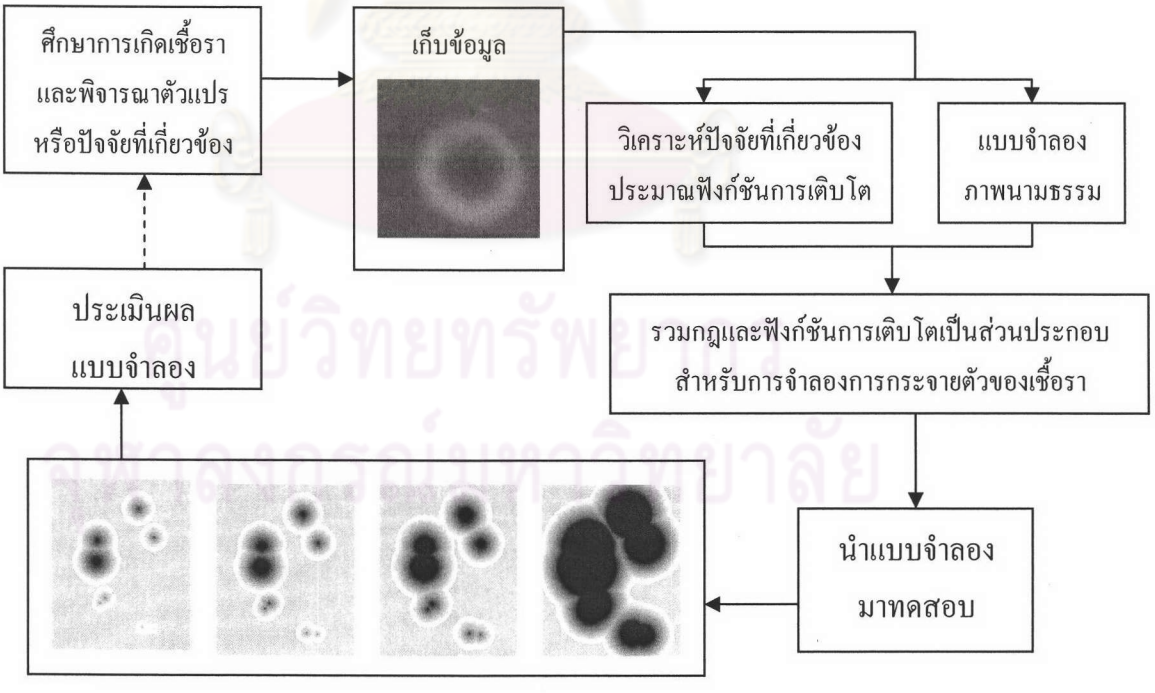
บทที่ 4

การจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของการกระจายตัวของเชื้อรา

ในบทนี้จะอธิบายถึง การจำลองและการสร้างภาพนามธรรมของการกระจายตัวของเชื้อราอันประกอบไปด้วย พื้นฐานโครงสร้างของการกระจายตัวของเชื้อรา ข้อมูลจำเพาะของเชื้อรา ข้อมูลการเติบโตของเชื้อราที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ และการสร้างภาพนามธรรมของการกระจายตัวของเชื้อราที่อุณหภูมิต่างๆ

4.1 โครงสร้างพื้นฐานของแบบจำลองการกระจายตัวของเชื้อรา

การสังเกตจากการกระจายตัวของเชื้อราจริงๆ นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญในการจำลองและการพัฒนารูปแบบของการกระจายตัวของเชื้อรา แผนผังของการจำลองและสร้างภาพของการกระจายตัวของเชื้อรานั้นได้แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังของการจำลองและสร้างภาพนามธรรมของการกระจายตัวของเชื้อรา

การสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของเชื้อราในคอมพิวเตอร์นั้น เริ่มแรกเราต้องวิเคราะห์ถึงสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา หลังจากนั้นทำการหาหรือเก็บข้อมูลสำหรับเชื้อรา เมื่อเราได้ข้อมูลมาแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองโดยนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์เพื่อหาฟังก์ชันสำหรับการเติบโต เมื่อเราได้แบบจำลองแล้วก็นำแบบจำลองที่ได้มาทดสอบเพื่อหาความคลาดเคลื่อน เมื่อเราได้ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองแล้วก็นำมาวิเคราะห์ หาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนเพื่อพัฒนาการเก็บข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองต่อไป จนกว่าเราจะสามารถสร้างแบบจำลองได้ตามที่ต้องการ

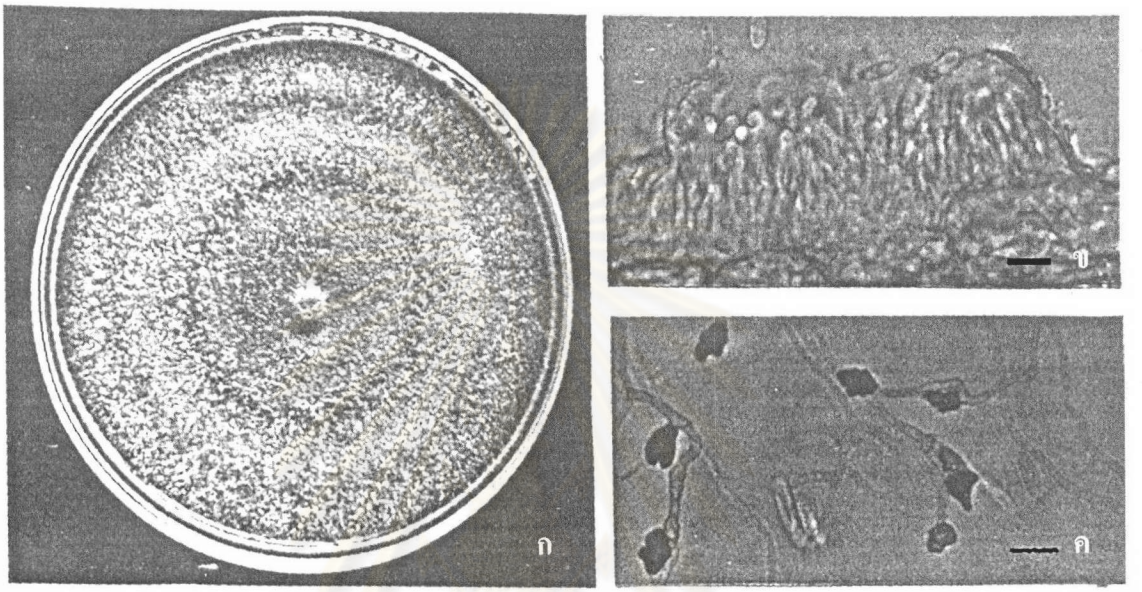
4.2 ข้อมูลจำเพาะของเชื้อรา

เชื้อราที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลเป็นเชื้อรา *Colletotrichum musae* รหัสbcc8197 จากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ซึ่งเชื้อชนิดนี้เป็นสายพันธุ์ *Colletotrichum* ที่ขึ้นบนกล้วย จัดอยู่ ใน *Order Melanconiales Class Deuteromycetes* โคโลนีมีลักษณะเริ่มแรกเป็นเส้นใยสีขาว เมื่ออายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีเทา โดยมีกลุ่มสปอร์สี Orchraceus ถึง cinnamon มากมายแทรกอยู่ในโคโลนี สปอร์รูปทรงกระบอกหัวท้ายมน สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการสร้างและการงอกของสปอร์คือที่อุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียส โดยที่อัตราการงอกของสปอร์ในที่มืดสูงกว่าในที่มีแสง และมีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ ที่ pH ประมาณ 6 เหมาะสมต่อการงอกของสปอร์มากที่สุด แต่สามารถงอกได้ใน pH ตั้งแต่ 4-10 [17] สปอร์จะงอกในเวลา 6-12 ชั่วโมง ในที่ความชื้นสัมพันธ์ 98-100 เปอร์เซ็นต์ และ 24-48 ชั่วโมง ในที่ความชื้นสัมพันธ์ 96 เปอร์เซ็นต์ และไม่งอกในที่ความชื้นสัมพันธ์ 92 เปอร์เซ็นต์ และที่ความชื้นสัมพันธ์ 18 เปอร์เซ็นต์ สปอร์สามารถมีชีวิตได้นาน 60 วัน [18] สปอร์งอกเป็น germ tube และสร้าง appressorium ที่ส่วนปลาย หลังจากนั้น 24-72 ชั่วโมง จะแทงผ่านชั้น cuticle โดยวิธีกล [19]

4.3 ลักษณะทางสัญฐานวิทยา (Colletotrichum musae fungi Morphology)

เชื้อราสร้าง acervulus ลักษณะโค้งเว้า จะฝังตัวลงในเนื้อเยื่อเปลือกผลกล้วยชั้น epidermis เป็นรูปถ้วย (disc-shaped หรือ cushion shaped) conidiophore เป็นก้านตรงเซลล์เดียวมีลักษณะใน เกิดอยู่ใน acervulus ดังรูปที่ 4.2 (ข) ที่ปลาย conidiophore สร้างสปอร์ (conidia) เซลล์เดียวใสรูปไข่ถึงทรงกระบอก หัวท้ายมน (ovid หรือ oblong) appressoria สีน้ำตาลดำ รูปร่างไม่แน่นอน ดังรูปที่ 4.2 (ค) ไม่พบ setae

ลักษณะของโคโลนีของเชื้อราบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) มีลักษณะกลมขอบเรียบดังรูปที่ 4.2 (ก) เชื้อราสร้างกลุ่มสปอร์สีส้มถึงสีส้มอมชมพู มีลักษณะเป็นวงแหวน เส้นใยสีขาวถึงเทาฟูเล็กน้อย มีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้นสม่ำเสมอ



— = 10 μm

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของเชื้อรา *Colletotrichum musae* โดยที่

(ก) ลักษณะโคโลนีของเชื้อราบนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA)

(ข) ลักษณะ acervulus

(ค) ลักษณะ appressoria

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ระยะของการกระจายตัวของเชื้อรา

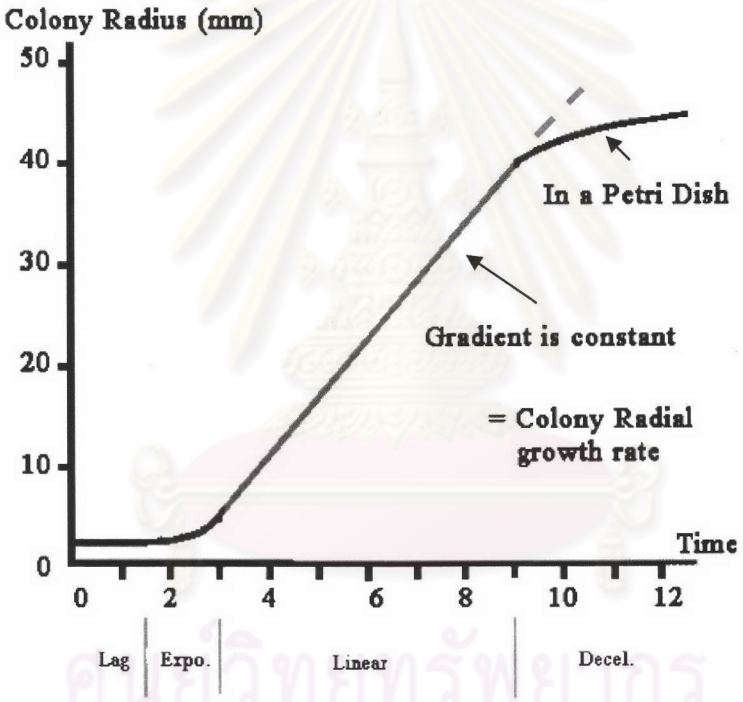
การเติบโตของเชื้อรานั้นจริงๆ แล้วเป็นการเติบโตของสปอร์ของเชื้อราซึ่งไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าได้เพราะมีขนาดเล็ก ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ส่อง แต่เมื่อเชื้อรามีการเติบโตมากขึ้นเราจะสามารถมองเห็นด้วยปากเปล่าได้ ซึ่งสิ่งที่เราเห็นก็คือลักษณะของโคโลนีของเชื้อรา ซึ่งเชื้อราแต่ละชนิดไม่มีกันและลักษณะการกระจายตัวของเชื้อราที่เรามองเห็นเป็นโคโลนีนั้นมี 4 ระยะด้วยกันดังรูปที่ 4.3 คือ

ระยะที่ 1 : Lag phase เป็นช่วงที่เชื้อราฟักตัวในระยะนี้จะไม่มีการเติบโตภายนอกออกมาให้เห็น แต่เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในสปอร์ก่อนที่สปอร์จะงอกขึ้นมา ซึ่งเวลาที่ใช้ระยะนี้ ขึ้นอยู่สภาพแวดล้อม

ระยะที่ 2 : Exponential phase เป็นช่วงที่สปอร์เริ่มงอกออกมาในระยะนี้จะมีการกระจายตัวอย่างรวดเร็ว

ระยะที่ 3 : Linear phase เป็นช่วงที่สปอร์มีการขยายตัว ซึ่งในช่วงนี้หากสภาพแวดล้อมไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะเป็นช่วงที่อัตราการโตคงที่ ซึ่งความชันของกราฟคืออัตราการขยายตัวของโคโลนี

ระยะที่ 4 : Declining phase เป็นช่วงที่มีอัตราการขยายตัวลดลงจนหยุดการขยายตัว ซึ่งสาเหตุมาจากอาหารของเชื้อราเริ่มหมดลง ถ้าหากมีอาหารและปัจจัยต่างๆ ให้เชื้อราอย่างเพียงพอและเหมาะสม ระยะนี้จะไม่เกิดขึ้นเลย แต่ในการทดลองหากเลี้ยงเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อ (Petri Dish) ขนาดของเชื้อราจะมากสุดได้แค่ขนาดของจานเลี้ยงเชื้อเท่านั้น



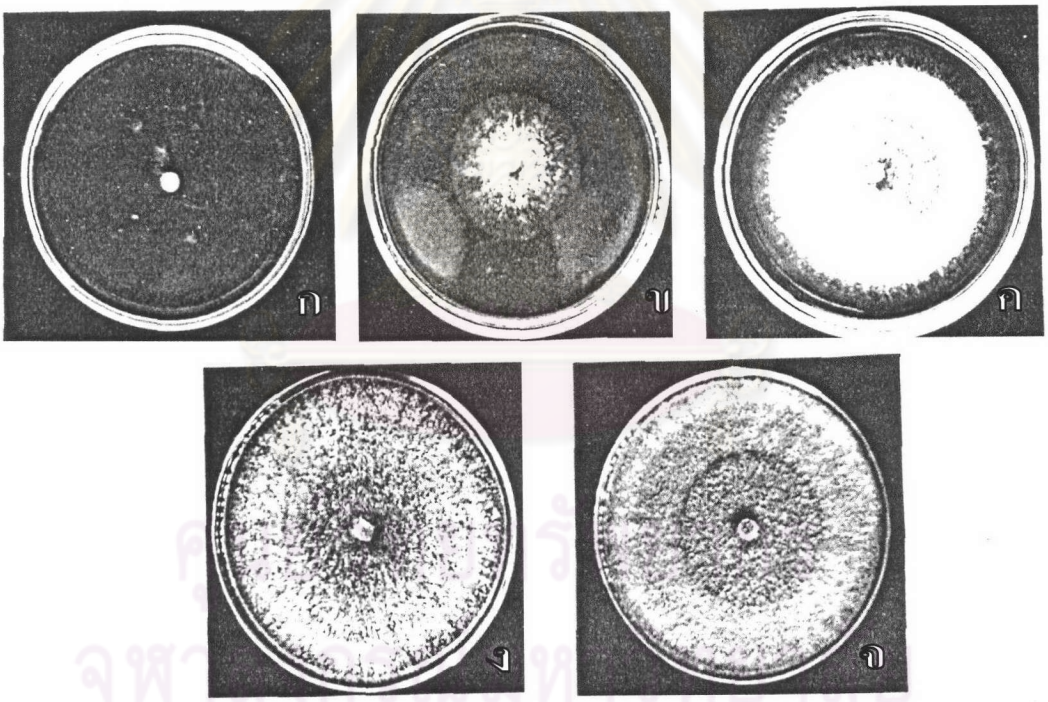
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเติบโตของเชื้อราในระยะต่างๆ

4.5 ผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา

สภาพแวดล้อมของเชื้อราอันได้แก่ ปริมาณความชื้น แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารอาหาร เป็นต้น ต่างมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งการที่เชื้อราจะสามารถเติบโตได้ ต้องมีสภาพแวดล้อมทุกๆ อย่างที่เอื้อต่อการเติบโตของเชื้อรา และสภาพแวดล้อมเพียงแค่บางอย่างที่ไม่เหมาะสมก็สามารถที่ทำให้เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโต

4.6 ข้อมูลการเติบโตของเชื้อรา

ก่อนที่เราจะทำการจำลองการกระจายตัวของเชื้อรานั้นเราจำเป็นต้องมีข้อมูลการกระจายตัวของเชื้อรา ก่อนเพื่อที่เราจะสามารถจำลองการกระจายตัวของเชื้อราได้ใกล้เคียงหรือเหมือนกับความเป็นจริง และเพื่อให้ให้ข้อมูลมีความถูกต้อง แต่เนื่องจากการเก็บข้อมูลการกระจายตัวของเชื้อราต้องใช้อุปกรณ์และความรู้เฉพาะทางเพื่อให้การเก็บข้อมูลมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด จึงได้นำข้อมูลมาจากการงานวิจัยโรคผลเน่าหลังการเก็บเกี่ยวของกล้วยหอมที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum musae* และการควบคุมโรคเพื่อการส่งออกซึ่งวิจัยโดย นายทศพร ทองเที่ยง [20] ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลจากการศึกษาการเจริญของเส้นใยของเชื้อรา *Colletotrichum musae* บนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิต่างกัน 5 ระดับ สภาพที่มีแสง 12 ชั่วโมง สลับมืด 12 ชั่วโมง ในระยะเวลา 5 วัน ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเลี้ยงบนจานเลี้ยงเชื้อเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร โดยขนาดเชื้อเริ่มต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร พบว่าจะมีขนาดของการกระจายตัว โดยแต่ละข้อมูลทำการเฉลี่ย 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 แสดงการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum musae* บนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิต่างกัน 5 ระดับ ในระยะเวลา 5 วัน ในสภาพมีแสง 12 ชั่วโมง สลับมืด 12 ชั่วโมง

(ก) 10 องศาเซสเซียส (ข) 15 องศาเซสเซียส (ค)20 องศาเซสเซียส

(ง) 25 องศาเซสเซียส (จ) 30 องศาเซสเซียส

ตารางที่ 4.1 แสดงการเจริญเติบโตของเชื้อราในช่วงเวลาที่ต่างๆ ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยเก็บจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างเชื้อรา 6 ตัวอย่าง

อุณหภูมิ (^{o}C)	เส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนี (มิลลิเมตร) ที่ระยะเวลาต่างกัน				
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	4 วัน	5 วัน
10	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
15	14.1	20.0	29.8	38.4	45.7
20	19.0	32.5	44.8	66.3	75.6
25	18.7	40.0	64.0	85.8	90.0
30	16.0	36.3	60.0	86.2	90.0

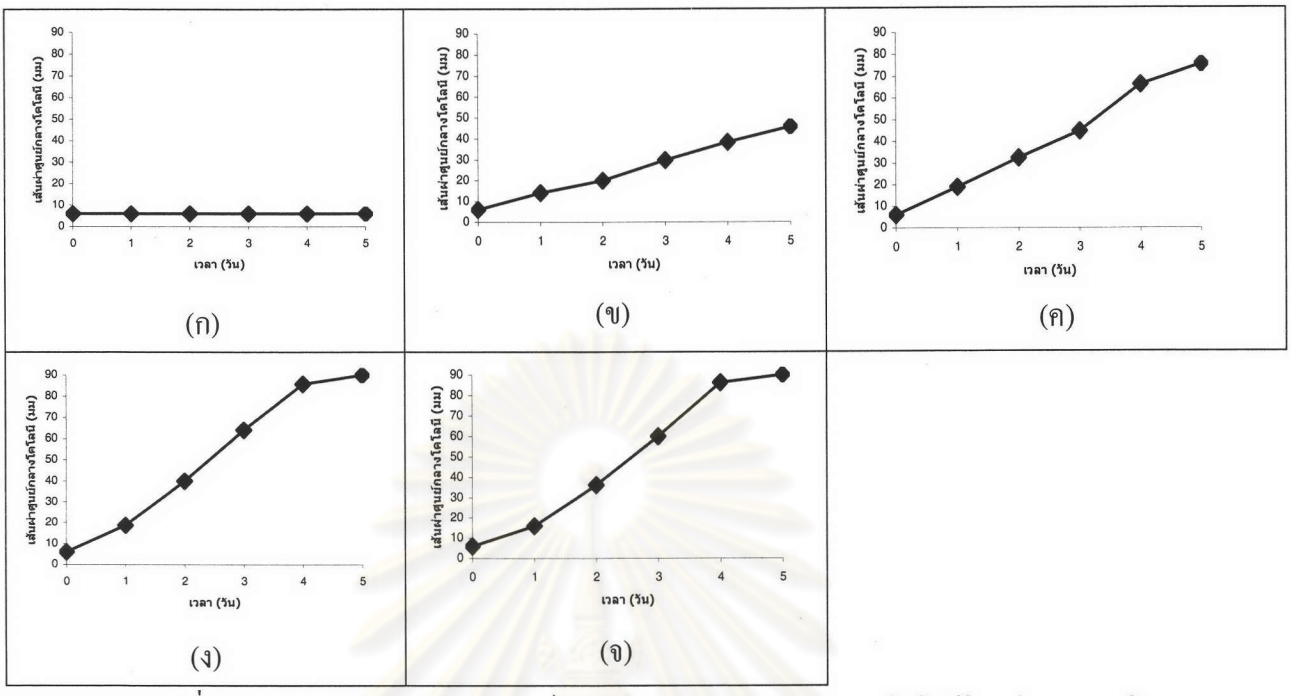
4.7 การจำลองแบบ

การจำลองแบบเป็นวิธีการหนึ่งในกระบวนการการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ ซึ่งคำจำกัดความของการจำลองแบบก็คือ กระบวนการสร้างแบบจำลองของปัญหา แล้วดำเนินการทดลองโดยใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของปัญหานั้นๆ ภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้

สำหรับการจำลองแบบในงานวิจัยนี้คือ การจำลองแบบการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัมในอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งปัญหาคือการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัมในอุณหภูมิที่ต่างกัน มีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร สิ่งแรกที่ต้องทำสำหรับกระบวนการการจำลองแบบคือ การหาแบบจำลองของอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัม ซึ่งหาได้จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัม กับอุณหภูมิว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร

4.7.1 แบบจำลองการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัม

ก่อนที่จะหาแบบจำลองการกระจายตัวของเชื้อรา เราต้องเข้าใจในกระบวนการของการกระจายตัวของเชื้อรา จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงในตารางที่ 4.1 ข้อมูลการกระจายตัวของเชื้อราที่อุณหภูมิต่างกัน เมื่อนำมาวาดกราฟแล้วพบว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอส ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟของความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลา กับขนาดของโคโลนีในแต่ละอุณหภูมิ (ก) อุณหภูมิ 10 องศาเซสเซียส (ข) อุณหภูมิ 15 องศาเซสเซียส (ค) อุณหภูมิ 20 องศาเซสเซียส (ง) อุณหภูมิ 25 องศาเซสเซียส (จ) อุณหภูมิ 30 องศาเซสเซียส

เมื่อพิจาราณากราฟข้อมูลการกระจายตัวของเชื้อราที่อุณหภูมิต่างๆ แล้วพบว่าลักษณะของเส้นโค้งข้อมูลเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอสแบบไม่สมมาตร (non-symmetric s-curve) และกราฟข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวแบ่งออกเป็นช่วงๆ โดยรูปที่ 4.5 (ก) ไม่มีการกระจายตัวเลย รูปที่ 4.5 (ข) และ 4.5 (ค) มีช่วงการกระจายตัวเพียง 2 ช่วง และรูปที่ 4.6 (ง) และ 4.6 (จ) มีช่วงการกระจายตัวเป็น 3 ช่วง ซึ่งข้อมูลที่มีได้ตรงกับข้อมูลจำเพาะของการกระจายตัวของเชื้อราที่แบ่งการกระจายตัวออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะที่ แรกคือ Lag phase ระยะที่ 2 คือ Exponential phase ระยะที่ 3 คือ Linear phase และระยะสุดท้าย คือ Declining phase ซึ่งสามารถอธิบายการกระจายตัวของเชื้อราในรูปที่ 4.4 ได้

จากข้อมูลข้างต้นที่เรามี หากเรานำสมการสำหรับการกระจายตัวของเชื้อราที่เสนอโดย Baranyi et al. [3] และ Kalathenos [4] ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 มาใช้ เพื่อสร้างสมการสำหรับการกระจายตัวของเชื้อราจากข้อมูลที่มี แล้วหาค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการ เพื่อใช้ในแบบจำลองดังนี้

$$D = D_0 + \mu A - \ln\left(\frac{1+(e^{\mu A}-1)}{e^{D_{max}-D_0}}\right) \quad (4.1)$$

โดยที่ A $= t + \left(\frac{1}{\mu} \times \ln\left(e^{-\mu t} + e^{-\mu L} - e^{(-\mu t - \mu L)}\right)\right)$ (4.2)

ที่ซึ่ง D คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีที่เวลาต่างๆ (มิลลิเมตร)

t คือเวลา (ชั่วโมง)

D_0 คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเริ่มต้นของโคโลนี (มิลลิเมตร)

L คือระยะเวลาของ Lag phase (ชั่วโมง)

μ คืออัตราการกระจายตัวของเชื้อรา (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

D_{max} คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุดของโคโลนี (มิลลิเมตร) ซึ่งค่านี้ไม่มีความจำเพาะทางชีวภาพแต่ส่วนใหญ่จะเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานเลี้ยงเชื้อ (Petri Dish)

จากสมการจะเห็นได้ว่าตัวแปรที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิมี 2 ค่า คือ D_0, D_{max} ซึ่งมีค่าจากการทดลองดังนี้คือ D_0 = 6 มิลลิเมตร, D_{max} = 90 มิลลิเมตร แต่ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิคือ μ และ L เราจึงต้องหาค่า μ และ L ของแต่ละช่วงอุณหภูมิ โดยการวิเคราะห์การถดถอย โดยใช้วิธี Levenberg-Marquardt ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4 สำหรับการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองการกระจายตัวของเชื้อราในแต่ละอุณหภูมิสามารถหาได้ค่าดังนี้

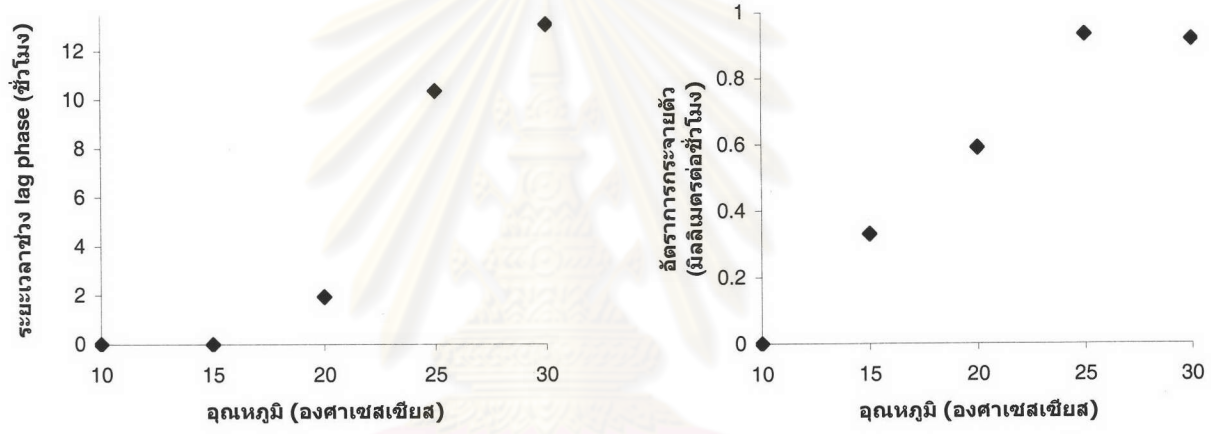
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า L และ μ ที่คำนวณได้ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซสเซียส)	L (ชั่วโมง)	μ (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)
10	-	-
15	0.000	0.331
20	1.944	0.590
25	10.368	0.932
30	13.104	0.917

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น ค่า L หรือว่าช่วง Lag phase จะมีระยะเวลานานขึ้น กล่าวคือ ค่าอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับระยะเวลาของช่วง Lag phase ส่วน ค่า μ หรือ อัตราการกระจายตัวนั้นจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซสเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่มีอัตราสูงสุดจากข้อมูลที่เรามี

4.7.2 การหาค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองการเติบโตของเชื้อราที่อุณหภูมิต่างๆ

จากค่า L และ μ ที่เราหาได้นั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวกับอุณหภูมิได้ โดยเมื่อเรานำค่าดังกล่าวมาวาดกราฟจะได้กราฟดังรูปที่ 4.6



