Agricultural Sci. J. 43 : 3 (Suppl.) : 179-182 (2012) ว. วิทย. กษ. 43 : 3 (พิเศษ) : 179-182 (2555)

การออกแบบและสร้างเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับซังข้าวโพด
Design and Fabrication of a Pyrolysis Reactor for Corn Cobs

ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย[1,2] นำพร ปัญโญใหญ่[1,2] และ เสมอขวัญ ตันติกุล[1,2]
Thanasit Wongsiriamnuay[1,2], Numpon Punyoyai[1,2] and Samerkhwan Tantikul[1,2]

Abstract

This research aims to study the optimum condition for bio-oil production from corn cobs in pyrolysis process. Two sizes of the fixed bed reactors were tested: a laboratory scale and a prototype reactor having an internal diameter of 10 and 40 cm and height of 20 and 100 cm, respectively. Nitrogen, the inert gas, was used as a medium for transporting the volatile from the reactors to condense in the condenser. The pyrolysis temperatures of 450, 500, 550 and 600 ^{o}C with heating rates of 20 and 40^{o}C/min and the constant flow rate of 100 cm^{3}/min of nitrogen in a lab scale reactor were investigated. The results indicated that the optimum condition for pyrolysis of corn cobs was obtained at a temperature of 550^{o}C with the heating rate of 20^{o}C/min. Liquid, char and gas products of pyrolysis from corn cobs obtained from the prototype reactor were 36.71, 35.71 and 28.07 %wt, respectively.

Keywords: pyrolysis, corn cobs, bio-oil

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากซังข้าวโพดด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยทดสอบในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง 2 ขนาดคือ เตาปฏิกรณ์ในห้องปฏิบัติการและเตาต้นแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 และ 40 cm. สูง 20 และ 100 cm. ตามลำดับ ในการทดสอบใช้ก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา เพื่อพาไอระเหยไปควบแน่นเป็นของเหลว โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในชุดทดสอบในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 450, 500, 550 และ 600^{o}C และอัตราการให้ความร้อน 20 และ 40^{o}C/min โดยมีอัตราการไหลของไนโตรเจนคงที่ที่ 100 cm^{3}/min เมื่อพิจารณาปริมาณของเหลวสูงสุดที่ควบแน่นได้ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิสซังข้าวโพดคืออุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 550^{o}C ที่อัตราการให้ความร้อน 20 ^{o}C/min จากนั้นได้ทดสอบการไพโรไลซิลซังข้าวโพด ในเตาปฏิกรณ์ต้นแบบในสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้น ได้ปริมาณของเหลว ถ่านและก๊าซ 36.71, 35.71 และ 28.07 %wt ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไพโรไลซิส ซังข้าวโพด น้ำมันชีวภาพ

คำนำ

พลังงานเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต ในปี 2554 ประเทศต้องนำเข้าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบประมาณ 1 ล้านบาร์เรลต่อวัน จากการใช้พลังงานภายในประเทศที่เทียบเท่าน้ำมันดิบ 1.8 ล้านบาร์เรลต่อวัน (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน, 2554) จะเห็นได้ว่าในประเทศไทยไม่มีพลังงานเพียงพอต่อการใช้ในประเทศ จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยพลังงานที่นำเข้าส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ ซึ่งราคามีแนวโน้มที่สูงขึ้นถึงแม้ว่าราคาลดลงในบางระยะเวลาก็ตาม ทั้งนี้เพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานและป้องกันการขาดแคลน จึงมีการใช้พลังงานทดแทนพิ่มขึ้นภายในประเทศซึ่งนับเป็นแนวทางหนึ่งของการพึ่งพาตนเอง นอกจากนี้จะสามารถลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ พลังงานทดแทนยังมีความโดดเด่นในด้านต่างๆ เช่น เป็นพลังงานสะอาดที่ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อปัญหาก๊าซเรือนกระจกและสร้างปัญหาโลกร้อน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

[1] คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[1] Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiangmai 50290
[2] ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม 10400
[2] Postharvest Technology Innovation Center, Commission of Higher Education, Bangkok 10400 Thailand

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกพืชอาหาร เช่น ข้าว ถั่ว ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย เป็นต้นเป็นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ในปี 2552 มีผลผลิตประมาณ 4.6 ล้านตัน โดยผลผลิตส่วนใหญ่จะอยู่ที่ภาคเหนือ ประมาณ 2.9 ล้านตัน สำหรับจังหวัดเชียงใหม่มีผลผลิตประมาณ 8.1 หมื่นตัน (สถิติการเกษตรของประเทศไทย, 2552) ทำให้มีซังข้าวโพดเหลือทิ้งจากการเกษตรที่เกิดขึ้นทุกปี ซังข้าวโพดเป็นชีวมวลที่มาจากพืชที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งซังข้าวโพดมีปริมาณออกซิเจนใกล้เคียงกับคาร์บอน เมื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซังข้าวโพดจะเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่า เนื่องจากจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวลสามารถผลิตด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ที่เป็นกระบวนการสลายตัวของของแข็งให้เป็นของเหลวเป็นส่วนใหญ่ ที่เหลือจะเป็นแก๊สและถ่าน เชื้อเพลิงเหลวที่ได้สามารถจัดเก็บและขนส่งได้สะดวกและมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการขนส่งชีวมวล (Bridgwater, 2012)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดผลิตเชื้อเพลิงเหลวต้นแบบที่เป็นเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นวัสดุทดสอบ และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการไพโรไลซิสในชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมมาทดสอบกับชุดต้นแบบ

อุปกรณ์และวิธีการ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการไพโรไลซิสซังข้าวโพดในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง 2 ขนาด คือ เตาขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (Figure 1) และเตาต้นแบบ (Figure 2) การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการไพโรไลซิสซังข้าวโพดโดยพิจารณาจากปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ได้ในชุดควบแน่น โดยทำการทดสอบในชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการที่ประกอบด้วยเตาระดับห้องปฏิบัติการ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 cm. สูง 20 cm. ที่มีขดลวดไฟฟ้าขนาด 3 kW เป็นแหล่งให้ความร้อน ในการทดสอบแต่ละครั้งจะใช้ซังข้าวโพดจำนวน 10 g ตัวแปรต้นคืออุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ 450, 500, 550 และ 600°C และอัตราการให้ความร้อน 20 และ 40 °C/min โดยควบคุมอัตราการไหลของไนโตรเจนคงที่ 100 cm^3/min

เมื่อได้สภาวะที่ได้ของเหลวสูงสุดจากชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการแล้ว จากนั้นนำมาทดสอบในชุดทดสอบต้นแบบประกอบไปด้วยเตาต้นแบบ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 cm. สูง 100 cm. สามารถบรรจุซังข้าวโพดได้ครั้งละ 15 kg ใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) เป็นแหล่งให้ความร้อน ใช้ไนโตรเจนเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา และมีชุดควบแน่นเพื่อควบแน่นไอระเหยให้เป็นของเหลว

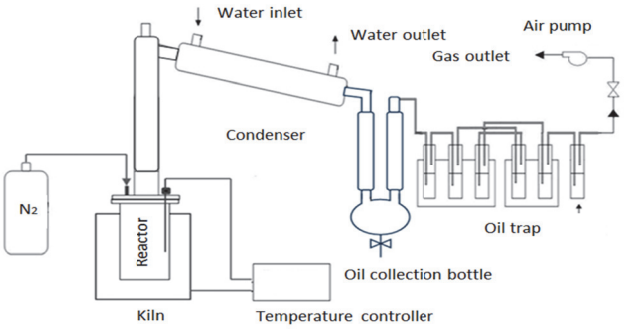

Figure 1 A lab scale experimental set up

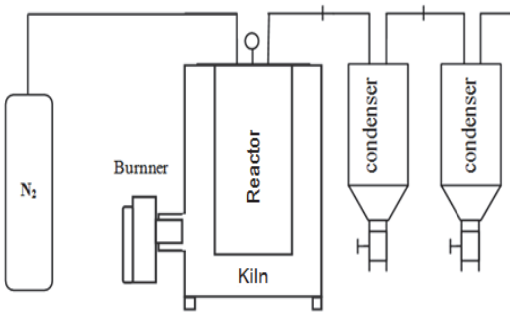

Figure 2 A prototype set up

ผล

ผลการศึกษาการไพโรไลซิสซังข้าวโพดในชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ ได้สภาวะที่ได้ปริมาณของเหลวสูงสุด 49.6 %wt. ที่อุณหภูมิ 550°C และอัตราการให้ความร้อน 20°C/min ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ก๊าซและถ่าน 23.8 และ 26.6 %wt. ตามลำดับ (Figure 3)

ปริมาณของเหลวที่อัตราการให้ความร้อน 40 °C/min สูงกว่าที่ 20 °C/min เมื่ออุณหภูมิในเตาปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นปริมาณของเหลวไม่แสดงผลแตกต่างมากนักเมื่อ (Figure 4)

ปริมาณก๊าซมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันกับของเหลวที่ได้ ปริมาณก๊าซโดยเฉลี่ยที่ได้จากอัตราการให้ความร้อน 40 °C/min จะสูงกว่าปริมาณก๊าซที่ได้จากอัตราการให้ความร้อน 20 °C/min และปริมาณก๊าซที่ได้จากอัตราการให้ความร้อน 40 °C/min จะไม่แตกต่างกันเมื่ออุณหภูมิเตาปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้น

ถ่านมีปริมาณลดลงเมื่ออุณหภูมิและอัตราการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ที่อัตราการให้ความร้อน 20°C/min ถ่านมีปริมาณลดลงประมาณ 15% แต่ที่อัตราการให้ความร้อน 40°C/min เปลี่ยนแปลงประมาณ 1-2 % ที่อัตราการให้ความร้อนสูง ถ่านมีปริมาณต่ำกว่า 25%wt เมื่อเทียบกับที่อัตราการให้ความร้อนต่ำที่มีปริมาณอยู่ในช่วง 25.7-40.6%wt (Figure 4 และ Figure 5)

การไพโรไลซิสในชุดทดสอบต้นแบบ ที่อุณหภูมิ 550°C และอัตราการให้ความร้อน 20°C/min ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณของเหลว ก๊าซและถ่านโดยเฉลี่ยเท่ากับ 36.7 28.0 และ 35.2%wt. ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ของเหลวมีปริมาณต่ำกว่าเมื่อเทียบกับชุดทดสอบห้องปฏิบัติการ 12%wt. ส่วนถ่านและก๊าซที่ได้จากชุดต้นแบบมีปริมาณมากกว่า 8%wt. และ 5%wt. ตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ (Figure 6)

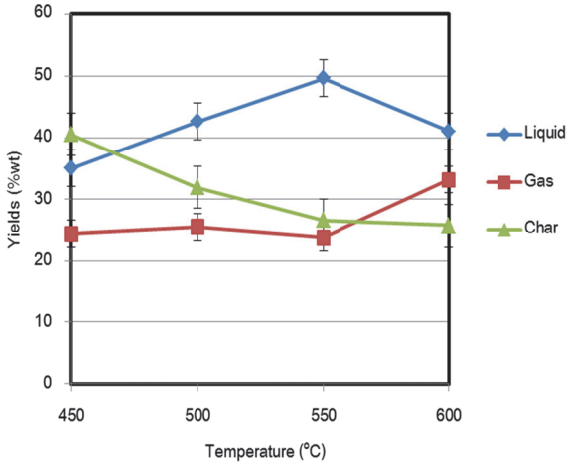

Figure 3 Effect of temperature on product yields at 20°C//min heating rate

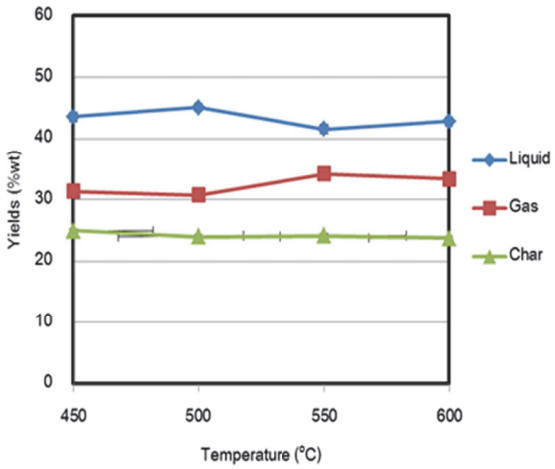

Figure 4 Effect of temperature on product yields at 40°C/min heating rate

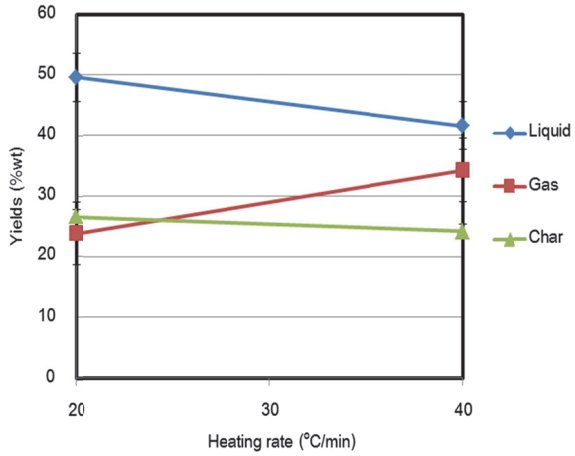

Figure 5 Effect of heating rate on product yields at 550°C

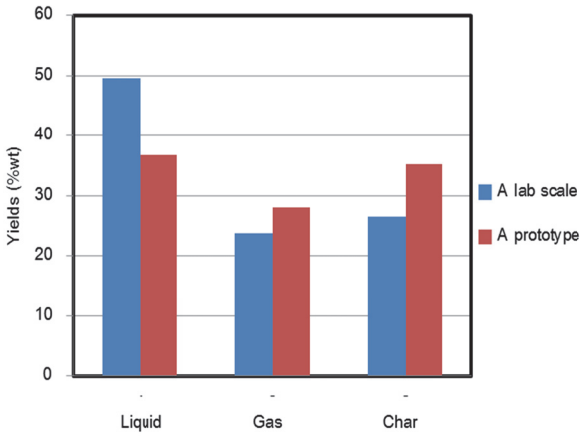

Figure 6 Comparison of product yields between a lab scale and a prototype

วิจารณ์ผล

เมื่อซังข้าวโพดได้รับความร้อนตามกระบวนการไพโรไลซิส จะเกิดสลายตัวแบ่งได้เป็นสองขั้นตอน ขั้นแรกซังข้าวโพดจะสลายตัวเป็นสารระเหยที่ควบแน่นได้น้ำมันและน้ำ ที่เหลือเป็นแก๊สและถ่าน หากเพิ่มอุณหภูมิสูงไปอีกจะทำให้เกิดการสลายตัวขั้นที่สอง ทำให้สารระเหยที่ควบแน่นได้และถ่านสลายตัวและเกิดปฏิกริยา เช่น reforming cracking oxidation dehydration polymerization gasification water-gas shift ทำให้ก๊าซมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนถ่านและของเหลวมีปริมาณลดลง (Neves *et al*., 2011) ดังนั้นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ได้น้ำมันเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจากนั้นจะลดลง ถ่านจะมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนก๊าซมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Cao *et al*., 2004; Ates and Isıkdag, 2009)

ซังข้าวโพดประกอบไปด้วย เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสประมาณ 68%wt. ลิกนิน 3%wt. (Mullen *et al*., 2010) การสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส ในกระบวนการไพโรไลซิสผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำมันเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ซังข้าวโพดได้ปริมาณน้ำมันมากกว่าก๊าซและถ่าน (Wang *et al*., 2011)

ที่อัตราการให้ความร้อนสูง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนถ่านจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากการสลายตัวของโครงสร้างโมเลกุลจากของแข็งเป็นสารระเหยอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง และทำให้ก๊าซมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนี้สนับสนันงานของ Demiral *et al*. (2012)

เตาต้นแบบจะได้ปริมาณของเหลวน้อยกว่าเตาระดับห้องปฏิบัติการที่สภาวะเดียวกัน ส่วนปริมาณก๊าซและถ่านที่ได้จากเตาต้นแบบจะได้มากกว่า เนื่องจากในเตาต้นแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า และให้ความร้อนจากหัวเผาเพียงด้านเดียวทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่สม่ำเสมอเหมือนชุดทดสอบที่มีการให้ความร้อนรอบด้าน ซังข้าวโพดภายในจึงได้รับความร้อนกระจายไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้มีปริมาณถ่านสูงกว่า และของเหลวลดลง

สรุป

สภาวะที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเหลวสูงสุดสำหรับกระบวนการไพโรไลซิสซังข้าวโพดคือ 550°C อัตราการให้ความร้อน 20 °C/min การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 % ที่อัตราการให้ความร้อน 20 °C/min ส่วนที่อัตราการให้ความร้อน 40°C/min เปลี่ยนแปลงประมาณ 3-4 % ที่อัตราการให้ความร้อนสูง ของเหลวและก๊าซที่ได้มีปริมาณมากกว่า แต่ถ่านมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอัตราให้ความร้อนต่ำ เตาต้นแบบ ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวน้อยกว่าส่วนถ่านและก๊าซมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับเตาระดับห้องปฏิบัติการ

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. พลังงานทดแทน. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=121&lang=th. (18 พฤษภาคม 2555)

สถิติการเกษตรของประเทศไทย. 2552. สถิติผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.oae.go.th/download/download_journal/yearbook2552.pdf. (18 พฤษภาคม 2555)

ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน. 2554. สถานการณ์พลังงาน. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.energy.go.th/sites/all/files/situation54_trend55.pdf. (10 เมษายน 2555)

Ates, F. and M. A. Isıkdag. 2009. Influence of temperature and alumina catalyst on pyrolysis of corncob. Fuel 88(10): 1991-1997.

Bridgwater, A. V. 2012. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy 38(0): 68-94.

Cao Q., KC. Xie, W.R. Bao and S.G. Shen. 2004. Pyrolytic behavior of waste corn cob. Bioresource Technology 94(1): 83-89.

Charles, M. A., A. A. Boatenga, N.M. Goldberga, I.M. Limab, D. A. Lairdc and K.B. Hicks. 2010. Bio-oil and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. Biomass and Bioenergy 34(1): 67-74.

Daniel, N., H. Thunman, A. Matos, L. Tarelho and A. Gómez-Barea. 2011. Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. Progress in Energy and Combustion Science 37(5): 611-630.

Ilknur D., E. Alper, S. Sevgi and Z. Enso. 2012. Bio-oil production from pyrolysis of corncob (*Zea mays* L.). Biomass and Bioenergy 36(0): 43-49.

Shurong, W., X. Guo, K. Wang and Z. Luo. 2011. Influence of the interaction of components on the pyrolysis behavior of biomass. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 91(1): 183-189.