บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยุงนับเป็นแมลงที่มีความสำคัญที่สุดในบรรดาสัตว์ขาข้อที่ดูดเลือด จากการสำรวจพบว่ายุงทั่วโลกมีทั้งหมดกว่า 4,000 ชนิด ซึ่งมีหลายชนิดเป็นพาหะนำโรคที่สำคัญมาสู่คนและสัตว์ ยุงเป็นแมลงที่จัดอยู่ใน Order Diptera, Suborder Nematocera และอยู่ใน Family Culicidae สำหรับ Family Culicidae สามารถจำแนกออกเป็น 3 Subfamily คือ

1. Subfamily Culicinae ยุงในกลุ่มนี้มีมากชนิดที่สุด ยุงที่สำคัญในกลุ่มนี้ เช่นยุงใน Genus *Culex*, Genus *Aedes* และ Genus *Mansonia* เป็นต้น ยุงในกลุ่มนี้เป็นพาหะนำโรคที่สำคัญโดยเป็นพาหะที่สำคัญของ arboviruses และ filariasis เช่น ยุงลาย *Ae. aegypti* และ *Ae. albopictus* เป็นพาหะที่สำคัญในการนำโรคไข้เลือดออก ยุง *Culex quinquefasciatus* หรือยุงรำคาญนำ *Wuchereria bancrofti* ยุง *Mansonia uniformis* หรือยุงเสือนำ *Brugia malayi* เป็นต้น

2. Subfamily Anophelinae ส่วนใหญ่ยุงใน Subfamily นี้จะเป็นยุงที่จัดอยู่ใน Genus *Anopheles* หรือยุงก้นปล่อง ซึ่งเป็นยุงที่มีความสำคัญทางการแพทย์มากที่สุดกลุ่มหนึ่งเพราะเป็นพาหะนำเชื้อมาลาเรีย

3. Subfamily Toxorhynchitinae มีเพียงสกุลเดียวคือ Genus *Toxorhynchites* ได้แก่ยุงยักษ์ ซึ่งเป็นยุงที่มีขนาดใหญ่กว่ายุงธรรมดาทั่วไปตัวเต็มวัย ยุงชนิดนี้ทั้งเพศผู้และเพศเมียไม่ดูดเลือดแต่กินน้ำหวานเป็นอาหารเท่านั้น เนื่องจากลูกน้ำยุงยักษ์กินลูกน้ำยุงชนิดอื่นเป็นอาหาร ดังนั้นจึงมีการนำลูกน้ำยุงยักษ์มาใช้ในการควบคุมลูกน้ำยุงชนิดอื่น

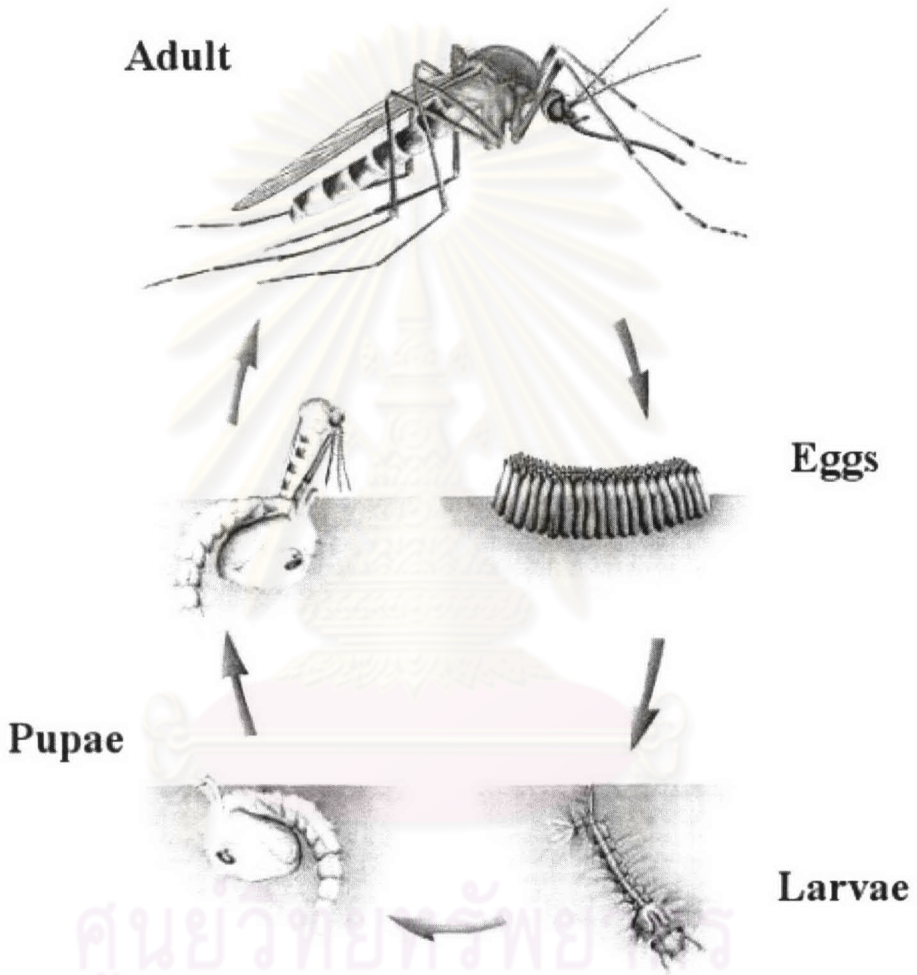
วงชีวิตและชีววิทยาของยุง

ยุงมีการเจริญเป็นแบบสมบูรณ์ (Complete metamorphosis หรือ Holometabola) โดยแบ่งการเจริญออกเป็น 4 ระยะคือ เริ่มจากระยะไข่ (egg) ระยะลูกน้ำ (larva) ระยะดักแด้หรือตัวโม่ง (pupa) และระยะตัวเต็มวัย (adult) (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 วงชีวิตของยุง

การเจริญของยุงโดยทั่งไปแบ่งเป็น 4 ระยะ คือ เริ่มจากระยะไข่ใช้เวลาประมาณ 2-4 วัน จึงฟักตัวออกเป็นลูกน้ำ ระยะลูกน้ำใช้เวลาประมาณ 1-3 สัปดาห์จึงเข้าสู่ระยะดักแด้ จากระยะนี้ใช้เวลาเพียง 1-3 วัน ก็เข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะไข่ (egg) ไข่ของยุงแต่ละชนิดมีขนาดและลักษณะไม่เหมือนกัน จากลักษณะการวางไข่อาจบอกชนิดของกลุ่มยุงได้ ยุงบางชนิดวางไข่ทีละฟองตามขอบเหนือระดับน้ำ เช่น ยุงลาย (*Aedes*) ยุงบางชนิดวางไข่ทีละฟองบนผิวน้ำ เช่น ยุงก้นปล่อง (*Anopheles*) และยุงบางชนิดวางไข่เป็นแพ (raft) บนผิวน้ำ เช่นยุงรำคาญ (*Culex*) หรือวางไข่เป็นกลุ่มคล้ายดอกไม้ (Cluster) เช่น ยุงเสือ (*Mansonia*) ซึ่งมีจำนวนไข่ประมาณ 50-150 ฟองในแต่ละครั้ง การวางไข่ของยุงในแต่ละครั้งจะมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดและชนิดของยุงและชนิดและปริมาณของเลือดที่ยุงกินเข้าไป ตลอดชีวิตของยุงเพศเมียวางไข่ได้หลายครั้งซึ่งการวางไข่มักจะเกิดขึ้นหลังจากยุงดูดกินเลือดแล้ว ระยะไข่ใช้เวลา 2-4 วันจึงฟักตัวออกเป็นลูกน้ำ ยุงบางชนิดไข่สามารถอยู่ในสภาพแห้งแล้งได้เป็นปีและเมื่อมีน้ำก็จะฟักออกเป็นลูกน้ำ เช่นไข่ของยุงลายบ้านสามารถทนแล้งได้นานกว่า 6 เดือน แหล่งวางไข่ของยุงแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เช่น ยุงลายชอบวางไข่ในภาชนะที่มีน้ำขังซึ่งอาจเป็นภาชนะที่เกิดตามธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้น ส่วนยุงรำคาญชอบวางไข่ในแหล่งน้ำสกปรก ส่วนยุงก้นปล่องจะชอบวางไข่ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติซึ่งอาจเป็นน้ำจืด น้ำกร่อย หรือน้ำเค็ม ขึ้นอยู่กับชนิดของยุงก้นปล่อง

ระยะลูกน้ำ (larva) เป็นระยะตัวอ่อนหรือลูกน้ำของยุงซึ่งต้องอาศัยอยู่ในน้ำ ลูกน้ำยุงมีการเจริญเป็น 4 ระยะ ซึ่งในแต่ละระยะของลูกน้ำจะมีการลอกคราบ (molt) ลูกน้ำยุงจะลอกคราบ 4 ครั้งจึงเข้าสู่ระยะดักแด้ การเจริญจากลูกน้ำเป็นดักแด้ใช้เวลาประมาณ 1-3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ น้ำ อาหาร ความหนาแน่นและชนิดของลูกน้ำยุง ลูกน้ำยุงส่วนใหญ่ลอยตัวขึ้นมาหายใจบนผิวน้ำโดยมีท่อสำหรับหายใจเรียกว่า siphon เช่น ลูกน้ำยุงรำคาญ แต่ลูกน้ำยุงบางชนิดไม่มีท่อหายใจแต่จะวางตัวขนานกับผิวน้ำและหายใจผ่านทางรูหายใจ (spiracle) ซึ่งพบได้ในลูกน้ำยุงก้นปล่อง ลูกน้ำยุงบางชนิดใช้ท่อหายใจที่สั้นและปลายแหลมเจาะพวกพืชน้ำและหายใจเอาออกซิเจนผ่านรากของพืชน้ำ เช่นลูกน้ำยุงเสือ อาหารของลูกน้ำจะเป็นพวกเชื้อจุลินทรีย์ พืชหรือสัตว์ที่มีขนาดเล็ก หรืออาจเป็นเศษอาหารในน้ำนั่นเอง ลูกน้ำของยุงแต่ละชนิดค่อนข้างจะมีลักษณะเฉพาะทำให้สามารถนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของยุงได้

ระยะดักแด้หรือตัวโม่ง (pupa) ตัวโม่งมีรูปร่างแตกต่างไปจากลูกน้ำอย่างชัดเจน โดยตัวโม่งจะมีส่วนหัวซึ่งเชื่อมต่อกับส่วนอกที่เรียกว่า cephalothorax ระยะนี้ไม่กินอาหารแต่สามารถเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว ตัวโม่งมีท่อหายใจคู่หนึ่งอยู่ที่บริเวณส่วนหัวซึ่งทำหน้าที่อย่างเดียวกับท่อหายใจของลูกน้ำ ระยะนี้ใช้เวลาเพียง 1-3 วัน จึงเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย

ระยะตัวเต็มวัย (adult) ตัวเต็มวัยจะเอาส่วนหัวออกจากรอยแตกบนด้านหลังของดักแด้หรือตัวโม่ง ซึ่งใช้เวลาเพียง 2-3 ชั่วโมงในการออกจากตัวโม่ง หลังจากออกจากตัวโม่งยุงจะพักตัวชั่วครู่เพื่อให้ปีกแห้งแล้วยุงจึงบินได้ ยุงตัวเต็มวัยจะมีขนาดประมาณ 3-6 มม. ลำตัวแข็งแต่เปราะ ยุงสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนชัดเจนคือ ส่วนหัว (head) ส่วนอก (thorax) และส่วนท้อง (abdomen) (รูปที่ 2)

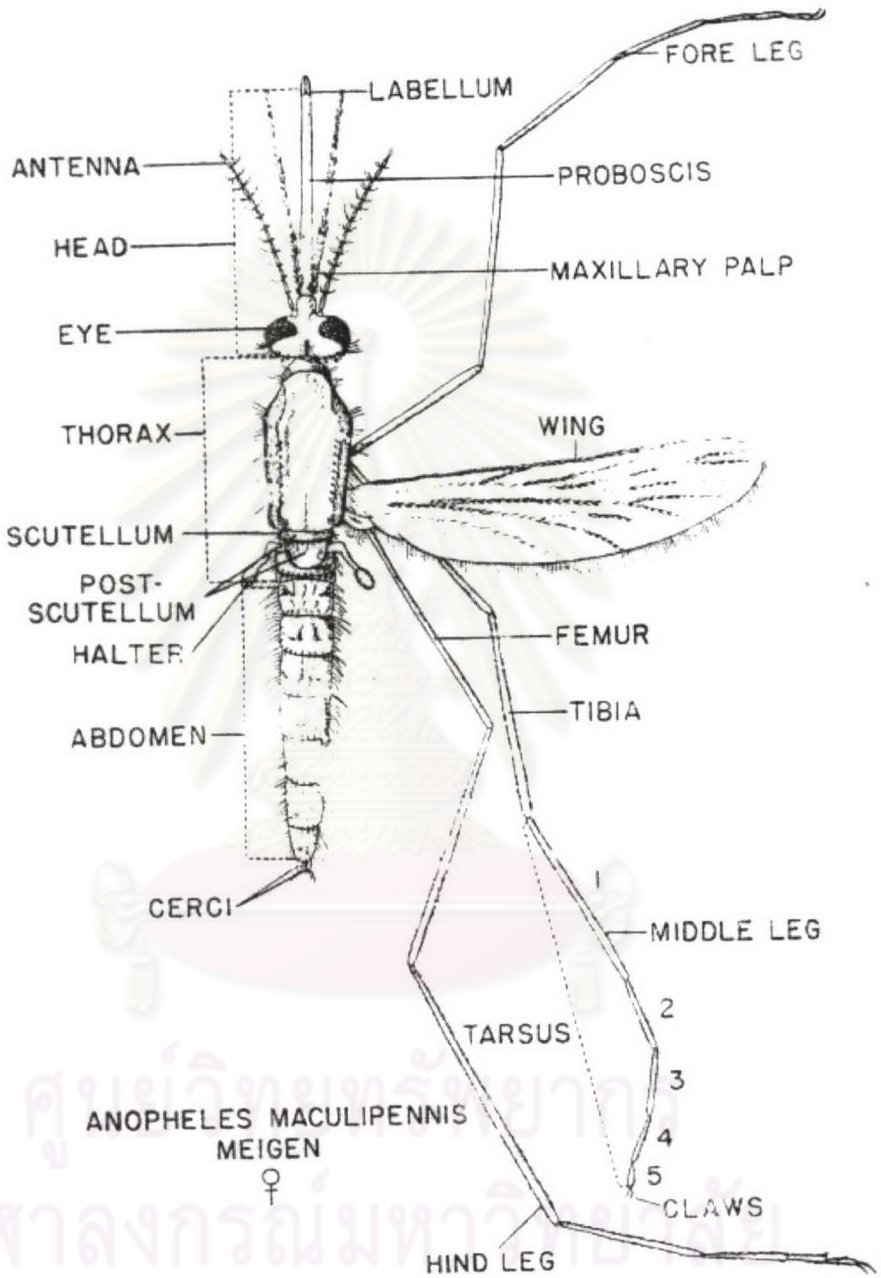
1. ส่วนหัว หัวของยุงมีขนาดเล็กมีลักษณะกลมเชื่อมติดกับส่วนอก มีตา 1 คู่ ซึ่งเป็นตาประกอบ (compound eyes) มีหนวด (antenna) 1 คู่ ยาว 14-15 ปล้อง มีขนระหว่างรอยต่อของปล้องหนวด หนวดของยุงสามารถใช้จำแนกเพศของยุงได้ ถ้าเป็นเพศผู้ขนเหล่านี้จะยาวและหนาแน่นดูคล้ายพู่ขนนกเรียกว่า plumose antenna ส่วนในเพศเมียขนเหล่านี้จะสั้นและไม่หนาแน่นเรียกว่า pilose antenna หนวดของยุงเป็นอวัยวะที่ใช้ในการรับรู้ถึงความชื้นของอากาศ กลิ่น และคลื่นเสียง โดยยุงเพศผู้จะอาศัยขนเหล่านี้รับคลื่นเสียงที่เกิดจากการขยับปีกบินของยุงเพศเมีย ยุงมีปากแบบเจาะดูด (proboscis) 1 อัน ยาวเรียวคล้ายเข็มเหมาะสำหรับแทงดูดอาหารที่เป็นของเหลวโดยเฉพาะเลือด ยุงมีระยางค์ปาก (palpi) 1 คู่ แบ่งเป็น 4-5 ปล้องติดอยู่กับ proboscis

2. ส่วนอก อกของยุงแบ่งเป็น 3 ปล้องที่อกปล้องแรกของยุงมีปีก 1 คู่ ปีกยุงมีลักษณะแคบและยาว มีลายเส้นปีก (veins) และมีเกล็ด (scale) เล็กๆ บนเส้นปีก ขอบหลังของปีกเป็นครุย (fringe) และมี haltere ซึ่งเดิมเป็นปีกคู่หลังที่ลดรูปทำหน้าที่ในการทรงตัวขณะบินอยู่ที่อกปล้องที่ 3 ด้านบนของอก (mesonotum) ปกคลุมด้วยขนหยาบๆ และเกล็ด ซึ่งมีสีและลวดลายต่างๆ กัน ซึ่งเราใช้ลวดลายนี้สำหรับแยกชนิดยุงได้ ด้านข้างของอกมีเกล็ดและกลุ่มขนซึ่งใช้แยกชนิดของยุงได้เช่นกัน ด้านล่างอกแต่ละปล้องประกอบด้วยขา1 คู่ ซึ่งขาของยุงสามารถแบ่งเป็น 5 ปล้องโดยที่ปล้องสุดท้ายมีลักษณะคล้ายตะขอ 1 คู่ เรียกว่า claws ขาของยุงมีเกล็ดสีต่างๆ สามารถนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของยุงได้

3. ส่วนท้อง มีลักษณะเรียวยาว แบ่งเป็น 10 ปล้อง แต่เห็นชัดเพียง 8 ปล้อง เนื่องจาก 2 ปล้องสุดท้ายจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นอวัยวะสืบพันธุ์ ในยุงเพศผู้จะใช้ส่วนนี้ช่วยในการจำแนกชนิดของยุงได้

รูปที่ 2 ภาพวาดแสดงลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของยุง *Anopheles* ตัวเต็มวัยเพศเมีย[11]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ANOPHELES MACULIPENNIS
MEIGEN
♀

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แหล่งเพาะพันธุ์

โดยทั่วไปแหล่งเพาะพันธุ์ยุงคือน้ำ ยุงสามารถวางไข่ในแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งในน้ำนิ่งใส สะอาดหรือน้ำไหล ในน้ำกร่อย น้ำเค็ม และน้ำที่เน่าเหม็น นอกจากนี้มันยังสามารถวางไข่ในวัสดุใดก็ตามที่มีน้ำขังอยู่ เช่น กระป๋อง ยางรถยนต์ แม้กระทั่งรอยเท้าสัตว์หรือรอยเท้าคนที่มีน้ำขังอยู่ และรวมทั้งน้ำที่ขังตามโพรงไม้ ดอกไม้ ใบไม้ ต้นไม้ต่างๆ ดังนั้นเราจึงสามารถพบยุงได้ในทุกๆ ที่ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ยุงชอบวางไข่ในที่ไม่เหมือนกันนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางสรรีรวิทยาของลูกน้ำยุงซึ่งมักจะสัมพันธ์กับชนิดของอาหารที่มีอยู่ในน้ำ ความเป็นกรด ด่างของน้ำ ความเข้มข้นของออกซิเจนและสิ่งที่ละลายอยู่ในน้ำ กลิ่นที่พบปะปนอยู่ในแหล่งน้ำซึ่งกลิ่นบางอย่างอาจจะดึงดูดให้ยุงเพศเมียบางชนิดวางไข่ สารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ปริมาณและคุณภาพของอาหาร เป็นต้น

อาหาร

ยุงตัวเต็มวัยทั่วไปทั้ง 2 เพศจะกินน้ำหวาน น้ำหวานจากเกสรดอกไม้ก็สามารถช่วยให้ยุงดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่ส่วนใหญ่ยุงตัวเมียต้องกินเลือดเป็นอาหารด้วย เนื่องจากโปรตีนในเลือดมีความสำคัญในการสร้างไข่และใช้เป็นพลังงาน มียุงบางกลุ่มโดยเฉพาะในกลุ่ม Toxorhynchites ซึ่งเป็นยุงที่มีงวงปากงอทั้ง 2 เพศทำให้ไม่สามารถเจาะแทงผิวหนังได้ ฉะนั้นยุงกลุ่มนี้จึงอาศัยน้ำหวานเป็นอาหารอย่างเดียว ยุงตัวเมียเท่านั้นที่กัดคนและสัตว์ ยุงที่ต้องการโปรตีนจากเลือดในการเจริญของไข่เรียก anautogeny ยุงบางพวกไข่จะสุกได้โดยใช้อาหารที่สะสมไว้ในตัวโดยสามารถสร้างไข่รุ่นแรกโดยไม่ต้องกินเลือดเรียก autogeny เช่นยุง *Aedes togoi*, *Culex molestus* ปริมาณของอาหารที่ยุงสามารถกินเข้าไปได้นั้นค่อนข้างจะแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของยุง ปกติแล้วในส่วน crop จะใช้เก็บอาหารประเภทน้ำหวาน ยุงสามารถกินเลือดได้มากกว่าน้ำหนักตัวของมันเอง เช่น ยุง *Anopheles albimanus* สามารถกินเลือดได้ประมาณ 2.58 มิลลิกรัม ซึ่งคิดเป็น 2 เท่าของน้ำหนักตัวยุงก่อนที่จะกินเลือด อย่างไรก็ตามในขณะที่ยุงกำลังกินเลือดหรือหลังที่มันกินเลือดอิ่มจะมีน้ำใสๆ ขับถ่ายออกมาจากรูทวารหนัก (anus) ของยุงทำให้น้ำหนักที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริงไปบ้าง

การย่อยอาหารของยุง

อาหารพวกคาร์โบไฮเดรทจะถูกย่อยอยู่ในส่วน diverticula ส่วนอาหารประเภทโปรตีนจะผ่านลงไปและถูกย่อยในส่วนของ midgut ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเอ็นไซม์ที่มีอยู่ในแต่ละส่วนของตัวยุง จากการตรวจหาเอนไซม์ต่างๆ เช่น protease, lipase และ amylase ไม่พบในน้ำลายของยุงตัวเมียชนิด *Anopheles quadrimaculatus* หรือไม่พบเอนไซม์ protease และ invertase ใน

ต่อมน้ำลายยุง *Aedes aegypti* แต่พบเอนไซม์ในส่วนของ midgut ของยุง *Ae. aegypti* ยุงบางชนิดมีเอนไซม์ carbohydrase ในส่วน diverticula และ midgut ของยุงตัวเมีย แต่เนื่องจากในส่วน diverticula ไม่มีเซลล์บุเยื่อผิวที่ขับปล่อยเอนไซม์ carbohydrase จึงทำให้เข้าใจว่าเอนไซม์นี้ถูกขับมาจากที่อื่น จากความรู้นี้เองทำให้เราเข้าใจถึงบทบาทและความสำคัญของยุงแต่ละชนิดในการทำหน้าที่เป็นพาหะนำโรคบางชนิด โดยเฉพาะโรคที่มีไวรัสเป็นต้นเหตุ ในการศึกษาทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของยุงแต่ละชนิดว่าชนิดไหนสามารถทำหน้าที่เป็นพาหะนำโรคได้ โดยทดลองให้ยุงชนิดนั้นๆกินไวรัสเข้าไป เพื่อดูว่าไวรัสนั้นๆ สามารถเข้าไปเจริญเพิ่มจำนวนในตัวยุงแล้วยุงนั้นสามารถปล่อยไวรัสเข้าสู่โฮสต์ใหม่ได้ในขณะดูดกินเลือด ซึ่งเป็นกฎในการพิสูจน์ว่ายุงนั้นเป็นพาหะนำโรคได้และแพร่เชื้อแบบ biological transmission

การออกหาอาหารของยุง

ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมพฤติกรรมการออกหากิน (mosquito activity) ของยุงคือจังหวะหรือระยะของ circadian ภายในตัวยุง (endogenous circadian rhythms) ซึ่งทำหน้าที่คล้ายนาฬิกาทางสรีรวิทยาควบคุมการทำงานภายในร่างกายยุงและจังหวะนี้จะถูกกระตุ้นด้วยสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงของแสงจากกลางวันเป็นกลางคืน เป็นต้น ในช่วงเวลานี้ยุงตัวเมียจะออกหากินเลือดในอัตราที่สูงที่สุด (high peak) ถ้าหากมีอาหารหรือโฮสต์จะกัดกินเลือดทันที ส่วนยุงเพศผู้ก็จะออกบินจับกลุ่ม (swarming) เพื่อรอผสมพันธุ์

แหล่งเลือดเป็นปัจจัยสำคัญที่จะบ่งชี้ว่ายุงชนิดนั้นจะเป็นพาหะของโรคได้หรือไม่ ชนิดของโฮสต์ที่ยุงแต่ละชนิดชอบ (host preference) ก็แตกต่างกัน ยุงบางชนิดชอบกินเลือดคน (anthropophilic) และบางชนิดชอบกินเลือดสัตว์ (zoophilic) เช่น นก สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ สัตว์เลื้อยคลาน เป็นต้น ความร้อนที่เกิดจากร่างกายก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถทำให้ยุงเข้าหาโฮสต์ในระยะทางสั้นๆ ได้

ช่วงเวลาออกหากินของยุงแต่ละชนิดก็แตกต่างกัน แต่ช่วงระยะเวลาจะเกิดสม่ำเสมอไป เช่น ยุงลาย *Ae. aegypti* และ *Ae. albopictus* ชอบออกหากินในเวลากลางวัน ยุง *Anopheles dirus* ชอบออกหากินในเวลากลางคืน เวลา 21.00-3.00 น. ยุง *Anopheles maculatus* ชอบออกหากินเวลา 18.00-2.00 น. ส่วนยุงรำคาญชอบหากินในเวลากลางคืน ยุงแม่ไก่ชอบชอบหากินตอนพลบค่ำและย่ำรุ่ง และยุง *Anopheles minimus* ชอบออกหากินตลอดทั้งคืน เป็นต้น

การบิน

ความสามารถในการบินในระยะทางไกลๆ ของยุงแตกต่างกัน แล้วแต่ชนิดของยุง ยุงบางชนิดก็สามารถบินได้ไกล เช่นยุงบางชนิดที่เป็นพาหะของโรคไข้เหลืองในอเมริกาใต้สามารถเคลื่อนย้ายไปได้ไกลถึง 4-6 ไมล์ ยุงน้ำเค็มบางชนิดอาจบินได้ไกลถึง 30-40 ไมล์ แต่ก็มียุงหลายชนิดบินไม่ค่อยเก่ง มักจะบินไม่ห่างจากที่มันเพาะพันธุ์ เช่น ยุงลายบ้าน *Ae. aegypti*

การผสมพันธุ์

ยุงตัวผู้ลอกคราบก่อนยุงตัวเมียและจะอาศัยอยู่ใกล้ๆ แหล่งเพาะพันธุ์ เมื่อยุงตัวเมียออกมาจากตัวโม่งได้ 1-2 วัน จึงจะเริ่มผสมพันธุ์กัน หลังจากผสมพันธุ์แล้วยุงตัวเมียจะออกหาแหล่งเลือด แต่ยุงบางชนิดต้องการเลือดก่อนการผสมพันธุ์ เช่น *Anopheles culicifacies* ยุงก้นปล่องจะมีพฤติกรรมการบินว่อนเป็นกลุ่มเพื่อการจับคู่ผสมพันธุ์ เรียกว่า swarming ซึ่งมักเกิดขึ้นตอนพระอาทิตย์กำลังตก ส่วนยุงลายจะจับคู่ผสมพันธุ์โดยไม่ต้องมีการรวมกลุ่ม โดยยุงเพศผู้จะตอบสนองต่อเสียงกระพือปีกของยุงเพศเมีย

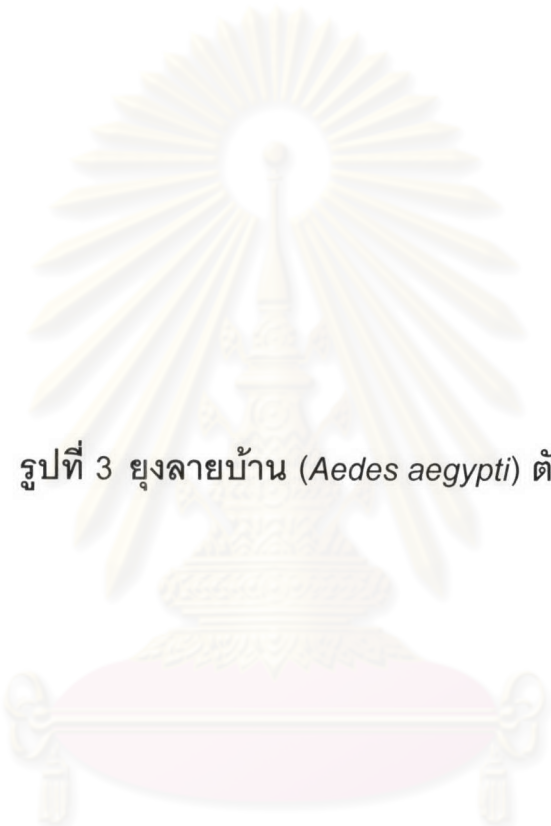
อายุของยุง

ยุงตัวผู้มักมีอายุสั้นกว่ายุงตัวเมีย โดยยุงตัวผู้จะมีอายุประมาณ 1 สัปดาห์ ยกเว้นในกรณีที่เลี้ยงด้วยอาหารสมบูรณ์และมีความชื้นสูงจะมีอายุอยู่ได้เป็นเดือน ส่วนยุงตัวเมียมีอายุประมาณ 1-5 เดือน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น และอาหาร

ยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti*) (รูปที่ 3)

จัดอยู่ใน Subgenus Stegomygia Genus *Aedes* เป็นยุงที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอาฟริกา ต่อมาได้มีการแพร่กระจายไปยังทวีปอื่นๆ โดยติดมาทางเรือบรรทุกสินค้าและเครื่องบิน (รูปที่ 4) ยุงลายมีการกระจายอย่างกว้างขวางในเขตละติจูดที่ 40 องศาเหนือ และ 40 องศาใต้ เป็นยุงที่มีความไวสูงต่ออุณหภูมิ ไม่สามารถเจริญได้ในภูมิอากาศร้อนและแห้ง ในประเทศไทยเริ่มมีรายงานสำรวจพบยุงลายบ้านครั้งแรกเมื่อปีพ.ศ. 2450[12]

ยุงลายบ้านชอบอาศัยอยู่ในบ้านหรือบริเวณรอบๆ บ้าน แหล่งเพาะพันธุ์ของยุงลาย ได้แก่ ภาชนะน้ำขังที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ตุ่มน้ำ บ่อคอนกรีตในห้องน้ำ จานรองขาตู้กันมด ยางรถยนต์เก่าๆ กระป๋อง และแจกัน เป็นต้น ยุงชนิดนี้มักจะจะวางไข่เป็นฟองเดี่ยวๆ บริเวณข้างผนังด้านในของภาชนะเหนือระดับน้ำที่ขึ้น ไข่ที่ออกมาใหม่มีสีขาว อ่อนนุ่ม ระยะนี้ถ้าไม่มีความชื้นตัวอ่อน



รูปที่ 3 ยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti*) ตัวเต็มวัย

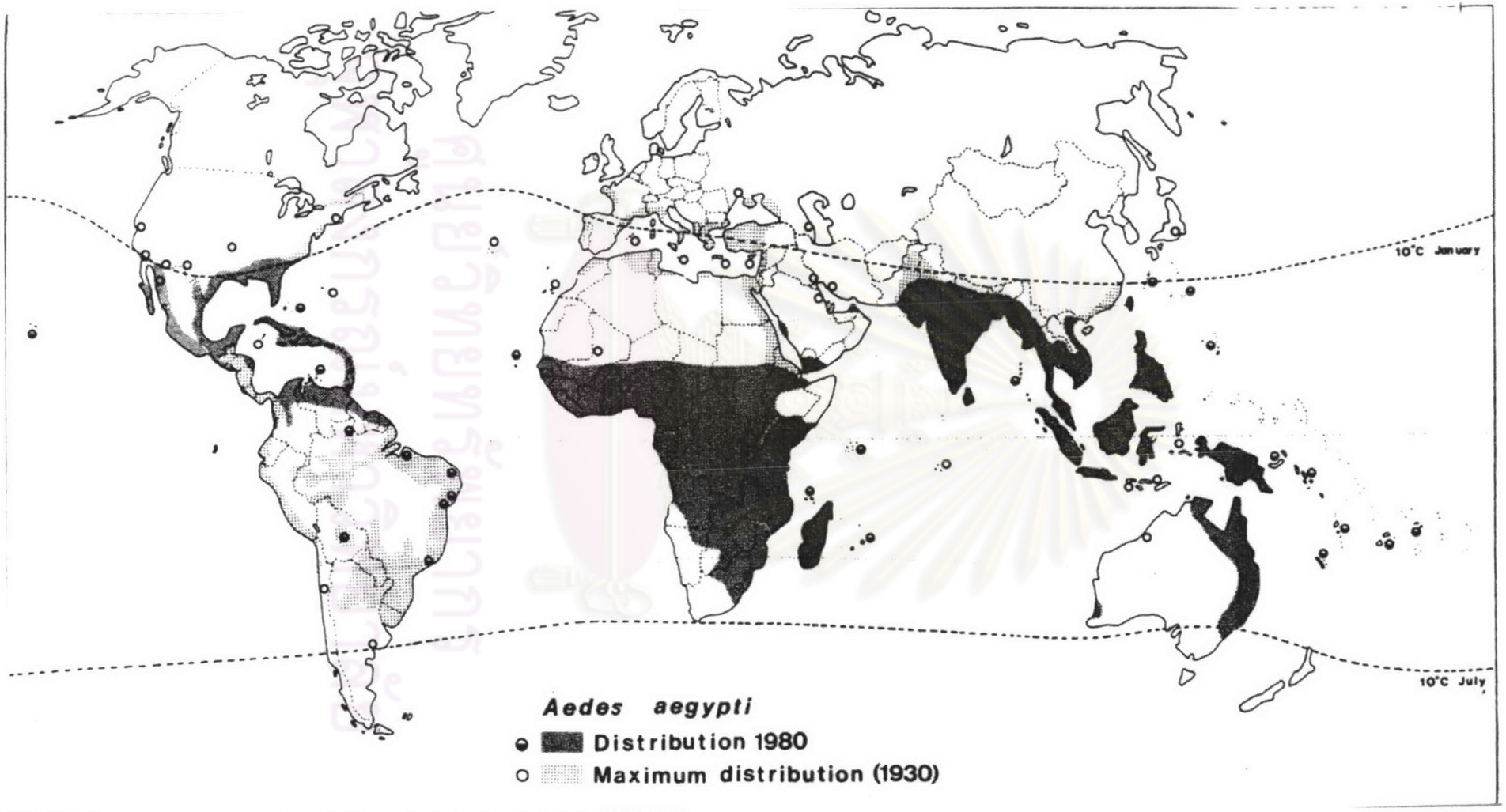
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4 แผนที่การแพร่กระจายของยุงลายบ้าน

บริเวณแรเงาแสดงการแพร่กระจายไปทั่วโลกของยุงลายบ้านซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจากปี 1930 จนถึงปี 1980

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


10°C January
10°C July
Aedes aegypti
Distribution 1980
Maximum distribution (1930)

ภายในไข่จะตาย และจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีดำและเปลือกแข็งขึ้นภายใน 12-24 ชั่วโมง ไข่ระยะนี้จะดูดความชื้นเข้าไปเรื่อยๆทำให้มีขนาดใหญ่กว่าไข่ที่ออกมาใหม่ๆ ตัวอ่อนภายในไข่จะเจริญเต็มที่ภายใน 72 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อถึงระยะนี้แล้วไข่สามารถอยู่ในที่แห้งได้นานเป็นปี เมื่อระดับน้ำท่วมถึงไข่ ไข่ยุงจึงฟักตัวออกมาเป็นลูกน้ำ ระยะฟักตัวในไข่ประมาณ 2.5-3.5 วัน ระยะลูกน้ำใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตประมาณ 7-10 วัน ลอกคราบครั้งสุดท้ายกลายเป็นตัวโม่งหรือดักแด้ชอบลอยติดกับผิวน้ำใช้เวลา 1-2 วัน จึงลอกคราบออกเป็นตัวเต็มวัย ตัวเต็มวัยมีแถบสีเงิน-ขาว (silvery-white) หรือเหลืองขาว (yellowish-whites) บริเวณใกล้ด้านหลังอกด้านบนมีลายคล้ายพิณ (lyre like) เส้นขาวนอก 2 เส้นโค้ง เส้นขาวในขนานกัน 2 เส้นเหมือนสายพิณ (รูปที่ 5) ขามีปล้องขาว ขาหลังปลายสุดปล้องมีสีขาวทั้งหมด หัวมีเกล็ดกว้างแบนราบ มีเกล็ดเป็นส้อมตั้ง 1 แถวเท่านั้น ลักษณะตัวเต็มวัยเพศเมียมีค่อนข้างเล็ก สีดำ มีลายสีขาว และขามีลายขาว-ดำ (bandedlegs) proboscis สีดำทั้งหมดส่วน palps จะมีสีขาวที่ปลาย ระยะตัวเต็มวัยเริ่มผสมพันธุ์เมื่ออายุประมาณ 24 ชั่วโมง ตัวเมียผสมพันธุ์เพียงครั้งเดียว แต่วางไข่ได้หลายครั้ง ส่วนตัวผู้ผสมพันธุ์ได้หลายสิบครั้งใน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นยุงตัวเมียจะออกกินเลือด ยุงลายชอบกินเลือดคนและหากินในเวลากลางวัน แหล่งเกาะพักของยุงลายได้แก่บริเวณที่มืดอับลมในห้องน้ำในบ้าน หลังจากกินเลือด 2-3 วัน ยุงลายเพศเมียจะวางไข่ซึ่งมักจะวางไข่ในที่ร่ม ในน้ำที่มีใบไม้ร่วงลงไปและมีสีน้ำตาลจะกระตุ้นการวางไข่ของยุงลายได้ดี แต่ยุงลายไม่ชอบน้ำที่มีกลิ่นเหม็น

ยุงลายบ้านเป็นยุงพาหะที่นำโรคไข้เลือดออก (Dengue fever and Dengue hemorrhagic fever) โดยเป็นยุงพาหะหลักของไข้เลือดออกในประเทศไทย นอกจากนี้ยังเป็นพาหะของไข้เหลือง (Yellow fever) และชิคุนกุนยา (Chikungunya)

ยุงลายสวน (*Aedes albopictus*) (รูปที่ 6)

จัดอยู่ใน Subgenus Stegomygia Genus *Aedes* ยุงลายสวนมีถิ่นกำเนิดในเอเชีย ตัวเต็มวัยมีลักษณะคล้ายยุงลายบ้าน *Ae.aegypti* มาก ต่างกันตรงที่มีเกล็ดขนสีขาวพาดอยู่ด้านหลังของทรวงอก เรียงเป็นเส้นเดียว (รูปที่ 5) ลักษณะนิสัยความเป็นอยู่จะคล้ายกับยุงลายบ้านมาก คือจะอาศัยหรืออยู่ใกล้ๆ ที่อยู่อาศัยของคน พบในชนบทนอกเมืองใหญ่ ลูกน้ำมักจะพบปะปนกับยุงลายบ้านในแหล่งน้ำรอบบ้านโดยเฉพาะในเขตชนบทจะพบในบริเวณบ้านด้วย การหากินเลือดจะหากินทั้งในและนอกที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำที่ใช้เพาะพันธุ์มักจะเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ ในสวนผลไม้ สวนยาง อุทยานแห่งชาติต่างๆ เช่น โพรงไม้ กระบอกไม้ไผ่ ลูกมะพร้าว หรือเป็นแหล่งน้ำที่เกิด

รูปที่ 5 ลักษณะภายนอกที่แตกต่างกันของยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti*) ตัวเต็มวัย และยุงลายสวน (*Aedes aegypti*) ตัวเต็มวัย

ยุงลายบ้าน (ซ้าย) บริเวณด้านหลังอกด้านบนมีลายคล้ายพิณ (lyre like) คือเป็นเส้นขาวนอก 2 เส้นโค้ง เส้นขาวในขนานกัน 2 เส้นเหมือนสายพิณ

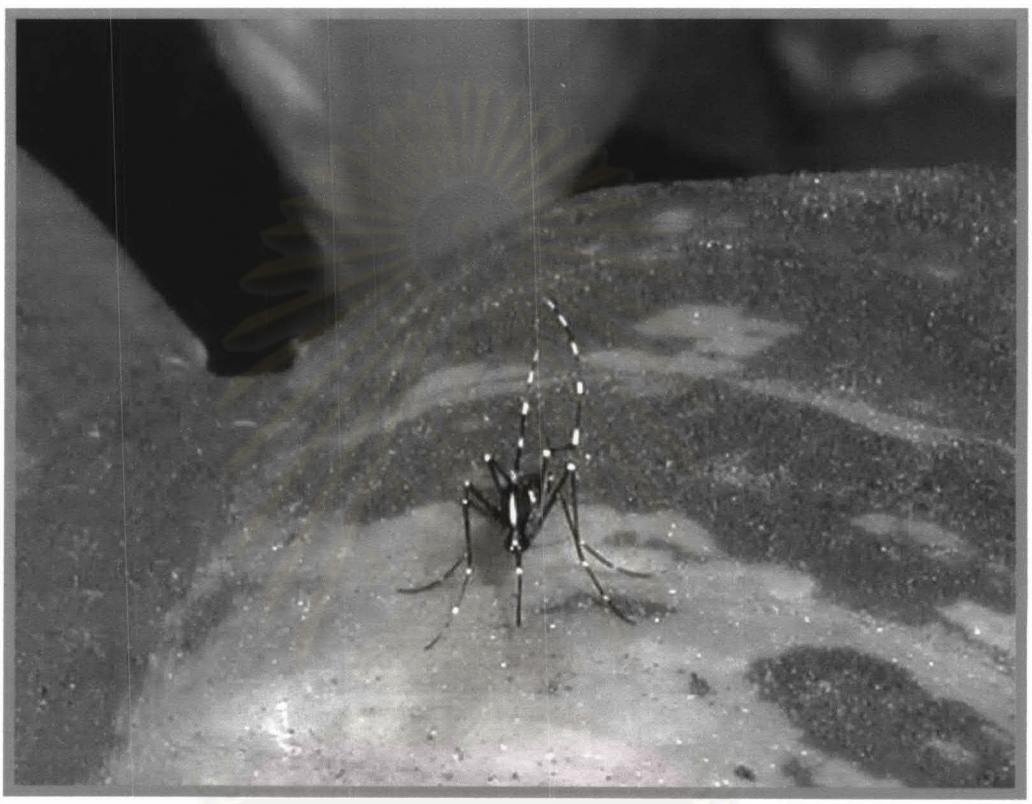
ยุงลายสวน (ขวา) บริเวณด้านหลังอกด้านบนมีเกล็ดขนสีขาวพาดอยู่ เรียงเป็นเส้นเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6 ยุงลายสวน (*Aedes albopictus*) ตัวเต็มวัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการกระทำของมนุษย์ เช่น กะลามะพร้าว กระป๋องใส่อาหาร ยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เป็นต้น ยุงลายสวนบินได้ไกลกว่ายุงลายบ้าน

ยุงลายชนิดนี้มีบทบาทสำคัญพอๆ กับยุงลายบ้าน โดยเป็นพาหะนำเชื้อไข้เลือดออกได้เช่นเดียวกัน มีประโยชน์ในการศึกษาวิจัยโดยสามารถใช้เพาะเลี้ยงไวรัสกลุ่มที่เจริญเพิ่มจำนวนในยุงหรือแมลงได้ดีเช่นเดียวกับยุงลายบ้าน

ยุงแม่ไก่ (*Armigeres subalbatus*)

จัดอยู่ใน Genus *Armigeres* ยุงชนิดนี้ตัวเต็มวัยมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ลำตัวมีลายสีขาวสลับดำคล้ายยุงลาย *Aedes* อาศัยอยู่ตามป่าหญ้า เวลามีคนหรือสัตว์เข้าไปรบกวนยุงชนิดนี้จะออกมาตามไล่เกาะกินเลือด เนื่องจากตัวมีขนาดใหญ่จึงทำให้รู้สึกเจ็บเวลาถูกกัด ยุงชนิดนี้มักออกหากินตอนรุ่งเช้าและตอนพลบค่ำ ตัวเมียจะวางไข่เป็นกลุ่มๆเหนือระดับน้ำในแหล่งน้ำที่ค่อนข้างสกปรก เช่นตามท่อระบายน้ำที่เน่าเสีย ตามท่อระบายน้ำรอบๆ คอกสัตว์ ในกะลามะพร้าวทั้งเปลือก ไข่จะฟักตัวใน 2-5 วัน เป็นตัวอ่อนในน้ำ จากนั้นจะกลายเป็น pupa ภายใน 7-12 วัน และลอกคราบเป็นตัวเต็มวัยเมื่อ pupa อายุประมาณ 2-4 วัน ที่อุณหภูมิ 27^{o}C ความชื้น 60-80 % เมื่อยุงตัวเมียอายุ 4-6 วันจะกินเลือดและต่อมา 4-6 วันจะวางไข่ ยุงตัวผู้มีชีวิตประมาณ 2 สัปดาห์ ตัวเมียอายุประมาณ 4 สัปดาห์

ความสำคัญทางการสาธารณสุขของยุงชนิดนี้คือ ยุงชนิดนี้เป็นพาหะนำเชื้อ *Dirofilaria immitis* ซึ่งเป็นพยาธิในสุนัข

โครงสร้างและองค์ประกอบของต่อมน้ำลายยุง

ยุงตัวเต็มวัยมีต่อมน้ำลาย 1 คู่ อยู่บริเวณส่วนอก ต่อมน้ำลายแต่ละต่อมประกอบด้วย 3 กลีบ (lobes) คือ 2 กลีบด้านข้าง (lateral lobes) และ 1 กลีบกลาง (medial lobe) เชื่อมต่อกันโดยท่อน้ำลายหลัก (main salivary duct) (รูปที่ 7A) ต่อมน้ำลายมีลักษณะเป็นหลอดหรือท่อที่ประกอบด้วย secretory epithelium cell วางเรียงตัวกัน ท่อน้ำลาย (salivary duct) ของยุงในตระกูล *Aedes* [13] และตระกูล *Culex* [14] จะเป็นเส้นที่ประกอบด้วย cuticle ขยายไปตลอดความยาวของต่อม แต่ในยุงตระกูล *Anopheles* [15] จะมี cuticle เฉพาะส่วนต้นของท่อเท่านั้น ซึ่ง cuticle ที่ท่อน้ำลายนี้เชื่อว่าเป็นตัวขวางกั้นการถ่ายทอดของเชื้อโรคได้ ท่อน้ำลายนี้จะต่อจากต่อมน้ำลายไปตามส่วนหัวของยุงตามความยาว ส่วนปลายของท่อที่เล็กและบางนี้จะประกอบเป็นโครงสร้างของ proboscis

ต่อมน้ำลายของ *Ae. aegypti* ตัวเต็มวัยจะเห็นเป็น 3 กลีบ เซลล์ในแต่ละกลีบจัดเรียงตัวเป็นเซลล์ชั้นเดียว (single-layer epithelium) ที่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างพื้นผิวส่วนต้นและส่วนปลายของกลีบ[16,17] บริเวณปลายสุดของต่อมน้ำลายส่วนต้นของกลีบจะเป็น basement membrane ที่สามารถแยกจาก membranes ของอวัยวะอื่นในยุง คือบริเวณนี้จะเกี่ยวพันอย่างเฉพาะกับ lectin, RCA 120 ซึ่งจะผลิต apyrase[18]

สารที่สังเคราะห์จากเซลล์ของต่อมจะถูกปล่อยอยู่ในต่อมน้ำลาย และเคลื่อนเข้าไปในท่อน้ำลายในแต่ละกลีบ ต่อมน้ำลายของยุง *Ae. aegypti* ตัวเต็มวัยเพศผู้ประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 0.1 – 0.2 μg ซึ่งเป็นจำนวนประมาณ 10 % ของที่พบในต่อมของยุงเพศเมีย (J. Argentine and A.A. James, unpublished data) secretory epithelium ใน ต่อมน้ำลายของยุงเพศผู้ ประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายกัน จากการวิเคราะห์ทาง morphological และ histochemical ของต่อมน้ำลายยุงเพศผู้ พบว่าเซลล์โดยส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการสังเคราะห์โปรตีนที่เหมือนกัน[16,19] (รูปที่ 7C)

สำหรับต่อมน้ำลายของยุงเพศเมีย จะมีความแตกต่างในชนิดของเซลล์และโครงสร้างในแต่ละกลีบ เมื่อเปรียบเทียบกับต่อมน้ำลายของยุงเพศผู้ แต่ละต่อมประกอบด้วย 2 กลีบด้านข้าง (lateral lobes) ที่เหมือนกัน และ 1 กลีบกลาง (medial lobe) ที่สั้นและกว้างกว่า สำหรับกลีบด้านข้างสามารถแบ่งเป็น 2 บริเวณที่แตกต่างกัน คือ บริเวณส่วนต้น (proximal) และบริเวณส่วนปลาย (distal) (รูปที่ 7B)

บริเวณส่วนต้นของกลีบด้านข้าง (proximal lateral lobes) ของยุงเพศเมียประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งโดยส่วนมากเซลล์บริเวณนี้จะเล็กกว่าเซลล์ที่พบที่กลีบกลางและกลีบข้างส่วนปลาย (distal lateral lobes) [15,17] ลักษณะโดยรวมของเซลล์ในบริเวณส่วนต้นของกลีบด้านข้าง ของต่อมน้ำลายยุงเพศเมียจะเหมือนกับเซลล์ที่พบในต่อมน้ำลายของยุงเพศผู้ หรือกล่าวได้ว่าที่บริเวณส่วนต้นของกลีบด้านข้างของต่อมน้ำลายยุงเพศเมียมีความคล้ายคลึงกับต่อมน้ำลายยุงเพศผู้ซึ่งสร้างเอ็นไซม์ที่ใช้ในการย่อยน้ำตาล

ที่บริเวณส่วนปลายของกลีบข้างของต่อมน้ำลายยุงเพศเมียเป็นบริเวณที่ใหญ่ที่สุดในบริเวณทั้งหมดของต่อมน้ำลายโดยเซลล์ที่บริเวณนี้มักจะมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ในบริเวณส่วนต้นของกลีบข้าง[15,17]และจากการวิเคราะห์ทาง histochemical ของต่อมน้ำลายยุง *Ae.aegypti* ตัวเต็มวัยเพศเมียพบว่าบริเวณส่วนปลายของกลีบด้านข้างนี้จะสังเคราะห์โปรตีนที่แตกต่างจากบริเวณส่วนต้นของกลีบด้านข้าง[16] ซึ่งโปรตีนที่สังเคราะห์และหลั่งนี้จะมีความเฉพาะกับยุงเพศเมียและมีความเกี่ยวข้องกับการดูดกินเลือด[15,17]

รูปที่ 7 ต่อมน้ำลายยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti*) ตัวเต็มวัย[20]

A: ต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัยเพศเมีย 1 คู่ ซึ่งเชื่อมต่อกันโดยท่อน้ำลายหลัก ส่วนบริเวณสีเข้มทึบที่อยู่รอบๆ ต่อมน้ำลายคือส่วนที่เรียกว่า fat body

B: ต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัยเพศเมีย 1 ข้าง ลูกศรแสดงบริเวณที่อยู่ระหว่างส่วนต้นและส่วนปลายกลีบด้านข้างของต่อมน้ำลาย

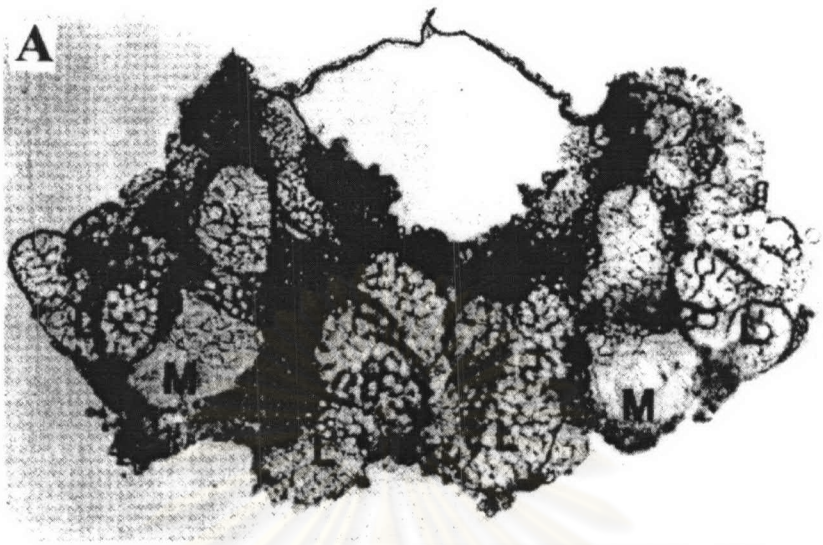
DL = ส่วนปลายของกลีบด้านข้างของต่อมน้ำลาย (distal-lateral lobe)

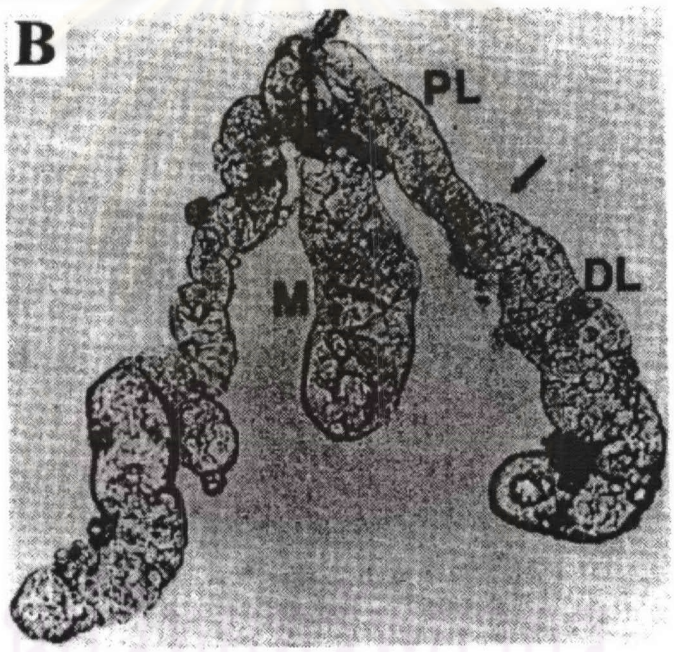
M = กลีบกลางของต่อมน้ำลาย (medial lobe)

PL = ส่วนต้นของกลีบด้านข้างของต่อมน้ำลาย (proximal-lateral lobe)

C: ต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัยเพศผู้ 1 คู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ยังมีกลุ่มเซลล์เล็กๆ ที่อยู่ระหว่างส่วนต้นของกลีบข้างและส่วนปลายของกลีบข้าง โครงสร้างของเซลล์เหล่านี้เป็นตัวกลางระหว่างเซลล์ 2 ชนิดที่อยู่ติดกัน อาจเรียกบริเวณนี้ว่า transition zone ซึ่งเชื่อว่าอาจมีบทบาทใน fluid transport[17] ในต่อมน้ำลายยุง

บริเวณกลีบกลางของต่อมน้ำลายยุงเพศเมียมีเซลล์ 2 ชนิดที่แตกต่างกันจะเห็นเด่นชัดเป็นบริเวณ neck ซึ่งปรากฏอยู่ส่วนต้นของต่อมน้ำลายที่ต่อกับท่อน้ำลาย จากการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนของบริเวณดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าเซลล์บริเวณนี้มีบทบาทใน fluid transport[17] ที่บริเวณกลีบกลางของต่อมน้ำลายนี้ประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างลักษณะเหมือนเซลล์ที่พบบริเวณส่วนปลายของกลีบด้านข้างเป็นหลัก เซลล์เหล่านี้มีขนาดใหญ่และด้วยเหตุนี้ทำให้มันมีความสามารถในการสังเคราะห์และหลั่งโปรตีน โดยพบว่ามีการแสดงออกของยีนอย่างน้อย 2 ยีน คือ D7[21] และ apyrase (C. Smartt and A.A. James, unpublished results) ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับบริเวณส่วนปลายของกลีบด้านข้าง สิ่งที่น่าสนใจคือบริเวณนี้จะสะสมสารประกอบในน้ำลายที่ไม่มีการผลิตในบริเวณอื่นๆ คือ sialokinins[22] ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ นอกจากนี้ยังพบโปรตีนอื่นที่ไม่ได้บ่งบอกลักษณะที่บริเวณนี้อีกด้วย[23,24]

การควบคุมการหลั่งน้ำลาย

ในการวิเคราะห์ทางด้านสรีรวิทยาของต่อมน้ำลายยุง พบว่ายุงจะผลิตน้ำลายออกมาในขณะที่ยุงกินน้ำตาลหรือเลือด ยุงหลั่งน้ำลายออกมาเพื่อช่วยหล่อลื่นและเพื่อรักษาความชื้นที่ส่วนของ mouth part[25]นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำลายมีความตึงผิวซึ่งจะช่วยทำให้ mouth part รวมกันเป็นมัดเล็กๆ[26]

ยุง *Ae.aegypti* สามารถผลิตน้ำลายที่มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่ยุงดูดกิน พบว่าขณะที่ยุงกินน้ำตาล โปรตีนที่ผลิตจากต่อมน้ำลายบริเวณส่วนต้นของกลีบด้านข้างซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยน้ำตาลจะถูกใช้ไปในขณะที่โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในบริเวณกลีบกลางและส่วนปลายของกลีบด้านข้างยังคงอยู่[27] อย่างไรก็ตามเมื่อยุงได้รับเลือดที่เป็นอาหารเข้าไปโปรตีนในกลีบของต่อมน้ำลายทั้งหมดจะลดลง ความรู้พื้นฐานในการควบคุมความแตกต่างนี้ยังไม่เป็นที่ทราบถึงแม้ว่าจะมีปัจจัยบางอย่าง เช่น serotonin, pilocarpine และ insecticides เป็นตัวชักนำให้เกิดการผลิตน้ำลายออกมา[28] ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับบทบาทของ neuroendocrine

บทบาทของต่อมน้ำลายยุงในการถ่ายทอดโรค

ต่อมน้ำลายยุงมีบทบาทสำคัญในการถ่ายทอดโรค ซึ่งบทบาทของต่อมน้ำลายยุงและน้ำลายในการถ่ายทอดเชื้อโรคโดยเฉพาะพาราไซต์นั้นเป็นสิ่งที่มีความซับซ้อนและมีองค์ประกอบมากมาย

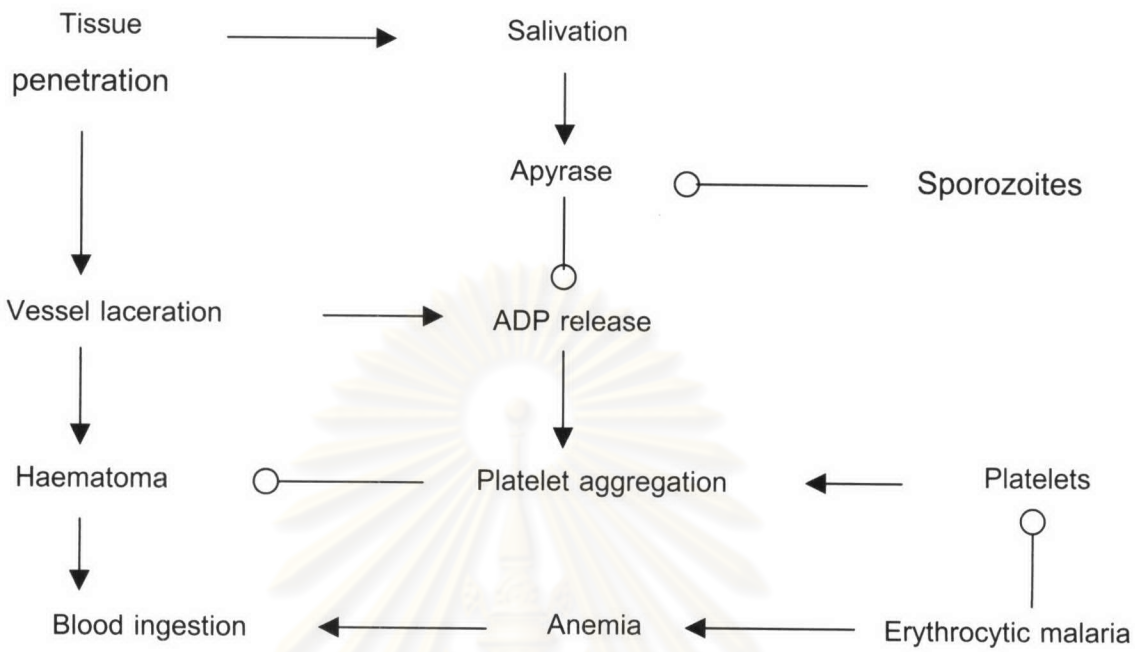
พาราไซต์เข้าสู่โฮสต์ในระหว่างการดูดกินเลือดที่เป็นอาหารของยุงพาหะเพศเมีย โดยจะถูกนำเข้าสู่โฮสต์ในขณะที่มีการหลั่งน้ำลายบริเวณที่ยุงกินอาหาร ดังนั้นพาราไซต์ส่วนมากจึงมีโอกาสพอที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับต่อมน้ำลายของยุงพาหะ และ/หรือมีปฏิสัมพันธ์กับสารที่อยู่ในน้ำลาย ปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการห้ามเลือด (hemostasis) การอักเสบ (inflammation) และการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน (immune response) ของโฮสต์ในการที่จะได้รับเลือดเป็นอาหารของยุงพาหะและยังสามารถถ่ายทอดเชื้อโรคได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น มาลาเรีย ซึ่งเป็นปรสิตในเลือด จะบุกรุกทำลายเม็ดเลือดแดง (erythrocytes) ของโฮสต์ ซึ่งในการดูดกินเลือดโฮสต์ของยุงพาหะจะมีการเจาะแทงเนื้อเยื่อทำให้เส้นเลือดเกิดแผลอันเป็นสาเหตุของการเกิดก้อนเลือด (haematoma) ในกรณีนี้ระยะ sporozoites ของมาลาเรียจะถูกถ่ายทอดผ่านทางน้ำลาย โดย sporozoites จะมีจุดประสงค์เพื่อยืดเวลาการสัมผัสติดต่อระหว่างยุงพาหะกับโฮสต์ให้ยาวนานขึ้น sporozoites จะบุกรุกบริเวณที่มี apyrase ในต่อมน้ำลายยุงทำให้มีระดับของ apyrase ต่ำลง ซึ่ง apyrase จะเป็นตัวขัดขวางการรวมตัวของเกล็ดเลือด ดังนั้นยุงจึงต้องผลิตน้ำลายออกมามากเพื่อให้มี apyrase มากพอที่จะยับยั้งกระบวนการรวมตัวของเกล็ดเลือด ดังนั้น sporozoites จึงอาศัยน้ำลายที่ออกมามากนี้ตามออกมาได้มากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 8

การแสดงออกของยีนในต่อมน้ำลายยุง

ในการวิเคราะห์ยีนที่อยู่ในต่อมน้ำลายยุง *Ae. aegypti* พบว่ายีนทุกยีนมีการแสดงออกอย่างเฉพาะเจาะจงในต่อมน้ำลายยุงเพศเมีย ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับความสามารถในการดูดกินเลือดของยุงเพศเมีย

ยีนที่เกี่ยวข้องกับการกินน้ำตาลของยุง คือ AmylaseI (*Amy I*)[29] และ Maltase-like I (*Mal I*) [30] จะแสดงออกในต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัยเพศผู้และเพศเมียแสดงว่าทั้ง 2 ยีนนี้จะต้องเกี่ยวข้องกับการกินน้ำตาลของยุงซึ่งมีในยุงทั้ง 2 เพศ มีรายงานพบ α-glucosidase ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 68 kDa ในต่อมน้ำลายยุงเพศเมีย[27,28] และพบว่าเอ็นไซม์นี้น่าจะเป็นผลิตภัณฑ์จากยีน *Mal I* เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการ translation ของยีน *Mal I* เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยสุด 67 kDa โดยเอ็นไซม์นี้จะผสมอยู่ในน้ำลายเพื่อละลายและแยก disaccharides ที่ถูกนำเข้าไปในระหว่างที่ยุงกินน้ำตาล α-amylase เป็นผลิตภัณฑ์จากยีน *Amy I* [29] จากการวิเคราะห์โดยวิธี immunoblot พบว่าโปรตีนนี้มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 97 kDa

ทั้ง *Amy I* และ *Mal I* ต่างก็เป็นยีนที่แสดงออกในทุกกลีบของต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัยเพศผู้และกลีบด้านข้างส่วนต้นของต่อมน้ำลายยุงเพศเมีย



รูปที่ 8

แผนภาพแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างยุง โฮสต์ และพาราไซต์ ในช่วงระหว่างการดูดกินเลือดของยุง

ลูกศร: positive

วงกลม: negative

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยีนที่เกี่ยวข้องกับการกินเลือดของยุง Apyrase (Apy *I*)[22] และ D7[21] เป็นยีนที่แสดงออกอย่างจำเพาะในต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัยเพศเมีย ยีน *Apy I* จะแสดงออกในกลีบกลางและกลีบข้างส่วนปลายของต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัยเพศเมีย (C. Smartt and A.A. James, unpublished) ซึ่งมีการพิสูจน์ให้เห็นว่ายีนนี้จะผลิตโปรตีนที่เกี่ยวข้องในการกินเลือดของยุงโดยสัมพันธ์กับการเกิดกิจกรรมของเอ็นไซม์ภายในกลีบของต่อมน้ำลาย ยีน D7 เป็นยีนที่จำเพาะในยุงเพศเมียและแสดงออกในกลีบกลางและกลีบข้างส่วนปลายของต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัย[21] โดยยีนนี้จะผลิตโปรตีนมากมายซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 37 kDa

ในการวิเคราะห์โปรตีนจากต่อมน้ำลายยุงโดยวิธี SDS-PAGE แล้วย้อมสีโปรตีนด้วย silver หรือ coomassie blue นั้นแสดงให้เห็นว่าจำนวนโปรตีนทั้งหมดที่หลั่งออกมาในต่อมน้ำลายของยุงตัวเต็มวัยมีจำนวนระหว่าง 9 และ 20 ชนิด[23,24,31,32] จำนวนของสารที่ผลิตออกมาจากต่อมน้ำลายนั้นมีประมาณ 12 ถึง 16 ชนิด[24,32] สำหรับสารประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนในน้ำลายนั้นยังไม่มีการจำแนกชนิด และสารที่อยู่ในน้ำลายของยุงนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามอายุของยุง [31]

สารที่ผลิตจากต่อมน้ำลายยุงสามารถจัดหมวดหมู่ในขั้นต้นได้เป็นสารที่พบในต่อมน้ำลายยุงเพศเมียเท่านั้นเช่น anti-TNF และ female-specific protein, D7 หรือพบในทั้งเพศผู้และเพศเมียเช่น α-amylase, α-glucosidase, bacteriolytic protein, apyrase และ esterase เป็นต้น โปรตีนโดยส่วนใหญ่ที่ปรากฏในต่อมน้ำลายยุงเพศผู้จะพบในต่อมน้ำลายยุงเพศเมียด้วย [24] ซึ่งโปรตีนที่พบจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิด อายุ และเพศของยุง โปรตีนที่ผลิตออกมาจากต่อมน้ำลายยุงจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการกินอาหารของยุง เช่น apyrase ซึ่งมีบทบาทในการดูดกินเลือดของยุงเพศเมียจะหลั่งออกมามากเมื่อยุงดูดกินเลือด หรือ α-glucosidase ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกินน้ำตาลของยุงก็จะถูกหลั่งออกมามากเมื่อยุงกินน้ำตาล ต่อมน้ำลายยุงจะต้องสังเคราะห์และหลั่งโปรตีนที่ต่อต้านอย่างจำเพาะต่อกระบวนการ haemostasis ของสัตว์มีกระดูกสันหลังที่เป็นโฮสต์ คือการหดตัวของหลอดเลือด การรวมกันของเกล็ดเลือด และการแข็งตัวของเลือด ซึ่งจะเป็นตัวขัดขวางการดูดกินเลือดของยุง

โปรตีนหลักๆ ในต่อมน้ำลายของยุง *Ae. aegypti* ประกอบด้วย **α-amylase** ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 97 kDa และ **α-glucosidase** มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 68 kDa โดยจะถูกสังเคราะห์ขึ้นในต่อมน้ำลายยุงตัวเต็มวัยเพศผู้และเพศเมีย ในทุกกลีบของต่อมน้ำลายยุงเพศผู้และในส่วนต้นของกลีบด้านข้างของต่อมน้ำลายยุงเพศเมีย[29,30] สำหรับ α-glucosidase จะมีบทบาทในการกินน้ำตาลของยุง โดยจะเกี่ยวข้องกับการย่อย disaccharides ก่อนที่จะถูกนำเข้าไปในตัวยุง **bacteriolytic protein** จะถูกตรวจพบในกระเพาะ (crop) ของยุงเพศเมียหลังจากการกินน้ำตาล[33] ในตอนที่กระเพาะไม่สามารถจะหลั่งสารใดๆออกมา จึงสรุปได้ว่า bacteriolytic

protein นี้ถูกสร้างมาจากต่อมน้ำลายซึ่งเชื่อว่าในต่อมน้ำลายยุงเพศผู้ก็สามารถสร้างโปรตีนนี้ได้เช่นกัน โดยโปรตีนนี้จะเป็น antibacterial ในระหว่างการย่อยน้ำตาล **Apyrase** มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 68 kDa จะแสดงแสดงออกอย่างจำเพาะในยุงตัวเต็มวัยเพศเมีย ในกลีบกลาง และส่วนปลายของกลีบด้านข้าง ของต่อมน้ำลายยุงเพศเมีย Apyrase (ATP-diphosphohydrolases) เป็นเอ็นไซม์ที่ยับยั้งการเกิดการรวมตัวของเกล็ดเลือดซึ่งจะพบว่ามีอยู่ในแมลงทั้งหมดที่ดูดกินเลือด[34] Apyrase จะไม่เกี่ยวข้องกับการกินน้ำตาล (nectar) ของยุงแต่จะถูกหลั่งออกมาในเนื้อเยื่อของสัตว์มีกระดูกสันหลัง (vertebrate tissue) เพื่อขัดขวางการรวมตัวของเกล็ดเลือด (anti-platelet aggregation) โดย apyrase จะเป็นตัวแยก ADP ซึ่งเป็นสัญญาณ (signal) ให้เกิดการรวมตัวของเกล็ดเลือดให้เป็น AMP และ phosphate เป็นการทำลายสัญญาณ (signal) ที่ทำให้เกิดการรวมตัวของเกล็ดเลือด ดังนั้น apyrase จึงเป็นตัวช่วยยุงในการดูดกินเลือด [35]ระยะเวลาที่ยุงเพศเมียจะได้รับเลือดเข้ามาในตัวจะสัมพันธ์กับปริมาณของ apyrase ในต่อมน้ำลายและการหลั่ง apyrase จำนวนมากจะเป็นประโยชน์กับยุงที่ดูดกินเลือดบนสัตว์มีกระดูกสันหลัง[36] มีการศึกษาที่บ่งบอกลักษณะทาง biochemical และ physiological ของ โปรตีน 2 ชนิดหลักในต่อมน้ำลายยุง *Ae. aegypti* คือ apyrase และ α-glucosidase [27,37,38] และยีนที่สร้าง α-glucosidase ก็ยังได้รับการบ่งบอกลักษณะอีกด้วย[30] α-glucosidase ที่ถูกหลั่งออกมาจากต่อมน้ำลายจะผสมกับน้ำตาล (nectar) ที่ถูกย่อย เป็นการเริ่มการย่อย oligosaccharides[27] สิ่งที่น่าสนใจคือ α-glucosidase และ apyrase ในน้ำลายซึ่งมีหน้าที่ในการกินน้ำตาล และการดูดกินเลือดของยุงตามลำดับ ต่างก็ถูกสังเคราะห์จากส่วนที่แตกต่างกันของต่อมน้ำลาย Marinotti *et al.* (1990)[39] ได้สังเกตว่ายุง *Ae. aegypti* เพศเมียสามารถหลั่ง α-glucosidase ในขณะที่ยุงกินน้ำตาลเป็นอาหารและจะหลั่งทั้ง α-glucosidase และ apyrase ในช่วงระหว่างการดูดกินเลือด โปรตีนที่เป็นผลิตภัณฑ์จากยีน **D7** ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 37 kDa จะถูกสังเคราะห์ขึ้นในยุงตัวเต็มวัยเพศเมีย ในกลีบกลาง และส่วนปลายของกลีบด้านข้าง ของต่อมน้ำลายยุงเพศเมีย[21] โปรตีนจากยีน D7 นี้เป็นโปรตีนหลักซึ่งจำเพาะกับต่อมน้ำลายยุงเพศเมียที่ถูกสังเคราะห์ออกมามากมายจากยุง *Ae. aegypti*[21] และจะมีเฉพาะใน subfamily Culicinae ที่ประกอบด้วย genus *Culex* และ *Aedes* เท่านั้น โปรตีนที่พบอีกชนิดหนึ่งคือ **esterase** ซึ่งมีบทบาทในการกินเลือดของยุงโดยอาจจะเป็นตัวชักนำให้เกิดการกระตุ้นของ plasma kinins ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านเข้าเส้นเลือดได้ (vascular permeability) และอาจจะเกี่ยวข้องในกิจกรรมการขยายตัวของหลอดเลือด (vasodilatory activity)[40] นอกจากนี้ยังพบโปรตีนที่เป็นตัวขยายหลอดเลือด (vasodilatory agents) ใน *Ae. aegypti* มี 2 peptides ที่ทำหน้าที่เหมือนกับ tachykinins ซึ่งเป็นตัวขยายหลอดเลือดที่อยู่ในน้ำลาย เรียกว่า **sialokinins**[21] และพบ anticoagulant ใน *Ae.*

aegypti ซึ่งก็คือ **anti-factor Xa** ซึ่งการยับยั้ง factor Xa จะไปหยุดการแยก prothrombin ให้เป็น thrombin ทำให้ไม่เกิด thrombin ซึ่งจะไปทำให้ fibrinogen เปลี่ยนเป็น fibrin จึงไม่เกิดการสร้างเลือดที่มาอุด (hemostatic plug) บริเวณบาดแผล ดังรูปที่ 9 และมีรายงานของ **anti-tumour necrosis factor (TNF)** จากต่อมน้ำลายของยุง *Ae. aegypti* [41] โดยพบว่าสารสกัดจากต่อมน้ำลาย (salivary gland extracts) สามารถลดการปล่อย TNFα จาก mast cell ซึ่งเป็นประโยชน์ในการกินอาหารของยุง โดยอาจช่วยบรรเทาผลของการเกิดการอักเสบที่เกิดจาก TNFα บริเวณบาดแผล[41]

สำหรับในยุง *Ae. albopictus* นั้นโปรตีนที่สำคัญประกอบด้วย apyrase มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 61 kDa ซึ่งโปรตีนนี้จะถูกสังเคราะห์ในยุงตัวเต็มวัยและสะสมในส่วนปลายของกลีบด้านข้างของต่อมน้ำลายยุงเพศเมีย α-glucosidase มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 67 kDa ถูกสังเคราะห์ในช่วงชีวิตที่เป็นตัวเต็มวัยและสะสมในบริเวณส่วนต้นของกลีบด้านข้างทั้งยุงเพศผู้และเพศเมีย [37]

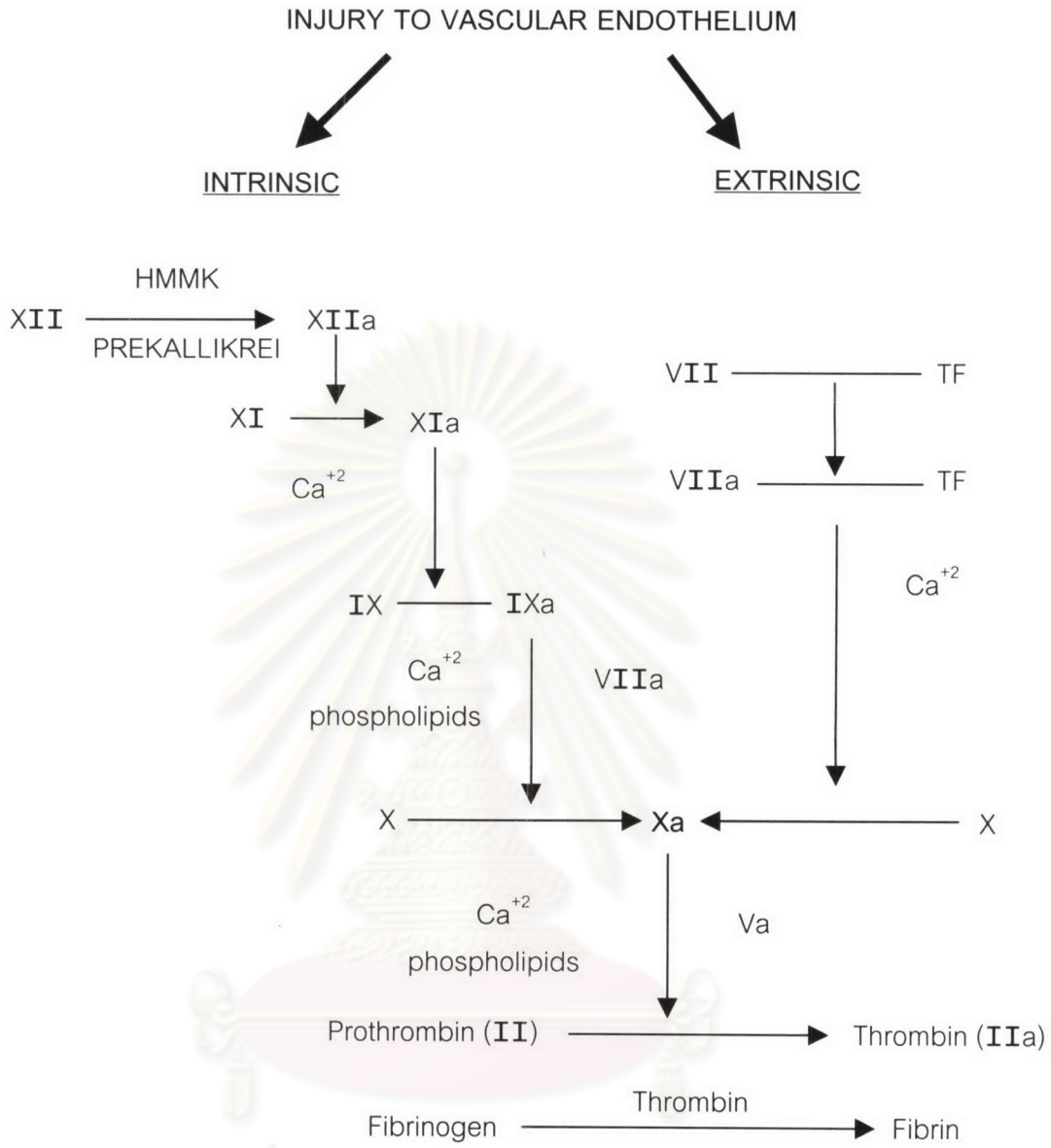
มีการศึกษาการกระจายตัวของ apyrase ภายในต่อมน้ำลายของยุง *Ae. aegypti* แสดงให้เห็นว่าเอ็นไซม์นี้มีเฉพาะในส่วนปลายของกลีบด้านข้างของต่อมน้ำลาย[35] ส่วนในยุง *Ae.albopictus* นั้น apyrase จะถูกพบใน ส่วนปลายของกลีบด้านข้าง 80% และยังพบใน กลีบกลางของต่อมน้ำลายอีก 20% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า apyrase มีการกระจายที่แตกต่างกันในยุงสองชนิดนี้ กิจกรรมของ apyrase และ α-glucosidase จะต่ำในตอนที่ยุงออกมาใหม่ๆ และจะเพิ่มขึ้นเมื่อเป็นตัวเต็มวัย กิจกรรมของ apyrase จะไม่สามารถ ตรวจสอบได้ทันทีหลังจากยุงออกมา ในขณะที่ α-glucosidase จะพบประมาณ 10% ของกิจกรรมสูงสุดที่จะได้รับในวันที่ 3 หลังจากยุงออกมาซึ่งผลนี้แสดงว่าการสังเคราะห์ เอ็นไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะเริ่มต้นในเวลาที่แตกต่างกัน[37]

การสังเคราะห์โปรตีนต่างๆเหล่านี้เริ่มขึ้นหลังจากที่ตัวเต็มวัยออกมา อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์โปรตีนในยุงต่างชนิดกันแสดงให้เห็นว่ายุงบางชนิดมี polypeptides ทั้งหมดปรากฏในต่อมน้ำลายตั้งแต่วันแรกที่เป็นตัวเต็มวัย[23] ในขณะที่ยุงชนิดอื่นๆ ต่อมน้ำลายจะเจริญเต็มที่และเริ่มปรากฏโปรตีนทั้งหมดในวันที่ 3 หรือวันที่ 5 ของตัวเต็มวัยเท่านั้น [24,32,42]

ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับโปรตีนในต่อมน้ำลายยุงแม่ไก่ *Ar. subalbatus* สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับยุงชนิดนี้ยังมีไม่มากนัก ซึ่งมักจะเป็นการศึกษาทางด้านชีววิทยาและนิเวศวิทยาในห้องปฏิบัติการ[43,44] ซึ่งทำการศึกษาเกี่ยวกับการ infection ของ parasite *Brugia malayi* และ *B. pahangi*[45] ทางด้าน molecular มีการศึกษา genetic linkage map ของ *Ar. subalbatus* โดยใช้ *Ae. aegypti* RFLP markers[46] และนอกจากนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับเอ็นไซม์

รูปที่ 9 แผนภาพแสดงลำดับขั้นของการเกิดการแข็งตัวของเลือด (coagulation) โดยเกิดจากการกระตุ้นของ factor Xa

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



A schematic representation of the coagulation cascades leading to the activation of factor Xa to form the active prothrombinase (a complex of factors Xa and Va, calcium, and phospholipid).The extrinsic pathway is activated by clear-cut damage to the vascular wall and release of tissue factor from endothelial cells that causes the release of tissue cell. The intrinsic pathway occurs when internal structural defects exist on the vascular lining or when coagulation factors come in contact with other activating serine protease, thrombin. Thrombin then acts on fibrinogen to release active fibrin for formation of the hemostatic plug. Calcium and phospholipids are required cofactors for many steps of the coagulation cascade. HMMK=high molecular mass kallikrein; TF=tissue factor;roman numerals indicate coagulation factors,"a"indicates active coagulation factors.

prophenoloxidase จาก *Ar. subalbatus* ซึ่งจะแสดงออกในยุงที่กินเลือด และยุงที่ถูก inoculated ด้วย microfilaria[47]

ดังนั้นในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบโปรตีนที่สังเคราะห์จากต่อมน้ำลายของยุงชนิดต่างๆในประเทศไทยที่มีความสำคัญ จึงน่าจะเป็นประโยชน์ในด้านความรู้ทางชีววิทยาพื้นฐานของยุงโดยเฉพาะยุงที่เป็นพาหะนำโรค ตลอดจนอาจนำไปปรับใช้เพื่อประโยชน์ในการศึกษาระดับอณูชีววิทยาของยุงหรือในการควบคุมโรคซึ่งนำโดยยุงเหล่านี้ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย