บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมน้ำยางข้น

2.1.1 น้ำยางธรรมชาติ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย มีการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ซึ่งล้วนแล้วแต่แปรรูปมาจากน้ำยางสดจากต้นยางพารา น้ำยางสดมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.97-0.98 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่ากรด เบส (pH) ประมาณ 6.50-7.00 มีความหนืดไม่แน่นอน มีส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ในน้ำยาง ทั้งนี้อาจมีส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ อายุต้นยาง การกรีด ฤดูกาล เป็นต้น

2.1.2 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้น เนื่องจากน้ำยางสดจากต้นยางโดยปกติมีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 25 ถึง 45 และมีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการทำให้ยางมีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 60 ของเนื้อยางแห้งโดยผ่านกรรมวิธีแยกของเหลวออกบางส่วน ทำให้การขนย้ายประหยัดและได้ผลผลิตน้ำยางข้นที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าน้ำยางสด โดยกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.2.1 การรักษาสภาพน้ำยางสดเพื่อทำเป็นน้ำยางข้น

น้ำยางสดจากต้นมีสถานะเป็นด่าง หากไม่มีการรักษาสภาพน้ำยาง จุลินทรีย์ในอากาศจะลงปะปนในน้ำยางและใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหาร ทำให้เกิดความเป็นกรดหากไม่มีการเติมสารเคมีรักษาน้ำยางสภาวะกรดจะทำลายชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่ทำให้ยางเสียความคงสถานะเป็นของเหลว จะหนืดข้นมีกลิ่นเหม็นบูดเน่าภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงนับจากไหลออกจากต้นยาง นั่นคือ มีอนุมูลบวกเกิดขึ้นและเกิดปฏิกิริยาสะเทินกับอนุมูลรอบ ๆ ผิวอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางเสียสภาพก่อนจะนำไปแปรรูป ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางสด โดยทั่วไปสารเคมีที่ใช้ ได้แก่ แอมโมเนีย โดยใช้แอมโมเนีย ร้อยละ 0.30-0.70 ต่อน้ำหนักยาง หรือแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด โดยใช้แอมโมเนียร้อยละ 0.30 ร่วมกับสารตัวช่วย เช่น Tetramethyl thiuram disulfide (TMTD) ร้อยละ 0.025 ต่อ สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ร้อยละ 0.001 หรือใช้ซิงค์ไดเอลดีลไดไทโอคาร์บาเมต ร้อยละ 0.01 รายละเอียดของสารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง มีดังนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

1) แอมโมเนีย

ทำหน้าที่เป็นตัวทำลายแบคทีเรียที่ปะปนในน้ำยาง ปกติสภาพน้ำยางพิจารณาได้จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนกรดไขมันระเหย ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้สภาวะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในน้ำยาง แอมโมเนียมีฤทธิ์เป็นด่างจึงช่วยส่งเสริมความเป็นด่างของซีรุ่ม ซึ่งก่อให้เกิดผลการส่งเสริมสถานะเป็นน้ำยางอยู่ได้ ปริมาณแอมโมเนียที่ใช้ร้อยละ 0.30-0.70 ต่อน้ำหนักน้ำยาง สามารถรักษาน้ำยางไว้ได้ 1 ถึง 3 วันหลังกรีด

2) แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น

การใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวรักษาน้ำยางสด ไม่สามารถป้องกันการเพิ่มจำนวนของกรดไขมันระเหยในระยะยาวได้ การใช้สารเคมีช่วยจึงเป็น Secondary preservatives เช่น สังกะสีออกไซด์ และ TMTD เป็นต้น ร่วมกับแอมโมเนียจะป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยได้ดีกว่าการใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียว สังกะสีออกไซด์มีความ สามารถทำลายแบคทีเรียในน้ำยางได้ การใช้สังกะสีออกไซด์ ร้อยละ0.05 กับแอมโมเนียร้อยละ 0.30 ต่อน้ำหนักยาง จะรักษาจำนวนกรดไขมันให้คงที่นานถึง 2 อาทิตย์ และการใช้สังกะสีออกไซด์ ร่วมกับ TMTD ในอัตราส่วน TMTD ร้อยละ 0.03 ต่อน้ำหนักยาง ร่วมกับแอมโมเนียร้อยละ 0.20 - 0.35 ต่อน้ำหนักยาง จะรักษาน้ำยางสดได้นานถึง 10 วัน (กรมวิชาการเกษตร, 2531)

2.1) เตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuram disulfide, TMTD)

ในการรักษาสภาพน้ำยางสด และป้องกันการเสียสภาพ จึงได้มีการเติมสารเคมีบางอย่างลงไปเพื่อรักษาสภาพของน้ำยาง วิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การใช้สาร เตตระเมธิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ ร่วมกับสารสังกะสีออกไซด์ เป็นสารเสริมแอมโมเนียในการรักษาสภาพน้ำยางสด และน้ำยางข้นระบบที่ทำให้แอมโมเนียน้อย (Low ammonia, LA) โดยสารเหล่านี้จะทำลายและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ สาร TMTD ไม่ได้มีบทบาทในการรักษาสภาพน้ำยางแต่ยังใช้เป็นสารฆ่าเชื้อรา ฆ่าเชื้อโรคในเมล็ดพืช ยาฆ่าแมลง ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ สาร TMTD จัดอยู่ในกลุ่มสารที่ใช้ในการทำให้ยางคงรูป (Vulcanising system) มีการใช้ TMTD เป็นสารตัวเร่งหลักหรือตัวเร่งที่สองในระบบผสม หลายตัว (multiple blend accelerator system) ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์ (ตัวให้กำมะถัน) ในยางส่วนใหญ่ที่ทำให้สุกด้วยกำมะถัน

2.2) สังกะสีออกไซด์ (ZnO)

การเก็บรักษาน้ำยางข้นไว้นานต้องใช้แอมโมเนียในปริมาณมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นผลต่อการทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางในภายหลังและเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมของโรงงาน จึงมีการใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำซึ่งใช้แอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ร่วมกับสารเคมีอื่นเช่น สังกะสี

Prince of Songkla University Pattani Campus

ออกไซด์ ร้อยละ 0.025 และ TMTD ร้อยละ 0.025 สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้เป็นอย่างดีโดยเชื่อกันว่าสารนี้จะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และได้ใช้กันแพร่หลาย เรียกน้ำยางข้นประเภทนี้ว่า Low ammonia latex หรือ LA latex (เสาวนีย์, 2545) อย่างไรก็ตามสารนี้อยู่ในกลุ่มของสารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent) โดย สังกะสีออกไซด์ ที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในกระบวนการคงรูป (Vulcanization) ถ้ามีปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ยางอยู่ในสถานะยืดหยุ่นได้สูง การขาด สังกะสีออกไซด์ หรือใช้ปริมาณน้อยเกินไปทำให้ยางไม่แข็งแรง การยืดหยุ่นของยางต่ำ หรือหากปริมาณสังกะสีออกไซด์ มาก จะไม่ละลายในน้ำยางและทำให้น้ำยางขุ่นขาวได้ ปริมาณ สังกะสีออกไซด์ ที่มีอยู่เดิมในน้ำยางข้นจึงมีผลต่อกระบวนการคงรูปของน้ำยาง และมีผลต่อคุณภาพและสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในน้ำยางข้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อเป็นข้อมูลในการออกสูตรน้ำยางกับสารเคมีต่าง ๆ ให้เหมาะสมและนำไปสู่การทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางที่มีคุณภาพต่อไป

2.1.2.2 วิธีการผลิตน้ำยางข้น

หลักการสำคัญของวิธีการผลิตน้ำยางข้นมี 4 วิธี ดังนี้ คือ

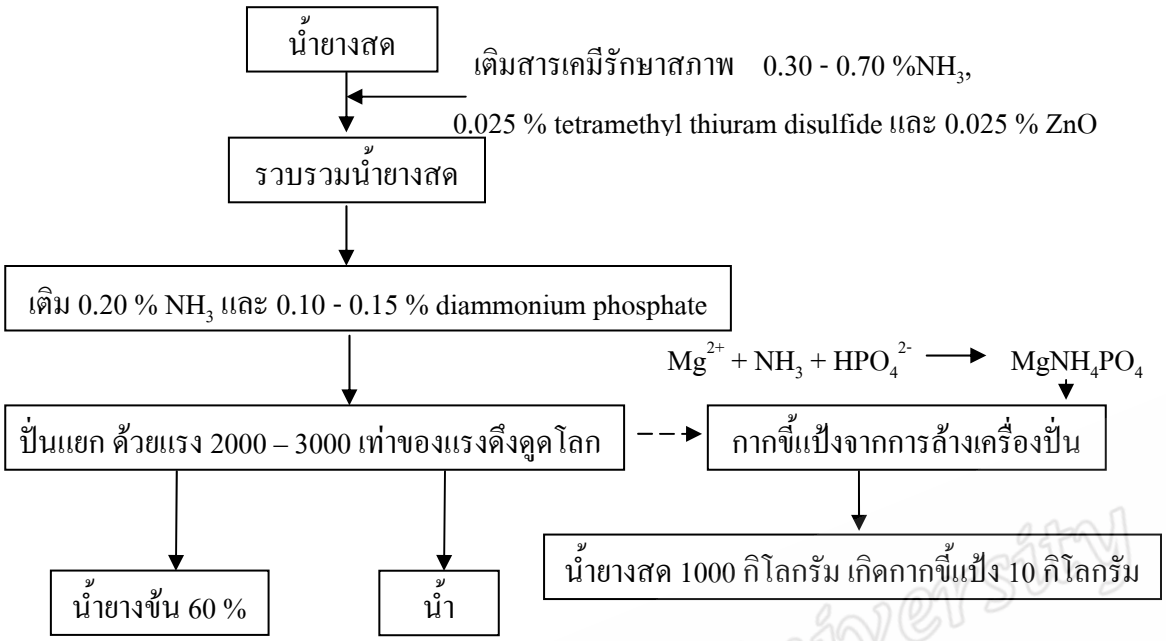
1) วิธีการระเหยน้ำ (Evaporation) น้ำยางข้นที่ได้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกล ๆ และเหมาะสมกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่พวกสารเพิ่ม (filler) จำนวนมาก เช่น การผลิตกาว เป็นต้น

2) วิธีการทำให้เกิดครีม (Creaming) โดยเติมสารที่ก่อให้เกิดครีมต่าง ๆ เช่น Sodium alginate, Locust bean gun เพื่อทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยางให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลาแต่สามารถให้น้ำยางข้นที่บริสุทธิ์ และมีโปรตีนน้อย

3) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electro decantation) จากการที่ในสถานะของน้ำยางอนุภาคยางที่แขวนลอยในซีรั่มต่างถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บ๊อกซิลิกอิออนที่มีประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้ไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากซีรั่มได้ โดยจุ่มไฟฟ้าที่มีขั้วบวกลงในน้ำยางที่ได้เติมสารเคมีช่วยทำให้เนื้อยางคงตัวไว้แล้ว อนุภาคยางจะค่อย ๆ เคลื่อนไปรวมอยู่ทางขั้วบวกและลอยตัวขึ้นสูงสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด วิธีนี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึงไม่เป็นวิธีที่นิยมกัน

4) วิธีการปั่น (Centrifuging) เป็นวิธีการที่มีการใช้โดยทั่วไปอย่างกว้างขวางมากที่สุด ในการผลิตน้ำยางข้น สำหรับประเทศไทยปัจจุบันทำการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียวโดยมีกระบวนการผลิตดังภาพประกอบที่ 2.1

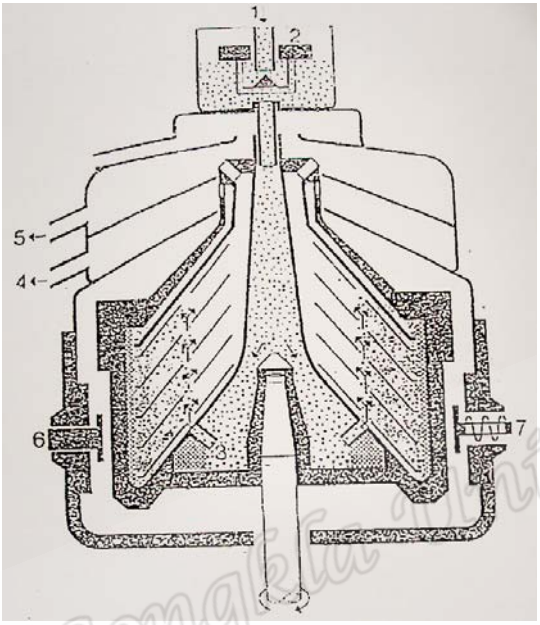
Prince of Songkla University Phuket Campus



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น โดยวิธีการปั่น (ดัดแปลงจากวราภรณ์, 2536)

เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายอยู่ในรูปคอลลอยด์ที่ประกอบด้วย ส่วนของอนุภาคยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในซีรั่ม อนุภาคยางเหล่านี้มีการเคลื่อนไหวแบบราวเนียนและเนื่องจากอนุภาคยางเบากว่าซีรั่ม อนุภาคยางจึงมีแนวโน้มที่ลอยตัวสู่ผิวหน้าของน้ำยาง อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก หากสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้ก็สามารถเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ ดังนั้นการปั่น ซึ่งสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้เป็น 2,000 - 3,000 เท่า ของแรงดึงดูดของโลก จึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้จึงถูกพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อผลิตน้ำยางข้น (พงศ์นรินทร์, 2543) ดังภาพประกอบที่ 2.2 แสดงลักษณะหน้าตัดภายในของถังปั่นแบบ Alfa laval รุ่น LRH 410 โดยน้ำยางจะไหลเข้าทาง (1) ซึ่งอยู่บนสุดของตัวเครื่อง และระดับของน้ำยางจะปรับให้คงที่โดยส่วนที่(2) น้ำยางไหลโดยแรงโน้มถ่วงไปที่จุดกลางถังปั่น และแรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลไปตามรูของชุดจานแยก (3) จากนั้นน้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีน้ำหนัก คือ หางน้ำยาง (Skim) ไหลออกสู่รอบนอกของถังปั่นและไปตามทางด้านบนของถังผ่านสกรูปรับสู่ที่เก็บแยกหางยาง (4) ส่วนข้นของน้ำยาง ซึ่งเป็นส่วนที่มีเนื้อยางจะไหลเข้าสู่กลางถังปั่นไปยังด้านบนถังปั่นไปยังด้านบนถังเข้าสู่ที่เก็บ (5) เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็ก สามารถแยกน้ำยางสดได้ประมาณ 15 ลิตรต่อชั่วโมง และเครื่องขนาดใหญ่แยกน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตรต่อชั่วโมง โดยปกติการเดินเครื่องปั่น

จะสามารถเดินเครื่องติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เนื่องจากต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดเครื่องปั่นล้างพวกตม (Sludge) ที่ติดอยู่ในเครื่อง



รูปที่ 2.2 ภาพหน้าตัดตามยาวของถังปั่นน้ำยางข้น (สถาบันวิจัยยาง, 2531)

(1) Feed (2) Feed cup with float (3) Distribution tubes

(4) Outlet for the skim (5) Outlet for the concentrate

(6) Mechanical brake (7) Magnetic brake

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.1.2.3 การแยกตัวของน้ำยางเมื่อถูกปั่น

ลักษณะของการแยกตัวขององค์ประกอบของน้ำยางสดเวลาถูกปั่นด้วยเครื่อง Centrifuging Machine สามารถประมาณการใช้น้ำยางสดและน้ำยางข้นที่ได้อย่างถูกต้อง น้ำยางสดเมื่อนำมาปั่นองค์ประกอบต่าง ๆ จะแยกตัวออกเป็น น้ำยางข้น (Concentrate latex) และหางน้ำยาง (Skim latex) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

1) ส่วนที่เป็นยาง (Dry rubber content: DRC) เป็นสารประกอบไฮโดรเจนที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรเคมี คือ $(C_5H_8)_n$ เรียกชื่อทางเคมีว่า โพลีไอโซ- พรีน หน่วยดังกล่าว เมื่อเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะเรียงตัวกันในแบบ cis-configuration เรียกว่า cis-1, 4-polyisoprene เนื้อยางมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร มีน้ำหนัก

โมเลกุลประมาณ 1,000,000 รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลมหรือรูปลูกแฟร์ขนาด 0.05-5.00 ไมครอน มีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบเคลื่อนที่แบบบราวเนียนไปมาตลอดเวลา

2) ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non rubber content) เป็นส่วนอื่น ๆ ทั้งหมดที่ไม่ใช่ส่วนที่เป็นยาง ซึ่งพบว่าประกอบด้วย ส่วนที่เป็น คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เป็นพวกแอลเมธิลไลโนซิทอล ส่วนคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่จำนวนน้อย ได้แก่ ซูโครส ฟรุกโตส และกาแลคโตส น้ำตาลเหล่านี้สะสมในชั้นน้ำ เมื่อถูกออกซิไดซ์โดยจุลินทรีย์จะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดระเหยได้ (Volatile fatty acid : VFA) เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และ กรดโพรไพโอนิค ค่า VFA ในน้ำยางเป็นตัวบ่งถึงความสามารถในการรักษาสภาพน้ำยาง น้ำยางที่ดีจะมีค่า VFA ต่ำ เช่น น้ำยางสดที่เก็บรักษาดีจะมีค่า VFA เพียง 0.01 ถึง 0.02 และในน้ำยางข้นที่ได้มาตรฐาน สากล ค่า VFA จะต้องไม่เกิน 0.20 หน่วย เป็นต้น และยังประกอบส่วนที่เป็น โปรตีนและกรดอะมิโน มีหลายชนิดที่สำคัญ คือ แอลฟาโกรบูลิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่อยู่บนรอยต่อระหว่างน้ำและอากาศ ส่วนเฮวาลิน จะอยู่ในอนุภาคของเม็ดยางและละลายในชั้นน้ำ ส่วนไลปิดที่อยู่กับอนุภาคยางเป็นพวก ฟอสโฟไลปิด และพวกสเตอรอล ฟอสโฟไลปิด อยู่ในระหว่างชั้นของโปรตีนกับเม็ดยาง ส่วนที่ไม่ใช่ยางยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีกคือ สารพวกที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนอิสระ เช่น โคลีน แมธิลลามีน กรดอินทรีย์ อนุมูลของสารอินทรีย์โดยเฉพาะพวกฟอสเฟตและคาร์บอเนต และอนุมูลของโลหะ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเหล็ก แมกนีเซียม โซเดียม ทองแดง นอกจากนี้ยังมีกรดไฮโดรไซยาไนด์อิสระประมาณร้อยละ 0.25 สารประกอบพวกไทออล และเอนไซด์หลายชนิด (วราภรณ์, 2536) ส่วนน้ำซีรั่ม คือ ส่วนที่เป็นน้ำใสของน้ำยาง ได้จากการแปรรูปเบื้องต้นของน้ำยาง เป็นยางชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำยางข้น ยางแผ่น ยางเครฟ หรือแม้แต่การจับตัวกันตามธรรมชาติหลังจากแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกไปแล้ว จะเหลือส่วนที่เป็นน้ำใสเรียกว่า ซีรั่ม (Ahmad, 1982) จากการวิเคราะห์ชั้นของซีรั่มของวราภรณ์ (2536) พบว่า ประกอบด้วยสารประเภทคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและอะมิโน และสารอื่น ๆ

2.1.3 กากขี้แป้ง

กากขี้แป้ง (Latex sludge) เกิดขึ้นในกระบวนการเตรียมน้ำยางข้นทำโดยกระบวนการแยกเนื้อยางจากซีรั่ม เพื่อให้ได้น้ำยางที่มีคุณภาพและช่วยลดปริมาตรน้ำยาง ซึ่งช่วยให้สะดวกต่อการใช้ในงานแปรรูปอื่น ๆ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนย้ายจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น นอกเหนือจากปริมาณผลผลิตยางพาราซึ่งเป็นผลผลิตหลักจากการผลิตแล้ว ยังมีน้ำทิ้งและกากตะกอนต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของแข็ง ที่เรียกว่า ตม หรือ กากขี้แป้ง (วราศรี, 2543) กากขี้แป้ง ส่วนมากได้จากการตกตะกอนในขั้นตอนของอุตสาหกรรมน้ำยางธรรมชาติในทางเคมี เรียกว่า ตะกอนของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต เกิดจากการเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำยางโดยกำจัดแมกนีเซียมที่มีอยู่ โดยกากขี้แป้งเกิดจากส่วนของการตกตะกอนในถังพัก

Prince of Songkla University Pattani Campus

น้ำยางสดและจากกระบวนการปั่นน้ำยางสด (วันชัย, 2540) ลักษณะของกากขี้แป้ง เป็นของแข็ง สีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มีแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (สมทิพย์และคณะ, 2545) จากนักวิจัยที่ทำการศึกษาคุณลักษณะของกาก ขี้แป้งและอัตราการเกิดกากขี้แป้งของโรงงานผลิตน้ำยางข้น วราศรี (2543) ทำการวิเคราะห์กากขี้แป้ง พบว่า มีธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 โพแทสเซียมในรูป K_2O แมกนีเซียม และ สังกะสี เฉลี่ยร้อยละ 2.06, 19.60, 1.80, 5.31 และ 1.01 น้ำหนักต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสสูงเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Sathyaseelan (2006) ที่ศึกษาคุณลักษณะของกากขี้แป้ง พบว่า มีค่ากรด เบสเท่ากับ 6.49 และปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ ฟอสฟอรัสละลายในสารละลายซิเตต และแมกนีเซียม เฉลี่ยร้อยละ 6.05, 35.98, 13.00, 36.00 และ 6.86 น้ำหนักต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และจากการศึกษาการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากขี้แป้งน้ำยางข้นของเสาวนีย์และคณะ (2547) ก็พบว่ามีธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 โพแทสเซียมในรูป K_2O แมกนีเซียม สังกะสี และ แคลเซียม เฉลี่ยร้อยละ 3.31, 14.69, 1.01, 12.24, 0.63 และ 0.03 น้ำหนักต่อน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากข้อมูลการสำรวจปริมาณการเกิดกากขี้แป้งจากโรงงานน้ำยางข้นของสมทิพย์และคณะ (2545) โดยศึกษาอัตราการเกิดกากขี้แป้งต่อน้ำยางข้นที่ผลิตได้ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.60-50.00 กิโลกรัมต่อตันน้ำยางข้น และจากการสำรวจโดยศึกษาอัตราการเกิดกากขี้แป้งต่อน้ำยางสดที่รวบรวม พบกากขี้แป้งเฉลี่ย ร้อยละ 9.70 กิโลกรัมต่อตันน้ำยางสด (วราศรี, 2543)

2.1.4 การจัดการกากขี้แป้ง

กากขี้แป้งที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความชื้นสูง ในทางปฏิบัติทางโรงงานจะนำไปทิ้ง ไปถมถนนในโรงงาน ฝังกลบ และบางส่วนก็เผาทิ้ง (วราศรี, 2543) ในปัจจุบันบางโรงงานนำไปเป็นปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน แม้ว่ากากขี้แป้งจะมีองค์ประกอบของธาตุอาหารพืชที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่การใช้ประโยชน์กากขี้แป้งสำหรับเป็นธาตุอาหารพืช พบว่า มีการศึกษาน้อยมาก (วลัยพร, 2547)

2.2 มูลสุกร

2.2.1 การเลี้ยงสุกร

การเลี้ยงสุกรในประเทศไทยมีผลผลิตหมุนเวียนปีละประมาณ 9.8 ล้านตัว แหล่งผลิตสุกรที่สำคัญได้แก่ ภาคกลางมีผลผลิตร้อยละ 52.6 รองลงมาได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ มีผลผลิตร้อยละ 18.9, 18.5 และ 9.8 ตามลำดับ ผลผลิตเหล่านี้ใช้บริโภคภายในประเทศประมาณร้อยละ 98-99 ปัจจุบันคนไทยบริโภคเนื้อสุกรโดยเฉลี่ย 18 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (บุญยัง,

Prince of Songkla University Pattani Campus

2551) เมื่อเปรียบเทียบการบริโภคเนื้อสัตว์ชนิดอื่นแล้วเนื้อสุกรได้รับความนิยมมากที่สุด จากการสำรวจของศูนย์สถิติการเกษตรและกรมปศุสัตว์ในปี 2536 พบว่าร้อยละ 90 ของผู้เลี้ยงทั้งหมดทั่วประเทศเป็นผู้เลี้ยงรายย่อยโดยเลี้ยงรายละไม่เกิน 10 ตัว แต่จำนวนสุกรที่ผลิตจากผู้เลี้ยงรายย่อยมีสัดส่วนเพียงประมาณร้อยละ 20 ของสุกรที่ผลิตได้ทั้งประเทศ

2.2.2 ของเสียจากการขับถ่ายของสุกร

สิ่งขับถ่ายของสุกร หมายถึง มูล ปัสสาวะ รวมทั้งน้ำล้างคอก (พันทิพา, 2539) ธาตุอาหารที่สุกรกินเข้าไปจะถูกย่อยสลายนำไปใช้ประโยชน์ต่อร่างกาย ส่วนที่เหลือจะขับถ่ายออกมามากว่าร้อยละ 60 (สัญชัย, 2543) ส่วนจรัญ (2544) รายงานว่า มูลและปัสสาวะสุกรทั่วประเทศมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 26 ล้านตันต่อปี และน้ำทิ้งจากการล้างคอกสุกรมีประมาณวันละ 30-40 ลิตรต่อตัวต่อวัน หรือประมาณ 392 ล้านลิตรต่อวัน ส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณมูลสุกรที่ขับถ่ายออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว พันธุ์ อาหาร ปริมาณน้ำที่กิน ความสามารถในการย่อยใช้อาหาร สิ่งแวดล้อม และการจัดการเกี่ยวกับของเสีย (ตารางที่ 2.1) สิ่งขับถ่ายของสุกรจะมีมูลเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 46 และปัสสาวะร้อยละ 54 เมื่อคิดเป็นสัดส่วนของน้ำหนักสด แต่หากคิดเป็นน้ำหนักแห้งจะมีมูลร้อยละ 77 และปัสสาวะร้อยละ 23 มูลจะมีความเป็นกรดเบสประมาณ 7.2-8.2 ส่วนประกอบทางเคมีของมูลจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วภายหลังขับถ่ายออกมาแล้ว (Miller, 1980) ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมี (ร้อยละ) ของสิ่งขับถ่ายของสุกร

ชนิดของสิ่งขับถ่าย	ความชื้น	อินทรีย์ วัตถุ	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
มูล	82.0	16.0	0.6	0.5	0.4
ปัสสาวะ	94.0	2.5	0.4	0.05	1.0

ดัดแปลงจาก: กรมวิชาการเกษตร (2540)

2.2.3 การจัดการและการให้ประโยชน์มูลสุกรของเกษตรกร

ข้อมูลจากการสำรวจเกี่ยวกับการจัดการและการใช้ประโยชน์ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในจังหวัดต่าง ๆ ที่มีการเลี้ยงสุกรแบบหนาแน่นทั่วประเทศ โดยศึกษาฟาร์มเลี้ยงสุกรซึ่งมีจำนวนสุกรตั้งแต่ 100-12,000 ตัว มีพื้นที่ 7-200 ไร่ อายุฟาร์ม 10 ปีขึ้นไป มีการนำมูลแห้งไปใช้ประโยชน์ดังนี้ คือ นำไปใช้ประโยชน์ในฟาร์ม เช่น ใช้ในการปลูกพืช สวนผลไม้ บ่อเลี้ยงปลา เลี้ยงเป็ด

Prince of Songkla University Pattani Campus

จำหน่ายให้แก่เกษตรกรในท้องถิ่นอื่น ส่วนที่เหลือกองไว้ในฟาร์ม มูลเหลว ปัสสาวะ และน้ำล้างคอกฟาร์มส่วนใหญ่มีบ่อพักท้ายคอกหนึ่งบ่อ ส่วนใหญ่เป็นบ่อขนาดเล็กดังนั้น ของเหลวที่ล้นบ่อจะไหลออกไปสู่คูคลองสาธารณะ ฟาร์มส่วนน้อยมีการทำบ่อหมักก๊าซชีวภาพ แต่น้ำเสียและของเหลวที่ล้นออกจากบ่อก๊าซชีวภาพก็ไหลลงสู่พื้นที่สาธารณะ ทำให้เกิดปัญหามลภาวะ (จรัญและผกาพรรณ, 2542) ส่วนฟาร์มเลี้ยงสุกรของเกษตรกรรายย่อยมีปัญหามลภาวะเช่นเดียวกับการเลี้ยงสุกรแบบหนาแน่น เพียงแต่ความรุนแรงของปัญหาน้อยกว่ามาก เนื่องจากจำนวนสุกรที่น้อยจึงทำให้เกิดมลภาวะน้อยกว่า จากการสำรวจระบบการเลี้ยงสุกรของเกษตรกรรายย่อยในตำบลโพธิ์ใหญ่ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 22 ราย เกษตรกรส่วนมากให้ความสำคัญกับสภาพแวดล้อมน้อยมาก มีเพียง 7 รายเท่านั้น คิดเป็นร้อยละ 31.8 ที่มีทำเลเลี้ยงสุกรห่างไกลจากชุมชนมากกว่า 500 เมตร นอกนั้น การเลี้ยงจะทำคอกสุกรอยู่หลังบ้านทำให้เกิดกลิ่นเหม็น แมลงวันยุง และน้ำเสีย ที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายของสุกรรบกวนชุมชนใกล้เคียง การจัดการมูลสุกรในระบบการผลิตของเกษตรกรจะมีกิจกรรมการปลูกพืชควบคู่ไปกับการเลี้ยงสุกร เกษตรกรจึงเก็บมูลไว้เพื่อเป็นปุ๋ยให้แก่พืชที่ปลูก นอกจากจะใช้เองแล้ว ยังมีบางส่วนจำหน่ายอีกด้วย การเก็บรวบรวมมูลสุกรจะทำในเวลาเช้าทุกวัน ส่วนมูลเหลว ปัสสาวะ และน้ำล้างคอก จะมีบ่อพักน้ำขนาดเล็กอยู่หลังคอก 1 บ่อ ทุกฟาร์ม

การจัดเก็บรักษามูลสุกรของเกษตรกรแยกออกได้ 2 วิธี คือ

1. เก็บรวบรวมมูลสุกรไว้เป็นที่เฉพาะ โดยสร้างคอกหรือบ่อพักซึ่งใช้พื้นที่ส่วนหนึ่งของคอกสุกรเป็นที่เก็บมูล เพื่อรอให้มูลแห้งหรือมีมากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ วิธีนี้จะมีหนอนแมลงวันเกิดขึ้นในกองมูล

2. การจัดเก็บมูลสุกรด้วยการใช้แกลบดิบเป็นวัสดุปกคลุมมูลสุกรในคอกหรือบ่อพักมูลสุกร เพื่อให้แกลบดิบดูดความชื้นจากในมูลไว้ทำให้มูลแห้งเร็วขึ้น เมื่อมีปริมาณมูลที่มากพอจึงนำไปใช้ประโยชน์ หรือเมื่อถึงฤดูฝน เกษตรกรจะขนมูลสุกรออกจากคอกเก็บไปยังแปลงนาโดยกองไว้เป็นจุดในแปลง เมื่อถึงเวลาปลูกข้าวจะไถกลบและคราด แล้วปลูกข้าว

2.2.4 ปัญหามลภาวะที่เกิดจากการเลี้ยงสุกร

ปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นในฟาร์มเลี้ยงสุกรมีผลกระทบต่อสุขภาพคน สัตว์เลี้ยง และสิ่งแวดล้อม ปัญหาที่สำคัญได้แก่

2.2.4.1) กลิ่นเหม็นและก๊าซพิษ ปฏิกิริยาของแบคทีเรียในการย่อยสะลายสิ่งขับถ่ายของสุกรที่เกิดขึ้นในสภาพใช้ออกซิเจน ผลที่ได้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนไตรท์ ไนเตรท สารประกอบไนโตรเจน และสารประกอบซัลเฟต ส่วนในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน ผลที่ได้คือ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ก๊าซมีเทน แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ (Miller, 1980) โดยเฉพาะก๊าซแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นพิษต่อคนและสุกรที่เลี้ยง ผลกระทบต่อผู้เลี้ยงและผู้ที่อยู่อาศัยบริเวณใกล้เคียง ถ้าก๊าซแอมโมเนียมีความเข้มข้นในอากาศ 40 ppm ผู้ที่ได้รับจะเกิดอาการระคายเคืองตา จมูก คอ เมื่อสัมผัสนานเกิน 20 นาที และถ้ามีความเข้มข้นในอากาศ 400 ppm ผู้ที่ได้รับจะแสดงอาการเวียนศีรษะ มีอาการทางประสาท เป็นปอดบวมได้ง่ายเมื่อสัมผัสภายใน1 ชั่วโมง ถ้าอุณหภูมิในอากาศสูงขึ้น กลิ่นจะยิ่งเพิ่มขึ้น ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หากมีความเข้มข้นในอากาศ 500 ppm ผู้ที่ได้รับจะแสดงอาการคลื่นเหียน ขี้ตกใจ และสลบเมื่อสัมผัสภายใน 30 นาที และที่ความเข้มข้นในอากาศมากกว่า 600 ppm เมื่อสัมผัสจะตายอย่างรวดเร็ว ผลกระทบต่อสุกรที่เลี้ยงในฟาร์ม เมื่อได้รับก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้นในอากาศ 50 ppm อาจทำให้ผลผลิตสุกรลดลง ติดโรคปอดบวมได้ง่ายเมื่อได้รับต่อเนื่องเป็นเวลานาน และถ้าความเข้มข้นในอากาศมากกว่า 300 ppm จะแสดงอาการระคายเคืองจมูก ปาก หายใจไม่สม่ำเสมอ หอบ สั่น ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นในอากาศ 20 ppm เมื่อได้รับจะมีอาการกลัวแสง เบื่ออาหาร ตกใจง่าย และถ้าความเข้มข้นในอากาศ 200 ppm จะแสดงอาการน้ำท่วมปอด หายใจลำบาก สลบ และตาย (พันทิพา, 2539)

2.2.4.2) เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค หนอน แมลงวัน และยุง มูลสุกรที่สะสมอยู่ในฟาร์มนอกจากมีกลิ่นแล้วยังเป็นแหล่งแพร่เชื้อมาสู่คน เช่น โรคท้องร่วง (สุภัทร, 2531) โดยมีแมลงวันที่เกิดขึ้นในฟาร์มเป็นพาหะนำโรคมาสู่คน อีกทั้งแมลงวันจะสร้างความรำคาญให้แก่สุกรที่เลี้ยง ในกรณีที่สุกรมีบาดแผล แมลงวันจะเข้าไปกินเนื้อเยื่อบาดแผลทำให้แผลหายช้า (อุดมและบุญเสริม , 2526)

2.2.4.3) ทำลายสิ่งแวดล้อมในฟาร์มและบริเวณใกล้เคียง ของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยเฉพาะมูลเหลว ปัสสาวะ รวมทั้งน้ำล้างคอก ถ้ามีวิธีการจัดการไม่เหมาะสมจะไหลลงสู่ คู คลอง หนอง และบึงที่อยู่ใกล้ฟาร์ม เกิดการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายของสุกร ทำให้ไม่สามารถนำมาอุปโภคบริโภคได้ แหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามธรรมชาติถูกทำลาย เนื่องจากน้ำเน่าเสียทำให้จำนวนสัตว์น้ำลดลง ความรุนแรงของปัญหานี้จะเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน

2.2.5 การแก้ปัญหาโดยการนำมูลสุกรไปใช้ประโยชน์

ในมูลสุกรประกอบด้วยแร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (พันทิพา, 2535) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายวิธีการ คือ

2.2.5.1) นำไปทำปุ๋ยใช้ในการปลูกพืช สิ่งขับถ่ายของสุกรที่เป็นของแข็งจะต้องผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เสียก่อน ธาตุอาหารต่าง ๆ จึงจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ ส่วนธาตุอาหารที่อยู่ในสิ่งขับถ่ายที่เป็นของเหลว ส่วนใหญ่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที ตัวอย่าง

Prince of Songkla University Pattani Campus

เกษตรกรที่นำมูลสุกรไปใช้ในการปลูกพืชไร่ เช่น เกษตรกรที่บ้านนาส่วง อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยในการปลูกถั่วสิสง

2.2.5.2) ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ ในการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ต้องไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคปะปนอยู่มากจนก่อให้เกิดอันตราย ไม่มีวัสดุอื่นเจือปนที่ทำให้คุณค่าทางอาหารต่ำลง จึงสามารถนำกลับมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อีก อุทัย (2530) รายงานว่า การนำมูลสุกรระยะรุ่น-ขุน ตากแห้ง มีโปรตีนประมาณร้อยละ 22 บดละเอียดผสมกับอาหารเลี้ยงสุกรขุน (น้ำหนัก 61-90 กิโลกรัม) ร้อยละ 15 พบว่าไม่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตของสุกรลดลงและการหมักมูลสุกรกับวัตถุอาหารชนิดอื่น เช่น ข้าวโพด ในสภาวะไร้อากาศเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน ช่วยกำจัดเชื้อโรคและกลิ่นมูลสุกรลงได้ (อุทัย, 2530; อภิพรรณและคณะ, 2541) ใช้แทนอาหารเลี้ยงแม่สุกรพันธุ์ได้ถึง 2 ใน 3 ส่วน โดยไม่ทำให้สมรรถภาพการสืบพันธุ์ของแม่สุกรเสียไป

2.2.5.3) นำไปใช้เลี้ยงปลา รูปแบบการนำมูลสุกรมาเป็นอาหารปลา ทำได้โดยการสร้างคอกเลี้ยงสุกรบนบ่อปลา เมื่อสุกรขับถ่ายออกมาจะหล่นลงไปในบ่อ หรือใช้วิธีตักมูลสุกรที่เลี้ยงแหล่งอื่นมาใส่ลงในบ่อปลา อัตราการใส่ 250-500 กิโลกรัมต่อไร่ต่อ 6 เดือน (สุภาพรและคณะ, 2546) สามารถใช้ได้ทั้งมูลแห้งและมูลสด มีการทดลองในไต้หวันพบว่า เลี้ยงสุกร 4-5 ตัวต่อไร่จะเหมาะสม และไม่มีผลกระทบต่อปลาที่เลี้ยง (อโณชา, 2531) และในประเทศไทยพบว่าบ่อเลี้ยงปลาขนาด 1 ไร่ และโรงเรือนขนาด 5-8 ตารางเมตร สามารถเลี้ยงสุกรได้ 3-5 ตัว หากเกษตรกรไม่มีทุนมากพอ สามารถลดขนาดการเลี้ยงสัตว์ลงได้ แต่ผลผลิตปลาจะต่ำลง

2.2.5.4) การนำมูลสุกรไปเพาะหนอนแมลงวัน เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนทดแทนแหล่งที่มีราคาสูง วันดี (2535) แนะนำว่า นำมูลสุกรที่มีความชื้นสูง 10 กิโลกรัม ใส่ในภาชนะ เกลี่ยมูลสุกรให้ทั่วก้นภาชนะหนาประมาณ 2-3 นิ้ว ทิ้งไว้ภายในโรงเรือนไม่ให้ถูกแดดหรือฝน 4 วัน จะเกิดหนอนแมลงวัน นำหนอนที่ได้มาแยกออกจากมูล โดยนำไปล้างน้ำ แล้วกรองด้วยตะแกรง มูลสุกรปริมาณ 10 กิโลกรัมจะผลิตหนอนสดได้ 1.89 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 0.47 กิโลกรัม องค์ประกอบของหนอนแมลงวันป่นแห้ง มีความชื้นร้อยละ 8.5 โปรตีนร้อยละ 45.13 ไขมันร้อยละ 14.52 เยื่อใยร้อยละ 5.9 และเถ้าร้อยละ 16.09 หนอนที่ได้สามารถนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารเลี้ยงสุกร ปลา และไก่พื้นเมือง

2.2.5.5) นำมูลสุกรไปผ่านกระบวนการหมักได้ก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพที่ได้ประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นหลัก สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในฟาร์ม เช่น การปั่นกระแสไฟฟ้า และให้ความร้อน (อำนวย, 2539) ช่วยลดต้นทุนการใช้พลังงานในฟาร์ม ส่วนมูลสุกรที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปเป็นปุ๋ยได้อย่างดี การจัดการเก็บมูลสดและการแยกของแข็งออกจากน้ำล้างคอกทุกวัน แล้วนำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วอย่างมี

Prince of Songkla University Pattani Campus

ประสิทธิภาพ จะช่วยลดของเสียออกจากน้ำเสียได้ถึงร้อยละ 70 ฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีระบบบำบัดน้ำเสียสามารถลดมลภาวะที่เกิดจากกลิ่นและแมลงวันได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 แต่ต้นทุนการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียมีราคาค่อนข้างสูง

2.3 วัสดุปรับปรุงดิน

2.3.1 วัสดุปรับปรุงดิน (Soil Conditioner)

วัสดุปรับปรุงดินคือสารใด ๆ ก็ตามที่ใส่ลงไปในดินแล้วทำให้สมบัติทางเคมีกายภาพ และชีวภาพของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช สารปรับปรุงดินบางชนิดอาจมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการใช้สารปรับปรุงดินอาจมีผลพลอยได้จากปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในสารปรับปรุงดิน สารปรับปรุงดินสามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ได้ เป็นสารปรับปรุงดินทางเคมี สารปรับปรุงดินทางกายภาพ และสารอุ้มน้ำ

ประเทศไทยประเทศไทยมีการนำเข้าและสารปรับปรุงสมบัติทางเคมี กายภาพ และสารอุ้มน้ำ เพื่อใช้เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เป็นจำนวนมาก ประมาณ 110 ชนิดและจากการสำรวจ พบว่ามีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ประเภท ฮิวมิค แอซิด ในท้องตลาด ประมาณ 30 ชนิด เช่น กูซิก้า® ซุปเปอร์บิ๊ก® กูซิก้า-จี® ฮิวมิค-10® ฮิวมิซิน 30® วันนีก้า® ซุปเปอร์ฮิวมิค® ยูนิทซ์® ซูปาฮิวมัส® ไวท์อป® ฮิวกี้ 70® ฮิวเมท 120® ฮิวมิกรีน® วันนีก้า-จี® อเมริกันฮิวมิค® ซุปเปอร์-จีเอฟ® ฮิวมิซิน 6 จี® ไมโอเฮมิน® สตรัคเจอร์250® นูตราเทค® โซโฟลร์® ฮิวมัส อินทรีย์มัส® โฮมมิค 300® ยิวเรย์® เนเซอร์ฮิวมิค® ฮิวมิค V.P. ® ฮิวมิค และแอคทีฟซอย-พลัส® สุภาพร (2546) ได้ทำการสุ่มวิเคราะห์เก็บตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ ฮิวมิค แอซิด พบว่า ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีองค์ประกอบฮิวมิค แอซิด โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 1-5 จำนวน 11 ราย มีองค์ประกอบฮิวมิค แอซิด เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 5-10 จำนวน 7 ราย มีองค์ประกอบฮิวมิค แอซิด เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 10-15 จำนวน 6 ราย มีองค์ประกอบฮิวมิคแอซิด เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 15-20 จำนวน 2 ราย และมีองค์ประกอบ ฮิวมิค แอซิด โดยเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 20 จำนวน 1 ราย ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า มีผลิตภัณฑ์ สารปรับปรุงดินประเภทซีโอไลท์ จำหน่ายในท้องตลาด จำนวน 17 ชนิด และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.44-10.00 cmol/kg จำนวน 14 ราย ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ย อยู่ในช่วง 25-40 cmol/kg จำนวน 3 ราย และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเฉลี่ยอยู่ในช่วง 90-105 cmok/kg จำนวน 3 ราย ตามลำดับ สารปรับปรุงดินประเภทผลิตภัณฑ์ปูนทางการเกษตรที่จำหน่ายในท้องตลาดมี 15 ชนิดโดยพบว่า มีค่าสมมูลย์แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate equivalent-CCE) เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 50-70 จำนวน 1 ราย เฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 90-100 จำนวน 9 ราย

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตามลำดับ และพบว่าเป็นสารปรับปรุงดินประเภทอุ้มน้ำจำนวน 8 ชนิด จะเห็นว่าสารปรับปรุงดินที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นจำนวนมาก คือ ผลิตภัณฑ์ประเภทฮิวมิคแอซิด และ ซีโอไลท์ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่ม ผลผลิตพืช จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของฮิวมิค แอซิด พบว่า ปริมาณฮิวมิค แอซิด แตกต่างกันอย่างมาก และองค์ประกอบของซีโอไลท์ คือ ความสารมารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และพบว่าส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 80 มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและเผยแพร่ความรู้ให้กับเกษตรกรเพื่อให้เกิดผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (สุภาพร, 2546) ซึ่งจะเป็นประโยชน์สูงสุดในการใช้สารปรับปรุงดินอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 กระถินเทพา

กระถินเทพาเป็นพันธุ์ไม้ต่างประเทศ มีถิ่นกำเนิดในรัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย หมู่เกาะโมลัคคาส์ ประเทศอินโดนีเซีย และแถบตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศปาปัวนิวกินี โดยพบขึ้นอยู่ทั่วไปในเขตติดต่อระหว่างป่าชายเลนและแนวป่าไม้พุ่มเตี้ย ตลอดจนป่าตามริมฝั่งแม่น้ำและทุ่งหญ้าต่าง ๆ ไม่พบขึ้นในป่าดิบชื้นที่มีไม้ใหญ่ขึ้นหนาแน่น แต่มีขึ้นบ้างตามแนวชายป่าที่มีแสงแดดส่องถึง กระถินเทพา จัดเป็นไม้บุกเบิกชนิดหนึ่ง ที่สามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ซึ่งสภาพแวดล้อมถูกทำลาย ดังนั้นจึงมีการนำไปปลูกเป็นสวนป่าในหลายประเทศ เช่น มาเลเซีย ปาปัวนิวกินี เนปาล ฟิลิปปินส์ บังคลาเทศ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการนำเข้ามาปลูกในปี พ.ศ. 2523 เนื่องจากกระถินเทพามีคุณสมบัติที่เหมาะสมดังนี้ (อำนาจ และ สมศรี, 2549)

1) เป็นไม้โตเร็ว มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าไม้ซ้อและยูคาลิปตัส ซึ่งไม้ทั้งสองชนิดนี้จัดเป็นไม้โตเร็วมากที่สุดจำพวกหนึ่งที่เขตร้อนชื้น
2) สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าไม้อื่น ๆ ในสภาพดินไม่ค่อยอุดมสมบูรณ์ เช่น ดินลูกรัง ดินซึ่งผ่านการทำไร่เลื่อนลอย และดินตามบริเวณพื้นที่ลาดชัน เป็นต้น
3) ขึ้นได้ในสภาพดินที่มีความเป็นกรดสูง (pH 4.2) ซึ่งนับว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีมากประการหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพดินส่วนใหญ่ในภูมิประเทศเขตร้อนซึ่งรวมทั้งประเทศไทยด้วย มักจะมีสภาพความเป็นกรดอยู่โดยทั่วไป
4) ลำต้นตรง ปราศจากกิ่งก้าน
5) เนื้อไม้มีคุณสมบัติดี สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง

Prince of Songkla University Pattani Campus

6) เป็นพืชบำรุงดิน เนื่องจากมีเชื้อแบคทีเรียสกุลไรโซเบียมอาศัยอยู่ที่ปมราก ช่วยตรึงธาตุไนโตรเจนจากอากาศในดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่นเดียวกับพืชตระกูลถั่วอื่น ๆ หลายชนิด

2.4.1 ลักษณะทั่วไป

ลำต้น กระถินเทพาเป็นไม้ที่มีลักษณะลำต้นตรงและไม่ค่อยแตกกิ่งแขนง กล่าวคือมีช่วงของลำต้นที่ปราศจากกิ่งก้านเกือบครึ่งหนึ่งของความสูงทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากกระถินเทพามีลักษณะพิเศษ คือรีดกิ่งได้เองตามธรรมชาติ โดยกิ่งส่วนล่างจะทยอยแห้งตายไปตั้งแต่อายุยังน้อย ทรงพุ่มของต้นกระถินเทพาจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมโดยจะมีพุ่มกว้าง ถ้าปลูกห่าง หรือขึ้นอยู่ในบริเวณที่โล่ง และจะสูงโปร่งถ้าปลูกชิดกันในสภาพของสวนป่า ลำต้นเมื่ออายุมากจะมีเปลือกแข็งหนา ขรุขระและแตกเป็นร่องตามยาว

ใบ ในระยะที่เป็นต้นอ่อน กระถินเทพาจะมีใบจริงประเภทใบรวม ซึ่งประกอบด้วยใบย่อยหลาย ๆ ใบคล้ายกับใบของกระถิน แต่เมื่อมีอายุได้ 2-3 สัปดาห์ ต้นกระถินเทพาจะสร้างใบเทียมที่มีลักษณะเป็นใบเดี่ยวมีเส้นใบแบบขนานขึ้นมาแทนใบจริง โดยใบเทียมดังกล่าวนี้เป็นส่วนของก้านใบและแกนกลางของใบรวมที่ขยายตัวแผ่กว้างออกไป จนมีลักษณะคล้ายแผ่นใบของพืชทั่ว ๆ ไป

ดอก มีลักษณะเป็นช่อคล้ายหางกระรอก ซึ่งประกอบด้วยดอกย่อยขนาดเล็กสีขาวหรือสีครีม โดยทั่วไปกระถินเทพาจะมีการผสมข้าม แต่ในบางครั้งก็สามารถผสมตนเองได้เช่นเดียวกัน ฝักและเมล็ด ฝักอ่อนมีสีเขียว ฝักแก่มีสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะฝักบิดไปมาและม้วนขดเป็นกระจุก เมื่อฝักแก่เต็มที่จะแตกออกมีเมล็ดเล็กรูปไข่สีดำ ขนาด 3-5 มิลิเมตร เกิดเรียงกันไปตามความยาวของฝัก เนื้อไม้ มีส่วนกระพี้บาง แก่นสีน้ำตาล มีคุณสมบัติแข็งและทนทาน เนื้อไม้มีค่าถ่วงจำเพาะประมาณ 0.56 ซึ่งนับว่าสูงกว่าไม้จากสวนป่าทั่ว ๆ ไป

2.4.2 การใช้ประโยชน์

เนื้อไม้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ทำไม้แปรรูปเฟอร์นิเจอร์ ไม้โครงสร้างต่าง ๆ หรือใช้ในงานก่อสร้างที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมากและไม่เป็นชิ้นส่วนที่ฝังลงในดิน นอกจากนี้ไม้กระถินเทพา ยังสามารถนำมาแปรรูปทำไม้อัด หรือเยื่อกระดาษที่มีคุณภาพดีได้อีกด้วย

ใบ สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ในยามขาดแคลน และใช้เป็นแหล่งให้น้ำหวานสำหรับการเลี้ยงผึ้งได้เป็นอย่างดี เนื่องจากบริเวณโคนใบของกระถินเทพามีต่อมน้ำหวาน ซึ่งมักพบแมลงต่าง ๆ มารุมตอมหาอาหารอยู่เป็นประจำ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ดอกและเกสร เป็นแหล่งอาหารของผึ้งได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับใบ

การปรับปรุงดิน เนื่องจากกระถินเทพาเป็นพืชตระกูลถั่ว มีปมรากที่ตรึงธาตุไนโตรเจนมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการปรับปรุงบำรุงดินให้ดีขึ้นได้

ประโยชน์อื่น ๆ นอกจากประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ต้นกระถินเทพายังสามารถปลูกเพื่อใช้เป็นร่มเงา เป็นไม้ประดับ เป็นพืชคลุมดิน และแนวกันลมได้อีกด้วย

2.4.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูก

อุณหภูมิ กระถินเทพาจะขึ้นในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 31-34 องศาเซลเซียส ส่วนอากาศเย็นจะมีอุณหภูมิระหว่าง 15-22 องศาเซลเซียส กระถินเทพาจะไม่ขึ้นในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส หรือต่ำถึงจุดน้ำค้างแข็ง

ปริมาณน้ำฝน กระถินเทพาสามารถขึ้นได้ในพื้นที่มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 1,000 มิลลิเมตร จนถึง 4,500 มิลลิเมตรต่อปี แต่สวนป่าที่ปลูกกระถินเทพาประสบความสำเร็จนั้นจะมีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 2,000 มิลลิเมตรต่อปี และพื้นที่มีความชุ่มชื้นในดินค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี

ดิน สามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้ในดินที่ไม่ค่อยอุดมสมบูรณ์หรือมีสภาพเป็นกรดสูง เช่น ดินลูกรัง ดินที่ผ่านการทำไร่เลื่อนลอย เป็นต้น

การทนร่ม กระถินเทพาเป็นพืชที่มีความต้องการแสงแดดจัด ดังนั้นจึงไม่ควรปลูกพืชชนิดนี้ในที่มีร่มเงา เพราะจะทำให้ต้นแคระแกร็นผอมชะลูดและไม่แข็งแรง

2.4.4 การขยายพันธุ์

กระถินเทพาสามารถขยายพันธุ์ได้โดยวิธีการตัดชำ การตอนกิ่งการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ แต่ที่สะดวกประหยัด รวดเร็วและได้ผลดีที่สุด คือการขยายพันธุ์ด้วยการเพาะเมล็ด ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (Wattle *et al*., 2004)

2.4.4.1 การเก็บเมล็ด

ควรเก็บเมล็ดพร้อมฝักที่แก่จัดจากต้นแม่ที่มีอายุ 3 ปีขึ้นไป และเก็บจากแหล่งที่คัดเลือกแล้วนำมาผึ่งแดดประมาณ 1-3 วัน แล้วทำการแยกเมล็ดออกจากฝัก โดยการแกะด้วยมือหรือเอาใส่กระสอบแล้วทุบด้วยไม้ จากนั้นจึงฝัดแยกเมล็ด หรือเขย่ารวมกับท่อนไม้เล็ก ๆ ในถังผสมปูนซีเมนต์แล้วฝัดแยกเมล็ด ผึ่งลมให้เมล็ดแห้งอีกประมาณ 3 วัน จึงเก็บเมล็ดลงในภาชนะที่ปิดมิดชิด จะสามารถเก็บได้นานถึง 3 ปี หรือนำไปเพาะปลูกเลยก็ได้ เมล็ดแห้ง 1 กิโลกรัม จะมีประมาณ 80,000-110,000 เมล็ด

2.4.4.2 การเพาะเมล็ด มี 2 วิธีดังนี้

Prince of Songkla University Pattani Campus

วิธีธรรมดา คือ การเพาะเมล็ดโดยไม่ใช้กรรมวิธีใด ๆ ช่วงเร่งการงอกของเมล็ด โดยจะนำเมล็ดไปเพาะในกระบะ แปลงเพาะ ถาดเพาะหรือหยอดเมล็ดลงถุงชำ แล้วกลบเมล็ดด้วยวัสดุเพาะชำให้ท่วมเมล็ด แต่ไม่ให้นานเกิน 0.5 เซนติเมตร รดน้ำเช้าเย็น เมล็ดจะเริ่มงอกภายใน 7 วัน วิธีนี้มีข้อเสียคือ การงอกจะไม่สม่ำเสมอและใช้ระยะเวลานาน (Wattle *et al*., 2004)

วิธีเร่งการงอกของเมล็ด คือ การปฏิบัติต่อเมล็ดด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนตัวลง เมื่อนำไปเพาะแล้วเมล็ดจะงอกเร็วขึ้นมีการงอกอย่างสม่ำเสมอเป็นจำนวนมากในระยะเวลาที่เหมาะสม วิธีเร่งการงอกของเมล็ดที่ดีวิธีหนึ่ง คือ การแช่เมล็ดในน้ำร้อน (100 องศาเซลเซียส) ในอัตราเมล็ด 1 ส่วนต่อน้ำร้อน 10 ส่วน แช่นาน 30 วินาที จากนั้นรินน้ำร้อนออกแล้วเทน้ำเย็นลงไปแทนแช่ทิ้งไว้ 1 คืนแล้วจึงนำไปเพาะ เมล็ดจะงอกภายใน 3-5 วัน วิธีนี้เหมาะสำหรับการเตรียมกล้าไม้จำนวนมาก แต่การปฏิบัติจะต้องมีประสบการณ์ เพราะถ้าใช้ระยะเวลาแช่เมล็ดไม่เหมาะสมแล้วเมล็ดอาจไม่งอกเลยก็ได้

2.4.4.3. การย้ายชำและดูแลกล้าไม้

เมื่อกล้าไม้งอกออกจากเมล็ดได้ประมาณ 10-15 วัน ใบจริงคู่แรกจะงอกออกมาแล้วให้เริ่มย้ายลงถุงชำ เมื่อกล้าไม้อายุได้ 2-3 เดือน จะมีปมรากตรึงธาตุไนโตรเจน ซึ่งมีเชื้อแบคทีเรียไรโซเบียมและเชื้อราไมคอร์ไรซา มาเสริมกระบวนการสร้างความเจริญเติบโตแล้ว ในระยะนี้ควรใช้ปุ๋ยเคมี N-P-K-Mg สูตร 12-12-17-2 ในอัตรา 125 กรัมต่อน้ำ 4 ลิตร ฉีดพ่นทางใบทุก 2 สัปดาห์ เพื่อช่วยเร่งการเจริญเติบโตจนกล้าไม้มีอายุประมาณ 3-5 เดือน หรือมีความสูงประมาณ 30 เซนติเมตร จึงนำไปปลูกต่อไป

2.4.5 การปลูกและบำรุงรักษา

กล้าไม้อ่อนของกระถินเทพาเมื่อนำไปปลูก จะต้องผ่านการพรุนรากและสร้างความแข็งแรงก่อน โดยการลดปริมาณการให้น้ำแก่กล้าไม้จนถึงการให้น้ำวันเว้นวัน และเปิดหลังคาเรือนเพาะชำให้กล้าไม่ได้รับแสงเต็มที่ประมาณ 20-30 วัน ซึ่งจะทำให้กล้าไม้แข็งแรงทนต่อสภาพแวดล้อมนอกเรือนเพาะชำและอัตราการรอดตายมีสูงขึ้น (Wattle *et al*., 2004)

2.4.5.1 การเตรียมพื้นที่ปลูก การปลูกกระถินเทพาในเชิงเศรษฐกิจจะต้องทำการไถเตรียมพื้นที่แล้วกำหนดระยะปลูกที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ระยะ 3×3 เมตร จากนั้นจึงขุดหลุมปลูกขนาดกว้าง × ยาว × ลึกประมาณ 30×30×30 เซนติเมตร แล้วรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก ในกรณีที่พื้นที่ปลูกขาดความอุดมสมบูรณ์ หากจะใช้ปุ๋ยเคมีควรใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในรูปของหินฟอสเฟตรองก้นหลุมก่อนปลูกในอัตรา 50-100 กรัม ต่อหลุม

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.4.5.2 การปลูก ควรทำการปลูกในช่วงต้นฤดูฝน เพื่อให้ต้นไม้สามารถตั้งตัวได้ โดยการปลูกจะต้องกลบดินให้ท่วมคอรากในระดับที่ต่ำกว่าระดับผิวดินเล็กน้อย และหลังจากปลูกแล้ว 1-2 เดือน หากมีต้นใดตายจะต้องทำการปลูกซ่อมแซมทันที

2.4.5.3 การกำจัดวัชพืช ในรอบปีแรก ควรทำการกำจัดวัชพืช 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกในช่วงฤดูฝน และครั้งที่สองช่วงก่อนเข้าสู่ฤดูแล้ง แต่ถ้าหากมีการปลูกพืชแซมในแปลงด้วยซึ่งได้แก่ ข้าวโพด แตงโม กล้วย สับปะรด ก็จะช่วยลดปริมาณวัชพืชลงได้มาก ส่วนในปีที่สองนั้นการกำจัดวัชพืชจะทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากกิ่งก้านของกระถินเทพาจะขยายออกด้านข้างปกคลุมพื้นที่ ทำให้วัชพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้

2.4.5.4 การใส่ปุ๋ย ควรใส่ในช่วงฤดูฝน เมื่อต้นไม้ตั้งตัวได้แล้ว โดยปุ๋ยเคมีที่ใช้ได้แก่ ปุ๋ย N-P-K สูตร 15-15-15 ส่วนปริมาณการใช้นั้นขึ้นอยู่กับสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2.4.6 โรคและแมลงศัตรู

เมล็ดพันธุ์ ควรตากเมล็ดให้แห้งสนิทก่อนเก็บ เพื่อป้องกันเชื้อราเข้าทำลายเมล็ดต้นอ่อนหรือกล้าไม้ ในระยะเวลาที่เกิดฝนตกชุกติดต่อกันหลายวัน ให้ระมัดระวังเชื้อราเข้าทำลายโคนต้น ส่วนแมลงที่เข้าทำลายในช่วงนี้ ได้แก่ เพลี้ยหอยและเพลี้ยแป้ง ซึ่งเป็นแมลงศัตรูที่พบอยู่เป็นประจำในไม้สกุลนี้ ต้นกระถินเทพาที่มีอายุมากกว่า 1 ปี ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับโรคและแมลงศัตรูเข้าทำลาย มีเพียงกรณีตัวอย่างจากประเทศมาเลเซีย เรื่องปลวกทำลายรากและมอดเจาะลำต้น ซึ่งวิธีป้องกันกระทำได้โดยไม่ปลูกต้นกระถินเทพาเพียงชนิดเดียวเป็นแปลงใหญ่ และควรปลูกพืชหมุนเวียนสลับกันไป ก็จะช่วยลดปัญหาการเกิดโรคและแมลงลงได้บ้าง นอกจากนี้ยังต้องระมัดระวังสัตว์เลี้ยงจำพวกโค กระบือและแพะ เข้าไปกัดกินใบในระยะเริ่มปลูกอีกด้วย (Wattle *et al*., 2004)

2.5 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช

พืชสามารถสร้างอาหารสำหรับการเจริญเติบโตได้โดยการสังเคราะห์แสง อาหารที่พืชสร้างขึ้น ได้แก่ คาร์ไบไฮเดรต ซึ่งได้มาจากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การเจริญเติบโตและการสร้างอาหารของพืชนี้จำเป็นต้องได้ธาตุอาหารโดยการดูดซึมจากดิน (Jones, 1979) แร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของหญ้าที่สะสมอยู่ในดินมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ การใส่ปุ๋ยต่าง ๆ กับหญ้า การสะสม ธาตุอาหารจากการเน่าเปื่อยผุพังของอินทรีย์สารอื่น ๆ ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของหญ้ามีทั้งหมด 16 ธาตุ และจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

Prince of Songkla University Pattani Campus

1) มหธาตุ ที่มาจากน้ำ และอากาศ และจะเป็นประโยชน์ต่อพืชต้องอยู่ในรูปโมเลกุล มี 3 ธาตุ คือ คาร์บอน ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในรูปของน้ำ
2) มหธาตุปฐมภูมิ (Primary macronutrients) ที่มาจากดิน มี 3 ธาตุ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม
3) มหธาตุทุติยภูมิ (Secondary macronutrients) ที่มาจากดิน มี 3 ธาตุ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน
4) จุลธาตุอาหารประจุบวก (Cationic micronutrients) ในดิน มี 4 ธาตุ คือ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี
5) จุลธาตุอาหารประจุลบ (Anionic micronutrients) มี 3 ธาตุ คือ โบรอน คลอรีน และโมลิบดีนัม

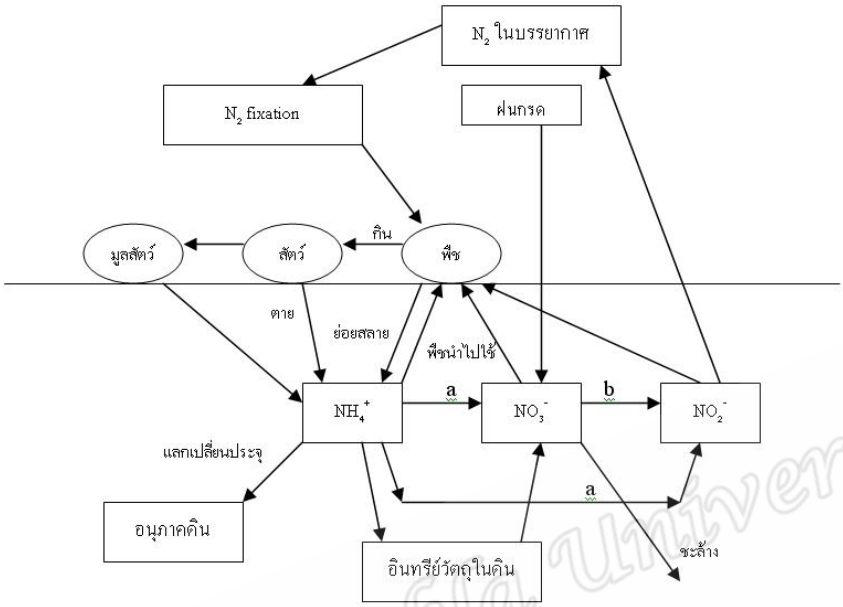
สำหรับ ณ ที่นี้กล่าวถึง เฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ซึ่งมีหน้าที่สำคัญ ดังนี้ คือ

2.5.1 ไนโตรเจน

ธาตุไนโตรเจน สำหรับพืชเอาไปใช้สร้างกรดอะมิโนโปรตีน สาร alkaloids คลอโรฟิลล์ purine base และเอนไซม์ เมื่อขาดธาตุไนโตรเจนจะแสดงอาการต้นแคระแกรน ใบด่าง (มนูญ, 2543) ธาตุไนโตรเจนปกติจะมีอยู่ในอากาศในรูปของก๊าซไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก แต่พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ (ยกเว้นพืชตระกูลถั่วเท่านั้นที่มีระบบรากพิเศษสามารถแปรรูปก๊าซไนโตรเจนจากอากาศนำมาใช้ประโยชน์ได้) ธาตุไนโตรเจนที่พืชดูดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบ เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเทรตไอออน (NO_3^-) ธาตุไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปเหล่านี้จะมาจากการสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดิน โดยจุลินทรีย์ในดินจะเป็นผู้ปลดปล่อยให้ (ดังภาพประกอบที่ 2.3) นอกจากนั้นก็ได้มาจากการที่เราใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดินด้วย พืชโดยทั่วไปมีความต้องการธาตุไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญมากในการส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืช พืชที่ได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ ใบจะมีสีเขียวสด มีความแข็งแรง โตเร็ว และทำให้พืชออกดอกและผลที่สมบูรณ์ เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนมาก ๆ บางครั้งก็ทำให้เกิดผลเสียได้เหมือนกัน เช่น จะทำให้พืชอวบน้ำมาก ต้นอ่อน ล้มง่าย โรคและแมลงเข้ารบกวนทำลายได้ง่าย คุณภาพผลิตผลของพืชบางชนิดก็จะเสียไปได้ เช่น ทำให้ต้นมันไม่ลงหัว มีแป้งน้อย อ้อยจืด ส้มเปรี้ยว และมีกากมาก แต่บางพืชก็อาจทำให้คุณภาพดีขึ้น โดยเฉพาะพวกผักรับประทานใบ ถ้าได้รับไนโตรเจนมากจะอ่อน อวบน้ำ และกรอบ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ทำให้มีเส้นใยน้อย และมีน้ำหนักดี แต่พืชจะเน่าง่าย และแมลงชอบรบกวน (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2005)



รูปที่ 2.3 วัฏจักรไนโตรเจน ดัดแปลงจาก Nielsen (2008), Terence (2006) และ Jamieson (1995)

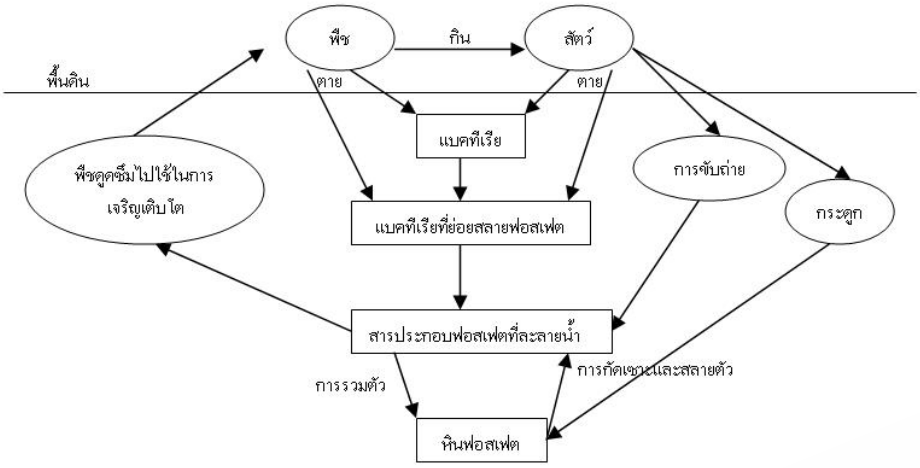
a) Nitrification

b) Denitrification

2.5.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารพืชที่ต้องการในปริมาณมาก (ดังภาพประกอบที่ 2.4) เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดของพืช เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟไลปิด นิวคลีโอโปรตีน และเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของ ATP (Jones, 1979) ธาตุฟอสฟอรัสมีความสำคัญและจำเป็นต่อหญ้าเช่นเดียวกันกับธาตุไนโตรเจน เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างอาหาร เป็นตัวควบคุมความเป็นกรด เบส ของเซลล์ ช่วยในการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของต้นอ่อน การสุกของเมล็ด ตลอดจนการเติบโตของรากหญ้า พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโต ใบมีขนาดเล็กลง การแผ่กระจายของรากน้อยลงผิดปกติ (Thompson และ Troeh, 1978)

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 2.4 วัฏจักรฟอสฟอรัส ดัดแปลงจาก Dillon (2005), Bellows (2001) และ Chapman (1996)

พืชที่ขาดฟอสฟอรัสมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการ คือ ใบขยายขนาดช้าจึงเล็กและจำนวนใบน้อย สาเหตุที่แผ่นใบมีการขยายช้าก็เพราะเซลล์ชั้นผิวไม่ค่อยขยายตัวอันเนื่องมาจากเซลล์ชั้นผิวมีฟอสฟอรัสต่ำ และสภาพนำน้ำของราก (Root hydraulic conductivity) ลดลง พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจึงมีค่าสัดส่วนระหว่างส่วนเหนือดินกับราก (Shoot-root ratio) ลดลงด้วย การขาดฟอสฟอรัสก็เป็นสาเหตุที่ทำให้การกระจายของคาร์โบไฮเดรตลงมาอยู่ที่รากมากขึ้น การขาดฟอสฟอรัสของพืชมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอกผลและเมล็ดน้อยลง การที่ใบพืชเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็วกว่าปกติ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ (ยงยุทธ, 2543) อาการของพืชที่ขาดฟอสฟอรัสนั้น อาการที่แสดงออกโดยทั่วไปคือ อาการต้นแคระแกรน ใบเล็ก ขนาดของลำต้นพืชเล็กลง ใบจะมีสีตามปกติแต่ก็ค่อย ๆ เปลี่ยนไปโดยที่ใบล่างเริ่มจะมีสีม่วงตามแผ่นใบ ใบก็จะมีสีเขียวด้าน ๆ ต่อมาใบก็เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและก็ร่วงหล่นง่าย การออกดอกก็น้อยลง และถ้าขาดฟอสฟอรัสมาก ๆ ขึ้นจะไม่ออกดอก หากพืชได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปนั้นจะไม่มีผลเสียหายกับพืชแต่ประการใด แต่สิ้นเปลืองปุ๋ยและค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้น พืชจะเจริญเติบโตตามปกติ การออกรากดี การติดผล หรือการติดเมล็ดดี พืชที่ได้รับฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอจะมีความสามารถในการที่เกี่ยวข้องกับพลังงานคือใช้พลังงานแสงแดดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.5.3 โพแทสเซียม

ธาตุโพแทสเซียม มีบทบาทในการเปิดของปากใบ และเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในพืช อาการขาดธาตุโพแทสเซียม แสดงอาการลำต้นแคระแกรน แตกกอหรือกิ่งก้านตาย ต้นล้มง่าย ธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คืออยู่ในรูปโพแทสเซียมไอออน K^+ (ดังภาพประกอบที่ 2.9)

เมื่ออยู่ในพืชโพแทสเซียมเคลื่อนย้ายง่ายมากไม่ว่าจะเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ ระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อ การเคลื่อนย้ายระยะไกลทางไซเลมและโฟลเอ็ม ในเชิงปริมาณธาตุนี้มีพืชมากกว่าแคตไอออนอื่น ๆ จึงเป็นธาตุซึ่งทำหน้าที่ลดศักย์ออสโมซีส ภายในเซลล์และเนื้อเยื่อของพืชที่ไม่ทนเค็ม หากพืชขาดโพแทสเซียมภายในเซลล์จะมีความเป็น กรด เบส ต่ำกว่าปกติ เนื่องจากโพแทสเซียมทำหน้าที่รักษาสภาพความเป็นกลางของโมเลกุลสารที่ละลายได้

โพแทสเซียมมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสงอย่างน้อย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นหนึ่งควบคุมปากใบให้เปิดปิดเมื่อมีแสงจึงช่วยให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ใบได้สะดวก ขั้นสองส่งเสริมการสังเคราะห์ ATP ในกระบวนการโฟโตฟอสฟอรีเลชั่นและขั้นสาม มีบทบาทในการคงสภาพโครงสร้างของครอโรพลาสต์ และโพรพลาสทิดที่เหมาะสมกับกิจกรรมการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ แม้ว่า พืชแต่ละชนิดจะต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติในปริมาณที่แตกต่างกันก็ตาม โดยทั่วไปความต้องการของพืชอยู่ในพิสัยร้อยละ 2 ถึง 5 โดยน้ำหนักแห้งของอวัยวะด้านวัฒนภาค ผลและหัว (ยงยุทธ, 2543)

2.5.4 แคลเซียม

ธาตุแคลเซียมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของโครงสร้างผนังเซลล์ของพืชและเกี่ยวข้องกับการปฏิสนธิ การแบ่งเซลล์และการเจริญเติบโตของเซลล์ เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์ ในมิดเดิ้ลแลมเบลลาของผนังเซลล์จะมีแคลเซียมในรูปแคลเซียมเพคเตท พืชจะเจริญเติบโตได้จะต้องมีการแบ่งเซลล์ที่ส่วนยอดหรือปลายราก พบว่าในปลายรากที่กำลังเจริญจะมีปริมาณแคลเซียมมาก (Taiz และ Zeiger, 1998) และยังช่วยในปัจจัยรวมของเอนไซม์ในกระบวนการสร้างโปรตีน รูปของแคลเซียมที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้คือแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ซึ่งมีบทบาทในการช่วยดูดซับธาตุโพแทสเซียมได้มากขึ้นหากขาดแคลเซียมพืชจะแสดงอาการ ก้นผลเน่าในมะเขือเทศ และผิวผลแอปเปิ้ลมีรอยบุ๋ม ไส้เน่าในพืชตระกูลกะหล่ำ และมีอาการปลายใบไหม้ในผักกาดหอม

2.5.5 แมกนีเซียม

ธาตุแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลักของโมเลกุลคลอโรฟิลล์และมีส่วนเคลื่อนย้ายธาตุฟอสฟอรัสพืชที่ขาดแมกนีเซียมทำให้มีอาการเหลือง (Chlorosis) ที่ใบอ่อนและใบแก่ รูปของแมกนีเซียมที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้คือ แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ความเป็นประโยชน์จะสูงในดินที่มีความเป็นกลางหรือเป็นด่าง การดูดแมกนีเซียมจะลดลง หากมี K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mn^{2+} และ H^+ มาก แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน หากขาดแมกนีเซียมพืชจะแสดงอาการใบเหลืองซีด พืชสังเคราะห์โปรตีนได้น้อย แต่กลับมีการสะสมแป้งในใบมากขึ้นทำให้มีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น

Prince of Songkla University Pattani Campus

2.5.6 สังกะสี

โดยทั่วไปพืชดูดสังกะสีรูปไดเวเลนซ์แคตไอออน (Zn^{2+}) แต่ในสภาวะที่ความเป็นกรดเบส สูงก็อาจใช้โมโนเวเลนซ์แคตไอออน ($ZnOH^{+}$) ได้ อัตราการดูดสังกะสีของรากพืชขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมในวัสดุปลูก หากมีแคลเซียมสูงเกินไปอาจยับยั้งการดูดสังกะสีพืชจึงใช้ธาตุนี้ได้น้อยลง เมื่อรากพืชดูดเข้าไปในเซลล์แล้วจะลำเลียงสู่ส่วนเหนือของไซเลมได้สองรูปคือ สังกะสีส่วนหนึ่งรวมกับอินทรียสารและเคลื่อนย้ายในรูปคีเลต แต่อีกส่วนหนึ่งยังเป็นแคตไอออนตามเดิม ในน้ำเลี้ยงโฟลเอ็มมีสังกะสีความเข้มข้นค่อนข้างสูง และอยู่ในรูปสารเชิงซ้อนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ (ยงยุทธ, 2543) สำหรับการทำหน้าที่ในพืชนั้น เนื่องจากสังกะสีไม่ได้มีรูปออกซิไดส์และรูปรีดิวซ์เหมือนเหล็ก แมงกานีส หรือทองแดง จึงไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชั่นรีดักชั่น แต่จากการเป็นไดเวเลนส์แคตไอออนที่มีสมบัติพิเศษ จึงเข้ารวมกับอินทรีย์สารกลายเป็นเททระฮีดรัลคอมเพล็ก เป็นเหตุให้สังกะสีมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิด นอกจากนั้นยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับโปรตีนและดีเอ็นเอด้วย (Coleman, 1992 อ้างโดย ยงยุทธ, 2543)

Prince of Songkla University Pattani Campus