บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ไข่เป็นอาหารที่นิยมบริโภคมานาน และยอมรับกันในทุกชาติและศาสนาว่าเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนะสูง ย่อยได้ง่าย มีประโยชน์ต่อร่างกาย มีรสชาติดี สามารถนำมาใช้ประกอบอาหารได้หลากหลายชนิด เป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพสูงมาก เมื่อเทียบกับโปรตีนจากสัตว์หรือพืชชนิดต่างๆ มีกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมกับความต้องการของคน มีวิตามินครบถ้วนทั้ง 12 ชนิด โดยเฉพาะอิโนซิทอล (inositol) และโคลีน (choline) สูง ช่วยป้องกันโรคความจำเสื่อมได้ มีแร่ธาตุ คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแร่ธาตุปลีกย่อย คือ เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี ไอโอดีน และซีลีเนียมครบถ้วน รวมทั้งยังมีเลซิธิน (lecithin) สูงอีกด้วย

ส่วนประกอบเฉลี่ยโดยน้ำหนักของไข่ไก่นั้นเป็นเปลือกไข่ประมาณ 12% เป็นไข่ขาว 55% และเป็นไข่แดง 33% ในส่วนของไข่แดงมีลิพิดประมาณ 33% ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) คอเลสเตอรอล วิตามินที่ละลายในไขมัน (fat soluble vitamins) และสารสี (pigments ; สุชน, 2542) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อส่วนประกอบของไข่ คือ อัตราการให้ไข่ รวมทั้งพันธุ์ อายุของแม่ไก่ ตำแหน่งของไข่ในตับไข่ ช่วงเวลาของปี อุณหภูมิภายนอก คุณภาพและปริมาณของอาหารที่กินเข้าไป เสียงรบกวน และโรคติดต่อต่างๆ เป็นต้น (Jiang and Sim, 1991; An *et al.*, 1997; Al Ankari *et al.*, 1998; Baucells *et al.*, 2000; Vorlova *et al.*, 2001 and Novak and Scheideler, 2001)

ลิพิด (lipid)

ลิพิด หมายถึง ไขมันและสารที่มีลักษณะคล้ายไขมัน โดยทั่วไปประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน อาจมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัสหรือกำมะถันอยู่ด้วย เป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvents) ชนิดไม่มีขั้ว (nonpolar) เช่น คลอโรฟอร์ม (chloroform) อีเธอร์ (ether) เบนซีน (benzene) เฮกเซน (hexane) ไดเอธิลอีเธอร์ (diethyl ether) และชนิดที่มีขั้วเล็กน้อย (slightly polar) เช่น แอลกอฮอล์ (alcohol) และอะซีโตน (acetone) ยกเว้นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กรดบิวทิริค (butyric acid) จะละลายน้ำได้

ลิพิดพบได้ในอาหารทั้งที่มาจากพืชและสัตว์ เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงประมาณ 9 กิโลแคลอรีต่อกรัม ลิพิดในอาหารมีหน้าที่ช่วยละลายวิตามินบางชนิด ได้แก่ วิตามินเอ ดี อี และเค นอกจากนี้ยังให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เพราะร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดแอลฟาลิโนเลนิก (α-linolenic acid) และกรดอะราชิโดนิก (arachidonic acid) ลิพิดบางชนิดเป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อประสาท บางชนิดรวมกับโปรตีนเป็นไลโปโปรตีน (lipoprotein) และบางชนิดเป็นส่วนประกอบของเซลล์ เช่น เซลล์เมมเบรน ไมโตคอนเดรีย และไซโทพลาสซึม ลิพิดที่สำคัญในร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ได้แก่ ไตรกลีเซอร์ไรด์ ฟอสโฟลิพิด สเตอรอยด์ (steroid) และกรดไขมัน (fatty acid; นิธิยา, 2543)

ชนิดของลิพิด (บุญล้อม, 2542)

ลิพิดแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. ลิพิดธรรมดา (simple lipid) เกิดจากการจับตัวของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ ด้วยพันธะเอสเทอร์ (ester bond) แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้แก่
   ก. ไขมัน (fats) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล (glycerol) 3 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ไขมันมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง หากเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า น้ำมัน (oil)
   ข. แวกซ์ (waxes) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) เพียงหมู่เดียว และมีโมเลกุลใหญ่ (higher molecular weight monohydroxydric alcohol) พบในพืชและสัตว์ โดยทำหน้าที่เคลือบผิวป้องกันน้ำ (water proove) ในขนเป็ด ขนไก่ และป้องกันการระเหยน้ำ (transpiration) ในพืช

2. ลิพิดประกอบ (compound lipids) หมายถึงลิพิดที่มีสารประเภทอื่นอยู่ในโมเลกุลนอกเหนือจากแอลกอฮอล์กับกรดไขมัน ได้แก่
   ก. ฟอสโฟลิพิด จะมีกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ประกอบอยู่ ส่วนใหญ่มีเบสที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (nitrogenous base) และสารอื่น เช่น กลีเซอโรฟอสโฟลิพิด (glycerophospholipid) ซึ่งจะมีแอลกอฮอล์อยู่ในรูปของกลีเซอรอล ส่วนสฟิงโกฟอสโฟลิพิด (sphingophospholipid) จะเป็นสฟิงโกซีน (sphingosine) พบได้ในเซลล์ทุกชนิด รวมทั้งในเลือด
   ข. ไกลโคลิพิด (glycolipids) เป็นกลุ่มของลิพิดที่ประกอบด้วยกรดไขมัน คาร์โบไฮเดรต เบสที่มีไนโตรเจน แต่ไม่มีกรดฟอสฟอริก เช่น ซีรีโบรไซด์ (cerebrosides) พบได้ในสมองและเนื้อเยื่ออื่นๆ
   ค. ไขมันประกอบชนิดอื่นๆ ได้แก่ ไลโปโปรตีน ซัลโฟลิพิด (sulfolipid)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. อนุพันธ์ของลิพิด (derived lipids) คือสารต่างๆ ซึ่งเกิดจากการย่อยลิพิดด้วยเอนไซม์ กรด หรือด่าง อนุพันธ์ของลิพิด ได้แก่ กรดไขมัน กลีเซอรอล โมโนและไดกลีเซอไรด์ รวมทั้ง สเตอรอล และสเตอรอยด์ เป็นต้น

4. ลิพิดอื่นๆ (micellaneous lipids) เป็นสารที่มีคุณสมบัติคล้ายไขมัน เช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เทอร์พีน (terpenes) วิตามินอีและเค เป็นต้น

การลำเลียงลิพิดในกระแสเลือด (lipid transport)

เนื่องจากลิพิดเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นลิพิดที่ถูกดูดซึมบริเวณลำไส้ และขนส่งไปยังอวัยวะต่างๆ ได้นั้น ต้องรวมตัวกับโปรตีนเป็นไลโปโปรตีน (lipoprotein) มีโครงสร้างเป็นแบบไมเซลล์ (micellar structure) จัดเรียงตัวกันในลักษณะรูปทรงกลม สภาวะที่มีน้ำจะเอาปลายด้านไม่มีขั้ว และไม่ละลายน้ำอยู่ด้านในของโครงสร้าง ส่วนปลายด้านที่มีขั้วและละลายน้ำจะหันออกด้านนอก

ส่วนประกอบในไลโปโปรตีนประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ และคอเลสเตอรอลเอสเทอร์ อยู่ส่วนด้านใน (central core) ของโมเลกุล ซึ่งจะถูกล้อมรอบด้วยหมู่ที่มีขั้วของฟอสโฟลิพิด คอเลสเตอรอลอิสระ และอะโปโปรตีน (apoproteins) อีก 1-2 ชนิด ทำให้กระจายตัวในน้ำได้ และเคลื่อนย้ายในกระแสเลือด ไลโปโปรตีน แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม แตกต่างกันตามส่วนประกอบของโครงสร้าง แหล่งสังเคราะห์ และหน้าที่ (นันทยา, 2532) ดังนี้

1. ไคโลไมครอน (chylomicron) เป็นอนุภาคที่มีไขมันจากอาหาร มีขนาดใหญ่ที่สุด สังเคราะห์จากลำไส้ ประกอบด้วยโปรตีน 1-2% ที่เหลือเป็นลิพิด (98-99%) ส่วนลิพิดจะเป็นไตรกลีเซอไรด์ 86%, ฟอสโฟลิพิด 8%, คอเลสเตอรอล 5% และโปรตีน 0.5-2.0% ทำหน้าที่พาไตรกลีเซอไรด์จากอาหาร และที่สร้างจากเซลล์ลำไส้เล็ก ไปสู่เนื้อเยื่อไขมัน โดยส่งผ่านระบบน้ำเหลือง (lymphatic system) เข้าสู่กระแสเลือด และพาคอเลสเตอรอลไปสู่ตับ บริเวณที่มีการสร้างไคโลไมครอนที่สำคัญ คือ ที่เยื่อบุผนังลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum)

2. ไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก (very low density lipoprotein; VLDL) ประกอบด้วยลิพิด 90% ซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ถึง 55-56%, คอเลสเตอรอล15-17% และฟอสโฟลิพิด 19-21% ทำหน้าที่พาไตรกลีเซอไรด์ออกจากตับไปยังเนื้อเยื่อไขมัน และกล้ามเนื้อ โดยผ่านกระแสเลือด การขนส่งไตรกลีเซอไรด์ในรูป VLDL มีประมาณ 10-15 ก./วัน ถ้ามี VLDL สูงขึ้น หมายถึงมีไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้นด้วย

3. ไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (low density lipoprotein; LDL) เป็นไลโปโปรตีนที่มีมากที่สุดในเลือด คนปกติมีประมาณ 50% ของไลโปโปรตีนทั้งหมด ส่วนที่เป็นไขมันมีคอเลสเตอรอลเอสเทอร์เป็นส่วนใหญ่ ประมาณ 50% โดยกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรดลิโนเลอิกเป็นส่วนใหญ่ มีคอเลสเตอรอลอิสระ 10%, ฟอสโฟลิพิด 30% และไตรกลีเซอไรด์ 10% ทำหน้าที่นำคอเลสเตอ ๆรอลที่มาจากตับไปยังเซลล์หรืออวัยวะที่มีรีเซ็ปเตอร์ (receptor) ของ LDL ได้แก่ ตับ ต่อมหมวกไต กล้ามเนื้อ และไต เป็นต้น การนำ LDL เข้าไปในเซลล์เป็นแบบเอนโดไซโตซีส (endocytosis) คือ LDL จะรวมกับรีเซ็บเตอร์ก่อนถูกนำเข้าในเซลล์ แล้วเข้าไปในไลโซโซม ซึ่งจะมีเอนไซม์ต่าง ๆ รวมทั้งไลเปสย่อย LDL ในภาวะที่เป็นกรด ให้เป็นสารต่าง ๆ ได้แก่ กรดอะมิโนและคอเลสเตอรอล เป็นต้น คอเลสเตอรอลที่เกิดขึ้นนี้มีความสำคัญคือ 1) จะนำไปใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อต่าง ๆ และสร้างสารที่มี sterol nucleus 2) ไปลดการสร้างคอเลสเตอรอลในเซลล์ โดยไปยับยั้งการทำงานของ β-hydroxy β-methylglutaryl-CoA reductase 3) ไปลดจำนวนรีเซ็บเตอร์ เพื่อหยุดการรับ LDL เข้ามาในเซลล์ คอเลสเตอรอลส่วนที่เหลือภายในเซลล์จะเปลี่ยนรูปเป็นเอสเทอร์ โดยรวมกับกรดโอเลอิก (oleic, C18:1) หรือปาลมิโตเลอิก (palmitoleic, C16:1) เก็บไว้ภายในเซลล์ การเปลี่ยนรูปนี้มีเอนไซม์ภายในโครโมโซม คือ Acyl-CoA : Cholesteryl acyl transferase (ACAT) มาช่วย ACAT นี้จะถูกกระตุ้นให้ทำงานโดยคอเลสเตอรอลจาก LDL

จากกระบวนการดังกล่าว จะเห็นว่าในภาวะปกติเซลล์ต่าง ๆ จะสะสมคอเลสเตอรอลเอาไว้ตลอดเวลา แต่ในภาวะที่มี LDL สูง และเมื่อหยุดการรับ LDL โดยทางรีเซ็บเตอร์แล้ว ซึ่งยังมี LDL จำนวนอยู่มากในเลือด LDL ก็จะเข้าไปในเซลล์ได้แบบ non-specific pinocytosis หรือเรียกว่า bulk-phase pinocytosis โดย LDL ที่เข้ามาแบบนี้จะไม่สามารถควบคุมการสร้างคอเลสเตอรอลขึ้นใหม่ได้ ทำให้มีการสะสมของคอเลสเตอรอลเกิดขึ้น โดยไปเกาะตามผนังด้านในของเส้นเลือด จากนั้นพวกแคลเซียมจะมาเกาะเป็นแผ่น ทำให้เส้นเลือดมีความแข็งเพิ่มขึ้น เส้นเลือดตีบลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งอุดตัน เพราะเส้นเลือดหดตัวได้น้อยหรือไม่ได้เลย จึงขาดเลือดมาหล่อเลี้ยง ทำให้เนื้อเยื่อตายเป็นแห่ง ๆ ลักษณะการเกิดแบบนี้สามารถเกิดได้กับเส้นเลือดทุกเส้น แต่ส่วนใหญ่มักเกิดกับเส้นเลือดที่นำเข้าสู่หัวใจ (coronary artery) เมื่อเกิดอาการเส้นเลือดแข็ง เส้นเลือดเข้าสู่หัวใจจะตีบลง ทำให้เลือดไปหล่อเลี้ยงหัวใจน้อยลง เกิดจุดตายของเนื้อเยื่อหัวใจ เมื่อมีมากขึ้นหัวใจจึงทำงานไม่ได้ เกิดหัวใจวายตามมา โดยทั่วไประดับปกติของ LDL ในเลือดไม่ควรเกิน 130 มก./ดล.

4. ไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (high density lipoprotein; HDL) มีขนาดเล็กที่สุด ในส่วนของไขมัน 42-51% จะเป็นฟอสโฟลิพิด ได้แก่ เลซิธินเป็นส่วนใหญ่ และเป็นเอสเทอร์ของคอเลสเตอรอล 32% สามารถสร้างขึ้นได้ที่ตับและลำไส้เล็ก มีหน้าที่เป็นตัวให้ apo C และ apo E กับไลโปโปรตีนที่มีไตรกลีเซอไรด์สูง ๆ เพื่อไปกระตุ้นการทำงานของไลโปโปรตีนไลเปส (lipoprotein lipase) เป็นแหล่งที่เกิดการแลกเปลี่ยนคอเลสเตอรอลรูปอิสระไปเป็นรูปเอสเทอร์ และเป็นตัวสำคัญในการพาคอเลสเตอรอลออกจากเซลล์ และเนื้อเยื่อต่าง ๆ กลับเข้าสู่ตับ (reverse cholesterol transport) เพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำดี หรือสารพวกสเตอรอยด์ จึงเชื่อว่าช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกาย และป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง ปกติจะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประมาณ 35-100 มก./ดล. ถ้ามีมากกว่าปกติประมาณ 35 มก./ดล. จะช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตันได้

5. ไลโปโปรตีนชนิดพิเศษ (special lipoprotein) เช่น lipoprotein (a), lipoprotein (X) เป็นต้น ซึ่งหน้าที่และความสำคัญยังไม่ทราบแน่ชัด

คอเลสเตอรอล (cholesterol)

คอเลสเตอรอลในร่างกายมีสองชนิด คือ คอเลสเตอรอลอิสระ (free cholesterol, มีร้อยละ 30) และคอเลสเตอรอลเอสเทอร์ (esterified cholesterol, มีร้อยละ 70) ซึ่งจับตัวอยู่กับกรดไขมัน คอเลสเตอรอลในอาหาร ถูกเปลี่ยนให้เป็นคอเลสเตอรอลอิสระที่ตับ และถูกเปลี่ยนต่อไปเป็น cholic acid และเกลือน้ำดี (bile salts) ตามลำดับ ร่างกายใช้คอเลสเตอรอลบางส่วนในการสร้างฮอร์โมนที่ผลิตจากรังไข่ ต่อมลูกหมาก และต่อมหมวกไต (adrenal gland)

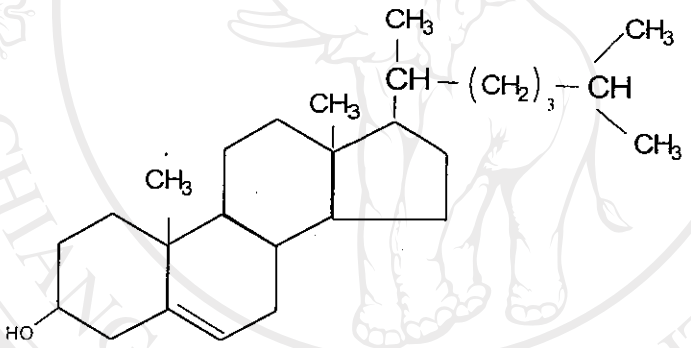

Fig. 1 : Structural formula of cholesterol (Bartley, 1989)

คอเลสเตอรอลมีแหล่งที่มา 2 ทาง คือ ผลิตในร่างกาย ร้อยละ 90 โดยตับและลำไส้ อีกส่วนมาจากอาหารที่มาจากสัตว์ เช่น เนื้อสัตว์ อาหารทะเล และผลิตภัณฑ์จากนม คอเลสเตอรอลที่มาจากอาหารจะเป็นชนิดคอเลสเตอรอลเอสเทอร์ ถูกไฮโดรไลซ์ที่ลำไส้ให้เป็นคอเลสเตอรอลอิสระ และกรดไขมันอิสระ (ประมาณ 30-60% ของคอเลสเตอรอลที่ลำไส้) โดยปฏิกิริยาของเอนไซม์คอเลสเตอรอลเอสเทอร์เรส (cholesterol esterase) ซึ่งระดับของคอเลสเตอรอลที่ลำไส้นี้สามารถยับยั้งการสร้างคอเลสเตอรอลที่ตับได้ ดังนั้นจำนวนคอเลสเตอรอลที่ถูกดูดซึมจากลำไส้ จึงเป็นตัวควบคุมการสร้างคอเลสเตอรอลในร่างกาย

การสังเคราะห์คอเลสเตอรอล (นิโลบล, 2542)

การสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการรวมตัวของอะซิติลโคเอ (acetyl CoA) ซึ่งได้มาจากเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน และกรดไขมัน ตับเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อวัยวะหลักในการสังเคราะห์ รองลงมาคือ ทางเดินอาหารและผิวหนัง ตามลำดับ อย่างไรก็ดีพบว่า ต่อมต่างๆ ที่มีการสร้างสเตอรอยด์ฮอร์โมนก็สามารถสร้างคอเลสเตอรอลได้ การสังเคราะห์เกิดในส่วนไซโตพลาสซึมของเซลล์ แต่เอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาอยู่ในเอนโดพลาสมิก เรติคิวลัม (endoplasmic reticulum)

การสังเคราะห์เริ่มจากหน่วยย่อยที่เรียกว่า ไอโซพรีน (isoprene) จะถูกสร้างขึ้นมาก่อน แล้วจึงนำไปสร้างคอเลสเตอรอลและลิพิดอื่นที่มีโครงสร้างไอโซพรีนในโมเลกุล การสร้างคอเลสเตอรอลในร่างกาย มีขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสร้าง mevalonate (C_6) โดยการรวม acetyl CoA 3 ตัวเข้าด้วยกัน เกิดเป็น β-hydroxy β-methylglutaryl-CoA (HMG-CoA) ก่อน แล้วถูกรีดิวส์เป็น mevalonate โดย NADPH และเอนไซม์ HMG-CoA reductase ซึ่งเป็น regulatory enzyme ควบคุม rate-limiting step ของการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล ขั้นตอนนี้ถูกจำกัด และยับยั้งได้โดยคอเลสเตอรอลจากอาหาร

2. การสร้าง isoprenoid (C_5) เป็นโครงสร้างของสารพวกสเตอรอยด์ โดยการเติมหมู่ฟอสเฟต (phosphorylation) จาก ATP ให้กับ mevalonate จนเปลี่ยนเป็น isopentenyl pyrophosphate (IPPP) และ isomerize ได้เป็น 3,3-dimethylalkyl pyrophosphate (DMAPP)

3. เป็นการรวม IPPP และ DMAPP เข้าด้วยกัน กลายเป็น squalene (C_{30}) โดยปฏิกิริยา decarboxylation ใช้พลังงานจากการสลาย ATP 3 โมเลกุล และ condense ไปเป็น squalene

4. การเปลี่ยนจาก squalene ไปเป็น lanosterol (C_{30}) มีการเปลี่ยนรูปเป็นวงแหวน โดยจะได้ squalene-2,3-epoxide ก่อน แล้วเอนไซม์ squalene-2,3-epoxide lanosterol cyclase จะทำให้วงแหวนปิด กลายเป็น lanosterol

5. การเปลี่ยนรูปจาก lanosterol ไปเป็นคอเลสเตอรอล จะมีการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน ซึ่งปฏิกิริยาทั้งหมด สรุปได้ดังนี้

$$18\ \text{Acetyl CoA} + 16\ \text{NADPH} \longrightarrow \text{Cholesterol} + 9\ CO_2 + 18\ \text{CoA} + 16\ NADP^+$$

การควบคุมการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล

การควบคุมการสังเคราะห์เกิดที่ตับเป็นสำคัญ จะถูกควบคุมด้วยปริมาณคอเลสเตอรอลในอาหาร จำนวนแคลอรีจากอาหาร ฮอร์โมน และกรดน้ำดี โดยพบว่า เมื่อปริมาณคอเลสเตอรอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากอาหารมีมากกว่าคอเลสเตอรอลจากการดูดซึม ซึ่งอยู่ในรูปไคโลไมครอนจะยับยั้งเอนไซม์ HMG CoA reductase ที่ตับ ฮอร์โมนอินซูลินหรือไตรไอโอโดธัยโรนีน (triiodothyronine, T3) จะเพิ่มศักยภาพเอนไซม์ให้ดีขึ้น ในขณะที่กลูคากอน (glucagon) หรือคอติซอล (cortisol) จะลดศักยภาพของเอนไซม์ (อุษณีย์, 2538)

การสลายคอเลสเตอรอล (อุษณีย์, 2538)

คอเลสเตอรอลถูกสลาย โดยเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่นๆ ที่สำคัญ คือ กรดน้ำดี ซึ่งสร้างขึ้นที่ตับ แล้วส่งไปเก็บไว้ในถุงน้ำดี (gall bladder) ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำดี ได้แก่ รงควัตถุน้ำดี (bile pigment) เกลือน้ำดี (bile salts) และคอเลสเตอรอล ในน้ำดีมีเกลือน้ำดีประมาณ 8-10 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นเกลือโพแทสเซียม และโซเดียมของกรดน้ำดี หลังจากนั้นจะหลั่งสู่ลำไส้เล็กทำหน้าที่ช่วยให้น้ำและไขมันรวมตัวกัน (emulsifying agent) ของกระบวนการย่อยและดูดซึมไขมัน กรดน้ำดีบางส่วนจะถูกดูดซึมกลับที่ลำไส้ใหญ่ ส่งกลับไปที่ตับ บางส่วนถูกเมแทบอไลซ์โดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ และถูกขับออกไปกับอุจจาระ (enterohepatic circulation of bile acids) ซึ่งเป็นทางเดียวที่ร่างกายจะขับคอเลสเตอรอลออกในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ส่วนสัตว์ปีกสามารถขับคอเลสเตอรอลออกมาทางไข่ได้อีกด้วย

คอเลสเตอรอลนับว่าเป็นสารที่มีประโยชน์มากในระบบการทำงานของร่างกาย สามารถสร้างได้เองจากตับ ไต และเนื้อเยื่อของร่างกาย รวมทั้งจากผนังโลหิต ร่างกายสร้างคอเลสเตอรอลอยู่ตลอดเวลา ปกติแล้วในเลือดจะมีคอเลสเตอรอลประมาณ 150-220 มก./100 มล. ซึ่งมีปริมาณของคอเลสเตอรอลอิสระและคอเลสเตอรอลเอสเทอร์ในอัตราส่วน 25-33 ต่อ 75-67% คอเลสเตอรอลในปริมาณที่เหมาะสมนั้นมีประโยชน์และจำเป็นต่อการสร้างเซลล์ใหม่ๆ ของร่างกาย แต่ถ้าร่างกายมีคอเลสเตอรอลสูงเกินกว่าระดับปกติในเลือด จะเกิดอันตรายซึ่งเป็นสาเหตุของการอุดตันของเส้นเลือด การที่คอเลสเตอรอลถูกสะสมไว้ได้ เพราะคอเลสเตอรอลเป็นสารที่มีนิวเคลียสสเตอรอล (sterol nucleus) ที่มีโมเลกุลใหญ่ ไม่ถูกสลายด้วยการเติมออกซิเจน จึงสะสมอยู่ตามเส้นเลือดต่างๆ และที่ถุงน้ำดี ผิดกับพวกไตรกลีเซอรไรด์ กรดไขมัน ฟอสโฟลิพิด เพราะสารเหล่านี้ถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้หมด การมีระดับคอเลสเตอรอลในเลือดเพิ่มขึ้น จะทำให้มีโอกาสเป็นโรคหลอดเลือดของหัวใจได้มาก ทั้งนี้อัตราการเป็นโรคจะเป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณคอเลสเตอรอลใน HDL สัดส่วนระหว่าง LDL และ HDL ที่ดี คือ ปริมาณคอเลสเตอรอลรวม [total cholesterol=(LDL-Cholesterol)+(HDL-Cholesterol)+(VLDL-Cholesterol)] ควรมีมากกว่า HDL 4 เท่า สัดส่วนระดับนี้ จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจได้

ภาวะหลอดเลือดแข็ง หมายถึง การเสื่อมสภาพของหลอดเลือดโคโรนารีย์ที่เกิดการแข็งตัวจากสาเหตุของไขมันที่พอกเป็นปื้นหนา (plaque) บนผนังหลอดเลือด ทำให้เลือดไหลผ่านไม่สะดวก พบว่า ไขมันที่พอกอยู่บนผนังหลอดเลือดเป็นไขมันประเภทคอเลสเตอรอล ภาวะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลอดเลือดแข็งทำให้เกิดโรค ได้แก่ โรคหลอดเลือดสมอง (cerebrovascular diseases) โรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary heart disease) และโรคหลอดเลือดส่วนปลาย (peripheral vascular disease) โรคหลอดเลือดเหล่านี้เป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยที่รุนแรงและเรื้อรัง โดยพบว่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของการตายของประชากรในประเทศที่กำลังพัฒนาและพัฒนาแล้ว มีสาเหตุมาจากโรคหลอดเลือดเหล่านี้ ซึ่งเป็นสาเหตุการตายอันดับต้นๆ ของประเทศไทยเช่นกัน โดยมีอัตราการตายด้วยโรคดังกล่าวประมาณ 88.6 คนต่อประชากรแสนคน ซึ่งปัจจุบันมีข้อมูลที่บ่งชี้แน่ชัดว่าผู้ที่มีระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูงมากกว่า 200 มก./ดล. จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง ซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคหลอดเลือดหัวใจ

ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่มีอิทธิพลมาจากปัจจัยทางพันธุกรรม ส่วนประกอบของอาหาร ผลผลิตไข่ อายุของแม่ไก่ และการให้ยาในการรักษา Vorlova *et al.* (2001) ได้ศึกษาปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงของแม่ไก่ช่วงอายุ 20–80 สัปดาห์ โดยแบ่งออกเป็น 6 ช่วง ช่วงละ 10 สัปดาห์ พบว่า ไข่ที่เก็บจากแม่ไก่อายุน้อยจะมีปริมาณคอเลสเตอรอลต่อไข่ 1 ฟอง ต่ำกว่าไข่จากแม่ไก่ที่มีอายุมากขึ้น (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เนื่องมาจากไข่จากแม่ไก่สาวมีขนาดฟองเล็กและมีอัตราส่วนของไข่แดงต่อไข่ทั้งฟองต่ำ แต่เมื่อคิดเป็นความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลต่อไข่แดง 100 กรัม พบว่ามีค่าสูงในสัปดาห์แรก แล้วลดต่ำลงในช่วงสัปดาห์ที่ 10 และ 20 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอีกในสัปดาห์ที่ 30 และจะค่อยๆ ลดต่ำลง (ภาพที่ 1) จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าปริมาณคอเลสเตอรอลต่อไข่ 1 ฟอง มีความผันแปรมากจาก 154 ถึง 264 มก. เฉลี่ย 217.1 มก. CV =17.8 % แต่ถ้าคิดเป็นความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลในไข่แดงแล้ว จะมีความแปรปรวนน้อยกว่า คือ 1184 ถึง 1550 เฉลี่ย 1331 มก./100กรัมไข่แดง CV = 9.1 %

TABLE 1. Cholesterol content per 100 g of fresh egg matter in individual weeks of the laying period (adapted from Vorlova *et al.*, 2001).

Week of sampling		Yolk weight		Egg weight	Cholesterol in fresh egg		
		(g)	% of whole egg	(g)	(mg/100 g egg)	(mg/egg)	(mg/100 g yolk)
1	1	9.9	23.9	41.5	369.8	153.5	1550.1
2	10	15.0	30.6	49.0	368.2	180.4	1202.8
3	20	17.6	31.3	56.2	370.5	208.2	1183.7
4	30	19.3	32.0	60.3	437.6	263.9	1367.3
5	40	17.5	30.7	57.0	415.3	236.7	1352.7
6	50	17.9	31.0	57.8	412.3	238.3	1331.8
7	60	18.0	31.0	58.1	410.5	238.5	1325.0
Ave.		16.5	30.1	54.3	397.7	217.1	1330.5
CV (%)		19.2	9.2	12.3	7.0	17.8	9.1

No significant difference was found among the groups.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

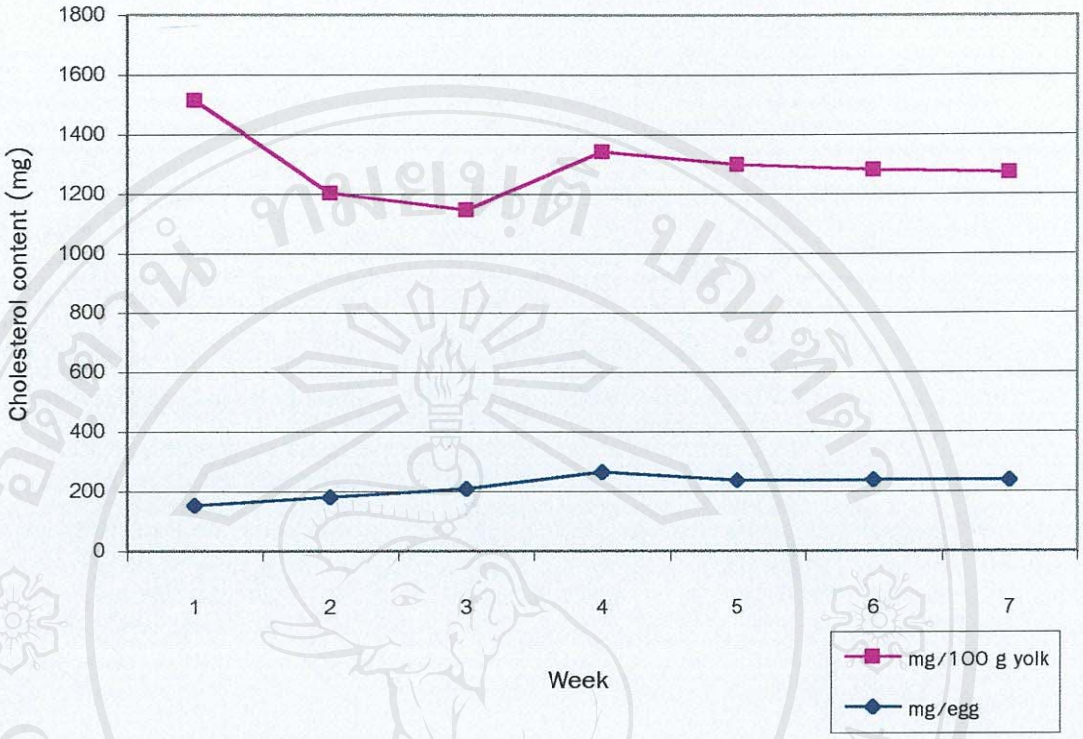

Fig. 2 : Cholesterol content per egg and per 100 g of yolk (vorlova *et al.*, 2001)

แนวทางการลดคอเลสเตอรอลในเนื้อและไข่ไก่

การวิจัยเพื่อหาทางลดคอเลสเตอรอลในเนื้อและไข่ไก่มีหลายวิธี ในอดีตมีการนำสารเคมีที่ใช้ลดคอเลสเตอรอลในคนมาเสริมให้สัตว์ เช่น

1). สารโพรบูคอล (probucol) ซึ่งเป็นฟีนอล (phenol) ชนิดหนึ่ง โดย Naber *et al.* (1982) ได้ใช้เสริมในอาหารไก่ไข่ในอัตรา 0.1% เลี้ยงเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า มีผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในไข่ลดลง 5% โดยไม่มีผลเสียต่อผลผลิตไข่ เชื่อว่าสารนี้ไปลดการผลิตไขมันในตับ สอดคล้องกับ Waldroup *et al.* (1986) ที่พบว่าสารโพรบูคอลสามารถลดคอเลสเตอรอลในไข่ได้เช่นกัน

2). สาร PD 123244-15 ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่ทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของ HMG-CoA reductase สารนี้เป็นส่วนประกอบของยา Lovastatin ที่ใช้ลดคอเลสเตอรอลในคน Elkin *et al.* (1993) ได้ใช้สารนี้ในอัตรา 0.08% ในอาหารไก่ไข่ ปรากฏว่าระดับคอเลสเตอรอลในไข่ลดลง 30% โดยทำให้ very low density lipoprotein (VLDL) ลดลงอย่างชัดเจน และไม่มีผลตกค้างทั้งในไข่ขาวและไข่แดง แต่การเสริมสารนี้ในระดับดังกล่าวมีผลทำให้ไก่กินอาหารลดลง เป็นผลให้อัตราการไข่และปริมาณไข่แดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3). สาร 20, 5 diazacholesterol, atorvastatin, simvastatin, gemfibrozil เป็นต้น (Singh *et al.* 1972, Elkin *et al.* 1997, Mori *et al.* 1999 และ Elkin *et al.* 1999.)

อย่างไรก็ดี การใช้สารเคมีดังที่กล่าวมา มีทั้งชนิดที่ก่อให้เกิดผลเสีย และไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิต แต่สิ่งที่น่าเป็นห่วงสำหรับการใช้สารเคมี คือ จะมีสารตกค้าง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงมีความพยายามค้นหาสารจากธรรมชาติที่นำไปใช้แล้วไม่ก่อให้เกิดการตกค้างและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ซึ่งมีหลายชนิดที่ช่วยลดคอเลสเตอรอลในผลิตภัณฑ์หรือผลิตผลจากสัตว์ได้ และอาจช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิต อีกทั้งยังเพิ่มโภชนะบางประเภทด้วย เช่น รำข้าวโอ๊ต โปรตีนถั่วเหลือง แครอท โยเกิร์ต กระเทียม หัวหอม ขิง บรูเอ้อยีสต์ (ยีสต์ชนิดที่มีโครเมียมสูง) อัลฟัลฟ่า เพคติน กัวกัม ไนอาซิน วิตามินซี วิตามินอี เลซิธิน แมกนีเซียม แคลเซียม โครเมียม ทองแดง เพนทีธิน (pantethin; สารที่เกิดจากการเผาผลาญกรดเพนโทธินิค) ไอโอดีน น้ำมันปลา และวานาเดียม เป็นต้น มีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

เยื่อใย (Fiber)

เยื่อใยมีความหมายทางสรีรวิทยา คือ ส่วนของเซลล์พืชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งรวมถึงผนังเซลล์พืช เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน ลิกนิน กัม และมิวซิเลจ ส่วนความหมายทางเคมีจัดเป็น non starch polysaccharides และลิกนิน (lignin) เดิมเชื่อว่าเยื่อใยเป็นเพียงกากอาหารที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และถูกจัดอยู่ในกลุ่มสารปนเปื้อนในอาหาร ผู้ผลิตจึงพยายามจะกำจัดออกจากผลิตภัณฑ์ แต่ปัจจุบันค้นพบว่าสารอาหารเหล่านี้มีประโยชน์ต่อร่างกาย เยื่อใยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. เยื่อใยที่ละลายน้ำ จะถูกย่อยโดยแบคทีเรียในไส้ติ่งและลำไส้ใหญ่ได้สารจำพวกกรด ไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้มีบทบาทต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และไขมัน รวมถึงคอเลสเตอรอลด้วย การรับประทานอาหารที่มีเยื่อใยปริมาณสูงได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้ ปัจจุบันมีรายงานว่าเยื่อใยที่ละลายน้ำได้ มีผลในการลดไขมันประเภท LDL โดยไม่มีผลต่อ HDL ฉะนั้นการรับประทานเยื่อใยเหล่านี้จะมีประโยชน์ในแง่ของการป้องกันภาวะหลอดเลือดอุดตันได้ดีวิธีหนึ่ง พบได้มากในผลไม้ ถั่วบางชนิด และธัญพืช เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ เยื่อใยชนิดนี้ ถึงแม้จะละลายน้ำได้โดยอยู่ในรูปเจล (gel) แต่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เยื่อใยเหล่านี้ ได้แก่

ก. กัม (gum) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมาก และในหมู่โมเลกุลน้ำตาล บางหมู่มีกลุ่มกรดยูโรนิก ไม่มีโครงสร้างทางเคมีที่แน่นอน และกัมบางชนิดก็ไม่ละลายน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. เพคติน (pectin) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมาก เพคตินบางชนิดไม่ละลายน้ำ ถ้ากลุ่มไฮดรอกซิลในกรดถูกแทนที่ด้วยกลุ่มเมทิลจะละลายได้ในสารละลายด่าง พบมากในผนังเซลล์พืช ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้เชื่อมติดกัน

ค. มิวซิเลจ (mucilage) ถูกหลั่งใน endosperm ของเซลล์พืช เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเกิด dehydration มากเกินไป

2. เยื่อใยที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่

ก. เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสเป็นจำนวนมากถึง 1,000 โมเลกุล คล้ายกับแป้ง (starch) แต่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว

ข. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยว (monosaccharide) ชนิดต่างๆ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปเป็นจำนวน 100 โมเลกุลที่มีคุณสมบัติในการละลายเหมือนกัน คือ ละลายได้ในสารละลายด่าง แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เพนโทแซน (pentosan) และเฮกโซแซนที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non cellulose hexosan) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบมากในเฮมิเซลลูโลส คือ ดี-ไซแลน (D-xylan) และดี-กลูโค-ดีแมนแนน (D-gluco-D-mannan) และมีโซ่ข้าง (side chain) เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น แอล-อะราบิโนส (L-arabinose)

ค. ลิกนิน (lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ที่พืชผลิตขึ้นเมื่อแก่ ทำให้ส่วนต่างๆ ของพืชมีโครงสร้างที่แข็งแรง เช่น เปลือกนอกของธัญพืช ซึ่งจะถูกกำจัดออกโดยกระบวนการขัดสีก่อนนำไปบริโภค

ส่วนประกอบของเยื่อใย จะขึ้นอยู่กับอายุ พันธุ์พืช และส่วนต่างๆ ของพืช เยื่อใยมีผลต่อระบบสรีรวิทยาของร่างกายหลายด้าน เช่น ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด มีผลต่อระดับน้ำตาล ลดอัตราเสี่ยงการเป็นโรคหัวใจ ลดความอ้วน ป้องกันมะเร็ง ปรับปรุงหน้าที่ของลำไส้ใหญ่ และลดระดับการนำไปใช้ประโยชน์ได้ของสารอาหาร ผู้ที่มีคอเลสเตอรอลในเลือดสูงนั้นจะพบว่าเมื่อรับประทานอาหารที่มีไขมันต่ำและเพิ่มเยื่อใยจะสามารถลดระดับ LDL ซึ่งมีส่วนในการอุดตันของเส้นเลือดได้โดยไม่กระทบกระเทือนต่อระดับ HDL

มีการศึกษามากมายทั้งในคนและสัตว์เพื่อทดสอบความสำคัญของเยื่อใยชนิดต่างๆ ต่อการลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด พบว่า เยื่อใยที่ละลายน้ำได้สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือดของมนุษย์ รวมทั้งคอเลสเตอรอลในเลือดและตับของสัตว์ทดลองได้ เยื่อใยที่ให้ผลนี้คือ เพคติน ไซเลียม (psyllium) ชนิดต่างๆ เช่น กัวกัม (guar gum) บีนกัม (bean gum) การบริโภคเยื่อใยที่เป็นแหล่งของเยื่อใยที่ละลายน้ำได้นี้ เช่น รำข้าวโอ๊ต หรือบาร์เลย์ และถั่ว เป็นประจำจะมีผลช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือดได้ จากการศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในเลือดลงได้ 5-10% แต่มีบางรายงานบ่งว่าลดได้มากถึง 25% การลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดโดยใช้เยื่อใยที่ละลายน้ำนี้ ถือเป็นการลดอัตราเสี่ยงของโรคหัวใจ สมมุติฐานหนึ่งในการลดคอเลสเตอรอลในเลือดโดยใช้เยื่อใยที่ละลายน้ำ คือ เยื่อใยจะช่วยทำให้การขับถ่ายกรดน้ำดีเพิ่มขึ้น ถ้าอัตราการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้นไม่พอเพียงที่จะทดแทนการลดลงของคอเลสเตอรอลที่เปลี่ยนไปเป็นกรดน้ำดี ความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดก็จะลดลง

ส่วนเยื่อใยชนิดที่ละลายน้ำไม่ดีหรือไม่ได้ จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำ ช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหาร ซึ่งจะไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ ทำให้กากอาหารนุ่ม ส่วนกลุ่มที่ละลายน้ำได้จะช่วยเพิ่มความหนืด เป็นผลดีต่อการควบคุมโรคเบาหวาน โดยคาดว่าเยื่อใยจะเปลี่ยนรูปเป็นเจล แล้วช่วยเคลือบผิวลำไส้ให้หนาขึ้น จึงทำให้การดูดซึมสารอาหารที่มีประจุของพวกแป้ง และน้ำตาลในเลือดไม่สูงฉับพลัน รวมทั้งโมเลกุลของเยื่อใยมีส่วนที่เป็นกรดอิสระอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนประจุกับสารอื่นๆ กลุ่มของกรดอิสระเหล่านี้มีบทบาทช่วยดูดซับและดึงเอาสารพิษออกไป จึงเชื่อกันว่าคุณสมบัตินี้ทำให้เยื่อใยช่วยลดปริมาณไขมันในหลอดเลือดได้ นอกจากนี้เยื่อใยยังช่วยลดการหมักหมมของกากอาหารในลำไส้ ทำให้มีโอกาสเป็นโรคมะเร็งในลำไส้น้อยลงด้วย (Gallaher and Schneeman, 1996)

ภายในลำไส้เล็ก ส่วนประกอบของอาหารจะถูกย่อยและสารอาหารจะถูกดูดซึมผ่าน mucosal cell ข้อมูลจาก *in vitro* ชี้ให้เห็นว่า เยื่อใยชนิดต่างๆ สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์จากตับอ่อนที่ย่อยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนได้ ดังนั้นสารอาหารเหล่านี้จึงไม่อยู่ในรูปที่ลำไส้เล็กจะดูดซึมนำไปใช้ได้ เยื่อใยตามธรรมชาติ เช่น ธัญพืช ผลไม้ โดยทั่วไปมีผลลดการดูดซึมของเกลือแร่ เช่น แคลเซียม เหล็ก สังกะสี และทองแดง อย่างไรก็ตาม ผลของการลดการดูดซึมของเกลือแร่ บางส่วนอาจมาจากกรดไฟติก (phytic acid) ในอาหารเหล่านั้นด้วย (Kay, 1982)

Lirette *et al.* (1993) ใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูง เช่น รำข้าวโอ๊ต 30% หรือเปลือกเมล็ดฝ้าย 3% ผสมในอาหารไก่รุ่นตั้งแต่อายุ 19 สัปดาห์ จนถึงระยะเริ่มไข่ (อายุ 25 สัปดาห์) ผลปรากฏว่าวัตถุดิบดังกล่าว ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลงได้ 25 และ 15% และลดคอเลสเตอรอลในไข่ได้ 6.7 และ 6.0% ตามลำดับ อย่างไรก็ดี การใช้วัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงมีข้อควรระวัง คือ อาจมีผลเสียถึงอัตราการไข่ น้ำหนักไข่ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร ซึ่งจากผลการทดลองนี้ พบว่ามีแนวโน้มด้อยลง แม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างก็ตาม

สมุนไพร (Herb)

สมุนไพรที่ใช้ลดคอเลสเตอรอลโดยทั่วไป คือ กระเทียม (garlic, *Allium sativum*) จากการศึกษา พบว่า กระเทียมเป็นสมุนไพรที่ช่วยป้องกันการอุดตันของไขมันในหลอดเลือดได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ สามารถช่วยลดปริมาณไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือดได้ โดยสารออกฤทธิ์ชนิด allicin และ ajoene ต้านการจับตัวของเกร็ดเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุของการอุดตันของหลอดเลือด ละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลิ่มเลือดที่เริ่มก่อตัวตามผนังหลอดเลือด จึงป้องกันไม่ให้ลุกลามขยายออกไป นอกจากกระเทียมแล้ว ยังมีพืชผักชนิดอื่นที่มีฤทธิ์ช่วยลดไขมันในเลือด ได้แก่ กระเจี๊ยบมอญ ขมิ้นชัน เมล็ดกระถิน ขมิ้นอ้อย กระวานเทศ กะเพรา กุยช่าย ขิง คื่นช่าย กระเจี๊ยบแดง เก๊กฮวย หรือใบชา (นันทวัน และคณะ, 2539) เป็นต้น

การใช้กระเทียมผงระดับ 1.5-4.5% ในอาหารไก่เนื้อ พบว่า มีผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง 23-25 มก./ดล. และยังช่วยลดระดับไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ในตับและเนื้ออกได้อีกด้วย (Konjufca *et al.*, 1997) ทำนองเดียวกับ Pour-Reza (1997) ได้เสริมกระเทียมผงระดับ 0, 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20% ในอาหารไก่เนื้อ ปรากฏว่า การใช้ที่ระดับ 0.15% ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลต่อปริมาณไตรกลีเซอไรด์และสมรรถภาพการผลิต สำหรับในไก่ไข่นั้น Sharma *et al.* (1979, อ้างโดย Reddy *et al.*, 1991) ใช้กระเทียมผง 1 และ 3% พบว่า มีผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในไข่ลดลง 5.45 และ 4.10 มก./ก. ไข่แดง แต่เมื่อใช้น้ำมันกระเทียมระดับ 0.02% ไม่มีผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในไข่แดง ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ผลผลิตและน้ำหนักไข่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า หนูที่ได้รับกระเทียมผง 2-4% ของอาหาร มีคอเลสเตอรอลในเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (34-53%) ซึ่งเข้าใจว่า สารในกระเทียมมีบทบาทในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์คอเลสเตอรอลและไขมัน ส่วน Qureshi *et al.* (1983) เสริมกระเทียมสดบด น้ำมันกระเทียมและสารที่สกัดได้จากกระเทียม โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ เมทานอล และน้ำในการสกัด พบว่าสามารถทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับ เช่น 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA reductase (HMG-CoA reductase), cholesterol-7, α-hydroxylase และ fatty acid synthetase เป็นต้น มีปริมาณลดลง จึงเป็นข้อพิสูจน์ว่ากระเทียมสามารถลดการทำงานของกระบวนการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล (hypocholesterolemic) ได้ สอดคล้องกับ Horton *et al.* (1991) ที่รายงานว่า การเสริมกระเทียมผง 10,000 มก./กก. ในอาหารไก่เนื้อทำให้ระดับคอเลสเตอรอล และ HDL ในเลือดลดลงประมาณ 10%

โปรไบโอติก (Probiotic)

ปัจจุบันการใช้ยาปฏิชีวนะในอาหารสัตว์ได้รับการยอมรับน้อยลงทุกที เพราะผลตกค้างของตัวยาในผลิตภัณฑ์ อาจส่งผลกระทบถึงผู้บริโภคทำให้เกิดการดื้อยา จึงมีความสนใจใช้สารโปรไบโอติก เช่น เชื้อ *Lactobacillus* spp. โดยเฉพาะชนิด *L. acidophilus* และเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร ทำให้สัตว์มีสุขภาพและสมรรถภาพการผลิตดีขึ้น เพราะจุลินทรีย์เหล่านี้เมื่อกินเข้าไปแล้ว จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ช่วยกำจัดจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ทำให้การดูดซึมสารอาหารดีขึ้น สัตว์ได้รับโภชนะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีภูมิคุ้มกันสูงขึ้น นอกจากยังนี้พบว่า ช่วยทำให้คอเลสเตอรอลในไข่ลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การที่จุลินทรีย์กลุ่มแลคโตแบซิลลัสช่วยลดระดับไขมันในเลือดนั้น ยังพิสูจน์ไม่ได้แน่นอน แต่มีสมมุติฐานที่ตั้งไว้เพื่อการทำวิจัยต่อไป (Taylor and Williams, 1998; Goldin, 1998; Szilagyi, 1999; Rolfe, 2000; Roberfroid, 2000 and Klaenhammer, 2000) คือ

- ผลผลิตจากการหมักจุลินทรีย์บางชนิด อาจมีผลต่อลิพิด และคอเลสเตอรอลในเลือด
- จุลินทรีย์ที่หมักอาหารแล้วให้กรดแลคติก อาจจะดูดซึมหรือใช้คอเลสเตอรอลเอง ซึ่งพบได้ในหลอดทดลองเท่านั้น
- น้ำดีอิสระเพิ่มขึ้นเนื่องจากถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ ทำให้ไขมันถูกขับถ่ายออกมาทางอุจจาระเพิ่มขึ้น
- จุลินทรีย์บางชนิดรบกวนการดูดซึมไขมันเข้าสู่ร่างกาย เป็นต้น

Jin *et al.* (1998) ได้เสริมจุลินทรีย์แลคโตแบซิลลัสในอาหารไก่เนื้อพันธุ์ Arbor Acres อายุแรกเกิด จำนวน 2,000 ตัว โดยให้แลคโตแบซิลลัสในอัตรา 0, 0.05, 0.10 และ 0.15% หรือเท่ากับมีปริมาณเชื้อ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 ล้านเซลล์ (cfu, colony forming unit)/ก. อาหาร เลี้ยงเป็นเวลา 42 วัน แลคโตแบซิลลัสที่นำมาใช้นี้มีหลายสายพันธุ์ (species) ผสมกัน โดยได้มาจากลำไส้ของไก่ ปรากฏว่า การเสริมแลคโตแบซิลลัสทำให้ไก่มีการเจริญเติบโตและอัตราแลกน้ำหนักดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังทำให้คอเลสเตอรอลในเลือดของไก่ที่อายุ 20 และ 30 วัน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม สำหรับไก่ไข่ Haddadin *et al.* (1996) ได้ศึกษาในไก่ไข่พันธุ์ Lohman White จำนวน 192 ตัว อายุ 25 สัปดาห์ แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มแรกได้รับอาหารไก่ไข่ปกติที่มีโปรตีน 15.8% พลังงานใช้ประโยชน์ (metabolizable energy, ME) 2,747 กิโลแคลอรี/กก. ส่วนกลุ่มที่ 2-4 เสริมจุลินทรีย์ (*L. acidophilus*) ในรูปของเหลวอัตรา 0.67, 2.0 และ 4.0% โดยน้ำหนัก หรือเทียบเท่ากับ 0.67×10^6, 2.0×10^6 และ 4.0×10^6 cfu/ก.อาหาร ตามลำดับ ทดลองเป็นเวลา 40 สัปดาห์ โดยผสมอาหารและตรวจสอบความแข็งแรงของเชื้อทุก 3 วัน หลังจากครบระยะทดลองแล้ว ให้ไก่ทุกกลุ่มได้รับอาหารปกติ (ควบคุม) ต่อไปเป็นเวลา 8 สัปดาห์ เพื่อติดตามผลหลังจากงดให้เชื้อจุลินทรีย์ ปรากฏว่า การเสริมทุกระดับไม่ทำให้ไขมันและไตรกลีเซอไรด์ในไข่แดงลดลง แต่ทำให้คอเลสเตอรอลในไข่แดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เสริม และเมื่อกลับมากินอาหารกลุ่มควบคุมต่อไปอีกเป็นเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ (วัดที่สัปดาห์ที่ 44 และ 48) พบว่า ระดับคอเลสเตอรอลไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม แสดงว่าการเสริมเชื้อแลคโตแบซิลลัสมีผลทำให้คอเลสเตอรอลในเลือดและในไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และจะเพิ่มขึ้นเป็นปกติเมื่อหยุดให้แลคโตแบซิลลัส

แร่ธาตุ (mineral)

จากที่กล่าวมาแล้วว่า การวิจัยเพื่อลดระดับคอเลสเตอรอลในไข่ไก่มีหลายวิธี วิธีที่น่าสนใจ คือ การใช้แร่ธาตุ เช่น โครเมียม และทองแดง หรืออาจมีการใช้แร่ธาตุร่วมกับสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ธรรมชาติอื่นๆ เช่น สมุนไพร (กระเทียม) เป็นต้น มีการศึกษาโดยใช้ทองแดง (Cu) หรือโครเมียม (Cr) ซึ่งเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งเสริมในอาหารไก่ไข่ พบว่า มีผลทำให้คอเลสเตอรอลในไข่ลดลง โดยไม่มีผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิต แต่กลับทำให้ผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น รวมทั้งไม่มีการตกค้างของแร่ธาตุที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อมด้วย

ทองแดง (copper, Cu)

เป็นแร่ธาตุที่สำคัญ และจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร มีส่วนในการสร้างฮีโมโกลบินเช่นเดียวกับเหล็ก ทองแดงในร่างกายส่วนใหญ่อยู่รวมกับโปรตีน เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน การขาดทองแดงมีผลต่อการเติบโต การสร้างกระดูก การสืบพันธุ์ การสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน การทำงานของหัวใจ และการสร้างเม็ดโลหิต

ทองแดงถูกดูดซึมที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น โดยดูดซึมได้ประมาณ 20-30% ของปริมาณที่กินเข้าไปเท่านั้น อย่างไรก็ดีอัตราการดูดซึมขึ้นอยู่กับชนิดของทองแดงในอาหาร และปัจจัยอื่น รวมทั้งแร่ธาตุชนิดอื่นด้วย เข้าใจว่าเซรูโลพลาสมิน (ceruloplasmin) ที่มีอยู่ในกระแสเลือดช่วยให้มีการดูดซึมทองแดง ซึ่งการดูดซึมจะลดลงถ้าอาหารมีแคลเซียมคาร์บอเนท (calcium carbonate, $CaCO_3$) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ (ferrous sulphide, FeS) เพิ่มขึ้น โดยแคลเซียมคาร์บอเนตไปทำให้ pH ในลำไส้เพิ่มขึ้น ส่วนเฟอร์รัสซัลไฟด์ ทำให้เกิดคอปเปอร์ซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลาย นอกจากนี้การดูดซึมยังขึ้นกับปริมาณสังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ซึ่งถ้ามีมากในอาหารจะไปขัดขวางการดูดซึมทองแดง ทำนองเดียวกับโมลิบดินัม โดยในกรณีหลังนี้เข้าใจว่าจะไปรวมกับทองแดงเป็นสารประกอบทองแดงโมลิบดินัม ($CuMoO_4$) ดังนั้นถ้ามีธาตุเหล่านี้มาก ควรให้ได้รับทองแดงมากขึ้นด้วย

ในร่างกายมีทองแดงประมาณ 100–150 มก. พบอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย แต่พบมากที่ตับ ไต สมอง และหัวใจ (ตามความเข้มข้นของทองแดงจากมากไปหาน้อย ตามลำดับ) ในตับคนมีปริมาณทองแดง 10% ของทั้งหมด ในขณะที่กระดูกและกล้ามเนื้อซึ่งเป็นส่วนของร่างกายที่มีอยู่มาก มีทองแดงประมาณครึ่งหนึ่งของทั้งหมด อย่างไรก็ดีปริมาณทองแดงในเนื้อเยื่อขึ้นอยู่กับอายุด้วย สัตว์ที่อายุน้อยมีทองแดงสูงกว่าสัตว์ที่เติบโตเต็มที่แล้ว นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของสัตว์ รวมทั้งอาหารด้วย ปริมาณทองแดงในเด็กเกิดใหม่มีประมาณสามเท่าของที่มีในผู้ใหญ่ ทารกต้องการทองแดงจากอาหารประมาณ 80 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม เด็กที่กำลังเติบโตต้องการทองแดงครึ่งหนึ่งของจำนวนที่กล่าวแล้ว ส่วนผู้ใหญ่ต้องการ 30 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ปริมาณทองแดงในเลือดขึ้นอยู่กับจำนวนทองแดงที่ได้รับจากอาหาร ถ้าอาหารส่วนใหญ่เป็นนมจะได้รับทองแดงต่ำ จึงต้องพิจารณาเป็นพิเศษในกรณีของทารกและเด็ก กว่า 90% ของทองแดงในร่างกายเป็นองค์ประกอบของเซรูโลพลาสมิน ส่วนที่เหลือเป็นทองแดงที่เกาะกับอัลบูมิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทองแดงจะถูกขับออกจากร่างกายผ่านน้ำดี เข้ามาในระบบย่อยอาหาร และถูกขับออกทางอุจจาระ ประมาณ 80% ของจำนวนที่ถูกดูดซึม หรือประมาณวันละ 2-5 มก. จะถูกขับออกทางน้ำดี อีกประมาณ 16% จะกระจายอยู่ในระบบย่อยอาหาร และอีก 4% จะถูกขับออกทางปัสสาวะ ถ้ามีทองแดงเป็นจำนวนมากจะทำให้ตับแข็ง ไตทำงานผิดปกติ เพราะทองแดงถูกขับออกมาทางปัสสาวะ นอกจากนี้ยังเกิดความผิดปกติของระบบประสาทด้วย (สุพิศ 2524)

การเสริมทองแดงในรูปต่างๆ ทั้งในรูปสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ เช่น คอบเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate pentahydrate, $CuSO_4.5H_2O$), Cu-lysine, Cu-methionine, Cu acetate, $Cu(HCO_3)$, Cupric carbonate ($CuCO_3$), Cuprous chloride ($CuCl_2$), Tribasic copper chloride [$Cu_2(OH)_3Cl$], Cupric oxide (CuO), Cuprus oxide (Cu_2O) โดยแร่ธาตุที่อยู่ในรูปอนินทรีย์สัตว์จะดูดซึมและนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่ารูปสารอินทรีย์ (ตารางที่ 2) ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่เสถียรเกินไป และใช้กลุ่มของลิแกนด์ (โมเลกุลหรือไอออนลบที่รวมตัวกับโลหะทรานซิชั่นไอออนบวก เพื่อทำให้ไอออนของโลหะนั้นเสถียรยิ่งขึ้น) ทำหน้าที่เป็นตัวพาแร่ธาตุไปยังเป้าหมายในร่างกาย โดยไม่มีการย่อย คือสามารถถูกดูดซึม และพาไปยังเนื้อเยื่อเป้าหมายได้ทันที (Ammerman *et al.*, 1998)

TABLE 2. The relative biological value (RBV) of different Cu sources in poultry (Ammerman *et al.*, 1998)

Organic chelate	RBV (%)	Inorganic chelate	RBV (%)
Cu-lysine	105	$CuSO_4.5H_2O$	100
Cu-methionine	90	$Cu(HCO_3)$	115
Cu acetate	100	$CuCO_3$	65
		$CuCl_2$	110
		$Cu_2(OH)_3Cl$	105
		CuO	0
		Cu_2O	100

การศึกษาที่บ่งว่า เมื่อเสริมในสูตรอาหารแล้วทำให้สมรรถภาพการผลิตดีขึ้น และมีปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง อาทิ Pesti and Bakalli (1996) ที่ได้ทำการทดลองในไก่เนื้อที่เลี้ยงแบบปล่อยพื้น ให้กินอาหารฐาน (โปรตีน 23.1%, 3.13 kcal ME/g) ซึ่งมีทองแดง 10.4±1.1 มก./กก. การทดลองที่ 1 เสริมทองแดงในรูปจุนสี ($CuSO_4.5H_2O$; Cupric sulfate pentahydrate) 4 ระดับ (0-375 มก./กก.) ปรากฏว่าการเสริมทองแดงที่ระดับ 250 มก./กก. ทำให้ไก่มีอัตราการเจริญเติบโตดีขึ้น 4.9% และมีอัตราแลกน้ำหนักดีขึ้น 3.3% ประเด็นที่น่าสนใจ คือ ทำให้คอเลสเตอรอลในเลือด และในเนื้อหน้าอกลดลง 28.7 และ 27.0% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม การเสริมทองแดงในระดับ 375 มก./กก. ไม่ทำให้ไก่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมรรถภาพการผลิตดีขึ้น หรือมีคอเลสเตอรอลลดลงกว่าระดับที่เสริม 125 หรือ 250 มก./กก. แต่อย่างใด นอกจากนี้เขาได้เลี้ยงไก่เนื้อตั้งแต่แรกเกิด โดยให้ได้รับการเสริมทองแดง 250 มก./กก. เป็นเวลา 35 และ 42 วัน พบว่าการเสริมจนถึงอายุ 42 วัน ทำให้ไก่มีการเจริญเติบโตดีกว่า มีอัตราแลกน้ำหนักและมีคอเลสเตอรอลในเลือดและในเนื้ออกต่ำกว่ากลุ่มที่เสริมเพียง 35 วัน (งดให้ทองแดงก่อนฆ่า 7 วัน) และกลุ่มที่ไม่เสริมอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีปริมาณทองแดงที่เหลือ (ตกค้าง) ในเนื้อน่อง และตับ กึ๋น ขาก รวมทั้งในทางเดินอาหารน้อยกว่ากลุ่มที่ให้ทองแดงตลอดระยะเวลา 42 วัน แต่ไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม ส่วนปริมาณทองแดงในเนื้ออกและหัวใจของทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน

อย่างไรก็ดีเมื่อวัดความเข้มข้นของทองแดงในวัสดุรองพื้นคอกของไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมทองแดงในรูปจุนสี 250 มก./กก. เป็นเวลา 35 และ 42 วัน โดยวัดที่ไก่อายุ 42 วัน พบว่า การเสริมทองแดงทำให้วัสดุรองพื้นมีความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้น โดยกลุ่มที่ได้รับการเสริมทองแดงเป็นเวลา 42 วัน มีค่าทองแดงสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการเสริม 35 วัน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของทองแดงระดับนี้ในวัสดุรองพื้น ยังต่ำกว่าในมูลของไก่ไข่ที่ได้รับการเสริมทองแดงในอัตรา 125 และ 250 มก./กก. คือ 539.9±21.7 และ 937.4±83.7 มก./กก. น้ำหนักมูลแห้ง ตามลำดับ ซึ่งมูลของไก่ไข่ที่มีทองแดงในระดับนี้ไม่เป็นอันตรายต่อพืชและต่อสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด (Pesti and Bakalli, 1998)

Pesti and Bakalli (1996) ยังได้เปรียบเทียบการใช้ทองแดงในรูปของคอปเปอร์ซิเทรต (copper citrate) และซัลเฟต โดยไก่ทุกตัวได้รับอาหารที่มีโปรตีน 23.1%, 3.13 kcal ME/g. อาหารนี้มีทองแดง 10.4±1.1 มก./กก. ไก่กลุ่มที่ 1 ได้รับอาหารฐาน กลุ่มที่ 2 และ 3 เสริมทองแดงในรูปซิเทรต 63 และ 125 มก./กก. ส่วนกลุ่มที่ 4 และ 5 เสริมทองแดงในรูปของซัลเฟต 125 และ 250 มก./กก. เลี้ยงเป็นเวลา 42 วัน ปรากฏว่า ทองแดงซิเทรตให้ผลดีกว่าซัลเฟตในแง่ของการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร การเสริมในรูปซิเทรต 63 มก./กก. ให้ผลดีที่สุด แสดงว่าทองแดงซิเทรตสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าซัลเฟต การเสริมในรูปของซิเทรตในอัตราที่สูงกว่านั้น คือ 125 มก./กก. ไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการแลกน้ำหนักดีขึ้น สอดคล้องกับอีกการทดลองที่เสริมทองแดงซิเทรตระดับ 0-250 มก./กก. สำหรับปริมาณคอเลสเตอรอล พบว่าการเสริมทองแดงทุกระดับทั้ง 2 รูป ช่วยทำให้คอเลสเตอรอลในกล้ามเนื้ออกลดลง ส่วนปริมาณทองแดงในทางเดินอาหาร และปริมาณที่ถูกขับออกจากร่างกาย มีเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริม

อย่างไรก็ดี การให้ทองแดงในระดับสูงเกินไปแก่สัตว์ปีก อาจมีผลทำให้สัตว์กินอาหารลดลง และมีสมรรถภาพในการผลิตต่ำลง ดังเช่น Miles *et al.* (1998) ได้เปรียบเทียบทองแดงในรูปซัลเฟตกับไตรเบสิกคอปเปอร์คลอไรด์ [Tribasic Cu Chloride, TBCC; $Cu_2(OH)_3Cl$] ทองแดงซัลเฟตเป็นรูปที่นิยมใช้เสริมในอาหารสัตว์ มีทองแดงอยู่ 25.4% ละลายได้ในสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ละลายทุกชนิด ส่วน TBCC เป็นทองแดงรูปแบบใหม่ที่มีขายเป็นการค้า มีทองแดงอยู่ 55.6% ไม่ละลายในน้ำ และมีค่าการใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าทองแดงซัลเฟต การทดลองแรกใช้ไก่เนื้อจำนวน 252 ตัว ไก่กลุ่มแรกให้ได้รับอาหารฐานที่มีทองแดง 26 มก./กก. ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของไก่เนื้อ คือ ต้องการ 8 มก./กก. อาหาร เท่านั้น กลุ่มที่ 2-4 ให้ได้รับทองแดงในรูปซัลเฟตระดับ 150, 300 และ 450 มก./กก. กลุ่มที่ 5-7 ให้ได้รับทองแดงระดับเดียวกันในรูป TBCC เลี้ยงเป็นเวลา 21 วัน พบว่า การเสริมในรูปซัลเฟตทำให้ไก่กินอาหารลดลง และมีอัตราการเจริญเติบโตด้อยลงตามระดับของทองแดงที่เสริม แต่การเสริมในรูป TBCC ให้ผลไม่ต่างจากกลุ่มควบคุม แสดงว่าไก่มีความทนทานต่อทองแดงในรูป TBCC มากกว่าในรูปของซัลเฟต การเสริมทองแดงทั้ง 2 รูปทำให้ระดับทองแดงในตับสูงขึ้น การทดลองที่ 2 ใช้ไก่เนื้ออายุ 1 วัน เลี้ยงเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ไก่กลุ่มแรกได้รับอาหารที่มีทองแดง 20.0 มก./กก. ในระยะ 3 สัปดาห์แรก และ 11.4 มก./กก. ในระยะ 3 สัปดาห์หลัง กลุ่มที่ 2-4 ได้รับการเสริมทองแดงในรูปซัลเฟตระดับ 200, 400 และ 600 มก./กก. ส่วนกลุ่มที่ 5-7 ได้รับการเสริมทองแดง 3 ระดับเช่นเดียวกันในรูปของ TBCC พบว่า เมื่อระดับของทองแดงในอาหารเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะอยู่ในรูปของซัลเฟตหรือ TBCC ไก่กินอาหารได้ลดลงตามลำดับ เป็นผลให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารลดลง

Al Ankari *et al.* (1998) ได้หาวิธีการลดคอเลสเตอรอลในไข่แดง โดยเสริมทองแดงในรูปซัลเฟต หรืออะซิเตตระดับ 50, 150 และ 250 มก./กก. ปรากฏว่า ผลผลิตไข่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และยังมีผลเสียต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารเมื่อเสริมที่ระดับ 250 มก./กก. การเสริมทองแดงในรูปอะซิเตตให้ผลเช่นเดียวกันกับในรูปซัลเฟต ปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือด และไข่แดงลดลง (20 และ 14%) รวมทั้งปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในเลือดและไข่แดงก็ลดลง (24 และ 30%) ตามระดับที่เพิ่มขึ้นของทองแดงด้วย ในขณะที่ปริมาณทองแดงในเลือดและไข่แดง มีแนวโน้มสูงขึ้น (ในเลือดเท่ากับ 0.79, 0.73, 0.87 และ 0.85 μg/g ส่วนไข่แดง 4.34, 4.34, 4.48 และ 4.73 μg/g เมื่อเสริมทองแดงระดับ 0, 50, 150 และ 250 มก./กก.อาหาร ตามลำดับ) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงพิสูจน์ได้ว่าไม่มีผลตกค้างในผลิตภัณฑ์

Pesti and Bakalli (1998) ได้ศึกษาในไก่ไข่สายพันธุ์ Hyline W-36 White Leghorn อายุ 31 สัปดาห์ จำนวน 144 ตัว แบ่งเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 4 ซ้ำ (12 ตัว/ซ้ำ) ให้อาหารที่มี 16% โปรตีน 2.97 kcal ME/g. และมีทองแดง 6.74 มก./กก. กลุ่มแรกไม่เสริมทองแดง กลุ่มที่ 2 และ 3 เสริมในรูปจุนสี ($CuSO_4 \bullet 5H_2O$) ที่ระดับ 125 และ 250 มก. ทองแดง/กก. อาหาร ตามลำดับ เลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1) ส่วนการทดลองที่ 2 วางแผนเช่นเดียวกับการทดลองแรก แต่ใช้ไก่อายุ 30 สัปดาห์ แบ่งเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 5 ซ้ำ ปรากฏว่า การเสริมทองแดงมีผลทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ทั้งฟอง หรือในไข่แดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทั้งที่ระยะ 4 สัปดาห์แรก และ 4 สัปดาห์หลัง โดยให้ผลเหมือนกันทั้งสองการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับค่าคอเลสเตอรอลใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เลือดที่พบว่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ไก่ขับถ่ายทองแดงออกมาในมูล จึงไม่พบตกค้างในผลิตภัณฑ์

สำหรับการใช้ทองแดงร่วมกับกระเทียม มีรายงานของ Konjufca *et al.* (1997) ได้เสริมกระเทียมผง (โปรตีน 15.8%, ไขมัน 0.6%, น้ำ 6.4%, พลังงาน 3.998 kcal/g) และ/หรือทองแดงในรูปของคิวปริกซิเทรต [cupric citrate, $Cu_3(C_6H_5O_7)_2$] ในอาหารไก่เนื้อ โดยน้ำที่ให้ไก่กินมีทองแดง 0.5 µg/ลิตร เลี้ยงเป็นเวลา 21 วัน ไก่กลุ่มแรกได้รับอาหารที่ไม่เสริมทั้งกระเทียมและทองแดง กลุ่มที่ 2 เสริมกระเทียม 3% แต่ไม่เสริมทองแดง กลุ่มที่ 3 ไม่เสริมกระเทียม แต่เสริมทองแดง 63 มก./กก. อาหาร และกลุ่มที่ 4 เสริมทั้งกระเทียม (3%) และทองแดง (63 มก./กก.) ปรากฏว่า การเสริมกระเทียมและ/หรือทองแดงไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร แต่ทำให้ระดับของเอนไซม์กลูตาไธโอนในเลือดลดลงและระดับคอเลสเตอรอลในเนื้อน่องก็ลดลง โดยการเสริมทองแดงจะเห็นผลชัดเจนกว่าการเสริมกระเทียม คือ ความแตกต่างอันเนื่องจากการเสริมทองแดงมีนัยสำคัญ ส่วนระดับคอเลสเตอรอลในกล้ามเนื้ออกมีแนวโน้มลดลง แต่ไม่พบนัยสำคัญ

อีกการทดลอง Konjufca *et al.* (1997) ใช้กระเทียมและทองแดงในรูปของจุนสี โดยใช้ไก่จำนวน 144 ตัว กลุ่มควบคุมให้ได้รับอาหารฐานเช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น กลุ่มที่ 2 เสริมกระเทียมผง 3% แต่ไม่เสริมทองแดง กลุ่มที่ 3 ไม่เสริมกระเทียมผง แต่เสริมทองแดง 180 มก./กก. และกลุ่มที่ 4 เสริมกระเทียมผง 3% และเสริมทองแดง 180 มก./กก. ปรากฏว่า การเสริมกระเทียมไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราแลกน้ำหนัก การเสริมทองแดง 180 มก./กก. ไม่ทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น แต่อัตราแลกน้ำหนักดีขึ้น คอเลสเตอรอลในเนื้อน่องลดลงเมื่อเสริมกระเทียมหรือทองแดงหรือเสริมทั้ง 2 อย่างร่วมกัน ส่วนคอเลสเตอรอลในกล้ามเนื้ออกลดลงเมื่อเสริมกระเทียม แต่การเสริมทองแดงไม่มีผล อย่างไรก็ดีในอีกการทดลองหนึ่ง ซึ่งเสริมกระเทียมและ/หรือทองแดงในระดับเดียวกันนี้ พบว่า ทองแดงทำให้คอเลสเตอรอลในเนื้ออกลดลง และสารเสริมทั้งสองสามารถช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือดได้

โครเมียม (chromium, Cr)

ปัจจุบันนักวิจัยด้านอาหารสัตว์ให้ความสนใจต่อการเสริมโครเมียมในอาหารมากพอควร เนื่องจากพบว่า ทำให้ได้ผลผลิตเพิ่ม ผลตอบแทนจึงได้สูงขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในผลิตภัณฑ์อีกด้วย

โครเมียมเป็นแร่ธาตุที่พบตามธรรมชาติมีเลขอะตอมเท่ากับ 24 และมีเลขมวลเท่ากับ 52.0 มักพบอยู่ในรูป Cr^{2+}, Cr^{3+} และ Cr^{6+} โดย Cr^{3+} (trivalent) เป็นรูปที่เสถียรที่สุด มีความปลอดภัยสูง จึงมีความเป็นพิษน้อย ในสัตว์เลี้ยงมีระดับความสามารถทนได้สูงสุด เท่ากับ 1,000 มก./กก. ถึงแม้ว่า NRC (1988) ได้จัดให้โครเมียมเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นน้อย แต่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าขาดสัตว์ก็จะแสดงอาการคล้ายกับเป็นโรคเบาหวาน (น้ำตาลในเลือดสูง ปัสสาวะมีน้ำตาล) หัวใจเต้นเร็ว การเจริญเติบโตช้า ความต้านทานโรคลดลง และบาดแผลจะหายช้า จึงมีผู้พยายามศึกษาบทบาท และความสำคัญของโครเมียมมากมาย จนทำให้ทราบว่า โครเมียมจำเป็นสำหรับการควบคุมเมแทบอลิซึมของกลูโคสให้เป็นไปตามปกติ โดยมีหน้าที่เป็น glucose tolerance factor และเป็นโคแฟกตอร์ของอินซูลิน การขาดโครเมียมจึงทำให้อัตราการสังเคราะห์ไกลโคเจนในตับและหัวใจลดลง นอกจากนี้โครเมียมยังเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมัน หนูทดลองที่เลี้ยงให้มีคอเลสเตอรอลในเลือดสูงโดยให้อาหารที่มีน้ำตาลสูงนั้น ภายหลังเติมโครเมียมลงในน้ำดื่ม จะช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือดลงอย่างชัดเจน ฤทธิ์ของโครเมียมต่อเมแทบอลิซึมของลิพิดยังไม่มีผู้อธิบายได้ชัดเจน เข้าใจว่าเนื่องจากโครเมียมกระตุ้นให้เกิดเมแทบอลิซึมของกลูโคส โดย McCarty (1991) รายงานว่าการเสริมโครเมียมในรูปคีเลต (chelate) จะช่วยลดไขมัน ลดคอเลสเตอรอล และเพิ่มเนื้อแดงได้ ซึ่งโครเมียมในรูปคีเลต ได้แก่ โครเมียมไตรพิโคลิเนต หรือโครเมียมพิโคลิเนต (CrP) คือ โครเมียม 1 โมเลกุลจับกับกรดพิโคลินิก (picolinic acid) 3 โมเลกุล

โดยทั่วไปปริมาณโครเมียมในวัตถุดิบตามธรรมชาติมีค่อนข้างต่ำ เมล็ดธัญพืชจะพบโครเมียมมากกว่าในผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ หรือน้ำนม แต่โครเมียมที่มีในเมล็ดธัญพืชนี้จะลดลงถึง 83% เมื่อนำไปผ่านกระบวนการขัดสีจากโรงสี อีกทั้งร่างกายจะดูดซึมโครเมียมที่พบตามธรรมชาติได้เพียง 1.5% (จงกลณี, 2541) โดยสัตว์แต่ละชนิดมีความสามารถในการนำโครเมียมแต่ละรูปแบบไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน เช่น หนูสามารถใช้โครเมียมในรูป Cr-chloride ได้ แต่สัตว์อื่นๆ จะใช้โครเมียมในรูปอนินทรีย์นี้ไม่ได้ผล ส่วนใหญ่การใช้โครเมียมเพื่อเสริมในอาหารจึงนิยมใช้โครเมียมในรูปอินทรีย์ ซึ่งปัจจุบันมีจำหน่ายอยู่มากมายหลายชนิด นอกเหนือจากโครเมียมไตรพิโคลิเนตที่กล่าวมาแล้ว ยังมีโครเมียมนิโคติเนต ซึ่งประกอบด้วยกรดนิโคตินิค (วิตามินบี 5) 3 โมเลกุลจับกับโครเมียมเช่นเดียวกัน ได้จากการสังเคราะห์ รวมทั้งโครเมียมยีสต์ (yeast) ซึ่งหมายถึงโครเมียมที่พบในการหมักยีสต์ คือ ประกอบด้วยกรดอะมิโนไกลซีน กรดกลูตามิค และซีสเตอีน (McCarty, 1991) สำหรับการใช้โครเมียมเติมลงในอาหารสัตว์ ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์อนุญาติให้ใช้โครเมียมพิโคลิเนตได้ไม่เกิน 200 มก./ตันอาหาร (ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2540)

การศึกษาที่บ่งว่า เมื่อใช้โครเมียมในระดับที่สูงขึ้นในสูตรอาหารแล้วทำให้สมรรถภาพการผลิตดีขึ้น และมีปริมาณคอเลสเตอรอลลดลง อาทิเช่น Nakaue and Hu (1997) ใช้ไก่ไข่พันธุ์ Dekalb XL Single Comb White Leghorn ช่วงอายุ 22-38 สัปดาห์ (ไก่สาว) และ 75-91 สัปดาห์ (ไก่แก่) ให้ได้รับอาหารที่มี Cr picolinate ระดับ 0, 200 และ 800 มก./ตันอาหาร ไม่พบความแตกต่างของผลผลิตไข่ อาหารที่กิน ประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักตัวเพิ่ม ไขมันในซากและในเลือดทั้งในไก่สาวและไก่แก่ ส่วนคอเลสเตอรอลในเลือดและไข่ของแม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไก่สาว พบว่ามีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไก่แก่ไม่พบความแตกต่างเมื่อเทียบกับการไม่เสริมโครเมียม

Cheng and Hsu (1997) ใช้ไก่พันธุ์ HyLine อายุ 62 สัปดาห์ ให้อาหารที่มีโครเมียม 3 แหล่ง คือ 1. จากยีสต์ที่นำไปผ่านและไม่ผ่านความร้อน 2. Cr nicotinate และ 3. Cr picolinate ระดับ 200 มก./ตันอาหาร เป็นเวลา 3 สัปดาห์ (การทดลองที่ 1) และใช้ไก่ HyLine อายุ 78 สัปดาห์ ให้อาหารที่มีโครเมียมจากยีสต์ระดับ 0-800 มก./ตันอาหาร (การทดลองที่ 2) ปรากฏว่าโครเมียมชนิดต่างๆ สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงและซีรัมลงได้ โดยเฉพาะกลุ่มที่ใช้โครเมียมจากยีสต์ ช่วยให้ลดคอเลสเตอรอลในไข่แดงลงได้ 10.6% โดยไม่มีผลเสียต่อผลผลิตไข่ การเพิ่มโครเมียมจาก 200 เป็น 800 มก./ตันอาหาร ไม่ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลลดลงได้เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าปริมาณโครเมียมในไข่จะเพิ่มขึ้นตามระดับการให้โครเมียมในอาหาร แต่ยังไม่ถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

Kim *et al.* (1997) ศึกษาในไก่ไข่จำนวน 960 ตัว อายุ 36 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 8 กลุ่ม ให้ได้รับอาหารที่มีโปรตีน 2 ระดับ คือ 14 และ 16% แล้วเสริมด้วย Cr picolinate 4 ระดับ คือ 0, 200, 400 และ 800 มก./ตันอาหาร ทดลองเป็นเวลา 7 สัปดาห์ ปรากฏว่า เมื่อให้ 800 มก./ตัน ในอาหารที่มีโปรตีนระดับสูง มีผลทำให้ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และมวลไข่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่มีจำนวนไข่ร้าวต่ำลงเมื่อเทียบกับให้ 400 มก./ตันอาหาร แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ไก่ที่ได้รับอาหารโปรตีนสูงจะกินอาหารได้มากกว่า และเมื่อให้ Cr picolinate ร่วมด้วยที่ระดับ 400 มก./ตันอาหาร จะช่วยลดคอเลสเตอรอลได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่พบว่ามีปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นในผลผลิต ค่าที่ตรวจได้นี้ยังต่ำมาก ไม่เป็นปัญหาต่อผู้บริโภค

Sahin *et al.* (2001) เสริม Cr picolinate ที่ระดับ 200, 400, 800 และ 1,200 มก./ตันอาหาร ในนกกระทาไข่พันธุ์ญี่ปุ่น (Japanese quail) อายุ 45 วัน ปรากฏว่า มีผลทำให้น้ำหนักตัว น้ำหนักไข่ อาหารที่กิน ($P<0.05$) ผลผลิตไข่ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเพิ่มขึ้น ($P<0.01$) ตามระดับการเสริมโครเมียมในอาหาร แต่มีค่า egg shape index ลดลงตามระดับการเพิ่มขึ้นของโครเมียม รวมทั้งยังมีผลทำให้น้ำหนักไข่ น้ำหนักเปลือกไข่ ความหนาเปลือกไข่ albumen index น้ำหนักไข่ขาว yolk index น้ำหนักไข่แดง และความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid)

กรดไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในลิพิดเกือบทุกชนิด ตามปกติไม่ค่อยพบกรดไขมันอิสระในธรรมชาติ แต่มีอยู่ในรูปที่เป็นส่วนประกอบของลิพิด กรดไขมันมีอยู่มากกว่า 70 ชนิดในเซลล์ต่างๆ ส่วนใหญ่มีลักษณะทั่วไป คือ เป็นสารประกอบคาร์บอนต่อกันเป็นสาย และมีหมู่ คาร์บอกซิล (carboxylic, COOH) ที่ปลาย โดยมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 3 จนถึงมากกว่า 20 อะตอม ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบมากที่สุดจะมีคาร์บอน 16 หรือ 18 อะตอม การเชื่อมต่อกันระหว่างคาร์บอนมีทั้งพันธะเดี่ยว (single bond) พันธะคู่ (double bond) หรือพันธะสาม (triple bound) ดังนั้นเราอาจจำแนกชนิดของกรดไขมันตามลักษณะของพันธะที่มีในโมเลกุลได้เป็นสองชนิด คือ (นันทยา, 2532)

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีแต่พันธะเดี่ยว เช่น acetic acid (C_2), butyric acid (C_4), palmitic acid (C_{16}), stearic acid (C_{18}), linoceric acid (C_{24}) เป็นต้น กรดไขมันประเภทนี้พบมากในไขวัว น้ำมันหมู และไขแกะ

2. กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดที่มีหลายพันธะคู่ แบ่งออกเป็น

2.1 กรดไขมันโอเมก้า 3 (omega-3 fatty acid) ประกอบด้วยอัลฟาลิโนเลนิก (α-linolenic acid; C18:3 n-3) พบมากในวอลนัท ลินซีด (linseed) เรปซีด (repeseed) หรือคาโนลา (canola) ปลา น้ำมันดอกทานตะวัน (sunflower oil) seaweed และเมล็ดเชีย (chia) เป็นต้น ตัวอย่างของกรดไขมันประเภทนี้ เช่น eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) พบมากในปลา และน้ำมันปลา

2.2 กรดไขมันโอเมก้า 6 (omega-6 fatty acid) ประกอบด้วยกรดลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2 n-6) พบมากในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันดอกคำฝอย (safflower oil) และกรดอะราชิโดนิก (arachidonic acid; C20:4 n-6) พบมากในน้ำมันปลา เป็นต้น

กรดไขมันที่พบในสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ จะเป็นพวกที่มีโมเลกุลเป็นสายยาว ไม่มีกิ่งก้าน ไม่มี OH group และไม่มีส่วนที่เป็นวงแหวน (acyclic) โมเลกุลที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่บางตัวจะพบเฉพาะในพืชหรือจุลชีพบางชนิดเท่านั้น พวกสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยนม ส่วนใหญ่สร้างกรดไขมันได้เอง แต่ก็มีกรดไขมันประเภทที่สัตว์สร้างเองไม่ได้ แต่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต ต้องได้รับจากอาหาร เรียกว่า กรดไขมันจำเป็น (essential fatty acid, EFA) ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (C18:2 n-6) กรดลิโนเลนิก (C18:3 n-3) และกรดอะราชิโดนิก (C20:4 n-6) ทั้งนี้กรดไขมันลิโนเลอิกเป็นตัวสำคัญที่สุด ถือว่าเป็นตัวป้องกันการขาด EFA เนื่องจากสามารถนำไปเปลี่ยนเป็นกรดอะราชิโดนิกในร่างกายได้ ดังภาพที่ 3

การวิจัยและค้นพบการลดความเสี่ยงจากโรคหัวใจ และโรคเส้นเลือดอุดตันในหัวใจ (Coronary heart disease and atherosclerosis) ที่ยุโรปในปี ค.ศ.1978 และที่ญี่ปุ่นในปี ค.ศ.1985 พบว่าการกินปลาจะลด และป้องกันโรคหัวใจลงได้ ปัจจุบันมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ยืนยันว่าการบริโภคกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงสามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกายได้มากกว่าไขมันอิ่มตัว หรือไขมันที่ไม่มีพันธะอิ่มตัวเพียง 1 ตำแหน่ง มีผู้รายงานว่ากรดลิโนเลอิกสามารถลดคอเลสเตอรอลได้โดยไปช่วย emulsify หรือละลายคอเลสเตอรอล จึงมีประโยชน์ในการป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือดบางชนิด การเสริมกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3 (n-3) โดยเฉพาะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) และ α-linolenic acid ซึ่งพบมากในปลาทะเล ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด เพราะโอเมก้า-3 ในน้ำมันปลา มีผลช่วยลดการจับตัวของเกร็ดเลือดที่ทำให้เกิดลิ่มเลือดเป็นไปได้ช้าลง และช่วยลดปริมาณไขมันในเลือด ป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับหัวใจและโรคความดันโลหิตสูง โดยโอเมก้า-3 ในน้ำมันปลาจะช่วยเพิ่มปริมาณของ high density lipoprotein (HDL) ซึ่งจะทำให้คอเลสเตอรอลในเลือด และที่เกาะอยู่บริเวณผนังหลอดเลือดกลับสู่ตับและเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดี (นันทยา, 2532)

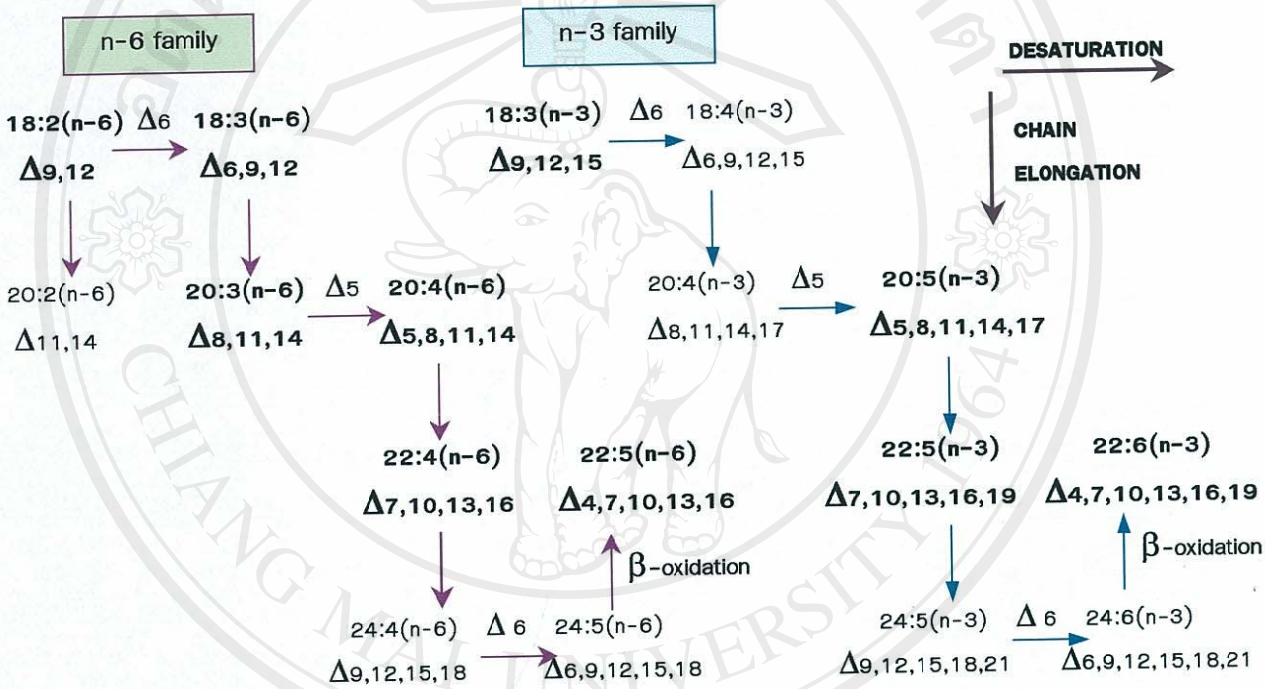

Fig. 3 : Metabolic pathways of essential fatty acids in mammals (Tvrzicka *et al.*, 2002).

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้คอเลสเตอรอลในกระแสเลือด อวัยวะภายใน เนื้อหรือผลิตภัณฑ์ลดลงได้ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ ได้แก่ (อรวินท์และประชา, 2522) สามารถกระทำได้ ดังนี้

1. กรดลิโนเลอิกสามารถป้องกันการสะสมของลิพิด (lipid deposition) อันเกิดจากคอเลสเตอรอล ทำให้คอเลสเตอรอลรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของไลโปโปรตีนที่ละลายน้ำได้ และผ่านไปตามกระแสเลือดเข้าสู่เซลล์ แล้วเปลี่ยนเป็นรูปที่มีประโยชน์ได้ สร้างฮอร์โมน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอสโตรเจน และโพรเจสเตอโรน ถูกดูดซึมไปยังเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง เพื่อสร้างวิตามินดี ใช้ในการควบคุมระดับแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย

2. เพิ่มการขับถ่าย โดยจุลินทรีย์ภายในลำไส้จะช่วยออกซิไดซ์คอเลสเตอรอลให้กลายเป็นกรดน้ำดี ซึ่งกรดน้ำดีบางส่วนจะถูกกำจัดออกจากร่างกายได้

3. ลดการสร้างคอเลสเตอรอลในร่างกาย เนื่องจากกรดลิโนเลอิก เป็นตัวยับยั้งการสร้างคอเลสเตอรอลในตับอีกทางหนึ่ง จึงทำให้ปริมาณการสร้างน้อยลง

จากรายงานการนำน้ำมันปลาไปเสริมในอาหารไก่ไข่ที่ได้ผลนั้น เนื่องจาก ω-3 PUFA ไปยับยั้งการสังเคราะห์ triglyceride และลดปริมาณ mRNA ของเอนไซม์ acetyl-CoA carboxylase ที่ตับ ทำให้การสังเคราะห์ไขมันลดลงและเพิ่มการสลายไขมันมากขึ้น มีผลให้ VLDL และ LDL ในเลือดลดลง รวมทั้งการขนย้ายคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดลดลงตามไปด้วย (Clark and Armstrong, 1988 และ Nest, 1986 อ้างโดย ณาตยาและคณะ, 2540) อีกทั้งยังเพิ่มกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายด้วย

Phillipson *et al.* (1985) รายงานว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า-3 ช่วยลดไขมันในเลือด โดยจะไประงับการสร้าง apoprotein B และ VLDL-triglyceride ทำให้การสร้าง VLDL ลดลง จึงเท่ากับระงับการสร้าง VLDL และคอเลสเตอรอลด้วย ส่วนกรดไขมันชนิดโอเมก้า-6 (n-6) ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง เกิดจากกรดลิโนเลอิก ซึ่งเป็นตัวขับคอเลสเตอรอลออกเป็น sterol จะมีกรดน้ำดีออกไปกับอุจจาระมากขึ้น ซึ่งอัตราการขับทิ้งที่มากกว่านี้ เป็นเหตุให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง

Adams *et al.* (1989) พบว่า การเสริมน้ำมันปลาเมนฮาเดน (menhaden) 3 และ 6% ในอาหารไก่ไข่ นอกจากจะมีผลเพิ่มปริมาณ EPA และ DHA ในไข่แดงแล้ว ยังมีผลให้ปริมาณคอเลสเตอรอลลดลงด้วย สอดคล้องกับ Huang *et al.* (1990) ที่รายงานว่า เมื่อเสริมน้ำมันปลาเมนฮาเดน 1, 2 และ 3% ในอาหารไก่ไข่เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำให้ปริมาณ EPA และ DHA ในไข่แดงเพิ่มสูงขึ้น ($P<0.05$) ตามระดับของน้ำมันปลาที่เพิ่มขึ้นในอาหาร

Van Elswyk *et al.* (1994) ได้ศึกษาในไก่ไข่อายุ 22 สัปดาห์ ด้วยการเสริมน้ำมันปลาเมนฮาเดนที่ระดับ 3% เป็นเวลา 24 สัปดาห์ ผลปรากฏว่า การเสริมน้ำมันปลามีผลเพิ่มปริมาณ EPA และ DHA ในไข่แดง ในขณะที่ปริมาณไขมันและคอเลสเตอรอลไม่เปลี่ยนแปลง

Rady and Mandour (1999) ใช้น้ำมันปลาที่อุดมไปด้วยกรดไขมันชนิด eicosapentaenoic acid (20:5n-3) จากน้ำมันตับปลาคอต (EPA-cod liver oil) ระดับ 1.5 และ 3% (แทนที่น้ำมันฝ้ายในสูตรควบคุม 50 และ 100%, ตามลำดับ) เลี้ยงไก่สาวพันธุ์ Fayoumi เป็นเวลา 2 เดือน โดยสูตรควบคุมใช้น้ำมันฝ้ายระดับ 3% ส่วนอีก 2 สูตร ใช้ EPA-cod liver oil ปรากฏว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้ EPA-cod liver oil ทำให้น้ำหนักไข่ มวลไข่และประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้น ส่วนไขมันในเลือด คอเลสเตอรอล และ LDL มีปริมาณลดลง ในขณะที่กลุ่มได้รับน้ำมันปลามีกรดไขมันชนิดโอเมก้า-3, α-linolenic (18:3n-3), EPA และ DHA ในตับและไข่แดงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้น้ำมันฝ้าย

ยุวเรศ (2537) เสริมน้ำมันปลาซาร์ดีนในอาหารไก่ไข่พันธุ์อีซ่าบราวน์ อายุ 24 สัปดาห์ จำนวน 180 ตัว แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกให้อาหารที่ไม่เสริมน้ำมันปลาซาร์ดีนแต่ใช้ไขวัวที่ระดับ 3% ส่วนกลุ่มที่ 2 และ 3 ให้อาหารที่เสริมน้ำมันปลาซาร์ดีนระดับ 1.5 และ 3% ตามลำดับ โดยใช้ทดแทนไขวัว ผลปรากฏว่า การเสริมน้ำมันปลาซาร์ดีนที่ 3% ทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริมน้ำมันปลาซาร์ดีน 1.5% อย่างไรก็ดี การเสริมน้ำมันปลาทั้งสองระดับไม่ทำให้ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัว ขนาดไข่ และอัตราการตายแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ดีการเสริมน้ำมันปลามีผลทำให้เกิดกลิ่นน้ำมันปลา (fish taint) ในไข่แดง และยังทำให้เกิดการหืนได้ง่าย รวมทั้งน้ำมันปลายังมีราคาแพง ซึ่งจะทำให้มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย

การเสริมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid; PUFA) คือ linoleic acid และ linolenic acid พบว่า มีคุณสมบัติช่วยลดคอเลสเตอรอลได้เช่นกัน โดย linolenic acid จะเปลี่ยนเป็น EPA และ DHA เมื่อเข้าสู่ร่างกาย กรดไขมันชนิด PUFA นี้มีมากในน้ำมันพืชบางชนิด เช่น ถั่วเหลือง เฟล็กซีด (flaxseed) คำฝอย (safflower) และทานตะวัน เป็นต้น

BaoWei (1996) ใช้น้ำมันคำฝอยระดับ 0 และ 8% ในอาหารไก่ไข่ มีผลทำให้น้ำหนักไข่เพิ่มขึ้น และมีปริมาณ linoleic, arachidonic และ linolenic acids ในไข่แดงมากกว่า ในขณะที่มีปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงและซีรัมต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ส่วน An *et al.* (1997) ใช้น้ำมันดอกคำฝอย 5% แทนที่ไขวัวในกลุ่มควบคุม เลี้ยงไก่ไข่พันธุ์เล็กฮอร์นขาว (White Leghorn) อายุ 60 สัปดาห์ เป็นเวลา 7 สัปดาห์ มีผลทำให้คอเลสเตอรอลในตับลดลงเมื่อเทียบกับการใช้ไขวัว อีกทั้งคอเลสเตอรอลยังถูกขับออกมากขึ้น แต่คอเลสเตอรอลในไข่ไม่แตกต่างกัน

Mutia and Uchida (1999) ใช้น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วพูระดับ 5% ในสูตรอาหารนกกระทาไข่ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้ไขวัวระดับ 5% โดยทดลองเป็นเวลา 2 เดือน ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักตัว ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่แดงและอาหารที่กิน แต่ไขมันในไข่ของกลุ่มที่ได้รับน้ำมันถั่วเหลืองและถั่วพูกับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่ของกลุ่มที่ได้รับน้ำมันถั่วเหลืองและข้าวโพดมีค่าต่ำกว่ากลุ่มอื่น โดยน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณคอเลสเตอรอลน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Prakash *et al.* (1996) ใช้ไก่ไข่พันธุ์เล็กฮอร์นขาว สายพันธุ์ HH-260 อายุ 30 สัปดาห์ ให้อาหารที่มีน้ำมันจากปลา ทานตะวัน และตัวดักแด้หนอนระดับ 1 หรือ 2% เลี้ยงไก่เป็นเวลา 3 เดือน ปรากฏว่า ผลผลิตไข่และปริมาณอาหารที่กินไม่แตกต่างกัน ยกเว้นกลุ่มที่ให้น้ำมันตัวดักแด้หนอน 2% ให้ผลต่ำกว่ากลุ่มอื่น ส่วนคอเลสเตอรอลในไข่แดงและซีรัมเมื่อให้น้ำมันปลาและทานตะวันมีปริมาณลดลง ($P<0.05$)

ลินซีด หรือเฟล็ก (linseed or flax, Linum usitatissimum)

มีชื่อสามัญ คือ linseed, flax หรือ common flax จัดอยู่ใน Divison : Magnoliphyta, Class : Magnoliopsida, Family : Linaceae, Genus : Linum, Species : usitatissimum เป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง ซึ่งใช้ประโยชน์ทั้งน้ำมันจากเมล็ดและเส้นใยจากลำต้น พันธุ์ที่ปลูกเพื่อผลิตเมล็ดใช้ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมัน เรียกว่า ลินซีด (linseed) แหล่งปลูกที่ต้องการน้ำมันจากเมล็ดอย่างเดียว ได้แก่ อินเดีย ปากีสถาน อัฟกานิสถาน และตุรกี ส่วนแหล่งที่ปลูกเพื่อเอาเส้นใยอย่างเดียว ได้แก่ แถบเมดิเตอร์เรเนียน อียิปต์ อัลจีเรีย สเปน อิตาลี และกรีก

ลินซีดเป็นพืชล้มลุก (annual plant) ที่มีลำต้นเรียวเล็ก สีเขียวอมเทา สูงประมาณ 90-120 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.3 ซม. ลักษณะทรงพุ่มแตกต่างออกไปตามสายพันธุ์ โดยพันธุ์ที่ใช้เมล็ดเพื่อสกัดน้ำมันจะแตกกอ ส่วนพันธุ์ที่ใช้เป็นเส้นใยโดยตรงจะไม่แตกกอ ยกเว้นส่วนปลายของลำต้นจะแตกเป็นพุ่ม ผลเป็นแบบแคปซูล (capsule) ลักษณะกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-0.6 ซม. แต่ละผลมี 5 คาร์เพล (carpel) แต่ละคาร์เพลมี 2-3 เมล็ด ดังนั้นผลหนึ่งๆ จึงมีเมล็ด 7-12 เมล็ด มีสีเหลือง น้ำตาลอ่อนจนถึงสีเข้ม ผิวเมล็ดเป็นมัน รูปร่างกลมรีและแบน มีน้ำหนักตั้งแต่ 3-12 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด (ภาพที่ 4)

Fig. 4 : Flax seed and oil.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเทศไทยได้นำลินซีดเข้ามาทดลองปลูกโดยมูลนิธิโครงการหลวงที่สถานีวิจัยอ่างขาง และอินทนนท์ ซึ่งเป็นสายพันธุ์จากแคนาดา ให้เมล็ดสำหรับหีบน้ำมัน จะได้น้ำมันประมาณ 33-47% ลินซีดมีประโยชน์หลายประการด้วยกัน คือ เมื่อนำเมล็ดไปสกัดน้ำมันจะได้น้ำมันชนิดแห้งเร็ว ใช้สำหรับทำสี ทำน้ำมันขัดเงา หมึกพิมพ์ น้ำมันฟอกหนัง อุตสาหกรรมพลาสติก และยังใช้เป็นแหล่งพลังงาน ส่วนเมล็ดยังมีโปรตีนประมาณ 23% ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์ปีกได้ ในน้ำมันลินซีดจะประกอบด้วยกรดไขมันที่จำเป็นหลายชนิด ได้แก่ ลิโนเลนิกประมาณ 57% และลิโนเลอิก 17% สำหรับกากเมล็ดลินซีด ซึ่งจัดเป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมัน ได้กาก 53-67% มีโปรตีน 32-39% สามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองและวัตถุดิบแหล่งพลังงานอื่นในอาหารสัตว์ปีกได้ ส่วนลำต้น มีเส้นใยสูง เมื่อนำไปหมักแล้วดี จะได้ส่วนที่เป็นเส้นใยละเอียดและยาว ใช้ทอเป็นผ้าลินิน

สำหรับองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันลินซีดเทียบกับน้ำมันจากถั่วเหลือง ปาล์ม และไขมันวัว แสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่า น้ำมันลินซีดและน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง โดยกรดไขมันประเภทโอเมก้า-3 พบมากในน้ำมันลินซีด ในขณะที่กรดไขมันประเภทโอเมก้า-6 พบมากในน้ำมันถั่วเหลือง สำหรับกรณีน้ำมันปาล์มจะมีกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนไขวัวมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงมาก

TABLE 3. Fatty acids composition of some plant oils compared with tallow (g/100g fat).

Fatty acid	Linseed oil[1/]	Soybean oil[1/]	Palm oil [2/]	Tallow[2/]
Myristic acid (C14:0)	0.07	0.06	1.91	2.55
Palmitic acid (C16:0)	6.46	10.80	41.59	26.04
Palmitoleic acid (C16:1)	0.12	-	-	3.18
Stearic acid (C18:0)	4.10	4.04	4.14	41.77
Oleic acid (C18:1)	22.10	24.10	42.00	25.53
Linoleic acid (C18:2)	14.30	52.90	10.36	0.93
Linolenic acid (C18:3)	52.40	7.49	-	-
Arachidic acid (C20:0)	0.22	0.16	-	-
Saturated fatty acid (Total)	10.90	15.10	47.64	70.36
Unsaturated fatty acid	89.00	84.50	52.36	29.64
Monounsaturated fatty acid	22.30	24.10	42.00	28.71
Polyunsaturated fatty acid	66.70	60.40	10.36	0.93
n-6	14.30	52.90	10.36	0.93
n-3	52.40	7.49	-	-
n-6:n-3	0.27	7.06		

[1/] Grobas *et al.* (2001) [2/] สมชาย (2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Baucells *et al.* (2000) เปรียบเทียบการใช้น้ำมันลินซีดกับน้ำมันปลาที่ระดับ 4% เท่ากันในอาหารไก่ไข่ช่วงอายุ 20-34 สัปดาห์ ปรากฏว่า ไม่มีผลทำให้ปริมาณอาหารที่กิน น้ำหนักตัวเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้อาหาร น้ำหนักไข่ และผลผลิตไข่แตกต่างกัน แต่การใช้น้ำมันลินซีด มีผลทำให้ปริมาณ linolenic และ n-3 ทั้งหมดในไข่แดงสูงขึ้น ในขณะที่มีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันปลา

Grobas *et al.* (2001) เปรียบเทียบการใช้น้ำมันลินซีดกับน้ำมันมะกอก หรือน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ที่ระดับ 5% ของสูตรอาหาร หรือไม่ใส่น้ำมันใดๆ โดยไม่ปรับสมดุลของ ME ในสูตรอาหาร ทดลองกับไก่ไข่ในช่วงอายุ 21-33 สัปดาห์ ปรากฏว่า สมรรถภาพการผลิตไข่ของทุกกลุ่มให้ผลไม่แตกต่าง แต่องค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดงมีปริมาณ linolenic, EPA, DPA และ DHA สูงขึ้น ในขณะที่มี arachidonic ลดลง ส่งผลให้อัตราส่วน n-6/n-3 ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มที่ใช้น้ำมันลินซีดเทียบกับกลุ่มอื่นๆ

Raes *et al.* (2002) รายงานว่า เมื่อใช้น้ำมันลินซีดที่ระดับ 4.5% เทียบกับการใช้น้ำมันถั่วเหลืองระดับ 5.4% ในอาหารไก่ไข่อายุ 53-59 สัปดาห์ โดยปรับให้สูตรอาหารมีพลังงานและโปรตีนเท่ากัน มีผลทำให้ปริมาณ linolenic, EPA และ DHA ในไข่แดงสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลด้านสมรรถภาพการผลิต และสัดส่วนของไข่ขาวต่อไข่แดงไม่ต่างกัน

ไคติน และไคโตซาน (Chitin and chitosan)

ปัจจุบันมีการนำไคติน ไคโตซานไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ด้านการแพทย์ ใช้เป็นวัสดุตกแต่งแผล ไหมเย็บแผล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยา และผิวหนังเทียม เป็นต้น ส่วนด้านการเกษตร ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ด้านอาหารและเครื่องดื่ม ใช้เป็นสารเติมแต่งในอาหาร อาหารเสริมควบคุมน้ำหนัก การถนอมอาหาร บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร นอกจากนี้ยังใช้ลดสารพิษจากเชื้อราบางชนิดในอาหาร และยังสามารถลดคอเลสเตอรอลได้อีกด้วย

โครงสร้างทางเคมีของไคติน (ภาพที่ 5) เป็นโพลิเมอร์แบบเส้นตรงที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส ต่างกันตรงหน่วยย่อย (monomer) ของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคติน คือ N-acetyl-D-glucosamine (2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส ชื่อทางเคมีของไคติน คือ Poly β-(1$\rightarrow$4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยไคตินจะพบได้ในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู และแกนปลาหมึก นอกจากนี้ยังพบในผนังเซลล์ของเห็ดรา และสาหร่ายบางสายพันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

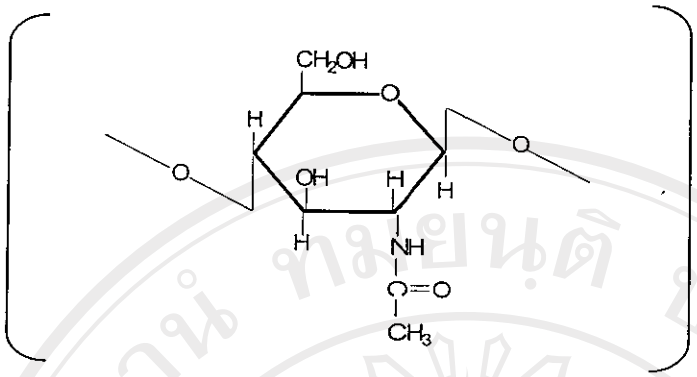

Fig. 5. Structure of chitin.

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินเกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไป โดยมีหมู่อะซีตาไมด์ ($-NHCOCH_3$) เปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ชื่อทางเคมีของไคโตซาน คือ Poly β-(1$\rightarrow$4)-2-amino-2- deoxy-D-glucose

ผลิตภัณฑ์ทางการค้าของไคโตซานที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เช่น *เฟิมคิโต (fermkito)* มีส่วนประกอบทางเคมีดังนี้ : โปรตีน 20%, ไขมัน 14.5%, เยื่อใย 10.7%, เถ้า 22.6%, ไคติน-ไคโตซาน มากกว่า 4.0%, ไคโตซาน โอลิโกแซคคาไรด์ มากกว่า 3.0% และแคโรตินอยด์ (carotenoid) 60 มก./กก. เฟิมคิโต ผลิตจากกระบวนการหมักกระดองปูด้วยจุลินทรีย์ชนิดที่มีประโยชน์ จนได้สารไคติน ไคโตซาน ไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์ และสารสีแคโรตินอยด์ มีคุณสมบัติช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันในสัตว์อายุน้อย ทำให้การเจริญเติบโตดี ควบคุมปริมาณของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคท้องเสีย เช่น ซัลโมเนลล่า (*salmonella spp.*) ในสัตว์ปีกทำให้คุณภาพเปลือกไข่ดีขึ้น เพิ่มสีของไข่แดง ลดความเป็นพิษจากเชื้อรา โดยเฉพาะอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) และซีราลิโนน (zearalenone) อัตราส่วนที่แนะนำให้ใช้ คือ ระดับ 3-5 กก./ตันอาหาร แต่ถ้าใช้เพื่อลดความเป็นพิษจากเชื้อราอะฟลาทอกซินที่มีปนเปื้อนในอาหารไม่เกิน 120 มก./ตันอาหาร หรือจากเชื้อซีราลิโนนที่ปนเปื้อนในอาหารไม่เกิน 150 มก./ตันอาหาร ให้ใช้เฟิมคิโตระดับ 6 กก./ตันอาหาร (เอกสารแนะนำจากบริษัทไพบูลย์วัฒนา จำกัด)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved