บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

Charoenchang และคณะ (2003) ได้ใช้วัสดุทางการเกษตร ในการส่งเสริมการย่อยสลายสารประกอบ PAHs โดยวิธีทางชีวภาพ พบว่าการใช้เปลือกถั่วลิสงและใบจามจุรี สามารถเร่งให้เกิดการย่อยสลายสาร PAHs ในดินที่ปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากการศึกษาองค์ประกอบในใบไม้ของพืชตระกูลถั่วได้แก่ ใบมะขาม ใบจามจุรี และใบนนทรี (สุพินดา ศิริวราศิลป์, 2545) พบว่าใบพืชตระกูลถั่วมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงไนโตรเจนสูง ซึ่งคาดว่าแหล่งสารอาหารจากใบมะขามช่วยกระตุ้นและส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียย่อยสลายไพรีนที่ปนเปื้อนในดินทดลอง อีกทั้งยังเป็นที่อยู่อาศัยของแบคทีเรียหลายชนิด (Hirano และ Upper, 1991; Yadav และคณะ, 2004) จึงคาดว่าปริมาณสารอาหารจากเศษใบไม้อาจจะมีผลทำให้กลุ่มแบคทีเรียที่แยกจากปุ๋ยหมักใบมะขามสามารถเจริญเติบโตและปรับตัวได้ดีกว่ากลุ่มแบคทีเรียที่แยกมาจากปุ๋ยหมักใบจามจุรีและใบนนทรี ผลจากการเหนี่ยวนำให้เกิดการย่อยสลายสารปนเปื้อนเป็นเวลานาน ทำให้แบคทีเรียมีการปรับตัวให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม มีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวน และกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายสารได้ดีขึ้น (Maier, 2000) ซึ่งใบมะขามที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้นั้น มีการทับถมกันเป็นเวลานานจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายเศษซากใบไม้ (decomposer microorganisms) สามารถเจริญได้และเนื่องจากใบไม้มีลิกนินซึ่งมีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติกเป็นส่วนประกอบคล้ายคลึงกับสาร PAHs ดังนั้นจุลินทรีย์ที่เจริญได้บนใบไม้จึงอาจย่อยสลายลิกนินและชักนำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสาร PAHs ได้เช่นกัน (Wilson และ Jones, 1993) ในขณะที่ ใบจามจุรีและใบนนทรีเก็บจากบริเวณภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นบริเวณอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นตลอดทั้งปีและไม่มีการทับถมของเศษใบไม้ คาดว่าพืชที่ปลูกในบริเวณดังกล่าวมีโอกาสสัมผัสกับสาร PAHs ที่เกิดจากระบวนการเผาไหม้น้ำมันที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นยานพาหนะ

การคัดแยกแบคทีเรียจากสิ่งแวดล้อมทำได้หลายวิธีและอาจใช้เทคนิคอื่นๆ ร่วมด้วย เทคนิคที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในการคัดแยกแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสาร PAHs คือเทคนิคที่เรียกว่า enrichment liquid culture ซึ่งมีรายงานจำนวนมากประสบความสำเร็จในการคัดแยกด้วยวิธีนี้ แต่พบว่าแบคทีเรียที่คัดแยกได้ส่วนใหญ่นั้นจัดอยู่ในสกุล *Pseudomonas* sp. *Rhodococcus* sp. *Sphingomonas* sp. (Bouchez และคณะ, 2000; Grifoll และคณะ, 1995; Walter และคณะ; 1991; Mueller และคณะ, 1990; Supaka และคณะ, 2001; Prapatsornpinyo, 2003; อรสุภาว์ สายเพชร, 2545) ที่สามารถย่อยสลายสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีไม่

มากนักที่สามารถย่อยสลายสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ นอกจากนี้สามารถแยก *Mycobacterium* sp. (Boldrin และคณะ, 1993; Churchill และคณะ, 1999; Dean-Ross และ Cerniglia, 1996) ได้เช่นกัน ซึ่งแบคทีเรียดังกล่าวมักจะได้จากตัวอย่างแหล่งดินหรือตะกอนดินจากแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนสาร PAHs

Bastieans และคณะ (2000) พบว่าวิธีการคัดแยกจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสาร PAHs ในดินปนเปื้อนสาร PAHs จากแหล่งเดียวกันด้วยวิธี Enrichment liquid culture และการใช้วัสดุดูดซับ (เทฟลอน) พบว่าทั้ง 2 วิธีสามารถแยกจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสาร PAHs ได้ แต่กลับพบว่าสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่คัดแยกจาก 2 วิธีมีความแตกต่างกัน นั่นคือการใช้แผ่นเทฟลอนเป็นการเลียนสภาพสิ่งแวดล้อมในส่วนที่เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำในดินที่ดูดซับสาร PAHs เอาไว้

ในงานวิจัยนี้ได้แยกกลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายไพรีนจากปุ๋ยหมักใบพืชตระกูลถั่วโดยใช้แผ่น PTFE ที่เคลือบด้วยไพรีน ซึ่งสามารถสกัดไพรีนที่อยู่บนแผ่น PTFE ได้ถึง 1.93 มิลลิกรัมและส่วนไพรีนที่ละลายน้ำได้มีปริมาณน้อยมาก (0.021 มิลลิกรัม) ซึ่งปริมาณไพรีนส่วนที่หายไปนั้นอาจจะไม่ถูกสกัดออกมาจากแผ่น PTFE จากวิธีการนี้สามารถแยกกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายไพรีนได้จากปุ๋ยหมักใบมะขามและปุ๋ยหมักใบจามจุรี เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายไพรีนพบว่ากลุ่มแบคทีเรียที่แยกได้จากปุ๋ยหมักใบมะขาม (STK) สามารถย่อยสลายไพรีนได้ดีกว่ากลุ่มแบคทีเรียที่ได้จากปุ๋ยหมักใบจามจุรี (SSK) และไม่มีแบคทีเรียที่ย่อยสลายไพรีนจากปุ๋ยหมักใบนนทรีที่แยกได้ด้วยวิธีนี้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากบริเวณที่เก็บตัวอย่างใบไม้แต่ละชนิดดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้แบคทีเรียที่แยกได้จากปุ๋ยหมักใบมะขามมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไพรีนได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายไพรีนโดยกลุ่มแบคทีเรียซึ่งแยกมาจากดินปนเปื้อนสาร PAHs ประกอบด้วย *Pseudomonas cepacia* สายพันธุ์ VUN10,001 VUN 10,002 และ VUN 10,003 โดย Juhasz และคณะ (1997) พบว่าอัตราการย่อยสลายไพรีนไม่แตกต่างกันมากนัก นั่นคือสามารถย่อยไพรีนได้ 94 % ภายในเวลา 7 วัน ในขณะที่กลุ่มแบคทีเรีย STK ย่อยสลายไพรีนได้หมดภายในเวลา 8 วัน ที่ความเข้มข้นของไพรีนเริ่มต้น 100 มก.ต่อลิตรเท่ากัน

หลังจากนำกลุ่มแบคทีเรีย STK มาแยกแบคทีเรียบริสุทธิ์และจำแนกชนิดของแบคทีเรียโดยอาศัยลักษณะทางสรีรวิทยา ปฏิกิริยาทางชีวเคมีร่วมกับการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ 16 เอส ไรโบโซมอลดีเอ็นเอ พบว่ากลุ่มแบคทีเรีย STK ประกอบด้วยแบคทีเรีย STK1 STK2 และ STK3 มีความคล้ายคลึงกับแบคทีเรียที่จัดอยู่ในจีนัส *Zoogloea* sp., *Stenotrophomonas* sp. และ *Mesorhizobium* sp. โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคล้ายคลึง (%homology) เท่ากับ 99% ในทุกชนิดแบคทีเรียที่แยกได้ แต่เมื่อนำแบคทีเรียบริสุทธิ์แต่ละสายพันธุ์มาทดสอบการย่อยสลายไพรีน

พบว่าไม่สามารถย่อยสลายไพรีนได้ ดังนั้นการย่อยสลายไพรีนที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียทั้งสามชนิดร่วมกัน

