

# Concept 19-2

เนื้อหา: กลไกการเกิดวิวัฒนาการ

- 1) แนวคิดเกี่ยวกับพันธุศาสตร์เชิงประชากร
- 2) กฎของฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก
- 3) การนำหลักสถานะสมดุล ฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก มาใช้ประโยชน์
- 4) ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ยีน
  - ก. มิวเทชันและความผันแปรทางพันธุกรรม
  - ข. การคัดเลือกโดยธรรมชาติ
  - ค. การอพยพ
  - ง. ขนาดของประชากร
  - จ. ระบบการสืบพันธุ์

วิวัฒนาการในโลกที่กำลังพัฒนา

1. วิวัฒนาการร่วมกัน
2. เชื้อโรคที่คื้อยา
3. การดื้อสารฆ่าแมลง
4. วิวัฒนาการกับมลภาวะ
5. การคัดเลือกตามธรรมชาติในคน

- 
1. การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการเกิดขึ้นในระดับประชากร ไม่เกิดขึ้นในระดับตัวตนของสิ่งมีชีวิตโดยตรง (แม้ว่าจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงจะมาจากหน่วยย่อยของสมาชิกของกลุ่มประชากร ก็คือ การเปลี่ยนแปลงของยีน และการรวมกลุ่มของยีนที่ทำให้เกิดลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิม)
    - วิวัฒนาการไม่เพียงแต่มีการเปลี่ยนแปลง gene ลักษณะใหม่เท่านั้น จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ gene ในกลุ่มประชากรด้วย
  2. population genetics : พันธุศาสตร์เชิงประชากร การศึกษากลไกที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางพันธุกรรมของประชากร
    - การศึกษาพันธุศาสตร์เชิงประชากร จะพิจารณา gene pool

## CONCEPT 19-2

<p>W.E. Castle (นักพันธุศาสตร์), K. Parson (นักสถิติ), G.H. <b>Hardy</b> (นักคณิตศาสตร์), W. <b>Weinberg</b> (แพทย์)</p>	<p>ในประชากรของสิ่งมีชีวิตที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ถ้าทราบข้อมูล genotype frequency หรือ gene frequency ของประชากรหนึ่ง ซึ่งอยู่ภายใต้ ideal condition ที่สมมติขึ้นแล้ว</p> <p>จะสามารถคาดการณ์ได้ว่า ประชากรนั้น จะถ่ายทอดพันธุกรรมไปสู่รุ่นต่อ ๆ ไป ได้ยาวนาน ไม่มีที่สิ้นสุด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง genotype frequency หรือ gene frequency ของประชากรนั้นเลย</p> <p>⇒ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการเกิดขึ้น ในประชากรที่อยู่ภายใต้ภาวะการณ์เงื่อนไขที่จำกัด</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● genotype frequency : ความถี่ genotype</li> <li>● gene frequency : ความถี่ gene</li> <li>● ideal condition : ภาวะการณ์เงื่อนไขจำกัด             <ul style="list-style-type: none"> <li>● ไม่เป็นจริงตามธรรมชาติของประชากร</li> <li>● เงื่อนไข 5 ประการ : ไม่มี mutation, ไม่มีการคัดเลือก, ไม่มีการอพยพ, random mating (การผสมพันธุ์เป็นไปแบบสุ่ม), ประชากรมีขนาดใหญ่</li> </ul> </li> </ul> <p>⇒ ภาวะที่เกิดขึ้นจริงในประชากรตามธรรมชาติจะต้องเป็นกลไกสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางวิวัฒนาการ</p>
<p><b>the Hardy-Weinberg Law</b> (ใช้หลักคำนวณทางสถิติประกอบกับกฎการถ่ายทอดพันธุกรรมของเมนเดล)</p>	<p>gene หรือ genotype ที่เริ่มต้นในประชากรหนึ่ง จะถ่ายทอดไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่านานเท่าไรก็ตาม หากประชากรนั้นอยู่ภายใต้ภาวะการณ์เงื่อนไขจำกัด</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● โครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรในเชิง gene pool หรือ allele frequency และ genotype frequency จะคงที่เสมอ ไม่ว่าจะถ่ายทอดพันธุกรรมผ่านไปกี่ชั่วอายุก็ตาม หากประชากรนั้นยังคงอยู่ภายใต้ภาวะการณ์เงื่อนไขจำกัดอย่างเดิม</li> </ul>

## CONCEPT 19-2

สมมติให้อัลลีล A และ A' เป็น codominance หรือ incomplete dominance

ใช้สัญลักษณ์ p และ q แทนค่าความถี่อัลลีล A และ A' ตามลำดับ  $p+q = 1$

• พ่อ ( $p+q = 1$ )  $\otimes$  แม่ ( $p+q = 1$ )  $\rightarrow F_1 = AA=pp, AA'=2pq, A'A'=qq \Rightarrow AA:AA':A'A' = p^2:2pq:q^2$

•  $p:q = 2p+2p:2q+2q = p:q$

• พ่อ ( $AA:AA':A'A' = pp:2pq:qq$ )  $\otimes$  แม่ ( $AA:AA':A'A' = pp:2pq:qq$ )  $\rightarrow F_2$

แยกกรณีโดยใช้  $(AA+AA'+A'A')^2 = (AA)^2+(AA')^2+(A'A')^2+2(AA)(AA')+2(AA)(A'A')+2(AA')(A'A')$

•  $AA \otimes AA \rightarrow AA = p^4$

•  $AA' \otimes AA' \rightarrow AA=(2pq)^2(\frac{1}{4}), AA'=(2pq)^2(2)(\frac{1}{4}), A'A'=(2pq)^2(\frac{1}{4})$

•  $A'A' \otimes A'A' \rightarrow A'A'=q^4$

•  $AA \otimes AA' \rightarrow AA=(pp)(2pq)(\frac{1}{2}), AA'=(pp)(2pq)(\frac{1}{2})$

•  $AA \otimes A'A' \rightarrow AA'=(pp)(qq)$

•  $AA' \otimes A'A' \rightarrow AA'=(2pq)(qq)(\frac{1}{2}), A'A'=(2pq)(qq)(\frac{1}{2})$

$AA = p^4 + 2p^3q + p^2q^2 = p^2(p+q)^2$

$AA' = 2p^3q + 4p^2q^2 + 2pq^3 = 2pq(p+q)^2$

$A'A' = p^2q^2 + 2pq^3 + q^4 = q^2(p+q)^2$

$F_2 \Rightarrow AA:AA':A'A' = p^2:2pq:q^2, AA+AA'+A'A' = (p+q)^4 = 1$

$p:q = 4p+(4)(3)p+(6)(2)p+4p:4(q)+(6)(2)q+(4)(3)q+4q = p:q$

1. **gene pool**  $\Rightarrow$  gene หรือ allele ที่รวมกันอยู่ในประชากร ; จำนวน gene ทุก gene ในแต่ละประชากร
  - บ่งบอกถึง จุลวิวัฒนาการ
2. **ความถี่ gene**  $\Rightarrow$  อัตราส่วนของ allele หรือ gene คู่อื่น ๆ แต่ละคู่บนตำแหน่งเฉพาะ (locus) บนโครโมโซมของสมาชิกในประชากรทั้งหมด
  - แม้จะเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันก็ตาม ความถี่ของยีนเดียวกันอาจแตกต่างกันตามสภาพภูมิศาสตร์
3. การคำนวณเรื่องความถี่ gene , ความถี่ phenotype
  - 3.1. การหาความถี่ gene อาจหาจาก
    - 3.1.1. อัตราส่วนของ จำนวน gene นั้น ต่อจำนวน gene ในกลุ่มประชากรทั้งหมด
      - แยก AA = 9 ตัว, Aa = 42 ตัว, aa = 49 ตัว มาเป็นประชากรกลุ่มใหม่  $\Rightarrow$  รวม 100 ตัว มี ยีน 200 ยีน
        - ความถี่ gene A =  $p = \frac{(9 \times 2) + 42}{200} = \frac{60}{200} = \frac{3}{10}$
        - ความถี่ gene a =  $q = \frac{42 + (49 \times 2)}{200} = \frac{140}{200} = \frac{7}{10}$
      - แยก AA = 600 ตัว, aa = 400 ตัว มาเป็นประชากรกลุ่มใหม่  $\Rightarrow$  รวม 1000 ตัว 2000 ยีน
        - ความถี่ gene A =  $p = \frac{2 \times 600}{2000} = 0.6$
        - ความถี่ gene a =  $q = \frac{2 \times 400}{2000} = 0.4$
      - ข้อสังเกต

