

บทที่ 7

พันธุศาสตร์ของแบคทีเรีย และไวรัส

(The Genetics of Bacteria and Viruses)

7.1 แบคทีเรีย

การสืบพันธุ์ เป็นแบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) ซึ่งมีการแบ่งเซลล์จาก 1 เซลล์เป็น 2 เซลล์ (รูปที่ 7.1) และ 2 เซลล์เป็น 4 เซลล์ เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ เรียกการแบ่งเซลล์แบบนี้ว่า ไบนารี ฟิสชัน (binary fission) ซึ่งส่งผลให้แบคทีเรียสามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว และมีสารพันธุกรรมเหมือนกันทุกประการ



รูปที่ 7.1 การแบ่งเซลล์แบบไบนารี ฟิสชัน

(แหล่งที่มา: <http://trc.ucdavis.edu/biosci10v/bis10v/week7/07bacteriagrowth.html>)

นอกจากนี้เซลล์แบคทีเรียยังสามารถแลกเปลี่ยนส่วน ประกอบของสารพันธุกรรมซึ่งกันและกันได้ ซึ่งส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียรุ่นลูกมีสารพันธุกรรมที่แตกต่างไปจากเดิม เรียกกระบวนการสืบพันธุ์แบบนี้ว่า parasexual reproduction ซึ่งมีลักษณะคล้ายการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) แตกต่างกันว่า parasexual reproduction ไม่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสและการปฏิสนธิ แต่สำหรับการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศมีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส และการปฏิสนธิ

หลักการสำคัญของ parasexual reproduction

เป็นการถ่ายทอดยีน หรือ DNA จากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้ (donor) ไปสู่เซลล์แบคทีเรียผู้รับ (recipient) ส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียผู้รับมีสารพันธุกรรมเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจเป็นผลดีให้เซลล์แบคทีเรียดังกล่าวสามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเซลล์แบคทีเรียดังกล่าวอาจมีผลต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น เช่น เซลล์แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค อาจต้านทานยาปฏิชีวนะที่ใช้รักษาโรคในมนุษย์ หรือสัตว์ได้ดีขึ้น

parasexual reproduction สามารถแบ่งได้ 3 กระบวนการ ดังนี้

7.1.1 ทรานสฟอร์เมชัน (transformation)

7.1.2 คอนจูเกชัน (conjugation)

7.1.3 ทรานสดักชัน (transduction)

7.1.1 ทรานสฟอร์เมชัน (transformation)

กระบวนการทรานสฟอร์เมชันเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วน DNA จากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้ไปสู่เซลล์แบคทีเรียผู้รับ (รูปที่ 7.2) โดยผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ และเข้าไปสู่ส่วนที่เป็นไซโตพลาสซึมของเซลล์แบคทีเรียผู้รับ จากนั้นชิ้นส่วนดังกล่าวจะเข้าไปประกบคู่กับ DNA ของเซลล์แบคทีเรียผู้รับในส่วนที่เป็นโฮโมโลกัสกัน โดยมีเอนไซม์ในเซลล์แบคทีเรียผู้รับเป็นตัวช่วย แต่อย่างไรก็ดีการเกิดทรานสฟอร์เมชันไม่ใช่ปรากฏการณ์ตามธรรมชาติที่สามารถเกิดขึ้นได้กับทุกสายพันธุ์ของแบคทีเรีย

ขั้นตอนการเกิดปรากฏการณ์ทรานสฟอร์เมชัน

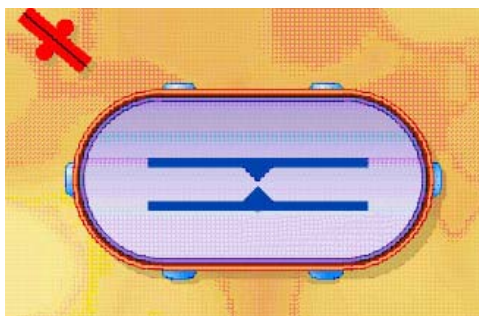
1. ชิ้นส่วน DNA จากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้ จะเข้ามาแนบชิดกับเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียผู้รับ (รูปที่ 7.3 ก) จากนั้นชิ้นส่วน DNA จากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้จะถูกเอนไซม์เอกโซนิวคลีเอส (exonuclease) ซึ่งอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียผู้รับย่อยสาย DNA สายใดสายหนึ่งของเซลล์แบคทีเรียผู้ให้ จนกลายเป็น DNA สายเดี่ยว (รูปที่ 7.3 ข)

2 DNA สายเดี่ยวของเซลล์แบคทีเรียผู้ให้จะสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และเข้าไปสู่ส่วนที่เป็นไซโตพลาสซึมของเซลล์แบคทีเรียผู้รับได้ โดยกระบวนการเอกท็อทรานสปอร์ต (รูปที่ 7.3 ค)

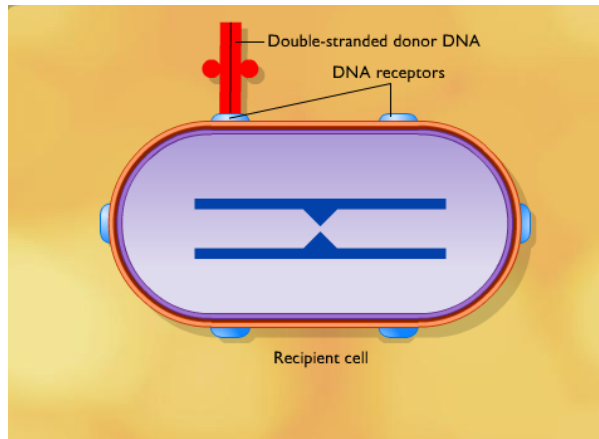
3. ชิ้นส่วน DNA สายเดี่ยวที่เข้ามานั้นจะเข้าไปเข้าคู่กับ DNA สายใดสายหนึ่งของ แบคทีเรียผู้รับที่เป็นโฮโมโลกกัน (รูปที่ 7.3 ง) เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรม จากเหตุการณ์นี้ทำให้สาย DNA อีกสายของแบคทีเรียผู้รับที่ถูกแทนที่นั้นหลุดออกมาจาก โครโมโซม และสลายไปในที่สุด (รูปที่ 7.3 จ) ดังนั้นโครโมโซมของเซลล์แบคทีเรียผู้รับที่ผ่านการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรม หรือ รีคอมบิเนชัน มีชื่อเรียกว่า เฮเทโรดูเพล็กซ์ (heteroduplex) (รูปที่ 7.3 ฉ) แต่สถานะที่โครโมโซมเป็นแบบเฮเทโรดูเพล็กซ์ จะเป็นสถานะ ชั่วคราว เพราะว่าเมื่อเซลล์แบคทีเรียมีการแบ่งตัวอีกครั้ง โครโมโซมจะผ่านกระบวนการจำลอง ตัวเองแบบเซมิคอนเซอร์เวทีฟ (semi-conservative) ทำให้ได้โครโมโซม 2 รูปแบบ คือ แบบเหมือนโครโมโซมเดิม และแบบเหมือนโครโมโซมที่ได้รับมาใหม่

ปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดทรานสฟอร์มเมชัน คือ

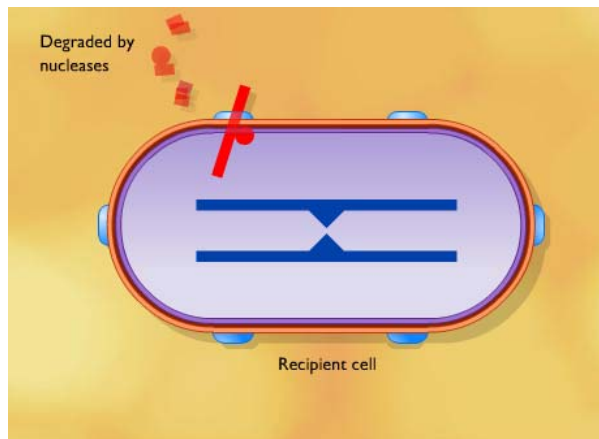
- ปริมาณชิ้นส่วน DNA ควรจะมีปริมาณ 15 โมเลกุลต่อแบคทีเรีย 1 เซลล์
- ขนาดโมเลกุลของ DNA ที่เข้าไปอยู่ในเซลล์แบคทีเรียผู้รับ เนื่องจากถ้าหากขนาด โมเลกุลของ DNA มีขนาดใหญ่มากก็จะสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ลำบาก
- ชิ้นส่วน DNA ต้องมาจากแบคทีเรียชนิดเดียวกัน หรือใกล้เคียงกับชนิดของ แบคทีเรียผู้รับเท่านั้นที่จะสามารถเกิดปรากฏการณ์ทรานสฟอร์มเมชันได้
- สภาพทางสรีระวิทยาของเซลล์แบคทีเรียผู้รับ เนื่องจากเซลล์แบคทีเรียผู้รับที่กำลัง เติบโตอยู่ในระยะ log phase ซึ่งเป็นระยะที่มีการแบ่งเซลล์มากที่สุด (exponential growth) จะเป็นระยะที่พบการทรานสฟอร์มมากที่สุด ดังนั้นเซลล์ที่อยู่ในระยะนี้จึงมีชื่อเรียกว่า คอมพีเทนต์ เซลล์ (competent cell) และเป็นเซลล์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะชักนำให้เกิดกระบวนการทรานสฟอร์ม เมชันในแบคทีเรีย



รูปที่ 7.2 กระบวนการทรานสฟอร์มเมชัน (แหล่งที่มา: www.mcgraw-hill.com)



ก



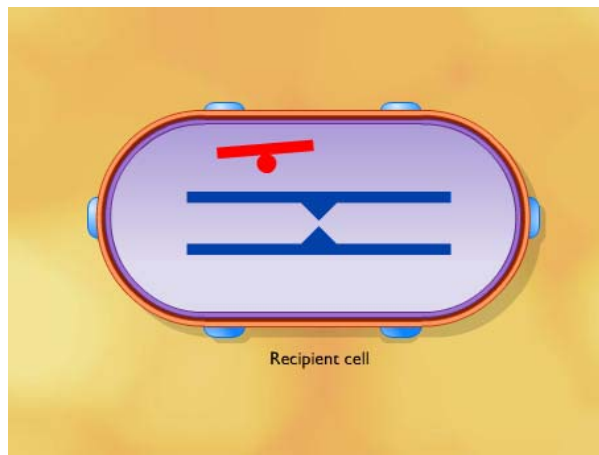
ข

รูปที่ 7.3 ขั้นตอนกระบวนการทรานสฟอร์เมชัน

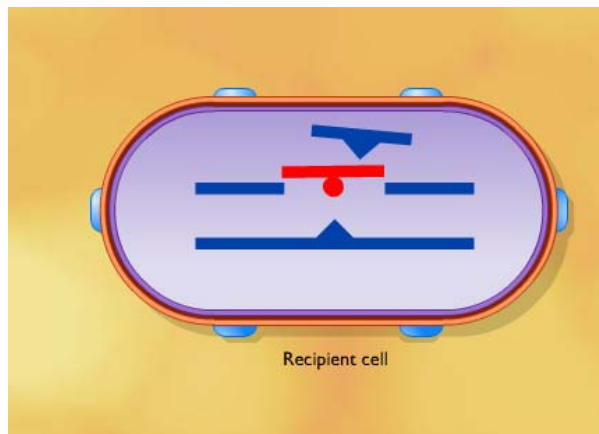
(ก) ชิ้นส่วน DNA จากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้ จะเข้ามาแนบชิดกับเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียผู้รับ

(ข) ชิ้นส่วน DNA จากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้จะถูกเอนไซม์เอกโซนิวคลีเอส ย่อยสาย DNA สายใดสายหนึ่งของเซลล์แบคทีเรียผู้ให้

(แหล่งที่มา: www.mcgraw-hill.com)



ค



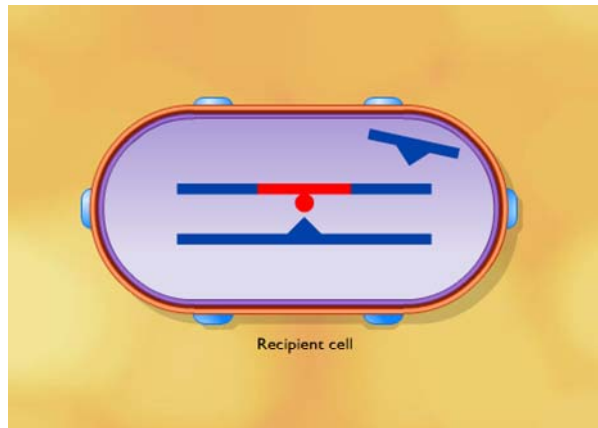
ง

รูปที่ 7.3 ขั้นตอนกระบวนการทรานสฟอร์เมชัน (ต่อ)

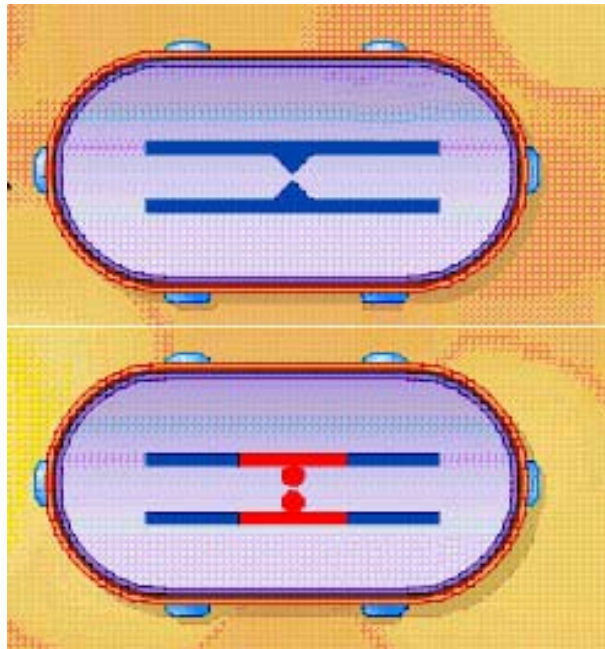
(ค) สายเดี่ยวของเซลล์แบคทีเรียผู้ให้จะสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ และเข้าไปสู่ส่วนที่เป็นไซโตพลาสซึมของเซลล์แบคทีเรียผู้รับ

(ง) ชิ้นส่วน DNA สายเดี่ยวที่เข้ามาจะเข้าไปเข้าคู่กับ DNA สายใดสายหนึ่งของแบคทีเรียผู้รับที่เป็นโฮโมโลกัสกัน

(แหล่งที่มา: www.mcgraw-hill.com)



จ



ฉ

รูปที่ 7.3 ขั้นตอนกระบวนการทรานสฟอร์เมชัน (ต่อ)

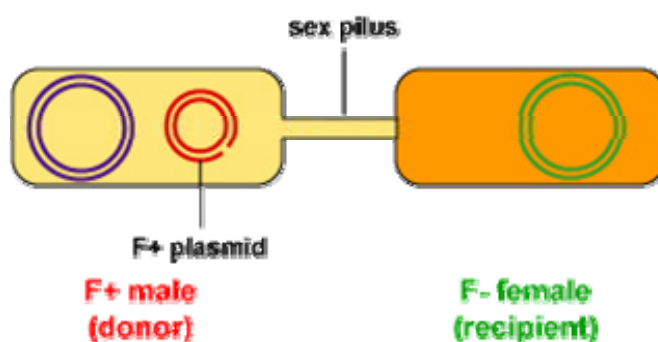
(จ) สาย DNA อีกสายของแบคทีเรียผู้รับที่ถูกแทนที่นั้นหลุดออกมาจากโครโมโซม และสลายไป

(ฉ) โครโมโซมของเซลล์แบคทีเรียผู้รับที่ผ่านการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรม หรือ รีคอมบิเนชัน มีชื่อเรียกว่า เฮเทโรดูเพล็กซ์

(แหล่งที่มา: www.mcgraw-hill.com)

7.1.2 คอนจูเกชัน (conjugation)

กระบวนการคอนจูเกชัน เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดยีนจากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้ไปสู่เซลล์แบคทีเรียผู้รับ โดยผ่านท่อที่เรียกว่า คอนจูเกชัน ทูป (conjugation tube) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดยีนรีคอมบิเนชันในเซลล์แบคทีเรียผู้รับ (รูปที่ 7.4)



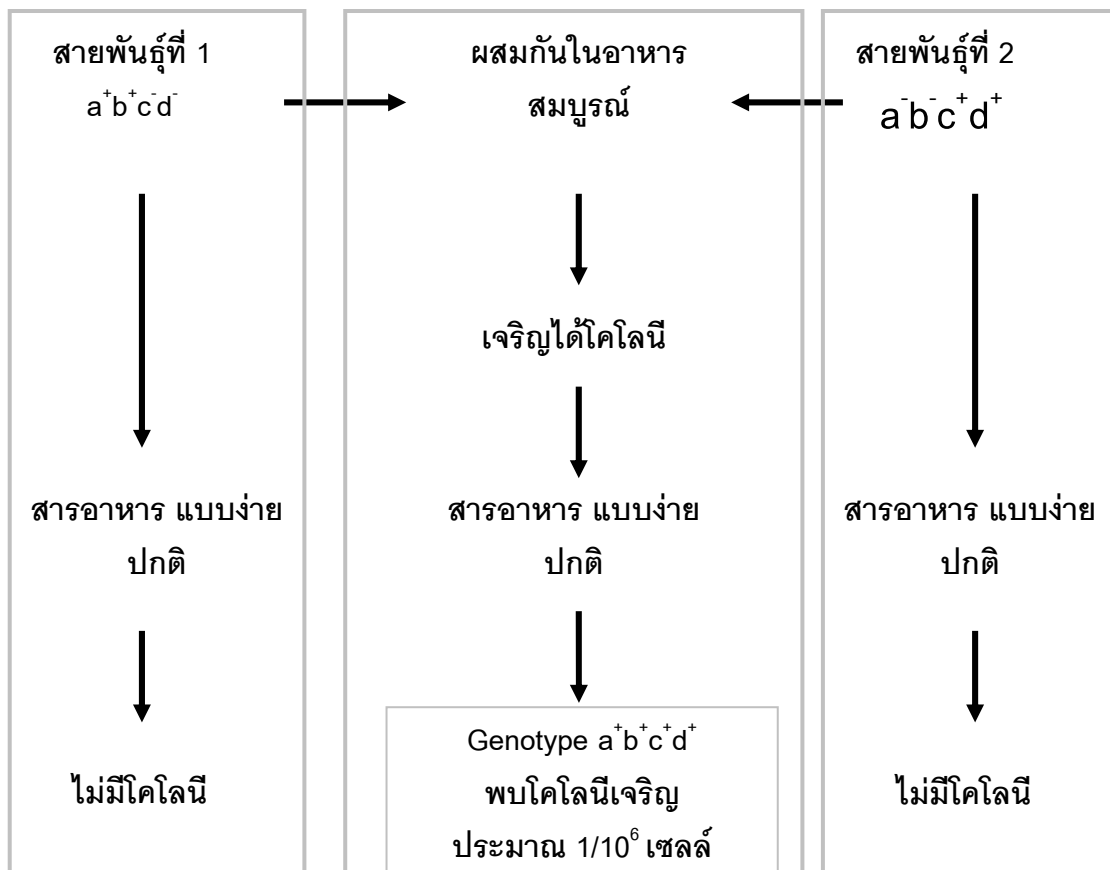
รูปที่ 7.4 กระบวนการคอนจูเกชัน

(แหล่งที่มา: <http://trc.ucdavis.edu/biosci10v/bis10v/week7/20f/Slide4.gif> หรือ <http://www.conjugon.com>)

แม้ว่ากระบวนการคอนจูเกชันของเซลล์แบคทีเรียจะมีลักษณะคล้ายการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เพราะมีการสร้างท่อคอนจูเกชัน ทูป เพื่อถ่ายทอดสารพันธุกรรมระหว่างเซลล์แบคทีเรียผู้ให้และผู้รับ แต่กระบวนการคอนจูเกชันไม่ใช่การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ดังนั้นกระบวนการคอนจูเกชันจึงเป็นแบบ parasexual reproduction

ตัวอย่างการเกิดกระบวนการคอนจูเกชัน

การนำแบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ ซึ่งมีจีโนไทป์ $a^+b^+c^-d^-$ และ จีโนไทป์ $a^-b^-c^+d^+$ ตามลำดับ แบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์ไม่สามารถเจริญได้ในอาหารแบบง่ายปกติ หรือมินิมัลมีเดีย (minimal medium) แต่สามารถเจริญได้ในอาหารเสริมที่แตกต่างกัน (รูปที่ 7.5) ผลการทดลองพบว่าเมื่อนำแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์มาผสมกัน ส่งผลให้แบคทีเรียที่เกิดขึ้นใหม่สามารถเจริญได้ในอาหารแบบง่ายปกติ แสดงว่าแบคทีเรียที่เกิดขึ้นนั้นมีจีโนไทป์



รูปที่ 7.5 ตัวอย่างการเกิดกระบวนการคอนจูเกชัน

เมื่อพิจารณาเป็นกรณี

- กรณียีนมิวเทชัน เป็นไปได้ยาก เพราะแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ 1 และ 2 เป็นพวกมิวแทนต์จะเปลี่ยนกลับเป็นสายพันธุ์ปกติได้ ต้องเกิดมิวเทชันกับทั้งสองยีน ซึ่งปรากฏการณ์แบบนี้เกิดขึ้นได้ยาก และพบได้น้อย

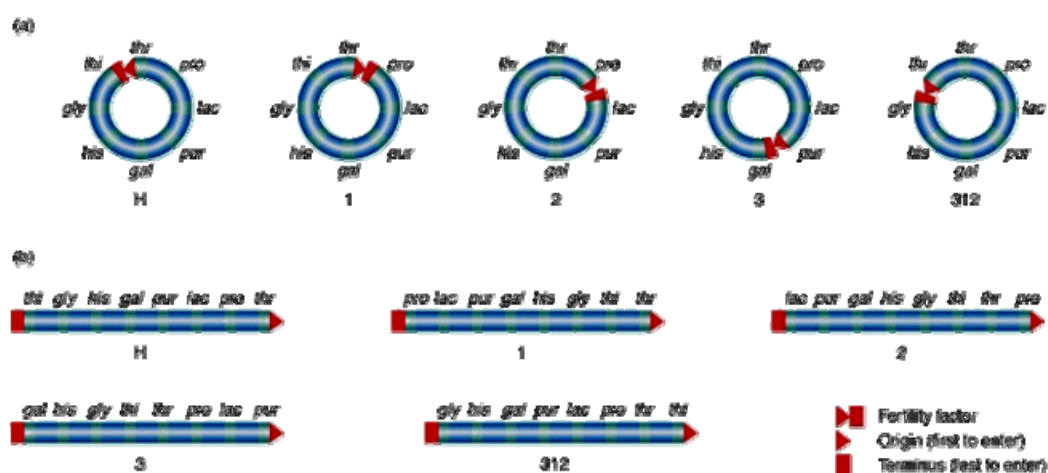
- กรณีทรานสฟอร์เมชัน ไม่น่าเป็นไปได้ เนื่องจากเมื่อทำการทดลองแบบทรานสฟอร์เมชัน ไม่พบผลการทดลองดังกล่าว

- กรณียีนรีคอมบิเนชัน น่าจะเกิดได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างแบคทีเรียทั้งสองโดยกระบวนการคอนจูเกชัน ซึ่งเป็นการถ่ายทอดยีนผ่านทางท่อเล็กๆ ที่เรียกว่า คอนจูเกชัน ทูบ การสร้างคอนจูเกชันทูบอยู่ภายใต้การควบคุมของยีนที่อยู่ในมินิโครโมโซม (minichromosome) ที่เรียกว่า เอฟแฟกเตอร์ (F factor) หรือเอฟพลาสมิด (F plasmid) หรือเซกซ์แฟกเตอร์ (sex factor) ดังนั้นเซลล์แบคทีเรียที่มีเอฟแฟกเตอร์จึงทำหน้าที่เป็นฝ่ายให้ยีนเสมอ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นเพศผู้ เรียกว่าสายพันธุ์ F^+ ส่วนเซลล์ที่ไม่มีเอฟแฟกเตอร์จึงเป็นฝ่ายรับ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นเพศเมีย เรียกว่าสายพันธุ์ F^-

เอฟแฟกเตอร์ในเซลล์แบคทีเรียสามารถอยู่ได้ 2 รูปแบบ คือ

- อยู่เป็นหน่วยอิสระภายในเซลล์แบคทีเรีย

- เข้าแทรกสร่วมอยู่ในโครโมโซมของแบคทีเรียโดยวิธีการครอสซิงโอเวอร์ ซึ่งเอฟแฟกเตอร์นี้ต้องมีสมบัติเหมือนกับโครโมโซมของแบคทีเรียทุกประการ เรียกแบคทีเรียพวกนี้ว่า Hfr (High frequency recombination) จากการที่เอฟแฟกเตอร์เข้าแทรกสร่วมอยู่ในโครโมโซมของแบคทีเรียที่ตำแหน่งแตกต่างกันนั้น ส่งผลให้แบคทีเรียสายพันธุ์ Hfr มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 7.6) นอกจากนี้แบคทีเรียสายพันธุ์ Hfr ยังสามารถถ่ายทอดยีนบางยีน หรือยีนทั้งหมดในโครโมโซมของแบคทีเรียผู้ให้ไปสู่ผู้รับ ซึ่งส่งผลให้เกิดกระบวนการยีน รีคอมบิเนชันในแบคทีเรียผู้รับที่อัตราสูงกว่าปกติอีกด้วย

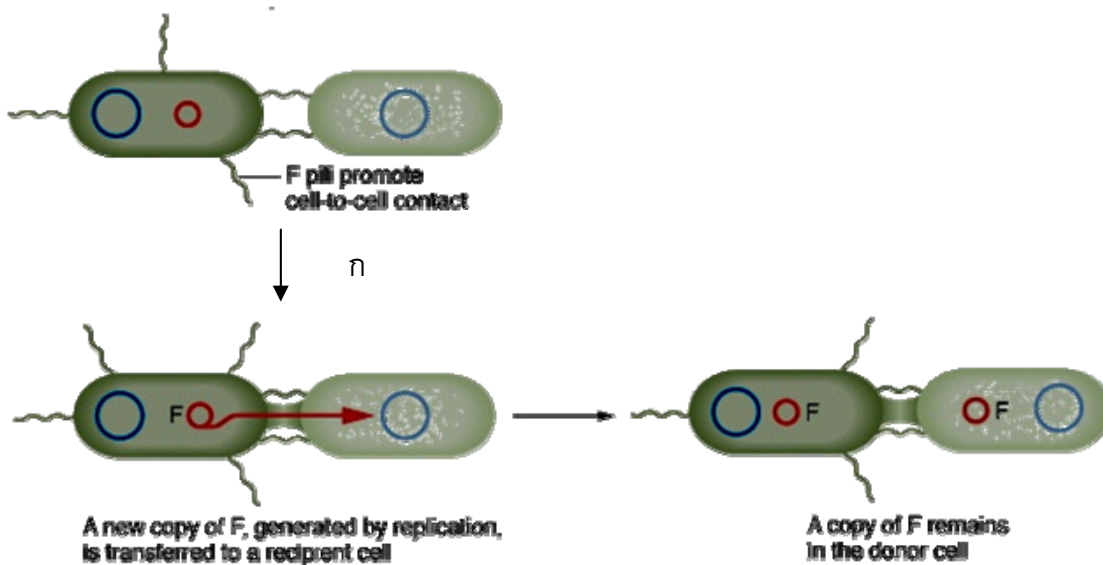


รูปที่ 7.6 เอฟแฟกเตอร์เข้าแทรกสร่วมอยู่ในโครโมโซมของแบคทีเรียที่ตำแหน่งแตกต่างกัน (แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

