บทที่ 2
เอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แคดเมียม

คุณสมบัติ ลักษณะทั่วไปและการใช้ประโยชน์

แคดเมียมเป็นธาตุที่ 48 ในตารางธาตุ น้ำหนักอะตอม 112.4 มีวาเลนซี 2 จัดเป็นโลหะที่อ่อนโลหะอ่อน มีสีเงิน ดัดงอได้ง่ายและทนต่อการกัดกร่อน มีจุดหลอมตัว 320.9 °C จุดเดือด 767 °C และมีความถ่วงจำเพาะ 8.65 (ที่ 20 °C) สามารถระเหิดเป็นไอด้วยความร้อนได้ง่าย เป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีใน Nitric Acid และละลายได้ใน Hydrochloric Acid อย่างช้า ๆ แคดเมียมละลายได้ในกรดอ่อน จากคุณสมบัติข้อนี้แคดเมียมจึงเป็นอันตรายเฉียบพลันเมื่อได้รับเข้าไปในร่างกาย โลหะนี้ไม่จำเป็นและไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นพิษต่อร่างกาย แคดเมียมจึงเป็นโลหะชนิดที่เป็นพิษ

แคดเมียม เป็นธาตุที่มีอยู่น้อยในสภาพตามธรรมชาติ พื้นผิวโลกโดยทั่วไปจะพบแคดเมียมในระดับความเข้มข้นไม่เกิน 1 ppm. ส่วนที่พบเป็นปริมาณมากมักเกิดปนอยู่กับแร่สังกะสี ตะกั่ว ทองแดงและดีบุก ปกติในธรรมชาติ แคดเมียมจะรวมตัวกับกำมะถัน เป็นแคดเมียมซัลไฟด์ แต่แหล่งแร่นี้มีน้อยมาก แคดเมียมมีพบอยู่ในดินประมาณ 0.15 ppm. ในน้ำทะเล 0.15 ppb. ในน้ำจืด 1 ppb. และในอากาศ 0.002-0.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำอื่น ๆ ของประเทศไทยได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำปราจีนบุรี แม่น้ำนครนายก และแม่น้ำปิง พบค่าเฉลี่ยของแคดเมียมที่ทำการตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 0.002-1.81 ppm.

แคดเมียมเป็นโลหะที่ใช้ทำหลอดไฟ หัวเจาะ หัวโม่ อุตสาหกรรมผลิตแก้วสี ปุ๋ย แบตเตอรี่ เชื่อมโลหะ ใช้ผสมกับซีลีเนียมในการผลิตสี ผสมในน้ำมันเครื่อง ยางและพลาสติก ซึ่งแคดเมียมที่เข้าไปอยู่ในสภาวะแวดล้อมมีแหล่งกำเนิดมาจากหลายแหล่งด้วยกัน เช่น แคดเมียมที่เข้าไปอยู่ในอากาศมีแหล่งกำเนิดมาจากโรงงานถลุงสังกะสี ตะกั่วและทองแดง จากการเผาไหม้ของพลาสติก สีชนิดต่าง ๆ นิเกิล-แคดเมียมแบตเตอรี่ น้ำมันเครื่อง ผลิตภัณฑ์ยางและควันบุหรี่ และแคดเมียมที่เข้าไปอยู่ในแหล่งน้ำเกิดจากการระบายน้ำเสียจากโรงงานบางประเภทลงสู่แม่น้ำลำคลอง เช่น โรงงานทำโลหะผสม ชุบโลหะ และจากการละลายเหล็กที่เคลือบด้วยสังกะสีที่มีแคดเมียมปนอยู่ และในปัจจุบันยังมีการนำโลหะแคดเมียมมาใช้แทนอะลูมิเนียมเหล็กสแตนเลสและสังกะสีในการฉาบอุปกรณ์ที่เป็นโลหะต่าง ๆ อีกด้วย (ฝ่ายจัดการสารพิษ กองมาตรฐาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2541)

การดูดซึมของแคดเมียม

การดูดซึมแคดเมียมจะขึ้นอยู่กับสารอื่น ๆ ที่ร่างกายได้รับ เช่น แคลเซียม เหล็ก โปรตีน โดยเฉพาะแคลเซียมซึ่งถูกดูดซึมได้ดีในลำไส้เล็กโดยอาศัยโปรตีนชื่อ Calcium Binding Protein (CaBP) และการดูดซึมแคดเมียมก็จะอาศัย CaBP ด้วยเช่นกัน โดยที่แคดเมียมจะไปแย่งแคลเซียมจับบริเวณ Calcium Binding Site ที่ Chloride Cell ซึ่งจะทำให้แคดเมียมสามารถเข้าสู่กระแสเลือดได้ (มะลิวรรณ บุญถนอม, 2545)

การสะสมของแคดเมียม

แคดเมียมที่ผ่านเข้าสู่กระแสเลือดจะไปสะสมในเนื้อเยื่อที่บางบริเวณ ไม่กระจายอยู่ทั่วไปโดยแคดเมียมจะมีการสะสมที่ตับและไตเป็นส่วนใหญ่ (มะลิวรรณ บุญถนอม, 2545)

จากการศึกษาของ Eaton (1974) มีการศึกษาให้เห็นว่า ในการศึกษาในระดับความเป็นพิษแบบเรื้อรังใน Bluegill (*Lepomis macrochirus rafinesque*) แคดเมียมจะเข้าไปสะสมมากที่บริเวณ ตับ ไต และเหงือก ตามลำดับ

