บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1 ซีลีเนียมและคีเลตของกรดอะมิโน

ซีลีเนียมเป็นธาตุหลัก (main group elements) กลุ่ม A6 ในตารางธาตุ (table of the elements) มี atomic number เป็น 34 และมี atomic mass เป็น 78.96

ธาตุซีลีเนียม (Se) สามารถเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ เป็นต้นว่าเมื่อเกิดปฏิกิริยา reduction จะได้ Se (-2) เรียกว่า selenide แต่เมื่อเกิดปฏิกิริยา oxidation จะได้ซีลีเนียม 2 รูปแบบคือ Se (+4) เรียกว่า selenite และ Se (+6) เรียกว่า selenate

นอกจากนั้น ซีลีเนียมยังมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกับ ซัลเฟอร์ (sulfur) มาก ทำให้มีการแทนที่กันได้ในพันธะทางเคมีต่าง ๆ จึงเกิดเป็น selenomethionie และ selenocystine

1.1 ความหมายของคีเลต

Dwyer and Meller (1964) ได้ให้นิยามว่าคีเลตเป็นรูปแบบของสารชนิดหนึ่งที่เกิดจากการรวมตัวของสาร 2 ชนิดหรือมากกว่าที่มาจับตัวกันอย่างอิสระ โดยมีสารตัวหนึ่งเป็นไอออนของโลหะ จึงเรียกสารนี้ว่า สารประกอบโลหะเชิงซ้อน (metal complex)

โลหะที่เป็นศูนย์กลางของโครงสร้างมักจะมีประจุเป็นบวก ลบ หรือ เป็นกลางทำให้พบเสมอว่าสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะเกิดจากการจับตัวของสารที่มีประจุตรงกันข้าม

1.2 คีเลตของกรดอะมิโน

ถ้าเปรียบเทียบระหว่างแร่ธาตุในรูปของสารอนินทรีย์ (inorganic) กับแร่ธาตุในรูปคีเลตของกรดอะมิโนพบว่า แร่ธาตุโลหะจะแตกตัวเป็นไอออนในกระเพาะและเปลี่ยนเป็นสารละลายและไม่มีการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีใด ๆ เกิดขึ้น โลหะก็จะเข้าไปในช่องเซลล์และจับตัวกับโปรตีน การเคลื่อนที่นี้จะใช้วิธี passive diffusion หรือ active transport การดูดซึมส่วนใหญ่จะเกิดในลำไส้เล็กส่วนของ duodenum

ขณะที่คีเลตของกรดอะมิโนจะเป็นโมเลกุลที่เฉื่อย เนื่องจากการจับตัวของแร่ธาตุกับกรดอะมิโนจะทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี แร่ธาตุจึงไม่เปลี่ยนเป็นสารละลาย ทำให้การดูดซึมของคีเลตของกรดอะมิโนไม่ต้องรอวิตามินมาช่วยในการดูดซึมเหมือนกับกรณีของแร่ธาตุโลหะ ซึ่งเมื่อแร่ธาตุโลหะแยกตัวออกเป็นไอออนแล้ว จะมีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) สูงกว่าคีเลตของกรดอะมิโนจึงเป็นสาเหตุให้เคลื่อนย้ายเข้าสู่ mucosal membrane ได้ยาก นอกจากการดูดซึมได้ในปริมาณที่น้อยแล้วอัตราการดูดซึมของแร่ธาตุโลหะยังใช้เวลามากกว่าคีเลตของกรดอะมิโนอีกด้วย

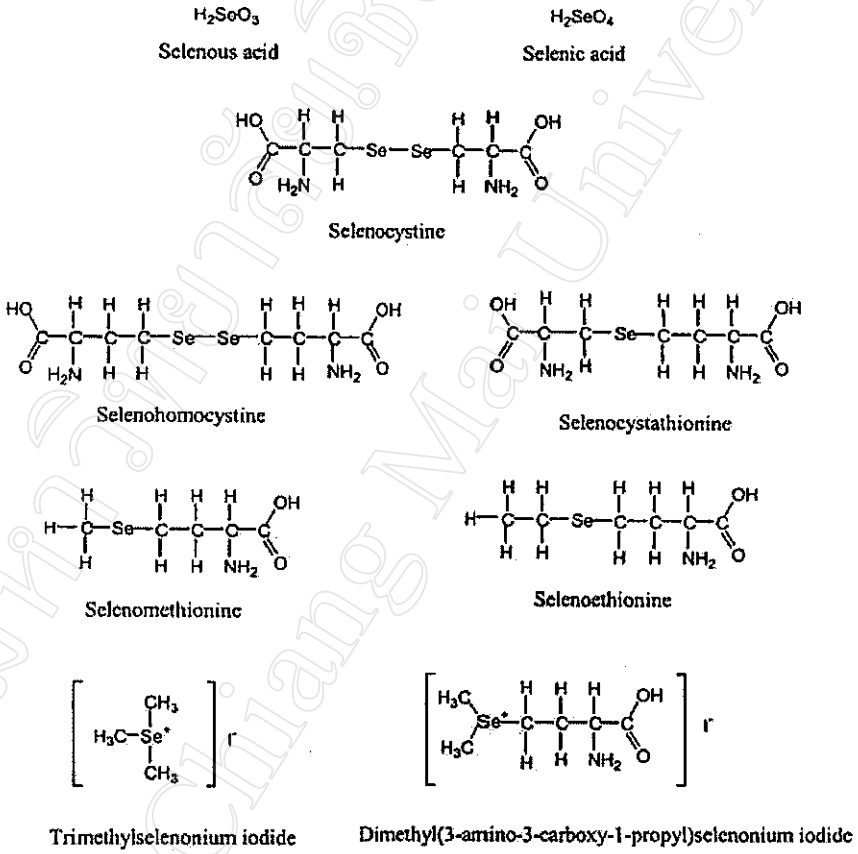


Figure 1 Selenium chelate structure. (Stadlober *et al.*, 2001)

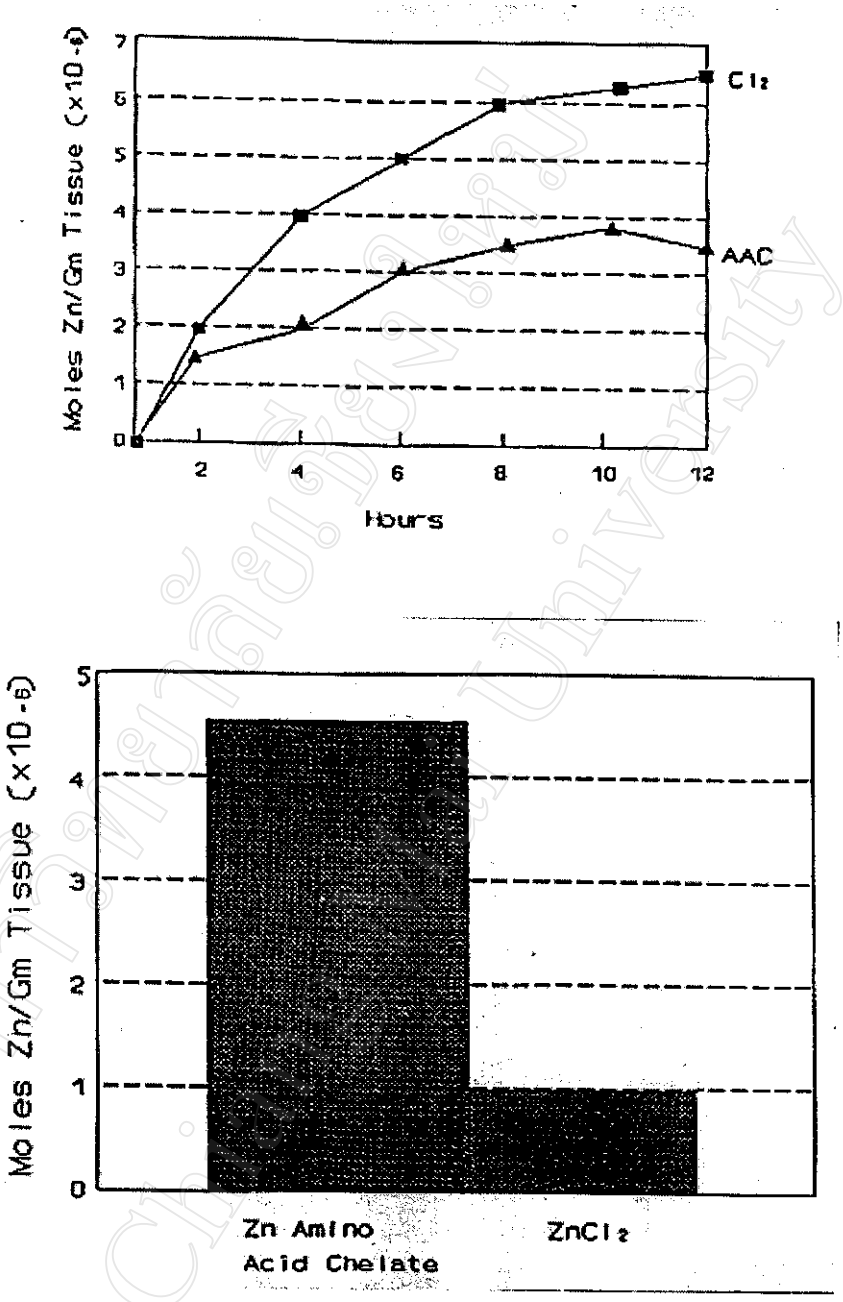


Figure 2 Comparative intestinal absorption of ^{65}Zn amino acid chelates and inorganic metal salts. (Ashmead, 1993)

2 แหล่งของซีลีเนียมในอาหารสัตว์

ตามธรรมชาติซีลีเนียมมักจะพบมากในรูปของหญ้าและวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั่วไป โดยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชิ้นส่วนของพืชที่นำมาเป็นอาหารสัตว์ ฤดูกาลที่เก็บเกี่ยว และระดับของซีลีเนียมในดินที่ปลูกพืชอาหารสัตว์นั้น

2.1 Forages

ในพื้นที่ที่พบโรคขาดธาตุซีลีเนียม ทุ่งหญ้าและพืชอาหารสัตว์มักจะมีซีลีเนียมอยู่ปริมาณน้อยตั้งแต่ 0.05 mg / kg (DM) จนถึง 0.02 mg / kg (DM) (Whelan *et al.*, 1994) ความเข้มข้นของซีลีเนียมจะลดลงเมื่อมีการเติมปุ๋ย superphosphate อย่างสม่ำเสมอ พืชตระกูลถั่วมักจะสะสมซีลีเนียมได้น้อยกว่าพืชตระกูลหญ้า แต่ความแตกต่างนี้เนื่องจากระดับของซีลีเนียมในดินที่ลดลง (Minson, 1990)

2.2 Cereals and Legume Seeds

เมล็ดธัญพืชและเมล็ดพืชจะมีปริมาณซีลีเนียมแตกต่างกันไปตามพื้นที่ที่ปลูก เช่น เมล็ดข้าวสาลี จะมีปริมาณซีลีเนียมมากกว่าเมล็ดข้าวบาร์เล่ย์และเมล็ดข้าวโอ๊ต ส่วน lupin - seed meal จะมีซีลีเนียมค่อนข้างต่ำคือ ประมาณ 0.02 mg / kg หรือน้อยกว่า (Miltimore *et al.*, 1975; Moir and Masters, 1979)

2.3 Animal sources

ซีลีเนียมมักจะพบในองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเนื้อสุกรและไก่ รวมทั้งพบในอาหารทะเล Scott and Thompson (1971) รายงานว่า วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่พบซีลีเนียมในปริมาณสูง คือ เนื้อปลา tuna โดยพบประมาณ 5.1 mg Se / kg DM ถึง 6.2 mg Se / kg DM (ตารางที่ 1) ดังนั้นโปรตีนจากเนื้อสัตว์รวมทั้งสัตว์ทะเลจะเป็นแหล่งของธาตุซีลีเนียมที่ดีสำหรับคนและสัตว์

ซีลีเนียมยังสามารถพบได้ในอาหารทะเลและเนื้อสัตว์ที่กินพืชหรือธัญพืชที่ปลูกในดินที่มีแร่ธาตุซีลีเนียมสูง นอกจากนี้ในถั่วบางชนิดที่คนใช้กินเป็นอาหาร เช่น Brazil nut และ wall nuts ยังมีซีลีเนียมในปริมาณสูงเช่นกัน (ตารางที่ 2)

Table 1 Selenium content of feedstuffs. (adapted from Scolt and Thompson, 1971)

Feedstuff	Source (if know)	Median Value (mg.Se/kg. DM)
Alfalfa meal	Plains states	0.38
Barley	Midwestern U.S.	0.3
Brewers dried grains	Midwestern U.S.	0.7
Cassava meal (tapioca meal)	-	0.1
Corn , yellow dent	Nebraska: S.Dakota	0.38
Corn , opaque – 2	Lafayette, Indiana	0.038
Corn flakes (cereal)	U.S.	0.026
Corn gluten meal,		
60 % protein	Midwestern U.S.	1.15
Fish		
Herring	Norway	2.45
Tuna	California	6.2
Tuna	Samoa	5.1
Limestone	Germany	0.17
Linseed meal	U.S.	1.0
Meat and Bone scraps,		
50 % protein	U.S.	0.29
Milk,		
Whole, fresh, homogenized	U.S.	0.012
Skimmed dried	Midwestern U.S.	0.15
Peanut meal	-	0.28
Phosphate, dicalcium	U.S.	0.2
Poultry by – product meal	Eastern U.S.	1.2
Rice	-	0.13
Shrimp meal	-	1.8
Soybean meal	Midwestern U.S.	0.1
Soybean meal	Nebraska	0.54
Wheat		
Bran	North Central U.S.	0.63
Flour	North Central U.S.	0.88
Yeast, dried brewers	Midwestern U.S.	1.1
Yeast, Torula	Midwestern U.S.	0.04

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

Table 2 The selenium content of foods. (National Institutes of Health, 2001)

Food	Micrograms	% DV*
Brazil nuts, dried, unblanched, 1 oz	840	1200
Tuna, canned in oil, drained, 3 1/2 oz	78	111
Beef / calf liver, 3 oz	48	69
Cod, cooked, dry heat, 3 oz	40	57
Noodles, enriched, boiled, 1 c	35	50
Macaroni and cheese (box mix), 1 c	32	46
Turkey, breast, oven roasted, 3 1/2 oz	31	44
Macaroni,elbow, enriched, boiled, 1 c	30	43
Spaghetti w/ meat sauce, 1 c	25	36
Chicken, meat only, 1/2 breast	24	34
Beef chuck roast, lean only, oven roasted, 3 oz	23	33
Bread, enriched, whole wheat, 2 slices	20	29
Oatmeal, 1 c cooked	16	23
Egg, raw, whole, 1 large	15	21
Bread, enriched, white, 2 slices	14	20
Rice, enriched, long grain,cooked, 1 c	14	20
Cottage cheese, lowfat 2%, 1/2 c	11	16
Walnuts, black, dried, 1 oz	5	7
Cheddar cheese, 1 oz	4	6

*DV = Daily Value. DVs are reference numbers based on the Recommended Dietary Allowance (RDA). They were developed to help consumers determine if a food contains very much of a specific nutrient. The DV for selenium is 70 micrograms (mcg). The percent DV (%DV) listed on the nutrition facts panel of food labels tells adults what percentage of the DV is provided by one serving. Even foods that provide lower percentages of the DV will contribute to a healthful diet.

3 การเคลื่อนย้ายและกระบวนการเมตาโบลิซึม

3.1 Transportation and Distribution

การดูดซึมซีลีเนียมส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ duodenum, caecum และ colon โดยจะดูดซึมในรูปของ selenoamino acid, selenite และ selenate โดยทั่วไปแล้วซีลีเนียมที่ให้ในรูปของซีลีเนียมอินทรีย์ เช่น selenomethionine จะดูดซึมได้มีประสิทธิภาพมากกว่าซีลีเนียมอนินทรีย์ เช่น selenite ซึ่งพบว่า selenomethionine สามารถดูดซึมได้ถึง 90 % ขณะที่ selenite ถูกดูดซึมเพียง 60 % ในลำไส้ (Stewart *et al.*, 1987) และการดูดซึมของสัตว์กระเพาะเดี่ยวจะสูงกว่าสัตว์กระเพาะรวมคือ 80 % - 85 %เปรียบเทียบกับ 30 % - 35 % ตามลำดับ โดยไม่พบการดูดซึมซีลีเนียมในกระเพาะ rumen และ abomasum เลย (Underwood, 1971; Georgievskii *et al.*, 1982; Gerloff, 1992)

ซีลีเนียมจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังถุงน้ำดีเพื่อจับตัวกับ lipoprotein และถูกสะสมในเซลล์ที่มีสีต่าง ๆ เช่น ตับ ม้าม หัวใจ เล็บ และฟัน (ตารางที่ 3) และซีลีเนียมที่ถูกสะสมไว้จะถูกเปลี่ยนเป็น selenoenzyme เช่น glutathione peroxidae (GSHPx) รูปที่ 3 และ selenoprotein

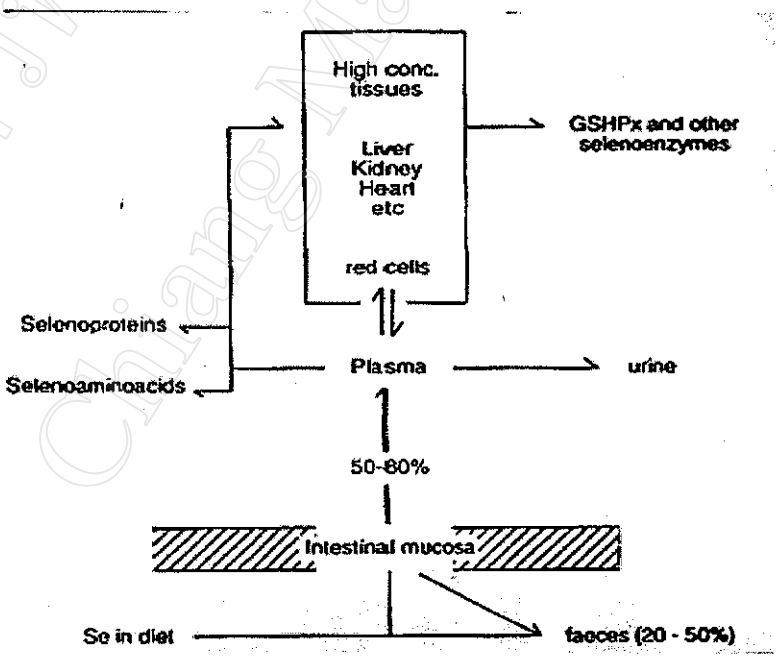


Figure 3 Selenium transport and absorption in gastrointestinal tract.

(Reilly, 1996)

Table 3 Concentration of selenium in the tissue of sheep (μg% fresh tissue) as a fuction of its concentration in the diet. (Georgievskii *et al.*, 1982)

Organ or tissue	Concentration of Se in diet (mg/kg)	
	0.3 – 0.5	2.0 – 4.0
Kidneys	78.0 ± 6.9	87.0 ± 6.9
Liver	19.0 ± 2.0	60.0 ± 4.4
Pancreas	14.0 ± 1.2	39.0 ± 1.5
Spleen	12.0 ± 0.2	30.0 ± 2.5
Heart	9.7 ± 0.6	30.0 ± 0.4
Skeletal muscles	8.9 ± 0.5	23.0 ± 2.4
Lungs	8.4 ±0.6	23.0 ± 1.3
Brain	6.9 ± 0.8	26.0 ± 0.6
Hooves	2.7 ± 2.1	72.0 ± 1.4
Hair	21.0 ± 1.4	49.0 ± 1.0

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

การเคลื่อนย้ายของซีลีเนียมอนินทรีย์เพื่อเข้าสู่ระบบลำไส้เป็นการดูดซึมโดยตรงทั้ง selenite และ selenate ขณะที่การดูดซึมของซีลีเนียมอินทรีย์จะใช้ เอนไซม์มาเป็นตัวช่วยเหลือ แต่กระบวนการดูดซึมของ selenoamino acids นี้ยังไม่ชัดเจน สำหรับการเคลื่อนย้ายซีลีเนียมในกระแสโลหิตพบว่าซีลีเนียมจะต้องจับตัวกับโปรตีน ซึ่งการจับกับตัวกับโปรตีนนี้ทำให้ซีลีเนียมเปลี่ยนเป็น selenide ภายใน erythrocytes ลดลง โปรตีนที่จับตัวกับซีลีเนียมพบว่าเป็นพวก very – low – density lipoprotein (VLDL) (Sandholm, 1974)

ซีลีเนียมที่จับตัวกับโปรตีนจะเคลื่อนที่ไปยังเนื้อเยื่อต่าง ๆ ซึ่งความเข้มข้นของซีลีเนียมในอวัยวะต่าง ๆ จะสัมพันธ์กับปริมาณซีลีเนียมที่ร่างกายกินเข้าไปและรูปแบบของซีลีเนียมที่ได้รับ เมื่อร่างกายได้รับซีลีเนียมในระดับที่พอเหมาะ ซีลีเนียมจะพบมากในตับและไตมากกว่าอวัยวะอื่น (ตารางที่ 3) เมื่อได้รับซีลีเนียมลดลงระดับของซีลีเนียมในตับและกล้ามเนื้อจะสะสมลดลง แต่ยังคงมีระดับซีลีเนียมสูงในไต (Oldfield, 1992) แม้ว่าการสะสมซีลีเนียมในกล้ามเนื้อจะลดลงเมื่อร่างกายได้รับซีลีเนียมในปริมาณต่ำแต่ปริมาณกล้ามเนื้อในร่างกายมีปริมาณมากทำให้กล้ามเนื้อเป็นแหล่งสะสมซีลีเนียมที่สำคัญของร่างกาย

3.2 Metabolism of Selenium

3.2.1 การเปลี่ยนรูปของซีลีเนียม (selenium reduction)

การเปลี่ยนรูปของ selenite ในสัตว์ชั้นสูงยังไม่กระจายชัดแต่สำหรับในสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ๆ แล้วจะมีขั้นตอนอยู่ 2 ขั้น (Dilworth and Bandurski, 1977) ขั้นตอนแรก selenate จะถูกกระตุ้นโดย ATP และ เอนไซม์ sulphurlyase โดยมี magnesium ion เป็นตัวเร่ง selenate จะถูกเปลี่ยนให้เป็น adenosine – 5′ selenophosphate ดังแผนภูมิ

$$SeO_4^{2-} + ATP \xrightarrow[Mg^{2+},\ Sulphurlyase]{} A-5'-SeP + PPi$$

$$\xrightarrow{} GSSeSO_3^- \xrightarrow{} SeO_3^- + GSH$$

(Reilly, 1996)

selenomethionine และซีลีเนียมในรูปแบบอื่น ๆ ที่พบในอาหาร จะถูกแคทตาโบไลท์ (catabolised) เป็น selenite หลังจากดูดซึม (Reilly, 1996) แต่การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ชัดเจนนักสำหรับซีลีเนียมในรูปของอนินทรีย์สาร

selenocysteine ที่แสดงในรูปที่ 4 จะเปลี่ยนแปลงได้หลายแบบ เช่น pyridoxal phosphate enzyme, selenocysteine β - layase สำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและแบคทีเรีย (Reilly, 1996)

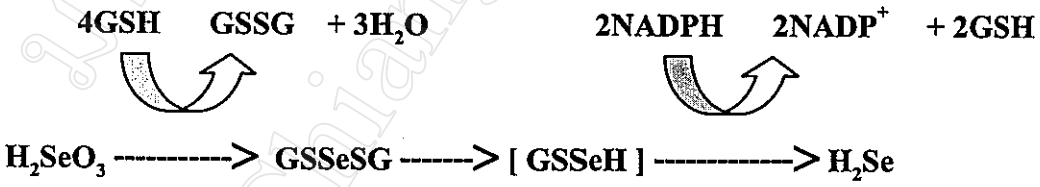
ขั้นตอนที่ 2 ปฏิกริยาจะเปลี่ยนรูปของ glutathione (GSH) และ nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH) ให้เป็น selenodiglutatione (GS- Se – SG) (Ganther, 1971)

$$4GSH + H_2SeO_3 \longrightarrow GS-Se-SG + GSSG + 3H_2O$$

(Reilly, 1996)

selenodiglutathione จะถูกเมตาโบไลท์โดย gluthaione reductase และ NADPH เป็น hydrogen Selenide (H_2Se) (Reilly, 1996)

สรุปขั้นตอนที่ 2 ได้ดังแผนภูมิ



(Reilly, 1996)

3.2.2 กระบวนการ Methylation of Selenide

H_2Se เป็นสารประกอบตัวหนึ่งของซีลีเนียมซึ่งมีความเป็นพิษสูง จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการลดความเป็นพิษโดยใช้ methyllation pathways ซึ่ง methyl groups ที่ใช้ในกระบวนการจะได้มาจากซีลีเนียมในรูปของ selenomethionine (Ganther, 1971) ดังแสดงในรูปที่ 4

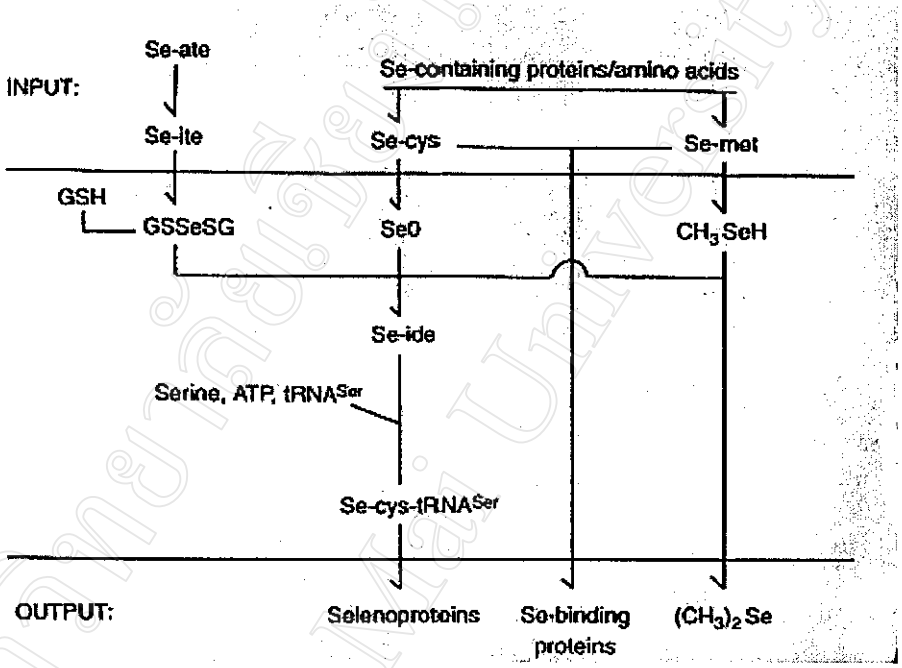


Figure 4 Outline of pathways of selenium metabolism. (Reilly, 1996)

4 ระดับซีลีเนียมในพลาสม่าและซีรั่ม

4.1 พลาสม่าและซีรั่ม

พลาสม่าและซีรั่มมักถูกใช้ในการทดสอบกระบวนการเมตโบลิซึมของร่างกาย รวมทั้งเมตโบลิซึมของแร่ธาตุภายในร่างกายด้วย ความก้าวหน้าของการทดลองเกี่ยวกับพลาสม่ามีมากกว่าซีรั่ม ส่วนหนึ่งมีสาเหตุจากพลาสม่าสามารถสกัดนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าซีรั่ม อย่างไรก็ตามพบว่าสารต่อต้านการจับตัวเป็นตะกอน (anticoagulants) ในพลาสม่ามักจะเป็นปัญหาในการทดลองเสมอ ซีรั่มจึงถูกนำมาใช้ทดลองมากขึ้น

การสกัดพลาสม่าหรือซีรั่มจากตัวอย่างเลือดจะต้องระวังกระบวนการแตกสลายของเม็ดเลือด (haemolysis) เม็ดเลือดแดงที่เสื่อมนี้จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดและนำไปสู่ข้อสรุปที่ผิดพลาด เป็นต้นว่า ระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุในพลาสม่าหรือซีรั่มที่เปลี่ยนแปลงไป

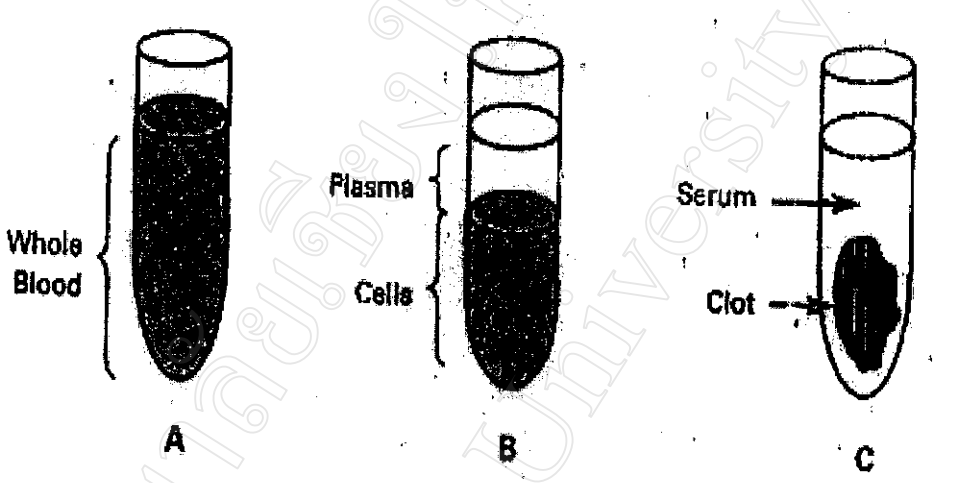


Figure 5 Blood collection. (Voigt, 2000)

จากรูปที่ 5 ส่วนบนของหลอดทดลองจะเป็นของเหลวส่วนหนึ่งของตัวอย่างเลือดเรียกว่า พลาสม่า (plasma) เพราะว่าเลือดถูกแบ่งแยกโดยไม่มีการแข็งตัวเป็นก้อน(clotting) แต่ถ้าเลือดจับตัวเป็นก้อนโปรตีนต่าง ๆ ในของเหลวก็จะแข็งตัวไปกับเลือดด้วยและจะเรียกของเหลวนี้ว่า ซีรั่ม (serum) ซึ่งสีของพลาสม่าและซีรั่มจะมีตั้งแต่ใสไม่มีสี – สีเหลืองอ่อน (สีฟางข้าว) – สีเหลืองส้ม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์สัตว์ อาหารสัตว์ และสรีระวิทยาหรือโรคทางสรีระวิทยาต่าง ๆ แต่จะต้องโปร่งใสสามารถส่องผ่านได้

4.2 ระดับซีลีเนียมในพลาสม่าและซีรั่ม

Versieck and Cornelis (1989) รายงานว่า ระดับของซีลีเนียมในพลาสม่าและซีรั่มของคนสุขภาพปกติจะแตกต่างกันไปเนื่องจากพื้นที่ของที่อยู่อาศัยต่าง ๆ รวมทั้งระดับของอายุของคน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Iyengar and Woittiez (1988) ที่ว่าระดับซีลีเนียมที่พบในคนสุขภาพปกติจะประมาณ 0.05 – 0.15 μg / ml

สำหรับในสัตว์นั้น Gerloff (1992) รายงานว่า ในโคและกระบือนั้น ระดับของซีรั่มซีลีเนียมที่พอเพียงควรอยู่ในระดับที่มากกว่า 70 ng / ml ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย ขณะที่ระดับ 40 – 70 ng / ml ถือว่าเริ่มที่จะไม่พอเพียงแล้ว ในขณะที่ Marin – Guzman *et al.* (1997) รายงานปริมาณซีลีเนียมในซีรั่มไว้ใกล้เคียงกับงานของ Mahan and Parrett (1996b) กล่าวคือสุกรปกติที่ไม่ได้รับการเสริมธาตุซีลีเนียมพบว่าระยะหลังจากหย่านม สุกรจะมีค่าซีลีเนียมในซีรั่มประมาณ 0.04 ppm และระยะสุกรรุ่นจนถึงส่งตลาดจะมีค่าซีลีเนียมในซีรั่มประมาณ 0.05 – 0.06 ppm

5 ความต้องการซีลีเนียม

The Recommended Dietary Allowance (RDA) ของสหรัฐอเมริกาได้แนะนำปริมาณซีลีเนียมในมนุษย์ต่อวันไว้ในตารางที่ 4

Table 4 The recommended dietary allowance for selenium for adults.

(National Institutes of Health, 2001)

Life-Stage	Men	Women	Pregnancy	Lactation
Ages 19 +	55 μg	55 μg	-	-
All ages	-	-	60 μg	70 μg

สำหรับความต้องการซีลีเนียมในสุกรอยู่ระหว่าง 0.1 ppm – 0.3 ppm (Groce et al., 1971; Mahan et al., 1973; Mahan and Moxon, 1978a, b) และในระยะหลังหย่านมความต้องการซีลีเนียมจะเพิ่มสูงขึ้น (จนถึงระดับ 1 ppm) (Mahan, 1985) ในสุกรรุ่นการให้ sodium selenite, sodium selenate, selenomethionine or seleniferous corn ในระดับที่น้อยกว่า 5 ppm ไม่พบว่าทำให้เกิดอาการเป็นพิษ แต่ถ้าได้รับในระดับ 5 ppm อาจจะมีความเป็นพิษเกิดขึ้นได้ (Mahan and Moxon, 1984) โดยจะพบอาการ anorexia edema และ ขนร่วง

อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยแล้ว จะจำกัดการเสริมซีลีเนียมในสูตรอาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูปไว้ที่ระดับไม่เกิน 2 มิลลิกรัม / กิโลกรัมอาหารสัตว์ (ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2529) ขณะที่ NRC (1988) ได้แนะนำระดับการเสริมซีลีเนียมของสุกรเล็กไว้ คือ 0.14 – 0.24 mg / kg live weight และ สุกรรุ่นถึงส่งตลาดไว้ที่ 0.28 – 0.31 mg / kg live weight

6 ความเป็นพิษของซีลีเนียม

ความรุนแรงของการได้รับซีลีเนียมที่แสดงออกในสัตว์เลี้ยงมีอยู่หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของซีลีเนียมที่ได้รับ และระยะเวลารวมถึงความต่อเนื่องที่กินซีลีเนียม นอกจากนี้ในพืชตระกูลถั่วบางชนิดเช่น locoweeds (*Astragalus lentiginosus*) จะมีความเข้มข้นของซีลีเนียมในปริมาณสูงมาก แต่อย่างไรก็ตามพืชชนิดนี้จะพบในบริเวณทวีปอเมริกาเหนือเท่านั้น

6.1 ความเป็นพิษในสัตว์

6.1.1 สุกร (Pig)

ความเป็นพิษของซีลีเนียมในสุกรมีอยู่หลายรูปแบบ โดยขึ้นกับชนิดของอาหารที่ได้รับ และระดับของซีลีเนียมในอาหาร ในอาหารกลุ่มข้าวโพด – ถั่วเหลือง ถ้าเสริม selenite 8 mg / kg DM จะทำให้ความอยากกินอาหารและการเจริญเติบโตลดลงถึง 5 สัปดาห์ แต่จะปลอดภัยกว่าถ้าเสริมซีลีเนียมปริมาณเดียวกันนี้ในอาหารกลุ่ม ข้าวสาลี – ข้าวโอ๊ต (Goehring et al., 1984a, b) สำหรับอาหารกลุ่มข้าวโพดและถั่วเหลืองจะพบอาการ hoof lesion ได้ ถ้าสุกรได้รับซีลีเนียม 12 mg / kg DM ดังนั้นระดับการใช้ซีลีเนียมที่อาจจะเกิดพิษได้สำหรับอาหารกลุ่มข้าวโพดและถั่วเหลืองคือช่วง 4 – 8 mg / kg DM แต่สำหรับธัญพืชอื่น ๆ เช่น ข้าวสาลี และข้าวโอ๊ต อาจจะอยู่ในระดับที่สูงกว่า 8 mg / kg DM

6.1.2 สัตว์ปีก (Poultry)

การเสริม selenite ลงในน้ำดื่ม 4 mg / L หรือมากกว่า สำหรับไก่การเจริญเติบโตและความอยากกินอาหารจะลดลงภายใน 7 วัน (Cantor *et al.*, 1984) ในแม่ไก่ที่ได้รับ seleniferous grain 10 mg / kg DM จะไม่พบความเจ็บป่วยใด ๆ แต่การพัฒนาของตัวอ่อนภายในไข่จะได้รับผลกระทบ (Poley and Moxon, 1938)

6.1.3 โคและกระบือ (Cattle)

ในลูกวัวที่ได้รับซีลีเนียมที่เสริมลงใน milk – replacer 5 – 10 mg / kg เป็นเวลา 45วัน จะทำให้การเจริญเติบโตและ feed conversion efficiency ลดลง (Jenkins and Hidiroglou, 1986) สำหรับแกะแม้ว่าจะได้รับซีลีเนียมที่เสริมลงไปในอาหารถึง 9 mg / kg DM ก็ไม่ได้แสดงความเป็นพิษ ซึ่งในแกะการวิเคราะห์จะทำได้ยากกว่าในโคเนื่องจากการเจริญเติบโตในแต่ละระยะไม่ชัดเจนเท่ากับในโคและกระบือ

อย่างไรก็ตามสำหรับสูตรอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนสูง อาจจะสามารถลดความเป็นพิษของซีลีเนียมลงได้ เนื่องมาจากซีลีเนียมจะสามารถ ไปแทนที่ซัลเฟอร์ใน sulphur – amino acids ที่มีอยู่ในโปรตีนได้ (Underwood, 1971)

6.2 การป้องกันความเป็นพิษ

6.2.1 Reducing Retention

กระตุ้นให้สัตว์ขับปัสสาวะออกมาเพื่อขจัดซีลีเนียมออกจากร่างกายโดยการให้

- bromobenzene
- sodium arsenite
- sulphate

ผสมให้สัตว์กิน แต่จากการศึกษายังไม่ได้แสดงผลการป้องกันออกมาอย่างชัดเจน (Dinkel *et al.*, 1957; Arora *et al.*, 1975) ว่าสารเหล่านี้ช่วยลดความเป็นพิษได้อย่างไร

6.2.2 Inhibitors

Hill (1972, 1974) ได้รายงานว่า mercury สามารถช่วยป้องกันความเป็นพิษของซีลีเนียมในไก่และโคกระบือได้ แต่การศึกษาเรื่องปริมาณการใช้ ความสัมพันธ์ของ mercury และ selenium และ ผลของการป้องกัน ยังไม่ชัดจนสามารถสรุปได้ อย่างไรก็ตามการใช้ mercury และ selenium ถ้าทั้งสองธาตุอยู่ในรูปของอนินทรีย์สารแล้วสัดส่วนที่จะป้องกันความเป็นพิษได้ดีคือ1 : 1 สำหรับการเลี้ยงไก่

7 การขจัดซีลีเนียมออกจากร่างกาย

การขจัดซีลีเนียมออกจากร่างกายจะมีช่องทางใหญ่ ๆ อยู่ 3 ประการคือ ทางปัสสาวะโดยไต ทางมูลโดยระบบทางเดินอาหาร และทางลมหายใจและผิวหนังโดยปอดและหลอดเลือด ซึ่งการขจัดซีลีเนียมในช่องทางต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับปริมาณซีลีเนียมที่ได้รับจากอาหารและรูปแบบของซีลีเนียมที่ได้รับ

7.1 การขจัดซีลีเนียมทางปัสสาวะ

การขับซีลีเนียมออกทางปัสสาวะจะเป็นการขับออกหลักของร่างกาย เมื่อร่างกายได้รับซีลีเนียมในอาหารปริมาณที่เหมาะสม (Yang *et al.*, 1989) และเมื่อร่างกายได้รับซีลีเนียมเพิ่มขึ้น การขับซีลีเนียมออกทางปัสสาวะก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Thomson and Robinson, 1986) ในขณะที่ Nahapetian *et al.* (1983) ได้ทดสอบคุณสมบัติของ ซีลีเนียมในรูปของอนินทรีย์สารและอินทรีย์สารที่พบในปัสสาวะของหนู พบว่าเมื่อฉีดซีลีเนียมทั้ง 2 แบบเข้าเส้นเลือดจะมีการขับซีลีเนียมออกมาในปัสสาวะ ในรูป selenomethionine ในปัสสาวะเพียง 3% ขณะที่พบ selenate ถึง 35% ส่วน Richold *et al.* (1977) ได้ทำการเสริมซีลีเนียมในอาหารหนูเป็นเวลา 1 อาทิตย์ในรูปของ selenite, selenocysteine, selenomethionine, rabbit kidney selenium, และ fish muscle selenium พบว่าระดับของซีลีเนียมที่ขับออกมาในปัสสาวะเป็น 14%, 14%, 5%, 7% และ 6% ตามลำดับ

ขณะที่ Underwood (1971) รายงานว่าเมื่อได้รับซีลีเนียมจากการฉีดเข้าเส้นเลือด การขับออกของซีลีเนียมทางปัสสาวะจะสูงกว่า การได้รับซีลีเนียมทางอาหาร รูปที่ 6

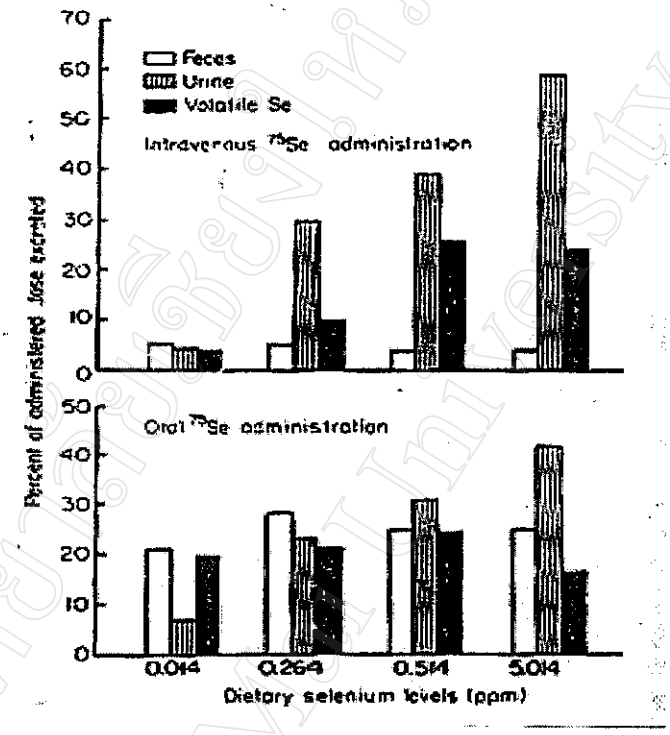


Figure 6 Excretion of ^{75}Se by lamb.

(Underwood, 1971)

7.2 การขจัดซีลีเนียมทางมูล

การขจัดซีลีเนียมทางมูลส่วนใหญ่จะเป็นซีลีเนียมที่ไม่ถูกดูดซึม โดยซีลีเนียมกลุ่มนี้จะรวมตัวกับน้ำดี น้ำย่อยจากตับอ่อนและลำไส้ (Levander and Baumann, 1966) และถูกสะสมในน้ำดีเพื่อกลับเข้าสู่ทางเดินอาหารในการดูดซึมอีกครั้ง ซึ่งเหตุการณ์นี้มักเกิดในกรณีที่ได้รับซีลีเนียมจากอาหารในปริมาณน้อย (Dreosti, 1986)

7.3 การขจัดซีลีเนียมทางผิวหนังและลมหายใจ

ซีลีเนียมที่ถูกสำเลียงทางเส้นเลือดแดงจะถูกขับออกทางผิวหนังออกสู่อากาศ เมื่อได้รับซีลีเนียมจากอาหารในปริมาณปกติ (Oster *et al.*, 1988) การขับซีลีเนียมออกจากร่างกายผ่านปอด ซีลีเนียมจะอยู่ในรูปของ dimethyl selenide ($CH_3 - Se - CH_3$) โดยพบว่าลมหายใจจะมีกลิ่นคล้ายกลิ่นกระเทียม (garlic – like odour) ปรากฏการณ์นี้จะพบเมื่อได้รับซีลีเนียมปริมาณสูง ๆ (McConnel and Roln, 1966)

นอกจากนี้อาจพบการขับซีลีเนียมออกจากร่างกายในรูปแบบอื่น ๆ เช่น การสูญเสียซีลีเนียมที่สะสมในผมและเล็บ (Oster *et al.*, 1988)

8 ซีลีเนียมกับการผลิตสัตว์

8.1 ด้านสมรรถภาพการผลิตของสุกร

Wilkinson *et al.* (1977) รายงานว่า การเสริม senite ปริมาณ 0.1 ppm ในอาหารทำให้สุกรเติบโตดีขึ้น โดย ค่า ADG ของสุกรรุ่นเป็น 0.62 ก.ก. / วัน และสุกรขุนเป็น 0.92 ก.ก./ วัน สอดคล้องกับงานของ Jin (1984) ที่ได้ผสม sodium selenite 0.1 % ในอาหารสุกร พบว่าจะทำให้น้ำหนักตัวสุกรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ในขณะที่ Mahan *et al.* (1999) รายงานว่าการเสริม sodium selenite ในอาหารสุกรรุ่นและขุนปริมาณ 0.05 ppm, 0.1 ppm, 0.2 ppm และ 0.3 ppm พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของสุกรรุ่นและสุกรขุนจะสูงที่สุด ในสุกรที่กินอาหารเสริมซีลีเนียมปริมาณ 0.2 ppm ในขณะที่ gain : feed ของสุกรรุ่นและสุกรขุนจะสูงสุดที่อัตราการเสริมซีลีเนียม 0.1 ppm และ 0.05 ppm ตามลำดับ เมื่อมีการเสริมซีลีเนียมในอาหารในอัตราสูงขึ้น (สูงกว่า 0.2 ppm) ก็มีผลทำให้การเจริญเติบโตของสุกรลดลง (Mahan *et al.*, 1999) ดังผลการทดลองของ Mahan and Magee (1991) ที่รายงานว่าสุกรรุ่นที่ได้รับการเสริม sodium selenite ในอาหารปริมาณ 0.3 ppm, 5.0 ppm และ 15.0 ppm จะทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อวันลดลงตามปริมาณซีลีเนียมที่เสริมในอาหารอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) แต่ gain : feed จะดีขึ้นเมื่อสุกรได้รับการเสริมซีลีเนียม (ตารางที่ 5 และ 6)

ในส่วนของสุกรพ่อพันธุ์ พบว่าพ่อสุกรรุ่น (growing boars) เมื่อได้รับการเสริมซีลีเนียมจะทำให้มีน้ำหนักเพิ่มต่อวัน (daily gain) สูงกว่ากลุ่มควบคุมถึง 15 % ($p < 0.1$) ส่วนปริมาณการกินอาหารต่อวัน และ สัดส่วนของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ต่อ น้ำหนักอาหารที่กินมีแนวโน้มที่ดีกว่ากลุ่มซึ่งไม่ได้รับซีลีเนียม (Marin – Guzman *et al.*, 1997)

สำหรับสุกรสาวและสุกรนาง พบว่า สุกรที่ได้รับซีลีเนียมมีแนวโน้มที่จะทำให้ไขมันสันหลังลดลงในช่วงตั้งท้อง แล้วลดลงอย่างชัดเจนในช่วงคลอด 29% ($p < 0.01$) และช่วงเลี้ยงลูก 14% ($p < 0.05$) นอกจากนี้ซีลีเนียมในนมยังเพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มซึ่งไม่ได้เสริมซีลีเนียม (Mutetikka and Mahan, 1993; Mahan and Kim, 1996)

Table 5 Effect of selenium supplementation on daily gain weigh of growing – finishing pigs (kg).

Sodium selenite (ppm)									
0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	5.0	15.0	SEM.	
Growing pigs									
0.70	-	0.62	-	-	-	-	-	-	Wilkinson *et al.*,1977
-	-	-	-	0.574	-	0.545	0.129	46	Mahan and Magee,1991
0.80	-	0.80	-	0.77	0.80	-	-	0.02	Mahan and Kim,1996
0.777	0.772	0.764	0.786	0.763	-	-	-	20	Mahan *et al.*, 1999
Finishing pigs									
1.04	-	0.97	-	-	-	-	-	-	Wilkinson *et al.*,1977
0.93	-	0.94	-	0.95	0.97	-	-	0.02	Mahan and Kim,1996
0.874	0.916	0.853	0.880	0.854	-	-	-	15	Mahan *et al.*,1999

Table 6 Effect of selenium supplementation on weigh gain per feed of growing – finishing pigs.

sodium selenite (ppm)									
0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	5.0	15.0	SEM.	
Growing pigs									
-	-	-	-	0.493	-	0.509	0.313	0.027	Mahan *et al.*,1991
0.433	-	0.437	-	0.440	0.442	-	-	0.005	Mahan and Kim,1996
0.449	0.446	0.451	0.445	0.447	-	-	-	6	Mahan *et al.*,1999
Finishing pigs									
0.334	-	0.332	-	0.329	0.332	-	-	0.004	Mahan and Kim,1996
0.343	0.340	0.335	0.326	0.339	-	-	-	6	Mahan *et al.*,1999

8.2 ซีลีเนียมกับคุณภาพซากสุกร

Wilkinson *et al.*, (1977) รายงานว่า น้ำหนักมีชีวิต น้ำหนักซากอุ่น เปอร์เซ็นต์ซาก ความยาวซาก พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และ ความหนาไขมันสันหลัง ของสุกรกลุ่มที่เสริมซีลีเนียมในระดับ 0.1 ppm ไม่แตกต่างกันกับสุกรกลุ่มที่ไม่ได้เสริมซีลีเนียมในอาหาร ซึ่งต่างจากงานของ Lee *et al.* (1988) ซึ่งพบว่าสุกรซึ่งได้รับการเสริม selenite 0.3 mg / kg เป็นเวลา 108 วัน จะทำให้ความหนาของไขมันสันหลังลดลง ($p<0.05$) และพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ขณะที่ Mahan *et al.* (1999) แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักซากอุ่น ความหนาไขมันสันหลัง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดง จะมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อสุกรได้รับการเสริมซีลีเนียมในระดับ 0.3 ppm (ตารางที่ 7)

อย่างไรก็ตามการเสริมซีลีเนียมคีเลตในปริมาณที่สูงขึ้นถึงระดับ 1 ppm ลงในอาหารกระต่าย พบว่าน้ำหนักซาก และเปอร์เซ็นต์ซากของกระต่ายกลุ่มที่เสริมซีลีเนียมและกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกันในทางสถิติ นอกจากนั้นยังเกิดภาวะความเป็นพิษขึ้นด้วย (กีรติกร, 2544)

8.3 ซีลีเนียมกับคุณภาพเนื้อสัตว์

Shi and Spallnolz (1994) รายงานว่าในซากโคปกติ เนื้อส่วนเนื้อสัน สะโพก ไหล่ และยอดอก จะมีซีลีเนียมอยู่ 0.117, 0.117, 0.112 และ 0.114 mg / kg ตามลำดับ Driskell *et al.* (1997) แสดงความแตกต่างของปริมาณซีลีเนียมในเนื้อสัตว์ต่าง ๆ คือ เนื้อโค เนื้อสุกร เนื้อไก่ เนื้อไก่งวง และเนื้อควายพันธุ์ bison เป็นดังนี้ 22 μg / 100 g, 33 μg / 100 g, 20 μg / 100 g, 34 μg / 100 g และ 25 μg / 100 g ตามลำดับ Mahan and Parrett (1996) รายงานว่าปริมาณซีลีเนียมในเนื้อสัน (loin) ของสุกรจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีลีเนียมที่ได้รับจากอาหาร และ Mahan *et al.* (1999) พบว่าซีลีเนียมจะทำให้การสูญเสียของเหลวออกจากเนื้อ (drip loss) ลดลง และค่า pH ของเนื้อจะไม่แตกต่างกับสุกรที่ไม่ได้เสริมซีลีเนียม แต่ในกรณีของซีลีเนียมอนินทรีย์ พบว่าซีลีเนียมทำให้ค่าการสูญเสียของเหลวออกจากเนื้อมีค่าสูงขึ้นกว่ากลุ่มควบคุมมาก และเนื้อจะมีสีสรรเพิ่มขึ้นเมื่อสุกรได้รับซีลีเนียม (ตารางที่ 7)

และสุกรซึ่งขาดซีลีเนียมมีแนวโน้มที่จะเป็นโรค PSE (pale soft exudative muscle) ได้สูง การเสริมซีลีเนียมในอาหารสุกรสามารถลดการเกิด PSE ในเนื้อสุกรได้ (Mihailovic *et al.*, 1984)

Table 7 Effect of dietary selenium levels on carcass characteristics of pigs (adapted form Mahan *et al.*, 1999)

Item	Se - enriched yeast (mg / kg) 0	0.05	0.10	0.20	0.30	SEM.
No.	16	17	15	16	17	-
Carcass measurements						
Hot weight, kg	80.96	85.54	82.81	81.69	81.76	2.24
Backfat, cm	2.66	2.82	2.79	2.86	2.52	0.17
Loin eye, cm^2	35.66	37.42	37.49	37.45	37.60	1.64
Lean, kg	37.66	37.60	37.82	37.47	38.59	0.68
Lean, %	48.84	48.78	48.83	48.60	50.08	0.91
Drip-loss (loin)[a]						
% moisture						
24 to 72 h, 3°C	3.35	3.19	3.51	2.96	2.95	0.50
72 to 120 h, 3°C	2.33	2.11	2.46	2.56	2.40	0.20
72 to 120 h, -10°C	2.53	2.25	3.00	3.04	2.47	0.45
24 to 120 h, 3°C	5.68	5.30	5.97	5.52	5.35	0.63
24 to 120 h, 3° C/-10°C	5.88	5.44	5.46	6.00	5.42	0.66
24 to 120 h, avg	5.78	5.37	5.72	5.76	5.39	0.60
Loin						
pH	5.49	5.59	5.47	5.59	5.49	0.08
Hunter L value	46.48	46.57	48.64	46.48	47.36	1.21

[a] Measurements determined hours after slaughter