

## นาโนเทคโนโลยีกับทรัพยากรดิน Nanotechnology and Soil Resources

กรรณิการ์ สัจจาพันธ์<sup>1</sup>  
Kannika Sajjaphan<sup>1</sup>

### Abstract

Nanotechnology is a newly emerging field that combines fundamental science, materials science and engineering at nanometer scales to the design and construction of structures and devices with dimensions about the size of a molecule. The applications of nanotechnology in agriculture will no doubt have profound impacts on agriculture as an industry. U.S. Environmental Protection Agency defined nanotechnology as the understanding and control of matter at dimensions of roughly 1-100 nm, where unique physical properties make novel applications possible. By this definition all soil-clays, many chemicals derived from soil organic matter (SOM), several soil microorganisms fall into this category. Apart from native soil-materials, many new nanotech products are entering into soil system, some of which are used for agricultural production and some others for many other purposes. Nanotechnology is also introducing a new array of potentially more toxic pesticides, plant growth regulators and chemical fertilizers than those in current use at a time when we should be increasing our support for more sustainable food systems. For example, silver has for a long time been known to be a potent antibacterial agent but in recent years the use of silver as a biocide in nanoparticulate form has experienced a dramatic recovery. Nano-silver materials have been used in agricultural fields due to their biocide characteristics. However, there is still a lack of information available for the effect of nano-silver materials on soil when it is applied in field or get in the soil via other ways. Therefore, the main future research on evaluation of soil quality after application of nano-silver material is important.

**Keywords:** nanotechnology, nano-silver, soil resources

---

<sup>1</sup> ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม 10900

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900 Thailand

รับเรื่อง: พฤษภาคม 2553

\*Corresponding author: agrkks@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

นาโนเทคโนโลยีเป็นสาขาที่เกิดขึ้นใหม่โดยเป็นการผสมผสานระหว่างวิทยาศาสตร์ วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อการออกแบบหรือสร้างสิ่งที่มีโครงสร้างขนาดในระดับนาโนเมตร ในการใช้นาโนเทคโนโลยีในภาคการเกษตรนั้นมีความสำคัญไม่แตกต่างจากการใช้ในภาคอุตสาหกรรม หน่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา(U.S. Environmental Protection Agency) ให้คำจำกัดความของนาโนเทคโนโลยีว่าเป็นเรื่องของความเข้าใจหรือการควบคุมวัตถุซึ่งมีขนาด 1-100 นาโนเมตร ในมิติใดมิติหนึ่งที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่พิเศษเฉพาะตัว จากคำจำกัดความดังกล่าวอนุภาคขนาดดินเหนียว กรดฮิวมิก สารหลายชนิดที่ได้จากอินทรีย์วัตถุในดิน จุลินทรีย์ดิน ก็น่าจะรวมอยู่ในนาโนเทคโนโลยี นอกจากนี้วัตถุต่าง ๆ ในตัวดินเองแล้ว ผลิตภัณฑ์จากนาโนเทคโนโลยีเข้าสู่ดินเนื่องจากการใช้เพื่อการผลิตทางการเกษตร บ้างก็ใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น นาโนเทคโนโลยีก่อให้เกิดสารกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษรุนแรง สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชและปุ๋ยเคมีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารที่ใช้กันในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น โลหะเงินเป็นที่รู้จักกันมานานแล้วว่ามีคุณสมบัติในการต่อต้านแบคทีเรีย ในปัจจุบันได้มีการใช้โลหะเงินเป็นสารกำจัดสิ่งมีชีวิตในรูปแบบที่เป็นอนุภาคขนาดนาโนเมตร วัสดุที่เป็นอนุภาคนาโนของโลหะเงินถูกนำไปใช้เนื่องจากมีคุณลักษณะในการกำจัดจุลินทรีย์อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจหรือข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบของอนุภาคนาโนของโลหะเงินต่อดินยังไม่เป็นที่ปรากฏแน่ชัดว่าเป็นอย่างไร ดังนั้นการศึกษาวิจัยในอนาคตถึงการประเมินคุณสมบัติของดินหลังจากการใช้วัสดุอนุภาคนาโนของโลหะเงินจึงเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง

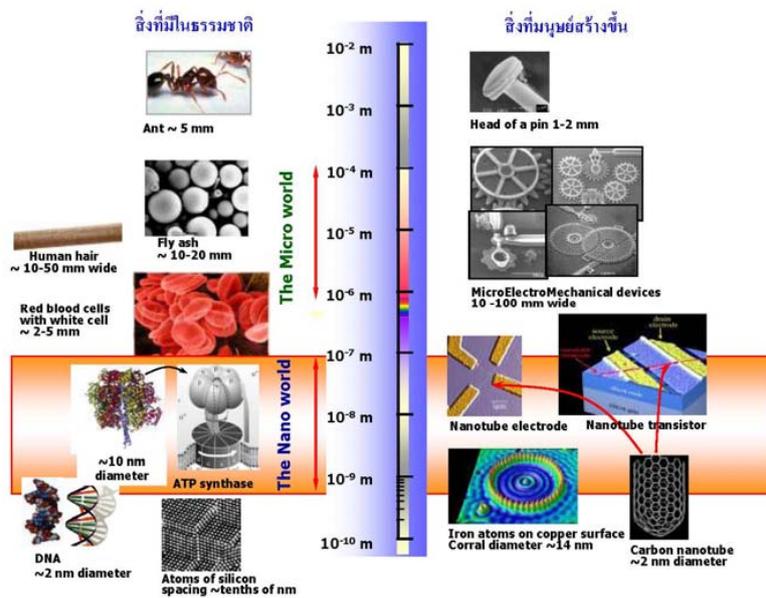
### คำนำ

หลายท่านคงเคยได้ยินคำว่า “นาโนเทคโนโลยี” มาบ้างแล้ว ในปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีเริ่มมีบทบาทต่อชีวิตของมนุษย์มากขึ้น ไม่ว่าจะผ่านทางด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ หรือ การเกษตรกรรม Maynard et al. (2006)

กล่าวไว้ว่า พบผลิตภัณฑ์ที่มีวัสดุนาโนเป็นองค์ประกอบมากกว่า 300 ชนิดที่วางขายในท้องตลาด ซึ่งสินค้าบางชนิดได้แสดงไว้ใน Figure 1 เมื่อพูดถึงหน่วยในระดับนาโนเมตร หลายท่านอาจจะไม่รู้ว่าจะเปรียบเทียบหรือนึกถึงอะไรดี Figure 2 เป็นภาพเปรียบเทียบขนาดของสิ่งต่างๆ ที่เราอาจจะพอบู้นเคยกัน



**Figure 1** Over 300 nano-products already on the market. (Maynard et al., 2006)



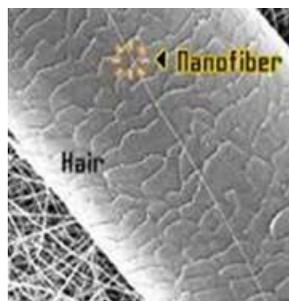
**Figure 2** The scale of things-nanometer and more (Office of Basic Energy Sciences Office of Science, U.S. DOE Version 03-05-02)

## 2. นาโนเทคโนโลยีคืออะไร

นาโนเทคโนโลยี(nanotechnology) คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้างหรือการวิเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมากๆ ในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) รวมถึงการออกแบบหรือการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อใช้สร้างหรือวิเคราะห์วัสดุในระดับที่เล็กมากๆ เช่น การจัดอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรืออุปกรณ์มีคุณสมบัติ

พิเศษขึ้นไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมีหรือชีวภาพและสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้(U.S. EPA, 2007)

ปัจจุบันยังไม่มีกฎเกณฑ์ชัดเจนที่ระบุว่า จะต้องมีความเล็กเพียงใด จึงจะจัดเป็นเรื่องของนาโนเทคโนโลยี แต่ก็เป็นที่เข้าใจกันว่านาโนเทคโนโลยีจะเกี่ยวข้องกับสิ่งที่มีขนาดในช่วง 0.1 ถึง 100 นาโนเมตร สิ่งที่เรารู้จักคุ้นเคยกันดีก็คือเส้นผมของคนเราซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 ไมโครเมตร จะเท่ากับ 100,000 นาโนเมตร ดังแสดงใน Figure 3



**Figure 3** Comparison of humans hair with radius of 50,000 - 100,000 nanometer and nanofiber (<http://www.nanobiz.co.th/news/newslist.php?action=fullnews&id=1>)

### 3. สมบัติของวัสดุนาโน

วัสดุนาโน (nanomaterial) ถูกสร้างขึ้นอย่างจงใจเพื่อนำไปใช้ประโยชน์โดยที่วัสดุนาโนมีคุณสมบัติหรือลักษณะที่มีความพิเศษเฉพาะตัว(unique properties) การทำให้มีขนาดเล็กมาก อาจจะมีผลให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่าง รวมทั้งมีผลต่อความเป็นพิษในรูปแบบใหม่ อนุภาคนาโนมีขนาดเล็กมากจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี(chemical reactivity) กิจกรรมทางชีวภาพ(biological activity) และความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา(catalytic behavior) เพิ่มมากขึ้นอย่างมากมาย เมื่อเปรียบเทียบกับสารที่มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกัน แต่มีขนาดใหญ่กว่า (Garnett and Kallinteri, 2006; Limbach et al., 2007; Nel et al., 2006) วัสดุนาโนอาจมีชีวประสิทธิผลของสาร (bioavailability) หรือความสามารถในการถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์แต่ละเซลล์ เนื้อเยื่อหรืออวัยวะมากกว่าวัสดุนาโนเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า วัสดุนาโนสามารถเข้าสู่ร่างกายของคนเราได้ทันทีโดยผ่านเข้าทางเมมเบรน และเข้าสู่เซลล์ เนื้อเยื่อและอวัยวะ วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 300 นาโนเมตรสามารถเข้าสู่เซลล์แต่ละเซลล์ได้(Garnett and Kallinteri, 2006) วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า 70 นาโนเมตรสามารถเข้าสู่ nuclei ซึ่งอาจทำให้ nuclei ถูกทำลายได้ (Chen and Mikecz, 2005; Geiser et al., 2005; Li et al., 2003)

จากคุณสมบัติทางปฏิกิริยาเคมีและชีวประสิทธิผลของสารที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การออกฤทธิ์ของอนุภาคนาโนเพิ่มขึ้นตามไปด้วยถ้าเปรียบเทียบกับปริมาณที่เท่ากันของอนุภาคที่ใหญ่กว่า (Hoet et al., 2004; Oberdörster et al., 2005a; Oberdörster et al., 2005b) ลักษณะอื่นๆ ที่จะมีผลต่อการออกฤทธิ์ของวัสดุนาโน ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี(chemical composition) รูปร่าง(shape) โครงสร้างของผิว(surface structure) ประจุ(surface charge) ความเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคหรือแตกกระจาย หรือการมีสารเคมีอื่นที่เกาะอยู่กับวัสดุนาโน(Brunner et al., 2006; Magrez et al., 2006; Sayes et al., 2004; Sayes et al., 2006)

อนุภาคนาโนของโลหะเงิน หรือนาโนซิลเวอร์ (nano-silver) เป็นวัสดุนาโนชนิดหนึ่งในปัจจุบันได้นำมาใช้ประโยชน์ในหลากหลายรูปแบบ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป อนุภาคนาโนของโลหะเงินถูกทำขึ้นได้โดยหลายวิธีการด้วยกัน ได้แก่ spark discharging, electrochemical reduction, solution irradiation และ cryochemical synthesis (Chen and Schluesener, 2008) รูปร่างของอนุภาคนาโนของโลหะเงินอาจจะมีรูปร่างที่แตกต่างกัน เช่น ทรงกลม แท่ง ลูกเต๋า เส้นลวด แผ่นฟิล์ม (Wijnhoven et al., 2009)

### 4. นาโนเทคโนโลยีกับการเกษตร

นาโนเทคโนโลยีถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรเมื่อไม่นานมานี้ ตัวอย่างเช่น ได้มีการพัฒนาเซ็นเซอร์นาโนแบบไร้สายสำหรับการติดตามเฝ้าดูสภาพแวดล้อมต่างๆ ในฟาร์มสัตว์หรือไร่นา โดยใช้เซ็นเซอร์นาโนในการเก็บข้อมูล ความชื้นดิน(soil moisture) อุณหภูมิ pH ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ การตรวจพบวัชพืช โรคพืช โรคสัตว์(Joseph and Morrison, 2006; Opara, 2004; U.S.DoA 2003) Bath และ Turberfield (2007) ได้อธิบายเกี่ยวกับระบบเซ็นเซอร์นาโนนี้ว่าเป็นเซ็นเซอร์ที่อาศัยการทำงานของ DNA (DNA-base sensors) มีชื่อว่า DNA nanomachines นอกจากนี้ได้นำนาโนเทคโนโลยีมาผลิตสารกำจัดศัตรูพืช (pesticides) สารควบคุมการเติบโตของพืช(plant growth regulators) และปุ๋ยเคมี(chemical fertilizers) ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน บริษัท Syngenta ในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นบริษัทผลิตสารเคมีทางเกษตรที่ใหญ่ที่สุดในโลก จำหน่ายสารที่มีชื่อว่า "Primo MAXX" เป็นสารส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในรูปแบบของ micro-emulsion ที่มีความเข้มข้นสูง สารชนิดนี้ใช้สำหรับสนามหญ้า ผู้ผลิตโฆษณาว่า Primo MAXX ช่วยให้หญ้ามีสีสดสวย เจริญเติบโตด้านข้าง และเพิ่มปริมาณราก ยับยั้งการเจริญเติบโตด้านความสูง ทำให้ลดความถี่ในการตัดหญ้า ต้นหญ้ามียุทธภาพดี ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้ยังมีการนำนาโน

เทคโนโลยีมาใช้ในเรื่องพันธุวิศวกรรมของพืช(genetic engineering of crop)

**5. เปิดมุมมองทรัพยากรดินด้วยนาโนเทคโนโลยี**

หน่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) ให้คำจำกัดความของนาโนเทคโนโลยีว่าเป็นเรื่องของความเข้าใจหรือการควบคุมวัตถุซึ่งมีขนาดประมาณ 1-100 นาโนเมตร ในมิติใดมิติหนึ่งที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่พิเศษเฉพาะ จากคำจำกัดความดังกล่าว แร่ดินเหนียว (clay minerals) กรดฮิวมิก(humic acid) สารหลายชนิดที่ได้จากอินทรีย์วัตถุในดิน(soil organic matter, SOM) จุลินทรีย์ดิน อนุภาคขนาดนาโนของดินที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ดิน ก็น่าจะรวมอยู่ในนาโนศาสตร์หรือนาโนเทคโนโลยี นอกจากแร่ในดิน และวัตถุต่างๆ ในดินเองแล้ว ก็ยังมีการนำผลิตภัณฑ์จากนาโนเทคโนโลยีใส่ลงไป在地ดินด้วย บ้างก็ใช้เพื่อผลผลิตทางการเกษตร บ้างก็มาจากการใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น ดังนั้นนาโนเทคโนโลยีมีความเกี่ยวข้องกับทรัพยากรดินมากทีเดียว

ในปัจจุบันได้มีการนำนาโนศาสตร์(nanoscience) หรือนาโนเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตอาหาร การควบคุมคุณภาพสิ่งแวดล้อมการจัดการ และดูแลทรัพยากรธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของทรัพยากรดิน Mukhopadhyay et al. (2009) ได้ให้แนวความคิดในการศึกษาทางดินโดยใช้นาโนเทคโนโลยีไว้ดังนี้

1. การเพิ่มหรือปรับปรุงประสิทธิภาพของธาตุอาหารพืชที่ใส่ลงไปในดิน
2. การควบคุมธาตุที่จำเป็นต่อพืชหรือธาตุพิษในระบบอุทกภาคและปฐพีภาค
3. การขนส่งไอออนในระบบของดินกับพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณไรโซสเฟียร์
4. การปลูกพืชโดยใช้ซีโอไลต์ (zeolites) อะพาไทต์ (apatites) หรือ แร่อื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน
5. การศึกษาลักษณะแร่ในดิน (soil minerals)
6. การสลายตัวผู้พังของแร่ในดิน

7. การสร้างตัวของดิน (soil formation) ในด้านของจุลสัณฐานวิทยา (micromorphology)

8. การเกิดฝุ่น (dusts) หรืออนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ (aerosols) ที่มาจากดินทางการเกษตรและธรรมชาติของฝุ่นประเภทนี้

9. การจัดการระบบเกษตรที่มีการให้น้ำอย่างแม่นยำ (precision water farming)

**6. อนุภาคนาโนของโลหะเงินเป็นภัยหรือปลอดภัยต่อดิน**

อนุภาคนาโนนั้นมีหลายชนิด แต่แหล่งที่มาหลักๆ ได้แก่ จากธรรมชาติ จากกิจกรรมของมนุษย์โดยมิได้ตั้งใจให้เกิดอนุภาคนาโน และจากการเตรียมขึ้นด้วยนาโนเทคโนโลยี(Oberdörster et al., 2005b) สารบางชนิดขณะที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารที่ไม่เป็นพิษ เช่น โลหะเงิน ไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลิกา แต่พอกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดระดับนาโนแล้วคุณสมบัติจะเปลี่ยนแปลง ดังกล่าวแล้วข้างต้นในหัวข้อสมบัติของวัสดุนาโน อนุภาคนาโนชนิดหนึ่งในปัจจุบันเริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรา คือ อนุภาคนาโนของโลหะเงิน

ในสมัยโบราณโลหะเงิน ถูกนำมาทำเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ เนื่องจากพบว่าโลหะเงินสามารถฆ่าแบคทีเรียได้ทั้งในอาหารและเครื่องดื่ม แต่ไม่มีใครทราบถึงกลไก รู้แต่ว่าแบคทีเรียตาย เช่น ชาวอียิปต์โบราณใช้ภาชนะที่ทำด้วยโลหะเงินใส่อาหาร ชาวกรีกใช้ภาชนะที่ทำด้วยโลหะเงินเก็บน้ำดื่ม(Figure 4) คนจีนใช้ตะเกียบที่ทำด้วยโลหะเงิน ชาวอเมริกันนิยมใช้เหรียญดอลลาร์ที่ทำด้วยโลหะเงิน ใส่ลงในน้ำนมเพื่อรักษาความสดที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้โลหะเงินเคยถูกใช้เป็นสารปฏิชีวนะธรรมชาติ เพื่อป้องกันการติดเชื้อ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจุบันอนุภาคนาโนของโลหะเงิน ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคต่างๆ เช่น การบรรจุหีบห่ออาหาร สิ่งทอที่ต้านทานการเกิดกลิ่น อุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน และอุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมถึงผ้าปิดแผล เมื่อไม่นานมานี้มีหน่วยงานทางด้านสิ่งแวดล้อม เริ่มมีการ

ตระหนักถึงความเสี่ยงของอนุภาคนาโนของโลหะเงินต่อการเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มีความเป็นไปได้ที่อนุภาคนาโนของโลหะเงินจะส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินและน้ำหรือทำให้แบคทีเรียที่มีโทษเกิดการต้านทานต่ออนุภาคนาโนของโลหะเงิน

นอกจากอนุภาคนาโนของโลหะเงินเข้าสู่ดิน โดยผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคต่าง ๆ แล้ว ในประเทศเกาหลี ได้มีการนำอนุภาคนาโนของโลหะเงินมาใช้ เพื่อการผลิตทางการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการควบคุมศัตรูพืช (biocide) (Yang et al., 2009) ดังแสดงใน Figure 5 ด้วยเหตุที่อนุภาคนาโนของโลหะเงินมีประสิทธิภาพในการฆ่าจุลินทรีย์หลายชนิด จึงเป็นไปได้ว่าอนุภาคนาโนของโลหะเงินอาจทำลายแบคทีเรียที่มีประโยชน์ ที่อยู่ในระบบนิเวศ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียในดิน ที่มีบทบาทสำคัญในการตรึงไนโตรเจนและย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกระบวนการดีไนทริฟิเคชันซึ่งจะช่วยลดปริมาณไนเตรทในน้ำที่อาจเกิดเนื่องจากการปนเปื้อน แบคทีเรียที่มีความสัมพันธ์แบบพึ่งพากับสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น สัตว์ แมลง

และมนุษย์ แบคทีเรียที่อยู่ในร่างกายสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่ช่วยย่อยอาหารให้กับสัตว์ที่มันอาศัยอยู่ และบางชนิดยังทำหน้าที่มากกว่านั้น แบคทีเรียบางชนิดผลิตสารปฏิชีวนะช่วยป้องกันโรคที่เกิดจากรา นอกจากแบคทีเรียแล้วอนุภาคนาโนของโลหะเงิน ยังมีผลต่อการทำลายราและไวรัส สำหรับแบคทีเรียที่มีโทษ อนุภาคนาโนของโลหะเงิน อาจมีผลต่อการเพิ่มความต้านทานต่อสารปฏิชีวนะ (Baker et al., 2005; Choi and Hu, 2008; Lok et al., 2007; Silver et al., 2006; Sondi and Salopek-Sondi, 2004; Kim, 2009) ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากอนุภาคนาโนของโลหะเงิน ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงควรศึกษาข้อมูลด้านอื่นๆ เช่น ด้านพิษวิทยา หรือด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดความรู้และความเข้าใจในการใช้ประโยชน์ จากสิ่งที่มีการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมา อนุภาคนาโนของโลหะเงินเป็นตัวอย่าง จากผลผลิตทางด้านนาโนเทคโนโลยี ที่อาจจะมีผลกระทบต่อทรัพยากรดินในอนาคต อย่างไรก็ตามการที่มนุษย์มีอาวุธอันทรงพลังแค่ไหนก็ตาม การใช้อาวุธนั้นอย่างถูกต้องและเหมาะสมจึงจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่มนุษย์ผู้ถืออาวุธนั้น



**Figure 4** Silver container used to store liquids to avoid contamination (210 A.D.)

(<http://www.burnsurgery.com/Modules/silver/section1.htm>)



**Figure 5** Farmers are transplanting rice seedlings to the field with using nanosilver  
 (<http://www.ntbase.net/eng/board/bNewsContent.asp?mode=news&num=41&CurPage=1>)

**7. ผลกระทบของอนุภาคนาโนของโลหะเงินต่อสิ่งแวดล้อม**

Colman et al.(2009) ทำการศึกษาผลของอนุภาคนาโนของโลหะเงินต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands) และลำธาร(streams) โดยใส่อนุภาคนาโนของโลหะเงินรูปต่างๆ ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตอนุภาคนาโนของโลหะเงินแบบต่างๆ กัน และดูผลกระทบต่อน้ำในลำธาร ตะกอน และดิน โดยทำการวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์จากการประเมินกิจกรรมการหายใจของจุลินทรีย์ มวลชีวภาพของจุลินทรีย์ และกิจกรรมของเอนไซม์ Colman et al.(2009) พบว่า ผลกระทบของอนุภาคนาโนของโลหะเงินจะขึ้นอยู่กับรูปของอนุภาคนาโนของโลหะเงิน และสภาพแวดล้อมนั้น โดยการใส่อนุภาคนาโนของโลหะเงิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในพื้นที่ชุ่มน้ำไม่มีผลต่อปริมาณมวลชีวภาพและการหายใจของจุลินทรีย์ ขณะที่ Choi et al.(2008) รายงานว่าอนุภาคนาโนของโลหะเงิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีผลต่อการหายใจของ *E. coli* ลดลง 86% และ Colman et al. (2009) พบว่าอนุภาคนาโนของโลหะเงินมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ฟอสฟาเทส (phosphatase enzyme activity) และ ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจาก 0.12 ไมโครกรัมต่อลิตรเป็น 0.27 ไมโครกรัมต่อลิตร เป็นไปตามสัดส่วนของการใส่อนุภาคนาโนของ

โลหะเงิน และ การศึกษาของ Yang et al. (2009) พบว่าในการศึกษาผลของอนุภาคนาโนของโลหะเงินต่อดินนั้นขึ้นอยู่กับเนื้อดิน ในการเติมอนุภาคนาโนของโลหะเงินลงในดินนั้นมีผลให้ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า(electro conductivity, EC) ค่าแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca) เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้(exchangeable Al) และค่าการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของดิน(soil respiration) ลดลง

**8. การต้านทานต่อโลหะเงินของแบคทีเรีย**

โลหะไอออนหลายชนิดนอกเหนือจาก  $Ag^+$  เช่น  $Cd^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  และ  $Tl^+$  มีความเป็นพิษและเป็นธาตุที่ไม่จำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรีย แบคทีเรียบางชนิดมีระบบการต้านทานต่อโลหะไอออนเหล่านี้ (Silver and Phung, 1996; Silver and Phung, 2005)  $Ag^+$  มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ทุกชนิด เนื่องจากมีผลต่อกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นที่เมมเบรน(membrane respiratory electron transport chains) และต่อองค์ประกอบในกระบวนการจำลองตัวเองของ DNA (components of DNA replication) (Dibrov et al., 2002; Feng et al., 2000; Holt and Bard, 2005; Lansdown, 2002)มีรายงานการพบแบคทีเรียต้านทานต่อ $Ag^+$  บ่อยครั้ง

(Davis et al., 2005; Li et al., 1997) แต่ข้อมูลทางด้านพันธุศาสตร์ยังไม่ชัดเจน(Gupta et al., 1999; Gupta et al., 2001; Silver, 2003) ข้อมูลทางพันธุศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า การต้านทานต่อโลหะเงินของแบคทีเรียคล้ายกับการต้านทานของแบคทีเรียต่อโลหะอื่นๆ กล่าวคือ ส่วนใหญ่พบยีนต้านทานอยู่บนพลาสมิด แต่ก็มีบ้างที่พบบนโครโมโซม(Silver and Phung, 1996; Silver and Phung, 2005) ตัวอย่างการศึกษา พลาสมิด pMG101 ใน *Salmonella* พบยีนต้านทานต่อ  $Ag^+$ ,  $Hg^+$  และ tellurite รวมทั้งสารปฏิชีวนะหลายชนิด(Gupta et al., 1999) ในบริเวณที่มีการใช้โลหะไอออนและสารปฏิชีวนะเป็นสารฆ่าเชื้อ(antiseptics) มักพบว่าแบคทีเรียเกิดการต้านทานต่อโลหะไอออนหรือสารปฏิชีวนะเหล่านี้ตัวอย่างที่มีการศึกษาในต่างประเทศ มีการพบว่าเอ็นเตอริคแบคทีเรียมากกว่า 10% ที่พบยีนต้านทานต่อ  $Ag^+$  ที่โรงพยาบาลชิคาโก (Silver, 2003) นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียต้านทานโลหะเงินในที่อื่นๆ แม้แต่ในฟันของมนุษย์(Davis et al., 2005)

ปัจจุบันพบยีนต้านทานต่อ  $Ag^+$  อยู่บนพลาสมิดในกลุ่ม IncH incompatibility group ซึ่งมีขนาดใหญ่และเป็น พลาสมิดที่ต้านทานต่อสารปฏิชีวนะได้หลายชนิด (Gupta et al., 2001) พลาสมิดที่มียีนต้านทานต่อ  $Ag^+$  (*sil* genes) แรกเริ่มที่พบเป็นผลมาจากการศึกษาการต้านทานต่อสารปฏิชีวนะ และจากเอ็นเตอริคแบคทีเรียในสถานที่ต่างๆ บนโลก การค้นพบเบื้องต้นนี้เป็นการชี้แนะว่าการต้านทานต่อ  $Ag^+$  ของแบคทีเรียพบอยู่อย่างแพร่หลายแต่ที่ผ่านมาไม่ทราบเกี่ยวกับแบคทีเรียต้านทานต่อ  $Ag^+$  เนื่องจากไม่มีการตรวจสอบหรือศึกษาในประเด็นนี้ การแพร่กระจายของยีน *sil* homologous บนพลาสมิดและบนโครโมโซมของแบคทีเรียเป็นภัยอันตรายต่อมนุษย์ เนื่องจาก การใช้สารประกอบโลหะเงินเป็นสารกำจัดสิ่งมีชีวิตที่เราไม่ต้องการหรือกำจัดจุลินทรีย์สาเหตุโรคคน สัตว์ และพืช (biocides) เช่นเดียวกับการพัฒนาการของแบคทีเรียต้านทานสารปฏิชีวนะเมื่อมีการใช้สารปฏิชีวนะอย่างไม่เหมาะสม (Liu, 1999; Salyers and Amabile-Cuevas, 1997)

## สรุป

บทความนี้กล่าวถึงนาโนเทคโนโลยีซึ่งเป็นศาสตร์สาขาใหม่โดยเป็นการผสมผสานระหว่างวิทยาศาสตร์ วัสดุศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ ปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีเริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น แม้แต่ในด้านการเกษตรเองนาโนเทคโนโลยีก็เข้ามามีบทบาทไม่น้อยไปกว่าด้านอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ถูกผลิตหรือประดิษฐ์ขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีด้านนาโนนี้ ก็ยังไม่มีการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคนาโนของโลหะเงิน ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในผลิตภัณฑ์นาโนหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ หรือสินค้าอุปโภคหลายชนิด แม้แต่ในการเกษตรก็เริ่มมีการนำอนุภาคนาโนของโลหะเงิน มาใช้เพื่อป้องกันจุลินทรีย์สาเหตุโรคพืช หรือถ้าไม่ได้ตั้งใจใช้เพื่อการเกษตร แต่วิถีของอนุภาคนาโนของโลหะเงินก็มีโอกาสสูงที่ไปสู่ดิน และแหล่งน้ำในที่สุด การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของอนุภาคนาโนของโลหะเงินต่อดินและสิ่งแวดล้อมจึงมีความจำเป็นและสำคัญมากในยุคปัจจุบัน และเนื่องจากข้อมูลทางด้านนี้ยังมีอยู่จำกัด ไม่ว่าจะเป็นด้านผลของอนุภาคนาโนของโลหะเงินต่อการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มจุลินทรีย์ในดิน การออกฤทธิ์ในดินปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นกับอนุภาคดินและอินทรีย์วัตถุในดิน และผลของอนุภาคนาโนของโลหะเงินต่อการมิเนอรัลไลเซชันของธาตุไนโตรเจน (potentially mineralizable nitrogen) และ ธาตุอื่นๆ

## เอกสารอ้างอิง

- Baker, C., A. Pradhan, L. Pakstis, D.J. Pochan, and S.I. Shah. 2005. Synthesis and antibacterial properties of silver nanoparticles. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 5: 244-249.
- Bath, J., and A. Turberfield. 2007. DNA nano machines. *Nat. Nanotechnol.* 2: 275-284.