## CONCEPT 19-2

- $p + q = 1$  และ  $p, q$  คงที่เสมอ ไม่ว่าจะผ่านไปกี่รุ่นของประชากร เมื่อไม่มีปัจจัยเปลี่ยนแปลงความถี่
  - เมื่อเกิดการผสมพันธุ์กัน จะเกิด  $Aa$  นั่น คือ ความถี่ phenotype อาจเปลี่ยนไป จากเดิม (รุ่นพ่อแม่) แต่เมื่อผสมในรุ่นลูก และ รุ่น ต่อ ๆ ไป ความถี่ phenotype จะคงที่ตลอด (เท่ากับรุ่น  $F_1$ )
- 3.1.2. รากที่สอง ของ ความถี่ homologous เมื่อ ไม่สามารถหา จำนวน gene ที่แน่นอนได้
- บอกแค่ พบ  $aa$  4 คน ใน 10,000 คน
  - ความถี่ gene  $a = \sqrt{\frac{4}{10000}} = 0.02$
  - ความถี่ gene  $A = 1 - 0.02 = 0.98$
  - บอกแค่  $aa = 49\%$  ;  $A = 51\%$
  - ความถี่ gene  $a = \sqrt{49\%} = 0.7$
- 3.2. การหาความถี่ phenotype
- 3.2.1. จาก อัตราส่วนของจำนวนประชากรที่มี phenotype นั้น กับ จำนวนประชากรทั้งหมด
- 3.2.2. จาก ความถี่ gene โดยใช้หลัก  $(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$
- ความถี่  $AA = p^2$
  - ความถี่  $Aa = 2pq$
  - ความถี่  $aa = q^2$
- คงที่ทุกรุ่น
4. **HWE : Hardy-Weinberg Equilibrium**  $\Rightarrow$  สภาวะสมดุลทางพันธุกรรมของประชากร
- การเปลี่ยนแปลงความถี่ gene และความถี่ genotype ที่ค่อยเป็นค่อยไปอาจนำไปสู่ภาวะสมดุลได้
  - ดูอย่างผิวเผิน เหมือน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ที่จริงแล้วมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงนั้น เข้าสู่จุดสมดุล
5. ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ยีนหรือจุลวิวัฒนาการ
- **microevolution** : จุลวิวัฒนาการ  $\Rightarrow$  กระบวนการวิวัฒนาการที่เกิดขึ้นแบบค่อยเป็นค่อยไป
  - mutation เป็นกลไกควบคุมอัตราของวิวัฒนาการ
  - การคัดเลือก การอพยพ การเปลี่ยนแปลงขนาดของประชากร โอกาสของการสืบพันธุ์ เป็นกลไกควบคุมทิศทางของวิวัฒนาการ

## CONCEPT 19-2

<p>mutation and genetic variation (ความแปรผันทางพันธุกรรม)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ถ้า gene คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตก็ไม่เกิดขึ้น</li> <li>● mutation เป็นสาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้มีความแปรผันทางพันธุกรรม เกิดขึ้นใหม่ ๆ</li> <li>● ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เกิดจาก mutation             <ul style="list-style-type: none"> <li>● ส่วนใหญ่ไม่ดี ไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อม → ถูกธรรมชาติคัดเลือกออกไป</li> <li>● ส่วนน้อยที่เป็นประโยชน์และเหมาะสม</li> </ul> </li> <li>● mutation อีกมากมายที่ไม่ปรากฏว่ามีผลเสียหรือผลดีอย่างชัดเจนแต่ประการใด เช่น mutation ที่เกิดกับเบสของ DNA ในบางลำดับ ที่ไม่ส่งผลออกมาทาง phenotype ⇒ mutation ในลักษณะเช่นนี้ เท่ากับเป็นการสะสมความแตกต่างทางพันธุกรรมเอาไว้ภายในสิ่งมีชีวิตนั้น</li> <li>● mutation ที่มีผลต่อขบวนการวิวัฒนาการมาก คือ gametic mutation : mutation ที่เกิดกับเซลล์สืบพันธุ์ เนื่องจากสามารถถ่ายทอดไปสู่รุ่นต่อ ๆ ไปได้</li> <li>● การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศช่วยให้ยีนต่าง ๆ ทั้งเก่าและใหม่มีโอกาสรวมกลุ่มกัน (gene recombination) ในรูปแบบต่าง ๆ</li> </ul> <div style="text-align: center;"> <pre>             graph LR               GV[gene variation] --&gt; V[variation]               V --&gt; GA[genetic adaptation]               GA --&gt; E[evolution]               T[translocation] --&gt; GV               M[mutation] --&gt; GV               XO[X-over] --&gt; GV               CA[การเปลี่ยนแปลงสัดส่วน allele] --&gt; E               CG[การจัดกลุ่มใหม่ของ gene] --&gt; E           </pre> </div>
<p>natural selection : การคัดเลือกโดยธรรมชาติ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ถ้าไม่มีข้อจำกัดใด ๆ สิ่งมีชีวิตจะมีการเพิ่มจำนวนแบบอัตราคูณ</li> <li>● ลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏอยู่ในทุกวันนี้ เป็นผลจากการปรับพันธุกรรม โดยกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ</li> <li>● ผลจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ จะได้สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะ species เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดทางกรรมพันธุ์ เรียกว่า polymorphism</li> <li>● พืชดอก อัตราการอยู่รอดจะเป็นไปใน ลักษณะของการงอกได้เร็วกว่า เป็นสิ่งสำคัญอันดับแรก และตัวการในการคัดเลือกก็คือ สิ่งแวดล้อม</li> <li>● สัตว์ เกณฑ์ในการคัดเลือกอันดับแรก มักจะได้แก่ ความสามารถในการแข่งขันกันหาอาหารซึ่งมีจำนวนจำกัด และโดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์แต่ละตัวใน species เดียวกัน ที่ต้องการอาหารชนิดเดียวกัน</li> </ul>

## CONCEPT 19-2

<p>migration : การอพยพ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ส่งผลให้มี <b>gene flow</b> (การถ่ายทอดหมุนเวียนพันธุกรรม) เกิดขึ้นระหว่างประชากรย่อย ๆ → การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางพันธุกรรมหรือความผันแปรทางพันธุกรรมในประชากรที่เกี่ยวข้องอย่างรวดเร็ว</li> <li>● immigration : การอพยพเข้า → นำยีนใหม่ ๆ เข้ามาในประชากรเดิม</li> <li>● emigration : การอพยพออก → นำยีนเดิมออกไป</li> <li>● มาก หรือ น้อย ขึ้นอยู่กับ รูปแบบการผสมพันธุ์ และ การแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด</li> <li>● นก ชัดเจน; หอย ไม่ชัดเจน; เมล็ดพืช โดย ลมหรือสัตว์</li> <li>● มนุษย์ในยุคต้น ๆ มีการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มาก; ช่วง 200-300 ปีที่ผ่านมา มี gene flow มากขึ้น</li> </ul>
<p>population size : ขนาดของประชากร</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ในประชากรเดิมที่มีขนาดใหญ่และมีการผสมพันธุ์แบบสุ่ม จะไม่พบว่ามี การเปลี่ยนแปลง ความถี่ยีนมากมายอย่างมีนัยสำคัญ วิวัฒนาการจะเกิดขึ้น</li> <li>● ในประชากรที่มีขนาดลดน้อยลงอย่างฮวบฮาบและฉับพลัน อันเนื่องมาจาก โอกาสการสุ่มตัวอย่าง หรือเหตุบังเอิญจากอุบัติภัยธรรมชาติ สมาชิกส่วนที่เหลือเป็นจำนวนน้อยในประชากรนั้นจะมี ผลกระทบต่อ โครงสร้างของ gene pool อย่างมาก</li> <li>● อาจพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ใน gene pool อย่างมาก แบบพลิกหน้ามือเป็นหลังมือ ได้ ภายในเวลา 1-2 ชั่วโมงเท่านั้น</li> <li>● <b>genetic drift</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของ gene อย่างรวดเร็วของ gene pool ทำให้บางลักษณะปรากฏเด่นชัดขึ้นหรือลดลงอย่างผิดปกติ โดยเหตุบังเอิญตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม ไม่สามารถคาดการณ์ทิศทางการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ gene ได้แน่นอน</li> <li>⇒ การเปลี่ยนแปลงผผันทางพันธุกรรมอย่างฉับพลันอย่างไม่มีทิศทางแน่นอน (เกิดขึ้นแบบสุ่ม)</li> </ul> </li> <li>● นักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่ง เชื่อว่า genetic drift มีความสำคัญมากกว่าการคัดเลือกตามธรรมชาติในบางกรณี</li> <li>● เป็นกลไกที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสัตว์ชนิดที่เกิดขึ้นใหม่ตามหมู่เกาะต่าง ๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก</li> </ul>
<p>ระบบการผสมพันธุ์</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ส่วนมากสมาชิกของประชากรจะจับคู่ผสมพันธุ์กันแบบสุ่ม → ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความถี่ gene ในแต่ละชั่วอายุมากนัก</li> <li>● บางครั้งการจับคู่ผสมพันธุ์กันระหว่างสมาชิกของประชากร ไม่เป็นไปแบบสุ่ม แต่มีการเลือกคู่ผสมพันธุ์ภายในกลุ่ม ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิด inbreeding → เปลี่ยนแปลงความถี่ gene ภายในประชากรได้ → วิวัฒนาการ <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>inbreeding</b> ⇒ การผสมพันธุ์ภายในสายพันธุ์เดียวกัน</li> </ul> </li> </ul>

1. **genetic adaptation** : การปรับพันธุกรรม ⇒ ความแปรผันทางพันธุกรรมซึ่งเป็นผลให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสอยู่รอดเพื่อสืบทอดลูกหลานได้ดี
2. วิวัฒนาการ ในโลกที่กำลังพัฒนา

## CONCEPT 19-2

<p><b>coevolution : วิวัฒนาการร่วม</b> ⇒ การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตต่าง species กัน แต่มีลักษณะบางลักษณะที่มีอิทธิพลต่อกัน</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● อาจเกิดรวมเร็วพอที่นักวิทยาศาสตร์จะสามารถศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน โดยเฉพาะในกรณีที่มีมนุษย์ไปรบกวนกับกระบวนการวิวัฒนาการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ</li> <li>● มักพบอยู่เสมอ ๆ ใน เชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัส กับ พืชหรือสัตว์ที่ถูกอาศัย : host</li> <li>● การควบคุมประชากรกระต่ายโดยใช้ไวรัส myxomatosis ถ่ายทอดโดยยุง             <ul style="list-style-type: none"> <li>● ระยะเริ่มต้น อัตราตายของกระต่ายสูงมาก</li> <li>● มีการคัดเลือกตามธรรมชาติ เกิดขึ้นกับพันธุ์กระต่ายที่ต้านทานเชื้อไวรัส และ เกิดขึ้นกับพันธุ์ไวรัสชนิดที่ไม่รุนแรงจนถึงกับทำให้กระต่ายตาย (ไวรัสพันธุ์รุนแรงมาก ๆ กระต่ายตายก่อนที่จะถ่ายทอด) → กระต่ายและไวรัส สามารถปรับตัวร่วมกัน และ วิวัฒนาการร่วมกันมาได้ จนถึงภาวะสมดุล</li> </ul> </li> </ul>
<p>เชื้อโรคที่ดื้อยา</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● แบคทีเรียที่ทำให้เกิดอาการปวดท้องหรือท้องร่วง แบคทีเรียชนิดที่ทำให้เกิดวัณโรคและหนองหรือฝีชนิดต่าง ๆ</li> <li>● การใช้ยาปฏิชีวนะผสมเจือปนในอาหารสัตว์เลี้ยงก็มีส่วนช่วยให้แบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ของคนสามารถพัฒนาการดื้อยาปฏิชีวนะได้อีกทางหนึ่ง</li> <li>● แบคทีเรียบางชนิด ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการปรับตัวให้ดื้อยาได้โดยง่าย</li> <li>● เชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่จะสามารถปรับตัวดื้อยาปฏิชีวนะที่นักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาและสังเคราะห์ขึ้นมา ยกเว้น เพนนิซิลลิน ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะทางธรรมชาติชนิดแรก ที่ถูกนำมาใช้ทางการแพทย์ และ ยังคงมีประสิทธิภาพดีอยู่จนถึงทุกวันนี้</li> </ul>
<p>การดื้อสารฆ่าแมลง</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● การใช้สาร DDT</li> <li>● แมลงออกลูกคราวละมากมาย ย่อมจะมีลูกที่มีความผันแปรทางพันธุกรรมมากด้วย โอกาสที่ลูกจะได้รับ gene ที่เกิด mutation ต่อต้านสารฆ่าแมลงก็จะมีมากด้วย นอกจากนี้ แมลงมีอายุสั้น ใช้เวลาไม่กี่วันก็สามารถสืบพันธุ์ได้ ดังนั้น การเพิ่มประชากรต่อต้านสารฆ่าแมลงจึงเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจากมนุษย์ที่ออกลูกน้อยและมีอายุยาว กว่าที่จะโดนมีลูกได้ต้องใช้เวลา 13-15 ปี การปรับตัวเพื่อต่อต้านสารฆ่าแมลงจึงช้ามาก</li> <li>● สิ่งที่ดีที่สุดสำหรับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ดี คือ การนำสารเคมีหรือ ยาธรรมชาติที่สกัดจากพืชสมุนไพรมาใช้ ทั้งในทางการเกษตร และ ทางทางการแพทย์ ตามแบบของ เทคโนโลยี ที่ได้จากภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีมานานในสังคมชาวตะวันออก</li> </ul>
<p>วิวัฒนาการกับมลภาวะ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● วิวัฒนาการเป็นผลจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ แต่มลภาวะเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก</li> <li>● เราอาจศึกษาหาข้อมูลทางชีววิทยาและวิวัฒนาการของพวกจุลินทรีย์ที่ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เต็มไปด้วยมลภาวะ มาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพได้</li> <li>● การสกัดเอาเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ DNA ซึ่งทำงานได้ดีในสภาวะ T สูง 70-80°C จากแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในบริเวณบ่อน้ำร้อนหรือแหล่งน้ำที่มี T สูงได้ทั้งทะเล</li> </ul>

## CONCEPT 19-2

การคัดเลือกตามธรรมชาติในคน	<ul style="list-style-type: none"><li>● การระบาดของ sickle cell anemia (ยีนด้อยในออตโตโซม-Hb<sup>S</sup>) สัมพันธ์กับ การระบาดของ มาลาเรียในแอฟริกา<ul style="list-style-type: none"><li>● Hb<sup>S</sup>/Hb<sup>S</sup> → โลหิตจางรุนแรง ตายตั้งแต่เด็ก</li><li>● Hb<sup>A</sup>/Hb<sup>A</sup> → เลือดปกติ แต่ตายด้วยมาลาเรียชนิดรุนแรง</li><li>● Hb<sup>A</sup>/Hb<sup>S</sup> → เลือดปกติ และ ทนทานต่อเชื้อมาลาเรีย</li></ul></li><li>● ดังนั้น ในประชากรที่อยู่ในท้องที่ที่มีไข้มาลาเรียสูงจะพบยีน Hb<sup>S</sup> อยู่ในสัดส่วนที่สูงตามไปด้วย เพราะมีเชื้อมาลาเรียเป็นปัจจัยพลังการคัดเลือกที่สำคัญ</li><li>● การแต่งงานกันระหว่างคนที่มีเชื้อชาติต่างกัน ย่อมเพิ่มความหลากหลายทางพันธุกรรมมากขึ้น</li><li>● สภาพแวดล้อมที่มีกัมมันตรังสีมากขึ้น รวมทั้งสารเคมีสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปของยารักษาโรค ยาปราบแมลงศัตรู ตลอดจนสารเคมีที่ใช้ปรุงแต่งอาหาร → ปัจจัยช่วยเพิ่มอัตราเกิด gene mutation ให้สูงขึ้นในทุกกลุ่มชน</li><li>● ช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 มีโรคทางพันธุกรรมเพิ่มมากขึ้น</li><li>● มนุษย์ในยุคปัจจุบันกำลังอ่อนแอลงในทางชีววิทยา</li></ul>
----------------------------	---

1.