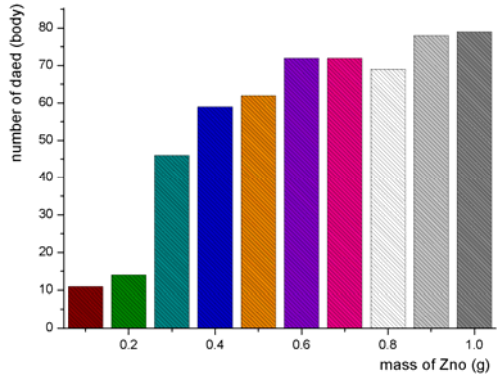
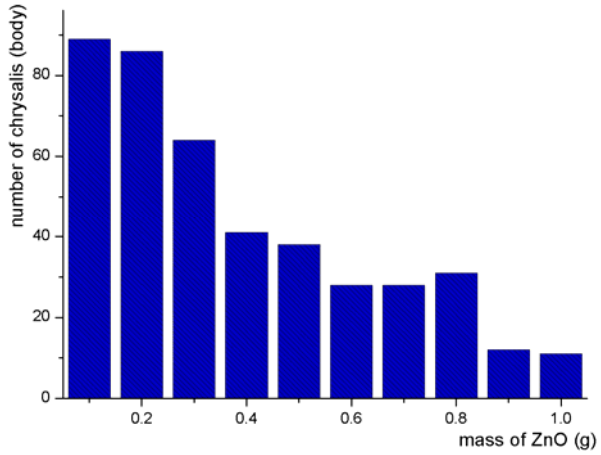
บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของการได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ของหนอนไหมขนาดต่าง ๆกัน

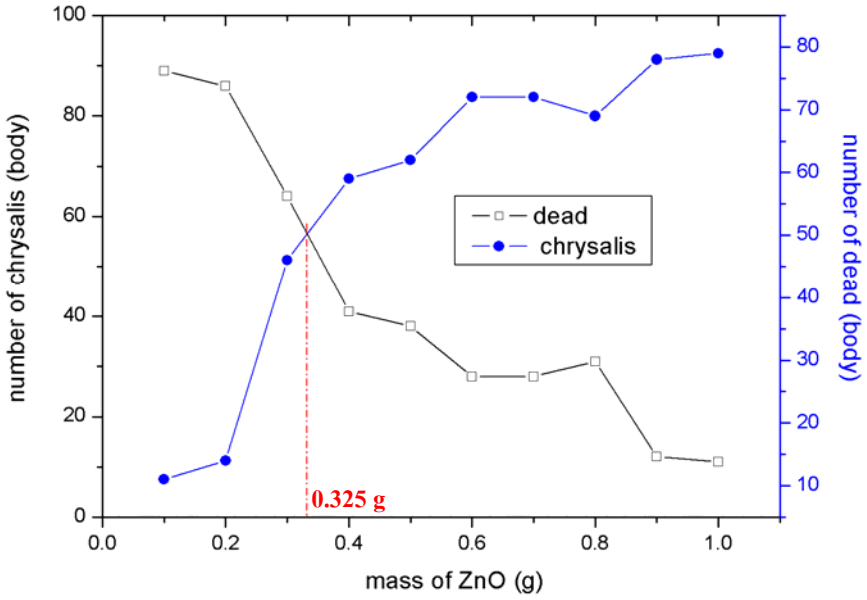
การเลี้ยงไหมด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีปริมาณต่างกัน โดยกำหนดให้หนอนไหมช่วงวัย 3 จำนวน 1000 ตัว ได้รับปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ขนาด 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 กรัมต่อครั้ง ซึ่งจะให้อาหาร 3 ครั้งต่อวัน จนเป็นดักแด้ทั้งหมดเป็นเวลา 6 วัน แล้วศึกษาอัตราการตาย และอัตราการเป็นดักแด้ เพื่อหาผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของหนอนไหมเมื่อได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีปริมาณต่างกัน



ภาพที่ 4.1(ก) แสดงจำนวนการตายของหนอนไหมเมื่อได้รับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณมวลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์



ภาพที่ 4.1(ข) แสดงจำนวนการเป็นดักแด้ของหนอนไหมเมื่อได้รับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณมวลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์

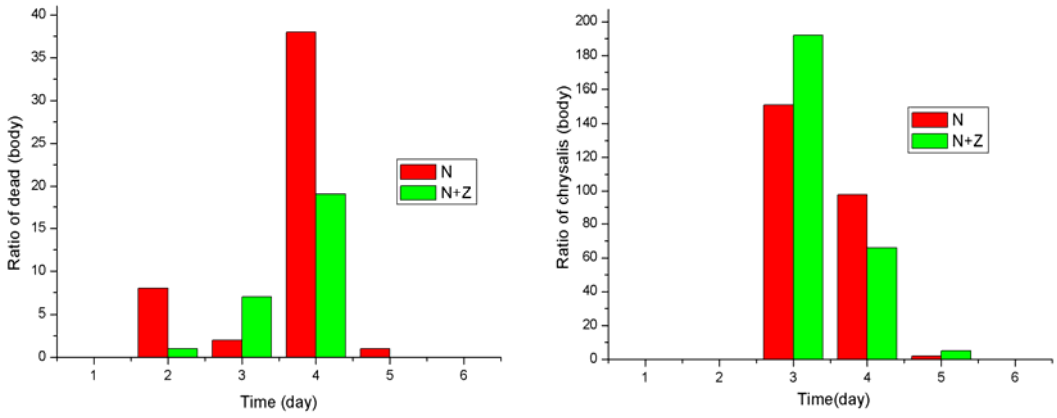


ภาพที่ 4.1(ค) แสดงความสัมพันธ์ของทั้งจำนวนการตายและจำนวนการเป็นดักแด้ของหนอนไหมเมื่อได้รับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ต่อปริมาณมวลของอนุภาคซิงค์ออกไซด์

จากการศึกษาพบว่าอัตราการได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออไซด์ในปริมาณเพิ่ม แนวโน้มของกราฟแสดงจำนวนการตายของหนอนไหมมีมากขึ้นดังภาพที่ 4.1 (ก) และจำนวนการเป็นดักแด้ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออไซด์ดังภาพที่ 4.1 (ข) เมื่อนำข้อมูลจำนวนการตายและจำนวนการเป็นดักแด้มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออไซด์พบว่าจุดตัดของกราฟทั้งสองตัดที่จุดปริมาณมวลของอนุภาคนาโนซิงค์ออไซด์ที่ค่าประมาณ 0.325 กรัม ดังภาพที่4.1 (ค)

4.2 การศึกษาผลของการได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ของหนอนไหมกับหนอนไหมที่ไม่ได้รับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ได้ทดลองและศึกษาการเปรียบเทียบการเลี้ยงไหมด้วยใบหม่อนอย่างเดียวกับการเลี้ยงไหมด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ขนาด 0.325 กรัมต่อครั้ง ซึ่งจะให้อาหาร 3 ครั้งต่อวัน ซึ่งเริ่มศึกษาตั้งแต่ช่วงวัย 3 โดยใช้ตัวอย่างละ 400 ตัว พบว่าเมื่อนำเอาผลการทดลองไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายกับเวลา และอัตราการเป็นดักแด้ (เข้าฝัก) กับเวลา มีผลดังภาพที่4.2

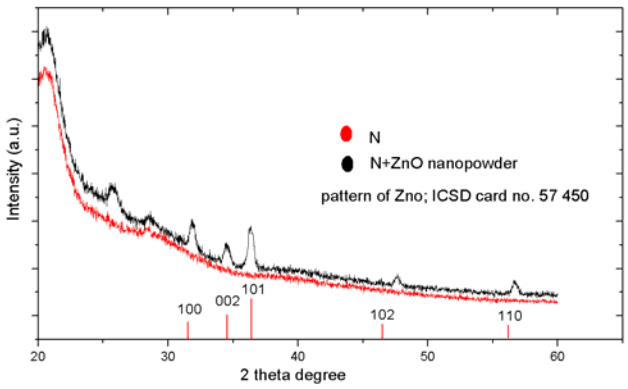


(ก) (ข)

ภาพที่4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างหนอนไหมที่กินใบหม่อนอย่างเดียว (N) และหนอนไหมที่กินใบหม่อนรวมกันอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (N+Z) (ก) แสดงการเปรียบเทียบอัตราการตาย (ข) แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเป็นดักแด้ (เข้าฝัก)

4.3 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์

ในขั้นนี้กลุ่มผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์สำหรับศึกษาหาโครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ภายในเส้นใยไหมที่หนอนไหมกินเข้าไปภายใต้เงื่อนไขการเลี้ยงไหมด้วยใบหม่อนอย่างเดียวกับการเลี้ยงไหมด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ขนาด 0.325 กรัมต่อครั้ง ซึ่งจะให้อาหาร 3 ครั้งต่อวัน ซึ่งเริ่มศึกษาตั้งแต่ช่วงวัย 3 โดยใช้ตัวอย่างละ 400 ตัว ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 4.3

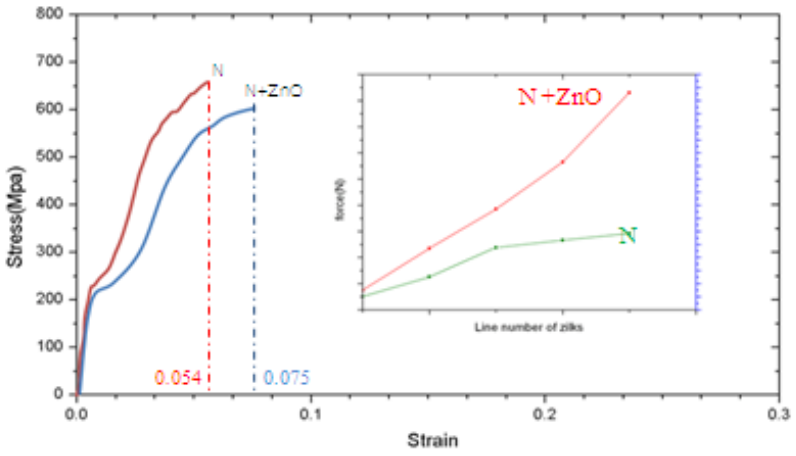


ภาพที่4.3 แสดง pattern ผลการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างทั้งสองเงื่อนไข

จากภาพที่ 4.3 พบว่าตัวอย่างที่กินอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ปรากฏพีคของผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์เมื่อเทียบกับฐานข้อมูล ICSD card no. 57 450 ที่ระนาบ 100 002 101 และ 110 ส่วนไหมที่ไม่ได้กินอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไม่ปรากฏพีคของผลึกอนุภาคนาโนซิกง์ออกไซด์

4.4 ศึกษาการเปรียบเทียบสมเชิงกลโดยทดสอบแรงดึงเชิงเส้นด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Texture Analyzer

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดลองโดยนำเอาเส้นใยไหมที่ได้จากการเลี้ยงโดยให้กินใบหม่อนอย่างเดียวและเลี้ยงโดยให้กินใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ขนาด 0.325 กรัมต่อครั้งโดย 1 วันให้ 3 ครั้ง ซึ่งเริ่มศึกษาตั้งแต่ช่วงวัย 3 โดยใช้ตัวอย่างละ 400 ตัว กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยไหมมีขนาดเท่ากันคือขนาด 0.2 มิลลิเมตรยาว 20 เซนติเมตรแล้วนำไปทดสอบเพื่อหาสมบัติเชิงกล พบว่าความเค้นดึงของเส้นไหมที่เลี้ยงด้วยใบหม่อนอย่างเดียว (N) มีค่ามากกว่าความเค้นดึงของเส้นไหมที่เลี้ยงด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (N+ZnO) โดยมีความเค้นต่างกันตั้งแต่ 200 MPa ส่วนความเครียดของเส้นไหมที่เลี้ยงด้วยใบหม่อนอย่างเดียว (N) มีค่าน้อยว่าความเครียดของเส้นไหมที่เลี้ยงด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (N+ZnO) เมื่อวิเคราะห์การทดสอบแรงดึงเชิงเส้น พบว่าแรงดึงเชิงเส้นของเส้นไหมที่เลี้ยงด้วยใบหม่อนอย่างเดียว (N) มีค่าน้อยว่าแรงดึงเชิงเส้นของเส้นไหมที่เลี้ยงด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (N+ZnO) ดังภาพที่4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) และความเครียด (Strain) ของเส้นไหมที่ได้จากการเลี้ยงด้วยใบหม่อนอย่างเดียว (N) และเส้นไหมที่ได้จากการเลี้ยงด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ไดออกไซด์ (N+ZnO) แทรกด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงเชิงเส้นกับจำนวนของเส้นไหมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน

พบว่าเส้นไหมที่เตรียมจากใยของหนอนไหมที่กินอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ทนแรงดึงเชิงเส้นได้มากกว่าเส้นไหมที่เตรียมจากใยของหนอนไหมที่ไม่ได้กินอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อนำมาหาความเค้น (Stress) พบว่าตัวอย่างที่เตรียมจากหนอนไหมที่ไม่กินอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่ามากกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากหนอนไหมที่กินอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ แต่ความเครียด (Strain) มีค่ามากกว่า

4.5 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เทคนิค XRF

ในขั้นตอนนี้ได้เตรียมตัวอย่างโดยนำเอาเส้นใยไหมที่ได้จากการเลี้ยงโดยให้กินใบหม่อนอย่างเดียวและเลี้ยงโดยให้กินใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ขนาด 0.325 กรัมต่อครั้งโดย 1 วัน ให้ 3 ครั้ง ซึ่งเริ่มศึกษาตั้งแต่ช่วงวัย 3 โดยใช้ตัวอย่างละ 400 ตัว มาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วให้แห้งในสภาวะสุญญากาศได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

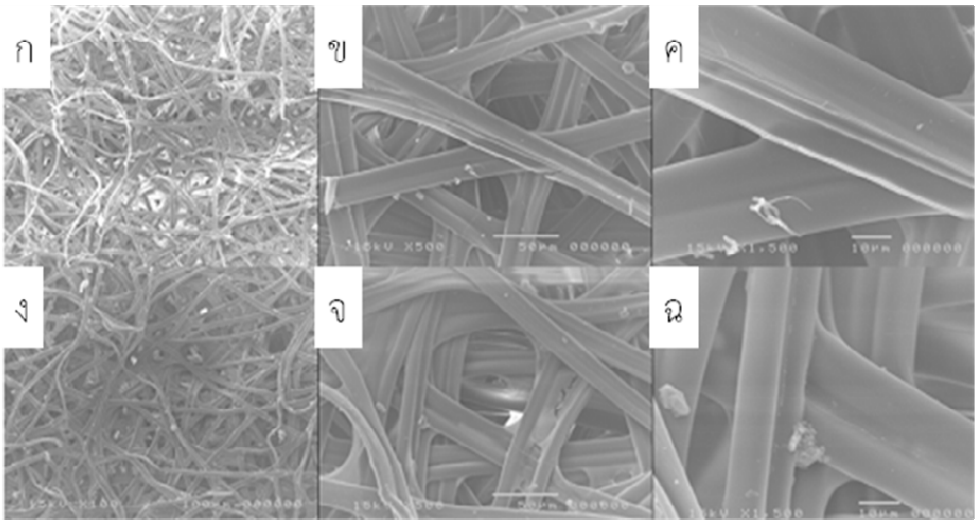
ตารางที่4.1แสดงผลจากการวิเคราะห์องประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF ของสารตัวอย่าง N (เส้นใยไหมที่ได้จากการเลี้ยงโดยให้กินใบหม่อนอย่างเดียว) และ N + ZnO (เส้นใยไหมที่ได้จากการเลี้ยงด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์)

สารตัวอย่าง	ปริมาณธาตุ (%)													
	Al	O	Ca	Cl	K	Mg	p	S	Si	Sr	Zn	Fe	Mn	Cr
N	<<	38.07	41.52	4.667	<<	<<	4.944	7.852	2.943	-	-	<<	-	-
N+ZnO	<<	30.54	45.99	3.152	<<	-	2.631	3.555	-	<<	14.13	<<	-	-

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF พบว่าเส้นใยไหมที่ได้จากการเลี้ยงโดยให้กินใบหม่อนอย่างเดียวมีปริมาณธาตุออกซิเจน 38.07 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณธาตุแคลเซียม 41.52 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณธาตุคลอลีน 4.667 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัส 4.944 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณธาตุกำมะถัน 7.852 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณธาตุซิลิกอน 2.943 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณธาตุอื่นน้อยมาก ส่วนเส้นใยไหมที่ได้จากการเลี้ยงด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนไททาเนียมไดออกไซด์มีปริมาณธาตุออกซิเจน 30.54 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณธาตุแคลเซียม 45.99 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณธาตุคลอลีน 3.152 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณธาตุฟอสฟอรัส 2.631 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณธาตุกำมะถัน 3.555 เปอร์เซ็นต์ไม่พบว่ามีปริมาณธาตุซิลิกอน แต่พบว่ามีปริมาณธาตุสังกระสี 14.3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณธาตุอื่นน้อยมาก

4.6 ศึกษาลักษณะเฉพาะของพื้นผิวโดยใช้เทคนิค SEM

ในขั้นตอนนี้ได้เตรียมตัวอย่างโดยนำเอาเส้นใยไหมที่ได้จากการเลี้ยงโดยให้กินใบหม่อนอย่างเดียวและเลี้ยงโดยให้กินใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ขนาด 0.325 กรัมต่อครั้งโดย 1 วัน ให้ 3 ครั้ง ซึ่งเริ่มศึกษาตั้งแต่ช่วงวัย 3 โดยใช้ตัวอย่างละ 400 ตัว มาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนแล้วให้แห้งในสภาวะสุญญากาศแล้วนำไปติดกระจกที่ทำความสะอาดแล้วตามด้วยการเคลือบด้วยทองก่อนที่จะนำไปศึกษาลักษณะเฉพาะของพื้นผิวโดยใช้เทคนิค SEM มีผลดังภาพที่ 4.5 จากภาพพบว่าลักษณะพื้นผิวของเส้นไหมไม่ปรากฏชัดเจนถึงความแตกต่างของตัวอย่างทั้งสอง



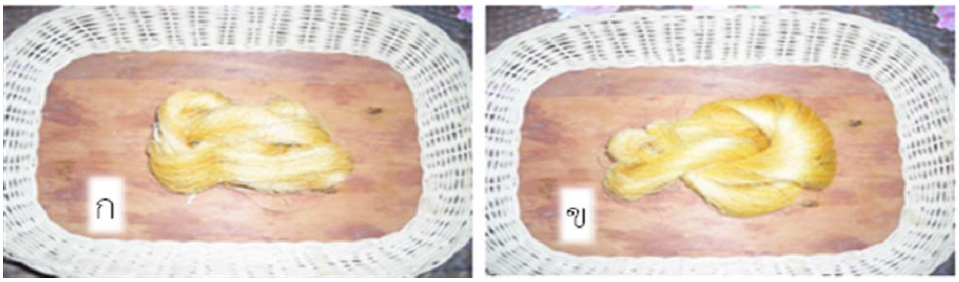
ภาพที่ 4.5 (a-c) แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นไหมที่ได้จากการเลี้ยงด้วยใบหม่อนอย่างเดียว (N) โดยที่ (ก) ภาพถ่ายที่ขนาด 100 ไมครอน (ข) ภาพถ่ายที่ขนาด 50 ไมครอน และ (ค) ภาพถ่ายที่ขนาด 10 ไมครอน และ(ง-ฉ)แสดงลักษณะพื้นผิวเส้นไหมที่ได้จากการเลี้ยงด้วยใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (N+ZnO) โดยที่ (ง) ภาพถ่ายที่ขนาด 100 ไมครอน (จ) ภาพถ่ายที่ขนาด 50 ไมครอน และ (ฉ) ภาพถ่ายที่ขนาด 10 ไมครอน

4.7 การศึกษาลักษณะทางกายภาพทั่ว ๆไป

4.7.1 ลักษณะของสีของรังที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูป Nikon รุ่น D800 body

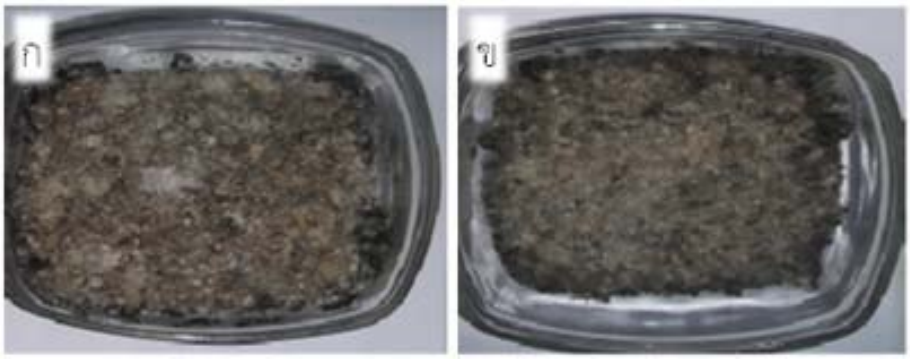
ภาพที่ 4.6 เป็นภาพลักษณะของสีของรังไหมที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูป Nikon รุ่น D800 body โดย (ก) เป็นภาพถ่ายของรังไหมที่ได้จากหนอนไหมที่กินใบหม่อนอย่างเดียว (ข) เป็นภาพถ่ายของรังไหมที่ได้จากหนอนไหมกินใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

4.7.2 ลักษณะของสีของเส้นไหมที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูป Nikon รุ่น D800 body



ภาพที่ 4.7 เป็นภาพลักษณะของสีของเส้นไหมที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูป Nikon รุ่น D800 body โดย (ก) เป็นภาพถ่ายของเส้นไหมที่ได้จากหนอนไหมที่กินใบหม่อนอย่างเดียว (ข) เป็นภาพถ่ายของเส้นไหมที่ได้จากหนอนไหมกินใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

4.7.3 ลักษณะของมูลของหนอนไหมที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูป Nikon รุ่น D800 body ตัวอย่างมูลของหนอนไหมที่ปล่อยทิ้งไว้ในตู้ควบคุมที่อุณหภูมิคงที่ 30 องศาเซลเซียสภายใต้แสงจากหลอด UV ขนาด 10 วัตต์ สูงจากตัวอย่าง 30 เซนติเมตร เป็นเวลา 5 วัน เมื่อวิเคราะห์จากภาพที่4.8 สังเกตเห็นว่ามูลจากหนอนไหมที่กินใบหม่อนอย่างเดียวเกิดรามากกว่ามูลหนอนไหมกินใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์



ภาพที่ 4.8 เป็นภาพถ่ายลักษณะของมูลหนอนไหมที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูป Nikon รุ่น D800 body โดย (ก) เป็นภาพถ่ายของมูลหนอนไหมที่ได้จากหนอนไหมที่กินใบหม่อนอย่างเดียว (ข) เป็นภาพถ่ายของมูลหนอนไหมที่ได้จากหนอนไหมกินใบหม่อนรวมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์