

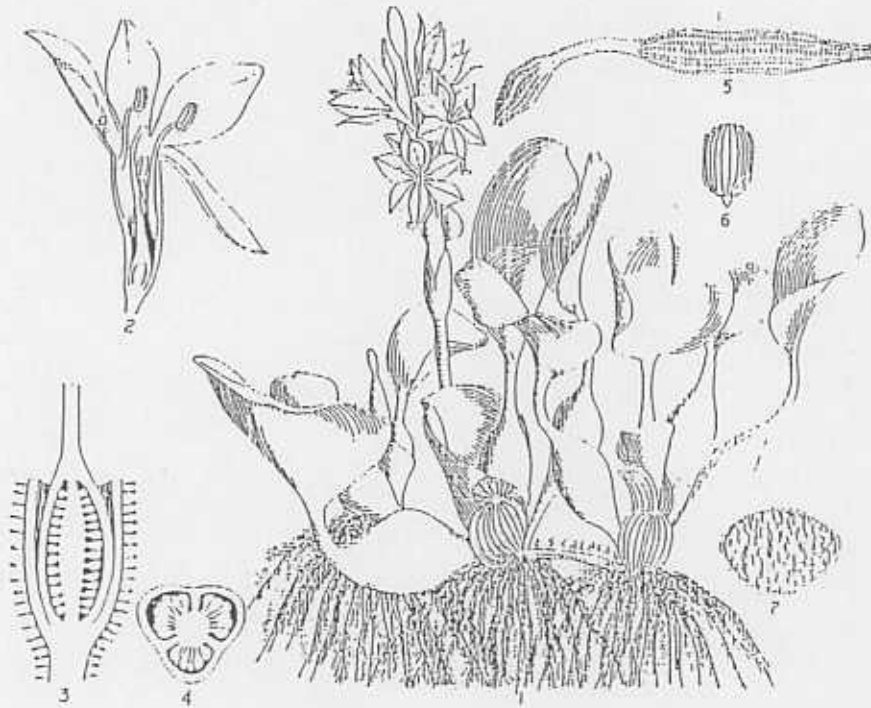
บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผักตบชวา

ผักตบชวามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* ชื่อสามัญคือ Water hyacinth ในประเทศไทยมีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น ผักตบ ผักบัวลอย ผักปอด ผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำ สามารถเจริญงอกงามได้โดยไม่ต้องยึดเกาะกับสิ่งใด จัดเป็นประเภทลอยน้ำได้ (floating plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดิน แต่ถ้าน้ำตื้นรากก็จะยังยึดติดกับพื้นดินได้ ลักษณะของผักตบชวาเป็นทรงตรงประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก (ภาพที่ 2.1) ต้นหนึ่งจะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไป ที่โคนก้านใบจะมีกาบใบลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ สีขาวแกมเขียวอ่อน ๆ เมื่อมีอายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล บริเวณกาบใบเป็นสีน้ำตาลแกมม่วง แต่ละต้นเชื่อมต่อกันโดยไหล ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำ ช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น ผักตบชวาต้นหนึ่งจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน ซึ่งจะเจริญขึ้นเป็นต้นใหม่ แต่ยังติดกับต้นเดิมจึงเกิดเป็นกอผักตบชวาขึ้น รากของผักตบชวาเป็นชนิดรากฝอย รากที่แทงออกจะมีลักษณะอวบสีขาว เมื่ออายุมากขึ้นจะมีรากขนอ่อน ที่มีสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อแก่รากขนอ่อนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแก่จนถึงสีดำ ความยาวของรากจะแตกต่างกันไปบางเส้นยาวเกือบถึงหนึ่งเมตร (60-90 เซนติเมตร)

ใบเป็นแบบใบเดี่ยวชูตั้งขึ้นประกอบด้วยแผ่นใบ และก้านใบ แผ่นใบมีลักษณะคล้ายรูปไตหรือคล้ายรูปหัวใจ มักมีความกว้างมากกว่าความยาวหรือเกือบจะเท่า ๆ กัน ระบบเส้นใบ ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหาร เป็นแบบเส้นใบขนาน ก้านใบโปร่งเบาลักษณะกลมเรียบอวบน้ำ ถ้าผักตบชวาเจริญอยู่ห่างกัน ลำต้นจะเล็กและก้านใบมักจะพองออกเป็นท่อนลอยน้ำ แต่ถ้าผักตบชวาเจริญอยู่ในที่เบียดชิดกันมาก โดยเฉพาะในน้ำนิ่ง ก้านใบจะไม่พอง นอกจากนั้นก้านใบยังยาวมาก บางแห่งพบว่ายาวถึง 1 เมตร การเกิดใบอ่อนจะเกิดตรงกลางกอโดยแผ่นใบของใบอ่อนจะม้วนหุ้มรอบโคนก้านใบใกล้เคียงและมีกาบใบบางใสหุ้มรอบอีกทีหนึ่ง ปลายกาบใบจะมีลักษณะคอดแล้วบาน ขอบหยักเล็กน้อย เป็นเยื่อบาง ๆ เมื่อใบอ่อนโตขึ้นก้านใบก็จะยาวขึ้นต้นกาบใบที่ห่อหุ้มนั้นออก ในระยะแรกใบจะมีสีเขียว ต่อไปจะมีสีเขียวเพิ่มขึ้น ส่วนกาบใบนั้นยังคงติดอยู่ตรงโคนก้านใบ



หมายเหตุ : 1. ราก

2. ดอก (ภาพตัดแนวตั้ง)

3. รังไข่ (ภาพตัดแนวตั้ง)

4. รังไข่ (ภาพตัดขวาง)

5. แกลบชูล

6. เมล็ด

7. ก้านใบ (ภาพตัดขวาง)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะทางกายวิภาคของผักตบชวา *Eichhornia crassipes*.

ที่มา : Leroy G. Holm and other, 1977

ดอกผักตบชวาออกดอกเป็นช่อในช่อหนึ่งจะมีจำนวนดอกแตกต่างกันไป แต่ละดอกไม่มีก้านดอก ช่อดอกจะเกิดบริเวณกลาง ๆ ต้น มีลักษณะการเกิดคล้ายใบคือที่โคนก้านจะมีกาบใบบางหุ้มไว้และที่ปลายก้านมีแผ่นใบเล็ก ๆ เกิดขึ้นด้วย ช่อดอกจะเจริญมาจากโคนก้านใบเล็ก ๆ นี้ โดยที่ใบครั้งแรกจะมีกาบใบบาง ๆ หุ้มช่อดอกไว้ชั้นหนึ่ง และมีกาบใบอีกอันหุ้มโคนก้านใบไว้ เมื่อช่อดอกเจริญขึ้นก้านช่อดอกจะค่อย ๆ ขาวพองใหญ่ขึ้น ทำให้ภายในที่หุ้มก้านช่อดอกกับก้านใบขาดออก และเมื่อก้านช่อดอกเจริญมากขึ้นก็จะดันกาบใบด้านในขาด ก้านช่อดอก ก็แทงชูช่อดอกเจริญโผล่ขึ้นมา โดยมีใบเล็ก ๆ ที่ปลายก้านใบ และภายในทำหน้าที่เป็นใบประดับ รองรับช่อดอกอีกทีหนึ่ง เมื่อเจริญเต็มที่แล้วดอกมักจะบานพร้อมกันหมดทั้งช่อเพียง 1 วัน หลังจากนั้นจะเกยขาดเป็นเกลียวแล้วก้านดอกจะโค้งลงสู่พื้นน้ำ ผักตบชวาค้นหนึ่ง ๆ จะมีดอกได้หลายช่อดอกแต่ละดอกประกอบด้วยกลีบดอก 6 กลีบ ปลายกลีบแยกเป็นแฉก มีขนาดแตกต่างกัน ส่วนโคนกลีบจะติดกันเป็นหลอดมีสีเขียวติดกับช่อดอก กลีบรวมจะมีสีม่วงอ่อน กลีบตรงกลางหนึ่งอันจะใหญ่เท่ากลีบอื่นมีสีเหลืองแต้มทับบนสีม่วง นอกจากนี้มีเกสรตัวผู้ 6 อันติดอยู่ที่ตอนล่างของกลีบดอก อับเกสรตัวผู้มีสีเหลือง ส่วนเกสรตัวเมียมีส่วนตรงปลายเรียกว่า stigma มีสีม่วงอ่อนอยู่บนก้านต่อจากรังไข่ซึ่งอยู่เหนือกลีบดอก ส่วนเมล็ดมีขนาดเล็กสีน้ำตาลเข้ม สามารถรักษาการงอกอยู่ได้นานถึง 15 ปี

การแพร่พันธุ์ของผักตบชวามี 2 วิธี คือ โดยการแตกไหลและใช้เมล็ด ผักตบชวาสามารถขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาล ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงกว่า 10 องศาเซลเซียสขึ้นไป ส่วนมากใช้วิธีแตกไหลในน้ำที่มีธาตุไนโตรเจนสูง และมีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างระดับปานกลาง ถ้าต้นใหม่จะติดอยู่กับลำต้นแม่เป็นจำนวนมากจนเป็นกอใหญ่หลังจากที่ต้นอ่อนเกิดรากและใบของตนเองภายในเวลาเพียงไม่กี่วัน ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ผักตบชวาสามารถเพิ่มจำนวนได้สูงมาก กล่าวคือ ผักตบชวา 2 ต้น สามารถผลิตต้นเล็ก ๆ โดยการสร้างหน่อได้ถึง 300 ต้นภายในระยะเวลาเพียง 23 วัน และหากเพิ่มเวลาเป็น 4 เดือน จำนวนผักตบชวาจะเพิ่มขึ้นเป็น 1,200 ต้นภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญเติบโต ผักตบชวา 10 ต้นสามารถเพิ่มเป็น 600,000 ต้นได้ภายในเวลาเพียง 8 เดือน ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ผิวน้ำได้ถึงกว่า 6 ไร่ (Wolverton and McDonald, 1979 อ้างถึงในทิพย์วัลย์ คำเหม็งและวรรณวิไล อธิวาสพงศ์, นปป.) ส่วนการขยายพันธุ์โดยเมล็ดก็มีประสิทธิภาพมาก ในต้นหนึ่ง ๆ จะให้เมล็ดถึง 5,000 เมล็ด ผักตบชวาจะมีดอกเมื่ออายุเพียง 26 วันเท่านั้น เมล็ดของมันอาจเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำได้ไกล ๆ หรือติดไปกับสัตว์ เช่นนกบินไปยังแหล่งน้ำอื่น ๆ แล้วงอกเป็นต้นใหม่ได้ง่าย เมื่อผักตบชวาแพร่ไปสู่แหล่งน้ำใหม่ก็ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ได้อย่างรวดเร็ว

2.2 ผลกระทบของฝักตบชวาค่อสภาพแวดล้อม

2.2.1 ผลทางด้านกายภาพ

1) ผลกระทบที่มีต่อลักษณะภูมิประเทศ

ฝักตบชวาเป็นวัชพืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำเมื่อขึ้นอยู่ในแหล่งน้ำจึงทำให้สภาพภูมิประเทศในบริเวณนั้นเปลี่ยนแปลงไป ในส่วนที่เกิดผลดี นั้นเกิดขึ้นเมื่อฝักตบชวาเจริญเติบโตอยู่บนผิวน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากชุมชน ฝักตบชวาที่ลอยอยู่อย่างหนาแน่นในน้ำจะทำหน้าที่บดบังสภาพซึ่งไม่น่าดูของน้ำที่เกิดการเน่าเสีย

2) ผลกระทบที่มีต่อสภาพทางอุทกวิทยา

การมีฝักตบชวาเจริญเติบโตอยู่ในแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดผลกระทบต่องสภาพทางด้านอุทกวิทยาของแหล่งน้ำดังนี้

- น้ำระเหยสูงกว่าปกติ 2-3 เท่า เนื่องจากการคายน้ำของฝักตบชวา
- ลดการส่องผ่านแสงแดดลงสู่แหล่งน้ำ ด้วยเหตุนี้้น้ำบริเวณใต้กลุ่มฝักตบชวา จึงมีความเข้มแสงน้อยไม่เพียงพอสำหรับการดำรงชีพของพืชจำพวกสาหร่ายและไฟโตแพลงตอน ซึ่งเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง และมีออกซิเจนเป็นผลพลอยได้เกิดขึ้น เมื่อขาดสิ่งมีชีวิตประเภทนี้้น้ำในแหล่งน้ำจึงมีแนวโน้มที่เกิดสภาพการขาดแคลนออกซิเจนหรือมีระดับออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่าแหล่งน้ำทั่วไป
- ฝักตบชวาที่จมลงสู่ใต้น้ำก่อให้เกิดอุปสรรคกับการระบายน้ำ เนื่องจากทางเดินของน้ำเดินเร็ววกว่าปกติ ทำให้อัตราการไหลของน้ำลดลง

2.2.2 ผลกระทบทางด้านชีวภาพ

1) ผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

- ฝักตบชวาเป็นทั้งอาหาร ที่อยู่อาศัย และที่หลบภัยของสัตว์น้ำ ในแหล่งน้ำที่มีฝักตบชวา จึงช่วยให้สัตว์น้ำบางประเภทมีอัตราการอยู่รอดจนถึงวัยสืบพันธุ์สูงกว่าแหล่งน้ำที่ไม่มีฝักตบชวาขึ้น ในกรณีนี้ฝักตบชวาก็จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มผลผลิตของสัตว์น้ำในแหล่งน้ำ อันจะมีผลดีต่อการประมงในแหล่งน้ำนั้นๆ ส่วนผลเสียของฝักตบชวาที่มีต่อสัตว์น้ำนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากสาเหตุที่ฝักตบชวาเป็นตัวการทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ทำให้สัตว์น้ำได้รับผลเสียหาย หากไม่สามารถทนต่อสภาพดังกล่าวได้ก็จะตายลงหรือย้ายถิ่นไปอยู่ที่อื่น

2) ผลกระทบต่อพืชเศรษฐกิจ

ในพื้นที่ที่มีผักตบชวาเจริญเติบโตอยู่หรือมีผักตบชวาแพร่กระจายเข้าไป จะมีผลเสียหายต่อพืชเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตอยู่แต่เดิม เช่น ผักบุ้ง ผักกะเฉด

2.2.3 ผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต

1) ผลทางสังคม

ในแหล่งน้ำที่มีผักตบชวาเจริญเติบโตหนาแน่นมาก ๆ ชากผักตบชวาที่ตายลงทับถมเน่าเปื่อย ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นขึ้นกับชุมชนบริเวณใกล้เคียง

2) ผลกระทบทางด้านสาธารณสุข

แหล่งน้ำที่มีผักตบชวาขึ้นอยู่มาก จะมีความเหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งอาศัยและแพร่พันธุ์ของยุงที่อาจเป็นสาเหตุของการแพร่กระจายโรคหลายชนิด เช่น มาลาเรีย สมอ อักเสบ เท้าช้าง และเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของหอยทากน้ำจืด เช่น *Bulinus* และ *Biomphalaria* ซึ่งเป็นพาหะ (intermediate host) ของพยาธิใบไม้เลือด (schistosomiasis) โดยหอยทากชนิดนี้จะเกาะอาศัยอยู่บริเวณรากของผักตบชวา

2.3 การใช้ประโยชน์จากผักตบชวา

เนื่องจากผักตบชวาแพร่พันธุ์ได้รวดเร็วจึงนำมาใช้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

- 1) ใช้เป็นอาหารของสัตว์จำพวกวัว ควาย หมู แพะ และแกะ เป็นต้น
- 2) ใช้เป็นวัตถุดิบดิน เพื่อรักษาความชุ่มชื้นของดินและผักตบชวาที่ใช้คลุมดินและสลายเป็นปุ๋ยไปในที่สุด
- 3) ผักตบชวามี ส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม (N-P-K) ก่อนข้างสูง จึงเหมาะสมสำหรับทำปุ๋ยหมัก โดยกองสลับชั้นกับดิน ปุ๋ยคอก ขยะ และขี้เถ้า จนเน่าเปื่อยกลายเป็นปุ๋ยหมัก
- 4) ใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ดฟาง
- 5) ใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนของมนุษย์และสัตว์ โดยการสกัดโปรตีนจากใบผักตบชวา
- 6) สกัดส่วนต่าง ๆ ของผักตบชวามาใช้เป็นเคมีภัณฑ์หลายอย่างเช่น
 - อิบเบอเรลลิน (gibberellin) ได้มาจากรากของผักตบชวา สารนี้ใช้กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชจำพวกข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ถั่ว และปอกระเจา

- ผลึกแคลเซียมออกซาเลทสามารถเปลี่ยนไปเป็นกรดออกซาลิกสำหรับอุตสาหกรรม

ต่าง ๆ

- แอลกอฮอล์ ได้จากการบูดเน่าของเนื้อเยื่อผักตบชวา
- ขาฆ่าแบคทีเรีย สกัดได้จากเนื้อเยื่อของผักตบชวา มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ

เพนนิซิลลิน

- 7) ใช้ทำวัสดุต่าง ๆ เช่น ทำเครื่องเรือนแผงฉนวนไฟฟ้า ตู้วิทยุโทรทัศน์ เป็นต้น
- 8) ใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น พรมปูพื้น เพลญวน กระบุง ตะกร้า ชะลอม และเชือก
- 9) ใช้ผักตบชวามาบดน้ำเสีย โดยผักตบชวาจะช่วยดูดสิ่งสกปรกโสโครกและธาตุอาหารในน้ำที่มาจากแหล่งต่างๆ เช่น สิ่งขับถ่ายจากมนุษย์และสัตว์ สิ่งสกปรกจากโรงงานอุตสาหกรรม
- 10) ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้แบคทีเรียช่วยย่อยผักตบชวาจนเกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซ

หุงต้ม

- 11) ใช้ทำแท่งเพาะชำ โดยเอาผักตบชวามาบีบแล้วตากให้แห้ง และนำมาผสมกับดินเพื่อช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น

2.4 องค์ประกอบทางเคมีในผักตบชวา

ปรีชญา ธีัญญาติ (2524) พบว่าผักตบชวาสามารถดูดเก็บแร่ธาตุและสารละลายอยู่ในน้ำไว้ได้เป็นจำนวนมาก โดยการทดลองปล่อยผักตบชวาลงในบ่อน้ำโสโครกที่ระบายจากที่อยู่อาศัยปรากฏว่าผักตบชวาเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 17-22 ไฟเบอร์ร้อยละ 15-18 เถ้าร้อยละ 16-20 และมีส่วนประกอบของแร่ธาตุที่สำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของแร่ธาตุที่สำคัญในผักตบชวา

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)
คาร์บอน (C)	32-35
ไฮโดรเจน (H)	5.4-5.8
ไนโตรเจน (N)	2.8-3.5
โปแตสเซียม (K)	2.0-2.5
โซเดียม (Na)	1.5-2.5
แคลเซียม (Ca)	0.6-1.3
ฟอสฟอรัส (P)	0.4-1.0
กำมะถัน (S)	0.3-0.4
แมกนีเซียม (Mg)	0.2-0.3

หมายเหตุ : โปรตีนหยาบ (crude protein) = % ไนโตรเจน x 6.25

ที่มา : ปรัชญา ธัญญาดิ, 2524

องค์ประกอบทางเคมีและแร่ธาตุแต่ละตัวมีค่าแตกต่างกันทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความแตกต่างของอายุของผักตบชวา ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมในผักตบชวาตามอายุ

อายุ (วัน)	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โปแตสเซียม
0	1.87	0.43	3.58
15	2.87	0.44	4.58
30	2.51	0.40	6.95
45	1.99	0.37	6.60
60	1.79	0.36	6.31
75	1.69	0.36	6.50
90	1.47	0.36	6.72

ตารางที่ 2.2 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมในผักตบชวาตามอายุ (ต่อ)

อายุ (วัน)	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)		
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โปแตสเซียม
105	1.24	0.30	5.77
120	1.27	0.36	6.0
135	1.32	0.38	5.2
150	1.41	0.40	5.45
165	1.31	0.39	5.30

ที่มา : ประดิษฐา อินทร์สิตและทวีศักดิ์ สักดินมิตร, 2522. อ้างถึงในทิพย์วัลย์ คำเหม็ง, ม.ป.ป.

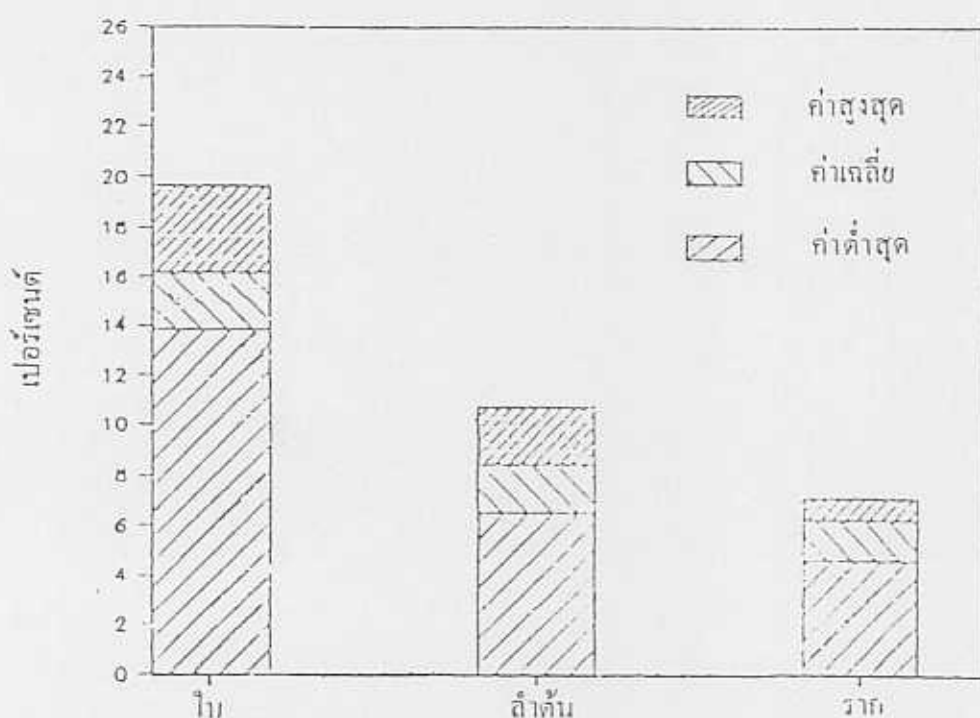
Special Meeting of the ASIA Joint Working Party (อ้างในสิรินทรเทพ เต้าประยูร และคณะ, 2531) ได้รายงานองค์ประกอบของผักตบชวาระหว่าง การเจริญเติบโตดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางโภชนะของผักตบชวาระหว่างการเจริญเติบโตโดยน้ำหนักแห้ง

ส่วนของผักตบชวา ที่ทำการทดลอง	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)						
	ความชื้น	ไขมัน	โปรตีน	เยื่อใย	เถ้า	แคลเซียม	ฟอสฟอรัส
ทั้งต้น (ก่อนมีดอก)	5.84	2.27	20.73	19.07	17.65	1.04	0.69
ทั้งต้น (ขณะมีดอก)	4.74	2.05	12.93	25.65	17.11	0.86	0.54
ทั้งต้น (หลังมีดอก)	5.14	1.80	9.84	26.27	14.05	1.18	0.41
เฉพาะใบ	7.23	2.24	14.88	18.94	12.33	1.34	0.46
เฉพาะราก	7.66	1.48	5.77	26.68	15.79	0.99	2.29

ที่มา : Special Meeting of the ASIA Joint Working Party ระหว่างวันที่ 27-29 กรกฎาคม 2519, กรุงเทพฯ.

ทิพย์วัลย์ คำเหม็งและคณะ (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาองค์ประกอบของผักตบชวาจากแหล่งน้ำต่าง ๆ พบว่าปริมาณโปรตีนหยาบในส่วนใบ ลำต้นและราก แตกต่างกันดังนี้คือ โปรตีนหยาบในส่วนใบของผักตบชวามีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ $(13.81 \pm 0.12) - (19.63 \pm 0.08)$ ในส่วนลำต้นร้อยละ $(6.5 \pm 0.20) - (10.75 \pm 0.15)$ และในส่วนรากร้อยละ $(4.69 \pm 0.21) - (7.12 \pm 0.19)$ ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ค่าโปรตีนหยาบในผักตบชวาส่วนใบ ลำต้นและราก

ที่มา : ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง และคณะ, ม.ป.ป.

จากผลการวิเคราะห์ ส่วนใบน่าจะมีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะมีปริมาณโปรตีนหยวนมากกว่าส่วนอื่น ๆ แต่การเลือกใช้เฉพาะใบมาเป็นอาหารสัตว์จะไม่สะดวกเมื่อเทียบกับการใช้ผักตบชวาทั้งต้น

นอกจากนี้อาจนำผักตบชวาไปทำปุ๋ยได้เพราะมีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม (N-P-K) ก่อนข้างสูง คือ ในส่วนใบ ลำต้นและราก มีไนโตรเจน (2.21 ± 0.02) - (3.14 ± 0.01) , (1.04 ± 0.03) - (1.72 ± 0.02) และ (0.75 ± 0.03) - (1.14 ± 0.03) % มีฟอสฟอรัส (0.31 ± 0.04) - (0.70 ± 0.02) , (0.13 ± 0.02) - (0.28 ± 0.02) และ (0.05 ± 0.01) - (0.09 ± 0.01) % และมีโปแตสเซียม (1.49 ± 0.01) - (2.29 ± 0.02) , (0.69 ± 0.01) - (1.18 ± 0.01) และ (0.37 ± 0.01) - (1.43 ± 0.02) % ดังนั้นการนำผักตบชวามาใช้ทั้งต้นจะทำให้เกิดประโยชน์มากกว่า

โดยทั่วไปแล้วคุณค่าทางโภชนาการของผักตบชวาสูงมากเมื่อคิดจากน้ำหนักแห้งสามารถวิเคราะห์ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทางโภชนาการบางตัวในผักตบชวาแห้งทั้งต้น

การวิเคราะห์	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)
ความชื้น	9.90
โปรตีน	20.50
ไขมัน	3.20
คาร์โบไฮเดรต	33.60
กาก	15.60
เถ้า	16.90
แคลเซียม	1.57
ฟอสฟอรัส	0.78

ที่มา : ทิพย์วัลย์ คำเหม็ง และคณะ, มปป.

2.5 โลหะหนักในผักตบชวา

โลหะหนักเป็นสารพิษที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ และเป็นสิ่งเจือปนที่พบอยู่ทั่วไป สำหรับโลหะหนักที่พบในผักตบชวาอาจมาจากโลหะหนักในแหล่งน้ำ ซึ่งอาจอยู่ในรูปองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของโลหะหนักนั้น การกระจายของโลหะหนักในแหล่งน้ำมีหลายลักษณะ เช่น การละลายน้ำ การปนเปื้อนของสารแขวนลอยในน้ำ หรือปนอยู่กับดินตะกอนใต้น้ำ เป็นต้น ดังนั้นการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นอาหารสัตว์หรือผลิตปุ๋ยหมัก จึงควรศึกษาปริมาณโลหะหนักในผักตบชวาก่อนว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ประโยชน์ดังกล่าวหรือไม่ และได้มีผู้ทดลองนำผักตบชวาคูดสารโลหะหนักในน้ำเสียพบว่าผักตบชวาสามารถสะสมโลหะหนักไว้ได้จึงเป็นแนวทางที่จะใช้ผักตบชวาในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยวิธีอื่น เช่น วิธีทางเคมีซึ่งจะลดปริมาณโลหะหนักลงบ้างแล้ว และใช้ผักตบชวาช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นอีกก่อนปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะ แต่ผักตบชวาที่นำขึ้นจากบ่อบำบัดชนิดนี้มีโลหะหนักภายในต้น จึงไม่สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์หรือปุ๋ยได้ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความสามารถของผักตบชวาในการดูดซับโลหะหนัก

โลหะหนัก	ความเข้มข้นที่ใช้ เมื่อเริ่มการทดลอง มก./ล.	มก.ของโลหะที่ถูกดูดซับ/กรัม นน.แห้งของผักตบชวา ระยะเวลาในการกำจัด (วัน)		
		1	8	16
แคดเมียม	1.0	0.836	1.795	3.111
	4.0	1.621	3.50	9.301
	8.0	4.739	9.336	12.926
ตะกั่ว	1.0	2.308	4.684	6.692
	4.0	7.753	12.495	23.440
	8.0	11.345	20.039	27.600

ที่มา : Muramoto and Oki อ้างถึงใน กรมวิทยาศาสตร์ (พ.ศ. 30) : 18-20

ทิพย์วัลย์ คำเหม็งและคณะ, (ม.ป.ป.) ศึกษาปริมาณโลหะหนักในผักตบชวาที่เก็บตัวอย่าง 50 ตัวอย่างจากแหล่งน้ำของจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าผักตบชวามีเหล็กและแมงกานีสในปริมาณที่ค่อนข้างสูงเท่ากับร้อยละ 34.9 และ 63.13 ตามลำดับ สำหรับตะกั่ว ทองแดงและ สังกะสี พบว่ามีปริมาณเล็กน้อยเท่ากับร้อยละ 0.15, 0.61 ตามลำดับ แคดเมียม นิเกิลและโครเมียมพบในปริมาณที่น้อยมากเท่ากับร้อยละ 0.02, 0.04 และ 0.08 ตามลำดับ แต่ไม่พบปรอทและอาเซนิกเลย จากผลการวิเคราะห์แสดงว่าผักตบชวาที่มีอยู่ในแหล่งน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณโลหะหนักน้อยมากหรือไม่พบเลย (ยกเว้นเหล็กและแมงกานีส) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำในแหล่งน้ำที่มีอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือไม่มีโลหะหนักที่เป็นพิษเจือปนอยู่ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำผักตบชวามาใช้เป็นอาหารสัตว์ และปุ๋ยบำรุงดินได้

2.6 การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการในผักตบชวา เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ และปุ๋ยบำรุงดิน

สิ่งมีชีวิตทั้งหลายจำเป็นต้องการอาหาร สัตว์ได้อาหารอยู่ในรูปอินทรีย์วัตถุก่อนจึงจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วนพืชนั้นได้อาหารโดยดูดซับอนินทรีย์วัตถุที่มีอยู่สิ่งแวดล้อมรอบ ๆ พืชนั้น แต่ทั้งสัตว์และพืชต่างก็มีโครงสร้างที่สำคัญเป็นโปรตีนเหมือนกันทั้งนี้เพราะโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเซลล์ โปรตีนประกอบด้วยโมเลกุลของกรดอะมิโน (amino acids) เป็นจำนวนมากอัดตัวเข้าด้วยกัน ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และยังพบไนโตรเจนอยู่ใน เอ็นไซม์ต่าง ๆ ที่เป็นสารประกอบช่วยเร่งและควบคุมปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตให้ดำเนินไปตามปกติ สัตว์จะได้รับโปรตีนจากอาหารที่รับประทาน ถ้าได้รับโปรตีนไม่เพียงพอเป็นประจำสัตว์จะแสดงอาการขาดไนโตรเจนหรือที่เรียกว่าขาดอาหารโปรตีน ร่างกายจะแคระแกรน การสืบพันธุ์ไม่ค่อยสมบูรณ์ ลูกที่ออกมาก็ไม่สมบูรณ์ การเจ็บป่วยเกิดขึ้นบ่อย ๆ ไม่แข็งแรง และอาจเกิดโรค edema หรือ dropsy ซึ่งเป็นโรคที่มีน้ำหรือของเหลวขังอยู่ในช่องปอด และส่วนอื่น ๆ ที่เป็นช่องว่างในร่างกาย ส่วนพืชนั้นจะได้รับไนโตรเจน โดยดูดซับจากดินในรูป อนินทรีย์วัตถุ แต่มักจะไม่ค่อยเพียงพอแก่ความต้องการ การขาดอาหารขาดไนโตรเจน ก็จะเกิดขึ้น ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะแสดงอาการขาดธาตุอาหารแตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปแล้วพืชที่ขาดไนโตรเจน มักมีอาการดังนี้ (ยงยุทธ โอสดสกา, 2528)

1. พืชจะสูญเสียสีเขียว โดยเฉพาะที่ใบ ใบของพืชจะเหลืองผิดปกติ และร่วงหล่นก่อนกำหนด
2. พืชบางชนิดจะมีลำต้นสีเหลือง บางทีก็มีสีชมพูเจือปนอยู่ด้วย
3. ลำต้นผอมสูง กิ่งก้านลีบเล็ก และมีน้อย

4. พืชโตช้ามาก

5. ให้ผลผลิตต่ำ และคุณภาพเลว

การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการเมื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ และปุ๋ยให้มีคุณภาพ มากขึ้น อาจทำได้โดย การคัดเลือกพืชที่จะนำมาใช้ต้องมียีนส์ประกอบของไนโตรเจนสูงหรือการเติมสารที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูงลงไป แต่ก็มีข้อจำกัดด้านความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์หรือไม่ เพราะพืชบางชนิดไม่มีในท้องถิ่น บางวิธีเสียค่าใช้จ่ายมาก หรือการใส่ปุ๋ยหรือสารอื่นอาจทำให้เกิดความเสียหายมากกว่าผลดี และวิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้กันคือการนำเศษวัสดุที่เหลือใช้ทางเกษตรและวัชพืชไปหมักเพียงอย่างเดียว เช่น ฟางข้าว แกลบ ชี้น้ำอ้อย ถั่วเขียว ชู่มะพร้าว เศษหญ้าและผักตบชวา หรือหมักโดยผสมกับตัวเร่งชนิดอื่น ๆ ที่หาง่ายได้เช่นเดียวกัน คือ มูลสัตว์เลี้ยงต่าง ๆ

มลิวัลย์ เทพพุดผลและคณะ (2521) อ้างถึงในยงยุทธ โอสดสภา (2528) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการทำปุ๋ยหมักจากหญ้าต่าง ๆ และผักตบชวากับมูลวัวอย่างละเท่า ๆ กัน เป็นเวลา 15 สัปดาห์ ปรากฏผลดังนี้

1. การหมักเพียง 5 สัปดาห์อัตราส่วน C:N ของปุ๋ยยังสูง เมื่อหมักต่อไปจนครบ 15 สัปดาห์ C:N จะ ลดลงเหลือค่าใกล้เคียง 10:1 กองผักตบชวาอย่างเดียวมีค่า C:N ต่ำสุด
2. การใช้ผักตบชวากำปุ๋ยหมัก ไม่ว่าจะผสมมูลกระบือหรือไม่ จะได้ปุ๋ยมี pH 8.3-8.6 แต่การใช้หญ้าอย่างเดียวจะเป็นกรดคือ 6.3 แต่ถ้าหญ้าผสมมูลกระบือจะได้ปุ๋ยหมักที่มี pH 7.7
3. เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักในด้านธาตุอาหาร ปุ๋ยจากผักตบชวาอย่างเดียวมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมสูงที่สุด หากเตรียมโดยผสมมูลกระบือจะให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำลง ส่วนโปแตสเซียมยังคงสูงเช่นเดิม ซึ่งแสดงค่าดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของปุ๋ยหมักระหว่างการหมัก

ปุ๋ยหมัก	เวลาหมัก (สัปดาห์)	pH	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)					C/N
			C	N	P	K	ash	
I	5	6.7	37.1	2.45	0.44	1.98	33.2	15.1
	15	6.3	31.6	2.34	0.50	1.94	39.5	13.5
II	5	7.4	27.0	1.93	0.41	1.88	49.4	14.0
	15	7.7	23.8	1.91	0.55	2.23	53.4	12.5

ตารางที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของปุ๋ยหมักระหว่างการหมัก (ต่อ)

ปุ๋ยหมัก	เวลาหมัก (สัปดาห์)	pH	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)					C/N
			C	N	P	K	ash	
III	5	7.7	33.6	3.05	1.46	4.63	36.8	11.0
	15	8.6	31.7	3.38	2.28	3.78	35.8	9.4
IV	5	8.1	27.4	1.95	1.02	3.40	53.1	14.1
	15	8.3	21.6	1.97	0.95	3.30	57.7	11.0

หมายเหตุ I หญ้าต่าง ๆ อย่างเดียว

II หญ้าต่าง ๆ + มูลกระบือ อัตราส่วน 1 : 1

III ผักตบชวาอย่างเดียว

IV ผักตบชวา + มูลกระบือ อัตราส่วน 1 : 1

ที่มา : มลิวัดย์ เทพพูลผล และคณะ, 2521. อ้างถึงใน ขงบุทร โอสดสภา, 2528.

ปริญญ รัชญาดี (2524) ดำเนินการศึกษากการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวา เมื่อใช้ตัวเร่งชนิดต่าง ๆ และคุณภาพทางเคมีบางประการของปุ๋ยหมักผักตบชวา โดยสารเร่งต่าง ๆ ที่ใช้ ได้แก่ มูลวัว มูลสุกร มูลไก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และปูนขาว หมักกับผักตบชวาเป็นเวลา 105 วัน พบว่า ผักตบชวาที่หมักกับมูลสุกร และผักตบชวากับปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต จะให้อัตราส่วน C:N เท่ากับ 10:1 และมีการสลายตัวที่เร็วกว่าปุ๋ยหมักที่ใช้มูลวัว มูลไก่ และปูนขาวเป็นสารเร่ง และสลายตัวได้เร็วกว่าปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ใส่สารเร่ง ซึ่งมีอัตราส่วน C:N เท่ากับ 16:1 แม้ว่าจะมีไนโตรเจนมากที่สุดคือร้อยละ 1.27 แต่การหมักผักตบชวากับสารเร่งชนิดต่าง ๆ จะทำให้การสลายตัวของผักตบชวาเร็วกว่าการที่ไม่ใส่สารเร่งผสมในปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 2.7 คุณภาพทางเคมีของปุ๋ยหมักผักตบชวาที่หมักเป็นเวลา 105 วัน ในโรงผลิตปุ๋ย
กรมพัฒนาที่ดินบางเขน กรุงเทพมหานคร.

ผักตบชวากับ ชนิดของสารเร่ง	อัตราส่วน	ร้อยละของน้ำหนักรวม (%)				
		pH	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C/N
ไม่ใส่สารเร่ง	-	7.2	1.27	1.08	2.41	16:1
มูลสุกร	6:1	7.5	1.07	0.68	2.26	10:1
มูลวัว	6:1	7.1	1.13	0.83	3.46	18:1
มูลไก่	6:1	3.3	1.08	1.08	2.71	13:1
ปุ๋ยแอมโมเนียม- ซัลเฟต	40:1	6.6	0.88	0.95	2.74	10:1
ปุ๋ยขาว	30:1	8.9	0.91	0.84	1.30	21:1

ที่มา: ปรียา ธัญญาธิ, 2524

สารเร่งช่วยให้ระยะเวลาการหมักสั้นลง แต่ผลิตภัณฑ์สารเร่งพัฒนาจากประเทศแถบอบอุ่น การนำมาใช้ในประเทศไทยซึ่งอยู่ในแถบร้อนชื้นอาจให้ผลดีเช่นกัน กล่าวคือหากจุลินทรีย์ในสารเร่งปรับตัวได้ดี ประสิทธิภาพในการย่อยสลายซากพืชในสภาพดังกล่าวสูงก็จะได้ปุ๋ยหมักในเวลาที่รวดเร็วขึ้น หากปรับตัวได้ไม่ดีก็อาจย่อยสลายสารได้ไม่ต่างกับจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ผู้นำสารเร่งมาใช้จึงต้องคำนึงถึงประเด็นนี้ด้วย ก่อนที่จะนำสารเร่งใด ๆ มาเป็นสารเร่งในการหมัก นอกจากนี้ ควรจะตระหนักด้วยว่าจุลินทรีย์เหล่านี้จะไม่กระทบกระเทือนต่อระบบนิเวศของสิ่งแวดล้อม กล่าวคือเมื่อนำปุ๋ยที่หมักแล้วมาใช้จะทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในปุ๋ยหมัก มีจำนวนมากและปนเปื้อนกับสิ่งแวดล้อม การแข่งขันการดำรงชีพกับจุลินทรีย์ดั้งเดิมจะมีผลให้สมดุลทางธรรมชาติของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่เคยเหมาะสมอยู่แล้วต้องเปลี่ยนแปลงไปในทางลบ ก็ถือว่าสารเร่งเหล่านั้นไม่เหมาะแก่การใช้อย่างยิ่ง ดังนั้นสารเร่งที่ดินนอกจากจะมีประสิทธิภาพสูงในการย่อยซากพืชให้เป็นปุ๋ยหมักแล้ว ยังต้องสามารถอยู่ร่วมกับจุลินทรีย์ในธรรมชาติได้เป็นอย่างดี ไม่ทำลายคุณภาพของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมนั้นจนก่อให้เกิดการระบาดของจุลินทรีย์ หรือเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยง

ดังนั้นการหมักที่ใช้วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของสารอาหารของจุลินทรีย์และมีจำนวนจุลินทรีย์มากพอก็ไม่จำเป็นต้องใช้สารเร่งหรือจุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้น เพียงแต่ควบคุมให้สิ่งแวดล้อมมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์เร็วขึ้น

สิรินทรเทพ เต้าประยูรและคณะ (2531) ได้หมักผักตบชวากับ เชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิด คือ เชื้อรา *Trichoderma Viridae* และเชื้อยีสต์ *Candida utilis* โดยหมักเปรียบเทียบกันในสภาวะที่มี แหล่งคาร์บอนจากกากน้ำตาล เปลือกสับปะรด น้ำมะพร้าว และแหล่งของไนโตรเจนจาก Urea $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ และ peptone เพื่อศึกษาการเพิ่มปริมาณโปรตีนในก้านผักตบชวา เพื่อใช้เป็นอาหาร สัตว์ พบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนโดยเฉพาะส่วนก้าน ซึ่งมีโปรตีนอยู่ต่ำเมื่อนำมาหมักร่วมกับ เชื้อยีสต์ พบว่าสามารถเจริญในผักตบชวาทากแห้งได้ดีกว่าในผักตบชวาสดและในช่วงที่มีการเจริญ เติบโตสูงสุดจะทำให้ปริมาณโปรตีนในผักตบชวามากเพิ่มขึ้นด้วย โดยเพิ่มในส่วนก้านมากกว่าใน ใบถึงแม้ว่าในใบจะมีโปรตีนสูงกว่าในก้านก็ตามและเมื่อเติมคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ลงไป พบว่ากาก น้ำตาลและเปลือกสับปะรดสับละเอียดเหมาะสมที่สุดในการเพิ่มปริมาณเซลล์ยีสต์และปริมาณ โปรตีน และการเติมแหล่งไนโตรเจนคือแอมโมเนียมซัลเฟตและยูเรียลงไปจะให้ปริมาณโปรตีน เพิ่มขึ้นสูงกว่า peptone ขณะที่การหมักเชื้อยีสต์กับเชื้อราด้วยกันจะให้โปรตีนเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า หมักกับเชื้อยีสต์เพียงอย่างเดียว แต่เชื้อราจะทำให้ผักตบชวาไม่น่าบริโภค เพราะเชื้อราจะสร้าง สปอร์สีเขียว ออกมาคลุมผักตบชวา

จำริญ ดันติพิศาลกุลและคณะ (2533) ได้ทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับการหมักกลางแจ้ง ซึ่งมีการเตรียมกองหมักเหมือนกัน คือใช้ผักตบชวาทั้งต้นหั่น ขนาด 2-3 เซนติเมตรหมักร่วมกับเชื้อเร่ง บี-2 เปรียบเทียบน้ำทิ้งจากถังหมักชีวภาพที่ใช้น้ำทิ้งจาก โรงงานแปรงไม้สำหรับล้าง และน้ำหมักจากมูลวัว ร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ผสมที่มีความสามารถในการ ย่อยสลายพวกเซลลูโลส ซึ่งมีการควบคุมผลการทดลองโดยการหมักผักตบชวาที่ไม่มีตัวเร่ง คือน้ำ ประปา ผลการวิเคราะห์พบว่าผักตบชวาถูกย่อยสลายได้แม้ว่าไม่มีการเติมสารเร่งใด ๆ ทั้งนี้เนื่อง จากจุลินทรีย์จากแหล่งน้ำที่ติดมากับผักตบชวา อย่างไรก็ตามเมื่อมีเชื้อเร่งอยู่ด้วยทำให้การย่อย สลายดีขึ้นหรือเร็วกว่า และร้อยละของคาร์บอน และร้อยละของไนโตรเจนที่ได้จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเร่งซึ่งเกี่ยวข้องกับแหล่งที่มาของเชื้อเร่งนั้นที่จะทำให้เชื้อเร่งมีคุณสมบัติ แตกต่างกัน การหมักผักตบชวากับจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการช่วยสลายพวกเซลลูโลสจะให้ อัตราส่วนของระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยที่สุด และมีร้อยละการย่อยสลายสูงที่สุด ขณะที่ ผักตบชวาที่หมักกับน้ำหมักมูลวัวก็จะทำให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นในกรณีที่สถานที่ทำปุ๋ย หมักมีมูลวัวอยู่จึงสามารถใช้มูลวัวเป็นแหล่งของเชื้อเร่งได้โดยไม่ต้องซื้อเชื้อเร่ง เพราะนอกจาก ช่วยเร่งให้การย่อยสลายเกิดได้มากขึ้นและเร็วขึ้น การใส่มูลวัวเท่ากับเป็นการเพิ่มปริมาณของ ไนโตรเจนทำให้ปุ๋ยหมักได้ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนจึง ลดลง อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงการใช้อัตราส่วนการหมักระหว่างผักตบชวากับน้ำหมักมูลวัวด้วย เพราะจากการทดลองหมักที่อัตราส่วน 1 : 0.5 จะให้ไนโตรเจนรวมร้อยละ 2.2 และที่อัตราส่วน

1 : 1.5 ซึ่งใช้น้ำหมักมูลวัวมากกว่าให้ในโตรเจนรวมเพียงร้อยละ 1.9 ขณะที่ผักตบชวาสดเมื่อเริ่มต้นมีไนโตรเจนรวมร้อยละ 1.53

2.7 น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์

แหล่งที่มาของสิ่งปฏิกูล และน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์ ได้จาก

1. คอกพักสัตว์ (Stock yards) เป็นแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่งที่ทำให้เกิดน้ำเสีย เพราะประกอบไปด้วยอุจจาระ ปัสสาวะของสัตว์ที่นำมาขังไว้เพื่อรอการฆ่า นอกจากนี้สิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ยังประกอบไปด้วยเศษฟาง เศษหญ้า และเศษอาหาร

2. ห้องฆ่าสัตว์ และห้องทำผลิตภัณฑ์ (Slaughterhouse and Packing plant) มีสิ่งปฏิกูลแบบต่างๆ จะเกิดขึ้นจากแต่ละขั้นตอนของกระบวนการคือ Killing area, Hog dehairing, สถานที่เอาเครื่องในออก (Inside removal) สถานที่ตกแต่งและล้างทำความสะอาดสัตว์ที่ฆ่าแล้ว (Carcass trimming and washing) แหล่งต่าง ๆ เหล่านี้ บริเวณที่ทำความสะอาดสกปรก ได้แก่ Killing area เพราะเป็นแหล่งที่เลือดสัตว์ออกมา บริเวณ Inside removal เป็นบริเวณที่ทำให้เกิดสิ่งปฏิกูลและน้ำเสียรองลงมาจาก Killing floor ส่วนใหญ่จะเป็นพวกอุจจาระ (manure) ไขมัน (Grease) เศษเนื้อ (Fleshing) และขน (hair) (วิพิชญ์ ไชยศรีสงคราม, 2519) เมื่อสิ่งสกปรกดังกล่าวถูกน้ำชะล้างมารวมกันจะทำให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมาก สิ่งสกปรกที่ปนอยู่ในน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์นั้นเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.8 ลักษณะน้ำเสียโรงฆ่าสัตว์

คุณลักษณะน้ำเสีย	ค่าวิเคราะห์ (มก.ต่อ ล.)
BOD	20,913
COD	27,189
Organic Nitrogen	3,967
Ammonia Nitrogen	187

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย อ้างถึงในปริดา แอ้มเจริญวงศ์ และคณะ, 2528

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้นำผลวิเคราะห์น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงฆ่าสัตว์ที่ทันสมัยเปรียบเทียบกับโรงเก่า ได้ค่า ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ลักษณะของน้ำทิ้งโรงฆ่าสัตว์ที่ทันสมัยกับโรงฆ่าสัตว์เก่าในประเทศไทย

คุณลักษณะ	โรงงานทันสมัย	โรงงานเก่า
pH	7.4	7.4
COD	849	3,775
BOD	482	2,248
SS	-	717
TS	-	1,894
TVS	-	75.5
Organic Nitrogen	-	271.5
Ammonia Nitrogen	-	26.5

หมายเหตุ - ไม่ได้วิเคราะห์

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย อ้างถึงใน ศรีณชา เป็ยแดง และคณะ, 2529



สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเป็นอาหารให้จุลินทรีย์ ทำให้สารอินทรีย์เกิดการย่อยสลายได้ดี ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์จึงน่าจะมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปเป็นสารเร่งให้ผักคตขวา เกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น นอกจากนี้สารอินทรีย์ในโตรเจนจะทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์จากการหมักมีคุณภาพดีขึ้น แต่ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ดังเช่น มั่นสิน ต้นจุลเวศน์และไพโรพรรณ พรประภา (2536) สรุปเกี่ยวกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อปลาถูกควบคุมด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น

1. อุณหภูมิ

การย่อยสลายเกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิพอเหมาะประมาณ 5-35 องศาเซลเซียส และจะเพิ่มเป็นเท่าตัวทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

2. พีเอช

พีเอชที่เหมาะสมของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ไม่เท่ากัน แต่กล่าวโดยทั่วไปได้ว่าจุลินทรีย์เจริญได้ดีที่พีเอชเป็นกลางหรือค่อนข้างด่างเล็กน้อย นอกจากฟังไจและยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอชต่ำ

3. ออกซิเจน

การย่อยสลายของสารอินทรีย์ อาจเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน แต่จะถูกเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์และมีเทนในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และสมบูรณ์กว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

4. ส่วนประกอบหรือธรรมชาติของสารอินทรีย์

สารอินทรีย์บางชนิดย่อยสลายได้ง่าย เช่น น้ำตาล แป้ง เป็นต้น บางอย่างย่อยสลายได้ยาก เช่น เซลลูโลส ลิกนิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามสารอินทรีย์เกือบทุกชนิดสามารถถูกย่อยสลายได้ เพราะสามารถพบจุลินทรีย์ได้ทุกหนทุกแห่ง และอัตราการย่อยสลายเกิดรวดเร็วมมากในช่วงต้นของปฏิกิริยา และเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณสารอินทรีย์เหลือน้อย อัตราการย่อยสลายจะช้าลง

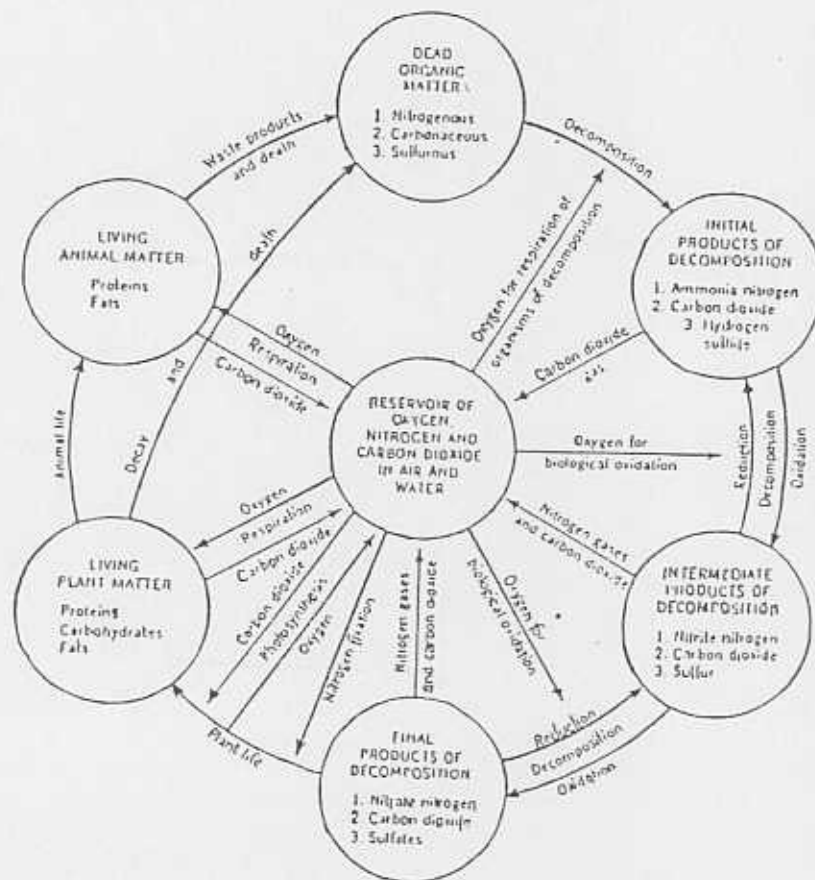
นอกจากนี้ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ มีบทบาทสำคัญในการกำหนดความยากง่ายของการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ อัตราส่วนของปริมาณคาร์บอน และปริมาณไนโตรเจน (C:N ratio) ของสารอินทรีย์นั้นด้วย สารอินทรีย์ใดที่มีปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนอยู่ในอัตราส่วนพอเหมาะและพอเพียง ก็สามารถถูกย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้สารประกอบที่มีอัตราส่วน C:N สูงแตกต่างกันมาก เช่น C:N = 100:1 จะย่อยสลายทางชีววิทยาได้ช้ากว่าสารประกอบที่มี C:N ต่ำแตกต่างกันน้อย เช่น C:N = 100:10 การที่เป็นเช่นนั้นเพราะจุลินทรีย์

ต้องการไนโตรเจนให้เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ ถ้าการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่มีไนโตรเจนอย่างสมบูรณ์ การย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

วิทยา มะเสนา (2530) ได้ศึกษาจุลชีววิทยาทางดินเกี่ยวกับการย่อยสลายซากพืชในดินพบว่า อัตราการย่อยสลายซากพืชจะขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนในพืชนั้น ถ้าพืชชนิดใดมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก จุลินทรีย์จะมีไนโตรเจนเพียงพอ พืชจะถูกย่อยสลายได้ทันที ขณะที่พืชที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนน้อย จะมีการย่อยสลายช้ากว่า ต้องใส่ไนโตรเจนจากแหล่งอื่นลงไป เช่น ปุ๋ย ยูเรีย หรือปุ๋ยแอมโมเนีย การย่อยสลายของพืชจะเกิดเร็วขึ้น

Sturgis (1992) ได้ศึกษาผลการเติมไนโตรเจนเพื่อช่วยเร่งการย่อยสลายซากของต้นอ้อย ปรากฏว่าอัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น และยังสามารถเพิ่มคุณค่าทางไนโตรเจนและสารอินทรีย์ให้กับดิน นั่นคือทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง เหมาะต่อการเพาะปลูกพืชมากขึ้น

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เป็นขบวนการทางชีวภาพที่ต้องอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวการสำคัญ ดังได้กล่าวข้างต้นแล้วว่าในสภาวะที่มีออกซิเจน การย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และสมบูรณ์กว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งสารอินทรีย์ต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 2.3

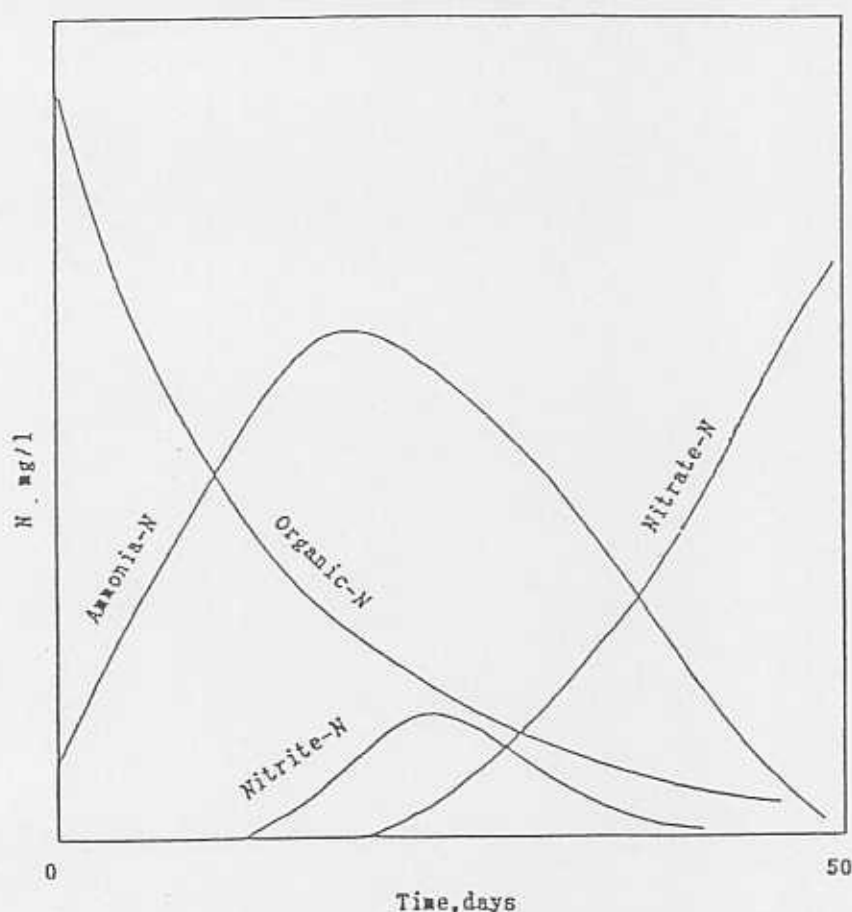


ภาพที่ 2.3 วัฏจักรของออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอน และซัลเฟอร์ในน้ำเสียในสภาวะการย่อยสลายที่ใช้ออกซิเจน

ที่มา : Fair and Geyer (1958) อ้างโดย วิพิชญ์ ไชยศรีสงคราม (2519)

สัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยโปรตีนและไขมัน สามารถดำเนินชีวิตอยู่ได้ด้วยการบริโภคเนื้อสัตว์หรือพืชเป็นอาหาร ส่วนพืชมีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยโปรตีนคาร์โบไฮเดรต และไขมัน เมื่อสัตว์และพืชตายลงซากจะสลายตัวให้สารประกอบประเภทไนโตรเจน คาร์โบไฮเดรต และซัลเฟอร์ ออกซิเจนที่มีมากพอในน้ำและอากาศจะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารประกอบต่าง ๆ เป็นแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซัลเฟต ซึ่งในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนสู่บรรยากาศ ส่วนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลาย จะเป็นอาหารให้กับพืช ซึ่งพืชจะสังเคราะห์แสง ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และเข้าสู่วัฏจักรอีกครั้งเมื่อพืชและสัตว์ตายลง

ไนโตรเจนในน้ำเสียที่เกิดขึ้นใหม่ (Fresh wastewater) จะมีไนโตรเจนในรูปของ สารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 60 และในรูปแอมโมเนียประมาณร้อยละ 40 การย่อยสลายโปรตีนและการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของยูเรียจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย ถ้าในสิ่งแวดล้อมมีปริมาณออกซิเจนมากพอ แบคทีเรียจะออกซิไดส์ (Bacterial oxidation) แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท ซึ่งพืชและสัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์เป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์โปรตีน และเมื่อพืชและสัตว์ตายลง หรือของเสียจากการขับถ่ายจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายอีกครั้ง ดังภาพที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำทิ้งเมื่อเวลาผ่านไป โดย ในระยะแรกสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียจะสูงแต่เมื่อเวลาผ่านไปไนโตรเจนเหล่านี้จะเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรททั้งหมดซึ่งโดยปกติแล้วปริมาณไนไตรท์และไนเตรทในวันแรก ๆ จะมีไม่เกินร้อยละ 1 ถ้าน้ำเสียหรือน้ำทิ้งมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เพียงพอไนโตรเจนรูปต่าง ๆ จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรท ซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเสถียรมากที่สุดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification Process)



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำทิ้งเมื่อเวลาผ่านไป
ที่มา : ทศนิษฐ์ แซ่เตีย, 2531

2.8 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification Process)

เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สารประกอบเจลดัลในโตรเจนรวม (TKN) ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน และแอมโมเนียในน้ำเสีย ถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ในที่สุด โดยอาศัยจุลชีพซึ่งอาจเป็นประเภทเฮเทอโรโทรฟิคแบคทีเรีย (Heterotrophic bacteria) หรือออโตโทรฟิค แบคทีเรีย (Autotrophic bacteria) ก็ได้ โดยแบคทีเรียที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการไนตริฟิเคชันนี้คือ Nitrifying bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียประเภทออโตโทรฟ เรียกว่า Autotrophic nitrifying bacteria จะได้รับพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตจากการออกซิเดชัน (Oxidation) สารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น

กระบวนการไนตริฟิเคชันประกอบด้วยกระบวนการ 2 ขั้น ตามชนิดของ Autotrophic nitrifying bacteria 2 ชนิด ดังนี้

ขั้นที่ 1

Nitrosomonas Spp.



แอมโมเนียม-ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) จะถูกออกซิไดส์โดย *Nitrosomonas Spp.* เป็น ไนเตรต์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2 - \text{N}$)

ขั้นที่ 2

Nitrobacter Spp.



ไนเตรต์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2 - \text{N}$) จะถูกออกซิไดส์โดย *Nitrobacter Spp.* เป็นไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3 - \text{N}$)

แบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดเป็น Obligate autotrophs ที่มีคุณสมบัติเฉพาะในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเท่านั้น เพื่อให้เกิดพลังงานที่ Autotrophic nitrifying bacteria จะรีดิวส์สารประกอบอินทรีย์คาร์บอน เช่น CO_2 , Carbonate หรือ Bicarbonate เพื่อให้ได้คาร์บอนสำหรับสร้างเซลล์

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันมีหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ พีเอช อัตราส่วน BOD_5/TKN ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรต์ อุณหภูมิ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไปนี้

1. ระดับพีเอช (pH)

ระหว่างกระบวนการไนตริฟิเคชันจะเกิดไฮโดรเจนไอออนขึ้น และผลตามมาก็คือพีเอชจะมีค่าลดต่ำลง โดยทฤษฎีแล้วความเป็นด่าง 7.1 กรัม as $CaCO_3$ จะลดลงทุก ๆ 1 กรัมของไนเตรท-ไนโตรเจนที่เกิดขึ้น และถ้าในระบบมีสารบัฟเฟอร์เพียงพอ หรือมีความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำ ระดับพีเอชจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าระบบมีบัฟเฟอร์ไม่พอค่าพีเอชจะลดลงอย่างชัดเจน ในทางปฏิบัติการลดลงของพีเอชสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเริ่มถูกรบกวน เพราะไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชเป็นอย่างมาก และค่าพีเอชที่แบคทีเรียชนิดนี้จะสามารถดำรงชีพอยู่ได้ดีจะเป็นช่วงค่าพีเอชระหว่าง 7.5-8.5 ดังนั้นการลดต่ำของพีเอชจะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันลดต่ำลงด้วย

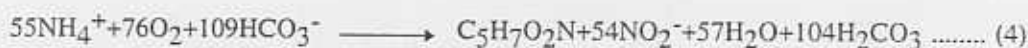
แต่กระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถเกิดที่ระดับพีเอชต่ำได้ จากการศึกษากการย่อยสลายกากตะกอนของของเสียในสภาวะที่มีออกซิเจนของ Jaworski และคณะ (1963) ที่ระดับพีเอชของน้ำเสียอยู่ในช่วง 5.0-5.5 กระบวนการไนตริฟิเคชันก็ยังดำเนินไปได้ตามปกติ ขณะที่ความเป็นด่างลดลงจาก 700 เหลือ 100 มก. ต่อลิตร (as $CaCO_3$) แต่ทั้งนี้ น้ำเสียนั้นต้องมีความเข้มข้นไนโตรเจนสูง

ระดับพีเอชที่เกิดจากไฮโดรเจนไอออนจะถูกปรับให้สูงขึ้นได้โดยคาร์บอเนต (HCO_3^-) ดังสมการ



เมื่อพิจารณาสมการที่ 1 และ 2 ถ้ามีสารบัฟเฟอร์เพียงพอ กระบวนการไนตริฟิเคชันอาจแสดงได้ดังนี้

Nitrosomonas Spp.



Nitrosomonas Spp.



จะได้สมการรวมของปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการไนตริฟิเคชัน ดังนี้



จากสมการที่ 6 จะพบว่า การออกซิเดชันสารประกอบแอมโมเนียจำนวน 1 มิลลิกรัม (ในรูปของไนโตรเจน) นั้นจะต้องใช้สารประกอบไบคาร์บอเนตจำนวน 7.07 มิลลิกรัม as CaCO_3 โดยที่ส่วนน้อยของสารประกอบไบคาร์บอเนตจะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะถูกนำไปเพื่อปรับความเป็นด่าง (Neutralization) ให้กับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ถูกปล่อยออกมาในระหว่างการออกซิเดชัน

2. ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved-Oxygen Concentration, DO)

เนื่องจากจุลินทรีย์ Nitrifying bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ ดังนั้นในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดจะทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันไม่เกิดขึ้น อย่างน้อยต้องควบคุมให้มีความเข้มข้นของออกซิเจนไม่ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร

3. BOD_5/TKN Ratio

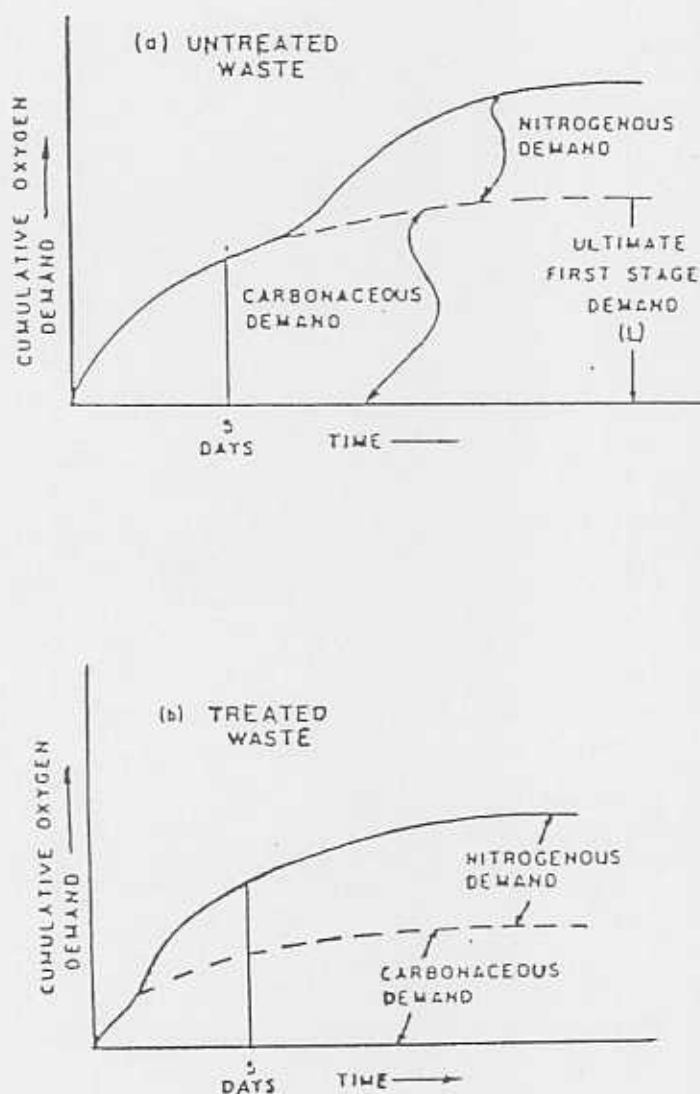
ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจน และจำนวนที่พบจะถูกจำกัดด้วยอัตราส่วนของค่า BOD_5/TKN โดยจะพบว่าสัดส่วนจำนวนไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วน BOD_5/TKN มากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้น้อย ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน BOD_5/TKN กับสัดส่วนจำนวนไนโตรฟายอิงแบคทีเรีย

BOD_5/TKN ratio	Nitrifier fraction	BOD_5/TKN ratio	Nitrifier fraction
0.5	0.360	5	0.054
1	0.210	6	0.043
2	0.120	7	0.037
3	0.083	8	0.033
4	0.064	9	0.029

ที่มา : Metcalf and Eddy, 1991

เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนเพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์คาร์บอน (Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand, CBOD) และออกซิไดส์แอมโมเนียเป็นไนเตรตและไนเตรท (Nitrogenous biochemical oxygen demand, NBOD) ดังนั้นในสภาวะที่น้ำเสียมีความเข้มข้นของออกซิเจน ไม่เพียงพอ จะพบไนโตรฟายอิงแบคทีเรีน้อย เพราะเกิดการแย่งชิงออกซิเจนกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นปริมาณออกซิเจนจึงมีน้อยไปที่ไนโตรฟายอิงแบคทีเรียจะใช้ออกซิไดส์สารประกอบไนโตรเจนเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้นเมื่อทำการตรวจวัดน้ำเสียดังกล่าวจึงพบว่าการออกซิไดส์สารอินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนมาก จนกว่าสารอินทรีย์คาร์บอนถูกออกซิไดส์ หรือสารอินทรีย์คาร์บอนจำนวนหนึ่งถูกกำจัดไปและมีออกซิเจนเหลือมากพอที่ไนโตรฟายอิงแบคทีเรียจะนำไปใช้ออกซิไดส์สารประกอบไนโตรเจนได้ ดังนั้นถ้าเติมออกซิเจนให้มากเกินไปอาจทำให้สารอินทรีย์ไนโตรเจนย่อยสลายได้เร็วขึ้น ซึ่งสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังนี้



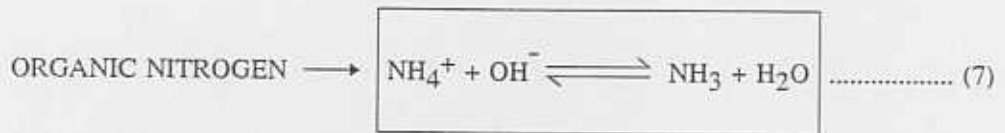
ภาพที่ 2.5 ความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดส์สารอินทรีย์คาร์บอนและสารประกอบไนโตรเจนในน้ำที่ยังไม่ผ่านการบำบัด (a) และเมื่อผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ (b)

ที่มา : Raymond C. Loehr, 1984

4. ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ (Ammonia and Nitrite Concentration)

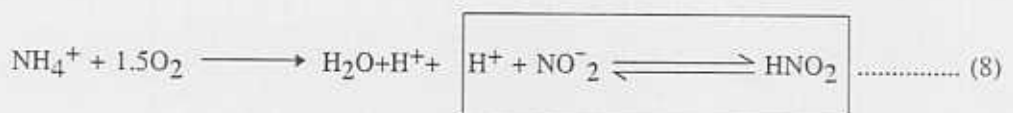
ในสถานะที่มีออกซิเจนเพียงพอสารอินทรีย์ไนโตรเจนจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และแอมโมเนียอิสระ (NH_3) ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนทั้งสองจะอยู่ในสภาพสมดุลของฟิเอชในน้ำเสียนั้น ดังสมการ

Ammonia Equilibrium



เมื่อพีเอชในน้ำเสียมีค่าสูง จะทำให้ความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระ (NH_3) มีมากขึ้น และแอมโมเนียอิสระจะเป็นตัวยับยั้งการทำงานของจุลชีพไนตริฟายอิงแบคทีเรียชนิด *Nitrobacter Spp.* ทำให้ไม่สามารถออกซิไดส์เป็นไนเตรทได้ แต่ในทางตรงข้ามถ้าพีเอชมีค่าลดลงก็จะเกิดเป็นแอมโมเนียมไอออนมาก (NH_4^+) และสภาวะที่มีออกซิเจนจะถูกออกซิไดส์ไปเป็นไนไตรท์ ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดไฮโดรเจนไอออนขึ้น ประกอบกับสภาวะความเป็นกรดเกินของน้ำเสียจะส่งเสริมให้เกิดกรดไนตริก (Un-ionized acid, HNO_2) และอยู่ในสมดุลกับไฮโดรเจนไอออน ดังสมการ

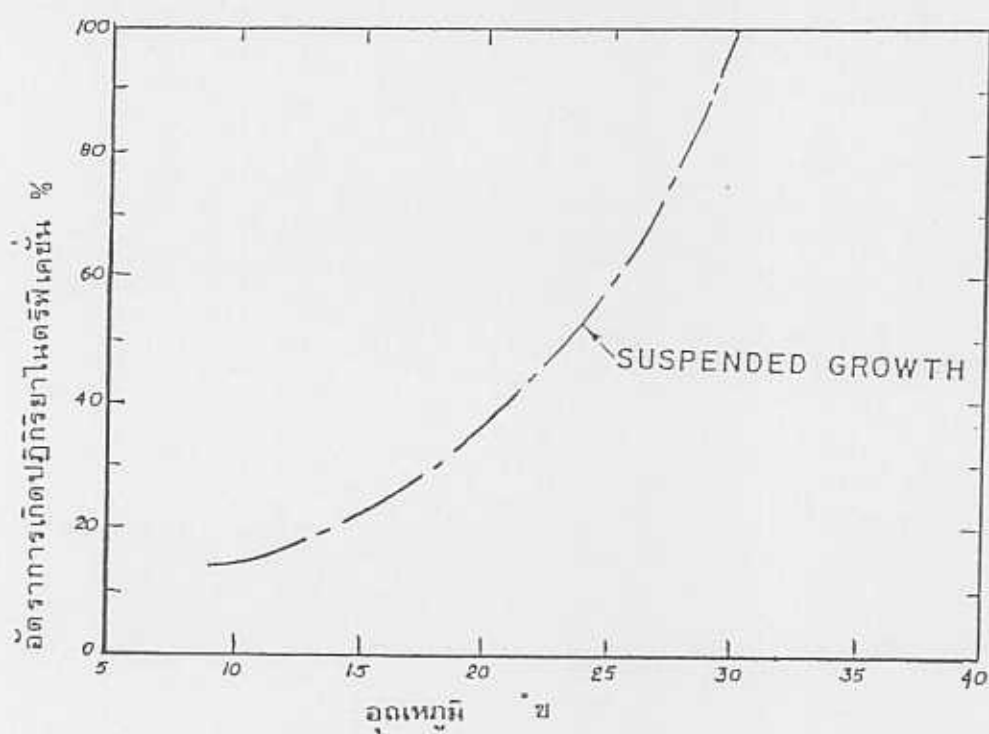
Nitrous acid Equilibrium



การลดลงของพีเอชจะทำให้สมดุลของแอมโมเนีย (สมการที่ 7) เลี้ยวไป นั่นคือความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระจะน้อยลง *Nitrobacter Spp.* จะไม่ถูกยับยั้งในไนไตรท์จากกระบวนการไนตริฟิเคชัน และถูกจุลชีพชนิดนี้ออกซิไดส์ต่อไปเป็นไนเตรทได้ แต่ถ้าในสภาวะดังกล่าวมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ปริมาณแอมโมเนียอิสระจะเหลือน้อยลง ทำให้เกิดกรดไนตริกสะสมมากขึ้น ซึ่งกรดไนตริกมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของจุลชีพไนตริฟายอิงแบคทีเรียทั้งสองชนิด และการควบคุมไม่ให้สภาวะดังกล่าวเกิดขึ้นสามารถทำได้โดยการเจือจางน้ำเสียเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดต่างหรือพีเอชของระบบให้เหมาะสม

5. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรียเป็นอย่างมาก ทศนิยม ๕ องศา (2530) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน และอัตราการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรียที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจะมีค่าสูงตามขึ้นด้วย ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของไนโตรฟายอิงแบคทีเรียที่อุณหภูมิต่างๆ
ที่มา : ทักษิณย์ แซ่เตีย, 2530