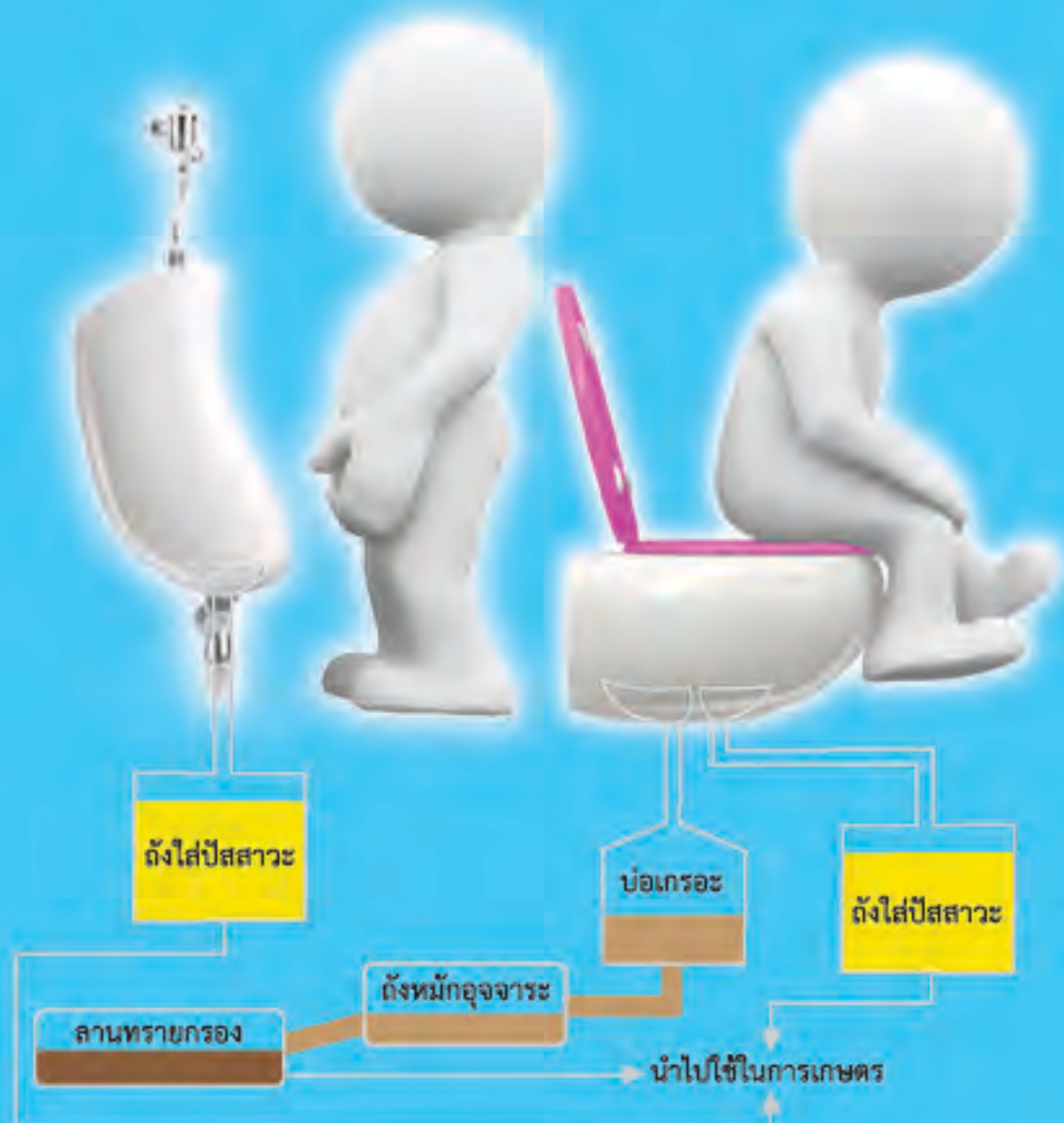


มหัศจรรย์ปัสสาวะ



สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม
กรมอนามัย



มหัศจรรย์ยปีส๑๑๑



สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย
กระทรวงสาธารณสุข

คณะที่ปรึกษา

นายแพทย์สมยศ	ดีรัมย์	อธิบดีกรมอนามัย
นายแพทย์สุวัช	เชียศิริวัฒนา	รองอธิบดีกรมอนามัย
นายพิษณุ	แสนประเสริฐ	ผู้อำนวยการสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม
นางสาววนิดา	วรเกริกกุลชัย	นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการพิเศษ

คณะผู้จัดทำ

นางปรียะดา	โชควิญญู	นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการพิเศษ
นางสาวนิรมล	แซ่แป้	นักวิชาการสาธารณสุข

ชื่อหนังสือ

มหัศจรรย์ปีสสาวะ

ISBN

978-616-11-0904-2

จัดพิมพ์โดย

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย
กระทรวงสาธารณสุข
ถนนติวานนท์ จังหวัดนนทบุรี

โทรศัพท์ 0 2590 4128 โทรสาร 0 2590 4200

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวน 12,000 เล่ม

พิมพ์ที่

สำนักงานกิจการโรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก

คำนำ

เมื่อกล่าวถึงสิ่งปฏิภูลที่มนุษย์ซบถ่ายออกมา ฤกมองว่าสกปรกน่ารังเกียจ มีกลิ่นเหม็น ปนเปื้อนไปด้วยเชื้อโรค ทำให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บ ต้องกำจัดให้หมดจึงจะปลอดภัย ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่ในปัจจุบันหากเปลี่ยนมุมมองใหม่ โดยนำสิ่งปฏิภูลเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และในขณะเดียวกันก็เป็นการบำบัดให้แปรสภาพจากสิ่งที่น่ารังเกียจและเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อสุขภาพไปสู่การมีประโยชน์เกิดขึ้น แนวคิดดังกล่าวเป็นเรื่องที่สอดคล้องกับสถานการณ์และการเปลี่ยนแปลงในโลกปัจจุบันที่ปัญหาของโลก ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ทวีความรุนแรงและเกิดบ่อยครั้งขึ้น ซึ่งมาจากสาเหตุอุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น การที่โลกร้อนขึ้นล้วนเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

ดังนั้นแนวคิดการใช้ประโยชน์จากสิ่งปฏิภูลจึงเป็นแนวคิดที่สำคัญ เชื่อมโยงการจัดการสุขภาพอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกับการพึ่งตนเองตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงที่สามารถใช้ประโยชน์จากสิ่งปฏิภูล ลดการใช้สารเคมี ขณะเดียวกันก็เกื้อหนุนการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมด้วย การใช้ปัสสาวะซึ่งเป็นสิ่งซบถ่ายที่ได้ทำการศึกษาถึงความปลอดภัยจากเชื้อโรค ไข่หนอนพยาธิ องค์กรประกอบและคุณประโยชน์ จึงเป็นแนวทางเพื่อการเรียนรู้และนำไปสู่การปฏิบัติ

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าสิ่งที่ได้เรียนรู้จากการใช้ประโยชน์จากปัสสาวะนี้ จะช่วยในการสร้างสิ่งดีงามเพื่อการพึ่งตนเองและเกิดประโยชน์ต่อโลกใบนี้



(นายพิษณุ แสนประเสริฐ)

ผู้อำนวยการสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	อุจจาระ : ปัญหาสาธารณสุข	2
1.3	วิธีการบำบัดอุจจาระ	4
บทที่ 2	ปัสสาวะกับการแพร่ระบาดของโรค	9
2.1	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปัสสาวะ	9
2.2	ความเชื่อเรื่องการใช้ปัสสาวะรักษาโรค	11
2.3	โรคที่อาจแพร่กระจายเชื้อทางปัสสาวะ	13
2.3.1	เชื้อโรคที่เคยพบในปัสสาวะหรือโรคที่อาจแพร่กระจายเชื้อทางปัสสาวะ	13
2.3.2	การศึกษาการมีชีวิตรอดของจุลชีพในปัสสาวะ	17
บทที่ 3	การนำปัสสาวะไปใช้ประโยชน์	19
3.1	ปริมาณสารอาหารในปัสสาวะและวงจรสารอาหาร (Nutrients Cycle)	19
3.2	คุณสมบัติของปัสสาวะสำหรับใช้เป็นปุ๋ย	21
3.3	ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ Carbon footprint (CF) ของปัสสาวะ	23
3.4	วิธีการใช้ปัสสาวะอย่างปลอดภัยจากเชื้อโรคและไม่เป็นแหล่งแพร่พันธุ์ยุง	24
3.5	วิธีการใช้ปัสสาวะเป็นปุ๋ย	25
3.6	บทเรียนจากการใช้ปัสสาวะเป็นปุ๋ย	26
3.7	ตัวอย่างส้วมแยกปัสสาวะ	29
3.8	สรุป	34
3.9	ข้อเสนอแนะ	36
3.10	การพัฒนาและขยายผล	36
	บรรณานุกรม	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุจจาระและปัสสาวะของคนหรือที่เรียกว่าสิ่งปฏิกูล (Human waste) นั้น จะมีเชื้อโรคระบบทางเดินอาหารและไข้พยาธิเป็นจำนวนมาก เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของเชื้อโรคเหล่านี้ จึงมีความจำเป็นต้องขับถ่ายที่ส้วมเพื่อเก็บกักสิ่งปฏิกูลแล้วนำไปบำบัดให้ปลอดเชื้อโรคและไข้พยาธิก่อนปล่อยออกสู่ที่สาธารณะหรือแหล่งน้ำหรือนำไปใช้ประโยชน์ ต่อมาได้มีคำถามว่าจริงๆ แล้วเชื้อโรคเหล่านี้มีอยู่ในทั้งอุจจาระและปัสสาวะหรือว่ามีอยู่ เฉพาะในอุจจาระเท่านั้น จากรายงานขององค์การอนามัยโลกได้รายงานว่า ปกติปัสสาวะ ที่อยู่ในกระเพาะปัสสาวะของคนจะไม่มีเชื้อโรค (Sterile) แต่ถ้าเก็บปัสสาวะที่คนฉีออกมา แล้ว จะตรวจพบจุลชีพประมาณ 10^3 organism/มล. ซึ่งปริมาณขนาดนี้ไม่ส่งผลต่อการติดต่อ และจุลชีพเหล่านี้ก็ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่เชื้อโรคและไข้พยาธิเหล่านี้พบเป็น จำนวนมากในอุจจาระ จากหลักการดังกล่าวถ้าเราแยกปัสสาวะออกมาโดยไม่ให้ถูกปนเปื้อน จากอุจจาระ จะทำให้ลดภาระค่าใช้จ่ายในการบำบัดสิ่งปฏิกูลได้มากเพราะเฉลี่ยแล้ว มนุษย์ผลิตปัสสาวะและอุจจาระ 500 และ 50 ลิตร ต่อคนต่อปีตามลำดับ คือแทนที่ จะต้องออกแบบการเก็บขนและระบบบำบัดสิ่งปฏิกูล 550 ลิตรต่อคนต่อปี จะเหลือ ปริมาณสิ่งปฏิกูลแค่ 50-100 ลิตรต่อคนต่อปีที่ต้องจัดการ ดังนั้นถ้าเราสามารถทำให้ ประชาชนแยกถ่ายปัสสาวะกับอุจจาระได้ ในระดับครัวเรือนจะทำให้ถึงเก็บกักสิ่งปฏิกูล ของส้วมที่มีอยู่สามารถใช้งานได้นานขึ้นประหยัดค่าใช้จ่ายส้วบส้วม ถ้าเป็นระดับชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลรวมให้มี ขนาดเล็กลงและลดการใช้ทรัพยากร ขณะเดียวกันปัสสาวะที่แยกออกมาสามารถนำไปใช้ ประโยชน์ได้เลยโดยไม่ต้องบำบัดก่อน ชุมชนนี้ไม่ต้องซื้อและขนส่งปุ๋ยเคมี ไม่ต้องขนส่ง พืชผลและสัตว์บางชนิดเป็นระยะทางไกลๆ เป็นการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงและ ทรัพยากรต่างๆ การดำเนินการดังกล่าวข้างต้น จึงเข้าหลักการการสุขาภิบาลอย่างยั่งยืน (Sustainable Sanitation) เพราะการสุขาภิบาล มีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อป้องกันการ แพร่ระบาดของ โรคโดยการตัดวงจรของการเกิดโรคและสร้างสิ่งแวดล้อมให้สะอาด ขณะเดียวกันต้องเป็นวิธีการที่ประหยัดพลังงานและทรัพยากรต่างๆ ด้วย

การจัดการอุจจาระและปัสสาวะควรพิจารณาที่แหล่งกำเนิดและดำเนินการจัดการแบบองค์รวมโดยพิจารณาให้ครบวงจรตั้งแต่แหล่งน้ำ วงจรอาหารของพืชและกระบวนการจัดการ เช่น ณ ที่แห่งนั้นควรใช้ส้วมแบบใด ประเภทใช้น้ำหรือไม่ต้องใช้น้ำในการขับเคลื่อน และการแยกปัสสาวะกับอุจจาระที่ส้วมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เลย จะทำให้เราประหยัดพลังงานและทรัพยากรในการเก็บ ขน และบำบัดสิ่งปฏิกูลไม่ให้ปนเปื้อนแหล่งแพร่เชื้อโรคระบบทางเดินอาหารและไขว่พยาธิ ประเด็นก็คือเราควรมีข้อมูลที่เป็นวิทยาศาสตร์ที่บ่งชี้ว่า ปัสสาวะนั้นมีคุณค่าอะไรบ้าง จะนำไปใช้ประโยชน์อย่างปลอดภัยอย่างไร ให้ประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมั่นใจ และปรับเปลี่ยนความคิดและวิธีการจัดการสิ่งปฏิกูลใหม่ให้สามารถขยายผลสัมฤทธิ์ในวงกว้างได้

1.2 อุจจาระ : ปัญหาระบาดนุส

อุจจาระประกอบด้วยจุลชีพที่ทำให้เกิดโรคและไม่ทำให้เกิดโรค ในอุจจาระมีจุลชีพที่สำคัญที่ทำให้เกิดโรค 3 ชนิด คือ ไวรัส แบคทีเรีย และโปรโตซัว นอกจากนี้ยังมีหนอนพยาธิ (Helminths) ปะปนอยู่ด้วยไวรัสและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคสามารถติดต่อได้ทางอุจจาระ เชื้อโรคเหล่านั้นไม่สามารถจะอาศัยอยู่โดยลำพังได้ โดยปกติจะติดต่อจากคนหนึ่งไปอีกรายหนึ่งโดยการกินอาหารหรือดื่มน้ำที่ปนเปื้อนด้วยอุจจาระเข้าไป หากไม่มีการบำบัดอุจจาระอย่างถูกต้องจะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น เป็นแหล่งเชื้อโรค และพยาธิหลายชนิด เกิดการแพร่กระจายเชื้อโรคและพยาธิไปยังสื่อกลางต่างๆ เช่น แหล่งน้ำ น้ำใต้ดิน พื้นดิน พืชผัก สัตว์เลี้ยง อาหาร มือ แผลงวัน ฯลฯ ทำให้มนุษย์เกิดการเจ็บป่วยด้วยโรคติดต่อบางชนิด เช่น อหิวาตกโรค ไทฟอยด์ และโรคบิดไม่มีตัว

โรคเหล่านี้มีน้ำเป็นสื่อ (Water-borne diseases) ของการติดต่อมากกว่าอาหารและสามารถแพร่จากคนสู่คนได้ทางอุจจาระ (Fecal-oral rout) โรคที่สามารถแพร่กระจายจากอุจจาระออกสู่สิ่งแวดล้อมและเข้าสู่คน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

1.2.1 กลุ่มไวรัส (Viruses) มีไวรัสจำนวนมากที่เข้าสู่ร่างกายทางปาก และผ่านเข้าสู่กระเพาะ ลำไส้ แล้วปะปนออกมากับอุจจาระ มีไวรัสที่สำคัญ 5 กลุ่มดังต่อไปนี้

- โพลิโอไวรัส (Polioviruses) ปะปนกับอุจจาระและติดต่อไปยังบุคคลหนึ่งด้วยการกินหรือหายใจ ก่อให้เกิดการเจ็บป่วย ตายหรือพิการ
- เอ็คโคไวรัส (Echoviruses) พบได้ในอุจจาระ ถ้าได้รับเชื้อจะเกิดการเจ็บป่วย ท้องเสียหรือเป็นโรคระบบทางเดินหายใจได้
- ค็อกซากกีไวรัส (Coxsackieviruses) พบในอุจจาระของผู้ที่ติดเชื้อ ถ้าได้รับเชื้อจะทำให้เกิดอาการทางสมอง เป็นไข้ เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ อัมพาต และเป็นโรคหัวใจ
- โรตาไวรัส (Rotaviruses) พบได้ในอุจจาระของเด็กที่ท้องเสียเป็นสาเหตุที่สำคัญอันหนึ่งทำให้เด็กท้องเสีย
- เฮปตาไตติส เอ ไวรัส (hepatitis A viruses) ปะปนออกมา กับอุจจาระ ทำให้เกิดโรคตับอักเสบ (Infectious hepatitis) เมื่อติดเชื้อจะก่อให้เกิดอาการดีซ่าน โดยทั่วไปอาจไม่มีอาการ

1.2.2 กลุ่มแบคทีเรีย (Bacteria) ในอุจจาระของคนปกติประกอบด้วยแบคทีเรียหลายชนิดและมีจำนวนมาก แบคทีเรียที่พบได้บ่อยที่สุด ได้แก่ แบคทีเรียพวก Enterobacteria , Enterococci, Lactobacilli, Clostridia , Bacteroides, Bifidobacteria และ Eubacteria เนื่องจากแบคทีเรียเหล่านี้พบได้มากในอุจจาระของคนปกติจึงถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนอุจจาระ (Indicator Bacteria) แบคทีเรียที่นิยมใช้กันเป็นตัวบ่งชี้มากที่สุดคือ Fecal Coliform (*Escherichia coli*) ซึ่งเป็นแบคทีเรียตัวหลักในกลุ่ม Enterobacteria สำหรับในกลุ่มของ Enterococci หรือ Fecal streptococci นิยมใช้เป็นแบคทีเรียตัวบ่งชี้เช่นกัน นอกจากนั้นยังมีแบคทีเรียบางชนิดที่โดยปกติจะไม่พบในลำไส้ของคนที่มีสุขภาพดี ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดที่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic Bacteria) แบคทีเรียเหล่านี้ติดต่อจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง โดยการกินอาหาร ดื่มน้ำ หรือปนเปื้อนทางมือ

1.2.3 กลุ่มโปรโตซัว (Protozoa) มีโปรโตซัวหลายชนิดซึ่งปะปนในอุจจาระ สามารถติดต่อจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่งได้ โปรโตซัวหลายชนิดอาศัยอยู่ในลำไส้ของคนและสัตว์ สามารถทำให้เกิดโรคท้องร่วงและโรคบิดได้ ช่วงที่ติดต่อกันได้ของโปรโตซัว คือ ซีสต์ (Cysts) ซึ่งจะปะปนไปกับอุจจาระและคนกินเข้าไป มีโปรโตซัวเพียง 3 ชนิด ที่เป็นเชื้อโรค ได้แก่ Giardia , Balantidium และ Entamoeba histolytica

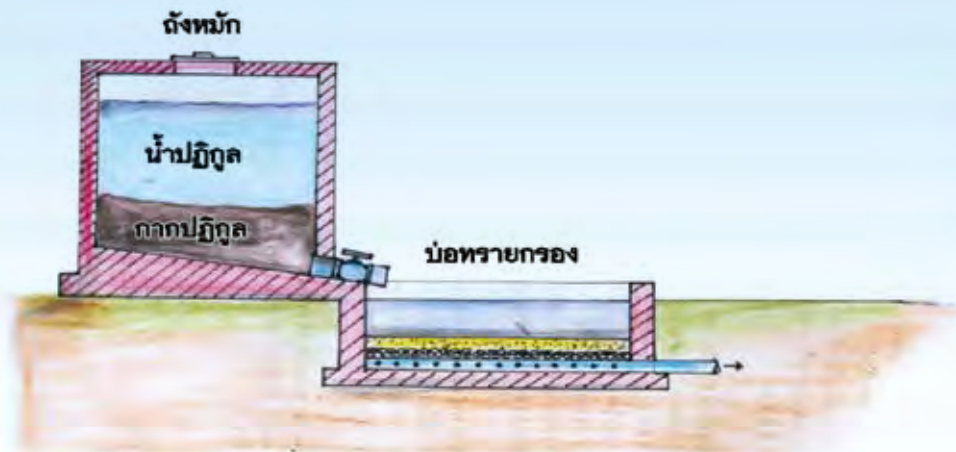
1.2.4 กลุ่มพยาธิ (Helminths) พยาธิเป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในร่างกายมนุษย์และสัตว์ คอยแย่งอาหารหรือดูดเลือดและมักจะทำให้เกิดอันตรายต่อคนหรือสัตว์ตามอวัยวะต่างๆ ของร่างกายที่มันอาศัยอยู่ พยาธิมีมากมายหลายชนิดแตกต่างกัน พยาธิทำอันตรายต่อสุขภาพ แย่งอาหาร ทำให้ร่างกายทรุดโทรม มีอาการแพ้ต่อสารที่ขับออกมาจากตัวพยาธิ ทำลายสุขภาพจิต เป็นอัมพาต และอาจถึงแก่ชีวิตได้ สิ้นเปลืองเงินค่ารักษา ในอุจจาระมักพบไข่หนอนพยาธิจำพวกพยาธิตัวกลม เช่น พยาธิไส้เดือน พยาธิเส้นม้วน พยาธิปากขอ และยังพบหนอนพยาธิหลายชนิด ซึ่งสามารถติดต่อจากคนหนึ่งไปอีกคนหนึ่งได้โดยไข่และตัวอ่อน (Larva) หนอนพยาธิเหล่านี้จะไม่เพิ่มจำนวนในคนยกเว้นหนอนพยาธิพวกพยาธิปากขอ (Strongyloides) หนอนพยาธิเหล่านี้ก่อให้เกิดการขาดสารอาหารในคน เกิดการอุดตันของทางเดินอาหาร เกิดโรคโลหิตจาง โรคตับ และโรคปอด

แต่ทั้งนี้ อาการของโรคพยาธิ จะขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และจำนวนของพยาธิ ตลอดจนตำแหน่งที่พยาธิอาศัยอยู่ รวมไปถึงระยะเวลาในการเป็นโรคว่านานเท่าไร เช่น คนที่มีพยาธิจำนวนมากผู้ป่วยจะมีอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ เบื่ออาหาร เจ็บบริเวณตับ ผอมซีด หากไม่ได้รับการรักษาจะมีอาการรุนแรงขึ้น โดยมีอาการตัวเหลือง ตับแข็ง ท้องมาน และอาจเป็นมะเร็งตับได้ในที่สุด

1.3 วิธีการบำบัดอุจจาระ

อุจจาระและปัสสาวะหรือตามกฎหมายสาธารณสุขเรียกรวมอุจจาระและปัสสาวะว่าสิ่งปฏิกูล โดยปกติถึงเก็บกักสิ่งปฏิกูลของส้วมจะทำหน้าที่ทั้งเก็บกักและบำบัดสิ่งปฏิกูลที่เรียกว่า ระบบบำบัดหรือกำจัดสิ่งปฏิกูลแบบติดกับที่ เมื่อใช้ส้วมไปนานๆ ระบบดังกล่าวเต็ม ต้องให้รถสูบล้างไปบำบัดที่ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลรวมซึ่งบางแห่งบำบัดเฉพาะสิ่งปฏิกูล บางแห่งบำบัดสิ่งปฏิกูลร่วมกับน้ำเสีย ในประเทศไทยขณะนี้มีการใช้ระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลรวม 4 ประเภท คือ

1.3.1 ระบบหมักชนิดไร้อากาศ (Anaerobic Digestion) หรือการหมักเป็นปุ๋ย ซึ่งเป็นการบำบัดสิ่งปฏิกูลทางชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสิ่งปฏิกูลให้มีค่าความสกปรกน้อยลงและทำลายเชื้อโรค โดยต้องหมักชนิดไร้อากาศ แล้วจึงปล่อยสิ่งปฏิกูลที่หมักแล้วตากแดดหรืออบให้แห้งสนิท



รูปตัดของถังหมักและลานทรายกรอง



วัดสวนแก้ว



เทศบาลนครอุดรธานี



เทศบาลเมืองสุพรรณบุรี



เทศบาลเมืองชะอำ

รูปที่ 1 - 1 ระบบหมักชนิดไร้อากาศ



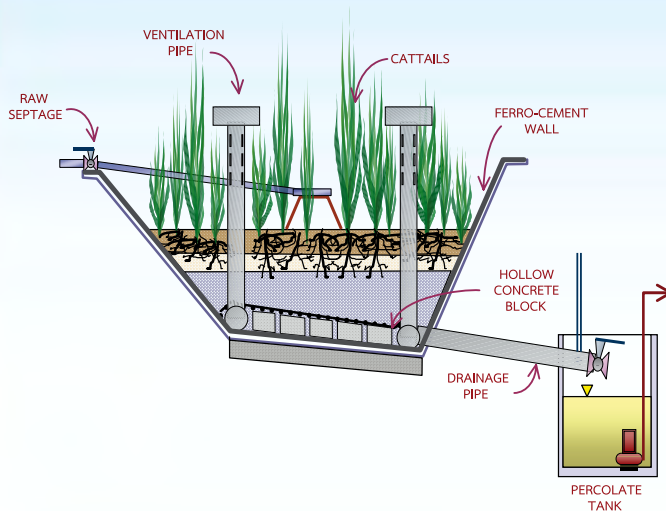
รูปที่ 1 - 2 ระบบหมักชนิดไร้อากาศ ของเทศบาลนครนนทบุรี

1.3.2 ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เป็นกระบวนการบำบัดสิ่งปฏิกูลทางชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสิ่งปฏิกูลให้มีความสกปรกน้อยลง แล้วผ่านบ่อปรับคุณภาพน้ำ (Polishing pond) ก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1 - 3 ระบบตะกอนเร่งของกรุงเทพมหานครที่โรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูลหนองแขม

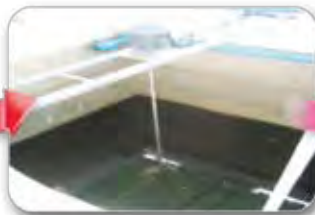
1.3.3 ระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลแนวดิ่ง (Vertical-flow Constructed Wetland) ซึ่งเป็นระบบบำบัดสิ่งปฏิกูลที่อาศัยกระบวนการดูดซับสารอินทรีย์และสารอาหารในสิ่งปฏิกูลโดยการปลูกพืชน้ำ และมีตัวกรองสิ่งปฏิกูล เช่น ทรายหรือหิน



ตะแกรง



บ่อกวนผสม



ระบบประดิษฐ์ชั้นที่ 1



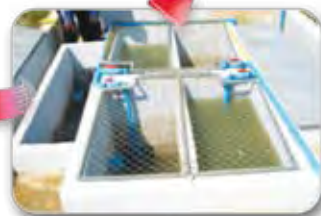
แปลงเกษตรสาธิต



ระบบประดิษฐ์ชั้นที่ 2



บ่อพักน้ำ



รูปที่ 1 - 4 ระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลแนวดิ่งของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)

1.3.4 ระบบบ่อฝึ้งหรือบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds) เป็นกระบวนการบำบัดสิ่งปฏิกูลทางชีวภาพโดยอาศัยแบคทีเรียแฟกคัลเททีฟ (Facultative bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในสิ่งปฏิกูล ในบ่อฝึ้งที่เชื่อมต่อกันหลายบ่อ



ตัวอย่างการวางบ่อของระบบบ่อฝึ้งหรือบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)



รูปแสดงผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝึ้งหรือบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ของเทศบาลนครนครปฐม

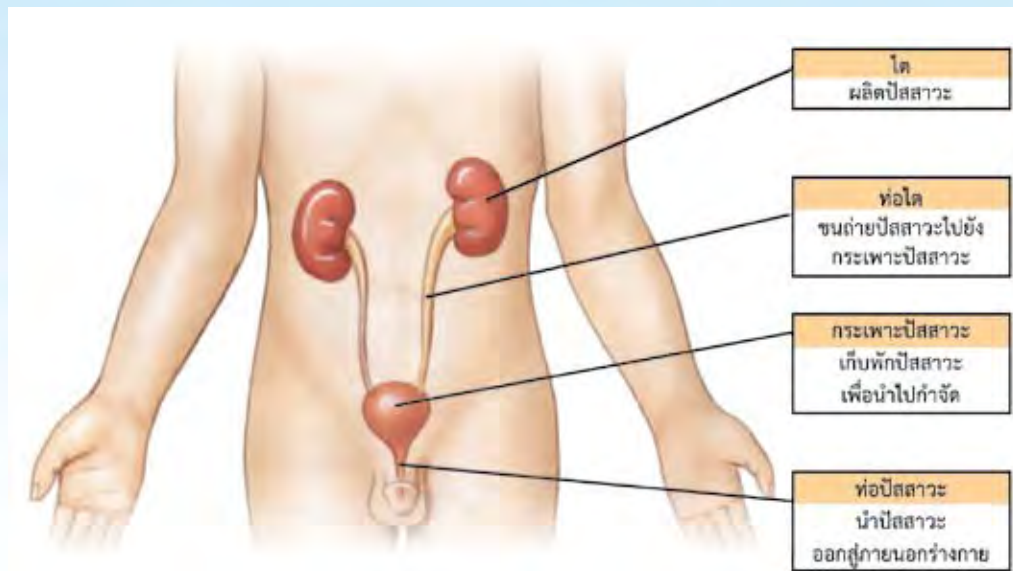
รูปที่ 1 - 5 ระบบบ่อฝึ้งหรือบ่อปรับเสถียร

บทที่ 2

ปัสสาวะกับการแพร่ระบาดโรค

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปัสสาวะ

ปัสสาวะเป็นของเสียที่เป็นของเหลวปริมาณมากที่สุดที่ถูกขับออกมาจากร่างกายผลิตจากไต ไตมีสีน้ำตาลแกมแดงรูปร่างคล้ายเม็ดถั่วขนาดเท่ากำปั้น แต่ละคนมีไต 2 ข้างติดอยู่ทางด้านซ้ายและขวาของกระดูกสันหลังส่วนล่างข้างละอันในบริเวณด้านหลังช่องท้อง โดยมีกระดูกซี่โครงทำหน้าที่เป็นเกราะกำบังอยู่ ในไตแต่ละข้างจะมีหน่วยกรองขนาดจิ๋วเป็นจำนวนกว่าล้านหน่วย ที่เรียกกันว่า หน่วยไต (nephron) ซึ่งถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงๆ ส่องดูแล้ว ก็จะพบว่าพวกหน่วยไตเหล่านี้มีรูปร่างคล้ายกับหลอดแก้ว และมีหางที่เรียกว่า หลอดไต (tubule) ปิดเป็นเกลียว ผู้รู้เขาบอกว่า หากลองคลายเกลียวหลอดไตเหล่านี้ออกมาต่อกันทั้งหมดแล้ว ก็จะได้ความยาวถึง 112.6 กิโลเมตร ไตจะผลิตปัสสาวะออกมาอย่างไม่ขาดสาย โดยแต่ละวันไตจะผลิตปัสสาวะได้ประมาณวันละหนึ่งลิตรครึ่ง เริ่มจากหยดเล็กๆ ของของเหลวซึ่งมีของเสียรวมอยู่ ซึ่งของเสียที่มีปริมาณมากที่สุด คือ ยูเรีย (ยูเรียเป็นผลผลิตขั้นสุดท้ายของการย่อยอาหารประเภทโปรตีน ยูเรียเป็นของเสียที่ร่างกายกำจัดออกทางไตเป็นส่วนประกอบของปัสสาวะ นอกจากนั้นร่างกายกำจัดกาวยูเรียออกจากร่างกายทางผิวหนังเป็นส่วนประกอบของเหงื่อ) ให้ออกจากหลอดไตจำนวนหลายล้านตัวและไหลเข้าสู่แองไคบขนาดเล็กในใจกลางไต แองไคบปัสสาวะนี้จะมีท่อต่อไปยังกระเพาะปัสสาวะ จากนั้นมีท่อต่อออกสู่ภายนอกร่างกาย ระหว่างที่มีการผลิตปัสสาวะ ร่างกายจะเกิดอาการคล้ายระลอกคลื่นของกล้ามเนื้อทุกๆ 10-30 วินาที และจะบีบไล่น้ำปัสสาวะไหลออกสู่ทางออก แต่ในตอนกลางคืนการทำงานของไตจะช้าลงเหลือเพียงประมาณ 1 ใน 3 ของตอนกลางวัน จึงทำให้ไม่ต้องลุกขึ้นถ่ายปัสสาวะกันบ่อยๆ ในตอนกลางคืนในช่วงที่อากาศเย็นเลือดที่ไหลไปเลี้ยงผิวหนังจะลดลงเพื่อถนอมความร้อนภายในร่างกายเอาไว้ แต่ขณะเดียวกันเลือดกลับไหลผ่านอวัยวะภายในต่างๆ รวมทั้งไตมากขึ้น ไตจึงได้รับของเสียจากเลือดมากขึ้น ทำให้ต้องผลิตน้ำปัสสาวะมากขึ้นตามไปด้วย ความโกรธ และความกังวล



รูปที่ 2 - 1 แสดงระบบปัสสาวะของคน

ก็จะทำให้มีการผลิตปัสสาวะมากขึ้นด้วย เพราะขณะที่โกรธและกังวล ความดันเลือดในร่างกายจะสูงขึ้นทำให้เลือดผ่านมาที่ไตมากขึ้น ของเสียที่ออกจากเลือดจึงไปรวมเป็นปัสสาวะมากขึ้นเช่นกัน

โดยธรรมชาติปัสสาวะของสัตว์กินเนื้อจะเป็นกรดอ่อนๆ ปัสสาวะของสัตว์กินพืชจะเป็นด่าง ปัสสาวะของคนเวลาถ่ายใหม่ๆ จะมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ ก่อน แต่พอทิ้งให้อยู่ในสภาพที่มีอากาศประมาณ 5-6 ชั่วโมง ปัสสาวะจะกลายเป็นด่าง เริ่มมีกลิ่น เพราะยูเรียในปัสสาวะจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) สำหรับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดจากปัสสาวะจะเป็นก๊าซไม่มีสี และมีกลิ่นฉุน

ปัสสาวะประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 95 ยูเรียร้อยละ 2 ที่เหลือเป็นสารอื่นๆ ได้แก่ น้ำตาล โซเดียม คลอไรด์ แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น น้ำปัสสาวะมีสีค่อนข้างเหลือง (จากน้ำดี) ปัสสาวะของคนปกติ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6 หรือมีความเป็นกรดเล็กน้อย ปัสสาวะที่เป็นกรด มีค่า pH ต่ำกว่า 7.4 จะมี H^+ และ NH_4^+ สูง ส่วนปัสสาวะมีค่าเป็นด่างจะมี HCO_3^- , Na^+ และ K^+ สูง

ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ผิดไปมีสาเหตุเนื่องมาจาก ระบบเมตาบอลิซึม ระบบไต ระบบทางเดินอาหาร และระบบหายใจของคนๆ นั้น เป็นการบอกความสามารถของไตในการควบคุมสมดุลกรด - ด่างของร่างกายซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการเผาผลาญอาหาร ชนิดของอาหาร โรค และ การใช้ยา ค่าความเป็นกรด และด่างของปัสสาวะมีผลต่อการออกฤทธิ์ของยาบางอย่าง และการตกตะกอนของสารบางอย่างในปัสสาวะทำให้เกิดนิ่วได้ เช่น ปัสสาวะเป็นกรด พบในภาวะอดอาหาร รับประทานโปรตีนมากเกินไป การติดเชื้อ ยาบางชนิด หรือปัสสาวะเป็นด่าง พบในภาวะกินเจ กินยาบางชนิด

2.2 ความเชื่อเรื่องการใช้ปัสสาวะรักษาโรค

เนื้อหาต่อไปนี้อาจไม่สามารถให้คำตอบที่เบ็ดเสร็จว่าปัสสาวะจะสามารถแก้ปัญหาโรคภัยไข้เจ็บบางอย่างตามที่ผู้กล่าวอ้างจริงหรือไม่ ขณะเดียวกันก็ไม่อาจจะสรุปลงไปเลยว่า ปัสสาวะไม่มีคุณค่าใดๆเลยต่อการรักษาโรค เรื่องการดื่ม “น้ำปัสสาวะ” เพื่อรักษาโรคนั้น เป็นเรื่องที่เคยทราบมานาน และได้มีการศึกษาเรื่อง “การศึกษาการใช้ น้ำมูตรบำบัดในเครือข่ายชาวโศก” ของราตรี ชีพอุดมวิทย์ ได้ทำการวิจัยในกลุ่มของชาวสันตือโศก จำนวน 250 คน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้น้ำปัสสาวะเพราะมีแรงจูงใจมาจาก คำสั่งสอนของพระพุทธเจ้าที่ปรากฏในพระไตรปิฎกเป็นหลัก รองลงมาคือ คำบอกกล่าวจากเพื่อนและครูตามลำดับ และเห็นว่าไม่มีผลข้างเคียงใดๆ ผลการศึกษาพบว่าชาวสันตือโศกส่วนใหญ่จะใช้น้ำปัสสาวะในทุกส่วนของร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นการดื่ม อาบน้ำ สระผม หรือล้างหน้า ซึ่งความเชื่อเช่นนี้ได้ปรากฏอยู่ในพระไตรปิฎกด้วย โดยอธิบายว่า พระสมัยก่อนนิยมนำน้ำมูตรเน้ามาดองกับลูกสมอหรือลูกมะขามป้อมเพื่อฉนเป็น ยารักษาโรค รวมถึงความเชื่อของคนจีนโบราณ ซึ่งมากกว่า 3 ล้านคนที่ดื่มปัสสาวะ เพราะเชื่อว่าจะทำให้สุขภาพดี ชาวสันตือโศกส่วนใหญ่จะดื่มปัสสาวะของตัวเองสดๆ โดยเฉพาะในช่วงเช้า เพราะเชื่อว่าจะมีสารเมลาโทนินในปัสสาวะค่อนข้างสูง ทั้งนี้จะดื่ม ปริมาณ 1-2 แก้วครึ่ง ขณะที่บางความเชื่อกว่าถ้าจะให้ดีก็ต้องเป็นปัสสาวะเด็ก รวมถึง การใช้น้ำปัสสาวะบ้วนปาก สระผม ล้างหน้า เพราะเมื่อใช้แล้วผมที่เคยหงอกก็หาย รังแค ก็ไม่มี นอกจากนี้ใช้รักษาสิวโดยเอาสำลีหรือกระดาษทิชชูชุบน้ำมูตรแล้วปะหน้าเอาไว้ การดื่มน้ำปัสสาวะนี้ ถือเป็นทางเลือกหนึ่งของประชาชนเท่านั้น ใครจะลองหรือไม่ ก็แล้วแต่บุคคล (ราตรี ชีพอุดมวิทย์, 2553)

มีรายงานว่ามีการประชุมระดับโลกเกี่ยวกับน้ำปัสสาวะรักษาโรคแล้ว 3 ครั้ง ที่อินเดีย เยอรมนีและบราซิล มีการรายงานน้ำปัสสาวะรักษาอาการปวดข้อ ไมเกรน ภูมิแพ้ โรคเอสแอลอี โรคปวดข้อรูมาตอยด์ แผลไฟไหม้ เบาหวาน มะเร็งลำไส้ใหญ่ ทารักษาเชื้อราตามผิวหนัง สวนล้างช่องคลอดแก้อาการตกขาว รักษาอาการปวดเรื้อรัง เช่น ปวดหลัง ปวดข้อ ปวดไมเกรน ปวดเมื่อยไม่มีสาเหตุ รักษาโรคภูมิแพ้ ผื่นคัน สะเก็ดเงิน มะเร็ง ลำไส้ใหญ่อักเสบเรื้อรัง ใช้ผ้าชุบน้ำปัสสาวะปิดแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก การใช้ น้ำปัสสาวะบำบัดโรค อธิบายได้ด้วยหลักฮีโมโอพาธี หรือหลักพิษต้านพิษ เช่น ฉีดพิษงู ที่ละน้อยๆ เข้ากระแสเลือดมัจจนได้ชีรั้ม หรือน้ำเหลืองมักกลายเป็นเซรุ่มฉีดแก้พิษงู นำพิษของต้นควินินที่ทำให้หนาวสั่นมาเป็นยารักษาไข้มาลาเรียหรือไข้จับสั่น ชาวจีนมีความเชื่อว่า ตีมน้ำปัสสาวะเด็กผู้ชายสำหรับคนอ่อนเพลีย เปื่ออาหาร หลักการแพทย์พื้นบ้านไทยใช้น้ำปัสสาวะเป็นยาต้องเพื่อปรุงรสโอสธ เช่น ดองสมอไทย สมอพิเพก มะขามป้อม เป็นยาอายุวัฒนะ ในต่างประเทศมีการวิเคราะห์น้ำปัสสาวะ พบว่า ประกอบด้วย น้ำ ร้อยละ 95 ยูเรีย ร้อยละ 2 ที่เหลือเป็นสารอื่นๆ มีรายงานระบุว่ายูเรียในปริมาณที่เหมาะสมเป็นสารต้านอนุมูลอิสระป้องกันมะเร็ง แต่หากมีมากจะทำให้เกิดโรคเก๊าท์ ส่วนที่เป็นสารอื่นๆ มีทั้งฮอร์โมนและสารเคมีกระตุ้นการเจริญเติบโต ปัสสาวะมีสารให้ความชุ่มชื้นหรือมอยเจอร์ไรเซอร์ สารละลายลิ้มเลือดในหัวใจเรียกว่ายูโรโคเนส บริษัทยาในสหรัฐได้ตั้งจุดเก็บกักน้ำปัสสาวะกว่า 10,000 แห่ง นำน้ำปัสสาวะ 40 ล้านแกลลอน มาสกัดเอาสารยูโรโคเนส ได้ 40 แกลลอน สกิดส่งขายทั่วโลกตั้งแต่ปี ค.ศ.1989 สารตัวนี้มีมูลค่าการตลาดประมาณ 500 ล้านบาทต่อปี นอกจากนั้นยังพบสารอิเล็กโตรฟลี่ยติน กระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง มีฮอร์โมนเมลาโตนินทำใหนอนหลับดี ปัสสาวะบำบัดโรคเป็นแค่ทางเลือกหนึ่งในการดูแลสุขภาพเท่านั้น ผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น เบาหวาน มะเร็ง ต้องรักษาด้วยการแพทย์ปัจจุบัน มีข้อควรระวังคือ อย่าตีมาน้ำปัสสาวะของคนอื่น ผู้ที่มีโรคระบบทางเดินปัสสาวะ มีประจำเดือน ไม่ควรตีมาน้ำปัสสาวะ เพราะอาจมีเชื้อโรคติดมาด้วย อยากให้มองปัสสาวะรักษาโรคเป็นแบบองค์รวมทั้งทางกายและทางจิต คนที่เจ็บป่วยเป็นมะเร็งหรือโรคเรื้อรังอื่นๆ ก็ต้องไปพบแพทย์ พิจารณาการตีมาน้ำปัสสาวะเป็นทางเลือกเสริม (บรรจบ ชุณหสวัสดิกุล, 2553)

2.3 โรคที่อาจแพร่ทางปัสสาวะ

2.3.1 เชื้อโรคที่เคยพบในปัสสาวะหรือโรคที่อาจแพร่กระจายเชื้อทางปัสสาวะ ตั้งแต่อดีตพบเชื้อที่ทำให้เกิดโรคในปัสสาวะ ได้แก่เชื้อ *leptospira interrogans*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* และ *Schistosoma haematobium* (Feachem et.al.,1983) แต่การพบดังกล่าวเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าไม่มีความสำคัญต่อการเสี่ยงในการติดต่อผ่านทางสิ่งแวดล้อม เราจะพิจารณาที่ละโรคดังนี้ (ตารางที่ 2-1)

โรค leptospirosis หรือที่คนไทยเรียกโรคฉี่หนู โรคนี้เกิดจากเชื้อ *Leptospira interrogans* มีอาการคล้ายโรคไข้หวัด ปกติพบเชื้อของโรคนี้ในน้ำฉี่ของสัตว์อาศัยที่เสี่ยง คือคนงานที่ทำงานเกี่ยวกับน้ำเสียและทำงานในฟาร์มของประเทศเขตร้อนและกำลังพัฒนา (Feachem et.al.,1983; CDC,2003) ในประเทศไทยพบการระบาดของโรคนี้จากฉี่ของหนู แต่ไม่พบจากฉี่ของคน

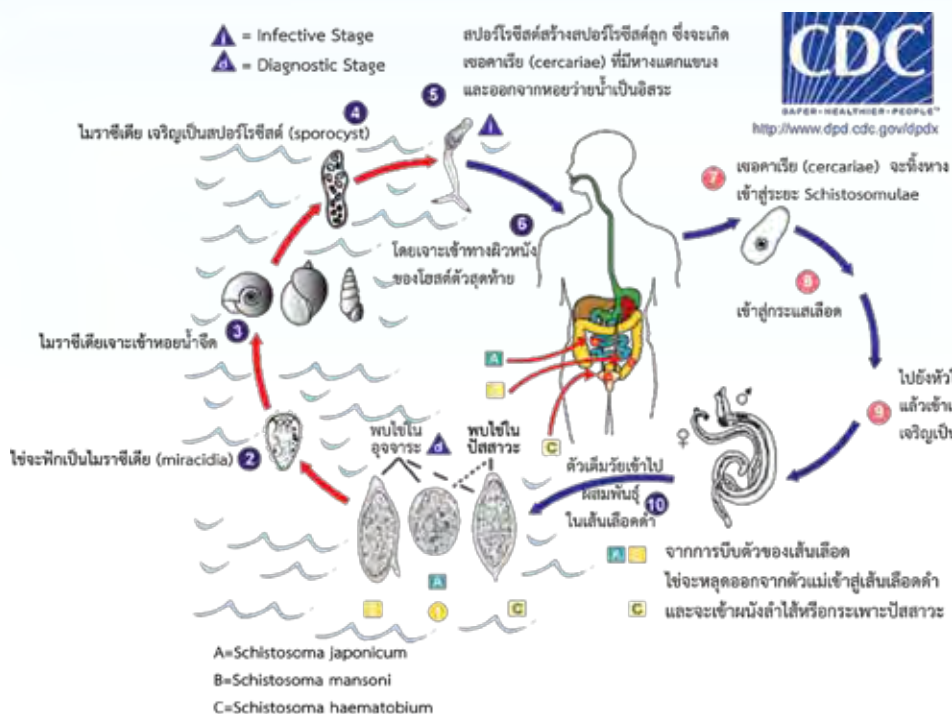
โรคไทฟอยด์และพาราไทฟอยด์ โรคนี้เกิดจากเชื้อ *Salmonella typhi* และ *Salmonella paratyphi* จะตรวจพบเชื้อในปัสสาวะคนป่วยเฉพาะช่วงมีไข้เมื่อแบคทีเรียแพร่กระจายในกระแสเลือด ลักษณะนี้พบน้อยมากแม้ในขณะที่เกิดการระบาดในประเทศกำลังพัฒนา สำหรับระบบการแยกปัสสาวะที่แหล่งกำเนิด (Source Separating or Diverting System) นั้น ความเสี่ยงในการติดต่อของโรคไทฟอยด์และพาราไทฟอยด์โดยผ่านทางปัสสาวะจะต่ำ ถึงแม้ว่าระยะเวลาการเก็บกักปัสสาวะจะน้อย เพราะเชื้อ 2 ตัวนี้อยู่ในประเภท Gram-negative faecal bacteria ซึ่งจะถูกทำลายในเวลาอันรวดเร็วมากคือ ที่อุณหภูมิ 20°C ปริมาณแบคทีเรียจะลดลงร้อยละ 90 ภายในเวลา 1 วัน อัตราการตายของ *Salmonella* spp คล้ายกับ *E.coli* เมื่ออยู่ในปัสสาวะ

Venereal diseases หรือกามโรค เชื้อโรคกลุ่มนี้ไม่สามารถมีชีวิตเมื่อออกจากร่างกายคน

Urinary tract infections หรือกลุ่มโรคติดเชื้อในระบบปัสสาวะ โรคกลุ่มนี้ไม่มีการติดต่อทางสิ่งแวดล้อมโดยตรง

โรค Schistosomiasis หรือ bilharziasis หรือโรคพยาธิใบไม้เลือด โรคพยาธิใบไม้เลือดของคนมี 3 ชนิด คือ *Schistosoma japonicum*, *Schistosoma mansoni* และ *Schistosoma haematobium* มีเพียงชนิดเดียวของ กลุ่มพยาธิใบไม้

เลือดที่ไขหนอนพยาธิออกมาจากร่างกายคนพร้อมกับปัสสาวะคือ *S.haematobium* ที่เหลือคือ *S.japonicum* และ *S.mansoni* จะออกมาจากร่างกายคนพร้อมกับอุจจาระ หอย ซึ่งเป็น *Intermediate host* ของพยาธิ 3 ตัวนี้เป็นหอยต่างประเภทกัน และอวัยวะเป้าหมายก็ต่างกัน คือ *S. japonicum* จะอยู่ในเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงบริเวณลำไส้เล็ก *S.mansoni* จะอยู่ในเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงบริเวณลำไส้ใหญ่ จึงทำให้ไขของพยาธิ 2 ประเภทนี้ออกมาพร้อมกับอุจจาระ ส่วน *S.haematobium* จะอยู่ในเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงบริเวณกระเพาะปัสสาวะไขของพยาธิประเภทนี้จึงออกมากับปัสสาวะ



รูปที่ 2 - 2 แสดงวงจรชีวิตของโรคพยาธิใบไม้เลือด 3 ประเภท

เมื่อคนถูก *S. haematobium* เข้าสู่ร่างกาย บางคนจะมีไขออกมากับปัสสาวะตลอดชีวิตของคนๆนั้น เมื่อไขลงไปใต้น้ำจะฟักออกมาเป็นตัวเรียกว่า miracidium ว่ายอยู่ในน้ำแล้วจะไชไปฝังตัวในเนื้อหอยน้ำจืดในกลุ่ม *Bulinis spp* ซึ่งเป็น *Intermediate host* ของพยาธิชนิดนี้ miracidium จะเจริญเติบโตเปลี่ยนเป็น

sporocyst จากนั้นจะเจริญเติบโตเป็น fork-tailed cercaria ซึ่งเป็นระยะติดต่อจะว่ายออกจากหอยไปอาศัยอยู่ในน้ำ เมื่อคนลงไปเล่นน้ำหรืออาบน้ำที่มี cercaria อยู่ cercaria จะไชผ่านผิวหนังเข้าสู่หลอดเลือด ถ้าไชพยาธิไม่สามารถเข้าไปเจริญในหอยภายในไม่กี่วัน ไชจะฝ่อไม่สามารถติดต่อได้อีก ถ้าเก็บปัสสาวะไว้ระยะหนึ่งแล้วนำไปใช้เป็นปุ๋ยบนดินเพาะปลูกก็สามารถตัดวงจรโรคนี้ได้ หรือถ้าใช้ปัสสาวะสดเป็นปุ๋ยก็ไม่ควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำผิวดินของพื้นที่ที่มีโรคนี้ระบาด มีการตรวจพบ *S.haematobium* ใน 53 ประเทศในตะวันออกกลางและแอฟริกา รวมทั้งเกาะ Madagascar และ Mauritius และเคยพบผู้ป่วยที่คาดว่าจะเป็โรคนี้ในอินเดีย (WHO,2003) ยังไม่พบผู้ป่วยในประเทศไทย และในประเทศไทยไม่พบหอยที่เป็น Intermediate host ของพยาธิชนิดนี้



รูปที่ 2 - 3 แสดงวงจรชีวิตของโรคพยาธิใบไม้เลือด ชื่อ *S. Haematobium*

ตารางที่ 2-1 การพิจารณาเชื้อโรคหรือไข่หนอนพยาธิที่อาจแพร่กระจายผ่านระบบปัสสาวะ

เชื้อโรคหรือไข่พยาธิ	ปัสสาวะเป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อ	ความสำคัญ
- <i>Leptospira interrogans</i>	ปกติพบในฉี่สัตว์	อาจจะน้อย
- <i>Salmonella typhi</i> and <i>Salmonella paratyphi</i>	พบในภาวะผิดปกติ	น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น
- <i>Schistosoma haematobium</i> (eggs excreted)	cercaria ของพยาธิจะออกจากหอยไซ เข้าผ่านผิวหนังคนที่ลงไปแช่ในน้ำ	ให้ความสำคัญในพื้นที่ที่เป็นแหล่งน้ำและเคยมีการระบาดของโรคใบไม้เลือด
- <i>Mycobacteria</i>	ปกติจะติดต่อทางอากาศ	น้อย
- Viruses: CMV, JCV, BKV, adeno, hepatitis and others	ที่ให้ความสนใจ hepatitis A และ B และต้องการข้อมูลเพิ่มเติม	อาจจะน้อย
- Microsporidia	ให้ความสนใจ	น้อย
- Venereal disease causing	เชื้อโรคกลุ่ม VD ไม่สามารถมีชีวิตเมื่อออกจากร่างกายคน	-
- Urinary tract infections	ไม่มีการติดต่อทางสิ่งแวดล้อมโดยตรง	น้อย

สรุปได้ว่าโรคที่เกิดจากแบคทีเรียและไวรัสมีโอกาสดูดต่อทางปัสสาวะได้น้อย และโรคพยาธิที่สามารถดูดต่อทางปัสสาวะมีเพียงชนิดเดียวคือโรคพยาธิใบไม้เลือดที่เกิดจาก *Schistosoma haematobium* อย่างไรก็ตามหอยที่เป็น intermediate host ของพยาธิตัวนี้ ไม่พบในประเทศไทยและยังไม่เคยพบว่ามีผู้ป่วยโรคนี้ในประเทศไทยเช่นกัน ตัวปัสสาวะเองจึงมีความปลอดภัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลยโดยไม่ต้องนำไปทำลายเชื้อก่อน

2.3.2 การศึกษาการมีชีวิตรอดของจุลชีพในปัสสาวะ

ปัสสาวะของคนปกติเมื่อออกจากร่างกายคนใหม่ๆ จะมีค่าความเป็นกรดอ่อนๆ มีค่า pH ประมาณ 6 แต่พอทิ้งสักพักจะกลายเป็นด่าง ไม่ว่าจะปัสสาวะหรือด่างจะมีผลในการทำลายจุลชีพทั้งคู่ ได้มีการทดลองเพื่อศึกษาการมีชีวิตรอดของจุลชีพในปัสสาวะ โดยการเติมจุลชีพชนิดต่างๆ ลงในปัสสาวะที่เป็นด่างมีค่า pH ประมาณ 9 ผลการศึกษา พบว่าจุลชีพถูกทำลาย 90% ที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2-2 (Hoglund, 2001)

ตารางที่ 2-2 ปริมาณจุลชีพถูกทำลายในปัสสาวะ

อุณหภูมิ	จำนวนวันที่จุลชีพถูกทำลายร้อยละ 90				
	<i>Gram-negative bacteria</i>	<i>Gram-positive bacteria</i>	<i>Cryptosporidium parvum</i>	<i>Rotavirus</i>	<i>Salmonella typhimurium</i> <i>Phage 28B</i>
4 °C	1 วัน	30 วัน	29 วัน	172 ^a วัน	1466 ^a วัน
20 °C	1 วัน	5 วัน	5 วัน	35 วัน	71 วัน

^a เป็นการทดลองที่ 5 °C (Hoglund, 2001)

แบคทีเรีย เช่น *Salmonella* และ *E.coli* และตัวอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่ม *Gram-negative Bacteria* จะถูกทำลายอย่างรวดเร็วใน 1 วัน แบคทีเรียกลุ่ม *Gram-positive bacteria* และ *Cryptosporidium parvum* ซึ่งเป็นโปรโตซัว จะถูกทำลายในอัตราเดียวกันแต่มีอัตราการถูกทำลายช้ากว่า *Gram-negative Bacteria* คือจะถูกทำลายหมด (ร้อยละ 90) ภายใน 5 วันที่อุณหภูมิ 20 °C (Hoglund, 2001)

โรต้าไวรัสและไวรัสตัวอื่นๆ จะถูกทำลายหมด (ร้อยละ 90) ภายใน 172 วันที่อุณหภูมิ 5 °C การศึกษานี้ได้ผลเหมือนกับที่ Franzen และ Scott ได้ศึกษาไว้เมื่อปี 1999 และโรต้าไวรัสและไวรัสตัวอื่นๆ จะถูกทำลายหมด (ร้อยละ 90) ภายใน 35 วันที่อุณหภูมิ 20 °C

บทที่ 3

การนำปัสสาวะไปใช้ประโยชน์

3.1 ปริมาณสารอาหารในปัสสาวะและวงจรสารอาหาร (Nutrients Cycle)

จากบทที่ 2 สรุปได้ว่าปัสสาวะปลอดภัยจากเชื้อโรคระบบทางเดินอาหาร และไขหนองพยาธิ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลยโดยไม่ต้องนำไปทำลายเชื้อก่อน

มีการศึกษาพบว่า คนผลิตปัสสาวะและอุจจาระ เฉลี่ย 500 และ 50 ลิตร ต่อคนต่อปี ตามลำดับ และปริมาณธาตุอาหาร 3 ตัวคือไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและ โพแทสเซียม มีในปัสสาวะ รวมกัน เฉลี่ยเท่ากับ 5.3 กก./ปี/คน ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารดังกล่าวในอุจจาระมีค่าเท่ากับ 1.0 กก./ปี/คน ดังรายละเอียดในตารางที่ 3-1

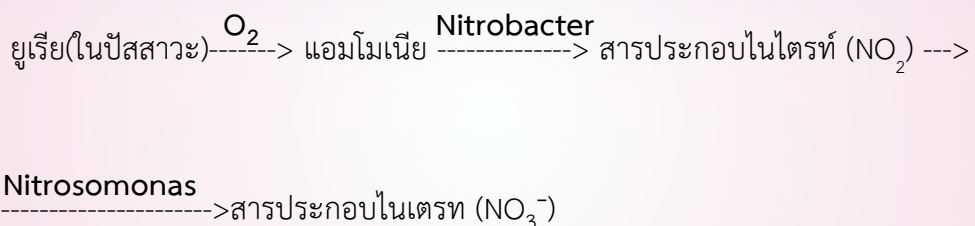
ตารางที่ 3-1 แสดงเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในปัสสาวะและอุจจาระ

ธาตุอาหาร	ปัสสาวะ 500 ลิตร/คน/ปี	อุจจาระ 50ลิตร/คน/ปี	รวม
	กก./ปี (ร้อยละ)	กก./ปี (ร้อยละ)	กก./ปี (ร้อยละ)
ไนโตรเจน	4.0 (80)	0.5 (20)	4.5 (100)
ฟอสฟอรัส	0.4 (67)	0.2 (33)	0.6 (100)
โพแทสเซียม	0.9 (71)	0.3 (29)	1.2 (100)
รวม	5.3	1.0	6.3

ที่มา : SEPA(1995) and Wolgast (1993) จาก Wunwar, 2007

ธาตุอาหารคือไนโตรเจนมีในปัสสาวะจะอยู่ในรูปของยูเรีย ยูเรียจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนียอย่างรวดเร็วเรียกกระบวนการออกซิเดชัน จากนั้นแบคทีเรียที่อยู่ในดิน 2 ตัว คือ ไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter) และไนโตรโซโมนาส (Nitrosomonas) จะทำ

การเปลี่ยนแอมโมเนีย เป็นสารประกอบไนโตรต์และเป็นไนเตรทในที่สุด ซึ่งอยู่ในรูปสารอาหารของพืชโดยใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน (รูปที่ 3-1) และการที่แบคทีเรียดังกล่าวนำแอมโมเนียมา เป็นอาหารเพื่อเพิ่มจำนวนนั้นต้องอาศัยธาตุคาร์บอนเพื่อสร้างผนังของเซลล์และเอนไซม์ด้วย พืชจะใช้สารอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอาหารโดยขบวนการสังเคราะห์แสงและจะเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน และโปรตีนของพืช เมื่อคนและสัตว์กินพืชจะนำกรดอะมิโนไปสร้างโปรตีนของคนและสัตว์ต่อไป ส่วนที่เหลือจะถูกขับถ่ายออกจากร่างกายทางปัสสาวะและอุจจาระ



รูปที่ 3 - 1 ขบวนการเปลี่ยนไนโตรเจนในปัสสาวะเป็นสารประกอบอาหารพืช

เมื่อคนกินอาหารที่ประกอบด้วยพืชและสัตว์จะนำกรดอะมิโนและสารอื่นๆ ไปสร้างการเจริญเติบโตและซ่อมแซมร่างกายส่วนที่สึกหรอ ส่วนที่เหลือและของเสียต่างๆ จะถูกขับถ่ายออกจากร่างกายทางปัสสาวะและอุจจาระ ธาตุอาหารเหล่านี้สามารถนำไปปลูกพืชผักโดยไม่ต้องลงทุน สรุปได้ว่า น้ำปัสสาวะที่มนุษย์ขับถ่ายและทิ้งในแต่ละวัน สามารถตอบสนองต่อความต้องการปุ๋ยในการปลูกพืชของโลกทั้งหมดได้ เกิดเป็นวงจรสารอาหาร (Nutrients Cycle) ที่ใช้ไม่มีวันหมด ชุมชนใดสามารถทำได้จะทำให้รักษาวงจรสารอาหารของชุมชนนั้นๆ ได้ กล่าวคือเมื่อคนกินพืชและสัตว์เป็นอาหารแล้ว ถ่ายออกมาเป็นปัสสาวะและอุจจาระ พืชดูดเอาสารอาหาร และฮอร์โมนจากปัสสาวะและอุจจาระไปใช้ในการเจริญเติบโต แล้วคนและสัตว์กินพืชเป็นอาหารแล้วถ่ายออกมาเป็นปัสสาวะ และอุจจาระ จะทำให้เกิดเป็นวงจรเช่นนี้ไปเรื่อยๆ (รูปที่ 3-2)



รูปที่ 3 - 2 วงจรสารอาหาร (Nutrients Cycle)

3.2 คุณสมบัติของปัสสาวะสำหรับใช้เป็นปุ๋ย

มีการศึกษาองค์ประกอบปัสสาวะของคนไทยว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเป็นปุ๋ยหรือไม่ พบว่าปัสสาวะมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นปุ๋ยของพืช เพราะมีคุณสมบัติต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อัตราส่วนของธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) การนำไฟฟ้า และปริมาณโซเดียม (Na) มีธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ครบตามเกณฑ์ แต่ต้องเพิ่มปริมาณของ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารอินทรีย์วัตถุที่มีน้อยกว่าที่กำหนด (ดังรายละเอียดในตารางที่ 3-2) มีสิ่งที่น่าสนใจคือ ในปัสสาวะยังมีธาตุอาหารรองคือ แคลเซียมและแมกนีเซียม มีธาตุอาหารเสริมคือ คลอไรด์ และมีฮอร์โมนธรรมชาติ มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช 2 ชนิด คือ Indoleacetic acid และ Zeatin ด้วย ซึ่งธาตุอาหารรอง ธาตุอาหารเสริม และฮอร์โมนกรมวิชาการเกษตรไม่ได้กำหนดมาตรฐานว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจะต้องมี (ปริเยศา โชควิณูญ, 2553) ขณะเดียวกันสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) ได้มีการกำหนดมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 12 พ.ค. 2554 โดยมีข้อหนึ่งระบุว่าห้ามใช้อินทรีย์วัตถุที่มีส่วนผสมของสารพิษของมนุษย์มาใช้เป็นปุ๋ย อุจจาระของมนุษย์อนุญาตให้ใช้กับพืชที่ไม่ได้นำมาบริโภคแต่มีข้อยกเว้น ถ้ามีการจัดการที่เหมาะสม (มกท./IFOAM : *International Federation of Organic Agriculture Movements*) คือถ้าต้องการนำมาใช้เป็นปุ๋ยจะต้องดำเนินการให้มกท.ตรวจสอบตามแนวทางการประเมินปัจจัยการผลิตสำหรับเกษตรอินทรีย์ จะเห็นว่าเป็นการห้ามโดยระบุเฉพาะอุจจาระ ไม่ได้รวมถึงปัสสาวะ

ตารางที่ 3-2 แสดงองค์ประกอบของปัสสาวะของคนไทยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน
ปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลว

รายการทดสอบ	ผลการวิเคราะห์ น้ำปัสสาวะสดของคน	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่เป็นของเหลว กรมวิชาการเกษตร 2552
1. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	0.63	ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10
2. pH	5.81	5.5-8.5
3. C : N	0.56:1	ไม่เกิน 10:1
4. การนำไฟฟ้า (เดซิซีเมน/เมตร)	1.76	ไม่เกิน 10
5. ปริมาณโซเดียม (Na)	0.10	ไม่เกินร้อยละ 1.0
6. ธาตุอาหารหลัก		
- ไนโตรเจน (Total Nitrogen)	0.68	ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5
- ฟอสฟอรัส (as Total P_2O_5)	0.10	ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5
- โพแทสเซียม (as Total K_2O)	0.11	ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5
7. ธาตุอาหารรอง		
- Total Calcium	0.02	ไม่ได้กำหนด
- Total Magnesium	0.01	ไม่ได้กำหนด
8. ธาตุอาหารเสริม		
- Total Chloride	0.35	ไม่ได้กำหนด
9. ฮอโมนพืช (mg/L)		
- Indoleacetic acid (IAA)	3.29	ไม่ได้กำหนด
- Zeatin	1.71	ไม่ได้กำหนด

ที่มา : ปริยดา โชควิณญ (2553)

3.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ Carbon footprint (CF) ของปัสสาวะ

Carbon Footprint คือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ โดยตลอดวัฏจักรชีวิต ผลิตภัณฑ์ บริการ และองค์กร แสดงผลในปริมาณ คือ เทียบเท่ากับศักยภาพการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็น กิโลกรัม (kg CO₂ equivalent) หรือตัน (Ton CO₂ equivalent)

อุจจาระและปัสสาวะมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 20 ถ้าปล่อยให้อุจจาระหรือปัสสาวะย่อยสลายในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (ในถังเกรอะ) จะเกิดการย่อยสลาย เป็นก๊าซหลายชนิดและมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 50-80 นอกนั้นเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5-20 ไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่าร้อยละ 1 ไนโตรเจนน้อยกว่าร้อยละ 1 แอมโมเนียน้อยกว่าร้อยละ 1 และไฮโดรเจนน้อยกว่าร้อยละ 1



รูปที่ 3 - 3 แสดงขั้นตอนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

ก๊าซมีเทน และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนในบรรยากาศส่งผลกระทบต่อภาวะเรือนกระจกมากเป็นอันดับสอง รองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แม้ว่าจะมีอยู่ในอากาศเพียง 1.7 ppm แต่ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติของก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า กล่าวคือ ด้วยปริมาตรที่เท่ากัน ก๊าซมีเทนสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า ดังนั้นถ้าเราแยกปัสสาวะออกมาใช้ประโยชน์ก่อนจะช่วยลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก หรือเราอาจนำอุจจาระและปัสสาวะมาหมักเพื่อรวบรวมก๊าซมีเทนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้พลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า จะช่วยทำให้ลด

ภาวะโลกร้อนและประหยัดการใช้พลังงานประเภทฟอสซิล อีกทั้งกักตุนก่อนจากการย่อยสลายก็สามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีด้วย

มีการศึกษาพบว่าถ้าคนไทยปัสสาวะออกมาแล้วปล่อยทิ้งไว้ไม่นำไปใช้ประโยชน์ทันที ปัสสาวะจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาเท่ากับ 0.04822 กก. CO_2 e / คน/วัน หรือ 17.60 กก. CO_2 e /คน/ปี (ปริยะดา โชควิณูญ, 2553)

เมื่อเปรียบเทียบกับต้นไม้ ต้นไม้ 1 ต้น ดูดซับ CO_2 ได้ 9 กก./ปี ดังนั้น คน 1 คนถ้านำปัสสาวะไปใช้ทำปุ๋ย 1 ปี จะช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO_2 สู่บรรยากาศได้เท่ากับต้นไม้ 2 ต้น

3.4 วิธีการใช้ปัสสาวะอย่างปลอดภัยจากเชื้อโรคและไม่เป็นแหล่งแพร่พันธุ์ยุง

Swedish guideline และ WHO guideline for the safe use of wastewater, excreta and greywater ได้แนะนำการใช้ปัสสาวะเป็นปุ๋ยอย่างปลอดภัย คือ ถ้าเป็นระดับชุมชน การแยกปัสสาวะโดยใช้ส้วมโถเดี่ยวที่เรียกว่าโถแยกปัสสาวะทั้งประเภทแบบใช้น้ำ (UDT: Urine-diverting toilet) และแบบไม่ใช้น้ำ (UDDT: Urine-diverting dry toilet) มีการเก็บรวบรวมปัสสาวะมาจากหลายๆบ้านและปัสสาวะที่ได้เป็นปัสสาวะที่ผสมกับน้ำแล้ว และปัสสาวะผสมนั้นมีค่าความเป็นด่าง (pH) อย่างน้อย 8.8 และมีไนโตรเจนเข้มข้นอย่างน้อย 1 กรัม/ลิตร ให้เก็บกักปัสสาวะผสมนั้นไว้อย่างน้อย 6 เดือนเพื่อให้แน่ใจว่าเชื้อโรคที่อาจมีการปนเปื้อนลงในปัสสาวะได้ถูกทำลายหมดแล้ว จึงนำมาใช้เป็นปุ๋ย (ตารางที่ 3-3) แต่ถ้าเป็นระดับครัวเรือน สามารถนำปัสสาวะผสมนั้นไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชผักทุกชนิดได้เลยโดยไม่ต้องเก็บกักก่อนใช้ เพราะโอกาสที่เชื้อโรคติดต่อกันระหว่างคนภายในครอบครัวที่ขาดสุขนิสัยส่วนบุคคลมีมากกว่าการติดต่อกันผ่านทางการใช้ปัสสาวะทำปุ๋ย

การเก็บกักปัสสาวะ ควรเก็บในถังหรือภาชนะปิดมิดชิด (Seal Tank or Container) เพื่อป้องกันคนหรือสัตว์สัมผัส และป้องกันการระเหยของแอมโมเนียซึ่งเป็นการลดการสูญเสียไนโตรเจน (Plant - available Nitrogen) และลดกลิ่นเหม็นด้วย

การเก็บปัสสาวะดีที่สุด คือไม่ควรผสมปัสสาวะกับน้ำ เพราะความเข้มข้นของปัสสาวะที่เป็นกรดหรือด่างจะทำลายเชื้อโรค และป้องกันไม่ให้เป็นแหล่งแพร่พันธุ์ยุง

ตารางที่ 3-3 คำแนะนำการนำปัสสาวะผสมไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับระบบขนาดชุมชน^c
โดยอยู่บนสมมติฐานว่าปัสสาวะผสมถูกปนเปื้อนด้วยเชื้อโรค

อุณหภูมิ เก็บกัก	ระยะเวลา เก็บกัก (เดือน)	เชื้อโรค ^a ที่อาจจะมีชีวิต รอดในถังเก็บกัก ปัสสาวะผสม (ปัสสาวะ ผสมกับน้ำ ^b)	ใช้ปัสสาวะผสมเป็นปุ๋ย สำหรับพืชประเภท
4 °C	≥ 1	Viruses, protozoa	พืชผักและพวงหรือหญ้าแห้งที่ต้องเข้า ขบวนการทำเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์
4 °C	≥ 6	Viruses	พืชผักที่ต้องเข้าขบวนการทำเป็นอาหาร เลี้ยงสัตว์ และพวงหรือหญ้าแห้ง ^d สำหรับเลี้ยงสัตว์
20 °C	≥ 1	Viruses	พืชผักที่ต้องเข้าขบวนการทำเป็นอาหาร เลี้ยงสัตว์ และพวงหรือหญ้าแห้ง ^d สำหรับ เลี้ยงสัตว์
20 °C	≥ 6	ไม่พบ	พืชผักทุกประเภท ^e

- a ไม่รวม Gram-positive bacteria และ spore-forming bacteria ซึ่งปกติพบน้อย
- b หมายถึงปัสสาวะที่ผสมกับน้ำแล้วมีค่า pH อย่างน้อย 8.8 และมีไนโตรเจนเข้มข้นอย่างน้อย 1 กรัม/ลิตร
- c ในกรณีนี้หมายถึงระบบที่ใช้ปัสสาวะผสมเป็นปุ๋ยใส่พืชผักที่จำหน่ายให้ คนทั่วไปที่ไม่ใช่คนในครอบครัวหรือ
ชุมชนที่ให้ปัสสาวะ
- d ไม่รวมพวงหญ้า ที่ใช้ปลูกพวงหรือหญ้าแห้งสำหรับเลี้ยงสัตว์
- e สำหรับพืชผักที่กินดิบ แนะนำให้เก็บเกี่ยวหลังจากใส่ปัสสาวะผสมแล้วอย่างน้อยหนึ่งเดือน ไม่รวมพืชที่กิน
ส่วนที่อยู่เหนือผิวดิน

3.5 วิธีการใช้ปัสสาวะเป็นปุ๋ย มีหลายวิธีให้เลือกดังนี้

3.5.1 เจือจางด้วยน้ำใช้รดพืช การนำปัสสาวะไปใช้กับพืช ไม่ควรเอา
ปัสสาวะเข้มข้น ร้อยละ 100 ไปรดโดยตรงกับต้นพืชเพราะอาจจะทำให้พืชตาย ปกติพืช
จะนำน้ำจากภายนอกเข้าไปใช้โดยวิธีการ Osmosis หมายถึง การเคลื่อนที่ซึ่งเกิดขึ้นเอง
ตามธรรมชาติของน้ำผ่านเยื่อบางๆ ของพืช จากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายเข้มข้น
นอกจากน้ำแล้วยังมีสารอาหาร หรือไอออนบางชนิดไหลผ่านไปด้วย ถ้าเราเอาปัสสาวะ

เข้มข้นร้อยละ 100 ไปรดโดยตรงกับพืชปัสสาวะมีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของๆ เหลวในพืชจะทำให้น้ำจากภายในต้นพืชเคลื่อนที่สู่ภายนอก เมื่อพืชเสียน้ำจะเหี่ยวเหตผลอีกประการหนึ่งเพราะมีความเป็นกรดหรือด่างมากเกินไป ซึ่งจะทำให้พืชอาจถึงตายในที่สุด วิธีการนำปัสสาวะมาใช้จึงต้องเจือจางปัสสาวะกับน้ำในสัดส่วนปัสสาวะ 1 ส่วน ต่อน้ำ 2- 8 ส่วน และที่ได้ผลดีที่สุดคือ ปัสสาวะ 1 ส่วน ต่อน้ำ 3 ส่วน

3.5.2 ผสมปัสสาวะกับน้ำทิ้งจากครัว ปัสสาวะมีไนโตรเจนสูง น้ำทิ้งจากครัวส่วนใหญ่เป็นน้ำมีคาร์บอนเล็กน้อย น้ำทิ้งจากครัวเป็นส่วนผสมที่ดีที่ใช้เจือจางปัสสาวะเพราะคาร์บอนในน้ำทิ้งจากครัวจะเป็นอาหารของแบคทีเรียที่มีชื่อว่า Nitrobacter และ Nitrosomonas Bacteria ที่อยู่ในดินและรากพืช แบคทีเรียเหล่านี้จะเปลี่ยนแอมโมเนียในปัสสาวะให้เป็นสารประกอบไนเตรทซึ่งอยู่ในรูปสารอาหารของพืช ผสมน้ำทิ้งจากครัวและปัสสาวะส่งไปตามท่อที่มีการเติมอากาศไปยังแปลงพืชผักจะได้ปุ๋ยที่ดีของพืช และการเติมน้ำหมักชีวภาพลงในปัสสาวะช่วยลดกลิ่นเหม็นได้

3.5.3 นำปัสสาวะไปหมักทำปุ๋ย ผลจากการศึกษาในครั้งนี้แสดงว่าปริมาณสารอินทรีย์ในปัสสาวะมีเพียง ร้อยละ 0.63 ซึ่งต่ำกว่าที่ค่ามาตรฐานกำหนดไว้คือ ร้อยละ 10 ดังนั้นเราสามารถเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ลงในปัสสาวะได้โดยการหมักดังนี้ เทปัสสาวะลงในถังหมักที่มีสารอินทรีย์ เช่น ใบไม้แห้ง เศษหญ้า ชี้เลื่อย เศษกิ่งไม้ น้ำปัสสาวะจะช่วยย่อยสลายให้สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นปุ๋ยหมักเร็วขึ้น เพราะวัสดุเหล่านี้มีคาร์บอนสูงเป็นอาหารของ Nitrobacter และ Nitrosomonas Bacteria จะได้ปุ๋ยหมักสำหรับพืชได้เป็นอย่างดี

3.6 บทเรียนจากการใช้ปัสสาวะเป็นปุ๋ย

บทเรียนจาก Malawi (Rosemarin, et al., 2008) ในการดำเนินโครงการสุขภาพบาลเชิงนิเวศน์ ปรากฏว่าได้ผลดีเมื่อผนวกให้เข้ากับวิถีปฏิบัติของประชาชน คนต้องการเวลาในการทดลอง

จากรูปที่ 3-4 แสดงผลของการใช้ปัสสาวะเป็นปุ๋ยในการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ดินที่ขาดสารอาหารและแห้งแล้ง การใช้ปัสสาวะแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้ผลดีอย่างมีนัยสำคัญ ปัสสาวะประกอบด้วยไนโตรเจนในปริมาณมากและมีความสมดุลย์ของ

ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม กำมะถันและสารอาหารอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยสภาวะเป็นปุ๋ยยังเป็นการแก้ปัญหาในระยะยาวเป็นการปรับปรุงดินให้เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย จึงควรแนะนำให้เกษตรกรขนาดเล็กนำเอาปุ๋ยสภาวะมาใช้ทำปุ๋ย ซึ่งเป็นแหล่งปุ๋ยที่ทุกคนสามารถเข้าถึงได้



รูปที่ 3 - 4 ต้นข้าวโพด (Maize crop) 31 มกราคม 2548

จากรูปที่ 3-5 แสดงผลของการใช้ปุ๋ยสภาวะจากคนหนึ่งคน (ประมาณ 1.75 ลิตร/วัน) ปลุกข้าวโพदनาน 3.25 เดือน ได้ผลผลิตเกือบ 1 กิโลกรัมของน้ำหนักสด ดังนั้นถ้าใช้ปุ๋ยสภาวะของคนหนึ่งคนปลูกข้าวโพด นาน 1 ปี จะได้ปุ๋ยพอสำหรับพื้นที่ปลูกพืช 300-400 ตารางเมตร



รูปที่ 3 - 5 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวโพดจากการใช้ปุ๋ยสภาวะเป็นปุ๋ย ในปริมาณที่ต่างกัน 3 ความเข้มข้น ระยะเวลาในการปลูก 3.25 เดือน

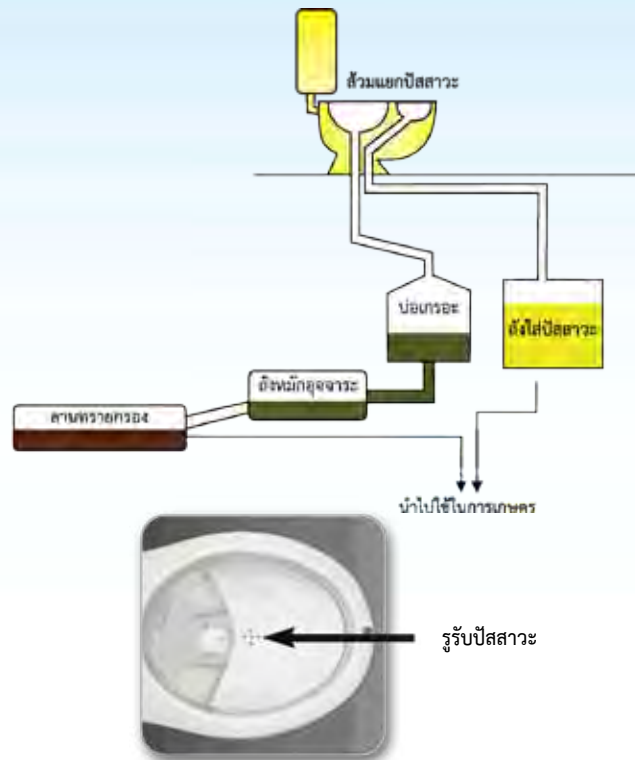
การใช้ปุ๋ยสวะ อุจจาระและน้ำจากส้วมที่ผ่านกระบวนการทำให้ปลอดภัย ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ทำให้เกิดการเกษตรอย่างยั่งยืน นอกจากนี้ในการนำปุ๋ยสวะ อุจจาระมาใช้ยังช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่จะไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินรวมทั้งลดการใช้ปุ๋ยเคมีด้วย เฉลี่ยแล้วมนุษย์ผลิตปุ๋ยสวะและอุจจาระ 500 และ 50 ลิตร ต่อคนต่อปีตามลำดับ หรือเท่ากับ ผลิตปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม 5.5 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (ไนโตรเจน 4 กิโลกรัม โพแทสเซียม 1 กิโลกรัมและฟอสฟอรัส 0.5 กิโลกรัม) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่คนกินในแต่ละภูมิภาค จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าที่ Sub-Saharan Africa สามารถผลิตปุ๋ยได้ด้วยตนเองอย่างเพียงพอถ้าหากเลือกใช้ ปุ๋ยสวะ อุจจาระ เป็นปุ๋ย (SEI, 2005)

ทุกวันนี้เกษตรกรขนาดเล็กในโลกกว่าสองพันล้านคนส่วนใหญ่ไม่สามารถซื้อปุ๋ยเคมีได้มีทางเลือกหนึ่งคือใช้ปุ๋ยอินทรีย์จากการหมักและหรือใช้ปุ๋ยสวะ อุจจาระแทน มีบางประเทศที่มีวัฒนธรรมในการนำอุจจาระและปุ๋ยสวะมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมาเป็นเวลาหลายพันปีแล้วโดยเฉพาะจีนและประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่บ่อยครั้งที่อุจจาระและปุ๋ยสวะมักจะไม่ได้ผ่านกระบวนการทำลายเชื้อโรคอย่างเหมาะสม ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ การวางแผนที่ดีและการใช้หลักการสุขาภิบาลอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพจะทำให้เกิดประโยชน์หลายขั้นตอน ดังนี้

- เกิดการหมุนเวียนของสารอาหารจากอุจจาระและปุ๋ยสวะมาใช้ในการเกษตรของท้องถิ่น (มีความสำคัญมากในพื้นที่ยากจนและดินด้อยคุณภาพ)
- เป็นการป้องกันการปนเปื้อนของสารอาหารของพืช (เช่นไนโตรเจน) สารอินทรีย์และเชื้อโรคลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน
- ลดการรั่วซึมของส้วมระบบบ่อเกรอะและระบบท่อรับ-ส่งน้ำโสโครก
- ลดค่าใช้จ่ายในการวางระบบท่อและระบบบำบัดน้ำเสียรวม (ในกรณีอยู่ในเขตเมือง)
- ทำให้ประหยัดน้ำใช้ในครัวเรือน (มีความสำคัญสำหรับพื้นที่ที่แห้งแล้ง)
- ได้ทางเลือกแทนส้วมหลุมสำหรับพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงและพื้นที่น้ำท่วมถึงสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับ ทำอาหาร ความร้อนและแสงสว่าง

3.7 ตัวอย่างส้วมแยกปัสสาวะ

3.7.1 แบบใช้น้ำ

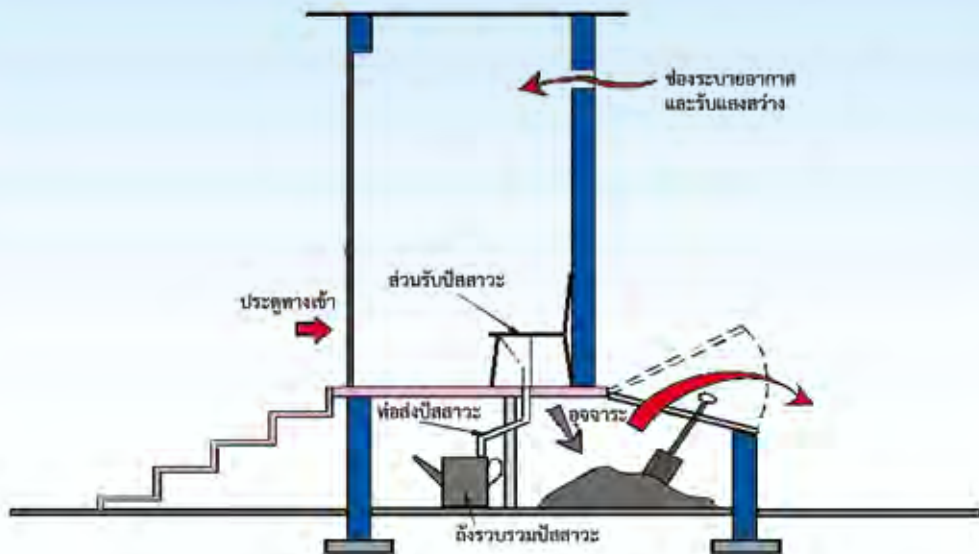


รูปที่ 3 - 6 ส้วมแยกปัสสาวะแบบใช้น้ำ (UDT: Urine-diverting toilet)

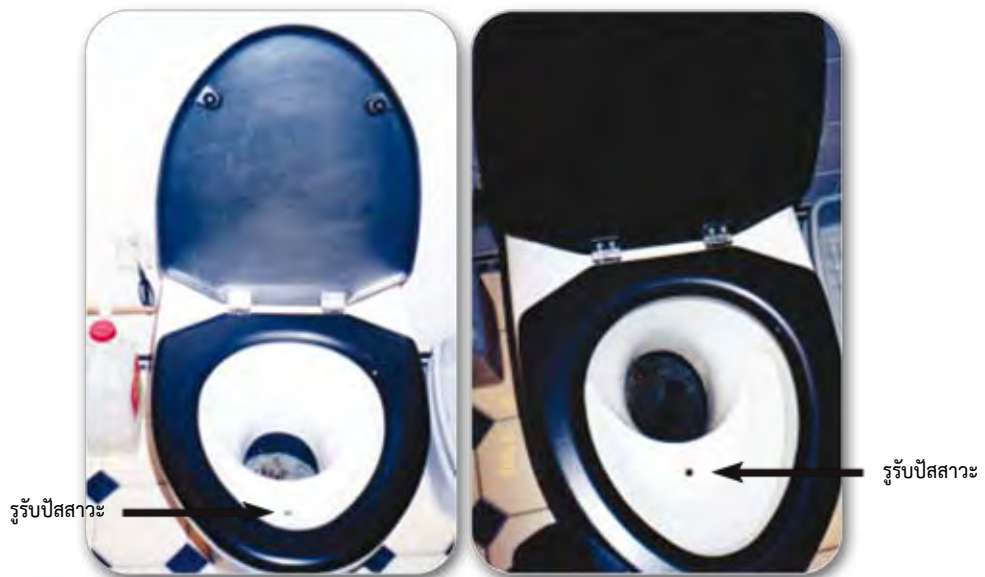


รูปที่ 3 - 7 โถส้วมแยกปัสสาวะแบบใช้น้ำ ชนิดนั่งราบ

3.7.2 แบบไม่ใช้น้ำ



รูปที่ 3 - 8 ส้วมแยกปัสสาวะแบบไม่ใช้น้ำ (UDDT: Urine-diverting dry toilet)



รูปที่ 3 - 9 โถส้วมแยกปัสสาวะแบบไม่ใช้น้ำ ชนิดนั่งราบ แบบที่ 1



รูปที่ 3 - 10 โถส้วมแยกปัสสาวะแบบไม่ใช้น้ำ ชนิดนั่งราบ แบบที่ 2



รูปที่ 3 - 11 การประกอบโถส้วมแยกปัสสาวะแบบไม่ใช้น้ำที่ผลิตจากไฟเบอร์กลาส

ได้มีการออกแบบส้วมหลุมแบบแยกปัสสาวะโดยมีท่อส่งปัสสาวะออกมายังถังรองรับด้านนอก (รูปที่ 3 - 12) เพื่อให้เกษตรกรนำปัสสาวะไปใช้เป็นปุ๋ยได้เลย ภายในห้องส้วมอาจมีโถส้วมอยู่ 1 หรือ 2 โถ ถ้ามี 2 โถแต่ละโถจะมีบ่อเก็บกากคอนกรีตสี่เหลี่ยมรองรับอุจจาระอยู่ข้างล่างและมีประตูด้านข้างสำหรับเปิดออกเมื่อต้องการโกยอุจจาระที่เต็มแล้วออกไปเป็นปุ๋ยของพืช เนื่องจากตัวเรือนส้วมถูกออกแบบยกสูงเพื่อให้สะดวกในการนำอุจจาระออกจากบ่อเก็บกาก (รูปที่ 3 - 13) มีตัวอย่างการใช้ในประเทศเนปาล สำหรับวิธีการใช้ส้วมคือหลังการถ่ายอุจจาระทุกครั้งให้ตักขี้เถ้ากลบอุจจาระเพื่อลดกลิ่นเหม็นและขี้เถ้ามีฤทธิ์เป็นด่าง สามารถทำลายเชื้อโรคได้ด้วย และให้ใช้ส้วมโถเดียวจนกว่าอุจจาระจะมากพอที่จะเคลื่อนย้ายไปใช้เป็นปุ๋ยหรือจะให้ดีให้ปิดทิ้งไว้อย่างน้อย 28 วัน ค่อยนำไปใช้ทำปุ๋ย ข้อดีของการที่ส้วมหลุมแยกปัสสาวะกับอุจจาระนอกจากการได้ปัสสาวะไปใช้ประโยชน์แล้วยังทำให้ส้วมหลุมมีกลิ่นเหม็นน้อยกว่าส้วมหลุมทั่วไปมาก



รูปที่ 3 - 12 ตัวเรือนส้วมแยกปัสสาวะแบบไม่ใช้น้ำสร้างนอกบ้านในประเทศเนปาล



รูปที่ 3 - 13 ตัวอย่างส้วมแยกปัสสาวะและอุจจาระในประเทศเนปาล (ต่อ)



รูปที่ 3 - 14 ตัวอย่างการเก็บปัสสาวะที่รวบรวมจากชุมชน
นำไปไว้ที่แปลงปลูกพืช ในประเทศสวีเดน

3.8 สรุป

เหตุผลที่เราควรแยกปัสสาวะ ณ แหล่งกำเนิดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ มีดังนี้

3.8.1 ตัวปัสสาวะเองปลอดภัยจากโรคระบบทางเดินอาหารและไขหนอน
พยาธิ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลยโดยไม่ต้องนำไปทำลายเชื้อก่อน

3.8.2 การแยกปัสสาวะเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทำให้ลดขนาดของถังบำบัด
แบบติดกับที่ของส้วมและระบบการบำบัดสิ่งปฏิกูลรวม เพราะเมื่อคิดจากค่าเฉลี่ยที่คน
ผลิตปัสสาวะและอุจจาระประมาณ 500 และ 50 ลิตร ต่อคนต่อปีตามลำดับ หรือ
คิดเป็นปริมาณปัสสาวะต่ออุจจาระเท่ากับ 10 ส่วนต่อ 1 ส่วน จะทำให้เราประหยัด
ค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดและสูบสิ่งปฏิกูลจากส้วมเป็นเงินจำนวนมาก

3.8.3 ปริมาณธาตุอาหารในปัสสาวะมีมากกว่าในอุจจาระหรือคิดเป็น
สัดส่วน 5 ต่อ 1 คือมีธาตุอาหารในปัสสาวะ 5.3 กก./ปี/คน และมีในอุจจาระ 1.0 กก./ปี/คน
และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของปัสสาวะ พบว่าปัสสาวะมีคุณสมบัติเหมาะที่จะนำ
มาใช้เป็นปุ๋ยของพืช เพราะมีคุณสมบัติต่างๆอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด ได้แก่ ค่าความ

เป็นกรดต่าง (pH) 5.81 อัตราส่วนของธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) 0.56:1 การนำไฟฟ้า 1.76 เดซิซีเมน/เมตร และปริมาณโซเดียมร้อยละ 0.10 มีธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ร้อยละ 0.68 ครบตามเกณฑ์ แต่มีปริมาณของ ฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.10 โพแทสเซียม ร้อยละ 0.11 และสารอินทรีย์วัตถุ ร้อยละ 0.63 ซึ่งมีน้อยกว่าที่กำหนดคือร้อยละ 0.5 ร้อยละ 0.5 และร้อยละ 10 ตามลำดับ นอกจากนี้ในปัสสาวะมีธาตุอาหารรองคือ แคลเซียมและแมกนีเซียม มีธาตุอาหารเสริมคือ คลอไรด์ และมีฮอร์โมนธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช 2 ชนิด คือ Indoleacetic acid และ Zeatin ด้วย ซึ่งมาตรฐานไม่ได้กำหนดว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นของเหลวจำเป็นต้องมี ขณะเดียวกันก็ไม่ผิดข้อกำหนดของ มกท.ด้วย

3.8.4 ช่วยลดภาวะโลกร้อนเพราะการนำไปใช้ปัสสาวะไปใช้ประโยชน์ก่อนที่ปัสสาวะจะปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากปัสสาวะมีค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ Carbon footprint (CF) เท่ากับ 17.60 กก. CO₂ e/คน/ปี ถ้าเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซ CO₂ ของปัสสาวะกับการดูดซับก๊าซ CO₂ ของต้นไม้ จะได้ว่าคน 1 คน นำปัสสาวะไปใช้ทำปุ๋ย 1 ปีจะช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO₂ สู่บรรยากาศได้เท่ากับการดูดซับก๊าซ CO₂ ของต้นไม้ 2 ต้น

การศึกษาครั้งนี้จึงสอดคล้องกับระบบการสุขาภิบาลที่เรียกว่าการสุขาภิบาลเชิงนิเวศน์ (Ecological Sanitation - EcoSan) เป็นการเติมช่องว่างระหว่างการสุขาภิบาลกับการเกษตร คิดในแง่เศรษฐกิจเป็นการประหยัด เพราะเป็นการใช้วงจรอาหารและน้ำภายในชุมชน ลดการใช้ทรัพยากรและพลังงานก่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน สารอาหารที่มีอยู่ในอุจจาระและปัสสาวะจะถูกรีไซเคิล เช่น ถูกนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ (Günter Langergraber and Elke Muellegger, 2004) สอดคล้องกับความจริงที่ว่าปุ๋ยเคมีนับวันจะมีราคาแพงขึ้นดังนี้ พืชที่เราใช้เป็นอาหารต้องการปุ๋ยซึ่งประกอบด้วยธาตุ ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และโปแตสเซียมเพื่อการเจริญเติบโต การเกษตรในปัจจุบันใช้ฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมีที่ผลิตจาก Phosphate rock ที่กำลังจะหมดภายในเวลาที่จำกัด เมื่อความต้องการฟอสฟอรัสมากขึ้นแต่วัตถุดิบคือ Phosphate rock มีจำนวนจำกัด ดังนั้นปุ๋ยเคมีนับวันก็จะมีราคาแพงขึ้นเรื่อยๆ (Dana Cordell, Jan-Olof Drangert and Stuart White, 2009) ดังนั้นการรีไซเคิลธาตุอาหารของพืชจากอุจจาระและปัสสาวะจึงเป็นคำตอบที่เหมาะสม

3.9 ข้อเสนอแนะ

3.9.1 สำหรับส้วมสาธารณะ ควรแยกท่อส่งน้ำปัสสาวะจากโถปัสสาวะชาย และน้ำเสียจากอ่างล้างมือลงบ่อพักเพื่อรวบรวมนำไปใช้เป็นปุ๋ยรดต้นไม้ เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและพลังงานที่ใช้บำบัดสิ่งปฏิกูล และค่าสูบน้ำ

3.9.2 ผลจากการศึกษาทำให้ทราบแล้วว่าปัสสาวะปลอดภัยจากเชื้อโรคและ ไข่หนอนพยาธิ สามารถนำไปใช้ได้เลยปัสสาวะนั้นจะต้องระวังไม่ให้ปนเปื้อนอุจจาระ การใช้โถส้วมแบบโถเดียวเพื่อแยกปัสสาวะกับอุจจาระจึงไม่เหมาะสมสำหรับส้วม สาธารณะ

แต่สำหรับระดับครัวเรือนการแยกปัสสาวะอาจใช้โถส้วมแบบโถเดียว หรือ อาจใช้วิธีการแยกอย่างละโถเหมือนส้วมสาธารณะก็ได้

วิธีการแก้ปัญหากลิ่นเหม็นจากบ่อพักน้ำปัสสาวะ ให้เติมน้ำหมักชีวภาพลงใน บ่อพักน้ำปัสสาวะ สัตส่วนน้ำปัสสาวะผสม 1000 ลิตรต่อน้ำหมักชีวภาพ 5 ลิตร ใน วันรุ่งขึ้นถ้ายังมีกลิ่นให้เติมอีกครั้งแต่ลดปริมาณน้ำหมักชีวภาพให้น้อยลง ทำเช่นนี้ ไปสักระยะกลิ่นจะหมดไป

3.9.3 ควรทำการศึกษาพัฒนารูปแบบโถส้วม เพื่อแยกปัสสาวะกับอุจจาระ ที่เหมาะสมกับสรีระและพฤติกรรมการถ่ายของคนไทย แล้วนำไปทดลองใช้ในพื้นที่จริง เพื่อศึกษาข้อดีข้อเสียและปัญหาอุปสรรคเพื่อปรับแก้ก่อนที่จะส่งเสริมให้ใช้แพร่หลาย ทั่วไป

3.10 การพัฒนาและขยายผล

ได้มีการนำผลการศึกษานี้ไปพัฒนาและขยายผลดังนี้

3.10.1 การแนะนำให้ปรับปรุงระบบท่อใหม่เพื่อนำปัสสาวะจากโถ ปัสสาวะชายเก็บในบ่อที่เตรียมไว้ ได้แนะนำให้มีการดำเนินการไปแล้ว 2 แห่งคือ โรงเรียนพนาสนวิทยา อ.ลำดวน จ.สุรินทร์ และศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ดังนี้

โรงเรียนพนาสนวิทยา อ.ลำดวน จ.สุรินทร์ ได้ชนะเลิศเป็นสุดยอดส้วม แห่งปี 2552 และทางโรงเรียนมีหลักสูตรให้นักเรียนปลูกพืชสวนครัว เพื่อเป็นการ บูรณาการกรมอนามัยจึงได้แนะนำให้โรงเรียนแยกปัสสาวะมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชสวน ครัวดังกล่าว โดยให้ทำการปรับปรุงระบบท่อรับน้ำเสียใหม่เพื่อแยกน้ำปัสสาวะจากโถ

ปัสสาวะชาย โดยวางระบบท่อลงสู่บ่อพักก่อนปั๊มขึ้นมาใช้ ปัสสาวะที่ได้เป็นปัสสาวะผสม น้ำชำระโถ โรงเรียนได้เลือกวิธีการปัมน้ำจากบ่อพัก โดยให้นักเรียนถีบจักรยานเพื่อให้มอเตอร์ทำงานแทนมอเตอร์ไฟฟ้าส่งน้ำปัสสาวะไปยังแปลงพืชสวนครัว ที่ตั้งจักรยานเป็น สถานีจัดไว้สำหรับนักเรียนออกกำลังกาย ขณะที่นักเรียนปั่นจักรยานเพื่อออกกำลังกาย จะเป็นการปั๊ม น้ำผสมปัสสาวะรดต้นไม้ด้วย (รูปที่ 3-15) ผลจากการทดลองดำเนินการ พบว่า

- (1) ในระยะแรกมีกลิ่นเหม็นของปัสสาวะจากบ่อพักน้ำปัสสาวะ ได้มีการแก้ปัญหา โดยการเติมน้ำหมักชีวภาพ 5 ลิตรต่อน้ำ 1,000 ลิตร เป็นช่วงๆที่มีกลิ่นเหม็น
- (2) ใช้กระดาษลิตมัสวัดค่า pH ของน้ำในถังพักในระยะแรกมีค่าประมาณ 6-7 ซึ่งเป็นกรดอ่อนๆ แสดงว่าน้ำชำระโถปัสสาวะที่ผสมกับปัสสาวะมีปริมาณ น้อยเกินไป วิธีแก้ปัญหาคือต้องเพิ่มปริมาณน้ำ แนะนำให้เดินท่อรับน้ำเสีย จากอ่างล้างมือลงในบ่อพักน้ำ บ่อพักน้ำนี้ควรปิดให้มิดชิดเพื่อป้องกันการ ระเหยของไนโตรเจน ลดกลิ่นเหม็น และไม่เปื้อนแหล่งเพาะพันธุ์ยุง



รูปที่ 3 - 15 โรงเรียนพนาสนวิทยา อ.ลำดวน จ.สุรินทร์

ศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา ได้ทำการปรับปรุงระบบท่อรับน้ำเสียใหม่เพื่อแยกน้ำปัสสาวะจากโถปัสสาวะชายและอ่างล้างมือของส้วมสาธารณะที่จัดไว้บริการแก่ผู้ป่วยที่มาใช้บริการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของศูนย์ฯ โดยวางระบบท่อลงสู่บ่อพักก่อนปั๊มขึ้นมาใช้ ศูนย์ฯ ได้เลือกวิธีการปัมน้ำจากบ่อพักโดยใช้คนถือจักรยานเพื่อให้มอเตอร์ทำงานแทนมอเตอร์ไฟฟ้าส่งน้ำปัสสาวะไปยังสนามหญ้าเพื่อรดต้นไม้ ที่ตั้งจักรยานเป็นสถานจัดไว้เพื่อการออกกำลังกายด้วย (รูปที่ 3-16)



รูปที่ 3 - 16 ศูนย์อนามัยที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา

3.10.2 การพัฒนาโถส้วมแยกน้ำ

ได้ออกแบบโถส้วมแยกน้ำทั้งแบบใช้น้ำและแบบไม่ใช้น้ำ โดยพัฒนามาจากโถส้วมนั่งยองที่มีใช้อยู่ทั่วไป 2 แบบ คือ แบบใช้น้ำกับแบบไม่ใช้น้ำ (รูปที่ 3-17) และได้นำแบบใช้น้ำไปทดลองใช้ที่ศูนย์ 3 ร้อย อ.เมือง จ.แพร่ (รูปที่ 3-18)



รูปที่ 3 - 17 ส่วนนั่งของแบบใช้น้ำ (ซ้าย) และไม่ใช้น้ำ (ขวา)



รูปที่ 3 - 18 ส่วนแยกปัสสาวะนั่งของแบบใช้น้ำ ศูนย์ 3 วัย จ.แพร่

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2552. ประกาศกรมวิชาการเกษตรเรื่อง การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียนและการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2552. เข้าถึงได้จาก http://m.doa.go.th-ard-rule-rule_110.pdf.url. วันที่ค้นข้อมูล 19 มีนาคม 2554.
- กองบรรณาธิการ. 2550. 'น้ำปัสสาวะปุ๋ยชั้นดีจากฉี่มนุษย์ ทดแทนปุ๋ยเคมี ดีต่อสภาพแวดล้อม.' เกษตรกรรมธรรมชาติ, วารสาร, 10/2550 ปีที่ 10: 27-43.
- บรรจบ ชุนทสวัสดิกุล. 2553. การดื่มน้ำปัสสาวะรักษาโรค. เข้าถึงได้จาก <http://www.morkeaw.net/k-urine.html>, วันที่ค้นข้อมูล 19 มีนาคม 2554.
- ปรียะดา โชควิณูญ. 2549. คู่มือการจัดการสิ่งปฏิกูลแบบครบวงจร โครงการตามแนวพระราชดำริ. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- ปรียะดา โชควิณูญ. 2553. การจัดการสุขาภิบาลอย่างยั่งยืน : การศึกษาองค์ประกอบของปัสสาวะเพื่อเพิ่มมูลค่า. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- พัฒนา มูลพฤกษ์. 2550. อนามัยสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 4 ฉบับปรับปรุง เมษายน 2550. องค์การส่งเสริมการค้าผ่านศึก, กรุงเทพฯ.
- ราตรี ชีพอุดมวิทย์. 2553. การศึกษาการใช้น้ำมูลบำบัดในเครือข่ายชาวอโศก. เข้าถึงได้จาก <http://www.board.fortunestars.com/board.php?newsId=783>, วันที่ค้นข้อมูล 19 มีนาคม 2554.
- วนิดา วรเกริกกุลชัย และคณะ. 2553. การจัดการสุขาภิบาลอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ.

วาสนา ยุวดี และคณะ. 2548. *คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์*. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ควิกปรีนท์ ออฟเซ็ท. กรุงเทพฯ.

สุภาภรณ์ หลักรอด. 2554. *ของเสียไม่เสียของ จะอื่จะดีก็คั้งนั้น*. ศูนย์อนามัยที่ 4 ราชบุรี, เอกสารโรเนียวประกอบการประชุม.

สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์. 2554. *มาตรฐานเกษตรอินทรีย์, ฉบับปรับปรุง ปี 2011, IFOAM Accredited*, นนทบุรี.

สำนักที่ปรึกษาร่วมกับสำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม. 2553. *คู่มือการประเมินและลด Carbon footprint ในโรงพยาบาล*. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

ออมทรัพย์ นพอมรบดี และคณะ. 2547. *ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ น้ำหมักชีวภาพ (ตอนที่ 1)*. กองทุนสนับสนุนงานวิจัยด้านเกษตร กรมวิชาการเกษตร. ควิกปรีนท์ ออฟเซ็ท. กรุงเทพฯ.

Aussie Austin. 2002. *How to Urine Diversion Sanitation*. Available at: <http://www.sustainablesettlement.co.za/howto/urinediv/nutrients.html>. Accessed 19 July 2011.

Cordell, D., Drangert, J. and White, S. 2009. *The story of phosphorus : Global food security and food for thought*. Available at: http://www.agci.org/dB/PDFs/09S2_TCREWS_StoryofP.pdf. Accessed 5 June 2011.

Drangert, J., Bew, J., and Winblad, U. 'Ecological Alternatives in Sanitation.' Proceedings from Sida Sanitation Workshop. Balingsholm, Sweden, 6 - 9 August 1997.

Feachem, R. G., Bradley, D. J., Garelick, H. and Mara, D. D. 1983. (2003). *Sanitation and Disease – Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, Chichester, UK. CDC, Available at: http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/leptospirosis_t.htm. Accessed 15 March 2011.

Franzen, H. and Scott, F.. 1999. *A study of the use and functioning of urine-diverting dry toilets in Cuernavaca, Mexico – Virus survival, user attitudes and behaviors*. Report no. 85, International office, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

Hoglund, 2001. *Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine*. PhD thesis, Department of Biology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, ISBN 91 7283 039 5.

Kunwar Durg Vijay Singh Yadav. 2007. *Source Separation Technique for Recovery of Nutrients from Human Excreta*. Available at: <http://www.Source%20Separation%20Technique%20for%20Recovery%20of%20Nutrients%20from%20Human%20Excreta.pdf>. Accessed 10 July 2011.

Langergraber, G. and Muellegger, E. 2004. Ecological Sanitation - a way to solve global sanitation problems ?. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041200400145X.pdf>. Accessed 5 June 2011.

Rosemarin, A., Ekane, N., Caldwell, I., Kvarnström, E., McConville, J., Ruben, C. and Fogde, M.. 2008. *Pathways for Sustainable Sanitation - Achieving the Millennium Development Goals*. SEI/IWA. ISBN 184 339 1961.



Schonning, C., and Stenstrom, T. A.. 2004. *'Guidelines for the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems.'* EcoSanRes Publications Series, the EcoSanRes Programme and the Stockholm Environment Institute.

SEI. (2005). Sustainable Pathways to Attain the Millenium Development Goals: Assessing the Key Role of Water, Energy and Sanitation. Stockholm Environment Institute.

United Nations Human Settlements Programme. 2008. *Constructed Wetlands Manual*. UN-HABITAT. ISBN 978 92 1 131963 7.

WHO, 2003. Available at: <http://www.who.int/ctd/schisto/epedemio.htm>. Accessed 30 June 2011

WHO and UNEP. 2006. *WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*, France. ISBN 92 4 154 682

WHO and UNEP. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volumes 5, Waste, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Technical Support Unit and Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

มหัศจรรย์ปีศาจ

สำนักอนาถีย์สิ่งเหนือโลก กรมอนาถีย์

กระทรวงสาธารณสุข

โทร. 0 2590 4128

ISBN : 978-616-11-0904-2