

หญ้าดอกขาวต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอพในนาข้าว

Fenoxaprop-Resistant Chinese Sprangletop (*Leptochloa chinensis* L. Nees)

in Rice Field

คำนำ

ในปัจจุบันการใช้สารกำจัดวัชพืชเป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมและกำจัดวัชพืชในการปลูกพืช ซึ่งในช่วง 40 ปีที่ผ่านมาได้มีรายงานว่า เมื่อมีการใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดเดิมซ้ำติดต่อกันเป็นเวลานานในพื้นที่เดียวกัน ทำให้วัชพืชบางชนิดมีการปรับตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงในสังคมประชากรของวัชพืช และพัฒนาความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชได้ ทั้ง ๆ ที่ในก่อนหน้านี้วัชพืชเหล่านี้มีความอ่อนแอต่อสาร โดยที่ Ryan (1970) ได้รายงานว่า มีวัชพืชต้านทานต่อสารกลุ่ม triazine เป็นครั้งแรกในช่วงต้นทศวรรษที่ 70 ซึ่งปัจจุบันนี้จากข้อมูลในการสำรวจวัชพืชต้านทานสารของ International Survey of Herbicide Resistant Weeds ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รายงานว่า มีวัชพืชต้านทานต่อสารในกลุ่ม imidazolinones, sulfonyleureas, triazines, ureas, dinitroanilines, aryloxyphenoxypropinoates, amindes, bipyridiliums และ synthetic auxins มีจำนวนมากถึง 307 โปโอไทป์ และ 183 ชนิด ซึ่งแบ่งเป็นวัชพืชพอกใบกว้าง 110 ชนิดและวงศ์หญ้า 73 ชนิด (Heap, 2006)

สารกำจัดวัชพืชที่นิยมนำมาใช้ควบคุมวัชพืชในนาข้าวมีด้วยกันหลายสาร โดยเฉพาะสารฟีนอกซาพรอพมีการนำมาใช้ควบคุมวัชพืชหญ้าดอกขาว (Chinese sprangletop, *Leptochloa chinensis* L. Nees) ในการทำนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตมกันมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้สารดังกล่าวนี้ติดต่อกันเป็นระยะเวลา นานอาจทำให้วัชพืชเกิดความต้านทานต่อสารได้ และสามารถถ่ายทอดลักษณะที่ต้านทานไปสู่เมล็ดหรือส่วนที่ใช้ในการขยายพันธุ์ต่อไปได้ (Andrews *et al.*, 1998) ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาสำคัญในการแพร่กระจายของวัชพืชที่มีความต้านทานต่อสาร ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงทำการศึกษาวัชพืชหญ้าดอกขาวต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอพ ตลอดจนศึกษาลักษณะกลไกทางชีวเคมีของความต้านทานสาร รวมทั้งพิจารณาความต้านทานสารหลายกลุ่มที่อาจจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ไปยังสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ เพื่อที่จะนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์เป็นแนวทางในการควบคุม และการจัดการวัชพืชที่ต้านทานสาร ในการทำนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตมได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์รวม

ศึกษาวัชพืชหญ้าดอกขาวต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟในการทำนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตม ในพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ

วัตถุประสงค์หลัก

1. สำรวจวัชพืชหญ้าดอกขาวต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟในนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตม (direct-seeded rice) ในพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ
2. พิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหญ้าดอกขาวที่มีต่อสารฟิโนอกซาพรอฟในสภาพเรือนทดลอง
3. ตรวจสอบความต้านทานสารหลายกลุ่ม (multiple-resistance) ของหญ้าดอกขาวต่อสารกำจัดวัชพืชในกลุ่มอื่น ๆ ที่มีการใช้ในนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตม
4. ศึกษาลักษณะกลไกทางชีวเคมีของความต้านทานในหญ้าดอกขาวที่ต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ โดยพิจารณาจากกิจกรรมการทำงานของต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ โดยพิจารณาจากกิจกรรมการทำงานของโคเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase (ACCase)

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหญ้าดอกขาว

หญ้าดอกขาว (Chinese sprangletop, *Leptochloa chinensis* L. Nees) อยู่ในวงศ์ Gramineae เป็นวัชพืชล้มลุก อายุปีเดียว ลำต้นตรง เจริญเป็นกอสูง 30-100 เซนติเมตร การแตกกิ่งแบบอยู่ภายในกาบ มีรากฝอยสีเหลืองตามโคนต้น ขอบวม พอง สีขาว ปล้องบริเวณโคนต้นมีขนาดสั้นกว่าปล้องที่อยู่ถัดไปทางปลาย ๆ

ใบ เป็นใบเดี่ยวเรียงสลับ แผ่นใบรูปหอก กว้าง 0.3-1.0 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ปลายแหลม โคนตัด ขอบเรียบ ผิวใบมีขนสั้น ๆ กาบใบยาว 5-15 เซนติเมตร สั้นกว่าปล้อง มีขนสั้นประปราย ขอบเกลี้ยง เส้นใบเป็นขน ยาว 0.3 เซนติเมตร ปลายตัด คอใบสีขาว

ช่อดอก แบบช่อแขนง ออกที่ปลายกิ่ง กว้าง 10-15 เซนติเมตร ยาว 20-40 เซนติเมตร สีเขียวหรือสีม่วง แกนกลางช่อดอกกลม ช่อดอกย่อยออกเดี่ยว ดอกย่อยรูปขอบขนานแกมรูปไข่ แบน ด้านข้าง กว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 0.25-0.35 เซนติเมตร มีก้านยาว 0.1 เซนติเมตร กาบสีเขียวกม่ม่วง มีเส้นตามยาว 3 เส้น กาบล่าง รูปใบหอก กว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 0.2 เซนติเมตร กาบบน รูปหัวใจ กว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 0.15 เซนติเมตร กลีบเกสรตัวผู้มี 2 อันรูปสามเหลี่ยม ในดอกย่อยมีจำนวน 4-6 ดอก แต่ละดอกสมบูรณ์เพศ เกสรตัวผู้มี 3 อัน ก้านชูอับเรณูยาว 0.2 เซนติเมตร อับเรณูยาว 0.1 เซนติเมตร สีเหลือง รังไข่อยู่เหนือวงกลีบรูปไข่ มี 1 ช่อง มีออวุล 1 ออวุล ก้านเกสรตัวเมีย 2 เส้น ปลายเป็นขนนุ่มยาว สีม่วง

เมล็ดและผล เมล็ดมีขนาดเล็ก รูปรี่ ส่วนกลางโป่งนูนหัวท้ายสอบลิบ กว้าง 0.5 มิลลิเมตร ยาว 0.7 มิลลิเมตร ผลมีสีน้ำตาล ด้านหนึ่งแบน (สมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย, 2545)

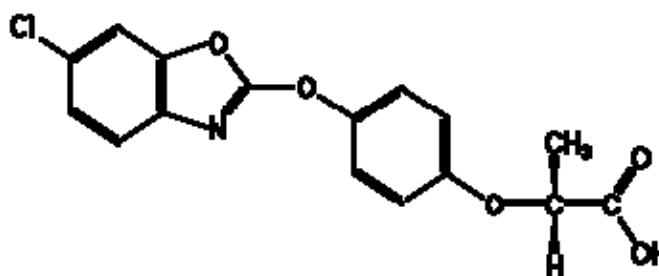
การกระจายพันธุ์ โดยการขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด พบได้ตั้งแต่ทวีปแอฟริกาตะวันออก อินเดีย จีน ญี่ปุ่น ลงมาทางใต้ผ่านประเทศไทยถึงอินโดนีเซีย เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณน้ำท่วมหรือชานน้ำ เป็นวัชพืชในนาข้าวและในแปลงปลูกพืชอื่น ๆ เช่น อ้อย สวนผัก มันเทศ ถั่วลิสง ฝ้าย และข้าวโพด เป็นต้น รวมทั้งพบขึ้นทั่วไปในที่รกร้าง ข้างถนน และข้างทางเดิน (พงษ์ศักดิ์, 2533)

2. สารกำจัดวัชพืช

การศึกษาในครั้งนี้ มีการใช้สารกำจัดวัชพืชหลายชนิดด้วยกัน ได้แก่ สารฟิโนอกซาพรอฟ ออกซาไคแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแอกซ์ ซึ่งสารแต่ละชนิดดังกล่าวนี้จะมีคุณสมบัติและกลไกการทำลายภายในพืชที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.1 ฟิโนอกซาพรอฟ (fenoxaprop)

ฟิโนอกซาพรอฟ เป็นสารที่เกี่ยวข้องในการยับยั้งการสร้างไขมัน (lipid synthesis inhibitors) ที่อยู่ในกลุ่ม aryloxyphenoxypropanoates (APP หรือ AOPP) มีชื่อทางเคมีว่า (+)-2-[4-[(6-chloro-2-benzoxazolyl)oxy]phenoxy]propanoate (fenoxaprop-ethyl) สารฟิโนอกซาพรอฟที่อยู่ในรูปกรด มีสูตรโมเลกุล $C_{16}H_{12}ClNO_5$ มีน้ำหนักโมเลกุล 333.7 ส่วนในรูปเอทิลเอสเทอร์นั้น มีสูตรโมเลกุล $C_{18}H_{16}ClNO_5$ มีน้ำหนักโมเลกุล 361.8 และมีชื่อทางการค้าต่าง ๆ ได้แก่ Whip, Option, Bugly, Fure และ Horizon เป็นต้น



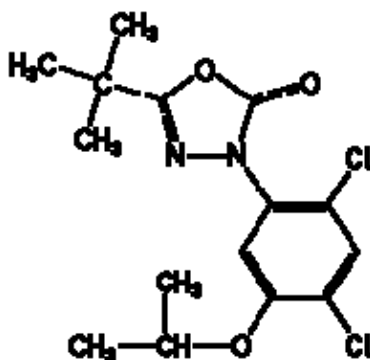
ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารฟิโนอกซาพรอฟ

ที่มา: Ahrens (1994)

ฟิโนอกซาพรอฟ เป็นสารเลือกทำลาย ใช้แบบหลังวัชพืชงอก ใช้สำหรับควบคุมวัชพืชวงศ์หญ้าปี่เดียว เช่น หญ้าดอกขาว หญ้าข้าวนก และหญ้าปากควาย เป็นต้น ในพืชปลูกข้าว ถั่วเหลือง ฝ้าย ทานตะวัน และผักชนิดต่าง ๆ สารสามารถดูดซึมเข้าสู่พืชโดยผ่านเข้าทางใบ และเคลื่อนย้ายได้ทั้งแบบ acropetal และ basipetal สารจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase (ACCase) (ภาพที่ 5) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างไขมันในคลอโรพลาสต์ ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของยอด ปล้อง และปลายรากชะงัก หลังจากได้รับสารภายใน 1-3 สัปดาห์ พืชจะแสดงอาการใบเหลืองซีด ต่อมาแสดงอาการแห้งไหม้ และตายในที่สุด (ทศพล, 2545; Ahrens, 1994)

2.2 ออกซาไดแอซซอน (oxadiazon)

ออกซาไดแอซซอน จัดเป็นสารสัมผัสหรือสารทำลายเชื้อหุ้มเซลล์ (contact-membrane disrupters) ที่อยู่ในกลุ่ม oxadiazoles มีชื่อทางเคมีว่า 3-[2,4-dichloro-5-(1-methylethoxy)phenyl]-5-(1,1-dimethylethyl)-1,3,4-oxadiazol-2-(3*H*)-one มีสูตรโมเลกุล $C_{15}H_{18}O_3N_2Cl_2$ มีน้ำหนักโมเลกุล 345.23 และมีชื่อการค้าต่าง ๆ ได้แก่ Ronstar, Foresite และ Chipco Ronstar G เป็นต้น

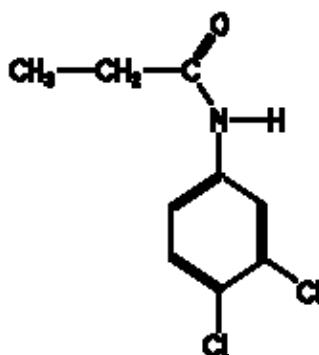


ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของสารออกซาไดแอซซอน
ที่มา: Ahrens (1994)

สารออกซาไดแอซซอน เป็นสารเลือกทำลาย มีการใช้แบบหลังวัชพืชงอก ใช้ควบคุมวัชพืชใบกว้างและวงษ์หญ้าปีเดียว เช่น หญ้าขน หญ้าชันกาด และผักโขม เป็นต้น ในพืชปลูกข้าว ถั่วเหลือง และฝ้าย เป็นต้น สารเคลื่อนย้ายได้จำกัด สารจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ protoporphyrinogen oxidase (Protox) ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสร้างพวกรงควัตถุ ทำให้เกิดการสะสมของ protoporphyrin IX ซึ่งเมื่อ protoporphyrin IX ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและแสงแล้ว จะเกิดเป็น singlet oxygen (1O_2) ส่งผลทำให้เชื้อหุ้มเซลล์ถูกทำลายไป เกิดการสูญเสียของน้ำและออรอน นอกจากนี้ยังมีผลไปยับยั้งการสร้างคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของพืชด้วย หลังจากที่พืชได้รับสาร 1-2 วัน ใบพืชแสดงอาการเหี่ยว ต่อมาจะแสดงอาการแห้งไหม้และตายในที่สุด (ทศพล, 2545; Ahrens, 1994)

2.3 โพรพานิล (propanil)

โพรพานิล เป็นสารที่เกี่ยวข้องในการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis inhibitors) ที่อยู่ในกลุ่ม amides (อาจเรียกว่า substituted amides หรือ acetamides) (Ahren, 1994) มีชื่อทางเคมีว่า *N*-(3,4-dichlorophenyl)propanamide มีสูตรโมเลกุล $C_9H_9Cl_2NO$ มีน้ำหนักโมเลกุล 218.08 และมีชื่อการค้าต่าง ๆ ได้แก่ Propa, Chemrice, Stam F-34 และ Bara F 100 เป็นต้น

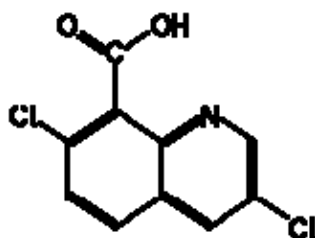


ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของสารโพรพานิล
ที่มา: Ahrens (1994)

โพรพานิล เป็นสารเลือกทำลาย ใช้แบบหลังวัชพืชงอก สำหรับควบคุมวัชพืชใบกว้าง และวงศ์หญ้าอายุปีเดียวชนิดต่าง ๆ เช่น หญ้าแดง หญ้านกสีชมพู หญ้าไม้กวาด และหญ้าตีนนก เป็นต้น ในข้าว ข้าวสาลี บาร์เลย์ และอ้อย เป็นต้น สารมีการเคลื่อนย้ายในพืชได้ค่อนข้างจำกัด โดยสารจะผ่านเข้าทางคลอโรพลาสต์ และไปเกาะจับกับโปรตีนที่เฉพาะเจาะจงในบริเวณ Q_A และ Q_B ที่อยู่บน thylakoid membrane ทำให้ไปขัดขวางการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนระหว่าง photosystem II และ photosystem I หลังจากที่ได้รับสารภายใน 3-7 วัน พืชจะแสดงอาการใบเหลืองซีด ต่อมาจะแสดงอาการแห้งไหม้ และตายในที่สุด (ทศพล, 2545; Ahrens, 1994)

2.4 ควินคลอแรกซ์ (quinclorac)

ควินคลอแรกซ์ จัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช (hormone-like herbicides) อยู่ในกลุ่ม quinolinecarboxylic acids มีชื่อทางเคมีว่า 3,7-dichloro-8-quinolinecarboxylic acid มีสูตรโมเลกุล $C_{10}H_5Cl_2NO_2$ มีน้ำหนักโมเลกุล 242.06 และมีชื่อการค้าต่าง ๆ ได้แก่ Facet และ BAS 514H เป็นต้น



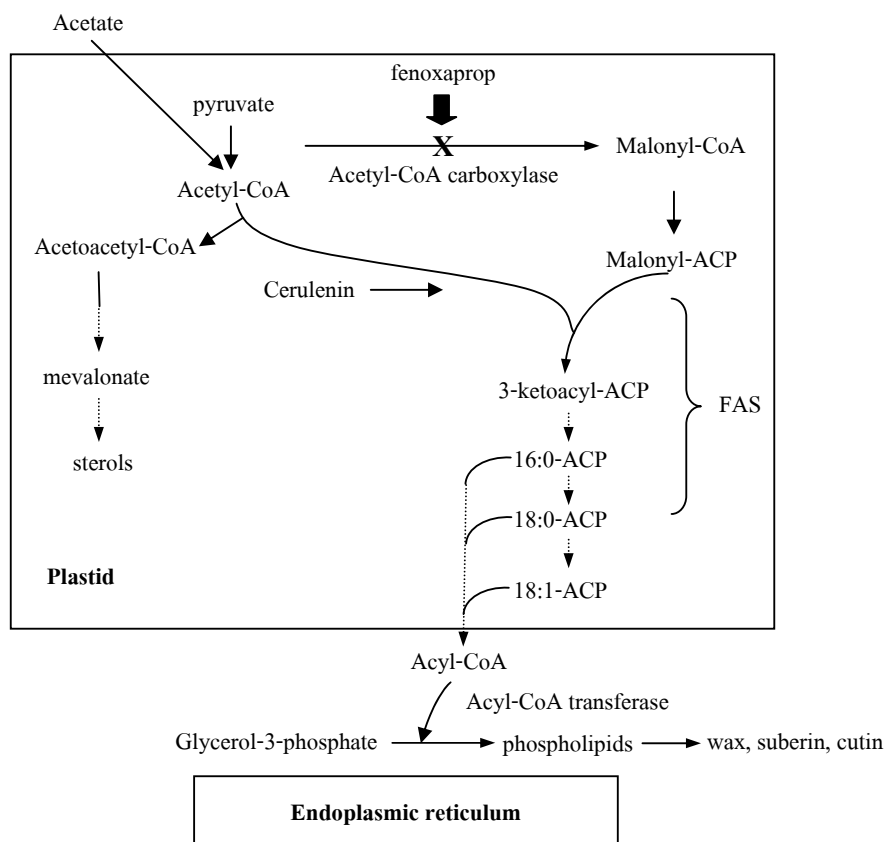
ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของสารควินคลอแรกซ์

ที่มา: Ahrens (1994)

ควินคลอแรกซ์ เป็นสารเลือกทำลายที่ใช้ก่อนวัชพืชงอก หรือแบบ early post-emergence ใช้ในการควบคุมพืชวงศ์หญ้าพวกหญ้านกสัทพ และหญ้าข้าวเนก ในนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตม สารสามารถเคลื่อนย้ายได้ในท่อลำเลียงอาหารและท่อลำเลียงน้ำ ซึ่งสารไปมีผลต่อการกระตุ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ส่งผลทำให้พืชมีการสร้าง RNA และ ethylene ที่ผิดปกติ โดยเกิดการขยายของเนื้อเยื่อที่บริเวณยอด ก้านใบ ลำต้น และราก ทำให้มีลักษณะบวม โป่ง พอง พืชจะแสดงอาการใบเหลืองซีด ต่อมาจะแสดงอาการแห้งไหม้ และตายในที่สุด (ทศพล, 2545; Ahrens, 1994)

3. เอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase

การสังเคราะห์กรดไขมันเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช โดยกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเมมเบรนต่าง ๆ ซึ่งเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase หรือเรียกว่า ACCase (EC 6.4.1.2) (Burton *et al.*, 1989) มีบทบาทสำคัญในการสร้างกรดไขมันภายในพืช (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ตำแหน่งที่สารฟีนอกซาพโรพแสดงปฏิกิริยาในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase ภายในพืช
ที่มา: Devine and Shimabukuro (1994)

การสังเคราะห์กรดไขมันจะเกิดขึ้นในส่วนของคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งอยู่ในพลาสติด (plastid) โดยเริ่มจาก acetate และ pyruvate เกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้เป็น acetyl-CoA การจับของ acetyl-CoA ถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ ACCase จะได้ malonyl-CoA ต่อจากนั้น acetyl-CoA และ malonyl-ACP (ACP = acyl-carrier protein) เกิดปฏิกิริยา condensation ร่วมกับ fatty acid synthetase complex (FAS) ทำให้ได้ 16:0 ACP (palmitic acid) และ 18:0 ACP (stearic acid) หลังจากนั้นกรดไขมันจะต่อกันเป็นโซ่ยาว ซึ่งพืชจะนำส่วนของกรดไขมันที่ต่อกันเป็นโซ่ยาวนี้ไปสร้างเป็นพวกไข (wax) ซูเบอร์ิน (suberin) และคิวทิน (cutin) ต่อไป

4. วัชพืชต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืช

ความทนทานสารกำจัดวัชพืชในวัชพืช (herbicide-tolerant weeds) เป็นความสามารถของวัชพืชในประชากรทั้งหมดของวัชพืชชนิดนั้น ที่มีชีวิตอยู่รอดและสามารถขยายพันธุ์ต่อไปได้ในสภาพธรรมชาติ ภายหลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้ในอัตราปกติ (Valverde *et al.*, 2000)

ความต้านทานสารกำจัดวัชพืชในวัชพืช (herbicide-resistant weeds) เป็นความสามารถที่เกื้อกับประชากรในบางส่วนของวัชพืชชนิดนั้นที่มีชีวิตอยู่รอด และสามารถขยายพันธุ์ต่อไปได้ในสภาพธรรมชาติ ภายหลังจากได้รับสารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้ในอัตราปกติ (Valverde *et al.*, 2000)

ความอ่อนแอ (susceptible) เป็นการขาดความสามารถที่จะต้านทานต่อการได้รับสารกำจัดวัชพืช ซึ่งทำให้พืชได้รับความเสียหายจากการได้รับสารนั้น (Holt and LeBeron, 1990)

การใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีการใช้สารชนิดเดิมในบริเวณเดียวกันเป็นเวลานานติดต่อกัน ทำให้วัชพืชบางชนิดมีการปรับตัวและเกิดความต้านทานต่อสารนั้น ทั้ง ๆ ที่ก่อนหน้านี้วัชพืชเหล่านี้มีความอ่อนแอต่อสาร ได้มีรายงานวัชพืช common groundsel (*Senecio vulgaris*) เกิดความต้านทานต่อสาร triazine ซึ่งพบเป็นครั้งแรกในช่วงต้นทศวรรษที่ 70 (Ryan, 1970) หลังจากนั้นได้มีรายงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัชพืชที่ต้านทานต่อสารอีกหลายชนิด ดังนี้

Andrews *et al.* (1998) ศึกษาข้าวโอ๊ตป่า (wild oat, *Avena fatua*) ที่มีความต้านทานต่อสารในกลุ่ม APP และ CHD ทำให้เอนไซม์ ACCase ไม่สามารถทำงานได้ อีกทั้งสามารถถ่ายทอดลักษณะที่ต้านทานโดยการถ่ายยีน (gene flow) ไปสู่เมล็ด ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการแพร่กระจายของพันธุ์ที่ต้านทาน การแก้ปัญหาอาจทำพร้อมกับการไถพรวนเพื่อให้เมล็ดงอก และเจริญเติบโตไปเป็นต้นกล้า หลังจากนั้นจึงทำการกำจัดก่อนที่จะถึงระยะออกดอกและสร้างเมล็ด

Prado *et al.* (2000) ศึกษาวัชพืช *Lolium multiflorum* Lam. ต้านทานต่อสารที่เกี่ยวข้องในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACCase การต้านทานสารของวัชพืชชนิดนี้ เกิดจากการใช้สาร diclofop-methyl ควบคุมวัชพืชในข้าวสาลีติดต่อกันหลายปี พบว่า การใช้สารในอัตรา 5,760 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ วัชพืชยังคงมีชีวิตรอดอยู่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการใช้สารเป็น 23,040 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ทำให้วัชพืชมีชีวิตรอดเหลือเพียง 34 เปอร์เซ็นต์

Fischer *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาวัชพืช *Echinochloa oryzoides* และ *E. phyllopogon* ซึ่งเป็นวัชพืชในนาข้าว โดยทำการฉีดพ่นสารหลายชนิดที่ใช้เป็นแบบหลังวัชพืชงอก เมื่อพิจารณา ค่า GR_{50} ของสารในแต่ละชนิด พบว่า *E. oryzoides* มีความต้านทานต่อสาร molinate และ thiobencarb ส่วน *E. phyllopogon* มีความต้านทานต่อสาร bispyribac-sodium, fenoxaprop-ethyl, molinate และ thiobencarb ในขณะที่วัชพืชทั้งสองชนิดนี้ไม่มีความต้านทานต่อสารไพรพาอิล

Friesen *et al.* (2000) ศึกษาข้าวโอ๊ตป่าที่ต้านทานต่อสาร fenoxaprop-P, flumetralin และ imazamethabenz โดยพิจารณาความแตกต่างในประชากรที่ต้านทานสารและอ่อนแอต่อสาร พบว่า ข้าวโอ๊ตป่าที่ต้านทานต่อสารดังกล่าว มีชีวิตรอด 43-88 เปอร์เซ็นต์ 57-83 เปอร์เซ็นต์ และ 44-77 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับประชากรที่อ่อนแอ ตามลำดับ

Hassan *et al.* (2002) ศึกษาวัชพืช *Lolium multiflorum* Lam. ที่ต้านทานและอ่อนแอต่อสารฟิโนอกซาพโรพ พบว่า ที่ค่า GR_{50} เท่ากับ 130 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ น้ำหนักสดของใบ โอ้ไทป์ที่ต้านทานสารมีน้ำหนักมากกว่าในใบโอ้ไทป์อ่อนแอมากถึง 3 เท่า นอกจากนี้ระยะของการเจริญเติบโตจะมีผลต่อความต้านทานต่อสารด้วย กล่าวคือ ในระยะแตกกอจะมีความต้านทานต่อสารมากกว่าระยะที่มีใบจริง 4 ใบ (GR_{50} เท่ากับ 450 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) และ 2 ใบ (GR_{50} เท่ากับ 134 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) ตามลำดับ ตลอดจนได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ ACCase พบว่า ในใบโอ้ไทป์ที่ต้านทานสารจะมีการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์น้อยกว่าใบโอ้ไทป์อ่อนแอด้วย

การจัดการเพื่อควบคุมประชากรของวัชพืชต้านทานสารเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องปฏิบัติ ซึ่งการเปลี่ยนชนิดสารกำจัดวัชพืชที่มีกลไกการทำลายที่แตกต่างกันเป็นเพียงวิธีการหนึ่ง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาให้รู้ถึงขั้นตอนของการเปลี่ยนแปลงในการพัฒนา ที่นำไปสู่การต้านทานของวัชพืชทั้งทางด้านชีววิทยาและนิเวศวิทยา เพื่อสามารถควบคุมวัชพืชต้านทานสารกำจัดวัชพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อไป เช่น หญ้าไรย์ (ryegrass) ที่เป็นใบโอ้ไทป์ต้านทานต่อสาร diclofop-methyl มีช่วงเวลาการออกดอกและจำนวนดอกที่สร้างน้อยกว่าพวกใบโอ้ไทป์ที่อ่อนแอต่อสาร ทำให้เกิดแนวความคิดในการใช้การถ่ายเทยีน (gene flow) โดยวิธีการแพร่กระจายของละอองเกสรของใบโอ้ไทป์อ่อนแอไปสู่ประชากรของพวกที่ต้านทานสาร ซึ่งทำให้ประชากรของใบโอ้ไทป์ต้านทานสารถูกแข่งขัน และสามารถลดจำนวนประชากรของวัชพืชที่ต้านทานลงได้ประมาณร้อยละ 6 ต่อปี (Ghersa *et al.*, 1994)

5. ความต้านทานสารหลายกลุ่ม

ความต้านทานข้าม (cross-resistance) เป็นการที่พืชมีความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชได้หลายชนิด ซึ่งสารเหล่านั้นจะมีลักษณะของโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน แต่มีกลไกการทำลาย (mode of action) ในตำแหน่งเดียวกัน (Valverde *et al.*, 2000)

ความต้านทานสารหลายกลุ่ม (multiple-resistance) เป็นลักษณะของไบโอไทป์ของวัชพืชที่ต้านทานสารกำจัดวัชพืช 2 กลุ่มหรือมากกว่า ซึ่งสารแต่ละกลุ่มมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน และมีกลไกการทำลายพืชที่แตกต่างกันด้วย (รังสิต, 2544)

ในพืชหลายชนิดที่มีความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชชนิดใดชนิดหนึ่งนั้น อาจมีโอกาที่จะเกิดความต้านทานข้าม (cross-resistance) และ/ หรือความต้านทานสารหลายกลุ่ม (multiple-resistance) ไปยังสารกำจัดวัชพืชอื่น ๆ ได้ด้วย ซึ่งมีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานข้ามและความต้านทานสารหลายกลุ่มของสารกำจัดวัชพืชชนิดต่าง ๆ ดังนี้

Heap and Knight (1990) ศึกษาความต้านทานข้ามที่เกิดในประชากรของหญ้าไรย์ (*Lolium rigidum*) ที่ต้านทานต่อสาร diclofop-methyl จากแหล่งต่าง ๆ จำนวน 12 แหล่ง พบว่า ประชากรของวัชพืชทั้ง 12 แหล่ง สามารถเกิดความต้านทานข้ามและความต้านทานสารหลายกลุ่ม กล่าวคือเกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร fluazifop-butyl ที่อัตรา 106-212 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ และมีประชากรของวัชพืชจาก 9 แหล่ง เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร chlorosulfuron ที่อัตรา 15-30 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ในขณะที่ไม่มีประชากรของวัชพืชทั้ง 12 แหล่ง ดังกล่าวเกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร glyphosate ได้

Heap and Morrison (1996) ได้รายงานว่า วัชพืช green foxtail (*Setaria viridis*) และ wild oat (*Avena fatua*) มีความต้านทานต่อสาร trifluralin ซึ่งวัชพืชทั้งสองชนิดนี้สามารถเกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสาร diclofop-methyl และ sethoxydim ได้

Lovell *et al.* (1996) ศึกษาในวัชพืช common waterhemp (*Amaranthus rudis*) ที่ต้านทานต่อสาร imazethapyr พบว่า สามารถเกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร chlorimuron ที่อัตรา 0.09 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ และสาร thifensulfuron ที่อัตรา 0.7 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์

Allen *et al.* (2000) ได้รายงานว่า มีจำนวน 26 ไบโอดีของวัชพืชทานตะวัน (common sunflower, *Helianthus annuus*) ที่ต้านทานต่อสาร imazethapyr และสามารถเกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร imazaquin และ chlorimuron ได้

Prado *et al.* (2000) ศึกษาในวัชพืช *Lolium multiflorum* Lam. ที่ต้านทานต่อสาร diclofop-methyl พบว่า วัชพืชสามารถเกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร haloxyfop-methyl, quizalofop-ethyl, sethoxydim และ BAS-517-H ได้

Michael *et al.* (2004) ศึกษาความต้านทานข้ามของ wild radish (*Raphanus raphanistrum*) จากสองพื้นที่ที่ต่างกัน โดยได้รับสารกำจัดวัชพืชติดต่อกันเป็นเวลา 17 ปี โดยประชากรแรกมีความต้านทานข้ามต่อกลุ่มสารที่ยับยั้งการสร้างพวกรังควัตถุ (สาร diflufenican) กลุ่มสารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช (สาร 2,4-D) และกลุ่มสารที่ยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง (สาร metribuzin และ atrazine) ส่วนประชากรที่สองต้านทานข้ามต่อกลุ่มสารที่ยับยั้งกรดอะมิโน กลุ่มสารที่ยับยั้งการสร้างพวกรังควัตถุ และกลุ่มสารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช

Susan *et al.* (2004) รายงานว่า วัชพืช horseweed (*Conyza canadensis*) ที่ต้านทานต่อสาร paraquat ที่อยู่ในกลุ่มสารสัมผัสหรือสารทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงมาเป็นความต้านทานสารหลายกลุ่มในกลุ่มสารที่ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยทดสอบกับสาร diquat, oxyfluorfen และ linuron จากการประเมินดัชนีของความต้านทานจากค่า ED_{50} พบว่า ที่อายุพืช 8 สัปดาห์ ดัชนีของความต้านทานสาร diquat, oxyfluorfen และ linuron เท่ากับ 7, 2.7 และ 11 เท่า ตามลำดับ

จากรายงานดังกล่าวในข้างต้นนี้จะเห็นได้ว่า วัชพืชที่ต้านทานต่อสารชนิดใดชนิดหนึ่งสามารถเกิดความต้านทานข้ามไปยังสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ๆ ได้ ซึ่งทำให้การควบคุมและกำจัดวัชพืชด้วยสารกำจัดวัชพืชมีประสิทธิภาพลดลงไป ดังนั้นในการแก้ปัญหาของวัชพืชที่เกิดความต้านทานข้ามนั้น นอกจากจะเปลี่ยนชนิดของสารที่ใช้ไม่ได้ผลแล้ว การเปลี่ยนชนิดของพืชปลูกในฤดูถัดไปก็มีผลต่อชนิดและจำนวนของวัชพืชด้วย เนื่องจากสังคมประชากรของวัชพืชจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืชปลูก ทำให้จำนวนประชากรของวัชพืชเหล่านั้นลดลงไปได้ นอกจากนี้การศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของวัชพืช ตลอดจนการศึกษาทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาของวัชพืช สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนสำหรับการควบคุมและจัดการวัชพืช ก่อนที่วัชพืชชนิดนั้นจะเกิดการแพร่ระบาดและกระจายพันธุ์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สารกำจัดวัชพืช

ตารางที่ 1 สารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในการศึกษาหญ้าดอกขาวต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอป

Common name	Formulation	Trade name	Active Ingredient
fenoxaprop	commercial grade	Whip 7.5	7.5%
oxadiazon	commercial grade	Ronstar	25.0%
propanil	commercial grade	Porpa	36.0%
quinclorac	commercial grade	Facet SC	1.0%
fenoxaprop-ethyl-P-ethyl	technical grade	-	99.5%

2. เมล็ดหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอป ในพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ

3. เมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

4. เครื่องมือในการทดลองในสภาพเรือนทดลองและห้องปฏิบัติการ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองในสภาพเรือนทดลอง ได้แก่ จอบ กระถางพลาสติก บัวรดน้ำ และไม้วัดความสูง เป็นต้น ส่วนอุปกรณ์ในการฟ่นสาร ได้แก่ กระบอกฟ่นสารกำจัดวัชพืช ขนาดความจุ 1.2 ลิตร และเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ถังกระดาษ กรรไกร เครื่องชั่งแบบละเอียด และตู้อบ

5. สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดและวิเคราะห์เอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase (ACCase) (รายละเอียดในวิธีการทดลอง 4.1 และ 4.2)

วิธีการ

ในการศึกษาหญ้าดอกขาวด้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ ได้ทำการทดลองทั้งในสภาพแปลงของเกษตรกร เรือนทดลอง และห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งวิธีการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ซึ่งมีดังนี้

1. การสำรวจวัชพืชหญ้าดอกขาวด้านทานสารฟิโนอกซาพรอฟในนาข้าว

ในปี พ.ศ. 2545 ทำการสำรวจปัญหาของวัชพืชด้านทานสารกำจัดวัชพืชในสภาพแปลงของเกษตรกร (field observation) โดยทำการสัมภาษณ์ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าวแบบนาหว่านนํ้าตม ในพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ ย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ถึง พ.ศ. 2545 ทำการสัมภาษณ์เกษตรกรจำนวน 11 ราย โดยการใช้แบบสำรวจวัชพืชด้านทานสารกำจัดวัชพืชจากสมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย (ภาคผนวกที่ 1) ต่อมาปี พ.ศ. 2547 ทำการสำรวจอีกครั้ง โดยใช้แบบสำรวจของ International Survey of herbicide Resistant Weeds (2006) (ภาคผนวกที่ 2)

บันทึกผลการทดลอง ดังนี้

ข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกร ชนิดของพืชปลูก ประวัติการใช้สารกำจัดวัชพืช ชนิดของวัชพืช และวัชพืชที่เป็นปัญหาที่พบในนาข้าวแบบนาหว่านนํ้าตม และข้อมูลเพิ่มเติมอื่น ๆ

2. การตอบสนองของหญ้าดอกขาวที่มีต่อสารฟิโนอกซาพรอฟในสภาพเรือนทดลอง

จากการสำรวจวัชพืชด้านทานสารในการทดลองที่ 1 และนำเมล็ดวัชพืชหญ้าดอกขาวมาตรวจสอบความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืช โดยเก็บตัวอย่างจากแปลงเกษตรกรที่ได้รับรายงานว่าเกิดปัญหาวัชพืชหญ้าดอกขาวด้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ นำเมล็ดหญ้าดอกขาวไปทำการพักตัวเพื่อทดสอบความงอก และเพาะเมล็ดในสภาพเรือนทดลอง เมื่อต้นกล้ามีอายุได้ 21 วันหลังการงอก (ระยะใบจริง 3-4 ใบ) นำไปทดสอบการตอบสนองต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ ขึ้นตอนประกอบด้วย

นำเมล็ดหน่อดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอและต้านทานที่สุกแก่ทางสรีรวิทยา และไม่มีเชื้อราปนเปื้อนไปทำหลายการพักตัวโดยใช้วิธี pre-heat ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง (ISTA, 1999) หลังจากนั้นนำเมล็ดหน่อดอกขาวแต่ละใบโอไทป์เพาะลงในกระถางพลาสติกที่มีดินเป็นวัสดุปลูก

การทดสอบความต้านทานของหน่อดอกขาวที่มีต่อสารฟีนอกซาพรอพ ในสภาพเรือนทดลอง วางแผนการทดลองแบบ split-plot in RCB ทำการทดลอง 5 ซ้ำ ในแต่ละอัตราสารที่ฉีดพ่น กำหนดปัจจัยหลัก (main plot) คือ อัตราการใช้สารฟีนอกซาพรอพ 6 อัตรา (0, 21.09, 42.18, 84.36, 168.72 และ 337.44 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) โดยอัตราสาร 42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์เป็นอัตราแนะนำ และปัจจัยรอง (sub plot) คือ หน่อดอกขาว (ใบโอไทป์อ่อนแอ และต้านทาน) ทำการทดลองทั้งหมด 90 กระถาง โดยแบ่งเป็นเมล็ดหน่อดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอ 30 กระถาง ใบโอไทป์ต้านทานจำนวน 30 กระถาง และเมล็ดข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรในพื้นที่เขตสะพานสูง นิยมนำมาใช้ปลูก) จำนวน 30 กระถาง ลงในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว ที่มีดินร่วนเป็นวัสดุปลูก เมื่อพืชเจริญเติบโต ให้ถอนแยกเหลือ 10 ต้นต่อกระถาง หลังจากพืชมีอายุได้ 21 วันหลังจากออก ทำการฉีดพ่นสารฟีนอกซาพรอพ ในอัตราที่กำหนดไว้ข้างต้นโดยมีหน่อดอกขาวและข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ไม่ได้รับสารเป็นตัวเปรียบเทียบความต้านทาน (ชุดควบคุม)

บันทึกผลการทดลอง ดังนี้

1. บันทึกเปอร์เซ็นต์ของความเป็นพิษที่พืชได้รับ (plant injury หรือ phytotoxicity) ที่ 3, 5, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยการประเมินด้วยสายตา ดังนี้

ตารางที่ 2 การประเมินความเป็นพิษหญ้าดอกขาวภายหลังการได้รับสารกำจัดวัชพืชด้วยสายตา

ระดับความเป็นพิษ (เปอร์เซ็นต์)	ลักษณะที่พืชแสดงออก
0	พืชปกติ
10	เป็นพิษเล็กน้อย ใบมีจุดสีเหลือง
20	เป็นพิษเล็กน้อย แผ่นใบเริ่มมีสีเหลือง
30	เป็นพิษเพิ่มขึ้น แผ่นใบเหลือง มีจุดไหม้
40	เป็นพิษปานกลาง พืชชะงักการเจริญเติบโต
50	เป็นพิษปานกลาง ทำลายพืช 50 เปอร์เซ็นต์
60	เป็นพิษค่อนข้างรุนแรง พืชแคระแกร็น
70	เป็นพิษรุนแรง ใบเริ่มแห้งไหม้
80	เป็นพิษรุนแรงมาก ใบแห้งไหม้เกือบทั้งแผ่นใบ
90	พืชแห้งไหม้เกือบทั้งต้น
100	พืชตาย

ที่มา: คัดแปลงจาก Burrill *et al.* (1976)

2. วัดความสูงของหญ้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอ ใบโอโทปี้ด้านทาน และต้นข้าว เกลี้ย 10 ต้นต่อกระถาง (หน่วยเป็นเซนติเมตร) ที่ 3, 5, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร

3. ชั่งน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นเหนือดินของหญ้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอ ใบโอโทปี้ด้านทาน และต้นข้าว เกลี้ย 10 ต้นต่อกระถาง ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด

นำผลการทดลองดังกล่าวในข้างต้น ไปพิจารณาโดยใช้ค่า I_{50} (The herbicide rate required to inhibit growth by 50%) และ GR_{50} (The concentration required to reduce growth by 50%) และค่าดัชนีของความต้านทาน (resistance index) (Valverde *et al.*, 2000) ดังนี้

Resistance index (RI) = I_{50} value of resistant biotype/ I_{50} value of susceptible biotype หรือ

= GR_{50} value of resistant biotype/ GR_{50} value of susceptible biotype

3. การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชในกลุ่มอื่น ๆ

ศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่ม (multiple-resistance) ของหญ้าดอกขาวที่ต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพที่อาจจะเกิดขึ้นไปยังสารกำจัดวัชพืชกลุ่มอื่น ๆ ได้แก่ ออกซาไดแอตซอน โพรพานิล และควินคลอแร็กซ์ ซึ่งได้มีการใช้สารดังกล่าวนี้ในการควบคุมวัชพืชในนาข้าวเช่นกัน ขั้นตอนประกอบด้วย

นำเมล็ดหญ้าดอกขาวไปไอบีโอไทป์อ่อนแอและต้านทานไปทำการการปักดำโดยใช้วิธี pre-heat ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง (ISTA, 1999) หลังจากนั้นนำไปเพาะลงในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว ที่มีดินร่วนเป็นวัสดุปลูก จำนวน 192 กระถาง หลังจากเมล็ดหญ้าดอกขาวออกเจริญเติบโต ให้ถอนแยกเหลือหญ้าดอกขาวจำนวน 10 ต้นต่อกระถาง

การทดสอบความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าดอกขาวที่ต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพต่อสารกำจัดวัชพืชกลุ่มอื่น ๆ ที่ใช้ในนาข้าวในสภาพเรือนทดลอง วางแผนการทดลองแบบ split-plot in RCB ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ในแต่ละอัตราสารที่ฉีดพ่น กำหนดปัจจัยหลัก (main plot) คือ อัตราการใช้สารออกซาไดแอตซอน 6 อัตรา (0, 3, 6, 12, 24 และ 48 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) สารโพรพานิล 6 อัตรา (0, 6.25, 12.50, 25, 50 และ 100 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) และสารควินคลอแร็กซ์ 6 อัตรา (0, 1.33, 2.66, 5.32, 10.64 และ 21.28 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) โดยอัตราสารฟิโนอกซาพรอพ ออกซาไดแอตซอน โพรพานิล และควินคลอแร็กซ์ ที่ 42.18, 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ เป็นอัตราสารแนะนำ ตามลำดับ และปัจจัยรอง (sub plot) คือ หญ้าดอกขาว (ไอบีโอไทป์อ่อนแอ และต้านทาน) ทำการทดลองทั้งหมด 192 กระถาง ในแต่ละสารใช้กระถางจำนวน 48 กระถาง (หญ้าดอกขาวไอบีโอไทป์อ่อนแอจำนวน 24 กระถาง และไอบีโอไทป์ต้านทานจำนวน 24 กระถาง) หลังจากพืชมีอายุได้ 21 วันหลังจากงอก ทำการพ่นสารต่าง ๆ ในอัตราที่กำหนด โดยมีหญ้าดอกขาวที่ไม่ได้รับสารเป็นตัวแทนเปรียบเทียบความต้านทาน (ชุดควบคุม)

บันทึกผลการทดลอง ดังนี้

1. บันทึกเปอร์เซ็นต์ของความเป็นพิษที่พืชได้รับ (plant injury หรือ phytotoxicity) ที่ 3, 5, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยการประเมินด้วยสายตา (เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.2)
2. วัดความสูงของหลอดดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ และต้านทาน เฉลี่ย 10 ต้นต่อกระถาง (หน่วยเป็นเซนติเมตร) ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร
3. ชั่งน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นเหนือดินของหลอดดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ และต้านทาน เฉลี่ย 10 ต้นต่อกระถาง ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด

นำผลการทดลองดังกล่าวในข้างต้น ไปพิจารณาโดยใช้ค่า I_{50} (The herbicide rate required to inhibit growth by 50%) และ GR_{50} (The concentration required to reduce growth by 50%) และ ค่าดัชนีของความต้านทาน (resistance index) (Valverde *et al.*, 2000) ดังนี้

$$\text{Resistance index (RI)} = I_{50} \text{ value of resistant biotype} / I_{50} \text{ value of susceptible biotype หรือ} \\ = GR_{50} \text{ value of resistant biotype} / GR_{50} \text{ value of susceptible biotype}$$

4. ศึกษากลไกความต้านทานทางชีวเคมีของหลอดดอกขาวต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพ

ในการศึกษาลักษณะกลไกทางชีวเคมีของหลอดดอกขาวต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพนั้น พิจารณาจากหลอดดอกขาวทั้งไบโอไทป์ที่อ่อนแอและต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase ซึ่งได้ประยุกต์ตามวิธีการของ Xiao-Yong และ Matsumoto (2002) มีขั้นตอนดังนี้

4.1 การสกัดเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase

การศึกษาลักษณะกลไกทางชีวเคมีของหญ้าดอกขาวโดยใช้ส่วนเหนือดิน ที่มีระยะใบจริง 3 ใบ ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม บดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยไนโตรเจนเหลว จากนั้นเติม extraction buffer 15 มิลลิลิตร [ประกอบด้วย 100 mmol L⁻¹ tricine-potassium hydroxide (KOH) pH 8.3, 3% (v/v) glycerol, 2 mmol L⁻¹ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)-2Na, 5 mmol L⁻¹ dithiothreitol (DTT) และ 1 mmol L⁻¹ phenylmethylsulphonylfluoride (PMSF)] แล้วกรองด้วย cheesecloth 4 ชั้น นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 25,000 rpm นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารละลายใส (supernatant) กรองด้วย miracloth 2 ชั้น ทำสารละลายให้อิ่มตัวด้วย 30 และ 40% saturation of ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄) อย่างช้า ๆ พร้อมทั้งกวนสารละลายตลอดเวลา 30 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm นาน 30 นาที นำตะกอนที่ได้มา resuspended โดยใช้ resuspension buffer ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร [ประกอบด้วย 100 mmol L⁻¹ tricine-KOH (pH 8.3), 3% (v/v) glycerol, 5 mmol L⁻¹ DTT, 2 mmol L⁻¹ Na₂EDTA และ 50 mmol L⁻¹ KCl] นำสารละลายที่ได้ไป desalt โดยใช้ Sephadex G-25 column และทำให้สมดุลด้วย resuspension buffer เก็บเอนไซม์ที่สกัดได้ไว้ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์เอนไซม์ในขั้นตอนต่อไป

4.2 การวิเคราะห์เอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase

สารละลายเอนไซม์ที่ได้จากขั้นตอนการสกัดจากหญ้าดอกขาวใบโอบีโทป้อนแอ และด้านทาน นำมาศึกษาลักษณะกลไกทางชีวเคมีที่ตอบสนองต่อสาร fenoxaprop-ethyl โดยอัตราสารที่ใช้ คือ 0, 0.1, 1, 10 และ 100 $\mu\text{mol L}^{-1}$ โดยใช้ acetyl-CoA ร่วมกับ [¹⁴C]NaHCO₃ เพื่อตรวจวัดระดับกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ และใช้ 1% acetone เป็นตัวทำละลายสาร fenoxaprop-ethyl ขั้นตอนการวิเคราะห์เริ่มจาก เติมสารละลาย 5 mmol L⁻¹ MgCl₂, 2.5 mmol L⁻¹ adenosine triphosphate (ATP), 20 μL enzyme (เอนไซม์ที่ได้จากขั้นตอนการสกัด), 10 mmol L⁻¹ NaHCO₃, 18.5 kBp [¹⁴C]NaHCO₃, 20 μL herbicide solution และ 78 μL resuspension buffer ลงในหลอดทดลองปริมาตรขนาด 1.5 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น 3 นาที เติม 300 $\mu\text{mol L}^{-1}$ acetyl-CoA การเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มขึ้นหลังจากเติม acetyl-CoA ที่ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และหยุดปฏิกิริยาโดยเติม 12 mmol L⁻¹ HCl 25 μL ทำสารละลายตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ ¹⁴CO₂ ระเหยออกไป หลังจากนั้น resolubilized ตัวอย่างที่แห้งด้วย 60% ethanol ปริมาตร 0.5 mL ค่อยนำไปนำสารละลายไปใส่ในหลอด scintillation vials ขนาด 20

mL ล้างสารละลายที่เหลือในหลอดให้หมดด้วย ethanol 1 mL ปรับปริมาตรสุดท้ายของสารละลายด้วย ethanol ให้ได้ปริมาตร 7 mL สุดท้ายนำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณรังสีจากเครื่อง Liquid Scintillation Spectrometer (LSS) ปริมาณเอนไซม์ที่วัดได้จากเครื่องมีหน่วยเป็น $\text{pmol mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ ชุดควบคุมเปรียบเทียบกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ที่สกัดได้จากหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทาน ใช้ distilled water และเติม 1% acetone แทนการเติมสาร fenoxaprop-ethyl

5. สถานที่ทำการทดลอง

1. แปลงนาข้าวของเกษตรกรที่มีการปลูกข้าวแบบนาหว่านน้ำตาม ในเขตสะพานสูง กรุงเทพฯ
2. โรงเรียนเพาะปลูกและห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์ของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
3. ห้องปฏิบัติการ Biosphere resource science and technology, University of Tsukuba ประเทศญี่ปุ่น

6. ระยะเวลาในการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2545 และสิ้นสุดการทดลอง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2548

ผลและวิจารณ์

1. การสำรวจวัชพืชหญ้าดอกขาวด้านทานสารฟิโนอกซาพรอฟในนาข้าว

1.1 ปัญหาวัชพืชในนาข้าว เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2545

การสำรวจวัชพืชด้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชในนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตม ในเขตสะพานสูง กรุงเทพฯ ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับการรายงานจากเกษตรกรว่าอาจจะเกิดปัญหามีวัชพืชหญ้าดอกขาวด้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ เนื่องจากการควบคุมวัชพืชด้วยสารฟิโนอกซาพรอฟไม่สามารถทำให้จำนวนประชากรหญ้าดอกขาวลดลงได้ จึงได้ทำการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้เป็นเจ้าของพื้นที่ 11 แหล่ง ในช่วงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2545 ซึ่งแบบสอบถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ (ภาคผนวกที่ 1) แบ่งออกเป็น 5 ประเด็น ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร (2) ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับพืชปลูก พันธุ์ที่ใช้ จำนวนครั้งที่ปลูก วันปลูกพืช และวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (3) ประวัติการใช้สารกำจัดวัชพืชย้อนหลัง ช่วงปี พ.ศ. 2540-2545 (4) ชนิดวัชพืชที่เป็นปัญหาในพืชปลูก และ (5) ข้อมูลเพิ่มเติมหรือปัญหาอื่น ๆ ที่เกิดกับพืชปลูก เป็นต้น

ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ (ตารางที่ 3) พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีพื้นที่ทำการเกษตรเป็นของตัวเอง ตั้งแต่ 20-150 ไร่ ประกอบอาชีพทำนาเป็นหลัก โดยใช้น้ำจากคลองชลประทาน แรงงานที่ใช้ในการทำนาเป็นแรงงานในครอบครัว การทำนาจะทำนาแบบนาหว่านน้ำตม โดยปลูกทั้งข้าวนาปี และนาปรัง พันธุ์ข้าวนาปีจะใช้พันธุ์ขาวตาแห้ง ส่วนพันธุ์ข้าวนาปรังใช้พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์พิษณุโลก และพันธุ์ชัยนาท เป็นต้น แต่พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรเขตสะพานสูงปลูกกันมากคือ พันธุ์สุพรรณบุรี 1 (ตารางที่ 4) การปลูกข้าวครั้งแรกจะเริ่มในช่วงกลางเดือนพฤศจิกายน และเก็บเกี่ยวผลผลิตเดือนมีนาคม ครั้งที่สองเริ่มปลูกข้าวในเดือนเมษายน และเก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนกรกฎาคม

การสัมภาษณ์ข้อมูลการใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าวของเกษตรกรย้อนหลังเป็นเวลา 5 ปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2540-2545 (ตารางที่ 5) พบว่า เกษตรกรใช้สารกำจัดวัชพืชที่มีชื่อการค้าแตกต่างกัน แต่เป็นสารฟิโนอกซาพรอฟเหมือนกัน เช่น Whip 7.5, Ricestar และ Fure โดยเฉพาะ Whip 7.5 เกษตรกรนิยมใช้มากที่สุด และเกษตรกรใช้สารนี้ตลอดในช่วงระยะเวลา 5 ปี ซึ่งในการทำนาหนึ่งครั้งมีการพ่นสารสองครั้ง โดยการใช้สารเกษตรกรใช้สารตามอัตราที่แนะนำคือ สาร 90 ซีซี (42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์) ต่อน้ำ 80 ลิตรต่อพื้นที่ 1 ไร่ พ่นหลังจากข้าวมีอายุได้ 15 วันหลังปลูก

วิธีการพ่นสารใช้แบบปั๊มลากสาย และพ่นสารครั้งที่สองเฉพาะบริเวณที่พบวัชพืชหลังจากข้าวมีอายุ 30 วัน โดยใช้ถึงสะพานหลังขนาด 20 ลิตร

วัชพืชที่พบในนาข้าวมีหลายชนิด เช่น หญ้าดอกขาว หญ้าข้าวนก หญ้าแดง ผักปอด และกกขนาก (ตารางที่ 6) โดยวัชพืชที่เป็นปัญหาสำคัญในการควบคุมและกำจัดได้ยากมากที่สุด คือ หญ้าดอกขาว ซึ่งเป็นวัชพืชที่พบมากในการทำนาแบบนาหว่านน้ำตม (Duong, 2001; Sangakkara *et al.*, 2004) จากการสัมภาษณ์เกษตรกรเกี่ยวกับวิธีการควบคุมวัชพืชรากขาว พบว่า ในช่วงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ได้มีการใช้สารฟิโนอกซาพรอพในการควบคุมวัชพืชในนาข้าวมาโดยตลอด แต่ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาปรากฏว่า การใช้สารฟิโนอกซาพรอพไม่สามารถควบคุมและกำจัดหญ้าดอกขาวได้เหมือนก่อน จนกระทั่งหญ้าดอกขาวออกดอกและติดเมล็ด เกิดการแพร่กระจายของเมล็ดหญ้าดอกขาวที่มีลักษณะต้านทานต่อสาร ซึ่งในฤดูกาลปลูกข้าวต่อมาเมล็ดหญ้าดอกขาวดังกล่าวนี้ สามารถงอกและเจริญเติบโตขึ้นมาได้ ทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างหญ้าดอกขาวที่มีลักษณะอ่อนแอและต้านทานต่อสาร รวมทั้งการแข่งขันกับวัชพืชชนิดอื่น ๆ ด้วย (Rainbolt *et al.*, 2005) โดย Dong *et al.* (2005) รายงานว่า การงอกของเมล็ดหญ้าดอกขาวในสภาพแปลงหลังนาหว่านข้าว 6-10 วัน มีเปอร์เซ็นต์การงอก 41.26 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดหญ้าดอกขาวมีเปอร์เซ็นต์การงอกเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับอุณหภูมิในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส (Benvenuti *et al.*, 2004) เมื่อเวลาผ่านไปหลายปีลักษณะของการแข่งขันในสภาพดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการแพร่ระบาดของหญ้าดอกขาวที่มีลักษณะต้านทานต่อสารมากขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดเวลา นอกจากนี้ Cavan *et al.* (2000) ได้รายงานว่าการแปลงปลูกข้าวในพื้นที่เขตตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปยุโรป มีการใช้สารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม aryloxyphenoxypropionate (AOPP) และ cyclohexanedione (CHD) เพื่อควบคุมวัชพืช *Alopecurus myosuroides* Huds. ซึ่งสารทั้งสองกลุ่มนี้สามารถควบคุมและกำจัดได้เพียง 90 เปอร์เซ็นต์ วัชพืชที่มีชีวิตรอดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีการปรับตัวเกิดความต้านทานสารในกลุ่มนี้ขึ้นภายในระยะเวลา 9-10 ปี เกิดเป็นกลุ่มประชากรของวัชพืชที่ต้านทานสารกำจัดวัชพืช

จากประสบการณ์ดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่า หญ้าดอกขาวอาจจะมีการพัฒนาความต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพที่ใช้ในการควบคุมวัชพืช นอกจากนี้เกษตรกรได้รายงานข้อมูลเพิ่มเติมว่า เมื่อเพิ่มอัตราความเข้มข้นของสารมากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อข้าว กล่าวคือ ข้าวจะชะงักการเจริญเติบโต ยอดข้าวหลุด และเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามมีพื้นที่ของเกษตรกรจำนวน 2 แห่ง ไม่พบว่าเกิดปัญหาวัชพืชหญ้าดอกขาวต้านทานต่อสารดังกล่าว โดยเกษตรกร 2 รายนี้ได้แนะนำวิธีการควบคุมวัชพืชว่า ควรใช้สารกำจัดวัชพืชในอัตราแนะนำ ผิดพ่นสารตามระยะเวลาที่กำหนด คือ ไม่เกิน 15 วันหลังปลูกข้าว เพื่อควบคุมวัชพืช เนื่องจากถ้า

ปล่อยทิ้งไว้นานเกิน 30 วันหลังปลูกข้าว วัชพืชจะเจริญเติบโตจนกระทั่งกำจัดได้ยาก ใช้น้ำสะอาดผสมสาร และไม่ปล่อยให้พื้นดินนาแห้งเกินไป จะสามารถควบคุมวัชพืชต่างได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้แนะนำเพิ่มเติมแก่เกษตรกรให้เปลี่ยนใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีกลไกในการทำลายพืช (mode of action) แตกต่างออกไป ซึ่งการเปลี่ยนสารกำจัดวัชพืชที่มีกลไกในการทำลายพืชที่แตกต่างออกไปทุก 4 ปี และร่วมกับการทำเกษตรกรรมจะเป็นการช่วยป้องกันการเกิดปัญหาวัชพืชด้านทานต่อสาร Cavan *et al.* (2000)

การควบคุมวัชพืชในการทำนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตม จะเริ่มหลังจากการเตรียมดิน โดยการไถดะควรปล่อยน้ำเข้านาพอให้ดินชุ่มเป็นเวลา 5-10 วัน เพื่อปล่อยให้วัชพืชงอกเป็นต้นอ่อน จึงปล่อยน้ำเข้านาเพิ่มแล้วทำการไถแปรและคราดเพื่อกำจัดวัชพืช อาจทำซ้ำอีกครั้งโดยให้เว้นช่วงประมาณ 5 วัน หลังจากคราดครั้งสุดท้ายแล้วปล่อยให้น้ำขังในนา 3 อาทิตย์ เพื่อให้วัชพืชน้ำงอก แล้วจึงคราดวัชพืชออกอีกครั้ง จากนั้นจึงระบายน้ำออก และปรับระดับพื้นที่ให้สม่ำเสมอเพื่อเตรียมหว่านข้าวงอก หลังจากหว่านข้าวประมาณ 5-7 วัน จึงปล่อยน้ำเข้าแปลงนาให้มีระดับสูง 2-3 เซนติเมตรจากผิวดิน เมื่อต้นข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอให้เพิ่มระดับน้ำในนาให้สูงประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งขั้นตอนการเตรียมดินทั้งหมดนี้สามารถลดปัญหาวัชพืชในนาข้าวลงอย่างมาก (บุญหงส์, 2547)

จากข้อมูลการสำรวจในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดเดียวหรือสารที่มีกลไกในการทำลายพืชแบบเดียวติดต่อกันในบริเวณเดิมเป็นเวลาหลายปี ทำให้วัชพืชปรับตัวเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชได้ เช่นเดียวกับ Al-Khatib *et al.* (1998) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สาร imazethapyr ในแปลงถั่วเหลืองที่มีทานตะวัน (common sunflower, *Helianthus annuus*) เป็นวัชพืช ติดต่อกันเป็นเวลานานมากกว่า 7 ปี ทำให้เกิดความต้านทานด้านทานต่อสารดังกล่าว นอกจากนี้ Stoltenberg and Wiederholt (1995) รายงานว่า วัชพืช *Setaria faberi* ที่เป็นวัชพืชในพืชปลูกแครอทและหัวหอม ซึ่งต้านทานต่อสาร sethoxydim และ fluazifop-P-butyl จากการใช้สาร 2 และ 6 ครั้ง ในหนึ่งฤดูการปลูกพืช ตามลำดับ เป็นระยะเวลาติดต่อกันนาน 8 ปี

ดังนั้นจึงเก็บตัวอย่างเมล็ดหญ้าดอกขาวในเขตพื้นที่สะพานสูง ในบริเวณที่คาดว่าจะเกิดปัญหาหญ้าดอกขาวด้านทานต่อสารฟิโนอกซาพროฟ (ประชากรไบโอไทป์ด้านทานสาร) และบริเวณที่ไม่พบว่าเกิดปัญหาหญ้าดอกขาวด้านทานต่อสาร (ประชากรไบโอไทป์อ่อนแอ) ในเขตสะพานสูง กรุงเทพฯ นำไปศึกษาการตอบสนองของหญ้าดอกขาวที่มีต่อสารฟิโนอกซาพโรฟในสภาพเรือนทดลองต่อไป

ตารางที่ 3 ข้อมูลทางการเกษตรเบื้องต้นของเกษตรกรเจ้าของพื้นที่ 11 แห่ง ในพื้นที่เขต
สะพานสูง กรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2545

ข้อมูลเบื้องต้น	รายละเอียด
จำนวนเกษตรกร	11 ราย (ชาย 10 คน และหญิง 1 คน)
พื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด	765 ไร่
พันธุ์ข้าว	พันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ชัยนาท (ข้าวนาปรัง) พันธุ์ขาวตาแห้ง (ข้าวนาปี)
จำนวนครั้งที่ปลูก	ครั้งที่ 1 ช่วงเดือนเมษายน-กรกฎาคม ครั้งที่ 2 ช่วงเดือนพฤศจิกายน-มีนาคม
ระยะเวลาพ่นสาร	7-20 วันหลังปลูก
จำนวนครั้งที่ฉีดพ่นสาร	1-3 ครั้ง
เครื่องมือพ่นสาร	เครื่องปั๊มแบบลากสาย

ตารางที่ 4 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

คุณสมบัติ	ลักษณะประจำพันธุ์ข้าว
ชนิดข้าว	ข้าวเจ้า
อายุเก็บเกี่ยว	120-130 วัน
ความสูง	125 เซนติเมตร
ความต้องการช่วงแสง	ไม่ไวแสง/ พันธุ์หนัก
ความต้านทานต่อโรคและแมลง	โรคไหม้ (blast) โรคขอบใบแห้ง (bacterial blight) แมลงปั่ว (gall midge) เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown planthopper) สภาพแล้ง (drought)

ที่มา: สถาบันวิจัยข้าว (2533)

ตารางที่ 5 ประวัติการใช้สารกำจัดวัชพืชระหว่างปี พ.ศ. 2540-2545 ในนาข้าวพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ

ปี พ.ศ.	สารกำจัดวัชพืช	อัตราการใช้สารกำจัดวัชพืช
2540	Whip 7.5 (fenoxaprop-P-ethyl)	90 ซีซี/ น้ำ 80 ลิตร/ไร่
	Ricestar (fenoxaprop-P-ethyl)	90 ซีซี/ น้ำ 80 ลิตร/ไร่
	Fure (fenoxaprop-P-ethyl)	90 ซีซี/ น้ำ 80 ลิตร/ไร่
2541	Whip 7.5 (fenoxaprop-P-ethyl)	90 ซีซี/ น้ำ 80 ลิตร/ไร่
2542	Whip 7.5 (fenoxaprop-P-ethyl)	90 ซีซี/ น้ำ 80 ลิตร/ไร่
2543	Whip 7.5 (fenoxaprop-P-ethyl)	90 ซีซี/ น้ำ 80 ลิตร/ไร่
2544	Whip 7.5 (fenoxaprop-P-ethyl)	90 ซีซี/ น้ำ 80 ลิตร/ไร่
2545	Whip 7.5 (fenoxaprop-P-ethyl)	90 ซีซี/ น้ำ 80 ลิตร/ไร่

ตารางที่ 6 ชนิดของวัชพืชหลักที่พบในนาข้าวพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2545

ชนิดวัชพืช	ชื่อวัชพืช
วงศ์หญ้า	หญ้าดอกขาว (<i>Leptochloa chinensis</i> L. Ness)
	หญ้าชันก (Echinochloa crus-galli L. Beauv)
	หญ้าแดง (<i>Ischaemum rugosum</i> salisb var. <i>rugosum</i>)
ใบกว้าง	ผักปอด (<i>Sphenoclea zeylanica</i> Gaertn.)
กก	กกขนาก (<i>Cyperus difformis</i> L.)

1.2 ปัญหาวัชพืชในนาข้าวเขตสะพานสูง กรุงเทพฯ ปี พ.ศ. 2547

ในช่วงเดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2547 ได้ทำการสำรวจและติดตามปัญหาของวัชพืชด้านทานสารกำจัดวัชพืชในนาข้าวพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ อีกครั้ง เพื่อติดตามผลการแก้ปัญหาและการจัดการวัชพืชหญ้าดอกขาวด้านทานต่อสารฟิโนอกซาพროฟ ในการทำนาข้าวแบบนาหว่านน้ำดำ จากวิธีที่เกษตรกรทั้ง 2 ราย และคณะผู้วิจัยแนะนำแก่เกษตรกรที่พบปัญหาวัชพืชด้านทานสารในปี พ.ศ. 2545

ในการสำรวจวัชพืชด้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชในนาข้าวแบบนาหว่านน้ำดำ เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ แบบสอบถามที่ใช้สัมภาษณ์ (ภาคผนวกที่ 2) แบ่งออกเป็น 5 ประเด็น ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกร (2) ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับพื้นที่ปลูกพืช พันธุ์ข้าว จำนวนครั้งที่ปลูกวันปลูก และวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (3) ประวัติการใช้สารกำจัดวัชพืชย้อนหลัง (4) ชนิดวัชพืชที่เป็นปัญหาในพืชปลูก และ (5) ความรู้เกี่ยวกับวัชพืชด้านทานสาร เป็นต้น

ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกร พบว่า เกษตรกรมีการวางแผนการปลูกข้าวเช่นเดียวกับการสัมภาษณ์ในปี พ.ศ. 2545 แต่บางครั้งในฤดูฝนมีปริมาณน้ำมากทำให้น้ำท่วมพื้นที่ปลูกข้าว เกษตรกรจะเลื่อนการปลูกข้าวไปเล็กน้อย และมีการใช้น้ำเพื่อควบคุมวัชพืชในแปลงทั้งช่วงที่ปลูกและไม่ได้ปลูกข้าว

การสัมภาษณ์ข้อมูลประวัติการใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าวของเกษตรกรในช่วง 10 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537-2547 พบว่า ในปี พ.ศ. 2537-2545 เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารฟิโนอกซาพโรฟเพื่อควบคุมและกำจัดวัชพืชเพียงอย่างเดียวมาตลอด ส่งผลให้หญ้าดอกขาวมีความต้านทานต่อสารดังกล่าวขึ้น เช่นเดียวกับ Ahmet (n.d.) รายงานว่า ประวัติการใช้สารฟิโนอกซาพโรฟเพื่อควบคุมวัชพืช wild oat (*Avena strerilis*) ในพืชปลูกข้าวสาลี ในอัตราแนะนำที่ 45 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน 10 ปี ส่งผลให้ wild oat ปรับตัวเกิดความต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพโรฟขึ้น และปี พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบันเกษตรกรได้เปลี่ยนสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีกลไกในการทำลายพืช (mode of action) แตกต่างออกไป โดยสารกำจัดวัชพืชที่เกษตรกรนำมาใช้ ได้แก่ สารโทรพานิล และสารคลอมาโซน (clomazone) ผสมโทรพานิล โดยพ่นสารหลังจากข้าวมีอายุได้ 7-14 วันหลังปลูก วิธีการพ่นสารแบบใช้แบบปั๊มลากสาย ซึ่งการปลูกข้าวหนึ่งฤดูกาลจะพ่นสารกำจัดวัชพืชสองครั้ง

ในการสำรวจวัชพืชด้านทานสารในปี พ.ศ. 2547 วัชพืชหลักที่พบในนาข้าวไม่แตกต่างไปจากการสำรวจในปี พ.ศ. 2545 ส่วนจำนวนประชากรของวัชพืชหญ้าดอกขาวที่เป็นปัญหาหลัก มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรของหญ้าดอกขาวลดลงไป จากการสังเกตของเกษตรกรเมื่อเปรียบเทียบกับ การสำรวจในปี พ.ศ. 2545 โดยที่คณะผู้วิจัยได้แนะนำให้เกษตรกรเปลี่ยนการใช้สารกำจัดวัชพืช จากการใช้สารกำจัดวัชพืชเพียงชนิดเดียวติดต่อกัน เป็นการใช้สารที่มีกลไกการทำลายที่แตกต่างออกไป กล่าวคือ เกษตรกรได้เปลี่ยนจากการใช้สารฟิโนอกซาพროฟ ซึ่งมีกลไกการทำลายในการยับยั้งการสังเคราะห์กรดไขมัน (lipid synthesis inhibitors) ไปเป็น การใช้สารคลอมาโซน ซึ่งเป็นสารที่มีผลในการยับยั้งการสร้างแคโรทีนอยด์ (carotenoid synthesis inhibitors) และสารโพพรานิล ซึ่งมีกลไกการทำลายในการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis inhibitors)

วิธีการปฏิบัติของเกษตรกรและช่วงเวลาในการพ่นสารกำจัดวัชพืช จะมีผลต่อ การควบคุมวัชพืช กล่าวคือ หลังจากหว่านข้าวไปแล้วประมาณ 15-20 วัน ก่อนการพ่นสารกำจัดวัชพืช ควรจะมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาข้าว เพื่อให้ต้นกล้าของวัชพืชที่อยู่ในระยะ 3-4 ใบ ได้รับสารอย่างทั่วถึง หลังจากที่มีการพ่นสารประมาณ 24 ชั่วโมง จึงทำการปล่อยน้ำเข้าแปลงนาข้าวได้ (ประสาน และคณะ, 2529) นอกจากนี้ Benvenuti *et al.* (2004) รายงานว่า ระดับน้ำในข้าวที่มีระดับไม่ต่ำกว่า 6 เซนติเมตร เมล็ดหญ้าดอกขาวไม่สามารถงอกได้ และการปรับระดับพื้นที่ให้เรียบสม่ำเสมอไม่มีส่วนที่อยู่เหนือระดับผิวน้ำ จะทำให้เมล็ดวัชพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (อภิชาติ และ เสริมศักดิ์, 2535) เมื่อต้องการหว่านข้าวจึงปล่อยน้ำออกจากแปลง ซึ่งการใช้วิธีการควบคุมวัชพืชทั้งสองวิธีร่วมกันสามารถช่วยควบคุมปัญหาวัชพืชในนาข้าวให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เห็นได้ว่าหลังจากที่มีการเปลี่ยนการใช้สารที่มีกลไกในการทำลายที่แตกต่างกัน รวมทั้งการใช้วิธีการเกษตรกรรมในการจัดการวัชพืชที่ด้านทานสาร ทำให้เกษตรกรสามารถควบคุมและกำจัดหญ้าดอกขาวที่ด้านทานสารได้ผลอย่างเป็นที่น่าพอใจ

2. การตอบสนองของหลอดอกขาวที่มีต่อสารฟีนอกซาพรอพในสภาพเรือนทดลอง

การศึกษาการตอบสนองของสารฟีนอกซาพรอพที่มีต่อหลอดอกขาวและข้าวในสภาพเรือนทดลอง โดยการประเมินลักษณะการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของหลอดอกขาว ไบโอดีปอ้อนแอและด้านทาน จากข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ประกอบด้วย ลักษณะอาการเป็นพิษของหลอดอกขาว ความสูง และน้ำหนักแห้ง ภายหลังจากได้รับสารฟีนอกซาพรอพ ซึ่งผลการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสาร มีดังนี้

เมื่อพิจารณาลักษณะอาการเป็นพิษที่หลอดอกขาวและข้าวที่ 3 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 7) พบว่า การใช้สารในอัตราแนะนำที่ 42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ หลอดอกขาวไบโอดีปอ้อนแอเริ่มแสดงความเป็นพิษ 33.75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไบโอดีปอ้อนแอไม่แสดงอาการเป็นพิษ โดยไบโอดีปอ้อนแอจะเริ่มแสดงอาการเป็นพิษเมื่อได้รับสารในอัตรา 84.36-337.44 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ จากภาพที่ 6 (ก) การแสดงอาการเป็นพิษของหลอดอกขาวไบโอดีปอ้อนแอสูงขึ้นตามความเข้มข้นสารที่เพิ่มขึ้น แต่ไบโอดีปอ้อนแอและข้าวเริ่มแสดงอาการความเป็นพิษที่อย่างชัดเจนที่ความเข้มข้นของสาร 168.72 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์

เมื่อพิจารณาลักษณะอาการเป็นพิษที่หลอดอกขาวและข้าวที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 8) พบว่า อัตราสารที่ 84.36 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ไบโอดีปอ้อนแอมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ 67.09 เปอร์เซ็นต์ แต่ไบโอดีปอ้อนแอแสดงอาการเป็นพิษ 18 เปอร์เซ็นต์ จากภาพที่ 7 (ข) การแสดงอาการเป็นพิษของหลอดอกขาวไบโอดีปอ้อนแอและด้านทานเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 3 วันหลังจากได้รับสาร และข้าวแสดงอาการเป็นพิษน้อยกว่าหลอดอกขาวทั้งสองไบโอดีปอ้อนแอ

เมื่อพิจารณาลักษณะอาการเป็นพิษที่หลอดอกขาวและข้าวที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 9) พบว่า การใช้ในสารอัตรา 168.72 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ไบโอดีปอ้อนแอมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไบโอดีปอ้อนแอมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ 36.25 เปอร์เซ็นต์ จากภาพที่ 6 (ค) การแสดงอาการเป็นพิษของหลอดอกขาวไบโอดีปอ้อนแอ ใบมีอาการเริ่มแห้งไหม้ ส่วนการแสดงอาการเป็นพิษของหลอดอกขาวไบโอดีปอ้อนแอและข้าวไม่แตกต่างไปจากที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร

เมื่อพิจารณาลักษณะอาการเป็นพิษที่เหี่ยวดอกขาวและขาวที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 10) พบว่า เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารที่มีต่อใบโอไทป์อ่อนแอะจะสูงกว่า ที่ 7 วัน หลังได้รับสาร ในทุก ๆ อัตราของการใช้สาร โดยอัตราสารที่ 42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ 69.17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใบโอไทป์ด้านทานมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ 10 เปอร์เซ็นต์ จากภาพที่ 6 (ง) การแสดงอาการเป็นพิษของเหี่ยวดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอะเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนในทุกอัตราสารที่ได้รับ ซึ่งส่งผลให้ใบแห้งเกือบทั้งต้น ส่วนการแสดงอาการเป็นพิษของเหี่ยวดอกขาวใบโอไทป์ด้านทานและขาวเพิ่มขึ้นจากที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร อย่างชัดเจนเมื่อได้รับสารที่มากกว่า 84.36 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์

เมื่อพิจารณาลักษณะอาการเป็นพิษที่เหี่ยวดอกขาวและขาวภายหลังที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 11) พบว่า การใช้สารที่อัตรา 42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ใบโอไทป์อ่อนแอะมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ใบโอไทป์ด้านทานมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ จากภาพที่ 6 (จ) เหี่ยวดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอะตายเมื่อได้รับสารในอัตรา 42.18-337.44 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ แต่ใบโอไทป์ด้านทานตายเมื่อได้รับสารในอัตรา 337.44 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ เห็นได้ว่า เหี่ยวดอกขาวใบโอไทป์ด้านทานมีความต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอพ ส่วนการแสดงอาการเป็นพิษของขาวเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับสาร โดยเฉพาะในอัตราสารที่สูง

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพ ด้วยสายตาที่ 3, 5, 7, 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 1, 2, 3, 4 และ 5) พบว่า เหี่ยวดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอะและด้านทานที่ได้รับสารฟีนอกซาพรอพ และการใช้สารในแต่ละอัตรา มีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และปัจจัยทั้งสองนี้มีปฏิริยาสัมพันธ์กัน คือ เหี่ยวดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอะและด้านทานจะแสดงอาการความเป็นพิษจากสารมากขึ้นตามอัตราของสารออกฤทธิ์ที่เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามลักษณะอาการเป็นพิษที่เกิดขึ้นกับเหี่ยวดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอะ และด้านทาน ภายหลังได้รับสารฟีนอกซาพรอพมีลักษณะเช่นเดียวกัน กล่าวคือ กาบใบกลายเป็นสีน้ำตาล ใบจะเริ่มแห้งเป็นสีเหลือง ต่อมาใบจะม้วนและไหม้กลายเป็นสีน้ำตาล เช่นเดียวกับ Kim *et al.* (2005) ได้รายงานไว้ว่า ภายหลังจากเหี่ยวขาวได้รับสาร fenoxaprop-P-ethyl จะแสดงอาการเป็นพิษโดยที่ใบแห้งเป็นสีน้ำตาล ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร เหี่ยวดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอะแสดงอาการเป็นพิษเร็วกว่าใบโอไทป์ด้านทาน และระดับความรุนแรงของอาการจะมากขึ้นอย่างรวดเร็ว

ตามอัตราสารออกฤทธิ์ที่ได้รับเพิ่มขึ้น การควบคุมกำจัดหญ้าดอกขาวไบโอไทป์ด้านทานมีการใช้อัตราสารที่มากกว่าไบโอไทป์อ่อนแอ เมื่อพิจารณาจากอาการเป็นพิษแสดงให้เห็นว่า หญ้าดอกขาวในพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ เกิดความต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ ซึ่งการใช้สารในอัตราแนะนำไม่สามารถควบคุม และกำจัดหญ้าดอกขาวไบโอไทป์ด้านทานได้ เมื่อเปรียบเทียบกับไบโอไทป์อ่อนแอ โดยไบโอไทป์ด้านทานแสดงอาการเป็นพิษเพียงเล็กน้อย และมีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบต่อไป แต่ไบโอไทป์อ่อนแอที่ได้รับสารตาย เช่นเดียวกับรายงานของ Abdel and Miller (2004) ในพืชปลูก malt barley (*Hordeum vulgare* L.) ที่มีการใช้สารฟิโนอกซาพรอฟเพื่อควบคุมวัชพืช wild oat (*Avena fatua* L.) ในอัตรา 0.09, 0.113 และ 0.135 กิโลกรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ภายหลังจากพืชได้รับสารในอัตราดังกล่าวจะแสดงอาการเป็นพิษในระดับพืชทั้งต้นที่ 6, 12 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้ William *et al.* (1998) ได้รายงานว่า การใช้สารฟิโนอกซาพรอฟในข้าวสาลีเพื่อควบคุมวัชพืช littleseed Canarygrass (*Phalaris minor*) ในอัตราสาร 0.83, 1.24 และ 1.66 ออนซ์สารออกฤทธิ์ต่อเอเคอร์ เมื่อเพิ่มอัตราการใช้สารจะสามารถควบคุมวัชพืชได้ดีขึ้น โดยสามารถควบคุมวัชพืชได้ 58, 87 และ 95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ การแสดงลักษณะอาการเป็นพิษของวัชพืช คือ ชะงักการเจริญเติบโต และใบแห้งไหม้ โดยที่อัตราสารทุกอัตราไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวสาลี

ตารางที่ 7 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพที่มีต่อหญ้าดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอ และด้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 3 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	30	33.75	60.63	87.25	100	51.94 a ^{2/}
ต้านทาน	0	0	0	10	28.75	90	21.46 b
ค่าเฉลี่ย	0 D ^{3/}	15 D	16.87 CD	35.32 C	58 B	95 A	
C.V. (%) อัตราสาร			80				
C.V. (%) หญ้าดอกขาว			19				

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพที่มีต่อหญ้าดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอ และต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	31.25	43.45	67.09	90	100	55.30 a ^{2/}
ต้านทาน	0	0	10	18	32.50	92	25.42 b
ค่าเฉลี่ย	0 D ^{3/}	15.63 D	26.73 D	42.55 C	61.25 B	96 A	
C.V. (%) อัตราสาร			74				
C.V. (%) หญ้าดอกขาว			41				

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พิษปกติ และ 100 = พิษตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 9 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพที่มีต่อหญ้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอ และต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโหปปี หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	40	59.59	82.50	95	100	62.85 a ^{2/}
ต้านทาน	0	0	10	18	36.25	92	26.04 b
ค่าเฉลี่ย	0 E ^{3/}	20 E	34.80 D	50.25 C	65.63 B	96 A	
C.V. (%) อัตราสาร				74			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				69			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พิษปกติ และ 100 = พิษตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพที่มีต่อหน้าดอกขาวใบโอไทย์ป้อนแอ
และด้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอไทย์ป้อนแอ หน้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ้อนแอ	0	53.75	69.17	90.42	97.50	100	68.47 a ^{2/}
ด้านทาน	0	0	10	28	36.75	94	28.13 b
ค่าเฉลี่ย	0 F ^{3/}	26.88 E	39.56 D	59.21 C	67.13 B	97 A	
C.V. (%) อัตราสาร				30			
C.V. (%) หน้าดอกขาว				25			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พิษปกติ และ 100 = พิษตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

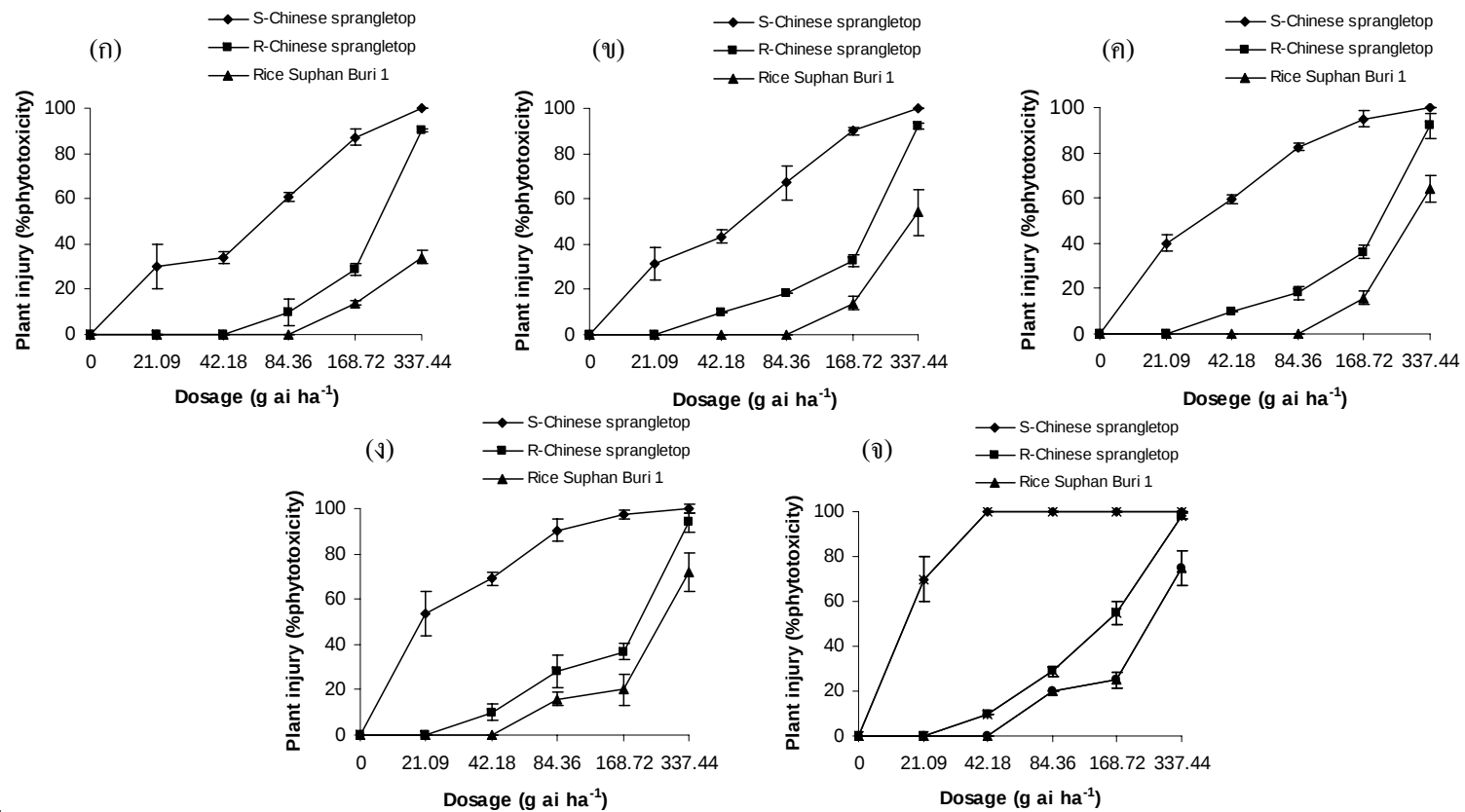
ตารางที่ 11 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพที่มีต่อหน้าดอกขาวใบโอไทย์ป้อนแอ
และด้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอไทย์ป้อนแอ หน้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ้อนแอ	0	70	100	100	100	100	78.33 a ^{2/}
ด้านทาน	0	0	10	28.75	55	98	31.96 b
ค่าเฉลี่ย	0 E ^{3/}	35 D	55 C	64.38 C	77.5 B	99 A	
C.V. (%) อัตราสาร				22			
C.V. (%) หน้าดอกขาว				22			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พิษปกติ และ 100 = พิษตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 6 การประเมินระดับความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอฟ ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) ไบโอไทป์ต้านทาน (■) และข้าวพันธุ์

สุพรรณบุรี 1 (▲) ที่ 3 (ก), 5 (ข), 7 (ค), 14 (ง) และ 21 (จ) วันหลังจากได้รับสาร ในสภาพเรือนทดลอง

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 5 ค่า

เมื่อพิจารณาความสูงของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางที่ 12) โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า การใช้สาร 42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ หญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอมีความสูง 28.10 เปอร์เซ็นต์ แต่ไบโอไทป์ด้านทานมีความสูง 97.87 เปอร์เซ็นต์ จากภาพที่ 7 (ก) หญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอหลังจากได้รับสารฟีนอกซาพรอพจะชะงักการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับสารในอัตราที่เพิ่มมากขึ้น แต่การเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวลดลงเล็กน้อยแม้ว่าได้รับสารในอัตราที่สูง เมื่อพิจารณาความสูงของหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์ และข้าว ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางที่ 13) โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า หญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอตายเมื่อได้รับสาร 42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ส่วนไบโอไทป์ด้านทานจะชะงักการเจริญเติบโตด้านความสูง เมื่อได้รับสารที่มากกว่า 168.72 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ โดยมีการเจริญเติบโตด้านความสูง 66.25 เปอร์เซ็นต์ จากภาพที่ 7 (ข) หญ้าดอกขาวไบโอไทป์ด้านทานมีการเจริญเติบโตด้านความสูงลดลงตามอัตราที่เพิ่มมากขึ้น และการเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าวลดลงเพียงเล็กน้อยแม้ว่าได้รับสารในอัตราที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง พบว่า หญ้าดอกขาวไบโอไทป์ด้านทานที่ได้รับสารฟีนอกซาพรอพในทุกอัตราที่มีความสูงมากกว่าไบโอไทป์อ่อนแอ และการใช้สารในอัตราแนะนำไบโอไทป์ด้านทานมีความสูงมากกว่าไบโอไทป์อ่อนแออย่างชัดเจน การเจริญเติบโตด้านความสูงของหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์นี้มีความสัมพันธ์กับอาการเป็นพิษที่เกิดขึ้น โดยการแสดงอาการเป็นพิษที่มากขึ้นส่งผลให้หญ้าดอกขาวชะงักการเจริญเติบโต ซึ่งไบโอไทป์ด้านทานแสดงอาการเป็นพิษเพียงเล็กน้อยเมื่อได้รับสารในอัตราแนะนำ และสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ แต่ไบโอไทป์อ่อนแอตาย

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ ไบโอไทป์ด้านทาน ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 6 และ 7) พบว่า ความสูงของหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์ภายหลังจากได้รับสาร มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การใช้สารในแต่ละอัตราและไบโอไทป์หญ้าดอกขาวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และปัจจัยทั้งสองนี้มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสองกล่าวคือ หญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานที่ได้รับสารมีการเจริญเติบโตทางความสูงลดลงตามอัตราสารที่ได้รับเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Abdel *et al.* (2004) ที่ศึกษาการใช้สารฟีนอกซาพรอพในการควบคุมวัชพืช wild oat (*Avena fatua* L.) ในพืชปลูก malt barley (*Hordeum vulgare* L.) โดยใช้สารในอัตรา 0.09, 0.113 และ 0.135 กิโลกรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ทำให้ข้าวบาร์เลย์มีความสูง 77, 73 และ 72 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าความสูงของข้าวบาร์เลย์ไม่มีความแตกต่างกันในทุกอัตราสาร

ตารางที่ 12 เปอร์เซ็นต์ความสูงเปรียบเทียบของหน่วดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแและใบโอโทปี้
ด้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโพนี หญ้ำดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	43.41	28.10	0	0	0	28.59 b ^{2/}
ต้านทาน	100	100	97.87	92.55	81.24	19.94	81.93 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	71.71 B	62.99 C	46.28 D	40.62 E	9.97 F	
C.V. (%) อัตราสาร				37			
C.V. (%) หญ้ำดอกขาว				57			

^{1/}ความสูง = (ความสูงที่ 14 วันหลังได้รับสาร x 100)/ ความสูงหน่วดอกขาวใบโอโทปี้เดียวกันของชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

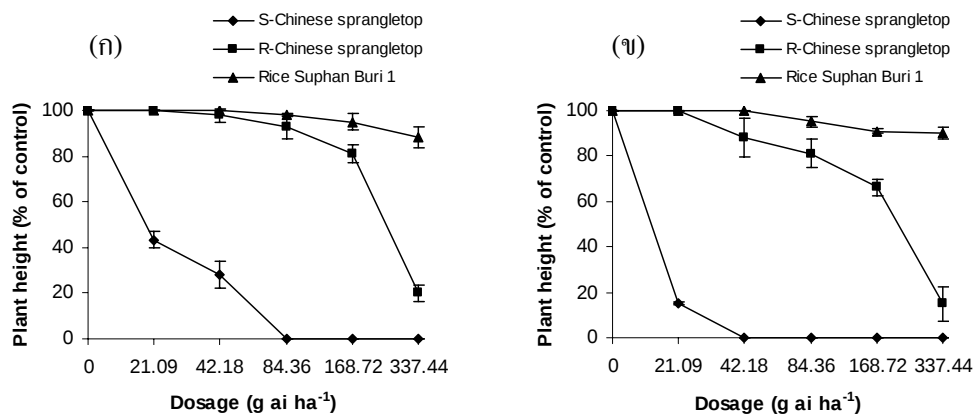
ตารางที่ 13 เปอร์เซ็นต์ความสูงเปรียบเทียบของหลอดดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์
ต้านทานต่อสารฟิโนอกซาฟลอพ ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หลอดดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟิโนกซาฟลอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	15	0	0	0	0	19.17 b ^{2/}
ต้านทาน	100	100	88.13	81.25	66.25	14.94	75.10 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	57.5 B	44.07 B	40.63 C	33.13 D	7.47 E	
C.V. (%) อัตราสาร			52				
C.V. (%) หลอดดอกขาว			52				

^{1/}ความสูง = (ความสูงที่ 21 วันหลังได้รับสาร x 100)/ ความสูงหลอดดอกขาไบโอไทป์เดียวกันของ
ชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อ
ทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อ
ทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบความสูงเฉลี่ยต่อต้นของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) ไบโอไทป์ต้านทาน (■) และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (▲) ที่ 14 (ก) และ 21 (ข) วันหลังจากได้รับสาร ในสภาพเรือนทดลอง

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 5 ค่า

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทาน ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางที่ 14) โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า หญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานที่ได้รับสารอัตรา 42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเท่ากับ 7.20 และ 82.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากภาพที่ 8 (ก) การสร้างน้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งไม่มีการสร้างน้ำหนักแห้งเมื่อได้รับสารในอัตราตั้งแต่ 84.36 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ แต่ไบโอไทป์ด้านทานยังมีการสร้างน้ำหนักแห้งต่อไปได้ เช่นเดียวกับ การสร้างน้ำหนักแห้งของข้าว มีการสร้างน้ำหนักแห้งมากกว่าหญ้าดอกขาวไบโอไทป์ด้านทาน

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งหญ้าดอกขาว ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 8) พบว่า การสร้างน้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาวทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การใช้สารในแต่ละอัตรามีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ไบโอไทป์หญ้าดอกขาวและการใช้สารในแต่ละอัตราไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และปัจจัยทั้งสองนี้ไม่มีปฏิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง กล่าวคือ หญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์ภายหลังจากได้รับสารมีการสร้างน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาทางด้านน้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทาน ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางที่ 15) โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า หญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอที่ได้รับสารในทุกอัตรามีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ แต่ไบโอไทป์ด้านทานที่ได้รับสารในอัตรา 168.72 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเท่ากับ 43.46 เปอร์เซ็นต์ จากภาพที่ 8 (ข) หญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอที่ได้รับสารในทุกอัตราตาย ทำให้ไม่มีการสร้างน้ำหนักแห้ง การสร้างน้ำหนักแห้งของไบโอไทป์ด้านทานมีแนวโน้มลดลงตามอัตราสารที่ได้รับเพิ่มขึ้น ส่วนข้าวมีน้ำหนักแห้งมากกว่าไบโอไทป์ด้านทานในทุกอัตราสารที่รับ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักแห้งหญ้าดอกขาว ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 9) พบว่า น้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์ที่ได้รับสารไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การใช้สารในแต่ละอัตราไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การใช้สารในแต่ละอัตราและหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และ

ปัจจัยทั้งสองนี้ไม่มีปฏิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง กล่าวคือ หญ้าดอกขาวทั้งสอง ไบโอดีปป์มีการสร้างน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาว พบว่า หญ้าดอกขาวไบโอดีปป์ด้านทานสร้างน้ำหนักแห้งมากกว่าไบโอดีปป์อ่อนแอในทุกอัตราสารที่ได้รับ และการสร้างน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กับอาการเป็นพิษ และความสูง กล่าวคือ ไบโอดีปป์ด้านทานมีความต้านทานต่อสารฟิโนกซาพรอพทำให้สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ภายหลังจากได้รับสาร แต่ไบโอดีปป์อ่อนแอตายส่ง ผลให้มีการสร้างน้ำหนักแห้งมากกว่าไบโอดีปป์อ่อนแอ อย่างไรก็ตามการสร้างน้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอดีปป์และข้าว มีแนวโน้มลดลงตามอัตราสารที่ได้รับและระยะเวลาที่ได้รับสารเพิ่มขึ้น ซึ่งการสร้างน้ำหนักแห้งของไบโอดีปป์อ่อนแอลดลงอย่างรวดเร็ว ต่างจากไบโอดีปป์ด้านทานและข้าวที่มีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลง โดยเฉพาะข้าวสามารถสร้างน้ำหนักแห้งได้มากกว่าหญ้าดอกขาวทั้งไบโอดีปป์ชนิดแม้ว่าจะได้รับสารในอัตราที่สูง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Derr (2002) ซึ่งรายงานไว้ว่า อัตราการใช้สารฟิโนกซาพรอพเพื่อควบคุมวัชพืช smooth crabgrass (*Digitaria ischaemum*) ที่ด้านทานต่อสารดังกล่าวนี้ มีการใช้อัตราสารที่มากกว่าประชากรที่อ่อนแอต่อสาร โดยการใช้สารในอัตรา 0.76 และ 1.52 กิโลกรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินลดลง 35 และ 64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนประชากรอ่อนแอใช้อัตราความเข้มข้นของสารเพียง 0.1 กิโลกรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ก็สามารถกำจัดวัชพืชนี้ได้ โดย Frie *et al.* (1994) ได้รายงานไว้ว่า ประชากรวัชพืช wild oat (*Avena Fatua* L.) ที่ด้านทานต่อสาร diclofop เมื่อนำมาตรวจสอบความต้านทานต่อสารฟิโนกซาพรอพพบว่า การสร้างน้ำหนักแห้งของราก wild oat ในประชากรที่ด้านทานต่อสารมากกว่าประชากรที่อ่อนแอต่อสารถึง 24 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Stoltenberg and Wiederholt (1995) ได้รายงานไว้ว่า ประชากรวัชพืช green foxtail (*Setaria faberi*) ที่มีความต้านทานต่อสารฟิโนกซาพรอพ มีการสร้างน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินมากกว่าประชากรที่อ่อนแอต่อสาร 4.2 เท่า นอกจากนี้ Ahmet (n.d.) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อพิจารณาจากค่า ED_{50} (medium effectively dose) ในการสร้างน้ำหนักแห้งของวัชพืช wild oat (*Avena strerilis*) ที่ด้านทานต่อสารฟิโนกซาพรอพ จากประชากรพันธุ์ AKR1, DZC, GKY1 และ GKY พบว่า มีความต้านทานต่อสารฟิโนกซาพรอพ 5.0, 6.5, >8 และ >8 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ED_{50} ในการสร้างน้ำหนักแห้งของประชากรที่อ่อนแอต่อสาร

ตารางที่ 14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้านของเหี่ยวดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทาน
ต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ เหี่ยวดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟิโนกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	25.68	7.20	0	0	0	22.15 b ^{2/}
ต้านทาน	100	91.42	82.21	81.58	60.35	12.92	71.41 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	58.55 B	44.71 C	40.79 C	30.18 D	6.46 D	
C.V. (%) อัตราสาร				4			
C.V. (%) เหี่ยวดอกขาว				4			

^{1/}น้ำหนักแห้ง = (น้ำหนักแห้งที่ 14 วันหลังได้รับสาร x 100)/ น้ำหนักแห้งเหี่ยวดอกขาไบโอไทป์เดียวกันของชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

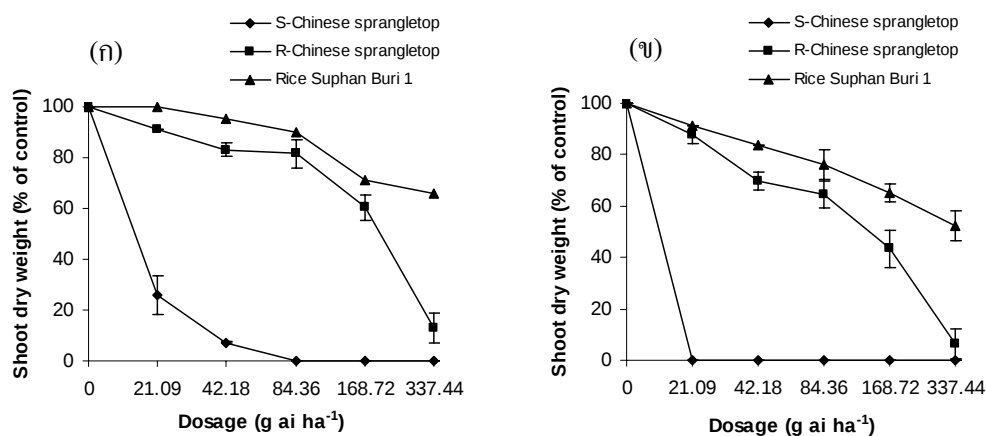
ตารางที่ 15 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้านของเหี่ยวดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทาน
ต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ เหี่ยวดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟิโนกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	0	0	0	0	0	16.67 b ^{2/}
ต้านทาน	100	87.55	69.88	64.65	43.46	6.58	62.02 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	43.78 B	34.94 C	32.33 C	21.73 D	3.29 E	
C.V. (%) อัตราสาร				3			
C.V. (%) เหี่ยวดอกขาว				3			

^{1/}น้ำหนักแห้ง = (น้ำหนักแห้งที่ 21 วันหลังได้รับสาร x 100)/ น้ำหนักแห้งเหี่ยวดอกขาไบโอไทป์เดียวกันของชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 8 เปอร์เซนต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) ไบโอไทป์ต้านทาน(■) และข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (▲) ที่ 14 (ก) และ 21 (ข) วันหลังจากได้รับสารในสภาพเรือนทดลอง

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 5 ค่า

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากอาการเป็นพิษที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร (ภาพที่ 6, ง) พบว่า หนุ้าดอกขาวใบโอไทย์ป้ออนแอะและด้านทานมีค่า I_{50} ของความมีพิษที่อัตราของสารประมาณ 30.58 และ 214.41 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทาน (ตารางที่ 16) โดยเปรียบเทียบค่า I_{50} ของใบโอไทย์ป้ออนแอะด้านทานต่อค่า I_{50} ของใบโอไทย์ป้ออนแอะ มีค่าเท่ากับ 11.09 เท่า และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสูงของหนุ้าดอกขาวใบโอไทย์ป้ออนแอะและด้านทาน (ภาพที่ 7, ก) มีค่า GR_{50} ของความสูงที่อัตราของสารประมาณ 19.33 และ 223.57 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทาน มีค่าเท่ากับ 11.56 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของหนุ้าดอกขาว (ภาพที่ 8, ก) มีค่า GR_{50} ที่อัตราของสารประมาณ 14.06 และ 210.90 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทาน มีค่าเท่ากับ 15.00 เท่า

เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากอาการเป็นพิษที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร (ภาพที่ 6, จ) พบว่า หนุ้าดอกขาวใบโอไทย์ป้ออนแอะและด้านทาน มีค่า I_{50} ของความมีพิษที่อัตราของสารประมาณ 14.06 และ 152.02 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทาน (ตารางที่ 16) มีค่าเท่ากับ 10.81 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสูงของหนุ้าดอกขาวใบโอไทย์ป้ออนแอะและด้านทาน (ภาพที่ 7, ข) มีค่า GR_{50} ของความสูงที่อัตราของสารประมาณ 12.30 และ 226.71 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อค่าดัชนีความต้านทาน มีค่าเท่ากับ 18.43 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของหนุ้าดอกขาวใบโอไทย์ป้ออนแอะและด้านทาน (ภาพที่ 8, ข) มีค่า GR_{50} ที่อัตราของสารประมาณ 11.42 และ 140.60 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทาน มีค่าเท่ากับ 12.31 เท่า

จากค่าดัชนีของความต้านทานแสดงให้เห็นว่า หนุ้าดอกขาวในพื้นที่นาข้าว เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ เกิดความต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอพเป็นไปตามสมมติฐานที่คาดไว้ จากการสัมภาษณ์เกษตรกรในปี พ.ศ. 2545 โดยการใช้สารในอัตราแนะนำหรือ 42.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ สามารถควบคุมและกำจัดหนุ้าดอกขาวใบโอไทย์ป้ออนแอะได้ แต่ใบโอไทย์ป้ออนแอะด้านทานสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งการแสดงอาการเป็นพิษหลังจากได้รับสารในหนุ้าดอกขาวทั้งสองชนิดเพิ่มมากขึ้นตามอัตราสาร และระยะเวลาที่ได้รับสารโดยที่ใบโอไทย์ป้ออนแอะแสดงอาการความเป็นพิษได้เร็วกว่าใบโอไทย์ป้ออนแอะด้านทาน เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตด้านความสูง และการสร้างน้ำหนักแห้งที่ลดลงตามอัตราสารและระยะเวลาที่ได้รับสาร ส่วนข้าวเริ่มแสดงอาการเป็นพิษภายหลังได้รับสารฟีนอกซาพรอพ ในอัตราที่มากกว่า 84.36 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์

ในวัชพืช green foxtail (*Setaria viridis*) ที่มีความต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพ มีค่า GR_{50} ของไบโอโทปี่อ่อนแอเท่ากับ 3 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ และไบโอโทปี่ต้านทานเท่ากับ 5-34 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ซึ่งมีค่าดัชนีของความต้านทาน 2-11 เท่า โดยความต้านทานที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากการใช้สาร dicofop-methyl และ sethoxydim ติดต่อกันในพื้นที่เดิมเป็นเวลานานกว่า 10 ปี (Heap and Morrison, 1996) ซึ่งความแตกต่างของค่าดัชนีของความต้านทานขึ้นอยู่กับชนิดพืช อุณหภูมิ ระยะเวลาในการใช้สาร ชนิดของสารกำจัดวัชพืช และวิธีการควบคุมวัชพืช เป็นต้น

เนื่องจากในนาข้าวมีการใช้สารกำจัดวัชพืชชนิดอื่นนอกจากสารฟิโนอกซาพรอพ ดังนั้นอาจมีโอกาที่หญ้าดอกขาวจะเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในนาข้าว จึงนำเมล็ดหญ้าดอกขาวไบโอโทปี่อ่อนแอและต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพ จากการสำรวจพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2545 มาตรวจสอบความต้านทานข้ามไปยังสารกำจัดวัชพืชอื่น ที่มีใช้ในนาข้าวโดยทำการทดสอบในสภาพเรือนทดลองต่อไป

ตารางที่ 16 ดัชนีของความต้านทานสารฟิโนอกซาพรอฟในหญ้าดอกขาว ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร

	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}		ความสูง ^{2/}		น้ำหนักแห้ง ^{2/}	
	14 DAA ^{3/}	21 DAA	14 DAA	21 DAA	14 DAA	21 DAA
หญ้าดอกขาวใบโอบีอ่อนแอ	30.58 ± 2.36	14.06 ± 2.71	19.33 ± 1.74	12.30 ± 0.91	14.06 ± 5.03	11.42 ± 5.73
หญ้าดอกขาวใบโอบีต้านทาน	214.41 ± 7.75	152.02 ± 1.52	223.57 ± 1.37	226.71 ± 5.00	210.90 ± 6.63	140.60 ± 4.68
ข้าวสุพรรณบุรี 1	-	268.01±3.36	-	-	-	-
ดัชนีความต้านทาน ^{4/}	7.01	10.81	11.56	18.43	15.00	12.31

^{1/}คำนวณมาจากค่า The herbicide rate required to inhibit growth by 50% (I_{50})

^{2/}คำนวณจากค่า The concentration required to reduce growth by 50% (GR_{50})

^{3/}DAA = Days after application

^{4/}ดัชนีความต้านทาน (Resistance index) = I_{50} value of resistant biotype/ I_{50} value of susceptible biotype หรือ

= GR_{50} value of resistant biotype/ GR_{50} value of susceptible biotype

3. การศึกษาความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารกำจัดวัชพืชในกลุ่มอื่น ๆ

จากการตรวจสอบวัชพืชหญ้าดอกขาวในพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ พบว่า หญ้าดอกขาวเกิดความต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพรีน ดังนั้นอาจมีโอกาที่หญ้าดอกขาวจะเกิดความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในนาข้าว จึงนำเมล็ดหญ้าดอกขาวไปไอบีโอไทป์อ่อนแอ และต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอพรีนจากการสำรวจพื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2545 มาตรวจสอบความต้านทานข้ามไปยังสารกำจัดวัชพืช ได้แก่ สารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ที่มีต่อหญ้าดอกขาวในสภาพเรือนทดลอง โดยการประเมินลักษณะการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของหญ้าดอกขาวไปไอบีโอไทป์อ่อนแอและต้านทาน จากข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารที่มีต่อหญ้าดอกขาว ความสูง และน้ำหนักแห้ง ซึ่งผลการทดลองที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากได้รับสาร มีดังนี้

เมื่อพิจารณาจากลักษณะอาการที่หญ้าดอกขาวไปไอบีโอไทป์อ่อนแอและต้านทานได้รับพิษที่ 3 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางที่ 17, 22 และ 27) โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า การใช้สารในอัตราแนะนำของสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัม สารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ หญ้าดอกขาวทั้งสองไปไอบีโอไทป์มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษอยู่ในช่วง 3.33-46.66 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหญ้าดอกขาวทั้งสองไปไอบีโอไทป์ที่ได้รับสารโพรพานิลแสดงอาการเป็นพิษมากกว่าสารออกซาไดแอซซอน และควินคลอแรกซ์ ตามลำดับ (ภาพที่ 9)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินความเป็นพิษด้วยสายตาที่ 3 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 10, 19 และ 28) พบว่า หญ้าดอกขาวไปไอบีโอไทป์อ่อนแอและต้านทานที่ได้รับสารโพรพานิล และควินคลอแรกซ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหญ้าดอกขาวที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอนทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกัน การใช้สารในแต่ละอัตราและหญ้าดอกขาวทั้งสองไปไอบีโอไทป์ พบว่า หญ้าดอกขาวทั้งสองไปไอบีโอไทป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ไม่มีความแตกต่างระหว่างปัจจัยทั้งสอง

เมื่อพิจารณาจากลักษณะอาการที่หญ้าดอกขาวไปไอบีโอไทป์อ่อนแอและต้านทานได้รับพิษที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 18, 23 และ 28) พบว่า เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารโพรพานิลที่มีต่อหญ้าดอกขาวทั้งสองไปไอบีโอไทป์จะมากกว่าสารออกซาไดแอซซอน และควินคลอแรกซ์ (ภาพที่ 10)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินความเป็นพิษด้วยสายตาที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 11, 20 และ 29) พบว่า หนูตัวเมียทั้งสองไปโอโทปป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน และควินคลอแรกซ์ ในแต่ละอัตรามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสารโพรพานิลไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาอัตราการใช้สารในแต่ละอัตราและหนูตัวเมียทั้งสองไปโอโทปป์ พบว่า หนูตัวเมียทั้งสองไปโอโทปป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน และควินคลอแรกซ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง กล่าวคือ หนูตัวเมียไปโอโทปป์อ่อนแอและด้านทานจะแสดงอาการความเป็นพิษเพิ่มขึ้นตามอัตราของสารออกฤทธิ์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนการใช้สารโพรพานิลไม่มีความแตกต่างกัน ระหว่างอัตราการใช้สารและหนูตัวเมียทั้งสองไปโอโทปป์

เมื่อพิจารณาจากลักษณะอาการที่หนูตัวเมียไปโอโทปป์อ่อนแอและด้านทานได้รับพิษที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 19, 24 และ 29) พบว่า การใช้สารในอัตราแนะนำของสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ที่อัตรา 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ หนูตัวเมียทั้งสองไปโอโทปป์มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารมากกว่า ที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร โดยสารโพรพานิลที่อัตราแนะนำทำให้ไปโอโทปป์อ่อนแอและด้านทานตาย (ภาพที่ 11)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินความเป็นพิษด้วยสายตาที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 12, 21 และ 30) พบว่า หนูตัวเมียทั้งสองไปโอโทปป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 หนูตัวเมียทั้งสองไปโอโทปป์และการใช้สารในแต่ละอัตราของทุกสาร มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และปัจจัยทั้งสองนี้มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสองในทุกสาร กล่าวคือ หนูตัวเมียไปโอโทปป์อ่อนแอและด้านทานจะแสดงอาการเป็นพิษเพิ่มขึ้นตามอัตราของสารออกฤทธิ์ที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาจากลักษณะอาการที่หนูตัวเมียไปโอโทปป์อ่อนแอและด้านทานได้รับพิษที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 20, 25 และ 30) พบว่า การใช้สารที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ สารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ตามลำดับ หนูตัวเมียทั้งสองไปโอโทปป์แสดงอาการเป็นพิษได้อย่างชัดเจน โดยหนูตัวเมียไปโอโทปป์อ่อนแอและด้านทานที่ได้รับสารโพรพานิลตาย (ภาพที่ 12)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินความเป็นพิษด้วยสายตาที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 13, 22 และ 31) พบว่า หนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน และควินคลอแรกซ์ ในแต่ละอัตรามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ส่วนสารโพพานิลไม่มีความแตกต่างกัน อัตราการใช้สารในแต่ละอัตรากับหนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์ พบว่า หนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน และควินคลอแรกซ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง กล่าวคือ หนุ่ดอกขาวไปโอไทป์อ่อนแอและด้านทานจะแสดงอาการความเป็นพิษเพิ่มขึ้นตามอัตราของสารออกฤทธิ์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนสารโพพานิลไม่มีความแตกต่างกันระหว่างอัตราการใช้สารและหนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์

เมื่อพิจารณาจากลักษณะอาการที่หนุ่ดอกขาวไปโอไทป์อ่อนแอ และด้านทานได้รับพิษที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 21, 26 และ 31) พบว่า การใช้สารออกซาไดแอซซอน โพพานิล และควินคลอแรกซ์ ในอัตราสารแนะนำที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ทำให้หนุ่ดอกขาวไปโอไทป์อ่อนแอและด้านทานตาย หรือแสดงอาการเป็นพิษ 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 13)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการประเมินความเป็นพิษด้วยสายตาที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 14, 23 และ 32) พบว่า หนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน สารโพพานิล และควินคลอแรกซ์ ในแต่ละอัตรามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาอัตราการใช้สารในแต่ละอัตราและหนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์ พบว่า หนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน และควินคลอแรกซ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง กล่าวคือ หนุ่ดอกขาวไปโอไทป์อ่อนแอและด้านทานจะแสดงอาการความเป็นพิษเพิ่มขึ้นตามอัตราของสารออกฤทธิ์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนสารโพพานิลไม่มีความแตกต่างกันระหว่างอัตราการใช้สารและหนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์

จากอาการเป็นพิษของหนุ่ดอกขาวทั้งสองไปโอไทป์ แสดงให้เห็นว่าการใช้สารออกซาไดแอซซอน โพพานิล และควินคลอแรกซ์ ในอัตราแนะนำที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ สามารถควบคุมและกำจัดหนุ่ดอกขาวไปโอไทป์อ่อนแอและด้านทานได้ โดยที่หนุ่ดอกขาวทั้งสองชนิดแสดงอาการเป็นพิษเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่มากขึ้น ส่งผลให้ชะงักการเจริญเติบโตและตาย ภายหลังจากได้รับสารที่ 14, 7 และ 21 วัน ตามลำดับ ซึ่ง

หญ้าดอกขาวที่ได้รับสารไพโรพานิลจะแสดงอาการเป็นพิษได้เร็วกว่าสารออกซาไดแอซซอน และควินคลอแรกซ์ ตามลำดับ ดังนั้นหญ้าดอกขาวที่ต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอพไม่เกิดความต้านทานข้ามไปยังสารออกซาไดแอซซอน ไพโรพานิล และควินคลอแรกซ์

เช่นเดียวกับรายงานของ Derr (2002) ที่ศึกษาวัชพืช smooth crabgrass ที่ต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอพไม่เกิดความต้านทานข้ามไปยังสารควินคลอแรกซ์ นอกจากนี้ลักษณะอาการเป็นพิษที่เกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามแต่ละกลุ่มของสารกำจัดวัชพืชที่ได้รับ แต่ลักษณะอาการเป็นพิษที่เกิดขึ้นในไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทานที่ได้รับสารชนิดเดียวกันมีแสดงอาการเป็นพิษเหมือนกัน โดยที่อาการจากการได้รับสารออกซาไดแอซซอน ใบจะมีการเหี่ยว เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำออกมานอกเซลล์ ต่อมาจะแห้งไหม้ เช่นเดียวกับที่ Kim and Im (2002) รายงานอาการเป็นพิษในหญ้าข้าวนกภายหลังได้รับสารนี้ ส่วนสารไพโรพานิลจะแสดงอาการเป็นพิษ ที่ 3-7 วันหลังจากได้รับสาร ใบจะเหลืองและซีด ต่อมาจะแห้งไหม้ เช่นเดียวกับที่ Hoagland *et al.* (1999) รายงานอาการเป็นพิษที่หญ้าข้าวนกได้รับสารไพโรพานิล และสารควินคลอแรกซ์จะแสดงอาการเป็นพิษ ที่ 5-7 วันหลังได้รับสาร ใบจะเหี่ยวแห้งกลายเป็นสีน้ำตาล เช่นเดียวกับที่ Dernoeden *et al.* (2003) รายงานอาการเป็นพิษของ smooth crabgrass (*Digitaria ischaemum* Schreber) ภายหลังได้รับสารนี้

ตารางที่ 17 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารออกซาไดแอซซอนที่มีต่อหญ้าดอกขาว
ไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา
ที่ 3 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	16.66	26.66	26.66	50	73.33	32.21 a ^{2/}
ต้านทาน	0	7.50	23.33	23.33	36.66	53.33	24.03 b
ค่าเฉลี่ย	0 D ^{3/}	12.08 C	25. 0 C	25.0 C	43.33 B	63.33 A	
C.V. (%) อัตราสาร	78						
C.V. (%) หญ้าดอกขาว	85						

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 18 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารออกซาไดแอซซอนที่มีต่อหญ้าดอกขาว
ไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา
ที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	33.33	73.33	83.33	100	100	65.0 a ^{2/}
ต้านทาน	0	16.66	45	62.50	83.33	93.33	50.0 b
ค่าเฉลี่ย	0 E ^{3/}	25.0 D	60.83 C	72.92 B	91.67 A	96.67 A	
C.V. (%) อัตราสาร				14			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				25			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 19 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารออกซาไดแอซซอนที่มีต่อหญ้าดอกขาว
ไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา
ที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	60	93.33	96.67	96.67	100	51.94 a ^{2/}
ต้านทาน	0	26.66	67.50	76.66	93.33	100	21.46 b
ค่าเฉลี่ย	0 E ^{3/}	43.33 D	80.42 C	86.67 BC	95 AB	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร				34			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				41			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 20 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารออกซาไดแอซซอนที่มีต่อหญ้าดอกขาว
ไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา
ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	70	100	100	100	100	78.33 a ^{2/}
ต้านทาน	0	50	80	90	100	100	70 b
ค่าเฉลี่ย	0 C ^{3/}	60 B	90 A	95 A	100 A	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร			20				
C.V. (%) หญ้าดอกขาว			20				

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 21 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารออกซาไดแอซซอนที่มีต่อหญ้าดอกขาว
ไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา
ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	93.33	100	100	100	100	82.22 a ^{2/}
ต้านทาน	0	80	100	100	100	100	78.75 b
ค่าเฉลี่ย	0 B ^{3/}	86.67 A	100 A	100 A	100 A	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร			22				
C.V. (%) หญ้าดอกขาว			22				

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 22 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารโพรพานิลที่มีต่อหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 3 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	20	46.66	56.66	86.66	93.33	50.55 a ^{2/}
ต้านทาน	0	10	33.33	50	80	86.66	43.33 b
ค่าเฉลี่ย	0 F ^{3/}	15 E	40 D	53.33 C	83.33 B	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร			61				
C.V. (%) หญ้าดอกขาว			39				

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 23 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารโพรพานิลที่มีต่อหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	43.33	87.50	100	100	100	71.80 a ^{2/}
ต้านทาน	0	33.33	80	100	100	100	68.88 b
ค่าเฉลี่ย	0 D ^{3/}	38.33 C	83.33 B	100 A	100 A	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร			16				
C.V. (%) หญ้าดอกขาว			22				

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 24 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารโพรพานิลที่มีต่อหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	80	100	100	100	100	80 a ^{2/}
ต้านทาน	0	45	90	100	100	100	72.5 b
ค่าเฉลี่ย	0 C ^{3/}	62.50 B	95 A	100 A	100 A	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร				34			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				41			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 25 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารโพรพานิลที่มีต่อหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	90	100	100	100	100	70 a ^{2/}
ต้านทาน	0	82.50	100	80	100	100	61.11 b
ค่าเฉลี่ย	0 C ^{3/}	86.25 B	100 A	100 A	100 A	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร				20			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				20			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 26 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารโพรพานิลที่มีต่อหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์ต้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	93.33	100	100	100	100	82.22 a ^{2/}
ต้านทาน	0	90	100	100	100	100	81.67 b
ค่าเฉลี่ย	0 C ^{3/}	91.67 B	100 A	100 A	100 A	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร				22			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				22			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 27 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารคลอแรกซ์ที่มีต่อหญ้าดอกขาวใบโอไทย์อ่อนแอ และใบโอไทย์ด้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 3 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอไทย์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	16.66	16.66	26.66	50	86.66	32.77 a ^{2/}
ต้านทาน	0	3.33	3.33	10	40	70	21.11 b
ค่าเฉลี่ย	0 D ^{3/}	10 CD	10 C	18.33 C	45 A	78.33 A	
C.V. (%) อัตราสาร			163				
C.V. (%) หญ้าดอกขาว			98				

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 28 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารควินคลอแรกซ์ที่มีต่อหญ้าดอกขาวใบโอไทย์อ่อนแอ และใบโอไทย์ด้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอไทย์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	16.66	36.66	66.66	96.66	100	52.77 a ^{2/}
ต้านทาน	0	3.33	3.33	30	62.50	80	29.72 b
ค่าเฉลี่ย	0 F ^{3/}	10 E	20 D	45.33 C	79.67 B	90 A	
C.V. (%) อัตราสาร				17			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				25			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 29 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารควินคลอแรกซ์ที่มีต่อหญ้าดอกขาวใบโอไทย์อ่อนแอ และใบโอไทย์ด้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอไทย์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	20	83.33	90	100	100	65.56 a ^{2/}
ต้านทาน	0	10	25	37.50	80	92.50	40.83 b
ค่าเฉลี่ย	0 F ^{3/}	15 E	54.17 D	63.75 C	90 B	96.33 A	
C.V. (%) อัตราสาร				9			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				8			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 30 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารควินคลอแรกซ์ที่มีต่อหญ้าดอกขาวใบโอไทย์อ่อนแอ และใบโอไทย์ด้านทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอไทย์ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	30	90	100	100	100	70 a ^{2/}
ต้านทาน	0	26.66	60	80	100	100	61.11 b
ค่าเฉลี่ย	0 E ^{3/}	56.66 D	75 C	90 B	100 A	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร				4			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				4			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พืชปกติ และ 100 = พืชตาย

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

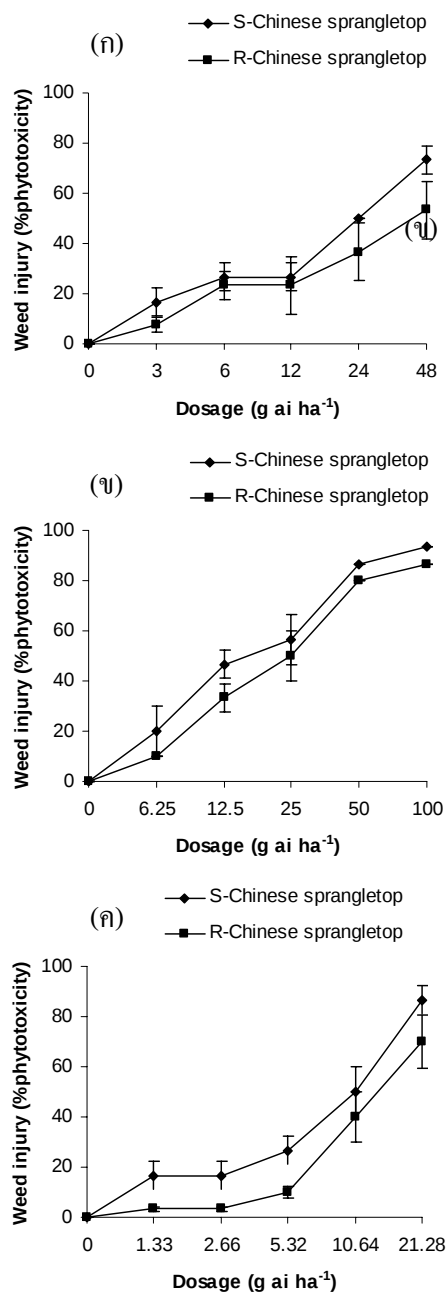
ตารางที่ 31 เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษของสารควินคลอแรกซ์ที่มีต่อหลอดดอกขาวใบโอไต้ป้อนแอ และใบโอไต้ป้อนทาน โดยวิธีการประเมินด้วยสายตา ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอไต้ปี้ หญ้ำดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	0	30	90	100	100	100	70 a ^{2/}
ต้านทาน	0	26.66	60	80	100	100	61.11 b
ค่าเฉลี่ย	0 E ^{3/}	56.66 D	75 C	90 B	100 A	100 A	
C.V. (%) อัตราสาร				4			
C.V. (%) หญ้ำดอกขาว				4			

^{1/}เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (visual rating): 0 = พิษปกติ และ 100 = พิษตาย

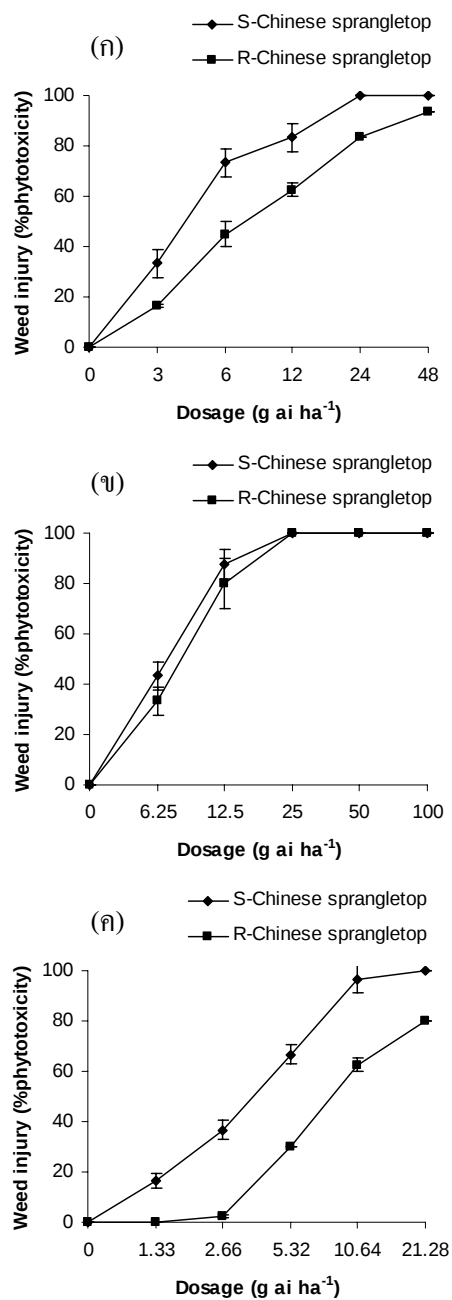
^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



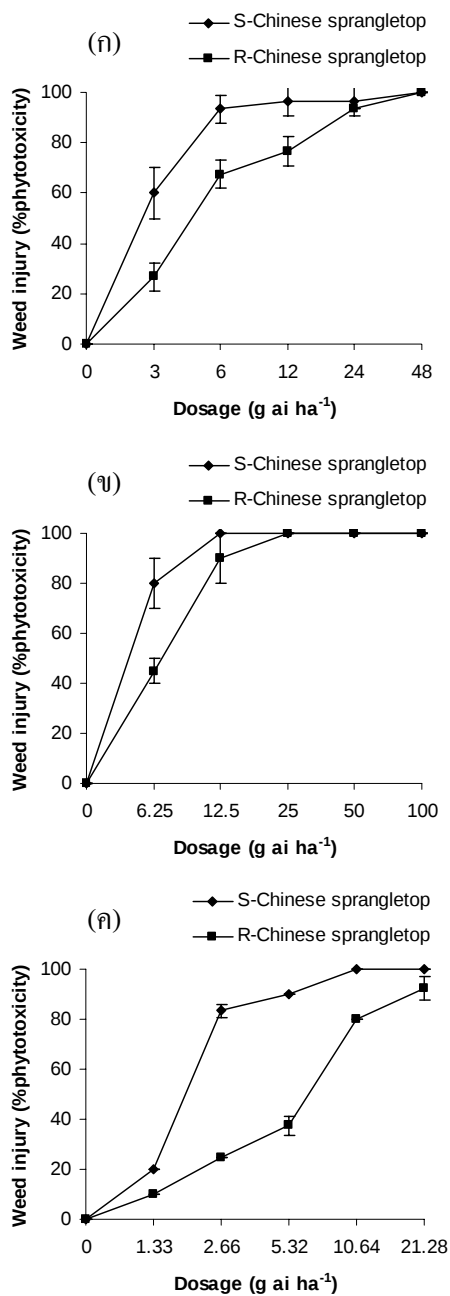
ภาพที่ 9 การประเมินระดับความเป็นพิษของสารฟิโนอกซาพროฟ (ก) ออกซาไดแอซซอน (ข) โพรพานิล (ค) และควินคลอแรกซ์ (ง) ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) และ ต้านทาน(■) ที่ 3 วันหลังจากได้รับสาร

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 4 ค่า



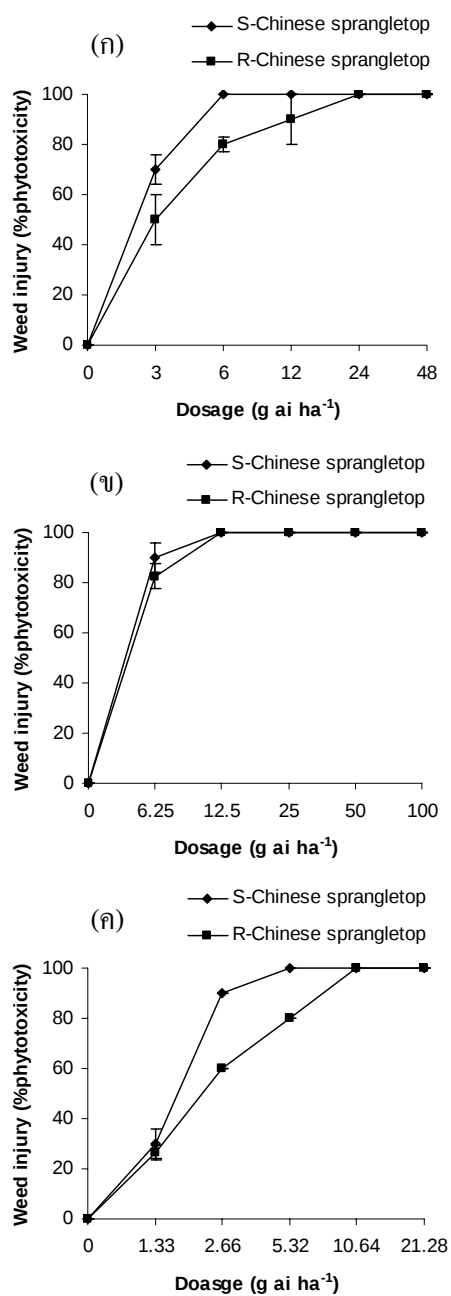
ภาพที่ 10 การประเมินระดับความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพ (ก) ออกซาไดแอซซอน (ข) โพรพานิล (ค) และควินคลอแรกซ์ (ง) ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) และต้านทาน (■) ที่ 5 วันหลังจากได้รับสาร

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 4 ค่า



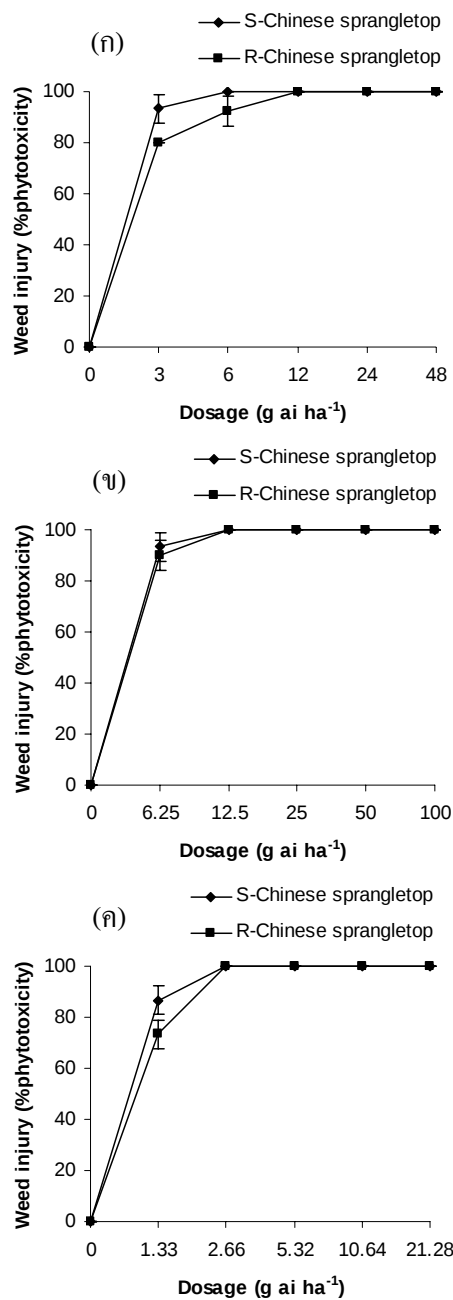
ภาพที่ 11 การประเมินระดับความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพ (ก) ออกซาไดแอซซอน (ข) โพรพานิล (ค) และควินคลอแรกซ์ (ง) ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) และต้านทาน (■) ที่ 7 วันหลังจากได้รับสาร

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 4 ค่า



ภาพที่ 12 การประเมินระดับความเป็นพิษของสารฟีนอกซาพรอพ (ก) ออกซาไดแอซซอน (ข) โพรพานิล (ค) และควินคลอแรกซ์ (ง) ในหญ้าดอกขาวอ่อนแอ (◆) และด้านทาน (■) ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 4 ค่า



ภาพที่ 13 การประเมินระดับความเป็นพิษของสารฟิโนอกซาพროฟ (ก) ออกซาไดแอซซอน (ข)

โพรพานิล (ค) และควินคลอแรกซ์ (ง) ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) และ
ด้านทาน (■) ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 4 ค่า

เมื่อพิจารณาทางด้านความสูงของหญ้าดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานที่ 14 วัน หลังได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 32, 34 และ 36) พบว่า ภายหลังจากหญ้า ดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอ และด้านทานได้รับสารในอัตราแนะนำของสารออกซาไดแอสซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ มีการ เจริญเติบโตด้านความสูงที่ลงอย่างรวดเร็ว โดยการใช้อัตราสารที่สูงหญ้าดอกขาวทั้งสองใบโอไทป์ จะชะงักการเจริญเติบโต (ภาพที่ 14)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงหญ้าดอกขาวที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร (ตาราง ผนวกที่ 15, 24 และ 33) พบว่า ความสูงของหญ้าดอกขาวทั้งสองใบโอไทป์ที่ได้รับสาร ออกซาไดแอสซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อ มั่น 95 เปอร์เซนต์ อัตราการใช้สารของทุกสารและใบโอไทป์หญ้าดอกขาวมีความแตกต่างกันทาง สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และปัจจัยทั้งสองนี้มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน กล่าวคือ หญ้า ดอกขาวใบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานที่ได้รับสารจะมีความสูงน้อยกว่าหญ้าดอกขาว ในชุดควบ คุม และการเจริญเติบโตด้านความสูงลดลงเมื่อได้รับสารในอัตราสารที่เพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาทางด้านความสูงของหญ้าดอกขาวที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับ ชุดควบคุม (ตารางที่ 33, 35 และ 37) พบว่า ที่อัตราแนะนำของสารออกซาไดแอสซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ หญ้าดอกขาว ใบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานสามารถเจริญเติบโตด้านความสูงได้เพียง 0-10 เปอร์เซนต์ ซึ่งการใช้ สารในอัตราแนะนำของแต่ละสารนี้ ทำให้หญ้าดอกขาวทั้งสองใบโอไทป์ไม่มีการเจริญเติบโตด้าน ความสูง (ภาพที่ 15)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสูงหญ้าดอกขาวที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร (ตาราง ผนวกที่ 16, 25 และ 34) พบว่า ความสูงของหญ้าดอกขาวทั้งสองใบโอไทป์ที่ได้รับสาร ออกซาไดแอสซอนและโพรพานิล มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ส่วนความสูงของหญ้าดอกขาวทั้งสองใบโอไทป์ ที่ได้รับสารควินคลอแรกซ์ไม่มีความแตกต่างกัน อัตราการใช้สารของทุกสารและใบโอไทป์หญ้าดอกขาว มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความ เชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และปัจจัยทั้งสองนี้มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน กล่าวคือ หญ้าดอกขาวใบโอไทป์ อ่อนแอและด้านทานที่ได้รับสารในแต่ละสาร จะมีความสูงน้อยกว่าหญ้าดอกขาวในชุดควบคุม และการเจริญเติบโตด้านความสูงลดลงเมื่อได้รับสารในอัตราสารที่เพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตด้านความสูงของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ และด้านทานภายหลังจากได้รับสาร พบว่า การใช้สารออกซาไดแอสซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ในอัตราสารแนะนำที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ สามารถทำให้หญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์ชะงักการเจริญเติบโตด้านความสูงได้ ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสัมพันธ์กับอาการเป็นพิษที่เกิดขึ้นกับหญ้าดอกขาว กล่าวคือ การแสดงอาการเป็นพิษที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การเจริญเติบโตด้านความสูงของหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์ลดลงเช่นกัน จนกระทั่งหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้และตายในที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้สารในอัตราแนะนำของสารดังกล่าวสามารถควบคุม เช่นเดียวกับ Malik *et al.* (2003) ได้รายงานว่าหญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli*) ไบโอไทป์อ่อนแอต่อสารโพรพานิล มีการเจริญเติบโตด้านความสูงน้อยกว่าไบโอไทป์ด้านทานภายหลังจากได้รับสารโพรพานิล เช่นเดียวกับหญ้าข้าวนกไบโอไทป์อ่อนแอต่อสารควินคลอแรกซ์ ที่มีความสูงน้อยกว่าไบโอไทป์ด้านทานภายหลังจากได้รับสารควินคลอแรกซ์

ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์ความสูงเปรียบเทียบของหน่วดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอและใบโอโทป้อ่อนแอ
ด้านทานต่อสารออกซาไดแอซซอน ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโทปี้ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	0	0	0	0	0	16.67 b ^{2/}
ต้านทาน	100	54.40	31.03	18.54	0	0	34 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	27.20 B	15.52 C	9.27 D	0 D	0 D	
C.V. (%) อัตราสาร				70			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				80			

^{1/}ความสูง = (ความสูงที่ 14 วันหลังได้รับสาร x 100)/ ความสูงของหน่วดอกขาวพันธุ์เดียวกันที่ไม่ได้รับสาร

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 33 เปอร์เซ็นต์ความสูงเปรียบเทียบของหลอดดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและไบโอไทป์
ต้านทานต่อสารออกซาไดแอซซอน ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอไทป์ หลอดดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	0	0	0	0	0	16.67 b ^{2/}
ต้านทาน	100	44.12	0	0	0	0	24.02 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	22.06 B	0 C	0 C	0 C	0 C	
C.V. (%) อัตราสาร			36				
C.V. (%) หลอดดอกขาว			68				

^{1/}ความสูง = (ความสูงที่ 14 วันหลังได้รับสาร x 100)/ ความสูงของหลอดดอกขาวพันธุ์เดียวกันที่ไม่ได้รับสาร

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 34 เปอร์เซ็นต์ความสูงเปรียบเทียบของหน้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแและใบโอโทป้อันทานต่อสารโพรพานิล ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโพนี หน้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	12.19	0	0	0	0	18.72 b ^{2/}
ต้านทาน	100	59.43	14.32	0	0	0	28.96 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	35.18 B	7.16 C	0 C	0 C	0 C	
C.V. (%) อัตราสาร			12				
C.V. (%) หน้าดอกขาว			35				

^{1/}ความสูง = (ความสูงที่ 14 วันหลังได้รับสาร x 100)/ ความสูงของหน้าดอกขาวพันธุ์เดียวกันที่ไม่ได้รับสาร

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 35 เปอร์เซ็นต์ความสูงเปรียบเทียบของหน้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอและใบโอโทป้อ่อนแอ
ด้านทานต่อสารโพรพานิล ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโทปี้ หน้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	8.80	0	0	0	0	18.13 b ^{2/}
ต้านทาน	100	54.05	10	0	0	0	27.34 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	41.29 B	5 C	0 C	0 C	0 C	
C.V. (%) อัตราสาร	92						
C.V. (%) หน้าดอกขาว	117						

^{1/}ความสูง = (ความสูงที่ 14 วันหลังได้รับสาร x 100)/ ความสูงของหน้าดอกขาวพันธุ์เดียวกันที่ไม่ได้รับสาร

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 36 เปอร์เซ็นต์ความสูงเปรียบเทียบของหลอดดอกขาไบโอโทป้อ่อนแและไบโอโทปี้
ด้านทานต่อสารควินคลอแรกซ์ ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ไบโอโทปี้ หลอดดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	24.34	0	0	0	0	20.72 b ^{2/}
ต้านทาน	100	41.09	17.39	0	0	0	26.41 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	32.72 B	8.70 C	0 C	0 C	0 C	
C.V. (%) อัตราสาร			0				
C.V. (%) หลอดดอกขาว			63				

^{1/}ความสูง = (ความสูงที่ 14 วันหลังได้รับสาร x 100)/ ความสูงของหลอดดอกขาพันธุ์เดียวกันที่ไม่ได้รับสาร

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

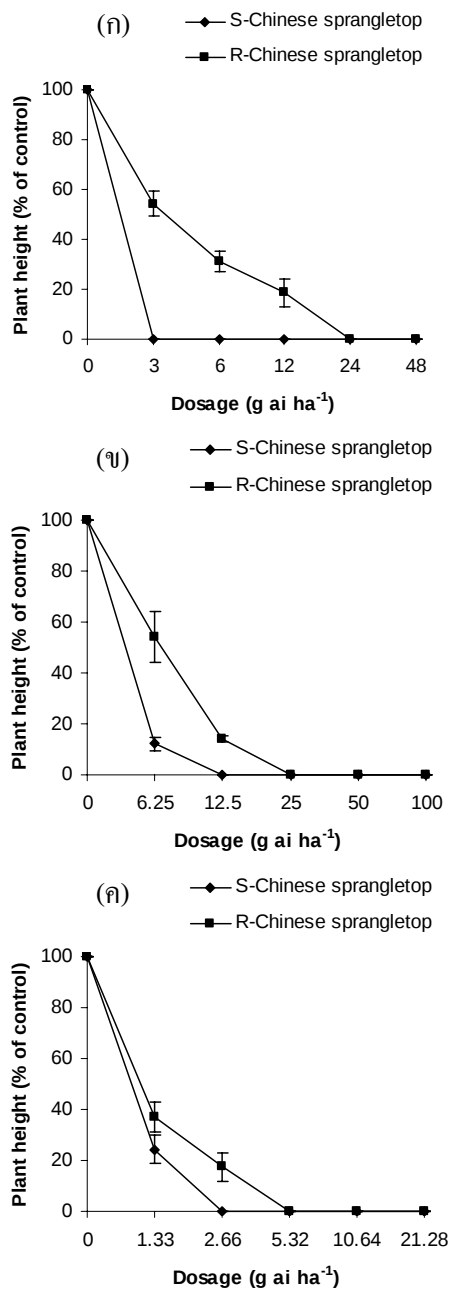
ตารางที่ 37 เปอร์เซ็นต์ความสูงเปรียบเทียบของหน่วดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแและใบโอโทป้อ่อน
ด้านทานต่อสารควินคลอแรกซ์ ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโทปี้ หนั้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	15.17	0	0	0	0	18.70 b ^{2/}
ต้านทาน	100	37	0	0	0	0	23.83 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	41.29 B	5 C	0 C	0 C	0 C	
C.V. (%) อัตราสาร			28				
C.V. (%) หนั้าดอกขาว			59				

^{1/}ความสูง = (ความสูงที่ 14 วันหลังได้รับสาร x 100)/ ความสูงของหน่วดอกขาวพันธุ์เดียวกันที่ไม่ได้รับสาร

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 14 เปอร์เซ็นต์ความสูงเฉลี่ยต่อต้านของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) และต้านทาน (■) หลังจากได้รับสารฟีนอกซาพรอพ (ก) ออกซาไดแอซซอน (ข) โพรพานิล (ค) และควินคลอแรกซ์ (ง) ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 4 ค่า

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของหลอดดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทาน ที่ 14 วันหลังได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 38, 40 และ 42) พบว่า ที่อัตราแนะนำของสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ หลอดดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอมีการสร้างน้ำหนักแห้งน้อยกว่าไบโอไทป์ด้านทาน และการสร้างน้ำหนักแห้งจะลดลงเมื่อได้รับสารอัตราที่สูงขึ้น (ภาพที่ 16)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักแห้งของหลอดดอกขา ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร (ตารางผนวกที่ 17, 26 และ 35) พบว่า น้ำหนักแห้งของหลอดดอกขาทั้งสองไบโอไทป์ที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การใช้สารโพรพานิลในแต่ละอัตราและไบโอไทป์หลอดดอกขาทั้งสองมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และปัจจัยทั้งสองต่อสารโพรพานิลมีปฏิริยาสัมพันธ์กัน กล่าวคือ หลอดดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานที่ได้รับสารจะมีน้ำหนักแห้งน้อยกว่าหลอดดอกขาที่ไม่ได้รับสาร และมีสร้างน้ำหนักแห้งลดลงเมื่อได้รับสารในอัตราที่เพิ่มมากขึ้น การใช้สารออกซาไดแอซซอนและควินคลอแรกซ์ และไบโอไทป์หลอดดอกขาทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของหลอดดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทาน ที่ 21 วันหลังได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางที่ 39, 41 และ 43) พบว่า หลอดดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งน้อยกว่าที่ 14 วันหลังได้รับสาร ซึ่งการใช้สารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 3.79-32.72 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 17)

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักแห้งของหลอดดอกขา ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ตารางผนวกที่ 9, 18, 27 และ 36) พบว่า ไบโอไทป์หลอดดอกขาทั้งสองที่ได้รับสารออกซาไดแอซซอน และโพรพานิล มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหลอดดอกขาทั้งสองไบโอไทป์ที่ได้รับสารควินคลอแรกซ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ การใช้สารออกซาไดแอซซอนและโพรพานิลในแต่ละอัตราและไบโอไทป์ของหลอดดอกขาทั้งสอง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และมีปฏิริยาสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยทั้งสอง กล่าวคือ หลอดดอกขาไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทานที่ได้รับสารจะมีน้ำหนักแห้งน้อยกว่าหลอดดอกขาที่ไม่ได้รับสาร และมีการสร้างน้ำหนักแห้งลดลงเมื่อได้รับสารในอัตราสารที่เพิ่มมากขึ้น และการใช้สาร

ควินคลอแรกซ์ ในแต่ละอัตราและไบโอไทป์ของหญ้าดอกขาวทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทาน พบว่า ภายหลังจากรับสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ ในอัตราแนะนำที่ 6, 12.50 และ 2.66 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ สามารถควบคุมและกำจัดหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทานได้ ซึ่งการสร้างน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กับอาการเป็นพิษและความสูงของหญ้าดอกขาว กล่าวคือ เมื่อหญ้าดอกขาวแสดงอาการเป็นพิษเพิ่มขึ้นส่งผลให้ชะงักการเจริญเติบโตทางความสูง และมีการสร้างน้ำหนักแห้งลดลง ทั้งไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทาน แสดงให้เห็นว่าหญ้าดอกขาวไบโอไทป์ต้านทานไม่เกิดความต้านทานข้ามไปยังสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ และการสร้างน้ำหนักแห้งจะลดลงตามอัตราสารที่ได้รับเพิ่มขึ้น โดย Gibson *et al.* (2001) รายงานว่า การใช้สารโพรพานิลในอัตรา 0, 1, 2 และ 4 กิโลกรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ เพื่อควบคุมวัชพืช watergrass [*Echinochola oryzoides* (Ard.) Fritsch] ในนาข้าว พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการใช้สารโพรพานิลสูงขึ้นส่งผลให้การสร้างน้ำหนักแห้งลดลง นอกจากนี้ได้มีการรายงานเกี่ยวกับการใช้สารควินคลอแรกซ์เพื่อควบคุมวัชพืช torpedograss (*Panicum repens* L.) ในอัตรา 0.42 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้การสร้างน้ำหนักแห้งของใบเท่ากับ 70 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เมื่อเพิ่มอัตราการใช้สารที่ 0.84 และ 1.68 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ การสร้างน้ำหนักแห้งของใบเท่ากับ 620 และ 500 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (Busey, 2003)

ตารางที่ 38 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหว้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอและใบโอโทปี้
ด้านทานต่อสารออกซาไดแอซฮอน ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโฑปี้ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	22.64	18.86	15.09	11.32	3.77	28.61 b ^{2/}
ต้านทาน	100	75	48.80	44.04	36.09	23.80	54.76 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	48.82 B	33.83 B	29.57 BC	23.71 CD	13.79 D	
C.V. (%) อัตราสาร				3			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				3			

^{1/}น้ำหนักแห้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 39 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหว้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอและใบโอโทป้
ด้านทานต่อสารออกซาไดแอซซอน ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโทปี้ หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอป (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	7.97	6.74	6.13	4.29	2.45	21.26 b ^{2/}
ต้านทาน	100	28.13	14.67	13.76	10.70	4.89	28.70 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	18.05 B	10.71 C	9.95 C	7.50 D	3.67 E	
C.V. (%) อัตราสาร				8			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				7			

^{1/}น้ำหนักแห้ง น้ำหนักแห้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 40 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหว้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอและใบโอโทปี้
ด้านทานต่อสารโพรพานิล ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโหปปี หว้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอป (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	43.29	22.64	18.86	15.09	13.20	54.16 b ^{2/}
ต้านทาน	100	82.89	48.68	38.15	32.89	22.36	35.53 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	63.09 B	35.66 C	28.51 D	23.99 DE	17.78 E	
C.V. (%) อัตราสาร				3			
C.V. (%) หว้าดอกขาว				4			

^{1/}น้ำหนักแห้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 41 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหว้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอและใบโอโทปี้
ด้านทานต่อสารโรฟพานิล ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโทปี้ หว้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอพ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	10.12	3.79	0	0	0	18.99 b ^{2/}
ต้านทาน	100	18.87	11.20	9.14	7.66	4.12	25.17 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	14.50 B	7.50 C	4.75 CD	3.83 CD	2.06 D	
C.V. (%) อัตราสาร				14			
C.V. (%) หว้าดอกขาว				5			

^{1/}น้ำหนักแห้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 42 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหว้าดอกขาวใบโอโทป้อ่อนแอและใบโอโทปี้
ด้านทานต่อสารควินคลอแรกซ์ ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอโทปี้ หว้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟีนอกซาพรอฟ (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	79.48	50	43.30	36.20	32.75	57.00 b ^{2/}
ต้านทาน	100	81.03	62.06	51.72	39.74	35.89	61.74 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	80.26 B	56.03 C	47.51 D	37.79 DE	34.32 E	
C.V. (%) อัตราสาร				3			
C.V. (%) หว้าดอกขาว				3			

^{1/}น้ำหนักแห้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม

^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

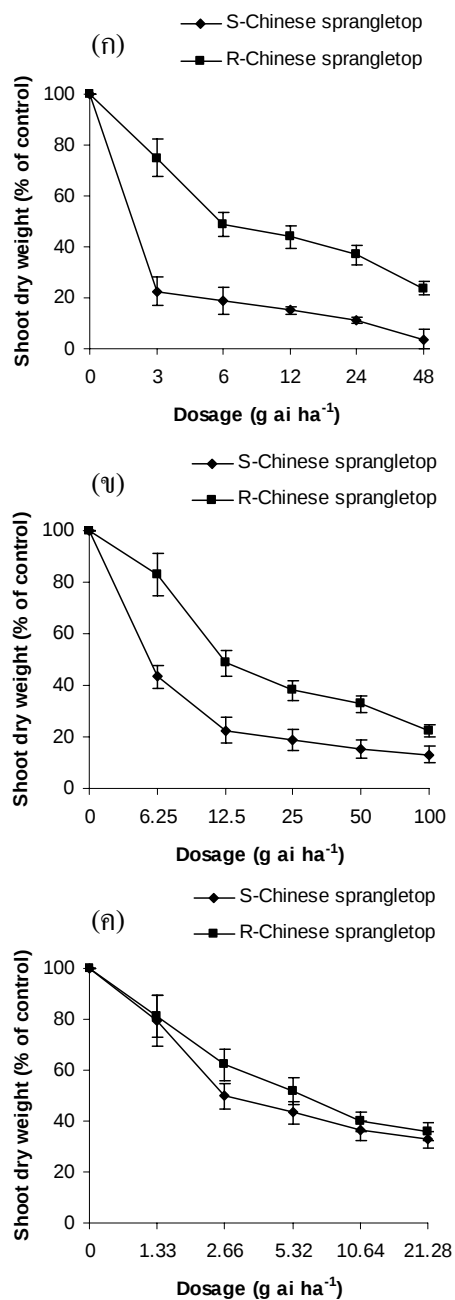
ตารางที่ 43 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหว้าดอกขาวใบโอท็อปอ่อนแอและใบโอท็อป
ด้านทานต่อสารควินคลอแรกซ์ ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

ใบโอท็อป หญ้าดอกขาว	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}						ค่าเฉลี่ย
	อัตราสารฟิโนอกซาพรอป (กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์)						
	0	21.09	42.18	84.36	168.72	337.44	
อ่อนแอ	100	28.20	20.51	10.38	0	0	26.52 b ^{2/}
ต้านทาน	100	56.36	32.72	16.36	12.82	7.69	37.66 a
ค่าเฉลี่ย	100 A ^{3/}	42.28 AB	26.62 CB	13.37 C	6.41 C	3.85 C	
C.V. (%) อัตราสาร				4			
C.V. (%) หญ้าดอกขาว				5			

^{1/}น้ำหนักแห้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของชุดควบคุม

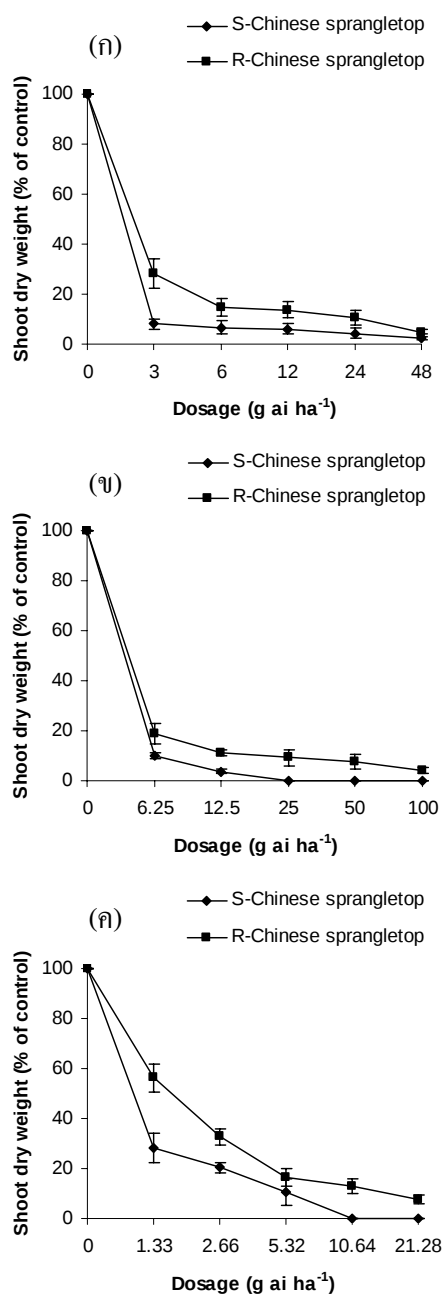
^{2/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

^{3/}ตัวอักษรที่เหมือนกันของค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อทดสอบด้วย Duncan's new multiple rang test ที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 16 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) และ ต้านทาน (■) หลังจากได้รับสารฟิโนอกซาฟลอป (ก) ออกซาไดแอสซอน (ข) โพรพานิล (ค) และควินคลอแรกซ์ (ง) ที่ 14 วันหลังจากได้รับสาร

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 4 ค่า



ภาพที่ 17 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่อต้นของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (◆) และ
 ด้านทาน (■) หลังจากได้รับสารฟิโนอกซาฟลอป (ก) ออกซาไดแอสซอน (ข)
 โพรพานิล (ค) และควินคลอแรกซ์ (ง) ที่ 21 วันหลังจากได้รับสาร

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 4 ค่า

เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษที่ 21 วันหลังจากได้รับสารออกซาไดแอซซอน (ภาพที่ 13, ข) พบว่า หนุ้าดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทานมีค่า I_{50} ของความมีพิษที่อัตราของสารประมาณ 1.42 และ 1.74 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.23 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสูงของหนุ้าดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 15, ข) มีค่า I_{50} ของความสูงที่อัตราของสารประมาณ 1.42 และ 2.47 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.74 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของหนุ้าดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 17, ข) มีค่า I_{50} ที่อัตราของสารประมาณ 1.58 และ 2.21 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.40 เท่า

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษที่ 14 วันหลังจากได้รับสารโพรพานิล (ภาพที่ 12, ค) พบว่า หญ้าดอกขาวใบโอไทป้อ่อนแอและด้านทานมีค่า I_{50} ของความเป็นพิษที่อัตราของสารประมาณ 2.96 และ 3.62 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทาน โดยเปรียบเทียบค่า I_{50} ของใบโอไทป้อ่อนแอต่อค่า I_{50} ของใบโอไทป้อ่อนแอ มีค่าเท่ากับ 1.22 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสูงของหญ้าดอกขาวใบโอไทป้อ่อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 14, ค) มีค่า I_{50} ของความสูงที่อัตราของสารประมาณ 3.62 และ 4.24 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.17 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของหญ้าดอกขาวใบโอไทป้อ่อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 16, ค) มีค่า I_{50} ที่อัตราของสารประมาณ 4.17 และ 5.15 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.24 เท่า

เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษ ที่ 21 วันหลังจากได้รับสารโพรพานิล (ภาพที่ 13, ค) พบว่า หนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทานมีค่า I_{50} ของความเป็นพิษที่อัตราของสารประมาณ 3.47 และ 3.47 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.0 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสูงของหนัสดอกขาว หนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 15, ค) มีค่า I_{50} ของความสูงที่อัตราของสารประมาณ 3.62 และ 4.57 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อค่าดัชนีของความต้านทานสารมีค่าเท่ากับ 1.26 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของหนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 17, ค) มีค่า I_{50} ที่อัตราของสารประมาณ 3.62 และ 3.95 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.40 เท่า

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นเมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษที่ 14 วันหลังจากได้รับสารควินคลอแรกซ์ (ภาพที่ 12, ง) พบว่า หนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน มีค่า I_{50} ของความเป็นพิษที่อัตราของสารประมาณ 1.75 และ 2.31 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทาน โดยเปรียบเทียบค่า I_{50} ของใบโอไทป้อนแอต่อค่า I_{50} ของใบโอไทป้อนแอ มีค่าเท่ากับ 1.32 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสูงของหนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 14, ง) มีค่า I_{50} ของความสูง ที่อัตราของสารประมาณ 0.96 และ 1.18 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.24 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของหนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 16, ง) มีค่า I_{50} ที่อัตราของสารประมาณ 2.66 และ 3.16 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.19 เท่า

เมื่อพิจารณาค่า I_{50} จากความเป็นพิษที่ 21 วันหลังจากได้รับสารควินคลอแรกซ์ (ภาพที่ 13, ง) พบว่า หนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทานมีค่า I_{50} ของความเป็นพิษที่อัตราของสารประมาณ 0.70 และ 0.91 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.30 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความสูงของหนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 15, ง) มีค่า I_{50} ของความสูงที่อัตราของสารประมาณ 0.77 และ 1.12 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.45 เท่า เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของหนัสดอกขาวใบโอไทป้อนแอและด้านทาน (ภาพที่ 17, ง) มีค่า I_{50} ที่อัตราของสารประมาณ 0.77 และ 1.26 กรัมสารออกฤทธิ์ต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ดังนั้นค่าดัชนีของความต้านทานมีค่าเท่ากับ 1.64 เท่า

ตารางที่ 44 ดัชนีของความต้านทานสารออกซาไดแอซซอนในหญ้าดอกขาวใบโอไทป้อ่อนแอและต้านทาน ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร

	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}		ความสูง ^{2/}		น้ำหนักแห้ง ^{2/}	
	14 DAA ^{3/}	21 DAA	14 DAA	21 DAA	14 DAA	21 DAA
หญ้าดอกขาวใบโอไทป้อ่อนแอ	2.33 ± 1.18	1.42 ± 0.71	1.58 ± 0	1.42 ± 0	2.05 ± 8.10	1.58 ± 3.27
หญ้าดอกขาวใบโอไทปี้ต้านทาน	3.00 ± 0.85	1.74 ± 1.29	2.97 ± 6.24	2.47 ± 3.55	2.84 ± 6.35	2.21 ± 5.58
ดัชนีความต้านทาน ^{4/}	1.29	1.23	1.77	1.74	1.39	1.40

^{1/}คำนวณมาจากค่า I₅₀ (The herbicide rate required to inhibit growth by 50%)

^{2/}คำนวณจากค่า GR₅₀ (The concentration required to reduce growth by 50%)

^{3/}DAA = Days after application

^{4/}ดัชนีความต้านทาน (Resistance index) = I₅₀ value of resistant biotype/ I₅₀ value of susceptible biotype หรือ

= GR₅₀ value of resistant biotype/ GR₅₀ value of susceptible biotype

ตารางที่ 45 ดัชนีของความต้านทานสารโพรพอนิลในหญ้าดอกขาวใบโอไทป้อ่อนแอและต้านทาน ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร

	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}		ความสูง ^{2/}		น้ำหนักแห้ง ^{2/}	
	14 DAA ^{3/}	21 DAA	14 DAA	21 DAA	14 DAA	21 DAA
หญ้าดอกขาวใบโอไทป้อ่อนแอ	2.96 ± 0.42	3.47 ± 0	3.62 ± 4.89	3.62 ± 1.40	4.17 ± 6.45	3.62 ± 4.11
หญ้าดอกขาวใบโอไทปี้ต้านทาน	3.62 ± 0.69	3.47 ± 0	4.24 ± 3.73	4.57 ± 3.96	5.15 ± 5.35	3.95 ± 3.20
ดัชนีความต้านทาน ^{4/}	1.22	1.00	1.17	1.26	1.24	1.40

^{1/}คำนวณมาจากค่า I₅₀ (The herbicide rate required to inhibit growth by 50%)

^{2/}คำนวณจากค่า GR₅₀ (The concentration required to reduce growth by 50%)

^{3/}DAA = Days after application

^{4/}ดัชนีความต้านทาน (Resistance index) = I₅₀ value of resistant biotype/ I₅₀ value of susceptible biotype หรือ

= GR₅₀ value of resistant biotype/ GR₅₀ value of susceptible biotype

ตารางที่ 46 ดัชนีของความต้านทานสารควินคลอแรกซ์ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทาน ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร

	เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ ^{1/}		ความสูง ^{2/}		น้ำหนักแห้ง ^{2/}	
	14 DAA ^{3/}	21 DAA	14 DAA	21 DAA	14 DAA	21 DAA
หญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ	1.75 ± 5.12	0.70 ± 1.50	0.96 ± 4.18	0.77 ± 3.15	2.66 ± 8.38	0.77 ± 5.73
หญ้าดอกขาวไบโอไทป์ต้านทาน	2.31 ± 3.20	0.91 ± 1.24	1.18 ± 5.73	1.12 ± 5.27	3.16 ± 7.21	1.26 ± 4.68
ดัชนีความต้านทาน ^{4/}	1.32	1.30	1.24	1.45	1.19	1.64

^{1/}คำนวณมาจากค่า I₅₀ (The herbicide rate required to inhibit growth by 50%)

^{2/}คำนวณจากค่า GR₅₀ (The concentration required to reduce growth by 50%)

^{3/}DAA = Days after application

^{4/}ดัชนีความต้านทาน (Resistance index) = I₅₀ value of resistant biotype/ I₅₀ value of susceptible biotype หรือ

= GR₅₀ value of resistant biotype/ GR₅₀ value of susceptible biotype

จากการตรวจสอบความต้านทานสารหลายกลุ่มในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ และต้านทานไปยังสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีการใช้ในนาข้าว พบว่า การใช้สารในอัตราแนะนำของสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และควินคลอแรกซ์ สามารถควบคุมและกำจัดหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทานได้ เมื่อพิจารณาจากการแสดงอาการเป็นพิษ ความสูง และน้ำหนักแห้ง ภายหลังจากได้รับสาร โดยที่ไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่ม เนื่องจากกลไกการทำลายของสารแต่ละสารดังกล่าวมีความแตกต่างไปจากสารฟิโนอกซาพรอฟ ที่เป็นสารที่เกี่ยวข้องในการยับยั้งการสร้างไขมัน ซึ่งสารออกซาไดแอซซอนเป็นสารสัมผัสหรือสารทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ สารโพรพานิลเป็นสารที่เกี่ยวข้องในการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และสารควินคลอแรกซ์เป็นสารที่มีคุณสมบัติคล้ายฮอร์โมนพืช จึงทำให้สารแต่ละสารสามารถเกิดปฏิกิริยาที่ตำแหน่งเป้าหมาย (target site) ได้ โดยไม่เกิดการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Derr (2002) ได้รายงานไว้ว่า วัชพืช smooth crabgrass (*Digitaria ischaemum*) ที่ต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพรอฟไม่เกิดความต้านทานข้ามไปยังสารควินคลอแรกซ์ โดยไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทานภายหลังจากได้รับสารดังกล่าวมีการตอบสนองต่อสารไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ Stoltenberg and Wiederholt (1995) ได้รายงานไว้ว่า วัชพืช green foxtail (*Setaria faberi*) ที่มีความต้านทานต่อสาร (PCW1) และอ่อนแอต่อสารฟิโนอกซาพรอฟ (AC1) ไม่เกิดความต้านทานข้ามไปยังสาร imazethapyr, linuron และ oxyfluorfen

การศึกษาขั้นต่อไปจะพิจารณาเกี่ยวกับลักษณะกลไกทางชีวเคมีของความต้านทานสาร โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ACCase ซึ่งเป็นตำแหน่ง (target site) ที่สารฟิโนอกซาพรอฟแสดงปฏิกิริยาในการยับยั้งหรือทำลายภายในพืช โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและต้านทาน เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะกลไกทางชีวเคมีของความต้านทานสารฟิโนอกซาพรอฟต่อไป

4. ศึกษากลไกความต้านทานทางชีวเคมีของหญ้าดอกขาวต้านทานสารฟิโนอกซาพรอพ

การสังเคราะห์กรดไขมันจะเกิดขึ้นในส่วนของคลอโรพลาสต์ โดยเริ่มจาก acetyl-CoA ถูกกระตุ้นโดยเอนไซม์ ACCase จะได้ malonyl-CoA ที่เป็นสารตั้งต้นในการสร้างกรดไขมัน และการยับยั้งเอนไซม์ ACCase จะเกิดขึ้นในบริเวณนี้เมื่อได้รับสารกำจัดวัชพืชที่ยับยั้งการสร้างไขมัน ซึ่งวัชพืชวงศ์หญ้าจะอ่อนแอต่อสารในกลุ่มนี้ แต่ความต้านทานสารที่เกิดขึ้นในวัชพืชวงศ์หญ้าอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบริเวณตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยา (Leach *et al.*, 1995) โดยลักษณะกลไกของความต้านทานสารกำจัดวัชพืชเกิดจากการได้รับสารกำจัดวัชพืชซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ทำให้มีการปรับตัวและเกิดการคัดเลือกในระดับเซลล์โดยเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตำแหน่งในการเกิดปฏิกิริยา ต่อมาพัฒนาความต้านทานในระดับที่เป็นพืชทั้งต้น

การศึกษาลักษณะกลไกความต้านทานทางชีวเคมีของหญ้าดอกขาว พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ ACCase ในใบโอบีไต้ป้อนแอและต้านทานหลังจากได้รับสารฟิโนอกซาพรอพ (susceptible and resistant biotype with the herbicide treatment) เพื่อจำแนกความแตกต่างระหว่างใบโอบีไต้ป้อนแอและต้านทาน เมื่อพิจารณาค่า I_{50} ของกิจกรรมเอนไซม์ ACCase (ภาพที่ 17) พบว่า หญ้าดอกขาวใบโอบีไต้ป้อนแอและต้านทานมีค่า I_{50} ของกิจกรรมเอนไซม์ ACCase เท่ากับ 10^{-6} M ($1 \mu\text{mol L}^{-1}$) และ 10^{-5} M ($10 \mu\text{mol L}^{-1}$) ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าดัชนีของความต้านทาน (ตารางที่ 47) โดยเปรียบเทียบค่า I_{50} ของใบโอบีไต้ป้อนแอต่อค่า I_{50} ของใบโอบีไต้ป้อนแอ มีค่าเท่ากับ 10 เท่า และใบโอบีไต้ป้อนแอมีกิจกรรมของเอนไซม์ ACCase มากกว่าใบโอบีไต้ป้อนแอในทุกอัตราสารที่ได้รับ (ภาพที่ 18) นอกจากนี้ได้ตรวจสอบปริมาณเอนไซม์ ACCase ที่เฉพาะเจาะจง (specific enzyme) ในหญ้าดอกขาวใบโอบีไต้ป้อนแอและต้านทานที่ไม่ได้รับสารฟิโนอกซาพรอพ (susceptible and resistant biotype without the herbicide treatment) พบว่า ใบโอบีไต้ป้อนแอมีปริมาณเอนไซม์ ACCase อยู่ในช่วง $15.58\text{--}20.76 \text{ pmol mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ และใบโอบีไต้ป้อนแออยู่ในช่วง $7.75\text{--}10.17 \text{ pmol mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ จะเห็นได้ว่าปริมาณเอนไซม์ ACCase ในใบโอบีไต้ป้อนแอมีมากกว่าใบโอบีไต้ป้อนแอ 2-3 เท่า ดังนั้นกลไกทางชีวเคมีของความต้านทานสารฟิโนอกซาพรอพในใบโอบีไต้ป้อนแอ เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โดยใบโอบีไต้ป้อนแอมีปริมาณเอนไซม์ ACCase ที่มากกว่าใบโอบีไต้ป้อนแอ เช่นเดียวกับรายงานของ Bradley *et al.* (2001) รายงานว่า ความทนทานสารกำจัดวัชพืชในกลุ่ม aryloxyphenoxypropanoates (AOPP) และ cyclohexanedione (CHD) ของหญ้า johnsongrass เกิดจากการที่พืชสร้างเอนไซม์ ACCase ที่เป็นเป้าหมาย (target enzyme) ของสารกำจัดวัชพืชให้มีปริมาณมากกว่าปกติ (overproduction)

นอกจากนี้ Kuk *et al.* (1999) ที่ได้ศึกษาลักษณะกลไกความต้านทานของหญ้า smooth crabgrass [*Digitaria ischaemum* (Schreb.) Muhl] ที่ต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอฟ และพบว่ากระบวนการดูดซึม การเคลื่อนย้าย และเมแทบอลิซึมของสารฟีนอกซาพรอฟในใบโอบีไต้ป้อ่อนแอ และต้านทานไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณากิจกรรมของเอนไซม์ ACCase ในใบโอบีไต้ป้อ่อนแอที่ได้รับสาร fenoxaprop-ethyl และ fenoxaprop acid พบว่ามีค่า I_{50} เท่ากับ 2 และ 4.9 μM ตามลำดับ ในใบโอบีไต้ปี้ต้านทานมีค่า I_{50} เท่ากับ 182 และ 29 μM ตามลำดับ Volenberg and Stoltenberg (2002) ได้รายงานว่ ลักษณะกลไกความต้านทานของวัชพืช *Setania feberi* และ *Digitaria sanguinalis* ต่อสาร sethoxydim เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ ACCase ที่มีความเฉพาะเจาะจงต่อสารในปริมาณที่สูง เมื่อพิจารณา I_{50} ของกิจกรรมเอนไซม์ ACCase ระหว่างใบโอบีไต้ป้อ่อนแอและต้านทานของวัชพืช *Setania feberi* และ *Digitaria sanguinalis* พบว่า ปริมาณของเอนไซม์ ACCase ที่มีความเฉพาะเจาะจงในใบโอบีไต้ปี้ต้านทาน มีค่าเท่ากับ 319 และ 66 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับใบโอบีไต้ป้อ่อนแอ

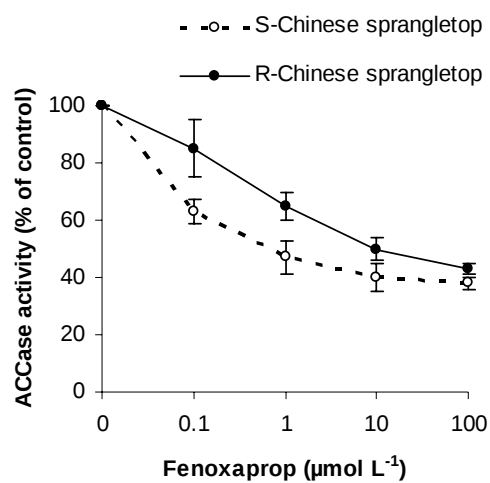
เมื่อตรวจสอบลักษณะความต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอฟ จากการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของหญ้าดอกขาวที่มีต่อสารในระดับที่เป็นพืชทั้งต้น และการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ACCase ในหญ้าดอกขาวทั้งสองใบโอบีไต้ปี้ โดยใบโอบีไต้ปี้ต้านทานแสดงอาการเป็นพิษในระดับที่เป็นพืชทั้งต้นน้อยกว่าใบโอบีไต้ป้อ่อนแอภาย หลังจากได้รับสารฟีนอกซาพรอฟ เนื่องจากปริมาณเอนไซม์ ACCase ที่เฉพาะเจาะจงในใบโอบีไต้ปี้ต้านทานมีมากกว่าใบโอบีไต้ป้อ่อนแอ ทำให้มีปริมาณเอนไซม์ที่มากพอที่จะสามารถทำงานต่อไปได้ ส่งผลให้ใบโอบีไต้ปี้ต้านทานแสดงความต้านทานต่อสารฟีนอกซาพรอฟขึ้น

ตารางที่ 47 ดัชนีความต้านทานของ กิจกรรมเอนไซม์ ACCase ในหญ้าดอกขาวหลังจากได้รับ สารฟิโนอกซาพรอพ

หญ้าดอกขาว	ความเข้มข้นสารฟิโนอกซาพรอพ ^{1/}
ไบโอไทป์อ่อนแอ	10^{-6} ($1 \mu\text{mol L}^{-1}$)
ไบโอไทป์ต้านทาน	10^{-5} ($10 \mu\text{mol L}^{-1}$)
ดัชนีความต้านทาน ^{2/}	10

^{1/}คำนวณมาจากค่า The dose required to decrease enzyme activity by 50% (I_{50})

^{2/}ดัชนีความต้านทาน (Resistance index) = I_{50} value of resistant biotype/ I_{50} value of susceptible biotype



ภาพที่ 18 การยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ ACCase ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ (○) และ
ต้านทาน (●) หลังจากได้รับสารฟีนอกซาพรอพความเข้มข้นต่าง ๆ

หมายเหตุ vertical bars แสดงค่า $\pm$ SE ของค่าเฉลี่ย 3 ค่า

สรุป

1. การสำรวจวัชพืชด้านทานสารกำจัดวัชพืชในนาข้าวแบบนาหว่านน้ำตม พื้นที่เขตสะพานสูง กรุงเทพฯ ในปี พ.ศ. 2545 พบหญ้าดอกขาวด้านทานต่อสารฟิโนอกซาพროฟ เนื่องจากมีการใช้สารชนิดนี้ติดต่อกันเป็นเวลานานมากกว่า 5-10 ปี โดยในหนึ่งฤดูทนามีการพ่นสาร 2 ครั้ง ทำให้หญ้าดอกขาวเกิดการปรับตัว และมีความต้านทานต่อสารฟิโนอกซาพโรฟขึ้น และทำการสำรวจอีกครั้งในปี พ.ศ. 2547 ปัญหาหญ้าดอกขาวด้านทานต่อสารฟิโนอกซาพโรฟลดลงอย่างมาก หลังจากได้แนะนำให้เกษตรกรเปลี่ยนสารกำจัดวัชพืช ที่มีกลไกการทำลายที่แตกต่างจากเดิมไป ร่วมกับการจัดการระดับน้ำภายในแปลงเพื่อควบคุมวัชพืช

2. เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความต้านทานจากการประเมินความเป็นพิษของสารฟิโนอกซาพโรฟ ความสูง และน้ำหนักแห้ง ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทาน แสดงให้เห็นว่า ไบโอไทป์ด้านทานมีค่าดัชนีความต้านทานเท่ากับ 10-25 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอ ที่ 14 และ 21 วันหลังจากได้รับสาร นอกจากนี้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 หลังจากได้รับสารฟิโนอกซาพโรฟในความเข้มข้นต่าง ๆ ของสาร มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต น้อยกว่าหญ้าดอกขาวทั้งสองไบโอไทป์

3. เมื่อตรวจสอบความต้านทานสารหลายกลุ่มของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์ด้านทาน พบว่า ไม่เกิดความต้านทานสารหลายกลุ่มไปยังสารออกซาไดแอซซอน โพรพานิล และ ควินคลอแอกซ์

4. ลักษณะกลไกทางชีวเคมีของหญ้าดอกขาวไบโอไทป์ด้านทาน พบว่า เมื่อพิจารณาจากค่า I_{50} ของกิจกรรมเอนไซม์ ACCase ในหญ้าดอกขาวไบโอไทป์อ่อนแอและด้านทาน ไบโอไทป์ด้านทานมีกิจกรรมของเอนไซม์ ACCase ที่เฉพาะเจาะจงต่อสารฟิโนอกซาพโรฟมากกว่า ไบโอไทป์อ่อนแอ 10 เท่า จึงทำให้ไบโอไทป์ด้านทานถูกยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์น้อยกว่า ไบโอไทป์อ่อนแอหลังจากได้รับสารฟิโนอกซาพโรฟ