

การศึกษาการสังเคราะห์ไนโคตินกับมันตรังสีจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไนโคติอะนาทาแบคคุม

นาย ศรสม นวเสลา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2534

ISBN 974-578-792-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017742

117967481

A STUDY OF RADIOACTIVE NICOTINE SYNTHESIS
FROM NICOTIANA TABACUM CALLUS CULTURES

Mr. Sornsome Nawasalao

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1991

ISBN 974-578-792-2



หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการสังเคราะห์นิโคตินกัมมันตรังสีจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

นิโคติอะนาทาแบคคุม

โดย ศรสม นวเสลา

ภาควิชา นิเวศศาสตร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากฤต ศิริอุปถัมภ์

ปีการศึกษา 2533

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรมหาบัณฑิต

ดร.ถาวร วัชรภักย์
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ดร.ถาวร วัชรภักย์
..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

ดร.ชยากฤต ศิริอุปถัมภ์
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากฤต ศิริอุปถัมภ์)

ดร.ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล
..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

ดร.สมยศ ศรีสถิตย์
..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเพียงแผ่นเดียว

ครสม นวเสลา : การศึกษาการสังเคราะห์นิโคตินกัมมันตรังสีจากการเพาะเลี้ยง
เนื้อเยื่อนิโคติอานาตาบาคุม (A STUDY OF RADIOACTIVE NICOTINE SYNTHESIS
FROM NICOTIANA TABACUM CALLUS CULTURES)

อ.ที่ปรึกษา . ผศ.ชยากริต ศิริอุปกัมภ์. 185 หน้า. ISBN 974 - 578 - 792 - 2

ได้ศึกษาการสังเคราะห์นิโคตินกัมมันตรังสี โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ไม่เจริญเป็นส่วนของ
ต้นพืชจากต้นยาสูบพันธุ์ นิโคติอานาตาบาคุม สายพันธุ์ เคนท์กกี 14 ที่ผ่านการทำให้ปลอดเชื้อ กับกรด
นิโคตินิก - ทริเทียม ซึ่งเตรียมจากการออรัลซิวิตรอนร่วมกับกลีโกลิเทียม ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อ
เยื่อแบบวัน Murashige - Skoog (M&S) ซึ่งประกอบไปด้วยออกซิน α - naphthaleneacetic
acid (NAA) 1 ไมโครโมล และโคโคติน 1 ไมโครโมล, ความเป็นกรดต่าง 5.7 ทำการเพาะเลี้ยง
ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 30 - 40 % ในที่มืด โดยแบ่งการ
เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเป็น 2 แบบ คือ แบบให้อาหารครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้น (batch) และแบบเปลี่ยน
อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (continuous flow) ปรากฏว่าการสังเคราะห์นิโคตินโดยอาศัยการเพาะ
เลี้ยงเนื้อเยื่อแบบให้อาหารครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้น จะได้ปริมาณนิโคตินสูงกว่าการสังเคราะห์นิโคตินโดย
อาศัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเมื่อเปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 3 ครั้ง ในระยะเวลาเท่ากัน คือ 6
สัปดาห์ จากการทดลองได้ผลผลิตปริมาณนิโคติน - ทริเทียมคิดเป็น 1.15 มิลลิกรัม ต่อ อาหารเพาะ
เลี้ยงเนื้อเยื่อ M&S 30 มิลลิลิตร, อัตราส่วนระหว่าง นิโคตินกับสารตั้งต้น คือ กรดนิโคตินิก เป็น
7.14 %, ความบริสุทธิ์ทางเคมีของนิโคติน - ทริเทียมที่ได้เป็น 72.79 % ไม่พบไอโซโทปรังสีแกมมา
และไอโซโทปอื่น ๆ นอกจากทริเทียมปนในผลผลิต ผลผลิตมีความแรงรังสีจำเพาะ 1.18×10^{-5}
คูรีต่อมิลลิกรัมนิโคติน ซึ่งสามารถนำไปใช้ เป็นสารติดตามได้



ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2533


ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

SORNSOME NAWASALAO : A STUDY OF RADIOACTIVE NICOTINE SYNTHESIS
FROM NICOTIANA TABACUM CALLUS CULTURES. THESIS ADVISOR : Asst.
Prof. CHYAGRIT SIRIUPATUM. 185 PP. ISBN 974 - 578 - 792 - 2

A study of radioactive nicotine synthesis was conducted. Callus tissue without organogenesis, derived from the steriled stem of Nicotina tabacum L. cv. Kentucky 14 was incubated with nicotinic acid H - 3 prepared by irradiation of nicotinic acid and lithium salt with neutron. The Murashige - Skoog (M&S) medium containing $1\mu\text{M}$ α - naphthalenacetic acid(NAA) and $1\mu\text{M}$ kinetin, pH 5.7 was used. The culture was done at 25 ± 2 C with relative humidity of 30-40 % in the darkness. The production of nicotine has been prepared by a two-packed batch and continuous flow system. The nicotine synthesis by batch culture was found to give higher yield than that of synthesis by continuous flow culture for the culture period of 6 weeks. The maximum accumulation of nicotine H - 3 in the experiment was 1.15 mg./30 ml. of M&S medium. Not more than 7.14 % of the nicotinic acid precursor was found. The purity of nicotine H - 3 was 72.79 %. No gamma and other radioisotope except tritium was found in the prepared nicotine H - 3. The specific activity of the product was 1.18×10^{-5} Ci/mg. of nicotine and considered to be high enough to be used as a radioactive tracer.

ภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี
สาขาวิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2533

ลายมือชื่อนิติ ดร. ชัย ชัยกิจ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากรวิเศษศิริอุปถัมภ์, รองศาสตราจารย์ ดร. ประทีปดีลั่น สีหนะนท์ หัวหน้าภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ คณะอาจารย์เจ้าหน้าที่ของภาควิชาชีวเคมีสรีรศาสตร์-โลหิต คณะวิทยาศาสตร์ และ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาและให้แนวความคิดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสิ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เนเรศร์ จันทน์ขาว, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัณชรเทวกุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ ที่กรุณาแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยตลอดจนเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆ

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่สนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สารบัญ

๕

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎี	6
3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย	34
4. ผลการวิจัย	59
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	107
เอกสารอ้างอิง	116
ภาคผนวก ก	122
ภาคผนวก ข	133
ภาคผนวก ค	134
ภาคผนวก ง	137
ภาคผนวก จ	144
ภาคผนวก ฉ	145
ประวัติผู้เขียน	185

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การวิเคราะห์ปริมาณนิโคติน	1
4.1 ปริมาณทรีเทียมที่เคลื่อนย้ายในสารละลายแต่ละลำดับส่วนที่เก็บได้ใน ขวดรองรับ	81
4.2 การเจริญเติบโตของคลลัสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ M&S 1 μ M NAA และ 1 μ M ไคนิติน	90
4.3 ปริมาณนิโคตินของคลลัสที่เพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ M&S 1 μ M NAA และ 1 μ M ไคนิติน ทั้งที่มีกรคนิโคตินิก และไม่มี กรคนิโคตินิก	100
4.4 ลำดับส่วนปริมาตร 40 มิลลิลิตร จากอลูมินาร์คลอแลมภ์ และวิเคราะห์ ปริมาณนิโคตินด้วยเครื่องวัดอัลตราไวโอเลตสเปกโตรมิเตอร์	103
5.1 เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ กับผลการทดลองจากรายงานต่าง ประเทศ	113
จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรคนิโคตินิก กับค่าดูดกลืนแสง ...	145
จ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิโคติน กับค่าดูดกลืนแสง	146
จ.3 พลาโท และไฟฟ้าแรงสูงเหมาะสมในการวัดด้วยเครื่องนับวัดลิควิดชัน กิลเลชันของต้นกำเนิดรังสี H-3	147
จ.4 พลาโท และไฟฟ้าแรงสูงเหมาะสมในการวัดด้วยเครื่องนับวัดลิควิดชัน กิลเลชันของต้นกำเนิดรังสี C-14	148
จ.5.1 เปรอร์เซนต์กรคนิโคตินิกจากสารที่สังเคราะห์จากนิโคตินามีค	149

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.5.2 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของอามี่ดกัมมันตรังสี	150
จ.5.3 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของกรดกัมมันตรังสี	151
จ.5.4 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของกรดกัมมันตรังสี	152
จ.5.5 เปอร์เซนต์กรดนิโคตตินิกจากกรด C-14	153
จ.6.1 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของกรด H-3	153
จ.6.2 เปอร์เซนต์กรดนิโคตตินิกจากกรด H-3	154
จ.6.3 เปอร์เซนต์กรดนิโคตตินิกที่ผ่านการ enrich จากกรด H-3	155
จ.6.4 ปริมาณทริเทียมที่เคลื่อนย้ายในสารละลายแต่ละลำดับส่วนที่เก็บได้ใน ขวดรองรับ	156
จ.6.5 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของกรด H-3	157
จ.7.1 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ H-3	159
จ.7.2 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ H-3	160
จ.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของคัลลัส.....	161
จ.9.1 การเจริญเติบโตของคัลลัสบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ M&S แบบไม่ เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ วัดในรูปน้ำหนักสด	163
จ.9.2 การเจริญเติบโตของคัลลัสบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ M&S แบบไม่ เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ วัดในรูปน้ำหนักแห้ง	164
จ.9.3 การเจริญเติบโตของคัลลัสบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ M&S แบบ เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ วัดในรูปน้ำหนักสด	165
จ.9.4 การเจริญเติบโตของคัลลัสบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ M&S แบบ	

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
	เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ วัตถุประสงค์ในรูปน้ำหนักแห้ง 166
จ.10.1	ปริมาณนิโคตินที่คลลัสทำการเพาะเลี้ยงแบบไม่เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีการคนนิโคติน 167
จ.10.2	ปริมาณนิโคตินที่คลลัสทำการเพาะเลี้ยงแบบไม่เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ไม่มีการคนนิโคติน 168
จ.10.3	ปริมาณนิโคตินที่คลลัสทำการเพาะเลี้ยงแบบเปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีการคนนิโคติน 169
จ.10.4	ปริมาณนิโคตินที่คลลัสทำการเพาะเลี้ยงแบบเปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ไม่มีการคนนิโคติน 170
จ.10.5	ปริมาณนิโคตินที่สังเคราะห์ขึ้นโดยแท้จริงในช่วง 2 สัปดาห์ ในแต่ละแบบที่ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 171
จ.10.6	การเจริญเติบโตของคลลัสบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบไม่เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 172
จ.10.7	การเจริญเติบโตของคลลัสบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบเปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 172
จ.10.8	ปริมาณนิโคตินที่สังเคราะห์ในแต่ละช่วง 2 สัปดาห์ ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในแต่ละแบบ 173
จ.10.9	ปริมาณนิโคตินที่คาดว่าจะได้ในแต่ละช่วง 2 สัปดาห์ ของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในแต่ละแบบ 174
จ.10.10	อัตราส่วนระหว่างปริมาณนิโคติน ต่อปริมาณนิโคตินที่คาดว่าจะเกิด (กรด

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
นิโคตินิก)	175
๑.10.11 อัตราส่วนระหว่างนิโคตินที่สังเคราะห์ขึ้น ต่อการเจริญเติบโตของคัลล์สใน รูปน้ำหมักอบแห้ง	176
๑.10.12 ความบริสุทธิ์ของนิโคตินในสปีดาคัทที่ 6	177
๑.11.1 ปริมาณนิโคตินกัมมันตรังสีที่คัลล์สทำการเพาะเลี้ยงแบบไม่เปลี่ยนอาหาร เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีกรดนิโคตินิก H-3	178
๑.11.2 ปริมาณนิโคตินกัมมันตรังสีที่คัลล์สทำการเพาะเลี้ยงแบบไม่เปลี่ยนอาหาร เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ไม่มีกรดนิโคตินิก H-3	178
๑.11.3 ปริมาณนิโคตินกัมมันตรังสีที่สังเคราะห์ขึ้นโดยแท้จริงในช่วง 2 สปีดาคัท ใน การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบไม่อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	179
๑.11.4 การเจริญเติบโตของคัลล์สบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีกรดนิโคตินิก H-3 ละลาอยู่ แบบไม่เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	179
๑.11.5 ปริมาณนิโคตินกัมมันตรังสีที่สังเคราะห์ในแต่ละช่วง 2 สปีดาคัท ของการ เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ แบบไม่เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	180
๑.11.6 ปริมาณนิโคตินกัมมันตรังสีที่คาดว่าจะได้ในแต่ละช่วง 2 สปีดาคัท ของการ เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ แบบไม่เปลี่ยนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	180
๑.11.7 อัตราส่วนระหว่างปริมาณนิโคตินกัมมันตรังสี ต่อปริมาณนิโคตินกัมมันตรังสี ที่คาดว่าจะเกิด (กรดนิโคตินิกกัมมันตรังสี)	181
๑.11.8 ลำดับส่วนนิโคตินกัมมันตรังสีที่จะนำไปทำเป็นสารติดตาม	182
๑.11.9 เปอร์เซนต์นิโคตินกัมมันตรังสีในลำดับส่วนที่ 2	183

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
๘.11.10 ความแรงรังสีของนิโคตินกัมมันตรังสี	183

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องสูบบหรี่	2
2.1 แอลคาลอยด์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ	7
2.2 การเปลี่ยนออร์ทีนีนเป็นเกลือเอ็นเมททิลไพโรลิเนียม	9
2.3 กรดควิโนลินิกกลายเป็นกรดนิโคตินิก	9
2.4 การสังเคราะห์นิโคติน	10
2.5 กระบวนการทรานสเมทิลเลชัน	10
2.6 วัฏจักรไพรีดีนนิวคลีโอไทด์	12
2.7 ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดนิโคติน	13
2.8 ปฏิกิริยาวิฤภาคควบแน่นของกรดนิโคตินิก	18
2.9 กรดนิโคตินิกผลิตจากไพรีดีน	22
2.10 การสังเคราะห์ ($^{14}\text{CH}_3$)-L-นิโคติน	27
2.11 การสังเคราะห์ ($2'-^{14}\text{C}$)-DL-นิโคติน	29
2.12 ก๊าซ $^{14}\text{CO}_2$ เมื่อเข้าไปในนิโคติน	30
2.13 นิโคตินในสภาวะอัลคาไล	31
2.14 การสังเคราะห์นิโคตินไดพิกเครต	31
3.1 เครื่องที่ทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง	34
3.2 เครื่องระเหิดสาร	35
3.3 เครื่องสกัดแบบต่อเนื่อง	36
3.4 เครื่องลาร์มินาร์โฟล	37
3.5 เครื่องวัดอัลตราไวโอเลตสเปกโตรมิเตอร์	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 เครื่องวัดรังสีระดับต่ำแบบลิควิดซินทิลเลชัน	42
3.7 เครื่องกลั่นไอน้ำที่กำจัด $^3\text{H}^+$ ที่ตำแหน่งที่เคลื่อนย้าย	49
3.8 ชั้นวางให้แสงสว่างแก่ต้นใบยาสูบ	51
3.9 เครื่องบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน	54
3.10 คัลลัสที่ทำให้แห้งด้วยวิธีเยือกแข็งซึ่งผ่านการบดละเอียด	55
3.11 ชุดอุปกรณ์กลั่นด้วยไอน้ำ	57
4.1 UV. สเปกตรัมของนิโคติน	59
4.2 UV. สเปกตรัมของกรคนิโคตินิก	60
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรคนิโคตินิก .	61
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของนิโคติน.....	61
4.5 กราฟฟลาทอของ H-3	62
4.6 กราฟฟลาทอของ C-14	63
4.7 ผลึกกรคนิโคตินิกที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการทดลอง	64
4.8 สเปกตรัมอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีของกรคนิโคตินิก	65
4.9 สเปกตรัมอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีของกรคนิโคตินิกที่สังเคราะห์ขึ้น	66
4.10 สเปกตรัมนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกรคนิโคตินิกมาตรฐาน	68
4.11 สเปกตรัมนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ของกรคนิโคตินิกที่สังเคราะห์ขึ้น	69
4.12 สเปกตรัมอัลตราไวโอเลตสเปกโตรสโกปีของกรคนิโคตินิกที่สังเคราะห์ขึ้น	70
4.13 กรคนิโคตินิกกัมมันตรังสี C-14 ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น	73
4.14 สเปกตรัมของกรคนิโคตินิก C-14 เมื่อวัดด้วยเครื่องลิควิดซินทิลเลชันต่อกับเครื่อง	

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
วิเคราะห์สัญญาณ	74
4.15 กรดนิโคตินิกที่ได้จากการสังเคราะห์	75
4.16 สเปกตรัมการดูดกลืนอัลตราไวโอเลตของกรดนิโคตินิกที่สังเคราะห์ขึ้น	76
4.17 กรดนิโคตินิก H-3 ที่สังเคราะห์ขึ้น	77
4.18 สเปกตรัมของกรดนิโคตินิกที่เตรียม เมื่อวัดด้วยเครื่องลิวคิตซินทิลเลชันต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง	78
4.19 กรดนิโคตินิกกัมมันตรังสีหลังทำให้บริสุทธิ์	79
4.20 ปริมาณรังสีจากน้ำที่ใช้ในการล้างกรดนิโคตินิกกัมมันตรังสีแต่ละครั้ง	82
4.21 ต้นกล้าของต้นใบยาสูบที่เพาะจากเมล็ดในการทดลอง	84
4.22 การเจริญเติบโตของต้นใบยาสูบในระยะเวลา 2 เดือน	86
4.23 การเจริญเติบโตของคัลลัสในระยะเวลา 4 สัปดาห์	87
4.24 คัลลัสที่ถูกอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	88
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคัลลัสที่ซึ่งในรูปน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง	89
4.26 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของคัลลัสบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ M&S 1 μ M NAA และ 1 μ M ไคนิติน	91
4.27 การเจริญเติบโตของคัลลัสในระยะเวลา 6 สัปดาห์	92
4.28 โคโรมาโตรแกรม GC ของนิโคตินมาตรฐาน	94
4.29 โคโรมาโตรแกรมของนิโคตินที่สกัดจากคัลลัส	95
4.30 โคโรมาโตรแกรม GC ของนิโคตินมาตรฐานที่ละลายในแอลกอฮอล์	96
4.31 โคโรมาโตรแกรมของนิโคตินที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำละลายในแอลกอฮอล์	97

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 โครมาโตรแกรมของสารละลายที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำผสมกับนิโคตินมาตรฐาน ซึ่งละลายในแอลกอฮอล์	98
4.33 สเปกตรัมอัลตราไวโอเล็ตของสารละลายที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำ	99
4.33 สเปกตรัมอัลตราไวโอเล็ตของนิโคตินมาตรฐาน	99
4.35 นิโคตินไฮโดรครอไรด์ที่สกัดได้	101
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับส่วนที่เก็บ และปริมาณนิโคตินกัมมันตรังสี .	104
4.37 นิโคตินไฮโดรครอไรด์ H-3	105
4.38 สเปกตรัมนิโคตินทริเทียมที่สังเคราะห์เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องลิวทิงทิลเลชัน ที่ต่อกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง	106
ก.1 ส่วนประกอบภายในหัววัดซินทิลเลชัน	123
ก.2 เครื่องวัดรังสีซินทิลเลชันแบบหลอดทวีคูณแสง 2 หลอด	124
ก.3 การนับวัดสัญญาณเมื่อผ่านตัวตัดระดับล่าง และระดับบน	125
ก.4 การรวมสัญญาณ	126
ก.5 การสลายตัวของ C-14 ให้รังสีเบตา	127
ก.6 แถบรังสีเบตาของ C-14	127
ก.7 การสลายตัวของ H-3 ให้รังสีเบตา	127
ก.8 แถบรังสีเบตาของ C-14 และ H-3	127
ก.9 อัตราขยายมีผลต่อแถบพลังงานรังสีเบตาของ C-14	128
ก.10 อัตราขยายมีผลต่อแถบพลังงานรังสีเบตาของ H-3	129
ข.1 ต้นใบยาสูบพันธุ์เขียวใหญ่ 14	133

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
ง.1	หม้อนิ่งภายใต้ความดัน	142
ง.2	สถานที่ฉายรังสีเพื่อทำให้ไร้เชื้อ ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ	142
ง.3	การวางภาชนะการบรรจุในการฉายรังสีรวมทั้งขนาดและน้ำหนักของภาชนะที่ บรรจุ	143
ง.4	ลักษณะขวดแก้วหลังการอบรังสี	143
จ.1	เครื่องกลั่นไดอะโซมีเทน	144