- Brunner, T., P. Piusmanser, P. Spohn, R. Grass, L. Limbach, A. Bruinink, and W. Stark. 2006. In Vitro Cytotoxicity of Oxide Nanoparticles: Comparison to Asbestos, Silica, and the Effect of Particle Solubility. *Environ. Sci. Technol.* 40: 4374-4381.
- Chen, M., and A. von Mikecz. 2005. Formation of nucleoplasmic protein aggregates impairs nuclear function in response to SiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Exp. Cell Res.* 305: 51-62.
- Chen, X. and H.J. Schluesener. 2008. Nanosilver: a nanoparticle in medical application. *Toxicol. Lett.* 176: 1-12.
- Choi, O. and Z. Q. Hu. 2008. Size dependent and reactive oxygen species related nanosilver toxicity to nitrifying bacteria. *Environ. Sci. Technol.* 42:4583-4588.
- Choi, O., K.K. Deng, N.J. Kim, Jr.L. Ross, R.Y. Surampalli and Z. Hu. 2008. The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth. *Water Res.* 42: 3066-3074.
- Colman, B.P., M. Auffan, C.J. Richardson, M. Wiesner and E.S. Bernhardt. 2009. Impacts of nanosilver on microbial activity in wetlands and streams. Goldschmidt Conference, Davos, Switzerland. A238.
- Davis, I.J., H. Richards and P. Mullany. 2005. Isolation of silver- and antibiotic-resistant *Enterobacter cloacae* from teeth. *Oral. Microbiol. Immunol.* 20: 191-194.
- Dibrov, P., J. Dzioba, K.K. Gosink and C.C. Hase. 2002. Chemiosmotic mechanism of antimicrobial activity of Ag<sup>+</sup> in *Vibrio cholerae*. *Antimicrob. Agents Chemother.* 46: 2668-2670.
- Feng, Q.L., J. Wu, G.Q. Chen, F.Z. Cui, T.N. Kim and J.O. Kim. 2000. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *J. Biomed. Mater. Res.* 52: 662-668.
- Garnett, M. and P. Kallinteri. 2006. Nanomedicines and nanotoxicology: some physiological principles. *Occup. Med.* 56: 307-311.
- Geiser, M., B. Rothen-Rutishauser, N. Knapp, S. Schurch, W. Kreyling, H. Schulz, M. Semmler, H. Im, J. Heyder and P. Gehr. 2005. Ultrafine particles cross cellular membranes by non-phagocytic mechanisms in lungs and in cultured cells. *Environ. Health Perspect.* 113: 1555-1560.
- Gupta, A., K. Matsui, J.F. Lo and S. Silver. 1999. Molecular basis for resistance to silver cations in *Salmonella*. *Nat. Med.* 5: 183-188.
- Gupta, A., L.T. Phung, D.E. Taylor and S. Silver. 2001. Diversity of silver resistance genes in IncH incompatibility group plasmids. *Microbiology.* 147: 3393-3402.
- Hoet, P., I. Bruske-Holfeld and O. Salata. 2004. Nanoparticles – known and unknown health risks. *J. Nanobiotechnology* 2:12.
- Holt, K.B. and A.J. Bard. 2005. Interaction of silver (I) ions with the respiratory chain of *Escherichia coli*: an electrochemical and scanning electrochemical microscopy study of the antimicrobial mechanism of micromolar Ag<sup>+</sup>. *Biochemistry.* 44: 13214-13223.
- Joseph, T. and M. Morrison. 2006. Nanotechnology in agriculture and food. *Nanoforum Report.* at:<http://www.nanoforum.org/dateien/temp/nanotechnology%20in%20agriculture%20and%20food.pdf?08122006200524>.

- Kim, K.J., W.S. Sung, B.K. Suh, S.K. Moon, J.S. Choi, J.G. Kim and D.G. Lee. 2009. Antifungal activity and mode of action of silver nanoparticles on *Candida albicans*. *Biometals*. 22:235–242.
- Lansdown, A.B.G. 2002. Silver: 1. its antibacterial properties and mechanism of action. *J. Wound Care*. 11: 125–130.
- Li, N., C. Sioutas, A. Cho, D. Schmitz, C. Misra, J. Sempf, M. Wang, T. Oberley, J. Froines and A. Nel 2003. Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environ. Health Perspect.* 111:455-460.
- Li, X.Z., H. Nikaido and K.E. Williams. 1997. Silver-resistant mutants of *Escherichia coli* display active efflux of  $Ag^+$  and are deficient in porins. *J Bacteriol.* 179: 6127–6132.
- Limbach, L.P., Wick, P., Manser, R. Grass, A. Bruinink and W. Stark. 2007. Exposure of engineered nanoparticles to human lung epithelial cells: Influence of chemical composition and catalytic activity on oxidative stress. *Environ. Sci. Technol.* 41: 4158-4163.
- Liu, H.H. 1999. Antibiotic resistance in bacteria: a current and future problem. *Adv. Exp. Med. Biol.* 455: 387–396.
- Lok, C.N., C.M. Ho, R. Chen, Q.Y. He, W.Y. Yu, H. Sun, P.K. Tam, J. F. Chiu and C. M. Che. 2007. Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities. *J. Biol. Inorg. Chem.* 12: 527-534.
- Magrez, A., S. Kasa, V. Salicio, N. Pasquier, J. Won Seo, M. Celio, S. Catsicas, B. Schwaller and L.Forro. 2006. Cellular toxicity of carbon-based nanomaterials. *Nano Lett.* 6: 1121-1125.
- Maynard, A. D., R.J. Aitken, T. Butz, V. Colvin, K. Donaldson, G. Oberdörster, M.A. Philbert, J. Ryan, A. Seaton, V. Stone, S.S. Tinkle, L. Tran, N.J. Walker and D.B. Warheit. 2006. Safe handling of nanotechnology. *Nature*. 444: 267-269.
- Mukhopadhyay, S.S., V. R. Parshad and I.P.S. Gill. 2009. Nanoscience and Nano-Technology: Cracking Prodigal Farming. *Nature Precedings*.
- Nel, A., T. Xia and N. Li. 2006. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*. 311: 622-627.
- Oberdörster, G., A. Maynard, K. Donaldson, V. Castranova, J. Fitzpatrick, K. Ausman, J. Carter, B. Karn, W. Kreyling, D. Lai, S. Olin, N. Monteiro-Riviere, D. Warheit and H. Yang. 2005a. Principles for characterising the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Part. Fibre Toxic.* 2:8.
- Oberdörster, G., E. Oberdörster and J. Oberdörster, 2005b. Nanotoxicology: an emerging discipline from studies of ultrafine particles. *Environ. Health Perspect.* 113: 823-839.
- Opara, L. 2004. Emerging technological innovation triad for agriculture in the 21st century. Part 1. Prospects and impacts of nanotechnology in agriculture. *Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal*. Vol 6.
- Salyers, A.A. and C.F. Amabile-Cuevas. 1997. Why are antibiotic resistance genes so resistant to elimination? *Antimicrob. Agents Chemother.* 41: 2321–2325.

- Sayes, C., J. Fortner, W. Guo, D. Lyon, A. Boyd, K. Ausman, Y. Tao, B. Sitharaman, L. Wilson, J. Hughes, J. West, and V. Colvin. 2004. The differential cytotoxicity of water-soluble fullerenes". *Nano Lett.* 4:1881-1887.
- Sayes, C., R. Wahi, P. Kurian, Y. Liu, J. West, K. Ausman, D. Warheit, and V. Colvin. 2006. Correlating nanoscale titania structure with toxicity: A cytotoxicity and inflammatory response study with human dermal fibroblasts and human lung epithelial cells. *Tox. Sci.* 92:174–185.
- Silver, S. and L.T. Phung. 1996. Bacterial heavy metal resistance: new surprises. *Annu. Rev. Microbiol.* 50: 753–789.
- Silver, S. 2003. Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds. *FEMS Microbiol. Rev.* 27: 341–354.
- Silver, S. and L.T. Phung. 2005. A bacterial view of the periodic table: genes and proteins for toxic inorganic ions. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 32: 587–605.
- Silver, S., Le T. Phung and G. Silver. 2006. Silver as biocides in burn and wound dressings and bacterial resistance to silver compounds. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 33: 627-634.
- Sondi, I., and B. Salopek-Sondi. 2004. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J. Colloid Interface Sci.* 275:177–182.
- USDA. 2003. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. A Report Submitted to the Cooperative State Research, Education and Extension Service. National Planning Workshop November 18-19, 2002. Available at: [http://www.csrees.usda.gov/nea/technology/pdfs/nanoscale\\_10-30-03.pdf](http://www.csrees.usda.gov/nea/technology/pdfs/nanoscale_10-30-03.pdf)
- U.S. EPA, 2007. Nanotechnology White Paper. U.S. Environmental Protection Agency Report EPA 100/B-07/001, Washington DC 20460, USA.
- Wijnhoven, S.W.P., W.J.G.M. Peijnenburg, C.A. Herberts, W.I. Hagens, A.G. Oomen, E.H.W. Heugens, B. Rosze, J. Bisschops, I. Gosens, M. Dik Van De, S. Dekkers, W. H. De Jong, M. van Zijverden, J. A. M. Sips Adriënne and R.E. Geertsma, 2009. Nanosilver - a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment. *Nanotoxicology.* 3: 109 – 138.
- Yang J.E., S.O. Yong, C.K.Sung, H.P. Yun and S.I. Youn. 2009. Impact Assessment of Nano-Silver Materials On the Soil Quality Parameters. 2009 International Annual Meetings. ASA-CSSA-SSSA November 3.