

แนวคิดเรื่องเซลล์ และกระบวนการของเซลล์ของนักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

Student Conceptions on Cells and Cell Processes in Grade 10

อุษา นาคทอง¹ ธีราพร อนันตะเศรษฐกุล² และนฤมล ยุตากม³
Usa Nakthong¹, Thiraporn Anuntasethakul² and Naruemon Yutakom³

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine one hundred and twenty grade 10 student conceptions about cells and cell processes. The survey was composed of closed and open-ended questions divided into three topics: cells and cell structures, diffusion and osmosis, and cell division. The results showed that students had alternative conceptions on every topic particularly diffusion and osmosis, and cell division. Nearly fifty percent of students had alternative conceptions about the concentration of particles during diffusion and osmosis; more than fifty percent of students had alternative conceptions about chromosome numbers in parent and daughter cells from mitosis and meiosis, regions or organs used for cell division and cell division in plant and animal cells. The researchers also found that some students answered questions by memorization rather than meaningful understanding on each topic.

Key words: student conceptions, alternative conception, cells and cell processes, grade 10 students

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจแนวคิดเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 120 คน จากโรงเรียนหนึ่งในจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งประกอบด้วยเซลล์และ

โครงสร้างของเซลล์ การแพร่และออสโมซิส และการแบ่งเซลล์ โดยใช้ข้อคำถาม 2 แบบ คือ แบบปรนัยที่ให้นักเรียนเลือกตอบพร้อมทั้งอธิบายเหตุผลและแบบอัตนัย ผลการสำรวจพบว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ในทุกเรื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องการแพร่ ออสโมซิส และการ

¹ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Science Education, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

² ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Zoology, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

³ ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

แบ่งเซลล์ ซึ่งพบว่านักเรียนเกือบร้อยละ 50 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการแพร่และการออสโมซิส โดยนักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารขณะเกิดการแพร่และการออสโมซิส นักเรียนมากกว่าร้อยละ 50 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจำนวนโครโมโซมของเซลล์เริ่มต้นและเซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและแบบไมโอซิส อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์แต่ละแบบและการแบ่งเซลล์ในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ และจากการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนยังแสดงให้เห็นว่ามีนักเรียนบางส่วนใช้การจดจำเนื้อหาตามที่ครูสอน ขาดความเข้าใจที่ถ่องแท้ในเรื่องที่เรียนซึ่งส่งผลให้นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ได้

บทนำ

งานวิจัยเกี่ยวกับแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในวิชาชีววิทยาเป็นที่ได้รับความสนใจจากนักศึกษานับตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน (Dreyfus and Jungwirth, 1988; Odom, 1995; Flores *et al.*, 2003) แนวคิดที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception) ของนักเรียน หมายถึง แนวคิดของนักเรียนที่แตกต่างจากแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน (Osborne and Wittrock, 1983) ประสิทธิภาพและความรู้เดิมของนักเรียนในเรื่องหนึ่งๆมีความหลากหลาย ซึ่งอาจมีความถูกต้องและสอดคล้องหรือมีความคลาดเคลื่อนจากแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ มีงานวิจัยหลายเรื่องรายงานถึงสาเหตุของการเกิดแนวคิดที่คลาดเคลื่อน เช่น การเรียนการสอนที่เกิดจากการถ่ายทอดความรู้จากครูผู้สอนสู่ นักเรียนโดยนักเรียนเป็นผู้รับความรู้ฝ่ายเดียวและจดจำข้อมูลที่ได้นักเรียนไม่ได้มีส่วนร่วมในการเรียนรู้ (Tytler, 2002) แนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนถือว่าเป็นอุปสรรคต่อการสร้างองค์ความรู้และการเรียนรู้แนวคิดใหม่ของนักเรียน เมื่อผู้เรียนมีแนวคิดที่

คลาดเคลื่อนทำให้การสร้างองค์ความรู้ของผู้เรียนเกิดขึ้นได้ยาก (Osborne and Wittrock, 1983; Tytler, 2002) และการสอนแนวคิดใหม่ก็เป็นไปได้ยากเช่นเดียวกัน ดังนั้นการตรวจสอบความรู้เดิมหรือการสำรวจหาแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การจัดการเรียนการสอนของครูมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับผู้เรียนมากขึ้น

แนวคิดเรื่องเซลล์นั้นจัดเป็นแนวคิดพื้นฐานที่มีความสำคัญมากสำหรับการศึกษาแนวคิดอื่นๆในวิชาชีววิทยา (Flannery, 1999; Wilder and Shuttleworth, 2004) ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เน้นถึงการสำรวจแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับเซลล์และกระบวนการของเซลล์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อย่อย คือ เซลล์และโครงสร้างของเซลล์ การแพร่และการออสโมซิส และการแบ่งเซลล์

ผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แนวคิดเรื่องเซลล์เป็นเนื้อหาที่ยากสำหรับนักเรียน นักเรียนมีความสับสนเกี่ยวกับคำศัพท์ที่ใช้เรียกระหว่างเซลล์อะตอม และโมเลกุล นักเรียนพบปัญหาในการเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการภายในเซลล์ หน้าที่ของออร์แกเนลล์ในเซลล์และในร่างกายของสิ่งมีชีวิต (พงศ์ประพันธ์ และคณะ, 2546) และนักเรียนยังมีความสับสนเกี่ยวกับหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ เนื่องจากเซลล์เป็นหน่วยของสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กจึงต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการส่องดูเซลล์แต่นักเรียนบางคนขาดประสบการณ์ในการใช้กล้องจุลทรรศน์จึงทำให้นักเรียนไม่สามารถมองเห็นเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ได้ (Barak *et al.*, 1997)

ผลการสำรวจแนวคิดเรื่องการแพร่และการออสโมซิส พบว่าแนวคิดทั้งสองนี้ก็เป็นแนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ทั้งในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น มัธยมศึกษาตอนปลาย และระดับอุดมศึกษา แนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเรื่องการแพร่และการออสโมซิส เช่น ขณะที่เกิดการแพร่ของน้ำสีในน้ำโมเลกุลของน้ำสีจะกระจายไปที่โมเลกุลของน้ำที่ท่า

หน้าที่เป็นเชื้อเลือกผ่านโมเลกุลของน้ำสีมีน้ำหนักมากกว่าโมเลกุลของน้ำ จึงทำให้เกิดการแพร่ของน้ำสีในน้ำ และอนุภาคของสารจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำกว่า ซึ่งการเคลื่อนที่ของสารจะเกิดขึ้นจนกว่าความเข้มข้นของสารทั้งสองบริเวณเท่ากัน และอนุภาคของสารจะหยุดการเคลื่อนที่ (Odom, 1995; สำเร็จ, 2531)

สำหรับแนวคิดเรื่องการแบ่งเซลล์นั้น รายงานผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการแบ่งเซลล์ค่อนข้างมากโดยเฉพาะการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ยกตัวอย่างเช่น นักเรียนไม่เข้าใจเรื่องโครโมโซมและการจัดเรียงตัวของโครโมโซม กฎการรวมกลุ่มและกฎการแยกตัวอย่างเป็นอิสระของโครโมโซมในขณะที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (Mertens and Walker, 1992) นอกจากนี้แนวคิดเรื่องการแบ่งเซลล์ยังเป็นแนวคิดที่ยากและมีความซับซ้อนอีกด้วย (Lewis, et al., 2000; Marbach-Ad and Stavy, 2000)

จากรายงานผลการวิจัยดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า การศึกษาเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะนอกจากแนวคิดในเรื่องนี้จะเป็นแนวคิดที่เป็นพื้นฐานในการศึกษาเนื้อหาวิชาชีววิทยาอื่นๆ แล้ว แนวคิดเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์ยังเป็นแนวคิดที่ยาก และสร้างความสับสนให้นักเรียนในการเรียนด้วย และจากรายงานการวิจัยส่วนใหญ่เน้นเป็นการศึกษาในบริบทของต่างประเทศ ประกอบกับงานวิจัยที่พบในประเทศไทยเกี่ยวกับการสำรวจแนวคิดเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์นั้นมีค่อนข้างน้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการสำรวจแนวคิดในเรื่องนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับครูผู้สอนวิชาชีววิทยาที่จะได้ตระหนักถึงปัญหาเกี่ยวกับแนวคิดของผู้เรียนสามารถจัดการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องและสอดคล้องกับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสำรวจแนวคิดเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
2. เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดของนักเรียนกับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาแนวคิดของนักเรียนในเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์ ซึ่งได้แก่ เซลล์และโครงสร้างของเซลล์ การแพร่และการออสโมซิส และการแบ่งเซลล์
2. กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดสุพรรณบุรี ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2547

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สายวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 120 คน มีอายุอยู่ในช่วง 15-16 ปี จากโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยนักเรียนได้ผ่านการเรียนเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์มาแล้วในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2547 ระดับผลการเรียนเฉลี่ยของนักเรียนในวิชาชีววิทยาที่ผ่านมามีดังนี้ นักเรียนร้อยละ 23 มีผลการเรียนเฉลี่ย 4.0 นักเรียนร้อยละ 34 มีผลการเรียนเฉลี่ย 3.0 นักเรียนร้อยละ 27 มีผลการเรียนเฉลี่ย 2.0 และนักเรียนร้อยละ 16 มีผลการเรียนเฉลี่ย 1.0 สำหรับเนื้อหาเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์นี้ ได้ถูกบรรจุอยู่ในคู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ในสาระที่ 1 เรื่อง สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2546)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้เป็นแบบสำรวจแนวคิดนักเรียนเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์ (Cells and Cell Processes Conception Survey) ซึ่งครอบคลุมแนวคิดสำคัญ 3 แนวคิด คือ แนวคิดเรื่องเซลล์และโครงสร้างของเซลล์ การแพร่และการออสโมซิส และการแบ่งเซลล์ รูปแบบของข้อคำถามประกอบด้วยข้อคำถามแบบปรนัย ที่ให้นักเรียนเลือกคำตอบพร้อมทั้งอธิบายเหตุผลในการเลือกคำตอบ และข้อคำถามแบบปลายเปิดที่ให้อิสระนักเรียนในการเขียนตอบ แนวคิดในการพัฒนาเครื่องมือได้มาจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต (Odom, 1995; Lewis et al., 2000; Flores et al., 2003) แล้วคัดเลือกข้อคำถามบางข้อที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดที่จะสำรวจมาปรับใช้ในงานวิจัยนี้ แบบสำรวจนี้ได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นคณาจารย์จากคณะวิทยาศาสตร์ และคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้วิจัยได้ทดลองใช้แบบสำรวจชุดนี้เพื่อดูความเหมาะสมของภาษาและระยะเวลาที่ใช้ในการตอบข้อคำถามในแบบสำรวจกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ผ่านการเรียนเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์แล้วในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 45 คนในโรงเรียนเดียวกันกับที่ทำการศึกษา

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ส่งแบบสำรวจให้กับครูผู้สอนชีววิทยาที่สอนเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อแจกให้กับนักเรียนจำนวน 120 คน ที่ผ่านการเรียนเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์แล้วในภาคเรียนที่ 1 ของปีการศึกษา 2547 โดยนักเรียนแต่ละคนใช้เวลาในการตอบข้อคำถามในแบบสำรวจประมาณ 60 นาที จากนั้นครูผู้สอนได้ส่งแบบสำรวจกลับคืนให้กับผู้วิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสำรวจมีขั้นตอนดังนี้

1. อ่านคำตอบและการอธิบายเหตุผลของนักเรียนทุกคนในแต่ละข้อคำถามเพื่อดูภาพรวมของคำตอบ

2. จำแนกคำตอบและคำอธิบายของนักเรียนเป็นกลุ่ม โดยใช้หลักการจำแนกของ Simpson and Marek (1988) ดังนี้

1. แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (Sound Understanding: SU) หมายถึง นักเรียนเลือกคำตอบและอธิบายเหตุผลได้ถูกต้องสมบูรณ์ สอดคล้องกับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

2. แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วน (Partial Understanding: PU) หมายถึง นักเรียนเลือกคำตอบถูกและอธิบายเหตุผลบางส่วนได้สอดคล้องกับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

3. แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนและมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Misunderstanding: PU & MU) หมายถึง นักเรียนเลือกคำตอบถูกและอธิบายเหตุผลได้ถูกต้องเพียงบางส่วน แต่มีคำอธิบายบางส่วนที่ผิดไปจากแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

4. แนวคิดที่คลาดเคลื่อน (Specific Misconception: SM) หมายถึง นักเรียนมีแนวคิดที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ เลือกคำตอบถูกแต่อธิบายเหตุผลไม่ถูกต้องหรือเลือกคำตอบไม่ถูกและอธิบายเหตุผลไม่ถูกต้องตามแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

5. ไม่ตอบคำถาม (Without Answer: WA) หมายถึง นักเรียนเลือกคำตอบถูกแต่ไม่ได้เขียนอธิบายเหตุผล หรือนักเรียนไม่เขียนคำตอบและไม่สามารถอธิบายเหตุผลในการเลือกคำตอบได้

3. นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าร้อยละของแนวคิดของนักเรียนในประเภทต่างๆ

ผลและอภิปรายผล

ผู้วิจัยนำเสนอร้อยละของจำนวนนักเรียนที่มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วน แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนและมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนบางส่วน แนวคิดที่คลาดเคลื่อนและไม่ตอบคำถาม ทั้ง 3 แนวคิด ซึ่งแสดงใน Table 1

1. เซลล์และโครงสร้างของเซลล์

จากผลการสำรวจแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับคำนิยามของเซลล์ พบว่ามีนักเรียนร้อยละ 42 ที่มี

แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ โดยที่นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่าเซลล์มีโครงสร้างที่สำคัญ เช่น นิวเคลียส ไซโทพลาซึมและเยื่อหุ้มเซลล์ นักเรียนร้อยละ 33 มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนซึ่งถือได้ว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจในคำนิยามของเซลล์ที่ค่อนข้างสมบูรณ์ มีนักเรียนส่วนน้อยที่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน

นักเรียนร้อยละ 55 มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนเกี่ยวกับเซลล์เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตคืออธิบายว่าสิ่งมีชีวิตทุกชนิดทั้งพืชและสัตว์

Table 1 Student conceptions on cells and cell processes.

Topics / subtopics	Level of student conceptions (Percentages)				
	<i>SU</i>	<i>PU</i>	<i>PU&MU</i>	<i>SM</i>	<i>WA</i>
1. Cells and cell structures	<i>SU</i>	<i>PU</i>	<i>PU&MU</i>	<i>SM</i>	<i>WA</i>
• Cell definition	42	33	0	18	7
• All living things have cells	0	55	15	11	19
• Organelles in cell and comparison of organelles between animal and plant cells	26	33	49	6	4
2. Diffusion and Osmosis	<i>SU</i>	<i>PU</i>	<i>PU&MU</i>	<i>SM</i>	<i>WA</i>
• Definition of diffusion and the concentration of particles	12	39	3	44	2
• Direction of particle during diffusion	84	0	9	0	7
• Definition of osmosis and the concentration of solution	11	34	10	36	9
• Plasmolysis in plant cell	14	3	13	53	17
3. Cell division	<i>SU</i>	<i>PU</i>	<i>PU&MU</i>	<i>SM</i>	<i>WA</i>
Mitosis					
• Comparison of chromosome number between parental and daughter cell	21	8	3	55	13
• Comparison of genetic material between parental cell and daughter cell	13	13	32	27	15
• Organs that have mitosis process	15	2	16	58	9
• Mitosis occurs in plant cell	36	22	2	40	0
Meiosis					
• Comparison of chromosome number between parental and daughter cell	26	2	3	58	11
• Comparison of genetic material between parental cell and daughter cell	14	0	21	59	6
• Organs that have meiosis process	15	0	19	52	14
• Meiosis occurs in plant cell	18	32	0	41	9

เช่น หัวใจ สมอง เชื้อหอม และสาหร่ายหางกระรอก มีเซลล์เป็นองค์ประกอบพื้นฐานซึ่งถือว่าคำตอบของนักเรียนไม่ครบถ้วนตามแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

นักเรียนร้อยละ 49 สามารถระบุถึงออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ได้ แต่การเปรียบเทียบความแตกต่างของเซลล์ทั้งสองชนิดนี้ยังมีบางส่วนที่ไม่ถูกต้อง เช่น เซลล์สัตว์มีคลอโรพลาสต์ เซลล์พืชไม่มีคลอโรพลาสต์ ซึ่งถือว่าคำตอบบางส่วนสอดคล้องกับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์และบางส่วนที่คลาดเคลื่อนไป

2. การแพร่และการออสโมซิส

การแพร่

นักเรียนร้อยละ 44 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแพร่ โดยนักเรียนได้อธิบายถึงหลักการของการแพร่แตกต่างกัน เช่น การแพร่เป็นการที่อนุภาคของน้ำหมีก็จะแตกกระจาย และละลายไปผสมกับน้ำ เพราะน้ำหมีมีความเข้มข้นน้อยกว่าน้ำจึงละลายได้ในน้ำ การแพร่เกิดจากน้ำน้อยไปรวมอยู่เป็นกลุ่มเมื่อเวลาผ่านไปหมีก็จะค่อยๆกระจายไปทั่วบีกเกอร์ บางคนอธิบายว่าการแพร่ คือ การเคลื่อนของน้ำและการทำปฏิกิริยาที่เรียกว่า การระเหิด และนักเรียนบางคนเข้าใจว่า การละลาย การตกตะกอน การแตกตัว การละลายของมวลต่อน้ำ คือ การแพร่ มีนักเรียนเพียงร้อยละ 12 ที่มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ โดยสามารถอธิบายได้ว่าการเคลื่อนที่ของน้ำหมีในน้ำเรียกว่า การแพร่ โดยที่สีน้ำเงินของน้ำหมีก็จะค่อยๆกระจายและเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีสีน้ำเงินมากไปหาบริเวณที่มีสีน้ำเงินน้อยไปในทุกทิศทางจนเข้าสู่สภาวะสมดุล มีนักเรียนถึงร้อยละ 84 สามารถวาดภาพแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำหมีขณะมีการแพร่โดยมีการกระจายของอนุภาคทุกทิศทาง ซึ่งแสดงถึงการมีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

การออสโมซิส

เมื่อให้นักเรียนอธิบายถึงการออสโมซิสจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ คือ นำหลอดแก้วรูปตัว U

มาทึบด้วยเยื่อเลือกผ่าน ด้านที่ 1 ใส่สารละลายน้ำตาลเข้มข้น ด้านที่ 2 ใส่ น้ำเปล่าโดยมีระดับน้ำสูงเท่ากันเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอะไรบ้าง พบว่ามีนักเรียนร้อยละ 36 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน ซึ่งนักเรียนกลุ่มแรกประมาณร้อยละ 10 ตอบว่าระดับน้ำในด้านที่ 1 จะคงที่เนื่องจากสารละลายน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ความเข้มข้นสูงไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ น้ำตาลเกิดการตกตะกอนด้านที่ 1 ที่บรรจุสารละลายน้ำตาลจะละลายได้ไม่เท่ากับน้ำบริสุทธิ์ ส่วนนักเรียนกลุ่มที่ 2 ประมาณร้อยละ 12 อธิบายว่าระดับน้ำในด้านที่ 1 จะลดลง เพราะมีความเข้มข้นของน้ำน้อยกว่าน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่านไป ด้านที่ 2 น้ำจะลดลงเพราะน้ำจะแพร่จากน้ำมากไปน้ำน้อย และนักเรียนกลุ่มที่ 3 ประมาณร้อยละ 14 สับสนเกี่ยวกับคำศัพท์ที่ใช้เรียกการออสโมซิส ซึ่งนักเรียนใช้คำว่า การแพร่ การแพร่แบบฟาซิลิเทต ไฮโพโทนิค การออสโมซิส แรงดันน้ำ ไฮเพอร์โทนิค แทนคำว่า การออสโมซิส มีนักเรียนเพียงร้อยละ 11 ที่มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ คือ สามารถตอบได้ถูกต้องว่าระดับน้ำในด้านที่ 1 เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดออสโมซิสของน้ำจากด้านที่มีความเข้มข้นของสารน้อยไปสู่ที่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมาก

สำหรับกระบวนการเกิดพลาสมอลิซิสในเซลล์พืช โดยนำเซลล์พืชไปแช่ในสารละลายเกลือแกงที่มีความเข้มข้น 25% แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแวคิวโอล มีนักเรียนถึงร้อยละ 53 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนโดยคำตอบและเหตุผลของนักเรียนแตกต่างกัน เช่น มีการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าเซลล์ทำให้เซลล์เต่งและแตก เกลือแกงจะเคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์พืชทำให้เซลล์ขยายขนาด และแวคิวโอลไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเซลล์พืชมีผนังเซลล์ จึงไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารเข้าและออก เป็นต้น พบว่ามีนักเรียนร้อยละ 14 ที่สามารถอธิบายได้ว่าน้ำจะออสโมซิสออกจากเซลล์ไปที่สารละลายเกลือแกงทำให้แวคิวโอลหดตัวเล็กลงเนื่องจากน้ำออสโมซิสออกจากแวคิวโอล เรียก

กระบวนการนี้ว่า พลาสมอลิซิส

3. การแบ่งเซลล์

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

เมื่อกำหนดภาพที่แสดงถึงการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของเซลล์ผิวหนังที่มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับ 6 โครโมโซม แล้วให้นักเรียนหาจำนวนโครโมโซมในเซลล์ผิวหนังเซลล์ใหม่ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ พบว่านักเรียนร้อยละ 55 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจำนวนโครโมโซม เช่นตอบว่าโครโมโซมจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เพราะโครโมโซมแบ่งครึ่งเป็นโครมาทิดจะแตกออกใหม่เป็นโครโมโซม โครโมโซมเกิดใหม่สองชุดเพราะมีการจำลองตัวของโครโมโซมตลอด นักเรียนร้อยละ 21 สามารถอธิบายได้ว่าการแบ่งเซลล์ดังในภาพเป็นการแบ่งแบบไมโทซิสซึ่งจะมีการจำลองโครโมโซมของเซลล์แม่ เพราะฉะนั้นเซลล์ใหม่จะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์เดิมคือ 6 โครโมโซม ซึ่งถือว่านักเรียนมีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

สำหรับข้อมูลทางพันธุกรรมของเซลล์เริ่มต้นและเซลล์ใหม่ที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส มีนักเรียนร้อยละ 32 ตอบว่าเซลล์ใหม่จะมีลักษณะทางพันธุกรรมเท่ากัน ซึ่งถือว่านักเรียนมีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนและมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนบางส่วน นักเรียนร้อยละ 27 มีแนวคิดคลาดเคลื่อนโดยตอบว่าเซลล์ใหม่และเซลล์เริ่มต้นเป็นเซลล์เดียวกันไม่มีการจำลองโครโมโซมจึงไม่มีการแปรผันทางพันธุกรรม มีนักเรียนเพียงร้อยละ 13 สามารถอธิบายได้ว่า ระยะเอส ของการแบ่งเซลล์จะมีการจำลองโครโมโซมเพิ่มอีกหนึ่งชุดจึงทำให้ทุกเซลล์มีข้อมูลทางพันธุกรรมเท่าเดิมและมีการจำลอง DNA ซึ่งเป็นสารพันธุกรรมที่ถ่ายทอดจากเซลล์แม่ไปยังเซลล์ลูก เซลล์ลูกจึงข้อมูลทางพันธุกรรมเหมือนเดิม ซึ่งถือว่านักเรียนมีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

เมื่อกำหนดส่วนต่างๆของร่างกายให้ ได้แก่ ไขกระดูก รังไข่ อัณฑะและเยื่อผิวหนังที่ปอดแล้วให้นักเรียนระบุว่าส่วนใดบ้างที่มีการแบ่งเซลล์แบบ

ไมโทซิส นักเรียนร้อยละ 58 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน เช่น ตอบว่า อวัยวะต่างๆ ใหญ่ขึ้นตามตัวของเจ้าของโดยไม่ต้องแบ่งเซลล์ อวัยวะเหล่านี้ไม่มีการแบ่งเซลล์ ไขกระดูก รังไข่ และอัณฑะต่างมีเซลล์อยู่แล้วไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้อีก นักเรียนร้อยละ 15 สามารถตอบได้ว่าไขกระดูกและเยื่อผิวหนังที่ปอดจะมีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสมาทดแทนเซลล์ที่เสื่อมสภาพไป และมีการแบ่งเซลล์ให้มีขนาดเพิ่มขึ้น อวัยวะต่างๆก็ต้องมีการเจริญเติบโตเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตต่อไป ซึ่งถือว่านักเรียนมีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

สำหรับการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสในพืชนั้น มีนักเรียนร้อยละ 40 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยเข้าใจว่าการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสไม่เกิดขึ้นในเซลล์พืช เนื่องจากเซลล์พืชไม่มีอวัยวะที่ช่วยในการแบ่งเซลล์ พืชไม่มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ นักเรียนร้อยละ 36 สามารถตอบคำถามและอธิบายเหตุผลได้ถูกต้อง คือ พืชต้องมีการเจริญเติบโตสร้างเซลล์มาทดแทนเซลล์ที่เสียหายไปเช่นเดียวกับสัตว์ ซึ่งถือว่านักเรียนมีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

เมื่อกำหนดภาพที่แสดงถึงการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์ไข่ของกบ โครโมโซมในเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 4 โครโมโซม ให้นักเรียนหาจำนวนโครโมโซมในเซลล์ไข่ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ พบว่ามีนักเรียนถึงร้อยละ 58 ที่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยนักเรียนตอบคำถามแตกต่างกัน เช่น เซลล์ใหม่ที่ได้จะมี 1 โครโมโซมเพราะการแบ่งเซลล์เพื่อการสืบพันธุ์ เป็นการแบ่งเพื่อลดจำนวนโครโมโซมและเซลล์ไข่ของกบเป็นเซลล์สืบพันธุ์มีการแบ่งเซลล์ 2 รอบจาก 4 โครโมโซมเป็น 2 และเป็น 1 โครโมโซม และมีนักเรียนร้อยละ 26 มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ โดยสามารถอธิบายได้ว่าการแบ่งเซลล์ดังในภาพเป็นการแบ่งแบบไมโอซิส โดยที่โครโมโซมในเซลล์เริ่มต้นจะลดจำนวนลงครึ่งหนึ่ง เนื่องจากมีการแบ่งเซลล์ 2 ครั้ง เซลล์ใหม่ที่ได้จึงมีจำนวน 2 โครโมโซม นักเรียนร้อยละ 59 มีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ

ข้อมูลทางพันธุกรรมของเซลล์เริ่มต้นและเซลล์ใหม่ โดยตอบว่าข้อมูลทางพันธุกรรมของเซลล์ทั้งสองจะแตกต่างกันแต่ให้เหตุผลไม่ถูกต้อง เช่น เซลล์ใหม่จะมีข้อมูลทางพันธุกรรมเพียงครึ่งเดียว ไม่มีการจำลองตัวของโครโมโซมและไม่มีการแปรผันของพันธุกรรม หรือโครโมโซมมีหลายแท่งเมื่อแยกออกจากกัน เซลล์ใหม่จะมีสารพันธุกรรมเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของจำนวนเดิม มีนักเรียนเพียงร้อยละ 14 ที่สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลทางพันธุกรรมของเซลล์ใหม่ต่างจากเซลล์เริ่มต้น โดยให้เหตุผลว่าในการแบ่งเซลล์จะมีการเกิดครอสซิงโอเวอร์ ซึ่งทำให้มีการแลกเปลี่ยนสารพันธุกรรมในระหว่างมีการแบ่งเซลล์ซึ่งถือว่ามีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

มีนักเรียนถึงร้อยละ 52 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนโดยมีความเข้าใจที่แตกต่างกันว่าไขกระดูกรังไข่ อัณฑะและเยื่อปมที่ปอดไม่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส อวัยวะต่างๆใหญ่ขึ้นตามตัวของเจ้าของไม่มีการแบ่งเซลล์ และบางคนเข้าใจว่าการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์เป็นการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความสับสนระหว่างการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสกับไมโอซิส มีนักเรียนเพียงร้อยละ 15 มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ซึ่งสามารถตอบได้ว่า รังไข่และอัณฑะจะมีการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ เพราะการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเกิดกับอวัยวะที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์

นักเรียนร้อยละ 41 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในพืชดอก โดยเข้าใจว่า การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเกิดเฉพาะในเซลล์สัตว์ ไม่เกิดในเซลล์พืชเพราะพืชสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ในพืชไม่มีโครโมโซม และพืชดอกผสมพันธุ์แล้วไม่ต้องการแบ่งเซลล์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนขาดความเข้าใจเกี่ยวกับระบบสืบพันธุ์และออร์แกเนลล์ในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ มีนักเรียนเพียงร้อยละ 18 สามารถตอบได้ว่า การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเกิดขึ้นในพืชดอก เพราะพืชดอกมีรังไข่ที่จะทำหน้าที่ในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยข้างต้นพบว่านักเรียนกลุ่มที่ศึกษานี้อยู่ละ 50 มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์เรื่องเซลล์และโครงสร้างของเซลล์โดยนักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับคำนิยามของเซลล์ สามารถระบุโครงสร้างพื้นฐานและชนิดของออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ รวมทั้งสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ได้ แต่ก็ยังมีนักเรียนอีกร้อยละ 50 ที่มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์เพียงบางส่วนและบางคนมีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์และแนวคิดที่คลาดเคลื่อนปะปนกัน โดยแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนส่วนใหญ่ที่พบนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา คือ นักเรียนมีความสับสนเกี่ยวกับความหมายของเซลล์ อวัยวะ และเนื้อเยื่อ และนักเรียนบางคนยังไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ได้ (พงศ์ประพันธ์ และคณะ, 2546; Flores et al., 2003)

สำหรับแนวคิดเรื่องการแพร่ นั้นพบว่านักเรียนร้อยละ 44 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนโดยนักเรียนไม่สามารถอธิบายความหมายและหลักการของการแพร่ได้ถูกต้อง และมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารขณะเกิดการแพร่ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (สำเร็จ, 2531; Odom, 1995) ส่วนนักเรียนร้อยละ 84 มีแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของสารขณะเกิดการแพร่ สำหรับแนวคิดเรื่องการออสโมซิสนั้นพบว่า นักเรียนร้อยละ 36 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับหลักการออสโมซิสและคำศัพท์ที่ใช้เรียกการเกิดการออสโมซิส และมีนักเรียนถึงร้อยละ 53 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเกิดพลาสมอลิซิสในเซลล์พืชซึ่งเป็นแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิส แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังขาดความเข้าใจในการนำความรู้เกี่ยวกับการเกิดออสโมซิสไปประยุกต์ใช้

สำหรับแนวคิดเรื่องการแบ่งเซลล์พบว่ามี

นักเรียนมากกว่าร้อยละ 50 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในเรื่องจำนวนโครโมโซมและสารพันธุกรรมของเซลล์เริ่มต้นและเซลล์ใหม่ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ นักเรียนมากกว่าครึ่ง มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับอวัยวะต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ และนักเรียนร้อยละ 40 มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ในเซลล์พืช ซึ่งแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้พบได้ทั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและแบบไมโอซิส โดยเฉพาะในไมโอซิสนั้นกระบวนการเกิดโครสซิงโอเวอร์ยังถือเป็นแนวคิดที่ยากสำหรับนักเรียนอีกด้วย ซึ่งจากผลงานวิจัยที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Mertens and Walker, 1992; Lewis et al., 2000)

จากข้อมูลทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนค่อนข้างมากในเรื่องการแพร่ การออสโมซิส และการแบ่งเซลล์ ซึ่งสาเหตุหนึ่งของการเกิดแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนน่าจะมาจากการขาดความเข้าใจที่ถ่องแท้ในเรื่องที่เรียน นักเรียนพยายามท่องจำเนื้อหาจากแบบเรียนมากกว่าการสร้าง ความเข้าใจด้วยตนเองหรือจากคำแนะนำของครู เนื้อหาที่เรียนนั้นมีความเชื่อมโยงสัมพันธ์กัน แต่นักเรียนมักจะเรียนแบบแยกส่วนขาดการเชื่อมโยงเนื้อหาเข้าด้วยกันทำให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ไม่ต่อเนื่อง นักเรียนจึงไม่สามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนในห้องเรียนไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์หรือการแก้โจทย์ปัญหาอื่นๆได้

ข้อเสนอแนะ

ผลที่ได้จากการวิจัยน่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับครูผู้สอนเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์ เพราะผลการวิจัยได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับแนวคิดของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ผ่านการเรียนเรื่องเซลล์และกระบวนการของเซลล์มาแล้ว แต่พบว่านักเรียนมากกว่าร้อยละ 50 ยังมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนอยู่ ดังนั้น ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครู

ควรนำแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนมาพิจารณาด้วย และควรเน้นการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียน แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อน และให้นักเรียนได้ทำความเข้าใจและสะท้อนความคิดเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้แล้วเพื่อเพิ่มความเข้าใจและลดแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และควรจัดสถานการณ์ในการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับการนำความรู้ไปใช้เพื่อช่วยให้นักเรียนมองเห็นคุณค่าของความรู้ที่ได้จากห้องเรียนและจะทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ และคณะ. 2546. การสำรวจแนวคิดเนื้อหาชีววิทยาของนิสิตนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาพลครู วิทยาศาสตร์ (สังคม) 24:133-144.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2546. การจัดการเรียนรู้อุณหภูมิวิทยาศาสตร์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร: องค์การค่าของครูสภา.
- สำเร็จ สระขาว. 2531. การศึกษาแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเรื่องการแพร่และการออสโมซิสของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในอำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Barak, J., M. Gorodetsky and D. Chipman. 1997. "Understanding of Energy in Biology and Vitalistic Conceptions". *International Journal of Science Education* 19: 21-30.
- Dreyfus, A. and E. Jungwirth. 1988. "The Cell Concept of 10th Graders: Curricular Expectations and Reality". *International Journal of Science Education* 10: 221-229.
- Flannery, M. C. 1999. "At Home in A Cell". *The American Biology Teacher* 61: 64-68.

- Flores, F., E. M. Tovar and L. Gallegos. 2003. "Representation of the Cell and Its Processes in High School Students: An Integrated View". *International Journal of Science Education* 25: 269-286.
- Lewis, J., J. Leach and C. Wood –Robinson. 2000. "Chromosomes: The Missing Link-Young People Understands of Mitosis, Meiosis, and Fertilization". *Journal of Biological Education* 34: 89-99.
- Marbach –Ad., G. and R. Stavy. 2000. "Students' Cellular and Molecular Explanations of Genetic Phenomena". *Journal of Biological Education* 34: 200-205.
- Mertens, T. R. and J. O. Walker. 1992. "A Paper - &-Pencil Strategy for Teaching Mitosis & Meiosis, Diagnosing Learning Problems & Predicting Examination Performance". *The American Biology Teacher* 54: 470- 474.
- Odom, A. L. 1995. "Secondary & College Biology Students' Misconceptions about Diffusion and Osmosis". *The American Biology Teacher* 57: 409-415.
- Osborne, R. J. and M. C. Wittrock. 1983. "Learning Science: A Generative Process". *Science Education* 67: 489-508.
- Simpson, W. D. and E. A. Marek. 1988. "Understandings and Misconceptions of Biology Concepts Held by Students Attending Small High Schools and Students Attending Large High Schools". *Journal of Research in Science Teaching* 25: 361-374.
- Tytler, R. 2002. "Teaching for Understanding in Science: Student Conceptions Research and Changing Views of Learning". *Australian Science Teachers' Journal* 48: 14-21.
- Wilder, M. and P. Shuttleworth. 2004. "Cell inquiry: A 5E Learning Cycle lesson". *Science Activities* 41: 28-31.