

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลของความเค็มต่อการเจริญ

ผลการทดลองการเจริญของ Protogonyaulax cohorticula เมื่อได้รับอิทธิพลเฉพาะปัจจัยความเค็ม (รูปที่ 10 - 11) พบว่า ที่ระดับความเค็ม 25 ‰ จะให้อัตราการเจริญเฉลี่ยสูงสุด และมีค่าใกล้เคียงกับที่ระดับความเค็ม 30 ‰ แต่เมื่อได้รับอิทธิพลของสารอาหารด้วย (รูปที่ 12 - 13) พบว่าที่ระดับความเค็ม 30 ‰ ให้อัตราการเจริญเฉลี่ยสูงสุด และสูงกว่าที่ระดับความเค็ม 25 ‰ เมื่อได้รับอิทธิพลเฉพาะปัจจัยความเค็ม แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าช่วงระดับความเค็ม 25 - 30 ‰ เหมาะสมกับการเจริญของ P. cohorticula ซึ่ง Balech (1968) ได้รายงานการพบ P. cohorticula เป็นครั้งแรกที่บริเวณอ่าวเม็กซิโก แต่ไม่ได้กล่าวถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในขณะที่พบ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการแพร่กระจายของ P. cohorticula ในอ่าวไทย ซึ่งศึกษาโดย พรศิลป์ ผลพันธ์ (2530) ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าของความเค็มของน้ำทะเลอยู่ในช่วงระหว่าง 29.57 - 33.2 ‰ พบว่าสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ กล่าวคือ บริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นบริเวณที่ความเค็มต่ำกว่าบริเวณตอนกลางของอ่าวไทย พบว่า P. cohorticula แพร่กระจายอยู่น้อย แต่มีการแพร่กระจายมากบริเวณตอนกลางของอ่าวไทย แสดงให้เห็นว่า P. cohorticula มีแนวโน้มที่จะเจริญได้ดีที่ระดับความเค็มสูง

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ P. tamarensis เมื่อได้รับอิทธิพลเฉพาะปัจจัยความเค็ม (รูปที่ 35 - 36) และอิทธิพลของปัจจัยความเค็มและสารอาหาร (รูปที่ 37 - 38) แสดงให้เห็นว่า P. tamarensis มีแนวโน้มที่จะเจริญได้ดีที่ระดับความเค็ม 20 - 30 ‰ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการแพร่กระจายของ P. tamarensis (พรศิลป์ ผลพันธ์, 2530) กล่าวคือ บริเวณอ่าวไทยตอนบนและชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเค็มต่ำ จะพบ P. tamarensis แพร่กระจายมากกว่าบริเวณตอนกลางของอ่าวไทยซึ่งมีความเค็มสูง ซึ่ง Prakash (1967) พบว่าการทดลองที่ความเค็มต่ำและอุณหภูมิสูง (10 °C) จะช่วยให้การ

เจริญของ Gonyaulax tamarensis ดีขึ้น โดยมีช่วงความทนทานต่อความเค็มระหว่าง 7 - 40 ‰ และมีช่วงความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญดีที่สุดอยู่ระหว่าง 19 - 20 ‰ ที่ 10 °C แต่ในขณะเกิดการเจริญของ G. tamarensis จริง ๆ ในธรรมชาติความเค็มมีค่าสูงประมาณ 31.55 - 32.18 ‰ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 9.6 - 11.8 °C ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ แสดงว่าความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญของ G. tamarensis ค่อนข้างกว้างอย่างไรก็ตาม Yentsch (1975) ได้ทำการศึกษาลักษณะการเจริญของ G. tamarensis ก็พบว่าช่วงความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญมีค่าระหว่าง 20 - 28 ‰ Schrey et al (1984) ก็รายงานไว้เช่นกันว่าขณะเกิดการเจริญอย่างรวดเร็วของ G. tamarensis บริเวณ Long Island Estuaries พบว่าที่ผิวน้ำมีความเค็มระหว่าง 15 - 28 ‰ ส่วนที่ลึกลงผิวน้ำมีความเค็มระหว่าง 20 - 28 ‰ นอกจากนี้ Blanco et al (1985) พบว่าความเค็มที่ผิวน้ำขณะมีการเจริญอย่างรวดเร็วของ G. tamarensis มีค่าระหว่าง 22 - 27 ‰

ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า Protogonyaulax cohorticula มีช่วงระดับความเค็มที่เหมาะสมกับการเจริญระหว่าง 25 - 30 ‰ โดยที่ระดับความเค็มสูงมีแนวโน้มให้การเจริญดีกว่า ส่วน P. tamarensis มีช่วงระดับความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญระหว่าง 20 - 30 ‰ โดยที่ระดับความเค็มต่ำมีแนวโน้มให้การเจริญดีกว่า

2. ผลของความเค็มและกรดฮิวมิกต่อการเจริญ

การทดลองของ P. cohorticula เมื่อได้รับอิทธิพลของความเค็มและกรดฮิวมิก (รูปที่ 17) แสดงให้เห็นว่าอัตราการเจริญมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อความเค็มและความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในน้ำทะเลมีค่าสูงขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นของกรดฮิวมิกเป็น 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ระดับความเค็ม 30 ‰ ให้อัตราการเจริญเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเค็ม 25 และ 20 ‰ ให้อัตราการเจริญเฉลี่ยรองลงมาตามลำดับ

สำหรับ P. tamarensis (รูปที่ 42) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในระดับต่ำมีแนวโน้มที่จะกระตุ้นการเจริญของ P. tamarensis ได้ดี โดยที่ระดับความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในน้ำทะเลเป็น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ระดับความเค็ม 20 ‰ ให้อัตราการเจริญเฉลี่ยสูงสุดที่ระดับความเค็ม 25 และ 30 ‰ ให้อัตราการเจริญเฉลี่ยรองลงมาตามลำดับและเมื่อความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอัตราการเจริญเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง

เมื่อได้รับอิทธิพลของความเค็ม สารอาหาร และกรดอิวมิก แสดงแนวโน้มให้เห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลมีค่าต่ำและระดับความเค็มสูงจะช่วยให้อัตรากาการเจริญของ *P. cohorticula* สูงขึ้น (รูปที่ 21) โดยที่ระดับความเค็ม 30 ‰. และมีความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลเป็น 1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จะให้อัตรากาการเจริญเฉลี่ยของ *P. cohorticula* สูงที่สุด แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลเพิ่มขึ้นอัตรากาการเจริญเฉลี่ยมีแนวโน้มต่ำลง และที่ระดับความเค็ม 20 และ 25 ‰. แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลเพิ่มขึ้น อัตรากาการเจริญของ *P. cohorticula* มีแนวโน้มลดลง

สำหรับ *P. tamarensis* (รูปที่ 46) อัตรากาการเจริญไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและไม่แสดงแนวโน้มให้เห็นชัดเจนถึงอิทธิพลของความเค็ม สารอาหาร และความเข้มข้นของกรดอิวมิก

การศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจากการศึกษาของ Prakesh (1968) ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของกรดอิวมิกต่อการเจริญของ *Gonyaulax tamarensis*, *G. catenella* และ *G. acatenella* ที่ระดับความเค็ม 31 ‰. พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลต่ำกว่า 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร อัตรากาการเจริญของ *G. tamarensis* และ *G. catenella* จะต่ำและไม่แน่นอนแต่ที่ระดับความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลมีค่าระหว่าง 6 - 32 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จะช่วยกระตุ้นการเจริญของ *G. tamarensis* โดยในช่วงความเข้มข้นนี้พบว่าอัตรากาการเจริญมีค่าคงที่ และเมื่อความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลมีค่าเป็น 35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร อัตรากาการเจริญจะลดลง ในขณะที่การทดลองครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลต่ำกว่า 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ก็สามารถกระตุ้นให้ *Protogonyaulax* ทั้งสองชนิดมีอัตรากาการเจริญสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

