ฤทธิ์อันคัปปลิงของสารสำคัญจากฝอยลมต่อกระบวนการหายใจและออกซิเดทีฟ ฟอสฟอริลเลชันของไมโตคอนเดรีย

นางสาวสิริวรรณ พฤกษ์อุดม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สหสาขาวิชาเภสัชวิทยา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2536

ISBN 974 - 582 - 938 - 2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018937 ว7106ร509

UNCOUPLING ACTION OF ACTIVE CONSTITUENT OF *USNEA SIAMENSIS* ON MITOCHONDRIAL RESPIRATION AND OXIDATIVE PHOSPHORYLATION

Miss Siriwan Phrukudom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Inter-Department of Pharmacology
Graduate School
Chulalongkorn University
1993

ISBN 974 - 582 - 938 - 2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ฤทธิ์อันคัปปลิงของสารสำคัญจากฝอยลมต่อกระบวนการหายใจและออกซิเดทีฟ ฟอสฟอริลเลชันของไมโตคอนเดรีย
โดย	นางสาว สิริวรรณ พฤกษ์อุดม
ภาควิชา	สหสาขาวิชาเภสัชวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยา จันทสูตร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ นิจศิริ เรืองรังษี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาตราจารย์ จันทนี อิทธิพานิชพงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยา จันทสูตร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นิจศิริ เรืองรังษี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประกร จุฑะพงษ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิริวรรณ พฤกษ์อุดม : ฤทธิ์อันคัปปลิงของสารสำคัญจากฝ่อยลมต่อกระบวนการหายใจและออกซิเดทีฟ ฟอสฟอริลเลชันของไมโตคอนเดรีย (UNCOUPLING ACTION OF ACTIVE CONSTITUENT OF Usnea siamensis ON MITOCHONDRIAL RESPIRATION AND OXIDATIVE PHOSPHORYLATION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. วิทยา จันทสูตร , รศ. นิจศิริ เรืองรังษี , 136 หน้า. ISBN 974-582-938-2

การทดสอบฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรียในตับของหนูขาว พบว่า สารสำคัญจากฝอยลมมีผล 2 ประการต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย ในขนาดต่ำ จะกระตุ้นการหายใจ ส่วนในขนาดสูง จะยับยั้งการหายใจ เมื่อใช้สับสเตรทชนิด NAD^+-linked และ succinate ตามลำดับ สารสำคัญจากฝอยลมมีฤทธิ์ส่วนใหญ่คล้าย classical uncouplers ทำให้เกิดการไม่ควบคู่กันของการออกซิไดซ์สับสเตรทและการสังเคราะห์ ATP, ทำให้ไมโตคอนเดรียเสียการควบคุมการหายใจ, ลดอัตราส่วน ADP/O และ RCI, สามารถแก้ไขฤทธิ์ของ oligomycin และ atractyloside ในการยับยั้ง state 3 respiration ได้ และยังกระตุ้น ATPase activity ได้ แต่มีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างไปจาก classical uncouplers กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลง pH ของ incubation medium ที่ 6.8 , 7.2 และ 7.6 ไม่มีผลเปลี่ยนแปลงฤทธิ์อันคัปปลิงของสารสำคัญจากฝอยลม สามารถออกฤทธิ์กระตุ้นการหายใจได้ดีใน Mg^{2+} free medium, bovine serum albumin มีผลลดฤทธิ์ในการกระตุ้นการหายใจของไมโตคอนเดรียด้วยสารสำคัญจากฝอยลม จากการศึกษานี้ยังไม่ทราบแน่ชัดถึงกลไกการเกิดอันคัปปลิงในระดับโมเลกุลของสารสำคัญจากฝอยลมแต่คาดว่าส่วนหนึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับ protonophoric effects

ภาควิชา สหสาขาวิชาเภสัชวิทยา ลายมือชื่อนิสิต สิริวรรณ พฤกษ์อุดม

สาขาวิชา เภสัชวิทยา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อนันต์ จันทสูตร

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C445468 : MAJOR PHARMACOLOGY
KEY WORD: UNCOUPLING / Usnea siamensis / MITOCHONDRIAL RESPIRATION / OXIDATIVE PHOSPHORYLATION

SIRIWAN PHRUKUDOM : UNCOUPLING ACTION OF ACTIVE CONSTITUENT OF Usnea siamensis ON MITOCHONDRIAL RESPIRATION AND OXIDATIVE PHOSPHORYLATION. THESIS ADVISOR : ASSIS. PROF. WITHAYA JANTHASOOT, ASSO. PROF. NIJSIRI RUANGRUNGSI, 136 pp. ISBN 974-582-938-2

The effects of active constituent of Usnea siamensis on oxidative phosphorylation in isolated rat liver mitochondria have been investigated. It was found that the active constituent of Usnea siamensis had a biphasic effect on respiratory activity of rat liver mitochondria supported by NAD^+-linked substrates or succinate. Low dose showed stimulation but high dose inhibited mitochondrial respiration. This compound also exhibited some important characteristics of classical uncouplers of oxidative phosphorylation, e.g. the ability to abolish the coupling of substrate oxidation and ATP synthesis, caused loss of the respiratory contral, lowered ADP/O ratio as well as RCI value, reversion of both oligomycin and atractyloside inhibited state 3 respiration and activated the oligomycin-sensitive ATPase activity. However, this compound had some different effects from clasical uncouplers of the DNP-type, e.g. its action was almost uneffected by varying pH of incubation medium from 6.8, 7.2 and 7.6, its respiratory activity was enhanced in Mg^{2+} free medium. The respiratory stimulation of this compound was antagonized by bovine serum albumin. From this study the molecular mechanism of uncoupling effect by active constituent of Usnea siamensis is unclear but might be partially related to the protonophoric effects.

ภาควิชา สหสาขาวิชาเภสัชวิทยา ลายมือชื่อนิสิต Siriwan Phrukudom
สาขาวิชา เภสัชวิทยา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Withaya Janthasoot
ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Nijsiri Ruangrungsi

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยา จันทสูตร และรองศาสตราจารย์ นิจศิริ เรืองรังษี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยด้วยดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นิจศิริ เรืองรังษี และ คุณ นริสา คำแก่นจากภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาสกัดสารบริสุทธิ์จากฝอยลมให้ใช้ตลอดการวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ อุษณา หงส์วารีวัธน์ หัวหน้าภาควิชาเภสัชวิทยา ที่อนุญาตให้ผู้วิจัยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการตลอดการวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประกร จูทะพงษ์ ที่กรุณาชี้แนะแนวทาง และให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์บัณฑิตศึกษา สหสาขาวิชาเภสัชวิทยาทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ตลอดการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตนี้ ตลอดจนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา และขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

สิริวรรณ พฤกษ์อุดม

สารบัญ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ

ฝอยลม 1
usnic acid 5
การหายใจของไมโตคอนเดรียและออกซิเดทีฟ ฟอสฟอริลเลชัน 9

2 อุปกรณ์และวิธีทำการวิจัย

สัตว์ทดลอง 27
การเตรียมไมโตคอนเดรียจากตับของหนูขาว 27
การ incubate ไมโตคอนเดรียและ incubation medium 30
การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของไมโตคอนเดรียในสภาวะต่างๆ 32
การคำนวณค่าดัชนีควบคุมการหายใจ (RCI), อัตราส่วน ADP/O
และอัตราการใช้ออกซิเจนของไมโตคอนเดรียในระยะต่างๆ .. 34
การวัด ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย 39
การหาปริมาณโปรตีนของไมโตคอนเดรีย 41
การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลองและแหล่งที่มาของ
สารเคมี 43
การแสดงผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3 ผลการวิจัย

ผลของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรียที่เตรียมจากตับของหนูขาว 46

1. ผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาดต่าง ๆ ที่มีต่ออัตราการใช้ออกซิเจนของไมโตคอนเดรีย 46
2. ผลการเปรียบเทียบฤทธิ์ในการกระตุ้นการหายใจของไมโตคอนเดรียโดยสารสำคัญจากฝอยลม, ADP และ DNP 105
3. ผลของสารสำคัญจากฝอยลมที่ความเข้มข้น IC_{50} ที่มีต่อค่าดัชนีควบคุมการหายใจ (RCI), จำนวนออกซิเจนที่ถูกใช้ใน state 3 และอัตราส่วน ADP/O 105
   - 3.1 กรณีที่ใช้ glutamate + malate เป็นสับสเตรท 105
   - 3.2 กรณีที่ใช้ succinate เป็นสับสเตรท 106

ผลของสารบางอย่างและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบใน incubation medium บางประการต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมที่มีต่อการหายใจของไมโตคอนเดรียเมื่อใช้ glutamate + malate เป็นสับสเตรทเปรียบเทียบกับ DNP 106

1. ผลของ oligomycin และ atractyloside .. 106
2. ผลของการเปลี่ยนแปลง pH ของ incubation medium ที่ pH 6.8, 7.2 และ 7.6 108
3. ผลของการไม่มี Mg^{2+} ใน incubation medium 109
4. ผลของ DTNB และ DTT 109

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

5. ผลของ bovine serum albumin 111

ผลของสารสำคัญจากฝอยลมที่มีต่อ ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย 111

1. ผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาดต่าง ๆ ที่มีต่อ ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย 111

2. ผลการเปรียบเทียบฤทธิ์ในการกระตุ้น ATPase activity ได้สูงสุด ระหว่างสารสำคัญจากฝอยลมกับ DNP 112

ผลของสารบางอย่างและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบใน incubation medium บางประการต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมที่มีต่อ ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย เปรียบเทียบกับ DNP 113

1. ผลของ oligomycin และ atractyloside .. 113

2. ผลของการเปลี่ยนแปลง pH ของ incubation medium ที่ pH 6.8, 7.2 และ 7.6 113

3. ผลของการไม่มี Mg^{2+} ใน incubation medium 114

4. ผลของ DTNB และ DTT 114

4. อภิปรายและสรุปผลการทดลอง 116

เอกสารอ้างอิง 126

ประวัติผู้เขียน 136

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงถิงเอ็นไซม์ชนิดต่างๆ ในแต่ละส่วนของไมโตคอนเดรีย ..	13
2	แสดงส่วนประกอบของลูกโซ่การหายใจ 4 complexs ที่อยู่ในผนังชั้นในของไมโตคอนเดรีย	13
3	แสดงผลของสารสำคัญจากฝอยลมที่ความเข้มข้น IC_{50} ที่มีต่อค่าดัชนีควบคุมการหายใจ (RCI) , จำนวนออกซิเจนที่ถูกใช้ใน state 3 และอัตราส่วน ADP/O เมื่อใช้ glutamate + malate เป็นสับสเตรท	63
4	แสดงผลของสารสำคัญจากฝอยลมที่ความเข้มข้น IC_{50} ที่มีต่อค่าดัชนีควบคุมการหายใจ (RCI) , จำนวนออกซิเจนที่ถูกใช้ใน state 3 และอัตราส่วน ADP/O เมื่อใช้ succinate เป็นสับสเตรท	66
5	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลง pH ของ incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย	73
6	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลง pH ของ incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ DNP ต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย	76
7	แสดงผลของการไม่มี Mg^{2+} ใน incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย	79
8	แสดงผลของการไม่มี Mg^{2+} ใน incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ DNP ต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย	80
9	แสดงผลของ DTNB ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย	83
10	แสดงผลของ DTT ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

11 แสดงผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาดต่าง ๆ ที่มีต่อการกระตุ้น ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย 91

12 แสดงผลของ oligomycin และ atractyloside ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลม ในการกระตุ้น ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย เมื่อเทียบกับ DNP 95

13 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลง pH ของ incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลม ในการกระตุ้น ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย เมื่อเทียบกับ DNP . 97

14 แสดงผลของการไม่มี Mg^{2+} ใน incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมในการกระตุ้น ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย เมื่อเทียบกับ DNP 99

15 แสดงผลของ DTNB และ DTT ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมในการกระตุ้น ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย เมื่อเทียบกับ DNP 101

สารบัญรูป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่		หน้า
1	แสดงลักษณะทั่วไปของฝอยลม (Usnea siamensis)	3
2	แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของ usnic acid	6
3	แสดงลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของไมโตคอนเดรีย	11
4	แสดงโครงสร้างและองค์ประกอบของเอ็นไซม์ ATPsynthase (F_1F_o-ATPase)	11
5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Krebs' cycle, respiratory chain และปฏิกิริยา oxidative phosphorylation	16
6	แสดงการควบคู่ระหว่างการส่งผ่านอิเลคตรอนในลูกโซ่การหายใจกับปฏิกิริยาออกซิเดทีฟ ฟอสฟอริลเลชันที่อธิบายโดย chemiosmotic coupling hypothesis	19
7	แสดงปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานที่ไมโตคอนเดรียสามารถสงวนไว้ (high energy electrochemical gradient)	21
8	แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระในขณะที่อิเลคตรอนถูกส่งผ่านในลูกโซ่การหายใจ และตำแหน่งที่มีการยับยั้งการหายใจโดยสารยับยั้งการส่งผ่านอิเลคตรอนในลูกโซ่การหายใจ	25
9	แสดงขั้นตอนการแยกไมโตคอนเดรียจาก liver homogenate โดย differential centrifugation	29
10	แสดง incubation chamber ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อวัดอัตราการหายใจของไมโตคอนเดรียในสภาวะต่าง ๆ	31
11	ตัวอย่าง oxygraph tracing เพื่อแสดงวิธีการหาค่า RCI	35
12	ตัวอย่าง oxygraph tracing เพื่อแสดงวิธีการหาค่าอัตราส่วน ADP/O	35
13	ตัวอย่าง oxygraph tracing เพื่อแสดงวิธีการหาอัตราการใช้ออกซิเจนของไมโตคอนเดรียในระยะต่าง ๆ	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
14	ผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาด 0.5, 1 และ 4 มคก. ที่มีต่อการหายใจของไมโตคอนเดรียเมื่อใช้ glutamate+malate เป็นสับเสตรท	48
15	ผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาด 10 และ 25 มคก. ที่มีต่อการหายใจของไมโตคอนเดรียเมื่อใช้ glutamate + malate เป็นสับสเตรท	50
16	ผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาด 0.5, 1 และ 3 มคก. ที่มีต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย เมื่อใช้ succinate เป็นสับสเตรท	52
17	ผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาด 10 และ 25 มคก. ที่มีต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย เมื่อใช้ succinate เป็นสับสเตรท	54
18	Dose-response curve ของผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาดต่าง ๆ ที่มีต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate (curve B) และ succinate (curve A) เป็นสับสเตรท	56
19	ผลการเปรียบเทียบการกระตุ้นการหายใจของไมโตคอนเดรีย โดยสารสำคัญจากฝอยลม, ADP และ DNPเมื่อใช้ glutamate +malate เป็นสับสเตรท	58
20	ผลการเปรียบเทียบการกระตุ้นการหายใจของไมโตคอนเดรีย โดยสารสำคัญจากฝอยลม,ADP และ DNP เมื่อใช้ succinate เป็นสับสเตรท	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

21 ผลของสารสำคัญจากฝอยลมที่ความเข้มข้น IC_{50} ที่มีต่อค่าดัชนีควบคุมการหายใจ (RCI) , จำนวนออกซิเจนที่ถูกใช้ใน state 3, และอัตราส่วน ADP/O เมื่อใช้ glutamate + malate เป็นสับสเตรท 62

22 ผลของสารสำคัญจากฝอยลมที่ความเข้มข้น IC_{50} ที่มีต่อค่าดัชนีควบคุมการหายใจ (RCI) , จำนวนออกซิเจนที่ถูกใช้ใน state 3, และอัตราส่วน ADP/O เมื่อใช้ succinate เป็นสับสเตรท 65

23 ผลของ oligomycin และ atractyloside ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย 68

24 ผลของ oligomycin และ atractyloside ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ DNP ต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย 70

25 ผลการเปลี่ยนแปลง pH ของ incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย 72

26 ผลการเปลี่ยนแปลง pH ของ incubation medium ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของ DNP ต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย 75

27 ผลของการไม่มี Mg^{2+} ใน incubation medium ต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลม และ DNP ต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย 78

28 ผลของ DTNB ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลม ต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย 82

29 ผลของ DTT ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลม ต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย 85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
30	ผลของ bovine serum albumin (BSA) ที่มีต่อการออกฤทธิ์ของสารสำคัญจากฝอยลมต่อการหายใจของไมโตคอนเดรีย เมื่อใช้ glutamate + malate เป็นสับสเตรท	88
31	Dose-response curve ของผลของสารสำคัญจากฝอยลมในขนาดต่าง ๆ ที่มีต่อการกระตุ้น ATPase activity ของไมโตคอนเดรีย	90
32	ผลการเปรียบเทียบการกระตุ้น ATPase activity ของไมโตคอนเดรียได้สูงสุด ระหว่างสารสำคัญจากฝอยลมกับ DNP	93

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ

ซม.	=	เซนติเมตร
นน.	=	น้ำหนัก
นนก.	=	นาโนกรัม
นนอ.	=	นาโนอะตอม
มก.	=	มิลลิกรัม
มคก.	=	ไมโครกรัม
มคม.	=	ไมโครโมล
มคล.	=	ไมโครลิตร
มคอ.	=	ไมโครอะตอม
มม.	=	มิลลิเมตร
มล.	=	มิลลิลิตร
ADP	=	adenosine-5'diphosphate
ATP	=	adenosine-5'-triphosphate
Atract	=	atractyloside
BSA	=	bovine serum albumin
$^{\circ}C$	=	degree Celsius
CCCP	=	carbonyl cyanide m-chlorophenylhydrazone
DMSO	=	dimethylsulfoxide
DNP	=	2,4-dinitrophenol
DTNB	=	5,5'-dithio-bis-2-nitrobenzoate
DTT	=	dithiothreitol
FAD	=	flavin adenine dinucleotide
$FADH_2$	=	reduced flavin adenine dinucleotide
FMN	=	flavin mononucleotide
g	=	centrifugal force unit (gravity)
Glu	=	glutamate
H^+	=	proton

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

HEPES	=	N-2-hydroxyethylpiperazine-N'-2-ethanesulfonic acid
IC_{50}	=	50% inhibition
K^+	=	potassium ion
Mal	=	malate
M	=	molar
mM	=	millimolar
mg	=	milligram
Mg^{2+}	=	magnesium ion
min	=	minute
ml	=	milliliter
mOsm	=	milliosmolar
μatom	=	microatom
μg	=	microgram
μl	=	microliter
μM	=	micromolar
N	=	normality
Na	=	sodium
NAD^+	=	nicotinamide adenine nucleotide
NADH	=	reduced nicotinamide adenine nucleotide
NADPH	=	reduced nicotinamide adenine nucleotide phosphate
natom	=	nanoatom
O	=	oxygen
oligo	=	oligomycin
Pi	=	inorganic phosphate

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

RCI	=	respiratory control index
RPM	=	revolution per minute
SUC	=	succinate
TMPD	=	N,N,N',N'-tetramethyl-p-phenylenediamine
w/v	=	weight by volume
/	=	per
%	=	percent
$\geq$	=	greater or equal