

บทที่ 2

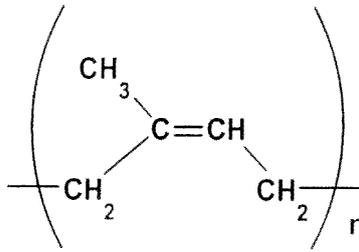
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปของยางธรรมชาติ

2.1.1 ยางธรรมชาติ (สอาด, 2554)

ในปัจจุบันยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) สามารถนำมาใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น ยางรถยนต์ ถังมือยาง ถังยางอนามัย และผลิตภัณฑ์อื่นๆ มากมาย จุดเด่นของยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลดีเยี่ยมและมีความยืดหยุ่นสูง แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อด้อยเช่น เสื่อมสภาพได้ง่าย เนื่องจากในสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่ในปริมาณมาก จึงไม่ทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากออกซิเจน ความร้อน และโอโซน ซึ่งข้อด้อยดังกล่าวทำให้การใช้งานของยางธรรมชาติมีข้อจำกัด เพราะไม่สามารถนำยางธรรมชาติไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้งานกลางแจ้งหรือที่ต้องสัมผัสกับโอโซน นอกจากนี้ยางมีสมบัติทนต่อกรดและด่างอ่อน แต่ไม่ทนต่อกรดและด่างแก่ ไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ไม่ทนต่อโอโซน การกระแทกกระดอนสูง อุณหภูมิการใช้งานของยางตั้งแต่ -55 ถึง 70°C มีความทนต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง มีความต้านทานต่อการล้าตัวสูง มีความต้านทานต่อการขูดถูสูง มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก ยางดิบละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เนื่องจากยางธรรมชาติไม่มีขั้ว ดังนั้นไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียม แต่ทนต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ และสมบัติการชอบน้ำต่ำ

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง ฮีเวีย บราซิลเลียนซิส (*Hevea brazilliensis*) ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำ อเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งชาวอินเดียนแดงเผ่ามายันในอเมริกากลาง ได้รู้จักการนำยางพารามาใช้ก่อนปี พ.ศ. 2000 โดยการจุ่มเท้าลงในน้ำยางดิบเพื่อทำเป็นรองเท้า ส่วนเผ่าอื่น ๆ ก็นำยางไปใช้ประโยชน์ในการทำผ้ากันฝน ทำขวดใส่น้ำ แปะทำลูกบอลยางเล่นเกมสต่างๆ เป็นต้น คริสโตเฟอร์ โคลัมบัสได้เดินทางมาสำรวจทวีปอเมริกาใต้ ในระหว่างปี พ.ศ. 2036-2039 และได้พบกับชาวพื้นเมืองเกาะไฮติในปี พ.ศ. 2279 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อชาลส์ มาริเดอลา คองตามีน (Charles Merie de la Condamine) ได้ให้ชื่อเรียกยางตามคำพื้นเมืองของชาวไมกาว่า "คาโอชู" (Caoutchouc) ซึ่งแปลว่าต้นไม้อ่อนให้ และให้ชื่อเรียกของเหลวที่มีลักษณะข้นขาวคล้ายน้ำมันซึ่งไหลออกมาจากต้นยาง เมื่อกรีดเป็นรอยแผลว่า ลาเทกซ์ (latex) และใน พ.ศ. 2396 ฟาราเดย์ (Faraday) ได้รายงานว่ายางธรรมชาติเป็นสารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน มีสูตรเอมไพริคัล คือ C_5H_8 และมีสูตรทั่วไปคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

2.2 ความรู้ทั่วไปของแป้งมันสำปะหลัง (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2542)

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่สำคัญเป็นอันดับ 5 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญของประเทศในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศต่างๆ ในทวีปแอฟริกาและทวีปอเมริกาใต้ ในทวีปเอเชียประเทศอินโดนีเซียและอินเดียมีการบริโภคมันสำปะหลังกันเป็นจำนวนมาก ปริมาณผลผลิตที่ได้ในแต่ละปีร้อยละ 60 ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ ร้อยละ 27.5 ใช้ทำเป็นอาหารสัตว์ และร้อยละ 12.5 ใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทำรายได้ให้เกษตรกรมากเป็นอันดับที่ 4 รองจากยางพารา อ้อย และข้าว ผลผลิตมันสำปะหลัง ภายในประเทศนำไปใช้ทำมันเส้นและมันอัดเม็ดร้อยละ 45-50 ใช้แปรรูปเป็นแป้งร้อยละ 50-55 ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังออกมากที่สุดในโลก ประเทศไทยส่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในรูปของมันอัดเม็ดไปขายมากที่สุดคือ ประเทศในกลุ่มประชาคมยุโรป (เนเธอร์แลนด์ สเปน เยอรมัน โปรตุเกส) เกาหลีใต้และญี่ปุ่น ส่วนในรูปของแป้งมันสำปะหลัง ประเทศญี่ปุ่นสั่งซื้อ มากที่สุด รองลงมาคือฮ่องกง สหรัฐอเมริกา มาเลเซีย สิงคโปร์ และไต้หวัน

2.2.1 สมบัติแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ชนิดมีขั้ว สามารถบวมตัวในน้ำได้ แต่ไม่ละลายน้ำ แป้งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ง่าย เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ มีความแข็งแรงสูง แข็งเปราะ และความสามารถในการอ่อนงอเมื่อความชื้นสูง แต่ก็มีมีความต้านทานแรงดึงสูง อย่างไรก็ตามสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความชื้นของแป้งมันสำปะหลัง น้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ นิยมใช้แป้งมันสำปะหลังมาผสมกับพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มสมบัติดังต่อไปนี้

1. ความต้านทานแรงดึงสูง (high tensile strength)
2. ค่ามอดูลัสสูง (high modulus)
3. ค่าการคืบต่ำ (low creep)
4. ทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ (high resistance organic solvent)
5. ช่วยในการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation)
6. ลดต้นทุนการผลิต

ข้อดีข้อเสียของแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก มีการผลิตเป็นปริมาณสูง และประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีการผลิตแป้งมันสำปะหลังในปริมาณที่สูง ข้อดีของแป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ง่าย สามารถย่อยสลายได้จากจุลินทรีย์ และแบคทีเรีย (bacteria) ทนทานต่อตัวทำละลายไม่มีขั้ว แต่ข้อเสียของแป้งมันสำปะหลังไม่ทนทานต่อความชื้นและน้ำ เสื่อมสภาพได้ง่าย แป้งต้มสุกมีความหนืดสูงมาก ต้องใช้พลาสติกไซเซอร์ ช่วยในการขึ้นรูป แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแป้งมันสำปะหลัง

Advantages	Disadvantages
Swell in water but insoluble in water	No moisture and water resistant
Easily biodegradation	High viscosity when cooking
High strength	Used plasticizers in procession
Brittle solid	
High tensile strength	
Used water as plasticizers	
Non-polar resistant to	

2.2.2 การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

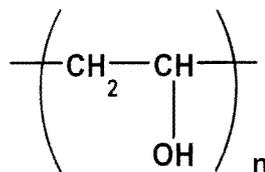
การใช้แป้งดัดแปรทางเคมีและกายภาพในอุตสาหกรรม การใช้แป้งในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ใช้แป้งเพื่อเป็นสารให้ความข้นหนืด และผู้บริโภค รับประทานแป้งในรูปของแป้งสุก แต่ในการใช้แป้งในอุตสาหกรรมอื่นๆ ลักษณะการใช้แตกต่าง จากการใช้ในอาหารกล่าวคือ แป้งถูกทำให้สุกก่อนจากนั้นทำให้แป้ง อยู่ในรูปของฟิล์ม หรือสารเคลือบ เช่น การใช้แป้งสุกเคลือบกระดาษ หรือเส้นด้ายในสิ่งทอ หรือใช้แป้งในรูปฟิล์มกาว เพื่อเชื่อมพื้นผิวเข้าด้วยกัน ความแตกต่างที่เด่นชัดอีกประการคือ การใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากอาหารมีการใช้แป้งที่ผ่านการดัดแปรที่มีความหลากหลายในงานวิจัยอย่างมาก เช่น แป้งเม็ดและแป้งฝุ่น (Janssen *et al.* 1998, Riley *et al.* 2008, Coucke *et al.* 2009) แป้งพรีเจลาติไนซ์ (Peerapattana *et al.* 2010) แป้งที่ดัดแปรโดยใช้กรด (Sandhu *et al.* 2007, Ozturk *et al.* 2011, Dutta *et al.* 2011) แป้งดัดแปรโดยเอนไซม์ (Shanavas *et al.* 2011) แป้งออกซิไดซ์ (Demiate *et al.* 2000, Somboonchai *et al.* 2008, Liua *et al.* 2010, Sangseethong *et al.* 2010) แป้งอีเทอร์และเอสเทอร์ (Pomeranz 1985) แป้งแคโทไอออ

นิก (cationic starch ethers) (Pomeranz 1985) ไวท์เดกซ์ตริน (white dextrans) (Pomeranz 1985)
เยลโลว์เดกซ์ตริน (yellow dextrin) (Pomeranz 1985)

2.3 ความรู้ทั่วไปของ PVA

2.3.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ชั้ววัฒน์ เจนวาณิชย์)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVOH, PVA) มีโครงสร้างเป็น $(C_2H_3OH)_n$ ดังรูปที่ 2.11 เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน มีลักษณะเป็นผงสีขาวจนถึงครีม ซึ่งได้จากการสังเคราะห์พอลิไวนิลแอสเตต (poly(vinyl acetate)) ในภาวะกรดหรือเบส โดยใช้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล จึงทำให้ PVA มีสมบัติที่สามารถละลายน้ำได้แต่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสามารถละลายน้ำได้มากเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลง แต่ความแข็งแรง การดึงยึด ความทนต่อการฉีกขาด และความสามารถในการอ่อนงอดีขึ้น เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น การนำไปใช้ประโยชน์ โดยส่วนใหญ่พอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ไปใช้ใน อุตสาหกรรมกาว ใช้เป็นสารช่วยถอดแบบของพลาสติก หล่อ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ และการเคลือบต่างๆ เช่น เคลือบเซรามิกซ์ นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายในสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์เนื่องจากข้อได้เปรียบของ PVA สามารถละลายน้ำ เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ และเป็นพืชต่ำ มีการปรับเปลี่ยนทางเคมีเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของโมเลกุลที่นำไปสู่การใช้งานของ PVA โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ พอลิเมอร์ไฮโดรเจล เมื่อนำ PVA มาละลายน้ำมีลักษณะคล้ายไข่ขาว นอกจากนี้ยังทนต่อน้ำมันและ สารตัวทำละลายไม่มีขั้ว PVA มีจุดหลอมเหลว 180-190°C



