

ไมโครพลาสติก: จากเครื่องสำอางสู่สารปนเปื้อนในอาหาร

วรงค์ศิริ เข็มสวัสดิ์*

สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

ด้วยปัญหาการเสื่อมโทรมลงของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทั่วโลกที่ทวีความรุนแรงขึ้นจากการปนเปื้อนของพลาสติกขนาดเล็ก หลายประเทศในแถบอเมริกาและยุโรปได้มีการณรงค์ให้ยกเลิกการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของเม็ดไมโครพลาสติก หรือ เม็ดไมโครบีด โดยล่าสุดเมื่อปี ค.ศ. 2015 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ออกพระราชบัญญัติว่าด้วยการปลดเม็ดไมโครบีดในแหล่งน้ำ นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 จนถึงปัจจุบันได้มีการรายงานการเพิ่มขึ้นจำนวนมากของการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ซึ่งเส้นทางการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกสู่ระบบนิเวศทางทะเลมาจากการทิ้งน้ำเสียจากครัวเรือนและอุตสาหกรรม เม็ดพลาสติกขนาดเล็กเหล่านี้มักจะหลุดลอดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก การปนเปื้อนอีกเส้นทางหนึ่งคือไมโครพลาสติกที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายตัวตามธรรมชาติของพลาสติกขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อเม็ดไมโครพลาสติกเหล่านี้ปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ หรือ ทะเล เม็ดไมโครพลาสติกเหล่านี้จะลอยอยู่เหนือผิวน้ำเนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ปะปนกับแพลงก์ตอนที่เป็นแหล่งอาหารของสัตว์น้ำ และเข้าสู่สายใยอาหารโดยปลาหรือสัตว์ที่กินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร ปัจจุบันได้มีรายงานจำนวนมากถึงการสะสมของเม็ดไมโครพลาสติกในสัตว์ที่เป็นอาหารของมนุษย์ อันตรายอีกประการหนึ่งของเม็ดไมโครพลาสติกคือการปลดปล่อยสารพิษที่เป็นส่วนประกอบของพลาสติก หรือสารที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของพลาสติก ที่พบว่ามีอันตรายสูงมาก เนื่องจากเม็ดไมโครพลาสติกมีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากเมื่อเทียบกับพลาสติกชิ้นใหญ่

คำสำคัญ: การปนเปื้อน สายใยอาหาร เม็ดไมโครพลาสติก

*ผู้รับผิดชอบบทความ

อ.ดร.วรงค์ศิริ เข็มสวัสดิ์

สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์ 0-2800-2380 ต่อ 412

โทรสาร 0-2441-9344

E-mail: Varongsiri.kem@mahidol.ac.th

Microplastics: From Cosmetics to Food Contaminants

Varongsiri Kemsawasd*

Institute of Nutrition, Mahidol University

Abstracts

All over the world are aware of the violence of natural resources and environment deterioration from microplastics contamination. Several countries in America and Europe have campaigned against using cosmetic products containing microplastics or microbeads nowadays. US bill currently bans the rinse-off cosmetics that contain intentionally-added plastic microbeads, follow upon the Microbead-Free Waters Act 2015. From 1970s to present, there are many research studies showed the evidence on-microbeads and other microplastics (tiny plastic particles up to 5 mm in diameter) contamination in marine. The route of microbeads contamination is not filtered out by the sewerage system, but it run straight into marine environment. Moreover some of low density microplastics, i.e. microbeads, float on sea surfaces together with plankton are then eaten by marine animals at higher trophic levels. Many previous studies reported that this route could transfer the microplastics or microbeads from the marine animals to human in the food web. In addition to plastics itself contain toxic ingredients and can release toxic chemicals during plastic degradation. These could be more toxic than macroplastics contamination because of small particles and more surface area exposure.

Keywords: Contamination, Food web, Microplastics***Corresponding author**

Dr. Varongsiri Kemsawasd

Institute of Nutrition, Mahidol University, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170

Tel. 0-2800-2380 Ext. 412 Fax. 0-2441-9344

E-mail: Varongsiri.kem@mahidol.ac.th

บทนำ

เมื่อวันที่ 7 ธันวาคม ค.ศ. 2015 ที่ผ่านมา สภาผู้แทนราษฎรสหรัฐอเมริกาได้ผ่านพระราชบัญญัติว่าด้วยการปลอดเม็ดไมโครบีดในแหล่งน้ำ (The Microbead-Free Waters Act 2015) ซึ่งจะมีผลบังคับใช้ในสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 2017 พระราชบัญญัตินี้ได้ระบุสาระสำคัญว่าห้ามผลิต จัดจำหน่าย รวมถึงขายผลิตภัณฑ์ที่ผสมด้วยเม็ดไมโครบีด (Microbeads) หรือ เม็ดไมโครพลาสติก ซึ่งหมายถึงเม็ดพลาสติกทรงกลมขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรทุกชนิด โดยผลิตภัณฑ์ที่ระบุหมายรวมถึงผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ชำระล้าง (Rinse-off cosmetics) รวมทั้งผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและผลิตภัณฑ์ผิวหน้าและส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายซึ่งในอนาคตมีแนวโน้มว่าจะครอบคลุมไปถึงผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ด้วย โดยในประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา และยุโรป บางประเทศได้เริ่มรณรงค์ให้ประชาชนตระหนักถึงผลกระทบและอันตรายจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีเม็ดไมโครบีดมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 และรัฐอิลลินอยส์ในสหรัฐอเมริกาได้ผ่านพระราชบัญญัติยกเลิกการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมดังกล่าวตั้งแต่ปี ค.ศ. 2014 เนื่องจากมีรายงานการศึกษาจำนวนมากเกี่ยวกับเส้นทางการปนเปื้อน และผลกระทบของเม็ดไมโครพลาสติกต่อระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่ง สิ่งมีชีวิตและห่วงโซ่อาหาร รวมถึงการสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation) และผลจากการสะสมทางชีวภาพอย่างต่อเนื่องและเป็นพิษ (Persistent Bioaccumulative and Toxic, PBT) ในปี ค.ศ. 1970 ได้มีหลักฐานการศึกษา และรายงานวิจัยออกมาเป็นครั้งแรกถึงปัญหา และผลกระทบของเม็ดไมโครพลาสติกที่เกิดขึ้น ทั้งในทวีป

แอตแลนติกเหนือ ทะเลแปซิฟิกเหนือ และแปซิฟิกใต้ ซึ่งพบการปนเปื้อนในลักษณะที่ลอยตัวอยู่ในแหล่งน้ำและสะสมตามชายหาด¹⁻⁴ ทั้งนี้ ก่อนปี ค.ศ. 1970 พบว่าสาเหตุหลักของการปนเปื้อนเม็ดไมโครพลาสติกเกิดจากการสลายของพลาสติกที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร หรือที่เรียกว่ามาโครพลาสติก (Macroplastics) แต่ปัจจุบันสาเหตุการปนเปื้อนส่วนใหญ่มาจากเม็ดไมโครพลาสติกที่สังเคราะห์ขึ้นทั้งในรูปของเม็ดไมโครบีดที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วล้างออก และเม็ดไมโครพลาสติกที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ปนเปื้อนอยู่ในระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่ง หลักฐานการปนเปื้อนของไมโครบีดในแหล่งน้ำชัดเจนขึ้นในรายงานการศึกษาของ Thompson และคณะในปี 2004⁵ โดยพบว่าขนาดของเม็ดไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในช่วงปี ค.ศ. 1980-1990 มีขนาดเล็กกว่าในช่วงปี ค.ศ. 1960-1970 ซึ่งเป็นช่วงก่อนการใช้เม็ดไมโครบีดในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ชำระล้าง ภายหลังได้มีหลักฐานสนับสนุนโดยพบเม็ดไมโครพลาสติกพอลิเอทิลีน (ความหนาแน่น 0.91–0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และพอลิสไตรีน (ความหนาแน่น 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ทรงกลมต่างๆ โดยเฉพาะสีฟ้า และสีเขียว ซึ่งเป็นสีที่นิยมใส่เป็นเม็ดไมโครบีดทำมาจากพลาสติกสำหรับผลิตภัณฑ์ล้างหน้า⁶

1. เม็ดไมโครพลาสติกในเครื่องสำอาง

เม็ดไมโครพลาสติก (Microplastics) เป็นพลาสติกที่มีขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นทรงกลม ทรงรี หรือบางครั้งมีรูปร่างไม่แน่นอน เม็ดไมโคร

พลาสติกในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมักเป็นที่รู้จักกันในชื่อเม็ดไมโครบีด (Microbeads) หรือเม็ดไมโครสเฟียร์ (Microsphere) ถูกคิดค้นโดย Dr. John Ugelstad ในปี ค.ศ. 1976 โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ทดแทนวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น ใช้ขัดผิว หรือขัดเซลล์ผิว โดยวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้และขนาดของเม็ดไมโครพลาสติกมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับลักษณะผลิตภัณฑ์ โดยมากกว่าร้อยละ 93 ของเม็ดไมโครพลาสติกขึ้นรูปผลมาจากพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)⁷ โดยเม็ดไมโครพลาสติกเหล่านี้ มักนำมาใช้ผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ชำระล้าง เช่น สบู่ล้างหน้า สบู่อาบน้ำ แชมพูสระผม รวมถึงยาสีฟัน⁸⁻¹⁰ โดยมีจุดประสงค์เพื่อการผลัดเซลล์ผิว หรือการขัดสีพื้นผิวฟัน (Enamel surface) เป็นต้น

พลาสติกที่นำมาขึ้นรูปเม็ดไมโครพลาสติกมีทั้งแบบเป็นวัตถุโปร่งแสง (Translucent) หรือวัตถุโปร่งใส (Transparent) ซึ่งวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) พอลิยูรีเทน (Polyurethane, PU) และพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) หรือ บางชนิดผลิตจากพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ เช่น พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA)^{8,11} ซึ่งพลาสติกสังเคราะห์เหล่านี้เป็นวัสดุเดียวกับพลาสติกสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก เช่น ถ้วยโฟม ท่อน้ำประปา สายยาง เป็นต้น นอกจากนี้ เม็ดไมโครพลาสติกยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมขัดพื้นผิววัสดุ (Air blasting technology) เช่น งานลอกสีรถหรือเรือ

เม็ดไมโครพลาสติกได้ถูกนำมาใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติเพื่อการผลัดเซลล์ผิว เนื่องจากมีผิวหน้าที่เรียบกว่าเม็ดขัดผิวชนิดอื่นๆ โดยสถาบันโรคผิวหนังของสหรัฐอเมริกา (American Academy of Dermatology) ได้ระบุว่าเม็ดไมโครพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนเป็นเม็ดขัดผิวที่ทำให้ผิวแดงและทำลายผิวหนังน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเม็ดขัดผิวชนิดอื่นๆ ที่นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ชำระล้าง เช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ เมล็ดหรือเปลือกผลไม้ บดละเอียด จากการสำรวจผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ชำระล้างในปี ค.ศ. 2015 พบว่า 9 ผลิตภัณฑ์จาก 3 ยี่ห้อชั้นนำในประเทศสหรัฐอเมริกามีเม็ดไมโครพลาสติกทำมาจากพลาสติกพอลิเอทิลีนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 60-800 ไมโครเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ที่ 264 ± 102 ไมโครเมตร และความนิยมในการใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ชำระล้างที่มีเม็ดขัดผิวมีมากถึงร้อยละ 75 ของกลุ่มตัวอย่างสำรวจ และมากกว่าครึ่งหนึ่งของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ไม่ตระหนักว่าเม็ดขัดผิวในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทำมาจากพลาสติก¹²

2. เส้นทางการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกสู่ระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่ง

เส้นทางการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์หรือเครื่องสำอางทำความสะอาดเริ่มจาก เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์หนึ่งครั้งจะประกอบไปด้วยเม็ดไมโครพลาสติกประมาณ 4,594-94,500 เม็ด⁷ ซึ่งจะปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมชะล้างลงสู่ท่อน้ำ นอกจากนั้นไมโครพลาสติกยังปนเปื้อนมากับน้ำที่ใช้ในการซักผ้าซึ่งปนเปื้อนจากเส้นใยพลาสติกจากเสื้อผ้า¹³ รวมถึงเม็ดไมโครพลาสติกจากอุตสาหกรรมขัดสีรถหรือเรือ¹¹ มีการ

คาดการณ์ว่าประชากรมีการทิ้งของเสียที่มีส่วนประกอบของไมโครพลาสติกประมาณ 40.5-215 มิลลิกรัมต่อคนต่อวัน หรือ ประมาณ 16-86 ตันต่อปี⁷ ซึ่งเมื่อไมโครพลาสติกเหล่านี้จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (Waste Water Treatment Plants) และสามารถลอดผ่านตะแกรงกรองไปได้ เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก เม็ดไมโครพลาสติกจะตกตะกอนพร้อมกับสิ่งปฏิกูลอื่นๆในบ่อพัก และกากของเสียจะถูกนำไปกำจัดโดยการฝังกลบต่อไป ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หากระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพที่ดีจะสามารถกำจัดเม็ดไมโครพลาสติกได้เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะขั้นตอนการตกตะกอนน้ำทิ้ง เม็ดไมโครพลาสติก 95-99.9% มีรายงานการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกประมาณ 1-7 เม็ดต่อน้ำเสีย 1 ลิตรที่ผ่านการบำบัด¹⁴⁻¹⁶ ซึ่งตัวเลขการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกอาจเป็นตัวเลขที่ค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อพิจารณาน้ำที่ผ่านการอุปโภคของประชากรในแต่ละวัน ดังเช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา จะมีการบำบัดน้ำอุปโภคประมาณมากกว่า 160 ล้านล้านลิตรต่อวัน ซึ่งหมายถึงน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเป็นตัวกลางที่พาเม็ดไมโครพลาสติกมากกว่าล้านล้านเม็ดลงสู่ทะเล ดังนั้น ในแต่ละวัน จะ มี การ ป น เปื้อ น เม็ด ไม โคร พลาสติกสู่สิ่งแวดล้อมจำนวนมาก

แหล่งกำเนิดมลพิษอื่นๆ ได้แก่ การกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกสู่ธรรมชาติ เนื่องจากการฝังกลบในดิน เมื่อพลาสติกมีการย่อยสลาย ทำให้มีโอกาที่สารพิษในพลาสติกจะซึมลงสู่ดิน และแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงได้ หรือ การปนเปื้อนจาก

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับกิจกรรมในทะเลที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางทะเล ได้แก่ การเดินเรือ การทำประมง และทำเทียบเรือบริเวณชายฝั่ง ซึ่งวัสดุพลาสติกที่เป็นส่วนประกอบของอุตสาหกรรมเหล่านี้ เช่น แห อวน อาจมีการสึกกร่อนหรือชำรุดและปนเปื้อนลงสู่ทะเลได้

ในการศึกษาการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกอาจมีการใช้เทคนิคที่หลากหลาย เช่น ใช้เทคนิคการทำให้ลอย (Floatation) การปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) การแยกด้วยความหนาแน่น (Density separation) และการย่อย (Digestion) โดยใช้กรด ต่าง หรือเอนไซม์ โดยพื้นที่ที่มีการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาการปนเปื้อน ได้แก่ 1. การเก็บตัวอย่างทราย 2. การเก็บตัวอย่างตะกอนดินชายฝั่ง 3. การประมงอวนลาก 4. การสำรวจทางทะเลและชายฝั่ง 5. ตัวอย่างทางชีวภาพ¹¹ มีรายงานจำนวนมากแสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกและไมโครพลาสติกตามแหล่งน้ำจืด ทะเล และชายฝั่งทะเลทั่วโลก จากรายงานการเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำจืดของประเทศต่างๆ ในยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย ตรวจพบเม็ดไมโครพลาสติกขนาด 0.3-5 มิลลิเมตร ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ 0.1-387 เม็ดต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร¹⁷ โดยเม็ดไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำจืดเป็นพอลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน หรือพอลิสไตรีน

3. การย่อยสลายของพลาสติก (Degradation of plastic)

นอกจากการสังเคราะห์เม็ดไมโครพลาสติกโดยตรง เม็ดไมโครพลาสติกเกิดจากการย่อยสลายของมาโครพลาสติก หรือ พลาสติกที่มีขนาดใหญ่

กว่า 5 มิลลิเมตร กลไกโดยการย่อยสลายก่อให้เกิดสารเคมีที่เป็นมลพิษ ได้แก่ สารระเหย เช่น เบนซีน โทลูอิน ไซลีน เอทิลเบนซีน และไตรเมทิลเบนซีน ซึ่งสารเหล่านี้ ถูกปล่อยทั้งในรูปของก๊าซหรือปนเปื้อนในน้ำเสียจากกองขยะ นอกจากนี้ยังปลดปล่อยสาร บิสฟีนอล เอ (Bisphenol A, BPA) ซึ่งมีฤทธิ์ขัดขวางการทำงานของต่อมไร้ท่อ และยังเพิ่มสารไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการย่อยสลายจากแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ซึ่งมีอันตรายถึงชีวิตในกรณีความเข้มข้นสูงๆ ปกติกลไกการย่อยสลายของพลาสติกมี 4 วิธี คือ

3.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) เกิดโดยพลาสติกสามารถดูดกลืนรังสี UV ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 295-400 นาโนเมตรและรังสี UV ไปทำลายพันธะเคมีกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ที่ไม่เสถียร ในทางกายภาพพลาสติกจะสูญเสียคุณลักษณะอย่างหนึ่งของผิวที่ยอมให้รังสีผ่านทะลุ (Transmissivity) ทำให้ผิวหน้าของพลาสติกแตกเป็นร่างแห (Crazing) และเปราะง่าย (Embrittlement) ซึ่งทำให้พลาสติกมีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายจากปัจจัยแวดล้อม เช่น ลมและฝน การย่อยสลายของพลาสติกเกิดมากขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง และการเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นสูงสุดในตำแหน่งที่ร้อน (Hot spots)¹⁸

3.2 การย่อยสลายด้วยความร้อนที่มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Thermooxidative degradation) กลไกการย่อยสลายของพลาสติกโดยความร้อนที่มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์จะทำให้เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้เองใน

ธรรมชาติอย่างช้าๆ เมื่อมีความร้อน หรือความร้อนร่วมกับแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่เสถียรจึงแตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) RO และ OH ได้ง่ายเมื่อได้รับรังสี UV และออกซิเจน ส่งผลให้ในทางกายภาพเกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว¹⁸

3.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) เป็นการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น พอลิเอสเทอร์ (Polyester) พอลิแอนไฮไดรด์ (Polyanhydrides) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonates) และพอลิเอไมด์ (Polyamides) โดยมีโมเลกุลของน้ำเข้าร่วมในปฏิกิริยา โดยทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออก ได้เป็นโอลิโกเมอร์ (Oligomer) สายสั้นๆ การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเมอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ไม่ใช้ตัวเร่ง (Non-Catalytic Hydrolysis) และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ใช้ตัวเร่ง (Catalytic Hydrolysis) เมื่อแบ่งตามลักษณะของตัวเร่งสามารถแบ่งปฏิกิริยาการย่อยสลายออกได้เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายที่ใช้ตัวเร่งจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) โดยมีตัวเร่งที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Hydrolase Enzyme) เช่น ดีพอลิเมอเรส (Depolymerase) ไลเปส (Lipase) เอสเตอเรส (Esterase) และไกลโคไฮโดรเลส (Glycohydrolase) หรือ ตัวเร่งที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลน์ (Alkaline metal) เบส และกรด ส่วนปฏิกิริยาการย่อยสลายที่ใช้ตัวเร่งจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เอง

เพื่อเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) กระบวนการนี้เป็นการย่อยสลายตัวเอง (Autocatalysis) โดยกลุ่มคาร์บอกซิล (Carboxyl group) ที่ปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส¹⁸

3.4 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ (Biodegradation by microorganism) ในช่วงปี ค.ศ.1970 มีการรายงานการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนเศษพลาสติกที่พบบนชายหาด¹ กระบวนการการย่อยสลายพลาสติกด้วยจุลินทรีย์เริ่มจากการทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพ (Bio-deterioration) และจุลินทรีย์ก่อตัวขึ้นเป็นไบโอฟิล์ม (Biofilm) บนพื้นผิวของพลาสติกหรือบริเวณภายในพื้นผิวพลาสติกที่มีการสึกกร่อน ซึ่งอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและโครงสร้างของพลาสติก รวมถึงสภาวะแวดล้อม¹⁹ การเสื่อมสลายของพลาสติกสามารถเกิดได้จากการเสื่อมสลายของพลาสติกสามารถเกิดได้จากการสลายตัวของพลาสติกจากจุลินทรีย์ผลิตขึ้นและปล่อยออกมาเป็นพอลิเมอร์ (Extracellular polymeric substances, EPS) ทำให้พลาสติกเกิดรูหรือเกิดรอยแตกขึ้น²⁰ นอกจากนี้แบคทีเรียกลุ่ม Chemolithotrophic ยังผลิตสารประกอบที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น กรดไนตริก (Nitrous acid) กรดไนตริก (Nitric acid) กรดซัลฟูริก (Sulphuric acid) หรือ กรดอินทรีย์ เช่น กรดออกซาลิก (Oxalic acid) กรดซิตริก (Citric acid) กรดฟูมาริก (Fumaric acid) ทำให้โครงสร้างพลาสติกเกิดการผุกร่อน²¹ ซึ่งกระบวนการนี้มักเกิดร่วมกับกลไกการย่อยสลายอื่นๆ (ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 3.1-3.3) โดยกลไกการย่อยสลายร่วมกันส่งเสริมให้โครงสร้างของพอลิเมอร์มีความแข็งแรงน้อยลง แต่เนื่องจากโมเลกุลของพลาสติกยังเป็นพอลิเมอร์ขนาด

ใหญ่อยู่ ดังนั้น แบคทีเรียบางสายพันธุ์ที่สามารถย่อยสลายพลาสติก ที่อยู่ในไบโอฟิล์ม เช่น *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Staphylococcus* sp., *Streptococcus* sp., *Diplococcus* sp., *Micrococcus* sp. จะปล่อยเอนไซม์ ออกมาตัดพันธะของสายพอลิเมอร์²² โดยเอนไซม์ประเภท Exoenzyme เช่น เอนไซม์ออกซิจีเนส (Oxygenase) จะทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยที่เล็กที่สุดจากด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ และเอนไซม์ประเภท Endoenzyme เช่น เอนไซม์ลิเพส (Lipases) เอนไซม์เอสเทอร์เรส (Esterases) หรือ เอนไซม์เอนโดเปปติเดส (Endopeptidases)¹⁹ จะตัดพันธะภายในโมเลกุลของสายพอลิเมอร์ ทำให้โมเลกุลของพลาสติกมีขนาดเล็กที่เรียกว่าโมโนเมอร์ (Monomer) ซึ่งขนาดโมเลกุลของโมโนเมอร์สามารถผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกเพื่อสร้างพลังงานสำหรับการเจริญและกิจกรรมต่างๆ และสุดท้ายก็ปล่อยสารเมตาบอไลต์ (Metabolites) ต่างๆออกมา เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซมีเทน และน้ำ

4. อันตรายที่เกิดจากการปนเปื้อนจากไมโครพลาสติก

ในการประชุมยุทธศาสตร์การบริหารการจัดการทรัพยากรทะเลของสหภาพยุโรป (Marine Strategy Framework Directive, MSFD) ได้แบ่งอันตรายที่เกิดจากการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกสู่ระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่งออกเป็น 3 ด้านคือ

(1) ผลต่อระบบนิเวศ เช่น เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งพืชและสัตว์ ทั้งจากการได้รับไมโครพลาสติกโดยตรงหรืออันตรายจากสารเคมีที่มาจากไมโครพลาสติก รวมถึงการแพร่กระจายของสารพิษเหล่านี้จะทำให้เกิดการโยกย้ายถิ่นของสัตว์ที่เป็นผู้ล่า หรือสัตว์รุกรานได้ มีผลต่อการยึดครองพื้นที่ (Colonization) และ การแตกกระจายของสายพันธุ์ (Dispersal)²³

(2) ผลต่อระบบเศรษฐกิจ รายได้จากการประมง การสูญเสียรายได้จากการท่องเที่ยว หรือ ค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะพลาสติก

(3) ผลต่อสังคม ความลดลงของคุณค่าทางสุนทรียภาพและความปลอดภัย

การสะสมของเม็ดไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาได้หลายทาง เช่น สามารถปนเปื้อนเข้าสู่สัตว์ทะเลโดยตรงเมื่อสัตว์กินเข้าไป หรือการเคลื่อนย้ายของสารเคมี (Migration) ที่เป็นส่วนประกอบของพลาสติกชนิดต่างๆ และปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ รวมถึงการปนเปื้อนของสารเคมีในกระบวนการย่อยสลายของเม็ดพลาสติก ซึ่งทำให้เม็ดพลาสติกยังมีขนาดเล็กลงเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสซึ่งเป็นการเพิ่มอันตรายของเม็ดพลาสติก โดยสารพิษในเม็ดไมโครพลาสติกมีทั้งสารเคมีซึ่งเป็นส่วนประกอบในการผลิตพลาสติก หรือสารเคลือบผิวหน้าพลาสติก เช่น พอลิคลอรีเนตไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyls, PCBs) โนนิลฟีนอล (Nonylphenol, NP) พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic

hydrocarbons, PAHs) พอลิโบรมิเนตเต็ดไคฟีนิลอีเทอร์ (Polybrominated diphenyl ethers, PBDEs) และ Bisphenol A ซึ่งคูลิพรและคณะ, 2556²⁴ ได้รวบรวมรายงานของผลกระทบของสารประกอบในพลาสติกที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเหล่านี้ไว้

การปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกต่อสิ่งมีชีวิตในสายใยอาหารเริ่มต้นจากสิ่งมีชีวิตลำดับล่างซึ่งสามารถย่อยไมโครพลาสติกได้ เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง รวมถึงสิ่งมีชีวิตลำดับสูงเช่น นก เต่า และปลาทะเล แพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังสามารถย่อยพลาสติก PVC ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 230 ไมโครเมตร นอกจากนี้ยังพบการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกที่ลอยอยู่บนผิวน้ำในปลา และสัตว์อื่นๆ ที่กินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร เนื่องจากพลาสติกเหล่านี้มีความหนาแน่นต่ำ (เช่น พลาสติกพอลิเอทิลีนมีความหนาแน่น 0.91–0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร พลาสติกพอลิโพรพิลีนมีความหนาแน่น 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ทำให้ลอยอยู่บนผิวน้ำของน้ำปะปนอยู่กับแพลงก์ตอน²⁵ ในปัจจุบันได้มีรายงานการสะสมของเม็ดไมโครพลาสติกในเนื้อเยื่อของสัตว์เพียงชนิดเดียวคือ หอยแมลงภู่มะพร้าว (*Mytilus edulis*) ซึ่งเม็ดไมโครพลาสติกจะเข้าสู่ร่างกายของหอยแมลงภู่มะพร้าวผ่านระบบทางเดินอาหาร และเดินทางเข้าสู่ระบบเลือด (Hemolymph) โดยใช้เวลาประมาณ 3 วัน และเม็ดไมโครพลาสติกจะอยู่ในเนื้อเยื่อของหอยแมลงภู่มะพร้าวถึง 48 วันก่อนจะถูกกำจัดออกมา โดยพบว่าหอยแมลงภู่มะพร้าวสามารถสะสมไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่าพลาสติกขนาดใหญ่^{26,27} โดยการสะสมของเม็ดไมโครพลาสติกในหอยอาจมีผลในการทำลายเนื้อเยื่อหลอดเลือด หรือ

มีผลกระทบต่อระบบหัวใจ ของหอยแมลงภู่ การศึกษาคุณสมบัติการปลดปล่อยสารพิษของเม็ดไมโครพลาสติกได้ระบุว่า เม็ดไมโครพลาสติกอยู่ในระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่งจะมีการสลายตัวและปล่อยสารพิษ PAHs, PCBs และ PBDEs เมื่อสัตว์น้ำ เช่น ปลา หรือหอย กินเม็ดพลาสติกเหล่านี้เข้าไปจะได้รับผลกระทบของสารพิษทั้งในระดับเซลล์ และเนื้อเยื่อ เช่น ความเป็นพิษต่อตับ และพยาธิสภาพของตับ^{27,28} ซึ่งความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตที่มีการกินกันเป็นทอดๆ อาจทำให้อันตรายของเม็ดไมโครพลาสติกจะกระจายไปตามลำดับขั้นการบริโภคเข้าสู่ผู้บริโภคลำดับสุดท้ายหรือเข้าสู่มนุษย์นั่นเอง

เส้นทางการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกสู่คนมากับสัตว์น้ำที่เป็นอาหาร เช่น หอยแมลงภู่ หอยนางรม²⁷ ล็อบสเตอร์²⁹ และ ปลา (เช่น ปลาทูน่า *Trachurus trachurus*)³⁰ ซึ่งการศึกษาในฟาร์มเลี้ยงหอยแมลงภู่ในเยอรมันนีและฟาร์มหอยนางรมในฝรั่งเศสพบการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกในหอยเฉลี่ย 0.36 และ 0.47 เม็ดต่อกรัมตามลำดับ ซึ่งสามารถคำนวณโดยคร่าวๆ ว่าใน 1 มื้ออาหาร ถ้าคนรับประทานหอยแมลงภู่ 250 กรัม ร่างกายจะได้รับเม็ดไมโครพลาสติกเฉลี่ย 90 เม็ด หรือถ้ากินหอยเชลล์ 6 ตัว (100 กรัม) ร่างกายจะได้รับเม็ดไมโครพลาสติกเฉลี่ย 50 เม็ด³¹ ซึ่งใน 1 ปีร่างกายของมนุษย์จะได้รับเม็ดเม็ดไมโครพลาสติกมากถึง 11,000 เม็ดต่อคนต่อปี นอกจากรายงานการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกในสัตว์ทะเลแล้ว ในปัจจุบันยังพบการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกในเกลียวบริโภคซึ่งจะพบเม็ดไมโครพลาสติก 550-681 เม็ด/กิโลกรัมในเกลียวทะเล 43-364 เม็ดจากเกลียวที่ทำจากบ่อน้ำเค็มหรือทะเลสาบน้ำเค็ม

ซึ่งหากบริโภคเกลียวในปริมาณแนะนำขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) (5 กรัมต่อวัน) อัตราการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกสู่ร่างกายมนุษย์จะอยู่ที่ 1000 เม็ดต่อปี³² อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยที่บ่งบอกถึงผลกระทบของการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนเม็ดพลาสติกในมนุษย์

นอกจากนี้สารพิษที่เป็นส่วนประกอบของเม็ดไมโครพลาสติกแล้ว เม็ดพลาสติกขนาดเล็กเหล่านี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสะสมและเคลื่อนย้ายสารพิษจากสิ่งแวดล้อม เช่น ยาฆ่าแมลง ดีดีที (Dichlorodiphenyltrichloroethane, DDT) เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติกสามารถอุ้มน้ำ (Hydrophobic) จึงสามารถดูดซับสารต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในระบบบำบัดหรือแหล่งน้ำได้ และเม็ดพลาสติกเหล่านี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลาง นำสารพิษเหล่านี้เข้าสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติและสุดท้ายจึงเกิดการสะสมอยู่ในทะเล หรือชายหาด โดย Napper et al. (2015)⁷ ได้ระบุว่าเม็ดไมโครพลาสติกเป็นตัวกลางที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการดูดซับสารประกอบ 3H-phenanthrene และ 14C-DDT และเป็นตัวกลางพาสารพิษเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำหรือทะเล เนื่องจากเม็ดไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษได้ดีกว่ารูปร่างอื่น หรือไมโครพลาสติกที่มีขนาดใหญ่กว่า

ในขณะนี้ประเทศไทยยังไม่มีการติดตามตรวจสอบเส้นทางการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกภายในสิ่งแวดล้อม พบเพียงการศึกษาการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกเบื้องต้นบริเวณหาดเจ้าหลาว และหาดทุ่งวัฒนา จังหวัดจันทบุรี³³ ซึ่งจากรายงาน

การศึกษาพบว่า การปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกที่หาดทุ่งวิมานและหาดเจ้าหลาวมีปริมาณมากกว่า 174 และ 103 ชิ้นต่อกิโลกรัมของทราย ตัวอย่างตามลำดับ และยังพบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในสัตว์ทะเล โดยพบไมโครพลาสติกในหอยสองฝาเฉลี่ยมากกว่า 2.1 ชิ้นต่อตัว

บทสรุป

เม็ดไมโครพลาสติกคือพลาสติกที่เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรที่ใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่ชำระล้าง เนื่องจากลักษณะที่มีขนาดเล็กจึงมักจะปนเปื้อนเข้าสู่ระบบนิเวศทางทะเลได้ง่าย จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถปล่อยสารพิษเช่นเดียวกับขยะพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ การปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติก มีอันตรายมากกว่าพลาสติกที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากสามารถหลุดรอดเข้าสู่ทางเดินอาหารของสัตว์ทะเลได้ง่าย ทำให้พลาสติกเหล่านี้เข้าสู่สายใยอาหารและสามารถถ่ายทอดไปตามลำดับขั้นการบริโภคเข้ามาสู่ผู้บริโภคลำดับสุดท้ายหรือเข้าสู่มนุษย์นั่นเอง ปัจจุบันมีหลักฐานมากมายแสดงถึงผลกระทบต่อร่างกายในสัตว์ที่กินเม็ดไมโครพลาสติกเข้าไป เช่น การทำลายเนื้อเยื่อ หลอดเลือดหรือมีผลกระทบต่อระบบหัวใจ อย่างไรก็ตามผลของการบริโภคอาหารหรือสัตว์ที่มีการปนเปื้อนของเม็ดไมโครพลาสติกต่อสุขภาพมนุษย์ควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลทางวิชาการที่ชัดเจนต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Carpenter EJ, Smith KL. Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science* 1972; 175: 1240-1.
2. Carpenter EJ, Anderson SJ, Harvey GR, *et al.* Polystyrene spherules in coastal waters. *Science* 1972; 178: 749-50.
3. Gregory MR. Plastic pellets on New Zealand beaches. *Mar Pollut Bull* 1977; 8: 82-4.
4. Morris AW, Hamilton EI. Polystyrene spherules in the Bristol Channel. *Mar Pollut Bull.* 1974; 5: 26-7.
5. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, *et al.* Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 2004; 304, 838.
6. Eriksen M, Mason S, Wilson S, *et al.* Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Mar Pollut Bull* 2013; 77: 177-82.
7. Napper IE, Bakir A, Rowland SJ, *et al.* Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Mar Pollut Bull* 2015; doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.029
8. Fendall LS, Sewell MA. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Mar Pollut Bull* 2009; 58: 1225-8.
9. Gregory MR. Plastic scrubbers' in hand cleansers: A further (and minor) source for marine pollution identified. *Mar Pollut Bull* 1996; 32: 867-71.

10. Van Cauwenberghe L, Vanreusel A, Mees J, *et al.* Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environ Pollut* 2013; 182: 495–9.
11. Cole M, Lindeque P, Halsband C, *et al.* Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar Pollut Bull* 2011; 62: 2588–97.
12. Chang M. Reducing microplastics from facial exfoliating cleansers in wastewater through treatment versus consumer product decisions. *Mar Pollut Bull* 2015; 101: 330–3.
13. Browne MA, Crump BP, Niven SJ, *et al.* Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ Sci Technol* 2011; 45: 9175–9.
14. Baltic Marine Environment Protection Commission HELCOM. BASE Project - *Implementation of the Baltic Sea Action Plan in Russia*, Technical Report Published for IVL Swedish Environmental Research Institute, August 2014; Swedish Environmental Research Institute: Stockholm, Sweden.
15. Magnusson K, Norén F. Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. IVL Swedish Environmental Research Institute 2014; 1–22.
16. Martin A, Smith M, Eizhvertina CM. Quantitative analysis of microplastics in WWTP Effluent in the Niagara Region (2014). Available at <http://www.static1.squarespace.com/static/53b0c13fe4b0825a4fd22f09/t/546b8e08e4b07e88a24a2c47/1416334856566/FinalReport-MicroplasticsChrisMartin+and+OlgaEizhvertina.pdf>, accessed Jan 10, 2016.
17. Storck FR, Kools SAE, Rinck-Pfeiffer S. Microplastics in Fresh Water Resources. GWRC Science Brief September 2015, Global Water Research Coalition, Australia, (2015). Available at https://www.researchgate.net/publication/286441847_Microplastics_in_Fresh_Water_Resources_GWRC_Science_Brief_September2015_Global_Water_Research_Coalition_Stirling_Australia_8_pp, accessed Jan 10, 2016.
18. Matsumura S. Mechanism of biodegradation. in *Biodegradable Polymers for Industrial Applications*. 2005: doi:10.1533/9781845690762.3.357.
19. Lugauskas A, Levinskaite L, Pečiulyte D. Micromycetes as deterioration agents of polymeric materials. *Int Biodeterior Biodegradation* 2003; 52: 233–42.
20. Bonhomme S, Cuer A, Delort AM, *et al.* Environmental biodegradation of polyethylene. *Polym Degrad Stab* 2003; 81: 441–52.
21. Zettler ER, Mincer TJ, Amaral-Zettler LA. Life in the ‘plastisphere’: microbial communities on plastic marine debris. *Environ Sci Technol* 2013; 47: 7137–46.

22. Ghosh SK, Pal S, Ray S. Study of microbes having potentiality for biodegradation of plastics. *Environ Sci Pollut Res Int* 2013; 20: 4339–55.
23. Gregory MR. Environmental implications of plastic debris in marine settings--entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2009; 364: 2013–25.
24. สุทธิพร แสงกระจ่าง, ปัทมา พลอยสว่าง, ปริณดา พรหมหิตาธร. ผลกระทบของพลาสติกต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. *วารสารพิษวิทยาไทย* 2556; 28: 39–52 .
25. Boerger CM, Lattin GL, Moore SL, *et al.* Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Mar Pollut Bull* 2010; 60: 2275–8.
26. Browne MA, Dissanayake A, Galloway TS, *et al.* Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ Sci Technol* 2008; 42: 5026–31.
27. Von Moos N, Burkhardt-Holm P, Köhler A. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environ Sci Technol* 2012; 46: 11327–35.
28. Rochman CM, Hoh E, Kurobe T, *et al.* Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci Rep* 2013; 3: 3263.
29. Murray F, Cowie PR. Plastic contamination in the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). *Mar Pollut Bull* 2011; 62: 1207–17.
30. Lusher AL, McHugh M, Thompson RC. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar Pollut Bull* 2013; 67: 94–9.
31. Van Cauwenberghe L, Janssen CR. Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ Pollut* 2001; 193: 65–70.
32. Yang D, Shi H, Li L, *et al.* Microplastic pollution in table salts from China. *Environ Sci Technol* 2015; 49: 13622–7.
33. สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและป่าชายเลนและคณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา. การสำรวจและจำแนกตัวอย่างขยะทะเลประเภทไมโครพลาสติก Available at http://www.dmcr.go.th/mcrdi/book_detail.php?id=304, accessed Jan 10, 2016.