Cattani and other (1999) ศึกษาเกี่ยวกับการสะสมแคดเมียมในเนื้อเยื่อของ Sea Bass, *Dicentrarchus labrax* ในน้ำที่ความเข้มข้น 0.5 และ 5 ppm.เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 5 ppm. แคดเมียมจะมีการสะสมมากที่สุดบริเวณไต รองลงมาคือ ตับ และเหงือก ตามลำดับทั้งสองความเข้มข้นแต่จะมีรูปแบบการสะสมของแคดเมียมในปลามีความแตกต่างกันในแต่ละความเข้มข้นแต่จะมีความคล้ายคลึงกันในช่วง 4 ชั่วโมงแรกคือ Glycogen มีการลดลงอย่างมาก และมีการเพิ่มขึ้นของ Free Glucose ในกล้ามเนื้อแต่จะมีการฟื้นสภาพกลับมาได้ภายใน 24 ชั่วโมง กล่าวคือ มีการเพิ่มขึ้นของ Glycogen และมีการลดลงของ Free Glucose

จากการศึกษาความเป็นพิษของแคดเมียมที่ระดับความเป็นพิษแบบเรื้อรังของ Sangalang และ Freeman (1979) พบว่า เมื่อใส่ $CdCl_2$ ลงในน้ำในความเข้มข้น 1 ppb. แล้วดูการสะสมในเนื้อเยื่อของปลา Brook Trout พบว่า มีการสะสมแคดเมียมที่บริเวณ เหงือก ไตส่วนท้าย และตับ โดยจะมีการสะสมในเหงือกและไตส่วนท้ายมากที่สุดแต่จะมีการสะสมในกล้ามเนื้อและไตส่วนต้นในปริมาณน้อยมากแต่จะมีปริมาณมากกว่าในชุดควบคุม การสะสมแคดเมียมในเลือด พลาสมา หัวใจ ม้าม กระเพาะ ลำไส้ และ ผิวหนัง หลังจาก 77 และ 93 วัน มีมากกว่าในชุดควบคุม และเมื่อทำการฉีด $CdCl_2$ ที่ความเข้มข้นแคดเมียม1 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักปลา 1 กรัม เข้าภายในกล้ามเนื้อ พบว่า มีการสะสมแคดเมียมมากที่ไตส่วนท้ายและเหงือกโดยการสะสมแคดเมียมของเหงือกมีไม่

มากเท่ากับที่แช่ในน้ำแต่อาจมีความเป็นไปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงในเหงือกอาจเกิดมาจากการได้รับการกระตุ้นการเลือด

Harrison and Klaverkamp (1989) ได้ทำการศึกษาการสะสมของแคดเมียมจากการกินและแช่ในน้ำของปลา Rainbow Trout *(Salmo gairdneri richardson)* และ Lake Whitefish *(Coregonus clupeaformis mitchill)* พบว่าระยะเวลา 56 วัน ในเหงือกจะมีการสะสมของแคดเมียมสูงสุดจากการแช่ แต่หลัง 56 วัน ไต ตับและลำไส้จะมีการสะสมมากจากการได้รับแคดเมียมทางปาก(การกิน) แต่จากการแช่ เหงือกและไต จะมีการสะสมมากที่สุด

จากการศึกษาความเป็นพิษของแคดเมียมต่อปลา Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*) ในรุ่นที่ 1, 2 และ3 โดยวิธีการแช่ในน้ำที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.06 ug/l ถึง 6.4 ug/l ของ Benoit and other (1976) พบว่าแคดเมียมจะมีการสะสมมากในไต ตับ และเหงือกในทุก ๆ ความเข้มข้น ส่วนในกล้ามเนื้อ Gonad และม้ามมีการสะสมอย่างไม่มีความเป็นนัยสำคัญ

Kumada and other (1980) ศึกษาการสะสมของแคดเมียมในปลา Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) พบว่าไม่พบผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อการมีชีวิต การเจริญ และการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพในปลา Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) ในระดับความเข้มข้น 4 mg/l โดยการให้แคดเมียมผ่านทางน้ำเป็นเวลา 10 สัปดาห์และที่ความเข้มข้น 10 mg/l โดยผ่านทางอาหารเป็นเวลา 12 สัปดาห์ แต่จะพบการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ตับและไตหากให้แคดเมียมในความเข้มข้น 100 mg/kg.

Danek-Paprawa and Sawicka-Kapusta (2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิสภาพของ *Clethrionomys glareolus* ในเขตโรงงานถลุงเหล็ก และบริเวณเตาหลอมสังกะสี ในประเทศโปแลนด์ พบว่าในเขตบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมมีการสะสมของแคดเมียมในปริมาณที่สูงที่กระดูกและไต ในไตเป็นปริมาณ 32.98 ไมโครกรัมต่อกรัม

ปริมาณสารพิษต่อการตอบสนอง

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารที่สัตว์ได้รับกับอาการตอบสนองต่อสารพิษ (Dose response relationship) นี้ ถ้าอาการที่ตอบสนองคือสัตว์ทดลองตาย ปริมาณสารที่ทำให้สัตว์ทดลองตายไป เรียกว่า “Lethal dose” ถ้าสัตว์ทดลองตายไปจำนวนร้อยละ 50 ของจำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมด ปริมาณสารที่ทำให้สัตว์ตายไปนี้เรียกว่า “ LD_{50} (mean lethal dose)” เช่น 96 ชั่วโมง ปริมาณสารที่ทำให้สัตว์ทดลองตายไปจำนวนร้อยละ 50 ของจำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมดภายในเวลา 96 ชั่วโมงเรียกว่า “96 h-LD_{50}”

การหาค่า LD_{50} ในทางพิษวิทยานั้นส่วนใหญ่จะทำในสารเคมีที่ผลิตขึ้นมาใหม่เพื่อ

ทดลองหาความเป็นพิษของสารนั้น โดยทั่วไปแล้วจะใช้สัตว์ทดลองจำพวกหนูและให้สารเคมีนั้นทางปากหรือโดยการฉีดเข้าไปในช่องท้อง และต้องใช้สัตว์ทดลองไม่ต่ำกว่า 10 ตัวต่อกลุ่ม ขนาดหรือปริมาณของสารเคมีจะต้องมากกว่า 3 ขนาด ซึ่งจะทำให้สัตว์ทดลองตายหมด ทำให้สัตว์ทดลองตายบางส่วนและไม่ทำให้สัตว์ทดลองตายเลย จากนั้นก็นำไปสร้างกราฟระหว่างปริมาณสารพิษกับอัตราการตาย ก็จะสามารถหาค่า LD_{50} ได้

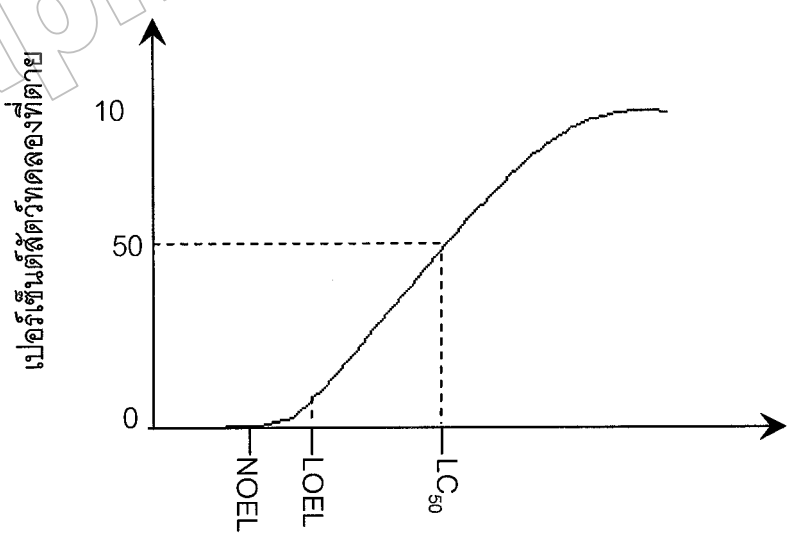
สำหรับสารเคมีที่ระเหยได้หรือละลายอยู่ในน้ำ เมื่อสัตว์ที่ได้รับเข้าไปโดยการหายใจหรือสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ พบว่า ขนาดหรือปริมาณของสารเคมีที่สัตว์ได้รับเข้าไปนั้นไม่รู้แน่นอน ดังนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องรู้ค่าความเข้มข้น 50% (LC_{50}, Mean Lethal Concentration) ของสารเคมีดังกล่าวที่ละลายอยู่ในน้ำหรือที่ระเหยอยู่ในอากาศแทนปริมาณที่ให้เข้าไปในสัตว์ทดลอง

LC_{50} (Mean Lethal Concentration) หมายถึงความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศหรือในน้ำที่ทำให้สัตว์ทดลองตาย 50% ของสัตว์ทดลองที่ใช้ทั้งหมด ซึ่งจะต้องบอกถึงระยะเวลาของสัตว์หายใจเอาสารเคมีเข้าไปหรือระยะเวลาที่สัตว์น้ำอยู่ในน้ำที่มีสารละลายอยู่

NOEL (No Observed Effect Level) หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารที่สัตว์ทดลองรับได้โดยไม่ปรากฏอาการให้เห็น

NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) หมายถึง ระดับความเข้มข้นของสารที่สัตว์ทดลองได้รับโดยไม่ปรากฏอาการทางลบให้เห็น

LOEL (Lowest Observed Effect Level) หมายถึง ระดับความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ทำให้สัตว์ทดลองแสดงอาการตอบสนอง (มะลิวรรณ บุญถนอม, 2545)



ภาพที่ 1 แสดงความเข้มข้นของสารที่เป็น LOEL, NOEL และ LC_{50} จากการทดลอง Dose Response Relationship

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ระดับความเป็นพิษของแคดเมียม

ในการศึกษาระดับความเป็นพิษของสารเคมีหนึ่ง ๆ นั้น เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการ (มะลิวรรณ บุญถนอม, 2545) เช่น คุณสมบัติของน้ำ อวัยวะทดสอบ เส้นทางการสัมผัส ชนิดของสัตว์ทดลอง ตลอดจนถึงอายุของสัตว์ทดลอง ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้ระดับความเป็นพิษของสารเคมีไม่เท่ากัน (Mehmet et al., 2003) ดังการศึกษาต่อไปนี้ เช่น

Thophon (2002) ได้ทำการศึกษาระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (96-h LC_{50}) ของแคดเมียมที่มีต่อปลาพระพงขาว (*Lates calcarifer*) อายุ 3 เดือนและอายุ 20 วัน โดยวิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำไหล พบว่า 96-h LC_{50} มีค่าเท่ากับ 20.12 mg/l และ 10.15 mg/l ตามลำดับ

