

**แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายผลของอุณหภูมิ ความร้อนสะสม และ ปริมาณน้ำฝนที่อ้อยได้รับต่อคุณภาพด้านน้ำตาลของอ้อย ณ โรงงานผลิตน้ำตาล**  
**Mathematical Model for Predicting the Effects of Air Temperature, Heat Degree Days, and Amount of Precipitation on Sugar Quality of Milled Canes at Sugar Mills**

*ประสิทธิ์ สมจินดา,<sup>1\*</sup> ปุญญา ตระกูลยิ่งเจริญ<sup>1</sup> และ กุมุท สังขศิลา<sup>1,2</sup>*  
*Prasit Somjinda,<sup>1\*</sup> Punyisa Trakoonyingcharoen<sup>1</sup> and Kumut Sangkhasila<sup>1,2</sup>*

**ABSTRAC**

This report pertained to methods of secondary data manipulation and analyses aiming at the construction of the mathematical model that described the effects of temperatures, heat degree days, and amount of precipitation on the sugar quality, namely commercial cane sugar or CCS of the milled canes. Daily CCS in the production year 2007/08 to 2009/10 were collected from 8 mills in Thailand. Four of the mills were located in the North region while other 4 were in the Northeast region. Derived climatic data were collected from meteorological stations resided within an 80 km. radius surrounding each of the 8 selected mills. For each production year, the derived data were computed for 2 stages of growth, namely vegetative and sugar accumulation. Lengths of vegetative growth and sugar accumulation were set to be 275 and 90 days, respectively. Results indicated that canes crushed at mills located in the North had lower CCS ranging between 11.94-12.94%, 11.94-12.48%, and 11.45-11.99% for the 3 production years. While canes crushed at mills located in the Northeast had higher CCS ranging between 12.37-12.91%, 12.22-12.99%, 11.59-12.97% for those 3 consequence years. Average air temperatures during sugar accumulation stage were 24.4-26.8, 24.3-26.3, 25.1-27.3°C for canes crushed in the North, and were 23.1-25.2, 23.2-24.3, 24.5-26.1°C for canes crushed in the Northeast, respectively for the 3 production years. During vegetative stage, canes crushed in both regions received precipitation amounts of 800-1,350 (in the North) and 900-1,750 mm (in the Northeast). During sugar accumulation, canes crushed in the North received precipitation with higher variation, ranging between 10-480 mm. While those crushed in the Northeast received precipitation with less variation, ranging between 80-140 mm. During vegetative stage, canes crushed in the North received heat degree days amounts of 2,900-3,000 °C·day while those in the Northeast received amounts of 2,600-2,800 °C·day. During sugar accumulation, canes

---

<sup>1\*</sup> ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

Department of Soil Science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

<sup>\*</sup>Corresponding author: Tel.08-7979-1772, E-mail address: agrkms@ku.ac.th

crushed in both regions received heat degree days of 700-900 and 500-750 °C·day, respectively. The better quality of canes crushed in the Northeast was the consequences of preferable climatic conditions for sucrose accumulation. During sugar accumulation stage, the Northeast region held condition of less precipitation, low temperature, and low heat degree days. This report also showed the mathematical model describing these preferable conditions on the quality of canes and suggested the application of the model as a tool for determining the most appropriate first day of cane crushing operation which high quality of milled canes could be obtained in any interesting production year.

**Key words:** mathematical model, CCS, sugarcane quality, air temperature, amount of precipitation

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นรายงานการจัดเตรียมข้อมูลหุตุยภูมิและผลของการวิเคราะห์ เพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ค่าความร้อนสะสม และปริมาณฝนที่อ้อยจะได้รับในช่วงปลูกกับคุณภาพเป็นชีชีเอสของอ้อยที่เข้าหีบในโรงงานน้ำตาล โดยใช้ข้อมูลค่าชีชีเอสรายวันจากโรงงานน้ำตาล 8 โรงที่ตั้งอยู่ในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคละ 4 โรงงาน ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจอากาศที่ตั้งอยู่ในเขตรัศมี 80 กม. รอบโรงงานน้ำตาลแต่ละโรง เก็บข้อมูลของปีการผลิต 2550/51 ถึง 2552/53 คำนวณค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ยความร้อนสะสม และปริมาณฝนที่อ้อยได้รับในช่วงเวลาสำหรับการเจริญเติบโตด้านลำต้น (275 วัน) และช่วงเวลาสะสมน้ำตาล (90 วัน) ของอ้อยที่เข้าหีบในแต่ละวัน พบว่าอ้อยที่เข้าหีบในโรงงานน้ำตาลในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าชีชีเอสเป็น 11.94-12.94%, 11.94-12.48%, 11.45-11.99% และ 12.37-12.91%, 12.22-12.99%, 11.59-12.97% ในแต่ละปีการผลิตตามลำดับ อุณหภูมิในช่วงสะสมน้ำตาลของอ้อยที่เข้าหีบในภูมิภาคทั้งสองมีค่าเป็น 24.4-26.8, 24.3-26.3, 25.1-27.3°ซ และ 23.1-25.2, 23.2-24.3, 24.5-26.1°C ในแต่ละปีการผลิตตามลำดับ ในช่วงการเจริญเติบโตด้านลำต้นของอ้อยที่เข้าหีบในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับน้ำฝน 800-1,350 และ 900-1,750 มม. แต่ในช่วงสะสมน้ำตาลของอ้อยในภาคเหนือได้รับน้ำฝนที่แปรปรวนมากคือ 10-480 มม. ในขณะที่อ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับน้ำฝน 80-140 มม. ซึ่งมีความแปรปรวนน้อยกว่า ในช่วงการเจริญเติบโตด้านลำต้นของอ้อยในภูมิภาคทั้งสองได้รับความร้อนสะสม 2,900-3,000 และ 2,600-2,800°ซ·วัน ตามลำดับ ส่วนช่วงสะสมน้ำตาลอ้อยได้รับค่าความร้อนสะสม 700-900 และ 500-750°ซ·วัน ในภูมิภาคทั้งสองตามลำดับ การที่คุณภาพของอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือดีกว่าอ้อยในภาคเหนือเกิดจากในช่วงเวลาที่อ้อยสะสมน้ำตาล อ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับน้ำฝนที่น้อยกว่า และอุณหภูมิที่ต่ำกว่า หรือความร้อนสะสมที่น้อยกว่าอ้อยในภาคเหนือ ผลการวิจัยได้แบบจำลองเชิงปริมาณแสดงอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ต่อค่าคุณภาพน้ำตาล และแนวทางการใช้แบบจำลอง เพื่อใช้เป็นส่วนร่วมในการกำหนดวันเปิดหีบอ้อยให้โรงงานน้ำตาลได้รับอ้อยที่มีคุณภาพความหวานที่ดีในการนำเข้าหีบ

**คำสำคัญ:** แบบจำลอง ค่าชีชีเอส คุณภาพอ้อย อุณหภูมิอากาศ ปริมาณฝน

### คำนำ

อุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของอ้อย แบ่งการเจริญเติบโตของอ้อยเป็น 4 ช่วงคือ ช่วงหน่ออ้อยงอก แตกกอ อย่าง

ปล้อง และสะสมน้ำตาล 3 ช่วงแรกมักถูกเรียกรวมเป็นช่วงสร้างและสะสมชีวมวลหรือช่วงการเจริญเติบโตด้านลำต้น ค่าความร้อนสะสม (heat degree days) มักถูกใช้เป็นตัวแทนอุณหภูมิของ

อากาศที่อ้อยได้รับตลอดช่วงปลูก ประยุกต์ค่าความร้อนนี้ในการทำนายถึงวันที่หน่ออ้อยจะงอก ปริมาณแตกกอ (Inman-Bamber, 1994; O'Callaghan *et. al.*, 1994) และปริมาณการสร้างมวลชีวภาพ (Moore, 1987; Chowdhury *et. al.*, 1998; Lingle *et. al.*, 2009) ค่าความร้อนสะสมนี้จะจำเพาะกับพันธุ์อ้อยที่ใช้ปลูก (Reashew and Nuss, 2001; Lingle and Tew, 2008; Grof *et. al.*, 2010) การเลือกวิธีคำนวณความร้อนสะสมที่เหมาะสมกับพันธุ์อ้อย จะทำให้ผลของการทำนายดังกล่าวมีความถูกต้องระดับใช้งานได้ดี (Grof *et. al.*, 2010) การใช้ความร้อนสะสมเพื่อทำนายคุณภาพของอ้อย เช่นการสะสมปริมาณน้ำตาลยังไม่พบรายงานที่อ้างอิงอย่างชัดเจน พบเพียงรายงานที่ระบุว่าช่วงที่อ้อยสะสมน้ำตาลนั้น อ้อยต้องการอุณหภูมิอากาศที่ลดต่ำลงจากช่วงการเจริญต้นลำต้น (Reashew and Nuss, 2001; Grof *et. al.*, 2010)

ในแต่ละปีของการผลิตน้ำตาลทราย โรงงานน้ำตาลแต่ละแห่งในประเทศไทยจะมีเวลาหีบอ้อยเพียงช่วงหนึ่งของปีเท่านั้น อ้อยที่จะเข้าหีบมักเป็นอ้อยจากแปลงปลูกของเกษตรกรที่เป็นคู่สัญญาของโรงงานน้ำตาลหนึ่งๆ โดยทั่วไปทางโรงงานมักเป็นผู้กำหนดให้เกษตรกรคู่สัญญาแต่ละรายตัดอ้อยแล้วนำส่ง การกำหนดวันตัดอ้อยให้แก่เกษตรกร มีข้อจำกัดกล่าวคือทุกวันตลอดช่วงการผลิตน้ำตาล นอกเหนือจากความต้องการอ้อยที่มีผลผลิตและปริมาณน้ำตาลที่ดีสอดคล้องกับลักษณะพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกแล้ว โรงงานยังต้องการหีบอ้อยให้เต็มกำลังการผลิต และให้เกษตรกรคู่สัญญาทุกรายตัดอ้อยได้หมดภายในช่วงเวลาหีบอ้อย ในแต่ละวันโรงงานจึงอาจยอมให้

ตัดอ้อยจากแปลงที่มีน้ำตาลที่สะสมยังไม่ถึงเกณฑ์เข้าหีบได้ หรือยอมให้ตัดอ้อยที่เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ในแปลงส่งโรงงานได้ ซึ่งอ้อยที่ไหม้ไฟจะมีน้ำตาลคงเหลือในปริมาณที่ต่ำกว่าอ้อยปกติ (Gomez *et. al.*, 2006) อ้อยที่เข้าหีบในแต่ละวันจึงเป็นอ้อยที่มีคุณภาพหลากหลายผสมปนกันเรียกเป็นอ้อยคละ ค่าคุณภาพความหวานของอ้อยคละรายวันที่ถูกบันทึกจะสะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพของอ้อยที่จะใช้ผลิตน้ำตาลทราย คุณภาพความหวานอ้อยของไทยมักใช้ค่าน้ำตาลทางการค้าเป็นตัวกำหนด (หรือบางครั้งเรียกเป็นค่าซีซีเอส, Commercial Cane Sugar) ในแต่ละปีการผลิต ค่าซีซีเอสสะสมเมื่อสิ้นสุดฤดูการผลิตของโรงงานน้ำตาลใดๆ จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าเฉลี่ยซีซีเอสรายวันของอ้อยในช่วงเริ่มต้นการหีบอ้อย (Figure 1) ซึ่งแปลได้ว่าในช่วงเริ่มการหีบอ้อยใหม่ๆ ถ้าโรงงานน้ำตาลสามารถนำอ้อยคละที่มีค่าซีซีเอสที่สูงเข้าหีบได้ในช่วงต้นฤดูการผลิตเมื่อสิ้นสุดฤดูการผลิตจะได้ค่าซีซีเอสสะสมที่สูงตามไปด้วย หรืออีกนัยหนึ่งมีน้ำตาลในอ้อยที่สามารถนำไปผลิตได้ในปริมาณที่สูงขึ้นตามไปด้วย ค่าซีซีเอสของอ้อยในช่วงต้นหีบจะตอบสนองอย่างมากกับสภาพภูมิอากาศตลอดช่วงปลูกก่อนที่อ้อยจะเข้าหีบ ซึ่งอาจใช้หน่วยความร้อนสะสมเป็นตัวแทนได้ งานวิจัยนี้นำเสนอผลการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนร่วมกับค่าหน่วยความร้อนสะสมหรืออุณหภูมิอากาศสำหรับทำนายค่าซีซีเอสของอ้อยคละที่เข้าหีบในช่วงต้นของฤดูการผลิตน้ำตาล ผลการทำนายอาจใช้เป็นส่วนร่วมในการตัดสินใจกำหนดวันเริ่มหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาล เพื่อให้ได้อ้อยที่มีค่าซีซีเอสที่ดีในแต่ละปีการผลิตได้

## อุปกรณ์และวิธีการ

### ข้อมูลที่ใช้

1. อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันและปริมาณฝนรายวันในช่วงปีการผลิต 2550/51 ถึง 2552/53 ใช้ข้อมูลตั้งแต่ 1 มกราคม 2549 ถึง 31

พฤษภาคม 2553 จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ

2. คุณภาพความหวานของอ้อยรายวัน ใช้ค่าซีซีเอสรายวันของอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงาน

น้ำตาล (มีหน่วยเป็นร้อยละ) ซึ่งรวบรวมจาก โรงงานน้ำตาลในภาคเหนือจำนวน 4 โรงงาน (เรียกเป็นโรงงาน N1, N2, N3, และ N4) และใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนืออีก 4 โรงงาน (เรียกเป็น โรงงาน NE1, NE2, NE3, และ NE4) ใช้ข้อมูลของ

ปีการผลิต 2550/51, 2551/52, และ 2552/53 ข้อมูลจาก N1-N3 และ NE1-NE3 จะใช้เพื่อการ วิเคราะห์ ส่วนข้อมูลจาก N4 และ NE4 ใช้ ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลที่วิเคราะห์ได้

### การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อกำหนดเพื่อจัดเตรียมข้อมูลสำหรับ วิเคราะห์เป็นดังต่อไปนี้ อ้อยคละที่เข้าหีบโรงงาน น้ำตาลใดๆ ในช่วงที่โรงงานน้ำตาลเปิดหีบอ้อยใน วันหนึ่งๆเป็นอ้อยที่มีอายุ 365 วันนับจากเริ่มปลูก ถ้าเป็นอ้อยปลูกใหม่ หรือถ้าเป็นอ้อยตอหนัจาก วันที่ตัดอ้อยส่งโรงงานในปีการผลิตก่อนหน้า โดย แบ่งเป็น 275 วันในช่วงเจริญเติบโตด้านลำต้น (ช่วง H) และอีก 90 วันในช่วงสะสมน้ำตาล (ช่วง S) และอ้อยที่เข้าหีบโรงงานน้ำตาลใดๆ ได้มาจาก แปลงปลูกอ้อยที่อยู่ภายในรัศมี 80 กม. โดยรอบ โรงงานนั้น ดังนั้นอ้อยที่เข้าหีบโรงงานในวันหนึ่งๆ จึงเป็นอ้อยคละจากหลายแปลงปลูก และค่าซีซี เอสรายวันที่รวบรวมได้จึงเป็นตัวแทนคุณภาพ ความหวานเฉลี่ยของอ้อยคละที่หีบในวันนั้นๆ

#### 1. อุณหภูมิและปริมาณฝนรายวัน สำหรับอ้อยที่ปลูกอยู่โดยรอบโรงงานน้ำตาล

อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน  $T_k$  ที่อ้อยคละได้รับ ในวันที่  $k$  หลังเริ่มนับอายุอ้อยเพื่อเข้าหีบโรงงาน น้ำตาล N1 หาได้โดยกำหนดขอบเขตที่มีรัศมี 80 กม. รอบโรงงาน N1 ภายในขอบเขตมีสถานีตรวจ อากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาตั้งอยู่เท่าใดและที่ ไตบ้าง เช่นพบว่ามี 3 สถานี ก็นำค่าอุณหภูมิเฉลี่ย รายวันของวันที่  $k$  จากทั้ง 3 สถานีนั้นไปหา ค่าเฉลี่ย ส่วนปริมาณน้ำฝน ( $R_k$ ) ของวันที่  $k$  ก็ สามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน จะเตรียมข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันและปริมาณฝนรายวันใน ลักษณะนี้ ตั้งแต่ตัวห้อย  $k$  มีค่าระหว่าง 1 มกราคม 2549 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 เพื่อ

ใช้เป็นตัวแทนของอุณหภูมิอากาศ ( $T_k$ , มีหน่วย เป็นเซลเซียส °ซ) และปริมาณฝน ( $R_k$ , มีหน่วย เป็น มม.) ที่อ้อยคละได้รับในแต่ละวันของช่วงปลูก ก่อนที่อ้อยคละจะถูกนำไปเข้าหีบโรงงานน้ำตาล N1 ในช่วงปีการผลิต 2550/51 ถึง 2552/53 สำหรับข้อมูลภูมิอากาศที่อ้อยคละได้รับเพื่อเข้าหีบ โรงงานน้ำตาลอื่นๆ (N2, N3, N4, NE1, NE2, NE3, และ NE4) ก็สามารถจัดเตรียมข้อมูลได้ใน ทำนองเดียวกัน

#### 2. ตัวแทนอุณหภูมิและปริมาณฝนของ อ้อยคละในแต่ละวันตลอดช่วงเปิดหีบอ้อย

เพื่อให้ข้อมูลที่จัดเตรียมได้ในข้อ 1 สามารถนำมาเทียบเคียงได้กับข้อมูลค่าซีซีเอสราย วันที่รวบรวมได้จากโรงงานน้ำตาลแต่ละแห่ง จึง จำเป็นต้องหาตัวแทนอุณหภูมิและปริมาณฝนที่ อ้อยคละได้รับในแต่ละวันในช่วงเปิดหีบอ้อยของ โรงงานน้ำตาลแต่ละแห่งในแต่ละปีการผลิต พิจารณารายวันที่  $j$  หลังโรงงานน้ำตาลเปิดหีบอ้อย อ้อยคละได้รับอุณหภูมิอากาศ  $T_k$  ตั้งแต่เริ่มปลูก จนถึงเก็บเกี่ยว ดังนั้นตัวห้อย  $k$  จะมีค่าตั้งแต่วันที่  $k = j - 365$  จนถึงวันที่  $k = j - 1$  ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ย ที่อ้อยคละได้รับตลอดช่วงเติบโตด้านลำต้น (ช่วง H) หรือ  $TH_j$  (มีหน่วยเป็นเซลเซียส, °ซ) ก็คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ  $T_k$  ระหว่างวันที่  $k = j - 365$  ถึง วันที่  $k = j - 90$  หรือ

$$TH_j = \frac{1}{275} \sum_{k=(j-365)}^{(j-90)} T_k \quad [1]$$

เมื่อ ตัวห้อย  $j$  คือวันที่อ้อยคละเข้าหีบ สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่อ้อยคละได้รับในช่วงสะสมน้ำตาล (ช่วง S) และเข้าหีบในวันที่  $j$  (หรือ  $TS_j$  มีหน่วยเป็น °ซ) หาได้จาก

$$TS_j = \frac{1}{90} \sum_{k=(j-90+1)}^{(j-1)} T_k \quad [2]$$

สำหรับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่อ้อยคละได้รับตลอดช่วงปลูกที่เข้าหีบในวันที่  $j$  (หรือ  $TW_j$  มีหน่วยเป็น °ซ) หาได้จาก

$$TW_j = \frac{1}{365} (275 \cdot TH_j + 90 \cdot TS_j) \quad [3]$$

สำหรับปริมาณน้ำฝนในช่วงเติบโตต้นลำต้น ( $RH_j$  มีหน่วยเป็น มม.) และในช่วงสะสมน้ำตาล ( $RS_j$  มีหน่วยเป็น มม.) ของอ้อยคละที่เข้าหีบวันที่  $j$  สามารถหาค่าได้ในทำนองเดียวกับการหาค่าอุณหภูมิ ปริมาณฝนไม่ได้เกิดจากค่าเฉลี่ย แต่เป็นผลรวมเขียนได้เป็น

$$RH_j = \sum_{k=(j-365)}^{(j-90)} R_k \quad [4]$$

$$RS_j = \sum_{k=(j-90+1)}^{(j-1)} R_k \quad [5]$$

เมื่อ  $R_k$  หมายถึงปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยของอ้อยคละที่อยู่ภายในรัศมี 80 กม. โดยรอบโรงงานน้ำตาล N1 ปริมาณน้ำฝนโดยรวมของอ้อยคละที่เข้าหีบในวันที่  $j$  หรือ  $RW_j$  เกิดจากผลรวมของปริมาณฝนรายวันในช่วง H และ S หรือเขียนได้เป็น

$$RW_j = RH_j + RS_j \quad [6]$$

หมายเหตุอุณหภูมิเฉลี่ย  $TH_j$ ,  $TS_j$ , และ  $TW_j$  และปริมาณฝน  $RH_j$ ,  $RS_j$ , และ  $RW_j$  ที่อ้อยคละได้รับในช่วงเจริญเติบโตต้นลำต้น สะสมน้ำตาล และตลอดช่วงปลูกที่เข้าหีบโรงงานน้ำตาลวันที่  $j$  หลังเปิดหีบของโรงงานน้ำตาลอื่นๆ จะแยกคำนวณสำหรับแต่ละโรงงานและแต่ละปีการผลิต

### 3. หน่วยความร้อนสะสม

ค่าหน่วยความร้อนสะสมของอ้อยคละ ( $\theta_{TW,j}$ ) เกิดจากผลรวมของค่าความร้อนสะสมในช่วง H และ ช่วง S (หรือ  $\theta_{TH,j}$  และ  $\theta_{TS,j}$  ตามลำดับ) เป็นดังสมการ

$$\theta_{TW,j} = \theta_{TH,j} + \theta_{TS,j} \quad [7.1]$$

หรือเขียนได้เป็น

$$\theta_{TW,j} = \sum_{k=(j-365)}^{(j-90)} (T_k - T_{bH}) + \sum_{k=(j-90+1)}^{(j-1)} (T_k - T_{bS}) \quad [7.2]$$

เมื่อตัวห้อย  $j$  แสดงถึงวันที่อ้อยคละเข้าหีบ  $T_{bH}$  และ  $T_{bS}$  คืออุณหภูมิฐานที่ใช้ในช่วงเติบโต H และ S ตามลำดับ ในรายงานนี้ใช้ค่า  $18^{\circ}\text{C}$  ทั้งสองช่วงการเจริญเติบโต (Moore, 1987; Inman-Bamber, 1994; Chowdhury et. al., 1998; Lofton et. al., 2012)

#### 4. การวิเคราะห์กลุ่ม

การจัดเตรียมข้อมูลในขั้นตอนที่ผ่านมาจะได้ตัวแปรของอ้อยคละ จาก 8 โรงงานน้ำตาล 3 ปี การผลิต ตัวแปรดังกล่าวได้แก่ ค่าซีซีเอสรายวัน ( $CCS_j$ , ตัวห้อย  $j$  แสดงเป็นนัยถึงค่าข้อมูลของอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงานน้ำตาลในวันที่  $j$  ของปีการผลิตหนึ่งๆ), ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ( $TH_j$ ,  $TS_j$ , และ  $TW_j$ ) ปริมาณน้ำฝน ( $RH_j$ ,  $RS_j$ , และ  $RW_j$ ) และค่าหน่วยความร้อนสะสม ( $\theta_{TH,j}$ ,  $\theta_{TW,j}$ , และ  $\theta_{TS,j}$ ) ตัวแปรเหล่านี้ร่วมกับค่าสัดส่วนอุณหภูมิ ( $TR_j = \frac{TS_j}{TH_j}$ ) และสัดส่วนน้ำฝน ( $RR_j = \frac{RS_j}{RH_j}$ ) ของอ้อยคละนำไปใช้สำหรับการจัด

กลุ่มข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันทางด้านข้อสนเทศอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ก่อนที่จะนำข้อมูลจากกลุ่มที่คัดเลือกกว่ามีความเหมาะสมไปใช้หาแบบจำลองในรูปสหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าซีซีเอสรายวันกับอุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน และค่าหน่วยความร้อนสะสม และเพราะต้องการทำนายค่าซีซีเอสเฉพาะช่วงต้นของการหีบอ้อยในแต่ละฤดูการผลิต จึงใช้ข้อมูลเฉพาะในช่วง 15 วันแรกของการหีบอ้อยในแต่ละโรงงานและในแต่ละปีการผลิต การจัดกลุ่มข้อมูลใช้วิธี K-cluster ของโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป (SPSS) โดยกำหนดให้จัดข้อมูลแยกเป็น 3 กลุ่มที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ p-value น้อยกว่า 0.05

#### 5. การหาสหสัมพันธ์ระหว่างหน่วยความร้อนสะสมกับค่าซีซีเอส

หาสหสัมพันธ์หลายตัวแปรระหว่างค่าซีซีเอส รายวันใช้เฉพาะวันที่ 15 หลังโรงงานเปิดหีบอ้อย ( $j=15$ ) ในแต่ละปีการผลิต ( $CCS_j$ ) ซึ่งเป็นตัวแปรต้น โดยมีค่าความร้อนสะสม ( $\theta_{TH,j}$ ,  $\theta_{TS,j}$ , และ  $\theta_{TW,j}$ ) สัดส่วนอุณหภูมิ ( $TR_j$ ) และสัดส่วนน้ำฝน ( $RR_j$ ) และผลคูณของสัดส่วนทั้งสองกับค่าความร้อน ( $TR_j \times \theta_{TH,j}$ ,  $TR_j \times \theta_{TS,j}$ ,  $TR_j \times \theta_{TW,j}$ ,  $RR_j \times \theta_{TH,j}$ ,  $RR_j \times \theta_{TS,j}$ , และ  $RR_j \times \theta_{TW,j}$ ) เป็นตัวแปรอิสระ การหาสหสัมพันธ์จะใช้วิธี forward multiple regression เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระที่ให้ระดับ

นัยสำคัญทางสถิติที่สูงต่อตัวแปรตาม ( $p\text{-value} < 0.05$ ) และสมการที่ได้ต้องให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูง ( $\text{adjusted } r^2 > 0.70$ ) การวิเคราะห์จะใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS การวิเคราะห์จะทำ 2 แบบโดยครั้งแรกจะแทนค่าตัวแปรต้นด้วยค่าความร้อนสะสมดังกล่าวข้างต้น ส่วนครั้งที่สองแทนค่าตัวแปรต้นด้วยค่าอุณหภูมิอากาศ  $TH_j$ ,  $TS_j$ ,  $TW_j$ ,  $TR_j \times TH_j$ ,  $TR_j \times TS_j$ ,  $TR_j \times TW_j$ ,  $RR_j \times TH_j$ ,  $RR_j \times TS_j$ , และ  $RR_j \times TW_j$

## 6. การตรวจสอบความใช้ได้ของสมการหน่วยความร้อนสะสมกับค่าซีซีเอส

ใช้ค่าหน่วยความร้อนสะสมและอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงาน N4 และ NE4 เพื่อคำนวณค่าซีซีเอสโดยใช้สมการทำนายที่คัดเลือกได้จากผลในหัวข้อที่ผ่านมา เปรียบเทียบ

### ผลการทดลอง

#### ข้อมูลทั่วไป

ค่าซีซีเอสรายวันของอ้อยคละ ( $CCS_j$ ) ได้จากโรงงานน้ำตาลซึ่งตั้งอยู่ในภาคเหนือ (N1-N4) และตะวันออกเฉียงเหนือ (NE1-NE4) ส่วนข้อมูลอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนที่นำมาคำนวณค่า  $T_x$  และ  $R_x$  ที่อ้อยคละได้รับสำหรับแต่ละโรงงานได้จากค่าเฉลี่ยที่เกิดจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาอย่างน้อยโรงงานละ 2 สถานี (Table 1)

โรงงานน้ำตาลทั้ง 8 แห่งมีช่วงหีบอ้อยในแต่ละปีการผลิตที่แตกต่างกัน แต่มักเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ในแต่ละปีการผลิตโรงงานน้ำตาลส่วนใหญ่เริ่มเปิดหีบอ้อยราวปลายเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนธันวาคม และสิ้นสุดในเดือนเมษายนถึงต้นพฤษภาคม (Table 2) ทั้งสามปีการผลิตค่าซีซีเอสสะสมของอ้อยคละที่หีบได้จากโรงงานในภาคเหนือซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 11.45-12.94% มีค่าต่ำกว่าของอ้อยคละที่หีบได้จากโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีค่าในช่วง 11.59-12.99% (Table 3) ส่วนค่าซีซีเอส ณ วันที่ 15 หลังเปิดหีบมีค่าในช่วง 10.36-10.71% และ 11.41-11.53% สำหรับสำหรับโรงงานในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามลำดับ (Table 3) ในปีการผลิต 2552/53 ค่าซีซีเอสสะสมของอ้อยคละที่หีบได้มีค่าต่ำกว่าของอ้อยคละที่หีบได้ในปีการผลิต 2550/51 และ 2551/52 นอกจากนี้อ้อยคละที่เข้าหีบโรงงานน้ำตาล NE1 ในปีการผลิตหนึ่งๆ ให้ค่าซีซีเอสสะสมค่อนข้างคงที่และมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สูง และสูงกว่าของอ้อยคละที่หีบได้จาก

ค่าคำนวณกับค่าที่วัดได้จริง รวมทั้งความผิดพลาดในรูปของค่าเฉลี่ยของผลรวมของผลต่างกำลังสอง (mean square error, MSE) การเปรียบเทียบจะใช้เฉพาะข้อมูลในวันที่ 15 ของปีการผลิต 2550/50, 2551/52, และ 2552/53

โรงงานอื่น และในปีการผลิต 2552/53 อ้อยคละที่เข้าหีบโรงงาน NE1 ให้ค่าซีซีเอสสะสม 12.97% ในขณะที่อ้อยคละที่เข้าหีบโรงงานอื่นๆ ให้ค่าที่ต่ำกว่า 12.00%

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าซีซีเอสรายวันของอ้อยคละที่เข้าหีบของแต่ละโรงงานในทุกปีการผลิต พบว่าในช่วงที่เปิดหีบอ้อยใหม่ๆ ซีซีเอสมีค่าไม่สูงมากนัก จากนั้นจะมีค่าค่อยๆ สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในช่วงท้ายของแต่ละปีการผลิต ค่าซีซีเอสของอ้อยคละอาจมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช้าๆ หรือมีค่าค่อนข้างคงที่ หรือมีค่าลดต่ำลงอย่างช้าๆ จากค่าในช่วงกลางหีบ (Figures 2 - 4) ขึ้นกับปีการผลิตหรือภูมิภาคที่โรงงานน้ำตาลตั้งอยู่ กล่าวคือในปีการผลิต 2550/51 และ 2551/52 ค่าซีซีเอสรายวันของอ้อยคละจะลดลงอย่างต่อเนื่องช้าๆ ยกเว้นค่าของอ้อยคละที่เข้าหีบของบางโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ค่าซีซีเอสรายวันยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (NE1 และ NE3 ในปี 2550/51; NE1 และ NE2 ในปี 2551/52) ในขณะที่ในปีการผลิต 2552/53 ค่าซีซีเอสรายวันของอ้อยคละที่เข้าหีบในทุกโรงงานจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช้าๆ

ในช่วงเริ่มต้นของการหีบอ้อยในทุกปีการผลิต อุณหภูมิอากาศในช่วงเจริญต้นลำต้นที่อ้อยคละได้รับ ( $TH_j$ ) มักมีค่าสูงกว่าในช่วงสะสมน้ำตาล ( $TS_j$ ) ยกเว้นในปี 2552/53 ที่  $TH_j$  มีค่าพอกๆ กับ  $TS_j$  (Figures 2 - 4) และเมื่อหีบอ้อยไปได้ระยะหนึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิ  $TH_j - TS_j$  ของอ้อยคละมีความแตกต่างกันมากขึ้น และ  $TH_j$  มักมีค่าสูงกว่า  $TS_j$  เสมอ ในช่วงท้ายของแต่ละปี

การผลิต อุณหภูมิ  $TH_j$  และ  $TS_j$  มีความแตกต่างกันน้อยลง หรือของบางโรงงานอุณหภูมิ  $TS_j$  ในช่วงสะสมน้ำตลที่อ้อยคละได้รับมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิในช่วงเจริญต้นลำต้น  $TH_j$  โดยทั่วไปทุกปีการผลิตอ้อยคละที่เข้าหีบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความแตกต่างของอุณหภูมิ  $TH_j - TS_j$  ที่สูงกว่าของอ้อยคละที่เข้าหีบในภาคเหนืออย่างเห็นได้ชัด ในปีการผลิต 2550/51 อ้อยคละที่เข้าหีบในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในช่วงเจริญต้นลำต้น ( $TH_j$ ) และสะสมน้ำตล ( $TS_j$ ) ในช่วง  $26.7-28.2^{\circ}\text{ซ}$ ,  $24.4-26.8^{\circ}\text{ซ}$  และ  $27.2-27.8^{\circ}\text{ซ}$ ,  $23.1-25.2^{\circ}\text{ซ}$  ในปี 2551/52 อ้อยคละที่เข้าหีบในภูมิภาคทั้งสองมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเหล่านี้อยู่ในช่วง  $27.3-28.0^{\circ}\text{ซ}$ ,  $24.3-26.3^{\circ}\text{ซ}$  และ  $26.4-27.5^{\circ}\text{ซ}$ ,  $23.2-24.3^{\circ}\text{ซ}$  ตามลำดับ ส่วนในปีการผลิต 2552/53 อ้อยคละที่เข้าหีบในภูมิภาคทั้งสองมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเหล่านี้ในช่วง  $27.2-28.9^{\circ}\text{ซ}$ ,  $25.1-27.3^{\circ}\text{ซ}$  และ  $27.3-27.7^{\circ}\text{ซ}$ ,  $24.5-26.1^{\circ}\text{ซ}$  ปริมาณฝนที่อ้อยคละได้รับในช่วงเจริญต้นลำต้น ( $RH_j$ ) มีปริมาณที่สูงขึ้นตามเวลาเป็นวันหลังจากเริ่มเปิดหีบอ้อย และเป็นเช่นนี้ในทุกปีการผลิตและทุกภูมิภาคที่โรงงานน้ำตลตั้งอยู่ หลังจากนั้นในช่วงกลางหีบปริมาณ  $RH_j$  ที่อ้อยคละได้รับมีปริมาณพอๆ กับอ้อยคละที่เข้าหีบในวันก่อนหน้า ส่วนในช่วงปลายหีบปริมาณฝน  $RH_j$  ที่อ้อยคละได้รับจะมีค่าลดลงจากอ้อยคละที่เข้าหีบในวันก่อนหน้า (Figures 5 - 7) สิ่งที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดคือ  $RH_j$  ของอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงานในภาคเหนือ (N1-N4) มีปริมาณเฉลี่ยในช่วง 1,100-1,350 มม. และมีพอกๆกันทั้ง 3 ปีการผลิต ยกเว้นโรงงาน N4 ปีการผลิต 2552/53 ได้รับฝน  $RH_j$  เพียง 800 มม. เท่านั้น ส่วนของอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงาน NE2-NE4 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มี  $RH_j$  ปริมาณ 900-1,250, 1,000-1,750, และ 1,000-1,250 มม. ทั้ง 3 ปีการผลิตตามลำดับ ส่วนอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงาน NE4 ได้รับปริมาณฝน  $RH_j$  ในช่วงที่สูงกว่าคือมีปริมาณ 1,300-1,750 มม.

ปริมาณฝนที่อ้อยคละได้รับในช่วงสะสมน้ำตล ( $RS_j$ ) มีลักษณะกลับกันกับปริมาณฝนในช่วงเจริญต้นลำต้น ปริมาณฝน  $RS_j$  ในช่วงเริ่มต้นของการหีบมีค่าสูงก่อนจะลดลงตามเวลาเป็นวันหลังจากเริ่มเปิดหีบ แล้วมีค่าเป็นศูนย์ในช่วงกลางหีบ ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงปลายหีบ และมีลักษณะเป็นเช่นนี้ทั้งสามปีการผลิตและทุกภูมิภาคที่โรงงานน้ำตลตั้งอยู่ (Figures 5 - 7) ปริมาณฝน  $RS_j$  ของอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงานในภาคเหนือ (N1-N4) มีปริมาณเฉลี่ยในช่วง 70-150 มม. และมีพอกๆกันทั้ง 3 ปีการผลิต ส่วนของอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงาน NE2-NE4 มี  $RS_j$  ปริมาณ 80-140 ทั้ง 3 ปีการผลิต ส่วนอ้อยคละที่เข้าหีบโรงงาน NE1 ได้รับฝน  $RS_j$  ปริมาณเฉลี่ยน้อยกว่า 110 มม. ทั้ง 3 ปีการผลิต

ค่าความร้อนสะสมของอ้อยคละที่คำนวณได้ในช่วงเจริญต้นลำต้น ( $\theta_{TH,j}$ ) และในช่วงสะสมน้ำตล ( $\theta_{TS,j}$ ) ที่เข้าหีบโรงงานที่ตั้งทั้งในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือในแต่ละปีการผลิตมีความคล้ายคลึงกัน (Figure 8 - 10) ในทุกปีการผลิตอ้อยคละที่เข้าหีบในแต่ละโรงงานมีค่า  $\theta_{TH,j}$  ที่สูงขึ้นจากค่าเมื่อเริ่มหีบอ้อยใหม่ ๆ จากนั้นค่าจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดราวกลางหีบ และค่า  $\theta_{TH,j}$  จะลดต่ำลงอย่างช้าๆจนสิ้นสุดการหีบอ้อย ซึ่งกลับกันกับค่าหน่วยความร้อนสะสมในช่วงสะสมน้ำตล คือในช่วงกลางหีบจะมีค่าของ  $\theta_{TS,j}$  ที่สูงกว่าช่วงต้นและปลายหีบ ในปีการผลิต 2550/51 อ้อยคละที่เข้าหีบในภาคเหนือมีค่าหน่วยความร้อนสะสม  $\theta_{TH,j}$  และ  $\theta_{TS,j}$  เฉลี่ยประมาณ 3,000 และ  $800^{\circ}\text{ซ}\cdot\text{วัน}$  ตามลำดับ ในขณะที่ค่าตั้ง กล่าว ของ อ้อย ที่ เข้า หีบ ใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าเฉลี่ยเป็น 2,800 และ  $600^{\circ}\text{ซ}\cdot\text{วัน}$  ในช่วงการเจริญต้นลำต้นและสะสมน้ำตลตามลำดับ ปีการผลิต 2551/52 อ้อยคละมีค่าหน่วยความร้อนสะสมต่ำกว่าของอ้อยคละในปีก่อนหน้าอย่างชัดเจน ค่าความร้อน  $\theta_{TH,j}$  และ  $\theta_{TS,j}$  มีค่าเฉลี่ย 2,900 และ  $700-800^{\circ}\text{ซ}\cdot\text{วัน}$  สำหรับอ้อยที่เข้าหีบโรงงานในภาคเหนือ และมีค่าเฉลี่ยเป็น



2,600 และ 500-600°ซ·วัน สำหรับปีการผลิต 2552/53 อ้อยคละมีค่าหน่วยความร้อนสะสมที่สูงกว่าปีก่อนหน้า โดยเฉพาะในช่วงที่อ้อยคละสะสมน้ำตาล อ้อยคละที่เข้าหีบในภาคเหนือมีค่า  $\theta_{TH,j}$  และ  $\theta_{TS,j}$  เฉลี่ย 3,000 และ 800-900°ซ·วัน

### การวิเคราะห์กลุ่ม

เมื่อจำแนกกลุ่มที่ใช้ตัวแปรค่าความร้อนสะสมร่วมกับตัวแปรอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน พบว่ากลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มของอ้อยคละที่ได้รับอุณหภูมิตลอดช่วงการเจริญเติบโต (TW) ที่ค่อนข้างสูง (26.9-28.1°ซ) และได้รับปริมาณฝนตลอดช่วงการเจริญเติบโต (RW) ปานกลาง (964-1,556 mm) มีค่าสัดส่วนอุณหภูมิ (TR) และสัดส่วนฝน (RR) ที่ค่อนข้างสูง (0.91-1.02 และ 0.18-0.80) อ้อยคละกลุ่มนี้มีค่าซีซีเอส (CCS) ต่ำ (8.71-11.53%) มีค่าความร้อนช่วงเจริญเติบโต  $\theta_{TH}$  ที่ค่อนข้างสูง (2,470-2,827°ซ·วัน) และค่าความร้อนช่วงสะสมน้ำตาล  $\theta_{TS}$  ที่ค่อนข้างสูงเช่นกัน (665-914°ซ·วัน) (Table 4) กลุ่มที่ 3 อ้อยคละที่ได้รับ TW ที่ไม่สูงมากนัก (25.5-25.9°ซ) และได้รับฝน RW ปริมาณที่มาก (1,548-2,149 mm) และมีค่าสัดส่วนอุณหภูมิและปริมาณฝน (TR และ RR) ที่ค่อนข้างต่ำ (0.91-1.00 และ 0.09-0.51) และมีค่า CCS ในช่วง 10.63-12.09% มีค่าความร้อน  $\theta_{TH}$  ที่ไม่สูงมากนัก (2,112-2,405°ซ·วัน) แต่มีค่าความร้อน  $\theta_{TS}$  ที่ค่อนข้างสูง (585-722°ซ·วัน) ส่วนอ้อยคละกลุ่มที่ 2 ได้รับอุณหภูมิและฝนตลอดช่วงปลูกทั้งมากและน้อยผสมปนกัน (Table 7) และมีค่าซีซีเอสที่กระจายตัวในช่วงที่กว้าง (9.39-12.37%) และค่าความร้อน  $\theta_{TH}$  และ  $\theta_{TS}$  เป็น 2,286-2,677 และ 612-801°ซ·วัน ซึ่งทั้งค่าซีซีเอสและความร้อนสะสมมีค่ากระจายตัวที่กว้างและซ้อนทับกับค่าเดียวกันของกลุ่มที่ 1 และ 3

ใน ขณะ ที่ อ้อย คละ ที่ เข้า หีบ ใน ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความร้อน  $\theta_{TH,j}$  และ  $\theta_{TS,j}$  เฉลี่ยเป็น 2,800 และ 600-750°ซ·วัน ตามลำดับ

### การวิเคราะห์สหสัมพันธ์

เมื่อใช้ข้อมูลจากเฉพาะกลุ่มที่ 1 และ 3 เพื่อหาสหสัมพันธ์หลายตัวแปรอธิบายค่าซีซีเอสกับตัวแปรต้น พบว่าแบบจำลองในรูปของค่าความร้อนสะสมเขียนได้เป็น

$$CCS_2 = 15.364 - 0.004\theta_{TS} + 0.007RW \times \theta_{TR} - 21.457RR \quad [8]$$

เมื่อ  $CCS_2$  หมายถึงค่าทำนายซีซีเอส ณ วันที่ 15 หลังเปิดหีบอ้อยด้วยการใช้ความร้อนสะสม สมการดังกล่าวมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่สูง (p-value <0.001) และค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวในสมการมีความแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value <0.05) และสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น adjusted  $r^2=0.742$  เมื่อใช้สมการนี้ทำนายค่าซีซีเอสสำหรับโรงงานน้ำตาล N4 และ NE4 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเป็น 0.7313 และ 0.3881 ตามลำดับ

ส่วนแบบจำลองในรูปของอุณหภูมิเขียนได้เป็น

$$CCS_2 = 14.983 - 0.004RS + 0.001RW - 0.165TR \times TS \quad [9]$$

เมื่อ  $CCS_2$  หมายถึงค่าทำนายซีซีเอส ณ วันที่ 15 หลังเปิดหีบอ้อยด้วยการใช้อุณหภูมิอากาศ สมการดังกล่าวมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่สูง (p-value <0.001) และค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวในสมการมีความแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value <0.05) และสมการมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็น adjusted  $r^2=0.724$  เมื่อใช้สมการนี้ทำนายค่าซีซีเอสสำหรับโรงงานน้ำตาล N4 และ

NE4 พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง

เป็น 0.0217 และ 0.0322 ตามลำดับ

### บทวิจารณ์

#### ความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

การใช้ค่าความร้อนสะสม เพื่อทำนายระดับการพัฒนาการด้านการเจริญเติบโตของอ้อยขึ้นอย่างยากกับพันธุ์อ้อย เช่น หลายงานวิจัยพบว่าอ้อยต้องการสะสมค่าความร้อนเพื่อพัฒนาตัวจากช่วงการเจริญเติบโตหนึ่งไปสู่ช่วงการเจริญเติบโตถัดไป ต้องการความร้อนถึงระดับหนึ่งและมีความแตกต่างกันตามแต่พันธุ์ (Inman-Bamber, 1994; Lingle *et al.*, 2009; O' Callaghan *et al.*, 1994) ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ใช้ค่าความร้อนสะสมไปทำนายจำนวนลำของอ้อยต่อ (Inman-Bamber, 1994) ทำนายความยาวของปล้อง (Lingle *et al.*, 2009) ในขณะที่ Grof *et al.* (2010) ใช้ค่าความร้อนสะสม อธิบายการแจกกระจายของอาหารที่สังเคราะห์ได้ด้วยแสงของอ้อยซึ่งมีความเฉพาะเจาะจงกับพันธุ์ ส่วน Lingle and Tew (2008) แสดงให้เห็นว่าถ้าอ้อยได้รับค่าความร้อนสะสมที่ไม่เท่ากันจะทำให้จำนวนปล้อง และความยาวปล้องมีความแตกต่างกันและมีความเฉพาะกับพันธุ์ และการศึกษาในระดับแปลงทดลองเดี่ยวๆ จำนวนมากระบุถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ และปริมาณฝนที่ตกทั้งก่อนช่วงสะสมน้ำตาลและเริ่มสะสมน้ำตาลว่ามีผลต่อการสะสมน้ำตาล ช่วงสะสมน้ำตาลอ้อยต้องการอุณหภูมิอากาศที่ต่ำและต่อเนื่อง เช่นอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 18°ซ ต่อเนื่องนาน 7 วัน (Inman-Bamber *et al.*, 2011) ในช่วงนี้ถ้าอ้อยได้รับปริมาณน้ำฝนที่มาก การสะสมน้ำตาลในลำอ้อยจะน้อยเมื่อเทียบกับแปลงอ้อยที่ไม่ได้รับน้ำฝน (Inman-Bamber *et al.*, 2011) เมื่อเป็นเช่นนี้อาจกล่าวได้ว่าค่าความหวานของอ้อยจะมีค่ามากขึ้นตามค่าความร้อนสะสมในช่วงการเจริญเติบโตต้นลำต้นของอ้อยหรือค่าความหวานอ้อยจะมีค่าผกผันกับค่าความร้อนสะสมในช่วงการสะสมน้ำตาลของอ้อย ซึ่งเป็นเพราะค่าความร้อนสะสมที่มากในช่วงเจริญเติบโต

ต้นลำต้นทำให้อ้อยเจริญเติบโตได้อย่างเหมาะสมและพร้อมที่จะสะสมน้ำตาลในช่วงต่อไป (Hou *et al.*, 2010) การที่ค่าความร้อนสะสมในช่วงสะสมน้ำตาลมีค่าต่ำลง กิจกรรมการเจริญเติบโตของอ้อยลดลงน้ำตาลจึงสะสมในลำต้นอ้อยได้ (Lingle, 1999) แนวทางการจัดเตรียมข้อมูลที่น่าเสนอในรายงานนี้ พร้อมทั้งผลวิเคราะห์แบบจำลองในรูปของค่าความร้อนสะสมร่วมกับปริมาณน้ำฝน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำฝนในช่วงอ้อยสะสมน้ำตาลต่อการสะสมน้ำตาลที่วิเคราะห์โดยปราศจากความเอนเอียงที่ได้ในรายงานนี้ (สมการที่ [8]) สอดคล้องกับผลวิจัยโดยทั่วไปถึงอิทธิพลของค่าความร้อนสะสมต่อการสะสมน้ำตาลของอ้อย อีกทั้งแบบจำลองในรูปของอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝน ก็แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของตัวแปรที่ใช้ต่อคุณภาพของอ้อยได้เป็นอย่างดี (สมการที่ [9]) ผลการวิเคราะห์กลุ่มก็ให้ผลสอดคล้องกัน กล่าวคือการวิเคราะห์กลุ่มชี้ว่าปริมาณฝนในช่วงเจริญเติบโตต้นลำต้นจะช่วยสนับสนุนให้อ้อยมีคุณภาพความหวานที่ดี ค่าความหวานของอ้อย (ซีซีเอส) จะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณฝนที่มีมากขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตต้นลำต้น ปริมาณฝนในช่วงการเจริญเติบโตนี้ไม่ควรต่ำกว่า 1,000 มม. และไม่ควรมากกว่า 1,500 มม. ส่วนในช่วงสะสมน้ำตาลถ้าอ้อยยังได้รับปริมาณฝนมากขึ้นเพียงไรค่าซีซีเอสของอ้อยก็ยังลดลงเท่านั้น จากแบบจำลองในรูปของค่าความร้อนสะสมจะให้ความสำคัญกับ ค่าความร้อนสะสมที่อ้อยได้รับในช่วงสะสมน้ำตาล ค่าความร้อนสะสมในช่วงเจริญเติบโตต้นลำต้น และสัดส่วนปริมาณน้ำฝนที่อ้อยได้รับในช่วงสะสมน้ำตาลต่อช่วงเจริญเติบโตต้นลำต้น ซึ่งสัดส่วนนี้ยังมีค่ามากเท่าใดคุณภาพความหวานของอ้อยยังมีค่าลดลงมากเท่านั้น (สัมประสิทธิ์ของพจน์นี้มีค่าติดลบที่สูงมากถึง -21.457) ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับงานวิจัย

ด้านการสะสมน้ำตาลของอ้อยโดยทั่วไป (Bristow and Campbell, 1984; Inman-Bamber, 1994; Lingle, 1999) ในทำนองเดียวกันค่าความร้อนสะสมที่อ้อยได้รับในช่วงสะสมน้ำตาล ถ้ายังมีค่าสูงมากคุณภาพความหวานของอ้อยก็ยังมีค่าลดต่ำลงเท่านั้น (สัมประสิทธิ์ของพจน์นี้มีค่าติดลบ -0.004) ผลวิเคราะห์นี้ก็สอดคล้องกับความต้องการความร้อนที่ต่ำของอ้อยเพื่อสะสมน้ำตาล (Guy *et. al.*, 1992; Ebrahim *et. al.*, 1998; Soltani and Sinclair, 2012) ส่วนแบบจำลองที่ใช้พจน์อุณหภูมิแทนพจน์ความร้อนสะสม จะให้ความสำคัญกับปริมาณฝนในช่วงสะสมน้ำตาล ปริมาณฝนทั้งหมดที่อ้อยได้รับ และอุณหภูมิในช่วงสะสมน้ำตาล ถ้า

อ้อยได้รับฝนในปริมาณที่มากในช่วงสะสมน้ำตาล คุณภาพความหวานของอ้อยก็จะยิ่งลดน้อยลง (สัมประสิทธิ์ของพจน์นี้มีค่าติดลบ -0.004) ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยด้านปริมาณน้ำที่อ้อยได้รับในช่วงสะสมน้ำตาลดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้น สำหรับแบบจำลองในรูปอุณหภูมิก็แสดงถึงความต้องการอุณหภูมิต่ำในช่วงสะสมน้ำตาลของอ้อย (สัมประสิทธิ์ของพจน์นี้มีค่าติดลบ -0.165) แสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลเหนือปริมาณฝนในช่วงสะสมน้ำตาล ส่วนพจน์ปริมาณน้ำทั้งหมดที่อ้อยได้รับแสดงถึงความพอเพียงของน้ำต่อการเจริญเติบโตของอ้อย

### การประยุกต์แบบจำลองสภาพภูมิอากาศต่อคุณภาพความหวานของอ้อยคละ

ประโยชน์หนึ่งของการประยุกต์แบบจำลองสภาพภูมิอากาศต่อคุณภาพความหวานของอ้อยคละที่จะเข้าหีบโรงงานน้ำตาล คือกำหนดวันเริ่มเปิดหีบอ้อยสำหรับแต่ละโรงงานน้ำตาลในแต่ละปี การผลิตให้เหมาะสม ตามแบบจำลองค่าตัวแปรที่ต้องจัดหาตาม [8] ได้แก่ หน่วยความร้อนในช่วงสะสมน้ำตาล ( $S_{ss}$ ) ในช่วงเจริญต้นลำต้น ( $S_{TL}$ ) และสัดส่วนปริมาณฝนที่อ้อยได้รับ ( $RR$ ) ซึ่งเป็นอ้อยที่จะเข้าหีบในวันที่ 15 หลังเปิดหีบ ส่วนค่าตัวแปรตาม [9] ได้แก่ ปริมาณฝนในช่วงสะสมน้ำตาล ( $RS$ ) ปริมาณฝนตลอดช่วงเจริญเติบโต ( $RW$ ) สัดส่วนอุณหภูมิ ( $TR$ ) และอุณหภูมิในช่วงสะสมน้ำตาล ( $TS$ ) ที่อ้อยได้รับ เช่นเดียวกันค่าตัวแปรเหล่านี้จะเป็นของอ้อยที่จะเข้าหีบโรงงานน้ำตาลในวันที่ 15 หลังเปิดหีบ เมื่อได้ค่าตัวแปรเหล่านี้ก็นำไปแทนค่าลงในสมการดังกล่าว จากนั้นเปลี่ยนวันเปิดหีบใหม่คำนวณค่าตัวแปรข้างต้นใหม่ ทำซ้ำเช่นนี้ตลอดช่วงเวลาที่น่าสนใจจะเปิดหีบอ้อย จากนั้นนำค่าวันเปิดหีบเป็นแกนนอนและค่าคำนวณ CCS เป็นแกนตั้ง ผลจากกราฟ ถ้าค่าคำนวณ CCS มีค่าสูงที่วันใดในช่วงเวลาเปิดหีบที่น่าสนใจ ก็ให้เลือก

วันดังกล่าวเป็นวันเปิดหีบในปีการผลิตนั้น อนึ่ง การคำนวณค่าตัวแปรข้างต้นโรงงานน้ำตาลจะมีข้อมูลอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนเพื่อการคำนวณได้ไม่ครบถ้วน ยกตัวอย่างเช่นโรงงานน้ำตาลต้องการเปิดหีบในช่วงวันที่ 20 พ.ย. ถึง 10 ธ.ค. 2556 และวันที่จะพิจารณากำหนดวันเปิดหีบคือวันที่ 5 พ.ย. 2556 การคำนวณจะใช้ข้อมูลในช่วงตั้งแต่ 5 ธ.ค. 2555 - 6 ก.ย. 2556 และ 7 ก.ย. - 4 ธ.ค. 2556 สำหรับตัวแปรในช่วงเจริญต้นลำต้นและสะสมน้ำตาล ตามลำดับ แต่ข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณฝนจะสามารถมีได้เพียงวันที่ 5 พ.ย. 2556 เท่านั้น ข้อมูลในช่วง 6 พ.ย. 2556 - 4 ธ.ค. 2556 โรงงานน้ำตาลต้องทำนายจึงจะคำนวณค่าของตัวแปรที่ต้องการได้ การเลือกใช้วิธีทำนายที่เหมาะสมจะทำให้การประยุกต์แบบจำลองยิ่งมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามการทำนายค่าอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงท้ายๆ ของช่วงสะสมน้ำตาลของเท่านั้น และมีเพียง 33% ของข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทำนายในช่วงสะสมน้ำตาลจึงเกิดขึ้นได้ไม่มากนัก

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณกลุ่มบริษัทในเครือน้ำตาล  
เกษตรไทยที่อนุเคราะห์รวบรวมข้อมูลซีซีเอสราย

วันจากโรงงานน้ำตาลในภาคเหนือและภาค  
ตะวันออกเฉียงเหนือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลใน  
รายงานนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Bristow K.L. and Campbell G.S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*. 31 (2): 159–166.
- Chowdhury, M.K.A., M.A.S. Miah, S. Ali, and M.A. Hossain. 1998. Effect of salinity on germination growth, sodium and potassium accumulation in sugarcane. *Indian J. Agric. Sci.*, 68:682-683.
- Ebrahim, M.K., O. Zingsheim, M.N. El-Shourbagy, P.H. Moore and E. Komor. 1998. Growth and sugar storage in sugarcane grown at temperatures below and above optimum. *Journal of Plant Physiology* 153: 593-602.
- Grof, C.P.L., J.A. Campbell, O. Kravchuk, C.J. Lambrides, and P.L. Albertson. 2010. Temperature effect on carbon partitioning in two commercial cultivars of sugarcane. *Functional Plant Biology*. 37:334-341.
- Gomez, J., D. Chapple, and L. McDonald. 2006. Sugar losses in brunt and green cane harvesting in Argentina. SRDC Project CSR032 - Attachment A. 8p.
- Guy, C.L., J.L.A. Huber and S.C. Huber. 1992. Sucrose phosphate synthase and sucrose accumulation at low temperature. *Plant Physiol*. 100:502-508.
- Hou, Y., S. Dong, G. Hou, C. Chen, Z. Dong and M. Zhao. 2010. The effect of ecological factors on the indexes of yield property equation and quantitative analysis. *Agricultural Sciences in China* 9: 536-548.
- Inman-Bamber, N.G. 1994. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. *Field Crops Research* 36:41-51.
- Inman-Bamber, N.G., P. Jackson, G. Bonnett, and T. Morgan. 2011. Have we reached peak CCS? *International Sugar Journal* 113: 798-803.
- Lingle S.E. 1999. Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. *Crop Sci*. 39:480–486.
- Lingle, S.E. and T.L. Tew. 2008. A Comparison of growth and sucrose metabolism in sugarcane germplasm from Louisiana and Hawaii. *Crop Science* 48:1155-1163.
- Lingle, S.E., R.P. Viator, R.M. Johnson, T.L. Tew, and D.L. Boykin. 2009. Recurrent selection for sucrose content has altered growth and sugar accumulation

- in sugarcane. *Field Crops Research* 113:306-311.
- Lofton, J., B.S. Tubana, Y. Kanke, J. Teboh, H. Vlator, and M. Dalen. 2012. Estimating sugarcane yield potential using an in-season determination of Normalized difference vegetative index. *Sensor* 12:7529-7547.
- Moore, P.H. 1987. Breeding for Stress Resistance. p. 503-542. *In* Heinze, D. J. (ed.) *Development in Crop Science II – Sugar Improvement through Breeding*. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- O’Callaghan, J.R., A.H.M.S. Hossain, M.H. Dahab, and G.C.L. Wyseure. 1994. SODCOM: a solar driven computational model of crop growth. *Computer and Electronics in Agriculture* 11:293-308.
- Redshaw, K.A. and K.J. Nuss. 2001. Yield and quality differences between irrigated sugarcane varieties. *Proceeding of South African Sugar Technology Association* 75:160-164.
- Soltani A. and T.R. Sinclair. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CPI group (UK) Ltd. 253 p.

**Received 19 July 2013**

**Accepted 29 October 2013**

**Table 1** List of climatic stations within an 80 km. radius surrounding the selected mills

Mill	Climatic Stations Surrounding a Mill
N1	Uttaradit, Phitsanulok
N2	Tak, Doi Musor Agro, Umphang, Kampaeng Phet, Nakhon Sawan, Pichit, Phitsanulok
N3	Kampaeng Phet, Pichit, Nakhon Sawan, Chai Nat Agro, Tak Pha Agro
N4	Nakhon Sawan, Chai Nat Agro, Tak Pha Agro, Lopburi
NE1	Mukdahan, Sakol Nakhon, Sakol Nakhon Agro, Nakpon Phanom
NE2	Nong Khai, Khon Kaen, Taphra Agro, Udon Thani
NE3	Khon Kaen, Taphra Agro, Udon Thani
NE4	Nang Rong, Surin, Chok Chai, Nakhon Ratchasima

**Table 2** Crushing periods for selected mills of the 3 consequence production years

Mill	Production Year		
	2007/08	2008/09	2009/10
N1	06 Dec 07 - 25 Apr 08	07 Dec 08 - 06 May 09	30 Nov 09 - 06 Apr 10
N2	11 Dec 07 - 08 Apr 08	16 Dec 08 - 11 Apr 09	09 Dec 09 - 11 Apr 10
N3	05 Dec 07 - 03 May 08	10 Dec 08 - 28 Apr 09	30 Nov 09 - 10 Apr 10
N4	23 Nov 07 - 24 Apr 08	26 Nov 08 - 03 May 09	21 Nov 09 - 12 Apr 10
NE1	03 Dec 07 - 12 Mar 08	06 Dec 08 - 21 Mar 09	06 Dec 09 - 02 Mar 10
NE2	03 Dec 07 - 07 Apr 08	10 Dec 08 - 25 Mar 09	06 Dec 09 - 07 Mar 10
NE3	07 Dec 07 - 04 Apr 08	04 Dec 08 - 19 Mar 09	30 Nov 09 - 16 Mar 10
NE4	03 Dec 07 - 24 Apr 08	10 Dec 08 - 26 Mar 09	27 Nov 09 - 25 Mar 10

Source: www.oscb.go.th

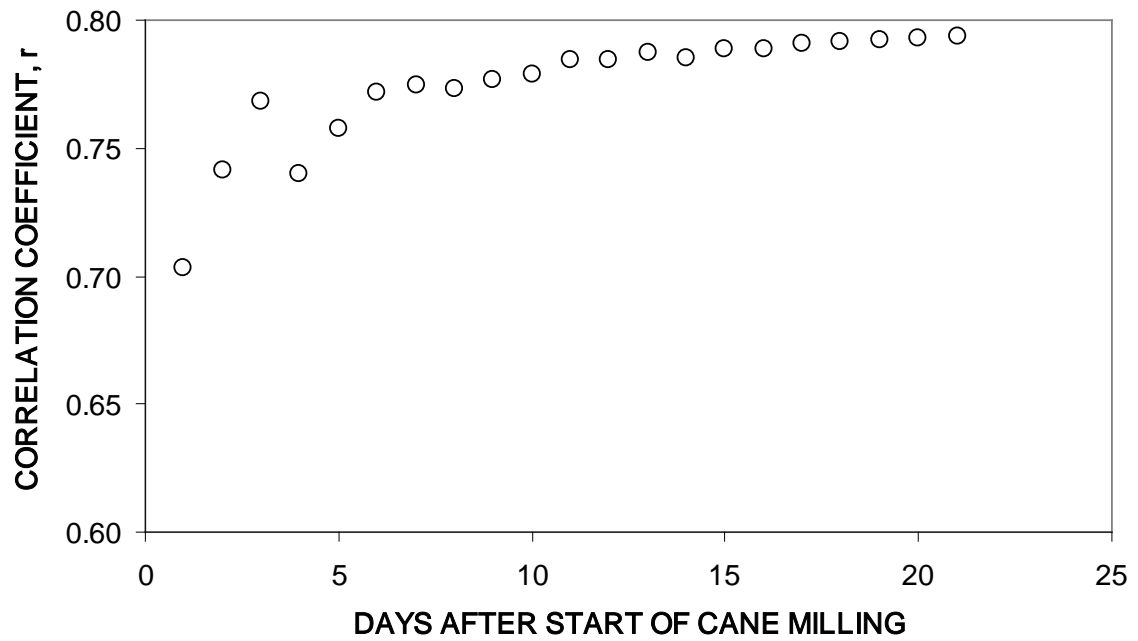
**Table 3** Accumulative CCS at the end of the 2007/08 to 2009/10 production years and CCS at 15 days after start of crushing (numbers in parenthesis) obtained from the 8 selected mills located in the North (N1 to N4) and in the Northeast (NE1 to NE4)

Mill	Fiscal Production Year		
	2007/08	2008/09	2009/10
N1	12.94 (11.47)	12.48 (11.27)	11.99 (10.42)
N2	11.94 (10.69)	12.23 (10.76)	11.66 (10.28)
N3	11.94 (10.23)	11.94 (10.54)	11.45 (10.95)
N4	12.15 (10.43)	12.33 (10.25)	11.80 (9.79)
NE1	12.91 (11.78)	12.99 (11.41)	12.97 (12.37)
NE2	12.80 (11.71)	12.74 (11.75)	11.97 (11.12)
NE3	12.37 (11.30)	12.47 (11.64)	11.76 (11.35)
NE4	12.37 (10.89)	12.22 (11.30)	11.59 (10.79)
<b>average for N</b>	<b>12.24 (10.71)</b>	<b>12.24 (10.71)</b>	<b>11.73 (10.36)</b>
<b>average for NE</b>	<b>12.61 (11.42)</b>	<b>12.60 (11.53)</b>	<b>12.07 (11.41)</b>

**Table 4** Results of cluster analyze of temperatures, heat degree days, and amount of precipitation received by mixed sugarcane during their growing period. Mixed sugarcanes would be crushed at selected mills located in either the North or Northeast. Data of the 3 consequent production years were used in these analyses.

parameter	Group No 1				Group No 2				Group No 3			
	Mean	Min	Max	N	Mean	Min	Max	N	Mean	Min	Max	N
CCS	10.20	8.71	11.53	146	10.83	9.39	12.37	153	11.52	10.63	12.09	61
TH	27.77	26.95	28.25	146	26.95	26.28	27.70	153	26.29	25.65	26.71	61
TS	26.80	25.31	28.05	146	25.61	24.73	26.80	153	25.15	24.43	25.94	61
TW	27.53	26.92	28.07	146	26.62	25.94	27.30	153	26.01	25.54	26.38	61
TR	0.97	0.91	1.02	146	0.95	0.91	1.01	153	0.96	0.91	1.00	61
RH	893.24	590.80	1,174.00	146	1,054.63	826.20	1,427.70	153	1,487.67	1,151.30	1,848.90	61
RS	397.53	207.50	638.60	146	306.68	103.90	450.60	153	389.20	129.70	585.80	61
RW	1,290.77	964.30	1,556.60	146	1,361.31	1,229.20	1,532.70	153	1,876.87	1,548.00	2,149.70	61
RR	0.46	0.18	0.80	146	0.30	0.07	0.54	153	0.27	0.09	0.51	61
$\theta_{TH}$	2,695.99	2,470.20	2,827.90	146	2,470.14	2,286.30	2,677.40	153	2,287.06	2,112.10	2,405.10	61
$\theta_{TS}$	801.17	665.20	914.20	146	692.27	612.70	801.20	153	650.74	585.00	722.20	61
$\theta_{TW}$	3,497.16	3,274.20	3,693.60	146	3,162.41	2912.50	3,412.00	153	2,937.80	2,764.90	3,075.40	61

TW=average air temperature for the whole growing period; TR=ratio of the average air temperature during vegetative growth period to that of during sugar accumulation period; RW=total amount of precipitation for the whole growing period; RR=ratio of amount of precipitation during vegetative growth period to that of during the sugar accumulation period;  $\theta_{TH}$ =heat degree days during vegetative growth period;  $\theta_{TS}$ =heat degree days during sugar accumulation period;  $\theta_{TW} = \theta_{TH} + \theta_{TS}$



**Figure 1** Values of correlation coefficients between accumulated CCS at the end of any production years and their corresponding daily CCS after start of crushing. The graph was derived from mills' daily reports of the 2007/08, 2008/09, and 2009/10 production years and from the 8 selected mills. Each 4 of them were located in the North and the Northeast.



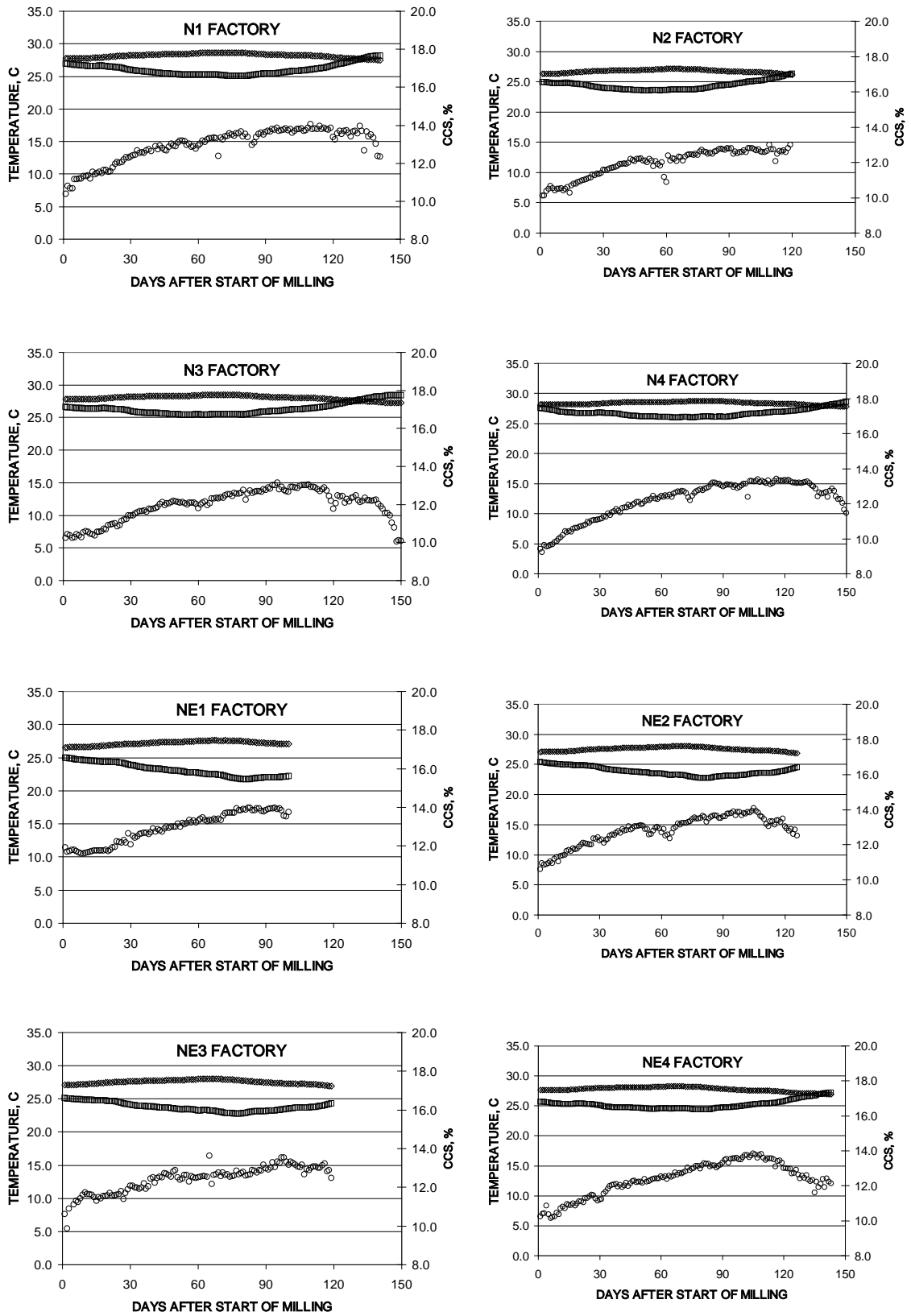


Figure 2 Average daily air temperatures during vegetative ( $T_{H_i}$ , upper line) and sugar accumulation ( $T_{S_i}$ , middle) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (lower) from selected mills of the year 2007/08. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).

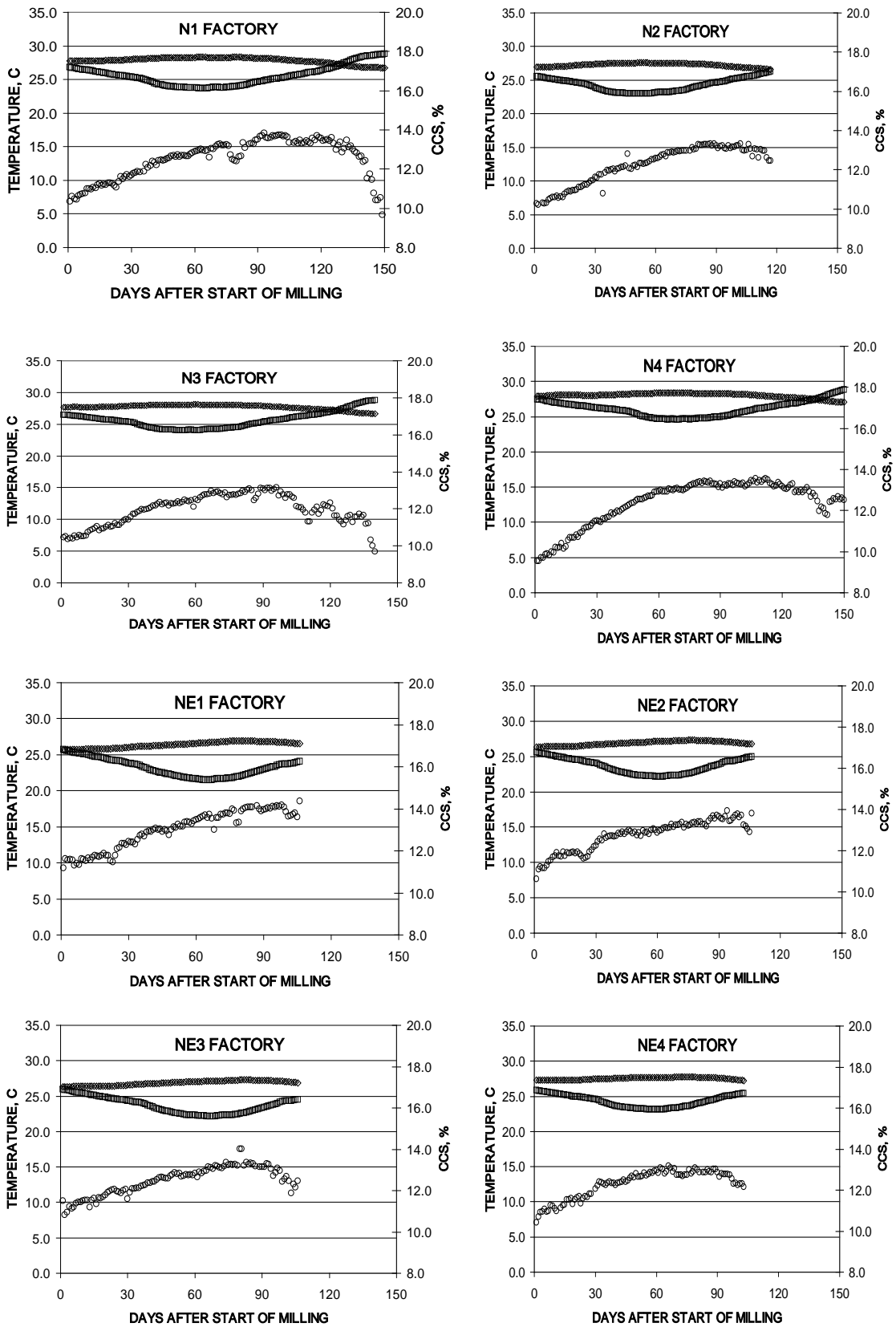


Figure 3 Average daily air temperatures during vegetative ( $T_H$ , upper line) and sugar accumulation ( $T_S$ , middle) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (lower) from selected mills of the year 2008/09. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).

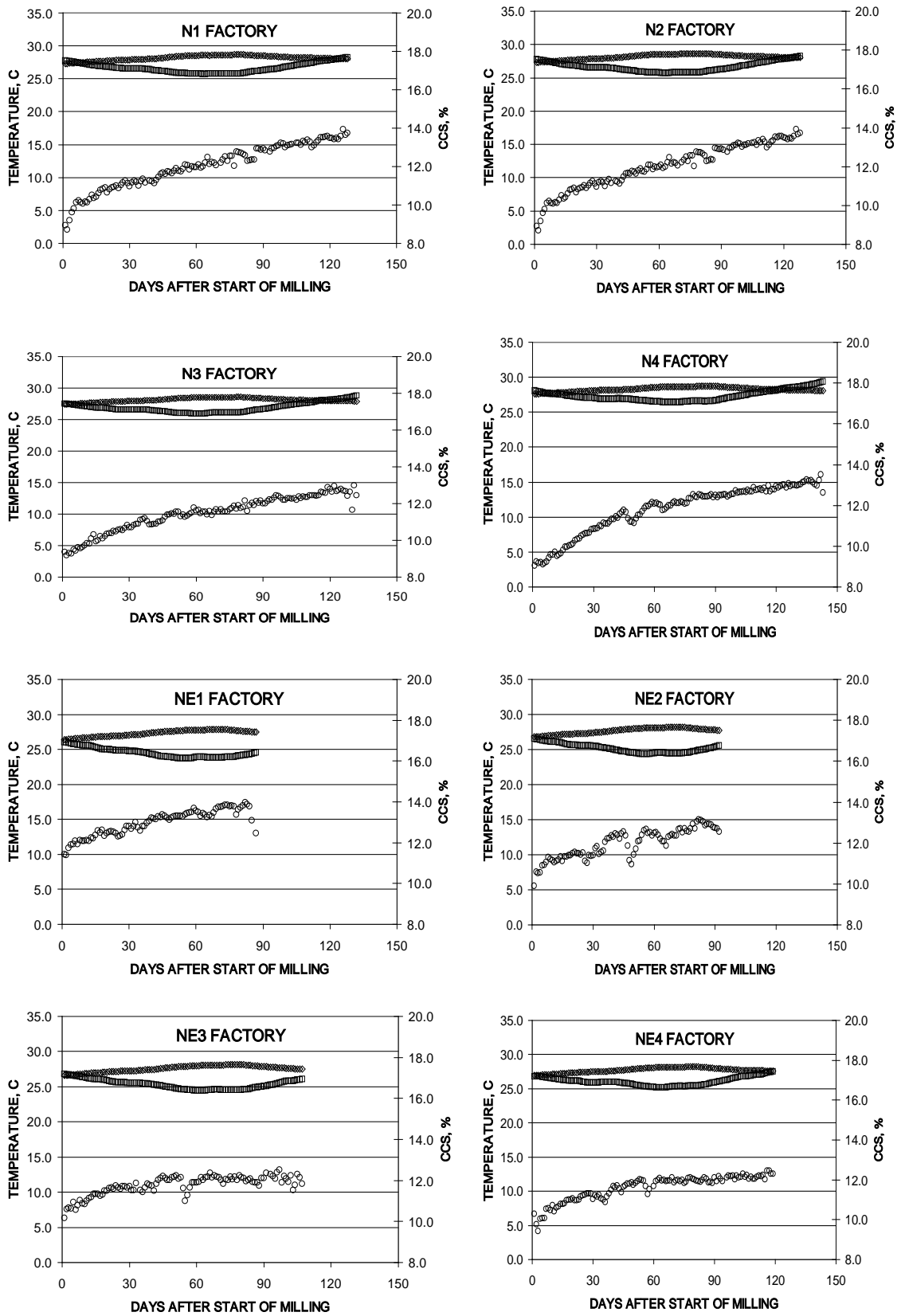


Figure 4 Average daily air temperatures during vegetative ( $T_H$ , upper line) and sugar accumulation ( $T_S$ , middle) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (lower) from selected mills of the year 2009/10. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).

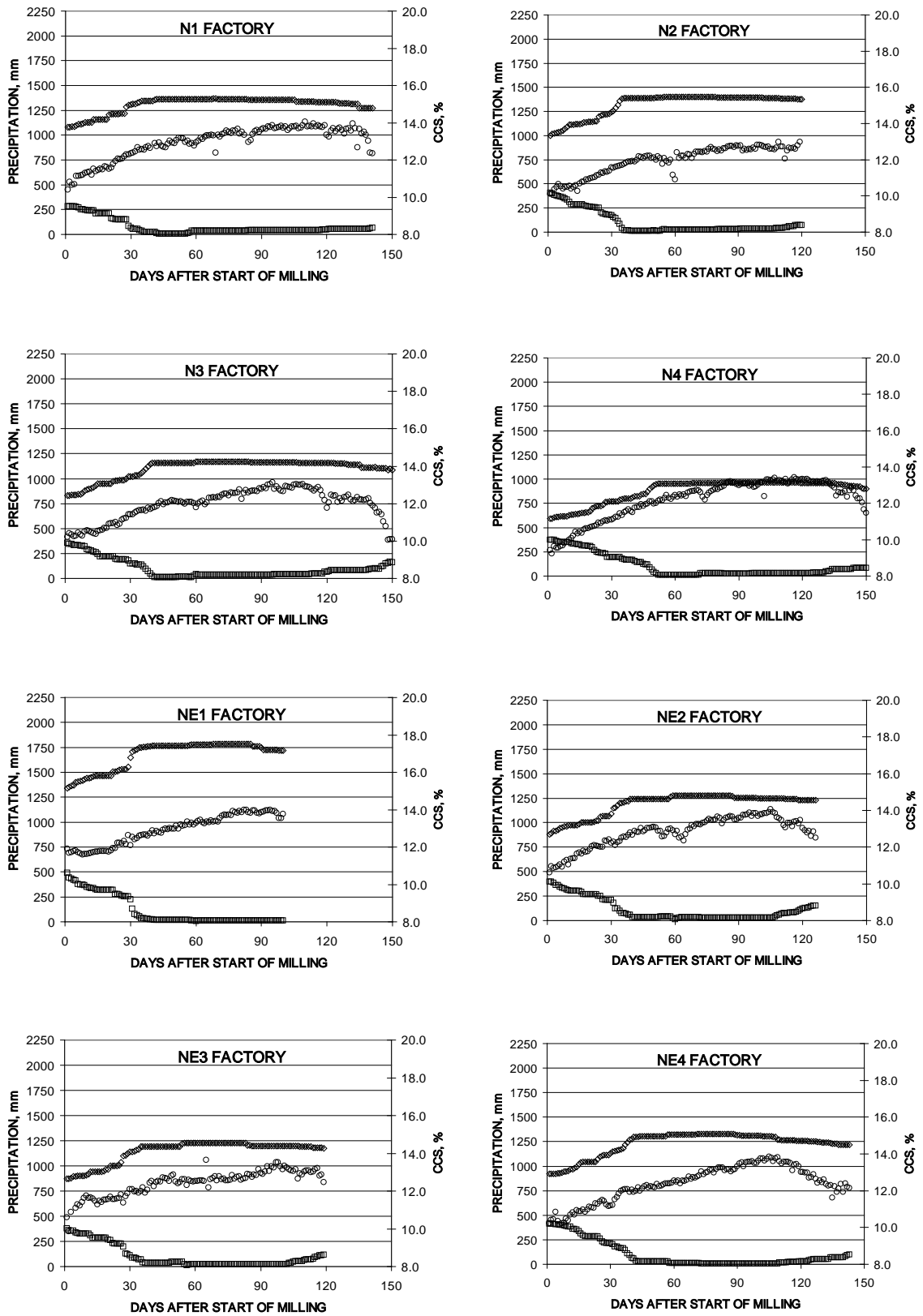


Figure 5 Daily precipitation during vegetative ( $RH_i$ , upper line) and sugar accumulation ( $RS_i$ , lower) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (middle) from selected mills of the year 2007/08. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).

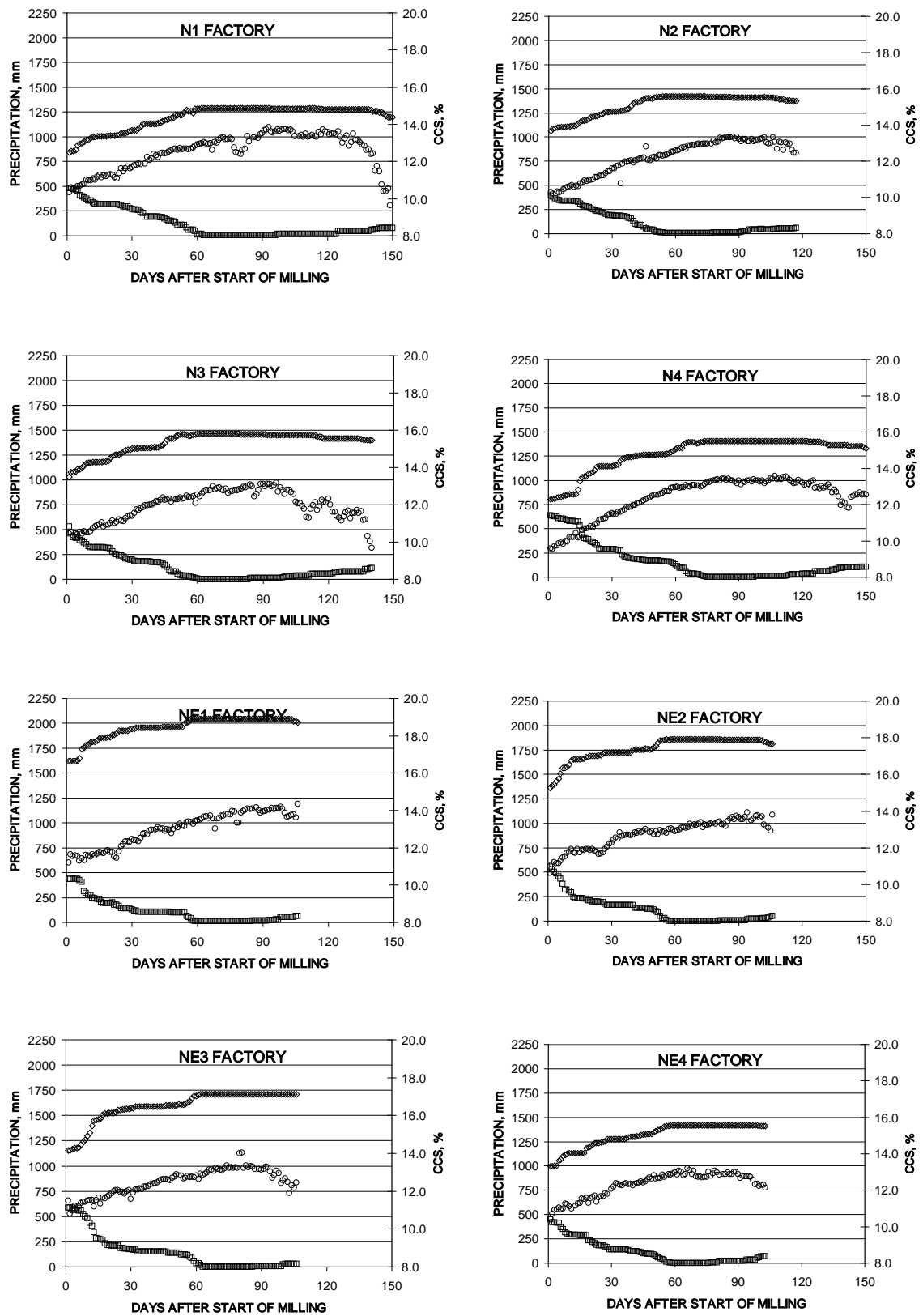


Figure 6 Daily precipitation during vegetative ( $RH_i$ , upper line) and sugar accumulation ( $RS_i$ , lower) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (middle) from selected mills of the year 2008/09. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).

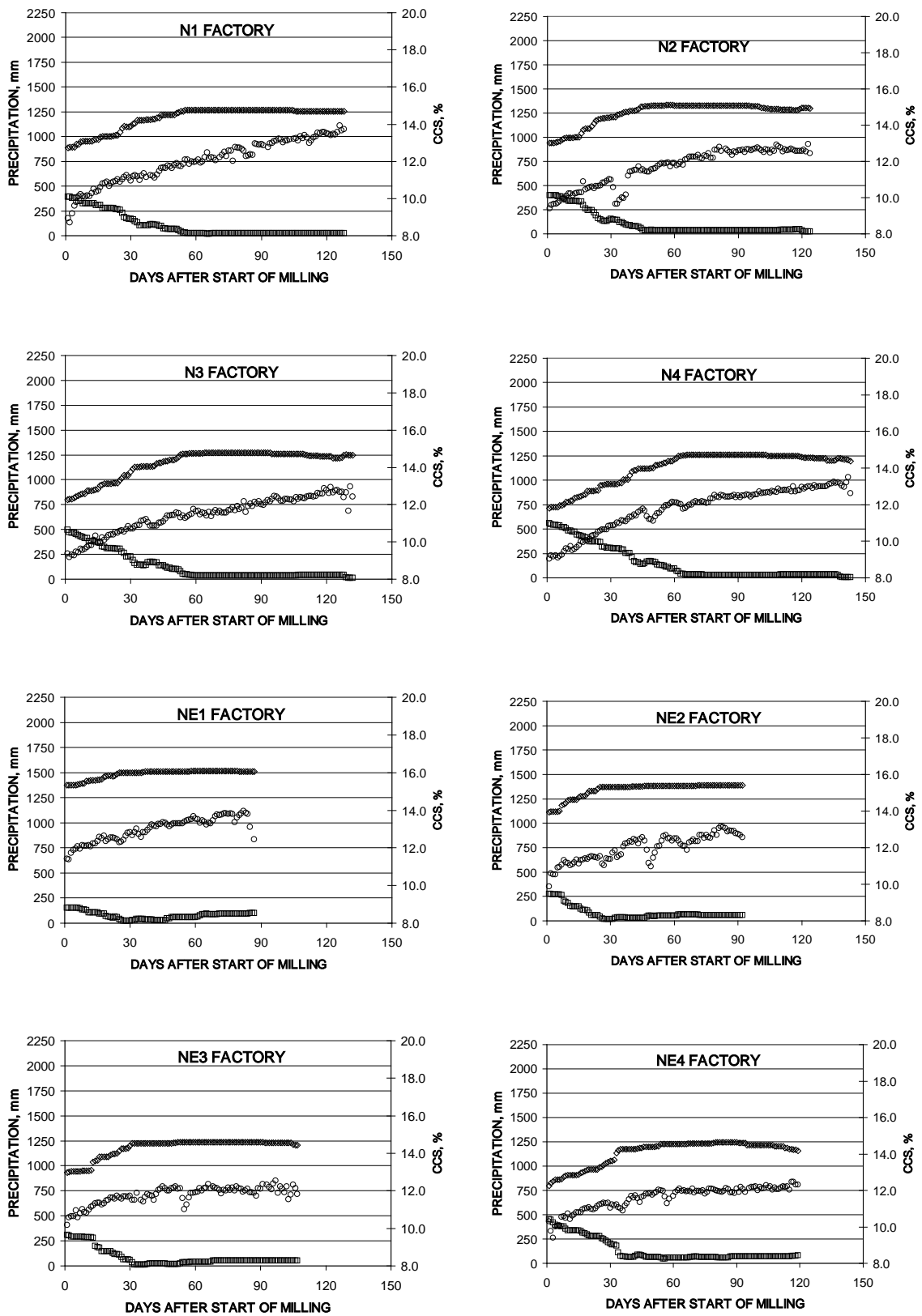


Figure 7 Daily precipitation during vegetative ( $RH_i$ , upper line) and sugar accumulation ( $RS_i$ , lower) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (middle) from selected mills of the year 2009/10. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).

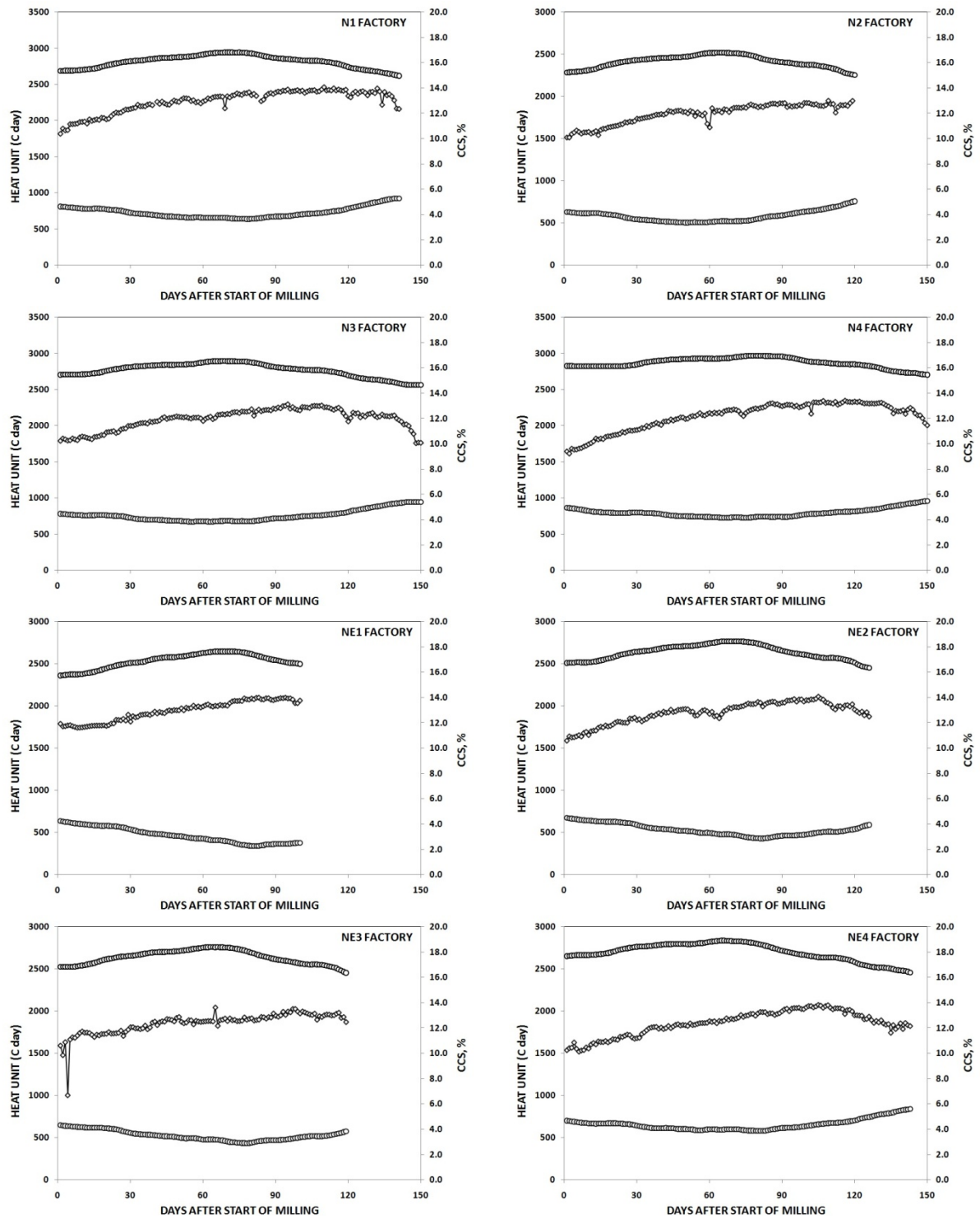


Figure 8 Average daily degree days during vegetative ( $\theta_{TH,j}$ , upper line) and sugar accumulation ( $\theta_{TS,j}$ , lower) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (middle) from selected mills of the year 2007/08. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).

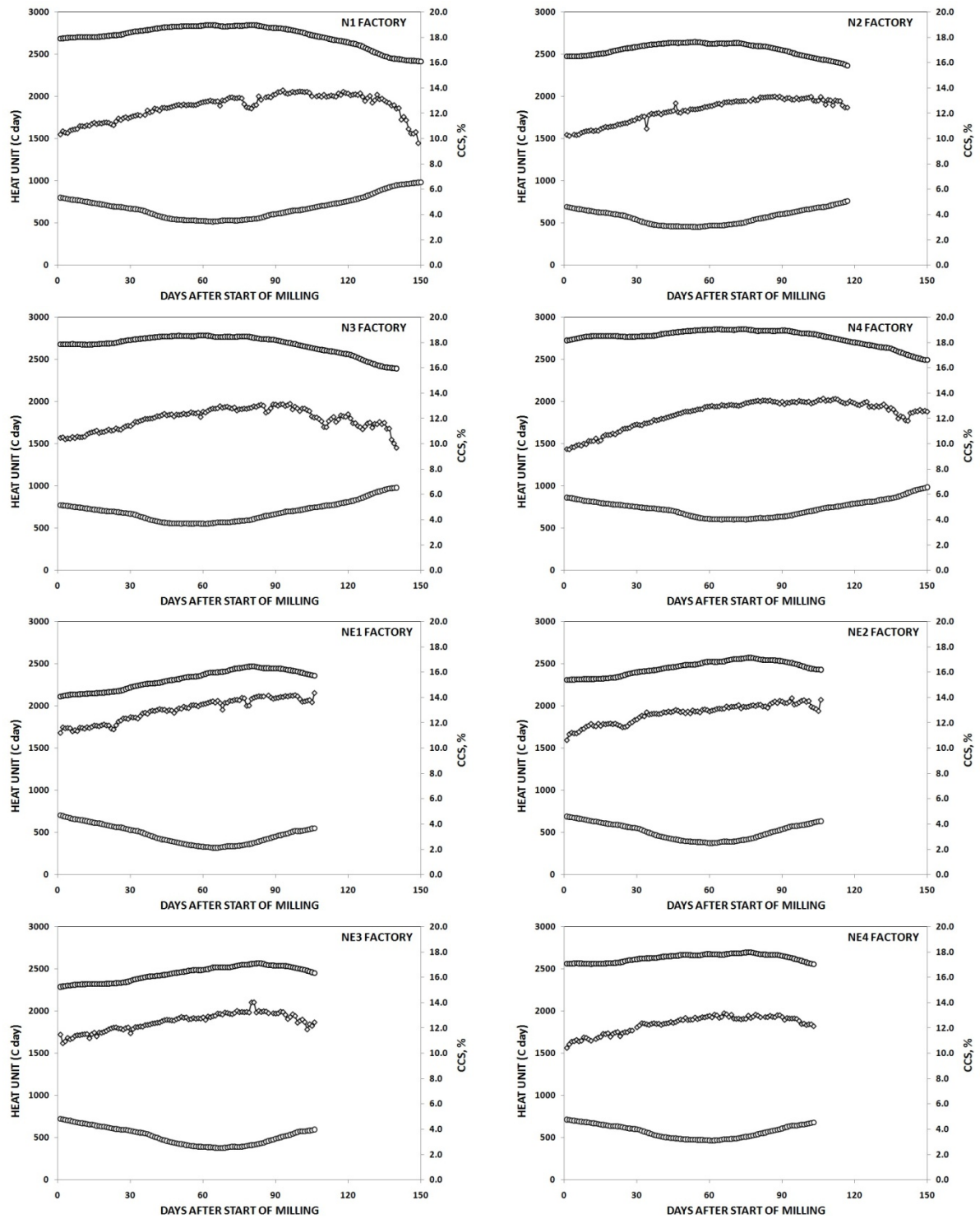


Figure 9 Average daily degree days during vegetative ( $\theta_{TH,j}$ , upper line) and sugar accumulation ( $\theta_{TS,j}$ , lower) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (middle) from at selected mills of the year 2008/09. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).



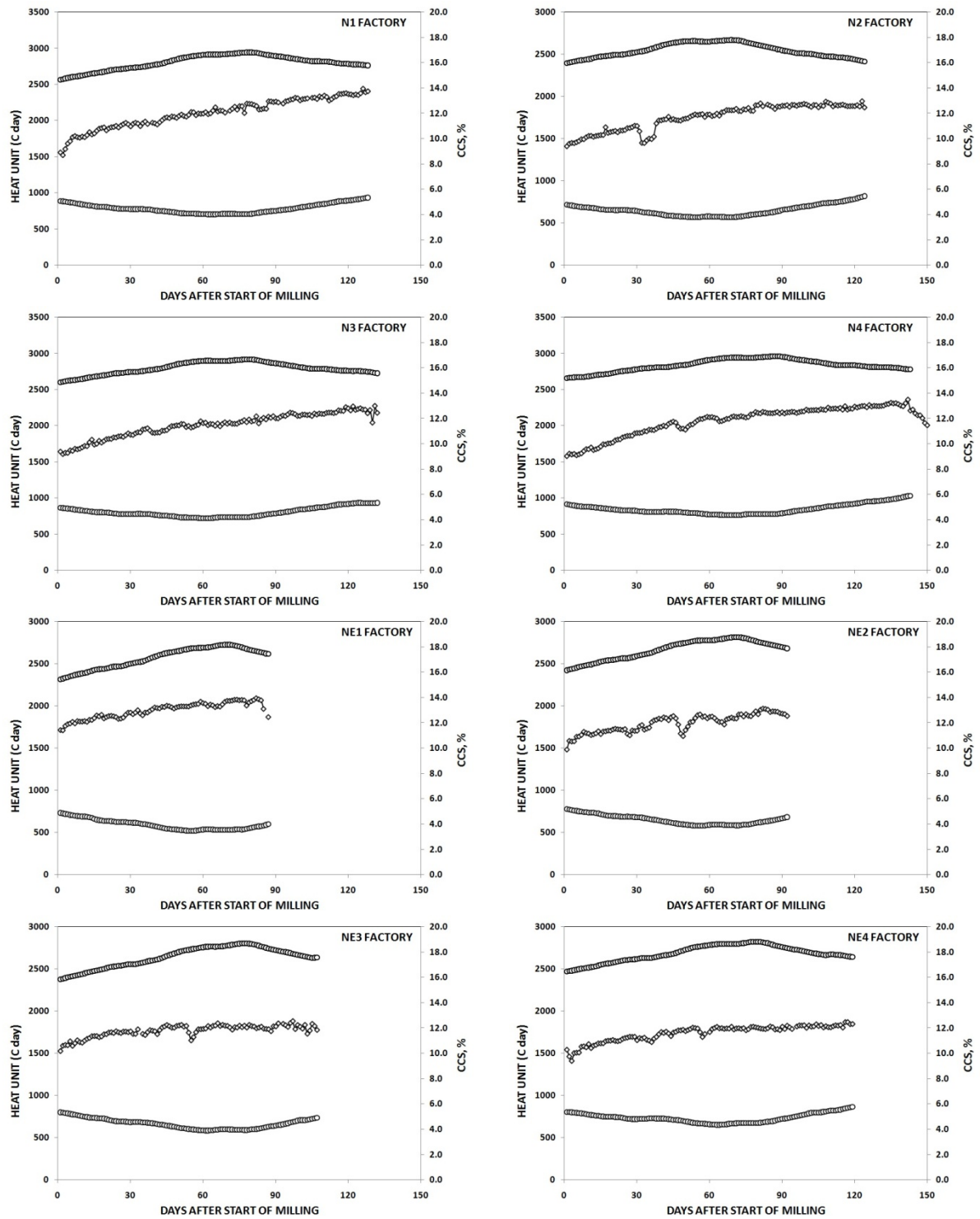


Figure 10 Average daily degree days during vegetative ( $\theta_{TH,j}$ , upper line) and sugar accumulation ( $\theta_{TS,j}$ , lower) stages of sugarcane, and their corresponding daily CCS (middle) from selected mills of the year 2009/10. Each 4 of them located in the North (N1-N4) and Northeast (NE1-NE4).