ในการศึกษาสมบัติไฮโดรโฟบิซิตี้ของแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด โดยการวัดค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวหน้าเซลล์กับหยดน้ำ พบว่าผิวหน้าของแบคทีเรียทั้ง 3 สายพันธุ์มีสมบัติไฮโดรโฟบิกสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ *E. coli* และ *Sphingomonas* sp. สายพันธุ์ P2 ที่แยกโดย Supaka และคณะ (2001) ด้วยวิธี enrichment liquid culture ซึ่งมีรายงานว่าผนังเซลล์ชั้นนอกของ *Sphingomonas* sp. ที่ประกอบด้วยชั้นไขมัน ไลโปโปรตีน ไลโปพอลิแซคคาไรด์ ฟอสโฟไลปิด ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และมีโครงสร้างของไกลโคสฟิงโกไลปิด (glycosphingolipid) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) และกรดไขมัน 2–ไฮดรอกซีมัยริสติก (2-hydroxymyristic) อยู่ในส่วนไขมันของชั้นเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ทำให้แบคทีเรียสามารถจับและดูดซับสารพิษอันตรายที่ไม่ละลายน้ำให้เข้าสู่เซลล์ได้ดีกว่าแบคทีเรียสกุลอื่น (Harayama, 1997) เช่นเดียวกับแบคทีเรียในสกุล *Mycobacterium* sp. มีโครงสร้างของผนังเซลล์ชั้นนอกซึ่งประกอบด้วยกรดไมโคลิก (mycolic acid) ที่มีโครงสร้างเป็น α-alkyl-β-hydroxy fatty acid ซึ่งคาดว่ามีบทบาทสำคัญในการนำสารประกอบที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกเข้าสู่เซลล์ (Wick และคณะ, 2002)

แบคทีเรียที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิก อาจจะกระจายตัวจากบริเวณส่วนที่เป็นน้ำไปสัมผัสกับวัสดุดูดซับไฮโดรโฟบิกได้ง่าย นอกจากนี้ลักษณะเฉพาะของผนังเซลล์อาจมีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพในการเกาะติดและเพิ่มจำนวนบนวัสดุดูดซับ ซึ่งมีความสำคัญในการแยกแบคทีเรียดังกล่าวจากแผ่นวัสดุ ในบางครั้งจึงไม่สามารถแยกแบคทีเรียที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกได้ด้วยวิธีการ enrichment liquid culture เนื่องจากสภาพแวดล้อมดังกล่าวไม่สนับสนุนการเจริญของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ โดยพบว่า *Sphingomonas* sp. LH162 ที่แยกโดยวิธี enrichment liquid culture และใช้ฟีแนนทรีนเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน มีสมบัติค่อนข้างเป็นไฮโดรโฟบิก แต่ไม่สามารถเกาะกับแผ่นเทฟลอนและแยกไม่ได้โดยการใช้แผ่นเทฟลอน ซึ่งอาจเกิดการเคลื่อนที่ของเซลล์แบคทีเรียเข้าใกล้ผิวหน้าแผ่นเทฟลอนนั้นถูกยับยั้ง ซึ่งการกีดขวางดังกล่าวเกิดเนื่องจากขนาดของโพลิเมอร์ (steric hindrance) ที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ (Bastiaens และคณะ, 2000)

เนื่องจากแบคทีเรียที่คัดแยกได้ในงานวิจัยนี้มีรายงานที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสาร PAHs อยู่ไม่มากนัก อาจกล่าวได้ว่ากลุ่มแบคทีเรียที่แยกได้เป็นแบคทีเรียกลุ่มแรกที่ได้จากใบพืชตระกูลถั่วและย่อยสลายไพรีนซึ่งเป็นสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ ซึ่งมีความแตกต่างจากรายงานอื่นก่อนหน้านี้ที่นิยมคัดแยกจากดินหรือแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนสาร PAHs และยังสามารถแยกชนิดของแบคทีเรียที่มีความหลายหลายมากยิ่งขึ้นได้ด้วย จากการศึกษาของจิรซีปซ์ แสนรัก

(2547) ในการแยกแบคทีเรียจากใบจามจุรีโดยเทคนิค enrichment liquid culture สามารถแยกกลุ่มแบคทีเรีย RRM-V3 ที่สามารถย่อยสลายไพรีนได้หมดภายใน 14 วัน ประกอบด้วยแบคทีเรียอย่างน้อย 7 ชนิดโดยจัดอยู่ใน 4 สกุล ได้แก่ *Comamonas* sp. *Rugamonas* sp. *Flavimonas* sp. และ *Pseudomonas* sp. แต่ไม่สามารถนำแบคทีเรียบริสุทธิ์แต่ละสายพันธุ์มาเพาะเลี้ยงร่วมกันแล้วทำให้เกิดการย่อยสลายไพรีนได้ นอกจากนี้ มิ่งขวัญ กิตติศิลปกรชัย (2547) คัดแยกกลุ่มแบคทีเรียย่อยสลายไพรีนจากใบมะขามด้วยเทคนิคเดียวกับจิรฑีปฆ์ แสนรัก (2547) พบว่ากิจกรรมการย่อยสลายไพรีนที่คัดแยกโดยเปรียบเทียบกับทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกันมากนัก แต่กลุ่มแบคทีเรียที่แยกได้นั้นประกอบด้วยแบคทีเรียอย่างน้อย 2 สายพันธุ์ โดยพิจารณาจากลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกันเมื่อเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง Luria-Bertani แต่เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้ยังไม่มีการจำแนกเพื่อยืนยันชนิดของแบคทีเรีย จึงคาดว่าแบคทีเรียดังกล่าวน่าจะจัดอยู่ในกลุ่มที่แตกต่างจากกลุ่มแบคทีเรีย STK รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายไพรีนเกิดขึ้นช้ากว่ากลุ่มแบคทีเรีย STK และการเจริญของแบคทีเรียที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน

จากรายงานที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียในสกุล *Zoogloea* sp. พบว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญอย่างมากในระบบการบำบัดน้ำเสียทั้งแบบ activated sludge และแบบ trickling filter bed เพราะสามารถตรวจติดตาม *Zoogloea ramigera* ได้ในทุกขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Sağ และ Kutsal, 1995) โดยทั่วไปจะนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการกำจัดโลหะหนัก โดยวิธีการดูดซับทางชีวภาพ (biosorption) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการการดูดซับโลหะได้เป็นอย่างดี เนื่องจาก *Z. ramigera* สามารถผลิตสารพอลิเมอร์ในรูปพอลิแซคคาไรด์และปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ทำให้เกิดการรวมกลุ่มของแบคทีเรีย (flocculation) และรวมตัวเกิดเป็นชั้นเมือก (slime layer) ที่มีลักษณะยื่นออกมาคล้ายนิ้วมือซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า finger-like Zoogioea projection โดยการรวมกลุ่มดังกล่าวจะเกิดได้ในสภาวะที่มีแหล่งคาร์บอนที่มากเกินพอหรือเกิดในระบบที่มีสภาวะเหมาะสม (Su และคณะ, 1995) และมีรายงานว่า *Z. ramigera* ยังสามารถใช้สารประกอบอะโรมาติกได้หลายชนิด (Unz และ Farrah. 1972)

สำหรับ *Stenotrophomonas maltophilia* เป็นแบคทีเรียที่พบในดินและบริเวณรอบๆ รากพืช (rhizosphere) (Juhasz และ Naidu, 2000b) สารประกอบที่พืชสังเคราะห์ขึ้นมาหลายชนิด เช่น ∫-carvone, limonene, *p*-cymene และ isoprene) มีผลต่อการเหนี่ยวนำให้ *Arthrobacter* sp.สายพันธุ์ B1B สามารถย่อยสลายสาร PCBs (polychlorinated biphenyls) ได้ (Gilbert และ Crowley, 1997)

Juhasz และ Naidu (2000b) แยกแบคทีเรีย *S. maltophila* สายพันธุ์ ARJ^{3} 9,504 จากกลุ่มแบคทีเรียที่แยกจากดินที่ปนเปื้อนสาร PAHs ที่ใช้ไพรีนเป็นซับสเตรท สามารถย่อยสลาย DDT (1, 1, 1-trichloro-2, 2-bis (*p*-chlorophenyl) ethane) ได้เมื่อมีเปปโตนเป็นซับสเตรทร่วม

นอกจากนี้ ยังสามารถย่อยสลายฟีแนนทรีน อินโดล (indole) ไบฟีนิล (biphenyl) และเพนตะคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol) ได้

Bonaventura และคณะ (2004) พบว่า *S. maltophilia* ผลิตแผ่นฟิล์มบางทางชีวภาพ (biofilm) ได้ทำให้สามารถเกาะติดกับ polystyrene ได้อย่างรวดเร็ว แต่การผลิตแผ่นฟิล์มดังกล่าวสามารถยับยั้งได้โดยสารปฏิชีวนะบางตัว นอกจากนี้ Michael และ Dunne (2002) ได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ว่าการผลิตแผ่นฟิล์มบางทางชีวภาพจะมีบทบาทในการเกาะติดและยังเป็นที่อยู่อาศัยของแบคทีเรีย ป้องกันแบคทีเรียจากผู้ล่า (predator) ป้องกันแบคทีเรียให้อยู่รอดในสภาวะที่ขาดน้ำ (dehydration) หรือมีสารที่สามารถทำลายเซลล์ (biocide) หรือสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้

แบคทีเรียส่วนใหญ่จะมีประจุรวมบริเวณผิวหน้าเซลล์เป็นประจุลบ ซึ่งค่าประจุลบที่เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับสมบัติไฮโดรโฟบิกของเซลล์แบคทีเรียที่มากขึ้น โดยพบว่าสอดคล้องกับ *Mycobacterium* sp. สายพันธุ์ LB501T ที่แยกโดย Bastaeins และคณะ (2000) ยกเว้น *S. maltophilia* ที่มีประจุรวมบริเวณผิวหน้าเซลล์เป็นประจุบวกและสามารถส่งเสริมการเกาะติดกับวัสดุที่มีประจุบนผิวหน้าเป็นลบได้ เช่นแผ่นเทฟลอน และคาดว่าหลังจากการเกาะติดบนวัสดุของ *S. maltophilia* แล้วปฏิกิริยาไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) จึงเข้ามามีบทบาทในลำดับต่อไป (Jucker และคณะ, 1996)

สำหรับแบคทีเรียในสกุล *Mesorhizobium* sp. ได้รายงานโดย Sriprang และคณะ (2003) พบว่า *Mesorhizobium huakuii* subsp. *rengei* B3 อาศัยอยู่ร่วมกับ *Astragalus sinicus* หรือ Chinese milk vetch จัดเป็นพืชเถาตระกูลถั่ว สามารถกำจัดโลหะหนักเช่น แคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินได้ ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นและจีนตอนใต้ได้นำพืชตระกูลถั่วชนิดนี้มาใช้เป็นปุ๋ยธรรมชาติในนาข้าวอย่างกว้างขวางเพื่อเพิ่มสารอาหารโดยเฉพาะไนโตรเจน ในเวลาเดียวกัน

นอกจากนี้ *Mesorhizobium* sp. สายพันธุ์ NCIMB 13524 สามารถเจริญและย่อยสลาย NTA (nitrilotriacetic acid) และสารประกอบเชิงซ้อน Cu-NTA เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานได้ (White และ Knowles, 2003)

จากที่กล่าวมาข้างต้น อาจเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียที่แยกได้โดยอาศัยแผ่น PTFE นั้น มีสมบัติไฮโดรโฟบิก เนื่องจากสามารถผลิตสารพอลิเมอร์ออกมานอกเซลล์ (exopolymer) ได้และทำให้เกิดการรวมกลุ่มของแบคทีเรียในรูปของ flocculation หรือสารเคลือบผิวชีวภาพ จึงทำให้ค่ามุมสัมผัสที่ได้สูงกว่าแบคทีเรียอื่นที่ทดสอบ

กลุ่มแบคทีเรีย STK สามารถใช้สาร PAHs อื่นได้อีกหลายชนิด ได้แก่ ฟีแนนทรีน ไดเบนโซฟูแรน อะซีแนพธีน อะซีแนพธิลีน รวมทั้งสามารถย่อยสลายแอนทราซีนและฟลูออรีนได้เล็กน้อย โดยมีอัตราการย่อยสลายสาร PAHs ที่แตกต่างกัน แต่กลุ่มแบคทีเรีย STK ไม่สามารถย่อยสลาย

ฟลูออแรนทีนและสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ จะเห็นได้ว่ากลุ่มแบคทีเรีย STK มีความหลากหลายในการใช้สาร PAHs ดังนั้นจึงเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำกลุ่มจุลินทรีย์นี้ในใช้บำบัดสาร PAHs ในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการปนเปื้อนและการสะสมของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมนั้นเกิดจากสารหลายชนิดรวมกัน อีกทั้งสมบัติของเซลล์ที่แยกได้นี้จะช่วยส่งเสริมให้แบคทีเรียอยู่รอดและปรับตัวได้ดีในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เช่นกัน

การย่อยสลายสาร PAHs แบบโคเมแทบอลิซึม เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยในการย่อยสลายสารได้มากขึ้นหรือสามารถย่อยสลายสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งแบคทีเรียนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานได้โดยตรง โดยมีรายงานที่พบว่า การเติมสารตั้งต้นที่จุลินทรีย์ใช้ในการเจริญได้ลงไปร่วมกับสารที่จุลินทรีย์นั้นย่อยสลายไม่ได้ จะเพิ่มประสิทธิภาพให้จุลินทรีย์นั้นย่อยสลายสาร PAHs ได้ (Weissenfels และคณะ, 1991)

การเพิ่มการละลายของ PAHs โดยการเติมสารลดแรงตึงผิวช่วยให้ลดระยะทางการแพร่ของ PAHs กับเซลล์แบคทีเรียให้สั้นลง (Tang และคณะ, 1998; Poeton และคณะ, 1999) ทำให้มีโอกาสที่จะนำสารเข้าสู่เซลล์ได้อย่างประสิทธิภาพมากกว่าแบคทีเรียที่อยู่ในรูปอิสระ (Bastiean และคณะ, 2000)

Tiehm (1994) อธิบายว่าการละลายของ PAHs จะขึ้นกับส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกของสารลดแรงตึงผิว โดยสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนไฮโดรโฟบิกมากกว่าส่วนที่เป็นไฮโดรฟิลิกจะมีความสามารถในการละลายสาร PAHs ได้ดีกว่า สารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม non-ionic ที่มีสายโมโนเมอร์ของ ethoxylate 9-12 โมโนเมอร์ จะเป็นพิษกับ *Mycobacterium* sp. และกลุ่มแบคทีเรียที่ย่อยสลายสาร PAHs ได้ ซึ่งความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวจะลดลงเมื่อสมบัติไฮโดรโฟบิซิตี้เพิ่มขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียสามารถใช้สารลดแรงตึงผิวบางชนิดเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน

จากผลการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายเบนโซ[*เอ*]ไพรีน โดยการเติมสารลดแรงตึงผิวหรือน้ำมันดีเซลโดยกลุ่มแบคทีเรีย STK พบว่าการเติม Brij35 ลงไปสามารถเพิ่มการละลายของเบนโซ[*เอ*]ไพรีนให้ละลายน้ำได้ดีและทำให้กลุ่มแบคทีเรียเจริญได้ในช่วงแรกของการทดลอง แต่ไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดการย่อยสลายเบนโซ[*เอ*]ไพรีน ซึ่งแตกต่างจากรายงานของ Boonchan และคณะ (1998) ซึ่งพบว่าการเติมสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม non-ionic ช่วยส่งเสริมการย่อยสลายไพรีนของ *S. maltophilia* สายพันธุ์ VUN 10,010 และอัตราการเจริญจำเพาะ (specific growth rate) เพิ่มขึ้น 67% เมื่อเติม Brij35 และ Tergitol NP-10 นอกจากนี้ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสาร PAHs น้ำหนักโมเลกุลสูงเพียงชนิดเดียวเป็นแหล่งคาร์บอน ร่วมกับการเติม Brij35 หรือ Tergitol NP-10 จะทำให้อัตราการย่อยสลาย PAHs จำเพาะสูงสุด (the maximum specific PAHs degradation rate) เพิ่มขึ้นและลดระยะเวลาในช่วง lag ได้

เนื่องจากการย่อยสลายเบนโซ[เอ]ไพรีน อาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียทั้ง 3 สายพันธุ์ที่อยู่ในกลุ่ม STK ดังนั้นผลการทดลองที่เกิดขึ้นคาดว่าอาจเกิดจากกลุ่มแบคทีเรียสามารถใช้ Brij35 เป็นซับสเตรท (ภาคผนวกง. ตารางที่ 2) ในการเจริญแทนการใช้เบนโซ[เอ]ไพรีน และหากการใช้ Brij35 เป็นแหล่งคาร์บอนของแบคทีเรียที่ดีกว่าการใช้เบนโซ[เอ]ไพรีน จะมีผลในการกดความสามารถในการย่อยสลายสาร PAHs ของแบคทีเรียนั้นด้วย (Boonchan และคณะ, 1998) ซึ่งอาจจะทำให้มีผลต่อขั้นตอนในการย่อยสลาย โดยแบคทีเรียชนิดใดชนิดหนึ่งซึ่งถูกยับยั้งการทำงานโดย Brij35 จึงทำให้การย่อยสลายเบนโซ[เอ]ไพรีนไม่สามารถดำเนินต่อไปได้

เมื่อเปรียบเทียบกับการย่อยสลายเบนโซ[เอ]ไพรีนที่มีการเติมน้ำมันดีเซล พบว่า น้ำมันดีเซลสามารถกระตุ้นการเจริญของกลุ่มแบคทีเรีย STK และส่งเสริมให้เกิดการย่อยสลายของเบนโซ[เอ]ไพรีน โดยกลุ่มแบคทีเรียที่แยกได้ในครั้งนี้ จึงอาจกล่าวได้ว่า น้ำมันดีเซลมีความสำคัญในแง่ของการนำไปใช้เป็นสับสเตรทร่วมโดยกลุ่มแบคทีเรียเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสาร PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kanaly และคณะ (2000) ที่ศึกษาการย่อยสลายเบนโซ[เอ]ไพรีน โดยกลุ่มแบคทีเรียที่แยกจากดินที่มีการปนเปื้อนของเบนโซ[เอ]ไพรีน และน้ำมันเจท (jet fuel) นาน 3 เดือน พบว่า กลุ่มแบคทีเรียนี้สามารถเปลี่ยนเบนโซ[เอ]ไพรีนที่ติดฉลากด้วย ^{14}C ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในรูป $^{14}CO_2$ เมื่อแบคทีเรียเจริญในสภาวะที่มีน้ำมันดีเซลเป็นซับสเตรทร่วม ซึ่งการย่อยสลายเบนโซ[เอ]ไพรีนนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำมันดีเซลและความเข้มข้นของเบนโซ[เอ]ไพรีน โดยการเติมน้ำมันดีเซลความเข้มข้นตั้งแต่ 0.007% - 0.2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะช่วยกระตุ้นการย่อยสลายเบนโซ[เอ]ไพรีน ความเข้มข้น 10 มก.ต่อลิตร จาก 33% เป็น 65% ภายใน 2 สัปดาห์ การเจริญของแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมน้ำมันดีเซลจะช่วยส่งเสริมให้เกิดกระบวนการ emulsification ระหว่างเบนโซ[เอ]ไพรีนและส่วนที่เป็นน้ำ โดยการเหนี่ยวนำให้แบคทีเรียผลิตสารประกอบที่มีบริเวณ active ที่ผิว (surface-active compound) ทำให้เบนโซ[เอ]ไพรีนละลายน้ำได้ดีขึ้น แบคทีเรียจึงสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้

จากการผลการศึกษาทั้งหมดที่ได้กล่าวมานั้น ทำให้ได้กลุ่มแบคทีเรียที่มีความสามารถในการย่อยสลายสาร PAHs จากปุ๋ยหมักใบพืชตระกูลถั่วและผิวหน้าเซลล์แบคทีเรียที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิก โดยลักษณะเฉพาะของแบคทีเรียดังกล่าวจะมีความสำคัญในการบำบัดสาร PAHs ที่ปนเปื้อนในดิน อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการนำแบคทีเรียไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการบำบัดสาร PAHs ที่ปนเปื้อนในดินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด PAHs ในดินโดยวิธีทางชีวภาพต่อไปในอนาคต