บทที่ 3

ผลการศึกษาวิจัย

บทที่ 3 ผลการศึกษาวิจัย

โครงการ "การทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการเพาะชำยางชำถุง" ดำเนินการศึกษาวิจัยแบบทดลอง ครอบคลุมขั้นตอนการเพาะชำยางชำถุง ตั้งแต่การปลูกต้นกล้ายาง (ต้นตอตา) และการปลูกต้นยางชำถุง (ต้นตอตาซึ่งติดตาเขียวพันธุ์ RRIM 600 ปลูกในถุงเพาะชำ) โดยเตรียมสิ่งทดลองที่เป็นของทิ้ง (กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง) ในคราวเดียวกัน (รูปที่ 2-1) มุ่งเน้นสภาพและเงื่อนไขการศึกษาตลอดฤดูปลูก ภายใต้สภาพแวดล้อมของพื้นที่สวนยาง ตำบลไทรขึง อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ผลการศึกษาวิจัยครอบคลุม 2 ประเด็นหลัก คือ 1) ความเป็นประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งในการปลูกและการเติบโตของยางพาราตั้งแต่ระยะต้นกล้ายางจนถึงระยะต้นยางชำถุง และ 2) ศักยภาพการทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) ของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง

3.1 ความเป็นประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งในการปลูกและการเติบโตของยางพาราตั้งแต่ระยะต้นกล้ายางจนถึงระยะต้นยางชำถุง

ความเป็นประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งในการปลูกและการเติบโตของยางพาราตั้งแต่ระยะต้นกล้ายางจนถึงระยะต้นยางชำถุงประเมินจาก 1) สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง 2) การเติบโตของต้นกล้ายางและต้นยางชำถุง ณ เวลาที่ต้นกล้ายางติดตาเขียว (ต้นกล้าอายุ 6 เดือน) และเวลาที่ต้นยางชำถุงย้ายลงหลุมปลูก (ต้นยางชำถุงอายุ 90 วัน)

- **สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย**

สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย จากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง บริษัท สุราษฎร์ซีฟู้ดส์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีกากตะกอนน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณ 10 ตันต่อปี พบว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C: N ratio) = 10.02 : 1 (ตารางที่ 3-1) มีผลให้การสลายตัวของกากตะกอนน้ำเสียเป็นไปได้ด้วยดี จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนอินทรียสารเป็นอนินทรียสารโดยไม่ลดปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช กล่าวคือ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียลงสู่ดินโอกาสที่จะเกิดการดูดดึงไนโตรเจนจากดินโดยจุลินทรีย์ (nitrogen immobilization) มีน้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2550) จึงสามารถปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของพืช (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541; Siriratpiriya, 1999,1996; Chaney, 1980; Bingham et al., 1975)

กากตะกอนน้ำเสียมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 6.29 (ตารางที่ 3-1) จัดว่ามีความเป็นกรดเล็กน้อย (ตารางที่ ผ.1) เมื่อเติมลงดินจึงไม่น่าจะเป็นปัญหาต่อการเติบโตของยางพารา ซึ่งสามารถเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน 4.5-5.5 และยังเติบโตได้ในช่วงความเป็นกรด

เป็นด่างของดิน 3.8-6.0 (นุชนารถ กังพิศดาร, 2547; สถาบันวิจัยยาง, 2550, 2549, 2544, 2536) อีกทั้งมีอินทรียวัตถุ (16.85%, ตารางที่ 3-1) อยู่ในระดับสูงมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดินของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ ผ.2) กากตะกอนน้ำเสียจึงเป็นแหล่งอินทรียวัตถุให้กับดินในการปลูกยางพาราได้ เพราะการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงสู่ดินเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุอย่างมีนัยสำคัญ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541, 2536, 2529; Gillies et al., 1989) อินทรียวัตถุทำให้เกิดกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นตัวทำละลายให้ธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสในดินละลายเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น อีกทั้งช่วยให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น เช่น ความร่วนซุย การอุ้มน้ำ ลดการพังทะลายหรือถูกชะล้างของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ปริมาณธาตุอาหารหลักหรือธาตุปุ๋ย ในกากตะกอนน้ำเสีย (ตารางที่ 3-1) พบว่า ไนโตรเจนทั้งหมด (0.84%) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (2,931.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (338.00 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) จัดเป็นธาตุอาหารระดับสูงเมื่อเทียบกับระดับธาตุอาหารในดินปลูกยางพารา (ตารางที่ ผ.3) ส่วนแมกนีเซียม (0.22 มิลลิกรัมสมมูลย์/ดินหนัก 100 กรัม, ตารางที่ 3-1 และตารางที่ ผ.3) ซึ่งเป็นธาตุอาหารรองที่มีผลต่อการเติบโตของยางพาราและคุณภาพน้ำยาง พบว่า จัดอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับระดับธาตุอาหารในดินปลูกยางพารากล่าวคือ มีปริมาณแมกนีเซียม <0.30 มิลลิกรัมสมมูลย์/ดินหนัก 100 กรัม

ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสีย ทั้งที่เป็นจุลธาตุอาหารจำเป็นต่อการเติบโต (essential element) ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ทองแดง แมงกานีส เหล็ก และสังกะสี รวมทั้งโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ (toxic element) ในการศึกษาครั้งนี้ คือ แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล (ตารางที่ 3-1) ไม่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาหรือเกิดความกังวลใจในการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์เมื่อเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนน้ำเสียที่จะใส่ลงในพื้นที่การเกษตรของประเทศต่างๆ (ตารางที่ ผ.6)

กล่าวได้ว่า กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง สามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งอินทรียวัตถุและแหล่งของธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) ธาตุอาหารรอง (แมกนีเซียม) ในการปลูกต้นกล้ายางและต้นยางชำถุงได้อย่างปลอดภัยจากโลหะหนัก

- **สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากขี้แป้ง**

สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากขี้แป้ง จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เฉพาะกรณีของบริษัท อินเตอร์รับเบอร์ ลาเท็คซ จำกัด ซึ่งมีปริมาณกากขี้แป้งเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 1,668 กิโลกรัม/วัน จากกำลังผลิตน้ำยางข้น 80 ตัน/วัน พบว่า อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C: N ratio) เท่ากับ 10.03: 1 (ตารางที่ 3-2) เมื่อเติมกากขี้แป้งลงสู่ดินจะสลายตัวได้ดี จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนอินทรียสารเป็นอนินทรียสารโดยไม่ลดปริมาณไนโตรเจนจากดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา,

2550) จึงสามารถปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของพืช (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541; Siriratpiriya, 1999,1996; Chaney, 1980; Bingham et al., 1975)

กากขี้แป้งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 8.31 (ตารางที่ 3-2) จัดว่ามีความเป็นด่างปานกลาง (ตารางที่ ผ.1) เมื่อเติมลงดินด้วยอัตราเติมไม่เหมาะสมมีโอกาสเป็นปัญหาต่อการเติบโตของยางพารา ซึ่งโดยปกติสามารถเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน 4.5-5.5 และยังเติบโตได้ในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน 3.8-6.0 (นุชนารถ กังพิศดาร, 2547; สถาบันวิจัยยาง, 2550, 2549, 2544, 2536)

กากขี้แป้งมีอินทรียวัตถุ (23.76%, ตารางที่ 3-2) อยู่ในระดับสูงมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดินของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ ผ.2) กากขี้แป้งจึงเป็นแหล่งอินทรียวัตถุให้กับดินในการปลูกยางพาราได้ อินทรียวัตถุทำให้เกิดกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นตัวทำละลายให้ธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสในดินละลายเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น อีกทั้งช่วยให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น เช่น ความร่วนซุย การอุ้มน้ำ ลดการพังทะลายหรือถูกชะล้างของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2550)

ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ธาตุปุ๋ย) ในกากขี้แป้ง (ตารางที่ 3-2) พบ ไนโตรเจนทั้งหมด (1.18%) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (15,702.13 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (1,398 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) จัดเป็นธาตุอาหารระดับสูงเมื่อเทียบกับระดับธาตุอาหารในดินปลูกยางพารา (ตารางที่ ผ.3) ส่วนแมกนีเซียม (0.20 มิลลิกรัมสมมูลย์/ดินหนัก 100 กรัม, ตารางที่ 3-2) ซึ่งเป็นธาตุอาหารรองที่มีผลต่อการเติบโตของยางพาราและคุณภาพน้ำยาง พบว่า จัดอยู่ในระดับต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระดับธาตุอาหารในดินปลูกยางพารา (ตารางที่ ผ.3) กล่าวคือ มีปริมาณ แมกนีเซียม <0.30 มิลลิกรัมสมมูลย์/ดินหนัก 100 กรัม

ปริมาณโลหะหนักในกากขี้แป้ง ทั้งที่เป็นจุลธาตุอาหารจำเป็นต่อการเติบโต (essential element) ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ทองแดง แมงกานีส เหล็ก และสังกะสี รวมทั้งโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ (toxic element) ในการศึกษาครั้งนี้ คือ แคดเมียม ตะกั่ว และนิเกิล (ตารางที่ 3-2) ไม่น่าจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาหรือเกิดความกังวลใจในการนำกากขี้แป้งไปใช้ประโยชน์เมื่อเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนน้ำเสียที่จะใส่ลงในพื้นที่การเกษตรของประเทศต่างๆ (ตารางที่ ผ.6)

กล่าวได้ว่า กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น สามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งอินทรียวัตถุและแหล่งของธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) ธาตุอาหารรอง (แมกนีเซียม) ในการปลูกต้นกล้ายางและต้นยางชำถุงได้อย่างปลอดภัยจากการโลหะหนัก โดยต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของอัตราเติม ที่จะไม่ส่งผลให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีค่าสูงเกินกว่าระดับที่ต้นยางพาราเติบโตได้

- **การเติบโตของต้นกล้ายาง**

การเติบโตของต้นกล้ายาง ในที่นี้ศึกษาในรูปของความสูง (เซนติเมตร) และเส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร) (ตารางที่ 3-3 และ 3-4) พบว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งทุกลักษณะ (ตำรับทดลองที่ 3-7) ล้วนส่งผลให้การเติบโตของต้นกล้ายางดีกว่าดินเดิม และดีกว่าการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตราเติมเดียวกันคือ 150 กิโลกรัม/ไร่ ลักษณะการเติบโตของต้นกล้ายางอายุ 6 เดือนซึ่งพร้อมที่จะเป็นต้นตอตาสำหรับติดตาเขียวดังปรากฏในรูปที่ 3-1 โดยที่ความสูงของต้นกล้ายางอายุ 6 เดือน (ตารางที่ 3-3) เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งสูงมากกว่าเมื่อเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตราเติมเดียวกันคือ 150 กิโลกรัม/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 59.87**, กลุ่มอักษร b และc, cd, de, ef, f) ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้ายาง (ตารางที่ 3-4) เฉพาะการเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งในสัดส่วน 1:3 หรือ 3:1 (ตำรับทดลองที่ 6 และ 7) ส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้ายางที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร มีขนาดโตกว่าการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตราเติมเดียวกันคือ 150 กิโลกรัม/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 13.08**, กลุ่มอักษร b และ c)

การเติบโตในภาพรวมตามช่วงเวลาตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 6 ของต้นกล้ายางทุกตำรับทดลองล้วนมีความต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3-3 และ 3-4) โดยการเติบโตแต่ละเดือนที่เพิ่มขึ้นล้วนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเติบโตเพิ่มขึ้น แต่ช่วงเวลาที่ต้นกล้ายางเติบโตขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแตกต่างกันไป เช่น ตำรับทดลองดินเดิม ความสูงของต้นกล้ายางเดือนที่ 2 (38.11 เซนติเมตร) สูงกว่าต้นกล้ายางเดือนที่ 1 (36.23 เซนติเมตร) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร A เดียวกัน, ตารางที่ 3-3) ในขณะที่ตำรับทดลองเติมกากตะกอนน้ำเสียอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ความสูงของต้นกล้ายางเดือนที่ 2 (38.31 เซนติเมตร) สูงกว่าต้นกล้ายางเดือนที่ 1 (36.41 เซนติเมตร) และแตกต่างทางสถิติ (อยู่กลุ่มอักษร A และB, ตารางที่ 3-3) สำหรับแนวโน้มการเติบโตของต้นกล้ายาง ตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 6 ตามตำรับทดลอง ดังปรากฏในรูปที่ 3-2 และ 3-3 ชี้ชัดว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งส่งผลให้การเติบโตของต้นกล้ายางดีกว่าการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตราเติมเดียวกัน คือ 150 กิโลกรัม/ไร่

นั่นหมายถึง กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งสามารถเป็นประโยชน์ในการเติบโตของต้นกล้ายางได้ทัดเทียมหรือดีกว่าการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตราเติมเดียวกันคือ 150 กิโลกรัม/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ต้นกล้ายางอายุ 6 เดือนซึ่งพร้อมที่จะเป็นต้นตอตาสำหรับติดตาเขียว ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่าเติบโตได้มาตรฐานกรมวิชาการเกษตร (2547) กล่าวคือ ลำต้นตั้งตรงสมบูรณ์ เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมีขนาดไม่น้อยกว่า 1 เซนติเมตร เมื่อวัด ณ ระดับสูงจากพื้นดิน 10 เซนติเมตร

กล่าวโดยสรุป กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง เป็นแหล่งอินทรียวัตถุและแหล่งธาตุอาหารที่เอื้อประโยชน์ให้ต้นกล้ายางเติบโตได้ดีทัดเทียมหรือดีกว่าการเติมปุ๋ยเคมี (ปุ๋ยหินฟอสเฟต) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- **การเติบโตของต้นยางชำถุง**

การเติบโตของต้นยางชำถุง เมื่อเตรียมวัสดุเพาะชำต้นยางชำถุงตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2547) คือ ดิน: วัสดุปรับปรุงดิน (กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง ปุ๋ยอินทรีย์) = 3: 1 โดยปริมาตร พบว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสียหรือกากขี้แป้ง ล้วนส่งผลให้การเติบโต (ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รัศมีเรือนยอด) ของต้นยางชำถุงไม่ต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยอินทรีย์ที่วางขายในท้องตลาด ซึ่งเกษตรกรในอำเภอพระแสงนิยมใช้เป็นวัสดุเพาะชำต้นยางชำถุง (ปุ๋ยอินทรีย์ 1 และ 2) ทั้งนี้การเติบโตของรากซึ่งบ่งบอกให้ทราบถึงศักยภาพการเติบโตเป็นต้นยางพาราที่ดีนั้น พบว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียส่งผลทำให้รากมีน้ำหนักมากที่สุด (ตารางที่ 3-5) นอกจากนี้ การเติมปุ๋ยเคมี สูตร 20-8-20 อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย หรือกากขี้แป้ง ก็ไม่ส่งผลให้เกิดความต่างทางสถิติของการเติบโต (ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รัศมีเรือนยอด) ของต้นยางชำถุง เมื่อเทียบกับตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราเดียวกัน และหากพิจารณาในภาพรวม พบว่าวัสดุเพาะชำต้นยางชำถุง ตำรับทดลองที่ 2 (ดินเดิม: กากตะกอนน้ำเสีย = 3: 1 โดยปริมาตร) ส่งผลให้ต้นยางชำถุงมีการเติบโต (ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รัศมีเรือนยอด น้ำหนักราก) ดีที่สุด

อย่างไรก็ตาม การเติบโตของต้นยางชำถุงทุกตำรับทดลองที่เติมวัสดุปรับปรุงดินมีความแตกต่างชัดเจนจากดินเดิม เมื่อต้นยางชำถุงมีช่วงอายุย่างเข้า 90 วัน (รูปที่ 3-4 และ 3-5) โดยที่ต้นยางชำถุงของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ล้วนได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2547) กล่าวคือ ต้นยางติดตาสมบูรณ์ มีขนาดตั้งแต่ 1 ฉัตรขึ้นไป ฉัตรยอดแก่เต็มที่ เมื่อวัดจากรอยแตกตาถึงปลายยอดมีความยาวไม่น้อยกว่า 25 เซนติเมตร เติบโตอยู่ในถุงพลาสติกขนาดไม่เล็กกว่า 11.5×35 เซนติเมตร เจาะรูระบายน้ำออก มีดินบรรจุไม่น้อยกว่า 10 นิ้ว เมื่อขนย้ายดินในถุงไม่แตกง่าย และไม่มีวัชพืชขึ้นในถุง

นั่นแสดงว่า กากตะกอนน้ำเสียหรือกากขี้แป้งเพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถใช้ประโยชน์เป็นวัสดุเพาะชำเพื่อการเติบโตของต้นยางชำถุงได้ทัดเทียมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ หรือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (20-8-20) เมื่อเตรียมวัสดุเพาะชำต้นยางชำถุงด้วยอัตราส่วน ดิน: วัสดุปรับปรุงดิน (กากตะกอนน้ำเสีย หรือกากขี้แป้ง หรือปุ๋ยอินทรีย์) = 3: 1

กล่าวโดยสรุปได้ว่า กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งสามารถเป็นประโยชน์ในการปลูกและการเติบโตของต้นกล้ายางและต้นยางชำถุงได้ โดยทดแทนปุ๋ยหินฟอสเฟตในการปลูกต้นกล้ายาง และทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี สูตร 20-8-20 และปุ๋ยอินทรีย์) ในการปลูกต้นยางชำถุงได้เป็นอย่างดี จึงเป็นการเพิ่มทางเลือกหนึ่งให้กับเกษตรกรในการเตรียมวัสดุเพาะชำเพื่อการผลิตต้นยางชำถุงที่ได้คุณภาพตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร อีกทั้งเป็นการจัดการของทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมการเกษตรให้เกิดประโยชน์กับภาคเกษตรกรรมในลักษณะเอื้ออาทรภายในชุมชน อีกทั้งเป็นส่วนหนึ่งของการลดปัญหามลพิษทางน้ำที่จะเกิดขึ้นในชุมชนและเกิดประโยชน์ที่ยั่งยืนต่อไป

ตารางที่ 3-1: สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสีย

สมบัติทางเคมี		กากตะกอนน้ำเสีย
ความเป็นกรดเป็นด่าง (กากตะกอนน้ำเสีย: น้ำ = 1:1)		6.29
อินทรียวัตถุ (%)		16.85
คาร์บอน (%)		8.42
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)		10.02:1
ธาตุอาหารหลัก	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.84
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	2,931.06
	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	338.00
ธาตุอาหารรอง	แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมสมมูลย์/ดินหนัก 100 กรัม)	0.22
โลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
โลหะหนักที่เป็นธาตุที่จำเป็น (essential element)	ทองแดง (Cu)	1.23 (26.00)
	แมงกานีส (Mn)	1.55 (46.00)
	เหล็ก (Fe)	23.28 (206.50)
	สังกะสี (Zn)	3.55 (15.90)
โลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ (toxic element)	แคดเมียม (Cd)	<0.10
	ตะกั่ว (Pb)	0.25 (0.50)
	นิเกิล (Ni)	0.50 (1.00)

หมายเหตุ: <0.10 หมายถึง Detection limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer สำหรับวิเคราะห์ Cd = 0.10 ppm

* ปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดดึงได้ สกัดด้วย 0.005 M DTPA และปริมาณโลหะหนักทั้งหมด สกัดด้วย HNO_3 + $HClO_4$ [ค่าตัวเลขใน ( )]

ตารางที่ 3-2: สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากขี้แป้ง

สมบัติทางเคมี		กากขี้แป้ง
ความเป็นกรดเป็นด่าง (กากขี้แป้ง : น้ำ = 1:10)		8.31
อินทรียวัตถุ (%)		23.76
คาร์บอน (%)		11.83
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)		10.03:1
ธาตุอาหารหลัก	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1.18
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	15,702.13
	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1,398.00
ธาตุอาหารรอง	แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมสมมูลย์/ดินหนัก 100 กรัม)	0.20
โลหะหนัก* (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		
โลหะหนักที่เป็นธาตุที่จำเป็น (essential element)	ทองแดง (Cu)	1.08 (1.30)
	แมงกานีส (Mn)	1.40 (2.63)
	เหล็ก (Fe)	13.10 (45.75)
	สังกะสี (Zn)	120.00 (150.00)
โลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ (toxic element)	แคดเมียม (Cd)	<0.10
	ตะกั่ว (Pb)	0.250 (0.50)
	นิเกิล (Ni)	0.50 (1.00)

หมายเหตุ: <0.10 หมายถึง Detection limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer สำหรับวิเคราะห์ Cd = 0.10 ppm

* ปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดดึงได้ สกัดด้วย 0.005 M DTPA และปริมาณโลหะหนักทั้งหมด สกัดด้วย $HNO_3 + HClO_4$ [ค่าตัวเลขใน ( )]

ตารางที่ 3-3: เปรียบเทียบความสูงของต้นกล้ายางในช่วงอายุ 1 เดือน ถึง 6 เดือน

ตำรับทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)							
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เฉลี่ยตามช่วงเวลา	F-value (ตามช่วงเวลา)
1. ดินเดิม	$^{A}36.23^{a}$	$^{A}38.11^{a}$	$^{B}64.20^{a}$	$^{C}75.23^{a}$	$^{D}96.28^{a}$	$^{D}100.70^{a}$	68.46	129.97^{**}
2. ดินเดิม + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}36.68^{a}$	$^{A}38.21^{a}$	$^{B}64.76^{a}$	$^{C}75.30^{a}$	$^{D}96.38^{a}$	$^{E}108.50^{b}$	69.96	1048.57^{**}
3. ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}36.41^{a}$	$^{B}38.31^{a}$	$^{C}64.70^{a}$	$^{D}75.78^{a}$	$^{E}96.55^{a}$	$^{F}116.70^{c}$	71.40	1112.87^{**}
4. ดินเดิม + กากขี้แป้ง อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}36.55^{a}$	$^{A}39.03^{a}$	$^{B}64.40^{a}$	$^{C}75.45^{a}$	$^{D}96.51^{a}$	$^{E}114.50^{cd}$	71.08	1398.01^{**}
5.ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:1) อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}36.90^{a}$	$^{B}38.95^{a}$	$^{C}65.03^{a}$	$^{D}76.01^{a}$	$^{E}96.68^{a}$	$^{F}117.80^{de}$	71.89	2972.98^{**}
6. ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:3) อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}37.63^{a}$	$^{A}39.65^{a}$	$^{B}65.38^{a}$	$^{C}76.17^{a}$	$^{D}97.30^{a}$	$^{E}119.80^{ef}$	71.60	1510.99^{**}
7.ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3:1) อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}37.1^{a}$	$^{B}39.15^{a}$	$^{C}67.08^{a}$	$^{D}79.83^{a}$	$^{E}101.71^{a}$	$^{F}122.50^{f}$	74.56	2511.71^{**}
เฉลี่ยตามตำรับทดลอง	36.78	38.78	65.08	76.25	97.35	114.35		
F-value (ตามตำรับทดลอง)	0.72^{NS}	0.78^{NS}	0.43^{NS}	0.92^{NS}	1.18^{NS}	59.87^{**}		

