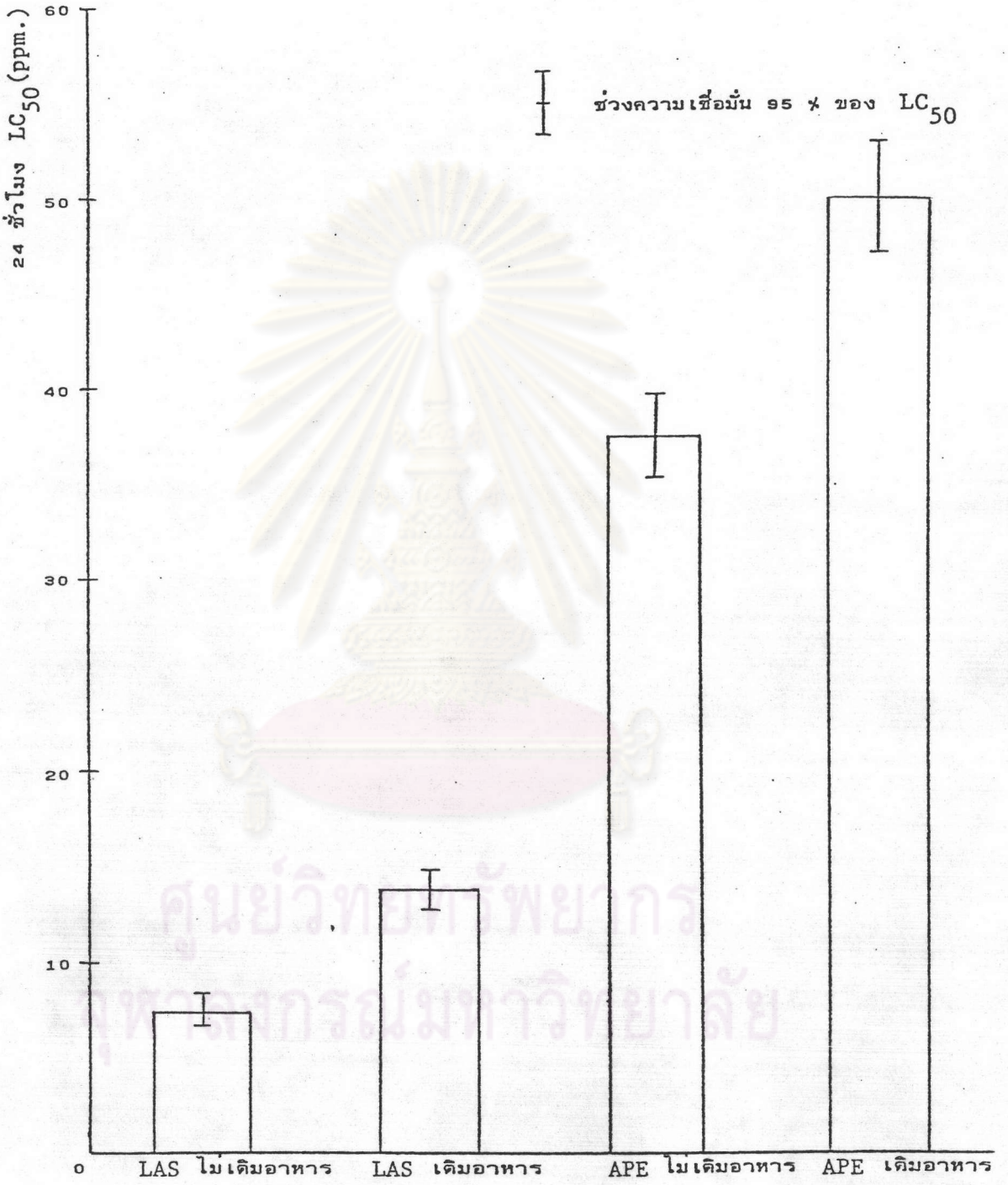
# บทที่ 5

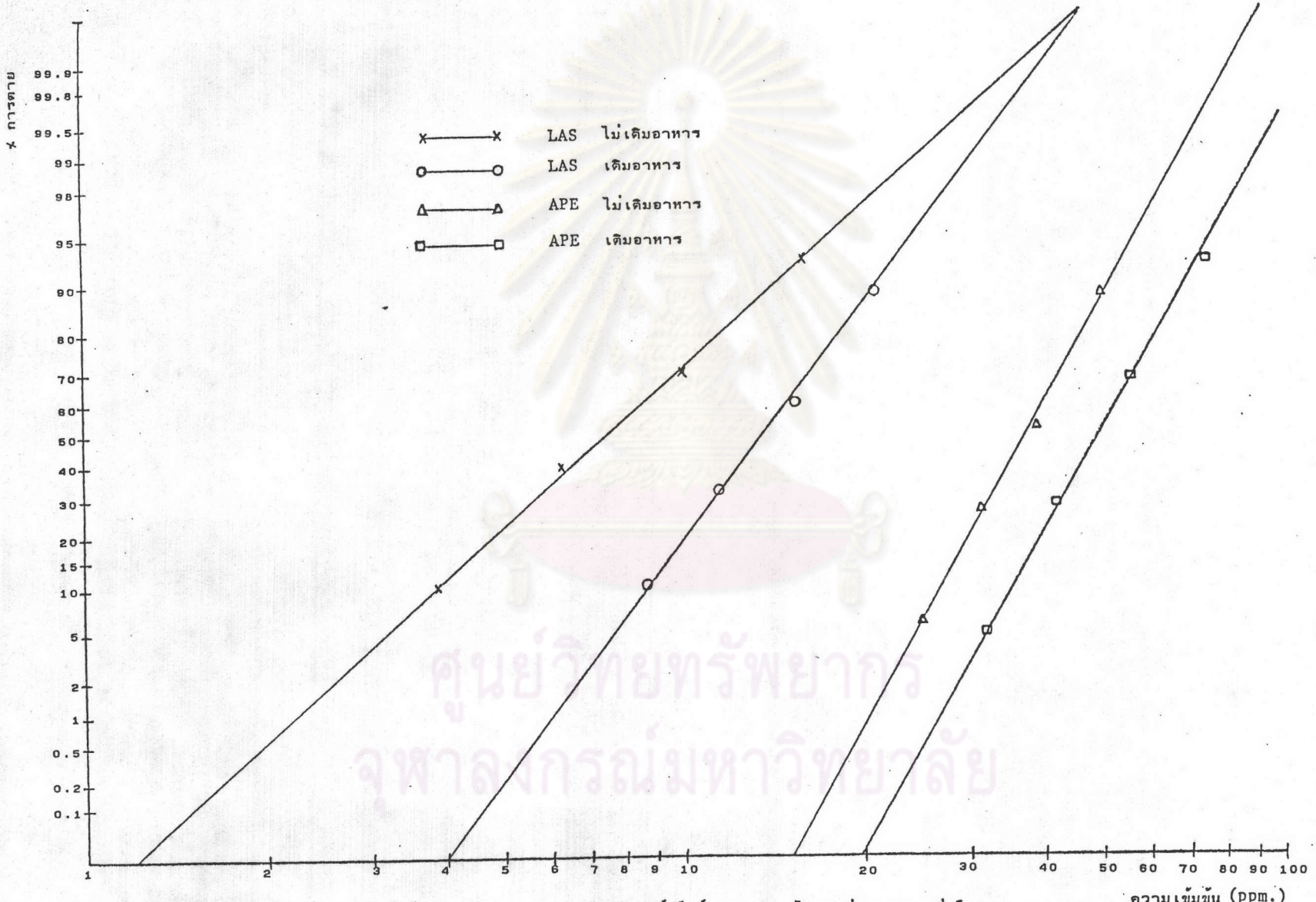
# วิจารณ์ผลการวิจัย

## 5.1 ความเป็นพิษเฉียบพลันของสารลดแรงตึงผิวต่อไรแดง

ผลการทดลองพิษเฉียบพลันของสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือ LAS และ APE ต่อไรแดง เมื่อเปรียบเทียบค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ พบว่า การทดลองที่ใช้ LAS ในน้ำตัวกลางไม่เติมอาหารมีค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ ต่ำสุด(ภาพที่ 5.1) ถัดไปคือ LAS ในน้ำตัวกลางเติมอาหารและ APE ในน้ำตัวกลางไม่เติมอาหาร ส่วน APE ในน้ำตัวกลางเติมอาหารมีค่าสูงสุด แสดงให้เห็นว่า LAS ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนิก มีพิษเฉียบพลันรุนแรงกว่า APE ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิก โดยสอดคล้องกับผลการทดลองที่มีผู้เคยศึกษามา คือ ความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิว ที่มีต่อสิ่งมีชีวิต จะมีความรุนแรงจากมากไปหาน้อยดังนี้ ประเภทแคทไอออนิก, แอนไอออนิก และ นอนไอออนิก ตามลำดับ (นพ อุตราภิรมย์สุข, 2526) และในการทดลองที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดเดียวกัน แต่เปรียบเทียบระหว่างน้ำตัวกลางที่ใช้ในการทดลองเติมอาหารและไม่เติมอาหาร พบว่า สารลดแรงตึงผิวในน้ำตัวกลางไม่เติมอาหารทำให้เกิดพิษเฉียบพลันรุนแรงกว่าสารลดแรงตึงผิวในน้ำตัวกลางเติมอาหาร ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าในการทดลองความเป็นพิษต่อไรแดงของสารลดแรงตึงผิวในน้ำตัวกลาง ซึ่งไม่มีการเติมอาหารพิษต่าง ๆ ที่ไรแดงได้รับจากสารลดแรงตึงผิว เป็นการรับพิษโดยตรงและความเป็นพิษจะรุนแรงยิ่งขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปนาน สาเหตุเพราะว่า เมื่อไรแดงอยู่ในสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม คือไม่ได้รับอาหาร ก็จะทำให้เกิดความเครียด ผลที่ตามมาคือ ร่างกายอ่อนแอและยังได้รับสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเป็นสารแปลกปลอมเข้าไปด้วย จึงทำให้ไรแดงตอบสนองต่อความเป็นพิษได้อย่างรวดเร็วและรุนแรง ส่วนในการทดลอง ซึ่งใช้สารลดแรงตึงผิวในน้ำตัวกลางเติมอาหาร ถึงแม้สารลดแรงตึงผิวจะสามารถทำอันตรายต่อไรแดงได้เช่นเดียวกัน แต่ไรแดงในการทดลองนี้อยู่ในสภาวะแวดล้อม ซึ่งเหมาะในการดำรงชีวิต คือ ได้รับอาหารตามปกติ มีความเครียดน้อยกว่าร่างกายจึงไม่อ่อนแอ สามารถทนทานต่อความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวได้นานกว่าไรแดงซึ่งทดลองในสารลดแรงตึงผิวในน้ำตัวกลางไม่เติมอาหาร เมื่อพิจารณาภาพที่ 5.2 ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ LAS และ APE กับเปอร์เซ็นต์ การตายของไรแดง พบว่า ฟังก์ชั่นความเอียงของ LAS และ APE มีค่าใกล้เคียงกัน เว้นเพียงแต่ค่า




ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ ของสารลดแรงตึงผิว LAS และ APE




ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ LAS และ APE กับเปอร์เซ็นต์การตายของไรแดงที่เวลา 24 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฟังก์ชั่นความเอียงของ LAS ในน้ำตัวกลางไม่เติมอาหาร จะมีค่าค่อนข้างสูง แสดงว่า การตอบสนองของไรแดงต่อ LAS และ APE ปกติจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันและอัตราการเพิ่มความเป็นพิษจะเพิ่มขึ้นในระดับใกล้เคียงกันด้วย ส่วนในกรณีของ LAS ในน้ำตัวกลางไม่เติมอาหาร มีค่าฟังก์ชั่นความเอียงค่อนข้างสูงนั้น แสดงว่า การเพิ่มความเป็นพิษ จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เนื่องจากความเข้มข้นของ LAS ในน้ำตัวกลางไม่เติมอาหารค่อนข้างต่ำ ถึงแม้จะทำให้เกิดพิษรุนแรง แต่จะไม่รวดเร็วเท่าความเข้มข้นสูง ลักษณะอาการของไรแดง เมื่อได้รับพิษของ LAS และ APE มีอาการคล้ายคลึงกัน โดยไรแดงจะแสดงอาการกระวนกระวายในระยะแรก แล้วจะตายลงในที่สุด การตายของไรแดงนั้น สาเหตุที่อาจจะเป็นไปได้มีหลายกรณี อันเนื่องมาจากการได้รับพิษของ LAS และ APE คือ 1. ทางเดินอาหาร เพราะว่าไรแดงกินอาหารโดยการกรอง (filter feeder) สารอาหารจากน้ำ แต่โอกาสที่จะได้รับพิษมีน้อยมาก เพราะว่า LAS และ APE จะละลายน้ำและผ่านออกมาสู่ภายนอกของร่างกาย หลังจากไรแดงกรองอาหารต่าง ๆ แล้ว 2. ทางเหงือก โดยที่ไรแดง หายใจโดยใช้แผ่นเหงือก (gill plate) ซึ่งอยู่บริเวณโคนระยางค์ทรวงอกด้านใน ดังนั้น LAS และ APE ซึ่งละลายอยู่ในน้ำก็สามารถซึมผ่านเข้าไปทำอันตรายต่อไรแดงได้เช่นกัน 3. ทางผิวหนัง ถึงแม้ว่าไรแดง จะมีเปลือกหุ้มลำตัวเป็นสารจำพวกไคติน (chitin) ซึ่งสามารถป้องกันการซึมเข้าของสารละลายต่าง ๆ ได้ แต่บางครั้งไรแดงจะอยู่ในช่วงการลอกคราบ ซึ่งเปลือกหุ้มลำตัวในช่วงนี้จะอ่อนนุ่มและบางลง รวมทั้งสารลดแรงตึงผิว LAS และ APE อาจจะมีส่วนในการทำให้เปลือกหุ้มลำตัวของไรแดงบางลงด้วย เพราะว่า คิวติเคิล ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกหุ้มลำตัวนั้นเป็นสารพวกไคติน มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง เป็นสารจำพวกไขมัน สามารถถูกสารลดแรงตึงผิวละลายได้ จึงมีผลทำให้เปลือกหุ้มลำตัวของไรแดงบางลง เมื่อเปลือกหุ้มลำตัวบางลง จะทำให้ร่างกายอ่อนนุ่ม หากไปกระทบกระแทกกับสิ่งหนึ่งสิ่งใดเข้า ซึ่งในที่นี้คือ ภาชนะที่ใช้ในการทดลอง ทำให้ร่างกายง่ายต่อการฉีกขาด ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อไรแดงได้ และเมื่อเปลือกหุ้มลำตัวบางลง การซึมเข้าสู่ร่างกายของ LAS และ APE ก็จะเกิดขึ้นได้มาก และย่อมสามารถเข้าไปทำลายอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายของไรแดงได้อีกทางหนึ่ง เช่นเดียวกัน โดยจะทำให้ขบวนการต่าง ๆ ทางสรีรวิทยาภายในร่างกายผิดปกติไปด้วยและจะเกิดอันตรายต่อไรแดงในที่สุด และสาเหตุที่ทำให้ LAS มีความเป็นพิษรุนแรงกว่า APE ก็อาจจะเนื่องจากว่า LAS มีโมเลกุลค่อนข้างเล็ก (มวลโมเลกุล เท่ากับ 326) ย่อมสามารถซึมเข้าสู่ร่างกายและทำอันตรายต่อไรแดงได้ดีกว่า APE ซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่ (มวลโมเลกุล เท่ากับ 660)

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำ พบว่า ทุกปัจจัยระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมของ LAS และ APE มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งก่อนและหลังการทดลอง ฉะนั้นจึงไม่มีผลต่อการเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวต่อไรแดง ในการศึกษาครั้งนี้

จากการนำผลการทดลองที่ได้ มาเปรียบเทียบกับการทดลองที่เคยมีผู้ทำการทดลองมาแล้ว ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์(2526) ศึกษาผลของผงซักฟอกที่มีส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิวชนิด LAS ต่อไรแดง ได้ค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ เท่ากับ 16.8 ppm. เปรียบเทียบกับ ผลการทดลองครั้งนี้ ซึ่งได้ค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ ของ LAS (ในน้ำตัวกลางไม่เติมอาหาร) เท่ากับ 7.5 ppm. แสดงว่า ความเป็นพิษของ LAS ในสภาพสารละลายตัวเดียว มีความรุนแรงกว่า LAS ในรูปของส่วนผสมในผงซักฟอก ทั้งนี้เนื่องจาก LAS ในผงซักฟอก มีปริมาณเพียง 12-30 % โดยน้ำหนักเท่านั้น ส่วน LAS ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีเนื้อสารเกือบถึง 100% ส่วนในต่างประเทศ Kimerle and Swisher (1977) รายงานค่าความเป็นพิษของ LAS($C_{12}$) ต่อไรแดง (Daphnia magna) ซึ่งเป็นไรแดงต่างสายพันธุ์ (species) กับไรแดง (Moina macrocopa.Straus) ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า ค่า 24 ชั่วโมง เท่ากับ 10.7 ppm. และ Lundahl and Cabridenc (1978) ทดลองพบว่า ค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ ของ LAS($C_{12}$) ต่อไรแดง (Daphnia magna) ซึ่งผลิตโดย บริษัท Hüls และ Shell มีค่าเท่ากับ 12 และ 17 ppm. ตามลำดับ ดังนั้น จะเห็นว่าค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ ของ LAS ต่อไรแดงทั้ง 2 ชนิด คือ Moina macrocopa.Straus และ Daphnia magna ถึงแม้จะต่าง species และสิ่งแวดล้อมต่างกัน แต่ก็มีค่าความเป็นพิษคือ 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของ APE ($C_9$, $EO_{10}$) ต่อไรแดง ยังไม่มีรายงานการศึกษา ทั้งจากในและต่างประเทศมีเพียง Sivak et al. (1982) รายงานค่าความเป็นพิษของ APE($C_9$,$EO_{10}$) ต่อปลาทอง (Goldfish) ค่า 48 ชั่วโมง $LC_{50}$ เท่ากับ 5.4 ppm.

ในการเปรียบเทียบการทดลองพิษเฉียบพลันของ LAS และ APE ในสภาพซึ่งน้ำตัวกลางมีการเติมอาหารและไม่เติมอาหาร พบว่า ค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ ของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิด ในสภาพน้ำตัวกลางเติมอาหาร จะมีค่าสูงกว่า ในสภาพน้ำตัวกลางไม่เติมอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Biesinger and Christensen (1972) โดยที่สัตว์ทดลองสามารถมีชีวิตอยู่ได้ยืนนานหรือมีความทนทานในสภาพที่สารทดลองมีการเติมอาหารในน้ำตัวกลางมากกว่า สภาพที่สารทดลองไม่มีการเติมอาหารในน้ำตัวกลาง

5.2 ความเป็นพิษสะสมของสารลดแรงตึงผิวต่อไรแดง

ในการศึกษาความเป็นพิษสะสมของสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนอิออนิก (LAS) และนอนอิออนิก (APE) ต่อไรแดง เป็นการศึกษาถึงผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการสืบพันธุ์ของไรแดง ซึ่ง Biesinger and Christensen (1972) พบว่า การศึกษาผลของสารทดลองต่อการสืบพันธุ์ของไรแดง จะให้ผลในการวัดความไวในการตอบสนองต่อสารพิษหรือสารทดลองต่าง ๆ ได้ดีกว่า การศึกษาผลการอยู่รอดหรือการตายของไรแดงอันเนื่องมาจากสารทดลอง การประเมินค่า MATC(maximum acceptable toxicant concentrations) ซึ่งเป็นค่าระดับความเข้มข้นของสารทดลองที่จะยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ โดยไม่เป็นอันตรายแก่สัตว์ทดลอง Biesinger and Christensen (1972) ศึกษาพบว่า ความเข้มข้นในระดับที่ปลอดภัย ที่จะนำมาใช้ได้ คือ ความเข้มข้นที่มีผล ทำให้จำนวนลูกไรแดงลดลงไปน้อยกว่า 16% ของจำนวนลูกเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (16% Reproductive Impairment) ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้ ผลการทดลองพบว่า ค่า 16% Reproductive Impairment หรือค่า MATC ของ LAS และ APE ที่มีต่อไรแดง มีค่าเท่ากับ 1.73 และ 8.90 ppm. ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความเป็นพิษของ LAS จะรุนแรงกว่า APE คือ ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน LAS จะทำให้เกิดอันตรายต่อไรแดงได้มากกว่า APE ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการทดลองพิษเฉียบพลันของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิดนี้ ต่อไรแดง สำหรับค่า MATC ซึ่งคาดว่าจะสามารถคำนวนได้อีกทางหนึ่ง จากค่าทางสถิติ คือ Dunnett's multiple comparison test โดยค่า MATC จะออกมาในรูปของช่วงของความเข้มข้น 2 ความเข้มข้น ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ทำให้จำนวนลูกของไรแดง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม แต่จากการทดลองพบว่า แม้ที่ระดับความเข้มข้นของ LAS และ APE ที่ต่ำสุด เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติแล้ว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม การคำนวนโดยวิธีนี้จึงไม่สามารถหาค่า MATC ออกมาได้ ดังนั้นการหาค่า MATC จากการทดลองนี้ จึงสามารถหาได้จากวิธีการของ Biesinger and Christensen (1972) เพียงวิธีเดียวเท่านั้น สำหรับพิษของสารลดแรงตึงผิว LAS และ APE ต่อการสืบพันธุ์ของไรแดงนั้น ไม่ว่าจะออกมาในรูปของการทำให้จำนวนลูกไรแดงหรือความถี่ในการเกิด parthenogenesis ลดลงก็ตาม น่าจะมีสาเหตุมาจาก เมื่อไรแดงได้รับสารลดแรงตึงผิวซึ่งอาจจะผ่านทางผิวหนังหรือทางเดินอาหาร เข้าสู่ร่างกายในระดับความเข้มข้นที่ไม่สูงพอที่จะทำให้ไรแดงตายได้ แต่ไรแดงจะมีการสะสมสารลดแรงตึงผิวไว้ในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ วันละเล็กละน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในส่วนที่เกี่ยวกับอวัยวะสืบพันธุ์ เมื่อถึงระยะเวลาที่ไรแดงเจริญ

เติบโตเต็มที่จนสามารถสืบพันธุ์ได้ พิษต่าง ๆ ที่สะสมไว้ ก็จะมีการแสดงออกมาปรากฏให้เห็น โดยการทำให้จำนวนลูกที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งลดลงจากเดิมหรือความถี่ในการเกิด parthenogenesis ลดลงได้เช่นกัน จากค่า MATC ที่ได้จากการทดลองนี้ สามารถนำมาคำนวนหาค่า ปัจจัยปรับค่า (application factor,AF) โดยที่ ปัจจัยปรับค่าเป็นอัตราส่วนระหว่าง MATC และ incipient $LC_{50}$ ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ค่า 24 ชั่วโมง $LC_{50}$ (APHA,1975) ซึ่งปัจจัยปรับค่าจะมีค่าแตกต่างหรือแปรเปลี่ยนไปในสารแต่ละชนิด ถ้าหากทราบค่าของปัจจัยปรับค่าและความเป็นพิษเฉียบพลันแล้ว ก็สามารถคำนวนหาค่า MATC หรือ ค่าความเข้มข้นที่ปลอดภัย (safe concentration) ของสารนั้น ๆ ได้ จากการคำนวน ปัจจัยปรับค่าของ LAS และ APE ซึ่งได้จากการทดลองครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 0.23 และ 0.24 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของการทดลองพิษสะสมของสารลดแรงตึงผิวต่อไรแดง เมื่อนำมาเปรียบเทียบ ความแตกต่างระหว่างชุดควบคุมกับชุดทดลอง พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน และมีลักษณะเช่นเดียวกับในการทดลองพิษเฉียบพลัน

ดังนั้นจากการทดลองครั้งนี้ สรุปได้ว่า สารลดแรงตึงผิวประเภทแอนอิออนิก (LAS) และนอนอิออนิก (APE) มีผลต่อการดำรงชีวิตของไรแดง ทั้งทางด้านการอยู่รอดของไรแดง รวมทั้งการสืบพันธุ์ด้วย โดยที่สารลดแรงตึงผิวประเภทแอนอิออนิก (LAS) มีพิษรุนแรงกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนอิออนิก (APE) และค่าความเข้มข้นที่ปลอดภัยของสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนอิออนิก (LAS) และประเภทนอนอิออนิก (APE) ในแหล่งน้ำ สูงสุดมีค่าไม่ควรเกิน 1.73 และ 8.90 ppm. ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้สัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปลอดภัย และแหล่งน้ำอยู่ในสภาพที่เหมาะสม และไรแดงซึ่งใช้เป็นสัตว์ทดลองในครั้งนี้ มีความเหมาะสมในการนำมาเป็นดัชนี สำหรับการศึกษาทดสอบโดยวิธีชีววิเคราะห์ เพราะลักษณะการดำรงชีวิตสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ และในการศึกษาความเป็นพิษของสารลดแรงตึงผิวต่อไรแดง พบว่า ไรแดงมีการตอบสนองต่อสารลดแรงตึงผิวได้อย่างรวดเร็ว และค่อนข้างสม่ำเสมอ มีความแตกต่างกันน้อยในผลที่ได้