หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัย ซึ่งอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตและความสามารถในการดูดซับโลหะหนักตะกั่วและสังกะสีของแฝก ปัจจัยดังกล่าว คือ การใส่ปุ๋ย ไม่ใส่ปุ๋ย ในดินที่ทำการปลูกแฝกและระดับความเข้มข้นของหางแร่ที่มีอยู่ในดินที่ทำการปลูกแฝก โดยสามารถสรุปผลตามชนิดของหางแร่และปัจจัยที่ศึกษาได้ดังนี้

5.1 ดินทดลองหางแร่ตะกั่ว

5.1.1 การใส่ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยมีผลต่อการเจริญเติบโต ดังนี้

1. การใส่ปุ๋ยเคมีในดินทดลองส่งผลให้แฝกมีน้ำหนักแห้ง และความสูงมากที่สุด
2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินทดลองให้การเจริญเติบโตของแฝกใกล้เคียงการใส่ปุ๋ยเคมี และมีเจริญเติบโตดีกว่าแฝกที่ปลูกในดินหางแร่ ที่ไม่ใส่ปุ๋ย

5.1.2 ระดับความเข้มข้นหางแร่ตะกั่วในดินทดลอง

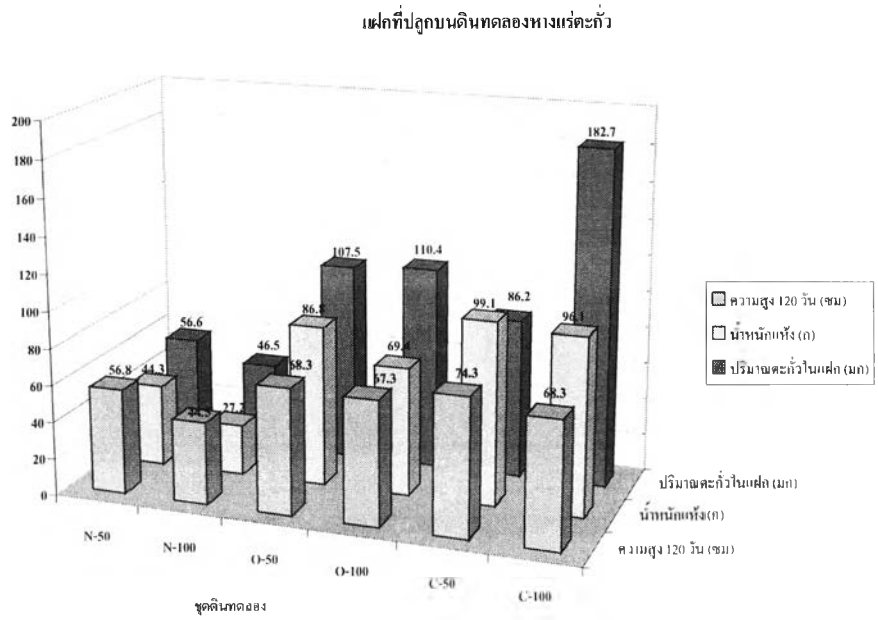
ผลของความเข้มข้นของหางแร่ที่มีต่อการเจริญเติบโตและการดูดซับโลหะหนักของแฝกมีดังต่อไปนี้

1. ระดับความเข้มข้นของหางแร่ตะกั่วในดินไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแฝก แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของหางแร่ที่มากขึ้นไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแฝก (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ 2543) แฝกสามารถทนต่อปริมาณตะกั่วตกค้างในดินในปริมาณสูงได้
2. แฝกที่ปลูกบนดินทดลองที่มีระดับความเข้มข้นสูง สามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ในปริมาณที่มากกว่าแฝกที่ปลูกบนดินทดลองที่มีระดับความเข้มข้นต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งสองร่วมกันพบว่า

1. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์และเคมีในดินทุกระดับความเข้มข้นส่งผลให้แฝกสามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดีกว่าแฝกที่ปลูกบนดินทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ย โดยปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มในการกระตุ้นการดูดซับตะกั่วของแฝกได้ดีกว่าปุ๋ยอินทรีย์
2. แฝกที่ปลูกบนดินทดลองที่มีส่วนผสมของหางแร่ 100% และใส่ปุ๋ยเคมีสามารถเจริญเติบโตได้ดีและสามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วไว้ได้มากที่สุด ซึ่งพบว่าสามารถดูดไว้ได้ในส่วนต้น 13.7±3.4 มก. (281.6 มก./กก.) และในส่วนราก 168.9±48.1 มก. (3567.9 มก./กก.) และไม่มีแนวโน้มว่าปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับไว้จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของแฝกแต่อย่างใด ซึ่งระดับความเข้มข้นของตะกั่วที่อยู่ในดินทดลองที่ถูกดูดซับในส่วนต้นของแฝกสูงกว่าระดับ threshold ของตะกั่วที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแฝกที่ทำการศึกษาปริมาณตะกั่วสะสมในดินและพืชโดย Paul Truong (พบว่าปริมาณตะกั่วตกค้างในดินที่แฝกทนได้ประมาณ 1500 ppm และปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับในส่วนต้นของแฝกมากกว่า 78 ppm) (Paul Truong, 1999) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าปุ๋ยเคมีมีส่วนช่วยให้แฝกสามารถเจริญเติบโตได้ดีและสามารถดูดซับตะกั่วไว้ในแฝกได้สูงกว่าระดับ threshold
3. แฝกที่ปลูกบนดินทดลองที่มีการบำรุงด้วยปุ๋ยอินทรีย์มีการดูดซับตะกั่วได้เป็นอันดับที่สองดังนี้ สำหรับชุดดินทดลองที่มีความเข้มข้นหางแร่ 50% (3.00±0.2% Pb) แฝกสามารถดูดซับตะกั่วไว้ที่ส่วนต้นได้ 4.5±1.8 กรัม ในส่วนราก 103.0±19.3 กรัม สำหรับชุดดินทดลองที่มีความเข้มข้นหางแร่ 100% (6.33±0.1% Pb) สามารถดูดซับไว้ที่ส่วนต้น 9.5±5.5 กรัม ในส่วนราก 100.9±44.8 กรัม

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับในแฝกที่ปลูกบนชุดดินหางแร่ตะกั่ว แสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 น้ำหนักแห้งเฉลี่ย ความสูงเฉลี่ย และปริมาณตะกั่วในแฝกที่ปลูกบนดินหางแร่ตะกั่ว

ข้อเสนอแนะ

การนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้นั้นอาจนำไปใช้ได้ 2 ทางคือ เพื่อบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโลหะตะกั่วและเพื่อฟื้นฟูสภาพเหมืองตะกั่วให้เป็นพื้นที่สีเขียว ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

การนำไปบำบัดในพื้นที่ปนเปื้อน หากเป็นพื้นที่ๆสามารถควบคุมไม่ให้มลพิษกระจายตัวสู่สิ่งแวดล้อมได้ ถ้าสามารถทำการบำรุงดินหางแร่ตะกั่วที่ต้องการบำบัดด้วยปุ๋ยเคมีจะส่งผลให้แฝกดูดซับตะกั่วได้สูงขึ้น แต่ถ้าพื้นที่ๆต้องการบำบัดมีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดสู่สิ่งแวดล้อม การให้ปุ๋ยอินทรีย์แม้จะได้ผลของการดูดซับต่ำกว่าการให้ปุ๋ยเคมีแต่อาจจะมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยกว่า และมีความเป็นธรรมชาติมากกว่า ทั้งยังง่ายต่อการดูแล แม้ปริมาณตะกั่วที่แฝกดูดซับขึ้นมาในส่วนพ้นดินจะน้อยเมื่อเทียบกับที่ดูดซับไว้ในรากหรือที่ตกค้างในดิน แต่แฝกมีลักษณะพิเศษที่สามารถเจริญเติบโตได้ใหม่หลังถูกตัดส่วนพ้นดินออกไป จึงไม่มีความจำเป็นต้องเก็บเกี่ยวแบบถอนรากถอนโคน และไม่มีความจำเป็นต้องปรับความเข้มข้นของดินหางแร่ลง

ในส่วนของการนำแฝกไปใช้เพื่อการฟื้นฟูสภาพเหมืองตะกั่ว หรือเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียว จากการทดลองพบว่าแฝกมีศักยภาพสูง เนื่องจากสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินหางแร่ตะกั่ว ไม่ว่าจะบำรุงด้วยปุ๋ยชนิดใด หรือแม้ไม่บำรุงด้วยปุ๋ยก็ตาม ปริมาณส่วนพ้นดินพบว่ามีความสูงไล่เลี่ยกันใน

ทุกการบำรุง ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำไปเพิ่มพื้นที่สีเขียวในบริเวณทิ้งหางแร่ตะกั่ว นอกจากนี้ปริมาณรากที่หนาแน่นของแฝกยังเป็นประโยชน์ในการป้องกันดินหางแร่ที่ปนเปื้อนตะกั่วไม่ให้กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนพื้นดินที่มีลักษณะเป็นกอที่หนาแน่นยังช่วยป้องกันการชะล้างหน้าดินจากน้ำฝนหรือลมได้เป็นอย่างดี (Paul Truong, 1999)

5.2 ดินทดลองหางแร่สังกะสี

5.2.1 การใส่ปุ๋ย

1. การใส่ปุ๋ยเคมีปริมาณ 10 กรัมต่อกระถางในดินทดลองมีผลต่อการเจริญเติบโตของแฝกและพบว่าแฝกตายเมื่อมีการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 โดยมีการตายถึง 75% หรือ 3 ใน 4 กระถาง
2. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยทำให้แฝกมีการเจริญเติบโตดีในแง่ของน้ำหนักแห้งและความสูง

5.2.2 ระดับความเข้มข้นของดินทดลองหางแร่สังกะสี

1. ระดับความเข้มข้นหางแร่ในดินทดลองมีผลต่อการเจริญเติบโตของแฝกโดยความเข้มข้นของหางแร่ที่สูงกว่าส่งผลให้แฝกมีการเจริญเติบโตต่ำกว่า
2. ที่ความเข้มข้นของหางแร่สังกะสี 50% (4.40 ± 2.1 % Zn) แฝกสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดแสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของหางแร่ที่มากขึ้นส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของแฝกต่ำลง
3. แฝกที่ปลูกบนดินทดลองที่มีระดับความเข้มข้นหางแร่สูง สามารถดูดซับโลหะหนักสังกะสีได้ในปริมาณที่ต่ำกว่าแฝกที่ปลูกบนดินทดลองที่มีระดับความเข้มข้นสูงกว่า

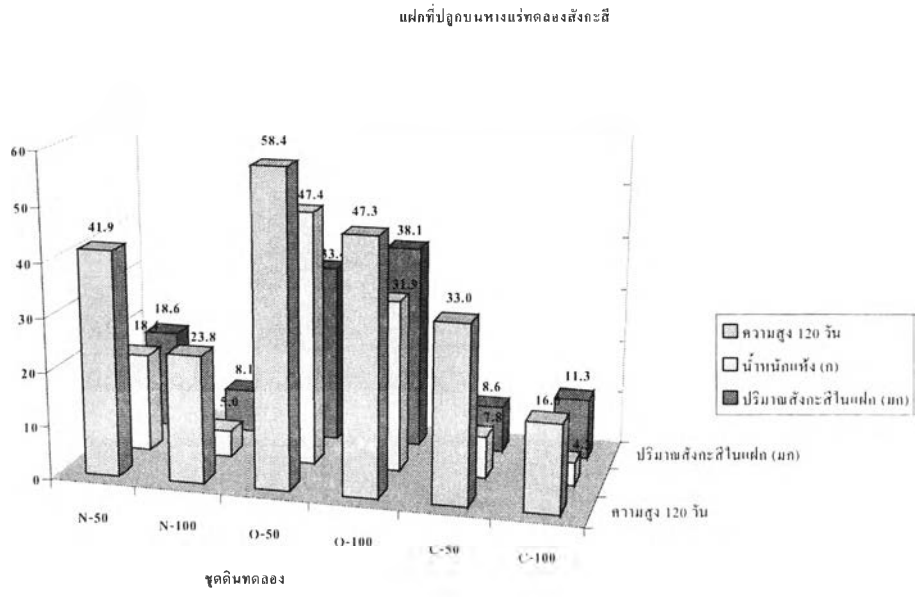
เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งสองร่วมกันพบว่า

1. แฝกที่ปลูกบนดินที่ระดับความเข้มข้นของหางแร่ 100% และใส่ปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าหลังปลูกเป็นเวลา 120 วัน มีการเจริญเติบโตดี สามารถดูดซับโลหะหนักสังกะสีได้ 374.4 มก/กก ในส่วนต้น 2067.3 มก/กกในส่วนราก ซึ่งระดับความเข้มข้นของสังกะสีที่อยู่ในดินทดลองที่ถูกดูดซับในส่วนต้นของแฝกต่ำกว่าระดับ threshold ของสังกะสีที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแฝกที่ทำการศึกษาปริมาณสังกะสีสะสมในดินและพืชโดย Paul Truong (พบว่าปริมาณสังกะสีตกค้างในดินที่แฝกทนได้ประมาณ 750 ppm และ

ปริมาณสังกะสีที่ถูกดูดซับในส่วนต้นของแฝกพบว่ามีมากกว่า 880 ppm) จึงไม่พบการตายของแฝก

2. แฝกสามารถดูดซับโลหะหนักสังกะสีไว้ได้มากที่สุดเมื่อบำรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ ในดินหางแร่สังกะสีที่มีความเข้มข้นของหางแร่ 100% (8.15±1.0% Pb) ซึ่งพบว่าสามารถดูดไว้ได้ 5.1±1.8 มก. ที่ส่วนต้น และ 33.0±6.0 มก. ที่ส่วนราก
3. การดูดซับสังกะสีของแฝกที่บำรุงด้วยปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าสามารถดูดซับได้มากกว่าการบำรุงด้วยปุ๋ยเคมีและไม่บำรุงด้วยปุ๋ยชนิดใดเลยอย่างมีนัยสำคัญ โดยดูดซับไว้ที่ส่วนต้น 4.6±1.8 มก ในส่วนราก 28.9±11.2 มก สำหรับชุดดินทดลองที่มีความเข้มข้นหางแร่ 50% (4.40±2.1% Zn) และดูดซับไว้ที่ส่วนต้น 5.1±1.8 กรัม ในส่วนราก 33.6±6.0 กรัม สำหรับชุดดินทดลองที่มีความเข้มข้นหางแร่ 100% (8.15±1.0% Zn) ตามลำดับ
4. ในส่วนของปุ๋ยเคมีพบการตาย 3 ใน 4 กระถาง ส่วนที่รอดพบว่ามีการเจริญเติบโตคล้ายคลึงกับแฝกที่ได้รับการบำรุงด้วยปุ๋ยอินทรีย์

ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและปริมาณสังกะสีที่ถูกดูดซับในแฝกที่ปลูกบนชุดดินหางแร่สังกะสี แสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.2 น้ำหนักแห้งเฉลี่ย ความสูงเฉลี่ย และปริมาณสังกะสีเฉลี่ยในแฝกที่ปลูกบนดินหางแร่สังกะสี

ข้อเสนอแนะ

ในการนำแฝกไปบำบัดดินหางแร่สังกะสี ควรทำการปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ และควรหลีกเลี่ยงการใส่ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ดีการไม่บำรุงดินหางแร่ด้วยปุ๋ยแม้ไม่พบการตายของแฝกแต่พบว่ามีการเจริญเติบโตไม่ดี เพราะในปุ๋ยเคมีมีสังกะสีเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นการเพิ่มสังกะสีในดินจะส่งผลทางลบต่อการเจริญเติบโต หากพิจารณาด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้ว การลดความเข้มข้นของดินหางแร่สังกะสีก่อนทำการบำบัดอาจต้องมีการพิจาณา เนื่องจากความเข้มข้นของสังกะสีตกค้างในดินลดลงอาจให้การเจริญเติบโตต่อแฝกได้ดีกว่า แม้จะพบว่าแฝกมีการเจริญเติบโตได้ดีบนดินหางแร่สังกะสีเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น (W.S.Shu, et al, 2000) แต่ปริมาณความเข้มข้นหางแร่สังกะสีที่สูงเกินไปอาจส่งผลลบต่อแฝกได้ เนื่องจากสังกะสีเป็นธาตุอาหารเสริมของพืช การดูดซับสังกะสีไว้มากเกินอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแฝกได้ อย่างไรก็ดีปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มที่จะทำให้แฝกดูดซับสังกะสีได้ดีขึ้นด้วย

ในการนำแฝกไปใช้ในการฟื้นฟูสภาพเหมืองแร่สังกะสีอาจไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากแฝกมีการเจริญเติบโตที่ต่ำ ดังเห็นได้จากเมื่อเทียบกับแฝกที่ปลูกบนดินทรายไม่ปนเปื้อนสังกะสีทั่วไป หรืออาจต้องมีการลดความเข้มข้นของดินหางแร่สังกะสีลงโดยการกลบผิวหน้าดินหางแร่ด้วยดินชนิดอื่นก่อนการปลูกแฝก หากพิจารณาว่ามีความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์แล้ว

5.3 การใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ในงานด้านสิ่งแวดล้อม

1. วิธีเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์มีความเหมาะสมสำหรับงานวิเคราะห์พืชด้วยเทคนิค XRF ซึ่งเหมาะสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยๆ
2. การวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิคการสร้างกราฟปรับเทียบจากตัวอย่างพืชมาตรฐาน matrix เดียวกันกับตัวอย่างพืชที่จะวิเคราะห์ เป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด
3. ผลการวิเคราะห์ทุกเทคนิคที่ใช้ให้ผลใกล้เคียงกันทั้งนี้เนื่องมาจาก ได้ทำการเตรียมตัวอย่างพืชมาตรฐานสำหรับสร้างกราฟปรับเทียบเพื่อเป็นการลดปัญหา matrix effect ทั้งนี้เพื่อให้ตัวอย่างพืชที่ใช้สร้างกราฟปรับเทียบมี matrix ที่เหมือนกับตัวอย่างพืชที่จะวัดมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ปกติการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างด้านสิ่งแวดล้อม นิยมใช้เทคนิค AAS เนื่องจากมีความซับซ้อนด้านเทคนิคน้อย เทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค x-ray fluorescence spectrometry (XRF) ซึ่งต้องใช้ความเชี่ยวชาญและความเข้าใจที่ลึกซึ้ง แต่อย่างไรก็ดีในกระบวนการเตรียมตัวอย่าง และขั้นตอนการวิเคราะห์ เทคนิค XRF มีข้อได้เปรียบหลายด้าน เนื่องจากเป็นเทคนิคแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (Non-destructive testing) การเตรียมตัวอย่างจึงแค่เป็นการทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพที่สะดวกต่อการวิเคราะห์เท่านั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง ส่งผลให้สามารถวิเคราะห์ซ้ำได้หลายครั้ง และเหมาะสมกับตัวอย่างที่ปริมาณน้อยด้วย และจำนวนตัวอย่างมาก เพราะเวลาในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF สั้นกว่า AAS มาก ทั้งยัง สะดวกกว่าในแง่ของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเบื้องต้น และในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ นั้นเทคนิค XRF ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมดตั้งแต่เตรียมตัวอย่างน้อยกว่าและวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นสูงๆได้ดีกว่าAAS ในทางปฏิบัติสามารถประยุกต์ให้เป็นระบบวิเคราะห์แบบเคลื่อนย้ายได้ ในขณะที่เทคนิค AAS จำกัดการทำงานเฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น อย่างไรก็ดี การวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิค XRF ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องมีความเข้าใจในเทคนิคอย่างลึกซึ้ง และมีขีดจำกัดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเทคนิค XRF ที่ระดับ ppm หากต่ำกว่านี้อาจมีความผิดพลาดสูง การเตรียมตัวอย่างในเทคนิค XRF นั้นอาจต้องระวังในเรื่องของลักษณะตัวอย่างด้วยเช่น หากตัวอย่างเป็นการบดอัด ควรจะร่อนตัวอย่างให้มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร (Jenkins, Ron, Gould, R.W. and Gedcke, Dale : 1995) เพื่อลดปัญหา particle size effect จึงจะให้การวิเคราะห์ที่แม่นยำมากขึ้น สำหรับการเตรียมตัวอย่างแบบบดอัดเป็นเม็ด มักพบปัญหาความไม่เป็นเนื้อเดียวของตัวอย่าง ปัญหาการปนเปื้อนปริมาณน้อยจากธาตุที่อยู่ในอุปกรณ์เตรียมตัวอย่าง ปัญหาการเลือกใช้แรงดันในการอัด และข้อผิดพลาดจากการชั่ง การบดการเตรียมกราฟปรับเทียบ ในการวิจัยนี้ได้พยายามทำการตรวจเช็คผลการวิเคราะห์โดยใช้หลายเทคนิควิธี ซึ่งก็พบว่าให้ค่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างด้านสิ่งแวดล้อมด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์นั้น มีศักยภาพสูง เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้