แววตา ทองระอา (2528) ได้ทำการศึกษาระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (96-h LC_{50}) ของแคดเมียมที่มีต่อ *L. calcarifer* อายุ 1 เดือน ที่ระดับความเค็ม 30 ppt. โดยใช้วิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง พบว่า 96-h LC_{50} มีค่าเท่ากับ 3.7 mg/l และที่ระดับความเค็ม 5 ppt. 96-h LC_{50} มีค่าเท่ากับ0.39 mg/l (เกษร ไชยมงค์, 2547)

ประกอบ ศรีจันทร์ (2529) ได้ทำการศึกษาระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน(96-h LC_{50}) ของแคดเมียมที่มีต่อ *L. calcarifer* อายุ 3 เดือนโดยวิธีการแช่ในน้ำจืด (0 ppt.), น้ำกร่อย (15 ppt) และน้ำเค็ม(30 ppt.) พบว่า 96-h LC_{50} มีค่าเท่ากับ 1.46, 4.20, และ11.80 mg/l ตามลำดับ

อุรศา ศรีบุญลือ (2539) ได้ทำการศึกษาความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อลูกปลาตะเพียนขาว (*Puntius gonionotus,* Bleeker) โดยวิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง ในระยะเวลา 96 ชั่วโมง(96-h LC_{50}) พบว่า 96-h LC_{50}มีค่าเท่ากับ 2.77 mg/l แต่เมื่อทำการทดลองโดยใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง(24-h LC_{50}) พบว่า 24-h LC_{50} มีค่าเท่ากับ 4.5 mg/l (นันทิยา แป้นถึง, 2545)

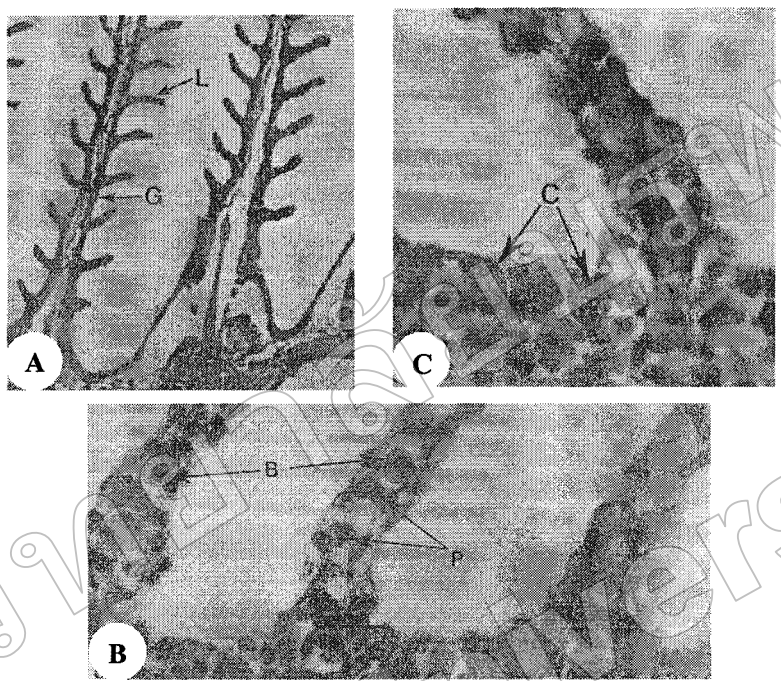
Yillmaz et al. (2004) ได้ทำการศึกษาความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อ *Poecilia reticulate* โดยวิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง พบว่า 96-h LC_{50} มีค่าเท่ากับ 30.4 mg/l

ลักษณะพยาธิสภาพ

เหงือก

เหงือกแต่ละอันจะประกอบด้วย Gill arch, Gill filaments, และ Gill lamellae ใน Gill arch จะมี Gill rackers และ Gill filaments อย่างละ 2 แถว และ Gill lamellae แตกแขนงออกมาจาก Gill filaments (ภาพที่ 2A) Gill lamellae ประกอบ Simple Squamous Epithelium ปกคลุม Pillar cells (ภาพที่ 2B) Pillar cells เป็นตัวค้ำจุน Gill lamellae และส่วนที่เป็นปีกของ Pillar cells ทั้งด้านบนและด้านล่างจะล้อมรอบ Blood sinusoid ซึ่งจะเป็นช่องที่เม็ดเลือดเข้าไปทำการแลกเปลี่ยนก๊าซ และที่ฐาน Lamellae แต่ละคู่อาจจะพบ Chloride cells ซึ่งติดสีชมพูเข้ม จากการย้อมสีด้วย

H&E ซึ่งเซลล์ชนิดนี้จะมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ข้างเคียง (ภาพที่ 2C) (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และคณะ, 2530)



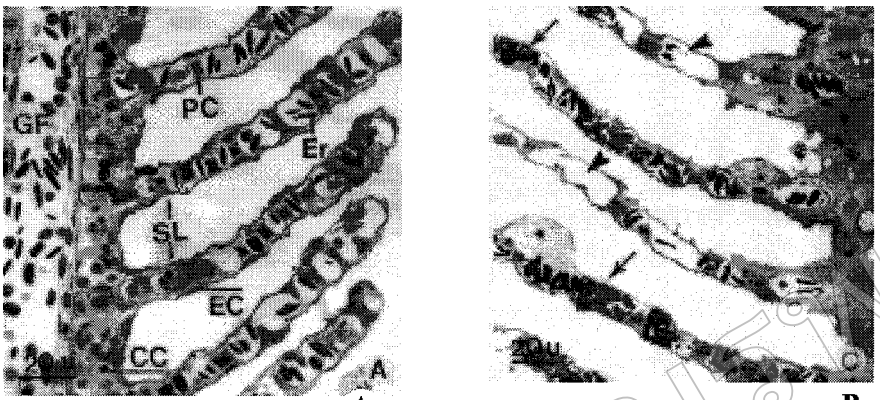
ภาพที่ 2A ภาพเหงือกตัดตามยาว จะเห็น Gill filaments (G) แยกออกมาจาก Gill arch และมี Gill lamellae (L) แยกออกมาจาก Gill filaments (Formalin; H&E; x132)

B ลักษณะของ Gill lamellae จะมี Pillar cells (P) เป็นตัวค้ำจุน ระหว่าง Pillar cell จะมีเม็ดเลือดแทรกอยู่ (B) (Formalin; H&E; x1320)

C ที่ฐานของ Gill lamellae จะพบ Chloride cells ติดสีชมพูเข้ม และมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ข้างเคียง (Formalin; H&E; x1320)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อเยื่อของเหงือกของปลากระพงขาวเมื่อได้รับแคดเมียมในระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและกึ่งเรื้อรัง โดยการแช่ในน้ำพบว่า Gill lamellae เป็นกลุ่มอวัยวะเป้าหมายแรกสำหรับความเป็นพิษแบบเฉียบพลันในขณะที่ความเป็นพิษแบบกึ่งเรื้อรังจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าตับและไต โดยเหงือกจะมีอาการบวมน้ำของ Epithelial cell มีอาการบวมฉีกและการงอกเกินของ Epithelial และ Chlorine cell (Thophon et al., 2002) (ภาพที่ 3A) (ภาพที่ 3B)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3 ภาพแสดงโครงสร้างเหงือกของ *L. calcarifer* จากกล้องจุลทรรศน์แบบ light microsppe.

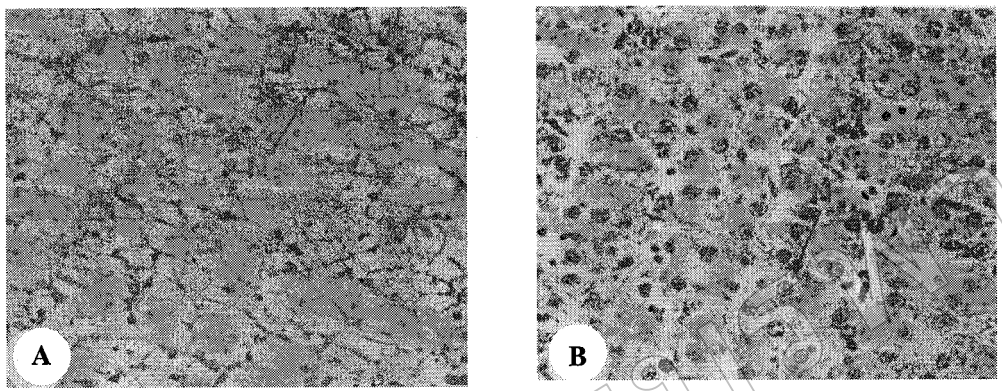
A ภาพแสดงเหงือกปกติซึ่งประกอบด้วย Gill filament (GF), Secondary lamellae (SL), Nucleated erythrocyte (Er), Pillar cells (PC), Epithelial cells (EC) and Chloride cells (CC)

B ภาพแสดงการบวมน้ำของ Epithelial cell (*), และ Blood congestion (arrows), และการเสียสภาพของระบบ Pillar cells (arrows head)

Alazemi et al. (1996) ได้นำ Freshwater Fish (*Gnathonemus petersii)* มาทดสอบความเป็นพิษของแคดเมียม โดยการแช่ในน้ำ 6 ชั่วโมง ในระบบ Continuous flow system โดยมีการให้อากาศ กำจัดคลอรีน พบว่าที่ความเข้มข้น 1.0 mg/l โครงสร้างของเหงือกบริเวณ Subepithelial space และที่ Secondary lamellae ถูกทำลาย ที่ความเข้มข้น 10 mg/l Lamellae aneurism จะถูกทำลายในขณะที่ ประกอบ ศรีจันทร์ (2529) ได้ทำการทดลองความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียม (96h – LC_{50}) กับปลากะพงขาวที่ได้รับแคดเมียมโดยวิธีแช่น้ำ ระดับความเข้มข้น 2 – 10 ppm. พบว่าเนื้อเยื่อเหงือกมีอาการบวมน้ำเพียงอย่างเดียว

