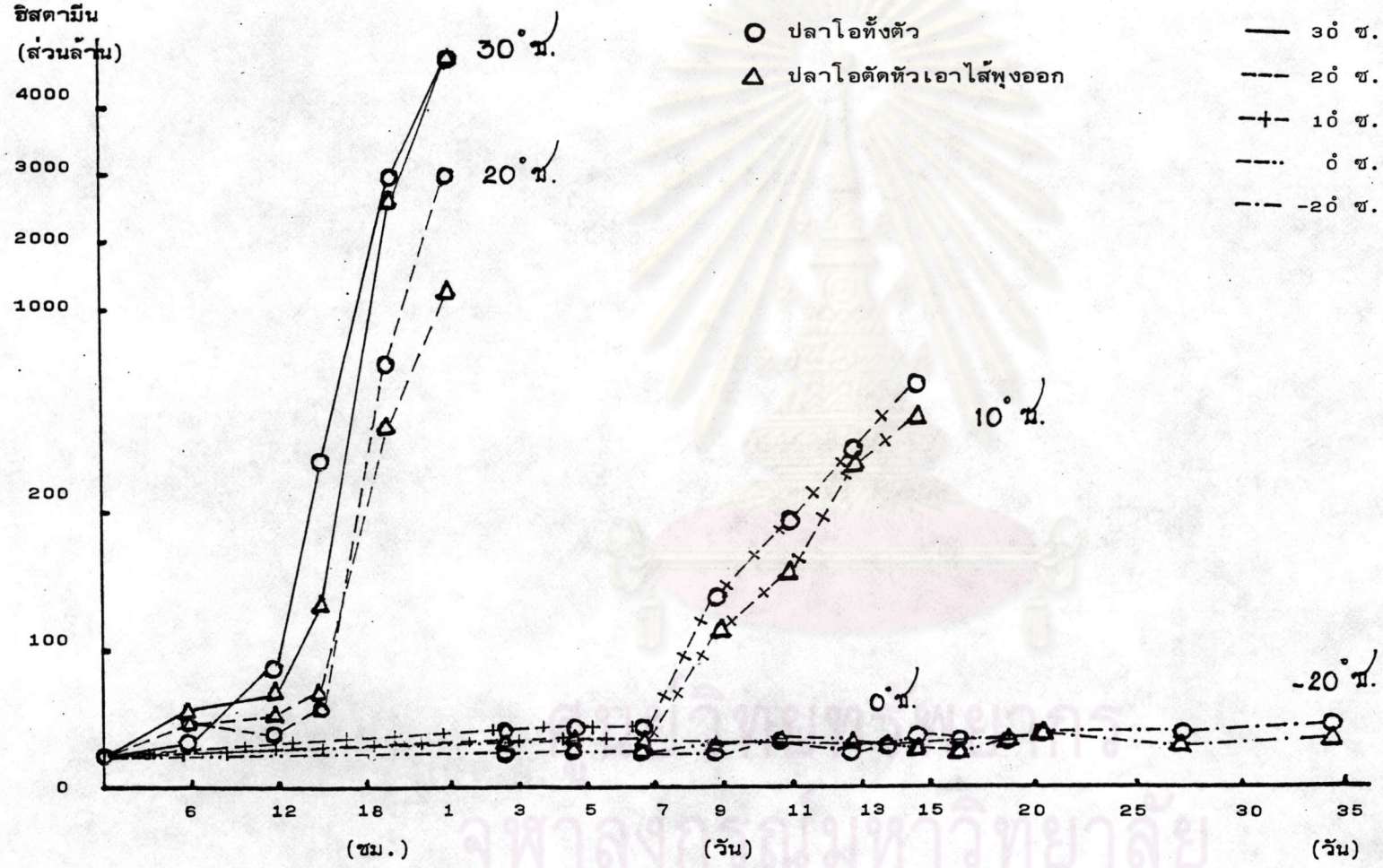
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการเกิดฮิสตามีนในปลาโอดำสด

จากการทดลองเก็บรักษาปลาโอดำสดในลักษณะปลาทั้งตัวและปลาที่ตัดหัวเอาไส้พุงออก ไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน (รูปที่ 3) พบว่าที่แต่ละอุณหภูมิ ปริมาณฮิสตามีนที่เปลี่ยนแปลงในปลาโอดำสดทั้งสองลักษณะ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ระดับความเชื่อมั่น 95%) โดยปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำสดซึ่งเก็บรักษาที่ 20 ซ. จะเพิ่มขึ้นเร็วที่สุด และเพิ่มขึ้นช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลงโดยที่อุณหภูมิ 0 ซ. และ -20 ซ. ปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำสดจะไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ที่ 30 ซ. และ 20 ซ. การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำสดในช่วงแรกของการเก็บรักษาจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้า และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากเก็บรักษาปลาโอดำสดได้ 12 ชม. และ 15 ชม. ตามลำดับ โดยที่ 30 ซ. เมื่อเก็บรักษาปลาโอดำไว้ได้ 24 ชม. ตรวจพบปริมาณฮิสตามีนถึง 4,128.23 ส่วนล้าน ในปลาทั้งตัว และ 4,192.19 ส่วนล้าน ในปลาตัดหัวเอาไส้พุงออก (ดังแสดงในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.1) ซึ่ง *Frank* และคณะ *(1981)* (22) ก็ตรวจพบปริมาณฮิสตามีนมากกว่า 2,000 ส่วนล้าน ในปลา *skipjack tuna (Katsuwonus pelamis)* ที่เก็บรักษาที่ 32.2 ซ. เป็นเวลา 24 ชม. เช่นเดียวกัน ส่วนที่ 20 ซ. ตรวจพบปริมาณฮิสตามีน 2,940.97 ส่วนล้านในปลาโอดำทั้งตัว และ 1,054.14 ส่วนล้าน ปลาโอดำตัดหัวเอาไส้พุงออก เมื่อเก็บรักษาปลาไว้ 24 ชม. (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.2) โดย *Ganowiak* และคณะ *(1979)* (38) ก็ตรวจพบปริมาณฮิสตามีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในปลาซาร์ดีนและปลาทูนาภายใน 24 ชม. ที่ 18 ซ. แต่ *Durr* และคณะ *(1980)* (39) ตรวจพบปริมาณฮิสตามีน 660-990 ส่วนล้านในปลาซาร์ดีนและปลาแมคเคอเรล หลังจากเก็บไว้ 14-16 วัน ที่ 15-20 ซ. ส่วน *Baldrati* และคณะ *(1980)* (40) ตรวจพบปริมาณฮิสตามีน 670 ส่วนล้านในปลาแมคเคอเรลที่ 18 ซ. หลังจากเก็บไว้ 3 วัน



รูปที่ 3 ปริมาณฮิสตามีนในปลาโอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

ที่ 10 ซ. (รูปที่ 3) ปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำมีการเปลี่ยนแปลงช้ามากในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษาปริมาณฮิสตามีนและเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ หลังจากนั้นจึงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยในวันที่ 15 ตรวจพบปริมาณฮิสตามีน 257.13 ส่วนล้านในปลาโอดำทั้งตัวและ 238.17 ส่วนล้านในปลาโอดำที่ตัดหัวเอาไส้พุงออก (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.3) สำหรับการทดลองของ *Park* และคณะ *(1982)*(41) ตรวจพบปริมาณฮิสตามีนในปลาแมคเคอเรลและปลาซาร์ดีน 1,300 ส่วนล้าน และ 2,500 ส่วนล้านตามลำดับ หลังจากเก็บไว้ 4 วัน ที่ 10 ซ. แต่ *Edmunds* และ *Eitenmiller (1975)*(23) และ *Hardy* และ *Smith (1976)*(25) พบว่าระหว่างอุณหภูมิ 1-10 ซ. จะมีปริมาณฮิสตามีนเกิดขึ้นน้อยมากในปลาแมคเคอเรล

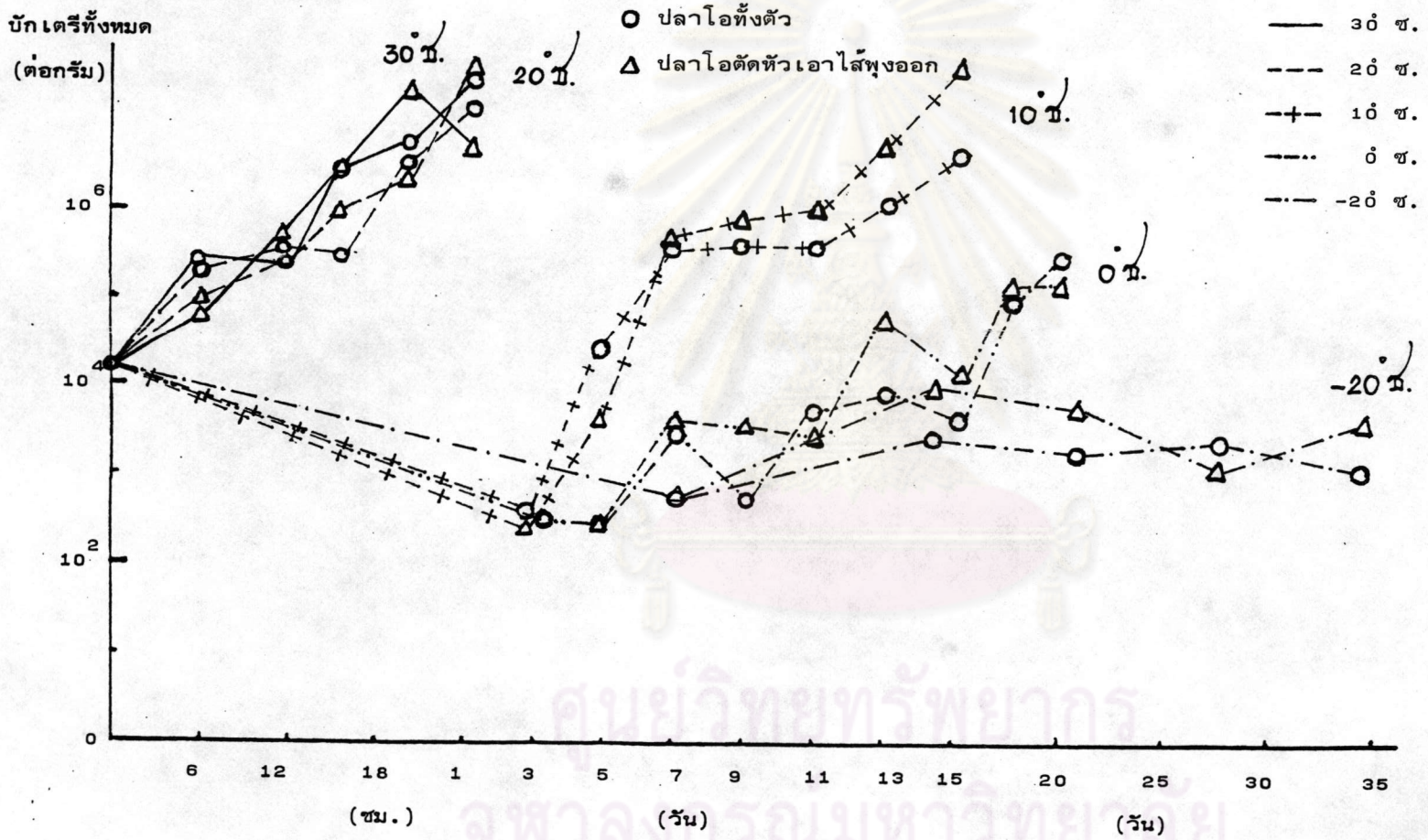
จากการทดลอง แสดงว่าอัตราการเกิดฮิสตามีนในปลาที่ต่างชนิดกันก็จะแตกต่างกัน และถึงแม้จะเป็นปลาชนิดเดียวกัน แต่ถ้าสภาพการทดลองต่างกัน อัตราการเกิดฮิสตามีนก็จะแตกต่างกันด้วย

สำหรับปลาโอดำสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 ซ. และ -20 ซ. ปรากฏว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮิสตามีนตลอดระยะเวลา 19 วัน และ 35 วัน (รูปที่ 3) เช่นเดียวกับการทดลองของ *Baldrati* และคณะ *(1980)*(40) *Cattaneo* และ *Cantoni (1978)*(42) *Hardy* และ *Smith (1976)*(25) และ *Smith* และคณะ *(1980)*(43) ที่สรุปว่าในการเก็บรักษาปลาที่ 0 ซ. หรือต่ำกว่า จะไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีน ซึ่งสาเหตุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮิสตามีนในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว เนื่องจากทั้งเอนไซม์ *histidine decarboxylase* และบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* จะหยุดทำงาน และหยุดการเจริญเติบโต (5,9)

จากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 0 ซ. พบว่าในระยะเริ่มต้นของการเก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮิสตามีนน้อยมาก ในช่วงหลังของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮิสตามีนจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วนี้ จะเป็นจุดที่มีปริมาณฮิสตามีนสูงเกินกว่ามาตรฐานกำหนด คือ 100 ส่วนล้าน

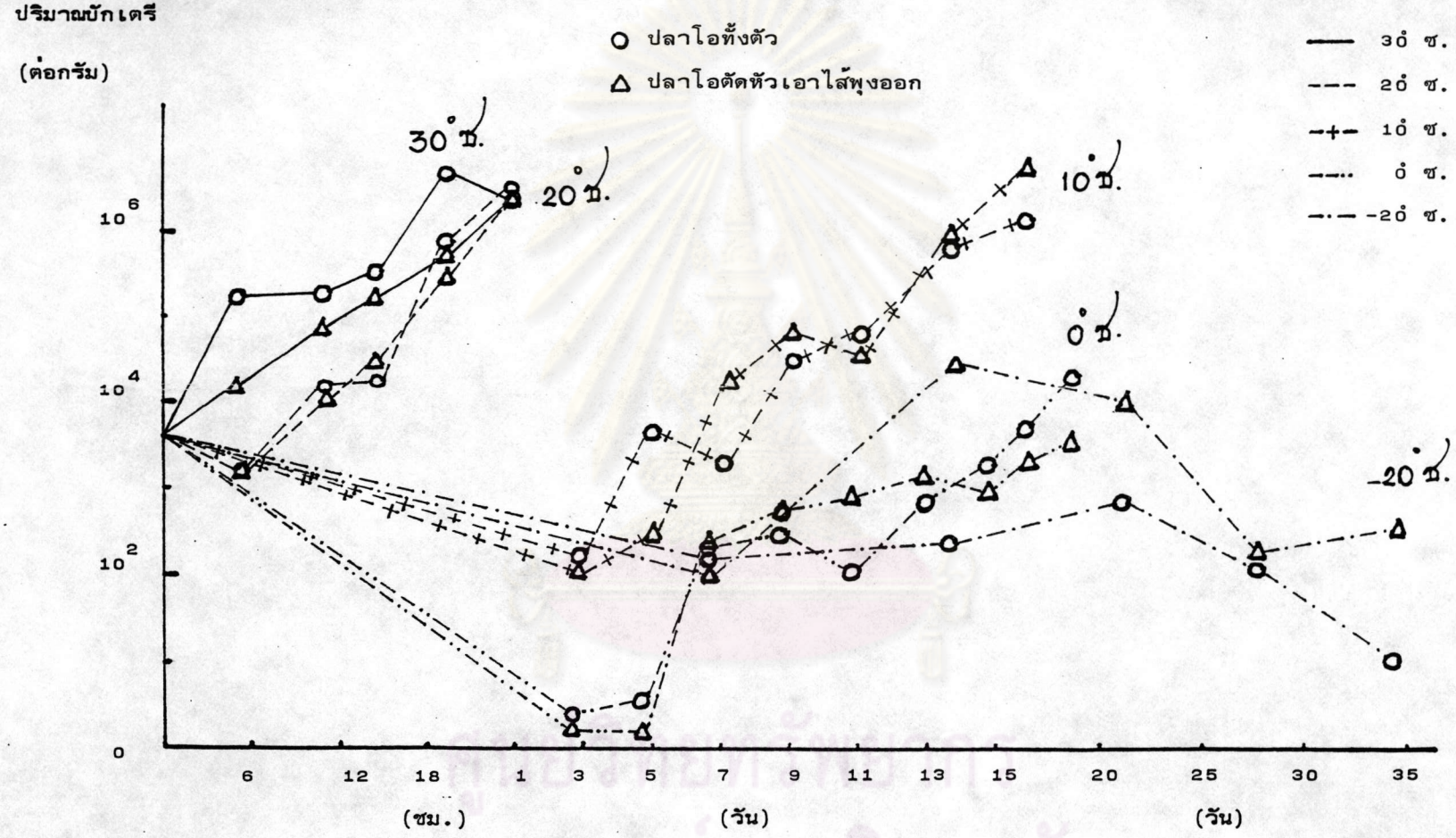
การเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีนนั้น อาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณบักเตรี จากรูปที่ 4 พบว่าที่อุณหภูมิ 30 ซ. และ 20 ซ. ปริมาณบักเตรีทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นตลอดเวลาการเก็บรักษา ส่วนที่อุณหภูมิต่ำ (10 ซ., 0 ซ.) ปริมาณบักเตรีทั้งหมดจะลดปริมาณลงในช่วงแรก แล้วจึงมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ -20 ซ. ปริมาณบักเตรีทั้งหมดจะมีปริมาณลดลง ซึ่งแสดงว่าปริมาณบักเตรีทั้งหมดในเนื้อปลาโอดำสดเป็นบักเตรีพวก *mesophile* เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเก็บปลาไว้ที่ 10 ซ. และ 0 ซ. ปริมาณบักเตรีทั้งหมดส่วนหนึ่งจึงลดลง เหลืออยู่เฉพาะบักเตรีพวก *psychrophile* ซึ่งจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนที่ -20 ซ. บักเตรีบางส่วนจะตายไปหรือหยุดการเจริญเติบโต จึงทำให้ปริมาณบักเตรีทั้งหมดลดลง และในทุกอุณหภูมิที่เก็บรักษาพบว่า ปริมาณบักเตรีทั้งหมดในปลาโอดำทั้งตัวและปลาโอดำที่ตัดหัวเอาไส้พุงออก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ระดับความเชื่อมั่น 95%)

จากรูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* ซึ่งเป็นปริมาณบักเตรีส่วนหนึ่งของปริมาณบักเตรีทั้งหมด (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค.) พบว่าที่ 30 ซ. จะมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลาการเก็บรักษา ส่วนที่ 20 ซ., 10 ซ. และ 0 ซ. จะมีปริมาณลดลง แล้วจึงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงก็คล้อยตามกับปริมาณบักเตรีทั้งหมด เพราะบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* มีหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและสร้างฮิสตามีนแตกต่างกัน (6,9) ดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิใดในการเก็บรักษาปลา ก็จะมีบักเตรีที่เหมาะกับอุณหภูมินั้นเจริญเติบโต และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณฮิสตามีนที่เกิดขึ้นในรูปที่ 6,7 ก็จะเห็นเด่นชัดขึ้นว่า ที่อุณหภูมิ 30 ซ. ปริมาณฮิสตามีนเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* ก็มีปริมาณสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ส่วนปลาโอดำสดที่เก็บรักษาที่ 20 ซ.ปริมาณฮิสตามีนเพิ่มขึ้นช้ากว่าที่ 30 ซ. จากรูปที่ 8,9 เมื่อพิจารณาปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* พบว่ามีปริมาณลดต่ำลงในระยะแรก แล้วจึงเพิ่มสูงขึ้น การเก็บรักษาปลาโอดำที่อุณหภูมิ 10 ซ. ก็มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* เช่นเดียวกัน (รูปที่ 10,11) สำหรับที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 ซ. ในรูปที่ 5 เนื่องจากเป็นการเก็บรักษาโดยใช้น้ำแข็ง ผลการทดลองจึงพบว่าในระยะแรกของการเก็บรักษา ปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* จะลดลงมากกว่าทุก ๆ อุณหภูมิ เพราะที่อุณหภูมินี้นอกจากบักเตรีพวกที่ไม่ชอบอุณหภูมิต่ำจะตายไปบ้าง การ

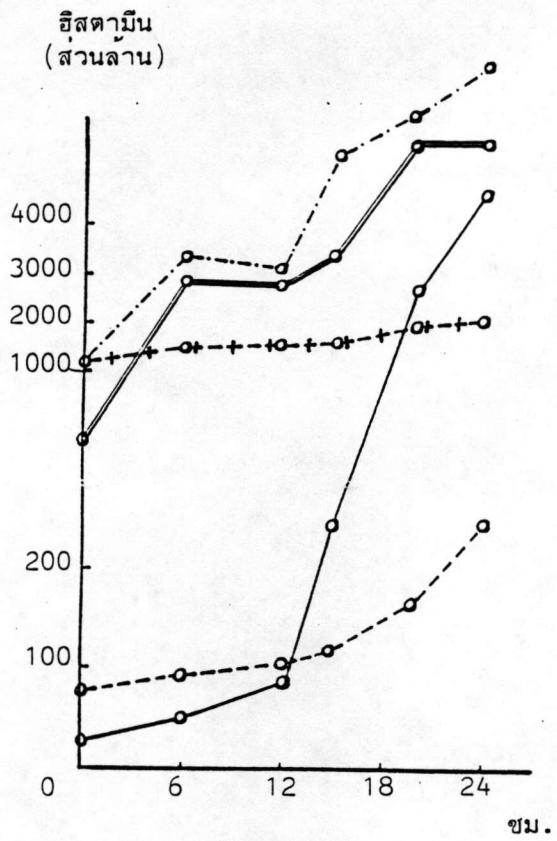


รูปที่ 4 ปริมาณบักเตรีทั้งหมดในปลาโอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

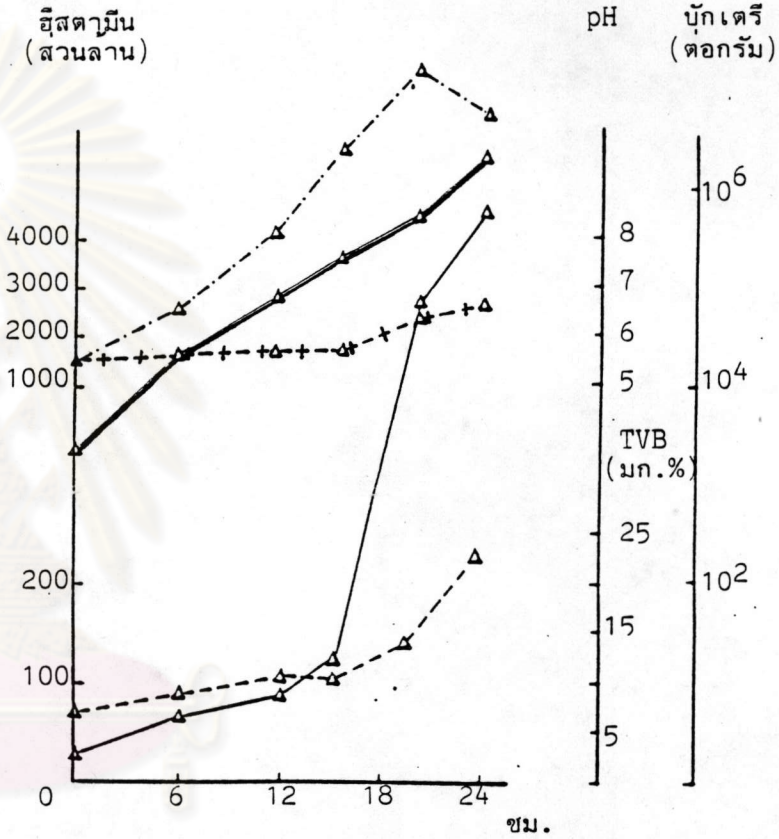
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 ปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* ในปลาโอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 6 ปลาทั้งตัว



รูปที่ 7 ปลาตัดหัวเอาไส้พุงออก

ปลาโอดำเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ± 2°ซ.

—— ปริมาณฮิสตามีน

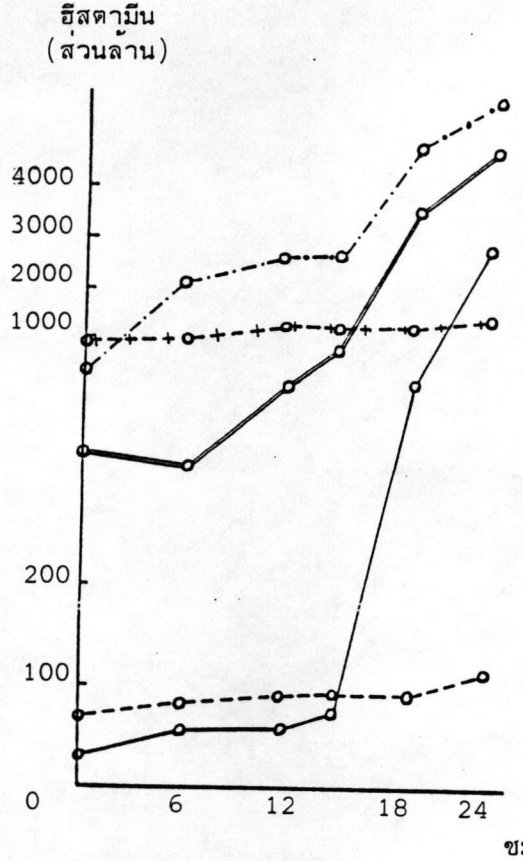
--- ปริมาณด่างระเหยได้ทั้งหมด

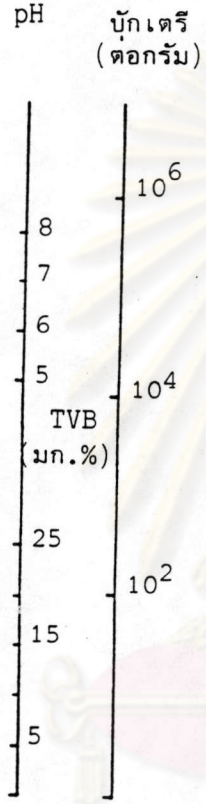
—·— บักเตรีทั้งหมด

-+- pH

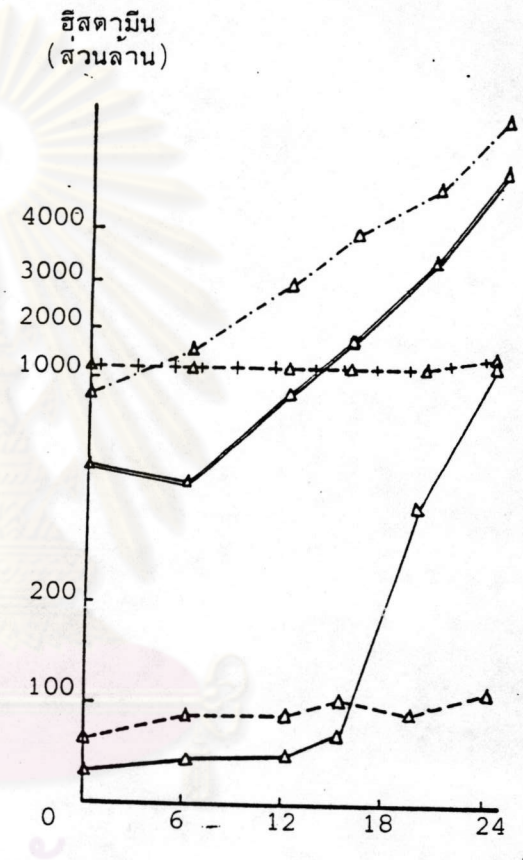
═══ บักเตรีที่มี histidine decarboxylase

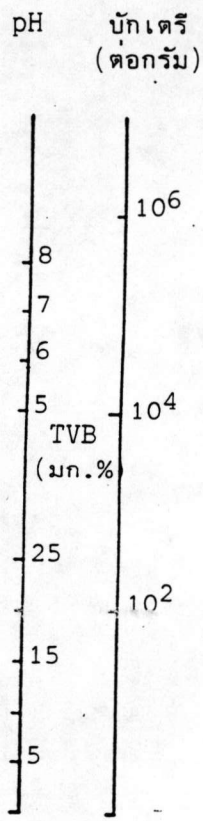
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 8 ปลาทั้งตัว





รูปที่ 9 ปลาตัดหัวเอาไส้พุงออก

ปลาโอดำเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 ± 2°ซ.

—— ปริมาณฮิสตามีน

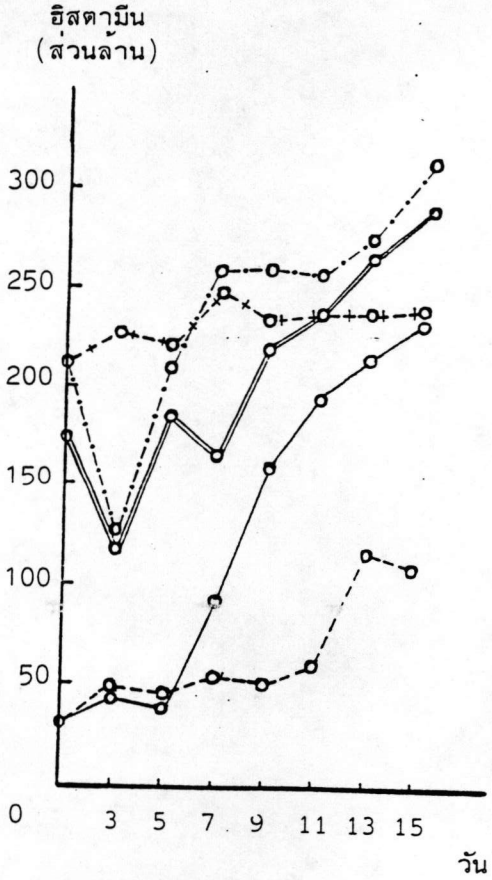
-+- pH

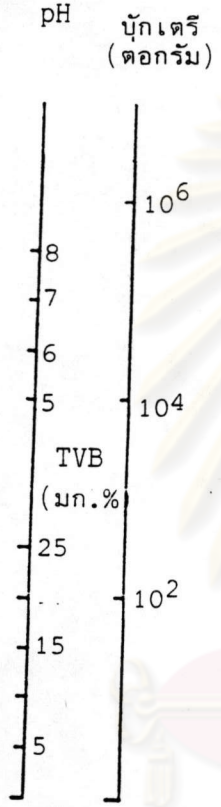
--- ปริมาณด่างระเหยได้ทั้งหมด (TVB)

-·- บักเตรีทั้งหมด

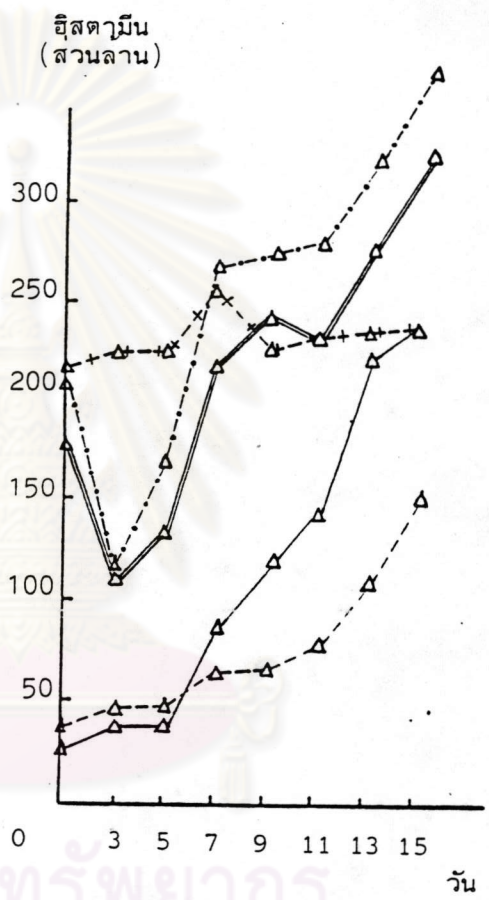
═══ บักเตรีที่มี histidine decarboxylase

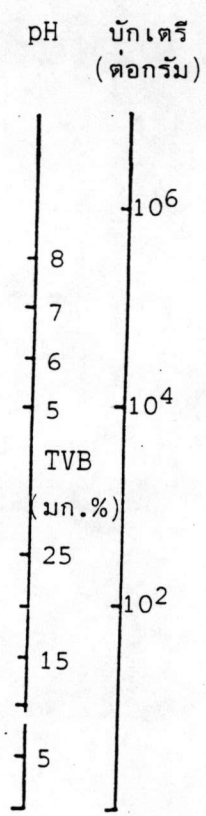
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 10 ปลาทั้งตัว





รูปที่ 11 ปลาตัดหัวเอาไส้พุงออก

ปลาโอดำเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2°ซ.

—— ปริมาณฮิสตามีน

–+– pH

--- ปริมาณด่างระเหยได้ทั้งหมด (TVB)

–·– บักเตรีทั้งหมด

═══ บักเตรีที่มี histidine decarboxylase

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

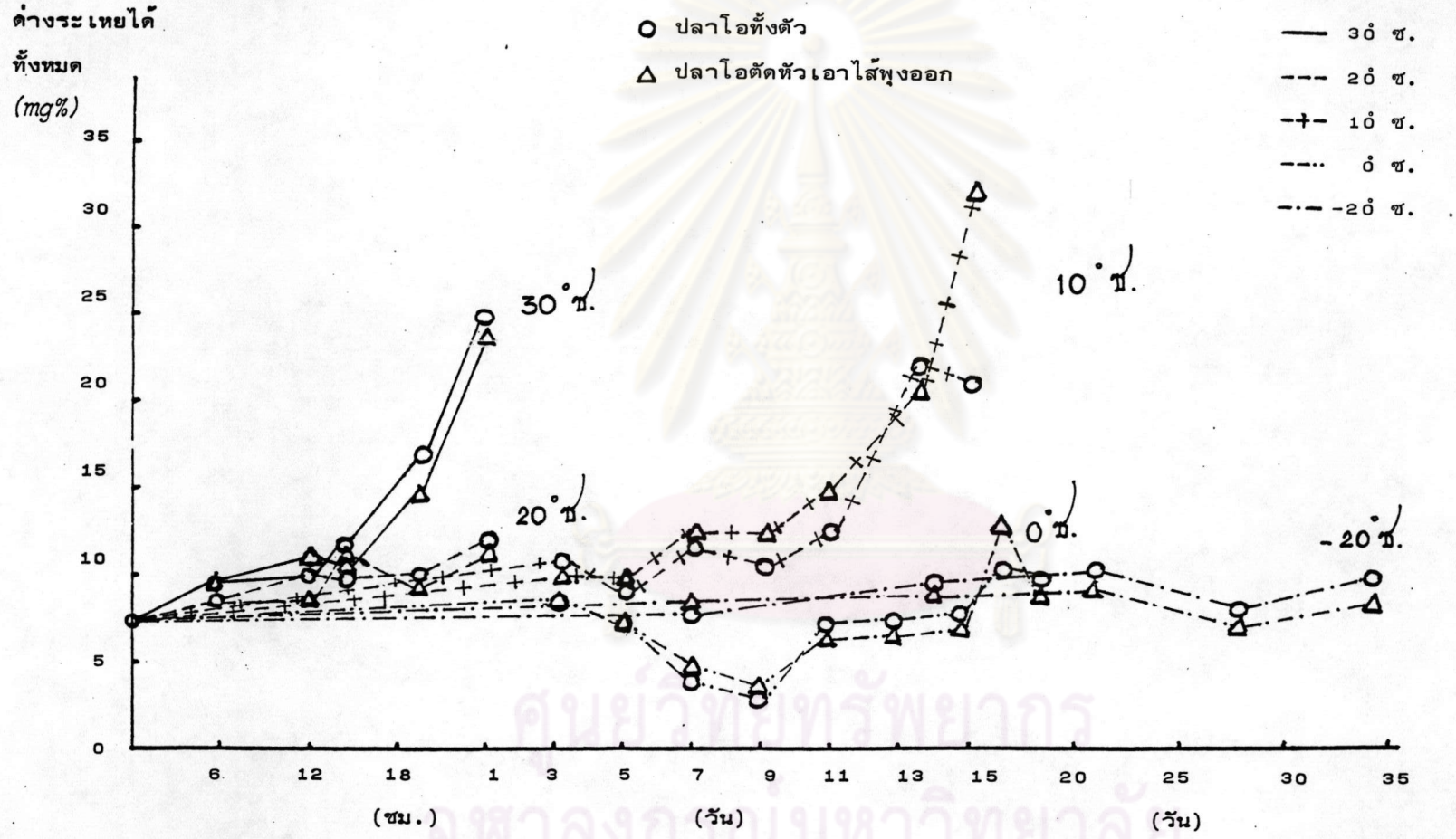
ละลายของน้ำแข็งก็จะชะล้างปริมาณบักเตรีบางส่วนออกไปด้วย และในช่วงหลังของการเก็บรักษา บักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ไม่มากเกินกว่าปริมาณ เมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาปลาโอดำสด ส่วนที่อุณหภูมิ -20° ซ. (รูปที่ 5) ปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* จะมีปริมาณลดลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา

พบว่าปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* ระหว่างปลาโอดำทั้งตัวและปลาโอดำที่ตัดหัวเอาไส้พุงออก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ระดับความเชื่อมั่น 95%) ในแต่ละอุณหภูมิที่เก็บรักษา

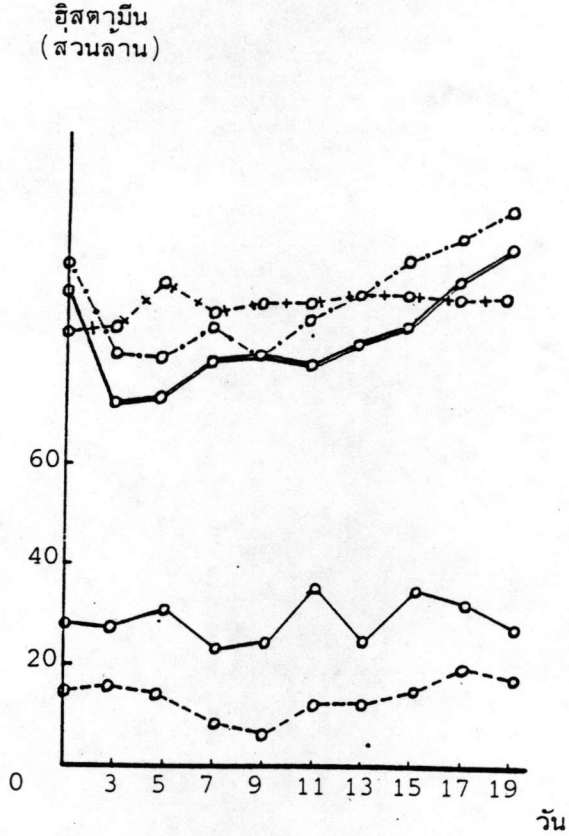
จากการเปรียบเทียบปริมาณฮิสตามีนที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* กับปริมาณฮิสตามีนที่เกิดขึ้น พบว่า เมื่อปริมาณฮิสตามีนเพิ่มสูงมากกว่า 100 ส่วนล้าน ปริมาณบักเตรีชนิดนี้จะมากกว่า 10^5 ต่อกรัม

สำหรับปริมาณด่างระเหยได้ทั้งหมด *(total volatile bases* หรือ *TVB)* ซึ่งเป็นค่าทางเคมีตัวหนึ่ง ที่ใช้เป็นดัชนีชี้ความสดของปลาโดย *Stansby (1976)* (44) สรุปไว้ว่า ปลาที่สดจะมีค่า *TVB* $\ll$ 12 มก.% และปลาที่เริ่มเน่าเสียเล็กน้อยแต่ยังสามารถบริโภคได้มีค่า *TVB* 12-20 มก.% ปลาที่กึ่งดีกึ่งเน่าเสีย มีค่า *TVB* 20-25 มก.% และปลาที่เน่าเสียไม่สามารถบริโภคได้มีค่า *TVB* $\gg$ 25 มก.%

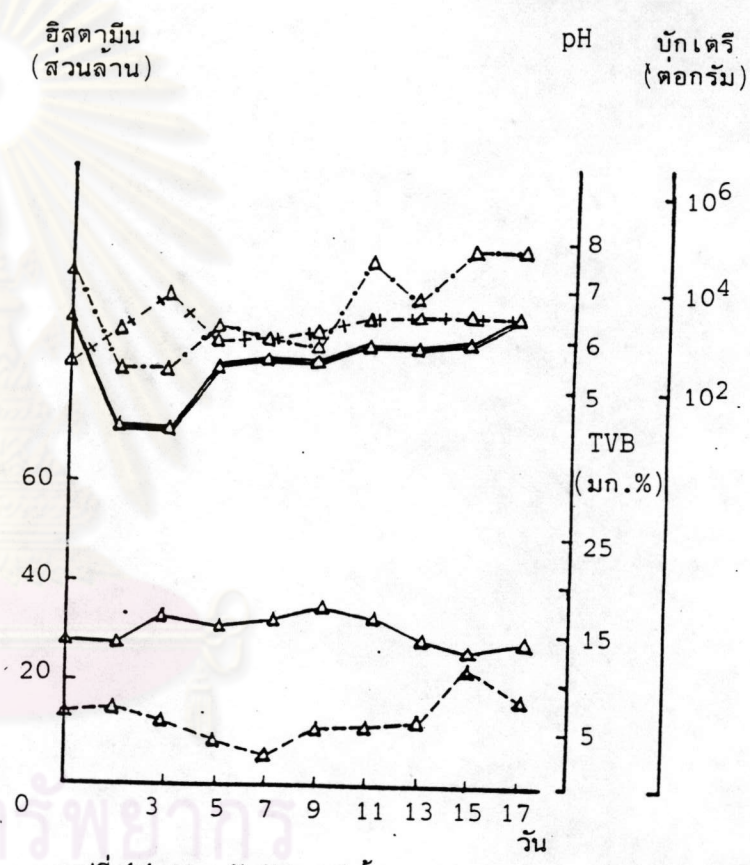
จากผลการทดลองในรูปที่ 12 การเก็บรักษาปลาโอดำที่อุณหภูมิสูง ปริมาณ *TVB* จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่ออุณหภูมิต่ำ ปริมาณ *TVB* จะเพิ่มช้าลง โดยการเปลี่ยนแปลงของ *TVB* ของปลาโอดำในช่วงแรกของการเก็บรักษาจะช้ามาก แต่ในช่วงหลังจึงเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น ที่อุณหภูมิ 30° ซ., 20° ซ. และ 10° ซ. ปริมาณ *TVB* ในปลาโอดำสดจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากเก็บไว้ 12 ชม., 15 ชม., และ 7 วัน ตามลำดับ โดยมีค่า *TVB* มากกว่า 10 มก.% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฮิสตามีน (รูปที่ 6-11) พบว่าเมื่อปริมาณฮิสตามีนมากกว่า 100 ส่วนล้าน ค่า *TVB* จะมากกว่า 10 มก.% ส่วนที่ 0° ซ. ค่า *TVB* ไม่คงที่ตลอดการเก็บรักษา (รูปที่ 13, 14) เนื่องจากการละลายของน้ำแข็งที่ใช้เก็บรักษาจะเกิดการล้างของน้ำออกไป *(leaching) (Iyengar* และคณะ, *1969)* (45) ที่อุณหภูมิ -20° ซ. (รูปที่ 12,15,16) ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ *TVB* ตลอดเวลาการเก็บรักษา



รูปที่ 12 ปริมาณด่างระเหยได้ทั้งหมดในปลาโอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน



รูปที่ 13 ปลาทั้งตัว



รูปที่ 14 ปลาตัดหัวเอาไส้พุงออก

ปลาโอดำเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 ± 2°ซ.

—— ปริมาณฮิสตามีน

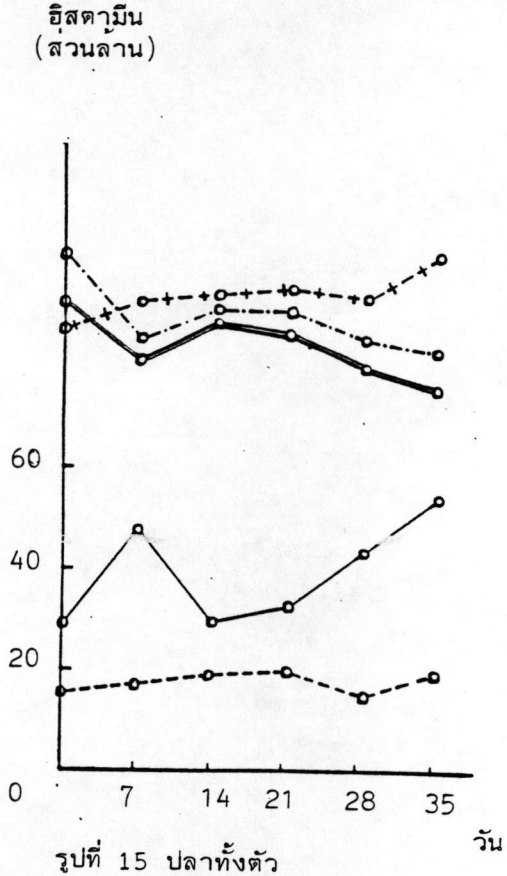
–+– pH

--- ปริมาณด่างระเหยได้ทั้งหมด (TVB)

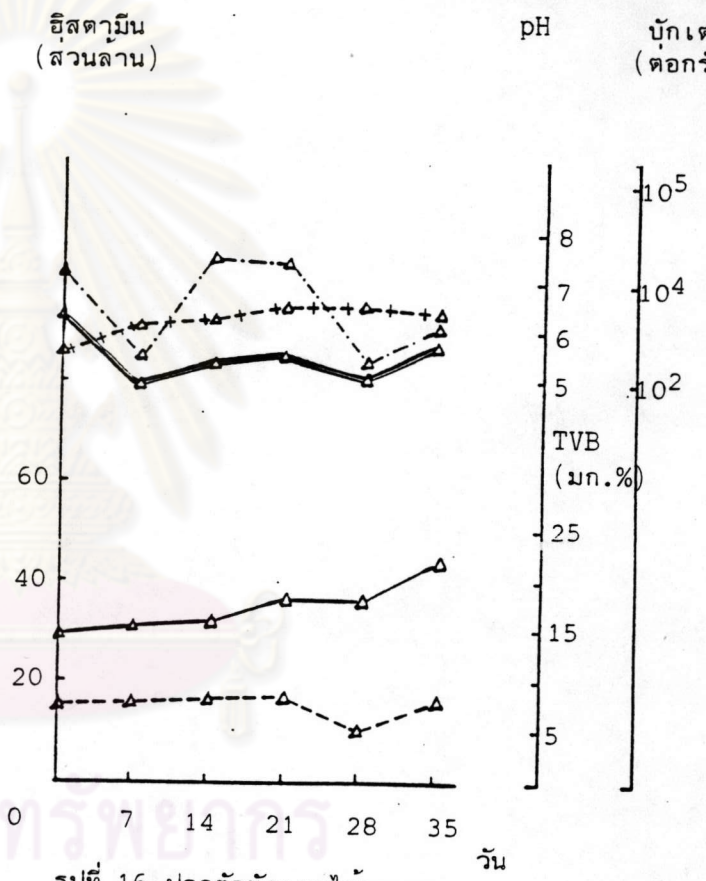
–·– บักเตรีทั้งหมด

═══ บักเตรีที่มี histidine decarboxylase

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 15 ปลาทั้งตัว



รูปที่ 16 ปลาตัดหัวเอาไส้พุงออก

ปลาโอดำเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 ± 2°ซ.

—— ปริมาณฮิสตามีน

-+- pH

--- ปริมาณด่างระเหยได้ทั้งหมด (TVB)

—·— บักเตรีทั้งหมด

═══ บักเตรีที่มี histidine decarboxylase

ค่า *TVB* ของปลาโอดำทั้งตัวและปลาโอดำที่ตัดหัวเอาไส้พุงออก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ระดับความเชื่อมั่น 95%)

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง *(pH)* พบว่าปลาโอดำที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ นั้น มีค่า *pH* อยู่ระหว่าง 5.7-7.0 (รูปที่ 6-11, 13-17) โดยค่า *pH* เพิ่มสูงขึ้นช้า ๆ ซึ่งเป็น *pH* ที่อยู่ในช่วงที่พอเหมาะต่อการทำงานของเอนไซม์ *histidine decarboxylase* (9) ดังนั้น *pH* ก็มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีนในระหว่างการเก็บรักษา

และจากผลของการตรวจสอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้วยการวัดความสดของปลาโอดำที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยการให้คะแนน คุณภาพของปลาที่ใช้พิจารณาประกอบการให้คะแนนคือ ลักษณะทั่วไป (ได้แก่ ตา เหงือก และผิวหนัง) กลิ่น ความสดของเนื้อปลา เนื้อส่วนท้อง (ตามรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ข.) ถ้าคุณภาพของปลาหัวข้อใดมีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่า 3 คะแนน ถือว่าผู้บริโภคไม่ยอมรับ ปรากฏผลดังตารางที่ 3 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ผลการตรวจคุณภาพความสดของปลาโอดำ

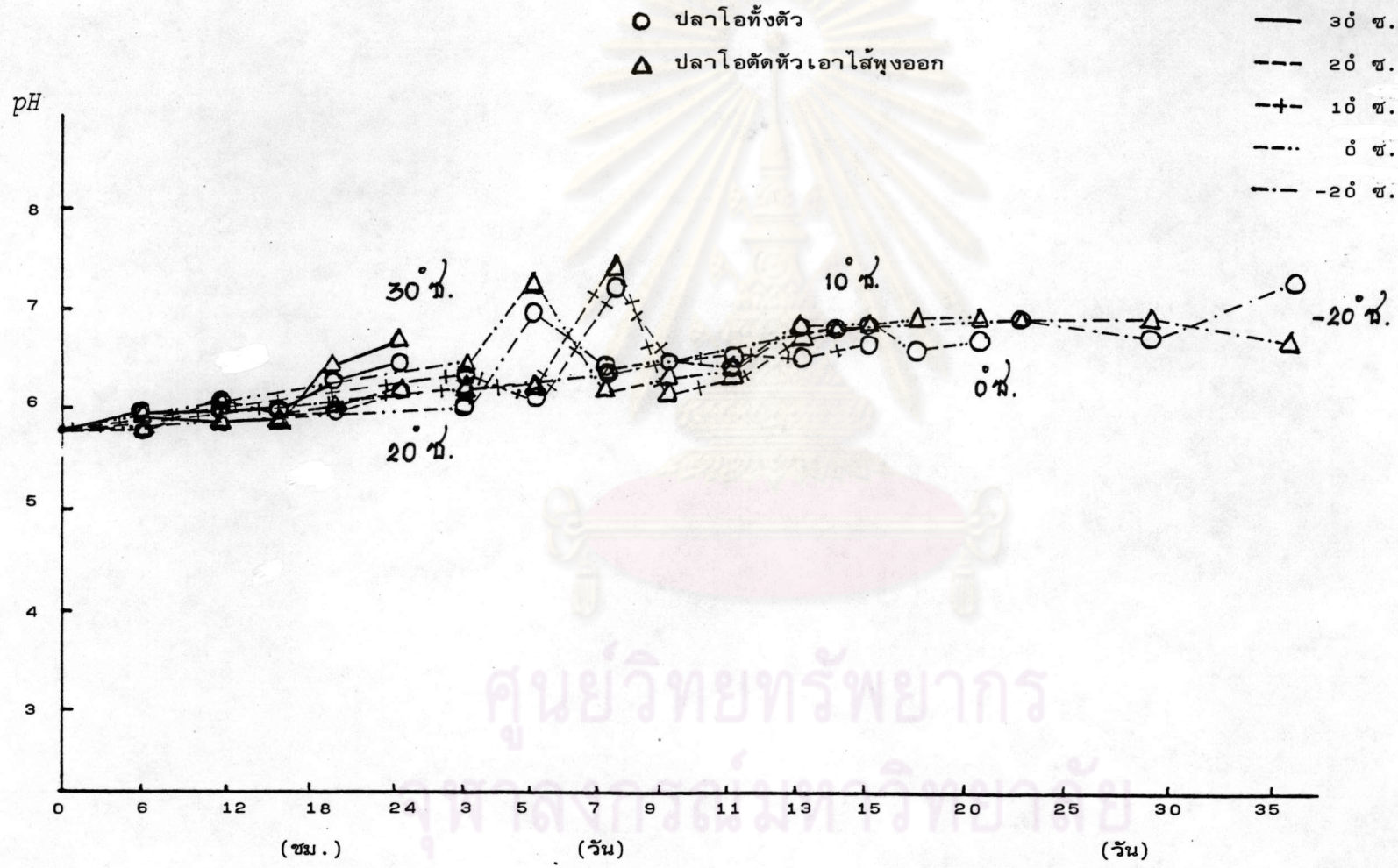
อุณหภูมิที่เก็บรักษา	ลักษณะปลาที่เก็บรักษา	เวลาที่เริ่มไม่ยอมรับ
30° ± 2° ซ.	ปลาทั้งตัว	12 ชม.
	ปลาตัดหัวเอาไส้พุงออก	"
20° ± 2° ซ.	"	15 ชม.
	"	"
10° ± 2° ซ.	"	7 วัน
	"	"
0° ± 2° ซ.	"	15 วัน
	"	"
-20° ± 2° ซ.	"	_____*
	"	_____*

* เก็บรักษา 35 วัน ยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสกับปริมาณฮิสตามีน ปริมาณบักเตรีและค่า *TVB* พบว่าปลาโอดำที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30° ซ. 20° ซ. และ 10° ซ. นั้น ปรากฏว่าผลการตรวจสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อผู้บริโภคเริ่มไม่ยอมรับ ปริมาณฮิสตามีนที่ตรวจพบมีปริมาณมากกว่า 100 ส่วนล้าน ปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* มากกว่า 10^5 ต่อกรัม และค่า *TVB* มากกว่า 10 มก.%

สำหรับที่ 0° ซ. การที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ หลังจากเก็บรักษาปลาโอดำไว้ได้ 15 วัน เพราะปลามีสภาพบอบช้ำมาก เนื่องจากการทับถมของน้ำแข็ง ไม่ได้เกิดจากการเน่าเสีย ปริมาณฮิสตามีน ปริมาณบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* และค่า *TVB* ไม่สูงเกินกว่าปริมาณที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

และที่ -20° ซ. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ เคมี และบักเตรี ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา



รูปที่ 17 ความเป็นกรด-ด่าง *(pH)* ในปลาโอที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลอง พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าทางเคมี จุลชีวะ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างปลาโอดำทั้งตัวและตัดหัวเอาไส้พุงออกของแต่ละอุณหภูมิที่เก็บรักษา ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ระดับความเชื่อมั่น 95%) แสดงว่าอาจเป็นเพราะปลาโอดำที่ถูกจับโดยอวนลาก ถูกเก็บรักษาบนเรือช่วงระยะเวลาหนึ่ง ก่อนที่เรือจะเทียบท่า ทำให้ถึงแม้จะป้องกันไม่ให้ปลาถูกปนเปื้อนจากบักเตรีที่เหงือกและไส้พุงปลาโดยการตัดหัวเอาไส้พุงออกหลังจากเรือเทียบท่า ก็ไม่สามารถป้องกันไม่ให้ค่าทางเคมี จุลชีวะ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสแตกต่างจากปลาทั้งตัวได้ ดังนั้น ถ้าต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างของการเก็บรักษาปลาในลักษณะทั้งตัวและตัดหัวเอาไส้พุงออก ควรทำบนเรือทันทีที่ปลาถูกจับ หรือทันทีที่ปลาตาย

4.2 <u>อัตราเร็วของการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีนในระหว่างการเก็บรักษาและผลของอุณหภูมิต่ออัตราเร็ว</u>

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำสดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้ทฤษฎีทางจลศาสตร์ (46,47) พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 $\pm$ 2 ซ. 20 $\pm$ 2 ซ. และ 10 $\pm$ 2 ซ. อาจอธิบายได้โดยสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง เพราะค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ *(correlation coefficient)* ของการวิเคราะห์ให้ค่าสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

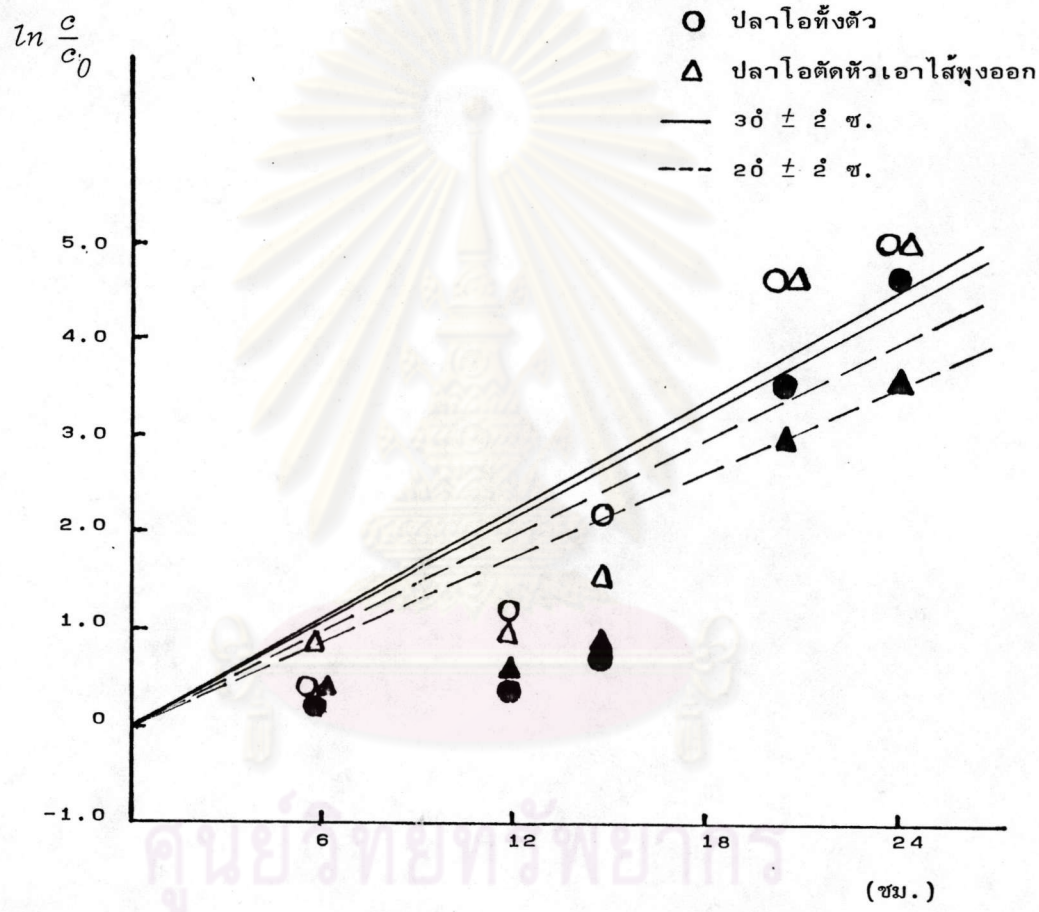
ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการวิเคราะห์สมการถดถอยของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอสดที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่เก็บรักษา	ลักษณะปลาโอที่เก็บรักษา	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2)		
		สมการอันดับศูนย์	สมการอันดับหนึ่ง	สมการอันดับสอง
30° ± 2° ซ.	ปลาทั้งตัว	0.6914	0.8883	0.9788
	ปลาตัดหัวเอาไส้พุงออก	0.6709	0.8279	0.8868
20° ± 2° ซ.	"	0.5284	0.7413	0.8273
	"	0.6448	0.8185	0.9475
10° ± 2° ซ.	"	0.9303	0.9536	0.0169
	"	0.9290	0.9573	0.0153

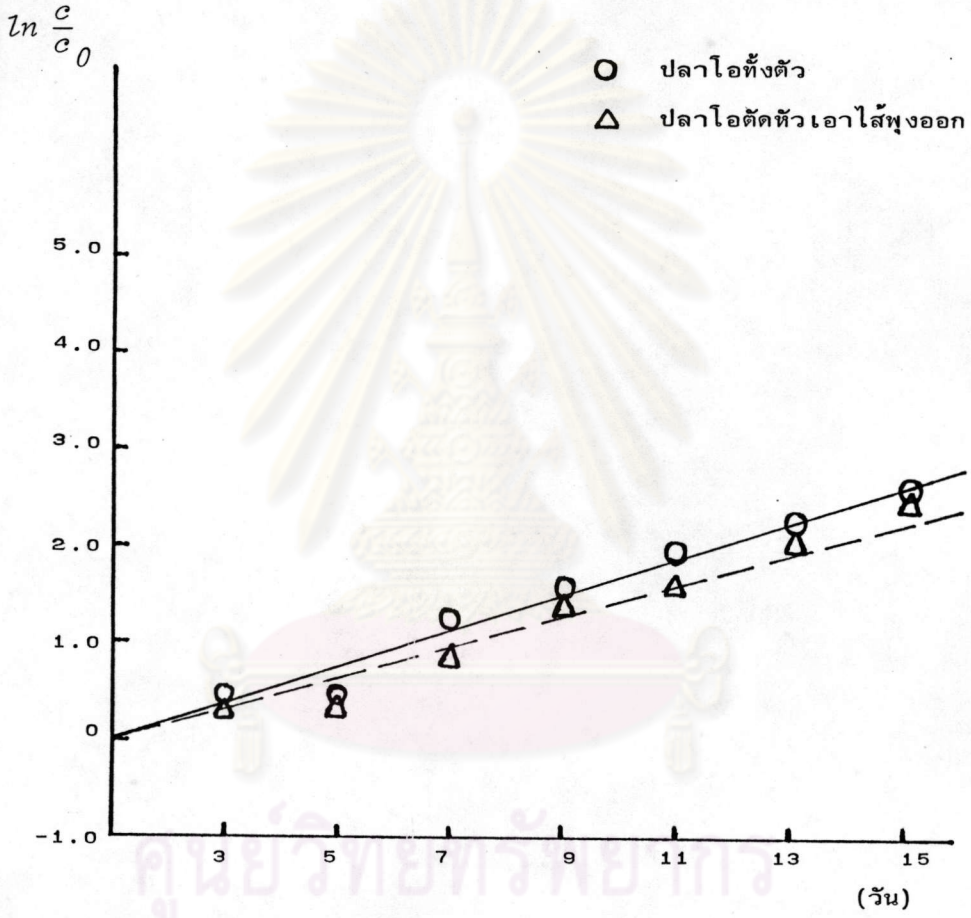
โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณฮิสตามีนของปลาโอดำสดกับเวลาที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ แสดงในรูปที่ 18, 19 และอัตราเร็วของการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีน (k) หรืออาจจะเรียกว่าอัตราเร็วของการทำงานของเอนไซม์ *histidine decarboxylase* (9, 23, 24) แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราเร็วของการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีน (k) ของปลาโอดำสด ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่เก็บรักษา	อัตราเร็วของการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีน (k) (นาที$^{-1}$)	
	ปลาโอทั้งตัว	ปลาโอตัดหัวเอาไส้พุงออก
30° ± 2° ซ.	0.1856	0.1787
20° ± 2° ซ.	0.1378	0.1191
10° ± 2° ซ.	0.0060	0.0063



รูปที่ 18 อัตราการเพิ่มของปริมาณฮิสตามีนในปลาไอดำที่เก็บรักษาที่ 30° ± 2 ซ. และ 20° ± 2 ซ. อธิบายโดยสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง



รูปที่ 19 อัตราการเพิ่มของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำที่เก็บรักษาที่ 10° ± 2° ซ. อธิบายโดยสมการปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราเร็วคงที่ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีนของปลาโอดำสดจะแปรเปลี่ยนไปกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ซึ่งผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราเร็วของการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีน เป็นไปตามสมการ *Arrhenius* (46) การประยุกต์สมการ *Arrhenius* ในปฏิกิริยาการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีนของปลาโอดำสดในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ผลของอุณหภูมิต่ออัตราเร็ว *(activation energy* หรือ *Ea)* ของการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอทั้งตัวคือ 97.0 *KJ/mole* และ 110.9 *KJ/mole* โดยการคำนวณด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วน *Ea* ในปลาโอตัดหัวเอาไส้พุงออกคือ 105.3 *KJ/mole* และ 107.8 *KJ/mole* โดยการคำนวณด้วยวิธีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (รูปที่ 23, 24 และรายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง.)

Spencer และ *Baines (1964)* (48) *Charm* และคณะ *(1972)* (49) และ *Learson* และ *Ronsivalli (1969)* (50) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเน่าเสียของปลา ในช่วงอุณหภูมิ -1 ซ. ถึง 25 ซ. โดยใช้สมการ *Arrhenius* พบว่า *activation energy (Ea)* คือ 62.9 - 75.3 *KJ/mole* ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเน่าเสียของปลา กับผลของอุณหภูมิต่ออัตราเร็วของการเพิ่มของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำ แสดงว่าอุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราการเพิ่มของปริมาณฮิสตามีนในปลาโอดำมากกว่าอัตราการเน่าเสียของปลา

4.3 <u>ผลของความร้อนในการฆ่าเชื้อของกระบวนการบรรจุกระป๋องต่อปริมาณฮิสตามีนในปลาโอ</u>

จากการทดลองนำปลาโอดำที่มีปริมาณฮิสตามีน 3 ระดับ (50 ส่วนล้าน 500 ส่วนล้าน และ > 1,000 ส่วนล้าน) มาทำเป็นปลาโอบรรจุกระป๋อง โดยใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ 2 ระดับคือ 112 $\pm$ 1 ซ. 75 นาที และ 121 $\pm$ 1 ซ. 40 นาที ผลปรากฏว่าความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อไม่มีผลต่อปริมาณฮิสตามีนที่มีในปลาโอดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ระดับความเชื่อมั่น 95%) (ตารางที่ 6) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณฮิสตามีนไม่สามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ถึงแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 121 ซ. ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมปลาโอกระป๋องจะใช้อุณหภูมินี้เป็นส่วนใหญ่ ปริมาณฮิสตามีนก็ยังไม่ถูกทำลาย ซึ่ง *Frank* และคณะ *(1981)* (22) ก็กล่าวว่า ฮิสตามีนเป็นสารที่ทนความร้อน

ตารางที่ 6 ปริมาณฮิสตามีนและ pH ในปลาโอดำ ก่อนนำมาบรรจุกระป๋อง และผ่านกระบวนการบรรจุกระป๋องแล้ว โดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ 112°ซ. 75 นาที และ 121°ซ. 40 นาที

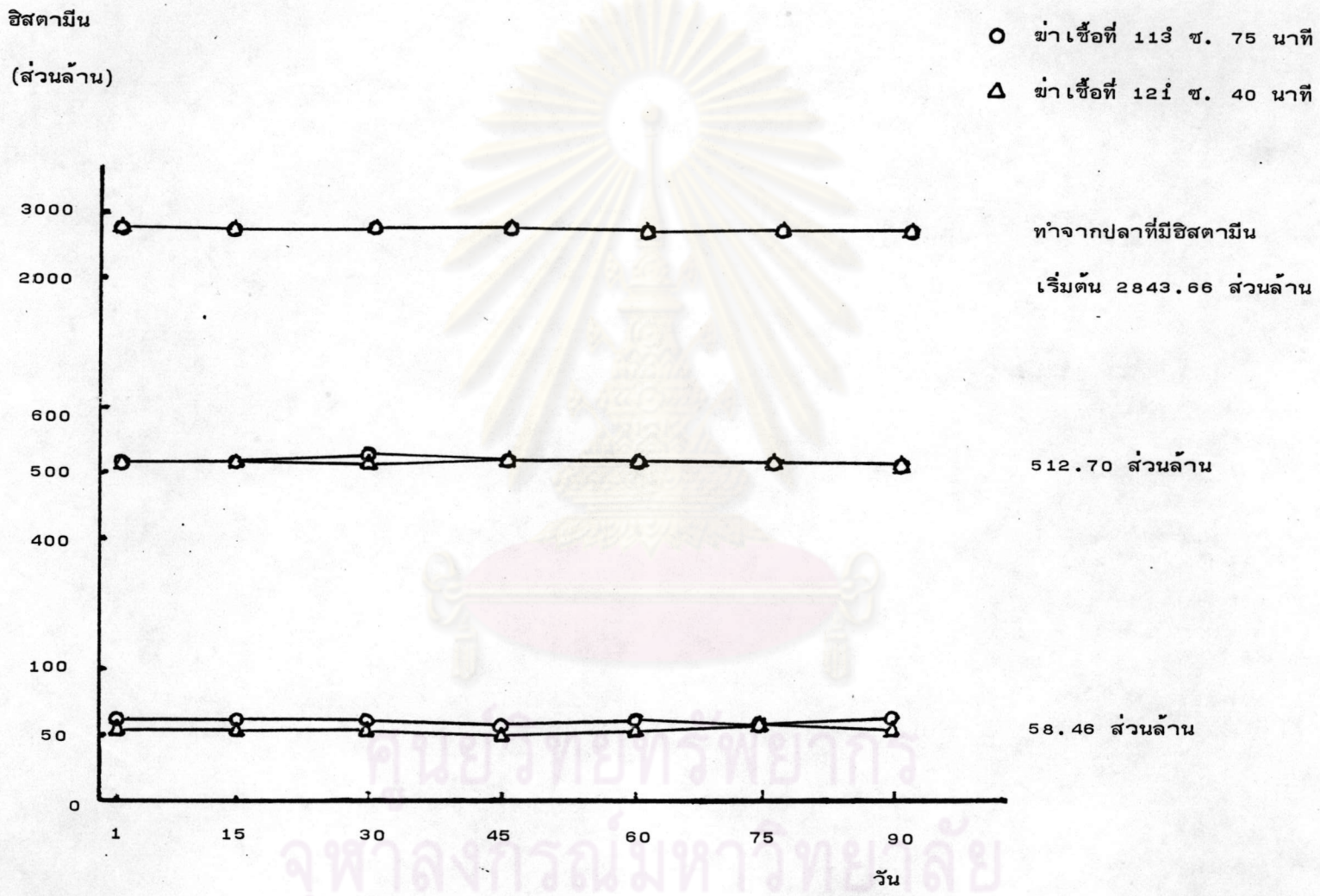
ปลาโอก่อนบรรจุกระป๋อง		ปลาโอที่ผ่านกระบวนการบรรจุกระป๋องและฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน (sterilization)			
		112°ซ. 75 นาที		121°ซ. 40 นาที	
ฮิสตามีน (ส่วนล้าน)	pH	ฮิสตามีน (ส่วนล้าน)	pH	ฮิสตามีน (ส่วนล้าน)	pH
1. 58.46	5.99	59.41	5.94	588.15	5.92
2. 512.70	6.11	511.25	5.98	512.37	5.96
3. 2843.66	6.76	2840.00	6.31	2841.99	6.35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาปลาโอกระป๋อง

จากการนำปลาโอดำที่มีปริมาณฮิสตามีน 3 ระดับ (50 ส่วนล้าน 500 ส่วน และ > 1,000 ส่วนล้าน) มาทำเป็นปลาโอบรรจุกระป๋องโดยใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ 2 ระดับ (112° ± 1 ซ. 75 นาที และ 121 ± 1 ซ. 40 นาที) มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน ปรากฏว่าตลอดเวลาของการเก็บรักษาไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฮิสตามีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ระดับความเชื่อมั่น 95%) (รูปที่ 20) แสดงว่าความร้อนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อทั้ง 2 ระดับ (จากการทดลองข้อ 3.2) สามารถทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการย่อยสลายตัวเอง และเอนไซม์ *histidine decarboxylase* รวมทั้งบักเตรีที่มีเอนไซม์ *histidine decarboxylase* ด้วย ทำให้ปริมาณฮิสตามีนที่มีในปลาโอดำก่อนผ่านกระบวนการบรรจุกระป๋องไม่เพิ่มขึ้น ดังนั้น ปริมาณฮิสตามีนสามารถเป็นตัวชี้คุณภาพของปลาโอกระป๋องได้ เพราะหลังจากปลาโอผ่านกระบวนการบรรจุกระป๋องแล้ว และเก็บรักษาไว้ ปริมาณฮิสตามีนไม่เพิ่มขึ้น (11,52,53,54)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 20 ปริมาณฮิสตามีนในปลาโอกระป๋อง ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน 2 ระดับ ในระหว่างการเก็บรักษา