บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของน้ำปลาที่หมักเอง พบว่า น้ำปลาที่หมักเองมีรสเค็ม มีสีน้ำตาลอมแดง มีกลิ่นหอมของน้ำปลา มีความถ่วงจำเพาะ 1.2260 มีความเป็นกรด-ด่าง เป็น 5.35 มีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ 266 กรัมต่อลิตร มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 9.18 กรัมต่อลิตร มีปริมาณกรดอะซิติคเป็น 10.38 กรัมต่อลิตร และมีกรดอะมิโน 17 ชนิด ในปริมาณทั้งหมด 4924.59 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำปลา ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของน้ำปลาที่หมักเองนี้จะเป็นไปตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข และมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม

เมื่อศึกษาทดลอง เลือกชนิดและปริมาณของสารประกอบเหล็กที่เสริมในน้ำปลา พบว่าไม่มีปัญหาการตกตะกอนเกิดขึ้นในน้ำปลาที่หมักเอง เมื่อใช้สารประกอบเหล็ก (II) ซัลเฟต และเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ที่ระดับ 0.1 มิลลิกรัมของเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา ซึ่งจะเห็นว่าในแง่การยอมรับของผู้บริโภคเรื่องสีของน้ำปลา พบว่าน้ำปลาที่หมักเอง เมื่อเสริมเหล็กในรูปเหล็ก (II) ซัลเฟตที่ระดับ 0.1 มิลลิกรัมของเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา มีสีน้ำตาลปนแดงมาก โดยสีจะเปลี่ยนไปจากสีน้ำปลาเดิมมาก รวมทั้งรสของน้ำปลาจะแตกต่างจากเดิมจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในการใช้เป็นน้ำจิ้ม หรือปรุงอาหาร ตามการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้น สารประกอบเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ จึงเหมาะที่จะใช้เสริมในน้ำปลา เพราะเมื่อเสริมในน้ำปลาที่หมักเองที่ระดับ 0.1 มิลลิกรัมเหล็ก ต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา ไม่มีตะกอนเกิดขึ้น รวมทั้งกลิ่น สี และรส เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

เมื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของเหล็กที่ผสมในน้ำปลาที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 5 พบว่า เหล็กที่เสริมในรูปของเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ที่ระดับ 0.1 มิลลิกรัมของเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา ที่ช่วงเวลา 0 1 2 ถึง 6 เดือน มีเสถียรภาพดี แม้ว่าเวลาจะผ่านไปถึง 6 เดือน โดยเดือนที่ 6 เหล็กที่วิเคราะห์หาได้มี 0.076 มิลลิกรัมของเหล็ก ต่อ

มิลลิลิตรของน้ำปลา เทียบกับระยะแรก (เดือนที่ 0) มีเหล็กอยู่ 0.08 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา เมื่อหาที่ช่วงเวลาต่าง ๆ พบว่าเหล็กที่หาได้อยู่ในช่วง 0.075 ถึง 0.095 มิลลิกรัมเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา การที่ปริมาณเหล็กที่หาได้มีค่าสูงสุดไม่ถึง 0.1 มิลลิกรัมเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าเหล็กที่ใส่เข้าไปในน้ำปลาบางส่วนอาจเข้าทำปฏิกิริยากับอิออนบางตัวที่มีในน้ำปลา ซึ่งเปรียบเสมือนกับว่าเป็น iron demand ของน้ำปลานั้นเอง

เพื่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำปลาที่หมักเอง เสริมเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอเป็นไปอย่างแม่นยำและถูกต้องที่ช่วงเวลาต่าง ๆ จึงเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีกับสารละลายมาตรฐานคาราเมล ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงสีตามเวลา ดังรูปที่ 6 พบว่าเมื่อเวลามากขึ้น สีของน้ำปลาจะเข้มข้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาบราวนิงค์ (browning reaction) ระหว่างสารประกอบพวกอะมีน หรืออะมิโน กับสารประกอบคาร์บอนิลที่มีในน้ำปลา ทำให้สีน้ำปลาเข้มขึ้น ซึ่งมองดูด้วยตาเปล่า ไม่สามารถบอกได้ว่าสีเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยแค่ไหน และสีจะเข้มมาก จนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคเมื่อเวลาผ่านไปนาน 3 เดือน

การดูดซึมเหล็กจากเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ที่ผสมในน้ำปลาที่หมักเองเมื่อทดลองในหนู พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือมีการดูดซึมเหล็กคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.28 เทียบกับในกลุ่มหนูที่ได้รับเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ ผสมในน้ำเปล่า มีการดูดซึมเหล็กคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 1.25 หรือเทียบอัตราส่วนการดูดซึม เหล็กจากเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ในหนู 2 กลุ่มนี้ เป็น 2.62

เนื่องจากหนูและคนมีความสามารถในการดูดซึมเหล็กที่แตกต่างกัน เพราะในโครงร่างทางสรีรวิทยาที่ต่างกัน เช่น น้ำหนักตัวที่ต่างกัน โดยหนูมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 120–150 กรัม ในขณะที่คนมีน้ำหนักโดยเฉลี่ยเป็น 50 กิโลกรัม อีกทั้งส่วนของลำไส้เล็กที่เป็นส่วนซึ่งมีการดูดซึมเหล็กแตกต่างกัน โดยมีความกว้าง ยาวของลำไส้เล็กต่างกัน ดังนั้น

$$\frac{\text{การดูดซึมเหล็กในหนูคิดเป็นร้อยละ}}{\text{การดูดซึมเหล็กในคนคิดเป็นร้อยละ}} = \frac{\text{น้ำหนักหนู/พื้นที่ลำไส้เล็กของหนู}}{\text{น้ำหนักคน/พื้นที่ลำไส้เล็กของคน}}$$

ถ้าการดูดซึมเหล็กในหนูคิดเป็นร้อยละ = 3.28

น้ำหนักหนู (โดยเฉลี่ย) = $\frac{120 + 150}{2} = 135$ กรัม

น้ำหนักคน (โดยเฉลี่ย) = 50,000 กรัม

พื้นที่ลำไส้เล็กของหนู (โดยเฉลี่ย) = (0.75) (35) = 26.25 ตร.ซม.

พื้นที่ลำไส้เล็กของคน (โดยเฉลี่ย) = (900) (1.5 × 2.5) = 3375 ตร.ซม.

แทนค่า $\frac{3.28}{\text{การดูดซึมเหล็กในคนคิดเป็นร้อยละ}} = \frac{135 \;/\; 26.25}{50,000 \;/\; 3375}$

$$\text{การดูดซึมเหล็กในคนคิดเป็นร้อยละ} = \frac{50,000 \times 3.28 \times 26.25}{3375 \times 135}$$

$$= 9.44$$

จากการศึกษาการดูดซึมจากข้าวผสมนมและน้ำตาลของเด็กที่ขาดเหล็ก (70) ได้การดูดซึมเหล็กจากเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 8.6 ส่วนการดูดซึมเหล็กจากเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ที่มีฉลากเสริมในอาหารต่าง ๆ คือ ข้าวผัด ก๋วยเตี๋ยว และข้าวต้ม (7) ซึ่งมีน้ำปลาผสมเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ ผสมอยู่ พบว่า การดูดซึมเหล็กคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 8 ซึ่งผลของการคำนวณการดูดซึมเหล็กจากเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอในน้ำปลาของคนได้ผลใกล้เคียงกัน

เมื่อแบ่งช่วงตัวอย่างของน้ำปลาทั้ง 79 ตรา ตามระดับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า น้ำปลาชนิดตกตะกอนเมื่อเสริมเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ 26 ตรา จะมี 4 ตรา (คิดเป็นร้อยละ 15.4 ของน้ำปลาที่ตกตะกอน) ที่มีจำนวนไนโตรเจนทั้งหมดไม่มากกว่า 2.99 กรัมต่อลิตร ส่วนน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน เมื่อเสริมเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ 63 ตรา จะมี 17 ตรา (คิดเป็นร้อยละ 32.1 ของน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน) ที่มีจำนวนไนโตรเจนทั้งหมดไม่มากกว่า 2.99 กรัมต่อลิตร สำหรับช่วงระดับของไนโตรเจนทั้งหมด อื่น ๆ จะเป็นดังตารางที่ 12

เมื่อแบ่งช่วงตัวอย่างของน้ำปลาทั้ง 79 ตรา ตามระดับของปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่าน้ำปลาชนิดตกตะกอนเมื่อเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ จะมี 14 ตรา ใน 26 ตรา คิดเป็นร้อยละ 53.8 ของน้ำปลาที่ตกตะกอน ที่มีจำนวนเกลือโซเดียมคลอไรด์ อยู่ในช่วงระดับ 250–299 กรัมต่อลิตร ในขณะที่น้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน เมื่อเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ จะมี 23 ตรา ใน 63 ตรา (คิดเป็นร้อยละ 43.4 ของน้ำปลาที่ตกตะกอน) ที่มีจำนวนเกลือโซเดียมคลอไรด์ในช่วงระดับนี้ ส่วนช่วงระดับของเกลือโซเดียมคลอไรด์อื่น ๆ จะเป็นดังตารางที่ 13

ในแง่คุณสมบัติความถ่วงจำเพาะของน้ำปลาหลายตัวอย่าง พบว่าส่วนใหญ่น้ำปลาทั้งชนิดตกตะกอนและไม่ตกตะกอน เมื่อเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ จะอยู่ในช่วงระดับความถ่วงจำเพาะ 1.210 – 1.229 โดยน้ำปลาชนิดตกตะกอน จะมีถึงร้อยละ 80.8 ของน้ำปลาชนิดตกตะกอน และน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน จะมีร้อยละ 37.8 ของน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน ดังตารางที่ 14

ในช่วงระดับความเป็นกรด–ด่าง ของน้ำปลาทั้ง 79 ตรา พบว่าได้ผลดังตารางที่ 15 โดยทั้งน้ำปลาชนิดตกตะกอนและไม่ตกตะกอนเมื่อเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ส่วนใหญ่จะมีช่วงระดับความเป็นกรด–ด่าง อยู่ในช่วง 5.00 – 5.49 โดยน้ำปลาชนิดตกตะกอน จะมีช่วงความเป็นกรด–ด่าง ในช่วงนี้อยู่ร้อยละ 69.2 ของน้ำปลาชนิดตกตะกอน และน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน จะมีอยู่ร้อยละ 54.7 ของน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน

เมื่อวิเคราะห์หากรดอะมิโนที่มีในน้ำปลาทั้ง 79 ตรา พบว่าน้ำปลาชนิดตกตะกอนเมื่อเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ มีถึง 14 ตรา (คิดเป็นร้อยละ 53.8 ของน้ำปลาชนิดตกตะกอน) มีกรดอะมิโนอยู่ในช่วง 3.0–6.9 เช่นเดียวกับน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอนเมื่อเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ จะมีถึง 32 ตรา (คิดเป็นร้อยละ 60.4 ของน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน) มีกรดอะมิโนอยู่ในช่วงนี้ ดังตารางที่ 16

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในน้ำปลาบางตัวอย่าง ซึ่งเป็นชนิดที่ตกตะกอน และไม่ตกตะกอน หลังจากเสริมเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ ในระดับ 0.1 มิลลิกรัมเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา พบว่าน้ำปลาทั้งตกตะกอน และไม่ตกตะกอน เมื่อเสริมเหล็กมีจำนวนกรดอะมิโนทั้งหมด 17 ชนิด แต่น้ำปลาที่ตกตะกอนเมื่อเสริมเหล็กหมายเลข 48 มีจำนวนกรดอะมิโนสูงกว่า คือมีกรดอะมิโนทั้งหมดเป็น 3454.945 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ในขณะที่น้ำปลาที่ไม่ตกตะกอนเมื่อเสริมเหล็ก หมายเลข 83 มีจำนวนกรดอะมิโนทั้งหมดเป็น 1939.465 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 17

จากการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของน้ำปลาทั้ง 79 ตรา พบว่า การตกตะกอนของน้ำปลา ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีนั้น ๆ เลย นอกจากปริมาณของกรดอะมิโนที่มีในน้ำปลาชนิดตกตะกอนมีสูงกว่าน้ำปลาชนิดไม่ตกตะกอน จึงพยายามหาสาเหตุหรือกลไกของการตกตะกอนว่าเกิดจากอะไร เป็นผลเนื่องมาจากกรดอะมิโนในน้ำปลา ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่มีในน้ำปลาหรือไม่ โดยพยายามศึกษาธรรมชาติของตะกอนว่าคืออะไร เพื่อหาวิธีที่จะป้องกันและกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้น

ในการศึกษาการตกตะกอนในน้ำปลาภายหลังการเสริมเหล็ก โดยการแปรปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และเกลือโซเดียมคลอไรด์ในน้ำปลา พบว่า เมื่อแปรปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจาก 4 ถึง 26 กรัมต่อลิตรของน้ำปลาเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ที่ 0.1 มิลลิกรัมของเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา พบว่า ตกตะกอนสีขาวหมดทุกความเข้มข้น เช่นเดียวกันกับการแปรปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ จาก 24 ถึง 27% ในน้ำปลาที่เสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ที่ระดับ 0.1 มิลลิกรัมของเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา พบว่าตกตะกอนหมดทุกความเข้มข้นของน้ำเกลือที่แปร ดังนั้น กลไกการตกตะกอนย่อมเกิดอย่างซับซ้อน และเกิดร่วมกันระหว่างหลายปัจจัย อาจมีปริมาณไนโตรเจนหรือเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นส่วนช่วยในการเกิดตะกอนบ้าง จึงลองศึกษาถึงตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังการเสริมเหล็ก พบว่า ถ้าเสริมเหล็กในระดับที่สูงขึ้น คือ 0.1 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา พบว่าตะกอนจะเกิดมากขึ้นตามลำดับจาก 105.5 208.5 และ 325.5 กรัม ดังตารางที่ 18

ดังนั้น จึงทำให้คิดว่า อาจจะเป็นระดับของเหล็กที่เสริมมากขึ้น ตกตะกอนลงมาที่ก้นขวดก็ได้

แต่เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กที่มีในตะกอนพบว่ามีอยู่น้อยมาก คือ มีเหล็กอยู่เพียง 0.0119 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจเรียกได้ว่าไม่มีเหล็กในตะกอนที่ตก และผลการวิเคราะห์หากรดอะมิโนในตะกอนของน้ำปลาเสริมเหล็ก 2 ตัวอย่าง คือ ตะกอนจากน้ำปลาหมายเลข 48 และ 30 พบว่ามีจำนวนกรดอะมิโนอยู่ทั้งหมด 17 ชนิด โดยปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดเป็น 6.64 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ในตะกอนจากน้ำปลาหมายเลข 48 และ 9.682 มิลลิกรัม ต่อ 100 มิลลิลิตร ในตะกอน จากน้ำปลาหมายเลข 30 ซึ่งมีปริมาณกรดอะมิโนน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณกรดอะมิโนที่มีในน้ำปลา

เมื่อไตเตรท หาปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ในตะกอนพบว่ามีอยู่ถึงร้อยละ 93.71 ดังนั้น ตะกอนที่ตกลงมาในน้ำปลาเสริมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ที่ระดับ 0.1 มิลลิกรัมของเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลาจะเป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์

เมื่อตะกอนเกิดขึ้นแล้ว อาจจะละลายตะกอนได้ด้วยกรดอะซิติคเข้มข้น 17 โมลต่อลิตร ถึง 3 มิลลิลิตร ในน้ำปลา 750 มิลลิลิตร แต่จะทำให้ความเป็นกรด–ด่าง ลดต่ำลงมาจากมาตรฐานคือต่ำกว่า 5.00 ซึ่งย่อมไม่ได้ผลในทางปฏิบัติ จึงควรป้องกันไม่ให้ตะกอนเกิดขึ้น โดยใช้กรดอะซิติคเข้มข้น 17 โมลต่อลิตร เพียง 0.75 มิลลิลิตร ผสมในสารประกอบของเหล็กโซเดียมอีดีทีเอ ในน้ำที่จะให้ระดับเหล็กเป็น 0.1 มิลลิกรัมของเหล็กต่อมิลลิลิตร (หรือตั้งแต่ 0.1–1.5 มิลลิกรัมเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา) ของน้ำปลา จะไม่มีตะกอนเกิดขึ้น ความเป็นกรด–ด่าง ไม่เปลี่ยนแปลงมาก และยังทำให้กลิ่น รส และสีของน้ำปลาดีขึ้นด้วย แต่ถ้าหากระดับการเสริมเหล็กเพิ่มขึ้นเป็น 2 มิลลิกรัมเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลา ต้องใช้กรดอะซิติคเข้มข้น 17 โมลต่อลิตร ถึง 6 มิลลิลิตร ทำให้ความเป็นกรด–ด่าง ต่ำเกินมาตรฐาน ไม่เหมาะในทางปฏิบัติ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดตะกอน

เนื่องจากตะกอนเกิดขึ้นนั้นเป็นโซเดียมคลอไรด์ และอาจถือได้ว่าไม่มีเหล็กและกรดอะมิโน การตกตะกอนจึงน่าจะอนุมานได้ว่า น้ำปลาชนิดที่เกิดตะกอน เวลาผสมเหล็กนั้นมีปัจจัยใหญ่ คือ มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในน้ำปลา นั้นอยู่ในระดับที่เกินจุดอิ่มตัวของโซเดียมคลอไรด์ในน้ำปลา (saturation point) โดยจุดอิ่มตัวของโซเดียมคลอไรด์ในน้ำคิดเป็นร้อยละ 35.7 ในน้ำปลาคิดเป็นร้อยละ 27.5 ปัจจัยนี้สนับสนุนโดย ผลของจำนวนของโซเดียมคลอไรด์ที่มีในน้ำปลาชนิดตกตะกอนมีมากกว่าในน้ำปลาที่ไม่ตกตะกอนนั้นประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่งก็ต้องโยงไปถึงขบวนการในการทำน้ำปลา ที่อาจมีสารเจือปนของเกลือ และปลาในการหมัก สารเจือปนของเกลือ ได้แก่ สารดูดความชื้น เช่น คัลเซียม และมักนีเซียมซัลเฟต หรือคลอไรด์ สารเจือปนของปลาได้แก่สารอินทรีย์ ในรูปต่าง ๆ ในประการของเกลือนั้น สารเจือปนที่ดูดความชื้น ย่อมดึงเอาส่วนที่เป็นน้ำของทั้งตัวปลา และสารละลายของน้ำปลามาละลายตัวมัน จึงทำให้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในน้ำปลาเพิ่มขึ้น และช่วยให้มี salting out มากและเร็วขึ้น เมื่อได้เติมเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ซึ่งเป็นสารประกอบเหล็กเชิงซ้อน (iron complex) เข้าไป ตะกอนนี้เมื่อเกิดขึ้นแล้วอาจละลายน้ำได้ใน 3 มิลลิลิตรของกรดอะซิติค ซึ่งทำให้เปลี่ยนค่าความเป็นกรด–ด่าง ของน้ำปลาให้ต่ำกว่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขและกระทรวงอุตสาหกรรม ฉะนั้น การแก้ไขจึงไม่เหมาะสมเพราะน้ำปลาจะเป็นกรดมากเกินไป

การป้องกันการเกิดตะกอน

เนื่องจากการเติมเหล็กลงในน้ำปลาซึ่งใส แต่ทำให้เกิดตะกอนย่อมไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพื่อความประสงค์ในการเสริมเหล็กแก่ประชากร จึงจำเป็นที่จะต้องแน่ใจว่าเมื่อเติมเหล็กแล้วน้ำปลาจะไม่ตกตะกอน การศึกษาทดลองนี้ได้แสดงว่า อาจใช้ 0.75 มิลลิลิตรของกรดอะซิติคเข้มข้น ต่อ 750 มิลลิลิตรของน้ำปลาได้ ซึ่งถ้าทำเช่นนี้แล้วถึงแม้จะเก็บน้ำปลาไว้เป็นเวลานาน 3 เดือน ก็ยังไม่มีตะกอนเกิดขึ้น

นอกจากนั้น ในแง่การเสริมเหล็กนั้น คุณภาพทางสุนทรียภาพไม่เป็นสิ่งที่บังคับกะเกณฑ์ เราได้อาศัยน้ำเกลือผสมหัวน้ำปลาเล็กน้อย และสารประกอบเหล็กชนิด และจำนวนของระดับเป็นสิ่งที่สำคัญกว่าที่ต้องระวังมิให้สีเข้ม ไม่ให้ตกตะกอน และมีเสถียรภาพพอสมควร ราคาพอซื้อหารับประทานได้ และให้เหล็กสามารถถูกดูดซึมไปใช้ในร่างกายได้ตามความมุ่งหมาย ฉะนั้น การเติมกรดอะซิติคเพียงเล็กน้อย นอกจากจะกันการตกตะกอน ยังทำให้กลิ่นและรสของน้ำปลาดีขึ้นอีกด้วย

ชนิดและจำนวนระดับในสารประกอบเหล็ก

สารประกอบเหล็กที่ดี และได้รับการพิสูจน์ยืนยันจากผลการทดลองว่ามี availability สูง คือเหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ (NaFeEDTA) เพราะเหล็กเวอร์ซิเนท (iron versenate, NaFeEDTA) นั้น ใช้ได้ผลในการรักษาโรคซีดจากการขาดเหล็ก (iron defiency anaemia) ในผู้ใหญ่ (58) และในเด็ก (59) ส่วนของอณูของ EDTA นั้น จะถูกดูดซึมเข้าไปได้น้อยมาก (60) และได้เคยใช้ในการเสริมเหล็กในน้ำปลาใน pilot trail ในประเทศไทย (7) งานของ Viteri (70) ซึ่งยืนยันโดย Layrisse และ Martinez-Torres et al (77) ผลของการทดลองการดูดซึมเหล็กของโครงการเกลือคุณภาพ น้ำปลาคุณภาพ น้ำดื่มสะอาด ศิริราช 21 ได้ยืนยันว่ามีการดูดซึมเหล็กจากอาหารไทย ที่ใช้เหล็ก (III) โซเดียมอีดีทีเอ ผสมลงในน้ำปลาเมื่อเทียบกับเหล็ก (II) ซัลเฟต และเหล็ก (III) แอมโมเนียมซิเตรท เหล็ก (II) ซัลเฟตนั้นไม่อยู่ตัว และถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และมีการดูดซึมน้อยกว่า เช่นเดียวกับเหล็ก (III) แอมโมเนียมซิเตรท นอกจากจะดูดซึมได้น้อยกว่าแล้ว ก็ยังมีสีดำเข้ม และทำให้น้ำปลามีสีดำเข้มอีก ไม่น่ารับประทาน ถึงแม้จะเป็น cheating agent แต่ก็มีใช้ในการเป็นตัวป้องกันการเกิดออกซิเดชันในกุ้ง และเห็ดกระป๋อง ในปริมาณสูงสุด 250 ส่วนในล้านส่วน (83) ซึ่งนับว่ามากกว่า EDTA ส่วนที่เป็นโมเลกุลของ NaFeEDTA เสียอีก

ได้มีสมมุติฐานที่สนับสนุนว่า NaFeEDTA มีคุณสมบัติเหมาะในการใช้เสริมในอาหาร คือ

- NaFeEDTA ละลายน้ำได้ในระดับความเป็นกรด-ด่าง ที่ duonenum และ jejunum ส่วนต้น คือมีช่วงความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 3.0–6.5 ทำให้มีการดูดซึมเหล็กเอาไปใช้ในร่างกายได้ดี

- NaFeEDTA ขัดขวางการเกิด polymer ของเหล็กในสภาพความเป็นกรด-ด่างของกระเพาะอาหาร และลำไส้ โดยเหล็กอาจเกิด hydrolytic polymerization และ complex formation กับสารประกอบอื่นที่อยู่ในอาหาร เพราะฉะนั้น NaFeEDTA จึงทำหน้าที่กอดเหล็ก (chelate) ให้กับเยื่อบุของกระเพาะอาหาร, ลำไส้ (70, 77) ซึ่งทำให้ดูดซึมเหล็กได้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนี้ NaFeEDTA ยังมีราคาถูก เมื่อเทียบกับสารประกอบเหล็กชนิดอื่น ๆ และมีเสถียรภาพดี ใช้ง่ายในการเสริมลงในน้ำปลา เพราะละลายน้ำได้สารละลายสีคล้ายน้ำปลา ความสามารถในการละลายของ NaFeEDTA ในน้ำสูงกว่าในน้ำปลา คือในน้ำเป็นร้อยละ 10.49 และในน้ำปลาเป็นร้อยละ 1.20 ที่อุณหภูมิห้อง 29°ซ

จากการศึกษาจะพบว่าน้ำปลาผสมบางตัวอย่าง เมื่อเสริมเหล็ก (III)โซเดียมอีดีทีเอ มีตะกอนของเกลือโซเดียมคลอไรด์เกิดขึ้น ซึ่งไม่ได้หมายความว่าจะเป็นน้ำปลาที่ไม่มีคุณภาพ เพราะถึงอย่างไรโดยธรรมชาติเกลือโซเดียมคลอไรด์ในน้ำปลาบางชนิด จะตกตะกอนบางส่วนเช่นกัน แต่ผู้บริโภคย่อมไม่พอใจน้ำปลาที่มีตะกอน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จัดเป็นการศึกษาเบื้องต้น (preliminary study) ในการควบคุมคุณภาพ เพื่อไม่ให้เสี่ยงต่อการผลิตใน scale ใหญ่ ซึ่งในการทำมาตรฐานของน้ำปลาให้ได้คุณภาพดีในระดับห้องปฏิบัติการ ย่อมแตกต่างไปจากในระดับอุตสาหกรรม โดยคุณภาพที่ศึกษาในห้องปฏิบัติการย่อมได้ผลดีกว่าในโรงงาน ดังนั้น จึงควรนำน้ำปลาที่ได้มาตรฐานของโรงงานผลิตน้ำปลาต่าง ๆ มาศึกษาโดยตรงที่ช่วงเวลานั้น ๆ เพื่อเสริมงานให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ถึงอย่างไรก็ตามการเสริมเหล็กอาจกระทำได้ในอาหารอื่น ๆ นอกจากน้ำปลาโดยอาหารนั้น สามารถเสริมเหล็กได้ง่าย ไม่ทำให้ผู้บริโภคเกิดความรู้สึกที่ไม่ยอมรับในกลิ่น รส และสี หรือคุณสมบัติของอาหารนั้น ๆ ผิดไป จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและวิจัยค้นคว้าต่อไป เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการป้องกันการขาดแคลนธาตุเหล็กของประชากรชาวไทยให้ได้ดียิ่ง ๆ ขึ้นในอนาคต

สรุป

ในการทำงาน เพื่อป้องกันโรคซีดจากการขาดเหล็ก ด้วยการเสริมเหล็กนั้น ต้องใช้สารประกอบเหล็กผสมลงในสิ่งจำเป็นที่ชาวบ้านต้องรับประทานทุกวัน คือ น้ำปลา ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผสมเหล็กลงในน้ำปลานั้น มีหลายปัญหา ซึ่งทำให้ชาวบ้านผู้บริโภคไม่ยอมใช้น้ำปลาผสมเหล็ก จึงจำเป็นต้องแก้ไข ดัดแปลง โดยเฉพาะ คือการมีตะกอนในน้ำปลาผสมเหล็ก และปัญหาอื่น เช่น การที่มีสี กลิ่น และรสผิดไป เป็นต้น การศึกษานี้ จึงได้มุ่งโดยเริ่มศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำปลา โดยใช้น้ำปลาที่หมักเอง ก่อนและหลังผสมสารประกอบเหล็ก ได้ทราบความแตกต่างที่มีความสำคัญคือ ได้ผลว่าสารประกอบเหล็กที่เหมาะสมได้แก่ NaFeEDTA ที่ได้จากการทดลองการดูดซึมเหล็ก และเมื่อใช้สารประกอบนี้ในระดับที่เหมาะสม คือ 0.1 มิลลิกรัมเหล็กต่อมิลลิลิตรของน้ำปลาแล้ว ย่อมได้น้ำปลาผสมเหล็กที่ผู้บริโภคยอมรับ คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรส มีความคงทนของธาตุเหล็ก และสามารถให้เหล็กที่ถูกดูดซึมเอาไปใช้ในร่างกายได้ตามความต้องการมีสี มีความใสที่ไม่เข้มจนเกินไป และไม่มีตะกอน รวมทั้งไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีอื่น ๆ เช่น ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โปรตีน หรือกรดอะมิโน กรดไขมัน และเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นต้น

ต่อจากนั้น ได้สุ่มตัวอย่างน้ำปลา 75 ตัวอย่าง เพื่อทดลองการผสมเหล็กลงในน้ำปลา จำนวนหลาย ๆ ตัวอย่าง เพื่อดูว่าจะมีปัญหาเช่นไร คือ 33% ของตัวอย่างที่ทดลองเกิดตะกอนขึ้น จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างน้ำปลาชนิดที่ตกตะกอน และน้ำปลาชนิดที่ไม่ตกตะกอน ว่ามีสาเหตุเช่นไร ทำไมจึงตกตะกอน และตกตะกอนได้อย่างไร จะแก้ไข และป้องกันได้อย่างไร

การศึกษาทดลองนี้ พบว่ามีความแตกต่างระหว่างตกตะกอน และไม่ตกตะกอน ที่สำคัญคือ ปริมาณความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในชนิดตกตะกอนมีมากจนเลยขีดอิ่มตัว ทำให้มีตะกอน ซึ่งวิเคราะห์ ได้ว่าเป็นผลึกของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ไม่มีเหล็ก ไม่มีกรดอะมิโนในปริมาณที่วัดได้ อาจจะสลายตะกอนในน้ำปลาได้ด้วยการเติม 3 มิลลิลิตร ของกรด

อะซิติคเข้มข้น และป้องกันการเกิดตะกอนในน้ำปลา โดยเติม 0.75 มิลลิลิตรของกรดอะซิติค เข้มข้นลงในขวดน้ำปลา 750 มิลลิลิตร และยังทำให้กลิ่นและรสน้ำปลาดีขึ้นด้วย

เหตุการเกิดตะกอนหรือเหตุช่วยนั้น อาจเนื่องจาก salting out เพราะความเข้มข้นของตัวทำละลาย และปัจจัยที่ทำให้ตกตะกอนมากเกินไป หรืออาจอธิบายได้ว่าความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ เริ่มต้นของน้ำปลาชนิดตกตะกอนนั้นสูงอยู่แล้ว และในเกลือเอง และตัวปลาอาจมีสารเจือปน เป็นสารที่ดูดน้ำ เมื่อเติมสารประกอบเหล็กเข้าไป จะเพิ่มความเข้มข้นของตัวทำละลายก็ย่อมทำให้เกินระดับความสามารถในการละลายจึงทำให้เกิดตะกอนหรือตกผลึกได้