

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 การวิเคราะห์แหล่งปล่อย GHG และแหล่งกักเก็บคาร์บอนจากระบบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิก้าของชุมชนบนพื้นที่สูง

กิจกรรมเน้นประเมินปริมาณการปล่อย GHG และศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนภายใต้ 2 บริบทระบบเกษตรหลัก ได้แก่ พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และพื้นที่ปลูกกาแพะราบิก้า ดำเนินการเก็บข้อมูลเชิงลึกในพื้นที่นำร่อง 7 แห่ง ของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง ซึ่งคัดเลือกตามความเหมาะสมด้านระบบนิเวศ การใช้ประโยชน์งานวิจัย ความแตกต่างของระดับความสูงและความลาดชัน ทั้งนี้ต้องการสื่อให้เห็นลักษณะพื้นที่และระบบเกษตรที่มีความหลากหลายบนพื้นที่สูงของประเทศไทย ผลการดำเนินงาน ดังนี้

4.1.1 สำรวจพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิก้าบนพื้นที่สูงภายในเขตดำเนินงานของ สวพส. รวม 44 โครงการ โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ การแปลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 (Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A) ข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลแผนที่ดินรายแปลงของเกษตรกรสมาชิก สวพส. เพื่อวิเคราะห์การใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณตลอดฤดูกาล พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำแนกด้วยอัลกอริทึม Random Forest และตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลภาคสนาม สำหรับกาแพะราบิก้าได้นำข้อมูลแผนที่ 2 ชุดดังกล่าว (วิธีหลัก) มาวิเคราะห์การกระจายตัวของแปลงปลูกร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากพบข้อจำกัดการแยกทรงพุ่มกาแพออกจากพืชอื่น รวมทั้งข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน (ปี 2562-2567) ที่รายงานผลสำรวจรูปแบบการใช้ที่ดินว่าส่วนใหญ่เป็นแปลงกาแพปลูกร่วมกับไม้ผลเมืองหนาว มีพื้นที่มากที่สุด 12,905 ไร่ (40.89%) รองลงมาคือกาแพปลูกเดี่ยว 11,084 ไร่ (35.12%) และกาแพปลูกร่วมกับลิ้นจี่ 1,578 ไร่ (5.00%) หรือกาแพ/ลิ้นจี่/ไม้ผลเมืองหนาว 1,854 ไร่ (5.87%) ส่วนรูปแบบการปลูกอื่น เช่น กาแพ/ชา กาแพ/ลำไย กาแพ/ทุเรียน และกาแพ/พืชผัก มีสัดส่วนค่อนข้างน้อย (ต่ำกว่า 1% ต่อประเภท) ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแปลผล

ข้อมูลวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ความละเอียดภาพ 10-20 เมตร ช่วงเวลาเดือนมกราคม 2568 ถึงเดือนกันยายน 2568 ครอบคลุม 8 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย เพชรบูรณ์ แพร่ แม่ฮ่องสอน กาญจนบุรี กำแพงเพชร ตาก และน่าน สามารถอธิบายดังนี้

พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่าพื้นที่ที่เกษตรกรปรับพื้นที่เพื่อปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีพื้นที่รวม 596,683.11 ไร่ โดยพบมากที่สุดในจังหวัดเชียงราย 151,715.43 ไร่ รองลงมาคือ จังหวัดตาก 157,175.40 ไร่ และ เชียงใหม่ 87,325.14 ไร่ ตามลำดับ พื้นที่ปลูกข้าวโพดแต่ละจังหวัดมีลักษณะการกระจายตัวสัมพันธ์กับภูมิประเทศเชิงเขาและพื้นที่ลาดชันระดับปานกลางถึงสูง โดยเฉพาะจังหวัดตากและเชียงรายซึ่งมีพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงขนาดใหญ่หลายแห่งที่มีการขยายพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อเนื่องช่วงฤดูเพาะปลูกปี 2568 เมื่อพิจารณาระดับโครงการ พบว่าโครงการพัฒนาฯ วาวี จังหวัดเชียงราย มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด คือ 102,607.06 ไร่ รองลงมาคือ โครงการพัฒนาฯ ผาผึ้ง-ศรีคีรีรักษ์ จังหวัดตาก 40,108.72 ไร่ และโครงการพัฒนาฯ ป่าเกี้ยวใหม่

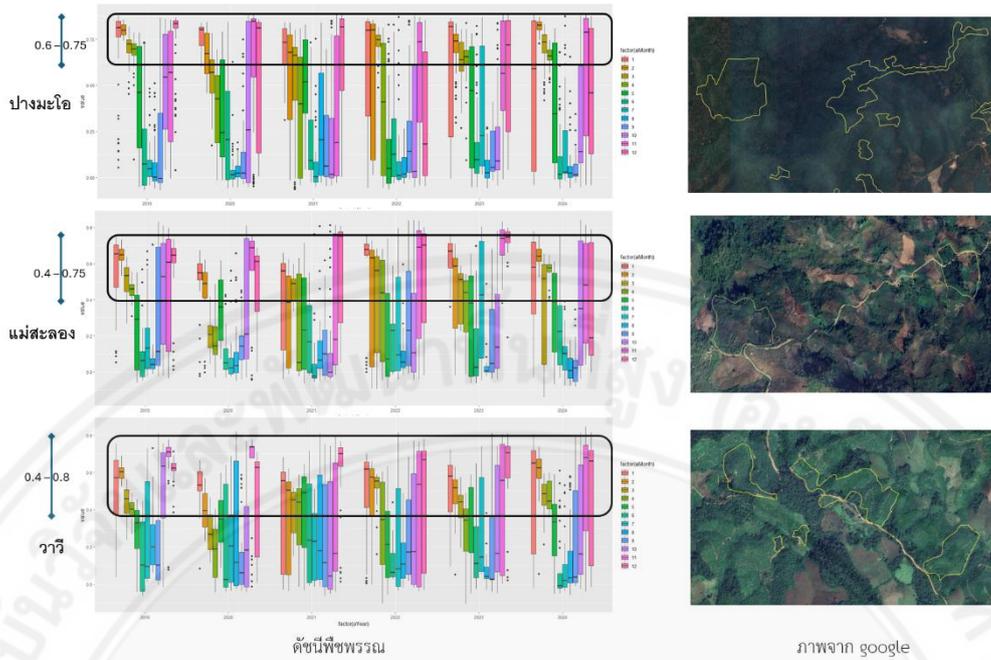
จังหวัดเชียงใหม่ 14,277.63 ไร่ สำหรับการซ้อนทับข้อมูลแผนที่ดินรายแปลงของเกษตรกร สวพส. กับพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม พบว่ามีพื้นที่ตรงกันรวม 120,959.51 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 20.27 ของพื้นที่จำแนกทั้งหมด ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าจังหวัดเชียงรายมีพื้นที่ซ้อนทับมากที่สุด 23,696.57 ไร่ รองลงมาคือจังหวัดน่าน 46,669.43 ไร่ และจังหวัดตาก 34,668.93 ไร่ ขณะที่ข้อมูลจำนวนแปลงของแผนที่ดินมีจำนวน 16,902 แปลง โดยจังหวัดน่านมีจำนวนแปลงมากที่สุด 6,658 แปลง รองลงมาคือจังหวัดตาก 3,841 แปลง และจังหวัดเชียงราย 3,666 แปลง สืบถึงรูปแบบการถือครองพื้นที่แบบแปลงขนาดเล็กจำนวนมาก โดยเฉพาะเขตพื้นที่สูงและพื้นที่ลาดชันที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบผสมผสาน

พื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้า ผลการจำแนกโดยใช้แผนที่ดินรายแปลงของ สวพส. รวม 45,227.16 ไร่ เนื่องจากข้อจำกัดของการแปลภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวข้างต้น ข้อมูลแสดงว่าจังหวัดเชียงรายมีพื้นที่มากที่สุด 20,561.50 ไร่ รองลงมาคือจังหวัดเชียงใหม่ 16,988.74 ไร่ และน่าน 3,834.89 ไร่ ตามลำดับ พื้นที่ปลูกกาแฟส่วนใหญ่อยู่บริเวณโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงที่มีภูมิประเทศสูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000 เมตร และมีสภาพภูมิอากาศเย็นตลอดปี โดยเฉพาะโครงการพัฒนาฯ วาวี (9,653.11 ไร่) โครงการพัฒนาฯ แม่สลอง จังหวัดเชียงราย (8,931.58 ไร่) และโครงการพัฒนาฯ ป่าแป๋ จังหวัดเชียงใหม่ (6,511.51 ไร่) ซึ่งเป็นพื้นที่ผลิตหลักของกาแฟอาราบิก้าเขตภาคเหนือตอนบน ขณะที่ข้อมูลจำนวนแปลงของเกษตรกรที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าบริเวณพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแสดงผลรวม 4,978 แปลง โดยพบมากที่สุดคือจังหวัดเชียงราย 2,118 แปลง รองลงมาคือจังหวัดเชียงใหม่ 1,773 แปลง และจังหวัดน่าน 459 แปลง ลักษณะการถือครองพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นแปลงขนาดเล็ก (เฉลี่ยประมาณ 9-10 ไร่ต่อแปลง)

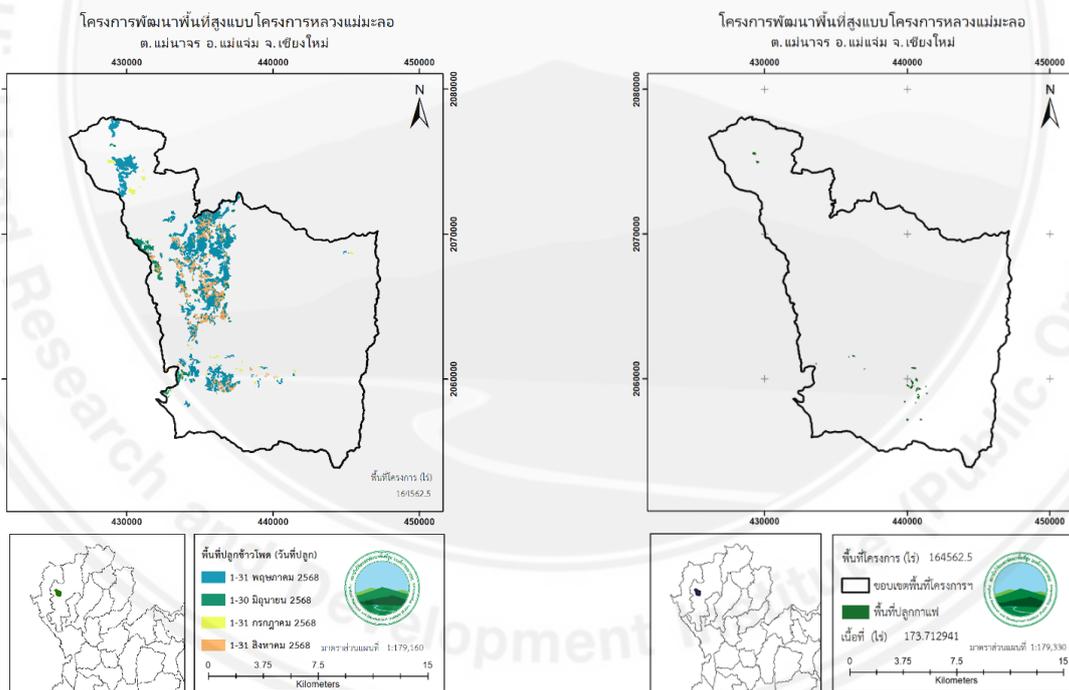
การประเมินความถูกต้องของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ผลประเมินพบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) = 91% ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's Accuracy) = 80.82% ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's Accuracy) = 87.12% ค่าสัมประสิทธิ์ค้ำปา (Kappa Statistic) = 0.901 ค่าความถูกต้องดังกล่าวสะท้อนถึงคุณภาพของแบบจำแนกที่อยู่ในระดับ "ดีมาก" ตามเกณฑ์ของ Congalton (1991) ซึ่งยืนยันได้ว่าการใช้ข้อมูล Sentinel-2 ในการจำแนกพื้นที่เพาะปลูกทั้ง 2 ชนิดพืช สามารถอธิบายการกระจายเชิงพื้นที่ได้อย่างน่าเชื่อถือ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.1-4.2 ภาพที่ 4.1 และภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.1 ชนิดการใช้ที่ดินของการปลูกกาแฟ ผสมกับพืชอื่นจากข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน

ชนิดการใช้ที่ดิน	จำนวนแปลง	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
กาแฟ	485	11,084	35.12
กาแฟ/เงาะ	4	28	0.09
กาแฟ/เสาวรส	1	20	0.06
กาแฟ/ไม้ปลูกเพื่อการค้า	1	2	0.01
กาแฟ/ไม้ผลเมืองหนาว	85	12,905	40.89
กาแฟ/ไม้ผลเมืองหนาว/ไม้ดอก ไม้ประดับ	1	75	0.24
กาแฟ/ไม้ผลผสม	17	243	0.77
กาแฟ/กล้วย	7	73	0.23
กาแฟ/ชา	23	1,413	4.48
กาแฟ/ชา/ไม้ผลเมืองหนาว	19	1,580	5.01
กาแฟ/ทุเรียน	3	22	0.07
กาแฟ/ป่าดิบพรอสภาพฟื้นฟู	1	314	0.99
กาแฟ/พืชไร่ผสม(ไร่หมุนเวียน)	1	8	0.03
กาแฟ/พืชผัก	1	55	0.17
กาแฟ/มะไฟ ละไม	1	6	0.02
กาแฟ/มะม่วง	5	36	0.11
กาแฟ/มะม่วง/มะขาม	1	3	0.01
กาแฟ/มะละกอ	3	44	0.14
กาแฟ/ลำไย	10	109	0.35
กาแฟ/ลิ้นจี่	73	1,578	5.00
กาแฟ/ลิ้นจี่/ไม้ผลเมืองหนาว	17	1,854	5.87
กาแฟ/ลิ้นจี่/ลำไย	3	64	0.20
กาแฟ/ส้ม	1	4	0.01
กาแฟ/ส้มโอ	2	29	0.09
กาแฟ/หมาก	2	10	0.03
รวมพื้นที่	767	31,559	100



ตัวอย่างค่าการกระจายตัวของดัชนีพีชพรรณรายเดือน ระหว่างปี 2019-2024 ของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางมะโอ แม่สะลอง และวาวิ



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างค่าการกระจายตัวของดัชนีพีชพรรณรายเดือนและแผนที่ผลลัพธ์การจำแนกพื้นที่ปลูกด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิกาในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ลำดับ	โครงการพัฒนาพื้นที่สูง แบบโครงการหลวง	จังหวัด	ผลสำรวจพื้นที่ปลูกพืช					
			ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์			กาแพะราบิกา		
			ภาพถ่ายดาวเทียม (ไร่)	ซ้อนแผน ที่รายแปลง (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายแปลง (แปลง)	ภาพถ่ายดาวเทียม (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายแปลง (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายแปลง (แปลง)
1	แม่แฮหลวง	เชียงใหม่	112.07	-	-	676.52	676.52	143
2	แม่มะลอ	เชียงใหม่	15,823.33	3,567.78	532	173.71	173.71	26
3	แม่ระมิดหลวง	เชียงใหม่	37.27	-	-	94.41	94.41	6
4	โหล่งขอด	เชียงใหม่	442.42	50.87	12	554.56	554.56	53
5	ขุนตื้นน้อย	เชียงใหม่	1,586.59	454.23	51	1,516.85	1,516.85	180
6	ดอยปุย	เชียงใหม่	3,096.33	1,176.79	216	-	-	-
7	ป่าเกี๊ยะใหม่	เชียงใหม่	14,277.63	2,353.04	372	1,317.50	1,317.50	170
8	ป่าแป๋	เชียงใหม่	1,116.91	-	-	6,511.51	6,511.52	455
9	ป่ากล้วย	เชียงใหม่	162.40	-	-	18.70	18.70	3
10	ปางแดงใน	เชียงใหม่	2,043.80	238.66	60	50.87	50.87	5
11	ปางมะโอ	เชียงใหม่	99.78	-	-	4,259.70	4,259.70	404
12	ปางหินฝน	เชียงใหม่	11,107.82	2,341.40	348	202.85	202.85	36
13	ผาแดง	เชียงใหม่	1,007.21	146.64	28	499.16	499.16	124

ลำดับ	โครงการพัฒนาพื้นที่สูง แบบโครงการหลวง	จังหวัด	ผลสำรวจพื้นที่ปลูกพืช					
			ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์			กาแฟอาราบิก้า		
			ภาพถ่าย ดาวเทียม (ไร่)	ซ้อนแผน ที่รายงาน (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (แปลง)	ภาพถ่าย ดาวเทียม (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (แปลง)
14	ผาแตก	เชียงใหม่	79.40	15.07	3	569.55	569.55	71
15	ฝึปานเหนือ	เชียงใหม่	1,527.46	-	-	319.17	319.17	59
16	ฟ้าสวย	เชียงใหม่	2,775.27	762.41	139	50.29	50.29	4
17	สบโขง	เชียงใหม่	-	-	-	59.81	59.81	15
18	ห้วยเป้า	เชียงใหม่	18,767.84	2,200.77	324	33.07	33.07	6
19	ห้วยแห้ง	เชียงใหม่	446.03	119.69	18	56.21	56.21	14
20	ห้วยโป่งพัฒนา	เชียงใหม่	12,976.28	1,600.90	270	-	-	-
รวม			87,325.14	14,097.25	2,469	16,988.74	16,988.74	1,773
21	แม่สลอง	เชียงราย	29,036.42	6,093.59	919	8,931.58	8,931.58	936
22	วาวี	เชียงราย	102,607.06	11,539.31	1,747	9,653.11	9,653.10	926
23	ห้วยก้างปลา	เชียงราย	20,071.95	6,063.67	1,000	1,976.81	1,976.81	256
รวม			151,715.43	23,696.57	3,666	20,561.50	20,561.50	2,118
24	ห้วยน้ำขาว	เพชรบูรณ์	8,126.28	569.85	71	43.25	43.25	2
รวม			8,126.28	569.85	71	43.25	43.25	2
25	แม่สามแลบ	แม่ฮ่องสอน	8.01	3.76	1	353.28	353.28	70

ลำดับ	โครงการพัฒนาพื้นที่สูง แบบโครงการหลวง	จังหวัด	ผลสำรวจพื้นที่ปลูกพืช					
			ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์			กาแฟอาราบิกา		
			ภาพถ่าย ดาวเทียม (ไร่)	ซ้อนแผน ที่รายงาน (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (แปลง)	ภาพถ่าย ดาวเทียม (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (แปลง)
26	สบเมย	แม่ฮ่องสอน	1,983.20	18.84	6	1,889.50	1,889.51	370
27	ห้วยฮะ	แม่ฮ่องสอน	4,838.93	1,201.57	252	232.58	232.58	21
รวม			6,830.14	1,224.17	259	2,475.36	2,475.37	461
28	ห้วยเขย่ง	กาญจนบุรี	501.95	-	-	189.73	189.73	26
รวม			501.95	-	-	189.73	189.73	26
29	คลองลาน	กำแพงเพชร	2,693.58	52.31	14	-	-	-
รวม			2,693.58	52.31	14	-	-	-
30	แม่สอง	ตาก	47,614.65	9,945.57	1,200	1,010.00	1,010.00	121
31	ผาผึ้ง-ศรีศิริรักษ์	ตาก	40,108.72	15,348.92	1,669	-	-	-
32	พบพระ	ตาก	62,988.93	7,911.01	777	148.00	148.00	17
33	ห้วยน้ำเย็น	ตาก	6,463.10	1,463.43	195	-	-	-
รวม			157,175.40	34,668.93	3,841	1,158.00	1,158.00	138
34	ขุนสถาน	น่าน	24,218.00	2,571.63	297	65.53	65.53	6
35	น้ำแขวง	น่าน	13,992.68	1,484.42	189	48.42	48.42	5

ลำดับ	โครงการพัฒนาพื้นที่สูง แบบโครงการหลวง	จังหวัด	ผลสำรวจพื้นที่ปลูกพืช					
			ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์			กาแฟอาราบิก้า		
			ภาพถ่าย ดาวเทียม (ไร่)	ซ้อนแผน ที่รายงาน (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (แปลง)	ภาพถ่าย ดาวเทียม (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (ไร่)	ซ้อนแผนที่ รายงาน (แปลง)
36	แม่จริม	น่าน	13,354.55	7,138.12	1,004	181.45	181.45	8
37	โป่งคำ	น่าน	10,408.68	4,601.63	704	46.53	46.53	6
38	สะเนียน	น่าน	35,683.96	8,257.98	1,142	124.27	124.27	12
39	วังใต้	น่าน	20,016.17	5,985.27	959	810.64	810.64	90
40	ถ้ำเวียงแก	น่าน	11,377.62	4,901.19	791	894.31	894.31	62
41	น้ำเค็ม	น่าน	3,174.29	1,950.61	192	110.57	110.57	15
42	น้ำแปง	น่าน	8,651.94	1,266.50	188	907.50	907.50	150
43	บ่อเกลือ	น่าน	16,347.92	1,951.22	415	221.47	221.47	58
44	ปางยาง	น่าน	24,928.68	5,610.86	797	424.20	424.20	47
รวม			182,154.49	46,669.43	6,658	3,834.89	3,834.89	459
รวมทั้งหมด			596,683.11	120,959.51	16,902	45,227.16	45,227.16	4,978

4.1.2 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพ สภาพพื้นที่เกษตร พื้นที่เพาะปลูกและการใช้ประโยชน์ที่ดินจากเอกสารวิชาการ งานวิจัย และหน่วยงานที่เชื่อถือได้ เพื่อใช้ประเมินการปล่อย GHG

จังหวัดเชียงใหม่

ตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย สูงจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ยประมาณ 310 เมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 14,022,546 ไร่ ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาและป่าต้นน้ำ ครอบคลุมประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่ โดยมีพื้นที่ราบอุดมสมบูรณ์กระจายอยู่บริเวณลุ่มน้ำปิง กก-โขง และสาละวิน เหมาะสมต่อการเพาะปลูก พื้นที่สูงสุดคือดอยอินทนนท์ สูงประมาณ 2,565 เมตรจากระดับน้ำทะเล ภูมิอากาศโดยทั่วไปเย็นสบาย แบ่งเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) และฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม)

การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดแบ่งเป็นพื้นที่ป่าไม้ 9,614,645 ไร่ (ร้อยละ 68.57) พื้นที่เกษตรกรรม 3,449,428 ไร่ (ร้อยละ 24.60) พื้นที่ชุมชน สิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำและพื้นที่เบ็ดเตล็ดรวมกัน 958,473 ไร่ (ร้อยละ 6.83) ซึ่งพื้นที่เกษตรส่วนใหญ่ใช้ปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้น 751,620 ไร่ (ร้อยละ 21.79) นาข้าว 554,465 ไร่ (ร้อยละ 16.07) และพืชไร่ พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับรวม 409,979 ไร่ (ร้อยละ 11.89)

ด้านเศรษฐกิจ มีมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวม (GPP) ปี 2565 จำนวน 244,210 ล้านบาท และภาคเกษตรคิดเป็น 39,445 ล้านบาท (ร้อยละ 16.15) โครงสร้างการผลิตทางการเกษตรขึ้นอยู่กับพืชเศรษฐกิจเป็นหลัก (ร้อยละ 79.46) โดยเฉพาะข้าว ลำไย มะม่วง ลิ้นจี่ กาแฟ และพืชผักเมืองหนาว ชนิดพืชสำคัญ ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 260,701 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 260,385 ไร่ ผลผลิตรวม 245,915 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 959 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาขายเฉลี่ย 5.5 บาทต่อกิโลกรัม (สด) ผลผลิตส่วนใหญ่เข้าสู่อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ทั้งภายในและนอกจังหวัด นอกจากนี้ยังมีกาแฟอะราบิกาคุณภาพสูงของอำเภอแม่แจ่ม แม่วาง และสะเมิง ซึ่งมีภูมิอากาศและดินเหมาะสม พื้นที่เพาะปลูกรวม 35,302 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 34,527 ไร่ ผลผลิตรวม 15,816 ตัน (เชอร์รี่) และผลผลิตเฉลี่ย 544 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาขายเฉลี่ย 23 บาทต่อกิโลกรัม (สำนักงานจังหวัดเชียงใหม่, 2565)

จังหวัดเชียงราย

ตั้งอยู่ทางเหนือสุดของประเทศไทย ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสลับเนินเขาและที่ราบสูง โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอแม่ฟ้าหลวง แม่สาย และเวียงแก่น ซึ่งเป็นแหล่งต้นน้ำของลุ่มน้ำกกและโขง พื้นที่ราบอุดมสมบูรณ์กระจายตามลุ่มน้ำหลัก เหมาะสมต่อการทำเกษตรกรรมเชิงพาณิชย์ ภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน แบ่งเป็น 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 24 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำฝน 1,200-1,400 มิลลิเมตรต่อปี

เชียงราย มีพื้นที่ทั้งหมด 7,298,981 ไร่ โดยใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรกรรมเป็นหลัก คิดเป็น 3,735,647 ไร่ (ร้อยละ 51.17) ซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่นาข้าว 1,404,339 ไร่ (ร้อยละ 19.73) พืชไร่ 1,034,451 ไร่ (ร้อยละ 14.15) ไม้ผลและไม้ยืนต้น 645,608 ไร่ (ร้อยละ 8.85) ไร่ชา 455,133 ไร่ (ร้อยละ 6.24) พืชผัก 38,466 ไร่ (ร้อยละ 0.53) ไม้ดอกไม้ประดับ 102,447 ไร่ (ร้อยละ 1.41) และเกษตรรูปแบบอื่นเล็กน้อย พื้นที่ป่าไม้มีจำนวน 2,822,644 ไร่ (ร้อยละ 38.68) แบ่งเป็นป่าธรรมชาติ 2,731,924 ไร่ (ร้อยละ 37.43) และป่าปลูกหรือพื้นที่ฟื้นฟู 90,720 ไร่ (ร้อยละ 1.25) ส่วนพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 441,578 ไร่ (ร้อยละ 6.05) พื้นี่น้ำ 116,978 ไร่ (ร้อยละ 1.60) และพื้นที่ใช้ประโยชน์เบ็ดเตล็ด 182,114 ไร่ (ร้อยละ 2.50)

ด้านพืชเศรษฐกิจ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชหลักที่สนับสนุนอุตสาหกรรมปศุสัตว์ของจังหวัดและภูมิภาค มีพื้นที่ปลูกประมาณ 125,374 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 20,513 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 365 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งเป็นวัตถุดิบของห่วงโซ่อาหารสัตว์และเศรษฐกิจฐานราก เช่นเดียวกับกาแฟอาราบิกา โดยจังหวัดเชียงรายเป็นแหล่งผลิตอันดับหนึ่งของประเทศ มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 55,395 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 53,939 ไร่ ผลผลิตรวม 4,849 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 90 กิโลกรัมต่อไร่ พื้นที่เพาะปลูกกาแฟส่วนใหญ่อยู่ในระดับความสูง 900-1,400 เมตรจากระดับน้ำทะเล ซึ่งมีภูมิอากาศเย็นเหมาะสม ส่งผลให้กาแฟมีคุณภาพสูง กลิ่นหอม และรสกลมกล่อม (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงราย, 2568)

จังหวัดน่าน

ตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย มีพื้นที่ทั้งหมด 7,170,045 ไร่ ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงสลับที่ราบเชิงเขา โดยเฉพาะบริเวณตอนเหนือซึ่งเป็นต้นน้ำของแม่น้ำน่านที่ไหลจากทิศเหนือสู่ทิศใต้ พื้นที่ราบมีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกกระจายอยู่บริเวณลุ่มน้ำและที่ราบเชิงเขา ภูมิอากาศแบ่งออกเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน (มีนาคม-มิถุนายน) ฤดูฝน (กรกฎาคม-ตุลาคม) และฤดูหนาว (ธันวาคม-กุมภาพันธ์) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 1,051.40 มิลลิเมตร อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 42.8 °C และต่ำสุดเฉลี่ย 12.4 °C

การใช้ประโยชน์ที่ดิน ประกอบด้วย พื้นที่เกษตรกรรมรวม 2,969,313 ไร่ (ร้อยละ 41.42) แบ่งเป็น นาข้าว 1,465,287 ไร่ (ร้อยละ 20.44) พืชไร่ 336,156 ไร่ (ร้อยละ 4.69) สวนไม้ผลและไม้ยืนต้น 643,192 ไร่ (ร้อยละ 8.97) พืชผักและไม้ดอกไม้ประดับ 7,645 ไร่ (ร้อยละ 0.11) และพื้นที่เกษตรกรรมอื่น 38,208 ไร่ (ร้อยละ 0.53) ส่วนพื้นที่ป่าไม้ครอบคลุม 4,628,066 ไร่ (ร้อยละ 64.56) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 144,066 ไร่ (ร้อยละ 2.03) พื้นที่น้ำ 52,798 ไร่ (ร้อยละ 0.74) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด 23,213 ไร่ (ร้อยละ 0.32)

ด้านพืชเศรษฐกิจ มีบทบาทต่อการผลิตพืชไร่และพืชบนพื้นที่สูง โดยเฉพาะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีความสำคัญต่อโครงสร้างเศรษฐกิจเกษตรของจังหวัด มีพื้นที่ปลูก 504,728 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 502,581 ไร่ ผลผลิตรวม 377,949 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 748.82-752.02 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนใหญ่ผลิตบริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขาและภูเขาที่มีความสูงและปริมาณน้ำเพียงพอ ส่งต่อเป็นวัตถุดิบหลักให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ระดับภูมิภาค ขณะเดียวกันกาแฟอาราบิกา เป็นอีกหนึ่งพืชสำคัญในพื้นที่อำเภอปัว บ่อเกลือ และเฉลิมพระเกียรติ ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศเย็นและความสูงเหมาะสม มีพื้นที่เพาะปลูกรวม 11,448 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 11,316 ไร่ ผลผลิตรวม 7,247 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 633.04-640.42 กิโลกรัม/ไร่ (สำนักงานสถิติจังหวัดน่าน, 2567)

จังหวัดแม่ฮ่องสอน

ตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เป็นจังหวัดชายแดนที่มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 7,987,808 ไร่ ลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงสลับซับซ้อนทอดยาวจากเหนือจรดใต้ประมาณ 250 กิโลเมตร และกว้าง 95 กิโลเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงและลาดชัน มีทิวเขาถนนธงชัยเป็นแนวหลัก และยอดเขาที่สูงที่สุดคือยอดเขาแม่ยะ สูงประมาณ 2,005 เมตรจากระดับน้ำทะเล ภายในจังหวัดมีแม่น้ำสำคัญหลายสาย เช่น แม่น้ำปาย แม่น้ำยวม และแม่น้ำละมด ซึ่งเป็นต้นน้ำหลักของพื้นที่ ภูมิอากาศอยู่เขตร้อนชื้น แบ่งเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีค่อนข้างต่ำจึงเหมาะสมต่อการทำเกษตรบนพื้นที่สูง

ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ครอบคลุม 6,570,216 ไร่ หรือคิดเป็น 82.28% ของพื้นที่ทั้งหมด ขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมมี 1,216,282 ไร่ (ร้อยละ 15.23) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 84,427 ไร่ (ร้อยละ 1.06) พื้นที่เบ็ดเตล็ด 28,753 ไร่ (ร้อยละ 0.36) และพื้นที่น้ำ 26,109 ไร่ (ร้อยละ 0.33) พื้นที่เพาะปลูกจริงอยู่ที่ประมาณ 460,809 ไร่ แบ่งเป็น นาข้าว 231,230 ไร่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 138,010 ไร่ ถั่วเหลือง 21,235 ไร่ กระเทียม 18,035 ไร่ กะหล่ำปลี 9,990 ไร่ กาแฟอะราบิกา 7,961 ไร่ ส้มเขียวหวาน 2,243 ไร่ ถั่วลิสง 2,075 ไร่ บุก 3,640 ไร่ งาขาว 80 ไร่ และงาคั่ว 426 ไร่ ลักษณะดินแตกต่างกันไปตามภูมิภาค โดยพื้นที่ราบเชิงเขามีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง เหมาะกับการปลูกข้าวและพืชไร่ ขณะที่พื้นที่ลาดชันมีความเป็นกรดสูงและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ต้องใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำควบคู่ไปกับการเพาะปลูก

ด้านพืชเศรษฐกิจ มีข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชหลักที่สำคัญโดยมีพื้นที่ปลูก 138,010 ไร่ ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ภาคเหนือ ผลผลิตกระจายเข้าสู่ตลาดภายในประเทศและอุตสาหกรรมปศุสัตว์ ขณะเดียวกันกาแฟอะราบิกามีคุณภาพดี กลิ่นหอมและรสชาติโดดเด่น เป็นที่ต้องการของตลาดเฉพาะกลุ่ม โดยมีพื้นที่ปลูกเขตภูเขาที่มีอุณหภูมิเย็น 7,961 ไร่ (ศาลากลางจังหวัดแม่ฮ่องสอน, 2564)

จังหวัดตาก

ตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนล่างตอนไปทางตะวันตกของประเทศไทย มีพื้นที่ทั้งหมด 10,254,781 ไร่ หรือ 16,407.65 ตารางกิโลเมตร ถือเป็นจังหวัดที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับ 2 ของภาคเหนือ รองจากเชียงใหม่ ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงและพื้นที่ป่าไม้ โดยเฉพาะทางตะวันตกที่มีภูเขาสูงประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่ และด้านตะวันออกที่เป็นภูเขาสูงประมาณร้อยละ 65 สลับกับที่ราบแคบตามแนวแม่น้ำปิงและแม่น้ำวัง ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำคัญของจังหวัด ภูมิอากาศอยู่เขตร้อนชื้นแบ่งเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อรูปแบบการเพาะปลูกและการใช้ที่ดินแต่ละช่วงปี

โครงสร้างการใช้ที่ดินของจังหวัดตากให้ความสำคัญกับทรัพยากรป่าไม้และพื้นที่ธรรมชาติ โดยมีพื้นที่ป่าไม้รวม 7,709,874 ไร่ (ร้อยละ 75.19) พื้นที่เกษตรกรรม 1,243,249 ไร่ (ร้อยละ 12.12) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 63,460 ไร่ (ร้อยละ 0.62) และพื้นที่อื่น 1,237,198 ไร่ (ร้อยละ 12.07) พื้นที่เกษตรส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ตามที่ราบลุ่มแม่น้ำและเชิงเขา แบ่งเป็น นาข้าว 376,848 ไร่ พืชไร่ 783,974 ไร่ ไม้ผลและไม้ยืนต้น 57,515 ไร่ พืชผัก 12,073 ไร่ และพืชอื่น 12,456 ไร่ นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ชลประทาน 63,460 ไร่ ซึ่งมีบทบาทต่อระบบการผลิตพืชช่วงฤดูแล้ง

ด้านความเหมาะสมของดินและการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จากฐานข้อมูล Agri-Map พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก ได้แก่ ข้าว 231,581.63 ไร่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 283,508.47 ไร่ อ้อย 98,774.39 ไร่ และมันสำปะหลัง 156,859.63 ไร่ โครงสร้างการผลิตของจังหวัดเน้นพืชไร่โดยเฉพาะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีพื้นที่ปลูก 547,518.21 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 379,977.64 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 694 กิโลกรัมต่อไร่ และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจกว่า 2,773.84 ล้านบาท ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบหลักของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ทั้งภายในและนอกจังหวัด นอกจากนี้ยังมีข้าวนาปี พื้นที่เพาะปลูก 367,467.17 ไร่ ผลผลิตรวม 149,926.61 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 408 กิโลกรัมต่อไร่ สร้างมูลค่ากว่า 1,613.21 ล้านบาท พืชเศรษฐกิจอื่นที่มีบทบาทต่อระบบการผลิต ได้แก่ มันสำปะหลังและอ้อยโรงงาน ซึ่งมีพื้นที่ปลูกและผลผลิตสูงต่อเนื่องทุกปี (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดตาก, 2567)

จังหวัดเพชรบูรณ์

ตั้งอยู่บริเวณตอนกลางค่อนข้างไปทางเหนือตะวันตกของประเทศไทย มีภูมิประเทศเป็นแนวเทือกเขารูปเกือกม้าล้อมรอบด้านเหนือของจังหวัด แนวเขานานไปในทิศตะวันออก-ตะวันตก พื้นที่ราบส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่บริเวณตอนกลางและตอนใต้ โดยเฉพาะเขตอำเภอหล่มเก่า หล่มสัก เมืองเพชรบูรณ์ หนองไผ่ บึงสามพัน วิเชียรบุรี และศรีเทพ ซึ่งมีแม่น้ำป่าสักเป็นสายน้ำหลักไหลผ่านจากเหนือสู่ใต้ยาวประมาณ 350 กิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศดังกล่าวทำให้ศักยภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกันไปตามภูมิสัณฐาน โดยพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงและที่ราบตะกอนน้ำพาเหมาะกับการทำนาและพืชไร่ ส่วนพื้นที่ลาดเชิงเขาและลาดชันเชิงซ้อน (> ร้อยละ 35) เหมาะกับพืชสวนและไม้ยืนต้น ภูมิอากาศของจังหวัดมี 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน โดยพื้นที่ภูเขาสูง เช่น น้ำหนาว เขาค้อ และหล่มเก่า มีอากาศหนาวเย็นตลอดปี ขณะที่ฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงและฝนกระจุกตัวช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม

โครงสร้างการใช้ที่ดิน มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 7.917 ล้านไร่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 4.566 ล้านไร่ (ร้อยละ 57.41) แบ่งเป็น นาข้าว 1.306 ล้านไร่ พืชไร่ 2.361 ล้านไร่ ไม้ยืนต้น 450,000 ไร่ ไม้ผล 378,000 ไร่ พืชสวน 14,000 ไร่ ไร่หมุนเวียน 16,000 ไร่ สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 7,000 ไร่ และพื้นที่เกษตรผสมผสาน 2,000 ไร่ พื้นที่ป่าไม้ 2.735 ล้านไร่ (ร้อยละ 34.66) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 370,000 ไร่ (ร้อยละ 4.68) พื้นที่น้ำ 71,000 ไร่ (ร้อยละ 1.24) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด 153,000 ไร่ (ร้อยละ 2.01)

ด้านเศรษฐกิจ จังหวัดเพชรบูรณ์มีผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ปี 2565 มูลค่า 84,249 ล้านบาท โดยภาคเกษตรกรรมคิดเป็น 26,542 ล้านบาท (ร้อยละ 31.50) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ขับเคลื่อนด้วยพืชไร่ ข้อมูลทะเบียนเกษตรกรปี 2567 ระบุว่าพื้นที่เพาะปลูกข้าวมี 1,198,090.61 ไร่ พืชไร่ 1,054,709.37 ไร่ ไม้ผล 69,681.57 ไร่ ไม้ยืนต้น 55,980.53 ไร่ และพืชผัก 10,288.68 ไร่ พืชเศรษฐกิจหลักของจังหวัดคือ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีบทบาทต่อระบบการผลิตและอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ มีเกษตรกรกว่า 34,106 ราย พื้นที่เพาะปลูก 638,811 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 607,476.50 ไร่ ผลผลิตรวม 536,526 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 883.21 กิโลกรัม/ไร่ และราคาขายเฉลี่ย 8.03 บาท/กิโลกรัม พืชเศรษฐกิจรอง ได้แก่ มันสำปะหลัง มีพื้นที่ปลูก 440,168 ไร่ ผลผลิต 1,125,141 ตัน เฉลี่ย 3,859.94 กิโลกรัม/ไร่ และอ้อยโรงงาน พื้นที่ปลูก 331,557.75 ไร่ ผลผลิต 3,550,310 ตัน เฉลี่ย 10,777.40 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับข้าวนาปี มีพื้นที่ปลูก 1,194,258.55 ไร่ ผลผลิต 751,695 ตัน เฉลี่ย 651.05 กิโลกรัม/ไร่ นอกจากนี้ยังมีพืชสวน เช่น มะขามหวาน มีพื้นที่เพาะปลูก 90,017.25 ไร่ ผลผลิต 25,508 ตัน ซึ่งสร้างรายได้ให้กับชุมชนอย่างมาก ส่วนกาแพะรายปีไม่ปรากฏเป็นพืชเศรษฐกิจหลักในข้อมูลปัจจุบัน (สถานีพัฒนาที่ดินเพชรบูรณ์, 2567)

จังหวัดกำแพงเพชร

ตั้งอยู่บริเวณรอยต่อระหว่างภาคเหนือตอนล่างกับภาคกลางตอนบน มีพื้นที่ทั้งหมด 5,379,681 ไร่ หรือประมาณ 8,607.5 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ด้านตะวันตกเป็นภูเขาสูงลาดลงสู่ที่ราบ ส่วนด้านตะวันออกเป็นที่ราบดินปนทรายเหมาะแก่การเพาะปลูก โดยมีแม่น้ำปิงไหลผ่านยาวประมาณ 104 กิโลเมตร เป็นแหล่งน้ำหลักของจังหวัด สภาพภูมิอากาศแบบมรสุมแบ่งเป็น 3 ฤดู คือ ร้อน ฝน และหนาว ซึ่งส่งผลต่อรูปแบบการผลิตทางการเกษตร

พื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรม 3,653,575 ไร่ (ร้อยละ 67.92) แบ่งเป็นนาข้าว 1,353,945 ไร่ (ร้อยละ 25.16) พืชไร่ 1,932,305 ไร่ (ร้อยละ 35.92) ไม้ผลและไม้ยืนต้น 322,946 ไร่ (ร้อยละ 6.00) และเกษตรรูปแบบอื่นรวม 19,308 ไร่ พื้นที่ป่าไม่มี 1,290,461 ไร่ (ร้อยละ 23.99) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 281,724 ไร่ (ร้อยละ 5.23) พื้นที่น้ำ 94,985 ไร่ (ร้อยละ 1.84) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด 134,936 ไร่ (ร้อยละ 2.51) พื้นที่ชลประทานรวม 1,606,847 ไร่ (ร้อยละ 29.84) และพื้นที่เหมาะสมต่อการเกษตร 3,069,168 ไร่

ด้านเศรษฐกิจ ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ปี 2565 มีมูลค่า 127,973 ล้านบาท โดยภาคเกษตรกรรมคิดเป็นร้อยละ 18.11 ของ GPP โครงสร้างการผลิตเน้นพืชไร่โดยเฉพาะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีพื้นที่เพาะปลูกรุ่นที่ 1 จำนวน 76,420 ไร่ ผลผลิต 59,872 ตัน เฉลี่ย 791 กิโลกรัมต่อไร่ และรุ่นที่ 2 จำนวน 45,213 ไร่ ผลผลิต 37,732 ตัน เฉลี่ย 835 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งหมดเป็นวัตถุดิบหลักของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ พืชเศรษฐกิจอื่น ได้แก่ ข้าวนาปรัง 541,404 ไร่ (ผลผลิต 341,221 ตัน) ข้าวนาปี 1,257,799 ไร่ (ผลผลิต 766,795 ตัน) มันสำปะหลัง 694,764 ไร่ (ผลผลิต 2,159,618 ตัน) อ้อยโรงงาน 638,600 ไร่ (ผลผลิต 5,460,030 ตัน) ยางพารา 28,016 ไร่ (ผลผลิต 5,727 ตัน) และกล้วยไข่ 2,349 ไร่ (ผลผลิต 5,214 ตัน) ทั้งนี้ กาแฟอะราบิกา ยังไม่ปรากฏเป็นพืชเศรษฐกิจหลักในข้อมูลปัจจุบัน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัด กำแพงเพชร, 2567)

จังหวัดกาญจนบุรี

ตั้งอยู่ทางภาคตะวันตกของประเทศไทย มีพื้นที่ทั้งหมด 19,483.148 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 12,176,968 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาและที่สูงทางตอนเหนือและตะวันตก มีแนวเทือกเขาดงพญาเย็นและตะนาวศรีเป็นแหล่งต้นน้ำ พื้นที่ที่ราบลุ่มกระจายตัวอยู่ทางตอนใต้ โดยเฉพาะบริเวณอำเภอเมืองกาญจนบุรี ท่าม่วง ท่ามะกา และพนมทวน ซึ่งเป็นพื้นที่เพาะปลูกสำคัญของจังหวัด ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดูกาล ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยราว 1,086 มิลลิเมตร/ปี อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 39.39 °C และต่ำสุดเฉลี่ย 22.45 °C ทั้งนี้พื้นที่ตอนบนมีฝนมากกว่าตอนล่าง ลักษณะดินแตกต่างกันตามภูมิภาค ตั้งแต่ดินตะกอนน้ำท่วมถึงที่เหมาะสมต่อการทำนาและปลูกพืชไร่ ไปจนถึงดินบริเวณลาดเชิงเขาและภูเขาที่เหมาะสมกับพืชสวนและพืชอุตสาหกรรมบางชนิด

พื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ดินแบ่งเป็น พื้นที่ป่าไม้ 7,508,534 ไร่ (ร้อยละ 61.66) พื้นที่เกษตรกรรม 3,497,327 ไร่ (ร้อยละ 28.73) พื้นที่น้ำ 560,369 ไร่ (ร้อยละ 4.61) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 361,418 ไร่ (ร้อยละ 2.95) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด 249,320 ไร่ (ร้อยละ 2.05) โครงสร้างการผลิตทางการเกษตรของจังหวัดกาญจนบุรีเน้นพืชไร่และพืชอุตสาหกรรม พืชเศรษฐกิจ 4 อันดับแรก ได้แก่ ข้าว 1,101,173 ไร่ (ร้อยละ 31.48 ของพื้นที่เกษตรกรรม) อ้อยโรงงาน 708,107 ไร่ (ร้อยละ 20.25) มันสำปะหลัง 426,479 ไร่ (ร้อยละ 12.19) และยางพารา 97,981 ไร่ (ร้อยละ 2.80)

สำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และกาแฟอะราบิกา ยังไม่ปรากฏเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของจังหวัด ถึงแม้จะมีศักยภาพการปลูกได้บางพื้นที่สูงที่มีอากาศเย็นและชุ่มชื้น แต่ปัจจุบันยังไม่โดดเด่น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564)

ภาพรวม จังหวัดภาคเหนือมีลักษณะภูมิประเทศโดยรวมเป็นภูเขาสูงสลับเนินเขาและที่ราบเชิงเขาซึ่งมีพื้นที่ป่าไม้จำนวนมากและทำหน้าที่เป็นแหล่งต้นน้ำ พื้นที่ราบอุดมสมบูรณ์กระจายอยู่ตามลุ่มน้ำสายหลัก เช่น ปิง กก โขง และน่าน ลักษณะนี้เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจและพืชอุตสาหกรรม พื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ดินของแต่ละจังหวัดส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ (มากกว่าร้อยละ 60) และพื้นที่เกษตรกรรมเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20-50 โดยพื้นที่เกษตรแบ่งเป็น นาข้าว พืชไร่ ไม้ผลและไม้ยืนต้น พืชผัก และพืชเศรษฐกิจเฉพาะถิ่น เช่น ไร่ชา และกาแฟราบิกา

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นพืชเศรษฐกิจหลักเกือบทุกจังหวัดภาคเหนือ เนื่องจากมีบทบาทต่อห่วงโซ่อาหารสัตว์และอุตสาหกรรมเกษตร พื้นที่เพาะปลูกมีตั้งแต่ระดับหมีจนถึงหลายแสนไร่ โดยจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกมาก เช่น ตาก (547,518 ไร่ ผลผลิต 379,978 ตัน เฉลี่ย 694 กิโลกรัม/ไร่) เพชรบูรณ์ (638,811 ไร่ ผลผลิต 536,526 ตัน เฉลี่ย 883 กิโลกรัม/ไร่) และน่าน (504,728 ไร่ ผลผลิต 377,949 ตัน เฉลี่ย 749 กิโลกรัม/ไร่) ส่วนจังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกน้อยกว่าแต่ยังมีบทบาท ได้แก่ เชียงใหม่ (260,701 ไร่ ผลผลิต 245,915 ตัน เฉลี่ย 959 กิโลกรัม/ไร่) แม่ฮ่องสอน (138,010 ไร่) และเชียงราย (125,374 ไร่ ผลผลิต 20,513 ตัน เฉลี่ย 365 กิโลกรัม/ไร่) ทั้งนี้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ยังเป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจหลักในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะเขตดอนและพื้นที่ลาดเชิงเขาที่มีศักยภาพสูงต่อการผลิต

กาแฟราบิกา เป็นพืชเศรษฐกิจบนพื้นที่สูงที่มีภูมิอากาศเย็นและดินเหมาะสม พบมากในจังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย และน่าน โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความสูงเฉลี่ย 900-1,400 เมตรจากระดับน้ำทะเล ซึ่งให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง จังหวัดเชียงรายเป็นแหล่งผลิตอันดับหนึ่งของประเทศ (พื้นที่เพาะปลูก 55,395 ไร่ ผลผลิต 4,849 ตัน เฉลี่ย 90 กิโลกรัม/ไร่) รองลงมาคือเชียงใหม่ (35,302 ไร่ ผลผลิต 15,816 ตัน เฉลี่ย 544 กิโลกรัม/ไร่) และน่าน (11,448 ไร่ ผลผลิต 7,247 ตัน เฉลี่ย 633-640 กิโลกรัม/ไร่) ส่วนแม่ฮ่องสอนมีพื้นที่ปลูกไม่มาก ประมาณ 7,961 ไร่ แต่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจชุมชนบนพื้นที่สูง ทั้งนี้จังหวัดอื่น เช่น เพชรบูรณ์ กำแพงเพชร และกาญจนบุรี ยังไม่มีข้อมูลการปลูกกาแฟราบิกาในระดับที่มีนัยสำคัญต่อเศรษฐกิจรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ศักยภาพการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแฟของ 8 จังหวัดพื้นที่ดำเนินงาน สวพส.

จังหวัด	ระดับความสูงเฉลี่ย (เมตร) ^{1/}	พื้นที่สูง (ร้อยละ) ^{1/}	พื้นที่ราบ (ร้อยละ) ^{1/}	ป่าไม้ (ร้อยละ)	เกษตรกรรม (ร้อยละ)	ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง (ร้อยละ)	พื้นที่น้ำ (ร้อยละ)	เบ็ดเตล็ด (ร้อยละ)	พื้นที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ร้อยละ)	ผลผลิตเฉลี่ยข้าวโพด (กก./ไร่)	พื้นที่กาแฟ (ร้อยละ)	ผลผลิตเฉลี่ยกาแฟ (กก./ไร่)
เชียงใหม่	310	80	20	68.57	24.60	6.83	-	-	7.56 (260,701 ไร่)	959	1.02 (35,302 ไร่)	544
เชียงราย	390	65	35	38.68	51.17	6.05	1.60	2.50	1.72 (125,374 ไร่)	365	0.76 (55,395 ไร่)	90
น่าน	700	70	30	64.56	41.42	2.03	0.74	0.32	7.04 (504,728 ไร่)	750 ^{2/}	0.16 (11,448 ไร่)	636 ^{2/}
แม่ฮ่องสอน	850	85	15	85.17	15.23	1.06	0.33	0.36	1.73 (138,010 ไร่)	-	0.10 (7,961 ไร่)	-
ตาก	400	75	25	75.19	12.12	-	-	-	5.34 (547,518 ไร่)	694	-	-
เพชรบูรณ์	300	65	35	34.66	57.41	4.68	1.24	2.01	8.07 (638,811 ไร่)	883	-	-
กำแพงเพชร	120	55	45	23.99	67.92	5.23	1.84	2.51	3.37 (121,633 ไร่)	810 ^{2/}	-	-
กาญจนบุรี	200	70	30	61.66	28.73	2.95	4.61	2.05	-	-	-	-

^{1/} ข้อมูลรวบรวมจากรายงานและฐานข้อมูลของหน่วยงานภาครัฐ ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน กรมส่งเสริมการเกษตร และสำนักงานสถิติจังหวัด (ระหว่างปี 2564-2568) โดยประมวลผลและคำนวณประมาณการค่าร้อยละจากพื้นที่รวมของแต่ละจังหวัด โดยพื้นที่ราบ หมายถึง พื้นที่ที่มีความสูงต่ำกว่า 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล ส่วนพื้นที่สูง หมายถึง พื้นที่ที่มีความสูงตั้งแต่ 500 เมตรขึ้นไป ทั้งนี้ตัวเลขอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามการสำรวจและปรับปรุงข้อมูลแต่ละปี

^{2/} คิดเป็นค่าเฉลี่ยช่วง ได้แก่ (1) จังหวัดน่าน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 748.8-752.0 กก./ไร่ กาแฟ 633.0-640.4 กก./ไร่ (2) จังหวัดกำแพงเพชร เฉลี่ยรุ่น 1 (791) และรุ่น 2 (835)

นอกจากข้อมูลข้างต้นแล้ว ได้ค้นหา **พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว และปริมาณผลผลิต “รวมทั้งรุ่น”** ปีเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2566/67 ของ 8 จังหวัดพื้นที่ศึกษาเพิ่มเติมจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2568ก) สรุปดังนี้ (1) เชียงใหม่ 274,115 ไร่ 273,655 ไร่ 208,683 ตัน (2) เชียงราย 222,638 ไร่ 221,223 ไร่ 160,177 ตัน (3) น่าน 453,195 ไร่ 450,552 ไร่ 304,994 ตัน (4) แม่ฮ่องสอน 168,159 ไร่ 167,507 ไร่ 129,012 ตัน (5) ตาก 574,741 ไร่ 565,709 ไร่ 402,302 ตัน (6) เพชรบูรณ์ 681,666 ไร่ 674,440 ไร่ 535,904 ตัน (7) กำแพงเพชร 121,633 ไร่ 120,866 ไร่ 97,604 ตัน และ (8) กาญจนบุรี 80,591 ไร่ 80,464 ไร่ 57,305 ตัน รวมมีเนื้อที่มากกว่า 2.6 ล้านไร่ โดยจังหวัดที่มีพื้นที่มากที่สุด ได้แก่ เพชรบูรณ์ (681,666 ไร่) ตาก (574,741 ไร่) และน่าน (453,195 ไร่) รองลงมาคือ เชียงใหม่ (274,115 ไร่) และเชียงราย (222,638 ไร่) โดยผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 600-700 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ปีการผลิตกาแฟอะราบิกา 2567/68 รายงานว่า จังหวัดเชียงรายมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด 54,892 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 53,284 ไร่ ผลผลิตรวม 4,736 ตัน เฉลี่ย 89 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือจังหวัดเชียงใหม่ มีพื้นที่ปลูก 35,385 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 34,470 ไร่ ผลผลิตรวม 3,430 ตัน เฉลี่ย 100 กิโลกรัม/ไร่ จังหวัดน่านมีพื้นที่ 12,945 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 12,123 ไร่ ผลผลิตรวม 885 ตัน เฉลี่ย 73 กิโลกรัม/ไร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีพื้นที่ 12,139 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 8,861 ไร่ ผลผลิตรวม 882 ตัน เฉลี่ย 100 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนจังหวัดตากมีพื้นที่ 5,481 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 4,738 ไร่ ผลผลิตรวม 391 ตัน เฉลี่ย 83 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับจังหวัดเพชรบูรณ์มีพื้นที่ปลูก 858 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 541 ไร่ ผลผลิตรวม 65 ตัน เฉลี่ย 120 กิโลกรัม/ไร่ และจังหวัดกาญจนบุรีมีพื้นที่ 1,913 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 1,518 ไร่ ผลผลิตรวม 134 ตัน เฉลี่ย 88 กิโลกรัม/ไร่ ทั้งนี้จังหวัดกำแพงเพชรไม่ปรากฏข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกในรายงานดังกล่าว (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2568ข)

4.1.3 การเก็บข้อมูลปฐมภูมิด้านการปลูกและการจัดการแปลง ดำเนินการภายใต้ขอบเขตระบบ “cradle-to-first buyer/collection” (post-farm-gate) เพื่อใช้ในการประเมินการปล่อย GHG และการกักเก็บคาร์บอน ตามแนวทางของ IPCC Guidelines (2006; 2019 Refinement) โดยใช้ ค่า GWP จากรายงาน IPCC AR5 (2014) ซึ่งกำหนดให้ $\text{CO}_2 = 1$, $\text{CH}_4 = 28$ และ $\text{N}_2\text{O} = 265$ ในการคำนวณค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) การรายงานผลดำเนินการในหน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO_2eq) โดยมีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ภายใต้หน่วยหน้าที่ (functional unit) คือ “1 กิโลกรัมของผลผลิต ณ ร้านรับซื้อหรือจุดรวบรวม” ซึ่งได้แก่ เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แห้ง (ความชื้น 14%) และเมล็ดกาแฟอะราบิกาสาร (ความชื้น 12%) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 208 ราย ได้รับการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อใช้ในการวิเคราะห์กิจกรรมการผลิต การใช้ปัจจัยการผลิต และการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต แบ่งเป็น เกษตรกรระบบปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 141 ราย และกาแฟอะราบิกา 67 ราย คัดเลือกแบบสุ่มอย่างง่ายจากทะเบียนเกษตรกรในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 7 แห่ง ข้อมูลที่เก็บครอบคลุมการเพาะปลูก การใช้ปัจจัยการผลิต พลังงาน เชื้อเพลิง การจัดการหลังเก็บเกี่ยว และของเสีย เพื่อคำนวณค่าสมมูลคาร์บอน (คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) ทั้งด้านการปล่อย การตรึงและการลด การประเมิน LCA จัดทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (LCI) จากข้อมูลกิจกรรมจริงของเกษตรกรและใช้ค่าปัจจัยการปล่อย (EF) จากฐานข้อมูลมาตรฐาน

ครอบคลุมกระบวนการ Scope 1-3 การคำนวณใช้ศักยภาพโลกร้อนระยะเวลา 100 ปี (GWP100) โดย N_2O คำนวณจากปริมาณไนโตรเจนที่ใช้คูณค่าปัจจัย EF1 และแปลงเป็น CO_2eq ส่วน CO_2 จากการหมักในการเตรียมดิน การใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ คำนวณตามค่ามาตรฐาน IPCC ขณะที่ไฟฟ้าใช้ค่าปัจจัยการปล่อยของประเทศไทยจาก อบก. และ Energy Policy and Planning Office (EPPO) รายละเอียดสรุปดังนี้

บริบทพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

แบบสัมภาษณ์แบ่งออกเป็น 8 ส่วน รวม 34 ข้อคำถาม ครอบคลุมข้อมูลตลอดห่วงโซ่การผลิต ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์ เช่น เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และประสบการณ์ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์เชิงสังคมเศรษฐกิจ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลพื้นที่ปลูก การถือครองที่ดิน และรอบการปลูก เพื่อประเมินรูปแบบการใช้ที่ดินและความถี่ในการผลิต

ส่วนที่ 3 ข้อมูลลักษณะของดินและการจัดการ ประกอบด้วย ชนิดของดิน การเตรียมดิน การเติมอินทรีย์วัตถุ และมาตรการป้องกันการพังทลายหน้าดิน สอดคล้องกับการปล่อยก๊าซ Scope 1

ส่วนที่ 4 ข้อมูลแหล่งน้ำและระบบน้ำ ระบุแหล่งน้ำ ระบบชลประทาน และปริมาณการใช้น้ำเพื่อประเมินการใช้พลังงาน Scope 1 และ Scope 2

ส่วนที่ 5 ข้อมูลการใช้เมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี และสารเคมี ครอบคลุมชนิด ปริมาณ และช่วงเวลาการใช้ รวมถึงวัสดุบรรจุภัณฑ์และแหล่งที่มาของปัจจัยการผลิต ซึ่งเกี่ยวข้องกับ Scope 1 และ Scope 3

ส่วนที่ 6 ข้อมูลการใช้เครื่องจักรกลและเชื้อเพลิง เช่น การขนส่งปัจจัยการผลิต การเดินทางดูแลแปลง การใช้เครื่องจักรในขั้นตอนต่างๆ และการขนส่งผลผลิต เพื่อคำนวณการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอน Scope 1-3

ส่วนที่ 7 ข้อมูลการจัดเก็บและปริมาณผลผลิต ระบุวิธีลดความชื้นและผลผลิตต่อรอบ เพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตใน Scope 2

ส่วนที่ 8 ข้อมูลของเสียหลังการเก็บเกี่ยว ครอบคลุมปริมาณและวิธีจัดการ เช่น การไถกลบ การเผา การหมักปุ๋ย หรือการนำไปทำอาหารสัตว์ ที่สื่อถึงการปล่อย Scope 1

ทั้งนี้การเก็บข้อมูลเป็นไปตามหลักจริยธรรมการวิจัย โดยข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ให้สัมภาษณ์จะถูกเก็บรักษาไว้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 ปีหลังสิ้นสุดโครงการวิจัย และผู้ให้ข้อมูลมีสิทธิ์ปฏิเสธการตอบคำถามที่อาจก่อให้เกิดความไม่สบายใจได้ รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข และ ค

ผลสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 5 แห่ง 141 ราย ได้แก่ บ้านแม่วาก โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่ละอ 40 ราย บ้านดอนใหม่ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงโป่งคำ 27 ราย บ้านตองเจริญราษฎร์ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่จริม 12 ราย บ้านอาแบโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง 7 ราย และบ้านเฮาะ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินฝน 55 ราย ผู้ให้สัมภาษณ์ประกอบด้วย เพศชายคิดเป็นร้อยละ 83.54 และเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 16.46 มีช่วงอายุระหว่าง 28-68 ปี ระดับการศึกษามีตั้งแต่ไม่ได้รับการศึกษา จบการศึกษาระดับประถมศึกษา ไปจนถึงระดับปริญญาตรี อาชีพหลักของผู้ให้สัมภาษณ์ส่วนใหญ่คือเกษตรกร ขณะที่บางรายมีอาชีพเสริม เช่น รับจ้างทั่วไป และค้าขาย เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ระหว่าง 5-10 ปี ทั้งหมดเป็นเจ้าของที่ดินของตนเองและใช้น้ำฝน ทั้งนี้เกษตรกรส่วนใหญ่ดำเนินการไถพลิกดินก่อนการหยอดเมล็ด แต่ไม่มีการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ รวมถึงไม่มีการปลูกพืชบำรุงดิน พืชคลุมดิน พืชแนวระดับ หรือพืชหญ้าระบบรากลึก เช่น หญ้าแฝก สามารถอธิบายผลวิเคราะห์เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ GHG รายกิจกรรมการผลิต

การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

(1) การผลิตและการจัดการเศษเหลือทางการเกษตร “พื้นที่ปลูก” มีค่าต่ำสุด 1.03 ไร่ และสูงสุด 27.39 ไร่ ค่าเฉลี่ยประมาณ 8.9 ไร่ (SD = 5.7) “ปริมาณผลผลิต” มีค่าต่ำสุด 700 กิโลกรัม และสูงสุด 16,877 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 5,980 กิโลกรัม (SD = 3,820) “มวลเศษวัสดุที่ผลิต” มีค่าต่ำสุด 2,801.6 กิโลกรัม และสูงสุด 67,508 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 23,920 กิโลกรัม (SD = 15,220) “สัดส่วนแห้ง (DM fraction)” มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 70-75 โดยมีค่าน้อยที่สุดร้อยละ 61.68 และสูงสุตร้อยละ 96.53 (SD = 9.8) ส่วน “สัดส่วนที่ถูกเผา” มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ DM fraction (ค่าเฉลี่ย ร้อยละ 71) สำหรับ “ผลผลิตต่อไร่” มีค่าตั้งแต่ 1,120-2,380 กิโลกรัมต่อไร่ ค่าเฉลี่ยรวม 1,830 กิโลกรัมต่อไร่ (SD = 260) ซึ่งแตกต่างระหว่างหมู่บ้าน เช่น บ้านแม่วากมีค่า 1,680 กิโลกรัม/ไร่ บ้านอาแบ 1,937 กิโลกรัมต่อไร่ และบ้านเฮาะ 1,980 กิโลกรัม/ไร่

ข้อมูลทั้งหมดมีการกระจายแบบหางขวา (Right-skewed distribution) ของตัวแปรปริมาณ เช่น พื้นที่ปลูกและผลผลิต ซึ่งเกิดจากบางแปลงมีขนาดใหญ่และให้ผลผลิตสูงกว่าค่าเฉลี่ยมาก ขณะที่ตัวแปรเชิงสัดส่วนมีการกระจายแคบกว่าและค่อนข้างสม่ำเสมอ แสดงถึงลักษณะการจัดการหลังเก็บเกี่ยวที่มีแบบแผนร่วมกันระหว่างพื้นที่ ทั้งนี้ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่ ผลผลิต และเศษวัสดุที่ชัดเจน ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า “พื้นที่ปลูก” มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับ “ปริมาณผลผลิต” ($r = 0.89$) และ “มวลเศษวัสดุที่ผลิตได้” ($r = 0.92$) ซึ่งเป็นไปตามหลักการผลิตทางการเกษตรที่ว่าพื้นที่ปลูกมากขึ้นจะเพิ่มทั้งผลผลิตและเศษวัสดุ นอกจากนี้ “ปริมาณผลผลิต” ยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ “มวลเศษวัสดุที่ผลิต” ระดับสูง ($r = 0.95$) แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนระหว่างผลผลิตหลักและผลพลอยได้ อย่างไรก็ตาม “สัดส่วนแห้ง” และ “สัดส่วนที่ถูกเผา” มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ($r = 0.55$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นพร้อมกันเมื่อเศษวัสดุมีปริมาณมาก แต่ความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการจัดการแต่ละพื้นที่ ส่วน “ผลผลิต/ไร่” มีความสัมพันธ์ต่ำกับตัวแปรอื่น ($r < 0.3$) เนื่องจากค่าแต่ละหมู่บ้านมีความคงที่

(2) การเตรียมดิน “การไถตะ” มีค่าต่ำสุด 0.5 ชั่วโมง/รอบ และสูงสุด 4.8 ชั่วโมง/รอบ ค่าเฉลี่ย 2.4 ชั่วโมง/รอบ (SD = 1.1) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้มีค่าต่ำสุด 0.8 ลิตร/รอบ และสูงสุด 12.5 ลิตร/รอบ ค่าเฉลี่ย 5.2 ลิตร/รอบ (SD = 3.7) ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 168 บาท/ไร่ (SD = 87) “การไถแปร” มีค่าต่ำสุด 0.4 ชั่วโมง/รอบ และสูงสุด 3.9 ชั่วโมง/รอบ ค่าเฉลี่ย 1.8 ชั่วโมง/รอบ (SD = 0.9) ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้มีค่าต่ำสุด 0.5 ลิตร/รอบ และสูงสุด 11.2 ลิตร/รอบ ค่าเฉลี่ย 4.7 ลิตร/รอบ (SD = 3.1) ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 146 บาท/ไร่ (SD = 72) ซึ่งใกล้เคียงกับการไถตะเทียบสัดส่วนต่อพื้นที่ “สัดส่วนที่ถูกเผา” มีค่าน้อยที่สุด ร้อยละ 75.0 และสูงสุตร้อยละ 100.0 ค่าเฉลี่ย ร้อยละ 83.7 (SD = 8.5) แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรยังใช้การเผาเป็นวิธีหลักในการจัดการเศษเหลือหลังการเก็บเกี่ยว “มวลเศษเหลือทิ้ง” มีค่าตั้งแต่ 0-1,876 กิโลกรัม/ไร่ ค่าเฉลี่ย 539.9 กิโลกรัม/ไร่ (SD = 796.1) “CH₄” มีค่าต่ำสุด 0.00 กิโลกรัม และสูงสุด 41.52 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 4.06 กิโลกรัม (SD = 8.39) ส่วน “N₂O” มีค่าต่ำสุด 0.00 กิโลกรัม และสูงสุด 1.08 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 0.105 กิโลกรัม (SD = 0.218) เมื่อนำมาแปลงเป็นคาร์บอนไดออกไซด์สมมูล พบว่า “CH₄” มีค่าตั้งแต่ 0-1,162.45 kgCO₂eq ค่าเฉลี่ย 113.7 kgCO₂eq (SD = 234.9) และ “N₂O” มีค่าตั้งแต่ 0-285.23 kgCO₂eq ค่าเฉลี่ย 27.9 kgCO₂eq (SD = 57.6)

ข้อมูลทั้งหมดมีการกระจายแบบ หางขวา (Right-skewed distribution) ในตัวแปรเชิงปริมาณ เช่น “พื้นที่ปลูก” “การไถตะ” “การไถแปร” “มวลเศษเหลือทิ้ง” และ “การปล่อย GHG” เนื่องจากบางแปลงมีขนาดใหญ่และใช้ทรัพยากรมากกว่าค่าเฉลี่ย ส่วนตัวแปรเชิงสัดส่วนอย่าง “สัดส่วนแห้ง” และ “สัดส่วนที่ถูกเผา” มีการกระจายแคบและค่าคงที่ระหว่างหมู่บ้าน แสดงถึงรูปแบบการจัดการเศษเหลือที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า “พื้นที่ปลูก” มีความสัมพันธ์เชิงบวกปานกลางกับ “การไถตะ” ($r = 0.46$) และ “การไถแปร” ($r = 0.42$) ขณะที่ “การไถตะ” และ “การไถแปร” มีความสัมพันธ์สูงกับ “ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้” และ “ค่าใช้จ่ายต่อไร่” ($r > 0.85$) ส่วน “สัดส่วนที่ถูกเผา” มีความสัมพันธ์ระดับอ่อนกับ “มวลเศษเหลือทิ้ง” ($r = 0.31$) แต่สัมพันธ์สูงมากกับ “การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สมมูลของ CH_4 และ N_2O ” ($r > 0.90$) ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการเผาเศษเหลือ สรุปได้ว่า ขนาดพื้นที่และการใช้พลังงานมีผลทางอ้อมต่อการปล่อยก๊าซ ขณะที่การเผาเศษเหลือเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดระดับการปล่อย GHG ของระบบการผลิตทั้งหมด

การใช้ปุ๋ยเคมี

“จำนวนรอบปลูกต่อปี” มีค่าต่ำสุด 1 รอบ และสูงสุด 3 รอบ ค่าเฉลี่ย 1.7 รอบ/ปี ($SD = 0.6$) โดยบางพื้นที่ปลูกแบบหมุนเวียนหลายรอบเพื่อเพิ่มผลผลิตตลอดปี “ปริมาณเมล็ดพันธุ์” มีค่าต่ำสุด 6.0 กิโลกรัม/ไร่ และสูงสุด 45.0 กิโลกรัม/ไร่ ค่าเฉลี่ย 21.8 กิโลกรัม/ไร่ ($SD = 9.4$) ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์และความหนาแน่นของการปลูก “ปุ๋ยมูลไก่” มีค่าต่ำสุด 0.0 กิโลกรัม/รอบ และสูงสุด 520.0 กิโลกรัม/รอบ ค่าเฉลี่ย 147.3 กิโลกรัมต่อรอบ ($SD = 122.4$) “ไนโตรเจนจากปุ๋ยมูลไก่” มีค่าต่ำสุด 0.00 กิโลกรัม และสูงสุด 13.5 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 3.75 กิโลกรัม ($SD = 3.1$) ส่วน “การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สมมูลจากมูลไก่” มีค่าต่ำสุด 0.0 และสูงสุด 96.4 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 27.2 กิโลกรัม ($SD = 21.8$) “ปุ๋ยมูลวัว” มีค่าต่ำสุด 0.0 กิโลกรัม และสูงสุด 630.0 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 169.2 กิโลกรัม ($SD = 141.5$) “ไนโตรเจนจากมูลวัว” มีค่าต่ำสุด 0.00 กิโลกรัม และสูงสุด 9.2 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 2.87 กิโลกรัม ($SD = 2.5$) และ “การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สมมูลจากมูลวัว” มีค่าต่ำสุด 0.0 และสูงสุด 101.3 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 31.6 กิโลกรัม ($SD = 25.4$) “ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0” มีค่าต่ำสุด 0.0 กิโลกรัม/รอบ และสูงสุด 125.0 กิโลกรัม/รอบ ค่าเฉลี่ย 42.6 กิโลกรัม/รอบ ($SD = 33.8$) “ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดอื่น” มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 17.2 ($SD = 4.3$) และ “ปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมี” มีค่าตั้งแต่ 0.0 ถึง 54.8 กิโลกรัม/รอบ ค่าเฉลี่ย 18.7 กิโลกรัม/รอบ ($SD = 14.2$) “ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์จากปุ๋ยเคมี” มีค่าต่ำสุด 0.00 กิโลกรัม และค่าสูงสุด 1.12 กิโลกรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 กิโลกรัม ($SD = 0.27$) ส่วน “การปล่อย GHG จากปุ๋ยเคมีในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า” มีค่าต่ำสุด 0.00 และค่าสูงสุด 298.6 kgCO_2eq โดยมีค่าเฉลี่ย 56.4 kgCO_2eq ($SD = 74.3$) โดยตัวแปรนี้ใช้เป็นตัวชี้วัดการปล่อย GHG จากการใช้ปุ๋ยเคมีโดยตรง

ข้อมูลทั้งหมดมีการกระจายแบบ หางขวา (Right-skewed distribution) ของตัวแปรเชิงปริมาณ เช่น ปริมาณปุ๋ยมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี และการปล่อย GHG ซึ่งเกิดจากบางแปลงใช้ปุ๋ยในปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ยมาก ขณะที่ตัวแปรเชิงสัดส่วน เช่น จำนวนรอบปลูกและเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน มีการกระจายแคบและค่าคงที่ระหว่างพื้นที่ ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยรวมพบว่า ตัวแปรก๊าซไนโตรเจนจากทั้งแหล่งอินทรีย์และเคมี มีความสัมพันธ์สูงกับการปล่อยก๊าซ N_2O และ CO_2eq ($r = 0.85-0.95$) เป็นไปตามหลักการทางนิเวศเกษตรที่ว่า การเพิ่มไนโตรเจนภายในระบบดินจะเพิ่มการปล่อย GHG ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช

สารกำจัดวัชพืช “glyphosate” มีค่าปริมาตรการใช้ตั้งแต่ 0.0-73.0 ลิตร/รอบ ค่าเฉลี่ย 14.48 ลิตร/รอบ (SD = 15.95) ปริมาณสารออกฤทธิ์อยู่ในช่วง 0.000-42.048 กิโลกรัม/รอบ ค่าเฉลี่ย 8.34 กิโลกรัม (SD = 9.19) ส่งผลให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สมมูล (CO₂eq) อยู่ระหว่าง 0.0-1,401.88 kgCO₂eq/รอบ ค่าเฉลี่ย 278.01 kgCO₂eq (SD = 306.23) “paraquat” มีค่าการใช้ในช่วง 0.0-117.0 ลิตร/รอบ ค่าเฉลี่ย 9.90 ลิตร (SD = 20.34) ปริมาณสารออกฤทธิ์ 0.000-24.57 กิโลกรัม/รอบ ค่าเฉลี่ย 2.08 กิโลกรัม (SD = 4.27) การปล่อย CO₂eq อยู่ระหว่าง 0.0-614.25 kgCO₂eq/รอบ ค่าเฉลี่ย 51.98 kgCO₂eq (SD = 106.80) “Atrazine” มีค่าปริมาณสารออกฤทธิ์ 0.000-19.80 กิโลกรัม/รอบ ค่าเฉลี่ย 3.96 กิโลกรัม (SD = 4.96) และ CO₂eq อยู่ในช่วง 0.0-495.0 kgCO₂eq/รอบ ค่าเฉลี่ย 98.96 kgCO₂eq (SD = 123.93) “Emamectin” และ “Herbicide mix” ไม่มีการใช้ในชุดข้อมูลนี้ สำหรับ “สารเคลือบเมล็ดพันธุ์” มีค่าปริมาณตั้งแต่ 0.108-43.05 kgCO₂eq/รอบ ค่าเฉลี่ย 6.22 kgCO₂eq (SD = 7.22) ซึ่งมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสารเคมีกลุ่มหลัก

การกระจายและความสัมพันธ์ของข้อมูล ตัวแปรเชิงปริมาณส่วนใหญ่ ได้แก่ ปริมาณการใช้สารและการปล่อย CO₂eq มีการกระจายแบบ หางขวา (Right-skewed distribution) ซึ่งเกิดจากบางแปลงที่ใช้สารเคมีปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ยหลายเท่า ส่งผลให้ค่ากลางสูงกว่าค่ามัธยฐานอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า “ปริมาณสาร” แต่ละชนิดมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับสูงมากกับ “การปล่อย CO₂eq” ของตนเอง (r = 1.00) เนื่องจาก CO₂eq คำนวณโดยตรงจากปริมาณสารที่ใช้ ส่วนระดับระบบ “พื้นที่ปลูก” มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับ “การปล่อย CO₂eq รวมต่อรอบ” (r = 0.32) แสดงให้เห็นว่าแปลงที่มีขนาดใหญ่มีแนวโน้มใช้สารมากกว่าและปล่อยก๊าซมากกว่า ขณะที่ “ปริมาณเมล็ดพันธุ์” มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ CO₂eq รวม (r = -0.14) เนื่องจากแปลงที่ใช้เมล็ดพันธุ์หนาแน่นเป็นพื้นที่ขนาดเล็กและมีการจัดการเข้มข้นกว่า ส่วน “จำนวนรอบปลูกต่อปี” ไม่สามารถคำนวณค่าสหสัมพันธ์ได้เพราะไม่มีความแปรปรวน

การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

“การขนส่ง” เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิงประเภทดีเซล เบนซิน (gasohol) และพลังงานไฟฟ้า มีค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สมมูล (CO₂eq) ตั้งแต่ 0.00-1,381.26 kgCO₂eq /รอบ ค่าเฉลี่ย 232.47 kgCO₂eq (SD = 344.72) โดยแปลงที่อยู่ห่างจากแหล่งปัจจัยการผลิตหรือมีพื้นที่ขนาดใหญ่จะมีค่าการปล่อยสูงกว่าแปลงขนาดเล็ก เมื่อจำแนกตามชนิดพลังงานพบว่า ดีเซลเป็นแหล่งปล่อยหลัก เนื่องจากมีค่าปัจจัยการปล่อย (EF) สูงที่สุดที่ 2.69 kgCO₂ /ลิตร ขณะที่ gasohol มีค่าการปล่อยต่ำกว่า (2.31 kgCO₂/ลิตร) และไฟฟ้ามีค่าการปล่อยต่ำสุด (0.442 kgCO₂ /กิโลวัตต์/ชั่วโมง) ภาพรวมพบว่ามีการใช้ในปริมาณน้อยกว่าแต่ยังมีบทบาทภายในแปลงที่ใช้เครื่องจักรไฟฟ้า

ลักษณะการกระจายของข้อมูลเป็นแบบหางขวา (Right-skewed distribution) ซึ่งเกิดจากบางแปลงที่มีการใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากกว่าค่าเฉลี่ยหลายเท่า ส่งผลให้ค่ากลางสูงกว่าค่ามัธยฐานอย่างมีนัยยะ ส่วนการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์พบว่า “การปล่อย CO₂eq จากการขนส่ง” มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับ “ระยะทางขนส่ง” และ “ขนาดพื้นที่ปลูก” แสดงให้เห็นว่าแปลงที่มีระยะทางขนส่งไกลหรือมีพื้นที่ขนาดใหญ่มีแนวโน้มใช้เชื้อเพลิงและปล่อย GHG มากกว่า ขณะที่แปลงขนาดเล็กมีค่าการปล่อยต่ำกว่า สรุปได้ว่า การขนส่งเป็นแหล่งการปล่อย GHG หลักของระบบ ดังนั้นการลดระยะทางขนส่ง การเพิ่มประสิทธิภาพยานพาหนะ และการใช้เครื่องจักรกลที่มีประสิทธิภาพสูง จะเป็นแนวทางที่สามารถลดการปล่อย CO₂eq จากภาคการขนส่งระดับแปลงผลิต

โครงสร้างและปัจจัยกำหนดการปล่อย GHG ตลอดวัฏจักรการผลิต

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อย GHG ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีและเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเกษตรกรใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 และสูตร 16-20-0 ปริมาณ 800-1,500 กิโลกรัม/ไร่ อัตราส่วน 1:1 ซึ่งก่อให้เกิดการปล่อย CO₂ จากกระบวนการผลิตปุ๋ยเคมีร้อยละ 35-40 และการปล่อย N₂O จากดินร้อยละ 40-45 ส่วนขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ก่อนปลูก แบ่งเป็น 2 แบบคือ (1) การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกด้วยการเผาต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ช่วงก่อนปลูก 4-6 เดือน มีเกษตรกรร้อยละ 61 ทำให้เกิดการปล่อย CO₂ CH₄ และ N₂O ประมาณ 200-350 kgCO₂eq /ไร่ หรือร้อยละ 7-10 และ (2) การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกด้วยการไถ (ไถตะและพรวน) มีเกษตรกรร้อยละ 39 มีค่าการปล่อย GHG ช่วง 150-250 kgCO₂eq /ไร่ หรือร้อยละ 5-7 เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการเผาเศษวัสดุมีผลต่อการปล่อย GHG สูงกว่าการไถประมาณ 1.3-1.5 เท่า และยังมีการใช้เชื้อเพลิงพลังงานกิจกรรมอื่นๆ เช่น การพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช (โรคและแมลง) และสารป้องกันกำจัดวัชพืช ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4-6 ลิตรต่อไร่ และ 12 ลิตรต่อไร่ ตามลำดับ รวมถึงการไม่เมล็ดโดยรถไม่ขนาดใหญ่ที่มีอัตราการไม่ 2 นาฬิกา/กิโลกรัมผลผลิต การเข้าดูแลแปลงด้วยรถมอเตอร์ไซค์เฉลี่ยสัปดาห์ละ 2 ครั้ง (ระยะทาง 1-5 กิโลเมตร) และการขนส่งผลผลิต/ซื้อปุ๋ยและยา ด้วยรถกระบะระยะทางเฉลี่ย 20-80 กิโลเมตร รวมมีค่าประมาณร้อยละ 10-15 เมื่อรวมกิจกรรมทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิต พบว่ามีการปล่อย GHG รวม 2,800-4,692 kgCO₂eq/ไร่ โดยกิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ GHG แบ่งได้เป็น 4 กิจกรรม (ภาพที่ 4.2-4.6) ได้แก่

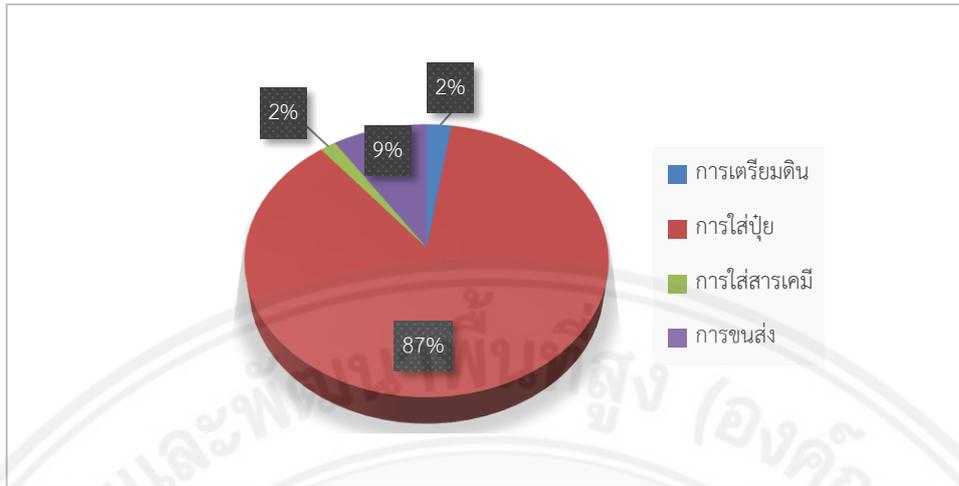
(1) การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก (การถางป่า/เผาเศษซากพืช) คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 12.6 ของการปล่อยทั้งหมด เนื่องจากการเผาเศษซากและอินทรีย์วัตถุปล่อย CO₂ CH₄ และ N₂O

(2) การใช้ปุ๋ยเคมี คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 64.80 ของการปล่อยทั้งหมด โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนทำให้เกิดการปลดปล่อย N₂O ซึ่งมีศักยภาพการก่อภาวะโลกร้อนสูง

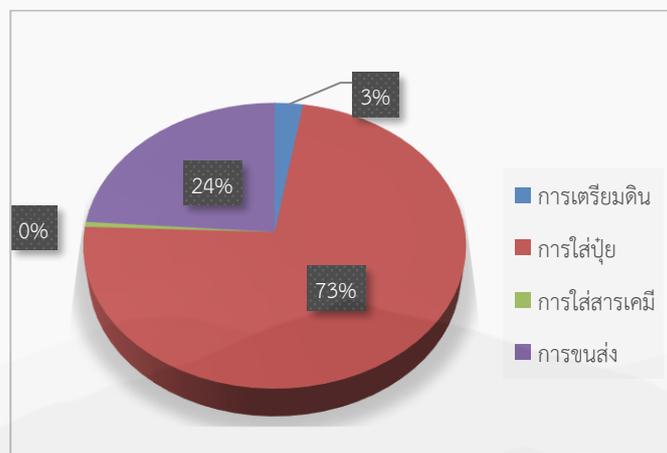
(3) การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.40 ของการปล่อยทั้งหมด โดยเฉพาะสารป้องกันกำจัดวัชพืชที่ทำให้เกิดการปลดปล่อย CO₂ สูง

(4) การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (เครื่องจักรกลการเกษตร การขนส่ง) คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 22.20 จากการไถพรวน เก็บเกี่ยว และการขนส่งผลผลิตปล่อย CO₂ โดยตรงจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล

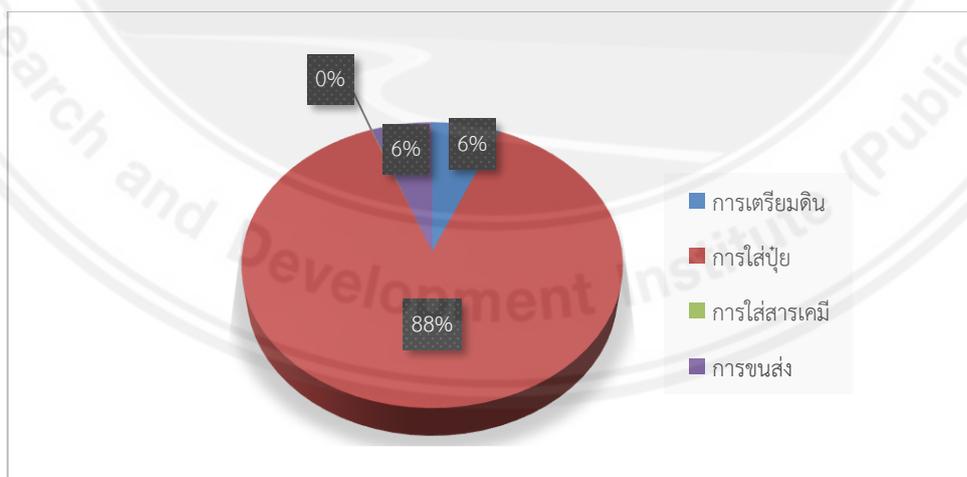
ผลประเมินวัฏจักรชีวิตในหน่วยหน้าที่ 1 กิโลกรัมของผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ณ ผู้รับซื้อรายแรก โดยใช้ข้อมูลการปล่อย GHG ต่อหน่วยพื้นที่ และผลผลิตเฉลี่ยที่ได้จากการสำรวจเกษตรกรมีค่าเฉลี่ย 27.38 tCO₂eq/ha/ปี ภายใต้ขอบเขต “cradle-to-first buyer” เมื่อพิจารณาร่วมกับผลผลิตเฉลี่ย/หน่วยพื้นที่ พบว่ามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลผลิต (Carbon Footprint of Product) ประมาณ 4.6 kgCO₂eq /กิโลกรัมผลผลิต ค่าดังกล่าวสื่อถึงความเข้มข้นของการปล่อยต่อหน่วยผลผลิตที่ได้รับอิทธิพลอย่างมากจากการเผาเศษซากพืช การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และการใช้เชื้อเพลิงสำหรับไถพรวน ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยหลักใน Scope 1 และ Scope 3



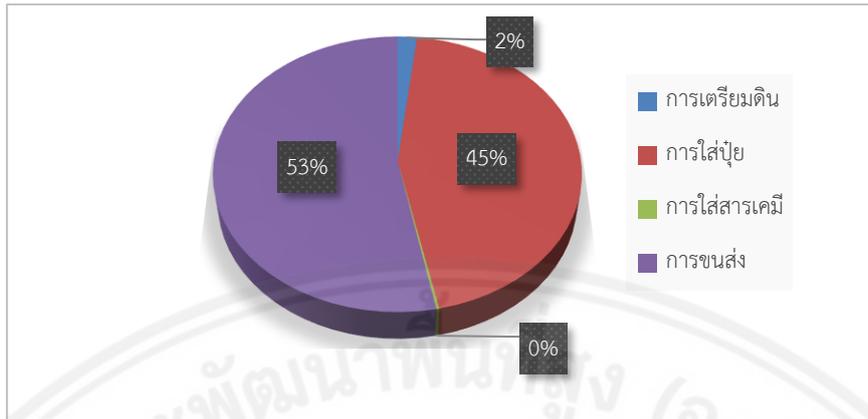
ภาพที่ 4.2 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บ้านแม่วาก โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่ละออ



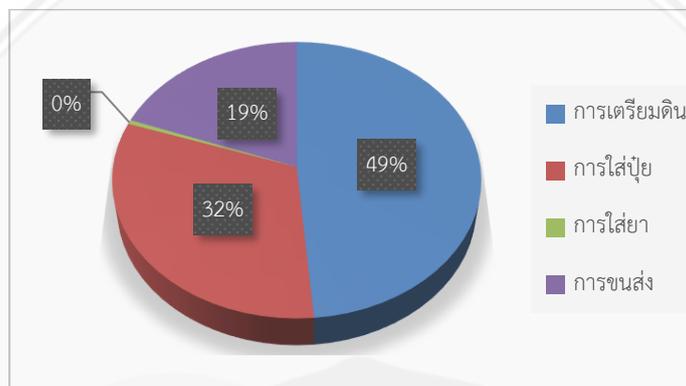
ภาพที่ 4.3 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บ้านดอนใหม่ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงโป่งคำ



ภาพที่ 4.4 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บ้านตองเจริญราษฎร์ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่จirim



ภาพที่ 4.5 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บ้านอาแบ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง



ภาพที่ 4.6 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บ้านเฮาะ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินฝน

ผลการประเมินการปล่อย GHG จำแนกตามขอบเขต (Scope 1-3)

ผลการประเมินการปล่อย GHG ของระบบการผลิตพืชในพื้นที่ศึกษาดำเนินการตามกรอบของ GHG Protocol และแนวทางของ IPCC (2006), Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) โดยคำนวณจากกิจกรรมหลักตั้งแต่การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก การใช้ปุ๋ยและสารเคมี การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ตลอดจนการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งนี้ ข้อมูลบางส่วนยังไม่สามารถรวบรวมได้ครบถ้วน หรือยังไม่มีค่าปัจจัยการปล่อย (Emission Factor: EF) เฉพาะสำหรับประเทศไทย เช่น การจัดการของเสีย หลังการสีเมล็ด จึงยังไม่รวมอยู่ในการประเมินปัจจุบัน ผลการคำนวณดังนี้

สำหรับ Scope 1 ซึ่งเป็นการปล่อยโดยตรงจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในฟาร์ม พบว่ามีแหล่งกำเนิดหลักหลายกิจกรรม ได้แก่

1) การเผาเศษวัสดุพืชหลังการเก็บเกี่ยว มีมวลเศษซากพืชแห้งที่ถูกเผาในช่วง 2,801-67,508 กิโลกรัม/ไร่ โดยมีค่าเฉลี่ย 23,920 กิโลกรัมต่อไร่ ใช้ค่าปัจจัยการปล่อย EF_{CH_4} และ EF_{N_2O} จาก IPCC (2006), Vol.4, Ch.2 ให้ค่าการปล่อยช่วง 200-350 $kgCO_2eq/ไร่/ปี$ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 275 $kgCO_2eq/ไร่/ปี$

2) การใช้ดีเซลในการเตรียมดิน (ไถตะและไถแปร) มีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลระหว่าง 0.8-12.5 ลิตรต่อไร่ ค่าเฉลี่ย 9.9 ลิตร/ไร่ ใช้ค่าปัจจัยการปล่อย 2.68 kgCO₂/L จาก IPCC (2006), Energy Vol.2 ทำให้มีการปล่อยในช่วง 100-180 kgCO₂eq/ไร่/ปี

3) การปล่อยไนตรัสออกไซด์ (N₂O) จากการใช้ปุ๋ยเคมีและอินทรีย์ในดิน ปริมาณไนโตรเจนที่ใช้รวมอยู่ช่วง 0-54.8 กิโลกรัม/ไร่/ปี โดยมีค่าเฉลี่ย 18.7 กิโลกรัม/ไร่ ใช้ค่าปัจจัยการปล่อย EF₁ = 0.01 (N₂O-N/kg N) และค่า GWP ของ N₂O เท่ากับ 265 ตาม IPCC (2006), Vol.4, Ch.11 ให้ค่าการปล่อยช่วง 0-299 kgCO₂eq/ไร่/ปี หรือเฉลี่ย 56.4 kgCO₂eq/ไร่/ปี

4) การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในแปลง (การพ่น) มีการใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ยต่ำกว่า 1 ลิตร/ไร่ และสารเคมีไม่เกิน 1 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับคำนวณการปล่อย จึงยังไม่รวมในรอบการประเมินนี้

เมื่อรวมกิจกรรมทั้งหมดของ Scope 1 พบว่าการปล่อยโดยตรงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 450-600 kgCO₂eq/ไร่/ปี หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 70-75 ของการปล่อยรวมทั้งหมด ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมภายในฟาร์มเป็นแหล่งปล่อยหลักของระบบการผลิต

สำหรับ Scope 2 ซึ่งเป็นการปล่อยทางอ้อมจากการใช้ไฟฟ้าที่ซื้อมาจากภายนอก พบว่าการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตและแปรรูปเบื้องต้น เช่น การไถและการลดความชื้นของเมล็ดตากแพ มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าช่วง 0-180 kWh/ไร่/ปี ค่าเฉลี่ย 180 kWh/ไร่/ปี โดยใช้ค่าปัจจัยการปล่อยของประเทศไทย 0.442 kgCO₂/kWh (กฟผ., 2023) ทำให้ได้ค่าการปล่อยอยู่ในช่วง 0-82 kgCO₂eq/ไร่/ปี หรือเฉลี่ย 79.6 kgCO₂eq/ไร่/ปี คิดเป็นประมาณร้อยละ 1.8 ของการปล่อยทั้งหมด ซึ่งถือเป็นสัดส่วนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับกิจกรรมในฟาร์ม

ในส่วนของ Scope 3 ซึ่งเป็นการปล่อยทางอ้อมจากกิจกรรมที่อยู่นอกฟาร์ม (upstream และ downstream บางส่วน) พบว่า

1) การผลิตปุ๋ยเคมี (upstream) จากปริมาณการใส่ปุ๋ยเฉลี่ย 1,150 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี (มีส่วนไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 18) ใช้ค่าปัจจัยการปล่อย 5.9 kgCO₂/kg N จากฐานข้อมูล LCA ให้ค่าการปล่อยอยู่ในช่วง 1,400-1,600 kgCO₂eq/ไร่/ปี หรือเฉลี่ย 1,500 kgCO₂eq/ไร่/ปี

2) การขนส่งปุ๋ยเคมี ในระยะทางระหว่าง 10-80 กิโลเมตร เฉลี่ย 30 กิโลเมตร ใช้ค่าปัจจัยการปล่อย 0.15 kgCO₂/ตัน·km (IPCC 2006) ให้ค่าการปล่อยในช่วง 15-120 kgCO₂eq/ไร่/ปี ค่าเฉลี่ย 68 kgCO₂eq/ไร่/ปี

3) การผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (upstream) ปริมาณสารออกฤทธิ์อยู่ในช่วง 0-42 กิโลกรัม/ไร่/ปี ค่าเฉลี่ย 9.9 กิโลกรัม/ไร่ ใช้ค่าปัจจัยการปล่อยเฉพาะชนิดสารเคมีจากฐานข้อมูล FAO/LCI ให้ค่าการปล่อยอยู่ช่วง 0-1,402 kgCO₂eq/ไร่/ปี หรือเฉลี่ย 430 kgCO₂eq/ไร่/ปี

4) การขนส่งผลผลิตออกจากฟาร์ม มีระยะทางเฉลี่ย 50 กิโลเมตร ให้ค่าการปล่อยช่วง 0-1,381 kgCO₂eq/ไร่/ปี ค่าเฉลี่ย 600 kgCO₂eq/ไร่/ปี

กิจกรรม Scope 3 จึงมีส่วนการปล่อยรวมประมาณร้อยละ 20-30 ของการปล่อยทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับระบบการผลิตที่มีการใช้ปัจจัยนำเข้าจากภายนอก เช่น ปุ๋ยและสารเคมี

โดยสรุป ระบบการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ศึกษามีการปล่อย GHG รวมเฉลี่ย 2,800-4,692 kgCO₂eq/ไร่/ปี โดยมีค่าเฉลี่ย 4,380 kgCO₂eq/ไร่/ปี แบ่งเป็น Scope 1 ปล่อย 75 Scope 2 ปล่อย 2 และ Scope 3 ปล่อย 23 สื่ให้เห็นว่าการปล่อยส่วนใหญ่เกิดจากการเผาเศษพืช การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และเชื้อเพลิงฟอสซิลในฟาร์ม การจัดการเชิงเทคนิคเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยและเชื้อเพลิง รวมถึงการลดการเผาเศษซากพืช จึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของระบบการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.4



ตารางที่ 4.4 สรุปการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามขอบเขต (Scope 1-3) ของระบบการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่สูง

กิจกรรม	Scope	พารามิเตอร์หลักที่ใช้ คำนวณ	ช่วง ค่าพารามิเตอร์ (ต่ำสุด-สูงสุด)	ค่าเฉลี่ย พารามิเตอร์	EF ที่ใช้ (หน่วย) (kg GHG/kg DM)	แหล่ง EF	ช่วงค่าการปล่อย (kgCO ₂ eq/ไร่/ปี)	ค่าเฉลี่ย (kgCO ₂ eq/ไร่/ปี)	ค่าเฉลี่ย (tCO ₂ eq/ha/ปี)
เผาเศษวัสดุพืชในแปลง (หลังเก็บเกี่ยว)	1	มวลเศษซากพืชแห้งที่ ถูกเผา (kg DM/ไร่)	2,801-67,508	23,920	EF _{CH₄} , EF _{N₂O}	IPCC (2006), Vol.4, Ch.2	200-350	275	1.72
ดีเซลเตรียมดิน (ไถตะ/ ไถแปร)	1	ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ ใช้ในการเตรียมดิน (L/ไร่)	0.8-12.5	9.9	2.68 kgCO ₂ /L	IPCC (2006), Energy Vol.2	100-180	141.6	0.89
N ₂ O จากปุ๋ยเคมี/อินทรีย์ (ในดิน)	1	ปริมาณไนโตรเจนจาก ปุ๋ยทั้งหมด (kg N/ไร่/ปี)	0-54.8	18.7	EF ₁ = 0.01 (N ₂ O- N/kg N) × GWP(N ₂ O) = 265	IPCC (2006), Vol.4, Ch.11	0-299	56.4	0.35
การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ในแปลง (การพ่น)	1	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ในการพ่นสาร (L/ไร่) และปริมาณสารเคมี ที่ใช้ (kg/ไร่)	-	-	EF ดีเซล 2.68 kgCO ₂ /L	IPCC (2006)	-	-	-
ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต/ แปรรูป	2	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ใน กระบวนการม่และ ลดความชื้น (kWh/ไร่/ปี)	0-180	180	0.442 kgCO ₂ /kWh	กฟผ. (EGAT, 2023)	0-82	79.6	0.50
การผลิตปุ๋ยเคมี (upstream)	3	ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (kg/ไร่/ปี) และ สัดส่วนธาตุ N ในปุ๋ย (%)	800-1,500	1,150	5.9 kgCO ₂ /kg N	Literature (LCA Database)	1,400-1,600	1,500	9.38

กิจกรรม	Scope	พารามิเตอร์หลักที่ใช้คำนวณ	ช่วงค่าพารามิเตอร์ (ต่ำสุด-สูงสุด)	ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์	EF ที่ใช้ (หน่วย)	แหล่ง EF	ช่วงค่าการปล่อย (kgCO ₂ eq/ไร่/ปี)	ค่าเฉลี่ย (kgCO ₂ eq/ไร่/ปี)	ค่าเฉลี่ย (tCO ₂ eq/ha/ปี)
การขนส่งปุ๋ยเคมี (upstream)	3	ระยะทางขนส่ง (km) × ปริมาณปุ๋ย (ตัน)	10-80	30	0.15 kgCO ₂ /ตัน·km	IPCC default (2006)	15-120	68	0.43
การผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (upstream)	3	ปริมาณสารออกฤทธิ์ของสารเคมี (kg/ไร่/ปี)	0-42	9.9	EF จำแนกตามชนิดสารเคมี (kgCO ₂ /kg)	Literature (FAO, LCI)	0-1,402	430	2.69
การขนส่งผลผลิตออกจากฟาร์ม	3	ระยะทางขนส่ง (km) และปริมาณผลผลิต (ตัน)	20-80	50	EF ดีเซล (kgCO ₂ /ตัน·km)	IPCC/LCI	0-1,381	600	3.75
การจัดการของเสียหลังการสีเมล็ด	3	ปริมาณของเสียที่เกิดจากการสี (kg/ตันผลผลิต) และวิธีการจัดการ	-	-	EF จำแนกตามวิธีการจัดการ (kgCO ₂ /kg ของเสีย)	Literature	-	-	-
รวมทั้งระบบการผลิต (Scope 1-3)							2,800-4,692	4,380	27.38

บริบทพื้นที่ปลูกกาแฟอะราบิกา

แบบสัมภาษณ์แบ่งออกเป็น 5 ส่วน รวม 38 ข้อคำถาม ครอบคลุมข้อมูลตลอดห่วงโซ่การผลิต ตั้งแต่การเพาะปลูกจนถึงหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ให้สัมภาษณ์ เช่น เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และประสบการณ์ในการปลูก เพื่อประกอบการวิเคราะห์เชิงสังคมเศรษฐกิจ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกและระบบการปลูก ครอบคลุมลักษณะพื้นที่ ระบบการปลูก (ปลูกเดี่ยวหรือปลูกร่วม) การปลูกพืชคลุมดิน ระบบน้ำ และมาตรการป้องกันการพังทลายของดิน

ส่วนที่ 3 ข้อมูลการใช้วัตถุดิบและปัจจัยการผลิต (Scope 1 และ 3) รวมถึงปริมาณเมล็ดพันธุ์ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ สารเคมี ฮอร์โมนพืช วัสดุบรรจุภัณฑ์ และแหล่งที่มาของปัจจัยการผลิต เพื่อใช้ประเมินการปล่อย GHG จากกระบวนการใช้ปัจจัยการผลิต

ส่วนที่ 4 ข้อมูลการใช้พลังงาน (Scope 1 และ 3) เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องจักรกลภายในไร่ การใช้เชื้อเพลิงและไฟฟ้า การเดินทางดูแลสวน รวมถึงการขนส่งปัจจัยการผลิตและผลผลิต เพื่อคำนวณพลังงานและการปล่อย GHG จากกิจกรรมภายในฟาร์มและห่วงโซ่อุปทานต้นน้ำ

ส่วนที่ 5 ข้อมูลการแปรรูปและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว (Scope 1 และ 2) ครอบคลุมวิธีการแปรรูป (เปียก กึ่งเปียก หรือแห้ง) การใช้พลังงานในกระบวนการแปรรูป ปริมาณผลผลิตและของเสีย การจัดการเปลือกกาแฟ การจัดการน้ำเสีย และวิธีเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เพื่อประเมินการปล่อยและการใช้พลังงานขั้นตอนปลายน้ำของระบบการผลิต

ทั้งนี้การเก็บข้อมูลเป็นไปตามหลักจริยธรรมการวิจัยและการเก็บรักษาข้อมูลส่วนบุคคลดังกล่าวข้างต้น (ภาคผนวก ข และ ง)

ผลสัมภาษณ์กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟอะราบิกา 4 แห่ง 67 ราย ได้แก่ บ้านปิตุคี โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่แฮหลวง 9 ราย บ้านแม่จันทหลวง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง 25 ราย บ้านแม่แฮใต้ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินฝน 13 ราย และบ้านขุนห้วยพระเจ้า (ห้วยอบบ้านบวก) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋ 20 ราย ผู้ให้สัมภาษณ์ประกอบด้วย เพศชายคิดเป็นร้อยละ 71.96 และเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 28.04 มีช่วงอายุระหว่าง 21-62 ปี ระดับการศึกษามีตั้งแต่ไม่ได้รับการศึกษา จบการศึกษาระดับประถมศึกษา ไปจนถึงระดับปริญญาตรี อาชีพหลักของผู้ให้สัมภาษณ์ส่วนใหญ่คือเกษตรกร ขณะที่บางรายมีอาชีพเสริม เช่น รับจ้าง และค้าขาย เกษตรกรส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการปลูกกาแฟอะราบิกาประมาณ 5-10 ปี ทั้งหมดเป็นเจ้าของที่ดินของตนเองและใช้น้ำฝน ทั้งนี้เกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีการปลูกพืชบำรุงดิน พืชคลุมดิน พืชแนวระดับ หรือพืชหญ้าระบบรากลึก เช่น หญ้าแฝก สามารถอธิบายผลเป็น 3 ลักษณะ สรุปดังนี้

ผลการวิเคราะห์ GHG รายกิจกรรมการผลิต

(1) การใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์

“พื้นที่ปลูก” มีค่าตั้งแต่ 0.33-40.00 ไร่ ค่าเฉลี่ย 10.73 ไร่ (SD = 9.25) “จำนวนรอบการปลูกต่อปี” มีค่าต่ำสุด 1 รอบ และสูงสุด 3 รอบ ค่าเฉลี่ย 1.7 รอบต่อปี (SD = 0.6) โดยแปลงที่มีการปลูกมากกว่า 1 รอบ

อยู่ในพื้นที่ที่มีน้ำเพียงพอและมีการจัดการที่เข้มข้นกว่า “ปริมาณเมล็ดพันธุ์” มีค่าต่ำสุด 10 กิโลกรัม และสูงสุด 60 กิโลกรัม/รอบ ค่าเฉลี่ย 32.4 กิโลกรัม (SD = 14.2) แสดงถึงความแปรผันตามขนาดพื้นที่และชนิดพืชที่ปลูก “ปุ๋ยคอกจากสัตว์ปีก” มีค่าตั้งแต่ 0-1,250 กิโลกรัม/รอบ ค่าเฉลี่ย 512 กิโลกรัม (SD = 390) เมื่อคำนวณเป็น “ไนโตรเจนจากปุ๋ยคอกสัตว์ปีก” พบว่ามีค่าเฉลี่ย 8.7 กิโลกรัม/รอบ (SD = 6.1) โดยมีการปล่อย GHG ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์สมมูล ตั้งแต่ 0-540 kgCO₂eq ค่าเฉลี่ย 176 kgCO₂eq (SD = 130) ถือเป็นแหล่งปล่อยสำคัญ “ปุ๋ยคอกจากมูลวัว” มีค่าตั้งแต่ 0-2,100 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 770 กิโลกรัม (SD = 620) โดยให้ไนโตรเจนเฉลี่ย 10.5 กิโลกรัม/รอบ (SD = 8.1) และการปล่อย CO₂eq จากกระบวนการผลิต เฉลี่ย 95 kgCO₂eq (SD = 76) ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มปุ๋ยคอกจากสัตว์ปีก ทั้งนี้ “ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0” มีค่าการใช้เฉลี่ย 36.2 กิโลกรัม/รอบ (SD = 18.9) และมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดอื่นปริมาณเฉลี่ย 20.5 กิโลกรัม/รอบ (SD = 14.3) มีค่าการปล่อย N₂O จากปุ๋ยทั้งหมดเฉลี่ย 0.44 กิโลกรัม/รอบ (SD = 0.26) และเมื่อนำมาแปลงเป็นคาร์บอนไดออกไซด์สมมูล พบว่ามีค่าเฉลี่ย 131.7 kgCO₂eq (SD = 77.5)

ข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะการกระจายแบบ ทางขวา (Right-skewed distribution) โดยเฉพาะตัวแปรที่เป็นปริมาณ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยเคมี และค่าการปล่อย GHG เนื่องจากมีบางแปลงที่ใช้ปุ๋ยในปริมาณมากกว่าค่าเฉลี่ยหลายเท่า ทำให้ค่ากลางสูงกว่าค่ามัธยฐานอย่างมีนัยยะ ขณะที่ตัวแปรเชิงสัดส่วน เช่น “เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในปุ๋ยชนิดอื่น” มีการกระจายแคบและค่าคงที่มากกว่า แสดงถึงรูปแบบการจัดการปุ๋ยที่ใกล้เคียงกัน แต่ละพื้นที่ ส่วนการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (r) พบว่า “ปุ๋ยคอกจากสัตว์ปีก” มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับ “ไนโตรเจนจากปุ๋ยคอกสัตว์ปีก” (r = 0.96) และ “การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สมมูลจากปุ๋ยคอกสัตว์ปีก” (r = 0.91) แสดงว่าปริมาณการใช้ปุ๋ยคอกมีผลโดยตรงต่อทั้งปริมาณไนโตรเจนและการปล่อย GHG เช่นเดียวกับ “ปุ๋ยคอกจากมูลวัว” ที่มีความสัมพันธ์สูงกับ “ไนโตรเจนจากปุ๋ยมูลวัว” (r = 0.89) และ “การปล่อย CO₂eq จากปุ๋ยมูลวัว” (r = 0.83) ส่วน “ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0” มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับ “การปล่อย N₂O” (r = 0.68) และสูงกับ “N₂O ในรูป CO₂eq” (r = 0.87) แสดงถึงอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อการปล่อย GHG โดยตรง ทั้งนี้ “ปุ๋ยไนโตรเจนชนิดอื่น” มีความสัมพันธ์ระดับปานกลางกับ “N₂O ในรูป CO₂eq” (r = 0.55) สรุปได้ว่าชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยเป็นปัจจัยกำหนดระดับการปล่อย GHG รวมของระบบการผลิตกาแฟอาราบิก้า

การใช้พลังงานและเชื้อเพลิงระหว่างการขนส่ง

“การขนส่ง” เป็นกิจกรรมหลักภายในระบบการผลิตพืช โดยเกี่ยวข้องกับการขนส่งปัจจัยการผลิต การเดินทางไปดูแลสวน และการขนส่งผลผลิตจากแปลงสู่ตลาด ข้อมูลพบว่า “ระยะทางขนส่งปัจจัยการผลิต” มีค่าต่ำสุด 10 กิโลเมตร และสูงสุด 80 กิโลเมตร/รอบ ค่าเฉลี่ย 31.99 กิโลเมตร (SD = 23.08) ซึ่งสัมพันธ์กับระดับการปล่อย GHG เฉลี่ย 5,183.50 kgCO₂eq (SD = 5,014.30) แสดงให้เห็นว่าแปลงที่อยู่ห่างจากแหล่งปัจจัยการผลิตมีแนวโน้มใช้พลังงานและเชื้อเพลิงมากกว่าแปลงที่อยู่ใกล้ “ระยะทางไปดูแลสวนด้วยรถจักรยานยนต์” อยู่ในช่วง 0-6.00 กิโลเมตร/รอบ ค่าเฉลี่ย 1.46 กิโลเมตร (SD = 1.65) ซึ่งมีการปล่อย GHG ค่อนข้างต่ำโดยเฉลี่ย 720.40 kgCO₂eq (SD = 562.70) เนื่องจากเป็นกิจกรรมระยะใกล้และใช้เชื้อเพลิงปริมาณน้อย “การตัดหญ้าใช้เครื่องจักร” เป็นกิจกรรมที่มีค่าต่ำสุด 0 ชั่วโมง และสูงสุด 125.40 ชั่วโมงต่อรอบ

ค่าเฉลี่ย 29.39 ชั่วโมง (SD = 32.37) มีค่าการปล่อย GHG ที่สัมพันธ์กันเฉลี่ย 4,312.90 kgCO₂eq (ค่าต่ำสุด = 990.99 ค่าสูงสุด = 16,170.00 SD = 3,810.60) โดยแปลงที่มีการใช้เครื่องจักรกลมากหรือมีขนาดพื้นที่กว้างจะมีค่าการปล่อยสูงกว่าอย่างมีนัยยะ ภาพรวม พบว่าค่าการปล่อย GHG จากทุกกิจกรรมของระบบการขนส่งมีค่าตั้งแต่ 231.00-18,480.00 kgCO₂eq/รอบ ซึ่งถือว่าอยู่ระดับปานกลางถึงสูงเมื่อเทียบกับกิจกรรมการผลิตอื่นของระบบ

ข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะการกระจายแบบ หางขวา (Right-skewed distribution) โดยตัวแปรเชิงปริมาณ เช่น พื้นที่ปลูก ระยะทางขนส่ง และชั่วโมงการใช้เครื่องจักร มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามัธยฐาน เนื่องจากมีบางแปลงที่มีขนาดใหญ่และใช้พลังงานมากกว่าค่าเฉลี่ยหลายเท่า ส่งผลให้ค่าการปล่อย GHG กระจุกตัวระดับต่ำถึงปานกลาง แต่มีค่าปลายสูงเด่นชัดบางกรณี ข้อมูลสื่อถึงความไม่สม่ำเสมอของการใช้พลังงานระหว่างเกษตรกรรายย่อยและรายใหญ่ รวมถึงความแตกต่างของระยะทางการขนส่งและโครงสร้างพื้นฐานของพื้นที่ ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสหสัมพันธ์ (r) พบว่า “พื้นที่ปลูก” มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับ “ค่าการปล่อย GHG” (r = 0.47) และกับ “ระยะทางขนส่งปัจจัยการผลิต” (r = 0.43) แสดงให้เห็นว่าแปลงที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้พลังงานขนส่งและเครื่องจักรมากกว่า ส่วน “ระยะทางขนส่งปัจจัยการผลิต” มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงกับ “ค่าการปล่อย GHG” (r = 0.68) ข้อมูลชี้ว่าระยะทางเป็นตัวแปรกำหนดระดับการปล่อย GHG ขณะที่ “ชั่วโมงการใช้เครื่องจักร” มีความสัมพันธ์เชิงบวกปานกลางกับ “ค่าการปล่อย GHG” (r = 0.51) ที่แสดงถึงความเชื่อมโยงระหว่างการใช้พลังงานกับการปล่อย GHG โดยตรง ส่วน “ปริมาณผลผลิต” มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ “ค่าการปล่อย GHG” (r = -0.26) สื่อบางแปลงมีประสิทธิภาพการผลิตสูง ใช้พลังงานน้อยต่อหน่วยผลผลิต

การแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยว

“การเกิดน้ำทิ้ง” ของระบบการผลิตและแปรรูปกาแฟอาราบิก้าเป็นผลจากการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การล้างผลผลิต การสีเมล็ด และการทำความสะอาดเครื่องจักร ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิด CH₄ จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ภายใต้เงื่อนไขแบบไม่ใช้ออกซิเจน ค่าการปล่อยจากน้ำทิ้งมีค่าต่ำสุด 0.00 และสูงสุด 47,652.00 kgCO₂eq ค่าเฉลี่ย 6,631.01 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) 9,472.79 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV) 142.86 % แสดงถึงข้อมูลกระจายกว้างและมีความแปรปรวนสูง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปริมาณผลผลิตกาแฟ มีค่าต่ำสุด 68.00 และสูงสุด 25,080.00 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ย 4,913.62 (SD = 5,780.94) แสดงถึงความแตกต่างระหว่างแปลงขนาดเล็กกับแปลงขนาดใหญ่ที่มีระดับการผลิตและการใช้น้ำต่างกันอย่างชัดเจน พื้นที่ปลูก มีค่าต่ำสุด 0.33 และสูงสุด 40.00 ไร่ ค่าเฉลี่ย 10.22 (SD = 8.38) ส่วนการใช้ไฟฟ้าของกระบวนการสีเมล็ด มีค่าต่ำสุด 49.5 และสูงสุด 12,540.0 kWh ค่าเฉลี่ย 2,560.49 (SD = 3,030.17) แสดงถึงความแตกต่างด้านการผลิตและขนาดของโรงแปรรูป

ข้อมูลทั้งหมดมีลักษณะการกระจายแบบเบ้ขวา (right-skewed distribution) ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าน้ำทิ้งอยู่ระดับต่ำถึงปานกลาง แต่มีบางแปลงที่มีค่าการปล่อยสูงกว่าค่าเฉลี่ยหลายเท่า เป็นผลจากการใช้พลังงานและทรัพยากรน้ำปริมาณมาก ส่วนผลวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (r) พบว่าปริมาณผลผลิต มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงมากกับการเกิดน้ำทิ้ง (r = 0.999) แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของผลผลิตสัมพันธ์กับการใช้น้ำและการปล่อย CH₄ ที่

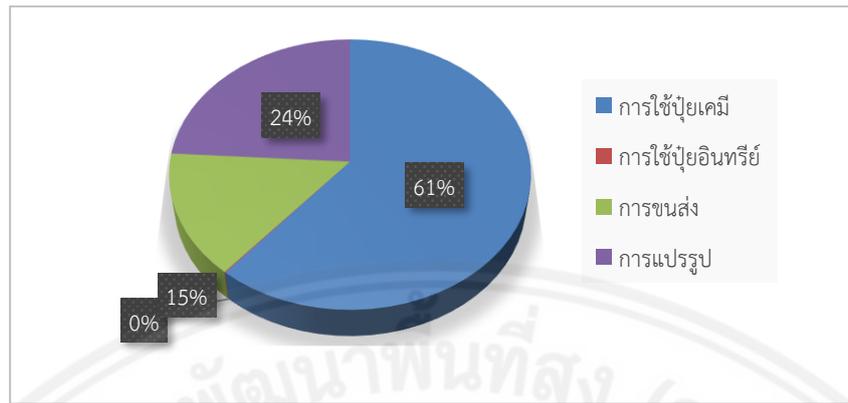
เพิ่มขึ้น การใช้ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกปานกลางถึงสูง ($r = 0.667$) ซึ่งว่าการใช้พลังงานของเครื่องจักร เช่น การสูบน้ำ และการสีเมล็ด มีผลโดยตรงต่อการเกิดน้ำทิ้ง ส่วนพื้นที่ปลูก มีความสัมพันธ์เชิงบวกปานกลาง ($r = 0.426$) เนื่องจากแปลงที่มีพื้นที่มากมักมีผลผลิตและการใช้น้ำสูงกว่า ในขณะที่ระยะทางขนส่ง มีความสัมพันธ์เชิงลบ ($r = -0.226$) ซึ่งบ่งชี้ว่าปัจจัยด้านโลจิสติกส์ไม่ส่งผลโดยตรงต่อการเกิดน้ำทิ้ง

โครงสร้างและปัจจัยกำหนดการปล่อย GHG ตลอดวัฏจักรการผลิต

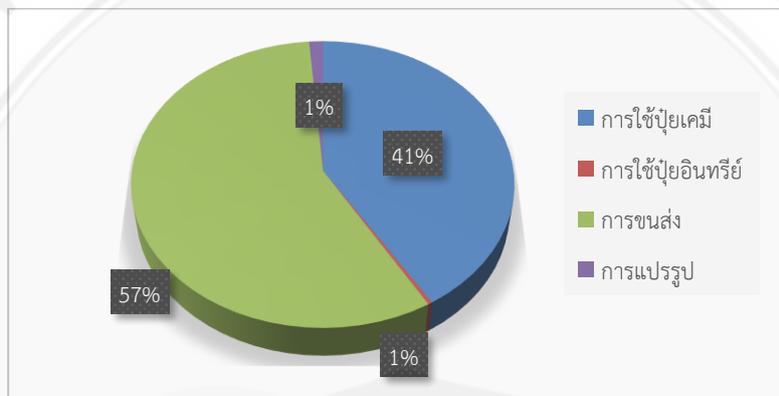
เกษตรกรส่วนใหญ่ร้อยละ 94 มีรูปแบบการปฏิบัติที่คล้ายกัน โดยเริ่มจากการเลือกพื้นที่ปลูกที่มีแสงแดดรำไร มีร่มเงาจากไม้ยืนต้น และมีดินร่วนซุยที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก นิยมปลูกกาแฟช่วงฤดูฝนโดยใช้ต้นกล้าอายุประมาณ 6-8 เดือน ความสูงประมาณ 25-30 เซนติเมตร ขุดหลุมปลูกขนาดมาตรฐาน $50 \times 50 \times 50$ เซนติเมตร และนิยมผสมดินกับปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณเฉลี่ย 50 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนเกษตรกรอีกร้อยละ 6 เลือกใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยยูเรีย อัตราส่วน 2:1 โดยใช้ยูเรียเฉลี่ย 50 กิโลกรัมต่อไร่ หลังการปลูก เกษตรกรมีการจัดการแปลงโดยการตัดแต่งกิ่งแห้ง กิ่งเป็นโรคและกิ่งที่หนาแน่นเพื่อควบคุมความสูงของต้นให้ไม่เกินระดับ 2 เมตร และเพื่อความสะดวกระหว่างการเก็บเกี่ยว พร้อมทั้งตัดหญ้าเฉลี่ยปีละ 1-2 ครั้ง ซึ่งใช้เชื้อเพลิงพลังงานเฉลี่ย 2-4 ลิตรต่อไร่ต่อครั้ง สำหรับเศษกิ่งจากการตัดแต่ง ร้อยละ 95 นิยมกองทิ้งไว้ และอีกร้อยละ 5 นำไปทำปุ๋ยหมัก ส่วนขั้นตอนการเก็บเกี่ยวผลผลิต เกษตรกรจะเลือกเก็บเฉพาะผลเมล็ดกาแฟที่สุกเต็มที่ที่มีสีแดงเข้ม โดยร้อยละ 47 ใช้เครื่องสีขนาดเล็กสำหรับการลอกเปลือกและกะลา ใช้เวลาประมาณ 10 นาทีต่อกิโลกรัม ส่วนอีกร้อยละ 53 จำหน่ายผลผลิตในรูปแบบเชอร์รี่สดโดยตรง การประเมินการปล่อย GHG พบว่า การปลูกกาแฟอะราบิกามีการปล่อยเฉลี่ย $457-800 \text{ kgCO}_2\text{eq} / \text{ไร่} / \text{ปี}$ โดยมีแหล่งกำเนิดหลักจากการใช้เชื้อเพลิงพลังงานร้อยละ 31 และจากการปล่อย N_2O จากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร้อยละ 69 กิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดการปล่อย GHG แบ่งเป็น 4 กิจกรรม (ภาพที่ 4.7-4.10) ได้แก่

- (1) การใช้ปุ๋ยเคมีเป็นกิจกรรมที่ปล่อยสูงที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 40.5 ของการปล่อยทั้งหมด เนื่องจากมีการปล่อย N_2O จากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน
- (2) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.75 ของการปล่อยทั้งหมด
- (3) การใช้พลังงานและเชื้อเพลิงระหว่างการขนส่งภายในไร่ คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 49 ของการปล่อยทั้งหมด
- (4) การแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การหมัก ล้าง และสี คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 9.75 ของการปล่อยทั้งหมด

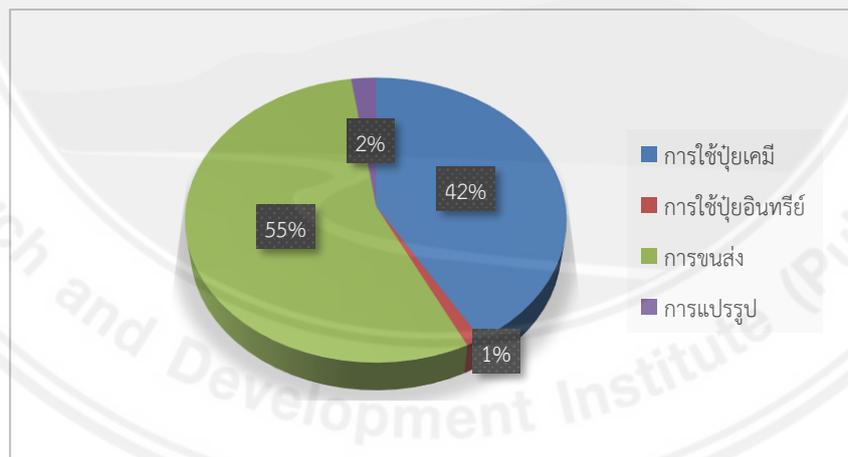
การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบที่กำหนดหน่วยหน้าที่เป็น 1 กิโลกรัมของผลผลิตกาแฟอะราบิกา ผู้รับซื้อรายแรก โดยอ้างอิงข้อมูลการปล่อย GHG ต่อหน่วยพื้นที่ และผลผลิตเฉลี่ยของแปลงเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา ได้ค่าการปล่อยรวมเฉลี่ย $5.44 \text{ tCO}_2\text{eq} / \text{ไร่} / \text{ปี}$ ภายใต้ขอบเขต “cradle-to-first buyer” เมื่อเทียบกับผลผลิตเฉลี่ย/หน่วยพื้นที่ พบว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของผลผลิตกาแฟอะราบิกาอยู่ที่ประมาณ $6.9 \text{ kgCO}_2\text{eq} / \text{กิโลกรัมผลผลิต}$



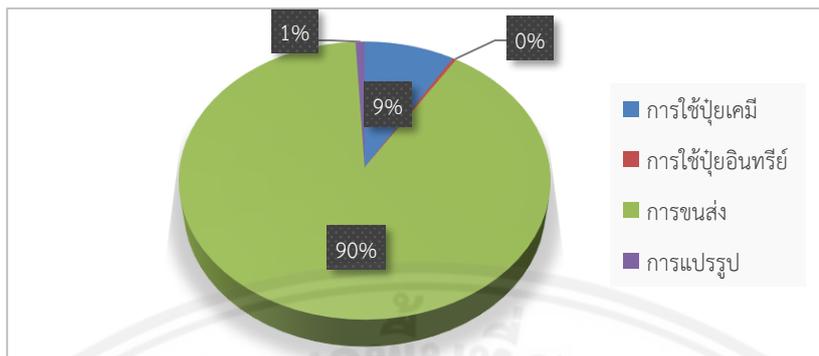
ภาพที่ 4.7 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงกาแฟอาราบิก้า บ้านปิตุคี โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่แฮหลวง



ภาพที่ 4.8 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงกาแฟอาราบิก้า บ้านแม่จันทหลวง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง



ภาพที่ 4.9 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงกาแฟอาราบิก้า บ้านแม่แฮใต้ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินฝน



ภาพที่ 4.10 ร้อยละการปล่อย GHG จากกระบวนการปลูกและการจัดการแปลงกาแพะราบิกากาบ้านขุนห้วยพระเจ้า (ห้วยอ้อมบ้านบวก) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋

ผลการประเมินการปล่อย GHG จำแนกตามขอบเขต (Scope 1-3)

ข้อมูลการคำนวณครอบคลุมกิจกรรมหลักตั้งแต่การเพาะปลูก การใช้ปุ๋ยและปัจจัยการผลิต การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ไปจนถึงกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การล้าง การอบ การสีเมล็ด และการหมักกากกาแพ โดยอ้างอิงกรอบการรายงานของ GHG Protocol (2023) และแนวทางการคำนวณของ IPCC (2006) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ระดับ Tier 1 ของการประเมินการปล่อย GHG

สำหรับ Scope 1 ซึ่งเป็นการปล่อยโดยตรงภายในฟาร์ม พบว่ามีแหล่งกำเนิดหลักจากการใช้ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยอินทรีย์ในดิน โดยปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยรวม 0.0-11,000.14 กิโลกรัม/ไร่ มีค่าเฉลี่ย 4,108.94 กิโลกรัม/ไร่ การคำนวณใช้ค่าปัจจัยการปล่อย $EF_1 = 0.01 \text{ N}_2\text{O-N/kg N}$ ตามแนวทางของ IPCC (2006), Volume 4, Chapter 11 ซึ่งให้ค่าการปล่อย 0-11,000.14 $\text{kgCO}_2\text{eq/ไร่/ปี}$ หรือเฉลี่ย 4,108.94 $\text{kgCO}_2\text{eq/ไร่/ปี}$ คิดเป็นประมาณร้อยละ 78-80 ของการปล่อยรวมทั้งหมด จัดเป็นแหล่งปล่อยหลักของระบบการผลิตกาแพะราบิกากา นอกจากนี้การใช้มูลสัตว์ภายในแปลง ยังเป็นอีกแหล่งหนึ่งของไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากกระบวนการย่อยสลายในดิน มีปริมาณมูลสัตว์เฉลี่ย 34.92 กิโลกรัม/ไร่ โดยใช้ค่าปัจจัยการปล่อย $EF_3 = 0.02 \text{ N}_2\text{O-N/kg N}$ (IPCC, 2006, Vol.4, Ch.11) ให้ค่าการปล่อยเฉลี่ย 34.92 $\text{kgCO}_2\text{eq/ไร่/ปี}$

เมื่อรวม Scope 1 ทั้งหมด ระบบการผลิตกาแพะราบิกากามีการปล่อยโดยตรงเฉลี่ย 4.15 $\text{tCO}_2\text{eq/ไร่/ปี}$ ซึ่งเป็นสัดส่วนสูงสุดของระบบการผลิต

สำหรับ Scope 2 ซึ่งเป็นการปล่อยทางอ้อมจากการใช้ไฟฟ้า พบว่ากิจกรรมหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การล้าง อบ และสีเมล็ด มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 279.65 kWh/ไร่/ปี โดยมีช่วงค่าการใช้ไฟฟ้าระหว่าง 4.46-730.91 kWh/ไร่/ปี การคำนวณใช้ค่าปัจจัยการปล่อยของประเทศไทย 0.442 kgCO_2/kWh (กฟผ., 2023) ส่งผลให้มีการปล่อย 4.46-730.91 $\text{kgCO}_2\text{eq/ไร่/ปี}$ หรือเฉลี่ย 279.65 $\text{kgCO}_2\text{eq/ไร่/ปี}$ คิดเป็นประมาณร้อยละ 4-6 ของการปล่อยรวมทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าการใช้ไฟฟ้าภายในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวมีส่วนต่อการปล่อย GHG ระดับปานกลาง

ส่วนของ Scope 3 ซึ่งเป็นการปล่อยทางอ้อมอื่นๆ ทั้งจากกิจกรรมภายในและภายนอกฟาร์ม (upstream และ downstream) พบว่ามีแหล่งปล่อยสำคัญ 2 กิจกรรม ได้แก่ การจัดการน้ำทิ้งจากกระบวนการแปรรูปเปียก (wet process) และการหมักกากกาแฟ

การจัดการน้ำทิ้งจากกระบวนการแปรรูปแบบเปียกเป็นแหล่งปล่อยก๊าซ CH_4 และ N_2O จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยพารามิเตอร์หลักคือค่าความต้องการออกซิเจนเคมี (COD) และชีวภาพ (BOD) ร่วมกับปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 754.62 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ใช้ค่าปัจจัยการปล่อย $\text{EF}(\text{CH}_4) = 0.25 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD removed}$ จาก IPCC (2006), Vol.5, Ch.6 ให้ค่าการปล่อยช่วง 0-2,777.45 $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$ หรือเฉลี่ย 754.62 $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$

ส่วนการหมักกากกาแฟ (coffee pulp fermentation) ซึ่งเกิดจากการหมักแบบกอง (heap composting) มีปริมาณกากกาแฟเฉลี่ย 650 กิโลกรัมของวัตถุแห้งต่อไร่ (ช่วงประมาณ 300-1,000 $\text{kg DM}/\text{ไร่}$) โดยใช้ค่าปัจจัยการปล่อย $\text{EF}(\text{CH}_4) = 1.0 \text{ kg CH}_4/\text{ตัน DM}$ และ $\text{EF}(\text{N}_2\text{O}) = 0.3 \text{ kg N}_2\text{O}/\text{ตัน DM}$ จาก IPCC (2006), Vol.5, Ch.5: Composting ให้ค่าการปล่อยช่วง 100-420 $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$ หรือเฉลี่ย 260 $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$

เมื่อรวม Scope 3 ทั้งหมด การปล่อยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1.02 $\text{tCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$ หรือคิดเป็นร้อยละ 19-20 ของการปล่อยรวมทั้งหมด

โดยสรุป ระบบการผลิตกาแฟอาราบิก้าในพื้นที่ศึกษามีค่าการปล่อย GHG รวมเฉลี่ย 5.44 $\text{tCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$ โดยมีช่วงค่าการปล่อย 0.011-14.42 $\text{tCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$ แบ่งเป็น Scope 1 ร้อยละ 76 Scope 2 ร้อยละ 5 และ Scope 3 ร้อยละ 19 ซึ่งสื่อให้เห็นว่าการปล่อยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและกระบวนการจัดการอินทรีย์หลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้น การลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ของระบบการผลิตกาแฟสามารถทำได้โดยใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยระบบใส่ปุ๋ยแบบแม่นยำ และจัดการของเสียทางการเกษตรอย่างเหมาะสม เช่น การทำปุ๋ยหมักแทนการทิ้งหรือเผา การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสีย การดักจับก๊าซมีเทนจากน้ำเสีย และการใช้พลังงานหมุนเวียนในขั้นตอนอบแห้งและแปรรูป ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานจากแหล่งภายนอกและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน Scope 2 ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.5 สรุปการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามขอบเขต (Scope 1-3) ของระบบการผลิตกาแฟรายภาคบนพื้นที่สูง

กิจกรรม	Scope	พารามิเตอร์หลัก ที่ใช้คำนวณ	ช่วง ค่าพารามิเตอร์ (ต่ำสุด-สูงสุด)	ค่าเฉลี่ย พารามิเตอร์	EF ที่ใช้ (หน่วย)	แหล่ง EF	ช่วงค่าการปล่อย (kgCO ₂ eq/ไร่/ปี)	ค่าเฉลี่ย (kgCO ₂ eq/ไร่/ปี)	ค่าเฉลี่ย (tCO ₂ eq/ha/ปี)
การใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์	1	ปริมาณปุ๋ย N (kg N/ไร่), อัตราการใช้ปุ๋ยรวม	0.0 - 11,000.14	4,108.94	EF ₁ = 0.01 N ₂ O-N/kg N	IPCC (2006) Vol.4 Ch.11	0.00-11,000.14	4,108.94	25.68
การใช้มูลสัตว์ในแปลง	1	ปริมาณมูลสัตว์ (kg/ไร่)	0.0 - 58.21	34.92	EF ₃ = 0.02 N ₂ O-N/kg N	IPCC (2006) Vol.4 Ch.11	0.00-58.21	34.92	0.22
การใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยว	2	ปริมาณไฟฟ้าใช้ (kWh/ไร่)	4.46 - 730.91	279.65	0.442 kgCO ₂ /kWh	กพพ. (2023)	4.46-730.91	279.65	1.75
การจัดการน้ำทิ้ง (Wet process wastewater)	3	COD, BOD (mg/L), ปริมาณน้ำเสีย (m ³ /ไร่)	0.00 - 2,777.45	754.62	EF(CH ₄) = 0.25 kg CH ₄ /kg BOD removed	IPCC (2006) Vol.5 Ch.6	0.00-2,777.45	754.62	4.72
การหมักกากกาแฟ (Coffee pulp fermentation)	3	ปริมาณกากกาแฟ (kg DM/ไร่), ระยะเวลาหมัก (วัน), ประเภทการหมัก (aerobic/anaerobic)	ประมาณ 300-1,000 kg DM/ไร่	650	EF(CH ₄) = 1.0 kg CH ₄ /ตัน DM, EF(N ₂ O) = 0.3 kg N ₂ O/ตัน DM	IPCC (2006) Vol.5 Ch.5: Composting	100-420	260.0	1.63
รวมทั้งระบบการผลิต (Scope 1-3)									

Scope	กิจกรรมหลัก ที่ก่อให้เกิดการปล่อย	ประเภท ก๊าซหลัก	ค่าการปล่อยเฉลี่ย (kgCO ₂ eq/ไร่)	สัดส่วนต่อรวม (ร้อยละ)	ข้อมูลที่ยังขาด/ ต้องเพิ่มเติม	แหล่งอ้างอิงสูตรคำนวณ (IPCC 2006 / GHG Protocol)
Scope 1	การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ การใช้เครื่องจักรกล และเชื้อเพลิง การเผาเศษวัสดุพืช	CO ₂ N ₂ O	3,150	17.1	ปริมาณเชื้อเพลิงแยกราย กิจกรรม การปล่อย CH ₄ จากการเผา	IPCC (2006) Vol.4 Ch.11, Ch.5
Scope 2	การใช้ไฟฟ้าในชั้นตอนสี อบ และล้างเมล็ด	CO ₂	1,133	6.1	อัตราการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วย ผลผลิตในโรงแปรรูปขนาด ต่างๆ	GHG Protocol (2023); IPCC (2006) Vol.2 Ch.3
Scope 3	การผลิตและขนส่งปัจจัยการผลิต การขนส่ง ผลผลิต การจัดการน้ำทิ้ง	CO ₂ CH ₄	14,100	76.8	การปล่อยจากกระบวนการ ผลิตปุ๋ยและการขนส่งนอก พื้นที่	IPCC (2006) Vol.4 Ch.10; Vol.5 Ch.6

4) เก็บข้อมูลภาคสนามบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพอะราบิกา

สุ่มแปลงอย่างน้อยร้อยละ 10 ของเกษตรกรที่ให้สัมภาษณ์ทั้งหมดโดยจับฉลาก เปรียบเทียบ 3 วิธีเตรียมพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร 3 ลักษณะ และ 4 รูปแบบการปลูกกาแพอะราบิกา บันทึกพิกัดด้วย GPS เก็บดินลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร ทั้งแบบรบกวนและไม่รบกวนโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์เนื้อดิน ค่าพีเอช อินทรีย์วัตถุ คาร์บอนอินทรีย์ ความหนาแน่นรวม และความชื้น แล้วคำนวณคาร์บอนอินทรีย์ในดินตามสมการ

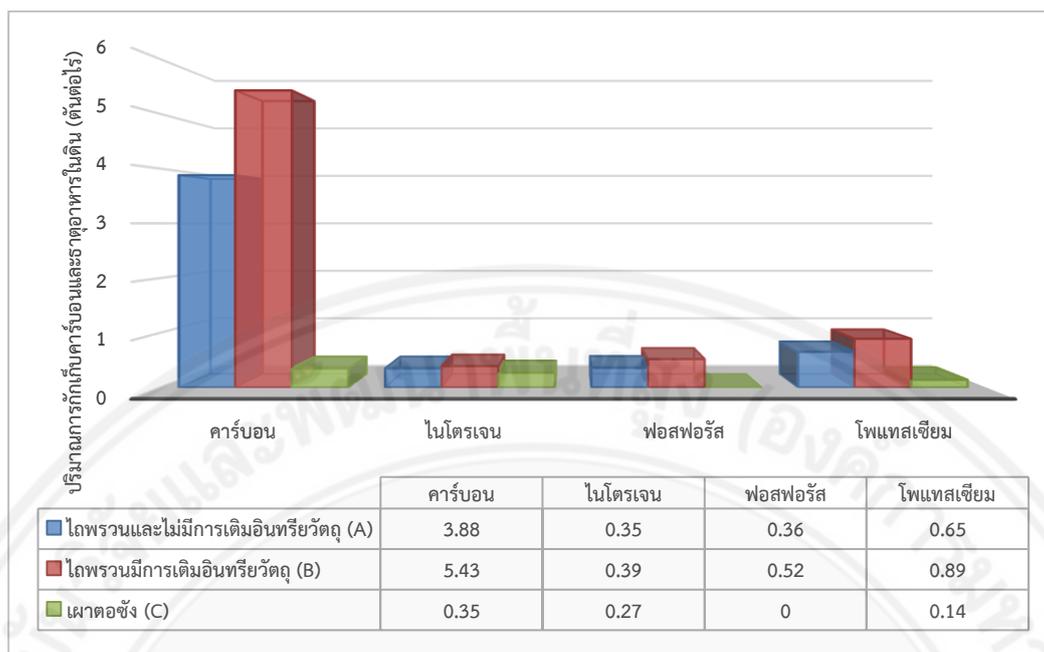
บริบทพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ผลวิเคราะห์ “ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินและธาตุอาหาร” ภายใต้วิธีเตรียมพื้นที่ปลูก 3 ลักษณะ ได้แก่ (A) ไถพรวนไม่มีการเติมอินทรีย์วัตถุ (B) ไถพรวนและเติมอินทรีย์วัตถุ และ (C) เผาต่อซังข้าวโพดในพื้นที่ตัวแทน 3 แห่ง ได้แก่ บ้านแม่วาก โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่ละออ บ้านดอนใหม่ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงโป่งคำ และบ้านตองเจริญราษฎร์ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่จirim ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนภูมิประเทศภูเขา มีความลาดชันและระดับความสูงแตกต่างกัน รวมทั้งมีระบบการจัดการแปลงหลากหลายรูปแบบตามตัวแปรหลัก โดยวิเคราะห์แยกชั้นดิน 2 ระดับ คือ 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร

ข้อมูลจากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้าง แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดการดินและความลึกของดินมีอิทธิพลต่อสมบัติทางเคมีของดินอย่างชัดเจน โดยดินบริเวณพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อเหนียว (clay) ผลวิเคราะห์จำแนกตามวิธีเตรียมพื้นที่และชั้นดิน (0-15 และ 15-30 เซนติเมตร) พบว่า ค่าเฉลี่ย pH อยู่ช่วงค่อนข้างเป็นกรดอ่อนถึงเป็นกรด (5.22-5.90) โดยกลุ่ม A มีค่า pH สูงกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่ม C ทั้ง 2 ชั้นดิน เช่น ชั้น 0-15 เซนติเมตร $A = 5.84 \pm 0.26$, $C = 5.37 \pm 0.46$ ชั้น 15-30 เซนติเมตร $A = 5.90 \pm 0.36$, $C = 5.22 \pm 0.24$ แสดงความแตกต่างของสภาพความเป็นกรด-ด่างตามวิธีการจัดการดินในพื้นที่เดียวกัน

เมื่อพิจารณาสารอินทรีย์และคาร์บอนอินทรีย์ พบว่า B (ไถพรวนเติมอินทรีย์วัตถุ) มีค่า OM และ OC ในชั้นดินบนสูงกว่าอีก 2 ระบบ (0-15 เซนติเมตร $OM = 2.97 \pm 0.54\%$, $OC = 1.73 \pm 0.31\%$) ขณะที่ A และ C มีค่า OC ใกล้เคียงกันชั้นดินบน ($A = 1.28 \pm 0.25\%$, $C = 1.26 \pm 0.29\%$) และโดยทั่วไปค่าจะลดลงในชั้น 15-30 เซนติเมตร แนวโน้มที่พบสอดคล้องกับหลักการว่าการเติมอินทรีย์วัตถุมีส่วนช่วยเพิ่มการสะสมคาร์บอนและปรับปรุงคุณสมบัติดินด้านความอุดมสมบูรณ์ของชั้นดินบนได้ (Hu et al., 2024) ด้านธาตุอาหาร P พบความแตกต่างชัดเจน โดยกลุ่ม B มีค่า P สูงมากในชั้น 0-15 เซนติเมตร (14.28 ± 9.17 mg/kg) สูงกว่า A (3.02 ± 5.21 mg/kg) และ C (0.00 ± 0.00 mg/kg) ขณะที่ชั้น 15-30 เซนติเมตร ค่า P ลดลงทุกกลุ่ม (เช่น B = 3.32 ± 2.17 mg/kg) ส่วนธาตุ K, Ca, Mg แสดงความแปรปรวนค่อนข้างสูง (SD สูงเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในหลายกลุ่ม) ข้อมูลแสดงความแตกต่างเชิงพื้นที่/จุดเก็บตัวอย่างภายในกลุ่ม อย่างไรก็ตามควรพิจารณาควบคู่กับจำนวนตัวอย่าง ($n = 5$ ต่อกลุ่ม-ชั้นดิน) เมื่ออธิบายความเชิงเปรียบเทียบ

ผลการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารระดับแปลง พบว่าแปลง A มีคาร์บอนเฉลี่ย 3.88 ตัน/ไร่ ไนโตรเจน 0.35 ฟอสฟอรัส 0.36 และโพแทสเซียม 0.65 ตัน/ไร่ อยู่ระดับปานกลาง ขณะที่แปลง B ให้ค่าคาร์บอนสูงสุดถึง 5.43 ตัน/ไร่ พร้อมการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน 0.39 ฟอสฟอรัส 0.52 และโพแทสเซียม 0.89 ตัน/ไร่ แสดงถึงประสิทธิภาพของการเติมอินทรีย์วัตถุในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน ในทางตรงกันข้าม แปลง C มีค่าต่ำสุดทุกตัวแปร โดยมีคาร์บอน 0.35 ตัน/ไร่ ไนโตรเจน 0.27 ฟอสฟอรัสไม่ตรวจพบ และโพแทสเซียม 0.14 ตัน/ไร่ ซึ่งให้เห็นการสูญเสียอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารจากการเผาอย่างรุนแรง (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.11 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินและธาตุอาหารแต่ละวิธีเตรียมพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 3 ลักษณะ

ข้อมูลจากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง ผลคุณสมบัติทางกายภาพของดิน (0-15 และ 15-30 เซนติเมตร $n=15$ ต่อกลุ่ม-ชั้นดิน) พบว่า A มีค่า BD สูงที่สุด (0-15 เซนติเมตร 1.68 ± 0.14 ตัน/ลูกบาศก์เมตร ชั้น 15-30 เซนติเมตร 1.67 ± 0.08 ตัน/ลูกบาศก์เมตร) เมื่อเทียบกับ B และ C (เช่น 0-15 เซนติเมตร B = 1.42 ± 0.20 , C = 1.42 ± 0.11 ตัน/ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งเชิงกายภาพแสดงถึงการอัดแน่นของดินมากกว่าระบบ A เมื่อเทียบกับระบบที่มีการจัดการอินทรีย์วัตถุ ทั้งนี้การที่ระบบเติมอินทรีย์วัตถุมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างดินที่ขึ้นและความหนาแน่นรวมลดลง (Hu et al., 2024) สำหรับความชื้น (%) พบความแตกต่างชัดเจนระหว่าง A กับ B/C โดย A มีค่าเฉลี่ยต่ำมาก (0-15 เซนติเมตร $0.55 \pm 0.65\%$; 15-30 เซนติเมตร $0.90 \pm 0.83\%$) ในขณะที่ B และ C ช่วง 14-15% ของทั้ง 2 ชั้นดิน (เช่น 0-15 เซนติเมตร B = $14.03 \pm 3.36\%$, C = $15.43 \pm 3.54\%$) รูปแบบที่พบแสดงถึงสภาพดินที่แห้งกว่า/เงื่อนไชพื้นที่ต่างกันตามระบบจัดการ ด้านการกักเก็บคาร์บอนในดิน (SCS, ตัน/ไร่) รายชั้นและรวม 0-30 เซนติเมตร พบว่า B มีค่าเฉลี่ย SCS รวม 0-30 เซนติเมตร สูงสุด (9.32 ± 1.31 ตัน/ไร่) รองลงมาคือ A (9.12 ± 1.62 ตัน/ไร่) และ C ต่ำสุด (7.94 ± 1.63 ตัน/ไร่) โดยทุกระบบ SCS ชั้น 0-15 เซนติเมตร สูงกว่าชั้น 15-30 เซนติเมตร เช่น A มีค่า 5.13 ± 0.86 และ 3.99 ± 0.84 ตัน/ไร่ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทั่วไปที่คาร์บอนสะสมมากกว่าในชั้นดินบนจากการรับอินทรีย์วัตถุและเศษพืช ทั้งนี้การที่ระบบ C (เผาตอซัง) มี SCS ต่ำกว่าอีก 2 ระบบ มีความสอดคล้องกับรายงานที่ว่า การเผาเศษพืช/การจัดการเศษซากแบบเผาอาจสัมพันธ์กับการสูญเสียคาร์บอนและความชื้นดินในหลายบริบท (Roper et al., 2021)

บริบทเชิงพื้นที่และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้างที่ใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดิน (SCS) รวมชั้นดิน 0-30 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษามีระดับความสูงช่วง 316-812 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล จัดอยู่ในกลุ่มพื้นที่ต่ำกว่า 500 เมตร (low) จำนวน 30 ตัวอย่าง และพื้นที่สูงปานกลาง 500-1,000 เมตร (medium) จำนวน 15 ตัวอย่าง และไม่พบตัวอย่างกลุ่มพื้นที่สูงมากกว่า 1,000 เมตร (high; n = 0) ทำให้การอธิบายผลมิติ “พื้นที่สูง (high)” ไม่สามารถทำได้จากข้อมูลชุดนี้ และการวิเคราะห์เชิงสถิติเหมาะสมที่จะพิจารณา “ระดับความสูง” เป็นตัวแปรต่อเนื่องเพื่อแสดงความแปรผันภายในช่วงดังกล่าว ด้านความลาดชัน พบว่าตัวอย่างทั้งหมดอยู่กลุ่มความลาดชัน >20% จำนวน 45 ตัวอย่าง (ช่วง 30-58%) และไม่พบตัวอย่างกลุ่มความลาดชัน 2-12% และ 12-20% (n = 0) จึงไม่สามารถเปรียบเทียบค่า SCS ระหว่างชั้นความลาดชันได้โดยตรงและผลเชิงสถิติที่เกี่ยวข้องกับความลาดชันต้องอธิบายความภายใต้ข้อจำกัดว่า “ข้อมูลครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ลาดชันสูง” เป็นหลัก

ผลของความลาดชันและระดับความสูงต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน การวิเคราะห์ตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง (รวมชั้นดิน 0-30 เซนติเมตร) พบว่าค่าเฉลี่ย SCS กลุ่มระดับความสูง low เท่ากับ 8.53 ± 1.71 ตัน/ไร่ (n = 30; ช่วง 316-453 ม.) ขณะที่กลุ่ม medium มีค่าเฉลี่ย SCS เท่ากับ 9.32 ± 1.31 ตัน/ไร่ (n = 15; ช่วง 609-812 ม.) ภาพรวมกลุ่ม medium มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า low ประมาณ 0.79 ตัน/ไร่ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่พบยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดจาก “ระดับความสูง” โดยตรง เพราะพื้นที่จริงอาจมีปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น วิธีจัดการดิน หรือสภาพแปลงที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อค่า SCS สำหรับความลาดชันเนื่องจากข้อมูลมีเฉพาะกลุ่ม >20% จึงรายงานได้เฉพาะค่าเฉลี่ย SCS ของกลุ่มเท่ากับ 8.79 ± 1.61 ตัน/ไร่ (n = 45; ช่วง 30-58%) และไม่สามารถเปรียบเทียบกับกลุ่มความลาดชันต่ำกว่าได้จากข้อมูลชุดนี้ ทั้งนี้ในเชิงกระบวนการ ความลาดชันสูงจะสัมพันธ์กับความเสี่ยงการชะล้างพังทลายซึ่งกระทบการสะสมคาร์บอนในดิน แต่ข้อมูลที่พบไม่สามารถทดสอบความแตกต่างระหว่าง “ชั้นความลาดชัน” ได้โดยตรง (Singh et al., 2018)

ผลจากแบบจำลองถดถอยเกี่ยวกับบทบาทของความลาดชัน ความสูง และการจัดการแปลง ข้อมูลแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นที่ควบคุมผลของวิธีจัดการดิน พบว่าเมื่อพิจารณาระดับความสูงและวิธีจัดการดินระดับเดียวกัน พื้นที่ที่มีความลาดชันมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีการกักเก็บคาร์บอนในดิน (SCS) ลดลง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ -0.132 ตัน/ไร่ต่อ 1% ความลาดชัน (p = 0.0615, 95% CI มีค่า -0.271 ถึง 0.006) แต่หลักฐานยังไม่ชัดเจนถึงระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ภายใต้ข้อมูลที่พบ ส่วนระดับความสูง (ตัวแปรต่อเนื่อง) มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกที่ 0.018 ตัน/ไร่ต่อ 1 เมตร (p = 0.0882, 95% CI มีค่า -0.0027 ถึง 0.0388) สู่ถึงความเป็นไปได้ว่าช่วงความสูง 316-812 เมตร การเพิ่มระดับความสูงอาจสัมพันธ์กับการเพิ่ม SCS แต่ยังเป็นเพียง “นัยแนวโน้ม” เนื่องจากช่วงความสูงที่ศึกษาไม่ครอบคลุมกลุ่ม high และอาจมีปัจจัยร่วมอื่น เมื่อพิจารณาวิธีจัดการดิน โดยเทียบกับกลุ่มอ้างอิง A (ไถพรวนไม่เติมอินทรีย์วัตถุ) พบว่า B เทียบ A มีค่าสัมประสิทธิ์ -4.14 (p = 0.117) และ C เทียบ A มีค่าสัมประสิทธิ์ 0.892 (p = 0.533) ซึ่งทั้ง 2 กรณี ยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญภายใต้โมเดลนี้

ปฏิสัมพันธ์เชิงภูมิประเทศ-การจัดการแปลง ความเสี่ยงภัยพิบัติ และนโยบายขยาย แบบจำลองที่มีพจน์ปฏิสัมพันธ์ (Robust SE: HC3) ให้ผลว่าพจน์ปฏิสัมพันธ์ส่วนใหญ่ไม่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามพบว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงและวิธีจัดการดิน C มีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่าสัมประสิทธิ์ -0.2476 , $p = 0.0468$, 95% CI มีค่า -0.4916 ถึง -0.00355) ซึ่งอธิบายได้ว่า “ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงกับ SCS ในระบบ C แตกต่างจากระบบอ้างอิง” โดยมีทิศทางลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นภายในระบบ C อย่างไรก็ตามแบบจำลองปฏิสัมพันธ์มีช่วงความเชื่อมั่นกว้างหลายพจน์ เช่น ค่าคงที่และพจน์หลักของวิธีจัดการดิน ข้อมูลนี้แสดงความไม่แน่นอนของการประมาณค่าเมื่อข้อมูลเชิงภูมิประเทศไม่ครอบคลุมทุกกลุ่ม เช่น ไม่มีระดับ high และไม่มีควมลาดชันต่ำ/ปานกลาง) ดังนั้นผลของพจน์ปฏิสัมพันธ์ที่ควรใช้เพื่อชี้ให้เห็นแนวโน้มทางสถิติและควรได้รับการตรวจสอบเพิ่มเติม มากกว่านำไปใช้เป็นข้อสรุปเชิงเหตุและผลโดยตรง

ข้อเสนอเชิงนโยบายและแนวทางปฏิบัติสำหรับพื้นที่สูงภายใต้การดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
ผลศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่บนพื้นที่ลาดชันสูง (>20%) ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายของดิน และอาจส่งผลให้การกักเก็บคาร์บอนในดินลดลง การกำหนดแนวทางดำเนินงานบนพื้นที่สูงจึงควรคำนึงถึงข้อจำกัดด้านภูมิประเทศเป็นหลักและไม่ควรใช้มาตรการเดียวครอบคลุมทุกพื้นที่ โดยกำหนดพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีความลาดชัน >35% เป็นพื้นที่เป้าหมายหลักสำหรับมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น การลดการรบกวนหน้าดินและการควบคุมการชะล้าง ทั้งนี้แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ว่าความลาดชันเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสูญเสียคาร์บอนในดิน (Singh et al., 2018) ในเชิงปฏิบัติควรส่งเสริมระบบการผลิตที่ช่วยรักษาคาร์บอนในดิน เช่น การคงไว้ซึ่งเศษซากพืชบนผิวดิน การใช้พืชคลุมดินและการปรับรูปแบบการไถพรวนให้เหมาะสมกับพื้นที่ลาดชัน ซึ่งค่าวิเคราะห์จากข้อมูลพื้นที่ศึกษายังไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจนของวิธีจัดการดินต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน แต่หลักฐานจากงานวิจัยอื่นชี้ว่าการจัดการดินแบบอนุรักษ์และการหลีกเลี่ยงการเผาเศษซากพืชช่วยรักษาคาร์บอนในดินได้ดีกว่า (Dutta et al., 2022)

รายละเอียดผลวิเคราะห์ดินระบบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แสดงดังภาคผนวก จ

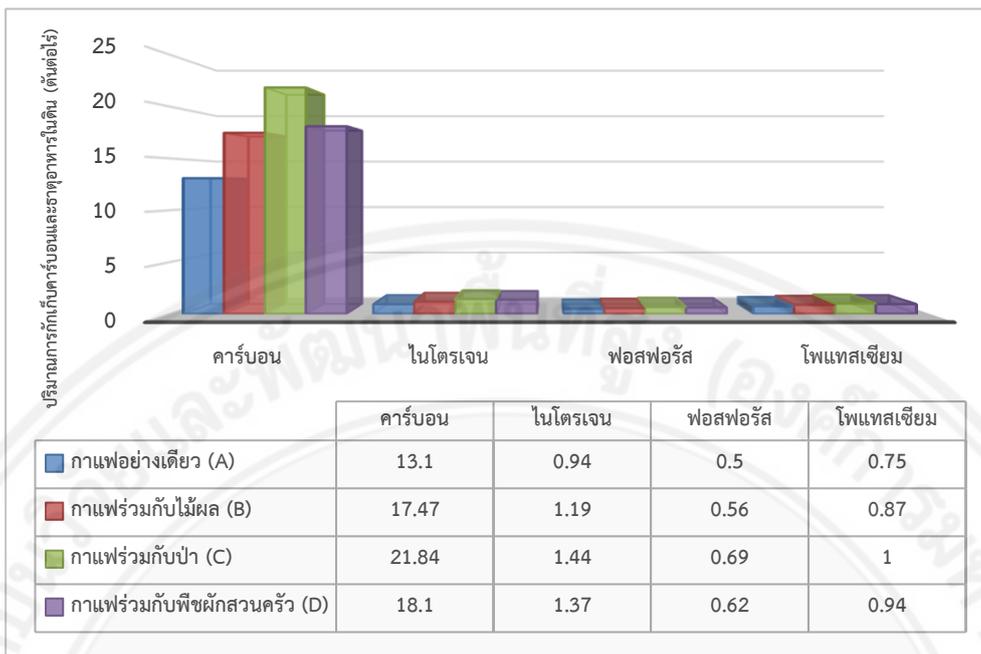
บริบทพื้นที่ปลูกกาแฟอะราบิกา

ผลวิเคราะห์ “ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินและธาตุอาหาร” ครอบคลุมพื้นที่ตัวแทน 4 แห่ง ได้แก่ บ้านแม่จันทรง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง บ้านแม่แฮใต้ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหิมนฝน บ้านขุนห้วยพระเจ้า (ห้วยอบบ้านบวก) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋ และบ้านปิตุคี โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่แฮหลวง ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกกาแฟตามตัวแปรหลัก

ข้อมูลจากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้าง แสดงให้เห็นว่าทั้งรูปแบบการปลูกกาแฟ และความลึกของดิน มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินอย่างชัดเจน โดยดินบริเวณพื้นที่ศึกษามีลักษณะตั้งแต่ sandy clay loam ถึง clay loam ซึ่งจัดเป็นดินเนื้อละเอียดปานกลาง มีความสามารถในการระบายน้ำและการอุ้มน้ำอยู่ระดับเหมาะสมต่อการปลูกกาแฟอะราบิกา อย่างไรก็ตาม ดินดังกล่าวโดยเฉพาะพื้นที่ลาดชันมีแนวโน้มเกิดการอัดแน่นได้ง่ายในกรณีขาดการจัดการอินทรีย์วัตถุอย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องมีการเติมอินทรีย์วัตถุเพื่อรักษาโครงสร้างดินให้มีความร่วนซุยและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของรากพืช

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติดินระหว่างรูปแบบการปลูกกาแฟ 4 ลักษณะ พบว่าการปลูกกาแฟอย่างเดี่ยว (A) มีค่า pH เฉลี่ยเท่ากับ 5.80 ซึ่งอยู่ในช่วงกรดอ่อน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) เฉลี่ย 4.54% และคาร์บอนอินทรีย์ (OC) 2.64% ซึ่งจัดอยู่ระดับปานกลาง แสดงให้เห็นว่าระบบการปลูกแบบ A สามารถคงสภาพดินให้มีเสถียรภาพระดับหนึ่ง แต่มีข้อจำกัดด้านการหมุนเวียนและการเติมอินทรีย์วัตถุเข้าสู่ดิน ส่งผลให้ศักยภาพการสะสมคาร์บอนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับระบบปลูกร่วม ขณะที่การปลูกกาแฟร่วมกับไม้ผล (B) มีค่า pH เฉลี่ย 5.48 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนอินทรีย์สูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีค่า OM 7.33% และ OC 4.26% การเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุระบบ B แสดงถึงประโยชน์ของเศษซากพืช ใบไม้ และรากของไม้ผลที่ทับถมและย่อยสลายในดินต่อเนื่อง ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าการปลูกกาแฟอย่างเดี่ยว สำหรับการปลูกกาแฟร่วมกับป่า (C) พบว่าดินมีค่า pH เฉลี่ย 5.65 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ 6.23% และคาร์บอนอินทรีย์ 3.62% ซึ่งอยู่ระดับดี ระบบการปลูกแบบ C แสดงกระบวนการหมุนเวียนสารอินทรีย์ตามธรรมชาติจากเศษใบไม้ กิ่งไม้ และระบบรากของไม้ยืนต้นภายใต้เรือนยอดป่า ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และมีการสะสมคาร์บอนต่อเนื่อง โดยเฉพาะชั้นดินบน ขณะเดียวกัน การปลูกกาแฟร่วมกับพืชผักสวนครัว (D) แสดงค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนอินทรีย์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น โดยมีค่า OM 8.20% และ OC 4.77% และค่า pH เฉลี่ย 5.63 การเพิ่มขึ้นของอินทรีย์วัตถุระบบ D สืบเนื่องจากการเติมเศษพืชหมุนเวียนอย่างสม่ำเสมอและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่เข้มข้น ส่งผลให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงและเหมาะสมต่อการกักเก็บคาร์บอนระยะยาว

เมื่อเปรียบเทียบตามความลึกของดิน พบว่าดินชั้นตื้น (0-15 เซนติเมตร) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าดินชั้นลึก (15-30 เซนติเมตร) อย่างสม่ำเสมอทุกระบบการปลูก สาเหตุเนื่องจากชั้นดินบนเป็นบริเวณที่มีการสะสมเศษซากพืชและมีกิจกรรมทางชีวภาพของรากพืชและจุลินทรีย์สูงกว่า ขณะที่ดินชั้นลึกมีการหมุนเวียนอินทรีย์วัตถุจำกัดและกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นช้ากว่า นอกจากนี้ ยังพบว่าระบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า (C) มีค่าคาร์บอนสะสมในดินสูงสุด เท่ากับ 21.84 ตัน/ไร่ และมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงกว่าระบบอื่น แสดงถึงประสิทธิภาพของการหมุนเวียนอินทรีย์วัตถุจากเศษซากพืชตามธรรมชาติ รองลงมาคือการปลูกกาแฟร่วมกับพืชผักสวนครัว (D) และการปลูกกาแฟร่วมกับไม้ผล (B) ซึ่งยังคงมีศักยภาพในการส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดินระดับดี ขณะที่การปลูกกาแฟอย่างเดี่ยว (A) มีค่าคาร์บอนและธาตุอาหารต่ำสุดที่แสดงถึงข้อจำกัดด้านแหล่งอินทรีย์วัตถุในระบบการปลูกดังกล่าว ภาพรวมกล่าวได้ว่าระบบปลูกร่วม โดยเฉพาะการปลูกกาแฟร่วมกับป่าและพืชผักสวนครัว เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงของการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในดิน และช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศดินอย่างยั่งยืน (ภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.12 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินและธาตุอาหารแต่ละรูปแบบการปลูกกาแฟอาราบิก้า 4 ลักษณะ

ข้อมูลจากการสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง แสดงให้เห็นว่าทั้งระบบการปลูกกาแฟและความลึกของดิน มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นรวมของดิน (BD) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (OC) และการกักเก็บคาร์บอนในดิน (SCS) อย่างชัดเจน โดยภาพรวมพบว่าดินชั้นตื้น (0-15 เซนติเมตร) มีค่า BD ต่ำ และมีค่า SCS สูงกว่าดินชั้นลึก (15-30 เซนติเมตร) อย่างสม่ำเสมอทุกระบบการปลูก ซึ่งสอดคล้องกับการสะสมอินทรีย์วัตถุ กิจกรรมของจุลินทรีย์ และความหนาแน่นของระบบรากพืชที่สูงกว่าบริเวณผิวดิน ส่งผลให้ดินชั้นบนมีโครงสร้างที่ร่วนซุยและมีศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่า

เมื่อพิจารณาเฉพาะระบบปลูกกาแฟอย่างเดียว (A) พบว่ามีค่า BD เฉลี่ยช่วง 1.20-1.32 ตันต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่า OC ลดลงจาก 2.64% ในดินชั้นตื้นเป็น 1.84% ในดินชั้นลึก และค่า SCS ลดลงจาก 47.63 เป็น 36.63 ตันต่อเฮกตาร์เมื่อความลึกเพิ่มขึ้น แนวโน้มดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าระบบการปลูกกาแฟเพียงอย่างเดียวมีศักยภาพจำกัดในการเพิ่มหรือคงการสะสมคาร์บอนในดิน เนื่องจากขาดแหล่งอินทรีย์วัตถุเสริมจากพืชร่วม ส่งผลให้การหมุนเวียนคาร์บอนในดินเกิดขึ้นระดับต่ำ โดยเฉพาะดินชั้นลึก ในทางตรงกันข้ามระบบการปลูกกาแฟร่วมกับไม้ผล (B) มีค่า BD ใกล้เคียงกันระหว่าง 2 ระดับความลึก (ประมาณ 1.18-1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) แต่มีค่า OC และ SCS สูงกว่าระบบปลูกกาแฟอย่างเดียวอย่างชัดเจน โดยมีค่า OC ลดลงจาก 4.26% เป็น 3.31% และค่า SCS ลดลงจาก 11.86 เป็น 9.12 ตันต่อไร่เมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ผลดังกล่าวแสดงบทบาทของไม้ผลในการเพิ่มอินทรีย์วัตถุผ่านเศษใบไม้ รากพืช และการทับถมของชีวมวล ส่งผลให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น ความพรุนสูงขึ้น และสามารถกักเก็บคาร์บอนในดินมากขึ้นเมื่อเทียบกับระบบปลูกเดี่ยว

สำหรับระบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า (C) พบว่าดินมีค่า BD ค่อนข้างสูง (ประมาณ 1.31-1.35 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) ข้อมูลชี้ถึงลักษณะของดินเนื้อละเอียดและการรับน้ำหนักของระบบรากไม้ยืนต้น อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวยังคงมีค่า SCS สูงในดินชั้นตื้น (11.08 ตันต่อไร่) และลดลงในดินชั้นลึก (7.50 ตันต่อไร่) แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนส่วนใหญ่สะสมอยู่บริเวณผิวดินจากการทับถมของเศษซากพืช ไม้ และรากไม้ภายใต้เรือนยอดป่า ซึ่งเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุหลักของระบบนิเวศป่า ขณะที่ระบบการปลูกกาแฟร่วมกับพืชผักสวนครัว (D)

แสดงศักยภาพการปรับปรุงคุณสมบัติดินและการกักเก็บคาร์บอนสูงที่สุด โดยมีค่า BD ต่ำสุดทุกระบบ (ประมาณ 1.04-1.11 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) และมีค่า %OC สูงสุด โดยลดลงจาก 4.77% ในดินชั้นต้นเป็น 3.20% ในดินชั้นลึก นอกจากนี้ ค่า SCS ระบบ D ยังอยู่ระดับสูงมาก โดยมีค่า 74.03 และ 52.79 ตันต่อเฮกตาร์ในดินชั้นต้นและชั้นลึกตามลำดับ แนวโน้มดังกล่าวแสดงถึงการเติมอินทรีย์วัตถุต่อเนื่องจากเศษพืชหมุนเวียน การจัดการแปลงที่เข้มข้น และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลให้ดินมีความพรุนสูง มีความชื้นเหมาะสม และสามารถกักเก็บคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสรุป ดินทุกระบบการปลูกมีแนวโน้มค่า BD เพิ่มขึ้นและค่า SCS ลดลงเมื่อความลึกของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งชี้ถึงการกระจายตัวของอินทรีย์วัตถุที่เน้นบริเวณดินชั้นบนอย่างชัดเจน ระบบการปลูกที่มีพืชร่วม โดยเฉพาะการปลูกกาแฟร่วมกับพืชผักสวนครัวและไม้ผล แสดงศักยภาพสูงสุดในการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนและปรับปรุงโครงสร้างดิน ขณะที่การปลูกกาแฟอย่างเดียวมีข้อจำกัดด้านอินทรีย์วัตถุและควรหลีกเลี่ยงในพื้นที่ลาดชันหรือดินเนื้อละเอียด เนื่องจากมีแนวโน้มเพิ่มการอัดแน่นของดินและลดความอุดมสมบูรณ์

บริบทเชิงพื้นที่และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ศึกษาทั้งหมดอยู่ในเขตพื้นที่สูง โดยมีความสูงอยู่ช่วง 1,037-1,285 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ส่งผลให้ตัวอย่างทั้งหมดถูกจัดอยู่กลุ่มพื้นที่สูง (> 1,000 เมตร) และไม่พบตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ต่ำหรือพื้นที่สูงปานกลาง (n = 0) การวิเคราะห์เชิงสถิติจึงพิจารณาระดับความสูงลักษณะตัวแปรต่อเนื่อง เพื่อแสดงความแปรผันภายในช่วงความสูงดังกล่าว ขณะที่ความลาดชันมีค่าตั้งแต่ 10-45% และครอบคลุมทั้งพื้นที่ลาดชันเล็กน้อยถึงปานกลาง (2-12%) พื้นที่ลาดชันมาก (12-20%) และพื้นที่ลาดชันสูง (>20%) ซึ่งรวมถึงบริเวณที่มีความลาดชันมากกว่า 35% ซึ่งเป็นพื้นที่ที่โดยหลักการไม่เหมาะสมต่อการทำเกษตร ทั้งนี้การพบแปลงกาแฟบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันมากแสดงให้เห็นถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินจริงของเกษตรกรบนพื้นที่สูง และเป็นบริบทสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการอธิบายความผลการกักเก็บคาร์บอน รวมถึงการกำหนดนโยบายและแนวทางการใช้ที่ดินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่จริง

ผลของความลาดชันและระดับความสูงต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน การวิเคราะห์ข้อมูลจากตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้าง (ชั้นดิน 0-30 เซนติเมตร) แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยการกักเก็บคาร์บอนในดิน (SCS) แตกต่างกันตามชันความลาดชัน โดยพื้นที่ลาดชัน 2-12% มีค่าเฉลี่ย SCS สูงที่สุด (20.77 ± 0.78 ตัน/ไร่; n = 6) ขณะที่พื้นที่ลาดชัน 12-20% มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าอย่างชัดเจน (15.06 ± 1.84 ตัน/ไร่; n = 6) ส่วนพื้นที่ลาดชัน >20% มีค่าเฉลี่ย SCS อยู่ที่ 19.76 ± 1.72 ตัน/ไร่ (n = 12) ซึ่งสูงกว่ากลุ่ม 12-20% แต่ยังชี้ถึงความแปรปรวนที่มากขึ้นบนพื้นที่ชันสูง เมื่อพิจารณาพร้อมกับระดับความสูง พบว่าพื้นที่สูงทั้งหมด (>1,000 ม.) มีค่าเฉลี่ย SCS รวม 18.83 ± 2.72 ตัน/ไร่ (n = 24) แสดงให้เห็นว่าภายในพื้นที่สูงเดียวกัน ความลาดชันเป็นปัจจัยที่อธิบายความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ชัดเจนกว่าการแบ่งกลุ่มระดับความสูง

ผลจากแบบจำลองถดถอยเกี่ยวกับบทบาทของความลาดชัน ความสูง และการจัดการแปลง แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นที่ควบคุมวิธีการจัดการดินแสดงให้เห็นว่า เมื่อเทียบกับพื้นที่ลาดชันเล็กน้อยถึงปานกลาง (2-12%) พื้นที่ลาดชัน 12-20% มีค่า SCS ต่ำกว่าประมาณ 6.57 ตัน/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และพื้นที่ลาดชัน >20% ต่ำกว่าประมาณ 6.32 ตัน/ไร่ ($p = 0.022$) ขณะที่ระดับความสูง (ตัวแปรต่อเนื่อง) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ SCS (ค่าสัมประสิทธิ์ ประมาณ 0.025 ตัน/ไร่ต่อเมตร) โดยมีนัยสำคัญเชิงแนวโน้ม (p ประมาณ 0.085) ซึ่งแสดงว่าภายในช่วงความสูงของพื้นที่ศึกษา การเพิ่มขึ้นของความสูงอาจสนับสนุนการกักเก็บคาร์บอนในดิน แต่หลักฐานยังไม่ชัดเจนสำหรับการสรุปผล หากพิจารณาการจัดการแปลงพบว่าระบบปลูกกาแฟบางรูปแบบให้ค่า SCS สูงกว่ากาแฟอย่างเดียว เช่น กาแฟร่วมกับป่าเพิ่ม SCS ประมาณ 4.37 ตัน/ไร่ ($p < 0.001$) และกาแฟร่วมกับพืชผักสวนครัวเพิ่มประมาณ 6.57 ตัน/ไร่ ($p < 0.001$) แสดงถึงบทบาทโครงสร้างพืชและการจัดการอินทรีย์วัตถุของระบบกาแฟต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน

ปฏิสัมพันธ์เชิงภูมิประเทศ-การจัดการแปลง ความเสี่ยงภัยพิบัติ และนโยบายโยนบาย แบบจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ระดับความสูงและความลาดชัน 12-20% มีนัยสำคัญสูง (p ประมาณ 0.0004) ซึ่งให้เห็นว่าผลของความสูงต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินเปลี่ยนแปลงไปตามชั้นความลาดชัน ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดด้านภูมิประเทศและกระบวนการชะล้างพังทลายของดินที่มีความรุนแรงขึ้นบริเวณพื้นที่ชัน การไม่พบปฏิสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญระหว่างความลาดชันกับวิธีจัดการดินในหลายพจน์ รวมถึงพจน์ที่ไม่สามารถประมาณค่าได้ (NE)

ผลศึกษาที่พบสนับสนุนสมมติฐานว่าพื้นที่ลาดชันมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียคาร์บอนผ่านการชะล้างหน้าดินและการพังทลาย ซึ่งอาจลดปริมาณคาร์บอนสะสมในดิน ขณะเดียวกันพื้นที่สูงมีลักษณะ microclimate (อุณหภูมิและความชื้น) ที่สนับสนุนต่อการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน ทั้งนี้ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ชี้ว่าความลาดชันเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกักเก็บคาร์บอนและระดับความเสียหายจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ (Lal, 2020; Montgomery et al., 2019) ในเชิงนโยบาย ข้อมูลชี้ว่าการใช้พื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่ชัน โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35% ควรได้รับการกำกับดูแลผ่านมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำและการส่งเสริมระบบกาแฟได้ร่มเงา มากกว่าการพิจารณาเพียงการห้ามใช้พื้นที่ เพื่อให้สอดคล้องทั้งเป้าหมายด้านคาร์บอนและการลดความเสี่ยงภัยพิบัติ

ข้อเสนอเชิงนโยบายและแนวทางปฏิบัติสำหรับพื้นที่สูงภายใต้การดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาชี้ว่าพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงที่มีความลาดชันระดับ 12-20% เป็นช่วงที่มีความเปราะบางต่อการสูญเสียคาร์บอนในดินมากที่สุด โดยให้ค่า SCS ต่ำกว่าพื้นที่ลาดชัน 2-12% ประมาณ 6-7 ตันต่อไร่ อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่พื้นที่ลาดชันมากกว่า 20% ยังคงมีศักยภาพกักเก็บคาร์บอนในดิน แต่มีความเสี่ยงสูงต่อการชะล้างพังทลายและดินถล่ม ภายใต้บริบทพื้นที่สูงซึ่งมีฝนตกชุกและภูมิประเทศซับซ้อน ผลดังกล่าวสนับสนุนให้การกำหนดมาตรการเชิงพื้นที่ของหน่วยงานควรมุ่งเน้นการจัดการตามระดับความลาดชันอย่างแตกต่าง (slope-specific management) มากกว่าการใช้แนวทางเดียวทั้งพื้นที่

ด้านการปฏิบัติ งานวิจัยที่ผ่านมาเสนอว่าการเพิ่มความเข้มข้นของระบบวนเกษตรกาแฟได้ร่มเงาไม้ยืนต้นหลายชั้น ควบคู่กับการใช้พืชคลุมดินถาวรและการคงไว้ซึ่งเศษซากพืชบนผิวดิน สามารถเพิ่มการสะสมคาร์บอนในดินและลดการสูญเสียจากการชะล้างบนพื้นที่สูงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะช่วงความลาดชันปานกลางถึงมาก (Somarriba et al., 2018) ขณะเดียวกันการจัดการเชิงโครงสร้าง เช่น แนวปลูกตามแนวระดับ (contour planting) และคันดินชะลอน้ำขนาดเล็ก มีข้อมูลยืนยันว่าช่วยลดอัตราการพังทลายของดินและการสูญเสียคาร์บอนจากระบบดินบนพื้นที่ลาดชันเขตร้อนชื้น ซึ่งเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้บนพื้นที่สูงภายใต้การสนับสนุนเชิงเทคนิคของหน่วยงานรัฐ (Poesen, 2018)

ข้อมูลข้างต้นหน่วยงานสามารถนำผลการศึกษาที่พบไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานกำหนดพื้นที่เป้าหมาย โดยให้ความสำคัญบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชัน 12-20% เป็นลำดับแรก ด้วยการส่งเสริมระบบวนเกษตร (การปลูกกาแฟร่วมกับพืชผักสวนครัวและไม้ผล) การจัดการเศษซากพืช และการอนุรักษ์ดินและน้ำ เพื่อช่วยเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินควบคู่กับการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติ ขณะที่พื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35% ควรจำกัดการทำเกษตรเชิงเข้มข้น และเน้นการใช้พื้นที่ในรูปแบบป่าและวนเกษตรเป็นหลัก เพื่อให้การใช้ที่ดินสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศและเป้าหมายการพัฒนาพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน รายละเอียดผลวิเคราะห์ดินระบบการปลูกกาแฟอาราบิก้าแสดงดังภาคผนวก จ

ผลประเมิน “ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินบริเวณแปลงปลูกกาแฟอาราบิกา” ของเกษตรกรตัวอย่าง โดยสุ่มแปลงอย่างน้อยร้อยละ 10 ของเกษตรกร ขนาดแปลง 1 ไร่ (40×40 เมตร) หรือน้อยกว่าตามสภาพพื้นที่ บันทึกพิกัด ระดับความสูง ความลาดชัน อุณหภูมิ ความชื้นดิน และข้อมูลชีวภาพ เช่น ชื่อพรรณไม้ เส้นรอบวงต้นกาแฟที่ความสูงระดับ 15 เซนติเมตร และไม้ยืนต้นที่ระดับเพียงอก เลือกต้นที่มี DBH \geq 4.5 เซนติเมตร วัดความสูงด้วย Hypsometer คำนวณพื้นที่หน้าตัดตามสมการ และตีความหมายเลขกำกับต้น จากนั้นวิเคราะห์การกักเก็บมวลชีวภาพแต่ละระบบปลูกเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนรายละเอียดดังนี้

(1) บ้านปิตุคี โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่แฮหลวง อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ วางแปลงสำรวจและเก็บข้อมูล 5 แปลง ได้แก่ แปลงที่ 1 นายโวสะกอ แปลงที่ 2 นายตุล แปลงที่ 3 นายทีสะลา แปลงที่ 4 นายเคอ สุนีนนอ และแปลงที่ 5 นายเอจี พะอะ จากนั้นบันทึกข้อมูลทางกายภาพดังนี้ แปลงที่ 1 มีความสูงเฉลี่ย 1,166 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 30 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 38 °C และ 87 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	425830	1945994	1,164
40,0	425825	1946018	1,161
0,0	425859	1946022	1,158
40,40	425799	1946018	1,176
20,20	425828	1946045	1,172

แปลงที่ 2 มีความสูงเฉลี่ย 1,169 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 45 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 39 °C และ 91 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	425846	1946251	1,175
40,0	425844	1946252	1,162
0,0	425843	1946273	1,171
40,40	425856	1946271	1,173
20,20	425858	1946246	1,163

แปลงที่ 3 มีความสูงเฉลี่ย 1,139 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 38 เมตร
อุณหภูมิต่ำและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 40 °C และ 84 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	425871	1946475	1,146
40,0	425874	1946481	1,142
0,0	425885	1946480	1,139
40,40	425881	1946482	1,142
20,20	425868	1946491	1,126

แปลงที่ 4 มีความสูงเฉลี่ย 1,135 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 20 เมตร
อุณหภูมิต่ำและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 35 °C และ 85 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	426072	1947065	1,129
40,0	426076	1947057	1,132
0,0	426072	1947070	1,147
40,40	426063	1947068	1,134
20,20	426083	1947070	1,134

แปลงที่ 5 มีความสูงเฉลี่ย 1,244 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 41 เมตร
อุณหภูมิต่ำและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 39 °C และ 88 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	426695	1946484	1,274
40,0	426698	1946467	1,271
0,0	426682	1946463	1,270
40,40	426679	1946485	1,267
20,20	426063	1947047	1,139

ผลวิเคราะห์มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละแปลงปลูกกาแฟอาราบิก้าจากการสำรวจ
แปลงตัวอย่าง พบว่ามีต้นไม้รวม 687 ต้น (2 ไร่) ประกอบด้วย กาแฟ 401 ต้น และ ไม้ผล-ไม้ยืนต้น 286 ต้น
โดยแปลงที่ 1 มีความหนาแน่นสูงสุด 187 ต้นต่อไร่ ส่วนแปลงอื่นมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 100-160 ต้น
ต่อ 0.25 ไร่ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.6 ทั้งนี้ค่ามวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และตัวชี้วัดเชิงชีวภาพ
ของไม้ในแปลงแสดงดังตารางที่ 4.7-4.8 และภาพที่ 4.13

จำแนกรายแปลง

แปลงที่ 1 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 18.63 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 53.71 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 18.57 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมมีค่า 9.31 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.026 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 9.28 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 5 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ โกโก้ ชิโกรโฟ ลัก สะคะระ/มะกอกป่า สะวะปี/ก่อ มอม่อ สะสะ ลีสะมะสะ โกรโป พอบอ มะกอกแดง สะสะกรอ อบเซย/เซะเซาะเบริ เซะโปกิ เซาะพา โค้สะบอ เซคร เกรปรี๊ว เซะพอบอ เซะทาเน ตะครุย ตักโกมา โก่อ้บอ เทอริชะ เซะโก้ริ เซะชอยยะ ชริเปรี๊ยะ ปรี๊ว ชริโซแปรทรี เซะเซอะ ปี๊ตาลี จั๊ว/แฉอ ชริฮือนิ เม้าะโม ชิชอยยะ (เนื้อไก่) ชริที วัวริะบอ เซครีชะ ชริพอบอ ชิเต้าะบิ เครีสะปอ เซะก่อน เซรก่อ เซะนาชี ชรินระจรี กำลังเสื่อวัวร์ง ชริตรวย ชริฮือวัว เค๊วะ สะโพ มิ ชริโกโบ เกลลูชะ เกลลวอ เซะแปรี เจ้าะฟา เซรโพรปรี ชริเปรี๊ยะ เตอครุย ้วยนามู ชริวาระ และก่อเหม/หัวป่า

แปลงที่ 2 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 11.40 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 0.12 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 11.27 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 5.70 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.064 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 5.63 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 4 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ เม้าะมอ ลำไยป่า สะสะโกรโบ ลีโตรย สะสะครุยโพ เพาะพะเน พลับป่า สะสะกะแบ นาชี มะเตื้อ สะสะโกรโบ (แดง) สะสะกรอ ชะอมป่า กำลังเสื่อวัวร์งตะที่ สะสะโพคิ แระอะคะที่ สะสะนาครี ชิซุย สะสะคอบอ สะสะค่า สะสะโกรโบร สะสะเคบิ ปาดอ สะสะกอบอแมกาที่ สะสะแปร เลคะ และสะสะเคย

แปลงที่ 3 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 15.79 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 0.69 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 15.09 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 7.89 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.34 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 7.549 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 4 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ สะสะโบลา ก่อ ทะโล๊ ลี สะสะโกรโบ สะสะนาชี ช้างสาร กำลังเสื่อวัวร์ง ตะครี และเม้าะมอ

แปลงที่ 4 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 26.44 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 0.61 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 25.82 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 13.22 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.31 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 12.91 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 10 ปี แต่น้อยกว่าแปลงที่ 3 พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ ก่อเม้าะมอ สะสะโกรคือ ลีเครคะ สะสะพอบอ เมอะคะวิ มะขามป้อม และสะสะโกรโบ

แปลงที่ 5 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 18.71 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 0.09 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 18.61 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 9.35 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.04 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 9.30 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 6 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ เมอะคะวิ เกอล้อชะ เกราะวอยอ สะสะนาชี สะสะโพคิ สะสะโพพี ช้างกวาง เกวาละ สะสะคอบอ เกอมี เควะ สะสะโกโบ วัวบอ เม้าะมอ ลัก เครอะบอเกิ้ล็ด ชิควิ บิ/ช้างสาร ชิเพล สะสะโพพลี วัวะบอ ตั๊ย เคละโบ เซกะกอ สะสะเพ เคลอะมี ก่ออิกะ กระดก กะเลบอโปรเประ ชิโพคิ ชินาเซ ยมหิน สะสะโกรโบร เนอคี เกอฮือชะ ชิพี สะสะงอ และอบเซย

ภาพรวม

ผลวิเคราะห์ข้อมูลการกักเก็บมวลชีวภาพในแปลงปลูกกาแฟอาราบิก้า 5 แปลงตัวอย่าง ที่มีอายุกาแฟแตกต่างกันและประกอบด้วยไม้ยืนต้นพันธุ์เด่นหลากหลาย พบว่าแต่ละแปลงมีความแตกต่าง โดยแปลงที่ 4 มีมวลชีวภาพรวมสูงสุด 26.44 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนรวมสูงสุด 13.22 ตัน/ไร่ โดยแยกเป็นมวลชีวภาพของกาแฟ 0.61 ตัน/ไร่ กักเก็บคาร์บอน 0.30 ตันต่อไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 25.82 ตัน/ไร่ กักเก็บคาร์บอน 12.91 ตัน/ไร่ ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าไม้ยืนต้นเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อมวลชีวภาพรวมและศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของระบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า เมื่อพิจารณาสัดส่วนของกาแฟต่อมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในแปลงที่ 2 พบว่ามีมวลชีวภาพรวมและการกักเก็บคาร์บอนรวมต่ำที่สุด โดยอยู่ที่ 11.40 ตัน/ไร่ และ 5.70 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น อายุของกาแฟที่ยังอ่อนตัว การกระจายตัวของไม้ยืนต้น การจัดการพื้นที่ และความหนาแน่นของพืชพรรณภายในแปลง

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแปลงทั้ง 5 ด้วยวิธี Non-parametric โดยใช้ Kruskal-Wallis Test พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งมวลชีวภาพรวม ($H = 12.67, p = 0.013$) และการกักเก็บคาร์บอนรวม ($H = 13.45, p = 0.009$) เมื่อนำมาวิเคราะห์แยกตามองค์ประกอบของระบบการปลูก พบว่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้นมีความแตกต่างชัดเจนที่สุด ($H = 14.02, p = 0.007$ และ $H = 14.55, p = 0.006$ ตามลำดับ) ขณะที่มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของกาแฟมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย ($H = 6.32, p = 0.176$ และ $H = 6.48, p = 0.169$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของกาแฟ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การปลูกกาแฟร่วมกับป่าบนพื้นที่สูงสามารถเพิ่มศักยภาพการสะสมมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยไม้ยืนต้นถือเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนรวมของระบบอย่างมาก ทั้งนี้การจัดการอายุของกาแฟและการเลือกพันธุ์ไม้ยืนต้นที่เหมาะสม โดยควรคำนึงถึงอายุของกาแฟ การกระจายตัวของไม้ยืนต้น สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า

ทั้งนี้ผลสำรวจลักษณะทางกายภาพของพืชพบว่าความสูงเฉลี่ย เส้นรอบวงลำต้น และความหนาแน่นของพืชมีความแตกต่างกันตามโครงสร้างและองค์ประกอบของระบบปลูก ไม้ยืนต้นมีความสูงและเส้นรอบวงเฉลี่ยสูงกว่ากาแฟอย่างชัดเจน โดยมีความสูงเฉลี่ยระหว่าง 7.16-12.71 เมตร และเส้นรอบวง 29.99-75.73 เซนติเมตร ขณะที่ต้นกาแฟมีความสูงเฉลี่ย 0.93-1.51 เมตร และเส้นรอบวง 4.05-7.56 เซนติเมตร ข้อมูลชี้ให้เห็นถึงลักษณะชั้นเรือนยอดของระบบปลูกร่วม (Agroforestry system) ที่ไม้ยืนต้นเป็นไม้ชั้นบน ส่วนกาแฟอยู่ชั้นล่างภายใต้ร่มเงา ด้านความหนาแน่นของพืช พบว่าแปลงที่ 3 และแปลงที่ 4 มีสัดส่วนต้นกาแฟมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 85-86 ของจำนวนต้นทั้งหมด ส่วนไม้ยืนต้นมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 13-14 แสดงถึงระบบปลูกที่เน้นการผลิตกาแฟเป็นหลัก ส่วนแปลงที่ 1 และ 5 มีสัดส่วนไม้ยืนต้นมากกว่า (ร้อยละ 63-66) ตรงกับลักษณะของระบบปลูกร่วมที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูงและมีศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน



ภาพที่ 4.13 การเก็บข้อมูลตรวจวัดไม้ยืนต้นในแปลงปลูกกาแฟอะราบิกาบ้านปิตุคี
โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่แฮหลวง

ตารางที่ 4.6 จำนวนต้นกาแฟและไม้ผล-ไม้ยืนต้นที่ติดหมายเลขในแต่ละแปลงตัวอย่างบ้านปิตุคี โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่แฮหลวง

จำนวนต้นที่ติดเลข	กาแฟ (ต้น)	ไม้ผลและไม้ยืนต้น (ต้น)	รวม
แปลงที่ 1	70	117	187 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 2	64	51	115 ต้นต่อ 0.25 ไร่
แปลงที่ 3	88	14	102 ต้นต่อ 0.25 ไร่
แปลงที่ 4	137	23	160 ต้นต่อ 0.25 ไร่
แปลงที่ 5	42	81	123 ต้นต่อ 0.25 ไร่
รวม	401	286	687 ต้นต่อ 2 ไร่

ตารางที่ 4.7 มวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในระบบปลูกกาแฟอะราบิการ่วมกับป่าบ้านปิตุคี โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่แฮหลวง

แปลงที่	รูปแบบ	มวลชีวภาพ (ตันต่อไร่)			การกักเก็บคาร์บอน (ตันต่อไร่)		
		กาแฟ	ไม้ยืนต้น	รวม	กาแฟ	ไม้ยืนต้น	รวม
1	กาแฟร่วมกับป่า	0.05	18.57	18.63	0.02	9.28	9.31
2	กาแฟร่วมกับป่า	0.12	11.27	11.40	0.06	5.63	5.70
3	กาแฟร่วมกับป่า	0.69	15.09	15.79	0.34	7.54	7.89
4	กาแฟร่วมกับป่า	0.61	25.82	26.44	0.30	12.91	13.22
5	กาแฟร่วมกับป่า	0.97	18.61	18.71	0.48	9.30	9.35

ตารางที่ 4.8 ความสูงเฉลี่ย ความยาวเส้นรอบวง และความหนาแน่นในระบบปลูกกาแฟอาราบิก้าร่วมกับป่าบ้านปิตุคี โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่แฮหลวง

แปลงที่	ลักษณะแปลง	ลักษณะ	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	เส้นรอบวง (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (ร้อยละ)
1		กาแฟ	0.94	4.87	37.43
		ไม้ยืนต้น	8.45	49.75	62.57
2		กาแฟ	0.93	4.05	55.65
		ไม้ยืนต้น	7.16	31.85	44.35
3		กาแฟ	1.51	7.56	86.27
		ไม้ยืนต้น	12.63	75.73	13.73
4		กาแฟ	1.23	5.36	85.63
		ไม้ยืนต้น	12.71	73.48	14.37
5		กาแฟ	1.01	4.26	34.15
		ไม้ยืนต้น	8.30	29.99	65.85

(2) บ้านแม่จันทหลวง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง อำเภอมะป๋าล จังหวัดเชียงราย วางแปลงสำรวจและเก็บข้อมูล 5 แปลง ได้แก่ แปลงที่ 1 นายลอบแบ ฤทัยถนอมศักดิ์ รหัสแปลง 64 แปลงที่ 2 นายเอกลักษณ์ สหัชเมธาพร รหัสแปลง 119 แปลงที่ 3 นายนายเอกลักษณ์ สหัชเมธาพร รหัสแปลง 130 แปลงที่ 4 นายอานัง โชเช รหัสแปลง 34 และแปลงที่ 5 นายอภิชาติ สันติศิริตล รหัสแปลง 88 จากนั้นบันทึกข้อมูลทางกายภาพดังนี้

แปลงที่ 1 มีความสูงเฉลี่ย 1,177 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 38 เมตร
 อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 39 °C และ 70 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	561741	2230942	1,170
40,0	562172	2230772	1,171
0,0	562172	2230772	1,184
40,40	562171	2230772	1,189
20,20	562438	2230761	1,172

แปลงที่ 2 มีความสูงเฉลี่ย 1,145 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 10 เมตร
 อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 32 °C และ 91 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	560559	2203022	1,147
40,0	560546	2230208	1,143
0,0	560580	2230235	1,146
40,40	560588	2230228	1,151
20,20	560541	2230223	1,141

แปลงที่ 3 มีความสูงเฉลี่ย 1,285 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 45 เมตร
 อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 31 °C และ 84 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	559370	2230719	1,290
40,0	559404	2230716	1,282
0,0	559404	2230717	1,282
40,40	559404	2230719	1,293
20,20	559308	2230711	1,278

แปลงที่ 4 มีความสูงเฉลี่ย 1,218 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 30 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 37 °C และ 88 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	559825	2230827	1,219
40,0	559804	2230804	1,219
0,0	559798	2230821	1,217
40,40	559790	2230814	1,215
20,20	559814	2230801	1,222

แปลงที่ 5 มีความสูงเฉลี่ย 1,218 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 15 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 38 °C และ 73 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	559814	2230801	1,222
40,0	559790	2230814	1,215
0,0	559798	2230821	1,217
40,40	559804	2230835	1,219
20,20	559825	2230827	1,219

ผลวิเคราะห์มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละแปลงปลูกกาแฟอะราบิกาจากการสำรวจแปลงตัวอย่าง พบว่ามีต้นไม้รวม 1,859 ต้น (5 ไร่) ประกอบด้วย ต้นกาแฟ 1,568 ต้น และไม้ผล-ไม้ยืนต้น 291 ต้น โดยเฉลี่ย 372 ต้น/ไร่ ภาพรวม ต้นกาแฟมีสัดส่วนสูงกว่าชัดเจน (ร้อยละ 84 ของทั้งหมด) ขณะที่ ไม้ผลและไม้ยืนต้นมีสัดส่วนร้อยละ 16 ทำหน้าที่เป็นพืชร่วมให้ร่มเงาและช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ เมื่อพิจารณาแต่ละแปลง พบว่าแปลงที่ 1 มีจำนวนต้นรวมมากที่สุด (363 ต้น/ไร่) และมีสัดส่วนไม้ยืนต้นค่อนข้างน้อย ส่วนแปลงที่ 4 มีจำนวนไม้ยืนต้นมากที่สุด (150 ต้น) ทางกลับกันแปลงที่ 5 มีจำนวนไม้ยืนต้นน้อยที่สุด (11 ต้น) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.9 ทั้งนี้ค่ามวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และตัวชี้วัดเชิงชีวภาพของไม้ในแปลงแสดงดังตารางที่ 4.10-4.11 และภาพที่ 4.14

จำแนกรายแปลง

แปลงที่ 1 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับไม้ผล มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 4.06 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 2.15 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 1.90 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 2.03 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 1.07 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 0.95 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 8-10 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ อะโวคาโด เซอร์ดิออย ม่อนไข่ มะละกอ ขนุน คล้ายส้มป่อย ดอกเหลือง ลิ้นจี่ ดอกเสี้ยวขาว มะนาว มะขามป้อม มะกรูด ลิ้นจี่จักรพรรด ชาอัสสัม และชะอม

แปลงที่ 2 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 26.40 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 0.53 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 25.87 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 13.20 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.26 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 12.93 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 3-5 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ UN3 UN2 ทะโล้เกล็ด UN1 UN4 ก่อเต็ย และหว้า

แปลงที่ 3 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับต้นเซอร์รี มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 4.93 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 4.40 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 0.53 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 2.46 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 2.20 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 0.26 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 14-15 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟและเซอร์รีเต็ย

แปลงที่ 4 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับต้นเซอร์รี มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 12.620 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 3.90 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 8.71 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวม 1.23 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 1.95 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 4.35 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 14-15 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ เซอร์รีเต็ย และขนุน

แปลงที่ 5 รูปแบบการปลูกกาแฟในที่โล่งแจ้ง มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 2.63 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 2.59 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 0.04 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 1.23 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 1.21 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 0.02 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 14-15 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ เซอร์รีเต็ย โอโวกาโด และพลัม

ภาพรวม

ผลวิเคราะห์ข้อมูลการกักเก็บมวลชีวภาพในแปลงปลูกกาแฟอะราบิกา 5 แปลงตัวอย่าง ที่มีอายุกาแฟแตกต่างกันและประกอบด้วยไม้ยืนต้นพันธุ์เด่นหลากหลาย พบว่าแต่ละแปลงมีความแตกต่างโดยแปลง 2 มีมวลชีวภาพรวมสูงสุดที่ 26.40 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนรวมสูงสุด 13.20 ตัน/ไร่ แยกเป็นมวลชีวภาพของกาแฟ 0.53 ตัน/ไร่ กักเก็บคาร์บอน 0.26 ตัน/ไร่ และไม้ยืนต้น 25.87 ตัน/ไร่ กักเก็บคาร์บอน 12.93 ตัน/ไร่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปลูกผสมกับไม้ยืนต้นหลากหลายชนิดช่วยเพิ่มปริมาณเนื้อไม้และใบไม้สะสม อีกทั้งไม้ยืนต้นยังมีอัตราการเจริญเติบโตและชีวิตยืนยาว ทำให้กักเก็บคาร์บอนได้มาก เมื่อพิจารณาสัดส่วนของกาแฟต่อมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนแปลงที่ 5 พบว่ามีมวลชีวภาพรวมและการกักเก็บคาร์บอนรวมต่ำสุดอยู่ที่ 2.63 ตัน/ไร่ และ 1.23 ตัน/ไร่ ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแปลงทั้ง 5 ด้วยวิธี Non-parametric โดยใช้ Kruskal-Wallis Test พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งมวลชีวภาพรวม มวลชีวภาพรวม $H = 4.0$ และ $p\text{-value} = 0.406$ ซึ่งมากกว่า 0.05 ทำให้สรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแปลงทั้ง 5 แบบ ขณะที่มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของกาแฟมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย $H = 4.0$ และ $p\text{-value} = 0.406$ แสดงว่าการกักเก็บคาร์บอนรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างรูปแบบการปลูกกาแฟแต่ละแบบ อย่างไรก็ตาม มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้นสูงสุดพบในแปลงที่ปลูกกาแฟร่วมกับป่า ขณะที่มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของกาแฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นกาแฟ การปลูกกาแฟร่วมกับไม้ยืนต้นหลากหลายประเภท เช่น ไม้ป่าและไม้ผล สามารถเพิ่มมวลชีวภาพและศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้สูงกว่าการปลูกในที่โล่งแจ้ง

ทั้งนี้ผลสำรวจลักษณะทางกายภาพของพืชพบว่าระบบปลูกกาแฟร่วมกับไม้ยืนต้นทั้ง 5 แปลงมีโครงสร้างพืชแตกต่างกันค่อนข้างมาก ภาพรวม ต้นกาแฟมีความสูงเฉลี่ยระหว่าง 1.5-2.1 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 2.5-6.9 เซนติเมตร ขณะที่ไม้ยืนต้นมีความสูงเฉลี่ยมากกว่าอย่างชัดเจน (3.5-16 เมตร) และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 6-30 เซนติเมตร ด้านความหนาแน่นของพืช พบว่าต้นกาแฟมีสัดส่วนสูงกว่าทุกแปลง (ร้อยละ 62-91) ส่วนไม้ยืนต้นมีสัดส่วนร้อยละ 9-38 ซึ่งทำหน้าที่ให้ร่มเงาและเสริมโครงสร้างระบบนิเวศของแปลง เมื่อเปรียบเทียบแต่ละพื้นที่ พบว่าแปลงที่ 2 มีไม้ยืนต้นขนาดใหญ่และสูงเฉลี่ยมากที่สุด (15.98 เมตร 29.61 เซนติเมตร) ซึ่งให้เห็นถึงระบบปลูกที่มีไม้ร่มเงาขนาดใหญ่และศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนสูง ส่วนแปลงที่ 4 มีสัดส่วนไม้ยืนต้นมากที่สุด (ร้อยละ 37.78) แสดงถึงความหลากหลายของพืชร่วม ขณะที่แปลงที่ 3 และ 5 มีความหนาแน่นของต้นกาแฟสูงเกินร้อยละ 90 สู่ถึงระบบปลูกที่มุ่งผลิตกาแฟเชิงเดี่ยวมากกว่า



ภาพที่ 4.14 การเก็บข้อมูลตรวจวัดไม้ยืนต้นในแปลงปลูกกาแฟอาราบิก้าบ้านแม่จันทอง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง

ตารางที่ 4.9 จำนวนต้นกาแฟและไม้ผล-ไม้ยืนต้นที่ติดหมายเลขในแต่ละแปลงตัวอย่างบ้านแม่จันทอง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง

จำนวนต้นที่ติดเลข	กาแฟ (ต้น)	ไม้ผลและไม้ยืนต้น (ต้น)	รวม (ต้น)
แปลงที่ 1	320	44	363 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 2	257	47	304 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 3	363	39	402 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 4	247	150	397 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 5	381	11	123 ต้นต่อ 1 ไร่
รวม	1,568	291	1,859 ต้นต่อ 5 ไร่

ตารางที่ 4.10 มวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในระบบปลูกกาแฟอะราบิการ่วมกับป่าบ้านแม่จันทหลวง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง

แปลงที่	รูปแบบ	มวลชีวภาพ (ตันต่อไร่)			การกักเก็บคาร์บอน (ตันต่อไร่)		
		กาแฟ	ไม้ยืนต้น	รวม	กาแฟ	ไม้ยืนต้น	รวม
1	กาแฟร่วมกับไม้ผล	2.15	1.90	4.06	1.07	0.95	2.03
2	กาแฟร่วมกับป่า	0.53	25.87	26.40	0.26	12.93	13.20
3	กาแฟกับเซอร์รี	4.40	0.53	4.93	2.20	0.26	2.46
4	กาแฟกับเซอร์รี	3.90	8.71	12.62	1.95	4.35	6.31
5	กาแฟในที่โล่งแจ้ง	2.59	0.04	2.63	1.21	0.21	1.23

ตารางที่ 4.11 ความสูงเฉลี่ย ความยาวเส้นรอบวง และความหนาแน่นในระบบปลูกกาแฟอะราบิการ่วมกับป่าบ้านแม่จันทหลวง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง

แปลงที่	ลักษณะแปลง	ชนิด	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	เส้นรอบวง (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (ร้อยละ)
1		กาแฟ	1.88	4.40	87.87
		ไม้ยืนต้น	4.25	12.99	12.13
2		กาแฟ	1.86	2.51	84.54
		ไม้ยืนต้น	15.98	29.61	15.46
3		กาแฟ	1.90	5.91	90.29
		ไม้ยืนต้น	3.48	9.61	9.71
4		กาแฟ	1.52	6.86	62.22
		ไม้ยืนต้น	4.62	14.28	37.78

แปลงที่	ลักษณะแปลง	ชนิด	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	เส้นรอบวง (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (ร้อยละ)
5		กาแฟ	2.07	4.28	91.06
		ไม้ยืนต้น	2.54	6.10	8.94

(3) บ้านแม่แฮใต้ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินฝน อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ วางแปลงสำรวจและเก็บข้อมูล 5 แปลง ได้แก่ แปลงที่ 1 นายนิพน แปลงที่ 2 นายชิโซ แปลงที่ 3 นายบุญมา แปลงที่ 4 นายตาจือ และแปลงที่ 5 นายประวัต จากนั้นบันทึกข้อมูลทางกายภาพดังนี้
แปลงที่ 1 มีความสูงเฉลี่ย 1,038 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 41 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 42 °C และ 69 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	408616	2037810	1,047
40,0	408634	2037792	1,042
0,0	408632	2037776	1,046
40,40	408642	2037824	1,029
20,20	408658	2037795	1,025

แปลงที่ 2 มีความสูงเฉลี่ย 1,074 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 27 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 30 °C และ 91 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	408647	2037676	1,072
40,0	408621	2037675	1,070
0,0	408638	2037662	1,070
40,40	408642	2037652	1,079
20,20	408619	2037656	1,081

แปลงที่ 3 มีความสูงเฉลี่ย 1,084 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 45 เมตร
อุณหภูมิต่ำและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 32 °C และ 85 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	408580	2037499	1,085
40,0	408581	2037496	1,084
0,0	408637	2037506	1,086
40,40	408663	2037514	1,085
20,20	408397	2037495	1,082

แปลงที่ 4 มีความสูงเฉลี่ย 1,085 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 18 เมตร
อุณหภูมิต่ำและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 31 °C และ 80 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	408580	2037499	1,085
40,0	408581	2037496	1,084
0,0	408663	2037514	1,085
40,40	408397	2037495	1,082
20,20	408637	2037506	1,086

แปลงที่ 5 มีความสูงเฉลี่ย 1,080 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 10 เมตร
อุณหภูมิต่ำและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 35 °C และ 70 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	409505	2039142	1,082
40,0	409489	2039103	1,078
0,0	409488	2039139	1,078
40,40	409461	2039132	1,081
20,20	409502	2039133	1,080

ผลวิเคราะห์มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละแปลงปลูกกาแฟอะราบิกาจากการสำรวจ
แปลงตัวอย่าง พบว่ามีต้นไม้รวมทั้งหมด 1,900 ต้น (3.625 ไร่) ประกอบด้วย ต้นกาแฟ 1,604 ต้น และ ไม้ผล-
ไม้ยืนต้น 296 ต้น โดยเฉลี่ยประมาณ 380 ต้นต่อไร่ แสดงให้เห็นว่าต้นกาแฟเป็นพืชหลักของระบบปลูก (ร้อยละ 84) ขณะที่ไม้ผลและไม้ยืนต้นมีส่วนร้อยละ 16 ทำหน้าที่เป็นพืชร่วมให้ร่มเงาและเพิ่มความหลากหลาย
ทางชีวภาพของแปลง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.12 ทั้งนี้ค่ามวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และตัวชี้วัด
เชิงชีวภาพของไม้ในแปลงแสดงดังตารางที่ 4.13-4.14 และภาพที่ 4.15

จำแนกรายแปลง

แปลงที่ 1 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 4.76 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 1.80 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้นเท่ากับ 2.96 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 2.38 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.90 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 1.48 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 15 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ เสะสุย กระท้อน ลิ่นจี่ป่า อะโวคาโด มะขามป้อม กอเล่ เส่มี เสะกอเบะ เกอะซีแพละ สาริคำ ลูกเนียง และตัวขน

แปลงที่ 2 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 19.33 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 5.24 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 14.08 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 9.66 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟเท่ากับ 2.62 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้นเท่ากับ 7.04 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 8 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ หว่า กระถิน เพกา มะกรูด มะมอ ตระกูลหวาย แข็งกวาง แคว้ เตอะสิแพระ ก่อ มะม่วง เส่เบะ เตอะสิแพระ และเสะเนซา

แปลงที่ 3 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 6.73 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 0.70 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 6.02 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 3.36 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.35 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 3.01 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 9 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ เตอะซีแพละ อะโวคาโด มะโม เส่มี แควะ เส่กรี เพกา เสะโดนะเด กอเล่ ก่อ และเส่แพละ

แปลงที่ 4 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 14.04 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 3.15 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 10.88 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 7.02 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 1.57 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 5.44 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 21 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ มะเตื่อ ฝรั่ง ขนุน ไข่ มะม่วง กระถิน ต้าง หลวง กระท้อน ลูกเนียง ผักพวนดอย ข้าวสาร ลำไยป่า สบู่ดำ พลับ หว่า ดอกเสี้ยว และเส่มิ

แปลงที่ 5 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับไม้ผล มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 3.54 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 0.34 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 3.20 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 1.77 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.17 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 1.60 ตัน/ไร่ อายุกาแฟ 5 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ ฝรั่ง มะม่วง อะโวคาโด ชา สะเล่แซ มะขามป้อม และคอคอเตาะ

ภาพรวม

ผลวิเคราะห์ข้อมูลการกักเก็บมวลชีวภาพในแปลงปลูกกาแฟอะราบิกา 5 แปลงตัวอย่าง ที่มีอายุกาแฟแตกต่างกันประกอบด้วยไม้ยืนต้นพันธุ์เด่นหลากหลาย พบว่าแปลงที่ 2 การปลูกกาแฟร่วมกับป่าอายุ 8 ปี มีมวลชีวภาพรวมสูงที่สุด 19.33 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอน 9.66 ตัน/ไร่ ขณะที่แปลงที่ 5 แปลงกาแฟร่วมกับไม้ผลอายุ 5 ปี มีค่าต่ำที่สุด โดยมีมวลชีวภาพรวม 3.54 ตัน/ไร่ และคาร์บอน 1.77 ตัน/ไร่ ส่วนแปลงที่ 4 แปลงกาแฟร่วมกับป่าอายุ 21 ปี มีมวลชีวภาพรวม 14.042 ตัน/ไร่ และคาร์บอน 7.021 ตันต่อไร่ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแปลงที่ 2 แม้อายุการปลูกแตกต่างกัน ขณะที่แปลงที่ 1 และแปลงที่ 3 แสดงค่าอยู่ระดับปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงอื่น ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าระบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่ามีศักยภาพสูงในการสร้างมวลชีวภาพและกักเก็บคาร์บอน โดยเฉพาะแปลงที่ 2 และแปลงที่ 4

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแปลงทั้ง 5 ด้วยวิธี Non-parametric โดยใช้ Kruskal-Wallis Test พบว่าการเปรียบเทียบมวลชีวภาพรวมให้ค่า $H = 2.00$ และ $p\text{-value} = 0.157$ ขณะที่การกักเก็บคาร์บอนรวมก็ได้ค่าเท่ากัน คือ $H = 2.00$ และ $p\text{-value} = 0.157$ ซึ่งทั้ง 2 กรณีมีค่า $p\text{-value}$ มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างระบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่าและร่วมกับไม้ผล อย่างไรก็ตามจากข้อมูลเชิงปริมาณพบว่าแปลงที่ปลูกร่วมกับป่ามีแนวโน้มสร้างมวลชีวภาพและกักเก็บคาร์บอนได้สูงกว่า โดยเฉพาะแปลงที่ 2 และ 4 ซึ่งแสดงถึงความสำคัญของระบบการปลูกร่วมกับป่าในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการกักเก็บคาร์บอน ทั้งนี้ปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความแตกต่างของมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน ได้แก่ อายุของต้นกาแฟ ความหนาแน่นของไม้ยืนต้น ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ที่ปลูกร่วมกัน ตลอดจนวิธีการจัดการพื้นที่ เช่น การตัดแต่งกิ่ง การดูแลรักษาดิน และการจัดการทรัพยากรภายในพื้นที่อย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นองค์ประกอบการกำหนดศักยภาพของแต่ละแปลง



ภาพที่ 4.15 การเก็บข้อมูลตรวจวัดไม้ยืนต้นในแปลงปลูกกาแฟอะราบิกาบ้านแม่แฮใต้ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินผ่น

ตารางที่ 4.12 จำนวนต้นกาแฟและไม้ผล-ไม้ยืนต้นที่ติดหมายเลขในแต่ละแปลงตัวอย่างบ้านแม่แฮใต้ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินผ่น

จำนวนต้นที่ติดเลข	กาแฟ (ต้น)	ไม้ผลและไม้ยืนต้น (ต้น)	รวม
แปลงที่ 1	424	53	477 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 2	416	35	451 ต้นต่อ 0.5625 ไร่
แปลงที่ 3	131	45	176 ต้นต่อ 0.5625 ไร่
แปลงที่ 4	326	45	371 ต้นต่อ 0.5 ไร่
แปลงที่ 5	307	118	425 ต้นต่อ 1 ไร่
รวม	1,604	296	1,900 ต้นต่อ 3.625 ไร่

ตารางที่ 4.13 มวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในระบบปลูกกาแฟอาราบิก้าร่วมกับป่าบ้านแม่แฮใต้ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินฝน

แปลงที่	รูปแบบ	มวลชีวภาพ (ตันต่อไร่)			การกักเก็บคาร์บอน (ตันต่อไร่)		
		กาแฟ	ไม้ยืนต้น	รวม	กาแฟ	ไม้ยืนต้น	รวม
1	กาแฟร่วมกับป่า	1.80	2.96	4.76	0.90	1.48	2.38
2	กาแฟร่วมกับป่า	5.24	14.08	19.33	2.62	7.04	9.66
3	กาแฟร่วมกับป่า	0.70	6.02	6.73	0.35	3.01	3.36
4	กาแฟร่วมกับป่า	3.15	10.88	14.04	1.57	5.44	7.02
5	กาแฟร่วมกับไม้ผล	0.34	3.20	3.54	0.17	1.60	1.77

ตารางที่ 4.14 ความสูงเฉลี่ย ความยาวเส้นรอบวง และความหนาแน่นในระบบปลูกกาแฟอาราบิก้าร่วมกับป่าบ้านแม่แฮใต้ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงปางหินฝน

แปลงที่	ลักษณะแปลง	ชนิด	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	เส้นรอบวง (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (ร้อยละ)
1		กาแฟ	1.27	3.53	88.89
		ไม้ยืนต้น	8.18	11.91	11.11
2		กาแฟ	1.84	3.78	92.24
		ไม้ยืนต้น	14.24	17.14	7.76
3		กาแฟ	1.19	2.69	74.43
		ไม้ยืนต้น	10.13	12.16	25.57
4		กาแฟ	1.54	3.07	87.87
		ไม้ยืนต้น	8.05	13.16	12.13

แปลงที่	ลักษณะแปลง	ชนิด	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	เส้นรอบวง (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (ร้อยละ)
5		กาแฟ	0.96	1.68	72.24
		ไม้ยืนต้น	6.86	8.28	27.76

(4) บ้านขุนห้วยพระเจ้า โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ วางแปลงสำรวจและเก็บข้อมูล 5 แปลง ได้แก่ แปลงที่ 1 นางสาวอำพร แปลงที่ 2 นายนาวิน แปลงที่ 3 นายนาวิล แปลงที่ 4 นายวิทยา และ แปลงที่ 5 นายศรชัย จากนั้นบันทึกข้อมูลทางกายภาพดังนี้
แปลงที่ 1 มีความสูงเฉลี่ย 1,214 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 48 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 29 °C และ 94 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	461772	2119159	1,206
40,0	461800	2119185	1,224
0,0	461779	2119175	1,214
40,40	461765	2119208	1,204
20,20	461737	2119173	1,221

แปลงที่ 2 มีความสูงเฉลี่ย 1,256 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 30 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 30 °C และ 90 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	462407	2118444	1,265
40,0	462446	2118474	1,248
0,0	462404	2118471	1,252
40,40	462400	2118432	1,263
20,20	462440	2118438	1,254

แปลงที่ 3 มีความสูงเฉลี่ย 1,259 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 30 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 30 °C และ 91 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	462472	2118507	1,251
40,0	462438	2118486	1,257
0,0	462423	2118523	1,253
40,40	462452	2118505	1,276
20,20	462443	2118545	1,256

แปลงที่ 4 มีความสูงเฉลี่ย 1,236 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 36 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 28 °C และ 98 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	462447	2118469	1,257
40,0	462456	2118433	1,256
0,0	462479	2118453	1,241
40,40	462493	2118475	1,223
20,20	462470	2118430	1,205

แปลงที่ 5 มีความสูงเฉลี่ย 1,251 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ความลาดชันเฉลี่ย 34 เมตร อุณหภูมิและความชื้นของดินมีค่าเท่ากับ 32 °C และ 88 เปอร์เซ็นต์ พิกัดตำแหน่งและความสูง แสดงดังตาราง

พิกัด	X	Y	ความสูง (เมตร)
0,40	462310	21117980	1,228
40,0	462334	21117948	1,255
0,0	462362	21117986	1,252
40,40	462331	21117994	1,256
20,20	462328	21118015	1,266

ผลวิเคราะห์หมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละแปลงปลูกกาแฟอะราบิกาจากการสำรวจแปลงตัวอย่าง พบว่ามีต้นไม้รวม 1,210 ต้น (5 ไร่) ประกอบด้วย ต้นกาแฟ 1,036 ต้น และ ไม้ผล-ไม้ยืนต้น 174 ต้น โดยเฉลี่ยประมาณ 242 ต้นต่อไร่ ภาพรวม ต้นกาแฟมีสัดส่วนสูงกว่าชัดเจน (ร้อยละ 86 ของทั้งหมด) ขณะที่ไม้ผลและไม้ยืนต้นมีสัดส่วน ร้อยละ 14 ทำหน้าที่เป็นพืชร่วมให้ร่มเงา และช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพภายในระบบปลูกกาแฟ เมื่อพิจารณาแต่ละแปลง พบว่าแปลงที่ 4 มีจำนวนต้นรวมมากที่สุด (299 ต้น/ไร่) รองลงมาคือแปลงที่ 5 (281 ต้น/ไร่) และแปลงที่ 3 (256 ต้น/ไร่) ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ 2 มีจำนวนต้นรวมต่ำที่สุด (184 ต้น/ไร่) สำหรับสัดส่วนของไม้ผลและไม้ยืนต้น พบว่า แปลงที่ 2 มีจำนวนไม้ยืนต้นมากที่สุด (54 ต้น) ในขณะที่ แปลงที่ 5 มีจำนวนไม้ยืนต้นน้อยที่สุด (17 ต้น) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.15 ทั้งนี้ค่าหมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และตัวชี้วัดเชิงชีวภาพของไม้ในแปลงแสดงดังตารางที่ 4.16-4.17 และภาพที่ 4.16

จำแนกรายแปลง

แปลงที่ 1 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 11.10 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 1.59 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 9.50 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 5.55 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.79 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 4.75 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 9 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ แคป้า ยมหิน ปอ กำลังเสือโคร่ง ลำไยป่า เสี้ยวป่า ก่อ มะเดื่อ ฮัก มะกลายเงิน ตีนเป็ดป่า ก่อ กระจังใบ และตานกรวด

แปลงที่ 2 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 14.49 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 0.46 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 14.02 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 7.24 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.23 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 7.01 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 8 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ ก่อ จันทศ ยมหิน ตีนนก มะขามป้อม ข้าวสาร ส้าน กระถิน ลำไยป่า มะเดื่อ ก่อ สนสามใบ UN1 และ UN2

แปลงที่ 3 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 32.63 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 1.01 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 31.62 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 16.31 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.50 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 15.81 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 12 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น ก่อ รัก UN ตีนนก ยมหิน และ UN3

แปลงที่ 4 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 18.30 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 2.07 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 16.221 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 9.15 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 1.03 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 8.11 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 10 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ ฮัก ยมหินมะกอกป่า มะขามป้า ฮัก ข้าวสาร และยมหิน

แปลงที่ 5 รูปแบบการปลูกกาแฟร่วมกับป่า มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 13.11 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 1.45 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 11.66 ตัน/ไร่ ขณะที่ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 6.55 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟ 0.72 ตัน/ไร่ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้น 5.83 ตัน/ไร่ อายุกาแฟมากกว่า 8 ปี พบไม้ยืนต้นพันธุ์เด่น เช่น กาแฟ สนสามใบ ก่อ ปอ ตีนนก หวี และรัก

ภาพรวม

ผลวิเคราะห์ข้อมูลการกักเก็บมวลชีวภาพในแปลงปลูกกาแฟอะราบิกา 5 แปลงตัวอย่าง ที่มีอายุกาแฟแตกต่างกันประกอบด้วยไม้ยืนต้นพันธุ์เด่นหลากหลาย พบว่าแปลงที่ 3 มีมวลชีวภาพรวมสูงที่สุด คือ 32.637 ตัน/ไร่ แบ่งเป็น มวลชีวภาพของกาแฟ 1.015 ตัน/ไร่ และมวลชีวภาพของไม้ยืนต้น 31.621 ตัน/ไร่ การกักเก็บคาร์บอนรวมของแปลง 16.318 ตัน/ไร่ โดยไม้ยืนต้นมีส่วนอย่างมากในการกักเก็บคาร์บอนถึง 15.810 ตัน/ไร่ ขณะที่ แปลงที่ 1, 2 และ 5 มีมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนช่วง 11.103-14.492 ตันต่อไร่ โดยไม้ยืนต้นมีส่วนมวลชีวภาพสูงกว่ากาแฟ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแปลงทั้ง 5 ด้วยวิธี Non-parametric โดยใช้ Kruskal-Wallis Test พบว่าแปลงที่ 3 แปลงที่ 3 มีไม้ยืนต้นที่มีมวลสูงสุด การกักเก็บคาร์บอนรวมมีความแตกต่าง ($H=12.9$, $p<0.01$) มีค่าการกักเก็บคาร์บอนสูงสุด การกักเก็บคาร์บอนของกาแฟแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($H=9.0$,

$p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการปลูกกาแฟร่วมกับป่ามีประสิทธิภาพในการสร้างมวลชีวภาพและกักเก็บคาร์บอน โดยไม้ยืนต้นที่มีอายุและความหลากหลายสูงช่วยเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนของระบบ ขณะที่กาแฟมีบทบาทในการเพิ่มมวลชีวภาพและคาร์บอนระดับต้น โดยเฉพาะแปลงที่มีการจัดการอย่างเหมาะสม รวมถึงความหลากหลายของพันธุ์ไม้ จะช่วยเพิ่มมวลชีวภาพและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนของระบบนิเวศธรรมชาติได้



ภาพที่ 4.16 การเก็บข้อมูลตรวจวัดไม้ยืนต้นในแปลงปลูกกาแฟอาราบิก้าบ้านขุนห้วยพระเจ้า โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋

ตารางที่ 4.15 จำนวนต้นกาแฟและไม้ผล-ไม้ยืนต้นที่ติดหมายเลขในแต่ละแปลงตัวอย่างบ้านขุนห้วยพระเจ้า โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋

จำนวนต้นที่ติดเลข	กาแฟ (ต้น)	ไม้ผลและไม้ยืนต้น (ต้น)	รวม
แปลงที่ 1	164	26	190 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 2	130	54	184 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 3	208	48	256 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 4	270	29	299 ต้นต่อ 1 ไร่
แปลงที่ 5	264	17	281 ต้นต่อ 1 ไร่
รวม	1036	174	1,210 ต้นต่อ 5 ไร่

ตารางที่ 4.16 มวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในระบบปลูกกาแฟอะราบิการ่วมกับป่าบ้านขุนห้วยพระเจ้า โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋

แปลงที่	รูปแบบ	มวลชีวภาพ (ตันต่อไร่)			การกักเก็บคาร์บอน (ตันต่อไร่)		
		กาแฟ	ไม้ยืนต้น	รวม	กาแฟ	ไม้ยืนต้น	รวม
1	กาแฟร่วมกับป่า	1.59	9.50	11.10	0.79	4.75	5.55
2	กาแฟร่วมกับป่า	0.46	14.02	14.49	0.23	7.01	7.24
3	กาแฟร่วมกับป่า	1.01	31.62	32.63	0.50	15.81	16.31
4	กาแฟร่วมกับป่า	2.07	16.22	18.30	1.03	8.11	9.15
5	กาแฟร่วมกับป่า	1.44	11.66	13.11	0.72	5.83	6.55

ตารางที่ 4.17 ความสูงเฉลี่ย ความยาวเส้นรอบวง และความหนาแน่นในระบบปลูกกาแฟอะราบิการ่วมกับป่าบ้านขุนห้วยพระเจ้า โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋

แปลงที่	ลักษณะแปลง	ลักษณะ	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	เส้นรอบวง (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (ร้อยละ)
1		กาแฟ	1.75	5.49	86.32
		ไม้ยืนต้น	12.6	29.32	13.68
2		กาแฟ	1.51	3.4	70.65
		ไม้ยืนต้น	12.02	25.52	29.35
3		กาแฟ	1.86	3.93	81.25
		ไม้ยืนต้น	15.07	36.42	18.75
4		กาแฟ	2.11	4.87	90.30
		ไม้ยืนต้น	14.62	35.66	9.70

แปลงที่	ลักษณะแปลง	ลักษณะ	ความสูงเฉลี่ย (เมตร)	เส้นรอบวง (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (ร้อยละ)
5		กาแฟ	1.59	3.87	93.95
		ไม้ยืนต้น	15.47	42.28	6.05

4.2 การวิเคราะห์แนวทางสร้างสมดุลคาร์บอนที่มีศักยภาพในการส่งเสริมชุมชนภายใต้ข้อจำกัดพื้นที่สูง

4.2.1 การประมวลข้อมูลแนวทางลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมกับบริบทชุมชนบนพื้นที่สูง และสามารถดำเนินการได้

ถอดตัวชี้วัดการพัฒนาชุมชนบนพื้นที่สูงคาร์บอนต่ำและยั่งยืนตามแนวทางโครงการหลวง 20 เกณฑ์ การประเมิน แบ่งเป็น 5 มิติ 28 ตัวชี้วัด (สุมาลี และคณะ, 2564) จากนั้นจัดหมวดหมู่ให้สอดคล้องกับการรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2565) สามารถจำแนกออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ (1) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เช่น การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ร่วมเดินทาง ลดการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ใช้จักรยานหรือเดิน (2) การใช้พลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ การติดตั้งโซลาร์เซลล์ ผลิตก๊าซชีวภาพ ใช้พลังงานลม (3) การปรับปรุงการจัดการขยะมูลฝอย ได้แก่ การแยกขยะอินทรีย์ ทำปุ๋ยหมัก รีไซเคิลวัสดุเหลือใช้ ลดการเผาในที่โล่ง (4) การทำเกษตรปลอดภัยและเกษตรยั่งยืน ได้แก่ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยชีวภาพ) ลดการใช้ปุ๋ยเคมี และปลูกพืชคลุมดิน (5) การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและการฟื้นฟูป่า ได้แก่ การปลูกต้นไม้/ปลูกป่าใหม่ ฟื้นฟูป่าเสื่อมโทรม และปลูกไม้ยืนต้นในพื้นที่เกษตร และ (6) การใช้เทคโนโลยีกักเก็บคาร์บอน ได้แก่ การใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ เศษพืชผล มาผลิตถ่านชีวภาพ (Biochar) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือปรับปรุงดิน ทั้งนี้กิจกรรมแต่ละประเภทยังมีศักยภาพในการลด CO₂eq แตกต่างกันทั้งระยะสั้นและระยะยาวจากการคำนวณศักยภาพการลดหรือกักเก็บ GHG ใช้หลักการเปรียบเทียบระหว่าง “สถานการณ์พื้นฐาน (Baseline)” กับ “สถานการณ์หลังดำเนินกิจกรรม (Project Scenario)” เพื่อหาปริมาณก๊าซที่ลดลงหรือกักเก็บได้ โดยคำนวณเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂e) ตามสมการทั่วไป $ER = (Emission_{Baseline} - Emission_{Project}) \times GWP$ ซึ่งสามารถประยุกต์ตามประเภทกิจกรรมได้ เช่น การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ คำนวณจากพลังงานที่ลดลง (kWh หรือ MJ) คูณด้วยค่าการปล่อย GHG ของแหล่งพลังงาน เช่น ค่า Grid Emission Factor สำหรับไฟฟ้า พลังงานทดแทน/หมุนเวียน ใช้พลังงานที่ผลิตได้แทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล คูณด้วยค่าการปล่อยของระบบเดิม การจัดการขยะมูลฝอย ประเมินจากการหลีกเลี่ยงการปล่อยมีเทน (CH₄) ที่เกิดจากการฝังกลบ โดยใช้สมการ First-Order Decay (FOD) ของ IPCC เกษตรยั่งยืน คำนวณจากการลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน (ลด N₂O) และการเพิ่มคาร์บอนในดินหรือชีวมวล การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและการฟื้นฟูป่า วัดการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนสต็อกในชีวมวลและดิน เทคโนโลยีกักเก็บคาร์บอน (Biochar) คำนวณจากมวลคาร์บอนที่คงอยู่ในถ่านชีวภาพหลังหักการปล่อยจากการผลิตและขนส่ง ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ เช่น ค่าการปล่อยก๊าซ (Emission Factor: EF) และศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือน

กระจก (Global Warming Potential: GWP) จากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังพิจารณาผลวิเคราะห์ค่าคะแนนการพัฒนาของชุมชนโครงการหลวงและโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 21 แห่ง ที่เข้าร่วมกิจกรรมวิจัยตามตัวชี้วัด (สุมาลีและคณะ, 2562 และ 2564) ร่วมกับความเห็นของนักวิจัย ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมและการสนทนากลุ่มกับผู้แทนสมาชิกของชุมชนพื้นที่สูงในพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมประเด็นด้าน “เทคนิค-เศรษฐกิจ-สังคม-สิ่งแวดล้อม” ซึ่งชุมชนพื้นที่สูงมีลักษณะภูเขาลาดชัน ดินเปรี้ยวบาง อากาศเย็น วิถีชีวิตพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ โดยมีข้อจำกัดด้านทุน เทคโนโลยี โครงสร้างพื้นฐาน การเข้าถึงบริการภาครัฐ และสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่งผลให้การลด GHG ต้องใช้เทคโนโลยีขนาดเล็กที่เหมาะสมกับพื้นที่ มีความสอดคล้องกับวัฒนธรรมชุมชนและได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐเพื่อความยั่งยืน ทั้งนี้ข้อมูลสำหรับใช้คำนวณต้นทุนและผลตอบแทนมาจากการสำรวจภาคสนามและผลการวิจัยของสุมาลี และคณะ (2564-2567) และการอ้างอิงจากคู่มือประเมินศักยภาพเทคโนโลยีลด GHG ของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2565) ขณะที่การคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C) และระยะเวลาคืนทุนใช้สมการมาตรฐานทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม

4.2.2 ผลประเมินความเหมาะสมของเทคโนโลยีลด GHG พิจารณาจาก 6 มิติหลัก รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.18 ได้แก่

1) ประสิทธิภาพการลด GHG พิจารณาจาก 4 ด้าน ได้แก่ ปริมาณการลด CO₂eq/ปี ระยะเวลาที่เห็นผล ระดับความยากในการดำเนินงาน และความสอดคล้องกับการตรวจสอบยืนยันผลการลดก๊าซ โดยกำหนดระดับประสิทธิภาพเป็น ต่ำ ปานกลาง และสูง ตามแนวทางของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลแสดงให้เห็นว่า “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน” มีศักยภาพลดการปล่อย GHG เฉลี่ย 5.99 tCO₂eq/ปี ซึ่งอยู่ระดับสูงและให้ผลระยะสั้น (1-3 ปี) โดยเน้นการลดการใช้พลังงานภายในครัวเรือนหรือพื้นที่สาธารณะได้ทันทีหลังการติดตั้ง อย่างไรก็ตามความยั่งยืนอยู่ระดับปานกลาง เนื่องจากพื้นที่สูงยังมีข้อจำกัดด้านช่างเทคนิคและอุปกรณ์ซ่อมบำรุงที่ต้องขอสนับสนุนจากหน่วยงานภายนอก แต่กิจกรรมนี้มีความสอดคล้องกับมาตรฐาน T-VER ด้านการตรวจวัดผลการประหยัดพลังงาน “พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน” เช่น โซลาร์เซลล์และก๊าซชีวภาพ มีศักยภาพการลด GHG ระดับปานกลางถึงสูง (เฉลี่ย 3.79 tCO₂eq/ปี) และให้ผลระยะกลาง (3-5 ปี) เหมาะกับพื้นที่ที่มีทรัพยากรแสงอาทิตย์และชีวมวลเพียงพอ แต่หลายพื้นที่ที่ยังไม่มีหน่วยงานสนับสนุนทำให้เกิดข้อจำกัดด้านต้นทุนติดตั้ง การบำรุงรักษา และสิทธิในที่ดินซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการขยายผล ความยั่งยืนที่ประเมินอาจปรับเป็นระดับปานกลางถึงสูง เพื่อให้ครอบคลุมการดำเนินงานจริงในพื้นที่ห่างไกล “การจัดการขยะมูลฝอย” สามารถลดการปล่อย GHG เฉลี่ย 0.43 tCO₂eq/ปี ซึ่งอยู่ระดับต่ำถึงปานกลาง แต่จำเป็นต้องดำเนินการอย่างมากกับบริบทพื้นที่สูง เนื่องจากชุมชนขาดพื้นที่ฝังกลบและมีการเผาขยะอินทรีย์ การตั้งกลุ่มผลิตปุ๋ยหมัก ธนาคารขยะ หรือการรีไซเคิล ช่วยลดการปล่อย CH₄ ได้จริงและเห็นผลระยะสั้นถึงกลาง กิจกรรมจึงมีความยั่งยืนระดับปานกลางและสอดคล้องกับ T-VER ด้านการจัดการของเสียจากชุมชน “การเกษตรปลอดภัยและเกษตรยั่งยืน” มุ่งลดการปล่อยอย่างค่อยเป็นค่อยไปผ่านการเปลี่ยนแปลงระบบการผลิต มีศักยภาพลดการปล่อย GHG เฉลี่ย 0.27 tCO₂eq/ปี และจัดอยู่ระดับต่ำแต่มีผลต่อเนืองยาว (3-10 ปี) แต่มีความยั่งยืนสูง เพราะสอดคล้องกับวิถีเกษตรของพื้นที่สูง เช่น การทำไร่ขั้นบันได การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และการปลูก

พืชคลุมดิน ซึ่งช่วยเพิ่มคาร์บอนในดินและลดการพังทลายของดิน กิจกรรมดังกล่าวได้รับการยอมรับสูงจากชุมชนและสอดคล้องกับมาตรฐาน T-VER ด้านการลดการใช้ปุ๋ยเคมี “การเพิ่มพื้นที่สีเขียวหรือพื้นที่ป่า” มีค่าการลด GHG เฉลี่ย 0.14 tCO₂eq/ปี ซึ่งต่ำช่วงเริ่มต้นแต่เพิ่มขึ้นเมื่อชีวมวลสะสมมากขึ้นต่อเนื่อง (5–10 ปี) กิจกรรมมีความยั่งยืนสูง เนื่องจากชุมชนมีบทบาทในการจัดการป่าชุมชนและรักษาพื้นที่ต้นน้ำ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณเขตป่าของรัฐ จึงจำเป็นต้องอาศัยการประสานงานระหว่างชุมชนกับหน่วยงานรัฐเพื่อความต่อเนื่องของการดำเนินงาน “การกักเก็บคาร์บอนในดิน” มีค่าการลด GHG เฉลี่ย 0.01 tCO₂eq/ปีในระยะเริ่มต้น แต่มีศักยภาพสูงระยะยาวเมื่อมีการใช้ biochar หรือพืชคลุมดินต่อเนื่อง เทคโนโลยีเหมาะสมกับพื้นที่เกษตรหมุนเวียน แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความรู้และเครื่องมือที่จำเป็น ความยั่งยืนที่ภาพรวมประเมินไว้ระดับสูง ในบางพื้นที่อาจปรับเป็นระดับปานกลาง

2) ต้นทุนและผลตอบแทน พิจารณาค่าคุ้มค่าทางเศรษฐกิจจากต้นทุนการลงทุนและบำรุงรักษาเมื่อเทียบกับผลตอบแทนระยะยาว โดยคำนึงถึงข้อจำกัดเชิงโครงสร้าง เช่น การเข้าถึงแหล่งเงินทุน การขนส่งวัสดุอุปกรณ์ และรายได้เฉลี่ยต่อครัวเรือนที่ต่ำกว่าพื้นราบ ข้อมูลพบว่า “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน” มีต้นทุนเฉลี่ย 3,000 บาท/ครัวเรือน ผลตอบแทน 1,000 บาท/ปี และอัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C ratio) 1.67 ถือว่าคุ้มค่าปานกลาง เหมาะกับชุมชนที่มีไฟฟ้าเข้าถึง แต่ข้อจำกัดคือการบำรุงรักษาอุปกรณ์และการขาดช่างเทคนิคในพื้นที่ห่างไกล ทำให้ต้องขอโครงการสนับสนุนจากภายนอก “การใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน” มีต้นทุน 4,000 บาท ผลตอบแทน 1,500 บาท/ปี และ B/C 1.88 ถือว่ามีศักยภาพสูงในพื้นที่ที่มีแสงแดดเข้มและวัสดุชีวมวลเพียงพอ แต่ยังมีอุปสรรคด้านต้นทุนเริ่มต้นและการบำรุงรักษาระบบ เช่น แบตเตอรี่และท่อก๊าซชีวภาพ จึงต้องอาศัยกลไกการลงทุนแบบกลุ่มหรือการสนับสนุนจากรัฐ “การจัดการขยะมูลฝอย” เป็นแนวทางที่คุ้มค่าที่สุด ต้นทุนเฉลี่ยเพียง 750 บาท B/C ratio สูงถึง 2.67 คืนทุนภายใน 2 ปี เหมาะกับทุกชุมชนพื้นที่สูงเนื่องจากไม่ต้องใช้โครงสร้างพื้นฐานมากนัก สามารถสร้างรายได้และลดการเผาในพื้นที่ได้จริง หากมีการจัดการกลุ่มอย่างต่อเนื่องจะเกิดประโยชน์ทั้งเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม “การเกษตรปลอดภัยและเกษตรยั่งยืน” มีต้นทุน 1,250 บาท ผลตอบแทน 600 บาทต่อปี B/C 2.40 ให้ผลตอบแทนทางตรงไม่สูง แต่เสริมความมั่นคงทางอาหารและรักษาทรัพยากรระยะยาว เหมาะกับชุมชนเกษตรพื้นที่สูงที่เก็บเกี่ยวผลผลิตตามฤดูกาลและมีข้อจำกัดด้านปุ๋ยเคมี “การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ป่า” มีต้นทุนต่ำ (1,000 บาท) B/C 2.50 ผลตอบแทนทางการเงินโดยตรงต่ำ แต่ให้ประโยชน์ทางระบบนิเวศสูง เช่น การดูดซับคาร์บอนและรักษาน้ำ เหมาะกับพื้นที่ต้นน้ำที่มีป่าชุมชนเข้มแข็ง แต่จำเป็นต้องมีสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ชัดเจนและระบบติดตามผล “การกักเก็บคาร์บอนในดิน” มี B/C ratio สูงสุด (2.78) และคืนทุนภายใน 1.8 ปี แต่ต้นทุนเริ่มต้นสูงถึง 2,250 บาท และต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ เช่น เต้าเผาชีวมวลและการตรวจวัดคาร์บอนในดิน จึงเหมาะกับชุมชนที่มีการสนับสนุนด้านเทคนิคจากภาครัฐหรือสถาบันการศึกษา

3) ทรัพยากรและโครงสร้างพื้นฐานของชุมชน วิเคราะห์ความพร้อมของทรัพยากรธรรมชาติ โครงสร้างพื้นฐาน และบุคลากรในการดำเนินงาน ข้อมูลพบว่า “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน” อยู่ระดับปานกลางทั้ง 3 ด้าน เนื่องจากมีทรัพยากรพลังงานพื้นฐาน แต่โครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าและการซ่อมบำรุงยังไม่ครอบคลุม การดำเนินงานจึงต้องอาศัยการสนับสนุนจากหน่วยงานภายนอก “พลังงานทดแทนและ

พลังงานหมุนเวียน” แสดงศักยภาพสูงสุดด้านทรัพยากรธรรมชาติ เพราะพื้นที่สูงมีแสงอาทิตย์เข้มและวัสดุชีวมวลมาก อย่างไรก็ตามโครงสร้างพื้นฐานอยู่ระดับปานกลาง เช่น การขนส่งและระบบไฟฟ้าสำรอง ยังเป็นอุปสรรคต่อการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ขณะที่ศักยภาพบุคลากรอยู่ระดับปานกลาง จึงต้องเสริมการอบรมและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้ชุมชนดูแลตัวเอง “การจัดการขยะมูลฝอย” ทรัพยากรอยู่ระดับปานกลางและโครงสร้างพื้นฐานค่อนข้างต่ำ แต่ศักยภาพบุคลากรภายในชุมชนอยู่ระดับปานกลางถึงสูง เนื่องจากสามารถใช้แรงงานและความร่วมมือของกลุ่มชุมชนได้ดี จึงเหมาะกับการดำเนินการในพื้นที่ที่ขาดการบริการจัดเก็บขยะจากภาครัฐ “การเกษตรปลอดภัยและเกษตรยั่งยืน” มีความพร้อมของทรัพยากรสูง โดยเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกและน้ำเขตแหล่งต้นน้ำ โครงสร้างพื้นฐานระดับปานกลาง และศักยภาพบุคลากรสูง สมาชิกภายในชุมชนมีองค์ความรู้ ประสบการณ์และปรับตัวได้ดีต่อแนวทางเกษตรธรรมชาติ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการส่งเสริมบนพื้นที่สูงที่เน้นการพึ่งพาตนเอง “การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ป่า” มีทรัพยากรสูงและความร่วมมือชุมชนดี แต่โครงสร้างพื้นฐานต่ำถึงปานกลาง เช่น เส้นทางขนส่งต้นกล้าและอุปกรณ์การปลูก ขณะที่ศักยภาพบุคลากรอยู่ระดับปานกลาง ต้องเสริมการฝึกอบรมด้านการจัดการป่าชุมชนและการติดตามผลทางนิเวศ “การกักเก็บคาร์บอนในดิน” มีความพร้อมทรัพยากรสูงและโครงสร้างพื้นฐานปานกลาง แต่ศักยภาพบุคลากรอยู่ระดับต่ำถึงปานกลาง เนื่องจากต้องใช้ความรู้ทางเทคนิคเฉพาะ เช่น การผลิตและใช้ Biochar หรือการวัดคาร์บอนในดิน ซึ่งเกินความสามารถของชุมชนทั่วไป จำเป็นต้องขอความร่วมมือจากหน่วยงานวิชาการ

4) ผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ประเมินผลกระทบเชิงบวก เชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน โดยใช้สมการ Degree of Risk = Likelihood × Impact เกณฑ์คะแนนอ้างอิงจากกองบริหารกองทุนสิ่งแวดล้อมและสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2563) ซึ่งกำหนดระดับโอกาส (1-5) และระดับผลกระทบ (1-5) แล้วแปลงเป็นระดับความเสี่ยง 5 ระดับ ได้แก่ ต่ำมาก (1-2) ต่ำ (3-4) ปานกลาง (5-12) สูง (15-19) และสูงมาก (20-25) ข้อมูลชุดนี้สื่อให้เห็นถึงความเปราะบางด้านทรัพยากรและความพร้อมทางเทคนิคซึ่งส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงในการดำเนินการ พบว่า “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน” มีระดับความเสี่ยงปานกลาง (คะแนน 12) จากโอกาสเกิดปัญหาและผลกระทบค่อนข้างสูง เช่น การชำรุดของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือขาดอะไหล่บริเวณพื้นที่ห่างไกล จำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากรัฐหรือโครงการ CSR เพื่อช่วยลดต้นทุนและจัดอบรมซ่อมบำรุง “การใช้พลังงานทดแทน/พลังงานหมุนเวียน” มีระดับความเสี่ยงสูงสุด (คะแนน 16) เนื่องจากเกี่ยวข้องกับระบบเทคโนโลยีซับซ้อน เช่น โซลาร์เซลล์หรือก๊าซชีวภาพ ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและการบำรุงรักษาอุปกรณ์สูง ต้องมีการฝึกอบรมและควบคุมมาตรฐานการติดตั้งอย่างเคร่งครัด “การจัดการขยะมูลฝอย” มีความเสี่ยงปานกลาง (คะแนน 6) โอกาสเกิดปัญหาต่ำ แต่ยังมีความเสี่ยงด้านคุณภาพและกลิ่นจากการผลิตปุ๋ยหมัก จึงควรจัดตั้งกลุ่มจัดการขยะร่วมกันและอบรมเทคนิคการควบคุมคุณภาพ “การเกษตรปลอดภัยและเกษตรยั่งยืน” เป็นกิจกรรมที่มีความเสี่ยงต่ำที่สุด (คะแนน 4) เพราะเป็นระบบการผลิตที่ชุมชนคุ้นเคยและใช้ทรัพยากรท้องถิ่นเป็นหลัก ความเสี่ยงส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับผลผลิตและราคาตลาดมากกว่าด้านเทคนิค การอบรมเรื่องพืชคลุมดินและการหมุนเวียนพืชช่วยลดความเสี่ยงระยะยาวได้ดี “การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ป่า” ความเสี่ยงอยู่ระดับปานกลาง (คะแนน 6) ผลกระทบโดยตรงต่ำแต่มีความไม่แน่นอนด้านแรงงานและสิทธิในพื้นที่ การเผยแพร่ความรู้และปลูกจิตสำนึกช่วยให้กิจกรรมยั่งยืนมากขึ้น “การกักเก็บคาร์บอนในดิน” มีระดับความเสี่ยงปานกลาง (คะแนน 9) จากความไม่แน่นอนทางเทคนิค เช่น การเผาชีวมวลควบคุมและตลาด Biochar ที่ยังไม่คงที่ การประสานกับองค์กรปกครองท้องถิ่นเพื่อสนับสนุนอุปกรณ์และตลาดจะช่วยลดความเสี่ยงได้

5) การยอมรับและการมีส่วนร่วมของชุมชน พิจารณาระดับการมีส่วนร่วมจากต่ำ (0-30%) ถึงสูงมาก (81-100%) โดยเน้นความร่วมมือ การตัดสินใจร่วม และความเป็นเจ้าของกิจกรรม เกณฑ์ชุดนี้ประเมินความเข้าใจ ความเชื่อมั่น และความร่วมมือของชุมชนในการนำเทคโนโลยีมาใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านวัฒนธรรม ความเชื่อชาติพันธุ์ และประสบการณ์ร่วมในพื้นที่ ข้อมูลพบว่า “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน” อยู่ระดับปานกลาง ชุมชนเห็นประโยชน์แต่ยังขาดความเชื่อมั่นในเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น อุปกรณ์ประหยัดพลังงานหรือระบบตรวจวัด เนื่องจากขาดการให้ข้อมูลและตัวอย่างผลลัพธ์จริงบนพื้นที่สูง “การใช้พลังงานทดแทน/หมุนเวียน” มีการยอมรับระดับปานกลางถึงสูง โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีโครงการส่งเสริมจากรัฐ เช่น โซลาร์เซลล์ตามบ้าน หรือระบบก๊าซชีวภาพภายในฟาร์มครัวเรือน การเห็นผลจริงและการสนับสนุนทางเทคนิคช่วยสร้างแรงจูงใจให้ชุมชนยอมรับมากขึ้น “การจัดการขยะมูลฝอย” ได้รับการยอมรับสูง เพราะเกี่ยวข้องโดยตรงกับชีวิตประจำวันของชุมชน สามารถเห็นผลได้เร็วและสร้างรายได้เสริม เช่น การทำปุ๋ยหมักหรือผลิตภัณฑ์รีไซเคิล สอดคล้องกับแนวคิดการพึ่งพาตนเองของพื้นที่สูง “การเกษตรปลอดภัยและเกษตรยั่งยืน” มีการยอมรับสูงมาก เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ต่อยอดจากภูมิปัญญาท้องถิ่นและสอดคล้องกับวิถีชีวิตดั้งเดิมของกลุ่มชาติพันธุ์พื้นที่สูง เช่น การปลูกพืชหมุนเวียนและไม่ใช้สารเคมี การดำเนินงานในลักษณะกลุ่มหรือวิสาหกิจชุมชนช่วยเพิ่มความมั่นคงและความภาคภูมิใจในอาชีพ “การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ป่า” มีการยอมรับสูง โดยเฉพาะชุมชนที่มีระบบป่าชุมชนหรือคณะกรรมการดูแลป่าอยู่แล้ว การเชื่อมโยงกับประโยชน์ด้านน้ำและความมั่นคงทางอาหารทำให้เกิดแรงสนับสนุนกว้าง “การกักเก็บคาร์บอนในดิน” มีการยอมรับระดับปานกลาง เนื่องจากเป็นแนวคิดใหม่ที่ต้องอาศัยความเข้าใจเชิงเทคนิคและการวัดผลที่ซับซ้อน ชุมชนบางแห่งสนใจแต่การขาดการสนับสนุนด้านองค์ความรู้และอุปกรณ์ทำให้การยอมรับยังจำกัด

6) ความยืดหยุ่นและการปรับตัวของเทคโนโลยี ประเมินความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของชุมชน ภูมิอากาศ สังคม และเศรษฐกิจ รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ โดยแบ่งระดับเป็นสูง (80-100%) ปานกลาง (50-79%) และต่ำ (<50%) ข้อมูลพบว่า “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน” อยู่ระดับปานกลางทุกด้าน โดยสามารถปรับใช้ได้หลายพื้นที่ แต่ยังมีข้อจำกัดจากสภาพโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบไฟฟ้าไม่เสถียรบางหมู่บ้าน และขาดการซ่อมบำรุงอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการเสริมทักษะช่างและการบริหารจัดการอุปกรณ์ “พลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียน” มีความยืดหยุ่นต่อภูมิอากาศ สูง โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีแสงแดดหรือต้นทุนชีวมวลเพียงพอ อย่างไรก็ตามความยืดหยุ่นทางสังคมและเศรษฐกิจยังอยู่ระดับปานกลาง เพราะต้นทุนเริ่มต้นสูงและการบำรุงรักษาซับซ้อน จำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนทางเทคนิคจากภายนอก “การจัดการขยะมูลฝอย” มีความสามารถในการปรับตัวสูง และมีการมีส่วนร่วมของชุมชนระดับสูง เพราะสามารถดำเนินการทุกภูมิภาคและเชื่อมโยงกับกิจกรรมเศรษฐกิจของครัวเรือน เช่น การผลิตปุ๋ยหมักและรีไซเคิลวัสดุ อย่างไรก็ตามความยืดหยุ่นด้านเทคโนโลยียังปานกลาง เนื่องจากต้องอาศัยการบริหารจัดการอย่างต่อเนื่อง “การเกษตรปลอดภัยและเกษตรยั่งยืน” มีความสามารถในการปรับตัวและยืดหยุ่นสูงมากทุกมิติ โดยเฉพาะการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและเศรษฐกิจ เนื่องจากเกษตรกรสามารถปรับชนิดพืชและวิธีเพาะปลูกได้ตามฤดูกาล กิจกรรมยังส่งเสริมการมีส่วนร่วมสูงสุดของชุมชน แต่ต้องพัฒนาเทคโนโลยีเสริม เช่น ระบบจัดการน้ำและตลาดสินค้าเกษตรยั่งยืน “การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ป่า” มีความยืดหยุ่นต่อภูมิอากาศสูงมาก เพราะช่วยฟื้นฟูระบบนิเวศต้นน้ำและลดความเสี่ยงภัยแล้ง ขณะที่ความยืดหยุ่นทางเศรษฐกิจอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากผลตอบแทนทางตรงต่ำ แต่การมีส่วนร่วมของชุมชนสูงจากระบบป่าชุมชนที่เข้มแข็ง จึงเหมาะกับพื้นที่ที่มีการจัดการป่าแบบมีส่วนร่วม “การกักเก็บคาร์บอนในดิน” แสดงความยืดหยุ่นต่อภูมิอากาศระดับสูง และมีศักยภาพพัฒนาเทคโนโลยีต่อเนื่องได้ดี แต่การมีส่วนร่วมของชุมชนยังอยู่ระดับปานกลาง เพราะต้องใช้ความรู้ทางเทคนิคเฉพาะ เช่น การผลิต Biochar และการวัดค่าคาร์บอนในดิน

ภาพรวม (1) การเกษตรปลอดภัย/เกษตรยั่งยืน (94 คะแนน; สูงมาก) เป็นเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมสูงสุด เนื่องจากสอดคล้องกับวิถีชีวิตและระบบเศรษฐกิจฐานทรัพยากรของชุมชนบนพื้นที่สูง เกษตรกรสามารถประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นร่วมกับเทคนิคสมัยใหม่ เช่น พีชคลุมดิน การหมุนเวียนพืช และปุ๋ยอินทรีย์ ส่งผลให้ลดการปล่อย GHG ได้อย่างต่อเนื่องและมีความยืดหยุ่นสูงต่อสภาพภูมิอากาศและเศรษฐกิจ นอกจากนี้ยังสร้างความมั่นคงทางอาหารและรายได้เสริม อย่างไรก็ตามควรเสริมระบบตลาดสินค้าสีเขียว การรับรองมาตรฐาน GAP/Organic และกลไกสนับสนุนเงินทุนขนาดเล็ก เพื่อขยายผลสู่ระดับกลุ่มและเครือข่ายเกษตรยั่งยืน (2) การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและพื้นที่ป่า (90 คะแนน; สูงมาก) เหมาะสมเป็นอันดับ 2 โดยเฉพาะเขตพื้นที่ต้นน้ำหรือเขตป่าชุมชนที่มีการบริหารจัดการร่วมกัน เทคโนโลยีช่วยเพิ่มการดูดซับคาร์บอนพื้นที่ป่าความหลากหลายทางชีวภาพ และเสริมความมั่นคงด้านน้ำ แต่ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจตรงยังต่ำและเห็นผลช้า จึงควรเชื่อมโยงกับโครงการคาร์บอนเครดิตและการจ่ายค่าตอบแทนบริการระบบนิเวศ (PES) เพื่อสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจและรักษาการมีส่วนร่วม (3) การปรับปรุงการจัดการขยะมูลฝอย (88 คะแนน; สูงมาก) เป็นเทคโนโลยีที่เห็นผลชัดและชุมชนยอมรับมากที่สุด เนื่องจากดำเนินการง่าย ใช้ทรัพยากรภายในพื้นที่ และให้ผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจ เช่น การผลิตปุ๋ยหมักหรือเชื้อเพลิงชีวภาพขนาดเล็ก เหมาะกับทุกระดับชุมชนทั้งในและนอกเขตป่า แต่ควรพัฒนาเครือข่ายการจัดการขยะระดับตำบล และสนับสนุนอุปกรณ์ผลิตปุ๋ยคุณภาพ รวมถึงการอบรมมาตรฐานสุขาภิบาลและการตลาดผลิตภัณฑ์รีไซเคิล (4) การใช้พลังงานทดแทน/พลังงานหมุนเวียน (80 คะแนน; สูง) เหมาะกับพื้นที่ที่มีศักยภาพเฉพาะ เช่น แสงแดดเข้ม แหล่งน้ำเพียงพอหรือชีวมวลจากการเกษตร ช่วยลดการใช้พลังงานฟอสซิลได้จริง แต่ข้อจำกัดสำคัญคือ ต้นทุนเริ่มต้นสูงและการบำรุงรักษาซับซ้อน ชุมชนต้องได้รับความรู้เทคนิคจากหน่วยงานภายนอก ควบคู่ไปกับการส่งเสริมโครงการนำร่องระดับกลุ่ม เช่น ระบบโซลาร์สำหรับสูบน้ำเกษตร หรือก๊าซชีวภาพของศูนย์เรียนรู้ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนอื่น (5) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (75 คะแนน; ปานกลาง-สูง) มีความเหมาะสมกับชุมชนที่มีไฟฟ้าเข้าถึง เช่น การเปลี่ยนหลอด LED หรือปรับปรุงเครื่องจักรขนาดเล็ก แต่ยังมีข้อจำกัดในพื้นที่ห่างไกลที่ไฟฟ้าไม่เสถียร และขาดบุคลากรซ่อมบำรุงประจำ จึงควรบูรณาการกับโครงการ “พลังงานชุมชน” เพื่อฝึกอบรมช่างพลังงานท้องถิ่น และสนับสนุนอุปกรณ์ประหยัดพลังงานที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ และ (6) การกักเก็บคาร์บอนในดิน (78 คะแนน; สูง) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีศักยภาพสูงระยะยาว โดยเฉพาะการผลิต Biochar และการจัดการดินอินทรีย์ แต่ยังอยู่ช่วงเริ่มต้น ชุมชนเข้าใจจำกัดและต้องใช้เครื่องมือเฉพาะในการวัดและติดตามผล ทำให้ต้องดำเนินการผ่านโครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการร่วมกับสถาบันการศึกษา เพื่อสร้างองค์ความรู้และโมเดลต้นแบบ ก่อนขยายสู่ระดับชุมชนจริง

ตารางที่ 4.18 ผลประเมินศักยภาพเทคโนโลยีลด GHG ระดับชุมชน จำนวน 6 กิจกรรมหลัก

กิจกรรม	การลด GHG (tCO ₂ eq/ปี)	ระยะเวลาการเห็นผล	ความยั่งยืน	สอดคล้อง T-VER	ต้นทุน/ครัวเรือน (บาท)	ผลตอบแทน/ปี/ครัวเรือน (บาท)	ผลตอบแทน/ปี (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน
เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	สูง/สูง (เฉลี่ย 5.99)	ระยะสั้น	ปานกลาง	สอดคล้อง	3,000	1,000	20,000	3.00	1.67
ใช้พลังงานทดแทน/พลังงานหมุนเวียน	ปานกลาง/สูง (เฉลี่ย 3.79)	ระยะกลาง	สูง	สอดคล้อง	4,000	1,500	30,000	2.67	1.88
ปรับปรุงการจัดการขยะมูลฝอย	ต่ำ/ปานกลาง (เฉลี่ย 0.43)	ระยะสั้น-กลาง	ปานกลาง	สอดคล้อง	750	400	8,000	1.88	2.67
เกษตรปลอดภัย/เกษตรยั่งยืน	ต่ำ/ปานกลาง (เฉลี่ย 0.27)	ระยะกลาง-ยาว	สูง	สอดคล้อง	1,250	600	12,000	2.08	2.40
เพิ่มพื้นที่สีเขียว/พื้นที่พุ่มป่า	ต่ำ/ปานกลาง (เฉลี่ย 0.14)	ระยะยาว	สูง	สอดคล้อง	1,000	500	10,000	2.00	2.50
ใช้เทคโนโลยีกักเก็บคาร์บอนในดิน	ต่ำ/ปานกลาง (เฉลี่ย 0.01)	ระยะกลาง-ยาว	สูง	สอดคล้อง	2,250	1,250	25,000	1.80	2.78

กิจกรรม	ทรัพยากร ธรรมชาติ	โครงสร้าง พื้นฐาน	ศักยภาพบุคลากร ในชุมชน	โอกาส	ผลกระทบ	Degree of Risk	ระดับ ความเสี่ยง	แนวทางการจัดการความเสี่ยง
เพิ่มประสิทธิภาพการ ใช้พลังงาน	ปานกลาง	ต่ำ- ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	12	ปานกลาง	สนับสนุนจากภาครัฐหรือโครงการ CSR เพื่อลดต้นทุนและจัดอบรมซ่อมบำรุง
ใช้พลังงานทดแทน/ พลังงานหมุนเวียน	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สูง	16	สูง	อบรมติดตั้งระบบตามมาตรฐาน และ ดูแลความปลอดภัย/ซ่อมแซมท่อก๊าซ ชีวภาพ
ปรับปรุงการจัดการ ขยะมูลฝอย	ปานกลาง	ต่ำ- ปานกลาง	ปานกลาง-สูง	ต่ำ	ปานกลาง	6	ปานกลาง	จัดตั้งกลุ่มผลิตปุ๋ยหมักจากขยะ เพื่อลด ต้นทุนร่วม พร้อมอบรมเทคนิคควบคุม กลิ่นและคุณภาพ
เกษตรปลอดภัย/ เกษตรยั่งยืน	สูง	ปานกลาง	สูง	ต่ำ	ต่ำ	4	ต่ำ	อบรมเกษตรกรเรื่องพืชคลุมดินและแผน หมุนเวียนพืช เพื่อรักษาผลประโยชน์ ระยะยาว
เพิ่มพื้นที่สีเขียว/ พื้นที่ฟูป่า	สูง	ต่ำ- ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	6	ปานกลาง	เผยแพร่ความรู้และปลูกจิตสำนึกการใช้ ทรัพยากรอย่างรู้คุณค่า
ใช้เทคโนโลยีกักเก็บ คาร์บอนในดิน	สูง	ปานกลาง	ต่ำ-ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	9	ปานกลาง	ประสาน อบต./อำเภอ สนับสนุนเตาเผา ควบคุม ลดการปล่อย CO ₂ และส่งเสริม ตลาดซื้อขาย Biochar

กิจกรรม	การยอมรับของชุมชน	การปรับตัว	ความยืดหยุ่นต่อภูมิอากาศ	ความยืดหยุ่นต่อสังคมเศรษฐกิจ	การมีส่วนร่วม	การปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยี	ภาพรวมของ 6 เกณฑ์การประเมิน
เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง-สูง (75 คะแนน) เหมาะกับหมู่บ้านมีไฟฟ้าเข้าถึง แต่จำกัดในพื้นที่ห่างไกลและขาดช่างซ่อม
ใช้พลังงานทดแทน/พลังงานหมุนเวียน	ปานกลาง-สูง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง (80 คะแนน) ใช้ได้ดีในบางพื้นที่ เช่น โซลาร์เซลล์-ชีวภาพ แต่ยังมีปัญหาต้นทุนและบำรุงรักษา
ปรับปรุงการจัดการขยะมูลฝอย	สูง	สูง	ปานกลาง	สูง	สูง	ปานกลาง	สูงมาก (88 คะแนน) เหมาะกับทุกชุมชน ทำได้จริง ลดการเผาและสร้างรายได้เสริม
เกษตรปลอดภัย/เกษตรยั่งยืน	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก	สูง	สูงมาก	ปานกลาง-สูง	สูงมาก (94 คะแนน) สอดคล้องกับวิถีพื้นที่สูงและลดการปล่อยคาร์บอนได้ต่อเนื่อง
เพิ่มพื้นที่สีเขียว/พื้นที่ฟูป่า	สูง	ปานกลาง-สูง	สูงมาก	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	สูงมาก (90 คะแนน) เหมาะกับระบบป่าชุมชน มีผลต่อการดูดซับคาร์บอนและอนุรักษ์น้ำ
ใช้เทคโนโลยีกักเก็บคาร์บอนในดิน	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สูง (78 คะแนน) ศักยภาพสูงแต่ยังใหม่ ต้องเสริมการถ่ายทอดและสนับสนุนเครื่องมือ

4.2.3 แนวทางจัดการระบบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิกาบในพื้นที่สูงเพื่อลดการปล่อย GHG และเพิ่มการกักเก็บคาร์บอน

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ผลศึกษาของโครงการแสดงให้เห็นว่า การจัดการแปลงปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีบทบาทต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและการปล่อย GHG ของระบบการผลิต โดยเฉพาะในบริบทพื้นที่สูงและพื้นที่ลาดชันที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรดิน จึงควรดำเนินการ ดังนี้

1) เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน ผลวิเคราะห์พบว่า การเตรียมพื้นที่ปลูกที่มีการเติมอินทรีย์วัตถุสามารถเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปรับปรุงโครงสร้างดิน และส่งเสริมการสะสมคาร์บอนในดินอย่างต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับการไถพรวนโดยไม่เติมอินทรีย์วัตถุและการเผาตอซัง ซึ่งให้ค่าการกักเก็บคาร์บอนในดินต่ำกว่าชัดเจน ผลดังกล่าวชี้ว่าการจัดการดินที่เหมาะสม เช่น การคังไว้ซึ่งเศษซากพืช การใช้ปุ๋ยหมัก และการลดการรบกวนหน้าดิน สามารถช่วยเพิ่มศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนและบรรเทาข้อจำกัดพื้นที่สูงและพื้นที่ลาดชันได้

2) ลดการปล่อย GHG ของระบบการปลูก โดยข้อมูลประเมินภายใต้กรอบการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (LCA) ระบุว่าแหล่งปล่อย GHG หลักของระบบ ได้แก่ การเผาเศษซากพืช การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการเตรียมดินและการขนส่ง ซึ่งครอบคลุมทั้งการปล่อยโดยตรง (Scope 1) และการปล่อยทางอ้อม (Scope 3) ประกอบด้วย การยกเลิกการเผาเศษซากพืชหลังเก็บเกี่ยวและนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินโดยตรงหรือใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับแปรรูปเพิ่มมูลค่าเป็นปัจจัยการผลิตเกษตร เช่น ปุ๋ยหมัก ถ่านชีวภาพ (biochar) สารปรับปรุงดิน วัสดุเพาะกล้า วัสดุปลูก เพื่อลดการปล่อย CH_4 และ N_2O จากการเผาในที่โล่งซึ่งคิดเป็นประมาณ 7-10% ของการปล่อยทั้งหมดของระบบ ควบคู่กับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนผ่านการใช้เทคโนโลยีการใส่ปุ๋ยแบบแม่นยำร่วมกับการวิเคราะห์ดินและการใช้ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง เพื่อลดการปล่อย N_2O จากกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยหลักของระบบ (ประมาณ 75-80% ของการปล่อย Scope 1) นอกจากนี้ การปรับระบบเตรียมดินและการใช้พลังงาน เช่น การใช้ไถพรวนอนุรักษ์ การปลูกพืชคลุมดิน การลดการไถซ้า และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องจักร รวมถึงการลดการใช้ปัจจัยการผลิตจากภายนอกฟาร์มผ่านการใช้ปุ๋ยหมัก ชีวภัณฑ์ และการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน จะช่วยลดการปล่อย Scope 3 จากกระบวนการผลิตและการขนส่งปัจจัยการผลิต ซึ่งคิดเป็นประมาณ 20-30% ของการปล่อยทั้งหมด ขณะเดียวกัน การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การรวมศูนย์จุดรวบรวมผลผลิตและการใช้พาหนะพลังงานสะอาด สามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงและการปล่อย GHG ในกิจกรรมขนส่งได้

กาแพะราบิกา

ผลศึกษาของโครงการแสดงให้เห็นว่า ระบบการปลูกกาแพะมีบทบาทต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยเฉพาะระบบปลูกกาแพะร่วมกับป่าและพืชผักสวนครัว ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปรับปรุงโครงสร้างดิน และส่งเสริมการสะสมคาร์บอนในดินต่อเนื่องเมื่อเทียบกับการปลูกกาแพะอย่างเดียว ดังนั้นแนวทางการจัดการสวนกาแพะบนพื้นที่สูงควรมุ่งส่งเสริมระบบปลูกร่วมเป็นหลัก เพื่อเพิ่มความยั่งยืนของระบบนิเวศดินและศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน

1) เพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในระบบการผลิตกาแฟ โดยส่งเสริมระบบการปลูกกาแฟได้ร่มเงาไม้และระบบปลูกกร่วม เนื่องจากช่วยเพิ่มชีวมวลเหนือดินและการสะสมอินทรีย์วัตถุในดิน การคั่งไว้ซึ่งเศษซากพืชใบไม้ และกากกาแฟในแปลง มีส่วนช่วยเพิ่มแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดินชั้นบน และลดการสูญเสียคาร์บอนจากการรบกวนหน้าดิน

2) ลดการปล่อย GHG จากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ซึ่งเป็นแหล่งปล่อย GHG หลักของระบบ โดยเฉพาะการปล่อย Scope 1 จึงควรปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนผ่านการลดอัตราการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็น การใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยผสมร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีและการจัดการเศษซากพืชคลุมดิน ช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนและการปล่อย N_2O จากดินระยะสั้น

3) ลดการปล่อย GHG ในขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปกาแฟ โดยเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทพื้นที่สูง เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าระดับชุมชน การจัดการกากกาแฟด้วยกระบวนการหมักแบบควบคุม และการนำของเสียอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุคลุมดินหรือวัตถุดิบสำหรับการผลิตถ่านชีวภาพ (biochar) ปุ๋ยหมัก วัสดุเกษตรอื่นซึ่งช่วยลดการปล่อยก๊าซจากของเสียและเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในระบบดิน

เมื่อพิจารณาระดับชุมชน ผลวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการกิจกรรมลดการปล่อย GHG และเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนหลายด้านร่วมกัน สามารถพัฒนาไปสู่ระบบฟาร์มคาร์บอนต่ำของชุมชนพื้นที่สูงอย่างเหมาะสม ประกอบด้วย การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกิจกรรมการเกษตรและการแปรรูป การจัดการขยะอินทรีย์และเศษซากพืชเพื่อลดการปล่อยและเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน การส่งเสริมเกษตรยั่งยืนที่ลดการรบกวนดิน และการฟื้นฟูพื้นที่ป่าและระบบวนเกษตรเพื่อเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน แนวทางฟาร์มคาร์บอนต่ำดังกล่าวควรได้รับการสนับสนุนผ่านกลไกระดับชุมชน เช่น ระบบติดตามและรายงานผลคาร์บอน การสนับสนุนเชิงงบประมาณ และการเชื่อมโยงกับตลาดคาร์บอนสมัครใจ เพื่อให้การลดการปล่อยและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องและเกิดผลภายใต้ข้อจำกัดของพื้นที่สูง

4.3 การทดสอบแผนงานส่งเสริมชุมชนร่วมลด GHG ประเภทการเกษตร การจัดการของเสีย และป่าไม้ที่สอดคล้องกับบริบทพื้นที่สูง

4.3.1 ติดตามผลการดำเนินงานของชุมชนภายใต้โครงการส่งเสริมการลดการปล่อย GHG และเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนบนพื้นที่สูง ดำเนินการอย่างเป็นระบบโดยใช้นวัตกรรมทางสังคมที่มีกลไกหลักอยู่ที่ “กระบวนการ” มากกว่าการใช้เทคโนโลยี โดยประกอบด้วย (1) การสร้างการยอมรับร่วมต่อระบบคุณค่าเกษตรและการเปลี่ยนแปลงของชุมชน ซึ่งเชื่อมโยงกับแนวคิด social innovation และ behavior change (2) การออกแบบกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจกให้เป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน สอดคล้องกับแนวคิด practice embedding และ normalization of innovation (3) การทดลองปฏิบัติและการปรับวิธีการใหม่ผ่านการเรียนรู้ร่วมของชุมชน ซึ่งเชื่อมโยงกับ learning-by-doing และ incremental change (4) การติดตามผลสัมฤทธิ์และการประเมินการเปลี่ยนแปลง เพื่อสนับสนุนการปรับตัวของกระบวนการดำเนินงาน สอดคล้องกับ reflexive governance และ adaptive management และ (5) การขยายผลแนวทางที่ประสบความสำเร็จไปสู่สมาชิกใหม่และคนรุ่นถัดไป ซึ่งเชื่อมโยงกับ social scaling และ intergenerational transmission สรุปแผนปฏิบัติการส่งเสริมการลด GHG และผลการดำเนินงานดังนี้

ประเภทการเกษตรและการจัดการของเสีย

ครอบคลุมพื้นที่นาร่อง 4 ชุมชน ได้แก่ (1) บ้านศรีบุญเรือง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงโป่งคำ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน ดำเนินกิจกรรมผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากแกลบและฟางข้าว ซึ่งเป็นเศษเหลือใช้จากการปลูกข้าว (2) บ้านห้วยทรายขาว ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ปูนหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ดำเนินกิจกรรมผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งเป็นเศษพืชเหลือทิ้งที่พบมากภายในพื้นที่ (3) บ้านห้วยน้ำกิน ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยโป่ง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ดำเนินกิจกรรมผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากเปลือกกาแฟ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการแปรรูปผลผลิตหลักของชุมชน และ (4) บ้านป่าเกี๊ยะ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ดำเนินกิจกรรมการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ (Refuse-Derived Fuel: RDF) ประเภทพลาสติกอัดก้อน

กิจกรรมดังกล่าวมุ่งเน้นการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยหมักเพื่อทดแทนการเผาทำลาย ลดการปล่อย GHG และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ควบคู่กับการจัดตั้งแหล่งเรียนรู้ภายในชุมชนเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และสร้างกลไกการเรียนรู้ร่วมกัน ผลการประเมินตามเกณฑ์ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ (2560) พบว่าแผนปฏิบัติการของ 3 ชุมชน มีระดับความสำเร็จอยู่ช่วง ระดับ 4-5 (ร้อยละ 81-90) แสดงให้เห็นถึงการดำเนินงานที่บรรลุผลเกือบทั้งหมด มีความก้าวหน้าชัดเจน และได้รับการขับเคลื่อนอย่างต่อเนื่องโดยมีชุมชน การมีส่วนร่วมของชุมชนอยู่ระดับสูงมาก โดยบ้านศรีบุญเรือง มีร้อยละ 97.44 บ้านห้วยทรายขาว ร้อยละ 94.8 และบ้านห้วยน้ำกิน ร้อยละ 98.2 จำแนกอยู่ระดับ “การมอบอำนาจ” ตามเกณฑ์การมีส่วนร่วมของสถาบันพระปกเกล้า (2567) หมายถึงชุมชนมีความเป็นเจ้าของกิจกรรม สามารถวางแผน ดำเนินการ และบริหารจัดการด้วยตนเอง ชุมชน 3 แห่ง ได้พัฒนากลไกภายในที่เข้มแข็ง เช่น การจัดตั้งคณะกรรมการกลุ่มผู้ผลิตวัสดุปรับปรุงดิน การกำหนดบทบาทหน้าที่ของสมาชิก และการบันทึกข้อมูลการผลิตและผลการลด GHG อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนทางวิชาการและเทคนิคจากหน่วยงานภาคี ได้แก่ สำนักงานเกษตรอำเภอสันติสุข ศูนย์วนศาสตร์ชุมชนเพื่อคนกับป่า องค์การบริหารส่วนตำบลพงษ์ สำนักงานเกษตรอำเภอเวียงป่าเป้า และมูลนิธิโครงการหลวง ซึ่งมีส่วนสำคัญในการสร้างความเข้าใจด้านเทคนิคการผลิต การตรวจวัดคุณภาพ และการประเมินผลทางสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังพบว่ากิจกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินมีความเหมาะสมสูงกับบริบทของพื้นที่สูงภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่ทำกิน การเข้าถึงทรัพยากร และสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีศักยภาพด้านการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ภายในท้องถิ่น เช่น แกลบ ฟางข้าว ต้นข้าวโพด และเปลือกกาแฟ กิจกรรมจึงช่วยลดการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) พร้อมทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มให้เศษวัสดุกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายหรือใช้ในแปลงเกษตรได้จริง การดำเนินงานยังช่วยเสริมสร้างทุนทางสังคมและทุนมนุษย์ของชุมชน โดยการพัฒนาองค์ความรู้ การจัดตั้งศูนย์เรียนรู้ และการมีส่วนร่วมของกลุ่มผู้นำ ซึ่งเป็นกลไกหลักในการสืบทอดองค์ความรู้และขยายผลสู่ชุมชนใกล้เคียง อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดด้านการพัฒนาเครื่องมือวัดการลด GHG ระดับกิจกรรมชุมชน และการเชื่อมโยงตลาดรองรับผลิตภัณฑ์วัสดุปรับปรุงดินที่ควรได้รับการสนับสนุนระยะต่อไป รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 การประเมินระดับขั้นของความสำเร็จตามแผนปฏิบัติการส่งเสริมชุมชนบนพื้นที่สูงร่วมลด GHG ด้านเกษตร

ผลการสังเกตกลุ่มผู้ผลิตปุ๋ย ตรวจสอบเอกสาร สอบถามและสำรวจสถานที่ปฏิบัติงานร่วมกับเจ้าหน้าที่ภาคสนามโดยเทียบแผนปฏิบัติการส่งเสริมชุมชนลดการปล่อย GHG ของชุมชน พบว่าโครงการมีความก้าวหน้าหลายด้านและสามารถดำเนินกิจกรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม ดังนี้

1) บ้านศรีบุญเรือง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงโป่งคำ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน

(1) การจัดหาและเตรียมพื้นที่สำหรับการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากฟางข้าวและแกลบ ดำเนินการแล้วเสร็จ โดยชุมชนได้จัดสรรพื้นที่ผลิตกองปุ๋ยหมัก พื้นที่จัดเก็บวัสดุคั่ว และพื้นที่จัดเก็บสารปรับปรุงดินที่ผลิตได้อย่างเพียงพอ พื้นที่ดังกล่าวตั้งอยู่ใกล้บริเวณเพาะกล้าไม้ของชุมชน ทำให้เกิดการเชื่อมโยงกิจกรรมอย่างเป็นระบบ วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ถูกนำไปใช้ในการเพาะกล้าไม้ ซึ่งต่อมาชุมชนได้นำกล้าไม้ที่ผลิตได้ไปปลูกในพื้นที่ป่าชุมชน พื้นที่สาธารณะ และแนวถนนในโอกาสวันสำคัญของปี ทั้งนี้ปุ๋ยหมักส่วนเกินจากการผลิตยังได้แบ่งให้สมาชิกกลุ่มนำไปใช้ในพื้นที่เกษตรของแต่ละราย ส่งผลให้เกิดการใช้ประโยชน์ซ้ำและสร้างรายได้หมุนเวียนภายในชุมชน

(2) การจัดหาวัสดุการผลิตปุ๋ยหมัก ได้แก่ มูลสัตว์ กากน้ำตาล ฤงบรรจูปุ๋ยหมัก สารเร่งซุเปอร์พด.1 ฟางข้าว และแกลบ ดำเนินการจัดซื้อแล้วเสร็จ โดยได้รับการสนับสนุนทั้งงบประมาณและวัสดุจากสำนักงานเกษตรอำเภอสันติสุข สำนักงานพัฒนาที่ดินอำเภอ และ สวพส. ซึ่งช่วยให้ชุมชนมีความพร้อมในการผลิตต่อเนื่อง

(3) การจัดซื้ออุปกรณ์และเครื่องมือ เช่น เครื่องซัง เครื่องย่อยวัสดุ รวมถึงค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับขนส่งวัสดุคั่ว ดำเนินการครบถ้วน โดยได้รับการสนับสนุนจากองค์การบริหารส่วนตำบลพงษ์ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทำให้กระบวนการผลิตมีความคล่องตัวมากขึ้น

(4) การก่อสร้างโรงเรือนผลิตและโรงเก็บวัสดุคั่ว อยู่ระหว่างการดำเนินการบางส่วน โดยชุมชนจัดทำแผนก่อสร้างและรอกการสนับสนุนงบประมาณเพิ่มเติม เพื่อดำเนินการให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2569

(5) การจัดการน้ำเพื่อการผลิต ชุมชนดำเนินการสำรวจและพัฒนาแหล่งน้ำ โดยใช้บ่อบาดาลของวัดศรีบุญเรืองซึ่งตั้งอยู่ติดกับพื้นที่ผลิตกองปุ๋ยหมัก พร้อมทั้งติดตั้งระบบท่อส่งน้ำและจัดซื้อเครื่องสูบน้ำเรียบร้อยแล้ว ทำให้สามารถใช้น้ำได้อย่างเพียงพอตลอดกระบวนการผลิต

(6) การฝึกอบรมและศึกษาดูงานการทำปุ๋ยหมักและการบริหารจัดการกลุ่ม ได้จัดขึ้นเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2568 เพื่อเสริมความรู้และทักษะของสมาชิกกลุ่มให้สามารถดำเนินกิจกรรมได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

(7) การพัฒนาศูนย์เรียนรู้การทำปุ๋ยหมัก มีความก้าวหน้าใกล้เคียงบรรลุผล โดยใช้พื้นที่ใกล้กับศูนย์เรียนรู้เดิมของชุมชน ทำให้สามารถบูรณาการองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและแกลบ เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรการเรียนรู้ภายในศูนย์ได้ทันที

(8) การตรวจวัดคุณภาพปุ๋ยหมัก ดำเนินการเก็บตัวอย่างวัสดุปรับปรุงดินและส่งตรวจที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ผลการตรวจวัดแสดงว่าปุ๋ยหมักมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและเหมาะสมต่อการใช้งานทางการเกษตร

(9) การรับรองมาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร ดำเนินการแล้วเสร็จ โดยชุมชนส่งผลการตรวจวัดคุณภาพเพื่อขอการรับรองมาตรฐาน ซึ่งกรมวิชาการเกษตรได้ตรวจสอบและรับรองเรียบร้อยแล้ว

ผลการดำเนินงานของชุมชนบ้านศรีบุญเรือง โดยรวมถือว่ามีความก้าวหน้าและประสบผลสำเร็จระดับสูง ชุมชนสามารถพัฒนา “ระบบการผลิตปุ๋ยหมักครบวงจร” ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ ผลิต ตรวจสอบคุณภาพ ไปจนถึงการใช้ประโยชน์จริงในพื้นที่ ซึ่งนอกจากช่วยลดของเสียจากการเกษตรและลดการเผาเศษวัสดุที่เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้ว ยังช่วยสร้างรายได้เสริมให้แก่สมาชิกกลุ่ม และเป็นฐานองค์ความรู้เพื่อขยายผลสู่ชุมชนอื่นได้ในอนาคต อย่างไรก็ตามควรดำเนินการการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านโรงเรือนผลิตและระบบน้ำให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลาแผน เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตได้ต่อเนื่องตลอดปี และควรพิจารณาส่งเสริมการตลาดของผลิตภัณฑ์วัสดุปรับปรุงดินในรูปแบบเครือข่ายระหว่างชุมชน เพื่อเพิ่มแรงจูงใจทางเศรษฐกิจและความยั่งยืนของกิจกรรม รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แผนปฏิบัติการและผลการจัดทำวัสดุปรับปรุงดินจากฟางข้าวและแกลบของชุมชนบ้านศรีบุญเรือง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงโปงคำ

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละ การมีส่วนร่วม
แผนงานจัดเตรียมและจัดซื้อวัสดุสำหรับการผลิตสารปรับปรุงดิน							
(1) จัดหา/เตรียมพื้นที่สำหรับการผลิตพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบ พื้นที่จัดเก็บวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้	50,000	ต.ค. 2567 -พ.ย. 2570	ชุมชน	สวพส./ คณะกรรมการกลุ่ม ผู้ผลิตปุ๋ย/ เกษตรอำเภอ/พด.	คณะกรรมการ กลุ่มผู้ผลิตปุ๋ย	100	100
(2) จัดซื้อวัสดุการทำปุ๋ยหมัก - มูลสัตว์ - กากน้ำตาล - ถังบรรจุปุ๋ยหมัก - สารเร่งซูเปอร์ พด.1 - ฟางข้าว - แกลบ	50,000	ต.ค. 2567 -พ.ย. 2570	ชุมชน	สวพส./ เกษตรอำเภอ/พด.	สวพส./ เกษตรอำเภอ	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละ การมีส่วนร่วม
(3) จัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ - เครื่องซัง - ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงขนส่งวัตถุดิบ - เครื่องย่อยวัสดุ	50,000	ธ.ค. 2567 -ม.ค. 2570	ชุมชน	สวพส./ เกษตรอำเภอ /อบต./พต.	สวพส./ เกษตรอำเภอ /อบต.	100	100
แผนงานก่อสร้างสถานที่ผลิตและจัดเก็บวัสดุ							
(4) ก่อสร้าง - โรงเก็บวัตถุดิบ - โรงเรือนผลิตปุ๋ย	100,000	ม.ค. 2568 -ก.ย. 2570	ชุมชน	สวพส./ เกษตรอำเภอ /อบต./พต.	สวพส./ เกษตรอำเภอ /อบต.	95	80
แผนงานจัดหาน้ำเพื่อการผลิต							
(5) จัดหาน้ำเพื่อการผลิต - สร้างแหล่งกักเก็บน้ำ - ทำระบบท่อและระบบส่งน้ำ - ซ่อมเครื่องสูบน้ำ	5,000	ต.ค. 2567 -พ.ย. 2570	ชุมชน	ชุมชน	คณะกรรมการ กลุ่มผู้ผลิตปุ๋ย	100	100
แผนงานพัฒนาศูนย์เรียนรู้และการฝึกอบรมการผลิตปุ๋ยหมัก							
(6) จัดการอบรมและศึกษาดูงานการทำ ปุ๋ยหมัก/การบริหารจัดการกลุ่ม	5,000	ม.ค. 2568-2570	สวพส./ เกษตรอำเภอ/พต.	สวพส./ เกษตรอำเภอ/พต.	สวพส./ เกษตรอำเภอ	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละ การมีส่วนร่วม
(7) พัฒนาศูนย์เรียนรู้การทำปุ๋ยหมัก	150,000	ม.ค.-ก.ย. 2568-2570	ชุมชน	สวพส./ เกษตรอำเภอ /อบต./พด.	สวพส./ เกษตรอำเภอ /อบต.	95	97
แผนงานตรวจสอบและรับรองมาตรฐานปุ๋ยหมัก							
(8) จ้างเหมาตรวจวัดธาตุอาหารหลักและ รองของปุ๋ยหมัก	20,000	ก.ค. 2568-2570	สวพส./ โครงการหลวง	สวพส.	สวพส.	90	100
(9) จ้างเหมาตรวจรับรองตามมาตรฐาน ของกรมวิชาการเกษตร	150,000	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	30	100
รวม (เฉลี่ย)						90	97.44

2) บ้านห้วยทรายขาว ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ปุ่นหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย

(1) การจัดหาและเตรียมพื้นที่สำหรับการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากเศษต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ชุมชนใช้บริเวณสำนักงานการศึกษาออกโรงเรียนเป็นสถานที่จัดทำกองปุ๋ยหมัก มีระบบบริหารจัดการวัสดุโดยให้สมาชิกแต่ละรายนำเศษต้นข้าวโพดจากแปลงของตนเองมารวมกันเพื่อผลิตกองปุ๋ยหมัก ทำให้ไม่เกิดปัญหาด้านการจัดเก็บวัสดุ และสามารถนำวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้กลับไปใช้ในแปลงเกษตรของแต่ละรายอย่างเป็นระบบ

(2) การจัดหาวัสดุและปัจจัยการผลิต เช่น มูลสัตว์ กากน้ำตาล ถูบรจปุ๋ยหมัก สารเร่งซุเปอร์พด.1 และต้นข้าวโพด ดำเนินการจัดซื้อครบถ้วน โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณและวัสดุที่จำเป็นจากมูลนิธิโครงการหลวง และ สวพส.

(3) การจัดซื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องซัง เครื่องย่อยวัสดุ และคาน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งวัสดุ ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานเดียวกัน ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการผลิตได้ต่อเนื่อง

(4) การก่อสร้างโรงเรือนผลิตและโรงเก็บวัสดุ อยู่ขั้นตอนการวางแผน โดยประชุมสมาชิกเพื่อจัดหาสถานที่ก่อสร้างและเตรียมเสนอขอรับการสนับสนุนงบประมาณจากมูลนิธิโครงการหลวง และ สวพส. คาดว่าจะดำเนินการก่อสร้างได้ภายในปีงบประมาณ พ.ศ. 2569

(5) การจัดการน้ำเพื่อการผลิต สมาชิกร่วมกันจัดหาแหล่งน้ำและวางระบบท่อส่งน้ำ แต่ยังไม่แล้วเสร็จ จำเป็นต้องหาแหล่งน้ำเพิ่มเติมเพื่อให้เพียงพอต่อการผลิตรอบถัดไป

(6) การฝึกอบรมและศึกษาดูงานการทำปุ๋ยหมักและการบริหารจัดการกลุ่ม ดำเนินการเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 เน้นการเสริมทักษะและความรู้ทางเทคนิคของสมาชิกในการผลิตและควบคุมคุณภาพวัสดุปรับปรุงดิน

(7) การพัฒนาศูนย์เรียนรู้การทำปุ๋ยหมัก อยู่ระยะเริ่มต้น โดยชุมชนรวบรวมองค์ความรู้การผลิตปุ๋ยหมักจากต้นข้าวโพดเพื่อบูรณาการเข้ากับกิจกรรมอื่นของศูนย์เรียนรู้ประจำชุมชนระยะต่อไป

(8) การตรวจวัดคุณภาพปุ๋ยหมัก ดำเนินการเก็บตัวอย่างส่งตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองให้กับบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ผลการตรวจพบว่าปุ๋ยหมักมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เหมาะสมต่อการนำไปปรับปรุงดินในพื้นที่เกษตร

(9) การขอรับรองมาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร อยู่ขั้นตอนการรอผลการตรวจรับรอง ซึ่งคาดว่าจะแล้วเสร็จภายในปีงบประมาณ พ.ศ. 2569

(10) การประสานขอสนับสนุนด้านโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสาร โดยเฉพาะการขยายสัญญาณโทรศัพท์ เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการติดตามงานและข้อมูลการผลิต อยู่ระหว่างรอผลตอบรับจากผู้ให้บริการ

ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

1) ปัญหากลิ่นจากกองปุ๋ยหมัก เนื่องจากสถานที่ผลิตอยู่ใกล้บ้านเรือนชุมชน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์ช่วง 3-5 วันแรกของกระบวนการหมัก ซึ่งชุมชนมีแผนจะย้ายพื้นที่ผลิตไปใกล้แปลงเกษตรของสมาชิกแต่ละราย เพื่อลดผลกระทบและเพิ่มความสะดวกในการขนส่งวัสดุและผลผลิต รวมทั้งประหยัดงบประมาณก่อสร้างโรงเก็บวัสดุและโรงเรือนผลิตปุ๋ย

2) การบดย่อยวัสดุต้นข้าวโพดไม่ทั่วถึง ทำให้ระยะเวลาหมักยาวนานขึ้นและคุณภาพปุ๋ยหมักยังไม่สม่ำเสมอ โดยปัดไปมีแผนจะจัดหาเครื่องบดย่อยเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

3) สถานที่หมักกองปุ๋ยเป็นพื้นที่โล่ง ไม่มีโรงเรือนและหลังคาคลุม ทำให้กองหมักได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ เช่น ความร้อนจัดหรือฝนตก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมัก

ความต้องการและแผนงานระยะต่อไป

1) จัดหาเครื่องบดย่อยต้นข้าวโพดเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพของปุ๋ยหมัก

2) ขยายจำนวนสมาชิกกลุ่มผู้ผลิตปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอีกอย่างน้อย 10 ราย เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตและสร้างเครือข่ายความร่วมมือในระดับหมู่บ้าน

ผลการดำเนินงานของชุมชนบ้านห้วยทรายขาว โดยรวมมีความก้าวหน้าการดำเนินกิจกรรมระดับดีมาก ถึงแม้จะมีข้อจำกัดด้านสถานที่และทรัพยากรน้ำ แต่สามารถบริหารจัดการวัตถุดิบระดับชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้กิจกรรมการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากต้นข้าวโพดช่วยลดการเผาเศษพืช ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการปล่อย GHG และฝุ่น PM2.5 นอกจากนี้ยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้เศษวัสดุเหลือใช้จากเกษตรเชิงพาณิชย์ เกิดรายได้เสริมและการเรียนรู้ร่วมกันภายในชุมชน การส่งเสริมกิจกรรมลักษณะนี้จึงมีความเหมาะสมต่อบริบทของพื้นที่สูงอย่างยิ่ง โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีเศษเหลือใช้ปริมาณมากสามารถต่อยอดสู่การพัฒนา “ศูนย์การเรียนรู้ด้านการจัดการคาร์บอนของชุมชน” และเชื่อมโยงกับกลไกการรับรอง T-VER เพื่อสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมควบคู่กันอย่างยั่งยืน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แผนปฏิบัติการและผลการจัดทำวัสดุปรับปรุงดินจากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของชุมชนบ้านห้วยทรายขาว ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่ปูนหลวง

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
แผนงานจัดเตรียมและจัดซื้อวัสดุสำหรับการผลิตสารปรับปรุงดิน							
(1) จัดหา/เตรียมพื้นที่สำหรับการผลิต พื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบ พื้นที่จัดเก็บวัสดุ ปรับปรุงดินที่ผลิตได้	50,000	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน	สวพส./ คณะกรรมการกลุ่ม ผู้ผลิตปุ๋ย/มูลนิธิ โครงการหลวง	คณะกรรมการ การกลุ่มผู้ผลิตปุ๋ย	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
(2) จัดซื้อวัสดุการทำปุ๋ยหมัก - มูลสัตว์ - กากน้ำตาล - ถังบรรจุปุ๋ยหมัก - สารเร่งซูปเปอร์ พด.1 - ต้นข้าวโพด	100,000	ต.ค.-ธ.ค. 2567-2570	ชุมชน	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	100	100
(3) จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ - เครื่องซัง - ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงขนส่งวัสดุ - เครื่องย่อยวัสดุ	5,000	ต.ค. 2567 -ม.ค. 2570	สวพส.	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	100	100
แผนงานก่อสร้างสถานที่ผลิตและจัดเก็บวัสดุ							
(4) ก่อสร้าง - โรงเก็บวัสดุ - โรงเรือนผลิตปุ๋ย	50,000	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	ชุมชน	สวพส./ คณะกรรมการกลุ่ม ผู้ผลิตปุ๋ย/มูลนิธิ โครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	45	80
แผนงานจัดหาน้ำเพื่อการผลิต							
(5) จัดหาน้ำเพื่อการผลิต - ทำระบบท่อ	20,000	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส./	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	คณะกรรมการ การกลุ่มผู้ผลิตปุ๋ย	81	93

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
			มูลนิธิโครงการหลวง/ คณะกรรมการกลุ่ม ผู้ผลิตปุ๋ย				
แผนงานพัฒนาศูนย์เรียนรู้และการฝึกอบรมการผลิตปุ๋ยหมัก							
(6) จัดการอบรมและศึกษาดูงานการทำปุ๋ยหมัก/การบริหารจัดการกลุ่ม	30,000	ก.พ.-พ.ค. 2568-2570	สวพส./ เกษตรอำเภอ/ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ เกษตรอำเภอ/ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	100	100
(7) พัฒนาศูนย์เรียนรู้การทำปุ๋ยหมัก	100,000	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส./ เกษตรอำเภอ/ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ เกษตรอำเภอ/ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	70	95
แผนงานตรวจสอบและรับรองมาตรฐานปุ๋ยหมัก							
(8) จ้างเหมาตรวจวัดธาตุอาหารหลักและรองของปุ๋ยหมัก	50,000	ก.ค. 2568-2570	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส.	สวพส.	84	92
(9) จ้างเหมาตรวจรับรองตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร	50,000	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	50	93

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
แผนงานพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวก เสริมสร้างความพร้อมชุมชน							
(10) ประสานงานขอรับการสนับสนุน การขยายเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์	-	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	มูลนิธิโครงการหลวง/ ชุมชน	มูลนิธิโครงการหลวง/ ชุมชน	มูลนิธิโครงการหลวง/ ชุมชน	86	95
รวม (เฉลี่ย)						81	94.80

3) บ้านห้วยน้ำกิน ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยโป่ง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย

(1) การจัดหาและเตรียมพื้นที่สำหรับการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากกากกาแฟ ชุมชนดำเนินการจัดทำกองปุ๋ยหมักบริเวณพื้นที่สาธารณะ โดยสมาชิกนำวัสดุดิบจากแปลงเกษตรของแต่ละรายมารวมกันเป็นกองเดียว ทำให้ไม่เกิดปัญหาการกัดเก็บวัสดุดิบ แต่พบข้อจำกัดของการกัดเก็บมูลวัวที่มีพื้นที่ไม่เพียงพอ ซึ่งชุมชนได้แก้ไขโดยใช้โรงเก็บใบชาเป็นที่พักวัสดุดิบชั่วคราว และมีแผนจะจัดทำกองปุ๋ยเพิ่มเติมบริเวณใกล้บ้าน ผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้านในปีถัดไป สำหรับวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ ประมาณร้อยละ 85 ของปริมาณทั้งหมด สมาชิกกลุ่มจะนำไปใช้ในแปลงปลูกกาแฟ ต้นลิ้นจี่ (นางลาว) สวนไม้ผล วัสดุเพาะกล้าไม้ และการปลูกผักในกระถาง ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 15 จะนำไปบรรจุถุงจำหน่ายโดยเป็นรายได้เข้าส่วนกลางของกลุ่ม เพื่อใช้เป็นทุนหมุนเวียนการดำเนินกิจกรรมต่อไป

(2) การจัดหาวัสดุและปัจจัยการผลิต ได้แก่ มูลสัตว์ กากน้ำตาล ถูบบรรจุปุ๋ยหมัก และสารเร่งซูเปอร์ พด.1 ดำเนินการครบถ้วนตามแผน โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณและวัสดุที่จำเป็นจากมูลนิธิโครงการหลวง และ สวพส.

(3) การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ เช่น เครื่องซัง เครื่องย่อยวัสดุ ตะกร้า กระดานไวท์บอร์ด ถังผสมหัวเชื้อ พด. และกากน้ำตาลดิบ ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานดังกล่าว ทำให้กระบวนการผลิตมีความครบวงจรและเป็นระบบมากขึ้น

(4) การก่อสร้างโรงเรือนผลิตและโรงเก็บวัสดุ อยู่ขั้นตอนการวางแผน โดยได้ประชุมสมาชิกเพื่อกำหนดสถานที่ก่อสร้าง และจะดำเนินการภายในปีงบประมาณ พ.ศ. 2569 หากได้รับการสนับสนุนงบประมาณเพิ่มเติมจากหน่วยงานภาคี

(5) การจัดการน้ำเพื่อการผลิต ดำเนินการแล้วเสร็จ โดยสมาชิกได้ร่วมกันพัฒนาแหล่งน้ำและติดตั้งระบบท่อส่งน้ำที่สมบูรณ์ ช่วยอำนวยความสะดวกในการผลิตปุ๋ยหมักอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี

(6) การฝึกอบรมและศึกษาดูงานการผลิตปุ๋ยหมักและการบริหารจัดการกลุ่ม จัดขึ้นเมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ซึ่งช่วยพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ และทักษะด้านเทคนิคการผลิตของสมาชิก

(7) การพัฒนาศูนย์เรียนรู้การทำปุ๋ยหมัก มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก โดยชุมชนรวบรวมองค์ความรู้การผลิตปุ๋ยหมักจากกากกาแฟ และได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานเกษตรอำเภอเวียงป่าเป้า ซึ่งนำเกษตรกรกลุ่มอื่นมาศึกษาดูงานเมื่อวันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2568 แสดงให้เห็นถึงบทบาทของชุมชนในฐานะ “แหล่งเรียนรู้ต้นแบบ” ด้านการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรบนพื้นที่สูง

(8) การตรวจวัดคุณภาพปุ๋ยหมัก ดำเนินการโดยเก็บตัวอย่างส่งตรวจที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ผลการตรวจวัดรายงานว่าคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองเพียงพอสำหรับการปรับปรุงดินในพื้นที่ปลูกกาแฟและไม้ผล

(9) การขอรับรองมาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร อยู่ขั้นตอนดำเนินการ คาดว่าจะได้รับการรับรองภายในปีงบประมาณ พ.ศ. 2569

ผลการติดตามไม่พบปัญหาหรืออุปสรรคสำคัญในการดำเนินกิจกรรม กลุ่มมีการบริหารจัดการที่เป็นระบบ สมาชิกมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตและการดูแลรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เป็นอย่างดี

ความต้องการและแผนงานระยะต่อไป

1) การเพิ่มจำนวนสมาชิกกลุ่ม เนื่องจากมีวัตถุดิบกากกาแฟเหลือใช้ภายในชุมชนมากกว่า 10 ตันต่อปี ซึ่งสามารถรองรับการผลิตระดับที่สูงขึ้นได้

2) การปรับปรุงพื้นที่ผลิต โดยจัดทำบล็อกกั้นกองปุ๋ยหมักและปูพื้นด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการชะล้างของน้ำฝน รวมถึงการก่อสร้างบ่อรองรับน้ำชะจากกองปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ผลิตเป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพเพิ่มเติม

ผลการดำเนินงานของชุมชนบ้านห้วยน้ำกิน โดยรวมมีความก้าวหน้าและประสบผลสำเร็จระดับสูงมาก การดำเนินกิจกรรมสามารถสร้างระบบการผลิตปุ๋ยหมักที่ครบวงจรและต่อเนื่อง ทั้งด้านการใช้วัตถุดิบภายในท้องถิ่น การควบคุมคุณภาพ และการจัดการรายได้ของกลุ่ม นอกจากนี้ชุมชนยังสามารถใช้กากกาแฟซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตโดยแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้เอง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาที่สอดคล้องกับเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ระดับชุมชน

ด้านสิ่งแวดล้อม กิจกรรมมีส่วนช่วยลดการทิ้งของเสียอินทรีย์ที่อาจปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄) จากการย่อยสลายโดยไม่ผ่านกระบวนการควบคุม ขณะที่ด้านสังคม ช่วยเสริมสร้างการเรียนรู้ร่วมกันของสมาชิกและชุมชนโดยรอบ ทั้งนี้ยังมีแนวโน้มพัฒนาเป็นศูนย์เรียนรู้ต้นแบบด้าน “การจัดการวัสดุเหลือใช้และการลดคาร์บอนในชุมชน” สำหรับการขยายผลสู่ชุมชนอื่นในอนาคตซึ่งบ้านห้วยน้ำกินมีความโดดเด่นทั้งการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐาน และศักยภาพบุคลากรภายในชุมชน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แผนปฏิบัติการและผลการจัดทำวัสดุปรับปรุงดินจากเปลือกกาแฟของชุมชนบ้านห้วยน้ำกิน ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยโป่ง

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการ มีส่วนร่วม
แผนงานจัดเตรียมและจัดซื้อวัสดุสำหรับการผลิตสารปรับปรุงดิน							
(1) จัดหา/เตรียมพื้นที่สำหรับการผลิต พื้นที่จัดเก็บวัสดุ พื้นที่จัดเก็บสาร ปรับปรุงดินที่ผลิตได้	10,000	ต.ค. 2567 -ม.ค. 2570	ชุมชน	สวพส./ คณะกรรมการกลุ่ม ผู้ผลิตปุ๋ย/มูลนิธิ โครงการหลวง	คณะกรรมการ กลุ่มผู้ผลิตปุ๋ย	100	100
(2) จัดซื้อวัสดุการทำปุ๋ยหมัก - มูลสัตว์ - กากน้ำตาล - ถูบรจุปุ๋ยหมัก - สารเร่งซูเปอร์ พด.1	100,000	ต.ค-ก.พ. 2567-2570	ชุมชน	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	100	100
(3) จัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ - เครื่องซัง - คำน้ำมันเชื้อเพลิงขนส่งวัสดุ - เครื่องย่อยวัสดุ - ตะกร้าใส่วัสดุ - กระดานไวน์บอร์ด	5,000	ต.ค. 2567 -ก.พ. 2570	สวพส.	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการ มีส่วนร่วม
- ถังพลาสติกผสม หัวเชื้อ พด. - กากน้ำตาล							
แผนงานก่อสร้างสถานที่ผลิตและจัดเก็บวัสดุ							
(4) ก่อสร้าง - โรงเก็บวัตถุดิบ - โรงเรือนผลิตปุ๋ย	50,000	ต.ค.2567 -ก.ย.2570	ชุมชน	สวพส./ คณะกรรมการกลุ่ม ผู้ผลิตปุ๋ย/มูลนิธิ โครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	87	95
แผนงานจัดหาน้ำเพื่อการผลิต							
(5) จัดหาน้ำเพื่อการผลิต - ทำระบบท่อ	30,000	ต.ค.2567 -ก.พ.2570	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง/ คณะกรรมการกลุ่ม ผู้ผลิตปุ๋ย	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	คณะกรรมการกลุ่ม ผู้ผลิตปุ๋ย	100	100
แผนงานพัฒนาศูนย์เรียนรู้และการฝึกอบรมการผลิตปุ๋ยหมัก							
(6) จัดการอบรมและศึกษาดูงานการทำ ปุ๋ยหมัก/การบริหารจัดการกลุ่ม	20,000	ก.พ.-พ.ค. 2568-2570	สวพส./ เกษตรอำเภอ/ มูลนิธิโครงการหลวง/ พัฒนาชุมชน	สวพส./ เกษตรอำเภอ/ มูลนิธิโครงการหลวง/ พัฒนาชุมชน	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการ มีส่วนร่วม
(7) พัฒนาศูนย์เรียนรู้การทำปุ๋ยหมัก	100,000	ต.ค. 2567 -ก.พ. 2570	สวพส./ เกษตรอำเภอ/ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ เกษตรอำเภอ/ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	100	100
แผนงานตรวจสอบและรับรองมาตรฐานปุ๋ยหมัก							
(8) จ้างเหมาตรวจวัดธาตุอาหารหลัก และรองของปุ๋ยหมัก	50,000	ก.ค. 2568-2570	สวพส./ มูลนิธิโครงการหลวง	สวพส.	สวพส.	50	95
(9) จ้างเหมาตรวจรับรองตามมาตรฐาน ของกรมวิชาการเกษตร	50,000	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	50	94
รวม (เฉลี่ย)						87.44	98.20

4) บ้านป่าเกี๊ยะ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่

(1) ด้านปัจจัยนำเข้าสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ (RDF) ประเภทพลาสติกอัดก้อน ชุมชนได้ดำเนินการจัดซื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นครบถ้วน อาทิ เครื่องชั่ง อุปกรณ์บรรจุทุก-ขนย้ายก้อนพลาสติก วัสดุเม็ดก้อน (เชือก) และป้ายบอกจุดคัดแยก/ราคารับซื้อ รวมถึงจัดตั้งจุดรับขยะรีไซเคิลเพื่อบริจาคเข้าสู่ระบบของชุมชนแล้วเสร็จ

(2) ด้านโครงสร้างพื้นฐาน เริ่มก่อสร้างโรงคัดแยกและเก็บขยะพลาสติกบริเวณโบสถ์บ้านแม่แฮ โดยดำเนินการได้ถึงงานเสาและหลังคา ส่วนงานพื้นและผนังอยู่ระหว่างรอการจัดสรรงบประมาณปี พ.ศ. 2569 จากหน่วยงานสนับสนุน

(3) ด้านการพัฒนาความรู้และสื่อการเรียนรู้ อยู่ระหว่างรวบรวมชุดองค์ความรู้และจัดทำสื่อเผยแพร่ศูนย์เรียนรู้การคัดแยกขยะ-การอัดก้อนพลาสติก ควบคู่กับการรณรงค์ของโรงเรียน (คาดว่าจะแล้วเสร็จปีงบประมาณ พ.ศ. 2569)

(4) ด้านศักยภาพคนและองค์กร จัดอบรม “การคัดแยกขยะและการบริหารจัดการกลุ่ม” เมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม 2568 เสริมทักษะเชิงเทคนิคและการจัดการกลุ่มผลิต

(5) ด้านมาตรฐานและการรับรอง อยู่ระหว่างรวบรวมหลักฐานเพื่อยื่นขอรับรอง LESS โดยโครงการได้วางระบบบันทึกน้ำหนักขยะเข้าระบบทุกครั้งก่อนอัดก้อน เพื่อนำไปคำนวณปริมาณการลด GHG และเตรียมจัดทำเอกสารประกอบยื่นต่อองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก.

บทบาทเครือข่ายได้รับการยกระดับชัดเจน โดยโรงเรียนแม่แฮเหนือ มีระบบคัดแยกภายในโรงเรียนพร้อมการมีส่วนร่วมของสถานักเรียน (คัดแยกตามประเภท-กระดาษ ขวดน้ำ ขยะทั่วไป กล่องนม ฯลฯ และอัดก้อนด้วยเครื่องไฮดรอลิกโดยนักเรียนชั้น ม.1-ม.6) และจัดกิจกรรมสร้างสรรค์การประดิษฐ์วัสดุเหลือใช้ เช่น กระเป๋า โต๊ะ เก้าอี้ เป็นต้น มีการมอบรางวัลให้นักเรียนที่ชนะการประกวดด้วย สำหรับรายได้จากการจำหน่ายขยะในแต่ละห้องจะนำไปซื้อวัสดุเพื่อทำกิจกรรมจิตพานไหว้ครู กิจกรรมงานวันวิทยาศาสตร์ งานลอยกระทง และงานประกวดต่างๆ ทั้งนี้มีการเชื่อมประสานเครือข่ายระดับพื้นที่ ได้แก่ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแม่แฮเหนือ องค์การบริหารส่วนตำบลแม่นาจร โรงเรียนแม่แฮเหนือ มูลนิธิโครงการหลวง สวพส. และสมาคมชาแล้ง/ร้านรับซื้อของเก่า เพื่อขับเคลื่อน “ระบบจัดการขยะชุมชน” แบบมีส่วนร่วม

ปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติการ

1) พื้นที่จัดเก็บก้อนขยะในโรงเรียนจำกัด ควรขนย้ายไปเก็บที่โรงคัดแยกฯ บริเวณโบสถ์บ้านแม่แฮ พร้อมติดป้ายระบุแหล่งที่มาเพื่อรอจำหน่าย

2) เสนอให้สถานักเรียนขับเคลื่อน “โรงเรียนต้นแบบ/ธนาคารขยะ/ขยะแลกแต้ม” อย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างแรงจูงใจและพฤติกรรมคัดแยกที่ยั่งยืน

3) ยังมีการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกในโรงเรียนและชุมชน ควรแนะนำมาตรการ ลด-เลิก และเปลี่ยนไปใช้ภาชนะส่วนตัว/ถุงผ้า

4) ความไม่เป็นธรรมด้านราคาเมื่อขายให้รถรับซื้อ ควรประสานสมาคมชาแล้ง-เครือข่ายร้านรับซื้อมารับซื้อ ณ โรงคัดแยกเพื่อเพิ่มอำนาจต่อรอง และตรวจสอบราคากลางจากเว็บไซต์สมาคมก่อนทุกครั้ง

5) ขยะพลาสติกทางการเกษตร (คลุมแปลง/โรงเรือน) ไม่ถูกรับซื้อ ควรนำเข้าเครื่องอัดก้อนเพื่อส่งต่อเป็นเชื้อเพลิงทดแทน (RDF)

6) ระดับความสำเร็จปัจจุบันร้อยละ 60 โดยพบข้อจำกัดด้านความร่วมมือและการดำเนินงานต่อเนื่องภายในโรงเรียนและชุมชน จึงต้องเร่งสื่อสารความเข้าใจ สร้างความตระหนักและจิตสำนึกให้มากยิ่งขึ้น

7) ผลการคัดแยกยังไม่ละเอียดและไม่ถูกต้อง ต้องทำคู่มือ/สื่อภาพจำแนกประเภทและนิยามคุณภาพวัสดุขายได้ เพื่อลดการปนเปื้อน และเพิ่มราคาขาย

8) จุดรับและรวบรวมขยะที่บริจาคยังไม่เพียงพอ ควรขยายจุดรับให้ครอบคลุมหมู่บ้าน/โรงเรียน/สถานบริการสาธารณสุข

กิจกรรมที่เกิดขึ้นของชุมชนมีจุดแข็งด้าน “โครงสร้างความร่วมมือหลายภาคส่วน และระบบข้อมูลรองรับการรับรอง LESS” ซึ่งสนับสนุนการยกระดับเป็นห่วงโซ่คุณค่าเชื้อเพลิงจากขยะ (RDF) อย่างไรก็ตามความยั่งยืนขึ้นอยู่กับ (1) การแล้วเสร็จของโรงคัดแยก (2) วินัยการบันทึกข้อมูลน้ำหนักเพื่อคิด GHG และ (3) กลไกตลาด/ราคากลางที่เป็นธรรม การสนับสนุนงบประมาณระยะสั้น (พื้น-ผนังโรงเรือน ถังบีบอัด พื้นที่กองเก็บ) และมาตรการลดการใช้ Single-use plastics จะเพิ่มอัตราการแปรรูปขยะและผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ-สิ่งแวดล้อม รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.18 และตารางที่ 4.22



ภาพที่ 4.18 การประเมินระดับขั้นของความสำเร็จตามแผนปฏิบัติการส่งเสริมชุมชนบนพื้นที่สูงร่วมลด GHG การจัดการของเสีย

ตารางที่ 4.22 แผนปฏิบัติการและผลการจัดทำขยะอัดก้อนของชุมชนบ้านป่าเกี๊ยะ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
แผนงานจัดเตรียมและจัดซื้อวัสดุสำหรับการผลิตขยะพลาสติกแบบอัดก้อน							
(1) จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ - เครื่องชั่ง - อุปกรณ์บรรจุทุกและขนย้ายก้อน พลาสติกอัดก้อน - วัสดุสำหรับมัดก้อนขยะ (RDF) เช่น เชือก - ป้ายอะคริลิกหรือป้ายเหล็กสำหรับ แจ้งราคารับซื้อขยะ - จุดรับขยะประเภทรีไซเคิลในพื้นที่ สาธารณะสำหรับบริจาคให้ชุมชน	50,000	ต.ค. 2567 -ก.ย. 2570	คณะกรรมการหมู่บ้าน/ มูลนิธิโครงการหลวง/ สวพส.	อบต.แม่เงาจร/ สวพส.	มูลนิธิโครงการหลวง	100	100
แผนงานก่อสร้างสถานที่ผลิตและจัดเก็บวัสดุ							
(2) จัดสร้าง - โรงคัดแยกและเก็บขยะพลาสติก (พื้นผนัง)	100,000	ต.ค. 2567 - ก.ย. 2570	คณะกรรมการหมู่บ้าน/ มูลนิธิโครงการหลวง/ อบต.แม่เงาจร	อบต.แม่เงาจร	มูลนิธิโครงการหลวง	95	100
แผนงานพัฒนาศูนย์เรียนรู้และการฝึกอบรมการผลิตขยะพลาสติกแบบอัดก้อน							

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
(3) ศูนย์เรียนรู้การคัดแยกขยะและ การอัดก้อนพลาสติก - วิทยากร - ป้ายแยกคัดขยะ	50,000	พ.ค.-ก.ย. 2568-2570	คณะกรรมการหมู่บ้าน/ มูลนิธิโครงการหลวง/ สวพส.	อบต.แม่นาจร	มูลนิธิโครงการหลวง/ สวพส.	85	85
(4) การอบรม - การคัดแยกขยะ - การบริหารจัดการกลุ่ม	5,000	มิ.ย.-ส.ค. 2568-2570	คณะกรรมการหมู่บ้าน/ สวพส.	มูลนิธิโครงการหลวง	มูลนิธิโครงการหลวง/ สวพส.	100	100
แผนงานตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน							
(5) จ้างเหมาการตรวจรับรอง มาตรฐาน LESS - บันทึกข้อมูลปริมาณขยะ - คำนวณปริมาณการลด GHG - รวบรวมข้อมูลและจัดทำเอกสาร ประกอบเพื่อขอการรับรองตาม มาตรฐาน LESS	100,000	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	คณะกรรมการหมู่บ้าน/ สวพส.	มูลนิธิโครงการหลวง	มูลนิธิโครงการหลวง/ สวพส.	50	82
รวม (เฉลี่ย)						86	93.40

ประเภทป่าไม้

ครอบคลุมพื้นที่นาร่อง 2 ชุมชน ได้แก่ (1) บ้านปางมะกาลัย โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง ป่าแป๋ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และ (2) บ้านแม่วาก โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่ละออ อำเภอแม่วาก จังหวัดเชียงใหม่ โดยกิจกรรมเน้นการมีส่วนร่วมของชุมชนในการสำรวจพื้นที่ป่า จัดทำฐานข้อมูล จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน และจัดเวทีประชาคมร่วมกับภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้ให้เกิดสมดุลระหว่างการอนุรักษ์และการใช้ประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติด้านการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และนโยบายการบริหารจัดการทรัพยากรป่าไม้แห่งชาติ รวมถึงสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG 13 15 และ 17) แนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ (Bio Economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) ที่ส่งเสริมการจัดการทรัพยากรชีวภาพ การเพิ่มพื้นที่สีเขียว การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการสร้างระบบเศรษฐกิจฐานทรัพยากรที่ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน

ผลการประเมินตามเกณฑ์ตัวชี้วัดพบว่า ความสำเร็จเทียบแผนปฏิบัติการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนจากภาคป่าไม้ของทั้ง 2 ชุมชน บรรลุ “ระดับ 5 ดีเยี่ยม” โดยบ้านปางมะกาลัย มีร้อยละการดำเนินงานชัดเจน 97.41 และบ้านแม่วาก ร้อยละ 95.69 การมีส่วนร่วมของชุมชนอยู่ระดับ 5 เช่นกัน (บ้านปางมะกาลัยร้อยละ 99.32 บ้านแม่วากร้อยละ 97.78) แสดงถึงการมอบอำนาจและความเป็นเจ้าของกิจกรรมระดับสูง ทั้งนี้ กระบวนการดำเนินงาน ประกอบด้วย การประเมินศักยภาพและคัดเลือกพื้นที่/ชุมชน การสร้างความร่วมมือและการจัดเวทีมีส่วนร่วม การป้องกัน-อนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้และต้นน้ำ การสำรวจเก็บข้อมูลเชิงประจักษ์ รวมทั้งการจัดตั้งคณะกรรมการกลุ่มอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดการบริหารติดตามงานและการต่อยอดด้วยตนเอง ความสำเร็จดังกล่าวเกิดจากการบูรณาการความร่วมมือกับหลายหน่วยงานพื้นที่ ได้แก่ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่เลา-แม่สะ ออค์การบริหารส่วนตำบลป่าแป๋ อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ออค์การบริหารส่วนตำบลแม่เงา และ สวพส. เป็นต้น

ทั้งนี้ผลการดำเนินงานเชิงปริมาณมีค่าสูงมาก แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการระดมทรัพยากรทางสังคม และการบริหารจัดการพื้นที่ร่วมกันซึ่งเหมาะสมกับบริบท “ต้นน้ำ-พื้นที่ลาดชัน” ของชุมชน อย่างไรก็ตาม ควรเร่งจัดทำฐานข้อมูลพื้นที่ที่ผูกกับกิจกรรมป้องกันไฟป่า-การฟื้นฟูป่าต้นน้ำและแนวกันไฟ พร้อมแนวปฏิบัติมาตรฐานสำหรับการสำรวจติดตามคาร์บอนชีวมวล นอกจากนี้ควรเชื่อมโยงผลลัพธ์กับกลไกแรงจูงใจทางเศรษฐศาสตร์ เช่น การจ่ายตอบแทนบริการระบบนิเวศ (PES) และ/หรือการเข้าสู่ T-VER ภาคป่าไม้ เพื่อให้ชุมชนได้รับประโยชน์ทางการเงินควบคู่กับเชิงระบบนิเวศ ขณะเดียวกันต้องกับการสื่อสารสู่สาธารณะและการเรียนรู้ระหว่างชุมชน จะช่วยยกระดับ “แบบอย่างป่าชุมชน” ไปสู่เครือข่ายระดับอำเภอ/ลุ่มน้ำ (ภาพที่ 4.19)



ภาพที่ 4.19 การประเมินระดับขั้นของความสำเร็จตามแผนปฏิบัติการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนจากภาคป่าไม้

ผลการติดตามโดยตรวจสอบเอกสาร สอบถามผู้นำกลุ่มอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม/กลุ่มวิสาหกิจชุมชน คาร์บอนเครดิตและสำรวจพื้นที่ร่วมกับเจ้าหน้าที่ภาคสนาม พบว่าการดำเนินงานมีความก้าวหน้าตาม แผนปฏิบัติการ ชุมชนสามารถขับเคลื่อนกิจกรรมฟื้นฟูและอนุรักษ์ป่าไม้เพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอน และ บริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างเป็นรูปธรรมและต่อเนื่อง ดังนี้

1) บ้านปางมะกล้วย โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

ผลการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของชุมชนมีความก้าวหน้าและประสบผลสำเร็จตามเป้าหมายระดับสูง โดยเฉพาะกิจกรรมด้านฟื้นฟูป่าและการสร้างความร่วมมือภายในชุมชน มีความสำเร็จและการมีส่วนร่วมของ สมาชิกเฉลี่ยร้อยละ 95-100 แสดงถึงความเข้มแข็งและความสามัคคีของสมาชิก อย่างไรก็ตามกิจกรรมบาง ประเภทอยู่ระยะดำเนินการ เช่น การสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพ ความก้าวหน้าร้อยละ 65 และการ มีส่วนร่วมของสมาชิกร้อยละ 92 ขณะที่กิจกรรมการวิเคราะห์พื้นที่และชุมชนมีความสำเร็จร้อยละ 86 และ การมีส่วนร่วมร้อยละ 100 ทั้งนี้ กิจกรรมการทำฝายดักตะกอนกึ่งถาวรซึ่งอยู่ในแผนรณรงค์และอนุรักษ์แหล่งน้ำ ธรรมชาติ ดำเนินการร้อยละ 100 โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนคิดเป็นร้อยละ 95 ตัวอย่างรายละเอียดการ ดำเนินงาน เช่น

(1) การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพต้นไม้ (ต้นตาย-ต้นมีชีวิต) การวัดความสูง เส้นรอบวง และ ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลด้านความหลากหลายทางชีวภาพของพื้นที่ป่าชุมชน

(2) การประกอบพิธี “เลี้ยงผีฝาย-ผีขุนน้ำ” จำนวน 4 แห่ง เพื่อสืบสานภูมิปัญญาท้องถิ่นและสร้าง จิตสำนึกการเคารพต่อทรัพยากรน้ำ

(3) การขุดลอกตะกอนดินทรายออกจากฝายด้วยแรงงานชุมชน ปีละ 4 รอบต่อฝาย

(4) การสร้างฝายดักตะกอนเพิ่มอีก 10 แห่ง เพื่อป้องกันการพังทลายของดินและเพิ่มความชุ่มชื้น ของระบบนิเวศต้นน้ำ

(5) การปลูกต้นไม้เพิ่มภายในพื้นที่ป่าชุมชนเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2568 จำนวน 600 ต้น ประกอบด้วย ไม้เศรษฐกิจและไม้พื้นถิ่น เช่น ประดู่ มะขามป้อม และยางนา

(6) การปลูกต้นไม้ริมถนนทางเข้าหมู่บ้านเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2568 รวม 650 ต้น ได้แก่ ชมพู่มะขามป้อม และนางพญาเสือโคร่ง พร้อมจัดกิจกรรมเก็บขยะริมถนนเพื่อเสริมสร้างทัศนียภาพและความ สะอาดของชุมชน

(7) การปรับปรุงฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของเกษตรกร โดยเทียบข้อมูลระหว่างฐานข้อมูล ของ สวพส. กับคณะกรรมการที่ดินแห่งชาติ (คทช.) เมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2568

(8) การจัดกิจกรรม “บวชป่า” เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2568 เพื่อประกาศเจตนารมณ์ร่วมกันใน การอนุรักษ์ทรัพยากรป่าชุมชน

(9) การสร้างแนวกันไฟป่าช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2568 รวมระยะทาง 9 กิโลเมตร แบ่งเป็น แนวด้าน ทิศตะวันออก 1 แนว (4 กิโลเมตร) และทิศตะวันตก 2 แนว (5 กิโลเมตร)

(10) การจัดตั้งทีมลาดตระเวนไฟป่าช่วงห้ามเผา 2 ทีม ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่จากองค์การบริหาร ส่วนตำบลป่าแป๋ และชุด ชรบ. รวม 20 นาย พร้อมจัดเวรเฝ้าระวังจุดความร้อน

(11) การสร้างถนนลาดตระเวนไฟฟ้า 2 เส้นทาง รวมระยะทาง 5 กิโลเมตร โดยเกษตรกร 14 ราย ร่วมกันออกค่าใช้จ่ายรวม 28,000 บาท เพื่อว่าจ้างรถไถปรับปรุงเส้นทางให้สามารถเข้าถึงแปลงเกษตรและพื้นที่ป่าได้สะดวก

ทั้งนี้รอบปีที่ผ่านมา พบการเกิดจุดความร้อน (hotspot) เพียง 1 ครั้ง (พฤษภาคม 2568) ซึ่งเกิดจากการเผาไร่ของบุคคลภายนอก ชุมชนจึงดำเนินการยึดคืนพื้นที่ 13 ไร่ เพื่อฟื้นฟูเป็นป่าชุมชนและปลูกต้นไม้ทดแทนต่อไป ผลการติดตามดังกล่าว แสดงถึงจุดแข็งหลักของชุมชนบ้านปางมะกาลัย ได้แก่ ความร่วมมือและความสามัคคีระดับสูงของสมาชิกทุกกลุ่มอายุและอาชีพ การมีกฎระเบียบและมาตรการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติที่เข้มงวด พร้อมการบังคับใช้อย่างจริงจัง การบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นกับวิทยาศาสตร์ เช่น การเลี้ยงผึ้งน้ำ และการเก็บข้อมูลพรรณไม้ ความสามารถในการบริหารจัดการพื้นที่และกิจกรรมด้วยตนเอง โดยมีหน่วยงานภาคี เช่น สวทส. และ อบต.ป่าแป๋ ทำหน้าที่สนับสนุนเชิงเทคนิคและงบประมาณ

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นสื่อให้เห็นถึงความเข้มแข็งของทุนทางสังคมที่เอื้อต่อการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน การใช้กลไกชุมชนเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ร่วมกับหน่วยงานรัฐ ทำให้การอนุรักษ์ป่าและต้นน้ำมีลักษณะ “bottom-up management” ที่แท้จริง ทั้งนี้การเสริมสร้างความยั่งยืนควรดำเนินการ ดังนี้ (1) พัฒนาระบบฐานข้อมูลพื้นที่ป่า (GIS-based monitoring) เพื่อใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าชุมชนและแนวกันไฟอย่างต่อเนื่อง (2) จัดตั้งกองทุนสิ่งแวดล้อมชุมชน สำหรับสนับสนุนกิจกรรมดูแล-ซ่อมบำรุงผายและเส้นทางลาดตระเวนไฟฟ้า (3) ส่งเสริมให้ชุมชนเข้าสู่ระบบคาร์บอนเครดิตภาคป่าไม้ (T-VER) เพื่อสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจควบคู่กับการอนุรักษ์ และ (4) สร้างเครือข่ายแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับชุมชนใกล้เคียงในการขยายผลรูปแบบการบริหารจัดการป่าชุมชนที่ประสบความสำเร็จ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แผนปฏิบัติการและผลการอนุรักษ์และดูแลป่าของชุมชนบ้านปางมะกาลัย โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงป่าแป๋

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
แผนงานวางแผนและจัดการพื้นที่							
(1) วิเคราะห์พื้นที่และชุมชน	-	เม.ย. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	100	100
(2) ประเมินศักยภาพและคัดเลือกพื้นที่/ชุมชน	-	พ.ค. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	100	100
(3) ประสานงานหน่วยงานและชุมชน - ติดต่อประสานงานหน่วยงานที่ดูแลพื้นที่ - ขออนุญาตใช้พื้นที่เพื่อกิจกรรมกับเจ้าของพื้นที่	-	มิ.ย.-ก.ค. 2568-2570	สวพส./ผู้เกี่ยวข้อง	สวพส.	สวพส./ผู้เกี่ยวข้อง	100	100
(4) กำหนดพื้นที่กิจกรรมและขอบเขตพื้นที่	-	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส./ผู้เกี่ยวข้อง	สวพส.	สวพส./ผู้เกี่ยวข้อง	100	100
(5) จัดทำฐานข้อมูล จำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน	-	มิ.ย.-ก.ค. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	100	100
แผนงานสร้างความร่วมมือกับชุมชน							
(6) จัดเวทีประชาคมและวางแผนการทำงานร่วมกันระหว่างผู้พัฒนาโครงการและชุมชน	-	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส./ชุมชน/ สำนักจัดการป่า	สวพส./ สำนักจัดการป่า	ชุมชน	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
แผนงานป้องกันและอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้และต้นน้ำ							
(7) จัดทำ/จัดเตรียมพื้นที่สำหรับ ดำเนินกิจกรรม - พื้นที่จัดเก็บอุปกรณ์ เช่น เครื่องมือทำแนวกันไฟ ทำฝาย ชะลอน้ำ วางแปลงเก็บข้อมูล - อุปกรณ์เครื่องเป่าไฟ ถึง ดับเพลิง	-	ต.ค. 2567 -ก.ย. 2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	100	100
(8) ดำเนินกิจกรรมป้องกันไฟป่า เช่น ทำแนวกันไฟ และ ลาดตระเวน	50,000	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	สวพส./ชุมชน	สวพส./ชุมชน	ชุมชน	100	100
(9) ดำเนินกิจกรรมรักษาป่าต้นน้ำ	-	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน		
- ทำแนวกันไฟ	-	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
- ลาดตระเวน	20,000	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน/สวพส.	ชุมชน/สวพส.	ชุมชน	100	100
- ทำถนนลาดตระเวนไฟป่า	-	ก.พ.-เม.ย. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
- บวชป่า	30,000	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
- เลี้ยงผีขุนน้ำ	-	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
แผนงานรณรงค์และอนุรักษ์แหล่งน้ำธรรมชาติ							
(10) กิจกรรมรณรงค์สืบชะตาน้ำ	45,000	เม.ย. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
(11) กิจกรรมทำฝายดักตะกอน	-	เม.ย. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	95
แผนงานสำรวจและเก็บข้อมูล							
(12) การเก็บข้อมูลความหลากหลาย	100,000	ก.ย.-ต.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	65	92
(13) การจ้างเหมาลาดตระเวนไฟฟ้า	150,000	ก.ย.-ต.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
(14) การจ้างเหมาวางแผนเก็บข้อมูล	150,000	ก.ย.-ต.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
(15) การวิเคราะห์พื้นที่และชุมชน	150,000	ก.พ.-เม.ย. 2568-2570	สวพส./ชุมชน	สวพส./ชุมชน	ชุมชน	86	100
รวม (เฉลี่ย)						97.41	99.32

2) ชุมชนบ้านแม่วาก โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่ละออ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ผลการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของชุมชนมีความก้าวหน้าและบรรลุเป้าหมายตามแผนงานส่วนใหญ่ โดยมีความสำเร็จและการมีส่วนร่วมของสมาชิกชุมชนระดับสูง (ร้อยละ 90-100) แสดงให้เห็นถึงความตระหนักรู้และความร่วมมือภายในชุมชนที่เข้มแข็งต่อการดูแลรักษาทรัพยากรธรรมชาติบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ อย่างไรก็ตามกิจกรรมบางรายการยังอยู่ระยะดำเนินการ เช่น การเก็บข้อมูลความหลากหลายทางชีวภาพ ความสำเร็จร้อยละ 65 และการมีส่วนร่วมร้อยละ 80 การจ้างเหมาวางแผนเก็บข้อมูล ความสำเร็จร้อยละ 91 การมีส่วนร่วมร้อยละ 98 การวิเคราะห์พื้นที่และชุมชน ความสำเร็จร้อยละ 62 และการมีส่วนร่วมร้อยละ 80 ทั้งนี้กิจกรรมดังกล่าวอยู่ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการพื้นที่ป่าชุมชน ตัวอย่างรายละเอียดการดำเนินงาน เช่น

(1) การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพต้นไม้ทั้งต้นที่ตายและมีชีวิต การวัดความสูง เส้นรอบวง และการจำแนกชนิดพันธุ์ไม้ เพื่อประเมินสถานภาพความหลากหลายทางชีวภาพของป่าชุมชน โดยมีสมาชิกชุมชน 2 คน เข้าร่วมดำเนินการกับทีมเจ้าหน้าที่ สวพส.

(2) พิธีเลี้ยงผีต้นน้ำ จัดขึ้นปีละ 2 ครั้ง ณ จุดข้ามลำห้วย 5 แห่ง โดยมีผู้อาวุโสของชุมชนเป็นผู้นำประกอบพิธี เพื่อสืบสานวัฒนธรรมความเชื่อท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์แหล่งน้ำและระบบนิเวศต้นน้ำ

(3) การขุดลอกตะกอนดินทรายออกจากฝาย โดยมีเป้าหมายเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำและลดการตื้นเขินของแหล่งน้ำธรรมชาติ

(4) การสร้างฝายดักตะกอน 100 ฝาย ลดหล่นตามแนวลำห้วยหลักของหมู่บ้าน โดยสมาชิกของชุมชนเข้าร่วม 70 คน ใช้เวลา 3 วัน ดำเนินการช่วงวันสำคัญ เช่น วันพ่อแห่งชาติและวันแม่แห่งชาติ ได้รับการประมาณสนับสนุนจากองค์การบริหารส่วนตำบลแม่เงาและอำเภอแม่แจ่ม

(5) การทำแนวกันไฟป่ารอบหมู่บ้านช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2568 จำนวน 3 เส้นทาง รวมระยะทาง 2 กิโลเมตร ความกว้างแนวกันไฟ 4-6 เมตร โดยสมาชิกของชุมชนเข้าร่วม 70 คน ใช้เวลา 1 วัน ซึ่งก่อนดำเนินการมีการประชุมหารือระหว่างคณะกรรมการหมู่บ้าน คณะทำงาน และสมาชิก เพื่อวางแผนพื้นที่และแบ่งหน้าที่อย่างเป็นระบบ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณค่าอาหารกลางวันจากหน่วยงาน ได้แก่ อบต.แม่เงา อ.แม่แจ่ม ป่าไม้ อ.แม่แจ่ม และ สวพส. รวมมูลค่า 50,000 บาท

(6) การลาดตระเวนไฟป่าช่วงห้ามเผา โดยใช้ชุดลาดตระเวนของชุมชนร่วมกับเจ้าหน้าที่หน่วยงานรัฐ มีงบประมาณสนับสนุนในรูปแบบเบี้ยเลี้ยงวันละ 300 บาทต่อคน จากหน่วยงานเดียวกัน

(7) กิจกรรมปลูกต้นไม้บริเวณพื้นที่สาธารณะและริมถนน ดำเนินการในวันสำคัญ เช่น วันพ่อ วันแม่ และวันสำคัญทางศาสนา โดยปลูกไม้ยืนต้นที่มีคุณค่าทางสิ่งแวดล้อมและภูมิทัศน์ เช่น คุน เหลืองอินเดีย รวงผึ้ง และลมแล้ง เพื่อสร้างความร่มรื่นและเพิ่มพื้นที่สีเขียวภายในชุมชน

ความต้องการและแผนงานระยะต่อไป

1) เครื่องฉีดพ่นน้ำดับไฟป่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมและป้องกันไฟป่า

2) เครื่องเป่าใบไม้ เพื่อใช้ในการจัดการเชื้อเพลิงในพื้นที่ป่าลาดชันและแนวกันไฟ

ผลการดำเนินงานของชุมชนบ้านแม่วากพบว่ามีความก้าวหน้าด้านคุณภาพสูงด้านการรวมพลังของประชาชนและการสร้างระบบความร่วมมือกับหน่วยงานรัฐภายในพื้นที่ โดยเฉพาะการเชื่อมโยงกับ อบต.แม่่นาจร และ สวพส. ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้กิจกรรมอนุรักษ์ป่าและต้นน้ำสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งด้านทรัพยากรวัสดุ และแรงงานชุมชน อย่างไรก็ตามกิจกรรมการสำรวจและการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ยังอยู่ขั้นเริ่มต้น จึงควรเร่งพัฒนา ระบบฐานข้อมูลป่าไม้ชุมชนเชิงภูมิสารสนเทศ (GIS) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือการวางแผน พื้นฟู และติดตามความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่า นอกจากนี้ควรส่งเสริมการฝึกอบรมสมาชิกเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลเชิงเทคนิค (เช่น การวัดชีวมวลและคาร์บอน) เพื่อเตรียมความพร้อมการเข้าร่วมกลไก T-VER หรือระบบคาร์บอนเครดิตชุมชน ซึ่งจะเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจควบคู่ไปกับผลประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อม ชุมชนบ้านแม่วากถือเป็นตัวอย่างของ “ชุมชนต้นแบบการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้เชิงรุกบนพื้นที่สูง” ที่สามารถพัฒนาแนวทางไปสู่ระบบการจัดการคาร์บอนเครดิตระดับชุมชนได้ทั้งมิติสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.24



ตารางที่ 4.24 แผนปฏิบัติการและผลการอนุรักษ์และดูแลป่าของชุมชนบ้านแม่วาก โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่ละออ

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
แผนงานวางแผนและจัดการพื้นที่							
(1) วิเคราะห์พื้นที่และชุมชน	-	เม.ย. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	100	100
(2) ประเมินศักยภาพและคัดเลือกพื้นที่/ชุมชน	-	พ.ค. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	100	100
(3) ประสานงานหน่วยงานและชุมชน - ติดต่อหน่วยงานที่ดูแลพื้นที่ - ขออนุญาตใช้พื้นที่เพื่อกิจกรรมกับเจ้าของพื้นที่	-	มิ.ย.-ก.ค. 2568-2570	สวพส. /ผู้เกี่ยวข้อง	สวพส.	สวพส. /ผู้เกี่ยวข้อง	100	100
(4) กำหนดพื้นที่กิจกรรมและขอบเขตพื้นที่	-	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส. /ผู้เกี่ยวข้อง	สวพส.	สวพส. /ผู้เกี่ยวข้อง	100	100
(5) จัดทำฐานข้อมูล จำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน	-	มิ.ย.-ก.ค. 2568-2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	100	100
แผนงานสร้างความร่วมมือกับชุมชน							
(6) จัดเวทีประชาคมและวางแผนการทำงานร่วมกันระหว่างผู้พัฒนาโครงการและชุมชน	-	ส.ค.-ก.ย. 2568-2570	สวพส./ชุมชน/ สำนักจัดการป่า	สวพส./ สำนักจัดการป่า	ชุมชน	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
แผนงานป้องกันและอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้และต้นน้ำ							
(7) จัดทำ/จัดเตรียมพื้นที่สำหรับ ดำเนินกิจกรรม - พื้นที่จัดเก็บอุปกรณ์ เช่น เครื่องมือทำแนวกันไฟ ทำฝาย ชะลอน้ำ วางแปลงเก็บข้อมูล - อุปกรณ์เครื่องเป่าไฟ ถึง ดับเพลิง	-	ต.ค. 2567 -ก.ย. 2570	สวพส.	สวพส.	สวพส.	100	100
(8) ดำเนินกิจกรรมป้องกันไฟป่า เช่น ทำแนวกันไฟ และ ลาดตระเวน	50,000	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	สวพส./ชุมชน	สวพส./ชุมชน	ชุมชน	100	100
(9) ดำเนินกิจกรรมรักษาป่าต้นน้ำ							
- ทำแนวกันไฟ	-	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
- ลาดตระเวน	20,000	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน/สวพส.	ชุมชน/สวพส.	ชุมชน	100	100
- ทำถนนลาดตระเวนไฟป่า	-	ก.พ.-เม.ย. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
- บวชป่า	30,000	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100

กิจกรรม	งบประมาณ (บาท)	ระยะเวลา ดำเนินการ	หน่วยงาน รับผิดชอบหลัก	หน่วยงาน สนับสนุน	หน่วยงาน ติดตามผล	ร้อยละ ความสำเร็จ	ร้อยละการมี ส่วนร่วม
- เลี้ยงผีขุนน้ำ	-	ก.พ.-มี.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
แผนงานรณรงค์และอนุรักษ์แหล่งน้ำธรรมชาติ							
(10) กิจกรรมรณรงค์สืบชะตาน้ำ	45,000	เม.ย. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
(11) กิจกรรมทำฝายตักตะกอน	-	เม.ย. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
แผนงานสำรวจและเก็บข้อมูล							
(12) การเก็บข้อมูลความหลากหลาย	100,000	ก.ย.-ต.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	65	80
(13) การจ้างเหมาลาดตระเวนไฟฟ้า	150,000	ก.ย.-ต.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	100	100
(14) การจ้างเหมาวางแปลงเก็บ ข้อมูล	150,000	ก.ย.-ต.ค. 2568-2570	ชุมชน	ชุมชน	ชุมชน	91	98
(15) การวิเคราะห์พื้นที่และชุมชน	150,000	ก.พ.-เม.ย. 2568-2570	สวพส./ชุมชน	สวพส./ชุมชน	ชุมชน	62	80
รวม (เฉลี่ย)						95.69	97.78

4.3.2 ผลประเมินระดับความสำเร็จเทียบกับค่าเป้าหมายตามตัวชี้วัด (KPI Achievement Scale) ซึ่งแสดงผลเชิงประจักษ์ 2 ด้านหลัก ได้แก่ (1) ประสิทธิภาพการลดการปล่อย GHG จากชีวมวลเทียบจากค่าเริ่มต้น (baseline) และการกักเก็บคาร์บอน (คาร์บอนสะสม) ในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินบริเวณป่าของชุมชนต้นแบบ และ (2) ความเหมาะสมของการเป็นต้นแบบชุมชนถ่ายทอดกระบวนการลด GHG พิจารณาจาก (2.1) ผลการดำเนินงานกิจกรรมตามแผนปฏิบัติการได้สำเร็จระดับดี หรือ \geq ร้อยละ 70 (2.2) การมีส่วนร่วมของชุมชนทุกขั้นตอน หรือ \geq ร้อยละ 70 (2.3) ศักยภาพการขยายผล/ถ่ายทอดความรู้ของชุมชน และ (2.4) ความยั่งยืนของต้นแบบกิจกรรมลด GHG ที่สามารถขยายผลสู่พื้นที่อื่นได้

ข้อมูลประสิทธิภาพการลด GHG แสดงให้เห็นว่าแต่ละชุมชนมีศักยภาพการลดการปล่อย GHG หรือกักเก็บคาร์บอนระดับที่แตกต่างกันตามลักษณะกิจกรรมหลัก โดยชุมชนภาคเกษตรและการจัดการของเสียชีวมวล (บ้านศรีบุญเรือง บ้านห้วยทรายขาว บ้านห้วยน้ำกิน และบ้านป่าเกี๊ยะ) มีค่าการลดการปล่อย GHG เฉลี่ยระหว่าง 639.98 -8,556.24 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อไร่ต่อปี ($\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$) ขณะที่ชุมชนภาคป่าไม้ (บ้านปางมะเกลือ และบ้านแม่วาก) มีค่าการกักเก็บคาร์บอนสะสมเฉลี่ยสูงกว่าอยู่ช่วง 24,040-82,520 $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$ ทั้งนี้การให้ค่าประสิทธิภาพอ้างอิงตามองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ซึ่งจัดทำ Emission Factor Database of Thailand (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2021–2023) และแนวทาง IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) เพื่อใช้ในการคำนวณการปล่อยและดูดซับคาร์บอนของแต่ละภาคกิจกรรม โดยประมาณการดังนี้ การลดการเผาเศษพืชและการหมักวัสดุอินทรีย์ เช่น กากกาแฟ เศษพืช มีค่า 1.5-2.5 $\text{tCO}_2\text{eq}/\text{ไร่}/\text{ปี}$ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2022; ปัญญา และคณะ, 2564) การจัดการขยะพลาสติกและวัสดุรีไซเคิลแทนการฝังกลบ 1.0-1.8 $\text{tCO}_2\text{eq}/\text{ปี}$ (UNEP, 2019; องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2023) การฟื้นฟูป่าชุมชนและการสร้างแนวกันไฟ 4.0-6.5 tCO_2eq ต่อไร่ต่อปี (IPCC, 2006; องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2021) ทั้งนี้ผลเปรียบเทียบดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า กิจกรรมป่าไม้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการดูดกลับคาร์บอนระยะยาว เนื่องจากการเติบโตของชีวมวลและการกักเก็บคาร์บอนในดิน ส่วนกิจกรรมภาคเกษตรและของเสียให้ผลลดการปล่อยระดับต่ำกว่า แต่มีข้อได้เปรียบด้าน “การลดทันที” ผ่านการงดเผาและการใช้ของเสียหมุนเวียน

สำหรับความเหมาะสมของการเป็นต้นแบบชุมชนถ่ายทอดกระบวนการลด GHG จาก 4 เกณฑ์พิจารณา พบว่าชุมชนบ้านปางมะเกลือ มีคะแนนรวมสูงสุด (98.43 คะแนน ระดับดีเยี่ยม) รองลงมาคือ บ้านแม่วาก (95.62 คะแนน ระดับดีเยี่ยม) และบ้านห้วยน้ำกิน (94.16 คะแนน ระดับดีเยี่ยม) แสดงถึงความพร้อมด้านโครงสร้างการบริหารจัดการ การมีส่วนร่วมของชุมชน และความสามารถการบูรณาการองค์ความรู้ท้องถิ่นกับวิทยาศาสตร์ ขณะที่ชุมชนภาคเกษตร เช่น บ้านศรีบุญเรืองและบ้านห้วยน้ำกิน มีค่าการลด GHG ต่ำกว่าภาคป่าไม้ แต่มีจุดแข็งด้านการขยายผล (97 คะแนน ระดับดีเยี่ยม) เนื่องจากสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเศษพืชและกากกาแฟได้ง่าย และใช้ต้นทุนต่ำ จึงเหมาะสำหรับขยายผลสู่ชุมชนอื่นที่มีระบบการผลิตคล้ายคลึงกัน ส่วนชุมชนบ้านป่าเกี๊ยะและบ้านห้วยทรายขาว มีระดับผลสัมฤทธิ์ (ดีมาก-ดีเยี่ยม) และการมีส่วนร่วมปานกลางถึงสูง (86-94 คะแนน) แต่ยังมีข้อจำกัดด้านการพัฒนา “ระบบติดตามผลการลด GHG” ที่ชัดเจน ทำให้ความยั่งยืนยังขึ้นอยู่กับการสนับสนุนจากหน่วยงานรัฐและโครงการต้นแบบของ สวพส.

เมื่อเปรียบเทียบตามลักษณะกิจกรรม พบว่าภาคป่าไม้ (บ้านปางมะเกลือและบ้านแม่วาก) มีศักยภาพสูงสุดต่อการลด GHG แบบถาวร และมีระบบ “การจัดการชุมชนแบบ Bottom-up” ที่เข้มแข็ง (ร้อยละการมีส่วนร่วมเฉลี่ยร้อยละ 99) ส่วนภาคเกษตร (บ้านศรีบุญเรือง บ้านห้วยทรายขาว บ้านห้วยน้ำกิน บ้านป่าเกี๊ยะ) มีข้อได้เปรียบเชิงเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) โดยเฉพาะการจัดการของเสียอินทรีย์ (เศษเหลือทิ้งทางการเกษตร) ซึ่งสามารถลดการปล่อย CH_4 และ N_2O จากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ภาพรวม “การลดการปล่อย GHG และกักเก็บคาร์บอนสะสมระดับชุมชน” สามารถเกิดขึ้นได้ หากมีการบูรณาการระหว่างการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ และทุนทางสังคมของชุมชนซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดความยั่งยืนของการดำเนินงาน ชุมชนที่มีระบบความร่วมมือเข้มแข็งและสามารถวางแผนขยายผลได้ โดยเฉพาะบ้านปางมะเกลือและบ้านห้วยน้ำกิน จึงควรถูกพัฒนาเป็น “ต้นแบบศูนย์การเรียนรู้ลด GHG บนพื้นที่สูง” เพื่อถ่ายทอดกระบวนการสู่พื้นที่อื่นต่อไป รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.25



ตารางที่ 4.25 ผลประเมินประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก และความเหมาะสมของชุมชนต้นแบบ

ตัวชี้วัด	บ้านศรีบุญเรือง โครงการพัฒนา โป่งคำ	บ้านห้วยทรายขาว ศูนย์ฯ แม่ปูนหลวง	บ้านห้วยน้ำกิน ศูนย์ฯ ห้วยโป่ง	บ้านป่าเกี๊ยะ ศูนย์ฯ แม่แฮ	บ้านปางมะกาลัย โครงการพัฒนา ป่าแป๋	บ้านแม่วาก โครงการพัฒนา แม่มะลอ
ประสิทธิภาพการลด GHG						
การลดปริมาณการปล่อย GHG (KgCO ₂ eq/ไร่)	2,388.89	8,556.24	2,633.35	639.98	-	-
การเพิ่มการดูดกลับคาร์บอน (KgCO ₂ eq/ไร่)	-	-	-	-	82,520	24,040
ความเหมาะสมของชุมชนต้นแบบ						
ความสำเร็จของผลงานเทียบแผนปฏิบัติการ	90	81	87.44	86	97.41	95.69
การมีส่วนร่วมของชุมชนทุกขั้นตอน	100	94.80	98.20	93.40	99.32	97.78
ศักยภาพการขยายผล/ถ่ายทอดความรู้ของชุมชน	92	86	97	88	98	94
ความยั่งยืนของกิจกรรมลด GHG ภายในชุมชน	93	88	96	87	99	95
รวมคะแนน	93.61	87.95	94.16	88.60	98.43	95.62
ระดับผลสัมฤทธิ์	ดีเยี่ยม	ดีมาก	ดีเยี่ยม	ดีมาก	ดีเยี่ยม	ดีเยี่ยม

4.3.3 การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1) พัฒนาระบบสารสนเทศ Web Base Application งานลด GHG บนพื้นที่สูง (ปีที่ 4) เพื่อรองรับข้อมูลการปล่อย GHG และการกักเก็บคาร์บอนสะสมของชุมชน

มีเป้าหมายเพื่อสนับสนุนการขับเคลื่อนมาตรการลด GHG ของชุมชนบนพื้นที่สูง โดยมุ่งสร้างเครื่องมือดิจิทัลที่สนับสนุนการวางแผน การติดตาม และการประเมินผลกิจกรรมลดคาร์บอนระดับพื้นที่ระบบอยู่ภายใต้กรอบแนวคิด “CarbonX Hub” ซึ่งถูกออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางข้อมูลด้านการลดการปล่อย GHG และกักเก็บคาร์บอนสะสมของชุมชน โดยเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลของ สวพส. เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์เชิงวิเคราะห์และนโยบาย การดำเนินงานมีวัตถุประสงค์หลักในการยกระดับประสิทธิภาพของระบบเดิม คือ “ชุมชนบนพื้นที่สูงลดคาร์บอน ลดโลกร้อน” ให้สามารถใช้งานได้อย่างเสถียร และรองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก รวมทั้งเป็นเครื่องมือเผยแพร่องค์ความรู้ด้านการลดคาร์บอนของชุมชนต่อสาธารณะ ด้วยรูปแบบที่เข้าใจง่าย และตรวจสอบได้ รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ฉ

ฟังก์ชันและระบบแสดงผล (Frontend)

ระบบพัฒนาในรูปแบบ Web Base Application ที่รองรับการใช้งานผ่านเบราว์เซอร์ทุกประเภท และแสดงผลแบบ Responsive Design เพื่อให้เข้าถึงได้ทั้งบนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา อินเทอร์เน็ตผู้ใช้ถูกออกแบบให้มีโครงสร้างเรียบง่าย เน้นความชัดเจนของข้อมูล และแสดงผลการคำนวณอย่างมีประสิทธิภาพ ฟังก์ชันหลักของระบบแสดงผล ประกอบด้วย

1) ระบบจัดการผู้ใช้งาน (User Management) ที่รองรับการลงทะเบียน การตรวจสอบสิทธิ์ และการกำหนดบทบาทผู้ใช้หลายระดับ เช่น ชุมชน ผู้ตรวจประเมิน และผู้ดูแลระบบ พร้อมระบบยืนยันตัวตนและการยอมรับเงื่อนไข PDPA

2) ระบบตรวจประเมิน (Assessment Module) ที่สามารถตั้งช่วงเวลาการกรอกข้อมูลและส่งการแจ้งเตือนอัตโนมัติผ่านอีเมลหรือ Telegram รวมถึงปรับสถานะการตรวจประเมินตามความคืบหน้าของข้อมูล

3) ระบบรายงานผล (Reporting & Dashboard) ซึ่งสรุปผลในรูปแบบตัวเลขและแผนภูมิ พร้อมฟังก์ชันการพิมพ์รายงาน PDF และการเปรียบเทียบข้อมูลย้อนหลัง

4) ระบบจัดการไฟล์และเอกสาร (File Management) ที่รองรับการอัปโหลด ดู และดาวน์โหลด เอกสารในรูปแบบมาตรฐาน เช่น PDF, DOCX, PPTX, XLSX, JPG, PNG

5) ระบบแจ้งเตือน (Notification Center) ที่แสดงสถานะและกิจกรรมล่าสุดแบบเรียลไทม์ แบ่งตามระดับสิทธิ์ของผู้ใช้

ระบบการจัดการหลังบ้าน (Backend)

ระบบหลังบ้าน พัฒนาด้วยภาษา PHP ร่วมกับ Microsoft SQL Server บนสถาปัตยกรรม Windows Server เพื่อรองรับการประมวลผลข้อมูลเชิงซับซ้อนของแบบประเมิน GHG ระดับชุมชน โครงสร้างฐานข้อมูลถูกออกแบบอย่างมีระบบและปลอดภัย ประกอบด้วย ตารางข้อมูลมากกว่า 30 ตาราง ครอบคลุมการจัดเก็บข้อมูลผู้ใช้ สิทธิ์การเข้าถึง แบบประเมินกิจกรรม ข้อมูลการคำนวณ GHG และบันทึกการใช้งาน (Log) เพื่อการตรวจสอบย้อนหลัง ระบบ Backend ประกอบด้วย

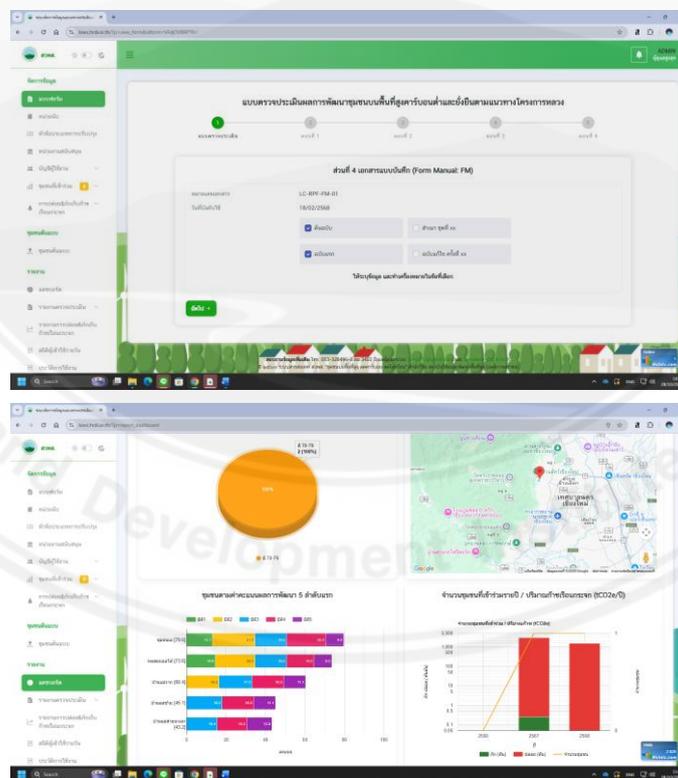
1) โมดูลการจัดการสิทธิ์ผู้ใช้ (User Permission Module) ที่จำแนกบทบาทผู้ใช้อย่างชัดเจนและรองรับการปรับระดับสิทธิ์แบบไดนามิก

2) ระบบการตั้งค่าระบบหลัก (System Configuration) ที่สามารถปรับแต่งนโยบายการเก็บข้อมูล เช่น ขนาดไฟล์ การอนุญาตสกุลไฟล์ และการจัดการนโยบายข้อมูลส่วนบุคคล

3) ระบบบำรุงรักษาและรับประกัน (Maintenance & Warranty) โดยมีแผนรับประกันการใช้งาน 1 ปี พร้อมบริการแก้ไขข้อบกพร่องภายใน 24 ชั่วโมง

การประเมินประสิทธิภาพและแนวทางพัฒนาเพิ่มเติม

ระบบรองรับข้อมูล (1) การพัฒนาชุมชนคาร์บอนต่ำและยั่งยืน 5 มิติ 28 ตัวชี้วัด และ (2) การดำรงชีวิตและประกอบอาชีพของชุมชน 10 กิจกรรม ภาพรวมพบว่า ระบบพร้อมใช้งานระดับสูง หรือประมาณร้อยละ 90 ทั้งด้านโครงสร้างสถาปัตยกรรม ความเสถียรของระบบฐานข้อมูล และความถูกต้องของการคำนวณค่าลด GHG ระบบสามารถรองรับการทำงานของผู้ใช้หลายระดับ อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดบางประการด้านการเชื่อมโยงข้อมูลกิจกรรมลดคาร์บอนกับข้อมูลวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ของระบบการผลิตพืชเศรษฐกิจ 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กาแฟอะราบิกา ผักเมืองหนาว ไม้ผล เศรษฐกิจบนพื้นที่สูงซึ่งเป็นประเด็นของแผนการพัฒนาระยะต่อไป การพัฒนาโมดูลดังกล่าวจะช่วยยกระดับระบบ CarbonX Hub ให้เป็นแพลตฟอร์มการจัดการข้อมูล GHG แบบครบวงจร โดยสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสนับสนุนการวางแผนลดคาร์บอนระดับพื้นที่ (ภาพที่ 4.20)



ภาพที่ 4.20 Web Base Application ชุมชนบนพื้นที่สูงลดคาร์บอน ลดโลกร้อน ของ สวพส.

2) ขยายความร่วมมือทางวิชาการระยะที่ 2 งานวิจัยและพัฒนาฟาร์มคาร์บอนต่ำ กับหน่วยงานเครือข่ายหลัก โดยอยู่ระหว่างการประสานงานมูลนิธิโครงการหลวง มหาวิทยาลัยมหิดล และ GDAAS สาธารณรัฐประชาชนจีน ในลักษณะบันทึกความร่วมมือ Record of Discussion (ROD) สรุปสาระสำคัญดังนี้

ที่มาและความสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการปล่อย GHG เป็นปัญหาระดับโลกที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมรอบด้าน องค์การสหประชาชาติจึงกำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 13 เพื่อเร่งเสริมการดำเนินงานรับมือกับผลกระทบดังกล่าว สำหรับพื้นที่สูงของประเทศไทยซึ่งมีความเปราะบางทั้งเชิงนิเวศและสังคม การพัฒนาจำเป็นต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของภูมิสังคมและแนวทางความยั่งยืน

มูลนิธิโครงการหลวงและสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ได้ขับเคลื่อนการพัฒนาตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง โดยประสานความร่วมมือกับคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และ Guangdong Academy of Agricultural Sciences (GDAAS) แห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน เพื่อดำเนินการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีคาร์บอนต่ำภาคเกษตร ระยะที่ 1 (พ.ศ. 2564–2566) ซึ่งประสบผลสำเร็จด้านการใช้ประโยชน์จากของเสียทางการเกษตรและการสร้างต้นแบบชุมชนคาร์บอนต่ำ จึงต่อยอดสู่ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2568-2570) โดยมุ่งพัฒนา “ฟาร์มคาร์บอนต่ำ” เป็นต้นแบบห้องปฏิบัติการมีชีวิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการทรัพยากร ลดการปล่อย GHG และเสริมศักยภาพการดูดกลืนคาร์บอนบนพื้นที่สูง

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรและการจัดการของเสียร่วมกับชุมชนพื้นที่สูง
- 2) เสริมสร้างองค์ความรู้และพัฒนาสมรรถนะของนักวิจัยและนักศึกษา ผ่านกลไกการเชื่อมโยงเครือข่ายความร่วมมือทั้งในประเทศและต่างประเทศ

ขอบข่ายความร่วมมือ

ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) การแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีและศึกษาดูงานการเกษตรยั่งยืน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การจัดการของเสีย เทคโนโลยีชีวภาพ และการปรับปรุงคุณภาพดิน (2) การวิจัยและพัฒนาฟาร์มคาร์บอนต่ำ ครอบคลุม (2.1) การรีไซเคิลและใช้ประโยชน์ของเสียทางการเกษตรด้วยจุลินทรีย์ เพื่อย่อยสลายเศษพืชเหลือทิ้ง เช่น ขี้วัวขี้ควาย เลี้ยงสัตว์ เป็ดไก่ กากกาแฟ เศษผักผลไม้ ฟางข้าว และมูลสัตว์ (2.2) การปรับปรุงดินและฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ด้วยไบโอชาร์และปุ๋ยชีวภาพที่มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ดูดซับคาร์บอน และลดการปนเปื้อนโลหะหนัก และ (3) การสนับสนุนนักวิจัยและนักศึกษาให้เข้าร่วมฝึกปฏิบัติงานระยะสั้นกับ GDAAS เพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์เชิงปฏิบัติการ

วิธีดำเนินงานและการวัดผล

(1) การพัฒนาฟาร์มคาร์บอนต่ำเป็นศูนย์เรียนรู้ จะคัดเลือกฟาร์มต้นแบบในพื้นที่มูลนิธิโครงการหลวงอย่างน้อย 3 แห่ง เพื่อยกระดับเป็นศูนย์เรียนรู้ฟาร์มคาร์บอนต่ำ โดยบูรณาการองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ไบโอชาร์ และการจัดการของเสียสู่การปฏิบัติจริง พร้อมจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้เกษตรกรเรียนรู้ร่วมกัน รวมถึงพัฒนาหลักสูตรระยะสั้นที่สามารถนำไปขยายผลต่อไป ตัวชี้วัดประกอบด้วย ระดับความสำเร็จของฟาร์มต้นแบบ ระดับการมีส่วนร่วมของเกษตรกร จำนวนเครือข่ายความร่วมมือ รายงานผลการลด GHG และการกักเก็บคาร์บอน

(2) การแลกเปลี่ยนเรียนรู้และศึกษาดูงาน ดำเนินการร่วมกันระหว่างนักวิจัยจากทั้ง 2 ประเทศ อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง โดยเน้นหัวข้อที่สอดคล้องกับโจทย์วิจัย เช่น การจัดการของเสีย การใช้เทคโนโลยีชีวภาพ และการปรับปรุงดิน เพื่อนำผลการเรียนรู้ไปสนับสนุนการกำหนดนโยบายและขยายผล

(3) การพัฒนาศักยภาพบุคลากรวิจัยและนักศึกษา จัดฝึกอบรมระยะสั้น (ไม่เกิน 1 สัปดาห์) โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญจาก GDAAS ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการเกษตรยั่งยืนและการลด GHG โดยมีเป้าหมายอย่างน้อย 20 คนต่อครั้ง ในประเทศไทย หรือ 2 คน เมื่อจัดกิจกรรมที่สาธารณรัฐประชาชนจีน

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

มีกำหนดระหว่างปี พ.ศ. 2568-2570 ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง มหาวิทยาลัยมหิดล และสาธารณรัฐประชาชนจีน

งบประมาณ

ใช้งบประมาณร่วมจาก 4 หน่วยงาน ได้แก่ มูลนิธิโครงการหลวง สวพส. มหาวิทยาลัยมหิดล และ GDAAS

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เกิดชุดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีคาร์บอนต่ำที่สามารถนำไปใช้ถ่ายทอดสู่ชุมชนบนพื้นที่สูง เพื่อร่วมลดการปล่อย GHG อย่างเหมาะสมกับบริบทท้องถิ่น สนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนลำดับที่ 13 และสอดคล้องกับแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์และกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยมุ่งส่งเสริมการลดการปล่อย GHG และเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนของชุมชนบนพื้นที่สูง ผ่านการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดและแหล่งกักเก็บคาร์บอนจากระบบปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิกาศึกษาแนวทางสร้างสมดุลคาร์บอนที่เหมาะสมกับบริบทพื้นที่สูง และทดสอบแผนงานส่งเสริมชุมชนร่วมลด GHG ด้านการเกษตร การจัดการของเสีย และป่าไม้ โดยดำเนินการในพื้นที่นำร่อง 9 ชุมชน ครอบคลุมพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงและโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง เน้นการมีส่วนร่วมของชุมชน การพัฒนาเทคโนโลยีคาร์บอนต่ำ และระบบสารสนเทศเพื่อการติดตามผล ทั้งนี้เพื่อสร้างต้นแบบ “สังคมคาร์บอนต่ำ” ที่สอดคล้องกับแผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ดังนี้

5.1 การวิเคราะห์แหล่งปล่อย GHG และแหล่งกักเก็บคาร์บอนจากระบบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิกาของชุมชนบนพื้นที่สูง

พื้นที่การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิกาจากวิธีสำรวจด้วยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ

พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิกาที่อยู่ในพื้นที่ดำเนินงานของ สวพส. 44 โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง ครอบคลุม 8 จังหวัด ด้วยการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 (Harmonized MSI: Level-2A) ข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน และแผนที่ดินรายแปลงของเกษตรกร เพื่อวิเคราะห์การใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงพืชพรรณ ช่วงเดือนมกราคม-กันยายน 2568 โดยจำแนกพื้นที่ปลูกข้าวโพดด้วยอัลกอริทึม Random Forest และตรวจสอบความถูกต้องด้วยข้อมูลภาคสนาม ผลวิเคราะห์พบพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รวม 596,683.11 ไร่ มากที่สุดคือจังหวัดเชียงราย รองลงมาคือตาก และเชียงใหม่ พื้นที่ปลูกกระจุกตัวในโครงการพัฒนาฯ วาวี ผาผึ้ง-ศรีคีรีรักษ์ และป่าเกี๊ยะใหม่ เมื่อนำข้อมูลซ้อนทับกับแผนที่ดินรายแปลง พบพื้นที่ตรงกัน 120,959.51 ไร่ รวมเกษตรกรปลูกข้าวโพด 16,902 แปลง ส่วนใหญ่เป็นแปลงขนาดเล็กบนพื้นที่ลาดชัน สำหรับกาแพะราบิกามีพื้นที่รวม 45,227.16 ไร่ พบมากที่จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และน่าน ส่วนใหญ่อยู่เขตพื้นที่โครงการพัฒนาฯ เช่น วาวี แม่สลอง และป่าแป๋ รวมเกษตรกรปลูก 4,978 แปลง เฉลี่ยแปลงละ 9-10 ไร่ ผลประเมินความถูกต้องของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม มีค่าความถูกต้องโดยรวม 91% และค่าสัมประสิทธิ์ค้ำปา 0.901 แสดงถึงความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการใช้ข้อมูล Sentinel-2 ในการจำแนกพื้นที่เพาะปลูกพืชบนพื้นที่สูง

พื้นที่การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และกาแพะราบิกาจากวิธีรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

การวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งเป็น 2 นัยยะ ซึ่งมีความแตกต่างทั้งด้านขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการจัดเก็บข้อมูล (1) ศักยภาพเชิงพื้นที่ จากข้อมูลปี 2564-2568 พบว่าจังหวัดที่มีศักยภาพปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สูงที่สุดคือ เพชรบูรณ์ ร้อยละ 8.07 ของพื้นที่จังหวัด (638,811 ไร่) รองลงมาคือ น่าน ร้อยละ 7.04 (504,728 ไร่) และเชียงใหม่ ร้อยละ 7.56 (260,701 ไร่) ส่วนจังหวัดที่มีศักยภาพปลูกกาแพะราบิกามากที่สุดคือ เชียงใหม่ ร้อยละ 1.02 (35,302 ไร่) และ เชียงราย ร้อยละ 0.76 (55,395 ไร่) ผลผลิตเฉลี่ยช่วง 694-959 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับข้าวโพด และ 544-636 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับกาแพ ส่วนนัยยะของการใช้ประโยชน์ที่ดินจริง ตามข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2568) ปีเพาะปลูก 2566/67 พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวโพดรวมกว่า 2.6 ล้านไร่

มากที่สุด ในจังหวัดเพชรบูรณ์ (681,666 ไร่) รองลงมาคือ ตาก (574,741 ไร่) และน่าน (453,195 ไร่) โดยให้ผลผลิตรวม 2 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 600-700 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับกาแพะราบิกา ปี 2567/68 พบว่ามีพื้นที่ปลูกมากที่สุด ในจังหวัดเชียงราย (54,892 ไร่, 4,736 ตัน) รองลงมาคือ เชียงใหม่ (35,385 ไร่, 3,430 ตัน) และน่าน (12,945 ไร่, 885 ตัน) เฉลี่ยผลผลิต 73-100 กก./ไร่ เมื่อเปรียบเทียบ 2 ข้อมูล พบว่าพื้นที่ศักยภาพส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าพื้นที่ปลูกจริง แต่มีแนวโน้มสอดคล้องกันในลำดับของจังหวัด โดยเฉพาะเพชรบูรณ์และน่านที่มีศักยภาพและการผลิตสูงทั้ง 2 ด้าน ส่วนกาแพะราบิกาในเชียงรายและเชียงใหม่มีการขยายพื้นที่จริงใกล้เคียงกับศักยภาพเดิม แสดงถึงการใช้ประโยชน์พื้นที่สูงที่คงเสถียรและตอบสนองต่อปัจจัยตลาด

แหล่งปล่อย GHG และแหล่งกักเก็บคาร์บอนของระบบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ระบบการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ศึกษามีลักษณะการผลิตแบบเกษตรกรรมรายย่อยถึงขนาดกลาง พื้นที่เฉลี่ย 8.9 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 5,980 กิโลกรัมต่อรอบการปลูก การจัดการทั่วไปใช้การไถพรวนและปุ๋ยเคมีเป็นหลัก มีการเผาเศษซากพืชหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นแหล่งปล่อย GHG สำคัญ การประเมินการปล่อยดำเนินการภายใต้กรอบวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตการผลิต (Life Cycle Assessment; LCA) ตามแนวทาง IPCC (2006) และ GHG Protocol โดยกำหนดขอบเขตแบบ cradle-to-first buyer (post-farm-gate) ครอบคลุมตั้งแต่การผลิตและขนส่งปัจจัยการผลิตจนถึงการขนส่งผลผลิตถึงผู้รับซื้อรายแรก

ค่าการปล่อย GHG เฉลี่ยรวม 4,380 kgCO₂eq/ไร่/ปี (27.38 tCO₂eq/ha/ปี) โดยมี Scope 1 ร้อยละ 75 Scope 2 ร้อยละ 2 และ Scope 3 ร้อยละ 23 ของการปล่อยทั้งหมด การเผาเศษซากพืชเป็นแหล่งปล่อยหลัก เฉลี่ย 275 kgCO₂eq/ไร่/ปี รองลงมาคือการใช้ดีเซลเพื่อไถพรวน 142 kgCO₂eq/ไร่/ปี และการปล่อยไนโตรัสออกไซด์จากปุ๋ยไนโตรเจน 56 kgCO₂eq/ไร่/ปี ส่วน Scope 2 เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนลดความชื้นของเมล็ดและการไม่ผลผลิต เฉลี่ย 79.6 kgCO₂eq/ไร่/ปี ขณะที่ Scope 3 มาจากการผลิตปุ๋ยเคมี (เฉลี่ย 1,500 kgCO₂eq/ไร่/ปี) การผลิตสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (430 kgCO₂eq/ไร่/ปี) และการขนส่งผลผลิตเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แห่งที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นและพร้อมจำหน่ายให้ผู้รับซื้อรายแรก (600 kgCO₂eq/ไร่/ปี)

ค่าการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่าดินระบบการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อเหนียว (clay) มีความเป็นกรดอ่อนถึงกรดปานกลาง (pH 5.22-5.90) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุระดับต่ำถึงปานกลาง (OM 1.61-2.97%) โดยอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มลดลงในชั้นดินลึก 15-30 เซนติเมตร ทุกระบบการจัดการดิน การกักเก็บคาร์บอนในดิน (SCS) จากตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนโครงสร้างพบว่า ชั้นดิน 0-15 เซนติเมตร มีค่า SCS สูงกว่าชั้นดิน 15-30 เซนติเมตร โดยค่าเฉลี่ย SCS รวมชั้นดิน 0-30 เซนติเมตร เท่ากับ 9.12 ± 1.62 ตัน/ไร่ ในระบบ A ไถพรวนไม่เต็มอินทรีย์วัตถุ ส่วนระบบ B ไถพรวนเต็มอินทรีย์วัตถุมีค่า 9.32 ± 1.31 ตัน/ไร่ และระบบ C เผาตอซัง 7.94 ± 1.63 ตัน/ไร่ ซึ่งความแตกต่างระหว่างระบบยังไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อแปลงค่าคาร์บอนในดินเป็นหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พบว่าการกักเก็บคาร์บอนในดินเฉลี่ยของระบบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่ากับ 3.19 tCO₂eq/ไร่

พื้นที่ศึกษามีระดับความสูงช่วง 316-812 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และมีความลาดชันมากกว่า 20% (30-58%) ทั้งหมด โดยค่าเฉลี่ย SCS ของพื้นที่ลาดชันสูงอยู่ที่ 8.79 ± 1.61 ตัน/ไร่ (n = 45) เมื่อพิจารณาแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น พบว่าความลาดชันมีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงลบกับ SCS (-0.132 ตัน/ไร่ต่อ 1% ความลาดชัน; p = 0.062) ขณะที่ระดับความสูงมีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงบวกกับ SCS (0.018 ตัน/ไร่ต่อ 1 เมตร; p = 0.088) ส่วนวิธีจัดการดินยังไม่พบผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหลังควบคุมปัจจัยภูมิประเทศ

แหล่งปล่อย GHG และแหล่งกักเก็บคาร์บอนของระบบการปลูกกาแฟอาราบิก้า

ระบบการผลิตกาแฟอาราบิก้าบนพื้นที่สูงมีลักษณะการปลูกแบบรายย่อยถึงขนาดกลาง พื้นที่เฉลี่ย 10.7 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 4,913 กิโลกรัม/รอบการปลูก ส่วนใหญ่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ยืนต้น ใช้น้ำฝนเป็นหลัก และใช้ปุ๋ยคอกผสมปุ๋ยเคมี โดยยังขาดระบบอนุรักษ์ดินที่เป็นรูปธรรม การประเมินการปล่อยดำเนินการในขอบเขต cradle-to-first buyer ครอบคลุมการเพาะปลูก การแปรรูป และการขนส่งผลผลิตเมล็ดกาแฟสารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต้นและพร้อมจำหน่ายให้ผู้รับซื้อรายแรก

ค่าการปล่อย GHG รวมเฉลี่ยของระบบการปลูกมีค่า 5,440 kgCO₂eq/ไร่/ปี โดย Scope 1 คิดเป็นร้อยละ 76 Scope 2 ร้อยละ 5 และ Scope 3 ร้อยละ 19 แหล่งปล่อยหลักคือการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนทั้งรูปเคมีและอินทรีย์ เฉลี่ย 4,108.9 kgCO₂eq/ไร่/ปี รองลงมาคือการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนแปรรูปเฉลี่ย 279.7 kgCO₂eq/ไร่/ปี และการหมักกากกาแฟแบบเปียก 1,015 kgCO₂eq/ไร่/ปี

ค่าการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่าดินมีเนื้อดินตั้งแต่ sandy clay loam ถึง clay loam และมีสภาพเป็นกรดอ่อน (pH 5.48-5.80) โดยระบบการปลูกมีอิทธิพลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุและคาร์บอนอินทรีย์ชัดเจน กาแฟอย่างเดียว (A) มีค่า OM และ OC ต่ำกว่าระบบปลูกร่วม ขณะที่กาแฟร่วมกับไม้ผล (B) กาแฟร่วมกับป่า (C) และกาแฟร่วมกับพืชผักสวนครัว (D) มีค่า OM สูงขึ้นตามลำดับ โดยระบบ D สูงสุด (OM 8.20%, OC 4.77%) และระบบ C ให้ค่าคาร์บอนสะสมในดินรวม 0-30 เซนติเมตร สูงสุดเท่ากับ 21.84 ตัน/ไร่ ดินชั้นต้น (0-15 เซนติเมตร) มีค่า OM, OC และ SCS สูงกว่าดินชั้นลึก (15-30 เซนติเมตร) ทุกระบบ แสดงถึงบทบาทของเศษซากพืชและกิจกรรมชีวภาพบริเวณผิวดินต่อการสะสมคาร์บอน ด้านมิติภูมิประเทศ พื้นที่ศึกษาทั้งหมดอยู่ช่วงความสูง 1,037-1,285 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และมีความลาดชัน 10-45% โดยค่าเฉลี่ย SCS รวม 0-30 เซนติเมตร ของพื้นที่สูงเท่ากับ 18.83 ± 2.72 ตัน/ไร่ หรือ 19.2 tCO₂eq/ไร่

เมื่อจำแนกตามความลาดชัน พบว่าพื้นที่ลาดชัน 2-12% มีค่า SCS สูงสุด (20.77 ± 0.78 ตัน/ไร่) ขณะที่พื้นที่ลาดชัน 12-20% มีค่าต่ำสุด (15.06 ± 1.84 ตัน/ไร่) และพื้นที่ลาดชัน >20% มีค่าเฉลี่ย 19.76 ± 1.72 ตัน/ไร่ แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นชี้ว่าความลาดชันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ SCS โดยพื้นที่ลาดชัน 12-20% และ >20% มีค่า SCS ต่ำกว่าพื้นที่ลาดชัน 2-12% ประมาณ 6-7 ตัน/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ระดับความสูงมีแนวโน้มสัมพันธ์เชิงบวกกับ SCS (ประมาณ 0.025 ตัน/ไร่ต่อเมตร) กล่าวได้ว่าระบบการปลูกกาแฟร่วม โดยเฉพาะกาแฟร่วมกับป่าและพืชผักสวนครัว มีศักยภาพสูงการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่สูง ทั้งนี้การจัดการพื้นที่ปลูกกาแฟควรให้ความสำคัญกับระบบปลูกร่วมและมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำเป็นพิเศษในพื้นที่ลาดชัน โดยเฉพาะบริเวณที่มีความลาดชันมากกว่า 35%

ค่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินรวมกัน (AGB และ BGB) พบค่าช่วง 3.16-33.76 tCO₂eq/ไร่ และค่าเฉลี่ย 16.16 ± 2.96 tCO₂eq/ไร่ โดย AGB มีสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 80.2 ± 4.5 และ BGB ร้อยละ 19.8 ± 2.3 ของคาร์บอนทั้งหมด ทั้งนี้ระบบกาแฟร่วมไม้ร่มเงาหลากชนิดมีค่าการกักเก็บสูงสุดสอดคล้องกับการพบไม้ขนาดใหญ่ เช่น ก่อ (*Castanopsis* spp.) มะค่า (*Azelia xylocarpa*) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) และมะม่วงป่า (*Mangifera caloneura*) ที่มีเส้นรอบวงลำต้น 30-75 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย 7-16 เมตร

โดยสรุป ระบบการปลูกกาแฟแบบมีไม้ร่มเงาหลากหลายชนิดสามารถกักเก็บคาร์บอนได้สูงกว่าการปลูกแบบเชิงเดี่ยวประมาณ 3-4 เท่า เนื่องจากมีโครงสร้างพืชหลายชั้นและมีความหลากหลายทางชีวภาพ ช่วยให้เกิดการสะสมคาร์บอนทั้งในดินและชีวมวล ระบบเกษตรร่มเงาและการปลูกพืชร่วมจึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มศักยภาพคาร์บอนของระบบเกษตรบนพื้นที่สูง นอกจากนี้ยังช่วยลดการชะล้างพังทลายของดินและทำให้การใช้ที่ดินบนพื้นที่ลาดชันมีความมั่นคงมากขึ้น ผลการวิจัยของโครงการสามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผนของหน่วยงานด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นด้านการส่งเสริมการปลูกกาแฟให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยเฉพาะบริเวณที่มีความลาดชันมากกว่า 35% ซึ่งมีข้อจำกัดด้านกฎหมายและความเสี่ยงต่อภัยพิบัติ กล่าวได้ว่าการส่งเสริมการปลูกกาแฟแบบมีไม้ร่มเงาเป็นทางเลือกที่ช่วยควบคุมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพิ่มการกักเก็บคาร์บอน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลเปรียบเทียบศักยภาพการปล่อย GHG และการกักเก็บคาร์บอน (ขอบเขตการประเมิน: cradle-to-first buyer, รอบการผลิตต่อปี) พบว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีการปล่อย GHG รวมเฉลี่ย 4,380 kgCO₂eq/ไร่/ปี และกักเก็บคาร์บอนในดินเฉลี่ย 3.19 tCO₂eq/ไร่ มีอัตราส่วนการกักเก็บต่อการปล่อย 0.73 : 1 และสมดุลคาร์บอนสุทธิเป็นบวก (+1.19 tCO₂eq/ไร่/ปี) จัดเป็นระบบปล่อยสุทธิ (Net Source) จากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและการเผาเศษซากพืชเป็นหลัก ขณะที่กาแฟอาราบิกามีการปล่อย GHG รวมเฉลี่ย 5,440 kgCO₂eq/ไร่/ปี แต่กักเก็บคาร์บอนได้สูงกว่ามาก ทั้งในดิน (19.2 tCO₂eq/ไร่) และชีวมวล (16.16 ± 2.96 tCO₂eq/ไร่) รวมการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 35.36 tCO₂eq/ไร่ มีอัตราส่วนการกักเก็บต่อการปล่อย 6.5 : 1 และสมดุลคาร์บอนสุทธิเป็นลบ (-29.92 tCO₂eq/ไร่/ปี) จัดเป็นระบบดูดซับสุทธิ (Net Sink) โดยเฉพาะระบบกาแฟร่มเงาหลากหลายชนิดมีค่าการกักเก็บในดินสูงสุดถึง 33.6 tCO₂eq/ไร่ จากโครงสร้างไม้ยืนต้นพุ่มชั้น เช่น ก่อ มะค่า และมะม่วงป่า โดยสรุประบบกาแฟมีศักยภาพกักเก็บคาร์บอนมากกว่าระบบข้าวโพดเฉลี่ยกว่า 10 เท่าต่อหน่วยพื้นที่ และเป็นระบบเกษตรคาร์บอนต่ำที่ช่วยลดการปล่อยสุทธิระดับภูมิภาคอย่างมีนัยสำคัญ

จากการพิจารณาสมดุลคาร์บอนสุทธิร่วมกับปัจจัยภูมิประเทศ พบว่าระบบการใช้ที่ดินทั้ง 2 แบบมีความเหมาะสมต่อพื้นที่ต่างกันอย่างชัดเจน ระบบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ซึ่งเป็นระบบปลูกพืชรายปี มีการปล่อย GHG สูงและมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนต่ำ โดยเฉพาะพื้นที่ลาดชันสูงซึ่งมีความเสี่ยงต่อการชะล้างพังทลายของดินและการสูญเสียคาร์บอนจากดิน ส่งผลให้ระบบมีความไม่คงทน และมีความเสี่ยงต่อการปล่อยคาร์บอนสูง ในทางตรงกันข้าม ระบบการปลูกกาแฟแบบมีไม้ร่มเงาเป็นพืชยืนต้นหลายชั้น สามารถสะสมคาร์บอนทั้งในดินและชีวมวลได้ระดับสูงและต่อเนื่อง จึงมีความมั่นคงของการกักเก็บคาร์บอนระยะยาว และมีคุณสมบัติเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนที่มีเสถียรภาพบนภูมิทัศน์พื้นที่สูง

รายการประเมิน	หน่วย	ระบบปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ^{1/2/3/}	ระบบปลูกกาแฟอาราบิกา ^{1/2/3/}
ลักษณะทั่วไปของระบบผลิต	-	เกษตรกรรายย่อย-ขนาดกลาง ผลผลิตเฉลี่ย 5,980 kg/ha/ปี	เกษตรกรรายย่อย-ขนาดกลาง ผลผลิตเฉลี่ย 4,913 kg/ha/ปี
ขอบเขตการประเมิน LCA	-	Cradle-to-first buyer (post-farm-gate)	Cradle-to-first buyer (post-farm-gate)

รายการประเมิน	หน่วย	ระบบปลูก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ^{1/2/3/}	ระบบปลูก กาแฟอาราบิกา ^{1/2/3/}
การปล่อย GHG รวม	tCO ₂ eq/ha/ปี	27.38	33.99
	kgCO ₂ eq/ไร่/ปี	4,380	5,440
คาร์บอนฟุตพริ้นต์ ของผลผลิต	kgCO ₂ eq/kg ผลผลิต (กำหนดหน่วยอ้างอิง มาตรฐาน ได้แก่ “1 กิโลกรัมผลผลิตสด” หรือ “1 ไร่/ฤดูกาลผลิต”)	4.58	6.92
สัดส่วน Scope 1 : Scope 2 : Scope 3	%	75 : 2 : 23	76 : 5 : 19
แหล่งปล่อยหลัก (hotspot) คือ Scope 1	-	การเผาเศษซากพืช การใช้ ดีเซล และการปล่อย N ₂ O จากปุ๋ยไนโตรเจน	การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและการ จัดการน้ำทิ้ง-อินทรีย์วัตถุ หลังเก็บเกี่ยว
ช่วงค่าการกักเก็บคาร์บอน ในดิน	tCO ₂ eq/ไร่	0.35-5.35	10.40-33.60
ค่าการกักเก็บคาร์บอน ในดิน (เฉลี่ย)	tCO ₂ eq/ไร่	3.19	19.20
ความลึกดิน ที่มีการกักเก็บสูงสุด	เซนติเมตร	0-15	0-15
การกักเก็บคาร์บอนใน ชีวมวล AGB + BGB (min-max)	tCO ₂ eq/ไร่	-	3.16-33.76
การกักเก็บคาร์บอนใน ชีวมวล AGB + BGB (เฉลี่ย)	tCO ₂ eq/ไร่	-	16.16 ± 2.96
สัดส่วน AGB : BGB	%	-	80.2 ± 4.5 : 19.8 ± 2.3
การกักเก็บคาร์บอนรวม (ดิน และชีวมวล)	tCO ₂ eq/ไร่/ปี	3.19	35.36
อัตราส่วน “คาร์บอนกัก เก็บ : การปล่อย”	สัดส่วน	0.73 : 1 (ดินเทียบการปล่อย)	6.5 : 1 (ดินและชีวมวลเทียบการปล่อย)
สมดุลคาร์บอนสุทธิ (Net Carbon Balance, NCB)	tCO ₂ eq/ไร่/ปี	+1.19 (แหล่งปล่อยสุทธิ)	-29.92 (แหล่งดูดซับสุทธิ)
สถานะเชิงระบบคาร์บอน	-	Net Source (ระบบปล่อยสุทธิ)	Net Sink (ระบบดูดซับสุทธิ)
แนวทางลดการปล่อย/ เพิ่มการกักเก็บ	-	เพิ่มการกักเก็บคาร์บอน โดยเติมอินทรีย์วัตถุ คางเศษซากพืช	เพิ่มการกักเก็บคาร์บอน โดยส่งเสริมระบบการปลูก กาแฟได้ร่มเงาไม้/ปลูก

รายการประเมิน	หน่วย	ระบบปลูก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ^{1/2/3/}	ระบบปลูก กาแพะราบิกา ^{1/2/3/}
		ลดการรบกวนดิน และใช้พืชคลุมดิน <u>ลดการปล่อย GHG</u> โดยยกเลิกเผาตอซัง แปรรูปชีวมวลเป็นวัสดุเกษตร ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแม่นยำ ลดไถซ้ำ/เชื้อเพลิง ลดปัจจัยภายนอก และเพิ่มประสิทธิภาพขนส่ง	ฝึกสวนครัวร่วมเพื่อเพิ่ม ชีวมวลและอินทรีย์วัตถุและ ลดการรบกวนหน้าดิน <u>ลดการปล่อย GHG</u> โดยลดใช้ปุ๋ยไนโตรเจน เกินจำเป็น ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ จัดการกากกาแพะแบบควบคุม แปรรูปชีวมวลเป็นวัสดุเกษตร และใช้พลังงานมีประสิทธิภาพ

^{1/}ค่าการปล่อย GHG และการกักเก็บคาร์บอนแปลงเป็นหน่วยต่อปี เพื่อสื่อรอบการผลิตตามหลัก LCA สำหรับระบบพืชไร่และพืชยืนต้น
ค่าเฉลี่ยและช่วงค่ามาจากผลการเก็บข้อมูลภาคสนามและคำนวณตามแนวทาง IPCC (2006), Volume 4: AFOLU และ GHG Protocol

^{2/}Agricultural Guidance

^{3/}ค่าเฉลี่ยของระบบกาแพะราบิกา “การกักเก็บคาร์บอนรวม 35.36 tCO₂eq/ไร่” คำนวณจากผลรวมค่าเฉลี่ยของคาร์บอนในดิน (19.20) และ
ชีวมวล (16.16)

การประเมิน Net Carbon Balance ของระบบการปลูก ผลคำนวณ LCA โดยอาศัยข้อมูลภาคสนาม
และภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ดำเนินงานจริงของ สวพส. สำหรับการประมาณเชิงพื้นที่ แสดงให้เห็นว่าระบบ
การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีการปล่อย GHG เฉลี่ย 3.9 tCO₂eq/ไร่/ปี ขณะที่สามารถกักเก็บคาร์บอนในดินได้
เพียง 3.19 tCO₂eq/ไร่/ปี ส่งผลให้สมดุลคาร์บอนสุทธิเป็นบวก โดยพื้นที่รวม 44 แห่งของ สวพส. (3,096.57 ไร่)
มีการปล่อยสุทธิรวม 710,291.6 tCO₂eq/ปี และพื้นที่แปลงเกษตรที่ปลูกปี 2568 มีการปล่อยสุทธิ 143,990.2
tCO₂eq/ปี จัดเป็นระบบแหล่งปล่อยสุทธิ ซึ่งมีสาเหตุหลักจากการเผาเศษซากพืช การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และการใช้
เชื้อเพลิงดีเซล ทางตรงกันข้าม ระบบการปลูกกาแพะราบิกามีการปล่อยเฉลี่ย 5.44 tCO₂eq/ไร่/ปี แต่สามารถ
กักเก็บคาร์บอนจากดินและชีวมวลได้รวม 35.36 tCO₂eq/ไร่ ส่งผลให้พื้นที่กาแพะของ สวพส. (1,157.82 ไร่) มี
สมดุลคาร์บอนสุทธิ -1,353,269.0 tCO₂eq/ปี จัดเป็นแหล่งดูดซับสุทธิ เมื่อพิจารณาอัตราส่วน “คาร์บอนกักเก็บ
: การปล่อย” ระบบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าเพียง 0.73 : 1 แสดงศักยภาพการกักเก็บต่ำกว่าการปล่อย ขณะที่ระบบ
กาแพะราบิกามีค่า 6.5 : 1 แสดงถึงประสิทธิภาพสูงในการดูดซับคาร์บอนจากบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญ

บทสรุปเชิงนโยบาย เมื่อเชื่อมโยงผลวิเคราะห์สมดุลคาร์บอนกับข้อจำกัดด้านความลาดชันตามกฎหมาย
การใช้ที่ดิน พบว่าพื้นที่ที่มีความลาดชัน >35% ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชไร่เชิงเดี่ยว เช่น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้ง
เชิงความเสื่อมโทรมของดินและเชิงการปล่อย GHG สุทธิ ทางกลับกัน พื้นที่ลาดชันระดับกลางถึงสูงสามารถใช้
ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืนมากกว่าหากจัดสรรให้เป็นระบบเกษตรไม้ยืนต้น เช่น ระบบกาแพะร่วมไม้ร่มเงา ซึ่งช่วยลด
การพังทลายของดิน เพิ่มการกักเก็บคาร์บอน และลดความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม

การนำไปใช้ประโยชน์ จากมุมมองของการพัฒนาโครงการคาร์บอนภาคเกษตร ระบบการปลูกกาแพะ
อะราบิกาแบบไม้ร่มเงาบนพื้นที่สูงมีคุณสมบัติสอดคล้องกับเกณฑ์ของมาตรฐาน T-VER Premium ได้แก่ มีการ
กักเก็บคาร์บอนในชีวมวลและดินระดับสูง มีความคงทนของคาร์บอนจากโครงสร้างไม้ยืนต้น และมีความเสี่ยงต่อ
การสูญเสียคาร์บอนต่ำเมื่อเทียบกับพืชไร่รายปี ขณะที่ระบบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีลักษณะเป็นแหล่งปล่อยสุทธิและ
ความไม่แน่นอนของการกักเก็บคาร์บอน จึงไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นโครงการคาร์บอนเครดิตเขตพื้นที่ลาดชัน

ระบบการปลูก	นัยยะการประเมิน	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	พื้นที่เพาะปลูก (ha)	การปล่อย GHG เฉลี่ย (tCO ₂ eq/ไร่/ปี)	การกักเก็บคาร์บอนในดิน (tCO ₂ eq/ไร่/ปี)	การกักเก็บคาร์บอนในชีวมวล (tCO ₂ eq/ไร่/ปี)	การกักเก็บรวม (ดินและชีวมวล) (tCO ₂ eq/ไร่/ปี)	การปล่อยรวมของระบบ (tCO ₂ eq/ปี)	การกักเก็บรวมของระบบ (tCO ₂ eq/ปี)	สมดุลคาร์บอนสุทธิ (tCO ₂ eq/ปี)	สถานะเชิงระบบคาร์บอน
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	พื้นที่ปลูกรวม บริเวณพื้นที่ดำเนินงานของ สวพส. 44 แห่ง	596,683.11	95,469.30	4.38	3.19	-	3.19	2,613,949.37	1,903,657.79	+710,291.58	แหล่งปล่อยสุทธิ (Net Source)
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	พื้นที่แปลงเกษตรกร สมาชิกที่ปลูกในปี 2568	120,959.51	19,353.52	4.38	3.19	-	3.19	529,899.42	385,909.22	+143,990.20	แหล่งปล่อยสุทธิ (Net Source)
กาแฟอาราบิก้า	พื้นที่ปลูกรวม บริเวณพื้นที่ดำเนินงานของ สวพส. 44 แห่ง	45,227.16	7,236.35	5.44	19.2	16.16	35.36	245,963.39	1,599,232.38	-1,353,268.99	แหล่งดูดซับสุทธิ (Net Sink)
กาแฟอาราบิก้า	พื้นที่แปลงเกษตรกร สมาชิกที่ปลูกในปี 2568	45,227.16	7,236.35	5.44	19.2	16.16	35.35	245,963.39	1,599,232.38	-1,353,268.99	แหล่งดูดซับสุทธิ (Net Sink)

5.2 การวิเคราะห์แนวทางสร้างสมดุลคาร์บอนที่มีศักยภาพในการส่งเสริมชุมชนภายใต้ข้อจำกัดพื้นที่สูง

มุ่งวิเคราะห์แนวทางสร้างสมดุลคาร์บอนระดับชุมชนภายใต้ข้อจำกัดพื้นที่สูง โดยอ้างอิงนิยามของ สวพส. ซึ่งหมายถึงพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 500 เมตรขึ้นไป และมีความลาดชันเฉลี่ย 20-35% ลักษณะดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขนาดเล็กที่เหมาะสมกับภูมิประเทศและวิถีชุมชนเพื่อการลด GHG และกักเก็บคาร์บอนอย่างยั่งยืน การประเมินประยุกต์ใช้เกณฑ์การพัฒนาชุมชนพื้นที่สูงคาร์บอนต่ำและยั่งยืนตามแนวทางโครงการหลวง (สุมาลีและคณะ, 2564) แนวทางรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2565) เพื่อจำแนกกิจกรรมหลัก 6 ประเภท ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน การใช้พลังงานหมุนเวียน การจัดการขยะ การเกษตรยั่งยืน การฟื้นฟูป่า และการใช้เทคโนโลยี Biochar ผลประเมินใช้การเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์พื้นฐานและหลังดำเนินกิจกรรม ตามแนวทาง IPCC (2006) และคู่มือ สผ. (2565) โดยคำนวณค่าการลด GHG (tCO₂eq) จากข้อมูลภาคสนามและการมีส่วนร่วมของชุมชน 21 แห่ง

ผลวิเคราะห์พบว่าทุกเทคโนโลยีมีศักยภาพแตกต่างกัน ได้แก่ เพิ่มประสิทธิภาพพลังงานลดได้เฉลี่ย 5.99 tCO₂eq/ปี พลังงานหมุนเวียน 3.79 tCO₂eq/ปี การจัดการขยะ 0.43 tCO₂eq/ปี เกษตรยั่งยืน 0.27 tCO₂eq/ปี ฟื้นฟูป่า 0.14 tCO₂eq/ปี และ Biochar 0.01 tCO₂eq/ปี โดยกิจกรรมส่วนใหญ่มีความยั่งยืนระดับสูงและสอดคล้องกับวิถีชีวิตบนพื้นที่สูง เมื่อดำเนินการครบทั้ง 6 กิจกรรมอย่างบูรณาการ ชุมชนสามารถลด GHG และกักเก็บคาร์บอนได้รวมประมาณ 10-12 ตัน CO₂eq ต่อปีต่อชุมชน เพียงพอต่อการเข้าสู่สมดุลคาร์บอนเชิงบวกภายใน 3-5 ปี ทั้งนี้กิจกรรมด้านเกษตรยั่งยืน การจัดการขยะ และการฟื้นฟูป่า มีความเด่นชัดที่สุดในการพัฒนาความยั่งยืนและการมีส่วนร่วม จึงควรเป็นแนวทางหลัก การสร้างสมดุลคาร์บอนบนพื้นที่สูงควรใช้แนวทางบูรณาการ 3 ด้าน ได้แก่ (1) เทคโนโลยีลดการปล่อยระยะสั้น เช่น พลังงานและขยะ (2) เทคโนโลยีกักเก็บระยะยาว เช่น เกษตร ฟื้นฟูป่า และ Biochar และ (3) กลไกชุมชน เช่น ระบบ MRV การสนับสนุนงบประมาณ และตลาดคาร์บอนสมัครใจ (T-VER) เพื่อขับเคลื่อนไปสู่ “ชุมชนพื้นที่สูงคาร์บอนสมดุล” ตามเป้าหมาย SDG 13 และ SDG 15

ดังนั้น แนวทางจัดการระบบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จึงควรเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ลดการเผา แปรรูปชีวมวลเป็นวัสดุเกษตรชีวภาพเพื่อลดการใช้สารเคมี ปรับการใช้ปุ๋ยและพลังงาน ขณะที่ระบบกาแฟอาราบิก้าควรส่งเสริมการปลูกร่วมและกาแฟได้ร่มเงาไม้ พร้อมจัดการไนโตรเจนและของเสียให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม การบูรณาการแนวทางดังกล่าวสามารถพัฒนาไปสู่ระบบฟาร์มคาร์บอนต่ำและเศรษฐกิจหมุนเวียนภายในชุมชน หากมีระบบติดตาม การสนับสนุนงบประมาณ และการเชื่อมโยงตลาดคาร์บอนต่อเนื่อง

5.3 การทดสอบแผนงานส่งเสริมชุมชนร่วมลด GHG ประเภทการเกษตร การจัดการของเสีย และป่าไม้ที่สอดคล้องกับบริบทพื้นที่สูง

1) ดำเนินการภายใต้แนวคิดการมีส่วนร่วมของชุมชนและใช้กรอบการประเมินแบบ OKR (Objectives and Key Results) เพื่อแสดงผลลัพธ์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ กระบวนการเริ่มจากการสร้างความรู้และการมีส่วนร่วมของชุมชน ผ่านการอบรม การให้ข้อมูล และการจัดตั้งคณะกรรมการเพื่อร่วมกำหนด

แนวทางดำเนินงาน จากนั้นจัดทำแผนปฏิบัติการที่ระบุเป้าหมายและกิจกรรมหลักให้สอดคล้องกับบริบทพื้นที่สูง ก่อนเข้าสู่การปฏิบัติจริง โดยชุมชนเป็นผู้ดำเนินงานหลัก ร่วมกับหน่วยงานสนับสนุนด้านเทคนิค เช่น การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากเศษวัสดุทางการเกษตร และการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะอัดก้อน ก่อนติดตามและประเมินผลแบบมีส่วนร่วม โดยเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ (ปริมาณการลด GHG และการกักเก็บคาร์บอน) และเชิงคุณภาพ (การมีส่วนร่วม ความยั่งยืน และพฤติกรรมชุมชน) ผลดำเนินงานส่วนใหญ่บรรลุระดับ “ดีถึงดีเยี่ยม”

2) พื้นที่นำร่อง 6 ชุมชน แบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การเกษตรและการจัดการของเสีย 4 ชุมชน (บ้านศรีบุญเรือง บ้านห้วยทรายขาว บ้านห้วยน้ำกั้น และบ้านป่าเกี๊ยะ) และป่าไม้ 2 ชุมชน (บ้านปางมะกล้วย และบ้านแม่วาก) โดยกลุ่มที่ 1 มุ่งนำเศษวัสดุทางการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว ต้นข้าวโพด และเปลือกกาแฟ มาผลิตเป็นวัสดุปรับปรุงดินและเชื้อเพลิงขยะ เพื่อลดการเผาทำลายและใช้ทรัพยากรหมุนเวียนภายในชุมชน สามารถลดการปล่อยก๊าซได้เฉลี่ย 1.6-2.3 tCO₂eq /ไร่/ปี และได้รับการประเมินผลสัมฤทธิ์ระดับดีมากถึงดีเยี่ยม ส่วนกลุ่มป่าไม้เน้นการฟื้นฟูป่าชุมชน การจัดทำฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการปลูกไม้ยืนต้นท้องถิ่น พบว่าสามารถเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนได้เฉลี่ย 5.2-5.8 tCO₂eq /ไร่/ปี โดยมีระดับผลสัมฤทธิ์สูงสุดทั้งด้านความยั่งยืนและการมีส่วนร่วมของชุมชน ผลประเมินรวมพบว่าทุกชุมชนมีคะแนนเฉลี่ย 87.95-98.43 คะแนน อยู่ระดับ “ดีมากถึงดีเยี่ยม” การมีส่วนร่วมของชุมชนอยู่ระดับสูง (ร้อยละ 93-100) และกิจกรรมทั้งหมดมีศักยภาพขยายผลต่อเนื่อง โดยเฉพาะกิจกรรมเกษตรยั่งยืน การจัดการของเสีย และการฟื้นฟูป่า เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 กลุ่มกิจกรรม พบว่ากลุ่มป่าไม้ให้ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่า ขณะที่กลุ่มเกษตรและของเสียมีความต่อเนื่องและการยอมรับในชุมชนมากกว่า

3) การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้พัฒนาระบบสารสนเทศ CarbonX Hub รูปแบบ Web-Based Application เพื่อบริหารจัดการข้อมูลการปล่อย GHG และการกักเก็บคาร์บอนของชุมชนบนพื้นที่สูง โดยเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลของ สวพส. รองรับการวางแผน ติดตาม และประเมินผลกิจกรรมลด GHG ระบบประกอบด้วยฟังก์ชันจัดการผู้ใช้ การประเมิน การรายงาน Dashboard การจัดการเอกสาร และระบบแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ ส่วนโครงสร้างหลังบ้านใช้ PHP และ Microsoft SQL Server ครอบคลุมตารางข้อมูลกว่า 30 ตาราง ผลประเมินพบว่าระบบมีความพร้อมใช้งานร้อยละ 90 ทั้งด้านเสถียรภาพและความถูกต้องของข้อมูล เหมาะสำหรับการติดตามความก้าวหน้าโครงการคาร์บอนต่ำระดับชุมชน ทั้งนี้อยู่ระหว่างการพัฒนาโมดูลเชื่อมโยงข้อมูลวัฏจักรชีวิต (LCA) ของพืชเศรษฐกิจ เพื่อยกระดับให้เป็นแพลตฟอร์มจัดการข้อมูล GHG แบบครบวงจรในอนาคต นอกจากนี้ยังประสานความร่วมมือทางวิชาการระยะที่ 2 “ฟาร์มคาร์บอนต่ำ” ระหว่างมูลนิธิโครงการหลวง สวพส. มหาวิทยาลัยมหิดล และ GDAAS สาธารณรัฐประชาชนจีน ภายใต้บันทึกความร่วมมือ (ROD) โครงการมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีลดการปล่อย GHG และจัดการของเสียร่วมกับชุมชน และ (2) เสริมสร้างศักยภาพนักวิจัยและนักศึกษา ขอบข่ายความร่วมมือครอบคลุมการแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีการเกษตรยั่งยืน การพัฒนาฟาร์มคาร์บอนต่ำต้นแบบด้วยจุลินทรีย์และไบโอชาร์ การฝึกอบรมและศึกษาดูงานร่วมระหว่างประเทศ โดยดำเนินการระหว่าง พ.ศ. 2568-2570 ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงและสถาบันเครือข่าย คาดว่าจะได้ชุดองค์ความรู้เทคโนโลยีคาร์บอนต่ำที่ถ่ายทอดสู่ชุมชนพื้นที่สูง สนับสนุนการลด GHG และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 13