ตับ

ตับเป็นอวัยวะที่อยู่ส่วนบนสุดของช่องท้อง มีลักษณะเป็นพูสองข้าง มีสีเหลืองปนน้ำตาล เซลล์ตับ (Hepatocytes) ไม่แบ่งเป็น lope ชัดเจน มีรูปร่างหลายเหลี่ยม มีนิวเคลียสอยู่กลางเซลล์ แต่บางครั้งอาจจะถูกไขมันภายในเซลล์ดันไปอยู่บริเวณริมเซลล์ จะพบ Sinusoid ขนาดเล็กได้ทั่วไปในตับ ลักษณะตับของปลาดุกจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่ดับปริมาณไกลโครเจนและไขมันที่สะสมอยู่ในตับ ปลาที่มีปริมาณไกลโครเจนและไขมันสะสมอยู่ในตับมาก หลังจากขบวนการทำสไลด์ ไกลโครเจนและไขมันจะถูกละลายออกไป ทำให้เป็นเป็นช่องว่างในตับมากกว่าปลาที่มีการสะสมไกลโครเจนและไขมันน้อยกว่า (ภาพที่ 4A - B) (ชะลอ ลิ้มสุวรรณ และคณะ, 2530)



ภาพที่ 4A ลักษณะตับของปลาที่อ้วน จะเห็นช่องว่างภายในเซลล์ และนิวเคลียสจะถูกดันไปอยู่ที่ริมขอบของเซลล์ (N) (Formalin; H&E; x264)

B ตับของปลาที่ได้รับอาหารไม่เต็มที่ จะเห็นช่องว่างภายในไซโตพลาสซึมมีน้อยกว่า และมีนิวเคลียสกลมอยู่กลางเซลล์ (N) (Formalin; H&E; x528)

Van Dyk et al., (2005) ได้ทำการทดลองศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อในตับของ *Oreochromis mossambicus* หลังจากได้รับโลหะหนักแคดเมียม พบว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งหมด 4 แบบ คือ

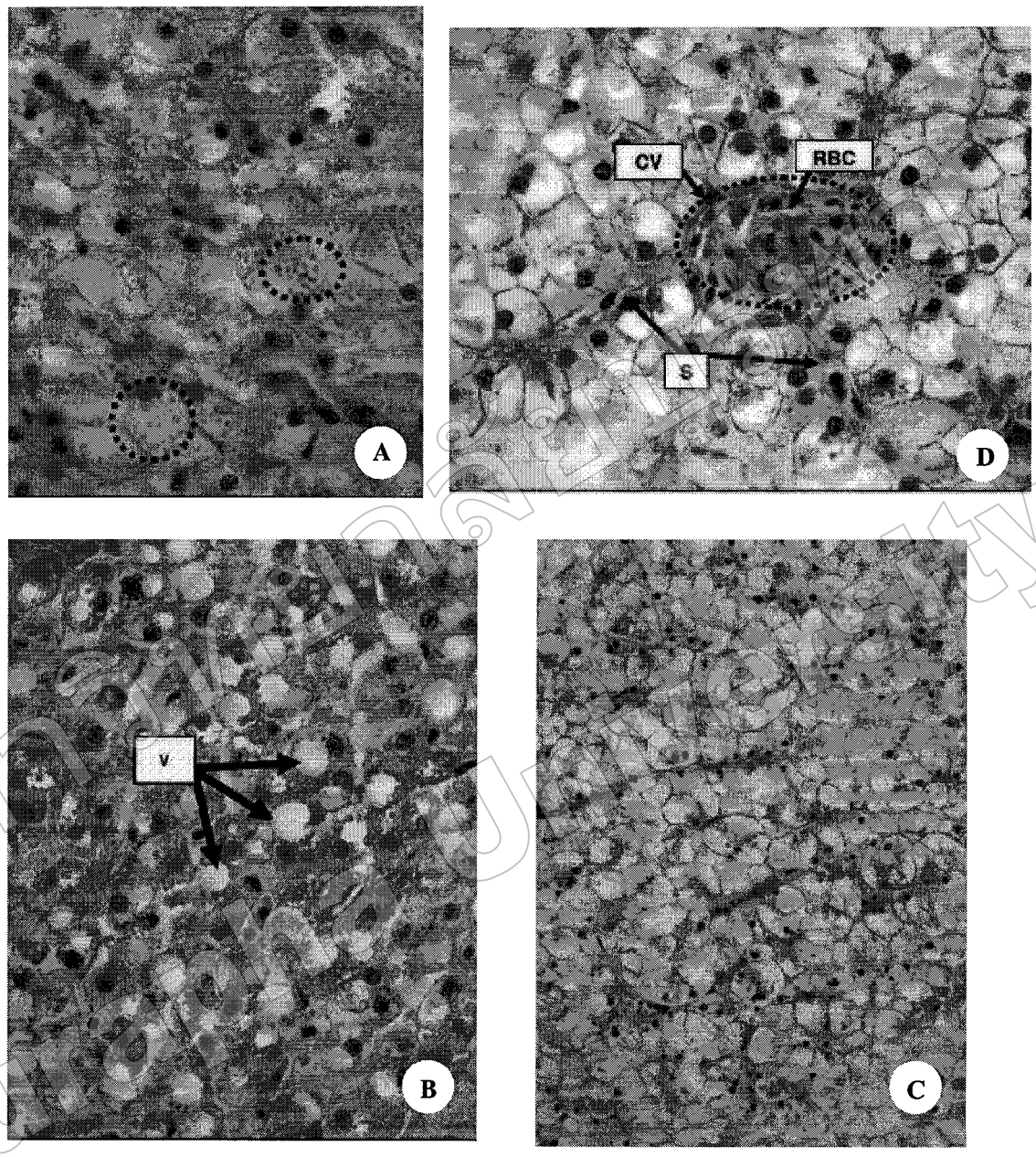
1. Hyalinization เป็นการเกิดอาการผิดปกติในการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ Hepatocyyte เกิดเป็นกลุ่มของโปรตีน Hyalin ขึ้น (ภาพที่ 5A)

2. Vacuolation เป็นอาการผิดปกติของเซลล์ในตับ โดยมักจะเกิดร่วมกันกับ Lipid Accumulation (ภาพที่ 5B)

3. Cellular Swelling เป็นการบวมน้ำของเซลล์ โดยที่เซลล์มีลักษณะบวมขึ้นและของเหลวบริเวณไซโทพลาซึมจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มและเม็ดเล็ก ๆ (ภาพที่ 5C)

4. Congestion of Blood Vessels เป็นอาการผิดปกติของเซลล์ (ภาพที่ 5D)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5 ภาพแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อในแบบต่าง ๆ ของตับ *Oreochromis mossambicus* ที่ได้รับแคดเมียม

A Hyalinization: มีการเกิดกลุ่มของ Hyaline (เส้นวงกลม)

B Vacuolation: Vacuoles จะปรากฏบริเวณใส ซึ่งภายใน Hepatic cell จะมีการรวมตัวกันของไขมัน

C Hepatocyte จะมีลักษณะเป็นกลุ่มและมีลักษณะการบวมน้ำ

D การรวมตัวกันของ Central vein (CV) และ การแบนเข้าหากันของ Blood sinusoids (100 x) (H&E)

ประกอบ ศรีจันทร์ (2529) ได้ทำการทดลองความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (96h – LC_{50}) ฉีดแคดเมียมเข้าช่องท้องปลากะพงขาว *Lates calcarifer* ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01 – 0.07 mg/kg พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเนื้อตับเพียงเดียว โดยกลุ่มเซลล์เนื้อเยื่อตับตายเป็นแห่ง ๆ

Thophon et al. (2004) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของตับของปลา sea bass, *L. calcarifer* จากการสัมผัสแคดเมียมในระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและแบบกึ่งเรื้อรัง พบว่า ในระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลันนั้น (96h – LC_{50} เท่ากับ 10 mg/l) พบว่า Hepatocytes, Mitochondria มีการบวม ส่วน Rough Endoplasmic Reticulum มีลักษณะพองออก แตก และเป็นโพรง และในระดับความเป็นพิษแบบกึ่งเรื้อรัง พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของ Lipid Droplets และ Glycogen

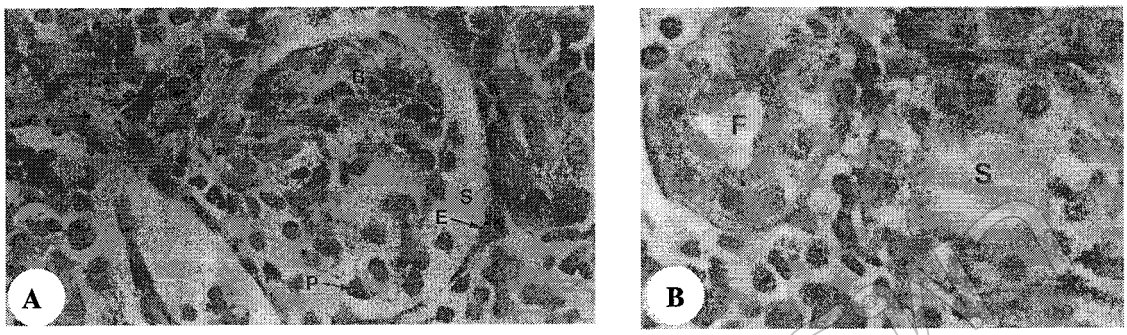
ไตส่วนท้าย

ไตส่วนท้ายจะอยู่บริเวณใต้กระดูกสันหลัง บริเวณต้น ๆ จะมีขนาดใหญ่ และค่อย ๆ เรียวเล็กลงที่ส่วนปลาย ไตส่วนท้ายจะประกอบไปด้วย Nephrons ซึ่งเป็นหน่วยที่ทำงานของไต แต่ละ Nephron ประกอบด้วย Renal corpuscle และ Renal tubule

Renal corpuscle ประกอบด้วย Glomerulus ที่ล้อมรอบโดย Bowman 's capsule Glomerulus เป็นกลุ่มของหลอดเลือดฝอย โดยระหว่าง Glomerulus กับ Bownam 's capsule จะมี Bowman's space กั้นอยู่(ภาพที่ 6A)

Renal tubule เป็นท่อที่เชื่อต่อระหว่าง Renal corpuscle และ Collecting duct ซึ่งจะเปิดออกสู่ Opisthonephric Ducts (Ureter) แต่ละ Renal tubule จะมีความแตกต่างตลอดความยาวของท่อ ซึ่งแบ่งได้เป็นส่วน ๆ คือ Neck segment, Proximal segment, Intermediate segment และ Distal segment (ภาพที่ 6B) (ชลอ ลิ้มสุวรรณ และคณะ, 2530)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 6A Renal corpuscles ประกอบด้วยกลุ่มหลอดเลือดฝอย (B) Podocytes (P) ของ Bowman's capsule และ Bowman's space (S) และผนังของ Bowman's capsule ที่เป็น Squamous epithelium (E) (Formanlin; H&E; x1320)

B ท่อไตส่วน First proximal segment (F) และ Second proximal segment (S) โดยจะเห็นว่าเซลล์ที่บุท่อ First proximal segment จะมี Brush border หนาแน่นกว่า Second proximal segment และมักพบนิวเคลียสขนาดเล็กติดสีเข้มแทรกอยู่ (Formalin; PAS; x1320)

Forlin et al. (1986) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพยาธิสภาพของปลา Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) ที่ได้รับแคดเมียมโดยวิธีฉีดเข้าบริเวณช่องท้องและวิธีแช่น้ำ พบว่าจะมีการบวมน้ำด้วยก้อนของ Hyaline การรวมกันของ Vascular และ Granule ต่าง ๆ ใน Tubular cell และจะพบว่าเกิดการเสื่อมสภาพของ Tubule และการเกิด Necrosis ของเซลล์

Thophon et al. (2004) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างของตับของปลา sea bass, *L. calcarifer* จากการสัมผัสแคดเมียมในระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลันและแบบกึ่งเรื้อรัง พบว่า ในระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลันนั้น (96h – LC_{50} เท่ากับ 10 mg/l) พบว่า การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ Proximal tubules ในไตมีลักษณะเสื่อมลงและมีการบวมของ Mitochondria และ เซลล์ของ Rough endoplasmic reticulum แตก มีการเพิ่มขึ้นอย่างมากของ Hydropic Vacuoles และ Lysosomes

ปลาดุกบิ๊กอุย

ปลาดุกบิ๊กอุยเป็นปลาที่ไม่มีเกล็ด รูปร่างเรียวยาว ส่วนหัวมีขนาดใหญ่และแบน กะโหลกจะเป็นตุ่ม ๆ ไม่เรียบ มีรอยบุ๋มตรงกลางเล็กน้อย กะโหลกท้ายทอยเป็นหยักแหลม มีสามหยัก มีหนวด 4 คู่อยู่ที่ริมฝีปาก โคนหนวดมีขนาดใหญ่ ตามีขนาดเล็กมาก ครีบหูมีเงี่ยงใหญ่ สั้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

นิ่ม ไม่แหลมคม และส่วนของครีบอ่อนหุ้มถึงปลายครีบแข็ง ปลายครีบหลังมีสีแดง ส่วนครีบหางมีลักษณะกลมใหญ่ สีเทา ปลายครีบสีแดง และมีแถบสีขาวคาดบริเวณคอดหาง ลำตัวมีสีเทาถึงเทาอมเหลือง เมื่อเล็กจะไม่มีจุดบนลำตัว แต่จะปรากฏจุดลายคล้ายหินอ่อนอยู่ทั่วตัวเมื่อโตขึ้น ผนังท้องมีสีขาวตลอดจนถึงโคนหาง

ปลาดุกชอบหากินตามหน้าดินโดยใช้หนวดในการหาอาหาร เพราะหนวดปลาดุกมีประสาทรับความรู้สึกที่ดีกว่าตา มีนิสัยว่องไวสามารถจะขึ้นมาอยู่บนบกได้ทนนานกว่าปลาชนิดอื่นๆ รวมถึงสามารถที่จะอาศัยอยู่ในดิน โคลน เลน และในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำได้นาน เนื่องจากมีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจนั่นเอง อาหารที่ปลาดุกชอบกิน ส่วนมากเป็นอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ แต่ถ้านำมาเลี้ยงในบ่อก็สามารถฝึกให้กินอาหารจำพวกพืชหรือหารเม็ดได้

ปลาดุกบิ๊กอุยเป็นการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างปลาดุกอุยเพศเมียผสมกับปลาดุกเทศเพศผู้ ซึ่งเป็นที่นิยมเลี้ยงของเกษตรกร เนื่องจากมีการเพาะขยายพันธุ์ได้ดี ลูกที่ได้จากการผสมพันธุ์มีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว อีกทั้งทนทานต่อโรคและสภาพแวดล้อมได้ดี ทั้งยังเป็นที่นิคมบริโภคของประชาชน เนื่องจากมีรสชาติดีและราคาถูก (วิเศษ อัครวิทยากุล, 2538)

ในปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยกระจายไปทั่วประเทศ โดยจากการศึกษาเก็บข้อมูลของกองเศรษฐกิจการประมง กรมประมงเกี่ยวกับผลการศึกษาจำนวนฟาร์มเนื้อที่ ปริมาณและมูลค่าการเลี้ยงปลาน้ำจืดในปี 2534 มีดังนี้

- ภาคเหนือ จำนวน 15,444 ฟาร์ม เนื้อที่ 15,430 ไร่ ปริมาณผลผลิต 13,298.46 ตัน มูลค่า 288.1 ล้านบาท ได้แก่พื้นที่จังหวัด นครสวรรค์ พิษณุโลก เพชรบูรณ์ อุทัยธานี
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 29,226 ฟาร์ม เนื้อที่ 46,501 ไร่ ปริมาณผลผลิต 11,334.13 ตัน มูลค่า 264.7 ล้านบาท ในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี นครราชสีมา หนองคาย อุบลราชธานี
- ภาคกลาง จำนวน 14,172 ฟาร์ม เนื้อที่ 77,322 ไร่ ปริมาณผลผลิต 85,199.22 ตัน มูลค่า 1,614.5 ล้านบาท ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร สุพรรณบุรี ฉะเชิงเทรา
- ภาคใต้ จำนวน 5,897 ฟาร์ม เนื้อที่ 1,925 ไร่ ปริมาณผลผลิต 5,076.94 ตัน มูลค่า 156.7 ล้านบาท ในพื้นที่จังหวัด สุราษฎร์ธานี สตูล สงขลา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University