



การพัฒนาชุดทดสอบเพื่อตรวจหา *Campylobacter* spp. ในไก่ก่อนเข้าสู่โรงงานแปรรูปโดยใช้
อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซีดีกานาโน

นายวิชระ แก้วทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2554



การพัฒนาชุดทดสอบเพื่อตรวจหา *Campylobacter* spp. ในไก่ก่อนเข้าสู่โรงงานแปรรูปโดยใช้

อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซีลิคานาโน

นายวชิระ แทนทรัพย์ วท.บ. (จุลชีวะวิทยา)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีวะวิทยาประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีการศึกษา 2554



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

(ศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประเวทย์ ต้อยเต็มวงศ์

(รศ.ดร.ประเวทย์ ต้อยเต็มวงศ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

พนิต ติงศมน

(รศ.ดร.พนิต ติงศมน)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม)

ภรณ์ทิรา เกตุแก้ว

(ผศ. ดร.ภรณ์ทิรา เกตุแก้ว)

กรรมการ

สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์

(ดร.สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์)

กรรมการ

ชาญวิทย์ ศรีเดช

(ดร.ชาญวิทย์ ศรีเดช)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชุดทดสอบเพื่อตรวจหา <i>Campylobacter</i> spp. ในไก่ก่อนเข้าสู่โรงงานแปรรูปโดยใช้ อนุภาคฟลูออเรสเซนซ์ซิลิกานาโน
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายวชิระ แทนทรัพย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ประเวทย์ ต้อยเต็มวงศ์ รศ.ดร.ภรณ์ ต้อยเต็มวงศ์
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	จุลชีววิทยาประยุกต์
ภาควิชา	จุลชีววิทยา
คณะ	วิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

246676

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาอนุภาคฟลูออเรสเซนซ์ซิลิกานาโน (FDS-NPs) สำหรับการวิเคราะห์ *Campylobacter jejuni* อย่างรวดเร็วภายใต้กล้อง epifluorescence microscope และทดสอบการใช้งานจริงในโรงงานแปรรูปไก่ อนุภาค FDS-NPs ถูกเตรียมขึ้นโดยวิธี โซล-เจลไมโครอิมัลชันเทคนิค ซึ่งจะทำให้อนุภาค FDS-NPs มีขนาดประมาณ 38 nm ถึง 47 nm พบว่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้น และความยาวคลื่นที่ใช้ในการเรืองแสงที่ 547 nm และ 605 nm ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดการเกาะกลุ่มของอนุภาค FDS-NPs ด้วย 10 mM NaCl ทำให้มีค่า zeta-potential เท่ากับ -33 mV FT Raman spectrum แสดงให้เห็นว่าสามารถดัดแปลงพื้นผิวให้อนุภาคให้มีหมู่أمينเพื่อจับกับแอนติบอดีจำเพาะต่อเชื้อเป้าหมายได้ รูปจาก SEM พบว่าอนุภาค FDS-SNPs เข้าจับรอบๆเซลล์อย่างชัดเจน สามารถดูได้ภายใต้กล้อง epifluorescent เมื่อนำ อนุภาค FDS-NPs ตรวจเชื้อ *C. jejuni* ในตัวอย่างไก่ในโรงงานอุตสาหกรรม เปรียบเทียบกับวิธี spread plate พบว่าสามารถตรวจนับจำนวนเชื้อ *C. jejuni* ในไก่ด้านบน กลาง และล่างของรบบรรทุก อยู่ที่ค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 91.4, 92.3 และ 90.4 ของวิธี spread plate ตามลำดับ วิธีอนุภาค FDS-NPs มีประสิทธิภาพดีกว่า วิธี spread plate โดยลดระยะเวลาการตรวจหาเชื้อจาก 5 วันเหลือเพียง 45-60 นาที ซึ่งสอดคล้องกับระบบการทำงานของโรงงาน ทำให้การจัดเรียงไก่เข้าโรงงานอย่างเหมาะสม และยังสามารถลดของเสียจากการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมีอื่นๆได้ด้วย

คำสำคัญ : อนุภาคฟลูออเรสเซนซ์ซิลิกานาโน / สี Rubpy / แคมไพโลแบคเตอร์ เจจูไน /

สเปคโตรฟลูออโรมิเตอร์ / กล้องฟลูออเรสเซนซ์

Thesis Title	Development of rapid test kit to identify <i>Campylobacter</i> spp. in poultry before processing with fluorescent dope silica-nanoparticles
Thesis Credits	12
Candidates	Mr. Watchira Tansub
Thesis Advisors	Assoc. Prof. Dr. Pravate Tuitemwong Assoc. Prof. Dr. Kooranee Tuitemwong
Program	Master of Science
Field of Study	Applied Microbiology
Department	Microbiology
Faculty	Science
Academic Year	2011

Abstract

246676

This research aims to develop fluorescent dye-doped silica nanoparticles (FDS-NPs) for the rapid detection of *Campylobacter jejuni* under epifluorescence microscope. This technique was tested in a slaughterhouse. The FDS-NPs were prepared by microemulsion and sol-gel techniques and have a round shape with an average size of 38-47 nm. They have excitation wavelength and emission wavelength of 547 and 605 nm, respectively. The aggregation problem of FDS-NPs was reduced by using 10 mM NaCl that provides zeta-potential of -33 mV. FDS-NPs surfaces were modified with amine functional group that enables them to bind with monoclonal antibodies against *C. jejuni*. The amine group was clearly detected with FT Raman spectroscopy. These antibody-conjugated FDS-NPs would attach to bacteria cell and be identified under epifluorescence microscope. FDS-NPs were used to detect *C. jejuni* in chicken samples from three points of a truck (top, middle and bottom) compared with conventional mCCDA plate count method. Of 100% prevalence, numbers reported by FDS-NPs were 91.4, 92.3 and 90.4% of the plate count result, respectively. FDS-NPs technique appears to be better than the conventional plate count in terms of rapid results (45-60 min compared with 5 days), feasible for the arrangement of negative/positive flocks to slaughter, and also reduce the laboratory media and chemical wastes.

Keywords: Fluorescent Doped Silica Nanoparticles / Rubpy dye / *Campylobacter jejuni* / Spectrofluorometer / Spectrofluorecent Microscope

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการพัฒนาชุดทดสอบเพื่อตรวจหา *Campylobacter* spp. ในไก่ก่อนเข้าสู่โรงงานแปรรูปโดยใช้ อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซัลฟอนาโน ได้สำเร็จลุล่วงตามความมุ่งหมายด้วยการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประเวทย์ ดุ้ยเต็มวงศ์ และรศ.ดร.นรมณี ดุ้ยเต็มวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆตลอดการวิจัย ผศ.ดร.ภัณฑิรา เกตุแก้ว ภาควิชาเคมี และดร.สุพรรณิ เทพอรุณรัตน์ สังกัด โครงการวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งคอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยรวมทั้ง ศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ ภาควิชาฟิสิกส์ และดร.ชาญวิทย์ ศรีเดช สังกัด สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้สละเวลามาร่วมเป็นประธานกรรมการและ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรเจ้าหน้าที่ ภาควิชาจุลชีววิทยา ทุกท่าน นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท จีเอฟพีที จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าไปทำวิจัยภายในโรงงาน

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆทุกคนทั้งภายในและภายนอกห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ความเสี่ยงและการตัดสินใจ (RADAL) ที่คอยเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือกันมา และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ และครอบครัวที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ฉ
รายการสัญลักษณ์	ณ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ณ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
2. ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 อนุภาคนาโน (Nanoparticles)	5
2.1.1 วัสดุนาโนที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางชีวภาพ	5
2.1.1.1 AuNPs	5
2.1.1.2 Quantum dots	6
2.1.1.3 Magnetic nanoparticles	6
2.1.1.4 Lanthanide [Ln ³⁺] NPs	6
2.1.1.5 Dye-doped silica NPs	7
2.1.2 การสังเคราะห์อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกานาโน	8

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.1.2.1 Stober's method	8
2.1.2.2 Reverse Microemulsion Method	9
2.1.3 การดัดแปลงพื้นระเคมี (Surface modification)	12
2.1.4 การติดฉลากที่ผิวของอนุภาค (Antibody Immobilization)	15
2.2 การวิเคราะห์อนุภาคฟลูออเรสเซนซ์ซิลิกานาโน	17
2.2.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope)	17
2.2.1.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)	17
2.2.1.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	18
2.2.2 เครื่องวัดแสงฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer)	20
2.2.2.1 การวาวแสงและการเรืองแสงของโมเลกุล	20
2.2.2.2 ชนิดของการเปล่งแสง	21
2.2.2.3 หลักการของโฟโตลูมิเนสเซนซ์	21
2.2.2.4 กระบวนการกระตุ้น (Excitation)	21
2.2.2.5 กระบวนการลดระดับพลังงาน (Deexcitation)	22
2.2.2.6 เครื่องฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์	23
2.2.2.7 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง	23
2.2.3 เครื่องวิเคราะห์สาร Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	25
2.3 เชื้อจุลินทรีย์ <i>Campylobacter</i> spp.	26
2.3.1 ประวัติความเป็นมา	26
2.3.2 สันฐานวิทยา	27
2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและการเพาะเลี้ยง	28
2.3.4 การระบาดของโรคและ สาเหตุที่ทำให้เกิดโรค	28
2.3.5 การแยกและการวินิจฉัย <i>Campylobacter</i> spp.	30
2.3.6 ลักษณะการดำรงชีวิต (Survival Characteristic)	31
2.3.6.1 อิทธิพลของอุณหภูมิ	31
2.3.6.2 อิทธิพลของ โซเดียมคลอไรด์และ water activity	31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3.6.3 อิทธิพลของความเป็นกรดและพีเอช	31
2.3.6.4 อิทธิพลของบรรยากาศ	32
2.3.6.5 อิทธิพลของส่วนประกอบของอาหารยาฆ่าโรคและรังสี	32
2.3.7 สัตว์ที่เป็นพาหะของโรค	33
2.3.8 อาการของโรค	34
2.3.9 การป้องกันและการรักษา	34
2.3.10 การตรวจ <i>Campylobacter</i> spp. ด้วยวิธีมาตรฐาน (Standard method)	34
2.4 แอนติบอดี (Antibody)	36
2.4.1 ชนิดและโครงสร้างของแอนติบอดี	36
2.4.2 ปฏิกริยาระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดี (Antigen-Antibody reaction)	37
2.4.3 สารที่ใช้ติดฉลากแสดงผลปฏิกริยาระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดี	38
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีการทดลอง/ระเบียบการวิจัย	42
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	42
3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	42
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	43
3.1.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	44
3.1.4 อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการทดลอง	45
3.1.5 เชื้อจุลินทรีย์	45
3.1.6 แอนติบอดี	45
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	46
3.2.1 การสังเคราะห์อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกา นาโน	46
3.2.2 การวิเคราะห์อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกา นาโน	48
3.2.2.1 วิเคราะห์รูปร่าง และขนาดของอนุภาค FDS-NPs	48
3.2.3 การดัดแปลงพันธะเคมีเพื่อให้เกิดหมู่ฟังก์ชัน	48

