

โครงการวิเคราะห์ข้อสอบชีววิทยา
โอลิมปิกระหว่างประเทศ

โครงการวิเคราะห์ข้อสอบชีววิทยา โอลิมปิกระหว่างประเทศ

การเฉลยข้อสอบโอลิมปิกวิชาการนี้ทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางให้แก่คณาจารย์ผู้สอนชีววิทยาในระดับเตรียมเข้ามหาวิทยาลัย และนักเรียนที่มีความสนใจในวิชาชีววิทยา ได้ทราบถึงแนวคิดในการสร้างข้อสอบการแข่งขันชีววิทยาระดับนานาชาติ และความรู้ที่ผู้ตอบจะพึงมีประกอบการตัดสินใจเลือกคำตอบให้ถูกต้อง โดยได้พยายามจำแนกออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ อย่างไรก็ดีเนื่องจากคำถามที่เลือกมาเฉลยนั้นมีลักษณะต่างกัน ดังนั้นในบางข้ออาจมีไม่ครบทุกขั้นตอน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในหลาย ๆ ข้อ ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถามมักจะซ้ำกับพื้นฐานความรู้เสียมาก ผู้เฉลยจึงเลือกที่จะไม่เขียนขั้นตอนการคิดเป็นต้น

คณะผู้จัดทำหวังว่าผลงานนี้จะยังประโยชน์ให้กับคณาจารย์ และนักเรียนที่สนใจศึกษาชีววิทยา ในอันที่จะเสริมสร้างความรู้ให้กว้างขวางยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ใคร่ขอเรียนเพิ่มเติมว่าข้อสอบเหล่านี้สร้างจากเนื้อหาชีววิทยาที่นักเรียนตามมาตรฐานยุโรปจะต้องเรียนก่อนเข้ามหาวิทยาลัย ซึ่งเนื้อหาจะมีระดับสูงกว่าที่มีอยู่ในหลักสูตรประเทศไทย

คณะผู้ดำเนินการ

คณะผู้ดำเนินการ ประกอบด้วย

1. ศ.ดร. วิสุทธิ์ ไบไม
2. รศ.ดร. อุษณีย์ ยศยิ่งยวด
3. อ.ดร. อางอง ประทัดสุนทรสาร
4. อ.ดร. พงชัย หาญยุทธนากร
5. อ.ดร. ศุภจิตรา ชัชवाल

โครงการวิเคราะห์ข้อสอบวิทยาศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ สาขาชีววิทยา

1. คำถาม : ทำไมมนุษย์จึงรับประทานอาหารประเภทแป้งแต่เพียงอย่างเดียวไม่ได้

- ก. เพราะร่างกายมนุษย์ประกอบขึ้นด้วยโปรตีนเป็นส่วนใหญ่
- ข. เพราะมนุษย์ต้องการสารอื่นอีกมากมายเพื่อการดำรงชีวิต และไม่สามารถสร้างสารเหล่านี้ขึ้นได้เอง
- ค. เพราะแป้งให้พลังงานความร้อนได้ไม่สูงนัก
- ง. เพราะแป้งไม่มีไนโตรเจน เพราะมนุษย์ก็ไม่สามารถนำไนโตรเจนจากอากาศมาได้โดยตรง

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้เกี่ยวกับสารประกอบอินทรีย์ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโครงสร้างของเซลล์และเนื้อเยื่อ รวมทั้งมีส่วนในการควบคุมปฏิกิริยาต่าง ๆ ในกระบวนการ metabolism ส่งข้อมูลข่าวสาร และให้พลังงานกับกระบวนการดำเนินชีวิตต่าง ๆ

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

- 1. การดำเนินชีวิตของมนุษย์ตามปกติใช้สารประกอบอินทรีย์หลักอะไรบ้าง
- 2. แป้งเป็นสารประเภทใด ประกอบด้วยอะไร
- 3. มนุษย์ใช้ประโยชน์ได้จากแป้ง พอเพียงกับการดำรงชีวิตหรือไม่ เพราะอะไร

พื้นฐานความรู้ :

สารประกอบอินทรีย์กลุ่มหลักที่มีความสำคัญต่อชีวิต มีอยู่ 4 กลุ่มคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และกรดนิวคลีอิก ทั้ง 4 กลุ่มนี้จะมีองค์ประกอบร่วมกันคือ C H และ O โดยที่จะมีสายอะตอมของคาร์บอนเป็นแกน

คาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วย C H และ O ในอัตราส่วน $C:H:O = 1:2:1$

ไขมัน ประกอบด้วย C H และ O แต่จะมี O ต่อ C และ H น้อยกว่า คาร์โบไฮเดรต

โปรตีน เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่และซับซ้อน มีหน่วยย่อยเรียกว่า กรดอะมิโน ประกอบด้วย C H O N และ S

กรดนิวคลีอิก คือ DNA และ RNA ประกอบขึ้นด้วยสาย nucleotide ซึ่งแต่ละ nucleotide จะประกอบขึ้นด้วย nitrogenous base ribose หรือ deoxyribose sugar และ phosphate group

เมื่อพิจารณาดูองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์กลุ่มหลักทั้งสี่กลุ่มนี้จะเห็นได้ว่า หากเราจะกินแต่ carbohydrate ร่างกายจะขาดแร่ธาตุสำคัญไปหลายตัว เช่น N S และ P

N และ S เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในเชิงเป็นองค์ประกอบทางโครงสร้างที่สำคัญของเซลล์และเนื้อเยื่อ หลายชนิดทำหน้าที่เป็นเอนไซม์อันเป็นหัวใจของกระบวนการทางชีวเคมีทั้งหมดที่เกิดขึ้นในร่างกาย และทำให้ร่างกายดำเนินชีวิตอยู่ได้ N และ P เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นแหล่งเก็บข้อมูลที่ใช้ควบคุมโครงสร้างและการทำงานของสิ่งมีชีวิต

ดังนั้นอาหารที่มนุษย์ต้องการจึงมีไฮโดรเจนเท่านั้น ร่างกายจะใช้แบ่งเป็นแหล่งสร้างพลังงานหลักให้กับร่างกาย เพราะของเสียที่เกิดจากการสลายแบ่งสามารถนำออกจากร่างกายได้ง่ายและไม่เป็นพิษกับร่างกาย แต่การดำเนินชีวิตมิได้อาศัยแต่พลังงานเท่านั้น แต่ยังต้องใช้สารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ดังกล่าวมาข้างต้นด้วย ตัวอย่างเช่น การสลายอาหารที่เป็นแป้ง เพื่อให้ได้พลังงานจะเกิดขึ้นไม่ได้เลย หากขาดเอนไซม์ ซึ่งเป็นโปรตีน เป็นต้น

คำตอบ : ข้อ ง. เพราะแป้งไม่มี N และมนุษย์ไม่สามารถนำ N จากอากาศมาได้โดยตรง

ข้อ ก. ผิดข้อเท็จจริง เพราะร่างกายมนุษย์มิได้ประกอบขึ้นด้วยโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ เพราะประมาณ 70% ของร่างกายเราเป็นน้ำ

ข้อ ข. ถูกที่ว่ามนุษย์ต้องการสารอื่นอีกมากมายเพื่อการดำรงชีวิต แต่ก็มีใช่ว่าจะไม่สามารถสร้างขึ้นได้เองทั้งหมด เพราะมีบางที่สร้างเองไม่ได้ เช่น กรดอะมิโนบางชนิด แต่ที่สร้างขึ้นเองได้ ก็มีอีกมากมาย

ข้อ ค. แป้งให้พลังงานความร้อนได้ไม่สูงนักก็จริง คือน้อยกว่าไขมันเกือบเท่าตัว แต่ถ้าทานมาก ๆ ก็จะได้พลังงานเพียงพอ และร่างกายก็ใช้แป้งเป็นแหล่งให้พลังงานดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น

หลักสูตรในประเทศไทย : พอเพียงที่จะนำมาใช้ตอบคำถามนี้ได้

2. **คำถาม :** ยาที่สามารถลดความรุนแรงของเอนไซม์ acetylcholine esterase มีผลอย่างไร

- ก. ยับยั้งการปล่อย acetylcholine จากปลายประสาทก่อนการไซแนปส์
- ข. ห้ามมิให้ acetylcholine ไปเกาะกับ receptor ของมัน
- ค. เพิ่มระยะเวลาการหดตัวของกล้ามเนื้อ เพราะกระแสประสาทวิ่งผ่านได้นานขึ้น เนื่องจากไม่ถูกทำลาย
- ง. ถูกทุกข้อ

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจเกี่ยวกับทำงานของ neurotransmitter ที่บริเวณ synapse ในกรณีนี้ที่ neuromuscular junction

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

- 1. acetylcholine และ acetylcholine esterase เกี่ยวข้องกันอย่างไร
- 2. สารทั้งสองชนิดเกี่ยวข้องอย่างไรกับ synapse และการทำงานของกล้ามเนื้อ

พื้นฐานความรู้ :

- ความรู้เกี่ยวกับการนำส่งกระแสประสาทที่บริเวณ synapse

- ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของ neurotransmitter ที่ neuromuscular junction
- ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของกล้ามเนื้อเมื่อประสาทสั่งการ

เมื่อกระแสประสาทไปถึง synaptic knob ที่ปลาย presynaptic axon กระแสประสาทจะทำให้ voltage sensitive calcium channels ที่ synaptic membrane เปิดให้ Ca^{++} จากช่องเหลวที่หล่อเลี้ยงเนื้อเยื่อแพร่เข้าสู่เซลล์ประสาท Ca^{++} จะทำให้ synaptic vesicle เชื่อมกับ pre-synaptic membrane ในกรณีนี้เป็น motor neuron และเกิด exocytosis ปลดปล่อย neurotransmitter คือ acetylcholine แพร่ออกสู่ synaptic cleft (ช่องระหว่าง pre-synaptic membrane และ muscle fibre) ไปที่ membrane ของ muscle fibre และเชื่อมกับ receptors ที่ควบคุม chemically activated (Na^{++} ion channels (ช่องทางเข้าออกของ ions ซึ่งจะกระตุ้นให้เปิดปิดได้ด้วยปฏิกิริยาทางเคมี) ที่เยื่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อ Na^{++} จึงแพร่ผ่านเข้ามาทาง Na^{++} channels อย่างรวดเร็วเรียกว่า Na influx เกิด depolarization มากพอที่จะทำให้เกิด Action Potential ได้จึงเกิดเป็นกระแสประสาทแพร่ไปทั่วเซลล์กล้ามเนื้อ เซลล์กล้ามเนื้อจะตอบโต้ด้วยการหดตัว (contraction) จากนั้น enzyme acetylcholine esterase ซึ่งมีอยู่ทั้งที่ synaptic cleft และ postsynaptic membrane (คือ membrane ของเซลล์กล้ามเนื้อ) จะทำลาย acetylcholine อย่างรวดเร็ว เป็น choline และ acetate เพื่อให้ผลที่เกิดขึ้นกับเซลล์กล้ามเนื้อแม่นยำและรวดเร็ว เพื่อว่า Action Potential อันถัดไปที่มาถึง synapse จะถูกนำส่งต่อไปได้

ดังนั้นยาที่ลดความรุนแรงของ acetylcholine esterase จึงจะทำให้การสลายตัวของ acetylcholine ช้าลง กล้ามเนื้อ (เซลล์กล้ามเนื้อจำนวนมากรวมกัน) จะหดตัวนานขึ้น เพราะกระแสประสาทผ่านติดต่อกันนานขึ้น ไม่เปิดโอกาสให้กล้ามเนื้อได้คลายตัว (relax) ดังเช่นที่ควรจะเกิดขึ้นตามปกติ

คำตอบ : คือ ข้อ ค.

ส่วนคำตอบข้อ ก. ข. นั้น เหตุการณ์ดังที่กล่าวไว้ไม่เกิดขึ้น

ดังนั้นข้อ ง. จึงไม่ถูกโดยปริยายด้วยเช่นกัน

หลักสูตรของประเทศไทย : มีกล่าวไว้เป็นหลักการ แต่ไม่ได้อธิบายลงลึกในขั้นตอนที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมการทำงานของ ion-channels ชนิดต่างๆ ที่สำคัญมิได้มีอธิบายไว้ หลักสูตรของเราเน้นที่กายวิภาค มักไม่กล่าวถึงหน้าที่และกลไกในการทำงาน แต่มักจะกล่าวถึงในลักษณะรวบยอด เช่นในกรณีนี้ นักเรียนก็อาจตอบได้ถูกเพราะได้จากการทบทวนหรือครูพูดถึง

3. **คำถาม :** หนูสีน้ำตาลที่กำลังหิว ถูกนำมาขังในกล่องโลหะที่มีช่องว่างให้อาหารผ่านลงมาได้ ทุกครั้งที่คานถูกกด หนูได้รับการปล่อยให้เรียนรู้การกดคานแบบสุ่ม กล่าวคือขณะที่เคลื่อนไหวไปมาในกล่องและบังเอิญไปกดคาน อาหารจะผ่านลงมา ในไม่ช้าหนูก็เรียนรู้ที่จะกดคานเมื่อต้องการอาหาร พฤติกรรมของหนูเช่นนี้จัดเป็นการเรียนรู้แบบ

ก. ผังใจ (imprinting)

ข. แสบบิชูเอชัน (habituation)

ค. รับความรู้สึก (sensitization) ง. ลองผิดลองถูก (trial and error)

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจการเรียนรู้แบบต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเรียนรู้แบบลองผิดลองถูก

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

1. รูปแบบต่างๆ ของการเรียนรู้
2. สิ่งเร้าที่ทำให้หนูแสดงพฤติกรรมนั้นคืออะไร (UCS คืออะไร) หนูบอกไว้หรือไม่ ถ้าเป็นการบังเอิญก็จะไม่ใช่ UCS

พื้นฐานความรู้ :

จะต้องเข้าใจว่า การเรียนรู้เกิดขึ้นเมื่อสัตว์สามารถเกี่ยวโยงเหตุและผลเข้าด้วยกันได้โดยผ่านกระบวนการต่างๆ กัน เช่น

- การเรียนรู้แบบผังใจ ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งของชีวิต ที่เรียกว่า 'sensitive period' และในช่วงเวลานี้จะมีช่วงหนึ่งที่เรียนรู้ได้ดีที่สุดเรียกว่า ระยะวิกฤติ 'critical period' ก่อนหรือหลังช่วงเวลาดังกล่าวจะไม่สามารถเรียนรู้แบบผังใจได้ ช่วงเวลาของการเรียนรู้แบบนี้มักจะเป็นระยะช่วงต้นของชีวิต และพฤติกรรมที่ได้จากการเรียนรู้แบบนี้จะเป็นพฤติกรรมที่เป็นประโยชน์กับการดำรงชีวิต ขณะที่ยังช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ ทั้งในการหาอาหารและการป้องกันตัวเอง เพราะเป็นการเรียนรู้ที่ทำให้สัตว์ผูกผันกับสิ่งที่ได้พบเห็นในช่วง sensitive period ซึ่งในธรรมชาติคือ พ่อ แม่ สัตว์จะติดตามพ่อแม่จนกว่าจะช่วยตัวได้ การเรียนรู้แบบนี้ยังจะมีผลต่อไปในการเลือกคู่ เรียกว่า sexual imprinting ทำให้มันได้ผสมกับสัตว์ชนิดเดียวกันได้

- การเรียนรู้แบบแสบบิชูเอชัน เป็นการเรียนรู้แบบง่ายที่สุด กล่าวคือสัตว์จะหยุดแสดงพฤติกรรมที่เรียนรู้ว่ามีได้ก่อให้เกิดประโยชน์หรือโทษกับการดำเนินชีวิต เป็นการลดการสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็น

- การเรียนรู้แบบลองผิดลองถูก หรือที่รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า การเรียนรู้แบบมีเงื่อนไข (conditioning learning) แบบที่ 2

การเรียนรู้แบบมีเงื่อนไขแบบที่ 1 จะเกิดขึ้นเมื่อสัตว์สามารถเกี่ยวโยงสิ่งเร้าซึ่งคือเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น (conditioning stimulus) เข้ากับสิ่งเร้าตามธรรมชาติ (unconditioning stimulus) ซึ่งทำให้เกิดการตอบโต้บางอย่างอยู่แล้วตามธรรมชาติ มีผลทำให้เมื่อสัตว์ได้รับสิ่งเร้าที่เป็นเงื่อนไขนั้นก็จะตอบโต้ในลักษณะเดียวกันกับที่ได้รับสิ่งเร้าตามธรรมชาติ เช่น ในการทดลองของ Parlov

สิ่งเร้าตามธรรมชาติที่กระตุ้นให้ salivatory reflex ของสุนัขทำงาน ทำให้สุนัขน้ำลายไหล คือ เนื้อ (เพราะสุนัขเป็น carnivorous) ดังนั้นเนื้อจึงเป็น unconditioning stimulus (UCS) แต่เมื่อ Parlov สร้างสิ่งเร้าที่เป็นเงื่อนไขขึ้นมา คือ เสียงนกหวีด ซึ่งเป็น conditioning stimulus (CS) และสอนให้สุนัขเรียนรู้ความเกี่ยวโยงของ stimulus ทั้งสองนี้

โดยทุกครั้งที่สุนัขได้เห็นเนื้อก็จะเป่านกหวีด สุนัขเมื่อเห็นเนื้อและได้ยินเสียงนกหวีด สุนัขจะน้ำลายไหล จากนั้นจึงให้กินเนื้อเป็นการให้รางวัล ซึ่งจะทำให้การเรียนรู้เกิดขึ้นได้เร็วขึ้น เมื่อสุนัขเรียนรู้ เพียงเป่านกหวีด ไม่ต้องเห็นเนื้อ salivatory reflex ก็ทำงาน สุนัขจะน้ำลายไหลได้ อย่างไรก็ตาม การเรียนรู้จะจางหายไปอย่างรวดเร็ว หากไม่มีการย้ำ (re-inforcement) ด้วยการให้รางวัล คือให้กินเนื้อ ซึ่งเราถือว่าเป็น reinforcement จะเห็นได้ว่า การเรียนรู้แบบมีเงื่อนไขแบบที่ 1 นี้เราสามารถบอกได้ว่า UCS คืออะไร

การเรียนรู้แบบมีเงื่อนไขแบบที่ 2 หรืออาจเรียกว่า Operant Conditioning หรือลองผิดลองถูก (trial and error) นั้น เราไม่สามารถบอกได้ว่าอะไรคือ UCS สิ่งเร้าตามธรรมชาติที่ทำให้สัตว์แสดงพฤติกรรมนั้นๆ ออกมาคืออะไรเราไม่รู้ เราจึงมักบอกว่าเป็นการบังเอิญ หรือ แบบสุ่ม หรือ แบบลองผิดลองถูก ถ้าการแสดงผลพฤติกรรมนั้นไปสอดคล้องกับเงื่อนไขที่ตั้งขึ้น และมีผลให้เกิดเป็นรางวัล ไม่ช้าสัตว์ก็จะเรียนรู้ที่จะแสดงพฤติกรรมนั้นเพื่อให้ได้รางวัล (พฤติกรรมใดแสดงแล้วไม่ได้ประโยชน์หรือโทษ ก็จะมีการเรียนรู้แบบ แสบบิซูเอชัน สัตว์จะเลิกแสดงพฤติกรรมนั้นไปเอง) ดังเช่นในกรณีนี้ ไม่มีใครรู้ว่า สิ่งเร้าตามธรรมชาติ (UCS) ที่ทำให้หนูกดคานคืออะไร แต่การแสดงผลพฤติกรรมนี้ทำให้หนูได้รางวัล คืออาหาร หนูจึงแสดงพฤติกรรมนี้เพื่อต้องการอาหาร

คำตอบ : จากที่อธิบายมาจะเห็นได้ว่าคำตอบคือข้อ ง. การเรียนรู้แบบลองผิดลองถูก

หลักสูตรของประเทศไทย :

มีการสอนเรื่องนี้ในลักษณะของทฤษฎี หรือแนวคิด แต่ไม่ได้แจกแจงให้ชัดเจนพอ ทำให้การนำมาใช้ตอบคำถามที่ไม่เคยเห็นมาก่อนซึ่งต้องการการวิเคราะห์ในระดับหนึ่งเกิดขึ้นไม่ได้ ใช้ได้แต่เฉพาะจำ

4. **คำถาม :** ในเอ็มบริโอของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม โครงสร้างแรกที่เริ่มสร้างความสัมพันธ์กับผนังมดลูก คือ

- ก. ถุงน้ำคร่ำ (amnion)
- ข. คอเรียน (chorion)
- ค. แอลแลนทอยส์ (allantois)
- ง. ไทรโพลลาสต์ (trophoblast)

สิ่งที่ต้องการวัด :

ความรู้เกี่ยวกับพัฒนาการของเอ็มบริโอสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมซึ่งเจริญอยู่ภายในมดลูกของแม่ว่าเป็นไปอย่างไร

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

- พัฒนาการของ mammal embryo ตั้งแต่ก่อนการฝังตัว จนภายหลังการฝังตัวจนเกิด placenta
- extraembryonic membrane

พื้นฐานความรู้ :

ขั้นตอนต่าง ๆ ของการพัฒนาเอมบริโอสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมซึ่งแตกต่างจากสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดอื่น ๆ ที่มีพัฒนาการเบ็ดเสร็จอยู่ภายในเปลือกไข่ จนเจริญเต็มที่ช่วยตัวเองได้ จึงฟักออกจากไข่

สำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำมนั้นส่วนมาก (ยกเว้นตุ่นปากเป็ด) เซลล์ไข่ (egg cell) มิได้อาหารอยู่มากพอที่จะเลี้ยงเอมบริโอจนช่วยได้ดังเช่นสัตว์มีกระดูกสันหลังอื่น เอมบริโอจึงเจริญต่ออยู่ภายในมดลูกของแม่ ดังนั้นกระบวนการพัฒนาเอมบริโอจึงต้องพึ่งพาอาหาร และ O_2 จากแม่ รวมทั้งการขับถ่ายของเสียก็ต้องผ่านไปทางแม่ แม่จะมี allantois (ซึ่งหลงเหลือจากวิวัฒนาการของสัตว์ที่ออกลูกเป็นไข่) อยู่บ้าง เมื่อเป็นเช่นนี้ ย่อมจะต้องมีกลไกที่จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนสารระหว่างเลือดแม่และลูกได้ (ทั้งอาหารและของเสียนั้นจะละลายอยู่ในเลือด) โดยที่มีโครงสร้างที่เกิดจากเนื้อเยื่อแม่และลูกผสมผสานกัน เรียกว่ารก หรือ placenta

ประมาณ 7 วัน หลังการปฏิสนธิ blastocyst จะเคลื่อนไปยังบริเวณที่เหมาะสมบนผนังมดลูก และเริ่มต้นฝังตัว โดยการที่เซลล์ของ trophoblast ที่สัมผัสกับผนังมดลูกจะสร้าง enzyme เชาะผนังบริเวณนั้นให้ใหญ่พอที่เอมบริโอจะฝังตัวลงไปได้ และเอมบริโอจะค่อยๆ แทรกตัวลึกลงไป และ epithelial cells ก็จะมีเจริญมาปิดรอยเปิดที่เอมบริโอสร้างขึ้น ประมาณวันที่ 10 หลังการปฏิสนธิ trophoblast จะกลายเป็น chorion ประมาณวันที่ 25 เอมบริโอจะสัมพันธ์ใกล้ชิดกับเส้นเลือดของแม่ ส่วนหนึ่งของ chorion จะกลายเป็น placenta

สัตว์มีกระดูกสันหลังที่อยู่บนบกจะมี extraembryonic membranes ได้แก่ allantois, chorion, yolk sac และ amnion แม้ membrane เหล่านี้จะเจริญมาจาก germ layers แต่ก็มิได้เป็นส่วนของตัวเอมบริโอ เพราะจะหลุดไปเมื่อคลอด จัดเป็นการปรับตัวให้เหมาะกับการพัฒนาเอมบริโอของสัตว์บก กล่าวคือในระหว่างการพัฒนาจะช่วยป้องกันเอมบริโอจากแรงกระทบกระเทือนและจากการแห้ง (amnion) และช่วยให้ได้รับอาหารและ oxygen รวมทั้งกำจัดของเสีย (allantois)

คำตอบ ข้อ ง. Trophoblast

ส่วนข้ออื่นๆ เป็น extraembryonic membrane และจะไม่มีส่วนสัมผัสกับผนังมดลูก ยกเว้น chorion แต่ chorion เจริญมาจาก trophoblast จึงมิใช่คำตอบที่ถูกต้อง

หลักสูตรของประเทศไทย :

ลักษณะการนำเสนอในหนังสือเรียนชีววิทยาของ สสวท. นั้นมีลักษณะนำเสนอให้คนทั่วไปศึกษา มิใช่เพื่อวางพื้นฐานที่พอเพียงให้ศึกษาต่อในระดับสูง ดังจะเห็นได้จากการลำดับขั้นตอน รวมทั้งเนื้อหาที่ผิวเผิน หลักการไม่ชัดเจน ไม่ใช้ศัพท์เทคนิคซึ่งจำเป็นมากกับการเรียนชีววิทยาที่เป็นสากล การวาดภาพก็ oversimplified ทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้ ภาพที่จำเป็นและสำคัญต่อความเข้าใจที่ถูกต้องก็มิได้นำเสนอ

5. คำถาม : นักเรียนคนหนึ่งเติมน้ำลายลงในสารละลายน้ำแป้งตามสถานการณ์ต่อไปนี้ คาดว่า แป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล การทดลองในข้อใดที่ดีที่สุด

- ก. เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 0°C
- ข. เก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 30°C
- ค. ต้มสารละลายนี้ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30°C
- ง. เก็บสารละลายนี้ไว้ที่อุณหภูมิ 70°C

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้เกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของเอนไซม์

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

- 1. แป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ด้วยการย่อย
- 2. ในน้ำลายมนุษย์มี enzyme ย่อยแป้ง
- 3. เอนไซม์จะทำงานได้ดีในอุณหภูมิช่วงหนึ่ง
- 4. เอนไซม์จะทำงานได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

พื้นฐานความรู้ :

จะต้องรู้ว่า น้ำลายมนุษย์มีเอนไซม์ที่ชื่อว่า salivary amylase ที่ทำให้เกิดการย่อยแป้ง (เพราะน้ำลายของ mammals ส่วนมากไม่มีเอนไซม์) และแป้งจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ก็เมื่อเอนไซม์นี้ทำงาน

เอนไซม์ทุกชนิดเป็นโปรตีน ทำหน้าที่ควบคุมปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ โดยเร่งปฏิกิริยาด้วยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยานั้นๆ เอนไซม์ส่วนใหญ่จะมีความเฉพาะสูง คือจะเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาใดปฏิกิริยาหนึ่งเท่านั้น และเมื่อหมดหน้าที่ก็จะกลับมาเป็นตัวเองอย่างเดิม และนำกลับมาใช้ใหม่ได้

และเนื่องจากเอนไซม์ทำงานอยู่ภายในเซลล์ที่มีชีวิต ดังนั้นเซลล์จึงเป็นผู้ควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ เอนไซม์จะทำงานได้ดีที่สุดในเงื่อนไขแคบๆ ที่เรียกว่าสภาวะพอเหมาะ (Optimal conditions) ได้แก่ที่ อุณหภูมิ pH และความเข้มข้นของเกลือแร่ที่พอเหมาะ

เอนไซม์ส่วนใหญ่จะทำงานได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิช่วงหนึ่ง สำหรับเอนไซม์ของมนุษย์ก็จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิร่างกายคือ $35-40$ องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์จะเกิดขึ้นช้ามาก หรือไม่เกิดขึ้นเลยที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นภายในขอบเขตจำกัด หากอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะรูปร่างโมเลกุลของเอนไซม์จะเปลี่ยนไป ทำให้ทำงานไม่ได้ (denature) และเสียไปในที่สุด (ดูรูป) มีข้อยกเว้นอยู่บ้าง เช่น bacteria บางชนิดมีชีวิตอยู่ได้ในน้ำพุร้อนที่อุณหภูมิสูงเกือบ 100°C

คำตอบ ข้อ ข. เก็บสารละลายที่อุณหภูมิ 30°C

เพราะ ข้อ ก. เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0°C ปฏิกิริยาทางเคมีจะช้ามากหรือไม่เกิด

ข้อ ข. เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30°C ปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นได้ดี แม้จะไม่ดีที่สุด เพราะจะดีที่สุดที่อุณหภูมิ = $37-38^{\circ}\text{C}$

ข้อ ค. ต้มสารละลายนี้ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30°C

ถ้าต้ม เอนไซม์นี้จะเสีย ทำงานไม่ได้ ปฏิกริยาทางเคมีจะไม่เกิด

ข้อ ง. เก็บสารละลายนี้ไว้ที่อุณหภูมิ 70°C

ที่อุณหภูมิ 70°C เอนไซม์ก็จะหยุดทำงานเช่นกัน

หลักสูตรของประเทศไทย : ให้ข้อมูลที่เพียงพอจะนำไปวิเคราะห์ และตอบคำถามได้ถูกต้อง

6. **คำถาม :** เหตุการณ์ใดมีโอกาสเกิดขึ้นได้ในระยะเวลาสั้น ๆ ในระบบการหมุนเวียนเลือดของคนเมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งจากการนอนราบเป็นลุกขึ้นมายืนในทันทีทันใด

1. อัตราการเต้นของชีพจรเพิ่มขึ้น
2. เกิดแรงต้านทานของผนังเส้นเลือดฝอยเพิ่มขึ้น
3. มีเลือดไหลผ่านไตมากขึ้น
4. มีเลือดไหลผ่านแขนและขาเพิ่มขึ้น
5. ความดันเลือดลดลง

ก. 1,3 และ 4

ข. 3,4 และ 5

ค. 1,2 และ 5

ง. 2 และ 3

จ. 4 และ 5

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้เกี่ยวกับอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีต่อปริมาณและความดันเลือดที่ไหลเวียนในร่างกายในช่วงเวลาสั้น ๆ

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

1. ขณะนอนราบเลือดจะไหลเวียนไปทั่วร่างกายด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอทั่วร่างกาย
2. เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งกระทันหันเป็นยืน แรงโน้มถ่วงของโลกจะดึงเลือดลงสู่เบื้องล่าง
3. พิจารณาถึงผลของแรงโน้มถ่วงของโลกมีต่อปริมาณเลือดที่ไปยังอวัยวะและต่อความดันเลือด

พื้นฐานความรู้ :

ขณะนอนราบ เลือดจะไหลเวียนไปทั่วร่างกายด้วยความดันสม่ำเสมอ เพราะแรงดึงดูดของโลกที่มีต่อเลือดในร่างกายเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เมื่อลุกขึ้นยืนในทันที แรงโน้มถ่วงของโลกทำให้เลือดไหลลงสู่เบื้องล่างอย่างรวดเร็ว เลือดจาก dorsal aorta จึงไหลผ่าน renal artery เข้าสู่ไตได้มากขึ้น เช่นเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลกจะดึงเลือดเข้าสู่แขนขาได้มากขึ้น นอกจากนี้เราจะมีอาการวิงเวียนศีรษะเมื่อลุกขึ้นยืนอย่างรวดเร็ว แสดงว่าความดันเลือดลดลงชั่วขณะ เพราะเลือดถูกดูดสวนทางกับแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้ไม่สามารถส่งเลือดไปเลี้ยงสมองได้เพียงพอ สมองขาด O₂ ไปชั่วคราว จึงเกิดอาการวิงเวียน

เหตุการณ์นี้ไม่มีผลต่อชีพจร เพราะชีพจรคือจำนวนครั้งที่เลือดถูกฉีดออกจากหัวใจ ซึ่งในคนปรกติไม่ว่าจะอยู่ในตำแหน่งใดจะสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับแรงต้านทานของผนังเส้นเลือดฝอยในระบบเลือดซึ่งจะคงที่

คำตอบ : ข้อ ข. คือ 3, 4 และ 5

หลักสูตรของประเทศไทย : มีข้อมูลที่จะนำไปคิดวิเคราะห์ต่อ และตอบคำถามได้ถูกต้อง

7. คำถาม : ข้อความต่อไปนี้ ข้อความใดที่เป็นหน้าที่ร่วมกันของต่อมหมวกไต ตับอ่อน และตับในมนุษย์

- ก. การควบคุมอัตราเมแทบอลิซึม
- ข. การบีบตัวของเส้นเลือด
- ค. การสร้างยูเรีย และกรดยูริก
- ง. การย่อยไขมัน
- จ. มีส่วนในการควบคุมระดับกลูโคสในเลือด

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้เกี่ยวกับหน้าที่ร่วมกันของต่อมหมวกไต ตับอ่อน และตับ

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

- 1. อวัยวะทั้งสาม อวัยวะใดเป็นต่อมมีท่อ (ตับ/ตับอ่อน) อวัยวะใดเป็นต่อมไม่มีท่อ (ต่อมหมวกไต/ตับอ่อน)
- 2. แต่ละอวัยวะทำหน้าที่อะไรบ้าง
- 3. เลือกหน้าที่ร่วมกันของทั้งสามอวัยวะ

พื้นฐานความรู้ :

ตับ (liver) : สร้างน้ำดีเพื่อช่วยในการย่อยไขมัน และเก็บ glucose จาก hepatic portal vein แล้วเปลี่ยนเป็น glycogen เก็บไว้ในเซลล์ตับ (ถ้าระดับ glucose ในเลือดสูง) และ glycogen จะถูกเปลี่ยนเป็น glucose แล้วปล่อยออกสู่กระแสเลือด หากระดับ glucose ในเลือดต่ำกว่าระดับปกติ

ตับอ่อน (pancreas) : เป็นทั้งต่อมมีท่อ และไม่มีท่อ เป็นต่อมมีท่อในแง่ที่สร้าง pancreatic juice และส่งไปตาม pancreatic duct สู่ duodenum เพื่อช่วยย่อยโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ต่อมไม่มีท่อ สร้างฮอร์โมน คือ insulin และ glucagon จาก islets of Langerhans insulin จะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลงโดยการกระตุ้นเซลล์ให้รับ glucose จากเลือด ส่วน glucagon จะทำให้ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น โดยกระตุ้นให้เซลล์ตับเปลี่ยน glycogen ไปเป็น glucose (กระบวนการนี้เรียกว่า glycogenolysis)

ต่อมหมวกไต (adrenal gland): เป็นต่อมไม่มีท่อ ที่ประกอบขึ้นด้วยเนื้อเยื่อชั้นในที่เรียกว่า adrenal medulla ซึ่งพัฒนามาจากเนื้อเยื่อประสาท สร้างฮอร์โมน adrenaline และ nor-adrenaline การหลั่งของฮอร์โมนทั้งสองชนิดนี้ควบคุมโดยระบบประสาท (sympathetic nerve) ในทางเคมี ฮอร์โมนทั้งสองชนิดนี้คล้ายคลึงกัน และมีผลต่อร่างกาย

คล้ายๆ กัน คือ ทำให้ระดับ glucose และ fatty acid สูงขึ้น เพื่อเตรียมร่างกายให้พร้อมกับการที่จะต้องใช้พลังงานมาก ในสถานการณ์ที่ตึงเครียด ซึ่งจะช่วยให้เราคิดได้เร็วขึ้น ต่อสู้ได้ดีขึ้น หรือวิ่งได้เร็วกว่าปกติ metabolic rate เพิ่มขึ้นได้ถึง 100% เนื้อเยื่อชั้นนอกเรียกว่า adrenal cortex พัฒนามาจากเนื้อเยื่อชั้น endoderm สร้าง steroid hormones จาก cholesterol มี 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 androgen ฮอโมนเพศชาย

กลุ่มที่ 2 mineralocorticoids เช่น aldosterone ช่วยควบคุมสมดุลย์

ของ ๗ เหลว โดยควบคุมสมดุลย์ของเกลือแร่

กลุ่มที่ 3 glucocorticoids เช่น cortisol ทำให้เซลล์มีเชื้อเพลิงพอเมื่อร่างกายตกอยู่ในความเครียด โดยกระตุ้นให้เซลล์สร้าง glucose จากสารอาหารอื่น (gluconeogenesis) โดยที่ cortisol จะช่วยกระตุ้นให้มีการส่ง amino acids และ fatty acids ไปสู่เซลล์ เพื่อเปลี่ยนไปเป็น glucose จึงทำให้ความเข้มข้นของ glucose ในเลือดสูงไป

เมื่อพิจารณาดูหน้าที่ของอวัยวะทั้งสามแล้ว จะเห็นได้ชัดเจนว่า หน้าที่รวมคือการควบคุมระดับ glucose ในเลือด ตัวเลือกในข้ออื่นๆ อาจเป็นหน้าที่ของบางอวัยวะ เช่น adrenaline และ nor-adrenaline อาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการ metabolism หรือการหดตัวของเส้นเลือดซึ่งไปที่ไตและผิวหนัง แต่อวัยวะอื่นๆ ก็มิได้ทำหน้าที่นี้ จึงมิใช่หน้าที่รวม และทั้งสามอวัยวะนี้มิได้ทำหน้าที่สร้างยูเรีย และกรดยูริก รวมทั้งการย่อยไขมัน

คำตอบ : ข้อ จ.

หลักสูตรของประเทศไทย : มีเนื้อหาพอเพียงที่จะตอบคำถามได้

8. คำถาม : ถ้าความเข้มข้นของฮอโมนไทรอยด์มากเกินไปจะทำให้การทำงานของไมโทคอนเดรียผิดปกติไปจากที่ควรจะเป็น เช่น ทั้งๆ ที่อิเล็กตรอน ก็ยังคงไหลเวียนไปตาม oxidative chain แต่จะไม่มีการสร้าง ATP ด้วยข้อเท็จจริงนี้ เราจึงคาดว่าคนที่ต่อมไทรอยด์ทำงานมากเกินไป จึงควรมีลักษณะดังนี้

- ก. อ้วนแม้ว่าจะทานอาหารน้อย และผิวจะเย็นกว่าคนที่สุขภาพดีทั่วไป
- ข. อ้วนแม้ว่าจะทานอาหารน้อย และผิวจะอุ่นกว่าคนที่สุขภาพดีทั่วไป
- ค. ผอมแม้ว่าจะทานอาหารมาก และผิวจะเย็นกว่าคนที่สุขภาพดีทั่วไป
- ง. ผอมแม้ว่าจะทานอาหารมาก และผิวจะอุ่นกว่าคนที่สุขภาพดีทั่วไป

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน กับต่อมไทรอยด์ กับ mitochondria และ ATP

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

- thyroine ทำอะไร
- oxidative chain ทำอะไร
- ถ้าไม่มีการสร้าง ATP จะเกิดอะไรขึ้น

พื้นฐานความรู้ :

สิ่งมีชีวิตต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการดำรงชีวิต ในเชิงพลังงานนั้น สิ่งมีชีวิตเปรียบเสมือนระบบเปิด เพราะพลังงานจากสภาพแวดล้อมจะไหลเข้าสู่ระบบ กระบวนการสังเคราะห์แสงจะดักจับพลังงานส่วนหนึ่งไว้ในพันธะทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งจะแหล่งสร้างพลังงานเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั่วไป ด้วยกระบวนการหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration) ซึ่งเซลล์จะมีวิธีการ 3 แบบที่จะสกัดพลังงานออกจากสารประกอบอินทรีย์ดังกล่าว คือ aerobic respiration, anaerobic respiration และ fermentation ในกรณีนี้ เฉพาะ aerobic respiration เท่านั้นที่ mitochondria จะเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เพราะภายใน mitochondria บริเวณ cristae จะมี electron transport system ซึ่งไฮโดรเจนทั้งหมดที่ถูกดึงออกมาจากโมเลกุลของ glucose ระหว่างเกิด glycolysis, การสร้าง acetyl Co.A และวัฏจักร Krebs หรือ citric acid cycle จะถูกส่งไปที่ตัวรับ hydrogen คือ NAD^+ และ FAD สร้าง NADH และ FADH_2 จากนั้นสารประกอบที่ถูก reduce เหล่านี้ก็จะเข้าสู่ electron transport chain electrons ที่มีพลังงานสูงของ hydrogens เหล่านี้จะถูกส่งจากตัวรับตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งเป็นทอดๆ และปลดปล่อยพลังงานที่ถูกนำไปใช้ในการสร้าง ATP ด้วยกระบวนการ chemiosmosis ซึ่งในกรณีที่ฮอโมนไทรอยซินเข้มข้นมากเกินไป จะไปเร่งกระบวนการสร้างพลังงาน จนสร้าง ATP ไม่ทัน ทำให้พลังงานที่เกิดขึ้นสูญเสียไปในรูปของความร้อน พลังงานที่ควรเก็บไว้ในรูปของ ATP เพื่อนำไปใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์โมเลกุลให้แก่ร่างกายจึงมีน้อย แม้จะมีการทานอาหารมาก และมีการเผาผลาญอยู่ตลอดเวลา ทำให้คนที่ต่อมไทรอยด์ทำงานมากทานอาหารมากแต่ผอมเพราะถูกเผาผลาญหมด อุณหภูมิผิวจึงสูงกว่าคนที่สุขภาพดีทั่วไป และและไม่มีอาหารเหลือให้สะสม จนเพิ่มน้ำหนักได้

คำตอบ : ข้อ ง.

หลักสูตรของประเทศไทย : ขาดไปบางตอนเกี่ยวกับรายละเอียดของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสร้าง ATP จาก electron-chain เช่นดังที่เป็นคำถามในข้อนี้ ที่พบว่าปริมาณ thyroxine ที่มากเกินไปจะมีผลกระทบต่อการทำงานของ mitochondria อย่างไรก็ดีที่สำคัญกว่านั้นก็คือการนำความรู้มาต่อเนื่องกัน เป็นเรื่องจำเป็นที่ครูควรจะต้องเอ่ยถึงบ้าง แม้จะมีใช้ในทุกกรณีเพื่อชี้ให้นักเรียนเกิดความคิด และมองเห็นภาพว่าการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายนั้นมีปฏิสัมพันธ์ และผลกระทบต่อกันและกัน

9. **คำถาม :** ตาของหมึกทะเลมีประสิทธิภาพสูง ส่วนตาของหอยทากมีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อพิจารณาดูจะพบว่า ประสิทธิภาพการทำงานของอวัยวะมักจะคู่กับกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย ถ้าหากว่าหมึกทะเลมีตาที่มีประสิทธิภาพต่ำ และหอยทากมีตาที่มีประสิทธิภาพสูง โดยที่ส่วนต่างๆ ของร่างกายสัตว์ทั้งสองยังคงเหมือนเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ข้อใดถูก

- ก. หมึกทะเลจะเสียเปรียบและหอยทากจะได้เปรียบ
- ข. หมึกทะเลจะได้เปรียบและหอยทากจะเสียเปรียบ
- ค. ทั้งหมึกทะเลและหอยทากจะเสียเปรียบทั้งคู่

จ. ทั้งหมึกทะเลและหอยทากจะได้เปรียบทั้งคู่

สิ่งที่ต้องกวรวัด : ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของโครงสร้างของร่างกาย กับกระบวนการทางสรีรวิทยาของร่างกายที่จะวิวัฒนาการมาให้เหมาะกับการดำเนินชีวิตในธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ (metabolism)

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

1. โจทย์ให้ข้อมูลแล้วว่าประสิทธิภาพในการทำงานของอวัยวะจะคู่กับการทำงานของร่างกาย
2. อวัยวะในกรณีนี้คือตา
เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตาปลาหมึกกับประสิทธิภาพของกระบวนการ metabolism
เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตาหอยทากกับประสิทธิภาพของกระบวนการ metabolism
3. ปลาหมึกเคลื่อนที่เร็วแสดงว่ามีการสร้างพลังงานได้มาก สะท้อนถึงประสิทธิภาพของกระบวนการ metabolism ว่าประสิทธิภาพดี ดังนั้นตามโจทย ประสิทธิภาพตาก็น่าจะดี
หอยทากเคลื่อนที่ช้า ใช้พลังงานน้อย กระบวนการ metabolism ไม่จำเป็นต้องมีประสิทธิภาพมาก ดังนั้นตามโจทย ตาก็ไม่จำเป็นต้องมีประสิทธิภาพมาก
4. ดังนั้นถ้าตาปลาหมึกมีประสิทธิภาพต่ำ และตาหอยทากมีประสิทธิภาพสูง แต่ส่วนต่างๆ ของร่างกายสัตว์ทั้งสองยังคงเดิม ก็ย่อมจะไม่มีประโยชน์กับทั้งสองฝ่าย

พื้นฐานความรู้ :

นักเรียนจะต้องเข้าใจในหลักการว่า โครงสร้างของร่างกายนี้สอดคล้องกับหน้าที่ของโครงสร้าง ความสอดคล้องดังกล่าวเป็นผลจากวิวัฒนาการที่ดำเนินมาอย่างค่อยเป็นค่อยไป ด้วยการคัดเลือกจากธรรมชาติ หากระดับความสอดคล้องนี้ไม่ดีพอ หรือไม่พอเหมาะที่จะช่วยให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ได้ ก็จะสูญพันธุ์ พวกใดที่ความสอดคล้องของโครงสร้างและหน้าที่พอเหมาะ กับสภาพแวดล้อมนี้มากกว่า ก็จะอยู่ได้นานพอที่จะสืบลูกสืบหลานต่อไป นอกจากนี้จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับชีววิทยาหมึกทะเล และหอยทาก

หมึกทะเล มีตาที่ดีมาก มีประสิทธิภาพสูง จับภาพที่เคลื่อนไหวได้ดี สัตว์พวกนี้กินของที่เคลื่อนไหวได้ และตัวเองก็เคลื่อนไหวได้รวดเร็วเช่นกัน มีรูปร่างที่เหมาะสมกับการดำเนินชีวิตในน้ำ กล่าวคือรูปร่างเพรียว ลดแรงเสียดสี หนวดยาว ตาดี เหมาะกับการหาเหยื่อที่มีชีวิต หมึกทะเลเป็นผู้ล่าที่มีประสิทธิภาพชนิดหนึ่งในทะเล

หอยทาก แม้จะเป็น mollusc ด้วยกัน แต่วิถีชีวิตผิดไปจากหมึกทะเลอย่างสิ้นเชิง กล่าวคือ กินพืชผักที่เน่าเปื่อยหรือที่ยังมีชีวิต ซึ่งมีมากและพบได้ทั่วไป อยู่กับที่ ไม่ต้องแข่งขันเคลื่อนที่เชิงรุก เพราะโครงสร้างก็ไม่เหมาะกับการเคลื่อนที่เร็ว เพราะหลายชนิดแบกเปลือก

ไว้ และก็ไม่จำเป็นที่จะต้องมิตาที่มีประสิทธิภาพ เพราะไม่ได้ใช้ประโยชน์มากนักในการดำรงชีวิต

ดังนั้นถ้าให้ตาของหมึกทะเลมีประสิทธิภาพเท่ากับหอยทาก หมึกทะเลก็คงอดตาย และ/หรือถูกล่าจนสูญพันธุ์ ส่วนหอยทากถ้ามีตาที่มีประสิทธิภาพก็ไม่ได้ช่วยให้ดำเนินชีวิตได้ดีขึ้น เพราะการดำเนินชีวิตของมันนั้นไม่จำเป็นต้องใช้ตาที่มีประสิทธิภาพสูง เหมือนซื้อรถแข่งมาวิ่งบนถนนในกรุงเทพฯ การสับเปลี่ยนดังที่โจทย์ถาม จึงมีลักษณะผิดฝา ผิดตัว ไม่เกิดประโยชน์ต่อผู้ใด คำตอบ จึงเป็นข้อ ค.

หลักสูตรของประเทศไทย : หลักสูตรของเราครอบคลุม แต่ไม่ลึกพอ โดยเฉพาะในเชิง concept ไม่ชัดเจนพอ กล่าวไว้แบบผิวเผิน ชีววิทยาของสัตว์ก็เป็นลักษณะบรรยาย มิได้วิเคราะห์ให้เห็นความสัมพันธ์ของโครงสร้าง หน้าที่ และวิถีชีวิต ของสิ่งมีชีวิต อันเป็นผลจากวิวัฒนาการ

10. คำถาม : ถ้ามีปลาชนิดหนึ่งจากน้ำจืดได้พัฒนาไปเป็นปลาทะเล ปัญหาของการควบคุมสมดุลของน้ำ ข้อใดที่จะต้องแก้ไข

1. การกำจัดเกลือที่มากเกินไป
2. การดูดน้ำกลับจากของเหลวที่กรองผ่านไตครั้งแรก
3. ความเข้มข้นของเกลือในเลือดจะต้องปรับให้เท่ากับของน้ำทะเล
4. จะต้องหลีกเลี่ยงการกินน้ำทะเล
5. ความสามารถในการซึมผ่านของของเหลวที่ผิวหนังจะต้องลดลง

สิ่งที่ต้องระวัง : ความเข้าใจเกี่ยวกับการรักษาสมดุลของน้ำในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน
ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

1. ปลาน้ำจืดที่จะพัฒนาไปเป็นปลาทะเล จะมีปัญหาเกี่ยวกับการเสียน้ำให้แก่สภาพแวดล้อมด้วยกระบวนการ osmosis อยู่ตลอดเวลา
2. การรักษาน้ำไว้ในร่างกายทำได้โดย
 - 2.1 กินน้ำทะเลเข้าไปในปริมาณมาก ซึ่งก็จะมีปัญหาเกี่ยวกับเกลือแร่ที่มากเกินไป ต้องขับออก
 - 2.2 ลดปริมาณปัสสาวะให้น้อยที่สุด โดยการดูดน้ำกลับจากของเหลวที่กรองผ่านไต
3. เมื่อพิจารณา 2.1 และ 2.2 ข้อ 2.1 สำคัญกว่าเพราะกลไกหลักที่ปลาใช้แก้ปัญหการเสียน้ำ คือ การกินน้ำทะเล ดังนั้นปัญหาการควบคุมสมดุลของน้ำ คือ การกำจัดเกลือที่มากเกินไป
4. เหตุผลที่ตัวเลือกอื่นใช้เป็นคำตอบไม่ได้ ให้พิจารณาจากพื้นฐานความรู้

พื้นฐานความรู้ :

สัตว์น้ำ (ทั้งน้ำจืดและน้ำทะเล) จะต้องรักษา osmolarity ภายในร่างกายที่แตกต่างไปจากสภาพแวดล้อมไว้ให้ได้ด้วยกระบวนการ osmoregulation ในกลุ่มสัตว์มีกระดูกสัน

หลัง ปลาปากกลวง (hagfishes) มีสารละลายภายในร่างกายที่เข้มข้นเท่ากับสภาพแวดล้อม (isotonic กับ surroundings) สารละลายภายในร่างกายของฉลามและปลากระดูกอ่อนจะ hypertonic เล็กน้อยกับน้ำทะเล จึงไม่ดื่มน้ำเลย และกำจัดน้ำที่เข้าสู่ร่างกายด้วยกระบวนการ osmosis ออกไปทางปัสสาวะ

ปลากระดูกแข็งวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษที่อยู่ในน้ำจืด ต่อมาปลากระดูกแข็งหลายกลุ่มวิวัฒนาการไปเป็นปลาทะเล แต่สภาพภายในเกี่ยวกับ osmolarity ยังคงคล้ายคลึงกับปลาน้ำจืด กล่าวคือ จะสูญเสียน้ำให้กับสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในตัวปลา (hypertonic surroundings) อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นปลาพวกนี้จึงต้องทดแทนการเสียน้ำโดยการดื่มน้ำทะเลในปริมาณมาก และขับเกลือส่วนเกินออกทางเหงือก และปัสสาวะปริมาณน้อย มิได้ทดแทนโดยการลดความสามารถในการซึมผ่านของของเหลวที่ผิวหนังดังตัวเลือกที่ 5

ปลาเซลมอนอยู่ได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็มเรียกว่า euryhaline เมื่ออยู่ในมหาสมุทร จะดื่มน้ำทะเล และกำจัดเกลือที่เกินออกทางเหงือก เมื่อเข้าไปอยู่ในน้ำจืด จะหยุดดื่มน้ำ และจะดึงเกลือจากสภาพแวดล้อม ปลานิลก็เป็น euryhaline สามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของเกลือในระดับต่างๆ ได้ระหว่างน้ำจืดและน้ำที่เกลือเป็น 2 เท่าของน้ำทะเล

คำตอบ ข้อ 1 การกำจัดเกลือที่มากออกไป

หลักสูตรของประเทศไทย : มีเนื้อหาครอบคลุมพอที่จะตอบคำถามนี้ได้

11. คำถาม : ได้มีการศึกษา ปริมาณเลือดที่ไหลผ่านตำแหน่งต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ ตำแหน่งใดต่อไปนี้จะมียปริมาณเลือดสูงสุด/1 นาที

- ก. เส้นเลือดแดงที่ขาข้างซ้ายหลังรอยแยกของ aorta ที่แยกออกเป็นเส้นเลือดแดงไปยัง ขาขวา และขาซ้าย
- ข. เส้นเลือดแดงที่นำเลือดดำไปยังปอดข้างขวา หลังรอยแยกออกเป็นเส้นเลือดแดงไปยัง ปอดขวา และปอดซ้าย
- ค. เส้นเลือด coronary artery ทางด้านซ้ายแยกจาก aorta
- ง. เส้นเลือดดำไปตับก่อนจะเข้าสู่ inferior vena cava

สิ่งที่ต้องระวัง : ความรู้เกี่ยวกับปริมาณและความเร็วของเลือดในหลอดเลือดดำ และหลอดเลือดแดง ที่ไหลเวียนไปตามอวัยวะต่างๆ

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

- 1. เส้นเลือดที่จะมียปริมาณเลือดสูงสุด/นาที ควรจะเป็นเส้นเลือดที่เลือดไหลได้เร็ว มี supply มาก และขนาดโต ดังนั้นถ้าขนาดเท่าๆ กัน เส้นเลือดแดงก็จะมีเลือดไหลผ่าน/นาที มากกว่าหลอดเลือดดำ
- 2. ข้อ ง. เป็นเส้นเลือดดำที่ไปตับก่อนจะเข้าสู่ inferior vena cava ดังนั้น hepatic vein เป็นเพียงเส้นเลือดดำขนาดที่ไม่ใหญ่นัก

3. คำตอบข้อ ค. แม้จะเป็น artery แต่ขนาดเล็กเพราะไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจเท่านั้น จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะมีปริมาณเลือดสูงสุด/นาที
4. ระหว่างข้อ ก. และ ข. ซึ่งเป็น artery ทั้งคู่ นั้น ข้อ ก. ปริมาณเลือดที่ไปยังขาข้างซ้ายนั้น แม้จะไหลเร็วและมีปริมาณมากพอสมควร แต่เมื่อเทียบกับเส้นเลือดที่นำเลือดไปปอดข้างขวาซึ่งเป็น artery นำเลือดดำ $\frac{1}{2}$ ของปริมาณเลือดที่กลับมาสู่หัวใจไปฟอกที่ปอดให้เป็นเลือดแดงแล้วขนาดยังเล็กกว่า ดังนั้นด้วยขนาด ความเร็ว และ supply ข้อ ข. ควรจะเป็นคำตอบที่ถูกต้อง (อ่านพื้นฐานความรู้ประกอบความเข้าใจ)

พื้นฐานความรู้ :

ในนก และ mammals (มนุษย์) เส้นเลือดที่พาเลือดไหลเวียนไปทั่วร่างกายมีลักษณะเป็น double circuit ได้แก่

1. **Pulmonary circuit** ซึ่งเชื่อมหัวใจและปอดไว้ด้วยกัน เลือดจากเนื้อเยื่อทั่วร่างกายจะไหลเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา (RA) เลือดที่มี O_2 ต่ำนี้จะถูกฉีดออกจากหัวใจโดยการบีบตัวของหัวใจห้องล่างขวา (RV) เข้าสู่ pulmonary circulation หลอดเลือด pulmonary นี้ เมื่อออกจาก RV แล้วจะแยกออกเป็น pulmonary arteries ซ้าย ขวา ไปยังปอดขวาและซ้ายตามลำดับ pulmonary artery แต่ละข้างจึงนำเลือดประมาณ $\frac{1}{2}$ ของเลือดที่ไปเลี้ยงทั่วร่างกายไปยังปอด ดับ ไดอะแกรม

RA (right atrium) $\longrightarrow$ RV (right ventricle) $\longrightarrow$ pulmonary artery

Pulmonary capillaries ในปอด $\longrightarrow$ pulmonary vein $\longrightarrow$ LA (left atrium)

2. **Systemic circuit** เชื่อมหัวใจเข้ากับเนื้อเยื่อทั้งหมดของร่างกาย โดยที่เมื่อหัวใจห้องล่างซ้าย (LV) บีบตัว เลือดแดงจะถูกฉีดเข้าสู่ aorta ซึ่งเป็นเส้นเลือดแดงขนาดใหญ่ที่สุดของร่างกาย (เลือดจำนวนนี้คือเลือดที่มาจาก LA นั้นเอง) เส้นเลือดที่แยกจาก aorta ไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย เส้นสำคัญๆ ได้แก่ coronary arteries ไปที่กล้ามเนื้อหัวใจ carotid arteries ไปยังสมอง mesenteric artery ไปยังลำไส้ renal arteries ไปยังไต และ iliac arteries ไปยังขาขวาและซ้าย เส้นเลือดเหล่านี้แต่ละเส้นจะแตกแขนงย่อยลงไปทุกที จนกลายเป็น capillary network ภายในเนื้อเยื่อและอวัยวะในที่สุด เลือดที่กลับมาจาก capillary network ภายในสมองจะเข้าสู่ jugular veins จากขา และแขนเทเข้าสู่ subclavian veins เส้นเลือดดำเหล่านี้และเลือดจากส่วนบนของร่างกายจะรวมกันเทลงสู่ RA ผ่าน superior vena cava renal veins จากไต และ iliac veins จากขา hepatic veins จากตับ และเส้นเลือดดำอื่นจากส่วนล่างของร่างกายจะเทลงสู่ inferior venacava ซึ่งจะเทเลือดลงสู่ RA เช่นกัน coronary circulation กล้ามเนื้อหัวใจได้รับเลือดจาก coronary arteries ซึ่งแยกจาก aorta ที่จุดซึ่งเส้นเลือดออกจากหัวใจ และหลังจากแลกเปลี่ยน

เปลี่ยนอาหารและก๊าซ ผ่าน coronary capillaries แล้วเลือดจะไหลเข้าสู่ coronary veins และเทเข้าสู่ atrium ขวาโดยตรง เลือดในเส้นเลือดแดงจะไหลเร็วกว่าในเส้นเลือดดำ เพราะมีแรงดันจากการบีบตัวของ RV และ LV ในขณะที่แรงดันเลือดในเส้นเลือดดำนั้นต่ำมาก และในบางตำแหน่งเกือบเป็น 0 การไหลของเลือดในเส้นเลือดดำนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ล้นในเส้นเลือด เป็นต้น

คำตอบ : ข้อ ข.

หลักสูตรของประเทศไทย :

ให้ภาพกว้าง แต่ไม่ลึก เกี่ยวกับระบบเส้นเลือด ทำให้ไม่มีข้อมูลที่เพียงพอเกี่ยวกับการไหลเวียนของเลือดในเส้นเลือดทั่วร่างกาย ที่จะนำมาใช้คิดเปรียบเทียบในการตอบคำถาม ภาพที่แสดงไว้ในหนังสือก็ขาดสัดส่วนที่ถูกต้อง ทำให้ไม่สามารถใช้ประกอบการคิดได้

12. คำถาม : ได้มีการตรวจหาความเข้มข้นของสาร P และสาร Q ของคน ๆ หนึ่งใน

- น้ำเลือด (blood plasma)
- ของเหลวในส่วนต้นของ renal tubule
- ของเหลวใน ureter

ผลที่ได้คือ :	น้ำเลือด	renal tubule	ureter
P	0.03%	0.03%	2%
Q	0.1%	0.1%	0%

P และ Q คืออะไร

P	Q
ก. glucose	proteins
ข. glucose	urea
ค. urea	proteins
ง. urea	glucose

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจการทำงานของไตในการกรองสารจากน้ำเลือด ในระดับ renal tubule และ ureter

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

1. ทั้งสาร P และสาร Q มีปริมาณเท่ากันในน้ำเลือดและ renal tubule แสดงว่าผ่านการกรอง (filtration) โดยผ่านผนังของ glomerular capillaries ดังนั้นต้องไม่ใช่ proteins เพราะปกติ plasma protein จะไม่ผ่านออกมา
2. ดังนั้นต้องไม่ใช่ข้อ ก. และ ค. ซึ่งมี protein เป็นคำตอบอยู่ด้วย
3. เมื่อดูสารใน ureter ซึ่งในขั้นนี้เป็นปัสสาวะแล้ว ซึ่งหมายความว่าผ่านการ reabsorption secretion และ urine concentration มาแล้ว

4. สารที่จะพบในความเข้มข้นสูงในสารละลายใน ureter คือสารที่ร่างกายต้องการปล่อยออกมา คือ urea ในกรณีนี้คือสาร P
5. สารที่จะถูก reabsorp คือสารที่ร่างกายยังต้องการ ดังนั้นสารที่ไม่ควรพบในสารละลายใน ureter คือ glucose ซึ่งคือสาร Q

พื้นฐานความรู้ :

ของเสียจากกระบวนการ metabolism ของมนุษย์จะละลายอยู่ใน blood plasma ส่วนหนึ่งถูกกำจัดออกไปทางเหงื่อ และลมหายใจออก ส่วนใหญ่จะกำจัดออกจากร่างกายในรูปของปัสสาวะ (urine) ซึ่งประกอบด้วย น้ำ ประมาณ 96% nitrogenous waste (urea) 2.5% และเกลือแร่ประมาณ 1.5% และอาจมีสารอื่นๆ อีกเล็กน้อย เช่น รงควัตถุของน้ำดี ซึ่งทำให้เกิดสีและกลิ่น

ไตสร้าง urine ไตแต่ละข้างประกอบด้วยหน่วยทำงานที่เรียกว่า nephrons จำนวนเป็นล้าน แต่ละ nephron จะประกอบด้วย Bowman's capsule ที่มีท่อขดไปมาเรียกว่า renal tubule ภายใน capsule มีกระจุกเส้นเลือดฝอยที่เรียกว่า glomerulus บรรจุอยู่ โดยที่ผนังของเส้นเลือดฝอยจะสัมผัสกับผนังของ capsule ขณะที่เลือดไหลผ่าน glomerulus plasma บางส่วน (10%) จะถูกดันออกสู่ Bowman's capsule

มี 3 กระบวนการที่มีบทบาทในการสร้าง urine ได้แก่

1. กระบวนการกรอง (filtration) ซึ่งเป็นกระบวนการ non-selective เกิดที่รอยต่อของ glomerulus capillaries และผนังของ Bowman's capsule เป็นกลไกที่คล้ายกับการสร้าง tissue fluid แต่มีปริมาณ plasma ที่ถูกกรองออกมามากกว่า สารโมเลกุลเล็กๆ ที่ละลายใน plasma เช่น glucose, amino acids, sodium, potassium chloride bi-carbonate และเกลืออื่นๆ รวมทั้ง urea จะปนออกมากับสารละลายที่กรองได้ (filtrate) แต่เซลล์เม็ดเลือด แผ่นเลือด และ plasma proteins ส่วนมากจะถูกกักไว้ในเส้นเลือด
2. กระบวนการดูดกลับ (reabsorption)
ประมาณ 99% ของสารละลายที่กรองได้จะถูกดูดกลับเข้าไปในเลือดผ่าน renal tubule สารที่ยังเป็นประโยชน์กับร่างกาย เช่น glucose และ amino acids จะถูกดูดกลับเข้าสู่เลือด ขณะที่ของเสีย เกลือแร่ส่วนเกิน และสารอื่นจะคงอยู่ในสารละลายที่กรองได้ ซึ่งจะกลายเป็นน้ำปัสสาวะในที่สุด
3. สารบางอย่างจะหลั่งออกจากเลือดสู่สารละลายที่กรองได้ (tubular secretion) K⁺ H⁺ และ ammonium ions ยาบางชนิด เช่น penicillin จะหลั่งจากเลือดผ่านเซลล์ของ renal tubule (ส่วน distal convoluted tubule) แล้วปล่อยเข้าสู่ urine

เมื่อผ่านทั้ง 3 กระบวนการนี้แล้วจะมีกลไกที่เรียกว่า counter current ทำให้ urine เข้มข้น % ของ urea ใน urine จึงสูงขึ้นเพราะน้ำถูกดูดกลับเข้าสู่เส้นเลือด ปัสสาวะจะออกจากไต โดยไหลมาตามท่อไต (ureter) มาพักที่กระเพาะปัสสาวะ แล้วออกจากร่างกายทาง urethra

คำตอบ : ข้อ ง.

หลักสูตรของประเทศไทย : มีอธิบายครอบคลุมไว้พอสมควร แม้จะมีได้อธิบายในรายละเอียดมากนัก แต่ถ้ามีไหวพริบดี ก็พอจะตอบได้

13. คำถาม: ทบทวนข้อความสี่ข้อความต่อไปนี้เกี่ยวกับความเข้มข้นของฮอร์โมน glucagon และ insulin ในเลือดที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของ glucagon ในน้ำเลือดมนุษย์ ข้อความใดที่ถูกต้อง?

- ก. ตับอ่อนจะลดการหลั่ง glucagon ถ้ามี glucose จากอาหารถูกส่งเข้าสู่เลือดมาก
- ข. ตับอ่อนจะเพิ่มการหลั่ง insulin ถ้าคนบางคนมิได้กินอาหารมาหลายชั่วโมง
- ค. glucagon ที่ความเข้มข้นสูงจะกระตุ้นให้เซลล์กล้ามเนื้อเก็บ glucose จากน้ำเลือด
- ง. insulin ที่ความเข้มข้นสูงจะกระตุ้นการหลั่ง glucose จากตับ

สิ่งที่ต้องกวาด : การควบคุมการหลั่ง หน้าที่และปฏิสัมพันธ์ของฮอร์โมน insulin และ glucagon ในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

- 1. ตับอ่อนสร้าง insulin และ glucagon ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด
- 2. insulin ช่วยทำให้ glucose เข้าสู่เซลล์ ดังนั้นจึงลดระดับ glucose ในเลือด
- 3. เมื่อระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าปกติ glucagon จะถูกหลั่งออกมา เปลี่ยน glycogen ซึ่งสะสมไว้ที่ตับเป็น glucose เพิ่มน้ำตาลในเลือดสู่ระดับปกติ
- 4. ดังนั้น ถ้ามี glucose จากอาหารส่งเข้าสู่เลือดมาก ตับอ่อนจะลดการหลั่ง glucagon

พื้นฐานความรู้ :

ตับอ่อน (pancreas) นอกจากจะทำหน้าที่สร้างน้ำย่อยอาหาร (digestive enzyme, pancreatic juice) แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นต่อมไร้ท่อ (endocrine gland) ที่สำคัญอีกด้วย ฮอร์โมน insulin และ glucagon สร้างจากกลุ่มเซลล์ที่รวมตัวกันเป็นกระจุกเล็กๆ หรือ islets กระจายไปทั่วตับอ่อน เรียกกระจุกเซลล์เหล่านี้ว่า islets of Langerhans (ตามชื่อ Paul Langerhans ผู้ค้นพบ) ซึ่งประกอบด้วย beta cells สร้าง insulin และ alpha cells สร้าง glucagon

insulin กระตุ้นเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง skeletal muscle และ fat cells ให้รับ glucose จากเลือด เมื่อ glucose เข้าสู่เซลล์ๆ จะรับนำไปใช้สร้างพลังงานหรือเก็บไว้ในรูปของ glycogen (glycogenesis) insulin จึงทำให้ระดับ glucose ในเลือดต่ำลง insulin มีอิทธิพลต่อ fat และ protein metabolism ด้วยการลดการใช้ fat และโปรตีน เป็นเชื้อเพลิง แต่

กระตุ้นให้สะสมไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน และเร่งกระบวนการสร้างโปรตีน (protein synthesis) ตามลำดับ

glucagon ทำงานตรงกันข้ามกับ insulin glucagon ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้น โดยกระตุ้นให้เซลล์ที่ตับเปลี่ยน glycogen เป็น glucose (glycogenolysis) และให้เซลล์ที่ตับสร้าง glucose จาก metabolites อื่น (gluconeogenesis) glucagon จะช่วยให้มีการนำ fatty acids และ amino acids มาใช้เป็นเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับ glucose

การหลั่ง insulin และ glucagon ควบคุมโดยความเข้มข้นของ glucose ในเลือดโดยตรง ดังนี้

ระดับ glucose ในเลือดสูงเกินระดับมาตรฐาน → กระตุ้น beta cells → เพิ่มการหลั่ง insulin → ทำให้ระดับ glucose ในเลือดลดลงสู่สภาพปกติ → ระดับ glucose ในเลือดต่ำกว่าปกติ → กระตุ้น alpha cells → เพิ่มการหลั่ง glucagon → ระดับ glucose ในเลือดสูงขึ้นเข้าสู่สภาพปกติ

insulin และ glucagon ทำหน้าที่ร่วมกันในการรักษาระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับปกติ ระบบ insulin-glucagon เป็นระบบที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว มีฉันทันเซลล์สมองซึ่งใช้ glucose เป็นเชื้อเพลิงได้เพียงอย่างเดียวจะกระทบกระเทือน

คำตอบ ข้อ ก. ตับอ่อนจะลดการหลั่ง glucagon เมื่อ glucose จากอาหารเข้าสู่เลือดในปริมาณมาก พื้นฐานความรู้ที่อธิบายมาข้างต้นจะทำให้ทราบว่า ตัวเลือก ข้อ ข, ค และ ง เป็นตัวลวงทั้งสิ้น

หลักสูตรของประเทศไทย :

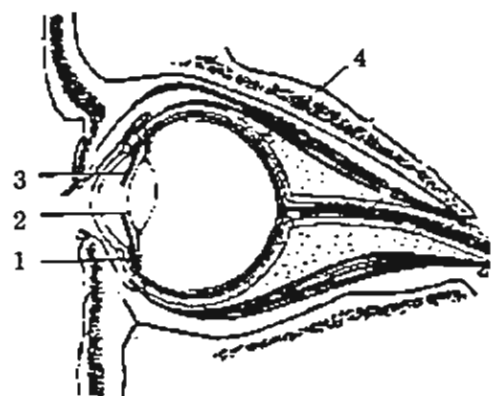
เนื้อหาที่มีในหนังสือเรียนให้ข้อมูลเชิงกายภาพและหน้าที่ได้ครอบคลุม แต่ไม่ได้กล่าวมากนักเกี่ยวกับกลไกในการทำงาน โดยเฉพาะการร่วมกันทำงานของฮอร์โมนในการรักษาสภาพปกติของร่างกาย

14. คำถาม : แผนภาพนัยน์ตาคน ถ้าแสงผ่านตา จะเกิด impulse ที่ทำให้เกิด reflex ของ pupil ข้อใดแสดง pathway ของ pupil reflex

- ก. จาก 1 ไป CNS และจาก CNS ไป 2
- ข. จาก 3 ไป CNS และจาก CNS ไป 3
- ค. จาก 4 ไป CNS และจาก CNS ไป 2
- ง. จาก 4 ไป CNS และจาก CNS ไป 3

สิ่งที่ต้องการวัด :

- 1. กายวิภาคและการทำงานของลูกตา
- 2. ความเข้าใจเกี่ยวกับ pathway ของ pupil reflex



ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

1. วงจร reflex แบบง่ายที่สุดจะประกอบด้วย sensory neuron เพื่อรับความรู้สึก และ motor-neuron เพื่อสั่งการ
2. sensory neurons นั้นใช้รับความรู้สึกเข้ามาทาง dendrites ดังนั้นในกรณีนี้ dendrite จะต้องไปรับความรู้สึกที่ receptor cell ของตา คือ เซลล์ rods หรือ cones ซึ่งอยู่ที่ retina บริเวณที่แสงตก
3. rods และ cones อยู่ที่ retina เปลี่ยนแสงเป็น impulse ดังนั้นจุดเริ่มต้นของ pathway นี้ควรจะเริ่มที่ 4 ข้อ ก. และ ข. ตัดออกไปได้ เหลือที่ต้องพิจารณา คือ ข้อ ค. และ ง.
4. sensory neurons เมื่อรับความรู้สึกจาก rods และ cones แล้วจะส่งไปตาม axons ซึ่งจะไปสิ้นสุดที่ CNS ส่งต่อเข้าสู่ motor neuron ซึ่งมี cell-body อยู่ใน CNS
5. axons ของ motor neuron จะไปสิ้นสุดที่ effector ซึ่งในที่นี้ควรเป็นหมายเลข 3 (iris) ที่จะบีบตัวหรือคลายตัว ทำให้ช่อง pupil กว้างหรือแคบได้ มิใช่หมายเลข 2 ซึ่งคือ lens
6. pathway ของ pupil reflex คือ จาก 4 ไป CNS และจาก CNS ไป 3

พื้นฐานความรู้ :

สภาพภายในหรือภายนอกร่างกายอาจเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วโดยไม่คาดคิด reflex เป็นการตอบโต้อย่างอัตโนมัติและรวดเร็วต่อสิ่งเร้า reflex จะช่วยรักษา homeostasis โดยการปรับหน้าที่ของอวัยวะหรือระบบอย่างรวดเร็ว การตอบโต้ของ reflex ต่างๆ จะคล้ายคลึงกัน วงจรประสาทที่ทำให้เกิด reflex เรียกว่า reflex arc เริ่มต้นที่ receptor ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานกระตุ้นใดๆ ให้เป็น impulse และสิ้นสุดที่ effector เช่น เซลล์กล้ามเนื้อหรือ เซลล์ของต่อม ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องในการตอบโต้แบบ reflex ดำเนินไปดังนี้

- ขั้นที่ 1 พลังงานกระตุ้นในรูปแบบต่างๆ กระตุ้น receptor
- ขั้นที่ 2 sensory neuron ถูกกระตุ้น
- ขั้นที่ 3 การจัดการกับข้อมูลที่ได้รับมา (เกิดที่ associative neuron)
- ขั้นที่ 4 motor neuron ถูกกระตุ้น
- ขั้นที่ 5 การตอบโต้โดย effector

เราจำแนก reflex ออกตามธรรมชาติการตอบโต้ออกเป็น

1. somatic reflexes ควบคุมกิจกรรมของระบบกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะ skeletal muscle
 2. visceral reflexes หรือ automatic reflexes ควบคุมกิจกรรมของระบบอื่น
- somatic reflex อาจมีวงจรแบบง่ายๆ คือ ประกอบด้วย sensory และ motor neuron เท่านั้น sensory neuron จะ synapse โดยตรงกับ motor neuron เรียกว่า

monosynaptic reflex หรือในวงจรอาจมี associative neuron หรือ interneuron แทรกอยู่ระหว่าง sensory และ motor neuron เรียกว่า polysynaptic reflexes ซึ่งจะสั่งการตอบโต้ได้ซับซ้อนกว่า แม้จะช้ากว่า monosynaptic reflex เพราะ interneuron สามารถควบคุมกลุ่มกล้ามเนื้อได้หลายกลุ่ม

visceral reflex มีองค์ประกอบพื้นฐานเหมือนกับ somatic reflex แต่ visceral reflexes ทั้งหมดเป็น polysynaptic pupillary reflex เป็น visceral reflex การฉายแสงไปที่ตาจะกระตุ้น visceral reflex ซึ่งจะทำให้ pupils ของตาทั้งสองข้างแคบลง

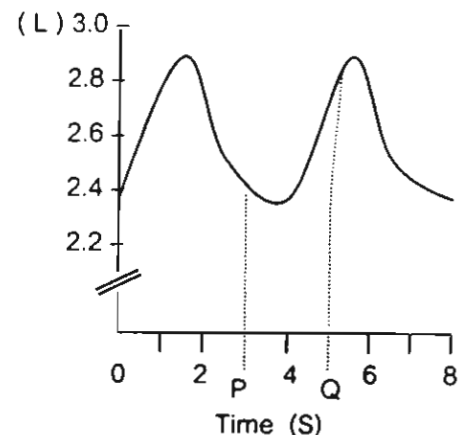
คำตอบ ข้อ ง. จาก 4 ไป CNS และจาก CNS ไป 3

หลักสูตรของประเทศไทย : ให้ความรู้เกี่ยวกับ reflex เฉพาะ somatic reflex แม้จะเอ่ยถึง visceral reflex อยู่บ้าง ก็ได้อธิบายหลักการ อย่างไรก็ดี ความรู้เกี่ยวกับ visceral reflex ในรายละเอียดนั้นเกินหลักสูตร แต่คำถามข้อนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้ลึกซึ้ง คิดดังที่แสดงไว้ในขั้นตอนการคิด ใช้ความรู้เท่าที่มีในหลักสูตรของเราก็ตอบได้ถูก

15. คำถาม : ภาพแสดงปริมาตรของปอด วัดในขณะที่คนหนึ่ง

หายใจตามปกติ โดยใช้กระบังลมตามปกติ ข้อความต่อไปนี้ข้อใดถูกต้องบ้าง

- I ในเวลา P กระบังลมเคลื่อนขึ้น
และในเวลา Q กระบังลมเคลื่อนลง
- II ในเวลา P ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
ใน trachea จะสูงกว่าในเวลา Q
- ก. เฉพาะ I
- ข. เฉพาะ II
- ค. I และ II
- ง. ไม่มีข้อใดถูก



สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจการทำงานของกระบังลมขณะหายใจเข้า และขณะหายใจออก

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

1. ที่เวลา P กระบังลมเคลื่อนขึ้น ปริมาตรของช่องอกจะลดลง ทำให้ความดันในช่องอกเพิ่มขึ้น (เพราะปริมาตรจะแปรกลับกับความดัน) บีบปอดทำให้ลมออกจากปอด คือขณะหายใจออก ปริมาตรอากาศในปอดจะลดลง ดังภาพ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศใน trachea คือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากปอดที่ความชื้นสูง
2. ที่เวลา Q กระบังลมเคลื่อนลง หมายถึงกระบังลมหดตัว ปริมาตรช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันจึงลดลง อากาศจากภายนอกซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าอากาศในปอดจึงถูกดันเข้ามาในปอด ผ่าน trachea ดังนั้น ณ จุด Q ปริมาตรของอากาศในปอดจะสูงขึ้น ดังเช่นในภาพ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่

หายใจเข้าจะเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในลมหายใจออก

ซึ่งจะต่ำกว่า

พื้นฐานความรู้ :

กลไกในการหายใจเข้าและออก:

อากาศจะไหลจากบริเวณที่มีความดันสูงไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า แนวโน้มนี้ประกอบกับ Boyle's law เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรนั้นสลับกัน หรือ $P = 1/V$ เมื่อ P = ความดัน V = ปริมาตร

เมื่อเริ่มต้นหายใจ ความดันภายในกล่องอกและภายนอกจะเท่ากัน จึงไม่มีอากาศเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากปอด แต่เมื่อซี่โครงยกตัวขึ้นหรือกระบังลมหดตัว กล่องอกจะขยาย ความดันภายในกล่องอกจะลดลงตาม Boyle's law อากาศจะไหลเข้าไปในเส้นทางเดินอากาศ (หายใจเข้า) เพราะความดันภายในกล่องอกต่ำกว่าความดันภายนอก อากาศจะไหลเข้าไปจนความดันภายในเท่ากับภายนอก เมื่อซี่โครงยุบตัวลงสู่สภาพเดิม หรือกระบังลมเคลื่อนขึ้น หรือกลับสู่สภาพเดิม ปริมาตรกล่องอกจะลดลง ความดันภายในจะเพิ่มขึ้น บีบปอดที่อยู่ภายในกล่องอก อากาศจึงไหลออกจากปอด (หายใจออก) อากาศที่ไหลออกไปจะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าอากาศภายนอก (โดยเฉพาะในประเทศหนาวซึ่งมักจะมีอากาศแห้ง) เพราะ pleural fluid ซึ่งจะช่วยลดการเสียดสีของปอดกับกล่องอก รวมทั้ง H_2O ที่เป็นส่วนที่ผลิตจากกระบวนการสลายอาหารให้ได้พลังงาน

คำตอบ ค. ข้อ I และ II

หลักสูตรในประเทศไทย : มีเนื้อหาครอบคลุมพอที่จะตอบได้ถูกต้อง

16. คำถาม : ภาพเปรียบเทียบวัว 2 ชนิด คือ ชนิด A และ B วัวชนิดใดปรับตัวให้เหมาะกับการทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่ากัน?

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจในกลไกการควบคุม

อุณหภูมิร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม และพื้นฐานความรู้

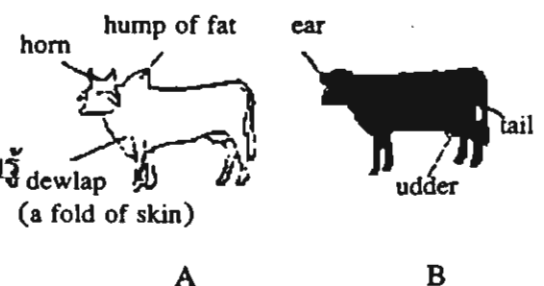
วัวเป็น mammal จึงเป็นสัตว์เลือดอุ่น

(homiotherms) อุณหภูมิในร่างกายจะเปลี่ยนแปลง

ได้น้อยเมื่อเทียบกับสัตว์เลือดเย็น (poikilotherms)

ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูง ความร้อนที่ถ่ายเท

เข้าสู่ร่างกายจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยซึ่งร่างกายจะต้องกำจัดความร้อนนี้ เพื่อให้อุณหภูมิกลับสู่สภาพปกติ ผิวหนังจะทำหน้าที่เป็นกลไกในการกำจัดความร้อนดังกล่าว โดยต่อมเหงื่อที่ผิวหนังจะผลิตเหงื่อและการระเหยเหงื่อที่ต้องใช้ความร้อนแฝงจะทำให้อุณหภูมิของร่างกายต่ำลง ดังนั้นถ้าสัตว์มีพื้นที่ผิวหนังมากก็จะช่วยให้ทนต่อสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าสัตว์ที่มีพื้นที่ผิวน้อย (วัวมีต่อมเหงื่อที่ผิวหนังมาก ควายมีน้อย)

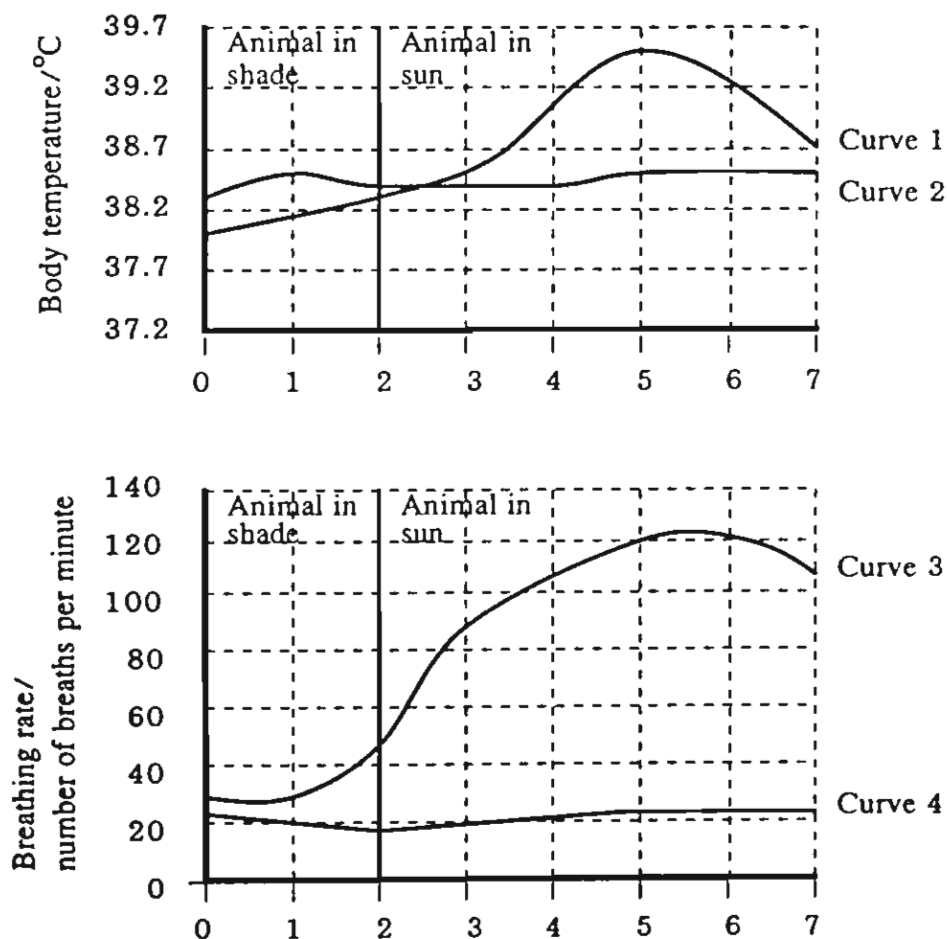


เมื่อพิจารณารูปวัชชนิด A และ ชนิด B จะเห็นได้ว่า วัชชนิด A มีทั้งแผ่นผิวหนัง พับซ้อนกันบริเวณหน้าอก และมีโหนกที่หลัง ในขณะที่ชนิด B ไม่มี ดังนั้นชนิด A จะมีพื้นที่ ผิวมากกว่าชนิด B คำตอบจึงเป็นชนิด A

คำตอบ : ชนิด A

หลักสูตรของประเทศไทย : ให้หลักการไว้เพียงพอที่จะตอบคำถามนี้ได้

17. คำถาม : ในการทดลองที่สถาบันวิจัยแห่งหนึ่งในเขตร้อน A และ B ถูกย้ายไปมาระหว่างที่ร่ม และบริเวณกลางแจ้ง รูปแสดงผลความแตกต่างของสภาวะทั้งสองที่มีต่ออุณหภูมิร่างกายและ อัตราการหายใจ ให้บอกว่าเส้นกราฟแต่ละเส้นในรูปนี้เป็นกราฟของวัชชนิดใด A หรือ B



สิ่งที่ต้องระวัง : ความเข้าใจผลจากการปรับโครงสร้างร่างกายให้เหมาะกับสภาพแวดล้อม

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม และพื้นฐานความรู้

คำถามในข้อนี้ต่อเนื่องกับข้อ 16 เมื่อได้คำตอบว่าวัชชนิด A ทนต่อความร้อน ได้ดีกว่าชนิด B แล้ว อุณหภูมิร่างกายของวัชชนิด A ในที่ร่มและกลางแจ้งย่อมไม่แตกต่างกัน มากนัก เพราะมีกลไกในการระบายความร้อนได้ดีกว่าชนิด B ดังนั้นกราฟเส้นที่ 1 จึงควร เป็นเส้นกราฟที่แสดงอุณหภูมิร่างกายของวัชชนิด B ซึ่งปรับร่างกายได้ไม่ดีและรวดเร็ว อุณหภูมิในที่ร่มและกลางแจ้งห่างจากกันมากกว่า 1°C ในขณะที่กราฟเส้นที่ 2 นั้นค่อนข้าง สม่าเสมอ แสดงถึงความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิร่างกายของร่างกายของวัชชนิด A

นอกจากผิวหนังจะช่วยระบายความร้อนแล้ว วัยยังมีกลไกที่ช่วยในการระบายความร้อนอีกวิธีหนึ่งคือ ระบายออกมาทางลมหายใจออก ดังนั้นวัชชนิด B ซึ่งมีพื้นที่ผิวน้อยจะต้องใช้กลไกนี้ในการระบายความร้อนมากกว่าวัชชนิด A มิฉะนั้นจะไม่สามารถรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายไว้ได้ กราฟเส้นที่ 3 จึงเป็นกราฟของวัชชนิด B ส่วนกราฟเส้นที่ 4 จึงเป็นกราฟแสดงการหายใจของวัชชนิด A

คำตอบ : เส้นกราฟที่ 1 ชนิด B

เส้นกราฟที่ 2 ชนิด A

เส้นกราฟที่ 3 ชนิด B

เส้นกราฟที่ 4 ชนิด A

หลักสูตรของประเทศไทย : ให้หลักการไว้พอเพียงที่จะตอบคำถามข้อนี้ได้

18. คำถาม : ข้อความเกี่ยวกับระบบสืบพันธุ์เพศหญิงต่อไปนี้ ให้ใส่เครื่องหมาย + ไว้หลังข้อความที่ท่านคิดว่าถูก และเครื่องหมาย - ไว้หลังข้อความที่ท่านคิดว่าผิด

ก. ทั้ง oestrogen และ progesterone จำเป็นต่อการตกไข่ (ovulation)

ข. oestrogen ห้ามการสร้าง FSH โดยต่อมใต้สมอง

ค. การปฏิสนธิเซลล์ไข่โดยตัวอสุจิจะเกิดขึ้นในมดลูก

ง. การสร้าง progesterone ส่วนใหญ่ควบคุมโดย LH

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจบทบาทหน้าที่และปฏิสัมพันธ์ของฮอร์โมนในระบบสืบพันธุ์เพศหญิงที่เกี่ยวกับการตกไข่ การปฏิสนธิ ตลอดจนการเตรียมการของมดลูกให้พร้อมที่จะรับเอมบริโอ

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม และพื้นฐานความรู้ :

เมื่อเป็นสาว ต่อมใต้สมองจะสร้างฮอร์โมน FSH (Follicle Stimulating Hormone) และ LH (Leuteinizing Hormone) ซึ่งจะส่งสัญญาณไปให้รังไข่ทำงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง oestrogens และ progesterone จากรังไข่จะควบคุมรอบเดือน (menstrual cycle) ซึ่งจะนานประมาณ 28 วัน

ในช่วงที่มีประจำเดือน ซึ่งโดยปรกตินานประมาณ 5 วัน (menstrual phase) ต่อมใต้สมองปล่อยฮอร์โมน FSH ไปกระตุ้นให้ follicles (2-3 อัน) ในรังไข่ให้พัฒนา ระหว่าง preovulatory phase (ก่อนจะตกไข่) granulosa cell ของ follicle จะสร้าง oestrogen ออกมา และยิ่ง follicle มีขนาดโตขึ้น ปริมาณ oestrogen ที่สร้างก็จะมีมากขึ้นตามลำดับ จนเกิด oestrogen surge (ระดับ oestrogen จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วกว่า 10 เท่าของระดับปรกติ และลดลงอย่างรวดเร็ว) ซึ่งจะไปกระตุ้น anterior pituitary ให้ปล่อย LH ออกมาในปริมาณมาก เกิดเป็น LH surge การกระตุ้นในลักษณะนี้เรียกว่า positive feedback mechanism LH surge จำเป็นต่อการเจริญเต็มที่ของ follicle และการเกิดการตกไข่ (ovulation) (ข้อความในข้อ ก. จึงผิด) และในขณะเดียวกันด้วยกลไก negative feedback oestrogen ที่มีปริมาณสูงจะห้ามการหลั่งฮอร์โมน FSH จากต่อมใต้สมอง (ข้อความในข้อ ข. จึงถูกต้อง)

หลัง ovulation (post-ovulatory phase) LH จะกระตุ้น corpus luteum ให้พัฒนา และหลังทั้ง progesterone และ estrogens หากไม่เกิดการปฏิสนธิ ระดับ progesterone และ estrogen ที่สูงอย่างสม่ำเสมอจะห้ามการหลั่ง LH ทำให้ corpus luteum สลายตัว ทันทีที่เหตุการณ์นี้เกิดขึ้น ระดับ progesterone และ estrogen ในเลือดก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว (ข้อความในข้อ ง. จึงถูกต้อง) เริ่มมีประจำเดือน การหลั่ง FSH และ LH จะสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

progesterone และ estrogen ที่สร้างขึ้นจาก corpus luteum จะกระตุ้นมดลูกให้เตรียมการพร้อมสำหรับการตั้งครรภ์ โดย progesterone กระตุ้นต่อมเล็ก ๆ ที่ผนังมดลูกให้หลั่งของเหลวที่มีอาหารอุดมสมบูรณ์ ซึ่งหากเซลล์ไข่ได้รับการปฏิสนธิ ของเหลวนี้จะนำมาใช้เลี้ยงตัวอ่อนในระยะแรกที่มาถึงมดลูกหลังจากพัฒนามาได้ 4 วัน และประมาณวันที่ 7 หลังการปฏิสนธิซึ่งเกิดขึ้นที่ส่วนต้นของท่อนำไข่ (ข้อความในข้อ ค. จึงไม่ถูกต้อง) เอ็มบริโอจึงจะเริ่มฝังตัวลงในผนังมดลูก เนื้อเยื่อที่ห่อหุ้มตัวเอ็มบริโอจะสร้าง human chorionic gonadotropin (HCG) ซึ่งจะให้สัญญาณให้ corpus luteum ทำงานต่อไป (HCG จะมีโครงสร้างทางเคมีและหน้าที่คล้าย LH) คำตอบ : ก -, ข +, ค -, ง +
หลักสูตรของประเทศไทย : ครอบครัวมากพอที่จะนำมาตอบได้

19. คำถาม : Vattelline sac (yolk sac) จะมีขนาดเล็กมากในกลุ่มสัตว์ชนิดใดต่อไปนี้

- ก. ในกลุ่มที่มีการปฏิสนธิภายนอก
- ข. ในกลุ่มที่มีเอ็มบริโอได้อาหารจากเลือดแม่
- ค. ในกลุ่มที่มีการปฏิสนธิภายใน
- ง. ในกลุ่มที่มี allantois

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของ yolk ต่อการพัฒนาเอ็มบริโอของสัตว์ชนิดต่าง ๆ

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม :

1. yolk sac บรรจุไข่แดงซึ่งเป็นของผสมของโปรตีน phospholipids และไขมัน ใช้เป็นอาหารของเอ็มบริโอที่กำลังพัฒนา
2. yolk จึงจำเป็นต่อสัตว์ที่เจริญตามลำพังภายในไข่ ไม่สามารถจะหาอาหารใช้เองได้ขณะเป็นเอ็มบริโอ
3. และสำคัญน้อยที่สุดในสัตว์ที่เอ็มบริโอได้อาหารจากแม่
4. คำตอบจึงควรเป็นข้อ ข.

ความรู้พื้นฐาน :

yolk sac บรรจุไข่แดงซึ่งเป็นของผสมของโปรตีน phospholipids และไขมัน ใช้เป็นอาหารของเอ็มบริโอในช่วงที่ยังช่วยตัวเองไม่ได้ ดังนั้น yolk จึงมีบทบาทมากต่อสัตว์ที่เอ็มบริโอเจริญอยู่ภายในเปลือกไข่ หรืออาจเป็นวุ้นเช่นในกรณีไข่กบ หรือเปลือกแข็งเช่นเปลือกไข่ จนกว่าเอ็มบริโอจะฟักออกจากไข่ และหาอาหารกินด้วยตนเองได้

สัตว์ที่ออกลูกเป็นไข่นั้นอาจผสมพันธุ์ภายนอก เช่น กบ หรือผสมพันธุ์ภายใน เช่น ไก่ นก ก็ได้ ดังนั้นลักษณะการผสมพันธุ์จึงมีได้มีบทบาทในการกำหนดขนาด yolk sac กบมี yolk ขนาดปานกลาง (mesolecithal) ดังนั้นเมื่อฟักออกจากไข่หลังจากใช้ yolk หมดแล้ว จึงยังมีลักษณะที่ไม่เหมือนพ่อแม่ ต้องหากินเองและปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรูปร่างอยู่อีกระยะหนึ่ง (metamorphosis) จึงจะเหมือนพ่อแม่ ส่วนไก่และนกกมี yolk ในปริมาณมาก (telolecithal) ทำให้ลูกไก่ใช้เวลาพัฒนาอยู่ในไข่ได้นาน เมื่อฟักออกมาแม้จะยังไม่เหมือนพ่อแม่ทีเดียว แต่ก็พอคล้ายคลึง และมีขนาดโตพอสมควร ปริมาณไข่จะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาที่เอ็มบริโอจะเจริญอยู่ภายในไข่ และกำหนดลักษณะการเกิด cleavage ด้วยว่าจะเป็นแบบ radial cleavage หรือ spiral cleavage สัตว์บกที่เจริญในไข่จะมี allantois ซึ่งเป็นที่สะสมของเสียต่างๆ และจะถูกทิ้งไปพร้อมกับเปลือกไข่เมื่อลูกนกฟักออกจากไข่ ส่วนสัตว์น้ำไม่จำเป็นต้องมีเพราะของเสียสามารถแพร่ออกไปกับน้ำที่ล้อมรอบอยู่ได้

ส่วนสัตว์ที่เอ็มบริโอได้อาหารจากเลือดแม่นั้น yolk sac จะมีความจำเป็นน้อยที่สุด แม้อาจต้องอาศัยใช้ yolk บ้างในระยะที่ตัวอ่อนยังไม่พัฒนาได้สมบูรณ์พอที่จะรับอาหารจากแม่ได้ (ในกรณีมนุษย์คือในระยะที่เอ็มบริโอยังไม่ฝังตัวที่ผนังมดลูก) แต่ก็ยังคงมี yolk sac ที่ขนาดเล็กมาก เช่นเดียวกับ allantois ที่มีได้ทำหน้าที่เช่น allantois นก

โดยสรุป ขนาดของ yolk sac จะปรับไปให้เหมาะสมกับการใช้งาน ถ้าต้องใช้มาก เช่นกรณีนก ก็มีขนาดโต ถ้าไม่จำเป็นต้องใช้จะมีขนาดเล็กแม้จะมีอยู่ ลักษณะการปฏิสนธิหรือการมีหรือไม่มี allantois มีใช้ตัวกำหนดขนาดของ yolk sac

คำตอบ : ข้อ ข.

หลักสูตรของประเทศไทย : ครอบคลุมพอที่จะตอบได้โดยไม่ต้องวิเคราะห์จากเนื้อหาที่เรียน

20. คำถาม : ในแต่ละวันผู้ที่เป็นมังสวิรัตมักจะต้องทานอาหารที่มีโปรตีนในปริมาณมากและหลากหลายกว่าผู้ที่ทานเนื้อสัตว์ พิจารณาข้อความที่อธิบายถึงข้อแตกต่างสำคัญของอาหารทั้งสองแบบนี้ในข้อ ก. ข. ค. และ ง เขียนเครื่องหมาย (+) ถ้าท่านคิดว่าถูกต้อง และเครื่องหมาย (-) ถ้าคิดว่าไม่ถูกต้อง ไว้หลังข้อความ

- ก. โดยทั่วไปจะพบว่า ความหลากหลายของ amino acids ที่จำเป็นของมนุษย์ในอาหารประเภทพืช มีน้อยกว่าในอาหารประเภทเนื้อสัตว์
- ข. โดยทั่วไปอัตราส่วนระหว่างปริมาณของ amino acids ที่จำเป็นในโปรตีนที่มาจากพืชจะแตกต่างไปจากโปรตีนที่มาจากสัตว์มาก
- ค. โดยทั่วไปเปอร์เซ็นต์ของโปรตีนในอาหารประเภทพืชจะต่ำกว่าอาหารประเภทเนื้อสัตว์
- ง. โดยทั่วไปโปรตีนจากพืชย่อยยากกว่า และย่อยได้ไม่สมบูรณ์เท่าโปรตีนจากสัตว์

สิ่งที่ต้องจำ : ความเข้าใจเกี่ยวกับปริมาณและชนิดของ amino acids ที่จำเป็นต่อร่างกาย รวมทั้งปริมาณโปรตีนที่พบในอาหารที่มาจากพืชและสัตว์

ขั้นตอนการคิดในการตอบคำถาม และความรู้พื้นฐาน :

โปรตีนที่เราทานเข้าไปนั้นจะถูกย่อยภายในระบบทางเดินอาหารไปเป็นหน่วยย่อยที่เรียกว่า amino acids ซึ่งจะถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์เพื่อนำไปใช้สร้างโปรตีนชนิดที่ร่างกายจะต้องใช้ต่อไป พืชจะมีโปรตีนในปริมาณที่ต่ำกว่าเนื้อสัตว์ที่น้ำหนักเท่ากัน

amino acids ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด มีหลายชนิดที่ร่างกายสร้างขึ้นได้เองจากการนำเอาอะตอมของกรดอินทรีย์บางชนิดมาจัดเสียใหม่ มี amino acids อยู่ 8 ชนิด (ในเด็กมี 9 ชนิด) ที่ร่างกายเราสร้างไม่ได้หรืออย่างน้อยที่สุดถ้าสร้างได้ก็น้อยมากจนไม่พอใช้ จึงต้องทานเข้าไป เรียกว่า essential amino acids

มิใช่ว่าโปรตีนทุกชนิดที่เราทานจะมีความหลากหลายของ amino acids เหมือนกัน หรือมีปริมาณ amino acids เท่า ๆ กัน โปรตีนหลายชนิดขาด essential amino acids บางชนิด โปรตีนที่สมบูรณ์ (complete proteins) มี amino acids หลากหลายชนิดและเหมาะสมที่จะเป็นอาหารมนุษย์ได้แก่ โปรตีนจากไข่ นม เนื้อ และปลา อาหารบางชนิดเช่น gelatin และถั่วเหลืองอาจมีโปรตีนในปริมาณสูง แต่ก็ขาด essential amino acids บางตัว หรืออาจมีอยู่แต่ในสัดส่วนที่ไม่สมดุลในเชิงสารอาหาร โปรตีนจากพืชส่วนมากมักจะขาด essential amino acids เรียกว่าเป็น incomplete proteins 1 ตัว หรือมากกว่านั้น (มักจะขาด lysine, tryptophan หรือ threonine)

โปรตีนจากพืชและสัตว์มีโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังนั้นการย่อยโปรตีนจึงทั้งซับซ้อนและใช้เวลา เพื่อให้อาหารแตกแยกเป็นชิ้นเล็กพอที่ proteolytic enzymes จะเข้าไปย่อยโปรตีนได้นั้นเริ่มด้วยกระบวนการเคี้ยวในปาก และตามมาด้วยการกลืนอาหารลงไปสู่สภาพแวดล้อมที่มีความเป็นกรดสูงในกระเพาะซึ่งจะทำให้ cell wall และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของเนื้อสัตว์ถูกทำลาย จากนั้น proteolytic enzyme เช่น pepsin ซึ่งทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด (pH 1.5-2.0) จะทำให้โปรตีนโมเลกุลใหญ่ กลายเป็นชิ้นส่วน polypeptides ขนาดเล็กที่ถูกย่อยต่อไปใน duodenum ซึ่ง pH จะถูกปรับเป็น 7-8 protease จาก pancreas จึงเริ่มทำงาน (trypsin, chymotrypsin, elastase และ carboxy peptidase) จะทำลาย peptide bond ภายใน polypeptide chain เหล่านี้ ได้เป็น free-amino acids ในที่สุด

การย่อยพืชนั้นย่อยยากกว่าเนื้อสัตว์ เพราะเซลล์พืชมี cellulose เป็น cell-wall แต่ไม่ใช้การย่อย protein

คำตอบ : ก. ข. ค. ถูก

ง. ผิด

หลักสูตรของประเทศไทย : ครอบคลุมพอที่จะนำมาใช้เป็นหลักการในการคิดตอบคำถามเหล่านี้ได้

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวถึงหลักการถ่ายทอดกรรมพันธุ์จากกฎของเมนเดล แต่ไม่มีรายละเอียดมากนักเกี่ยวกับ gene interaction แบบ complementary gene ซึ่งส่วนใหญ่จะเรียนกันในระดับมหาวิทยาลัย

22. **คำถาม :** F₁ จากการผสมระหว่าง AA X aa ถูกนำมาผสมในต้นเดียวกัน (self fertilization) ทุกรุ่นจนถึงทุกรุ่น F_n จะเกิดอะไรขึ้นในแต่ละรุ่น

- A. อัตราส่วน heterozygote ลดลง
- B. อัตราส่วน heterozygote ไม่เปลี่ยนแปลง
- C. อัตราส่วน heterozygote เพิ่มขึ้น
- D. อัตราส่วน heterozygote 3 : 1 คงเดิมทุกรุ่น

สิ่งที่ต้องกรวัด : ความรู้ความเข้าใจหลักการถ่ายทอดกรรมพันธุ์ของเมนเดลและผลกระทบที่เกิดจากการผสมภายในสายพันธุ์เดียวกัน (inbreeding)

พื้นฐานความรู้ : - กฎข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ของเมนเดล

- หลักการ inbreeding ที่นำไปสู่สภาวะการณ homozygosity

ตามหลักการถ่ายทอดกรรมพันธุ์ของเมนเดลที่กล่าวว่าการผสมพันธุ์ระหว่าง AA X aa จะได้ลูกรุ่น F₁ ทั้งหมดเป็น heterozygote คือ Aa และถ้ารุ่น F₁ ผสมกันเอง (self-fertilization) ต่อไป คือ Aa X Aa จะได้ลูกรุ่น F₂ ที่มีจีโนไทป์ 3 แบบ คือ 1/4 AA : 1/2 Aa : 1/4 aa ซึ่งจะมีสัดส่วนของพวก heterozygote (1/2) เท่ากับพวก homozygote (1/4AA + 1/4aa = 1/2) ถ้าผสมลูกรุ่น F₂ ด้วยกันเองต่อไปอีก สัดส่วนของ heterozygote จะลดลงไปอีก ในขณะที่สัดส่วนของ homozygote จะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นถ้าผสมภายในสายพันธุ์เดียวกัน (inbreeding) ต่อไปอีกเรื่อย ๆ สัดส่วนของ heterozygote จะลดลงตามลำดับ

คำตอบ : คือ ข้อ A

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้ในหลักการของเมนเดลในเล่ม 2 เรื่องพันธุศาสตร์ และการผสมภายในสายพันธุ์เดียวกัน (inbreeding) ไว้เพียงเล็กน้อยในเรื่องวิวัฒนาการ

23. **คำถาม :** สัตว์ 2 ตัว มีจีโนไทป์ AaBb ทั้งคู่ ยีน A กับยีน B อยู่บนโครโมโซมแท่งเดียวกัน และ gamete 20% เป็น recombinant ถ้าสัตว์ 2 ตัว นี้ผสมกัน จงหาเปอร์เซ็นต์ของลูกที่จะมี phenotype แบบ A-B-

- A. 40%, B. 48%, C. 51%, D. 66%

สิ่งที่ต้องกรวัด : ความเข้าใจในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสและการทำแผนที่ยีน

พื้นฐานความรู้ : - ความรู้เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์

- ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ crossing over และ gene recombination และการนำไปใช้ในการหาระยะทางระหว่างยีนและการทำแผนที่ยีนบนโครโมโซม

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเฉพาะในเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) เพื่อให้เซลล์สืบพันธุ์มีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งหนึ่ง (haploid-n) ของเซลล์เริ่มต้น (diploid-2n) เหตุการณ์สำคัญในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส คือ โครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) จะมาเข้าคู่แบบชิดกัน (synapsis) ในระยะ zygotene ของ prophase I การเข้าคู่แบบชิดกันเช่นนี้อยู่ในสภาพที่เรียกว่า tetrad เพราะมีโครมาทิด (chromatids) 4 สายมาเข้าคู่แบบชิดกัน ซึ่งเอื้ออำนวยให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนระหว่างคู่ chromatids ดังกล่าวโดยกลไกที่เรียกว่า crossing over ซึ่งยังผลให้เกิดการสลับที่ของยีนระหว่างคู่ chromatids ที่เรียกว่า gene recombination ทำให้ gamete ที่เป็นผลลัพธ์ของกระบวนการแบ่งเซลล์แบบนี้มีความแตกต่างแปรผันในทางพันธุกรรมอย่างมากมายหลากหลายรูปแบบ และเมื่อ gametes ที่มีความหลากหลายในองค์ประกอบทางพันธุกรรมเหล่านั้นเกิดปฏิสัมพันธ์กันแบบสุ่มจากพันธุ์พ่อและพันธุ์แม่ที่มีต้นตอต่างกัน ก็จะทำให้ได้ลูกมีพันธุกรรมที่หลากหลายมากขึ้นไปอีก อย่างไรก็ตาม ความถี่การเกิด crossing over จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างยีนที่เกี่ยวข้องที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกันนั้น ถ้ายีนอยู่ใกล้กันมากโอกาสเกิด crossing over ก็น้อย แต่ถ้ายีนอยู่ห่างกันมากโอกาสเกิด crossing over ก็มากด้วย ซึ่งความถี่การเกิด crossing over จะสะท้อนออกมาเป็นผลลัพธ์ที่ตรวจสอบวัดได้จากความถี่ของ gene recombination ซึ่งจะหาได้จากข้อมูลจำนวนลักษณะฟีโนไทป์และจีโนไทป์ที่ปรากฏในลูกรุ่น F1 และลูกรุ่น F2 ที่ได้จากการทดลองผสมพันธุ์ดังกล่าว

คำตอบ : จากการคำนวณตามทฤษฎีฟีโนไทป์แบบ A-B- จะมีค่าเท่ากับ 56% ซึ่งใกล้เคียงมากที่สุดกับข้อ C ที่มีค่า 51% ดังนั้น ข้อที่ถูกต้องคือ ข้อ C

หลักสูตรในประเทศไทย : มักกล่าวไว้เป็นหลักการในเรื่องการแบ่งเซลล์และในเรื่องการถ่ายทอดพันธุกรรมหรือพันธุศาสตร์ (เล่ม 2) แต่ไม่ได้กล่าวเฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับการหาตำแหน่งของยีนในโครโมโซม นักเรียนจะต้องเชื่อมโยงความรู้ด้านต่าง ๆ เข้าด้วยกันเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่มีให้เลือก

24. **คำถาม :** crossing over เกิดขึ้นในระหว่าง meiosis ทำให้เกิดโครโมโซมที่มียีนสลับที่กัน โครโมโซมนี้เรียกว่า recombinant chromosome ในการเกิด crossing over 1 ครั้ง จะมี recombinant chromosome กี่แท่ง

- A. 1, B. 2, C. 3, D. 4

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบ meiosis และปรากฏการณ์สำคัญ คือ crossing over ที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้

พื้นฐานความรู้ : ความรู้พื้นฐานเช่นเดียวกับข้อ 79

คำตอบ : crossing over เกิดขึ้นระหว่าง 2 chromatids ของโครโมโซมคู่เหมือนที่เข้า synapsis กัน ดังนั้น คำตอบที่ถูก คือ ข้อ B

หลักสูตรในประเทศไทย: เช่นเดียวกับข้อ 79

25. **คำถาม :** ไชโกตของแมลงหวี่ (*Drosophila melanogaster*) มีโครโมโซม 8 แท่ง 4 แท่งมาจากแม่ อีก 4 แท่งมาจากพ่อ เมื่อไชโกตนี้เจริญไปเป็นแมลงหวี่ที่โตเต็มที่ และสร้างเซลล์สืบพันธุ์ จงหาว่าในเซลล์สืบพันธุ์ที่สร้างขึ้นนี้จะมีโครโมโซมจากแม่ และจากพ่ออย่างละกี่แท่ง?
- A. 4 แท่งจากพ่อ 4 แท่งจากแม่
 - B. 4 แท่งจากไข่ของแม่ 4 แท่งจากเสปิร์มของพ่อ
 - C. 2 แท่งจากพ่อ 2 แท่งจากแม่
 - D. 1 แท่งจากพ่อหรือแม่ อีก 3 แท่งจากอีกฝ่ายหนึ่ง
 - E. 0, 1, 2, 3 หรือ 4 แท่งจากแม่ และ 4, 3, 2, 1 หรือ 0 แท่งจากพ่อ

สิ่งที่ต้องการวัด : - ความรู้ความเข้าใจอย่างละเอียดเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์แบบ meiosis
- หลักความน่าจะเป็น (probability) ของการเกิดเหตุการณ์อิสระ
- การผสมพันธุ์แบบสุ่ม (random mating)

พื้นฐานความรู้ : - ความรู้ความเข้าใจเช่นเดียวกับข้อ 79

หลักความน่าจะเป็น (probability) สำหรับเหตุการณ์หลาย ๆ เหตุการณ์ที่เป็นอิสระซึ่งกันและกัน และเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน เช่น การโยนเหรียญ โอกาสที่จะได้ด้านหัวหรือด้านก้อยเท่ากันคือ $1/2$ หรือ 50% ถ้า 2 คนโยนเหรียญพร้อมกันโอกาสที่จะได้ หัว/หัว, ก้อย/ก้อย, หัว/ก้อย, ก้อย/หัว อย่างใดอย่างหนึ่ง คือ $1/2 \times 1/2 = (1/2)^2 = 1/4$ ในทำนองเดียวกัน ถ้า 3 คนโยนเหรียญพร้อมกัน โอกาสที่จะได้หน้าเหรียญอย่างใดอย่างหนึ่ง $= (1/2)^3 = 1/8$ และถ้า 4 คนโยนเหรียญพร้อมกันก็จะมีโอกาสได้หน้าเหรียญอย่างใดอย่างหนึ่ง $= (1/2)^4$ เหตุการณ์ความน่าจะเป็นไปได้เช่นนี้เกิดขึ้นในการแบ่งเซลล์ของแมลงหวี่เช่นเดียวกัน แมลงหวี่มีโครโมโซม $2n = 8$ จากพ่อ 4 แท่ง และจากแม่ 4 แท่ง โอกาสที่โครโมโซม 8 แท่งจะเข้าคู่กันเป็น 4 คู่และแยกออกจากกันในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบ meiosis ในการสร้าง gamete มีความเป็นไปได้เท่า ๆ กันที่ gamete หนึ่งจะมีโครโมโซมจากพ่อเป็น 0, 1, 2, 3 หรือ 4 ในทางตรงกันข้ามโอกาสที่ gamete หนึ่งจะได้โครโมโซมจากแม่ก็จะเป็น 4, 3, 2, 1 หรือ 0

คำตอบ : คือ ข้อ E

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวถึงเรื่องเกี่ยวกับความน่าจะเป็น (probability) ไว้ในเรื่องพันธุศาสตร์ (เล่ม 2) นักเรียนจะต้องใช้ความรู้เชื่อมโยงกับความรู้เรื่องการแบ่งเซลล์ที่กล่าวไว้ในเล่ม 1

26. **คำถาม :** ผู้หญิงที่มีพ่อเป็น hemophilia แต่งงานกับผู้ชายที่มีพ่อเป็น hemophilia ด้วย ลูกจะมีโอกาสเป็น hemophilia มากน้อยเพียงใด?

- A. 0, ลูกทุกคนปกติ
- B. 1, ลูกทุกคนเป็นโรค
- C. ลูกชายปกติ, ลูกสาวครึ่งหนึ่งเป็นโรค
- D. ลูกสาวปกติ, ลูกชายครึ่งหนึ่งเป็นโรค
- E. ลูกชายครึ่งหนึ่ง และลูกสาวครึ่งหนึ่งเป็นโรค

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้ความเข้าใจหลักการถ่ายทอดพันธุกรรมและหลักความน่าจะเป็น (probability)

พื้นฐานความรู้ :

- การสร้างเซลล์สืบพันธุ์และการกำหนดเพศ
- ยีนที่อยู่ในโครโมโซมเพศ
- ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์อิสระ

โครโมโซมในร่างกายของคนมี 2 ประเภท คือ โครโมโซมที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเพศ จำนวน 1 คู่ (XX เป็นเพศหญิง, XY เป็นเพศชาย) และโครโมโซมอื่น ๆ อีก 22 คู่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับเพศ เรียกว่าออโทโซม (autosomes) ยีนอยู่ในโครโมโซมและเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างโครโมโซม ยีนที่อยู่ในโครโมโซมเพศเรียกว่า sex-linked gene (X-linked gene) เช่น ยีนที่ทำให้เกิดอาการ hemophilia, ยีนที่ทำให้เกิดอาการตาบอดสี (color blindness) สำหรับยีนที่อยู่ใน autosome เรียกว่า autosomal gene ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากประมาณ 80,000 ถึง 100,000 ยีน การที่พ่อ-แม่จะมีลูกเป็นหญิงหรือชายนั้นขึ้นอยู่กับโครโมโซมเพศที่อยู่ใน gamete หรือสเปิร์มปกติจากพ่อซึ่ง gamete อาจจะมีโครโมโซม X หรือ Y ก็ได้ ส่วนใน gamete หรือไข่จากแม่ปกติจะมีโครโมโซมเพศเป็น X เสมอ

พ่อเป็น hemophilia จะต้องมียีนโครโมโซม X ที่มียีนด้อย h อยู่ด้วย พ่อคนนี้จะสร้างสเปิร์ม ซึ่งครึ่งหนึ่งจะมีโครโมโซม X ที่มียีน h (Xh) ส่วนสเปิร์มอีกครึ่งหนึ่งจะมีโครโมโซม Y ดังนั้นลูกสาวจากพ่อคนนี้น่าจะมีโครโมโซมเพศเป็น XhX โดยโครโมโซม Xh ได้มาจากพ่อ ส่วนลูกชายจากพ่อเช่นเดียวกันนี้น่าจะมีโครโมโซมเพศเป็น XY โดยโครโมโซม Y มาจากพ่อ ดังนั้นผู้หญิงคนนี้ (Xh X) แต่งงานกับผู้ชายดั่งกล่าว (XY) มีโอกาสจะได้ลูกดังนี้

ลูกสาว $1/2$ (XX) หรือ $1/2$ (Xh X) ซึ่งจะปกติทั้ง 2 กรณี

ลูกชาย $1/2$ (XY) ปกติ หรือ $1/2$ (Xh Y) ซึ่งจะเป็น hemophilia

คำตอบ : คือ ข้อ D

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้เป็นหลักการในเรื่องพันธุศาสตร์ (เล่ม 2 ว. 048) นักเรียนจะต้องมีความเข้าใจในหลักการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และเชื่อมโยงเข้ากับหลักความน่าจะเป็นด้วย

27. **คำถาม :** สาเหตุเบื้องต้นของ Down syndrome เกิดจากความผิดปกติของ.....

- A. mitosis, B. meiosis, C. cytokinesis, D. transcription, E. DNA replication

สิ่งที่ต้องกรวัด : ความเข้าใจในกระบวนการแบ่งเซลล์แบบ mitosis และ meiosis

พื้นฐานความรู้ : - ความรู้เกี่ยวกับวงจรชีวิตของเซลล์และการแบ่งเซลล์
- ความรู้เกี่ยวกับความผิดปกติของการแบ่งเซลล์
- ความรู้เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน

ตัวเลือกมีความแตกต่างกันชัดเจนระหว่างการแบ่งเซลล์และการสังเคราะห์โปรตีน ถ้านักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับ Down syndrome ว่าเกิดจากความผิดปกติของโครโมโซม ($2n = 47$) ตัวเลือกข้อ D และ E ซึ่งเกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนก็ตัดออกไปได้ อาการ Down syndrome ($2n=47$) เป็นอาการคนผิดปกติที่มีโครโมโซมคู่ที่ 21 เกินมา 1 แท่ง ซึ่งเกิดจากการแบ่งเซลล์แบบ meiosis ที่ผิดปกติในขั้นตอน meiotic I ที่โครโมโซมคู่ 21 ไม่แยกออกจากกัน (non-disjunction) อันเป็นปรากฏการณ์ที่พบบ่อยในหญิงที่มีอายุสูงเกิน 40 ปีขึ้นไป โดยเซลล์สืบพันธุ์ที่ผิดปกติ ($n=24$) เกิดปฏิสนธิกับเซลล์สืบพันธุ์ปกติ ($n=23$) ได้ไซโกต $2n = 47$ ซึ่งจะเจริญต่อไปทำให้ทุกเซลล์ของร่างกายมีโครโมโซมคู่ที่ 21 เกินมา 1 แท่ง และคนนี้จะแสดงอาการปัญญาอ่อนแบบ Down syndrome

คำตอบ : คือ ข้อ B

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้ในเรื่องพันธุศาสตร์ (เล่ม 2)

28. **คำถาม :** นักวิทยาศาสตร์ชาวดัตช์ที่ชื่อ Hugo de Vries เป็นผู้ที่ยืนยันทฤษฎีของนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน คือ ...

- A. Darwin และ Lamarck, B. Darwin และ Mendel,
C. Haeckel และ Lamarck D. Haeckel และ Mendel

สิ่งที่ต้องกรวัด : ความจำเกี่ยวกับชื่อนักชีววิทยาและบทบาทของแต่ละท่าน

พื้นฐานความรู้ : - ชื่อนักชีววิทยาและสิ่งที่เขาค้นพบ
- ความเกี่ยวข้องระหว่างนักชีววิทยา 2 ท่าน

ปัจจัยสำคัญสำหรับกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต คือ ความแปรผันทางพันธุกรรมและการคัดเลือกตามธรรมชาติตามทฤษฎีวิวัฒนาการของ Charles Darwin นักธรรมชาติวิทยาชาวอังกฤษที่เสนอไว้ในปีค.ศ. 1859 ทฤษฎีของ Darwin แตกต่างจากทฤษฎีวิวัฒนาการของ Jean Lamarck นักธรรมชาติวิทยาชาวฝรั่งเศสที่เสนอไว้ก่อนหน้า Darwin โดยตามกฎหมายของ Lamarck มีความสรุปว่าส่วนของร่างกายที่ใช้ก็จะถูกคัดเลือกไว้และถ่ายทอดต่อไป ส่วนใดที่ไม่ใช้ก็จะค่อย ๆ เลือนหายไป (Law of inheritance of acquired characters) อย่างไรก็ตาม นักผสมพันธุ์พืชชาวออสเตรียชื่อ G. Mendel ได้ทดลองตามกฎหมายเกณฑ์วิจัยทางวิทยาศาสตร์ และค้นพบกฎการถ่ายทอดกรรมพันธุ์อย่างชัดเจนในปีค.ศ. 1865 ซึ่งมีส่วนสนับสนุนทฤษฎีวิวัฒนาการของ Darwin อย่างมาก ส่วน E. Haeckel นักสัตววิทยาของเยอรมันในปีค.ศ. 1874 ได้ศึกษาสันฐานวิทยาของสัตว์ชั้นต่ำจนได้สมมุติฐานว่า สัตว์ชนิดต่าง ๆ ย่อมวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษที่มี

โครงสร้างซับซ้อนน้อยกว่า สำหรับ Hugo de Vries เป็นนักผสมพันธุ์พืชชาวดัตช์ ในปีค.ศ. 1900 ได้ทดลองผสมพันธุ์พืชจนได้ผลที่สอดคล้องและสนับสนุนกฎการถ่ายทอดกรรมพันธุ์ของ Mendel อย่างชัดเจน และยังได้เสนอแนะว่าการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมหรือ mutation เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการวิวัฒนาการตามแนวทฤษฎีของ Darwin ด้วย ดังนั้น Hugo de Vries จึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับ Darwin และ Mendel มากที่สุด

คำตอบ : คือ ข้อ B

หลักสูตรในประเทศไทย : ชื่อและผลงานของ Lamarck, Darwin, Mendel ได้มีการกล่าวถึงในหนังสือเรียนวิชาชีววิทยา เล่ม 2 เรื่อง วิวัฒนาการและพันธุศาสตร์ แต่ชื่อและผลงานของ Hugo de Vries และ E. Haeckel ไม่มีกล่าวถึงในหนังสือเรียนนี้ แต่จะมีพูดถึงในระดับมหาวิทยาลัย

29. คำถาม : ทำไมการคัดพันธุ์ (selection) ในสายพันธุ์ที่เป็นพันธุ์แท้จึงไม่มีประโยชน์อะไร?

- A. สิ่งมีชีวิตทุกหน่วยมีฟีโนไทป์เหมือนกัน
- B. สิ่งมีชีวิตทุกหน่วยมีจีโนไทป์เหมือนกัน
- C. สิ่งมีชีวิตทุกหน่วยมีฟีโนไทป์ต่างกัน
- D. สิ่งมีชีวิตทุกหน่วยมีจีโนไทป์ต่างกัน

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้ความเข้าใจการถ่ายทอดกรรมพันธุ์และการคัดเลือกสายพันธุ์

พื้นฐานความรู้ : - หลักการถ่ายทอดกรรมพันธุ์
- จีโนไทป์และฟีโนไทป์

ลักษณะทางพันธุกรรมที่ปรากฏให้เห็นทางฟีโนไทป์ทั้งที่เห็นด้วยตาเปล่าและที่ตรวจสอบได้โดยวิธีทางชีวเคมีจะถูกควบคุมโดยองค์ประกอบทางพันธุกรรมหรือสภาพของจีโนไทป์ สายพันธุ์ที่เป็นพันธุ์แท้จะมีจีโนไทป์เป็น homozygote เสมอ เช่น AA หรือ aa, AABB หรือ aabb เป็นต้น ดังนั้น ในการผสมพันธุ์ในกลุ่มสมาชิกของสายพันธุ์แท้ด้วยกันเองจึงได้จีโนไทป์เหมือนกันเสมอ จึงไม่จำเป็นและไม่มีประโยชน์อะไรที่จะต้องคัดพันธุ์แท้ แต่ถ้าเป็นการผสมข้ามสายพันธุ์จะได้ลูกพันธุ์ทาง (F_1) ที่มีลักษณะฟีโนไทป์เหมือนพันธุ์แท้ได้ แต่ลูกนั้นจะมีจีโนไทป์ต่างจากพันธุ์แท้ เช่น $AABB \times aabb \rightarrow AaBb$ (heterozygote) ซึ่งเป็นพันธุ์ทางที่มีฟีโนไทป์เหมือนกันกับพวกพันธุ์แท้ที่มีจีโนไทป์แบบ AABB

คำตอบ : คือ ข้อ B

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้บ้างในเรื่องพันธุศาสตร์ (เล่ม 2) นักเรียนน่าจะใช้ความรู้พื้นฐานนี้ตอบโจทย์ข้อนี้ได้

30. **คำถาม :** ข้อใดอธิบายอวัยวะที่ homologous ได้ถูกต้อง?

ต้นกำเนิด	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต
A. ต่างกัน	มาก
B. ต่างกัน	น้อย
C. เหมือนกัน	มาก
D. เหมือนกัน	น้อย

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจในวิวัฒนาการและการจำแนกชนิดของสิ่งมีชีวิต

พื้นฐานความรู้ : – convergent evolution
– classification

การศึกษาวิจัยในการจัดจำแนกชนิด (classification) และการพัฒนาอนุกรมวิธาน (taxonomy) ของสิ่งมีชีวิตขึ้นอยู่กับข้อมูลลักษณะทางสัณฐานวิทยา และลักษณะทางพันธุกรรมต่าง ๆ ว่าคล้ายกันมากน้อยเพียงใด สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายกันมากที่มีพื้นฐานมาจากบรรพบุรุษ (ancestor) เดียวกัน เรียกว่า homology เช่น ลักษณะสัณฐานวิทยาของแขนหรือขาหน้าของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น ของสุนัข แมว โลมา ปลาวาฬ ค้างคาว ลิง และคน ซึ่งต่างมีโครงสร้างรูปร่างที่มีความสัมพันธ์กัน แต่เปลี่ยนแปลงปรับตัวไปใช้ประโยชน์ในสภาพการณ์ต่าง ๆ กัน และโครงสร้างแขนหรือขาที่วิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษต้นตอเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ดูคล้ายคลึงกัน เพราะทำหน้าที่คล้ายกันในการปรับตัวเพื่อการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่คล้ายกัน อาจเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษที่ต่างกันโดยสิ้นเชิง เช่น ปีกของนก และปีกของแมลงซึ่งต่างก็ทำหน้าที่บินได้คล้ายกัน แต่โครงสร้างของปีกต่างกันอย่างสิ้นเชิง เพราะวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษต่างกันมาก เรียกวิวัฒนาการการแบบนี้ว่า convergent evolution ลักษณะที่เหมือนกันเช่นนี้เรียกว่า analogy ดังนั้นการศึกษาประวัติและสายสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตต้องอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่คล้ายกันแบบ homology ซึ่งจะเป็นหลักฐานสำคัญในการจำแนกชนิด เพราะสิ่งมีชีวิตที่มีอวัยวะที่เป็น homology เหมือนกันมากย่อมมีต้นกำเนิดเหมือนกันมากด้วย

คำตอบ : ข้อ C

หลักสูตรในประเทศไทย : ไม่มีกล่าวไว้ในหนังสือเรียนวิชาชีววิทยา เรื่องนี้น่าจะมีกล่าวไว้ในเรื่องความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต และหลักการจัดจำแนกชนิดของสิ่งมีชีวิต (ในเล่ม 2) หรืออาจพูดถึงความสัมพันธ์ตามสายวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต (phylogenetic relationship) บ้าง

31. **คำถาม :** ข้อใดอธิบายอวัยวะที่ analogous ได้ถูกต้อง?

ต้นกำเนิด	ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิต
A. ต่างกัน	มาก
B. ต่างกัน	น้อย
C. เหมือนกัน	มาก

น้อย

พื้นฐานความรู้ : เหมือนกับข้อ 90

หลักสูตรในประเทศไทย : เหมือนกับข้อ 90

D. ความแปรผันในแต่ละสปีชีส์เป็นผลของสิ่งแวดล้อม

- ศักยภาพการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้ในหลักการในเรื่องวิวัฒนาการในเล่ม 2

33. คำถาม : ข้อใดไม่ใช่ตัวอย่างของ natural selection (การคัดเลือกพันธุ์โดยธรรมชาติ)?

- A. การพัฒนาเพดดิกรี (pedigree) ของสุนัขพันธุ์สแปเนียล
- B. ผีเสื้อกลางคืนมีสีดำในเมืองอุตสาหกรรม (industrial melanism)
- C. การต้านยาปฏิชีวนะของเชื้อแบคทีเรีย
- D. การอยู่รอดของเหาแม้ว่าจะใช้ DDT

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีวิวัฒนาการโดยการคัดเลือกตามธรรมชาติของชาลส์ ดาร์วิน

พื้นฐานความรู้ : - ความแปรผันทางจีโนไทป์และฟีโนไทป์แต่ละสปีชีส์

- ความหลากหลายในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม
- ศักยภาพการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต

ความหลากหลายทางพันธุกรรม (genetic diversity) เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการคัดเลือกตามธรรมชาติ (natural selection) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการปรับตัว (adaptation) เพื่อการอยู่รอดของประชากรของสิ่งมีชีวิตนั้น (ดูข้อ 92) ตัวอย่างการคัดเลือกตามธรรมชาติที่เห็นได้ชัดที่สุดคือ การปรับตัวของผีเสื้อกลางคืนที่มีสีดำในเมืองอุตสาหกรรมที่มีมลพิษควันจากโรงงานอุตสาหกรรมทำให้ผีเสื้อสีดำเหล่านั้นพรางตัวปรับตัวได้ดีและรอดพ้นจากนกผู้ล่าเหยื่อ ในทำนองเดียวกันเชื้อแบคทีเรียและแมลงรวมทั้งเหาที่มีความแปรผันและหลากหลายทางพันธุกรรมที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะและยาฆ่าแมลงเช่น DDT จึงสามารถปรับตัวได้ดีและมีชีวิตอยู่รอดได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่มียาและสารเคมีดังกล่าว ส่วนการพัฒนาเพดดิกรี (pedigree) ของสุนัขพันธุ์ต่างๆ นั้นเป็นการคัดเลือกเลียนแบบหรือการคัดเลือกเทียม (artificial selection) ตามความต้องการของมนุษย์เท่านั้น

คำตอบ : คือ ข้อ A

หลักสูตรในประเทศไทย : มิกกล่าวไว้ในเรื่องวิวัฒนาการ (เล่ม 2)

34. คำถาม : นาย A มียืนด้อยที่แสดงลักษณะ sex linked ซึ่งพบได้ไม่บ่อยนัก โดยแสดงออกมาเป็นลักษณะ A นาย B มียืนเด่นที่อยู่ใน autosome ซึ่งก็เกิดไม่บ่อยนัก และแสดงออกเป็นลักษณะ B ในเพศชายเท่านั้น ท่านจะสามารถจำแนกลักษณะทั้งสองนี้ออกจากกันได้หรือไม่ ด้วยการศึกษapedigrees

- A. ไม่ได้ เพราะลูกหลานของนาย A และนาย B จะมีลักษณะเหมือนกับพ่อ
- B. ได้ เพราะลูกหลานของนาย A และนาย B จะไม่มีผู้หญิงที่มีลักษณะ B
- C. ไม่ได้ เพราะนาย A จะไม่มีลูกชายที่มีลักษณะ A และนาย B จะไม่มีลูกชายที่มีลักษณะ B เช่นกัน
- D. ได้ เพราะลูกชายของลูกสาวนาย A จะมีลักษณะ A ได้ ในขณะที่ทั้งลูกชายของลูกสาวของนาย B และลูกชายของลูกชายเขาทั้งคู่อาจมีลักษณะ B ได้

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจเกี่ยวกับ sex-linked gene และ sex-limited trait

พื้นฐานความรู้ : - ความรู้เกี่ยวกับ sex chromosome และ autosome และการกำหนดเพศ

- ความรู้เกี่ยวกับ sex-linked gene

- ความรู้เกี่ยวกับ sex-limited trait

พื้นฐานความรู้เกี่ยวกับ chromosomes ของคนที่มีอยู่ 46 แห่ง (23 คู่) ที่มีอยู่ 2 กลุ่ม คือ โครโมโซมที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเพศ 1 คู่ ที่เรียกว่า sex chromosome (XX, เพศหญิง และ XY, เพศชาย) ส่วนอีก 22 คู่ ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการกำหนดเพศเรียกว่า autosome คู่ใดคู่หนึ่งอาจมียีนที่มีบทบาทหน้าที่สร้างสารเคมีและหรือฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับเพศได้ ยีนที่อยู่ใน sex chromosome ส่วนมากจะอยู่ในโครโมโซม X และมักเรียกว่า sex-linked gene หรือ X-linked gene ยีนที่อยู่ในโครโมโซม X ไม่ว่ายีนนั้นจะมีสมบัตินี้หรือด้อยจะแสดงออกเสมอในผู้ชาย (XY) แต่ในผู้หญิง (XX) ยีนด้อย เช่น ยีน a จะแสดงออกเมื่ออยู่ในสภาพ homozygote (aa) เท่านั้น แต่ยีนนี้จะไม่แสดงออกในสภาพ heterozygote (Aa) แต่ถ้ายีนนั้นมีสมบัตินี้ เช่น ยีน B ซึ่งจะแสดงออกเสมอทั้งในผู้ชายและผู้หญิงไม่ว่าจะอยู่ในสภาพ homozygote (BB) หรือ heterozygote (Bb) ก็ตาม ในบางกรณียีนที่อยู่ใน autosome ไม่ว่าจะมีสมบัตินี้หรือด้อยก็ตามจะแสดงออกเฉพาะในเพศใดเพศหนึ่งเท่านั้น เช่น ยีนที่ควบคุมการสร้างขนาดเคราจะแสดงออกเฉพาะในผู้ชายเท่านั้น แต่ยีนนี้จะไม่แสดงออกเลยในเพศหญิงไม่ว่าจะมีจีโนไทป์เป็นแบบใด ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลทางสรีรวิทยาโดยเฉพาะฮอร์โมนเพศ ลักษณะกรรมพันธุ์ที่แสดงออกเฉพาะในเพศใดเพศหนึ่งเช่นนี้เรียกว่า sex-limited trait ดังนั้น เราสามารถตรวจสอบและจำแนกลักษณะกรรมพันธุ์ที่ควบคุมโดย sex-linked gene และ sex-limited gene ได้โดยการศึกษาประวัติของสมาชิกของวงศ์ตระกูลหรือ pedigree เพราะลูกชายของลูกสาว (X^AX) ของนาย A (X^AY) อาจจะเป็น X^AY หรือ XY ก็ได้ ถ้าเป็น X^A ก็แสดงลักษณะ A เพราะเป็น sex-linked gene ส่วนลูกชายของนาย B มีโอกาสได้ autosome คู่ที่มียีนเด่นนั้นเท่า ๆ กัน จึงมีโอกาสแสดงลักษณะ B ได้เท่า ๆ กันด้วย

คำตอบ : ข้อ D

หลักสูตรของประเทศไทย : มีกล่าวไว้พอสมควรในเรื่องพันธุศาสตร์ (เล่ม 2) แต่นักเรียนจะต้องเชื่อมโยงความรู้ความเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ที่แยกกล่าวไว้ให้ผสมผสานเป็นเรื่องเดียวกัน คือ การถ่ายทอดยีนจาก sex chromosome และยีนจาก autosome ไปสู่ลูกหลาน เหลน ตามประวัติ pedigree แต่เรื่อง sex-limited trait ไม่ได้พูดถึงในหนังสือเล่มนี้

35. **คำถาม :** ปลาชนิดใดใกล้เคียงกันจะวางไข่และปล่อยสเปิร์มลงในน้ำบริเวณเดียวกัน แต่สเปิร์มของชนิดหนึ่งจะไม่สามารถผ่านเข้าสู่ของอีกชนิดหนึ่งได้ นี่เป็นตัวอย่างหนึ่งของการแบ่งแยกในระยะก่อนที่จะเป็น zygote โดย

A. การแบ่งแยกทางนิเวศวิทยา

B. การแบ่งแยกทางพฤติกรรม

C. การแบ่งแยกทางกล

D. การแบ่งแยกทางเซลล์สืบพันธุ์

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกการแบ่งแยกทางด้านการสืบพันธุ์ (reproductive isolation) ของสปีชีส์ที่ใกล้ชิดกัน

พื้นฐานความรู้ : - กระบวนการเกิด speciation
- กลไกในการแบ่งแยกสปีชีส์

สิ่งมีชีวิตชนิดใกล้ชิดกันหรือสปีชีส์พี่น้องกัน (sibling species) มีต้นกำเนิดจากบรรพบุรุษ (ancestor) เดียวกัน แต่วิวัฒนาการแบ่งแยกแตกแขนงออกจากกันโดยกลไกหลายอย่าง และหลายระดับ ที่สำคัญ คือ กลไกการแบ่งแยกของภูมิศาสตร์ (geographical isolation) ซึ่งหมายถึงประชากรของสปีชีส์หนึ่งที่แยกกันอยู่โดยแม่น้ำ หรือภูเขา หรือทะเล ประชากรที่แยกกันอยู่นี้มีสภาพแวดล้อมและถิ่นอาศัยที่แตกต่างกัน ประชากรเหล่านั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความแปลกแยกแตกต่างกันทางพันธุกรรม (genetic differentiation) ไปในแนวทางที่ต่างกัน โดยกระบวนการ mutation และ natural selection ในบางกรณีที่ประชากรทั้ง 2 แห่งนั้นมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมไปจนถึงระดับหนึ่ง ซึ่งทำให้ประชากรทั้ง 2 นั้นไม่สามารถสืบทอดสายพันธุ์ระหว่างกันได้ ถึงแม้ว่าสมาชิกทั้งสองประชากรณ์นั้นจะมีโอกาสมาอยู่ร่วมกันได้ก็ตาม เมื่อถึงจุดนั้นก็ถือว่าประชากรทั้ง 2 นั้นเป็นสิ่งมีชีวิตต่างสปีชีส์กันทางชีววิทยา (biological species) ความแปลกแยกแตกต่างกันทางพันธุกรรมมีผลต่อการแบ่งแยกแตกต่างกันของการสืบพันธุ์ในระดับต่างๆ กันซึ่งแบ่งออกได้เป็นระดับก่อนเกิด zygote (pre-zygotic isolation) และหลังจากเกิด zygote (post-zygotic isolation)

คำตอบ : กรณีปลาทั้งสองชนิดที่ใกล้ชิดกันอยู่ในแหล่งอาศัยเดียวกันและมีการปล่อยสเปิร์มและวางไข่ในบริเวณเดียวกัน แต่สเปิร์มของชนิดหนึ่งไม่สามารถผ่านเข้าสู่ไข่ของอีกชนิดหนึ่งได้ จึงถือได้ว่าเป็นการแบ่งแยกของเซลล์สืบพันธุ์ก่อนที่จะเกิดปฏิสนธิระหว่างไข่กับสเปิร์มเป็น zygote ซึ่งถือว่าเป็น pre-zygotic isolation และไม่เกี่ยวข้องกับการผสมพันธุ์ระหว่างตัวผู้ของชนิดหนึ่งกับตัวเมียของอีกชนิดหนึ่ง ดังนั้นข้อที่ถูกต้องคือข้อ D

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้พอสมควรในเรื่องวิวัฒนาการ (เล่ม 2) ในเรื่องเกี่ยวกับกลไกการเกิด speciation

36. **คำถาม :** เราจะศึกษาการทำงานของ pleiotropic gene ได้โดยวิธีใด

A. การศึกษาอื่นต่าง ๆ เหล่านั้น

B. การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างยีนของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ

C. การศึกษาจาก pedigree

D. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฟีโนไทป์ ซึ่งถูกกำหนดโดยการผ่าเหล่าของยีน

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้เกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีนในลักษณะที่ยีนหนึ่งมีอิทธิพลต่อการแสดงออกของอีกยีนหนึ่งหรือหลาย ๆ ยีน

พื้นฐานความรู้ : - ปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีน

- pleiotropic trait

- polygenic trait

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมียีนอยู่มากมาย เช่น ในคนเราเข้าใจว่ามียีนอยู่ประมาณ 100,000 ยีน ยีนแต่ละยีนจะมีช่วงเวลาการแสดงออกในช่วงเวลาต่าง ๆ ของการเจริญและพัฒนา นับตั้งแต่เกิด zygote ไปจนถึงเป็นผู้ใหญ่และวัยสูงอายุ ดังนั้น ในบางช่วงเวลาอาจมียีนหลาย ๆ ยีนทำงานพร้อม ๆ กันในช่วงเวลาเดียวกัน และเป็นการทำงานของยีนที่สอดคล้องกันและประสานประโยชน์กันได้อย่างได้สมดุล ดังนั้น จึงอาจมียีนหลาย ๆ ยีนที่ทำงานพร้อมกันและส่งผลกระทบไปสู่ลักษณะกรรมพันธุ์อย่างเดียวกัน เรียกลักษณะกรรมพันธุ์เช่นนี้ว่า polygenic trait เช่น สติปัญญา ความสูง สีผิว เป็นต้น ในทางตรงกันข้าม ยีนใดยีนหนึ่งอาจมีการทำงานที่มีผลกระทบไปถึงลักษณะกรรมพันธุ์อื่น ๆ ได้หลายลักษณะในช่วงเวลาเดียวกัน เรียกลักษณะกรรมพันธุ์เช่นนี้ว่า pleiotropic trait เช่น ยีนที่ควบคุมการสร้างเอนไซม์ PFK (phosphofructokinase) จะมีผลกระทบต่อลักษณะอื่น ๆ ด้วย เช่น อายุของเม็ดเลือดจะสั้นกว่าเดิม การทำงานของม้าม เกิดอาการโลหิตจาง เป็นต้น การศึกษา pleiotropic gene ซึ่งมีความซับซ้อนและไม่ชัดเจนมากนัก จึงจำเป็นต้องอาศัยการติดตามจากประวัติวงศ์ตระกูลโดยศึกษาจาก pedigree

คำตอบ : คือ ข้อ C

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวถึงเรื่อง pedigree ไว้เพียงเล็กน้อยในเรื่องพันธุศาสตร์ แต่ไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่อง pleiotropic trait และ polygenic trait ข้อนี้จึงอาจยากไปสำหรับนักเรียนไทย

37. **คำถาม** ในครอบครัวหนึ่งพ่อมีหมู่เลือด A ที่อาจเป็นโรคด้วยก็ได้ และมีลูกชายที่มีหมู่เลือด B และเป็นโรคฮีโมฟีเลีย จงหาจีโนไทป์ที่น่าจะเป็นไปได้ของแม่ ลูก และพ่อ ในครอบครัวนี้

1. พ่อ - $AOX^H Y$; แม่ - $BBX^H X^H$; ลูก - $BOX^h Y$

2. พ่อ - $AOX^H Y$; แม่ - $BOX^H X^h$; ลูก - $BOX^h Y$

3. พ่อ - $AOX^h Y$; แม่ - $ABX^H X^h$; ลูก - $BOX^h Y$

4. พ่อ - $AAX^h Y$; แม่ - $BOX^H X^h$; ลูก - $BOX^H Y$

A. 1 และ 3,

B. 2 และ 4,

C. 1 และ 4

D. 2 และ 3,

E. 2, 3 และ 4

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้เกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนที่อยู่ในโครโมโซมเพศและที่อยู่ในออโทโซม

พื้นฐานความรู้ : - ความรู้เกี่ยวกับการกำหนดของเพศ

- ความรู้เกี่ยวกับยีนที่อยู่ใน sex-chromosome

- ความรู้เกี่ยวกับยีนใน autosome

ลักษณะหมู่เลือดระบบ ABO ควบคุมโดยยีนประเภท multiple allele ที่อยู่ใน autosome คือ alleles A, B, O พอสรุปได้ดังนี้

หมู่เลือด (ฟีโนไทป์)	จีโนไทป์
A	AA, AO
B	BB, BO
O	OO
AB	AB

ลักษณะอาการฮีมอฟีเลียควบคุมโดยยีนด้อย (h) ที่อยู่ในโครโมโซม X ดังนั้น การถ่ายทอดยีนที่ควบคุมหมู่เลือดระบบ ABO จึงเป็นอิสระจากการถ่ายทอดของยีนฮีมอฟีเลีย

พ่อที่มีหมู่เลือด A อาจมีจีโนไทป์เป็น AA หรือ AO และพ่ออาจเป็นโรคฮีมอฟีเลียด้วยก็ได้ ดังนั้น พ่ออาจจะมียีนในโครโมโซมเพศเป็น $X^H Y$ (ปกติ) หรือ $X^h Y$ (เป็นโรคฮีมอฟีเลีย) อย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้

ลูกชายมีหมู่เลือด B จึงอาจมีจีโนไทป์เป็น BB หรือ BO ดังนั้น allele B ของลูกชายคนนี้จะต้องได้มาจากแม่ แต่พ่อไม่มี allele B อยู่เลย พ่อมีเพียง allele A หรือ allele O หรือมีทั้ง alleles A และ O (จีโนไทป์ AO) ดังนั้น allele O ของลูกชายจะต้องมาจากพ่ออย่างแน่นอน จึงทำให้มั่นใจได้ว่าพ่อของเขาจะต้องมีจีโนไทป์เป็น AO ทำให้พ่อในข้อ 4 เป็นไปไม่ได้ นอกจากนั้น ลูกชายคนนี้เป็นโรคฮีมอฟีเลียจึงมียีนในโครโมโซมเพศเป็น $X^h Y$ จึงสรุปได้ว่าลูกชายคนนี้มีจีโนไทป์เป็น $BO, X^h Y$ แต่แม่อาจจะมีจีโนไทป์เป็น BB หรือ BO หรือ AB ก็ได้ ซึ่งจะสามารถให้ allele B แก่ลูกชายได้ในทุกกรณี

ลูกชายจะต้องมีโครโมโซม Y จากพ่อ ส่วนโครโมโซม X ต้องมาจากแม่ และต้องเป็น X ที่มียีน h ด้วย ดังนั้นแม่อาจมีโครโมโซมเพศเป็น $X^H X^h$ หรือ $X^h X^h$ จึงจะสามารถถ่ายทอดยีน h ให้ลูกชายได้ ดังนั้นแม่ในข้อ 1 จึงเป็นไปไม่ได้

โดยสรุป คือ พ่อในข้อ 4 เป็นไปไม่ได้และแม่ในข้อ 1 ก็เป็นไปไม่ได้ ส่วนพ่อและแม่ได้ข้อ 2 และ 3 มีความเป็นไปได้ที่จะให้ลูกที่มีจีโนไทป์เป็น $BO, X^h Y$

คำตอบ : คือ ข้อ D (2 และ 3)

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้ในเรื่องพันธุศาสตร์แต่ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์หาความเชื่อมโยงและความเป็นไปได้ในพ่อ-แม่-ลูก ให้สอดคล้องกัน

38. **คำถาม :** จงหาลำดับที่น่าจะเป็นไปได้ของยีน ABCD ถ้าระยะทางระหว่างยีน A - B : 1.5 เซนติมอร์แกน ;

B - C : 18 เซนติมอร์แกน และ A - D : 18.5 เซนติมอร์แกน

1. ABCD, 2. BACD, 3. ABDC, 4. ACBD

A. ข้อ 1 เท่านั้น, B. ข้อ 2 เท่านั้น, C. ข้อ 3 เท่านั้น
D. ข้อ 4 เท่านั้น E. ไม่มีข้อใดถูก

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิด gene recombination และการนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างยีนที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกัน

พื้นฐานความรู้ : - ความรู้เกี่ยวกับความถี่ gene recombination ที่สัมพันธ์โดยตรงกับระยะทางระหว่างยีนคู่หนึ่ง

- ความรู้เกี่ยวกับการคำนวณหาระยะทางระหว่างยีน

ตามหลักการที่ว่ายีนที่อยู่ใกล้กันย่อมมีโอกาสเกิด crossing over และ gene recombination ได้น้อยกว่ายีนที่อยู่ห่างกัน ดังนั้น ระยะทางระหว่างยีนจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความถี่ของ gene recombination ในกรณียีน ABCD ที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกันและมีข้อมูลว่าระยะทางระหว่างยีน A-B = 1.5 เซนติเมอร์แกน หมายความว่ายีน A อยู่ใกล้กับยีน B มากพอสมควร ส่วนยีน C และ D อยู่ห่างจากยีน B และยีน A มาก คือ 18 และ 18.5 เซนติเมอร์แกน ตามลำดับ ดังนั้น ในข้อ 4 ที่มีลำดับยีนเป็น ACBD จึงเป็นไปได้เลยเพราะในกรณีนี้ยีน A กับ B จะอยู่ห่างกันมากเกินกว่าข้อมูลที่ให้ไว้ สำหรับในข้อ 2 ที่มีลำดับยีนเป็น BACD จะทำให้ระยะทางระหว่างยีน A-B คือ 18.5-18.0 ห่างกันเพียงประมาณ 0.5 เซนติเมอร์แกนเท่านั้น ซึ่งไม่ตรงกับข้อมูลที่ได้ คือ A-B = 1.5 เซนติเมอร์แกน ข้อ 2 นี้จึงเป็นไปได้ ในทำนองเดียวกันในข้อ 1 ที่มีลำดับยีนเป็น ABCD จะทำให้ระยะทางระหว่างยีน A-B มีเพียง 18.5-18.0 = 0.5 ซึ่งเป็นไปไม่ได้เช่นเดียวกัน ส่วนข้อ 3 ที่มีลำดับยีนเป็น ABDC มีความเป็นไปได้ เพราะจะทำให้ยีน A-C อยู่ห่างกันเท่ากับ (A-B)+(B-C) = 1.5 + 18.0 = 19.5 และยีน D-C จะอยู่ห่างกันประมาณเท่ากับ (A-C) - (A-D) = 19.5 - 18.5 = 1.0 เซนติเมอร์แกน

คำตอบ : คือ ข้อ C (ข้อ 3 เท่านั้น)

หลักสูตรในประเทศไทย : ยังไม่มีกล่าวไว้เกี่ยวกับหลักการคำนวณระยะทางระหว่างยีนจึงค่อนข้างยากสำหรับนักเรียนไทย

39. **คำถาม :** หลังจากผสม guinea-pig ขนดำ และขนขาว ได้ลูก F_1 ทั้งหมดมีขนดำ เมื่อนำลูก F_1 ตัวเมียผสมกับตัวผู้ที่เป็นโฮโมไซโกตสำหรับยีนด้อยทั้งคู่จะได้ลูกที่มีฟีโนไทป์ในอัตราส่วนขนสีขาว : ขนสีดำ เท่ากับ 3 : 1 จีโนไทป์ที่น่าจะเป็นไปได้ของพ่อ-แม่ และลูกรุ่น F_1 ควรจะเป็นอย่างไร

1. AA ; aa ; Aa 2. Aabb ; aaBB ; AaBb
3. AABB ; Aabb ; AABb 4. AABB ; aabb ; AaBb

A. ข้อ 1 เท่านั้น B. ข้อ 2 เท่านั้น C. ข้อ 3 เท่านั้น
D. ข้อ 4 เท่านั้น E. ไม่มีข้อใดถูกต้อง

สิ่งที่ต้องการวัด : ความเข้าใจเกี่ยวกับการผสมพันธุ์ทดสอบ (test cross) และความเข้าใจในปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีน

พื้นฐานความรู้ : หลักการปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีนและหลักการถ่ายทอดกรรมพันธุ์ของเมนเดล

ในกรณีนี้ลักษณะหนุขนสีดำผสมกับพวกขนสีขาวได้ลูก F_1 ทั้งหมด ขนสีดำ แสดงว่าลักษณะขนสีดำควบคุมโดยยีนเด่นอย่างน้อย 2 ยีน (A-, B-) ซึ่งเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบ complementary gene และขนสีขาวควบคุมโดยยีนด้อยทั้งหมด (aabb) ดังนั้นข้อ 1 ซึ่งมียีนเพียงคู่เดียวจึงไม่สอดคล้องกับโจทย์ และพ่อ-แม่ในข้อ 2 ก็จะไม่ทำให้พ่อ-แม่มีขนสีดำและขนสีขาวตามลำดับ ดังนั้นข้อ 2 จึงเป็นไปได้เช่นเดียวกัน ในข้อ 3 พ่อขนสีดำ (AABB) เป็นไปได้และแม่ขนสีขาวมีจีโนไทป์ Aabb ก็เป็นไปได้ เมื่อผสมพันธุ์กันได้ลูก F_1 ทั้งหมดขนสีดำ AABb ก็มีความเป็นไปได้ แต่เมื่อนำเอาลูกตัวเมีย F_1 นี้ผสมกับตัวผู้โฮโมไซโกต aabb จะได้ลูกรุ่น F_2 เป็นขนสีดำ (AaBb), และขนสีขาว (Aabb) อย่างละเท่า ๆ กัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้ คือ ขนสีขาว : ขนสีดำ = 3 : 1

ในกรณีข้อ 4 พ่อขนสีดำ (AABB) ผสมกับแม่ขนสีขาว (aabb) จะได้ลูก F_1 ทั้งหมดขนดำ (AaBb) และเมื่อเอาลูก F_1 ตัวเมียผสมกับตัวผู้ขนขาว (aabb) ซึ่งเป็นการทำ test cross เพื่อตรวจสอบจีโนไทป์ของลูก F_1 จะได้ลูกขนดำ (AaBb) : ขนขาว (Aabb, aaBb, aabb) เป็นอัตราส่วน 1 : 3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

คำตอบ : คือ ข้อ D

หลักสูตรในประเทศไทย : มีการกล่าวถึงหลักการทำ test cross ไว้เพียงเล็กน้อย แต่ไม่มีการกล่าวถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีนแบบ complementary gene ซึ่งจะเป็นเรื่องที่ยากสำหรับนักเรียนไทย ในการตอบปัญหานี้

40. **คำถาม :** T = เป็นอัลลีลเด่นที่ควบคุมลักษณะด้านความสูงในพืช A ซึ่งเป็นพืชชนิดที่ผสมข้ามต้น

t = เป็นอัลลีลด้อยควบคุมลักษณะต้นเตี้ย

R = เป็นอัลลีลเด่นควบคุมต้นสีเขียว

r = เป็นอัลลีลด้อยควบคุมต้นสีม่วง

ในประชากรของพืชชนิด A ที่มีการผสมพันธุ์แบบสุ่มค่าความถี่ของฟีโนไทป์ พบว่าเป็นดังนี้ (2 คะแนน)

ฟีโนไทป์	เปอร์เซ็นต์
(phenotype)	(%)
สูง , ต้นเขียว	63
สูง , ต้นม่วง	21
เตี้ย , ต้นเขียว	12
เตี้ย , ต้นม่วง	4

A. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของพืชที่มีจีโนไทป์ TT ตามหลักประชากรพันธุศาสตร์ P^2

ตอบ.....

B. จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของพืชที่มีจีโนไทป์ TT RR ตามหลักความน่าจะเป็นไปได้ $P^2 \times R^2$

ตอบ.....

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้ความเข้าใจในการคำนวณหาความถี่ยีนและความถี่จีโนไทป์

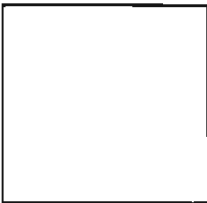
พื้นฐานความรู้ : - ความเข้าใจเกี่ยวกับหลัก Hardy-Weinberg Law และ Hardy-Weinberg Equilibrium

- ความเข้าใจและการนำไปใช้ในการคำนวณหาความถี่ยีนและความถี่จีโนไทป์

ตามหลักการของ Hardy-Weinberg Law และ Hardy-Weinberg Equilibrium (HWE) กล่าวไว้ว่าในประชากรที่อยู่ในสภาวะสมดุล ความถี่ของยีนจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยความถี่จีโนไทป์ $AA = p^2$, $Aa = 2pq$, $aa = q^2$ เมื่อความถี่ของยีน $A = p$ และ $a = q$; $p+q = 1$ และ $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ ด้วย

ในประชากรของพืชชนิด A นี้มีการผสมแบบสุ่มมีพวกต้นสูงทั้งหมด = $63+21 = 84\%$ และต้นเตี้ย = $12+4 = 16\%$ และพวกต้นเขียว = $63+12 = 75\%$ และต้นม่วง = $21+4 = 25\%$ ดังนั้น ความถี่ของพวกต้นเตี้ย (a) = $16\% = 0.16$ ดังนั้น ความถี่ยีน a คือ $q = . = 0.4$ และความถี่ของยีน T คือ $p = 1 - 0.4 = 0.6$ ตามหลัก HWE ความถี่ของพืชต้นสูง $TT = p^2 = 0.6 \times 0.6 = 0.36$

ในทำนองเดียวกันความถี่ของพืชต้นม่วง (a) คือ $r^2 = 0.25$ ดังนั้นความถี่ของยีน r คือ w

=  = 0.5 และความถี่ของยีน R คือ $s = 1 - 0.5 = 0.5$ ความถี่ของจีโนไทป์ RR จะเท่ากับ $s^2 = 0.5 \times 0.5 = 0.25$ ดังนั้นความถี่ของพืชที่มีจีโนไทป์ $TTRR = p^2 \times s^2 = 0.36 \times 0.25 = 0.09$

คำตอบ : คือ ข้อ A จะได้ TT หรือ $p^2 = 0.36$ หรือ 36%

ข้อ B จะได้ $TTRR = p^2 \times s^2 = 0.09$ หรือ 9%

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้ในหลักการคำนวณหาความถี่ยีนและความถี่จีโนไทป์ในเรื่องวิวัฒนาการ (เล่ม 2) สะเอียดพอสมควร

41. **คำถาม :** จงจับคู่ให้ถูกต้องตามหลักวิวัฒนาการ โดยใส่ A ถึง E ลงในช่องว่างที่ให้ไว้ (1 คะแนน)

1. (.....) ยีนโพลัว
2. (.....) สปีชีส์ที่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ

3. (.....) การคัดเลือกตามธรรมชาติ
4. (.....) การผ่าเหล่า
5. (.....) จีเนติก ดริฟท์

- A. แหล่งเดียวที่เกิดอัลลีลใหม่
- B. การเพิ่ม หรือการลดความถี่อัลลีลที่เกิดขึ้นในประชากรหรือความแปรผันของอัลลีลในประชากร
- C. สมาชิกของประชากรที่สามารถผสมพันธุ์ได้และให้ลูกที่มีความสมบูรณ์ทางการสืบพันธุ์ (fertile offspring)
- D. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของอัลลีลในประชากร อันเนื่องจากการอพยพเข้า หรืออพยพออก
- E. การเลือกความสามารถในการอยู่รอดและความสามารถในการสืบพันธุ์ที่แตกต่างกันของสมาชิกต่าง ๆ ในประชากร

สิ่งที่ต้องการวัด : ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมในประชากรที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการ

พื้นฐานความรู้ : - หลักการถ่ายทอดกรรมพันธุ์ของเมนเดล
- Hardy-Weinberg Equilibrium (HWE)

หลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของเมนเดลแสดงให้เห็นการถ่ายทอดทางพันธุกรรมจากพ่อ - แม่สู่ลูก หลาน เหล่น ฯลฯ ซึ่งเป็นไปตามกฎเกณฑ์ที่ชัดเจน แต่ในธรรมชาติสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะอยู่ร่วมกันเป็นกลุ่ม เป็นประชากร ดังนั้น ประชากรจึงมีการถ่ายทอดพันธุกรรมจากรุ่นพ่อ-แม่สู่รุ่นลูก (F_1), รุ่นหลาน (F_2), รุ่นเหล่น (F_3) ต่อไป โครงสร้างทางพันธุกรรมอาจเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละรุ่นหรือแต่ละชั่วอายุ (generation) ตามกาลเทศะ เพื่อให้เห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรชัดเจนขึ้น Hardy นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษและ Weinberg นายแพทย์ชาวเยอรมันได้สร้างรูปแบบ model ทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้คำนวณค่าความถี่ยีนและความถี่จีโนไทป์ บนพื้นฐานของสมมุติฐานที่ว่าในประชากรสมมติ (ideal population) ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมโดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ไม่มี mutation, ไม่มี selection, ไม่มี migration, ประชากรมีขนาดใหญ่ และสมาชิกมีการผสมพันธุ์แบบสุ่ม ความถี่ยีนและความถี่จีโนไทป์จะคงที่เสมอไม่ว่าจะผ่านไปกี่ชั่วอายุก็ตาม นั่นคือ ความถี่ยีน $A = p$, $a = q$, $p + q = 1$ และความถี่จีโนไทป์ $AA = p^2$, $Aa = 2pq$, $aa = q^2$ และ $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ แต่ในความเป็นจริงของประชากรตามธรรมชาติย่อมมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางพันธุกรรมที่เกิดจากปัจจัยทางธรรมชาติ โดยเฉพาะการเกิดยีนใหม่ ๆ โดย mutation, การคัดเลือกตามธรรมชาติ (natural selection), การอพยพ (migration) ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของยีนหรือยีนโฟลว์, การลดขนาดของประชากรอย่างรุนแรงและฉับพลัน (genetic drift) อันเนื่องจากอุบัติเหตุทางธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม แผ่นดินไหว ไฟไหม้ เป็นต้น และการผสมพันธุ์อย่าง

จำเพาะเจาะจง (non-random mating) ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางพันธุกรรมของประชากรและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการหรือการสูญพันธุ์ของประชากรนั้นได้

คำตอบ : 1 = D, 2 = C, 3 = E, 4 = A, 5 = B

หลักสูตรในประเทศไทย : มีกล่าวไว้ละเอียดพอสมควรในเรื่องวิวัฒนาการ (เล่ม 2)

42. **คำถาม :** ข้อใดต่อไปนี้เป็นไปได้น้อยที่สุดใน ecological succession.....

- A. องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ในระหว่าง succession
- B. จำนวนสปีชีส์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นในตอนแรก และคงที่ในเวลาต่อมา
- C. ปริมาณ biomass ทั้งหมดในระบบนิเวศจะลดลงหลังจากระยะเริ่มต้น
- D. ปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตในระบบนิเวศจะเพิ่มขึ้น

สิ่งที่ต้องการวัด

ความรู้เกี่ยวกับ ecological succession ในเรื่องลักษณะสมบัติของสังคมสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศที่เปลี่ยนแปลงไปขณะเกิด ecological succession

พื้นฐานความรู้

- ความรู้เกี่ยวกับสังคมสิ่งมีชีวิต (biological community)
- ความรู้เกี่ยวกับระบบนิเวศ (ecosystem)
- ความรู้เกี่ยวกับ ecological succession
- ความรู้เกี่ยวกับศัพท์เทคนิค biomass

ecological succession เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงแทนที่ของสังคมสิ่งมีชีวิตในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง จากสังคมสิ่งมีชีวิตแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง เป็นลำดับขั้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้สังคมสิ่งมีชีวิตที่ค่อนข้างถาวรไม่เปลี่ยนแปลงมาก และอยู่ไปได้เป็นเวลานานที่เรียกว่า climax community จนกว่าจะถูกรบกวนอย่างรุนแรงจากสาเหตุใดก็ตามทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่ขึ้นใหม่ ecological succession จะเห็นได้ชัดเจนในสังคมพืช และมักจะเป็นการเปลี่ยนแปลงช้าๆ จากสังคมสิ่งมีชีวิตที่ไม่ซับซ้อน (simple) ไปเป็นสังคมสิ่งมีชีวิตที่ซับซ้อนมากกว่า (complex) ระหว่างที่เกิด ecological succession นั้น ลักษณะสมบัติหลายประการของระบบนิเวศในบริเวณนั้นก็มีการเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆ กันด้วย ในกรณีนี้ลักษณะสมบัติที่เกี่ยวข้องได้แก่ องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในสังคมสิ่งมีชีวิต (ซึ่งคือชนิดต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตในสังคมสิ่งมีชีวิต) จำนวนสิ่งมีชีวิตในสังคมสิ่งมีชีวิต ปริมาณ biomass ทั้งหมด (ซึ่งเป็นมวลของสิ่งมีชีวิตที่ยังมีชีวิตอยู่ ถึงแม้ว่าในการหา biomass สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นอาจจะตายแล้ว) และปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต

ชนิดของสิ่งมีชีวิตต้องเปลี่ยนแปลงไปเพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสังคมสิ่งมีชีวิตจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง คำตอบข้อ A จึงไม่ถูกต้องเพราะเป็นสิ่งที่มีโอกาสเป็นไปได้มาก

จำนวนสิ่งมีชีวิตในสังคมสิ่งมีชีวิตควรจะเพิ่มขึ้นเพราะโดยทั่วไปจะเป็นการเปลี่ยนแปลงจากสังคมสิ่งมีชีวิตที่ไม่ซับซ้อนมีจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตน้อยกว่า ไปเป็นสังคมสิ่งมีชีวิตที่ซับซ้อนมากกว่ามีจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อถึงจุดหนึ่งจำนวนสิ่งมีชีวิตจะไม่เพิ่มขึ้นอีกเพราะถูกจำกัดจากปัจจัยหลายอย่างเช่น ขนาดของพื้นที่ สภาพภูมิอากาศและชนิดของดิน ปริมาณของปัจจัยต่างๆที่เป็นต่อสิ่งมีชีวิต หรือความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในสังคมสิ่งมีชีวิต คำตอบข้อ B จึงไม่ถูกต้องเพราะเป็นสิ่งที่มีโอกาสเป็นไปได้มากเช่นเดียวกัน

ปริมาณ biomass จะเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสังคมสิ่งมีชีวิต เพราะนอกจากจำนวนสิ่งมีชีวิตจะเพิ่มมากขึ้นแล้ว หลังจากระยะเริ่มต้นสิ่งมีชีวิตที่เข้ามาแทนที่มักจะเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่กว่า ปริมาณ biomass ทั้งหมดจึงควรเพิ่มขึ้น คำตอบข้อ C จึงถูกต้องเพราะเป็นสิ่งที่มีโอกาสเป็นไปได้น้อยที่สุด อาจเกิดขึ้นได้ใน ecological succession บางกรณี

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตควรเพิ่มมากขึ้นตาม biomass ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนสิ่งมีชีวิตเพิ่มขึ้นทั้งจำนวนและปริมาณเมื่อเวลาผ่านไป สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ที่ตายลงทำให้ในระบบนิเวศนั้นมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตสะสมเพิ่มมากขึ้นถึงแม้ว่าจะมีบางส่วนที่ถูกย่อยสลายไปก็ตาม คำตอบข้อ D จึงไม่ถูกต้องเพราะเป็นสิ่งที่มีโอกาสเป็นไปได้มากเช่นเดียวกัน

คำตอบ

ข้อ C ถูกต้อง เพราะเป็นสิ่งที่มีโอกาสเป็นไปได้น้อยที่สุด

ข้อ A B และ D เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามปกติเมื่อเกิด ecological succession หรือมีโอกาสนี้เป็นไปได้มากกว่า

หลักสูตรของประเทศไทย

เดิมในหนังสือเรียนชีววิทยา หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย มีกล่าวถึง ecological succession ไว้ในหัวข้อชีววิทยา ถึงแม้จะไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะสมบัติของระบบนิเวศหลายอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างที่เกิด ecological succession นักเรียนอาจทำข้อสอบข้อนี้ได้ถ้าทราบกระบวนการว่าลักษณะสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของ ecological succession คือโดยทั่วไปเป็นการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศที่ไม่ซับซ้อนไปเป็นระบบนิเวศที่ซับซ้อนมากขึ้น แต่ในฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2533 ไม่มีหัวข้อนี้ในชีววิทยา โดยนำไปไว้ในเอกสารสำหรับนักเรียน วิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(ว ๔๑๑) และไม่มีเรื่องของ ecological succession

43. คำถาม : สารใดในบรรยากาศที่เป็นสาเหตุของ greenhouse effect

- A. เฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์
- B. เฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์
- C. คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- D. เฉพาะไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์

สิ่งที่ต้องการวัด

ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์เรือนกระจก ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสารที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก