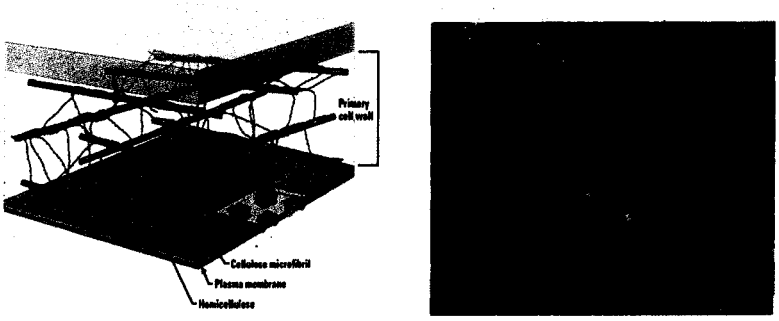
บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟางข้าว

ฟางข้าวคือ ลำต้นแห้งของข้าวซึ่งเป็นผลพลอยได้อย่างหนึ่งที่ได้หลังการเก็บเกี่ยวข้าว ทั้งประเทศมีฟางข้าวประมาณ 23.35 ล้านตันในแต่ละปี โดยเฉลี่ยการทำนาในประเทศหนึ่งไร่ ให้ผลผลิตทั้งหมดของส่วนที่อยู่เหนือดินประมาณ 805 กิโลกรัม เป็นข้าวเปลือกประมาณ 320 กิโลกรัม และฟางข้าวประมาณ 485 กิโลกรัม
(บรูต ลินคิส และเพง เชังชื้อ, 2548)

ฟางข้าวมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ย 99 : 1 ในฟางข้าว 485 กิโลกรัมที่ได้ในหนึ่งไร่จะมีธาตุไนโตรเจน 2.3 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 0.3 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 5.7 กิโลกรัม ซึ่งธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านธาตุอาหารของพืช
(บรูต ลินคิส และเพง เชังชื้อ, 2548)

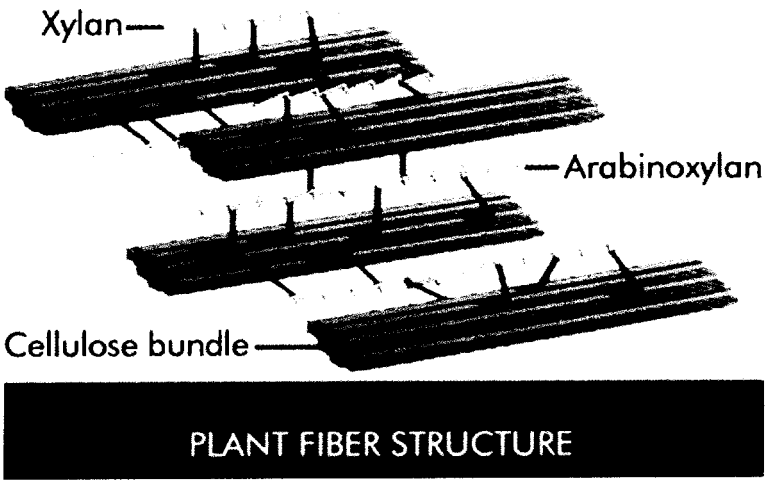


ภาพ 1 โครงสร้างหลักของฟางข้าว

(**ที่มา:** www.ldd.go.th.)

2.2 องค์ประกอบของฟางข้าว

องค์ประกอบของฟางข้าวส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างดังภาพ 2



ภาพ 2 องค์ประกอบของฟางข้าว

(**ที่มา:** www.ldd.go.th.)

2.3 การใช้ประโยชน์จากฟางข้าว

2.3.1 ประโยชน์จากฟางข้าวที่มีต่อการปรับสภาพดิน ฟางข้าวเป็นอินทรียวัตถุอย่างหนึ่งที่ได้มาหลังการเก็บเกี่ยวข้าว ซึ่งอาจจะมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินหลายประการดังนี้

การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ฟางข้าวทำให้ดินโปร่งร่วนซุย เพราะอินทรียวัตถุที่ได้จากการย่อยสลายของฟางข้าว จะเข้าไปแทรกอยู่ตามช่องว่างของดินไว้ ทำให้เกิดโครงสร้างของดินที่สามารถดูดซับน้ำได้ ซึ่งง่ายต่อการเตรียมดินในการปักดำ และทำให้รากพืชเจริญเติบโตแพร่กระจายในดินได้มากขึ้นดินมีการระบายอากาศมากขึ้นการซึมผ่านของน้ำและการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน เมื่อฟางข้าวย่อยสลายจะปลดปล่อยให้ธาตุอาหารพืชแก่ดินโดยตรง ถึงแม้จะมีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าปุ๋ยเคมีแต่จะมีทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ซึ่งจะค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาวช่วยดูดยึดธาตุอาหาร จากการใส่ปุ๋ยเคมีไม่ให้สูญเสียไปจากดินโดยง่าย ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี

การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน ฟางข้าวช่วยทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นอินทรียวัตถุที่เพิ่มขึ้นเป็นแหล่งอาหาร และพลังงานของจุลินทรีย์ในดินทำให้ปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนธาตุอาหารในดิน ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2551)

2.3.2 ประโยชน์จากฟางข้าวเป็นพลังงานทดแทน ฟางข้าวมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ด้วยการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อต้มน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม นำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าเป็นต้น วิธีการนี้มีการปฏิบัติกันน้อยมากในประเทศไทย เพราะอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแก๊สและฟอสซิลเป็นหลัก การจัดการฟางข้าวแบบนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจของฟางข้าวให้สูงขึ้น และนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานฟอสซิลที่นับวันจะหมดไปทุกที แต่ทว่าฟางข้าวเป็นชีวมวลที่ให้ความร้อนต่ำยุ่งยากในการเก็บรวบรวม และมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง นอกจากนี้แล้วการผลิตพลังงานทดแทนต้องใช้ฟางข้าวปริมาณมาก เมื่อนำฟางข้าวออกไปจากพื้นที่นาจะทำให้ธาตุอาหารที่มีอยู่ถูกนำออกไปด้วย

2.3.3 ประโยชน์จากฟางข้าวในการทำปุ๋ยหมัก วิธีนี้เป็นการนำฟางข้าวหมักร่วมกับมูลสัตว์ปุ๋ยเคมีหรือจุลินทรีย์ เมื่อหมักแล้วฟางข้าวจะเปลี่ยนสภาพจากเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยสีน้ำตาลปนดำ สามารถนำไปใช้ได้เลย แต่วิธีการนี้เกษตรกรปฏิบัติกันน้อยมาก เพราะเกษตรกรเห็นว่ายุ่งยากในการปฏิบัติต้องใช้ทั้งค่าใช้จ่าย เวลา และแรงงาน ในการจัดการนอกจากนั้นเกษตรกรยังขาดความรู้ความเข้าใจ การหมักจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารพืชเพิ่มสูงขึ้นสามารถนำมาใช้ได้ง่าย เนื่องจากฟางข้าวจะมีขนาดเล็กลงและความเป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากกว่าฟางข้าวที่ไม่ได้หมัก

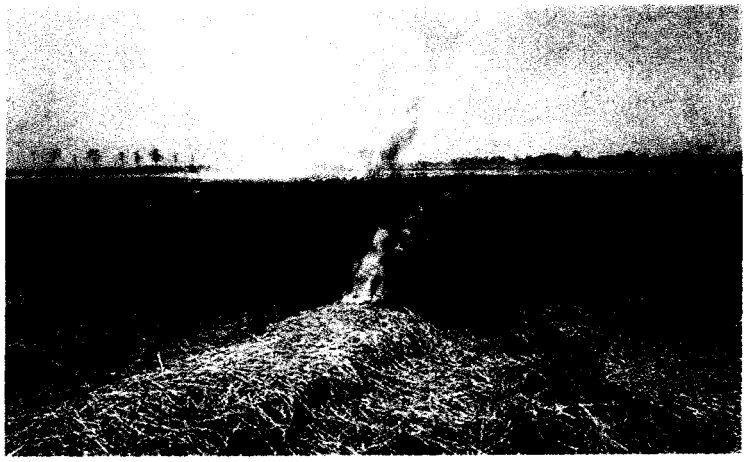
2.4 กระบวนการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกร

หลังจากเกษตรกรเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว สิ่งที่เหลือทิ้งไว้ในทุ่งนา คือฟางข้าวซึ่งเกษตรกรจะเลือกใช้วิธีจัดการที่แตกต่างกันออกไปแล้วแต่ความถนัดและความเหมาะสมวิธีการต่างๆ ที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้

2.4.1 การปล่อยทิ้งไว้ในทุ่งนา วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรนิยมใช้กันทั่วไปในพื้นที่ปลูกข้าวนาปี โดยปล่อยฟางทิ้งไว้ในทุ่งนาให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติ ปัจจุบันเกษตรกรประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์เลือกใช้วิธีการดังกล่าว โดยเฉพาะในพื้นที่ทำนาปีที่มีการปลูกข้าวเพียงครั้งเดียวต่อปี เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายเสียค่าใช้จ่ายต่ำใช้แรงงานและเวลาในการจัดการน้อย แต่ว่าปริมาณธาตุอาหารที่จะสะสมในดินอาจมีน้อย เนื่องจากการทิ้งฟางข้าวไว้นานจนกว่าจะถึงฤดูทำนาอาจทำให้ปริมาณของฟางข้าวลดลง และธาตุอาหารสูญเสียไป เช่น ไนโตรเจน

2.4.2 การนำไปเลี้ยงสัตว์ การนำฟางข้าวไปเลี้ยงสัตว์เป็นวิธีการที่เกษตรกรใช้กันมานาน และในปัจจุบันเกษตรกรจำนวนหนึ่งก็จะขายฟางข้าวให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ เพราะเกษตรกรเริ่มมีการนำเครื่องจักรนวดข้าวมาใช้ มีการอัดฟางเป็นก้อนทำให้มีความสะดวกยิ่งขึ้นในการขนย้าย และเก็บรักษาพร้อมทั้งความต้องการใช้ประโยชน์ของฟางข้าว นับวันสูงขึ้นซึ่งมีเกษตรประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์เลือกใช้วิธีการทั้งสองนี้วิธี ทำให้เกษตรกรมีรายรับเพิ่มขึ้นจากการขายฟางข้าว ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวให้เกษตรกร แต่วิธีนี้อาจทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ไปเรื่อยๆ ถ้ามีการขนย้ายฟางข้าวออกจากทุ่งนาอย่างต่อเนื่องกันในแต่ละปี

2.4.3 การเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว วิธีนี้นิยมใช้กันเฉพาะในพื้นที่ทำนาเขตชลประทาน ซึ่งมีการปลูกข้าวสองครั้งต่อปี เกษตรกรประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์จะเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี (ภาพ 3) เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังต่อไป เพราะการเผาฟางข้าวทำให้การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกสะดวกขึ้นโดยมีค่าใช้จ่ายเพียงเล็กน้อยในการจัดการฟางข้าว นอกจากนั้นยังช่วยทำลายวงจรชีวิตของแมลงศัตรูพืช และเชื้อโรคที่มีการระบาดในพื้นที่ได้แต่ว่าการเผาฟางข้าวก็อาจทำลายสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในดิน โครงสร้างของดินถูกทำลาย ดินสูญเสียธาตุอาหาร เช่น คาร์บอนและไนโตรเจนจะกลายเป็นก๊าซ สูญเสียไปในบรรยากาศ และยังเป็นมลพิษอีกด้วยโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจะแปรสภาพเป็นรูปขี้เถ้าที่สูญเสียไปกับลมได้ง่าย (วิจิตรา ยงยุทธอำไพ, 2554)



ภาพ 3 การเผาฟางข้าว

2.4.4 การไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว วิธีนี้เป็นการไถกลบฟางข้าวที่มีอยู่ในนาภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตลงไปในดิน ในขณะที่ดินยังมีความชื้น และปล่อยทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการย่อยสลายในดิน ซึ่งจะกลายเป็นแหล่งอินทรียวัตถุและธาตุอาหารพืชให้กับดิน หลังจากนั้นจึงปลูกพืชผลตามที่ต้องการต่อไป วิธีการนี้เกษตรกรนิยมปฏิบัติกันในพื้นที่ทำนาปีกล่าวคือหลังเก็บเกี่ยวข้าวแล้วจะมีเกษตรกรประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ที่ทิ้งฟางข้าวไว้ในทุ่งนา โดยเฉพาะตอซังข้าว เมื่อเข้าสู่ต้นฤดูฝนประมาณปลายเดือนเมษายนหรือต้นเดือนพฤษภาคม เกษตรกรจะเตรียมดินครั้งที่หนึ่ง เรียกว่าไถดะ แล้วปล่อยน้ำเข้านาให้ท่วมวัสดุหมักทิ้งไว้เพื่อให้ตอซังและฟางข้าวเกิดการย่อยสลาย แล้วจึงไถครั้งที่สอง เรียกว่าไถแปร หลังจากนั้นจึงปลูกพืชหลักต่อไป

2.5 พื้นที่ปลูกข้าวนาปีของประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่สามารถปลูกข้าวนาปีได้ทุกภาค โดยแต่ละภาคจะมีพื้นที่ในการปลูกข้าวที่แตกต่างกัน รวมทั้งผลผลิตที่ต่างกันด้วยดังตารางแสดงข้อมูลพื้นที่ ผลผลิตข้าว

พื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปี ประจำปี 2556 โดยเรียงลำดับจากพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดลงไปถึงพื้นที่เพาะปลูกน้อยที่สุด (ตาราง 1)

ตาราง 1 ข้อมูลพื้นที่ ผลผลิต ข้าวพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปี พ.ศ 2556 รายจังหวัด

ลำดับ	จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก(ไร่)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต/ไร่/ปี (กก.)
1	อุบลราชธานี	4,306,121	1,412,859	328
2	นครราชสีมา	3,899,650	1,437,656	369
3	สุรินทร์	3,251,286	1,151,467	354
4	ร้อยเอ็ด	3,114,156	1,027,582	330
5	ศรีสะเกษ	3,107,594	1,189,218	383
6	บุรีรัมย์	3,070,612	1,110,493	362
7	ขอนแก่น	2,553,748	787,184	308
8	อุทัยธานี	2,524,926	1,226,934	486
9	นครสวรรค์	2,524,926	1,226,934	486
10	มหาสารคาม	2,229,544	771,949	346
11	อุดรธานี	2,110,614	788,040	373
12	สกลนคร	1,849,794	615,109	333
13	พิจิตร	1,774,862	919,310	518
14	พิษณุโลก	1,767,828	939,714	532
15	ชัยภูมิ	1,687,321	488,758	290
16	กาฬสินธุ์	1,471,856	514,536	350
17	นครพนม	1,405,595	436,448	311
18	กำแพงเพชร	1,393,927	732,570	526

ตาราง 1 (ต่อ)

ลำดับ	จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก(ไร่)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต/ไร่/ปี (กก.)
19	เชียงราย	1,351,955	746,322	552
20	สุพรรณบุรี	1,299,266	914,683	704
21	ยโสธร	1,282,735	452,342	353
22	สุโขทัย	1,168,483	590,197	505
23	เพชรบูรณ์	1,157,699	602,731	521
24	อำนาจเจริญ	1,026,280	335,199	327
25	พระนครศรีอยุธยา	942,967	569,552	604
26	หนองบัวลำภู	928,063	339,976	366
27	สระแก้ว	822,890	296,833	361
28	ชัยนาท	785,932	525,003	668
29	ลพบุรี	759,400	400,204	527
30	ฉะเชิงเทรา	728,736	414,661	569
31	พะเยา	694,418	370,309	533
32	อุตรดิตถ์	665,910	412,613	620
33	หนองคาย	554,627	166,000	299
34	เชียงใหม่	496,788	304,080	612
35	มุกดาหาร	493,117	175,302	355
36	ปราจีนบุรี	467,232	185,847	398
37	ลำปาง	438,481	238,327	544
38	นครนายก	435,264	214,150	492
39	กาญจนบุรี	418,226	252,190	603

ตาราง 1 (ต่อ)

ลำดับ	จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก(ไร่)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต/ไร่/ปี (กก.)
40	เลย	414,482	157,689	380
41	นครปฐม	405,717	277,510	684
42	สระบุรี	396,663	207,851	524
43	อ่างทอง	342,308	217,366	635
44	ราชบุรี	338,928	227,421	671
45	สิงห์บุรี	325,374	216,374	665
46	ปทุมธานี	315,886	209,432	663
47	นครศรีธรรมราช	315,400	117,339	372
48	เพชรบุรี	312,373	215,537	690
49	แพร่	299,204	184,798	618
50	ตาก	287,496	128,803	448
51	น่าน	261,051	140,929	540
52	สงขลา	226,664	105,155	464
53	พัทลุง	148,892	61,936	416
54	แม่ฮ่องสอน	143,925	69,020	480
55	ลำพูน	120,500	67,866	563
56	นนทบุรี	117,100	83,258	711
57	ปัตตานี	113,379	48,753	430
58	กรุงเทพมหานคร	105,708	57,294	542
59	ชลบุรี	87,639	38,298	437
60	นราธิวาส	69,554	27,682	398

ตาราง 1 (ต่อ)

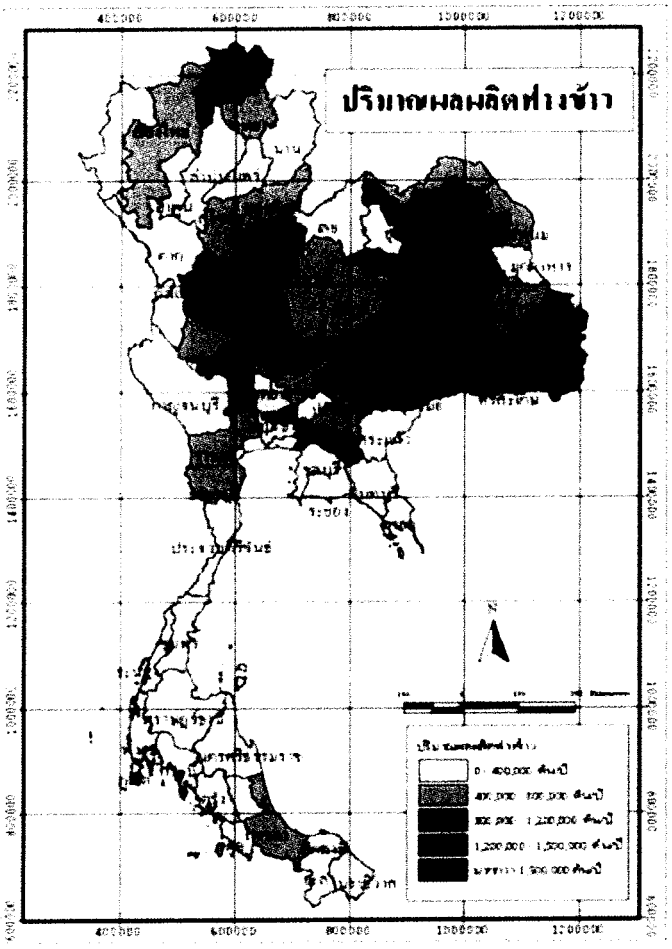
ลำดับ	จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก(ไร่)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต/ไร่/ปี (กก.)
61	ยะลา	48,236	17,365	360
62	ประจวบคีรีขันธ์	47,317	22,807	482
63	สมุทรปราการ	38,447	28,412	739
64	สตูล	36,618	14,940	408
65	จันทบุรี	26,808	9,168	342
66	ระยอง	23,005	9,524	414
67	ตราด	22,550	9,155	406
68	ตรัง	15,693	6,450	411
69	สมุทรสาคร	13,938	8,990	645
70	สุราษฎร์ธานี	7,222	2,687	372
71	ชุมพร	5,977	2,391	400
72	กระบี่	3,547	1,241	350
73	สมุทรสงคราม	3,216	2,354	732
74	พังงา	1,666	528	317
75	ระนอง	628	199	317
76	ภูเก็ต	64	37	578
	รวม	**66,406,004**	**28,279,841**	

(**ที่มา:** สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์, 2556)

จากตารางดังกล่าวพบว่าพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกมากที่สุด คือจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 4,306,121 ไร่ และน้อยที่สุด คือจังหวัดภูเก็ต จำนวน 64 ไร่ จังหวัดที่มีผลผลิตต่อไร่มากที่สุด คือจังหวัดสมุทรปราการผลผลิตเฉลี่ย 739 กิโลกรัม/ไร่/ปี

2.6 พื้นที่ที่มีการผลิตฟางข้าวในประเทศไทย

ผลของการปลูกข้าวในประเทศไทยซึ่งมีส่วนเหลือทิ้งได้แก่ฟางข้าวโดยมีฟางข้าวเฉลี่ยต่อปีสูงถึง 80 ล้านตันต่อปีซึ่งรวมทั้งการปลูกข้าวนาปีและนาปรัง โดยพื้นที่ที่มีการผลิตฟางข้าวมากอยู่ที่จังหวัดพิษณุโลก พิจิตร นครสวรรค์ สุพรรณบุรี อ่างทอง อุบลราชธานี และสุรินทร์ เฉลี่ยมีปริมาณฟางข้าวสูงกว่า1.5 ล้านตันต่อปีเมื่อเทียบต่อหน่วยพื้นที่พบว่าภาคกลางมีปริมาณฟางข้าวเฉลี่ยสูงสุด



ภาพ 4 ปริมาณฟางข้าวในประเทศไทย (นาปี)

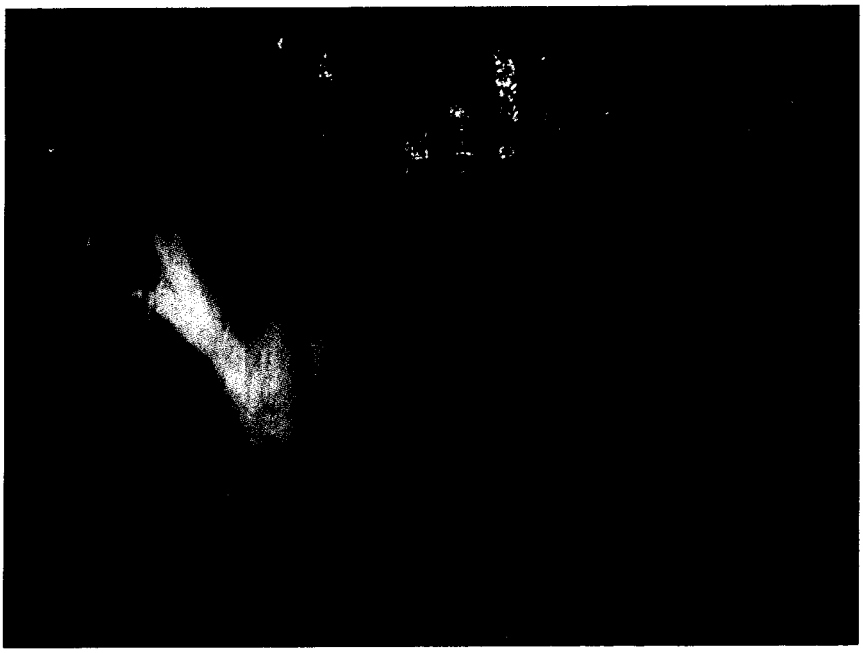
(**ที่มา:** www.dede.go.th/dede/index.php?option=com.)

2.7 แพะ

กายวิภาคศาสตร์ของแพะ

แพะเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจัดอยู่ในกลุ่มสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่นเดียวกับโคกระบือ แต่จะมีขนาดเล็กโดยมีขนาดน้ำหนักตัวประมาณ 35-65 กิโลกรัม และมีความสูงเฉลี่ย 55-100 เซนติเมตร ซึ่งขนาดตัวจะแปรผันไปตามแต่ เพศ พันธุ์ สิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านสุขภาพสัตว์ และคุณภาพของอาหารที่แพะได้รับ โดยปกติแพะตัวเมียนั้นจะมีขนาดตัวเล็กกว่าตัวผู้ หรือพันธุ์แท้ส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่กว่าพันธุ์ลูกผสมหรือพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งแพะพันธุ์แท้ในแถบประเทศเขตหนาว และเขตอบอุ่นส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่มาก โดยแพะตัวผู้ที่โตเต็มที่บางตัวอาจหนักได้ถึง 80-120 กิโลกรัม และด้านความสูงอาจมีมากถึง 100-130 เซนติเมตร ซึ่งถือเป็นลักษณะดีเด่นของแพะพันธุ์ที่ใช้ในการให้ผลผลิตเป็นเนื้อหรือในพ่อพันธุ์แพะนมพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตหนาว และเขตอบอุ่นก็อาจมีขนาดใหญ่มากได้เช่นกัน ในแพะบางพันธุ์ก็อาจพบพันธุ์ที่มีขนาดเล็กมากหรือเรียกว่าเป็นแพะพันธุ์แคระก็สามารถพบได้ เช่น แพะพันธุ์ปิกมี่ (Pygmy) ซึ่งมีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา นอกเหนือจากขนาดตัวของแพะแต่ละพันธุ์ที่มีขนาดต่างๆ กันไปตามลักษณะประจำพันธุ์แล้ว ในแพะบางพันธุ์ยังมีลักษณะเด่นของการให้ผลผลิตขนแพะโดยเฉพาะแพะที่มีเส้นขนยาวเรียวเล็กนุ่มละเอียดและบางเบา เช่น แพะพันธุ์แองโกล่า (Angola) และพันธุ์แคชเมียร์ (Cashmere) ซึ่งถือว่าเป็นแพะพันธุ์ที่นิยมเลี้ยงไว้ตัดขนเพื่อนำขนแพะเข้าสู่อุตสาหกรรมสิ่งทอสำหรับใช้ทำเครื่องนุ่งห่มคุณภาพสูง ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าสูงมากในตลาดแถบทวีปยุโรปอเมริกาและออสเตรเลียแต่ในประเทศเขตร้อน และประเทศไทยนั้นยังไม่นิยมเลี้ยงแพะเพื่อผลิตขนอันอาจเนื่องมาจากสาเหตุของสภาพภูมิอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเลี้ยง การดูแลแพะพันธุ์ดังกล่าว เนื่องจากแพะมีขนยาวและหนาจึงทำให้ทนต่อสภาพอากาศร้อนได้ไม่ดีนัก และการขาดอาหารหยาบที่มีคุณภาพดีอาจส่งผลต่อคุณภาพของการสร้างขนเป็นต้น

จากภาพรวมดังที่กล่าวมาแพะเป็นสัตว์ที่มีลักษณะ และความแตกต่างหลากหลายตามลักษณะของพันธุ์เพศอายุ และลักษณะการให้ผลผลิตดังนั้นในรายละเอียดต่างๆ ของลักษณะประจำพันธุ์ขนาดรูปร่าง และประโยชน์ของแพะแต่ละพันธุ์



ภาพ 5 กายภาพของแพะ

ระบบทางเดินอาหารของแพะ

แพะเป็นสัตว์ที่ให้ผลผลิตได้หลากหลายรูปแบบซึ่งส่วนใหญ่เป็นเนื้อ และนม เช่นเดียวกับปศุสัตว์ทั่วไปอีกทั้งเป็นสัตว์เคี้ยวเอื้องทำให้ผลของการให้ผลผลิตเนื้อ และนม จึงขึ้นกับคุณภาพของอาหารหยาบที่สัตว์กิน และศักยภาพการย่อยอาหารของสัตว์โดยการทำหน้าที่ของจุลินทรีย์ในกระเพาะอาหารส่วนหน้า (Fore stomach) กระเพาะหมักที่ทำหน้าที่หมักอาหารพวกเยื่อใย และการสังเคราะห์วิตามินให้แก่ตัวสัตว์ซึ่งโดยปกติอาหารพวกเยื่อใยจะมีคุณค่าทางอาหารต่ำแต่จุลินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ที่สัตว์นำไปใช้ในการดำรงชีวิตและการสร้างผลผลิตต่อไปโดยระบบทางเดินอาหารของแพะมีรูปแบบเช่นเดียวกับโค กระบือ คือมีกระเพาะอาหารที่แบ่งแยกได้เป็น 4 ส่วนคือกระเพาะหมัก (Rumen) กระเพาะรวงผึ้ง (Reticulum) กระเพาะสามสิบกลีบ (Omasum) กระเพาะแท้ (Abomasum)

มูลแพะ

มูลแพะ คือของเสียเหลือทิ้งจากระบบทางเดินอาหารของแพะโดยการถ่ายออกทางทวารหนัก (ภาพ 6) ส่วนใหญ่จะมีกลิ่นเหม็น เนื่องจากสารที่เป็นผลผลิตของแบคทีเรียในลำไส้ของสัตว์นั้นๆ หลังจากที่สัตว์ตัวหนึ่งได้ย่อยอาหารที่กินเข้าไป มักจะเหลือส่วนหนึ่งที่ระบบทางเดินอาหารไม่สามารถดูดซึมได้ และจะกลายเป็นอุจจาระหรือมูลสัตว์ แต่ถึงกระนั้นอุจจาระอาจจะยังคงมีพลังงานหลงเหลืออยู่กว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารทั้งหมด นั่นหมายความว่าอาหารทุกอย่างที่สัตว์กินเข้าไป จะมีพลังงานส่วนหนึ่งหลงเหลือมาให้กับผู้ย่อยสลายในระบบนิเวศ สิ่งมีชีวิตหลายชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในอุจจาระ ตั้งแต่แบคทีเรียเห็ดรา หรือแม้แต่

แมลง เช่น ด้วงขี้ควาย (Dung Beetle) ซึ่งสามารถรับรู้กลิ่นได้จากระยะทางไกล อุจจาระนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอาหารที่กินเข้าไปอุจจาระอาจเป็นอาหารหลักหรืออาหารเสริมของสัตว์บางชนิด ตัวอย่างเช่นลูกช้างจะกินมูลจากแม่ของมันเพื่อเพิ่มจุลินทรีย์ในลำไส้ (gut flora) เป็นต้น

ภาพ 6 มูลแพะ

การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์

มูลสัตว์ ส่วนใหญ่เป็นของแข็งประกอบไปด้วยเศษของพืช และสัตว์ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จึงเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมา โดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร ดังนั้นส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่างๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมีองค์ประกอบที่สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่สมบูรณ์ของพืชได้ ส่วนมูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีธาตุอาหารชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์ชนิดนั้นกินเข้าไปเป็นปัจจัยสำคัญรวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหาร รวมทั้งการจัดการรวบรวมมูล การเก็บรักษา เป็นต้น ในปุ๋ยคอกนอกจากจะมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชแล้วยังให้ฮอร์โมน และสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับพืชอีกมากมายด้วย

(**ที่มา**: www.dede.go.th e-book.ram.edu/e-book/a/AT335/AT335-2.pdf.)

แนวทางการใช้มูลสัตว์เพื่อปรับปรุงบำรุงดิน

โดยทั่วไปมูลแพะ และมูลวัวจะมีธาตุอาหารต่ำกว่ามูลสัตว์ชนิดอื่นเพราะเป็นสัตว์กินหญ้า ไม่ควรใส่แปลงปลูกผักโดยตรง เพราะมีปัญหาเมล็ดวัชพืชปะปนมา ควรนำไปหมักเป็นปุ๋ยหมักเสียก่อน หรือนำไปผลิตก๊าซชีวภาพแล้วนำกากที่เหลือไปใช้จะได้ประโยชน์มากกว่า

มูลแห้งเหมาะสำหรับใส่แบบหว่าน ในสวนไม้ผล หรือรองก้นหลุมปลูกพืชเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในมูลสัตว์ชนิดต่างๆ จะเห็นว่ามูลสุกร และกากตะกอนมูลสุกรจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพรวมทั้งมูลของไก่ไข่มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีมากกว่ามูลวัวขณะที่มูลวัวมีปริมาณธาตุโปแตสเซียม และโซเดียมมากกว่ามูลสุกรดัง ตารางแสดงปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยในมูลสัตว์แห้งชนิดต่าง (**ที่มา**: www.dede.go.th e-book.ram.edu/e-book/a/AT335/AT335-2.pdf.)

ตาราง 2 ปริมาณธาตุอาหารเฉลี่ยในมูลสัตว์แห้งชนิดต่างๆ

ปุ๋ยมูลสัตว์	ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)							
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม	ซัลเฟอร์	โซเดียม	เหล็ก
มูลสุกร	2.69	3.24	1.12	3.85	1.18	0.19	0.27	0.44
ตะกอนจากกระบวนการหมัก	2.23	6.84	0.23	11.70	1.09	1.16	0.07	0.63
มูลไก่ไข่	2.59	1.96	2.29	8.09	0.74	0.54	0.32	0.31
มูลโคเนื้อ	1.36	0.51	1.71	1.76	0.50	0.33	0.73	0.45
มูลโคนม	1.27	0.48	1.42	0.98	0.43	0.31	0.23	0.34
มูลแพะ	1.03	0.66	0.64	1.49	0.37	0.37	0.13	0.14
มูลแกะ	0.94	0.54	1.07	1.23	0.34	0.19	0.20	0.11

(**ที่มา**: www.dede.go.th e-book.ram.edu/e-book/a/AT335/AT335-2.pdf.)

เกษตรกรผู้เลี้ยงแพะในประเทศไทย

ประเทศไทยมีเกษตรกรที่หันมายึดอาชีพเลี้ยงแพะมากขึ้นเนื่องจากมีแนวโน้มทางด้านการตลาดดีขึ้น ในอดีตการเลี้ยงเพาะจะเลี้ยงเฉพาะทางภาคใต้เป็นส่วนใหญ่เนื่องจากมีการใช้ประโยชน์จากเนื้อ นม ทางด้านศาสนาจำนวนมาก ประกอบกับปัจจุบันพื้นที่ในการเลี้ยงเพาะมีอย่างจำกัดในปัจจุบันจึงมีการกระจายการเลี้ยงแพะไปทั่วทั้งประทศซึ่งจากการสำรวจของกรมปศุสัตว์ ในปี พ.ศ 2555 พบว่ามีเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะ ในประเทศไทยปี พ.ศ. 2555 ยอดรวมทั้งแพะเนื้อและแพะนมมีทั้งหมด 47,467 ราย รวมยอดแพะทั้งหมด 491,779 ตัว และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามลำดับ (กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์, 2555)

2.8 แก๊สมีเทน

กระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic process)

ในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ มีปฏิกิริยาหลักๆ เกิดขึ้นอยู่ 2 ขั้นตอน คือ 1) กระบวนการผลิดกรด (Acidogenesis) 2) กระบวนการผลิดมีเทน (Methanogenesis) ซึ่งพบว่ากระบวนนี้สามารถผลิดได้ทั้งมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนออกมาพร้อมๆ กันได้

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic process) เกิดขึ้น 4 ขั้นตอน ดังนี้

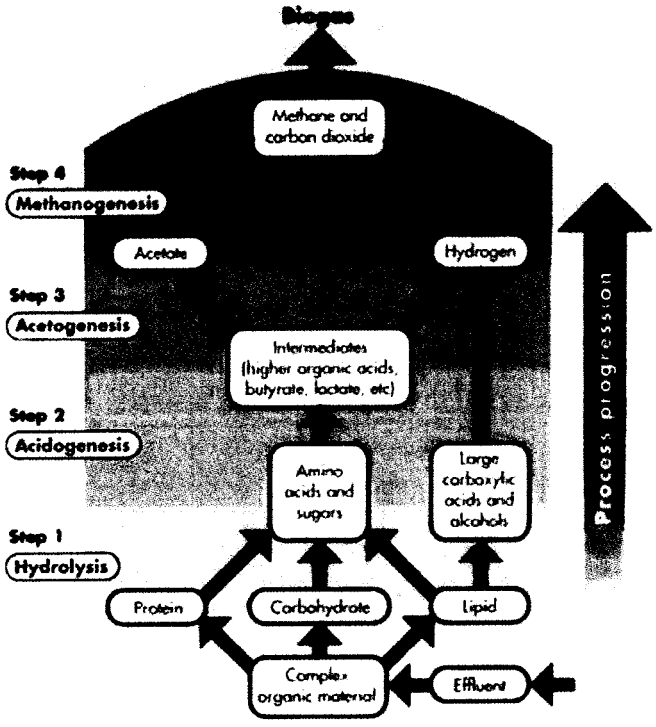
1) กระบวนการไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) ไฮโดรไลซีสเป็นกระบวนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรท โปรดีน ไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบอินทรีย์โมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยเอนไซน์ของแบคทีเรียที่ปล่อยออกมา

2) กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) ผลผลิดจากปฏิกิริยาของกระบวนการไฮโดรไลซีสในขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียที่สร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (VFA) เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทาริก เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโลเลกุลต่ำ และมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว

3) กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยง่าย (Acitogenesis) กรดไขมันระเหยง่ายจากกระบวนการสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียอะซิโดจินิก (Acitogenic bacteria) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากเป็นการลดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายปริมาณสูงสามารถลดการสร้างมีเทนได้

4) กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) ใช้สร้างมีเทน
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ขั้นตอนการเกิดแก๊สมีเทน) คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกลุ่มแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ (ไร้ออกซิเจน) ผลที่เกิดจากการย่อยสลายส่วนใหญ่ คือ แก๊สมีเทน ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน



ภาพ 7 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ

(**ที่มา:** www.dede.go.th/kmber/Attach /Biogas-present.pdf.)

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สมีเทน

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตแก๊สมีเทนมีปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

อุณหภูมิ อุณหภูมิในการเดินระบบ (operating temperature) แบคทีเรียผลิตมีเทน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส แบคทีเรียจะหยุดทำงาน อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งออกเป็น 2 ระดับตามสปีชีส์ของแบคทีเรียผลิตมีเทน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 20–45 องศาเซลเซียสแต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง 37-41 องศาเซลเซียส โดยในช่วงอุณหภูมินี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าเมโซฟิลิก โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดประมาณ 50–52 องศาเซลเซียส แต่สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นถึง 70 องศาเซลเซียส

แบคทีเรียเมโซฟิลิก มีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก และมีความสามารถในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิก ทำให้ระบบหมักแก๊สมีเทนที่ใช้อุณหภูมิช่วงของเมโซฟิลิกมีความเสถียรมากกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิซึ่งสูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิก ก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิดแก๊สสูงกว่า ข้อเสียของระบบเทอร์โมฟิลิก คือการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่าระบบเมโซฟิลิก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมที่สุดในการผลิดแก๊สมีเทนอยู่ระหว่าง 7.0-7.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมาก และทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ซึ่งถ้าหากค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำลงกว่า 5.0 ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรือแบคทีเรียตาย แบคทีเรียสร้างมีเทนอ่อนไหวต่อความเป็นกรดด่างมาก และจะไม่เจริญเติบโดหากค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของแอมโมเนียจะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มโดยอาจเกิน 8.0 จนระบบเริ่มมีความเสถียรค่าความเป็นกรด-ด่างจะอยู่ระหว่าง 6.8–8 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ในการผลิตแก๊สมีเทนคือตั้งแต่ 8–30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตแก๊สมีเทนคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้เพื่อสร้างโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีปริมาณมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย ซึ่งแอมโมเนียจะไปเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งหากค่าความเป็นกรด-ด่างสูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวนแบคทีเรียสร้างมีเทนลดลง นอกจากนี้หากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่นอกเหนือจากช่วง 8–30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเหมาะสมที่สุด รองลงมา ได้แก่ ดอกจอก ผักตบชวา และเศษอาหาร ขณะที่ฟางข้าวมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต้องการ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ (Loading) ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ คือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไปจะส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงมากเกินไป (เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการ คือ

acidogenesis กรดจะถูกผลิตขึ้นมา) จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็จะต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบและถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์สั้นไปก็จะไม่เพียงพอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตแก๊สมีเทน นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในถังหมักลดลง ขณะเดียวกันการที่ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์นานเกินไปจะทำให้เกิดกากตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่ประมาณ 14–60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ปริมาณของแข็งอุณหภูมิ ชนิดของจุลินทรีย์ และปริมาณของสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไหร่โดยไม่มีการเติมอาหารเนื่องจากระยะเวลาในการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

ปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC)

Solid Content ของสารอินทรีย์ในการผลิตแก๊สมีเทน แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

High-solid (ปริมาณของแข็งสูง) TSC สูงกว่า ~20เปอร์เซ็นต์

Low-solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TSC ต่ำกว่า ~15เปอร์เซ็นต์

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ที่มีปริมาณของแข็งสูงจะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (slurry) แต่เนื่องจากในระบบที่มีปริมาณของแข็งสูงความเข้มข้นของน้ำในถังสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกัน ถังหมักที่มีปริมาณของแข็งต่ำสามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาณต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น กระนั้นก็ดี การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็จะทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้น และการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และสารอินทรีย์เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอน และตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

สารอาหาร (Nutrient) สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโตนอกเหนือจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ทังเสตน และนิเกิลเป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง ดังนั้นในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials) กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน สารพิษ โลหะหนัก สารทำความสะอาดต่างๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

2.9 วิธีตอบสนองต่อพื้นที่ผิว (Response Surface Methodology, RSM)

วิธีตอบสนองต่อพื้นที่ผิวเป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ และสถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น (Montogomery, 2001)

RSM เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพกับกระบวนการที่มีความซับซ้อนทำให้ง่ายในการจัดการและการอธิบายผล เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น
(Box and Behnken, 1960; Gan and Latiff, 2011)

2.9.1 หลักการวิธีตอบสนองต่อพื้นที่ผิว หลักการวิธีตอบสนองพื้นที่ผิวมีดังนี้

2.9.1.1 การนำเสนอการทดลองวิธีตอบสนองต่อพื้นที่ผิว ต้องมีแผนการทดลองที่เหมาะสม อย่างน้อยต้องมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวขึ้นไปและต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ มีตัวแปรตามอย่างน้อย 1 ตัวขึ้นไป และต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณด้วย ดังนั้นแผนการทดลองที่จะสามารถสร้างพื้นที่ผิว คือ Factorial Design, Mixture Design, Central Composite Design (CCD) และ Plackett & Burman Design

2.9.1.2 ระดับของตัวแปรอิสระที่ต้องผันแปรควรครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษา

2.9.1.3 นำข้อมูลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลของตัวแปรตามเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model) (กัลยาณี เด็งพงศธร, 2554)

2.9.2 ขั้นตอนของวิธีตอบสนองต่อพื้นที่ผิว ในการทดลองวิจัยโดยวิธีตอบสนองต่อพื้นที่ผิวมีขั้นตอนดังนี้

เลือกแผนการทดลอง (Selection design)

เก็บรวบรวมข้อมูล (Response Variable)

สร้างสมการความสัมพันธ์ (Regression)

ทดสอบพิสูจน์แบบจำลอง

หาสภาวะที่เหมาะสมของการทดลอง (Optimization)

2.9.3 แผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) แผนการทดลองนี้เป็นการออกแบบที่ทุกระดับของแต่ละปัจจัยห่างจากศูนย์กลาง เท่ากัน และทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง แต่ละปัจจัยจะมีระดับการทดลอง 5 ระดับ ($-\alpha$, -1, 0, 1, α)

องค์ประกอบของแผนการทดลองแบบ CCD มีดังนี้

1. ตำแหน่งการทดลอง ของ 2^n Fractorial Design (n คือตัวแปรอิสระ) n = 2 ดังนั้น 2^2 จะมีตำแหน่งการทดลองทั้งหมด 4 ตำแหน่ง (-1,-1) (+1,-1) (+1, +1) (-1, +1)

2. ตำแหน่งการทดลองที่เพิ่มขึ้นมาอีก 4 ตำแหน่งคือตำแหน่งที่เป็นแนว + α หรือ - α ในแนวแกน (+ α, 0) (- α, 0) (0, + α) (0, - α)

3. ตำแหน่งตรงกลางของพื้นที่การทดลองอีก 1 ตำแหน่ง คือ Central Point (ตำแหน่ง 0,0)

ดังนั้นการทดลองแบบ CCD ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว จะมีตำแหน่งเพิ่มขึ้นจาก 2^2 Fractorial Design อีก 5 ตำแหน่งคือ (+ α, 0) (- α, 0) (0, + α) (0, - α) และ (0,0) ทำให้การทดลองสามารถครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษาได้มากกว่า 2^2 Fractorial Design (กัลยาณี เต็งพงศธร, 2554)

จากข้อความดังกล่าวข้างต้นการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) สามารถกำหนดตำแหน่งของการทดลองได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 ตำแหน่งของการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD)

จำนวนตัวแปรอิสระ(Xi)= n	2	3	4	5
จำนวนตำแหน่งการทดลองทั้งหมดใน CCD	9	15	25	43
ระดับของ ค่า $\alpha = 2^{n/4}$	1.4142	1.6818	2	2.3784

(ที่มา: กัลยาณี เด็งพงศธร, 2554)