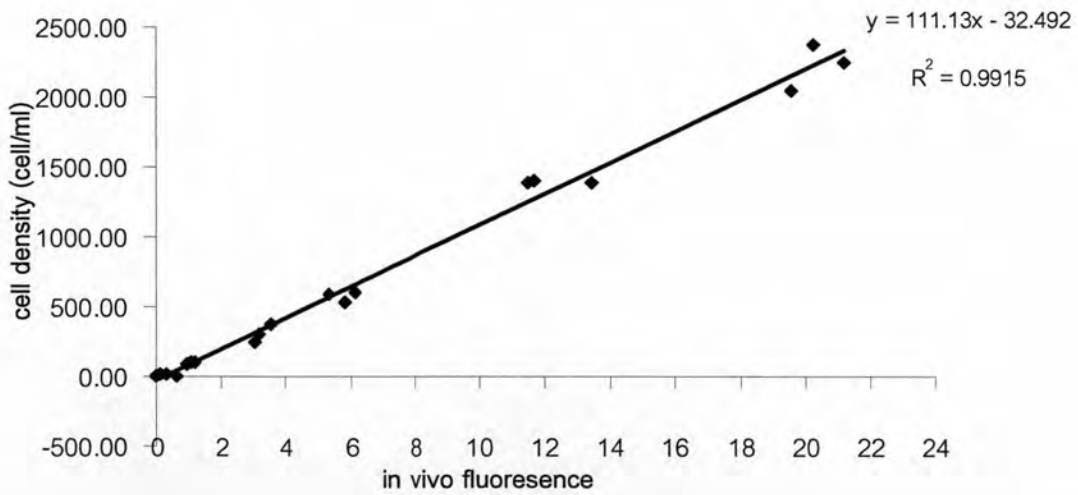
บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า in vivo fluorescence กับจำนวนเซลล์

การศึกษาการเติบโตของ *G. catenatum* จะใช้ค่า in vivo fluorescence ซึ่งเป็นค่าที่มาจากการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์ด้วยเครื่อง fluorometer ทำการศึกษาโดยการสุ่มเซลล์ *G. catenatum* ที่เลี้ยงไว้ในระยะเอกซ์โพเนนเชียล (exponential phase) ลงในหลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร โดยมีความหนาแน่นแตกต่างกันในแต่ละหลอด แล้วนำไปวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในเซลล์ ค่าที่วัดได้เป็นค่า in vivo fluorescence หลังจากนั้นนำเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละหลอดไปนับจำนวนเซลล์ที่แท้จริงใต้กล้องจุลทรรศน์ compound microscope นำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า in vivo fluorescence กับจำนวนเซลล์ที่นับได้ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งต่อไปในการศึกษาการเติบโตจะใช้ค่า in vivo fluorescence เพื่อแสดงถึงการเติบโตแทนการแสดงด้วยจำนวนเซลล์



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า in vivo fluorescence กับจำนวนเซลล์

2. ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ในชุดควบคุม

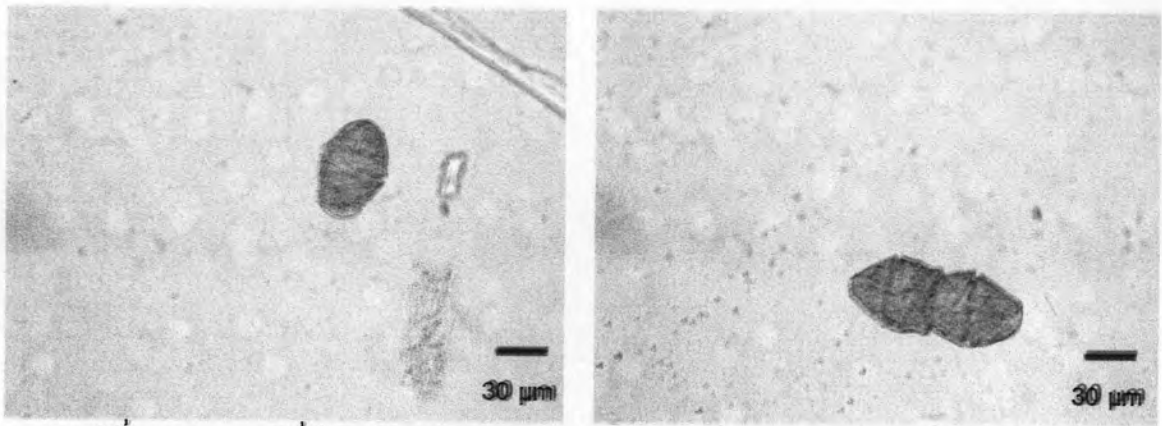
ศึกษาลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ compound microscope ตัวอย่างเซลล์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อชุดควบคุม ความเค็ม 28 psu ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ศึกษาลักษณะของเซลล์ที่อยู่ในระยะเอกซ์โพเนนเชียล มีการแบ่งเซลล์จากเซลล์เดี่ยว หรือเซลล์ที่มีความยาวสายสั้นเป็นเซลล์ที่มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการเติบโต เมื่อเซลล์เข้าสู่ช่วงระยะคงที่ (stationary phase) เซลล์จะหลุดออกจากสายเป็นเซลล์เดี่ยว หรือสายสั้นมากขึ้น ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ในระยะเอกซ์โพเนนเชียล ประมาณ 6 วัน พบว่าลักษณะเซลล์แบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ

2.1 รูปร่างของเซลล์เป็นทรงรี เป็นลักษณะของเซลล์เดี่ยว (single cell) เซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาว 2 เซลล์ และเซลล์ที่อยู่ส่วนปลายของสาย ซึ่งมีความกว้าง 37-40 µm และยาว 40-55 µm โดยประมาณ (รูปที่ 4.2 ก)

2.2.รูปร่างของเซลล์เป็นทรงสี่เหลี่ยม-กลม เป็นลักษณะของเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันภายในสาย เซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสาย (chain-forming cell) ส่วนใหญ่มีความยาวของสาย 4, 8, และ 16 เซลล์ บางครั้งพบว่ามีสายยาว 24 เซลล์ และสามารถยาวได้ถึง 32 เซลล์ เซลล์มีความกว้าง 35-45 µm และยาว 31-39 µm โดยประมาณ (รูปที่ 4.2 ข)

ลักษณะภายในเซลล์ที่สามารถสังเกตุเห็นได้ คือ คลอโรพลาสกระจายทั่วเซลล์ เม็ดไขมันเล็ก ๆ ภายในเซลล์จำนวนมาก และนิวเคลียสที่อยู่ตำแหน่งกลางเซลล์ เซลล์มีสีน้ำตาล-เหลือง การเคลื่อนที่ของเซลล์จะหมุนเป็นเกลียว เพื่อเคลื่อนไปข้างหน้า

ลักษณะเซลล์ในชุดควบคุมจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของลักษณะเซลล์ปกติเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบลักษณะเซลล์ที่จะทำการศึกษาต่อไป



ก. เซลล์เดี่ยว และ เซลล์ที่มีการเรียงตัวต่อกัน 2 เซลล์

ข. ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่เรียงตัวกันเป็นสาย

รูปที่ 4.2 ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ในชุดควบคุม

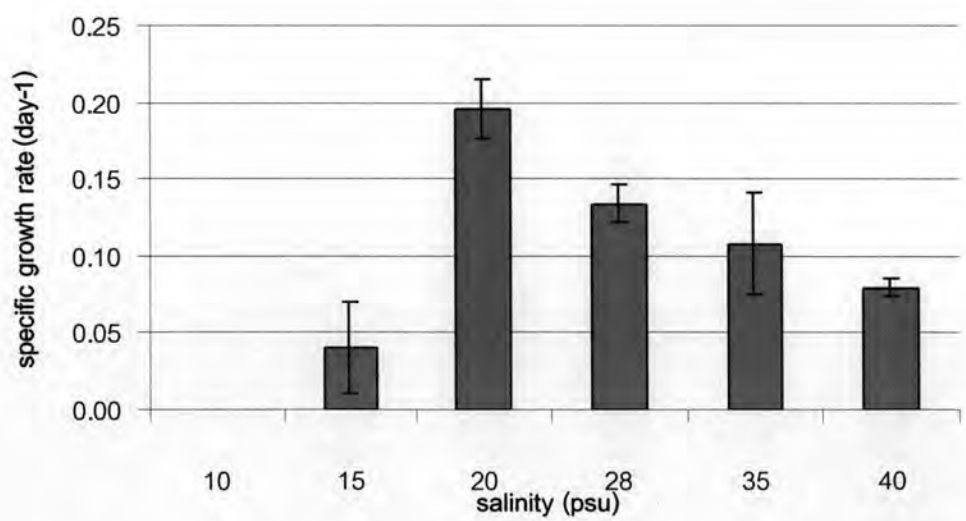
3. การศึกษาปัจจัยอุณหภูมิ และความเค็ม ต่อการเติบโต และสัณฐานวิทยาของ *G. catenatum*

การทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ และความเค็ม ต่อการเติบโต และสัณฐานวิทยาของ *G. catenatum* โดยทดลองที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 20, 25, 28 และ 31 องศาเซลเซียส และความเค็ม 6 ระดับ คือ 10, 15, 20, 28, 35 และ 40 ผลการทดลองอธิบายตามระดับอุณหภูมิดังนี้

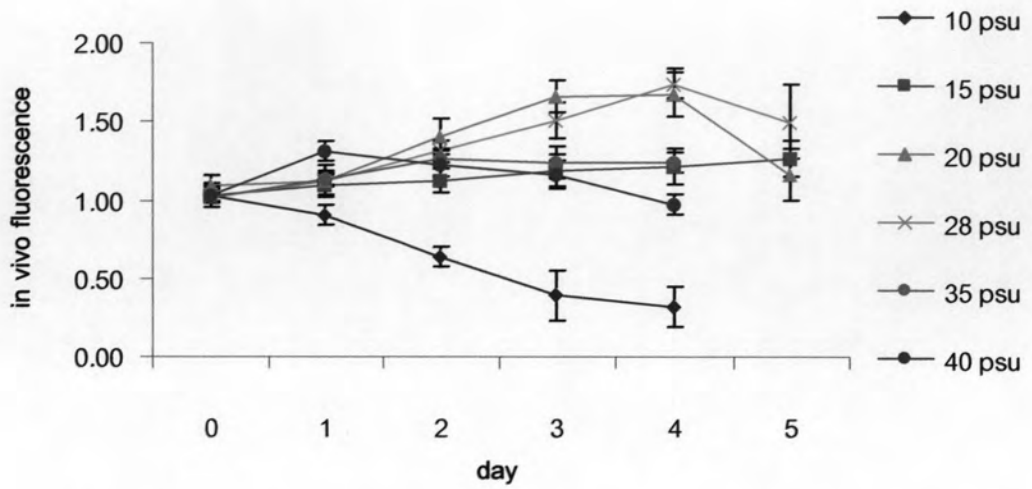
3.1 ระดับอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส

อัตราการเติบโตของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความเค็ม 20 psu เติบโตได้ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.19 $\pm$ 0.02 ต่อวัน รองลงมาได้แก่ ที่ระดับความเค็ม 28 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.13 $\pm$ 0.01 ต่อวัน ตามมาด้วยระดับความเค็ม 35, 40 และ 15 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.11$\pm$ 0.03, 0.08 $\pm$ 0.01 และ 0.05 $\pm$ 0.05 ต่อวัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) อัตราการที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส อัตราการเติบโตที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเค็ม 10, 15, 20 และ 45 psu มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) และมีความแตกต่างทางสถิติกับระดับความเค็ม 28 และ 35 psu ($P<0.05$) ซึ่งทั้ง 2 ระดับความเค็มนี้ไม่มีความแตกต่างต่อกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ภาคผนวก ฉ. 1)

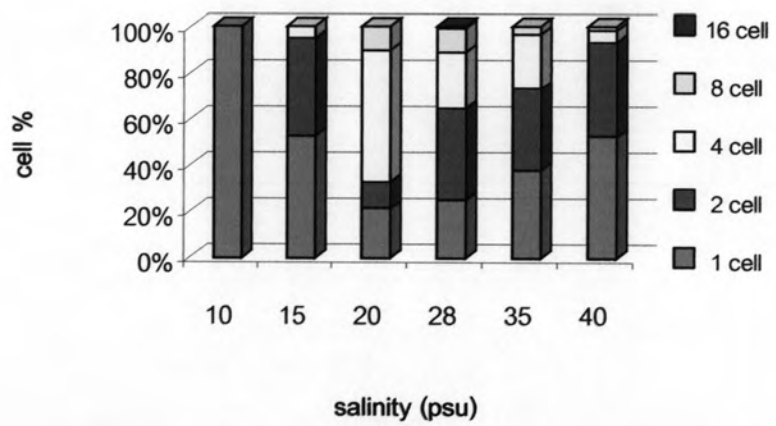
อย่างไรก็ตามแม้ว่าที่ความเค็ม 20 psu ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด แต่มีช่วงเอกซ์โพเนนเชียลสั้น คือ 2 วัน ก่อนจะเข้าสู่ช่วงคงที่อย่างช้า ๆ ต่างกับระดับความเค็ม 28 psu ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเป็นอันดับสอง มีช่วงเอกซ์โพเนนเชียลยาวกว่าเล็กน้อย คือ 4 วัน เมื่อเซลล์หยุดการเติบโตจะเข้าสู่ระยะตาย (death phase) ทันที สำหรับระดับความเค็มที่เหลือการเติบโตของ *G. catenatum* อยู่ในช่วงที่สั้นมาก คือ มีช่วงเอกซ์โพเนนเชียลเพียง 1-2 วัน ขณะที่ระดับความเค็ม 10 psu *G. catenatum* ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในระดับอุณหภูมินี้ (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน



รูปที่ 4.4 การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน



รูปที่ 4.5 สัดส่วนการเรียงตัวเป็นสาย (chain forming) ของ *G. catenatum* ขณะที่มีการเติบโตสูงสุด (ปลายระยะเอกซ์โพเนนเชียล) ที่ระดับอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

สัดส่วนการเรียงตัวต่อกันเป็นสาย

การเรียงตัวต่อกันเป็นสายของ *G catenatum* ที่ความเค็ม 20 psu เป็นระดับความเค็มที่มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด เซลล์ส่วนใหญ่มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาว 4 เซลล์ (57 เปอร์เซ็นต์) ความยาวของสายสูงสุด 8 เซลล์ น้อยกว่าเซลล์ที่เติบโตในความเค็ม 28 psu ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตรองลงมา พบว่าเซลล์มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวสูงสุดถึง 16 เซลล์ แต่การเรียงตัวต่อกันเป็นสายส่วนใหญ่มีความยาวเพียง 2 เซลล์ (40 เปอร์เซ็นต์) ในระดับความเค็มอื่น ๆ การเรียงตัวต่อกันเป็นสายส่วนใหญ่มีความยาว 1 - 2 เซลล์ การเรียงตัวต่อกันเป็นสายที่ระดับอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส พบว่าสัดส่วนการเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาว 1 - 4 เซลล์ส่วนใหญ่ (รูปที่ 4.5)

ลักษณะของเซลล์

ความเค็ม 10 psu เป็นระดับความเค็มที่ไม่มีการเติบโตของ *G catenatum* เซลล์ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อมีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่อง ลักษณะของเซลล์ในช่วง 1 - 2 วันแรก เซลล์ยังคงมีการเรียงตัวต่อกันเป็นสาย แต่เซลล์เริ่มมีลักษณะบวม และพบว่ารงควัตถุภายในเซลล์ค่อย ๆ ลดลงเริ่มจากบริเวณขอบเซลล์ ทำให้เห็นขอบเซลล์มีลักษณะใส (รูปที่ 4.6 ก.- ข.) หลังจากนั้นเซลล์ที่มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายจะขาดออกจากกันเป็นเซลล์เดี่ยว ๆ ทั้งหมด (รูปที่ 4.5) เซลล์มีลักษณะบวม และใสเพิ่มมากขึ้นรงควัตถุที่เหลือภายในเซลล์จะเกาะกลุ่มอยู่กลางเซลล์ (รูปที่ 4.6 ค) และพบเซลล์ที่มีลักษณะกลมภายในมีสีน้ำตาลขุ่น ปรากฏจุดสีแดงอยู่กลางเซลล์ (รูปที่ 4.6 ง.) ขนาดเซลล์ประมาณ 49-52 µm (ตารางที่ 4.1)

ความเค็ม 15 psu เซลล์มีการเติบโตได้ในระดับความเค็ม 15 psu แต่สัมประสิทธิ์การเติบโตต่ำ เมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าเซลล์มีลักษณะบวม และในระยะแรกของการเติบโตพบการเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาวถึง 8 เซลล์ ระยะหลังการปรับตัว เซลล์ส่วนใหญ่เป็นเซลล์เดี่ยว และเรียงตัวต่อกันเป็นสายไม่เกิน 4 เซลล์ (ตารางที่ 4.1) แต่หากทำการเลี้ยงต่อไปจนถึงระยะตาย พบว่าเซลล์จะเป็นเซลล์เดี่ยวทั้งหมด และมีลักษณะคล้ายกับความเค็ม 10 psu คือ เซลล์มีลักษณะบวม รงควัตถุภายในเซลล์หายไปเริ่มจากบริเวณขอบเซลล์ รงควัตถุที่อยู่กลางเซลล์จะค่อย ๆ ลดลง และเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นทรงกลมใสที่มีรงควัตถุสีน้ำตาลอยู่ภายใน (รูปที่ 4.7) โดยทั่วไปที่ระดับอุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส เซลล์เดี่ยวจะมีความกว้าง 30-41 µm และมีความยาว 42-61 µm เซลล์ที่มีความยาวของสาย 2 เซลล์ มีความกว้าง 35-42 µm และมีความยาว 35-51 µm แต่ที่ความเค็ม 15 psu เซลล์มีลักษณะบวม (ความกว้างของเซลล์เพิ่มขึ้น)

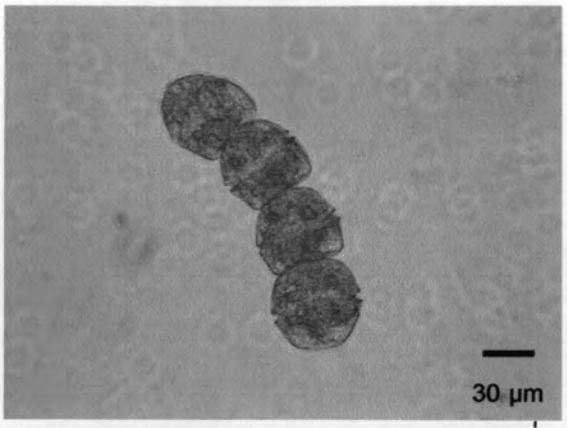
โดยเซลล์เดี่ยวมีความกว้าง 32-43 µm และเซลล์ความยาวสาย 2 เซลล์ มีความกว้าง 35-43 µm (ตารางที่ 4.1)

ความเค็ม 20 psu เซลล์มีการเติบโตดี มีสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด พบว่าเซลล์ไม่มีลักษณะบวม รูปร่างของเซลล์ปกติ เซลล์มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาว 8 เซลล์ พบความยาวของสาย 16 เซลล์ บ้างเป็นครั้งคราว ในระยะตาย เซลล์มีลักษณะใกล้เคียงกับความเค็ม 15 psu คือ เซลล์จะหลุดจากสายเป็นเซลล์เดี่ยว รงควัตถุภายในลดลงอย่างต่อเนื่อง (ดังรูปที่ 4.8) แต่ไม่พบเซลล์กลมใสที่มีรงควัตถุสีแดงอยู่ภายในเหมือนกับเซลล์ที่ความเค็ม 10 psu

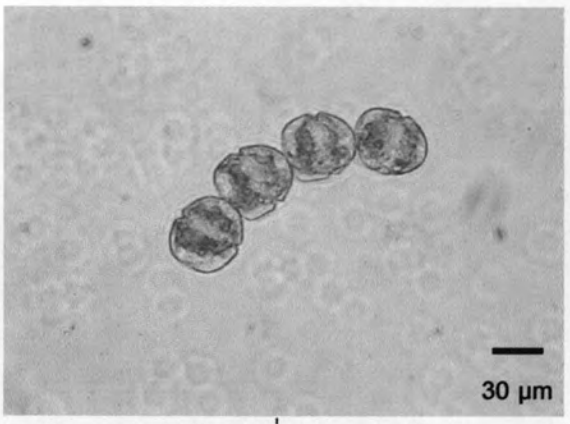
ความเค็ม 28 psu เซลล์มีการเจริญเติบโตได้ดี พบว่าเซลล์มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวถึง 16 เซลล์ และมีการเคลื่อนที่เร็ว แสดงให้เห็นว่าที่ความเค็ม 28 psu เซลล์สามารถปรับตัวได้ดี

ความเค็ม 35 psu เซลล์สามารถเติบโตได้ในความเค็ม 35 psu เซลล์มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายสั้นๆ 1-4 เซลล์ และมีการเรียงตัวเป็นสายยาวสูงสุด 8 เซลล์ แต่รูปร่างของเซลล์จะค่อนข้างรีโดยความกว้างของเซลล์ลดลง (ดังรูปที่ 4.9) เมื่อเปรียบเทียบกับความเค็มอื่น ๆ ในกลุ่มเซลล์ที่มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาว 2 เซลล์ (ความกว้าง 34-38 µm, ตารางที่ 4.1) และกลุ่มเซลล์ที่มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาว 8 เซลล์ (ความกว้าง 35-40 µm และความยาว 30-45 µm, ตารางที่ 4.1) การเรียงตัวต่อกันเป็นสายของเซลล์จะเรียงตัวห่าง ๆ เรียงต่อกันโดยใช้ส่วนปลายยอดของเซลล์เกาะกับส่วนท้ายของเซลล์ก่อนหน้าอย่างหลวม ๆ ปกติเซลล์ที่มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาว 8 เซลล์ จะเรียงต่อกันแน่นส่วนท้ายของเซลล์จะยุบเข้าไปพอดีกับส่วนยอดของเซลล์ที่จะต่อเข้ามาจนมีลักษณะเหมือนจับกันไว้ทำให้เซลล์อยู่ชิดกันมาก

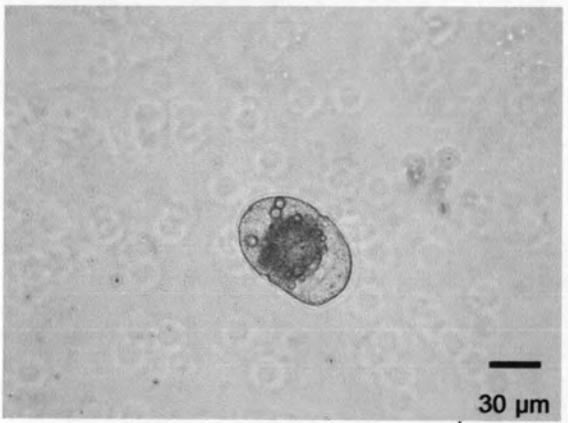
ความเค็ม 40 psu รูปร่างของเซลล์มีลักษณะคล้ายกับความเค็ม 35 psu มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาว 1-4 เซลล์ พบการเรียงตัวเป็นสายยาวถึง 8 เซลล์ นานๆ ครั้ง ลักษณะเซลล์ค่อนข้างรี โดยจะมีความกว้างของเซลล์น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเค็มอื่น ขนาดของเซลล์ในสายที่มีความยาว 2 เซลล์ ความกว้างของเซลล์เท่ากับ 30-37 µm และความยาวเท่ากับ 35-55 µm เช่นเดียวกับสายที่มีความยาว 4 เซลล์ มีความกว้าง 32-35 µm และมีความยาว 32-39 µm

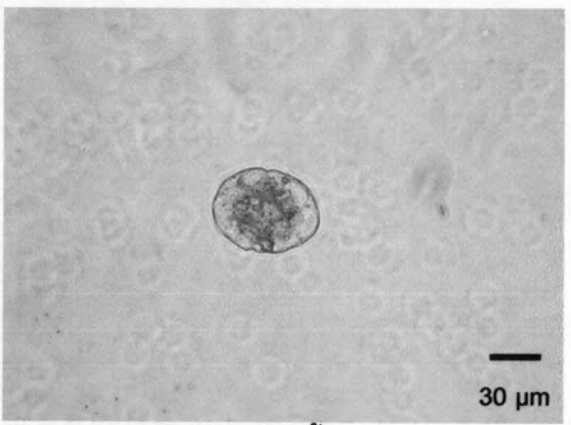


ก. ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ในวันที่ 2 ของการศึกษา เซลล์มีลักษณะบวมขึ้น

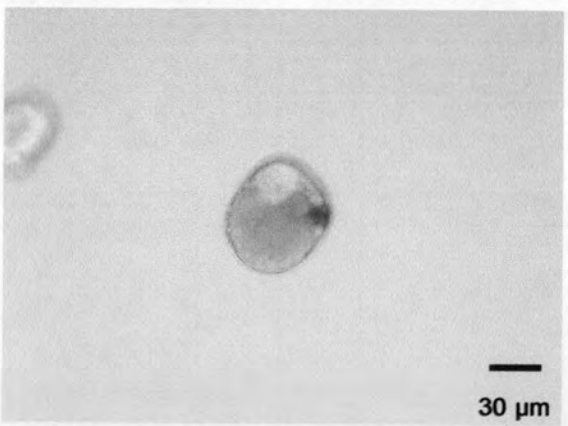


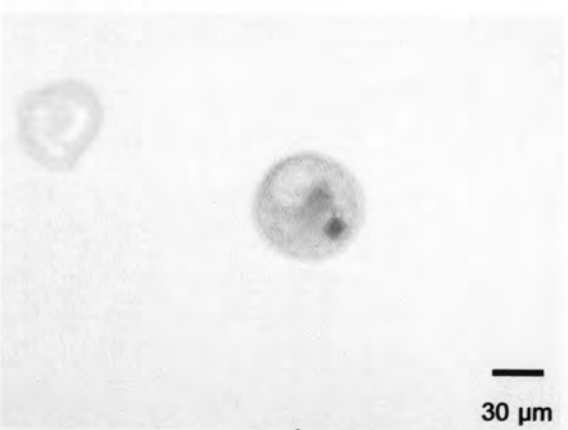
ข. ลักษณะเซลล์ในวันที่ 2 ของการศึกษา เซลล์มีลักษณะบวม และรงควัตถุภายในเซลล์เริ่มลดลง





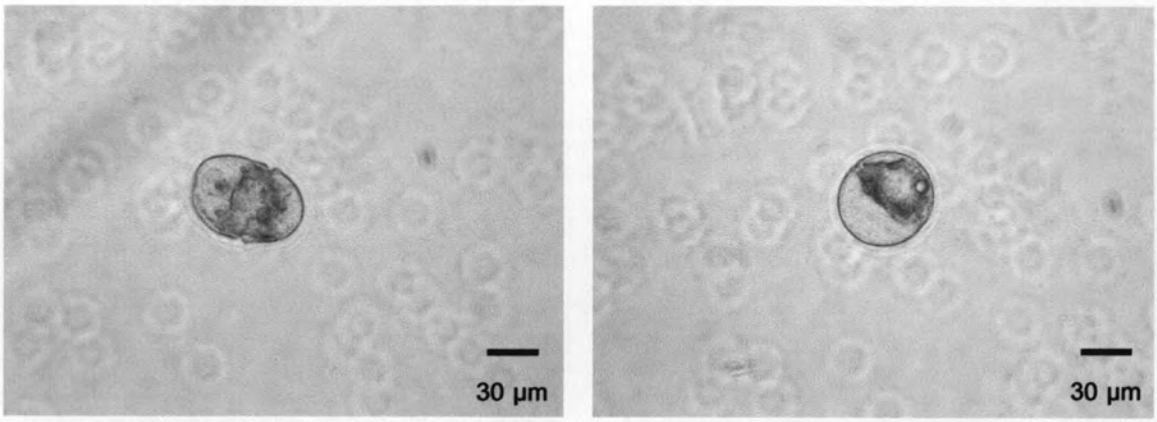
ค. ลักษณะของ *G. catenatum* ในวันที่ 4 ของการศึกษา เซลล์ลักษณะบวมขึ้น เซลล์มีลักษณะใสเพิ่มมากขึ้น รงควัตถุเกาะกลุ่มอยู่กลางเซลล์



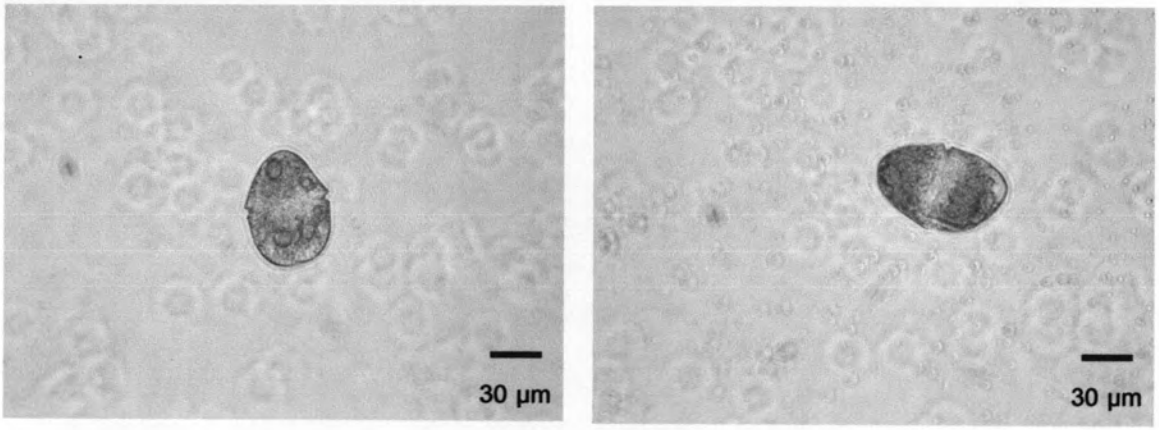


ง. ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ในวันที่ 4 ของการศึกษารูปร่างเซลล์เปลี่ยนเป็นทรงกลม พบจุดสีแดงภายในเซลล์

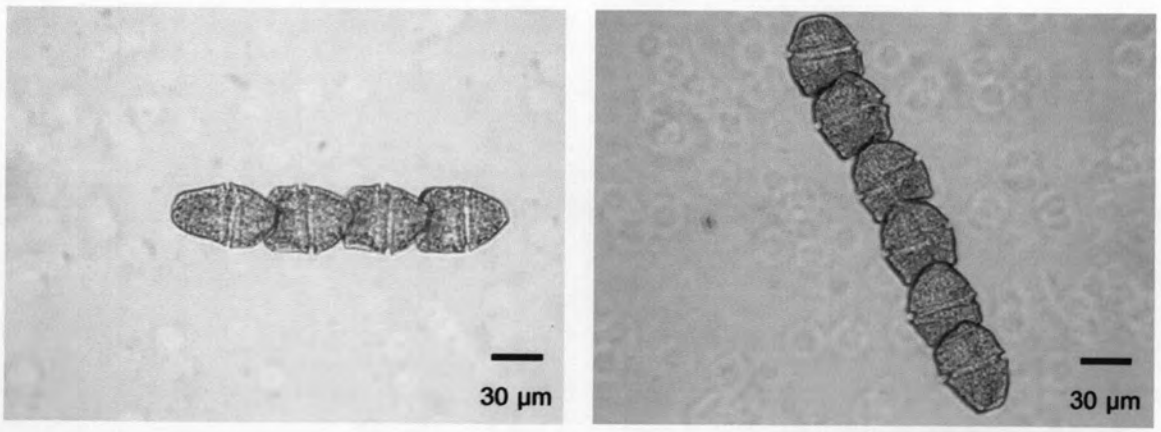
รูปที่ 4.6 ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ความเค็ม 10 psu



รูปที่ 4.7 ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ความเค็ม 15 psu ในระยะตาย



รูปที่ 4.8 ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 psu ในระยะตาย



รูปที่ 4.9 ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ความเค็ม 35 psu

ตารางที่ 4.1 ขนาดเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

ความเค็ม (psu)	ขนาดของเซลล์ (μm)									
	เซลล์เดี่ยว		2 เซลล์		4 เซลล์		8 เซลล์		16 เซลล์	
	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว
10(1)	45-52	49-70	40-45	45-55	30-50	35-49	-	-	-	-
15(1)	32-43*	42-60	35-43*	45-50	35-42	35-42	37-40	35-40	-	-
15(2)	35-41	45-60	34-40	39-51	36-40	34-45	-	-	-	-
20(1)	37-40	45-56	35-42	36-52	35-42	33-40	35-37	32-37	-	-
20(2)	30-40	45-57	35-40	35-50	36-40	37-45	35-40	35-38	-	-
28(1)	34-38	49-60	33-39	37-50	34-40	35-50	35-40	32-37	35-40	32-38
28(2)	35-40	49-55	35-40	37-50	35-37	36-40	35-40	36-43	35-40	36-40
35(1)	32-39	46-61	33-40	39-51	32-40	35-49	30-37	30-39	-	-
35(2)	34-40	51-61	34-38*	40-51	35-40	35-42	35-40	30-45***	-	-
40(1)	30-37	45-56	30-37	35-55	32-35	32-40	-	-	-	-
40(2)	30-37*	45-55	30-37*	35-55	32-35*	32-39	-	-	-	-

(1) ช่วงที่เซลล์ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยฉับพลัน

(2) ช่วงหลังจากเซลล์มีการปรับตัวในปัจจัยที่ได้รับ

* เซลล์มีลักษณะบวม

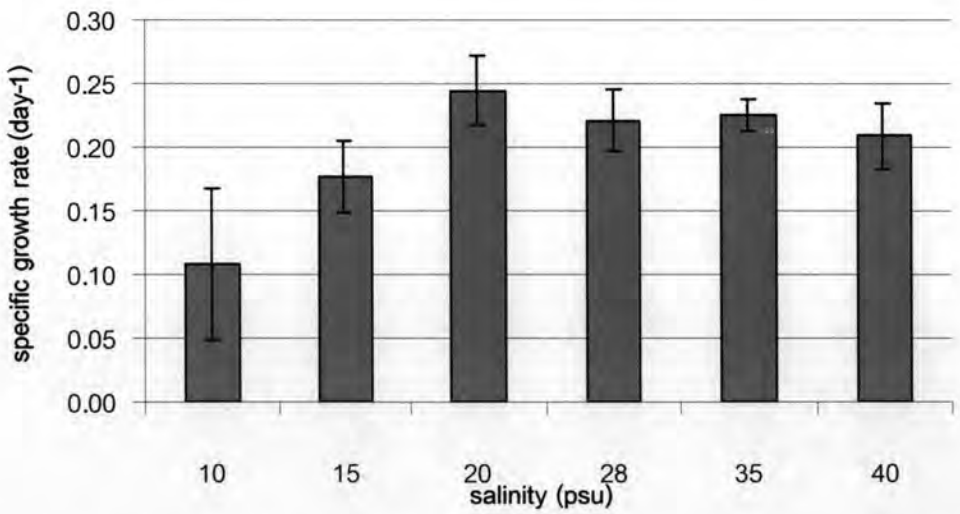
* เซลล์มีลักษณะเป็นทรงรี มีความกว้างน้อย

* เซลล์มีลักษณะเป็นทรงรี เซลล์มีความยาวสูงกว่าเมื่อเทียบในกลุ่มที่มีความยาวของสายเท่ากัน

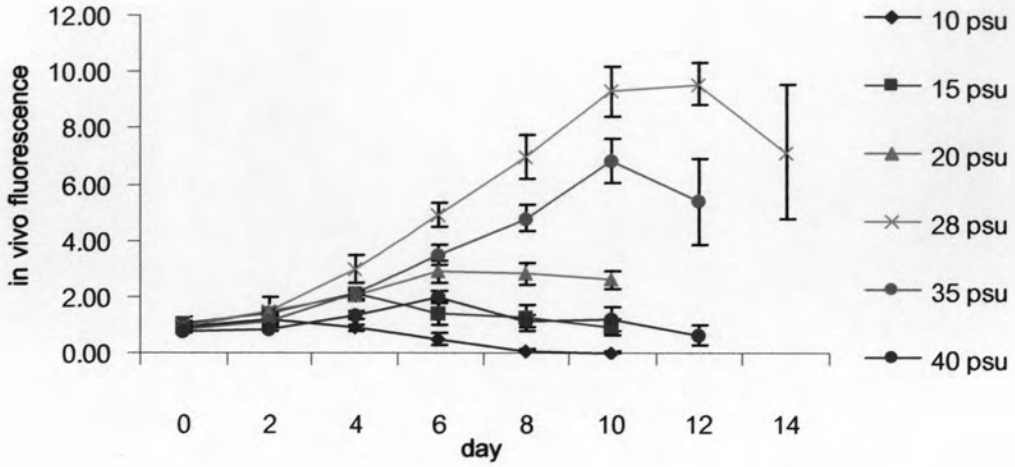
3.2 ระดับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

อัตราการเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน พบว่าที่ความเค็ม 20 psu *G. catenatum* มีการเติบโตดีที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.24 $\pm$ 0.03 ต่อวัน รองลงมาคือ อัตราการเติบโตที่ระดับความเค็ม 28 และ 35 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตใกล้เคียงกัน คือ 0.22 $\pm$ 0.02 ต่อวัน โดยประมาณ ตามมาด้วยอัตราการเติบโตที่ความเค็ม 40, 15 และ10 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.21 $\pm$ 0.03, 0.18 $\pm$ 0.03 และ 0.11 $\pm$ 0.06 ต่อวัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.10) อัตราการเติบโตที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ที่ระดับความเค็ม 20, 28, 35 และ 40 psu ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) และมีความแตกต่างทางสถิติกับระดับความเค็ม 10 และ15 psu ($P<0.05$) แต่ความเค็ม 15 และ 40 psu ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ภาคผนวก ฉ. 1)

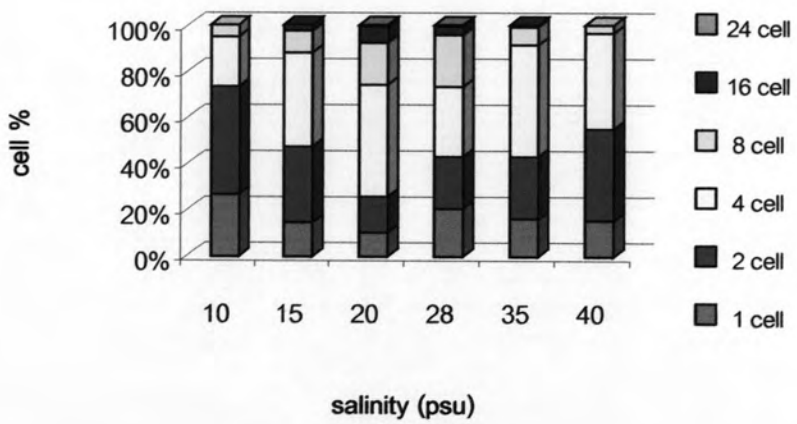
การเติบโตที่ความเค็ม 20 psu ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด พบว่าการเติบโตจะเข้าสู่ช่วงเอกซ์โพเนนเชียลทันที และมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่ช่วงเวลาที่ใช้ในการเติบโตสั้นเพียง 4 วัน จึงเข้าสู่ระยะคงที่ เช่นเดียวกับการเติบโตที่ระดับความเค็ม 15 psu และ 10 psu ซึ่งมีรูปแบบการเติบโตคล้ายกับความเค็ม 20 psu คือ การเติบโตจะเข้าสู่ช่วงเอกซ์โพเนนเชียลทันที และช่วงเวลาที่ใช้ในการเติบโตสั้น แต่เมื่อเซลล์หยุดการเติบโตจะเข้าสู่ระยะตายอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความเค็ม 28, 35 และ 40 psu จะอยู่ในระยะปรับตัว (lag phase) ประมาณ 2 วัน ก่อนเข้าสู่ระยะเอกซ์โพเนนเชียล โดยที่ความเค็ม 28 และ 35 psu มีช่วงเวลาการเติบโตยาวกว่าความเค็มอื่นๆ (เอกซ์โพเนนเชียล 8 วัน) ก่อนที่การเติบโตในความเค็ม 28 psu จะเข้าสู่ระยะคงที่ ซึ่งต่างกับความเค็ม 35 และ 40 psu เมื่อสิ้นสุดช่วงการเติบโตจะเข้าสู่ระยะตายอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.10 สัมประสิทธิ์การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน



รูปที่ 4.11 การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน



รูปที่ 4.12 สัดส่วนการเรียงตัวเป็นสาย (chain forming) ของ *G. catenatum* ขณะที่มีการเติบโตสูงสุด (ปลายระยะเอกซ์โพเนนเชียล) ที่ระดับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

สัดส่วนการเรียงตัวต่อกันเป็นสาย

การเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาวของสายสอดคล้องกับการเติบโตที่เพิ่มขึ้น ความยาวของสายสูงสุดที่พบคือ 24 เซลล์ พบที่ความเค็ม 20 และ 28 psu ซึ่งความเค็ม 20 psu เป็นระดับความเค็มที่มีสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด สัดส่วนของเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายส่วนใหญ่เป็นสายที่มีความยาว 4 - 24 เซลล์ (74.38 เปอร์เซ็น) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าความเค็มอื่น ๆ ที่ความเค็ม 10 psu มีการเติบโตต่ำ ความยาวของสายไม่เกิน 8 เซลล์ แต่ส่วนใหญ่มีการเรียงตัวเป็นสายความยาว 2 เซลล์ (47.37เปอร์เซ็น) ส่วนความเค็ม 40 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงกว่าความเค็ม 15 psu แต่มีความยาวของสายสูงสุดเพียง 8 เซลล์ ในขณะที่ความเค็ม 15 psu มีความยาวของสายถึง 16 เซลล์ (รูปที่ 4.12) แสดงให้เห็นว่าในระดับที่มีการเติบโตดีเซลล์จะมีสัดส่วนการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวสูง สำหรับเซลล์ที่เติบโตไม่ดีส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์เดี่ยว และมีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายสั้น ๆ

ลักษณะของเซลล์

ความเค็ม 10 psu ในระยะแรกของการเติบโตในปัจจัยที่ทำการทดลองพบว่า ขนาดของเซลล์ไม่คงที่ บางเซลล์มีลักษณะบวม (ความกว้าง 40-49 µm และความยาว 55-75 µm, ตารางที่ 4.2) บางเซลล์ภายในเซลล์มีลักษณะใสแต่ยังคงรูปร่างเซลล์ปกติ (ไม่บวม) และสังเกตุเห็นจุดสีแดงภายในเซลล์ได้อย่างชัดเจนในขณะที่เซลล์ยังคงจับกันเป็นสายกับเซลล์ปกติไม่ขาดจากกัน (รูปที่ 4.13) ภายหลังการปรับตัวในปัจจัยที่กำหนดเซลล์มีลักษณะปกติ แต่ความยาวของการเรียงตัวกันเป็นสายสั้นลงจากเดิมจาก 16 เซลล์ เหลือความยาวเพียง 8 เซลล์

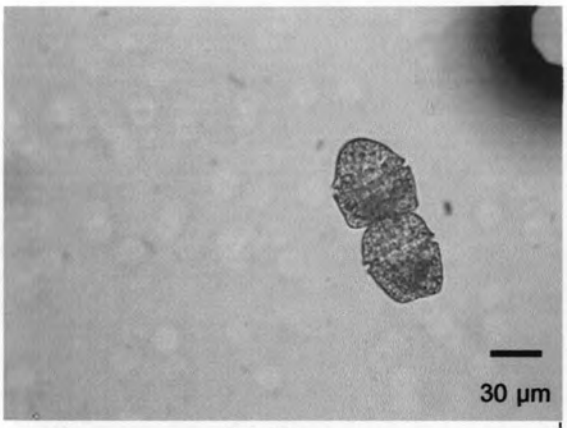
ความเค็ม 15 psu ในระยะแรกของการเติบโตพบว่า ลักษณะของเซลล์คล้ายกับความเค็ม 10 psu คือ บางเซลล์มีลักษณะภายในเซลล์ใสแทบไม่เหลือรงควัตถุอยู่ แต่เซลล์ยังคงรูปร่างปกติ และเรียงตัวต่อกันเป็นสายอยู่กับเซลล์ปกติไม่ขาดจากกัน (รูปที่ 4.14) ซึ่งภายในสายเซลล์ส่วนใหญ่เป็นเซลล์ที่มีลักษณะปกติ ภายหลังการปรับตัวพบว่าเซลล์มีลักษณะปกติ และมีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวถึง 16 เซลล์ (ตารางที่ 4.2)

ความเค็ม 20 psu ในระยะแรกของการเติบโตพบว่า เซลล์มีลักษณะคล้ายกับความเค็ม 10 และ 15 psu คือ บางเซลล์มีลักษณะบวม และบางเซลล์ภายในเซลล์ใสแทบไม่เหลือรงควัตถุอยู่ แต่เซลล์ยังคงเรียงตัวกันเป็นสายต่ออยู่กับเซลล์ปกติไม่ขาดจากกัน (รูปที่ 4.15) แต่เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงมีลักษณะปกติ ภายหลังการปรับตัวพบว่าเซลล์มีลักษณะปกติเซลล์และมีสายความยาวถึง 24 เซลล์ (ตารางที่ 4.2)

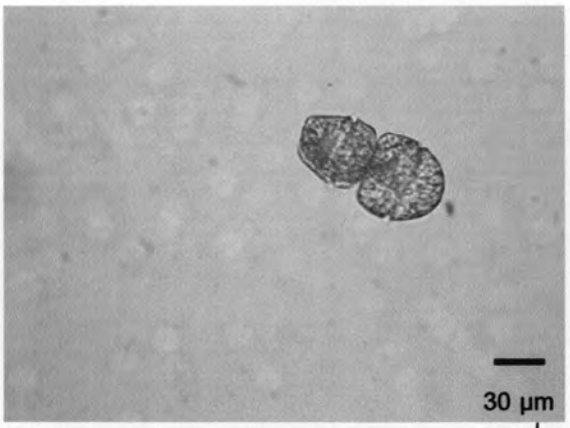
ความเค็ม 28 psu เซลล์มีการปรับตัวในปัจจัยได้ดี เซลล์มีการเจริญเติบโตปกติ ทั้งก่อนและหลังการปรับตัว เซลล์มีการเจริญเติบโตได้ดี เคลื่อนที่เร็ว และมีการเรียงตัวกันเป็นสายยาวถึง 24 เซลล์ เซลล์ส่วนใหญ่มีความยาว 1-16 เซลล์ (รูปที่ 4.12)

ความเค็ม 35 psu เซลล์มีการปรับตัวในปัจจัยได้ดี เซลล์มีการเจริญเติบโตปกติ แต่ในสายที่มีความยาว 4 เซลล์ เซลล์มีรูปร่างค่อนข้างรีกว่าปกติเล็กน้อย คือ มีความกว้าง 43-40 µm และความยาว 38-45 µm (ตารางที่ 4.2) เซลล์มีลักษณะเหมือนกันทั้งก่อนและหลังการปรับตัว เซลล์มีการเจริญเติบโตได้ดี เคลื่อนที่เร็ว และมีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวถึง 16 เซลล์ เซลล์ส่วนใหญ่มีความยาว 1-8 เซลล์ (รูปที่ 4.12)

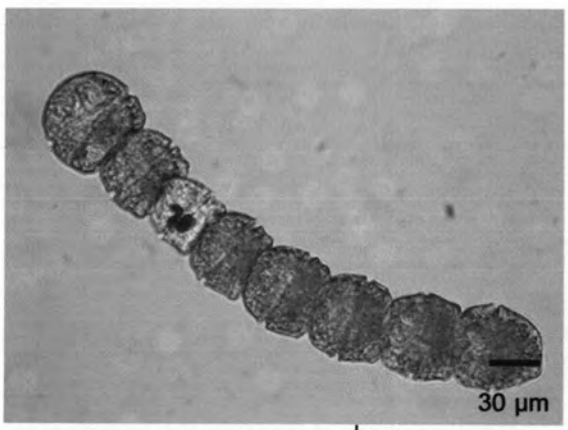
ความเค็ม 40 psu ในระยะแรกของการเติบโตพบว่ามีความยาวถึง 16 เซลล์ หลังการปรับตัว มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวเพียง 8 เซลล์ รูปทรงของเซลล์ค่อนข้างรีในสายที่มีความยาว 4 และ 8 เซลล์ ซึ่งมีความกว้าง 37-40 µm, ยาว 39-45 µm และ กว้าง 35-40 µm, ยาว 36-42 µm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ทั้งก่อนและหลังการปรับตัว

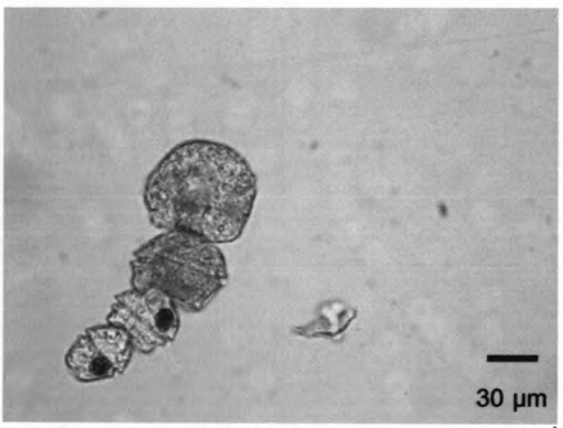


ก. ลักษณะเซลล์ปกติของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความเค็ม 10 psu



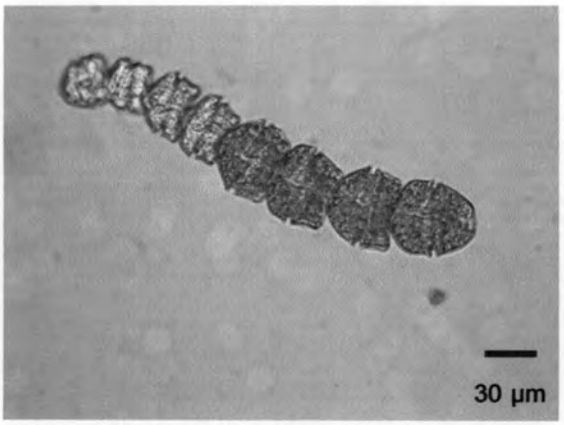
ข. ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่มีลักษณะบวม ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ช่วงแรกที่เซลล์ได้รับปัจจัยที่กำหนด



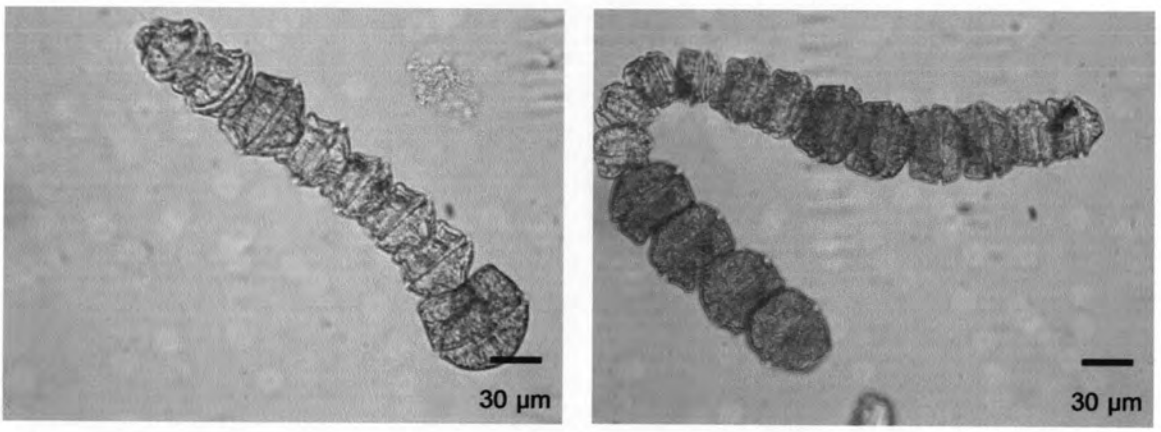


ค. เซลล์ของ *G. catenatum* ที่มีลักษณะบวม และปรากฏเซลล์ใสมีจุดสีแดงอยู่ภายในเซลล์โดยที่สายไม่ขาดออกจากกัน

รูปที่ 4.13. ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความเค็ม 10 psu ช่วงที่เซลล์ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอย่างฉับพลัน



รูปที่ 4.14 ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความเค็ม 15 psu ช่วงที่เซลล์ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอย่างฉับพลัน



รูปที่ 4.15 ลักษณะเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 psu ช่วงที่เซลล์ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอย่างฉับพลัน

ตารางที่ 4.2 ขนาดเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

ความเค็ม (psu)	ขนาดของเซลล์ (µm)									
	เซลล์เดี่ยว		2 เซลล์		4 เซลล์		8 เซลล์		16 เซลล์	
	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว
10(1)	38-45	45-60	37-45	43-51	40-49	34-46	39-45	31-40	40-46	36-39
10(2)	40-49*	55-75*	34-42	35-54	39-45	35-42	40-45	37-45	-	-
15(1)	35-40	40-55	35-40	41-55	30-44	32-45	35-43	30-39	38-45	33-35
15(2)	36-41	49-59	36-45	37-50	40-45	35-40	37-45	30-40	35-40	34-40
20(1)	37-45	45-60	35-40	39-55	35-45	28-40	36-44	30-40	35-52	25-39
20(2)	37-45	50-60	37-43	40-55	39-45	32-40	35-45	30-50	39-43	30-35
28(1)	36-40	40-55	33-40	39-55	37-42	35-40	30-45	30-35	30-40	30-34
28(2)	37-40	45-55	37-40	40-55	38-43	35-41	35-45	31-39	37-42	34-36
35(1)	37-40	44-56	35-40	42-55	40-47	40-45	34-43	29-40	32-45	30-45
35(2)	37-40	45-56	35-45	45-59	43-40*	38-45*	37-45	30-40	37-45	35-38
40(1)	36-43	40-55	35-43	40-55	34-45	30-45	39-41	35-42	32-39	31-36
40(2)	36-43	40-55	35-41	40-55	37-40*	39-45*	35-40*	36-42*	-	-

(1) ช่วงที่เซลล์ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอย่างฉับพลัน

(2) ช่วงหลังจากเซลล์มีการปรับตัวในปัจจัยที่ได้รับ

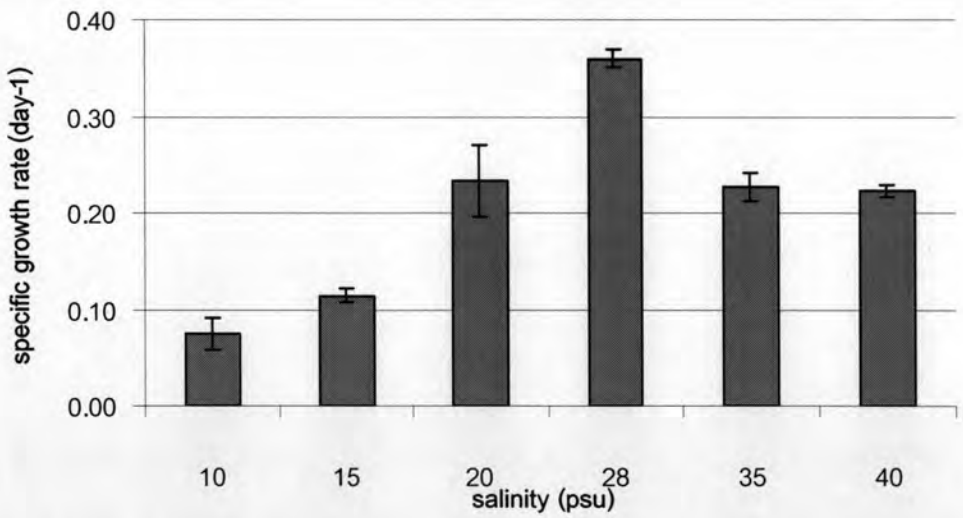
* เซลล์มีลักษณะบวม

* เซลล์มีลักษณะเป็นทรงรี มีความกว้างน้อย

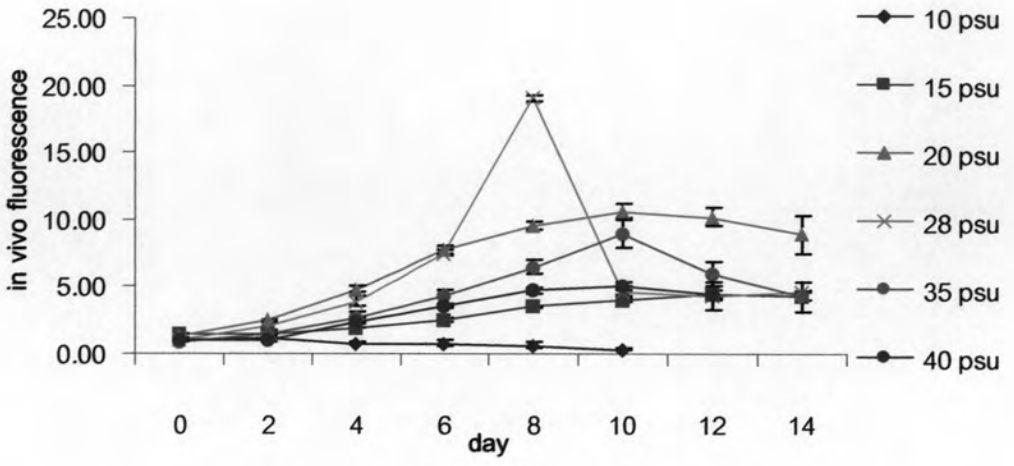
3.3 ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

อัตราการเติบโตของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มที่ต่างกัน พบว่าที่ความเค็ม 28 psu มีอัตราการเติบโตดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.36 $\pm$ 0.01 ต่อวัน รองลงมา คือ ที่ระดับความเค็ม 20 และ 35 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.23 $\pm$ 0.04 ต่อวัน โดยประมาณ ส่วนความเค็ม 40, 15 และ 10 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.22 $\pm$ 0.01, 0.11 $\pm$ 0.01 และ 0.07 $\pm$ 0.02 ต่อวัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.16) อัตราการเติบโตที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในระดับความเค็ม 10, 15, และ 28 psu มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับความเค็ม 20, 35, และ 40 psu ($P<0.05$) ซึ่งทั้งสามระดับความเค็มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ภาคผนวก ฉ. 1)

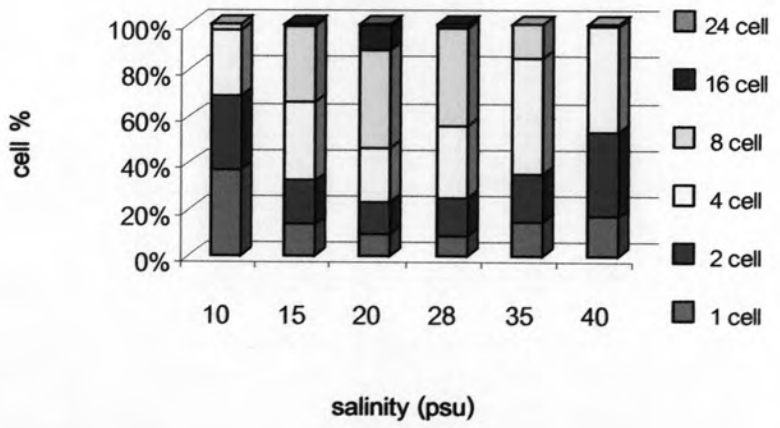
ความเค็ม 28 psu เป็นระดับความเค็มที่มีการเติบโตสูงที่สุดของการทดลองระดับปัจจัยอุณหภูมิ ต่อความเค็มต่างกัน ช่วงแรกของการเติบโตในระยะเอกซ์โพเนนเชียลที่ระดับความเค็ม 28 และ 20 psu มีการเติบโตใกล้เคียงกันแต่ในช่วงปลายระยะเอกซ์โพเนนเชียล ที่ความเค็ม 28 psu มีการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ความเค็ม 20 psu เข้าสู่ระยะเฉื่อย (retardation phase) ในระดับความเค็มอื่น ๆ การเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ก่อนที่จะเข้าสู่ระยะคงที่ และอยู่ในระยะนี้เป็นเวลานาน (ประมาณ 6 วัน) ก่อนจะเข้าสู่ระยะตาย ยกเว้นในความเค็ม 28 และ 35 psu เมื่อหยุดการเติบโตจะเข้าสู่ระยะตายทันที (รูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.16 สัมประสิทธิ์การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน



รูปที่ 4.17 การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน



รูปที่ 4.18 สัดส่วนการเรียงตัวเป็นสาย (chain forming) ของ *G. catenatum* ขณะที่มีการเติบโตสูงสุด (ปลายระยะเอกซ์โพเนนเชียล) ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

สัดส่วนการเรียงตัวต่อกันเป็นสาย

การเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาวเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเติบโตที่เพิ่มสูงขึ้น ที่ระดับความเค็ม 15, 20 และ 28 psu สัดส่วนของเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายมากที่สุดมีความยาว 8 เซลล์ (มีสัดส่วน 32.43, 42.45 และ 42.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) แต่ความเค็ม 20 psu มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายความยาวสูงสุด 24 เซลล์ (มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเป็นอันดับสอง) ในขณะที่ความเค็ม 28 psu (มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด) การเรียงตัวเป็นสายสูงสุดมีความยาวของสายเพียง 16 เซลล์ ความเค็ม 35 และ 40 psu สัดส่วนของเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความถี่มากที่สุดในกลุ่มที่มีสายยาว 4 เซลล์ ซึ่งมีสัดส่วน 50.00 และ 45.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ระดับความเค็มดังกล่าว *G. catenatum* มีสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงกว่าที่ความเค็ม 15 psu แต่มีความยาวของสายส่วนใหญ่สั้นกว่า และมีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวสูงสุดเพียง 8 เซลล์ ในขณะที่ความเค็ม 15 psu มีความยาวสาย16 เซลล์ (รูปที่ 4.19)

ลักษณะของเซลล์

การเติบโตของ *G. catenatum* ในระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีการเติบโตได้ดีในปัจจัยที่กำหนด ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่สังเกตได้ไม่มีการเปลี่ยนมากนัก มีเพียงความแตกต่างด้านขนาดเซลล์ และความยาวของการเรียงตัวเป็นสาย โดยความเค็ม 10 psu ในระยะแรกของการเติบโตพบว่า การเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาวสูงสุด 8 เซลล์ ภายหลังการปรับตัวการเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาวลดเหลือเพียง 4 เซลล์ (ตารางที่ 4.3) ที่ความเค็ม 15, 20 และ 28 psu มีการเรียงตัวเป็นสายยาวถึง 16, 24 และ 16 เซลล์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.18) ความเค็ม 35 และ 40 psu เซลล์มีการเรียงตัวเป็นสายยาวสูงสุดเพียง 8 เซลล์ โดยส่วนใหญ่ขนาดของเซลล์จะใกล้เคียงกัน มีแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยขนาดของเซลล์เดี่ยวโดยทั่วไปในระดับอุณหภูมินี้มีความกว้าง 37-41 µm และยาว 45-60 µm ขณะที่ความเค็ม 10 psu เซลล์เดี่ยวมีจะความกว้างมากกว่า คือ 37-44 µm รูปร่างของเซลล์ค่อนบวมกว่าปกติเล็กน้อย ขณะที่ความเค็ม 40 psu มีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงรีความกว้างของเซลล์น้อยกว่าซึ่งมีความกว้างเพียง 33 –39 µm เท่านั้น เซลล์ที่เรียงตัวกันเป็นสายจะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม-กลมในทุกความเค็ม เนื่องจากมีความกว้างกับความยาวใกล้เคียงกัน หรือความยาวน้อยกว่าความกว้างเล็กน้อย โดยเฉพาะความเค็ม 20 psu ในกลุ่มของการเรียงตัวเป็นสายยาว 8 เซลล์ และความเค็ม 28 psu ในกลุ่มของการเรียงตัวเป็นสายยาว 8 - 16 เซลล์ มีรูปทรงค่อนข้างเป็นสี่เหลี่ยม-กลมที่มีลักษณะแบนแบบบนลงล่างมากขึ้น

เนื่องจากเซลล์จะอยู่ใกล้ชิดกันมากทำให้ความยาวของเซลล์ลดลง มีความกว้าง 37-43 µm และความยาว 33-36 µm โดยประมาณ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ขนาดเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

ความเค็ม (psu)	ขนาดของเซลล์ (µm)									
	เซลล์เดี่ยว		2 เซลล์		4 เซลล์		8 เซลล์		16 เซลล์	
	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว
10(1)	35-42	50-60	35-40	40-55	37-40	33-38	37-40	30-37	-	-
10(2)	37-44*	54-60	38-45	40-55	39-43	35-40*	-	-	-	-
15(1)	35-40	45-58	37-40	38-58	37-45	38-45	36-40	32-36	36-43	32-37
15(2)	37-41	48-59	40-45	39-55	39-45	35-40*	39-41	38-40*	39-41	32-37*
20(1)	37-40	55-60	38-40	40-50	39-40	30-40	36-41	30-37	32-45	27-39
20(2)	37-40	50-60	35-40	39-48	38-40	32-40*	37-40	33-35*	39-43	34-40*
28(1)	37-41	52-60	37-40	37-50	40-45	35-40	35-45	35-40	40-45	33-35
28(2)	37-41	54-60	37-40	40-52	38-44	35-40*	39-41	34-36*	40-43	33-35*
35(1)	34-40	50-60	34-40	37-55	37-45	35-40	39-44	35-45	-	-
35(2)	37-40	50-59	36-40	35-52	40-45	37-45*	39-40	35-40*	-	-
40(1)	25-40	55-65	36-41	48-65	35-40	40-45	37-40	37-40	-	-
40(2)	33-39*	55-60	34-40	36-55	37-44	35-40*	37-40	35-40*	-	-

(1) ช่วงที่เซลล์ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอย่างรวดเร็ว

(2) ช่วงหลังจากเซลล์มีการปรับตัวในปัจจัยที่ได้รับ

* เซลล์มีลักษณะบวม

* เซลล์มีลักษณะเป็นทรงรี มีความกว้างน้อย

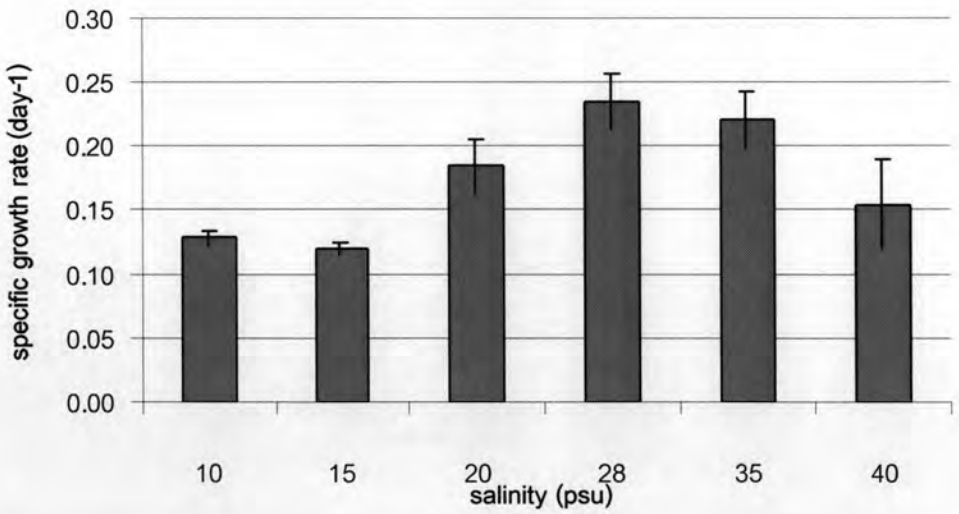
* ความยาวของเซลล์มีค่าใกล้เคียงกับความกว้าง เซลล์มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม-กลม

* ความยาวของเซลล์มีค่าน้อยกว่าความกว้าง เซลล์มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม-กลม ที่เซลล์ภายในสายเรียงตัวอยู่ใกล้ชิดกันมาก

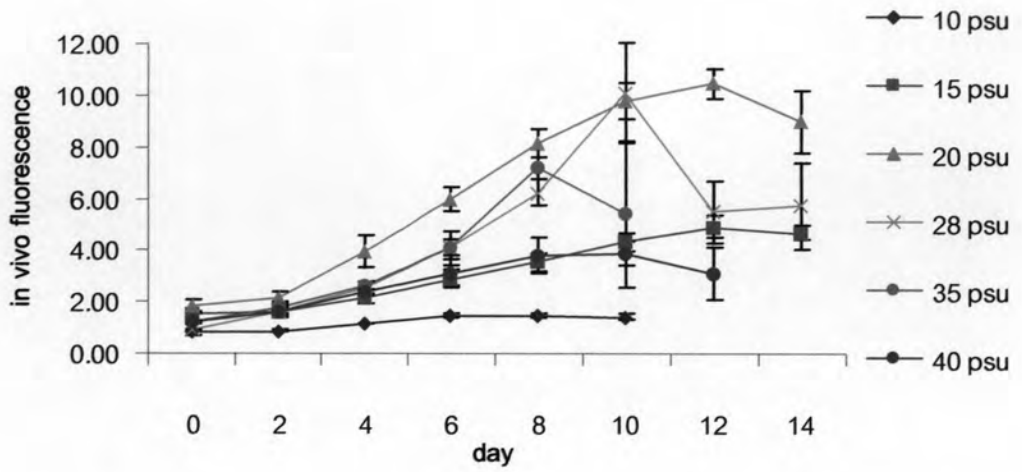
3.4 ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

อัตราการเติบโตของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน พบว่าที่ความเค็ม 28 psu มีอัตราการเติบโตดีที่สุดค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.24 $\pm$ 0.02 ต่อวัน รองลงมาได้แก่ ที่ระดับความเค็ม 35 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.22 $\pm$ 0.02 ต่อวัน ตามมาด้วยระดับความเค็ม 20, 40, 10 และ 15 psu มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.18 $\pm$ 0.02, 0.15 $\pm$ 0.04, 0.13 $\pm$ 0.01 และ 0.12 $\pm$ 0.01 ต่อวัน ตามลำดับ (รูปที่ 19) อัตราการเติบโตที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างทางสถิติเป็นช่วง ๆ คือ ความเค็ม 10 และ 15 psu, ความเค็ม 20 และ 40 psu, ความเค็ม 28 และ 35 psu ภายในคู่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่จะมีความแตกต่างทางสถิติระหว่างความเค็มแต่ละคู่ ($P<0.05$) และความเค็ม10 และ 40 psu กับความเค็ม 20 และ 35 psu ภายในคู่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ภาคผนวก ฉ. 1)

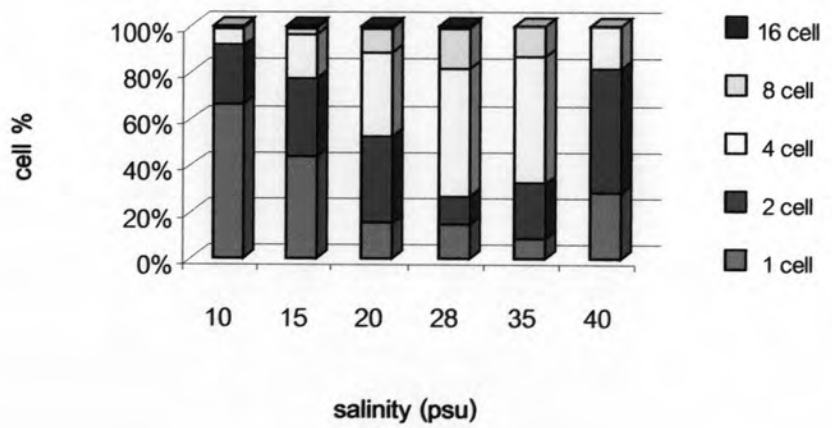
การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ความเค็ม 20, 28 และ 35 psu แพลงก์ตอนมีการเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่อสิ้นสุดการเติบโตที่ความเค็ม 28 และ 35 psu จะเข้าสู่ระยะตายทันที ต่างกับความเค็ม 20 psu ที่เข้าสู่ระยะเฉื่อย และระยะตายอย่างช้าๆ ระดับความเค็มที่เหลือการเติบโตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อสิ้นสุดการเติบโตจะเข้าสู่ระยะคงที่เป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนจะเข้าสู่ระยะตาย ที่ความเค็ม 10 psu แม้ว่าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงกว่าความเค็ม 15 psu แต่ช่วงเวลาในการเติบโตจะสั้นกว่า (4 วัน) ก็จะเข้าสู่ระยะคงที่ (รูปที่ 20)



รูปที่ 4.19 สัมประสิทธิ์การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน



รูปที่ 4.20 การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน



รูปที่ 4.21 สัดส่วนการเรียงตัวเป็นสาย (chain forming) ของ *G. catenatum* ขณะที่มีการเติบโตสูงสุด (ปลายระยะเอกซ์โพเนนเชียล) ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มต่างกัน

สัดส่วนการเรียงตัวต่อกันเป็นสาย

การเรียงตัวกันเป็นสายมีความสอดคล้องกับการเติบโต คือ ที่ระดับความเค็ม 20, 28 และ 35 psu มีการเติบโตดีการเรียงตัวเป็นสายส่วนใหญ่มีความยาวสาย 1-4 เซลล์ ที่ระดับความเค็ม 10, 15 และ 40 psu เซลล์ สามารถเติบโตได้แต่ไม่ดีนักการเรียงตัวเป็นสายส่วนใหญ่มีความยาวสาย 1 - 2 เซลล์ การเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาวของเซลล์สูงถึง 16 เซลล์ พบในความเค็ม 15, 20 และ 28 psu และมีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวสูงสุดเพียง 8 เซลล์ที่ระดับความเค็ม 10, 35 และ 40 psu ที่ระดับความเค็ม 28 psu มีสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุดสัดส่วนของเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายยาว (สายมีความยาว 4-16 เซลล์ มีสัดส่วนเท่ากับ 73.20 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าในความเค็มอื่นๆ แม้ว่าที่ความเค็ม 35 และ 40 psu จะมีสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงกว่าความเค็ม 15 psu แต่กลับพบว่ามีความยาวสายสูงสุดน้อยกว่า (รูปที่ 4.21)

ลักษณะของเซลล์

ลักษณะเซลล์ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ไม่พบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ มีความแตกต่างกันในด้านความยาวของการเรียงตัวต่อกันเป็นสาย และขนาดเซลล์ โดยที่ระดับความเค็ม 10, 35 และ 40 psu เซลล์มีการรียงตัวตัวต่อกันเป็นสายยาวสูงสุด 8 เซลล์ ส่วนความเค็ม 15, 20 และ 28 psu สายมีความยาวสูงสุด 16 เซลล์ ขนาดของเซลล์มีความใกล้เคียงกัน เซลล์เดี่ยวมีความกว้างอยู่ในช่วง 36-45 µm และความยาว 45-60 µm แต่ในความเค็ม 28, 35 และ 40 psu เซลล์จะค่อนข้างรีมีความกว้างเพียง 33-41 µm เช่นเดียวกับสายความยาว 2 เซลล์ โดยทั่วไปมีความกว้างอยู่ในช่วง 39-45 µm และความยาว 39-60 µm แต่ในความเค็ม 35 และ 40 psu มีความกว้างเพียง 33-39 µm ส่วนเซลล์ที่เรียงตัวกันเป็นสายจะมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงสี่เหลี่ยม-กลม มีความกว้างกับความยาวใกล้เคียงกัน หรือ ความยาวน้อยกว่าความกว้าง พบในระดับความเค็มตั้งแต่ 10 psu (สาย 8 เซลล์), 15 psu (สาย 8 - 16 เซลล์) และความเค็ม 20, 28, 35 psu (สาย 4 -16 เซลล์) เซลล์มีความกว้างอยู่ในช่วง 39-45 µm และยาว 39-60 µm โดยเฉพาะความเค็ม 20 psu สายความยาว 8 เซลล์ และความเค็ม 28 psu สายความยาว 8 - 16 เซลล์ มีความกว้าง 37-43 µm และความยาว 37-47 µm โดยประมาณ เซลล์ค่อนข้างต่อกันเป็นสายแน่นขึ้น (เซลล์อยู่ใกล้ชิดกันมาก) ต่างจากความเค็ม 40 psu ที่เซลล์มีความกว้าง 35-39 µm และยาว 35-40 µm เซลล์ค่อนข้างเป็นทรงรีมากขึ้น และเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายอยู่ค่อนข้างห่างกัน (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4. ขนาดเซลล์ของ *G. catenatum* ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ต่อระดับความเค็มที่ต่างกัน

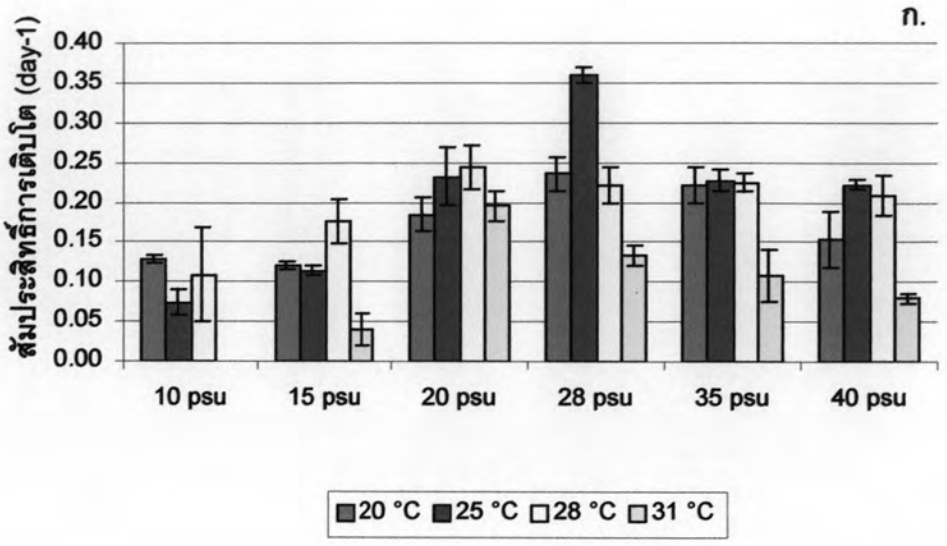
ความเค็ม (psu)	ขนาดของเซลล์ (μm)									
	เซลล์เดี่ยว		2 เซลล์		4 เซลล์		8 เซลล์		16 เซลล์	
	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว	กว้าง	ยาว
10(1)	35-45	50-62	38-47	40-56	41-45	35-50	40-45	33-40	-	-
10(2)	36-44	55-60	39-45	39-55	40-45	35-47	40-44	30-36*	-	-
15(1)	38-45	49-55	39-45	40-55	35-46	30-46	38-45	30-35	40-48	30-45
15(2)	39-45	49-55	40-45	40-55	40-45	37-45	40-45	30-37*	40-47	31-37*
20(1)	39-45	45-59	40-45	40-50	42-45	35-40	38-45	30-40	41-42	35-40
20(2)	39-45	45-55	40-45	41-55	42-45	36-40*	38-45	30-40*	40-42	35-40*
28(1)	37-41	50-57	39-45	40-55	39-41	30-40	39-45	28-36	36-41	25-33
28(2)	36-41*	50-55	39-45	40-55	39-41	30-37*	39-45	30-35*	37-41	30-35*
35(1)	32-39	45-57	32-40	40-55	39-43	33-40	40-45	30-35	39-45	32-35
35(2)	35-40*	45-58	35-39*	37-55	38-48	33-35*	39-45	31-35*	39-45	33-35*
40(1)	35-39	45-60	30-40	37-60	35-39	33-40	37-39	37-40	-	-
40(2)	33-38*	50-60	33-39*	38-60	35-39*	35-40	36-39*	38-40	-	-

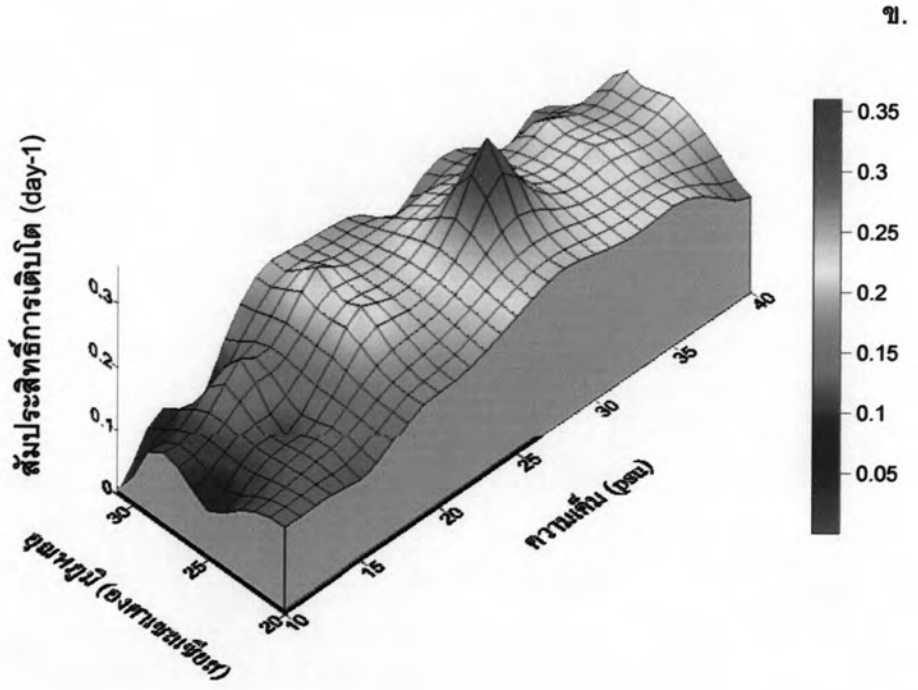
(1) ช่วงที่เซลล์ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยอย่างรวดเร็ว

(2) ช่วงหลังจากเซลล์มีการปรับตัวในปัจจัยที่ได้รับ

* เซลล์มีลักษณะเป็นทรงรี มีความกว้างน้อย

* ความยาวของเซลล์มีค่าน้อยกว่าความกว้าง เซลล์มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม-กลม ที่เซลล์ภายในสาย





รูปที่ 4.22 สัมประสิทธิ์การเติบโตของ *G. catenatum* ในอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิ ต่อความเค็มที่ระดับต่างกัน

ผลของปัจจัยอุณหภูมิ และความเค็ม ต่อการเติบโตของ *G. catenatum* เมื่อพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การเติบโตในรูปที่ 4.22 ก. พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 28 psu มีอัตราการเติบโตสูงสุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตเท่ากับ 0.36 ต่อวัน อัตราการเติบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และความเค็มที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 28 หลังจากระดับปัจจัยนี้การเติบโตจะเริ่มลดลง (รูปที่ 4.22 ก.) เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.22 ข. จะเป็นตัวยืนยันว่าที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 28 psu มีความเป็นไปได้ว่าเป็นระดับปัจจัยของอุณหภูมิ และความเค็มที่ดีที่สุดในการเติบโตสำหรับ *G. catenatum* ซึ่งปัจจัยความเค็มมีผลต่อการเติบโตมากกว่าอุณหภูมิ โดยกำหนดให้ระดับอุณหภูมิคงที่ต่อความเค็มที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราการเติบโตสูงสุดจะมีแนวโน้มเข้าหาช่วงความเค็ม 20-28 psu แต่ถ้าพิจารณาจากระดับความเค็มที่คงต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าการเติบโตมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยสามารถยืนยันได้จากค่าทางสถิติที่อุณหภูมิคงที่ต่อระดับความเค็มที่แตกต่างกันค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตที่ได้มักไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติเมื่ออุณหภูมิคงที่ต่อความเค็มที่แตกต่างกันพบว่าสัมประสิทธิ์การเติบโตส่วนใหญ่มีความแกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) (ภาคผนวก ฉ. 1)

ผลการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ และความเค็มต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของ *G. catenatum* การเรียงตัวเป็นสายมีความยาวเพิ่มขึ้นตามการเติบโต ที่ความเค็ม15, 20 และ28 psu เซลล์มีการเรียงตัวเป็นสายยาวสูงสุดยาวกว่าความเค็ม10, 35 และ 40 psu ที่ความเค็ม 10 psu เซลล์มีลักษณะบวม ขณะที่ความเค็ม 35 และ 40 psu เซลล์มีรูปทรงรีเพิ่มมากขึ้นและการเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีการจับอยู่อย่างหลวม และที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยามากที่สุด

4. การศึกษาปัจจัยไนเตรต และฟอสเฟต ต่อการเติบโต และสัณฐานวิทยาของ *G. catenatum*

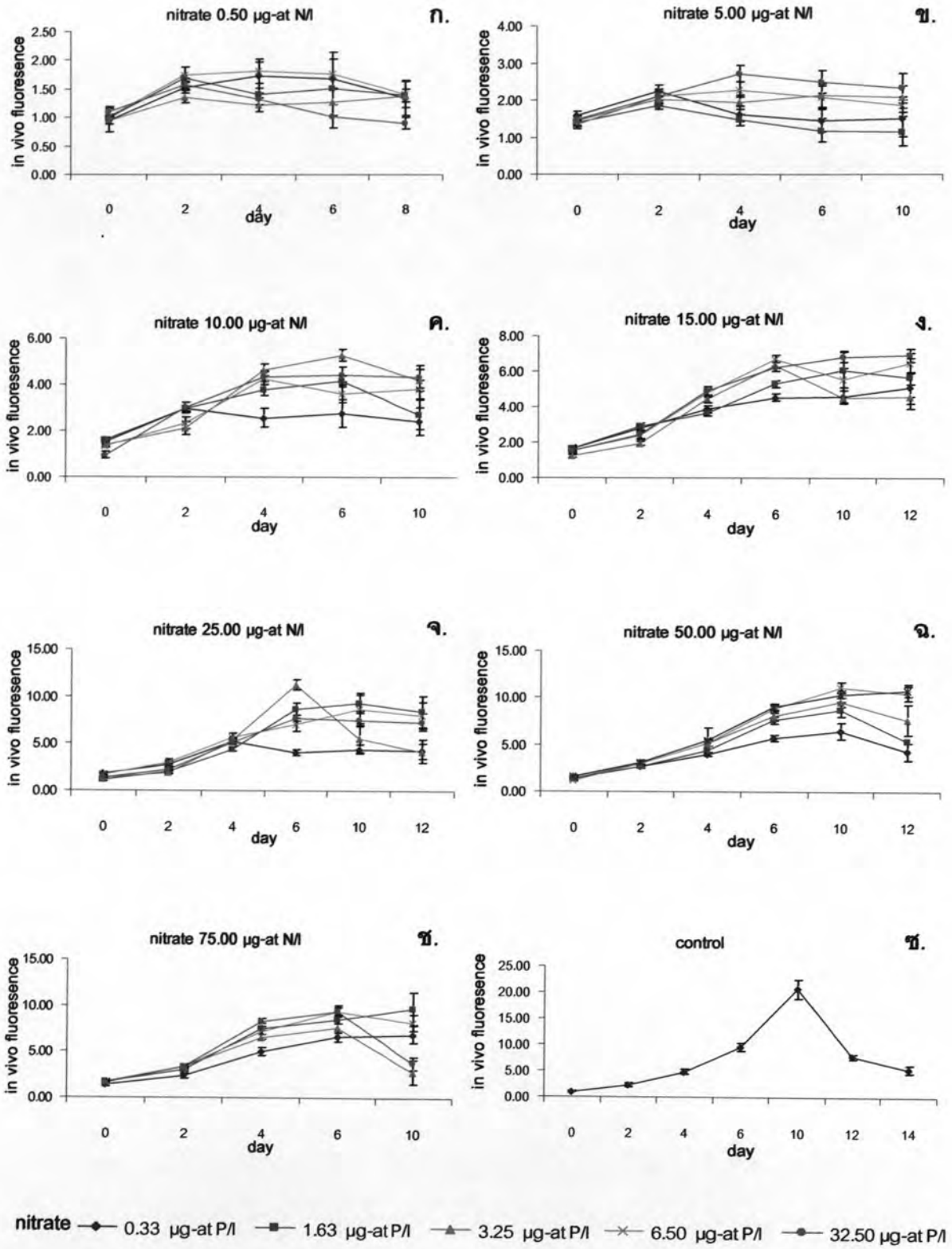
การศึกษาผลความเข้มข้นของไนเตรต และฟอสเฟตที่เหมาะสมต่อการเติบโต และสัณฐานวิทยาของ *G. catenatum* โดยทดลองเลี้ยงที่ระดับความเข้มข้นของไนเตรต 7 ระดับ คือ 0.50, 5.00, 10.00, 15.00, 25.00, 50.00 และ 75.00 µg-at N L^{-1} และความเข้มข้นของฟอสเฟต 5 ระดับ คือ 0.33, 1.62, 3.25, 6.50 และ 32.50 µg-at P L^{-1} ทำการทดสอบปัจจัยไนเตรต และฟอสเฟตต่อการเติบโต และสัณฐานวิทยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 28 psu (ซึ่งเป็นช่วงของอุณหภูมิ และความเค็มที่เติบโตได้ดีที่สุด) ผลการศึกษาการเติบโตของ *G. catenatum* ในปัจจัยของไนเตรต และฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นของสารอาหารต่างกัน พบว่าอัตราการเติบโตของ *G catenatum* สัมพันธ์กับปริมาณสารอาหารที่เพิ่มขึ้น

ระดับความเข้มข้นของไนเตรต 0.50 µg-at N L^{-1} (ความเข้มข้นต่ำสุด) อัตราการเติบโตที่ระดับความเข้มข้นของไนเตรต ต่อระดับความเข้มข้นฟอสเฟตต่างกัน พบว่าเซลล์มีอัตราการเติบโตต่ำสุดค่า in vivo fluorescence ที่ได้มีค่าไม่เกิน 2 (รูปที่ 4.23 ก.) ต่อมาที่ระดับความเข้มข้นของไนเตรต 5.00 µg-at N L^{-1} อัตราการเติบโตของ *G catenatum* เพิ่มขึ้น ช่วงที่มีการเติบโตสูงสุดค่า in vivo fluorescence อยู่ในช่วง 1.86 - 2.49 (รูปที่ 4.23 ข.) เมื่อระดับความเข้มข้นของไนเตรตเพิ่มขึ้นเป็น 10.00 µg-at N L^{-1} พบว่าการเติบโตที่ความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.33 µg-at P L^{-1} มีค่า in vivo fluorescence น้อยที่สุดในระดับนี้ คือ 2.41 ขณะที่ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟตอื่น ๆ มีค่า in vivo fluorescence อยู่ในช่วง 4.15 – 5.26 (รูปที่ 4.23 ค.) ซึ่งอัตราการเติบโตที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตทุกระดับมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) (ภาคผนวก ฉ. 2) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารอาหารสูงขึ้นอีกจนมีระดับความเข้มข้นของไนเตรตเป็น 15.00 µg-at N L^{-1} ที่ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.33 µg-at P L^{-1} มีค่า in vivo fluorescence น้อยที่สุดในระดับนี้คือ 5.07 ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟตอื่น ๆ มีค่า in vivo fluorescence สูงกว่าอยู่ในช่วง 6.08 - 6.81 (รูปที่ 4.23 ง.) ซึ่งอัตราการเติบโตที่ระดับฟอสเฟต 6.50 และ 32.50 µg-at P L^{-1} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่จะมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) กับระดับความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.33, 1.63 และ 3.25 µg-at P L^{-1} (ภาคผนวก ฉ. 2) จะสังเกตได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.33 µg-at P L^{-1} อัตราการเติบโตเริ่มช้าลงที่ระดับความเข้มข้นของไนเตรต 10.00 µg-at N L^{-1} ซึ่งเป็นระดับของความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.33 µg-at P l^{-1} ที่มีสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด 0.34$\pm$0.02 ต่อวัน (ภาคผนวก ช.) เมื่อความเข้มข้นของไนเตรตเพิ่มสูงขึ้นเป็น 15.00 µg-at N L^{-1} การเติบโตเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ในขณะที่การเติบโตที่ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟตสูงขึ้นยังมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง การทดลองต่อมาในระดับความเข้มข้นของไนเตรต 25.00 µg-at N L^{-1} ความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.33 µg-at P L^{-1} มีค่า in vivo fluorescence 5.3 อัตราการเติบโต

ค่อนข้างคงที่ ส่วนในระดับความเข้มข้นของฟอสเฟตอื่น ๆ มีค่า in vivo fluorescence 8.04 – 9.32 ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟต 3.25 µg-at P L^{-1} มีอัตราการเติบโตสูงสุดค่า in vivo fluorescence เท่ากับ 11.25 (รูปที่ 4.23 จ.) มีค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด 0.44±0.01 ต่อวัน (ตารางที่ 4.5) ซึ่งอัตราการเติบโตที่ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟต 0.33 และ 6.50 µg-at P L^{-1} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่จะมีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ที่ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟต 1.63, 3.25 และ 32.5 µg-at P L^{-1} (ภาคผนวก ฉ. 2) เมื่อความเข้มข้นของไนเตรตเพิ่มสูงขึ้นจากระดับนี้ การเติบโตจะลดลง หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นค่า in vivo fluorescence ไม่เกิน 11.1

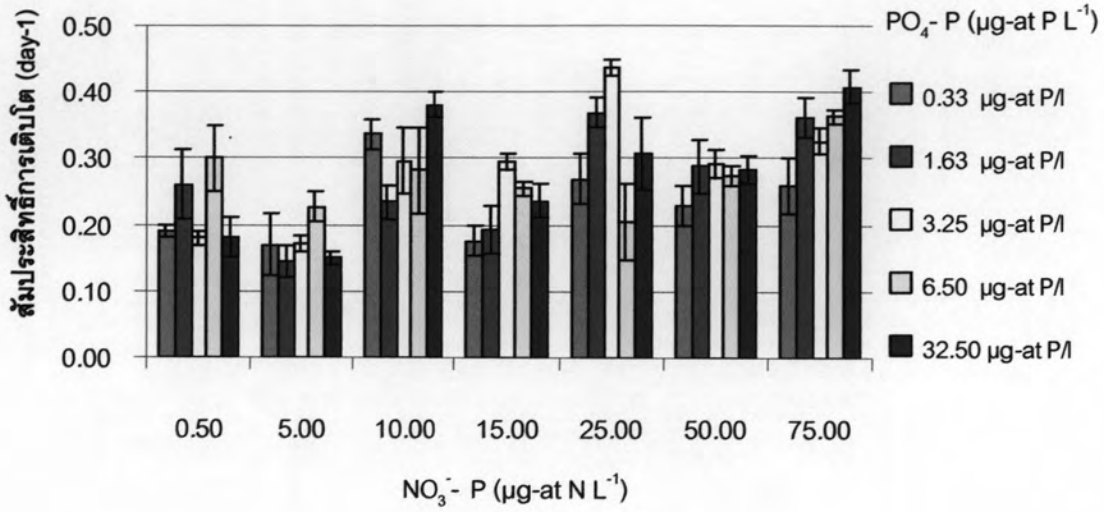
ระดับความเข้มข้นของสารอาหารที่มีการเติบโตสูงสุด คือความเข้มข้นของไนเตรต 25.00 µg-at N L^{-1} และความเข้มข้นของฟอสเฟต 3.25 µg-at P L^{-1}ค่า in vivo fluorescenceเท่ากับ 11.25 มีค่าน้อยกว่าในชุดควบคุมซึ่งมีความเข้มข้นไนเตรต 500 µg-at N L^{-}ความเข้มข้นของฟอสเฟต 65 µg-at P L^{-1}(ความเข้มข้นปกติในสูตรอาหาร T1) ค่า in vivo fluorescence เท่ากับ 20. 72 ซึ่งมี สัมประสิทธิ์การเติบโต 0.36 ± 0.01 ต่อวัน

แนวโน้มการเติบโตของ *G catenatum* พบว่าการเติบโตเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารอาหาร โดยการเพิ่มจะเป็นสัดส่วนต่อกัน ที่ระดับความเข้มข้นของฟอสเฟตต่ำการเติบโตจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไนเตรตที่ให้จนถึงระดับหนึ่งแม้จะเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรตเพิ่มขึ้น การเติบโตกลับลดลง เมื่อให้ความเข้มขึ้นของฟอสเฟตมากขึ้นก็สามารถใช้ไนเตรตเพื่อการเติบโตได้มากขึ้น ปริมาณเซลล์เพิ่มตามความเข้มข้นของอาหาร เมื่อพิจารณาจาก รูปที่ 2.24 ข.พบว่าการเติบโตมีแนวโน้มต้องการปริมาณสารอาหารที่สูงขึ้น ปริมาณเซลล์หนาแน่นมากขึ้นตามระดับสารอาหารที่สูงขึ้น

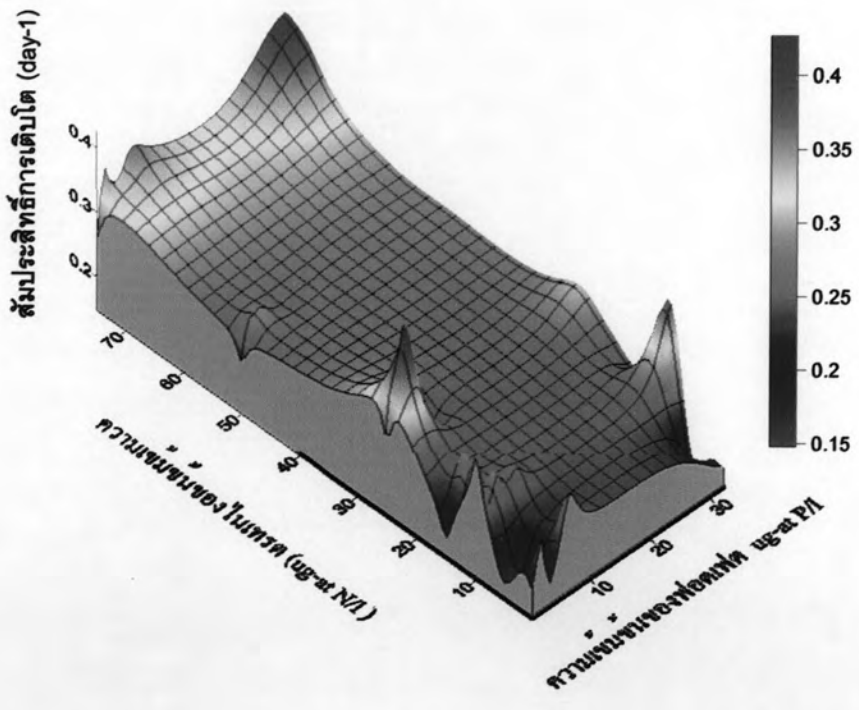


รูปที่ 4. 23 ก.-ซ. การเติบโตของ *G. catenatum* ที่ความเข้มข้นไนเตรตแต่ละระดับ ต่อฟอสเฟตที่ความเข้มข้นทุกระดับ, ซ. การเติบโตของ *G. Catenatum* ในชุดควบคุม

ก.



ข.



รูปที่ 4.24 สัมประสิทธิ์การเติบโตของ *G. catenatum* ในปัจจัยของไนเตรต ต่อฟอสเฟต

ผลของปัจจัยไนเตรต และฟอสเฟตต่อสัณฐานวิทยา *G catenatum*

ผลของปัจจัยความเข้มข้นของไนเตรต และฟอสเฟตต่อสัณฐานวิทยาของ *G. catenatum* พบว่าความแตกต่างของสารอาหารส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัณฐานวิทยาน้อยมาก ลักษณะเซลล์โดยทั่วไปเหมือนกับในชุดควบคุม แต่จะมีผลกับความยาวของการเรียงตัวต่อกันเป็นสาย ซึ่งระยะเวลาในการเติบโตความสัมพันธ์กับความยาวของสาย โดยที่ระดับความเข้มข้นของไนเตรต 0.5 µg-at N L^{-1} พบว่าการเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาวไม่เกิน 8 เซลล์ ระยะเวลาในการเติบโต (ระยะเอกซ์โพเนนเชียล) เพียง 2 วันเท่านั้น เมื่อความเข้มข้นของสารอาหารเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของไนเตรตเท่ากับ 5 µg-at N L^{-1} การเรียงตัวต่อกันเป็นสายมีความยาวสูงสุด 16 เซลล์ แต่ส่วนใหญ่ที่พบความยาว 4-8 เซลล์ (ระยะเอกซ์โพเนนเชียล 4-6 วัน) เซลล์มี่มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายยาวจะพบในจำนวนสูงขึ้นตามปริมาณสารอาหารที่เพิ่มมากขึ้น

การเรียงตัวต่อกันเป็นสายของ *G. catenatum* ส่วนใหญ่มีความยาว 1-8 เซลล์ ความยาวของสายสูงสุดที่พบ 16 เซลล์ ขนาดของเซลล์เดี่ยว มีความกว้าง 38-40 µm และความยาว 51-60 µm ขนาดของเซลล์ที่เรียงตัวเป็นสาย มีความกว้าง 38-43 µm และความยาว 25-35 µm โดยประมาณ