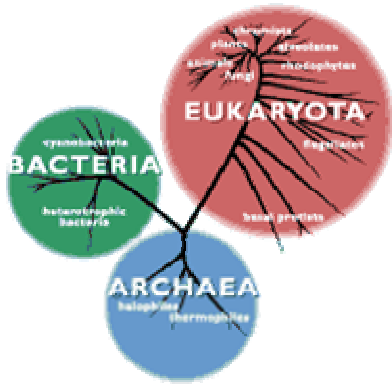


อาร์คีอูลินทรีย์สายพันธุ์แกร่ง

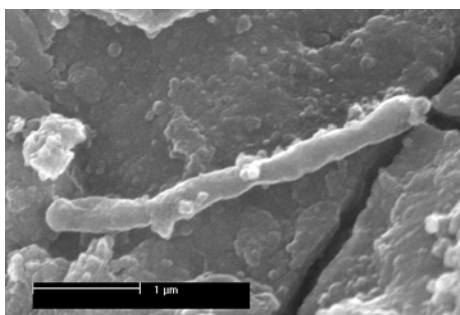
พรพจน์ ศรีสุขขะกุล

ศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 เทคโนธานี ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120



สิ่งมีชีวิตในโลกแต่เดิมถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ โดยอาศัยลักษณะของเซลล์ คือ สิ่งมีชีวิตพวกโพรแคริโอตเซลล์ (Prokaryotes) มาจากคำในภาษากรีกที่แปลว่า “ก่อน” ส่วน karyon มาจากคำว่า “นิวเคลียส”) และ สิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอตเซลล์ (Eukaryotes) มาจากคำว่า “แท้”) ที่ตั้งชื่อเช่นนี้เพราะ สิ่งมีชีวิตพวก โพรแคริโอตไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสหรือหุ้มสารพันธุกรรม ในขณะที่สิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอตจะแตกต่างออกไปคือมีเยื่อหุ้มนิวเคลียส สิ่งมีชีวิตที่จัดเป็นพวกโพรแคริโอต ได้แก่ สิ่งมีชีวิตประเภทแบคทีเรีย และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวหรือไซยาโนแบคทีเรีย ส่วนสิ่งมีชีวิตที่จัดเป็นพวกยูแคริโอต ได้แก่ สิ่งมีชีวิตประเภทสาหร่าย โปรโตซัว เห็ดรา พืช และ สัตว์ แต่จากการศึกษาความสัมพันธ์ของลำดับสารพันธุกรรมระหว่างสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม โพรแคริโอต ด้วยวิธีการวิเคราะห์ลำดับเบสในปี ค.ศ. 1977 โดย Carl Woese พบว่าลำดับเบสในช่วง 16 S rRNA ของสิ่งมีชีวิตในกลุ่มโพรแคริโอตมีความแตกต่างกันอยู่จนสามารถแบ่งสิ่งมีชีวิตในกลุ่มนี้ออกเป็นสองกลุ่มคือแบคทีเรีย และ อาร์คีแบคทีเรีย หลังจากการค้นพบดังกล่าว Carl Woese จึงเสนอให้แบ่งสิ่งมีชีวิตในโลกทั้งหมดออกเป็น 3 โดเมน คือ ยูแคริโอตา (Eukaryota) ยูแบคทีเรีย (Eubacteria) และ อาร์คีแบคทีเรีย (Archaeobacteria) โดยถือว่าโดเมนเป็นลำดับขั้นที่ใช้ในการจัดหมวดหมู่สิ่งมีชีวิตที่ใหญ่กว่าอาณาจักรตามที่ใช้กันอยู่เดิม

