บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความสำคัญของซาลโมเนลลา

ในบรรดาแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อและการระบาดในคนนั้น ซาลโมเนลลาเป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับมนุษย์มาก เดิมทีซาลโมเนลลาอาศัยอยู่ในสัตว์และก่อให้เกิดโรคเฉพาะในสัตว์ มีเพียงไม่กี่ชนิดที่เป็นจุลินทรีย์ก่อโรคของคนโดยตรงและอาศัยคนเป็นพาหะ แต่ปัจจุบันนี้ซาลโมเนลลาจากสัตว์หลายชนิดทำให้เกิดการติดเชื้อในคนและอาศัยคนเป็นพาหะอยู่ได้เป็นเวลานาน เพราะซาลโมเนลลาสามารถปรับตัวได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปของสังคมมนุษย์

1. ลักษณะทั่วไป

ซาลโมเนลลาเป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปท่อน (Rod Shape) กว้าง 0.7-1.5 ไมครอน ยาว 2-5 ไมครอน ซาลโมเนลลาเป็นแบคทีเรียในสกุลเอนเทอโรแบคเทอริเอซี่ (Family Enterobacteriaceae) หรือเรียกว่าพวกเอนเทอริค กรุ๊ป (Enteric Group) ซึ่งหมายถึงแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น ไม่สร้างแคปซูล ซาลโมเนลลาเคลื่อนที่ด้วยแฟลกเจลลาที่อยู่รอบเซลล์ (Peritrichous Flagella) ยกเว้น *S.* Pullorum และ *S.* Gallinarum ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (nonmotile) ซาลโมเนลลาเจริญได้ในที่ไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย (Facultative Anaerobe) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของซาลโมเนลลาคือ 37 องศาเซลเซียส

โดยทั่วไปซาลโมเนลลาสามารถย่อยน้ำตาลได้หลายชนิด เช่น กลูโคส (Glucose) มอลโทส (Maltose) แมนนิทอล (Manitol) และซอร์บิทอล (Sorbital) แต่ไม่ย่อยน้ำตาลแลคโทส (Lactose) อะโดนิทอล (Adonitol) ซูโครส (Sucrose) และซาลิซิน (Salicin) การย่อยน้ำตาลของซาลโมเนลลาอาจเกิดกรดอย่างเดียว หรืออาจเกิดทั้งกรดและก๊าซ ซาลโมเนลลาส่วนใหญ่สร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้ ยกเว้นบางซีโรวาร์ (Serovars) เท่านั้นที่ไม่สร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่น *S.* Paratyphi A และ *S.* Choleraesuis

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ซาลโมเนลลายังสามารถรีดิวซ์ (Reduce) ไนเตรท (Nitrate) ให้เป็นไนไตรท์ (Nitrite)ได้ แต่ไม่สร้างอินโดล (Indole)

ซาลโมเนลลาทำให้เกิดโรคได้ทั้งในคนและสัตว์ ส่วนมากทำให้เกิดโรคหรือมีอาการเกี่ยวกับโรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ (Gastroenteritis) และสามารถตรวจพบซาลโมเนลลาในสัตว์เลือดอุ่นหลายประเภท รวมทั้งในคน สัตว์เลื้อยคลาน และในอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์

2. ลักษณะทางซีรั่มวิทยา

ลักษณะทางแอนติเจนที่สำคัญของซาลโมเนลลา ที่ใช้เป็นสมบัติในการทดสอบทางซีรั่มวิทยามี 3 ชนิดดังนี้

1) โอ แอนติเจน หรือโซมาติก แอนติเจน (O or Somatic Antigen)

เป็นแอนติเจนที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์ โปรตีน และฟอสฟอไลปิด มีคุณสมบัติคือสามารถทนร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ได้นานถึง 2 ชั่วโมง 30 นาที ทนต่อเอทธิลอัลกอฮอล์เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ และทนต่อกรดเจือจาง

2) เอช แอนติเจน หรือแฟลกเจลลา แอนติเจน (H or Flagella Antigen)

เป็นส่วนประกอบของสารประเภทโปรตีน ซึ่งมีคุณสมบัติ คือ ถูกทำลายได้ด้วยความร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ถูกทำลายด้วยอัลกอฮอล์และกรด ซาลโมเนลลาส่วนมากมีเอช แอนติเจน 2 เฟส ได้แก่เฟส 1 เรียกว่าเฟสจำเพาะ (Specific Phase) และเฟส 2 เรียกว่าเฟสไม่จำเพาะ (nonspecific Phase)

ซึ่งแอนติเจนของเฟส 1 จะให้ชื่อเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก โดยเริ่มจาก a จนถึง z แต่เนื่องจากในปัจจุบันนี้ได้พบแอนติเจนมีอยู่มากกว่าจำนวนตัวอักษร แอนติเจนที่พบระยะหลังจึงให้ชื่อเป็น z....z_{59} ส่วนแอนติเจนของเฟส 2 มีอยู่หลายชนิด บางชนิดอาจตรวจไม่พบก็ได้ จึงเรียกว่าเฟสไม่จำเพาะ ตัวอย่างแอนติเจนเพียงเฟสเดียวที่สำคัญคือ *S.* Paratyphi A *S.* Typhi *S.* Derby *S.* Enteritidis และ *S.* Dublin ส่วนซีโรวาร์ที่ไม่มีแอนติเจนได้แก่ *S.* Gallinarum

3) วีไอ แอนติเจน (Vi Antigen)

เป็นแอนติเจนที่คลุมอยู่รอบโอ แอนติเจน คุณสมบัติของวีไอ แอนติเจน คือจะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อน กรด หรือฟีนอล โดยปกติซาลโมเนลลาที่มีวีไอแอนติเจน ได้แก่ *S.* Typhi *S.* Dublin และ *S.* Paratyphi C

3. การจำแนกซาลโมเนลลา

ในปี ค.ศ. 1997 WHO Collaborating Center for Reference and Research on *Salmonella* Institut Pasteur ประเทศฝรั่งเศส ได้แบ่งจีนัสซาลโมเนลลา (Genus *Salmonella*) ออกเป็น 2 สปีชีร์ (Species) โดยสปีชีร์แรกเรียกว่า *S.* enterica มี 6 สับสปีชีร์ (Subspecies) และสปีชีร์ที่ 2 เรียกว่า *S.* bongori และได้จัดจำแนกจีนัสซาลโมเนลลาออกเป็น 2,435 ซีโรวาร์

S. enterica subsp.			
	enterica	1,435	serovars
	salamae	485	serovars
	arizonae	94	serovars
	diarizonae	321	serovars
	houtenae	69	serovars
	indica	11	serovars
S. bongori		20	serovars
	Total	2,435	serovars

4. การจำแนกซีโรวาร์ (Serovare)

Kauffmann-White Scheme จำแนกซีโรวาร์ของซาลโมเนลลาโดยใช้ความแตกต่างของ O Antigen H Antigen และ Vi Antigens คือ O Antigens มีแอนติเจนนิค ดีเทอร์มิแนนท์ (Antigenic Determinant) หลายตำแหน่ง ซึ่งแต่ละตำแหน่งมีหมายเลขกำกับไว้ ความแตกต่างของ O Antigen แบ่งซาลโมเนลลาออกเป็นกรุ๊ป (Group) โดยแรกๆใช้อักษร A-Z ต่อจากนั้นใช้หมายเลขแทน โดยในแต่ละกรุ๊ปจะมี O Antigen แตกต่างกันไป เช่น กรุ๊ป C จะมี O Antigen คือเลข 6, 7, 8, 14, 20 ส่วน กรุ๊ป E จะมี O Antigen คือเลข 1, 3, 10, 15, 19, 34 และซาลโมเนลลาในแต่ละกรุ๊ปยังแบ่งย่อยออกเป็นซีโรวาร์หรือสปีชี่ร์ ตาม H Antigens โดยซาลโมเนลลาอาจมี H Antigens เฟสเดียวหรือสองเฟส เฟสหนึ่งจะแสดงด้วยตัวอักษร a-z และ z-z_{59} ส่วนเฟสที่สองจะใช้ตัวเลขอารบิคและตัวอักษร 1-7, enx,enz$_{15}$, lv, wz_6z_{28} ฯลฯ ดังนั้น Antigenic Formular ของ*S.* Choleraesuis จึงเป็น 6,7:c:1,5 ซึ่ง 6,7 หมายถึง O Antigens c หมายถึง Flagellar Antigen Phase 1 และ 1, 5 หมายถึง Flagellar Antigen Phase 2 ตัวอย่างซาลโมเนลลาซีโรวาร์ต่างๆปรากฏดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างซีโรวาร์ของซาลโมเนลลา

Group	Serovare	O-Antigen	H-Antigen	
			Phase 1	Phase 2
O:2(A)	*S.* Paratyphi A	1,2,12	a	[1,5]
O:4(B)	*S.* Derby	1,4,[5],12	f.g	[1,2]
	S. Agona	1,4,12	f,g,s	-
	S. Typhimurium	1,4,[5],12	i	1,2
O:7(C_1)	*S.* Rissen	6,7	f,g	-
	S. Mbandaka	6,7	z_{10}	e,n,z_{15}
	S. Choleraesuis	6,7	c	1,5
O:9 (D_1)	*S.* Enteritidis	1,9,12	g, m	-
	S. Panama	1,9,12	l,v	1,5
O:3,10 (E_1)	*S.* Anatum	3,10,[15],[34]	e,h	1,6
	S. Orion	3,10,[15],[15,34]	y	1,5
O:11 (F)	*S.* Aberdeen	11	i	1,2
O:13 (G)	*S.* Poona	1,13,22	z	1,6
O:38 (P)	*S.* Bangkok	38	z_4,z_{24}	-
O:43 (U)	*S.* IIIa	43	z_4,z_{23}	-
	S. IV	43	z_4,z_{23}	-
O:44 (V)	*S.* V	44	r	-
O:50(Z)	*S.* II	50	z	e,n,x
O:51	*S.* Meskin	51	e,h	1,2
O:65	*S.* II	65	g,h	-
O:67	*S.* Crossness	67	r	1,2

หมายเหตุ [ ] มีหรือไม่มีก็ได้

spp. I = species *S.* enterica subsp. enterica

spp. II = species *S.* enterica subsp. salamae

spp. III = species *S.* enterica subsp. arizonae

spp. IV = species *S.* enterica subsp. houtenae

5. การเขียนชื่อซาลโมเนลลา

การเขียนชื่อซาลโมเนลลาได้เปลี่ยนจากการใช้อักษรตัวเล็ก และตัวพิมพ์เอียงเป็นอักษรตัวใหญ่ เช่น *Salmonella* typhimurium เปลี่ยนเป็น *Salmonella* Typhimurium นอกจากนี้ซาลโมเนลลาบางซีโรวาร์มีฟาจ (Phage) เข้าไปแทนที่ทำให้แอนติเจนเปลี่ยนไป ซึ่งระบบเดิมจะเปลี่ยนชื่อเป็นซีโรวาร์ใหม่ แต่ระบบใหม่จะไม่มีการเปลี่ยนชื่อซีโรวาร์ ตัวอย่างเช่น ซาลโมเนลลาซึ่งมี O Antigen 3,10 เมื่อมี phage E_{10} และ phage E_{34} เข้าแทรกจะทำให้ factor O:15 หรือ factor O:15,34 เข้าแทนที่ factor O:10 ซึ่งแต่เดิม *Salmonella* O:3,15 จะจัดอยู่ในกรุ๊ป E_2 และ *Salmonella* O:3,15,34 จะจัดอยู่ในกรุ๊ป E_3 แต่ในปัจจุบันจะอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับ O:3,10(E_1) เท่านั้น แต่ให้เขียน factor O:15 และ O:15,34 อยู่ในวงเล็บ ตัวอย่างเช่น

<u>ระบบเดิม</u>

S. Anatum	3,10:e,h:1,6	(มี O Antigen group E_1)
S. Newington	3,15:e,h:1,6	(มี O Antigen group E_2)
S. Mineapolis	3,15,34:e,h:1,6	(มี O Antigen group E_3)

<u>ระบบใหม่</u>

ได้จัด *Salmonella* O group E_2 และ E_3 รวมกับ group O:3,10 (E_1) โดยให้เขียน factor O:15 และ factor O:15,34 อยู่ในวงเล็บ ดังนั้น *S.* Anatum *S.* Newington และ *S.* Mineapolis จึงมีชื่อเดียวกันคือ *S.* Anatum 3,10(15)(15,34):eh:1,6

6. แหล่งที่พบซาลโมเนลลา

ซาลโมเนลลาเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคขั้นแรกในสัตว์ ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญที่ทำให้เกิดการติดเชื้อต่อมนุษย์ แหล่งที่พบซาลโมเนลลาจะเกี่ยวข้องกับอาหาร การเกษตร และสุขลักษณะในแต่ละชุมชน การติดเชื้อซาลโมเนลลาจะมาจากคนที่เป็นโรคหรือคนที่เป็นพาหะ ปกติจะตรวจพบซาลโมเนลลาในสัตว์ปีกโดยเฉพาะ ไก่ ไก่งวง และเป็ด และสัตว์ทางการเกษตร เช่น หมู วัวควาย แกะ และม้า การติดเชื้อซาลโมเนลลาระหว่างสัตว์ในฟาร์มมีจำนวนสูงมาก เนื่องมาจากอาหารที่มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารพวกเนื้อปลาและพวกกระดูกที่นำไปใช้เลี้ยงสัตว์ นอกจากนี้สัตว์เลี้ยงในบ้าน (เช่น สุนัข แมว หนู และหนูแฮมเตอร์) และเต่ามีการติดเชื้อซาลโมเนลลากันมาก การติดเชื้อซาลโมเนลลาเกิดจากการอยู่ร่วมกับสัตว์เลี้ยง หรือสัตว์ที่อาศัยอยู่ตามบ้านเรือนที่เป็นพาหะของซาลโมเนลลา และการบริโภคอาหารและน้ำดื่มที่มีซาลโมเนลลาปนเปื้อน

7. การก่อโรคในคนและสัตว์

ซาลโมเนลลาเป็นสาเหตุของโรคอุจจาระร่วงที่พบได้ทั่วไป เช่น ในสหรัฐอเมริกามีรายงานการวิเคราะห์เชื้อจากผู้ป่วย 31,000 คน ในปีค.ศ.1979 พบเชื้อซาลโมเนลลามากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ในแคนาดาระหว่างปี ค.ศ.1977-1979 มีผู้ป่วยจากเชื้อซาลโมเนลลาเพิ่มขึ้นมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในประเทศไทยนั้นในปี พ.ศ. 2540 ศูนย์ทดสอบเชื้อโรคลำไส้แห่งชาติ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้รายงานการทดสอบเชื้อแบคทีเรียลำไส้ที่ส่งมาจากหน่วยงานต่างๆทั่วประเทศไม่น้อยกว่า 100 แห่ง พบว่าเชื้อที่ส่งมาทดสอบเป็นซาลโมเนลลามากที่สุดถึง 77.89 เปอร์เซ็นต์ ของแบคทีเรียลำไส้ที่ส่งมาทดสอบทั้งหมด และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นทุกปี (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2540) มีรายงานประมาณอุบัติการของผู้ป่วยจากซาลโมเนลลา ในปีพ.ศ. 2541 คิดเป็นอัตราป่วยเท่ากับ 374.99 ต่อประชากรแสนคน

ดังนั้นเพื่อประโยชน์ทางด้านคลีนิค จึงได้มีการแบ่งกลุ่มซาลโมเนลลาตามการอาศัยอยู่ในโฮสท์ (Host) ได้ดังนี้

1) ซาลโมเนลลาที่อาศัยอยู่เฉพาะในคน ได้แก่ *S.* Typhi *S.* Paratyphi A *S.* Schottmulleri *S.* Hirschfeldii และ *S.* Sendai การติดเชื้อซาลโมเนลลาในคนเกิดจากการแพร่กระจายระหว่างคนด้วยกัน

2) ซาลโมเนลลาที่อาศัยอยู่เฉพาะในสัตว์ โดยสัตว์แต่ละชนิดจะเป็นโฮสท์ให้กับซาลโมเนลลาบางซีโรวาร์เท่านั้น เช่น ซาลโมเนลลาที่มักจะตรวจพบในหมูได้แก่ *S.* Choleraesuis และ *S.* Typhisuis ซาลโมเนลลาที่ตรวจพบในแกะได้แก่*S.* Abortusovis ซาลโมเนลลาที่ตรวจพบในวัวควายได้แก่ *S.* Dublin ซาลโมเนลลาที่ตรวจพบในม้าได้แก่ *S.* Abortusequi และซาลโมเนลลาที่มักตรวจพบในเป็ดไก่ ได้แก่ *S.* Pullorum และ *S.* Gallinarum

3) ซาลโมเนลลาที่ไม่มีโฮสท์โดยเฉพาะ กลุ่มนี้คือซาลโมเนลลาซึ่งอยู่ในธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ มักทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วงไม่รุนแรงในระยะเวลาสั้นๆ เพียง 1-2 วัน และมีระยะเวลาฟักตัวเพียง 12-48 ชั่วโมง ไม่พบว่าซาลโมเนลลามีการบุกรุกเข้ากระแสโลหิต ซาลโมเนลลาเหล่านี้เป็นสาเหตุของอาการที่เรียกว่าอาหารเป็นพิษ

7.1 ซาลโมเนลลาที่ทำให้เกิดโรคในคน (Human Salmonellosis)

ตามปกติคนจะไม่มีซาลโมเนลลาอยู่ในร่างกาย การติดเชื้อซาลโมเนลลาเกิดจากการกินอาหารหรือน้ำที่มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนเข้าไป ทางคลีนิควิทยาจำแนกโรคที่เกิดจากการติดเชื้อซาลโมเนลลาในมนุษย์ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1) โรคไข้เอนเทอริค (Enteric Fever)

ได้แก่ไข้ไทฟอยด์และพาราไทฟอยด์ โดยมีการติดเชื้อซาลโมเนลลาทางกระแสโลหิตและจะแสดงอาการในระบบต่างๆของร่างกาย เกิดจาก *S.* Typhi และ *S.* Paratyphi A, B, C

2) โลหิตเป็นพิษ (Septicemia)

เกิดจาก *S.* Choleraesuis ผู้ป่วยมีอาการของโลหิตเป็นพิษ จะตรวจพบเชื้อซาลโมเนลลาในกระแสเลือด แต่ไม่มีอาการเกี่ยวกับลำไส้ โดยซาลโมเนลลาจะทำให้เกิดหนองฝีที่อวัยวะต่างๆ เยื่อหุ้มสมองอักเสบ กระดูกอักเสบ ปอดอักเสบ และเยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ

3) โรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ (Gastroenteritis)

มักเกิดจากซาลโมเนลลาที่เป็นปรสิตของสัตว์พวกวัวควาย ไก่ เป็นต้น โดยที่ซาลโมเนลลาอาจปนเปื้อนมากับเนื้อสัตว์ที่นำมาประกอบอาหารโดยไม่ถูกสุขลักษณะ เช่น เนื้อสัตว์ที่ปรุงไม่สุกดี ใช้ความร้อนไม่เพียงพอที่จะทำให้ซาลโมเนลลาตายหมด หรือแมลงวันอาจเป็นพาหะนำเชื้อซาลโมเนลลามาปนเปื้อนอาหารที่ปรุงเสร็จแล้ว เมื่อตั้งอาหารไว้ในที่อุ่นๆซาลโมเนลลาสามารถเพิ่มจำนวนมากขึ้น ทำให้คนที่บริโภคอาหารที่มีซาลโมเนลลาปนเปื้อนมีอาการของโรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบได้ ความรุนแรงของโรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบจะขึ้นกับจำนวนของซาลโมเนลลาที่เข้าสู่ร่างกาย และความต้านทานของผู้ป่วย

7.2 ซาลโมเนลลาที่ทำให้เกิดโรคในสัตว์ (Salmonellosis in animal)

ซาลโมเนลลาที่มีความเฉพาะเจาะจงกับชนิดของสัตว์ (Animal Specific) คือซาลโมเนลลาที่ทำให้สัตว์แสดงอาการแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสัตว์ ตัวอย่างเช่น

<u>โค กระบือ</u>

พบว่าลูกวัวมีความไวต่อการติดเชื้อซาลโมเนลลามาก โดยเฉพาะในช่วง 2-3 อาทิตย์แรกที่เกิดมา มีโอกาสติดเชื้อซาลโมเนลลาสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ และอาจทำให้มีอัตราการตาย (Mortality) ประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อโค กระบือมีอายุมากขึ้นจะมีความต้านทานต่อซาลโมเนลลาดีขึ้น ทำให้การติดโรคจากซาลโมเนลลาลดน้อยลง

นอกจากซาลโมเนลลาจะทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหารในโค กระบือแล้ว ซาลโมเนลลาบางซีโรวาร์ยังทำให้เกิดการแท้งลูก เช่น ตรวจพบเชื้อ *S.* Dublin จากเนื้อเยื่อมดลูกและอุจจาระของวัวที่แท้งลูก นอกจากจะตรวจพบซาลโมเนลลาในโค กระบือที่แสดงอาการแล้ว ยังพบว่าโค กระบือยังเป็นพาหะของซาลโมเนลลาอีกด้วย

<u>แพะ แกะ</u>

ซาลโมเนลลาที่ตรวจพบมากใน แพะ แกะ คือ *S.* Typhimurium และ *S.* Abortusovis ที่ทำให้เกิดการแท้งลูกในแพะ แกะ แถบ ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ บัลแกเรีย อังกฤษ ตุรกี ฮังการี

ในลูกแพะ ลูกแกะที่มีอายุน้อยๆที่มีอาการกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ มักเกิดจากซาลโมเนลลา 4 ซีโรวาร์ คือ *S.* Dublin *S.* Typhimurium *S.* Oranienberg และ *S.* Java โดยซาลโมเนลลาทั้ง 4 ซีโรวาร์ทำให้เปอร์เซ็นต์การตายของลูกแพะ ลูกแกะ สูงถึง 66 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งกว่านั้นแพะ แกะ จะกลายเป็นพาหะที่ช่วยแพร่กระจายซาลโมเนลลาให้ขยายวงกว้างออกไปอีก

ม้า

S. Abortusequi เป็นซีโรวาร์ที่ตรวจพบได้บ่อยในม้าที่มีการแท้งลูก ซาลโมเนลลามักจะไม่ก่อให้เกิดอาการเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารในม้า แต่ม้าจะเป็นพาหะของเชื้อซาลโมเนลลา โดยตรวจพบ *S.* Typhimurium *S.* Anatum และ *S.* Dublin ในอุจจาระของม้าที่มีอาการเป็นปกติ

สุกร

ลูกสุกรจะไวต่อการติดเชื้อซาลโมเนลลามาก โดยเฉพาะในลูกสุกรที่มีอายุต่ำกว่า 6 เดือนจะพบว่ามีอาการของโรคกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบเสมอ และพบว่าสุกรเป็นแหล่งสะสมเชื้อซาลโมเนลลา โดยพบสุกรที่มีอาการเป็นปกติจำนวนเท่าๆกับสุกรที่มีอาการของโรค

ในประเทศไทยซาลโมเนลลาที่ตรวจพบมากในสุกรจากโรงฆ่าสัตว์ คือ *S.* Derby *S.* Java *S.* Choleraesuis *S.* Newport *S.* Stanley *S.* Anatum และ *S.* Sandiego และในสุกรที่มีอาการเป็นปกตินั้นจะตรวจพบ *S.* Derby และ *S.* Anatum เสมอๆ

สัตว์ปีก

S. Gallinarum และ *S.* Pullorum เป็นซาลโมเนลลาที่ตรวจพบได้เสมอในไก่ โดยเฉพาะในไก่มักตรวจพบ *S.* Gallinarum และ *S.* Pullorum พร้อมกันทั้ง 2 ซีโรวาร์ ใน ค.ศ. 1987 WHO Collaborating Center for Reference and Research on *Salmonella* Institute Pasteur ได้จัดให้ทั้ง 2 ซีโรวาร์เรียกเป็นชื่อเดียวว่า *S.* Gallinarum ที่เป็นสาเหตุของโรคอุจจาระขาว (White Diarrhea) ในไก่ และอาจทำให้อัตราการตายของไก่สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และยังเป็นพาหะของเชื้อซาลโมเนลลาอีกด้วย

นกก็เป็นสัตว์ปีกอีกชนิดหนึ่งที่มีการติดเชื้อซาลโมเนลลา โดยซาลโมเนลลาที่ตรวจพบในนกได้แก่ *S.* Gallinarum-Pullorum และ *S.* Typhimurium นอกจากนี้ยังพบว่าเป็ด นกพิราบ นกนางนวล และไก่งวง เป็นพาหะของซาลโมเนลลาอีกด้วย

ในสัตว์อื่นๆ

สัตว์เลี้ยงประเภท แมว สุนัข สามารถเป็นพาหะของซาลโมเนลลา โดยตรวจพบซาลโมเนลลาในอุจจาระของสัตว์เลี้ยงเหล่านี้ และยังตรวจพบซาลโมเนลลาหลายซีโรวาร์ในอูฐ หนู กระต่าย งู สัตว์เลื้อยคลาน และปลาหลายชนิด แม้กระทั่งเต่าก็เป็นพาหะของซาลโมเนลลาในเปอร์เซ็นต์สูง จากการตรวจเต่า 2 สปีชีส์ คือ *Testudo grace* และ *Testudo nermanni* พบซาลโมเนลลาสูงถึง 28 ซีโรวาร์

<u>สัตว์เลี้ยงสมัยนิยม</u>

จากการศึกษาอีกัวนาที่นำเข้ามาในประเทศไทยจำนวน 92 ตัวพบว่ามีซาลโมเนลลาปนเปื้อนถึง 62 ตัว คิดเป็นร้อยละ 67.7 จำแนกได้ทั้งหมด 20 ซีโรวาร์และมีจำนวน 11 ซีโรวาร์ ที่ไม่เคยตรวจพบในประเทศไทยมาก่อน (อรุณ บ่างตระกูลนนท์และคณะ, 2541) และในปี พ.ศ. 2542 ได้ตรวจพบซาลโมเนลลา 1 ซีโรวาร์ในเลือดของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับที่ตรวจพบในอีกัวนา

8. ซาลโมเนลลาในสิ่งแวดล้อม

สามารถตรวจพบซาลโมเนลลาในสิ่งแวดล้อมได้บ่อย เนื่องจากซาลโมเนลลามีพาหะที่ไม่ใช่มนุษย์กว้างขวาง สิ่งแวดล้อมที่ตรวจพบซาลโมเนลลา ได้แก่ ดิน แหล่งน้ำ กากตะกอน พืชผัก และสิ่งปฏิกูล

8.1 ดิน

จะตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในดินที่มีการเติมกากตะกอน สเลอรี่ (Slurry) และน้ำที่ผ่านการบำบัด เช่น Watson (1980) ได้ทดลองนำกากตะกอนที่มีซาลโมเนลลาปนเปื้อน 25-30 เซลล์/100 มล. เติมลงในพื้นที่ปลูกกะหล่ำปลีอัตรา 70 คิวบิคเมตร/เฮกแตร์ พบว่าซาลโมเนลลาสามารถรอดชีวิตได้ที่อุณหภูมิ 3-32 องศาเซลเซียส ระหว่างฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อนทางตอนเหนือของอังกฤษได้นาน 42-49 วัน ส่วน Delage (1961) พบว่า *S.* Abortusovis ที่มีจำนวนเริ่มต้น 10^6 เซลล์/กรัมดิน จะลดลง 99.9 เปอร์เซ็นต์ หลังจากวันที่ 50 และยังตรวจพบซาลโมเนลลาหลงเหลือในดินได้นานกว่า 300 วัน

การรอดชีวิตของซาลโมเนลลาจะแตกต่างกันไปตามชนิดและสภาพแวดล้อม เช่น ในฤดูใบไม้ร่วงของอังกฤษ *S.* Dublin รอดชีวิตได้นานถึง 12 สัปดาห์ แต่ในฤดูหนาวและฤดูร้อนนั้น ซาลโมเนลลาจะรอดชีวิตได้นาน 24 สัปดาห์และ 13 สัปดาห์ตามลำดับ ส่วน *S.* Typhimurium จะรอดชีวิตได้นานกว่า 35 สัปดาห์ในดินที่อังกฤษ แต่ *S.* Typhimurium รอดชีวิตได้เพียง 8 สัปดาห์ ในดินแถบออสเตรเลีย

ปัจจัยที่มีผ. ต่อการรอดชีวิตของซาลโมเนลลาได้แก่ อุณหภูมิ แสงแดด เปอร์เซ็นต์ความชื้น พีเอช และสารอินทรีย์ในดิน (Gerba, Wallis and Melnick, 1975 ; Rudolfs, Falk and Ragotzkie, 1950 อ้างใน Bitton,1994)

8.2 แหล่งน้ำ

ตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในน้ำจากหลายแหล่งด้วยกัน ตัวอย่างเช่น

น้ำผิวดิน

สามารถตรวจพบซาลโมเนลลาในน้ำผิวดินบริเวณที่มีสัตว์อาศัยอยู่ ในลำธารที่ไหลผ่านพื้นที่การเกษตร ในน้ำทิ้งจากบ้านเรือน และในน้ำทิ้งจากกิจกรรมอื่นๆจากหมู่บ้านและโรงงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่การเกษตรจะตรวจพบซาลโมเนลลาในปริมาณสูงถึง 71 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะกลายเป็นแหล่งแพร่กระจายซาลโมเนลลาที่สำคัญแหล่งหนึ่ง นอกจากนี้ยังตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากฟาร์มปศุสัตว์ ฟาร์มโคนมและโรงฆ่าสัตว์อีกด้วย โดยน้ำทิ้งจากฟาร์มปศุสัตว์จะทำให้เกิดการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาไปสู่แหล่งน้ำอื่นๆ การตรวจพบซาลโมเนลลาในแหล่งน้ำสามารถบอกได้ว่าแหล่งน้ำนั้นมีการปนเปื้อนจากน้ำเสียหรือของเสียต่างๆ ปริมาณและชนิดของซาลโมเนลลาจะแตกต่างไปตามประเภทของโรงงาน การตรวจพบซาลโมเนลลาในน้ำทิ้งจากขั้นตอนการผลิตในโรงงานทำอาหารจะมีประโยชน์ต่อการควบคุมมาตรฐานของโรงงานในการประกอบการ เช่น การตรวจพบ *S.* Agona ในเนื้อปลาที่ใช้เป็นอาหารสัตว์นั้นเป็นชนิดเดียวกับที่ตรวจพบได้ในของเสียของพวกเป็ดไก่ ทำให้คาดคะเนได้ว่าในแหล่งน้ำที่ได้ปลามานั้นมีการปนเปื้อนจากของเสียของพวกเป็ดไก่ สภาพของแหล่งน้ำก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำนั้น เช่น จุดที่แหล่งน้ำมีอัตราการไหลช้าจะมีปริมาณซาลโมเนลลาสูงถึง 5,800/100 มล. ซึ่งมากกว่าในจุดที่แหล่งน้ำมีอัตราการไหลแรงที่ปริมาณสูงสุดเป็น 2,500/100 มล.

น้ำใต้ดิน

พบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ระดับตื้น หรือมีรอยแตกแยกที่ทำให้น้ำผิวดินรั่วไหลไปยังชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer)ได้ นอกจากนั้นยังตรวจพบซาลโมเนลลาได้ในบริเวณน้ำพุซึ่งปนเปื้อนโดยไม่มีการป้องกัน

น้ำดื่ม

มีการตรวจพบซาลโมเนลลาในน้ำดื่ม เนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำสกปรกที่เข้าสู่ระบบท่อส่งน้ำ การตรวจพบซาลโมเนลลาในน้ำดื่มจะบอกได้ถึงความบกพร่องของระบบท่อส่งน้ำหรือการบำรุงรักษา เช่น อาจเกิดการรั่วของระบบท่อส่งน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพน้ำที่นำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค

น้ำทะเล

ในบริเวณเอสทูรี่ (Estuary) และสิ่งแวดล้อมบริเวณทะเลตรวจพบซาลโมเนลลาอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการปนเปื้อนของของเสียจากบ้านเรือน จากน้ำที่ระบายจากพื้นที่เกษตรกรรมและบริเวณที่มีฝูงนกอาศัยอยู่

8.3 อากาศ

ซาลโมเนลลาจะอยู่ในลักษณะละอองลอย (Aerosol) ซึ่งเกิดการแพร่กระจายไปในอากาศเนื่องจากการฉีดน้ำ และจากโรงบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge Plant)

8.4 สิ่งปฏิกูลจากคนและสัตว์

มีรายงานว่าพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนอยู่ในมูลแกะที่ถูกขับถ่ายออกมา 6-18 สัปดาห์ และพบว่าการรอดชีวิตของซาลโมเนลลาในที่ร่มจะยาวนานกว่าในบริเวณที่โล่งแจ้ง

ประมาณว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมดจะให้ซาลโมเนลลาออกมาปนเปื้อนในของเสีย และอัตราการปลดปล่อยซาลโมเนลลาในสิ่งโสโครกจากบ้านเรือนที่ทำปศุสัตว์จะมากกว่าในบ้านเรือนที่ไม่ได้ทำปศุสัตว์ ดังนั้นจึงมักแยกซาลโมเนลลาได้จากสิ่งโสโครกจากคนและสัตว์ เช่น ในอุจจาระของผู้ป่วยและผู้ที่เป็นพาหะ 1 กรัม อาจพบซาลโมเนลลามากกว่า 10^{10} เซลล์ (Jones, 1983) แม้ว่าจะพบซาลโมเนลลาปริมาณมากกว่า 10^4 ออกานิซึม/ลูกบาศก์เซนติเมตรจากมูลสัตว์ ตลอดจนอุจจาระคน แต่ผลของการเจือจางรวมทั้งกระบวนการบำบัดและกระบวนการกักเก็บ ทำให้ซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในสิ่งโสโครกลดลงเหลือน้อยกว่า 100 เซลล์/ลูกบาศก์เซนติเมตร (Jones and Mathew, 1975; Jones et al., 1976)

8.5 กากตะกอนและสเลอรี่

กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย มักจะมีซาลโมเนลลาปนเปื้อนอยู่ด้วย เช่น ในอังกฤษพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในกากตะกอนดิบ (Raw Sludge)ประมาณ 70 เซลล์/100 มล. และในสวิสเซอร์แลนด์พบว่าในกากตะกอนดิบมากกว่าร้อยละ 90 มีซาลโมเนลลาปนเปื้อน โดยปริมาณมากที่สุดและปริมาณเฉลี่ยเป็น 10^6 และ 10^4 เซลล์/100 มล. ตามลำดับ

ซาลโมเนลลาที่พบได้บ่อยในกากตะกอนได้แก่ *S.* Agona *S.* Anatum *S.* Hadar *S.* Heidelberg *S.* Typhimurium และ *S.* Virchow ซึ่งเป็นซีโรวาร์ที่ติดเชื้อได้กว้างขวางในมนุษย์และสัตว์ และเป็นสาเหตุหลักของโรคซาลโมเนลโลสิสในปศุสัตว์

สเลอรี่จากกิจกรรมปศุสัตว์จะมีชนิดและปริมาณซาลโมเนลลาน้อยกว่าในกากตะกอน เนื่องจากการกระจายประชากร และจำนวนของสัตว์ในปศุสัตว์จะน้อยกว่าจำนวนคนในเมือง

ตัวอย่างการตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในสเลอรี่จากฟาร์มปศุสัตว์ เช่น Jones and Mathews (1975) พบซาลโมเนลลาในสเลอรี่ของวัวควายปริมาณ 180 เซลล์/100 มล. ทั้งในอังกฤษและเวลล์ ในขณะที่ปริมาณซาลโมเนลลาในสเลอรี่ของหมูเป็น $2x10^5$ เซลล์/100 มล. (Jones et al. ,1976) และตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในกากตะกอนจากฟาร์มโคนมในอังกฤษ (Jones, Bew and Gammack, 1975)

ทั้งนี้ของเสียจากฟาร์มเป็ดไก่ในรัฐนิวเจอร์ซี่ สหรัฐอเมริกา ตรวจพบซาลโมเนลลาได้สูงถึง $3.4x10^6$ เซลล์/100 กรัม ดังนั้นซาลโมเนลลาในสเลอรี่ของสัตว์จึงสามารถช่วยตรวจสอบและควบคุมภาวะการติดเชื้อในฝูงสัตว์ได้

การนำสเลอรี่ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น ใช้เป็นแหล่งอาหารในทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์นั้น Jones (1975) เสนอแนะว่าควรเก็บสเลอรี่เป็นเวลา 1 เดือนก่อนที่จะนำไปเติมในทุ่งหญ้า และทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะตัดหญ้าเหล่านั้น เพื่อช่วยลดการติดเชื้อซาลโมเนลลาในวัวควายได้ สำหรับกลุ่มประชาคมยุโรป (Commission of the European Communities, CEC) ได้เสนอแนะว่าการใช้สเลอรี่ในทุ่งหญ้าต้องเก็บสเลอรี่ไว้อย่างน้อย 60 วัน ก่อนนำไปใช้ และควรทิ้งช่วงเวลาไว้ประมาณ 30 วัน ก่อนทำการเก็บเกี่ยวหญ้า เพื่อการบริโภคสำหรับสัตว์ที่สุขภาพดีเท่านั้น

เหตุผลประกอบข้อเสนอแนะส่วนหนึ่ง น่าจะมาจากความสามารถในการรอดชีวิตของซาลโมเนลลาในสิ่งแวดล้อม เช่น ซาลโมเนลลาหลายซีโรวาร์ในสเลอรี่จากสัตว์สามารถรอดชีวิตอยู่ได้ตั้งแต่ 6 เดือนถึง 1 ปี และพบว่าซาลโมเนลลาในทุ่งหญ้าที่มีการเติมกากตะกอนสามารถรอดชีวิตอยู่ได้ถึง 16 เดือน ทั้งนี้ความร้อน การผึ่งให้แห้งและแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำลายซาลโมเนลลาได้

กล่าวได้ว่าการใช้กากตะกอนและสเลอรี่ที่ผ่านการบำบัดไม่เพียงพอ จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของซาลโมเนลลาได้ ดังกรณีตัวอย่างการติดเชื้อในวัวในหลายประเทศ ดังนั้นบางประเทศ เช่น สวิสเซอร์แลนด์จึงห้ามใช้กากตะกอนที่ไม่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์บนทุ่งหญ้าในหน้าร้อนเป็นต้น (Williams, 1979)

8.6 ในพืชผัก

การใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งในทางการเกษตร เช่น การปลูกพืชผัก ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์โดยเฉพาะซาลโมเนลลาขึ้นได้ ทั้งในระหว่างการรดน้ำและการสัมผัส ทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคและปรสิตมีการตกค้างในพืชผักโดยเฉพาะพืชใบ การระบาดหลายครั้งของโรคซาลโมเนลโลซิสและไทฟอยด์ เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาในน้ำทิ้งและกากตะกอนในผักและผลไม้ เช่น พบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในผักกาดหอมและในเครื่องเทศพวกยี่หร่า (Fennel) จากตลาดทางตอนใต้ของอิตาลี และผักที่ซื้อขายในฮอลแลนด์มีการปนเปื้อนของซาลโมเนลลา โดยเฉพาะในสินค้าที่นำเข้าจากประเทศในเขตร้อน

พบว่าซาลโมเนลลาอยู่รอดในพืชที่ใช้รากเป็นอาหารได้นาน 53 วัน ส่วนพืชกินใบเบอร์รี่ และพืชสวน ซาลโมเนลลารอดชีวิตได้นาน 40 วัน 5 วันและมากกว่า 2 วันตามลำดับ

9. การรอดชีวิตในสิ่งแวดล้อมของซาลโมเนลลา

มีการพบซาลโมเนลลาจากบ่อเก็บสิ่งโสโครกของสัตว์และกากตะกอน แม้ว่าปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมจะเอื้อต่อการดำรงอยู่ของซาลโมเนลลา เช่น มีแหล่งธาตุอาหารที่สมบูรณ์ พีเอชที่เหมาะสม แต่ไม่พบว่าซาลโมเนลลามีการเจริญเพิ่มจำนวน และมักตายในที่สุด แต่ก็มีการพบซาลโมเนลลาสามารถมีชีวิตอยู่ได้นานถึง 1069 วันในอุจจาระ

ซาลโมเนลลาที่ปนเปื้อนในกากตะกอนสามารถรอดชีวิตอยู่ได้นานแตกต่างกันไปโดยพบตั้งแต่ 11 วันจนถึง 9 เดือนอีกทั้งสภาพแวดล้อมที่ทำการสังเกตแตกต่างกันไป จึงทำให้จำนวนซาลโมเนลลาที่พบมีความหลากหลาย เช่น สามารถพบซาลโมเนลลาตั้งแต่ 0-125 เซลล์ในดิน 100 กรัม (Thomas, 1967) จนถึงพบที่ปริมาณ 120 เซลล์ในดิน 1 กรัมเท่านั้น (Jones, 1983 อ้างถึงใน Kampelmacher, Jansen and Van Noorde, 1974)

แม้ว่าซาลโมเนลลาสามารถอยู่รอดได้ในสิ่งแวดล้อมเป็นปี แต่การรอดชีวิตของซาลโมเนลลาในสิ่งแวดล้อมได้นานเพียงใดนั้น จะขึ้นกับสภาวะต่างๆในบริเวณนั้น เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด สภาพการมีออกซิเจน พีเอช และจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ รวมทั้งปริมาณซาลโมเนลลาเริ่มต้น (Jones, 1983)

9.1 การติดเชื้อซาลโมเนลลาในสภาพธรรมชาติ

จากการระบาดของโรคที่เกิดจากซาลโมเนลลาในหลายๆครั้ง สามารถสรุปได้ว่าสาเหตุหนึ่งของการระบาดคือสัตว์กินหญ้าในบริเวณทุ่งหญ้าที่มีการปนเปื้อนจากกากตะกอน ทั้งนี้การตรวจพบซาลโมเนลลาได้มากขึ้นจากวัวเมื่อโตเต็มวัยนั้น มีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการใช้กากตะกอนในพื้นที่ทุ่งหญ้าโดยวัวที่กินหญ้าในทุ่งหญ้าที่มีการเติมกากตะกอนสามารถตรวจพบซาลโมเนลลาได้ ในขณะที่ตรวจไม่พบซาลโมเนลลาในวัวที่กินหญ้าจากทุ่งหญ้าที่ไม่มีการปนเปื้อนกากตะกอน ทั้งนี้ผลจากการทดลองให้ผลสอดคล้องกันในประเทศเยอรมัน ฮอลแลนด์ และอังกฤษ (Bicknell, 1972)

แต่มีผลการทดลองที่แสดงว่า โอกาสติดเชื้อซาลโมเนลลาของสัตว์ที่กินหญ้า ซึ่งปนเปื้อนกากตะกอนมีต่ำ เนื่องจากการระบาดของโรคนั้นมีหลายสาเหตุ เช่น แพร่ระบาดโดยนก แมลง หรือจากการที่สิ่งโสโครกได้ปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำ (Jones, 1983)

9.2 ปริมาณซาลโมเนลลาที่ทำให้เกิดโรค

จากการศึกษาของนักวิจัยต่างๆที่ต้องการทราบถึง ปริมาณซาลโมเนลลาที่สามารถก่อโรคในสิ่งแวดล้อม พบว่ามีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโฮสท์ ปริมาณของซาลโมเนลลาที่ก่อให้เกิดโรคในวัวจะอยู่ในช่วง 10^5-10^{11} เซลล์ ในวัวโตเต็มวัยพบว่าปริมาณของซาลโมเนลลาประมาณ 10^{11} เซลล์ และในแกะต้องมีค่าประมาณ 10^8 เซลล์จึงทำให้เกิดโรค

แม้ว่าสัตว์ที่กินหญ้าในบริเวณที่มีการเติมกากตะกอนจะมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อซาลโมเนลลา แต่เป็นการยากที่จะทราบถึงปริมาณที่แท้จริงในการติดเชื้อซาลโมเนลลาของสัตว์ที่กินหญ้าเหล่านั้น เนื่องจากการติดเชื้อซาลโมเนลลา นอกจากจะขึ้นกับปริมาณเชื้อที่รับเข้าไปแล้ว ยังมีปัจจัยร่วมอื่นๆ เช่น สายพันธุ์ของเชื้อซาลโมเนลลา ชนิดของสัตว์ และความแข็งแรงของสัตว์ในขณะนั้นเป็นต้น

ปริมาณของเชื้อที่ทำให้เกิดโรคเปลี่ยนแปลงตามชนิดและสายพันธุ์ของซาลโมเนลลา อย่างไรก็ตามเชื่อว่าซาลโมเนลลาต้องมีปริมาณมาก (10^5-10^8 เซลล์) จึงทำให้เกิดโรค

10. ซาลโมเนลลาในอาหาร

10.1 แหล่งของซาลโมเนลลา

เนื่องจากซาลโมเนลลาเป็นแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ การพบซาลโมเนลลาในอาหารจึงมีสาเหตุจากการปนเปื้อนตามมาภายหลังโดยคนหรือสัตว์ สัตว์ที่เป็นแหล่งของซาลโมเนลลาคือสัตว์ปีก โดยเฉพาะ ไก่ ไก่งวง เป็ด และห่าน ทำให้พบซาลโมเนลลาปนเปื้อนอยู่ตามเปลือกไข่ และเนื้อของสัตว์ปีก นอกจากนี้ยังพบในสุนัข แมว หมู วัว ควาย และหนู โดยตรวจพบซาลโมเนลลาในอุจจาระของสัตว์เหล่านี้ ดังนั้นแมลงวัน แมลงสาป และหนูจึงมีบทบาทเป็นพาหะที่ช่วยแพร่ซาลโมเนลลาไปสู่อาหาร

คนและสัตว์ที่เป็นพาหะจะปล่อยซาลโมเนลลาออกมาอยู่ในสิ่งที่ขับถ่ายเสมอ ทำให้มีการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลาในสภาพแวดล้อม วิธีการเลี้ยงสัตว์ การขยายพันธุ์ การผลิตอาหารแบบรวมศูนย์ และการค้าขายอาหารระหว่างชาติล้วนเป็นปัจจัยส่งเสริมให้เกิดการระบาดของโรค โดยมีการแพร่กระจายของซาลโมเนลลาจากสัตว์สู่อาหารสัตว์และสู่คน หรือจากสัตว์สู่อาหารคนแล้วสู่คน หรือจากคนสู่อาหารคนแล้วสู่คน สำหรับการแพร่กระจายจากคนสู่คนโดยตรงเกิดน้อยมาก

ในระยะ 20 ปีที่ผ่านมา มีการระบาดของเชื้อโรคอาหารเป็นพิษสูงขึ้นทุกทวีปในโลก ซาลโมเนลลาเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่มีสาเหตุจากอาหารที่สำคัญตัวหนึ่ง ซึ่งพบได้ทุกแห่งทั่วโลก โดยทำให้เกิดโรคซาลโมเนลโลสิส ส่วนในประเทศไทยจากข้อมูลของกองระบาดวิทยา สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขพบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2535-2538 มีผู้ป่วยจากอาหารเป็นพิษที่มีสาเหตุจากเชื้อซาลโมเนลลาร้อยละ 30 ของผู้ป่วยโรคอาหารเป็นพิษทั้งหมด

ซาลโมเนลลาเป็นแบคทีเรียที่มีความสัมพันธ์กับอาหาร เนื่องจากทำให้อาหารเป็นพิษและสามารถถ่ายทอดได้ทางอาหารเท่านั้นอาหารที่มักจะพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนจะเป็นอาหารประเภทเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และผลิตภัณฑ์ เนื้อสดอาจจะมีซาลโมเนลลาปนเปื้อนมาในขณะชำแหละ ในผลิตภัณฑ์เนื้อ เช่น ไส้กรอก แฮม แซนวิช พายเนื้อ เบคอน ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้องจะทำให้ซาลโมเนลลาเจริญได้ดี เป็ดไก่ ปลา และอาหารทะเลก็เช่นกัน ถ้าไม่แช่เย็นก็อาจมีซาลโมเนลลาเจริญได้ ส่วน

ไข่ นมและผลิตภัณฑ์มักจะมีซาลโมเนลลาอยู่ จึงทำให้อาหารที่มีนมหรือไข่เป็นส่วนประกอบที่ได้รับความร้อนไม่เพียงพอมีเชื้อซาลโมเนลลาปนเปื้อนอยู่ด้วย

ในประเทศไทยมีผู้สำรวจหาเชื้อโรคอาหารเป็นพิษ ที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร (อรุณ บ่างตระกูลนนท์และคณะ, 2541, 2542) โดยเก็บตัวอย่างอาหารดิบ อาหารพร้อมปรุงและอาหารปรุงสำเร็จได้สรุปผลสำรวจว่าอาหารที่มีการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลา ได้แก่ เนื้อหมู เครื่องในหมู เนื้อวัว ตับวัว เนื้อไก่ มีการปนเปื้อนซาลโมเนลลาถึงร้อยละ 75-90 ลูกชิ้นหมู ลูกชิ้นปลา และปลาทะเลบางประเภท ไส้กรอก แฮม เบคอน ที่ทำจากเนื้อสุกร มีการปนเปื้อนซาลโมเนลลาถึงร้อยละ 6.25-54.56 นอกจากนี้ยังตรวจอาหารพร้อมปรุงที่จำหน่ายในห้างสรรพสินค้าต่างๆ พบว่าอาหารพร้อมปรุงมีการปนเปื้อนซาลโมเนลลาถึงร้อยละ 57.80 นอกจากนั้นในนม ไข่ และผลิตภัณฑ์จากไข่ มีผู้ตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อน และยังพบในอาหารสัตว์อีกด้วย แม้กระทั่งในอาหารสำเร็จรูปหลายชนิดยังตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนแตกต่างกันไปตามประเภทของอาหารดังตารางที่ 2.1

นอกจากนั้นยังสามารถตรวจพบซาลโมเนลลาในน้ำเสียหรือแม่น้ำที่ปนเปื้อนด้วยน้ำเสียจากท่อน้ำเสียหรือจากโรงงานอีกด้วย

โดยสรุปสภาพแวดล้อมที่จำเป็นต่อการเกิดโรคจากซาลโมเนลลาได้แก่

1) อาหารต้องมีการปนเปื้อนจากซาลโมเนลลามาก่อน
2) มีการเพิ่มจำนวนซาลโมเนลลาในอาหาร
3) ซาลโมเนลลายังคงมีชีวิตอยู่ในขณะที่ถูกบริโภค

10.2 อันตรายจากจุลินทรีย์ในอาหาร (Microbiological Hazards in Foods)

โรคติดเชื้อที่เกิดจากน้ำและอาหาร ส่วนใหญ่มักเกิดอาการแสดงในระบบทางเดินอาหาร เช่น คลื่นไส้ อาเจียน อุจจาระร่วง สาเหตุเกิดจากการรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนแบคทีเรียหรือสารพิษที่แบคทีเรียสร้าง การเตรียมอาหาร และการเก็บอาหารที่ไม่ถูกสุขอนามัยเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนเชื้อในอาหาร โรคที่เกิดจากอาหารเป็นสาเหตุแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะของการเกิดโรคคือ

1) การเกิดโรคจากการติดเชื้อที่ปนเปื้อนในอาหาร (Foodborne Infections)
2) การเกิดโรคจากสารพิษในอาหาร (Food Poisoning)

ตารางที่ 2.2 ซาลโมเนลลาที่พบบ่อยในอาหารคน สัตว์ อาหารสัตว์ และสิ่งแวดล้อม
(พนิดา ชัยเนตร และคณะ, 2531)

ซีโรวาร์	อาหารคน		สัตว์และอาหารสัตว์	สิ่งแวดล้อม
	ยังไม่ได้ปรุง	ปรุงแล้ว		
S. Krefeld	ไก่ หมู เป็ดแช่แข็ง	นมขงเลี้ยงเด็ก ลูกชิ้นหมู แหนม	แมลงวัน	A B C
S. Derby	ไก่ ปลาหมึก ปลาแช่แข็ง ไก่ หมู เนื้อ	ปูต้ม แหนม ไอศกรีม สับปะรด-บรรจุกุง	แมลงวัน แมลงสาบ ม้า สัตว์เลื้อยคลาน	A B C
S. Weltevreden	อาหารทะเลแช่แข็ง ไก่ หมู เนื้อ ปลา กุ้ง	กะทิ ลูกชิ้นหมู กุ้งต้ม แหนม ขนมจีน ส้มตำ บะหมี่สำเร็จรูป	-	A B C
S. Typhimurium	ไก่ เป็ด หมู กระต่าย นกพิราบแช่แข็ง	-	ผิวหนังไก่และเป็ด แมลงสาป	-
S. Agona	ไก่ ปลาหมึกแช่แข็ง เป็ดไก่ หมู เนื้อ	แหนม	ผิวหนังไก่และเป็ด แมลงสาป อาหารสัตว์	A C
S. Anatum	ไก่ ปลาหมึก กุ้งแช่แข็ง ปลา เป็ด หมู งู	แหนม ส้มตำ	ผิวหนังไก่และเป็ด เปลือกไข่	A B C
S. Lexington	กุ้งแช่แข็ง ปลาหมึก ปลา หอยทาก	แหนม ส้มตำ	แมลงสาป	C
S. Bovismorbificans	ไก่แช่แข็ง เนื้อปลา	ส้มตำ	ผิวหนังไก่และเป็ด	A C

A = น้ำจากบ่อ B = วัสดุรองเล้าไก่ C = กากตะกอน

1) <u>โรคจากการติดเชื้อที่ปนเปื้อนในอาหาร</u> (Foodborne Infections)

เกิดจากการรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนแบคทีเรียเข้าไปในร่างกาย และก่ออาการของโรค ซึ่งเป็นผลจากการที่แบคทีเรียสร้างสารพิษออกมาหรือปัจจัยความรุนแรงในการก่อโรคของเชื้อ (Virulence Factors)

2) <u>โรคจากสารพิษในอาหาร</u> (Food Poisoning)

เกิดจากการรับประทานสารพิษที่แบคทีเรียสร้างไว้ในอาหาร ทำให้เกิดอาการอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปผู้ป่วยที่มีอาการนั้นต้องบริโภคอาหารที่มีจำนวนแบคทีเรียหรือสารพิษที่มากพอ แต่ถ้าการบริโภคอาหารที่มีจำนวนแบคทีเรียไม่เพียงพอให้เกิดอาการ บุคคลนั้นอาจกลายเป็นพาหะของโรคและสามารถแพร่เชื้อไปสู่ผู้อื่นได้ สาเหตุจากการปนเปื้อนของซาลโมเนลลาในอาหารอาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ จากแหล่งกำเนิดอาหาร การขนส่ง การผลิต ไปจนถึงการเตรียมอาหารของผู้บริโภค

บทบาทของจุลินทรีย์ในการทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย ตลอดจนเป็นสาเหตุของโรคจากการติดเชื้อที่ปนเปื้อนในอาหาร เป็นที่ทราบกันอยู่โดยทั่วไป ในช่วงเวลาที่ผ่านมารายงานเกี่ยวกับโรคจากการติดเชื้อที่ปนเปื้อนในอาหาร เริ่มมีปริมาณสูงขึ้นในบางประเทศที่พัฒนาแล้ว มีการตรวจพบ *Salmonella* และ *Campylobacter* เพิ่มมากขึ้น การระบาดของโรคจากการติดเชื้อที่ปนเปื้อนในอาหารที่เพิ่มมากขึ้นมีสาเหตุมาจากการค้าระหว่างประเทศ ตลอดจนการเดินทางระหว่างประเทศเพิ่มมากขึ้น วิธีการบริโภค วิธีการค้าขายอาหารแบบใหม่ๆ การเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง หรือแม้กระทั่งการรายงานผลการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้พบการติดเชื้อในอาหารมีจำนวนสูงขึ้น จะส่งผลต่อการค้าทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศได้ ซึ่งจะมีผลต่อการค้าขายและความเชื่อมั่นของผู้บริโภค

ICMSF (1986) ได้แบ่งเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในอาหารตามความรุนแรงออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1) อันตรายขั้นรุนแรง มีผลกระทบโดยตรงกับสุขภาพ (Severe, Direct Health Hazards) เช่น *Clostridium botulinum* *S.* Typhi *S.* Paratyphi A และ B

2) อันตรายปานกลาง แต่อาจแพร่กระจายได้ (Moderate Hazards with Potentially Extensive Spread) เช่น *Salmonella* spp. และ *Shigella* spp.

3) อันตรายปานกลาง สามารถควบคุมได้ (Moderate Hazards with Limited Spread) เช่น *Clostridium perfringens* *Yersinia enterocolitica*

ทางเลือกในการจัดการกับกากตะกอน

1. ประเภทของกากตะกอน

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียมีหลายประเภท แบ่งตามลักษณะของแหล่งกำเนิดกากตะกอน คือ

1) กากตะกอนที่เป็นอนินทรีย์สาร เช่น กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ

2) กากตะกอนที่เป็นอินทรีย์สาร เช่น กากตะกอนที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีววิทยา เช่น ระบบแอคติเวเตดสลัดจ์ ระบบทริกกลิงฟิลเตอร์ ระบบไบโอโลจิคอลดิสส์ และระบบถังหมักเป็นต้น กากตะกอนประเภทอินทรีย์สารนี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฉพาะอย่างยิ่งกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอินทรีย์สารและมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

2. ปริมาณการเกิดกากตะกอน

อัตราการเกิดกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ขึ้นกับชนิดและปริมาณน้ำเสียที่มาบำบัด อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2532) ได้ประเมินไว้ว่าประชากร 1 คนจะก่อให้เกิดกากตะกอนประมาณ 60 กรัมกากตะกอนแห้งต่อวัน และได้ประมาณอัตราการเกิดกากตะกอนในประเทศกำลังพัฒนาในรูปน้ำหนักแห้งได้เท่ากับ 25-40 กิโลกรัมต่อปีต่อคน หรือประมาณ 800 กิโลกรัมต่อคนต่อปีในรูปน้ำหนักเปียก (น้ำ 95 เปอร์เซ็นต์) (Chongrak Polprasert,1989 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535)

3. การจัดการกับกากตะกอน

การจัดการกับกากตะกอนมีหลายวิธี รูปแบบของการจัดการต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและการยอมรับของประชาชนเป็นหลักภายใต้การจัดการที่เหมาะสม เช่น นำไปถมที่ นำไปผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางธรรมชาติอื่นๆเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน หรือเผาภายใต้ความร้อนสูงๆ เพื่อทำเป็นก้อนอิฐ การจัดการกับกากตะกอนในประเทศต่างๆจะมีวิธีการแตกต่างกันไป เช่น ในสหรัฐอเมริกาจะนำไปใช้ในพื้นที่การเกษตร 21-39 เปอร์เซ็นต์ ถมที่ 12-35 เปอร์เซ็นต์ เผาทิ้ง 1-32 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการค้า 13-19 เปอร์เซ็นต์ ถมทะเล 1-4 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในพื้นที่ทำสวน หรือนำไปใช้ในบริเวณพื้นที่ที่เป็นป่าเพื่อเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงบริเวณเหมือง

การจัดการกับกากตะกอนให้เป็นไปโดยประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องใช้การจัดการที่เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ และที่สำคัญคือต้องเป็นที่ยอมรับของประชาชน ในประเทศไทยการจัดการกับกากตะกอนยังถือว่าเป็นของใหม่ จึงต้องมีการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการจัดการที่เหมาะสมกับประเทศไทย เนื่องจากจะช่วยลดปัญหาได้ครบวงจรมิใช่เป็นการยกปัญหาจากแหล่งหนึ่งมาไว้อีกแหล่งหนึ่ง

4. องค์ประกอบของกากตะกอน

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนประกอบด้วยสารหลายชนิด ทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ขึ้นกับประเภทของน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสียและกระบวนการบำบัดตะกอน ส่วนประกอบของกากตะกอนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) ธาตุอาหารพืช ได้แก่ธาตุอาหารหลัก (N P และ K) จุลธาตุอาหารพืช (Fe Mn Cu และ Zn) และธาตุอาหารอื่นๆ

2) สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์และหนอนพยาธิต่างๆ

5. กากตะกอนจากชุมชนหรือบ้านเรือน

กากตะกอนที่ได้จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนจะมีลักษณะและองค์ประกอบแตกต่างกันไป ขึ้นกับกิจกรรมการใช้น้ำของประชาชนในบริเวณนั้น (Alloway and Jackon, 1991) โดยทั่วไปแล้วกากตะกอนมีอินทรีย์สารประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ไนโตรเจนประมาณ 2.5-5.0 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ และโปตัสเซียม 0.02-0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

จากองค์ประกอบในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่สามารถนำไปเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้ จึงมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไปใช้เป็นปุ๋ย (Sommer, 1977) และนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเป็นที่ยอมรับทั่วไปในต่างประเทศ (Hall and William, 1984)

การนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร มีความเป็นไปได้ ในการพิจารณาคือ ลักษณะสมบัติ และปริมาณธาตุอาหารของพืชที่มีอยู่ในกากตะกอน ค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นต้องคิดเป็นค่าใช้จ่ายเพื่อการลงทุนในการแก้ไข ปัญหาต่อเนื่องของปัญหามลภาวะทางน้ำ ทั้งนี้การที่นำกากตะกอนมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยต่อพืชและมนุษย์ รวมทั้งพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2532)

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ทางการเกษตรได้ เพราะโดยทั่วไปกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะประกอบด้วยธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุที่เป็นประโยชน์ต่อดินและพืช

การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตรกรรมมี 2 ลักษณะ

1) การหว่านกากตะกอนโดย Tanker หรือ Rain Gun
(Sludge Spreading by Tanker or Rain Gun)
กากตะกอนที่หว่านบนพื้นผิวต้องควบคุมเรื่องกลิ่น และหลีกเลี่ยงการสูญเสียไนโตรเจน

2) การเติมกากตะกอนลงดิน (Sludge Injection into the Soil)
แม้ว่าจะเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าการหว่านกากตะกอนบนพื้นดิน แต่ข้อดีคือช่วยลดกลิ่น ลดการสูญเสียไนโตรเจนและลดการไหลบ่าบนพื้นผิว

1. ลักษณะสมบัติของกากตะกอนที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร

การนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร มีทั้งประโยชน์และโทษ (Elliott, 1986; Sommers, 1977) ประโยชน์จากการนำกากตะกอนไปใช้ในการเกษตรมีหลายประการ ได้แก่ การปรับปรุงคุณภาพดินทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ การเพิ่มผลผลิตพืช ตลอดจนการใช้ประโยชน์ทางอ้อมอื่นๆ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2529; Heckman, Agle and Changey, 1986; Robert et al., 1988 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535)

1) เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช

โดยทั่วไปกากตะกอนประกอบด้วยธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุ ที่เป็นประโยชน์ต่อดินและพืช ความเป็นประโยชน์ของกากตะกอนต่อดินและพืชจะพิจารณาจากธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เพราะไนโตรเจนเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิต กากตะกอนจะช่วยเพิ่มผลผลิตและช่วยลดปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ต้องเติม แต่ปริมาณไนโตรเจนและความสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะขึ้นกับกระบวนการบำบัดน้ำเสียและกากตะกอน และการเปลี่ยนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนขึ้นกับความคงทนของอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio) ในกากตะกอน ธาตุอาหารสำคัญและจุลธาตุอาหารในดินจะเพิ่มขึ้นจากการสลายตัวของกากตะกอนโดยเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน (Sheaffer et al., 1979; Ajmal and Khan, 1984)

คุณค่าของกากตะกอนในแง่ของการนำไปใช้เป็นปุ๋ยและ/หรือปรับสภาพดิน ขึ้นกับแหล่งที่มาและกระบวนการบำบัดก่อนนำไปเติมลงดิน โดยที่อัตราการเติมกากตะกอนจะมีผลต่อการเพิ่มธาตุอาหารพืชในดินมากกว่าชนิดของกากตะกอนที่เติมลงดิน (Stark and Clapp, 1980)

การใช้กากตะกอนมักมุ่งในแง่ของปุ๋ยที่ปลดปล่อยธาตุอาหารแก่พืชอย่างช้าๆ โดยกากตะกอนจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้แก่ดินและพืช การสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารของกากตะกอนที่เป็นประโยชน์แก่พืช ขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น สมบัติของดิน ความชื้น อุณหภูมิ อัตราการเติมกากตะกอน วิธีการเติม ระยะเวลา รวมถึงองค์ประกอบของกากตะกอน

2) ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมีและชีวภาพของดิน

นอกจากกากตะกอนจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารแก่พืชแล้ว ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพและสมบัติบางประการในดิน เช่น สามารถเพิ่มค่าวอเตอร์รีเทนชั่น (Water Retention) ไฮดรอลิคคอนดัคติวิตี (Hydraulic Conductivity) ค่าความเสถียรของการรวมเป็นก้อน (Aggregate Stability) ค่าความหนา

แน่นทั้งหมด (Bulk Density) โดยความหนาแน่นรวมจะลดลงในดินที่เติมกากตะกอน ความพรุนของดิน (Porosity) จะเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเสถียรของการเกิดเม็ดดินเพิ่มขึ้นบ้างแต่ไม่มากนัก

การเติมกากตะกอนที่มีพีเอชเป็นกลางลงดิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่พีเอชของดินอาจเปลี่ยนแปลงได้ โดยพีเอชของดินอาจลดลงเป็นผลจากการแทนที่ไฮโดรเจนอิออนที่ยึดเกาะในดินของเกลืออนินทรีย์ การย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุจนได้กรดอินทรีย์ การเกิดไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ของแอมโมเนียมไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจนและการออกซิเดชั่น (Oxidation) ของซัลไฟด์ (King and Morris, 1972; Ajmal and Khan; 1984) การเติมกากตะกอนลงดินอาจจะทำให้พีเอชของดินลดลงมากขึ้นได้ แต่จะลดลงเฉพาะในช่วงแรกๆของการเติมเป็นระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น กรณีที่พีเอชของดินมีค่าต่ำอยู่แล้วหากเติมกากตะกอนที่มีปริมาณแคลเซียมมากพอลงไป พีเอชของดินอาจจะเพิ่มขึ้นได้

เมื่อเติมกากตะกอนลงดินอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนจะเป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์ดิน ทำให้เพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ดินและกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ดิน เช่น การแปรสภาพธาตุอาหาร การตรึงไนโตรเจน เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530)

3) ผลต่อการสะสมธาตุอาหาร การเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของพืช

กากตะกอนที่เติมลงดินจะช่วยเพิ่มผลผลิตพืชโดยเพิ่มไนโตรเจนในดิน ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดสำหรับการเจริญเติบโตของพืช อัตราการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน (Mineralization) จะขึ้นกับปริมาณอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกากตะกอน (Hall, 1984 อ้างถึงใน ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535) กล่าวคืออินทรีย์วัตถุที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับหรือต่ำกว่า 10:1 จุลินทรีย์จะสามารถเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารได้ดี ค่าขีดจำกัดสูงสุดสำหรับอินทรีย์วัตถุที่สามารถจะเกิดกระบวนการเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นอนินทรีย์สารโดยจุลินทรีย์ คือ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30:1 ถ้าอัตราส่วนสูงกว่านี้อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุจะเป็นไปได้ช้าหรือเกิดการดูดดึงไนโตรเจนจากดินมาใช้ (Immobilization)(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2530)

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) พบว่าการเติมกากตะกอนลงดินที่อัตราต่างๆเพื่อปลูกผักคะน้า ผลผลิตผักคะน้าจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน ส่วน Mays, Terman and Duggan (1973) เสนอว่าความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตของพืชกับอัตราการเติมกากตะกอนเป็นแบบเส้นโค้ง โดยผลผลิตของพืชจะเพิ่มสูงขึ้นมากเมื่ออัตราการเติมกากตะกอนเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง และการเพิ่มผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการเติมกากตะกอนสูงเกินไป เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีบางอย่างในกากตะกอนมีปริมาณสูงจนเป็นพิษต่อพืชได้ และเป็นผลจากปัจจัยอื่นๆด้วย

Kelling et al. (1977) ได้ศึกษาผลตกค้างของกากตะกอนที่เติมลงดินต่อผลผลิตพืช โดยทดลองปลูกข้าวไรย์ (Rye) และข้าวฟ่างซูดาน (Sorgum-Sudan) ในดินที่เติมกากตะกอน และปลูกข้าวโพดในฤดูกาลที่สองหลังการเก็บเกี่ยวพืชสองชนิดแรกพบว่าข้าวโพดมีผลผลิตสูงขึ้นและพืชทั้งสามชนิดมีการสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอน

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2529) ก็ได้ยืนยันในทิศทางเดียวกัน เมื่อทำการศึกษาพบว่ากากตะกอนที่เติมลงดินสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช และให้ผลผลิตผักคะน้าต่อเนื่องในการปลูกครั้งที่สองด้วยกากตะกอนที่ใช้ในการเกษตรทำหน้าที่เป็นทั้งสารปรับปรุงบำรุงดินและเป็นปุ๋ยสำหรับพืช ขีดความสามารถของกากตะกอนที่จะเป็นปุ๋ยเท่าเทียมกับปุ๋ยเคมี ทั้งยังมีประสิทธิภาพที่จะเป็นแหล่งอาหารพืชได้ต่อเนื่องและยาวนานกว่าปุ๋ยเคมี (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2532)

2. ข้อจำกัดเกี่ยวกับการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์

2.1 ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์

ปัญหาเกี่ยวกับการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ คือ การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินและพืชผักจากจุลินทรีย์ก่อโรค โลหะหนัก ไนเตรท และสารประกอบออร์แกนิคที่เป็นพิษและก่อมะเร็ง (Bitton , 1994)

<u>กากตะกอนเป็นแหล่งของโลหะหนัก เชื้อโรคและพยาธิต่างๆ</u>

นอกจากกากตะกอนจะประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชแล้ว กากตะกอนยังประกอบด้วยโลหะหนักและเชื้อโรคที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และผลิตผลทางการเกษตร ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสียเป็นต้น (Sommer, 1977)

ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนมีอยู่กว้างขวางแตกต่างกันไป เนื่องจากในส่วนของน้ำเสียจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เข้าสู่ระบบบำบัดมีความหลากหลาย โลหะหนักที่มักพบในกากตะกอนได้แก่ แคดเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี แม้ว่าทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีจะจัดเป็นจุลธาตุอาหารของพืช แต่ต้องกำหนดให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ส่วนแคดเมียมและตะกั่วยังไม่ทราบถึงความเป็นประโยชน์ต่อพืชและได้ถูกจัดให้เป็นพิษต่อพืช (Kim et al., 1988) โดยเฉพาะแคดเมียมจัดเป็นโลหะหนักที่เป็นอันตรายที่สุด เมื่อมีการใช้ประโยชน์จากกากตะกอน (Ryan et al., 1982)

โลหะหนักเหล่านี้จะสะสมในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอนที่เพิ่มขึ้น (Kelling et al., 1977; Sheaffer et al., 1979; Hemphill et al., 1982; Lutrick, Robertoon and Cornell, 1982; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2532) และสะสมอยู่ในดินได้เป็นเวลานาน แต่โลหะหนักส่วนใหญ่มีการเคลื่อนย้ายได้น้อย น้ำที่ชะละลาย (Leaching) ดินและน้ำใต้ดินจึงไม่ค่อยมีการปนเปื้อนจากโลหะหนัก

โลหะหนักเหล่านี้ นอกจากจะเป็นพิษโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คน สัตว์ พืช หรือจุลินทรีย์ดินแล้ว ยังมีการเก็บสะสมและเพิ่มความเข้มข้นในแต่ละขั้นของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ โดยเฉพาะการเก็บสะสมในจุลินทรีย์ ซึ่งจัดเป็นสิ่งมีชีวิตขั้นต้นของระบบ และมีความสำคัญอย่างมากในด้านการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้กากตะกอนในพื้นที่เกษตรกรรม

1) <u>แบคทีเรีย</u>

ในระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบคทีเรียจะถูกดึงจากน้ำเสียเข้าสู่กากตะกอน แบคทีเรียที่พบในกากตะกอนมีทั้งที่เป็นเชื้อโรคและไม่เป็นเชื้อโรค เมื่อเติมกากตะกอนลงดิน มีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการอยู่รอดของแบคทีเรีย เช่น อุณหภูมิ พีเอชของดิน รังสีอุลตราไวโอเลทจากดวงอาทิตย์ ความชื้นในดิน ชนิดของดิน อินทรีย์สารและสิ่งมีชีวิตเล็กๆในดิน

2) <u>ไวรัส</u>

เป็นเชื้อโรคที่เล็กที่สุดที่พบในกากตะกอน ความเข้มข้นของไวรัสในกากตะกอนอยู่ในช่วง 1-10 virusparticle/ml. ปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของไวรัส หลังเติมกากตะกอนลงดิน ก็เช่นเดียวกับแบคทีเรีย

3) <u>เชื้อรา</u>

ในกากตะกอนมีเชื้อราที่สามารถก่อโรคในคนอยู่ 2 ชนิด คือ *Candida* และ *Aspergillus* spp.

4) <u>โปรโตซัว</u>

เป็นเชื้อโรคที่มีระยะฟักตัวที่เรียกซีสท์ (Cyst) เนื่องจากซีสท์ค่อนข้างทนต่อการบำบัด จึงมีความสำคัญมากในการเกษตร

5) <u>หนอน</u>

มีหนอนที่เป็นปรสิตหลายชนิดในกากตะกอน ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์มากที่สุด คือ พยาธิตืดหมู (*Taenia solium*) เพราะซีสท์สามารถเจริญเติบโตในสมอง ดวงตา และหัวใจของคนและอาจทำให้ถึงตายได้

โดยทั่วไปแล้วสิ่งมีชีวิตก่อโรคที่ใช้เป็นดัชนีบ่งถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพ คือ กลุ่มเชื้อซาลโมเนลลาและพยาธิ (WHO Working Group, 1981) โดยระดับความหนาแน่นที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดอันตรายของซาลโมเนลลา คือ 10^5 เซลล์/กิโลกรัมน้ำหนักแห้งของอาหาร (Wallis and Lechmann, 1983)

2.2 ลักษณะความเป็นปุ๋ยที่ไม่สมดุลย์ (Imbalance Fertilizer)

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสียและกระบวนการบำบัดตะกอน กากตะกอนสามารถให้ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณที่น่าพอใจแต่ปริมาณโปตัสเซียมค่อนข้างจะน้อย

อัตราการเติมกากตะกอนจะขึ้นกับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส หลังการเติมกากตะกอนลงดิน อาจเกิดการสูญเสียไนโตรเจนจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification) ซึ่งเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ไนตรัสออกไซด์โดยแบคทีเรียสกุล *Pseudomonas* หรือจากกระบวนการการระเหยของแอมโมเนียม (Ammonium Volatilization) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นในระหว่างการทำให้กากตะกอนแห้งโดยอากาศหรือโดยการอบในตู้ ซึ่งส่งผลให้องค์ประกอบของแอมโมเนียไนโตรเจนในกากตะกอนลดลง

จากการที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนได้ทั้งหมด ดังนั้นการเติมกากตะกอนจึงต้องพิจารณาถึงปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนและปริมาณไนโตรเจนที่พืชต้องการจริงๆ จากการทดลองของ Magdoff and Chromec ปีค.ศ.1983 และ Warman ในปีค.ศ.1986 ยืนยันถึงความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในกากตะกอนตามที่ OMAF (Ontario Ministry of Agriculture and Food) ชี้ให้เห็นว่าไนโตรเจนในกากตะกอนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มีเพียง 60 เปอร์เซ็นต์

การเติมฟอสฟอรัสลงในดินช่วยส่งเสริมการเจริญของพืช แต่ถ้ามีฟอสฟอรัสสะสมมากเกินไปอาจจะทำให้ผลผลิตของพืชลดลง เนื่องจากฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์มากเกินไปจะไปลดประโยชน์ของ Cu Fe และ Zn ในดิน บางครั้งกากตะกอนมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ถ้าเติมลงดินโดยพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนเป็นหลักอาจทำให้ได้ฟอสฟอรัสมากเกินไป ในกรณีนี้สามารถลดอัตราการใส่เพื่อให้มี P_2O_5 พอเหมาะ และเพิ่มไนโตรเจนโดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

ส่วนมากกากตะกอนมักจะขาดโปตัสเซียม ในลักษณะที่มีน้อยกว่าที่พืชต้องการ โดยทั่วไปโปตัสเซียมที่พบในกากตะกอนอยู่ในสัดส่วน N:P:K = 11:7.6:1 หรือมีน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ (Sommers, 1977) ถ้าการเติมกากตะกอนพิจารณาจากความต้องการไนโตรเจนและ/หรือฟอสฟอรัสของพืชเป็นหลัก อาจจะต้องเติมปุ๋ยโปตัสเซียมนอกเหนือจากที่ได้จากกากตะกอน ถ้าปริมาณโปตัสเซียมที่พืชได้จากกากตะกอนน้อยกว่าความต้องการของพืช ซึ่งส่วนใหญ่แนะนำว่าควรจะมีโปตัสเซียมในรูป K_2O มากกว่า 50 ปอนด์/เอเคอร์

3. วิธีการจัดการกับเชื้อโรคที่ปนเปื้อนในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

3.1 กระบวนการฆ่าเชื้อโรคในกากตะกอน

การฆ่าเชื้อ (Disinfection) หมายถึงการทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคในสภาพเซลล์ปกติ แต่ไม่ทำลายสปอร์ โดยวิธีการทางกายภาพหรือใช้สารเคมีซึ่งเรียกว่าสารฆ่าเชื้อ (Disinfectants) เพื่อทำลายจุลินทรีย์ การฆ่าเชื้อโรคในกากตะกอนเป็นการลดโอกาสที่จะพบจุลินทรีย์ก่อโรคในกากตะกอนและที่จะแพร่กระจายต่อไป

U.S. federal regulation แบ่งกระบวนการบำบัดจุลินทรีย์ก่อโรคในกากตะกอนออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) Processes to Significantly Reduce Pathogens (PSRP)

ประกอบด้วยกระบวนการย่อยแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Digestion) การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) การปรับเสถียรด้วยปูนขาว (Lime Stabilization) การทำปุ๋ยแบบมีโซฟิลิค (Mesophilic Composting) การปล่อยให้แห้ง (Air Drying) และการทำปุ๋ยแบบใช้อุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Composting) กากตะกอนที่ผ่านกระบวนการ PSRP สามารถนำไปเติมในดินได้ โดยมีข้อจำกัดคือ ไม่ควรใช้พื้นที่ในการปลูกพืชสำหรับการบริโภคภายใน 18 เดือนและควรทิ้งระยะของเก็บเกี่ยวหญ้าอย่างน้อย 1 เดือนก่อนที่จะนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ที่มนุษย์นำไปใช้บริโภค

2) Processes to Future Reduce Pathogens (PFRP)

ประกอบด้วย การบำบัดร้อน (Heat Treatment) การอาบรังสี (Irradiation) การทำปุ๋ยแบบใช้อุณหภูมิสูง (High-Temperature Composting) การย่อยแบบเทอร์โมฟิลิค แอโรบิค (Thermophilic Aerobic Digestion) และการทำให้แห้งโดยใช้ความร้อน (Heat Drying) กระบวนการ PFRP มีความจำเป็นต้องใช้ในกรณีที่พืชที่มนุษย์นำไปบริโภคมีการสัมผัสกับกากตะกอน แต่ไม่มีข้อจำกัดต่อการใช้กากตะกอนที่ผ่านกระบวนการ PFRP

3.1.1 <u>การย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน</u> (Anaerobic Digestion)

ระยะเวลากักพักและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ก่อโรคระหว่างกระบวนการย่อยกากตะกอนแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซาลโมเนลลาจะหยุดการเจริญเติบโตในสภาวะการย่อยแบบมีโซฟิลิก(Mesophilic) และการย่อยแบบเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic Digestion)

3.1.2 การย่อยแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Digestion)

แม้ว่ากากตะกอนจำนวนมากในสหรัฐอเมริกาจะถูกบำบัดด้วยกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่บางพื้นที่ใช้กระบวนการการย่อยแบบใช้ออกซิเจน กระบวนการบำบัดนี้ผ่านการพิจารณาจาก U.S.EPA ที่จะช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคในกากตะกอนได้อย่างมีนัยสำคัญก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ซาลโมเนลลา (ส่วนใหญ่เป็น *S.* Enteritidis) จะตรวจพบที่ระดับ 0.8-33 MPN/กรัม ในกากตะกอนที่ย่อยแบบใช้ออกซิเจนจากระบบบำบัดน้ำเสีย 3 แห่งในรัฐฟลอริดา การลดแบคทีเรียก่อโรคในลำไส้และไวรัสระหว่างกระบวนการย่อยแบบใช้ออกซิเจน ขึ้นกับระยะเวลากักพัก และอุณหภูมิ

3.1.3 สระสลัดจ์ (Sludge Lagooning)

การหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคในสระสลัดจ์ ขึ้นกับสภาพอากาศและชนิดของจุลินทรีย์ก่อโรค การเก็บกากตะกอนไว้เป็นระยะเวลานานจำเป็นต่อการหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคและปรสิต

3.1.4 กระบวนการพาสเจอร์ไรเซชั่น (Pasteurization)

กระบวนการหลัก คือ การบำบัดด้วยการใช้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แม้ว่ากระบวนการพาสเจอร์ไรเซชั่นมีประสิทธิภาพในการทำลายไข่พยาธิ (Helmint Eggs) แบคทีเรียและไวรัส ไข่ของ *Ascaris* จะถูกทำลายเมื่อกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชั่นมีอุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียสประมาณ 2 ชั่วโมง กระบวนการพาสเจอร์ไรเซชั่นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที สามารถทำลายไข่ของ *Taenia saginata* ได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการนี้สามารถหยุดการเจริญเติบโตของซาลโมเนลลาและไวรัสลำไส้ (Enterovirus) ได้อย่างสมบูรณ์

3.1.5 การหมักทำเป็นปุ๋ย (Composting)

ในสหัฐอเมริกามีการตรวจพบซาลโมเนลลาปนเปื้อนในกากตะกอนที่นำไปทำเป็นปุ๋ย (Composted Sludge) สูงถึง 10^4 เซลล์/กรัม ซาลโมเนลลาสามารถเจริญเติบโตในกากตะกอนเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในกระบวนการเทอร์โมฟิลิคอยู่ในช่วง 20-40 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกิน 15:1 การรอดชีวิตของจุลินทรีย์ก่อโรคในกากตะกอนที่นำไปทำเป็นปุ๋ย เป็นผลเนื่องมาจากความชื้นและจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิม ถึงแม้ว่าจะมีธาตุอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่จุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค

3.1.6 การผึ่งให้แห้ง (Air Dryimg)

กากตะกอนจะถูกนำไปเกลี่ยบนลานทราย (Sand Beds) ในโรงบำบัดน้ำเสีย กากตะกอนเหลว (Liquid Sludge) ถูกเกลี่ยบนทรายหนาประมาณ 1 ฟุตและปล่อยให้แห้ง น้ำจะถูกแยกออกโดยการระบายและการระเหยกลายเป็นไอ น้ำที่ถูกแยกออกมาในช่วงวันแรกๆจะถูกนำกลับไปใช้ในโรงบำบัดน้ำเสียอีกครั้ง หลังจากนั้นน้ำที่เหลือจะถูกปล่อยให้ระเหยไป

3.1.7 การยับยั้งด้วยการใช้สารเคมี (Chemical Inactivation)

1) การปรับเสถียรด้วยปูนขาว (Lime Stabilization)

เป็นการเติมปูนขาวในกากตะกอนดิบที่พีเอชประมาณ 12.8 ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S.* Senftenberg ได้ภายใน 3 ชั่วโมง

2) แอมโมนิฟิเคชั่น (Ammonification)

การเติมแอมโมเนียมหรือแอมโมเนียมซัลเฟตในกากตะกอน เพื่อช่วยลดปรสิต เป็นวิธีกำจัดปรสิตที่ได้ผลดีวิธีหนึ่ง แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเนื่องจากสารทั้งสองตัวมีราคาแพง และอาจก่อให้เกิดสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ (Carcinogenic Compound)

3) กระบวนการเติมโอโซน (Ozonics Process)

เป็นการเติมโอโซนความเข้มข้น 200 ppm ให้กับกากตะกอน โดยใช้เวลานาน 30-90 นาทีที่พีเอชต่ำ (2.5-3.5) ภายใต้ความดัน 60 psi กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพสูงในการลดจำนวนจุลินทรีย์ก่อโรคและไวรัส แต่เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

3.1.8 การอาบรังสี (Irradiation)

เป็นกระบวนการใช้รังสีแกมมา (Gamma Radiation) ในการบำบัดกากตะกอน โดยการใช้ Cesium-137 หรือ Cobalt-60 หรือใช้ลำแสงอิเล็คตรอนพลังงานสูง (High-Energy Electron Beams)

3.1.9 การบำบัดร้อน (Heat Treatment)

เป็นการให้ความร้อนแก่กากตะกอน ภายใต้ความดันและอุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

3.1.10 ไมโครเวฟ (Microwave)

การบำบัดด้วยการใช้ไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิระหว่าง 67-69 องศาเซลเซียส นานประมาณ 7 วินาที มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เช่น การบำบัดน้ำดื่มและปุ๋ยเหลวด้วยไมโครเวฟสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S.* Senftenberg ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 การประยุกต์ใช้สิ่งแวดล้อมในการทำลายเชื้อ

การฆ่าเชื้อโรคมีหลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี การใช้ความร้อน การกรอง การใช้รังสี เป็นต้น การใช้สารเคมี ได้แก่ คลอรีน โบรมีน ฯลฯ คลอรีนเป็นสารเคมีที่นิยมมากที่สุด แต่ควรระวังคือ คลอรีนที่เติมลงไปนั้นอาจจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่ปนอยู่ในน้ำดื่มเกิดสารประกอบบางชนิด ที่เป็นสารที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ (Carcinogenic Compound)

การใช้รังสี (โดยเฉพาะรังสีอุลตราไวโอเลท ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรังสีจากดวงอาทิตย์) เพื่อทำลายเชื้อโรคนั้นเป็นกรรมวิธีที่ควรจะพิจารณาทดลองใช้ เนื่องจากรังสีอุลตราไวโอเลทสามารถฆ่าเชื้อโรคได้และไม่ทำให้เกิดสารประกอบที่อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็ง เมื่อพิจารณาทั้งด้านการประหยัดเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงและสารเคมี รวมถึงความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคการใช้รังสีแสงอาทิตย์นั้น มีแนวโน้มที่จะเป็นกรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อโรคของแหล่งน้ำในชนบท

ในต่างประเทศได้มีการศึกษาถึงการใช้รังสีแสงอาทิตย์ทำลายจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม เช่น พบว่าเมื่อเติมน้ำที่มีการปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ปริมาณ 1-3 ลิตรในภาชนะโปร่งใสตั้งกลางแดดเป็นเวลานาน 2-3 ชั่วโมงสามารถทำลายฟีคอลโคลิฟอร์มได้ 99.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองเช่นเดียวกันแต่ตั้งไว้ในห้องปฏิบัติการจะใช้เวลานานถึง 10.5 ชั่วโมง นอกจากนี้ได้ทำการทดลองกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆอีก พบว่าเวลาที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์จนหมดจะต่างกันขึ้นกับชนิดจุลินทรีย์ เช่น *S.* Typhi และ *E. coli* ใช้เวลา 1 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง 15 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ *Penicillium* ใช้เวลาถึง 8 ชั่วโมง (Acra et al.,1984 อ้างถึงในวิชัยศักดิ์ คูหาทอง และคณะ, 2534)

วันเพ็ญ และคณะ (2532) ได้ทำการทดลองการฆ่าเชื้อโรคในน้ำฝนที่ผ่านการฆ่าเชื้อและเติม *E. coli* กับน้ำฝนตามธรรมชาติ โดยการใช้แสงแดด พบว่าในสภาวะกลางแดดที่มีความเข้มของแสงแดด 592-920 วัตต์/ตร.ม. และ 547-1028 วัตต์/ตร.ม. สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 1 และ 1.5 ชั่วโมงตามลำดับ ขณะที่ความเข้มของแสงแดด 176-309 วัตต์/ตร.ม. และ 192-550 วัตต์/ตร.ม.ใช้เวลาในการทำลายจุลินทรีย์ 2 และ 3 ชั่วโมงตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าปริมาณของแสงแดดมีผลกระทบต่อการทำลายจุลินทรีย์ ปริมาณความเข้มแสงแดดสูงมากกว่า 500 วัตต์/ตร.ม. จะใช้เวลาในการทำลายจุลินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าปริมาณความเข้มแสงแดดต่ำ (200-500 วัตต์/ตร.ม) และที่ปริมาณความเข้มแสงเดียวกัน ประสิทธิภาพการทำลายจุลินทรีย์ด้วยแสงแดดขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำ

วิชัยศักดิ์ คูหาทอง และคณะ (2534) ทำการทดลองเกี่ยวกับการใช้แสงแดดในการฆ่าเชื้อโรค ระยะเวลาของการมีชีวิตรอดของไข่พยาธิบนลานทรายกรองโดยใช้ความร้อนจากแสงแดด พบว่าไข่พยาธิไส้เดือนกลมของหมูถูกทำลายหรือฝ่อหมด เมื่อตากกากตะกอนบนลานทรายกรองจนแห้งนาน 9 วันในฤดูฝน โดยมีความชื้นของกากตะกอน 2.28 เปอร์เซ็นต์และในฤดูร้อนนาน 5 วัน เมื่อกากตะกอนมีความชื้น 0.56 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นของกากตะกอนที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับการฝ่อของไข่พยาธิ

และพบว่าการทำให้แห้งสามารถทำลายไข่พยาธิ *Ascaris* ที่ความชื้นต่ำประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิปานกลาง ไข่พยาธิ *Ascaris* จะตายค่อนข้างรวดเร็ว และไข่พยาธิ *Ascaris* จะตายหมดเมื่อความชื้นในกากตะกอนลดต่ำกว่า 5.8 เปอร์เซ็นต์ จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิพบว่าบนลานทรายกรองที่มีฝาปิดมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกกลางแจ้ง จึงทำให้ระบบลานทรายกรองนี้ช่วยเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อการลดความชื้นของกากตะกอนบนลานทราย ที่มีผลต่อการรอดชีวิตของไข่พยาธิ

3.3 การป้องกันและควบคุม

อาหารที่ปนเปื้อนซาลโมเนลลา เป็นสื่อสำคัญที่สุดของการแพร่กระจายของโรค โดยเฉพาะเนื้อสัตว์ เช่น ไก่ หมู และเนื้อวัว ในประเทศไทยอาหารที่ไม่ได้ปรุง และขายตามตลาดสดในกรุงเทพมหานคร พบว่ามีการปนเปื้อนซาลโมเนลลาตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 28 ในปี พ.ศ. 2528-2529 อัตราป่วยที่พบในเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปีที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาลเด็กด้วยอาการอุจจาระร่วง พบว่ามีสาเหตุจากซาลโมเนลลาร้อยละ 12 และลดลงเหลือร้อยละ 3 ในปี พ.ศ. 2531-2532

การใช้ยาต้านจุลชีพอย่างเสรีในการเลี้ยงสัตว์ เพื่อกระตุ้นให้เจริญเติบโตทำให้ซาลโมเนลลาเกิดสายพันธุ์ดื้อยามากขึ้น สายพันธุ์ที่มีการดื้อยานั้นมักเป็นสาเหตุสำคัญของการระบาด นอกจากซีโรวาร์ต่างๆที่ผลัดกันระบาดในแต่ละปีแล้ว ยังพบซีโรวาร์ใหม่ที่อาจนำเข้ามากับสินค้าจากต่างประเทศที่ก่อให้เกิดปัญหาทางสาธารณสุข เช่น ในปี พ.ศ. 2532 ประเทศไทยพบซาลโมเนลลาซีโรวาร์ใหม่คือ S. Blockley จากอาหารเลี้ยงสัตว์ที่ส่งเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งหลังจากนั้นก็ตรวจพบสายพันธุ์นี้จากการสำรวจตัวอย่างอาหารในกรุงเทพมหานครและผู้ป่วย

ซาลโมเนลลานั้นยากที่กำจัดจากสิ่งแวดล้อม เนื่องจากแหล่งของเชื้อส่วนใหญ่อยู่ที่สัตว์เลี้ยง เช่น เป็ด ไก่ โค กระบือ สุกร เป็นต้น ถ้าสามารถลดจำนวนซาลโมเนลลาในสัตว์เหล่านี้ได้ก็อาจทำให้คนติดซาลโมเนลลาน้อยลง เช่น การพัฒนาวิธีการชำแหละเนื้อสัตว์ในโรงงานฆ่าสัตว์เพื่อลดการปนเปื้อน การป้องกันอาหารที่ผ่านกระบวนการปรุงแล้วไม่ให้ปนเปื้อนเชื้อ ฝึกอบรมเกี่ยวกับสุขอนามัยให้แก่บุคคลากรที่มีหน้าที่เตรียมอาหาร และทำงานตามโรงงานฆ่าสัตว์ ส่งเสริมความรู้ในการใช้ความร้อน/ความเย็นในการประกอบอาหารและเก็บอาหาร ตั้งแต่ในโรงงานประกอบอาหาร ภัตตาคาร

และสาธารณะทั่วไป ปรับปรุงสาธารณูปโภคให้มีน้ำสะอาดเพื่อการบริโภคและอุปโภคอย่างเพียงพอ ส่วนการป้องกันโรคไทฟอยด์นั้น ปัจจุบันมีการใช้วัคซีนซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกัน