

การประมวลสถานภาพองค์ความรู้
ด้านการจัดการของเสียในระบบการผลิตสุกร

รายงานเสนอ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการผลิตและการบริการ

โดย

สมชัย

จันทร์สว่าง

และ

สุริยะ

สรวานนท์

ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
บทที่ 1 การจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์	1
แนวคิดในการป้องกันมลพิษ	1
การจัดการของเสียจากสัตว์	2
หลักการลดของเสียให้น้อยที่สุด	4
การลดของเสียที่แหล่งกำเนิด	4
การใช้ซ้ำหรือการใช้หมุนเวียน	4
ประโยชน์ที่จะได้รับการลดของเสียให้น้อยที่สุด	5
ศัพท์และคำนิยาม	5
บทที่ 2 ประมวลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียจากสัตว์	7
ประมวลผลงานวิจัยระหว่าง พ.ศ. 2518 – 2534	7
ประมวลผลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียช่วงหลังปี 2535	9
การลดของเสียให้น้อยที่สุด	17
การลดของเสียที่แหล่งกำเนิด	17
การใช้ซ้ำหรือการใช้หมุนเวียน	18
การเก็บ รวบรวม และขนย้ายของเสีย	19
การบำบัดของเสีย	19
การใช้ประโยชน์ของของเสีย	22
บทที่ 3 องค์ความรู้การลดมลพิษจากฟาร์มเลี้ยงสุกร	32
การลดปริมาณและความเข้มข้นของมลพิษที่แหล่งกำเนิด	32
การจัดการการเลี้ยงดูที่ดี	32
การจัดการด้านการให้อาหาร	33
การให้อาหารตามระยะการเจริญเติบโตหลายระยะ	34
การให้อาหารแยกเพศสุกร	36
การให้อาหารโปรตีนต่ำเสริมด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น	36
การใช้เอ็นเอสพี	39

การใช้สารปรับปรุงสภาพกรดในอาหาร	40
การใช้เอนไซม์ไฟเตส	40
การใช้ซีโอไลต์	41
การใช้สารสกัดยัคคา	43
การใช้โปรไบโอติกส์	44
การใช้โอลิโกแซคคาไรด์เป็นโปรไบโอติกส์	45
การลดของเสียให้น้อยที่สุดโดยการใช้ซ้ำหรือใช้หมุนเวียน	47
การใช้มูลสุกรเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์	48
การใช้มูลสุกรเลี้ยงปลา	49
การใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยสำหรับพืช	52
บทที่ 4 การบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร	55
การจำแนกชนิดของระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร	55
การสำรวจชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียและลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศไทย	56
ระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร	63
ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย	63
ระบบไบโอแก๊ส	64
ระบบไบโอแก๊สแบบยอดโดมคามาร์เทค	65
ระบบไบโอแก๊สแบบของหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ	66
ระบบไบโอแก๊สแบบพลาสติกคลุมบ่อ	66
ระบบลูกผสมระหว่างบ่อหมักไร้อากาศและบ่อเติมอากาศ	67
เครื่องแยกมูลสุกร	69
จุลินทรีย์อีเอ็ม	69
การเลี้ยงสุกรบนวัสดุรองพื้น	70
วิธีการอื่น ๆ	71
บทที่ 5 การกำจัดของเสียโดยการใช้ประโยชน์	72
การใช้กากมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สเป็นปุ๋ยชีวภาพ	72
การใช้น้ำมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สเป็นปุ๋ยน้ำ	73
การใช้กากมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์	74
การใช้กากมูลหมักและน้ำมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สเลี้ยงปลา	74
การใช้น้ำมูลสุกรความเข้มข้นต่ำเป็นไบโอเฟอติเกชั่น	75

บทที่ 6 บทสรุป วิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยและพัฒนา	76
ปริมาณงานวิจัย	76
ผลงานวิจัยระหว่างปี พ.ศ. 2518 – 2534	76
ผลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียช่วงหลังปี พ.ศ. 2535	76
ลักษณะของงานวิจัย ผลของการวิจัยและผลต่อการพัฒนาองค์ความรู้	77
ผลงานวิจัยระหว่างปี พ.ศ. 2518 – 2534	77
ผลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียช่วงหลังปี พ.ศ. 2535	78
งานวิจัยการลดของเสียให้น้อยที่สุด	78
งานวิจัยการเก็บ รวบรวม และขนย้ายของเสีย	80
งานวิจัยบำบัดของเสีย	80
งานวิจัยด้านการกำจัดของเสียโดยการใช้ประโยชน์	82
ข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยและพัฒนา	82
แผนการดำเนินการในระยะยาว	83
แผนการดำเนินการในระยะเร่งด่วน	83
งานวิจัยการลดของเสียให้น้อยที่สุด	83
งานวิจัยด้านเก็บ รวบรวม และขนย้ายของเสีย	84
งานวิจัยด้านบำบัดของเสีย	84
งานวิจัยด้านการกำจัดโดยการนำไปใช้ประโยชน์	84
เอกสารอ้างอิง	85

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอสภาพภาพงานวิจัยและองค์ความรู้ทางด้านการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศไทย บทที่หนึ่งในรายงานที่ประกอบขึ้นด้วยหกบทฉบับนี้ นำเสนอหลักการป้องกันมลพิษ แนวคิดใหม่เกี่ยวกับการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์และใช้เป็นบทนำสำหรับบทอื่น ๆ ที่จะตามมา

บทที่สองได้ทำการสรุปกล่าวถึงผลงานวิจัยทางด้านการจัดการของเสียที่ได้มีการดำเนินการในประเทศไทยในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา จำนวนผลงานวิจัยทั้งหมดที่รวบรวมได้สามารถจำแนกได้ตามแหล่งของข้อมูลได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกระหว่างปี พ.ศ. 2518 ถึง พ.ศ. 2534 และช่วงที่สอง เริ่มต้นจากปี พ.ศ. 2535 จนถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2542 จำนวนผลงานวิจัยในช่วงแรกมี 63 ผลงาน จากรายงานของสภาวิจัยแห่งชาติซึ่งผลงานส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาพไร้อากาศ ผลงานวิจัยในช่วงที่สองมีจำนวน 68 ผลงาน จากรายงานในเอกสารทางวิชาการแบบต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ เอกสารวิชาการเหล่านี้สามารถจำแนกย่อยได้ตามขั้นตอนของการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้เป็น 4 กลุ่มคือ การลดของเสียให้น้อยที่สุด (24), การเก็บรวบรวม และขนย้ายของเสีย (0), การบำบัดของเสีย (34) และการใช้ประโยชน์ของของเสีย (10)

บทที่สามสรุปอธิบายถึงผลงานวิจัยใหม่ ๆ ที่มีศักยภาพที่จะลดมลพิษให้น้อยที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดกลิ่นเหม็นและการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนีย งานวิจัยเหล่านั้นได้แก่ การจัดการด้านให้อาหาร การให้อาหารตามระยะการเจริญเติบโตหลายระยะ การให้อาหารโปรตีนต่ำเสริมด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น การใช้คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง (เอ็นเอสพี) การใช้สารปรับสภาพกรดในอาหาร การใช้เอนไซม์ไฟเตส การใช้ซีโอไลต์ การใช้สารสกัดยัคคา การใช้โปรไบโอติกส์ และการใช้โอลิโกแซคคาไรด์เป็นโปรไบโอติกส์

การบำบัดของเสียนำมากล่าวสรุปในบทที่สี่ โดยอธิบายครอบคลุมระบบบำบัดของเสียที่มีการใช้ประโยชน์กันมากในประเทศไทยได้แก่ ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย ระบบไบโอแก๊ส เครื่องแยกมูลสุกร จุลินทรีย์อีเอ็ม และการเลี้ยงสุกรบนวัสดุรองพื้น

บทที่ห้าสรุปกล่าวถึงงานวิจัยด้านการนำของเสียที่บำบัดแล้วไปกำจัดโดยการนำไปใช้ประโยชน์ โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้มูลสุกรหมักไบโอแก๊สเป็นปุ๋ยอินทรีย์และเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ การใช้น้ำมูลหมักไบโอแก๊สเป็นปุ๋ยน้ำ และการใช้น้ำมูลหมักเป็นอาหารเลี้ยงปลา

สรุปผลและวิจารณ์ผลรวมทั้งข้อเสนอแนะแนวทางวิจัยและพัฒนา นำเสนอไว้ในบทที่หก ในแผนการในระยะยาว ผู้เขียนเสนอให้มีการจัดตั้งศูนย์วิจัยเพื่อพัฒนาการจัดการของเสียจากสัตว์ให้เกิดผลสำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับแผนการเร่งด่วนผู้เขียนเสนอให้มีการดำเนินการวิจัยในโครงการที่มีศักยภาพที่จะให้ผลดีหลายด้านโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการปรับปรุงการให้ผลผลิตและการผลิตอาหารสุขภาพ นอกเหนือไปจากผลในการลดมลพิษด้านกลิ่นเหม็นและการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนีย

Abstract

This report was intended to present the current status of research and knowledge of pig waste management in Thailand. The first chapter of this six-chapter report introduces the principle of pollution prevention, the new concept of animal waste management and serves as an introduction to the following chapters.

Chapter two gives a brief overview of the research works on the waste management which have been reported during the past 25 years in Thailand. The total research collected were divided according to data sources into two periods; the first period from 1975 to 1991 and the second period starting 1992 until October 1999. For the first period, there were 63 research works reported by National Research Council which mostly cover the research in anaerobic digestion of organic wastes. In the second period, there were 68 research works reported in variety forms of publications in Kasetsart University. These publications were classified according to the stages of waste management process which are divided into 4 research groups namely; Waste minimization (24), Waste collection, storage and transportation (0), Waste treatment (34) and Waste Utilization (10).

Chapter three briefly describes the current research works that have the potential impacts for waste minimization, particularly for reducing the foul odor and ammonia emission. The topics of studies include; The application of feeding management, Multi-phase feeding, Low protein diet supplement with essential amino acids, Non-starch polysaccharides, Dietary acidifier, Enzyme phytase, Zeolite, Yucca extract, Probiotics and use of Oligosaccharides as prebiotics.

Pig waste treatment systems are discussed in chapter four. The chapter four describes the systems which were most commonly used in Thailand such as; Ponding system, Biogas digester, Solid-liquid separator, Effective Microorganisms, and Pig-on-litter.

Chapter five gives a review of the research on the waste utilization. The different aspects of waste utilization are discussed such as; Usage of digested sludge as bio-fertilizer and animal feed, The use of digested slurry as liquid fertilizer and Usage of digested slurry as feed for fish.

The conclusion and discussion of the studies as well as the recommendation for future research and development plan are given in chapter six. It is recommended that for long term planning the research center should be established for efficient and effective animal waste management. For the immediate plan, it is important to implement the research topics that have potential yields or benefits particularly which can promote the pig performance, improve the healthy of the products and reduce the foul odor and ammonia emission at the same time.

บทที่ 1

การจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์

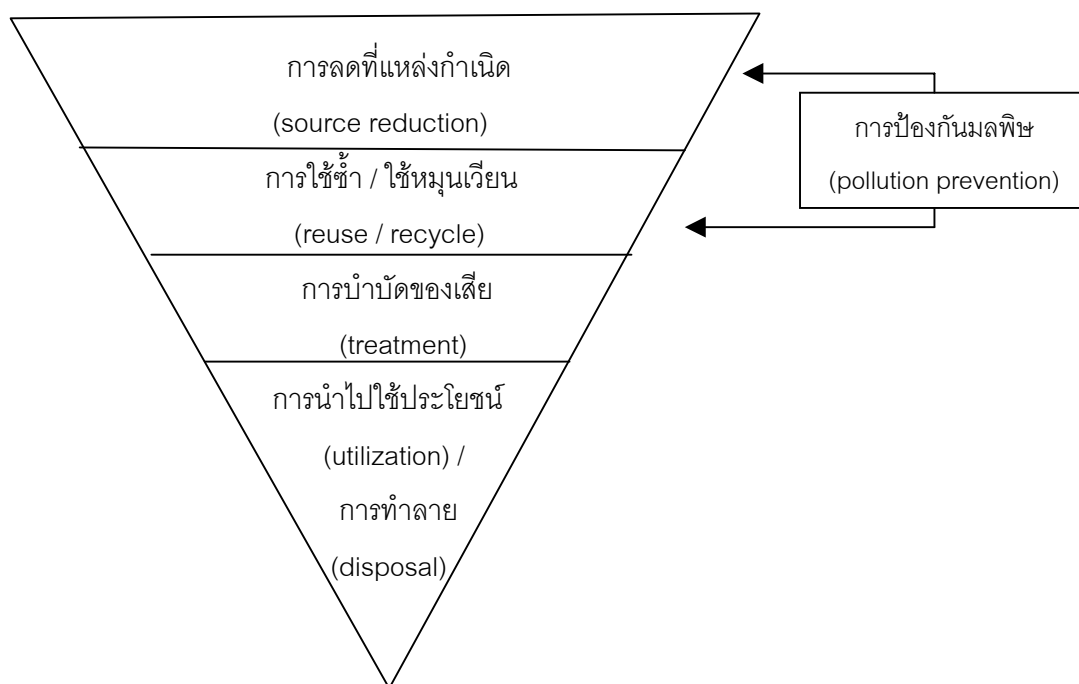
การจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์สมัยใหม่ เป็นการนำเอาเทคนิคที่ประสบความสำเร็จในการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการจัดการของเสียแบบเดิม ขบวนการจัดการของเสียจากสัตว์แบบเดิม เริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมและขนย้ายของเสีย (handling, storage and transportation) การบำบัดของเสีย (treatment) จนถึงการนำไปใช้ประโยชน์ (utilization) หรือทำลาย (disposal) เทคนิคที่นำมาประยุกต์เพิ่มคือ การป้องกันมลพิษ (pollution prevention) การจัดการของเสียจากสัตว์สมัยใหม่มีหลักการสรุปได้ดังต่อไปนี้

แนวคิดในการป้องกันมลพิษ

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการประกาศใช้พระราชบัญญัติป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention Act 1990) มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 ได้จัดลำดับความสำคัญของการป้องกันมลพิษไว้สูงสุดยิ่งกว่าหลักการใช้หมุนเวียน การบำบัดของเสีย และการกำจัดโดยการทำลายตามลำดับ ดังแสดงใน ภาพที่1 และมีการนำหลักการป้องกันมลพิษไปใช้ในกิจการต่าง ๆ ทั้งในภาครัฐและเอกชนอย่างกว้างขวาง

แนวคิดในการป้องกันมลพิษ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการดำเนินชีวิตของชุมชน ในสถานที่ทำงาน สถานศึกษา การค้าและการบริการ เช่น การท่องเที่ยว โรงแรม ศูนย์การค้า และภาคเกษตรกรรม ได้แก่ การทำฟาร์มปศุสัตว์และการเพาะปลูก เป็นต้น เพื่อลดมลพิษและการเกิดของเสียจากกิจกรรมเหล่านี้

หน่วยงานในประเทศไทยที่มีส่วนในการเผยแพร่ความรู้ด้านการป้องกันมลพิษประกอบด้วย หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนอาทิเช่น กรมโรงงานอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย แต่มักจะมุ่งเน้นไปที่แหล่งกำเนิดมลพิษจากอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการจัดสัมมนาแลกเปลี่ยนความรู้ โดยผู้เชี่ยวชาญทั้งจากในและนอกประเทศ รวมทั้งการฝึกอบรมในระดับอุดมศึกษา เช่น ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นต้น

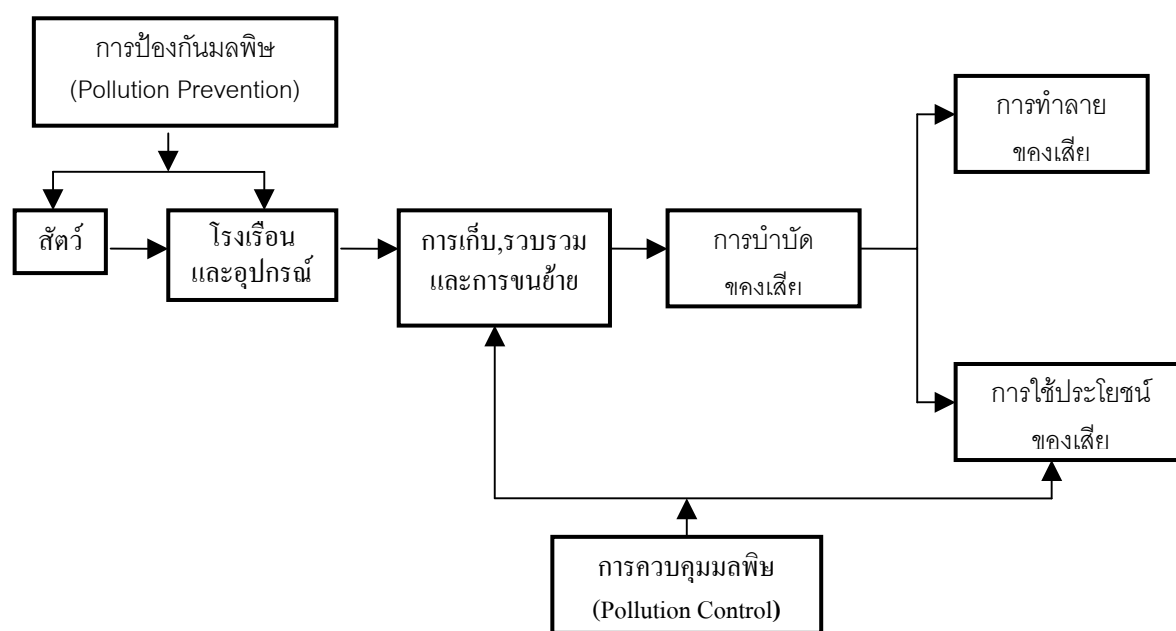


ภาพที่ 1 ลำดับความสำคัญของการจัดการสิ่งแวดล้อม
(ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ,มปพ.)

การจัดการของเสียจากสัตว์

การจัดการของเสียจากสัตว์เพื่อการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในอดีตที่ผ่านมา เป็นวิธีการที่มุ่งเน้นการบำบัดหรือกำจัดของเสียที่สัตว์ขับถ่ายออกมาแล้ว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็นวิธีการควบคุมมลพิษ (pollution control) ด้วยการบำบัดมลพิษ หรือการบำบัดที่ปลายท่อ (end-of-pipe treatment) ซึ่งเป็นการบำบัดที่ปลายเหตุและเป็นการแก้ไขปัญหาภายหลังที่ได้ก่อให้เกิดมลพิษแล้ว การจัดการของเสียจากสัตว์ในปัจจุบันได้ประยุกต์นำเทคนิคการป้องกันมลพิษ (pollution prevention) มาใช้ร่วมกับขบวนการจัดการเดิม ดังมีลำดับของขบวนการแสดงใน ภาพที่ 2 ทั้งนี้เพื่อเป็นการพัฒนาการเลี้ยงสัตว์ให้เป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development)

การป้องกันมลพิษ (pollution prevention, PP) อาจรู้จักกันในชื่ออื่น ๆ เช่น การลดของเสียให้น้อยที่สุด (waste minimization, WM) เทคโนโลยีสะอาด (clean technology, CT) การผลิตที่สะอาดขึ้น (cleaner production, CP) ซึ่งในมุมมองของการจัดการของเสียจากสัตว์ (ภาพที่ 2) การลดของเสียให้น้อยที่สุด หรือ waste minimization ซึ่งหมายถึงการลดปริมาณของมลพิษ (รวมถึงความเข้มข้นของสารมลพิษ) ให้น้อยที่สุด จะเป็นชื่อที่สื่อให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นในขบวนการจัดการของเสียจากสัตว์ได้ดีที่สุด ดังนั้นในการกล่าวถึงการป้องกันมลพิษจากสัตว์ต่อไปนี้จะเลือกใช้ชื่อ “การลดของเสียให้น้อยที่สุด” แทน



ภาพที่ 2 การจัดการของเสียจากสัตว์เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

สิ่งที่นำมาสรุปกล่าวถึงในบทนี้ เป็นการสรุปถึงหลักการของขบวนการลดของเสียให้น้อยที่สุด ส่วนวิธีการของขบวนการจะได้นำมาสรุปกล่าวถึงแยกตามลำดับของขั้นตอนการจัดการของเสียจากสัตว์ตามที่เขียนแสดงไว้ใน ภาพที่ 2 โดยบทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการลดของเสียให้น้อยที่สุด ทั้งวิธีการที่มีการศึกษาภายในและต่างประเทศ บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการบำบัดของเสีย และบทที่ 5 กล่าวถึง การใช้ประโยชน์ของของเสีย ส่วนบทที่ 2 เป็นการสรุปกล่าวถึงสถานภาพองค์ความรู้และงานวิจัยด้านการจัดการของเสียจากสัตว์ จำแนกตามขั้นตอนของการจัดการคือ การลดของเสียให้น้อยที่สุด การบำบัดของเสีย และการใช้ประโยชน์ของของเสีย

หลักการลดของเสียให้น้อยที่สุด วิธีการลดของเสียให้น้อยที่สุดหรือการป้องกันมลพิษ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการหลัก คือ

1. **การลดของเสียที่แหล่งกำเนิด** (source reduction) ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยการเปลี่ยนแปลงผลผลิต (product change) และการควบคุมการผลิต (source control) ดังมีวิธีการสรุปเป็นแนวทางดังนี้

(1) การเปลี่ยนแปลงผลผลิต ได้แก่ เปลี่ยนแปลงสูตรอาหารให้เหมาะสมกับสายพันธุ์สุกรที่เลี้ยง เพื่อให้สุกรเจริญเติบโตได้ดี มีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงสูง และมีไขมันต่ำ และเลือกใช้พันธุ์หรือสายพันธุ์สุกรที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว มีประสิทธิภาพการใช้อาหารดี

(2) การควบคุมการผลิต โดยมีแนวทางการดำเนินการคือ การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ (input material changes) การปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิต (technology changes) และการปรับปรุงกระบวนการดำเนินการ (good operating procedures) ดังมีวิธีการสรุปเป็นตัวอย่างดังนี้

- การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ ได้แก่ การเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพ มีราคาถูก และมีผลในการลดปริมาณหรือความเข้มข้นของสารมลพิษ และใช้น้ำที่มีคุณภาพให้สุกรดื่ม เป็นต้น
- การปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิต ได้แก่ ปรับปรุงโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ให้เหมาะสมมีการถ่ายเทอากาศดี เช่น การใช้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิด้วยไอน้ำของน้ำ (evaporative cooling system) การใช้สารเสริมอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและช่วยลดปริมาณหรือความเข้มข้นของสารมลพิษ เช่น โปรไบโอติกส์ (probiotics) สารสกัดจากพืช หรือ ปริไบโอติกส์ (prebiotics) เป็นต้น
- การปรับปรุงกระบวนการดำเนินการ ได้แก่ การมีระบบการตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำ และระบบซ่อมบำรุง การมีระบบการเก็บและขนส่งอาหารเพื่อลดการสูญเสียจากการเก็บและการหกหล่น และมีระบบการล้าง ทำความสะอาดโรงเรือน ที่ใช้น้ำน้อยและมีประสิทธิภาพ เป็นต้น

2. **การใช้ซ้ำ หรือ การใช้หมุนเวียน** (reuse or recycle) ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์บางชนิดสามารถนำมาใช้ใหม่ ในรูปเดิมหรือใช้ซ้ำ เช่น มูลสุกร และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร สามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดิน หรือเป็นปุ๋ยสำหรับพืช หรือใช้เลี้ยงปลา โดยไม่ต้องทำการบำบัดก่อน อาหารตกหล่นหรืออาหารเก่า สามารถนำไปใช้เลี้ยงปลา และถูงอาหารสัตว์ สามารถนำไปบรรจุมูลสัตว์จำหน่าย ขณะที่ของ

เสียบางชนิดสามารถนำมาปรับปรุงเปลี่ยนแปลง เพื่อนำกลับมาใช้หมุนเวียน เช่น การนำมูลสุกรไปทำปุ๋ยหมัก หรือเป็นส่วนประกอบของหัวเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น

ประโยชน์ที่จะได้รับการลดของเสียให้น้อยที่สุด

- ลดปัญหามลพิษ
- อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
- ประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ
- ประหยัดค่าใช้จ่าย ลดต้นทุนการบำบัดของเสีย
- ลดปริมาณการสูญเสีย
- เพิ่มผลผลิต
- เพิ่มคุณภาพ ประสิทธิภาพการผลิต
- ลดความเสี่ยง เพื่อความปลอดภัย
- สร้างภาพพจน์ที่ดีต่อสาธารณชน
- นำไปสู่การพัฒนาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานสากล เช่น ISO 14000
- นำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน

ศัพท์และคำนิยาม

เพื่อป้องกันความสับสนที่อาจเกิดขึ้นในการจัดกระบวนการหรือวิธีการให้อยู่ในขั้นตอนของการจัดการของเสียจากสัตว์ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป ผู้เขียนใคร่ขอแนะนำเสนอคำศัพท์และให้คำนิยามของคำศัพท์ที่สำคัญ ๆ ที่เกี่ยวข้อง (ซึ่งอาจแตกต่างกับนิยามที่มีการให้ไว้ในที่อื่น ๆ) ดังต่อไปนี้ (ดูภาพที่ 2 ประกอบ)

- Reuse : การใช้ซ้ำ การใช้อีกครั้ง คือ การนำของที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีกโดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลง เช่น การนำอุจจาระสัตว์มาบรรจุมูลสุกรจำหน่าย การใช้มูลสุกรไปเลี้ยงปลา การนำมูลสุกรไปเป็นปุ๋ยสำหรับพืช หรือเป็นสารปรับปรุงดิน (โดยมูลสุกรไม่ผ่านกระบวนการบำบัดของเสีย)
- Recycle : การใช้หมุนเวียน การนำกลับมาใช้ การนำกลับมาใช้ใหม่ คือ กระบวนการที่วัสดุใช้แล้วถูกเก็บมาใช้ใหม่โดยมีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุง เช่น การนำมูลสุกรไปทำปุ๋ยหมัก การนำมูลสุกรไปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ (โดยมูลสุกรไม่ผ่านกระบวนการบำบัดของเสีย)

- Treatment : การบำบัด การบำบัดของเสีย คือ กระบวนการหรือการกระทำใด ๆ ที่มีผลทำให้ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์มีคุณภาพดีขึ้น (ความเข้มข้นของสารมลพิษน้อยลง กลิ่นเหม็นน้อยลง) โดยมีปริมาณของเสียไม่เปลี่ยนแปลง (หรือลดลงเล็กน้อย) เช่น ระบบไบโอแก๊ส จัดว่าเป็นระบบบำบัดของเสีย เนื่องจากสามารถทำให้คุณภาพของน้ำมูลสุกมีคุณภาพดีขึ้นโดยปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง (โดยหลักการ) มีผลพลอยได้เป็นแก๊สชีวภาพหรือไบโอแก๊ส
- Disposal : การกำจัด การกำจัดของเสีย การทำลาย คือ กระบวนการหรือการกระทำใด ๆ ที่มีผลทำให้ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์หมดไปหรือลดปริมาณได้มาก วิธีการกำจัดของเสียจากสัตว์ที่มีการยกเป็นตัวอย่างในหนังสือเก่า ๆ เช่น การเผาทำลาย หรือ การฝังกลบ
- Utilization : การใช้ประโยชน์ การใช้ประโยชน์ของของเสีย คือ กระบวนการที่นำของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ไปใช้ประโยชน์ โดยของเสียเหล่านั้นได้ผ่านกระบวนการบำบัดแล้ว การใช้ประโยชน์ของของเสียจัดว่าเป็นวิธีการกำจัดของเสียแบบหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การนำมูลสุกที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไบโอแก๊สเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ การนำมูลสุกหรือน้ำมูลสุกที่ผ่านระบบไบโอแก๊สไปเป็นปุ๋ยสำหรับพืช หรือเป็นสารปรับปรุงดิน
- Waste minimization : การลดของเสียให้น้อยที่สุด คือ กระบวนการหรือการกระทำใด ๆ ที่ลดหรือกำจัดการเกิดมลพิษหรือของเสียที่จุดกำเนิดรวมทั้งการลดการใช้สารทั้งที่เป็นอันตรายและไม่เป็นอันตราย พลังงาน น้ำ หรือทรัพยากรอื่น ๆ ซึ่งรวมถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติด้วยการรักษาหรือใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สารบางอย่างอาจเป็นได้ทั้งสารช่วยในการลดของเสียให้น้อยที่สุด และสารที่ใช้ในการบำบัด ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ เช่น จุลินทรีย์อีเอ็ม และสารสกัดจากพืชยัคคา ซึ่งเมื่อผสมในอาหารให้สัตว์กินสามารถลดความเข้มข้นของสารมลพิษและกลิ่นเหม็น ถ้าใช้ผสมน้ำฉีดพ่นในบ่อน้ำเสียสามารถควบคุมกลิ่นเหม็นและทำให้คุณภาพของน้ำดีขึ้น

บทที่ 2

ประมวลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียจากสัตว์

ประมวลผลงานวิจัยในรายงานการศึกษานี้ รวบรวมผลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียจากสัตว์ ที่มีการรายงานไว้ในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา ผลงานวิจัยที่รวบรวมได้ทั้งหมดแบ่งเป็นผลงานวิจัยที่มีการศึกษาใน 2 ช่วง จาก 2 แหล่งหลักของข้อมูล ช่วงแรกเป็นผลงานวิจัยรายงานผลระหว่างปี พ.ศ. 2518 ถึง 2534 มีจำนวนผลงานวิจัย 63 เรื่อง เป็นการนำผลการสำรวจงานวิจัยด้านนี้ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (เสาวลักษณ์, 2535) ดำเนินการไว้มาทำการจัดเรียงและวิเคราะห์ใหม่ ส่วนผลงานวิจัยที่รวบรวมไว้ในช่วงที่ 2 ผลงานส่วนใหญ่เริ่มต้นจากปี พ.ศ. 2535 (มีบางส่วนเป็นผลงานวิจัยที่รายงานผลไว้ก่อน พ.ศ. 2535 แต่เป็นผลงานซึ่งไม่ได้ถูกรวบรวมไว้ในการสำรวจของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ) เป็นผลงานวิจัยที่มีรายงานการศึกษาในเอกสารวิชาการ รายงานการประชุมทางวิชาการ และวิทยานิพนธ์ ปริญญาโท ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวนทั้งหมด 68 เรื่อง จัดแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามขั้นตอนของการจัดการของเสียจากสัตว์คือ การลดของเสียให้น้อยที่สุด การเก็บรวบรวมและขนย้ายของเสีย การบำบัดของเสีย และการใช้ประโยชน์ของของเสีย

ประมวลผลงานวิจัยระหว่าง พ.ศ. 2518 – 2534 โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic digestion) เป็นวิธีการที่ได้มีการนำมาใช้บำบัดของเสียที่เป็นอินทรีย์วัตถุนานกว่า 100 ปีแล้ว ในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่า ได้มีการนำวิธีการนี้ไปใช้ประโยชน์ในทุก ๆ ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างปี พ.ศ. 2518 – 2528 ซึ่งเป็นช่วงวิกฤติการณ์น้ำมัน เป็นช่วงที่มีการศึกษาและนำไปใช้ประโยชน์กันมากที่สุด ระบบไบโอแก๊สมีการนำไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายในประเทศในเขตร้อน ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในประเทศไทยเองได้มีการนำระบบไบโอแก๊สเข้ามาใช้ประโยชน์กันมานานกว่า 40 ปีแล้ว (เริ่มนำเข้ามาประมาณปี พ.ศ. 2500)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติโดยเสาวลักษณ์, 2535 ได้ทำการศึกษาสถานภาพการวิจัยของงานวิจัยทางด้านก๊าซชีวภาพในอดีตจนถึง ปี พ.ศ. 2535 มีจำนวนโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับก๊าซชีวภาพที่รวบรวมได้ทั้งหมดในช่วงนี้ 63 โครงการ แบ่งเป็นผลงานที่ได้ดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ในช่วงปี พ.ศ. 2518 – 2533 จำนวน 53 โครงการ และเป็นโครงการที่กำลังดำเนินการอยู่ในปี พ.ศ. 2532 – 2534 จำนวน 10

โครงการ ตารางที่ 1 ได้นำชื่อโครงการที่ได้รายงานผลการศึกษาในช่วง 2518 – 2533 มาเขียนแสดงโดยจัดลำดับเรียงตามปีที่ได้รายงานผล พร้อมทั้งได้ระบุถึงชื่อและหน่วยงานของคณะผู้วิจัย ทั้งนี้เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาของงานวิจัย และการมีส่วนร่วมของบุคคลและหน่วยงาน ส่วน ตารางที่ 2 เขียนแสดงชื่อโครงการที่กำลังดำเนินการอยู่ในปีพ.ศ. 2532 – 2534 (ชื่อผลงานเหล่านี้จะไม่ ปรากฏในเอกสารอ้างอิงของการศึกษาครั้งนี้ รายละเอียดเพิ่มเติมของผลงานวิจัยเหล่านี้สามารถติดตามได้จากเสาวลักษณ์, 2535)

ลักษณะการดำเนินการวิจัยของผลงานที่ได้ดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ในระหว่าง 2518 – 2533 ส่วนใหญ่เป็นการทดลองวิจัยดำเนินการในห้องปฏิบัติการ มีบางส่วนดำเนินการในภาคสนาม โดยการก่อสร้างระบบไบโอแก๊สขนาดเล็ก และมีบางส่วนดำเนินการทดลองในโรงงานอุตสาหกรรม มีการดำเนินการวิจัยทางด้านสังคมเพียง 1 โครงการ ประเภทของงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยประยุกต์ การวิจัยเพื่อการพัฒนา มีเพียง 2-3 โครงการ และมีการวิจัยระดับพื้นฐานอยู่บ้าง ผลงานวิจัยทั้ง 53 โครงการ จำแนกตามหน่วยงานที่ดำเนินการได้ดังต่อไปนี้

● สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	จำนวน 15 โครงการ
● จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	จำนวน 10 โครงการ
● กรมวิชาการเกษตร	จำนวน 5 โครงการ
● สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย	จำนวน 5 โครงการ
● สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	จำนวน 4 โครงการ
● มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	จำนวน 4 โครงการ
● มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	จำนวน 4 โครงการ
● มหาวิทยาลัยมหิดล	จำนวน 2 โครงการ
● อื่น ๆ	จำนวน 4 โครงการ

ระบบบ่อหมักในสภาพไร้ออกซิเจนในโครงการทั้ง 53 เรื่อง มีการศึกษาโดยใช้บ่อหมักของเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูง (TS มากกว่า 2%) ซึ่งเรียกว่าบ่อหมักของแข็ง (solid fermentation) หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่าบ่อหมักช้า (low rate anaerobic digester) ซึ่งบางแห่งอาจเรียก บ่อหมักอัตรามาตรฐาน (standard rate digester) และบ่อหมักของเสียที่มีความเข้มข้นของของแข็งต่ำ (TS น้อยกว่า 2%) หรือบ่อหมักน้ำเสีย (ของเหลว) ซึ่งเรียก บ่อหมักเร็ว (high rate digester) แบบของบ่อหมักช้าที่มีการนำมาศึกษากันในช่วงนี้เป็นแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ แบบ plug-flow ขนาดในห้องปฏิบัติการ จนถึงแบบยอดโดมคงที่

(fixed dome digester) ขนาดครอบครัว การศึกษาโดยใช้บ่อหมักช้าเป็นการศึกษาเพื่อทดสอบการใช้วัตถุดิบต่าง ๆ เช่น เศษพืช วัสดุเหลือทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ผักตบ มูลสัตว์ และส่วนผสมของเศษพืชและมูลสัตว์ (การศึกษาของกรมวิชาการ และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) การใช้ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เปลือกและแกนสับปะรด (การศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) มีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายโดยการเพิ่มอุณหภูมิและการใช้บ่อหมัก 2 ขั้นตอน (two stage) (การศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) ด้านบ่อหมักเร็ว มีการศึกษาเพื่อทดสอบแบบของระบบและการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ แบบของบ่อหมักเร็ว (ขนาดห้องปฏิบัติการ) มีทั้งแบบ UASB (การศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) และแบบถังหมักไร้ออกซิเจนบรรจุตัวกลาง (Anaerobic Filter หรือ AF) ซึ่งในการศึกษาบ่อหมักชนิดนี้ เป็นการศึกษาเพื่อทดลองใช้ตัวกลางชนิดต่าง ๆ เช่น ใช้อินทรีย์วัตถุหรือ biofilter (การศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) และตัวกลางหาได้ง่าย ๆ เช่น วงไม้รวก (การศึกษาของสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) มีโครงการการศึกษาการใช้ประโยชน์ของผลพลอยได้ในทางการกลั่น (การศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) การศึกษาการย่อยสลายมูลสัตว์ด้วยระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนในช่วงการวิจัยนี้ เกือบทั้งหมดเป็นการศึกษาโดยใช้บ่อหมักแบบหมักช้า มีเพียง 1 โครงการที่เป็นการศึกษาการย่อยสลายมูลสัตว์โดยใช้บ่อหมักแบบหมักเร็ว แบบบรรจุตัวกลาง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดย สุเมธ ชวเดช)

ประมวลผลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียช่วงหลังปี 2535 จากแหล่งข้อมูลมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลงานวิจัยที่มีการรายงานผลในช่วงหลังปี พ.ศ. 2535 รวมผลงานวิจัยที่มีรายงานไว้ก่อนหน้านี้บางส่วน ที่ไม่ได้ถูกรวบรวมไว้โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มีจำนวน 68 ผลงาน แบ่งเป็นผลงานที่จัดอยู่ในกลุ่มการลดของเสียให้น้อยที่สุด 24 ผลงาน กลุ่มการเก็บ รวบรวมและขนย้ายของเสียไม่มีผลงาน กลุ่มบำบัดของเสีย 34 ผลงาน และกลุ่มการใช้ประโยชน์ของของเสีย 10 ผลงาน ซึ่งผลงานบางเรื่องอาจถูกจัดให้อยู่ใน 2 กลุ่ม ทั้งนี้เพราะการดำเนินการวิจัยและการจัดกลุ่มทดลองมีลักษณะที่สามารถจัดให้อยู่ได้ทั้ง 2 กลุ่ม ในลักษณะเดียวกับการนำเสนอในตอนที่ผ่านมา ชื่อของผลงานวิจัยถูกนำมาจัดเรียงตามลำดับของปีที่มีการรายงานผลพร้อมทั้งได้ระบุคณะผู้วิจัย และแหล่งของข้อมูล ซึ่งผู้สนใจสามารถติดตามรายละเอียดได้ ทั้งนี้ผลงานเหล่านี้จะไม่ปรากฏในเอกสารอ้างอิงของรายงานการศึกษานี้

ตารางที่ 1 ผลงานวิจัยที่ได้ดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ระหว่าง 2518 – 2533 จากการรวบรวมโดยสำนักงาน
คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ลำดับ	ผลงานวิจัย
1.	การศึกษาการกำจัดมูลสัตว์เลี้ยงบางชนิดโดยวิธีหมักด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ และผลผลิตเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ. 2519. พิชิต สกุลพราหมณ์ มงคล โฉมงาม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
2.	เชื้อเพลิงจากมูลสัตว์ และมูลคน. มปป. นิรนาม. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
3.	การผลิตแก๊สชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์โดยการหมักอินทรีย์วัตถุให้เกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ. 2522. พิชิต สกุลพราหมณ์ มงคล โฉมงาม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
4.	การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์โดยถังหมักแบบบรรจุด้วยตัวกลาง. 2522. สุเมธ ชวเดช. กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมและนิเวศวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
5.	การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษพืชต่าง ๆ . 2523. เพชร กตัญญกุล สายทิพย์ ปฐมรัตน์. งานวิจัยปุ๋ย กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร
6.	เครื่องฟักไข่ด้วยก๊าซชีวภาพ. 2523. วุฑฒิ พันธุมนาวัน พิทยา สิ้นสืบผล และ วิรพงษ์ เกียรติยุทธชาติ. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี
7.	การผลิตและการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในห้องปฏิบัติการ . 2524. ธงชัย พุ่มจันทร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
8.	การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้อินทรีย์วัตถุเป็นตัวกลาง. 2524. โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์. ภาควิชาวิศวกรรมสุขภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9.	เปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนจากฟางข้าวและมูลสัตว์ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน. 2525. เพชร กตัญญกุล สายทิพย์ ปฐมรัตน์ และ ภวานาฏ เสมรสต์. กลุ่มงานวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและ อุตสาหกรรม กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
10.	อิทธิพลและความเป็นกรดเป็นด่างที่มีต่อการเกิดก๊าซชีวภาพเมื่อใช้หญ้าขนร่วมกับมูลสุกร.2525.สายทิพย์ ปฐมรัตน์ เพชร กตัญญูกุล และจันทิรา พอค้า. งานวิจัยปุย กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร
11.	การปรับปรุงคุณภาพของก๊าซชีวภาพในห้องปฏิบัติการ.2526. สุรพล สุวคนธ์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
12.	การผลิตแก๊สชีวภาพจากวัชพืช. 2526. มงคล สังขวดี. วิทยาลัยครูฉะเชิงเทรา
13.	การผลิตชีวก๊าซจากเซลลูโลสโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์. 2526. พัทธมน ศรีเบญจลักษณ์. วิทยาศาสตร์ภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14.	การย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรีย ชนิดชอบความร้อน .2526. ศักดิ์ชัย โอภาสวัตรชัย ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15.	ผลของเกลือบางชนิดที่มีต่อการหมักมูลวัวในสภาพไร้อากาศ. 2527. นิยะดา ลี้ละไกรวรรณ. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16.	การผลิตก๊าซชีวภาพในบ่อปิดแบบโดม. 2527. เพชร กตัญญูกุล สายทิพย์ ปฐมรัตน์ จันทิรา พอค้า และ เวทีดี มาก. กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร
17.	การศึกษาผลพลอยได้จากการหมักมูลวัวภายใต้สภาวะที่ไร้อากาศ. 2527. ทศนีย์ สีดาเพ็ง. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
18.	ผลของความดันที่มีต่อการหมักก๊าซชีวภาพ. 2527. สุภาณี เลิศไตรรักษ์ ศักรินทร์ ภูมิรัตน์ มรกต ดันติเจริญ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
19.	การหาข้อมูลพื้นฐานในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกและแกนสับปะรด. มปป. มรกต ดันติเจริญ ศักรินทร์ ภูมิรัตน์ สุภาณี เขียวธนาคม และ ละเอียด เพ็งโสภา. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
20.	การผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากของเสียจากโรงงานสับปะรดกระป๋อง. 2527. ธเนศ อุทิศธรรม. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
21.	ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ในระบบฟาร์มผสมผสาน. 2528. เพชร กตัญญกุล นัฐวุฒิ ภาชะวรรณ และ บัณลือ พรหมศรี. กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร
22.	ขบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจากพืช. มปป. มรกต ตันติเจริญ วุฑฒิ พันธมนาวิน และ สุรเดช จันทธานุรักษ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
23.	ผลของฟางข้าวและอัตราการผสมน้ำต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ. มปป. . ศรเทพ ธีมวาศร ชัยฤทธิ์ ชีโนรส ปรีชา เอกพิทักษ์ดำรง และวิเชียร พัฒนเศรษฐกุล. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
24.	ถึงผลิตแก๊สชีวภาพแบบใช้ตัวกลางไม้วอก. มปป. . สุเมธ ชวเดช. กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมและนิเวศวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
25.	การผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาภายใต้การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน. 2529. ชาญชัย คุณาวานากิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
26.	ประเมินความเหมาะสมการใช้ก๊าซชีวภาพในชนบท. 2529. นาวา พิทักษ์อรุณพ. สาขาวิจัยอุตสาหกรรมพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
27.	การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำโดยระบบยูเอเอสบี. 2529. พีรพงษ์ ทิพยากร. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
28.	การผลิตก๊าซชีวภาพจากฝุ่นข้าวในถังหมักแบบปลั๊กโพล. 2530. วัฒนา นพคุณ. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
29.	การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศสองขั้นตอน. 2530. สมชาย เจียมธีรสกุล. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
30.	กระบวนการตกตะกอนแบบแอนแอโรบิคคอนแทกต์สแตปีไลเซชัน. 2530. กิตติพงษ์ ธนสานติ. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
31.	การใช้วิธีการฟลูอิดาเซชันมาประยุกต์เข้ากับอุตสาหกรรมต่าง ๆ และกับอุตสาหกรรมภายในประเทศไทย. มปป. พล สาเททอง. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
32.	ชีวก๊าซและการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้เนื่องจากการย่อยสลายของมูลสัตว์เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่การกสิกรรม. มปป. วีรวรรณ ปัทมาภีรต์. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
33.	Renewable fuel recovery from bio-conversion of solid wastes with and without acid hydrolysis. 1975. Kai-King Chan. Asian Institute of Technology.
34.	Bio-gas production by anaerobic digestion. 1977. Malwila Gamini Dissanayako. Asian Institute of Technology.
35.	A ferrocement digester : biogas and biomass production. 1982. C. Polprasert, W. Kanok-Nukuchai and V.S. Rajput. Asia Institute of Technology.
36.	Two stage anaerobic digestion of solid pipeapple waste. 1984. M. Tanticharoen, N. Supajanya and S. Bhumiratana. School of Energy and Material, Dept. of Chemical Engineering. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.
37.	Biogas production from solid pipeapple waste. 1984. M. Tanticharoen, S. Bhumiratana, S. Tientana com and L. Pengsobha. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.
38.	Biogas production on synthetic wastewater. 1984. Preecha Ployyatarapingyo and Kunisuke Ichikawa. Department of Fermentation Technology. Faculty of Engineering, Osaka University.
39.	Biogas production from some crop residues. 1985. Somthep Tumwasorn. Animal Science Department, Kasetsart University.
40.	Mesophilic and thermophilic methane fermentation of agro-wastes and grasses. 1985. Gaysorn Dhavises, Permpong Sriprasertsak, Toshio Tanaka, Makoto Tanigushi and Susumu Oi. Department of Microbiology, Faculty of Science, kasetsart University, Kasmpaengsan Campus.
41.	Mesophilic and thermophilic methane fermentation of slop waste. 1985. Permpong Sriprasertsak, Gaysorn Dhavises and Susumu Oi. Faculty of Science, Kasetsart University, Kamphaengsan Campus.

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
42.	Biogas production from solid pipeapple cannery waste at elevated temperature. 1985. M. Tantichareon, S. Bhumiratana, T. Utithan and N. Supajunya. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.
43.	Biogas production from tapioca starch wastewater factory. II Effects of specific surface areas and void space. 1985. M. Tantichareon, S. Lerttriluck and S. Bhumiratana. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.
44.	Effluent denitrification with anaerobic filters. 1985. Chongrak Polprasert and H.S. Park. Environmental Engineering Division, Asia Institute of Technology.
45.	Study of continuous biogas production in a filter bed reactor. 1986. Supanee Lerttriluck, Satp Vitteethum, Marakot Tantichareon and Sakarindr Bhumiratana. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.
46.	Methane production from solid pipeapple waste at elevated temperature. M. Tantichareon, S. Bhumiratana, T. Utitham. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.
47.	Biogas production from tapioca starch wastewater factory. 1986. M. Tantichareon, S. Lerttriluck, S. Bhumiratana and N. Supajanya. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.
48.	Industrial biogas : A feasibility study of waste utilization from agro-industry in Thailand. 1986. Prakarn Bunchueydee. Organization National Energy Administration (NEA), Ministry of Science, Technology and Energy.
49.	Anaerobic digestion of tapioca starch factory wastewater, _ _ _ M. Tantichareon, S. Bhumiratana, N. Jetanachai, P. Chaiprasert, V. Loha and S. Lerttriluck. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.
50.	Anaerobic treatment for biogas production from pulp and paper mill wastewater. 1990. G. Wantawin, S. Lerttriluck, M. Tantichareon, V. Loha and S. Bhumiratana. King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
51.	Pilot-scale research for distillery wastewater treatment. 1990. J. Verink, S. Nitorisavut, D.L. Joshi, M. Asawangkul, S. Chartrakoon, O. Prasertthongkorn, A. Jongpornpraseod and B. Theinthong. Environmental Engineering Division, Asian Institute of Technology.
52.	Tapioca wastewater treatment by anaerobic reactor coupled with membrane filtration system. 1990. U. Puetpaiboon and S. Vigneswaran. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.
53.	Biogas incubator. 1990. Vutthi Bhanthumnavin, Pittaya Sinseubpol and Wirapong Kiatyuthachart. Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology, Thonburi Campus.

ตารางที่ 2 โครงการวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในช่วง 2532 - 2534 จากการรวบรวมโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ปี	ลำดับ	ชื่อโครงการและสถาบัน
2532	1.	การศึกษาออกแบบระบบกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
	2.	การพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพแบบยืดหยุ่นของแข็งขนาดโรงงานต้นแบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
	3.	การศึกษาสมมูลย์พลังงานเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานและอาหาร (ระยะที่ 1 : 2531 – 2532) คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
	4.	การศึกษารายละเอียดการผลิตสารเคมีและก๊าซมีเทนจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิจัยสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
	5.	การวิจัยและพัฒนาการควบคุมมลภาวะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรอย่างเป็นระบบโดยเน้นการผลิตแก๊สชีวภาพ สาขาวิจัยสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
2533	1.	การศึกษารายละเอียดการผลิตสารเคมีและก๊าซมีเทนจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตร สาขาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
	2.	วิจัยและพัฒนาการควบคุมมลภาวะน้ำเสียจากฟาร์มสุกรอย่างเป็นระบบโดยเน้นการผลิตแก๊สชีวภาพ สาขาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
2534	1.	การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตสารเคมี ก๊าซชีวภาพสู่ผู้ประกอบการ สาขาวิจัยสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
	2.	การกำจัดสีของกากน้ำตาลในน้ำทิ้งด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ สาขาอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ
	3.	ค้นคว้าเพื่อให้ได้มาซึ่งสถานภาพการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และอื่น ๆ กองค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ

1. การลดของเสียให้น้อยที่สุด ผลงานวิจัยในกลุ่มการลดของเสียให้น้อยที่สุดซึ่งมีจำนวน 24 ผลงาน สามารถจัดแบ่งย่อยเป็นผลงานในกลุ่มย่อยการลดของเสียที่แหล่งกำเนิด (source reduction) จำนวน 22 ผลงาน และกลุ่มใช้ซ้ำ/ใช้หมุนเวียน (reuse/recycle) จำนวน 2 ผลงาน ชื่อผลงาน คณะผู้วิจัย และแหล่งข้อมูล ได้สรุปแสดงไว้ใน ตารางที่ 3

(1) การลดของเสียที่แหล่งกำเนิด การศึกษาเพื่อลดของเสียที่แหล่งกำเนิดมีการดำเนินการศึกษาทั้งการใช้ โปรไบโอติกส์ (การเสริมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในอาหารหรือน้ำดื่มสำหรับสัตว์) สารสกัดจากพืชยัคคา สมุนไพร ซีโอไลต์ และเอนไซม์ เสริมในอาหารเลี้ยงสัตว์ (feed additive) และการลดเปอร์เซ็นต์โปรตีนรวมในอาหาร แต่ผลงานส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการใช้ โปรไบโอติกส์ มีบางส่วนศึกษาการใช้โปรไบโอติกส์รวมกับเอนไซม์

การศึกษาการใช้โปรไบโอติกส์ระยะแรก เป็นการศึกษาการเสริมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในอาหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของไก่กระທ และสุกรในแง่การเร่งการเจริญเติบโต การทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ หรือทดแทนวัตถุดิบแหล่งอาหารโปรตีนที่มีราคาแพง (ผลงานวิจัยลำดับที่ 1, 2 และ 3) จุลินทรีย์ที่มีการนำมาศึกษาในระยะนี้ได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่ม *Lactobacillus*, *Streptococcus* และจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง *Rhodospseudomonas* ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้เร่งการเจริญเติบโต ทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะและ การใช้จุลินทรีย์บางกลุ่มยังมีผลทำให้คุณภาพของผลผลิตดีขึ้น เช่น การใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ซึ่งในเซลล์ประกอบด้วยสารสังเคราะห์ (Xanthophyll) ซึ่งเป็นสารสีธรรมชาติ ทำให้ไก่ไข่ที่เลี้ยงด้วยเซลล์จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีไข่แดงที่มีสีแดงเข้มขึ้น (การศึกษาลำดับที่ 3) การศึกษาการใช้ส่วนผสมของโปรไบโอติกส์ และเอนไซม์จากการค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (ผลงานวิจัยลำดับที่ 4 และ 5) การศึกษาการใช้ โปรไบโอติกส์ที่มีผลในการลดของเสียที่แหล่งกำเนิดโดยตรงเริ่มต้นที่การศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม (EM หรือ Effective Microorganisms ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ผสมหรือ mixed culture ของจุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัส ยีสต์ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และเชื้อราที่มีประโยชน์) ควบคุมกลิ่นเหม็นในฟาร์มสุกร (ผลการวิจัยลำดับที่ 7 และ 21) ซึ่งต่อมาได้มีการนำจุลินทรีย์อีเอ็มไปประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรเพื่อควบคุมกลิ่นเหม็นกันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตจังหวัดพะเยาในระยะเวลาหนึ่งที่กรมอนามัยส่งเสริมการใช้เพื่อรณรงค์การควบคุมกลิ่นเหม็นและแมลงวัน (กรมอนามัย, 2537a) และต่อมาก็ได้มีการศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มทั้งในแง่การควบคุมกลิ่นเหม็น การเพิ่มสมรรถภาพการผลิต และการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตในสัตว์เลี้ยงอื่น ๆ (ผลการวิจัยลำดับที่ 8, 12, 13, 14, 15, 16, 22, และ 23)

การศึกษาการใช้สารเสริมในอาหาร (feed additive) ชนิดอื่น ๆ เช่นการใช้ซีโอไลท์ (ผลงานลำดับที่ 10 และ 11) การใช้สมุนไพรไทย (ผลงานที่ 17) การใช้เอนไซม์ไฟเตส (ผลงานที่ 18) และการศึกษาสารสกัดจากพืชคคา (ผลงานที่ 19) ในกรณีการใช้สารสกัดจากพืชคคา การศึกษาวิจัยในประเทศไทยยังน้อยมาก ทั้งที่ในการปฏิบัติได้มีการนำสารสกัดชนิดนี้ไปเสริมในอาหารเลี้ยงสุกรเพื่อลดกลิ่นเหม็นของมูลกันอย่างแพร่หลาย มีมูลค่าการนำเข้าของสารสกัดชนิดนี้ในชื่อการค้าต่าง ๆ เช่น Micro - Aid, De - Odorase มากกว่าปีละ 10 ล้านบาท การศึกษาเพื่อลดของเสียที่แหล่งกำเนิดแบบอื่น ๆ มีเพียงการศึกษาการลดเปอร์เซ็นต์โปรตีนรวมในอาหารเลี้ยงไก่ (ผลงานที่ 20) ในการศึกษาที่ยังจำกัดการศึกษาในแง่การให้ผลผลิต ยังไม่มีการศึกษาในแง่ของการลดมลพิษโดยตรง

การลดของเสียที่แหล่งกำเนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดสารมลพิษ ที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยการให้สารลดของเสียชนิดใดชนิดหนึ่ง อาจให้ผลไม่เหมือนกันในฟาร์มเลี้ยงสุกรในพื้นที่ต่าง ๆ ในทางปฏิบัติเนื่องจากความแตกต่างกันในลักษณะการจัดการ การเลี้ยง การให้อาหาร ความเข้มข้นของโภชนะ (% โปรตีนในอาหาร) พร้อมทั้งความเข้มข้นของการใช้และชนิดของยาปฏิชีวนะ การใช้โปรไบโอติกส์ซึ่งเป็นสิ่งที่มีชีวิตยังมีปัจจัยมาเกี่ยวข้องด้วยมากมาย ขณะที่สารบางชนิดมีกลไกการทำงานจำเพาะ เช่น สารสกัดยัคคาใช้จับ (ดูดซับ) หรือยับยั้งขั้นตอนการเกิดแอมโมเนีย และสารซีโอไลท์ ซึ่งนำมาใช้ผสมในอาหารเพื่อดูดซับสารพิษและแอมโมเนีย ในรายงานการศึกษาในระยะนี้ มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการลดของเสียจากการใช้สารลดของเสียร่วมกัน 2 ชนิด เช่น การใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม และสมุนไพรไทย (ผลการวิจัยลำดับที่ 17) การศึกษาการใช้สารที่นอกจากจะมีผลในการลดของเสียที่แหล่งกำเนิด (การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มและสารยัคคา) ยังมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดแบบไบโอแก๊ส (ผลงานวิจัยลำดับที่ 19 และ 24)

(2) การใช้ขี้ หรือ การใช้หมุนเวียน การศึกษาการลดของเสียให้น้อยที่สุดในลักษณะการนำไปใช้ ขี้หรือการใช้หมุนเวียนมีเพียง 2 เรื่อง เป็นการศึกษาการใช้มูลสุกรแห้งเป็นวัตถุดิบผสมในอาหารเลี้ยงสุกร (ผลงานวิจัยที่ 6 และ 9) ซึ่งผลการทดลองพบว่ามูลสุกรนี้ยังไม่ได้รับการบำบัด สามารถนำกลับไปหมุนเวียนใช้เป็นวัตถุดิบผสมในอาหารเลี้ยงสุกรรุ่น (น้ำหนัก 20 - 60 กก.) ได้ในอัตราไม่เกิน 10% โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซาก และสามารถใช้เป็นวัตถุดิบผสมเป็นอาหารเลี้ยงสุกรขุน (น้ำหนัก 60-90 กก.) ได้สูงถึง 15% อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มีการศึกษาถึงผลที่จะเกิดขึ้นกับปริมาณและความเข้มข้นของสารมลพิษของของเสียที่ขับถ่ายโดยสุกรที่กินอาหารที่มีมูลสุกรเป็นส่วนผสม

2. การเก็บ รวบรวม และขนย้ายของเสีย การศึกษาการลดปริมาณหรือความเข้มข้นของสารมลพิษโดยขั้นตอนการเก็บ รวบรวม และขนย้ายของเสีย ไม่มีรายงานการศึกษากันไว้เป็นเอกสารวิชาการ แต่ในฟาร์มเลี้ยงสุกรก้าวหน้าได้มีการทดลองใช้ในขั้นปฏิบัติโดยไม่ได้อ้างแผนการศึกษาและเก็บข้อมูล การทดลองในลักษณะเช่นนี้มีตัวอย่างเช่น การทำตะแกรงเหล็กเป็นที่ขั้วถ่ายของสุกรซึ่งอาจเรียกส้วมสุกร (pig toilet) ทำให้เกิดความสะดวกในการเก็บมูลสุกรและทำให้ใช้น้ำล้างน้อยลง และการทำบ่อน้ำด้านท้ายคอกให้เป็นที่ยับถ่าย (อาจเรียก ส้วมน้ำ) ในการเลี้ยงสุกรขุน ซึ่งถ้าหากมีการกำหนดระยะเวลาเก็บกักน้ำมูลสุกรที่เหมาะสมจะสามารถควบคุมกลิ่นเหม็น ใช้น้ำล้างคอกน้อยลง และเป็นการเตรียมมูลสุกรเพื่อนำเข้าสู่ระบบบำบัดไบโอแก๊ส (สมควร, 2543)

3. การบำบัดของเสีย ผลงานวิจัยจัดอยู่ในกลุ่มการบำบัดของเสียมีจำนวน 34 ผลงาน วิธีการศึกษาและชนิดของระบบบำบัดที่นำมาศึกษาในช่วงนี้มีความหลากหลายมาก ตั้งแต่ระบบย่อยสลายในสภาพไร้อากาศหรือระบบไบโอแก๊สแบบหมักช้า และแบบหมักเร็ว (anaerobic low rate and high rate digesters) การย่อยสลายในสภาพต้องการอากาศ (anaerobic digestion) แบบต่าง ๆ ลูกผสม (hybrid) ระหว่างระบบไบโอแก๊สแบบหมักช้าและหมักเร็ว และลูกผสมระหว่างระบบไบโอแก๊สแบบหมักช้าและแบบย่อยสลายในสภาพต้องการอากาศ การใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มร่วมกับการใช้ระบบไบโอแก๊ส และระบบย่อยสลายในสภาพต้องการอากาศ การใช้เทคโนโลยีจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง จุลินทรีย์บำบัดลิกซ์ จุลินทรีย์แลคติก สารสกัดจากพืชยัคคา จนถึงการใช้สารเคมีเอิร์กเทค ตารางที่ 4 แสดงผลงานที่จัดอยู่ในกลุ่มการบำบัดของเสีย

(1) การย่อยสลายในสภาพไร้อากาศ ในช่วงเวลานี้ได้มีการก่อสร้างระบบไบโอแก๊สขนาดฟาร์มเพื่อการศึกษาและสาธิตขึ้นเป็นครั้งแรกโดยโครงการไบโอแก๊สเคยู-เอไอที (KU-AIT Biogas Project) ที่ฟาร์มเลี้ยงสุกรภายในสถานีวิจัยทับกวาง อ.แก่งคอย จ.สระบุรี ด้วยการสนับสนุนขององค์การ GTZ ของประเทศเยอรมัน ระบบไบโอแก๊สที่สร้างขึ้นเป็นแบบปลั๊กโฟลว์ (plug-flow digester) ขนาด 170 ม³ ใช้พลาสติกนำเข้าจากประเทศไต้หวันเป็นที่เก็บแก๊ส ระบบไบโอแก๊สที่สถานีวิจัยทับกวางของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใช้ประโยชน์ของไบโอแก๊สผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Generator) แล้วป้อนกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ปัจจุบันระบบไฟฟ้าแบบนี้ได้รับการยอมรับและนำไปติดตั้งในฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีการก่อสร้างระบบไบโอแก๊สกันโดยทั่วไป (ผลงานวิจัยที่ 27 และ 33) ส่วนการศึกษา ระบบไบโอแก๊สแบบหมักเร็ว (high rate anaerobic digester) ที่มีการศึกษาในช่วงนี้เป็นการวิจัยในห้องปฏิบัติการโดยใช้ระบบหมักเร็วแบบยูเอเอสบี (UASB ; Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ทดลองบำบัด

ของเสียความเข้มข้นต่ำ (น้ำเสีย) จากสุกร (ผลการวิจัยลำดับที่ 14) และการใช้ระบบถังหมักไร้อากาศที่มีตัวกลางยัดเกาะ หรือระบบเอเอฟ (AF หรือ Anaerobic Filter) ทดลองบำบัดน้ำเสียจากโค (ผลงานวิจัยที่ 13)

(2) การย่อยสลายในสภาพต้องการอากาศ ระบบย่อยสลายอินทรีย์วัตถุแบบเติมอากาศที่มีการศึกษาในช่วงนี้ทั้งหมดเป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (โรงแป่งมันสำปะหลัง และ โรงนม) ในห้องปฏิบัติการ แบบที่มีการศึกษากันมากเป็นแบบฟิกส์เบดแอเรชัน (F B A หรือ Fixed Bed Aeration Process) โดยใช้ตัวกลาง (Media) ต่าง ๆ เช่น ตัวกลางพลาสติกเจาะรู (การวิจัยที่ 1) ตาข่ายพลาสติก และตาข่ายพลาสติก 2 แผ่น ประกัปกัน (การวิจัยที่ 3) ตาข่ายไนลอน (การวิจัยที่ 7) และตาข่ายไนลอนชั้นเดียววางเรียงในแนวดิ่ง เปรียบเทียบกับตาข่ายไนลอน 2 ชั้นประกัปกัน (การวิจัยที่ 17) และระบบซึ่งมีวิธีการคล้ายคลึงกับระบบฟิกส์เบดแอเรชันซึ่งเรียกกันว่า ระบบบีซีเอ็ม (BCM หรือ Bio-Contach Media Process) ใช้แผ่นพลาสติก และไม่ใช้เป็นตัวกลาง (การวิจัยที่ 2) ระบบถังหมักแบบเติมอากาศแบบอื่นที่มีการศึกษาในช่วงนี้มีระบบ Airlift (ผลงานวิจัยลำดับที่ 10) และแบบเอสบีอาร์ (SBR หรือ Sequencing Batch Reactor) ซึ่งเป็นแบบที่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่มีการไหลไม่ต่อเนื่อง (ผลการวิจัยที่ 15)

ถังหมักแบบเติมอากาศแบบที่มีการศึกษากันดังกล่าวข้างต้น เป็นวิธีการที่นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป เพราะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าและใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการหมักในสภาพไร้อากาศ หรือระบบไบโอแก๊ส ที่นิยมใช้กับน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ แต่จะมีต้นทุนการดำเนินการสูงกว่า เพราะต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการเดินเครื่องเติมอากาศ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบและลักษณะของตัวกลาง (Media) ให้มีพื้นที่สำหรับการยัดเกาะของจุลินทรีย์มากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบที่ใช้ตัวกลางบรรจุแบบฟิกส์เบดแอเรชัน (รวมทั้งถังหมักในสภาพไร้อากาศบรรจุตัวกลางหรือเอเอฟ) ทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ขณะที่ระบบถังหมักเติมอากาศแบบเอสบีอาร์ดังกล่าวข้างต้น มีลักษณะการทำงานเหมาะสมกับการบำบัดของเสีย ส่วนที่เป็นน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ซึ่งจะมีน้ำเสียต่อเมื่อมีการล้างคอกหรือมีการพลัสน้ำเสียออกจากโรงเรือน ด้วยเหตุนี้เอง จึงได้มีการรวมข้อดีของระบบฟิกส์เบดแอเรชัน แบบที่ใช้ตัวกลางมีพื้นที่ผิวมากมารวมกับแบบเอสบีอาร์ พัฒนาเป็นระบบลูกผสมแบบใหม่เรียกบีซีเอ (BCA หรือ Bio-contach Aeration System) ใช้บำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ผลงานวิจัยที่ 33 และ 34) ลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบบีซีเอ็มที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งของโรงชัย และไพพรรณ, 2527 (แตกต่างที่ตัวกลางที่ใช้บรรจุ)

(3) ระบบบำบัดแบบผสมของบ่อหมักแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดของเสีย การผลิตไบโอแก๊สและเพื่อลดพื้นที่ในการก่อสร้างซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของการก่อสร้างระบบบำบัดของเสีย จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนานำเอาระบบบ่อหมักแบบต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน โดยการควบคุม ให้บ่อหมักแต่ละชนิดได้รับของเสียที่เหมาะสมกับการทำงาน ระบบบำบัดแบบผสมขนาดฟาร์ม ซึ่งเป็นผล จากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของโครงการไบโอแก๊สเคยู-เอไอที ได้ก่อสร้างขึ้น เพื่อการวิจัยและสาธิตที่ ฟาร์มเลี้ยงสุกร ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ส่วนประกอบของระบบเป็นการผสมระหว่างบ่อหมักช้าแบบปลั๊กโฟล (ขนาด 100 ม³) และบ่อหมักเร็ว 2 แบบ คือ บ่อหมักเร็วแบบเอเอฟ และบ่อหมักเร็วแบบยูเอเอสบี (ขนาดของแต่ละ บ่อ 8 ม³) โดยมีบ่อตกตะกอน(Sedimentation Tank) ขนาด 12 ม³ เป็นตัวแยกของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ส่วนที่เป็นน้ำส่งเข้าสู่ระบบบ่อหมักเร็วทั้งสอง และส่วนที่เป็นมูลสุกรชั้น (ของแข็ง) ส่งเข้าบ่อหมักช้าแบบ ปลั๊กโฟล เรียกชื่อระบบตามลักษณะของการผสมของชนิดของบ่อหมักว่าระบบไบโอแก๊สไฮไฟ (HYPHI หรือ Hybrid of Plug-flow and High Rate Digesters) ระบบผสมนี้ใช้พลาสติกพีวีซีซึ่งเป็นผลผลิตภายใน ประเทศ เป็นที่เก็บแก๊ส (ปัจจุบันพลาสติกชนิดนี้ได้รับความนิยมนำไปใช้ติดตั้งในฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ทำการก่อสร้างระบบไบโอแก๊สแบบปลั๊กโฟลกันโดยทั่วไป) ส่วนไบโอแก๊สที่ผลิตนำไปเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ เหนี่ยวนำเช่นเดียวกับระบบไบโอแก๊สระบบแรก (ผลงานวิจัยลำดับที่ 11, 28, 29, 30) ระบบบำบัดแบบผสม ที่ได้รับการพัฒนาโดยมีส่วนประกอบของระบบ คล้ายกันและในระยะเวลาใกล้เคียงกันแต่เรียกชื่อต่างกันว่า ระบบก๊าซชีวภาพแบบคู่ขนาน (Modular Double Biogas System) ได้ถูกก่อสร้างขึ้นเพื่อการวิจัยและสาธิต ขึ้นที่ฟาร์มเลี้ยงสุกร ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัด เชียงใหม่ ส่วนประกอบของระบบมีบ่อตกตะกอนขนาด 12 ม³ บ่อหมักเร็วแบบยูเอเอสบี (ขนาด 50 ม³) และ บ่อหมักของแข็งแบบปลั๊กโฟลขนาด 100 ม³ ใช้ไบโอแก๊สที่ผลิตได้ไปเดินเครื่องทำความเย็นเครื่องกลูกลูกสุกร เตานึ่งต้ม และตะเกียงให้แสงสว่าง (ผลงานวิจัยลำดับที่ 8 และ 31)

เมื่อไม่นานมานี้ (ปี พ.ศ. 2542) ระบบบำบัดลูกผสมต้นแบบชนิดใหม่ซึ่งประกอบด้วย ระบบบ่อไบโอ แก๊สแบบยอดโดมคามาร์เทค (CAMARTEC Fixed Dome Digester) และบ่อหมักเติมอากาศแบบบีซีเอ (Bio – contact Aeration System) ได้ถูกก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร และใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบการจัดการของเสียของฟาร์มเลี้ยงสัตว์ทดลองของภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน (ผลงานวิจัยลำดับที่ 33 และ 34)

(4) เทคโนโลยีจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ การศึกษาในช่วงระยะเวลานี้ได้มีการทดลองใช้จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ บำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การศึกษาการใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (ผลการวิจัยที่ 5 และ 18) การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร (ผลการวิจัยที่ 12, 19, 20, 13, 32 และ 34) การใช้จุลินทรีย์บาซิลลัสในการเลี้ยงสุกรบนวัสดุรองพื้นขี้เลื่อย (ผลการศึกษาที่ 6 และ 9) และการใช้จุลินทรีย์แลคติกบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน (ผลการทดลองที่ 22)

(5) เทคโนโลยีอื่น ๆ ที่มีการนำมาวิจัยในช่วงนี้ได้แก่ การใช้ลานตากตะกอนในการบำบัดน้ำเสียเข้มข้น (ผลการวิจัยที่ 4) การใช้สารสกัดจากพืชยัคคา (งานวิจัยที่ 26) การใช้สมุนไพร “กรวย” กำจัดหนอนแมลงวันในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ (ผลการศึกษาที่ 25) และการใช้สารเคมีเอร์เทคในการบำบัดน้ำเสีย (ผลการศึกษาลำดับที่ 16)

4. การใช้ประโยชน์ของของเสีย ผลงานวิจัยจัดอยู่ในกลุ่มการนำของเสียที่บำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์มีจำนวน 10 ผลงาน ดังมีชื่อเรื่องของงานวิจัยที่แสดงให้เห็นลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ปรากฏในตารางที่ 5 เป็นการศึกษาการใช้มูลสุกรหมักจากบ่อไบโอแก๊สเป็นวัตถุดิบผสมอาหารเลี้ยงสุกรจำนวน 4 ผลงาน (ผลการวิจัยที่ 1, 5, 7 และ 10) การใช้กากจากบ่อไบโอแก๊สเป็นปุ๋ยสำหรับพืช 2 ผลงาน (ผลการวิจัยที่ 2 และ 4) การใช้น้ำคั้นจากบ่อไบโอแก๊สเป็นแหล่งสารอาหารสำหรับพืช 2 ผลงาน (ผลการวิจัยที่ 3 และ 6) และการใช้น้ำจากคอกสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มปลูกผัก 2 ผลงาน (ผลการวิจัยที่ 8 และ 9)

ตารางที่ 3 ผลงานวิจัยจัดอยู่ในกลุ่มการลดของเสียให้น้อยที่สุด

ลำดับ	ผลงานวิจัย
1.	ผลการให้กินแบคทีเรียแลคติกต่อการเจริญเติบโตของสุกร. 2522. วิโรจน์ วนาสิตธิชัยวัฒน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
2.	การศึกษาแบคทีเรียแลคติกที่ใช้เป็นตัวเร่งการเจริญเติบโตของไก่กระທ. 2527. สมชาย สุวรรณประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
3.	การใช้เซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง <i>Rhodobacterium sphaeroides</i> P.47 ทดแทนโปรตีนปลาป่นในหนูขาวหย่านม. 2532. ศรีฤทัย ปริดิณิจัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
4.	การใช้ส่วนผสมจุลินทรีย์ประเภทโปรไบโอติกและกลุ่มเอนไซม์เสริมในอาหารลูกสุกร. 2533. นวลจันทร์ พารักษา อุทัย คันโธ ชินะพัทธ์ นาคะสิงห์ และ เนรมิต สุขมณี. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 28 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
5.	ผลการเสริมส่วนผสมจุลินทรีย์ประเภทโปรไบโอติกและกลุ่มเอนไซม์ต่อการย่อยได้ของอาหารลูกสุกรหย่านม. 2534. นวลจันทร์ พารักษา และ อุทัย คันโธ. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 สาขา สัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
6.	การใช้มูลสุกรแห้งและมูลสุกรหลังจากการหมักก๊าซชีวภาพระดับร้อยละ 5 และ 10 ในสูตรอาหารสุกรรุ่น (20-60 กก.). 2536. สมโภชน์ ทับเจริญ ญัฐยาพร สุมน ศรีสุวรรณ ชมชัย วิโรจน์ วนาสิตธิชัยวัฒน์ นพวรรณ ชมชัย และพีระพล อยู่สวัสดิ์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
7.	การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร. 2537. สมชัย จันทรสว่าง ชลศักดิ์ สินรัชตะนันท์ เกียรติไกร อาวุธวัฒน์ และปราโมทย์ ศิริโรจน์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
8.	ผลของจุลินทรีย์อีเอ็มต่อลักษณะการเจริญเติบโต การให้ไข่ และลักษณะของของเสียในนกกกระทาญี่ปุ่น. 2538. สมชัย จันทรสว่าง ปิยะ เปี้ยะฟูไ้ปะ และอรทัย ไตรวุฒานนท์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
9.	การใช้มูลสุกรแห้งและกากมูลสุกรหลังจากหมักก๊าซชีวภาพในอาหารสุกรขุน (60-90 กก.). 2538. สมโภชน์ ทับเจริญ ญัฐยาพร สุมน และ พีระพล อยู่สวัสดิ์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
10.	ผลการใช้ซีโอไลท์ธรรมชาติต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหารสุกรขุนและขุน. 2538. พงศธร อุ๋นจิตต์ วรรณะ อุทัย คันธ สุกัญญา จิตตพรพงษ์ และอรุณี อิงคากุล. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
11.	ผลการใช้ซีโอไลท์ธรรมชาติผสมในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น-ขุน. 2538. อุทัย คันธ พงศ์ ธร อุ๋นจิตต์วรรณะ สุกัญญา จิตตพรพงษ์ และอรุณี อิงคากุล. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
12.	การทดลองใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการเลี้ยงเปิดเทศ. 2539. สมชัย จันทรสว่าง ปิยะ อมรสันติกุล และ อรทัย ไตรวุฒานนท์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 34 สาขาสัตว มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
13.	การให้ผลผลิตและคุณภาพไข่ของไก่ไข่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมจุลินทรีย์อีเอ็ม. 2539. สมชัย จันทรสว่าง ปิยะ อมรสันติกุล และ อรทัย ไตรวุฒานนท์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 34 สาขา สัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
14.	การเลี้ยงไก่กระตังด้วยอาหารและน้ำเสริมด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม. 2539. สมชัย จันทรสว่าง ปิยะ อมรสันติกุล และ อรทัย ไตรวุฒานนท์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 34 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
15.	การเสริมจุลินทรีย์อีเอ็มในน้ำดื่มและอาหารสำหรับลูกสุกรหย่านม 1. ผลต่อสมรรถภาพการผลิตของลูกสุกร 2. ผลต่อการย่อยได้. 2539. สมชัย จันทรสว่าง นวลจันทร์ พารักษา และวาณี ชัยวัฒนสิน. วิทยาสาร เกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ ฉบับพิเศษ 30(4) : 187-194.
16.	ผลของจุลินทรีย์อีเอ็มต่อคุณภาพผลผลิตของสัตว์ปีก. 2541. สมชัย จันทรสว่าง ทรงศักดิ์ ศรีทุมมา และ พิมพร วัชรพงศ์กุล. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 สาขาสัตว มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
17.	ศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มและสมุนไพรหอมสดกลิ่นในมูลสุกร. 2541. สุริยะ สะวานนท์ สมชัย จันทร สว่าง และ สมโภชน์ ทับเจริญ. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
18.	ผลการเสริมเอนไซม์ไฟโตสในอาหารลูกสุกรหย่านม. 2541. Yi Zhonghua อุทัย คั่นโธ สมโภชน์ ทับเจริญ และ พัลลภ ตั้งตระกูลทรัพย์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
19.	การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบ่อบำบัดน้ำเสียโดยสารสกัดจากต้นยัคคา. 2543. วณิดา จุลเมตต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
20.	ผลของการลดระดับโปรตีนร่วมกับการเสริมกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในอาหารต่อคุณลักษณะทางการเจริญเติบโต และคุณภาพซากในไก่กระທ. 2543. ชูพงษ์ เปี่ยมมุงเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
21.	Application of Effective Microorganisms for pig waste treatment. 1993. Chantsavang, S., C. Sinratchatanun, K. Ayuvat and P. Sirirote. Proceedings of the Third International Conference on Kyusei Nature Farming. Santa Barbara, California, USA. October 5-7, 1993.
22.	Influence of Effective Microorganisms on growth, egg production and waste characteristics of Japanese quail. 1995. Chantsavang, S., P. Piafupoa and O. Triwutanon. Proceeding of the Fourth International Conference on Kyuses Nature Farming. Paris, France. June 19-21, 1995.
23.	Influence of Effective Microorganisms on the quality and healthy of poultry products. 1997. Chantsavang, S. and P. Watcharangkul. Proceedings of the Fifth International conference on Kyusei Nature Farming.
24.	Application of Effective Microorganisms in a hybrid system of biogas production. 1999. Chantsavang, S. Proceedings of the Sixth International Conference on Kyusei Nature Farming University of Pretoria, Pretoria, South Africa. October 28-31, 1999.

ตารางที่ 4 ผลงานวิจัยจัดอยู่ในกลุ่มการบำบัดของเสีย

ลำดับ	ผลงานวิจัย
1.	ศึกษาการกำจัดน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีฟอกสเบคแอสเซน. 2524. ธิดา เกิดกำไร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
2.	การบำบัดน้ำทิ้งโดยระบบบีซีเอ็ม. 2527. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ ไพพรรณ พรประภา. วิศวกรรมสาร 32(5) : 101 – 106.
3.	การเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอินทรีย์สารและศักยภาพในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งด้วยระบบฟอกสเบค. 2530. นุฏล อินทรลึงษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
4.	การใช้ลานตากในการกำจัดน้ำเสียเข้มข้น. 2534. สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 สาขาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
5.	การกำจัดและใช้ประโยชน์น้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เทคโนโลยีบำบัดรีดิวซ์และแอสเซน. 2534. ทศนีย์ ใ้หนู สุเมธ ชวเดช และ นภาพร นพรัตนารณ. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 29 สาขาสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
6.	การกำจัดมลภาวะในคอกสุกรแนวใหม่. 2534. วิโรจน์ วนาสิทธิ์ชัยวัฒน์ และกษิดิษฐ์ อื้อเชี่ยวชาญกิจ. สัตวบาล 1(2) : 48 – 55.
7.	การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานโดยระบบแอดดิเวคเตดสลัดด์และระบบฟอกสเบคแอสเซน. 2535. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
8.	การทำงานของระบบก๊าซชีวภาพแบบคู่นานสำหรับฟาร์มสุกร. 2535. พัชริน ดำรงกิตติกุล และพรพิมล อู๋ยจันทร์ภักดี. ผลงานเสนอในการประชุมก๊าซชีวภาพในประเทศไทย : สถานภาพปัจจุบันและศักยภาพในอนาคต. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ, เชียงใหม่
9.	การเลี้ยงหมูปนั้เลี้ยง. 2535. ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ 59 น.
10.	การบำบัดน้ำเสียจากโรงนมโดยใช้ Airlift Bioreactor. เอกพล เหมรา. 2536. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ
11.	ไบโอแก๊สจากผสมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า : ประสิทธิภาพของระบบ. 2537. สมชัย จันทร์สว่าง และ วาณี ชัยวัฒน์สิน. รายงานผลงานวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
12.	การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร. 2537. สมชัย จันทรสว่าง ชลศักดิ์ สนิษตะนันท์ เกียรติไกร อายุวัฒน์ และ ปราโมทย์ ศิริโรจน์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31 สาขาสัตว มหวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
13.	การศึกษาการทำงานของถังหมักไร้อากาศชนิดที่มีตัวกลางยึดเกาะในการบำบัดของเสียจากมูลโค. 2537. นุชรา สนิบวทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
14.	การกำจัดของเสียจากสุกรโดยใช้ระบบหมักแบบ upflow anaerobic sludge blanket. 2537. นุชบา ธรรมประเสริฐ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
15.	การศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยระบบเอสบีอาร์. 2538. สุชาติ เหลืองประเสริฐ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
16.	รายงานการศึกษาวิจัยถึงความเหมาะสมและความเป็นไปได้รวมทั้งผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมของสารเคมีอีรท์แทค. 2538. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ
17.	การบำบัดน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ตัวกลางต่างชนิดกันในระบบฟิกส์เบคแอเรชัน. 2538. อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ และนุกุล อินทราลังขา. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
18.	เซลล์อัดเม็ดตามธรรมชาติจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสงน้ำเค็ม. 2538. สงกรานต์ เชื้อครูฑ กัญญา ธีระกุล และ นภาพร นพรัตนารักษ์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
19.	การศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายมูลสุกรด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มกับจุลินทรีย์ผลิตมีเทน. 2539. สุริยะ สะวานนท์ และ สมชัย จันทรสว่าง. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 34 สาขาสัตว เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
20.	การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร. 2539. อัศวิน กิ่งแก้ว สัมพันธ์ จันทรคำ และ มนัส คงศักดิ์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 34 สาขาสัตวแพทย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
21.	การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในถังหมักไร้ออกซิเจนบรรจุตัวกลางโดยจุลินทรีย์อีเอ็มและจุลินทรีย์ผลิตมีเทน. 2540. สุริยะ สะวานนท์ และ สมชัย จันทรสว่าง. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
22.	การบำบัดน้ำเสียโรงนมโดยใช้แบคทีเรียแลคติก. 2540. พิลิฐ ศรีสุริยจันทร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
23.	การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของความสูงของชั้นตัวกลางต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงนมในระบบถังกรองไร้อากาศ. 2540. พรทิพย์ โชคสุชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
24.	การศึกษาคความเหมาะสมการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะปฏึกเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน. 2540. เกียรติไกร อายวัฒน์ . การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 สาขาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
25.	การศึกษาศประสิทธิภาพของสมุนไพรร "กรวย" ในการควบคุมหนอนแมลงวันฟาร์มสุกร. 2541. พรรณี อำนวยสิทธิ์ ประมาณ ทองมา และณัฐพล ถาวร. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 สาขาสัตวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
26.	การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบ่อบำบัดก๊าซโดยสารสกัดจากต้นยัคคา. 2543. วณิดา จุลเมตต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
27.	Generation of electricity with pig manure, one year experience with a farm-scale plug-flow digester. 1988. Proc. IAWRC's Asian workshop on Anaerobic Treatment. November 7- 8. Bangkok, Thailand.
28.	Design of low-cost plug-flow biogas plants for anaerobic treatment of pig manure with a hybrid system. 1989. Tentscher, W., Ringkamp, M. and Chantsavang, S. Intern. Symposium on Waste Management and Recycling in Pig Farms, October 9-10. Singapore.
29.	Biomethanation of animal waste with a hybrid system of digesters for power production. I system design. 1992. Tentscher, W. and S. Chantsavang .RERIC International Energy Journal 12(2) : 9-33.
30.	Biomethanation of animal waste with a hytrid system of digesters for power production. II Economic considerations. RERIC International Energy Journal 12(2) : 35-51.
31.	Modular Double Biogas System for swine farms. 1991. Von Bloh, H., P Boon Long, S. Saladyanant, N. Potikanon and B. Phuagphong. Thai-German Biogas Programme, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
32.	Application of Effective Microorganisms for pig waste treatment. 1993. Chantsavang, S., C. Sinratchatanun, K. Ayuwat and P. Sirirote. Proceedings of the Third International Conference on Kyusei Nature Farming. Santa Barbara, California, USA. October 5-7.
33.	Research and development in animal waste management in Kasetsart University. 1999. Chantsavang, S. Proc. of the Third Intern. Symposium on Innovative Livestock Waste Management Technologies for Today and the Future. December 7-9, 1999. The Environmental Center for Livestock Waste Management. National Pingtung University of Science and Technology. The Republic of China.
34.	Application of Effective Microorganisms in a hybrid system of biogas production. 1999. Chantsavang, S. Proceedings of the Sixth International Conference on Kyusei Nature Farming. October 28-31, 1999. University of Pretoria, Pretoria, South Africa.

ตารางที่ 5 ผลงานวิจัยจัดอยู่ในกลุ่มการนำไปใช้ประโยชน์

ลำดับ	ผลงานวิจัย
1.	การศึกษาเบื้องต้นในการใช้มูลสุกรหมักจากการผลิตก๊าซชีวภาพทดแทนหัวอาหารสำหรับสุกรเนื้อ. 2525. สาโรช คำเจริญ เยาวมาลย์ คำเจริญ และ สำเร็จ ไพบูลย์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 20 สาขาสัตว มหวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
2.	การใช้กากจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพเป็นปุ๋ยในนาดำ. 2528. สมนึก แก้ววิทย์กรรม กรรณิกา นากลาง สว่าง วิจารณ์กุล และ เพ็ญศรี ชูวรเดช. รายงานสรุปการค้นคว้าวิจัยดินและปุ๋ยข้าว กรมวิชาการเกษตรและ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
3.	ไบโอแก๊สลูกผสมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า : การใช้น้ำล้นเป็นธาตุอาหารของพืช. 2537. มนัส กัมพูกุล และ สมชัย จันทรสว่าง. รายงานผลงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
4.	การใช้กากจากบ่อล้นเป็นปุ๋ยสำหรับพืช. 2535. มนัส แสนมณีชัย ทรงเชาวน์ อินสมพันธ์ บุญลือ เผือกผ่อง อรรถนพ คณาเจริญ และ ปรีชวรี กรอสิวานกุล. ผลงานเสนอในการประชุมก๊าซชีวภาพในประเทศไทย : สถานภาพปัจจุบันและศักยภาพในอนาคต. โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ, จังหวัดเชียงใหม่, 27-28 กุมภาพันธ์ 2535.
5.	การใช้มูลสุกรแห้งและมูลสุกรหลังจากการหมักก๊าซชีวภาพระดับร้อยละ 5 และ 10 ในสูตรอาหารสุกรรุ่น (20-60 กก.). 2536. สมโภชน์ ทับเจริญ ณัฐยาพร สุมน ศรีสุวรรณ ชมชัย วิโรจน์ วานาสิทธิชัยวัฒน์ นพวรรณ ชมชัย และ พีระพล อยู่สวัสดิ์. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31 สาขาสัตว มหวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
6.	การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับพืชไร่ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. 2537. ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา จามิกร ศรีสมล บัญชา รัตน์ทุ และ ชัยสิทธิ์ ทองจุ. รายงานผลงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
7.	การใช้มูลสุกรแห้งและกากมูลสุกรหลังจากหมักก๊าซชีวภาพในอาหารสุกรขุน (60-90 กก.). 2538. สมโภชน์ ทับเจริญ ณัฐยาพร สุมน และ ศรีสุวรรณ ชมชัย. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาสัตว มหวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
8.	การศึกษาการใช้น้ำจากคอกสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยอีเอ็มปลูกผัก. 2539. สมชัย จันทรสว่าง ปิยะ อมรสันติ กุล และ อรรถ บุญนิธิ. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ ฉบับพิเศษ 30(5) : 203-210.

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับ	ผลงานวิจัย
9.	เกษตรธรรมชาติโดยวิธีไบโอ-เฟอติเกชัน. 2541. สมชัย จันท์สว่าง สุริยะ สะวานนท์ และ อรรถ บุญนิจ. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 สาขาพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
10.	Utilization of dried sludge and algae effluent by weaner pigs. 1989. Chantsavang, S., K.K. Bhattarai and E.P. Taiganides. Proc. of the Intern. Symposium on Waste Management and Recycling in Pig Farms. Boulevard Hotel, Singapore. October 9-10, 1989.

บทที่ 3

องค์ความรู้การลดมลพิษจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

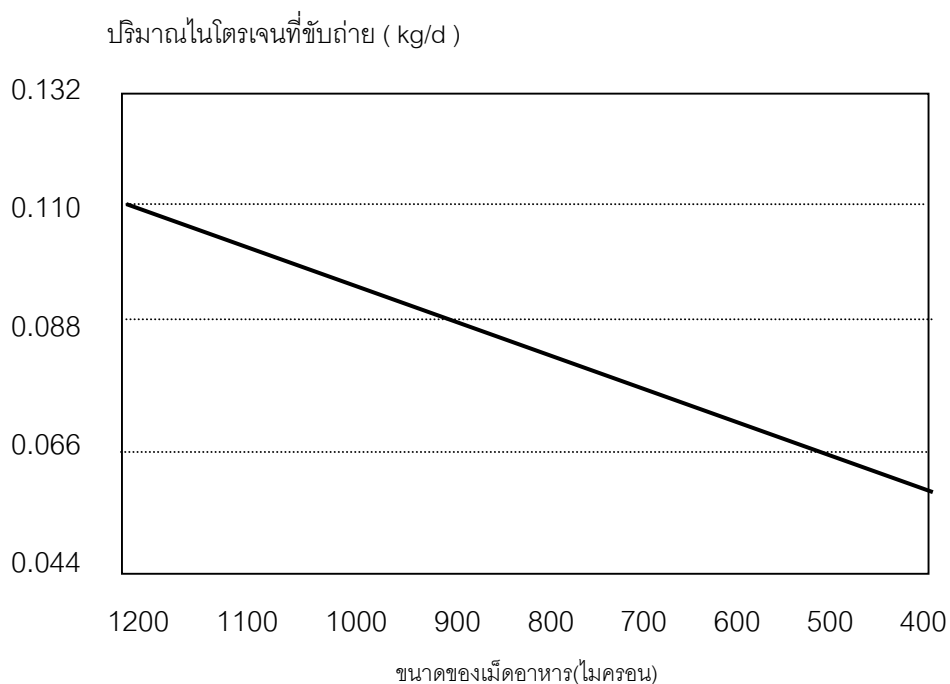
องค์ความรู้และงานวิจัยเกี่ยวกับการลดของเสีย (มลพิษ) จากฟาร์มเลี้ยงสุกรให้น้อยที่สุดโดยวิธีการลดของเสีย (มลพิษ) ที่แหล่งกำเนิดและการนำไปใช้ซ้ำหรือใช้หมุนเวียนในรายงานการศึกษานี้ รวบรวมได้จากการศึกษาในประเทศต่าง ๆ เช่น ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งเน้นการวิจัยเพื่อลดการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียเป็นมลพิษทางอากาศ และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นมลพิษทางดินและน้ำ และประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งจัดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นเป็นมลพิษสำคัญ รวมทั้งผลการศึกษาในประเทศไทยซึ่งอาจกล่าวได้ว่ายังมีการศึกษา (การศึกษาในแง่การลดสารมลพิษโดยตรง) กันน้อยมาก

การลดปริมาณและความเข้มข้นของมลพิษที่แหล่งกำเนิด

วิธีการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดที่มีการศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในฟาร์มเลี้ยงสุกรที่รวบรวมในรายงานการศึกษานี้ มีตั้งแต่วิธีขั้นพื้นฐานด้านการจัดการเลี้ยงดู การจัดการด้านการให้อาหาร การใช้สารเสริม (feed additive) ที่มีการศึกษาและใช้ประโยชน์กันมานานแล้ว เช่น สารสกัดจากพืชยัคคา ซีโอไลท์ และโปรไบโอติกส์บางชนิด จนถึงการใช้สารเสริมอาหารที่กำลังมีการศึกษาและพัฒนาอยู่ในปัจจุบัน เช่น โปรไบโอติกส์บางชนิด เอนไซม์ และโปรไบโอติกส์ และการจัดการด้านอาหารและโภชนาในอาหาร การใช้สารเอ็นเอสพี (NSP หรือ Non Starch Polysaccharide) ที่อยู่ในรูปของเยื่อใย (fibre) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ ดังมีรายละเอียดกล่าวสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. การจัดการการเลี้ยงดูที่ดี (good management practice) การจัดการเลี้ยงดูใด ๆ ที่มีผลทำให้สุกรเจริญเติบโตได้เร็วและมีประสิทธิภาพการใช้อาหารที่ดีขึ้น โดยหลักการก็คือวิธีการลดของเสียหรือมลพิษที่สุกรจะขับถ่ายออกมาซึ่งจัดว่าเป็นการลดที่แหล่งกำเนิด ตัวอย่างเช่น การเลี้ยงสุกรพันธุ์ดีในโรงเรือนที่มีระบบการระบายอากาศที่ดี ใช้อาหารที่มีคุณภาพ มีระบบการป้องกันโรคและพยาธิที่ดี จะมีผลทำให้สุกรเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดี ทำให้สามารถลดปริมาณการขับถ่าย อาหารส่วนที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ของร่างกาย ปัจจุบันผู้เลี้ยงสุกรกำหนดให้นิยมเลี้ยงสุกรในโรงเรือนปิด ควบคุมความเย็นด้วยไอน้ำ (evaporative cooling system) ซึ่งสภาพภายในโรงเรือนถูกควบคุมให้มีความเย็นคงที่ อากาศไม่เปลี่ยนแปลงมากเหมือนการเลี้ยงแบบโรงเรือนเปิดโดยทั่วไป ทำให้สุกรที่เลี้ยงดูในโรงเรือนแบบนี้มีความเป็นอยู่สบายไม่เกิดความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงอากาศและการรบกวนของยุงและแมลงต่าง ๆ สุกรจึงสามารถเจริญเติบโตได้เร็ว และขับถ่ายของเสียมีปริมาณและความเข้มข้นของของเสียลดลง นับเป็นการพัฒนาการเลี้ยงในประเทศไทยที่มีผลในการลดของเสียที่แหล่งกำเนิด

2. การจัดการด้านการให้อาหาร (feeding management) การจัดการด้านการให้อาหารขั้นพื้นฐาน เช่น การจัดระบบการเก็บ ขนส่ง และวิธีการให้อาหารเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียอาหาร (จากการหก หล่น หรือคุณภาพด้อยลงเพราะเก็บนาน) จะมีผลทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารสุกรทั้งฝูง (herd feed conversion) ได้ เป็นการลดความเข้มข้นของสารมลพิษ โดยหลักการแล้ว ปริมาณสารอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส สังกะสี และทองแดง ในอาหารสัตว์ (ในหน่วยของน้ำหนักแห้ง) แม้จะมีความเข้มข้นต่ำกว่าในมูล แต่ถ้าเกิดการหกหล่นของอาหารลงไปรวมกับของเสีย ก็อาจเป็นการเพิ่มสารมลพิษเข้าไปในของเสีย การใช้อาหารเปียก (wet feeding) เลี้ยงสุกรจะมีผลทำให้ปริมาณของเสียลดลง 30 – 50 % เปรียบเทียบ กับการให้อาหารแห้ง แต่ความเข้มข้นของสารมลพิษในของเสียกลับจะเพิ่มขึ้น 30 – 50 % ผลการศึกษาในประเทศอังกฤษ (Richert and Sutton, 1999) พบว่าการให้อาหารเปียกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารเกิดกลิ่นต่าง ๆ เช่น แอมโมเนีย, ซัลไฟด์, กรดไขมันระเหยได้ (VFA หรือ volatile fatty acid) ฟีนอล (phenols) และอินดอล (indoles) ในน้ำมูลสุกร (pig slurry) ทั้งนี้การศึกษาพบว่าน้ำมูลสุกรจากสุกรหย่านมที่เลี้ยงด้วยอาหารเปียกในอัตรา 1 : 3 หรือ 1 : 4 ของอาหารต่อน้ำ มีความเข้มข้นของกลิ่น วัดได้เป็น 13% เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่วัดได้จากน้ำมูลสุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารแห้งซึ่งมีค่า 31% การบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ (grinding) และการอัดบด (extrusion) และอัดเม็ดอาหาร (pelleting) ก็เป็นวิธีการเตรียมอาหารขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของอาหาร และลดปริมาณของแข็งหรือวัตถุแห้ง (DM หรือ dry matter) ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอื่น ๆ ในของเสียที่ถูกขับถ่ายจากร่างกาย การลดขนาดของเม็ดอาหารจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเม็ดอาหารในการสัมผัสกับเอนไซม์ย่อยอาหาร ทั้งนี้มีรายงานการศึกษา (Richert and Sutton, 1999) พบว่าเมื่อขนาดของเม็ดอาหารลดลงจาก 1,000 ไมครอน (microns) เป็น 400 ไมครอน การย่อยได้ของวัตถุแห้งและ ไนโตรเจน เพิ่มขึ้น 5 – 6 % ภาพที่ 3 แสดงอัตราการลดลงของไนโตรเจนที่ถูกขับถ่ายออกมาในของเสียจากผลการลดขนาดของเม็ดอาหาร เมื่อขนาดเม็ดอาหารลดลงจาก 1,000 ไมครอน เป็น 400 ไมครอน การขับถ่ายวัตถุแห้งและไนโตรเจนลดลง 20 – 24 % ปัจจุบันขนาดเม็ดอาหาร (การทำในสหรัฐอเมริกา) มีค่าประมาณ 750 ไมครอน ขณะที่ขนาดของเม็ดอาหารที่แนะนำจากผลการศึกษา มีค่าระหว่าง 650 – 750 ไมครอน โดยมีข้อสังเกตว่าการลดขนาดเม็ดอาหารลงน้อยกว่า 650 ไมครอน ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ไม่คุ้มกับต้นทุนการดำเนินการ



ภาพที่ 3 การขับถ่ายไนโตรเจนจากผลของขนาดเม็ดอาหาร

3. การให้อาหารตามระยะการเจริญเติบโตหลายระยะ (multi-phase feeding) เป็นวิธีการให้อาหารสุกรตามความต้องการในระยะต่าง ๆ โดยหลักการแล้วเมื่อสุกรมีน้ำหนักตัวมากขึ้น (อายุมากขึ้น) ความต้องการโภชนาการเพื่อการเจริญเติบโตจะลดน้อยลง ดังนั้นการให้อาหารที่มีส่วนของโภชนาการ (สูตรอาหาร) แตกต่างกันไปเลี้ยงสุกรในระยะการเจริญต่าง ๆ จะทำให้สุกรได้รับโภชนาการตรงตามความต้องการ และเป็นการป้องกันการให้โภชนาการเกินความต้องการซึ่งจะถูกขับถ่ายออกมาเป็นของเสีย ในประเทศเนเธอร์แลนด์ (Bikker, 1998) มีการใช้อาหารอย่างน้อย 3 ชนิด สำหรับการเลี้ยงสุกรเล็ก สุกรขุน และแม่พันธุ์สุกร ในการเลี้ยงโดยทั่วไปมีการใช้อาหาร 2 สูตร สำหรับการเลี้ยงสุกรเล็ก 3 สูตรสำหรับการเลี้ยงสุกรขุน และ 2 สูตร สำหรับการเลี้ยงแม่พันธุ์สุกร ในการเลี้ยงสุกรระยะขุนด้วยอาหาร 3 สูตร จะทำให้สามารถลดไนโตรเจนในอาหารไปได้ประมาณ 6% เปรียบเทียบกับการให้อาหาร 2 สูตร เลี้ยงสุกรในระยะนี้ โดยไม่ทำให้เกิดผลเสียในด้านสมรรถภาพการผลิต สำหรับการเลี้ยงแม่สุกรพันธุ์การให้อาหารมีสูตรอาหารแตกต่างกันระหว่างแม่สุกรอ้วนท้องและแม่สุกรเลี้ยงลูกจะสามารถลดสารอาหาร (ไนโตรเจน) ในอาหารได้ประมาณ 20 % เปรียบเทียบกับการให้อาหารสูตรเดียวกัน ผลดีจากการให้อาหารแตกต่างกันนอกจากนี้ยังพบว่าการให้อาหารโปรตีนสูงในแม่สุกรระยะอ้วนท้องอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการตายของลูกอ่อนในท้อง ส่งผลให้จำนวนลูกแรกคลอดมีชีวิตรอดน้อยลง การให้อาหารตามระยะการเจริญเติบโตหลายระยะหรือ multi-phase feeding (และการใช้

เอนไซม์ไฟเตส ซึ่งจะได้ออกมาในข้อต่อไป) เป็นวิธีการที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้ในการเลี้ยงสุกรเพื่อการลดสารมลพิษที่แหล่งกำเนิดในประเทศต่าง ๆ ในยุโรป เช่น ประเทศเนเธอร์แลนด์ เยอรมัน ฝรั่งเศส และเดนมาร์ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศเนเธอร์แลนด์ ประมาณว่ามีการใช้ phase feeding และ เอนไซม์ไฟเตส มากกว่า 90% ในการเลี้ยงสุกร

ในการพัฒนาการให้อาหารแบบ phase feeding ของการเลี้ยงสุกรเล็ก (ลูกสุกร) ล่าสุด Mavromichalis, 1999 เสนอการให้อาหาร 4 สูตร สำหรับการเลี้ยงสุกรเล็กน้ำหนักตั้งแต่ 3 กก. ถึง 25 กก. ตารางที่ 6 แสดงส่วนประกอบของโภชนะในอาหารทั้ง 4 สูตร และแนะนำการเลือกใช้อาหารสูตรต่าง ๆ กับการหย่านมลูกสุกรแบบต่าง ๆ 4 แบบ ดังปรากฏใน ตารางที่ 7

ตารางที่ 6 สูตรอาหารตามระยะการเจริญเติบโตในช่วงสุกรเล็ก (ลูกสุกร)

โภชนะ	อาหารสูตร 1 (3 – 5 กก.)	อาหารสูตร 2 (5 – 8 กก.)	อาหารสูตร 3 (8 – 15 กก.)	อาหารสูตร 4 (15 – 25 กก.)
พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (kcal/kg)	3,600	3,600	3,600	3,600
โปรตีน (%)	25 - 27	23 - 26	20 - 24	18 - 22
ไลซีนใช้ประโยชน์ได้ (%)	1.7 - 1.8	1.5 - 1.7	1.3 - 1.5	1.1 - 1.3
Ca (%)	0.9 - 1.0	0.8 - 0.9	0.8 - 0.9	0.7 - 0.8
Avai. P (%)	0.5 - 0.5	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5	0.3 - 0.4
Zn (จาก ZnO) (mg/kg)	3,000	3,000	2,000	-
Cu (จาก CuSO ₄) (mg/kg)	-	-	-	150 - 250
แลคโตส (%)	25 - 35	20 - 30	5 - 15	0.5
การอัดเม็ด	+	+	+ / -	-

ตารางที่ 7 การเลือกใช้อาหารสูตรต่าง ๆ ในการหย่านมแบบต่าง ๆ

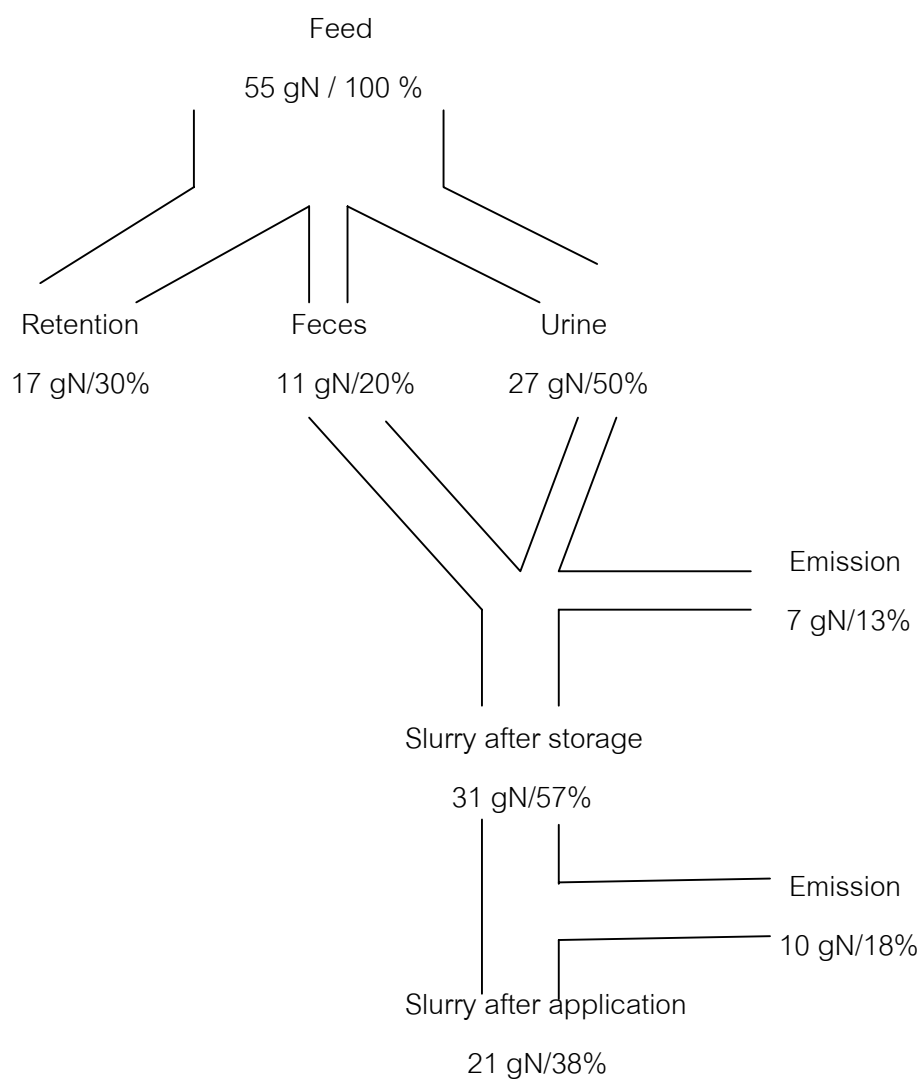
ระยะการหย่านม	อายุ (วัน)	อาหารสูตรที่			
		1	2	3	4
หย่านมเร็วแยกเลี้ยง (SEW)	12 - 17	✓	✓	✓	✓
หย่านมเร็ว (EW)	18 - 23		✓	✓	✓
หย่านมปกติ (CW)	24 - 34		✓		✓
หย่านมช้า (LW)	> 35			✓	✓

4. การให้อาหารแยกเพศสุกร (split-sex feeding) ในการเลี้ยงสุกรขุน ผู้เลี้ยงสุกรนิยมเลี้ยงสุกรรวมกันทั้งสุกรเพศเมียและเพศผู้ตอนพร้อมทั้งให้อาหารสูตรเดียวกัน ทั้งที่ทราบกันว่าสุกรเพศเมียเจริญเติบโตเร็วกว่าสุกรเพศผู้ตอน จึงมีความต้องการโปรตีนมากกว่าสุกรเพศผู้ตอน ในหลักการเดียวกันการให้อาหารตามระยะการเจริญเติบโต (phase feeding) ดังกล่าวแล้ว การแยกสุกรเพศผู้ตอนไปเลี้ยงรวมกันจะสามารถทำให้ลดปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารลงได้ เป็นการลดการขับถ่ายไนโตรเจนส่วนเกิน มีผลในการลดการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียและลดกลิ่นเหม็นจากของเสีย การให้อาหารมีปริมาณโปรตีนลดลงนอกจากจะให้ผลดีในการลดมลพิษแล้วยังมีผลดีต่อลักษณะการให้ผลผลิตของสุกรอีกด้วย

5. การให้อาหารโปรตีนต่ำเสริมด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น (low protein diet supplemented with essential amino acids) การเลี้ยงสุกรเป็นการค้าในปัจจุบันมีการสร้างสูตรอาหารเพื่อให้สุกรเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด โดยการคำนวณความต้องการโภชนา ในโตรเจน (หรือโปรตีน) จึงเป็นเหตุผลทำให้โปรตีน (โปรตีนจากไนโตรเจนรวม) ในอาหารมีเปอร์เซ็นต์สูงเกินความต้องการ สุกรสามารถนำไนโตรเจนที่กินเข้าไปในอาหารไปใช้ประโยชน์ได้เพียงส่วนหนึ่ง ไนโตรเจนที่เหลือจะถูกขับถ่ายออกจากร่างกายในรูปของเสีย การศึกษาของ Aarnink and Cank, 1999 พบว่าสุกรระยะรุ่น-ขุน สามารถนำไนโตรเจนที่กินเข้าไปในอาหารไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้เพียง 30% ไนโตรเจนที่เหลือ 70% จะถูกขับถ่ายออกมาในปัสสาวะ 50% และในมูล 20% ดังสรุปแสดงในภาพที่ 4 ในภาพยังแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียไนโตรเจนในระยะต่าง ๆ ในช่วงการเก็บและก่อนที่จะมีการนำของเสียไปใช้ประโยชน์ ซึ่งในที่สุดจะมีไนโตรเจนเหลือเพื่อการใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยในดิน 38% ภายหลังจากที่มีการศึกษาและพัฒนาทางด้านอาหารสุกรและอาหารสัตว์ปีกในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมานั้นแนวคิดเกี่ยวกับโปรตีนอุดมคติ (ideal protein concept) ทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบการประกอบสูตรอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีกโดยคำนึงถึงความต้องการกรดอะมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ (แทนการใช้ความต้องการโปรตีน หรือ ไนโตรเจนรวม) และมีการศึกษาเพื่อผสมกรดอะมิโนเหล่านั้นให้สุกรตามความต้องการ ผลการศึกษาที่ผ่านมาเมื่อเร็ว ๆ นี้ ระหว่างปี ค.ศ. 1997 - 1998 พิสูจน์ให้เห็นว่าระดับโปรตีนในอาหารสามารถลดต่ำลงได้โดยไม่ทำให้เกิดผลเสียในลักษณะการให้ผลผลิตของสุกร จากผลการทดลองโดยสรุป การลดโปรตีนในอาหารลง 1% สามารถลดไนโตรเจนในของเสียได้ 10 - 15% ผลดีของการลดระดับโปรตีนในอาหาร นอกจากจะสามารถลดสารมลพิษไนโตรเจนในของเสียอย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังมีผลดีอื่น ๆ คือ

- ลดปริมาณน้ำที่กินซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาณของเสียที่ขับถ่ายน้อยลง
- ลด pH และแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_4\text{-N}$) ในน้ำมูลสุกร
- ลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียและลดกลิ่นเหม็น
- ในลูกสุกร ลดการเกิดโรคท้องร่วง

- ลดการเกิดอาการขาอ่อน (leg weaknesses) ในสุกรและสัตว์ปีก
- ลดความเครียดจากอากาศร้อน (heat stress) ในสุกร



ภาพที่ 4 แสดงการใช้และการสูญเสียของไนโตรเจนในการผลิตสุกรรุ่น – ขุน

ตารางที่ 8 แสดงผลการให้อาหารโปรตีนต่ำต่อลักษณะการให้ผลผลิตและการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน (จากการทดลองของ Fernandez et al., 1997) ส่วน ตารางที่ 9 แสดงผลการให้อาหารโปรตีนต่ำต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ถูกขับถ่ายออกจากร่างกายและแก๊สแอมโมเนียที่ปลดปล่อยไปในอากาศ (จากการทดลองของ Canh et al., 1998)

ปัจจุบันสามารถกล่าวได้ว่าการให้อาหารโปรตีนต่ำเสริมกรดอะมิโนที่จำเป็นเลี้ยงสุกร เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดมลพิษจากไนโตรเจนที่แหล่งกำเนิด แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์วิธีการนี้ไปใช้ในทางปฏิบัติยังมีข้อจำกัดอยู่ เพราะต้นทุนการผลิตอาหารโปรตีนต่ำยังสูงกว่าและให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจโดยรวมต่ำกว่าการให้อาหารการค้าโดยทั่วไป (Lee and kay, 1998)

ตารางที่ 8 ผลของอาหารโปรตีนต่ำต่อลักษณะการให้ผลผลิตและการใช้ประโยชน์ของไนโตรเจน

ลักษณะ	ทรีตเมนต์ 1 18.16 / 16.7	ทรีตเมนต์ 2 17.5 / 16.1	ทรีตเมนต์ 3 16.0 / 14.7
ลักษณะการให้ผลผลิต			
ปริมาณอาหารที่กิน (g/d)	2,450	2,490	2,470
ADG (g/d)	1,032 ^a	1,048 ^{ab}	1,083 ^b
FCR	2.38 ^a	2.30 ^a	2.28 ^b
การใช้ประโยชน์ไนโตรเจน			
N – กิน (กก.)	4.6	4.4	3.9
N – ขับถ่าย (กก.)	2.7	2.5	1.9
N – ขับถ่าย (%)	100	93	72

^{a,b} อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 9 ผลของอาหารโปรตีนต่ำต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำมูลสุกรและแก๊สแอมโมเนีย

ลักษณะ	ระดับโปรตีนในอาหาร			
	16.5	14.5	12.5	
N – สมดุล				
N – กิน (g/d)	61.51	54.41	46.5	P < .001
N – ในมูล (g/d)	8.61	8.59	8.31	NS
N – ในปัสสาวะ (g/d)	29.30	23.23	16.20	P < .001
N – ใช้ประโยชน์ (% กิน)	39.10	42.23	47.90	P < .01
การวิเคราะห์หี้น้ำมูล				
Total – N (g / 100 gDM)	11.13	9.57	7.65	P < .001
NH ₃ – N (g / 100 gDM)	8.83	7.22	5.43	P < .001
pH	9.14	8.70	8.16	P < .001
การปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนีย (g/d)	0.72	0.56	0.43	P < .001

6. การใช้เอ็นเอสพี (NSP หรือ Non Starch Polysaccharides) เอ็นเอสพี คือ คาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แป้ง (starch) เอ็นเอสพี ส่วนใหญ่เป็นสารพวกเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) กลูแคน (glucan) เพกติน (pectin) และโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) เอ็นเอสพีมีคุณสมบัติซึ่งเอนไซม์ในลำไส้เล็กของสัตว์กระเพาะเดียวไม่สามารถย่อยได้ เอ็นเอสพีส่วนใหญ่จะผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ซึ่งมีจุลินทรีย์ทำการหมักเปลี่ยนแปลงเป็นกรดไขมันระเหยได้ (VFA) ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าสุกรระยะเจริญเติบโต (สุกรขุน) จะขับถ่ายไนโตรเจนออกมาในมูล 20% และในปัสสาวะ 50% ไนโตรเจนในมูลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโปรตีนแบคทีเรีย ซึ่งมีการแตกตัวยาก ตรงข้ามกับไนโตรเจนในปัสสาวะซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของยูเรีย (urea) ที่สามารถแตกตัวเป็นแก๊สแอมโมเนียได้ง่าย โดยเอนไซม์ยูริเอส (urease) ทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นและมลพิษทางอากาศอื่น ๆ ผลการศึกษาในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดย Canh et. al., 1997 พบว่าการผสมเอ็นเอสพีจากหัวบีทป่น (sugar beet pulp) ในอาหารในระดับ 31.81% จะสามารถเปลี่ยนไนโตรเจนในปัสสาวะไปเป็นไนโตรเจนในมูลในรูปของโปรตีนแบคทีเรีย ในแต่ละ 100 กรัม/วัน ของเอ็นเอสพีที่สุกรกินเข้าไป ไนโตรเจนในปัสสาวะจะลดลง 9% และอัตราส่วนของไนโตรเจนในปัสสาวะและไนโตรเจนในมูลจะลดลง 0.6 หน่วย ผลการทดลองมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 10 ผลการศึกษายังพบว่าการเพิ่มระดับการผสมเอ็นเอสพี ในอาหารมีผลทำให้กรดไขมันระเหยได้ (VFA) ในมูลและในน้ำมูลสุกรเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ pH ในมูลและน้ำมูลลดลง ทำให้ลดการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียและกลิ่นเหม็น

ตารางที่ 10 ผลของส่วนประกอบของอาหารต่อลักษณะการเจริญเติบโตและลักษณะการขับถ่ายไนโตรเจนของสุกร

ลักษณะ	สูตรอาหาร			
	เมล็ดพืช	ผลพลอยได้	มันสำปะหลัง	หัวบีทป่น
จำนวนสัตว์ทดลอง (ตัว)	4	4	4	4
น.น. เริ่มต้น (กก.)	83.5	83.1	84.3	86.3
น.น. สิ้นสุด (กก.)	91.6	91.2	92.1	97.0
น.น. เพิ่ม (g/d)	621	625	602	823
N – กิน (g/d)	54.3 ^e	52.2 ^{eg}	50.9 ^{fg}	54.9 ^e
N – ในมูล (g/d)	7.96 ^e	10.96 ^f	7.72 ^e	13.87 ^g
N – ในปัสสาวะ (g/d)	30.0 ^e	21.5 ^f	26.8 ^e	16.8 ^g
N – ขับถ่ายทั้งหมด (g/d)	37.9	32.5	34.5	30.6
N – ในปัสสาวะ : N – ในมูล	3.83 ^e	1.97 ^f	3.55 ^e	1.21 ^f
N – ย่อยได้ (%)	85.3 ^e	79.0 ^f	84.8 ^e	74.7 ^g
N – ใช้ประโยชน์ได้ (% กิน)	30.1 ^e	37.8 ^f	32.2 ^g	44.1 ^h
N – ใช้ประโยชน์ได้ (g/d)	16.3 ^e	19.7 ^e	16.4 ^e	24.2 ^f

e, f, g, h อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

7. การใช้สารปรับสภาพกรดในอาหาร (dietary acidifiers) ผลการทดลองพบว่าการใช้สารปรับสภาพกรด (acidifiers) ผสมในอาหารเลี้ยงสุกรจะทำให้ได้ขับถ่ายกรดออกมามีผลทำให้ pH ในปัสสาวะต่ำลงเป็นเหตุให้น้ำมูลมีสภาพเป็นกรด การศึกษาของ Aarnink and Canh, 1999 พบว่าการใช้ CaSO_4 หรือ CaCl_2 ผสมในอาหารเลี้ยงสุกรจะมีผลทำให้น้ำมูลมี pH ต่ำลง 0.8 หน่วยเปรียบเทียบกับการใช้ CaCO_3 ผสมในอาหารเลี้ยงสุกร ขณะที่การใช้ Ca – benzoate ทำให้ pH ต่ำลง 1.5 หน่วย ความเป็นกรดของน้ำมูลมีผลทำให้การปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียลดลง 30% , 33% และ 54% เมื่อใช้ CaSO_4 , CaCl_2 และ Ca-benzoate ตามลำดับผสมในอาหารเปรียบเทียบกับการใช้ CaCO_3

8. การใช้เอนไซม์ไฟเตส (phytase) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) เป็นมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเลี้ยงสุกรที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง สาเหตุเนื่องจากร่างกายสุกรไม่สามารถนำฟอสฟอรัสในอาหารไปใช้ประโยชน์ได้หมด ฟอสฟอรัสบางส่วนจะถูกขับถ่ายออกมากับมูล เมื่อเกิดการแพร่กระจายของน้ำมูลสุกรลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดภาวะการเน่าเสียของน้ำจากขบวนการยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

ฟอสฟอรัสในวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มาจากพืชส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไฟเตท (phytate) หรือกรดไฟติก (phytic acid) ซึ่งสัตว์กระเพาะเดี่ยว เช่น สัตว์ปีก และสุกร ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากไม่มีเอนไซม์ไฟเตส (phytase) เพื่อย่อยฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปดังกล่าว ในเมล็ดธัญพืชพืชทั่วไปมีการสะสมฟอสฟอรัสในรูปของไฟเตท โดยมีปริมาณแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช อาหารสัตว์โดยทั่วไปซึ่งประกอบด้วยส่วนของเมล็ดข้าวโพด และกากถั่วเหลืองเป็นหลัก จะมีไฟเตทฟอสฟอรัส ประมาณ 0.22 – 0.25 % หรือคิดเป็นปริมาณ 60 – 80% ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในอาหาร แต่ถ้าเป็นอาหารสัตว์ในแถบเอเชียแล้วอาจมีปริมาณสูงกว่านี้ เพราะมีรำข้าวเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เนื่องจากรำข้าวมีไฟเตทสูง ถ้าอาหารสัตว์มีรำข้าวผสมอยู่ 10% ไฟเตทฟอสฟอรัสในอาหารสัตว์จะเพิ่มขึ้นเป็น 0.35 – 0.40 % (Ravindran, 1996)

ไฟเตทนอกจากจะเป็นรูปของฟอสฟอรัสที่สุกรนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้แล้ว การศึกษาพบว่าไฟเตทยังมีผลเสียต่อการใช้ประโยชน์ของโภชนาอื่น ๆ ด้วย เช่น ขัดขวางการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุประจุบวก ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และ สังกะสี จับตัวกับโปรตีนทำให้เกิดสภาพสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งเมื่อ pH สูงขึ้นจะมีผลทำให้การย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าไฟเตทขัดขวางการทำงานของเอนไซม์บางชนิดเช่น protease, amylase และ lipase (รายละเอียดเพิ่มเติมดู สุขนและบุญล้อม, 2542) การเสริมเอนไซม์ไฟเตสลงในสูตรอาหารสัตว์จะช่วยทำให้ไฟเตทสลายตัว เกิดการปลดปล่อยฟอสฟอรัสและโภชนาอื่น ๆ ที่รวมตัวกับไฟเตทออกมา ทำให้ร่างกายสามารถนำฟอสฟอรัสและโภชนาอื่น ๆ เหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ได้ มีผลทำให้การขับถ่ายฟอสฟอรัสและโภชนาอื่น ๆ ในมูลลดน้อยลง

ผลการศึกษาที่ Purdue University, University of Kentucky, Virginia Polytechnic and State University และประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่าการผสมเอนไซม์ไฟเตสในอาหารสุกร สามารถปรับปรุงการใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสในสูตรอาหารที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบได้ประมาณ 15 – 45% ต้นทุนการใช้เอนไซม์ไฟเตสผสมในอาหารมีราคาถูกลงเพราะปัจจุบันได้มีการผลิตเอนไซม์ไฟเตสเป็นอุตสาหกรรมโดยใช้เทคนิคทางชีวภาพ recombinant DNA ช่วยเพิ่มผลผลิตในขบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ ปัจจุบันการใช้เอนไซม์ไฟเตสผสมในอาหารเลี้ยงสุกรเกือบจะถือเป็นมาตรฐานในทางปฏิบัติสำหรับฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศเนเธอร์แลนด์ (Cowan and Khan, 1999)

9. การใช้ซีโอไลต์ (Zeolite) ซีโอไลต์เป็นอะลูมิโนซิลิเกต ที่มีโครงสร้างของอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิคอนออกไซด์เป็นแบบเตตราฮีดรอน (tetrahedral) การจับตัวของอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิคอนออกไซด์ทำให้เกิดโครงร่างโพลีฮีดรอน (polyhedra) ได้หลายรูปแบบ โดยโครงร่างผลึกที่เกิดขึ้นเป็นโครงร่างแบบเปิด มีโมเลกุลของน้ำอยู่ภายในช่องว่างของผลึก คุณสมบัติที่สำคัญของซีโอไลต์อาจแยกออกได้เป็น 2 ประการ

(1) คุณสมบัติในการดูดซับ (absorption properties) ในสภาพปกติช่องว่างภายในผลึกของซีโอไลต์จะมีโมเลกุลของน้ำรวมตัวกันอยู่ โดยมีประจุบวกชนิดต่าง ๆ ที่พร้อมจะเกิดการแลกเปลี่ยนกระจายอยู่รอบ ๆ เมื่อได้รับความร้อน น้ำภายในช่องว่างจะระเหย ช่องว่างภายในผลึกมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลง ประจุหรือโมเลกุลของสารอื่นที่มีขนาดพอดีที่ผ่านเข้ามาในช่องว่างจะถูกจับไว้ การที่ซีโอไลต์มีคุณสมบัติในการจับประจุหรือโมเลกุลของสารที่มีขนาดเหมาะสมกับช่องว่างดังกล่าว จึงมีการเรียกซีโอไลต์ว่าเป็นตะแกรงโมเลกุล (molecular sieves) ซีโอไลต์เกือบทุกชนิดมีคุณสมบัติดังกล่าว และเนื่องจากภายในผลึกของซีโอไลต์มีช่องว่างจำนวนมาก ทำให้ซีโอไลต์ 1 กรัม มีพื้นที่ผิวที่สามารถดูดซับได้หลายร้อยตารางเมตร

(2) คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange properties) ในซีโอไลต์ประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้จะจับที่โครงสร้างเตตราฮีดรอนด้วยพันธะหลวม ๆ ถูกแทนที่ได้ง่ายด้วยการชะล้างด้วยสารละลายเข้มข้นของประจุชนิดอื่น ๆ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุขึ้นอยู่กับจำนวนอะลูมิเนียมที่เข้ามาทดแทนซิลิคอนซึ่งทำให้เกิดประจุลบบนโครงสร้างขึ้น จึงต้องการประจุบวกเพื่อทำให้เกิดสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า โดยประจุบวกส่วนใหญ่มักเป็นธาตุหมู่ที่ 1 และหมู่ที่ 2 ในตารางธาตุ (alkali and alkaline earth cation) เช่น Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} และ Ba^{2+} โครงสร้างที่เป็นผลึกของซีโอไลต์ทำให้เกิดการแข่งขันของประจุ ตัวอย่างลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของคลินอพิโลไลต์ (clinoptilolite) ซึ่งเป็นซีโอไลต์ในธรรมชาติชนิดหนึ่งมีดังนี้ $\text{Cs} > \text{Rb} > \text{K} > \text{NH}_4^+ > \text{Ba} > \text{Sr} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{Mg} > \text{Li}$ จากความสามารถ

ของการเลือกจับแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในลำดับต้น ๆ นี้เอง ทำให้มีการนำซีโอไลต์มาใช้ประโยชน์สำหรับลดจากปลดปล่อยแอมโมเนียมไนโตรเจนจากของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

การศึกษาการใช้ซีโอไลต์ผสมในอาหารเลี้ยงสุกรในระยะแรกมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของสุกรเนื่องจากซีโอไลต์มีความสามารถในการดูดจับแอมโมเนียมที่เกิดจากขบวนการ deamination ของโปรตีนระหว่างการย่อยในระบบทางเดินอาหารเข้าไปรวมอยู่กับอนุภาค ทำให้ระดับแอมโมเนียมในกระแสเลือดลดลง ร่างกายจึงสามารถลดการสูญเสียพลังงานในการขับถ่ายแอมโมเนียม นอกจากนั้นการลดปริมาณแอมโมเนียลงจะมีผลทำให้จุลินทรีย์ในลำไส้ทำงานได้ดีขึ้น ในระยะต่อมาก็มีการศึกษาการใช้ซีโอไลต์ผสมในอาหารเพื่อประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ดูดจับสารพิษอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนในอาหารสัตว์ รวมทั้งการใช้ประโยชน์เพื่อลดมลพิษด้านกลิ่นเหม็นและการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียจากของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร Shuron et. al. 1984 ศึกษาผลการใช้ซีโอไลต์ซึ่งเป็นซีโอไลต์สังเคราะห์ชนิดหนึ่งและคลินอฟทิลโลไต์ผสมในอาหารเลี้ยงสุกรในระดับต่าง ๆ ต่อรูปแบบการขับถ่ายไนโตรเจนในมูลและปัสสาวะ ผลการศึกษาพบว่าซีโอไลต์ทั้ง 2 ชนิดสามารถดูดจับไนโตรเจนในปัสสาวะซึ่งสามารถแตกตัวเป็นแก๊สแอมโมเนียได้ง่าย เปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนในมูลที่แตกตัวได้ยากกว่า ทำให้สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียจากของเสียและกลิ่นเหม็นจากฟาร์มเลี้ยงสุกร (ในลักษณะเดียวกับการใช้สารเอ็นเอสพี) ผลการทดลองมีดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 อย่างไรก็ตามผลการทดลองก็ยังไม่มีความชัดเจนในด้านมลพิษอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลักษณะปริมาณและวัตถุแห้ง (dry matter) ในของเสีย เพราะซีโอไลต์เป็นแร่ธาตุซึ่งร่างกายไม่สามารถย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 11 ผลการเสริมซีโอไลต์ 0, 1, 2 และ 3% หรือคลินอฟทิลโลไต์ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5% ในอาหารสุกรรุ่นต่อความสมดุลของไนโตรเจน

ไนโตรเจน (กรัม)	ระดับซีโอไลต์ (%)				ระดับคลินอฟทิลโลไต์ (%)			
	0	1	2	3	0	2.5	5.0	7.5
N - ที่ได้รับต่อวัน	8.00	9.09	9.27	9.47	8.10	7.65	7.96	7.78
N - ในมูลต่อวัน	1.02 ^a	1.25 ^b	1.31 ^c	1.73 ^d	1.14 ^a	1.14 ^a	1.38 ^b	1.59 ^c
N - ที่ดูดซึมต่อวัน	6.98	7.84	7.96	7.74	6.96	6.52	6.58	6.19
N - ในปัสสาวะต่อวัน	2.27	2.06	2.12	1.73	1.61	1.49	1.35	1.43
N - สะสมได้ต่อวัน	4.71	5.77	5.84	6.02	5.35	5.03	5.25	4.77

a, b, c, d อักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

10. การใช้สารสกัดยัคคา (Yucca extract) ต้นพืชยัคคา (*Yucca schidigera*) เป็นพืชในวงศ์ Liliaceae สกุล *Yucca* มีถิ่นกำเนิดในตอนใต้ของสหรัฐอเมริกาและตอนเหนือของประเทศเม็กซิโก สารสกัดจากต้นพืชยัคคาซึ่งทำการผลิตโดยนำต้นมาปั่นบดเป็นผง หรือบีบคั้นเอาน้ำมีส่วนประกอบของสารออกฤทธิ์ชื่อซาร์ซาโปนิน (sarsaponin) ปัจจุบันมีการนำเอาสารสกัดจากต้นพืชยัคคาไปผสมอาหารเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจและสัตว์เลี้ยงภายในบ้าน (companion animals) อย่างกว้างขวางโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อควบคุมกลิ่นเหม็นของของเสีย ผลการศึกษาในประเทศต่าง ๆ พบว่าสารสกัดยัคคาช่วยลดการปลดปล่อยของแก๊สแอมโมเนีย และลดกลิ่นเหม็นของสารส่งกลิ่น (odoriferous compounds) เช่น dimethyl disulphide, indole and skatole สำหรับกลไกการทำงานของสารสกัดยัคคาในการควบคุมการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียและสารส่งกลิ่นต่าง ๆ ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่มีความเชื่อกันว่าสารซาร์ซาโปนินมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ยูรีเอส (urease inhibitor) หรืออาจจับตัวกับแก๊สแอมโมเนียหรือสารส่งกลิ่นต่าง ๆ เหล่านั้นไว้ไม่ให้อยู่ในรูปของแก๊สอิสระ รวมทั้งมีความเข้าใจว่าสารซาร์ซาโปนินจะจับตัวกับแบคทีเรียด้วยการห่อหุ้มทำให้แบคทีเรียไม่สามารถปลดปล่อยเอนไซม์ยูรีเอสออกมาได้ ผลดีของการใช้สารสกัดจากพืชยัคคาผสมในอาหารยังพบว่าช่วยลดปริมาณยูเรียและแอมโมเนียในซีรัม (serum) ซึ่งอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้การผสมสารสกัดยัคคาในอาหารเลี้ยงสัตว์ มีผลช่วยปรับปรุงการให้ผลผลิตของสัตว์ ทั้งนี้เพราะร่างกายลดการสูญเสียพลังงานที่จะใช้ในการขับถ่ายสารพิษยูเรียและแอมโมเนียออกจากร่างกาย การผสมสารสกัดจากพืชยัคคาในอาหารเพื่อปรับปรุงการให้ผลผลิตและลดกลิ่นเหม็นและการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนีย มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศตัวอย่างเช่น Johnson (1990) ทดลองพบว่าเมื่อผสมสารสกัดยัคคาในอาหารเลี้ยงสัตว์เลี้ยงภายในบ้านที่ระดับ 124 กรัมต่อตันอาหาร สามารถที่จะลดกลิ่นที่เกิดจากมูลลงได้ถึง 50% เมื่อเพิ่มอัตราการใช้สารสกัดยัคคาที่ระดับ 248 กรัมต่อตันอาหาร สามารถที่จะลดกลิ่นจากมูลลงได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ Cole and Tuck, 1995 ทดลองเลี้ยงสุกรด้วยอาหารปกติเปรียบเทียบกับเลี้ยงด้วยอาหารที่มีสารสกัดยัคคาผสมในอาหาร 120 กรัมต่อตันอาหาร ผลการทดลองพบว่าในกลุ่มสุกรที่เลี้ยงด้วยอาหารปกติมีปริมาณแก๊สแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในโรงเรือนไม่ลดลงตลอดช่วงเวลา 7 สัปดาห์ของการทดลอง คือเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีปริมาณแก๊สแอมโมเนียในโรงเรือน 31.2 ส่วนในล้านส่วน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองระดับแก๊สแอมโมเนียมีปริมาณ 30.0 ส่วนในล้านส่วน เทียบกับกลุ่มที่มีการใช้สารสกัดยัคคาผสมในอาหารซึ่งพบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองระดับของแก๊สแอมโมเนียไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารปกติคือ 30.1 ส่วนในล้านส่วน แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองระดับของแก๊สแอมโมเนียในโรงเรือนลดลงเหลือ 19.6 ส่วนในล้านส่วน สำหรับลักษณะการให้ผลผลิต กลุ่มที่ใช้สารสกัดจากพืชยัคคามีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น 9.4 เปอร์เซ็นต์ ตารางที่ 12 สรุปแสดงผลการทดลองของการศึกษา

ตารางที่ 12 ผลการผสมสารสกัดยัคคา 120 กรัมต่อต้นอาหาร ต่อระดับแก๊สแอมโมเนียในโรงเรือน และ อัตราการเจริญเติบโตของสุกร

ลักษณะ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มเสริมสารสกัดยัคคา
NH ₃ เริ่มต้นการทดลอง (ppm)	31.2	30.1
NH ₃ สิ้นสุดการทดลอง (ppm)	30.0	19.6
เฉลี่ย NH ₃ 4 สัปดาห์แรก (ppm)	30.5	32.1
เฉลี่ย NH ₃ 3 สัปดาห์หลัง (ppm)	30.7	19.9
การเจริญเติบโตต่อวัน (g/d)	817.3	847.3

11. การใช้โปรไบโอติกส์ (probiotics) โปรไบโอติกส์คือการเสริมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในอาหาร การใช้โปรไบโอติกส์เสริมในอาหารเพื่อปรับปรุงการให้ผลผลิตของสัตว์ มีการศึกษากันมานานแล้ว โดยมีช่วงที่ได้รับความสนใจสูงสุดประมาณปี ค.ศ. 1950 หลังจากนั้นการศึกษาก็ได้ลดน้อยลงจนประมาณปี ค.ศ. 1990 โปรไบโอติกส์ได้รับความสนใจกลับมาศึกษากันใหม่ เนื่องจากกระแสความตื่นตัวในเรื่องความปลอดภัยของการบริโภคเนื้อสัตว์จากการตกค้างของยาปฏิชีวนะและสารเร่งการเจริญเติบโตที่มีการเสริมในอาหาร หนังสือที่ให้ความรู้และพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของโปรไบโอติกส์รวมทั้งการประยุกต์ใช้ในสัตว์เลี้ยงต่าง ๆ ได้ถูกตีพิมพ์ขึ้นเป็นครั้งแรกในช่วงนี้ (Fuller, 1992) จุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้เป็นโปรไบโอติกส์กันมากคือจุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติก (lactic acid producing bacteria) จุลินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นโปรไบโอติกส์ในด้านการค้าเป็นจุลินทรีย์ในสกุลต่าง ๆ เช่น Bifidobacterium, Lactobacillus, Streptococcus, Bacillus, Bacteroides, Pediococcus, Leuconostoc และ Propionibacterium นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์สายพันธุ์หนึ่งในสกุล Clostridium ซึ่งใช้กันอยู่ในประเทศญี่ปุ่น การใช้โปรไบโอติกส์โดยทั่วไปนิยมใช้จุลินทรีย์ชนิดเดียว แต่การใช้ประโยชน์บางอย่างมีการใช้จุลินทรีย์ผสม 2 สกุลหรือมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้โปรไบโอติกส์เพื่อควบคุมเชื้อซัลโมเนลลา (Salmonella) ในสัตว์ปีกซึ่งใช้เชื้อจุลินทรีย์ผสมหลายชนิด (Stavric and Kornegay, 1995)

การศึกษาการใช้โปรไบโอติกส์เพื่อลดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่แหล่งกำเนิดมีรายงานเป็นครั้งแรกในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2536 โดย Chantsavang et. al. 1993 ทดลองใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม (EM, Effective Microorganisms) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ผสมประกอบด้วยแลคโตบาซิลลัส ยีสต์ จุลินทรีย์สังเคราะห์

แสง และเชื้อราที่มีประโยชน์ผสมในน้ำดื่มเลี้ยงสุกรและน้ำล้างคอกสุกร ผลการทดลองพบว่าสามารถควบคุมกลิ่นเหม็นของมูลสุกรและปรับปรุงคุณภาพของน้ำในบ่อเก็บได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อดีของการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มคือราคาถูกเพราะจุลินทรีย์อีเอ็มสามารถเพาะขยายต่อเนื่องได้ทั้งในรูปของผงโดยใช้อาหารสัตว์ (ที่เป็นผง) หรือวัสดุรองพื้นคอกไก่ผสมรำข้าวและในรูปน้ำโดยใช้กากน้ำตาลเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งต่อมาได้ทำการเผยแพร่ นำจุลินทรีย์อีเอ็มไปประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสุกรเพื่อควบคุมกลิ่นเหม็นและแมลงวันรบกวนกันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟาร์มเลี้ยงสุกรในเขตจังหวัดฉะเชิงเทราในช่วงเวลาหนึ่งที่กรมอนามัยได้ส่งเสริมการใช้เพื่อเป็นการรณรงค์การควบคุมกลิ่นเหม็นและแมลงวัน (กรมอนามัย, 2537a)

ปัจจุบันมีการนำจุลินทรีย์จากประเทศต่าง ๆ เช่น สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย เข้ามาจำหน่ายเพื่อใช้ควบคุมกลิ่นเหม็นและบำบัดน้ำเสียจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น Microtack 33P, Septiklean-plus ซึ่งทั้งสองชนิดเป็นส่วนผสมของจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* และเอนไซม์โปรติเอส ไลเปส เซลลูเลส อมัยเลส และ Micro zyme ซึ่งเป็นส่วนผสมของจุลินทรีย์หลายชนิดและเอนไซม์ จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถเป็นได้ทั้งสารลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดเมื่อผสมในอาหารให้สุกรกิน หรือเป็นสารบำบัดของเสียเมื่อนำมาผสมน้ำฉีดพ่นลงในบ่อเก็บน้ำเสีย จุลินทรีย์ที่ผลิตได้เองภายในประเทศที่อาจนำมาใช้เป็นโปรไบโอติกส์เพื่อควบคุมกลิ่นเหม็นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีอาทิเช่น เชื้อจุลินทรีย์ไฮเทค ผลิตโดย ดร.นิรันดร์ สิงหนุตรา อดีตอาจารย์ประจำภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และจุลินทรีย์ผสมในน้ำสกัดชีวภาพหรือบีโอ (BE, Bioextract) ซึ่งผลิตได้โดยหมักกากน้ำตาลกับพืชผักที่สับเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากการศึกษาและทดลองเริ่มต้นโดย ดร.อรรถ บุญนิธิ อดีตอาจารย์ประจำภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิภาพการใช้โปรไบโอติกส์ในการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีกโดยการใช้ร่วมกับสารชีวภาพอื่น ตัวอย่างการศึกษาเช่น สุริยะ และคณะ 2541 ทดลองใช้จุลินทรีย์อีเอ็มและสมุนไพรไทยผสมในอาหารเลี้ยงสุกร ผลการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์อีเอ็มหรือสมุนไพรไทยสามารถลดกลิ่นเหม็นและระดับแอมโมเนียในมูลสุกรได้ดีในระดับหนึ่ง แต่เมื่อใช้ทั้งสองร่วมกันจะทำให้ลดกลิ่นเหม็นและลดระดับแอมโมเนียในมูลได้มากขึ้น

12. การใช้โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) เป็นโปรไบโอติกส์ (prebiotics) โอลิโกแซคคาไรด์ได้แก่ ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructooligosaccharides) และแมนโนโอลิโกแซคคาไรด์ (mannooligosaccharides) เป็นสารในกลุ่มเอ็นเอสพี (NSP) กลุ่มเดียวกับสารเยื่อใย จึงถูกเรียกว่าเป็นสารเยื่อใยละลายได้ (soluble fibre) โอลิโกแซคคาไรด์เป็นสารซึ่งไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กของ

สัตว์กระเพาะเดียว จะผ่านเข้าไปสู่ลำไส้ใหญ่ที่ซึ่งโพลิโกแซคคาไรด์จะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เช่น Bifidobacteria ขณะที่จุลินทรีย์ที่เป็นโทษเช่น coliform bacteria ไม่สามารถใช้เป็นอาหารได้ โพลิโกแซคคาไรด์จึงมีผลในการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในลำไส้ใหญ่ ด้วยเหตุนี้จึงมีการเรียกโพลิโกแซคคาไรด์เป็นพรีไบโอติกส์ แหล่งสำคัญของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์คือ หัว (tuber) ของพืชเยรูซาเลม อาร์ติโชค (Jerusalem Artichoke) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus tuberosus L.* เยรูซาเลม อาร์ติโชค เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศแคนาดา แต่ปัจจุบันมีการนำไปปลูกโดยทั่วไปในทวีปยุโรปและอเมริกา (ในปัจจุบันประเทศไทย มีการปลูกเพื่อใช้ในงานทดลองอยู่ ณ ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ทดลองภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ) หัวของพืชเยรูซาเลม อาร์ติโชค มีอินูลิน (inulin) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ (polymer) ของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ เป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณสูง ชาวแคนาดาและชาวอเมริกันนิยมนำเยรูซาเลม อาร์ติโชคมารับประทานเป็นอาหารสุขภาพ สุกและสัตว์เคี้ยว (สุนัข) ที่กินอาหารผสมเยรูซาเลม อาร์ติโชค จะมีสุขภาพดี มีปัญหาเรื่องท้องเสียน้อยลง และกลิ่นเหม็นของมูลลดน้อยลง Farnworth et al. 1995 ทดลองเสริมเยรูซาเลม อาร์ติโชค (บดเป็นผง) ในอาหารในอัตรา 0, 1, 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงสุกรหย่านมอายุ 28 วัน จำนวน 72 ตัวเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าสุกรที่กินอาหารเสริมเยรูซาเลม อาร์ติโชค มีระดับกรดไขมันระเหยได้ (VFA) 6 ชนิดในมูลเพิ่มขึ้นเทียบกับสุกรที่ไม่ได้กินอาหารเสริมเยรูซาเลม อาร์ติโชค ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 13 และยังพบว่ากลิ่นเหม็นของมูลสุกรสด (4 ชั่วโมงหลังจากขับถ่าย) ของสุกรที่กินอาหารเสริมเยรูซาเลม อาร์ติโชค อัตรา 3% และ 6% ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ส่วนประกอบของกรดไขมันระเหย(VFA)ได้ในมูลสุกรจากการทดลองอาหารเสริมเยรูซาเลม อาร์ติโชค

อาหาร	กรดไขมันระเหยได้(VFA) (μ mole g ⁻¹ DM)					
	Acetic	Propionic	Butyric	Isobutyric	Valeric	Isovaleric
0% JA (n = 18)	148±63	56±20	60±19	4.9±2.3	7.1±3.9	9.3±4.2
1% JA (n=13)	173±34	72±21	72±31	5.9±3.6	10.2±4.8	11.2±6.4
3% JA (n=17)	218±110	92±53	93±45	7.2±3.9	11.9±6.2	13.2±6.9
6% JA (n=18)	182±60	63±23	69±29	5.2±3.4	15.1±10.9	9.8±6.2
Significance of effects						
Diet	**	***	**	*	*	*

JA = Jerusalem Artichoke

* = P<0.1, ** = P<0.01, *** = P<0.001

ตารางที่ 14 ผลการประเมินกลิ่นของมูลสุกรจากการทดลองอาหารเสริมเยรูซาเลม อาร์ติโชค

ลักษณะ	อาหาร			Effect of Diet
	0% JA	3% JA	6% JA	
Sweet	3.9	4.3	5.0	*
Earthy	2.5	2.4	2.4	NS
Sour	2.9	2.9	3.3	NS
Sharp, pungent	5.4	4.3	4.1	**
Skatole	6.0	4.0	3.9	***

JA = Jerusalem Artichoke

NS = $P > 0.05$, * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.01$

การลดของเสียให้น้อยที่สุดโดยใช้ข้าวหรือใช้หมุนเวียน

การนำของเสียไปใช้ข้าวหรือใช้หมุนเวียนในขบวนการลดของเสียให้น้อยที่สุดที่จะนำเสนอในเนื้อหาตอนนี้ เป็นการกล่าวถึงการนำของเสียไปใช้ประโยชน์โดยที่ของเสียเหล่านั้นยังไม่ผ่านการบำบัด ถ้าเป็นการนำไปใช้ประโยชน์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปจะจัดเป็นการใช้ข้าวเช่น การใช้มูลสุกรเลี้ยงปลา และการใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดิน เป็นต้น แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงรูปในการนำไปใช้ประโยชน์จะถือเป็นการใช้หมุนเวียน เช่น การใช้มูลสุกรเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ การใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยในรูปปุ๋ยหมัก ขณะที่การนำของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ จัดว่าเป็นการกำจัดของเสียโดยการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การนำมูลสุกรที่ผ่านการหมักบ่มไปใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ซึ่งเนื้อหาส่วนนี้จะได้นำเสนอในบทต่อไป โดยหลักการของการป้องกันมลพิษแล้ว การนำของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มไปใช้ประโยชน์โดยการใช้อาหารหรือใช้หมุนเวียน จัดว่าเป็นแนวทางการจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะเป็นวิธีการกำจัดของเสียโดยไม่ต้องบำบัดหรือเป็นการลดปริมาณ (หรือความเข้มข้น) ของของเสียให้น้อยที่สุดทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัด

1. **การใช้มูลสุกรเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์** ได้มีการศึกษาการนำมูลสุกรกลับมาใช้เป็นอาหารสัตว์ในต่างประเทศนานมาแล้ว เอกสารทางวิชาการที่รวบรวมผลการศึกษาการใช้มูลสัตว์โดยเฉพาะมูลสุกรเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีข้อมูลอยู่มากคือ เอกสารทางวิชาการขององค์การอาหารและการเกษตรโลก (FAO) รวบรวมโดย Muller, 1980 ขณะที่การศึกษาในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงยังมีวัตถุดิบอาหารสัตว์อีกจำนวนมากซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คุณค่าทางอาหารของมูลสุกรที่จะนำกลับมาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ มีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับประเภทของสุกร คุณภาพของอาหารที่ใช้เลี้ยงและวิธีการให้อาหาร ซึ่งผลการวิจัยของ Pearce, 1977 (อ้างโดย Muller, 1980) ที่ทำการศึกษาในประเทศออสเตรเลียโดยใช้ตัวอย่างฟาร์มเลี้ยงสุกรจำนวนมากถึง 24 ฟาร์ม ได้ผลที่มีค่าสมควรแก่การบันทึกเพื่อการดัดแปลงนำไปใช้ประโยชน์ และเป็นข้อควรระวังในผลเสียที่อาจเกิดขึ้นกับสภาพแวดล้อมและความปลอดภัยของผู้บริโภคในการนำมูลสัตว์กลับมาใช้เป็นอาหารสัตว์หรือเป็นปุ๋ย สำหรับพืชดังผลปรากฏในตารางที่ 15 ข้อมูลที่ปรากฏในตารางแสดงให้เห็นชัดว่ามูลสุกรยังมีโภชนะอยู่ในระดับสูงที่สามารถนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบผสมอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ชนิดต่าง ๆ ทั้งสุกร สัตว์ปีก โค หรือสัตว์น้ำได้เป็นอย่างดี ระดับโปรตีนในมูลจากผลการศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19% (มีช่วงระหว่าง 11% - 31%) ระดับโลหะหนักต่าง ๆ เช่น แคดเมียม ตะกั่ว และอาร์เซนิก มีค่าเฉลี่ย 0.77, 9.89 และ 5.57 ppm ตามลำดับ สำหรับการศึกษาภายในประเทศไทย สมโภชน์ และคณะ, 2536 สมชัย และวาณี, 2537 และ สมชัย และคณะ, 2537 รายงานผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะและส่วนประกอบของกรดอะมิโนในมูลสุกร ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการสร้างสูตรอาหารสัตว์ ข้อมูลของรายงานดังกล่าวมีค่าของโปรตีนอยู่ในช่วงที่ปรากฏในตารางผลการศึกษาของ Pearce, 1977 และมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนครบสมบูรณ์เทียบได้กับส่วนประกอบของกรดอะมิโนของปลาป่นและกากถั่วเหลือง สำหรับการทดลองเลี้ยงสัตว์ สมโภชน์ และคณะ, 2536 ทดลองใช้มูลสุกรแห้งผสมอาหารเลี้ยงสุกรรุ่นน้ำหนักระหว่าง 20 – 60 กก. พบว่าสามารถใช้มูลสุกรแห้งในระดับสูงถึง 10% โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซาก ในการเลี้ยงสุกรขุน สมโภชน์ และคณะ, 2538 ทดลองใช้มูลสุกรแห้งผสมอาหารเลี้ยงสุกรรุ่นน้ำหนักระหว่าง 60 – 90 กก. ผลปรากฏว่าในระยะขุนสามารถใช้มูลสุกรผสมในอาหารได้มากขึ้นเป็น 15% โดยมีสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซากไม่แตกต่างกับสุกรที่ได้รับอาหารปกติ (สูตรอาหารที่ใช้มูลสุกรผสมเลี้ยงสุกรรุ่นและสุกรขุน ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในช่วงวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาแพงไม่ได้แสดงไว้ในรายงานการศึกษานี้ ผู้สนใจสามารถติดตามได้จาก สมโภชน์ และคณะ, 2536 และ สมโภชน์ และคณะ, 2538)

ตารางที่ 15 ส่วนประกอบของมูลสุกร (ในหน่วยของวัตถุแห้ง)

ส่วนประกอบ	หน่วย	เฉลี่ย	ช่วง
โปรตีน	%	19	11-31
เยื่อใย	%	18	7-23
ไขมัน	%	5	2-9
เถ้า	%	17	10-28
ลิกนิน	%	5	3-6
เซลลูโลส	%	17	6-23
เฮมิเซลลูโลส	%	20	3-36
ฟอสฟอรัส	%	2.6	1.4-4.6
โปแตสเซียม	%	1.0	0.6-1.6
แคลเซียม	%	3.5	1.5-8.5
เมกนีเซียม	%	0.7	0.3-1.3
โซเดียม	%	0.3	0.1-0.5
เหล็ก	ppm	2169	971-6407
สังกะสี	ppm	600	225-1059
ทองแดง	ppm	280	27-822
แคดเมียม	ppm	0.77	0.04-3.02
ตะกั่ว	ppm	9.89	0.29-40.11
อาร์เซนิก	ppm	5.57	0.20-102.51

ที่มา : Pearce, 1977 อ้างโดย Muller, 1980

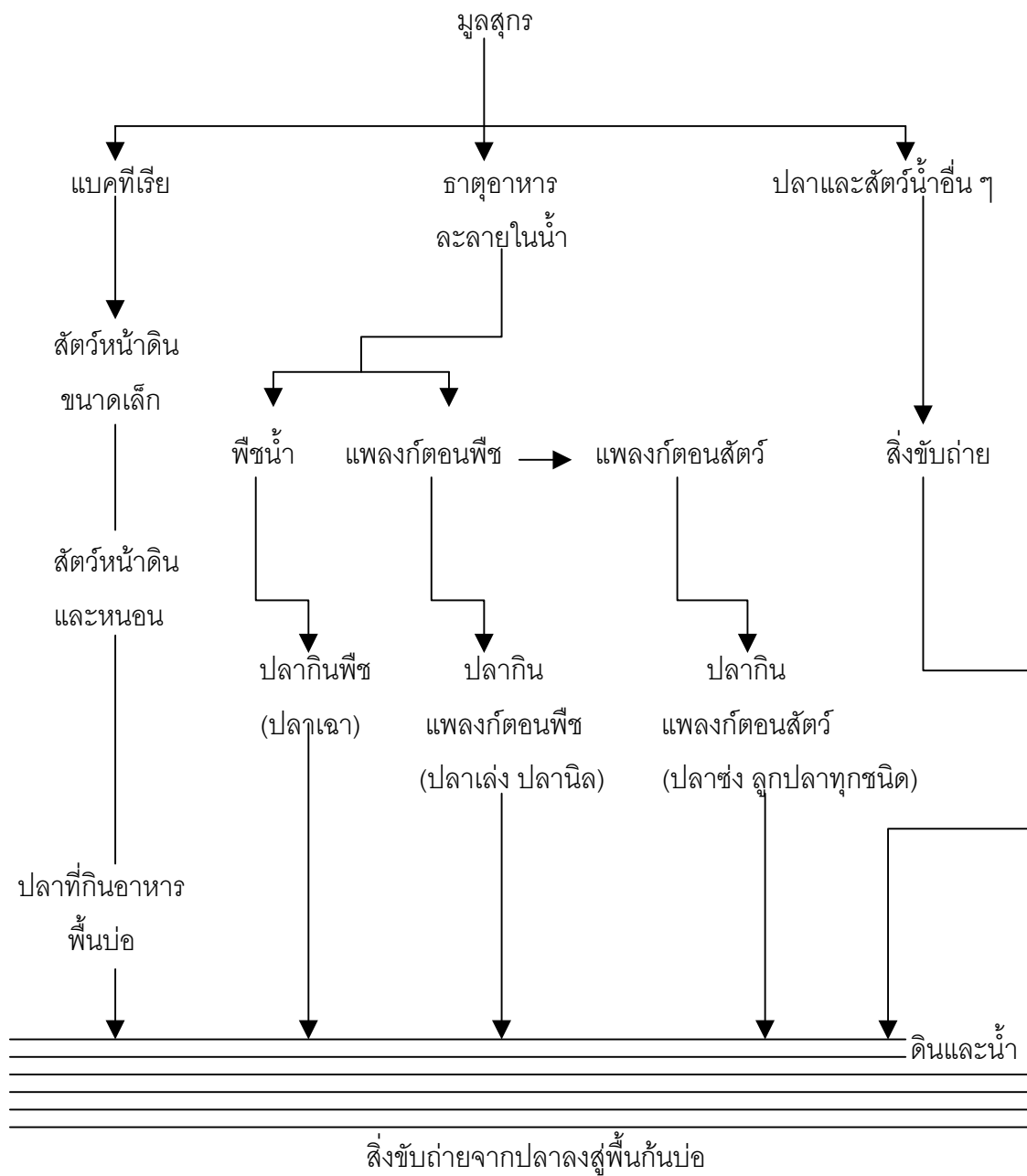
2. **การใช้มูลสุกรเลี้ยงปลา** การใช้มูลสุกรเลี้ยงปลาเป็นวิธีการที่เกษตรกรนิยมนำไปใช้ในทางปฏิบัติมานานแล้ว เนื่องจากเป็นการลดต้นทุนค่าอาหารในการเลี้ยงซึ่งโดยปกติแล้วค่าอาหารจะประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการเลี้ยง มูลสุกรเมื่อใส่ในบ่อเลี้ยงปลาจะเข้าไปมีส่วนอยู่ในห่วงโซ่อาหารได้หลายทางเช่น เป็นอาหารโดยตรงแก่ปลา เป็นแหล่งสารอาหารใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตแพลงก์ตอนพืช และเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุและสารอาหารสำหรับชีววินทรีย์ซึ่งจะเป็นอาหารโดยตรงและโดยอ้อมของทั้งแพลงก์ตอนสัตว์และปลา ปลาน้ำจืดที่นิยมเลี้ยงด้วยการใช้ปุ๋ยมูลสุกรได้แก่ ปลานิล (Nile tilapia) ปลาไน (Common carp) ปลาซัง (Bighead carp) ปลาเฉา (Grass carp) ปลาเง่ (Silver carp) ปลาตะเพียนขาว (Thai silver carp) ปลาอีสงเทศ (Rohu) ปลาสร้อย (Striped catfish) ปลาหมอปลา

(Kissing gouramy) ปลากะโห้อินเดีย (Catta) และปลาดุก (Walking catfish) ภาพที่ 5 แสดงผลของการใส่มูลสุกรต่อการเกิดอาหารธรรมชาติในบ่อเลี้ยงปลาและชนิดของปลาที่ใช้ประโยชน์ของอาหารธรรมชาติเหล่านั้น

การใส่มูลสุกรในบ่อเลี้ยงปลาทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความนิยมในแต่ละท้องถิ่นและชนิดของปลาที่เลี้ยง วิธีการที่นิยมกันมากมีดังต่อไปนี้

- (1) ใส่ในสภาพมูลสดหรือมูลแห้ง โดยทำการสาดให้ทั่วทั้งบ่อ
- (2) นำมูลสุกรไปละลายน้ำแล้วสาด
- (3) ล้างคอกสุกรแล้วปล่อยให้น้ำมูลสุกร (มูลสุกร ปัสสาวะ และน้ำล้างคอก) ไหลลงบ่อเลี้ยงปลาโดยตรง
- (4) ทำรางนำมูลสุกร ปัสสาวะ และน้ำล้างคอกไหลเข้าไปบ่อเก็บ ซึ่งอาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือบ่อดิน แล้วปล่อยให้น้ำไหลล้นเข้าสู่บ่อเลี้ยงปลา หรือใช้น้ำส่วนใส่โปรดพืชผักแล้วนำส่วนที่เป็นตะกอนไปใส่ในบ่อปลา หรือทั้ง 2 กรณี ซึ่งวิธีการนี้มักนิยมใช้กับเกษตรกรที่เลี้ยงสุกรเป็นอาชีพหลักและเลี้ยงปลาเป็นอาชีพรอง

ความสำเร็จของการเลี้ยงปลาโดยใช้มูลสุกรขึ้นอยู่กับ การควบคุมปริมาณของมูลสุกรให้เหมาะสมกับการรักษาคุณภาพของน้ำภายในบ่อเลี้ยงซึ่งมีความสัมพันธ์กับชนิดและจำนวนปลาที่เลี้ยง ทั้งนี้เพื่อให้ปลาใช้อาหารธรรมชาติที่เกิดขึ้นได้พอดี ปัจจุบันเทคนิคในการเลี้ยงปลาด้วยมูลสุกรเป็นเทคนิคที่เกษตรกรเรียนรู้โดยการปฏิบัติและถ่ายทอดกันมาในแต่ละท้องถิ่น การศึกษาในเชิงวิชาการอย่างจริงจังยังมีน้อยมาก ตัวอย่างการศึกษากการใช้มูลสุกรเลี้ยงปลาที่มีรายงานไว้เช่น ประทักษ์, 2522 และ 2524 ทดลองใส่มูลสุกรในระดับต่าง ๆ เลี้ยงปลานิลและปลาช่อน การศึกษาพบว่ามูลสุกรสามารถใช้เลี้ยงปลาทั้งสองชนิดได้ดี โดยระดับของมูลสุกรที่ใส่ในบ่อ 520 และ 1040 กิโลกรัมต่อไร่ต่อสัปดาห์ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาทั้ง 2 ชนิดที่เลี้ยง โดยผลผลิตการเลี้ยงปลานิลเป็นเวลา 120 วันได้เฉลี่ย 480 กิโลกรัมต่อไร่ และสำหรับปลาช่อน จากการเลี้ยง 140 วัน ได้ผลผลิต 360 กิโลกรัมต่อไร่ โดยไม่ต้องทำการเติมอากาศลงในบ่อเลี้ยง



ภาพที่ 5 การใช้ประโยชน์จากมูลสุกรในบ่อเลี้ยงปลา

3. การใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยสำหรับพืช การใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยสำหรับพืช และเป็นสารปรับปรุงดิน เป็นวิธีการที่มีการปฏิบัติกันมานานแล้วและจัดว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันมลพิษที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรโดยการนำไปใช้ประโยชน์ ประเทศต่าง ๆ ในทวีปยุโรปเกือบทุกประเทศและประเทศสหรัฐอเมริกา มีประวัติการนำของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรซึ่งอยู่ในรูปมูลเหลวหรือน้ำมูลสุกร (ส่วนผสมของมูลปัสสาวะ และน้ำล้างคอก) ไปพ่นบนแปลงและไถกลบเป็นปุ๋ยปลูกพืชอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่า 30 ปี จนบางประเทศในทวีปยุโรปประสบปัญหาการสะสมของธาตุอาหารส่วนเกิน เช่น การปนเปื้อนของไนโตรเจนในน้ำใต้ดิน (nitrate pollution) และการปนเปื้อนของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ (phosphorus pollution of surface water) ประเทศต่าง ๆ โดยทั่วไปในทวีปยุโรปมีข้อบังคับทางสิ่งแวดล้อม (environment regulations) มีการควบคุมให้ฟาร์มเลี้ยงสุกรต้องนำของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรทั้งหมดไปใช้ประโยชน์ ในการเกษตร ข้อบังคับทางสิ่งแวดล้อมที่มีการควบคุมกันอย่างเข้มงวด ทำให้ประเทศต่าง ๆ ในยุโรปไม่ประสบปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงทั้งที่มีการเลี้ยงสุกรกับมากตัวอย่างเช่น เดนมาร์กซึ่งเป็นประเทศที่มีพื้นที่น้อย เลี้ยงสุกรจำนวนมากถึง 18 ล้านตัว (จำนวนสุกรเป็น 3 เท่าของจำนวนประชากรของประเทศ) เนื่องจากสภาพความเย็นในช่วงฤดูหนาวไม่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ในดิน จึงมีข้อบังคับทางสิ่งแวดล้อมควบคุมให้ฟาร์มเลี้ยงสุกรต้องเก็บน้ำมูลสุกรในฟาร์มเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไปในประเทศต่าง ๆ เช่น เดนมาร์ก 9 เดือน ฝรั่งเศสและเยอรมัน 6 เดือน จึงทำให้เกิดเป็นวงจรของการจัดการของเสียจากฟาร์มคือ ช่วงเก็บ ช่วงใส่ลงในแปลง และช่วงปลูกพืช ซึ่งวงจรนี้อาจเป็นเหตุผลที่ทำให้การปลูกพืชด้วยมูลสุกรได้พอดีในประเทศต่าง ๆ เหล่านี้เพราะอินทรีย์วัตถุในมูลสุกรจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายและปลดปล่อยสารอาหารออกมาให้กับพืชในช่วงกำลังเจริญเติบโตพอดี ตารางที่ 16 สรุปปัญหามลพิษหลักและระยะเก็บมูลในฟาร์มของประเทศต่าง ๆ ในยุโรป ซึ่งปัญหามลพิษเหล่านั้นเกิดขึ้นจากการนำของเสียไปใช้ประโยชน์ในการเกษตรอย่างต่อเนื่องและเป็นเวลานาน ปัจจุบันปัญหาเหล่านี้กำลังได้รับการแก้ไขโดยการควบคุมปริมาณการใช้ของเสียในแปลงปลูกพืช พืชที่สามารถใช้ประโยชน์จากมูลสุกรได้ดีได้แก่ พืชที่ต้องการปุ๋ยปริมาณมาก เช่น พืชใบ (fodder crop) ได้แก่ หญ้า พืชอาหารสัตว์และพืชผัก และธัญญาพืช (grain crop) ได้แก่ ข้าวโพด และข้าวฟ่าง พืชที่ต้องการปุ๋ยน้อยก็สามารถใช้ประโยชน์จากมูลสุกรได้ดีในช่วงการเจริญเติบโตระยะต้น

ในประเทศไทย มีการนำของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรไปใช้ประโยชน์ในการเกษตรมานานแล้วเช่นกัน ส่วนมากเป็นการใช้มูลสุกรส่วนที่เป็นของแข็ง การใช้ในรูปของมูลเหลวหรือน้ำมูลสุกรเจือจาง (ความเข้มข้นต่ำ) ยังมีการปฏิบัติกันน้อยมาก โดยทั่วไปเกษตรกรเรียนรู้เทคนิคการใช้มูลสุกรโดยการปฏิบัติและการถ่ายทอดประสบการณ์ ซึ่งลักษณะการใช้ประโยชน์จะเป็นการใช้เป็นสารปรับปรุงดินมากกว่าจะเป็นการใช้เป็นแหล่งของสารอาหารสำหรับพืช เกษตรกรมีความนิยมใช้ปุ๋ยเคมีมากกว่ารวมทั้งปุ๋ยเคมีได้รับความสนใจจากหน่วยงานของรัฐและมหาวิทยาลัยทำการศึกษาและส่งเสริมการใช้มากกว่าการใช้มูลสัตว์ ทำให้มี

การใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น ปัจจุบันมีการประมาณกันว่าการใช้ปุ๋ยเคมีมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 – 15 ต่อปี ทั้ง ๆ ที่ทราบกันดีว่าดินในประเทศไทยส่วนมากขาดอินทรีย์วัตถุ (ประมาณกันว่าดินในประเทศไทยขาดอินทรีย์วัตถุ 98 ล้านไร่)

ด้านการศึกษาการใช้ประโยชน์ของของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในทางการเกษตร ยังมีการวิจัยการใช้ของเสียในรูปต่าง ๆ เช่น มูลสุกรแห้ง น้ำมูลสุกร (pig slurry) หรือมูลสุกรในรูปปุ๋ยหมักกันน้อยมาก ทั้งที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีคุณค่าทางสารอาหารสำหรับการปลูกพืช ยังคงถูกทิ้งให้เป็นปัญหาทางสภาพแวดล้อม ปัจจุบันองค์การอาหารและการเกษตร (FAO) ได้ให้การสนับสนุนโครงการการศึกษาการใช้ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรกับพืชแบบเบ็ดเสร็จ โดยใช้ประสบการณ์การจัดการสารอาหาร (nutrient management) จากยุโรปมาช่วยในการวางแผน โดยมีกรมปศุสัตว์เป็นหน่วยงานรับผิดชอบในประเทศไทย โครงการนี้มีชื่อ Area-Wide-Integration of Specialized Crop and Livestock Activities ใช้พื้นที่ศึกษาแถบภาคตะวันออกของประเทศ (จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรี)

ตารางที่ 16 ปัญหามลพิษและการจัดการของประเทศในยุโรป (Ingenieries – EAT, 1996 อ้างโดย Burton, 1997)

Country	Main pollution concern(s)	Storage regulations	Other guidelines	Treatment technologies
Denmark	Nitrate pollution	9 months storage Cover slurry stores	Use green cover Crops	Biogas central processing
France	Nitrate pollution	6 months storage	Apply slurries on Cereal crops	Aerobic treatment to remove nitrogen
Germany	Nitrate pollution Ammonia emission Bacteria	6 months storage	Compensation for low yields as a result of lowering nutrient input	Aerobic treatment central processing
Greece	Odours Organic pollution	6 months storage	Reduction of organic load before spreading on land	Anaerobic lagoons
Ireland	Phosphorus pollution of surface waters	6 months storage	Optimize nutrient utilization for grassland	Acidification to reduce ammonia emissions
Italy	Nitrate pollution	4-6 months storage Biogas recovery	N maximum application depends on soli type	Aerobic and anaerobic treatments
Netherlands	Ammonia emission phosphorus	6 months storage cover slurry stores	Mineral book keeping balance	Redistribution of manures central processing
Norway	Nirtate pollution	-	Fertilizing plants	Co-processing (organic mineral fertilizer)
Portugal	Nitrate pollution	-	-	Aerobic and anaerobic lagoons
UK	Nitrate pollution Odours	4 months England/ Wales 6 months Scotland	Codes of good agricultural practice	Odour abatement techniques

บทที่ 4

การบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

วิธีการหรือระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์และการศึกษาวิจัยในประเทศไทยมีหลายวิธีด้วยกัน ทั้งนี้การเลือกใช้หรือความเหมาะสมของวิธีการบำบัดสำหรับฟาร์มเลี้ยงสุกรในท้องที่ต่าง ๆ มีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พื้นที่ที่ตั้งของฟาร์ม ขนาดของฟาร์มเลี้ยงสุกร ขนาดของพื้นที่สำหรับการก่อสร้างระบบบำบัด วัตถุประสงค์ในการใช้ประโยชน์ของผลผลิตและผลพลอยได้ของระบบ เงินลงทุนรวมทั้งเทคโนโลยีที่มีอยู่ในขณะจัดสร้างระบบ ก่อนหน้าปี พ.ศ. 2535 ผู้เลี้ยงสุกรโดยทั่วไปให้ความสนใจในการก่อสร้างระบบบำบัดของเสียเพื่อรักษาสภาพแวดล้อมกันน้อยมาก เนื่องจากยังไม่มีกรณีต้วเรื่องมลพิษที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อม หลังปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมา เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร นักวิชาการ รวมทั้งหน่วยงานของรัฐได้ให้ความสนใจกับปัญหามลพิษที่เกิดจากการเลี้ยงสุกรกันมากขึ้น ได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรกันมากขึ้น ได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีประสิทธิภาพแบบใหม่ขึ้นหลายวิธีอาทิเช่น การพัฒนาระบบไบโอแก๊สขนาดเล็กที่สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาระบบไบโอแก๊สขนาดใหญ่แบบใหม่ซึ่งรวมบ่อหมักของเสียที่มีความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุสูงและบ่อหมักของเสียที่มีความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุต่ำ รวมทั้งได้มีการศึกษาและประยุกต์ใช้กลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และสารเคมีที่คาดว่าจะให้ผลดีต่อสภาพแวดล้อม

การจำแนกชนิดของระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

ระบบบำบัดของเสียทางชีวภาพ (Biological process) ที่มีการใช้ประโยชน์บำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีหลายวิธี การจำแนกชนิดก็สามารถทำได้หลายแบบ เช่น จำแนกตามลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์ ตามขนาด และตามอุปกรณ์การก่อสร้าง รวมทั้งแต่ละวิธีอาจมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันความสับสนที่จะเกิดขึ้นจากการติดตามเนื้อหาในตอนต่อไป ผู้เขียนใคร่ขอแนะนำการจำแนกชนิดของระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมาเสนอในเนื้อหาตอนนี้ ดังมีรายละเอียดสรุปได้ดังนี้

ระบบการบำบัดของเสียทางชีวภาพ แบ่งได้เป็น

1. ระบบหมักไร้อากาศ (หรือระบบย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาพไร้อากาศ)(Anaerobic system) ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น

(1) ระบบบ่อเปิด (open-type anaerobic pond) ได้แก่ บ่อหมักไร้อากาศ หรืออาจเรียกสั้น ๆ ว่า บ่อหมัก

(2) ระบบบ่อ(ถัง)ปิด (close-type anaerobic reactor) ซึ่งแบ่งย่อยได้อีกเป็น

- ระบบถังหมักของแข็ง (solid fermentation) ซึ่งนิยมเรียกว่า บ่อไบโอแก๊สแบบหมักช้า (low rate anaerobic digester) หรืออาจเรียกว่า ถังหมักช้า ได้แก่ บ่อไบโอแก๊สแบบปลั๊กโฟลว์ (plug-flow biogas digester), บ่อไบโอแก๊สแบบยอดโดมของจีน (Chinese fixed dome digester) และบ่อไบโอแก๊สยอดโดมคามาร์เทค (CAMARTEC fixed dome digester)
- ระบบถังหมักของเหลว (น้ำเสีย) (liquid fermentation) ซึ่งปัจจุบันก็เรียกเป็นระบบไบโอแก๊ส เช่นกัน แต่เป็นระบบไบโอแก๊สแบบหมักเร็ว (high rate anaerobic digester) หรืออาจเรียกสั้น ๆ ว่าถังหมักเร็ว ได้แก่ ถังหมักไร้อากาศบรรจุตัวกลาง (AF, Anaerobic Filter) และถังหมักยูเอเอสบี (UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

2. ระบบหมักใช้อากาศ (Aerobic system) ซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น

- (1) ระบบบ่อเปิด (open-type aerobic pond) ได้แก่ บ่อหมักกึ่งไร้อากาศ หรือ บ่อกึ่งหมัก หรือบ่อหมักผสม (Facultative pond) บ่อหมักธรรมชาติ (Oxidation pond) บ่อเติมอากาศ (Aerated pond) และบ่อปรับเสถียร หรือ บ่อขัดแต่ง (Polishing pond)
- (2) ระบบบ่อปิด (close-type aerobic reactor) ได้แก่ ระบบตะกอนเร่ง หรือระบบเอเอส (AS, Activated sludge process) ถังเติมอากาศแบบบรรจุตัวกลางหรือเอฟบีเอ (FBA, Fixed Bed Aeration System) และระบบเอสบีอาร์ (SBR, Sequencing Batch Reactor)

การสำรวจชนิดของระบบบำบัดน้ำเสียและลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศไทย

การศึกษาสำรวจระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีการใช้ประโยชน์อยู่ในประเทศมีรายงานกันไว้น้อยมาก ในปี พ.ศ. 2535 ฝ่ายพัฒนาอนามัยสิ่งแวดล้อมชุมชนและเมือง กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย ได้ทำการสำรวจสถานประกอบการเลี้ยงสุกรเพื่อจัดทำหลักเกณฑ์และวิธีการเพื่อควบคุมมลพิษ ผลการสำรวจสถานประกอบการเลี้ยงสุกรจำนวน 150 แห่งในจังหวัดราชบุรี สิงห์บุรี นครสวรรค์ และสุรินทร์ พบว่า มีการจัดสร้างระบบบำบัดของเสียเพียง 13 แห่ง (คิดเป็นสัดส่วนเพียงร้อยละ 8.67 ของฟาร์มที่ทำการสำรวจ) จำแนกเป็นระบบบำบัดแบบระบบบ่อเปิด (บ่อบำบัดน้ำเสีย) 8 แห่ง และระบบบำบัดแบบบ่อไบโอแก๊ส (ถังหมักช้า) 5 แห่ง นอกเหนือไปจากวิธีพื้นฐานซึ่งเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรถือปฏิบัติกันมาจากการคั่วหรืออาจจัดเป็นวิธีการบำบัดเบื้องต้นแบบง่ายคือ แบบที่มีการตักมูลสุกรขายสดหรือตากแห้งขายเป็นอาหารเลี้ยงปลาหรือเป็นปุ๋ยสำหรับพืช และมีบ่อดิน (1บ่อ) รองรับน้ำเสียก่อนจะไหลลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งวิธีการบำบัดเบื้องต้นแบบนี้การศึกษาสำรวจพบมากกว่า 50% ของจำนวนฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ทำการสำรวจทั้งหมด 150 แห่ง (กรมอนามัย, 2537b)

เมื่อเร็ว ๆ นี้ (ปี พ.ศ. 2542) กรมควบคุมมลพิษได้ทำการศึกษาชนิดของระบบบำบัดของเสียที่มีการใช้ประโยชน์ในประเทศไทยโดยการส่งแบบสอบถามสำรวจฟาร์มเลี้ยงสุกรทั่วประเทศจำนวนประมาณ 1000 ฟาร์ม ได้รับแบบสอบถามตอบกลับ 100 ฟาร์ม ผลการศึกษาพบว่า ประมาณร้อยละ 7 ของฟาร์มสุกรที่ตอบแบบสอบถามยังไม่มีระบบบำบัดของเสีย (ทั้งหมดเป็นฟาร์มขนาดเล็ก) ร้อยละ 34 มีบ่อดินเพื่อเก็บกักน้ำเสียก่อนระบายสู่ที่สาธารณะ ในขณะที่ร้อยละ 42 มีระบบบำบัดของเสียแบบบ่อบีค ร้อยละ 7 ใช้เครื่องแยกมูลออกจากของเสียและบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบ่อบีค และร้อยละ 6 มีระบบบำบัดของเสียแบบบ่อบีคแบบเปิดตามด้วยบ่อบีค อีกประมาณร้อยละ 4 ใช้วิธีการอื่น ๆ เช่น จุลินทรีย์อีเอ็มล้างพื้นคอก เป็นต้น ผลการสำรวจสรุปแสดงในตารางที่ 17 หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้น รวมทั้งลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของฟาร์มเลี้ยงสุกรเหล่านั้นโดยใช้ตัวอย่างฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ 10 ฟาร์ม ขนาดกลาง 25 ฟาร์มและขนาดเล็ก 25 ฟาร์ม ผลการศึกษามีดังสรุปแสดงในตารางที่ 18, 19 และ 20

ตารางที่ 17 ผลการสำรวจชนิดของระบบบำบัดของเสียฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศไทยปี พ.ศ. 2542

ขนาดฟาร์ม	ฟาร์มเลี้ยงสุกร (%)				
	ไม่มีระบบ	บ่อบีค	ระบบบ่อบีค	เครื่องแยกมูลและบ่อบีค	ระบบไบโอแก๊ส
		1 บ่อ			
ขนาดเล็ก (< 500 ตัว)	12.7	34.5	36.3	3.6	9.1
ขนาดกลาง (501 – 5000 ตัว)	0	44.1	38.2	8.8	2.9
ขนาดใหญ่ (> 5000 ตัว)	0	0	81.8	18.2	0
เฉลี่ย	7	34	42	7	6

ลักษณะน้ำเสียซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการเลือกชนิดและการออกแบบของระบบบำบัดของฟาร์มเลี้ยงสุกรตัวอย่างเกือบทั้งหมดมีค่าความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ (BOD เฉลี่ยประมาณ 3,000 2,500 และ 1,500 มก./ล สำหรับฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่ามีการเก็บมูลสุกรภายในโรงเรือนก่อนทำการล้างคอกหรือมีการใช้น้ำล้างคอกในปริมาณมาก ทำให้น้ำเสียจากฟาร์มสุกรเกิดความเจือจาง การศึกษาปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นพบว่า ฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก ผลิตน้ำเสียในอัตรา 10 15 และ 20 ลิตร ต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ โดยหลักการ น้ำเสียซึ่งมีค่าความเข้มข้นในระดับนี้ ไม่เหมาะสมสำหรับการบำบัดโดยตรงด้วยระบบไบโอแก๊สแบบที่ใช้ประโยชน์กันอยู่คือแบบถังหมักช้า ส่วนลักษณะน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดที่มีการใช้ประโยชน์ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ตัวอย่างเหล่านั้น ส่วนมากยังไม่ได้มาตรฐานตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้ (BOD น้อยกว่า 60 มก./ล สำหรับฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ BOD น้อยกว่า 100 มก./ล สำหรับฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดกลางและ BOD น้อยกว่า 120 มก./ล สำหรับฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็ก) แสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์ของระบบบำบัดของเสียในฟาร์มเลี้ยงสุกรส่วนมากยังไม่มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 18 ลักษณะน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ (น้ำนั้กสุกรรวมมากกว่า 601 หน่วยปศุสัตว์)

ลำดับ ที่	จำนวนสุกร (ตัว)			ขนาดฟาร์ม นปส	ระบบ บำบัดน้ำเสีย	ลักษณะน้ำเสีย				ลักษณะน้ำทิ้ง			
	พ่อแม่พันธุ์	สุกรขุน	ลูกสุกร			pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)
1	2,284	-	7,000	944	บ่อดิน 5 บ่อ	6.88	3,300	4,867	5,520	8.06	140	333	272
2	1,072	5,000	2,500	1,024	บ่อเก็บกัก	6.90	9,000	13,400	5,940	8.38	365	933	495
3	820	7,000	2,000	1,166	บ่อดิน 3 บ่อ	6.58	7,542	18,388	9,530	7.54	126	460	372
4	1,845	-	2,650	690	บ่อดิน 3 บ่อ	8.73	1,490	4,232	2,433	8.63	149	570	224
5	-	8,000	-	960	บ่อดิน 6 บ่อ	-	-	-	-	8.01	282	304	123
6	2,680	2,000	6,000	1,295	บ่อดิน 4 บ่อ	8.22	1,990	9,476	4,775	7.66	170	1,076	380
7	-	10,500	-	1,260	บ่อไบโogas + พื้นที่ชุ่มน้ำ	-	-	-	-	-	12	254	99
8	2,850	5,000	3,000	1,641	บ่อดิน 10 บ่อ	6.54	1,255	2,152	1,304	7.61	4	43	20
9	-	-	-	-	บ่อฝ่ิง	-	-	-	-	-	97	498	304
10	2,506	2,365	2,981	1,641	บ่อหมัก + บ่อไบโogas+ บ่อบ่ม	6.61	5,813	8,740	7,805	7.36	8	39	45

ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ 2542

ตารางที่ 19 ลักษณะน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดกลาง (น้ำนักสุกรรวมระหว่าง 60-600 หน่วยปศุสัตว์)

ลำดับ ที่	จำนวนสุกร (ตัว)			ขนาดฟาร์ม นปส	ระบบ บำบัดน้ำเสีย	ลักษณะน้ำเสีย				ลักษณะน้ำทิ้ง			
	พ่อแม่พันธุ์	สุกรขุน	ลูกสุกร			pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)
1	237	-	300	87	บ่อดิน 3 บ่อ	8.48	2,250	5,301	3,438	7.55	23	97	309
2	106	300	200	76	บ่อเก็บกัก	6.78	3,088	11,088	2,034	7.54	168	405	223
3	210	500	200	136	บ่อดิน 2 บ่อ	7.82	2,650	6,576	1,323	7.50	98	368	308
4	166	300	200	97	บ่อเก็บกัก	6.14	6,200	15,088	5,833	7.34	59	294	172
5	1,055	-	2,000	406	บ่อดิน 4 บ่อ	-	-	-	-	7.50	108	552	130
6	-	2,500	-	300	บ่อเก็บกัก	-	-	-	-	8.52	284	478	1,680
7	515	2,000	500	427	บ่อดิน 4 บ่อ	6.88	6,425	31,096	14,500	8.17	66	442	231
8	318	-	650	124	บ่อดิน 3 บ่อ	8.63	1,352	4,784	3,175	7.26	79	736	254
9	400	80	800	165	บ่อดิน 2 บ่อ	6.94	1,300	27,600	7,730	7.88	58	340	40
10	600	-	415	214	บ่อดิน 2 บ่อ	7.38	1,366	5,200	4,080	7.44	43	180	28
11	400	200	800	179	บ่อไบโอก๊าซ	-	-	-	-	7.10	312	1,257	433
12	180	200	1,400	118	บ่อไบโอก๊าซ	7.63	1,369	2,578	1,345	7.26	136	524	233
13	250	800	-	181	บ่อดิน 2 บ่อ	7.56	2,817	6,378	4,240	8.16	263	809	310
14	186	-	1,360	95	ไม่มีการบำบัด	7.20	2,138	5,862	2,280	-	-	-	-
15	-	1,000	-	120	ไม่มีการบำบัด	6.85	3,650	6,046	3,095	-	-	-	-
16	-	800	200	100	ไม่มีการบำบัด	7.41	5,988	9,893	5,484	-	-	-	-
17	-	1,500	-	180	ไม่มีการบำบัด	6.74	7,650	13,557	6,075	-	-	-	-

ตารางที่ 19 (ต่อ)

ลำดับ ที่	จำนวนสุกร (ตัว)			ขนาดฟาร์ม นปส	ระบบ บำบัดน้ำเสีย	ลักษณะน้ำเสีย				ลักษณะน้ำทิ้ง			
	พ่อแม่พันธุ์	สุกรขุน	ลูกสุกร			pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)
18	217	80	105	85	บ่อไบโอแก๊ส	7.84	3,363	5,084	4,455	7.28	214	1,085	435
19	320	300	500	156	บ่อไบโอแก๊ส	7.02	3,616	5,331	2,805	7.34	518	1,180	154
20	223	150	240	99	บ่อไบโอแก๊ส	6.92	2,669	6,854	4,756	7.32	150	486	190
21	300	1,000	-	222	บ่อเก็บกัก	7.55	1,278	3,080	1,124	7.86	109	475	264
22	200	2,000	-	308	บ่อเก็บกัก	-	-	-	-	7.95	38	352	70
23	-	1,000	-	120	บ่อเก็บกัก	7.35	460	352	149	6.92	5	625	43
24	100	300	-	70	บ่อเก็บกัก	7.42	1,170	440	320	6.95	11	202	53
25	135	150	200	68	บ่อไบโอแก๊ส	7.01	2,482	3,713	1,717	7.21	156	562	236

ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 2542

ตารางที่ 20 ลักษณะน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดของฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็ก (น้ำนักรวมไม่เกิน 60 หน่วยปศุสัตว์)

ลำดับ ที่	จำนวนสุกร (ตัว)			ขนาดฟาร์ม นปส	ระบบ บำบัดน้ำเสีย	ลักษณะน้ำเสีย				ลักษณะน้ำทิ้ง			
	พ่อแม่พันธุ์	สุกรขุน	ลูกสุกร			pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)
1	140	-	120	50	บ่อดิน 2 บ่อ	6.88	1,060	2,067	1,022	8.09	12	68	45
2	40	-	40	14	บ่อดิน 2 บ่อ	8.99	1,628	2,499	1,142	7.41	31	190	209
3	33	250	200	46	ไม่มีการบำบัด	6.82	2,890	4,784	3,360	-	-	-	-
4	52	20	50	21	ไม่มีการบำบัด	5.35	1,245	5,842	952	-	-	-	-
5	-	300	-	36	บ่อเก็บกัก	6.74	2,220	8,648	1,623	7.18	261	856	578
6	23	100	30	20	บ่อเก็บกัก	6.72	1,733	3,711	1,986	7.80	163	469	199
7	109	-	190	41	บ่อเก็บกัก	8.21	550	2,880	2,220	7.43	139	727	228
8	65	-	200	26	บ่อเก็บกัก	8.44	810	3,005	1,676	7.41	48	432	62
9	115	-	100	41	บ่อไบโอแก๊ส	7.63	239	778	262	7.34	274	1,185	347
10	96	-	160	36	บ่อไบโอแก๊ส	6.69	19,250	40,000	19,260	6.96	1,450	11,592	10,840
11	-	-	-	-	บ่อไบโอแก๊ส	7.99	2,850	31,416	24,480	7.55	139	1,285	323
12	108	-	800	55	บ่อไบโอแก๊ส	8.60	1,169	3,294	2,200	8.25	49	428	130
13	-	499	-	59	ไม่มีการบำบัด	6.87	9,038	9,160	8,625	-	-	-	-
14	6	20	-	4	ไม่มีการบำบัด	7.21	1,569	3,040	869	-	-	-	-
15	-	499	-	59	บ่อไบโอแก๊ส	7.83	759	1,371	261	6.95	125	492	69
16	11	20	80	8	บ่อไบโอแก๊ส	7.20	3,317	5,093	3,030	7.21	203	576	97
17	-	480	-	57	บ่อเก็บกัก	7.14	2,469	3,694	1,640	8.11	78	600	311

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ลำดับ ที่	จำนวนสุกร (ตัว)			ขนาดฟาร์ม นปส	ระบบ บำบัดน้ำเสีย	ลักษณะน้ำเสีย				ลักษณะน้ำทิ้ง			
	พ่อแม่พันธุ์	สุกรขุน	ลูกสุกร			pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)
18	-	495	-	59	บ่อเก็บกัก	7.11	4,125	8,977	2,844	7.93	243	989	425
19	-	495	-	59	ไม่มีการบำบัด	6.84	6,313	9,996	4,460	-	-	-	-
20	-	4,000	-	480	ไม่มีการบำบัด	7.20	1,215	3,021	2,012	-	-	-	-
21	-	5,000	-	600	บ่อเก็บกัก	6.98	1,489	4,598	1,870	7.88	201	451	165
22	-	5,000	-	600	บ่อเก็บกัก	7.56	1,678	3,587	2,540	8.01	187	398	175
23	-	4,050	-	486	ไม่มีการบำบัด	7.01	1,587	3,201	1,987	-	-	-	-
24	-	400	-	48	ไม่มีการบำบัด	7.25	5,418	9,075	3,021	-	-	-	-
25	-	470	-	56	ไม่มีการบำบัด	7.06	405	4,050	1,473	-	-	-	-

ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 2542

ระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

วิธีการหรือระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีการประยุกต์ใช้ประโยชน์ และศึกษาวิจัยกันอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้ (รายละเอียดเพิ่มเติมรวมทั้งภาพแสดงรูปร่างและส่วนประกอบของระบบซึ่งไม่ได้นำมาแสดงในรายงานนี้ สามารถติดตามได้จาก สมชัย และวาทณี 2537 และ สมชัย 2540)

1. ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Ponding system) โดยทั่วไประบบบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการบำบัดทางชีวภาพที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูงในการควบคุมการทำงานของระบบ ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียอาศัยหลักการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ปกติจะก่อสร้างเป็นบ่อดินธรรมดา ขอบบ่อจะเป็นคันดินและลาดเอียงลงสู่ก้นบ่อเพื่อป้องกันการพังทลายของขอบบ่อ ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียมีข้อเสียตรงที่เป็นระบบที่ต้องการเนื้อที่มาก จึงเหมาะสมสำหรับก่อสร้างในฟาร์มที่มีพื้นที่มากเพียงพอ และที่ดินมีราคาไม่แพง

โดยหลักการระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ ต้องประกอบด้วยบ่อรองรับน้ำเสียกันต่อเนื่องอย่างน้อย 3 บ่อ บ่อแรกเรียกบ่อหมักไร้ออกซิเจน (Anaerobic pond) สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง จึงเป็นบ่อที่มีความลึก (2.5 – 4 เมตร) เพื่อควบคุมสภาพของบ่อให้อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน บ่อที่สองเรียกบ่อหมักกึ่งไร้ออกซิเจน (Facultative pond) บ่อชนิดนี้มีความลึกปานกลาง (1-3 เมตร) เพื่อทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนที่ก้นบ่อ เกิดสภาวะแบบผสมสำหรับจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพมีออกซิเจน และไร้ออกซิเจนตรงชั้นกลางบ่อ ส่วนชั้นบนของบ่อมีสภาวะมีออกซิเจนสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวและจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน และบ่อที่สามซึ่งเป็นบ่อหมักแบบต้องการออกซิเจน (Aerobic pond) เรียกบ่อเขียว เป็นบ่อที่มีความตื้นมากกว่าบ่ออื่น (มีความลึก 0.3 – 1.0 เมตร) สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำ บ่อชนิดนี้จะมีสาหร่ายสีเขียวและแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนเจริญเติบโตร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน ขนาดของบ่อทั้ง 3 ของระบบอาจมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร แต่โดยหลักการแล้วบ่อแต่ละบ่อจะต้องมีคุณลักษณะเฉพาะ เช่น ความลึกของบ่อ ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Retention time) ภาระบรรทุก (Loading rate) เพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพ คุณลักษณะเฉพาะเหล่านี้มีดังเขียนแสดงไว้ใน ตารางที่ 21 นอกจากบ่อทั้ง 3 ชนิดซึ่งเป็นส่วนประกอบของระบบแล้ว อาจมีบ่อที่ใช้ปรับคุณภาพน้ำเสียขั้นสุดท้ายก่อนระบายลงแหล่งน้ำสาธารณะอีก 1 บ่อ หรือมากกว่า ซึ่งเรียกบ่อนี้ว่าบ่อปรับเสถียรหรือบ่อขัดแต่ง (Polishing pond)

ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีการจัดสร้างใช้ประโยชน์ในการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในทางปฏิบัติ มีรูปแบบและส่วนประกอบของระบบแตกต่างกัน (ตัวอย่างดังผลการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งแสดงผลไว้ในตารางที่ 18, 19 และ 20) ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พื้นที่สำหรับการก่อสร้าง เงินลงทุน และขนาดของฟาร์ม บ่อบางบ่อในระบบอาจมีวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดโดยใช้วิธีการต่าง ๆ ทั้งทางด้านเครื่องจักรกลเคมี หรือทางด้านชีวภาพ เช่น การใช้เครื่องเติมอากาศ (Aerator) ซึ่งเรียกบ่อเติมอากาศ (Aerated pond) การใช้จุลินทรีย์ผสมน้ำฟ้นในบ่อ และวิธีการใช้พืชน้ำเช่น ผักตบชวา

ตารางที่ 21 คุณลักษณะเฉพาะสำหรับบ่อบำบัดน้ำเสีย

ลักษณะ	หน่วยวัด	บ่อหมัก ไร้ออกซิเจน	บ่อหมัก กึ่งไร้ออกซิเจน	บ่อเขียว
pH	-	6.6 – 7.8	6.6 – 7.8	6 – 8
ระยะเวลาเก็บกักน้ำ	วัน	2 – 30	3 - 30	5 – 30
ความลึก	เมตร	2.5 – 4.0	1 - 3	0.3 – 1.0
ภาระบรรทุก	กก. BOD/วัน/10,000 ม ³	300 – 600	150 - 300	60 – 150
อุณหภูมิ	C	20 – 30	20 - 30	20 – 30
BOD : N : P	-	100 : 1.1 : 0.2	100 : 5 : 1	100 : 5 : 1
ประสิทธิภาพ	-	30 – 70	40 - 80	60 - 90

ที่มา พิชฌิม (2535)

2. ระบบไบโอแก๊ส (Biogas) ระบบไบโอแก๊สเป็นเทคนิคที่ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้บำบัดและใช้ประโยชน์ของของเสียจากสัตว์ในประเทศไทยมานานแล้ว การพัฒนาของระบบไบโอแก๊สในระยะต้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ถึงประมาณปี พ.ศ. 2532 มีกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข สำนักงานการพลังงานแห่งชาติ (ชื้อเดิม) กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการพลังงานและกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นหน่วยงานหลักให้การสนับสนุนและส่งเสริมการก่อสร้าง รูปแบบของบ่อไบโอแก๊สในช่วงเวลานี้เป็นแบบที่ได้รับการถ่ายทอดโดยตรงหรือดัดแปลงจากแบบฝาคอลบลอย (Floating drum digester) ของอินเดีย และแบบยอดโดม (Fixed dome digester) ของจีน ลักษณะโดยทั่วไปของบ่อไบโอแก๊สในระยะนี้ มีขนาดเล็ก (family size digesters) ระหว่าง 3-6 ลบ.ม. บ่อเติมมูลสร้างอยู่สูงกว่าระดับผิวดิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้องมีการเติมมูล และมักมีปัญหาทางด้านเทคนิคการก่อสร้างหลายด้าน เช่น ที่เก็บแก๊สรั่ว บ่อหมักแตกร้าว และความดันแก๊สต่ำหรือไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นระบบไบโอแก๊สจึงไม่เป็นที่นิยมและเป็นที่ยอมรับของเกษตรกรโดยทั่วไป

การพัฒนาระบบไบโอแก๊สในปัจจุบัน เป็นการพัฒนาที่เริ่มต้นขึ้นใน ปี พ.ศ. 2532 โดยโครงการไบโอแก๊ส 2 โครงการคือ โครงการไบโอแก๊สเคยู-เอไอที (KU-AIT Biogas Project) ซึ่งเป็นโครงการร่วมของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT , Asian Institute of Technology) และโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน (Thai- German Biogas Programme) ซึ่งเป็นโครงการร่วมของรัฐบาลเยอรมัน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และกรมส่งเสริมการเกษตร โครงการทั้ง 2 ได้รับการสนับสนุนด้านการเงินและด้านวิชาการจากองค์กร GTZ ของรัฐบาลเยอรมัน โครงการเคยู-เอไอที ได้รับการสนับสนุนโดยเน้นในด้านการวิจัย สร้างผลงานซึ่งเป็นต้นแบบของระบบไบโอแก๊สและการใช้ประโยชน์ของไบโอแก๊สในปัจจุบันคือ ระบบไบโอแก๊สปลั๊กโพล์ต้นแบบแห่งแรกในประเทศไทย ระบบไบโอแก๊สลูกผสมไฮฟี (HYPHI)

ระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ และการนำพลาสติกพีวีซีในประเทศมาใช้เป็นพลาสติกเก็บแก๊ส แทนการนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน ได้รับการสนับสนุนในการเผยแพร่ เทคโนโลยีไบโอแก๊สใน 4 จังหวัด ภาคเหนือของประเทศโดยใช้บ่อไบโอแก๊สแบบยอดโดมคามาเรท (CAMARTEC) บำบัดและใช้ประโยชน์ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ (โคนม และ สุกร) ขนาดเล็ก มีผลงานสร้างบ่อไบโอแก๊สจำนวนมากกว่า 400 บ่อ และได้ก่อสร้างระบบไบโอแก๊สต้นแบบคู่ขนาน (Modular Double Biogas System) มีส่วนประกอบของระบบและการทำงานในลักษณะเดียวกันกับระบบไฮพีของ โครงการไบโอแก๊สเคยู-เอไอที ดังรายละเอียดที่ได้สรุปเสนอแล้วในเนื้อหาเกี่ยวกับการประมวลผลงานวิจัย ด้านบำบัดของเสียในบทที่ 3 หลังจากสิ้นสุดโครงการได้มีการพัฒนาจากการส่งเสริมเป็นการให้บริการ การก่อสร้างโดยการสนับสนุนค่าก่อสร้างบางส่วน (ประมาณ 40%) จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช) โดยแยกเป็น กรมส่งเสริมการเกษตรให้การ บริการก่อสร้างระบบไบโอแก๊สแบบคามาเรทแก่ฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็กและขนาดกลาง และหน่วย บริการก๊าซชีวภาพ (Biogas Advisory Unit, BAU) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ให้การบริการก่อสร้างระบบไบโอแก๊สแบบที่ดัดแปลงมาจากระบบต้นแบบเดิมของไฮพี และระบบก๊าซชีวภาพแบบคู่ขนาน ซึ่งรายละเอียดเพิ่มเติมของระบบดัดแปลงนี้จะได้นำมาเสนอในตอนต่อไป

นอกเหนือจากระบบทั้ง 2 ดังกล่าว ยังมีระบบไบโอแก๊สที่เป็นเทคโนโลยีนำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งกำลังได้รับความสนใจจากผู้เลี้ยงสุกรทำการก่อสร้างใช้ประโยชน์อยู่ในปัจจุบัน และระบบต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (รายละเอียดเพิ่มเติมจากระบบไบโอแก๊สที่นำมาเสนอในเนื้อหาตอนนี้ สามารถติดตามได้จาก สมชัย, 2543)

(1) ระบบไบโอแก๊สแบบยอดโดมคามาเรท ระบบไบโอแก๊สนี้เป็นแบบซึ่งองค์การ GTZ ของเยอรมันได้พัฒนาขึ้นในประเทศแทนซาเนีย ทวีปอาฟริกาและตั้งชื่อตามศูนย์วิจัยเทคโนโลยีที่ทำการพัฒนา ระบบไบโอแก๊สนี้ได้รับการพัฒนาทางด้านเทคนิคการก่อสร้างเพิ่มเติมในประเทศไทย โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (เอไอที) ด้วยการให้คอมพิวเตอร์จำลองแบบศึกษาเปรียบเทียบกับระบบไบโอแก๊สยอดโดมของจีนโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเยอรมันและจีน รายละเอียดอาจติดตามได้จาก Meese, L. et. al. 1988; Ringkamp, M. 1989 และ Tentscher, W. et. al. 1989. หลังจากนั้นองค์กร GTZ จึงได้นำระบบไบโอแก๊สนี้ไปส่งเสริมในโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน ใน 4 จังหวัด ภาคเหนือของประเทศ ปัจจุบันกรมส่งเสริมการเกษตรได้ให้บริการการก่อสร้างไบโอแก๊สระบบนี้แก่ฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็กและขนาดกลางโดยได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ขนาดมาตรฐานของระบบที่กรมส่งเสริมการเกษตรก่อสร้างมี 3 ขนาดคือ 30 , 50 และ 100 ลบ.ม. ราคาค่าก่อสร้างของระบบประมาณการไว้ในปี พ.ศ. 2541 สำหรับบ่อทั้ง 3 ขนาดเท่ากับ 48,900 , 86,000 และ 160,000 บาท ตามลำดับ ระบบนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างดีกับฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ที่ไม่ได้วางแผนการระบายของเสียไว้ หรือมีลักษณะของพื้นที่ไม่เหมาะสมแก่การนำของเสียไปรวมกันเข้าสู่ระบบบำบัดรวม (ได้แก่ ฟาร์มเลี้ยง

สุกรเก่าที่ทำการเลี้ยงสุกรมานาน) โดยสามารถทำการก่อสร้างระบบแบบนี้จำนวนหลายหน่วยในตำแหน่งที่เหมาะสม หรือสร้างเพื่อรองรับของเสียของแต่ละโรงเรือน จนถึงปัจจุบัน กรมส่งเสริมการเกษตรได้ให้บริการสร้างบ่อแบบนี้แก่ฟาร์มเลี้ยงสุกรจำนวน 377 ฟาร์ม

(2) ระบบไบโอแก๊สแบบของหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระบบแบบนี้เป็นแบบดัดแปลงของระบบต้นแบบไฮพีและระบบก๊าซชีวภาพแบบคู่นานโดยมีการดัดบ่อตกตะกอน (Sedimentation tank) ซึ่งเดิมทำหน้าที่แยกของแข็งและของเหลว (น้ำเสีย) ออกจากระบบ น้ำมูลสุกรจากฟาร์มเลี้ยงสุกรจะถูกส่งโดยตรงเข้าบ่อหมักของแข็งแบบราง (Channel digester ซึ่งเป็นชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งของบ่อหมักแบบปลักโฟล์) น้ำเสียส่วนบนของบ่อหมักจะไหลล้นเข้าสู่ระบบหมักเร็วแบบยูเอเอสบี ส่วนกากตะกอนชั้นที่หมักแล้วจะถูกนำไปตากในลานกรองของแข็ง (Slow sand bed filter) เพื่อการใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยอินทรีย์ น้ำเสียจากลานตากและจากบ่อหมักยูเอเอสบีจะถูกนำไปบำบัดต่อด้วยการบำบัดขั้นหลัง (post treatment) โดยใช้พื้นที่ชุ่มน้ำ (wet land) ระบบมาตรฐานที่ทำการก่อสร้าง 1 หน่วยประกอบด้วยบ่อหมักของแข็งแบบรางขนาด 1,000 ลบ.ม. 1 บ่อ บ่อหมักน้ำเสียแบบยูเอเอสบีขนาด 200 ลบ.ม. 2 บ่อ ลานกรองของแข็ง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ราคาค่าก่อสร้างหน่วยละประมาณ 5 ล้านบาท ทางด้านการทำงานของระบบ (วีระพันธ์ และคณะ, 2542) น้ำที่ผ่านบำบัดระบบนี้จะมี COD สุดท้ายที่คาดไว้ไม่เกิน 200 – 400 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่า BOD น้อยกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษยอมรับได้ ระบบแบบนี้ 1 หน่วยสามารถผลิตไบโอแก๊สได้วันละ 500 ลบ.ม. และผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้วันละ 1,000 กิโลกรัม ปัจจุบันหน่วยบริการก๊าซชีวภาพได้ให้บริการการก่อสร้างระบบนี้ด้วยการสนับสนุนเงินค่าก่อสร้างบางส่วนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้แก่ฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ โดยทำการก่อสร้างแล้วเสร็จและทำงานใช้ประโยชน์กับฟาร์มจำนวน 6 ฟาร์มในโครงการระยะแรก และกำลังให้บริการการก่อสร้างให้กับฟาร์มเลี้ยงสุกรจำนวน 12 ฟาร์มในระยะที่ 2 ของโครงการ (ข้อมูลถึงกันยายน, 2542)

(3) ระบบไบโอแก๊สแบบพลาสติกคลุมบ่อ (Covered Lagoon หรือ Covered In-Ground Anaerobic Reactor, CIGAR) ระบบนี้เป็นเทคโนโลยีนำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกาโดยความร่วมมือของสมาคมผู้เลี้ยงสุกรแห่งชาติ ลักษณะของระบบประกอบด้วยบ่อดินรองรับน้ำมูลสุกรจากโรงเรือน พลาสติกโพลีเอทิลีน ความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) คลุมบ่อเพื่อเก็บแก๊ส และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแคตเตอร์พิลล่า (Caterpilla) ระบบนี้กำลังได้รับความสนใจจากผู้เลี้ยงสุกรโดยทั่วไปในขณะนี้ เพราะคาดว่าค่าก่อสร้างต่ำ เนื่องจากใช้บ่อดินธรรมชาติเป็นบ่อหมักซึ่งฟาร์มเลี้ยงสุกรส่วนมากก็สร้างใช้ประโยชน์อยู่แล้ว ปัจจุบันระบบนี้กำลังทำการก่อสร้างอยู่ที่ฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ ในท้องที่จังหวัดชลบุรี จำนวน 2 ฟาร์ม บริษัทที่นำเทคโนโลยีนี้ได้เสนอระบบไบโอแก๊สแบบผสมสมบูรณ์ (Complete Mix Reactor) ซึ่งมีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตทรงกลมตั้งเหนือพื้นดิน ใช้พลาสติกโพลีเอทิลีนคลุมเก็บแก๊ส ระบบผสมสมบูรณ์เป็นแบบที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลิตไบโอแก๊สได้ในอัตราสูง และการใช้ถังหมักเหนือพื้นดินมีข้อดีในการระบายอากาศขณะที่หมักแล้วออกจากบ่อหมักได้ง่าย ปัจจุบันบ่อไบโอแก๊สที่ใช้ประโยชน์ในฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศไทยยังไม่ปรากฏแบบของถังหมักเหนือผิวดิน

(4) ระบบลูกผสมระหว่างบ่อหมักไร้อากาศและบ่อเติมอากาศ (Hybrid of Anaerobic and Aerobic Digesters) จากการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรอย่างต่อเนื่อง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้พัฒนาระบบไบโอแก๊สลูกผสมแบบใหม่เป็นแบบผสมระหว่างบ่อหมักของแข็งในสภาพไร้อากาศและบ่อหมักเติมอากาศ โดยใช้บ่อตกตะกอน (Sedimentation tank) แยกน้ำมูลเป็น 2 ส่วน ส่วนของของแข็งส่งเข้าบ่อหมักของแข็งและส่วนของของเหลวส่งเข้าบำบัดในบ่อหมักเติมอากาศ บ่อหมักของแข็งที่นำมาใช้ก่อสร้างในระบบเป็นบ่อหมักแบบยอดโดมความยาว 50 ลบ.ม. ส่วนบ่อหมักเติมอากาศเป็นบ่อหมักเติมอากาศแบบบรรจุตัวกลางซึ่งเรียก บ่อหมักแบบบีซีเอ (BCA, Biocontact Aeration System) ทำจากถังไฟเบอร์กลาสผสมใยแก้วทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เมตร ยาว 8 เมตร ในการใช้งานบ่อหมักเติมอากาศมีการเติมอากาศ 3 ชั่วโมง หยุด 3 ชั่วโมง สลับกันและบ่อรับน้ำเสียเฉพาะช่วงที่ทำการปล้นน้ำเสียออกจากโรงเรือน จึงทำให้บ่อเติมอากาศที่ใช้ในระบบนี้มีลักษณะเป็นแบบดัดแปลงของระบบเติมอากาศเอสบีอาร์ (Modified SBR หรือ Modified Sequencing Batch Reactor)

ระบบลูกผสมนี้ถูกก่อสร้างเพื่อการวิจัย สาธิต และใช้ประโยชน์ในการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรทดลอง ภาควิชาสัตวบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ หลังจากระบบทำงานได้ 2 เดือน ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเบื้องต้น ซึ่งผลการศึกษาได้นำมาแสดงไว้ในตารางที่ 22 และ 23 (Chantsavang, 1999) ผลดังปรากฏในตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ระบบบ่อตกตะกอนสามารถแยกน้ำมูลสุกรดิบจากโรงเรือนซึ่งมีความเข้มข้นต่ำ (BOD เท่ากับ 1600 mg/l และ TSS เท่ากับ 6,675 mg/l) ออกเป็นส่วนหนึ่งของของแข็ง (BOD เท่ากับ 18,500 mg/l และ TSS เท่ากับ 59,775 mg/l) ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับการหมักโดยบ่อหมักของแข็ง และส่วนที่เป็นน้ำเสีย (BOD เท่ากับ 60 mg/l และ TSS เท่ากับ 123 mg/l) ส่งเข้าบ่อบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ จึงทำให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพสูง น้ำเสียออกจากระบบมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่ำ ผลิตแก๊สในอัตราสูง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดส่วนหนึ่งใช้ปลูกผักแบบการให้น้ำพร้อมสารอาหาร (Bio-fertigation) และส่วนหนึ่งใช้หมუნเวียนกลับมาเลี้ยงคอก

ตารางที่ 22 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมูลสุกร น้ำเสียเข้าและออกจากบ่อหมักไบโอแก๊ส และประสิทธิภาพการบำบัดของบ่อหมักลูกผสม

ลักษณะ	น้ำมูลสุกร จากโรงเรือน	ระบบไบโอแก๊ส		ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
		น้ำเสียเข้า	น้ำเสียออก	
PH	7.3	6.4	7.2	-
BOD (mg/l)	1,600	18,500	80	99.5
COD (mg/l)	10,321	93,896	365	99.6
TSS (mg/l)	6,675	59,775	55	99.9
VSS (mg/l)	1,375	15,700	17	99.9
TKN (mg/l)	324	178	190	- 6.7

ตารางที่ 23 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำเสียและออกจากบ่อหมักเติมอากาศและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

ลักษณะ	ระบบไบโอแก๊ส		ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
	น้ำเสียเข้า	น้ำเสียออก	
PH	7.8	7.6	-
BOD (mg/l)	60	13	78.3
COD (mg/l)	330	248	24.8
TSS (mg/l)	123	1	99.2
VSS (mg/l)	10	ไม่พบ	100
TKN (mg/l)	118	81	31.3

3. **เครื่องแยกมูลสุกร (Solid-Liquid Separator)** เครื่องแยกมูลสุกรเป็นวิธีการบำบัดของเสียและน้ำของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรกลับมาใช้ประโยชน์แบบที่ได้รับความนิยมใช้กันมากในหลายประเทศที่มีปัญหาด้านมลพิษจากฟาร์มเลี้ยงสุกร เช่น ประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ ในประเทศไทยวิธีการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรวิธีนี้จัดเป็นวิธีใหม่ที่กำลังได้รับความสนใจจากผู้เลี้ยงสุกร เครื่องแยกมูลสุกรเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ ที่มีปริมาณของเสียจำนวนมากและเป็นวิธีการที่จะช่วยแก้ไขปัญหการใช้พื้นที่มากของระบบบำบัดน้ำเสีย ข้อดีของการใช้เครื่องแยกมูลสุกร คือ ลดการใช้แรงงานที่จะตักมูลสุกรตาก ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการเลี้ยงสุกรในปัจจุบัน ลดพื้นที่สำหรับสร้างบ่อเก็บกักน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร และลดพื้นที่สำหรับตากมูลสุกร เพราะมูลสุกรที่แยกออกมาจะมีความชื้นประมาณ 40 % ซึ่งมูลสุกรที่มีความชื้นระดับนี้สามารถเก็บเป็นกองได้ หรือสามารถบรรจุถุงขายเป็นปุ๋ยสำหรับพืชหรืออาหารสำหรับปลาได้ สำหรับการทำงานของเครื่องแยกมูลสุกรสรุปได้คือ มูลสุกรในคอกเลี้ยงจะถูกฉีดล้าง กลายเป็นของเหลวไหลไปตามท่อระบายน้ำ ลงสู่บ่อรวบรวมของเสียหรือบ่อดักตะกอน จากบ่อรวบรวมนี้ ของเหลวที่ประกอบด้วยมูลและน้ำล้างคอกจะถูกดูดขึ้นเครื่องแยกมูลสุกร มูลสุกรหรือของแข็งที่แยกออกมาได้จะมีความชื้นประมาณ 40% (ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องแยกมูลสุกร) ส่วนของน้ำเสียที่ถูกแยกจากเครื่องแยกมูล จะไหลผ่านไปยังบ่อเก็บกักน้ำเสีย หรือบ่อบำบัดน้ำเสียแบบใดแบบหนึ่ง หรือเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket) หรือแบบเอเอฟ (AF หรือ Anaerobic Filter)

4. **จุลินทรีย์อีเอ็ม (EM หรือ Effective Microorganisms)** จุลินทรีย์อีเอ็มเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์หรือจุลินทรีย์ผสม (Mixed Culture) ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น จุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติก (lactic acid producing bacteria), ยีสต์ (yeast), จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (photosynthetic bacteria) และแอคติโนมัยซีตส์ (actinomycetes) จุลินทรีย์อีเอ็มได้รับการพัฒนาเพื่อใช้เติม (inoculation) ลงในดินเพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน และช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ แต่จากลักษณะการทำงานของจุลินทรีย์อีเอ็มซึ่งมีจุลินทรีย์หลายชนิดทำงานร่วมกันแบบเกื้อกูลประโยชน์ซึ่งกันและกันในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและปลดปล่อยอินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชและสัตว์ จุลินทรีย์อีเอ็มจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการบำบัด และเพิ่มคุณภาพของของเสียที่มีอินทรีย์วัตถุเป็นส่วนประกอบ เช่น ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร สมชัยและคณะ, 2537 ศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร การทดลองดำเนินการโดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็มที่เลี้ยงขยายโดยวิธีกึ่งต่อเนื่อง (Semicontinuous mass culture) ผสมกับน้ำที่ใช้ล้างคอกวิธีหนึ่งและผสมกับน้ำล้างคอกและน้ำดื่มสำหรับสุกรอีกวิธีหนึ่ง ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าจุลินทรีย์อีเอ็มสามารถนำมาประยุกต์ใช้บำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรได้ในทางปฏิบัติ ในบริเวณน้ำเสียที่มีความสกปรกหรือมีความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุสูง (TTS, TVS, BOD และ

COD เฉลี่ยเท่ากับ 14,999 7,862 4,160 และ 3,481 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ประสิทธิภาพการลดค่า BOD มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 91% ในบริเวณน้ำเสียที่มีความสกปรกต่ำ (TTS, TVS, BOD และ COD มีค่าเฉลี่ย 773, 410, 203, และ 4,160 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) ประสิทธิภาพการลด BOD มีค่าต่ำลงเป็น 46% การศึกษายังพบว่าการล้างคอกทุกวันด้วยน้ำล้างคอกผสมจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถลดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นได้ผลอย่างดีเป็นที่น่าพอใจ ผลการทดลองการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มได้รับการทดลองยืนยันในระยะต่อมาโดย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (กรมอนามัย, 2537a) หลังจากนั้นกรมอนามัยก็ได้ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงสภาพอนามัยสิ่งแวดล้อม เพื่อลดปัญหามลพิษจากฟาร์มเลี้ยงสุกร 289 แห่งในจังหวัดฉะเชิงเทรา (รายละเอียดติดตามจาก กรมอนามัย 2537a)

5. การเลี้ยงสุกรบนวัสดุรองพื้น (Pig-On-Litter) การเลี้ยงสุกรบนวัสดุรองพื้นหรือบนขี้เลื่อย เป็นวิธีการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในรูปของแข็ง จึงไม่มีน้ำเสียซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษจากฟาร์มเลี้ยงสุกร วิธีการนี้เริ่มต้นพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่นและขยายออกไปในประเทศที่มีพื้นที่น้อยหรือเป็นประเทศที่ไม่ต้องการให้น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรไปปนเปื้อนแหล่งน้ำสาธารณสุข เช่น สกอตแลนด์ และมาเลเซีย ปัจจุบันวิธีการนี้ได้ขยายออกไปในยุโรป และอเมริกา ซึ่งเลี้ยงสุกรในโรงเรือนปิดและมีอากาศหนาวเย็น วิธีการบำบัดของเสียวิธีนี้เป็นกรรณีย่อยสลายมูลสุกรภายในคอก โดยใช้ขี้เลื่อยเป็นวัสดุรองพื้น เมื่อมีความชื้นพอเหมาะจะเกิดการสลายตัวที่สมบูรณ์จากการใช้คาร์บอนจากขี้เลื่อยและไนโตรเจนจากมูลสุกรจึงไม่มีการปลดปล่อยแก๊สแอมโมเนียหรือแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น ขบวนการย่อยสลายขี้เลื่อยและมูลสุกรโดยไม่ทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นนี้สามารถกระตุ้นได้โดยการใช้จุลินทรีย์บาซิลลัส ซับติลิส ซึ่งสามารถเตรียมเองได้จากน้ำล้างถั่วเหลืองสุกกำลังเนาหรือเฟอร์เมนต์ (รายละเอียดเพิ่มเติมดู ดีพร้อม, 2535) วิธีการเลี้ยงสุกรบนขี้เลื่อยมีวิธีการสรุปได้ดังนี้ เตรียมคอกซึ่งอาจเป็นพื้นดินหรือพื้นซีเมนต์ที่บด กั้นฝาทั้ง 4 ด้าน ให้มีความสูงอย่างน้อย 70 ซม. ระหว่างคอกกันด้วยอิฐโปรงหรือแผงเหล็กเส้นอีกประมาณ 40-50 ซม. เพื่อป้องกันสุกรกระโดดออกนอกคอก วิธีการในชั้นแรกนำมูลสุกรแห้งหรือขี้เลื่อยเก่าจากคอกที่เลี้ยงสุกรบนขี้เลื่อยอยู่แล้ว มาผสมกับขี้เลื่อยใหม่ครั้งต่อครั้ง รองพื้นคอกให้สูงประมาณ 20 ซม. รดน้ำโดยทั่วให้มีความชื้นประมาณ 60% ฉีดพ่นสารละลายเชื้อบาซิลลัส จากนั้นนำขี้เลื่อยแห้งรองทับอีกประมาณ 50 ซม. รดน้ำให้ชื้นและพ่นทับด้วยสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ นำสุกรขึ้นเลี้ยงบนพื้นที่เตรียม หมั่นกลบฝังมูลสุกรลงในขี้เลื่อยและคอยฉีดพ่นน้ำให้มีความชื้นประมาณ 60% ซึ่งตรวจดูได้โดยการใช้มือหยิบขี้เลื่อยมากำดู ถ้าหากจับตัวเป็นก้อนได้ก็แสดงว่ามีความชื้นพอเหมาะ ทำการฉีดพ่นสารละลายเชื้อจุลินทรีย์ทุก 7-10 วัน ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนสุกรน้ำหนักส่งตลาด ระยะ 7-10 วันแรก จะยังคงมีกลิ่นเหม็นบ้าง เพราะขบวนการหมักสลายเพิ่งเริ่มต้น แต่หลังจากนั้นจะไม่มีกลิ่นเหม็น ขี้เลื่อยชั้นล่างจะอุ่นจนถึงร้อน แต่พื้นผิวซึ่งทำสุกรสัมผัสจะไม่ร้อน อาจมีแมลงวันมาวางไข่ที่มูลสุกร แต่หนอนแมลงวันจะไม่สามารถเจริญจนครบวงจรได้ หลังจากเลี้ยงสุกรเสร็จในแต่ละรุ่น ทำการเปลี่ยนขี้เลื่อยชั้นบนหนา

ประมาณ 20 ซม. แล้วเริ่มต้นเลี้ยงรุ่นต่อไปได้ วิธีการเลี้ยงสุกรบนขี้เลื่อยนี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้เลี้ยงสุกรในฟาร์มเลี้ยงสุกรหลายแห่ง เช่น ฟาร์มเลี้ยงสุกรขุนไทยประสิทธิ์ฟาร์ม อ. ดอนตูม จ. นครปฐม (สุกัญญา 2536) ซึ่งก็ให้ผลในการควบคุมกลิ่นเหม็นได้เป็นอย่างดี

6. วิธีการอื่น ๆ วิธีการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรนอกเหนือจากวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วมี อาทิเช่น การใช้สารสกัดยัคคา (Yucca) เป็นสารเสริมในอาหารเลี้ยงสุกรหรือผสมน้ำฉีดพ่นในบ่อเก็บน้ำเสีย การใช้ซีโอไลต์ทั้งในรูปสารเสริมอาหารหรือใส่ในบ่อเก็บน้ำเสีย และการเลี้ยงไส้เดือน (vermiculture) ซึ่งเคยมีการทดลองนำพันธุ์จากต่างประเทศ (สหรัฐอเมริกาและประเทศในยุโรป) เข้ามาเลี้ยงเพื่อย่อยสลายมูลสัตว์และขยะอินทรีย์เปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพ ผลปรากฏว่าไม่สามารถเลี้ยงได้ในสภาพอากาศร้อนของประเทศไทย แต่ในลักษณะการเลี้ยงสัตว์เป็นการค้าในประเทศไทยในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงไก่ไข่ ไก่เนื้อ และสุกร มีการใช้โรงเรือนปิดควบคุมความเย็นด้วยไอน้ำ (evaporative cooling system) จึงทำให้การเลี้ยงไส้เดือนเพื่อบำบัดของเสียและเปลี่ยนของเสียเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพภายในโรงเรือนมีความเป็นไปได้สูง ไส้เดือนสามารถย่อยสลายมูลสัตว์และขยะอินทรีย์ได้เร็วมาก ประมาณกันว่าไส้เดือนสามารถกินอินทรีย์วัตถุได้เกือบเท่าน้ำหนักตัวต่อวัน และสิ่งขับถ่ายของไส้เดือน ซึ่งเรียกว่าเวอร์มิแคส (vermicast) จัดว่าเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพเหนือกว่าปุ๋ยหมักจากวิธีการอื่น ๆ

บทที่ 5

การกำจัดของเสียโดยใช้ประโยชน์

การนำของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ จัดว่าเป็นการกำจัดของเสียโดยการนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยหลักการของการป้องกันมลพิษ การนำของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มไปใช้ประโยชน์โดยไม่ต้องทำการบำบัดด้วยการใช้ซ้ำหรือใช้หมุนเวียน ถือว่าเป็นวิธีการจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพสูงสุด แต่ในบางสภาพและบางวิธีการบำบัด การนำของเสียที่ผ่านการบำบัดไปใช้ประโยชน์ในลักษณะเดียวกันกับการใช้ซ้ำหรือใช้หมุนเวียนอาจเกิดประโยชน์และผลตอบแทนสูงกว่าการใช้โดยไม่ผ่านการบำบัด รวมทั้งอาจให้ผลพลอยได้ที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น การบำบัดและการใช้ประโยชน์ของของเสียที่บำบัดแล้ว จึงอาจเป็นทางเลือกที่ดีกว่าของเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร โดยทั่วไปของเสียที่บำบัด แล้วจะมีคุณภาพดีกว่าของเสียที่ไม่ได้ทำการบำบัดหลายด้าน เช่น คุณค่าทางอาหาร คุณค่าทางปุ๋ยและคุณภาพของจุลินทรีย์ในของเสีย และการบำบัดด้วยวิธีการต่าง ๆ จะมีผลทำให้คุณภาพของของเสียที่บำบัดแล้วมีความแตกต่างกัน การใช้สารลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดหลายวิธี เช่น การใช้โปรไบโอติกส์, การใช้สารเอ็นเอสพี และ การใช้โอลิโกแซคคาไรด์ มีผลนอกจากจะลดมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาแล้ว (ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3) ยังมีผลทำให้คุณภาพ (ระดับโปรตีน , จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์) ของมูลมีค่าสูงขึ้น เป็นการเพิ่มคุณค่าของมูลด้านต่าง ๆ เช่น คุณค่าทางอาหาร คุณค่าทางปุ๋ย และความปลอดภัยของการบริโภคของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการนำมูลไปใช้ประโยชน์ การเสนอวิธีการใช้ประโยชน์ของของเสียในเนื้อหาตอนนี้จะจำกัดกับการใช้ประโยชน์ของของเสียที่ผ่านระบบบำบัดที่มีการศึกษาและนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง เช่น การใช้ประโยชน์ของมูลและน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไบโอแก๊ส การใช้ประโยชน์ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม

การใช้กากมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สเป็นปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizer)

กากมูลสุกรที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไบโอแก๊สหรือเรียกสั้น ๆ ว่ากากมูลหมัก สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพซึ่งเป็นแหล่งของสารอาหาร (nutrient source) สำหรับพืชและเป็นสารปรับปรุงดิน (soil conditioner) กากมูลหมักมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสุกรที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยระบบไบโอแก๊ส เนื่องจากขบวนการย่อยสลายอินทรีย์ในบ่อหมักไร้อากาศ (anaerobic digestion) คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนจะถูกนำไปใช้ในการผลิตแก๊สมีเทน (CH_4) ขณะที่ธาตุอาหารหลักของพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โปรตัสเซียม) และธาตุอาหารรองต่าง ๆ ยังคงอยู่ในปริมาณเดิม ทำให้กากมูลหมักมีสัดส่วน C/N ratio แคลลง แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มคุณค่าของความเป็นปุ๋ย นอกจากนั้นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ยังทำให้เกิดสารอินทรีย์ขั้นต้น (อินทรีย์วัตถุที่ถูกย่อยสลายแล้ว) รวมทั้งผลผลิตของจุลินทรีย์ เช่น วิตามิน และฮอร์โมนพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ข้อดีที่สำคัญในการนำมูลหมักไปใช้เป็น

ปุ๋ยชีวภาพคือ ความร้อนและขบวนการทำงานของจุลินทรีย์ในป๋อหมักจะช่วยทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ไข่ และหนอนพยาธิ รวมทั้งทำลายวัชพืชไปได้ส่วนหนึ่ง ทำให้การบริโภคพืชผักที่ปลูกด้วยกากมูลหมักเกิดความปลอดภัยมากขึ้น นอกจากนั้นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนี้สมบูรณ์จะทำให้กากมูลหมักไม่มีกลิ่นเหม็น และไม่ดึงดูดแมลงวันให้ไปวางไข่ สำหรับปริมาณธาตุอาหารหลักในกากมูลหมักซึ่งมีความสำคัญในการคำนวณอัตราการใช้ปุ๋ยแก่พืชชนิดต่าง ๆ มีการศึกษาพบว่า (สุริยะและสมชัย, 2539) กากมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สแบบหมักช้ามีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปรแตสเซียม เท่ากับ 2.14 , 8.17 และ 0.83 % (ของน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และกากมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สแบบหมักเร็ว (สุริยะ และสมชัย, 2540) มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปรแตสเซียม เท่ากับ 2.45 , 7.58 และ 0.68 % (ของน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

การใช้น้ำมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สเป็นปุ๋ยน้ำ (liquid manure หรือ liquid fertilizer)

น้ำมูลสุกที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบไบโอแก๊สหรือเรียกสั้นๆ ว่า น้ำมูลหมัก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชได้ในลักษณะเช่นเดียวกับการใช้มูลสุกเหลวในประเทศต่าง ๆ ในยุโรป เช่น เดนมาร์ก และเนเธอร์แลนด์ ซึ่งนำมูลเหลวไปพ่นลงในแปลงแล้วไถกลบปลูกพืช น้ำมูลหมักมีคุณภาพดีกว่ามูลสุกเหลวในด้านต่าง ๆ เช่นเดียวกับข้อดีของกากมูลหมักมีเหนือกว่ากากมูลที่ไม่ผ่านการบำบัด และมีข้อดีเพิ่มขึ้นคือ น้ำมูลหมักมีเนื้อละเอียด และอยู่ในรูปที่ผสมเข้ากันดี (homogenous structure) ซึ่งจะทำให้ง่ายแก่การขนส่งและฉีดพ่นลงในแปลงพืช การใช้น้ำมูลหมักมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ เฉพาะอย่างยิ่งประเทศในเขตร้อน ในการประชุมของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านไบโอแก๊สและด้านการใช้ผลผลิตจากระบบไบโอแก๊ส (ESCAP, 1982) ได้มีการสรุปรวบรวมถึงผลตอบสนองของผลผลิตของพืชชนิดต่าง ๆ ในการใช้น้ำมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สว่าให้ผลในลักษณะเดียวกันกับการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ (farmyard manure) โดยพืชที่ให้ผลตอบสนองสูงได้แก่ พืชผักชนิดต่าง ๆ เช่น มันฝรั่ง มะเขือเทศ แตงโม ผักกาดหัว แครอท หอม และ กระเทียม ไม้ผล เช่น ส้ม องุ่น แอปเปิ้ล ฝรั่ง และมะม่วง และพืชไร่ เช่น อ้อย ส่วนพืชที่ให้ผลตอบสนองต่ำได้แก่ ธัญญาพืช เช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต พืชน้ำมัน เช่น ถั่วลิสง และงา ในประเทศไทยได้มีการศึกษาน้ำล้นจากบ่อไบโอแก๊สมาใช้ในด้านการเกษตร (มนัส และ สมชัย, 2535 ; ศุภมาศ และคณะ, 2537) ซึ่งมีผลกล่าวสรุปได้ว่าน้ำล้นจากบ่อไบโอแก๊สสามารถใช้แทนไนโตรเจนในรูปปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟตได้และสามารถทดแทนน้ำชลประทานได้ในระดับและปริมาณที่แตกต่างกันในพืชชนิดต่างๆ ซึ่งทำให้สามารถประหยัดน้ำชลประทานตลอดฤดูการปลูกพืชได้ปริมาณสูงมาก ปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำมูลหมักซึ่งมีความจำเป็นสำหรับการคำนวณอัตราการใช้กับพืชชนิดต่าง ๆ อาจติดตามได้จาก (สมชัย และวาทณี, 2537; สุริยะ และสมชัย, 2539 ; สุริยะและสมชัย, 2540)

การใช้กากมูลหมักจากระบบไบโอแก๊ส เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

กากมูลสุกรหมักจากระบบไบโอแก๊สสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้เช่นเดียวกับการใช้มูลสุกรแห้งหมักเวียนกลับมาเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ (ดังกล่าวแล้วในบทที่3) ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาของกากมูลหมักโดย Chantsavang et. al., 1989 ; สมโภชน์ และคณะ, 2536 ; สมชัย และ วาณี, 2537 พบว่ากากมูลหมักยังคงมีคุณค่าทางอาหารเหลืออยู่สูงมากและมีส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ครบสมบูรณ์เทียบได้กับส่วนประกอบของกรดอะมิโนในปลาป่นและกากถั่วเหลือง ข้อจำกัดทางโภชนาในการนำกากมูลหมักไปประกอบในสูตรอาหารสัตว์ คือ กากมูลหมักมีเปอร์เซ็นต์เถ้าสูง

ผลการทดลองใช้กากมูลหมักเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสุกรในประเทศไทยสรุปได้ดังนี้ Chantsavang et. al., 1989 ทดลองใช้มูลสุกรที่ผ่านการหมักด้วยระบบไบโอแก๊สเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารเลี้ยงลูกสุกรหย่านม น้ำหนักระหว่าง 12 – 30 กก. พบว่าลูกสุกรหย่านมที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมกากมูลหมักระดับ 10% มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารต่ำกว่าลูกสุกรที่กินอาหารปกติ และพบว่าผลเสียนี้จะลดน้อยลง เมื่อสุกรมีน้ำหนักมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าลูกสุกรยังมีการพัฒนาของระบบช่วยย่อยอาหารไม่สมบูรณ์ จึงต้องการอาหารที่ประกอบด้วยวัตถุดิบที่มีคุณภาพ ในสุกรที่มีอายุมากขึ้น สมโภชน์ และคณะ, 2536 ทดลองใช้กากมูลหมักเลี้ยงสุกรรุ่นน้ำหนักระหว่าง 20 – 60 กก. พบว่าสามารถใช้กากมูลหมักในสูตรอาหารเลี้ยงสุกรรุ่นได้ในระดับ 10% โดยไม่มีผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตและลักษณะซาก ในการเลี้ยงสุกรขุน สมโภชน์ และคณะ, 2538 ทดลองให้กากมูลหมักผสมในอาหารเลี้ยงสุกรขุนน้ำหนักระหว่าง 60 – 90 กก. ปรากฏผลว่าในระยะสุกรขุนสามารถใช้กากมูลหมักได้สูงถึง 15% ในสูตรอาหารโดยมีสมรรถภาพการผลิต และลักษณะซากไม่แตกต่างกับสุกรที่ได้รับอาหารตามปกติ

การใช้กากมูลหมักและน้ำมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สเลี้ยงปลา

กากมูลหมักและน้ำมูลหมักจากระบบไบโอแก๊สสามารถนำไปเลี้ยงปลาได้ในลักษณะเดียวกันกับการใช้มูลสุกรเลี้ยงปลาซึ่งได้สรุปกล่าวถึงแล้วในบทที่ 3 อาจมีการเข้าใจผิดว่ามูลสุกรหรือน้ำมูลสุกรที่ผ่านการหมักด้วยระบบไบโอแก๊สหมดคุณค่าทางอาหารไม่สามารถนำไปเลี้ยงปลาได้ (เช่นเดียวกับความเข้าใจผิดว่ากากมูลหมักไม่สามารถใช้เป็นปุ๋ยได้) แต่โดยความเป็นจริงแล้วกากมูลหมักและน้ำมูลหมักสามารถนำไปเลี้ยงปลาได้ดีกว่ามูลสุกรเสียอีก (เหตุผลเช่นเดียวกับการใช้กากมูลหมักเป็นปุ๋ย)

การใช้น้ำมูลสุกรความเข้มข้นต่ำเป็นไบโอเฟอติเกชั่น (Bio-fertigation)

ไบโอเฟอติเกชั่นเป็นวิธีการให้สารอาหารชีวภาพความเข้มข้นต่ำ ไปพร้อมกับการให้น้ำกับพืช (สมชัย และคณะ, 2541) ทำให้พืชได้รับสารอาหารตลอดเวลา คล้ายกับการให้ปุ๋ยละลายช้าที่มีราคาขายแพงในท้องตลาดในปัจจุบัน น้ำมูลสุกรความเข้มข้นต่ำที่สามารถนำมาใช้เป็นไบโอเฟอติเกชั่นได้แก่ น้ำมูลหมักส่วนใหญ่จากบ่อไบโอแก๊ส หรือน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม ที่ควบคุมให้มีปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วจากจุลินทรีย์ในบ่อไบโอแก๊สหรือจุลินทรีย์อีเอ็ม ละลายอยู่ในปริมาณต่ำคิดเป็นค่า BOD ประมาณ 100 มิลลิกรัม/ลิตร การใช้น้ำมูลหมักส่วนใหญ่จากระบบไบโอแก๊สหรือน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม อาจให้ผลแตกต่างกันในพืชชนิดต่าง ๆ เพราะสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่เกิดจากการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน ผลการศึกษาของสมชัยและคณะ, 2541 โดยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มพบว่าพืชหลายชนิด (ผักคะน้า ผักกาดหัว พริก ดาวเรือง และข้าวโพดหวาน) เจริญเติบโตและมีคุณภาพของผลผลิตดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี เพราะได้สารอาหารที่มีอยู่ทั้งรูปของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง และสารอนินทรีย์ (แร่ธาตุได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ซึ่งพืชนำไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสง

บทที่ 6

บทสรุป วิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางวิจัยและพัฒนา

รายงานการประมวลสถานภาพองค์ความรู้และงานวิจัยด้านการจัดการของเสียในระบบการผลิตสุกรฉบับนี้ รวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียจากสัตว์ที่มีรายงานการศึกษาไว้ในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา ผลงานที่รวบรวมได้ทั้งหมดแบ่งเป็นผลงานที่มีรายงานไว้ 2 ช่วงจาก 2 แหล่งของข้อมูล ช่วงแรกเป็นผลงานที่รายงานไว้ระหว่างปี พ.ศ. 2518 ถึง 2534 เป็นการนำผลการสำรวจการวิจัยด้านนี้ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ดำเนินไว้มาทำการจัดเรียงและวิเคราะห์ใหม่ ผลงานในช่วงที่ 2 เป็นผลงานวิจัยรายงานเริ่มต้นจากปี พ.ศ. 2535 รวบรวมจากเอกสารวิชาการ รายงานการประชุมทางวิชาการ และวิทยานิพนธ์ปริญญาโท ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณงานวิจัย

1. ผลงานวิจัยระหว่างปี พ.ศ. 2518 – 2534 ผลงานวิจัยที่รวบรวมไว้ในช่วงนี้มีจำนวน 63 ผลงาน เป็นรายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาพไร้อากาศ (anaerobic digestion) แบ่งเป็นผลงานที่ได้ดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ในช่วงปี พ.ศ. 2518 – 2533 จำนวน 53 ผลงาน และโครงการวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในปี พ.ศ. 2532 – 2534 จำนวน 10 โครงการ ผลงานเหล่านี้รายงานไว้ในผลการศึกษสถานภาพการวิจัยของงานวิจัยทางด้านก๊าซชีวภาพในอดีตจนถึงปี พ.ศ. 2535 ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

2. ผลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียช่วงหลังปี พ.ศ. 2535 ผลงานวิจัยในช่วงนี้รวมผลงานวิจัยที่มีรายงานไว้ก่อนหน้านี้บางส่วนที่ไม่ได้ถูกรวบรวมไว้โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มีทั้งหมด 68 ผลงาน แบ่งเป็นกลุ่มตามขั้นตอนของการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์แบบใหม่ได้ดังนี้ กลุ่มการลดของเสียให้น้อยที่สุด มีจำนวน 24 ผลงาน กลุ่มการเก็บ รวบรวม และขนย้ายของเสีย ไม่มีผลงานวิจัย กลุ่มบำบัดของเสีย 34 ผลงาน และกลุ่มการใช้ประโยชน์ของของเสีย 10 ผลงาน ทั้งนี้ผลงานบางผลงานอาจถูกจัดให้อยู่ใน 2 กลุ่ม เพราะลักษณะการวางแผนการวิจัยมีการใช้วิธีการทดลอง (ทรีตเมนต์) หลายวิธี ทำให้สามารถจัดให้อยู่ใน 2 กลุ่มได้

ลักษณะของงานวิจัย ผลของการวิจัย และผลต่อการพัฒนาองค์ความรู้

ลักษณะของการดำเนินการวิจัย ผลของการวิจัย รวมทั้งการวิเคราะห์ผลต่อการพัฒนาองค์ความรู้ของงานวิจัยในช่วงการรายงานผลระยะต่าง ๆ และกลุ่มของผลงานต่าง ๆ มีดังสรุปได้ดังนี้

1. ผลงานวิจัยระหว่างปี พ.ศ. 2518 – 2534 ช่วงเวลานี้หน่วยงานของรัฐและองค์การระหว่างประเทศให้การสนับสนุนงานวิจัยทางด้านไบโอแก๊สกันมาก เพราะเป็นช่วงที่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมัน (พ.ศ. 2523 – 2528) ลักษณะการดำเนินการวิจัยในระยะนี้ส่วนใหญ่เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ มีบางส่วนดำเนินการในภาคสนามโดยการก่อสร้างเป็นบ่อไบโอแก๊สขนาดเล็ก บางส่วนดำเนินการทดลองในโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร ระบบไบโอแก๊สทางการเกษตรส่วนมากศึกษาทดลองการใช้วัตถุดิบต่าง ๆ เช่น วัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ ได้แก่ เศษผัก ฟางข้าว ผักตบชวา และมูลสัตว์ รวมทั้งส่วนผสมของวัสดุเหล่านี้ ผลการวิจัยจึงเกิดประโยชน์ในระดับขั้นพื้นฐาน ส่วนชนิดของบ่อแก๊สเป็นแบบที่มีขนาดเล็กที่ได้รับการถ่ายทอดหรือดัดแปลงจากแบบของอินเดีย หรือจีน ซึ่งปัจจุบันเลิกใช้กันหมดแล้ว ทางด้านการบำบัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานกระดาษและโรงงานสับปะรดกระป๋อง มีการศึกษาการใช้ระบบไบโอแก๊สกันอย่างกว้างขวาง ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับทดลองในโรงงานโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แต่ระบบไบโอแก๊สก็ไม่ได้รับความนิยมนำไปใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรในปัจจุบัน ข้อมูลของแบบของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมลพิษสูงของกรมโรงงานอุตสาหกรรมปี พ.ศ. 2541 ดึงนำมาเขียนแสดงไว้ในตารางที่ 24 (รายงานในการประชุมสัมมนาครั้งแรกของโครงการบำบัดน้ำเสียร่วมระหว่างไทยและญี่ปุ่น โดยจุลพงษ์, 2543) ไม่ปรากฏว่ามีการใช้ระบบไบโอแก๊สในโรงงานอุตสาหกรรมเลย ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุดคือ ระบบถังเติมอากาศแบบตะกอนเร่ง (AS, Activated Sludge) ซึ่งมีสัดส่วนการใช้ 43% แบบที่มีการใช้ประโยชน์รองลงไปตามลำดับคือ ระบบบ่อ(เปิด) หมักไร้อากาศ ร่วมกับบ่อเติมอากาศ (Anaerobic Pond & Aerated Lagoon) 33% และระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) 14% และระบบบ่อ(เปิด)หมักไร้อากาศ ร่วมกับถังเติมอากาศแบบตะกอนเร่ง (Anaerobic Pond & Activated Sludge) 10% ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแบบใหม่ที่เป็นแบบพัฒนาจากการวิจัยร่วมระหว่างไทยและญี่ปุ่น ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อสาธิตและใช้ประโยชน์บำบัดน้ำเสียโรงงานเส้นไหมช่อเฮง จ.นครปฐม เป็นแบบถังหมักไร้อากาศแบบยูเอเอสพี ตามด้วยถังเติมอากาศ ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ อาจดัดแปลงนำไปใช้บำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรได้ โดยการทำให้ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรเจือจางลง ซึ่งอาจทำได้ด้วยการใช้น้ำล้างคอกในปริมาณสูง หรือทำการเก็บมูลส่วนที่เป็นของแข็งออกไปจำหน่ายเป็นปุ๋ยหรืออาหารเลี้ยงปลา ซึ่งในช่วงเวลานี้ก็มีการวิจัย 1 โครงการ (สุเมธ, 2522) ที่ทดลองใช้ระบบไบโอแก๊สแบบหมักเร็วบรรจุตัวกลางวงไม้รวก ซึ่งเป็น

แบบที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ทดลองบำบัดน้ำมูลสัตว์ความเข้มข้นต่ำ แม้ปัจจุบันจะได้มีการพัฒนาตัวกลางให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงแล้ว แต่ก็นับได้ว่าการวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นในการดัดแปลงมาใช้ในการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ระบบถังหมักเร็วแบบยูเอเอสพีที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรแบบใหม่ของโครงการร่วมระหว่างไทยกับญี่ปุ่นเป็นถึงเหนือพื้นดิน ซึ่งแตกต่างไปจากถังหมักยูเอเอสพีที่ใช้บำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรส่วนที่เป็นน้ำเสียในปัจจุบันซึ่งเป็นแบบถังหมักใต้พื้นดิน

ตารางที่ 24 สัดส่วนของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมลพิษสูง
(โครงการศึกษา กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2541)

ระบบ	สัดส่วน (%)
บ่อหมักไร้อากาศ + บ่อเติมอากาศ (Anaerobic Pond + Aerated Lagoon)	33
บ่อหมักไร้อากาศ + ถังเติมอากาศระบบตะกอนเร่ง (Anaerobic Pond + Activated Sludge)	10
บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	14
ถังเติมอากาศระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge)	43

2. ผลงานวิจัยด้านการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรช่วงหลังปี พ.ศ. 2535 การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยในช่วงเวลานี้ แบ่งตามขั้นตอนการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์มีดังต่อไปนี้

(1) งานวิจัยการลดของเสียให้น้อยที่สุด เทคนิคการลดของเสียให้น้อยที่สุดโดยการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดที่นำเสนอในบทความความรู้การลดมลพิษจากฟาร์มเลี้ยงสุกร (บทที่ 3) ได้แก่ การให้อาหารตามระยะการเจริญเติบโตหลายระยะ การให้อาหารโปรตีนต่ำเสริมด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น การใช้เอ็นเอสพี การใช้สารปรับสภาพกรดในอาหาร การใช้เอนไซม์ไฟเตส การใช้ซีโอไลต์ การใช้สารกักยัคคา การใช้โปรไบโอติกส์ การใช้โอลิโกแซ็กคาไลต์ (พรีไบโอติกส์) เป็นผลจากการวิจัยต่างประเทศทั้งหมด เทคนิคที่มีผลในการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ ๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด เช่น การให้อาหารตามระยะการเจริญเติบโต การให้อาหารโปรตีนต่ำ การใช้เอ็นเอสพี การใช้สารปรับสภาพกรดในอาหาร และการใช้

เอนไซม์ไฟเตส เป็นผลงานศึกษาในประเทศเนเธอร์แลนด์โดยนักวิจัยจาก Department of Livestock Engineering, Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Wageningen ขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งลงทุนศึกษาวิจัยด้านการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิจัยควบคุมกลิ่นเหม็น ด้วยเงินจำนวนมหาศาลมีการจัดตั้งศูนย์และสถาบันต่าง เช่น The Swine Odor Task Force ที่ North Carolina State University ในปี ค.ศ. 1993, Animal and Poultry waste Management Center ซึ่งเป็นศูนย์วิจัยร่วมของหน่วยงานของมลรัฐ ภาคเอกชน และ North Carolina State University ที่จัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1994 และ Environmental and Natural Resource Issue Task Force ที่ University of Kentucky ในปี ค.ศ. 1994 เทคนิคการลดมลพิษที่เป็นผลจากการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาคือ การใช้สารสกัดยัคคา และการใช้ซีโอไลต์ แต่ก็เป็นผลจากการศึกษาก่อนหน้าการจัดตั้งศูนย์วิจัยเหล่านี้ การใช้โปรไบโอติกส์ซึ่งสหรัฐอเมริกาเป็นผู้นำในการใช้ประโยชน์เพื่อการปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของสัตว์ และควบคุมเชื้อซัลโมเนลลา ไม่ประสบผลสำเร็จในการใช้เพื่อลดมลพิษและกลิ่นเหม็นจากฟาร์มเลี้ยงสุกร (Miner, 1999 จาก Bioresource Engineering Department, Oregon State University ซึ่งทำงานวิจัยเรื่องกลิ่นเหม็นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมาเป็นเวลานานแล้ว และ Richert and Sutton, 1999 จาก Department of Animal Sciences, Purdue University) ส่วนผลการใช้เอนไซม์ อารีทิโซค เป็นผลการศึกษาจากประเทศแคนาดา

สำหรับการศึกษาในประเทศไทย มีการศึกษาการใช้สารที่จัดอยู่ในกลุ่มสารลดมลพิษ เช่น โปรไบโอติกส์ ซีโอไลต์ เอนไซม์ไฟเตส และอาหารโปรตีนต่ำ กันอยู่มากพอสมควร แต่เป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตมากกว่าจะเป็นการศึกษาเพื่อลดมลพิษ การวิจัยเพื่อลดมลพิษในแหล่งกำเนิดงานแรกในประเทศไทยคือ การทดลองใช้จุลินทรีย์อีเอ็มซึ่งผลการทดลองพบว่า สามารถลดมลพิษเรื่องกลิ่นเหม็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chantsavang et. al., 1993 และ สมชัย และคณะ, 2537) ปัจจุบันมีการนำจุลินทรีย์อีเอ็มไปใช้ควบคุมกลิ่นเหม็นในฟาร์มเลี้ยงสุกรและไก่ (ไข่และเนื้อ) โดยทั่วไปทั้งภายในและต่างประเทศโดยการส่งเสริมขององค์กรระหว่างประเทศ APNAN (Asia Pacific Natural Agricultural Network) นอกจากจุลินทรีย์อีเอ็มยังมีจุลินทรีย์ผสม (mixed culture) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาในระยะหลังนี้ สามารถนำมาใช้ลดมลพิษจากฟาร์มเลี้ยงสุกรได้ เช่น เชื้อจุลินทรีย์ไฮเทค และ Micro zyme การใช้โปรไบโอติกส์เพื่อลดมลพิษ เช่น การใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม อาจไม่ประสบผลสำเร็จในการลดมลพิษได้ในบางฟาร์มเลี้ยงสุกร เพราะมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการใช้ เช่น คุณภาพของน้ำที่ใช้เลี้ยงเชื้อ อัตราการใช้ปริมาณโปรตีนในอาหารสุกรและปริมาณสารปฏิชีวนะในอาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรไบโอติกส์สามารถปรับปรุงได้ด้วยการใช้ร่วมกับสารลดมลพิษอื่น เช่น การทดลองใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม และสมุนไพรไทย (สุริยะ และคณะ, 2541)

ด้านการลดของเสียให้น้อยที่สุดด้วยการใช้ซ้ำหรือใช้หมุนเวียน งานวิจัยที่น่าจะได้รับการสนับสนุนและศึกษากันมาก แต่กลับไม่มีการวิจัยในเชิงวิชาการเลย คือ การใช้น้ำมูลสุกรปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ทั้ง ๆ ที่มี

ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของน้ำมูลสุกรในลักษณะนี้ในประเทศต่าง ๆ ในยุโรปและสหรัฐอเมริกา (ดูตารางที่ 16) รวมทั้งมีพืชหลายชนิดภายในประเทศที่ให้ผลตอบแทนกับการใช้น้ำมูลสุกรได้ดี เช่น อ้อย พืชอาหารสัตว์ และ ข้าวโพด คาดว่าผลการศึกษานี้ของโครงการ Area-Wide-Integration of Specialized Crop and Livestock Activities โดยการสนับสนุนขององค์การอาหารและการเกษตร (ซึ่งผู้เขียนเป็นที่ปรึกษาทางวิชาการ) จะสามารถกระตุ้นความสนใจของนักวิจัยและเกษตรกรในการนำของเสียจากฟาร์มสุกรไปใช้ โดยไม่ต้องทำการบำบัดเพื่อเป็นการกำจัดของเสีย การวิจัยการลดของเสียให้น้อยที่สุดด้วยการใช้หมุนเวียนที่ให้ผลดีคือ การวิจัยการใช้มูลสุกรแห้งเป็นวัตถุดิบผสมอาหารเลี้ยงสุกรรุ่นและสุกรขุนของสมโภชน์ และคณะ, 2536 และ 2538 ซึ่งการนำไปใช้ประโยชน์จะยังมีข้อจำกัดเพราะมีการตั้งข้อรังเกียจในการใช้มูลสัตว์เป็นวัสดุอาหารสัตว์ แต่อาจมีประโยชน์ในการลดต้นทุนการเลี้ยงเมื่อวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาแพง

(2) งานวิจัยการเก็บ รวบรวม และขนย้ายของเสีย การวิจัยด้านนี้มีการศึกษากันไว้น้อยมากเมื่อเทียบกับการศึกษาด้านอื่น เพราะการเก็บ รวบรวม และขนย้ายมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการออกแบบและก่อสร้างโรงเรือน ซึ่งต้องลงทุนสูงมาก การพัฒนางานด้านนี้ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการทำงานของภาคเอกชนที่อาศัยประสบการณ์ทำการการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงเพื่อทำให้เกิดความเหมาะสมอยู่ตลอดเวลา ระบบเก็บน้ำล้างคอกไว้ในโรงเรือน และเปิดประตูให้น้ำมูลสุกรออกจากโรงเรือนส่งเข้าบ่อเก็บหรือระบบบำบัด ที่ใช้กันอยู่ในฟาร์มสุกรสมัยใหม่ก็เป็นแบบการจัดการของเสียที่พัฒนาโดยภาคเอกชน ตัวอย่างอื่น ๆ เช่น ส้วมหมู ที่ทำให้สามารถเก็บมูลออกจากโรงเรือนได้สะดวกขึ้น และส้วมน้ำที่สามารถทำให้การใช้น้ำล้างคอกน้อยลงและเป็นการเตรียมมูลให้ละลายน้ำเหมาะสมกับการบำบัดด้วยระบบไบโอแก๊ส

(3) งานวิจัยบำบัดของเสีย ความก้าวหน้าของการวิจัยระบบบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในประเทศไทย จัดได้ว่าเจริญทัดเทียมกับประเทศที่มีการศึกษาและวิจัยด้านนี้มานาน เช่น ไต้หวัน และ ญี่ปุ่น แต่แบบของระบบที่ทำการก่อสร้างใช้ประโยชน์อยู่ในปัจจุบันมีค่อนข้างจำกัด เนื่องจากยังไม่มีมาตรการควบคุมและบังคับใช้กฎหมายเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ฟาร์มเลี้ยงสุกรส่วนใหญ่จึงยังไม่ยอมลงทุนสร้างระบบบำบัดที่มีประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ฟาร์มเลี้ยงสุกรที่ก่อสร้างระบบไบโอแก๊สอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นฟาร์มที่ได้รับการสนับสนุนค่าก่อสร้างบางส่วนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แบบของระบบที่กองทุนฯ ให้การสนับสนุนมี 2 แบบคือ แบบยอโดมคามาโรเทค และแบบของหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แบบคามาโรเทค เป็นแบบสำหรับฟาร์มขนาดเล็กและขนาดกลาง การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพดีเพราะได้รับการศึกษาและปรับปรุงแบบด้วยกลุ่มผู้ชำนาญการ มีท่อดึงกากตะกอนที่หมักแล้วออกจากบ่อ ความดันของแก๊สสูงทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน และค่าก่อสร้างต่ำเพราะผนังบ่อทำจากอิฐแดงวางเรียงเป็นบ่อทรงกลมโดยไม่มี

การเสริมเหล็ก ข้อเสียของระบบคือ สร้างขนาดใหญ่สุดได้เพียงขนาด 100 ลบ.ม. การก่อสร้างต้องอาศัยช่างที่มีประสบการณ์การก่อสร้างสูง และใช้เวลาการก่อสร้างนาน ระบบนี้อาจดัดแปลงนำไปใช้กับฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดใหญ่ได้ โดยทำการก่อสร้างบ่อจำนวนหลายหน่วยรองรับน้ำมูลสุกรจากจุดต่าง ๆ หรือจากแต่ละโรงเรือน สำหรับแบบของหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นแบบสำหรับฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดกลางและขนาดใหญ่ จากการศึกษาและติดตามประเมินการทำงานของระบบพบว่า มีข้อเสียหลายประการที่สมควรได้รับการปรับปรุงเพื่อให้ระบบไบโอแก๊สได้รับความนิยมนำไปก่อสร้างโดยไม่ต้องรอรับการสนับสนุนค่าก่อสร้างจากรัฐบาล ข้อเสียที่สำคัญ ๆ ได้แก่ ข้อเสียประการที่ 1. ค่าก่อสร้างสูงโดยหลักการแล้ว ระบบไบโอแก๊สแบบปลั๊กโพล์ (หรือแบบราง) มีข้อดีที่ค่าก่อสร้างต่ำเพราะสร้างเป็นบ่อในดิน ผังดินสามารถช่วยรองรับแรงกดของน้ำมูลสุกร และการใช้พลาสติกซึ่งมีราคาถูกกว่าการใช้วัสดุชนิดอื่นเป็นที่เก็บแก๊ส ระบบไบโอแก๊สแบบพลาสติกคลุมบ่อหรือ Covered Lagoon ซึ่งเป็นเทคโนโลยีนำเข้าจากสหรัฐอเมริกา ใช้บ่อเก็บน้ำมูลสุกรที่เป็นบ่อดินธรรมดาเป็นบ่อหมัก เป็นตัวอย่างของบ่อหมักปลั๊กโพล์แบบหนึ่ง การก่อสร้างบ่อหมักในดินที่มีโครงสร้างแข็งแรงเกินความจำเป็น เป็นเหตุทำให้ค่าก่อสร้างระบบนี้สูงมาก ข้อเสียประการที่ 2. ประสิทธิภาพการผลิตไบโอแก๊สต่ำ อัตราการผลิตไบโอแก๊สของระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.36 ลบ.ม. ต่อ ลบ.ม. ของบ่อหมักแก๊ส (คำนวณจากระบบมาตรฐาน 1 หน่วยประกอบด้วยบ่อหมักปลั๊กโพล์ขนาด 1000 ลบ.ม. จำนวน 1 บ่อ และบ่อหมักเร็วแบบยูเอเอสบี ขนาด 200 ลบ.ม. จำนวน 2 บ่อ ผลิตไบโอแก๊สได้วันละ 500 ลบ.ม.) เป็นอัตราการผลิตไบโอแก๊สในระดับต่ำมาก (Coombs, 1990) ทั้งที่สภาพอากาศร้อนในประเทศไทยมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ผลิตมีเทนมาก อัตราการผลิตแก๊สต่ำแสดงว่าประสิทธิภาพการบำบัดของเสียของระบบมีค่าต่ำ เพราะไบโอแก๊สเกิดจากการทำลายอินทรีย์วัตถุในของเสีย จากการศึกษาผลการประเมินการทำงานของระบบไบโอแก๊สที่มีการใช้งานอยู่ในประเทศอังกฤษ (Combs, 1990) พบสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ระบบไบโอแก๊สมีอัตราการผลิตแก๊สต่ำเพราะน้ำมูลสุกรมีความเจือจางมากเกินไป (over-dilution) น้ำมูลสุกรไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (poor mixing) และน้ำมูลสุกรเย็น (ซึ่งเป็นปัญหาของประเทศในเขตอบอุ่น) ระบบถูกผสมระหว่างบ่อหมักไร้อากาศและบ่อเติมอากาศ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (หน้า 67) เป็นตัวอย่างของระบบที่มีการแยกของเสียออกเป็นส่วนของของแข็งส่งเข้าบ่อหมักของแข็งและส่วนของน้ำเสียส่งเข้าบ่อเติมอากาศ (ดูตารางที่ 22,23) เป็นระบบที่สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้

เป็นที่ยอมรับกันว่าไม่มีระบบบำบัดระบบเดียวที่เหมาะสมกับฟาร์มเลี้ยงสุกรทุกฟาร์ม เนื่องจากความแตกต่างกันในพื้นที่ที่ตั้งของฟาร์มขนาดของฟาร์ม การจัดการของเสีย รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ของผลผลิตจากระบบ บางฟาร์มที่มีพื้นที่มาก ระบบบำบัดน้ำเสียก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ บางฟาร์มมีพื้นที่มากพอและมีความต้องการไบโอแก๊สและปุ๋ยอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ อาจใช้ระบบที่มีบ่อดกตะกอนแยกของเสียเป็นส่วนหนึ่งของของแข็งส่งเข้าบ่อหมักของแข็ง และส่วนของน้ำเสียส่งเข้าถังหมักเร็วแบบบรรจุตัวกลาง หรือแบบยูเอเอสบี หรือส่งเข้าถังเติมอากาศหากต้องการควบคุมกลิ่นเหม็น

และพื้นที่จำกัด ฟาร์มขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่จำกัด อาจใช้เครื่องแยกมูลสุกรนำไปจำหน่าย ทำการบำบัดเฉพาะน้ำเสียที่เหลือน้ำด้วยถังหมักเร็ว หรือถังหมักเติมอากาศ จุลินทรีย์อีเอ็มก็สามารถนำไปใช้ร่วมกับระบบบำบัดดังกล่าวเพื่อควบคุมกลิ่นเหม็น

(4) งานวิจัยด้านการกำจัดของเสียโดยใช้ประโยชน์ การนำของเสียที่ผ่านการบำบัดไปกำจัดโดยการนำไปใช้ประโยชน์ และการนำของเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดไปใช้ประโยชน์โดยการใช้ซ้ำหรือใช้หมุนเวียน มีลักษณะการใช้แบบเดียวคือ ใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ ปุ๋ยน้ำ วัตถุดิบอาหารสัตว์ และเป็นอาหารเลี้ยงปลา และโดยทั่วไปแล้วของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีคุณภาพดีกว่าของเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดหลายด้าน เช่น คุณค่าปุ๋ย คุณค่าอาหาร การบำบัดด้วยระบบไบโอแก๊สพบว่า สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ไข่ และหนอนพยาธิ รวมทั้งทำลายวัชพืชได้ส่วนหนึ่ง ทำให้การบริโภคผลผลิตที่ใช้ของเสียที่บำบัดแล้วเกิดความปลอดภัยมากกว่า ของเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดชนิดต่าง ๆ ส่วนมาก เช่น ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย และบ่อบำบัดไบโอแก๊สยังมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายแล้วจะลอยอยู่ หากทำการบำบัดต่อเพื่อให้ได้ค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน จะทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นถ้ามีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรก็จะเป็นวิธีการกำจัดที่ให้ผลตอบแทนด้วย เหตุนี้จึงมีการวิจัยการใช้ประโยชน์ของของเสียที่บำบัดแล้วมากกว่าการใช้ซ้ำหรือใช้หมุนเวียน

ข้อเสนอแนะแนวทางวิจัยและพัฒนา

ปัญหามลพิษและการปลดปล่อยแก๊สมีเทน และแอมโมเนีย ซึ่งสร้างปัญหาของภาวะเรือนกระจกจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ได้รับความสนใจทางป้องกันและควบคุมกันโดยทั่วไปในทุกทวีป ในระยะที่ผ่านมา 5-6 ปีนี้ได้มีการจัดตั้งศูนย์หรือสถาบันเพื่อการศึกษาและวิจัยงานด้านนี้โดยเฉพาะในประเทศต่าง ๆ ทั่วทุกภูมิภาคของโลก ตัวอย่างเช่น การจัดตั้ง The Swine Odor Task Force, North Carolina State University ในปี ค.ศ. 1993, Animal and Poultry Waste Management Center, North Carolina State University ในปี ค.ศ. 1994, Environmental and Natural Resource Issue Task Force, University of Kentucky ในปี ค.ศ. 1994, Department of Manure Treatment and Emissions, Institute of Agricultural Engineering (IMAG-DLO), Wageningen, The Netherlands และในทวีปเอเชีย The Environmental Center for Livestock Waste Management, National Pingtung University of Science and Technology, the Republic of China ในปี ค.ศ. 1997

การจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรแบบใหม่ซึ่งรวมเอาหลักการการลดของเสียให้น้อยที่สุด หรือ การป้องกันมลพิษมาใช้ประโยชน์ด้วย เป็นการรวมความรู้และเทคโนโลยีจากหลายสาขาวิชา เช่น การจัดการฟาร์มสุกร อาหารสัตว์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุลชีววิทยา และ เศรษฐศาสตร์ มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน ดังนั้นการวางแผนการวิจัยและพัฒนาเพื่อบรรลุเป้าหมายให้อาชีพการเลี้ยงสุกรดำเนินไปอย่างยั่งยืน ไม่ทำลายสภาวะแวดล้อม ผู้เลี้ยงสุกรทำได้จริง รวมทั้งมีผลต่อการพัฒนาองค์ความรู้ในเชิงวิชาการ จึงสมควรได้รับการพิจารณาร่วมกันโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญจากสาขาวิชาการเหล่านั้นและตัวแทนกลุ่มผู้เลี้ยงสุกร ลักษณะการวางแผนการดำเนินงานควรทำเป็นขั้นตอนดังนี้

แผนการดำเนินการในระยะยาว ควรมีการจัดตั้งเป็นศูนย์วิจัยทางด้านการจัดการของเสียจากสัตว์ โดยมีคณะกรรมการเป็นผู้ชำนาญการจากสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องและผู้แทนของผู้เลี้ยงสุกร เพื่อกำหนดทิศทางการวิจัย แนวทางการวิจัย และหัวข้อวิจัย ให้สอดคล้องกับปัญหาและความต้องการของผู้เลี้ยงสุกร พร้อมทั้งให้ความรู้และช่วยแก้ไขปัญหาทางด้านมลพิษให้กับฟาร์มเลี้ยงสุกร

แผนการในระยะเร่งด่วน จัดประชุมเพื่อระดมความคิดเห็นนักวิจัย และสถาบันวิจัยที่มีความสนใจและความพร้อมรวมกันเป็นคณะทำงานวิจัยโดยนำหัวข้อการวิจัยที่สมควรได้รับการสนับสนุนให้ดำเนินการเร่งด่วน จัดแบ่งให้นักวิจัยและสถาบันดำเนินการตามความพร้อมและความสนใจ หัวข้อการวิจัยที่มีความสำคัญเร่งด่วนในแต่ละขั้นตอนของการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีดังนี้

1. งานวิจัยด้านการลดของเสียให้น้อยที่สุด กลุ่มงานวิจัยนี้อาจแบ่งเป็น 2 ด้านตามวิธีการลดของเสียให้น้อยที่สุดคือ

(1) การวิจัยการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด งานวิจัยที่จัดอยู่ในระยะเร่งด่วนนี้ ควรเป็นงานที่มีศักยภาพที่จะให้ผลดีหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตอาหารสุภาพ นอกเหนือไปจากผลในการควบคุมกลิ่นเหม็นและแมลงวันรบกวนซึ่งเป็นมลพิษที่สำคัญที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงสุกร หัวข้อวิจัยที่จัดในกลุ่มวิจัยนี้ได้แก่

- การใช้โอลิโกแซคคาไรด์ (โปรไบโอติกส์) จากหัวเชื้อจุลินทรีย์อาร์ทิโซค เพื่อลดกลิ่นเหม็นและแมลงวัน ศึกษาผลต่อการทดสอบกลิ่น ส่วนประกอบของสารส่งกลิ่น คุณค่าของมูลทางด้านปุ๋ยและอาหาร คุณภาพของจุลินทรีย์ในมูล ลักษณะการให้ผลผลิตของสุกร และผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบไบโอแก๊ส

- การใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติ และสารในกลุ่มเดียวกัน เช่น สเม็คไทต์ ศึกษาผลต่อปริมาณการขับถ่ายมูล ส่วนประกอบของสารส่งกลิ่นในมูลการทดสอบกลิ่น ลักษณะการให้ผลผลิตของสุกร และผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบไบโอแก๊ส และตะกอนตกค้างในบ่อไบโอแก๊ส

- ศึกษาหาวัตถุดิบในประเทศไทยที่สามารถนำมาใช้เป็นเอนไซม์ เพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนในปัสสาวะเป็นไนโตรเจนในมูล แทนการใช้หัวบีทปน

- การใช้สารสกัดยัคคา ศึกษาผลต่อการทดสอบกลิ่นเหม็น ปริมาณมูล ส่วนประกอบของสารส่งกลิ่น คุณค่าทางด้านปุ๋ยและอาหารของมูล การให้ผลผลิตของสุกร และผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบไบโอแก๊ส

- การใช้โปรไบโอติกส์ร่วมกับโปรไบโอติกส์ และสารสกัดยัคคา ศึกษาผลต่อการให้ผลผลิตสัตว์ การทดสอบกลิ่น ส่วนประกอบของสารส่งกลิ่น คุณค่าทางปุ๋ยและอาหารของมูล และคุณภาพของจุลินทรีย์ในมูล

- การพัฒนาสูตรอาหารโปรตีนต่ำ โดยใช้วัตถุดิบในประเทศไทย รวมการศึกษาการใช้มันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบของสูตรอาหาร

- การสร้างสูตรอาหารแบ่งตามระยะการเจริญเติบโตหลายระยะ (phase feeding) เลี้ยงสุกรขุน

- การใช้แร่ธาตุอินทรีย์ (organic minerals) ในรูปของ Chelated Minerals เพื่อลดการขับถ่ายโลหะหนัก Cu, Zn, Fe และ Mn ศึกษาผลต่อปริมาณมูลที่ขับถ่าย ส่วนประกอบของสารส่งกลิ่นในมูล ปริมาณโลหะหนักในมูล และการทดสอบกลิ่นเหม็น

(2) งานวิจัยด้านการใช้ซ้ำหรือใช้หมุนเวียน งานวิจัยในกลุ่มนี้มีหัวข้อที่ควรได้รับการสนับสนุน คือ

- การผลิตปุ๋ยหมักคุณภาพสูงจากมูลสุกรด้วยไส้เดือนดินพันธุ์นำเข้าจากประเทศเขตร้อน และเขตอบอุ่น

- การทดลองใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยชีวภาพกับพืชเศรษฐกิจสำคัญ ๆ เช่น อ้อย และมันสำปะหลัง

2. งานวิจัย ด้านเก็บ รวบรวม และขนย้ายของเสีย งานวิจัยด้านนี้อาจรอไว้ทำการดำเนินการในช่วงหลังได้

3. งานวิจัยด้านบำบัดของเสีย หัวข้อการวิจัยในงานวิจัยกลุ่มนี้มีดังต่อไปนี้

- การประเมินผลการทำงานของระบบไบโอแก๊สในประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานของบ่อหมักเร็วแบบยูเอเอสพี ซึ่งสร้างได้ผิวดินและรับน้ำส่วนใดจากบ่อหมักปลั๊กโพล์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลปรับปรุงแบบของระบบให้ทำงานมีประสิทธิภาพ

- การศึกษาการใช้ถังเติมอากาศเอสปีอาร์ และเอสปีอาร์ดัดแปลงบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

- การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรด้วยถังหมักเร็วแบบยูเอเอสพี ตั้งเหนือพื้นดินเปรียบเทียบกับถังหมักเร็วแบบบรรจุตัวกลางพื้นที่ผิวมากตั้งเหนือพื้นดิน

4. งานวิจัยด้านการกำจัดโดยการนำไปใช้ประโยชน์ หัวข้อการวิจัยมีดังต่อไปนี้

- การผลิตดินผสมคุณภาพสูงจากเวอร์มิแคส (vermicast) ทำจากมูลสุกรหมัก

- การใช้น้ำมูลหมักปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญ ๆ เช่น อ้อย และมันสำปะหลัง

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. มปป. ความรู้เบื้องต้นเรื่องการป้องกันมลพิษ. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ
- กรมควบคุมมลพิษ. 2542. การพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ
- กรมอนามัย. 2537a. การลดปัญหาเหตุรำคาญเรื่องกลิ่นจากฟาร์มเลี้ยงสุกรจังหวัดฉะเชิงเทรา. โครงการปรับปรุงอนามัยสิ่งแวดล้อมเพื่อลดปัญหามลพิษจากฟาร์มสุกรจังหวัดฉะเชิงเทรา
กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี
- กรมอนามัย. 2537b. รายงานการศึกษาสำรวจสถานประกอบการเลี้ยงสุกรเพื่อจัดทำหลักเกณฑ์. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี
- จุฬพงษ์ ทวีศรี. 2543. เอกสารประกอบการบรรยายในประชุมสัมมนา The first seminar on research cooperation between Thailand and Japan on practical use of industrial wastewater treatment technology (UASB) for preventing of global warming. Shangri-La Hotel, March 21, 2000.
- ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. 2535. การเลี้ยงหมูบนขี้เลื่อย. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประทักษ์ ตาบทพิพย์วรรณ และ ประวิทย์ สุรนิรนาถ. 2522. การเจริญเติบโตและผลผลิตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยมูลสุกรสด 2 ระดับ. รายงานการวิจัย ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ, นครปฐม.
- ประทักษ์ ตาบทพิพย์วรรณ และ ประวิทย์ สุรนิรนาถ. 2524. ผลของระดับการปล่อยต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลาชังในบ่อที่ใส่ปุ๋ยมูลสุกร. รายงานผลการวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พิพัฒน์ ฐิธิปัญญาคุณ. 2537. การบำบัดน้ำเสียชุมชน. เอกสารวิชาการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนัส กัมพูกุล และ สมชัย จันทรสว่าง. 2537. ไบโอดีเซลจากผลผลิตกะหล่ำปลี : การใช้น้ำคั้นเป็นธาตุอาหารของพืช. รายงานผลการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีระพันธ์ เกียรติภักดิ์ นิรันดร์ โพธิ์กานนท์, K. Logsdon, Jr. 2542. โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ส่วนที่ 1 ฟาร์มขนาดกลางและขนาดใหญ่. เอกสารเผยแพร่ หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา จามิกร ศรีสุมล บัญชา รัตนี และ ชัยสิทธิ์ ทองจุ. 2537. การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นปุ๋ยไนโตรเจน สำหรับพืชที่ปลูกในดินชุดกำแพงแสน. รายงานผลการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมควร ชูวรรณปะกรณ์. 2543. ธุรกิจการเลี้ยงสุกร. เครือบริษัทเจริญโภคภัณฑ์. (ติดต่อส่วนตัว)

สมชัย จันทรสว่าง ชลศักดิ์ สินรัชตะนันท์ เกียรติไกร อายุวัฒน์ และ ปราโมทย์ ศิริโรจน์. 2537. การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32 สาขาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชัย จันทรสว่าง และ วาณี ชัยวัฒน์สิน. 2537a. ไบโอดีเซลจากผลผลิตกะหล่ำปลี : ประสิทธิภาพของระบบ. รายงานผลการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชัย จันทรสว่าง และ วาณี ชัยวัฒน์สิน. 2537b. การสำรวจและศึกษาระบบไบโอดีเซลที่ดำเนินการใช้ประโยชน์อยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน. รายงานผลการวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชัย จันทรสว่าง. 2540. การบำบัดและใช้ประโยชน์ของเสียจากฟาร์มสุกร. เอกสารวิชาการ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชัย จันทรสว่าง สุริยะ สะพานนท์ และ อรรถ นุญนิต. 2541. เกษตรกรรมชาติโดยวิธีไบโอเฟอติเคชัน. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 สาขาพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชัย จันทรสว่าง. 2543. ระบบไบโอแก๊ส : การใช้ประโยชน์ของผลผลิตและศักยภาพ. สุกราสัน, 25 (103) : 51-62.

สมโภชน์ ทับเจริญ ญัฐยาพร สุมน ศรีสุวรรณ ชมชัย วิโรจน์ วนาสีทิชชัยวัฒน์ นพวรรณ ชมชัย และ
พีระพล อยู่สวัสดิ์. 2536. การใช้มูลสุกรแห้งและมูลสุกรหลังการหมักก๊าซชีวภาพระดับร้อยละ 5
และ 10 ในสูตรอาหารสุกรรุ่น (20-60 กก.). การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ครั้งที่ 31 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมโภชน์ ทับเจริญ ญัฐยาพร สุมน และ พีระพล อยู่สวัสดิ์. 2538. การใช้มูลสุกรแห้งและกากมูลสุกร
หลังการหมักก๊าซชีวภาพในอาหารสุกรขุน (60-90 กก.). การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุกัญญา จัตตพรพงษ์. 2537. เลี้ยงสุกรอย่างปลอดภัย. สุกราสัน, 19(75)29-32.

สุชน ตั้งทวีพัฒน์ และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2542. บทบาทของเอนไซม์ไฟเตสในอาหารสัตว์ปีก.
ธุรกิจอาหารสัตว์, 16(65) : 62-67.

สุเมธ ขวเดช. 2522. การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์โดยถังหมักแบบบรรจุด้วยตัวกลาง. กองวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สุริยะ สะวานนท์ และสมชัย จันทรสว่าง. 2539. การศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายมูลสุกรด้วยจุลินทรีย์
อีเอ็มกับจุลินทรีย์ผลิตมีเทน. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 34 สาขา
สัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุริยะ สะวานนท์ และ สมชัย จันทรสว่าง. 2540. การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในถังหมักไร้ออกซิเจน
บรรจุตัวกลางโดยจุลินทรีย์อีเอ็มและจุลินทรีย์ผลิตมีเทน. การประชุมวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุริยะ สะวานนท์ สมชัย จันทรสว่าง และ สมโภชน์ ทับเจริญ. 2541. ศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มและ
สมุนไพรของลดกลิ่นในมูลสุกร. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36
สาขาสัตว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เสาวลักษณ์ ภูมิวิสนะ. 2535. แนวคิดในการวางแผนการวิจัยด้านพลังงานทดแทน : ก๊าซชีวภาพ. สำนัก
งานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการพลังงาน.

Aarnink, A.J.A., and T.T. Canh. 1999. Ammonia emission from pig house as affected by dietary
composition. *Feed Mix*, 7(3) : 23-27.

Bikker, P. Diets for pig, producer and the environment. *Pig Progress*, 14(8) : 37-39.

Burton, C.H. 1997. *Manure Management : Treatment Strategies for Sustainable Agriculture*.
Silsoe Research Institute, Bedford, UK.

Canh, T.T., A.J.A. Aarnink, M.W.A. Verstegen and J.W. Schrama. 1997. Influence of dietary
factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *J. Anim.*
Sci., 75 : 700-706.

Canh, T.T., A.J.A. Aarnink, M.W.A. Verstegen and J.W. Schrama. 1998. Influence of dietary
factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 76
: 1123-1130.

Chantsavang, S., C. Sinratchatanun, K. Ayuwat and P. Sirirote. 1993. Application of Effective
Microorganisms for pig waste treatment. *Proceedings of the Third International Conference on*
Kyusei Nature Farming. Santa Barbara, California, U.S.A. October 5-7, 1993.

Chantsavang, S. 1999. Research and development in animal waste management in Kasetsart
University. *Proceedings of the Third International Symposium of the Environmental Center for*
Livestock Waste Management on Innovative Livestock Waste Management Technologies for
Today and the Future. National Pingtung University of Science and Technology, The Republic of
China.

- Cole, D.J.A. and K. Tuck. 1995. Using Yucca to improve pig performance while reducing ammonia. *In* T.P. Lyons and K.A. Jacques (eds.). Biotechnology in the Feed Industry. Proceedings of Alltech's Eleventh Annual Symposium. Nottingham University Press, Wiltshire, England.
- Coombs, J. 1990. The present and future of anaerobic digestion. *In* A. Wheatley (ed.). Anaerobic Digestion : a Waste Treatment Technology. Elsevier Science Publishing Co., Inc. New York, U.S.A.
- Cowan, D. and N. Khan. 1999. Phytase cuts phosphorus losses. *Feed Mix*, 7(3) : 14-16.
- ESCAP. 1982. A practical guidebook based on the deliberations of the expert group meeting on biogas development. United Nations.
- Farnworth, E.R., H.W. Modler and D.A. Mackie. 1995. Adding Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) to weanling pig diet and the effect on manure composition and characteristics. *Animal Feed Science and Technology*, 55(1995) : 153-160. Elsevier Science.
- Fernandez, J.A. 1997. Effects of feeding low protein diets on animal performance and nitrogen utilization. Cited after Ketels, E. 1999. Balancing amino acids to decrease nitrogen pollution. *Feed Mix*, 7(3) : 17-21.
- Fuller, R. 1992. Probiotics : The Scientific Basis. Chapman & Hall, London, UK.
- Johnson, R.A. 1990. Pet food warket and technology. *In* T.P. Lyons (ed.). Biotechnology in the Feed Industry. Proceedings of Alltech's Sixth Annual Symposium. Nottingham University Press, Wiltshire, England.
- Lee, P.A. and R.M. Kay. 1998. Lower Protein diets, environmental benefits but at what cost ?. *Pig Progress*, (4(1) : 26-29.
- Mavromichalis, I. 1999. Phase-feed plans for the nursery. *Pig Progress*, 15(6) : 24-27.

- Miner, R. 1999. Odor control in waste treatment. The Third International Symposium of the Environmental Center for Livestock Waste Management on Innovative Livestock Waste Management Technologies for Today and the Future. National Pingtung University of Science and Technology, The Republic of China.
- Meese, L., G.Y. Fang, S.M. Hasan, S. Yu and L. Ren. 1988. Final report on statical improvement of family-size fixed dome digesters, a computer aided design approach. (GTZ-AIT, PN 88.2001.1-01.100).
- Muller, Z.O. 1980. Feed from animal wastes : State of knowledge. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Richert, B. and A. Sutton. 1999. Nutritional strategies for effective waste management. Proceedings of the Third International Symposium of the Environmental Center for Livestock Waste Management on Innovative Livestock Waste Management Technologies for Today and the Future. National Pingtung University of Science and Technology, The Republic of China.
- Ringkamp, M. 1989. The statical design of fixed dome and plug-flow digesters. 21 International Conference on Agriculture Mechanization. First Workshop of the FAO-CNRE on Biogas Production Technologies. April 10-13, Zaragoza, Spain.
- Shurson, G., P.K. Ku, E.R. Miller and M.T. Yokoyama. 1984. Effect of zeolite a and clinoptilolite in diet of growing swine. J. Anim. Sci., 59(6) : 1536-1545.
- Stavric, S. and E.T. Kornegay. 1995. Microbial probiotics for pig and poultry. In R.J. Wallace and A. Chesson (eds.). Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding. Weinheim, Federal Republic of Germany.
- Tentscher, W., M. Ringkamp, G.Y. Fang, S.G. Yu and L. Ren. 1989. Statical improvement of family-sized fixed dome digesters, a computer aided design approach. 21 International Conference on Agricultural Mechanization. First Workshop of the FAO-CNRE on Biogas Production Technologies. April 10-13, Zaragoza, Spain.