ผักตบชวา กับการบำบัดสารมลพิษในน้ำ

รองศาสตราจารย์ ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

การปนเปื้อนของสารมลพิษในแหล่งน้ำจัดว่าเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของประเทศไทย และในหลายภูมิภาคทั่วโลก เนื่องมาจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การเกษตรกรรมแนวใหม่ และการบริโภควัตถุที่มากเกินความต้องการของประชาชน ส่งผลให้เกิดผลกระทบหลายประการ เช่น แหล่งน้ำเน่าเสียจากภาวะ Eutrophication หรือแหล่งน้ำปนเปื้อนโลหะหนักและสารฆ่าแมลง ทำให้น้ำมีคุณภาพต่ำจนไม่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้

การบำบัดสารมลพิษในน้ำสามารถทำได้ทั้งวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ สำหรับวิธีทางกายภาพและเคมี เช่น การแยกสารมลพิษโดยใช้ความร้อน (thermal desorption) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การกรองแยกผ่านเมมเบรน (membrane separation-filtration) หรือการบำบัดทางสารเคมี (chemical treatment) ล้วนเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดี ใช้ระยะเวลาสั้น และเหมาะสมในกรณีที่สารมลพิษมีความเข้มข้นสูง แต่เทคนิคดังกล่าวมักจะมีค่าใช้จ่ายสูงทั้งในเรื่องของเครื่องมือและอุปกรณ์ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาระบบ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงมีแนวความคิดที่จะนำพืชสีเขียวมาใช้บำบัดสารมลพิษ (Phytoremediation) ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งวิธีนี้จะสามารถบำบัดได้ทั้งสารมลพิษประเภทสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ มีต้นทุนต่ำ และประหยัดพลังงาน

ผักตบชวา หรือ water hyacinth มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms จัดอยู่ในวงศ์ Pontederiaceae ผักตบชวาเป็นพืชที่มีการศึกษาวิจัยกันมาอย่างต่อเนื่องทั้งในประเทศ และต่างประเทศในเรื่องความสามารถในการบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ในกรณีของสารมลพิษอินทรีย์ พบว่าผักตบชวาสามารถบำบัดอินทรียวัตถุและธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส รวมทั้งสารฆ่าแมลงบางชนิดด้วย ส่วนสารอนินทรีย์พบว่า ผักตบชวาสามารถสะสมแคดเมียม โครเมียม ทองแดง ปรอท ตะกั่ว

ซีเซียม สตรอนเทียม และยูเรเนียมได้ในปริมาณสูง ทั้งนี้กลไกในการบำบัดสารมลพิษแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นภายในต้นผักตบชวาน่าจะมีความแตกต่างกัน

ประวัติของผักตบชวา

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำแอมะซอน ประเทศบราซิล ผักตบชวาถูกนำเข้ามาในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2444 สมัยรัชกาลที่ 5 โดยนำเข้ามาจากเกาะชวาในขณะเสด็จประพาสประเทศอินโดนีเซีย เริ่มแรกได้ปลูกไว้หน้าสนามวังสระปทุม ต่อมาผักตบชวาเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและแพร่พันธุ์จนเต็มวังสระปทุม จึงต้องนำไปปล่อยทิ้งไว้ที่คลองสามเสนหลังวัง พร้อมกับคลองอื่น ๆ เช่น คลองเปรมประชากร คลองผดุงกรุงเกษม เป็นต้น (วิกิพีเดีย, 2560)

ในกรณีของประเทศไทย ผักตบชวาจัดเป็นพืชต่างถิ่นที่เข้ามาแพร่ระบาดจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศน์ เนื่องจากเป็นพืชที่มีความทนต่อสภาพแวดล้อมในช่วงกว้าง จึงสามารถแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนผักตบชวามีมากเกินไปจะไปขัดขวางการไหลของน้ำ ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำ ลำคลองช้าลง และกีดขวางการระบายน้ำของประตูน้ำ นอกจากนั้นการที่มีผักตบชวาเจริญเกาะกลุ่มกันอย่างหนาแน่น จะบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องลงไปในน้ำ ทำให้พืชที่อยู่ใต้น้ำบางชนิดไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ และยังมีผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในแหล่งน้ำลดลง ทำให้สภาพทางเคมีของน้ำเปลี่ยนแปลงไป เกิดน้ำเน่าเสีย และท้ายสุดจะส่งผลกระทบถึงความหลากหลายทางชีวภาพของแหล่งน้ำในบริเวณนั้น

ภาพที่ 1 ผักตบชวาในแหล่งน้ำธรรมชาติ

องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา

ผลการวิจัยพบว่าใบอ่อนของผักตบชวามีโปรตีนมากกว่าใบแก่ สำหรับโปรตีนที่พบในใบของผักตบชวา ได้แก่ กลูตามีน (glutamine) แอสพาราจีน (asparagine) และลิวซีน (leucine) องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาจะมีความผันแปรไปตามฤดูกาล ประเภทของถิ่นที่อยู่อาศัย และความถี่ในการเก็บเกี่ยว

ผักตบชวามี crude protein ในปริมาณปานกลาง มี nitrogen free extracts และ total ash ในปริมาณสูง (ตารางที่ 1) จึงจัดว่ามีธาตุอาหารเพียงพอต่อการเป็นอาหารสัตว์โดยเฉพาะสัตว์ที่เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว และแพะ รวมทั้งหมู และเป็ด (Hossain et al., 2015) นอกจากนี้ผักตบชวาสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพได้ การวิจัยเพื่อศึกษาผลของการใช้ผักตบชวาเป็นปุ๋ยชีวภาพที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวสาลี พบว่า ในชุดทดลองที่ปลูกข้าวสาลีและเติมปุ๋ยหมักจากผักตบชวาเป็นเวลา 15 วัน อัตราการงอกของเมล็ด ความยาวของราก ความยาวของส่วนยอด มวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณโปรตีน และน้ำตาลรีดิวซ์มีค่ามากกว่าในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าผักตบชวามีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมักอินทรีย์ (Vidya and Girish, 2014)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา

พารามิเตอร์	องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง)
Dry matter	9.3 ± 0.5
Crude protein	10.5 ± 0.5
Crude fiber	26.9 ± 0.6
Nitrogen free extracts	48.7 ± 1.2
Ether extracts	1.5 ± 0.3
Total ash	12.4 ± 0.1

ที่มา : *ดัดแปลงจาก Hossain et al (2015)*

ผักตบชวากับการบำบัดสารมลพิษในน้ำ

การนำผักตบชวามาใช้ในการบำบัดสารมลพิษในน้ำเนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณสมบัติเหมาะสมหลายประการ อาทิ มีความสามารถในการดูดซึมทั้งสารมลพิษอินทรีย์และอนินทรีย์ในปริมาณสูง เจริญเติบโตได้เร็วแม้ว่าจะอยู่ในน้ำเสีย เป็นพืชที่มีรากยาว และโครงสร้างของรากมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ซึ่งจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณรากของผักตบชวาจะมีบทบาทในการเปลี่ยนอินทรียวัตถุ รวมทั้งธาตุอาหารต่างๆที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียให้กลายเป็นสารประกอบอนินทรีย์ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ผักตบชวายังเป็นพืชที่มีความทนต่อสภาพแวดล้อมในช่วงกว้าง (ตารางที่ 2)

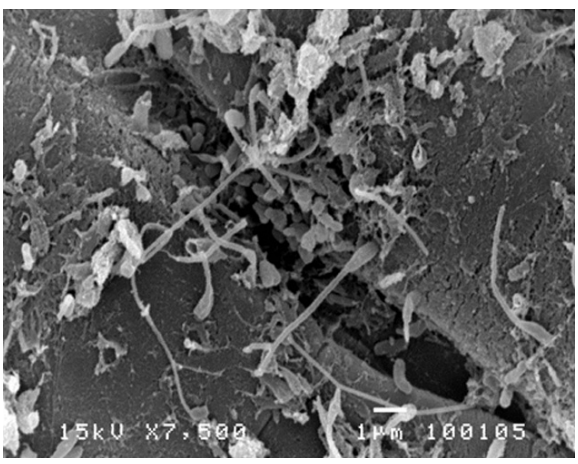
ตารางที่ 2 สภาพการเจริญเติบโตของผักตบชวา

พารามิเตอร์	ช่วง
อัตราการเติบโต (คิดจากน้ำหนักแห้ง)	0.04-0.08 กิโลกรัม น้ำหนักแห้ง/ตารางเมตร/วัน
อัตราการเติบโต (คิดจากพื้นที่ผิว)	1.012-1.017 ตารางเมตร/วัน
อัตราการเติบโต (คิดจากจำนวนต้น)	1610 ต้น จาก 10 ต้น ภายใน 10 เดือน
ความเป็นกรดด่างของน้ำ	6-8
ความเค็มของน้ำ	น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
อุณหภูมิของน้ำ	10-40 องศาเซลเซียส

ที่มา : *Rezania et al. (2015)*

ผักตบชวากับการกำจัดสารฆ่าแมลง

การศึกษาความสามารถในการกำจัดคลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) ของผักตบชวาของ Anudechakul และคณะ (2015) โดยทดลองปลูกผักตบชวาในสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 วัน พบว่า ผักตบชวาจะสะสมคลอร์ไพริฟอสไว้ที่รากมากที่สุดในวันที่ 3 ของการทดลอง ต่อมาคือที่ลำต้นในวันที่ 6 และที่ใบในวันที่ 8 แสดงให้เห็นว่ามีการเคลื่อนย้ายของคลอร์ไพริฟอสจากส่วนรากไปสู่ลำต้น และใบ ส่วนความสามารถในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสของผักตบชวาที่ปลูกในสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เกือบจะเป็น 100% ภายในเวลาเพียง 4 วัน ส่วนความสามารถในการกำจัดคลอร์ไพริฟอสของผักตบชวา ที่ปลูกในสารละลายคลอร์ไพริฟอสที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 91% และ 82% ตามลำดับ นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังพบว่าอัตราการกำจัดคลอร์ไพริฟอสเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการทำงานร่วมกันระหว่างพืชและจุลินทรีย์ในเขตรากพืช ซึ่งสามารถแยกเชื้อจุลินทรีย์และได้ตั้งชื่อว่า *Acinetobacter* sp. strain WHA



ภาพที่ 2 *การ colonization ของเชื้อ Acinetobacter sp. strain WHA บริเวณรากผักตบชวาที่ถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนที่กำลังขยาย 7,500 เท่า*

กลไกของพืชในการกำจัดสารฆ่าแมลง เรียกว่า การย่อยสลายโดยพืช (Phytodegradation) เป็นกระบวนการที่พืชย่อยสลายสารอินทรีย์โดยอาศัยกลไกการดูดซึมสารมลพิษเข้ามาภายในต้น จากนั้นจึงปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารมลพิษ จนเปลี่ยนรูปกลายเป็นสารที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีความเป็นพิษ สารบางชนิดอาจถูกย่อยสลายได้ไม่สมบูรณ์ ในขณะที่สารบางชนิดอาจถูกย่อยสลายจนกระทั่งได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นสารอนินทรีย์ การย่อยสลายโดยพืชประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกพืชจะดูดซึมสารมลพิษอินทรีย์ผ่านเข้าสู่ราก และขั้นที่สองจะเกิดการเผาผลาญสารอินทรีย์ในพืช

การเผาผลาญสารอินทรีย์ในพืชแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การเปลี่ยนรูป (transformation) ซึ่งสารที่ได้จากการเปลี่ยนรูปมักจะมีความเป็นพิษน้อยลง และละลายน้ำได้ดีกว่าสารประกอบดั้งเดิม (2) การรวมกัน (conjugation) เป็นการรวมกันของสารมลพิษอินทรีย์กับโมเลกุลที่ละลายน้ำได้ดี เช่น กรดมาโลนิก กลูโคส กลูตาไธโอน ซิสเทอีน และกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ เอนไซม์ malonyl transferase, glucosyl transferase และ glutathione transferase ทำให้ผลผลิตที่ได้ในขั้นตอนนี้ลดความเป็นพิษลง หรือไม่มีความเป็นพิษเลยเมื่อเปรียบเทียบกับสารประกอบดั้งเดิม (3) การแยกสารที่รวมกันแล้วออกเป็นสัดส่วน (sequestration) เพื่อเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอล (นัยนันทน์ อริยกานนท์, 2558)

ผักตบชวากับการบำบัดสารอนินทรีย์

ผลการวิจัยพบว่า ผักตบชวามีความสามารถในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเซรามิคได้หลายชนิด ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดเหล็ก สังกะสี แคดเมียม ทองแดง โครเมียม และโบรอนในน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 99%, 98%, 96%, 88%, 83% และ 75% ตามลำดับ นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังพบว่าโลหะหนักจะสะสมในส่วนรากมากกว่าลำต้นและใบถึง 10 เท่า (Elias et al., 2014)

ในกรณีของโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูง เช่น ปรอท พบว่าเมื่อทดลองปลูกผักตบชวาในสารละลายธาตุอาหารที่มีไอออนของปรอท ผักตบชวาจะสะสมไอออนของปรอทไว้ที่บริเวณราก ใบ และลำต้น เท่ากับ 1.99, 1.74 และ 1.39 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Malar et al., 2015)

การศึกษาความสามารถของผักตบชวาในการบำบัดสังกะสีออกไซด์ขนาดนาโนเมตร โดยการปลูกพืชในสารละลายสังกะสีออกไซด์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 3.5, 5.0 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 15 วัน พบว่าผักตบชวาสามารถบำบัดสังกะสีออกไซด์ขนาดนาโนเมตรได้เท่ากับ 93%, 91% และ 87% ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าผักตบชวาที่ปลูกในสารละลายสังกะสีออกไซด์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสะสมสังกะสีไว้ในราก ลำต้น และใบได้มากที่สุดเท่ากับ 945.83 ± 73.69, 129.11 ± 5.93 และ 61.44 ± 3.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Bookrue and Ariyakanon, 2017)

ผักตบชวาจัดว่าเป็นพืชประเภท hyperaccumulator หมายถึงพืชชนิดพิเศษที่สามารถสะสมโลหะหนักได้ในระดับที่สูงมาก โดยที่ไม่แสดงอาการผิดปกติ สำหรับกลไกการดูดโลหะหนักของผักตบชวา เรียกว่าการสกัดโดยพืช (Phytoextraction) กระบวนการนี้เริ่มจากการที่พืชดูดซึมสารมลพิษผ่านเข้ามาทางเซลล์ราก

ในขณะที่โลหะหนักบางส่วนจะถูกจับไว้ที่บริเวณผนังเซลล์ ต่อมาโลหะหนักจะถูกเคลื่อนย้ายเข้ามาในเนื้อเยื่อพืชเนื่องจากความต่อเนื่องของเนื้อเยื่อชั้นผิว (epidermis) และคอร์เทกซ์ (cortex) ในราก จากนั้นจึงเกิดการเคลื่อนย้ายของโลหะหนักจากรากไปยังส่วนยอด ซึ่งน่าจะเป็นการขับเคลื่อนโดยกระบวนการคายน้ำ เมื่อโลหะหนักเคลื่อนย้ายมายังเซลล์ของส่วนยอด พืชจะมีกระบวนการลดความเป็นพิษของโลหะหนัก จากนั้นจึงเก็บโลหะหนักไว้ในตำแหน่งที่จะไม่เป็นอันตรายต่อกระบวนการที่สำคัญในระดับเซลล์ (นัยนันทน์ อริยกานนท์, 2558)

ผักตบชวากับการบำบัดอินทรียวัตถุและธาตุอาหาร

ความสามารถของผักตบชวาในการกำจัดอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำได้มีการวิจัยกันทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ ในเรือนทดลอง และในพื้นที่จริง ผลการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านพบว่าการปลูกผักตบชวาในน้ำเสียจะช่วยลดความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไอออน แอมโมเนียไนเตรท ฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟอสเฟตได้ นอกจากนั้นผักตบชวายังมีส่วนทำให้ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids) ในน้ำลดลงอีกด้วย

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ผักตบชวาพบว่า จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อเวลาผ่านไป 14 ชั่วโมง โดยค่าซีโอดีและบีโอดีจะลดลง 79% และ 86% ตามลำดับ ส่วนการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ฟอสเฟต และแอมโมเนียมีค่าเท่ากับ 76.61%, 44.84%, 73.02%, 38.69% และ 72.48% ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าส่วนรากของผักตบชวาจะทำหน้าที่ขนส่งธาตุอาหาร ในขณะที่ส่วนยอดจะทำหน้าที่สะสมธาตุอาหาร ซึ่งในที่นี้คือไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Valipour et al., 2015)

กลไกสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดธาตุอาหารของผักตบชวาคือ การกรองโดยรากพืช (Rhizofiltration) หมายถึงการที่รากพืชดูดหรือกรองสารมลพิษ ในกรณีที่สารมลพิษอยู่ในรูปของสารละลายที่ปนเปื้อนในน้ำ ซึ่งพืชจะสะสมสารมลพิษไว้ในรากเท่านั้น เมื่อทำการเก็บเกี่ยวพืชหลังจากทำการบำบัดสารมลพิษแล้ว จึงสามารถนำส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของพืชไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับส่วนรากนั้นจำเป็นจะต้องนำไปบำบัดด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสมต่อไป

บทสรุป

แม้ว่าผักตบชวาจะจัดว่าเป็นวัชพืชต่างถิ่นที่สร้างปัญหาในแหล่งน้ำของประเทศไทย แต่ก็เป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น เป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ยหมักชีวภาพ และบำบัดสารมลพิษในน้ำ ผักตบชวาได้รับการวิจัยมาอย่างต่อเนื่องถึงประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก สารฆ่าแมลง และธาตุอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย ซึ่งการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ อาศัยกลไกตามธรรมชาติ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการบริหารจัดการ และควบคุมการเจริญเติบโตของผักตบชวาในระบบให้เหมาะสม ตลอดจนการตรวจสอบคุณภาพของน้ำเสียเป็นระยะอย่างสม่ำเสมอ จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ผักตบชวาดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- นัยนันทน์ อริยกานนท์. 2558. การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมโดยพืช. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิกิพีเดีย. 2560. ผักตบชวา. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://th.wikipedia.org/wiki/ [14 ธันวาคม 2560]

ภาษาอังกฤษ

- Anudechakul, C., Vangnai A. S., Ariyakanon N. 2015. Removal of chlopyrifos by water hyacinth (Eichhornia crassipes) and the role of a plant-associated bacterium. **International Journal of Phytoremediation** 17: 678-685.
- Bookrue, E and Ariyakanon, N. 2017. Effects of ZnO nanoparticle on plant growth, plant stress, Zn bioaccumulation in water hyacinth (Eichhornia crassipes). **The 4th EnvironmentAsia International Conference** June 21-23, 601-614.
- Elias, S. H., Mohamed, M., Anuar, A.N., Muda, K., Hassan, M. A. H. M., Othman, M. N., Chelliapan, S.2014. Water hyacinth bioremediation for ceramic industry wastewater treatment-Application of rhizofiltration system. **Sains Malaysiana** 43(9): 1397-1403.
- Hossain, M.E., Sikder, H., Kabir, M.H., Sarma, S.M. 2015. Nutritive of water hyacinth (Eichhornia crassipes). **Journal of Animal and Feed Research** 5(2): 40-44.
- Malar, S., Sahi, S.V., Favas, P.J., Venkatachalam, P. 2015. Mercury heavy-metal induced physiochemical changes and geotoxic alterations in water hyacinths [Eichhornia crassipes (Mart.)]. **Environmental Science and Pollution Research** 22: 4597-4608.
- Rezania, S., Ponraj, M., Talaiekhozani, A., Mohamad, S.E., Din, M.F.M., Taib, S.M., Sabbagh, F., Sairan, F. D. 2015. Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. **Journal of Environmental Management** 163: 125-133.
- Valipour, A., Raman, V.K., Ahn, Y. H. 2015. Effectiveness of domestic wastewater treatment using A bio-hedge water hyacinth wetland system. **Water** 7: 329-347.
- Vidya, S. and Girish, L. 2014. Water hyacinth as a green manure for organic farming. **International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences** 2: 65-72.