

การศึกษาอัตราการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีนจากโครงสร้างผ้าคลุมมรมยา polyvinyl chloride (PVC)
ที่มีความหนาต่างกัน

A study of phosphine leakage from polyvinyl chloride (PVC) sheet enclosures at different thicknesses

ธีรเดช เดชทองจันทร์¹ วัชรพล ชยประเสริฐ¹ และ เอนก สุขเจริญ²

Teeradach Dachtongjun¹, Watcharapol Chayaprasert¹ and Anak Sukcharoen²

Abstract

Laboratory studies have shown that permeation of phosphine through polyvinyl chloride (PVC) sheet is inversely proportional to the thickness of PVC sheet. However, PVC sheet enclosures cannot be completely sealed and thus the leakage rate of fumigant gas during an actual fumigation job also depends on sealing quality and prevailing weather. The objective of this study was to compare the leakage rates of phosphine under PVC sheet enclosures of different thicknesses based on pilot-scale fumigations. The fumigations were performed in 1 m³ enclosures located in a well ventilated area. The PVC sheets used were 0.05, 0.1 and 0.2 mm thick. The exposure time was 7 days. In order to ensure that the three enclosures had relatively the same air-tightness, pressurization tests were conducted before each fumigation. Six 7-day fumigations were conducted. In each fumigation, The pressure half-lives (PHL) of all three enclosures differed less than 19 s. In general, given the same thickness the half-loss time (HLT) of the enclosure increased as the PHL increased. When PHLs were relatively close, the HLTs of all three enclosures were slightly different. This study showed that in practice gas leakage rates from fumigation enclosures made of PVC sheets with 0.05, 0.1 and 0.2 mm thicknesses were not greatly different and that leakage rates are considerably affected by sealing quality.

Keywords: Fumigation, air-tightness, half-loss time

บทคัดย่อ

การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการได้แสดงให้เห็นว่าอัตราการซึมผ่าน (diffusion) ของก๊าซฟอสฟีนผ่านผ้าคลุมมรมยา polyvinyl chloride (PVC) มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความหนาของผ้าคลุม อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติโครงสร้างการมรมยาที่สร้างจากผ้าคลุม PVC ไม่สามารถถูกสร้างให้มีการซีลได้ 100% ดังนั้นอัตราการรั่วไหลของก๊าซในระหว่างการมรมยาจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพการซีล (sealing quality) ของโครงสร้างการมรมยาและสภาวะอากาศในระหว่างการมรมยา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีนจากโครงสร้างผ้าคลุม PVC ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่คล้ายกับการมรมยาในทางปฏิบัติ โครงสร้างการมรมยาสร้างจากผ้าคลุม PVC ให้มีปริมาตร 1 m³ และตั้งอยู่ในอาคารกึ่งเปิดมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ใช้ผ้าคลุม PVC ที่ความหนา 0.05, 0.1 และ 0.2 mm ทำการทดสอบความดัน (pressurization test) ก่อนการมรมยาทุกครั้งเพื่อปรับให้ความมิดชิด (air-tightness) ของโครงสร้างผ้าคลุมทั้ง 3 ความหนามีค่าใกล้เคียงกัน ทำการทดลองมรมยา 6 ครั้งโดยแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 7 วัน ในแต่ละการมรมยาค่า pressure half-life (PHL) ของโครงสร้างการมรมยาของผ้าคลุมทั้ง 3 ความหนามีค่าแตกต่างกันสูงสุดไม่เกิน 19 s แนวโน้มโดยทั่วไปของผลการทดลองคือที่ผ้าคลุมความหนาเดียวกันค่า half-loss time (HLT) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ PHL มีค่าเพิ่มขึ้น และที่ระดับ PHL ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าคลุมความหนาแตกต่างกันค่า HLT มีแนวโน้มแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าในรูปแบบการมรมยาเชิงปฏิบัติผ้าคลุมมรมยาที่มีความหนา 0.05, 0.1 และ 0.2 mm มีความสามารถในการเก็บกักก๊าซฟอสฟีนได้ใกล้เคียงกันและปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีนระหว่างการมรมยา คือคุณภาพการซีลของโครงสร้างการมรมยา

คำสำคัญ: การมรมยา ความมิดชิด เวลาที่ความเข้มข้นก๊าซลดลงครึ่งหนึ่ง

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University – Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

² ฝ่ายเครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

² National Agricultural Machinery Section, Research and Development Institute at Kamphaengsaen, Kasetsart University – Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

คำนำ

รูปแบบการรมยา (fumigation) ด้วยก๊าซฟอสฟีน (phosphine) ลักษณะหนึ่งที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายคือ การรมธัญพืช ซึ่งถูกคลุมด้วยผ้าคลุมรมยา polyvinyl chloride (PVC) โดยใช้อลูมิเนียมฟอสไฟด์ (aluminium phosphide) เป็นต้นกำเนิด ก๊าซฟอสฟีน การรมยาด้วยก๊าซฟอสฟีนใช้เวลา 7 – 14 วัน ซึ่งในช่วงระยะเวลานี้ค่าความเข้มข้นของฟอสฟีนจะต้องไม่ต่ำกว่า 200 part per million (ppm) (Annis, 2001) การสูญเสียความเข้มข้นของก๊าซในระหว่างการรมยาเกิดจาก 2 สาเหตุหลักคือ การดูดซับ (absorption) ของเมล็ดธัญพืชและการสูญเสียโมเลกุลของก๊าซจากภายในโครงสร้างการรมออกสู่ภายนอก การสูญเสียก๊าซฟอสฟีนออกสู่ภายนอกโครงสร้างการรมนี้เกิดจากกลไกหลัก 2 กลไกคือ 1) การรั่วไหล (leakage) ผ่านช่องเปิดต่างๆ (air gap) ซึ่งเกิดจากการซีล (sealing) ที่ไม่สนิท และ 2) การซึมของก๊าซทะลุผ่านผ้าคลุมรมยา (diffusion) การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการได้แสดงให้เห็นว่าอัตราการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีนผ่านผ้าคลุม PVC มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความหนาของผ้าคลุม (Kashi et al., 1977) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติโครงสร้างการรมที่สร้างจากผ้าคลุม PVC ไม่สามารถถูกสร้างให้มีการซีลได้ 100% ดังนั้นอัตราการรั่วไหลของก๊าซในระหว่างการรมยังขึ้นอยู่กับคุณภาพการซีล (sealing quality) ของโครงสร้างการรมและสภาวะอากาศในระหว่างการรมยา ในโครงสร้างการรมที่มีคุณภาพการซีลต่ำก๊าซสามารถรั่วไหลผ่านช่องเปิดต่างๆ ซึ่งเกิดจากการซีลที่ไม่สนิทได้ในอัตราสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีนจากโครงสร้างผ้าคลุม PVC ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่คล้ายกับการรมยาในทางปฏิบัติ

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการเปรียบเทียบอัตราการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีนจากโครงสร้างการรมว่างเปล่าที่สร้างจากผ้าคลุมที่มีความหนา 0.05, 0.1 และ 0.2 mm โดยทำการทดลองรมยา 2 การทดลอง ในการทดลองที่ 1 โครงสร้างการรมที่ใช้สร้างจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ซึ่งประกอบเป็นโครงลูกบาศก์ขนาดประมาณ 1 m³ ใช้ผ้าคลุมรมยาขนาด 1 m² จำนวน 6 แผ่นปิดแต่ละด้านของโครงลูกบาศก์และเชื่อมขอบของผ้าคลุมเข้าด้วยกันด้วยเทปกระดาษกาวหน้ากว้าง 47 mm ในการทดลองที่ 2 ใช้โครงลูกบาศก์ (1 m³) ที่สร้างจากไม้ขนาดหน้าตัดประมาณ 1×3 cm² ใช้ผ้าคลุมรมยาขนาด 1 m² จำนวน 6 แผ่นปิดแต่ละด้านของโครงลูกบาศก์ แต่ในการทดลองที่ 2 นี้ขอบของผ้าคลุมถูกเชื่อมเข้ากับโครงไม้ด้วยเทปกระดาษกาวภายในโครงสร้างการรมวางด้วยน้ำสำหรับใส่เมล็ดธัญพืชเพื่อให้อลูมิเนียมฟอสไฟด์ทำปฏิกิริยากับน้ำจนสมบูรณ์และปล่อยก๊าซฟอสฟีนออกมาให้เร็วที่สุด ในแต่ละการทดลองทำการรมยา 3 ครั้งโดยตั้งโครงสร้างการรมภายในอาคารกึ่งเปิดมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ในแต่ละการรมยาใช้อลูมิเนียมฟอสไฟด์ 1 เม็ด (3 g) ต่อโครงสร้างการรม ทำการรมยาเป็นเวลาประมาณ 7 วัน บันทึกความเข้มข้นของก๊าซฟอสฟีนอย่างน้อยวันละ 2 ครั้งด้วยเครื่อง Phosphine Monitor Uniphos-250PM (United Phosphorus Ltd., Mumbai, India)

ก่อนทำการรมยาแต่ละครั้งความมิดชิด (air-tightness) ของโครงสร้างการรมของผ้าคลุมทั้ง 3 ความหนาถูกปรับให้มีค่าใกล้เคียงกันโดยใช้การทดสอบความดัน ในการทดลองที่ 1 ใช้ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ดูดอากาศภายในโครงสร้างการรมจนกระทั่งความดันภายในโครงสร้างการรมมีค่าต่ำกว่า -30 Pa เล็กน้อย จากนั้นทำการหยุดปั๊มสุญญากาศและปล่อยให้ความดันภายในโครงสร้างการรมกลับสู่สภาวะบรรยากาศ ระยะเวลาที่ความดันเพิ่มขึ้นจาก -30 Pa ถึง -15 Pa (pressure half-life – PHL) ถูกใช้เป็นดัชนีที่บอกถึงความมิดชิดของโครงสร้างการรม จากนั้นใช้เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm เจาะบริเวณขอบของผ้าคลุมของโครงสร้างการรมที่มี PHL สูงที่สุด 2 โครงสร้างเพื่อปรับให้ PHL ลดลงและทำการทดสอบความดันซ้ำจนกระทั่ง PHL ของโครงสร้างการรมของผ้าคลุมทั้ง 3 ความหนามีค่าใกล้เคียงกัน การทดสอบความดันในการทดลองที่ 2 ใช้วิธีอัดอากาศเข้าสู่โครงสร้างการรมจนกระทั่งความดันภายในมีค่าสูงกว่า 100 Pa เล็กน้อย ระยะเวลาที่ความดันลดลงจาก 100 Pa ถึง 50 Pa ถูกใช้เป็นดัชนีที่บอกถึงความมิดชิดของโครงสร้างการรม การวัดค่าความดันใช้เครื่อง Climomaster Model 6531 (Kanomax, Japan Inc.)

การคำนวณอัตราการสูญเสียก๊าซทำได้โดยคำนวณค่า half-loss time หรือ HLT (Cryer and Barnekow, 2006; Chayaprasert et al., 2008) ซึ่งก็คือ ค่าระยะเวลาที่ความเข้มข้นของก๊าซลดลงครึ่งหนึ่ง โดยสามารถคำนวณได้โดยการถดถอย (fit curve) ข้อมูลความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองด้วยสมการที่ 1

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2^{\frac{t}{HLT}}} \quad (1)$$

โดยที่ C คือ ความเข้มข้นของก๊าซ (ppm) ที่เวลา t ใดๆ และ C₀ คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm) ตัวแปรเวลา t และค่า HLT มีหน่วยเป็นชั่วโมง (h)

ผล

เส้นโค้งการลดลงของความเข้มข้น (concentration decay curve) ของก๊าซฟอสฟีนในระหว่างการรมยาครั้งที่ 1 ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ถูกแสดงอยู่ใน Figure 1 (left) และ Figure 1 (right) ตามลำดับ เส้นโค้งการลดลงของความเข้มข้นจากการรมยาครั้งอื่นๆ ไม่ได้ถูกแสดงไว้เนื่องจากมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นโค้งที่ได้จากการรมยาครั้งที่ 1 เมื่อทำการถดถอย (curve fitting) เส้นการลดลงของความเข้มข้นแต่ละเส้นด้วยสมการที่ 1 ค่า coefficient of determination (R^2) ที่ได้จากการรมยาในทั้ง 2 การทดลองมีค่าสูงกว่า 0.957 ค่า PHL และ HLT ของโครงสร้างการรมของผ้าคลุมทั้ง 3 ความหนาที่ได้จากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ถูกสรุปอยู่ใน Table 1 และ Table 2 ตามลำดับ ในแต่ละการรมยา ค่า PHL ของโครงสร้างการรมของผ้าคลุมทั้ง 3 ความหนามีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 11 s ยกเว้นในการรมยาที่ 2 ของการทดลองที่ 2 ซึ่งค่า PHL มีค่าแตกต่างสูงสุดเท่ากับ 19 s แนวโน้มโดยทั่วไปของผลการทดลองคือ ที่ผ้าคลุมความหนาเดียวกันค่า HLT มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ PHL มีค่าเพิ่มขึ้น เช่น ในการทดลองที่ 2 ที่ผ้าคลุมความหนา 0.05 mm ค่า HLT เพิ่มขึ้นจาก 120 h เป็น 138 h เมื่อ PHL เพิ่มขึ้นจาก 144 s เป็น 388 s นอกจากนี้ที่ระดับ PHL ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าคลุมความหนาแตกต่างกัน ค่า HLT มีแนวโน้มแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

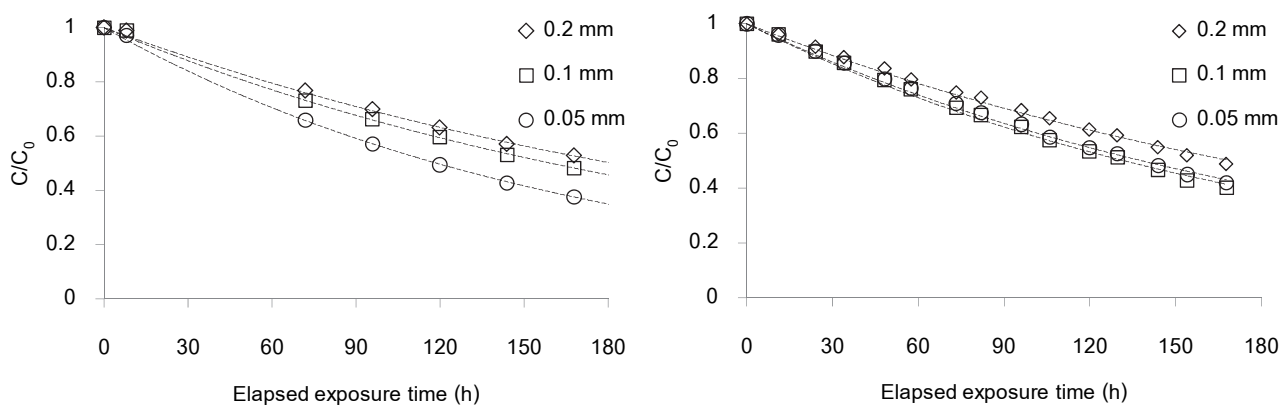


Figure 1 Examples of phosphine concentration readings from Experiment 1 (left) and Experiment 2 (right).

Table 1 Summary of the pressure half-lives (PHL) and half-loss times (HLT) of the fumigation enclosures in Experiment 1.

Rep	0.05 mm		0.1 mm		0.2 mm	
	PHL (s)	HLT (h)	PHL (s)	HLT (h)	PHL (s)	HLT (h)
1	168	83	170	84	170	74
2	215	159	211	224	213	189
3	275	119	278	160	277	181

Table 2 Summary of the pressure half-lives (PHL) and half-loss times (HLT) of the fumigation enclosures in Experiment 2.

Rep	0.05 mm		0.1 mm		0.2 mm	
	PHL (s)	HLT (h)	PHL (s)	HLT (h)	PHL (s)	HLT (h)
1	144	120	149	113	148	101
2	248	127	269	120	257	141
3	388	138	380	132	391	169

วิจารณ์ผล

แนวโน้มโดยทั่วไปค่า HLT มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ PHL มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามความคาดหมาย แต่จะเห็นได้ว่าผลของการทดลองที่ 1 มีความแปรปรวนมากกว่าผลของการทดลองที่ 2 ค่า HLT ของโครงสร้างผ้าคลุมทุกความหนาในการรมยาครั้งที่ 3 ของการทดลองที่ 1 มีค่าลดลงจากค่า HLT ในการรมยาครั้งที่ 2 ของการทดลองที่ 1 การลดลงของ HLT ที่สวนทางกับการเพิ่มขึ้นของ PHL นี้ไม่สามารถระบุสาเหตุที่ชัดเจนได้แต่คาดว่าเกิดการความแตกต่างกันของสภาวะอากาศในระหว่างการรมยา นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนในการวัดค่าความดันเนื่องจากโครงสร้างการรมในการทดลองที่ 1 ไม่สามารถทนต่อแรงกระทำที่เกิดจากผลต่างความดันในระดับสูงได้และเครื่อง Climomaster Model 6531 ไม่สามารถวัดค่าความดันในช่วงการวัดต่ำ (0 – -30 Pa) ได้ละเอียดมากนัก เมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างการรมให้สามารถทนต่อแรงกระทำที่เกิดจากผลต่างความดันในระดับสูงขึ้นในการทดลองที่ 2 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ HLT มีความชัดเจนมากขึ้น

Kashi et al. (1977) ทำการทดลองวัดความสามารถในการให้ฟอสฟีนซึมผ่าน (permeability) ของแผ่นวัสดุต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะมีลักษณะเป็นฝาสร้างจากสแตนเลส (stainless steel) ซึ่งมีหลุมทรงกระบอก 2 ฝาประกบเข้าด้วยกันมีปริมาตรภายในรวม 216 ml ที่ระหว่างรอยประกบซึ่งแผ่นวัสดุที่ต้องการทดสอบ ทำการฉีดก๊าซฟอสฟีนเข้าในปริมาตรของฝาข้างหนึ่งและบันทึกข้อมูลความเข้มข้นก๊าซภายในปริมาตรของฝาอีกข้างหนึ่ง นักวิจัยกลุ่มนี้พบว่า permeability ของแผ่น PVC ที่ความหนา 0.16 mm มีค่าเท่ากับ $314 (\pm 129 \text{ s.e.}) \mu\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$ และที่ความหนา 0.23 mm มีค่าเท่ากับ $277 (\pm 146 \text{ s.e.}) \mu\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$ จะเห็นได้ว่าก๊าซฟอสฟีนสามารถซึมผ่านแผ่น PVC ที่ความหนา 0.16 mm ได้ดีกว่าที่ความหนา 0.23 mm เล็กน้อย อย่างไรก็ตามนอกจากกระบวนการซึมผ่านแล้วการสูญเสียก๊าซในโครงสร้างการรมออกสู่ภายนอกยังเป็นผลมาจากการที่อากาศจากภายนอกเข้าแทนที่ก๊าซภายในโครงสร้างการรม (infiltration) ซึ่งอากาศจากภายนอกสามารถรั่วไหลเข้าสู่โครงสร้างการรมผ่านช่องเปิดต่างๆ ซึ่งเกิดจากการซีลที่ไม่สนิท (Chayaprasert et al., 2008)

จากผลการทดลองใน Table 2 เมื่อโครงสร้างผ้าคลุมทั้ง 3 ความหนามี PHL ใกล้เคียงกันอัตราการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีน (HLT) มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักซึ่งแสดงถึงผลของ infiltration ที่มีอิทธิพลมากกว่าการซึมผ่าน เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง HLT ของโครงสร้างผ้าคลุม 0.05 mm ในการรมยาที่ 3 (HLT = 138 h) กับ HLT ของโครงสร้างผ้าคลุม 0.2 mm ในการรมยาที่ 1 (HLT = 101 h) จะเห็นได้ว่าโครงสร้างผ้าคลุมที่มีความหนาน้อยกว่าสามารถชะลอการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีนได้ดีกว่าโครงสร้างผ้าคลุมที่มีความหนามากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพการซีลเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการรั่วไหลของก๊าซ

สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าในรูปแบบการรมยาเชิงปฏิบัติผ้าคลุมรมยาที่มีความหนา 0.05, 0.1 และ 0.2 mm มีความสามารถในการเก็บกักก๊าซฟอสฟีนได้ใกล้เคียงกันและปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่ออัตราการรั่วไหลของก๊าซฟอสฟีนระหว่างการรมยาคือคุณภาพการซีลของโครงสร้างการรม

คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำงานและนำเสนอผลงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Annis, P.C. 2001. Phosphine dosage regimes required for high mortality a data-base approach. In: E.J. Donahaye, S. Navarro and J.G. Leesch (eds.). *Proceedings of an International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products*, Fresno, CA, Executive Printing Services, Clovis, CA, pp. 45-55.
- Chayaprasert, W., D.E. Maier, K.E. Ileleji and J.Y. Murthy. 2008. Development and validation of Computational Fluid Dynamics models for precision structural fumigation. *Journal of Stored Products Research* 44: 11-20.
- Cryer, S.A. and D.E. Barnekow. 2006. Estimating outside air concentrations surrounding fumigated grain mills. *Biosystems Engineering* 94: 557-572.
- Kashi, K.P., M. Muthu and S.K. Majumder. 1977. Rapid evaluation of phosphine permeability through various flexible films and coated fabrics. *Pesticide Science* 8: 492-496.