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2.3.1 การดัดแปลงพันธะเคมีที่ผิวอนุภาคให้เกิดหมู่เอมีน	48
3.2.3.1 การดัดแปลงพันธะเคมีที่ผิวอนุภาคให้เกิดหมู่คาร์บอกซิล	49
3.2.4 การติดแอนติบอดี	50
3.2.4.1 การกระตุ้นหมู่คาร์บอกซิล	50
3.2.4.2 การติดแอนติบอดีบนพื้นผิวอนุภาค FDS-NPs	51
3.2.5 การตรวจสอบประสิทธิภาพของอนุภาค FDS-NPs ที่มี Antibody ติดอยู่	52
3.2.5.1 การตรวจสอบการจับกัน (Conjugation)	52
3.2.6 การตรวจสอบการเกาะตัวกันระหว่าง อนุภาค FDS-NPs	54
3.2.6.1 การตรวจสอบการเกาะตัวในขั้นตอนดัดแปลงหมู่เอมีน	54
3.2.6.2 การตรวจสอบการเกาะตัวในขั้นตอนดัดแปลงหมู่คาร์บอกซิล	55
3.2.6.3 การตรวจสอบการเกาะตัวในขั้นตอนการติดแอนติบอดี	56
3.2.7 การตรวจสอบการเกาะตัวโดยใช้ Zeta potential	57
3.2.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกา นาโน และวิธี spread plate กับตัวอย่างเชื้อ <i>C. jejuni</i> บริสุทธิ์ในห้องปฏิบัติการ	58
3.2.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกา นาโน และวิธี spread plate กับเชื้อ <i>C. jejuni</i> ในตัวอย่างไก่ในห้องปฏิบัติการ	59
3.2.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกา นาโน และวิธี spread plate กับเชื้อ <i>C. jejuni</i> ในตัวอย่างไก่ในห้องปฏิบัติการ	60
3.2.11 การตรวจประสิทธิภาพอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกา นาโนกับเชื้อ <i>C. jejuni</i> ในตัวอย่างไก่ในโรงงานอุตสาหกรรม	61
บทที่ 4 ผลการทดลอง	62
4.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกา นาโน	62
4.2 ผลการวิเคราะห์อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกา นาโนในด้านต่างๆ	66
4.2.1 ผลการวิเคราะห์รูปร่างและขนาดของอนุภาค FDS-NPs	66
4.2.2 ผลการความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้น และความยาวช่วงคลื่นที่ใช้ในการเรืองแสง	67

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3 การตัดแปลงหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของของอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกาโน	70
4.3.1 อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกาโนก่อนตัดแปลงพันธะเคมี	70
4.3.2 อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกาโนที่ตัดแปลงให้เกิดหมู่เอมีน	71
4.3.3 อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกาโนที่ตัดแปลงให้เกิดหมู่คาร์บอกซิล	72
4.4 การเกาะกลุ่มของอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกาโน และแอนติบอดี	75
4.4.1 ผลการเกาะกลุ่มระหว่างอนุภาค FDS-NPs ในการสังเคราะห์อนุภาค	75
4.4.2 ผลการเกาะกลุ่มระหว่างอนุภาค FDS-NPs ในการตัดแปลงพันธะเคมี	75
4.4.3 ผลการเกาะกลุ่มระหว่างอนุภาค FDS-NPs ในการติดแอนติบอดี	77
4.5 ผลการตรวจการเกาะกลุ่มระหว่างอนุภาค FDS-NPs โดยใช้ Zeta potential	78
4.6 การตรวจประสิทธิภาพอนุภาค FDS-NPs กับตัวอย่างเชื้อ <i>C. jejuni</i> ห้องปฏิบัติการ	79
4.6.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอนุภาค FDS-NPs และวิธี spread plate กับตัวอย่างเชื้อ <i>C. jejuni</i> บริสุทธิ์ในห้องปฏิบัติการ	79
4.6.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอนุภาค FDS-NPs และวิธี spread plate กับเชื้อ <i>C. jejuni</i> ในตัวอย่างไก่ในห้องปฏิบัติการ	80
4.7 ผลการตรวจประสิทธิภาพอนุภาค FDS-NPs กับเชื้อ <i>C. jejuni</i> ในตัวอย่างไก่ใน โรงงานอุตสาหกรรม	81
4.7.1 ผลการตรวจประสิทธิภาพอนุภาค FDS-NPs กับเชื้อ <i>Campylobacter</i> spp. ในตัวอย่างไก่	81
4.7.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอนุภาค FDS-NPs และวิธี spread plate กับเชื้อ <i>C. jejuni</i> ในตัวอย่างไก่ในโรงงานอุตสาหกรรม	83

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผลการทดลอง	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	92
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก	100
ก. ตัวอย่างการคำนวณ	100
ข. อาหารเลี้ยงเชื้อ	101
ค. การเตรียมบัฟเฟอร์และสารละลาย	105
ง. การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	109
จ. การเตรียมตัวอย่างสำหรับเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด	112
ฉ. ข้อมูลผลการทดลอง	113
ประวัติผู้วิจัย	116

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	การเปรียบเทียบผลของวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Spread plate และ อนุภาค FDS-NPs) ต่อจำนวน <i>C. jejuni</i> ในไก่ตัวที่ 1, 2 และ 3	80
ข.1	อัตราส่วน Mcfarland Barium Sulfate Standard	104
ช.1	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกาโน และวิธี spread plate กับเชื้อ <i>C. jejuni</i> ในตัวอย่างไก่ในห้องปฏิบัติการ	113
ช.2	ผลการตรวจเชื้อ <i>Campylobacter</i> spp. ในตัวอย่างไก่โดยวิธี spread plate	114
ช.3	ผลการตรวจเชื้อ <i>Campylobacter jejuni</i> ในตัวอย่างไก่โดยวิธี spread plate	115

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	Transmission Electron Microscopy (TEM) image ของอนุภาค silica nanoparticles ที่มีโมเลกุลของสียบรรจุไว้ภายในอนุภาค, Scale bar เท่ากับ 500 nm	7
2.2	ปฏิกิริยา Hydrolysis ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลิกานาโน	10
2.3	ปฏิกิริยา Water Condensation ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลิกานาโน	10
2.4	ปฏิกิริยา Alcohol condensation ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลิกานาโน	10
2.5	ปฏิกิริยา Polymerization ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลิกานาโน	10
2.6	แสดงการเชื่อมต่อของอนุภาคซิลิกานาโนที่มีหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิว จับกับสารชีวโมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกาะกับพื้นผิวของอนุภาคซิลิกานาโน	16
2.7	ส่วนประกอบ และการทำงานของกล้อง TEM	18
2.8	ส่วนประกอบ และการทำงานของกล้อง SEM	20
2.9	แผนภาพแสดงระดับพลังงานของ	22
2.10	ปฏิกิริยาระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดีที่ใช้สารช่วยแสดงผล	38
3.1	ขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคฟลูออเรสเซนต์ซิลิกานาโน	47
3.2	ขั้นตอนการตัดแปลงพันธะเคมีที่ผิวอนุภาค FDS-NPs ให้เกิดหมู่เอมีน	49
3.3	ขั้นตอนการตัดแปลงพันธะเคมีที่ผิวอนุภาค FDS-NPs ให้เกิดหมู่คาร์บอกซิล	50
3.4	ขั้นตอนการกระตุ้นหมู่คาร์บอกซิล	51
3.5	ขั้นตอนการติดแอนติบอดีบนผิวอนุภาค FDS-NPs ที่มีหมู่คาร์บอกซิล	52
3.6	ขั้นตอนการเตรียมเชื้อ <i>C. jejuni</i>	53
3.7	ขั้นตอนการตรวจสอบการจับกัน (Conjugation)	54
3.8	ขั้นตอนการตรวจสอบการเกาะตัวในกระบวนการตัดแปลงหมู่เอมีน	55
3.9	ขั้นตอนการตรวจสอบการเกาะตัวในกระบวนการตัดแปลงหมู่คาร์บอกซิล	55
3.10	ขั้นตอนการตรวจสอบการเกาะตัวในกระบวนการติดแอนติบอดี	56
3.11	ขั้นตอนการตรวจสอบการเกาะตัวโดยใช้ Zeta potential	57

3.12	ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอนุภาค FDS-NPs กับวิธี Spread plate	58
3.13	ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอนุภาค FDS-NPs กับวิธี Spread plate	59
3.14	ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอนุภาค FDS-NPs กับวิธี Spread plate ในตัวอย่างไก่ 3 ตัว	60
3.15	ขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอนุภาค FDS-NPs กับวิธี Spread plate ในตัวอย่างไก่ในโรงงานอุตสาหกรรม	61
4.1	การสังเคราะห์อนุภาค FDS-NPs ด้วยวิธีไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน	62
4.2	อนุภาค FDS-NPs เกิดการตกตะกอนเมื่อเติมอะซิโตน	62
4.3	อนุภาค FDS-NPs มีลักษณะเป็นผงสีส้มละเอียด	63
4.4	อนุภาค FDS-NPs ก่อน (A) และหลัง (B, C) ที่กระจายตัวใน 95% Ethanol	63
4.5	อนุภาค FDS-NPs หลังจากเติมก๊าซไนโตรเจน	64
4.6	การเก็บอนุภาค FDS-NPs ในบับเฟอร์ก่อนการนำไปตรวจวิเคราะห์ (A) ก่อน และ (B) หลังทำให้กระจายใน MES buffer	64
4.7	อนุภาคแห้งก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์สมบัติของอนุภาค	65
4.8	อนุภาค FDS-NPs ภายใต้อุปกรณ์ TEM ที่กำลังขยาย 60,000x	66
4.9	อนุภาค FDS-NPs ภายใต้อุปกรณ์ TEM ที่กำลังขยาย 100,000x	66
4.10	ความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้น (Excitation wavelength) ของอนุภาค FDS-PNs	67
4.11	ความยาวคลื่นที่มีการเรืองแสงออกมา (Emission wavelength) ของอนุภาค FDS-NPs	68
4.12	ความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้น (Excitation wavelength) ของ Free Rubpy dye	68
4.13	ความยาวคลื่นที่ใช้ในการกระตุ้น (Emission wavelength) ของ Free Rubpy dye	69
4.14	FTIR spectrum ของอนุภาค FDS-NPs ก่อนดัดแปลงพันธะเคมีที่ผิวอนุภาค	70
4.15	FTIR spectrum ของอนุภาค FDS-NPs หลังดัดแปลงพันธะเคมีที่ผิวอนุภาค ให้เกิดหมู่เอมีน	71
4.16	FT-Raman spectrum ของอนุภาค FDS-NPs หลังดัดแปลงพันธะเคมีที่ผิวอนุภาค ให้เกิดหมู่เอมีน	72
4.17	FTIR spectrum ของอนุภาค FDS-NPs หลังดัดแปลงพันธะเคมีที่ผิวอนุภาคให้เกิด หมู่คาร์บอกซิล	73

4.18	FT-Raman spectrum ของอนุภาค FDS-NPs หลังดัดแปลงพันธะเคมีที่ผิว อนุภาคให้เกิดหมู่คาร์บอกซิล	74
4.19	แสดงการกระจายตัวของอนุภาค FDS-NPs ในกระบวนการสังเคราะห์ ภายใต้กล้อง TEM ที่กำลังขยาย 60,000x	75
4.20	แสดงการกระจายตัวของอนุภาค FDS-NPs ในกระบวนการดัดแปลงหมู่เอมีน ภายใต้กล้อง TEM ที่กำลังขยาย 60,000x	76
4.21	แสดงการกระจายตัวของอนุภาค FDS-NPs ในกระบวนการดัดแปลงหมู่คาร์บอกซิล ภายใต้กล้อง TEM ที่กำลังขยาย 40,000x	76
4.22	แสดงการกระจายตัวของอนุภาค FDS-NPs ในกระบวนการติดแอนติบอดี ภายใต้กล้อง TEM ที่กำลังขยาย 60,000x	77
4.23	แสดงการกระจายตัวของอนุภาค FDS-NPs ในกระบวนการติดแอนติบอดี ภายใต้กล้อง SEM ที่กำลังขยาย 25,000x	77
4.24	แสดงความเข้มข้นของ NaCl ในระดับต่างๆ ตั้งแต่ 5 mM – 25 mM โดยกำหนดที่ 0 mM เป็นความเข้มข้นตัวอย่างมาตรฐาน	78
4.25	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาค FDS-NPs และวิธี Spread plate โดยใช้ กับตัวอย่าง <i>C. jejuni</i> บริสุทธิ์	79
4.26	แสดงแนวโน้มประสิทธิภาพของ FDS-NPs กับวิธี Spread plate (วิธีดั้งเดิม) ในตัวอย่างไก่	80
4.27	แบบจำลองของรถบรรทุก ที่ทำการเก็บตัวอย่างไก่ (สีแดง: ตำแหน่งบน, กลาง และล่าง ส่วนสีฟ้า: ตำแหน่งหน้า, กลาง และหลัง)	81
4.28	ปริมาณเชื้อ <i>Campylobacter</i> spp. (LogCFU/ml) ในแต่ละตำแหน่งของรถบรรทุก	82
4.29	แสดงปริมาณเชื้อ <i>Campylobacter jejuni</i> ในแต่ละตำแหน่งของรถบรรทุก	83
4.30	แสดงปริมาณเชื้อ <i>Campylobacter jejuni</i> (LogCFU/ml) ในตำแหน่งด้านบน ของรถบรรทุกไก่อ่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต	84
4.31	ปริมาณเชื้อ <i>Campylobacter jejuni</i> (LogCFU/ml) ในตำแหน่งตรงกลางของ รถบรรทุกไก่อ่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต	84

4.32	ปริมาณเชื้อ <i>Campylobacter jejuni</i> (LogCFU/ml) ในตำแหน่งด้านล่างของ รถบรรทุกไถ่ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต	85
4.33	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอนุภาค FDS-NPs และวิธี spread plate ในตำแหน่งบน กลาง และล่างของรถบรรทุก	85
4.34	ตัวไถ่ และตะกร้าบรรทุกไถ่ที่อยู่ด้านล่างของรถบรรทุก มีอุจจาระบนพื้นรถบรรทุก และบริเวณขอบตะกร้าบรรทุกไถ่ในปริมาณมาก	86
4.35	ตัวไถ่ และตะกร้าบรรทุกอยู่ด้านบนของรถบรรทุก มีความสะอาด ปราศจากการ ปนเปื้อนจากอุจจาระไถ่	86
4.36	A และ B แสดงเชื้อ <i>C. jejuni</i> บริสุทธิ์ ส่วน C และ D แสดงอนุภาค FDS-NPs ที่จับอยู่บนเชื้อ <i>C. jejuni</i> ภายใต้กล้อง SEM	87
4.37	ความจำเพาะระหว่างอนุภาค FDS-NPs กับ <i>C. jejuni</i> ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ชนิด Epifluorescence ร่วมกับ Petroff – Hausser counting chamber ที่กำลังขยาย 600x	88
4.38	ความจำเพาะระหว่างอนุภาค FDS-NPs กับ <i>C. jejuni</i> ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ชนิด Epifluorescence ร่วมกับ Petroff – Hausser counting chamber ที่กำลังขยาย 300x	88

รายการสัญลักษณ์

K, L, M	=	วงโคจรชั้น K, L และ M ในอะตอม
S_0	=	อิเล็กตรอนในสถานะพื้น
S_1, S_2, S_3, \dots	=	ระดับพลังงาน
λ	=	ค่าความยาวคลื่น
$^{\circ}\text{C}$	=	degree Celsius
γ	=	gamma
μ	=	mu
α	=	alpha
δ	=	delta
ϵ	=	epsilon

ประมวลศัพท์ และคำย่อ

A	=	angstrom
g/cm ³	=	gram per cubic centimeter
g/mol	=	gram per mol
nm	=	nanometer
mg/ml	=	milligram per militer
SD	=	Standard Deviation
% wt	=	percent of weight