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันของช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ 99%

ตารางที่ 3-4: เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้ายางในช่วงอายุ 1 เดือน ถึง 6 เดือน

ตำรับทดลอง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)							
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5	เดือนที่ 6	เฉลี่ยตามช่วงเวลา	F-value (ตามช่วงเวลา)
1. ดินเดิม	$^{A}0.34^{a}$	$^{A}0.37^{a}$	$^{B}0.64^{a}$	$^{C}0.75^{a}$	$^{D}0.96^{a}$	$^{E}1.07^{a}$	0.69	167.58^{**}
2. ดินเดิม + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}0.35^{a}$	$^{B}0.37^{a}$	$^{C}0.65^{a}$	$^{D}0.75^{a}$	$^{E}0.96^{a}$	$^{F}1.08^{a}$	0.70	4075.35^{**}
3. ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}0.35^{a}$	$^{B}0.37^{a}$	$^{C}0.65^{a}$	$^{D}0.77^{a}$	$^{E}0.97^{a}$	$^{F}1.10^{a}$	0.70	6361.03^{**}
4. ดินเดิม + กากขี้แป้ง อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}0.35^{a}$	$^{B}0.37^{a}$	$^{C}0.65^{a}$	$^{D}0.76^{a}$	$^{E}0.97^{a}$	$^{F}1.08^{a}$	0.70	1623.17^{**}
5.ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:1) อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}0.35^{a}$	$^{B}0.37^{a}$	$^{C}0.65^{a}$	$^{D}0.77^{a}$	$^{E}0.97^{a}$	$^{F}1.10^{a}$	0.71	3916.92^{**}
6. ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:3) อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}0.36^{b}$	$^{A}0.38^{b}$	$^{B}0.66^{a}$	$^{C}0.77^{a}$	$^{D}0.97^{a}$	$^{E}1.14^{b}$	0.72	2191.88^{**}
7.ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3:1) อัตรา 150 กก./ไร่	$^{A}0.35^{a}$	$^{A}0.37^{a}$	$^{B}0.68^{a}$	$^{C}0.79^{a}$	$^{D}1.02^{a}$	$^{E}1.18^{c}$	0.73	276.91^{**}
เฉลี่ยตามตำรับทดลอง	0.35	0.37	0.66	0.77	0.97	1.11		
F-value (ตามตำรับทดลอง)	3.47^{*}	3.39^{*}	0.68^{NS}	1.26^{NS}	1.23^{NS}	13.08^{**}		

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันของช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ 99%

ตารางที่ 3-5: เปรียบเทียบการเติบโต (ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง รัศมีเรือนยอด และน้ำหนักราก) ของต้นยางชำถุง อายุ 90 วัน

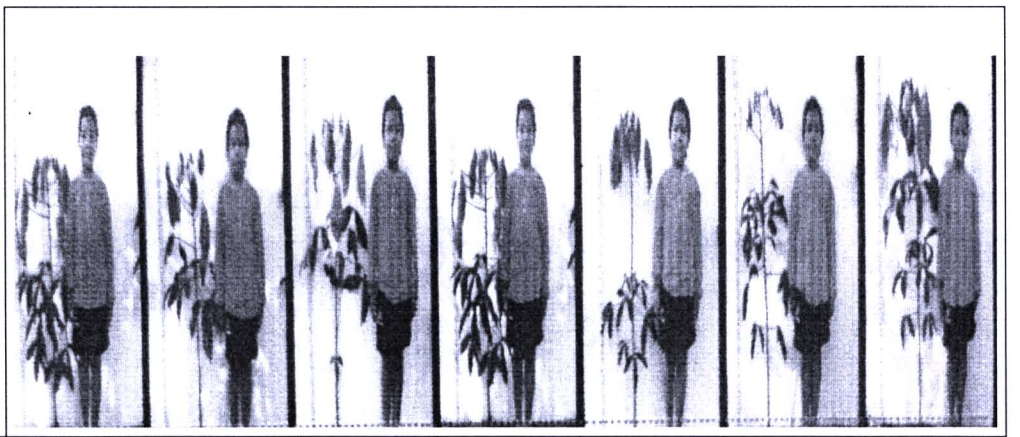
ตำรับทดลอง	การเติบโตของยางชำถุง			
	ความสูง (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	รัศมีเรือนยอด (เซนติเมตร)	น้ำหนักราก# (กรัม/ต้น)
1. ดินเดิม	13.46[a]	0.38[a]	13.92[a]	3.17
2. ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร)	16.76[a]	0.45[b]	15.46[a]	7.11
3. ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร)	15.62[a]	0.42[ab]	14.56[a]	5.82
4. ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร)	14.04[a]	0.41[ab]	14.43[a]	5.83
5. ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร)	14.22[a]	0.40[ab]	13.55[a]	4.02
6. ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.	15.90[a]	0.43[ab]	15.31[a]	6.06
7. ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.	15.76[a]	0.41[ab]	14.66[a]	4.55
8. ดินเดิม+ ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.	14.54[a]	0.40[ab]	14.48[a]	5.68
9. ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.	14.12[a]	0.39[ab]	13.97[a]	4.81
F-value (ตามตำรับทดลอง)	1.05[NS]	1.33[NS]	0.43[NS]	-
CV (%)	16.13	10.73	14.09	-

หมายเหตุ : ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันของช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

หมายถึง น้ำหนักแห้งของรากที่ได้จากต้นยางชำถุง 1 ต้น ของแต่ละตำรับทดลอง ส่วนอีก 4 ซ้ำ (replication) นำไปปลูกลงหลุมในพื้นที่สวนยางที่ได้ทำการศึกษาวิจัย



ตำรับทดลอง	C	C+F	C+S	C+L	C+S1:L1	C+S1:L3	C+S3:L1
ความสูง (ซม.)	100.70	108.50	116.70	114.50	117.80	119.80	122.50
เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)	1.07	1.08	1.10	1.08	1.10	1.14	1.18

หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม

C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 150 กก./ไร่

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย อัตรา 150 กก./ไร่

C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง อัตรา 150 กก./ไร่

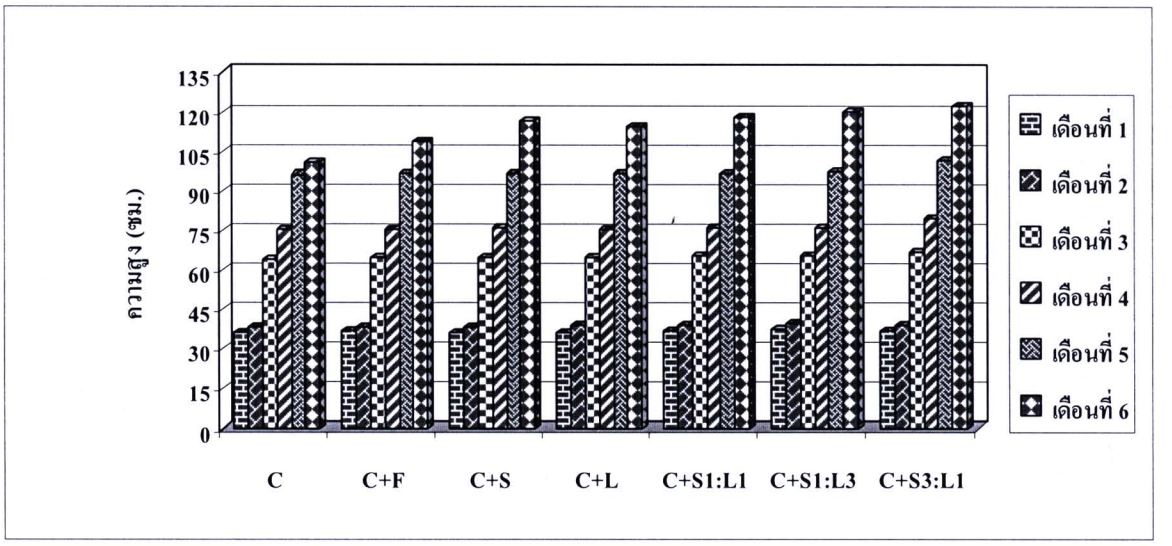
C+S1:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:1) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S1:L3 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:3) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S3:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3:1) อัตรา 150 กก./ไร่

รูปที่ 3-1: เปรียบเทียบลักษณะการเติบโตของต้นกล้ายาง อายุ 6 เดือน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม

C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 150 กก./ไร่

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย อัตรา 150 กก./ไร่

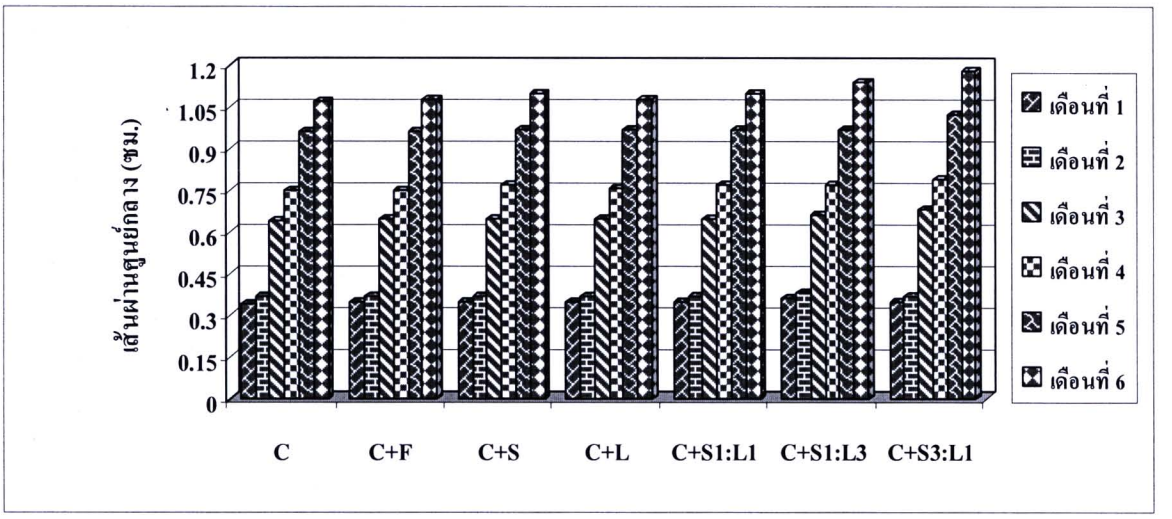
C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง อัตรา 150 กก./ไร่

C+S1:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:1) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S1:L3 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:3) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S3:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3:1) อัตรา 150 กก./ไร่

รูปที่ 3-2: เปรียบเทียบความสูงของต้นกล้ายางในช่วงอายุ 1 เดือน ถึง 6 เดือน



หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม

C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 150 กก./ไร่

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย อัตรา 150 กก./ไร่

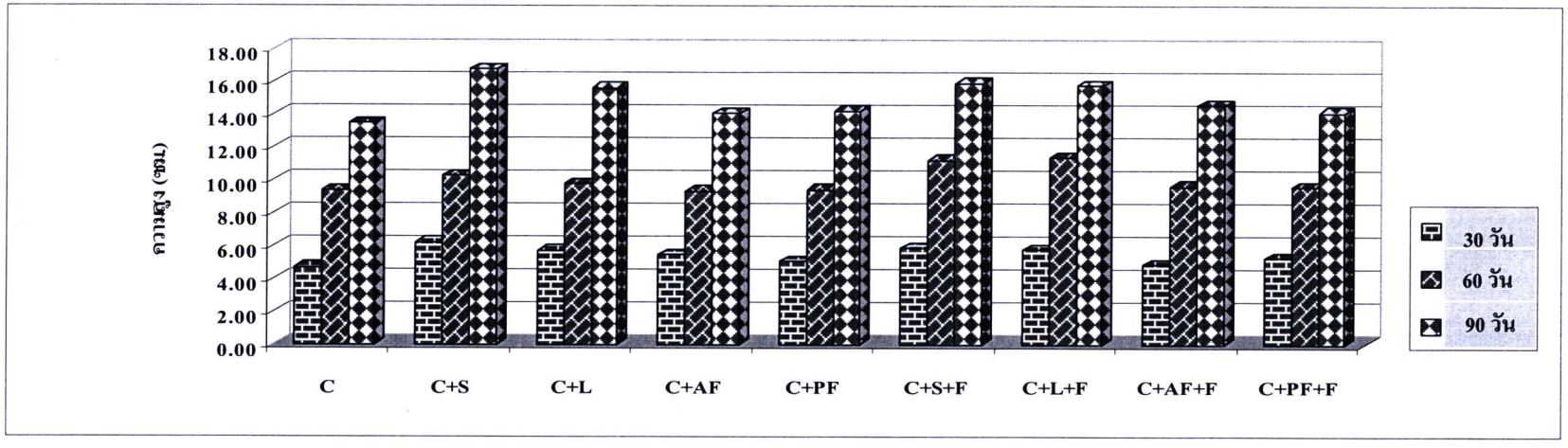
C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง อัตรา 150 กก./ไร่

C+S1:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:1) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S1:L3 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: กากขี้แป้ง (1:3) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S3:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3:1) อัตรา 150 กก./ไร่

รูปที่ 3-3: เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกล้ายางในช่วงอายุ 1 เดือน ถึง 6 เดือน



หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร)

C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร)

C+AF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร)

C+PF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร)

C+S+F หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+L+F หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+AF+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+PF+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

รูปที่ 3-4: เปรียบเทียบความสูงของต้นยางชำถุงช่วงอายุ 30-90 วัน

หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร)

C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร)

C+AF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร)

C+PF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร)

C+S+F หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+L+F หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+AF+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+PF+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

รูปที่ 3-5: เปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางชำถุงช่วงอายุ 30-90 วัน

3.2 ศักยภาพการทดแทนปุ๋ยของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง

การปลูกต้นกล้ายาง ต้องเตรียมแปลงต้นกล้า โดยเตรียมพื้นที่ปลูกด้วยการไถพลิกดิน 2 ครั้ง และไถพรวน 1-2 ครั้ง และก่อนไถพรวนครั้งสุดท้ายหว่านปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2549, 2547) ดังนั้น การทดแทนปุ๋ยของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งจึงมุ่งเน้นพิจารณาถึงศักยภาพการทดแทนปุ๋ยหินฟอสเฟต เพื่อการเติบโตของต้นกล้ายางซึ่งเมื่อติดตายางพันธุ์ RRIM 600 ด้วยวิธีติดตาเขียวแล้วทำให้ได้ต้นตอตายางสำหรับปลูกในถุงเพาะชำ (ต้นยางชำถุง) ที่ดี

วัสดุเพาะชำต้นยางชำถุง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ประกอบด้วย ดิน 1 ส่วน และวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งเป็นอินทรียสาร 3 ส่วนโดยปริมาตร ผสมดินกับปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 7-10 กรัม/ถุงเพาะชำ นอกจากนี้ยังใส่ปุ๋ยสูตร 20-8-20 หรือ 15-15-15 หลังจากต้นตอตายางผลิตา อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำ รวมทั้งใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟตเป็นปุ๋ยรองก้นหลุม อัตรา 170 กรัม/หลุม เมื่อย้ายต้นยางชำถุงอายุครบ 90 วัน ลงหลุมปลูก ดังนั้นในการทดแทนปุ๋ยของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งจึงมุ่งเน้นพิจารณาการทดแทนปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ (ปุ๋ยหินฟอสเฟต ปุ๋ยเคมีสูตร 20-8-20) โดยประเมินศักยภาพการทดแทนด้วยปริมาณธาตุอาหารหลัก และพิจารณาการทดแทนปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งเกษตรกรใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินโดยประเมินศักยภาพการทดแทนด้วยปริมาณอินทรียวัตถุ นับเป็นการทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์)ของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง เพื่อการเติบโตของต้นยางชำถุง จนเป็นต้นยางที่ติดตาสมบูรณ์และมีขนาดตั้งแต่ 1 ฉัตร สามารถย้ายลงหลุมปลูกได้ ทั้งนี้ การปลูกยางด้วยต้นยางชำถุง (สถาบันวิจัยยาง, 2547) เป็นวิธีที่ประสบผลสำเร็จสูงสุด ต้นยางเจริญเติบโตสม่ำเสมอ ลดช่วงระยะเวลาดูแลรักษาต้นอ่อน สามารถกรีดยางได้เร็วกว่าวิธีการปลูกด้วยต้นตอตาที่ติดตาแต่ยังไม่แตกเป็นกิ่ง และวิธีการปลูกต้นติดตาในแปลง

ศักยภาพการทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) ของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง ประเมินจาก

1) ผลการวิเคราะห์ดินตัวอย่างจากแปลงทดลองเมื่อต้นกล้ายางอายุ 6 เดือนซึ่งเป็นช่วงเวลาเหมาะสมสำหรับการติดตาเขียว และจากถุงเพาะชำเมื่อต้นยางชำถุงอายุ 90 วันซึ่งเป็นช่วงเวลาเหมาะสมสำหรับการย้ายลงหลุมปลูก โดยประเมินปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) เพื่อการทดแทนปุ๋ยเคมี และประเมินปริมาณอินทรียวัตถุเพื่อการทดแทนปุ๋ยอินทรีย์

2) ปริมาณโลหะหนัก ทั้งที่เป็นจุลธาตุที่จำเป็น (ทองแดง, แมงกานีส, เหล็ก, สังกะสี) และเป็นธาตุพิษ (แคดเมียม, ตะกั่ว, นิกเกิล) ในกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง รวมทั้งในดินตัวอย่างจากแปลงทดลองเมื่อต้นกล้ายางอายุ 6 เดือนและจากถุงเพาะชำเมื่อต้นยางชำถุงอายุ 90 วัน เพื่อความมั่นใจในการใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย

3) ต้นทุนการทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) ของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งในการเพาะชำยางชำถุง ซึ่งครอบคลุมขั้นตอนการเพาะชำยางชำถุงตั้งแต่การปลูกต้นกล้ายาง (ต้นตอตา) จนถึงการปลูกต้นยางชำถุง (ต้นตอตาซึ่งติดตาเขียวพันธุ์ RRIM 600 ในถุงเพาะชำ)

- **การทดแทนปุ๋ยเคมี**

การปลูกต้นกล้ายาง เกษตรกรใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ในแปลงต้นกล้าก่อนการไถพรวนครั้งสุดท้าย การพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสในดินเมื่อต้นกล้ายางอายุ 6 เดือน เป็นตัวชี้วัดการทดแทนปุ๋ยเคมี (0-3-0) ที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของต้นกล้ายาง พบว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3 : 1) อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผลให้ดินในแปลงปลูกต้นกล้าอายุครบ 6 เดือน มีปริมาณฟอสฟอรัส (80.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม, ตารางที่ 3-6) คงเหลืออยู่ในดินสูงสุดและแตกต่างทางสถิติกับตำรับทดลองอื่น ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากกากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงถึง 2,931.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ตารางที่ 3-1) และกากขี้แป้งก็มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมากถึง 15,702.13 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ตารางที่ 3-2) ทั้งนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 80.20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับสูงมากเมื่อเทียบกับเกณฑ์การจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เล็ก มอญเจริญ, 2522; ตารางที่ ผ.4) และเมื่อเปรียบเทียบกับระดับธาตุอาหารในดินปลูกยางพารา (Thainugul, 1986; ตารางที่ ผ.3) ก็จัดอยู่ในระดับสูง จนอาจกล่าวได้ว่าการจะปลูกต้นกล้ายางซ้ำอีกครั้งในแปลงต้นกล้าซึ่งเดิมเคยเติมกากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3 : 1) อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่นั้น ไม่มีความจำเป็นต้องเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับการเติมกากตะกอนน้ำเสีย หรือเติมกากขี้แป้ง หรือเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับกากขี้แป้งในสัดส่วน 1:1 หรือ 1:3 ในอัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ นั้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตในอัตราเติมเดียวกัน นั่นหมายถึงกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งมีศักยภาพในการทดแทนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยหินฟอสเฟต เพื่อการปลูกต้นกล้ายางและเติบโตจนถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับติดตาเขียว (6 เดือน) เมื่อพิจารณาจากการเติบโตของต้นกล้ายาง (ตารางที่ 3-3) ร่วมด้วย

นอกจากปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แล้ว กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเมื่อเติมลงดินในแปลงต้นกล้า อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ จนต้นกล้ายางอายุ 6 เดือน ยังส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุและปริมาณแมกนีเซียมคงเหลือในดินมากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟต (F-value = 260.10^{**} และ 103.43^{**}, ตารางที่ 3-6) เนื่องจากการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงสู่ดินเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุอย่างมีนัยสำคัญ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2541, 2536, 2529; Gillies et al., 1989) อีกทั้งอินทรียวัตถุทำให้เกิดกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นตัวทำละลายให้ธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสในดินละลายเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) นอกจากนี้การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งยังส่งผลให้ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity, CEC) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 54.28^{**}, ตารางที่ 3-6) ทำให้ดินสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออนได้มากขึ้น บ่งบอกให้ทราบว่าดินมีความสามารถในการเก็บรักษา

ธาตุอาหารพืชไว้ให้เป็นประโยชน์ได้ยาวนาน รวมทั้งสามารถป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้างหน้าดินหรือ การไหลซึมผ่านหน้าตัดดิน (soil profile)

กล่าวได้ว่า กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งมีศักยภาพในการทดแทนปุ๋ยเคมี (0-3-0) ในการปลูกต้นกล้ายางได้อย่างทัดเทียมและดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการผลิตต้นยางชำถุง เกษตรกรผสมดินกับปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) อัตรา 7-10 กรัม/ถุงเพาะชำ และใส่ปุ๋ยสูตร 20-8-20 หรือ 15-15-15 หลังจากต้นตอตายางผลิตา อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำ การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ปุ๋ยเคมี คือ ปุ๋ยหินฟอสเฟตและปุ๋ยสูตร 20-8-20 ในที่นี้จึงพิจารณาธาตุอาหารหลักในดินจากถุงเพาะชำเมื่อต้นยางชำถุงอายุ 90 วัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาเหมาะสมสำหรับการย้ายต้นยางชำถุงลงปลูกในหลุม เป็นตัวชี้วัดการทดแทนปุ๋ยเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของต้นยางชำถุง

ผลการศึกษาพบว่า การเติมเฉพาะกากตะกอนน้ำเสียหรือกากขี้แป้ง หรือการเติมกากตะกอนน้ำเสียหรือกากขี้แป้งร่วมกับปุ๋ยเคมีล้วนส่งผลให้ดินเพาะชำยางชำถุงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าและแตกต่างทางสถิติกับดินเดิมหรือการเติมปุ๋ยอินทรีย์ (F-value= 16.50**, ตารางที่ 3-7) โดยที่ตำรับทดลองเติมกากขี้แป้งร่วมกับปุ๋ยเคมีส่งผลให้ดินเพาะชำต้นยางชำถุงอายุ 90 วัน ยังคงมีปริมาณไนโตรเจนสำหรับการปลูกยางพาราจัดอยู่ในระดับสูง (Thainugul, 1986; ตารางที่ ผ.3) ในขณะที่การเติมปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งเกษตรกรนิยมใช้เพาะชำยางชำถุงกลับมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในดินในระดับต่ำ (<0.10 %, ตารางที่ 3-7 และตารางที่ ผ.3) ดังนั้น ปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งจึงมีศักยภาพทดแทนไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีที่เติมเพื่อการปลูกและการเติบโตของต้นยางชำถุง และน่าจะทดแทนได้ยาวนานกว่า 1 ฤดูปลูก เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเป็นอินทรียสารมีอัตราส่วนคาร์บอน: ไนโตรเจน ประมาณ 10:1 (ตารางที่ 3-1 และ3-2) จึงไม่มีปัญหาในการสลายตัวเป็นอนินทรียสารปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ (Chaussod, 1981; Younos, 1987) มีปริมาณอินทรียวัตถุระดับสูง (ตารางที่ 3-1 และ3-2, ตารางที่ ผ. 2) จึงไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Folett et al., 1981) นอกจากนี้กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งยังมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจัดอยู่ในระดับสูงสำหรับดินปลูกยางพารา (ตารางที่ 3-1 และ3-2, ตารางที่ ผ.3)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพาะชำยางชำถุงล้วนเพิ่มขึ้นและแตกต่างทางสถิติกับดินเดิมเมื่อมีการเติมสิ่งทดลอง (กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง และปุ๋ยอินทรีย์) หรือเติมสิ่งทดลองร่วมกับปุ๋ยเคมี (F-value= 93,653.21**, ตารางที่ 3-7) เท่ากับว่าสิ่งทดลองเป็นแหล่งฟอสฟอรัสให้กับต้นยางชำถุงได้อย่างดีและเพียงพอ จนอาจไม่จำเป็นต้องเติมปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 170 กรัม/หลุม เมื่อย้ายต้นยางชำถุงลงหลุมปลูก เพราะปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่คงมีอยู่ในดินเพาะชำยางชำถุงจัดอยู่ในระดับสูงสำหรับดินปลูกยางพารา (Thainugul, 1986; ตารางที่ ผ.3) อีกทั้งบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินว่ามีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมากตามเกณฑ์การจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของ

ดิน (เล็ก มอญเจริญ, 2522; ตารางที่ ผ.4) กล่าวได้ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งมีศักยภาพทดแทนฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยเคมีที่เติมเพื่อการปลูกและการเติบโตของต้นยางชำถุง และน่าจะทดแทนได้ยาวนานกว่า 1 ฤดูปลูก เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งมีอัตราส่วนคาร์บอน: ไนโตรเจน ประมาณ 10:1 (ตารางที่ 3-1 และ3-2) จึงไม่มีปัญหาในการสลายตัวเป็นอนินทรียสาร ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ (Chaussod, 1981; Younos, 1987) และมีปริมาณอินทรียวัตถุระดับสูง (ตารางที่ 3-1 และ3-2, ตารางที่ ผ. 2) อินทรียวัตถุทำให้เกิดกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นตัวทำละลายให้ธาตุฟอสฟอรัสในดินละลายเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) รวมทั้งกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งยังมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) จัดอยู่ในระดับสูงสำหรับดินปลูกยางพารา (ตารางที่ 3-1 และ3-2, ตารางที่ ผ.3)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) ในดินเพาะชำยางชำถุง เมื่อต้นยางชำถุงอายุครบ 90 วัน พบว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งส่งผลให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีปริมาณน้อยกว่าและแตกต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยอินทรีย์หรือเติมปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (F-value =908.98**, ตารางที่ 3-7) แต่ปริมาณที่เหลืออยู่ดังกล่าวนี้ก็จัดอยู่ในระดับสูงตามระดับธาตุอาหารในดินปลูกยางพารา (Thainugul, 1986; ตารางที่ ผ.3) และจัดอยู่ในระดับสูงมากตามเกณฑ์การจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เล็ก มอญเจริญ, 2522; ตารางที่ ผ.4) กล่าวได้ว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งมีศักยภาพทดแทนโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากปุ๋ยเคมีที่เติมเพื่อการปลูกและการเติบโตของต้นยางชำถุง และน่าจะทดแทนได้ยาวนานกว่า 1 ฤดูปลูก เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งมีอัตราส่วนคาร์บอน: ไนโตรเจน ประมาณ 10:1 (ตารางที่ 3-1 และ3-2) จึงไม่มีปัญหาในการสลายตัวเป็นอนินทรียสาร ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้าๆ (Chaussod, 1981; Younos, 1987) และมีปริมาณอินทรียวัตถุระดับสูง (ตารางที่ 3-1 และ3-2) อินทรียวัตถุทำให้เกิดกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นตัวทำละลายให้ธาตุโพแทสเซียมในดินละลายเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) อีกทั้งกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งยังมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จัดอยู่ในระดับสูงสำหรับดินปลูกยางพารา (ตารางที่ 3-1 และ3-2, ตารางที่ ผ.3)

กล่าวโดยสรุปได้ว่า กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง มีศักยภาพการทดแทนปุ๋ยเคมี (0-3-0, 20-8-20) เพื่อการเพาะชำยางชำถุงได้ โดยสามารถทดแทนปุ๋ยเคมี (0-3-0) ในการปลูกและการเติบโตของต้นกล้ายาง และทดแทนปุ๋ยเคมี (0-3-0, 20-8-20) ในการปลูกและการเติบโตของต้นยางชำถุง

- **การทดแทนปุ๋ยอินทรีย์**

การปลูกต้นกล้ายาง แม้ว่าจะไม่ได้เติมปุ๋ยอินทรีย์ แต่การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน ย่อมช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินให้ดีขึ้นเสมอ ผลการวิเคราะห์ดินจากแปลงต้นกล้ายางอายุ 6 เดือน พบว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่ ส่งผล

ให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value= 260.10**, ตารางที่ 3-6) ปริมาณอินทรียวัตถุมีอยู่ในระดับสูง (>3.5-4.5%) ถึงระดับสูงมาก (>4.5%) ตามมาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ตารางที่ ผ.2) กล่าวได้ว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายปรับปรุงดินด้วยการเติมปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกต้นกล้ายาง

เนื่องจากเกษตรกรนิยมใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นวัสดุปรับปรุงดินในการเตรียมวัสดุเพาะชำต้นยางชำถุง ในที่นี้จึงพิจารณาปริมาณอินทรียวัตถุเป็นพารามิเตอร์ชี้วัดศักยภาพการทดแทนปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง ส่งผลให้ดินเพาะชำยางชำถุงเมื่อต้นยางชำถุงอายุครบ 90 วัน มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับสูง (>3.5-4.5%) ถึงระดับสูงมาก (>4.5%) เมื่อเทียบกับมาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ตารางที่ ผ.2) และแตกต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยอินทรีย์ (F-value= 594.70**, ตารางที่ 3-7) แสดงว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกและการเติบโตของต้นยางชำถุง และเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้ดินเพาะชำยางชำถุงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กล่าวโดยสรุปได้ว่ากากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งมีศักยภาพทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) เพื่อการเพาะชำยางชำถุง (ต้นกล้ายาง และต้นยางชำถุง) ได้

- **ปริมาณโลหะหนัก**

การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งลงสู่ดินเพื่อการเพาะชำยางชำถุงก่อให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนัก และมีโอกาสส่งผลให้ลดโอกาสการใช้ประโยชน์เต็มตามศักยภาพ การศึกษาครั้งนี้จึงตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก 7 ธาตุ ได้แก่ ทองแดง แมงกานีส เหล็ก และสังกะสี ซึ่งเป็นจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ (essential element) และโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ (toxic element) คือ แคดเมียม ตะกั่ว และนิเกิล โดยใช้สารคีเลต (chelating agent) 0.005 M DTPA (pH 7.3) เป็นสารสกัด (extractant) เสนอโดย Lindsay and Norvell (1969) และเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายว่าปริมาณที่สกัดได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณที่เติมลงดินทั้งในรูปสารเคมีและกากตะกอนน้ำเสีย อีกทั้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่พืชดูดดึงไปได้ (Brown et al., 1970; Bingham et al., 1975; Korcak and Fanning, 1978; Maclean and Dekker, 1978; Mitchell et al., 1978; Rappaport et al., 1988; Siriratpiriya, 1999) และใช้ di-acid (HNO_3 + $HClO_4$) เป็นสารสกัดปริมาณทั้งหมดของโลหะหนัก

ปริมาณโลหะหนักในดินปลูกต้นกล้ายางเรียงลำดับจากมากไปน้อย พบว่ามี เหล็ก (Fe) > แมงกานีส (Mn) > สังกะสี (Zn) > ทองแดง (Cu) ส่วนโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษนั้น มีปริมาณนิกเกิล (Ni) > ตะกั่ว (Pb) > แคดเมียม (Cd) (ตารางที่ 3-8) ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบดังกล่าวเป็นปริมาณที่พบได้ในดินโดยทั่วๆ ไป และเป็นปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศต่างๆ (Webber et. al., 1984; ตารางที่ ผ.5) โดยโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปรกติ เมื่อเทียบกับค่าปรกติของ

จุลธาตุในดินและที่มีสารที่อาจเป็นแหล่งธาตุพิษในดิน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545; ตารางที่ ผ.7) และปริมาณจุลธาตุในระดับปรกติที่มีอยู่ในดินและพืช และค่าวิกฤตในดิน ดังปรากฏตารางที่ ผ.8 (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) และเมื่อประเมินปริมาณสัมพัทธ์ของโลหะหนักในดินปลูกต้นกล้ายาง เมื่อกำหนดให้ค่ามาตรฐาน (standard) ของโลหะหนักแต่ละธาตุเท่ากับ 100 พบว่าโลหะหนักทุกธาตุในการศึกษาครั้งนี้ล้วนมีค่าอยู่ในมาตรฐาน (รูปที่ 3-8) นั่นหมายถึงปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียหรือกากขี้แป้งไม่เป็นข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ตามศักยภาพ เพื่อการทดแทนปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) ในการปลูกต้นกล้ายาง

สำหรับปริมาณโลหะหนักในดินเพาะชำต้นยางชำถุง พบว่า ปริมาณโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของต้นยางชำถุง คือ ทองแดง แมงกานีส เหล็ก และสังกะสี มีอยู่ในช่วง 1.0-69.75, 2.03-33.90, 212-695 และ 0.65-65.75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3-9) ส่วนปริมาณโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ (แคดเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล) นั้นพบว่า มีปริมาณน้อย (ตารางที่ 3-10) ซึ่งเป็นปริมาณโลหะหนักที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรของประเทศต่างๆ (Webber et. al., 1984; ตารางที่ ผ.5) และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติเมื่อเทียบกับค่าปรกติของจุลธาตุในดินและที่มีสารที่อาจเป็นแหล่งธาตุพิษในดิน ((ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545; ตารางที่ ผ.7) และเป็นระดับปรกติที่มีอยู่ในดินและพืช ดังตารางที่ ผ.8 (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) และตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (ภาคผนวก ข) และเมื่อประเมินปริมาณสัมพัทธ์ของโลหะหนักในดินปลูกต้นยางชำถุงเมื่อกำหนดให้ค่ามาตรฐาน (standard) ของโลหะหนักแต่ละธาตุเท่ากับ 100 พบว่าโลหะหนักทุกธาตุในการศึกษาครั้งนี้ล้วนมีค่าอยู่ในมาตรฐาน (รูปที่ 3-7) นั่นหมายถึงปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียหรือกากขี้แป้งไม่เป็นข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ตามศักยภาพเพื่อการทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) ในการปลูกต้นยางชำถุง

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ปริมาณโลหะหนักในดิน เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อปลูกต้นกล้ายางและปลูกต้นยางชำถุง ไม่อยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ และไม่เป็นข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ตามศักยภาพเพื่อการทดแทนปุ๋ยในการเพาะชำยางชำถุง

ตารางที่ 3-6: สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินปลูกต้นกล้ายาง อายุ 6 เดือน

ตำรับทดลอง	สมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินปลูกต้นกล้ายาง อายุ 6 เดือน							
	ความเป็นกรดเป็นด่าง (ดิน:น้ำ = 1 : 1)	อินทรียวัตถุ (%)	คาร์บอน (%)	C.E.C. (me/100 g)	ธาตุอาหารหลัก			ธาตุอาหารรอง
					ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5 ; mg/kg)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O ; mg/kg)	แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (me/100 g)
C	4.52	0.52^{a}	0.30^{a}	10.17^{a}	0.03^{a}	3.37^{a}	11.70^{a}	0.04^{a}
C+F	4.60	1.27^{b}	0.73^{b}	12.36^{b}	0.04^{a}	16.97^{ab}	14.63^{a}	0.21^{b}
C+S	4.63	3.55^{c}	2.06^{c}	13.36^{c}	0.10^{b}	37.40^{b}	15.07^{a}	0.25^{b}
C+L	5.09	3.59^{c}	2.08^{c}	13.39^{c}	0.12^{bc}	33.40^{b}	23.57^{b}	0.24^{b}
C+S1:L1	4.72	3.89^{d}	2.20^{d}	13.47^{c}	0.13^{bc}	41.76^{b}	20.92^{b}	0.32^{c}
C+S1:L3	5.03	6.14^{e}	3.56^{e}	13.78^{c}	0.16^{c}	46.03^{b}	28.10^{b}	0.31^{c}
C+S3:L1	5.07	8.56^{f}	4.97^{f}	14.65^{d}	0.19^{cd}	80.20^{c}	40.90^{c}	0.32^{c}
F-Value	1.31^{NS}	260.10^{**}	268.14^{**}	54.28^{**}	3.39^{*}	7.04^{*}	16.97^{**}	103.43^{**}
CV (%)	3.14	6.07	6.08	6.53	6.01	7.15	5.46	3.89

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ 99%

C หมายถึง ดินเดิม

C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 150 กก./ไร่

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย อัตรา 150 กก./ไร่

C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง อัตรา 150 กก./ไร่

C+S1:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:1) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S1:L3 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:3) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S3:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3:1) อัตรา 150 กก./ไร่

ตารางที่ 3-7: สมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินเพาะชำต้นยางชำถุง อายุ 90 วัน

ตำรับทดลอง	สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินเพาะชำต้นยางชำถุง อายุ 90 วัน							
					ธาตุอาหารหลัก			ธาตุอาหารรอง
	ความเป็นกรดเป็นด่าง (ดิน:น้ำ = 1 :1)	อินทรียวัตถุ (%)	คาร์บอน (%)	C.E.C. (me/100 g)	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5 ; mg/kg)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O ; mg/kg)	แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (me/100 g)
C	4.55^{a}	0.29^{a}	0.16^{a}	11.53^{a}	0.02^{a}	2.79^{a}	15.67^{a}	0.04^{a}
C+S	5.27^{bc}	4.13^{cd}	2.40^{cd}	22.25^{c}	0.18^{c}	1,485.79^{c}	275.10^{b}	0.25^{cd}
C+L	6.13^{f}	6.60^{e}	3.83^{e}	27.20^{d}	0.25^{d}	1,937.53^{f}	621.49^{d}	0.24^{cd}
C+AF	5.96^{ef}	3.22^{b}	1.87^{b}	13.15^{b}	0.09^{b}	1,315.03^{b}	707.33^{e}	0.27^{d}
C+PF	5.67^{de}	2.88^{b}	1.67^{b}	13.01^{b}	0.08^{b}	1,782.17^{e}	657.33^{d}	0.23^{c}
C+S+F	5.16^{b}	5.47^{d}	3.18^{d}	25.00^{cd}	0.23^{d}	1,554.65^{d}	329.51^{c}	0.22^{c}
C+L+F	5.85^{def}	7.01^{e}	4.07^{e}	27.85^{d}	0.29^{e}	1,967.75^{f}	637.22^{d}	0.23^{c}
C+AF+F	5.74^{de}	3.33^{b}	1.93^{b}	13.78^{b}	0.13^{bc}	1,765.03^{e}	859.33^{f}	0.17^{b}
C+PF+F	5.56^{cd}	3.20^{b}	1.86^{b}	13.75^{b}	0.12^{bc}	1,951.50^{f}	665.67^{de}	0.15^{b}
F-Value	19.44**	594.70**	515.26**	3152.30**	16.50**	93653.21**	908.98**	110.33**
CV (%)	3.85	4.94	4.94	3.52	5.86	3.80	5.51	3.53

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ 99%

C หมายถึง ดินเดิม

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร)

C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร)

C+AF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร)

C+PF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร)

C+S+F หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+L+F หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+AF+F หมายถึง ดินเดิม+ ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+PF+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

ตารางที่ 3-8: ปริมาณโลหะหนักในดินปลูกต้นกล้ายาง อายุ 6 เดือน

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ที่เป็นธาตุที่จำเป็น							
	ทองแดง (Cu)		แมงกานีส (Mn)		เหล็ก (Fe)		สังกะสี (Zn)	
	Total	Available	Total	Available	Total	Available	Total	Available
C	<1.0	<0.5	1.53	<0.5	363.0	7.73	0.30	0.08
C+F	<1.0	<0.5	2.00	<0.5	95.0	9.23	0.45	0.15
C+S	<1.0	<0.5	2.45	<0.5	188.5	7.6	0.25	0.18
C+L	1.05	<0.5	9.10	4.2	500.0	3.43	0.30	0.30
C+S1:L1	<1.0	<0.5	8.93	3.5	429.0	11.05	0.43	0.40
C+S1:L3	1.05	<0.5	4.38	2.0	520.0	14.65	0.50	0.40
C+S3:L1	1.05	<0.5	2.95	1.0	181.0	12.15	0.88	0.50

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ที่เป็นธาตุพิษ					
	แคดเมียม (Cd)		ตะกั่ว (Pb)		นิกเกิล (Ni)	
	Total	Available	Total	Available	Total	Available
C	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+F	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+S	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+L	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+S1:L1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+S1:L3	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+S3:L1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10

หมายเหตุ: C หมายถึง ดินเดิม

C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 150 กก./ไร่

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย อัตรา 150 กก./ไร่

C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง อัตรา 150 กก./ไร่

C+S1:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:1) อัตรา 150 กก./ไร่

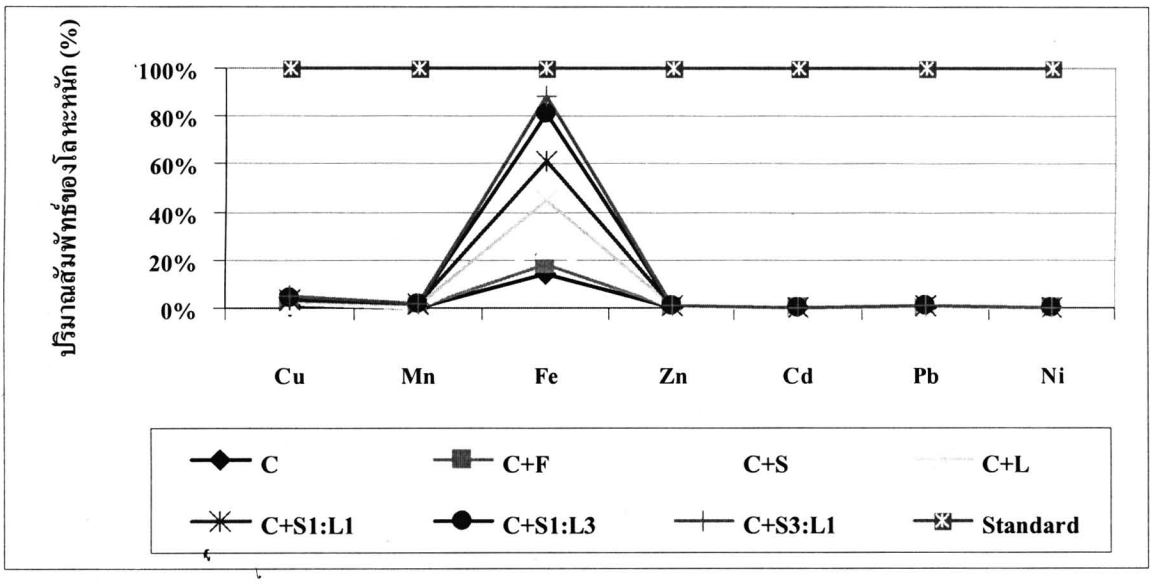
C+S1:L3 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:3) อัตรา 150 กก./ไร่

C+S3:L1 หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3:1) อัตรา 150 กก./ไร่

<0.1 หมายถึง Detection limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer สำหรับวิเคราะห์ Cd = 0.1 ppm

Total หมายถึง ปริมาณทั้งหมด เมื่อใช้ HNO_3 + $HClO_4$ เป็นสารสกัด (extractant)

Available หมายถึง ปริมาณที่อยู่ในรูปซึ่งพืชดูดดึง (uptake) ได้ เมื่อใช้ 0.005 M DTPA เป็นสารสกัด (extractant)



รูปที่ 3-6: ปริมาณสัมพัทธ์ของโลหะหนักในดินปลูกต้นกล้ายาง อายุ 6 เดือน เมื่อกำหนดให้ค่ามาตรฐาน (standard) ของโลหะหนักแต่ละธาตุมีค่าเท่ากับ 100

หมายเหตุ: ค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนัก อ้างอิงจาก

1. Webber et al., 1972 (ภาคผนวก ก)
2. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547 (ภาคผนวก ค)
3. ค่ามาตรฐานของธาตุเหล็ก (Fe) ยึดเกณฑ์ปริมาณโลหะหนักตามห่วงโซ่อาหาร (food chain) จากดินสู่พืช ณ ระดับปกติ คือ 30-300 ppm. (Chaney, 1983)

ตารางที่ 3-9: ปริมาณโลหะหนักที่เป็นธาตุที่จำเป็น ในดินเพาะชำต้นยางชำถุง อายุ 90 วัน

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ที่เป็นธาตุที่จำเป็น							
	ทองแดง (Cu)		แมงกานีส (Mn)		เหล็ก (Fe)		สังกะสี(Zn)	
	Total	Available	Total	Available	Total	Available	Total	Available
C	<1.0	<0.6	2.15	1.98	695.0	5.68	0.65	0.30
C+S	69.75	5.57	6.95	1.05	212.0	79.25	43.75	3.80
C+L	<1.0	0.5	1.90	1.75	550.0	6.80	65.75	7.75
C+AF	<1.0	0.5	4.65	2.03	442.5	8.13	1.20	0.75
C+PF	<1.0	<0.5	21.48	2.21	345.0	13.15	1.33	0.75
C+S+F	55.25	6.25	6.25	1.35	350.0	67.75	34.00	4.30
C+L+F	<1.0	0.5	33.90	3.45	416.0	11.20	0.90	0.75
C+AF+F	<1.0	0.58	4.50	3.33	333.5	7.20	1.28	0.85
C+PF+F	<1.0	0.5	2.03	1.08	570.0	3.18	57.75	17.3

หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร)

C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร)

C+AF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร)

C+PF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร)

C+S+F หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+L+F หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+AF+F หมายถึง ดินเดิม+ ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+PF+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

Total หมายถึง ปริมาณทั้งหมด เมื่อใช้ HNO_3 + $HClO_4$ เป็นสารสกัด (extractant)

Available หมายถึง ปริมาณที่อยู่ในรูปซึ่งพืชดูดดึง (uptake) ได้ เมื่อใช้ 0.005 M DTPA เป็นสารสกัด (extractant)

ตารางที่ 3-10: ปริมาณโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ ในดินเพาะชำต้นยางชำถุง อายุ 90 วัน

ตำรับทดลอง	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ที่เป็นธาตุพิษ					
	แคดเมียม (Cd)		ตะกั่ว (Pb)		นิกเกิล (Ni)	
	Total	Available	Total	Available	Total	Available
C	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+S	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+L	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+AF	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+PF	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+S+F	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+L+F	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+AF+F	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10
C+PF+F	<0.1	<0.1	<0.5	<0.25	0.50	0.10

หมายเหตุ: C หมายถึง ดินเดิม

C+S หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร)

C+L หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร)

C+AF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร)

C+PF หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร)

C+S+F หมายถึง ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+L+F หมายถึง ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

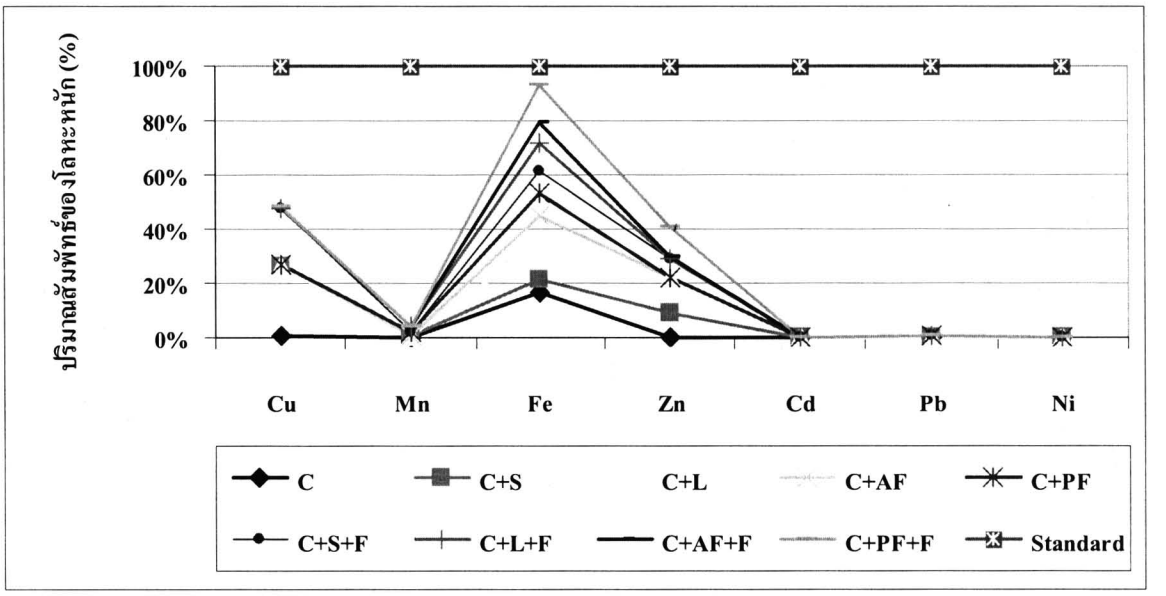
C+AF+F หมายถึง ดินเดิม+ ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

C+PF+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (สูตร 20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำขนาด 11.5 × 35 ซม.

<0.1 หมายถึง Detection limit ของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer สำหรับวิเคราะห์ Cd = 0.1 ppm

Total หมายถึง ปริมาณทั้งหมด เมื่อใช้ HNO_3 + $HClO_4$ เป็นสารสกัด (extractant)

Available หมายถึง ปริมาณที่อยู่ในรูปซึ่งพืชดูดดึง (uptake) ได้ เมื่อใช้ 0.005 M DTPA เป็นสารสกัด (extractant)



รูปที่ 3-7: ปริมาณสัมพัทธ์ของโลหะหนักในดินเพาะชำต้นยางชำถุง อายุ 90 วัน เมื่อกำหนดให้ค่ามาตรฐาน (standard) ของโลหะหนักแต่ละธาตุมีค่าเท่ากับ 100

หมายเหตุ: ค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนัก อ้างอิงจาก

1. Webber et al., 1972 (ภาคผนวก ก)
2. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 119 ง ลงวันที่ 20 ตุลาคม 2547 (ภาคผนวก ค)
3. ค่ามาตรฐานของธาตุเหล็ก (Fe) ยึดเกณฑ์ปริมาณโลหะหนักตามห่วงโซ่อาหาร (food chain) จากดินสู่พืช ณ ระดับปกติ คือ 30-300 ppm. (Chaney, 1983)

- **ต้นทุนการทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) ด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้ง**

ค่าใช้จ่ายในการนำกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งมาใช้ทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) เพื่อการเพาะชำยางชำถุง (ต้นกล้ายาง และต้นยางชำถุง) เป็นการคำนวณเปรียบเทียบภายใต้สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขการศึกษาเดียวกันของพื้นที่ศึกษาวิจัยที่ตำบลไทรขึง อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎ์ธานี คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้น คือ ค่าปุ๋ย ค่าแรงงาน และค่าขนส่ง

ค่าใช้จ่าย ซื้อปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ (ราคา ณ วันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2551)

- ปุ๋ยหินฟอสเฟต	ราคาประมาณ 250 บาท/50 กิโลกรัม (5 บาท/กิโลกรัม)
- ปุ๋ยเคมี สูตร 20-8-20	ราคาประมาณ 670 บาท/50 กิโลกรัม (14 บาท/กิโลกรัม)
- ปุ๋ยอินทรีย์ 1	ราคาประมาณ 570 บาท/50 กิโลกรัม (12 บาท/กิโลกรัม)
- ปุ๋ยอินทรีย์ 2	ราคาประมาณ 530 บาท/50 กิโลกรัม (11 บาท/กิโลกรัม)

ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกากตะกอนน้ำเสีย

โครงการวิจัยฯ ได้รับความอนุเคราะห์กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง บริษัท สุราษฎร์ซีฟูดส์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยกากตะกอนน้ำเสียที่ได้รับอยู่ในสภาพของแข็งที่ผ่านการตากแห้งมาเรียบร้อยแล้ว จึงพร้อมที่จะใช้งาน ดังนั้นค่าใช้จ่ายจึงมีเพียงค่าขนส่ง หากเกษตรกรสนใจที่จะใช้ประโยชน์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นย่อมแตกต่าง ขึ้นอยู่กับปริมาณกากตะกอนน้ำเสียที่ต้องการและระยะทางขนย้ายกากตะกอนน้ำเสีย สำหรับค่าใช้จ่ายในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีรายการเดียวคือ ค่าขนส่ง

- ค่าขนส่ง ระยะทาง 160 กิโลเมตร	ราคาประมาณ 700 บาท/ตัน (0.7 บาท/กิโลกรัม)

ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกากขี้แป้ง

โครงการวิจัยฯ ได้รับความอนุเคราะห์กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น บริษัทอินเตอร์รับเบอร์ ลาเท็คซ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี กากขี้แป้งที่ได้รับอยู่ในสภาพเหลว มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 44.5 และมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณของแข็งของกากขี้แป้งเท่ากับ 55.5 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมกากขี้แป้งเกี่ยวข้องกับแรงงานคนตากกากขี้แป้งให้แห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ กากขี้แป้ง (เหลว) 100 กิโลกรัม มีกากขี้แป้งเท่ากับ 55.5 กิโลกรัม ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นค่าขนส่งและค่าแรงงานตากกากขี้แป้ง คำนวณได้ดังนี้

- ปริมาณกากขี้แป้งสด 1,000 กิโลกรัม เมื่อตากแห้ง จะได้กากขี้แป้งแห้งประมาณ 555 กิโลกรัม ใช้เวลาประมาณ 7 วัน ค่าแรงงาน คิดเป็นอัตราชั่วโมงละ 20 บาท โดยประเมินจากอัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำของจังหวัดสุราษฎร์ธานี เท่ากับ 155 บาท/วัน (ภาคผนวก ข) ระยะเวลาทำงานโดยเฉลี่ย 7 วัน วันละ 8 ชั่วโมง การตากกากขี้แป้งสด 3,000 กิโลกรัม ได้กากขี้แป้งแห้ง 1,665 กิโลกรัม เกิดค่าใช้จ่ายประมาณ 1.8 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัมกากขี้แป้งน้ำหนักแห้ง (1.8 บาท/กิโลกรัม)

- ค่าขนส่ง ระยะทาง 120 กิโลเมตร ราคาประมาณ 500 บาท/ตัน (0.5 บาท/กิโลกรัม)

อย่างไรก็ตาม กรณีต้องการกากตะกอนน้ำเสีย หรือกากขี้แป้งให้มีสภาพพร้อมใช้งานในลักษณะเดียวกันกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ (รูปที่ 2-1) มีค่าแรงงานสำหรับการทุบร่อนให้มีขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร นั้น มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 0.5 บาท/กิโลกรัม

ต้นทุนการทดแทนปุ๋ยหินฟอสเฟตในการปลูกต้นกล้ายาง

การปลูกต้นกล้ายาง บริเวณพื้นที่ระหว่างแถวของต้นยางพาราอายุ 5 เดือน ไม่เสียค่าเช่าที่ดิน ค่าใช้จ่ายที่เป็นสิ่งทดลอง (ปุ๋ยหินฟอสเฟต กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง) ด้วยอัตราเติมเดียวกัน คือ 150 กิโลกรัม/ไร่ (ตารางที่ 3-11) พบว่า การปลูกต้นกล้ายางเมื่อใช้กากตะกอนน้ำเสีย หรือกากขี้แป้ง หรือกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับกากขี้แป้งมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต 2-7 เท่า ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้กากตะกอนน้ำเสีย หรือกากขี้แป้ง หรือกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับกากขี้แป้งสัดส่วน 1:1 หรือ 1:3 หรือ 3:1

เมื่อนำผลการศึกษาด้านการเติบโตของต้นกล้ายาง (ตารางที่ 3-3 และ 3-4) มาร่วมพิจารณา พบว่า การเติมกากตะกอนน้ำเสีย หรือการเติมกากขี้แป้ง หรือ การเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับกากขี้แป้งล้วนมีผลทำให้ต้นกล้ายางเติบโตได้ทัดเทียมหรือดีกว่าการเติมปุ๋ยหินฟอสเฟตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวได้ว่า การปลูกต้นกล้ายาง (ต้นตอตา) โดยใช้ตะกอนน้ำเสียหรือกากขี้แป้งแทนปุ๋ยหินฟอสเฟตอัตราเดียวกัน (150 กิโลกรัม/ไร่) มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ประมาณ 3 เท่าโดยเฉลี่ยในภาพรวม

ตารางที่ 3-11: เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายปลูกต้นกล้ายาง เมื่อใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟต กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่

ตำรับที่	ตำรับทดลองต้นกล้ายาง (ต้นตอตา)	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (บาท/150 กิโลกรัม/ไร่)
1	ดินเดิม	0
2	ดินเดิม + ปุ๋ยหินฟอสเฟต อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่	750
3	ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่	105
4	ดินเดิม + กากขี้แป้ง อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่	345
5	ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:1) อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่	225
6	ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (1:3) อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่	285
7	ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย : กากขี้แป้ง (3:1) อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่	165

ต้นทุนการทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) ในการปลูกต้นยางชำถุง

สำหรับการปลูกต้นยางชำถุงในถุงเพาะชำขนาด 11.5×35 ซมโดยใช้ดินเดิม 3 ส่วนและวัสดุปรับปรุงดิน (กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง ปุ๋ยอินทรีย์) 1 ส่วน โดยปริมาตร และมีการเติมปุ๋ยเคมี (20-8-20) ตามอัตราที่แนะนำโดยกรมวิชาการเกษตร (5 กรัม/ถุงเพาะชำ) มีค่าใช้จ่ายคงที่ 2 รายการ คือ ดิน (0.12

บาท/ถุงเพาะชำ) และปุ๋ยเคมี (0.07 บาท/ถุงเพาะชำ) สำหรับค่าใช้จ่ายที่ผันแปรคือวัสดุปรับปรุงดิน (ตารางที่ 3-12)

ตารางที่ 3-12: เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการปลูกต้นยางชำถุงเมื่อใช้กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง ปุ๋ยอินทรีย์เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี

ตำรับที่	ตำรับทดลองต้นยางชำถุง	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (บาท/ถุงเพาะชำ)	
		ดิน	วัสดุปรับปรุงดิน
1	ดินเดิม	0.12	-
2	ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร)	0.12	0.18
3	ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร)	0.12	0.58
4	ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร)	0.12	3.00
5	ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร)	0.12	2.75
6	ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำ	0.12	0.25 (0.18+0.07)
7	ดินเดิม + กากขี้แป้ง (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำ	0.12	0.65 (0.58+0.07)
8	ดินเดิม+ ปุ๋ยอินทรีย์ 1 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำ	0.12	3.07 (3.00+0.07)
9	ดินเดิม + ปุ๋ยอินทรีย์ 2 (3:1 โดยปริมาตร) + ปุ๋ยเคมี (20-8-20) อัตรา 5 กรัม/ถุงเพาะชำ	0.12	2.82 (2.75+0.07)

ในปัจจุบันเกษตรกรเตรียมวัสดุสำหรับเพาะชำเพื่อการปลูกต้นยางชำถุงโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นวัสดุปรับปรุงดินและเติมปุ๋ยเคมี ด้วยเงื่อนไขเดียวกันแต่ใช้กากตะกอนน้ำเสียเป็นวัสดุปรับปรุงดิน (ตารางที่ 3-12) พบว่า กากตะกอนน้ำเสียสามารถทดแทนปุ๋ยอินทรีย์ด้วยต้นทุนต่ำกว่า 11.78 เท่า ส่วนการใช้กากขี้แป้งสามารถทดแทนปุ๋ยอินทรีย์ด้วยต้นทุนต่ำกว่า 4.5 เท่า ดังนั้นน่าจะกล่าวในภาพรวมได้ว่า ต้นทุนวัสดุเพาะชำเพื่อการปลูกต้นยางชำถุงเมื่อใช้กากตะกอนน้ำเสียหรือกากขี้แป้งเป็นวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราเดียวกัน (5 กรัม/ถุงเพาะชำ) ประมาณ 8 เท่าโดยเฉลี่ยในภาพรวม

เมื่อนำผลการศึกษาด้านการเติบโตของต้นยางชำถุง (ตารางที่ 3.5) มาร่วมพิจารณาด้วย พบว่าการใช้เฉพาะวัสดุปรับปรุงดิน (กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง ปุ๋ยอินทรีย์) หรือใช้วัสดุปรับปรุงดินร่วมกับปุ๋ยเคมี (5 กรัม/ถุงเพาะชำ) เป็นวัสดุเพาะชำเพื่อการปลูกต้นยางชำถุงล้วนไม่มีความต่างทางสถิติด้านการเติบโต (ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง รัศมีเรือนยอด) นั่นหมายถึงว่า กากตะกอนน้ำเสีย กากขี้แป้ง สามารถ

ทดแทนการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ในการปลูกต้นยางชำถุงได้ ดังนั้นหากยึดวิธีการที่เกษตรกรปฏิบัติ คือ ใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ พบว่ากากตะกอนน้ำเสียเป็นวัสดุเพาะชำที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าประมาณ 15 เท่า ส่วนการใช้กากขี้แป้งมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าประมาณ 5 เท่า (ตารางที่ 3-12)

ดังนั้น กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรในการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและแหล่งธาตุอาหารให้กับการเพาะชำยางชำถุง (ต้นกล้ายางและต้นยางชำถุง) ได้อย่างทัดเทียมหรือดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยต้นทุนต่ำกว่า 3-8 เท่า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ากากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งสามารถทดแทนปุ๋ย (ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์) ในการเพาะชำยางชำถุง (ต้นกล้ายางและต้นยางชำถุง) ด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่า 3-8 เท่า

นอกจากนี้ ปริมาณธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในดินเพื่อการเติบโตของต้นกล้ายางและต้นยางชำถุงเมื่อสิ้นสุดการทดลองในขณะที่ต้นกล้ายางอายุ 6 เดือนและต้นยางชำถุงอายุ 90 วันนั้น การเติมกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งทำให้ดินคงมีธาตุอาหารเพียงพอสำหรับการปลูกต้นกล้ายางในฤดูปลูกถัดไป เท่ากับว่าเกษตรกรไม่มีความจำเป็นต้องลงทุนซื้อปุ๋ยมาใส่ลงดินอีกครั้ง อีกทั้งมีธาตุอาหารเพียงพอสำหรับการเติบโตของต้นยางชำถุงเมื่อย้ายปลูกลงหลุม ดังนั้นการนำต้นยางชำถุงย้ายปลูกลงหลุมจึงไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) เป็นปุ๋ยรองก้นหลุม ในอัตรา 170 กรัม/ต้น/หลุม (คิดเป็นค่าใช้จ่าย 0.85 บาท) นอกจากนี้หากพิจารณาในส่วนความสมบูรณ์ของราก(ประเมินจากน้ำหนักแห้งของราก) พบว่า การใช้กากตะกอนน้ำเสียส่งผลให้รากมีความสมบูรณ์มากที่สุด ขณะที่การใช้กากขี้แป้งและปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีความแตกต่างกันต่อความสมบูรณ์ของราก นับเป็นการลดต้นทุนต่อหน่วยในระยะยาวที่ต่อเนื่องไปถึงการลงทุนปลูกสร้างสวนยาง ซึ่งโดยทั่วไปเป็นค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยสูงถึงร้อยละ 40

ต้นทุนในการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการเพาะชำยางชำถุงจะยิ่งลดลง หากนำค่าใช้จ่ายที่จำเป็นต้องจ่ายเพื่อกำจัดกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อให้คุณภาพน้ำ คุณภาพอากาศ (กลิ่น) และสภาพแวดล้อมโดยรวมมีคุณภาพดีมาคิดเป็นตัวเงินตามประโยชน์ที่เกิดขึ้น เพราะไม่ต้องลงทุนค่าใช้จ่ายเพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าว นั่นเท่ากับว่าการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งอย่างเหมาะสมเป็นการจัดการเปลี่ยนสภาพปัญหาให้เกิดประโยชน์โดยไม่ต้องลงทุนแก้ไขปัญหาอีกด้วย ดังนั้นการใช้ประโยชน์ของทิ้ง (waste) ที่เป็นปัญหาหรือมีโอกาสสร้างปัญหาต่อเนื่อง นับเป็นการเพิ่มมูลค่าของทิ้งให้มีประโยชน์ขึ้นมาใหม่ ผนวกกับลดปัญหามลพิษทางน้ำ และลดปัญหากลิ่นที่รบกวนชุมชนได้ในเวลาเดียวกัน รวมทั้งส่งเสริมให้เศรษฐกิจชุมชนดีขึ้น บนพื้นฐานการอยู่ร่วมกันแบบเอื้ออาทรและเป็นกัลยาณมิตรต่อกัน ระหว่างภาคอุตสาหกรรมการเกษตรกับภาคเกษตรกรรม โดยเกษตรกรจะได้รับแหล่งธาตุอาหารเพื่อทำการเกษตร ซึ่งช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซื้อปุ๋ย อีกทั้งเป็นการใช้แรงงานและพื้นที่ว่างของเกษตรกรให้เกิดประโยชน์ ส่วนภาคอุตสาหกรรมการเกษตรจะได้ประโยชน์ในการจัดการของทิ้งในโรงงาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาสภาพแวดล้อมภายในโรงงาน