กลไกการถ่ายทอดส่วนของโครโมโซมจากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ F^+ ไปสู่เซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F^- โดยผ่านท่อคอนจูเกชัน รูป (รูปที่ 7.7) มีขั้นตอนดังนี้

1. เอฟแฟกเตอร์ที่อยู่เป็นหน่วยอิสระภายในเซลล์แบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ F^+ จะทำหน้าที่กระตุ้นให้เซลล์สร้างคอนจูเกชัน รูปกับเซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F^- (รูปที่ 7.7 ก)

2. เซลล์แบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ F^+ มีการจำลองโมเลกุลของเอฟแฟกเตอร์ แล้วถ่ายทอดไปให้กับเซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F^- (รูปที่ 7.7 ข) ส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F^- มีเอฟแฟกเตอร์เช่นเดียวกับเซลล์แบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ F^+ ดังนั้นเซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F^- จึงกลายเป็นเซลล์แบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ F^+



รูปที่ 7.7 กลไกการถ่ายทอดส่วนของโครโมโซมจากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ F^+ ไปสู่เซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F^- โดยผ่านท่อคอนจูเกชัน รูป

(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

กลไกการถ่ายทอดส่วนของโครโมโซมจากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ Hfr ไปสู่เซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F^- โดยผ่านทางคอนจูเกชัน รูป (รูปที่ 7.8) มีขั้นตอนดังนี้

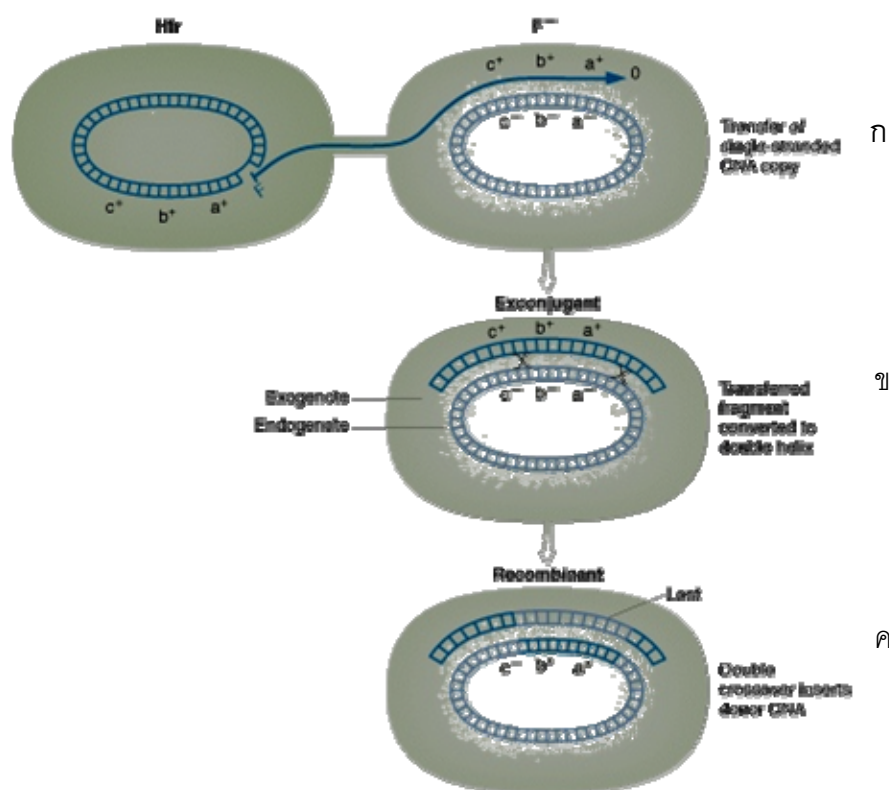
1. โครโมโซมของแบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ Hfr ถูกตัดขาดโดยเอนไซม์เอนโดนิวคลีเอส (endonuclease) ณ บริเวณที่อยู่ติดกับเอฟแฟกเตอร์ และเริ่มมีการจำลองโมเลกุล DNA ของแบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ Hfr จากนั้น DNA สายเดี่ยวที่สังเคราะห์ขึ้น (เส้นที่มีปลาย 5' เป็น

โครโมโซมแบบที่เรีย และปลาย 3' เป็นแอฟแฟกเตอร์) ถูกถ่ายทอดจากแบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ Hfr ผ่านทางคอนจูเกชัน ทูป ไปยังเซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F⁻ (รูปที่ 7.8 ก)

การถ่ายทอดโครโมโซมดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาการถ่ายทอดอีกด้วย แต่โดยปกติการเกิดคอนจูเกชันมักสิ้นสุดก่อนการถ่ายทอดโครโมโซมทั้งหมดที่อยู่ในรูป Hfr ดังนั้นส่วนที่เป็นแอฟแฟกเตอร์จึงเข้ามาในเซลล์แบคทีเรียผู้รับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2. เมื่อ DNA สายเดี่ยวดังกล่าวเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียผู้รับ จะมีการสร้างสาย DNA ที่สามารถเข้าคู่ได้กับ DNA สายเดี่ยวดังกล่าว เพื่อให้ได้เป็น DNA สายคู่ จากนั้น DNA สายคู่จะเข้าประกบแนบชิดกับโครโมโซมของเซลล์แบคทีเรียผู้รับในบริเวณที่เป็นโฮโมโลกัสกัน แล้วจึงเกิดการแลกเปลี่ยนยีนซึ่งกันและกัน โดยกระบวนการครอสซิงโอเวอร์ (รูปที่ 7.8 ข)

3. โครโมโซมของเซลล์แบคทีเรียผู้รับจึงกลายเป็นรีคอมบิแนนท์โครโมโซม เนื่องจากมียีนของแบคทีเรียผู้ให้เข้ามาอยู่ด้วย (รูปที่ 7.8 ค)



รูปที่ 7.8 กลไกการถ่ายทอดส่วนของโครโมโซมจากเซลล์แบคทีเรียผู้ให้สายพันธุ์ Hfr ไปสู่เซลล์แบคทีเรียผู้รับสายพันธุ์ F⁻ โดยผ่านทางคอนจูเกชัน ทูป

(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

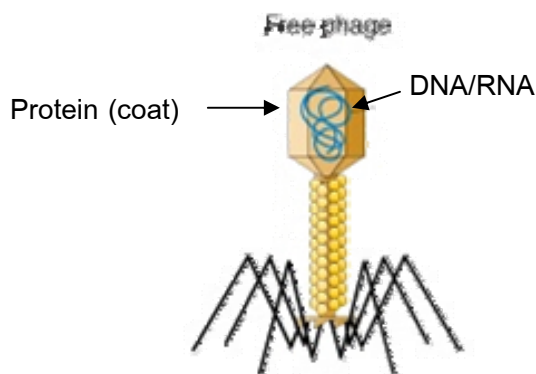
นอกจากเอฟแฟกเตอร์จะสามารถเข้าไปแทรกวมอยู่ในโครโมโซมของแบคทีเรียแล้ว เอฟแฟกเตอร์ยังสามารถแยกตัวหลุดออกจากโครโมโซมของแบคทีเรีย แล้วกลับไปเป็นหน่วยอิสระใหม่ได้ การเข้าร่วมหรือหลุดออกของเอฟแฟกเตอร์นั้นจะเกิดขึ้นในลักษณะที่แน่นอน และแม่นยำ แต่ก็อาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ถ้าเอฟแฟกเตอร์ที่หลุดออกมา มีส่วนของโครโมโซมของแบคทีเรียหลุดติดออกมาด้วย ดังนั้นจึงเรียกเอฟแฟกเตอร์ที่มีลักษณะเช่นนี้ว่า เอฟไพร์ม (F') ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างจากเอฟแฟกเตอร์ธรรมดา (F) จากการที่เอฟไพร์มมีส่วนของโครโมโซมของแบคทีเรียอยู่ ส่งผลให้เอฟไพร์มสามารถเข้าร่วมกับโครโมโซมของแบคทีเรียได้ง่ายกว่าเอฟแฟกเตอร์ธรรมดา ดังนั้นส่วนของโครโมโซมแบคทีเรียที่อยู่ในเอฟไพร์มจึงสามารถเข้าสู่แบบชิดกับบริเวณโครโมโซมของแบคทีเรียที่เป็นโฮโมโลกัส ทำให้เกิดกระบวนการครอสซิงโอเวอร์ ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่จำเพาะสำหรับเอฟไพร์มแต่ละสายพันธุ์เสมอ

ข้อสังเกตของกระบวนการคอนจูเกชัน คือ

1. เอฟแฟกเตอร์ที่แทรกอยู่ในโครโมโซมแบคทีเรีย (Hfr) จะเป็นส่วนสุดท้ายของโครโมโซมแบคทีเรียที่ถ่ายทอดจากเซลล์ผู้ให้ไปสู่เซลล์ผู้รับเสมอ ดังนั้นการถ่ายทอดยีนจากเซลล์ผู้ให้ไปสู่เซลล์ผู้รับจึงเรียงตามลำดับก่อนหลัง
2. จำนวนยีนที่ถูกถ่ายทอดเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับระยะเวลาที่เกิดกระบวนการคอนจูเกชัน หรือเวลาที่ใช้ในการถ่ายทอดยีน ดังนั้นเวลาการเกิดคอนจูเกชันยิ่งยาวนาน จำนวนยีนที่ถ่ายทอดจากเซลล์ผู้ให้ไปสู่เซลล์ผู้รับก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ
3. เอฟแฟกเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวพาหะนำยีน หรือชิ้นส่วนโครโมโซมจากเซลล์แบคทีเรียหนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่ง ซึ่งคล้ายกับกระบวนการทรานสดักชันที่จะกล่าวต่อไป

7.1.3 ทรานสดักชัน (transduction)

กลไกที่ทำให้ยีน หรือส่วนของโครโมโซมของเซลล์แบคทีเรียถ่ายทอดไปสู่เซลล์แบคทีเรียอีกเซลล์หนึ่ง โดยมีไวรัสทำหน้าที่เป็นพาหะ โดยเฉพาะไวรัสพวกแบคทีริโอเฟจ (bacteriophage) หรือเรียกสั้นๆว่า เฟจ (phage) (รูปที่ 7.9)



รูปที่ 7.9 แบคทีริโอเฟจหรือเฟจ

(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

แบคทีริโอเฟจ หรือเฟจ คือ ไวรัสชนิดหนึ่ง ซึ่งมีระบบการสืบพันธุ์เกิดขึ้นเฉพาะภายในเซลล์แบคทีเรีย *E. coli* เท่านั้น แบคทีริโอเฟจสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. พวกมีฤทธิ์รุนแรง (virulent) ได้แก่ พวกเซลล์ที่เติบโตขยายพันธุ์ภายในเซลล์แบคทีเรีย และทำลายเซลล์แบคทีเรียโดยวิธีที่เรียกว่า ไลซิส (lysis) เช่น พวกเฟจกลุ่ม T (T_1 - T_7)

2. พวกมีฤทธิ์ปานกลาง (avirulent) ได้แก่ พวกเซลล์ที่เติบโต และขยายพันธุ์ภายในเซลล์แบคทีเรีย และทำลายเซลล์แบคทีเรียวิธีที่เรียกว่า ไลซิส หรือเข้าไปแทรกซึมอยู่กับโครโมโซมแบคทีเรีย และมีคุณสมบัติเหมือนเซลล์แบคทีเรียทุกประการ โดยไม่ทำอันตรายต่อเซลล์แบคทีเรีย โดยวิธีที่เรียกว่า ไลโซจีนิก (lysogenic)

วัฏจักรการเติบโตของแบคทีริโอเฟจพวกมีฤทธิ์รุนแรง ซึ่งมีผลต่อการทำลายเซลล์แบคทีเรีย เรียกว่า ไลติก ไซเคิล (lytic cycle) (รูปที่ 7.10 ก)

1. เฟจเกาะที่บริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และเจาะผนังเซลล์ของแบคทีเรียเพื่อทำการปล่อย DNA เข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย

2. เฟจใช้วัตถุดิบต่างๆ ของเซลล์แบคทีเรียเพื่อสังเคราะห์สารอินทรีย์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการสร้างเฟจขึ้นมาใหม่ จากนั้นมีการประกอบส่วนต่างๆ ของเฟจจนสมบูรณ์ ทำให้มีเฟจจำนวนมากอาศัยอยู่ในเซลล์แบคทีเรีย

3. เฟจจำนวนมากภายในเซลล์แบคทีเรีย ส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียแตก และปล่อยเฟจกระจายออกไปมากมาย

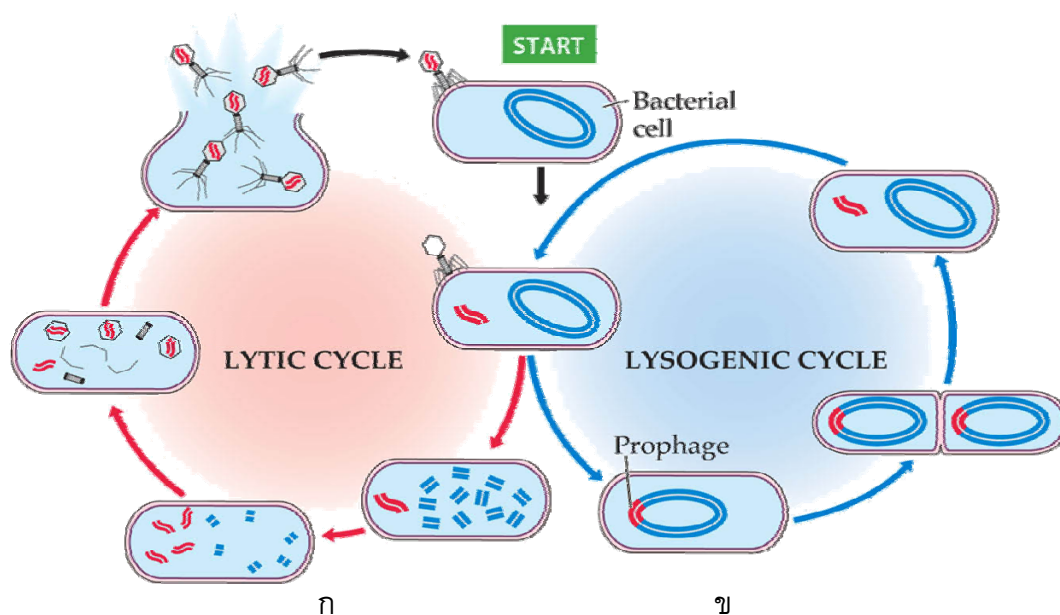
sogenic cycle) (รูปที่ 7.10 ข)

1. เฝือกาะที่บริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรีย และเจาะผนังเซลล์ของแบคทีเรียเพื่อทำการปล่อย DNA เข้าสู่เซลล์ของแบคทีเรีย

2. DNA ของเฝือกเข้าไปแทรกพร้อมกับโครโมโซมของแบคทีเรีย เรียกว่า โปรเฝือก (prophage) ทำให้เฝือกอยู่ในสภาพอ่อนฤทธิ์ สำหรับเซลล์แบคทีเรียที่มีโปรเฝือกรวมอยู่ด้วย เรียกว่า ไลโซเจนิค (lysogenic)

3. เกิดการแบ่งเซลล์ทำให้เซลล์แบคทีเรียมีจำนวนเพิ่มขึ้น (DNA ของเฝือกสามารถเพิ่มจำนวนได้พร้อมกับโครโมโซมของแบคทีเรียในกระบวนการแบ่งเซลล์)

แต่ถ้า DNA ของเฝือกหลุดออกจากโครโมโซมแบคทีเรีย เฝือกจะมีฤทธิ์รุนแรง ซึ่งเป็นอันตรายต่อเซลล์แบคทีเรียที่เฝือกอาศัยอยู่ เพราะจะทำให้เกิดการทำลายเซลล์แบคทีเรียโดยวิธีไลซิส นอกจากนี้ DNA ของเฝือกที่หลุดออกจากโครโมโซมแบคทีเรียอาจมีส่วนของโครโมโซมแบคทีเรียติดออกมาด้วย ดังนั้นถ้าเฝือกตัวนี้ถ่ายทอดยีนไปสู่แบคทีเรียตัวใหม่ จะส่งผลให้เกิด กระบวนการครอสซิงโอเวอร์ในแบคทีเรียตัวใหม่ได้



รูปที่ 7.10 วัฏจักรการเติบโตของแบคทีเรียเฝือก

(ก) ไลติก ไซเคิล (ข) ไลโซเจนิค ไซเคิล

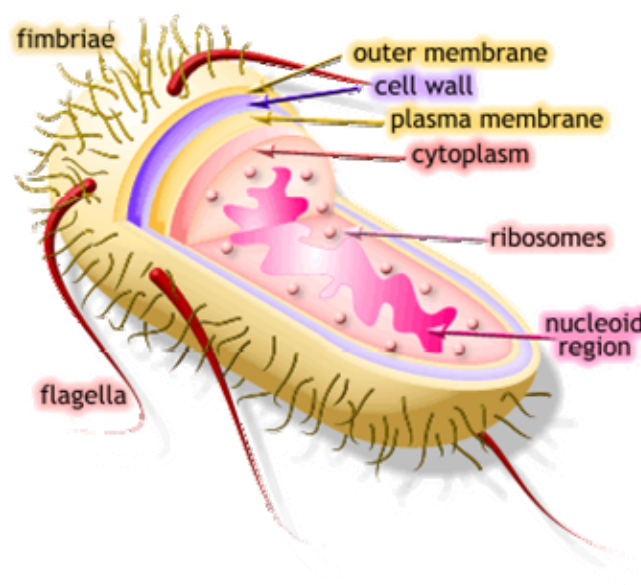
(แหล่งที่มา: Life: The Science of Biology, Seventh Edition, 2004)

สรุปกระบวนการทรานสดักชันมี 2 แบบ

1. ทรานสดักชันทั่วไป (generalized transduction) เกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนใดยีนหนึ่งของโครโมโซมแบคทีเรียจากผู้ให้ไปสู่แบคทีเรียผู้รับ โดยมีเฟจเป็นตัวนำพา
2. ทรานสดักชันจำเพาะที่ (localized transduction) เกี่ยวกับ DNA ของเฟจเข้าแทรกในตำแหน่งจำเพาะจุดใดจุดหนึ่งของโครโมโซมแบคทีเรีย สามารถนำพาและถ่ายทอดยีนจำเพาะที่ติดอยู่กับโปรเฟจเท่านั้น

7.2 พลาสมิด และรีคอมบิแนนต์ DNA

เซลล์แบคทีเรียมีสารพันธุกรรมอยู่รวมกันคล้ายโครโมโซม แต่เป็นเพียงแค่สายโมเลกุล DNA รูปร่างแหวนขดม้วนตัวไปมาลอยอยู่ในไซโตพลาสซึม เรียกว่า นิวคลีโออยด์ (nucleoid) (รูปที่ 7.11) นอกจากนี้เซลล์แบคทีเรียยังมีชิ้นส่วน DNA อิสระรูปร่างแหวนคล้ายกับโครโมโซมขนาดเล็ก เรียกว่า พลาสมิด (plasmid)



รูปที่ 7.11 เซลล์แบคทีเรีย

(แหล่งที่มา: www.google.co.th)

พลาสมิดสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. พลาสมิดชนิด F และ F' (fertility factor) ได้แก่ พวกที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการผสมพันธุ์แบคทีเรียโดยวิธีคอนจูเกชัน (รูปที่ 7.12 ก)

2. พลาสมิดชนิด R (resistance transfer factor) ได้แก่ พวกที่ช่วยในการถ่ายทอดยีนที่มีคุณสมบัติดื้อยา หรือยาปฏิชีวนะที่ใช้ทำลายเชื้อแบคทีเรีย (รูปที่ 7.12 ข)

3. พลาสมิดชนิด Col (colicinogenic factor) ได้แก่ พวกที่มีรหัสควบคุมการสังเคราะห์สารโคลิซินส์ (colicins) ซึ่งเป็นสารประกอบโปรตีนที่มีคุณสมบัติทำลายเชื้อแบคทีเรียที่ไวต่อสารนี้ (รูปที่ 7.12 ค)

เซลล์แบคทีเรียที่มีพลาสมิดมักสามารถเจริญ และแพร่พันธุ์ได้ในสภาวะแวดล้อมที่กดดันได้ดี ในขณะที่เซลล์แบคทีเรียที่ไม่มีพลาสมิดไม่สามารถทนทาน และมีชีวิตอยู่ต่อไปได้ แต่อย่างไรก็ดีแบคทีเรียก็ไม่จำเป็นต้องมีพลาสมิดก็สามารถดำรงชีวิตได้ภายใต้สภาวะแวดล้อมบางอย่าง

ในปัจจุบันพลาสมิดมีบทบาทสำคัญมากในชีววิทยายุคใหม่ โดยเฉพาะทางพันธุวิศวกรรม (genetic engineering) เนื่องจากพลาสมิดเป็นสิ่งสำคัญในกรรมวิธีที่เรียกว่า ยีนโคลนนิ่ง (gene cloning) (ดูคำอธิบายในบทที่ 12)

คุณสมบัติที่สำคัญของพลาสมิดมีดังนี้

- การจำลองตัวเองอย่างอิสระแบบเซมิคอนเซอร์เวทีฟ นอกจากนี้ยังสามารถถอดรหัส DNA เป็น RNA รวมถึงการแปลรหัสพันธุกรรมได้ โดยอาศัยเอนไซม์ และสารประกอบอื่นๆจากเซลล์แบคทีเรีย

- พลาสมิดมีหลายขนาดตั้งแต่เล็กมากจนถึงขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยยีนหลายร้อยยีน

- พลาสมิดมีสมบัติที่สามารถแทรกตัวเข้าร่วมกับโครโมโซมของแบคทีเรียได้

แต่อย่างไรก็ตามพลาสมิดยังมีข้อเสียที่สำคัญ 2 ประการ คือ

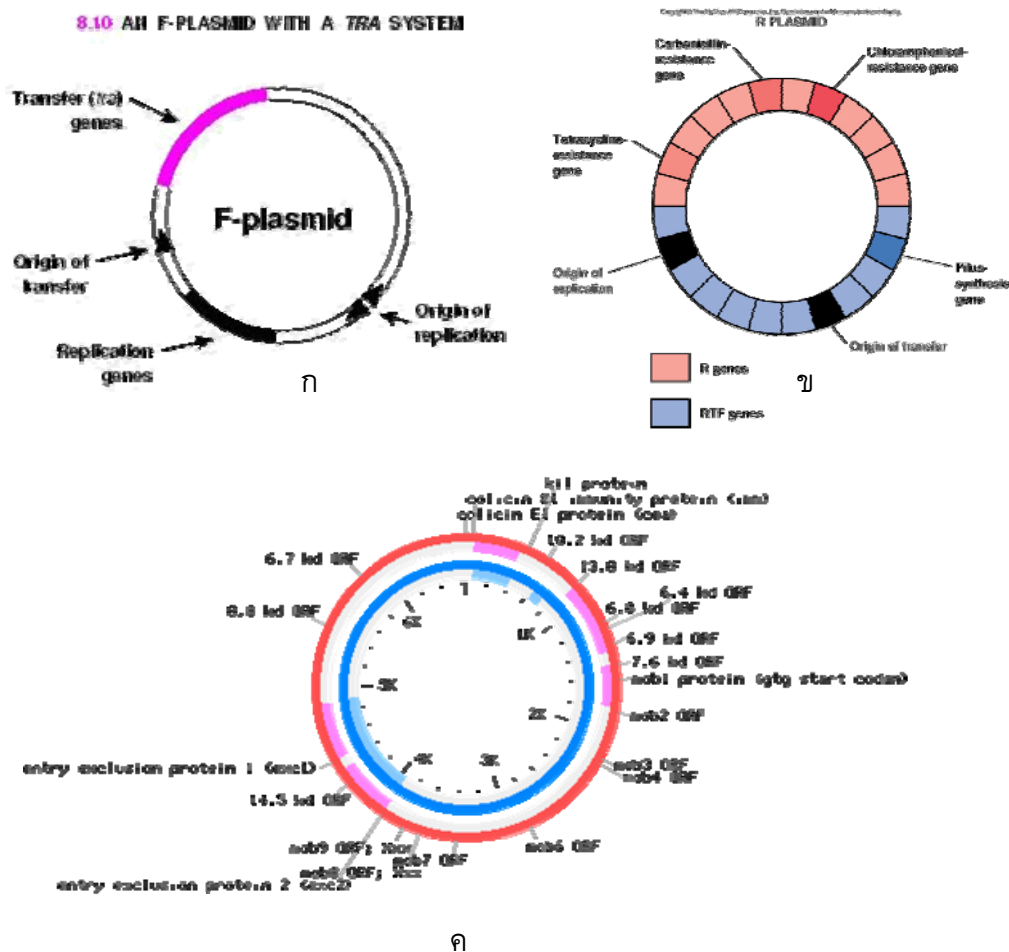
1. แบคทีเรียบางชนิดทำให้เกิดโรคต่างๆกับมนุษย์ สัตว์ และพืช

ปัญหา คือ ถ้าแบคทีเรียดังกล่าวมีพลาสมิด จะส่งผลให้แบคทีเรียมีสมบัติที่สามารถต้านทาน หรือดื้อยาที่ใช้บำบัดรักษาโรค ยกตัวอย่างเช่นในปี ค.ศ. 1990 ณ กรุงนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์ *Mycobacterium tuberculosis* มีการพัฒนาสายพันธุ์จนมีการสร้างพลาสมิดที่สามารถต้านทานต่อยาปฏิชีวนะที่ใช้รักษาโรคในมนุษย์ได้ถึง

7 ชนิด ส่งผลให้แบคทีเรียชนิดนี้ มีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วในโรงพยาบาล และ ห้องควบคุมนักโทษ ซึ่งถือว่าเป็นอันตรายต่อมนุษย์อย่างมาก

2. แบคทีเรียบางชนิดก่อให้เกิดประโยชน์ทางอุตสาหกรรม

ปัญหา คือ พลาสมิดในแบคทีเรียสามารถแปรสภาพในลักษณะต่างๆได้ง่าย ซึ่งเป็น ผลเสียต่อระบบอุตสาหกรรมที่ใช้แบคทีเรียที่มีพลาสมิด เช่น การใช้แบคทีเรียผลิตยาปฏิชีวนะ ต่างๆ ในระบบอุตสาหกรรม



รูปที่ 7.12 พลาสมิดชนิดต่างๆ

(ก) ตัวอย่างพลาสมิดชนิด F และ F' (ข) ตัวอย่างพลาสมิดชนิด R

(ค) ตัวอย่างพลาสมิดชนิด Col

(แหล่งที่มา: www.google.co.th)

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. parasexual reproduction คืออะไร และมีทั้งหมดกี่แบบ
2. จงวาดภาพเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทรานส์ฟอร์เมชัน คอนจูเกชัน และทรานสดักชัน
3. เซลล์แบคทีเรียจำเป็นต้องมีพลาสมิดหรือไม่ และถ้ามีจะมีผลได้อย่างไร