



กรมอุตุนิยมวิทยา

4353 ถนนสุขุมวิท กรุงเทพฯ 10260

METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 Sukhumvit Road, Bangkok 10260, THAILAND

เอกสารวิชาการ

การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) ในปศุสัตว์
สำหรับประเทศไทย
เปรมวดี ไตรตั้งวงศ์

Trend Analysis of the Temperature-Humidity Index (THI) for Livestock
in Thailand
PREMWADEE TRAITANGWONG

เอกสารวิชาการ เลขที่
Technical Document No.

ISBN:

การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) ในปศุสัตว์
สำหรับประเทศไทย
Trend Analysis of the Temperature-Humidity Index (THI) for Livestock in Thailand

เปรมวดี ไตรตั้งวงศ์
ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร
กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา
ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๘

PREMWADEE TRAITANGWONG
AGROMETEOROLOGY SUB-DIVISION
METEOROLOGICAL DEVELOPMENT DIVISION
DECEMBER 2025

บทคัดย่อภาษาไทย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (Temperature-Humidity Index: THI) ในปศุสัตว์ และประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่ของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวางแผนรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยดำเนินการรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิสัมพัทธ์และความชื้นสัมพัทธ์รายวัน จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพจำนวน 85 สถานี ครอบคลุมระยะเวลา 44 ปี (พ.ศ. 2524–2567) มาคำนวณค่า THI ตามมาตรฐาน NRC (1971) และวิเคราะห์แนวโน้มทางสถิติด้วยวิธี Linear Regression และ Mann-Kendall Test ควบคู่กับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ผลการศึกษาพบว่า ประเทศไทยกำลังเผชิญกับสภาวะความเครียดจากความร้อนที่ทวีความรุนแรงขึ้น โดยผลทดสอบทางสถิติชี้ว่าสถานีตรวจวัดร้อยละ 92.9 มีค่าดัชนี THI เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่พบแนวโน้มลดลงในพื้นที่ใด ข้อมูลเชิงพื้นที่แสดงให้เห็นการขยายตัวของพื้นที่เสี่ยงภัยและการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาวิกฤตที่ยาวนานขึ้น จากเดิมที่จำกัดอยู่ในช่วงฤดูร้อนได้ขยายครอบคลุมตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนตุลาคม นอกจากนี้ ยังพบว่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยเร่งสำคัญที่ทำให้ขีดจำกัดการทนทานต่อความร้อนของสัตว์ลดต่ำลง การศึกษานี้จึงได้พัฒนาแผนภาพประเมินความเสี่ยง (Risk Chart) เพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับเกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในการเฝ้าระวังและบริหารจัดการฟาร์มเพื่อลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสวัสดิภาพสัตว์จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

This study aims to analyze the trends of the Temperature-Humidity Index (THI) in livestock and assess the spatial risk distribution across Thailand to serve as a database for climate change adaptation planning. Daily dry bulb temperature and relative humidity data were collected from 85 quality-controlled stations of the Thai Meteorological Department over a 44-year period (1981–2024). The THI was calculated based on the NRC (1971) standard, and statistical trends were analyzed using Linear Regression and the Mann-Kendall Test, combined with spatial analysis using Geographic Information Systems (GIS).

The results indicate that Thailand is facing intensified heat stress conditions. Statistical tests revealed a significantly increasing trend in THI at 92.9% of the stations, with no decreasing trends observed. Spatial analysis demonstrated an expansion of risk areas and a prolonged critical period, extending from the summer months to cover March through October. Furthermore, relative humidity was identified as a critical factor accelerating heat stress by lowering the thermal tolerance threshold of animals. Consequently, this study developed a "Risk Chart" as a decision-support tool for farmers and relevant agencies. This tool is intended for surveillance and farm management to effectively mitigate economic losses and animal welfare issues resulting from climate change.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	
ABSTRACT ง	
สารบัญจ	
สารบัญตารางช	
สารบัญรูปภาพ..... ซ	
1. บทนำ 1	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1	
1.2 วัตถุประสงค์..... 2	
1.3 ขอบเขตของการดำเนินการ 2	
1.4 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4	
1.5 ทฤษฎี และ/หรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา 5	
1.6 วิธีดำเนินการศึกษา 11	
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 12	
2. ข้อมูลและวิธีดำเนินการ..... 13	
2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา..... 13	
2.2 วิธีการดำเนินการศึกษา..... 13	
3. ผลการดำเนินการ 21	
3.1 ผลการวิเคราะห์ดัชนีความเครียดจากความร้อนและการประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่ 21	
3.2 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน 29	
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้น (Risk Chart)..... 37	
4. สรุปการดำเนินการ 39	
4.1 สรุปผลการดำเนินการ 39	

4.2 วิจารณ์ผลการดำเนินการ.....	40
4.3 ข้อเสนอแนะ.....	41
บรรณานุกรม.....	42
ภาคผนวก	45
ภาคผนวก ก. กราฟแสดงแนวโน้มดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยรายปี ราย สถานี.....	46
ภาคผนวก ข. กราฟแสดงแนวโน้มดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยราย ทศวรรษ รายสถานี.....	52

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 เกณฑ์การประเมินระดับความเครียดจากความร้อน (THI) ในปศุสัตว์.....	6
ตารางที่ 2.1 รายชื่อสถานีตรวจอากาศที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล.....	14
ตารางที่ 2.1 การกำหนดช่วงเวลา 10 วัน ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการทดแทนตัวแปรความยาวนานแสงแดด ตามฤดูกาลหลักของประเทศไทย.....	20
ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ของค่า THI ในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ....	23
ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รายปี.....	30
ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รายทศวรรษ (ทุก 10 ปี).....	34

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งพิกัดที่ตั้งสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ จำนวน 128 สถานี.....	3
รูปที่ 1.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการอย่างละเอียดของงานวิจัย (Flow Chart).....	12
รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงพิกัดสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยสีเขียวแสดงถึงสถานีทั้งหมด (128 สถานี) ส่วนสีแดงแสดงถึงสถานีที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล (85 สถานี).....	18
รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงระดับความเสี่ยงจากดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยรายเดือน.....	25
รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงของดัชนีความเครียดจากความร้อนรายทศวรรษ (ทุก 10 ปี) ของประเทศไทย.....	27
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายปีของสถานีตัวแทนรายภูมิภาค: (ก) เชียงราย (ข) เลย (ค) นครสวรรค์ (ง) สุพรรณบุรี (จ) ชลบุรี และ (ฉ) กระบี่.....	33
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายทศวรรษของสถานีตัวแทนรายภูมิภาค: (ก) เชียงราย (ข) เลย (ค) นครสวรรค์ (ง) สุพรรณบุรี (จ) ชลบุรี และ (ฉ) สงขลา.....	37
รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่อระดับความเครียดจากความร้อนในบริบทประเทศไทย (THI Risk Chart).....	38
รูปที่ ก กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายปีของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี.....	47
รูปที่ ข กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายทศวรรษของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี.....	53

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น (Tropical Climate) ซึ่งมีลักษณะเด่นคือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับค่อนข้างสูงเกือบตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน สภาพอากาศดังกล่าวเป็นปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการผลิตของปศุสัตว์เศรษฐกิจ เช่น โคเนื้อ โคนม สุกร และสัตว์ปีก เนื่องจากสัตว์เหล่านี้มีข้อจำกัดทางสรีรวิทยาในการระบายความร้อนจากร่างกาย เมื่อต้องเผชิญกับอุณหภูมิและความชื้นที่สูงเกินช่วงสภาวะสบาย (Thermal Comfort Zone) จะเกิดภาวะความเครียดจากความร้อน (Heat Stress) ซึ่งเป็นภาวะที่ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของร่างกายสัตว์ ทั้งในด้านการบริโภคของปริมาณอาหารที่ลดลง การชะงักงันของการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ที่ลดลง ตลอดจนปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ลดลง

สำหรับการประเมินความเสี่ยงนั้น ดัชนีความเครียดจากความร้อน (Temperature-Humidity Index: THI) เป็นตัวชี้วัดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการประเมินระดับความเสี่ยงจากความเครียดของปศุสัตว์ โดยพิจารณาจากอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์รวมกัน ค่า THI ที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานเป็นตัวบ่งชี้ว่าสัตว์กำลังเผชิญกับภาวะความร้อนที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและการผลิตได้ ดังนั้นการประเมินและติดตามค่า THI จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการจัดการฟาร์มเพื่อลดผลกระทบจากสภาพอากาศ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ที่ทวีความรุนแรงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นและความแปรปรวนของสภาพอากาศมีความถี่บ่อยครั้งขึ้น สถานการณ์นี้ส่งสัญญาณเตือนถึงความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นในภาคปศุสัตว์ของประเทศไทย ถึงแม้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะตระหนักถึงปัญหานี้ แต่การศึกษาที่วิเคราะห์เจาะลึกถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า THI ในระยะยาวที่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศยังมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่า THI ในระยะยาวจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อประเมินแนวโน้มและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของภาวะความเครียดจากความร้อนในอนาคต ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเชิงวิชาการในการวางแผนการปรับตัว การพัฒนามาตรการป้องกันและจัดการฟาร์มปศุสัตว์ รวมทั้งเป็นข้อมูลสนับสนุนเชิงนโยบายต่อภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการรับมือกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ดังนั้น การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) ในปศุสัตว์สำหรับประเทศไทย จึงมีความสำคัญทั้งในเชิงวิชาการและการปฏิบัติจริง เพื่อสร้างความเข้าใจต่อสถานการณ์ปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคต ซึ่งจะนำไปสู่การยกระดับประสิทธิภาพการเลี้ยงสัตว์ ความมั่นคงทางอาหาร และการพัฒนาการเกษตรที่ยั่งยืนของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

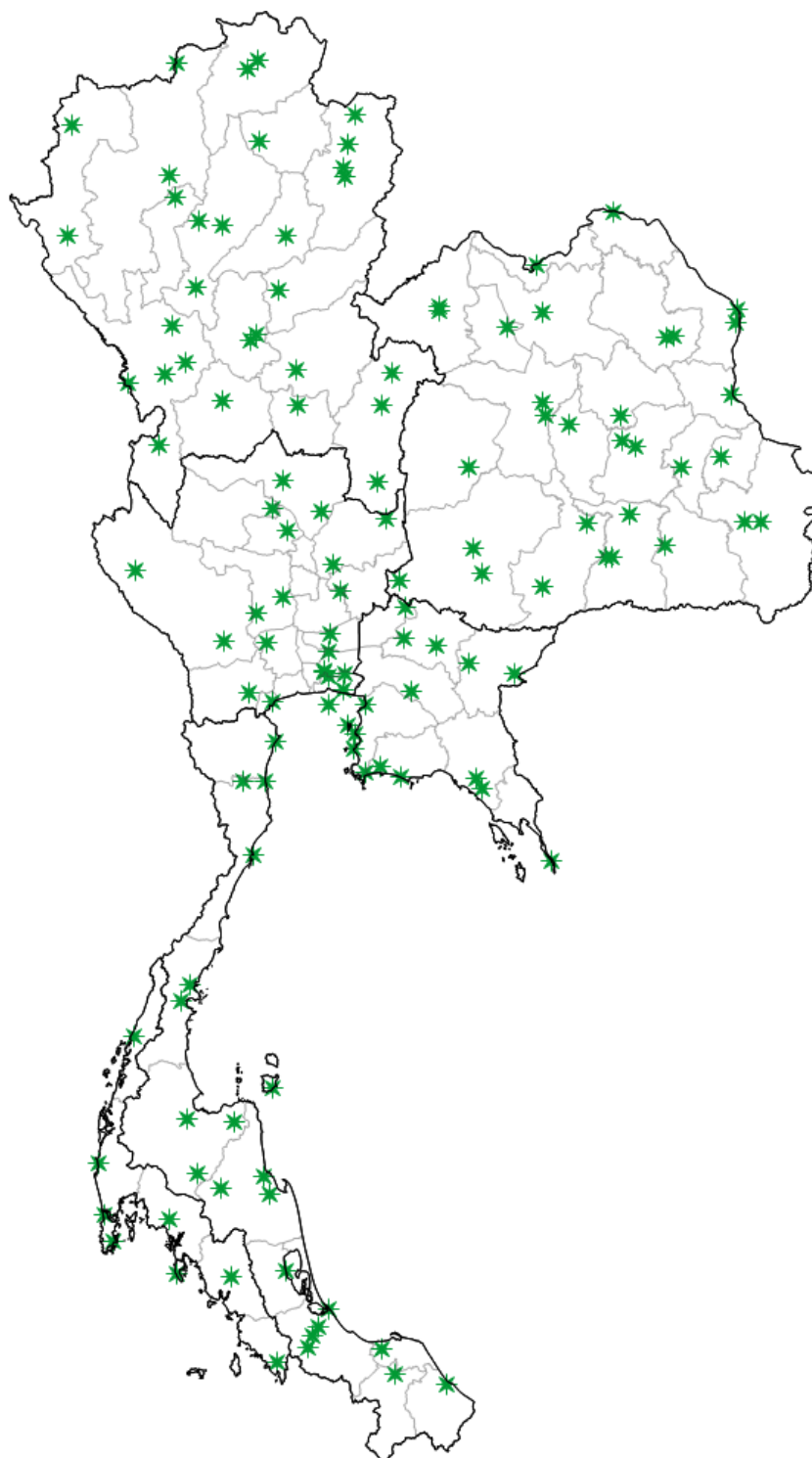
1.2.1 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (Temperature-Humidity Index: THI) ในปศุสัตว์ สำหรับประเทศไทย ในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ เพื่อสะท้อนการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว

1.2.2 เพื่อประเมินระดับความเสี่ยงและจัดทำแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยง (Risk Map) ต่อความเครียดจากความร้อนในปศุสัตว์ โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับผลการวิเคราะห์ดัชนี THI

1.2.3 เพื่อจัดทำฐานข้อมูลและสารสนเทศเชิงพื้นที่สำหรับหน่วยงานภาครัฐและเกษตรกร ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนเฝ้าระวัง แจ้งเตือนภัย และกำหนดมาตรการบรรเทาผลกระทบเชิงรุก

1.3 ขอบเขตของการดำเนินการ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์แนวโน้มและการประเมินความเสี่ยงจากดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) ในปศุสัตว์สำหรับประเทศไทย โดยใช้ฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Dry Bulb Temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) จากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ 128 สถานี ซึ่งแสดงตำแหน่งพิกัดที่ตั้ง ดังรูป 1.1 สำหรับข้อมูลย้อนหลังระยะเวลา 44 ปี (พ.ศ. 2524 – 2567) จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่า THI รายวัน ตามมาตรฐาน NRC (1971) และประมวลผลเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน รายปี และรายทศวรรษ เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางสถิติด้วยวิธี Linear Regression และ Mann-Kendall Trend Test โดยทำการตรวจสอบทิศทางและนัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว ผลลัพธ์ที่ได้ประกอบด้วย ฐานข้อมูลค่า THI รายคาบเวลา กราฟแสดงแนวโน้มรายสถานี และแผนที่สารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) แสดงการกระจายตัวของพื้นที่เสี่ยงภัยความร้อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนและกำหนดมาตรการรองรับสำหรับภาคปศุสัตว์



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งพิกัดที่ตั้งสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ
จำนวน 128 สถานี

1.4 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาความเครียดจากความร้อนในปศุสัตว์ของประเทศไทย จำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้ที่เชื่อมโยงระหว่างผลกระทบทางชีววิทยา เศรษฐศาสตร์ และพลวัตของภูมิอากาศ เพื่อรองรับเป้าหมายการวิจัยในการวิเคราะห์แนวโน้มและจัดทำพื้นที่เสี่ยงภัย จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1.4.1 ผลกระทบของความเครียดจากความร้อนและบริบทในเขตร้อน

ความเครียดจากความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาและประสิทธิภาพการผลิตของโคนม ผลการศึกษาของ West (2003) ชี้ว่า เมื่อโคนมเผชิญกับอุณหภูมิและความชื้นสูงเกินเกณฑ์ โดยค่า THI ที่มากกว่า 72 จะทำให้เกิดการลดลงของปริมาณการกินอาหาร การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิร่างกาย และการเปลี่ยนแปลงสมดุลของฮอร์โมน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำนม ขณะที่ St-Pierre, Cobanov และ Schnitkey (2003) ได้ประเมินความสูญเสียทางเศรษฐกิจจาก Heat Stress ในสหรัฐอเมริกา พบว่ามีมูลค่าความเสียหายสูงถึงระดับพันล้านดอลลาร์ต่อปี สะท้อนให้เห็นว่า ดัชนี THI ไม่เพียงมีความสำคัญเชิงชีววิทยา แต่ยังมีนัยสำคัญทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

สำหรับบริบทในพื้นที่เขตร้อน Narmilan et al. (2021) ทำการศึกษาในประเทศศรีลังกา และพบความสัมพันธ์เชิงลบที่ชัดเจน ซึ่งหากค่า THI สูงกว่า 78 จะทำให้ผลผลิตน้ำนมลดลงเฉลี่ย 12–15% ต่อวัน ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทยของ Sae-tiao et al. (2019) ที่ระบุว่า การเพิ่มขึ้นของค่า THI ส่งผลให้ผลผลิตน้ำนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในฤดูร้อนและต้นฤดูฝน ซึ่งสะท้อนถึงความไวต่อฤดูกาลของปศุสัตว์ไทย นอกจากนี้ Chaiyabutr et al. (2008) ยังได้แสดงให้เห็นเชิงประจักษ์ว่า การใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยในโรงเรือนสามารถลดค่า THI ที่สัตว์รับรู้จริงลงได้เฉลี่ย 5–7 หน่วย ช่วยรักษาสสมดุลน้ำในร่างกาย และเพิ่มผลผลิตน้ำนมในโคนม ลูกผสมโฮลสไตน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.2 แนวโน้มภูมิอากาศและวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยขับเคลื่อนหลักที่ทำให้ความเสี่ยงด้านปศุสัตว์ทวีความรุนแรงขึ้น โดย Limjirakan และ Limsakul (2012) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิผิวพื้นของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2513 – 2552 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.18 °C ต่อทศวรรษ และจำนวนวันร้อนจัด ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) เพิ่มขึ้นกว่า 15 วันต่อปี พร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความสาดชื้น ซึ่งสะท้อนถึงความถี่และความรุนแรงของคลื่นความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ผลการศึกษาล่าสุดโดย Kliengchuay และคณะ (2024) ได้ยืนยันแนวโน้มดังกล่าว โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงนวัตกรรมกับข้อมูลภูมิอากาศใน 6 ภูมิภาคของไทย พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.2–0.3 °C ต่อทศวรรษ ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2–3% ส่งผลให้ค่า THI มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยบางภูมิภาคมีจำนวนวันที่ค่า THI สูงกว่า 80 ในฤดูร้อนเพิ่มขึ้นกว่า 20% เมื่อเทียบกับทศวรรษก่อนหน้า

ในทำนองเดียวกัน Phumkokrux และ Trivej (2024) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิปริมาณน้ำฝน และการระเหยน้ำในหลายภูมิภาคของไทย โดยใช้การจำแนกภูมิอากาศแบบ Thornthwaite พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มร้อนและชื้นมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ

Limjirakan และ Limsakul (2012) และตอกย้ำว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยมีความต่อเนื่องและทวีความรุนแรงขึ้น

สำหรับการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลอนุกรมเวลา สถิติ Mann-Kendall ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสถิติแบบไร้พารามิเตอร์ที่ไม่ต้องอาศัยข้อสมมติการแจกแจงปกติของข้อมูล และสามารถตรวจสอบแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าที่ได้จาก Kendall's Tau จะบอกทิศทางแนวโน้ม ส่วน Sen's Slope จะบอกขนาดการเปลี่ยนแปลง จากการศึกษาของ Wisitsirikun และ Pattarapanitchai (2019) ได้ใช้วิธีดังกล่าวในการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิจาก 26 สถานีในภาคเหนือของประเทศไทย และพบสัญญาณแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.15–0.20 °C ต่อทศวรรษในหลายพื้นที่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาระดับประเทศ การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้สถิติ Mann-Kendall ควบคู่กับการถดถอยเชิงเส้น เพื่อยืนยันความถูกต้องของแนวโน้มค่า THI และระบุขนาดของการเปลี่ยนแปลงให้แม่นยำสูงสุด

ดังนั้น แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สะท้อนผ่านค่า THI ไม่เพียงแสดงถึงเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในประเทศไทย แต่ยังตอกย้ำถึงความจำเป็นในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการจัดทำแผนที่ความเสี่ยง เพื่อให้สามารถประเมินผลกระทบต่อปศุสัตว์ได้อย่างแม่นยำ และรองรับการวางแผนเชิงนโยบายในอนาคต

1.5 ทฤษฎี และ/หรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา

1.5.1 ดัชนีความเครียดจากความร้อน (Temperature-Humidity Index: THI)

เป็นตัวชี้วัดมาตรฐานทางอุตุนิยมวิทยาเกษตรที่ใช้ประเมินระดับความเครียดในปศุสัตว์ โดยพิจารณาผลกระทบร่วมกันของอุณหภูมิอากาศ (Dry Bulb Temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนออกจากร่างกายของสัตว์

1.5.1.1 การคำนวณดัชนี THI

เป็นการคำนวณสมการของ National Research Council หรือ NRC (1971) โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศตุ้มแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์รายวัน สำหรับศึกษานี้จะปรับปรุงให้อยู่ในรูปของหน่วยเมตริก (Metric System) เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลตรวจวัดอากาศในประเทศไทยที่เป็นองศาเซลเซียส ดังสมการที่ 1.1

$$THI = T_{db} - (0.55 - 0.005 \times RH) \times (T_{db} - 14.5) \quad (\text{สมการที่ 1.1})$$

โดยที่

T_{db}	อุณหภูมิอากาศตุ้มแห้ง (Dry Bulb Temperature)	°C
RH	ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	%

1.5.1.2 เกณฑ์การประเมินความเสี่ยง (Risk Criteria)

สำหรับการจำแนกระดับความรุนแรงของความเครียดจากความร้อน ได้ประยุกต์ใช้เกณฑ์มาตรฐานของ Armstrong (1994) โดยเทียบเคียงค่าระหว่างหน่วย °C และ °F ตามมาตรฐานสากล (NRC, 1971; West, 2003; Galebreaker, 2023) เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์การประเมินระดับความเครียดจากความร้อน (THI) ในปศุสัตว์

ระดับความเครียด จากความร้อน	ค่า THI		ผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น
	THI (°C)	THI (°F)	
ความเสี่ยงต่ำ (Comfort)	THI < 27	THI < 68	สัตว์อยู่ในสภาวะสบาย (Thermal Comfort Zone)
เริ่มมีความเครียด (Mild)	27 ≤ THI < 28	68 ≤ THI < 74	อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เริ่มมีการลดการกินอาหาร
เครียดปานกลาง (Moderate)	28 ≤ THI < 30	74 ≤ THI < 78	อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น ผลผลิต น้ำนมลดลงอย่างชัดเจน
เครียดรุนแรง (Severe)	THI ≥ 30	THI ≥ 78	สภาวะวิกฤต สัตว์หอบรุนแรง มี ความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยและตาย

1.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้สร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่มีต่อ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) และใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มในอนาคต

1.5.2.1 แบบจำลองสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Model)

การศึกษานี้ใช้แบบจำลองพื้นฐานเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ตัวแปรอิสระ, X) และค่าดัชนี THI (ตัวแปรตาม, Y) โดยสมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับประชากร (Population Regression Model) แสดงดังสมการที่ 1.2

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (\text{สมการที่ 1.2})$$

โดยที่

Y	ตัวแปรตาม (Dependent Variable)
X	ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
β_0	ค่าจุดตัดแกนตั้ง (Y-intercept) หรือค่าเฉลี่ยของ Y เมื่อ $X = 0$
β_1	ค่าความชัน (Slope) หรือสัมประสิทธิ์การถดถอย ซึ่งแสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนไป 1 หน่วย
ε	ความคลาดเคลื่อน (Random Error Term)

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจริง จะใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ ได้ เป็น สมการถดถอยของกลุ่มตัวอย่าง (Sample Regression Model) ดังสมการที่ 1.3

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X \quad (\text{สมการที่ 1.3})$$

โดยที่

$\hat{Y}$	ค่าพยากรณ์ของตัวแปรตาม
b_0	ค่าประมาณของ β_0
b_1	ค่าประมาณของ β_1

1.5.2.2 การหาค่าความชันด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares: OLS)

เป้าหมายสำคัญของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นคือ การสร้างเส้นแนวโน้มที่ดีที่สุด (Line of Best Fit) ที่สามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลได้อย่างแม่นยำ การศึกษาเรื่องนี้จึงเลือกใช้วิธีนี้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยมีหลักการสำคัญคือ การกำหนดให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of Squared Errors: SSE) ระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์มีค่าน้อยที่สุด

ค่าความชัน b_1 ที่คำนวณได้จากวิธีนี้ เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ระบุทิศทางและขนาดของอิทธิพลของตัวแปรอิสระ X ที่มีต่อตัวแปรตาม Y ซึ่งสามารถตีความได้ดังนี้

- ถ้า b_1 มีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน (แปรผันตรง) กล่าวคือ เมื่อเวลา X เพิ่มขึ้น ค่าดัชนี THI (Y) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น
- ถ้า b_1 มีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม (แปรผกผัน) กล่าวคือ เมื่อเวลา X เพิ่มขึ้น ค่าดัชนี THI (Y) จะมีแนวโน้มลดลง

1.5.3 การประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองและการทดสอบสมมติฐาน (Model Evaluation and Hypothesis Testing)

ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น นอกจากจะได้สมการแนวโน้มแล้ว จำเป็นต้องมีการประเมินว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมเพียงใดและตัวแปรอิสระมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามอย่างแท้จริงหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าสถิติสำคัญ 2 ประการ ได้แก่

1.5.3.1 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical Significance Testing)

การประเมินความน่าเชื่อถือของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่วิเคราะห์ได้ อาศัยการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อยืนยันว่าผลลัพธ์ที่ปรากฏไม่ได้เกิดขึ้นจากความบังเอิญ โดยใช้ค่า p-value (Probability Value) เป็นเกณฑ์ตัดสินใจหลักในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าความชัน (β_1) ของสมการถดถอย ภายใต้กรอบแนวคิดดังนี้

โดยการตั้งสมมติฐาน (Hypothesis) จะทำการทดสอบดำเนินการภายใต้สมมติฐานหลัก (H_0) ที่จะกำหนดให้ค่าความชันที่แท้จริงมีค่าเท่ากับศูนย์ ($\beta_1 = 0$) ซึ่งหมายความว่าเวลาที่เปลี่ยนไปไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี THI ในทางกลับกัน หากค่าความชันไม่เท่ากับศูนย์ ($\beta_1 \neq 0$) จะถือว่าเป็นไปตามสมมติฐานทางเลือก (H_1) ซึ่งบ่งชี้ว่า มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจริง

ส่วนเกณฑ์การตัดสินใจ (Decision Criteria) โดยทั่วไป นิยมกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ไว้ที่ 0.05 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Montgomery et al., 2012; Walpole et al., 2012) โดยมีหลักการตีความผลลัพธ์ ดังนี้

- ถ้าค่า p-value ≤ 0.05 แสดงว่า H_0 จะถูกปฏิเสธ ซึ่งสรุปได้ว่า ดัชนี THI มีการเปลี่ยนแปลง (เพิ่มขึ้นหรือลดลง) ตามช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- ถ้าค่า p-value > 0.05 แสดงว่า H_0 จะถูกยอมรับ ซึ่งสรุปได้ว่า ยังไม่พบหลักฐานเพียงพอทางสถิติที่จะระบุว่ามีการเปลี่ยนแปลงของดัชนี THI ในพื้นที่และช่วงเวลาดังกล่าว

1.5.3.2 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square หรือ R^2) ใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพหรือความสามารถของแบบจำลองในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล โดยค่า R^2 จะแสดงถึงสัดส่วนหรือร้อยละของความแปรปรวนทั้งหมดของตัวแปรตาม (Y) ที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ (X) ในสมการถดถอยนั้น โดยค่า R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (หรือ 0% ถึง 100%)

สำหรับการตีความผล หากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 (100%) หมายความว่า ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีมาก แสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมสูง ในขณะที่หากค่า R^2 เข้าใกล้ 0 (0%) หมายความว่าตัวแปรอิสระไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เลยหรืออธิบายได้น้อยมาก แสดงว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมต่ำ

1.5.4 สถิติทดสอบ Mann-Kendall (Mann-Kendall Trend Test)

สถิติทดสอบ Mann-Kendall เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอนุกรมวิธาน เนื่องจากเป็นวิธีการทางสถิติแบบไร้พารามิเตอร์ (Non-parametric statistic) ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในสาขาภูมิอากาศวิทยาและอุทกวิทยา วิธีการนี้มีจุดเด่นคือไม่มีข้อกำหนดเรื่องการแจกแจงของข้อมูล (ไม่จำเป็นต้องมีการแจกแจงแบบปกติ) และมีความทนทานต่อข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ (Outliers) หรือข้อมูลที่ขาดหายไปบางส่วน ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับ

ข้อมูลอนุกรมเวลาทางสิ่งแวดล้อม (Helsel and Hirsch, 1992; Birsan et al., 2005) โดยมีขั้นตอนการคำนวณและการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

1) สมมติฐานของการทดสอบ (Hypothesis Testing)

การกำหนดสมมติฐานมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของแนวโน้ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- สมมติฐานศูนย์ (H_0) ข้อมูลในอนุกรมเวลาเป็นอิสระต่อกัน (Independent) และไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน (No trend)
- สมมติฐานทางเลือก (H_1) ข้อมูลมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแบบทางเดียว (Monotonic trend) อย่างมีนัยสำคัญ (Trend exists)

2) การคำนวณค่าสถิติ S (S Statistic)

ค่าสถิติถือเป็นหัวใจสำคัญของการทดสอบ Mann-Kendall โดยทำหน้าที่ สะท้อนผลรวมของทิศทางการเปลี่ยนแปลงระหว่างคู่ข้อมูลทุกคู่ในอนุกรมเวลา การคำนวณจะใช้วิธีการเปรียบเทียบข้อมูลลำดับหลัง (T_j) กับข้อมูลลำดับก่อนหน้าทั้งหมด (T_i) เพื่อดูผลต่างว่ามีค่าเพิ่มขึ้น ลดลง หรือเท่าเดิม ซึ่งคำนวณตามสมการที่ 1.4

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(T_j - T_i) \quad \text{สมการที่ 1.4}$$

โดยที่

n	จำนวนข้อมูลทั้งหมดในอนุกรมเวลา (เช่น จำนวนปีที่ศึกษา)
T_j	ค่าของข้อมูลในลำดับเวลาที่ j (เวลาหลัง)
T_i	ค่าของข้อมูลในลำดับเวลาที่ i (เวลาก่อนหน้า)
$\text{sgn}(T_j - T_i)$	ฟังก์ชันเครื่องหมาย (Sign Function)

สำหรับฟังก์ชันเครื่องหมายจะมีเกณฑ์การให้คะแนนตามเงื่อนไขการเปรียบเทียบ ดังสมการที่ 1.5 และกล่าวอย่างง่ายได้ว่า ถ้าข้อมูลในช่วงเวลาหลังมีค่ามากกว่าข้อมูลก่อนหน้า ค่าสถิติ S จะเพิ่มขึ้น เท่ากับ +1 แต่ถ้าข้อมูลในช่วงเวลาหลังมีค่าน้อยกว่าข้อมูลก่อนหน้า ค่าสถิติ S จะลดลง เท่ากับ -1

$$\text{sgn}(T_j - T_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } T_j > T_i \\ 0 & \text{if } T_j = T_i \\ -1 & \text{if } T_j < T_i \end{cases} \quad (\text{สมการที่ 1.5})$$

โดยผลรวมสุทธิของการเพิ่มขึ้น (+1) และลดลง (-1) ทั้งหมดจะได้เป็นค่า S สุดท้าย ซึ่งบ่งบอกทิศทางเบื้องต้นว่าข้อมูลมีแนวโน้มไปในทิศทางใด

3) การคำนวณความแปรปรวน S (Variance of S)

ในกรณีที่ชุดข้อมูลมีจำนวนน้อยกว่า 10 ปี ($n < 10$) การทดสอบจะใช้ค่าสถิติ S โดยตรงในการเปิดตารางความน่าจะเป็น แต่หากข้อมูลมีจำนวนตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป ($n > 10$) ค่าสถิติ S จะมีการแจกแจงเข้าใกล้แบบปกติ (Normal Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนเท่ากับศูนย์ ซึ่งต้องคำนวณค่าความแปรปรวน $VAR(S)$ เพื่อใช้หาค่ามาตรฐาน โดยจำเป็นต้องพิจารณากลุ่มข้อมูลซ้ำ (Tied groups) หรือค่าข้อมูลที่มีค่าเท่ากัน เพื่อทำการปรับแก้ค่าให้มีความถูกต้อง ซึ่งจะทำให้ค่าความแปรปรวนลดลง ดังสมการที่ 1.6

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (\text{สมการที่ 1.6})$$

โดยที่

q จำนวนกลุ่มของข้อมูลที่มีค่าซ้ำกัน
 t_p จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

4) การคำนวณค่าสถิติมาตรฐาน Z (Z-Statistic)

หลังจากได้ค่าความแปรปรวนแล้ว จะนำมาคำนวณค่าสถิติมาตรฐาน Z เพื่อใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ดังสมการที่ 1.7

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (\text{สมการที่ 1.7})$$

5) การแปลผลและการตัดสินใจ

ค่าสถิติ S และ Z จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงแนวโน้มทางสถิติ กล่าวคือ ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายความว่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น และถ้ามีค่าเป็นลบ หมายความว่าแนวโน้มลดลง

ในการตรวจสอบนัยสำคัญของการเพิ่มขึ้นหรือลดลง จะนำค่า Z ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต ($Z_{1-\alpha/2}$) จากตารางความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution Table) ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ซึ่งเท่ากับ 1.96

โดยหาก $|Z| \leq 1.96$ จะยอมรับสมมติฐานศูนย์ (H_0) สรุปได้ว่า ไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน แต่ถ้าหาก $|Z| > 1.96$ จะปฏิเสธสมมติฐานศูนย์ (H_0) สรุปได้ว่า ข้อมูลมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6) การวัดความแรงของแนวโน้มด้วยค่า Kendall's Tau

นอกจากการตรวจสอบนัยสำคัญด้วยค่า Z แล้ว สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเคนดอลล์ (Kendall's Tau) เป็นอีกหนึ่งความสัมพันธ์ที่ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความเข้มข้นของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและค่าดัชนี THI โดยค่า Tau คำนวณได้จากสัดส่วนของค่าสถิติ S ต่อจำนวนคู่ข้อมูลที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังสมการที่ 1.8

$$Tau = \frac{2S}{n(n-1)} \quad (\text{สมการที่ 1.8})$$

Tau จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 โดยหากค่าเป็นบวก (+) จะแสดงถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (Increasing Trend) แต่ถ้าค่าเป็นลบ (-) จะแสดงถึงแนวโน้มที่ลดลง (Decreasing Trend) และหากวิเคราะห์ขนาดของค่า ก็จะสามารถชี้ได้ว่า หากค่าเข้าใกล้ 1 หรือ -1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูง หรือมีแนวโน้มที่ชัดเจนและต่อเนื่อง กล่าวคือเมื่อเวลาผ่านไป ค่า THI มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางนั้นเกือบตลอดเวลาแต่หากค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน (Weak or No Trend)

1.6 วิธีดำเนินการศึกษา

การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) ในปศุสัตว์สำหรับประเทศไทย มีขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุป ดังนี้

1.6.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รวมถึงสูตรการคำนวณตามมาตรฐานสากล และเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงที่เหมาะสมสำหรับปศุสัตว์ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น

1.6.2 รวบรวมและเตรียมข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ (อุณหภูมิตัมแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์) จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยวิทยาทั่วประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 - 2567 พร้อมดำเนินการตรวจสอบและทำความสะอาดข้อมูลเบื้องต้น

1.6.3 คำนวณดัชนีความเครียดจากความร้อน THI รายวัน รายเดือน รายปี และค่าเฉลี่ยทุก 10 ปี เพื่อเตรียมชุดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาในขั้นตอนต่อไป

1.6.4 วิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า THI ในระยะยาว ด้วยวิธีการทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์หอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) และการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อหาทิศทางและอัตราการเปลี่ยนแปลง พร้อมทั้งทดสอบนัยสำคัญทางสถิติเพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือ

1.6.5 จัดทำแผนที่ความเสี่ยง THI เชิงพื้นที่และสารสนเทศ

1.6.6 สรุปผลการศึกษาและเผยแพร่ข้อมูลผ่านช่องทางโซเชียลมีเดียต่าง ๆ ของส่วนอุตุนิยวิทยาเกษตร

โดยมีแผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการอย่างละเอียดของงานวิจัย (Flow Chart)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เกษตรกรสามารถนำข้อมูลแนวโน้มความเสี่ยงจากความร้อนไปใช้ประกอบการตัดสินใจปรับปรุงสภาพแวดล้อมโรงเรือนและการจัดการฟาร์ม เช่น การติดตั้งระบบระบายความร้อน หรือการวางแผนการผลิตให้สอดคล้องกับช่วงเวลาเสี่ยง เพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพและผลผลิตสัตว์

1.7.2 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำแผนที่ความเสี่ยงและฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ไปใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนเฝ้าระวังและกำหนดมาตรการช่วยเหลือเกษตรกรในพื้นที่เสี่ยงสูงได้อย่างตรงจุด

1.7.3 ช่วยลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจในภาคปศุสัตว์ที่เกิดจากภาวะความเครียดจากความร้อน และเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2. ข้อมูลและวิธีดำเนินการ

การศึกษานี้มีขั้นตอนการดำเนินงานที่ครอบคลุมตั้งแต่การรวบรวมข้อมูล การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล การวิเคราะห์ทางสถิติ และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อนในปศุสัตว์ โดยมีรายละเอียดของข้อมูลและระเบียบวิธีดำเนินการดังนี้

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วยข้อมูลภูมิอากาศรายวันตรวจวัดจริง (Observed Data) จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่กระจายตัวอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ โดยกำหนดขอบเขตระยะเวลาศึกษาครอบคลุม 44 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2567 (ค.ศ. 1981 – 2024) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยาวนานเพียงพอตามหลักสถิติสำหรับการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว สำหรับตัวแปรหลักที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

1) อุณหภูมิแห้งเฉลี่ยรายวัน (Average Daily Dry Bulb Temperature)

โดยตัวแปรนี้เหมาะสมที่สุดสำหรับการคำนวณดัชนี THI เนื่องจากสามารถสะท้อนความร้อนที่รู้สึกได้ จากการทำงานร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและความชื้น ณ ขณะนั้นได้ดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยกึ่งกลางระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ($T_{max} + T_{min} / 2$) ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมสภาวะความร้อนที่รุนแรงที่สุดที่สัตว์ต้องเผชิญจริงในระหว่างวัน โดยข้อมูลที่ใช้มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

2) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน (Average Daily Relative Humidity)

ใช้เพื่อประเมินปริมาณไอน้ำในอากาศที่มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการระบายความร้อนของสัตว์และการเพิ่มระดับความรุนแรงของความเครียดจากความร้อน โดยข้อมูลที่ใช้มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

นอกจากนี้ ยังรวบรวมข้อมูลพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates) ของสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์การกระจายตัวและจัดทำแผนที่ความเสี่ยงเชิงพื้นที่

2.2 วิธีการดำเนินการศึกษา

วิธีการดำเนินการศึกษาแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก โดยมุ่งเน้นที่การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) ในระยะยาวด้วยวิธีการทางสถิติขั้นสูง และการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินและจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยสำหรับปศุสัตว์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 การเตรียมและตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

การเตรียมและคัดกรองชุดข้อมูลย้อนหลัง มุ่งเน้นการสร้างฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) ในระยะยาว

โดยในขั้นต้นได้รวบรวมข้อมูลอุตุนิมวิทยารายวัน (อุณหภูมิ ต้มแห้งและความชื้นสัมพัทธ์) จากเครือข่ายสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิมวิทยาทั่วประเทศจำนวน 128 สถานี ครอบคลุมช่วงเวลาการศึกษา 44 ปี (พ.ศ. 2524–2567)

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผลการทดสอบทางสถิติในรูปแบบอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) มีประสิทธิภาพสูงสุดและลดความคลาดเคลื่อนจากการขาดหายของข้อมูล จึงได้กำหนดเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล โดยพิจารณาคัดเลือกเฉพาะสถานีที่มีฐานข้อมูลตรวจวัดต่อเนื่องยาวนานมากกว่า 30 ปี และมีสัดส่วนข้อมูลสูญหาย (Missing Data) ไม่เกินร้อยละ 20 ของข้อมูลทั้งหมด

จากการประเมินความสมบูรณ์ของข้อมูลตามเกณฑ์ที่กำหนด พบว่าบางสถานีมีข้อจำกัดด้านความต่อเนื่องและระยะเวลาการบันทึกข้อมูล ส่งผลให้จำนวนสถานีที่ผ่านการคัดเลือกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อนมีทั้งสิ้น 85 สถานี จาก 128 สถานี รายละเอียดของสถานีที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายชื่อสถานีตรวจอากาศที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

ลำดับ	สถานี	พิกัดที่ตั้ง		การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล	
		ละติจูด	ลองจิจูด	ก่อน	หลัง
1	แม่ฮ่องสอน	19.299	97.976	/	/
2	แม่สะเรียง	18.167	97.933	/	/
3	เชียงใหม่	19.961	99.881	/	/
4	กษ.เชียงใหม่	19.871	99.783	/	
5	พะเยา	19.133	99.900	/	/
6	เชียงใหม่	18.790	98.977	/	/
7	ดอยอ่างขาง	19.931	99.048	/	
8	น่าน	18.780	100.778	/	/
9	กษ.น่าน	18.867	100.750	/	
10	ท่าวังผา	19.111	100.803	/	/
11	ทุ่งช้าง	19.412	100.884	/	/
12	ลำพูน	18.567	99.034	/	/
13	ลำปาง	18.283	99.517	/	/
14	กษ.ลำปาง	18.317	99.283	/	
15	เถิน	17.637	99.245	/	/
16	แพร่	18.167	100.167	/	/
17	อุตรดิตถ์	17.617	100.100	/	/
18	สุโขทัย	17.106	99.800	/	/
19	กษ.ศรีสะเกษ	17.161	99.862	/	
20	เขื่อนภูมิพล	17.244	99.003	/	/
21	ตาก	16.878	99.143	/	/
22	แม่สอด	16.659	98.551	/	/

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) รายชื่อสถานีวิจัยอากาศที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

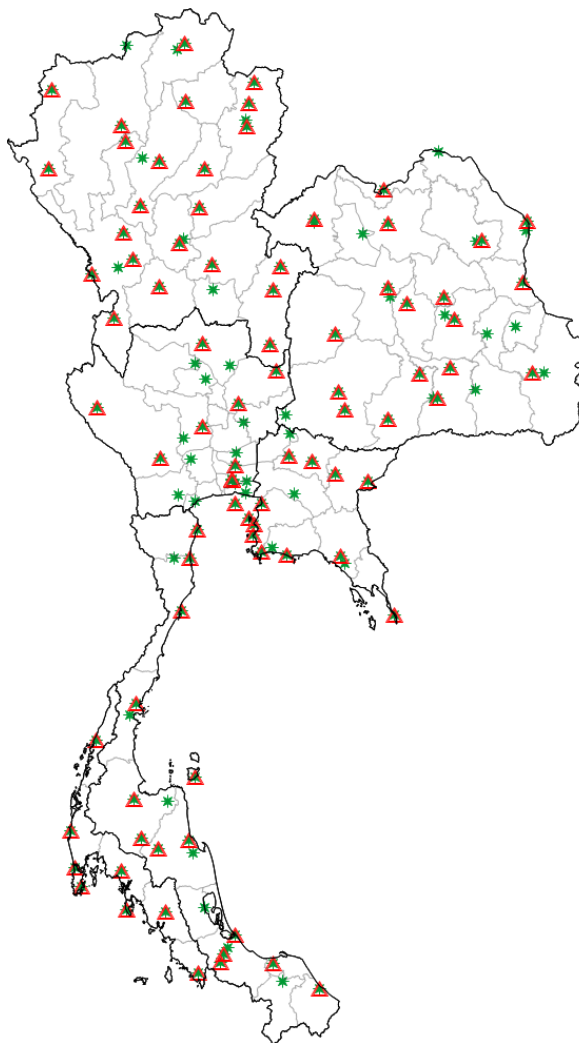
ลำดับ	สถานี	พิกัดที่ตั้ง		การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล	
		ละติจูด	ลองจิจูด	ก่อน	หลัง
23	อัมผาง	16.025	98.864	/	/
24	กษ.ดอยมูเซอร์	16.750	98.933	/	
25	พิษณุโลก	16.795	100.279	/	/
26	หล่มสัก	16.774	101.249	/	/
27	เพชรบูรณ์	16.433	101.150	/	/
28	วิเชียรบุรี	15.657	101.108	/	/
29	กำแพงเพชร	16.487	99.527	/	/
30	กษ.พิจิตร	16.438	100.293	/	
31	หนองคาย	17.867	102.733	/	/
32	เลย	17.450	101.733	/	/
33	เลย สกษ.	17.400	101.733	/	
34	อุดรธานี	17.383	102.800	/	/
35	นครพนม	17.411	104.783	/	/
36	กษ.นครพนม	17.276	104.774	/	
37	สกลนคร	17.150	104.133	/	/
38	กษ.สกลนคร	17.125	104.061	/	
39	หนองบัวลำภู	17.232	102.429	/	
40	มุกดาหาร	16.541	104.729	/	/
41	ขอนแก่น	16.461	102.790	/	/
42	กษ.ท่าพระ	16.333	102.817	/	
43	มหาสารคาม	16.247	103.068	/	/
44	กาฬสินธุ์	16.333	103.588	/	/
45	ร้อยเอ็ด	16.020	103.744	/	/
46	กษ.ร้อยเอ็ด	16.073	103.608	/	
47	ชัยภูมิ	15.800	102.033	/	/
48	อุบลราชธานี	15.250	104.867	/	/
49	กษ.อุบลราชธานี	15.239	105.024	/	
50	ศรีสะเกษ	15.000	104.050	/	
51	ท่าตูม	15.317	103.683	/	/
52	สุรินทร์	14.883	103.500	/	/
53	กษ.สุรินทร์	14.883	103.450	/	
54	นครราชสีมา	14.968	102.086	/	/
55	กษ.ปากช่อง	14.644	101.332	/	
56	โชคชัย	14.719	102.169	/	/
57	บุรีรัมย์	15.226	103.248	/	/
58	นางรอง	14.583	102.800	/	/

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) รายชื่อสถานีตรวจอากาศที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

ลำดับ	สถานี	พิกัดที่ตั้ง		การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล	
		ละติจูด	ลองจิจูด	ก่อน	หลัง
59	บึงกาฬ	18.414	103.517	/	
60	อำนาจเจริญ	15.904	104.618	/	
61	ยโสธร	15.795	104.214	/	
62	นครสวรรค์	15.672	100.132	/	/
63	กกช.ตากฟ้า	15.349	100.530	/	
64	กกช.ชัยนาท	15.150	100.183	/	
65	อุทัยธานี	15.374	100.039	/	
66	พระนครศรีอยุธยา	14.535	100.725	/	
67	บัวชุม	15.267	101.187	/	/
68	ลพบุรี	14.800	100.645	/	/
69	สุพรรณบุรี	14.474	100.139	/	/
70	กกช.อุทุมพร	14.304	99.865	/	
71	ทองผาภูมิ	14.742	98.636	/	/
72	สมุทรสงคราม	13.408	100.032	/	
73	กาญจนบุรี	14.023	99.536	/	/
74	ราชบุรี	13.489	99.792	/	
75	นครปฐม	14.012	99.970	/	
76	ปทุมธานี	14.100	100.617	/	
77	สมุทรปราการ	13.517	100.762	/	
78	ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ	13.686	100.768	/	
79	ท่าอากาศยานดอนเมือง	13.919	100.605	/	/
80	เฉลิมพระเกียรติฯ กรุงเทพฯ	13.726	100.560	/	/
81	ท่าเรือ กรุงเทพฯ	13.707	100.568	/	/
82	กกช.บางนา กรุงเทพฯ	13.666	100.606	/	
83	น้ำร่อน	13.377	100.599	/	/
84	นครนายก	14.362	101.393	/	
85	ปราจีนบุรี	14.058	101.369	/	/
86	กบินทร์บุรี	13.983	101.707	/	/
87	สระแก้ว	13.789	102.035	/	/
88	อรัญประเทศ	13.689	102.504	/	/
89	ฉะเชิงเทรา	13.516	101.458	/	
90	ชลบุรี	13.367	100.983	/	/
91	แหลมฉบัง	13.078	100.874	/	/
92	เกาะสีชัง	13.162	100.802	/	/

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) รายชื่อสถานีตรวจอากาศที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

ลำดับ	สถานี	พิกัดที่ตั้ง		การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล	
		ละติจูด	ลองจิจูด	ก่อน	หลัง
93	พัทยา	12.920	100.869	/	/
94	สัตหีบ	12.683	100.983	/	/
95	ระยอง	12.634	101.341	/	/
96	กษ.ห้วยโป่ง	12.735	101.135	/	
97	จันทบุรี	12.617	102.113	/	/
98	กษ.พลั่ว	12.509	102.173	/	
99	ตราด	11.780	102.878	/	/
100	เพชรบุรี	12.999	100.061	/	/
101	กษ.หนองพลับ	12.583	99.733	/	
102	หัวหิน	12.586	99.963	/	/
103	ประจวบคีรีขันธ์	11.833	99.833	/	/
104	ชุมพร	10.499	99.188	/	/
105	กษ.สวี	10.333	99.100	/	
106	สุราษฎร์ธานี	9.136	99.152	/	/
107	กษ.สุราษฎร์ธานี	9.100	99.633	/	
108	เกาะสมุย	9.451	100.034	/	/
109	พระแสง สอท.	8.570	99.258	/	/
110	ฉวาง	8.425	99.507	/	/
111	นครศรีธรรมราช	8.538	99.947	/	/
112	กษ.นครศรีธรรมราช	8.359	100.000	/	
113	กษ.พัทลุง	7.583	100.167	/	
114	สงขลา	7.182	100.608	/	/
115	หาดใหญ่	6.917	100.433	/	/
116	กษ.คอหงษ์	7.000	100.500	/	
117	สะเดา	6.798	100.391	/	/
118	ปัตตานี	6.783	101.150	/	/
119	กษ.ยะลา	6.517	101.283	/	
120	นราธิวาส	6.417	101.817	/	/
121	ระนอง	9.983	98.617	/	/
122	ตะกั่วป่า	8.684	98.252	/	/
123	ภูเก็ต	7.883	98.400	/	/
124	ท่าอากาศยานภูเก็ต	8.145	98.314	/	/
125	กระบี่	8.104	98.975	/	/
126	เกาะลันตา	7.543	99.050	/	/
127	ตรัง	7.517	99.617	/	/
128	สตูล	6.650	100.083	/	/



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงพิกัดสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยสีเขียวแสดงถึงสถานีทั้งหมด (128 สถานี) ส่วนสีแดงแสดงถึงสถานีที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล (85 สถานี)

2.2.2 การคำนวณและจัดทำชุดข้อมูลดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI)

การดำเนินงานในขั้นตอนนี้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการแปลงข้อมูลจากตัวแปรอุตุนิยมวิทยา รายวันไปสู่ดัชนีความเครียดจากความร้อนในปศุสัตว์ พร้อมทั้งสังเคราะห์และจัดเตรียมฐานข้อมูลให้มีโครงสร้างที่เหมาะสมและสอดคล้องกับระเบียบวิธีวิเคราะห์ในแต่ละมิติเวลา โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.2.2.1 การคำนวณค่า THI รายวัน

การคำนวณจะใช้ข้อมูลอุณหภูมิสัมพัทธ์และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว ตามสมการมาตรฐานของ National Research Council (NRC, 1971) ดังที่ระบุไว้ในบทที่ 1 เพื่อสร้างฐานข้อมูล THI รายวันที่มีความต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาการศึกษา 44 ปี ซึ่งเป็นตัวแทนที่สะท้อนสภาวะความร้อนจริงที่สัตว์ได้รับในแต่ละวัน

2.2.2.2 การสังเคราะห์และจัดทำชุดข้อมูลเฉลี่ย

เพื่อให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงได้ครอบคลุมทั้งมิติของฤดูกาล และแนวโน้มระยะยาว จึงได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูล THI รายวัน ออกเป็น 3 ชุดข้อมูลหลัก ได้แก่

- ชุดข้อมูลรายเดือน จะคำนวณค่าเฉลี่ยจากข้อมูลรายวัน เพื่อใช้ศึกษาความแปรปรวนตามฤดูกาล และระบุช่วงเดือนที่มีความเสี่ยงสูงสุดในรอบปี

- ชุดข้อมูลรายปี จะคำนวณค่าเฉลี่ยจากข้อมูลรายเดือน เพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระยะยาวตลอดคาบการศึกษา

- ชุดข้อมูลรายทศวรรษ จะคำนวณค่าเฉลี่ยในรอบทุก 10 ปี เพื่อลดผลกระทบจากความแปรปรวนระยะสั้น และแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของสภาพภูมิอากาศที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

ทั้งนี้ในกระบวนการจัดทำชุดข้อมูลดังกล่าว ได้กำหนดเกณฑ์ความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาจะถูกคำนวณก็ต่อเมื่อมีจำนวนข้อมูลรายวันที่ถูกต้องครบถ้วนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของช่วงเวลานั้นๆ เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนทางสถิติและให้มั่นใจในคุณภาพของผลลัพธ์

2.2.3 การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเวลา (Time Series Analysis)

การประเมินรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อปศุสัตว์ในระยะยาว จำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติที่มีความละเอียดแม่นยำ การศึกษานี้จึงนำชุดข้อมูลค่าเฉลี่ย THI รายปีและรายทศวรรษที่จัดเตรียมไว้ มาประมวลผลด้วยระเบียบวิธีทางสถิติที่ได้กล่าวถึงหลักการทฤษฎีไว้แล้วในบทที่ 1 โดยมีขั้นตอนการประยุกต์ใช้ดังนี้

2.2.3.1 การประมาณค่าแนวโน้มด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น

วิธีการทางสถิตินี้เริ่มต้นจากการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย สำหรับแต่ละสถานีตรวจวัด โดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระ คือปี พ.ศ. และตัวแปรตาม คือค่าเฉลี่ย THI รายปี เพื่อคำนวณหาค่าความชัน ซึ่งจะถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดขนาดและทิศทางของการเปลี่ยนแปลง ว่าในแต่ละพื้นที่มีค่า THI เพิ่มขึ้นหรือลดลงเฉลี่ยกี่หน่วยต่อปี พร้อมทั้งพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองเส้นแนวโน้ม

2.2.3.2 การทดสอบนัยสำคัญด้วย Mann-Kendall Test

ส่วนนี้จะเริ่มจากการนำข้อมูลอนุกรมเวลาชุดเดียวกันมาทดสอบด้วยสถิติ Mann-Kendall เพื่อยืนยันความเชื่อมั่นของผลการวิเคราะห์ โดยทำการคำนวณค่าสถิติ Z และเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อจำแนกผลลัพธ์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (Significant Trend) และกลุ่มที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (No Trend) พร้อมทั้งระบุทิศทางของการเปลี่ยนแปลง (เพิ่มขึ้นหรือลดลง) จากเครื่องหมายของค่าสถิติ นอกจากนี้ยังทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเคนดอลล์ (Tau) เพื่อประเมินความเข้มข้นและความต่อเนื่องของแนวโน้มที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่

2.2.4 การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial Analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลในมิตินี้มีวัตถุประสงค์เพื่อขยายผลการศึกษาจากข้อมูลจุดตรวจวัด (Point Data) ของสถานีอุตุนิยมวิทยา ให้เป็นข้อมูลพื้นที่ต่อเนื่องที่ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศไทย โดยนำค่าเฉลี่ย THI และค่าสัมประสิทธิ์แนวโน้มที่คำนวณได้ เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ด้วยเทคนิค Kriging เพื่อสร้างชั้นข้อมูลพื้นผิวของดัชนี THI ซึ่งจะช่วยให้สามารถคาดการณ์ค่าในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีสถานีตรวจวัดตั้งอยู่ได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูลจากสถานีใกล้เคียง

สำหรับการจัดทำแผนที่ที่แสดงผล จะดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Golden Software Surfer ในการประมวลผล โดยเน้นที่การจัดทำแผนที่ความเสี่ยง (Risk Map) ซึ่งเริ่มจากการนำค่า THI ที่ได้จากการประมาณค่าไปทำการจำแนกระดับตามเกณฑ์ความรุนแรงที่กำหนดไว้ 4 ระดับ ตั้งแต่ระดับปกติ (Comfort) ไปจนถึงระดับเครียดรุนแรง (Severe Heat Stress) เพื่อแสดงภาพรวมการกระจายตัวของพื้นที่เสี่ยงภัยในระดับรายเดือนและรายทศวรรษ ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้งานได้จริง

2.2.5 การสรุปผลและการนำเสนอผลลัพธ์

ขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษาคือ การประมวลสรุปผลการวิเคราะห์ทั้งหมดเพื่อแปลงข้อมูลเชิงเทคนิคให้เป็นสารสนเทศที่สามารถสื่อสารความหมายได้อย่างชัดเจนและนำไปสู่การปฏิบัติจริง โดยผลลัพธ์หลักจะถูกนำเสนอผ่านกราฟแสดงแนวโน้มเพื่อแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่า THI ทั้งในระดับรายปีและรายทศวรรษให้เห็นทิศทางความรุนแรงในแต่ละสถานีควบคู่ไปกับการจัดทำแผนภาพประเมินความเสี่ยง (Risk Chart) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการตรวจสอบและประเมินสถานการณ์ความเครียดจากความร้อนในระดับปฏิบัติการ นอกจากนี้ ข้อมูลสถิติและผลการคำนวณทั้งหมดจะถูกจัดเก็บและเผยแพร่ในรูปแบบฐานข้อมูลดิจิทัลเพื่ออำนวยความสะดวกให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปสืบค้นหรือประมวลผลต่อยอดในการวางแผนบริหารจัดการปศุสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

3. ผลการดำเนินการ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (Temperature–Humidity Index: THI) ในประเทศไทย โดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อสะท้อนทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและระดับความร้อนสะสมในระยะยาว ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่และการติดตามแนวโน้มในอนาคต

การนำเสนอผลการศึกษาในบทนี้เริ่มจากการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของดัชนี THI เพื่อแสดงลักษณะทั่วไปและความแปรปรวนของสภาวะความร้อนในช่วงเวลาต่าง ๆ จากนั้นจึงดำเนินการประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่เพื่อจำแนกพื้นที่ที่มีแนวโน้มเผชิญภาวะวิกฤตด้านความร้อนในระดับต่างๆ และต่อด้วยการวิเคราะห์แนวโน้มระยะยาวด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อยืนยันทิศทางและอัตราเปลี่ยนแปลง สุดท้ายเป็นการสังเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดทำแผนภาพประเมินความเสี่ยง (Risk Chart) ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการติดตาม เฝ้าระวัง และสนับสนุนเชิงปฏิบัติการในอนาคต

3.1 ผลการวิเคราะห์ดัชนีความเครียดจากความร้อนและการประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่

การศึกษานี้ได้ประมวลผลข้อมูลอุณหภูมิคุ้มครองและความชื้นสัมพัทธ์จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพจำนวน 85 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย ในช่วงระยะเวลา 44 ปี (พ.ศ. 2524–2567) เพื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) และใช้ผลลัพธ์ที่ได้ในการวิเคราะห์สองมิติหลัก คือ การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาเพื่อประเมินระดับความรุนแรงของสภาวะความร้อนในเชิงปริมาณ และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อจำแนกพื้นที่เสี่ยงตามเกณฑ์มาตรฐานของระดับความเครียดจากความร้อน ดังรายละเอียดผลการวิเคราะห์ต่อไปนี้

3.1.1 สถิติเชิงพรรณนาของดัชนีความเครียดจากความร้อน

ผลการคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) ของดัชนี THI ในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการอธิบายลักษณะทั่วไปและการกระจายตัวของสภาวะความร้อนในแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ของค่า THI ในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ

สถานี	ค่าดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI)			
	รายวัน Daily	รายเดือน Monthly	รายปี Yearly	10 ปี Decadal
แม่ฮ่องสอน	24.26 ± 2.69	24.25 ± 2.47	24.26 ± 0.43	24.35 ± 0.43
แม่สะเรียง	24.17 ± 2.59	24.16 ± 2.36	24.17 ± 0.47	24.26 ± 0.51
เชียงราย	23.41 ± 2.82	23.4 ± 2.56	23.41 ± 0.48	23.51 ± 0.53
พะเยา	23.94 ± 2.7	23.93 ± 2.4	23.94 ± 0.46	24.02 ± 0.44
เชียงใหม่	24.3 ± 2.36	24.29 ± 2.12	24.3 ± 0.56	24.41 ± 0.61

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ของค่า THI ในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ

สถานี	ค่าดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI)			
	รายวัน Daily	รายเดือน Monthly	รายปี Yearly	10 ปี Decadal
ลำปาง	24.76 ± 2.42	24.75 ± 2.16	24.76 ± 0.47	24.85 ± 0.5
เถิน	25.15 ± 2.14	25.14 ± 1.86	25.15 ± 0.38	25.2 ± 0.19
ลำพูน	24.55 ± 2.45	24.55 ± 2.21	24.55 ± 0.43	24.64 ± 0.41
แพร่	24.99 ± 2.44	24.98 ± 2.16	24.99 ± 0.42	25.07 ± 0.41
น่าน	24.7 ± 2.66	24.69 ± 2.38	24.7 ± 0.47	24.79 ± 0.5
ท่าวังผา	24.36 ± 2.78	24.35 ± 2.5	24.36 ± 0.49	24.38 ± 0.49
ทุ่งช้าง	23.86 ± 2.63	23.85 ± 2.36	23.86 ± 0.35	23.77 ± 0.46
อุตรดิตถ์	25.73 ± 2.17	25.72 ± 1.88	25.73 ± 0.32	25.79 ± 0.29
หนองคาย	25.04 ± 2.66	25.03 ± 2.25	25.04 ± 0.47	25.12 ± 0.45
เลย	24.24 ± 2.53	24.24 ± 2.19	24.24 ± 0.46	24.33 ± 0.44
อุดรธานี	24.99 ± 2.59	24.98 ± 2.2	24.99 ± 0.39	25.05 ± 0.32
สกลนคร	24.66 ± 2.76	24.66 ± 2.31	24.66 ± 0.41	24.73 ± 0.35
นครพนม	24.69 ± 2.7	24.69 ± 2.26	24.69 ± 0.41	24.74 ± 0.32
สุโขทัย	26.23 ± 2.01	26.23 ± 1.69	26.23 ± 0.37	26.18 ± 0.39
ตาก	25.32 ± 2.08	25.31 ± 1.79	25.32 ± 0.44	25.39 ± 0.43
แม่สอด	24.39 ± 2.03	24.39 ± 1.77	24.39 ± 0.47	24.48 ± 0.5
เขื่อนภูมิพล	25.2 ± 2.14	25.2 ± 1.86	25.2 ± 0.36	25.24 ± 0.25
อุ้มผาง	22.76 ± 2.15	22.76 ± 1.88	22.76 ± 0.48	22.76 ± 0.51
พิษณุโลก	25.89 ± 2.0	25.89 ± 1.69	25.89 ± 0.36	25.94 ± 0.32
เพชรบูรณ์	25.45 ± 2.11	25.45 ± 1.79	25.45 ± 0.47	25.53 ± 0.46
หล่มสัก	25.2 ± 2.02	25.2 ± 1.7	25.2 ± 0.39	25.19 ± 0.35
วิเชียรบุรี	25.93 ± 1.96	25.93 ± 1.63	25.93 ± 0.35	25.89 ± 0.27
กำแพงเพชร	25.84 ± 1.97	25.84 ± 1.67	25.84 ± 0.39	25.91 ± 0.36
ขอนแก่น	25.06 ± 2.39	25.05 ± 1.98	25.06 ± 0.35	25.09 ± 0.22
มุกดาหาร	24.86 ± 2.69	24.86 ± 2.23	24.86 ± 0.47	24.94 ± 0.41
มหาสารคาม	25.58 ± 2.4	25.58 ± 1.99	25.58 ± 0.42	25.55 ± 0.33
กาฬสินธุ์	25.63 ± 2.5	25.63 ± 2.07	25.63 ± 0.39	25.5 ± 0.36
นครสวรรค์	26.26 ± 2.02	26.26 ± 1.67	26.26 ± 0.43	26.33 ± 0.4
ชัยภูมิ	25.23 ± 2.17	25.23 ± 1.79	25.23 ± 0.4	25.28 ± 0.32
ร้อยเอ็ด	25.18 ± 2.49	25.17 ± 2.08	25.18 ± 0.5	25.25 ± 0.46
อุบลราชธานี	25.36 ± 2.25	25.36 ± 1.83	25.36 ± 0.38	25.42 ± 0.31
สุพรรณบุรี	26.38 ± 1.88	26.38 ± 1.52	26.38 ± 0.45	26.45 ± 0.44
ลพบุรี	26.23 ± 1.79	26.23 ± 1.44	26.23 ± 0.36	26.28 ± 0.33
บัวชุม	25.91 ± 2.12	25.91 ± 1.76	25.91 ± 0.42	25.91 ± 0.35
นาร่อง	26.69 ± 1.52	26.69 ± 1.2	26.69 ± 0.43	26.76 ± 0.4
ปราจีนบุรี	26.52 ± 1.72	26.52 ± 1.37	26.52 ± 0.4	26.57 ± 0.32
กบินทร์บุรี	26.14 ± 1.69	26.14 ± 1.32	26.14 ± 0.29	26.12 ± 0.2

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ของค่า THI ในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ

สถานี	ค่าดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI)			
	รายวัน Daily	รายเดือน Monthly	รายปี Yearly	10 ปี Decadal
นครราชสีมา	25.45 ± 2.2	25.45 ± 1.82	25.45 ± 0.5	25.51 ± 0.45
โชคชัย	25.43 ± 2.13	25.43 ± 1.75	25.43 ± 0.44	25.41 ± 0.4
สุรินทร์	25.37 ± 2.22	25.37 ± 1.81	25.37 ± 0.38	25.43 ± 0.33
ท่าตูม	25.63 ± 2.28	25.62 ± 1.89	25.63 ± 0.36	25.56 ± 0.25
บุรีรัมย์	25.22 ± 2.32	25.21 ± 1.91	25.22 ± 0.33	25.21 ± 0.15
นางรอง	25.4 ± 2.17	25.4 ± 1.78	25.4 ± 0.31	25.37 ± 0.2
อรัญประเทศ	26.15 ± 1.77	26.16 ± 1.41	26.15 ± 0.43	26.21 ± 0.39
สระแก้ว	26.17 ± 1.74	26.17 ± 1.37	26.17 ± 0.34	26.11 ± 0.26
กาญจนบุรี	25.98 ± 1.79	25.98 ± 1.47	25.98 ± 0.48	26.05 ± 0.46
ทองผาภูมิ	25.37 ± 1.74	25.37 ± 1.43	25.35 ± 0.41	25.32 ± 0.4
เฉลิมพระเกียรติฯ กรุงเทพฯ	26.68 ± 1.62	26.68 ± 1.27	26.68 ± 0.46	26.74 ± 0.41
ท่าเรือ กรุงเทพฯ	27.32 ± 1.5	27.33 ± 1.14	27.32 ± 0.36	27.37 ± 0.28
ท่าอากาศยานดอนเมือง	26.55 ± 1.68	26.55 ± 1.33	26.55 ± 0.52	26.57 ± 0.27
ชลบุรี	26.6 ± 1.58	26.6 ± 1.27	26.6 ± 0.47	26.68 ± 0.47
เกาะสีชัง	26.52 ± 1.48	26.52 ± 1.22	26.52 ± 0.38	26.55 ± 0.29
พัทยา	26.23 ± 1.43	26.23 ± 1.16	26.23 ± 0.33	26.28 ± 0.28
สัตหีบ	26.42 ± 1.62	26.42 ± 1.35	26.42 ± 0.47	26.45 ± 0.37
แหลมฉบัง	26.77 ± 1.37	26.77 ± 1.03	26.75 ± 0.47	26.85 ± 0.37
เพชรบุรี	26.36 ± 1.6	26.36 ± 1.31	26.36 ± 0.4	26.4 ± 0.35
ระยอง	26.6 ± 1.62	26.6 ± 1.32	26.6 ± 0.35	26.64 ± 0.22
จันทบุรี	26.06 ± 1.47	26.06 ± 1.12	26.06 ± 0.4	26.11 ± 0.37
ประจวบคีรีขันธ์	25.94 ± 1.47	25.94 ± 1.19	25.94 ± 0.39	26.02 ± 0.39
หัวหิน	26.11 ± 1.44	26.11 ± 1.18	26.11 ± 0.37	26.16 ± 0.33
ตราด	26.1 ± 1.15	26.1 ± 0.85	26.1 ± 0.32	26.15 ± 0.28
ชุมพร	25.82 ± 1.22	25.82 ± 0.93	25.82 ± 0.36	25.88 ± 0.35
ระนอง	25.78 ± 0.99	25.78 ± 0.71	25.78 ± 0.25	25.81 ± 0.2
สุราษฎร์ธานี	25.74 ± 1.0	25.74 ± 0.8	25.74 ± 0.38	25.79 ± 0.36
เกาะสมุย	26.55 ± 0.97	26.55 ± 0.79	26.55 ± 0.33	26.61 ± 0.29
พระแสง	25.89 ± 0.81	25.89 ± 0.55	25.89 ± 0.21	25.97 ± 0.15
นครศรีธรรมราช	26.02 ± 0.98	26.02 ± 0.77	26.02 ± 0.28	26.08 ± 0.27
ฉวาง	26.0 ± 0.91	26.0 ± 0.64	26.0 ± 0.24	26.07 ± 0.15
ตะกั่วป่า	26.08 ± 0.95	26.07 ± 0.7	26.08 ± 0.28	26.11 ± 0.19
ภูเก็ต	26.62 ± 0.85	26.62 ± 0.64	26.62 ± 0.35	26.68 ± 0.37
ท่าอากาศยานภูเก็ต	26.38 ± 0.9	26.38 ± 0.69	26.38 ± 0.31	26.43 ± 0.31
เกาะลันตา	26.64 ± 0.92	26.64 ± 0.7	26.64 ± 0.3	26.65 ± 0.14
กระบี่	26.13 ± 0.99	26.13 ± 0.75	26.1 ± 0.47	26.16 ± 0.38
ตรัง	25.97 ± 0.9	25.97 ± 0.65	25.97 ± 0.3	26.01 ± 0.26

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ของค่า THI ในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ

สถานี	ค่าดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI)			
	รายวัน Daily	รายเดือน Monthly	รายปี Yearly	10 ปี Decadal
สะเดา	26.23 ± 0.8	26.23 ± 0.59	26.23 ± 0.24	26.25 ± 0.18
สงขลา	26.38 ± 0.85	26.38 ± 0.66	26.38 ± 0.27	26.41 ± 0.18
หาดใหญ่	25.73 ± 0.87	25.73 ± 0.67	25.73 ± 0.29	25.77 ± 0.23
สตูล	26.16 ± 0.81	26.16 ± 0.58	26.16 ± 0.28	26.22 ± 0.31
ปัตตานี	25.94 ± 0.92	25.93 ± 0.72	25.94 ± 0.34	25.99 ± 0.33
นราธิวาส	25.95 ± 0.89	25.94 ± 0.68	25.95 ± 0.24	25.98 ± 0.18

ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 3.1 พบว่าค่าเฉลี่ยรายปีของแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกัน โดยพื้นที่ภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนมีค่าดัชนี THI เฉลี่ยต่ำกว่าภูมิภาคอื่น (เช่น เชียงราย 23.41, แม่ฮ่องสอน 24.26) ในขณะที่พื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า (เช่น กรุงเทพฯ 26.68, ชลบุรี 26.60, ภูเก็ต 26.62)

เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) พบว่าภาคเหนือแม้จะมีค่าเฉลี่ยต่ำแต่กลับมีค่า SD สูง (± 2.5 ถึง ± 2.8) แสดงถึงความแตกต่างของค่าดัชนีระหว่างช่วงเวลาสูงสุดและต่ำสุดที่กว้างกว่าภูมิภาคอื่น ในขณะที่ภาคใต้แม้จะมีค่าเฉลี่ยสูงแต่กลับมีค่า SD ต่ำ (± 0.8 ถึง ± 1.0) แสดงถึงระดับค่าดัชนีที่มีความคงที่ตลอดทั้งปี

3.1.2 การกระจายตัวของความเสี่ยงเชิงพื้นที่

ภายหลังจากการคำนวณดัชนี THI ในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ การศึกษานี้ได้นำค่าเฉลี่ยของดัชนี THI มาวิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อระบุพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงแตกต่างกัน โดยจำแนกตามเกณฑ์ความรุนแรง 4 ระดับ ได้แก่ ระดับปกติ ระดับเริ่มมีความเครียด ระดับเครียดปานกลาง และระดับเครียดรุนแรง ผลการวิเคราะห์ถูกนำเสนอในรูปแบบแผนที่สารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) แยกตามมิติเวลา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.2.1 รายเดือน (Monthly)

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนของดัชนี THI ในช่วงปี พ.ศ. 2524–2567 (ค.ศ. 1981–2024) และจัดทำแผนที่แสดงระดับความเสี่ยง (รูปที่ 3.1) พบว่าสภาวะความเครียดจากความร้อนในปศุสัตว์ของประเทศไทยมีความแปรผันตามฤดูกาลอย่างเด่นชัด โดยสามารถแบ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาได้ ดังนี้

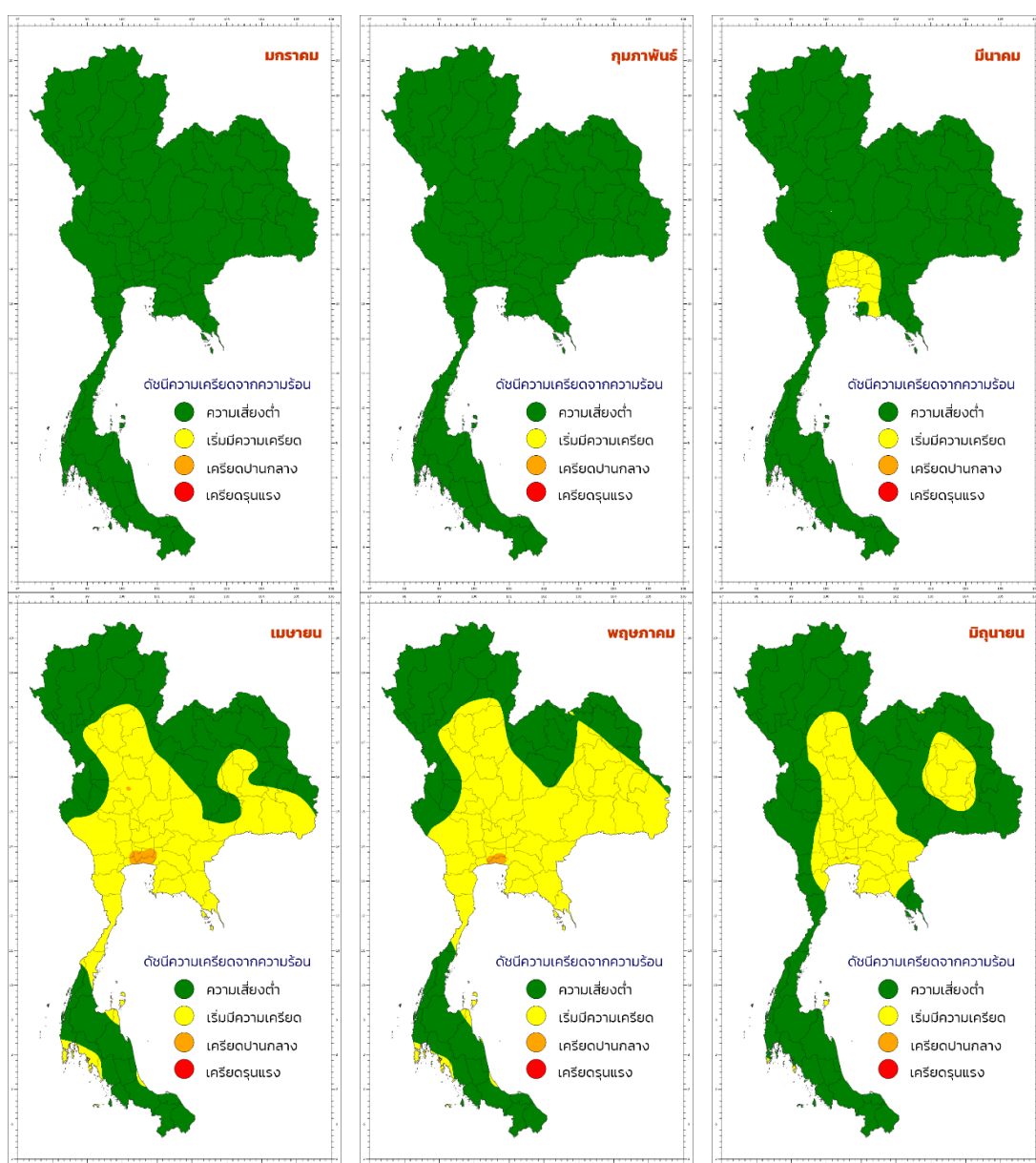
ช่วงเดือนตุลาคม – กุมภาพันธ์ เป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ (สีเขียว) หรือสภาวะปกติต่อเนื่องยาวนานที่สุด โดยเป็นช่วงที่ค่าดัชนี THI ต่ำที่สุดในรอบปี

ช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม ค่าดัชนี THI เริ่มมีแนวโน้มปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในเดือนมีนาคมเริ่มพบพื้นที่ที่อยู่ในระดับเริ่มมีความเครียด (สีเหลือง) และขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศในเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยเฉพาะเดือนเมษายนซึ่งเป็น

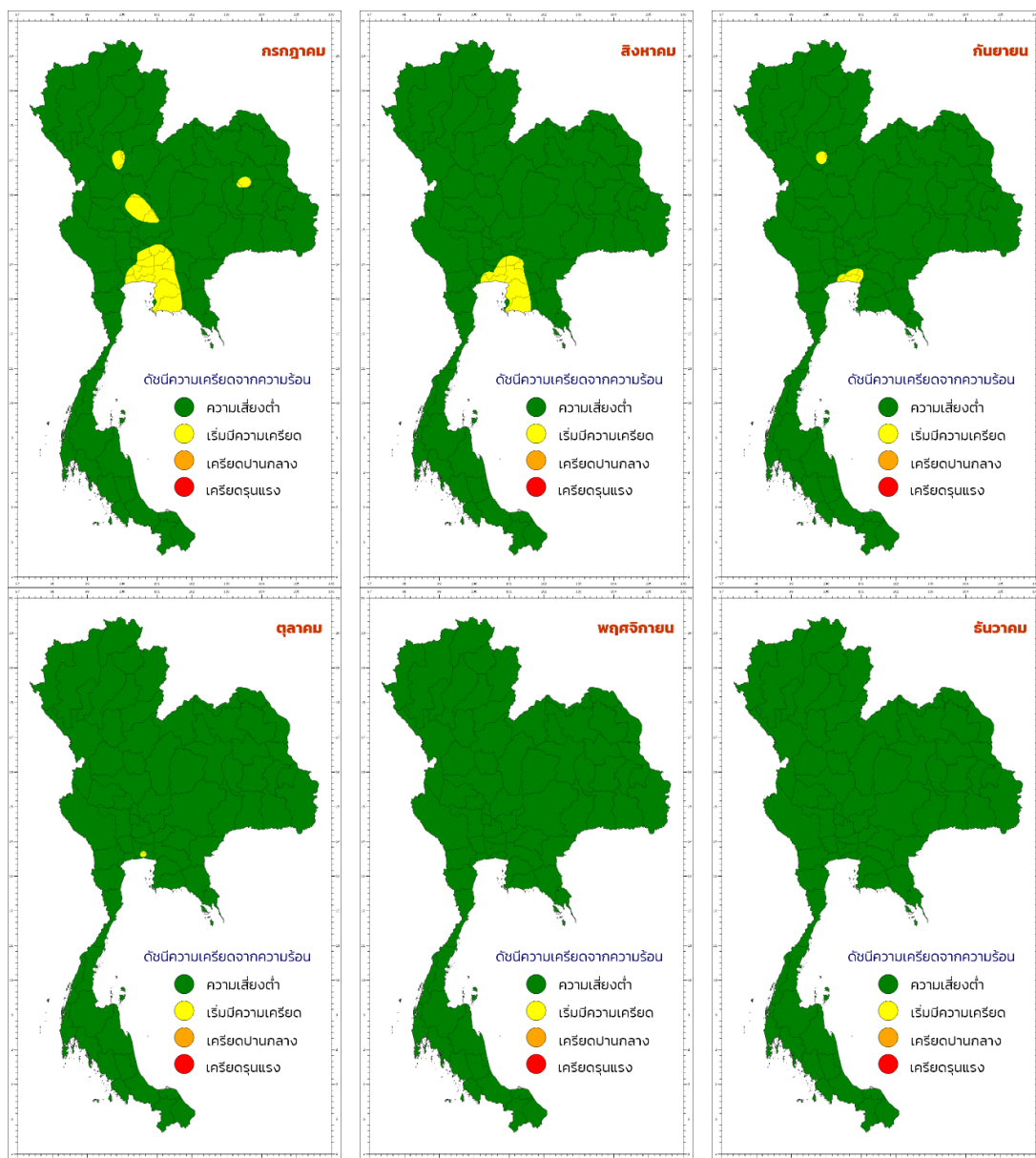
ช่วงวิกฤต พบพื้นที่จำนวนมากยกระดับเป็น เครียดปานกลาง (สีส้ม) กระจายตัวแทรกอยู่ในพื้นที่สีเหลืองอย่างชัดเจน

ช่วงเดือนมิถุนายน – กันยายน ระดับความเสี่ยงเริ่มมีแนวโน้มลดลง โดยพื้นที่สีเหลืองยังคงปรากฏในปริมาณมากในเดือนมิถุนายน ก่อนจะค่อย ๆ ลดลงในเดือนกรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน จนกลับเข้าสู่ระดับความเสี่ยงต่ำในช่วงปลายฤดูฝน

นอกจากนี้ พื้นที่ภาคใต้ส่วนใหญ่ มีค่าดัชนี THI อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ (สีเขียว) ตลอดทั้งปี โดยมีเพียงช่วงสั้นๆ ในเดือนเมษายนและพฤษภาคมเท่านั้นที่เริ่มปรากฏพื้นที่ระดับเริ่มมีความเครียด (สีเหลือง) โดยเฉพาะบริเวณภาคใต้ตอนบน



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงระดับความเสี่ยงจากดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยรายเดือน



รูปที่ 3.1 (ต่อ) แผนที่แสดงระดับความเสี่ยงจากดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยรายเดือน

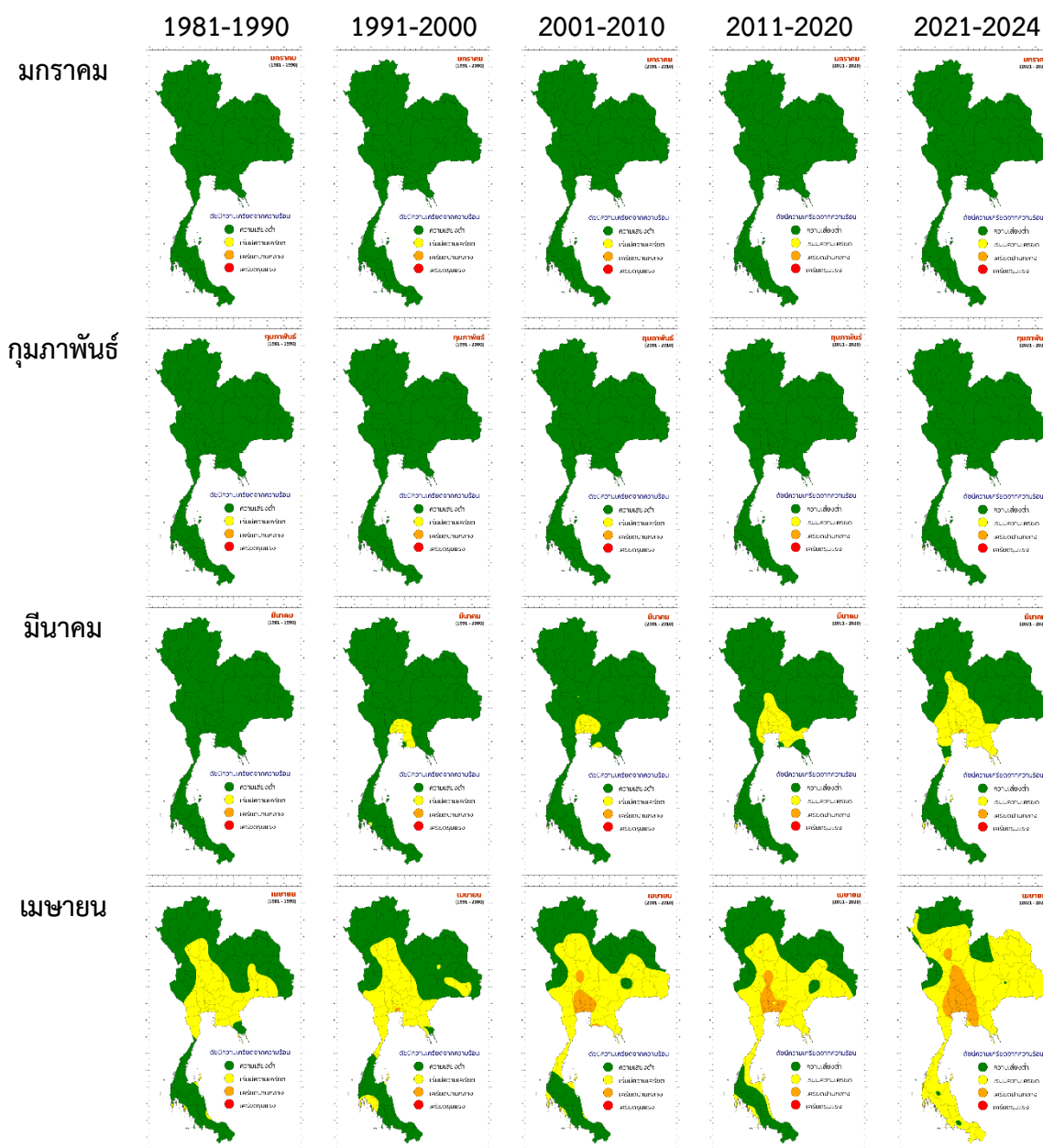
3.1.2.2 รายทศวรรษ (Decadal)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของดัชนี THI ในระยะยาวตลอดช่วงเวลา 44 ปี โดยจำแนกช่วงเวลาออกเป็น 5 ช่วง ได้แก่ 4 ทศวรรษหลัก (1981–1990, 1991–2000, 2001–2010, 2011–2020) และช่วงปีล่าสุด (2021–2024) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับความเสี่ยงมีความชัดเจนมากขึ้นในช่วงหลังของคาบการศึกษา

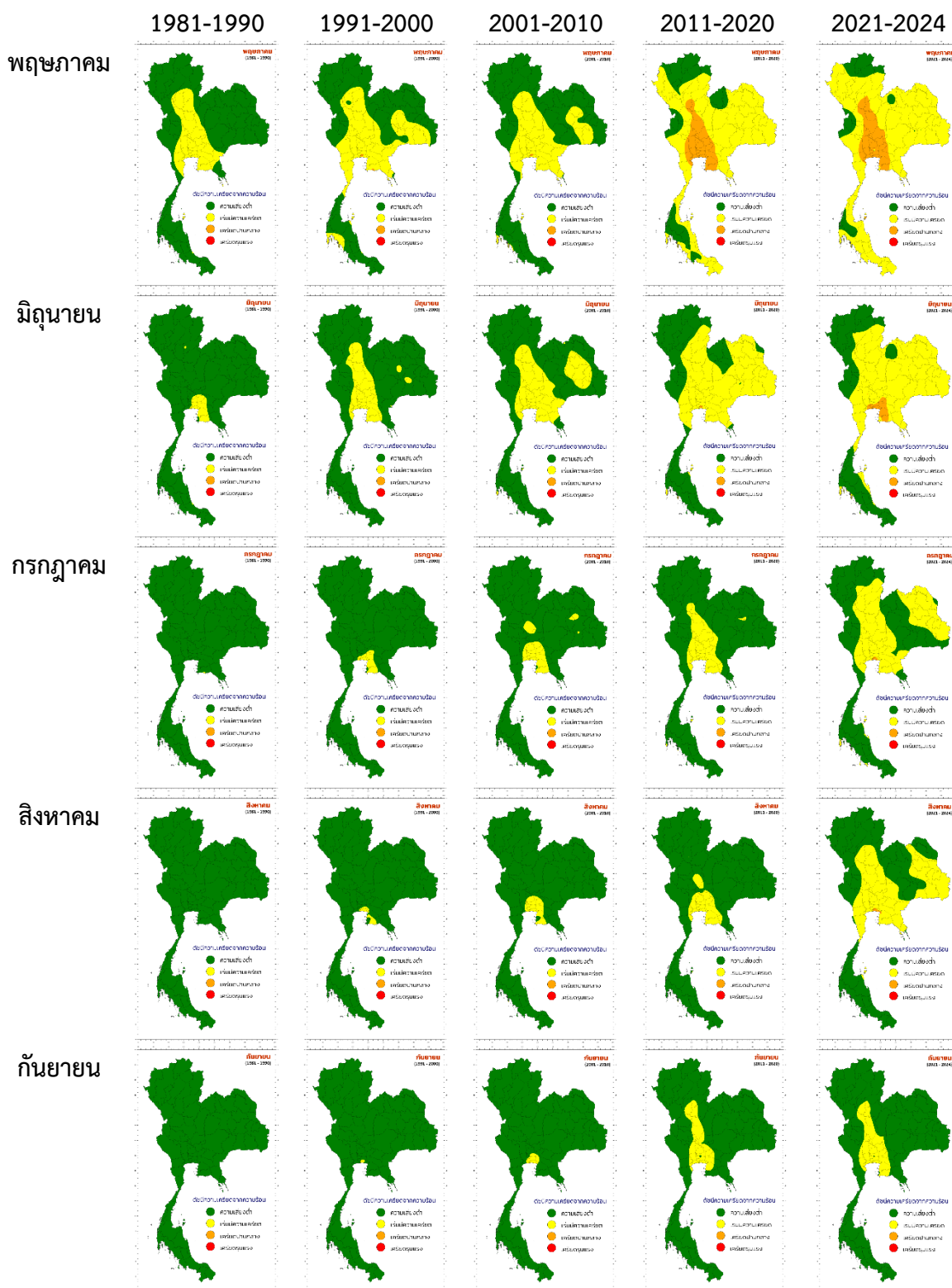
จากรูปที่ 3.2 โดยภาพรวมไม่พบการขยายตัวของพื้นที่ระดับเครียดรุนแรง (สีแดง) อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม พบการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในรูปแบบของการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ที่อยู่ในระดับ เริ่มมีความเครียด (สีเหลือง) และ เครียดปานกลาง (สีส้ม) ซึ่งมีการขยายตัวครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นในแต่ละทศวรรษ นอกจากนี้ ระยะเวลาที่พื้นที่เสี่ยงปรากฏก็มีความยาวนานขึ้น โดยเริ่ม

ตั้งแต่เดือนมีนาคมต่อเนื่องไปจนถึงเดือนตุลาคม โดยเฉพาะตั้งแต่ทศวรรษที่ 4 (2011–2020) เป็นต้นมา ซึ่งเห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่สุด

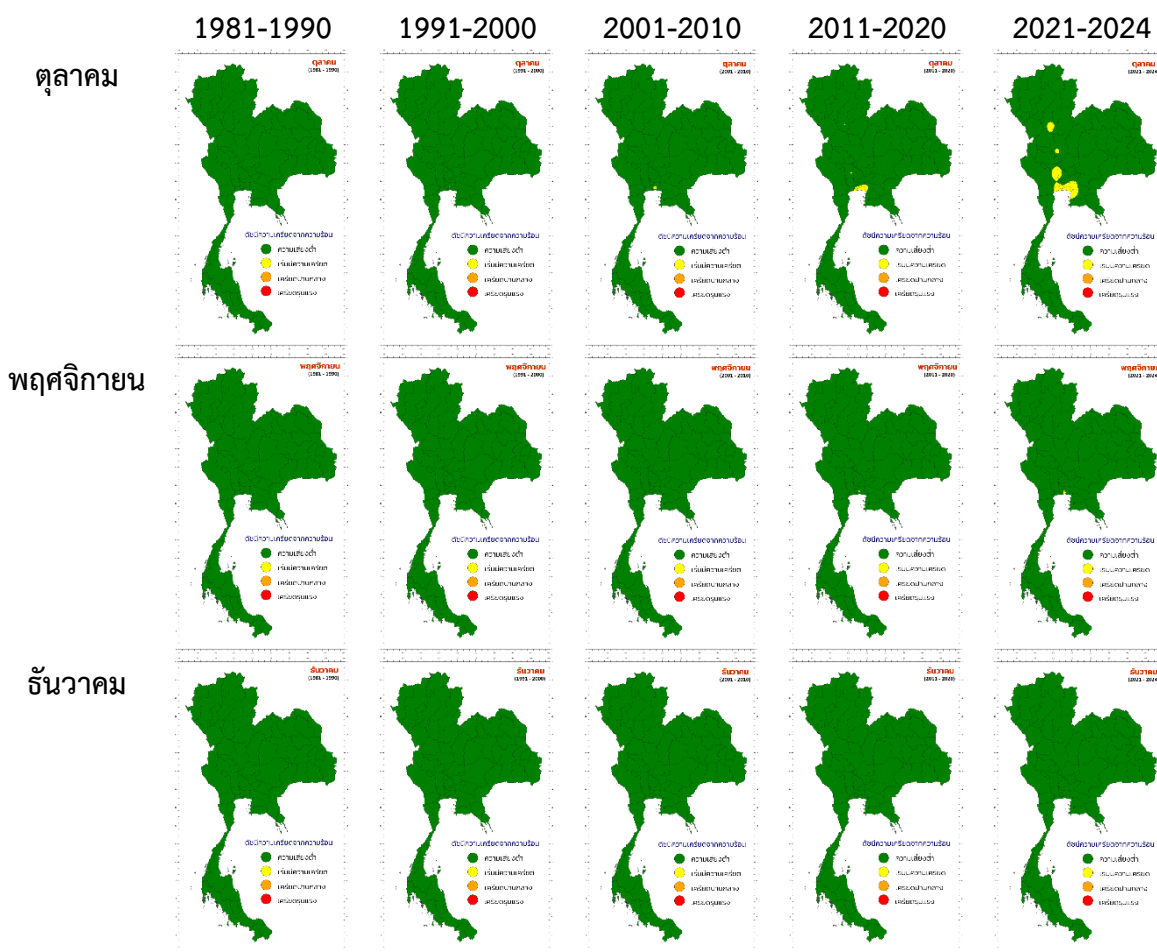
สำหรับพื้นที่ภาคใต้ พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับภาพรวมของประเทศเช่นเดียวกัน โดยจากเดิมพื้นที่ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ (สีเขียว) เกือบตลอดทั้งปี กลับพบการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ระดับเริ่มมีความเครียด (สีเหลือง) โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม ซึ่งปรากฏการณ์นี้เริ่มเห็นได้ชัดตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 4 (2011–2020) และยังคงมีแนวโน้มต่อเนื่องมาจนถึงช่วงปีล่าสุด (2021–2024)



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงของดัชนีความเครียดจากความร้อนรายทศวรรษ (ทุก 10 ปี) ของประเทศไทย



รูปที่ 3.2 (ต่อ) แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงของดัชนีความเครียดจากความร้อนรายทศวรรษ (ทุก 10 ปี) ของประเทศไทย



รูปที่ 3.2 (ต่อ) แผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงของดัชนีความเครียดจากความร้อนรายทศวรรษ (ทุก 10 ปี) ของประเทศไทย

3.2 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน

การวิเคราะห์ในส่วนนี้มุ่งเน้นการตรวจสอบทิศทางและอัตราการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI ในระยะยาว เพื่อประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อปศุสัตว์ในประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ 2 วิธีควบคู่กัน ได้แก่

1) การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อหาค่าความชัน (Slope) ที่สะท้อนอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า THI ต่อหน่วยเวลา พร้อมตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (R^2)

2) การทดสอบ Mann-Kendall ซึ่งเป็นสถิติแบบไม่อิงพารามิเตอร์ ใช้สำหรับตรวจสอบนัยสำคัญทางสถิติของแนวโน้ม (p-value) ความเข้มข้นของแนวโน้ม (tau) และทิศทางของการเปลี่ยนแปลง (Trend) ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

โดยการวิเคราะห์แนวโน้มถูกแบ่งออกเป็น 2 มิติเวลา ได้แก่ รายปีและรายทศวรรษ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรายปี

ผลการวิเคราะห์ดัชนี THI รายปี จากสถานีตรวจอากาศจำนวน 85 แห่งทั่วประเทศ ครอบคลุมระยะเวลา 44 ปี โดยสรุปค่าสถิติที่สำคัญ ได้แก่ Slope, R², Tau, และ p-value ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินทิศทางและความรุนแรงของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความเครียดจากความร้อน

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รายปี

สถานี	Linear Regression		Mann-Kendall Test			Significant
	Slope	R ²	Tau	p-value	Trend	
แม่ฮ่องสอน	0.027	0.665	0.62	0.000	increasing	Yes
แม่สะเรียง	0.030	0.661	0.64	0.000	increasing	Yes
เชียงใหม่	0.033	0.807	0.74	0.000	increasing	Yes
พะเยา	0.021	0.358	0.47	0.000	increasing	Yes
เชียงใหม่	0.036	0.698	0.60	0.000	increasing	Yes
ลำปาง	0.031	0.747	0.71	0.000	increasing	Yes
เถิน	0.026	0.184	0.42	0.009	increasing	Yes
ลำพูน	0.023	0.479	0.54	0.000	increasing	Yes
แพร่	0.024	0.529	0.50	0.000	increasing	Yes
น่าน	0.032	0.731	0.66	0.000	increasing	Yes
ท่าวังผา	0.039	0.713	0.66	0.000	increasing	Yes
ทุ่งช้าง	0.039	0.655	0.62	0.000	increasing	Yes
อุตรดิตถ์	0.017	0.460	0.46	0.000	increasing	Yes
หนองคาย	0.029	0.621	0.58	0.000	increasing	Yes
เลย	0.028	0.622	0.59	0.000	increasing	Yes
อุดรธานี	0.020	0.459	0.50	0.000	increasing	Yes
สกลนคร	0.022	0.480	0.52	0.000	increasing	Yes
นครพนม	0.022	0.478	0.50	0.000	increasing	Yes
สุโขทัย	0.042	0.716	0.61	0.000	increasing	Yes
ตาก	0.028	0.703	0.66	0.000	increasing	Yes
แม่สอด	0.033	0.812	0.74	0.000	increasing	Yes
เขื่อนภูมิพล	0.017	0.343	0.41	0.000	increasing	Yes
อุ้มผาง	0.041	0.787	0.69	0.000	increasing	Yes
พิษณุโลก	0.022	0.625	0.62	0.000	increasing	Yes
เพชรบูรณ์	0.030	0.685	0.63	0.000	increasing	Yes
หล่มสัก	0.028	0.573	0.55	0.000	increasing	Yes
วิเชียรบุรี	0.021	0.411	0.46	0.000	increasing	Yes
กำแพงเพชร	0.022	0.541	0.55	0.000	increasing	Yes

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รายปี

สถานี	Linear Regression		Mann-Kendall Test			Significant
	Slope	R ²	Tau	p-value	Trend	
ขอนแก่น	0.015	0.315	0.42	0.000	increasing	Yes
มุกดาหาร	0.026	0.510	0.51	0.000	increasing	Yes
มหาสารคาม	0.026	0.413	0.47	0.000	increasing	Yes
กาฬสินธุ์	0.015	0.083	0.23	0.118	no trend	No
นครสวรรค์	0.027	0.659	0.63	0.000	increasing	Yes
ชัยภูมิ	0.023	0.540	0.56	0.000	increasing	Yes
ร้อยเอ็ด	0.031	0.629	0.57	0.000	increasing	Yes
อุบลราชธานี	0.021	0.496	0.56	0.000	increasing	Yes
สุพรรณบุรี	0.030	0.729	0.67	0.000	increasing	Yes
ลพบุรี	0.023	0.635	0.62	0.000	increasing	Yes
บัวชุม	0.028	0.514	0.54	0.000	increasing	Yes
นาร่อง	0.023	0.399	0.45	0.000	increasing	Yes
ปราจีนบุรี	0.021	0.439	0.47	0.000	increasing	Yes
กบินทร์บุรี	0.015	0.296	0.40	0.001	increasing	Yes
นครราชสีมา	0.032	0.683	0.66	0.000	increasing	Yes
โชคชัย	0.032	0.585	0.55	0.000	increasing	Yes
สุรินทร์	0.020	0.448	0.49	0.000	increasing	Yes
ท่าตูม	0.017	0.258	0.37	0.002	increasing	Yes
บุรีรัมย์	0.024	0.199	0.30	0.065	no trend	No
นางรอง	0.014	0.236	0.36	0.002	increasing	Yes
อรัญประเทศ	0.027	0.658	0.65	0.000	increasing	Yes
สระแก้ว	0.026	0.310	0.39	0.007	increasing	Yes
กาญจนบุรี	0.032	0.727	0.67	0.000	increasing	Yes
ทองผาภูมิ	0.029	0.583	0.59	0.000	increasing	Yes
เฉลิมพระเกียรติฯ กรุงเทพฯ	0.028	0.644	0.62	0.000	increasing	Yes
ท่าเรือ กรุงเทพฯ	0.024	0.359	0.45	0.000	increasing	Yes
ท่าอากาศยานดอนเมือง	0.017	0.178	0.27	0.009	increasing	Yes
ชลบุรี	0.032	0.752	0.71	0.000	increasing	Yes
เกาะสีชัง	0.021	0.517	0.55	0.000	increasing	Yes
พัทธยา	0.019	0.563	0.56	0.000	increasing	Yes
สัตหีบ	0.024	0.417	0.49	0.000	increasing	Yes
แหลมฉบัง	0.026	0.281	0.37	0.003	increasing	Yes
เพชรบุรี	0.025	0.656	0.65	0.000	increasing	Yes
ระยอง	0.014	0.259	0.40	0.000	increasing	Yes
จันทบุรี	0.026	0.704	0.67	0.000	increasing	Yes
ประจวบคีรีขันธ์	0.024	0.633	0.63	0.000	increasing	Yes
หัวหิน	0.022	0.573	0.55	0.000	increasing	Yes

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รายปี

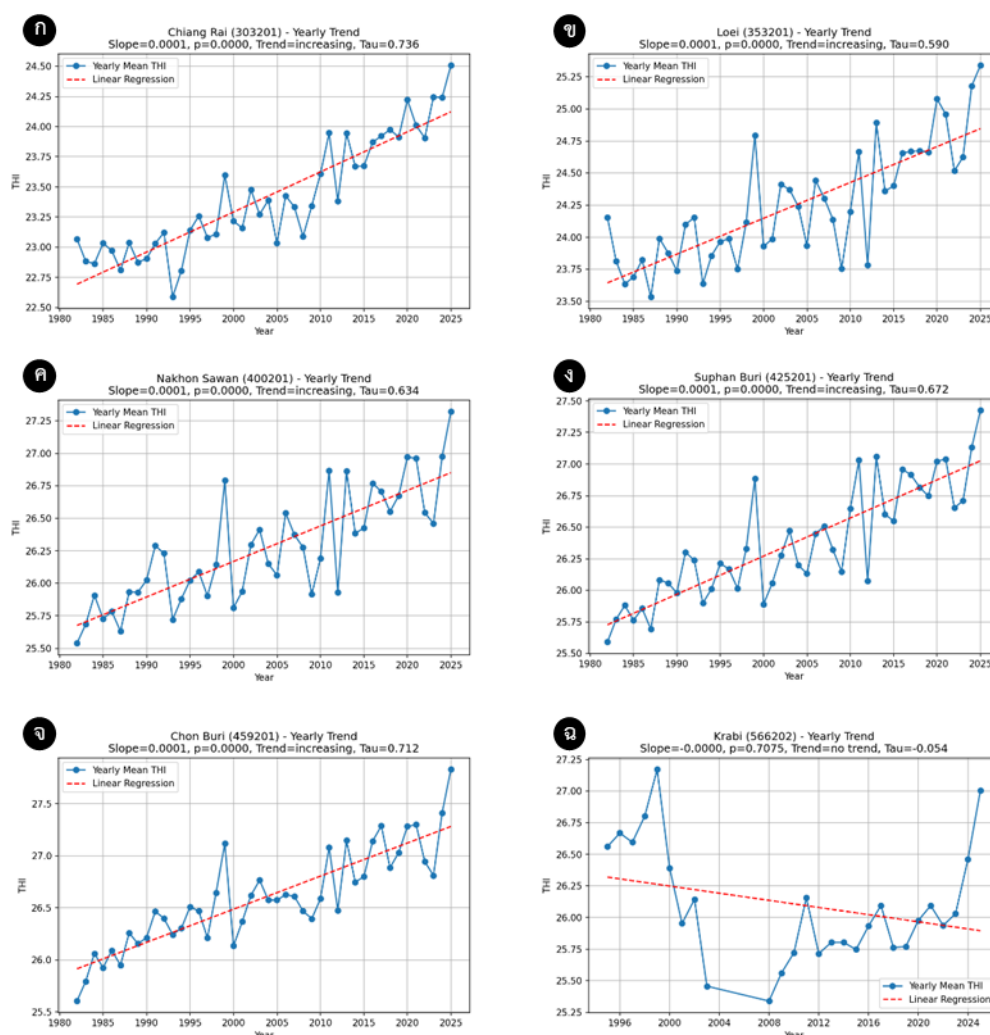
สถานี	Linear Regression		Mann-Kendall Test			Significant
	Slope	R ²	Tau	p-value	Trend	
ตราด	0.017	0.444	0.51	0.000	increasing	Yes
ชุมพร	0.022	0.656	0.66	0.000	increasing	Yes
ระนอง	0.013	0.478	0.51	0.000	increasing	Yes
สุราษฎร์ธานี	0.024	0.820	0.71	0.000	increasing	Yes
เกาะสมุย	0.018	0.478	0.53	0.000	increasing	Yes
พระแสง	0.001	0.001	0.05	0.761	no trend	No
นครศรีธรรมราช	0.014	0.413	0.47	0.000	increasing	Yes
ฉวาง	0.009	0.081	0.28	0.053	no trend	No
ตะกั่วป่า	0.013	0.343	0.43	0.000	increasing	Yes
ภูเก็ต	0.023	0.739	0.67	0.000	increasing	Yes
ท่าอากาศยานภูเก็ต	0.021	0.754	0.72	0.000	increasing	Yes
เกาะลันตา	0.010	0.179	0.26	0.013	increasing	Yes
กระบี่	-0.014	0.084	-0.05	0.707	no trend	No
ตรัง	0.019	0.645	0.63	0.000	increasing	Yes
สะเตา	0.025	0.578	0.64	0.000	increasing	Yes
สงขลา	0.005	0.054	0.27	0.011	increasing	Yes
หาดใหญ่	0.014	0.405	0.45	0.000	increasing	Yes
สตูล	0.018	0.681	0.66	0.000	increasing	Yes
ปัตตานี	0.023	0.709	0.65	0.000	increasing	Yes
นราธิวาส	0.007	0.136	0.20	0.059	no trend	No

จากข้อมูลในตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบ Mann-Kendall ที่ระบุว่า 79 สถานี (คิดเป็นร้อยละ 92.9 ของทั้งหมด) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนี THI เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Increasing Trend, p-value < 0.05) โดยมีเพียง 6 สถานีเท่านั้นที่ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน (No Trend) ได้แก่ กาฬสินธุ์, บุรีรัมย์, พระแสง (สุราษฎร์ธานี), ฉวาง (นครศรีธรรมราช), กระบี่ และนราธิวาส

เมื่อพิจารณารายละเอียดของสถานีที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น พบว่ามีอัตราการเพิ่มขึ้น (Slope) อยู่ในช่วง 0.02–0.04 หน่วยต่อปี และค่า Tau ของสถานีส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวกและอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (เฉลี่ย 0.5 – 0.7) สะท้อนถึงความชัดเจนของทิศทางการเพิ่มขึ้นของดัชนี THI ในระยะยาว เพื่อให้เห็นภาพความแตกต่างของรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในระดับรายปี ซึ่งมีความละเอียดสูงกว่าการวิเคราะห์รายทศวรรษ การศึกษานี้ได้คัดเลือกสถานีตัวแทนจำนวน 6 สถานี มาแสดงกราฟแนวโน้มเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 3.3 ส่วนกราฟแนวโน้มรายปีของสถานีอื่นๆ ทั้งหมดได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ก

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า กราฟรายปีมีลักษณะการแกว่งตัวขึ้นลงตามสภาพอากาศในแต่ละปี ซึ่งเป็นธรรมชาติของข้อมูลรายปี อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเส้นแนวโน้ม พบว่าสถานีส่วนใหญ่

ในทุกภูมิภาค เช่น เชียงราย (ภาคเหนือ) เลย (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) นครสวรรค์และสุพรรณบุรี (ภาคกลาง) รวมถึงชลบุรี (ภาคตะวันออก) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและมีนัยสำคัญทางสถิติ ($R^2 \approx 0.6-0.8$) (รูปที่ 3.3 ก-จ) ในทางตรงกันข้าม สถานีกระบี่ (รูปที่ 3.3 ฉ) ซึ่งเป็นตัวแทนของภาคใต้ แสดงให้เห็นถึงความผันผวนของข้อมูลรายปี แต่เส้นแนวโน้มกลับมีลักษณะลาดลงเล็กน้อย และไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (Slope ≈ 0) สะท้อนถึงการไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในพื้นที่ดังกล่าว



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายปีของสถานีตัวแทนรายภูมิภาค: (ก) เชียงราย (ข) เลย (ค) นครสวรรค์ (ง) สุพรรณบุรี (จ) ชลบุรี และ (ฉ) กระบี่

3.2.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรายทศวรรษ

การวิเคราะห์ในมิตินี้มุ่งเน้นการสะท้อนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในระยะยาว โดยลดผลกระทบจากความแปรปรวนของข้อมูลในช่วงสั้น ๆ ผ่านการพิจารณาค่าดัชนี THI ในระดับรายทศวรรษ (ช่วงเวลา 10 ปี) เพื่อให้สามารถมองเห็นทิศทางการเปลี่ยนแปลงที่มีเสถียรภาพ

และมีความหมายเชิงสถิติมากยิ่งขึ้น ผลการวิเคราะห์จากสถานีตรวจวัดที่มีข้อมูลสมบูรณ์จำนวน 73 สถานี แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รายทศวรรษ (ทุก 10 ปี)

สถานี	Linear Regression		Mann-Kendall Test			Significant
	Slope	R ²	Tau	p-value	Trend	
แม่ฮ่องสอน	0.265	0.962	1	0.027	increasing	Yes
แม่สะเรียง	0.305	0.936	1	0.027	increasing	Yes
เชียงใหม่	0.326	0.971	1	0.027	increasing	Yes
พะเยา	0.239	0.765	0.6	0.221	no trend	No
เชียงราย	0.356	0.876	0.8	0.086	no trend	No
ลำปาง	0.307	0.978	1	0.027	increasing	Yes
ลำพูน	0.242	0.890	0.8	0.086	no trend	No
แพร่	0.238	0.885	1	0.027	increasing	Yes
น่าน	0.305	0.960	1	0.027	increasing	Yes
ท่าวังผา	0.291	0.908	0.8	0.086	no trend	No
อุตรดิตถ์	0.173	0.908	0.8	0.086	no trend	No
หนองคาย	0.276	0.975	1	0.027	increasing	Yes
เลย	0.272	0.983	1	0.027	increasing	Yes
อุดรธานี	0.197	0.969	1	0.027	increasing	Yes
สกลนคร	0.215	0.985	1	0.027	increasing	Yes
นครพนม	0.201	0.995	1	0.027	increasing	Yes
ตาก	0.270	0.995	1	0.027	increasing	Yes
แม่สอด	0.310	0.983	1	0.027	increasing	Yes
เขื่อนภูมิพล	0.156	0.971	1	0.027	increasing	Yes
อุ้มผาง	0.309	0.963	1	0.027	increasing	Yes
พิษณุโลก	0.201	0.992	1	0.027	increasing	Yes
เพชรบูรณ์	0.284	0.968	1	0.027	increasing	Yes
หล่มสัก	0.214	0.953	1	0.027	increasing	Yes
วิเชียรบุรี	0.166	0.947	0.8	0.086	no trend	No
กำแพงเพชร	0.220	0.977	1	0.027	increasing	Yes
ขอนแก่น	0.135	0.940	1	0.027	increasing	Yes
มุกดาหาร	0.254	0.990	1	0.027	increasing	Yes
มหาสารคาม	0.202	0.969	1	0.027	increasing	Yes
นครสวรรค์	0.249	0.995	1	0.027	increasing	Yes
ชัยภูมิ	0.197	0.980	1	0.027	increasing	Yes
ร้อยเอ็ด	0.281	0.974	1	0.027	increasing	Yes
อุบลราชธานี	0.191	0.990	1	0.027	increasing	Yes
สุพรรณบุรี	0.273	0.995	1	0.027	increasing	Yes

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รายทศวรรษ (ทุก 10 ปี)

สถานี	Linear Regression		Mann-Kendall Test			Significant
	Slope	R ²	Tau	p-value	Trend	
ลพบุรี	0.203	0.995	1	0.027	increasing	Yes
บัวชุม	0.215	0.960	1	0.027	increasing	Yes
น้ำร่อง	0.225	0.801	1	0.027	increasing	Yes
ปราจีนบุรี	0.193	0.934	1	0.027	increasing	Yes
กบินทร์บุรี	0.119	0.950	1	0.027	increasing	Yes
นครราชสีมา	0.274	0.966	1	0.027	increasing	Yes
โชคชัย	0.243	0.948	1	0.027	increasing	Yes
สุรินทร์	0.195	0.894	0.8	0.086	no trend	No
ท่าตูม	0.118	0.588	0.6	0.221	no trend	No
นางรอง	0.121	0.955	1	0.027	increasing	Yes
อรัญประเทศ	0.240	0.978	1	0.027	increasing	Yes
กาญจนบุรี	0.287	0.990	1	0.027	increasing	Yes
ทองผาภูมิ	0.242	0.960	1	0.027	increasing	Yes
เฉลิมพระเกียรติฯ กรุงเทพฯ	0.251	0.962	1	0.027	increasing	Yes
ท่าอากาศยานดอนเมือง	0.142	0.707	0.4	0.462	no trend	No
ชลบุรี	0.292	0.990	1	0.027	increasing	Yes
เกาะสีชัง	0.162	0.810	0.8	0.086	no trend	No
พัทธยา	0.176	0.984	1	0.027	increasing	Yes
สัตหีบ	0.201	0.766	0.8	0.086	no trend	No
เพชรบุรี	0.213	0.942	0.8	0.086	no trend	No
ระยอง	0.122	0.794	0.8	0.086	no trend	No
จันทบุรี	0.228	0.978	1	0.027	increasing	Yes
ประจวบคีรีขันธ์	0.242	0.974	1	0.027	increasing	Yes
หัวหิน	0.196	0.936	1	0.027	increasing	Yes
ตราด	0.166	0.881	0.8	0.086	no trend	No
ชุมพร	0.214	0.991	1	0.027	increasing	Yes
ระนอง	0.122	0.985	1	0.027	increasing	Yes
สุราษฎร์ธานี	0.213	0.903	1	0.027	increasing	Yes
เกาะสมุย	0.173	0.899	0.8	0.086	no trend	No
นครศรีธรรมราช	0.151	0.812	0.8	0.086	no trend	No
ตะกั่วป่า	0.117	0.940	1	0.027	increasing	Yes
ภูเก็ต	0.227	0.972	1	0.027	increasing	Yes
ท่าอากาศยานภูเก็ต	0.191	0.996	1	0.027	increasing	Yes
เกาะลันตา	0.079	0.781	0.8	0.086	no trend	No
ตรัง	0.160	0.951	1	0.027	increasing	Yes
สงขลา	0.058	0.262	0.4	0.462	no trend	No

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) รายทศวรรษ (ทุก 10 ปี)

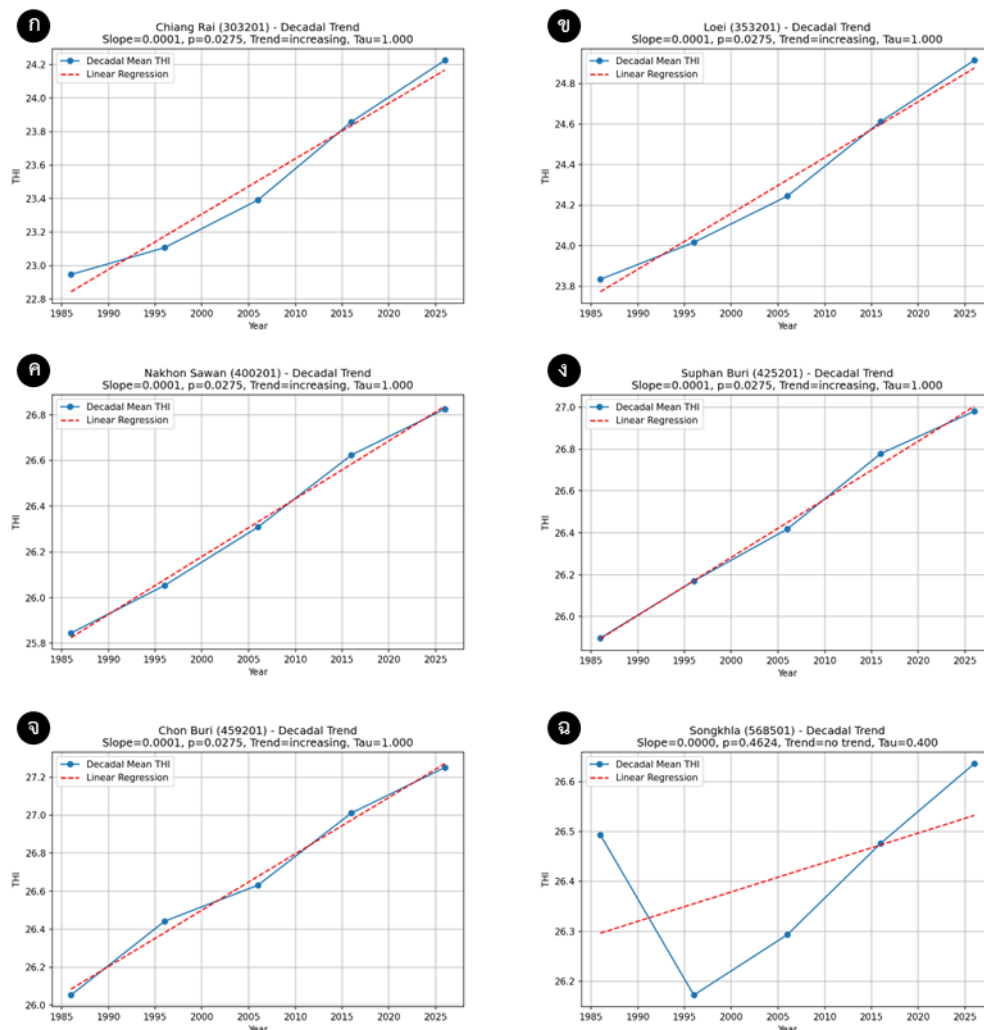
สถานี	Linear Regression		Mann-Kendall Test			Significant
	Slope	R ²	Tau	p-value	Trend	
หาดใหญ่	0.141	0.966	1	0.027	increasing	Yes
สตูล	0.187	0.959	1	0.027	increasing	Yes
ปัตตานี	0.205	0.962	1	0.027	increasing	Yes
นราธิวาส	0.077	0.483	0.4	0.462	no trend	No

จากผลการตรวจสอบด้วยสถิติ Mann-Kendall และการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนี THI ในระดับรายทศวรรษมีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์รายปีอย่างชัดเจน แต่มีความเด่นชัดของสัญญาณแนวโน้มมากกว่า โดยพบว่า สถานีตรวจวัดจำนวน 54 สถานี (ร้อยละ 74.0) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ 19 สถานี ที่ไม่พบแนวโน้มชัดเจน และที่สำคัญคือ ไม่พบสถานีใดที่มีแนวโน้มลดลงในช่วงเวลาที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์เชิงลึกของสถานีที่แสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบ Mann-Kendall ให้ค่า Tau เท่ากับ 1.0 ในทุกสถานี ซึ่งสะท้อนถึงความสม่ำเสมอของทิศทางการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ผลการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น ยังแสดงให้เห็นว่าค่า R² มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 0.96 ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าค่าเฉลี่ย THI ในแต่ละทศวรรษมีการปรับตัวสูงขึ้นเป็นลำดับขั้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.23 หน่วยต่อทศวรรษ และพบค่าสูงสุดที่จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.33 หน่วยต่อทศวรรษ

นอกจากการวิเคราะห์สถิติเชิงปริมาณแล้ว การศึกษานี้ยังได้นำเสนอรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของดัชนี THI ในเชิงประจักษ์ผ่านกราฟแนวโน้มรายทศวรรษของสถานีตัวแทนจำนวน 6 สถานี เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงในบริบททางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน พบว่า เชียงราย (ภาคเหนือ) เลย (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) นครสวรรค์และสุพรรณบุรี (ภาคกลาง) รวมถึงชลบุรี (ภาคตะวันออก) ต่างแสดงลักษณะของกราฟที่มีความชันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ 3.4 ก-จ ตามลำดับ) โดยเฉพาะสถานีเชียงรายและชลบุรีที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าพื้นที่อื่น ในขณะที่สถานีนครสวรรค์มีลักษณะการเพิ่มขึ้นที่เป็นเส้นตรงสมบูรณ์ ($R^2 \approx 0.99$) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการสะสมความร้อนที่มีความเสถียรภาพและรุนแรงขึ้นในทุกทศวรรษ ในทางตรงกันข้าม สถานีสงขลา (รูปที่ 3.4 ฉ) ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ภาคใต้ กลับพบกราฟแสดงความผันผวนที่มีลักษณะลดลงในช่วงแรกก่อนจะกลับมาเพิ่มสูงขึ้นในช่วงท้าย ส่งผลให้ภาพรวมในระยะยาวไม่ปรากฏทิศทางการเพิ่มขึ้นที่ชัดเจน

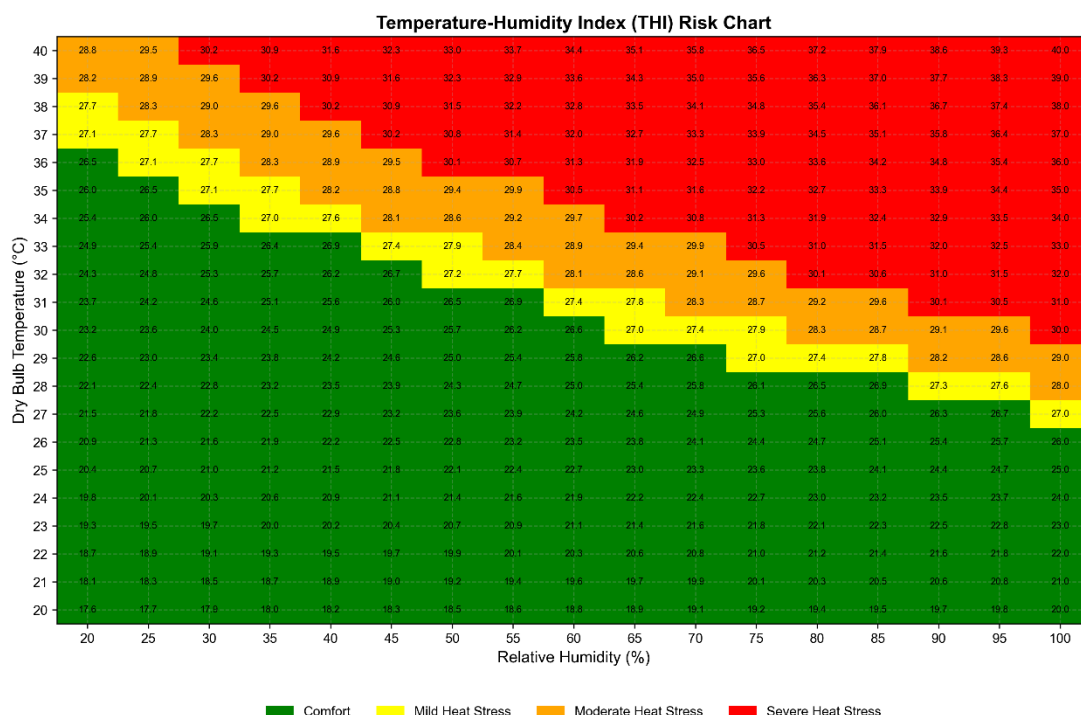
ทั้งนี้ กราฟที่นำเสนอนี้เป็นเพียงตัวอย่างเพื่อแสดงลักษณะเด่นของแนวโน้มในแต่ละภูมิภาค ส่วนกราฟแนวโน้มรายทศวรรษของสถานีตรวจวัดอื่นๆ ทั้งหมดได้รวบรวมแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายทศวรรษของสถานีตัวแทนรายภูมิภาค: (ก) เชียงราย (ข) เลย (ค) นครสวรรค์ (ง) สุพรรณบุรี (จ) ชลบุรี และ (ฉ) สงขลา

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้น (Risk Chart)

นอกเหนือจากการวิเคราะห์แนวโน้มตามช่วงเวลาและเชิงพื้นที่แล้ว การศึกษานี้ยังได้ดำเนินการวิเคราะห์ความไวของดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนำเข้าหลัก 2 ชนิด คือ อุณหภูมิอากาศ (Dry Bulb Temperature) และ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) เพื่อประเมินระดับความรุนแรงของความเครียดจากความร้อนภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์นำเสนอในรูปแบบแผนภูมิความเสี่ยง (Risk Chart) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่อระดับความเครียดจากความร้อนในบริบทประเทศไทย (THI Risk Chart)

จากแผนภาพแสดงให้เห็นถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีผลต่อระดับความเครียดของสัตว์อย่างมีนัยสำคัญ โดยลักษณะของแถบสีระดับความเสี่ยงที่มีความลาดต่ำลงเมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้นนั้น บ่งชี้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งที่ทำให้สัตว์เข้าสู่สภาวะความเครียดได้เร็วขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ที่ระดับความชื้นต่ำ (20-30%) สัตว์สามารถทนต่ออุณหภูมิได้สูงถึง 35-36 องศาเซลเซียส โดยยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ (สีเขียว) แต่เมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเป็น 80-90% ซึ่งเป็นสภาวะทั่วไปของประเทศไทย ขีดจำกัดความทนทานจะลดต่ำลงเหลือเพียง 26-27 องศาเซลเซียส เท่านั้น ส่งผลให้พื้นที่ความเสี่ยงระดับสีเหลืองและสีส้มขยายตัวกินพื้นที่เข้ามาในระดับอุณหภูมิที่ต่ำลง โดยเฉพาะเมื่อความชื้นเกิน 70% การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยก็สามารถผลักดันให้ค่า THI พุ่งเข้าสู่พื้นที่สีแดง (Severe Heat Stress) ได้ทันที

ข้อมูลสถิติและแผนภาพความเสี่ยงที่นำเสนอในบทนี้ ถือเป็นฐานข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สะท้อนสถานการณ์จริงในปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคต ซึ่งจะถูกนำไปสังเคราะห์เพื่อสรุปผลการดำเนินงานในภาพรวม และกำหนดแนวทางบริหารจัดการความเสี่ยงที่เหมาะสมในบทที่ 4 ต่อไป

4. สรุปการดำเนินการ

การศึกษาและวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเครียดจากความร้อน (Temperature-Humidity Index: THI) ในปศุสัตว์สำหรับประเทศไทย โดยอาศัยฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 85 สถานี ครอบคลุมระยะเวลา 44 ปี เป็นฐานข้อมูลหลักในการวิเคราะห์ โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ (1) วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของดัชนี THI ทั้งในระดับรายวัน รายเดือน รายปี และรายทศวรรษ เพื่อสะท้อนภาพรวมของสภาวะความร้อนในระยะยาว และ (2) การประเมินระดับความรุนแรงและจัดทำแผนที่ความเสี่ยง (Risk Map) เชิงพื้นที่ เพื่อระบุพื้นที่วิกฤตและติดตามการขยายตัวของความเสี่ยง และ (3) การสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อพัฒนาสารสนเทศและแผนผังความเสี่ยง (Risk Chart) สำหรับใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการฟาร์มและการวางแผนรับมือภัยธรรมชาติ

ผลการดำเนินงานสามารถสรุป วิเคราะห์ และอภิปรายในเชิงวิชาการได้อย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ในอนาคต ดังต่อไปนี้

4.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เพื่อศึกษาดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) สามารถสรุปผลการศึกษาที่ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์การศึกษาได้ 3 ประเด็นหลัก ดังนี้

4.1.1 การประเมินความเสี่ยงและลักษณะจำเพาะเชิงพื้นที่

ผลการวิเคราะห์แผนที่ความเสี่ยง สะท้อนให้เห็นว่าสภาวะความร้อนในประเทศไทยมีรูปแบบที่แตกต่างกันตามบริบททางภูมิศาสตร์อย่างชัดเจน พื้นที่ตอนบนของประเทศ (ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน) แม้จะมีค่าเฉลี่ย THI รายปีต่ำกว่าภูมิภาคอื่น แต่มีความผันผวนของอุณหภูมิสูง ทำให้สัตว์ต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศระหว่างฤดูอย่างต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้าม พื้นที่ภาคกลางและภาคใต้ มีลักษณะความร้อนแบบคงที่และต่อเนื่อง โดยเฉพาะภาคใต้ที่ได้รับอิทธิพลจากทะเล ทำให้มีความชื้นสูงสม่ำเสมอตลอดปี ส่งผลให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ต่ำ แต่กลับเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดความเครียดสะสม เนื่องจากขาดช่วงเวลาที่อากาศเย็นลงเพียงพอสำหรับการฟื้นตัวของสัตว์ นอกจากนี้ ยังพบว่าช่วงเวลาวิกฤตที่สัตว์มีความเสี่ยงสูงสุดคือเดือนเมษายนและพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีการสะสมความร้อนสูงสุดและกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด

4.1.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนี THI ในระยะยาว

ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี (Mann-Kendall Test) ยืนยันได้ว่าประเทศไทยกำลังประสบกับการยกระดับฐานความร้อนอย่างต่อเนื่องในระยะยาว โดยพบว่าสถานีตรวจอากาศร้อยละ 92.9 มีค่าดัชนี THI เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่พบสถานีใดที่มีแนวโน้มลดลง ข้อมูลเชิงพื้นที่ข้อมูลเชิงพื้นที่ยังสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัด โดยพื้นที่ที่เคยอยู่ในระดับปลอดภัย (ระดับปกติ-สีเขียว) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และถูกแทนที่ด้วยพื้นที่เสี่ยง (ระดับเตือนภัย-สีแดง)

เหลือ) ที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นในทุกทศวรรษ เมื่อจำแนกค่า THI ตามเกณฑ์ความรุนแรง พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีแนวโน้มเข้าสู่ระดับความเสี่ยงปานกลางถึงสูง ($THI \geq 28$) บ่อยครั้งมากขึ้น ขณะเดียวกัน ความถี่ของวันที่ค่า THI เกินเกณฑ์วิกฤต ($THI \geq 30$) ก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ช่วงเวลาวิกฤตมีระยะเวลายาวนานขึ้น จากเดิมที่จำกัดเฉพาะช่วงฤดูร้อน ได้ขยายครอบคลุมตั้งแต่เดือนมีนาคมต่อเนื่องไปจนถึงเดือนตุลาคมในปัจจุบัน

4.1.3 การพัฒนาสารสนเทศและเกณฑ์เฝ้าระวังภัย

การศึกษานี้ได้สังเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อพัฒนาแผนภาพความเสี่ยง (Risk Chart) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเฝ้าระวังภัยที่เหมาะสมกับบริบทประเทศไทย ผลการศึกษาชี้ชัดว่า ภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์สูง (มากกว่า 70%) ชัดจำกัดการทนทานต่อความร้อนของสัตว์จะลดลงอย่างมาก โดยอุณหภูมิเพียง 27–28 องศาเซลเซียส ก็สามารถก่อให้เกิดความเครียดระดับรุนแรงได้ทันที แผนภาพดังกล่าวจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการประยุกต์ใช้ตารางดัชนีความร้อนสำหรับปศุสัตว์ (Heat Index Chart) เพื่อการสะท้อนสภาวะความร้อนที่ร่างกายสัตว์รู้สึกได้จริง (Apparent Temperature) มีความแม่นยำกว่าการใช้อุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์เพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังพัฒนาขึ้นจากฐานข้อมูลตรวจวัดจริงในประเทศไทย ทำให้มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้นของไทยมากกว่าเกณฑ์สากลทั่วไป เกษตรกรสามารถนำไปใช้เป็นคู่มือภาคสนามเพื่อประเมินระดับความเสี่ยง (เฝ้าระวัง-เตือนภัย-อันตราย) และตัดสินใจดำเนินมาตรการลดความร้อน เช่น การเปิดระบบระบายอากาศหรือพ่นละอองน้ำ ได้อย่างทัน่วงทีและมีประสิทธิภาพ

4.2 วิจัยรณผลการดำเนินการ

จากผลการศึกษานำมาอภิปรายผลเชื่อมโยงกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

4.2.1 สภาวะโลกร้อนกับการยกระดับความเครียดในสัตว์

จากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนี THI อย่างมีนัยสำคัญในเกือบทุกสถานีวิจัยจากอากาศ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Limjirakan and Limsakul (2012) ที่รายงานการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยในประเทศไทย และสอดคล้องกับรายงานของ IPCC ที่ระบุถึงแนวโน้มภาวะโลกร้อนที่ทวีความรุนแรงขึ้นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนว่าภาคปศุสัตว์ไทยกำลังเผชิญกับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (Climate Change Impact) ทำให้สัตว์เลี้ยงต้องสูญเสียพลังงานมากขึ้นในการระบายความร้อน และส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตลดลงตามหลักสรีรวิทยาของสัตว์

4.2.2 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อการทวีความรุนแรงของความเครียด

ผลการศึกษาที่บ่งชี้ว่าพื้นที่ที่มีความชื้นสูง เช่น ภาคใต้หรือช่วงฤดูฝน มีความเสี่ยงสูงแม้แสงแดดจะไม่รุนแรง สอดคล้องกับทฤษฎีและงานวิจัยของ West (2003) และ Bohmanova et al. (2007) ซึ่งอธิบายว่าในสภาพอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง กลไกการระบายความร้อนด้วยการระเหย น้ำของสัตว์จะถูกจำกัดประสิทธิภาพลงอย่างมาก ส่งผลให้ความร้อนสะสมในร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าปกติ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sae-tiao et al. (2017) ที่พบว่า โคขุนในประเทศไทยมีผลผลิตลดลงในช่วงฤดูฝนเนื่องจากภาวะความเครียดจากความร้อนแบบสะสม ซึ่งยืนยันได้ว่า

การใช้ข้อมูลเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอสำหรับการเตือนภัยในประเทศไทย และจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยความชื้นร่วมด้วยเสมอ

4.2.3 อิทธิพลของภูมิอากาศแบบคาบสมุทรกับการเปลี่ยนแปลงช่วงวิกฤต

ลักษณะแนวโน้มของสถานีในภาคใต้ เช่น สงขลา, กระบี่ ที่มีความชื้นต่ำหรือไม่พบการเพิ่มขึ้นชัดเจน (No Trend) สอดคล้องกับลักษณะภูมิอากาศแบบคาบสมุทรที่ได้รับความชื้นจากลมมรสุมและมวนน้ำทะเล ซึ่งช่วยลดทอนความผกผันของอุณหภูมิสุดขีด ตามข้อสังเกตของ Phumkokrux and Trivej (2024) อย่างไรก็ตาม แม้ภาพรวมรายปีจะมีความผันผวนน้อย แต่จากการวิเคราะห์ในระดับทศวรรษกลับพบการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ คือการขยายตัวของพื้นที่เสี่ยงในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากเดิมในอดีตที่ภาคใต้เคยเป็นพื้นที่ "ความเสี่ยงต่ำ" (สีเขียว) เกือบตลอดทั้งปี แต่ในปัจจุบันได้เริ่มเปลี่ยนสภาพเข้าสู่ระดับ "เฝ้าระวัง" (สีเหลือง) อย่างชัดเจน สะท้อนให้เห็นว่าอิทธิพลของทะเลเริ่มไม่เพียงพอในการรักษาเสถียรภาพของอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิสูงสุด (ช่วงพิก) ของฤดูร้อนได้อีกต่อไป จึงทำให้ภาคใต้กำลังสูญเสียความเป็นพื้นที่ปลอดภัยทางปศุสัตว์ในช่วงเวลาดังกล่าว

4.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะแนวทางการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์และการศึกษาต่อยอดในอนาคต ดังนี้

4.3.1 การพัฒนาแผนที่ความเสี่ยงระดับจุลภาคและการทดสอบในฟาร์มนำร่อง

การพัฒนาแผนที่ความเสี่ยงที่แสดงระดับความเครียดจากความร้อนในปศุสัตว์ลงสู่รายละเอียดระดับพื้นที่ย่อย (Micro-scale) ที่เฉพาะเจาะจงมากขึ้น โดยดำเนินงานร่วมกับฟาร์มนำร่องที่มีความพร้อมและสนใจร่วมโครงการ เพื่อเปรียบเทียบค่า THI ที่คำนวณได้กับข้อมูลประสิทธิภาพการผลิตจริงของปศุสัตว์ในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งจะช่วยตรวจสอบความถูกต้องของเกณฑ์ความเสี่ยงที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ และนำไปสู่การพัฒนาระบบเตือนภัยที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทยอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4.3.2 การประเมินความเสี่ยงภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต

ควรขยายขอบเขตการศึกษาจากการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตไปสู่การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศในอนาคต (เช่น Coupled Model Intercomparison Project Phase 7: CMIP7 หรือแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค Regional Climate Models: RCMs) เพื่อจำลองสถานการณ์และคาดการณ์แนวโน้มความเครียดจากความร้อนในอีก 20-50 ปีข้างหน้า ผลลัพธ์จากแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนยุทธศาสตร์ความมั่นคงทางอาหาร การบริหารจัดการฟาร์ม และการปรับตัวของภาคปศุสัตว์ไทยสามารถรับมือกับผลกระทบจากภาวะโลกร้อนในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- Armstrong, D. V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, 77(7), 2044–2050.
- Birsan, M. V., Molnar, P., Burlando, P., & Pfaundler, M. (2005). Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology*, 314(1–4), 312–329.
- Chaiyabutr, N., Thammacharoen, S., Komolvanich, S., & Chanpongsang, S. (2008). Effects of evaporative cooling on the regulation of body water and milk production in crossbred Holstein cattle in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 575–585.
- Galebreaker. (2023). *Temperature-Humidity Index (THI) table*.
<https://galebreaker.com/temperature-humidity-index-thi-table/>
- Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (1992). *Statistical methods in water resources*. Elsevier.
- Kliengchuay, W., Mingkhwan, R., Kiangkoo, N., Suwanmanee, S., Sahanavin, N., Kongpran, J., Aung, H. W., & Tantrakarnapa, K. (2024). Analyzing temperature, humidity, and precipitation trends in six regions of Thailand using innovative trend analysis. *Scientific Reports*, 14, Article 57980.
- Limjirakan, S., & Limsakul, A. (2012). Observed trends in surface air temperatures and their extremes in Thailand from 1970 to 2009. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90(5), 647–662.
- Narmilan, A., Puvanitha, N., Ahamed, S. S., & Santhirakumar, S. (2021). Relationship between temperature-humidity index and milk production of dairy cows in tropical climate. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 40(3), 213–218.
- National Research Council. (1971). *A guide to environmental research on animals*. National Academy of Sciences.
- Phumkokrux, N., & Trivej, P. (2024). Investigation of temperature, precipitation, evapotranspiration, and new Thornthwaite climate classification in Thailand. *Atmosphere*, 15(3), 379.

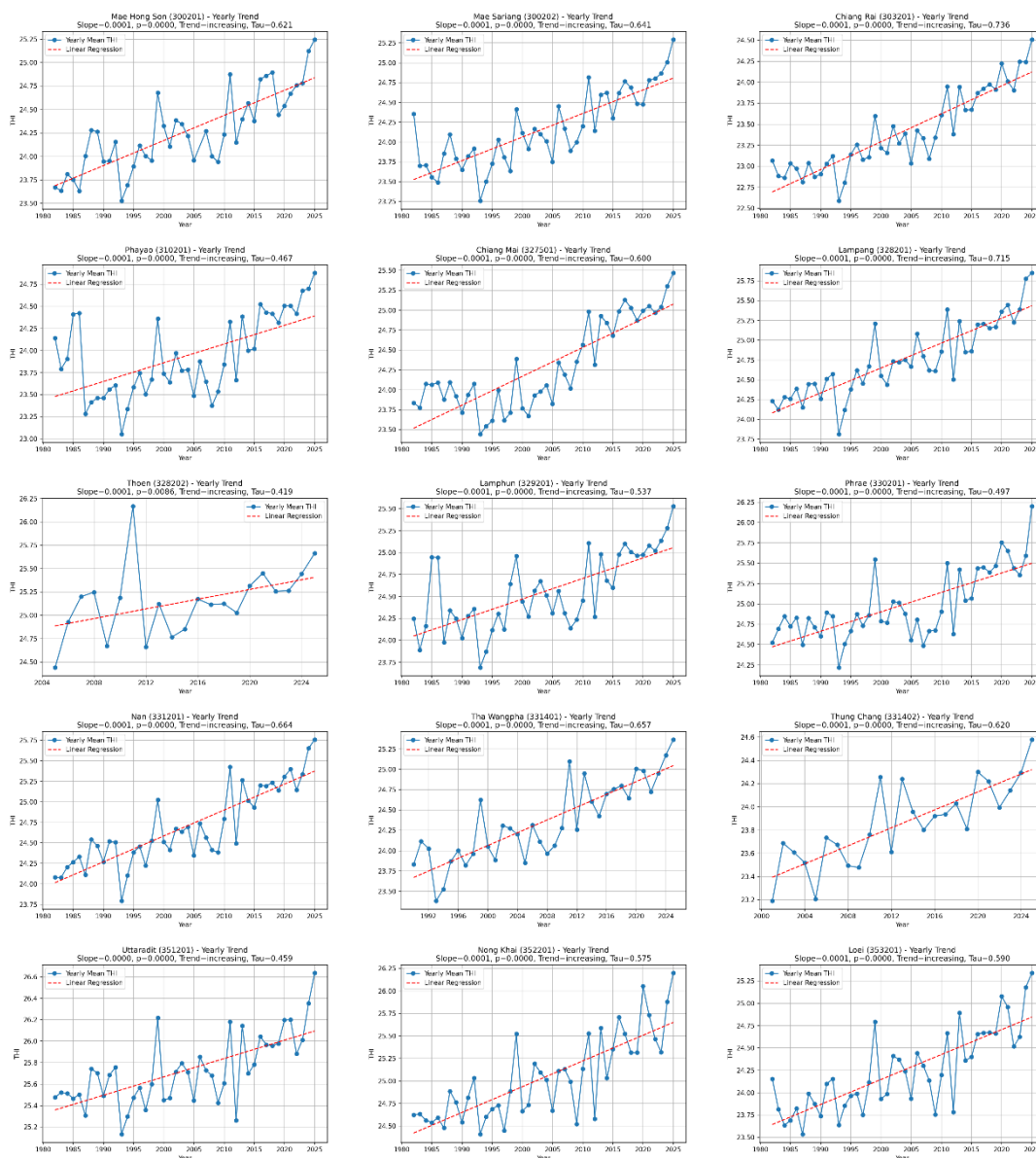
- Sae-tiao, T., Laodim, T., Koonawootrittriron, S., Suwanasopee, T., & Elzo, M. A. (2019). Tropical climate change and its effect on milk production of dairy cattle in Thailand. *Livestock Research for Rural Development*, 31(12).
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B., & Schnitkey, G. (2003). Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, 86(Suppl. 1), E52–E77.
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131–2144.
- Wisitsirikun, S., & Pattarapanitchai, S. (2019). Trend analysis of average temperature in Northern Thailand (1951–2012). *KPRU Journal of Science*, 6(1), 1–12.

ภาคผนวก

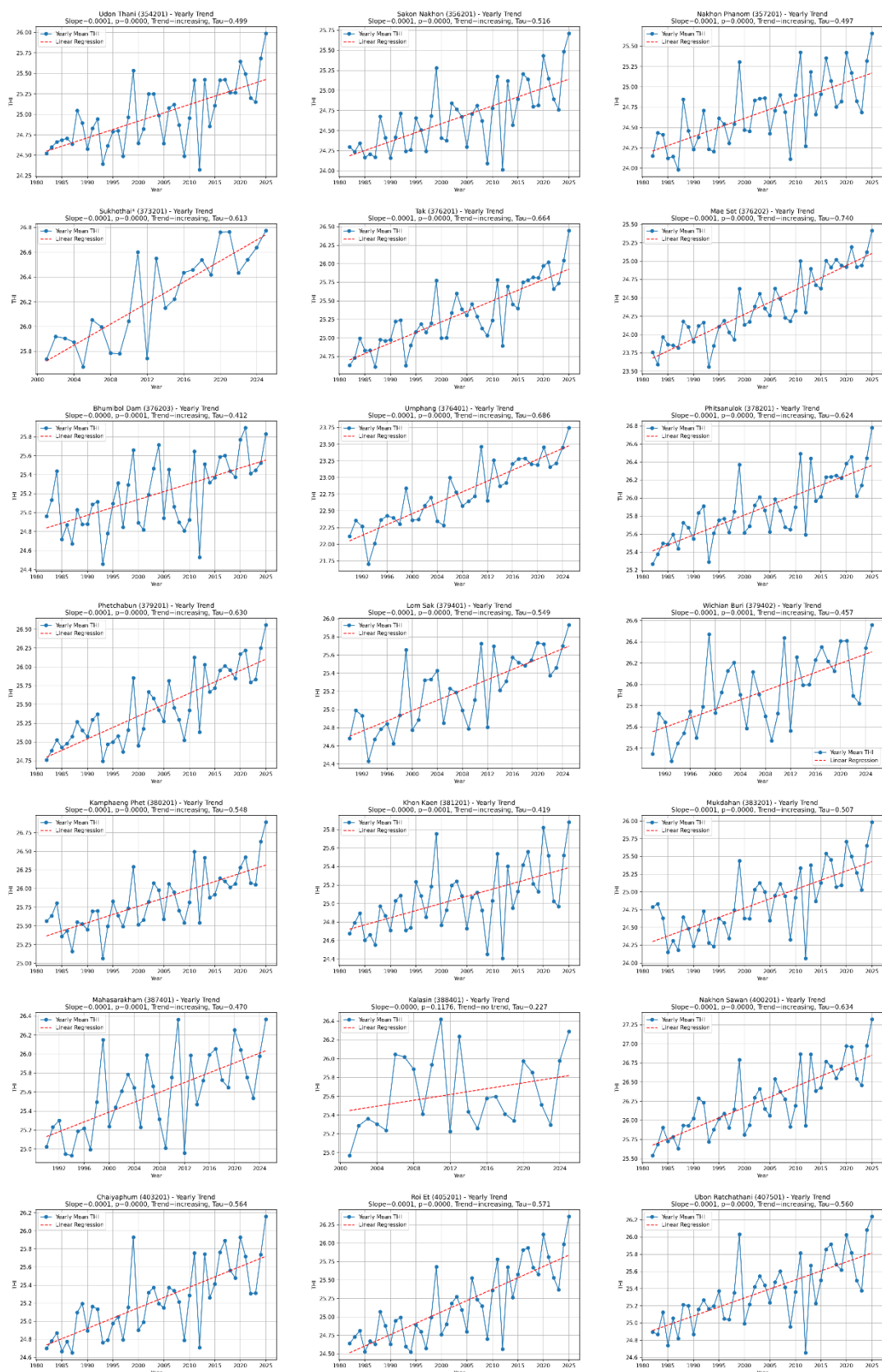
ภาคผนวก ก.

กราฟแสดงแนวโน้มดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยรายปี รายสถานี

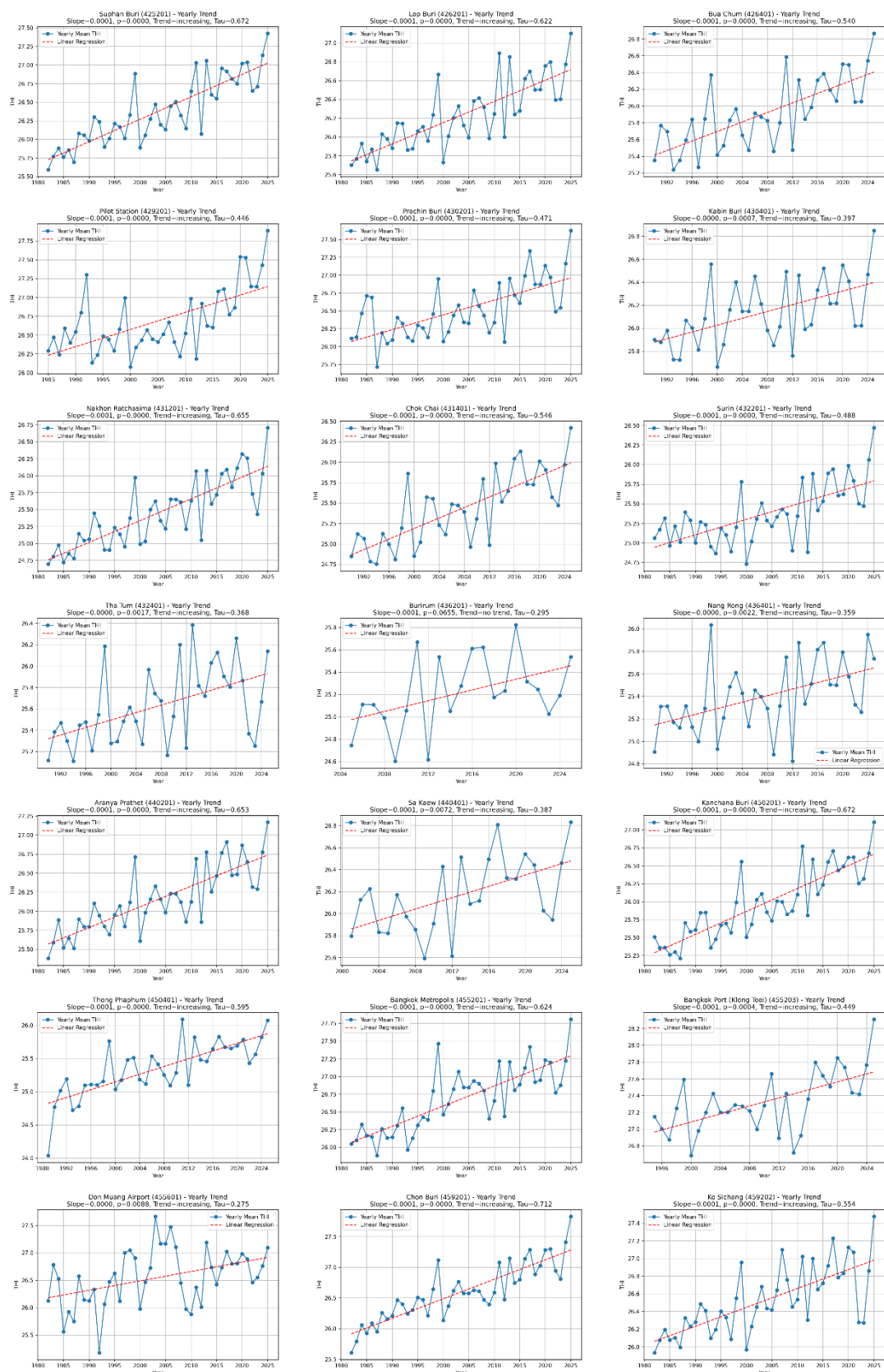
กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยรายปี ของสถานีวิจัยอุตุนิยมวิทยาจำนวน 85 สถานีทั่วประเทศ ตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา (พ.ศ. 2524–2567) ซึ่งจัดเรียงตามลำดับรหัสสถานี โดยภายในกราฟแต่ละภาพแสดงค่าเฉลี่ยดัชนี THI ที่ตรวจวัดได้จริงในแต่ละปีด้วยจุดวงกลมสีน้ำเงิน และแสดงทิศทางของแนวโน้มด้วยเส้นประสีแดงจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) พร้อมทั้งระบุผลการทดสอบทางสถิติ Mann-Kendall ที่สำคัญไว้บริเวณส่วนหัวของกราฟ ได้แก่ อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี (Slope) ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Tau) เพื่อบ่งชี้ระดับความเข้มข้นและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพื้นที่อย่างละเอียด



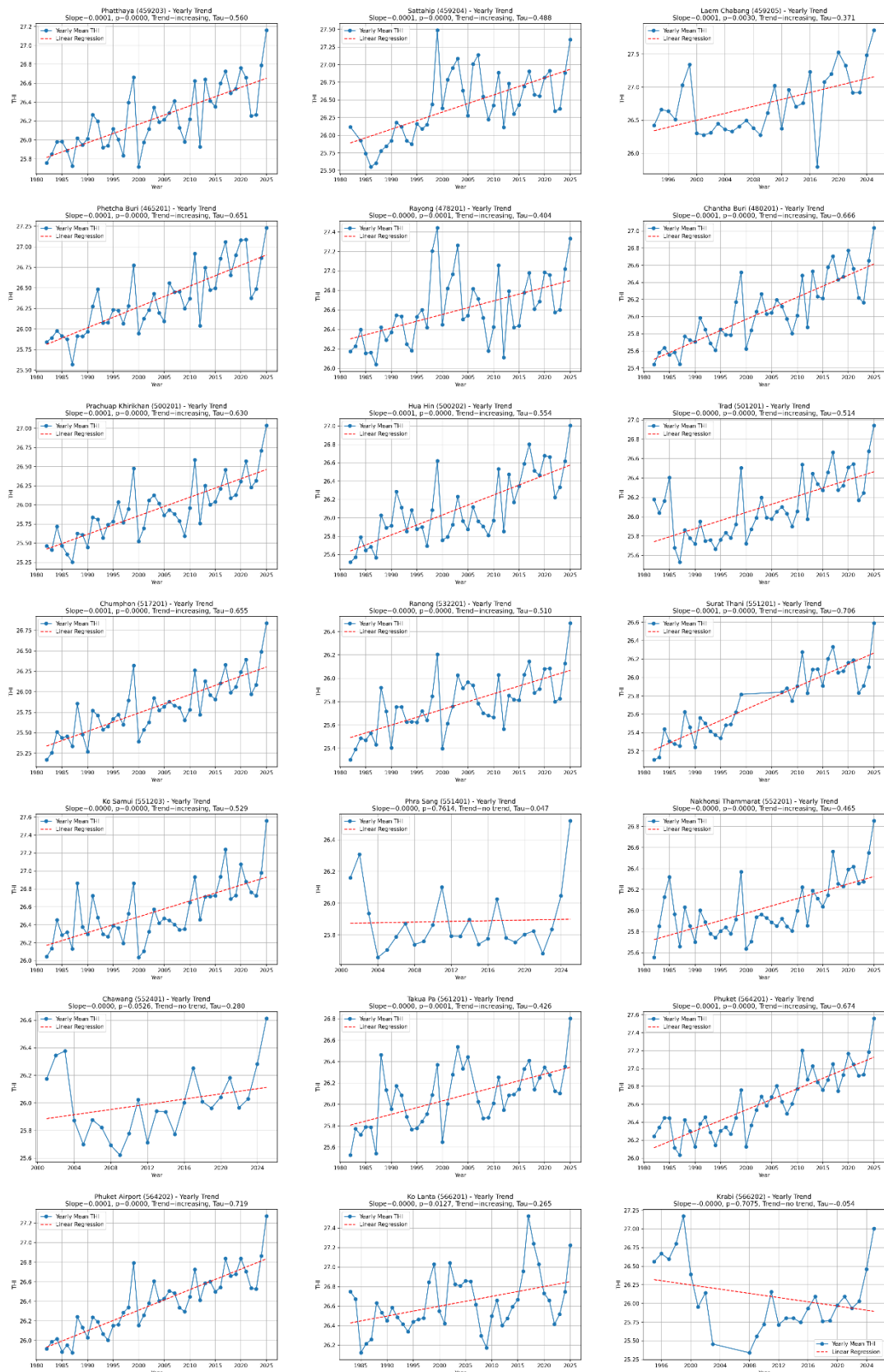
รูปที่ ก กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายปีของสถานีวิจัยอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี



รูปที่ ก (ต่อ) กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายปีของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี



รูปที่ ก (ต่อ) กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายปีของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี



รูปที่ ก (ต่อ) กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายปีของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี

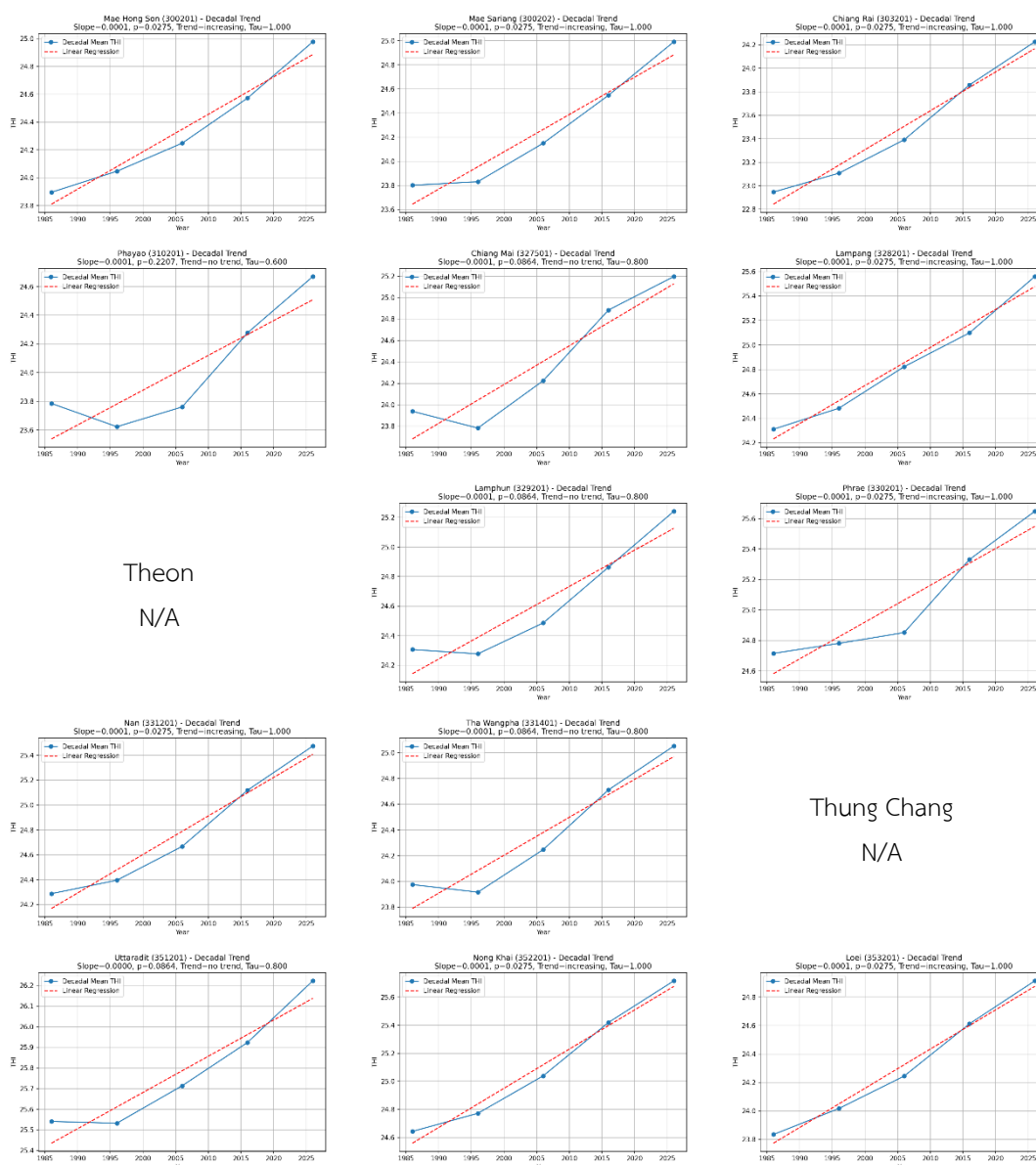


รูปที่ ก (ต่อ) กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายปีของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี

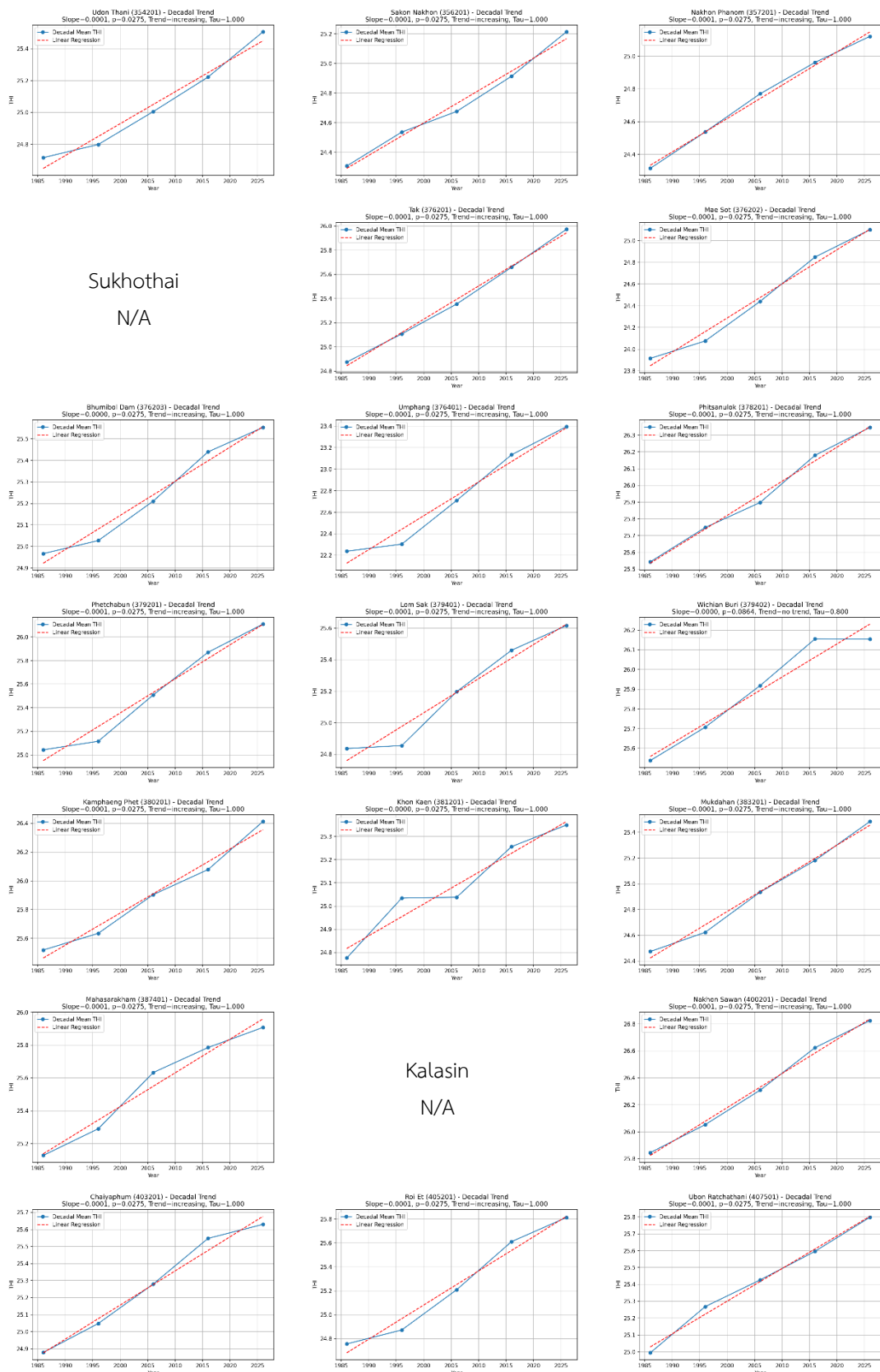
ภาคผนวก ข.

กราฟแสดงแนวโน้มดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยรายทศวรรษ รายสถานี

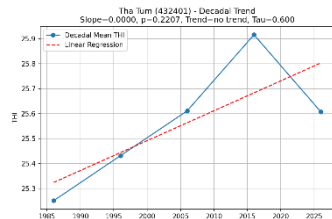
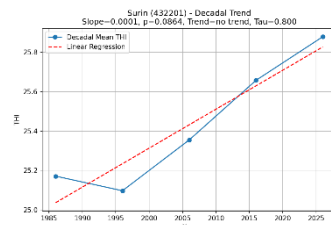
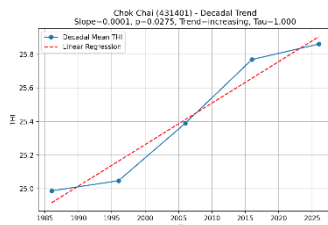
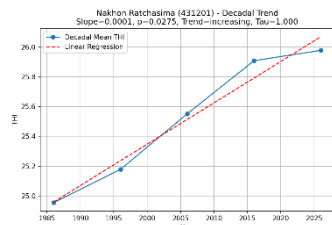
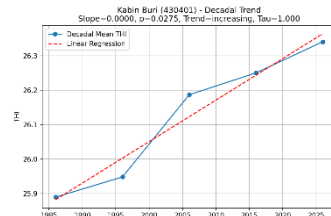
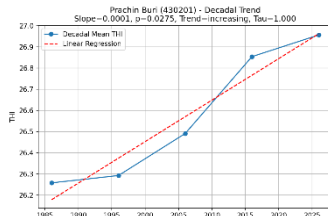
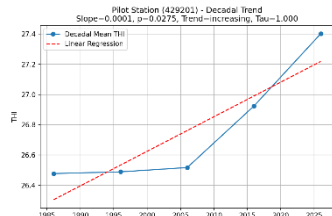
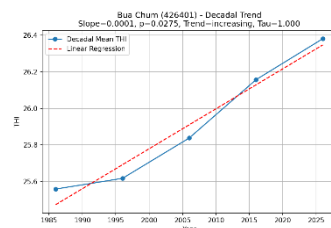
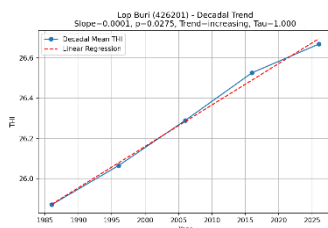
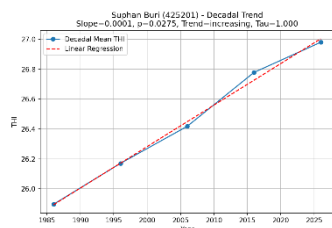
กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนีความเครียดจากความร้อน (THI) เฉลี่ยรายทศวรรษ ของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่มีฐานข้อมูลครบถ้วนสมบูรณ์จำนวน 73 สถานี ทั่วประเทศ ตลอดช่วงเวลาการศึกษา (พ.ศ. 2524–2567) ซึ่งจัดเรียงตามลำดับรหัสสถานี โดยภายในกราฟแต่ละภาพแสดงค่าเฉลี่ยดัชนี THI ในแต่ละรอบทศวรรษด้วยจุดวงกลมสีน้ำเงิน และแสดงทิศทางของแนวโน้มด้วยเส้นประสีแดงจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) พร้อมทั้งระบุผลการทดสอบทางสถิติ Mann-Kendall ที่สำคัญไว้บริเวณส่วนหัวของกราฟ ได้แก่ อัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปี (Slope) ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Tau) เพื่อบ่งชี้ระดับความเข้มข้นและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของแต่ละพื้นที่อย่างละเอียด



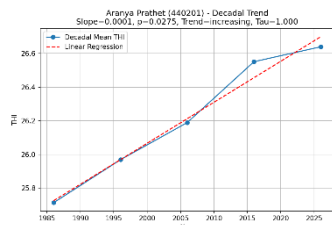
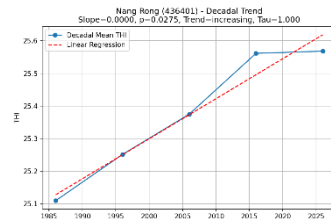
รูปที่ ข กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายทศวรรษของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี



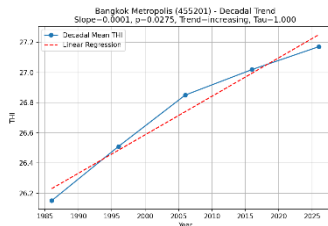
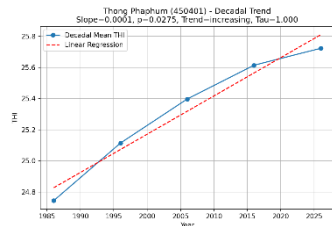
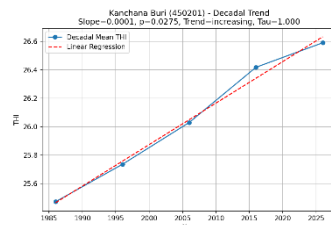
รูปที่ ข (ต่อ) กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายทศวรรษของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี



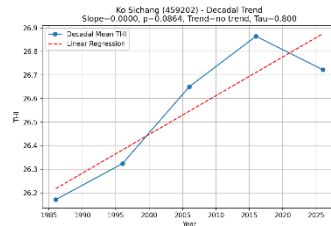
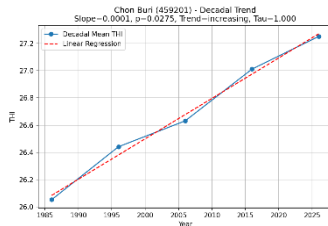
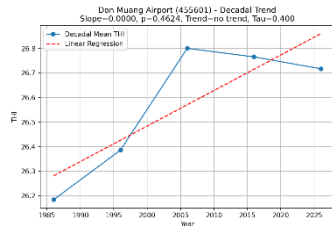
Buriram
N/A



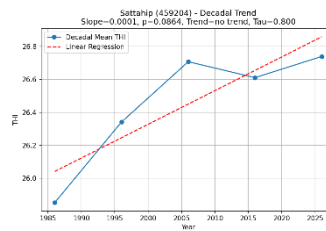
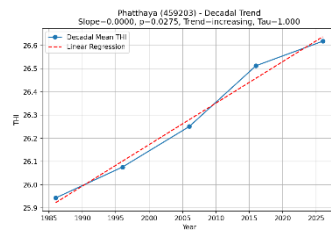
Sa Kaew
N/A



Bangkok Port
N/A

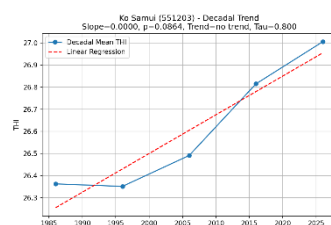
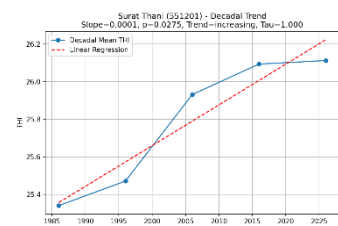
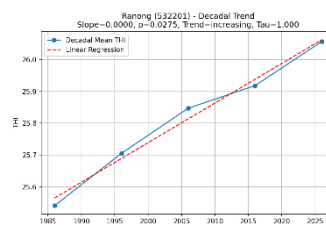
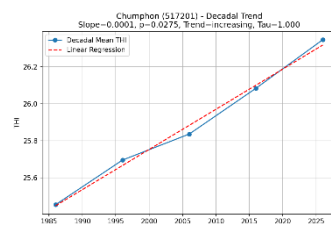
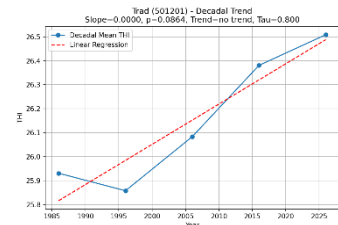
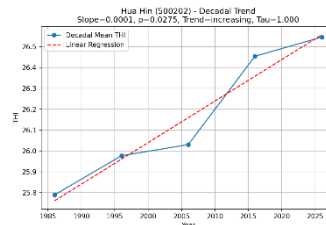
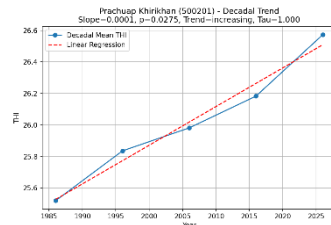
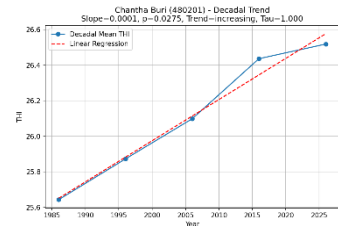
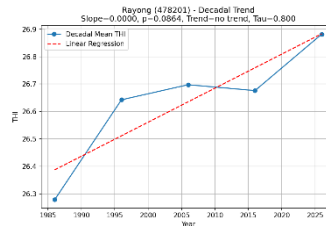
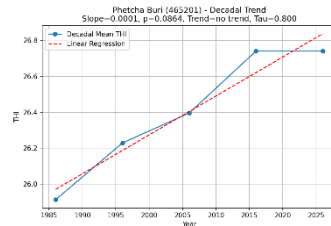


รูปที่ ข (ต่อ) กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายทศวรรษของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี



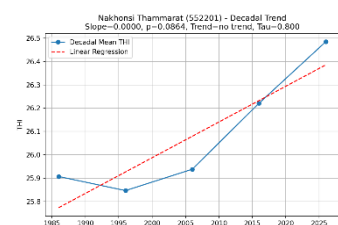
Laem Chabang

N/A



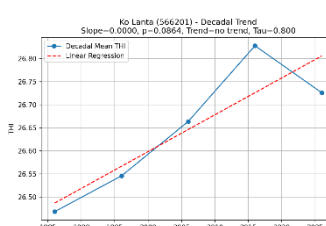
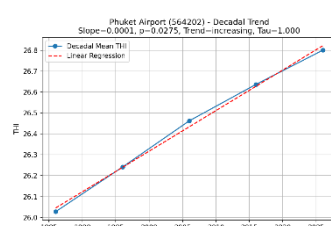
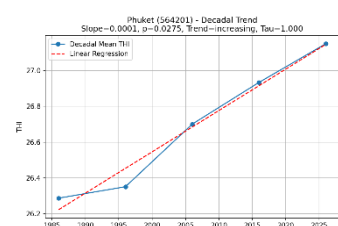
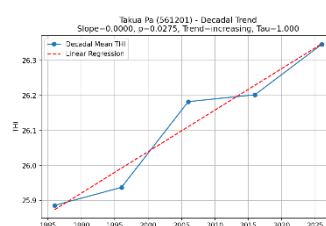
Phra Sang

N/A



Chawang

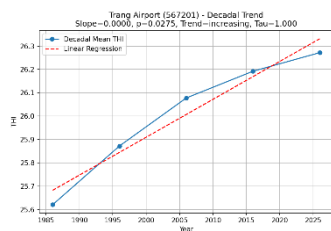
N/A



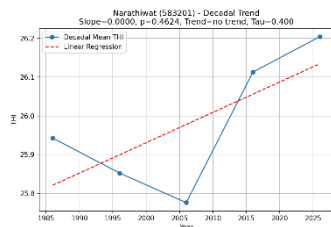
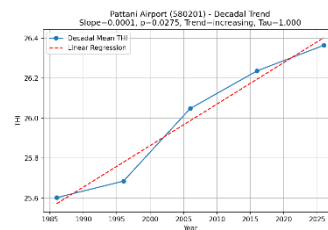
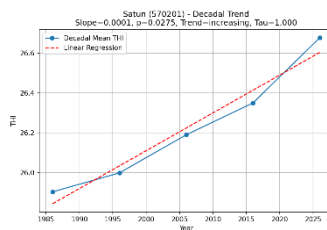
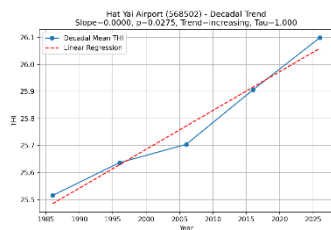
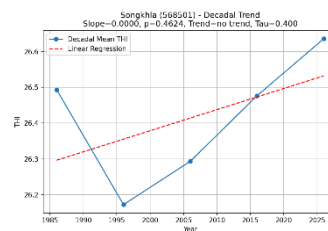
Krabi

N/A

รูปที่ ข (ต่อ) กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายทศวรรษของสถานีอุตุณิยมวิทยา 85 สถานี



Sa Dao
N/A



รูปที่ ข (ต่อ) กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนี THI เฉลี่ยรายทศวรรษของสถานีอุตุนิยมวิทยา 85 สถานี