อาร์คีแบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างจากแบคทีเรียมากไม่ว่าจะเป็นผนังเซลล์หรือว่าลำดับสารพันธุกรรม โดยจะมีลำดับเบสคล้ายกับสิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอต แต่มีลักษณะเซลล์แบบเดียวกับสิ่งมีชีวิตพวกโพรแคริโอต ดังนั้นเพื่อป้องกันความสับสนกับแบคทีเรีย ในตอนหลังจึงนิยมเรียกอาร์คีแบคทีเรียใหม่ว่า “อาร์คี” ซึ่งมาจากคำว่า ancient ที่แปลว่าเก่านั่นเอง อาร์คีเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กมาก มีรูปร่างหลายแบบ เช่น รูปร่างกลม (coccus) รูปร่างแท่ง (rod) รูปร่างคล้ายเส้นผม (hair-like form) หรือ แม้กระทั่งรูปร่างสามเหลี่ยม (triangular shape) และ สี่เหลี่ยม (square shape) อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญที่ทำให้สิ่งมีชีวิตในกลุ่มอาร์คีกลายเป็นสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจไม่ได้มาจากการที่อาร์คีถูกแยกออกจากแบคทีเรียหรือเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มใหม่ แต่มาจากการที่สิ่งมีชีวิตในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จัดเป็นสิ่งมีชีวิตพวก เอ็กซ์ทรีโมไฟล์ (Extremophile) คือ สามารถเจริญและสืบพันธุ์ได้ในสภาวะวิกฤตที่สิ่งมีชีวิตอื่นไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ เช่น สภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันกรดสูง สภาวะที่เค็มจัด เป็นต้น โดย สิ่งมีชีวิตในกลุ่มอาร์คีสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเมทาโนเจน (Methanogens) กลุ่มฮาโลไฟล์ (Halophile) และกลุ่มเทอร์โมแอซิโดไฟล์ (Thermoacidophile)



1. กลุ่มเมทาโนเจน (Methanogens) คือกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างแก๊สมีเทนจากการรับคาร์บอนไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจน หรือจากสารประกอบพวกเมทิล และ อะซิเตต ได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นการสร้างพลังงานจากสารตั้งต้นง่ายๆแทนกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยอาศัยโคเอนไซม์ (coenzyme) ต่างๆ อาทิ

coenzyme F₄₂₀, coenzyme F₄₃₀, methanofuran, methanopterin, coenzyme M และ HS-HTP เป็นตัวรับ-ส่ง อิเล็กตรอนในกระบวนการเมทาโนเจนิซิส (methanogenesis) โดยในปัจจุบันเราสามารถแบ่งอาร์คีในกลุ่มเมทาโน เจนออกเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยอาศัยความแตกต่างของลำดับเบสในช่วง 16 S rRNA ได้ทั้งสิ้น 8 กลุ่ม ได้แก่ Group I- VIII นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการนำสิ่งมีชีวิตในกลุ่มนี้ไปใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพจากอินทรีย์สารอีก ด้วย

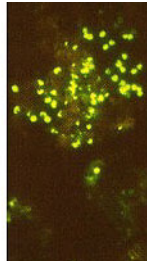
2. กลุ่มฮาโลไฟล์ (Halophile) คือกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ชอบเจริญในที่ที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงเช่น นาเกลือ หรือ ทะเลสาบน้ำเค็มที่มีการระเหยของน้ำสูงๆ โดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตในกลุ่มนี้จะเจริญได้ในที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ อย่างน้อย 8.8 เปอร์เซ็นต์ แต่เจริญได้ดีที่ 17-23 เปอร์เซ็นต์ และในบางครั้งยังพบชนิดที่สามารถเจริญได้ที่ 32 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นปริมาณที่เกลือเกือบจะอึดตัวอีกด้วย อาร์คีในกลุ่มฮาโลไฟล์สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 สกุล ดังนี้คือ *Halobacterium*, *Halococcus*, *Haloferax*, *Haloarcula*, *Natronobacterium* และ *Natronococcus* ซึ่งสอง สกุลหลังยังจัดเป็นพวกอัลคาลิโนไฟล์ (alkalinophile) อีกด้วย คือ นอกจากชอบเกลือแล้วยังสามารถเจริญใน สภาพที่เป็นด่างสูงได้ (pH 9-11) แต่ชนิดที่รู้จักกันดี คือ *Halobacterium halobium* เป็นชนิดที่ทนต่อความเค็มได้ มากที่สุด นอกจากนี้อาร์คีในกลุ่มฮาโลไฟล์ยังมีลักษณะที่น่าสนใจอีกอย่างคือ ในสภาวะปกติของการเจริญเติบโต สิ่งมีชีวิตพวกฮาโลไฟล์ส่วนใหญ่จะมีการสร้างเม็ดสีจำพวกแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ขึ้นมา โดยเซลล์เหล่านี้จะมี สีแดงหรือส้มขึ้นอยู่กับปริมาณเม็ดสีที่สร้างขึ้น แต่เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อยเชื้อหุ้มเซลล์ของพวกฮาโล ไฟล์จะเต็มไปด้วยโปรตีนชนิดหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกว่า “แบคทีริโอโรดอปซิน” (bacteriorhodopsin) โดยโปรตีนชนิด นี้จะทำหน้าที่คล้ายกับคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ของพืชแต่ต่างกันตรงที่มีสีม่วงจากการศึกษาพบว่าแบคทีริ โอโรดอปซินมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการโฟโตฟอสฟอริเลชัน (photophosphorylation) โดยสามารถที่จะ ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร เพื่อใช้ในการสร้างพลังงาน องค์ประกอบที่สำคัญของแบคทีริ โอโรดอปซินที่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าว คือ “โครโมฟอร์” (chromophore) นั่นเอง และเมื่อ โครโมฟอร์เหล่านี้ดูดกลืนพลังงานแสง ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแบคทีริ โอโรดอปซินตลอดจนมีการส่งโปรตอนผ่านทางเมมเบรนเพื่อสร้างพลังงานต่อไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทาง โครงสร้างของ



รูปที่ 1. *Halobacterium* ในนาเกลือที่กำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วโดยจะเห็นเป็นสีแดง-ส้มตามเม็ดสีที่สร้างขึ้น

แบคทีเรียโอรคอปซินเมื่อได้รับแสงนี้เปรียบเสมือนการเปลี่ยนแปลงทางไบนารี 0 หรือ 1 ของหน่วยความจำในคอมพิวเตอร์ จึงมีแนวคิดที่จะนำโปรตีนดังกล่าวมาใช้ทำคอมพิวเตอร์ชิป แทนซิลิคอนชิปที่ใช้กันอยู่เดิมโดยชิปแบบใหม่นี้จะสามารถจัดเก็บข้อมูลได้มากขึ้นและมีการประมวลผลที่เร็วกว่าชิปแบบเดิม เพราะใช้แสงในการรับส่งข้อมูลแทนการใช้การไหลของอิเล็กตรอนเหมือนที่ใช้อยู่ในซิลิคอนชิป อย่างไรก็ตามปัญหาหลักของการนำแบคทีเรียโอรคอปซินไปใช้ทำคอมพิวเตอร์ชิป คือ จะต้องเก็บไว้ในที่เย็นเพื่อรักษาโครงสร้างของโปรตีน ทำให้ไม่สามารถในการใช้งานเท่าไรนัก

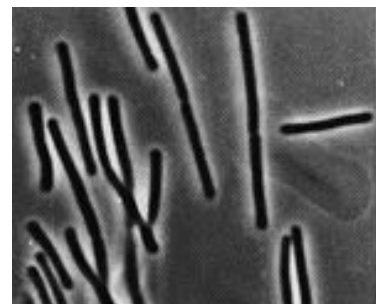
3. กลุ่มเทอร์โมแอซิโดไฟล์ (Thermoacidophile) คือ กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ชอบเจริญในที่ที่มีอุณหภูมิและความเป็นกรดสูง สิ่งมีชีวิตในกลุ่มนี้จะใช้ซัลเฟอร์เป็นแหล่งพลังงานและใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน เช่น *Sulfolobus acidocaldarius* ในปัจจุบันมีการค้นพบอาร์คีในกุ่มเทอร์โมแอซิโดไฟล์มากกว่า 50 สายพันธุ์แล้ว



แต่สายพันธุ์ที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดคือ *Thermus aquaticus* ซึ่งถูกค้นพบครั้งแรกจากบ่อน้ำพุร้อน ณ อุทยานแห่งชาติ Yellow Stone ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งการค้นพบดังกล่าวเป็นการค้นพบที่น่าสนใจมากเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำพุร้อนดังกล่าวจะอยู่ที่ประมาณ 70°C ณ อุณหภูมินี้สิ่งมีชีวิตอื่นจะตายหรือไม่สามารถเจริญอยู่ได้ แต่การที่ *T. aquaticus* สามารถเจริญและสืบพันธุ์อยู่ได้นั้นเนื่องมาจากการที่ *T. aquaticus* มีเอนไซม์ ดีเอ็นเอ โพลีเมอร์เรส (DNA polymerase) ที่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงนั่นเอง

โดยการค้นพบเอนไซม์ดังกล่าวนับเป็นก้าวสำคัญของการศึกษาพันธุศาสตร์ระดับโมเลกุลเลยทีเดียว เพราะว่าเราสามารถสกัดแยกเอนไซม์ DNA polymerase จาก *T. aquaticus* หรือที่รู้จักกันในชื่อของเอนไซม์ Taq DNA polymerase ซึ่งสามารถทนต่อความร้อนสูงมาใช้แทนเอนไซม์ DNA polymerase ที่สกัดได้จากแบคทีเรียทั่วไป ซึ่งไม่ทนต่อความร้อนในเทคนิค Polymerase chain reaction (PCR) ซึ่งเทคนิคดังกล่าวจะต้องใช้ความร้อนสูงกว่า

90°C ในการแยกสายของดีเอ็นเอ ดังนั้นการใช้เอนไซม์ DNA polymerase ที่สกัดได้จาก *T. aquaticus* ทำให้เราสามารถเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอได้เป็นระบบอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีการเติมเอนไซม์ DNA polymerase เข้าไปในปฏิกิริยาบ่อยๆเหมือนอย่างแต่ก่อน นอกจากนี้ยังมีการสกัดเอนไซม์ DNA polymerase จากอาร์คีสายพันธุ์ที่สามารถเจริญอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 113 °C คือ *Pyrodicticum occultum* ที่อาศัยอยู่เหนือบริเวณปากปล่องภูเขาไฟใต้พื้นมหาสมุทรที่ลึกลงไปกว่า 3,000 เมตร ซึ่งมีความกดดันสูงและเต็มไปด้วยสารประกอบกำมะถันโดยบริเวณดังกล่าวนี้รู้จักกันในนาม “ไฮโดรเทอร์มอลเวนท์” (hydrothermal vent) นั่นเอง



จากการสังเกตที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าอาร์คีเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถอาศัยอยู่ได้ในสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการคงอยู่ของสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการทนต่อสภาวะที่เป็นกรดหรือด่างสูงๆ ทนต่อปริมาณเกลือที่เกือบจะอิ่มตัว หรือแม้กระทั่งความร้อนสูง เหล่านี้ จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่สันนิษฐานว่า สิ่งมีชีวิตพวกอาร์คีอาจเป็นต้นกำเนิดของสิ่งมีชีวิตในโลกก็เป็นได้ เพราะว่าในยุคแรกๆของการเกิดโลกนั้น อุณหภูมิของเปลือกโลกน่าจะสูงกว่า 100 °C และยังคงเต็มไปด้วยการระเบิดของภูเขาไฟ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตที่สามารถอาศัยอยู่ในโลกพวกแรกๆน่าจะเป็นสิ่งมีชีวิตในกลุ่มเทอร์โมไฟล์ แล้วจึงค่อยวิวัฒนาการไปเป็นสิ่งมีชีวิตอื่นต่อไป

นอกจากนี้ความผันแปรของลำดับเบสในช่วง 16 S rRNA ของ *Thermococcus* ที่เป็นสิ่งมีชีวิตพวกเทอร์โมแอซิโดไฟล์ แทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับยูแบคทีเรียและสิ่งมีชีวิตพวกยูแคริโอต นั่นหมายความว่าลำดับของสารพันธุกรรมมีความเก่าแก่มากกว่านั่นเอง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็น

เพราะว่าสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่วิกฤต ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสอาจหมายถึงการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ แม้ว่าสิ่งมีชีวิตในกลุ่มอาร์คีจะให้มุมมองใหม่แก่เราในเรื่องของการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต แต่คำตอบของต้นกำเนิดของสิ่งมีชีวิตนั้นก็ยังคงเป็นปริศนา ซึ่งในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลายของอาร์คีโดยใช้ข้อมูลทางด้านลำดับพันธุกรรมจะทำให้คำตอบเหล่านี้ใกล้ตัวเรามากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

1. Archaea : ancient microbes, extreme environments, and the origin of life. *In* Blum, P. (ed.) San Diego : Academic Press, 2001.
2. www.ucmp.berkeley.edu/archaea/archaea.html