บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิจัยครั้งนี้สามารถสังเคราะห์สารใหม่จำพวกไตรออร์แกโนทิน ซัลเฟต เอสเทอร์ สามชนิด ซึ่งสารประกอบดังกล่าวนั้นคือ ไตรบิวทิลทิน โดเดคิล ซัลเฟต ($Bu_3SnOSO_2OC_{12}H_{25}$), ไตรบิวทิลทิน เฮกซะเดคิล ซัลเฟต ($Bu_3SnOSO_2OC_{16}H_{33}$) และไตรบิวทิลทิน ออกตะเดคิล ซัลเฟต ($Bu_3SnOSO_2OC_{18}H_{37}$)

การสังเคราะห์สารประกอบทั้งสามนั้น ได้ทำโดยนำสาร 1-โดเดคานอล, 1-เฮกซะเดคานอล และ 1-ออกตะเดคานอล ไปทำปฏิกริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์กับกรดคลอโรซัลโฟนิก ซึ่งจะได้เป็นผลิตภัณฑ์โดเดคิล ไฮโดรเจน ซัลเฟต, เฮกซะเดคิล ไฮโดรเจน ซัลเฟต และออกตะเดคิล ไฮโดรเจน ซัลเฟต ตามลำดับ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปทำปฏิกริยาแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ต่อไปกับบิส-(ไตรบิวทิลทิน)ออกไซด์ จะได้รับสารประกอบไตรบิวทิลทิน โดเดคิล ซัลเฟต, ไตรบิวทิลทิน เฮกซะเดคิล ซัลเฟต และไตรบิวทิลทิน ออกตะเดคิล ซัลเฟต ที่มีผลผลิต 95.49%, 97.46% และ 96.25% ตามลำดับ

เมื่อนำสารประกอบไตรบิวทิลทิน โดเดคิล ซัลเฟต, ไตรบิวทิลทิน เฮกซะเดคิล ซัลเฟต และไตรบิวทิลทิน ออกตะเดคิล ซัลเฟต ไปตรวจเอกลักษณ์ด้วยอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์, เอ็นเอ็มอาร์ สเปกโตรมิเตอร์, แมสสเปกโตรมิเตอร์, อะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเอ็กซ-เรย์ฟลูออเรสเซนต์ ได้ข้อมูลดังนี้

ไตรบิวทิลทิน โดเดคิล ซัลเฟต จากข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัม พบว่าจะเกิดพีคดูดกลืนพลังงานที่ความถี่ 2835-2935 ซม$^{-1}$, 1505 ซม$^{-1}$, 1460 ซม$^{-1}$, 1450 ซม$^{-1}$, 1370 ซม$^{-1}$, 1170 ซม$^{-1}$, 1060 ซม$^{-1}$, 945 ซม$^{-1}$, 860 ซม$^{-1}$, และ 710 ซม$^{-1}$ โดยพีคที่ความถี่ 2835-2935 ซม$^{-1}$, 1450 ซม$^{-1}$, 1370 ซม$^{-1}$, และ 710 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีหมู่แอลคิลโซ่ตรง มีคาร์บอนมากกว่า 7 อะตอม , ที่ความถี่ 1505 ซม$^{-1}$ และ 1460 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะคู่ระหว่างซัลเฟอร์กับออกซิเจน 2 พันธะ ,ที่ความถี่ 1170 ซม$^{-1}$

แสดงว่ามีพันธะ C-O ที่ความถี่ 945 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะ S-O ที่ความถี่ 1060 ซม$^{-1}$ และ 860 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะ C-Sn และ Sn-O ตามลำดับ จากข้อมูลโปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์ สเปกตรัม พบว่าเกิดเคมิคัลชิพท์ที่ δ = 4.2 PPM (ทริพเพล็ต), 1.1-1.8 PPM (มัลติเพล็ต), 1.3 PPM (ซิงเกล็ต) และ 0.9 PPM (ทริพเพล็ต) โดยตำแหน่งที่ δ = 4.2 PPM แสดงว่ามีหมู่ $-CH_2O-$ และมีไฮโดรเจนอะตอมข้างเคียง 2 อะตอม,ที่ δ= 1.3 PPM แสดงว่ามีหมู่แอลคิลที่ต่อกับหมู่อื่นที่ไม่มีไฮโดรเจนอะตอม,ที่ δ = 0.9 PPM แสดงว่ามีหมู่เมทิลและมีอะตอมไฮโดรเจนข้างเคียง 2 อะตอม และที่ δ = 1.1-1.8 PPM แสดงว่ามีหมู่เมทิลีนหลายหมู่ติดต่อกัน เนื่องจากช่วงเคมิคัลชิพท์กว้างและพีคแบบมัลติเพล็ต จากข้อมูลคาร์บอน-13 เอ็นเอ็มอาร์ สเปกตรัม พบว่ามีเคมิคัลชิพท์ที่ δ = 72.5-77.5 PPM, 22.5-32.5 PPM, 14 PPM และ 13 PPM โดยตำแหน่งที่ δ = 72.5-77.5 PPM แสดงว่ามีหมู่ $-CH_2O-$,ที่ δ = 22.5-32.5 PPM แสดงว่ามีหมู่เมทิลีน แต่เนื่องจากช่วงเคมิคัลชิพท์กว้างจึงแสดงว่ามีหมู่เมทิลีนหลายหมู่ ที่ δ = 14 และ 13 PPM แสดงว่ามีหมู่แอลคิล 2 ชนิด ซึ่งมีสภาพแวดล้อมต่างกัน จากข้อมูลแมสสเปกตรา พบว่ามีเบสพีคที่ m/e = 169 แสดงว่าเป็นมวลของ $C_{12}H_{25}^{+}$ และมีพีคความเข้มสูงที่ m/e = 43, 57 , 71, 85, 99,113, 127 และ 141 ซึ่งแสดงว่าเป็นพีคอนุกรมการแตกหักของหมู่เมทิลีนของอัลเคน และพีคที่ m/e = 540 ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำหนักโมเลกุลของไตรบิวทิลทิน ไดเดคิล ซัลเฟต จากข้อมูลอะตอมมิก แอบซอร์บชันพบว่าสารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นของดีบุก 106.9 ppM ใกล้เคียงกับไตรบิวทิลทินไดเดคิล ซัลเฟต ซึ่งมีความเข้มข้นของดีบุก 113.33 ppM และจากเอ็กซ-เรย์ฟลูออเรสเซนต์ สเปกตรัม พบว่ามีดีบุกและซัลเฟอร์ในโมเลกุล ซึ่งแสดงว่าสารประกอบนี้เป็นสารประกอบออร์แกนิทิน และมีหมู่ซัลเฟตในโมเลกุล เนื่องจากสอดคล้องกับข้อมูลจากอินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงว่ามีพันธะคู่ระหว่างซัลเฟอร์กับออกซิเจน 2 พันธะ ที่ความถี่ 1505 ซม$^{-1}$, และ 1460 ซม$^{-1}$ และพันธะ S-O ที่ความถี่ 945 ซม$^{-1}$

ไตรบิวทิลทิน เฮกซะเดคิล ซัลเฟต จากข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัมพบว่าจะเกิดพีคดูดกลืนพลังงานที่ความถี่ 2880-2980 ซม$^{-1}$, 1530 ซม$^{-1}$, 1480 ซม$^{-1}$, 1375 ซม$^{-1}$, 1200 ซม$^{-1}$, 1080 ซม$^{-1}$, 970 ซม$^{-1}$, 890 ซม$^{-1}$ และ 730 ซม$^{-1}$ โดยพีคที่ความถี่

2880-2980 ซม$^{-1}$, 1375 ซม$^{-1}$ และ 730 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีหมู่แอลคิลโซ่ตรง มีคาร์บอนมากกว่า 7 อะตอม ที่ความถี่ 1530 ซม$^{-1}$ และ 1480 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะคู่ระหว่างซัลเฟอร์กับออกซิเจน 2 พันธะ ที่ความถี่ 1200 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะ C-O ที่ความถี่ 970 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะ S-O ที่ความถี่ 1080 ซม$^{-1}$ และ 890 ซม.$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะ C-Sn และ Sn-O ตามลำดับ จากข้อมูลโปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์ สเปกตรัมพบว่าเกิดเคมิคัลชิพท์ ที่ δ = 4.2 PPM (ทริพเพล็ต), 1.1-1.8 PPM (มัลติเพล็ต), 1.3 PPM (ซิงเกล็ต) และ 0.9 PPM (ทริพเพล็ต) โดยตำแหน่งที่ δ = 4.2 PPM แสดงว่ามีหมู่ $-CH_2O-$ และมีไฮโดรเจนอะตอมข้างเคียง 2 อะตอม ที่ δ = 1.3 PPM แสดงว่ามีหมู่แอลคิลที่ต่อกับหมู่อื่นที่ไม่มีไฮโดรเจนอะตอม ที่ δ = 0.9 PPM แสดงว่ามีหมู่เมทิล และมีอะตอมของไฮโดรเจนข้างเคียง 2 อะตอม และที่ δ = 1.1-1.8 PPM แสดงว่ามีหมู่เมทิลีนหลายหมู่ติดต่อกัน เนื่องจากช่วงเคมิคัลชิพท์กว้างและพีคแบบมัลติเพล็ต จากข้อมูลคาร์บอน-13 เอ็นเอ็มอาร์ พบว่า มีเคมิคัลชิพท์ที่ δ = 72.5-77.5 PPM, 22.5-32.5 PPM, 14 PPM และ 13 PPM โดยตำแหน่งที่ δ = 72.5-77.5 PPM แสดงว่ามีหมู่ $-CH_2O-$ ที่ δ = 22.5-32.5 แสดงว่ามีหมู่เมทิลีน แต่เนื่องจากช่วงเคมิคัลชิพท์กว้าง จึงแสดงว่ามีหมู่เมทิลีนหลายหมู่ ที่ δ = 14 PPM และ 13 PPM แสดงว่ามีหมู่แอลคิล 2 ชนิด ที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน จากข้อมูลแมสสเปกตราพบว่ามีเบสพีค ที่ m/e = 225 แสดงว่าเป็นมวลของ $C_{16}H_{37}^{+}$ และมีพีคความเข้มสูงที่ m/e = 43, 57, 71, 85, 99, 113, 127, 141, 155, 169, 183 และ 197 ซึ่งแสดงว่าเป็นพีคอนุกรมการแตกหักของหมู่เมทิลีนของอัลเคน จากข้อมูลอะตอมมิกแอบซอร์บชันพบว่าสารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นของดีบุก 97.18 ppM ใกล้เคียงกับไตรบิวทิลทิน เฮกซะเดคิล ซัลเฟต ซึ่งมีความเข้มข้นของดีบุก 101.67 ppM และจากเอ็กซ-เรย์ฟลูออเรสเซนต์ สเปกตรัม พบว่ามีดีบุกและซัลเฟอร์ในโมเลกุล ซึ่งแสดงว่าสารประกอบนี้เป็นสารประกอบออร์แกนทิน และมีหมู่ซัลเฟตในโมเลกุล เนื่องจากสอดคล้องกับข้อมูลจากอินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงว่ามีพันธะคู่ระหว่างซัลเฟอร์กับออกซิเจน 2 พันธะ ที่ความถี่ 1530 ซม$^{-1}$ และ 1480 ซม$^{-1}$ และพันธะ S-O ที่ความถี่ 970 ซม$^{-1}$

ไตรบิวทิลทิน ออกตะเดคิล ซัลเฟต จากข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัมพบว่าจะเกิดพีคการดูดกลืนพลังงานที่ความถี่ 2860-2960 ซม$^{-1}$, 1520 ซม$^{-1}$, 1470 ซม$^{-1}$, 1380 ซม$^{-1}$, 1190 ซม$^{-1}$, 1080 ซม$^{-1}$, 960 ซม$^{-1}$, 887 ซม$^{-1}$, และ 720 ซม$^{-1}$ โดยพีคที่ความถี่ 2860-2960 ซม$^{-1}$, 1380 ซม$^{-1}$ และ 720 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีหมู่แอลคิลโซ่ตรง มีคาร์บอนมากกว่า 7 อะตอม, ที่ความถี่ 1520 ซม$^{-1}$ และ 1470 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะคู่ระหว่างซัลเฟอร์กับออกซิเจน 2 พันธะ ที่ความถี่ 1190 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะ C-O ที่ความถี่ 960 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะ S-O ที่ความถี่ 1080 ซม$^{-1}$ และ 887 ซม$^{-1}$ แสดงว่ามีพันธะ C-Sn และ Sn-O ตามลำดับ จากข้อมูลโปรตอน-เอ็นเอ็มอาร์ สเปกตรัม พบว่าเกิดเคมิคัลชิพท์ที่ δ = 4.2 PPM (ทริพเพล็ต) 1.1-1.8 PPM (มัลติเพล็ต), 1.3 PPM (ซิงเกล็ต) และ 0.9 PPM (ทริพเพล็ต) โดยตำแหน่งที่ δ = 4.2 PPM แสดงว่ามีหมู่ $-CH_2O-$ และมีไฮโดรเจนข้างเคียง 2 อะตอม ที่ δ = 1.3 PPM แสดงว่ามีหมู่แอลคิลต่อกับหมู่อื่นที่ไม่มีไฮโดรเจนอะตอม, ที่ δ = 0.9 PPM แสดงว่ามีหมู่เมทิลและมีไฮโดรเจนอะตอมข้างเคียง 2 อะตอม และที่ δ = 1.1-1.8 PPM แสดงว่ามีหมู่เมทิลีนหลายหมู่ติดต่อกัน เนื่องจากช่วงเคมิคัลชิพท์กว้างและพีคแบบมัลติเพล็ต จากข้อมูลคาร์บอน-13 เอ็นเอ็มอาร์ สเปกตรัม พบว่ามีเคมิคัลชิพท์ที่ δ = 72.5-77.5 PPM, 22.5-32.5 PPM, 14 PPM และ 13 PPM โดยตำแหน่งที่ δ = 72.5-77.5 PPM แสดงว่ามีหมู่ $-CH_2O-$ ที่ δ = 22.5-32.5 แสดงว่ามีหมู่เมทิลีนแต่เนื่องจากช่วงเคมิคัลชิพท์กว้าง ซึ่งแสดงว่ามีหมู่เมทิลีนหลายหมู่, ที่ δ = 14 PPM และ 13 PPM แสดงว่ามีหมู่แอลคิล 2 ชนิด ที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน จากข้อมูลแมสสเปกตราพบว่ามีเบสพีคที่ m/e = 253 แสดงว่าเป็นมวลของ $C_{18}H_{37}^{+}$ และมีพีคความเข้มสูงที่ m/e = 43, 57, 71, 85, 99, 113, 127, 141, 155, 169, 183, 197, 211, 225 และ 239 ซึ่งแสดงว่าเป็นพีคอนุกรมการแตกหักของหมู่เมทิลีนของอัลเคน จากข้อมูลอะตอมมิกแอบซอร์บชันพบว่า สารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นของดีบุก 92.92 ppM ใกล้เคียงกับไตรบิวทิลทิน ออกตะเดคิล ซัลเฟต ซึ่งมีความเข้มข้นของดีบุก 99.33 ppM และจากเอ็กซ-เรย์ฟลูออเรสเซนต์ สเปกตรัม พบว่ามีดีบุกและซัลเฟอร์ในโมเลกุล ซึ่งแสดงว่าสารประกอบนี้เป็นสารประกอบออร์แกโนทิน และมีหมู่ซัลเฟตในโมเลกุล เนื่องจาก

สอดคล้องกับข้อมูล จากอินฟราเรดสเปกตรัมที่แสดงว่ามีพันธะคู่ระหว่างซัลเฟอร์กับออกซิเจน 2 พันธะ ที่ความถี่ 1520 ซม$^{-1}$ กับ 1470 ซม$^{-1}$ และพันธะ S-O ที่ความถี่ 960 ซม$^{-1}$

เมื่อนำสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ ไปทำการศึกษาฤทธิ์ในทางชีวภาพพบว่าสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ดังกล่าว มีฤทธิ์เป็นสารฆ่าเชื้อราได้ ซึ่งได้ทำการทดลองกับเชื้อรา 4 ชนิดคือ Trichoderma sp., Penicillium sp., Syncephalustums sp., และ Aspergillus sp. ผลจากการทดลองพบว่าไตรบิวทิลทิน ไดเดคิล ซัลเฟต สามารถฆ่าเชื้อรา Trichoderma sp., Penicillium sp. และ Aspergillus sp. ได้ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 30 ppM แต่สำหรับเชื้อรา Syncephalustums sp. นั้น ต้องใช้ความเข้มข้นสูงกว่า 50 ppM ไตรบิวทิลทิน เฮกซะเดคิล ซัลเฟต สามารถฆ่าเชื้อราทั้ง 4 ชนิดได้ ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 30 ppM และไตรบิวทิลทิน ออกตะเดคิล ซัลเฟต สามารถฆ่าเชื้อรา Trichoderma sp., Penicillium sp. และ Aspergillus sp. ได้ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 30 ppM แต่สำหรับเชื้อรา Syncephalustums sp. นั้น ต้องใช้ความเข้มข้นสูงกว่า 100 ppM

จากผลการทดสอบดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า สารประกอบออร์แกนทิน ซัลเฟต เอสเทอร์ ทั้ง 3 ชนิด คือ ไตรบิวทิลทิน ไดเดคิล ซัลเฟต, ไตรบิวทิลทิน เฮกซะเดคิล ซัลเฟต และไตรบิวทิลทิน ออกตะเดคิล ซัลเฟต มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อราที่ความเข้มข้นต่ำ โดยเฉพาะการใช้กับเชื้อราชนิด Trichoderma sp., Penicillium sp. และ Aspergillus sp. แต่เมื่อเทียบกับสารประกอบไตรออร์แกนทินชนิดอื่น ๆ ยังถือว่าความเข้มข้นในการใช้งานค่อนข้างสูง ซึ่งปริมาณต่ำสุดของสารประกอบไตรออร์แกนทินชนิดอื่นในการฆ่าเชื้อราชนิด Trichoderma sp., Penicillium sp., Syncephalustums sp. และ Aspergillus sp. แสดงในตารางที่ 4.1 (34)

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณต่ำสุดของสารประกอบตีบุกอินทรีย์ในระบบยับยั้งการงอกของสปอร์ที่ให้ผลยับยั้งการงอกของสปอร์แบบชั่วคราว

สาร	ความเข้มข้นต่ำสุดของสารประกอบตีบุกอินทรีย์ (ppM)			
	ชนิดของเชื้อรา			
	Trichoderma sp. Pol_1	Penicillium sp.YA_8	Syncephalustum sp.YA_7	Aspergillus sp.YA_3
บิส-(ไตรบิวทิลทิน) ออกไซด์	2	5	5	5
ไตรบิวทิลทิน อะซิเตด	5	5	5	5
ไตรเฟนิลทิน อะซิเตด	1< x <5	5	5	5
ไตรบิวทิลทิน มีเทน ซัลฟิเนต	10	15	10	15
ไตรบิวทิลทิน มีเทน ซัลไฟเนต	5	5	5	5
ไตรบิวทิลทิน ฟลูออไรด์	5	5 < x < 10	10	5

ถึงแม้ว่าสารประกอบไตรออร์แกนทินในตารางที่ 4.1 สามารถฆ่าเชื้อรา ที่ความเข้มข้นต่ำกว่าไตรบิวทิลทิน ไดเดคิล ซัลเฟต, ไตรบิวทิลทิน เฮกซะเดคิล ซัลเฟตและไตรบิวทิลทิน ออกตะเดคิล ซัลเฟต ก็ตาม แต่ความเข้มข้นที่ใช้มีหน่วยเป็น ppM ซึ่งน้อยมาก ดังนั้น ปริมาณการใช้งานจึงไม่แตกต่างกันมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University