



การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information)



เล่มที่ 3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศต่อการเกษตร

อำนาจ ชิดโรสง : บรรณาธิการ

ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

ฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information)

เล่มที่ 3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตร (Volume 3: Impacts of Climate change on Agriculture in Thailand)

อำนาจ ชิดโรสง
บรรณาธิการ

ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(The Thailand Research Fund's Research Development and
Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change; THAI-GLOB)



สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).

ชื่อหนังสือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information)
 เล่มที่ 3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตร

บรรณาธิการ อำนาจ ชิดไธสง
 พิมพ์ครั้งที่ 1 มกราคม 2559

จำนวน 500 เล่ม

ประสานงาน มัทนพรพรณ จิวเจียม

จัดทำโดย ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (The Thailand Research Fund's Research development and Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change) (THAI-GLOB)

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
 โทร 02 4708309 -10 ต่อ 4144/4119
 โทรสาร 02 8729805

<http://climatechange.jgsee.org>

ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
 ชั้น 14 เอสเอ็มทาวเวอร์ เลขที่ 979 ถนนพหลโยธิน
 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท
 กรุงเทพฯ 10400

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

อำนาจ ชิดไธสง . การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information) เล่มที่ 3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตร.
 -- กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2559.
 182 หน้า.

1. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ--ไทย. II. ชื่อเรื่อง.
 634.651
 ISBN: 978-616-7078-26-3



ผู้เขียน

การตอบสนองของข้าวต่อปัจจัยภูมิอากาศ

दनัย พรอานวยลาม

รศ.ดร.อานาจ ชิดไชสง

สถานีพัฒนาที่ดินน่าน กรมพัฒนาที่ดิน

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืช

ผศ.ดร.เกริก บั้นแห่งเพ็ชร

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวของไทย

รศ.ดร.ภัทรา เฟงธรรมเกียรติ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและแนวโน้มผลกระทบต่ออย่างพาราในภาคใต้ของไทย

ดร.อัศมน ลิมสกุล

รศ.ดร.สายัณห์ สดุดี

วุฒิชัย แพงแก้ว

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกับส้มโชกุน

อิสมะแอ เจ๊ะหลง

อีลีหัยะ สนิโซ

คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา



คำนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นวิกฤติที่ประชาคมโลกและประเทศไทยกำลังเผชิญ ภายใต้สถานการณ์นี้ภาคการเกษตรเป็นภาคที่ควรให้ความสำคัญยิ่ง เนื่องจากเป็นภาคส่วนที่สร้างผลกระทบต่อสังคมในฐานะแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก และในขณะเดียวกันเป็นภาคส่วนที่ช่วยบรรเทาปัญหาด้วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนได้หากมีการจัดการเพาะปลูกอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาคการเกษตรจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงในระบบการผลิตอาหาร ยังส่งผลถึงพลังงานทดแทน การบริหารจัดการน้ำ และการพัฒนาเศรษฐกิจ-สังคม-สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นประเด็นที่ทวีความสำคัญต่อประเทศมากขึ้นทุกขณะ

ที่ผ่านมา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ตระหนักถึงความสำคัญของการสร้างและพัฒนาองค์ความรู้ในประเด็นที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยให้การสนับสนุนงานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นดังกล่าว ต่อเนื่องกว่า 15 ปีแล้ว ครอบคลุมเรื่องการจัดทำแบบจำลองภูมิอากาศอนาคตของประเทศไทย ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลมฟ้าอากาศและความแปรปรวน รวมถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อการผลิตพืช เพื่อเป็นฐานความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับที่มาและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับภาคเกษตรของไทย ตลอดจนมาตรการที่ควรเตรียมรองรับในอนาคต

หนังสือเรื่อง “ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตร” นับเป็นหนังสือเล่มที่ 3 ในชุดความรู้ “การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย” ที่คัดสรรมาจากผลงานวิจัยภายใต้ชุดโครงการวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และ สกว. ได้จัดพิมพ์เผยแพร่ เพื่อให้ทุกภาคส่วนของสังคมไทยได้เข้าใจถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อระบบการผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยในอนาคต

สกว. ขอขอบคุณ รศ.ดร.อำนาจ ชิดไชสง ในฐานะผู้ประสานงานชุดโครงการวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และคณะผู้วิจัยจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัย

ราชภัฏยะลา กรมพัฒนาที่ดิน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม และบัณฑิตวิทยาลัยร่วม
ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ร่วมกันศึกษา
วิจัยผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และได้นำองค์ความรู้ดังกล่าวมาเรียบเรียง
ในรูปแบบของหนังสือเล่มนี้

สกว. หวังว่าองค์ความรู้ที่เกิดขึ้นจากผลงานวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและ
ประเทศ ที่จะนำไปใช้ในการสร้างความเข้าใจและปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง
ภูมิอากาศที่กำลังเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสมทั้งในปัจจุบัน และอนาคต ตามเจตนารมณ์
“สร้างสรรค์ปัญญาเพื่อพัฒนาประเทศ”

๑๗

ศาสตราจารย์นายแพทย์สุทธิพันธ์ จิตพิมลมาศ
ผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

สารบัญ

ผู้เขียน	3
คำนำ	5
บทที่ 1 การตอบสนองของข้าวต่อปัจจัยภูมิอากาศ	19
1.1 ปัจจัยทางภูมิอากาศที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในประเทศไทย	22
1.1.1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ	22
1.1.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	24
1.1.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝน ความแห้งแล้ง และอุทกภัย	25
1.1.4 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	27
1.1.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลและความเค็มของดิน	28
1.2 ผลกระทบและการตอบสนองของข้าวต่อปัจจัยทางภูมิอากาศ	29
1.2.1 การตอบสนองของข้าวต่อการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	29
1.2.2 ผลกระทบและการตอบสนองของข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	31
1.2.3 อุณหภูมิของอากาศและน้ำ (Air and water temperature)	33
1.2.4 ผลของอุณหภูมิต่ำ (Low-temperature stress)	35
1.2.5 ผลของอุณหภูมิสูง (High-temperature stress)	35
1.2.6 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและธาตุอาหารพืช (Interaction between temperature and nutrient supply)	37
1.2.7 ผลกระทบจากสภาพแห้งแล้ง (Effect of drought)	40
1.2.8 ผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ (Effect of solar radiation)	41
1.2.9 ผลของความเค็ม (Effect of salinity)	42

1.2.10 ผลกระทบของแมลงศัตรูพืชและข้าว (Effect of rice insect and pests)	42
1.3 บทสรุป	43
บทที่ 2 การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืช	47
2.1 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก	47
2.2 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกับการผลิตพืช	49
2.3 การจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืช	51
2.4 การจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืชของประเทศไทย	53
บทที่ 3 การลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวของไทย	63
3.1 สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตรและนาข้าวของไทย	65
3.2 ก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว ปัจจัยที่มีผล และการควบคุม	66
3.3 แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว	72
3.3.1 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว	73
3.3.2 การส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าว	84
3.4 ข้อพิจารณาในการเลือกวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวที่เหมาะสม	90
บทที่ 4 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและแนวโน้มผลกระทบต่อสภาพอากาศในภาคใต้ของไทย	93
4.1 ยางพาราและสภาพอากาศ	95
4.1.1 พื้นที่ปลูกยางพาราในพื้นที่ภาคใต้	97
4.1.2 ความแปรปรวนของลมฟ้าอากาศในพื้นที่ภาคใต้	100
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในภาคใต้ของประเทศไทย	107



4.1.4 ความแปรปรวนของผลผลิตยางพาราในรอบปีและความสัมพันธ์กับตัวแปรภูมิอากาศ	112
4.1.5 ความแปรปรวนระหว่างฤดูกาลและระหว่างปีของผลผลิตยางพาราและความสัมพันธ์กับความผันแปรของโหมดภูมิอากาศ	116
4.1.6 เหตุการณ์อุทกภัยและความเสียหายต่อยางพาราในภาคใต้	121
4.1.7 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อลักษณะบางประการที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของยางพารา	124
4.2 บทวิจารณ์และสรุปผล	126
บทที่ 5 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกับส้มโชกุน	129
5.1 การผลิตส้มโชกุน	132
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศกับชีววิทยาดอก ชีวพาหะ การถ่ายละอองเรณู และการติดผลของส้มโชกุน	133
5.2.1 ลักษณะทางชีววิทยาดอก	134
5.2.2 ชนิดและพฤติกรรมของชีวพาหะ	147
5.2.3 การถ่ายละอองเรณูและการติดผล	147
5.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน สภาพอากาศกับการแตกยอด ชีววิทยาดอก ชีวพาหะ การถ่ายละอองเรณู และการติดผล	149
เอกสารอ้างอิง	157

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของโลกจากปัจจุบันย้อนหลังไปประมาณ 8 แสนปี	23
รูปที่ 1.2	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรายปีเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วง ค.ศ.1961-1990	25
รูปที่ 1.3	ความถี่รายปีรวมของความแห้งแล้งในระดับรุนแรง (PDSI <-3) ในประเทศไทย	27
รูปที่ 1.4	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นรังสีรวมเฉลี่ยต่อปีที่สถานี นครปฐม	28
รูปที่ 1.5	การเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์แสงตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ	30
รูปที่ 1.6	การลดลงของร้อยละความสมบูรณ์ของดอกข้าวตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงสุดประจำวันโดยเฉลี่ย ในช่วงออกดอก (7 วัน) สำหรับข้าวที่ปลูกในระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 690 และ 350 ppm	30
รูปที่ 1.7	แสดงเปอร์เซ็นต์ของความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวเมื่อปลูกข้าวภายใต้ อุณหภูมิของน้ำต่ำ	34
รูปที่ 1.8	แสดงเปอร์เซ็นต์ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวเมื่อปลูกข้าวภายใต้ อุณหภูมิของอากาศต่ำ และอุณหภูมิของน้ำอุ่นขึ้น	34
รูปที่ 1.9	แสดงเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของดอกข้าวช่วงดอกบานเต็มที่กับ ข้าวโม่งก่อน ระหว่างและหลัง ที่ได้รับอุณหภูมิสูง	36
รูปที่ 1.10	แสดงความสมบูรณ์ของดอกข้าวที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ	37
รูปที่ 1.11	ผลของการใช้ในโตรเจนต่ออัตราการเป็นหมันของดอกข้าว ที่อุณหภูมิต่ำ	38
รูปที่ 1.12	ผลของการใช้ฟอสฟอรัสที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นหมัน ที่อุณหภูมิต่ำ	39

รูปที่ 1.13	ผลกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ IR747B2-6	42
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนของการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ต่อผลผลิตพืช	54
รูปที่ 2.2	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปีของ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่น่าน้ำฝนทั้งประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099	55
รูปที่ 2.3	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปีของ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในพื้นที่นาชลประทานทั้งประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099	55
รูปที่ 2.4	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของอ้อยพันธุ์ K84-200 ทั้งประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099	56
รูปที่ 2.5	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของมันสำปะหลัง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทั้งประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึงปี 2099	56
รูปที่ 2.6	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ทั้งประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099	57
รูปที่ 2.7	การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาห้ำฝนรายพื้นที่ภายใต้ภาวะ โลกร้อนเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ. 1980-89 (ซ้าย) ปี ค.ศ. 2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ. 2090-99 (ขวา)	57
รูปที่ 2.8	การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาชลประทานรายพื้นที่ภายใต้ ภาวะโลกร้อน เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ. 1980-89 (ซ้าย) ปี ค.ศ. 2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ. 2090-99 (ขวา)	58
รูปที่ 2.9	การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตอ้อยรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อน เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยปีฐานในช่วงปี ค.ศ.1980-89 (ซ้าย) ปี ค.ศ.2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ.2090-99 (ขวา)	59
รูปที่ 2.10	การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตมันสำปะหลังรายพื้นที่ภายใต้ภาวะ โลกร้อน เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ. 1980-89 (ซ้าย) ปีค.ศ. 2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ. 2090-99 (ขวา)	59

รูปที่ 2.11	การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวโพดรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อนเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ.1980-89 (ซ้าย) ปี ค.ศ.2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ. 2090-99 (ขวา)	60
รูปที่ 3.1	การเกิดและปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว (Winne, 2010)	67
รูปที่ 3.2	การเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน	71
รูปที่ 3.3	การเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันตามแนวคิด The Holes in the Pipes	71
รูปที่ 4.1	ความเกี่ยวโยงเชิงมโนทัศน์ระหว่างการเจริญเติบโตของต้นยางพาราตั้งแต่เริ่มปลูกไปจนถึงระยะเวลาที่เปิดกรีดกับปัจจัยทางภูมิอากาศและปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกันกับภูมิอากาศ	97
รูปที่ 4.2	เนื้อที่ยืนต้นและเนื้อที่เปิดกรีดของยางพาราในภาคใต้	99
รูปที่ 4.3	ผลผลิตยางพารารวมรายปีเฉลี่ยตามรายจังหวัดในภาคใต้ เส้นประแนวตั้ง แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตยางพารารวมรายปี	99
รูปที่ 4.4	แสดงพื้นที่ภาคใต้ฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย กับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	100
รูปที่ 4.5	ความแปรปรวนตามฤดูกาลของปริมาณน้ำฝนของพื้นที่บริเวณฝั่งอันดามัน (Andaman) และฝั่งอ่าวไทย (Gulf of Thailand) ซึ่งแสดงในรูป Z score ของค่าเฉลี่ยระยะยาว (ค.ศ. 1970-2009)	101
รูปที่ 4.6	ความแปรปรวนรอบวันของฝนในพื้นที่บริเวณฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย ซึ่งแสดงในรูปค่าเฉลี่ยระยะยาว (ค.ศ. 1998-2010) ของหยาดน้ำฟ้าแบบกริดขนาด $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ราย 3 ชั่วโมงจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)	102
รูปที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยระยะยาว (1998-2010) ตามราย 3 ชั่วโมง ของหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม TRMM ในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้	103
รูปที่ 4.8	ความแปรปรวนตามฤดูกาลของสมดุลน้ำในรูปความแตกต่างระหว่างอัตราการระเหยและปริมาณน้ำฝน (Evaporation-Precipitation; E-P) ในพื้นที่บริเวณฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย ซึ่งแสดงในรูป Z score ของค่าเฉลี่ยระยะยาว (ค.ศ.1970-2009)	104



รูปที่ 4.9	แสดงพื้นที่ภาคใต้ กับความแปรปรวนของระบบภูมิอากาศในระดับภูมิภาคและระดับโลก ในรูปของปรากฏการณ์เอนโซและปรากฏการณ์อินเดียโอเชียนไดโพล	105
รูปที่ 4.10	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในภาคใต้	109
รูปที่ 4.11	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความแรงของฝน (SDII) ในภาคใต้	111
รูปที่ 4.12	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีปริมาณฝนที่เกิดจากเหตุการณ์ฝนตกหนัก (R95p) ในภาคใต้	111
รูปที่ 4.13	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนสะสมในเดือนมีนาคมในพื้นที่ภาคใต้	112
รูปที่ 4.14	ความแปรปรวนในรอบปีเฉลี่ยของผลผลิตยางพาราในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ โดยผลผลิตยางพาราในแต่ละเดือน เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลรายเดือนในช่วงตั้งแต่ 2005 ถึง 2010	113
รูปที่ 4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนในรอบปีเฉลี่ยของผลผลิตยางพาราในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ และดัชนีพื้นที่ใบ	113
รูปที่ 4.16	การถ่ายภาพทรงพุ่มต้นยางและการวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ใบจากภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Gap Light Analyzer	114
รูปที่ 4.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนในรอบปีเฉลี่ยของผลผลิตยางพาราในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ และ time-varying amplitude ของ EOF โหมดที่ 2 ที่คำนวณจากตัวแปรภูมิอากาศ 5 ตัวแปรของสถานีผิวพื้นในพื้นที่เดียวกัน	115
รูปที่ 4.18	สัดส่วนความแปรปรวนของตัวแปรภูมิอากาศที่เป็นองค์ประกอบร่วมใน time-varying amplitude ของ EOF โหมดที่ 2	115
รูปที่ 4.19	ความแปรปรวนระหว่างฤดูกาลของผลผลิตยางพาราเฉลี่ยในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ ในช่วงตั้งแต่ ค.ศ. 2005-2010 โดยสัญลักษณ์ O แสดงเดือนที่เกิดเหตุการณ์อุทกภัยจากพายุโซนร้อน ดีเปรสชั่น หย่อมความกดอากาศต่ำและฝนตกหนักอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ 7 จังหวัด	117
รูปที่ 4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพาราเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้และดัชนี SOI	117

รูปที่ 4.21	ความแปรปรวนระหว่างปีของผลผลิตยางพาราเฉลี่ยในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ ในช่วงตั้งแต่ ค.ศ. 2000 ถึง 2010	118
รูปที่ 4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง และดัชนี SOI เฉลี่ยรายปี	119
รูปที่ 4.23	Box plot แสดงผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง ในระหว่างปี 2000–2010 สำหรับปีที่เกิดเหตุการณ์ El Niño และเหตุการณ์ La Niña โดยปีที่เกิดเหตุการณ์ El Niño และเหตุการณ์ La Niña นิยามบนพื้นที่	119
รูปที่ 4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่างและจำนวนวันฝนตกรวมรายปี	120
รูปที่ 4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่างและดัชนีความแรงของฝนอย่างง่าย	120
รูปที่ 4.26	แสดงพื้นที่ที่ประสบอุทกภัยระหว่างปี พ.ศ. 2550–2556 ใน 7 จังหวัดภาคใต้	122
รูปที่ 4.27	พื้นที่สวนยางพาราที่เสียหายจากवादภัยและอุทกภัยในปี พ.ศ. 2553	122
รูปที่ 4.28	ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงปริมาณฝนสะสมในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ ในช่วง 23–30 มีนาคม 2554	123
รูปที่ 4.29	แนวโน้มจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดในภาคใต้สูงกว่าหรือเท่ากับ 38 องศาเซลเซียส	125
รูปที่ 5.1	แสดงปริมาณ อัตราขยายตัว และแนวโน้มการผลิตส้มโชกุน	132
รูปที่ 5.2	แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศกับชีววิทยา ดอก ชิวพาทะ การถ่ายละอองเรณูและการติดผล	133
รูปที่ 5.3	พื้นที่ศึกษาเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา และอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	134
รูปที่ 5.4	ลักษณะและส่วนประกอบของดอกส้มโชกุน	135
รูปที่ 5.5	เปอร์เซ็นต์การแตกยอดของส้มโชกุนในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	136
รูปที่ 5.6	เปอร์เซ็นต์การแตกยอดของส้มโชกุนในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	136
รูปที่ 5.7	เปอร์เซ็นต์การแตกยอดของส้มโชกุนในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	136



รูปที่ 5.8	เปอร์เซ็นต์การแตกยอดของส้มโชกุนในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา	137
รูปที่ 5.9	การแตกยอดใหม่และตุ่มดอกส้มโชกุน	137
รูปที่ 5.10	เปอร์เซ็นต์การบานของดอกส้มโชกุนในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	138
รูปที่ 5.11	เปอร์เซ็นต์การบานในรอบวันของดอกส้มโชกุนในช่วงที่ดอกบานสูงสุดในเดือนเมษายน พ.ศ.2554 ในแปลงอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	139
รูปที่ 5.12	เปอร์เซ็นต์การบานของดอกส้มโชกุนในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	139
รูปที่ 5.13	เปอร์เซ็นต์การบานในรอบวันของดอกส้มโชกุนในช่วงที่ดอกบานสูงสุดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	140
รูปที่ 5.14	เปอร์เซ็นต์การบานของดอกส้มโชกุนในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	140
รูปที่ 5.15	เปอร์เซ็นต์การบานในรอบวันของดอกส้มโชกุนในช่วงที่ดอกบานสูงสุดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	141
รูปที่ 5.16	เปอร์เซ็นต์การบานของดอกส้มโชกุนในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขต อำเภอยะหา จังหวัดยะลา	142
รูปที่ 5.17	ความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี และอำเภอยะหา จังหวัดยะลา	143
รูปที่ 5.18	ความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานีและอำเภอยะหา จังหวัดยะลาที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ ห้องระยะเวลาต่างๆ กัน	144
รูปที่ 5.19	ความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานีที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่างๆ กัน	145
รูปที่ 5.20	ความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลาที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่างๆ กัน	145
รูปที่ 5.21	กายวิภาค เนื้อเยื่อวิทยา และลักษณะปลายยอดเกสรเพศเมีย ดอกส้มโชกุนระยะดอกบานเต็มที่	146

รูปที่ 5.22	ผลของการถ่ายละอองเรณูแบบต่าง ๆ ต่อการติดผลของส้มโชกุน ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี	148
รูปที่ 5.23	ผลของการถ่ายละอองเรณูแบบต่าง ๆ ต่อการติดผลของส้มโชกุน ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร ต่างกันในเวลาเดียวกันแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)	149
รูปที่ 5.24	ปริมาณน้ำฝน ช่วงการแตกยอด และออกดอกของส้มโชกุน	151



สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ค่าวิกฤติ และค่าเหมาะสมของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวในช่วงต่างๆ	31
ตารางที่ 1.2	แสดงผลของอุณหภูมิกกลางวันและกลางคืน ต่อความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าว	32
ตารางที่ 1.3	แสดงอาการของข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูง	35
ตารางที่ 1.4	แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อจำนวนดอกและประสิทธิภาพของไนโตรเจนในการผลิตดอกข้าว	37
ตารางที่ 1.5	ผลผลิตของข้าวพันธุ์ Aman และ Boro ภายใต้ระดับการขังน้ำ (25, 50, 75% ของความสูงของข้าว) ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตทั้ง 3 ระยะ	40
ตารางที่ 1.6	ผลกระทบจากสภาพแห้งแล้งต่อผลผลิตและองค์ประกอบของข้าว	41
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่างช่วงเวลาการระบายน้ำกลางฤดูปลูกจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	74
ตารางที่ 3.2	ตัวอย่างงานศึกษาผลของการระบายน้ำกลางฤดูปลูกที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลผลิตข้าวของไทย	77
ตารางที่ 3.3	ตัวอย่างผลของการใส่ปุ๋ยและสารประกอบต่างๆ ที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย	78
ตารางที่ 3.4	ตัวอย่างผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย	82
ตารางที่ 3.5	บัญชีคาร์บอนของการปลูกข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	88
ตารางที่ 4.1	พื้นที่ปลูกยางตามรายจังหวัดของภาคใต้	98
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ Kendall's Tau correlation (τ) ระหว่างอนุกรมค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ในคาบเวลา 11 เดือนของ time-varying amplitude ของ EOF โหมดที่ 1 ของตัวแปรภูมิอากาศ และดัชนีปรากฏการณ์เอนโซ	106
ตารางที่ 4.3	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและดัชนีสภาวะความรุนแรงในภาคใต้	108

ตารางที่ 4.4	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรวมรายปีและดัชนีสภาวะ ความรุนแรงในภาคใต้	110
ตารางที่ 4.5	ผลกระทบจากอุทกภัย วาตภัย และดินโคลนถล่มของพื้นที่ อ.ปากพูน จ.พัทลุง ในปี พ.ศ. 2553	123
ตารางที่ 5.1	แสดงปริมาณ ราคา และมูลค่าสัมพัทธ์ของจังหวัดยะลา	132



1

การตอบสนองของข้าวต่อปัจจัยภูมิอากาศ



บทที่ 1

การตอบสนองของข้าวต่อปัจจัยภูมิอากาศ

¹ศรชัย พรอำวนวยลาก, และ ²อำนาจ ชิดโรสง

การผลิตอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นประเด็นที่ทุกประเทศให้ความสำคัญ ในอดีตที่ผ่านมา การผลิตอาหารโดยเฉพาะการผลิตทางการเกษตรได้รับการพัฒนาและเพิ่มผลผลิตอย่างต่อเนื่องเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกกำลังเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การที่อุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น อาจทำให้ผลผลิตทางการเกษตรทั้งพืช ปศุสัตว์ และประมงลดลง นอกจากนี้ ความผันแปรของฤดูกาลและสภาวะแวดล้อม ก็ส่งผลให้การวางแผนการผลิตต่างๆ เป็นไปได้ยากขึ้น ดังนั้น การเตรียมความพร้อมและมีมาตรการรองรับที่เหมาะสม เพื่อให้สังคมคุ้มกันตัวเองจากการเปลี่ยนแปลงจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น การเตรียมความพร้อมที่เหมาะสมดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยความรู้จากการศึกษาวิจัยเป็นพื้นฐาน

การปลูกข้าวถือเป็นหนึ่งในวิถีชีวิตคนไทย และข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย จากมุมมองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ข้าวเป็นทั้งตัวช่วยลดภาวะโลกร้อน โดยการเพาะปลูกหรือกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าว สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ การใช้ฟางข้าวหรือแกลบมาผลิตเป็นพลังงานหมุนเวียน สามารถช่วยลดการใช้พลังงานฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วย อีกด้านหนึ่ง การปลูกข้าวใสภาพน้ำขัง การเผาชีวมวล และการใช้ปุ๋ยในระหว่างการปลูกข้าว ก็มีกระบวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนอีกด้วย ดังนั้น การจัดการระบบการปลูก การผลิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ สามารถ

¹สถานีวิจัยนาข้าว กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

²ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เป็นได้ทั้งตัวช่วยเพิ่มความมั่นคงด้านอาหาร ตัวช่วยแก้ปัญหาพลังงานและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ หรือเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศก็ได้เช่นกัน

ผลการวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าการผลิตข้าวโดยรวมมีแนวโน้มที่จะได้ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในบพนี้ผู้เขียนจึงได้รวบรวมความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวกับ การตอบสนองของข้าวต่อปัจจัยภูมิอากาศ และผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ต่อการผลิตข้าว องค์ความรู้เหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญต่อการประเมินผลกระทบ ที่จะนำไปสู่การหาแนวทางในการรองรับหรือลดผลกระทบต่อไป

1.1 ปัจจัยทางภูมิอากาศที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในประเทศไทย

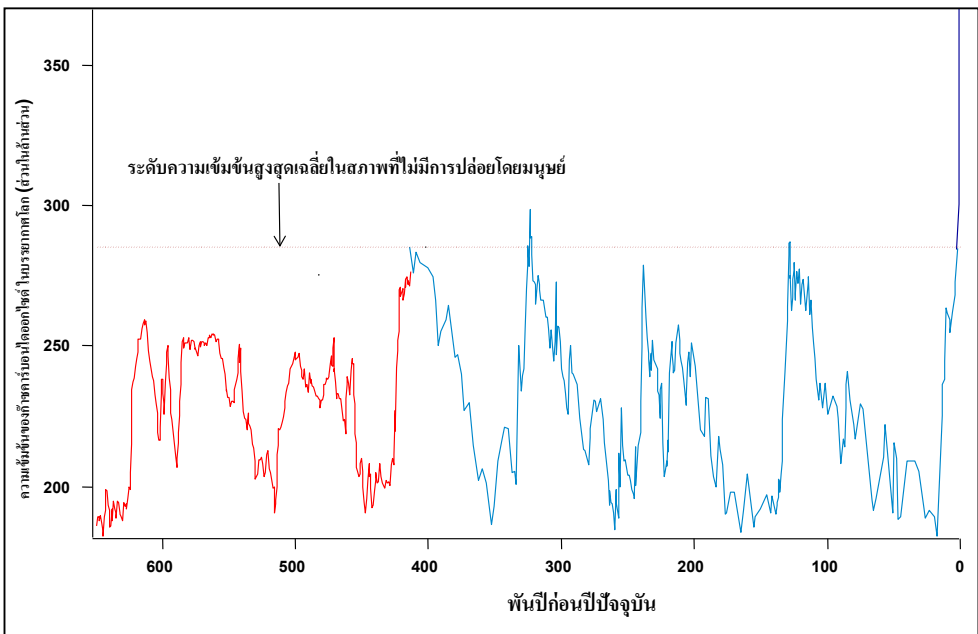
การเพาะปลูกและการเจริญเติบโตของข้าว จำเป็นต้องอาศัยปัจจัยทางภูมิอากาศ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญประกอบด้วย แสง ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ อุณหภูมิ สภาวะน้ำท่วมและแห้งแล้ง ความเค็มของดิน/น้ำ ปัจจัยเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในปัจจุบัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ อาจส่งผลดีและไม่ดีต่อการเจริญเติบโตของข้าว ดังนั้นความรู้พื้นฐานของลักษณะการเปลี่ยนแปลง ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลง และการปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยภูมิอากาศและการเจริญเติบโต จึงมีความสำคัญต่อการจัดการเพื่อลดผลกระทบด้านลบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

1.1.1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ปัจจุบัน แม้ยังไม่มีข้อมูลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศผิวพื้นของประเทศไทย แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลกได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่มีการปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมา โดยมีแหล่งปล่อยหลักได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการทำลายป่า เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยออกจากแหล่งปล่อยเหล่านี้แล้ว โดยทั่วไปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลเวียนไปกับกระแสไหลเวียนอากาศที่เชื่อมต่อกันทั่วโลก นักวิทยาศาสตร์ประมาณการว่า หลังจากที่ถูกละปล่อยจากแหล่งแล้วภายในหนึ่งปี ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถกระจายไปทั่วโลก นั่นหมายถึง การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ แหล่งใดแหล่งหนึ่งบนโลก จะส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในที่อื่น ๆ

ทั่วโลกเช่นกัน ปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ซึ่งรวมถึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงนับได้ว่าเป็นปัญหาของทั้งโลก

จากหลักฐานการตรวจวัดต่างๆ ทั่วโลกพบว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลกได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาประมาณ 250 ปีที่ผ่านมา โดยก่อนหน้านั้น ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 200-280 ส่วนในล้านส่วน (รูปที่ 1.1) โดยปัจจุบัน อยู่ที่ระดับ 398 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นสูงสุดในระยะเวลาที่ผ่านมานี้ ในปัจจุบัน ยังไม่สามารถสรุปได้ว่า การที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลาประมาณ 250 ปีนี้ พืชได้มีการวิวัฒนาการปรับตัวหรือได้เกิดผลกระทบอะไร ที่ไหน และอย่างไรบ้าง ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช ย่อมตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอย่างหลีกเลี่ยงไม่พ้น นอกจากนี้ ยังมีการคาดการณ์ด้วยความเชื่อมั่นสูงว่า ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลกยังจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต เนื่องจากในปัจจุบัน โลกยังไม่สามารถควบคุมปริมาณการปล่อยได้และปริมาณการปล่อยยังเพิ่มขึ้นทุกปี



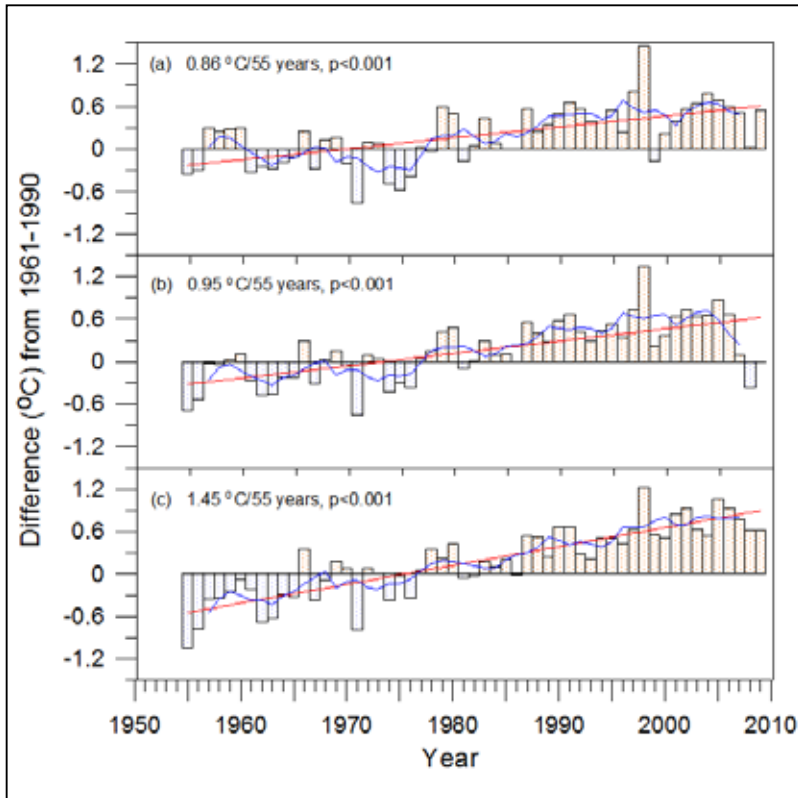
รูปที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของโลกจากปัจจุบันย้อนหลังไปประมาณ 8 แสนปี (IPCC, 2007)

1.1.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีระหว่างปี พ.ศ. 2514 -2543 มีค่าประมาณ 27.0 °C และแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล มีอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ย (เฉพาะในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวหลักของประเทศ) ในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน ประมาณ 31 35 และ 32 °C และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20 24 และ 24 °C ตามลำดับ (ข้อมูลจากเว็บไซต์กรมอุตุนิยมวิทยา, <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22>, กรกฎาคม 2556)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดในประเทศไทย พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในภาพรวมของประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) (รูปที่ 1.2) โดยในรอบ 55 ปีที่ผ่านมา อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.86, 0.95 และ 1.45 °C ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อทศวรรษ มีค่าเท่ากับ 0.156, 0.174 และ 0.263 °C ตามลำดับ ทั้งนี้ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยเฉลี่ยรายปี (อัศมน ลิ้มสกุล และแสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล, 2554) ซึ่งเมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในภาพรวมแล้ว พบว่า ร้อยละ 92 ของจำนวนสถานีทั้งหมด มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในอัตราระหว่าง 0.09 – 0.36 °C ต่อทศวรรษ

นอกจากนี้ มีการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในประเทศไทยในอนาคต โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก ย่อส่วนให้ครอบคลุมประเทศไทย โดยผลการจำลองพบว่า แบบจำลองภูมิอากาศโลกทุกแบบจำลองให้ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่ระดับการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันไป ซึ่งค่าเฉลี่ยของทุกแบบจำลองให้ค่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิระหว่าง 1–2 °C ในปลายศตวรรษนี้ เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในปัจจุบัน



รูปที่ 1.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรายปีเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วง ค.ศ.1961-1990 ของ (a) อุณหภูมิสูงสุด (b) อุณหภูมิเฉลี่ย และ (c) อุณหภูมิต่ำสุด

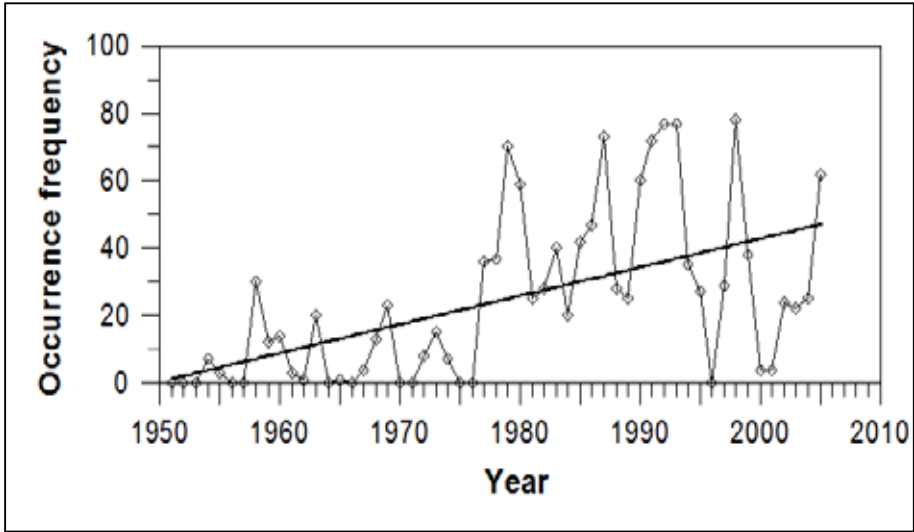
1.1.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝน ความแห้งแล้ง และอุทกภัย

อศมน ลีมสกุล และแสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล (2554) ได้วิเคราะห์แนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนสะสมรายปีในประเทศไทยในช่วงปี ค.ศ.1955-2009 พบว่า ปริมาณฝนสะสมรายปีในภาพรวมของประเทศไทยในรอบ 55 ปีที่ผ่านมา ไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเปลี่ยนแปลงระหว่างปี มีความสัมพันธ์กับความแปรปรวนของระบบลมมรสุมเอเชียและปรากฏการณ์เอนโซ โดยสามารถแยกการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนสะสมรายปีในประเทศไทย ได้ออกเป็น 3 ช่วง คือ 1) ช่วงต้นทศวรรษที่ 1950 ถึงช่วงปลายทศวรรษที่ 1970 มีปริมาณฝนมากกว่าปกติ 2) ช่วงปลายทศวรรษที่ 1970 ถึงต้นทศวรรษที่ 1990 ปริมาณฝนลดลงกว่าปกติ และ 3) ช่วงต้นทศวรรษที่ 1990 ถึงปัจจุบัน ปริมาณฝนกลับเพิ่มขึ้นกว่าปกติ โดยทั่วไป ปริมาณฝนสะสม

รายปีในประเทศไทยต่ำกว่าปกติในปีที่เกิดเหตุการณ์เอลนีโญ แต่กลับเพิ่มขึ้นในปีที่ตรงกับเหตุการณ์ลานีญา (Limsakul et al., 2007)

อัศมน ลิมสกุล และคณะ (2552) ได้วิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของภัยแล้งและอุทกภัยในประเทศไทย จากฐานข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยทุกจังหวัด พบว่า พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ความเสียหายทางเศรษฐกิจและราษฎรผู้ประสบภัยจากสถานการณ์น้ำท่วมและภัยแล้งในช่วงปี ค.ศ.1989–2008 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมสูงสุด 3 ลำดับแรก เกิดขึ้นหลังปี ค.ศ.2000 ซึ่งสอดคล้องกับมูลค่าความเสียหายของสถานการณ์อุทกภัยหลังปี ค.ศ.2000 มีสัดส่วนถึง 50% ของมูลค่าความเสียหายทั้งหมด นอกจากนี้ กรณีของภัยแล้งราษฎรที่ได้รับผลกระทบมีจำนวนมากกว่าจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์น้ำท่วมถึง 2.5 เท่า หลังจากปี ค.ศ.2000 มีจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง คิดเป็น 56% และจำนวนราษฎรที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งในช่วงปี ค.ศ.1989–2008 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าจำนวนราษฎรผู้ประสบอุทกภัย

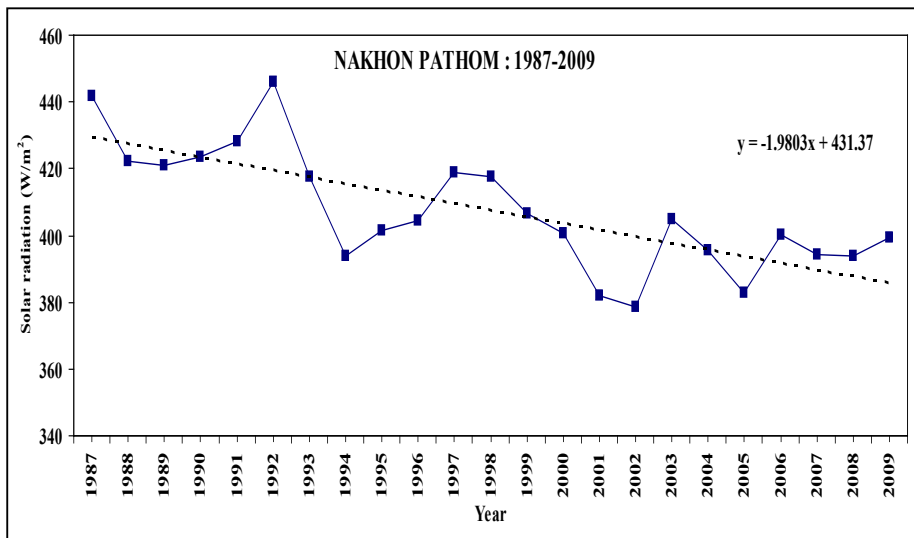
การวิเคราะห์ดัชนีความรุนแรงภัยแล้งของปาลเมอร์ (Palmer Drought Severity Index; PDSI) ในบริเวณประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ.1951–2005 (Limsakul และคณะ 2010) พบว่าการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาว มีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์เอนโซเกิดเหตุการณ์เอลนีโญยาวนานหลังจากปลายทศวรรษที่ 1970 เป็นสาเหตุที่สำคัญต่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของความแห้งแล้งในประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและฝนในคาบเวลามากกว่า 10 หลังจากทศวรรษที่ 1970 นอกจากนี้ยังพบว่าความแห้งแล้งในระดับรุนแรง ($PDSI < -3$) มีความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังจากปลายทศวรรษที่ 1970 ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของความแห้งแล้งในประเทศ (รูปที่ 1.3)



รูปที่ 1.3 ความถี่รายปีรวมของความแห้งแล้งในระดับรุนแรง (PDSI <-3) ในประเทศไทย

1.1.4 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

เสริม จันทร์ฉาย และคุษฎี ศุขวัฒน์ (2554) ได้วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายปีของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากสถานีวัดที่ตั้งอยู่ในแต่ละภาค ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ในภาคเหนือ สถานีอุบลราชธานีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สถานีนครปฐมในภาคกลาง และสถานีสงขลาในภาคใต้ โดยมีข้อมูลของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และสงขลา มีระยะเวลา 15 ปี (ค.ศ.1995 - 2009) และสถานีนครปฐมมีข้อมูล 23 ปี (รูปที่ 1.4) พบว่า ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มลดลงทุกสถานี โดยสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา มีอัตราการลดลงเท่ากับ -1.68, -1.59, -1.98 และ -2.61 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงคือ การที่ปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นเพราะการเผาไหม้ชีวมวลทั้งในประเทศและประเทศข้างเคียงมีเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีละอองในบรรยากาศเพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่ก่อให้เกิดละอองในบรรยากาศมากขึ้น เช่น โรงงานอุตสาหกรรม การขนส่งคมนาคม และการขยายตัวของชุมชนเมือง



รูปที่ 1.4 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีรวมเฉลี่ยต่อปีที่สถานีนครปฐม

1.1.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลและความเค็มของดิน

ความเค็มของดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลง/ความแปรปรวนภูมิอากาศ โดยในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีปัญหาดินเค็มเดิมอยู่แล้วจากปัจจัยทางธรณีวิทยาของพื้นที่ ความเค็มของดินอาจทำให้เป็นปัญหาที่รุนแรงขึ้นถ้าภูมิอากาศเปลี่ยนไป เช่น มีความแห้งแล้งมีการระเหยของน้ำจากผิวดินมากขึ้น ทั้งคราบเกลือที่ผิว ทำให้มีการกระจายตัวหรือทำให้ดินเค็มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาระบบชลประทานเพื่อลดผลกระทบจากความแห้งแล้งอีกด้วย นอกจากนี้บริเวณพื้นที่ใกล้ชายฝั่งทะเล การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจากภาวะโลกร้อนและการลดลงของฝนในพื้นที่ต้นน้ำ ทำให้มีน้ำไหลลงสู่ปากแม่น้ำน้อยกว่าปกติ ก็อาจเป็นสาเหตุของการรุกคืบของน้ำทะเลและเกิดการปนเปื้อนของน้ำทะเลกับน้ำใต้ดินหรือที่ผิวดิน ทำให้ไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ เป็นต้น นอกจากนี้ ในสภาวะที่มีสภาพอากาศที่รุนแรง เช่น การเกิดส torm เซิร์จ (storm surge) ก็เป็นสาเหตุให้พื้นที่ใกล้ชายฝั่งทะเลถูกน้ำทะเลท่วมขัง ไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้

ในประเทศไทย จากการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำระยะยาวต่อเนื่องกว่า 60 ปี ปรับแก้ด้วยข้อมูลการอัตราการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในแนวตั้ง พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลมีค่าอยู่ระหว่าง 3.0 ± 1.5 ถึง 5.0 ± 1.3 มิลลิเมตรต่อปี (Trisirisatayawong et al., 2011) โดยมีค่าสูงบริเวณอ่าวไทยตอนใน ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้น

ของระดับน้ำทะเลมากกว่า 6 มิลลิเมตรต่อปี ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนและท่วมของน้ำทะเลเพิ่มขึ้น

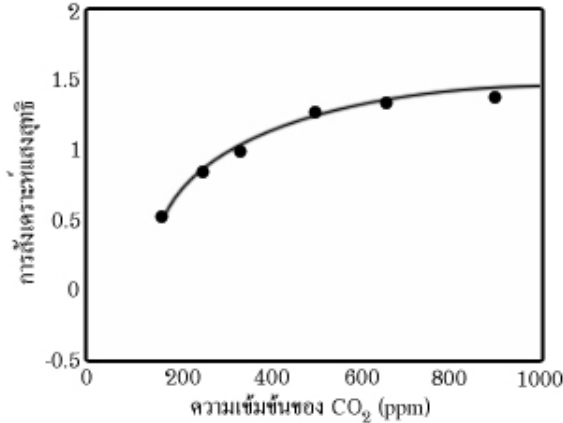
สำหรับในกรณีดินเค็มที่เกิดจากลักษณะพื้นฐานของธรณีวิทยาของพื้นที่ (เช่น มีชั้นเกลือใต้ดิน) และทำให้เกิดปัญหาดินเค็มทั้งโดยปัจจัยทางธรรมชาติ (เช่น น้ำท่วมขังและแห้งแล้ง) และโดยมนุษย์ (เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดินไม่เหมาะสม) พบว่า ในประเทศไทยมีดินเค็มกระจายอยู่ทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบดินเค็มในเกือบทุกจังหวัด คิดเป็นพื้นที่ 17.81 ล้านไร่หรือร้อยละ 17 ของพื้นที่ทั้งภาค (สมศรี อรุณินท์ 2539) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกข้าว มีผลทำให้ผลผลิตข้าวลดลงหรือไม่ได้ผลผลิต เป็นที่คาดว่า การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพอากาศในระยะสั้น อาจส่งผลให้ปัญหาดินเค็มในอนาคตมีความรุนแรงขึ้น

1.2 ผลกระทบและการตอบสนองของข้าวต่อปัจจัยทางภูมิอากาศ

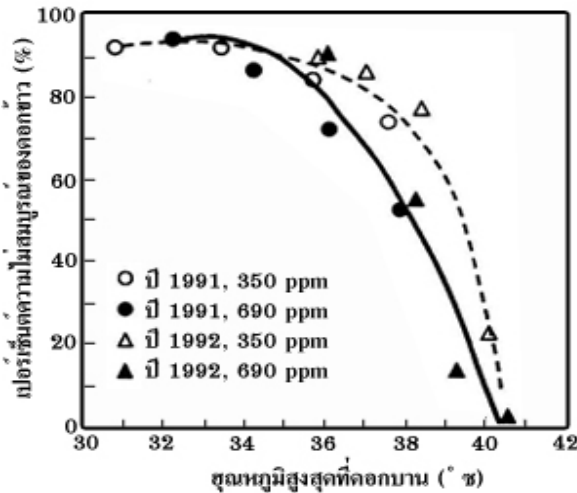
1.2.1 การตอบสนองของข้าวต่อการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ข้าวเป็นพืช C₃ (มีระบบการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงด้วย Calvin Cycle เพียงอย่างเดียว) จึงตอบสนองเป็นอย่างดีกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไป การเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น (รูปที่ 1.5) อัตราการเพิ่มขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ช่วงการเจริญเติบโต และสภาพแวดล้อม โดยการสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น แต่การเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นนี้ ไม่จำเป็นต้องส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเสมอไป เช่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนเกินสภาวะที่เหมาะสม ก็จะทำให้ผลผลิตข้าวลดลง ถ้าแยกพิจารณาเฉพาะผลของการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของข้าว ทำให้เพิ่มจำนวนดอกข้าวต่อหน่วยพื้นที่ เพิ่มดอกข้าวต่อกอ และเพิ่มความสามารถของดอกข้าว ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วย (Kim และคณะ 1996) แต่ความสามารถของดอกข้าวจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (รูปที่ 1.6) ซึ่งเมื่อคำนวณผลเชิงบวกที่เกิดจากการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลเชิงลบที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแล้ว ปรากฏว่าเกิดผลลบมากกว่าผลบวก ดังนั้น จึงเป็นที่คาดกันว่า การที่ความเข้มข้นของ

ก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลกเพิ่มขึ้น ประกอบกับสภาวะที่อุณหภูมิของบรรยากาศโลกเพิ่มขึ้น ไม่น่าจะส่งผลดีต่อการผลิตข้าว โดยเฉพาะในประเทศเขตร้อนที่อุณหภูมิสูงตลอดทั้งปี อย่างเช่นประเทศไทย



รูปที่ 1.5 การเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์แสงตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (ดัดแปลงจาก Reddy and Hodges, 2000)



รูปที่ 1.6 การลดลงของร้อยละความสมบูรณ์ของดอกข้าวตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงสุดประจำวันโดยเฉลี่ย ในช่วงออกดอก (7 วัน) สำหรับข้าวที่ปลูกในระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 690 และ 350 ppm (ดัดแปลงจาก Reddy and Hodges, 2000)

1.2.2 ผลกระทบและการตอบสนองของข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

อุณหภูมิและช่วงแสง เป็นปัจจัยที่สำคัญ สำหรับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว อยู่ที่ 27 – 32 °C อุณหภูมิที่ต่ำและสูงเกินไป จะส่งผลกระทบต่ออย่างมากในทุกระยะการเจริญเติบโตของข้าว

1.2.2.1 ค่าวิกฤตของอุณหภูมิต่ำและสูง

อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยค่าอุณหภูมิวิกฤต (ต่ำกว่า 20 °C และสูงกว่า 30 °C) ที่แตกต่างกันแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว ดังแสดงในตารางที่ 1.1

เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C จะลดการแบ่งเซลล์แม่ของละอองเรณู ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวสูง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวด้วย เช่น ข้าวพันธุ์ Norin 20 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ เมื่อทำการปลูกที่อุณหภูมิ 15 °C เป็นเวลา 4 วัน พบว่าดอกข้าวไม่สมบูรณ์ 51% ส่วนในข้าวพันธุ์ Hayayuki ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ ปลูกภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่าดอกข้าวไม่สมบูรณ์เพียง 5%

ตารางที่ 1.1 ค่าวิกฤต และค่าเหมาะสมของอุณหภูมิต่ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ในช่วงต่างๆ

ระยะการเจริญเติบโต	อุณหภูมิวิกฤต (°C)		
	ต่ำ	สูง	เหมาะสม
การงอกของเมล็ด	10	45	20-35
การเจริญเติบโตของต้นกล้า	12-13	35	25-30
การออกราก	16	35	25-28
การเพิ่มความยาวของใบ	7-12	45	31
การแตกกอ	9-16	33	25-31
การให้กำเนิดรวงอ่อน	15	-	-
การพัฒนารวง	15-20	38	-
การผสมพันธุ์	22	35	30-33
การสุกแก่ของเมล็ด	12-18	30	20-25

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981.

จากการทดลองปลูกข้าว เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิกลางวันและกลางคืนกับความสมบูรณ์ของดอกข้าว พบว่า เมื่ออุณหภูมิกลางคืน 8 °C และอุณหภูมิกลางวัน 14 °C เป็นเวลา 9 วัน ส่งผลให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าว 76% แต่จะเกิดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิกลางวันเพิ่มขึ้นเป็น 26 °C เกิดความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าว 48% ดังแสดงในตารางที่ 1.2 ทางเหนือของเขตอบอุ่นที่มีฤดูร้อนสั้นนั้น เกษตรกรจะเริ่มเพาะปลูกข้าว ช่วงต้นฤดูใบไม้ผลิ โดยจะเพาะกล้าข้าวในเรือนเพาะชำ โดยใช้พลาสติกป้องกันอุณหภูมิต่ำจากภายนอกทำให้ลดความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำได้

ตารางที่ 1.2 แสดงผลของอุณหภูมิกลางวันและกลางคืน ต่อความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าว

จำนวนวันที่ อุณหภูมิต่ำ(วัน)	อุณหภูมิ กลางวัน (°C)	อุณหภูมิ กลางคืน (°C)	ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าว (%)	
			ระยะตั้งท้อง	ระยะออกรวง
3	26	20	2.2	10.7
		14	8.2	9.2
		8	11.6	7.2
		20	4.2	9.8
	20	14	7.3	8.2
		8	15.5	8.0
		20	5.9	6.7
		14	11.2	8.3
6	26	20	23.0	5.7
		14	3.7	9.9
		8	6.4	19.4
		20	22.5	41.6
	20	14	6.1	11.5
		8	6.6	15.5
		20	28.0	37.4
		14	7.0	14.6
14	14	25.8	21.1	
	8	74.8	48.3	



จำนวนวันที่ อุณหภูมิต่ำ(วัน)	อุณหภูมิ กลางวัน (°C)	อุณหภูมิ กลางคืน (°C)	ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าว (%)		
			ระยะตั้งท้อง	ระยะออกรวง	
9	26	20	4.4	12.1	
		14	12.1	38.7	
		8	48.8	71.9	
		20	7.4	8.5	
	20	14	14.4	32.3	
		8	52.5	73.0	
		20	12.9	35.4	
		14	14	41.3	55.6
			8	76.0	85.8

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981.

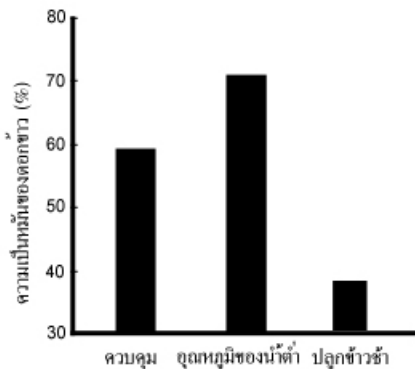
1.2.3 อุณหภูมิของอากาศและน้ำ (Air and water temperature)

ผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าอุณหภูมิ มีบทบาทสำคัญต่อสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของข้าว อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อการงอก การเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ ส่วนอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของน้ำที่สูงและต่ำลงนั้น ก็ส่งผลต่อระยะเวลาการเจริญเติบโตโดยรวมของข้าวด้วยเช่นกัน

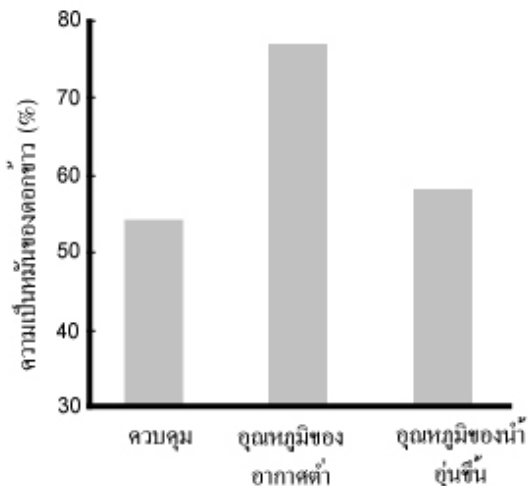
เมื่อปลูกข้าวภายใต้อุณหภูมิของอากาศต่ำ ติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน เมื่อข้าวอยู่ในช่วงตั้งท้องจะได้รับผลกระทบมากกว่าระยะออกรวง และเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำติดต่อกันเป็นเวลา 6-9 วัน ระยะออกรวงจะได้รับผลกระทบมากกว่า โดยแสดงออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าว

อุณหภูมิของน้ำ เป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ผลกระทบของอุณหภูมิของน้ำจะแตกต่างกันตามช่วงการเจริญเติบโต ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาทางใบและลำต้นของข้าว เมื่อต้นข้าวพบกับน้ำเย็น จะทำให้ต้นข้าวแตกกออ่อนโยบียืดน้อยลง ในบางกรณีอาจพบใบเหลือง ในระยะการสืบพันธุ์ ส่งผลต่อจำนวนช่อดอก จำนวนดอกข้าว และลดความสมบูรณ์ของดอกข้าว ทำให้ผลผลิตลดลง (Shimono et al. 2002) และในระยะเมล็ดสุกแก่ ทำให้เมล็ดไม่สมบูรณ์ เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดสุกต่ำ (Yoshida, 1981)

การศึกษาของ Shimono และคณะ (2007) พบว่า ถ้าอุณหภูมิของน้ำต่ำในช่วงกำเนิดช่อดอก จะทำให้ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7 ซึ่งจะเห็นว่า ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวจะเพิ่มจาก 55% เป็น 66-70% เมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำลง ส่วนอุณหภูมิของอากาศที่ต่ำลง จะส่งผลให้ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวสูงกว่าข้าวที่ปลูกในที่ที่มีอุณหภูมิของน้ำอุ่นขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ของความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวเมื่อปลูกข้าวภายใต้อุณหภูมิของน้ำต่ำ (ดัดแปลงจาก Shimono และคณะ, 2007)



รูปที่ 1.8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวเมื่อปลูกข้าวภายใต้อุณหภูมิของอากาศต่ำ และอุณหภูมิของน้ำอุ่นขึ้น (ดัดแปลงจาก Shimono และคณะ, 2007)



1.2.4 ภาวะอุณหภูมิต่ำ (Low-temperature stress)

ความเสียหายของข้าว อาจเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 20 °C ความเสียหายนี้ไม่ได้เกิดขึ้นในประเทศเขตอบอุ่นเท่านั้น แต่ยังสร้างความเสียหายกับประเทศในเขตร้อนด้วย เช่น ออสเตรเลีย บังกลาเทศ จีน กัมพูชา คิวบา อินเดีย อินโดนีเซีย อิหร่าน เป็นต้น ลักษณะอาการที่ข้าวได้รับอุณหภูมิต่ำ ได้แก่ ทำให้เมล็ดข้าวไม่งอกหรืองอกช้า ต้นกล้าเจริญเติบโตช้าหรือหยุดชะงัก ช่อดอกไม่สมบูรณ์ ออกดอกช้า ชักน้ำให้เกิดความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวหรือดอกข้าวเป็นหมัน

การหยุดชะงักการเจริญเติบโตของต้นข้าว เป็นอาการที่พบบ่อยจากความเสียหายของอุณหภูมิต่ำลง การออกดอกช้าของข้าว นั้น จะพบในพื้นที่ที่มีฤดูร้อนสั้น สภาพอากาศที่เย็นจะชะลอการเจริญเติบโตและทำให้การออกดอกของข้าวล่าช้า ส่งผลให้เมล็ดข้าวไม่สมบูรณ์

1.2.5 ภาวะอุณหภูมิสูง (High-temperature stress)

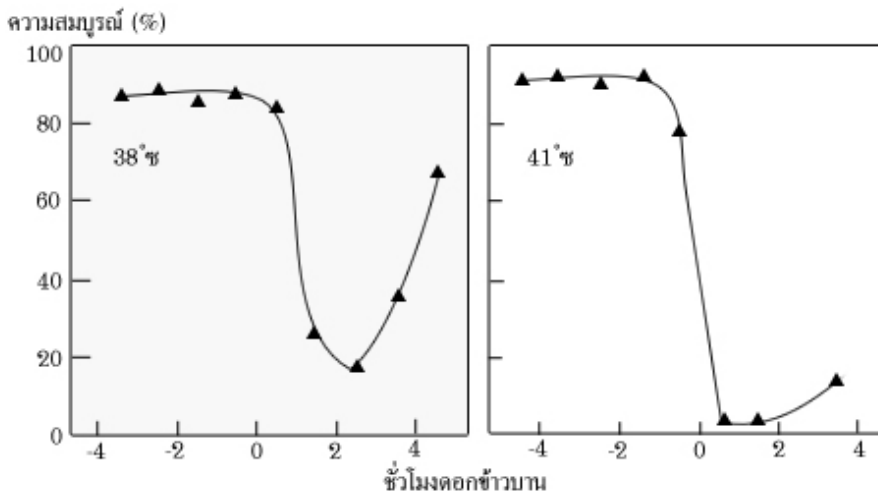
ความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 35 °C ในช่วงการเจริญเติบโตของข้าว แสดงในตารางที่ 1.3 ช่วงที่ดอกข้าวบานเต็มที่ ประมาณ 1 ชั่วโมง จะทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ความไม่สมบูรณ์ของดอกข้าวหรือเป็นหมันสูง โดยพบในฤดูแล้งของประเทศกัมพูชา ไทย และอินเดีย เป็นต้น

ตารางที่ 1.3 แสดงอาการของข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูง

ระยะการเจริญเติบโต	อุณหภูมิ (°C)	อาการ
การงอก	40	การงอกจะช้าลง และอัตราการงอกลดลง
ต้นกล้า	35	การเจริญเติบโตของต้นกล้าไม่ดี
แตกกอ	32	ลดการแตกกอและความสูง
ตั้งท้อง	—	ลดจำนวนละอองเรณู
ออกรวง	33.7	ดอกแตก และเป็นหมัน
ดอกบาน	35	ดอกเป็นหมัน
สร้างเมล็ด	34	ลดผลผลิต
เมล็ดสุก	29	ลดความสมบูรณ์ของเมล็ด

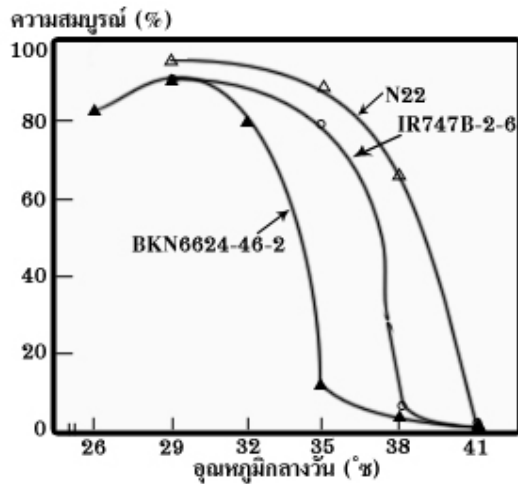
ที่มา: ดัดแปลงจาก Shah และคณะ, 2011

ความเป็นหมันของดอกข้าวที่เกิดจากอุณหภูมิสูง ส่วนใหญ่เกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 °C จากการทดลองในห้องทดลองของ Jagdish และคณะ (2007) พบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับอุณหภูมิสูงกว่า 33.7 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน นอกจากนี้เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูง ประมาณ 9 วันก่อนออกรวง ก็จะทำให้ดอกข้าวเป็นหมันเช่นเดียวกัน การที่ข้าวได้รับอุณหภูมิสูงเป็นเวลา 1 ถึง 2 ชั่วโมง ในช่วงดอกบานเต็มที่ จะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ดังแสดงในรูปที่ 1.9 อุณหภูมิสูงก่อนหรือหลังดอกข้าวบานมีผลกระทบน้อยมากกับความ เป็นหมันของดอกข้าว



รูปที่ 1.9 แสดงเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของดอกข้าวช่วงดอกบานเต็มที่กับชั่วโมงก่อน ระหว่างและหลัง ที่ได้รับอุณหภูมิสูง (ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981)

อย่างไรก็ตาม ข้าวพันธุ์ N22 ซึ่งเป็นพันธุ์ต้านทานต่ออุณหภูมิสูงนั้น สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้มากกว่าพันธุ์ BKN6624-46-2 ซึ่งเป็นพันธุ์ไม่ต้านทานต่ออุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 35 °C พันธุ์ข้าวไร่จากอินเดีย (N22) มีความสมบูรณ์ของดอกสูงกว่า 80% ในขณะที่พันธุ์ BKN6624-46-2 มีความสมบูรณ์ของดอกแค่ 10% ดังแสดงในรูปที่ 1.10 ถ้าพิจารณาจากรูป อุณหภูมิวิกฤตของข้าวพันธุ์ N22 อยู่ที่ 36.5 °C พันธุ์ IR747B2-6 อยู่ที่ 35 °C และพันธุ์ BKN6624-46-2 อยู่ที่ 32 °C



รูปที่ 1.10 แสดงความสัมพันธ์ของดอกข้าวที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ (ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981)

1.2.6 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและธาตุอาหารพืช (Interaction between temperature and nutrient supply)

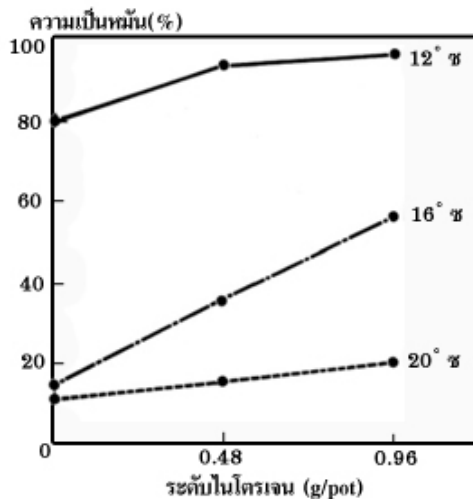
จำนวนดอกข้าวต่อตารางเมตรและปริมาณของการดูดซึมไนโตรเจน จากการทดลองของ โยชิตะ (1981) พบว่า ประสิทธิภาพของไนโตรเจนในการผลิตดอกข้าวจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพของไนโตรเจนในการผลิตดอกข้าว ดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่อจำนวนดอกและประสิทธิภาพของไนโตรเจนในการผลิตดอกข้าว

อุณหภูมิ กลางวัน (°C)	จำนวนดอกต่อตารางเมตร			จำนวนดอกต่อมิลลิกรัมการดูดซึม ไนโตรเจน		
	24 กก.N/ ไร่	16 กก.N/ ไร่	8 กก.N/ ไร่	24 กก.N/ ไร่	16 กก.N/ ไร่	8 กก.N/ ไร่
35	278	280	244	1.4	2.0	2.9
32	299	308	275	1.6	2.2	3.0
29	376	313	288	2.1	2.3	3.3
26	482	409	326	2.2	2.5	3.2

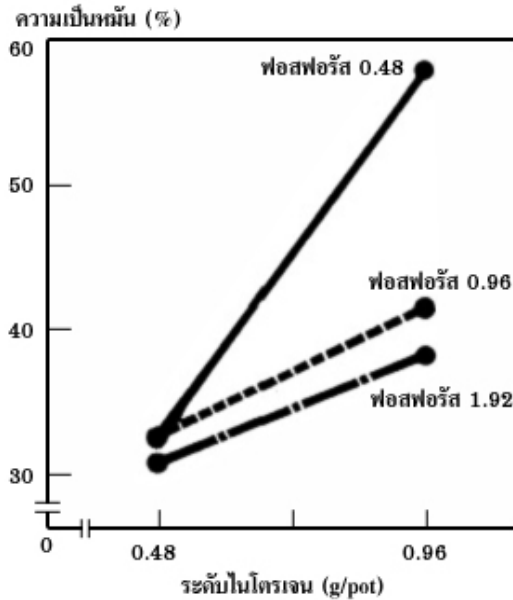
ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981

ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำ การใช้ไนโตรเจนจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเกิดความเป็นหมันของดอกข้าวสูง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (20 °C) การใช้ไนโตรเจนจะมีผลเล็กน้อย นอกจากนี้ที่อุณหภูมิต่ำปานกลาง (16 °C) เปอร์เซ็นต์ความเป็นหมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 ผลของการใช้ไนโตรเจนต่ออัตราการเป็นหมันของดอกข้าวที่อุณหภูมิต่ำ (ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981)

การศึกษาที่ผ่านมา ยังพบว่า การเป็นหมันของดอกข้าวที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำ สามารถบรรเทาได้ด้วยการเพิ่มปุ๋ยฟอสฟอรัส ดังแสดงในรูปที่ 1.12 ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้เพื่อลดความเสียหายจะอาจเกิดจากการที่ข้าวสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำกว่าปกติได้



รูปที่ 1.12 ผลของการใช้ฟอสฟอรัสที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นหมันที่อุณหภูมิต่ำ (ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981)

การทำนาโดยอาศัยน้ำฝน ปริมาณน้ำฝนที่เพียงพอจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดใน การปลูกข้าวให้ได้ผลผลิต ส่วนในพื้นที่เขตชลประทาน การเจริญเติบโตและผลผลิตจะถูก กำหนดโดยอุณหภูมิและแสงแดดเป็นหลัก นอกจากนี้ การปลูกข้าวในพื้นที่ลุ่มโดยอาศัย น้ำฝน ยังมีประสบการณ์กับปัญหาเรื่องน้ำท่วมบ่อยครั้ง เมื่อข้าวถูกน้ำขังที่ระยะการเจริญเติบโต ที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อผลผลิตในสัดส่วนที่ต่างกันไป เช่น Yoshida (1981) สรุปผลการ ศึกษาข้าวพันธุ์ Aman พบว่า ถ้าขังน้ำ 25% ของความสูงของข้าวที่ระยะแตกกอ จะทำให้ ผลผลิตลดลง 18% และถ้าขังน้ำ 75% ของความสูงของข้าวที่ระยะสุกแก่ จะทำให้ผลผลิต ลดลง 30% ส่วนในพันธุ์ Boro ขังน้ำ 25 % ของความสูงของข้าวที่ระยะแตกกอ จะทำให้ ผลผลิตลดลง 25% และถ้าขังน้ำ 75% ของความสูงของข้าวที่ระยะสุกแก่ จะทำให้ผลผลิต ลดลง 50% (ตารางที่ 1.5) ผลผลิตที่ลดลงนี้ เกิดจากความบกพร่องของการแตกกอและลด พื้นที่การสังเคราะห์แสงของใบข้าว ซึ่งในพื้นที่ที่มีแนวโน้มจะถูกน้ำท่วมสูง การเลือกพันธุ์ที่ มีความสูงกว่าพันธุ์เดิมที่ปลูก จะสามารถบรรเทาความสูญเสียต่อผลผลิตได้

ตารางที่ 1.5 ผลผลิตของข้าวพันธุ์ Aman และ Boro ภายใต้ระดับการขังน้ำ (25, 50, 75% ของความสูงของข้าว) ในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตทั้ง 3 ระยะ

ช่วงการเจริญเติบโต	ระดับการขังน้ำ (%) ของความสูงของข้าว	ผลผลิต (%)	
		Aman	Boro
สำหรับควบคุม (ขังน้ำต่อเนื่องที่ระดับ 5±2 ซม.) ระยะเจริญเติบโตทางใบ และลำต้น		100	100
	25	82	75
	50	75	62
	75	68	58
	25	81	74
	50	71	64
ระยะการสีพันธุ์	75	72	56
	25	79	71
	50	76	66
ระยะพัฒนาเมล็ด	75	70	50

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981.

1.2.7 ผลกระทบจากสภาพแห้งแล้ง (Effect of drought)

สภาพแห้งแล้งมักจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิสูงและพลังงานแสงอาทิตย์ที่รุนแรง พร้อมกับมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ส่งผลให้ดินแห้ง แดกและแข็ง ทำให้พืชไม่สามารถดูดซึมน้ำและสารอาหารได้ การลดลงของน้ำในดิน อาจเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเกลือในดิน ซึ่งก่อให้เกิดการคายน้ำของเนื้อเยื่อ ทำให้พืชตายในที่สุด

ผลกระทบของสภาพแห้งแล้งจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพันธุ์ข้าว ความรุนแรง และระยะเวลาของสภาพแห้งแล้ง ผลผลิตข้าวส่วนใหญ่จะไวต่อการขาดน้ำในช่วงที่ออกดอกมากกว่าในช่วงการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น การเกิดสภาพแห้งแล้งในระยะการเจริญเติบโตของใบและลำต้น จะลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงของใบข้าว ลดความสูงของต้นข้าว และลดจำนวนกอ ถ้าเกิดในช่วงดอกบาน จะทำให้อับเรณูขาดน้ำ ซึ่งจะไปสู่การเป็นหมันของดอกข้าว และให้ผลผลิตต่ำ ผลกระทบจากสภาพแห้งแล้งที่รุนแรงที่สุด จะพบในช่วงที่ข้าวให้กำเนิดช่อดอก

อาการที่พบบ่อยที่สุดของการขาดน้ำ จะแสดงทางใบพืช ได้แก่ ใบหยิก ใบไหม้ไม่แตกกอ ลำต้นแคระ ออกดอกช้า ดอกข้าวเป็นหมัน และเมล็ดไม่สมบูรณ์ ข้าวส่วนใหญ่มีความไวต่อ

การขาดน้ำตั้งแต่เริ่มเจริญเติบโตจนออกรวง จากรายงานพบว่า เมื่อประสบความสำเร็จแห้งแล้ง 3 วัน ในช่วง 11 วันก่อนออกรวง และ 3 วันก่อนออกรวง จะทำให้เปอร์เซ็นต์การเป็นหมันของดอกข้าวสูงที่สุด ส่งผลให้ผลผลิตลดลง (ตารางที่ 1.6)

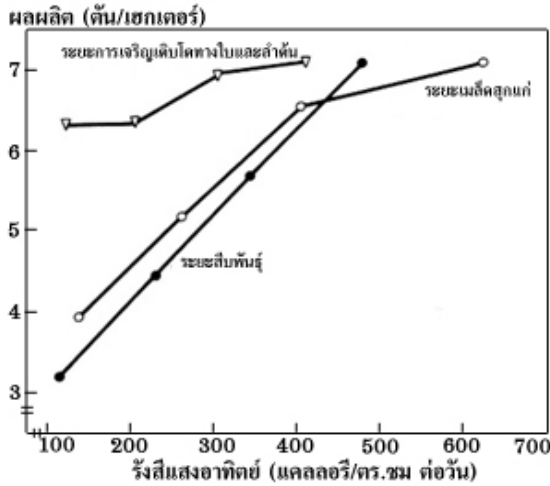
ตารางที่ 1.6 ผลกระทบจากสภาพแห้งแล้งต่อผลผลิตและองค์ประกอบของข้าว

จำนวนวันที่ขาดน้ำจากการออกรวง	ผลผลิต (g/hill)	จำนวนช่อดอก (no./hill)	การเป็นหมัน (%)	ดอกข้าวสมบูรณ์ (%)	น้ำหนัก 1000 เมล็ด (g)
-55	18.0	11	11	70	21.8
-51	16.8	11	9	66	22.0
-43	19.5	11	14	65	21.5
-35	20.0	12	11	60	20.5
-27	17.0	11	12	54	20.2
-19	15.7	11	34	52	20.8
-11	6.5	10	62	29	21.6
-3	8.3	10	59	38	20.9

ที่มา: ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981

1.2.8 ผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ (Effect of solar radiation)

ความต้องการรังสีแสงอาทิตย์ของข้าวจะแตกต่างกันในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของข้าว การบังแสงของข้าวในระยะการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น ส่งผลเล็กน้อยต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต แต่จะส่งผลมากในระยะการสีป่น และระยะเมล็ดสุกแก่ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตและการฉายรังสีแสงอาทิตย์ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 1.13 รังสีแสงอาทิตย์ในระยะการสีป่นมีผลมากที่สุดต่อผลผลิตข้าว รองลงมาคือ ระยะเมล็ดสุกแก่ และระยะการเจริญเติบโตทางใบและลำต้น นอกจากนี้ รังสียูวีบี อาจทำให้ข้าวเกิดโรคง่ายขึ้นแต่ไม่ได้ทำให้เกิดโรคบ่อยขึ้น จากการศึกษา พบว่าการฉายรังสี UV-B ที่เพิ่มขึ้นเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชสูงขึ้น



รูปที่ 1.13 ผลกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ IR747B2-6 (ดัดแปลงจาก Yoshida, 1981)

1.2.9 ผลของความเค็ม (Effect of salinity)

การเพิ่มขึ้นของความเค็มในพื้นที่ปลูกข้าว ระดับความเค็มของน้ำที่อยู่ในพื้นที่ปลูกข้าว เกิดขึ้นเพราะการทำชลประทาน เช่น การใช้ระบบหมุนเวียนน้ำ และการใช้น้ำหลังมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชช่วงเริ่มการเจริญเติบโต ผลกระทบนี้ส่งผลให้ผลผลิตลดลง การพัฒนาการจัดการเป็นตัวเลือกหนึ่งเพื่อบรรเทาปัญหาที่เกิดจากความเค็มของน้ำ สำหรับข้าว ความเค็มส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว และชะลอการตั้งตัวของต้นกล้า นอกจากนี้ยังส่งผลต่อผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิต เช่น จำนวนดอกข้าว และจำนวนกอก ความเค็มจะส่งผลกระทบในระยะต้นกล้ามากกว่าระยะการสืบพันธุ์ เฉพาะในระยะกำเนิดช่อดอก (PI) และก่อนข้าวตั้งท้อง

1.2.10 ผลกระทบของแมลงศัตรูพืชและข้าว (Effect of rice insect and pests)

แมลงศัตรูพืชมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพราะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีฝนตกมาก ผลกระทบนี้จะส่งผลโดยตรงกับสรีรวิทยา และพฤติกรรมของแมลงศัตรูพืช อุณหภูมิที่สูงขึ้น มีแนวโน้มที่จะกระตุ้นให้แมลงเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำความเสียหายในช่วงเริ่มการเจริญเติบโตของพืช แมลงบางชนิดมีความอ่อนไหวต่อฝน

การลดลงของปริมาณน้ำฝน จะช่วยลดอัตราการเกิดเพลี้ยได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของฝนต่อแมลง โดยเฉพาะในประเทศไทย ยังมีน้อยมาก

1.3 บทสรุป

การผลิตข้าวจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยทางภูมิอากาศ เมื่อตัวแปรทางภูมิอากาศเหล่านี้เปลี่ยนแปลง ย่อมมีผลต่อผลผลิตข้าว ในปัจจุบัน ผลของปัจจัยทางภูมิอากาศเหล่านี้ต่อการเจริญเติบโตของข้าว สามารถสรุปได้ดังนี้

- ความเข้มข้นของ CO₂ ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของใบเพิ่มขึ้น เพิ่มจำนวนการแตกกอของข้าว เพิ่มจำนวนดอกข้าว และลดจำนวนวันการออกรวง
- อุณหภูมิของน้ำที่เย็นลง จะทำให้ลดอัตราการแตกกอ ใบข้าวไม่ยืด ลดจำนวนดอกข้าวที่สมบูรณ์
- อุณหภูมิสูงเกินกว่า 35 °C ส่งผลให้การงอกของเมล็ดล่าช้า อัตราการงอกต่ำ การเจริญของต้นกล้าไม่ดี แตกกอน้อยลง ลดจำนวนละอองเกสร ดอกข้าวแตกเป็นหมัน และผลผลิตลดลง
- อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C ส่งผลการงอกของเมล็ดช้าลง ต้นกล้าชะงักการเจริญเติบโต ใบซีด ช่อดอกไม่สมบูรณ์ การบานของดอกล่าช้า ดอกข้าวเป็นหมันสูง และเมล็ดข้าวไม่สมบูรณ์
- รังสีแสงอาทิตย์ มีผลต่อผลผลิตข้าวในระยะเวลาสืบพันธุ์มากที่สุด รองลงมาคือระยะเมล็ดสุกแก่ และระยะเวลาเจริญเติบโตทางใบและลำต้น
- ผลกระทบจากสภาพแห้งแล้ง ส่งผลอย่างมากในระยะเวลาเจริญเติบโตของข้าว ทำให้ลดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงของใบข้าว ใบหยิก ใบไหม้ ไม่แตกกอลำต้นแคระ ออกดอกช้า ดอกข้าวเป็นหมัน และเมล็ดไม่สมบูรณ์ ถ้าเกิดในช่วงดอกบาน จะทำให้อับเรณูขาดน้ำ ไปสู่ความเป็นหมันของดอกข้าว และผลผลิตต่ำ
- ความเค็มส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว ชะลอการตั้งตัวของต้นกล้า ส่งผลต่อผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิต เช่น จำนวนดอกข้าว และจำนวนกอ ความเค็มจะส่งผลกระทบในระยะต้นกล้ามากกว่าระยะเวลาสืบพันธุ์ โดยเฉพาะในระยะกำเนิดช่อดอก (PI) และก่อนข้าวตั้งท้อง



2

การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืช





บทที่ 2

การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืช

¹เกริก ปันหนองเพ็ช

2.1 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

การใช้พลังงานฟอสซิลที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติ (fossil fuels) ของโลกในอดีตที่ผ่านมา ได้เพิ่มอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ จาก 1,000 ล้านตันต่อปี ในปี ค.ศ.1950 เป็น 8,000 ล้านตันต่อปี ในปัจจุบัน ทำให้ระดับของ CO₂ ในบรรยากาศของโลกเพิ่มขึ้นจาก 320 ppm เป็น 390 ppm เช่นเดียวกับ CH₄ และ N₂O (Foster et al., 2007) การเพิ่มของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) ดังกล่าวทำให้โลกแผ่รังสี infrared ผ่านบรรยากาศได้ลดลง ส่งผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในพื้นที่แต่ละแห่งในโลกจะแตกต่างกัน แต่โดยเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นประมาณ 0.7 °C (Trenberth et al., 2007)

IPCC (2007) ได้รวบรวมผลการคาดคะเนอุณหภูมิของโลกในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Models, GCMs) มากกว่า 10 แบบจำลอง ซึ่งต่างชี้ว่าอุณหภูมิโลกจะเพิ่มมากกว่า 3°C จากปัจจุบันถึงปี ค.ศ. 2100 หากไม่มีการปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้พลังงานไปจากที่เป็นอยู่ (SRES A2: IPCC, 2000) แต่หากมีการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมมากขึ้น และเปลี่ยนไปใช้พลังงานทางเลือกอื่นที่ไม่ใช่พลังงานฟอสซิล พร้อมกับมีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น (SRES B1: IPCC, 2000) อุณหภูมิของโลกอาจเพิ่มขึ้นประมาณ 2.0°C การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดังกล่าวแม้ดูแล้วเหมือนกับว่าจะไม่มากนัก แต่อาจส่งผลกระทบต่อรุนแรงต่อสภาพแวดล้อมอื่นๆ รวมทั้งสภาพอากาศและความมั่นคงทางอาหารของโลกด้วย

¹ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำระเหยจากผิวดิน ไปพืช ทะเล และมหาสมุทรมากขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังทำให้ไอน้ำสามารถคงสภาพอยู่ในอากาศได้มากขึ้น (Clausius-Clapeyron) การเพิ่มขึ้นของไอน้ำในอากาศจะส่งผลกระทบต่อ ทำให้มีความแปรปรวนของฝนมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมหรือและภาวะแล้งที่ขึ้นและรุนแรงขึ้น (Bates et al., 2008; Hegerl et al., 2007) นอกจากนี้ เนื่องจากไอน้ำก็เป็นก๊าซเรือนกระจก ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของไอน้ำ อาจทำให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้นอีก (positive feedback) ได้ (Soden et al., 2002) ผลกระทบแบบ positive feedback ไม่ได้จำกัดกับไอน้ำเท่านั้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอาจทำให้เกิดการปล่อยของ CH_4 ที่สะสมอยู่ใต้ท้องทะเลที่อุณหภูมิต่ำกว่า $2^{\circ}C$ ในรูปของ methane clathrate ออกสู่บรรยากาศ (Svoboda, 2006) ซึ่ง CH_4 นั้นมีความรุนแรง (potent) มากกว่า CO_2 ถึง 20 เท่า นอกจากนี้ อุณหภูมิโลกที่สูงขึ้น นอกจากจะทำให้น้ำแข็งขั้วโลกละลายและมีผลต่อสภาพนิเวศชายฝั่งแล้ว อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสการไหลเวียนของบรรยากาศและน้ำทะเล (atmospheric circulation and oceanic circulation) และนำไปสู่ความแปรปรวนของสภาพอากาศที่รุนแรง (Holli and Simmon, 2006; Ahrens and Samson, 2011)

เมื่อระดับของก๊าซเรือนกระจกและอุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งจะสามารถทำให้เกิด positive feedback ที่รุนแรงพอที่จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตัวเอง (tipping point) เมื่อถึงจุดนั้นเราจะไม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงใดๆ ได้อีก ผลจากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองชี้ว่าหากระดับของ CO_2 เพิ่มสูงขึ้นถึง 450 ppm หรืออุณหภูมิโลกเพิ่มขึ้นอีก $1^{\circ}C$ จากปัจจุบัน โลกเราอาจถึงจุดวิกฤตดังกล่าว (NASA, 2007; Hansen et al., 2007)

จากข้อมูลดังกล่าว การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกอาจแยกออกได้เป็น 2 ลักษณะที่เด่นชัด คือ

- 1) การเพิ่มขึ้นของ CO_2 และอุณหภูมิ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องค่อยเป็นค่อยไป และมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน สามารถคาดคะเนได้
- 2) ความแปรปรวนของสภาพอากาศ ที่มีความรุนแรงมากขึ้น (extreme weather) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่ฉับพลัน และไม่สามารถที่จะประเมินหาแนวโน้มเพื่อคาดการณ์ล่วงหน้าได้ชัดเจน

2.2 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกับการผลิตพืช

การผลิตพืชมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก ทั้งในแง่ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก และในแง่ของการมีส่วนร่วมเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลง

ผลจากการวิจัย โดยเฉพาะจาก Free Air CO₂ Enrichment (FACE) experiment ที่สภาพของการทดลองใกล้เคียงกับสภาพสนามมากที่สุด ซึ่งว่าการเพิ่มขึ้นของ CO₂ โดยรวมเป็นผลดีกับการผลิตพืช โดยเฉพาะกับพืชที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงแบบ C3 เช่น ข้าว โดยทำให้อัตราการหายใจลดลง (photorespiration – คือปฏิกิริยายับยั้งการสังเคราะห์แสงโดยมีก๊าซออกซิเจนเป็นตัวยับยั้ง, Roudier, et al., 2011; Pinkarda et al., 2010; Vu และ Allen, 2009a; Kim et al., 2001; Mcleod and Long, 1999; Kim et al., 1998; Moya et al., 1998; Ziska et al., 1997; Luscher and Nosberger, 1997; Kim et al., 1996; Kimball et al., 1995; Baker and Allen, 1993) อย่างไรก็ตาม ระดับของการตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของ CO₂ นั้นจะถูกร่วมกำหนดโดยปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น อุณหภูมิ ธาตุอาหาร น้ำ และการพัฒนาของพืช ดังนั้นผลกระทบโดยรวมจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตพืชจึงเปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่และเวลา

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้อัตราการพัฒนาการของพืชเร็วขึ้น พืชจะมีอายุสั้นลง มีเวลาในการสะสมอาหารลดลง และอาจทำให้ผลผลิตลดลง De Costa et al. (2006) ได้ศึกษาผลของการเพิ่มขึ้นของ CO₂ (567 ppm) ต่อผลผลิตข้าวภายใต้สภาพอุณหภูมิที่สูง (>30°C) ของเขตกึ่งร้อนชื้น (sub-humid) และพบว่าผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น 24–39% ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้แสง (radiation use efficiency) แต่จากงานของ Cheng et al. (2009) พบว่าการเพิ่ม CO₂ จาก 380 ppm เป็น 680 ppm ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นเพียง 8% ที่อุณหภูมิ 32/32 °C (กลางวัน/กลางคืน) แต่เพิ่มขึ้น 27% ที่อุณหภูมิ 32/22 °C สำหรับข้าวโพดการเพิ่มขึ้นของ CO₂ จาก 370 ppm เป็น 750 ppm ไม่มีผลต่อมวลชีวภาพ แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจาก 19/13 °C ถึง 38.5/32.5 °C ทำให้มวลชีวภาพลดลง ทั้งสองระดับของ CO₂ (Kim et al., 2007) การตอบสนองของพันธุ์ข้าวต่างๆ จะแตกต่างกันออกไป Baker (2004) พบว่าพันธุ์ข้าวที่ปลูกทางตอนใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา จะเกิดภาวะเครียดต่ออุณหภูมิที่สูงได้ง่ายกว่าพันธุ์ข้าวที่ปลูกในเอเชีย

นอกจากอุณหภูมิแล้ว การตอบสนองของพืชต่อการเพิ่มขึ้นของ CO₂ ยังถูกร่วมกำหนดโดยระดับของปริมาณธาตุไนโตรเจนที่พืชได้รับ Kim et al. (2003) พบว่าเมื่อ

ระดับของ CO₂ เพิ่มขึ้น 200 ppm จากสภาพปกติ ผลผลิตของต้นข้าวที่ได้รับธาตุไนโตรเจน 4 g N m⁻² จะเพิ่มขึ้น 7% แต่ต้นข้าวที่ได้รับธาตุไนโตรเจน 9 g N m⁻² ผลผลิตเพิ่มขึ้น 15% แต่การเพิ่มธาตุไนโตรเจน สูงขึ้นเป็น 15 g N m⁻² จะไม่ทำให้การตอบสนองต่อ CO₂ ดีขึ้น เช่นเดียวกัน Yang et al. (2007) พบว่าการเพิ่มธาตุไนโตรเจน จะทำให้ต้นข้าวตอบสนองต่อ CO₂ ได้สูงขึ้น และแนะนำต้องมีการเปลี่ยนแปลงการจัดการปุ๋ยเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากการเพิ่มขึ้นของ CO₂ ในอนาคต เช่นเดียวกับ Ma et al. (2007) ที่พบว่า ปริมาณของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อข้าวและข้าวสาลีเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของ CO₂ เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจาก Yang et al. (2006b) ชี้ว่าการตอบสนองต่อ CO₂ และธาตุไนโตรเจนนั้นไม่คงที่ แต่เปลี่ยนแปลงระหว่างปีปลูก จากปี ค.ศ. 2001 ถึง ค.ศ. 2003

น้ำก็มีผลที่สำคัญต่อการตอบสนองของพืชต่อการเปลี่ยนแปลงของ CO₂ ระดับของ CO₂ ที่เพิ่มขึ้นทำให้การชักนำของปากใบ (stomatal conductance-ประสิทธิภาพการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือน้ำผ่านปากใบของพืช) ของข้าวลดลง และลดการคายน้ำลง 8.2% ในขณะที่มวลชีวภาพกลับเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวมีค่าสูงภายใต้ภาวะที่ CO₂ เพิ่มขึ้น (Yoshimoto et al., 2005 และ Triggs et al., 2004) ในกรณีของข้าวสาลีพบว่า CO₂ ที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มผลผลิตและมวลชีวภาพทั้งภายใต้สภาพที่ขาดน้ำและไม่ขาดน้ำ (Schutz และ Fangmeier, 2001) และเพิ่มการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้น้ำในข้าวสาลีฤดูหนาว (Qiao, et al., 2010) และในกรณีของอ้อย Vu และ Allen (2009b) พบว่าระดับ CO₂ ที่สูงขึ้นจะช่วยชะลอการขาดน้ำ โดยลด stomatal conductance ลดการคายน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของอ้อย Jianlin et al. (2008) ได้วัดประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช 9 ชนิด และพบว่า CO₂ ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 0.6-1.4 เท่า เช่นเดียวกับ Allen et al. (2011) พบว่าการเพิ่มขึ้นของ CO₂ จาก 360 ppm เป็น 720 ppm ทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำของข้าวโพดและข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น 1.4 เท่าภายใต้สภาพที่ไม่ขาดน้ำ และ 2.2 เท่าภายใต้สภาพที่ขาดน้ำ Kimbal et al. (2002) และ Sun et al. (2009) ได้สรุปว่า การเพิ่มของ CO₂ จะทำให้การสังเคราะห์แสง และประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพืช C3 ผลดังกล่าวจะเห็นได้ชัดกับพืชที่ได้รับธาตุไนโตรเจนค่อนข้างสูง

การตอบสนองของพืชต่อการเพิ่มขึ้นของ CO₂ นอกจากจะขึ้นกับสภาพแวดล้อมและชนิดของพืชแล้ว ยังขึ้นกับระยะการพัฒนาของพืชด้วย ในช่วงที่ข้าวแตกกอ มวลชีวภาพ

จะเพิ่มขึ้น 40% เมื่อ CO₂ เพิ่มขึ้นเป็น 580 ppm แต่ผลดังกล่าวจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อพืชมีอายุมากขึ้น และเหลือเพียง 16% เมื่อพืชแก่ตัว และผลผลิตเพิ่มขึ้น 13% เท่านั้น (Yang et al., 2006a) สาเหตุดังกล่าวอาจเกิดจากการปรับของกระบวนการสังเคราะห์แสง (acclimation) ต่อการเพิ่มขึ้นของ CO₂ ผ่านเอนไซม์ต่างๆในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Ribulose-1,5-bisphosphate regeneration limitation และ RuBP carboxylation limitation, Seneweera et al., 2011, Zhang et al., 2008 และ Chen et al., 2005)

2.3 การจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืช

เนื่องจากสภาพแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องทั้งในเชิงเวลาและสถานที่ ประกอบกับความจำเป็นที่จะต้องประเมินถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อความมั่นคงทางอาหาร พลังงาน และความยั่งยืนของระบบนิเวศในอนาคต ดังนั้น จึงมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองอย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยให้สามารถเตรียมการวางแผนรับมือกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อมูลและความรู้ที่ได้จากงานทดลองทั้งในภาคสนามและห้องทดลองได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างและพัฒนาแบบจำลอง ดังนั้นความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลจากการทดลองและการสำรวจ จึงเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการจำลองสถานการณ์และการวางแผน Long et al. (2006) ได้รวบรวมและเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลก และแนะนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ข้อมูลจาก chamber experiment อาจทำให้ผลลัพธ์ของการจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลกต่อการเจริญเติบโตของพืชมีค่ามากเกินไปจนเกินความเป็นจริง และแนะนำให้ควรใช้ข้อมูลจาก FACE Experiment (Free-Air CO₂ Enrichment-เครือข่ายวิจัยทั่วโลก เป็นการจำลองสภาพในภาคสนามเพื่อศึกษาผลของระดับก๊าซ CO₂ ต่อการผลิตพืชต่างๆ) ซึ่งก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ โดยเฉพาะการทดลองมักจะไม่ได้อาศัยปฏิกริยาร่วมของสภาพแวดล้อมต่างๆ ไปอย่างพร้อมเพียงกัน อย่างไรก็ตาม Tubiello et al. (2007) ได้วิเคราะห์และสรุปว่าการตอบสนองของพืชต่อการเพิ่มขึ้นของ CO₂ ใน FACE และ NON-FACE experiment นั้นไม่ได้แตกต่างกัน และนอกจากนี้ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นก็ยังสามารถจำลองผลที่พบใน FACE experiment ได้

ปัจจุบันได้มีการนำแบบจำลองภูมิอากาศและแบบจำลองพืชมาใช้ร่วมกันเพื่อประเมินเชิงปริมาณถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกต่อผลผลิตพืชและการเกษตร

ในภูมิภาคต่างๆ ของโลก IPCC (2007) ได้สรุปภาพรวมว่า หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 2°C ผลผลิตของธัญพืชในเขตอบอุ่นอาจเพิ่มขึ้น แต่ในเขตร้อนจะลดลง แต่หากอุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้นมากกว่า 3°C ผลผลิตของธัญพืชจะลดลงในทุกๆ พื้นที่ การเตรียมพันธุ์ทนแล้ง และเพิ่มการลงทุนในระบบชลประทานจำเป็นสำหรับการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในอนาคต

Anwar และคณะ (2007) ได้ใช้ระบบแบบจำลอง CCAM-CropSyst ประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตข้าวสาลีในประเทศออสเตรเลียในช่วงปี ค.ศ. 2000 - 2070 พบว่า ผลผลิตข้าวสาลีจะลดลง 25-29% จากปัจจุบัน ในทางตรงกันข้าม Richter และ Semenov (2005) ได้ประเมินผลผลิตข้าวสาลีในอังกฤษและเวลส์ โดยใช้แบบจำลอง HadCM2-Sirius พบว่าผลผลิตจะเพิ่มขึ้น แต่มีโอกาสประสพภาวะขาดน้ำมากขึ้น Ozdogan (2011) ได้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากแบบจำลองต่างๆ คือ CSIRO Mk3.5, NCAR CCSM3, UKMO HadCM3, และ GFDL CM2.1 ทำการจำลองการตอบสนองของข้าวสาลี โดยใช้แบบจำลองพืช AFRC2 พบว่าผลผลิตจะลดลง 5-35% ขึ้นกับแบบจำลองภูมิอากาศที่ใช้ Guo et al. (2010) ได้จำลองการตอบสนองของข้าวสาลีและข้าวโพดต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก ภายใต้ SRES A2A B2A และ A1B โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศ HadCM3 เชื่อมต่อกับแบบจำลองพืช CERES-Wheat and Maize และพบว่าผลผลิตของข้าวสาลีจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ผลผลิตของข้าวโพดลดลง แต่ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชทั้งสองจะเพิ่มขึ้น Li et al. (2011) ใช้แบบจำลอง econometric model ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อผลผลิตของข้าวโพดในประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศจีน และพบว่าผลกระทบจะเป็นได้ทั้งทางบวกและลบ ขึ้นกับอุณหภูมิและปริมาณฝนที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของพื้นที่ แต่สำหรับพื้นที่ตอนเหนือของจีน Tao และ Zhang (2010) พบว่าผลผลิตข้าวโพดจะลดลง 15-22% ในช่วงปี 2050s เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 1961-1990

Krishnan et al. (2007) ได้ใช้แบบจำลอง ORYZA1 และ INFOCROP ประเมินผลผลิตข้าวในประเทศอินเดีย และพบว่าการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกจะแตกต่างกัน ขึ้นกับสถานที่ โดยที่ Cuttack และ Bhubaneswar ผลผลิตจะลดลง แต่ที่ Jorhat กลับเพิ่มขึ้น ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวสืบเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงในช่วงการออกดอก Shen et al. (2011) ได้ใช้ข้อมูลสภาพอากาศ SRES B2 จากแบบจำลอง PRECIS เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองข้าว ORYZA2000 ทำการจำลองผลกระทบของสภาพภูมิอากาศโลกต่อ

ผลผลิตข้าวในเขตตอนเหนือของประเทศจีน และพบว่าในช่วงปี 2021–2050 ผลผลิตของข้าวหน้าน้ำฝนจะลดลง 4.1% และนาชลประทาน 3.3% จากการใช้แบบจำลอง ORYZA1 และ SIMRIW Matthews et al. (1997) พบว่าผลการประเมินผลผลิตของข้าวอาจเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ +5% ถึง -8% ขึ้นกับแบบจำลองระดับโลก (GCM-General Circulation Model) ที่ใช้ แต่โดยเฉลี่ยแล้วผลผลิตข้าวโดยเฉลี่ยของเอเชียอาจลดลงประมาณ 3.8% ในช่วงศตวรรษหน้า Masutomi et al. (2009) ได้ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภายใต้ภาพฉายอนาคต SRES A2 A1B และ B1 โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากแบบจำลอง GCMs มากกว่า 14 แบบจำลองเป็นข้อมูลนำเข้าให้แบบจำลองพืช M-GAEZ และพบว่าผลผลิตข้าวในเอเชียจะมีโอกาสลดลงมากในช่วงปี ค.ศ. 2020 มากกว่าในอนาคตที่ไกลมากขึ้น ในช่วงปี ค.ศ. 2080 ผลผลิตข้าวจะลดลงมากภายใต้ SRES A2 ในขณะที่ SRES B1 มีผลกระทบค่อนข้างน้อยทั้งในแง่ของผลผลิตเฉลี่ยและโอกาสของความเป็นไปได้ Babel et al. (2011) ได้ใช้แบบจำลอง DSSAT จำลองผลผลิตข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยภายใต้สภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก และพบว่าผลผลิตจะลดลง 18% ในช่วงปี ค.ศ. 2020–2029 ลดลง 28% ในช่วงปี ค.ศ. 2050–59 และ 24% ในช่วงปี ค.ศ. 2080–89

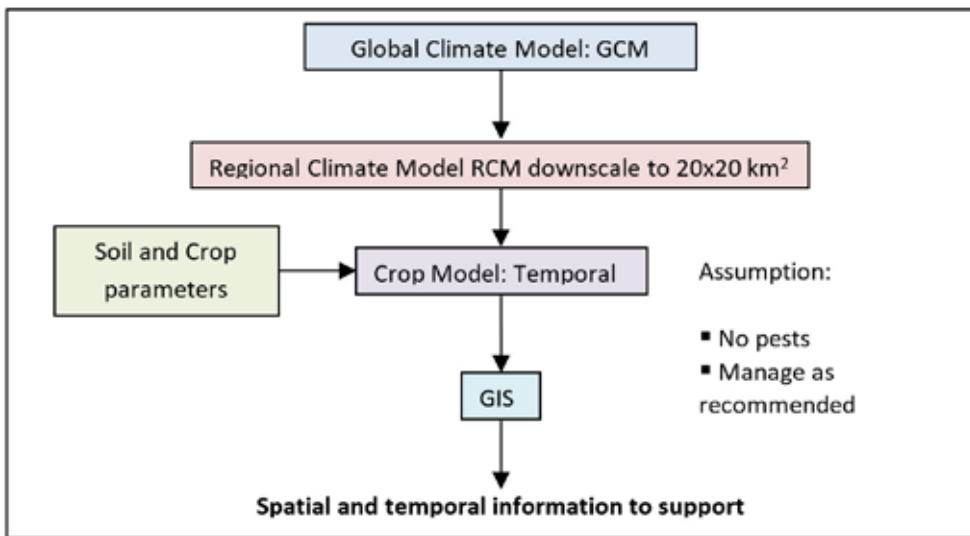
Kabubo–Mariara และ Karanja (2007) พบว่าภาวะโลกร้อนจะเป็นผลเสียต่อการผลิตพืชและรายได้ต่อครัวเรือนของประชากรประเทศเคนยา (Kenya) อย่างมาก และจำเป็นที่จะต้องเตรียมให้เกษตรกรปรับตัวกับภาวะดังกล่าว Tan และ Shibasaki (2003) ได้บูรณาการแบบจำลอง EPIC เข้ากับ GIS และ Interference Engine Technique เพื่อประเมินผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อผลผลิตพืช และทางแก้ปัญหาที่เหมาะสม (optimization) จากการประเมินผลพบว่า ส่วนใหญ่ของโลกจะได้รับผลเสียจากภาวะดังกล่าว และต้องปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

2.4 การจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกต่อการผลิตพืชของประเทศไทย

การผลิตพืชเป็นระบบที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย เพื่อเตรียมการปรับตัวและสร้างทางเลือกของระบบการผลิตพืชเพื่อรองรับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศโลกในอนาคต โครงการ ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และ

ข้าวโพดของประเทศไทยที่ได้รับการสนับสนุนโดยสำนักงานสนับสนุนการวิจัย จึงได้ศึกษาผลกระทบจากภาวะดังกล่าวต่อการผลิตพืชเศรษฐกิจของประเทศ ทั้งในแง่ของผลกระทบในระยะยาวที่สืบเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิ และผลอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของสภาพอากาศที่เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อนพร้อมกับวิเคราะห์หาพื้นที่ๆ จะได้รับผลกระทบที่รุนแรง และหาทางเลือกในการรับมือกับภาวะการณดังกล่าว (เกริก ปั่นแห่งเพชร และคณะ 2552)

การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคต ปี ค.ศ. 1980-2099 จากการประเมินโดยแบบจำลองภูมิอากาศ ECHAM 4 ภายใต้ภาพฉายอนาคต SRES A2 B2 และ A2B ซึ่งถูกขยายให้มีรายละเอียดสูงขึ้นโดยใช้แบบจำลอง PRECIS ซึ่งดำเนินการโดยสถาบัน SEA START (อำนาจ และคณะ 2553) มาใช้ร่วมกับข้อมูลดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) เป็นตัวแปรขับเคลื่อนแบบจำลองพืช DSSAT ภายใต้ข้อกำหนดที่ไม่มีภาวะระบาดของโรคแมลง และมีการจัดการพืชตามคำแนะนำของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองโดยแบบจำลองพืช ไปวิเคราะห์เชิงพื้นที่โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังสรุปเป็นแผนภาพดังนี้

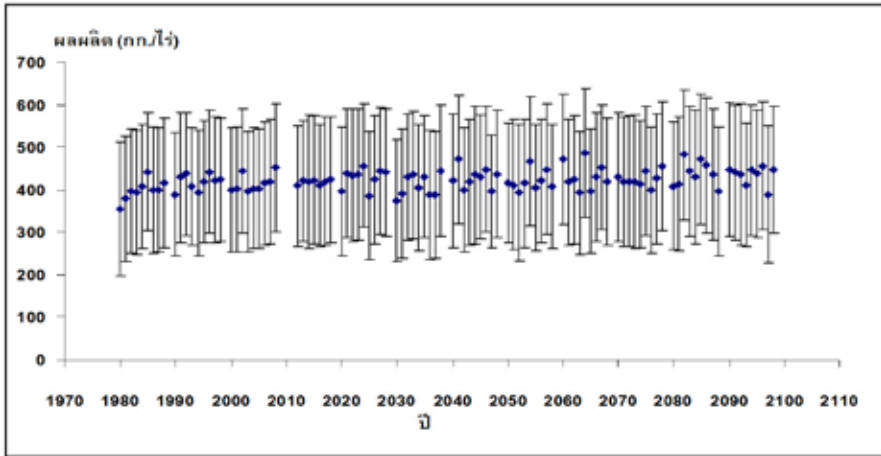


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อผลผลิตพืช

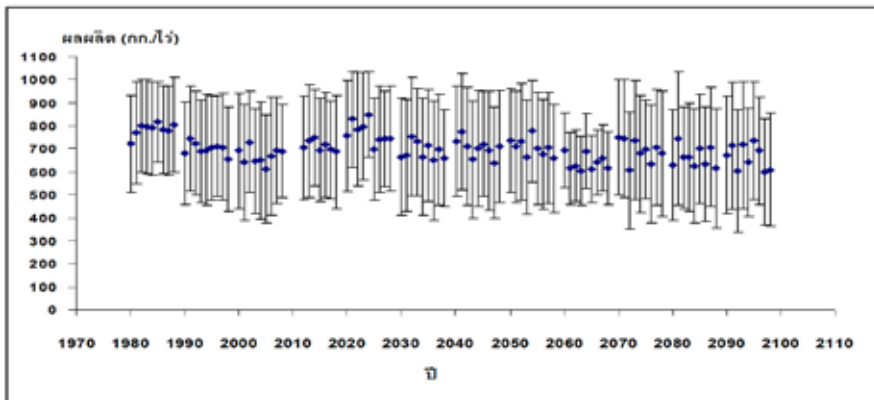
จากการประเมินพบว่า การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีผลกระทบในระยะยาวค่อนข้างต่ำต่อผลผลิตข้าว อ้อย และข้าวโพด แต่ทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลงถึงร้อยละ 43



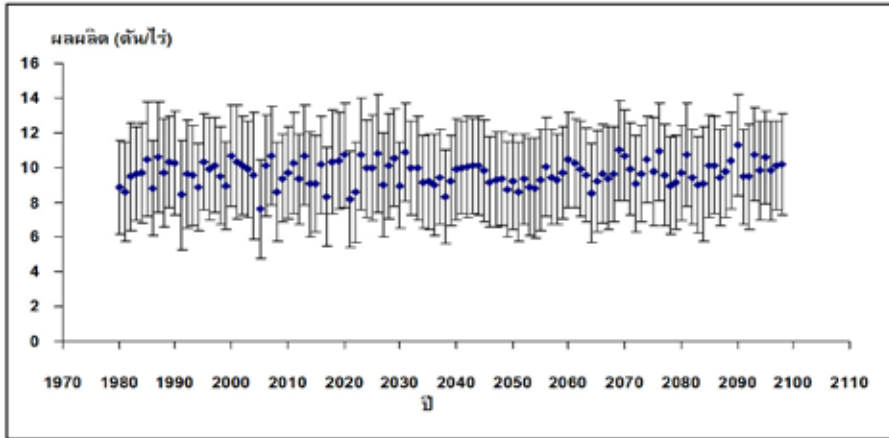
แต่ในแง่ความแปรปรวนของผลผลิตซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความเสี่ยงของระบบการผลิตมีความแปรปรวนสูง โดยมีค่าความแปรปรวนระหว่างปีเฉลี่ยร้อยละ 14 สำหรับข้าวหน้าน้ำฝนและนาชลประทาน ร้อยละ 18 สำหรับอ้อย ร้อยละ 34 สำหรับมันสำปะหลัง และร้อยละ 41 สำหรับข้าวโพด ความแปรปรวนระหว่างพื้นที่มีค่าสูงมากขึ้น เฉลี่ยร้อยละ 33 สำหรับข้าวหน้าน้ำฝนและนาชลประทาน ร้อยละ 23 สำหรับอ้อย ร้อยละ 33 สำหรับมันสำปะหลัง และร้อยละ 45 สำหรับข้าวโพด (รูปที่ 2.2 – 2.6)



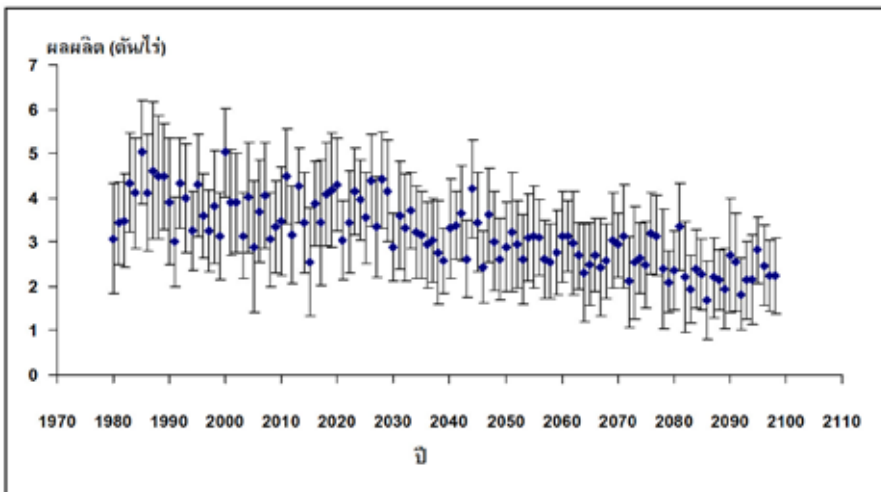
รูปที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่น่าน้ำฝนทั่วประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099



รูปที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปีของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในพื้นที่นาชลประทานทั่วประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099

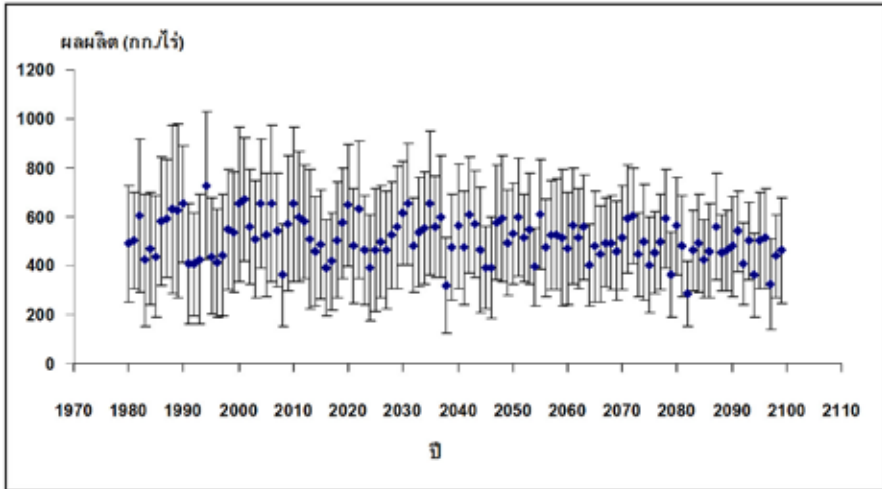


รูปที่ 2.4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของอ้อยพันธุ์ K84-200 ทั้งประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099



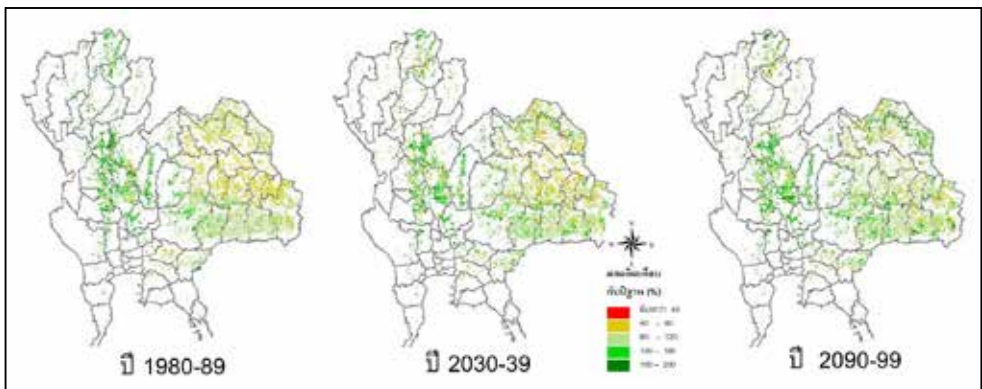
รูปที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทั้งประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึงปี 2099





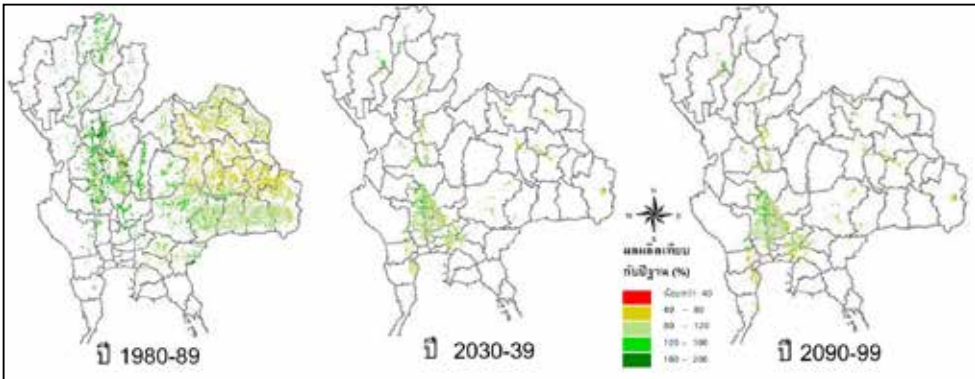
รูปที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตจำลองในแต่ละปี ของข้าวโพด พันธุ์สุวรรณ 1 ทั้งประเทศ จากปี ค.ศ. 1980 ถึง ปี 2099

ในเขตนาน้ำฝน ซึ่งใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นตัวแทน มีบางพื้นที่ที่มีผลผลิตเฉลี่ยต่ำมาก (รูปที่ 2.7) ได้แก่ พื้นที่ในจังหวัดเชียงราย พะเยา หนองคาย สกลนคร อุตรธานี นครพนม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ กำแพงเพชร และปราจีนบุรี ถึงแม้ว่าโดยภาพรวมผลผลิตมีแนวโน้มคงที่หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะให้ผลผลิตต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปีฐาน



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาฝนรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อนเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ. 1980-89 (ซ้าย) ปี ค.ศ. 2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ. 2090-99 (ขวา)

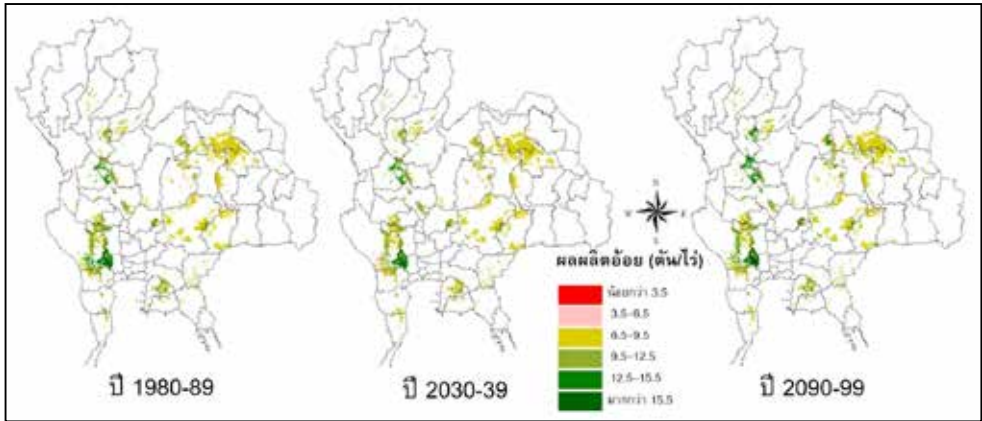
ในส่วนของนาชลประทาน ซึ่งใช้ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นตัวแทน ผลผลิตมีแนวโน้มที่จะลดลง พบว่าพื้นที่จังหวัดสกลนคร อุดรธานี ขอนแก่น มหาสารคาม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด อุบลราชธานี นครราชสีมา เพชรบุรี ราชบุรี นครปฐม พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี นครนายก ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา และนครศรีธรรมราช บางส่วนในจังหวัดเหล่านี้จะมีผลผลิตต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปีฐาน ประมาณร้อยละ 20 – 60



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวนาชลประทานรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อนเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ. 1980-89 (ซ้าย) ปี ค.ศ. 2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ. 2090-99 (ขวา)

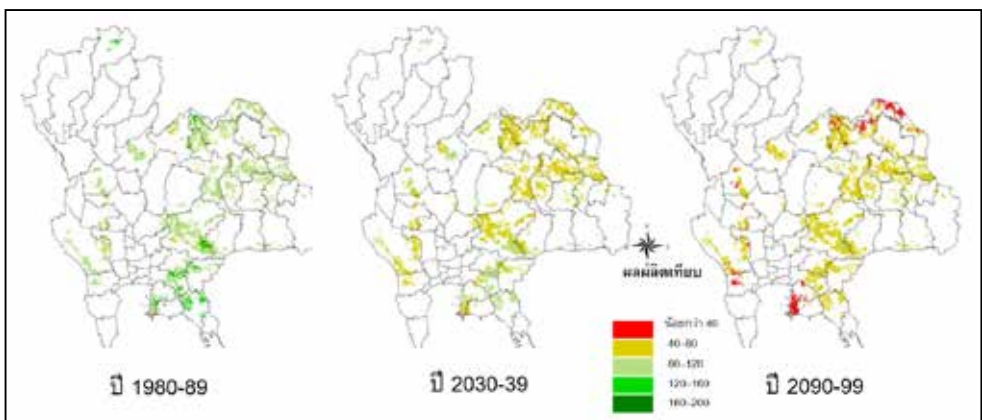
ในช่วงปีค.ศ.1990-2029 และปี ค.ศ.2030-2039 ผลผลิตอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความแปรปรวนที่ไม่มีรูปแบบชัดเจน ผลผลิตส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 40-80 เมื่อเทียบกับปีฐาน ในขณะที่เขตการปลูกในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ผลผลิตอ้อยค่อนข้างดีกว่าค่าเฉลี่ยจากปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ.2090-2099 ผลผลิตในแหล่งปลูกอ้อยภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในเขตการปลูกอ้อยจังหวัดเลยและจังหวัดชัยภูมิ ผลผลิตเมื่อเทียบกับปีฐานเพิ่มขึ้นจากในช่วงแรกที่เท่ากับร้อยละ 80-120 เป็นร้อยละ 120-140 แต่ยังมีพื้นที่บางส่วนระหว่างรอยต่อจังหวัดอุดรธานี ขอนแก่น และกาฬสินธุ์ ที่ผลผลิตยังอยู่ในช่วงร้อยละ 40-80





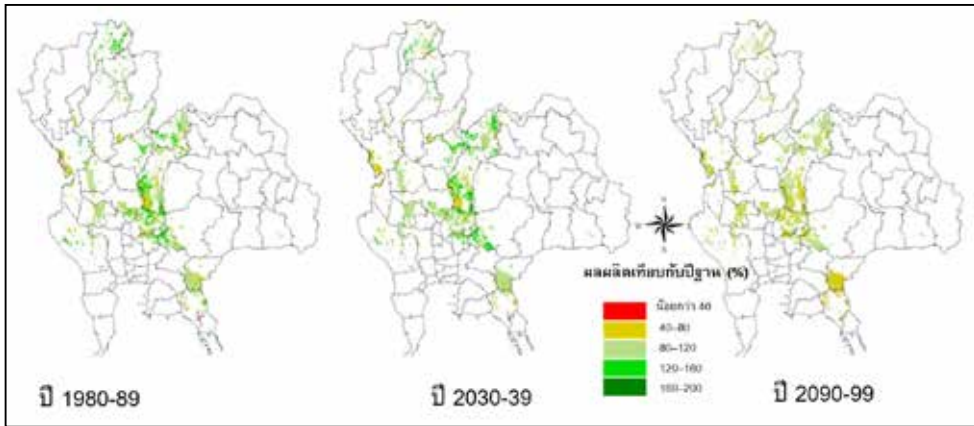
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตอ้อยรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อนเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยปีฐานในช่วงปี ค.ศ.1980-89 (ซ้าย) ปี ค.ศ.2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ.2090-99 (ขวา)

สำหรับมันสำปะหลัง จากช่วงปี ค.ศ.1980-1989 ถึงปี ค.ศ.2030-2039 ผลผลิตจะเริ่มลดลงจากปีฐานร้อยละ 40-80 โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน เมื่อเข้าสู่ช่วงปี ค.ศ.2090-2099 ผลผลิตในแหล่งปลูกมันสำปะหลังทั่วประเทศจะลดลงมาอยู่ที่ร้อยละ 40-80 พื้นที่บางส่วนทางเหนือของอุดรธานีต่อกับหนองคาย และทางใต้ของหนองคายต่อกับนครพนม รวมทั้งทางใต้ของจังหวัดกาญจนบุรีต่อกับราชบุรี ให้ผลผลิตน้อยกว่าร้อยละ 40 มีเพียงบางจุดในบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดนครราชสีมาต่อกับบุรีรัมย์ที่ยังคงให้ผลผลิตที่ดี



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตมันสำปะหลังรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อนเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ. 1980-89 (ซ้าย) ปีค.ศ. 2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ. 2090-99 (ขวา)

จากปี ค.ศ.1980-1989 ถึง ปี ค.ศ.2030-2039 ผลผลิตข้าวโพดในพื้นที่ปลูกเขตภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ ลพบุรี เพชรบูรณ์ และอุทัยธานี ผลผลิตข้าวโพดลดลงจากปีฐานเหลือเพียงร้อยละ 40-80 แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงปี ค.ศ.2070-2099 พื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมดให้ผลผลิตร้อยละ 40-80 เมื่อเทียบกับปีฐาน ยกเว้นในบางพื้นที่ที่ยังคงรักษาระดับผลผลิตในระดับเดียวกับปีฐาน ได้แก่ จังหวัดพิษณุโลก นครราชสีมา เพชรบูรณ์ กำแพงเพชร เลย และเชียงราย



รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงของผลผลิตข้าวโพดรายพื้นที่ภายใต้ภาวะโลกร้อน เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีฐาน ในช่วงปี ค.ศ.1980-89 (ซ้าย) ปี ค.ศ.2030-39 (กลาง) และปี ค.ศ. 2090-99 (ขวา)

เมื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง พบว่า เกิดจากการกระจายตัวของฝน ประกอบกับความอุดมสมบูรณ์ดินเป็นสาเหตุที่สำคัญ ส่วนผลผลิตอ้อยจะได้รับผลกระทบจากความชื้นดินซึ่งขึ้นกับฝน คุณสมบัติทางกายภาพของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่การกระจายตัวของรากเป็นไปได้อย่างจำกัด การลดลงของผลผลิตมันสำปะหลังเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่มีปฏิกริยาร่วมอย่างชัดเจนกับคุณสมบัติทางกายภาพของดิน แต่ในเขตการผลิตภาคเหนือตอนล่างการลดลงของผลผลิตเกิดจากอุณหภูมิ สำหรับข้าวโพดการลดลงของผลผลิตเกิดจากการขาดน้ำในช่วงออกดอกติดฝัก และแสดงออกอย่างรุนแรงในดินที่อุ้มน้ำได้น้อย

แนวทางของการปรับระบบการผลิตพืชเพื่อรองรับภาวะดังกล่าวประกอบด้วย การพัฒนาพันธุ์พืชที่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูง อัตราการเจริญเติบโตเร็ว อายุสั้น และทนแล้ง รากหยั่งลึก พัฒนาระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ และจัดหาแหล่งน้ำในไร่นา การปรับปรุงบำรุงดิน การจัดการดินและธาตุอาหารพืชเฉพาะพื้นที่

ข้อควรสังเกตในการใช้ผลการจำลองข้างต้นดังกล่าว คือ ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้จำลองนั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศ (climate model) ซึ่งเป็นข้อมูลแสดงถึงสภาพอากาศโดยเฉลี่ยของพื้นที่ หรือเป็นค่าเฉลี่ยของสภาพอากาศ (weather) ดังนั้นความแปรปรวน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชิงเวลาระหว่างปีจึงค่อนข้างต่ำ Randall et al. (2007) ได้รวบรวมผลการประเมินของแบบจำลอง GCMs ในแง่ต่างๆ และสรุปว่า AOGCMs บางแบบจำลองสามารถจำลองปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO–El Niño Southern Oscillation) ได้ แต่ยังไม่สามารถจำลองปรากฏการณ์เอ็มเจโอ (MJO– Madden–Julian Oscillation) ในมหาสมุทรอินเดียซึ่งมีอิทธิพลต่อฝนในประเทศไทยได้ สำหรับสภาวะอากาศรุนแรง (extreme weather) ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิแบบจำลองควบคู่ระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร (AOGCMs–Atmospheric Ocean General Circulation models) สามารถจำลองได้ดี แต่ความรุนแรงของฝน แบบจำลองเหล่านี้ให้ผลการประเมินที่ต่ำกว่าเป็นจริง มี AOGCMs เพียง 6 แบบจำลองเท่านั้นที่พอจะจำลองฝนมรสุมได้ และเหลือเพียง 4 แบบจำลองเท่านั้นที่แสดงออกถึงการเชื่อมโยงของปรากฏการณ์ต่างๆ (teleconnection) ระหว่าง ENSO และระบบมรสุม (monsoon) ข้อจำกัดเหล่านี้เป็นข้อจำกัดที่สำคัญสำหรับประเทศไทย และเป็นข้อจำกัดที่ทำให้ยังไม่สามารถประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโลกต่อผลผลิตพืช อันเนื่องมาจากความแปรปรวนของสภาพอากาศที่มีความรุนแรงมากขึ้น (extreme weather)



3

การลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวของไทย



บทที่ 3

การลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวของไทย

¹ภัทรา เพ็ชรสมเกียรติ

3.1 สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตรและนาข้าวของไทย

ภาคเกษตร ถูกกล่าวถึงบทบาทในการเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยกิจกรรมการเกษตรที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ ได้แก่ การปล่อยก๊าซมีเทนจากการทำนาข้าว การปล่อยไนตรัสออกไซด์จากการใส่ปุ๋ยในโตรเจนบนพื้นที่เพาะปลูก และการปล่อยมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากการเลี้ยงและการจัดการมูลปศุสัตว์ เป็นต้น ภาคเกษตรมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี 2543 คิดเป็น 22.6% ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของไทยและมีแนวโน้มการปล่อยที่ค่อนข้างคงที่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ประมาณ 70% และ 83% ของปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ทั้งหมด (ตามลำดับ) โดยนาข้าวเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของภาคเกษตรกรรม คิดเป็น 57.5% ของปริมาณทั้งหมดในภาคการผลิตนี้ และ 13% ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของไทย (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) ทั้งนี้ เป็นเพราะข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก โดยในปี 2551-2552 มีพื้นที่ปลูกข้าวกว่า 78.6 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 45.8 และ 24.5 ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมดและพื้นที่ประเทศ ตามลำดับ (สำนักงานนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) และกิจกรรมการปลูกข้าวที่ขังน้ำส่งเสริมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้น การใช้น้ำข้าวเป็นแหล่งลดก๊าซเรือนกระจกจึงมีศักยภาพที่น่าสนใจในภาคเกษตรของไทย

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

งานศึกษาเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวมีการดำเนินการที่หลากหลายและมากพอควร ทั้งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดและแนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว (โดยเฉพาะก๊าซมีเทน) ซึ่งเนื้อหาในเอกสารนี้รวบรวมบทความวิจัยบางส่วนที่เกี่ยวข้องที่ดำเนินการศึกษาในประเทศไทยเป็นหลัก และรายงานเกี่ยวกับนาข้าวและการกักเก็บคาร์บอนในดินที่เป็นอีกแนวทางหนึ่งของการลดก๊าซเรือนกระจก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2 ก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว ปัจจัยที่มีผล และการควบคุม

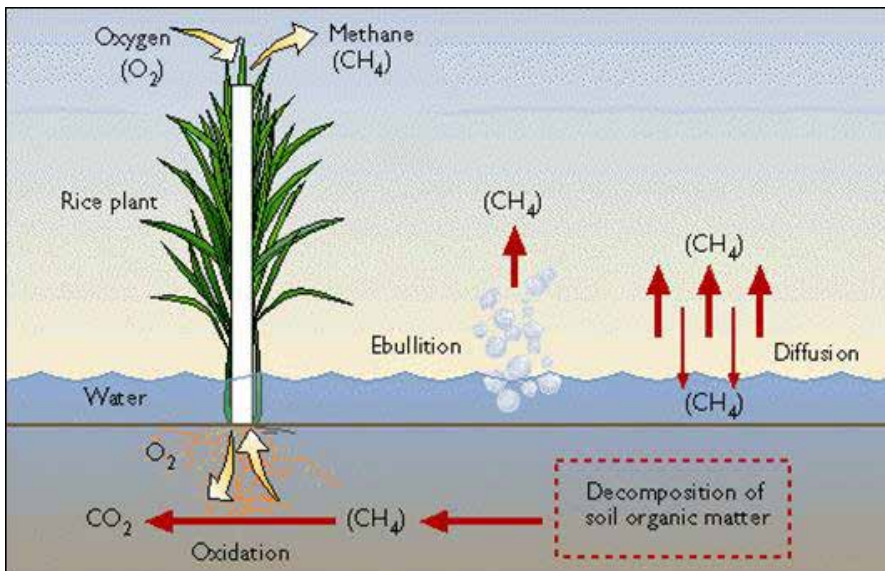
กิจกรรมการทำนาแบบน้ำขังเป็นวิธีการปลูกข้าวที่นิยมดำเนินการในหลายประเทศในภูมิภาคเอเชีย รวมถึงประเทศไทย การขังน้ำในพื้นที่นาจะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศออกซิเจน ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นข้าวและเป็นวิธีปลูกข้าวที่นิยมปฏิบัติแต่ในขณะเดียวกันเป็นกลไกตามธรรมชาติที่มีผลต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจก โดยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ คือ ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ แต่ก๊าซมีเทนมักเป็นก๊าซเรือนกระจกหลักที่พบในพื้นที่ปลูกข้าว โดยมีสัดส่วนที่สูงกว่าการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าว (ภัทรา และคณะ, 2554; Towprayoon et al., 2005) งานศึกษาเกี่ยวกับก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยเฉพาะในประเทศไทย จึงมีความหลากหลายและครอบคลุมมากกว่า ก๊าซไนตรัสออกไซด์ กระบวนการเกิดก๊าซเรือนกระจก ปัจจัยที่มีผล และการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวพอสรุปได้ดังนี้

ก๊าซมีเทน

การปลูกข้าวน้ำขังทำให้เกิดสภาวะที่ดินอึดตัวไปด้วยน้ำ จึงทำให้มีปริมาณออกซิเจนในดินที่จำกัด การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของนาแบบน้ำขังสามารถเกิดขึ้นได้แต่เป็นไปในอัตราที่ช้าด้วยจุลินทรีย์ กลุ่มแอนแอโรบิกที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพเช่นนี้ โดยการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาวะที่น้ำขังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ คือ แอลกอฮอล์ กรดไขมัน และไฮโดรเจน ซึ่งแอลกอฮอล์และกรดไขมันสามารถเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นอะซิเตท (CH_3COOH) ฟอर्मेटหรือ H_2 - CO_2 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้ จุลินทรีย์กลุ่มหลักที่มีบทบาทต่อการเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว คือ กลุ่มเมทาโนเจน (methanogen) จะใช้อะซิเตทและฟอर्मेटเป็นสารตั้งต้นในการย่อยสลายเพื่อการเจริญเติบโตและได้ผลิตภัณฑ์สำคัญ คือ ก๊าซมีเทน (Liesack et al., 2000) ด้วยเหตุนี้ การปลูกข้าวแบบนาข้าวขังจึงเกิดการปล่อยก๊าซมีเทน อย่างไรก็ตาม

ก๊าซมีเทนที่ผลิตขึ้นอาจลดปริมาณลงได้ แม้เป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับมีเทนที่ผลิตได้ โดยการลดปริมาณของมีเทนสามารถเกิดผ่านการออกซิเดชันโดยจุลินทรีย์กลุ่มออกซิไดซ์มีเทนที่ย่อยสลายก๊าซมีเทนในบริเวณรากข้าว (ซึ่งก๊าซออกซิเจนแพร่จากบรรยากาศผ่านโพรงอากาศของต้นข้าว) หรือถูกออกซิไดซ์ร่วมกับซัลเฟตในสภาวะไร้อากาศได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ มีเทนบางส่วนอาจซึมลึกลงในชั้นดินพร้อมกับการเคลื่อนที่ของน้ำและแพร่ออกจากนาข้าวไปสู่บริเวณอื่น โดยเฉพาะน้ำใต้ดิน (พัชรและสิริธร, 2548)

ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในนาข้าวซึ่งถูกปล่อยออกจากนาข้าวได้ 3 วิธีที่สำคัญ (รูปที่ 3.1) คือ (1) การแพร่ของก๊าซมีเทนผ่านท่อลำเลียงอากาศหรือโพรงอากาศ (aerenchyma) ของต้นข้าว ซึ่งเป็นกลไกของต้นข้าวในการลำเลียงก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศสู่รากข้าวและในทางกลับกัน ก็เป็นช่องทางในการส่งผ่านก๊าซมีเทนจากรากข้าวสู่บรรยากาศเหนือผิวน้ำเช่นกัน (2) การปล่อยผ่านฟองอากาศ (ก๊าซ) สู่บรรยากาศ (ebullition) และ (3) การแพร่ของก๊าซมีเทนผ่านผิวดินและน้ำและปล่อยออกสู่บรรยากาศเหนือผิวน้ำ (diffusion)



รูปที่ 3.1 การเกิดและปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว (Winne, 2010)

ปัจจัยที่เอื้อต่อกิจกรรมจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนและการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมีหลายปัจจัย ได้แก่ (1) คุณลักษณะและสภาวะของดิน (2) พันธุ์ข้าวและช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าว (3) รูปแบบการปลูกข้าว ได้แก่ นาชลประทาน นาหน้าฝน นาหน้าลี้ก (ข้าวหน้าลี้กหรือข้าว

ขึ้นน้ำ) และข้าวไร่ หรือ การปลูกข้าวแบบปักดำ นาหว่าน และนาหว่านน้ำตม และ (4) กิจกรรมการปลูกข้าว เช่น การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก (การไถพรวนดิน ระยะเวลาขังน้ำก่อนปลูกข้าว) การใส่ปุ๋ย การจัดการเศษซากพืช (ตอซังและฟาง) เป็นต้น จากปัจจัยข้างต้นพอสรุปได้ว่าการผลิตก๊าซมีเทนจากนาข้าวเกิดจากกิจกรรมจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทนเป็นสำคัญ ดังนั้น การควบคุมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวจึงจำเป็นต้องลดหรือจำกัดกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ซึ่งขอเลือกปัจจัยสำคัญที่มีผลและสามารถควบคุมได้ผ่านกิจกรรมการเกษตรที่เหมาะสมดังนี้

(1) สภาวะน้ำขังในนาข้าว เป็นสภาวะที่มีผลต่อการจำกัดปริมาณออกซิเจนในดินและลดค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดิน (redox potential, Eh) โดยค่า Eh ที่ต่ำลงเช่นในสภาวะน้ำขังจะทำให้เกิดสภาวะรีดักชันของดินที่เอื้อให้เกิดการผลิตก๊าซมีเทนที่มากขึ้น ก๊าซมีเทนมักเกิดขึ้นได้ในดินที่มีค่า Eh ตั้งแต่ -100 มิลลิโวลต์ลงไป (Towprayoon et al., 2005) หรือเกิดได้ดีที่ประมาณ -200 มิลลิโวลต์ (ประไพ และคณะ, 2540) ด้วยเหตุนี้ นาข้าวขัง โดยเฉพาะนาชลประทาน และนาข้าวลึกลับจะมีการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวที่สูงกว่านาข้าวฝนและข้าวไร่ และการปลูกข้าวแบบปักดำที่มีการขังน้ำก่อนการปลูกข้าวทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงกว่าการปลูกข้าวนาหว่าน (พิมพ์พันธ์ และคณะ, 2545; พัชรี และ ชนะ, 2547) นอกจากนี้ ประไพ และคณะ (2540) รายงานว่าการปลูกข้าวนาปีมีแนวโน้มให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงกว่าการปลูกข้าวนาปรัง ซึ่งสาเหตุหนึ่งเป็นเพราะค่า Eh ของดินในฤดูนาปีมีค่าต่ำกว่าในฤดูนาปรัง และยังพบว่าดินนาที่มีธาตุเหล็กและแมงกานีสในดินมาก (เช่น นาข้าวที่พิษณุโลก คลองหลวง และชัยนาท) ช่วยชะลอการที่ดินจะถูกรีดิวซ์ลง ทำให้เกิดก๊าซมีเทนน้อยกว่าดินที่มีปริมาณเหล็กและแมงกานีสที่ต่ำกว่า ได้แก่ นาข้าวที่บางเขน แพร่ สันป่าตอง ขอนแก่น สุพรรณบุรี และสุรินทร์ สำหรับงานศึกษา

ดังนั้น การลดก๊าซมีเทนจึงสามารถทำได้โดยการปรับค่า Eh ให้อยู่ในช่วงที่ไม่เอื้อต่อจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน ตัวอย่างการดำเนินการปรับค่า Eh ได้แก่ การลดเวลาขังน้ำหรือการระบายน้ำกลางฤดูปลูก การเติมสารประกอบซัลเฟตที่มีค่า Eh (-220 mV) ใกล้เคียงกับการเกิดมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์ (-240 mV) (Liesack et al., 2000)

(2) ปุ๋ย เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มธาตุอาหารพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตข้าวที่เพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันทำให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนที่มากขึ้นได้ เพราะการใส่ปุ๋ยในนาข้าวทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตได้ดีทั้งในส่วนเหนือและใต้ดิน ซึ่งทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุจากรากพืชและการปล่อยสารคัดหลั่งจากรากข้าว (root exudate) ที่มากขึ้น จึงช่วยกระตุ้น

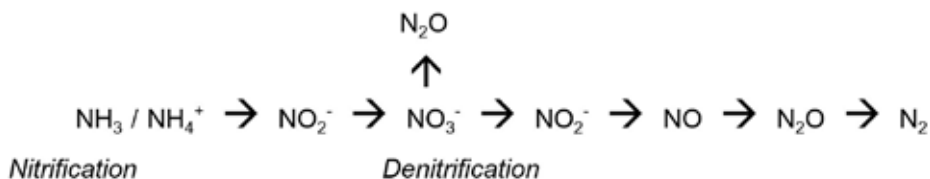
การทำงานของจุลินทรีย์ดิน รวมถึงเมทาโนเจนด้วย นอกจากนี้ การที่ต้นข้าวเติบโตดี ในนาที่ใส่ปุ๋ยทำให้เกิดการแพร่ของก๊าซมีเทนผ่านต้นข้าวได้มากขึ้นอีกด้วย งานศึกษาของประไพ และคณะ (2547) ให้ผลที่สอดคล้องกับเหตุผลข้างต้น โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมี (ยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟต) เพิ่มการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว เมื่อเทียบกับนาที่ไม่ใส่ปุ๋ย ผลที่ได้ชี้ว่าปริมาณการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าว และควบคุมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว นอกจากนี้ ยังพบว่ารูปของปุ๋ยไนโตรเจนมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนอยู่บ้าง โดยปุ๋ยที่มีไนโตรเจนสูง มักส่งเสริมการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว เมื่อเทียบกับปุ๋ยที่มีไนโตรเจนต่ำกว่า ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณไนโตรเจนที่มาก ทำให้ต้นข้าวเจริญได้ดี จึงปล่อยก๊าซมีเทนที่มากกว่านั่นเอง (ภาคภูมิ, 2543 อ้างถึงใน พัชรและสิริธร, 2548) และการใส่ปุ๋ยหรือสารที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบช่วยชะลอกิจกรรมของเมทาโนเจนและลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ หากมีการใส่ในปริมาณที่เหมาะสม (พัชรและชนะ, 2547) ทั้งนี้ เนื้อหาในหัวข้อนี้สรุปพอสังเขปเฉพาะผลของปุ๋ยเคมีที่มีต่อการปล่อยก๊าซมีเทน

(3) ปริมาณและรูปของอินทรีย์วัตถุในดินหรือที่ใส่ให้กับดิน ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ เศษซากพืช (ตอซังและรากข้าว) ฟางข้าว พีชคลุมดินอื่น และวัชพืช รวมไปถึงสารอินทรีย์ที่ปล่อยจากรากพืช โดยอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญของจุลินทรีย์ดิน รวมถึงจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนด้วย ดังนั้น การเพิ่มหรือลดอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว เช่น ต้นข้าวที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ที่มีการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงกว่าต้นข้าวอ่อน หรือช่วงแตกกอสูงสุดที่ต้นข้าวมีการเจริญทางต้นและรากที่มากและช่วงออกดอกที่มีการปล่อยสารคัดหลั่งจากรากเพื่อกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ดิน ส่งเสริมการเกิดและแพร่ของก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศผ่านต้นข้าวและทำให้ก๊าซมีเทนถูกปล่อยสูงขึ้น (ภัทรา และคณะ, 2554; Towprayoon et al., 2005) ประไพ และคณะ (2540) พบว่าสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้มีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงในฤดูนาปีจากนาข้าวที่ศึกษา 9 แห่งทั่วประเทศ เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูนาปรัง น่าจะเป็นเพราะปริมาณวัสดุอินทรีย์ โดยเฉพาะวัชพืชที่ไถกลบในนาที่มีปริมาณมากในฤดูนาปีเมื่อเทียบกับนาปรัง แม้ว่าจะมีปริมาณเศษซากพืชในทางที่กลับกันก็ตาม (เพราะตอซังและรากข้าวมีอัตราการสลายตัวที่ช้ากว่าวัชพืช) และการไถกลบวัชพืชและเศษซากพืชมีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนในระยะแรกของการปลูกข้าว ในขณะที่การปล่อยก๊าซมีเทนในระยะต่อมาเป็นเพราะการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่มีแหล่งคาร์บอนจากรากข้าวเองและการปล่อยสารอินทรีย์จากรากข้าวเป็นปัจจัยร่วม ผลที่ได้สอดคล้องกับ

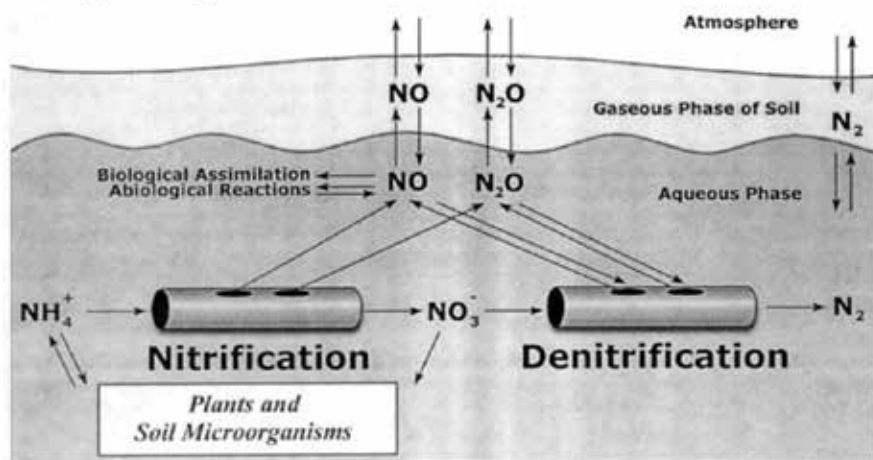
งานศึกษาของ พ็ชรีและอรรคเดช (2545) ที่พบการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงในช่วงแรกของการปักดำ เนื่องจากได้รับอิทธิพลของการย่อยสลายวัชพืชในน้ำที่ไหลลงในช่วงเตรียมดินก่อนปลูก ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าวส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี (พ็ชรีและอรรคเดช, 2545; มนตรี และคณะ, 2548; ภัทรา และคณะ, 2554) ดังนั้น การจัดการเศษซากพืชและการเลือกชนิดปุ๋ยอินทรีย์ที่เหมาะสมจะช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้

ก๊าซไนโตรสออกไซด์

การขังน้ำในนาข้าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นก๊าซไนตริกออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนที่เป็นผลผลิตหลักในที่สุด (รูปที่ 3.2) ทั้งนี้ ก๊าซไนตริกออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ที่เกิดขึ้นถูกปล่อยจากดินเข้าสู่บรรยากาศเหนือผิวน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการควบคุมอัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากน่าน้ำขัง คือ ปริมาณไนเตรทในดิน (ซึ่งกำหนดด้วยปริมาณและรูปของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในนาข้าว) และเป็นปัจจัยจำกัดให้การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในสภาวะที่น้ำขังในนามีปริมาณไม่มากนัก การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ยังเกิดผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ได้เช่นกัน แต่มีสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับการเกิดผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมจะเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์และไนเตรทในสภาวะที่มีออกซิเจน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ถูกผลิตขึ้นในกระบวนการนี้ผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิด autotroph และ heterotroph หรือกลุ่มไนตริฟายเออร์ดีไนตริฟิเคชัน (nitrifier denitrification) ที่ในสภาวะที่ออกซิเจนเริ่มจำกัดอาจเกิดขึ้นตอนของการเปลี่ยนจากไนไตรท์ไปเป็นไนตรัสออกไซด์ได้โดยไม่เปลี่ยนผ่านรูปไนเตรท (รูปที่ 3.3) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทในกระบวนการไนตริฟิเคชันมีความสำคัญอีกประการต่อการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ คือ เป็นการเพิ่มปริมาณไนเตรทที่จะเข้าสู่กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเอื้อให้เกิดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ต่อไปนั่นเอง ดังนั้น การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในนาข้าวจึงสัมพันธ์กับความชื้นดินและปริมาณออกซิเจนในดินที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราของกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้ การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเป็นไปในลักษณะที่รั่ว (leak) ผ่านรูออกจากท่อ (hole of pipe) (รูปที่ 3.3) ซึ่งแสดงถึงการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในกระบวนการทั้งสองมีสัดส่วนที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หลัก (ไนเตรทและก๊าซไนโตรเจนของแต่ละกระบวนการ)



รูปที่ 3.2 การเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน



รูปที่ 3.3 การเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ตามแนวคิด The Holes in the Pipes (Keller, 1995)

ด้วยเหตุผลข้างต้น การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าวเกิดได้ทั้งในช่วงที่มีการขังน้ำและไม่ขังน้ำ (ช่วงแรกหลังการเพาะปลูกหรือช่วงระบายน้ำ) โดยในช่วงที่มีการขังน้ำในนาข้าว ปริมาณไนเตรทในดินและการแพร่ของออกซิเจนจากดินข้าวเข้าสู่บริเวณรากเป็นปัจจัยควบคุมการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ เพราะการมีออกซิเจนในดินที่ทำให้เกิดไนเตรทผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันในบริเวณรากข้าว และไนเตรทที่ได้สามารถเปลี่ยนรูปต่อเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจากสภาวะที่น้ำขังได้ อย่างไรก็ตามช่วงระบายน้ำจากนาข้าวหรือช่วงแรกของการพักนาเป็นช่วงเวลาที่มีการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าวที่สำคัญเช่นกัน โดยเป็นเพราะดินนาที่มีความชื้นมากเพียงพอและมีปริมาณไนโตรเจนในดินจากปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่หรือที่คงเหลืออยู่หลังการเพาะปลูก จึงทำให้

กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินไปได้ดีเพราะมีปริมาณออกซิเจนไม่จำกัดจากสภาวะที่ดินไม่ขังน้ำ และเพิ่มปริมาณไนเตรทเพื่อเข้าสู่กระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ดีจากการที่ดินยังมีความชื้นสูง ดังนั้น นาข้าวแบบขังน้ำจึงปล่อยก๊าซเรือนกระจกชนิดนี้ได้ แต่อัตราการปล่อยก๊าซขึ้นกับสภาพน้ำในนาเป็นสำคัญ และหากมีการใส่ปุ๋ยในช่วงการระบายน้ำยิ่งทำให้อัตราการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์สูงขึ้นด้วย

เป็นที่น่าสนใจว่ารูปแบบการปลูกข้าวอาจมีผลต่อการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยการปลูกข้าวที่ให้น้ำขังในนาเป็นระยะ เช่น นาน้ำฝน อาจส่งเสริมการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ดีกว่าที่ขังน้ำตลอดฤดูปลูก เช่น นาชลประทาน ทั้งนี้เป็นเพราะช่วงที่ระบายน้ำในนาทำให้เพิ่มปริมาณไนเตรทจากกระบวนการไนตริฟิเคชันและยังเป็นช่วงที่ดินมีความชื้นสูงเพียงพอให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่เกิดการปล่อยไนตรัสออกไซด์ได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้น ความถี่ในการขังน้ำและระบายน้ำในนาข้าวจึงอาจส่งเสริมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนี้ได้ อย่างไรก็ตาม Towprayoon et al. (2005) พบว่าจำนวนครั้งของการระบายน้ำกลางฤดูปลูกข้าวอาจไม่ส่งเสริมการเพิ่มก๊าซไนตรัสออกไซด์ แต่ระยะเวลาในการระบายน้ำอาจเป็นปัจจัยที่มีผลมากกว่าในการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ ส่วนการปลูกข้าวไร่อาจไม่มีผลที่มากนักต่อการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ เพราะไม่มีการขังน้ำสลับการระบายน้ำแห้งในนาข้าวเช่นที่พบในนาน้ำฝน แต่งานศึกษาในประเด็นนี้ยังไม่ชัดเจน จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้ความเข้าใจที่ชัดเจนขึ้นเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนารูปแบบต่าง ๆ

ปัจจัยที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ยังขึ้นกับปริมาณและชนิดของปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในนาข้าวด้วย โดยการใส่ปุ๋ยในปริมาณมากหรือรูปไนโตรเจนบางรูป (เช่น ไนเตรท) ทำให้นาปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่มากขึ้น

3.3 แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวได้ถูกศึกษาอย่างกว้างขวางทั้งในระดับชาติและนานาชาติ และพอแบ่งได้เป็น (1) การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว เป็นการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยระหว่างการปลูกข้าวโดยตรง และ (2) การส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าว เป็นการใช้พื้นที่นาเพื่อเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในลักษณะที่คล้ายกับการกักเก็บคาร์บอนของป่า แต่ระยะเวลาในการกักเก็บต่างกัน โดยเป็นกลไกที่มีผลอย่างมากต่อการลดก๊าซเรือนกระจก รายละเอียดของแต่ละแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกเป็นดังนี้

3.3.1 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

วิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถดำเนินการได้หลายวิธี ตั้งแต่วิธีที่สามารถนำไปปฏิบัติได้ทันที ได้แก่ การจัดการน้ำ ชนิดและการใส่ปุ๋ย และการจัดการตอซัง (เศษซากพืช) และวิธีที่ต้องการข้อมูลหรืองานศึกษาเพิ่มเพื่อเป็นแนวทางจัดการในระยะยาว เช่น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ พันธุ์ข้าวที่มีอายุสั้น (ข้าวเบา) พันธุ์ข้าวที่ปลูกแบบน้ำแห้งหรือข้าวไร่ หรือพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตข้าวต่อพื้นที่สูง และอาจทำการปรับปรุงการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ซึ่งแม้จะไม่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง แต่ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลผลิต

การเลือกวิธีการจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและผลกระทบต่อผลผลิตข้าวและต้นทุนการผลิต แนวทางต่อไปนี้จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวที่มีศักยภาพในการนำไปปฏิบัติโดยอาจไม่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของเกษตรกรมากนัก

(1) การปรับรูปแบบการจัดการน้ำ

สภาวะน้ำขังในนาข้าวเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งเสริมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซมีเทน ดังนั้น การปรับรูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าว ไม่ว่าจะเป็นการลดระยะเวลาขังน้ำในแปลงนาหรือระบายน้ำจากนาข้าวเพื่อเพิ่มออกซิเจนในดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้ารีดอกซ์ของดิน จะช่วยปรับสภาวะดินให้ไม่เหมาะสมกับกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทน (เมทาโนเจน) และนำไปสู่การลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ทั้งนี้ การเปลี่ยนรูปแบบการจัดการน้ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะในนาชลประทาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการระบายน้ำออกกระหว่างฤดูเพาะปลูก ซึ่งเป็นการลดระยะเวลาการขังน้ำ จึงทำให้ช่วงเวลาการเกิดก๊าซมีเทนสั้นลง การจัดการน้ำพอจำแนกได้เป็น (ก) การระบายน้ำระหว่างฤดูเพาะปลูก เป็นการระบายครั้งเดียวในช่วงการเพาะปลูก (mid-season drainage) ซึ่งอาจเป็นในช่วงการเจริญเติบโตส่วนลำต้นของข้าว โดยเฉพาะช่วงแตกกอสูงสุดหรือช่วงการสีพันธุ์ เช่น ช่วงกำเนิดช่อดอก ช่วงดอกบาน เป็นต้น และ (ข) การระบายน้ำหลายครั้งระหว่างการเพาะปลูกหรือการปล่อยให้น้ำแห้งเป็นระยะๆ (multiple or intermittent drainage) ซึ่งอาจเป็นการระบายน้ำทั้งสองช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าวข้างต้นก็ได้ แต่ทั้งนี้ การระบายน้ำในบางช่วงมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าว โดยอาจเป็นทั้งผลที่เพิ่มและผลที่ลดปริมาณผลผลิตก็ได้ ตารางที่ 3.1 ได้รวบรวมช่วงเวลาการระบายน้ำแบบระหว่างฤดูเพาะปลูกข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างช่วงเวลาการระบายน้ำกลางฤดูปลูกจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	ช่วงระบายน้ำ	ระยะเวลาระบายน้ำ (วัน)
Babu et al. (2005)	หลังปักดำ 30 และ/หรือ 60 วัน	10-15
Khind and Ponnamparuma (1981)	หลังปลูก 6 สัปดาห์	14
Neue (1997)	หลังปลูก 18-40 วัน (ช่วงแตกกอ [mid tillering])	ไม่ระบุ
Cabangon et al. (2003)	ระยะแตกกอสูงสุด	7-15
Tabbal et al. (2002)	ระยะแตกกอสูงสุด	7
Belder (2005)	ก่อนระยะกำเนิดช่อดอก/ข้าวสร้างรวงอ่อน	10-12
Corton et al. (2000)	ก่อนระยะกำเนิดช่อดอก/ระยะสร้างรวงอ่อน	7-10
Minamikawa and Sakai (2005)	หลังปักดำ 83 วัน	4
Towprayoon et al. (2005) (ไทย)	ระยะออกดอก (หลังปลูก 73 วัน) ระยะแตกกอและระยะออกดอก (หลังปลูก 30 และ 73 วัน)	7 3 / ครั้ง
Smakgahn et al. (2003) (ไทย)	ระยะออกดอก (หลังปลูก 64 วัน)	6
ภัทราและคณะ (2554) (ไทย)	ช่วงแตกกอสูงสุดหรือช่วงออกดอก	7

การศึกษาการจัดการน้ำในนาข้าวของต่างประเทศมีการดำเนินการในหลายประเทศ ทั้งในจีน ญี่ปุ่น อินเดีย และประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา และพบว่าให้ผลการลดก๊าซมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วง 7-80% (Wassmann et al., 2000) ตัวอย่างงานวิจัย เช่น Yagi et al. (1997) พบว่าการระบายน้ำหลายครั้งกลางฤดูปลูกในนาข้าวที่ศึกษาในญี่ปุ่น สามารถลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ถึง 42-45% Sass et al. (1992) ทำการศึกษาการจัดการน้ำในนาข้าวที่ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเปรียบเทียบจัดการน้ำแบบระบายน้ำออกจากแปลงนาหลายครั้งในฤดูกาลเพาะปลูกกับการจัดการน้ำแบบปกติ คือ ไม่มีการระบายน้ำออกจาก



แปลงนาระหว่างฤดูกลางเพาะปลูก พบว่าการจัดการน้ำทำให้ก๊าซมีเทนลดลงถึง 90% และไม่มีผลต่อผลผลิตข้าว และงานวิจัยของ Corton et al. (2000) ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ พบว่าการระบายน้ำออกจากแปลงนาในระหว่างฤดูกลางเพาะปลูกนั้นสามารถลดก๊าซมีเทนได้ถึง 92%

การรวบรวมงานศึกษาการจัดการน้ำในนาข้าวของไทยพบผลในแนวโน้มเดียวกันกับงานวิจัยในต่างประเทศ ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาผลของการจัดการน้ำที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวได้ถูกรวบรวมและแสดงดังตารางที่ 3.2 โดยพบว่าการระบายน้ำช่วยลดก๊าซมีเทนได้ แต่ประสิทธิภาพการลดขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น เนื้อดิน สภาพภูมิอากาศ (นาปีหรือนาปรัง) และช่วงเวลาการระบายน้ำ เป็นต้น และการระบายน้ำกลางฤดูปลูกอาจมีผลต่อผลผลิตข้าวทั้งในการเพิ่ม ลด หรือไม่มีผลต่อผลผลิตข้าวก็ได้ ดังนั้นจึงแนะนำให้เกษตรกรทำนาข้าวแบบมีการระบายน้ำออกจากแปลงนาในระหว่างการเพาะปลูกเพื่อเป้าหมายในการลดก๊าซมีเทนที่จะปล่อยจากนาข้าว และช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำออกจากแปลงนาที่สามารถลดก๊าซมีเทนแต่ไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อข้าว คือ การระบายน้ำออกจากแปลงนาในฤดูกลางฤดูปลูกในระยะเวลาหนึ่งตามแต่เนื้อดินและความสามารถในการอุ้มน้ำของดินนั้นๆ โดยไม่ส่งผลเสียต่อต้นข้าวหรือทำให้ต้นข้าวขาดน้ำที่จะมีผลต่อผลผลิตข้าว พัชรีและชนะ (2547) เสนอว่าช่วงการระบายน้ำอาจนาน 4-8 วัน ตามแต่เนื้อดิน คือ 7-8 วัน สำหรับดินร่วนปนทราย และ 3-4 วัน สำหรับดินเหนียว ส่วนช่วงเวลาการระบายน้ำจากนาข้าวสามารถทำได้หลายช่วงตามแต่พันธุ์ข้าวและช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าว แต่ช่วงเวลาที่มักให้ประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซมีเทนที่ดี คือ ช่วงที่รากข้าวปล่อยสารอินทรีย์เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตและกิจกรรมจุลินทรีย์บริเวณรากข้าว เช่น ช่วงแตกกอสูงสุด ช่วงข้าวออกดอก ช่วงดอกข้าวบาน เป็นต้น เพราะเป็นช่วงที่มีการปล่อยก๊าซมีเทนในอัตราที่สูงมาก แต่ต้องระวังความเสี่ยงต่อผลผลิตข้าว (พิมพ์พันธ์ และคณะ, 2545; ภัทรา และคณะ, 2554; Towprayoon et al., 2005) โดยการขาดน้ำในระยะแตกกอมีผลต่อการเจริญเติบโตและการแตกกอของต้นข้าว ส่วนในระยะออกดอกจะทำให้เมล็ดไม่สมบูรณ์ (พิมพ์พันธ์ และคณะ, 2545) ทั้งนี้ การระบายน้ำอาจดำเนินการในช่วงข้าวตั้งท้องที่ต้นข้าวได้รับธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ยเต็มที่แล้วก็ได้ ดังนั้น การจัดการน้ำในนาข้าวที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงระดับความชื้นดินที่เพียงพอ ระยะเวลาขาดน้ำ และระยะการเจริญเติบโตของข้าวด้วย เพื่อให้ได้วิธีการจัดการน้ำในนาข้าวที่เหมาะสมที่จะช่วยลดก๊าซมีเทน ไม่ส่งผลเสียต่อผลผลิตข้าว และยังส่งเสริมการใช้น้ำในการปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วย (พิมพ์พันธ์ และคณะ, 2545; พัชรีและชนะ, 2547) แม้ว่าการจัดการน้ำโดยการระบายน้ำเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการ

ลดก๊าซมีเทน แต่ควรทำในนาที่มีการปรับหน้าดินเสมอกันและมีปริมาณน้ำเพียงพอในเขตชลประทาน ส่วนน่าน้ำฝนควรจัดการน้ำโดยปล่อยให้ดินแห้งเป็นระยะ (พัชรีและสิริธร, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของพิมพันธ์ และคณะ (2545) ที่ควรการปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติแทนการระบายน้ำจากนาข้าวว่าจะเหมาะสมกับการปลูกข้าวของไทยมากกว่า เพราะปัญหาความไม่แน่นอนของสภาพดินฟ้าอากาศที่อาจเกิดความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำ และแนะนำว่าสามารถดูให้น้ำจนดินแห้งเป็นครั้งคราวในระยะก่อนข้าวออกดอก

แม้ว่าการจัดการน้ำในระหว่างการเพาะปลูกข้าวจะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ดี แต่สภาวะของดินหลังการระบายน้ำที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น จะส่งเสริมการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์และทำให้ปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าวเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.2) ซึ่งเป็นเพราะการระบายน้ำกลางฤดูปลูกเป็นการเติมออกซิเจนให้กันดินนา ทำให้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมจากปุ๋ยเคมีถูกออกซิไดซ์เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์และไนเตรทด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน และภายหลังที่ทำการขังน้ำในแปลงนาอีกครั้ง จะทำให้ไนเตรทที่ผลิตขึ้นระหว่างการระบายน้ำข้างต้นเปลี่ยนรูปต่อไปเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ด้วยเหตุนี้ การระบายน้ำจึงทำให้การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เพิ่มขึ้นนั่นเอง (พัชรีและชนะ, 2547; ภัทรา และคณะ, 2554; Towprayoon et al., 2005) และจำนวนครั้งหรือระยะเวลาของการระบายน้ำอาจมีผลส่งเสริมการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้น การเลือกรูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าวที่เหมาะสมควรพิจารณาถึงผลที่มีต่อการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ร่วมด้วย

โดยรวมแล้ว การจัดการน้ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดก๊าซมีเทน แต่ก็ถูกทอนศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยปริมาณไนตรัสออกไซด์ที่สูงขึ้น เรียกว่า trade-off effect ด้วยเหตุนี้ การจัดการน้ำในนาข้าวจึงควรกำหนดช่วงเวลาและระยะเวลาที่เหมาะสมที่ควบคุมการปล่อยก๊าซมีเทนควบคู่กับก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ไม่ส่งผลเสียต่อผลผลิตข้าวและให้เกิดการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพ

(2) การปรับวิธีการใช้ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยมีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว โดยชนิดและรูปของปุ๋ยมีส่วนสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ในส่วนนี้ขอกล่าวเฉพาะผลที่เกี่ยวกับปุ๋ยเคมีเป็นหลัก (ตารางที่ 3.3) การเลือกใช้ปุ๋ยเคมีที่มีองค์ประกอบบางชนิด โดยเฉพาะกลุ่มซัลเฟต เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต สามารถลดค่า Eh ของดินนาที่ขังน้ำได้ จึงช่วยลดการเกิด

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างงานศึกษาผลของการระบายน้ำกลางฤดูปลูกที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลผลิตข้าวของไทย

พื้นที่ตั้ง	รายละเอียด	ผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (%) [†]		ผลต่อผลผลิตข้าว (%)	อ้างอิง
		CH ₄	N ₂ O		
ขอนแก่น	ปล่อยให้หน้าในนาแห้งเป็นบางช่วง	- / (36-84)		+ / (2-17)	พัชรี และคณะ (2547) [‡]
ขอนแก่น	ปล่อยให้หน้าในนาแห้งเป็นบางช่วง	- / (43-69)		0	พัชรีและคณะ (2547)
ขอนแก่น	จัดการน้ำข้างสลับกับดินแห้งและใส่ฟาง	- / 29.1		- / 14.1	พัชรี และคณะ (2551a) [‡]
พิษณุโลก	ปล่อยให้หน้าแห้งในระยะเวลาแตกกอ (2 ครั้ง) หรือควบคุมความชื้นดินในฤดูแล้งด้วยหญ้า	- / (65-72)		- / (27-39)	พิมพ์พันธ์ และคณะ (2545) [‡]
สุพรรณบุรี	ปล่อยให้หน้าแห้งเป็นระยะหรือควบคุมความชื้นดินในฤดูแล้งด้วยหญ้า	- / (63-76)		- / (18-27)	
ปทุมธานี	ปล่อยให้หน้าแห้งเป็นระยะหรือควบคุมความชื้นดินในฤดูแล้งด้วยหญ้า	- / (65-76)		- / (20-70)	
ฉะเชิงเทรา	ระบบน้ำระหว่างฤดูปลูก 1 ครั้ง (ช่วงแตกกอสูงสุดหรือช่วงออกดอก)	- / (6-20)	+ / (10-149)	- / (4-22) + / (5-10)	ภักพา และคณะ (2554)
สมุทรสาคร	ระบบน้ำ 1 ครั้ง (ช่วงออกดอก) หรือหลายครั้งระหว่างฤดูปลูก	- / (28-35)	+ / (12-55)	- / (7-11)	Towprayoon et al. (2005)

[†] (+, 0, -) = การเพิ่ม (+) ไม่เปลี่ยนแปลง (0) หรือ ลด (-) และตัวเลขในวงเล็บ = ช่วงการเปลี่ยนแปลง; [‡] ปรบการคำนวณ

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างผลของการใส่ปุ๋ยและสารประกอบต่างๆ ที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

พื้นที่ตั้ง	รายละเอียด	ผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (%) [†]		ผลต่อผลผลิตข้าว (%)	อ้างอิง
		CH ₄	N ₂ O		
ขอนแก่น	การใส่ปุ๋ยแต่งหน้าเป็นอมโมเนียมซัลเฟต แทนยูเรียที่ 15 และ 30 กก./ไร่	- / (11, 44)		+ / (17, 0)	พัชรี และคณะ (2547) [‡]
ขอนแก่น	การใช้แอมโมเนียมซัลเฟตแทนยูเรีย ปุ๋ยรองพื้น: 16-16-8 ปุ๋ยรองพื้น: ปุ๋ยมูลไก่อัดเม็ด	+ / 57 - / 13		+ / 19 - / 2	มนตรี และคณะ (2548) [‡]
ลพบุรี	การใส่ฟอสฟอรัสปุ๋ยร่วมกับปุ๋ย	- / (30-50)		- / (11-18)	ประไพ และคณะ (2547)
ฉะเชิงเทรา	การลดปริมาณปุ๋ยยูเรียแต่งหน้า (หน้าปี) ซึ่งนำตลอดการปลูก ระบายน้ำกลางฤดู 1 ครั้ง	+ / 6 + / 4	- / 60 - / 37	- / 4 + / 9	ภัทธา และคณะ (2554)
ไทย	การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมแทนยูเรีย ใส่เฉพาะปุ๋ยเคมี ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมัก	- / 11.83 - / 27.83			ภาคภูมิ (2543) อ้างถึงใน พัชรีและสิริธร (2548)
ไทย	การใส่ปุ๋ยขี้มรร่วม	- / (55-70)			นริติ (2540) อ้างถึงใน พัชรีและสิริธร (2548)

[†] (+, 0, -) = การเพิ่ม (+) ไม่เปลี่ยนแปลง (0) หรือ ลด (-) และตัวเลขในวงเล็บ = ช่วงการเปลี่ยนแปลง; [‡] ปรับการคำนวณ

ก๊าซมีเทนจากนาข้าว เมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เช่น ปุ๋ยยูเรีย โดยงานศึกษาของพัชรี และคณะ (2547) พบว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นปุ๋ยแต่งหน้าแทนปุ๋ยยูเรียที่อัตรา 15 และ 30 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ 11 และ 44% ตามลำดับ แต่ปริมาณซัลเฟตที่ใส่ต้องมากเพียงพอจึงจะเห็นผลการลดก๊าซมีเทนจากการใส่ซัลเฟตได้ โดยพัชรีและคณะ (2547) เสนอว่าควรใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณมากกว่า 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อจะเห็นผลพลอยได้ของซัลเฟตต่อการลดก๊าซมีเทน ทั้งนี้ การใส่สารที่มีซัลเฟตร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจนสามารถลดก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้เช่นกัน โดยงานศึกษาการใช้ฟอสฟอริปซัมในนาข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีและฟางข้าว พบว่าฟอสฟอริปซัมลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวได้ประมาณ 30-50% เพราะการเติมฟอสฟอริปซัมเป็นการเพิ่มซัลเฟตในนา และยังพบว่าการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนในนาที่ใส่ฟางข้าวเป็นวัสดุปรับปรุงดิน เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยยูเรีย (ประไพ และคณะ, 2547) อย่างไรก็ดีตาม มนตรี และคณะ (2548) ไม่พบว่าการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นปุ๋ยแต่งหน้าแทนปุ๋ยยูเรียช่วยลดก๊าซมีเทนในนาข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมีรองพื้นได้ แต่หากใส่ร่วมกับปุ๋ยรองพื้นที่เป็นปุ๋ยมูลไก่จึงจะช่วยลดก๊าซมีเทนได้ประมาณ 13% ดังนั้น ปริมาณซัลเฟตที่ใส่ให้แก่ดินและปริมาณวัสดุอินทรีย์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดก๊าซมีเทนจากนาข้าวของซัลเฟต

การเลือกรูปและปริมาณของปุ๋ยไนโตรเจนสามารถควบคุมการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าวได้ โดยปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่มากขึ้นและการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสูง (เช่น ยูเรีย) จะส่งเสริมการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ให้มากขึ้นด้วย งานศึกษาการลดปริมาณปุ๋ยยูเรียของ ภัทธาและคณะ (2554) พบว่าการใส่ปุ๋ยแต่งหน้ายูเรียที่น้อยลงช่วยลดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ได้ 37 และ 60% ตามแต่วิธีการจัดการน้ำในนาข้าว แต่เป็นที่น่าสนใจว่าการลดปริมาณปุ๋ยในนาศึกษานี้ทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 4 และ 6% ส่วนการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรทในนาข้าวอาจเพิ่มปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ เพราะไนเตรทเป็นรูปที่พร้อมจะเปลี่ยนเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีที่ผิวหน้าดินส่งเสริมการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ให้สูงกว่าการไถกลบปุ๋ยไปกับดินในขั้นการเตรียมพื้นที่ เพราะปุ๋ยไนโตรเจนที่ผิวดินจะถูกเปลี่ยนรูปได้เร็วกว่า ทำให้ปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่สูงทันทีหลังใส่ปุ๋ย

(3) การจัดการวัสดุอินทรีย์

การใส่อินทรีย์วัตถุ ได้แก่ ฟางข้าว ตอซัง วัชพืช และอินทรีย์วัตถุอื่นๆ รวมถึงปุ๋ยอินทรีย์ ในปริมาณและรูปที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดิน แต่ไม่เพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซมีเทนจากนาข้าวมากนัก รูปของอินทรีย์วัตถุมีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว โดย (1) ควรไถกลบเศษซากพืชลงสู่ดินก่อนการขังน้ำเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงปลูกข้าว เพื่อให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในรูปที่ง่ายต่อการใช้ของจุลินทรีย์ (easily decomposable organic matter) ในสภาวะที่มีอากาศ (แอโรบิก) ก่อนเพราะสารอินทรีย์กลุ่มนี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญของการเกิดก๊าซมีเทนในการขังน้ำช่วงแรกของการปลูกข้าว และ (2) ควรหลีกเลี่ยงการใส่ฟางข้าวและอินทรีย์วัตถุสด (เช่น ปุ๋ยอินทรีย์สด) ลงในดินนาเพราะมีสารอินทรีย์ย่อยสลายง่ายในปริมาณมาก ทั้งนี้ควรผ่านขั้นตอนการหมักก่อนเพื่อควบคุมปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายง่ายและการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงปลูกข้าว งานศึกษาของภัทธา และคณะ (2554) พบว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในแปลงนาอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ผ่านการหมักแล้ว ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในรูปที่สลายง่ายถูกย่อยสลายและลดปริมาณลงระหว่างการหมักปุ๋ย ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์หมักลงในแปลงนาแล้ว จึงไม่ส่งมากนักต่อการปล่อยก๊าซมีเทนเมื่อเทียบกับนาที่ใส่ปุ๋ยเคมี ซึ่งสอดคล้องกับงานของประไพและ Katoh (2542) และพิมพันธ์ และคณะ (2545) ที่พบว่าการหมักฟางหรือใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้มากกว่า 90% ของการใส่ฟางสด หรือกว่า 50% เมื่อเทียบกับการใส่แกลบและมูลไก่ ตามลำดับ ส่วนพัชรีและคณะ (2551a) พบว่าการใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ต่ำกว่า 100 ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าการใส่วัสดุที่มีค่า C/N ratio ที่สูงกว่า ทั้งนี้ขอเสนอแนะว่าควรไถกลบเศษซากพืชและวัชพืชก่อนปลูกข้าวเป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ แล้วค่อยทำการเตรียมดินและขังน้ำในนาข้าว (พัชรีและสิริธร, 2548) ซึ่งเป็นข้อสรุปที่ใกล้เคียงกับพิมพันธ์ และคณะ (2545) ที่ว่าอินทรีย์วัตถุที่ใส่ในนาข้าวควรผ่านการหมักและควรเว้นช่วงให้เศษซากพืชในแปลงนาถูกย่อยสลายก่อนทอดน้ำทำนา และยังสนับสนุนว่าการไถกลบวัสดุอินทรีย์ในแปลงนามีการปล่อยก๊าซมีเทนน้อยกว่าวิธีการหว่าน ทั้งนี้ การไถกลบวัสดุอินทรีย์จะเกิดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ต่ำกว่าการทิ้งบนพื้นที่ เพราะอินทรีย์วัตถุบนผิวดินจะเกิดการย่อยสลายได้ดีกว่า (Bouwman, 1996)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมอาจทั้งช่วยปรับปรุงดิน ให้ความอุดมสมบูรณ์ดิน และไม่เพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการใส่อินทรีย์วัตถุในปริมาณที่ไม่สูงเกินไปอาจไม่เพิ่มการ

ปล่อยก๊าซมีเทนมากนัก เช่น งานศึกษาการใส่วัสดุอินทรีย์ในอัตราไม่เกิน 1.4–1.7 เท่าของปริมาณที่ใส่ในนาควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์) พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนไม่แตกต่างหรือเพิ่มไม่มากนักจากนาควบคุม (พัชรี และคณะ, 2551a; ภัทรา และคณะ, 2554) พิมพันธ์ และคณะ (2545) พบว่าการใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตราที่ไม่สูงเกินไปไม่มีผลต่อการปล่อยก๊าซมีเทน แต่ถ้าใส่ในอัตราที่สูงจะเพิ่มการปล่อยก๊าซมีเทนอย่างชัดเจน ทั้งนี้มีงานศึกษาที่พบว่าการเติมปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเฉพาะปุ๋ยเคมี (มนตรีและคณะ, 2548) โดยต้องเลือกใช้อัตราการใส่ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมซึ่งงานศึกษาของพิมพันธ์ และคณะ (2545) พบว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีลดการปล่อยก๊าซปล่อยก๊าซมีเทนได้เฉพาะการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราต่ำ หากเพิ่มอัตราปุ๋ยเคมีจะทำให้การปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มมากขึ้น ส่วนผลที่มีต่อการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนสูงยังไม่ชัดเจน โดยอาจส่งเสริมหรือลดการปล่อยก๊าซก็ได้ (Li et al., 1996; Ji et al., 1999)

การรวบรวมงานศึกษาการปรับวิธีการใส่วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวของไทยมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลงานวิจัยในต่างประเทศ ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวได้ถูกรวบรวมและแสดงดังตารางที่ 3.4

ผลโดยรวมของวิธีลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว

วิธีการจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ปลูกข้าวที่เสนอนี้ ได้แก่ การจัดการน้ำ การปรับวิธีการใช้ปุ๋ย (เคมี) และการจัดการวัสดุอินทรีย์ ซึ่งในภาพรวมแล้ว ผลของการจัดการอินทรีย์วัตถุและสภาพน้ำในนาข้าวเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างชัดเจนต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซมีเทน ที่หากดำเนินการอย่างเหมาะสมแล้วจะมีประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจกที่มากกว่าการจัดการปุ๋ย (พัชรี และคณะ, 2547)

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างผลของการใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

พื้นที่ตั้ง	รายละเอียด	ผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (%) [†]		ผลต่อผลผลิตข้าว (%)	อ้างอิง
		CH ₄	N ₂ O		
ขอนแก่น	การใช้มูลไก่อดเม็ด/มูลวัวแทนฟางข้าว	- / (50, 53)	N ₂ O	+ / (12, 18)	พัชรี และคณะ (2551a) [‡]
ขอนแก่น	การใช้ปุ๋ยรองพื้นมูลไก่ร่วมกับปุ๋ยเคมีแทนการใช้เฉพาะปุ๋ยเคมี	- / (47, 71)		- / (2, 5)	มนตรี และคณะ (2548) [‡]
ลพบุรี	การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีร่วมกับฟางข้าวกากตะกอนน้ำตาล	- / (15-22) - / (7-8)		+ / (1-9) - / 2	พิมพ์พันธ์ และคณะ (2545) [‡] เทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว
ลพบุรี	การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าว/กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมี	+ / (0-51) + / (58-98)		+ / (4-13) + / (5-16)	
นครราชสีมา	การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีร่วมกับฟางข้าว	- / 18 + / 26		- / 2 0	

พื้นที่ตั้ง	รายละเอียด	ผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (%) [†]		ผลต่อผลผลิตข้าว (%)	อ้างอิง
		CH ₄	N ₂ O		
นครราชสีมาและ สกลนคร	การใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี อัตรา 100 กก./ไร่ อัตรา 200 กก./ไร่ อัตรา 300 กก./ไร่ อัตรา 1,000 กก./ไร่	- / (4, 1)		(- / 7), (+ / 11)	
		+ / (10, 9) + / (36, 23) + / 41		(- / 1), (+ / 9) + / (6, 20) + / 8	
อุบลราชธานี	การใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ย เคมี อัตราปุ๋ยเคมีต่ำ อัตราปุ๋ยเคมีสูง	- / (20, 21) + / (17, 36)		(- / 1), (+ / 12) + / (17, 26)	
ฉะเชิงเทรา	การใช้ปุ๋ยอินทรีย์หมักแทน ปุ๋ยเคมี	+ / (6-37)	- / (19-62)	- / 15, + / (2-66)	ภัทรา และคณะ (2554)

[†] (+, 0, -) = การเพิ่ม (+) ไม่เปลี่ยนแปลง (0) หรือ ลด (-) และตัวเลขในวงเล็บ = ช่วงการเปลี่ยนแปลง; ‡ = ปริมาณ

3.3.2 การส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าว

การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เกษตร เป็นการใช้พื้นที่เกษตรเพื่อเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในระบบปลูก (ดินและพืช) โดยเฉพาะการกักเก็บคาร์บอนในดิน และเป็นแนวทางที่ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์) ในบรรยากาศที่มีประสิทธิภาพดี ต้นทุนต่ำ และสามารถดำเนินการได้ทันที (Lal, 2004) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซับและเปลี่ยนรูปเป็นอินทรีย์วัตถุในพืชผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง อินทรีย์วัตถุบางส่วนที่ถูกใส่ลงดินจะเกิดการย่อยสลายและเก็บสะสมเป็นอินทรีย์วัตถุในดินต่อไป ซึ่งอินทรีย์วัตถุในดินนี้คงอยู่ในดินได้เป็นเวลานาน หากพื้นที่เกษตรได้รับการจัดการที่เหมาะสม คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ประเมินว่าการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่เกษตรช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้ดีและมีศักยภาพเชิงเทคนิคประมาณ 89% ในขณะที่การลดการปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์จากดินคิดเป็น 9 และ 2% ตามลำดับ (Smith et al., 2007)

แม้ว่าการกักเก็บคาร์บอนในดินมักได้รับความสนใจในพื้นที่ปลูกพืชไร่ทั่วไป (upland crop) แต่มีการศึกษาความสามารถในการสะสมคาร์บอนในนาข้าวอยู่บ้าง โดยพบว่านาข้าวอาจช่วยกักเก็บคาร์บอนในดินได้ ซึ่งรูปแบบการปลูกข้าวแบบน้ำขังจะลดอัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน สภาวะที่ไร้อากาศหรือมีออกซิเจนจำกัดนั้น ทำให้จุลินทรีย์ดินย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในอัตราที่ช้ากว่าในสภาวะที่มีอากาศ ทำให้อินทรีย์วัตถุคงค้างและสะสมในดินได้ดีกว่านาข้าวจึงมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในดินที่ดีกว่าการเพาะปลูกพืชไร่ชนิดอื่นหรือเทียบกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินเริ่มต้น หากแต่การรวบรวมงานศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินของประเทศไทยอยู่น้อย จึงขออ้างอิงตัวอย่างงานศึกษาในต่างประเทศร่วมด้วยในเนื้อหาส่วนนี้ เช่นงานศึกษา Pan and Zhao (2005) พบว่าอัตราการกักเก็บคาร์บอนในนาข้าวของจีนมีค่าประมาณ 0.1-2 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี และการศึกษาของ Huang et al. (2010) พบว่าแปลงนาที่ปลูกข้าวมานาน 27 ปี มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น 28.8% จากปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เริ่มต้น

ด้วยเหตุผลข้างต้น การปลูกข้าวน้ำขังจึงสามารถสะสมคาร์บอนในดินได้ รายงานแนวทางการประเมินบัญชีก๊าซเรือนกระจกในปี ค.ศ. 2006 ของ IPCC (Lasco et al., 2006) มีข้อมูลส่วนหนึ่งเกี่ยวกับการประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดินเกษตรที่แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่ทั่วไป นาข้าว และพื้นที่ปลูกพืชยืนต้น ค่ากลาง (default value) ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดินของนาข้าวมีค่าเท่ากับ 1.10 ซึ่งแสดงว่าการปลูก

ข้าวที่ขังน้ำเกิดการสะสมคาร์บอนในดิน โดยค่ากลางที่มากกว่า 1 หมายถึงคาร์บอนในดินมีการสะสมเพิ่มขึ้นจากสภาวะเริ่มต้น ในขณะที่การปลูกพืชไร่อื่นๆ (ที่ไม่มีน้ำขัง) มีค่ากลางที่น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าปริมาณคาร์บอนในดินลดลง ทั้งนี้ อัตราการลดลงมากหรือน้อยขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ โดยประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีปริมาณฝนต่อปีในระดับปานกลางถึงสูง มีค่ากลางการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินของพื้นที่เพาะปลูกที่ 0.48 ซึ่งหมายถึงปริมาณคาร์บอนในดินลดลงภายใต้การเพาะปลูกพืช

รูปแบบการปลูกข้าวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินของนาข้าว การปลูกข้าวต่อเนื่องส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินที่สูงกว่าการปลูกข้าวสลับกับพืชไร่อื่นหรือการปลูกพืชไร่อย่างเดียว (Huang et al., 2010; Sahrawat et al., 2005; Zhang et al., 2007) เพราะทำให้ดินมีสภาวะที่ออกซิเจนจำกัดต่อเนื่องและยาวนานกว่าการปลูกข้าวสลับกับการปลูกพืชไร่ การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจึงเกิดน้อยกว่าและเกิดการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินได้ดีกว่า แต่การปลูกข้าวต่อเนื่องเช่นนี้พึงระวังในประเด็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซมีเทน ที่อาจเพิ่มมากขึ้นจากระยะเวลาขังน้ำที่นานขึ้น

กิจกรรมการเกษตรเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมคาร์บอนในดินเกษตร รวมถึงพื้นที่ปลูกข้าว โดยกิจกรรมการเกษตรที่สำคัญ ได้แก่ การไถพรวนดิน การจัดการวัสดุอินทรีย์ การใส่ปุ๋ย เป็นต้น กิจกรรมเหล่านี้พอแบ่งได้เป็นกิจกรรมที่ลดการสูญเสียและที่เพิ่มปริมาณคาร์บอนในดิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การลดการไถพรวนดินหรือเตรียมพื้นที่

การไถพรวนดินมีผลต่อประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่เกษตร โดยงานศึกษาส่วนมากพบว่า การไถพรวนดินเป็นการสูญเสียคาร์บอนจากดินและทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการไถพรวนดินทำให้อินทรีย์วัตถุที่ฝังหรือซ่อนอยู่ใต้ผิวดินหรือในเม็ดดินถูกพลิกกลับบนผิวดินหรือเปิดออก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน โดยเฉพาะในสภาวะที่มีอากาศและความชื้นดินเพียงพอ เช่น ช่วงเตรียมดินก่อนปลูกข้าว ที่ทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินเกิดได้ดี ด้วยเหตุนี้ การไถพรวนดินในแปลงนาที่มากเกินไป ไม่ว่าจะเป็นวิธีการไถพรวนที่พลิกหน้าดินมากหรือลึกเกินไปหรือการไถพรวนดินหลายครั้ง อาจทำให้สูญเสียคาร์บอนจากดินหรือลดการสะสมคาร์บอนในดินได้ หากแต่การเลือกวิธีการไถพรวนและการจำกัดจำนวนครั้งของการไถพรวนดินในแต่ละรอบของการปลูกข้าวสามารถลดผลกระทบที่มีต่อปริมาณคาร์บอนในดินได้ การ

ศึกษาผลของรูปแบบการไถพรวนดินที่มีต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยพัชรี และคณะ (2551b) พบว่าการไถพลิกหน้าดินหรือไถกลบตอซังทำให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินและซากอินทรีย์ในดินสูงกว่าการไถพรวนหลายครั้ง (การไถพลิกหน้าดินและไถแปร หรือการไถพลิกหน้าดิน ไถแปร และทำเทือก) ส่วนการไถพรวนดินร่วมกับการทำเทือกทำให้ปริมาณคาร์บอนในดินลดลงมากที่สุด เพราะการทำเทือกทำลายโครงสร้างดินอย่างมากและทำให้การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินเกิดได้ง่ายขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอว่าการลดการไถพรวนและการไม่ทำเทือกเป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้เกิดการสะสมคาร์บอนในดินนาและลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวด้วย แม้ว่าจะทำให้ผลผลิตข้าวลดลง แต่สามารถบรรเทาผลกระทบนี้ได้ด้วยการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว

(2) การเพิ่มวัสดุอินทรีย์ในดิน

การทิ้งวัสดุอินทรีย์ เช่น เศษซากพืชและวัชพืช และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าวเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ (คาร์บอน) ให้แก่ดิน และอาจทำให้คาร์บอนในดินสะสมเพิ่มมากขึ้น โดยงานศึกษาของภัทรา และคณะ (2554) พบว่าการปลูกข้าวตามแนวทางเกษตรอินทรีย์ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์หมักต่อเนื่องกว่า 9 ปี มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สะสมในดินที่สูงกว่าการปลูกข้าวที่ใส่ปุ๋ยเคมีประมาณ 27% ส่วนแปลงนาที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ต่อเนื่องเป็นเวลานานเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมากที่สุดถึง 62% เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ใส่ปุ๋ยและการใช้เฉพาะปุ๋ยเคมี โดยการกระจายตัวของคาร์บอนอินทรีย์ในแปลงนาที่ใส่ปุ๋ยมูลสัตว์พบว่าอยู่ในรูปที่เสถียร ซึ่งแสดงถึงการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดินที่ดี (Huang et al., 2010) แต่มีข้อระมัดระวังในการใส่วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวที่จะส่งเสริมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (มีเทน) ให้มากขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มแหล่งคาร์บอนให้แก่อินทรีย์ดิน

ดังนั้น การใส่วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวจึงควรใส่ในปริมาณหรือเวลาที่เหมาะสมที่ช่วยส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดิน แต่ไม่เพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว หรืออาจทำการใส่วัสดุอินทรีย์ร่วมกับวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าว เพื่อเป็นแนวทางการปลูกข้าวที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควบคู่กับการส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดิน ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนจากการทำบัญชีคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าว ดังแสดงในตารางที่ 3.5 โดยงานศึกษาของ Minamikawa and Sakai (2007) พบว่าแปลงนาที่ทิ้งฟางข้าวในนาลดการสูญเสียคาร์บอนในดินได้ดี เมื่อเทียบกับนาที่นำฟางออกจากแปลง

และไม่พบผลของฟางข้าวที่มีต่อการปล่อยก๊าซมีเทน โดยอาจเป็นเพราะฟางถูกไถกลบในแปลงนาในช่วงฤดูหนาว (ธันวาคม) และทิ้งให้ย่อยสลายก่อนทำการปลูกข้าวรอบใหม่ช่วงปลายเมษายนและต้นพฤษภาคม ส่วนงานศึกษาของ Iqbal et al. (2009) พบว่าสำหรับนาที่ไม่ใส่ปุ๋ยในโตรเจน การใส่ rapeseed straw เพียงอย่างเดียวทำให้นาข้าวสูญเสียคาร์บอนในดินสูงกว่าการไม่ใส่วัสดุอินทรีย์ชนิดนี้ แต่ถ้าใส่ร่วมกับปุ๋ยในโตรเจนจะช่วยลดการสูญเสียคาร์บอนในดินได้ดีกว่าการใส่ปุ๋ยในโตรเจนหรือวัสดุอินทรีย์นี้เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจเป็นเพราะคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ และงานศึกษาของภัทรา และคณะ (2554) พบว่านาอินทรีย์มีการปล่อยก๊าซมีเทนในช่วงปลูกข้าวที่สูงกว่านาเคมี แต่การทำนาอินทรีย์ร่วมกับการระบายน้ำกลางฤดูปลูกช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวให้ใกล้เคียงมากขึ้นกับนาเคมี อ่างอิงที่ขังน้ำตลอด และการใส่ปุ๋ยหมักในนาอินทรีย์ส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ดีกว่านาเคมี ทั้งนี้เป็นที่น่าสนใจว่างานศึกษาในระยะสั้นนี้ (1 ปี) ไม่พบผลของการจัดการน้ำที่มีต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ซึ่งคาดว่าสาเหตุหนึ่งเป็นเพราะการจัดการน้ำส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพที่ใส่ลงดินไม่มากนักเมื่อเทียบกับนาที่ไม่จัดการน้ำ ผลที่ได้ชี้ว่าการจัดการน้ำไม่ส่งผลเสียต่อการสะสมคาร์บอนในดินนา แต่ช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้ ดังนั้นการจัดการน้ำร่วมกับการใส่วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวจึงเป็นแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควบคู่กับการส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ นอกจากนี้ เป็นที่น่าสังเกตจากข้อมูลในตารางที่ 3.5 ที่พบว่าบัญชีคาร์บอนทั้งหมดมีค่า > 0 แสดงว่าการปลูกข้าวทำให้เกิดการสะสมคาร์บอนในระบบปลูก (ที่คิดรวมคาร์บอนในส่วนต่างๆของพืช ได้แก่ ข้าวเปลือก ข้าวลี้บ ฟาง ตอซัง ราก และเศษซากพืชอื่น) แต่การสะสมคาร์บอนในดินน่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการจัดการนา โดยเฉพาะการใส่วัสดุอินทรีย์หรือการทิ้งเศษซากพืชในแปลงนาเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งงานศึกษาที่รวบรวมนี้โดยมากไม่พิจารณาคาร์บอนในผลผลิตข้าวและฟาง (ตามแต่กรณี) ในการทำบัญชีคาร์บอนในดิน

ตารางที่ 3.5 บัญชีคาร์บอนของการปลูกข้าวจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ที่ตั้ง	การปลูกข้าว	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนในดิน
		----- (g C m ⁻² crop ⁻¹) [†]	----- (g C m ⁻² y ⁻¹) [‡]	----- (g C m ⁻² y ⁻¹) [‡]	-----
ดินร่วนปนทราย/ดินทรายไทย ¹	2 รอบต่อปี	330 – 529 ^{††}	47 – 170	572 – 764	4 – 126
- นาเคมีที่ขังน้ำตลอด					22
- นาเคมีที่จัดการน้ำ					4
- นาอินทรีย์ที่ขังน้ำตลอด					123
- นาอินทรีย์ที่จัดการน้ำ					126
ดินร่วนปนทราย ตอนใต้ของจีน ²	1 รอบ	16 – 140	(-165) – (-89)		
- ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N ₀)			-127		
- N ₀ /ใส่ rapeseed straw			-165		
- ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N ₂)			-110		
- N ₂ /ใส่ rapeseed straw			-89		
ดินเหนียว (Andisol) ญี่ปุ่น ³	1 รอบต่อปี	268 – 519	(-123) – 2	225 – 446	(-188) – (-20)
- ขังน้ำตลอด/ไม่ใส่ฟาง					-166, -188
- ขังน้ำตลอด/ใส่ฟาง					-20, -104



ที่ตั้ง	การปลูกข้าว	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนในดิน	บัญชีคาร์บอนทั้งหมด	บัญชีคาร์บอนในดิน
		----- (g C m ⁻² crop ⁻¹) [†]	----- (g C m ⁻² y ⁻¹) [‡]	-----	-----

- จัดการน้ำ/ไม่ใส่ฟาง					170, -179
- จัดการน้ำ/ใส่ฟาง					-32, -103
ดินเหนียว (Andiso) ฤไษี ⁴	1 รอบต่อปี	618	75	522	-21

- 1 ภัทรา และคณะ (2554)–การจัดการน้ำ = ระบายน้ำกลางฤดูปลูก;
- 2 Iqbal et al. (2009)–ไม่รวมก๊าซมีเทน;
- 3 ปรับปรุงจาก Minamikawa and Sakai (2007)–การจัดการน้ำ = ความคุมค่า Eh;
- 4 คำนำมาจาก Koizumi (2001) และการหายใจของจุลินทรีย์ดิน อ้างอิงจาก Minamikawa and Sakai (2007);

† คำนำและเฉพาะช่วงการปลูกข้าว (รวมผลการปล่อยก๊าซมีเทน);

‡ คำนำรวมตลอดปีเฉพาะปลูกของพื้นที่การปลูกข้าว (ช่วงปลูกข้าวและช่วงพักนา);

†† ค่าเป็นบวก = คาร์บอนสุทธิสะสมในระบบ และค่าติดลบ = คาร์บอนสุทธิสูญเสียจากระบบ

โดยรวมแล้ว การใช้พื้นที่ปลูกข้าวเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนสามารถดำเนินการได้ทั้งการลดการสูญเสียคาร์บอนจากดินและเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่เสถียรให้กับพื้นที่ โดยเฉพาะการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินและลดการไถพรวนดิน หากแต่วิธีการเหล่านี้ อาจต้องดำเนินการร่วมกับวิธีการอื่น เพื่อลดผลกระทบทางลบต่อผลผลิตข้าวหรือลดทอนผลของ trade off ที่มีต่อประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก

3.4 ข้อพิจารณาในการเลือกวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวที่เหมาะสม

ด้วยความซับซ้อนของแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวที่การดำเนินการหนึ่งอาจลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวหรือส่งเสริมการสะสมคาร์บอนได้ดี แต่อาจเป็นการเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่ง การประเมินหรือเลือกแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมจึงควรพิจารณาในประเด็นเหล่านี้ให้ครอบคลุม โดยอาจเลือกใช้หลายแนวทางร่วมกันในการลดก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้ นอกจากประเด็นการลดก๊าซเรือนกระจกแล้ว ยังมีประเด็นอื่นที่ต้องพิจารณาร่วมในการเลือกวิธีการที่เหมาะสมดังนี้

(1) วิธีการลดก๊าซเรือนกระจกควรเป็นแนวทางที่ส่งเสริมการทำเกษตรในรูปแบบของการเกษตรยั่งยืน

- แนวทางเกษตรยั่งยืนมีวิธีดำเนินการหลายรูปแบบ เช่น เกษตรเชิงอนุรักษ์ เกษตรอินทรีย์ และการเกษตรดีที่เหมาะสม โดยควรพิจารณาแนวทางลดก๊าซเรือนกระจกที่สอดคล้องกับการเกษตรยั่งยืน เพราะมีแนวทางการดำเนินการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน การลดการไถพรวนดินทำให้โครงสร้างดินอยู่ในสภาพที่ดีต่อการเติบโตของจุลินทรีย์และพืชและลดการสูญเสียคาร์บอนในดิน การจัดการที่ดีของเศษวัสดุการเกษตร (เช่น ไม่เผาตอซังและเศษพืชในพื้นที่ปลูก) การลดการใช้ปุ๋ยและสารเคมี เป็นต้น
- แนวทางข้างต้นหลายวิธีเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการใช้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการกักเก็บคาร์บอนสู่ดินได้ และได้รับความสนใจในเวทีเจรจาโลกร้อน ในขณะที่เดียวกันมีความสอดคล้องกับการดำเนินการของประเทศไทยในการส่งเสริมให้เกษตรกรอินทรีย์เป็นวาระแห่งชาติตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 พร้อมส่งเสริมการเกษตรดีที่เหมาะสม เพื่อสนับสนุนแนวทางการ

ผลิตอาหารปลอดภัย โดยได้มีการรณรงค์การเกษตรเชิงอนุรักษ์ของภาครัฐทำให้เพิ่มพื้นที่เกษตรในลักษณะนี้และมีข้อมูลพื้นที่เกษตรที่เป็นระบบยิ่งขึ้น

- ทั้งนี้การดำเนินการตามแนวเกษตรยั่งยืนมีผลดีในด้านอื่นร่วมด้วย (co-benefit) เช่น การใช้ปุ๋ยและวัสดุธรรมชาติและการไม่ใส่สารเคมีการเกษตรมีผลดีโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของผู้ผลิตและผู้บริโภค เป็นการอนุรักษ์ดินและน้ำ และคงความอุดมสมบูรณ์ดินและรักษาคุณภาพดินในการเป็นปัจจัยการผลิตพืช โดยผลผลิตการเกษตรที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้น (premium grade) ทำให้ได้ราคาสูงกว่าผลผลิตทั่วไป เช่น มีราคาประกัน

(2) ควรเป็นวิธีที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร (food security) และความปลอดภัยของอาหาร (food safety) และอาจเป็นวิธีที่ส่งเสริมการปรับตัวของเกษตรกรต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้วย เพราะภาคเกษตรได้รับผลกระทบอย่างมากเป็นอันดับต้นๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะการทิ้งช่วงของฝนหรือน้ำท่วม ทำให้พืชผลทางการเกษตรเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อความยากจนและปัญหาสังคมอื่นๆตามมา และมีความเสี่ยงที่เพิ่มมากขึ้นจากสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้วย

(3) เป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับจากเกษตรกร โดยสามารถนำไปปฏิบัติได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรและต้นทุนการผลิต และสอดคล้องกับวิถีชีวิตหรือรูปแบบการทำนาของเกษตรกรในพื้นที่

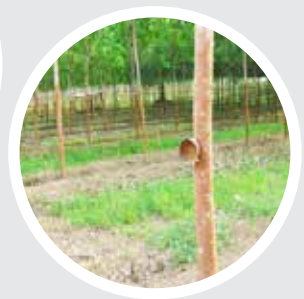
โดยสรุป การจัดการนาข้าวที่เหมาะสมจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนได้ การลดก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวหลายวิธี สามารถดำเนินการได้ในทันที ซึ่งควรได้รับการส่งเสริมให้เกิดการปฏิบัติจริงมากขึ้น โดยเฉพาะโครงการเกษตรเชิงอนุรักษ์ที่ดำเนินการอยู่แล้ว เพราะเป็นวิธีที่ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมและอาจช่วยในการปรับตัวของเกษตรกรต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่จัดเป็นประโยชน์ต่อทุกฝ่าย (win-win situation) ทั้งนี้สามารถผสมผสานวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกต่างๆเข้าด้วยกัน เพื่อช่วยลดหรือส่งเสริมประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกในนาข้าวที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติที่ได้รับการยอมรับจากเกษตรกร อย่างไรก็ตาม การสนับสนุนการลดก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตร รวมถึงนาข้าวควรเป็นไปด้วยความสมัครใจและความตระหนักถึงการมีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกของเกษตรกรและไม่ควรถูกกำหนดเป้าหมายใดๆ เพราะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ

ภาคเกษตรเป็นไปเพื่อผลิตอาหารและความมั่นคงทางอาหารที่จัดว่าเป็นการปล่อยเพื่อความอยู่รอดในการดำรงชีพ (emission for survivor) และภาคเกษตรได้รับผลกระทบอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอยู่แล้ว



4

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและแนวโน้มผลกระทบ ต่อยางพาราในภาคใต้ของไทย



บทที่ 4

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและแนวโน้มผลกระทบ ต่อสภาพพาราในภาคใต้ของไทย

¹อัศมน ลีสมกุล, ²สายันท์ สดุดี และ¹จุฑิษัย แพงแก้ว

4.1 ยางพาราและสภาพอากาศ

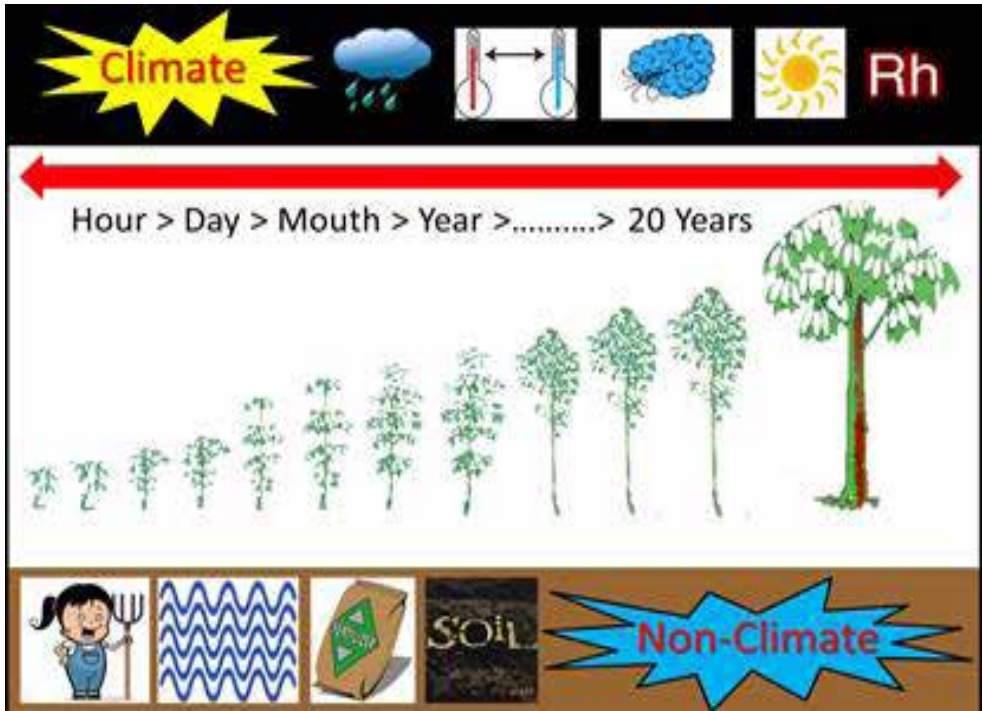
ยางพารา นับเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย โดยตั้งแต่ปี พ.ศ.2534 เป็นต้นมา ประเทศไทยได้กลายเป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกยางพาราธรรมชาติมากที่สุดของโลกด้วยปริมาณการผลิตที่คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 33.5 ของปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลก ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกยาง 18.76 ล้านไร่ ก่อให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ เกี่ยวข้องกับทุกภาคส่วนทั้งเกษตรกร ผู้ประกอบการและภาครัฐที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ (สถาบันวิจัยยาง, 2555) ในปี พ.ศ.2554 (ค.ศ. 2011) ประเทศไทยสามารถผลิตยางธรรมชาติได้ 3,569,033 เมตริกตัน และมีมูลค่าการส่งออกยางดิบ ผลิตภัณฑ์ยางรวมทั้งอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราทำรายได้ให้ประเทศ 678,942 ล้านบาท (สถาบันวิจัยยาง, 2555) อุตสาหกรรมยางพารา มีบทบาทสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เนื่องจากมูลค่าของผลผลิต การส่งออกและการจ้างงาน โดยเกษตรกรรายย่อยที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกยางพาราในประเทศไทยมีมากกว่า 6 ล้านคน และเป็นสวนยางขนาดเล็กถึงร้อยละ 95 ของสวนยางทั้งหมด (TRA, 2010; สถาบันวิจัยยาง, 2555) ในขณะที่มีการจ้างงานในอุตสาหกรรมยางพารา ประมาณ 0.6 ล้านคน (MOL, 2008) การปลูกยางพารา นอกจากเป็นการสร้างรายได้โดยตรงแก่เกษตรกรชาวสวนยางแล้ว ยังเป็นการเพิ่มพื้นที่

¹ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

² ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สีเขี้ยว ช่วยดูดซับและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ (Petsri et al., 2013) และช่วยสร้างความชุ่มชื้นให้แก่สภาพแวดล้อมโดยรอบ

ยางพารา เป็นพืชยืนต้นประเภทผลัดใบที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก การเจริญเติบโตรวมทั้งผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพของลมฟ้าอากาศเป็นอย่างมาก ความแปรปรวนของตัวแปรทางภูมิอากาศในคาบเวลาต่างๆ เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญนอกจากปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ (Non-climatic factor) ที่มีอิทธิพลและส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตและสรีรวิทยาของต้นยางพาราตั้งแต่เริ่มปลูกไปจนถึงระยะเวลาที่เปิดกรีด (รูปที่ 4.1) โดยปัจจัยภูมิอากาศสามารถส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตในช่วงเปิดกรีด และโดยทางอ้อมแบบสะสมในช่วงต้นยางพารากำลังเจริญเติบโตก่อนเปิดกรีด ทั้งนี้ ปัจจัยทางภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการปลูกยาง ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนไม่ต่ำกว่า 1,250 มิลลิเมตรต่อปี การกระจายตัวของฝนดี มีจำนวนวันฝนตก 120-150 วัน และช่วงฤดูแล้งไม่เกิน 4 เดือน ประกอบกับอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26-30 องศาเซลเซียส (Rao and Vijayakumar, 1992; Watson, 1989; สถาบันวิจัยยาง, 2555) ด้วยเหตุที่ต้องพึงพาปัจจัยทางภูมิอากาศดังกล่าวสำหรับการเจริญเติบโต ยางพารา นับเป็นพืชที่มีความล่อแหลมสูงต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ยกตัวอย่างเช่น ผลผลิตของยางพาราจะลดลงประมาณ 9-10% ในกรณีที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส (Satheesh et al., 2011) ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศทั้งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและอนาคต ย่อมส่งผลกระทบต่อยางพาราในหลายมิติทั้งในด้านสรีรวิทยา การเจริญเติบโต รวมไปถึงศักยภาพของผลผลิตที่อาจจะผันผวนและลดลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกยางพารามากที่สุดของประเทศ แต่เป็นพื้นที่ที่มักได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องเนื่องกับความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ ดังจะเห็นได้จากในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาได้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมภัยและอุทกภัยในบริเวณภาคใต้อย่างต่อเนื่อง สร้างความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรมรวมทั้งสวนยางพารา นับเป็นมูลค่ามหาศาล (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2553; กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2554)



รูปที่ 4.1 ความเกี่ยวโยงเชิงมโนทัศน์ระหว่างการเจริญเติบโตของต้นยางพาราตั้งแต่เริ่มปลูกไปจนถึงระยะเวลาที่เปิดกรีดกับปัจจัยทางภูมิอากาศและปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ

4.1.1 พื้นที่ปลูกยางพาราในพื้นที่ภาคใต้

ภาคใต้ มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดของประเทศ คือ 11,906,882 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 63 ของพื้นที่ปลูกยางทั่วประเทศ โดยพื้นที่ที่ยางมีอายุมากกว่า 6 ปี พร้อมจะเปิดกรีด มีจำนวน 9,688,442 ไร่ หรือ 76% อยู่ในภาคใต้ (สถาบันวิจัยยาง, 2555) จังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกยางมากที่สุดสามลำดับแรกของประเทศ ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดสงขลา และจังหวัดนครศรีธรรมราช (ตารางที่ 4.1) เนื้อที่ยืนต้นและเนื้อที่เปิดกรีดของยางพาราในภาคใต้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 4.2) ซึ่งในรอบ 11 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. 2000-2010) เนื้อที่ยืนต้นและเนื้อที่เปิดกรีดของยางพาราในภาคใต้ มีอัตราเพิ่มขึ้น 16.4% และ 20.7% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อที่ยืนต้นและเนื้อที่เปิดกรีดของยางพาราในปี ค.ศ. 2000 ทั้งนี้ ผลผลิตยางพารารวมรายปีเฉลี่ยใน 11 จังหวัดของ

ภาคใต้ มีค่าอยู่ในช่วง 255.8 - 287.9 กิโลกรัมต่อไร่ โดยจังหวัดตรังและจังหวัดปัตตานี เป็นจังหวัดที่ยางพารามีผลผลิตรวมรายปีเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) เมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่นของประเทศแล้ว ยางพาราที่ปลูกในภาคใต้ให้ผลผลิตที่สูงกว่า

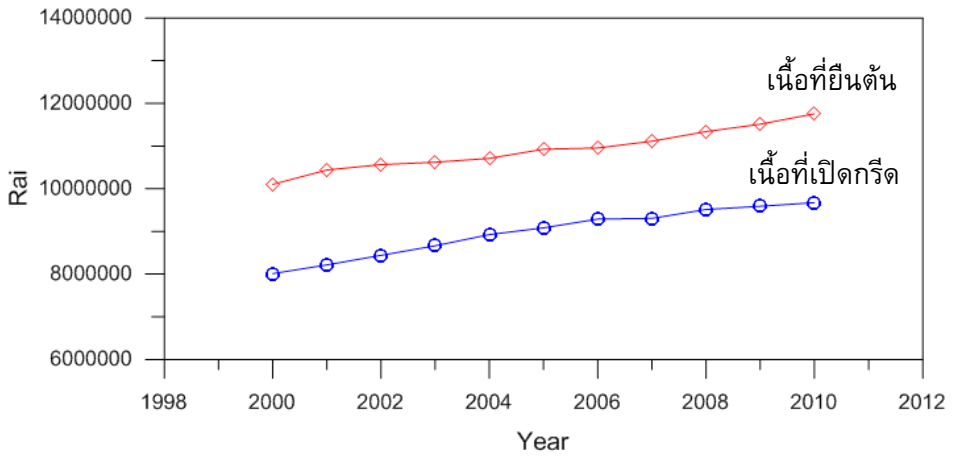
ตารางที่ 4.1 พื้นที่ปลูกยางตามรายจังหวัดของภาคใต้

หน่วย : ไร่

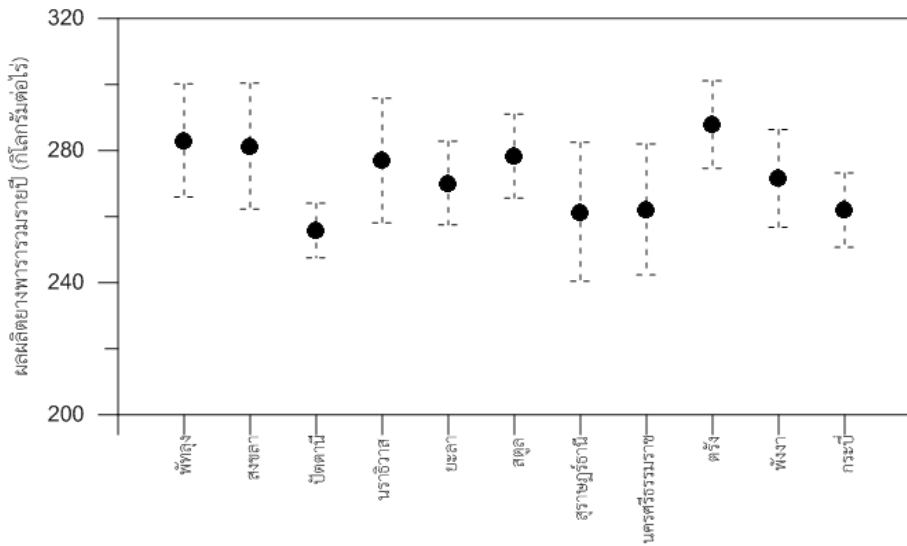
จังหวัด	พื้นที่ปลูก	พื้นที่ยางอายุมากกว่า 6 ปี
1. สุราษฎร์ธานี	1,921,698	1,705,420
2. สงขลา	1,573,621	1,219,286
3. นครศรีธรรมราช	1,484,084	1,164,800
4. ตรัง	1,383,414	1,143,188
5. ยะลา	1,096,954	935,701
6. นราธิวาส	1,007,849	898,894
7. พังงา	793,618	550,930
8. กระบี่	622,145	504,620
9. พัทลุง	602,594	462,527
10. ชุมพร	490,923	432,810
11. สตูล	337,127	244,041
12. ปัตตานี	325,199	249,355
13. ระนอง	179,793	107,220
14. ภูเก็ต	88,223	78,650
รวมทั้งภาค	11,906,882	9,688,442

ที่มาของข้อมูล : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554)





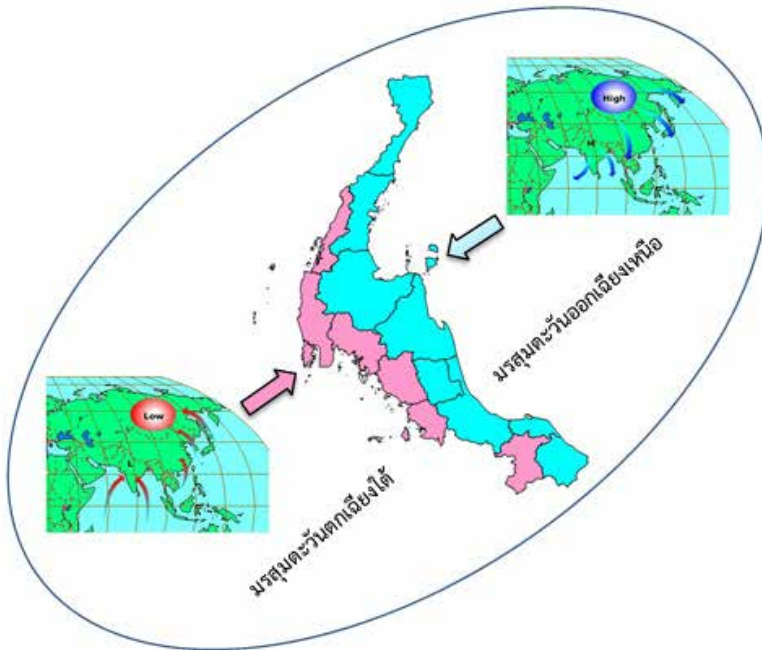
รูปที่ 4.2 เนื้อที่ยืนต้นและเนื้อที่เปิดกรีดของยางพาราในภาคใต้



รูปที่ 4.3 ผลผลิตยางพารารวมรายปีเฉลี่ยตามรายจังหวัดในภาคใต้ เส้นประแนวตั้ง แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลผลิตยางพารารวมรายปี

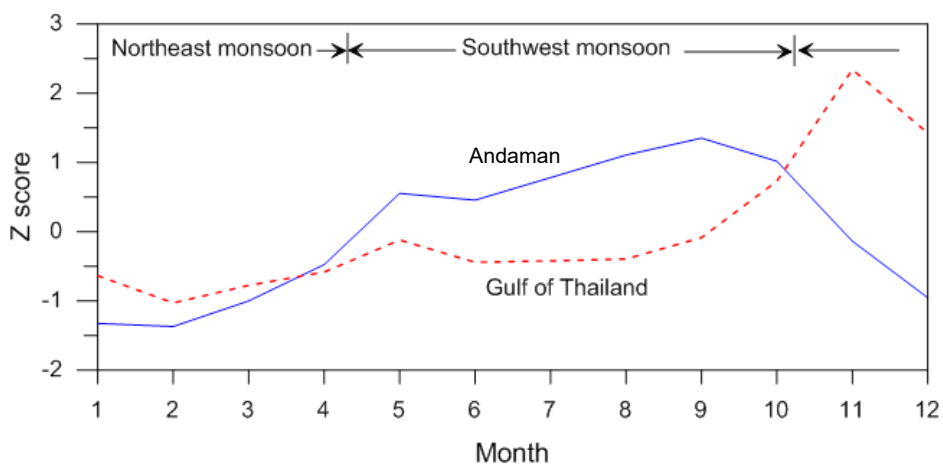
4.1.2 ความแปรปรวนของลมฟ้าอากาศในพื้นที่ภาคใต้

ด้วยภูมิประเทศของภาคใต้ซึ่งเป็นคาบสมุทรที่มีทะเลเขตรอบอยู่ 2 ด้าน ส่งผลให้ภาคใต้มีสภาพลมฟ้าอากาศแบบมรสุมเมืองร้อน ฝนตกชุกตลอดปี ประกอบกับมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง โดยเทือกเขาซึ่งอยู่ตอนกลางของพื้นที่ที่วางตัวทอดยาวขนานกับคาบสมุทร เป็นปัจจัยทางภูมิประเทศที่สำคัญที่ทำให้ฤดูกาลระหว่างฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย มีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ความแปรปรวนตามฤดูกาลของลมฟ้าอากาศในภาคใต้อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมฤดูร้อน (มรสุมตะวันตกเฉียงใต้) และลมมรสุมฤดูหนาว (มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) (รูปที่ 4.4) ซึ่งเป็นความผันแปรรอบปีที่ระบบลมพัดเปลี่ยนทิศทาง อันเนื่องมาจากความแตกต่างเชิงพลศาสตร์ของฟลักซ์ความชื้น ความร้อนและโมเมนตัมระหว่างพื้นที่ทวีป มหาสมุทร และชั้นบรรยากาศ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของรังสีดวงอาทิตย์ (Trenberth et al., 2000; Wang et al., 2005; Wang and Ding, 2008) ในช่วงตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย มีเมฆมาก เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากไซบีเรียและประเทศจีนพัดผ่านน่านน้ำในทะเลจีนใต้และอ่าวไทยซึ่งพัดพาเอาไอน้ำ ทำให้อากาศ



รูปที่ 4.4 แสดงพื้นที่ภาคใต้ฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย กับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

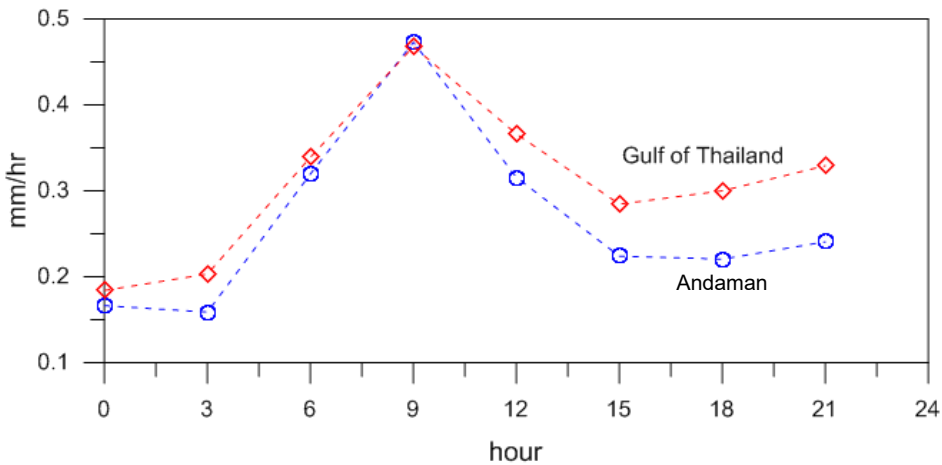
มีความชุ่มชื้นสูงและก่อให้เกิดฝนตกชุก (Yavinchan et al., 2011) ในขณะที่ ฤดูฝนในบริเวณฝั่งอันดามันเกิดขึ้นตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนกันยายน เนื่องจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังแรง พัดพาเอาไอน้ำและความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลอันดามัน เข้าสู่ภาคใต้ฝั่งตะวันตกและบริเวณอื่นของประเทศไทย (Limsakul et al., 2010) เมื่อพิจารณาจากรูปแบบความแปรปรวนตามฤดูกาลของฝนแล้ว พบว่า ภาคใต้ฝั่งอันดามัน มีปริมาณฝนสะสมรายเดือนสูงสุดในเดือนกันยายน ในขณะที่ค่าสูงสุดของปริมาณฝนสะสมรายเดือนปรากฏในเดือนพฤศจิกายนสำหรับภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย (รูปที่ 4.5) ซึ่งในบางปีปริมาณฝนสะสมรายเดือนมีค่าสูงถึง 1,500 มิลลิเมตร



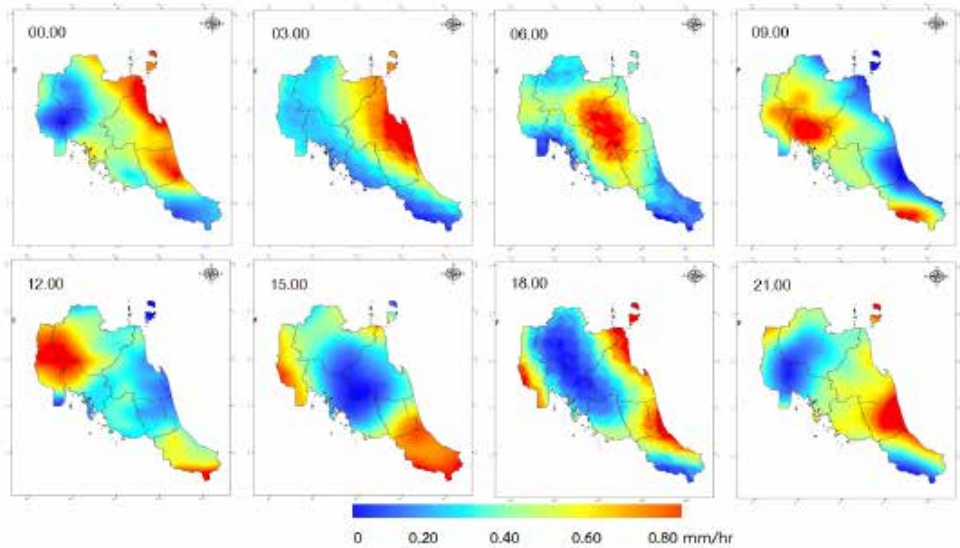
รูปที่ 4.5 ความแปรปรวนตามฤดูกาลของปริมาณน้ำฝนของพื้นที่บริเวณฝั่งอันดามัน (Andaman) และฝั่งอ่าวไทย (Gulf of Thailand) ซึ่งแสดงในรูป Z score ของค่าเฉลี่ยระยะยาว (ค.ศ. 1970–2009)

อย่างไรก็ตาม ทั้งฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทยมีรูปแบบของฝนในรอบวันซึ่งเป็นความแปรปรวนในคาบเวลาที่สั้นกว่าฤดูกาลที่เหมือนกัน กล่าวคือ วงจรรอบวันของปริมาณฝนในภาคใต้ มีลักษณะค่าสูงสุดหนึ่งครั้งต่อวัน (Diurnal cycle) ซึ่งเวลาที่ฝนถึงจุดสูงสุด คือ ช่วงเช้า (06.00–09.00 น.) ดังรูปที่ 4.6 ส่วนในรูปที่ 4.7 แสดงความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของหยาดน้ำฟ้า (precipitation) แบบกริดขนาด $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ราย 3 ชั่วโมงที่ตรวจวัดโดยดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) ในโดเมนซึ่งครอบคลุม 7

จังหวัดในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าสูงสุดของปริมาณหยาดน้ำฟ้า ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลา 00.00–06.00 (Local Solar Time; LST) ปรากฏในบริเวณพื้นที่ของจังหวัดนครศรีธรรมราชและบางส่วนของจังหวัดพัทลุงและจังหวัดตรัง และเคลื่อนตัวในลักษณะ Diurnal propagation สู่มังอันดามันในเวลาต่อมา ส่วนรูปแบบปริมาณหยาดน้ำฟ้าในช่วงตอนบ่ายถึงตอนกลางคืน ในบริเวณพื้นที่ 7 จังหวัดของภาคใต้ มีลักษณะที่แสดงถึงค่าสูงสุดในพื้นที่ที่ติดกับทะเลทั้งฝั่งอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จังหวัดสงขลาและจังหวัดพังงา ทั้งนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของความแปรปรวนรอบวันของหยาดน้ำฟ้าในบริเวณพื้นที่ 7 จังหวัดของภาคใต้ จำแนกเป็นสัณฐานวงจรรอบวัน พื้นฐานของภูมิอากาศในบริเวณ Maritime continent ที่เกิดจากความแปรปรวนที่แตกต่างกันของ Potential instability ซึ่งถูกขับเคลื่อนโดยฟลักซ์ความร้อนพื้นผิว แสงอาทิตย์ที่ส่องลงมา และการเย็นตัวลงของพื้นดินและมหาสมุทรจากคลื่นช่วงยาวหรือคลื่นความร้อน ผนวกกับพลวัตตามธรรมชาติในระดับ Meso-scale ของ Convective system ที่ปฏิสัมพันธ์กับ Gravity wave, Density current และ Local circulation ในพื้นที่ชายฝั่งและพื้นที่บริเวณเทือกเขา (Teo et al., 2011)

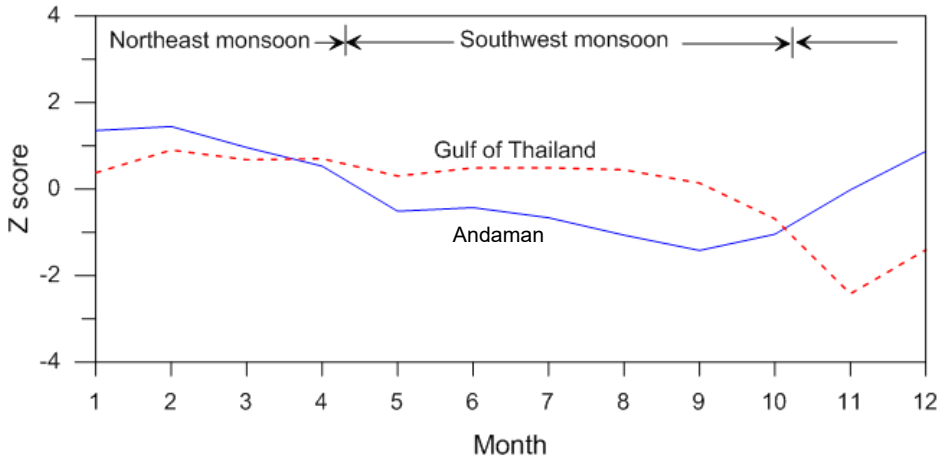


รูปที่ 4.6 ความแปรปรวนรอบวันของฝนในพื้นที่บริเวณฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย ซึ่งแสดงในรูปค่าเฉลี่ยระยะยาว (ค.ศ. 1998–2010) ของหยาดน้ำฟ้าแบบกริดขนาด $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ราย 3 ชั่วโมงจากดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยระยะยาว (1998–2010) ตามราย 3 ชั่วโมง ของหยาดน้ำฟ้าจากดาวเทียม TRMM ในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้

การตอบสนองตามฤดูกาลที่แตกต่างกันระหว่างภาคใต้ฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทยต่อการผันแปรของระบบลมมรสุมฤดูร้อนและมรสุมฤดูหนาว ยังสามารถอธิบายได้ในบริบทของสมดุลน้ำในรูปของความแตกต่างระหว่างอัตราการระเหยและปริมาณน้ำฝน (Evaporation-Precipitation; E-P) ซึ่ง E-P มีค่าเป็นลบหรือมีปริมาณฝนเกิดขึ้นมากกว่าอัตราการระเหยของน้ำในช่วงที่ลมมรสุมมีกำลังแรง ในขณะที่ การระเหยของน้ำมีอัตราที่สูงกว่าปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนที่มรสุมอ่อนกำลังลง (รูปที่ 4.8)

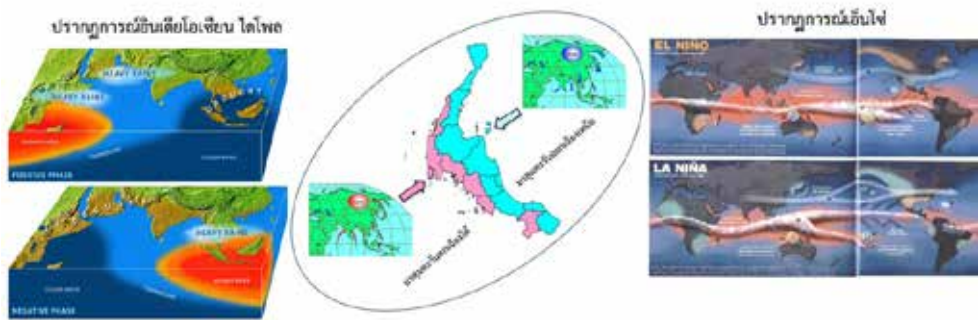


รูปที่ 4.8 ความแปรปรวนตามฤดูกาลของสมดุลงน้ำในรูปความแตกต่างระหว่างอัตราการระเหยและปริมาณน้ำฝน (Evaporation-Precipitation; E-P) ในพื้นที่บริเวณฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย ซึ่งแสดงในรูป Z score ของค่าเฉลี่ยระยะยาว (ค.ศ. 1970-2009)

ความแปรปรวนระหว่างปีของช่วงเวลาในคาบฤดูกาลเฉพาะในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน) และช่วงฤดูหนาวของซีกโลกเหนือ (เดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์) ซึ่งตรงกับช่วงมรสุมฤดูร้อนและมรสุมฤดูหนาวที่มีกำลังแรง พบว่า ฝน ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภาคใต้ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับดัชนีมรสุมเอเชีย โดยปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณภาคใต้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความเร็วลมลดลงในช่วงฤดูฝนที่มรสุมฤดูร้อนในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือฝั่งตะวันตกอ่อนกำลัง แต่ในทางกลับกัน ปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์ในภาคใต้กลับมีแนวโน้มลดลง และมีความเร็วลมเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนที่มรสุมฤดูร้อนในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือฝั่งตะวันตกมีกำลังแรงขึ้น ส่วนความแปรปรวนในช่วงฤดูหนาวของซีกโลกเหนือ พบว่า ปริมาณฝนในภาคใต้มีความสัมพันธ์กับความแปรปรวนของแกน East Asian Trough โดยปริมาณฝน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกว่าปกติในช่วงฤดูหนาวที่แกน East Asian Trough มีความโน้มเอียงเพียงเล็กน้อย ทำให้คลื่นมวลอากาศเย็นและแห้งที่มีกำลังแรงจากไซบีเรียพัดลงสู่มหาสมุทรแปซิฟิก และทะเลจีนใต้มากขึ้น ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการหอบความชื้นเข้าสู่พื้นที่ภาคใต้มากขึ้น



นอกจากระบบลมมรสุมฤดูร้อนและมรสุมฤดูหนาวแล้ว ความผันแปรของระบบภูมิอากาศในระดับภูมิภาคและระดับโลก เช่น ปรากฏการณ์เอนโซ่และปรากฏการณ์อินเดียเย็นโอเชียนไดโพล ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงผิวดินแบบควบคู่ระหว่างการไหลเวียนของมวลกระแสน้ำอุ่นในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียบริเวณเส้นศูนย์สูตรและการไหลเวียนของชั้นบรรยากาศผิวพื้น (Saji et al., 1999; Diaz et al., 2001) ยังเป็นปัจจัยที่ต่อความแปรปรวนระหว่างปีและระยะยาวของสภาพภูมิอากาศในบริเวณภาคใต้ (รูปที่ 4.9) ผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ความแปรปรวนระหว่างปีที่โดดเด่นซึ่งปรากฏในโหมดแรกของฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ หรือ Empirical Orthogonal Function (EOF) ของอุณหภูมิเฉลี่ย ฝน ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคใต้ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95% กับปรากฏการณ์เอนโซ่ (ตารางที่ 4.2) โดยสรุปพบว่า อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงกว่าปกติ แต่ปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าปกติในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ El Niño ในขณะที่ อุณหภูมิมีแนวโน้มต่ำกว่าปกติ ปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าปกติจะเกิดในช่วงที่เป็นเหตุการณ์ La Niña รัชชัญญ์ ภัทรสถาพรกุล (2552) พบว่า ปรากฏการณ์อินเดียโอเชียนไดโพล อาจมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของภาคใต้ แต่ทว่าอิทธิพลของปรากฏการณ์อินเดียโอเชียนไดโพลมีความแปรผันตามสถานการณ์ของปรากฏการณ์เอนโซ่ กล่าวคือ ปรากฏการณ์อินเดียโอเชียน ไดโพล ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (Modulator) ในการปรับอิทธิพลของสัญญาณที่มาจากปรากฏการณ์เอนโซ่



รูปที่ 4.9 แสดงพื้นที่ภาคใต้ กับความแปรปรวนของระบบภูมิอากาศในระดับภูมิภาคและระดับโลก ในรูปของปรากฏการณ์เอนโซ่และปรากฏการณ์อินเดียโอเชียนไดโพล

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ Kendall's Tau correlation (τ) ระหว่างอนุกรมค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ในคาบเวลา 11 เดือนของ time-varying amplitude ของ EOF โหมดที่ 1 ของตัวแปรภูมิอากาศ และดัชนีปรากฏการณ์เอ็นโซ

ตัวแปรทางภูมิอากาศ	ดัชนี MEI	ดัชนี SOI	ดัชนี NIÑO3.4
อุณหภูมิเฉลี่ย (n=348)	$\tau = 0.36, p < 0.01$	$\tau = -0.32, p < 0.01$	$\tau = 0.39, p < 0.01$
ฝน (n=348)	$\tau = -0.38, p < 0.01$	$\tau = 0.43, p < 0.01$	$\tau = -0.41, p < 0.01$
ความเร็วลม (n=348)	$\tau = 0.11, p = 0.05$	$\tau = -0.11, p = 0.05$	$\tau = 0.05, p > 0.05$
ความชื้นสัมพัทธ์ (n=302)	$\tau = -0.33, p < 0.01$	$\tau = 0.37, p < 0.01$	$\tau = -0.34, p < 0.01$

หมายเหตุ:

1. MEI หรือ Multivariate ENSO Index เป็นดัชนีที่คำนวณจากข้อมูล Sea-level pressure (P), Zonal wind component (U), Meridional wind component (V), Sea surface temperature (S), Near-surface temperature (A) และ Cloudiness fraction of the sky (C) ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิก (Wolter and Timlin, 1993, 1998) ค่าบวกและลบของดัชนี MEI บ่งชี้ถึงแนวโน้มการเกิดเหตุการณ์ El Niño และเหตุการณ์ La Niña ตามลำดับ
2. SOI หรือ Southern Oscillation Index เป็นดัชนีที่ใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงความคึกระหว่างมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกและความผันแปรของซีกโลกใต้ โดยได้คำนวณจากข้อมูล Sea-level pressure ระหว่างสถานี Darwin ทางตอนเหนือของประเทศออสเตรเลียและสถานี Tahiti ในตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิกได้ ค่าความแตกต่างของความดันระดับน้ำทะเลระหว่าง Tahiti และ Darwin ที่ต่ำหรือสูงกว่าค่าปกติ จะสอดคล้องกับการเกิดเหตุการณ์ El Niño และ La Niña ตามลำดับ
3. NIÑO3.4 เป็นดัชนีที่ใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณ $5^{\circ} \text{N} - 5^{\circ} \text{S}$ และ $120^{\circ} \text{W} - 170^{\circ} \text{W}$ ค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่สูงหรือต่ำกว่าปกติ จะเป็นสัญญาณทางสมุทรศาสตร์บ่งชี้ถึงเหตุการณ์ El Niño และ La Niña ตามลำดับ



4.1.3 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในภาคใต้ของประเทศไทย

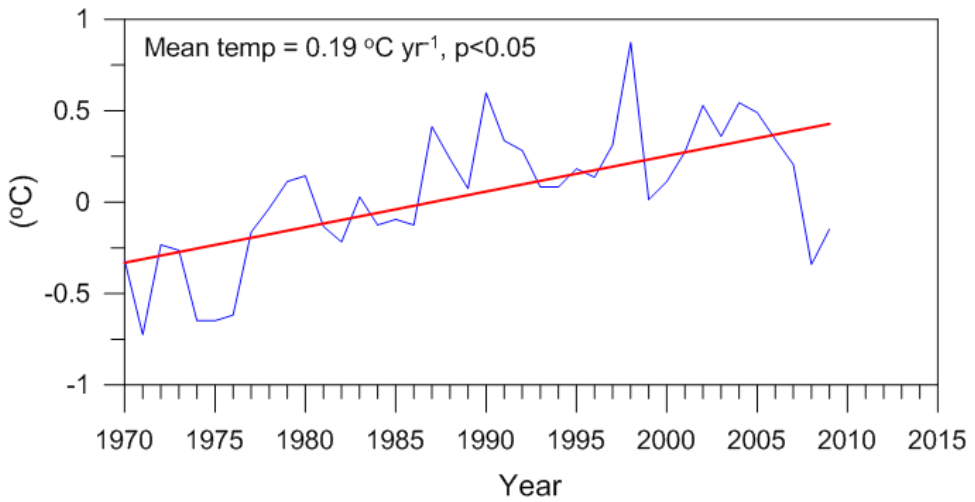
อุณหภูมิในภาพรวมของภาคใต้ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95% ($p < 0.05$) ในรอบ 40 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. 1970–2009) อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.88, 0.76 และ 1.12°C โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อทศวรรษ มีค่าเท่ากับ 0.22, 0.19 และ 0.28°C ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.10) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของทั้งประเทศแล้ว พบว่า อุณหภูมิในภาคใต้ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี ที่มีการเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่า (ตารางที่ 4.3) ผลการวิเคราะห์สภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิของภาคใต้เพิ่มเติมด้วยบางดัชนีที่พัฒนาและเสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญภายใต้โครงการ Joint World Meteorological Organization (WMO) Commission for Climatology (CCI)/World Climate Research Program (WCRP) Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (WMO-CCI/WCRP/CLIVAR/ETCCDMI) ซึ่งแสดงลักษณะต่างๆ ของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในแง่ความถี่ ความรุนแรง และระยะเวลาของเหตุการณ์ (Peterson, 2005) ดังสรุปในตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ พบว่า ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในภาคใต้ทั้ง 9 ดัชนี มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95% ($p < 0.05$) ในรอบ 40 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. 1970–2009) รูปแบบการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะที่สอดคล้องกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุด โดยแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในภาคใต้ประกอบด้วย ดัชนีช่วงระยะเวลาที่อบอุ่น ดัชนีจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 35°C ดัชนีจำนวนคืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 25°C และดัชนีจำนวนวันและคืนที่อบอุ่น ในขณะที่แนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ ปรากฏในดัชนีจำนวนวันและคืนที่หนาว ดัชนีช่วงระยะเวลาที่หนาว และดัชนีช่วงอุณหภูมิรอบวัน ทั้งนี้ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏในภาคใต้มีลักษณะที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของทั้งประเทศ

ตารางที่ 4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและดัชนีสภาวะความรุนแรงในภาคใต้

ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระหว่างปี ค.ศ. 1970–2009	
	ภาคใต้	ประเทศไทย
1. อุณหภูมิสูงสุดรายปี (องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ)	0.22	0.24
2. อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี (องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ)	0.19	0.23
3. อุณหภูมิต่ำสุดรายปี (องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ)	0.28	0.26
4. จำนวนวันที่อบอุ่น (วันต่อทศวรรษ) วันที่อุณหภูมิสูงสุด สูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90	3.8	3.4
5. จำนวนคืนที่อบอุ่น (วันต่อทศวรรษ) วันที่อุณหภูมิต่ำสุด สูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90	4.4	3.6
6. จำนวนวันที่หนาว (วันต่อทศวรรษ) วันที่อุณหภูมิต่ำสุด ต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10	-1.8	-2.0
7. จำนวนคืนที่หนาว (วันต่อทศวรรษ) วันที่อุณหภูมิต่ำสุด ต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10	-3.9	-3.0
8. ช่วงระยะเวลาที่หนาว (วันต่อทศวรรษ) จำนวนวันที่ต่อเนื่องอย่างน้อย 6 วันที่อุณหภูมิต่ำสุด ต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10	-1.6	-1.7
9. ช่วงระยะเวลาที่อบอุ่น (วันต่อทศวรรษ) จำนวนวันที่ต่อเนื่องอย่างน้อย 6 วันที่อุณหภูมิสูงสุด สูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90	5.1	4.9
10. วันที่อุณหภูมิสูงสุด สูงกว่า 35 °C (วันต่อทศวรรษ)	3.7	5.4
11. คืนที่อุณหภูมิต่ำสุด ต่ำกว่า 25 °C (วันต่อทศวรรษ)	1.6	11.4
12. ช่วงอุณหภูมิรอบวัน (องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ) ผลต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายเดือน	-0.09	-0.09

หมายเหตุ: ตัวหนาแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%





รูปที่ 4.10 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในภาคใต้

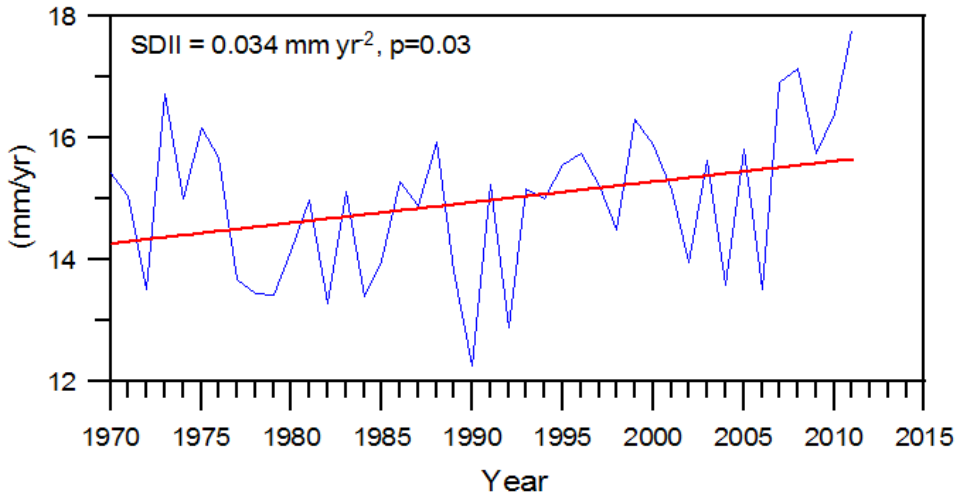
สภาวะความรุนแรงของฝนในภาคใต้ มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของทั้งประเทศ (ตารางที่ 4.4) ทั้งนี้ ในรอบ 42 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ.1970-2011) บางดัชนีของสภาวะความรุนแรงของฝนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งบ่งชี้ถึงลักษณะต่าง ๆ ของสภาวะความรุนแรงของฝนมีการเปลี่ยนแปลง จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝนรวมรายปีในภาคใต้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตรา 18 มิลลิเมตรต่อทศวรรษ ในขณะที่จำนวนวันฝนตกรวมรายปีมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในอัตรา 2.9 วันต่อทศวรรษ การเปลี่ยนแปลงที่ตรงกันข้ามดังกล่าวส่งผลให้ความแรงของฝนเฉลี่ยรายวันในภาคใต้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในอัตรา 0.34 มิลลิเมตรต่อวันต่อทศวรรษ (ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.11) โดยการเปลี่ยนแปลงความแรงของฝนเกิดขึ้นควบคู่กับการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณฝนรวมที่เกิดจากเหตุการณ์ฝนตกหนักซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้น 3.9 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 4.12) และการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของดัชนีระยะเวลาฝนตกอย่างต่อเนื่อง โดยสรุปแล้ว สภาวะความรุนแรงของฝนในภาคใต้มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกลดลง แต่ความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนักและความแรงของฝนกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งชี้ถึงภาคใต้มีความเสี่ยงต่อน้ำท่วมฉับพลันเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของฝนที่อาจส่งผลกระทบต่อการตอบสนองที่ผิดปกติของยางพารา คือ ปริมาณฝนในเดือนมีนาคมซึ่งปกตินับว่าเป็นฤดูแล้งใน

ภาคใต้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่นที่มากกว่า 99% ในอัตรา 3.2 มิลลิเมตรต่อปี ในช่วงระหว่างปี ค.ศ.1970–2011 โดยปริมาณฝนในเดือนมีนาคมของปี ค.ศ. 2011 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดพายุฤดูร้อน เพิ่มขึ้นประมาณ 730 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วง ปี ค.ศ.1970–2011 หรือในระดับปริมาณฝนที่เกิดขึ้นหนึ่งครั้งในรอบ 1000 ปี (1000 year return period) (รูปที่ 4.13)

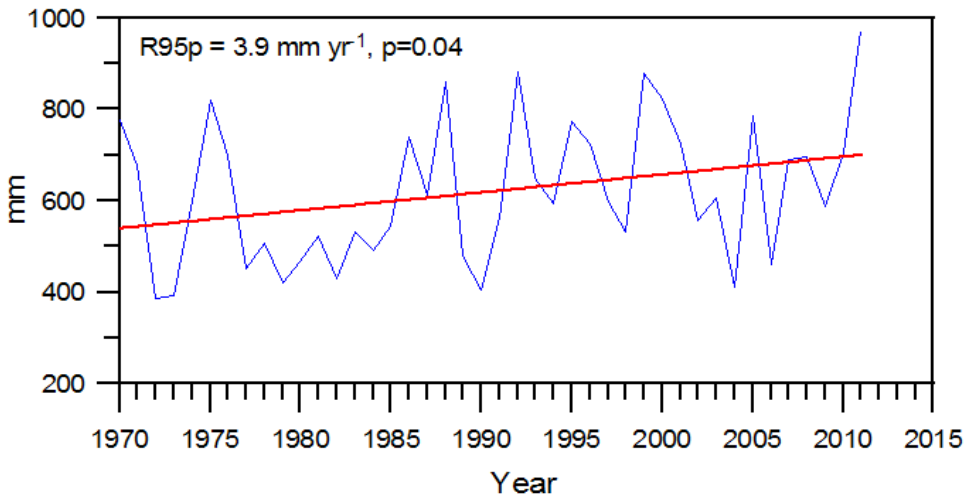
ตารางที่ 4.4 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรวมรายปีและดัชนีสภาวะความรุนแรงในภาคใต้

ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิฝน	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระหว่างปี ค.ศ. 1970–2011	
	ภาคใต้	ประเทศไทย
1. ปริมาณฝนรวมรายปี (มิลลิเมตรต่อทศวรรษ)	18.0	23.0
2. จำนวนวันฝนตกรวมรายปี (จำนวนวันต่อทศวรรษ) จำนวนวันที่ฝนตกมากกว่า 1 มิลลิเมตร	-2.9	-0.47
3. ความแรงของฝนรายวัน (มิลลิเมตรต่อวันต่อทศวรรษ) ปริมาณฝนรวมรายปีต่อจำนวนวันฝนตกรวม	0.34	0.23
4. ปริมาณฝนรวมของเหตุการณ์ฝนตกหนัก (มิลลิเมตรต่อทศวรรษ) ปริมาณฝนรวมของเหตุการณ์ฝนที่มากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	39.2	14.8
5. ปริมาณฝนรวมสูงสุดในรอบ 5 วัน (มิลลิเมตรต่อทศวรรษ) ปริมาณฝนรวมรายเดือน สูงสุดในรอบ 5 วัน	0.70	1.60
6. จำนวนวันฝนตกหนัก (จำนวนวันต่อทศวรรษ) จำนวนวันที่ฝนตกมากกว่า 10 มิลลิเมตร	-0.07	-0.06
7. ระยะเวลาฝนตกอย่างต่อเนื่อง (จำนวนวันต่อทศวรรษ) จำนวนวันสูงสุดที่ปริมาณฝนมากกว่า 1 มิลลิเมตรอย่างต่อเนื่อง	-0.60	-0.21

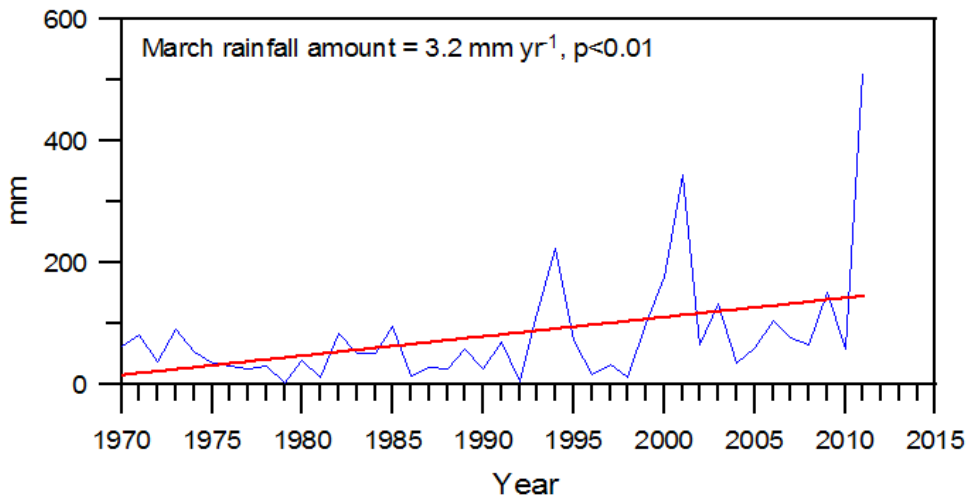
หมายเหตุ: ตัวหนาแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.11 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความแรงของฝน (SDII) ในภาคใต้



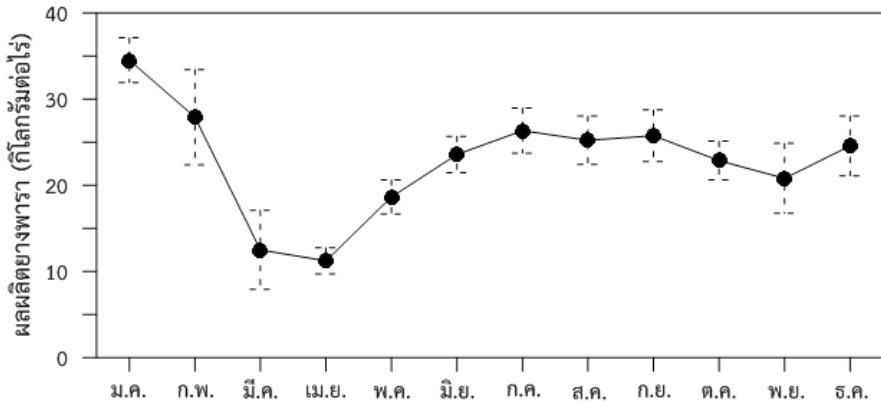
รูปที่ 4.12 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีปริมาณฝนที่เกิดจากเหตุการณ์ฝนตกหนัก (R95p) ในภาคใต้



รูปที่ 4.13 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนสะสมในเดือนมีนาคม ในพื้นที่ภาคใต้

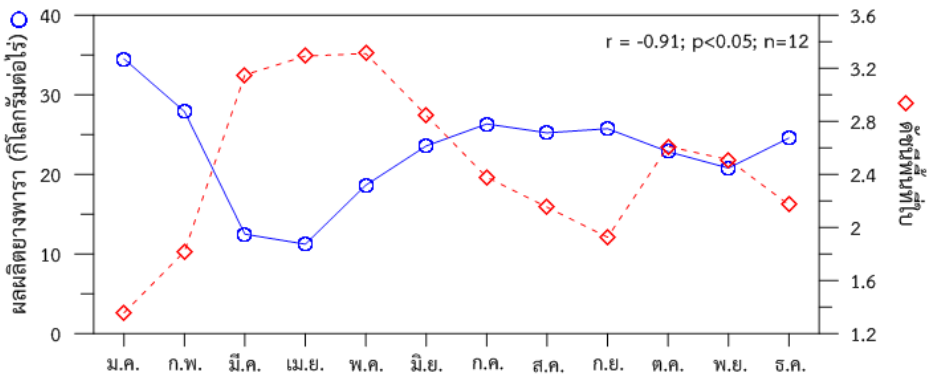
4.1.4 ความแปรปรวนของผลผลิตยางพาราในรอบปีและความสัมพันธ์กับตัวแปรภูมิอากาศ

ความแปรปรวนของผลผลิตยางพาราในรอบปีเฉลี่ยในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ (พังงา กระบี่ ตรัง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลรายเดือนตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 ถึง 2010 มีค่าอยู่ในช่วง 11 ถึง 35 กิโลกรัมต่อพื้นที่เปิดกรีด 1 ไร่ โดยทุกจังหวัดมีช่วงเวลาที่ยางพารามีผลผลิตต่ำสุดและสูงสุดในรอบปีเหมือนกัน คือ เดือนมีนาคม / เมษายน และเดือนมกราคม ระยะเวลาที่ผลผลิตยางพารามีค่าต่ำสุดตรงกับช่วงที่ต้นยางพาราผลัดใบ โดยปกติเกิดขึ้นในฤดูร้อนประมาณเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ในขณะที่ผลผลิตยางพาราถึงจุดสูงสุดเป็นช่วงปลายฤดูหนาวและต้นฤดูร้อนซึ่งสภาพภูมิอากาศเอื้อต่อผลผลิตของยางพารา กล่าวคือ ไม่มีฝนและอุณหภูมิลดลง รวมทั้งความชื้นอยู่ในระดับที่พอเหมาะ หลังจากต้นยางผลัดใบเต็มต้นแล้วในเดือนมิถุนายน ผลผลิตยางพาราเริ่มกลับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในจังหวัดที่ตั้งอยู่ฝั่งอันดามัน (พังงา กระบี่ และตรัง) แต่กลับลดลงในเดือนกันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายนในจังหวัดที่ตั้งอยู่ฝั่งอ่าวไทย (สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา) เนื่องจากตรงกับต้นฤดูฝน ซึ่งส่งผลต่อจำนวนวันกรีด (รูปที่ 4.14)

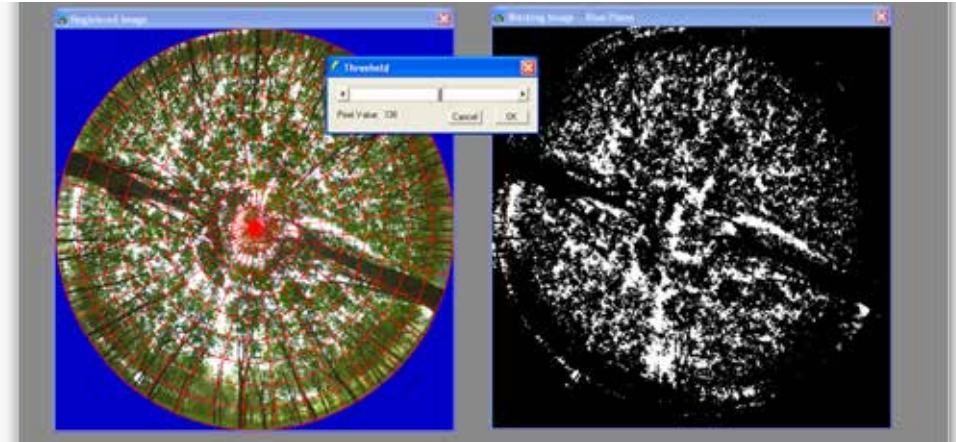


รูปที่ 4.14 ความแปรปรวนในรอบปีเฉลี่ยของผลผลิตยางพาราในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ (พังงา กระบี่ ตรัง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา) โดยผลผลิตยางพาราในแต่ละเดือน เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลรายเดือนในช่วงตั้งแต่ 2005 ถึง 2010

ความแปรปรวนของผลผลิตยางพาราในรอบปี มีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index; LAI) (รูปที่ 4.15) ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในรอบปีของต้นยาง โดยประเมินจากการถ่ายภาพทรงพุ่มต้นยางด้วยเลนส์ Fish eye และนำภาพไปวิเคราะห์ประมาณค่าเฉลี่ย LAI ด้วยโปรแกรมทางด้านการประมวลข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ (Gap Light Analyzer; GLA) (รูปที่ 4.16) โดยพบว่า ยางพารามีผลผลิตสูงสุดในรอบปีในช่วงที่พื้นที่ใบปกคลุมมีค่าต่ำสุด ในขณะที่เดียวกันผลผลิตยางพารากลับมีค่าต่ำสุดหลังจากยางพารามีการแตกใบใหม่ส่งผลให้พื้นที่ใบปกคลุมเพิ่มขึ้นสูงสุด (รูปที่ 4.15)



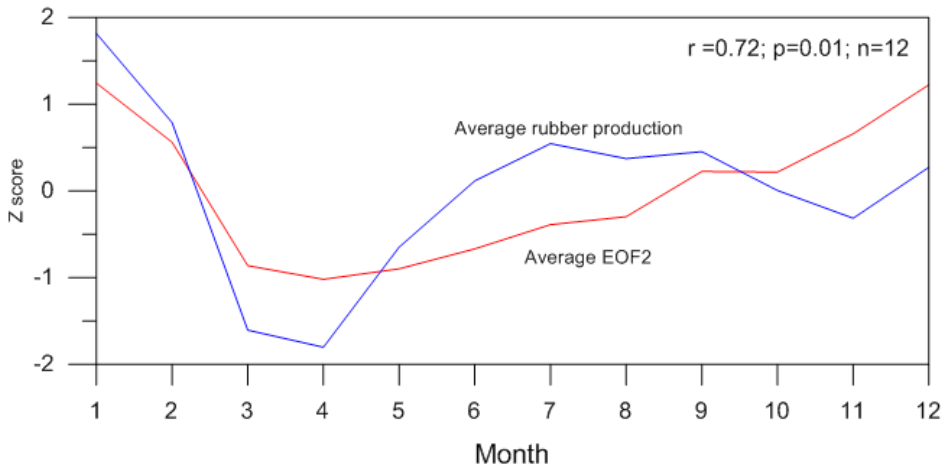
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนในรอบปีเฉลี่ยของผลผลิตยางพาราในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ และดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index)



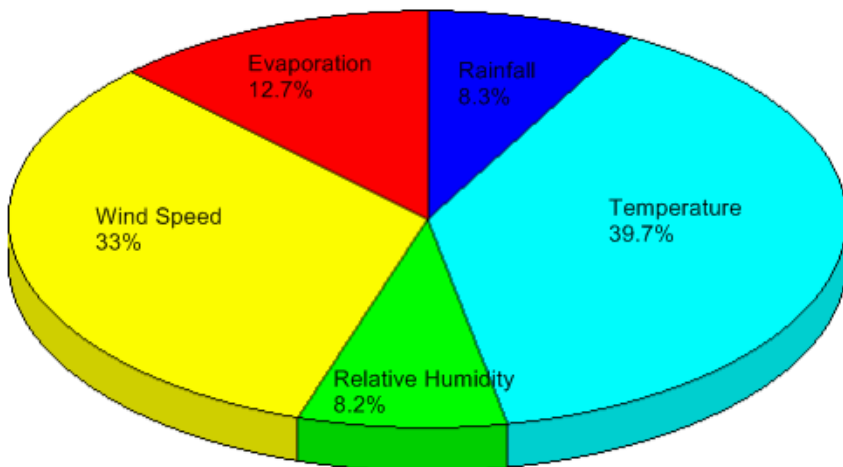
รูปที่ 4.16 การถ่ายภาพทรงพุ่มต้นยางและการวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ใบจากภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Gap Light Analyzer

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพาราในรอบปีและตัวแปรภูมิอากาศ 5 ตัวแปร (อุณหภูมิเฉลี่ย ฝน ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการระเหยของน้ำ) พบว่า ความแปรปรวนในรอบปีของผลผลิตยางพารา ไม่มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับตัวแปรภูมิอากาศตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว อาจสันนิษฐานเบื้องต้นได้ว่า ผลผลิตยางพารา อาจมีความสัมพันธ์เชิงร่วมกับตัวแปรภูมิอากาศหลายตัวแปร และมีลักษณะ Non-linear ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงร่วมของตัวแปรภูมิอากาศ 5 ตัวแปร เพิ่มเติมด้วยฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ (EOF) ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติเชิงพหุที่ค่า Eigenvector สามารถบอกสัดส่วนความแปรปรวนของแต่ละตัวแปรภูมิอากาศใน EOF โหมดต่างๆ พบว่า โหมดความแปรปรวนร่วมที่โดดเด่นในลำดับ First order ซึ่งอธิบายโดย EOF โหมดที่ 1 ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น 95% กับความแปรปรวนของผลผลิตยางพาราในรอบปีเฉลี่ย แต่เมื่อพิจารณาระดับ Second order ที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 2 พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอนุกรม time-varying amplitude และอนุกรมความแปรปรวนของผลผลิตยางพาราในรอบปี (รูปที่ 4.17) หากพิจารณาในรายละเอียดของสัดส่วนความแปรปรวนของแต่ละตัวแปรภูมิอากาศที่เป็นองค์ประกอบรวมใน time-varying amplitude ของ EOF โหมดที่ 2 แล้ว พบว่า อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรที่มีสัดส่วนความแปรปรวนร่วมสูงกว่าตัวแปรอื่น (รูปที่ 4.18) โดยผลการวิเคราะห์นี้ สนับสนุน

ข้อมูลพื้นฐานข้างต้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงซ้อนในลักษณะ Non-linear ที่ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพาราในรอบปีและตัวแปรภูมิอากาศ ควรพิจารณาในบริบทความแปรปรวนร่วมของหลายตัวแปรในระดับ Second order ที่มักซ่อนความสัมพันธ์อยู่ภายใต้ความแปรปรวนที่โดดเด่นในระดับ First order ของข้อมูลทั้งสองอนุกรม



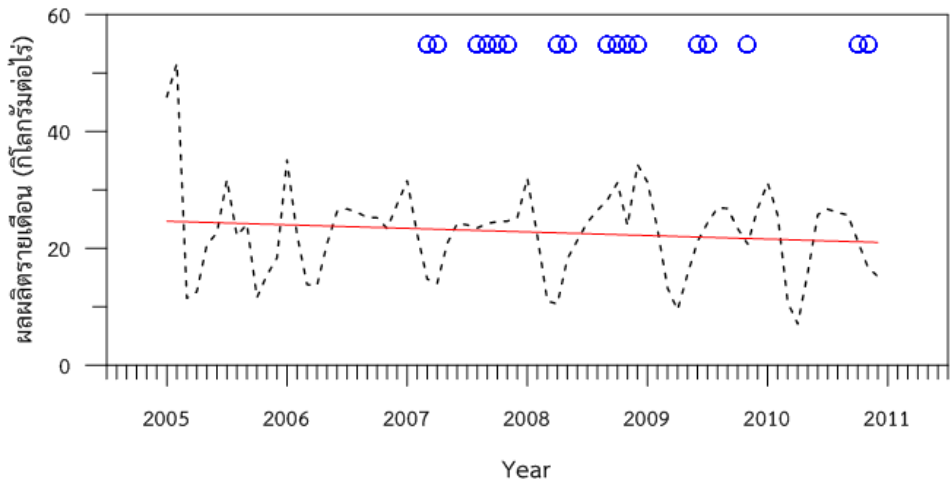
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนในรอบปีเฉลี่ยของผลผลิตยางพาราในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ และ time-varying amplitude ของ EOF โหมดที่ 2 ที่คำนวณจากตัวแปรภูมิอากาศ 5 ตัวแปรของสถานีผิวพื้นในพื้นที่เดียวกัน



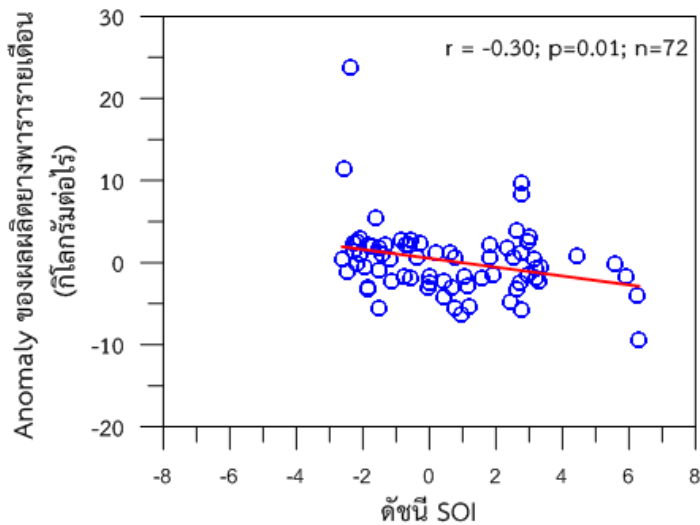
รูปที่ 4.18 สัดส่วนความแปรปรวนของตัวแปรภูมิอากาศที่เป็นองค์ประกอบร่วมใน time-varying amplitude ของ EOF โหมดที่ 2

4.1.5 ความแปรปรวนระหว่างฤดูกาลและระหว่างปีของผลผลิตยางพาราและความสัมพันธ์กับความผันแปรของโหมคภูมิอากาศ

รูปที่ 4.19 แสดงความแปรปรวนระหว่างฤดูกาลและระหว่างปีของผลผลิตยางพาราเฉลี่ยในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ทั้งฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย ในช่วง ค.ศ.2005 – 2010 จากการสังเกตพบว่า ความแปรปรวนระหว่างฤดูกาลและระหว่างปี เป็นความแปรปรวนส่วนใหญ่ของผลผลิตยางพาราในช่วงดังกล่าว โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงในแง่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่ปรากฏชัดเจน เนื่องจากอนุกรมข้อมูลมีระยะเวลาที่ค่อนข้างสั้น เมื่อพิจารณาลักษณะความแปรปรวนระหว่างฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทยในเชิงเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ความแปรปรวนระหว่างฤดูกาลและระหว่างปีของผลผลิตยางพาราทั้งสองฝั่งมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันและอัตราผลผลิตโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมรายเดือนของผลผลิตยางพาราเฉลี่ยในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้กับดัชนีปรากฏการณ์เอนโซ (ดัชนี SOI) ในช่วงระยะเวลา ค.ศ.2005 – 2010 พบว่า ความแปรปรวนของผลผลิตยางพาราระหว่างฤดูกาลและระหว่างปี มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปรากฏการณ์เอนโซ ($r = -0.30, p=0.01, n=72$) (รูปที่ 4.20) กล่าวคือ ผลผลิตยางพาราในภาพรวมของ 7 จังหวัดภาคใต้ มีแนวโน้มสูงกว่าปกติในช่วงเดือนที่เกิดเหตุการณ์ El Niño ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์ รวมทั้งความเร็วลมที่ต่ำกว่าปกติในช่วงเหตุการณ์ El Niño ส่งผลให้สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อผลผลิตของยางพารา ประกอบกับจำนวนวันที่สามารถกรีดยางเพิ่มขึ้นในช่วงเหตุการณ์ดังกล่าว ในขณะที่ ผลผลิตยางพาราในภาพรวมของ 7 จังหวัดภาคใต้ มีแนวโน้มลดลงในช่วงเดือนที่เกิดเหตุการณ์ La Niña สืบเนื่องจากเกิดฝนตกชุกและความชื้นของอากาศเพิ่มขึ้นในช่วงเหตุการณ์ดังกล่าว ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อผลผลิตของยาง รวมทั้งส่งผลต่อจำนวนวันที่สามารถกรีดยางได้

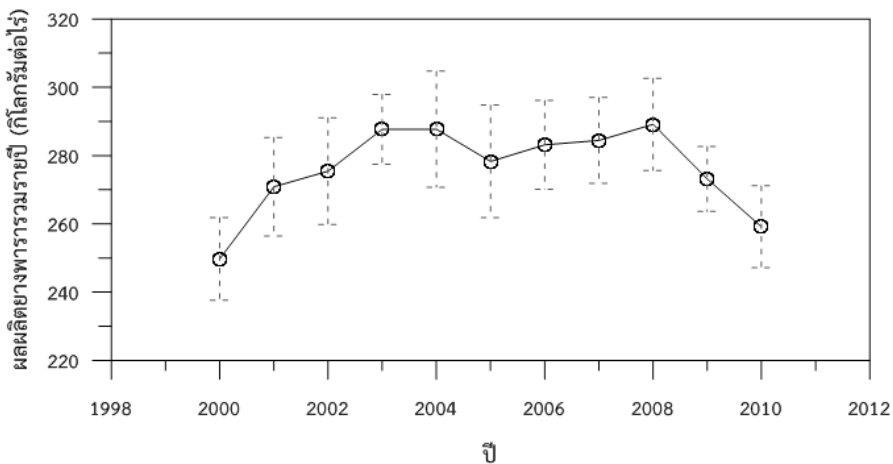


รูปที่ 4.19 ความแปรปรวนระหว่างฤดูกาลของผลผลิตยางพาราเฉลี่ยในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ (พังงา กระบี่ ตรัง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุงและสงขลา) ในช่วงตั้งแต่ ค.ศ. 2005–2010 โดยสัญลักษณ์ O แสดงเดือนที่เกิดเหตุการณ์อุทกภัยจากพายุไซนร้อน ดีเปรสชัน หย่อมความกดอากาศต่ำและฝนตกหนักอย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่ 7 จังหวัด

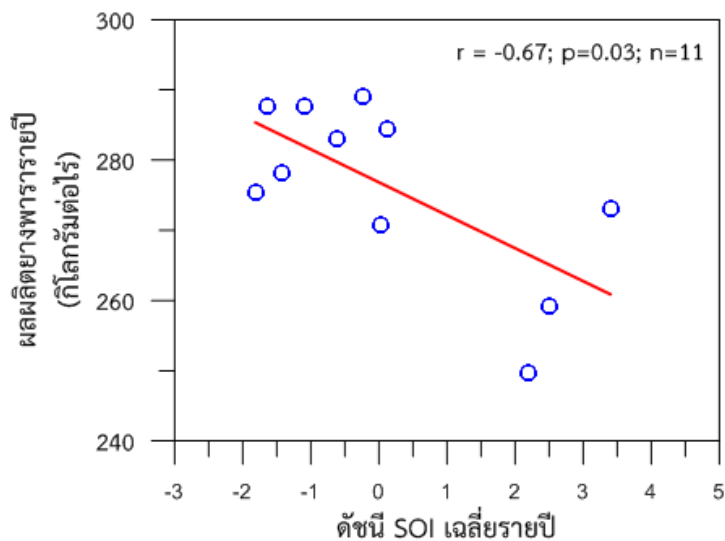


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพาราเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้และดัชนี SOI

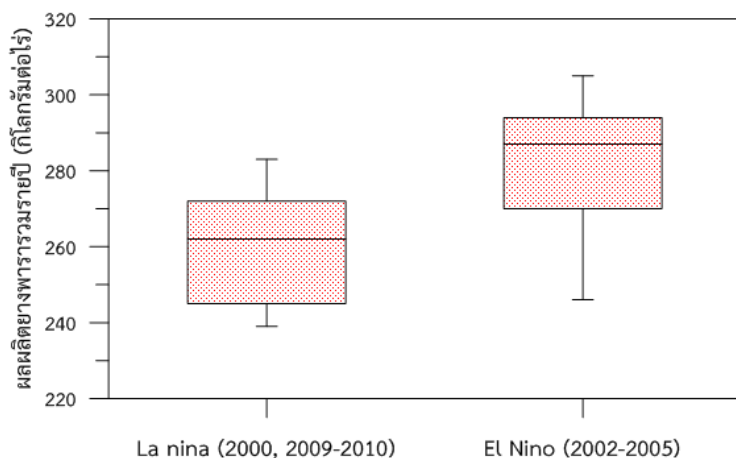
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่างเพิ่มเติม โดยอนุกรมข้อมูลมีระยะเวลา 10 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ.2000-2010 ได้แสดงความแปรปรวนระหว่างปีที่ชัดเจน ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับรูปแบบที่ปรากฏในอนุกรมข้อมูลรายเดือน โดยตั้งแต่ ค.ศ.2000 ผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่กลับลดลงหลังปี ค.ศ.2008 (รูปที่ 4.21) ทั้งนี้ อนุกรมข้อมูลรายปีบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนระหว่างปีของผลผลิตยางพารากับปรากฏการณ์เอนโซข้างตัน โดยผลผลิตยางพารารายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่างมีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดัชนี SOI เฉลี่ยรายปี (รูปที่ 4.22) เช่นเดียวกันกับผลผลิตรายเดือนที่นำเสนอในรูป 19 ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ Composite เพิ่มเติมซึ่งแสดงในรูปของ Box plot เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ในระหว่างปี 2000-2010 สำหรับปีที่เกิดเหตุการณ์ El Niño และ La Niña โดยปีที่เกิดเหตุการณ์ El Niño และ La Niña นิยามบนพื้นฐานของดัชนี SOI ที่มีค่า $\pm 1SD$ (รูปที่ 4.23) ให้ผลที่ค่อนข้างสอดคล้องกับผลดังกล่าวข้างต้นที่แสดงถึงผลผลิตยางพารามีแนวโน้มสูงกว่าปกติในปีที่เกิดเหตุการณ์ El Niño เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตในปีที่เกิดเหตุการณ์ La Niña



รูปที่ 4.21 ความแปรปรวนระหว่างปีของผลผลิตยางพาราเฉลี่ยในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ (พัทลุง สงขลา ปัตตานี นราธิวาส ยะลา สตูล และตรัง) ในช่วงตั้งแต่ ค.ศ. 2000 ถึง 2010

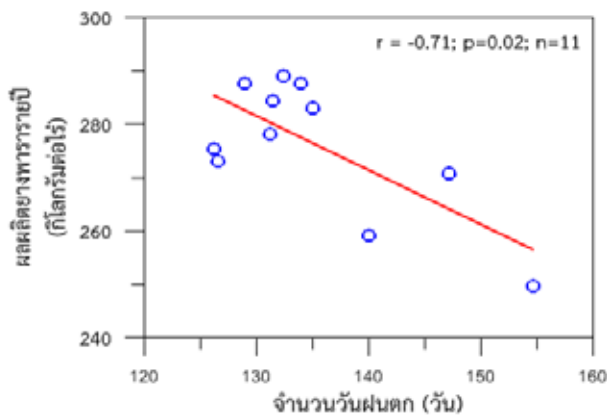


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง และดัชนี SOI เฉลี่ยรายปี

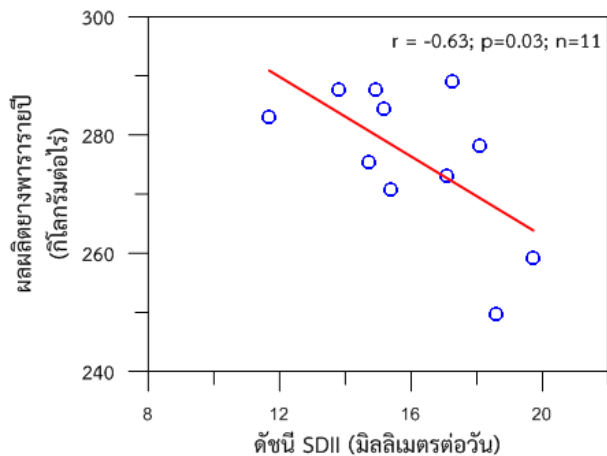


รูปที่ 4.23 Box plot แสดงผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง ในระหว่างปี 2000-2010 สำหรับปีที่เกิดเหตุการณ์ El Niño และเหตุการณ์ La Niña โดยปีที่เกิดเหตุการณ์ El Niño และเหตุการณ์ La Niña นิยามบนพื้นฐานของดัชนี SOI ที่มีค่า $\pm 1SD$

นอกจากนี้ ผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับจำนวนวันฝนตกรวมรายปี (รูปที่ 4.24) และดัชนีความแรงของฝนอย่างง่าย (รูปที่ 4.25) ความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงถึงยางพารา มีผลผลิตที่สูงกว่าปกติในปีที่จำนวนวันฝนตกรวมรายปีน้อยกว่าปกติหรือปีที่มีความแรงของฝนน้อยกว่าปกติ แต่ผลผลิตยางพารา กลับลดลงในปีที่มีวันฝนตกมากกว่าปกติหรือปีที่มีความแรงของฝนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่างและจำนวนวันฝนตกรวมรายปี



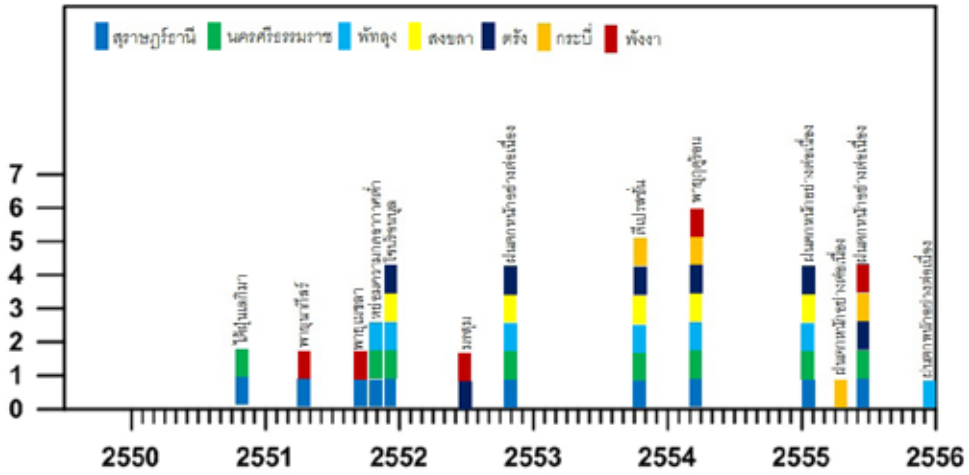
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตยางพารารวมรายปีในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่างและดัชนีความแรงของฝนอย่างง่าย

4.1.6 เหตุการณ์อุทกภัยและความเสียหายต่ออย่างพาราในภาคใต้

อุทกภัยทั้งที่เกิดจากพายุโซนร้อน ดีเปรสชัน หย่อมความกดอากาศต่ำและเหตุการณ์ฝนตกหนักอย่างต่อเนื่อง นับเป็นภัยพิบัติทางลมฟ้าอากาศที่สำคัญ ไม่เพียงส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโตและผลผลิต แต่ยังสร้างความเสียหายต่อพื้นที่ปลูกยางพาราเป็นบริเวณกว้างในพื้นที่ภาคใต้ หลักฐานจากสถิติข้อมูลที่ได้บันทึกโดยหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับภัยพิบัติทางธรรมชาติ ระบุถึงเหตุการณ์อุทกภัยในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีสวนยางพารามากถึง 8.3 ล้านไร่ หรือ 45% ของพื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของประเทศ มีความถี่และความรุนแรงเพิ่มขึ้นในช่วง 5-6 ปีที่ผ่านมา (รูปที่ 4.26) เหตุการณ์น้ำท่วมภัยและอุทกภัยเฉพาะที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ.2553 ได้สร้างความเสียหายต่อพื้นที่สวนยางพาราใน 9 จังหวัด ประกอบด้วยนครศรีธรรมราช พัทลุง สุราษฎร์ธานี ตรัง สงขลา ชุมพร บัตตานี ยะลา และสตูล รวมพื้นที่ประมาณ 145,988 ไร่ (สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, 2553) ส่งผลให้มีการโค่นล้มของต้นยางพาราเป็นพื้นที่บริเวณกว้างและมีน้ำท่วมขัง โดยพื้นที่ในจังหวัดพัทลุงได้รับความเสียหายสูงสุดประมาณ 10% ของพื้นที่ปลูกยางทั้งหมดของจังหวัด (รูปที่ 4.27) ยกตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ อ.ปากพูน จ. พัทลุง พบว่า มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบทุกตำบล เกษตรกรชาวสวนยางพาราที่ได้รับผลกระทบมีทั้งสิ้น 4,081 ราย และเมื่อพิจารณาถึงมูลค่าความเสียหาย พบว่า ในพื้นที่ อ.ปากพูน มีมูลค่าความเสียหายรวมทั้งสิ้น 47,377,728 บาท (ตารางที่ 4.5)

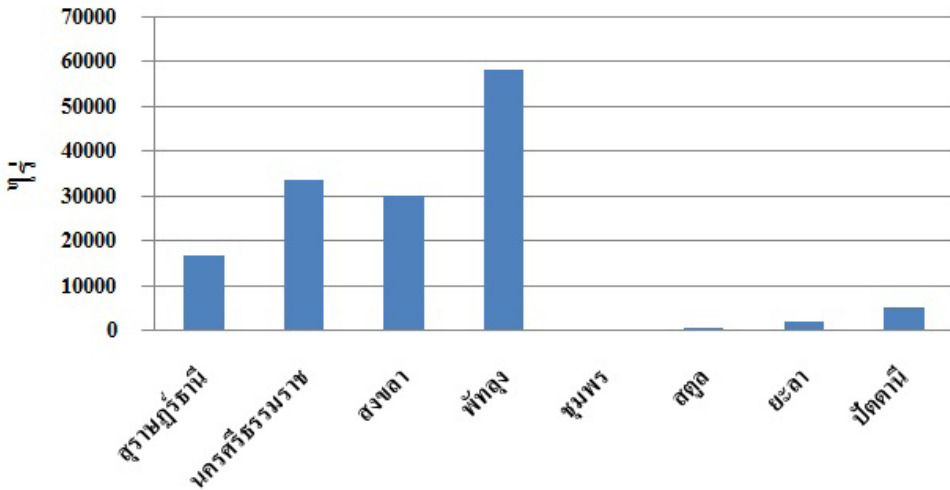
ถัดจากนั้นเพียงหนึ่งปี ได้เกิดอุทกภัยครั้งใหญ่เมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 ซึ่งเป็นเหตุการณ์ผิดปกติที่ฝนตกหนักอย่างต่อเนื่องในช่วงฤดูร้อน ซึ่งปริมาณฝนสะสมเพียงแค่ 8 วัน (23-30 มีนาคม 2554) มีค่าสูงกว่า 600 มิลลิเมตรครอบคลุมในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และบางส่วนของจังหวัดกระบี่และพัทลุง (รูปที่ 4.28) โดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2554) ได้สรุปรายงานสถานการณ์อุทกภัยทางภาคใต้ในช่วงเดือนมีนาคม 2554 ว่าได้สร้างความเสียหายใน 10 จังหวัดภาคใต้ (นครศรีธรรมราช พัทลุง สุราษฎร์ธานี ตรัง ชุมพร สงขลา กระบี่ พังงา สตูลและนราธิวาส) ครอบคลุมพื้นที่ 100 อำเภอ 646 ตำบล 4,229 หมู่บ้าน ราษฎรเดือดร้อน 581,085ครัวเรือน ผู้ประสบภัย 2,009,134 คน พื้นที่ด้านการเกษตรเสียหายประมาณ 1,049,634 ไร่ ทั้งนี้ ความเสียหายในภาพรวมของสวนยางพาราที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัยและดินถล่มที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์เมื่อเดือนมีนาคม 2554 ในพื้นที่ 7 จังหวัดภาคใต้ (พังงา กระบี่ ตรัง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา) มีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 417,707,939 บาท ยางพาราเสียหายมาต่ำกว่า 1,146,013 ต้น

ทั้งนี้ ภัยพิบัติทางลมฟ้าอากาศเนื่องจากพายุและฝนหนัก นับเป็นผลกระทบโดยตรงที่ส่งผลทำให้เกิดการโคลนล้มของต้นยางและเกิดน้ำท่วมไหลป่าและน้ำท่วมขัง การกัดเซาะพังทลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกิดกับสวนยางบริเวณที่ลาดเอียงเชิงเขา



รูปที่ 4.26 แสดงพื้นที่ที่ประสบอุทกภัยระหว่างปี พ.ศ. 2550-2556 ใน 7 จังหวัดภาคใต้

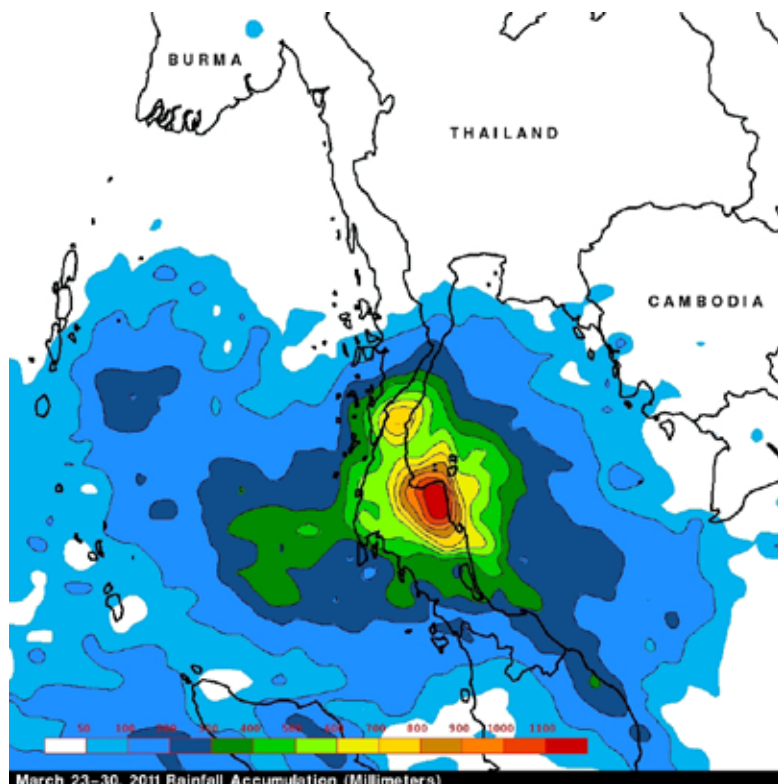
พื้นที่สวนยางพาราที่เสียหายจากवादภัยและอุทกภัยในปี พ.ศ. 2553



รูปที่ 4.27 พื้นที่สวนยางพาราที่เสียหายจากवादภัยและอุทกภัยในปี พ.ศ. 2553

ตารางที่ 4.5 ผลกระทบจากอุทกภัย วาตภัย และดินโคลนถล่มของพื้นที่ อ. ปากพญูน จ. พัทลุง ในปี พ.ศ. 2553

	ตำบล	หมู่บ้าน	จำนวน (ราย)	มูลค่าความเสียหาย (บาท)
	หารเทา	9 (11)	719	4,358,290
	ฝาละมี	10 (11)	1,257	15,990,440
	ดอนประดู่	11	479	4,862,390
	ดอนทราย	5 (6)	117	552,800
	เกาะหมาก	9 (11)	541	8,274,600
	ปากพะยูน	6	618	8,186,530
	เกาะนางค้ำ	6 (9)	350	5,152,678
รวม	7	56	4,081	47,377,728



รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงปริมาณฝนสะสมในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ ในช่วง 23-30 มีนาคม 2554

4.1.7 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อลักษณะบางประการที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของยางพารา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติทางลมฟ้าอากาศ ยังส่งผลกระทบต่อทางอ้อมแบบสะสมต่อลักษณะบางประการที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของยางพารา ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นที่สังเกตได้จากการสำรวจในพื้นที่สวนยางพารา ประกอบด้วย

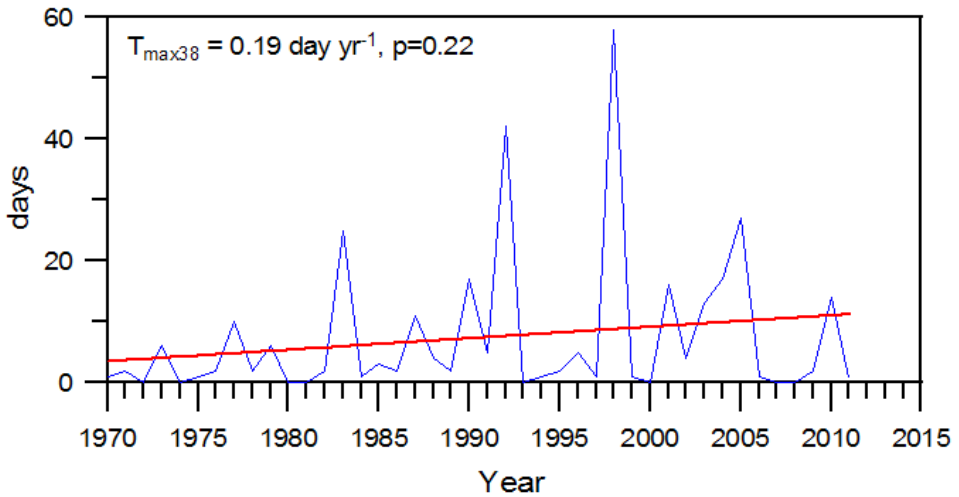
- เหตุการณ์ฝนตกในช่วงฤดูร้อนและความแปรปรวนที่ผิดปกติของความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และอัตราการระเหยของน้ำ ทำให้การผลิตใบของยางพาราที่ผิดปกติ เนื่องจากมีโรคระบาดทางใบ เช่น โรคราแป้ง (Powdery mildew) เกิดจากเชื้อรา *Oidium heveae Steinm* ระบาดบนใบอ่อนที่แตกออกใหม่ภายหลังจากการผลิตใบ ส่งผลให้ใบยางร่วงซ้ำอีกครั้ง ดังนั้น จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาในรอบปี (Phenological development) ของยางพารา (Guardiola-Claramonte et al., 2010) นอกจากจะเกิดอาการใบร่วงแล้วยังทำให้ดอกร่วง และสูญเสียเมล็ดในการขยายพันธุ์ (สถาบันวิจัยยาง, 2551) ส่งผลกระทบต่อผู้ผลิตต้นกล้ายางพารา ต้องสั่งซื้อเมล็ดพันธุ์จากภาคอีสาน นอกจากนี้ ทำให้วันเริ่มเปิดกรีดเลื่อนออกไป ส่งผลให้จำนวนวันกรีดลดลงด้วย

- จากสถานการณ์ที่ปริมาณน้ำฝนรายปีในภาคใต้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อจำนวนวันกรีดในรอบปี ซึ่งปัจจุบันวันกรีดในบางพื้นที่เหลือเพียง 110 วัน จากในอดีตที่ควรกรีดได้ 180-200 วัน นอกจากนี้ เหตุการณ์ดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำยางอีกด้วย โดยทำให้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งต่ำ (Dry rubber content หรือ DRC) รายได้เกษตรกรลดลงสอดคล้องกับรายงานของ Sdoodee และ Rongsawat (2012)

- จากเหตุการณ์ฝนที่ตกหนักมากในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัย ประกอบกับความชื้นอากาศสูงของภาคใต้ส่งผลให้มีการระบาดของโรคทางดินรุนแรง เช่น โรครากขาว (White root disease) ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Rigidoporus lignosus* (Klotzsch) Imagzki สามารถเข้าทำลายต้นยางได้ทุกระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่อายุ 1 ปีขึ้นไป และเมื่อระบบรากถูกทำลายจะแสดงอาการที่พบได้ที่ทรงพุ่ม ซึ่งเป็นระยะรุนแรงที่ไม่สามารถรักษาได้ บริเวณรากที่ถูกทำลายจะปรากฏกลุ่มเส้นใยสีขาว และดอกเห็ดมีลักษณะเป็นแผ่นครึ่งวงกลมแผ่นเดี่ยวหรือซ้อนกันเป็นชั้นๆ (สถาบันวิจัยยาง, 2551) Jayasinghe (2012) รายงานว่าโรคนี้ เป็นภัยเงียบที่มีการระบาดรุนแรงในหลายประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินโดนีเซีย และมาเลเซีย เป็นต้น เป็นเชื้อราในดินยากต่อการป้องกันกำจัด ทำให้เกษตรกรบางรายเปลี่ยนไปปลูกปาล์มน้ำมันเนื่องจากเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนใกล้เคียง

กับการปลูกยางพารา (Feintrenie et al., 2011)

- อุณหภูมิที่สูงขึ้น มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของยางพารา เพราะถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงจะลดลง ส่งผลต่อการผลิตน้ำยาง โดยทำให้ผลผลิตลดลง (Kositsup et al., 2007) จากการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดในภาคใต้ที่สูงกว่าหรือเท่ากับ 38 องศาเซลเซียส พบว่ามีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 4.29) จึงมีผลกระทบต่อสรีรวิทยาของต้นยางพารา ในประเด็นนี้ อรรถชัย (2554) อธิบายว่าพืชแต่ละชนิดมีความอ่อนไหวต่อปัจจัยทางด้านภูมิอากาศต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชชนิดนั้น นอกจากนี้ ในประเทศอินเดียมีการศึกษาผลจากความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่มีผลกระทบต่อผลผลิตยางพารา โดยพบว่าอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ผลผลิตยางลดลง 9-16 เปอร์เซ็นต์ในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสม เช่น เมือง Kerala ทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย และในพื้นที่แห้งแล้ง เช่น พื้นที่ North Konkan จะทำให้ผลผลิตลดลง 11 เปอร์เซ็นต์ (Satheesh and Jacob, 2011)



รูปที่ 4.29 แนวโน้มจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดในภาคใต้สูงกว่าหรือเท่ากับ 38 องศาเซลเซียส

4.2 บทวิจารณ์และสรุปผล

จากการประมวลข้อมูลและสังเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย ความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในภาคใต้ของประเทศไทยที่มีผลต่อการผลิตยางพารา พบว่า สภาพลมฟ้าอากาศในพื้นที่ภาคใต้มีความแปรปรวนในคาบเวลาต่างๆ ตั้งแต่รอบวัน ฤดูกาล ระหว่างปี ไปจนถึงทศวรรษ ซึ่งความแปรปรวนในคาบเวลาต่างๆ นั้น อยู่ภายใต้อิทธิพลและเชื่อมโยงกับพลวัตตามธรรมชาติในระดับ Meso-scale ของ Convective system ที่ปฏิสัมพันธ์กับ Gravity wave, Density current และ Local circulation ในพื้นที่ชายฝั่งและพื้นที่บริเวณเทือกเขา ความผันแปรระดับภูมิภาคของระบบลมมรสุมฤดูร้อนและฤดูหนาวซึ่งพัดเปลี่ยนทิศทาง อันเนื่องมาจากความแตกต่างเชิงพลศาสตร์ของฟลักซ์ความชื้น ความร้อน และโมเมนตัมระหว่างพื้นทวีป มหาสมุทรและชั้นบรรยากาศ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของรังสีดวงอาทิตย์ ตลอดจนความผันแปรของระบบภูมิอากาศในระดับระดับโลก ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติแบบควบคู่ระหว่างการไหลเวียนของมวลกระแสน้ำอุ่นในมหาสมุทรแปซิฟิก และมหาสมุทรอินเดียบริเวณเส้นศูนย์สูตรและการไหลเวียนของชั้นบรรยากาศผิวพื้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวนั้น พบว่า ภาคใต้ มีแนวโน้มร้อนขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในรอบ 4 ทศวรรษที่ผ่านมาเช่นเดียวกับกับความร้อนขึ้นทั่วทั้งประเทศไทย โดยสภาวะความรุนแรงที่เกี่ยวข้องกับทั้งสภาวะความรุนแรงที่บ่งชี้ถึงเหตุการณ์ที่เย็นลงและร้อนขึ้น ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่อยู่บริเวณปลายทั้งสองด้านของการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดรายวัน มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยที่ร้อนขึ้น ผลการศึกษายังพบว่า ในรอบ 42 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ.1970–2011) ลักษณะบางประการของสภาวะความรุนแรงของฝนในพื้นที่ภาคใต้ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยสรุปแล้ว สภาวะความรุนแรงของฝนมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกลง แต่ความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนักและความแรงของฝนกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งชี้ถึงภาคใต้มีภาวะเสี่ยงต่อน้ำท่วมฉับพลันเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ปริมาณฝนในเดือนมีนาคมซึ่งปกติเป็นฤดูแล้งในภาคใต้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อการตอบสนองที่ผิดปกติของยางพารา

ความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศดังกล่าว ที่นับวันมีความถี่ของการเกิดและความรุนแรงเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและอุณหภูมิโลก ได้ส่งผลกระทบต่อยางพาราในหลายมิติทั้งด้านสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตตั้งแต่เริ่มปลูกไปจนถึงระยะเวลาที่เปิดกรีด รวมไปถึงศักยภาพของผลผลิตที่

อาจผันผวนและลดลงได้ ผลการศึกษา พบว่า ความแปรปรวนของผลผลิตยางพาราในรอบปีของภาคใต้ มีความสัมพันธ์เชิงร่วมกับตัวแปรภูมิอากาศหลายตัวแปรในลักษณะ Non-linear ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าว ควรพิจารณาในบริบทความแปรปรวนร่วมของหลายตัวแปรในระดับ Second order โดยอุณหภูมิต่ำ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรที่มีสัดส่วนความสัมพันธ์สูงกว่าตัวแปรอื่น ในแง่ความแปรปรวนระหว่างฤดูกาลและระหว่างปี ผลผลิตยางพาราในภาคใต้ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปรากฏการณ์เอนโซ ซึ่งผลผลิตมีแนวโน้มสูงกว่าปกติในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ El Niño ในขณะที่ ผลผลิตมีแนวโน้มลดลงในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ La Niña ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นเพิ่มเติมว่าผลผลิตยางพาราในภาคใต้มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศบางประการ โดยยางพารามีผลผลิตที่สูงกว่าปกติในปีที่จำนวนวันฝนตกรวมรายปีน้อยกว่าปกติหรือปีที่มีความแรงของฝนน้อยกว่าปกติ แต่กลับลดลงในปีที่มีวันฝนตกมากกว่าปกติหรือปีที่มีความแรงของฝนเพิ่มขึ้น

ภัยพิบัติทางสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศที่เป็นผลพวงจากความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ยังส่งผลกระทบต่อยางพาราโดยตรง โดยทำให้เกิดการโค่นล้มของต้นยางพาราและเกิดน้ำท่วมขัง การชะล้างพังทลายของพื้นที่ปลูกยางพาราโดยเฉพาะบริเวณที่ลาดเอียงเชิงเขาต้งที่เกิดขึ้นในหลายจังหวัดในช่วงปี 2553 และ 2554 นอกจากนี้ เหตุการณ์ทางภูมิอากาศทั้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและสภาวะความรุนแรง ได้ส่งผลกระทบต่อทางอ้อมแบบสะสมต่อลักษณะบางประการที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของยางพารา ซึ่งตัวอย่างของผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น การผลิตใบของยางพาราที่ผิดปกติและเกิดโรคระบาดทางใบ คุณภาพน้ำยางในรูปค่าปริมาณเนื้อยางแห้งต่ำลง การระบาดของโรคทางดินรุนแรง ตลอดจนประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของต้นยางพาราลดลง

จากหลักฐานการศึกษาวิจัยในเบื้องต้นที่ได้ประมวลและสังเคราะห์ ซึ่งให้เห็นว่า ยางพาราซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยมีความอ่อนแอและได้รับผลกระทบสูงจากความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้น การศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในประเด็นที่สำคัญทั้งการศึกษาในลักษณะ process study ในเชิงพื้นที่ การวิเคราะห์ฐานข้อมูลตรวจวัดและการคาดการณ์ผลกระทบในอนาคต รวมทั้งการจัดทำฐานข้อมูลผลผลิตยางพาราและข้อมูลสรีรวิทยาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องให้มีคุณภาพสูงและมีระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความชัดเจนเพิ่มขึ้นและมีความเชื่อมั่นทางวิชาการ จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่

ต้องดำเนินการต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ที่จะนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจ
เชิงนโยบายในการวางแผน หาแนวทางและมาตรการเพื่อจัดการแก้ไขและบรรเทาหตุยั้ง
ผลกระทบและความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น ทั้งนี้ การศึกษาวิจัยควรขยายผลให้ครอบคลุมถึง
พื้นที่อื่น ๆ ของประเทศที่มีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปี
ที่ผ่านมา



5

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ กับส้มโชกุน



บทที่ 5

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ กับส้มโชกุน

¹อิสมะแอ เจ๊ะหลง อัสหัยะ สนิโซ

ส้มโชกุน เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดยะลา มีแหล่งปลูกดั้งเดิมที่อำเภอเบตง มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวแตกต่างจากส้มชนิดอื่น คือ มีรสชาติอร่อย หอม หวานอมเปรี้ยว ชันฉ่ำ น่ารักประทาน ทำให้เป็นที่ต้องการของตลาด จนทำให้มีการขยายพื้นที่ปลูกส้มโชกุนมากขึ้นทุกปี สามารถสร้างรายได้แก่ผู้ผลิตได้ปีละหลายล้านบาท (สำนักงานเกษตรอำเภอเบตง, 2551 : มงคล แซ่หลิม, 2535) แต่ในปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับปัญหาโลกร้อน (global warming) ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ฤดูกาลของฝนเปลี่ยนแปลง กระบวนการระเหยและการกลั่นตัวเร็วขึ้น ทำให้ดินแห้งเร็วกว่าปกติ พืชขาดน้ำในฤดูกาลเพาะปลูก ผลผลิตด้านการเกษตรบริเวณเขตร้อนลดลง (Abdulrahaman and Oladele, 2008) โดยส้มโชกุนจะมีปริมาณลดลงประมาณ 10-20% ต่อไร่ ทุกๆ ปี (สำนักงานเกษตรยะลา, 2552) เนื่องจากสภาพอากาศมีผลต่อการแสดงออกทางชีววิทยาของพืชที่สัมพันธ์กับชีวพาหะซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการถ่ายละอองเรณูและติดผลผลิตในที่สุด (รัชนิวรรณ ชูเชิด, 2548 ; Faegri and Pijl, 1979) พืชสกุลส้ม (*Citrus* sp.) แม้ว่าจะสามารถติดผลได้เองส่วนหนึ่ง (parthenocarp) แต่ส้มบางชนิดหากได้รับการถ่ายละอองเรณูแบบผสมข้ามจะสามารถติดผลได้มากขึ้น (วิจิตร วรรณชิต, 2538 ; วิจิตร วรรณชิต และไมตรี แก้วทับทิม, 2538 ; ศยามล กาญจนปกรณ์, 2544 ; Lupo et al., 1991)

¹คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

5.1 การผลิตสับโซกุ

สำนักงานเกษตรยะลา (2553) รายงานปริมาณสับโซกุนในเดือนมีนาคม 2553 ออกสู่ตลาดลดลง เมื่อเทียบกับเดือนเดียวกันของปีก่อนจาก 703.11 ตัน เป็น 610.55 ตัน หรือลดลงร้อยละ 13.16 จากการลดพื้นที่ปลูกสับที่ทรุดโทรม เพื่อหันไปปลูกยางพาราแทน ประกอบกับราคาสับโซกุนปรับตัวลดลงตามความต้องการของผู้บริโภค เมื่อเทียบกับเดือนเดียวกันของปีก่อนจากราคาเฉลี่ยกิโลกรัมละ 53.41 บาท เป็น 37.14 บาท หรือลดลงร้อยละ 30.46 พิจารณามูลค่าของสับโซกุนลดลง เมื่อเทียบกับเดือนเดียวกันของปีก่อนจาก 37.55 ล้านบาท เป็น 22.68 ล้านบาท หรือลดลงร้อยละ 39.62 เนื่องจากปริมาณและราคาลดลง

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณ ราคา และมูลค่าสับโซกุนของจังหวัดยะลา

ตัวชี้วัด	หน่วย	ปี 2553			
		มี.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ปริมาณผลผลิต : สับโซกุน	ตัน	703.11	992.88	746.46	610.55
อัตราการขยายตัว (%)	ร้อยละ	347.78	-19.30	-27.80	-13.16
ราคาผู้ผลิตพีช : สับโซกุน	บาท/กก.	53.41	38.33	40.00	37.14
อัตราการขยายตัว (%)	ร้อยละ	44.35	49.03	55.28	-30.46
มูลค่าพีช : สับโซกุน	ล้านบาท	37.55	38.06	29.86	22.68
อัตราการขยายตัว (%)	ร้อยละ	546.37	20.27	12.11	-39.62

ที่มา : สำนักงานเกษตรจังหวัดยะลา , 2553

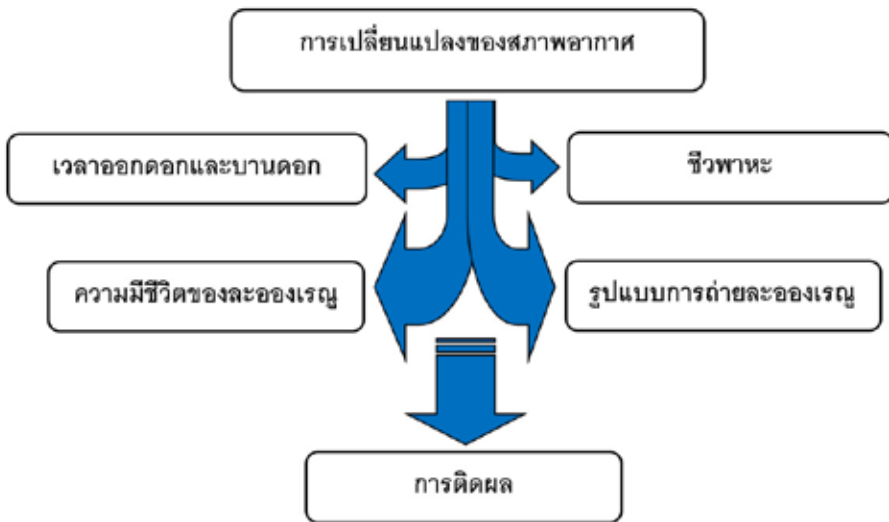


รูปที่ 5.1 แสดงปริมาณ อัตราขยายตัว และแนวโน้มการผลิตสับโซกุน

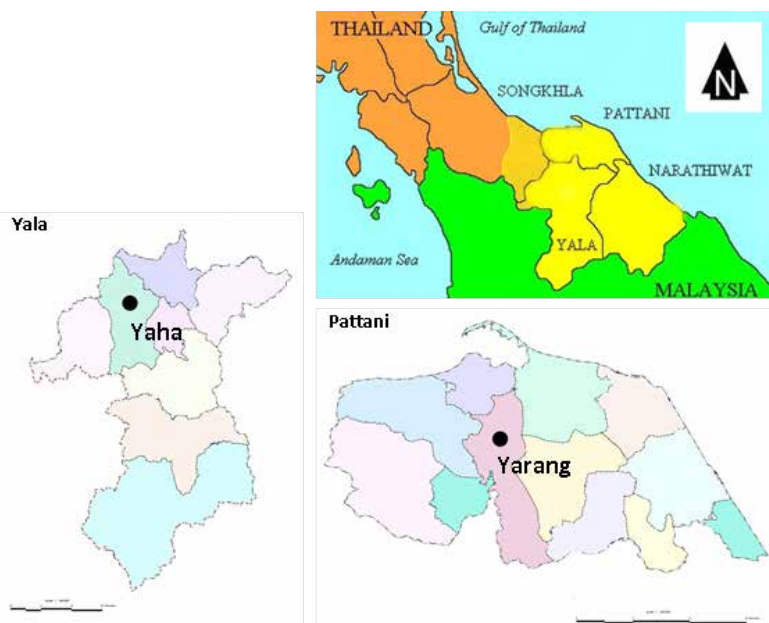
ที่มา: สำนักงานเกษตรจังหวัดยะลา, 2553

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศกับชีววิทยาดอก ชีวพาหะ การถ่ายละอองเรณู และการติดผลของส้มโชกุน

การสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่มีต่อชีววิทยาดอก ชีวพาหะ การถ่ายละอองเรณูและการติดผลของส้มโชกุน ทำการทดลองในแปลงปลูกส้มโชกุนของเกษตรกร จำนวน 2 พื้นที่ คือ เขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา และอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี ซึ่งทั้งสองมีสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน นำมาศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลทั้งข้อมูลอากาศ ลักษณะทางชีววิทยาดอก ชนิดและพฤติกรรมของชีวพาหะ การถ่ายละอองเรณูและการติดผล โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Design) วิเคราะห์ข้อมูลด้านสถิติของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศกับชีววิทยาดอก ชีวพาหะ การถ่ายละอองเรณูและการติดผล

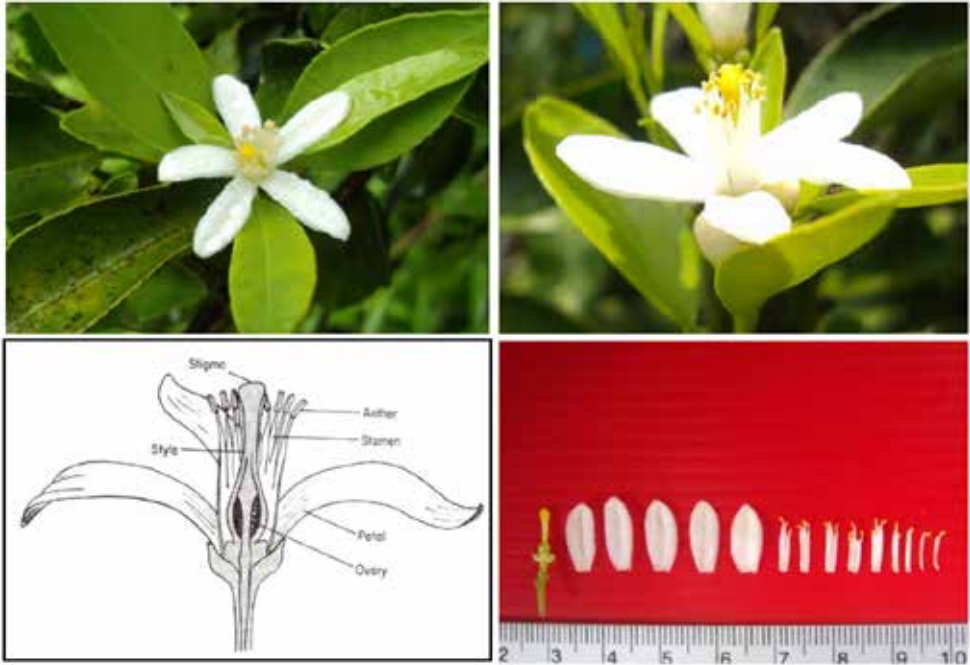


รูปที่ 5.3 พื้นที่ศึกษาเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา และอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

5.2.1 ลักษณะทางชีววิทยาของดอก

5.2.1.1 การออกดอกและลักษณะดอก

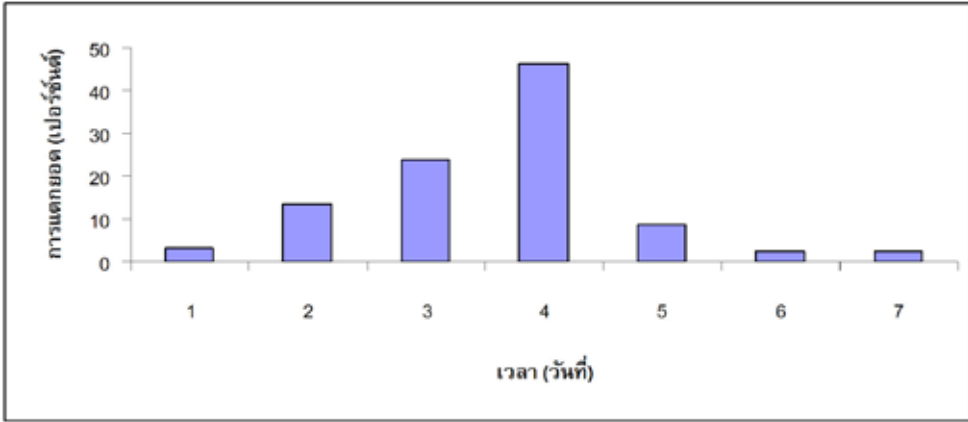
ดอกของส้มโชกุนเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (complete flower) มีสมมาตรตามแนวรัศมี (regular flower) ประกอบด้วยกลีบเลี้ยง (sepal) 5 กลีบ มีสีเขียวและเชื่อมกันที่โคน กลีบดอก (petal) 5 กลีบ มีสีขาว แต่ละกลีบแยกออกจากกันเป็นอิสระ กลิ่นหอม และมีต่อมน้ำมันแทรกอยู่ทั่วไป การเรียงตัวของกลีบดอกในระยะดอกตูมจะอัดติดกันแน่นทั้ง 5 กลีบ เกสรเพศผู้ (stamen) 20 อัน แต่ละอันประกอบด้วย อับละอองเรณู (anther) มีสีเหลือง ก้านชูอับละอองเรณู (filament) สีขาวติดอยู่ทางด้านหลังของอับละอองเรณู ก้านชูอับละอองเรณูจะเชื่อมติดกันเป็นกลุ่มๆ มีความยาวไม่เท่ากัน เกสรเพศเมีย (pistil) ประกอบด้วย ยอดเกสรเพศเมีย (stigma) ลักษณะเป็นตุ่มสีเหลือง มีระดับความสูงเหนืออับละอองเรณูเล็กน้อย ก้านเกสรเพศเมีย (style) สีขาวถึงเขียวอ่อน ฝังไขอยู่ในตำแหน่งเหนือฐานรองดอก (superior ovary) มี 10 ช่อง ภายในประกอบด้วยอวูล (ovule) เป็นจำนวนมาก อวูลแต่ละอันติดอยู่กับตรงแกนกลางของรังไข่ (axile placental) บริเวณโคนของรังไข่มีจานรองดอก (disc) สีเหลืองอมเขียว (รูปที่ 5.4)



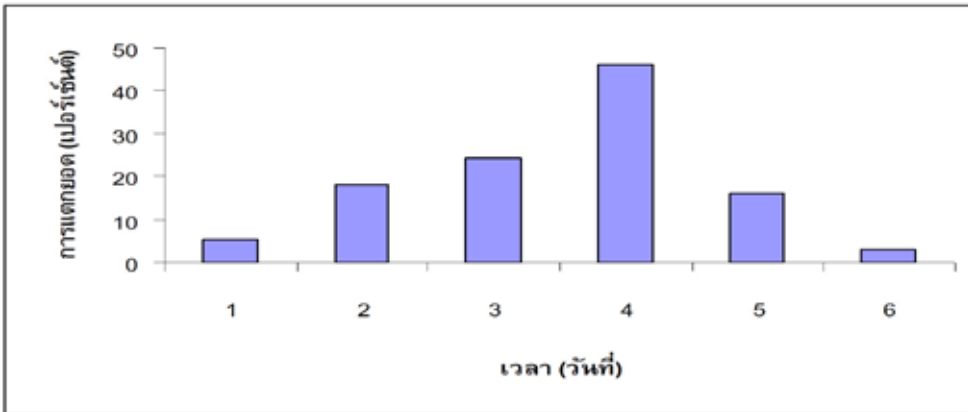
รูปที่ 5.4 ลักษณะและส่วนประกอบของดอกส้มโชกุน

5.2.1.2 การแตกยอด

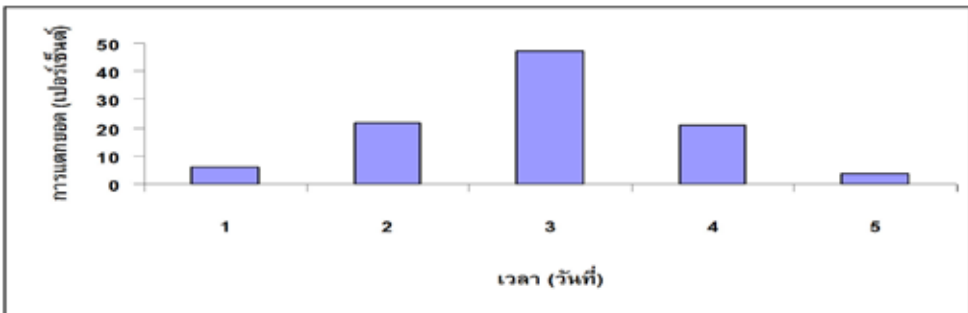
การศึกษากการแตกยอดของส้มโชกุนในเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี ส้มโชกุนเริ่มแตกยอดใหม่ในวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2554 โดยแต่ละต้นที่ทำการศึกษาจะใช้เวลาในการแตกยอดเฉลี่ย 7 วัน วันที่เริ่มแตกยอดใหม่เฉลี่ย 3.14% ของการแตกยอดทั้งหมด การแตกยอดสูงสุดในวันที่ 4 เฉลี่ย 46.20% ของทั้งหมด และสิ้นสุดการแตกยอดในวันที่ 7 (รูปที่ 5.5) ส่วนในช่วงที่ 2 ส้มโชกุนจะเริ่มแตกยอดใหม่ ในวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2554 แต่ละต้นที่ทำการศึกษาใช้เวลาการแตกกิ่งเฉลี่ย 6 วัน โดยในวันที่เริ่มแตกยอดใหม่เฉลี่ย 5.41% ของการแตกยอดทั้งหมด การแตกยอดสูงสุดในวันที่ 4 เฉลี่ย 48.30% ของทั้งหมด และสิ้นสุดการแตกยอดในวันที่ 6 (รูปที่ 5.6) และในช่วงที่ 3 ส้มโชกุนเริ่มแตกยอดใหม่ในวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554 แต่ละต้นที่ทำการศึกษาใช้เวลาการแตกยอดเฉลี่ย 5 วัน โดยวันที่เริ่มแตกยอดใหม่เฉลี่ย 6.27% ของการแตกยอดทั้งหมด การแตกยอดสูงสุดในวันที่ 3 เฉลี่ย 47.35% ของทั้งหมด และสิ้นสุดการแตกยอดในวันที่ 5 (รูปที่ 5.7)



รูปที่ 5.5 เปอร์เซนต์การแตกยอดของส้มโชกุนในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี



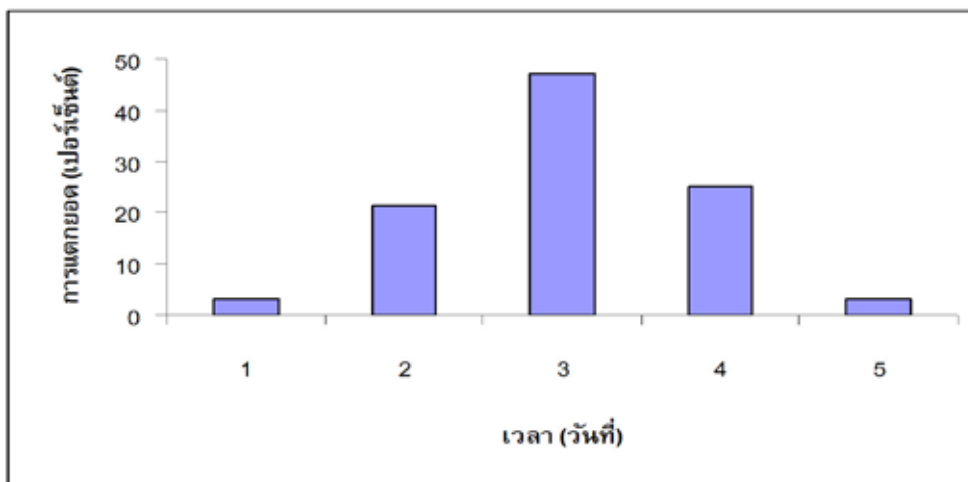
รูปที่ 5.6 เปอร์เซนต์การแตกยอดของส้มโชกุนในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี



รูปที่ 5.7 เปอร์เซนต์การแตกยอดของส้มโชกุนในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี



ส่วนการแตกยอดของส้มโชกุนในเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา จะเริ่มแตกยอดใหม่ในวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2554 แต่ละต้นที่ทำการศึกษาใช้เวลาการแตกยอดเฉลี่ย 5 วัน โดยในวันที่เริ่มแตกยอดใหม่เฉลี่ย 3.14% ของการแตกยอดทั้งหมด การแตกยอดสูงสุดในวันที่ 3 เฉลี่ย 47.02% ของทั้งหมด และสิ้นสุดการแตกยอดในวันที่ 5 (รูปที่ 5.8)



รูปที่ 5.8 เปอร์เซ็นต์การแตกยอดของส้มโชกุนในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา



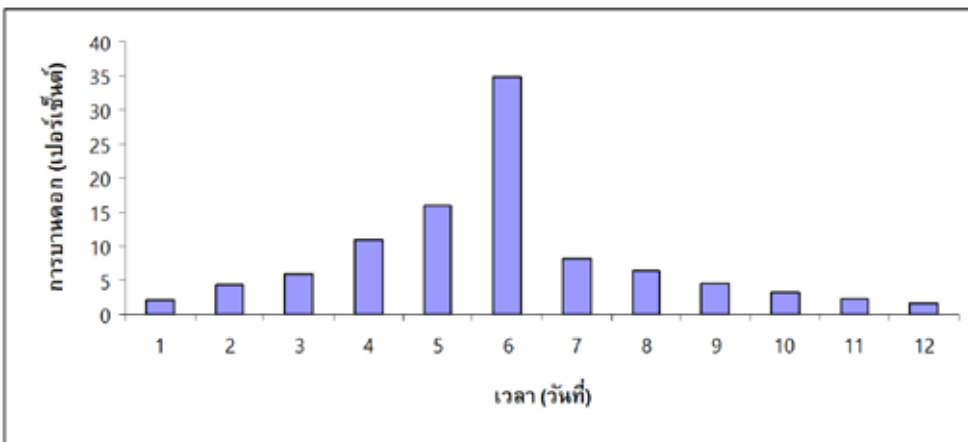
รูปที่ 5.9 การแตกยอดใหม่และตุ่มดอกส้มโชกุน

5.2.1.3 การบานของดอก

การศึกษาระยะเวลาการบานของดอก จะทำการบันทึกช่วงระยะเวลาการบานของดอก ตั้งแต่ดอกแรกจนถึงดอกสุดท้ายที่บานในจำนวน 20 ต้นต่อพื้นที่ และช่วงเวลาที่ดอกบานสูงสุดในรอบวัน โดยนับจำนวนดอกที่บานทุกๆ ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.00 ถึง 17.00 น.ของแต่ละวันที่ดอกบานสูงสุด 3 วันติดต่อกัน

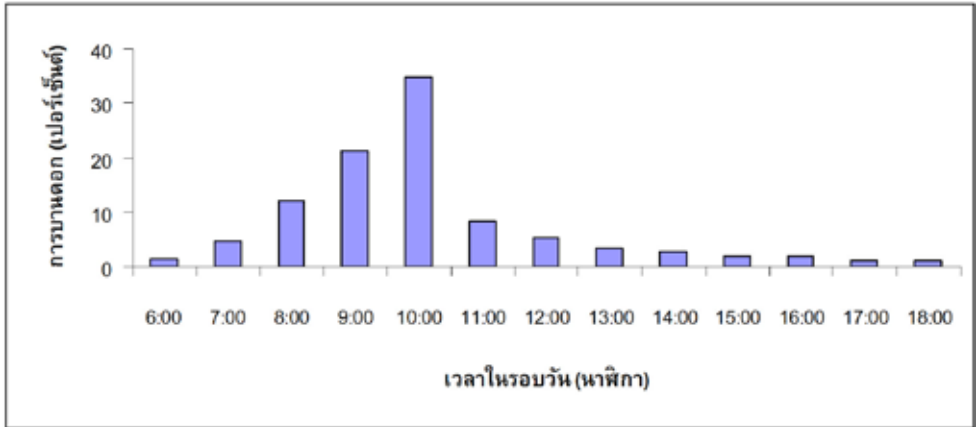
พื้นที่อำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

ช่วงเวลาและจำนวนวันของการบานของดอก มี 3 ช่วง โดยในช่วงแรกบานระหว่างวันที่ 2-13 เมษายน ใช้เวลาการบานเฉลี่ยมากถึง 12 วัน ซึ่งดอกจะค่อยๆ บานและบานสูงสุดในวันที่ 6 เฉลี่ย 34.87% ของการบานทั้งหมด จากนั้นการบานจะค่อยๆ ลดลงและสิ้นสุดการบานในวันที่ 12



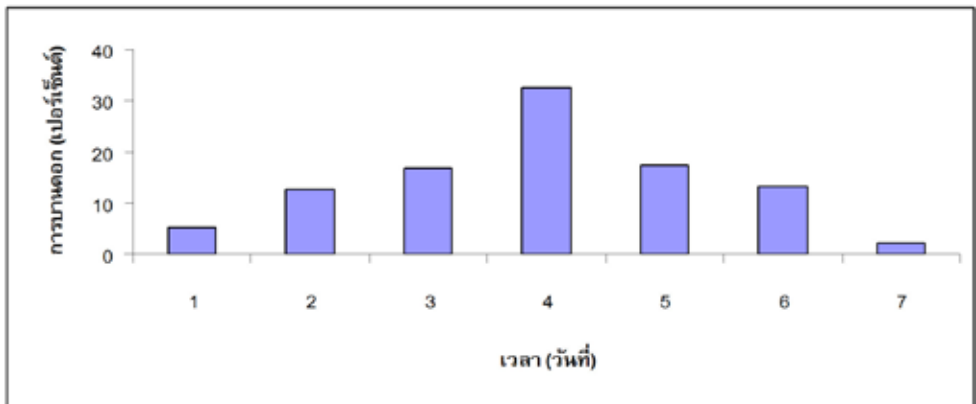
รูปที่ 5.10 เปอร์เซนต์การบานของดอกส้มโชกุนในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

การศึกษาการบานของดอกส้มโชกุนในรอบวันนั้นได้ทำการศึกษาในช่วงเวลา ดอกบานสูงสุด 3 วันติดต่อกัน พบว่า ดอกเริ่มบานตั้งแต่เวลาประมาณ 06.00 น. เฉลี่ย 1.41% ของการบานทั้งหมดในรอบวัน หลังจากนั้น จำนวนการบานของดอกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและบานสูงสุดเวลา 10.00 น. เฉลี่ย 34.89% ของการบานทั้งหมดในรอบวัน จากนั้น จำนวนการบานของดอกจะลดลงและหยุดบานเวลาประมาณ 18.00 น. (รูปที่ 5.11)



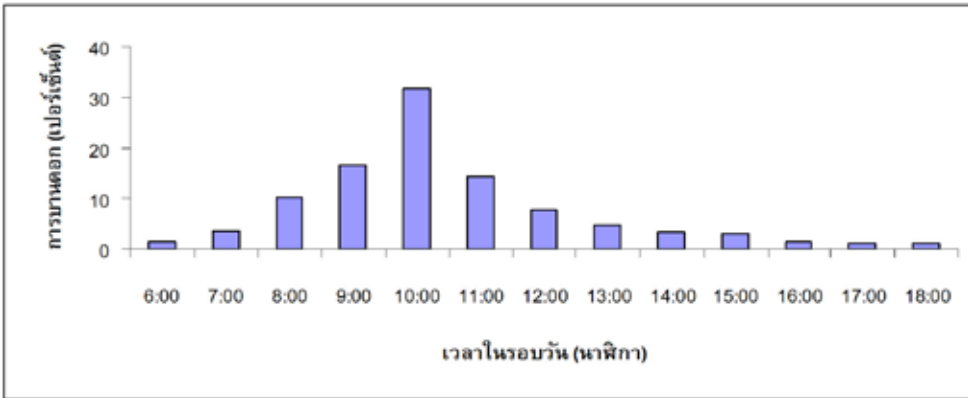
รูปที่ 5.11 เปอร์เซนต์การบานในรอบวันของดอกส้มโซกุนในช่วงที่ดอกบานสูงสุด ในเดือนเมษายน พ.ศ.2554 ในแปลงอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

ในช่วงที่ 2 จะทยอยออกดอกในวันที่ 12 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 แต่ละต้นที่ทำการศึกษาใช้เวลาการบานเฉลี่ย 7 วัน โดยในวันที่เริ่มทำการศึกษาดอกจะบานค่อนข้างน้อย เฉลี่ย 1.20% ของการบานทั้งหมด จากนั้น จำนวนดอกจะบานเพิ่มขึ้นและจำนวนดอกบานสูงสุดในวันที่ 4 เฉลี่ยเท่ากับ 32.56% ของการบานทั้งหมด หลังจากนั้นการบานของดอกจะค่อยๆ ลดลงและสิ้นสุดการบานในวันที่ 7 (รูปที่ 5.12)



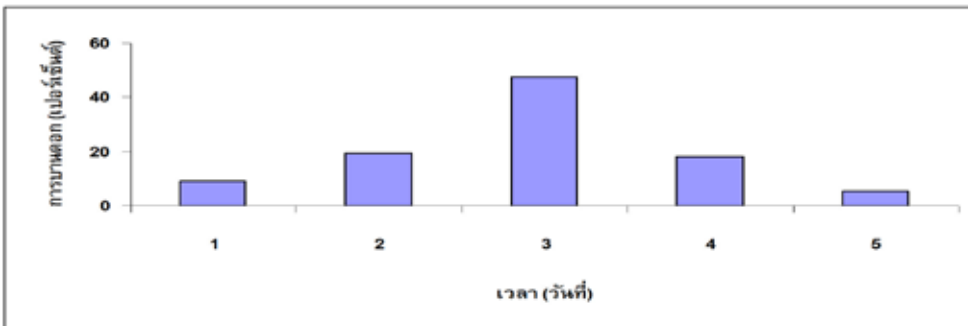
รูปที่ 5.12 เปอร์เซนต์การบานของดอกส้มโซกุนในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

การบานของดอกส้มโชกุนในรอบวัน ได้ทำการศึกษาในช่วงเวลาดอกบานสูงสุด 3 วัน ติดต่อกัน ดอกเริ่มบานตั้งแต่เวลา 06.00 น. เฉลี่ยเท่ากับ 1.41 เปอร์เซ็นต์ของการบานทั้งหมดในรอบวัน หลังจากนั้นจำนวนการบานของดอกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและถึงช่วงดอกบานสูงสุดเวลา 10.00 น. เฉลี่ยเท่ากับ 31.73% ของการบานทั้งหมดในรอบวัน หลังจากนั้นจำนวนการบานของดอกจะลดลง จนหยุดการบานเวลาประมาณ 18.00 น. (รูปที่ 5.13)



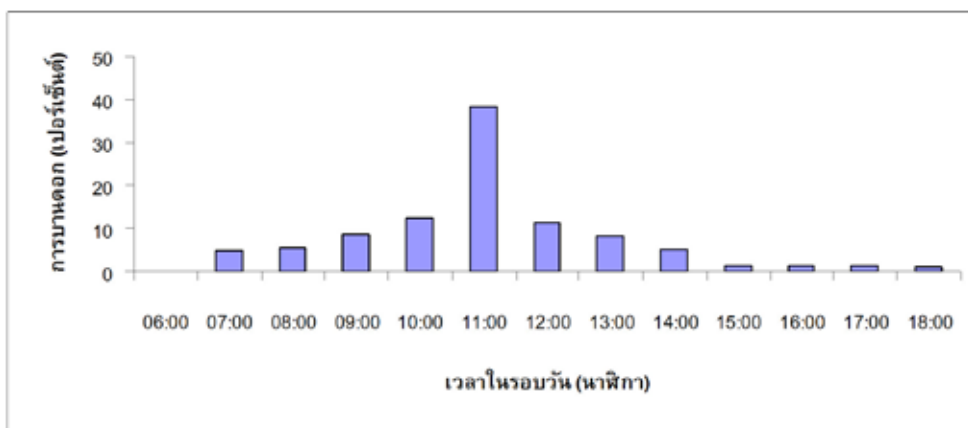
รูปที่ 5.13 เปอร์เซ็นต์การบานในรอบวันของดอกส้มโชกุนในช่วงที่ดอกบานสูงสุดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

ในช่วงที่ 3 จะทยอยออกดอกในวันที่ 3 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 แต่ละต้นที่ทำการศึกษาใช้เวลาการบานเฉลี่ย 5 วัน โดยในวันที่เริ่มทำการศึกษาดอกบานเฉลี่ยเท่ากับ 8.90% ของการบานทั้งหมด จำนวนดอกจะบานเพิ่มขึ้นและจำนวนดอกบานสูงสุดในวันที่ 3 เฉลี่ย 47.78% ของการบานทั้งหมด จากนั้นการบานของดอกจะค่อยๆ ลดลงและสิ้นสุดการบานในวันที่ 5 (รูปที่ 5.14)



รูปที่ 5.14 เปอร์เซ็นต์การบานของดอกส้มโชกุนในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

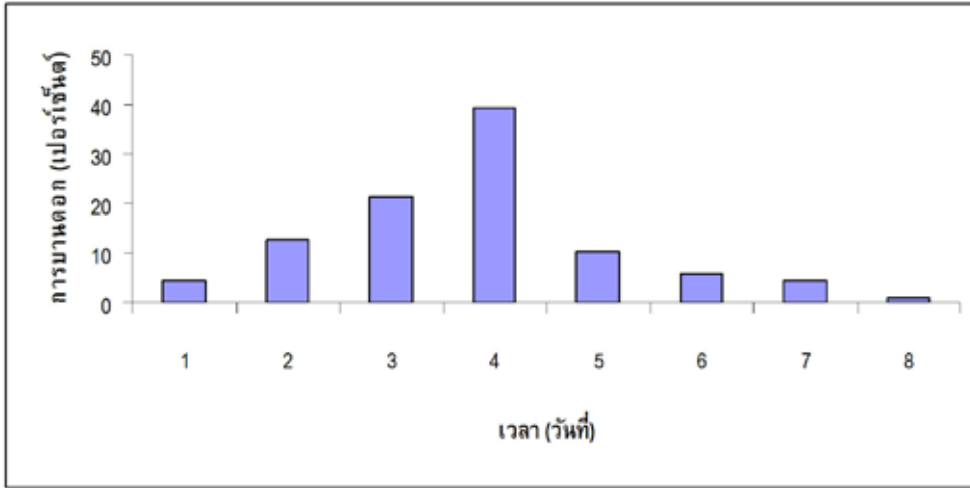
การบานของดอกส้มโชกุนในรอบวัน ที่ได้ทำการศึกษาในช่วงเวลาดอกบานสูงสุด 3 วัน ติดต่อกัน ดอกเริ่มบานตั้งแต่เวลา 07.00 น. เฉลี่ย 4.85% ของการบานทั้งหมดในรอบวัน จำนวนการบานของดอกจะเพิ่มขึ้นและถึงช่วงดอกบานสูงสุดเวลา 11.00 น. เฉลี่ย 38.31% ของการบานทั้งหมดในรอบวัน จากนั้นจำนวนการบานของดอกจะลดลง จนหยุดการบานเวลาประมาณ 18.00 น. (รูปที่ 5.15)



รูปที่ 5.15 เปอร์เซนต์การบานในรอบวันของดอกส้มโชกุนในช่วงที่ดอกบานสูงสุดในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

พื้นที่อำเภอยะหา จังหวัดยะลา

สำหรับช่วงเวลาและการบานของดอกส้มโชกุนในเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา เริ่มทยอยออกดอกวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2554 โดยแต่ละต้นที่ทำการศึกษาใช้เวลาการบานเฉลี่ย 8 วัน โดยในวันที่เริ่มทำการ ศึกษาดอกบานเฉลี่ยเท่ากับ 4.36% ของการบานทั้งหมด หลังจากนั้นจำนวนดอกบานเพิ่มขึ้นและจำนวนดอกบานสูงสุดในวันที่ 4 เฉลี่ยเท่ากับ 39.31 เปอร์เซนต์ของการบานทั้งหมด หลังจากนั้นการบานของดอกจะค่อยๆ ลดลงอย่างรวดเร็ว และสิ้นสุดการบานในวันที่ 8 (รูปที่ 5.16)

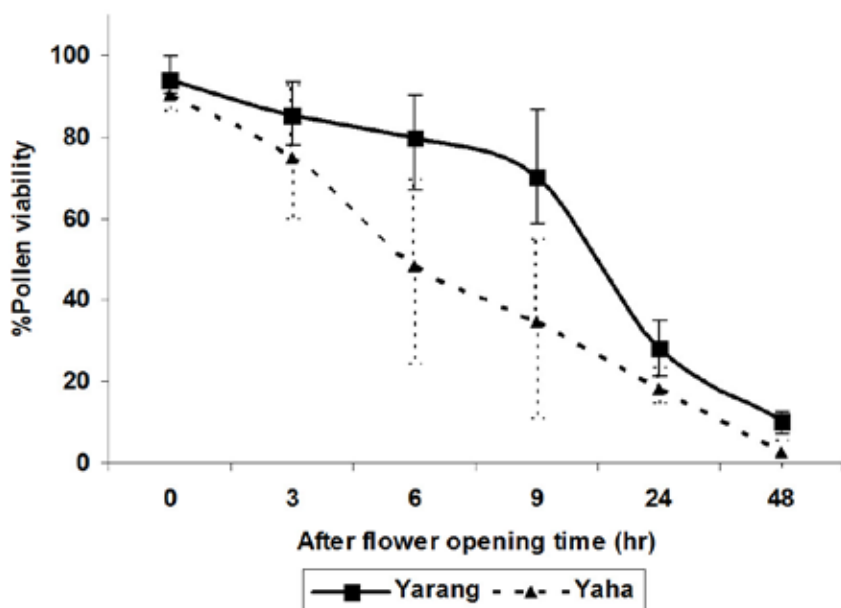


รูปที่ 5.16 เปอร์เซนต์การบานของดอกส้มโชกุนในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ในแปลงปลูก เขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา

5.2.1.4 ความมีชีวิตของละอองเรณู

การปลดปล่อยและความมีชีวิตของละอองเรณูในไม้ผลหลายชนิดแตกต่างกัน ตั้งแต่ดอกเริ่มบานจนถึงหลังจากดอกบานไปแล้วระยะหนึ่ง ละอองเรณูที่ปลดปล่อยออกมาใหม่ๆ มีค่าความมีชีวิตสูงแล้วจะค่อยๆ ลดลงหลังจากถูกปลดปล่อย Wunnachit และคณะ (1992) รายงานว่า ละอองเรณูมะม่วงหิมพานต์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาใหม่ๆ มีค่าความมีชีวิตสูงถึงร้อยละ 96 หลังจากนั้น ค่าความมีชีวิตจะค่อยๆ ลดลง เรณูที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้องนาน 48 ชั่วโมง จะมีค่าความมีชีวิตเพียงร้อยละ 23 ทรงพล สมศรี (2530) รายงานว่าละอองเรณูทุเรียนที่ถูกปลดปล่อยออกมาใหม่ๆ มีค่าความมีชีวิตร้อยละ 90 แต่เมื่อเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องนาน 20 ชั่วโมง จะมีค่าความมีชีวิตลดลงเหลือร้อยละ 85 ไมตรี แก้วทับทิม (2538) รายงานว่า ดอกส้มโอพันธุ์หอมหาดใหญ่จะปลดปล่อยละอองเรณูหลังจากดอกบานเต็มที่ ละอองเรณูที่ถูกปลดปล่อยออกมาใหม่ๆ มีค่าความมีชีวิต 100 เปอร์เซนต์ แต่เมื่อเก็บรักษาละอองเรณูไว้ในอุณหภูมิห้อง ค่าความมีชีวิตจะค่อยๆ ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 65.02 ที่ชั่วโมงที่ 48 ละอองเรณูที่มีค่าความมีชีวิตสูงทำให้การงอกของหลอดละอองเรณูที่จะนำไปสู่การปฏิสนธิกับอวุลก่อให้เกิดการติดผลดีขึ้น (Norton, 1966) ทั้งนี้ เนื่องจากละอองเรณูที่มีค่าความมีชีวิตสูงจะมีความแข็งแรงนำไปสู่การงอกเพื่อเข้าไปปฏิสนธิกับอวุลที่ดี

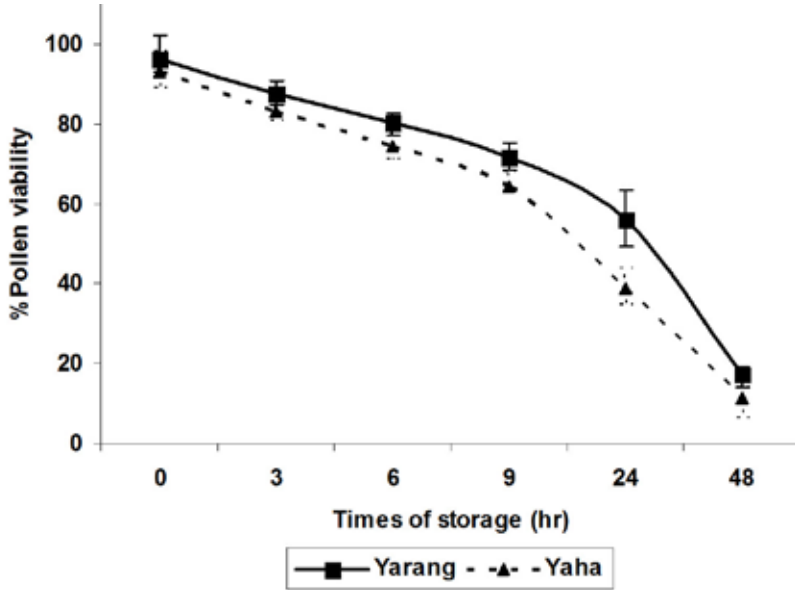
ผลการศึกษามีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนศึกษาในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี ในช่วงการออกดอกเดือนเมษายน 2554 พบว่า ละอองเรณูที่ถูกปลดปล่อยออกมาใหม่ๆ มีค่าความมีชีวิตสูงถึงร้อยละ 94.17 แต่เมื่อผ่านไป 3, 6, 9, 24 และ 48 ชั่วโมง ค่าความมีชีวิตของละอองเรณูจะค่อยๆ ลดลงเหลือร้อยละ 85.54, 79.87, 70.24, 28.25 และ 10.70 ตามลำดับ ในขณะที่ละอองเรณูดอกส้มโชกุนที่เก็บจากแปลงปลูกอำเภอยะหา จังหวัดยะลามีค่าความมีชีวิตร้อยละ 90.41, 75.03, 48.25, 34.47, 18.35 และ 2.87 ตามลำดับ (รูปที่ 5.17)



รูปที่ 5.17 ความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี และอำเภอยะหา จังหวัดยะลา

ผลการศึกษามีชีวิตของละอองเรณูที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน พบว่า ละอองเรณูของดอกส้มโชกุนที่เก็บจากแปลงปลูกในเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี ในช่วงการออกดอกเดือนเมษายน 2554 ละอองเรณูที่ถูกปลดปล่อยออกมาใหม่ๆ และเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องนานไม่เกิน 1 ชั่วโมง มีค่าความมีชีวิตสูงถึงร้อยละ 96.47 แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ 3, 6, 9, 24 และ 48 ชั่วโมง ค่าความมีชีวิตของละอองเรณูจะค่อยๆ ลดลงเหลือร้อยละ 87.54, 80.21, 71.87, 48.25 และ 17.13 ตามลำดับ ส่วนละอองเรณูของดอกส้มโชกุนที่เก็บจากแปลงปลูก

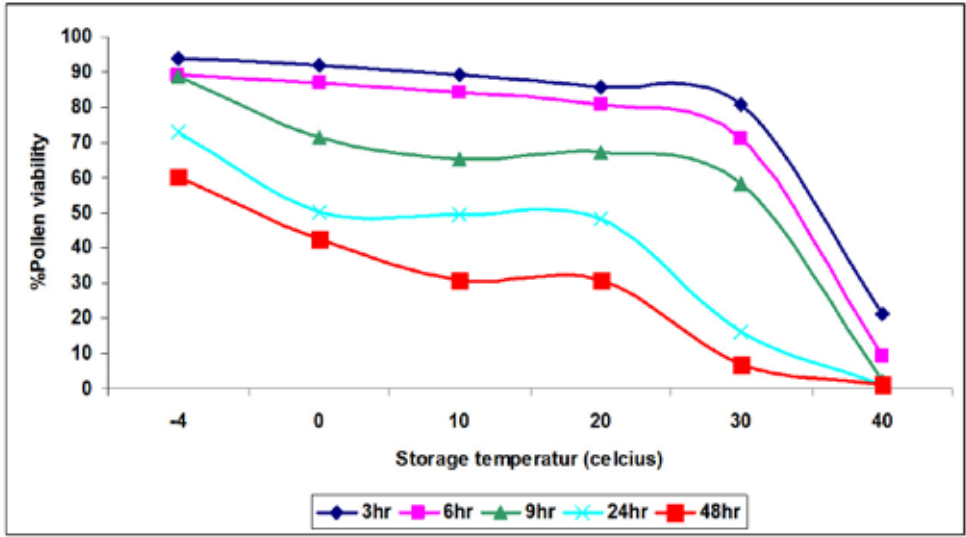
อำเภอยะหา จังหวัดยะลา มีค่าความมีชีวิตร้อยละ 93.01, 82.87, 74.25, 64.36, 42.58 และ 11.57 ตามลำดับ (รูปที่ 5.18)



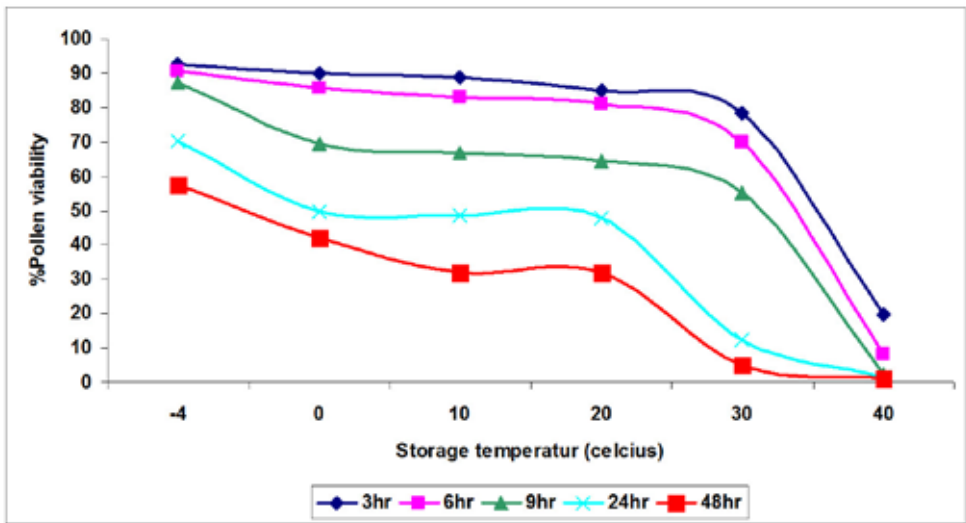
รูปที่ 5.18 ความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานีและอำเภอยะหา จังหวัดยะลาที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องระยะเวลาต่างๆ กัน

และเมื่อทำการศึกษาความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนที่ถูกปลดปล่อยออกมาใหม่และเก็บไว้ในอุณหภูมิต่างกัน คือ -4, 0, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 3, 6, 9, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า ละอองเรณูที่เก็บจากแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานีในช่วงการออกดอกเดือนเมษายน 2554 มีค่าความมีชีวิตสูงสุดที่ -4 องศาเซลเซียส รองลงมาที่อุณหภูมิ 0, 10, 20, 30 องศาเซลเซียส และน้อยที่สุดที่ 40 องศาเซลเซียส (รูปที่ 5.19) เช่นเดียวกับการทดสอบความมีชีวิตของละอองเรณูที่เก็บจากแปลงปลูกอำเภอยะหา จังหวัดยะลา (รูปที่ 5.20)





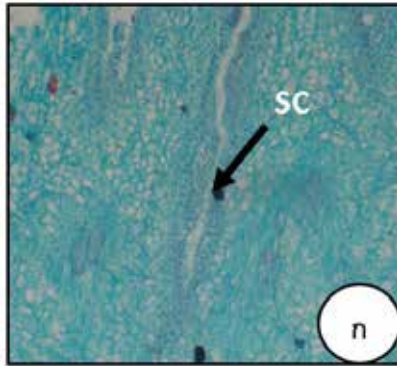
รูปที่ 5.19 ความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี ที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่างๆ กัน



รูปที่ 5.20 ความมีชีวิตของละอองเรณูดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา ที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิต่างๆ กัน

5.2.1.5 กายวิภาค เนื้อเยื่อวิทยาและลักษณะปลายยอดเกสรเพศเมีย

กายวิภาค เนื้อเยื่อวิทยา และลักษณะปลายยอดเกสรเพศเมียสัมพันธ์กันในระยะดอกบานเต็มที่ พบว่า ปลายยอดเกสรเพศเมียมีการขยายขนาดเพิ่มขึ้น บริเวณกึ่งกลางมีร่องบุ๋มลงไปเล็กน้อยบริเวณก้านเกสรเพศเมีย พบว่า ที่บริเวณกึ่งกลางของก้านเกสรเพศเมียมี stilar canals รูปร่างค่อนข้างกลมและมี stilar canals ลักษณะเป็นร่องยาว เนื้อเยื่อที่บริเวณ stilar canals นี้ เรียกว่า transmitting มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมเรียงตัวติดกันแน่น (รูปที่ 5.21 ก)



รูปที่ 5.21 กายวิภาค เนื้อเยื่อวิทยา และลักษณะปลายยอดเกสรเพศเมียดอกสัมพันธ์กันในระยะดอกบานเต็มที่
ก. ลักษณะเนื้อเยื่อปลายยอดเกสรเพศเมียภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
ข-ค. ลักษณะปลายยอดเกสรเพศเมียภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
SC = Stilar canals

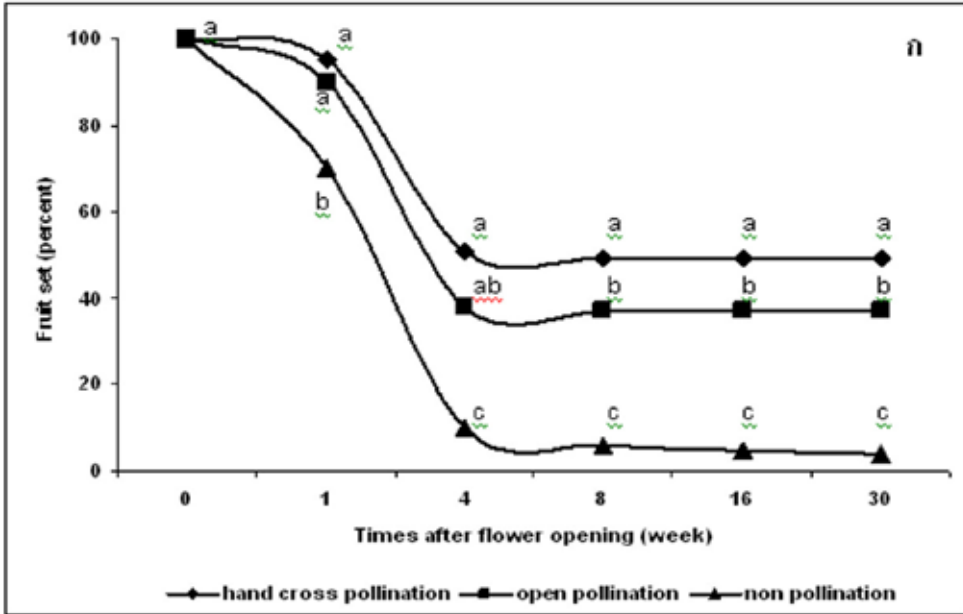
5.2.2 ชนิดและพฤติกรรมของชีวพาหะ

การศึกษาชนิดของแมลงที่มาเยือนดอกส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา ช่วงวันที่ดอกบานสูงสุดตั้งแต่วันที่ 7:00 ถึง 17:00 นาฬิกา พบแมลง 4 ชนิด ได้แก่ แมลงวันผลไม้ (*Bactrocer dorsalis* Hendel) ชันโรง (*Trigona* sp.) แมลงภู่ (*Xylocopa* sp.) และมดดำ (*Camponotus* sp.) ในบรรดาแมลงที่ทำหน้าที่ช่วยถ่ายละอองเรณูให้แก่ดอกส้มโชกุน ปรากฏว่าแมลงวันผลไม้มีพฤติกรรมและบทบาทในการถ่ายละอองเรณูสูงสุด โดยเริ่มออกทำหน้าที่ตั้งแต่วันที่ 9:00 ถึง 11:00 นาฬิกา จะกินละอองเรณูและน้ำหวานบริเวณโคนกลีบดอกโดยจะไต่ไปมาก่อนให้เกิดการถ่ายละอองเรณูขึ้นได้ ส่วนชันโรงเข้ามาเยือนดอกเวลา 8:00 ถึง 10:00 นาฬิกา โดยเก็บละอองเรณูไว้ที่ตะกร้าเก็บละอองเรณูที่ส่วนขาหลังและจะไต่ลงไปเก็บน้ำหวานบริเวณโคนกลีบดอก และในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นแมลงภู่ก็จะเข้ามาเก็บละอองเรณูโดยใช้ขาและลำตัวให้สัมผัสกับอับละอองเรณูเพื่อให้ละอองเรณูติดบริเวณลำตัวและขาเช่นเดียวกัน ส่วนมดดำจะมาเยือนดอกตลอดวันโดยเข้ามากินน้ำหวานและไต่วนเวียนบริเวณโคนกลีบดอกเท่านั้น

สำหรับแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี นอกจากจะพบชีวพาหะข้างต้นแล้วยังพบชีวพาหะอื่น ได้แก่ ผีเสื้อ โดยมาดูดน้ำหวานบริเวณโคนกลีบดอก และต่อมน้ำหวาน นอกจากนี้ยังพบมดแดงจำนวนมากไต่ไปมาบริเวณปลายยอดเกสรเพศเมียและต่อมน้ำหวานด้วย

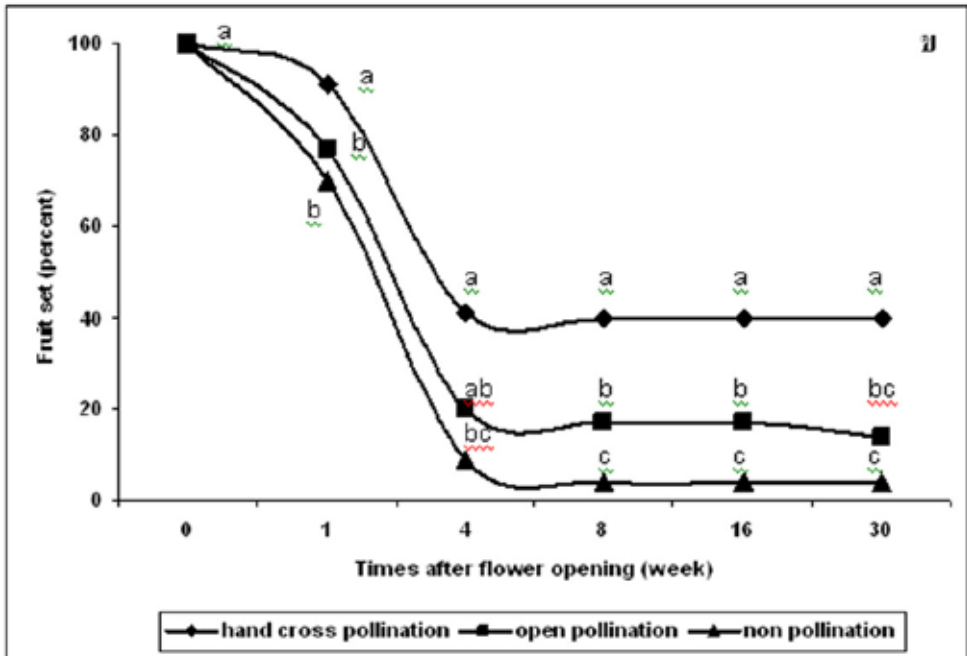
5.2.3 การถ่ายละอองเรณูและการติดผล

การศึกษาผลของการถ่ายละอองเรณูต่อการติดผลของส้มโชกุนโดยการสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ คือ 1) การถ่ายละอองเรณูแบบผสมข้ามด้วยมือ 2) การถ่ายละอองเรณูแบบเปิดตามธรรมชาติ และ 3) ไม่มีการถ่ายละอองเรณู ซึ่งผลการศึกษา พบว่า การถ่ายละอองเรณูต่อการติดผลของส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี เกิดขึ้นสูงสุดหลังจากการถ่ายละอองเรณูไปแล้ว 1 สัปดาห์ จากนั้นผลที่ติดและคงอยู่บนต้นลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งผลอายุ 4 สัปดาห์ การติดผลจะลดลงน้อยมากและคงที่ในสัปดาห์ที่ 16 จากนั้นผลสุกแก่ในสัปดาห์ที่ 30 ทั้งนี้ ปริมาณการติดผลของส้มโชกุนในระยะสุกแก่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการถ่ายละอองเรณูแบบผสมข้ามด้วยมือมีเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงสุดเท่ากับ 49% รองลงมาได้แก่ การถ่ายละอองเรณูแบบเปิดตามธรรมชาติมีเปอร์เซ็นต์การติดผลเท่ากับ 37% และไม่มีการถ่ายละอองเรณูมีเปอร์เซ็นต์การติดผลต่ำสุดเท่ากับ 4% ตามลำดับ (รูปที่ 5.22)



รูปที่ 5.22 ผลของการถ่ายละอองเรณูแบบต่างๆ ต่อการติดผลของส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี

ส่วนการติดผลของส้มโชกุนในแปลงปลูกอำเภอยะหา จังหวัดยะลา พบว่า ผลอ่อนร่วงเป็นจำนวนมากในช่วงสัปดาห์ที่ 1-4 หลังการถ่ายละอองเรณู และการติดผลลดลงน้อยมากจนกระทั่งค่าการติดผลคงที่ในสัปดาห์ที่ 16 เป็นต้นไป จนกระทั่งผลสุกแก่ในสัปดาห์ที่ 30 ปริมาณการติดผลของส้มโชกุนในระยะสุกแก่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการถ่ายละอองเรณูแบบผสมข้ามด้วยมือมีเปอร์เซ็นต์การติดผลสูงสุดเท่ากับ 40% รองลงมาได้แก่ การถ่ายละอองเรณูแบบเปิดตามธรรมชาติมีเปอร์เซ็นต์การติดผลเท่ากับ 14% และไม่มี การถ่ายละอองเรณูมีเปอร์เซ็นต์การติดผลต่ำสุดเท่ากับ 4% ตามลำดับ (รูปที่ 5.23)

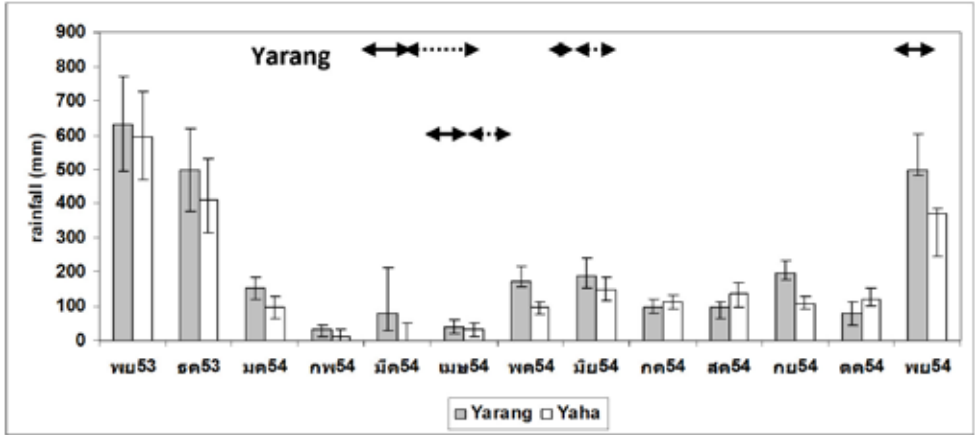


รูปที่ 5.23 ผลของการถ่ายละอองเรณูแบบต่างๆ ต่อการติดผลของส้มโชกุนในแปลงปลูกเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในเวลาเดียวกันแต่ต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

5.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน สภาพอากาศกับการแตกยอด ชีววิทยาดอก ชีวพาหะ การถ่ายละอองเรณู และการติดผล

ช่วงการแตกยอดและการออกดอกของไม้ผลแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อม สำหรับในเขตร้อนปรากฏว่า ปริมาณน้ำฝนหรือความแห้งแล้งมีผลต่อช่วงการแตกยอดและการออกดอกของไม้ผลเป็นอย่างมาก (พรพันธ์ กิตินันท์ประกร และสุรพันธ์ สุภัทรพันธ์, 2530 ; สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์, 2537 ; Monselise and Halevy, 1964) ส้มโชกุนในแปลงปลูกในเขตอำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี แตกยอด 3 ช่วง คือ 18-25 มีนาคม, 3-9 มิถุนายน และ 27-30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ซึ่งจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 80.70 มิลลิเมตร และความชื้นดินเฉลี่ย 22.94 เปอร์เซนต์ในเดือนมีนาคม และหากพิจารณาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยก่อนส้มโชกุนแตกยอดในเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 30.90 มิลลิเมตร และความชื้นดินเฉลี่ย 27.14 เปอร์เซนต์ การลดลงของปริมาณน้ำฝนและความชื้นดินในเดือนกุมภาพันธ์จะทำให้

รากส้มโชกุนหยุดการเจริญเติบโตและส่งเสริมการสังเคราะห์อาหารด้วยแสงและมีการสะสมอาหารที่ใบ และเมื่อส้มโชกุนได้รับน้ำฝนในเดือนต่อมา ก็จะใช้อาหารที่เก็บไว้สร้างยอดและตาดอกเกิดขึ้นในระยะต่อมา รูปแบบข้างต้นคล้ายกับช่วงการแตกยอดในเดือนมิถุนายนและพฤศจิกายน ซึ่งพบว่า ในเดือนมิถุนายนมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 187.10 มิลลิเมตร และความชื้นดินเฉลี่ย 30.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก่อนการออกดอกในเดือนเมษายนมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 40.10 มิลลิเมตร และความชื้นดินเฉลี่ย 16.80 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นในเดือนพฤษภาคม เท่ากับ 174.50 มิลลิเมตร และ 22.54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และทำนองเดียวกับเดือนพฤศจิกายนที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าเดือนก่อนการออกดอกในเดือนตุลาคม แต่ในช่วงเวลาที่ 2 และ 3 ได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำในช่วงสั้นๆ เท่านั้น ฟิโนโลยีคล้ายกับแปลงส้มโชกุนในเขตอำเภอยะลา จังหวัดยะลา ที่แตกยอดในเดือนเมษายนซึ่งพบว่า ในเดือนดังกล่าวมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 31.70 มิลลิเมตร และความชื้นดินเฉลี่ย 21.48 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก่อนการออกดอกในเดือนเมษายนไม่มีปริมาณน้ำฝนเลยและความชื้นดินเฉลี่ย 14.67 เปอร์เซ็นต์ และหลังการแตกยอดไม่นานก็มีการออกดอกบริเวณใบที่เกิดขึ้นใหม่ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาช่วงการแตกยอดและออกดอกจะช้ากว่าแปลงเขตอำเภอยะรังด้วยเหตุที่มีสภาวะแล้งยาวนานตั้งแต่ต้นปี จะเห็นว่า การแตกยอดและการออกดอกมีปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝนเป็นสำคัญ ซึ่งส่งผลต่อความชื้นในดินอันนำไปสู่สภาวะเครียดน้ำ (water stress) สำหรับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วงดังกล่าวเป็นผลทางอ้อมที่ส่งเสริมการระเหยของน้ำในดินเร็วขึ้น ทำให้ดินมีความชื้นต่ำ นอกจากนี้ การได้รับแสงมาก ทำให้การสะสมอาหารภายในต้นเพิ่มขึ้นและเมื่อได้รับน้ำอย่างเพียงพอในระยะต่อมา ส่งเสริมการแตกยอดและออกดอกในระยะต่อมาคล้ายกับการรายงานของวิจิตต์ วรณชิต และไมตรี แก้วทับทิม (2538) รายงานว่า ส้มโอพันธุ์หอมหาดใหญ่หยุดการแตกยอดอ่อน และออกดอก จำนวนแตกต่างกันในแต่ละครั้งเกือบทุกเดือน แต่เกิดขึ้นสูงสุดในช่วงเดือนเมษายน การแตกยอดอ่อนและออกดอกปรากฏให้เห็นพร้อมๆ กันหลังจากที่ต้นได้รับความแห้งแล้งไปแล้วระยะหนึ่ง และได้รับน้ำฝนในปริมาณที่เพียงพอในเวลาต่อมา



รูปที่ 5.24 ปริมาณน้ำฝน ช่วงการแตกยอด และออกดอกของส้มโชกุน

อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิ นับได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการบานดอก โดยพบว่าการบานของดอกในช่วงที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ย 37.6 องศาเซลเซียส และ 33.31 องศาเซลเซียส ในช่วงที่ 2 เวลาการบานช่วงที่ 1 ค่อนข้างนาน ทั้งนี้ ส้มโชกุนมีระยะเวลาการพัฒนาการดำน ลำต้นในช่วงต้นปีประมาณ 5 เดือน เพื่อเตรียมความพร้อมในการเจริญทางลำต้นเพื่อการออกดอกและผล จำนวนยอดที่เป็นตำแหน่งการออกดอกมีจำนวนมากเพื่อการออกดอก และจะทยอยออกดอก ทำให้ระยะเวลาการออกดอกนานกว่าช่วงที่ 2 การออกดอกในช่วงที่ 2 นี้เป็นการออกดอกในตำแหน่งปลายยอดส่วนที่เหลือจากครั้งที่ 1 เท่านั้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในช่วงเวลาเดียวกันในรอบวันจะช่วยเร่งการพัฒนาการของดอกตูมให้บานเร็วขึ้น (Rodrigo and Herrero, 2002)

ส่วนช่วงเวลาและจำนวนวันของการบานดอกส้มโชกุนในเขตอำเภอยะหา จังหวัดยะลา มี 1 ช่วง ระหว่างวันที่ 15-22 เมษายน โดยใช้เวลาการบานเฉลี่ย 8 วันเท่านั้น ซึ่งดอกค่อยๆ บานและบานสูงสุดในวันที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ย 38.14 องศาเซลเซียส สูงกว่าในแปลงปลูกอำเภอ ยะรังในช่วงเดือนเดียวกัน โดยใช้เวลาการบานเฉลี่ยสั้นกว่าแปลงปลูกในอำเภอยะรังเป็นเวลา 4 วัน และเมื่อพิจารณาการบานในรอบวันช่วงเดือนเดียวกัน พบว่า แปลงปลูกในอำเภอยะหาบานเร็วและสูงสุดในเวลา 10:00 นาฬิกา ในขณะที่อำเภอยะรังบานสูงสุดเวลา 11:00 นาฬิกา จะเห็นว่า ในสภาพแปลงปลูกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะส่งเสริมให้ดอกบานเร็วและใช้ช่วงเวลาบานดอกสั้นลง

ผลของช่วงเวลาการบานของดอกที่แตกต่างกันนี้ นอกจากเป็นผลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมแล้วยังเป็นกลไกภายในดอกตัวเองเพื่อเอื้อต่อการถ่ายละอองเรณู เรียกว่า

floral clock ซึ่งไม้ผลแต่ละชนิดจะมีช่วงเวลาการบานที่แตกต่างกันไป (Nepi and panici, 1993) ขึ้นกับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้นในดิน เช่น หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะเร่งให้มีจำนวนดอกบานพร้อมกันมากขึ้น (Faegri and Pijl, 1979 ; Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996)

หลังจากดอกส้มโชกุนบานไม่นานละอองเรณูจำนวนมากถูกปลดปล่อยออกมาและพร้อมสำหรับการผสมพันธุ์ หลังจากปลดปล่อย ออกมาใหม่ๆ มีค่าความมีชีวิตสูงและค่อยๆ ลดลง ทั้งนี้อุณหภูมิและความชื้นภายนอกมีผลกระทบต่อความมีชีวิตของเรณูโดยจะเร่งและยับยั้งกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ของเรณูจนนำไปสู่การเสื่อมสภาพของความมีชีวิตได้เร็วขึ้น (เบญจพร ชูสิงห์, 2545 ; ลาวัลย์ รักสัตย์, 2539 ; Ferris et al., 1998 ; Adaniya, 2001 ; Hedhly et al., 2004) ละอองเรณูที่เก็บรักษาในอุณหภูมิห้องของดอกส้มโชกุนที่เก็บจากแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง ในช่วงการออกดอกเดือนเมษายนมีเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตสูงกว่าในแปลงอำเภอยะหา และความมีชีวิตลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 9-48 ชั่วโมง แต่หากพิจารณา เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตที่สามารถใช้สำหรับถ่ายละอองเรณูซึ่งต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความมีชีวิตของละอองเรณูในแปลงปลูกอำเภอยะหา มีช่วงสั้น หลังจากดอกบานไปแล้วไม่เกิน 6 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมงในแปลงปลูกอำเภอยะรัง ทั้งนี้ ในช่วงเวลาในแปลงปลูกอำเภอยะหา มีอุณหภูมิเฉลี่ย 38.14 องศาเซลเซียส สูงกว่าในแปลงปลูกอำเภอยะรังที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 37.60 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ 52.36 เปอร์เซ็นต์ และ 54.35 เปอร์เซ็นต์ในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง

และเมื่อทดสอบความมีชีวิตที่ควบคุมระดับอุณหภูมิ -4, 0, 10, 20, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 3, 6, 9, 24 และ 48 ชั่วโมง เพื่อบ่งบอกปัจจัยที่มีผลต่อค่าความมีชีวิตและเปรียบเทียบกับสภาพในแปลงปลูก พบว่า ค่าความมีชีวิตที่ระดับอุณหภูมิสูง 40 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยสุด และเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความมีชีวิตจะลดลงตามระยะเวลาเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความมีชีวิตของละอองเรณูในสภาพแปลงที่อำเภอยะรัง ที่อุณหภูมิเฉลี่ยในขณะดอกบาน 37.6 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าใกล้เคียงกับความมีชีวิตของละอองเรณูในแปลงปลูกอำเภอยะรัง 9 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ค่าความมีชีวิตในแปลงมีค่าสูงกว่าที่ทดสอบจากการควบคุม ถึงแม้สภาพในแปลงมีอุณหภูมิสูง แต่อยู่ในสภาพแวดล้อมแบบเปิด มีการถ่ายเทและเคลื่อนที่อย่างอิสระของพลังงานความร้อนได้ ประกอบกับความชื้นสัมพัทธ์บริเวณใกล้เคียง แต่ค่าความมีชีวิตจะมีความแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยที่ค่าความมีชีวิตของละอองเรณูที่ควบคุมระดับอุณหภูมิเหมือนกันแต่ก็มีค่าที่แตกต่างกัน ละอองเรณูที่เก็บจากแปลง

เขตอำเภอยะหามีค่าความมีชีวิตลดลงและต่ำกว่าในระดับอุณหภูมิต่ำและระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกัน ซึ่งมีรายงานการศึกษาการเก็บรักษาละอองเรณูของไม้ผลชนิดอื่น ๆ ที่ค่าความมีชีวิตของละอองเรณูลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เช่น ทูเรียน (ทรงพลสมศรี, 2530) โจโจบา (Vaknin *et al.*, 2003) มะม่วงหิมพานต์ (Wunnachit, 1991) ศยามล กาจณปกรณ์ (2545) ได้ทำการศึกษาศักยภาพการเก็บรักษาละอองเรณูส้มโอพันธุ์หอมหาดใหญ่ พบว่าละอองเรณูที่ถูกปลดปล่อยออกมาใหม่ๆ และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 11 วัน มีค่าความมีชีวิต 60.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เก็บรักษาเรณูที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานเท่ากัน ทำให้เรณูไม่มีชีวิตรอดเลย เกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์ และคณะ (2551) ทำการตรวจสอบความมีชีวิตและความงอกของละอองเรณูองุ่นพันธุ์ไวท์มะละกาและแบล็คโอปอลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) 4 และ -20 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาละอองเรณูองุ่น โดยทดสอบความมีชีวิตโดยวิธีการย้อมสีด้วย acetocarmine เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบความงอกด้วยวิธี hanging drop ในอาหารสังเคราะห์ ความเข้มข้นน้ำตาล 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ทุกอุณหภูมิส่งผลให้ละอองเรณูองุ่นมีความมีชีวิตและความงอกลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิห้องสามารถรักษาความงอกของละอองเรณูองุ่นได้เพียง 1 วัน ในขณะที่อุณหภูมิ 4 และ -20 องศาเซลเซียส สามารถรักษาความงอกของละอองเรณูองุ่นได้นานถึง 2 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สามารถคงความมีชีวิตและความงอกของละอองเรณูสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ

การเห็ดดอกของแมลงที่ทำหน้าที่ในการถ่ายละอองเรณู ในช่วงเวลา 7:00 ถึง 11:00 นาฬิกา ทั้งนี้เพราะมีการบานของดอกเป็นจำนวนมาก และนอกจากนี้ช่วงดังกล่าวมีแสงแดดอ่อนๆ และมีอากาศที่อบอุ่น ทำให้กลไกการขับน้ำหวานเกิดขึ้นได้ดีและความเข้มข้นของน้ำหวานอยู่ในช่วงที่พอเหมาะสำหรับแมลงที่มาเห็ดดอก Silva และ Dean (2000) เสนอว่าความเข้มข้นของน้ำหวานที่อยู่ในช่วง 20-50 เปอร์เซ็นต์มีความเหมาะสมต่อการเห็ดดอกของแมลงและทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเรณูได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาชนิดแมลงที่ช่วยถ่ายละอองเรณูแก่ดอกส้มโชกุนจากแปลงปลูกเขตอำเภอยะหา พบว่ามี 4 ชนิด ได้แก่ แมลงวันผลไม้ (*Bactrocera dorsalis* Hendel) ชันโรง (*Trigona* sp.) แมลงภู่ (*Xylocopa* sp.) และมดดำ (*Camponotus* sp.) ทั้งนี้ในบรรดาแมลงที่ทำหน้าที่ช่วยถ่ายละอองเรณูให้แก่ดอกส้มโชกุน ปรากฏว่า แมลงวันผลไม้มีพฤติกรรมและบทบาทในการถ่ายละอองเรณูสูงสุด โดยเริ่มออกทำหน้าที่ถ่ายละอองเรณูแก่ดอกส้มโชกุนตั้งแต่เช้าและมี

จำนวนสูงสุดระหว่างช่วงเวลา 7:00 ถึง 11:00 นาฬิกา จะกินละอองเรณูและน้ำหวานบริเวณโคนกลีบดอกโดยจะไต่ไปมาก่อให้เกิดการถ่ายละอองเรณูมากกว่าแมลงชนิดอื่น ๆ รองลงมาคือชันโรงโดยจะเข้ามาเยือนดอกในช่วงเวลา 8:00 ถึง 10:00 นาฬิกา โดยเก็บละอองเรณูไว้ที่ตะกร้าเก็บเรณูที่ส่วนขาหลังและจะไต่ลงไปเก็บน้ำหวานบริเวณโคนกลีบดอก แมลงภู่จะเข้ามาเก็บละอองเรณูโดยใช้ขาและลำตัวให้สัมผัสกับอับเรณูเพื่อให้ละอองเรณูติดบริเวณลำตัวและขา มดดำจะเข้ามากินน้ำหวานโดยไต่วนเวียนบริเวณโคนกลีบดอกเท่านั้น สำหรับแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง นอกจากจะพบชีวพาหะข้างต้นแล้วยังพบชีวพาหะอื่น ได้แก่ ผีเสื้อ โดยมาดูดน้ำหวานบริเวณโคนกลีบดอก และตอมน้ำหวาน นอกจากนี้ ยังพบมดแดงจำนวนมากไต่ไปมาบริเวณปลายยอดเกสรเพศเมียและตอมน้ำหวานด้วย ชนิดและจำนวนของชีวพาหะนอกจากขึ้นกับจำนวนดอกที่บ้านซึ่งเป็นแหล่งอาหารแล้ว น่าจะมีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอุณหภูมิและแสงสว่างก็มีอิทธิพลต่อการออกหากินและช่วยทำหน้าที่ถ่ายละอองเรณูของแมลงเหล่านั้น แมลงจะออกหากินเมื่ออากาศอบอุ่นและมีแสงสว่างที่พอเหมาะ (Corbet, 1978) ผลกระทบของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเยือนดอกและระยะเวลาถ่ายละอองเรณูของชีวพาหะ (Memmot et al., 2007 : Willmer and Stone 2004) นอกจากนี้ จากการทดสอบรูปแบบการถ่ายละอองเรณูเพื่อการติดผล พบว่า การถ่ายละอองเรณูแบบผสมข้ามมีการติดผลมากถึง 40-49 เปอร์เซ็นต์ และติดผลต่ำ เมื่อไม่มีการถ่ายละอองเรณู จึงเห็นได้ชัดเจนว่าสัมผัสไขกุนจำเป็นต้องถ่ายละอองเรณูเพื่อการติดผล ซึ่งในธรรมชาติตอนนี้ กระบวนการถ่ายละอองเรณูของสัมผัสไขกุนเกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่จากชีวพาหะ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิร่างกายของผึ้งส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาต่อตัวมันเองหากสูงกว่า 45-50 องศาเซลเซียส (Willmer and Stone, 2004)

ดังนั้น ในแปลงสัมผัสไขกุนเขตอำเภอยะรังในระหว่างช่วงการบาน ดอกมีอุณหภูมิที่สูงอาจได้รับผลกระทบมาก ซึ่งมีชีวพาหะจำนวน 4 ชนิดเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม แมลงวันผลไม้และชันโรงเป็นชีวพาหะที่มีประสิทธิภาพสูงในการถ่ายละอองเรณูแบบข้ามเพื่อการติดผลของสัมผัสไขกุน ถึงแม้ว่ามีดอกบานตลอดวัน แต่ความแปรปรวนของอุณหภูมิในรอบวันจะจำกัดชนิด จำนวนชีวพาหะและมีขีดจำกัดของเวลาที่มาเยือนดอก ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการติดผลที่มีผลผลิตสุดท้าย และหากพิจารณาชีวพาหะในแปลงปลูกเขตอำเภอยะรัง จะมีผีเสื้อและมดแดงที่มีพฤติกรรมช่วยถ่ายละอองเรณูด้วย แสดงให้เห็นว่า สภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิเฉลี่ย 37.6 องศาเซลเซียส เอื้อต่อการเยือนดอกของผีเสื้อและมดแดง อากาศที่อบอุ่น และความชื้นอากาศที่เหมาะสมส่งผลต่อการเยือนดอกของผีเสื้อเพื่อเยือนดอกเพื่อดูดน้ำหวานที่ตอมน้ำหวานของดอกไม้ และสภาพแปลงที่อากาศร้อนทำให้น้ำหวานมีความเข้มข้นและตกผลึกจนเป็น

อุปสรรคต่อผีเสื้อ นอกจากนี้ ปริมาณแสงสว่างที่ไม่เหมาะสมมีผลทำให้แมลงออกหากิน และช่วยถ่ายละอองเรณูลดลง (Corbet, 1978) และในตอนเย็นถึงแม้อุณหภูมิลดลงแล้ว ก็ตาม แต่แสงสว่างเป็นปัจจัยจำกัดการบินและการมองเห็นในการออกหากิน แมลงต่างๆ จึงเริ่มบินกลับรัง ภาวะโลกร้อนที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตมีผลต่อรูปแบบการแสดงพฤติกรรมของชีวพาหะเพื่อหลีกเลี่ยงอุณหภูมิที่สูงขึ้น และมีผลต่อการลดศักยภาพในการถ่ายละอองเรณู (Corbet et al., 1993)



เอกสารอ้างอิง

รายชื่อเอกสารอ้างอิงบทที่ 1

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2543. ระบบฐานข้อมูลกลุ่มชุดดิน Soil View version 2.0 ฝ่ายระบบสารสนเทศวิชาการ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- เกริก ปั่นแห้งเพชร, วินัย ศรวัต, สมชาย บุญประดับ, สุกิจ รัตนศรีวงษ์, สหัชชัย คงทน, สมปอง นิลพันธ์, ชีษณุชา บุคตาบุญ, กิ่งแก้ว คุณเขต, อิศระ พุทธสิมมา, ปรีชา กาเพชร, แคทลียา เอกอุ่น และวิภารัตน์ ดำริเข้มตระกูล. ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- อำนาจ ชิดไชสง, กัณฑ์รีย์ บุญประกอบ, ศุภกร ชินวรรณ และเจียมใจ เครือสุวรรณ. 2553. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information) เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต. ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ
- Ahrens, C.D., and P. Samson. 2011. Extremes weather and climate. Brooks/Cole Cengage Learning, USA.
- Allen, L.H., V.G. Kakani, J.C.V. Vu, and K.J. Boote. 2011. Elevated CO₂ increases water use efficiency by sustaining photosynthesis of water-limited maize and sorghum. Journal of Plant Physiology (in press).
- Andrews, D.G. 2000. An introduction to atmospheric physics. Cambridge University Press. 229 pp.
- Anwar, M. R., G. O'Leary, D. McNeil, H. Hossain, and R. Nelson. 2007. Climate change impact on rain fed wheat in south-eastern Australia. Field Crops Research 104: 139–147.

- Babel, M.S., A. Agarwal, D. K. Swain, and S. Herath. 2011. Evaluation of climate change impacts and adaptation measures for rice cultivation in Northeast Thailand. *Climate Research* 46: 137–146.
- Baker, J. T. 2004. Yield responses of southern US rice cultivars to CO₂ and temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122: 129–137.
- Baker, J.T., and Allen Jr., L.H., 1993. Contrasting crop species responses to CO₂ and temperature: rice, soybean and citrus, soybean and citrus. *Vegetation* 104–105, 239–260.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof (Eds.). 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Chen, G.-Y., Z.-H. Yong, Y. Liao, D.-Y. Zhang, Y. Chen, H.-B. Zhang, J. Chen, J.-G. Zhu, and D.-Q. Xu. 2005. Photosynthetic acclimation in rice leaves to free-air CO₂ enrichment related to both ribulose-1,5-bisphosphate carboxylation limitation and ribulose-1,5-bisphosphate regeneration limitation. *Plant Cell Physiol.* 46 (2005) 1036–1045.
- Cheng, W., H. Sakai, K. Yagi, and T. Hasegawa. 2009. Interactions of elevated [CO₂] and night temperature on rice growth and yield. *Agricultural and forest meteorology*, 149: 51–58.
- De Costa, W.A.J.M., W.M.W. Weerakoon, H.M.L.K. Herath, K.S.P. Amaratunga, and R.M.I. Abeywardena. 2006. Physiology of yield determination of rice under elevated carbon dioxide at high temperatures in a subhumid tropical climate. *Field Crops Research*, 96: 336–347.
- Foster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz, and R. Van Dorland, 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 128–234.



- Guo, R., Z. Lin, X. Moa, and C. Yang. 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97: 1185–1194.
- Hansen, J., Mki. Sato, R. Ruedy, P. Kharecha, A. Lacis, R.L. Miller, L. Nazarenko, K. Lo, G.A. Schmidt, G. Russell, I. Aleinov, S. Bauer, E. Baum, B. Cairns, V. Canuto, M. Chandler, Y. Cheng, A. Cohen, A. Del Genio, G. Faluvegi, E. Fleming, A. Friend, T. Hall, C. Jackman, J. Jonas, M. Kelley, N.Y. Kiang, D. Koch, G. Labow, J. Lerner, S. Menon, T. Novakov, V. Oinas, Ja. Perlwitz, Ju. Perlwitz, D. Rind, A. Romanou, R. Schmunk, D. Shindell, P. Stone, S. Sun, D. Streets, N. Tausnev, D. Thresher, N. Unger, M. Yao, and S. Zhang. 2007. Dangerous human-made interference with climate: A GISS model study. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7: 2287–2312.
- Hegerl, G.C., F. W. Zwiers, P. Braconnot, N.P. Gillett, Y. Luo, J.A. Marengo Orsini, N. Nicholls, J.E. Penner and P.A. Stott, 2007: Understanding and Attributing Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 662–745.
- Holli, R., and R. Simmon. 2006. Paleoclimatology: Explaining the Evidence. (Online) Available: http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Paleoclimatology_Evidence/paleoclimatology_evidence_2.html
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7–22.

- IPCC, 2000. Emission Scenarios. IPCC Special Report. [Nebojsa Nakicernovic and Rob Swart (Eds.)]. Cambridge University Press. 570 pp.
- Jianlin, W., Y. Guirui, F. Quanaxiao, J. Defeng, Q. Hua, and W. Qiufeng. 2008. Responses of water use efficiency of 9 plant species to light and CO₂ and their modeling. *Acta Ecologica Sinica*, 28(2): 525–533.
- Kabubo–Mariara, J., and F. K. Karanja . 2007. The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: A Ricardian approach. *Global and Planetary Change* 57: 319–330.
- Kim, H.Y., T. Horie, H. Nakagawa, and K. Wada. 1996. Effects of elevated CO₂ concentration and high temperature on growth and yield of rice. II. The effect on yield and its components. *Jpn. J. Crop Sci.* 65: 644–651.
- Kim, H.Y., M. Okada, K. Kobayashi, and Yoshida, K., 1998. Effect of elevated CO₂ concentration on ripening of rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 96–97 (extra issue 1).
- Kim, H.Y., M. Lieffering, S. Miura, K. Kobayashi, and M. Okada. 2001. Growth and nitrogen uptake of CO₂-enriched rice under field conditions. *New Phytol.* 150: 223–229.
- Kim, H.Y., M. Lieffering, K. Kobayashi, M. Okada, M. Mitchell, and M. Gumpertz. 2003. Effects of free-air CO₂ enrichment and nitrogen supply on the yield of temperate paddy rice crops. *Field Crops Research*, 83: 261–270.
- Kim, S., D.C. Gitz, R.C. Sicher, J.T. Baker, D.J. Timlin, and V.R. Reddy. 2007. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. *Environmental and Experimental Botany*, 61: 224–236.
- Kimball, B.A., P.J. Pinter Jr., R.L. Garcia, R.L. LaMorte, G.W. Wall, D.J. Hunsaker, G. Wechsung, F. Wechsung, and T. Kartschall. 1995. Productivity and water use of wheat under free-air CO₂ enrichment. *Global Change Biol.* 1: 429–442.



- Kimball, B.A., K. Kobayashi, and M. Bindi. 2002. Responses of agricultura crops to free-air CO₂ enrichment. *Adv. Agron.* 77: 293–368.
- Krishnan, P., D.K. Swain, B. C. Bhaskar, S.K. Nayak, and R.N. Dash. 2007. Impact of elevated CO₂ and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, 233–242.
- Li, X., T. Takahashi, N. Suzuki, and H. M. Kaiser. 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Agricultural Systems*, 104: 348–353.
- Long, S.P., E.A. Ainsworth, A.D.B. Leakey, J. Nosberger, and D.R. Ort. 2006. Food for Thought: Lower-Than-Expected Crop Yield Stimulation with Rising CO₂ Concentrations. *Science*, 312: 1918–1921.
- Luscher, A., and J. Nosberger, 1997. Interspecific and intraspecific variability in the response of grasses and legumes to free air CO₂ enrichment. *Acta Ecologica*, 18(3), 269–275.
- Ma, H.-L., J.-G. Zhu, G. Liu, Z.-B Xie, Y.-L Wang, L.-X. Yang, and Q. Zeng. 2007. Availability of soil nitrogen and phosphorus in a typical rice–wheat rotation system under elevated atmospheric [CO₂]. *Field Crops Research*, 100: 44–51.
- Masutomi, Y., K. Takahashi, H. Harasawa, and Y. Matsuoka. 2009. Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131: 281–291.
- Matthews, R. B., M. J. Kropff, T. Horie, and D. Bachelet. 1977. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation. *Agricultural Systems*, 54(3): 399–425.
- McKibben, B. 2007. Carbon’s new math. *National Geographic Society Magazine*, October 2007, 212 (4): 32–37.

- McLeod, A.R., and P.S. Long. 1999. Free-air carbon dioxide enrichment (FACE) in global change research: a review. *Adv. Ecol. Res.* 28: 1–56.
- Moya, T.B., L.H. Ziska, O.S. Namuco, and D. Olszyk. 1998. Growth dynamics and genotypic variation in tropical, field-grown paddy rice (*Oryza sativa* L.) in response to increasing carbon dioxide and temperature. *Global Change Biol.* 4: 645–656.
- NASA. 2007. Research Finds That Earth’s Climate is Approaching ‘Dangerous’ Point. (Online). Available: <http://www.physorg.com/news99834285.html>, Accessed September 2008.
- Ozdogan, M. 2011. Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141: 1–12.
- Pinkarda, E.A., C.L. Beadle, D.S. Mendhama, J. Cartera, and M. Glena. 2010. Determining photosynthetic responses of forest species to elevated [CO₂]: Alternatives to FACE. *Forest Ecology and Management*, 260: 1251–1261.
- Qiao, Y., H. Zhang, B. Dong, C. Shi, Y. Li, H. Zhai, and M. Liu. 2010. Effects of elevated CO₂ concentration on growth and water use efficiency of winter wheat under two soil water regimes. *Agricultural Water Management*, 97 (11): 1742–1748.
- Randall, D.A., R.A. Wood, S. Bony, R. Colman, T. Fichefet, J. Fyfe, V. Kattsov, A. Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R.J. Stouffer, A. Sumi and K.E. Taylor. 2007. Climate Models and Their Evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Richter, G.M., and M.A. Semenov. 2005. Modelling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks. *Agricultural Systems* 84: 77–97.



- Roudier, P., B. Sultan, P. Quirion, and A. Berg. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? Global Environmental Change (In Press)
- Seneweera, S., A. Makino, N. Hirotsu, R. Norton, and Y. Suzuki. 2011. New insight into photosynthetic acclimation to elevated CO₂: The role of leaf nitrogen and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase content in rice leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 71: 128–136.
- Schutz, M., and A. Fangmeier. 2001. Growth and yield responses of spring winter wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental pollution*, 114: 187–194.
- Shen, S.-H., S.-B. Yang, Y.-X. Zhao, Y.-L. Xu, X.-Y. Zhao, Z.-Y. Wang, J. Liu, and W.-W. Zhang. 2011. Simulating the rice yield change in the middle and lower reaches of the Yangtze River under SRES B2 scenario *Acta Ecologica Sinica*, 31: 40–48.
- Soden, B. J., R. T. Wetherald, G. L. Stenchikov, and A. Robock. 2002 Global Cooling After the Eruption of Mount Pinatubo: A Test of Climate Feedback by Water Vapor. *Science* 296: 727–730.
- Sun, J., L. Yang, Y. Wang, and D. Ort. 2009. FACE-ing the global change: Opportunities for improvement in photosynthetic radiation use efficiency and crop yield. *Plant Science*, 177: 511–522.
- Svoboda, E. 2006. Global Warming Feedback Loop Caused by Methane, Scientists Say. *National Geographic News*, August 29, 2006. (Online). Available: <http://news.nationalgeographic.com/news/2006/08/060829-methane-warming.html>.
- Tan, G., and R. Shibasaki. 2003. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. *Ecological Modelling* 168: 357–370.
- Tao, F., and Z. Zhang. 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: Quantify the relative contributions of adaptation options. *Europ. J. Agronomy*, 33: 103–116.

- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 235–336.
- Triggs, J. M., B. A. Kimball, P. J. Pinter Jr., G. W. Wall, M. M. Conley, T. J. Brooks, R. L. LaMorte, N. R. Adam, M. J. Ottman, A. D. Matthias, S. W. Leavitt, and R. S. Cerveny. 2004. Free-air CO₂ enrichment effects on the energy balance and evapotranspiration of sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124 (1-2): 63–79.
- Tubiello, F. N., J.S. Amthor, K.J. Boote, M.D.Donatelli, W. Easterling, G. Fischerf, R.M. Gifford, M. Howdenh, J. Reilly, C. Rosenzweig. 2007. Crop response to elevated CO₂ and world food supply A comment on “Food for Thought. . .” by Long et al. *Science* 312:1918–1921. *Europ. J. Agronomy*, 26: 215–223.
- Vu, J.C.V., and L.H. Allen Jr. 2009a. Stem juice production of the C4 sugarcane (*Saccharum officinarum*) is enhanced by growth at double-ambient CO₂ and high temperature. *Journal of Plant Physiology*, 166 (11): 1141–1151.
- Vu, J.C.V., and L., H. Allen Jr. 2009b. Growth at elevated CO₂ delays the adverse effects of drought stress on leaf photosynthesis of the C4 sugarcane. *Journal of Plant Physiology*, 166 (2): 107–116.
- Yang, L., J. Huang, H. Yang, G. Dong, G. Liu, J. Zhu, and Y. Wang. 2006a. Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on dry matter production and distribution of rice (*Oryza sativa* L.). *Field Crops Research*, 98: 12–19.



- Yang, L., J. Huang, H. Yang, J. Zhu b, H. Liu, G. Dong, G. Liu, Y. Han, and Y. Wang. 2006b. The impact of free-air CO₂ enrichment (FACE) and N supply on yield formation of rice crops with large panicle. *Field Crops Research*, 98: 141–150.
- Yang, L., J. Huang, H. Yang, G. Dong, H. Liu, G. Liu, J. Zhu, and Y. Wang. 2007. Seasonal changes in the effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on nitrogen (N) uptake and utilization of rice at three levels of N fertilization. *Field Crops Research*, 100: 189–199.
- Yoshimoto, M. H. Oue, K. Kobayashi. 2005. Energy balance and water use efficiency of rice canopies under free-air CO₂ enrichment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133: 226–246.
- Zhang, D.-Y, G.-Y. Chen, Z.-Y. Gong, J. Chen, Z.-H Yong, J.-G. Zhu, and D.-Q. Xu. 2008 Ribulose-1,5-bisphosphate regeneration limitation in rice leaf photosynthetic acclimation to elevated CO₂. *Plant Science*, 175: 348–355.
- Ziska, L.H., O.S. Namuco, T. Moya, and J. Quilang. 1997. Growth and yield responses of field-grown tropical rice to increasing carbon dioxide and air temperature. *Agron. J.* 89: 45–53.

รายชื่อเอกสารอ้างอิงบทที่ 2

อัศมน ลิ้มสกุล และแสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล, 2554: *ข้อมูลการตรวจวัดที่ผิวพื้นและในบรรยากาศ. ใน: รายงานสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1: องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. คณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย [อัศมน ลิ้มสกุล, กัณธรีย์ บุญประกอบ, อำนาจ ชิดไธสง (บรรณาธิการ)]*

เสริม จันทร์ฉาย และดุษฎี ศุขวัฒน์, 2554: ละอองในบรรยากาศและเมฆกับการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศ. ใน: รายงานสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1: องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. คณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุน การวิจัย [อัสมน ลิมสกุล, กัณห์กรีย์ บุญประกอบ, อำนาจ ชิตไธสง (บรรณาธิการ)]

Basak J.K., 2008. Climate Change Impacts on Rice Production in Bangladesh: Results from a Model.

FAO, 2010. Rice Market Monitor Trade and Markets Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, Volume XIV, pp. 1-2.

Huang, S.H., Cheng, C.H., Wu, W.J. 2010. Possible Impacts of Climate Change on Rice Insect Pests and Management Tactics in Taiwan. Crop, Environment & Bioinformatics, Vol. 7, 269-279.

IPCC., 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Kim, H.Y., Horie, T., Nakagawa, H. and Wada, K. 1996. Effects of elevated CO₂ concentration and high temperature on growth and yield of rice. II. The effect on yield and its component of Akihikari rice. Japanese Journal of Crop Science 65, 644-651. (In Japanese with English abstract).

Krishnan, P., Swain, D.K., Chandra Bhaskar, B., Nayak, S.K., Dash, R.N., 2007. Impact of elevated CO₂ and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies. Agriculture, Ecosystems and Environment. 122, 233-242.

Jagadish, S. V. K., Craufurd, P. Q. & Wheeler, T.R. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Experimental Botany 58, 1627-1635.

- Reddy, K.R., Hodges, H.F. 2000. Climate change and global crop productivity. CABI Publishing is a division of CAB international.
- Shah, F., Huang, J., Dui, K., Nie, L., Shan, T., Dhen, C., Wang, K., 2011. Impact of High-temperature Stress on Rice Plant and Its Traits Related to Tolerance. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 1-12.
- Shimono, H., Hasegawa, T., Iwama, K., 2002. Response of growth and grain yield in paddy rice to cool water at different growth stages. *Field Crops Research* 73, 67-79.
- Shimono, H., Okada, M., Kanda, E., Arakawa, I., 2007. Low temperature-induced sterility in rice: Evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Research*. 101, 221-231.
- Trisirisatayawong, I., Naeije, M., Simons, W. and Fenoglio-Marc, L.(2011).Sea level change in the Gulf of Thailand from GPS-corrected tide gauge data and multi-satellite altimetry. *Global and Planetary Change*, doi:10.1016/j.gloplacha.2010.12.010.
- Yoshida, S., 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. Los Banos, The Philippines : IRRI.
- Zeng, L., Shannon, M.C., Lesch, S.M., 2001. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. *Agric. Water Manage.* 48, 191-206.

รายชื่อเอกสารอ้างอิงบทที่ 3

- นิวัติ เจริญศิลป์. 2540. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ก๊าซมีเทนจากนาข้าว. เอกสารทางวิชาการ, ศูนย์วิจัยข้าวปราชญ์บุรี กรมวิชาการเกษตร, อ่างถึงใน พัชรีและสิริธร (2548). *แก่นเกษตร*. 33(2): 83-94.
- ประไพ ชัยโรจน์ และ Katoh, K. 2542. ผลของฟางข้าวต่อการเกิดและปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว. *วารสารวิชาการเกษตร*. 17 (2): 160-166.

- ประไพ ชัยโรจน์, ھرรษา คุณาไ้ท และ จั้ตุงค์ พื้พัฒนั้พื้รียานนั้. 2547. ผลของฟอสโฟยิปซัม ต่อั้ตราการปลดปล่อยกำ้ซมีเเทนจากนาข้าว. วารสารดินและปุ้ย. 26 (3): 97-106.
- ประไพ ชัยโรจน์, วิศิษฐ์ โชลิตกุล, Katoh, K., Tsuruta, H., Yagi, K. and Minami, K. 2540. การปลดปล่อยกำ้ซมีเเทนจากนาข้าว. วารสารดินและปุ้ย. 19: 85-94.
- พั้ชรี แสนจันท์ และ ชนะ ศรีสมการ. 2547. ผลตอบแทนการผลิตข้าวจากนาที่ม่การลดการปลดปล่อยกำ้ซมีเเทน. วารสารเกษตร. 20 (3): 259-271.
- พั้ชรี แสนจันท์ และ สิธิร คมนั้ทิพยรัตน. 2548. การจัดการนาข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดการปลดปล่อยกำ้ซมีเเทน. แก่นเกษตร. 33 (2): 83-94.
- พั้ชรี แสนจันท์ และ อรรคเดช ศรีบุ้ตตะ. 2545. การปลดปล่อยมีเเทนจากนาข้าวดินเค็มของเกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น. วารสารดินและปุ้ย. 24: 127-141.
- พั้ชรี แสนจันท์, กัลยกร โปร้งจันท์กั และ ดวงสมร ตูลาพิทักษ์. 2551a. การใช้วัสดุอินทรีย์ในนาข้าวอินทรีย์ที่ม่การลดกำ้ซมีเเทน. วารสารวิจัย มข. 13 (1): 114-125.
- พั้ชรี แสนจันท์, วุฒิชัย จันทรสมบัตั, และ ชนะ ศรีสมการ. 2547. การเพิ่มผลผลิตข้าวนาหว่านน้ำ้ตามภายใต้้การจั้ตุงการน้ำ้และปุ้ยเคมีเพื่อลดกำ้ซมีเเทน และเปรียบบเทียบผลตอบแทนทางเศรษฐกร. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. 26 (6): 795-806.
- พั้ชรี แสนจันท์, อั้จจรวาดี เกรือภักดี และดวงสมร ตูลาพิทักษ์. 2551b. ผลผลิตข้าว การสะสมคาร์บอน และศั้กยภาพของการเกิดกำ้ซมีเเทนในดินนาที่ใส่ปุ้ยหมั้กฟางข้าวและลดการไ้ถพรวน. แก่นเกษตร. 36:11-22.
- พื้มพันท์ เจิมสวัสดิพงษ์, อรรคศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์, ลั้ดดาวัลย์ กรรณนุช, นั้วัตั เจริญศัลปั, ประไพ ชัยโรจน์ และھرรษา คุณาไ้ท. 2545. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณั้ โครงการการปลดปล่อยออกของกำ้ซมีเเทนจากนาข้าวในประเทศไทย, สั้นั้งานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ภาคภูมิ พรประเสริฐ. 2543. ผลของพันธุ์ข้าวเจ้าและชนิดของปุ้ยในโ้ตราจันต่อการปลดปล่อยกำ้ซมีเเทน. วิทยานั้พนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบั้ณชั้ด (พฤกษศาสตร์), มหาวิทาลัยเทคโนโลยีพระจอมเจ้าธนบุรี, อั้างถึงใน พั้ชรีและสิธิร (2548). แก่นเกษตร. 33 (2) : 83-94.

ภัทรา เฟงธรรมกীরติ, ชยาพร วัฒนศิริ, เครือมาศ สมัครการ, ตูลวิทย์ สถาปนจารุ และ ประไพพิศ ชัยรัตนมโนกร, 2554. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาผลกระทบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดินตามหลักของการผลิตทางเกษตรดีที่เหมาะสม การผลิตเกษตรอินทรีย์ และการจัดการน้ำในพื้นที่ปลูกข้าว, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, ฝ่าย 3 สวัสดิภาพสาธารณะ ชุดโครงการพัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ความตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อมและยุทธศาสตร์ลดโลกร้อน.

มนตรี แสนวังสี, พัชรี แสนจันทร์, สุรศักดิ์ เสรีพงษ์ และ ชุติมาศ บุญไทย อิวาย. 2548. การเพิ่มผลผลิตข้าวและลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนโดยการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการจัดการน้ำในนาชลประทาน. วารสารวิจัย มข. 5(2): 36–46.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. รายงานแห่งชาติฉบับที่ 2: การจัดทำรายงานแห่งชาติฉบับที่ 2 เพื่อเสนอต่อ UNFCCC. สำนักงานประสานการจัดการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. สรุปประเภทการใช้ที่ดินประเทศไทย ปี พ.ศ. 2551/2552. (ออนไลน์). ที่มา: http://olp101.ldd.go.th/luse1/luse_product51-52.htm.

Babu, Y.J., Li, C., Frolking, S., Nayak, D.r., Datta, A. and Adhya, T.K. 2005. Modelling of methane emissions from rice-based production systems in India with the denitrification and decomposition model: Field validation and sensitivity analysis. *Current Science*. 89: 1904–1912.

Belder, P. 2005. Water saving in lowland rice production: An experimental and modeling study, PhD thesis Wageningen University.

Bouwman, A.F. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 46: 53–70.

Cabangon R., Lu G., Tuong T.P., Bouman B.A.M., Feng Y. and Zhang Z. 2003. Irrigation management effects on yield and water productivity of inbred and aerobic rice varieties in Kaifeng. In: *Proceedings 1st International Yellow River Forum on River Basin Management, Volume 2*. The Yellow River Conservancy Publishing House, Zhengzhou, Henan, China, pp 65–76.

- Corton, T.M., Bajita, J.B., Grospe, F.S., Pamplona, R.R., Asis Jr., C.A., Wassmann, R., Lantin, R.S. and Buendia, L.V. 2000. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58: 37-53.
- Huang, S., Rui, W., Peng, X., Huang, Q. and Zhang, W. 2010. Organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 86: 153-160.
- Iqbal, J., Hu, R., Lin, S., Hatano, R., Feng, Lu, L., Ahamadou, B. and Du, L. 2009. CO₂ emission in a subtropical red paddy soil (Ultisol) as affected by straw and N-fertilizer applications: a case study in Southern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 131: 292-302.
- Ji, G, Zheng, X., Mingxing, W. and Li, C. 1999. Modeling N₂O emissions from agricultural fields in Southeast China. *Advance in Atmospheric Sciences*. 16:581-592.
- Keller, M. 1995. Where does nitrous oxide come from?: an aspect of BATGE research. *IGACTivities newsletter*. No.2. Seattle, Washington.
- Khind, C.S. and Ponnampuruma, F.N. 1981. Effect of water regime on growth, yield, and nitrogen uptake of rice. *Plant and Soil*. 59: 287-298.
- Koizumi, H. 2001. Carbon cycling in croplands. In *Structure and function in agroecosystem design and management*, CRC Press, Florida.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304:1623-1627. (Online). Available: <http://www.sciencemag.org>.
- Lasco, R.D., Ogle, S., Verchot, J.R.L., Wassmann, R., Yagi, K., Bhattacharya, S., Brenner, J.S., Daka, J.P., González, S.P., Krug, T., Li, Y., Martino, D.L., McConkey, B.G., Smith, P., Tyler, S.C. and Zhakata, W. 2006. Chapter 5 : Cropland, In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.



- Li, C.S., Naryanan, V. and Harris R. C. 1996. Model estimates of nitrous oxide emissions from agricultural lands in the United States. *Global Biogeochemical Cycles*. 10: 297-306.
- Liesack, W., Schnell, S. and Revsbech, N.P. 2000. Microbiology of flooded rice paddies. *FEMS Microbiology Reviews*. 24: 625-645.
- Minamikawa, K and Sakai, N. 2005. The effect of water management based on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soils in Japan. *Agriculture ecosystems and environment*. 107: 397-407.
- Minamikawa, K. and Sakai, N. 2007. Soil carbon budget in a single-cropping paddy field with rice straw application and water management based on soil redox potential. *Soil Science and Plant Nutrition*. 53: 657-667.
- Neue, H.U. 1997. Fluxes of methane from rice fields and potential for mitigation. *Soil Use and Management*. 13: 258-267
- Pan, G.X. and Zhao, Q.G. 2005. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: Facing the challenge of global change and food security. Cited in Zhang, W., Yu, Y-Q., Sun, W-J., Huang, Y. 2007. Simulation of soil organic carbon dynamics in Chinese rice paddies from 1980 to 2000. *Pedosphere* 17: 1-10.
- Sahrawat, K.L., Bhattacharyya, T., Wani, S.P., Chandran, P., Ray, S.K., Pal, D.K. and Padmaja, KV. 2005. Long-term lowland rice and arable cropping effects on carbon and nitrogen status of some semi-arid tropical soils. *Current Science* 89: 2159-2163.
- Sass, R.L., Fisher, F.M., Wang, Y.B., Runner, F.T. and June, M.E. 1992. Methane emission from rice fields: The effect of flooded water managements. *Global Biogeochemical Cycles*. 6: 249-262.
- Smakahn, K., Poonkaew, S., Towprayoon, S., Sass, R.L., Gale, G., Wassmann, R. and Chidthaisong, A. 2003. Model for estimate methane emissions from drainage irrigated rice fields. 3rd International Methane & Nitrous Oxide Mitigation Conference, Beijing, China, November 17-21, 2003.

- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Rose, S., Schneider, U., Towprayoon, S. and Wattenbach, M. 2007. Chapter 8: Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- Tabbal, D.F., Boumana, B.A.M., Bhuiyana, S.I., Sibayanb, E.B. and Sattar, M.A. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. *Agricultural Water Management*. 56: 93-112.
- Towprayoon, S., Smakgahn, K. and Pookaew, S. 2005. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. *Chemosphere*. 59: 1547-1556.
- Wassamann, R., Lantin, R.S., Neue, H.U., Buendia, L.V., Corton, T.M. and Lu, Y. 2000. Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. III Mitigation options and future research needs. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 58: 23-36.
- Winne, S. 2010. Rice. (Online). Available: <http://silver.emerson.u98.k12.me.us/staffwebpages/gt/rice%20web%20site/environmentalconcerns/emissions.html>.
- Yagi, K., Tsuruta, H. and Minami, K. 1997. Possible options for mitigating methane emission from rice cultivation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 49: 213-220.
- Zhang, W., Yu, Y-Q., Sun, W-J. and Huang, Y. 2007. Simulation of soil organic carbon dynamics in Chinese rice paddies from 1980 to 2000. *Pedosphere* 17: 1-10.



รายชื่อเอกสารอ้างอิงบทที่ 4

- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (2554). *สรุปสถานการณ์อุทกภัยภาคใต้ ครั้งที่ 1/2554 ระหว่างวันที่ 23 มีนาคม – 4 เมษายน 2554*. ข้อมูล ณ วันที่ 4 เมษายน 2554. [http://:www.disaster.go.th](http://www.disaster.go.th).
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2554). *โครงการจัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่ยางพารา ปี 2553*. การสำรวจข้อมูลระยะไกลและเทคโนโลยีสารสนเทศ. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ชชนัญญ์ ภัทรสถาพรกุล. (2552). *ความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทยอันเนื่องมาจากความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์*. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สถาบันวิจัยการยาง. (2555). *ข้อมูลวิชาการยางพารา 2555*. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 123 pp.
- สถาบันวิจัยการยาง. (2551). *อาการผิดปกติของยางพารา*. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง. (2553). *ข่าว สกย*. ข่าวที่ 76/2553 วันที่ 9 พฤศจิกายน 2553.
- อรรถชัย จินตะเวช. (2554). *ความเสี่ยงและความเปราะบางของระบบและภาคส่วนทางเศรษฐกิจ, การสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย ครั้งที่ 1: องค์ความรู้ด้านผลกระทบ ความล่อแหลมและการปรับตัว คณะทำงานกลุ่มที่ 2, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยาและ อำนาจ ชิดไธสง (บรรณาธิการ)*.
- Diaz, H. F., Hoerling, M.P. and Eischeid, J.K. (2001). *ENSO variability, teleconnections and climate change*. International Journal of Climatology, 21, 1845–1862.
- Feintrenie, L., Chong, W.K. and Levang, P. (2011). *Why do farmers prefer oil palm? Lessons learnt from Bungo district, Indonesia*. CIFOR 9(3): 379–396.
- Guardiola-Claramonte, M., Peter, A.T., Alan, D.Z., Thomas, W.G., Matej, D., John, B.V. and Michael, A.N. (2010). *Hydrological effects of the expansion of rubber (Hevea brasiliensis) in a tropical catchment*. Ecology, 3, 306–314.

- Jayasinghe, C.K. (2012). *Disease of Hevea rubber, integrated move can fight the maladies*. Rubber Asia, March–April 2012. pp. 61–64.
- Kositsup, B., Kasemsap, P., Thaler, P. and Ameglio, T. (2007). *Effect of temperature constraints on photosynthesis of rubber (Hevea brasiliensis)*. In: Proceeding of CRRI&IRRDB International Rubber Conference. 12–13 November, 2007 .Siem Reap, Cambodia. pp. 161–166.
- Limsakul, A., Limjirakan, S. and Suthamanuswong, B. (2010). *Asian summer monsoon and its associated rainfall variability in Thailand*. EnvironmentAsia, 3, 85–95.
- MOL. (2008). Thailand labour statistic. Ministry of Labour, Available from: www.mol.go.th.
- Peterson, T.C. (2005). Climate change indices. World Meteorological Organization Bulletin, 54, 83–86.
- Petsri, S., Chidthaisong, A., Pumijumnong, N. and Wachrinrat, C.. 2013. Greenhouse gas emissions and carbon stock changes in rubber tree plantations in Thailand from 1990 to 2004. Journal of Cleaner Production 52 (2013) 61–70.
- Rao, P. and Vijayakumar, K.R. (1992). *Climatic requirements*. In: Natural rubber: Biology, cultivation and technology (Eds: Sethuraj, M.R. and Mathew, N.M.). Elsevier, Netherlands. pp. 200–220.
- Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N. and Yamagata, T. (1999). *A dipole mode in the tropical Indian Ocean*. Nature, 401, 360–363.
- Satheesh, P. R. and Jacob, J. (2011). *Impact of climate warming on natural rubber productivity*
- Sdoodee, S. and Rongsawat, S. (2012). *Impact of climate change on smallholders' rubber production in Songkhla province, southern Thailand*. In: The 2012 International and National Conference for the Sustainable Community Development. 16–19 February 2012. Kosa Hotel, Khon Khan, Thailand, 5 pp.



- Teo, C.-K., Koh, T.-Y., Lo, J.C.-F. and Bhatt, C. (2011). *Principal component analysis of observed and modeled diurnal rainfall in the maritime continent*. Journal of Climate, 24, 4662–4675.
- TRA. (2010). *Support for rubber-smallholders' life quality: TRA (Thai Rubber Association) President View*. Available from: www.thainr.com/en/message_detail.php?MID=62.
- Trenberth, K.E., Stepaniak, D.P., and Caron, J.M. (2000). *The global monsoon as seen through the atmospheric divergent circulation*. Journal of Climate, 13, 3969–93.
- Wang, B. and Ding, Q. (2008). *Global monsoon: Dominant mode of annual variation in the tropics*. Dynamics of Atmospheres and Oceans, 44, 165–183.
- Wang, B., Li, T., Ding, Y., Zhang, R. and Wang, H. (2005). *East Asian –Western North Pacific Monsoon: A distinctive components of the Asian–Australia Monsoon System*. In: The Globalmonsoon system : Research and forecast (Eds: Chang, C.-P., Wang, B. and Lau N.-C.G.). WMO/TD No. 266, World Meteorological Organization, Switzerland. 72–94 pp.
- Watson, G. A. (1989). *Climate and soil*. In: Rubber (Eds: Webster, C.C. and Baulkwill, W.J.). Longman, New York. 614 pp.
- Wolter, K., and Timlin, M.S. (1993). *Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index*. Proceeding the 17th Climate Diagnosis Workshop, Oklahoma, USA, pp. 52–57.
- Wolter, K., and Timlin, M.S. (1998). *Measuring the strength of ENSO—how does 1997/98 rank*. Weather 53, 315–324.
- Yavinchan, S., R., Exell, H.B. and Sukawat, D. (2011). *Convective parameterization in a model for the prediction of heavy rain in southern Thailand*. Journal of Meteorological Society of Japan. 89, 201–224.

รายชื่อเอกสารอ้างอิงบทที่ 5

- ทรงพล สมศรี. 2530 การศึกษาการผสมเกสรทุเรียนพันธุ์ชะนี ก้านยาวโดยใช้เกสรตัวผู้พันธุ์ต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นพรัตน์ บำรุงรักษา. 2530. เงาะไม้ผลของภาคใต้. ว. รุสมิแล 11 : 64-71
- นพรัตน์ บำรุงรักษา. 2531. ทุเรียน. ว. รุสมิแล 11 : 28-38
- พรพันธ์ กิตตินันท์ประกร และ สุรนนท์ สุภัทรพันธุ์. 2530. ผลของการกักน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรต ในโตรเจนไนโบและกิ่งยอดของส้มเขียวหวาน. ว. เกษตรศาสตร์ 21 : 243-248
- ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2525. หลักการปรับปรุงพันธุ์พืช. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- มงคล แซ่หลิม. 2535. การผลิตส้ม. สงขลา : ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ไมตรี แก้วทับทิม. 2538. ชีววิทยาดอกและการถ่ายละอองเกสรของส้มโอพันธุ์หาดใหญ่ วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- รัชนิวรรณ ชูเชิด. 2548. ผลของการใช้สารพาโคลบิวทราโซลและสภาพเครียดน้ำที่มีผลต่อการออกดอกของส้มจุก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- วิจิตต์ วรรณชิต. 2538. ปริมาณการขับน้ำหวานของดอกส้มโอพันธุ์หอมหาดใหญ่และบทบาทของน้ำหวานต่อการถ่ายละอองเกสรด้วยแมลง. ว. สงขลานครินทร์ 17 : 35-41
- วิจิตต์ วรรณชิต, พันัส แพชนะ และ พิทยา ศิริสงคราม. 2535. การศึกษาชีววิทยาการออกดอกและการติดผลของมะม่วงหิมพานต์ในภาคใต้ฝั่งตะวันออกของประเทศไทย. ว. สงขลานครินทร์ 8 : 259-265
- วิจิตต์ วรรณชิต และ ไมตรี แก้วทับทิม. 2538. ลักษณะสัณฐานวิทยาและชีววิทยาดอกส้มโอพันธุ์หอมหาดใหญ่. ว. สงขลานครินทร์ 16 : 335-341
- วิสุทธ์ ไบไม้, แสน ติกวัฒนานนท์, รัตนา ปรมาคม และ Paul, J. G. 2538. การศึกษาพันธุศาสตร์เชิงประชากรและพฤติกรรมผสมพันธุ์ของแมลงวันผลไม้เพื่อการควบคุมจำนวนประชากร ใน รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 143 หน้า

- ศยามล กาญจนปกรณ. 2544. ผลของการถ่ายละอองเกสรต่อการติดผล การติดเมล็ด และคุณภาพผลส้มโอหอมขนาดใหญ่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สมนึก บุญเกิด, เสนอ บุรณวรงค์, เจิตพงษ์ ชมพูนรินทร์ และ ทศนีย์ ศิริทวีป. 2532. ทูเรียนเป็นพืชต้องการแมลงผสมเกสร. ว. เกษตรเกษตร 17 : 54-59
- สมบูรณ์ มั่นความดี. 2535. ความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน น้ำ พืช. ฝ่ายดินด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา. 31 หน้า
- สายัณฑ์ สดุดี. 2533. อิทธิพลของฝนที่มีต่อผลผลิตมังคุดในภาคใต้. ว. สงขลานครินทร์ 12 : 177-182
- สุวรรณพงศ์ ทองปลิว. 2534. อิทธิพลการช่วยผสมเกสรที่มีผลต่อการติดผลและลักษณะภายในส้มโอ 4 พันธุ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชสวน. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สำนักงานเกษตรเบตง. 2551. สัมภาษณ์. สำนักงานเกษตรอำเภอเบตงและสำนักงานเกษตรจังหวัดยะลา. 5 หน้า
- สำนักงานเกษตรยะลา. 2552. สัมภาษณ์. สำนักงานเกษตรจังหวัดยะลา. 7 หน้า
- สำนักงานเกษตรยะลา. 2553. รายงานภาวะเศรษฐกิจ. รายงานภาวะเศรษฐกิจการคลังจังหวัดยะลา 2553. สำนักงานเกษตรจังหวัดยะลา
- สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2537. อิทธิพลของสภาพภูมิอากาศต่อการออกดอกของมะม่วง. ว. เกษตรเกษตร 22 : 122-126
- Abdulrahman, A.A. and Oladele, F.A. 2008. Global Warming and Stomatal Complex Types. *Ethnobotanical Leaflets* 12: 553-56
- Aerts, R., Cornelissen, J.H.C., Dorrepaal, E., Vanlogtestijn, R.S.P., and Callaghan, T.V. 2004. Effects of experimentally imposed climate scenarios on flowering phenology and flower production of subarctic bog species *Global Change Biology* 10 : 1599-1609
- Albrigo, L. G. 2007. Potential impact of global warming on citrus production in the Caribbean Area Citrus Research and Education Center, IFAS, University of Florida, 700 Experiment Station Rd., Lake Alfred, FL

- Bradley, N. L., Leopold, A. C., Ross, J., and Huffaker, W. 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. Proc. Natl. Acad. Sci. Vol. 96, pp. 9701-9704.
- Corbet, S. A. 1978. Bee visits and the nectar of *Echium vulgare* L. and *Sinapsis alba* L. Ecological Entomology 3 : 25-37
- Corbet, S.A. Fussell M., Ake R., Fraser A., Gunson C., Savage A. and Smith K. 1993. Temperature and the pollinating activity of social bees. Ecol Entomol, 18: 17-30.
- Dunne, J.A., Harte, J., and Taylor, K.J. 2003. Subalpine meadow flowering phenology responses to climate change: integrating experimental and gradient methods. Ecological Monographs 73 : 69-86
- Faegri, J. and Pijl, L. V. D. 1979. The Principles of Pollination Ecology. London : Pergamon Press
- Free, J. B. 1976. Insect Pollination of Crops. London : Academic Press
- Garcia-Papi, M. A. and Garcia-Martinez, J. L. 1984. Fruit set and development in seeded and seedless clementine mandarin. Scientia Horticulturae 22 : 113-119
- Godini, A., Palma, L. and Palasciano, M. 1992. Role of self pollination and reciprocal stigma / anthers position on fruit set of eight self compatible almonds. Horticultural Science 27 : 887-889
- Goldschmidt, E. E., Aschkenazi, N., Hersano, Y., Schffer, A. A. and Monselise, S.P. 1985. A role for carbohydrate levels in the control of flowering in citrus. Scientia Horticulturae, 26 : 159-166.
- Hedhly, A., Hormaza, J. I. and Herrero, M. 2004. Effect of temperature on pollen tube kinetics and dynamics in sweet cherry, *Prunus avium* (Rosaceae). American Journal of Botany 91 : 558-564
- Judd, W. S. 1999. Plant Systematics : A Phylogenetic Approach. Sunderland. Mass Press



- Knight, R. J. Jr. 1982. Partial loss of self-incompatibility in Golden Star carambola. HortScience 17 : 72 p.
- Lupo, A., Eisikowitch, D. and Brosh, P. 1991. Pollination in murcott cultivar of *Citrus* (Rutaceae) the influence on seed number and productivity. Acta Horticulturae 288 : 275-227
- Lyrene, P. M. 1983. Flowering and fruiting of Chinese jujubes in Florida. Scientia Horticulturae 18 : 208-209
- Memmott, J., Craze, P.G., Waser, N.M. and Price, M.V. 2007. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. Ecol Letters, 10: 710-717.
- Mikkelsen, T.N., Beier, C., Jonasson, S., Holmstrup, M., Schmidt, I.K., Ambus, P., Pilegaard, K., Michelsen, A., Albert, K., Anderson, L.C., Arndal, M.F., Bruun, N., Christensen, S., Danbeak, S., Gundersen, P., Jorgensen, P., Linden, L.G., Kongstad, J., Maraldo, K., Priemé, A., Riis-Nielsen, T., Ro-Poulsen, H., Stevnbak, K., Selsted, M.B., Sorensen, P., Larsen, K.S., Carter, M.S., Ibrom, A., Martinussen, T., Miglietta, F. and Sverdrup, H. 2008. Experimental design of multifactor climate change experiments with elevated CO₂, warming and drought: the CLIMAITE project. Functional Ecology 22 :185-195
- Monselise, S. P. and Halevy, A. H. 1964. Chemical inhibition and promotion of *Citrus* bud flower induction. American Society for Horticultural Science 84 : 141-146
- Moore, R. 1995. Botany. Dubuque : Wm. C. Brown Publishers
- Molau, U., and Shaver, G.R. 1997. Controls on seed production and seed germinability in *Eriophorum vaginatum*. Global Change Biology, 3 (Suppl. 1), 80-88
- Nepi, M. and Pacini, E. 1993. Pollination, pollen viability and pistil receptivity in *Cucurbita pepo*. Annals of Botany 72 : 527-536
- Norton, J. D. 1966. Testing of plum pollen viability with tetrazolium salt. American Society for Horticultural Science 89 : 132-134

- Ozolincius, R., Stakenas, V., Serafinaviciute, B. and Buozyte, R. 2009. Effects of artificial soil drought on Scots pine fruiting, seed vitality, and pollen germination. *EKOLOGIJA*. 2009. 55 : 189-195.
- Petzoldt, C. and Seaman, A. 2001. Climate Change Effects on Insects and Pathogens. *Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses*. 11 p.
- Rodrigo, J. and Herrero, M. 2002. Effects of pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot. *Scientia Horticulturae*, 92 : 125-135
- Rohidas, S. B. and Chakrawar, V. R. 1989. Studies on floral biology of some important Citrus species. *Horticultural Science 2* : 20-25
- Salter, P.J., and Goode, J. E. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. *Research Rev. No. 2 C. B. Hort. & Plant Crops*.
- Sedgley, M. and Griffin, A. R. 1989. *Sexual Reproduction of Tree Crops*. London : Academic Press
- Shivanna, K. R. 2003. *Pollen Biology and Biotechnology*. New Delhi : Science Publisher
- Tandon, R., Manohara, T. N., Nijalingappa, B. H. M. and Shivanna, K. R. 2001. Pollination and pollen-pistil in oil palm, *Elaeis guineensis*. *Annals of Botany* 87 : 831-838
- Tomohisa, Yano., Mehmet, Aydin., and Tomokazu Haraguchi. 2007. Impact of Climate Change on Irrigation Demand and Crop. Growth in a Mediterranean Environment of Turkey *Sensors* 7 : 2297-2315
- Tubiello, F.N., Rosenzweig, C., Goldberg, R. A., Jagtap, S. and Jones, J.W. 2000. U.S. National Assessment Technical Report Effects of Climate Change on U.S. Crop Production Part I: Wheat, Potato, Corn, and Citrus. NASA-GISS and Columbia University University of Florida
- Weis, K and Ferguson, L. 2007. *Citrus growing in Afghanistan*. UC Regents Davis campus, College of Agricultural and Environment Science



- Willmer, P.G. and Stone, G.N. 2004. Behavioral, ecological, and physiological determinants of the activity patterns of bees. *In: Advances in the Study of Behavior Vol. 34*. San Diego, CA, Elsevier Academic Press Inc. pp. 347–466.
- Wookey, P. A., Robinson, C. H., and Parsons, A. N. 1995. Environmental constraints on the growth, photosynthesis and reproductive development of *Dryas octopetala* at a high arctic polar semidesert, Svalbard. *Oecologia*, 102 : 478–489
- Wunnachit, W., Pattison, S. T., Giles, L., Millington, A. J. and Sedgley, M. 1992. Pollen tube growth and genotype compatibility in cashew in relation to yield. *Journal of Horticultural Science* 67 : 67–75

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นวิกฤติที่ประชาคมโลกและประเทศไทยกำลังเผชิญ ภายใต้สภาวะการณีนี้อากาศการเกษตรเป็นภาคที่ควรให้ความสำคัญยิ่ง เนื่องจากเป็นภาคส่วนที่สร้างผลกระทบต่อสังคมในฐานะแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก และในขณะเดียวกันเป็นภาคส่วนที่ช่วยบรรเทาปัญหาด้วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนได้หากมีการจัดการเพาะปลูกอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาคการเกษตรจะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงในระบบการผลิตอาหาร ยังส่งผลถึงพลังงานทดแทน การบริหารจัดการน้ำ และการพัฒนาเศรษฐกิจ-สังคม-สิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นประเด็นที่ทวีความสำคัญต่อประเทศมากขึ้นทุกขณะ

หนังสือเรื่อง **“ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกษตร”** นับเป็นหนังสือเล่มที่ 3 ในชุดความรู้ **“การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย”** ที่คิดสรรมาจากผลงานวิจัยภายใต้ชุดโครงการวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และ สกว. ได้จัดพิมพ์เผยแพร่ เพื่อให้ทุกภาคส่วนของสังคมไทยได้เข้าใจถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อระบบการผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยในอนาคต



สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
979/17-21 ชั้น 14 เอสเอ็ม ทาวเวอร์ ถนนพหลโยธิน
แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2278 8200 โทรสาร 0 2298 0476
E-Mail: callcenter@trf.or.th
Homepage: <http://www.trf.or.th>

