 ±18.11 | 490.16 ±10.04 |
| เจลผสม PA*** | 237.59 ±18.88 | 239.66 ±13.42 | 224.82 ±12.41 | 237.59 ±18.88 | 233.69 ±20.24 | 233.31 ±4.99 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 449.34 ±17.16 | 445.68 ±16.75 | 448.14 ±17.38 | 499.34 ±17.16 | 449.49 ±3.80 | 449.86 ±16.18 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 597.99 ±21.85 | 594.96 ±12.35 | 600.75 ±22.41 | 597.99 ±21.85 | 593.45 ±13.43 | 597.42 ±18.49 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 442.31 ±20.22 | 437.02 ±23.30 | 446.89 ±27.39 | 442.31 ±20.22 | 442.69 ±23.57 | 428.80 ±16.79 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 33: ความเข้มข้นของ threonine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บในตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ threonine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 257.09 ±10.21 | 254.97 ±12.23 | 254.84 ±14.57 | 257.09 ±10.21 | 256.43 ±6.67 | 260.41 ±4.97 |
| เจลผสม PA*** | 240.65 ±7.92 | 242.85 ±12.77 | 235.03 ±16.93 | 240.65 ±7.92 | 237.22 ±17.10 | 234.83 ±13.53 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 243.17 ±3.41 | 244.38 ±10.94 | 242.32 ±6.09 | 243.17 ±3.41 | 248.15 ±9.48 | 243.61 ±11.92 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 413.75 ±26.38 | 413.90 ±17.84 | 413.71 ±8.56 | 413.75 ±26.38 | 411.51 ±8.18 | 417.67 ±9.49 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 275.67 ±6.51 | 272.70 ±20.09 | 272.39 ±21.71 | 275.67 ±6.51 | 270.18 ±18.91 | 274.48 ±17.08 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 34: ความเข้มข้นของ alanine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บใน ตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ alanine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 764.32 ±28.48 | 762.03 ±20.52 | 76.85 ±32.09 | 764.32 ±28.48 | 761.98 ±18.87 | 756.30 ±23.18 |
| เจลผสม PA*** | 125.08 ±9.55 | 123.88 ±4.95 | 125.06 ±3.33 | 125.08 ±9.55 | 115.46 ±5.93 | 125.88 ±4.03 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 321.51 ±8.29 | 322.88 ±17.48 | 322.37 ±8.18 | 321.51 ±8.29 | 322.99 ±17.37 | 320.98 ±14.84 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 951.17 ±26.60 | 946.36 ±36.00 | 952.51 ±23.36 | 951.17 ±26.60 | 943.47 ±53.67 | 957.67 ±28.24 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 436.72 ±10.96 | 434.49 ±16.30 | 435.42 ±16.80 | 436.72 ±10.96 | 432.24 ±29.90 | 433.59 ±17.33 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 35: ความเข้มข้นของ tyrosine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บใน ตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ tyrosine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 258.24 ±11.65 | 285.51 ±11.58 | 279.97 ±16.71 | 285.24 ±11.65 | 283.26 ±12.04 | 184.09 ±11.85 |
| เจลผสม PA*** | 176.55 ±7.24 | 175.88 ±11.30 | 165.86 ±2.97 | 176.55 ±7.24 | 182.98 ±11.17 | 177.30 ±17.07 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 248.14 ±2.33 | 244.26 ±14.09 | 248.47 ±5.00 | 248.14 ±2.33 | 247.50 ±10.26 | 246.65 ±14.78 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 367.16 ±11.84 | 366.01 ±26.43 | 361.62 ±28.62 | 367.16 ±11.89 | 370.19 ±21.02 | 363.94 ±15.60 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 170.21 ±3072 | 173.55 ±6.43 | 171.87 ±12.44 | 170.21 ±3.72 | 172.66 ±9.70 | 170.52 ±8.03 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 36: ความเข้มข้นของ phenylalanine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บในตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ phenylalanine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 1083.72 ±45.53 | 1055.76 ±80.79 | 1054.99 ±80.76 | 1083.72 ±45.53 | 1067.12 ±47.89 | 1077.68 ±39.44 |
| เจลผสม PA*** | 540.16 ±25.35 | 540.90 ±7.18 | 510.96 ±25.60 | 540.16 ±25.35 | 538.19 ±31.46 | 542.17 ±25.65 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 846.48 ±5.76 | 877.91 ±67.49 | 893.16 ±29.99 | 846.48 ±5.76 | 845.51 ±86.57 | 827.43 ±89.45 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 954.55 +93.55 | 961.41 ±60.88 | 950.96 ±39.51 | 954.55 ±93.55 | 953.62 ±12.47 | 951.46 ±39.22 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 881.92 ±12.39 | 869.43 ±39.66 | 869.12 ±46.86 | 881.92 ±12.39 | 878.37 ±20.73 | 875.28 ±16.10 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 37: ความเข้มข้นของ isoleucine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บในตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ isoleucine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 979.13 ±51.17 | 971.91 ±17.90 | 968.52 ±24.33 | 979.13 ±51.17 | 972.95 ±16.71 | 986.02 ±20.70 |
| เจลผสม PA*** | 564.87 ±15.24 | 567.31 ±25.98 | 529.34 ±22.46 | 564.87 ±15.24 | 562.87 ±29.18 | 566.88 +23.81 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 832.93 ±16.95 | 832.08 ±22.38 | 836.97 ±17.82 | 832.93 ±16.98 | 836.46 ±14.19 | 843.55 +28.38 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 961.20 ±92.83 | 914.70 ±38.33 | 947.83 ±52.16 | 961.20 ±92.83 | 954.90 ±28.21 | 960.42 +35.87 |
| เจลผสมMC (15cps) 0.6%w/v | 825.71 ±44.69 | 820.41 ±8.94 | 812.29 ±37.99 | 825.71 ±44.69 | 819.18 ±21.98 | 821.54 +10.37 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 38: ความเข้มข้นของ leucine ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ* เมื่อเก็บใน ตู้เย็นและอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 4 เดือน

| ตำรับ | ความเข้มข้นของ leucine (nmole/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 1569.20 ±59.24 | 1560.95 ±73.07 | 1500.71 ±51.30 | 1569.20 ±59.20 | 1555.18 ±115.27 | 1548.69 ±151.73 |
| เจลผสม PA*** | 578.18 ±26.31 | 570.58 ±5.35 | 535.15 ±6.82 | 578.18 ±26.31 | 570.21 ±18.11 | 567.92 ±24.54 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 968.81 ±26.57 | 957.08 ±59.33 | 949.03 ±71.08 | 968.81 ±26.71 | 949.69 ±71.25 | 967.26 ±60.55 |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 1375.30 ±49.55 | 1374.36 ±94.12 | 1371.35 ±127.08 | 1375.30 ±49.59 | 1400.69 ±59.50 | 1359.41 ±79.69 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 703.80 ±13.97 | 707.60 ±27.79 | 692.20 ±30.78 | 703.80 ±13.97 | 704.05 ±15.21 | 693.50 ±22.63 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 39: ความเข้มข้นของกลูโคสในโพลิแซคคาไรด์ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่างๆ *เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) และในตู้เย็น

| ตำรับ | ความเข้มข้นของกลูโคส (mg/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 28.69±0.79 | 28.04±0.80 | 28.54±0.23 | 28.69±0.79 | 28.80±0.77 | 28.68±0.38 |
| เจลผสม PA*** | 29.32±2.45 | 28.95±1.33 | 27.35±1.07 | 29.32±2.45 | 29.72±1.04 | 29.36±0.54 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 33.00±2.86 | 33.17±1.28 | 32.76±1.55 | 33.00±2.86 | 33.21±1.75 | 33.09±0.81 |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | 47.24±2.22 | 46.98±1.30 | 46.27±2.89 | 47.24±2.22 | 47.54±1.64 | 47.54±1.64 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 32.13±1.84 | 32.36±1.84 | 30.18±1.91 | 32.13±1.84 | 32.12±2.00 | 32.65±0.82 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

ตารางที่ 40: ความเข้มข้นของแมนโนสในโพลิแซคคาไรด์ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่างๆ* เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) และในตู้เย็น

| ตำรับ | ความเข้มข้นของแมนโนส (mg/g)** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | อุณหภูมิห้อง | | | ตู้เย็น | | |
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 2 | 4 |
| เจลบริสุทธิ์ | 49.26±2.99 | 49.95±2.39 | 49.35±1.62 | 49.26±2.99 | 48.77±1.85 | 49.02±2.13 |
| เจลผสม PA*** | 59.49±2.39 | 59.71±2.83 | 59.66±2.49 | 59.49±2.39 | 59.84±3.42 | 59.34±1.76 |
| เจลผสม acacia 1.0% w/v | 64.26±2.50 | 64.34±2.64 | 64.72±2.20 | 64.26±2.50 | 64.81±0.99 | 63.85±2.06 |
| เจลผสม PVP(K30) 2.0% w/v | 87.27±2.45 | 87.32±7.91 | 87.44±1.47 | 87.27±2.45 | 86.41±2.23 | 88.07±0.59 |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | 47.32±3.25 | 47.25±2.81 | 47.80±2.58 | 47.32±3.25 | 47.41±1.20 | 46.96±2.02 |

* หมายถึง เมื่อเทียบต่อเนื้อส่วนที่เป็นว่านหางจระเข้เท่ากันคือ 1 กรัม

** หมายถึง mean±SD; n = 3

*** หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v + EDTA 0.05% w/v

### 3.3 การศึกษาการปนเปื้อนเชื้อ

การศึกษาการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ของผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ใช้วิธีเช่นเดียวกับการทดสอบการปนเปื้อนเชื้อในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักในการเตรียมผงเจลว่านหางจระเข้ คือ เพื่อใส่ในตำรับเครื่องสำอาง หรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ภายนอก โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน, 2519) ซึ่งมีมาตรฐานดังนี้ (ให้คิดเป็นจำนวนโคโลนีต่อกรัม)

| | |
|---|---|
| 1. จำนวนแบคทีเรีย ยีสต์ และราทั้งหมด (total colony count) | น้อยกว่า 1000 |
| 2. presumptive coliform | น้อยกว่า 10 |
| 3. Faecal coli | น้อยกว่า 1 |
| 4. Staphylococcus aureus | น้อยกว่า 1 |
| 5. Pseudomonas aeruginosa | น้อยกว่า 1 |
| 6. Salmonella spp. | ต้องไม่พบใน100กรัม |

7. จุลินทรีย์ซึ่งทำให้เกิดการแปรสภาพ (fault producing organisms) เช่น Clostridium spp. ต้องไม่พบใน 100 กรัม

ผลการศึกษาการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ (ตารางที่ 41-43) เมื่อทดสอบการปนเปื้อนเชื้อหลังจากเตรียมผงว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ เสร็จ 1 วัน พบว่ามีเชื้อแบคทีเรียปนเปื้อนอยู่ในทุกตำรับ ยกเว้นเจลว่านหางจระเข้ผสม Bronidox-L® 0.2% v/v, Sodium metabisulfite 0.1% w/v และ EDTA 0.05% w/v ทั้งนี้อาจเนื่องจากตำรับนี้มี Bronidox-L® (5-bromo-5-nitro-1,3-dioxane) ทำหน้าที่เป็นสารถนอม ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งหรือฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ในขั้นตอนการเตรียมก่อนเข้าสู่กระบวนการไลโอฟิไลซ์ โดยคุณสมบัติของ Bronidox-L® นี้ สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบ (gram-negative bacteria และ gram-positive bacteria) และเชื้อรา แม้กระทั่ง Pseudomonas aeruginosa ซึ่งเป็นเชื้อที่มีปัญหามากในทางเครื่องสำอาง (Lorenz,1977) เมื่อเก็บตำรับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง (ambient

temperature) ต่อไป ปรากฏว่าในเดือนที่ 1, 3 และ 6 ตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ทุกชนิด คาดว่ามีสาเหตุจากปริมาณน้ำในผงเจลทุกตำรับค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 10%) แต่เชื้อจุลินทรีย์แทบทุกชนิดจำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการเมตาโบลิซึม โดยจะเจริญในที่มีน้ำอยู่มากได้ดีกว่าที่มีน้ำผสมอยู่น้อยกว่า น้ำจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการออสโมซิสของเซลจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ จะมีน้ำจากภายในเซลออกสู่ภายนอกเซล (เนื่องจากภายในเซลของเชื้อมีความดันออสโมติกต่ำกว่าภายนอก) ทำให้เกิด Plasmolysis โดยโปรโตปลาสซึมจะเหี่ยว และกระบวนการเมตาโบลิซึมของเซลเชื้อจุลินทรีย์หยุดชงัก และในที่สุดเชื้อจุลินทรีย์จะตาย ปริมาณน้ำที่เชื้อจุลินทรีย์แต่ละประเภทต้องการใช้ในการเจริญเติบโต (ตารางที่ 44) แตกต่างกันออกไปตามชนิดของเชื้อ แต่อย่างไรก็ตามเชื้อจุลินทรีย์ทุกประเภทต้องการน้ำในการเจริญเติบโตในปริมาณสูง

จากผลการศึกษาการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อเก็บผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน กล่าวได้ว่า ทุกตำรับผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน,2519)

ตารางที่ 41 : การปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรีย, ยีสต์และรา ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่างๆเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | จำนวนโคโลนีของแบคทีเรีย, ยีสต์ และรา (CFU/g)*** ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | | 1 | | 3 | | 6 | |
| | แบคทีเรีย | ยีสต์,รา | แบคทีเรีย | ยีสต์,รา | แบคทีเรีย | ยีสต์,รา | แบคทีเรีย | ยีสต์,รา |
| เจลบริสุทธิ์ | 100 | -** | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม PA* | - | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | 100 | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | 100 | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6% w/v | 200 | - | - | - | - | - | - | - |

*หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v +EDTA 0.05% w/v

**หมายถึง ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

***เป็นจำนวนโคโลนีที่คูณ dilution factor คือ 100

ตารางที่ 42 : การปนเปื้อนเชื้อ Presumptive coliform และ Faecal coli ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | จำนวนโคโลนี (CFU/g) ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | | 1 | | 3 | | 6 | |
| | Presumptive coliform | Faecal coli | Presumptive coliform | Faecal coli | Presumptive coliform | Faecal coli | Presumptive coliform | Faecal coli |
| เจลบริสุทธิ์ | -** | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม PA* | - | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | - | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | - | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6%w/v | - | - | - | - | - | - | - | - |

*หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v +EDTA 0.05%w/v

**หมายถึง ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 43 : การปนเปื้อนของเชื้อ S. aureus, P. aeruginosa, Salmonella spp., Clostridium spp. ในผงเจลว่านหางจระเข้ตำรับต่างๆ เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) เป็นเวลา 6 เดือน

| ตำรับ | จำนวนโคโลนี (CFU/g) ที่ระยะเวลาต่างๆ (เดือน) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | | | | 1 | | | | 3 | | | | 6 | | | |
| | S.aureus | P.aeruginosa | Salmonella spp. | Clostridium spp | S.aureus | P.aeruginosa | Salmonella spp. | Clostridium spp | S.aureus | P.aeruginosa | Salmonella spp. | Clostridium spp | S.aureus | P.aeruginosa | Salmonella spp. | Clostridium spp |
| เจลบริสุทธิ์ | -** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม PA* | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม Acacia 1.0% w/v | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม PVP (K30) 2.0% w/v | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| เจลผสม MC (15cps) 0.6% w/v | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

*หมายถึง Bronidox-L® 0.2% v/v + sodium metabisulfite 0.1% w/v +EDTA 0.05%w/v

**หมายถึง ไม่มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 44: ความต้องการน้ำต่ำสุด (Minimal water ability) ของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ (พิไลพรรณ พงษ์ทูล และบัญญัติ สุขศรีงาม, 2521)

| จุลินทรีย์ | ความต้องการน้ำต่ำสุด (minimal water ability) |
|---|---|
| normal bacteria | 0.91 |
| normal yeasts | 0.88 |
| normal molds | 0.80 |
| Halophilic bacteria | 0.75 |
| Xerophilic molds | 0.65 |
| Osmophilic yeasts | 0.65 |