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ PVA

2.3.2 สมบัติ PVA

สมบัติของ PVA สามารถละลายน้ำ เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ และเป็นพืชต่ำ แข็งแรง ความทนต่อการฉีกขาด และความสามารถในการอ่อนงอดีขึ้น ไม่มีกลิ่น แต่ก็มีควมต้านทานแรงดึงสูง และมีความยืดหยุ่น อย่างไรก็ตามสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความชื้นของ PVA ที่มีน้ำสูงกว่าความชื้นมากขึ้นถูกดูดซึม น้ำซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ แล้วช่วยลดแรงดึงของมัน แต่การยืดตัวเพิ่มขึ้นและการฉีกขาด การใช้ PVA ในทางพอลิเมอร์นิยมใช้เพื่อเพิ่มสมบัติเช่น มีความต้านทานแรงดึงสูง (high tensile strength) ค่ามอดูลัสสูง (high modulus) มีระยะยืดต่ำ (low

elongation) ค่าการคืบต่ำ (low creep) ทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ (high organic solvent resistance) และ เป็นสารช่วยผสมให้เข้ากันดี

ข้อดีข้อเสียของ PVA

PVA เป็นพอลิเมอร์ชนิดมีขั้ว ทนทานต่อตัวทำละลายไม่มีขั้วหรืออินทรีย์ ความสามารถในการอ่อนงอ ไม่มีกลิ่น มีความต้านทานแรงดึงสูง แต่มีความทนทานต่อน้ำและความชื้น แสดงดังตารางที่ 2.3

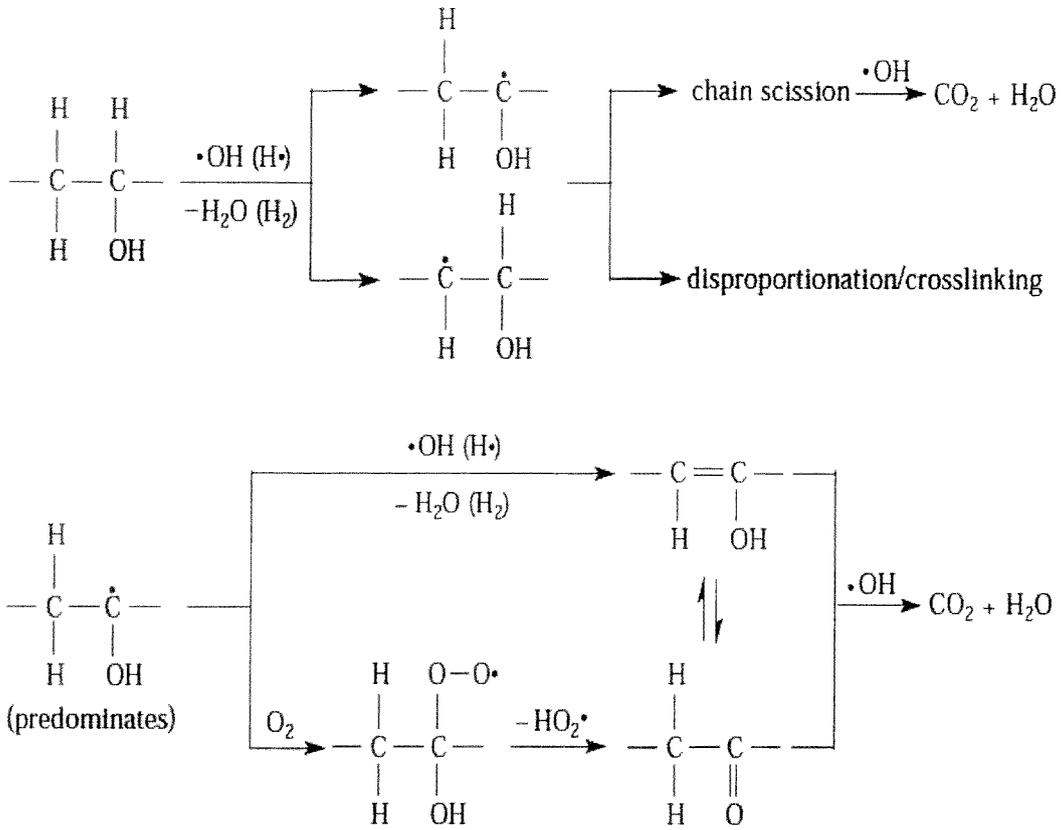
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ PVA

Advantages	Disadvantages
Soluble in water, biodegradable, low toxicity, tear resistant, high tensile strength, flexibility, absorb water well, non-polar solvents resistant.	No water resistant

2.3.3 การตัดแปรร PVA และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตัดแปรรโมเลกุลของ PVA สามารถเกิดขึ้นในหลายวิธีเช่น การย่อยสลายความร้อน (Baimuratov *et al.* 1993, Holland and Hay 2001, Zheng *et al.* 2007) รังสี (Shu-Juan and Han-Qing 2004) คลื่นเสียง (Mohod and Gogate 2011) เสื่อมสภาพ (Shara *et al.* 1999) ย่อยสลายทางชีวภาพ (Chiellini *et al.* 1999, Corti *et al.* 2002, Takasu *et al.* 2002, Wang *et al.* 2006) ย่อยสลายด้วยแสง (Lii *et al.* 1993, Chen *et al.* 2001, Giroto *et al.* 2006, , Giroto *et al.* 2006) และการย่อยสลายทางเคมี (Mawada *et al.* 2007, Xiao and Zhou 2003) ตัวอย่างเช่น การเสื่อมสภาพของ PVA โดยใช้รังสีแกมมาที่เกิดการย้ายสายโซ่ (scission) อย่างเดียว และเกิดการเชื่อมต่อนเป็นวงโซ่ (cyclization) สามารถการสังเกตรณะของ C = C และ C = O แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฮิวมิก (humic) 0.5-10% ในกลุ่มตัวอย่าง PVA ทำให้ PVA มีความต้านทานต่อการย่อยสลายดีขึ้น ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของ PVA มีเวลาของการฉายรังสี, ความเข้มข้นของสารละลาย ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นของการฉายรังสี อัลตราโซนิก นอกจากนี้โซเดียมคลอไรด์ยังมีผลต่อ PVA ทำให้สามารถลดความหนืด ในกรณีที่มีการเสื่อมสภาพโดยใช้คลื่นเสียงสามารถทำให้เกิดการย่อยสลายลิเมอร์ สังเกตได้อย่างชัดเจนจากการลดลงของความหนืด หรือค่าของน้ำหนักโมเลกุลเป็นต้น นอกจากนี้การย่อยสลายเกิดเป็น PVA โดยปฏิกิริยาฟenton (fenton) ทำให้เพิ่มโฟโต้เคมี (photochemically) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ส่วนผสมของ Fe₂ + AQ และ H₂O₂) และระบบการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่าง (iron (III) -exchanged zeolite Y+H₂O₂) (Bossmann *et al.* 2001)

Zhang และ Yu (2004) ได้ศึกษาการย่อยสลายของ PVA โดยการฉายรังสี γ -ray มีการตรวจสอบประสิทธิภาพในการสลายตัวของ PVA โดยศึกษาอิทธิพลจากปัจจัยหลายประการเช่น ความเข้มข้นเริ่มต้น PVA อัตราปริมาณความเป็นกรดต่าง และการเพิ่มปริมาณของ H₂O₂ ยังได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น PVA ทำการทดสอบที่ความเข้มข้นของ PVA 180 mg/L ต้องใช้รังสี γ -ray สูงขึ้นเป็น 55.7 Gy/min ซึ่งมีผลตรงกันข้ามกับความเข้มข้นของ PVA ที่ 500 mg/L มีการใช้ปริมาณรังสีลดลงเป็น 12.1 Gy/min ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของ PVA ที่อยู่ในสภาวะกรดหรือด่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าสภาวะความเป็นกลาง และอัตราของ H₂O₂ ที่เหมาะสม สามารถในการย่อยสลายของ PVA ได้ดีขึ้น ในการฉายรังสี γ -ray 17.2 Gy/min และใช้ H₂O₂ 2.5 mmol/L ผลการทดสอบด้วย FTIR พบว่าอนุมูลอิสระบนสายโซ่ PVA ได้เริ่มขึ้นจากการแตกตัวของ \cdot OH และ H \cdot ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ PVA แสดงดังรูปที่ 2.12 นอกจากนี้ทำให้เกิดหมู่คีโตนและแอลกอฮอล์ หลังจากรการเสื่อมสภาพสมบูรณ์ของ PVA



รูปที่ 2.12 กลไกของการเสื่อมสภาพของ PVA โดย H_2O_2 และรังสี
ที่มา Zhang และ Yu (2004)

หลังจากการตัดแปรรายธรรมชาติ แป้งมันสำปะหลัง และ PVA ในงานวิจัยนี้ได้นำพอลิเมอร์ตัดแปรรมาประยุกต์ใช้งานด้านเกษตรกรรม เช่นการห่อหุ้มปุ๋ย การดูดซับแบคทีเรีย และการเตรียมไมโครแคปซูลฆ่าเชื้อรา

2.4 จุลินทรีย์อีเอ็มและการดูดซับ

2.4.1 จุลินทรีย์อีเอ็ม

EM ย่อมาจากคำว่า Effective Microorganisms ซึ่งมีความหมายว่า กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ มีลักษณะเป็นของเหลว สีน้ำตาล กลิ่นหวานอมเปรี้ยว สมบัติบางประการและการเก็บรักษา ค้นพบโดย ศาสตราจารย์ ดร.เทอโอะ อิหงะ แห่งมหาวิทยาลัยริวกิว โอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น (ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ประธานสถาบัน EM เทคโนโลยีนานาชาติ มหาวิทยาลัยเมโอ โอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งได้ทำการศึกษาค้นคว้า ทดลอง ระหว่าง พ.ศ. 2510 - 2525 ได้พบความจริงเกี่ยวกับจุลินทรีย์ในธรรมชาติ และได้คัดสรรเอาเฉพาะจุลินทรีย์กลุ่มดีที่มีประโยชน์มาเลี้ยงรวมด้วยเทคนิคพิเศษ การใช้อีเอ็มในการเกษตรช่วยรักษาสีน้ำตาลล่อม ช่วยในการผลิตอาหารที่ปลอดภัยมีภาพสูง ต้นทุนต่ำ และการศึกษาการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ต่างๆช่วยแก้ปัญหามลภาวะของสีน้ำตาลล่อมได้โดยการใช้อีเอ็ม หมายถึงการใช้ระบบหมุนเวียนในพื้นที่ใหญ่ๆ เป็นการช่วยรักษาสุขภาพของมนุษย์

EM (จุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติก ยีสต์ และจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง) ผลิตจากจุลินทรีย์ธรรมชาติ ไม่มีจุลินทรีย์ก่อโรค ไม่มีสารเคมีสังเคราะห์ และไม่ใช้การตัดต่อยีนส์ (GMOs) ซึ่งเป็นโทษต่อมนุษย์ สัตว์และพืช EM ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ปลอดภัยซึ่งใช้กันมาก่อนในสมัยโบราณโดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจก็ตาม จุลินทรีย์ใน EM มี 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

1. จุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติก เป็นจุลินทรีย์ที่จัดอยู่ในพวกแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติกได้โดยผ่านกระบวนการหมัก ซึ่งกรดแลคติกสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิด และจุลินทรีย์อื่น ๆ ได้ เนื่องจากมี pH ที่ต่ำ เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางว่ามีการนำเอาจุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติกไปใช้ในการหมักอาหารหลายชนิด เช่น เนยแข็ง โยเกิร์ต และสามารถเก็บไว้ได้นาน ตั้งแต่หลุยส์ ปาสเตอร์ ได้ค้นพบจุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติกในปี พ.ศ. 2400 ทำให้รู้ถึงประโยชน์ที่เกี่ยวกับสุขภาพและการมีอายุยืนยาว เมื่อเร็ว ๆ นี้ มีงานวิจัยที่พบว่า นอกจากจุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่ที่ลำไส้เล็กของคนยังเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดภูมิคุ้มกัน มีสมบัติในการต่อต้านการสูญเสียโปรตีนในเลือด ต่อต้านการกลายพันธุ์ โคลเลสเตอรอลในเลือดต่ำ และการมีความดันโลหิตต่ำ

2. ยีสต์ เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นตัวตั้งต้นในการหมัก ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเบียร์หรือแอลกอฮอล์ และใช้ในการทำขนมปัง ยีสต์ค้นพบโดยพ่อค้าชาวต่างชาติ ชื่อ แอนโทนี แวนลีเวนฮุค (ในปี พ.ศ. 2175 - 2266) ซึ่งเป็นผู้ค้นพบเป็นคนแรกในโลกเรื่องจุลินทรีย์ ยีสต์ถูกจำแนกเป็นสัตว์เซลล์เดียว ซึ่งแตกต่างจากเชื้อราเพราะเป็นเซลล์เดียวไปตลอด ที่มีความจำเป็นต่อชีวิตมนุษย์ ยีสต์มีอยู่มากในสีน้ำตาลล่อมที่มีน้ำตาลมาก เช่น น้ำหวานจากเกสรดอกไม้ ตามผิวของผลไม้ใน EM ยีสต์ผลิตสารชีวพันธ์ต่าง ๆ หรือสารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เช่น กรดอะมิโน และแป้ง

3. จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง โฟโตทรอปฟิคแบคทีเรีย (จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง) เป็นแบคทีเรียโบราณที่เกิดมาก่อนการเกิดดาวเคราะห์โลกที่มีออกซิเจนหนาแน่นอย่างเช่นในปัจจุบัน จากข้อบ่งบอกให้รู้ว่าจุลินทรีย์ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีอยู่ตามน้ำขาว ทะเลสาบ และทุกหนทุกแห่งบนโลกนี้ ในทางปฏิบัติพบจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพนี้ตามทุ่งนาเพราะจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้ดี ทั้งในการบำบัดน้ำเสีย มีงานวิจัยที่รายงานเกี่ยวกับประสิทธิภาพของจุลินทรีย์นี้ ส่วนที่ใช้ในการเกษตร การเลี้ยงสัตว์น้ำ และการเลี้ยงสัตว์ทั่วไป ภายใต้สภาพที่มีการผลิตไฮโดรเจนสามารถย่อยสลายสารต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงร่วมอยู่ในระบบย่อยต่าง ๆ และเป็นจุลินทรีย์หลักในวัฏจักรไนโตรเจนและวัฏจักรคาร์บอน เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์หลักในวัฏจักรต่าง ๆ จึงทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ใน EM ได้ ดังนั้นจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงจึงเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญใน EM ซึ่งจุลินทรีย์สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ต้องการอากาศ (aerobic bacteria) และไม่ต้องการอากาศ (anaerobic bacteria) จุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ ต่างพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน และสามารถอยู่ร่วมกันได้ จากการค้นคว้าดังกล่าว ได้มีการนำเอาจุลินทรีย์ที่ได้รับการคัดและเลือกสรรอย่างดีจากธรรมชาติ ที่มีประโยชน์ต่อพืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อม มารวมกัน 5 กลุ่ม ได้แก่

(<http://www.oknation.net/blog/print.php?id=104406>)

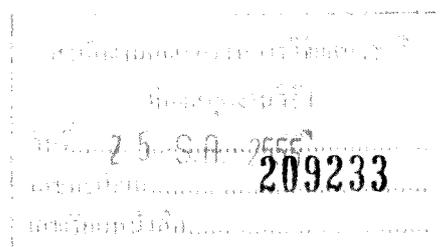
กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกเชื้อราที่มีเส้นใย (filamentous fungi) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลาย สามารถทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน มีสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี ปกติใช้เป็นหัวเชื้อผลิตเห็ด ผลิตปุ๋ยหมัก เป็นต้น

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสังเคราะห์แสง (photosynthetic microorganisms) ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้แก่ดิน เช่น ไนโตรเจน (N_2) กรดอะมิโน (amino acids) น้ำตาล (sugar) วิตามิน (vitamins) ฮอร์โมน (hormones) และอื่นๆ เพื่อสร้างความสมบูรณ์ให้แก่ดิน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก (zygogumic or fermented microorganisms) ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้ดินต้านทานโรค (diseases resistant) ฯลฯ เข้าสู่วงจรการย่อยสลายได้ดี ช่วยลดการพังทลายของดิน ป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชบางชนิด ของพืชและสัตว์ สามารถบำบัดมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษต่างๆ

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixing microorganisms) มีทั้งพวกที่เป็นสาหร่าย (algae) และพวกแบคทีเรียทำหน้าที่ตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศเพื่อให้ดินผลิตสารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต เช่น โปรตีน กรดอินทรีย์ กรดไขมัน (fatty acids) แป้ง ฮอร์โมน วิตามิน ฯลฯ

กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสร้างกรดแลคติก (lactic acids) มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อรา และแบคทีเรียที่เป็นโทษ ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศหายใจ ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพดินเน่าเปื่อย หรือดินก่อโรคให้เป็นดินที่ต้านทานโรค ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่



เป็นสาเหตุของโรคพืชที่มีจำนวนนับแสน หรือให้หมดไป นอกจากนี้ยังช่วยย่อยสลายเปลือกเมล็ด พันธุ์พืช ช่วยให้เมล็ดงอกได้ดีและแข็งแรงกว่าปกติอีกด้วย

จุลินทรีย์อื่นๆ แอคติโนมัยซีท (actinomycetes) เป็นแบคทีเรียจำพวกหนึ่งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเชื้อรา

