

กิจกรรมของเอนไซม์ฟีนิลอลานีนแอมโมเนียไลเอสและ ซินนามต 4-ไฮดรอกซีเลสที่เกี่ยวข้องกับผลทางอัลลีโลพาธี ของข้าวต่อการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก

Enzymatic activities of phenylalanine ammonia-lyase and cinnamate 4-hydroxylase related to allelopathic effect of rice on growth of barnyard grass

จำเนียร ชมภู^{1*}, อภิรัฐ บัณฑิต² และ ทศพล พรพรหม¹

Jamnian Chompoo^{1*}, Apirat Bundit² and Tosapon Pornprom¹

บทคัดย่อ: หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* L.) เป็นวัชพืชที่มีปัญหาร้ายแรงในนาข้าวหว่านน้ำตมที่ยากต่อการกำจัด ส่งผลให้ผลผลิตของข้าวลดลง การปลูกข้าวที่มีผลทางอัลลีโลพาธียับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการหญ้าข้าวนกที่สามารถเลือกใช้เพื่อลดการใช้สารกำจัดวัชพืชในนาข้าว จากการทดสอบผลทางอัลลีโลพาธีของข้าว จำนวน 12 พันธุ์ ด้วยการปลูกร่วมกับหญ้าข้าวนกในกระถาง พบว่า ข้าวพันธุ์ กข 41 ขาวดอกมะลิ 105 ปิ่นเกษตร และไรซ์เบอร์รี่ มีศักยภาพทางอัลลีโลพาธีในการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก ทำให้การยืดยาวส่วนรากและลำต้นเหนือดินของหญ้าข้าวนกลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปิ่นเกษตรสามารถเจริญเติบโตแข่งขันกับหญ้าข้าวนกได้ดีมีการยืดยาวของรากและลำต้นเหนือดินมากกว่าชุดควบคุม ในทางกลับกันยังพบว่าข้าวพันธุ์เล็บนกและเหลืองประทิวมีผลทางอัลลีโลพาธีในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์ กข 31, กข 49, ชัยนาท 1, ขาวตาแห้ง, สังข์หยด และสุพรรณบุรี 1 มีผลทางอัลลีโลพาธีไม่เด่นชัด เมื่อพิจารณาผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวและหญ้าข้าวนก ที่ 10, 20 และ 30 วันหลังปลูก พบว่ามีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) และ cinnamate 4-hydroxylase (C4H) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างสารอัลลีโลเคมีคอลที่ข้าวปลดปล่อยออกมาทางราก จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดที่สูง จะทำให้ผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวในการยับยั้งและกระตุ้นการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกสูงด้วย จึงควรที่จะมีการศึกษาชนิดของสารอัลลีโลเคมีคอลที่ข้าวปลดปล่อยออกมาทางรากต่อไป

คำสำคัญ: ข้าว, หญ้าข้าวนก, อัลลีโลพาธี, ซินนามต 4-ไฮดรอกซีเลส, ฟีนิลอลานีนแอมโมเนียไลเอส

ABSTRACT: Barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.) is a serious weed in direct seeded rice field. It is difficult to eliminate, as the result, the yield of rice decreased. Planting rice variety that shows allelopathic effect to inhibit the growth of barnyard grass is another approach to manage this weed which can reduce the use of herbicides in rice field. In this study allelopathic effect against barnyard grass of 12 rice varieties was determined by growing each variety with barnyard grass in pots. The results showed that rice varieties RD 41, KDML 105, Pin Kaset and Riceberry had high allelopathic effect to inhibit root and shoot elongation of barnyard grass. In addition, these two

¹ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

² ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

* Corresponding author: agrjnc@ku.ac.th

rice varieties (KDML 105 and Pin Kaset) grew well under competition with barnyard grass. However, rice varieties RD 31, RD 49, Chainat 1, Khaw Ta Heang, Sang Yod and Suphan Buri 1 were not pronounced. On the other hand, rice varieties Leb Nok and Luang Pra Tew showed allelopathic effect to stimulate the growth of barnyard grass. As the result, enzymatic analysis revealed that allelopathic potential of rice towards barnyard grass at 10, 20 and 30 days after planting associated with high activities of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and cinnamate 4-hydroxylase (C4H) enzymes which involved with allelochemical synthesis of rice root exudate. These results suggested that high activities of both enzymes could induce allelopathic effect of rice to inhibit all stimulate the growth of barnyard grass. The types of chemical substance in root exudate of rice should be further studied.

Keywords: rice, barnyard grass, allelopathy, cinnamate 4-hydroxylase, phenylalanine ammonia-lyase

บทนำ

ข้าว (rice, *Oryza sativa* L.) ถือเป็นธัญพืชสำคัญของโลก มนุษย์มากกว่าครึ่งของโลกต้องบริโภคข้าวเพื่อการยังชีพ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2001 ถึง 2025 ความต้องการข้าวของมนุษย์โลกเพิ่มขึ้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ (Maclea et al., 2002) ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตข้าวให้ได้ปริมาณที่มากขึ้นจึงมีความสำคัญ วัชพืชนับเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง ในเขตร้อนขึ้นพบว่าผลผลิตข้าวลดลงประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุเนื่องจากการขึ้นแข่งขันของวัชพืช (Oerke and Dehne, 2004) Rao et al. (2007) รายงานว่า วัชพืชที่ขึ้นในนาหว่านน้ำตามทำให้ผลผลิตข้าวลดลง 50-90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Sunil et al. (2010) ยังรายงานว่ วัชพืชที่ขึ้นแข่งขันกับข้าวเป็นระยะเวลาานจะทำให้ผลผลิตของข้าวลดลงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหญ้าข้าวนก (barnyard grass, *Echinochloa crus-galli* L.) จัดเป็นวัชพืชสำคัญที่ยังคงมีการแพร่ระบาดในบริเวณที่ทำนาหว่านน้ำตาม ประกอบกับมีการใช้เครื่องทุ่นแรง เช่น รถเกี่ยวข้าว ทำให้หญ้าข้าวนกแพร่กระจายไปกับเครื่องจักรในบริเวณขวาง จะเห็นได้ว่า การแพร่กระจายของวัชพืชในนาข้าวอาจเกิดจากตัวของวัชพืชเองและการจัดการแปลงในพื้นที่ที่มีการระบาด ตามสภาพวิธีการทำนา (สถาบันวิจัยข้าว, 2555) ดังนั้นปัญหาวัชพืชขึ้นแข่งขันกับข้าว นับว่ามีความสำคัญมาก จึงควรรหาแนวทางในการจัดการวัชพืช

อัลลีโลพาธี (allelopathy) เป็นปรากฏการณ์ที่พืชบางชนิดสามารถสร้างสารชีวเคมีขึ้นภายในต้นพืช และปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วยการระเหย การ

แพร่กระจายจากราก การย่อยสลาย และการชะล้าง มีผลทั้งในการกระตุ้น หรือยับยั้ง การเจริญเติบโตของพืชชนิดอื่นๆ (Farooq et al., 2011) การเกิดอัลลีโลพาธีของพืชปลูกและวัชพืชในระบบนิเวศมี 4 ลักษณะ ได้แก่ อัลลีโลพาธีระหว่างพืชปลูกต่อพืชปลูก พืชปลูกต่อวัชพืช วัชพืชต่อพืชปลูก และวัชพืชต่อวัชพืช (ศานิต และสุวิทย์, 2551) การใช้ประโยชน์ทางอัลลีโลพาธีจากข้าวในการควบคุมวัชพืชจึงเป็นอีกวิธีที่น่าสนใจในการควบคุมวัชพืชเพื่อลดการใช้สารกำจัดวัชพืช โดยพืชสามารถสังเคราะห์สารอัลลีโลเคมีคอลหลายชนิดผ่านวิถี phenylpropanoid ได้เป็นผลิตภัณฑ์สารทุติยภูมิมากมาย เช่น สารพวก flavonoids, catechol-amines, phenolic acid, phenols, lignins และ tanins (Ferrer et al., 2008) ซึ่งกระบวนการเมแทบอลิซึมเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL) และ cinnamate 4-hydroxylase (C4H) (Fang et al., 2009) โดยเอนไซม์ PAL จะกระตุ้นกระบวนการ deamination ของกรดอะมิโน phenylalanine ได้เป็น *trans*-cinnamic acid แล้วเปลี่ยนไปเป็น *p*-coumaric acid โดยการกระตุ้นกระบวนการ oxidative reaction ด้วยเอนไซม์ C4H ที่ไซโตโครม P450 (Bate et al., 1994) จากการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ของ He et al. (2005) เพื่อใช้เป็นข้อมูลอธิบายกลไกของการเกิดปรากฏการณ์อัลลีโลพาธีของข้าวที่ขึ้นแข่งขันกับหญ้าข้าวนก พบว่าประสิทธิภาพทางอัลลีโลพาธีของข้าวในการยับยั้งวัชพืชเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการแสดงของ gene ที่ควบคุมการทำงานของเอนไซม์ PAL เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานผลทางอัลลีโลพาธีของ

ข้าวจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและสภาพแปลงทดลอง พบว่าข้าวหลายพันธุ์มีศักยภาพทางอัลลีโลพาธียับยั้งการเจริญเติบโตของพืชปลูกและวัชพืช (Kim et al., 2005) เช่นเดียวกับ He et al. (2004) ศึกษาสารอัลลีโลเคมีคอลที่ปลดปล่อยออกมาจากรากของข้าว 2 พันธุ์ ที่เป็น allelopathic rice และ non-allelopathic rice พบสารพวก terpenoids, phenols หรือ quinones, aldehydes หรือ ketone, heterocycles, alcohols, ethers และ hydrocarbon โดยที่รายงานว่ามีปริมาณของสาร และองค์ประกอบทางเคมี มีผลทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์มีศักยภาพทางอัลลีโลพาธีได้แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวพันธุ์ต่างๆ จำนวน 12 พันธุ์ ที่เกษตรกรนิยมปลูกในประเทศไทยที่มีต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งของทางเลือกที่จะช่วยลดการใช้สารป้องกันกำจัดวัชพืชในการกำจัดหญ้าข้าวนกในนาข้าว

วิธีการศึกษา

ผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวที่มีต่อการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก

ทำการทดลองในสภาพเรือนทดลองของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทำการทดลอง 4 ซ้ำ เตรียมเมล็ดข้าว จำนวน 12 พันธุ์ ได้แก่ กข 31 (RD31), กข 41 (RD 41), กข 49 (RD 49), ขาวตาแห้ง (Khaw Ta Heang), ชัยนาท 1 (Chainat 1), ปิ่นเกษตร (Pin Kaset), ไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry), เล็บนก (Leb Nok), สังข์หยดปัตตานี (Sang Yod), สุพรรณบุรี 1 (Suphan Buri 1), ขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105) และเหลืองประทิว (Luang Pra

Tew) ส่วนเมล็ดหญ้าข้าวนกเก็บจากพื้นที่บริเวณแปลงทดลองของภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน ทำการเพาะเมล็ดข้าวและหญ้าข้าวนกลงบนกระดาษเพาะเมล็ดที่มีความชื้นในจานเพาะ นำไปวางที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนเมล็ดของข้าวและหญ้าข้าวนกงอก มีความยาวของรากประมาณ 2-3 มิลลิเมตร จากนั้นนำเมล็ดลงปลูกในกระถางที่บรรจุดินนาที่ร่อนละเอียด

เก็บตัวอย่างดินจากแปลงนามาตากแดดให้แห้ง จากนั้นบดให้ละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ใส่ลงในกระถางพลาสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 17 เซนติเมตร นำดินอ่อนของข้าว 1 เมล็ด ปลูกลงไปตรงกึ่งกลางของกระถาง ลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร หลังจากนั้นปลูกต้นอ่อนหญ้าข้าวนก 1 เมล็ด/หลุม ห่างจากต้นข้าววัดมี 6 เซนติเมตร (Figure 1) นำกระถางไปวางไว้ในเรือนทดลอง บันทึกข้อมูลความยาวรากและลำต้นเหนือดินของหญ้าข้าวนกและข้าว ที่ 10, 20 และ 30 วันหลังปลูก เปรียบเทียบกับชุดควบคุม คือ ปลูกข้าวเพียงอย่างเดียวและปลูกหญ้าข้าวนกเพียงอย่างเดียว โดยที่ทำการวัดส่วนรากตรงบริเวณข้อใบเลี้ยง (scutellar node) จนถึงปลายรากที่ยาวที่สุด สำหรับส่วนลำต้นเหนือดินทำการวัดจากส่วนข้อใบเลี้ยงจนถึงปลายใบที่ยาวที่สุด (มีหน่วยเป็น เซนติเมตร) พิจารณาผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวที่มีต่อการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก จากสูตรการคำนวณ ดังนี้

ผลทางอัลลีโลพาธี = ความยาวรากหรือลำต้นเหนือดินของข้าวที่ปลูกร่วมกับหญ้าข้าวนก - ความยาวรากหรือลำต้นเหนือดินของข้าวชุดควบคุม

โดยที่ผลทางอัลลีโลพาธีมีค่าเป็นบวก (+) แสดงว่า กระตุ้นการเจริญเติบโต และค่าเป็นลบ (-) แสดงว่า ยับยั้งการเจริญเติบโต นำผลทางอัลลีโลพาธีที่คำนวณได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT



Figure 1 Rice with barnyard grass in plot experiment.

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia-lyase (PAL)

วัดกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ประเมินจากอัตราการเปลี่ยน L-phenylalanine ไปเป็น *trans*-cinnamic acid ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร (Edward and Kessmann, 1992) นำส่วนลำต้นเหนือดินของข้าว 1 กรัม (ที่อายุ 10, 20 และ 30 วันหลังจากปลูก) บดให้ละเอียดในโกร่งด้วยไนโตรเจนเหลว จากนั้นสกัดเอนไซม์ด้วย $\text{Tris-H}_2\text{SO}_4$ buffer (pH 8.8) (ที่มีส่วนผสมของ 2-mercaptoethanol ความเข้มข้น 7 mM, EDTA-Na ความเข้มข้น 1 mM และ 7 เปอร์เซ็นต์ ของ glycerin) ที่แช่เย็น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบ/นาที ดูดสารละลายใสเพื่อนำไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL

ใส่ตัวอย่างสารละลายใสที่สกัดได้ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองที่บรรจุ $\text{Tris-H}_2\text{SO}_4$ buffer (ความเข้มข้น 50 mM, pH 8.8) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และ L-phenylalanine ความเข้มข้น 20 mM ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปวางในน้ำร้อนอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วย H_2SO_4 ความเข้มข้น 6 M ปริมาตร 50 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ *trans*-cinnamic acid เมื่อ $Y = 13.58x + 1.097$ ($R^2 = 0.999$) มีหน่วยเป็น μg of *trans*-cinnamic acid per mg of fresh weight tissue ($\mu\text{g trans-cinnamic acid/ mg FW}$)

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ cinnamate 4-hydroxylase (C4H)

นำตัวอย่างสดส่วนลำต้นเหนือดินของข้าว 1 กรัม (ที่อายุ 10, 20 และ 30 วันหลังปลูก) บดให้ละเอียดด้วยโกร่ง สกัดเอนไซม์ C4H ด้วย potassium phosphate buffer (ความเข้มข้น 200 mM, pH 7.5) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร (ซึ่งมีส่วนผสมของ 2-mercaptoethanol ความเข้มข้น 2 mM) หลังจากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบ/นาที นาน 15 นาที ดูดสารละลายใสส่วนบนเพื่อนำไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ C4H

นำสารละลายใสที่สกัดได้ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มี reaction buffer (ส่วนผสมของ phosphate buffer (50 mM), 2-mercaptoethanol (2 mM), *trans*-cinnamic acid (2 mM) และ NADPH (0.5 mM)) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปวางที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาด้วย H_2SO_4 ความเข้มข้น 6 M ปริมาตร 50 ไมโครลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร (Lamb and Rubery, 1975) เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ *p*-coumaric acid เมื่อ $Y = 0.304x + 1.549$ ($R^2 = 0.957$) มีหน่วยเป็น μg of *p*-coumaric acid per mg of fresh weight tissue ($\mu\text{g p-coumaric acid/ mg FW}$)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS Version 19.0 เปรียบเทียบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.01$) ด้วยวิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวที่มีต่อการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก

จากการทดสอบผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่มีต่อการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกโดยการ

ปลูกร่วมกันในกระถาง พบว่าข้าวบางพันธุ์มีประสิทธิภาพทางอัลลีโลพาตีทำให้การยืดยาวของส่วนรากและลำต้นของหญ้าข้าวนกกลดลง (แสดงผลเป็นลบ) ทุกช่วงเวลาที่บ้านทักข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ปลูกหญ้าข้าวนกเพียงอย่างเดียว) ได้แก่ ข้าวพันธุ์ กข 41, ข้าวดอกมะลิ 105, ปิ่นเกษตร และไรซ์เบอร์รี่ ในทางกลับกันพบว่า ข้าวพันธุ์เล็บนกและเหลืองประทิวมีผลทางอัลลีโลพาตีในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก ทำให้ส่วนรากและลำต้นเหนือดินมีการยืดยาวอย่างเห็นได้ชัดทุกช่วงเวลา

ที่ทำการเก็บข้อมูล (แสดงผลเป็นบวก) (Table 1) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของส่วนรากและลำต้นเหนือดินของหญ้าข้าวนก ยังพบว่าผลทางอัลลีโลพาตีของข้าวมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกส่วนของรากได้ดีกว่าส่วนลำต้นเหนือดิน โดยที่ข้าวอายุ 20 วันหลังจากปลูก จะมีศักยภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตส่วนรากของหญ้าข้าวนกได้ดีกว่าที่อายุ 30 และ 10 วันหลังปลูกตามลำดับ

Table 1 Allelopathic effect of different rice cultivars on rice on root length and shoot length of barnyard grass comparing with control (barnyard grass without rice) at 10, 20 and 30 days after planting (DAP)

Rice Variety	Root length (cm)			Shoot length (cm)		
	10 DAP	20 DAP	30 DAP	10 DAP	20 DAP	30 DAP
RD 31	1.76 ¹ (57) abc	-7.04 (-226) ² ab	-2.55 (-82) bcd ³	-0.18 (-1) cde	-2.33 (-17) bc	-0.26 (-2) bc
RD 41	-0.21 (-7) cd	-6.18 (-199) ab	-1.81 (-58) bcd	-3.22 (-24) e	-2.00 (-15) bc	-5.75 (-42) c
RD 49	0.31 (10) bcd	-2.15 (-69) ab	-2.36 (-76) bcd	-3.26 (-24) e	-1.81 (-13) bc	-1.17 (-9) bc
Chainat 1	0.95 (31) a-d	-5.46 (-176) ab	-1.24 (-40) abc	9.30 (69) a	12.68 (94) a	15.51 (115) a
KDML 105	-0.52 (-17) d	-5.08 (-163) ab	-5.12 (-165) cd	-2.78 (-21) e	-2.91 (-22) c	-3.70 (-27) c
Khaw Ta Heang	2.28 (73) ab	-0.20 (-6) ab	1.19 (38) ab	4.97 (37) abc	12.51 (92) a	18.07 (134) a
Leb Nok	1.24 (40) a-d	1.66 (53) a	2.46 (79) a	6.77 (50) ab	10.74 (79) a	11.83 (87) ab
Luang Pra Tew	0.51 (16) a-d	1.05 (34) ab	0.10 (3) ab	3.67 (27) bcd	15.40 (114) a	17.24 (127) a
Pin Kaset	-0.29 (-9) cd	-9.82 (-316) b	-5.52 (-177) d	-0.82 (-6) de	-3.71 (-27) c	-8.18 (-60) c
Riceberry	-0.02 (-1) cd	-7.80 (-251) ab	-1.28 (-41) abc	-2.98 (-22) e	-3.73 (-28) c	-0.85 (-6) bc
Sang Yod	2.63 (85) a	-5.63 (-181) ab	-2.78 (-89) abc	1.47 (11) bcd	10.41 (77) ab	17.34 (128) a
Suphan Buri 1	0.02 (1) cd	-6.17 (-198) ab	-1.77 (-57) bcd	-1.85 (-14) de	-2.45 (-18) bc	-0.41 (-3) bc

¹ The figure are means of four replications for each treatment.

² Percentage of root length and shoot length were different from control.

³ Different letters in the same column indicate the existence of statistically significant difference ($p \leq 0.01$).

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Dali et al. (2000) พบว่า ผลทางอัลลีโลพาตีของข้าวพันธุ์ Zaojing 911 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตส่วนรากของหญ้าข้าวนกได้ดีกว่าส่วนลำต้นเหนือดิน ส่วน Amini et al. (2009) พบว่าข้าวไรย์มีผลทางอัลลีโลพาตีในการยับยั้งการยืดยาวส่วนรากของข้าวสาลีได้ดีกว่าส่วนลำต้นเหนือดิน โดยที่ Dekker and Meggitt (1983) รายงานว่า สารอัลลีโลเคมีคอลจะถูกปลดปล่อยออกมาในช่วงเริ่มเจริญเติบโต (early growth) และจะเป็นช่วงที่มีพืชนั้นมีประสิทธิภาพในการควบคุมวัชพืชได้ดี จากการศึกษาในสภาพห้องปฏิบัติการและแปลง

ทดลองของ Kato-Noguchi (2001) พบข้าวหลายพันธุ์ที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชอื่นๆ ที่ขึ้นรอบข้างได้ Chung and Ahn (2001) ทดสอบข้าว จำนวน 44 พันธุ์ พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกได้แตกต่างกัน ต่อมา Asghari and Musavi (2002) ศึกษาศักยภาพทางอัลลีโลพาตีของข้าว Iranian ต่อการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและกขนาทในการปลูกร่วมกันในกระถาง พบว่าข้าวบางพันธุ์มีศักยภาพทางอัลลีโลพาตีสูง ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและกขนาทได้

ในทางกลับกันนอกจากข้าวจะมีผลทางอัลลีโลพาธีต่อการเจริญเติบโตของพืชอื่นแล้วนั้น หญ้าข้าวเนกซึ่งเป็นวัชพืชวงศ์เดียวกันกับข้าวเนก มีรายงานผลในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวได้ (Xuan et al., 2006) โดยที่ Li et al. (1992) ได้พบสาร *p*-hydroxybenzaldehyde และ *p*-hydroxybenzen ในรากของหญ้าข้าวเนกที่ปลดปล่อยออกมาสู่สภาพแวดล้อมและมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นกล้าเครซ อัลฟาฟา ผักโขม และข้าว รวมทั้งตัวของหญ้าข้าวเนกเอง (Yamamoto et al., 1999) ดังนั้นจากผลการทดลองใน Table 2 จะเห็นได้ว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปิ่นเกษตร เมื่อปลูกร่วมกับหญ้าข้าวเนกจะสามารถเจริญเติบโตได้ และมีการยืดยาว

ของรากและลำต้นเหนือดินมากกว่าชุดควบคุม (ปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว) ทุกช่วงเวลาเก็บข้อมูล จากการทดลองของ Kato-Noguchi (2011) พบว่าหญ้าข้าวเนกสามารถปลดปล่อยสารอัลลีโลเคมีคอลกระตุ้นให้ข้าวสร้างสาร momilactone B เพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวสามารถเจริญเติบโตแข่งขันกับหญ้าข้าวเนกได้ ดังนั้นจากผลการทดสอบผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวและหญ้าข้าวเนกจะเห็นได้ว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปิ่นเกษตร ทั้งสองพันธุ์นี้มีผลทางอัลลีโลพาธียับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวเนก และยังสามารถเจริญเติบโตแข่งขันกับหญ้าข้าวเนกได้ดีที่สุด จึงเป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรควรเลือกปลูก เป็นอีกทางเลือกที่ไม่ต้องใช้สารเคมีในการกำจัดหญ้าข้าวเนกในนาข้าว

Table 2 Allelopathic effect on root length and shoot length of rice at 10, 20 and 30 days after planting (DAP) with barnyard grass comparing with control (rice without barnyard grass)

Rice variety	Root length (cm)			Shoot length (cm)		
	10 DAP	20 DAP	30 DAP	10 DAP	20 DAP	30 DAP
RD 31	0.64 ¹ abc ²	-11.30 ef	-4.58 bcd	-4.90	-3.45 cde	-1.30 abc
RD 41	-2.08 abc	-2.30 bcd	-3.18 bc	-7.30	-3.43 cde	5.78 ab
RD 49	-0.90 abc	2.77 ab	-5.33 bcd	0.18	3.67 ab	-0.48 abc
Chainat	2.65 c	-4.83 cde	-2.65 bc	1.10	-8.80 e	-1.53 abc
KDML 105	0.75 ab	5.65 a	6.65 a	1.40	2.03 abc	5.25 ab
Khaw Ta Heang	1.18 a	4.60 ab	-0.07 b	-0.08	7.40 a	0.60 abc
Leb Nok	-0.05 abc	2.33 ab	-9.82 d	-5.03	-5.78 de	4.50 ab
Luang Pra Tew	0.08 abc	1.72 abc	-4.39 bcd	-2.28	-3.62 cde	-22.86 d
Pin Kaset	1.30 a	2.05 abc	5.75 a	2.43	5.70 a	8.13 a
Riceberry	-0.13 abc	-9.80 ef	-4.05 bcd	2.73	-5.33 de	-4.60 bc
Sang Yod	-2.35 bc	-13.07 f	-6.66 cd	-1.05	-10.07 e	-8.43 c
Suphan Buri 1	0.83 ab	-5.73 de	-2.05 bc	3.78	-1.50 bcd	-11.18 c

¹ The figure are means of four replications for each treatment.

² Different letters in the same column indicate the existence of statistically significant difference ($p \leq 0.01$).

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ C4H

เนื่องจากพืชสามารถสังเคราะห์สารอัลลีโลเคมีคอลหลายชนิดผ่านวิถี phenylpropanoid ได้เป็นสารพวก flavonoids, catechol-amines, phenolic acid, phenols, lignins และ tanins (Ferrer et al., 2008) โดยที่มีเอนไซม์ PAL และ C4H เป็นตัวการสำคัญ (Fang et al., 2009) จากผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ C4H ในส่วนลำต้นเหนือดินของข้าวพันธุ์ต่างที่ปลูกร่วมกันกับหญ้าข้าวเนก

พบว่า ข้าวทุกพันธุ์มีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้เพิ่มขึ้นแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่ได้ปลูกร่วมกับหญ้าข้าวเนก (ชุดควบคุม) (Figure 2) โดยเอนไซม์ PAL และ C4H ในข้าวที่ช่วงอายุ 10 และ 20 วันหลังปลูก มีกิจกรรมของเอนไซม์เกิดขึ้นสูงกว่าข้าวที่อายุ 30 วันหลังปลูก โดยที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะมีกิจกรรมของเอนไซม์สูงที่อายุข้าว 20 วันหลังจากปลูก ส่วนข้าวพันธุ์ปิ่นเกษตร ไชยเบอวีร์ เหลืองประทิว และเล็บนกจะพบกิจกรรมของเอนไซม์สูงที่ 10 วันหลัง

ปลูก ซึ่งช่วงอายุ 10-20 วันหลังจากปลูก เป็นช่วงที่ข้าวเริ่มเจริญเติบโต มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ C4H สูง มีการสร้างสารอัลลีโลเคมีคอล ปลดปล่อยออกมา มาก จะเป็นช่วงที่มีพืชนั้นมีผลทางอัลลีโลพาที่ต่อพืชรอบข้างได้ดี (Dekker and Meggitt, 1983) เมื่อเปรียบเทียบกับผลรวมกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ในข้าวแต่ละพันธุ์ที่ปลูกร่วมกับหญ้าข้าวนกจะเห็นได้ว่า ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และไรซ์เบอร์รี่ มีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้เพิ่มขึ้นสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ข้าวพันธุ์เล็บนก เหลืองประทิว และ ปิ่นเกษตร ซึ่งพันธุ์ข้าวเหล่านี้มีประสิทธิภาพทางอัลลีโลพาที่อย่างโดดเด่นในการยับยั้งและกระตุ้นการยืดยาวส่วนรากและลำต้นเหนือดินของหญ้าข้าวนก สารอัลลีโลเคมีคอลที่เกิดขึ้นจากพืชจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งก่อให้เกิดความไม่สมดุลของ phytohormones ต่างๆ ยับยั้งการเจริญเติบโตหรืออาจกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช สารอัลลีโลเคมีคอล พวก phenolic compounds สามารถกระตุ้นการทำงานของฮอร์โมนพืช เช่น IAA หรืออาจยับยั้งการทำงานของ IAA ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Yang et al., 2005) จากการศึกษาของ He et al. (2012) รายงานว่า สารอัลลีโลเคมีคอลที่ปลดปล่อยออกมาจากพืชเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการแสดงออกของ genes ที่ควบคุมการแสดงออกของ PAL, C4H, ferulic acid 5-hydroxylase (F5H) และ caffeic acid O-methyltransferase (COMT) ซึ่งพบกิจกรรมเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สาร phenolic compounds ในข้าวมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก ในขณะที่หญ้าข้าวนกสามารถชักนำให้เกิดการแสดงออกของ genes ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารพวก phenolic compounds

ในการเกิดอัลลีโลพาธีของข้าว ซึ่งสารอัลลีโลเคมีคอลที่ปลดปล่อยออกมาทางรากของข้าว ได้แก่ momilactone A และ B (Kato-Niguchi, 2013) 3-isopropyl-5-acetoxycyclohexene-2-one-1 และ 5,7,4'-trihydroxy-3',5'-dimethoxyflavone (Kong et al., 2004) *p*-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, syringic acid, *p*-coumaric acid และ caffeic acid (Seal et al., 2004) นอกจากนี้ Fang et al. (2013) ได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลพบทางของ PAL gene

มีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเกิดอัลลีโลพาธีของข้าวในกระบวนการสร้างและการปลดปล่อยสาร phenolics แสดงให้เห็นว่าการแสดงออกของ PAL gene ลดลง ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างสาร phenolics ลดลง ส่งผลให้ปริมาณของสาร phenolics ลดลง ซึ่งแสดงผลทำให้ประสิทธิภาพทางอัลลีโลพาธีของข้าวต่อหญ้าข้าวนกลดลง

จากการศึกษาผลทางอัลลีโลพาธีของข้าวต่อการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก ทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นในการเลือกใช้พันธุ์ข้าวไทย ได้แก่ พันธุ์ ปิ่นเกษตรและขาวดอกมะลิ 105 ที่แสดงผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกในสภาพเรือนทดลอง เพื่อนำมาปรับใช้ในแปลงข้าวที่มีการแพร่ระบาดของหญ้าข้าวนก ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งของทางเลือกที่ไม่ต้องใช้สารเคมีในการกำจัดหญ้าข้าวนกในนาข้าว โดยข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และปิ่นเกษตรนี้มีประสิทธิภาพทางอัลลีโลพาธียับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกได้ดี โดยการเจริญเติบโตของข้าวทั้งสองพันธุ์นี้ไม่ลดลง ในทางกลับกันการขึ้นแข่งขันกับหญ้าข้าวนกทำให้การเจริญเติบโตของข้าวทั้งสองพันธุ์นี้เพิ่มขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพของข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ C4H ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ข้าวมีการสังเคราะห์สารอัลลีโลเคมีคอลและปลดปล่อยออกมาทางรากเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้จากผลการทดลองไม่แนะนำให้เกษตรกรปลูกข้าวพันธุ์เล็บนกและเหลืองประทิว เนื่องจากข้าวทั้งสองพันธุ์นี้มีผลทางอัลลีโลพาธีในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก ซึ่งจะพบว่า ผลทางอัลลีโลพาธีในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกนี้ อาจมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ C4H ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับผลในการยับยั้ง เนื่องจากผลทางอัลลีโลพาธีของพืชชนิดหนึ่งที่ปลดปล่อยออกมาทางรากอาจมีผลยับยั้งหรือกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชบริเวณข้างเคียง ขึ้นอยู่กับว่าสารอัลลีโลเคมีคอลที่พืชชนิดนั้นปลดปล่อยออกมาคือสารชนิดใด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาชนิดของสารอัลลีโลเคมีคอลที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์ปิ่นเกษตร พันธุ์เล็บนก และพันธุ์เหลืองประทิว ปลดปล่อยออกมาต่อไป

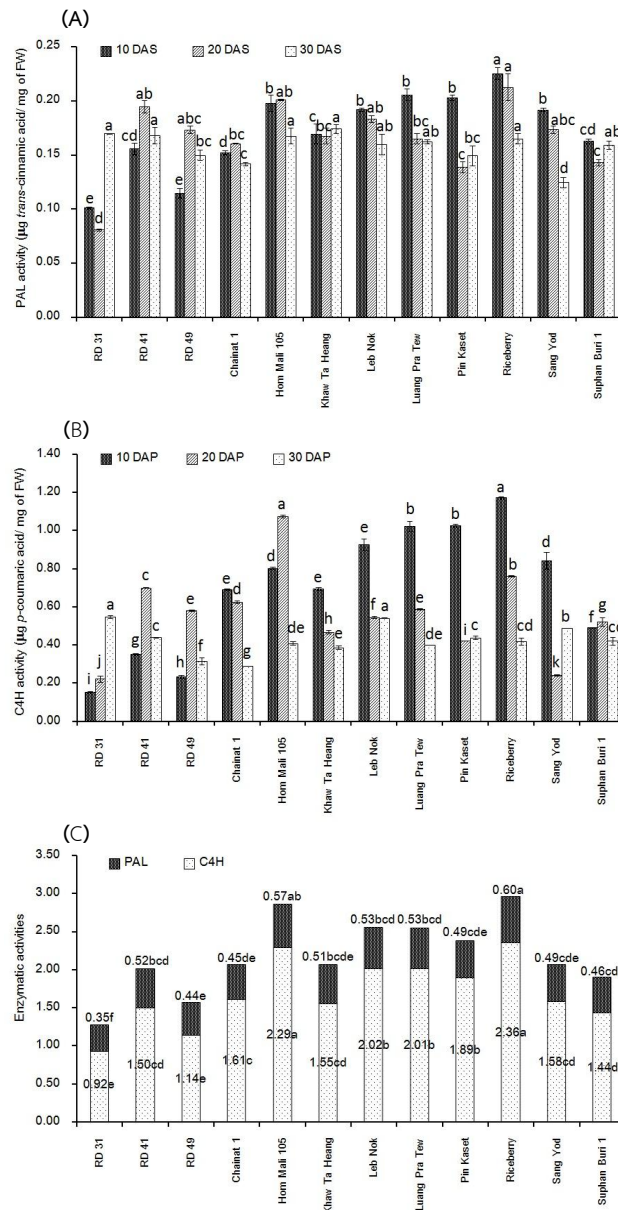


Figure 1 Enzyme activities of phenylalanine ammonia-lyase (A), cinnamate 4-hydroxylase (B) and summation of enzyme activities at 10, 20 and 30 days after planting in each rice variety (C).

สรุป

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ปิ่นเกษตร มีศักยภาพทางอัลลีโลพาธีในการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก ทำให้การยึดยารส่นรากและลำต้นเหนือดินของหญ้าข้าวนกลดลง โดยที่ข้าวทั้งสอง

พันธุ์นี้มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ C4H เพิ่มขึ้นเมื่อปลูกร่วมกับหญ้าข้าวนก ทำให้ข้าวทั้งสองพันธุ์นี้สามารถสร้างสารอัลลีโลพาธีปลดปล่อยออกมาทางรากมากขึ้น ซึ่งมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกอย่างเด่นชัด อาจสรุปประเด็นในแง่ของการกระตุ้นการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกด้วย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยพืชไร่ 2561 ซึ่งเป็นโครงการสนับสนุนและส่งเสริมการวิจัยของภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มอบทุนอุดหนุนสำหรับการทำงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ศานิต สวัสดิ์กาญจน์ และ สุวิทย์ เทียรทอง. 2551. แอลลีโลพาธีในพืชปลูกและวัชพืช. ว. วิทยาศาสตร์ประยุกต์. 7: 95-105.
- สถาบันวิจัยข้าว. 2555. วิศวกรรมกรรมการผลิตข้าวไทย. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 142 หน้า.
- Amini, R., M. An, J. Pratley, and S. Azimi. 2009. Allelopathic assessment of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) bioassays. *Allelopathy J.* 24: 67-76.
- Asghari, J., and S.Y. Musavi. 2002. Allelopathic effects of rice varieties on barnyardgrass and umbrella sedge. *Iranian J. Plant Dis.* 38: 133-143.
- Bate, N.J., J. Orrt, W. Nit, A. Meromit, T. Nadler-hassar, P.W. Doerner, R.A. Dixon, C.J. Lamb, and Y. Elkind. 1994. Quantitative relationship between phenylalanine ammonia-lyase levels and phenylpropanoid accumulation in transgenic tobacco identifies a rate determining step in natural product synthesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 91: 7608-7612.
- Chung, I.M., and J.K. Ahn. 2001. Assessment of allelopathic potential of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) on rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Crop Prot.* 20: 921-928.
- Dali, W., M. Ruixia, and L. Xiufen. 2000. A preliminary study on the allelopathic activity of rice germplasm. *Sci. Agric. Sin.* 33: 94-96.
- Dekker, J., and W.F. Meggitt. 1983. Interference between velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) and soybean (*Glycine max* (L.)Merr.) growth. *Weed Res.* 23: 91-101.
- Edward, R., and H. Kessmann. 1992. Isoflavonoid phytoalexins and their biosynthetic enzymes. pp. 45-62. In: S.J. Gurr, M.J. McPherson and D.J. Bowles (eds.). *Molecular Plant Pathology: A Practical Approach*. IRL Press, Oxford.
- Fang, C., Y. Zhuang, T. Xu, Y. Li, and W. Lin. 2013. Changes in rice allelopathy and rhizosphere microflora by inhibiting rice phenylalanine ammonia-lyase gene expression. *J. Chem. Ecol.* 39: 204-212.
- Fang, C.X., J. Xiong, L. Qiu, H.B. Wang, B.Q. Song, H.B. He, R.Y. Lin, and W.X. Lin. 2009. Analysis of gene expressions associated with increased allelopathy in rice (*Oryza sativa* L.) induced by exogenous salicylic acid. *Plant Growth Regul.* 57: 163-172.
- Farooq, M., K. Jabran, Z.A. Cheema, A. Wahid, and K.H.M. Siddique. 2011. The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Manag. Sci.* 67: 493-506.
- Ferrer, J.L., M.B. Austin, JR, C. Stewart, and J.P. Noel. 2008. Structure and function of enzymes involved in the biosynthesis of phenylpropanoids. *Plant Physiol. Biochem.* 46: 356-370.
- He, H.B., H.B. Wang, C.X. Fang, Z.H. Lin, Z.M. Yu, and W.X. Lin. 2012. Separation of allelopathy from resource competition using rice/barnyardgrass mixed-cultures. *PLoS ONE* 7: e37201.
- He, H.B., W.X. Lin, X.X. Chen, H.Q. He, J. Xiong, X.L. Jia, and Y.Y. Liang. 2004. The differential analysis on allelochemicals extracted from root exudates in different allelopathic rice accessions. Second European Allelopathy Symposium, 3-5 June, Pulawy, Poland.
- He, H.Q., W.X. Lin, Y.Y. Liang, B.Q. Song, Y.Q. Ke, Y.C. Guo, and K.J. Liang. 2005. Analyzing the molecular mechanism of crop allelopathy by using differential proteomics. *Acta Ecol Sin.* 25: 3141-3146.
- Kato-Noguchi, H. 2011. Barnyard grass-induced rice allelopathy and momolactone B. *J. Plant Physiol.* 168: 1016-1020.
- Kato-Noguchi, H., and O. Katsumi. 2013. Biological activities of rice allelochemicals momolactone A and B. *J. Rice Res.* 1: 108.
- Kato-Noguchi, H., and T. Ino. 2001. Assessment of allelopathic potential of root exudates of rice seedlings. *Biologia Plant.* 44: 635-638.
- Kim, S.Y., A.V. Madrid, S.T. Park, S.J. Yang, and M. Olofsdotter. 2005. Evaluation of rice allelopathy in hydroponics. *Weed Res.* 45: 74-79.
- Kong, C., W. Liang, X. Xu, and F. Hu. 2004. Release and activity of allelochemicals from allelopathic rice seedlings. *J. Agri. Food Chem.* 52: 2861-2865.

- Lamb, C., and P.H. Rubery. 1975. A spectrophotometric assay for *trans*-cinnamic acid 4-hydroxylase activity. *Anal. Biochem.* 68: 554-561.
- Li, H.H., M. Urashima, M. Amamo, L. Lajide, H. Nishimura, H. Koji, and J. Mizutani. 1992. Allelopathy of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L. Beauv var *crus-galli*). *Weed Res Japan.* 37: 146-152.
- Maclea, J.L., D.C. Dawe, B. Hardy, and G.P. Hettel. 2002. *Rice Almanac*. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, Bouaké (Cote d'Ivoire): West Africa Rice Development Association, Cali (Colombia): International Center for Tropical Agriculture. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Oerke, E.C., and H.W. Dehne. 2004. Safeguarding production-losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Prot.* 23: 275-285.
- Rao, A.N., D.E. Johnson, B. Sivaprasad, J.K. Ladha, and A.M. Mortimer. 2007. Weed management in direct seeded rice. *Advan. Agron.* 93: 153-255.
- Seal, A.N., T. Haig, and J.E. Pratley. 2004. Evaluation of putative allelochemicals in rice roots exudates for their role in the suppression of arrowhead root growth. *J. Chem. Ecol.* 30: 1663-1678.
- Sunil, C.M., B.G. Shekara, K.N. Kalyanmurthy, and B.C. Shankaralingapa. 2010. Growth and yield of aerobic rice as influenced by integrated weed management practices. *Indian J. Weed Sci.* 42: 180-183.
- Xuan, T.D., I.M. Chung, T.D. Khanh, and S. Tawata. 2006. Identification of phytotoxic substances from early growth of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) root exudates. *J. Chem. Ecol.* 32: 895-906.
- Yamamoto, T., K.Y. Tomita, S. Kosemura, S. Yakamura, K. Yamada, and K. Hasegawa. 1999. Allelopathic substance exuded from a serious weed, germinating barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) root. *J Plant Growth Regul.* 18: 65-67.
- Yang, Q.H., W.H. Ye, F.L. Liao, and X.J. Yin. 2005. Effects of allelochemicals on seed germination. *Chin. J. Ecol.* 24: 1459-1465.