

การศึกษากระบวนการสร้างเซลล์อสุจิในกุ้งกุลาดำ

A Study on Spermatogenesis of the Giant Tiger Prawn , *Penaeus monodon Fabricius* (Decapoda)

วนิดา ไตรพานิชย์กุล¹ วีระชัย สิงหนิยม¹ วีระพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย² และ สุมล จิ๊งอุดมเจริญ¹

Wanida Tripanichkul, Weerachai Singhaniyom, Weeraphong Vuthiphanchai,

and Sumol Jueng-udomcharoen

ABSTRACT

Spermatogenesis in *Penaeus monodon Fabricius* was studied using light microscopy. Only one stage of spermatogenic cell, besides spermatogonia, was consistently found in any seminiferous tubules. Primary spermatocyte in Prophase I was characterized by a single large inclusion body located at one pole of the cell. Secondary spermatocyte division resulted in the formation of spermatid. Spermatid would undergo an elaborate period of differentiation resulting in the formation of sperm which was different from those of other living organisms in the Animal Kingdom.

Key words : spermatogenesis, Decapoda, *Penaeus monodon*

บทคัดย่อ

การศึกษาการสร้างเซลล์อสุจิของกุ้งกุลาดำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ปรากฏว่าในหลอดสร้างเซลล์อสุจิ (seminiferous tubule) มักพบ spermatogonia อยู่ร่วมกับเซลล์สืบพันธุ์ระยะอื่นอีกเพียง 1 ระยะ เซลล์ primary spermatocyte ในระยะ prophase I มีลักษณะเด่นคือ

พบอินคลูชันบอดี้ (inclusion body) ขนาดใหญ่ 1 อันอยู่ที่ขั้วหนึ่งของเซลล์ ระยะ secondary spermatocyte แบ่งตัวต่อไปได้เซลล์ spermatid spermatid เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลายขั้นตอนกลายเป็นเซลล์อสุจิ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะแตกต่างออกไปจากเซลล์อสุจิของสัตว์ชนิดอื่น

¹ ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

Department of Anatomy, Faculty of Medicine, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand .

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Aqua TIC Science, Faculty of Science, Burapa University, Chonburi 20131, Thailand.

คำนำ

การเพาะพันธุ์ตัวอ่อนกึ่งกลาคำ ใช้วิธีนำแม่พันธุ์จากธรรมชาติที่มีไข่ระยะ 3 หรือ 4 มาผสมพันธุ์กับพ่อพันธุ์กึ่งในบ่อ ปัญหาที่เกิดขึ้นในพ่อพันธุ์กึ่งที่เลี้ยงอยู่ในบ่อเป็นเวลานานคือจะมีจำนวนเซลล์อสุจิในถุงเก็บเซลล์อสุจิลดลง (นวลจันทร์, 2537) ทำให้ความสามารถในการเพาะพันธุ์ลดลง มีผลกระทบต่อ การเพาะพันธุ์ตัวอ่อนกึ่งกลาคำ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการสร้างเซลล์อสุจิของพ่อพันธุ์กึ่งกลาคำในสภาพที่พบตามธรรมชาติ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับการวิจัยประยุกต์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเร่งกระบวนการสร้างเซลล์อสุจิ และแก้ปัญหาดังกล่าวในกึ่งพ่อพันธุ์ที่เลี้ยงอยู่ในบ่อ

อุปกรณ์และวิธีการ

กึ่งกลาคำเพศผู้ตัวเต็มวัยจำนวน 30 ตัว นำมาจากอ่าวไทย ทำการชำแหละอวัยวะของระบบสืบพันธุ์ นำมาแช่ในน้ำยาคงสภาพเซลล์ (Bouin's solution) นาน 24-48 ชั่วโมง, ดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์, ฝังเนื้อเยื่อในพาราฟิน, ตัดเนื้อเยื่อหนา 5-7 ไมครอน, ย้อมด้วยสี Haematoxylin - Eosin และย้อมด้วย PAS reaction เพื่อย้อมอะโครโซม (acrosome) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่พบในเซลล์อสุจิของสัตว์ทุกชนิดที่เกิดขึ้นใน spermatid ที่เปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์อสุจิภายในอะโครโซมบรรจุเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งช่วยให้เซลล์อสุจิเคลื่อนผ่านเข้าไปในเซลล์ไข่เพื่อปฏิสนธิ เนื้อเยื่อส่วนหนึ่งแช่ในน้ำยาคงสภาพเซลล์ (2.5% glutaraldehyde ใน 0.1 M PBS) นาน 3 ชั่วโมง ล้างด้วย 0.1 M PBS แช่ใน OsO₄ นาน 2 ชั่วโมง ดึงน้ำออกจากเนื้อเยื่อโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ ฝังเนื้อเยื่อใน Araldite resin ตัดเนื้อเยื่อหนา 1 ไมครอน ย้อมด้วย 1%

aqueous methylene blue ใน 1% sodium borate เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ในระยะ spermatid ควบคู่ไปกับเนื้อเยื่อที่เตรียมโดยวิธีแรก เนื่องจากเนื้อเยื่อที่เตรียมโดยวิธีนี้จะเห็นรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ได้มากกว่า

ผล

อวัยวะของกึ่งกลาคำมี 2 ข้างซ้ายขวาแต่ละข้างประกอบด้วยพวยย่อยๆ จำนวน 8 พวย ในแต่ละพวยย่อยประกอบด้วยหลอดสร้างเซลล์อสุจิขดตัวไปมา ผนังของหลอดสร้างเซลล์อสุจิประกอบด้วยเซลล์รูปกระสวยเรียงตัวอยู่ชั้นนอกสุด ถัดเข้าไปเป็นชั้นบางๆของเนื้อเยื่อประสาน ภายในหลอดสร้างเซลล์อสุจิประกอบด้วยเซลล์พี่เลี้ยง (nurse cell) และเซลล์สืบพันธุ์ระยะต่างๆ จากการศึกษาเนื้อเยื่อที่ตัดตลอดความยาวพวยอวัยวะพบว่าในหลอดสร้างเซลล์อสุจิหนึ่งๆ มักพบเซลล์สืบพันธุ์เพียง 2 ระยะเท่านั้นคือ spermatogonia และเซลล์สืบพันธุ์อีกเพียงระยะใดระยะหนึ่ง ไม่บ่อยนักที่พบได้มากกว่า 2 ระยะ

เซลล์ชนิดต่างๆ ในหลอดสร้างเซลล์อสุจิ

เซลล์พี่เลี้ยง เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ วางตัวบนผนังหลอดสร้างเซลล์อสุจิ เรียงตัวชั้นเดียว นิวเคลียสรูปร่างไม่แน่นอน พบ heterochromatin จับตัวเป็นกลุ่มบริเวณกลางนิวเคลียส (Figure 1)

Spermatogonia เป็นเซลล์รูปร่างทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 11.25 ± 0.52 ไมครอน ($n=100$) พบอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเกาะที่ขอบด้านหนึ่งตลอดความยาวของหลอดสร้างเซลล์อสุจิ นิวเคลียสขนาดใหญ่ รูปร่างกลม อยู่กลางเซลล์ โครมาตินมีลักษณะเป็น dark clump กระจายอยู่ทั่วนิวเคลียส (Figure 1; SP) spermatogonia มี 2 ชนิดคือ spermatogonia type I และ spermatogonia type II เซลล์ทั้ง 2 ชนิด

มีขนาดและรูปร่างเหมือนกัน แตกต่างกันที่ชัยโตพลาสมของ type I ข้อมติสีจางกว่า (Figure 2 ; SP1, SP2)

Spermatogonia type I เซลล์อยู่รวมกันเป็นกลุ่มถูกโอบรอบโดยเซลล์ spermatogonia type II จำนวนเซลล์ค่อนข้างคงที่ ไม่ค่อยพบการแบ่งตัวบริเวณฐานเซลล์พบเซลล์รูปร่างแบนแทรกตัวอยู่ (Figure 1 และ 2)

Spermatogonia type II จำนวนเซลล์เปลี่ยนแปลงไปตามระยะของกระบวนการสร้างเซลล์อสุจิ

Primary spermatocyte เป็นเซลล์รูปร่างค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 9.74 ± 0.65 ไมครอน ($n=100$) นิวเคลียสรูปร่างทรงกลมขนาดใหญ่ อยู่กลางเซลล์ ในระยะ preleptotene stage โครมาตินมีลักษณะเป็น dark clump กระจายอยู่ทั่วนิวเคลียส เยื่อหุ้มนิวเคลียสเห็นได้เด่นชัด เมื่อเซลล์เข้าสู่ระยะ prophase I จะเริ่มเห็นเส้นใยละเอียดของโครโมโซม (Figure 3) ซึ่งจะหนาตัวขึ้นเป็นลำดับจนหนาตัวมากที่สุดในระยะ diakinesis พบอินคลูชันบอดีขนาดใหญ่ 1 อันที่ขั้วหนึ่งของเซลล์ ข้อมติสี eosin รูปร่างรีหรือกลม มีรูตรงกลาง (Figure 3) โครงสร้างนี้จะหายไปในระยะ metaphase I

Secondary spermatocyte เป็นเซลล์รูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 6.91 ± 0.51 ไมครอน ($n=100$) ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบเซลล์ชนิดนี้ในระยะ prophase II เลย และระยะที่พบได้บ่อยคือ metaphase II (Figure 4 ; SC2)

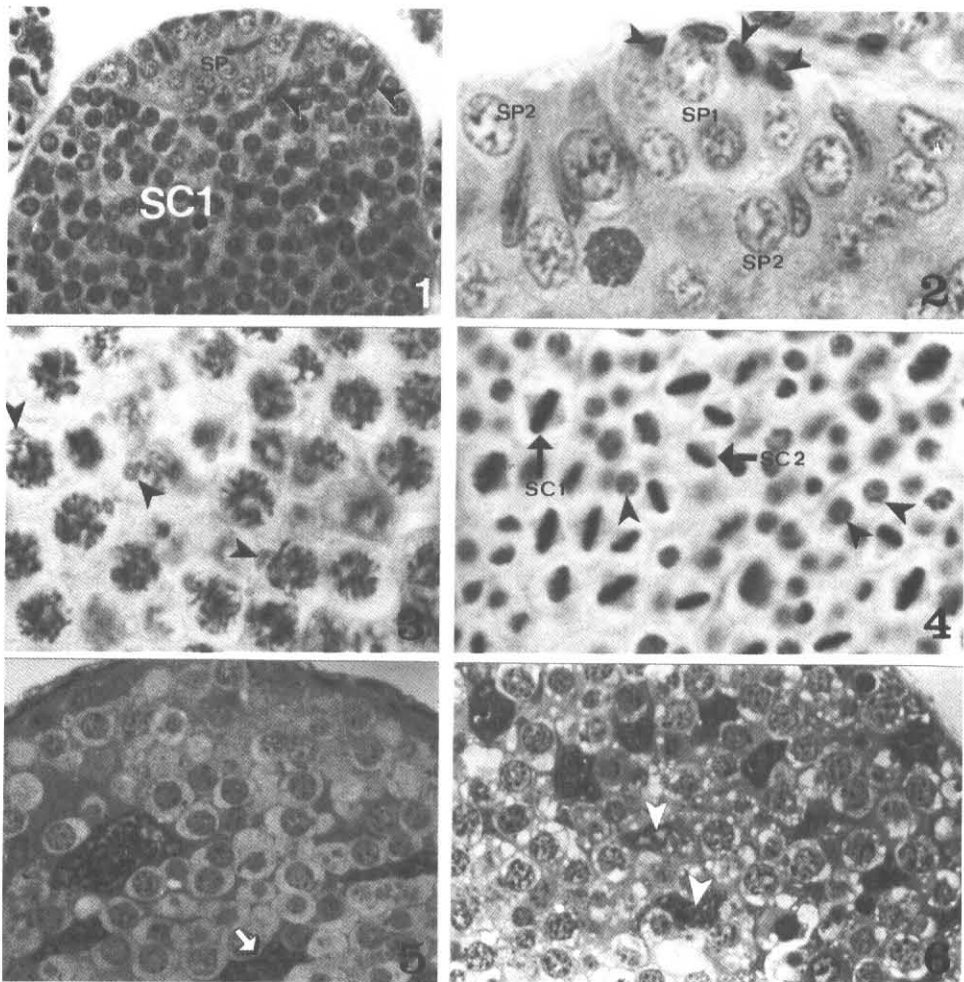
Spermatid เป็นเซลล์รูปร่างกลม นิวเคลียสกลม อยู่กลางเซลล์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ 5.45 ± 0.46 ไมครอน ($n=100$) โครมาตินมีลักษณะเป็น dark clump กระจายอยู่ทั่วนิวเคลียส (Figure 4 และ 5) เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหลายขั้นตอนกลายเป็นเซลล์อสุจิ

การเปลี่ยนแปลงในขั้นต้นคือพบช่องว่างขนาดเล็กจำนวนมากในชัยโตพลาสม (Figure 6) ซึ่งต่อมา

จะรวมกันกลายเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ วางตัวอยู่ที่ขั้วด้านหนึ่งของเซลล์ ดันนิวเคลียสไปอยู่ชิดขอบเซลล์ ต่อมาพบโครงสร้างรูปร่างกลมหรือรูปไข่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ไมครอน เกิดขึ้นภายในช่องว่างนี้ โครงสร้างดังกล่าวข้อมติสี PAS บ่งชี้ว่าโครงสร้างนี้คืออะโครโซมัล แกรนูล (acrosomal granule) ขณะเกิดอะโครโซมัล แกรนูล matrix หรือเนื้อของนิวเคลียสจะรวมตัวกันแน่น (condensation) นิวเคลียสมีขนาดเล็กลงจากเดิม ประมาณ 1/5 เท่า (Figure 7)

ต่อมานิวเคลียสจะขยายใหญ่ขึ้น และเนื้อของนิวเคลียสเกาะตัวอย่างหลวมๆ (decondensation) ช่องว่างในเซลล์ลดขนาดลงประมาณ 1/3 ถึง 1/2 ของปริมาตรเดิม รูปทรงของช่องว่างเปลี่ยนแปลงจากค่อนข้างกลมเป็นรูปร่างคล้ายด้วยรองรับนิวเคลียส อะโครโซมัล แกรนูลเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากทรงกลมเป็นรูปกรวย (Figure 8) ต่อมาเกิดการเจริญของหางต่อจาก อะโครโซมัล แกรนูลบริเวณด้านตรงข้ามกับนิวเคลียส ช่องว่างในเซลล์มีปริมาตรลดลงมากเหลือเป็นเพียงโครงสร้างรูปร่างแบนคล้ายหมวกแผ่ตัวรองรับส่วนล่างของนิวเคลียส (Figure 9) ในที่สุดช่องว่างนี้ซึ่งมีอะโครโซมัล แกรนูล บรรจุอยู่จะกลายเป็นอะโครโซมของเซลล์อสุจิ

นิวเคลียสของเซลล์อสุจิที่เจริญเต็มที่ประกอบด้วยนิวเคลียสที่เนื้อของนิวเคลียสเกาะตัวอย่างหลวมๆ นิวเคลียสถูกรองรับด้วยอะโครโซม มีหาง 1 อันเรียก spike ยาวประมาณ 3.3 ± 0.63 ไมครอน ($n=100$) ขึ้นต่อจากอะโครโซม (Figure 10 และ 11) แม้ว่าหางจะขึ้นต่อจากอะโครโซม แต่หางข้อมติไม่ติดสี PAS เนื้อของนิวเคลียสของเซลล์อสุจิที่ศึกษาจากชิ้นเนื้อที่ย้อมด้วยสี methylene blue อยู่ในสภาพเกาะตัวอย่างหลวมๆ และนิวเคลียสข้อมติไม่ติดสี methylene blue (Figure 10) แต่ในเนื้อเยื่อที่ย้อมด้วยสี H&E นิวเคลียสข้อมติสี Haematoxylin เข้ม (Figure 11)



- Figure 1** Section of testicular lobule, showing seminiferous tubule containing a group of spermatogonia (SP) attached to the periphery of the tubule and primary spermatocyte(SC1).arrow head=nucleus of nurse cell. (H&E, x 1430).
- Figure 2** Section of testis, showing spermatogonia type I (SP1) and spermatogonia type II (SP2). Note the flattened cell (arrow head) underlying spermatogonia type I. (H&E, x 3570).
- Figure 3** Primary spermatocyte in the Prophase I stage. Note the inclusion body (arrow head) located at one pole of the cell. (H&E, x 3570).
- Figure 4** Section of seminiferous tubule , showing three different stages of spermatogenic cell. SC1= primary spermatocyte at metaphase I stage, SC2 = secondary spermatocyte at metaphase II stage, arrow head = early spermatid. (H&E, x 3570).
- Figure 5** Section of seminiferous tubule,showing early spermatid. arrow head = nucleus of nurse cell. (methylene blue, x 2340).
- Figure 6** Spermatid in the later stage. Note numerous various sized vesicles in the cytoplasm of the spermatid , arrow head = nucleus of nurse cell. (methylene blue, x 2340).

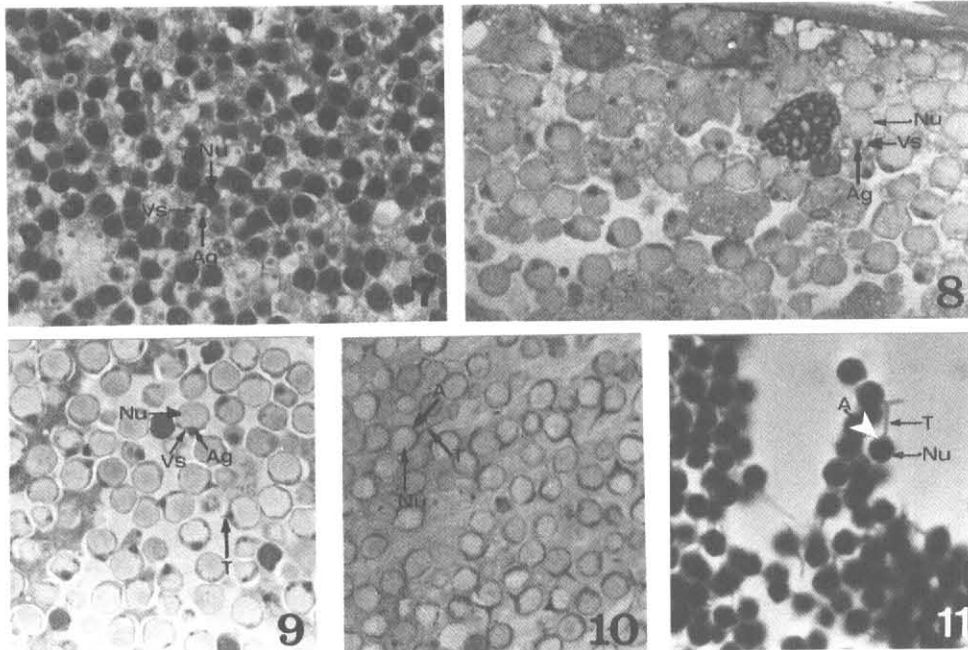


Figure 7 Spermatid in the subsequent stage. The vesicles of the previous stage fuse together forming single large vesicle (Vs) where an acrosomal granule (Ag) is found within. Nuclear volume decreases and nuclear chromatin becomes more condensed. (methylene blue, x 2340) .

Figure 8 Spermatid during which its nucleus (Nu) becomes decondensed and gains larger size than the previous condensed stage. Vesicular volume decreases (Vs). Acrosomal granule (Ag) becomes somewhat cone shaped. arrow head = nucleus of the nurse cell. (methylene blue, x 2340).

Figure 9 Immature sperm in testis. Note the short spike (T) projecting from acrosomal granule (Ag). Vs = vesicle, Nu = nucleus. (methylene blue, x 2340).

Figure 10 Mature sperm in sperm sac. Nu= nucleus, A = acrosome, T= spike. (methylene blue, x 2340).

Figure 11 Mature sperm in sperm sac. Nu= nucleus, A= acrosome, T= spike. (H&E, x 3570).

วิจารณ์

การสร้างเซลล์อสุจิเริ่มจากการเพิ่มจำนวนของเซลล์ spermatogonia ซึ่งส่วนใหญ่จะแบ่งตัวต่อไปได้เซลล์ primary spermatocyte จนเต็มหลอดสร้างเซลล์อสุจิ primary spermatocyte เข้าสู่ระยะต่างๆของ meiosis I แบ่งตัวได้เซลล์ secondary spermatocyte ซึ่งจะเข้าสู่ขั้นตอน meiosis II แบ่งตัวได้เซลล์ spermatid spermatid เปลี่ยนแปลงรูปร่างกลายเป็นเซลล์อสุจิ ออกจาก

อัมชะเข้าสู่ท่อ นำเซลล์อสุจิและถุงเก็บเซลล์อสุจิตามลำดับ พร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของ spermatid spermatogonia ที่เหลืออยู่จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นเป็นลำดับ และส่วนใหญ่มีการแบ่งตัวต่อไปได้ primary spermatocyte จนเต็มหลอดสร้างเซลล์อสุจิ เปลี่ยนแปลงเป็นวงรอบอย่างนี้เรื่อยไป

ในหลอดสร้างเซลล์อสุจิพบ spermatogonia อยู่ร่วมกับเซลล์สืบพันธุ์ระยะอื่นอีก 1 ระยะ ชนิดของเซลล์สืบพันธุ์ที่พบในหลอดสร้างเซลล์อสุจิของพู

เดียวกันมักเหมือนกัน สอดคล้องกับการศึกษาในกุ้ง *Penaeus setiferus* (King, 1948) และ *Penaeus aztecus* (Lu, 1976) พบอินคลูชันบอดี 1 อันที่ขั้วด้านหนึ่งของเซลล์ primary spermatocyte ระยะ prophase I และจะหายไปเมื่อเซลล์เข้าสู่ระยะ metaphase I แตกต่างไปจากผลการศึกษาใน *Penaeus aztecus* (Lu, 1976) และในกุ้งน้ำจืด *Cambarus virilis* (McCroan, 1940) ซึ่งรายงานพบโครงสร้างนี้ได้ในเซลล์ primary spermatocyte ทุกระยะ ในเซลล์ secondary spermatocyte และ เซลล์ spermatid

การรวมกันของช่องว่างจำนวนมากภายในซัยโทพลาสซึมของเซลล์ spermatid กลายเป็นช่องว่างขนาดใหญ่วางตัวอยู่ขั้วหนึ่งของเซลล์ สอดคล้องกับการรายงานพบในกุ้ง *Palaemon lamarrei* (Nath, 1937), *Penaeus aztecus* ((Lu, 1976), *Cambarus virilis* (McCroan, 1940), *Procambarus clarkii* (Moses, 1961) และในปู *Cancer spp.* (Langreth, 1969) การเกิด acrosomal granule ขึ้นภายในช่องว่างในเซลล์มีรายงานพบใน *Procambarus clarkii* (Moses, 1961) และ *Penaeus aztecus* (Lu, 1976)

การรวมตัวกันแน่นและการเกาะตัวอย่างหลวมๆ ของเนื้อของนิวเคลียสของ spermatid มีรายงานพบใน *Procambarus clarkii* (Moses, 1961) และ *Penaeus aztecus* (Lu, 1976) ใน *Cambarus virilis* (McCroan, 1940) และ *Cancer spp.* (Langreth, 1969) ไม่พบการรวมตัวกันแน่นของเนื้อของนิวเคลียส แต่ในระยะท้ายของการเปลี่ยนแปลงของ spermatid เนื้อของนิวเคลียสจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาพเกาะตัวกันอย่างหลวมๆ เนื้อของนิวเคลียสของเซลล์อสุจิที่แช่น้ำยาคงสภาพ glutaraldehyde อยู่ในสภาพเกาะตัวอย่างหลวมๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเซลล์อสุจิพวก decapod (Nath, 1937; Moses, 1961; Langreth, 1969; Lu, 1976; Clark et al., 1980) แตกต่างจากนิวเคลียสของเซลล์อสุจิในสัตว์ชนิดอื่นซึ่งเนื้อของนิวเคลียสอยู่ในสภาพ

รวมตัวกันแน่นเมื่อถูกแช่น้ำยาคงสภาพชนิดเดียวกัน เนื้อเยื่อที่แช่น้ำยาคงสภาพชนิด Bouin's solution นิวเคลียสของเซลล์อสุจิย้อมติดสี haematoxylin เข้ม สอดคล้องกับการรายงานของนวลจันทร์ (2537)

หางของเซลล์อสุจิของพวก decapod มีลักษณะแตกต่างจากหางของเซลล์อสุจิของสัตว์ชนิดอื่นๆ ทั้งด้านโครงสร้างและหน้าที่คือ โครงสร้างของส่วนหางของเซลล์อสุจิในพวก decapod ไม่เป็นแฟลกเจลลัม โดยพบว่าส่วนหางของเซลล์อสุจิในกุ้ง *Penaeus aztecus* (Lu, 1976) และ *Macrobrachium rosenbergii* (Lynn et al., 1983) ประกอบด้วย microfilament จำนวนมาก วางตัวขนานกับความยาวของหาง ส่วนในกุ้ง *Sicyonia ingentis* (Kleve et al., 1980) พบว่าส่วนหางของเซลล์อสุจิประกอบด้วยโครงสร้างที่ไม่มีรูปร่าง ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเม็ดหยابๆ เมื่อศึกษาจากภาพตัดขวางของหาง และไม่พบ microfilament จากลักษณะโครงสร้างของหางที่ไม่เป็นแฟลกเจลลัม หางของเซลล์อสุจิของพวก decapod จึงไม่ได้ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเซลล์อสุจิ เซลล์อสุจิจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Langreth, 1969 ; Lynn & Clark, 1983; and Lynn et al., 1983)

การยื่นของหางจากอะโครโซมเป็นอีกหนึ่งลักษณะที่แตกต่างจากเซลล์อสุจิของสัตว์ทั่วไปซึ่งพบว่าหางยื่นต่อจาก basal body หางอยู่ตรงข้ามกับอะโครโซม ลักษณะที่หางของเซลล์อสุจิของกุ้งกุลาดำยื่นต่อจากอะโครโซมสอดคล้องกับการรายงานพบในกุ้ง *Penaeus aztecus* (Lu, 1976) และ *Sicyonia ingentis* (Kleve et al., 1980) ลักษณะดังกล่าวนี้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาเกี่ยวกับการปฏิสนธิระหว่างเซลล์ไข่และเซลล์อสุจิในกุ้ง *Penaeus aztecus* (Clark et al., 1980) และใน *Sicyonia ingentis* (Clark et al., 1981) ซึ่งพบว่าหางเป็นส่วนแรกของเซลล์อสุจิที่สัมผัสกับเซลล์ไข่ หางจะสลายตัวหลังจากที่สัมผัสกับเซลล์ไข่ หลังจากนั้นผนังของอะโครโซมแตกออก เปิดให้

โครโซมัล แกรนูลซึ่งอยู่ในอะโครโซมสัมผัสกับเชื้อหุ้มเซลล์ของเซลล์ไข่โดยตรง เกิด acrosomal reaction ขึ้น จากลักษณะของหางที่ยื่นต่อจากอะโครโซมและบทบาทของหางขณะการปฏิสนธิระหว่างเซลล์ไข่และเซลล์อสุจิใน *Penaeus aztecus* และ *Sicyonia ingentis* Clark *et al.* (1980, 1981) เชื่อว่าหางของเซลล์อสุจิในพวก decapod เป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งของอะโครโซม เนื่องจากในการปฏิสนธิของสัตว์ทั่วไปเซลล์อสุจิจะใช้ส่วนที่เป็นอะโครโซมเข้าสัมผัสกับเซลล์ไข่ เอนไซม์ในอะโครโซมจะช่วยให้เซลล์อสุจิเคลื่อนผ่านเข้าไปในเซลล์ไข่เกิดการปฏิสนธิขึ้น

คำขอบคุณ

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. พิสุทธิ มังกรกาญจน์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- นวลจันทร์ จันทรสว่าง. 2537. ผลของฮอร์โมน 17-แอลฟา-เมทริลเทสโตสเตอโรนและเทสโตสเตอโรน โปรพิโอเนตต่อขบวนการสร้าง สเปิร์มของ กุ้งกุลาดำ.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Clark, W.H., Jr., J.W. Lynn, A.I.Yudin, and H.O. Persyn. 1980. Morphology of the cortical reaction in the eggs of *Penaeus aztecus*. Biol. Bull. 158:175-186
- Clark, W.H., Jr., M.G. Kleve, and A.I.Yudin. 1981. An acrosome reaction in natantian shrimp. J. Exp. Zool. 218: 279-291
- Fawcett, D.W. 1994. Bloom & Fawcett Text Book of Histology. 12th ed., Chapman & Hall, London. 964 p.
- King, J.E. 1948. A study of the reproductive organ of the common marine shrimp, *Penaeus setiferus* (Linnaeus). Biol. Bull. 94:244-262
- Kleve, M.G., A.I. Yudin, and W.H. Clark, JR. 1980. Fine structure of the unistellate sperm of the shrimp, *Sicyonia ingentis* (Natantia). Tissue & Cell. 12:29-45.
- Langreth, S.G. 1969. Spermiogenesis in Cancer crabs. J. Cell Biol. 43:573-603.
- Lu, C.S. 1976. Studies of the testicular tissue and spermatogenesis in the brown shrimp, *Penaeus aztecus* (Decapoda). Ph.D. Dissertation, U. of Houston, Houston, Texas.
- Lynn, J.W. and W. H. Clark, JR. 1983. The fine structure of the mature sperm of the fresh water prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. Biol. Bull. 164: 136-155.
- McCroan, J.E., Jr. 1940. Spermatogenesis of the crayfish, *Cambarus virilis*, with special reference to the golgi material and mitochondria. Cytologia. 11 : 136-155.
- Moses, M.J. 1961. Spermiogenesis in the crayfish (*Procambarus clarkii*). II. Description of stages. J. Biophys. Biochem. Cytol. 9 : 222.
- Nath, V. 1937. Spermatogenesis of the prawn, *Palaemon lamarrei*. J. Morphol., 61 : 149-163.