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่อุณหภูมิต่างๆ

(ก) L (ข) μ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6 (ก) พบว่าค่า ลักษณะของกราฟค่า L นั้นจะมีลักษณะการวางตัวเป็นเส้นโค้งรูปตัวเอส โดยช่วงอุณหภูมิน้อยๆ จะมีระยะเวลาช่วง Lag phase น้อย และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 20-25 องศาเซสเซียส และเริ่มเพิ่มน้อยลงเมื่อถึงอุณหภูมิ 30 องศาเซสเซียส เราจึงใช้สมการ Logistic สำหรับข้อมูลชุดนี้ดังสมการที่ 4.3

$$L = \frac{a}{1+be^{-ct}} \tag{4.3}$$

โดยที่ L คือระยะเวลาของช่วง Lag phase (ชั่วโมง)

t คืออุณหภูมิ(องศาเซสเซียส)

a,b,c คือพารามิเตอร์ที่เราต้องหาเพื่อให้เข้ากับชุดข้อมูล

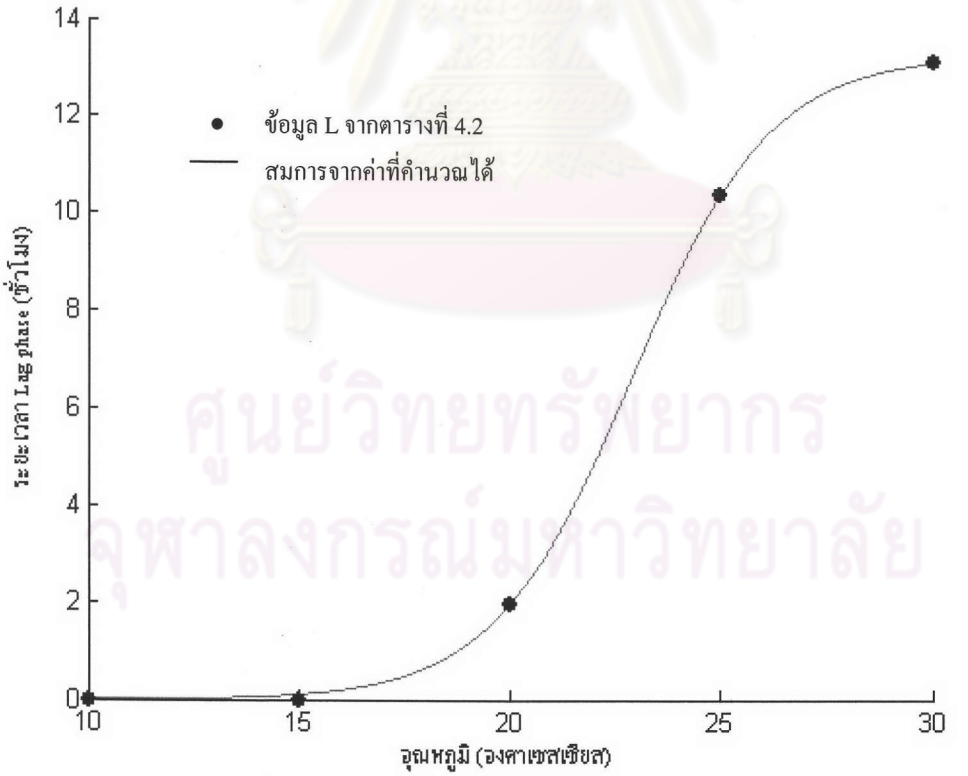
การหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ทำได้ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย โดยใช้วิธี Levenberg-Marquardt ซึ่งจะได้ค่าดังนี้คือ a = 13.275, b = 1146513.600, c =0.609 ซึ่งเมื่อได้นำค่าที่ได้ไปใช้แทนในสมการที่ 4.3 จะได้ดังสมการที่ 4.4

$$L = \frac{13.275}{1+1146513.600e^{-0.609t}} \tag{4.4}$$

โดยที่ L คือระยะเวลาของช่วง Lag phase (ชั่วโมง)

t คืออุณหภูมิ(องศาเซสเซียส)

เมื่อนำสมการที่ 4.4 มาวาดกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูล L จากตารางที่ 4.2 จะเป็นดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟของสมการจากค่าที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับข้อมูล L จากตารางที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และเมื่อเราพิจารณากราฟจากรูปที่ 4.6 (ข) พบว่าข้อมูลมีลักษณะโค้งคว่ำลงไม่สมมาตร จึงเลือกใช้สมการพหุนามกำลัง 3 ดังสมการที่ 4.4 สำหรับหาค่า μ

$$\mu = a+bt+ct^2+dt^3 \tag{4.5}$$

โดยที่ μ คืออัตราการกระจายตัวของเชื้อรา (มิลลิเมตรต่อวัน)

t คืออุณหภูมิ

a,b,c,d คือพารามิเตอร์ที่เราต้องหาเพื่อให้เข้ากับชุดข้อมูล

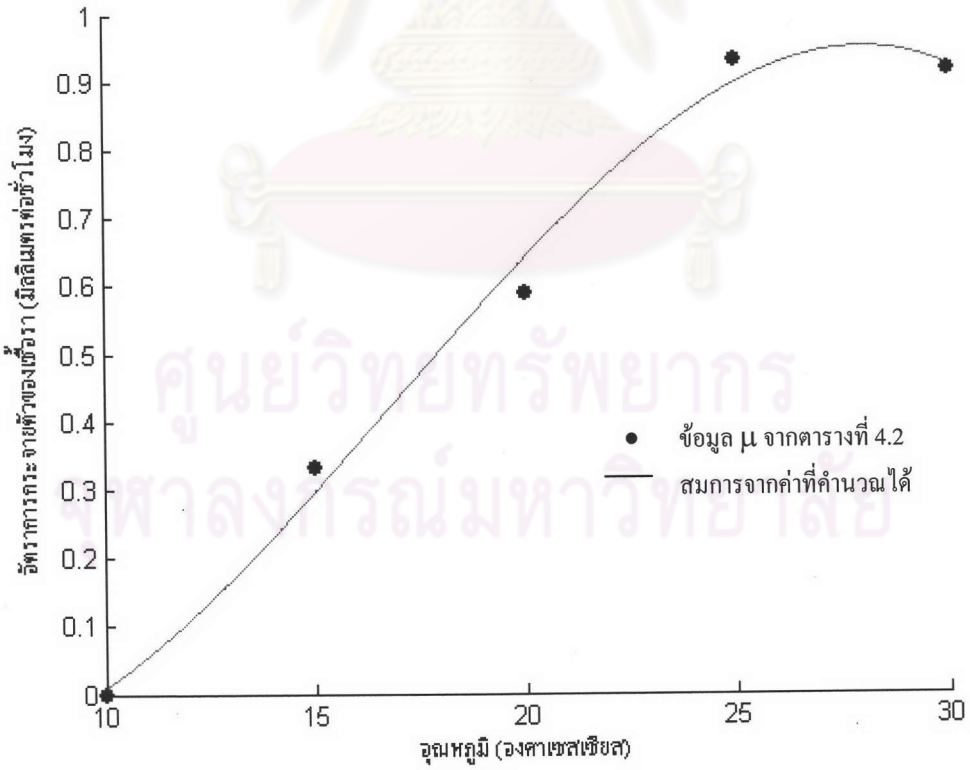
การหาค่าพารามิเตอร์ทำได้ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย โดยใช้วิธี Levenberg-Marquardt ซึ่งจะได้ค่าดังนี้คือ a = 0.168, b = -0.09355, c = 0.00966, d = -0.00019 ซึ่งเมื่อแทนค่าไปในสมการที่ 4.5 จะได้ดังสมการที่ 4.6

$$\mu = -0.00019t^3+0.00966t^2-0.09355t +0.168 \tag{4.6}$$

โดยที่ μ คืออัตราการกระจายตัวของเชื้อรา (มิลลิเมตรต่อวัน)

t คืออุณหภูมิ

แล้วเมื่อนำสมการที่ 4.6 มาวาดกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูล μ จากตารางที่ 4.2 จะเป็นดังรูปที่ 4.8

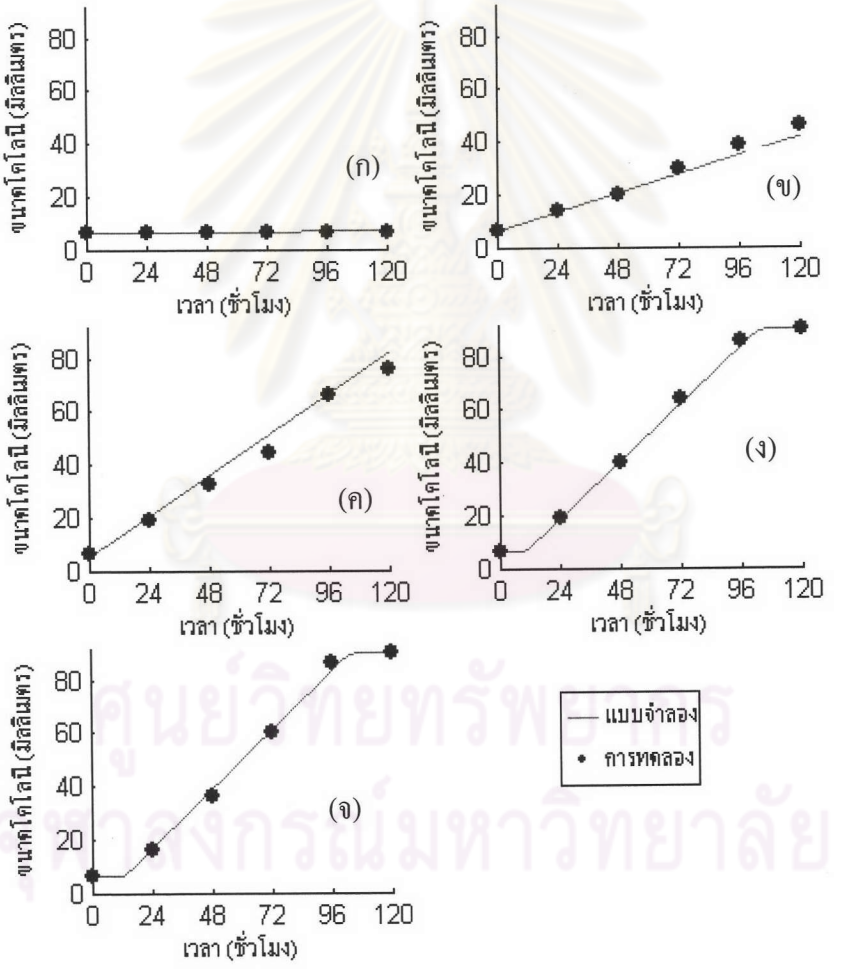


รูปที่ 4.8 แสดงกราฟของสมการจากค่าที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับข้อมูล μ จาการางที่ 4.2

จะเห็นได้ว่าเราสามารถหาความสัมพันธ์ของค่า L และ μ กับอุณหภูมิได้จากข้อมูลที่เรามี ซึ่งความสัมพันธ์จะเป็นดังกราฟที่ได้กล่าวมาแล้ว

4.7.3 การจำลองการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัม

การจำลองการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัมนั้น สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ 4.4 และ 4.6 ในการหาค่า L และ μ ที่อุณหภูมิที่ต้องการ แล้วนำค่า L และ μ ไปแทนในสมการที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่ได้กับข้อมูลจากการทดลองจะเป็นดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองการกระจายตัวของเชื้อราที่อุณหภูมิต่างๆ (ก) 10 องศาเซสเซียส (ข) 15 องศาเซสเซียส (ค) 20 องศาเซสเซียส (ง) 25องศาเซสเซียส (จ) 30องศาเซสเซียส

สำหรับแบบจำลองการกระจายตัวของเชื้อราที่อุณหภูมิต่างๆที่หาได้นั้น นอกจากสามารถนำมาจำลองแบบได้แล้ว ยังสามารถนำไปใช้ในการสร้างภาพนามธรรมของการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัมที่อุณหภูมิต่างๆ ได้

4.8 การสร้างภาพนามธรรม

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการสร้างภาพนามธรรมของเชื้อราคอลเลโททริคัมด้วย Cellular Automata โดยการกำหนดค่าต่างๆ ในแต่ละเซลล์ การสร้างกฎการปรับปรุงค่า และใช้แบบจำลองการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัมที่อุณหภูมิต่างๆ มาควบคุมลักษณะการกระจายตัวของเชื้อรา สำหรับการสร้างภาพนามธรรมของการกระจายตัวของเชื้อราคอลเลโททริคัม

4.8.1 ลักษณะเบื้องต้นของ Cellular Automata สำหรับการสร้างภาพนามธรรมของเชื้อรา

การสร้างภาพนามธรรมสำหรับการกระจายตัวของเชื้อราด้วย Cellular Automata นั้น ต้องเริ่มต้นด้วยการสังเกตลักษณะการกระจายตัวเชื้อราจากของจริงเสียก่อน โดยจากการสังเกตจะพบว่าการกระจายตัวของเชื้อราจะมีลักษณะเป็นรัศมี แผ่ออกไปเรื่อยๆ จนกว่าอาหารจะหมด โดยลักษณะสีของเชื้อรานั้น เริ่มแรกจะมีสีขาวแต่เมื่อเวลาผ่านไปจะมีสีที่เปลี่ยนไปตามอายุของเชื้อรา ซึ่งบางตัวอย่างที่สังเกตนั้น ลักษณะสีของเชื้อราไม่มีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือหยุดการเติบโตที่สีขาวเท่านั้น ซึ่งมาจากปัจจัยของอาหารที่หมดก่อนที่เชื้อราจะสามารถเติบโตได้ต่อนั่นเอง โดยเริ่มแรกเราจะหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อมากำหนดค่าว่าในแต่ละเซลล์ของ Cellular Automata นั้น ต้องเก็บค่าใดไว้บ้าง หลังจากนั้นกำหนดค่าเริ่มต้นของการกระจายตัว และสร้างกฎการปรับปรุงค่าของ Cellular Automata สำหรับการกระจายตัวของเชื้อรา

4.8.2 การสร้างภาพนามธรรมของการกระจายตัวของเชื้อราโดย Cellular Automata

4.8.2.1 การกำหนดค่าเบื้องต้น

ในเบื้องต้นเรากำหนด Cellular Automata 2 มิติ ขนาด M x N ที่ประกอบด้วยเซต 3 เซตหลักๆ คือ (S,H,f) ความหมายของแต่ละตัวแปรเป็นดังต่อไปนี้

$S = \{(i,j) \mid 1 \le i \le N, 1 \le j \le M\}$ คือตารางสองมิติขนาด M x N เป็นเซตจำกัดของสถานะของเซลล์

$H = \{h_1, h_2, \ldots, h_8\}$ คือเซลล์ใกล้เคียงของเซลเริ่มต้น ซึ่งพิจารณาแบบ Moore neighborhood ดังรูปที่ 3.4

$f : Q \times Q^{|H|} \rightarrow Q$ คือฟังก์ชันการส่งผ่านสถานะ เมื่อ Q คือเซตจำกัดของค่าสถานะของเซล

4.8.2.2 การกำหนดค่าสถานะของแต่ละเซลล์

ค่าที่ใส่ไว้ในแต่ละเซลล์กำหนดค่าต่างๆ เป็นดังนี้

$$Q = \{R_{i,j}, A_{i,j}\}$$

โดยที่ $R_{i,j}$ คือ ปริมาณเชื้อรา

$A_{i,j}$ คือ อายุของเชื้อรา

ซึ่งเริ่มต้นของแต่ละเซลล์คือ

เซลล์ปกติมีค่า $R_{i,j}$ และ $A_{i,j} = 0$

เซลล์ที่มีเชื้อรามีค่า $R_{i,j} = 1$ และ $A_{i,j} = 0$

4.8.2.3 กฎการปรับปรุงค่า

1. $R_{i,j}(t+1) = \sum_{i=1}^{8} G(C,t)m_i h_i$

โดยที่ $h_1=R_{i-1,j-1}(t)$, $h_2=R_{i,j-1}(t)$, $h_3=R_{i+1,j-1}(t)$, $h_4=R_{i-1,j}(t)$

$h_5=R_{i+1,j}(t)$, $h_6=R_{i-1,j+1}(t)$, $h_7=R_{i,j+1}(t)$, $h_8=R_{i+1,j+1}(t)$

$G(C,t)$ คือฟังก์ชันของค่าอัตราการกระจายตัวของเชื้อราที่อุณหภูมิ C ที่เวลา t

ถ้า $h_i \leq$ อายุของเชื้อราที่เริ่มกระจายตัว แล้ว $m_i = 0$

ถ้า $h_i >$ อายุของเชื้อราที่เริ่มกระจายตัว แล้ว m_i = ค่าพื้นฐานของการกระจายตัว

2. ถ้า $R_{i,j}(t) > 1$ แล้ว $R_{i,j}(t+1) = R_{i,j}(t) + 1$
3. ถ้า $R_{i,j}(t) >$ อายุที่พร้อมจะโตได้ (Lag phase)

และ $A_{ij}(t) <$ อายุสูงสุดของเชื้อรา แล้ว $A_{ij}(t+1) = A_{ij}(t) + 1$

4. แสดงผลออกมาจากค่า $A_{ij}(t)$ ซึ่งหมายถึงอายุของเชื้อรา ณ เวลาต่างๆ

4.8.3 ฟังก์ชันที่อยู่ในกฎปรับปรุงของ Cellular Automata

จากกฎการปรับปรุงค่าจะเห็นได้ว่าหากเราสามารถรู้ข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการแล้วนำมาใส่ในกฎก็จะสามารถสร้างภาพนามธรรมของเชื้อราได้ โดยค่าต่างๆ หาได้ดังนี้

อายุที่พร้อมจะโตได้สามารถหาได้จากค่า L จากสมการ 4.4

ส่วน $G(C,t)$ สามารถหาได้จากค่า μ จากสมการ 4.6

ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้เองที่เป็นตัวควบคุมความเร็วช้าในการเกิดและการกระจายตัวของเชื้อราซึ่งส่งผลต่อขนาดของโคโลนีซึ่งคือขนาดของการกระจายตัวของเชื้อรานั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย