

ผลของเจมไฟโบรซิลต่อการทำงานของไมโทคอนเดรียที่แยกจากตับหนูขาว

นางสาวกมลวรรณ ประภัสศิริพันธ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

ภาควิชาเภสัชวิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-638-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019269.11726008x

EFFECTS OF GEMFIBROZIL ON THE FUNCTIONS OF
ISOLATED RAT LIVER MITOCHONDRIA

Miss Kamonwan Prapassiripan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Pharmacy

Department of Pharmacology

Graduate School


Chulalongkorn University

1993

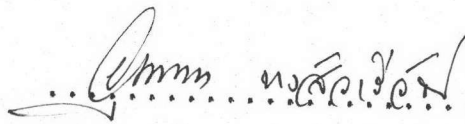
ISBN 974-582-638-2

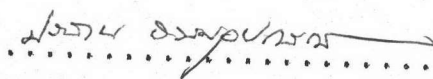
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของเจมไฟโบรซิลต่อการทำงานของไมโทคอนเดรียที่แยก
จากตับหนูขาว
โดย นางสาวกมลวรรณ ประภัสศิริพันธ์
ภาควิชา เกษษวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ประภกร จุกะพงษ์

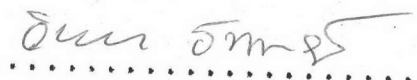
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

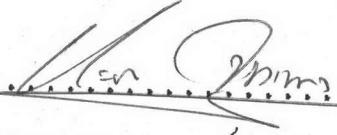

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อุษณา หงส์วาริวัจน์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประสาน ชรรวมอุปกรณ์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยา จันทนุสร)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภกร จุกะพงษ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



กมลวรรณ ประภัสศิริพันธุ์ : ผลของเจมไฟโบรซิลต่อการทำงานของไมโทคอนเดรียที่แยกจาก
ตับหนูขาว (EFFECTS OF GEMFIBROZIL ON THE FUNCTIONS OF ISOLATED RAT
LIVER MITOCHONDRIA) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ประกร จุฑะพงษ์, 142 หน้า
ISBN 974-582-638-2

จากการศึกษาคุณสมบัติของ gemfibrozil ต่อการทำงานของไมโทคอนเดรียที่แยกจากตับหนูขาว พบว่า gemfibrozil มีผล 2 แบบต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย คือ แบบที่ 1 gemfibrozil ออกฤทธิ์เป็น classical uncoupler กระตุ้นการหายใจ state 4 และกระตุ้นการทำงานของ เอนไซม์ ATPase ของไมโทคอนเดรีย แบบที่ 2 gemfibrozil ออกฤทธิ์ยับยั้งการขนส่งอิเล็กตรอน ที่ complex I ของลูกโซ่การหายใจ ทำให้การหายใจ state 3 และ 3u ของไมโทคอนเดรีย มีอัตราลดลง เป็นผลให้การควบคู่กันระหว่างกระบวนการออกซิเดชันและกระบวนการฟอสฟอริเลชันเสียไป และทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์ ATP ของไมโทคอนเดรียลดลง การที่ gemfibrozil ทำให้การสังเคราะห์ ATP ในตับลดลงอาจเกี่ยวข้องกับกลไกการออกฤทธิ์ของยาในระดับโมเลกุล นอกจากนี้ยังพบว่า gemfibrozil กระตุ้นการปลดปล่อยแคลเซียมออกจากไมโทคอนเดรีย แต่ไม่มีผลต่อ activity ของเอนไซม์ monoamine oxidase การใช้ gemfibrozil ติดต่อกันเป็นระยะเวลาาน อาจก่อผลไม่พึงประสงค์ต่อการทำงานของตับเนื่องจากระดับของ ATP ภายในเซลล์ลดลง

ภาควิชา เกษัชวิทยา
สาขาวิชา เกษัชวิทยา
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต กนค. ๐๗
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

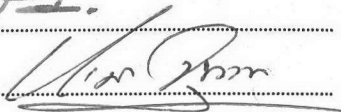
C475285 : MAJOR PHARMACOLOGY

KEY WORD: GEMFIBROZIL / RAT LIVER MITOCHONDRIA

KAMONWAN PRAPASSIRIPAN : EFFECTS OF GEMFIBROZIL ON THE FUNCTIONS OF ISOLATED RAT LIVER MITOCHONDRIA. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PRAKORN CHUDAPONGSE, Ph.D., 142 pp. ISBN 974-582-638-2

The effects of gemfibrozil on the functions of isolated rat liver mitochondria have been studied. Gemfibrozil has dual actions on mitochondrial respiration. This compound behaves as classical uncouplers by stimulating state 4 respiration and activating ATPase activity of isolated mitochondria. It also acts as respiratory chain inhibitor by inhibiting complex I of mitochondrial respiratory chain leading to reduction in state 3 and 3u respiratory rate. These effects impair the coupling between oxidation and phosphorylation and reduce mitochondrial ATP synthesizing capability. The gemfibrozil-induced decrease in hepatic ATP synthesis may be involved in the molecular mechanism of blood lipid-lowering action of this drug. In addition, mitochondrial calcium efflux has been found to be stimulated while monoamine oxidase activity is unaffected by gemfibrozil. It is possible that long term administration of gemfibrozil may adversely affect liver functions due to diminished intracellular ATP level.

ภาควิชา..... เกสัชวิทยา
สาขาวิชา..... เกสัชวิทยา
ปีการศึกษา..... 2535

ลายมือชื่อนิสิต..... กนก. ๐๒๒.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ประกร จุฑะพงษ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ
ตลอดการดำเนินงานวิจัย และด้วยเงินทุนวิจัยในครั้งนี้นั้นส่วนหนึ่งได้จากบัณฑิตวิทยาลัย
ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ มา ณ ที่นี้

โดยที่การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการของภาควิชาเภสัช-
วิทยา คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้รับการอนุญาตจาก
รองศาสตราจารย์ อุษณา หงส์วาริวัธน์ หัวหน้าภาควิชาเภสัชวิทยา ผู้เขียน
จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้เขียนหวังว่าผลการวิจัยที่ได้นำเสนอทั้งหมดต่อไปนี้จะ เป็นประโยชน์
ต่อผู้สนใจและอาจนำไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปได้บ้างไม่มากนักน้อย
และสุดท้ายนี้คุณความดีและประโยชน์ต่าง ๆ ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียน
ขอมอบให้แต่ คุณพ่อ + คุณแม่ ผู้เป็นที่รักยิ่ง

กมลวรรณ ประภัสศิริพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ถ
บทที่	
1. บทนำ	1
ส่วนที่ 1 ข้อมูลทางด้านเภสัชวิทยาและพิษวิทยาของ gemfibrozil	3
ส่วนที่ 2 การทำงานของไมโทคอนเดรียในแง่การหายใจ และกระบวนการออกซิเดทีฟ ฟอสฟอริเลชัน .	12
ส่วนที่ 3 แนวเหตุผลนำไปสู่การวิจัย	34
2. อุปกรณ์และวิธีทำวิจัย	35
สัตว์ทดลอง	35
การเตรียมไมโทคอนเดรียจากตับหนูขาว	35
การเตรียม osmotic-shocked mitochondria ...	38
Incubation medium	38
การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของไมโทคอนเดรียในสภาวะ ต่าง ๆ	39
การแบ่งภาวะการหายใจของไมโทคอนเดรีย	43

บทที่

หน้า

การคำนวณค่าดัชนีควบคุมการหายใจ, อัตราส่วน ADP/O และอัตราการใช้ออกซิเจนของไมโทคอนเดรีย	44
การวัด ATPase activity ของไมโทคอนเดรีย	49
การวัดการละลายและการปลดปล่อยแคลเซียมโดยไมโทคอนเดรีย	50
การวัด activity ของเอนไซม์โมโนเอมีน ออกซิเดส (MAO)	51
การหาปริมาณโปรตีนของไมโทคอนเดรีย	51
การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิจัยและแหล่งที่มาของสารเคมี	53
การแสดงผลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ..	55
3. ผลการวิจัย	56
1. ผลของเจมไฟโบรซิล (gemfibrozil) ต่อการหายใจของไมโทคอนเดรียที่แยกจากตับหนูขาว ...	56
1.1 ผลของ gemfibrozil ในขนาดต่าง ๆ ที่มีต่ออัตราการใช้ออกซิเจนใน states ต่างๆ ของไมโทคอนเดรีย	56
1.2 ผลของ gemfibrozil ในขนาดต่าง ๆ ที่มีต่อค่าดัชนีควบคุมการหายใจ (RCI) และอัตราส่วน ADP/O ของไมโทคอนเดรีย ...	58
1.2.1 เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	58
1.2.2 เมื่อใช้ succinate เป็น substrate	59

บทที่

หน้า

1.3	ผลของ gemfibrozil ต่อ state 3u respiration	59
1.3.1	เมื่อกดลองกับ intact mito- chondria	59
1.3.2	เมื่อกดลองกับ osmotic-shocked mitochondria	60
1.4	ผลของ gemfibrozil ต่อการหายใจของ ไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ NAD^+ -linked substrate	62
1.4.1	เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	62
1.4.2	เมื่อ β -hydroxybutyrate เป็น substrate	63
1.4.3	เมื่อใช้ α -ketoglutarate เป็น substrate	63
1.5	ผลของการเปลี่ยนแปลง pH ของ incuba- tion medium ต่อการออกฤทธิ์ของ gem- fibrozil ต่อการหายใจ states ต่าง ๆ ของไมโทคอนเดรีย	64
1.5.1	ผลต่อการกระตุ้น state 4 respiration	64
1.5.2	ผลการต่อกรยับยั้ง state 3 respiration	64

บทที่

หน้า

1.5.3	ผลต่อการยับยั้ง state 3u respiration	65
1.6	ผลของ bovine serum albumin (BSA) ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ gemfibrozil ต่อ การหายใจของไมโทคอนเดรีย	65
1.7	ผลของ dithiothreitol (DTT) ที่มีต่อ การออกฤทธิ์ของ gemfibrozil ต่อการ หายใจของไมโทคอนเดรีย	66
2.	ผลของ gemfibrozil ต่อ ATPase activity ของไมโทคอนเดรีย	68
2.1	ผลของ gemfibrozil ต่อ ATPase activity เมื่อถูกกระตุ้นด้วย DNP	68
2.2	ผลของ gemfibrozil ต่อ ATPase activity เมื่อไม่ถูกกระตุ้นด้วย DNP ...	69
3.	ผลของ gemfibrozil ที่มีต่อการสะสมและการ ปลดปล่อยแคลเซียมโดยไมโทคอนเดรีย	69
3.1	ผลของ gemfibrozil ต่อการสะสมและ การปลดปล่อยแคลเซียมของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	70
3.2	ผลของ gemfibrozil ต่อการสะสมและ การปลดปล่อยแคลเซียมของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ succinate เป็น substrate ..	70

บทที่	หน้า
4. ผลของ gemfibrozil ที่มีต่อ activity ของ เอนไซม์ monoamine oxidase (MAO) ของ ไมโทคอนเดรีย	71
5. การเปรียบเทียบผลของ gemfibrozil กับ clofi- bric acid ที่มีต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate รูปและตารางประกอบผลการวิจัย	73 76
4. อภิปรายและสรุปผลการทดลอง	118
ผลของ gemfibrozil ต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย	118
1. Gemfibrozil ออกฤทธิ์เป็น uncoupler	119
2. Gemfibrozil ออกฤทธิ์เป็น respiratory chain inhibitor	122
ผลของ gemfibrozil ต่อการทำงานอื่นของไมโท- คอนเดรีย	125
1. ผลของ gemfibrozil ต่อ ATPase activity	125
2. ผลของ gemfibrozil ต่อการสะสมและการปลด- ปล่อยแคลเซียมของไมโทคอนเดรีย	125
3. ผลของ gemfibrozil ต่อ activity ของ เอนไซม์ monoamine oxidase	127
การเปรียบเทียบผลของ gemfibrozil และ clofibric acid ที่มีต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย	127
ความเกี่ยวข้องระหว่างผลวิจัยที่ได้กับคุณสมบัติทางเภสัช- วิทยา และ/หรือพิษวิทยาของ gemfibrozil	128
เอกสารอ้างอิง	130
ประวัติผู้เขียน	142

ตารางที่	หน้า
1. การแบ่งประเภทของภาวะไขมันในเลือดผิดปกติ (classification of dyslipidaemias)	4
2. แสดงถึง mitochondrial membrane transport system	15
3. เอนไซม์ซึ่งกระจายในส่วนต่าง ๆ ของไมโทคอนเดรีย ...	16
4. การแบ่งองค์ประกอบของลูกโซ่การหายใจของไมโทคอนเดรียออกเป็น complex I-IV	21
5. แสดงการแบ่งภาวะ (states) ต่าง ๆ ของการหายใจของไมโทคอนเดรีย	44
6. ผลของ gemfibrozil ต่อค่าดัชนีความคมการหายใจ (RCI) และอัตราส่วน ADP/O เมื่อใช้ glutamate + malate และ succinate เป็น substrates	83
7. ผลของ gemfibrozil ต่อ state 3u respiration ของไมโทคอนเดรียเมื่อใช้ glutamate + malate, succinate และ ascorbate + TMPD เป็น substrates	84
8. ผลของ gemfibrozil ต่อ state 3u respiration ของ osmotic-shocked mitochondria เมื่อใช้ NADH, succinate และ ascorbate + TMPD เป็น substrates	85
9. ผลของ gemfibrozil ขนาด 60 μ M ต่อ state 3 respiration ของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ NAD^+ -linked substrates	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
10.	ผลของ gemfibrozil ขนาด 60 μ M ต่อ state 3u respiration ของไมโทคอนเดรียเมื่อใช้ NAD^+ -linked substrates	93
11.	ผลของ gemfibrozil ขนาด 60 μ M ต่อค่าดัชนีควบคุมการหายใจ (RCI) ของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ NAD^+ -linked substrates	94
12.	ผลของการเปลี่ยนแปลง pH และ incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ gemfibrozil ต่อการกระตุ้น state 4 respiration ของไมโทคอนเดรีย	95
13.	ผลของการเปลี่ยนแปลง pH และ incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ gemfibrozil ต่อการยับยั้ง state 3 respiration ของไมโทคอนเดรีย	96
14.	ผลของการเปลี่ยนแปลง pH และ incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ gemfibrozil ต่อการยับยั้ง state 3u respiration ของไมโทคอนเดรีย	97
15.	ผลของ DTT ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ gemfibrozil ในการกระตุ้นการหายใจ state 4, การยับยั้ง state 3 และ 3u ของไมโทคอนเดรีย	102
16.	ผลของ gemfibrozil ต่อ ATPase activity ของไมโทคอนเดรียเมื่อถูกกระตุ้นและไม่ถูกกระตุ้นด้วย DNP ..	105
17.	ผลของ gemfibrozil ต่อ activity ของเอนไซม์ MAO ของไมโทคอนเดรีย	112
18.	การเปรียบเทียบผลของ gemfibrozil กับ clofibrilic acid ที่มีต่อการหายใจ state 4 ของไมโทคอนเดรียเมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19.	การเปรียบเทียบผลของ gemfibrozil กับ clofibric acid ที่มีต่อการหายใจ state 3 ของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	116
20.	การเปรียบเทียบผลของ gemfibrozil กับ clofibric acid ที่มีต่อการหายใจ state 3u ของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	117

รูปที่		หน้า
1.	แสดงสูตรโครงสร้างเคมีของเจมไฟโบรซิล (gemfibrozil) และอนุพันธ์อื่น ๆ ของกรดไฟบริก (fibric acid)	2
2.	แสดงเมตาบอลิซึมและการขนส่ง lipoprotein ในกระแสเลือด	6
3.	แสดง metabolism ของ gemfibrozil	8
4.	บน : แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของไมโทคอนเดรียซึ่งจะเห็นการพับ (fold) ของผนังชั้นในยื่นเข้าไปใน matrix	14
	ล่าง : ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของไมโทคอนเดรีย .	14
5.	ความสัมพันธ์ของกระบวนการสลายอาหาร, Krebs cycle, respiratory chain และกระบวนการออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน	18
6.	การแบ่งส่วนประกอบของลูกโซ่การหายใจของไมโทคอนเดรีย	20
7.	แสดงการควบคุมระหว่างการส่งผ่านอิเล็กตรอนในลูกโซ่การหายใจกับการเกิดฟอสฟอริเลชันซึ่งอธิบายโดยทฤษฎีเคมีออสโมติก คัปปลิง (chemiosmotic coupling theory) .	24
8.	แสดงโครงสร้างและองค์ประกอบของเอนไซม์ ATP synthase (F_1F_0 -ATPase)	26
9.	แผ่นภาพอธิบายทฤษฎีเคมีออสโมติก คัปปลิง เสนอโดย Peter Mitchell	29
10.	แสดงถึงปฏิกิริยาต่างๆ ที่ใช้ electrochemical gradients ที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านอิเล็กตรอนในลูกโซ่การหายใจ	30

รูปที่	หน้า
11. แสดง incubation chamber ที่ใช้ในการทดลองเพื่อวัดอัตราการหายใจของไมโทคอนเดรียในสภาวะต่างๆ ซึ่งจะมี oxygen electrode คอยติดตาม oxygen tension ใน reaction chamber แล้วอ่านและบันทึกผลด้วย oxygraph apparatus (oxygen monitor + recorder)	40
12. แสดงลักษณะของ Clark oxygen electrode ซึ่งมี Ag/AgCl electrode เป็นขั้ว anode และมี platinum electrode เป็นขั้ว cathode	42
13. ตัวอย่าง oxygraph tracing เพื่อแสดงวิธีการหาค่า RCI	46
14. ตัวอย่าง oxygraph tracing เพื่อแสดงวิธีการหาค่าอัตราส่วน ADP/O	46
15. ตัวอย่าง oxygraph tracing เพื่อแสดงวิธีการหาค่าอัตราการใช้ออกซิเจนของไมโทคอนเดรียในระยะต่าง ๆ .	46
16. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil ในความเข้มข้น 60 μ M และ 100 μ M ที่มีต่ออัตราการหายใจของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	77
17. Dose-response curve ของ gemfibrozil ที่มีต่อ states 4,3 และ 3u respiration ของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	79

รูปที่	หน้า
18. Dose-response curve ของ gemfibrozil ที่มีต่อ states 4,3 และ 3u respiration ของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ succinate เป็น substrate	81
19. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil ขนาด 60 μ M ต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	86
20. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil ขนาด 60 μ M ต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ β -hydroxybutyrate เป็น substrate	88
21. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil ขนาด 60 μ M ต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ α -ketoglutarate เป็น substrate	90
22. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ bovine serum albumin (BSA) ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ gemfibrozil ต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย	98
23. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ dithiothreitol (DTT) ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ gemfibrozil ต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย	100
24. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil ต่อ ATPase activity ของไมโทคอนเดรียเมื่อถูกกระตุ้นด้วย DNP	103

รูปที่	หน้า
25. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil ต่อการสะสมและการปลดปล่อยแคลเซียมของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	106
26. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil ต่อการสะสมและการปลดปล่อยแคลเซียมของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ succinate เป็น substrate	108
27. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil ต่อ activity ของเอนไซม์ monoamine oxidase (MAO) ของไมโทคอนเดรีย	110
28. ตัวอย่าง tracings แสดงผลของ gemfibrozil และ clofibric acid ที่มีต่อการหายใจของไมโทคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็น substrate	113

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

กก.	=	กิโลกรัม
ซม.	=	เซนติเมตร
นมม.	=	นาโนโมล
นอ.	=	นาโนอะตอม
มก.	=	มิลลิกรัม
มคม.	=	ไมโครโมล
มคล.	=	ไมโครลิตร
มคอ.	=	ไมโครอะตอม
มล.	=	มิลลิลิตร
ล.	=	ลิตร
ADP	=	adenosine 5'-diphosphate
Ag	=	Silver
AgCl	=	Silver chloride
Alc	=	alcohol (absolute ethanol)
ATP	=	adenosine 5'-triphosphate
Ben	=	benzylamine
BSA	=	bovine serum albumin
°C	=	degree Celsius
Ca ²⁺	=	calcium ion
CaCl ₂	=	calcium chloride
CHD	=	coronary heart disease
Clo	=	clofibric acid
CoQ	=	coenzyme Q
Cu	=	copper
cyt.	=	cytochrome

DMSO	=	dimethylsulfoxide
DNP	=	2,4-dinitrophenol
DTT	=	dithiothreitol
e ⁻	=	electron
EGTA	=	ethyleneglycol-bis-(β -aminoethyl ether) N,N,N',N'-tetraacetic acid
FAD	=	flavin adenine dinucleotide
FADH ₂	=	reduced flavin adenine dinucleotide
Fe-S	=	iron-sulfur center
FMN	=	flavin mononucleotide
g	=	centrifugal force unit (gravity)
Gem	=	gemfibrozil
H	=	hydrogen
H ⁺	=	proton
HDL	=	high density lipoprotein
HEPES	=	N-2-hydroxyethylpiperazine-N'-2-ethane-' sulfonic acid
H ₂ SO ₄	=	sulfuric acid
KCl	=	potassium chloride
KH ₂ PO ₄	=	potassium phosphate
LDL	=	low density lipoprotein
M	=	molar
MAO	=	monoamine oxidase
MAOI	=	monoamine oxidase inhibitor
MgCl ₂	=	magnesium chloride
min	=	minute
mg	=	milligram

ml	=	millilitre
mM	=	millimolar
μ	=	micron
μ g	=	microgram
μ M	=	micromolar
μ l	=	microlitre
NAD ⁺	=	nicotinamide adenine dinucleotide
NADH	=	reduced nicotinamide adenine dinucleotide
NADP ⁺	=	nicotinamide adenine dinucleotide phosphate
NADPH	=	reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate
Na ₂ CO ₃	=	sodium carbonate
NaHCO ₃	=	sodium bicarbonate
NaOH	=	sodium hydroxide
NEM	=	N-ethylmaleimide
n atom	=	nanoatom
O	=	oxygen
OH ⁻	=	hydroxyl ion
Oligo	=	oligomycin
Par	=	pargyline
Pi	=	inorganic phosphate
RCI	=	respiratory control index
RLM	=	rat liver mitochondria
Rot	=	rotenone
RPM	=	revolution per minute
RR	=	ruthenium red

- TMPD = .N,N,N',N'-tetramethyl-p-phenylenediamine
- V = volt
- VLDL = very low density lipoprotein
- V/V = volume by volume
- Y.S.I. = Yellow Springs Instrument
- / = per
- % = percent