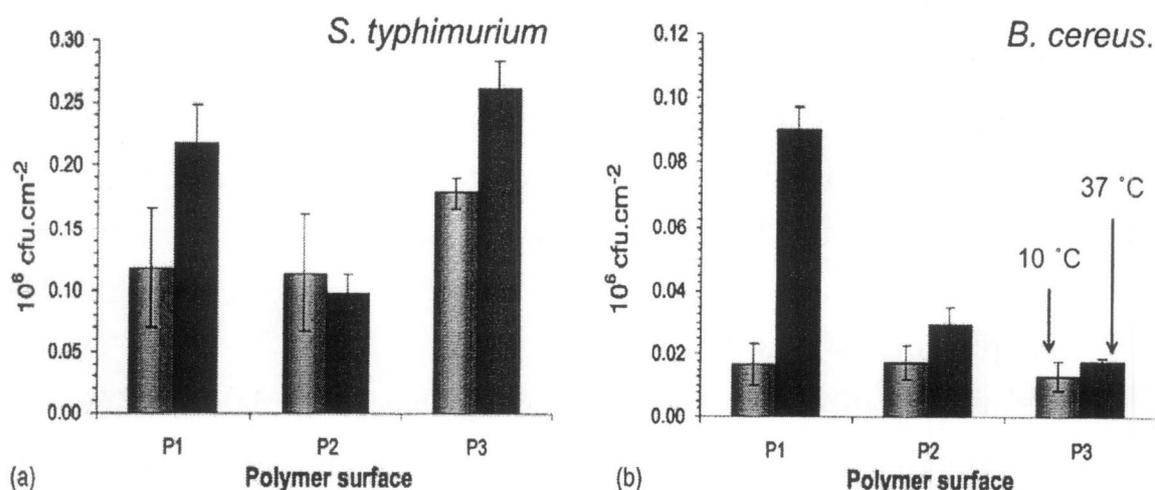
2.4.2 แบคทีเรีย

แบคทีเรีย (bacteria) คือ จุลินทรีย์ที่เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ที่เป็นเซลล์แบบโพรคาริโอต (prokaryotic cell) พบทั่วไปในธรรมชาติ ดิน น้ำ อากาศ แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญต่ออาหารและการผลิตอาหาร เพราะแบคทีเรียเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (microbial spoilage) และทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (food poisoning) ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้น การถนอมอาหาร (food preservation) ทุกวิธีเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อทำลาย หรือควบคุมสภาวะแวดล้อมเพื่อยับยั้งการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย แม้มีโทษกับอาหาร แต่แบคทีเรียบางชนิด เช่น lactic acid bacteria นำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในการหมักอาหาร (fermentation) และการบำบัดของเสีย เช่น การกำจัดน้ำเสีย (waste water treatment) แบคทีเรีย มีขนาด 0.5-10 μm ส่วนใหญ่มีเซลล์เดียว และมีโครงสร้างเซลล์ที่ไม่ซับซ้อนมาก และโดยทั่วไปแบคทีเรียแบ่งได้หลายรูปแบบทั้ง แบ่งตามรูปร่าง แบ่งได้หลายแบบทั้งกลม (cocci) แบบท่อน (bacilli rod) แบบเกลียว (spiral) ซึ่งแต่ละแบบก็มีการจัดเรียงเซลล์ต่างกัน แบ่งตามการย้อมติดสีแกรม (gram's strand) มีได้สองลักษณะคือพวกที่ติดสีแกรมบวก (gram positive) และที่ติดสีแกรมลบ (gram negative) แต่บางชนิดสามารถติดสีทั้งสองแกรมซึ่งเกี่ยวข้องกับผนังเซลล์ของแบคทีเรีย แบ่งตามความต้องการใช้ ระบบ anti-bacteria ด้วยเทคโนโลยีนาโน โครงสร้างของแบคทีเรียแสดงดังรูปที่ 2.22 ประกอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ และไซโทพลาสซึม โดยในไซโทพลาสซึมมีไรโบโซม (ribosome) ไม่มีนิวเคลียสส่วน DNA เป็นรูปวงแหวนพันอยู่กับโปรตีน อยู่ในไซโทพลาสซึมเรียกว่านิวคลีออยด์ (nucleoid) ด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ มีผนังเซลล์ประกอบด้วยเปปทิโดไกลแคน แบคทีเรียแกรมลบมีเยื่อหุ้มด้านนอกผนังเซลล์ (outer membrane) อีกชั้น แต่แบคทีเรียแกรมบวกไม่มีทำให้ย้อมติดสีแกรมต่างกัน

2.4.3 การดูดซับแบคทีเรียและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Alarcon *et al.* (2005) ได้ศึกษาการเตรียมโคพอลิเมอร์ของ P1: ไอโซโพรพิล อะคริลาไมด์ (*N*-Isopropylacrylamide) กับบิวทิล อะคริลาไมด์ (*N*-*t*-butylacrylamide) P2: ไอโซโพรพิลอะคริลาไมด์กับอะคริโลอิลอะมิโน เฮกซะโนอิก (6-acryloylamino-hexanoic acid) (10: 2) และ P3: ไอโซโพรพิลอะคริลาไมด์กับอะคริโลอิลอะมิโน เฮกซะโนอิก คล้ายกับ P2 แต่มีสัดส่วนต่างกันคือ 10:1 หลังจากเตรียมโคพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดแล้วนำโคพอลิเมอร์ไปกราฟต์กับซิลิกา (Silica glass) ที่บริเวณผิวของโคพอลิเมอร์ แล้วนำไปดูดซับแบคทีเรีย *S. typhimurium* และ *B.cereus* ซึ่ง

เป็นแบคทีเรีย แกรมลบและแกรมบวกตามลำดับ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติการชอบน้ำด้วยเทคนิค มุมสัมผัสเชิงฟิสิกส์ สถาบันวิทยาศาสตร์ด้วยเทคนิค AFM และจำนวนจุลินทรีย์ที่รอดชีวิต โดยได้ศึกษา ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ค่า pH และอุณหภูมิ ผลการวิจัยพบว่า P1 มีสมบัติการชอบน้ำมากที่สุด และ ผลการทดลองของการดูดซับแบคทีเรียแสดงดังรูปที่ 2.28 พบว่าโคพอลิเมอร์ของ P1 P2 และ P3 สามารถดูดซับแบคทีเรีย *S. typhimurium* ได้มากกว่าเนื่องจากผิวของ P1 P2 และ P3 มี Silica glass ซึ่งมีประจุเป็นบวกของ H^+ แต่เมื่อทดสอบกับแบคทีเรีย *B.cereus* ของตัวอย่าง P1 P2 และ P3 มีจำนวนแบคทีเรียเหลืออยู่น้อยกว่า เนื่องจาก Silica glass มีประจุบวกเกิดการผลักกัน กับ แบคทีเรีย *B.cereus* ที่เป็นแบคทีเรียแกรมบวก จึงส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลง และเมื่อ เปรียบเทียบอุณหภูมิการบ่มพบว่าที่ $37^{\circ}C$ จำนวนแบคทีเรียมากกว่าที่ $10^{\circ}C$ เนื่องจากแบคทีเรียมีการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ และการสังเคราะห์โพรโทพลาซึม รวมถึงการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่ $25-45^{\circ}C$



รูปที่ 2.28 การดูดซับแบคทีเรีย *S. typhimurium* และ *B.cereus*

ที่มา Alarcon et al. (2005)

2.5 การห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย

งานวิจัยนี้เตรียมไฮโดรเจล ที่มีคุณสมบัติในการเก็บกักปุ๋ย หรือธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช

สำหรับงานวิจัยศึกษาการควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยมี่ดังนี้

งานวิจัยการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับประเทศไทยที่เมืองเกษตรกรรม นักวิจัยพอลิเมอร์หลายท่านได้พยายามควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยได้หลายวิธีเช่น อาศัยปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation polymerization) ของยูเรีย และ ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Hassan, et al., 2002, 2003) การเคลือบหรือการห่อหุ้มปุ๋ย (coated or encapsulated fertilizers) การเคลือบด้วย ซัลเฟอร์ (Hassan, et al., 2002, 2003) ปัญหาที่พบก็คือทำให้ดินเป็นกรด และต้นการผลิตสูงไม่เหมาะไปทำเชิงการค้า อีกตัวอย่างหนึ่งการควบคุมการปลดปล่อยของปุ๋ยยูเรียคือนำยูเรียละลายในน้ำอย่างธรรมชาติแล้วจับตัวด้วยกรด ผลการทดลองนี้พบว่า 80 เปอร์เซ็นต์ปริมาณปุ๋ย

ยูเรียออกมามากในช่วงวันแรก 1-5 วัน เท่านั้น และเขาได้มีการพัฒนาต่อโดยการเคลือบผิวยาง แคปซูลด้วยโซเดียมอัลจิเนต (Tangboriboonrat, 1999) โดยการนำยางแคปซูลที่มียูเรียอยู่จุ่ม สารละลายแคลเซียมจากนั้นนำยางแคปซูลไปจุ่มสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ผลการทดลองการ ปลดปล่อยของยูเรีย โดยวิธีนี้ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรยูเรียถูกปลดปล่อยมากในช่วงวันแรก เพราะว่าปุ๋ยยูเรียอยู่บนผิวของยางซึ่งวิธีอาจไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้จริง การควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ย สามารถทำได้หลาย (Hassan, et al., 1992)

- 1 วิธีการห่อหุ้มปุ๋ยเคมีด้วยปฏิกิริยาการควบคุมแน่นของพอลิเมอร์
- 2 วิธีการเคลือบผิวปุ๋ยเคมี
- 3 วิธีลดพื้นที่ผิวของปุ๋ย
- 4 วิธีอื่นๆ (Markusch and Sarpeshkar, 2002)

วิธีที่ 1 วิธีการห่อหุ้มปุ๋ยเคมีด้วยปฏิกิริยาการควบคุมแน่นของพอลิเมอร์

ตัวอย่างมอนอเมอร์ที่ใช้เตรียมแคปซูลปุ๋ยที่ได้จากปฏิกิริยาควบคุมก็คือ

1.1 ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์

เมตริกซ์ที่เตรียมมาจากยูเรีย-มาลดีไฮด์สามารถห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย ได้ถึง 38% โดยน้ำหนัก ซึ่งเมตริกซ์นี้ได้รับความนิยมใช้กันทั่วโลก เพื่อควบคุมปุ๋ยยูเรีย ตัวแปรที่ควบคุมการปลดปล่อยยูเรีย ด้วยเมตริกซ์นี้ก็คือ พีเอช อุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์ เวลาทำปฏิกิริยา

1.2 ยูเรีย-ไอโซบิวทิลอัลดีไฮด์

เมตริกซ์ของไอโซบิวทิลลิดีน ไดยูเรีย ที่เตรียมมาจากยูเรีย กับไอโซบิวทิลลิดีน ความแตกต่างระหว่างเมตริกซ์ของ ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ในด้านความยาวของสายโซ่ ซึ่งเมตริกซ์นี้จะห่อหุ้ม ปุ๋ย ได้ถึง 32% โดยน้ำหนัก การควบคุมการปลดปล่อยขึ้นอยู่กับ ขนาดอนุภาค ความชื้น อุณหภูมิ และ พีเอช

1.3 ยูเรีย-โครโทนัลดีไฮด์

แคปซูลเตรียมได้จาก โครโทนัลลิดีนไดยูเรีย เตรียมมาจากยูเรีย และ อะซีติกอัลดีไฮด์โดยใช้ กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมตริกซ์สามารถ สลายตัวโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและจุลชีพในดิน อุณหภูมิความชื้นในดิน

2. วิธีการเคลือบผิวปุ๋ยเคมี

วิธีนี้อาศัยสารเคลือบผิวที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำสารเคลือบทำหน้าที่ควบคุมการซึมผ่านของน้ำ วัสดุที่ใช้เคลือบทำหน้าที่ควบคุมการซึมผ่านของน้ำ วัสดุที่ใช้เคลือบผิวปุ๋ยมีด้วยกันหลายชนิด

2.1. ใช้ซัลเฟอร์

การเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยซัลเฟอร์เป็นวิธีที่นิยมกันมากวิธีหนึ่งจนถึงปัจจุบัน อัตราการ ปลดปล่อยปุ๋ยขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นซัลเฟอร์ วิธีนี้สามารถห่อหุ้มปุ๋ยได้ถึง 30-46% แต่ข้อเสียใช้ ซัลเฟอร์ห่อหุ้มปุ๋ยยูเรียคือเกิด ทำให้ดินเป็นกรด

2.2 .ใช้พอลิเมอร์ ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ พอลิไอเลฟินส์ พอลิยูริเทน

เป็นวิธีการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ เป็นวิธีที่ไม่ส่งต่อสภาพดิน วิธีการปลดปล่อยวิธีนี้ ความชื้นสามารถซึมผ่านเข้าไปแคปซูลปุ๋ย ความเร็วการซึมผ่านของน้ำจะมากขึ้นหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการห่อหุ้ม ตัวอย่างเช่น น้ำซึมผ่านได้ดีในพอลิเมอร์ เอทิลีน ไวนิล อะซีเตต แต่จะซึมผ่านได้ต่ำในเอททิลีน

3. วิธีลดพื้นผิวของปุ๋ยเคมี

วิธี นี้เป็นการลดการละลายของปุ๋ย โดยการลดอัตราส่วนระหว่าง พื้นที่ผิวต่อ ปริมาตรให้น้อยลง เพื่อการลดการสูญเสียปุ๋ยเนื่องการชะล้าง