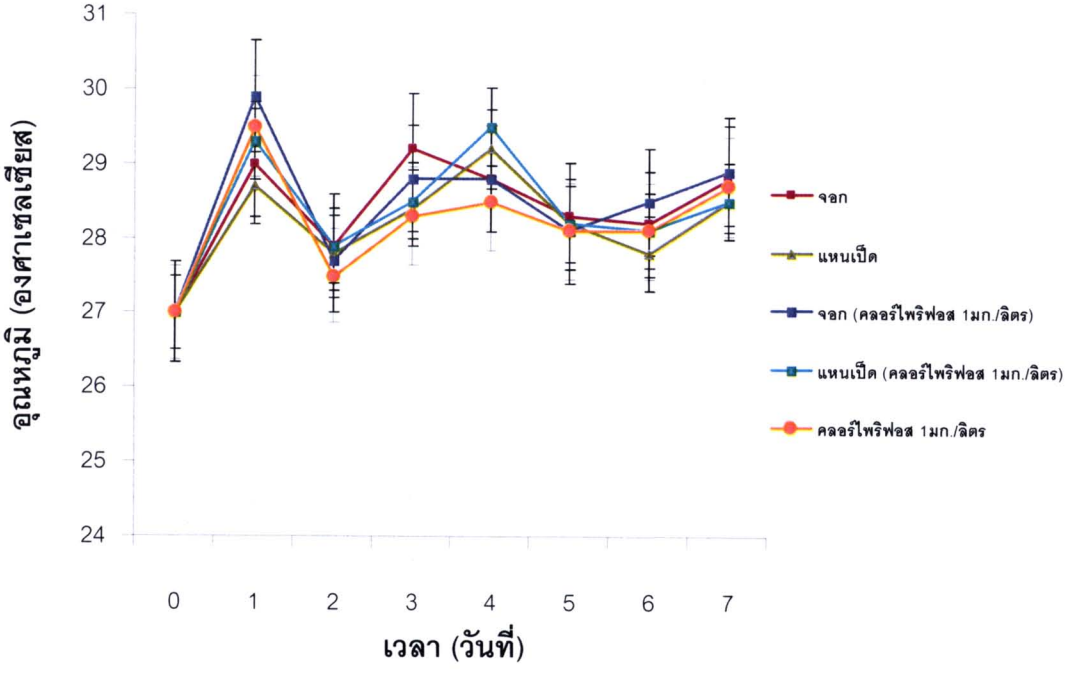
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีของสารละลายคลอร์ไพริฟอส

4.1.1 อุณหภูมิ

ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืช (ภาพที่ 4.1) ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 27-30 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำสุดในวันแรกของทุกชุดการทดลอง (27 องศาเซลเซียส) และสูงสุด (30 องศาเซลเซียส) ในวันที่ 1 ของชุดการทดลองที่ปลูกจอกในสารละลายคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิของสารละลายตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองทั้ง 7 วันนี้ อุณหภูมิที่วัดได้มีค่าสูงกว่าวันแรก และทุกชุดการทดลองอุณหภูมิมีลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงคล้ายกัน อาจเนื่องมาจากทุกชุดการทดลองอยู่ภายใต้สภาพโรงเรือนเดียวกัน



ภาพที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนเป็ด (*L. minor*) และชุดควบคุม (control) ตลอดระยะเวลา 7 วัน

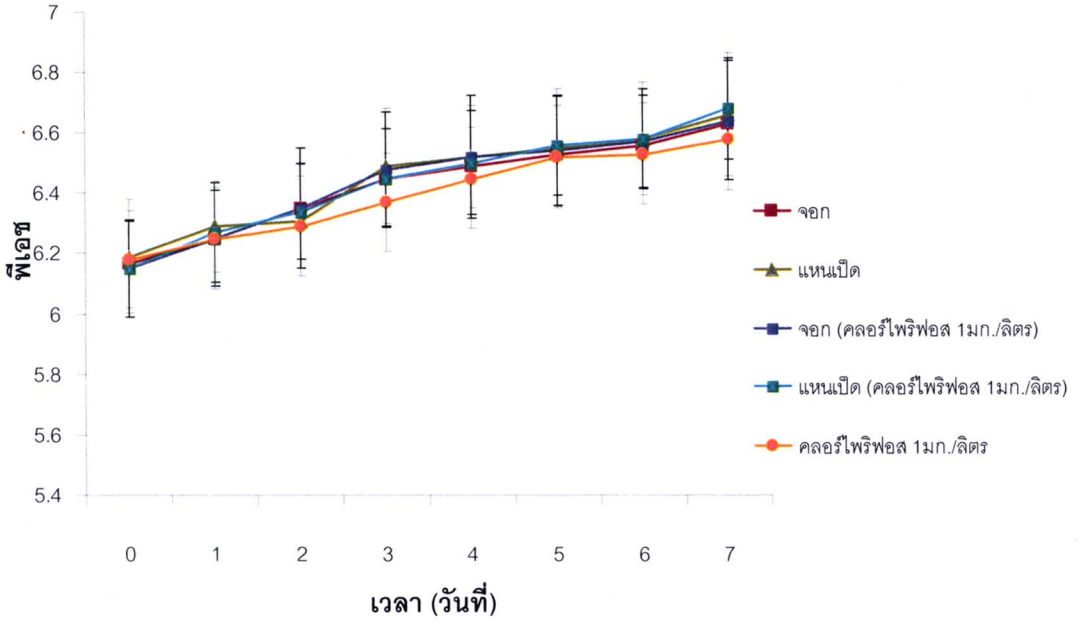
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในภาชนะบรรจุน้ำเกิดได้จากการที่มีแสงส่องผ่านลงไปในแหล่งน้ำต่อมามีการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2539) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีก็เพิ่มขึ้น การละลายของแก๊สลดลง การละลายของแร่ธาตุเพิ่มขึ้นโดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ขึ้นกับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ รวมถึงขึ้นกับความเข้มของแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่น และสภาพแวดล้อมทั่วไปในแหล่งน้ำ อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นกว่าระดับปกติเพียง 2-3 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อคุณภาพน้ำและแหล่งน้ำ เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ความสามารถในการละลายออกซิเจน การแบ่งชั้นของน้ำ การหมุนเวียนของแร่ธาตุต่าง ๆ และกระแสน้ำ เป็นต้น ผลกระทบที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น คือปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะมีอัตราผกผันหรือตรงข้ามกับอุณหภูมิของน้ำ คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะลดลง ในขณะที่ขบวนการเมตาบอลิซึมผันแปรตามอุณหภูมิคือจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 ถึง 3 เท่าเมื่ออุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกัน การทำงานของพวกแบคทีเรียและจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการย่อยสลายสิ่งปฏิกูลต่างๆ ในน้ำก็จะเพิ่มขึ้น และต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ก็จะทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนเร็วขึ้น เป็นเหตุให้น้ำเกิดการเน่าเสียได้ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ, 2528) แต่สำหรับในการศึกษานี้มีภาชนะบรรจุที่เหมือนกันและอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมโรงเรือนแบบเดียวกันค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.1.2 พีเอช

ค่าพีเอชของสารละลาย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันแรกถึงวันที่ 7 โดยที่ค่าพีเอชของชุดควบคุมที่ปลูกจอก ชุดควบคุมที่ปลูกแหนเป็ด ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ปลูกจอกและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกแหนเป็ดและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 6.17-6.63, 6.19-6.66, 6.13-6.58, 6.15-6.64 และ 6.15-6.68 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2)

ค่าพีเอชเป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน [H^+] ในน้ำ ในทางปฏิบัติ แสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย น้ำที่มีสมบัติเป็นกรดจะมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่ามากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีพีเอชเท่ากับ 7 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ, 2540)

นอกจากนี้ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำก็มีส่วนทำให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยพืชน้ำจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวันทำให้พีเอชของน้ำจะสูงขึ้น และค่อย ๆ ลดลงในเวลากลางคืนเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยออกมาจากขบวนการหายใจ (ยนต์ มุสิก, 2530)



ภาพที่ 4.2 ค่าพีเอชเฉลี่ยของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนเป็ด (*L. minor*) และชุดควบคุม (control) ตลอดระยะเวลา 7 วัน

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2545) กล่าวว่า พีเอชมีบทบาทและความสำคัญต่อการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสลายตัวของสาร การตกผลึก การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เป็นต้น ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการต่าง ๆ นั้นมีค่าไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางเคมี หรือชีวภาพของกระบวนการ ค่าพีเอชน้ำในธรรมชาติส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 4-9 (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) เนื่องจากค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นอิออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับ โดยทั่วไปอัตราดูดซับสิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าลดลงเพราะ H^+ เพิ่มขึ้น (พัชรีย์ ถาวรเจริญพงศ์, 2541)

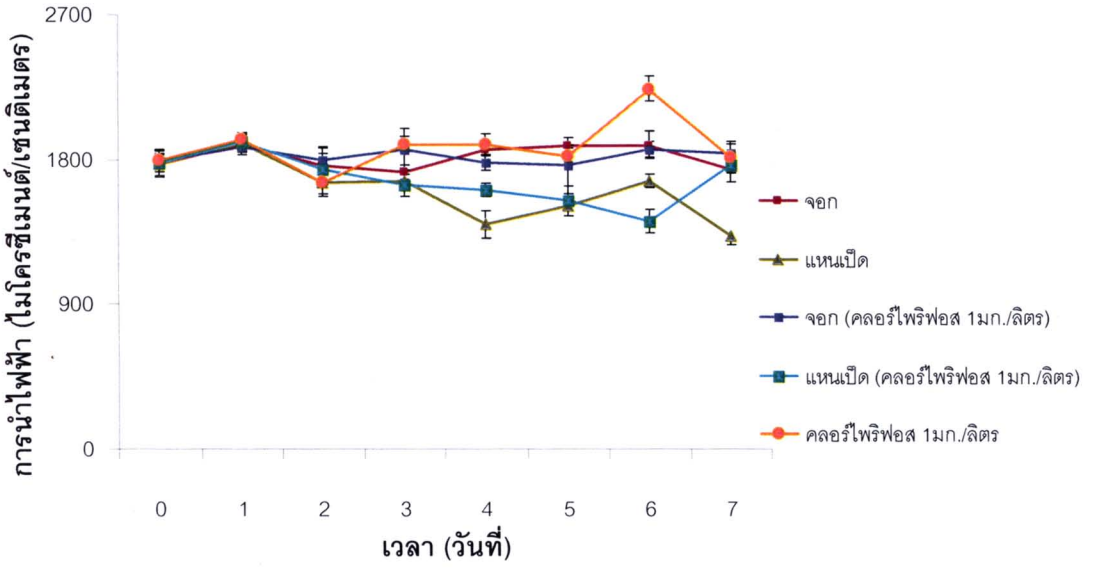
สำหรับค่าพีเอชของสารละลาย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทุกชุดการทดลอง แต่ชุดการทดลองที่ปลูกพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่ปลูกพืชทำให้ค่าพีเอชของน้ำสูงขึ้นอาจเป็นสาเหตุมาจากพืชใช้

คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวันทำให้พีเอชของน้ำจะสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น (vegetative growth) พืชจะมีการดูดใช้ NO_3^- เป็นส่วนใหญ่ (ดูดใช้ anion มากกว่า cation) ดังนั้นก็จะปลดปล่อย HCO_3^- ออกมาจำนวนเท่ากันมีผลให้พีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น (อารักษ์ ธีรอำพน, 2544)

4.1.3 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้เลี้ยงพืช พบว่ามีความผันแปรตลอดระยะเวลาทั้ง 7 วัน โดยที่ชุดควบคุมปลูกจอก ชุดควบคุมปลูกแหนเป็ด ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ปลูกจอกและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกแหนเป็ดเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าอยู่ในช่วง 1721-1890, 1327-1905, 1761-1875, 1414 1910 และ 1797-2240 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 4.3) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ McGregor *et al.* (2008) ที่ทำการวัดอุณหภูมิสูงสุด pH และการนำไฟฟ้าเฉลี่ย เป็นเวลามากกว่า 42 วัน โดยมีความเข้มข้นของสารละลาย atrazine ดังนี้ 0, 25, 50, 100 และ 250 ไมโครกรัมต่อลิตร พบว่า อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย pH และค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) แต่จากการศึกษาของ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย (2550) พบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีความสอดคล้องกับค่าพีเอชซึ่งค่าพีเอชสูงขึ้นทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย

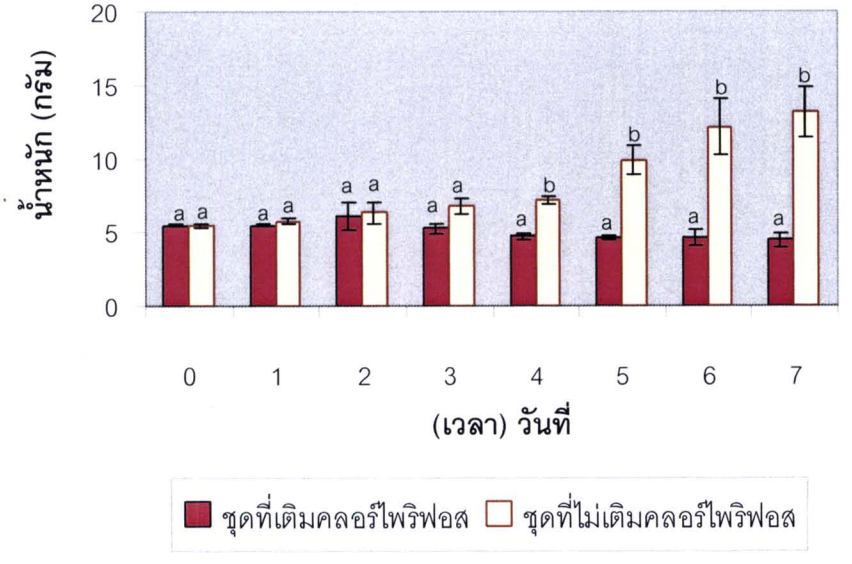
ค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของอิออนในน้ำ และอุณหภูมิ น้ำที่มีอิออนของสารต่างๆ อยู่สามารถนำไฟฟ้าได้ ได้แก่ กรด ด่างแก่ และเกลืออินทรีย์ เช่น Na_2CO_3 และ NaCl เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีเพราะแตกตัวให้อิออนบวกและลบ ในทางตรงข้ามโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่นซูโครสและเบนซีนไม่แตกตัวเป็นอิออนในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะอิออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของอิออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มหรือลดของอิออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้นหรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงแสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544) อีกทั้งการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิน้ำยิ่งสูงขึ้นสารต่างๆจะแตกตัวได้ดี ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิออนก็จะเพิ่มขึ้น จึงทำให้การนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สุธี เกื้อเกตุ (2543) กล่าวว่าถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น เพราะอุณหภูมิของน้ำสูงทำให้การแตกตัวเป็นอิออนของเกลือมากขึ้น



ภาพที่ 4.3 ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของสารละลายที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนเป็ด (*L. minor*) และชุดควบคุม (control) ตลอดระยะเวลา 7 วัน

ผลทางด้านเคมีของสารละลายเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติแล้วแสดงให้เห็นว่า ค่าอุณหภูมิ ค่าพีเอช ในชุดควบคุมปลูกจอก ชุดควบคุมปลูกแหนเป็ด ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ปลูกจอกและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกแหนเป็ดเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนค่าการนำไฟฟ้าในชุดควบคุมปลูกจอก ชุดควบคุมปลูกแหนเป็ด ชุดควบคุมไม่ปลูกพืชและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ชุดการทดลองที่ปลูกจอกและเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ปลูกแหนเป็ดเติมคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

4.2 การเจริญเติบโต องค์ประกอบการเจริญเติบโต และอิทธิพลของคลอร์ไพริฟอสต่อมวลชีวภาพของจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*)

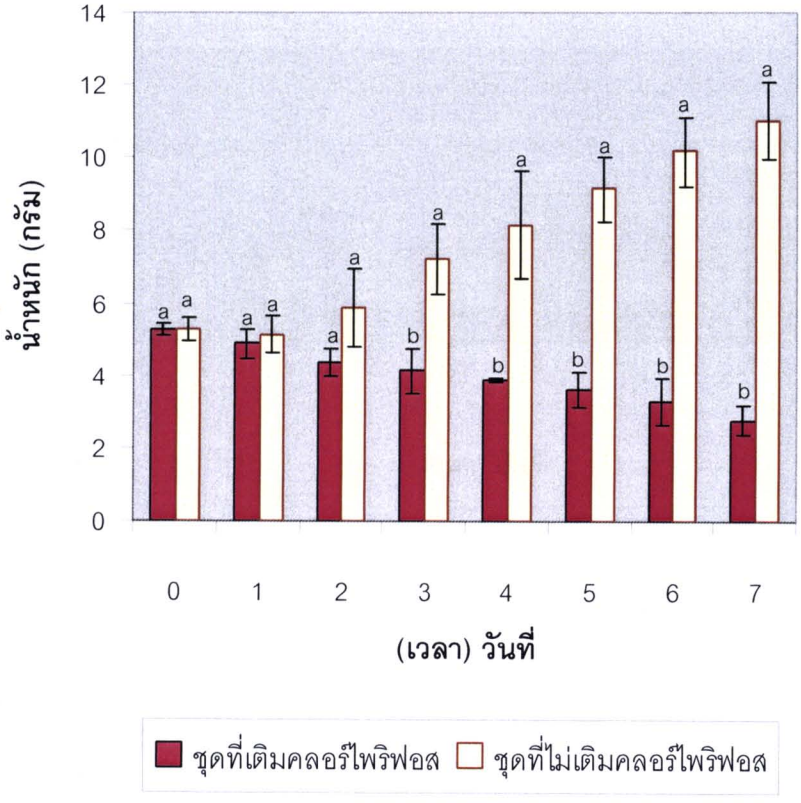


หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.4 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

ผลการเจริญเติบโตของแหนเป็ดจากการชั่งน้ำหนักสดในช่วงวันแรกถึงวันที่ 3 พบว่าชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส และไม่เติมคลอร์ไพริฟอสของแหนเป็ดมีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$) โดยมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 5.29 ถึง 6.76 กรัม และแหนเป็ดเริ่มมีน้ำหนักสดแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) อย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 4 ถึงวันที่ 7 โดยแหนเป็ดในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสมีน้ำหนักสดน้อยกว่าแหนเป็ดในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ซึ่งมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 4.44 ถึง 4.75 กรัม และ 7.17 ถึง 13.07 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 4.4)

ซึ่งแสดงว่าพืชเจริญเติบโตในสารละลายที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสได้ดีกว่าพืชที่อยู่ในสารละลายที่มีการเติมคลอร์ไพริฟอสและทำให้มีน้ำหนักสดมากกว่า

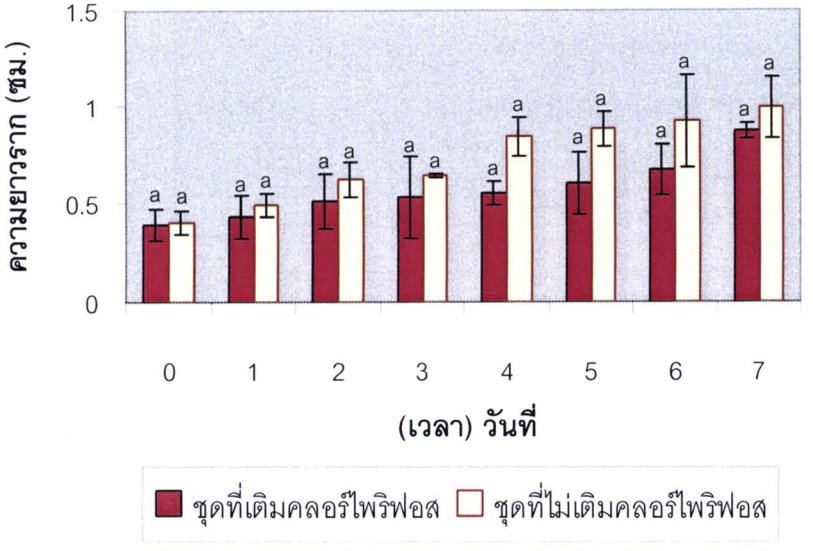


หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.5 การเจริญเติบโตของจอกโดยการชั่งน้ำหนักสดทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

ผลการเจริญเติบโตของจอกจากการชั่งน้ำหนักสด พบว่าจอกมีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันแรกถึงวันที่ 2 ของการทดลองโดยพืชทั้งสองชุดการทดลองมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 4.37 ถึง 5.89 กรัม แต่ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 7 จอกในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสเริ่มมีน้ำหนักสดมากกว่าจอกที่อยู่ในสารละลายคลอร์ไพริฟอส ซึ่งมีน้ำหนักอยู่ในช่วง 7.23 ถึง 11.01 กรัม และ 2.77 ถึง 4.21 กรัม ตามลำดับ และแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.5)

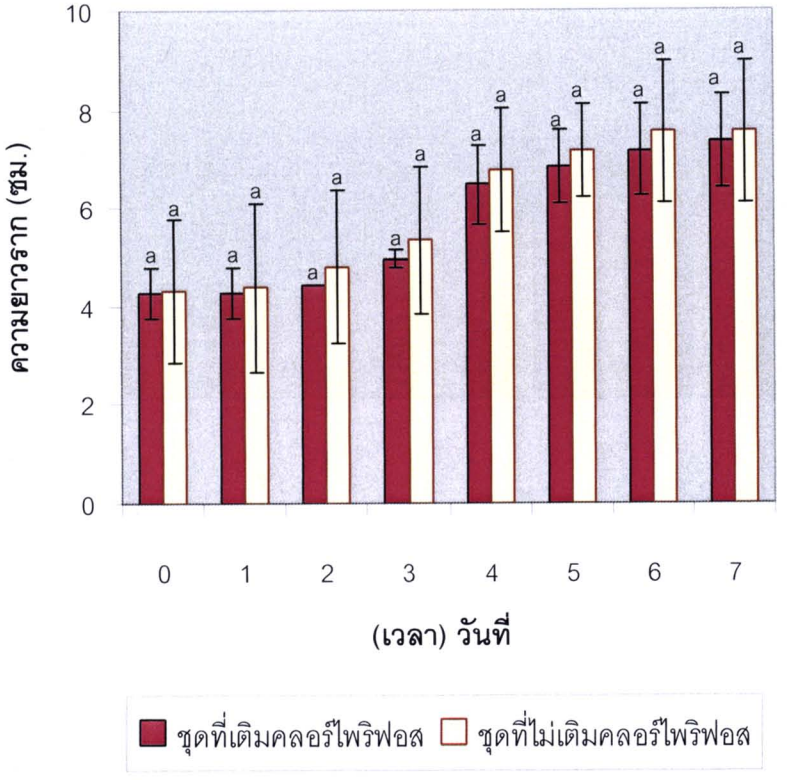
จากผลการเจริญเติบโตโดยการชั่งน้ำหนักสดของจอกและแหนเป็ด พบว่าพืชทั้งสองชนิดมีลักษณะการเจริญเติบโตที่คล้ายกันคือ ในสารละลายที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสพืชมีน้ำหนักสดมากกว่าในสารละลายที่เติมคลอร์ไพริฟอส อาจเป็นเพราะคลอร์ไพริฟอสมีผลทำให้พืชเจริญเติบโตไม่ดี



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.6 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการวัดความยาวราก พบว่าทั้งสองตำรับการทดลองในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส และชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอส ตลอดทั้ง 7 วัน ความยาวของรากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยอยู่ในช่วง 0.39 ถึง 0.87 เซนติเมตร และ 0.40 ถึง 0.99 เซนติเมตร และความยาวรากของแหนเป็ดในชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าในชุดทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในวันที่ 4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.84 และ 0.55 เซนติเมตร ตามลำดับ และจากการคำนวณทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.6)

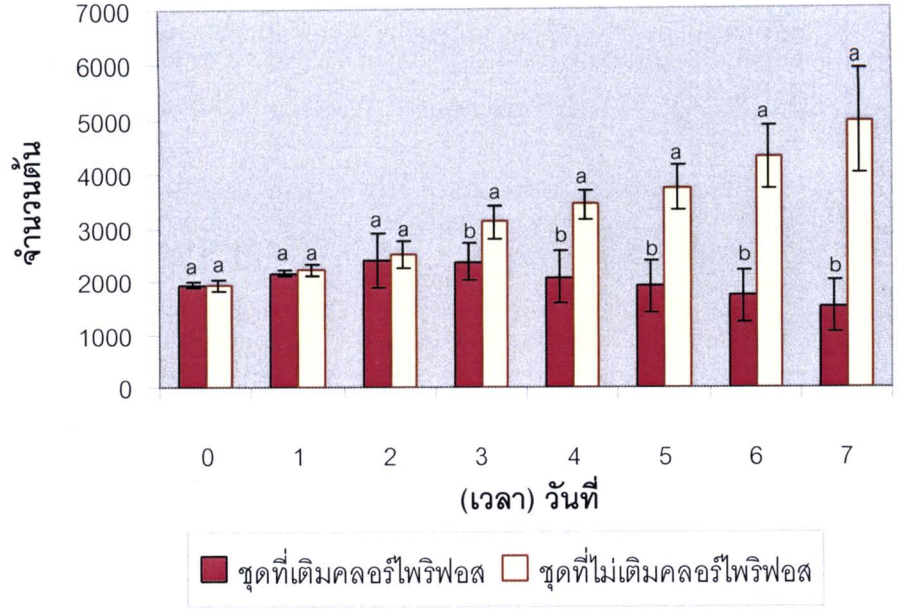


หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.7 การเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวรากทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

การเจริญเติบโตของจอกโดยการวัดความยาวราก พบว่าความยาวรากของจอกทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง และมีความยาวรากใกล้เคียงกันในวันแรกและวันที่ 1 โดยที่ชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสโดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.30 ถึง 4.37 เซนติเมตร และชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสมีค่าเท่ากับ 4.28 เซนติเมตร และความยาวรากของจอกในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสเริ่มมากกว่าชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสในวันที่ 2 ถึงวันที่ 7 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.80 ถึง 7.53 และ 4.43 ถึง 7.34 เซนติเมตร ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.7)

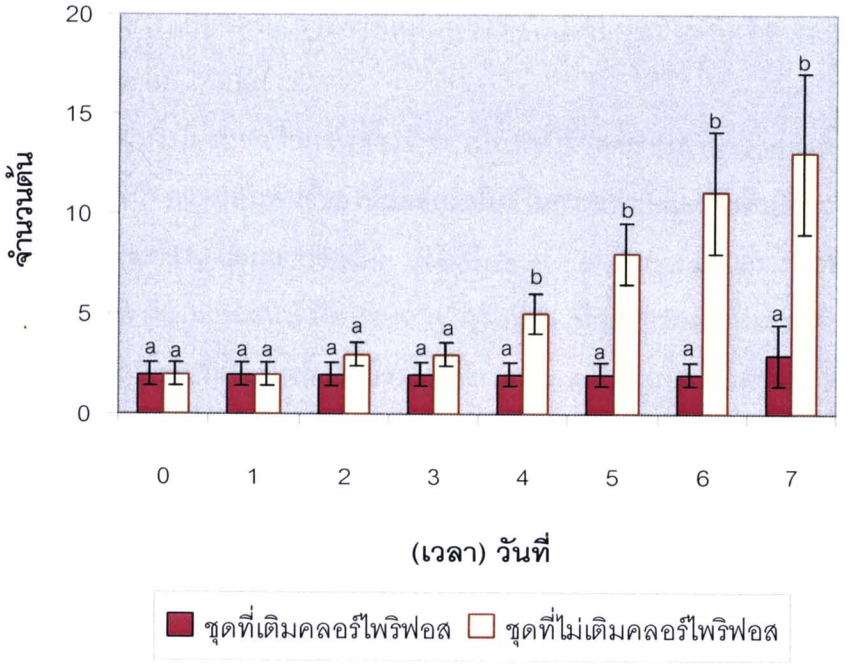
จากการเจริญเติบโตโดยวัดความยาวรากของจอกและแหนเป็ดพบว่าพืชทั้งสองชนิด มีแนวโน้มว่าความยาวรากเพิ่มขึ้น และในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีความยาวรากมากกว่าชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส แต่จากการคำนวณทางสถิติพบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.7)



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.8 การเจริญเติบโตของแหนเป็ดโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

จำนวนต้นของแหนเป็ดทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันในวันแรกถึงวันที่ 2 ของการทำการทดลองโดยมีค่าอยู่ในช่วง 1930 ถึง 2519 ต้น และพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 3 แหนเป็ดที่เลี้ยงในสารละลายคลอร์ไพริฟอสเริ่มมีจำนวนต้นลดลงเหลือเพียง 2387 ต้น และมีจำนวนต้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 7 เหลือเพียง 1532 ต้น แต่จำนวนต้นของแหนเป็ดเพิ่มขึ้นในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสจากวันแรกถึงวันที่ 7 โดยอยู่ในช่วง 1930 ถึง 4994 ต้น และจากการคำนวณทางสถิติระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสของวันที่ 3 ถึงวันที่ 7 พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.8)



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ภาพที่ 4.9 การเจริญเติบโตของจอกโดยการนับจำนวนต้นทุกวัน เป็นระยะเวลา 7 วัน

จำนวนต้นของจอกในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอสวันแรกถึงวันที่ 6 มีอัตราคงที่ คือเท่ากับ 2 ต้น และเพิ่มขึ้นในวันที่ 7 เป็น 3 ต้น แต่การเจริญเติบโตของจอกในชุดควบคุมที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 13 ต้น ในวันที่ 7 เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่าจำนวนต้นของจอกในวันแรกกับวันที่ 1 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส และพบว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสกับชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส จากวันที่ 4 ถึงวันที่ 7 จอกมีจำนวนต้นแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 4.9)

การเจริญเติบโตของแหนเป็ดและจอกโดยการนับจำนวนต้นพบว่า พืชทั้งสองชนิดเจริญเติบโตได้ดีในสารละลายที่ไม่เติมคลอร์ไพริฟอสโดยมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้น แต่ในชุดการทดลองที่เติมคลอร์ไพริฟอส แหนเป็ดมีจำนวนต้นลดลงตั้งแต่วันที่ 3 และจอกมีอัตราการเจริญคงที่ในวันแรกถึงวันที่ 6 และมีจำนวนต้นเพิ่มขึ้นในวันที่ 7

โดยทั่วไปแล้วการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด จะมีช่วงการเจริญเติบโตที่เหมือนกัน จากผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของจอกและแหนเป็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ใน

ตำรับควบคุมทั้ง 7 วันแสดงให้เห็นว่า แหนเป็ดเจริญเติบโตเร็วกว่าจอกที่อยู่ภายใต้สภาพโรงเรือนเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะพืชใบเลี้ยงเดี่ยวคือแหนเป็ดรับอิทธิพลจากคลอร์ไพริฟอสได้ช้ากว่าจอกที่เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ อย่างไรก็ตามค่าจำกัดของความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพืชน้ำที่เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่ต่อสารกำจัดศัตรูพืชยังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดที่สามารถใช้เป็นดัชนีได้ (Gorzerino *et al.*, 2009)

การเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพของพืช เป็นดัชนีชี้วัดความสามารถของพืชในการทนความเป็นพิษและใช้เป็นตัวชี้วัดความสัมพันธ์ของพืชแต่ละชนิด ในการแข่งกันเจริญเติบโตและความหนาแน่นของพืชที่อยู่ร่วมกัน (density-dependence) (McGreger *et al.*, 2008) ผลของคลอร์ไพริฟอสต่อการเจริญเติบโตของจอกและแหนเป็ด พบว่าจากวันที่ 3 พืชมีการเปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานเล็กน้อย โดยสามารถเห็นว่าพืชใบมีสีซีดเหลือง ลำต้นแคระแกรน เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า มวลชีวภาพลดลงตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 7 ของการทดลอง อาจเป็นเพราะความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอส 1 มิลลิกรัมต่อลิตรมีความเป็นพิษต่อจอกและแหน ซึ่ง DowAgro Science (2008) รายงานว่า ปริมาณของคลอร์ไพริฟอส 50% EC จะยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Scenedesmus* sp และ *Seletonema Costatum* ที่ 0.48 และ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับที่ 96 ชั่วโมง

4.3 อิทธิพลของจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*) ต่อการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย

ปริมาณระดับความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่เหลือในสารละลายเกิดจากการดูดดึงของพืชน้ำซึ่งเป็นไปตามสมการ first-order kinetics curve เนื่องจากสามารถเห็นค่าอัตราคงที่ในการสลายตัวได้อย่างชัดเจน ดังเช่นงานวิจัยของ Xia และ Ma (2005) ที่ศึกษาความสามารถของผักตบชวาในการกำจัดสารอีไธออน ซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต ผลการศึกษาพบว่าอัตราการกำจัดสารอีไธออนของชุดการทดลองที่ไม่มีการฆ่าเชื้อพืชก่อนปลูก ชุดที่ฆ่าเชื้อก่อนปลูก ชุดที่ไม่ฆ่าเชื้อ และไม่ปลูกพืช และชุดที่ฆ่าเชื้อแต่ไม่ปลูกพืช มีค่าเท่ากับ 0.01059 0.00930 0.00294 และ 0.00201 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง จากผลที่ได้นี้สามารถสรุปได้ว่าในการกำจัดอีไธออนเกิดจากการดูดดึงของพืช

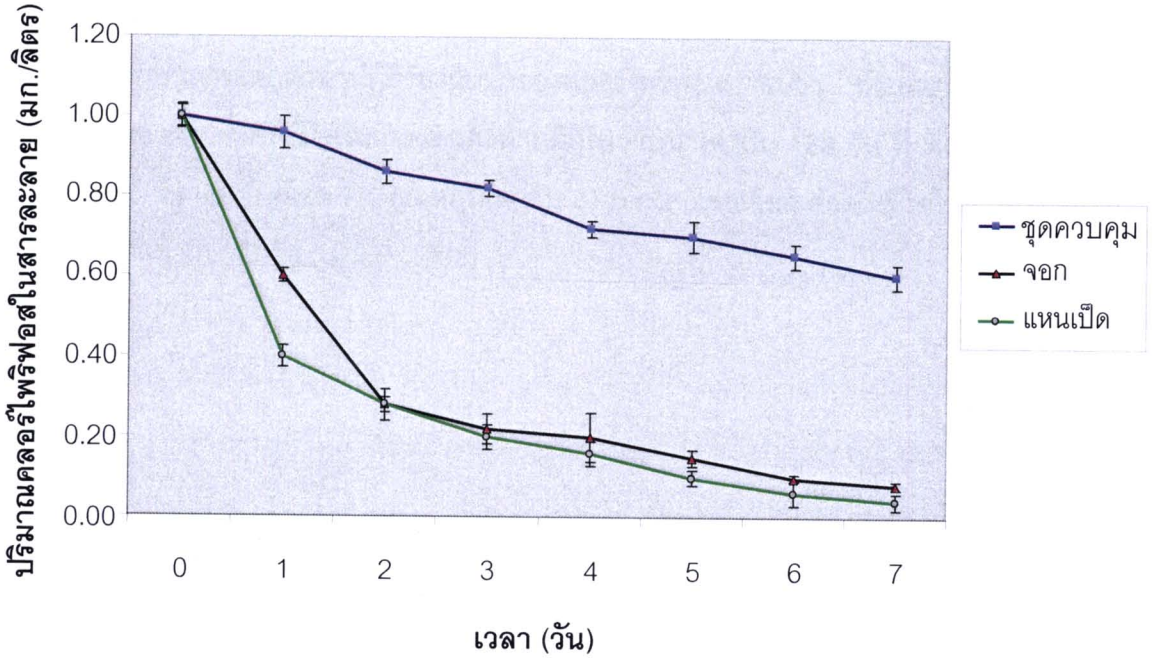
จากกราฟแสดงแนวโน้มของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายแต่ละชุดการทดลอง (ภาพที่ 4.10) ตามสมการ first-order kinetics curve (สมการที่ 3.3) อัตราการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในสารละลายภายใต้ตำรับการทดลองต่างๆ คำนวณได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่าคงที่ของอัตราการหายไปของคลอร์ไพริฟอสในสารละลายในชุดควบคุม (ไม่มีพืช) ชุดที่มีจอก และชุดที่มีแหนเป็ดมีค่าเท่ากับ 3.04 15.03 และ

19.16 ไมโครกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอัตราของคลอร์ไพริฟอสที่หายไปของแหนเป็ดสูงกว่าจอก และแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราคงที่ (k±S.D.) ของคลอร์ไพริฟอสที่หายไปในสารละลาย Hoagland'No.2

ชุดการทดลอง	ค่าคงที่ของอัตราการหายไป (ไมโครกรัมต่อชั่วโมง)
ชุดควบคุม (ไม่มีพืช)	3.04 ± 0.14^{a}
จอก (*P. stratiotes*)	15.03 ± 0.81^{b}
แหนเป็ด (L. *minor*)	19.16 ± 0.89^{c}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีสัญลักษณ์ต่างกัน (a, b, c) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในสารละลาย Hoagland'No.2 ที่เพาะเลี้ยงจอก (*P. stratiotes*) แหนเป็ด (*L. minor*) และชุดควบคุม (control) ตลอดระยะเวลา 7 วัน

ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่เหลืออยู่ในสารละลาย ในชุดการทดลองที่ปลูกแหนเป็ด จอก และตำรับควบคุมทั้ง 7 วัน เท่ากับ 0.04 0.08 และ0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การทดลองนี้พบว่าความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในวันสุดท้ายระหว่างตำรับที่ปลูกแหนเป็ดมีค่าต่ำกว่าจอก แสดงให้เห็นว่าแหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้ดีกว่าจอก

ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสที่ศึกษานี้ลดลงในวันที่ 2 หลังจากใส่พืชลงไป จากการคำนวณค่าครึ่งชีวิต (สมการที่ 3.5) ของคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดและจอก คือ 0.8 และ 1.2 วันตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องของการศึกษาของ Karen *et al.* (1998) ที่รายงานว่าค่าครึ่งชีวิต (DT_{50}) ของคลอไพริฟอสใน *Elodea densa* อยู่ในช่วง 0.21-2.4 วัน

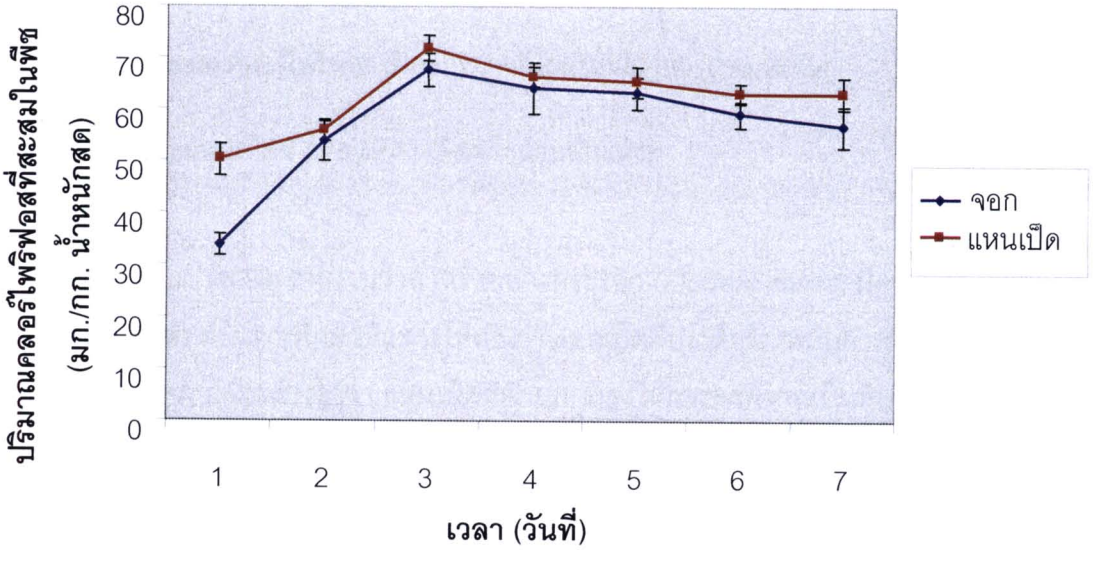
Racke (1993) กล่าวว่า กระบวนการที่มีผลต่อการสลายตัวของสารกำจัดศัตรูพืช คือ กระบวนการเคลื่อนย้าย (การระเหย การชะล้าง การพัดพา) และกระบวนเปลี่ยนรูป (การเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน การสลายตัวโดยแสง และการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์) ซึ่งมีผลทำให้สารกำจัดศัตรูพืช เกิดการเปลี่ยนรูปและสลายไปได้ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของคลอร์ไพริฟอสที่ศึกษานี้ คือ การระเหย การแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำ และการย่อยสลายโดยพืช

การแตกตัวทำปฏิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอส เป็นปัจจัยสำคัญในการย่อยสลายในดินและในน้ำทำให้ได้ 3, 5, 6 - trichloro -2-pyridinol (UNEP, 1993) คลอร์ไพริฟอสเสถียรในสภาพที่เป็นกรดและแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำได้ง่ายในสภาพที่เป็นด่าง (Dow Chemical Company, n.d.)

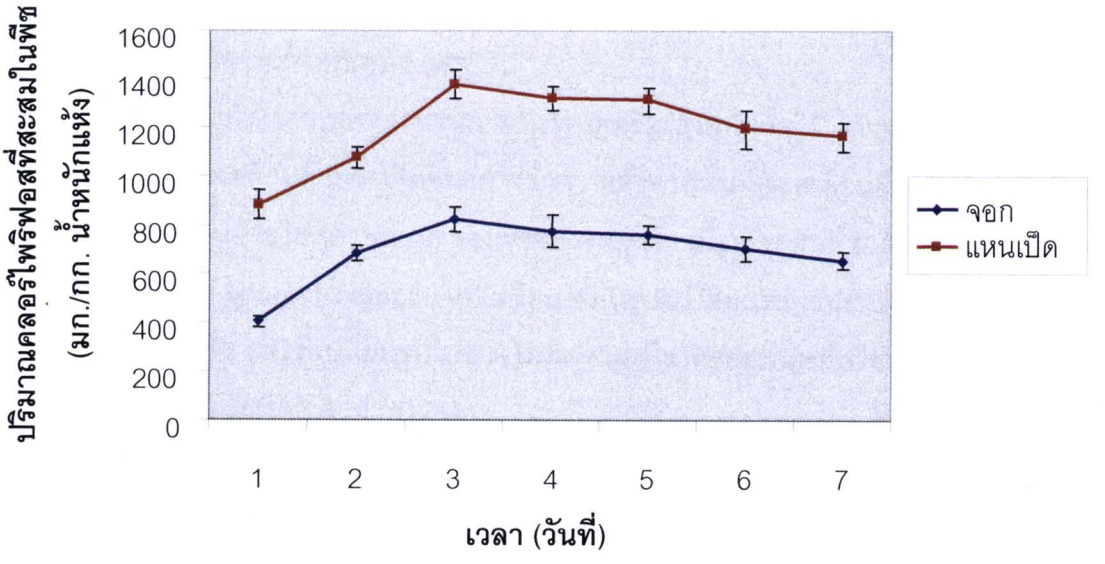
การศึกษาการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำของคลอร์ไพริฟอส พบว่า ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พีเอช 6.1 ค่าครึ่งชีวิตในการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำเท่ากับ 120 วัน ที่ พีเอช 7.4 ค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 53 วัน และที่ พีเอช 7.4 อุณหภูมิเท่ากับ 37.5 องศาเซลเซียส ค่าครึ่งชีวิตในการแตกตัวทำปฏิกิริยากับน้ำเท่ากับ 13 วัน (UNEP, 1993)

4.4 การเปรียบเทียบคลอร์ไพริฟอสที่สะสมในจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*)

การที่รากพืชดูดสารเคมีเข้าไปโดยตรงขึ้นอยู่ประสิทธิภาพ กระบวนการดูดซึมของพืช และความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำ ประสิทธิภาพในการดูดซึมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีในน้ำ ชนิดของสารเคมี และตัวพืชเอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการสะสมคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดมากกว่าจอก และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 4.11 และ 4.12) ซึ่งความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดและจอกมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 72 และ 68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด และความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสในแหนเป็ดและจอกเท่ากับ 1,375 และ 823 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของคลอร์ไพริฟอสของพืชทั้ง 2 ชนิด ลดลงทีละน้อยหลังจากวันที่ 3 จากผลการศึกษากล่าวได้ว่าคลอร์ไพริฟอสที่พบในเนื้อเยื่อพืชเกิดจากการดูดซึมของพืช



ภาพที่ 4.11 การสะสมคลอร์ไพริฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในจอก (*P. stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*) (คิดจากน้ำหนักสด)



ภาพที่ 4.12 การสะสมคลอร์ไพริฟอส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในจอก (*P.stratiotes*) และแหนเป็ด (*L. minor*) (คิดจากน้ำหนักแห้ง)

Karen *et al.* (1998) รายงานว่าสาหร่ายหางกระรอก (*Elodea densa*) มีความสามารถในการดูดซับคลอร์ไพริฟอส ในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า แหนเป็ดมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสในน้ำได้ดีกว่าจอก และกล่าวได้ว่า แหนเป็ดมีศักยภาพสูงในการลดความเป็นพิษของคลอร์ไพริฟอส ซึ่งจากการศึกษาของ Olette *et al.* (2007) ที่ศึกษาความสามารถของพืชน้ำสามชนิด คือ แหนเป็ด (*Lemna minor*) สาหร่ายหางกระรอก (*Elodea Canadensis*) และสาหร่ายพุงชะโด (*Cabomba aquatica*) ในการดูดดึง copper sulphate flazasulfuron และdimethomorph ผลการศึกษาพบว่า แหนเป็ดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสารกำจัดศัตรูพืชทั้งสามชนิด และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 30 27 และ 11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสดของพืช ตามลำดับ

วิเชียร ณัฐวัฒนานนท์ (2517) กล่าวว่า การเคลื่อนย้ายของสารกำจัดศัตรูพืชจะต้องอาศัยท่อน้ำท่ออาหารของพืช โดยเดินทางจากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ ทางท่อน้ำ (xylem) และเคลื่อนที่ลงปริมาณน้อยกว่าโดยเป็นไปอย่างช้าๆ ทางท่ออาหาร (phloem) สารกำจัดศัตรูพืชที่เข้าสู่พืชนั้นจะมีการเคลื่อนย้ายในอัตราที่ไม่เท่ากัน ขึ้นกับว่าจะดูดซึมเข้าทางส่วนไหนของพืช สารกำจัดศัตรูพืชที่เข้าสู่ราก

จะมีการเคลื่อนย้ายได้รวดเร็วกว่าที่ดูดซึมเข้าทางใบ สารกำจัดศัตรูพืชหลายชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารใหม่ได้ทั้งในดิน น้ำ และพืช สารใหม่นี้เรียกว่า metabolic products รากพืชสามารถดูดซึมสารกำจัดศัตรูพืชได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (1) คุณสมบัติและชนิดของสารกำจัดศัตรูพืชโดยเฉพาะคุณสมบัติการละลายน้ำ (2) ชนิดของพืชบางชนิดที่มีลักษณะพิเศษ (3) อุณหภูมิ (4) ความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืช ฯลฯ

สารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตหลายชนิด สามารถดูดซึมเข้าสู่ต้นพืชได้ โดยผ่านท่อลำเลียงอาหาร (phloem) เป็นการเคลื่อนย้ายซึ่งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ หลังจากนั้น จะเคลื่อนย้ายไปสู่ท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ซึ่งจะเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชอย่างรวดเร็ว เมื่อเข้าสู่ต้นพืชแล้ว สารเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปสารดั้งเดิม (parent compound) หรือเปลี่ยนรูปไปโดยกระบวนการทางชีวเคมีและเมทาบอลิซึมในเนื้อเยื่อพืช สารที่เปลี่ยนรูปไปอาจไม่มีความเป็นพิษต่อมนุษย์หรือสัตว์ หรือมีความเป็นพิษรุนแรงกว่าเดิมก็ได้ (รัชนี สุวภาพ, 2541)

การสลายตัวโดยแสงเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีผลต่อความคงทนของคลอร์ไพริฟอสบนผิวดินและน้ำ คลอร์ไพริฟอสสลายตัวได้โดยแสงอัลตร้าไวโอเลตและแสงแดด (ศิวาภรณ์ สกุลเที่ยงตรง, 2527) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCP) และ diethylthiophosphate (Smith, 1968) ส่วนในพืช 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol (TCP) จะเข้าไปรวมตัวกับเซลล์ของพืช และถูกย่อยสลายโดยพืชให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และน้ำ (UNEP, 1993)