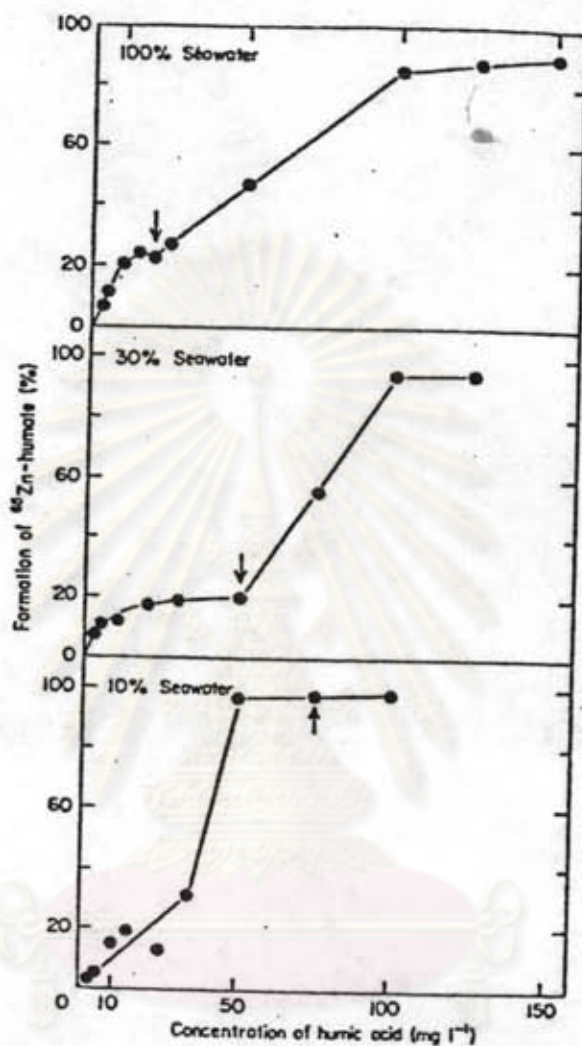
ผลการศึกษาที่แตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของโมเลกุลของกรดอิวมิก ซึ่ง Prakesh (1968) พบว่า *G. tamarensis* จะมีการเจริญตอบสนองต่อกรดอิวมิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 700 ที่ระดับความเข้มข้นของกรดอิวมิกในน้ำทะเลต่ำ (4 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ได้ดีที่สุด ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากกรดอิวมิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในสูตรโมเลกุล (Rashid and Prakesh, 1972) ซึ่งมีกลุ่มทำปฏิกิริยา (functional groups) มาก จึงอาจช่วยกระตุ้นการเจริญของ *G. tamarensis* ได้ดีกว่าพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

การที่กรดฮิวมิกสามารถกระตุ้นการเจริญของแปลงตอนพืชอาจเนื่องมาจากคุณสมบัติที่เป็นตัวจับธาตุโลหะ (metal chelation properties) โดยจะทำหน้าที่ควบคุมสมดุลการละลายของธาตุโลหะประจวบ (metal buffer) โดยการปล่อยอออนของธาตุโลหะให้กับน้ำ เมื่ออออนของธาตุโลหะนั้นถูกแปลงตอนพืชนำไปใช้ (Huntsman and Sunda 1980) โดยกลุ่มทำปฏิกิริยา (functional groups) ที่เป็น amino acids และ quinones จะดึงอออนของธาตุโลหะเป็นจำนวนมากจากเกลือที่ไม่ละลายน้ำ ในธรรมชาติถ้าอออนของโลหะที่เป็นพิษต่อแปลงตอนพืชมีปริมาณมาก เช่น ทองแดง สังกะสี เป็นต้น สารประกอบฮิวมิกจะทำปฏิกิริยากับอออนของโลหะที่เป็นพิษนั้น ๆ เป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษต่อแปลงตอนพืช (Rashid and Leonard, 1973; Anderson, 1979 และ Huntsman and Sunda, 1980) และยังลดการตกตะกอนของฟอสเฟตและซิลิเกต เมื่อทำปฏิกิริยากับอออนของธาตุประจวบ ทำให้ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่แปลงตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Rashid and Leonard, 1973)

สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น quinone ซึ่งเป็นกลุ่มทำปฏิกิริยา (functional groups) จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reaction) หลายชนิด ซึ่งเกี่ยวกับขบวนการเผาผลาญของเซลล์ (cell metabolism) และการเจริญ (Rashid, 1972 และ Prakash, et al 1973) ยังไม่มีการศึกษามากพอ นอกจากนี้การศึกษาอิทธิพลของกรดฮิวมิกและกรดฟลูวิกต่อการเจริญของ *Procentrum minimum* ซึ่งให้เห็นว่ากรดฮิวมิกและกรดฟลูวิกอาจเป็นแหล่งไนโตรเจนที่แปลงตอนพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญได้ (Graneli, 1985)

สำหรับกรณีที่เติมกรดฮิวมิกแล้วการเจริญลดลง อาจเนื่องมาจาก

2. ความสามารถในการทำปฏิกิริยาหรือจับอออนของธาตุโลหะที่ความเค็มและความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่าง ๆ กัน เช่น การศึกษาการจับโลหะที่เป็นพิษโดยกรดฮิวมิกที่สกัดจากดินตะกอนในทะเล ซึ่งทำการศึกษาโดย Musani et al, (1980) ดังแสดงในรูปที่ 56.0 ที่ระดับความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในน้ำทะเลต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ระดับความเค็ม 37 ‰ จะทำปฏิกิริยากับ Zn (2) เป็น Zn - humate ได้มากที่สุด ส่วนที่ระดับความเค็ม 11.34 ‰ และ 3.8 ‰ การทำปฏิกิริยาเกิดเป็น Zn - humate ลดลงตามลำดับ แสดงว่า ปฏิกิริยาของกรดฮิวมิกกับอออนของโลหะจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ที่ต่างระดับความเค็ม ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระดับความเค็มและความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่ำ ไม่สามารถกระตุ้นการเจริญของแปลงตอนพืชได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแปลงตอนพืช สารอาหาร และปฏิกิริยาของอออนของโลหะ



รูปที่ 56. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดฮิวมิกในน้ำทะเลกับการเกิดร้อยละของสารประกอบ Zn - humate ที่ระดับความเค็ม 37 ‰ (100 ‰ seawater), 11.34 ‰ (30 ‰ seawater) และ 3.82 ‰ (10 ‰ seawater) (Musani, et al, 1980)

อื่น ๆ กับความเข้มข้นของกรดฮิวมิกที่ระดับความเค็มต่าง ๆ ด้วย Graneli (1985) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิกต่อการเจริญของ Proocentrum minimum ในน้ำทะเลที่เติม PN (Phosphate and Nitrate) ให้การเจริญดีที่สุด แต่เมื่อเติม HFA (humic and fulvic acids) กลับทำให้การเจริญลดลง

2. ความเข้มข้นของตัวจับ (chelating agent) ที่มากเกินไปเนื่องจากสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยง ประกอบด้วยตัวจับ (chelating agent) 2 ตัว คือ Fe - EDTA และ Na₂ - EDTA ในปริมาณที่มากพอแก่การเจริญของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิดอยู่แล้ว เมื่อมีการเติมกรดฮิวมิกอีกอาจจะทำให้เกิดการลดปฏิกิริยาของอ็อกซิดอนของธาตุโลหะที่จำเป็นต่อการเจริญของแพลงตอนพืชให้ต่ำลงกว่าระดับที่เหมาะสมที่แพลงตอนพืชจะนำไปใช้ในการเจริญได้ (Huntsman and Sunda, 1980 และ Prakash et al, 1973) เช่น การทดลองอิทธิพลกรดฮิวมิกต่อการเจริญของแพลงตอนพืชทะเลพวกไดอะตอม ซึ่งศึกษาโดย Prakash (1973) พบว่าอัตราการเจริญของ Skeletonema costatum ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร f/2 เมื่อเติมกรดฮิวมิกและ Na₂ - EDTA มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับที่เติมกรดฮิวมิก แต่ไม่เติม Na₂ - EDTA ซึ่งให้เห็นว่าการเจริญที่ลดลงอาจเนื่องมาจากปริมาณตัวจับโลหะ (metal chelator) มีมากเกินไป

ดังนั้น การอธิบายว่าทำไมที่บางระดับความเค็มร่วมกับบางระดับความเข้มข้นของกรดฮิวมิก การเจริญจึงถูกยับยั้งลง จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะต้องทำการศึกษาต่อไป ซึ่งเชื่อว่า การศึกษาถึงปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบโลหะอินทรีย์เชิงซ้อนที่ระดับความเค็มต่าง ๆ จะช่วยในการอธิบายปรากฏการณ์เหล่านี้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การแพร่กระจายขนาดเซลล์

การแปรเปลี่ยนขนาดของเซลล์ในการทดลองแบบ batch culture นี้ (batch culture = การเลี้ยงแบคทีเรียโดยมีปริมาณและสารอาหารจำกัด) สามารถอธิบายตามทฤษฎี "Rubner's surface rule" (Sournia 1981) ซึ่งกล่าวว่า "อัตราการเผาผลาญของเซลล์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มขนาดของเซลล์แต่จะคงที่ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว" ได้ดังนี้ ในขณะเริ่มระยะ log phase ของการเจริญ เซลล์ขนาดใหญ่ยังมีปริมาณมากในน้ำทะเล ซึ่งมีสารอาหารอยู่อย่างสมบูรณ์ จึงเริ่มมีการเจริญโดยการสังเคราะห์แสงและดูดซึมสารอาหารมาใช้ในการสังเคราะห์มวลชีวภาพ ต่อจากนั้นจึงมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ด้วยวิธีการแบ่งเซลล์ได้เซลล์ใหม่ ที่มีขนาดเล็กลงซึ่งเป็นการปรับตัวกับปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ ทำให้พื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าสูง มีการดูดซึมสารอาหารมากขึ้น (Munk and Riley, 1952) อัตราการแบ่งเซลล์มีค่าสูง ระยะเวลาจึงเป็นระยะ log phase ของการเจริญ สารอาหารที่มีอยู่ก็ลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน เซลล์ขนาดใหญ่จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น เป็นการตอบสนองต่อสภาวะที่สารอาหารลดน้อยลง เพราะการเพิ่มขนาดของเซลล์จะทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรลดลง การดูดซึมสารอาหารมาใช้จึงลดลงด้วย ทำให้อัตราการสังเคราะห์มวลชีวภาพลดลง เซลล์จะเคลื่อนที่ช้าเพื่อลดการใช้พลังงานจากขบวนการเผาผลาญภายในเซลล์ ดังนั้น อัตราการเจริญจึงต่ำ การแบ่งเซลล์จะพบน้อยมาก ซึ่งเป็นระยะ declining phase ของการเจริญนั่นเอง

ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่า *P. cohorticula* (รูปที่ 22 - 23) แสดงการแพร่กระจายขนาดของเซลล์เป็นไปตามทฤษฎี แต่สำหรับ *P. tamarensis* (รูปที่ 41 - 48) จะพบเซลล์ขนาด 20 - 38 ไมครอน เป็นองค์ประกอบมากที่สุดของประชากรตลอดการเจริญ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากขนาดของผ้ากรองแลกเปลี่ยนไอออนไม่เหมาะสมกับเซลล์ของ *P. tamarensis* (ขนาด 22 - 35 ไมครอน) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า *P. cohorticula* มาก (ขนาด 30 - 35 ไมครอน) ทำให้การแพร่กระจายขนาดของเซลล์ *P. tamarensis* เห็นไม่ชัดเจนเมื่อใช้วิธีเดียวกัน

การแพร่กระจายขนาดของเซลล์ *P. cohorticula* และ *P. tamarensis* ในการศึกษาครั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Prakesh (1967) ซึ่งรายงานว่าในระยะที่เซลล์ *Gonyaulax tamarensis* มีอัตราการแบ่งเซลล์สูง (log phase) จะพบเซลล์ขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 29 ไมครอน) แพร่กระจายอยู่มากที่สุด เมื่อการเจริญ

เข้าสู่ระยะ declining phase จะพบการแพร่กระจายของเซลล์ขนาดเล็ก ใหญ่ และเซลล์ที่ผิดปกติ (aberrant cell) อยู่ปะปนกัน Watres et. al, (1982) ก็ให้ผลการศึกษาสอดคล้องกัน โดยพบว่าขณะที่เซลล์ *G. tamarensis* มีอัตราการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว (log phase) เซลล์ขนาดเล็กในรูปของปริมาตรจะมีปริมาณมากที่สุด แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายขนาดของเซลล์กับการสังเคราะห์มวลชีวภาพ (biosynthesis) ซึ่งในทาง ทฤษฎี เซลล์ที่มีขนาดใหญ่จะมีการแบ่งเซลล์ช้าอัตราการเจริญต่ำและอัตราการสังเคราะห์มวลชีวภาพจะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีอัตราการแบ่งเซลล์สูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระดับอนุภาคนิวคลีอิดเพิ่มขึ้น ขนาดของเซลล์ในรูปของปริมาตรจะมีขนาดเล็กลง ซึ่ง Banse (1976) พบว่า ขนาดของเซลล์ในรูปของน้ำหนักคาร์บอนจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญ การหายใจและการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเซลล์เดียว

การตอบสนองทางสรีระของเซลล์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดได้แสดงไว้ในตารางที่ 24

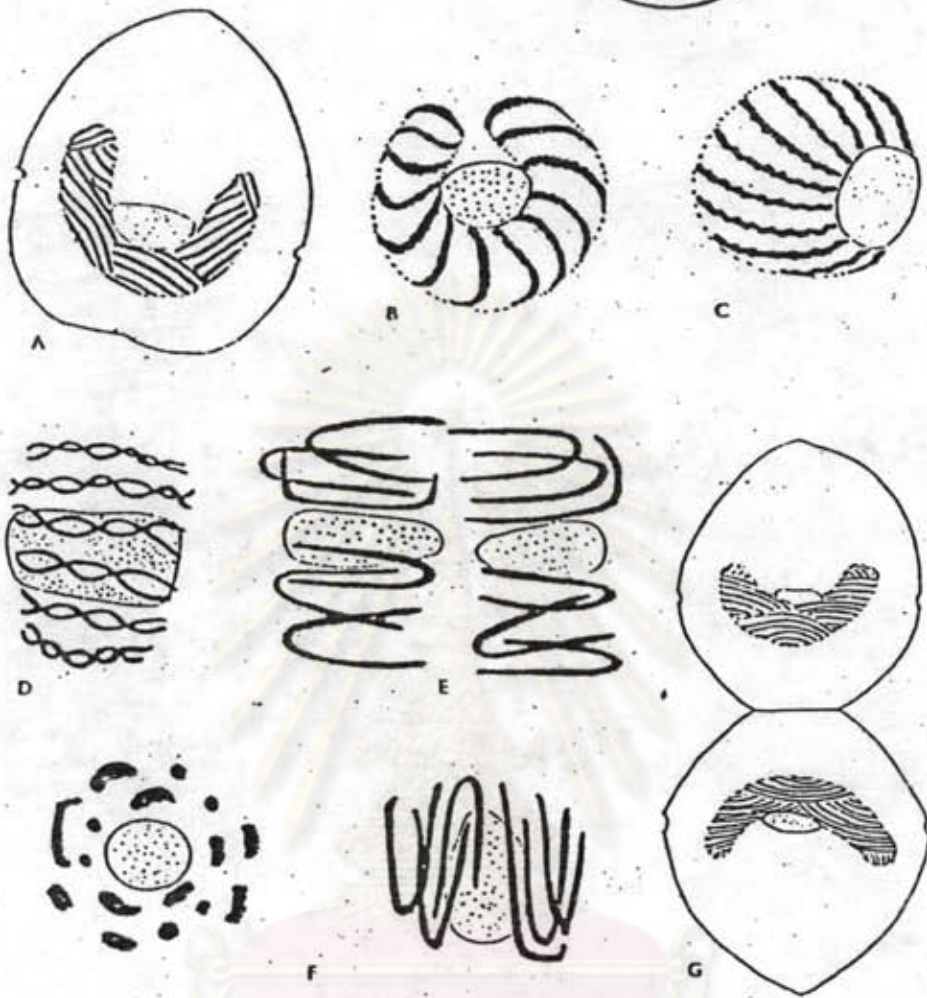
การแพร่กระจายขนาดของเซลล์มีความสำคัญมากในทางนิเวศวิทยา กล่าวคือ สามารถใช้ในการประมาณค่าอัตราการเจริญในธรรมชาติ ในขณะนั้น (in situ) ของแพลงตอนพืชได้ Watres et al (1979) ได้แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราการเจริญของ *Gonyaulax tamarensis* กับขนาดของเซลล์ในรูปของปริมาตร ซึ่งพบว่าอัตราการเจริญมีค่าสูงขึ้นเมื่อเซลล์มีขนาดเล็กลง แต่ทั้งนี้จะต้องระมัดระวังในการวัดขนาดของเซลล์และการหาค่าอัตราการเจริญของเซลล์ในธรรมชาติอย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจศึกษา กันอยู่ นอกจากนี้ยังสำคัญต่อการกินโดยแพลงตอนสัตว์ Stoecker et al (1981) รายงานว่าพวก tintinnid อาจจะไม่เลือกกินไดโนแฟลกเจลเลตขนาดเล็กที่มีขนาดของเซลล์เล็กพอที่จะกินได้ ซึ่ง Turner and Anderson (1983) ได้ทำการทดลองกับ copepod ชนิด *Acartia hudsonica* และตัวอ่อนของไส้เดือนทะเล (polychaete) *Polydora* sp. ซึ่งพบมาก บริเวณ Perch Pond. ในขณะที่มีการเจริญอย่างรวดเร็ว (bloom) ของ *Gonyaulax tamarensis* พบว่าแพลงตอนสัตว์ทั้งสองชนิดจะกรองกิน *G. tamarensis* ซึ่งอยู่ร่วมกับแพลงตอนพืชชนิดอื่น ๆ และพบว่าอัตราการกรองกิน (filtration rate) จะสูงขึ้นเมื่อปริมาณของ *G. tamarensis* เพิ่มขึ้น และจะคงที่ที่ระดับหนึ่งแต่ค่าอัตราการกรองจะต่ำ ในขณะที่ *Dinophysis acuminata* ซึ่งเป็นไดโนแฟลกเจลเลตอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีปริมาณอยู่ มากเป็นอันดับสอง พบว่าแพลงตอนสัตว์ทั้งสองชนิดไม่กรองกิน *D. acuminata* ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ขนาดและรูปร่างของ *G. tamarensis* อาจจะไม่เหมาะสมต่อแพลงตอนสัตว์ทั้งสองชนิดดังกล่าว

	With increasing cell size
Surface: volume ratio	↓
Growth rate	↓
Photosynthetic parameters	↓
P_{opt}	↓
Assimilation number	↓
Quantum yield	↓
Production: biomass ratio	↓
Respiration	↓
Assimilation parameters	↓
Absorption rate	↓
Half-saturation constant	↓
Subsistence quota	↓
Sinking rate	↓

รูปที่ 57. ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเซลล์กับการตอบสนองทางสรีรวิทยา (Sournia, 1981)

4. การศึกษาขั้นตอนต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์

การแบ่งเซลล์ของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิดนี้น่าสนใจมาก แตกต่างจากเซลล์พืชและสัตว์อื่น ๆ กล่าวคือ ขณะเริ่มทำการแบ่งเซลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของนิวเคลียสซึ่งมีลักษณะเป็นรูปตัวยู (U - shape) โดยแขนทั้งสองข้างของตัวยู จะโอบเข้ามาเป็นก้อนกลมอยู่บริเวณกลางเซลล์ แล้วจึงเริ่มทำการแบ่งเซลล์ ภายหลังจากการแบ่งเซลล์เสร็จสิ้นแล้วโดยสมบูรณ์ได้เซลล์ใหม่เป็น 2 เซลล์ นิวเคลียสจึงมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นรูปตัวยู (U - shape) เช่นเดิม ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Dodge (1964) ซึ่งได้ทำการศึกษากการแบ่งเซลล์แบบ mitosis ของ Gonyaulax tamarensis อย่างละเอียด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ธรรมดากำลังขยาย 2,000 เท่า พบว่าระยะ interphase นิวเคลียสของ G. tamarensis มีลักษณะเป็นรูปตัวยู (U - shape) วางตัวอยู่บริเวณกลางเซลล์ ระหว่างแขน



รูปที่ 58. ภาพขั้นตอนต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ Gonyaulax tamarensis

- A. ระยะเวลา interphase
- B. ระยะเวลา early prophase
- C. ระยะเวลา mid - prophase
- D. ระยะเวลา late prophase or pre - metaphase
- E. ระยะเวลา mid - anaphase
- F. ระยะเวลา late anaphase
- G. ระยะเวลา telophase (Dodge, 1968)

ของนิวเคลียสรูปตัวยู จะมี central body ลักษณะคล้ายเซลล์ (lens - shape) ดังแสดงในรูปที่ 57 ที่ระยะ late anaphase, central body จะล้อมรอบด้วยโครโมโซม ซึ่งมีจำนวนมาก คือ 150 เส้น (Dodge, 1968)

แต่ในการศึกษาครั้งนี้สังเกตเห็นไม่พบ central body และไม่ได้นับจำนวนโครโมโซม เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้กำลังขยายจำกัดเพียง 1,000 เท่า

การแบ่งเซลล์ของแพลงตอนพืชในสกุล Gonyaulax นี้ มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น Gonyaulax polyedra (Hastings and Sweeney, 1964) เป็นต้น

สิ่งที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง คือ ขณะที่เซลล์กำลังมีอัตราการแบ่งเซลล์สูง (log phase) พบว่าเซลล์ของ P. cohorticula จะมีการแบ่งเซลล์ต่อกันเป็นสายยาวตั้งแต่ 2 - 32 เซลล์ เซลล์เดี่ยว ๆ จะมียูน้อย P. tamarensis ก็เช่นเดียวกันต่อกันเป็นสายยาวตั้งแต่ 2 - 4 เซลล์ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วเซลล์กลมที่มีขนาดเล็กมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและปริมาตรสูงจะเป็นการปรับตัวที่ดี ทำให้เซลล์สามารถดูดซึมสารอาหารได้มากที่สุด เนื่องจากพื้นที่ผิวมาก (Munk and riky (1952) แต่ Margalef (1978) กล่าวว่ากรณีที่แพลงตอนพืชอยู่กันเป็นกลุ่ม (colony) จะมีประสิทธิภาพในการพัดน้ำให้ผ่านเซลล์ได้มาก ดังนั้นการดูดซึมจึงมากขึ้นกว่าการที่อยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ

เมื่อพิจารณาตามเหตุผลของ Margalef (1978) พอที่จะสามารถอธิบายถึงการต่อกันเป็นสายยาวชั่วคราวของเซลล์ Protogonyaulax ทั้งสองชนิดในขณะที่มีอัตราการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็วได้กล่าวคือ ขณะที่เซลล์อยู่ในระยะ log phase ในน้ำทะเลที่มีอาหารสมบูรณ์ เซลล์ในระยะนี้ยังอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ จากนั้นมีการดูดซึมสารอาหารและการสังเคราะห์แสง มีการเพิ่มปริมาณโดยการแบ่งเซลล์เข้าสู่ระยะ log phase ซึ่งเป็นระยะที่มีอัตราการแบ่งเซลล์สูง เซลล์มีความต้องการสารอาหารไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์มวลชีวภาพ (biosynthesis) มากขึ้น เซลล์จึงต่อกันเป็นสาย เพื่อเพิ่มอัตราการดูดซึมสารอาหาร เมื่อเวลาผ่านไปสารอาหารมีปริมาณลดลง เริ่มเข้าสู่ระยะ stationary phase และ declining phase เซลล์จะแยกตัวออกเป็นเซลล์เดี่ยว ๆ อีกครั้งเนื่องจากสารอาหารถูกจำกัด ขนาดของเซลล์ใหญ่ขึ้นทำให้อัตราส่วน ระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าลดลง ดังนั้นการดูดซึมอาหารน้อยลง เพื่อที่เซลล์จะได้มีชีวิตอยู่ได้นานขึ้นซึ่งเป็นไปตาม Rubner's "surface rule" ซึ่งกล่าวว่าอัตราการเผาผลาญของเซลล์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักจะลดลง เมื่อมีการเพิ่มขนาดของเซลล์ แต่จะคงที่ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว" (Sournia, 1981)

อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาถึงสาเหตุของการแบ่งเซลล์ที่ติดต่อกันเป็นสาย ใน
ขณะมีอัตราการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว เพราะอาจจะเป็นเหตุการณ์ที่สำคัญ ต่อการดำรงชีวิตใน
ธรรมชาติของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิดดังกล่าว



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย