บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

มะเขือเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum mill.* อยู่ในตระกูล Solanaceae เช่นเดียวกับ มะเขือ พริก ยาสูบ และพิทูเนีย

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

มะเขือเทศเป็นพืชล้มลุกอายุ 1 ปี ใบหยักเว้าลึก ใบมีลักษณะเป็นใบรวม ประกอบด้วยใบอ่อน 7-9 ใบ สีเขียวปนเทา มีลำต้นอ่อนเปราะ เติบโตรวดเร็ว การเจริญของลำต้นเป็นแบบทรงพุ่มขนาดกลาง ลำต้นมีขนปกคลุม มีกลิ่นเฉพาะตัว การแตกแขนงของกิ่งและก้านไม่เป็นระเบียบ มีระบบรากแก้วที่เจริญเติบโตรวดเร็ว ถ้ารากแก้วถูกทำลายจะสามารถสร้างรากแขนงและรากขนขึ้นได้ ดอกมีสีเหลืองรูปดาว มีลักษณะเป็นช่อ แต่ละช่อมี 4-5 ดอก แต่ละดอกมีกลีบเลี้ยงและกลีบดอกอย่างละ 5 กลีบ ดอกสมบูรณ์เพศมีทั้งเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ผลมีลักษณะฉ่ำน้ำ รูปร่างกลมหรือรี ผิวเรียบทั้งผลหรืออาจจะมีร่องลึกก็ได้ มีสีเหลืองส้มหรือแดง เป็นผลเดี่ยวมีเมล็ดติดอยู่ที่ผนังภายในของผล เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปไข่แบน เปลือกหุ้มเมล็ดมีขนละเอียดสั้น เมื่อเริ่มงอกจะปรากฏเป็นเส้นสีขาวเล็ก ๆ

การเพาะปลูกมะเขือเทศ

มะเขือเทศปลูกได้ดีในพื้นที่ที่สามารถให้น้ำได้ง่าย ไม่ท่วมขัง ดินสามารถระบายน้ำได้ดี มีความอุดมสมบูรณ์และมีความเป็นกรด-ด่าง 6.5-6.8 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการติดผลของมะเขือเทศอยู่ในช่วง 21-24^{o}ซ ในเวลากลางวัน และ 15-20^{o}ซ ในเวลากลางคืน (เมืองทองและสุรีรัตน์, 2525; นิพนธ์, 2526) การปลูกมะเขือเทศในเขตร้อนในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงจึงเป็นเหตุสำคัญในการจำกัดผลผลิตของมะเขือเทศ ดังที่ Bar-Tsur (1977; อ้างโดย วัชระ, 2533) รายงานว่า อุณหภูมิที่สูงถึง 40^{o}ซ (กลางวัน) หรือ 18^{o}ซ (กลางคืน) ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศลดลง

การปลูกมะเขือเทศในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 ฤดู

1. ฤดูกาลปกติ เริ่มปลูกตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงมีนาคม สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิในช่วงนี้เหมาะแก่การเจริญเติบโตของมะเขือเทศ เกษตรกรส่วนใหญ่จะปลูกหลังเก็บเกี่ยวข้าว โดยเพาะกล้าตั้งแต่ต้นเดือนกันยายนและปลูกประมาณปลายเดือนกันยายนเป็นต้นไป ผลผลิตจะเริ่มออกสู่ตลาดในช่วงเดือนธันวาคมถึงมีนาคม พันธุ์ที่นิยมปลูก คือ พันธุ์สีดาทิพย์ VF 134-1-2 Peto 94 และ Peto 502 ถาวร (2526 อ้างอิงโดย วัชระ, 2533) รายงานว่าในฤดูหนาวสามารถปลูกได้ดีทั้งใน

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่ปลูกมะเขือเทศได้ผลดีมากโดยเฉพาะเดือนตุลาคม เนื่องจากมีอากาศเย็นและแห้งตรงตามธรรมชาติของมะเขือเทศ รวมทั้งยังมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำทำให้มีปัญหาเรื่องโรคทางใบน้อย ส่วนภาคเหนือมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงและอุณหภูมิต่ำเกินไป ทำให้มีปัญหาเรื่องโรคทางใบมาก ดังนั้นจึงควรปลูกมะเขือเทศในช่วงเดือนธันวาคมจะดีกว่าปลูกในช่วงเดือนตุลาคม การปลูกมะเขือเทศล่าช้าเกินไป ผลจะเจริญและสุกในช่วงปลายเดือนมีนาคมหรือเมษายน ทำให้ผลมะเขือเทศมีสีแดงไม่สม่ำเสมอและคุณภาพของสีผลต่ำ (นิพนธ์, 2526)

2. นอกฤดูกาล มีการปลูก 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเริ่มจากเดือนเมษายนถึงพฤษภาคมซึ่งเป็นฤดูร้อน มะเขือเทศที่ปลูกในช่วงนี้ส่วนใหญ่จะปลูกบนที่ราบสูงแถบภูเขาซึ่งมีอุณหภูมิต่ำเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ พันธุ์ที่ใช้ปลูกบนที่ราบสูงได้แก่ พันธุ์ VF 134-1-2 ส่วนการปลูกบริเวณที่ราบใช้พันธุ์ L 22 สายฝน สีดาห้างฉัตร และสีดาทิพย์ เป็นต้น พันธุ์มะเขือเทศเหล่านี้เจริญเติบโตได้ดีในฤดูร้อน อีกช่วงหนึ่ง คือ ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงกันยายน การปลูกในช่วงนี้จะมีปัญหาเกี่ยวกับความชื้นในดินสูงจึงประสบปัญหาโรคเน่า ผลผลิตต่อไร่ต่ำเป็นผลให้ต้นทุนการผลิตสูง มะเขือเทศที่ปลูกนอกฤดูกาลดังกล่าวจะเป็นมะเขือเทศพันธุ์ที่ใช้สำหรับบริโภคสด เช่น สีดา สีดาทิพย์ สีดาห้างฉัตร เป็นต้น ซึ่งให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ

สำหรับมะเขือเทศที่ปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูปจะเป็นมะเขือเทศที่ปลูกในฤดูกาลเพียงฤดูเดียวโดยเริ่มปลูกตั้งแต่ปลายเดือนกันยายนเป็นต้นไปซึ่งเป็นระยะปลายฝน สามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่ต้นฤดูหนาว ซึ่งมีความชื้นพอเหมาะที่จะทำให้มะเขือเทศสร้างไลโคปีนได้ดี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2538)

ประเทศไทยปลูกมะเขือเทศกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครพนม สกลนคร หนองคาย เป็นต้น มีผลผลิตรวมกันถึง 58% ของทั้งประเทศ รองลงมา คือ ภาคเหนือปลูกกันมากที่จังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย ได้ผลผลิตประมาณ 18% ของประเทศ จากข้อมูลตารางที่ 1มะเขือเทศในปีเพาะปลูก 2536/2537 มีผลผลิตทั้งหมด 1.57 แสนตัน ส่วนใหญ่เป็นมะเขือเทศเพื่อส่งโรงงานแปรรูป (1.23 แสนตัน) ที่ส่งตลาดบริโภคสดมีเพียง 33,958 ตันเท่านั้น สำหรับมะเขือเทศที่เพาะปลูกในภาคเหนือ 10 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ ตาก แพร่ พะเยา แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน สุโขทัยและอุตรดิตถ์ มีพื้นที่เพาะปลูกมะเขือเทศสำหรับส่งโรงงานในปีเพาะปลูก 2542, 2543 และ 2544 เท่ากับ 13,440; 10,487 และ 7,326 ไร่ ได้ผลผลิตจำนวน 33,781; 36,725 และ 6,979 ตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2, สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคเหนือ, ติดต่อส่วนตัว) จะเห็นได้ว่าการเพาะปลูกมะเขือเทศในภาคเหนือระยะ 3 ปีที่ผ่านมานี้ มีเนื้อที่และผลผลิตลดลงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในปี 2544 ลดลงเหลือเพียง 70% ของปี 2543 เท่านั้น แต่ผล

ผลิตต่อไร่กลับเพิ่มขึ้นทุกปี มะเขือเทศเหล่านี้ถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ น้ำมะเขือเทศ และมะเขือเทศทั้งผลบรรจุกระป๋อง เป็นต้น (ภาพที่ 1)

ตารางที่ 1. ปริมาณการผลิตมะเขือเทศสดและส่งโรงงานของประเทศไทยในปีเพาะปลูก 2536/2537

รายภาค/รายจังหวัด	ผลผลิตรวม		ผลผลิต/ไร่
	(ตัน)	(%)	(กก.)
มะเขือเทศบริโภคสด			
ภาคเหนือ	5,958	17.6	2,236
เชียงใหม่	4,481	13.2	2,396
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	19,517	57.6	2,539
นครพนม	6,826	20.1	2,738
นครราชสีมา	2,851	8.4	4,993
สกลนคร	2,288	6.7	4,325
หนองคาย	509	1.5	3,490
ภาคกลาง	3,977	11.7	1,421
ภาคตะวันตก	4,128	12.2	1,429
ภาคตะวันออก	330	1.0	1,141
รวมทั้งประเทศ	33,958	100	1,753
มะเขือเทศส่งโรงงานแปรรูป			
ภาคเหนือ	13,639	11.1	2,286
เชียงใหม่	8,378	6.8	2,297
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	108,308	88.0	4,845
นครพนม	63,296	51.4	6,133
หนองคาย	24,377	19.8	3,426
สกลนคร	14,503	11.8	4,224
ภาคตะวันตก	1,076	0.9	2,676
ภาคอื่น ๆ	2.0	-	1,000
รวมทั้งประเทศ	123,025	100	4,292
รวมมะเขือเทศบริโภคสดและส่งโรงงาน	156,983	-	3,268

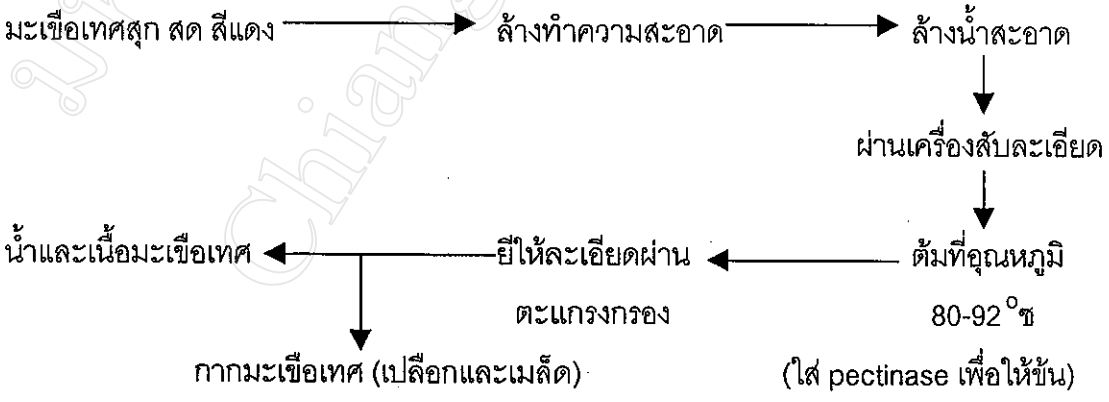
ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 2. พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณการผลิตมะเขือเทศส่งโรงงานในเขตภาคเหนือปีเพาะปลูก 2542/2543 ถึง 2544/2545

จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)			ผลผลิต (ตัน)			ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)		
	2542	2543	2544	2542	2543	2544	2542	2543	2544
เชียงราย	1,075	364	376	4,242	515	2,337	3,367	3,815	3,437
เชียงใหม่	6,980	6,853	3,755	16,535	28,157	2,051	2,679	3,785	4,061
ตาก	995	50	365	4,962	745	1,260	3,703	3,104	4,000
แพร่	0	52	0	0	12	0	0	532	0
พะเยา	3,350	2,800	0	6,285	5,600	1,292	4,395	2,000	2,401
แม่ฮ่องสอน	20	0	0	0	0	0	0	0	0
ลำปาง	0	0	2,544	0	0	0	0	0	0
ลำพูน	835	368	280	1,758	1,379	34	2,359	3,207	1,200
สุโขทัย	185	0	0	0	317	0	0	2,440	0
อุตรดิตถ์	0	0	6	0	0	5	0	0	1,200
รวมทั้งหมด	**13,440**	**10,487**	**7,326**	**33,781**	**36,725**	**6,979**	**3,086**	**3,280**	**3,371**

ที่มา : สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคเหนือ จ. เชียงใหม่ (ติดต่อส่วนตัว)



ภาพที่1. กรรมวิธีผลิตน้ำและเนื้อมะเขือเทศ (บุญล้อมและคณะ, 2541)

องค์ประกอบทางเคมีของผลมะเขือเทศ

มะเขือเทศจัดเป็นพืชผักที่อุดมด้วยสารอาหารทั้งพลังงาน โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน จากการวิเคราะห์มะเขือเทศชนิดผลใหญ่ที่ใช้รับประทานสด (แก้วตา, 2545) พบว่า องค์ประกอบหลักของมะเขือเทศ คือ น้ำ ซึ่งมีอยู่ถึง 79.1% สอดคล้องกับรายงานของกลุ่มเกษตรสัญจร (2531) ที่บ่ง

ว่ามีอยู่สูงถึง 94% ส่วนปริมาณโภชนะอื่นเมื่อคิดเป็นร้อยละของวัตถุแห้ง ประกอบด้วย โปรตีน และเยื่อใยค่อนข้างสูง (18.2 และ 34.8 % วัตถุแห้ง ตามลำดับ) (แก้วตา, 2545) คุณค่าทางโภชนะของผลมะเขือเทศคิดต่อ 100 ก. น้ำหนักสด แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3. คุณค่าทางโภชนะของมะเขือเทศเมื่อคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

ธาตุอาหาร	คิดต่อส่วนที่กินได้ 100 ก.		ร้อยละของวัตถุแห้ง
	กลุ่มเกษตรสัญจร (2531)	กมล และคณะ (2544)	(แก้วตา, 2545)
น้ำ (%)	94.0	-	79.1
พลังงาน (cal)[1/]	19.0	22.0	2.2[2/]
โปรตีน (ก.)	0.7	0.3	18.2
ไขมัน (ก.)	-	0.3	3.1
คาร์โบไฮเดรท (ก.)	4.0	3.6	11.0[3/]
เยื่อใย (ก.)	-	1.7	34.8
ฟอสฟอรัส (มก.)	24.0	31.0	-
แคลเซียม (มก.)	12.0	9.0	-
เหล็ก (มก.)	0.4	0.5	-
โปแตสเซียม (มก.)	222.0	-	-
ไรโบฟลาวิน (มก.)	0.04	0.04	-
ไทอามีน (มก.)	0.05	0.09	-
ไนอาซิน (มก.)	0.7	0.9	-
กรดแอสคอบิก (มก.)	21.0	32.0	-
วิตามินเอ (I. U.)	822.0	-	-

[1/] Gross energy

[2/] Metabolizable energy (kcal/g.DM)

[3/] NFE

i. สารพิษ

ถึงแม้ว่าผลมะเขือเทศจะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล แคโรทีนอยด์ (carotenoid) วิตามินเอ บี และ ซี เป็นจำนวนมาก แต่ก็มีสารพิษอยู่ด้วย เป็นประเภท steroidal alkaloids ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่ออกฤทธิ์รุนแรง มักพบในรูป glycoalkaloid ที่มีคุณสมบัติคล้าย saponin คือ เมื่อเขย่ากับน้ำจะให้ฟอง steroidal alkaloids ในมะเขือเทศ ได้แก่ alpha-tomatine อาจมี beta-tomatine ปริมาณน้อยร่วมด้วย สารเหล่านี้ในผลสีเขียวมีปริมาณ alkaloid

150-330 มก./100 ก. (Kyzlink *et al.*, 1981) แต่ในผลสุกจะมีปริมาณสารดังกล่าวเหลืออยู่น้อยมากเพียง 0.03-0.08 มก./100 ก. เท่านั้น (Friedman and Levin, 1995) สาร tomatine สามารถทำให้เม็ดเลือดแดงแตก ทำให้ผิวหนังและเยื่อบุผิว (mucous membrane) ระคายเคืองอย่างแรง มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส รา และเป็นยาฆ่าแมลง มีคุณสมบัติกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลางและต่อมาจะทำให้เป็นอัมพาต ขนาดที่ทำให้เกิดพิษ LD 50 ในหนูเมื่อฉีด tomatine เข้าช่องท้องเท่ากับ 34 มก./กก. น้ำหนักตัว มนุษย์ไวต่อพิษนี้มากกว่าสัตว์ทดลอง ระดับที่เกิดพิษ LD 50 เมื่อรับประทาน คือ 2-5 มก./กก. น้ำหนักตัว และระดับที่ทำให้เสียชีวิตเท่ากับ 3-6 มก./กก. น้ำหนักตัว (วีณา, 2543) Kyzlink *et al.* (1981) รายงานว่า tomatine ทำให้ลูกไก่มีการเจริญผิดปกติ แต่สามารถลดพิษได้โดยทำให้สุกเป็นเวลา 5 นาที ซึ่งวิธีนี้ลดพิษได้ปริมาณเล็กน้อย แต่ถ้านำมาทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) จะสามารถลด tomatine ได้ 90-95% อย่างไรก็ตามโอกาสที่จะเกิดพิษเนื่องจาก tomatine ในคนนั้นเป็นไปได้น้อยมากเพราะจะต้องรับประทานเป็นจำนวนมากต่อวัน

ii. สารสี

ผลมะเขือเทศสดจัดเป็นแหล่งของสารสี ส่วนมากมีสีส้มแดงหรือสีแดง สารสีในมะเขือเทศเป็นแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่ชื่อว่า ไลโคปีน (lycopene) และแคโรทีน (carotene) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังอาจพบแซนโทฟิลปริมาณเล็กน้อยซึ่งมักอยู่ในรูปของแซนโทฟิลเอสเทอร์ (xanthophyll ester) ดังแสดงในตารางที่ 4 เมื่อมะเขือเทศเริ่มเข้าสู่ระยะสุก ปริมาณคลอโรฟิล (chlorophyll) ในผลจะลดลงทำให้สีของผลมะเขือเทศเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อนหรือขาว ในขณะเดียวกันจะมีการสร้างไลโคปีน แคโรทีนและแซนโทฟิลเพิ่มขึ้น จึงทำให้มะเขือเทศมีสีแดงเพิ่มขึ้นตามระดับความสุก

ตารางที่ 4. ปริมาณรงควัตถุในมะเขือเทศ (มก./100 ก. น้ำหนักสด) ระยะต่างๆ (DeMan, 1990)

รงควัตถุ	Green	Half-ripe	Ripe
Lycopene	0.11	0.84	7.85
Carotene	0.16	0.43	0.73
Xanthophyll	0.02	0.03	0.06
Xanthophyll ester	0.00	0.02	0.10

กากมะเขือเทศ

มะเขือเทศที่ส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น จะมีกากเป็นเศษเหลือประมาณ 10-15% โดยอยู่ในรูปของผิวเปลือก และเปลือกปนเมล็ด จากข้อมูลในตารางที่ 2 ประมาณได้ว่าในปี 2543 มีเศษเหลือนี้ 3,673-5,509 ตัน และในปี 2544 มี 698-1,047 ตัน ซึ่งเศษเหลือเหล่านี้มีสารอาหารอยู่หลายประเภท ดังจะกล่าวถึงต่อไปนี้

i. องค์ประกอบทางเคมี

จากข้อมูลในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า กากมะเขือเทศชนิดผิวเปลือก มีโปรตีน ไขมัน และเถ้าต่ำกว่าเมล็ดมะเขือเทศ (10.5 vs. 26.2, 3.3 vs. 30.4 และ 4.2 vs. 5.5%DM) แต่มีปริมาณเยื่อใยและ NFE สูงกว่าในเมล็ดมาก (53.6 vs. 20.1 และ 28.4 vs.17.8%DM, ตามลำดับ) แสดงว่าสารอาหารที่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่อยู่ในเมล็ด สำหรับปริมาณโภชนะของเปลือกปนเมล็ดในรายงานต่างๆ พบว่า มีค่าต่างกันไปบ้าง ทั้งนี้อาจเนื่องจาก สัดส่วนของเปลือกและเมล็ด และเนื่องจากสายพันธุ์ การเพาะปลูก ตลอดจนกรรมวิธีการแปรรูปที่แตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ดีเมื่อเปรียบเทียบกากมะเขือเทศทุกชนิดกับกากถั่วเหลือง พบว่า มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากากถั่วเหลืองกว่าครึ่ง คือ มีเพียง 20-50% ของกากถั่วเหลืองเท่านั้น (10.5-26.2 vs. 50.5%DM ตามลำดับ) แต่มีปริมาณของไขมันและเยื่อใยสูงกว่ามาก (3.3-30.4 vs. 3.4 และ 20.1-53.6 vs. 5.2%DM ตามลำดับ) โดยเยื่อใยที่สูงนี้ส่วนหนึ่งอยู่ในรูปของ pectin สามารถทำให้ลดปริมาณลงได้โดยใช้ความร้อน 100^{0}ซ เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งจะทำให้ปริมาณเซลลูโลส (cellulose) ลดลงด้วย แต่วิธีนี้ไม่สามารถทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลดลงได้ (Reinders and Their, 1999) Riedl *et al.* (1999) รายงานว่า ปริมาณเยื่อใยที่สูงทำให้การดูดซึมไลโคปีนลดลง 40-74%

ตารางที่ 5. องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละของวัตถุแห้ง) ของกากมะเขือเทศชนิดเมล็ด ผิวเปลือก และผิวเปลือกปนเมล็ดเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง

	DM	CP	EE	CF	Ash	NFE	Reference
กากมะเขือเทศ							
ผิวเปลือก	91.3	10.5	3.3	53.6	4.2	28.4	แก้วตา (2545)
เมล็ด	-	26.2	30.4	20.1	5.5	17.8	Abdel-Rahman (1982)
เปลือกปนเมล็ด	93.6	20.1	13.1	33.1	3.8	29.9	Squires *et al.* (1992)
	92.2	18.6	9.1	34.5	4.4	33.4	วิโรจน์และคณะ (2539)
	-	23.2	18.9	30.1	3.4	24.4	Alicata *et al.* (1988)
	90-99	19.7	8.5	-	-	22.2	Bellea *et al.* (1977)
กากถั่วเหลือง	91.1	50.5	3.4	5.2	7.1	33.9	สุชนและคณะ (2543)

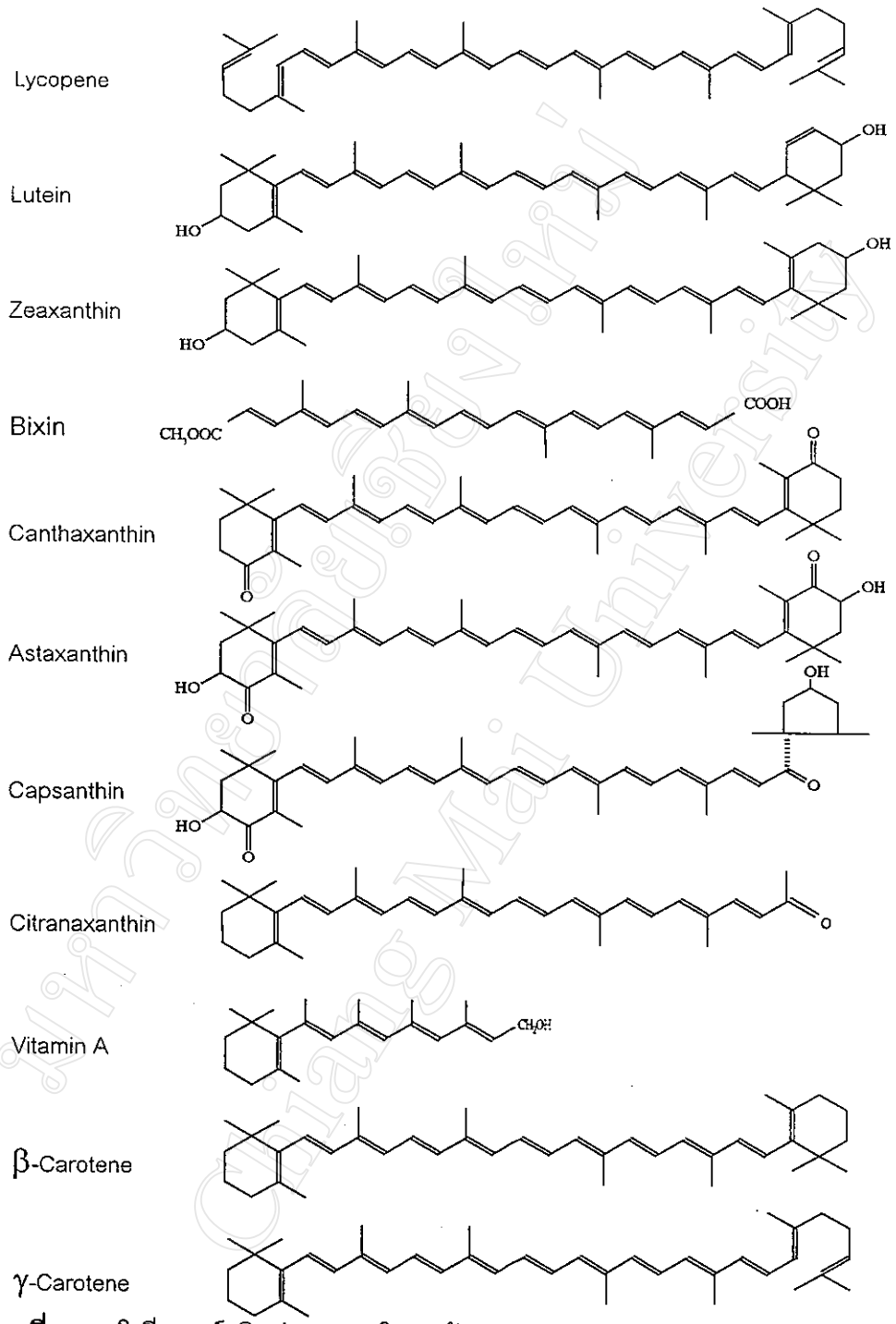
โดยทั่วไปเยื่อใยจะมีกลุ่ม carboxyl ซึ่งสามารถจับกับสารอาหาร เช่น Ca^{2+} , Zn^{2+} หรือจับกับสารพิษ เช่น Cd^{2+}, Hg^{2+} ได้ นอกจากนี้เยื่อใยยังสามารถดูดน้ำไว้ในเซลและช่วยลดโคเลสเตอรอล (cholesterol) ได้ โดยจะจับกับเกลือน้ำดี taurocholate หรือ glycocholate ช่วยเพิ่มการขับถ่ายและลดการดูดซึมกลับของน้ำดีที่ลำไส้เล็ก (Spellholz *et al.*, 1999) จึงลดโคเลสเตอรอลได้เพราะ

80% ของโคเลสเตอรอลจะเปลี่ยนเป็นกรดน้ำดี ดังนั้นการเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ของน้ำดีจากโคเลสเตอรอลจะช่วยเพิ่มการขับโคเลสเตอรอลออกทางมูล (Schneeman, 2001) สอดคล้องกับ Alvarado *et al.* (1999) ที่รายงานว่าหนูที่ได้รับกากมะเขือเทศซึ่งมีเยื่อใย 50%, โปรตีน 18% และไขมัน 10% วันละ 263 ก. สามารถลดการดูดซึมกลูโคสและโคเลสเตอรอลได้

โปรตีนที่พบมากในเมล็ดมะเขือเทศ คือ กลอบูลิน (globulin) อัลบูมิน (albumin) และกลูเต็น (gluten; 39.2, 22.7 และ 2.9%, ตามลำดับ; Canella and Castriotta, 1980) ส่วนกรดอะมิโนที่พบมาก คือ ไลซีน (lysine) มีปริมาณ 4.94 ก./100 ก. โปรตีน แต่กรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (sulfur amino acid) มีในปริมาณต่ำมาก (0.78 ก./100 ก. โปรตีน) จึงถือได้ว่าเมทไธโอนีนเป็นกรดอะมิโนที่ขาดมากเป็นอันดับแรก (Tsatsaronis and Boskou, 1975) ในขณะที่กากมะเขือเทศชนิดเปลือกปนเมล็ดมีกรดอะมิโนไลซีนเพียง 0.94 ก./100 ก. โปรตีน แต่มีกรดอะมิโนเมทไธโอนีนใกล้เคียงกัน คือ 0.56 ก./100 ก. โปรตีน (วิโรจน์และคณะ, 2539) ส่วนชนิดของกรดไขมัน Kochetov *et al.* (1981) รายงานว่า ในเมล็ดมะเขือเทศมีกรดไขมันปาล์มมิติก (palmitic; $C_{16:0}$), โอเลอิก (oleic; $C_{18:1}$) และลิโนเลอิก (linoleic; $C_{18:2}$) ปริมาณ 16.1, 25.5 และ 50.5% ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับในน้ำมันเมล็ดฝ้าย (cotton seed oil) นอกจากนี้ยังพบแร่ธาตุโปตัสเซียม (K) ฟอสฟอรัส (P) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) โซเดียม (Na) และ คลอรีน (Cl) มาก แต่มี เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ปริมาณเล็กน้อย (Tsatsaronis and Boskou, 1975) และยังมีวิตามินไทอามิน (thiamin) 0.71, ไรโบฟลาวิน (riboflavin) 0.036 และแคโรทีน 0.98 มก./100 ก. (Zagibalov *et al.*, 1986)

ii. ไลโคปีน

ดังได้กล่าวแล้วว่า สารสีส่วนใหญ่ในผลมะเขือเทศอยู่ในรูปของไลโคปีน ในส่วนของกากก็เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของผิวเปลือกเพราะมีสีส้มแดงเช่นเดียวกับผลสด ไลโคปีนเป็นรงควัตถุสีแดงมีค่าการดูดกลืนแสง 470-500 nm สร้างได้โดยพืชและจุลินทรีย์บางชนิด สัตว์ไม่สามารถสร้างได้ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น ไลโคปีนเป็นสารเทอร์ปีน (terpene) ที่ไม่มีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจึงจัดอยู่ในกลุ่ม acyclic hydrocarbon carotenoid (DeMan, 1990) แต่ถ้ามีอะตอมออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลเรียกแคโรทีนอยด์กลุ่มนี้ว่า แซนโทฟิล (xanthophyll) ออกซิเจนอาจอยู่ในรูป hydroxyl, carboxyl หรือ keto เช่น ลิวเทอีน (lutein), ไบซิน (bixin), แคนตาแซนทีน (canthaxanthin) ตามลำดับ



ภาพที่ 2. แคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ และโครงสร้างของวิตามินเอ (Thomas-Barderan and Robins, 1997; DeMan, 1990)

ไลโคปีนละลายได้ดีในไขมันแต่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ เนื่องจากไม่มีวงแหวนเบตาไอโอโนน (β – ionone ring) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวิตามินเออยู่ในโมเลกุล ในขณะที่รงควัตถุบางชนิด เช่น เบต้าแคโรทีน (β-carotene) ในแครอทและพืชใบเขียว หรือซิทรานาแซนทีน (citranaxanthin) ในเปลือกส้มบางชนิด มีวงแหวนดังกล่าวอยู่จึงทำให้สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามิน

เอได้ ซึ่งจะมากหรือน้อยแล้วแต่ลักษณะโครงสร้างของแคโรทีนอยด์และประเภทของสัตว์ สำหรับโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ และวิตามินเอ แสดงไว้ในภาพที่ 2 อย่างไรก็ดีมีรายงานว่า ไลโคปีนสามารถเกิดปฏิกิริยา cyclization ได้วงแหวน 6 เหลี่ยม 1 วง (monocyclic) ที่ปลายสายใดสายหนึ่งเรียกว่าแกมมาแคโรทีน (γ-carotene) หรืออาจเกิดวงแหวน 6 เหลี่ยม 2 วง (dicyclic) เรียกว่า เบต้าแคโรทีน การเกิด cyclization ทำให้มีค่าดูดกลืนแสงลดลง ดังนั้นเบต้าแคโรทีนจึงมีค่าดูดกลืนแสงลดลงเหลือ 450 nm มองเห็นเป็นสีเหลือง (Thomas-Barderan and Robins, 1997)

ไลโคปีนมีมากในมะเขือเทศสดและผลไม้อื่น เช่น แตงโม มะละกอ แอปปริคอท และองุ่น เป็นต้น ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศคิดเป็นวัตถุแห้งประมาณ 75.5 มก./100 ก. (Shi *et al.*, 1999) ซึ่งแปรปรวนตามสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม (Philouze *et al.*, 1987) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ lycopene คือ 20-25°ซ (Seyama and Abe, 1977) ดนัย (2534) รายงานว่าอุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วง 24-27°ซ การสังเคราะห์ไลโคปีนจะถูกยับยั้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 30°ซ หรือต่ำกว่า 10°ซ ผลมะเขือเทศที่สุกภายใต้อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมนี้จะมีคุณภาพของสีต่ำ ทำให้ผลมีสีส้ม ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราส่วนระหว่าง ไลโคปีนต่อเบต้าแคโรทีนต่ำกว่าปกติ โดยทั่วไปมะเขือเทศที่มีผลสีแดงจะมีอัตราส่วนของไลโคปีนต่อเบต้า-แคโรทีนประมาณ 18 ต่อ 1 ถึง 21 ต่อ 1 (Frey, 1981 อ้างโดย วัชระ, 2533) และถ้ามีอิทธิพลจากการกลายพันธุ์ของยีนบางตัวร่วมด้วยจะทำให้อัตราส่วนของไลโคปีนต่อเบต้าแคโรทีนสูงขึ้นเป็น 49 ต่อ 1 (Mohr, 1979 อ้างโดย สุภาภรณ์, 2537) จึงทำให้ผลมะเขือเทศมีสีแดงเข้ม

คุณสมบัติ

ไลโคปีนมีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) (Rao *et al.*, 1998) ป้องกันเซลล์ถูกทำลายจากกระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งมีออกซิเจนที่อยู่ในรูป reactive เช่น singlet oxygen, superoxide anion radicals, hydrogenperoxide, peroxynitrite และ hydroxy radicle เป็นต้น ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) เนื่องจากอนุมูลอิสระเหล่านี้จะมีอิเล็ค ตรอนที่ไม่มีคู่ (unpaired electrons) ซึ่งจะพยายามดึงอิเล็คตรอนของชีวโมเลกุลอื่นๆ ที่อยู่ข้างเคียง เช่น ไขมันหรือโปรตีน เข้ามาก่อให้เกิดผลเสียหายต่อโครงสร้างและการทำงานของเซลข้างเคียง เป็นสาเหตุของโรคและความชรา ไลโคปีนมีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ดีกว่าเบต้าแคโรทีน ลิวเทอีนและคริพโตแซนทีนเพราะไลโคปีน 1 โมเลกุลสามารถให้อิเล็คตรอนแก่ออกซิเจนได้หลายอะตอม (Annonymous, 2001) สอดคล้องกับ Steenson (1999) ที่รายงานว่าไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนปริมาณ 50 ppm ในน้ำมันถั่วเหลืองสามารถลดการเกิดอนุมูลอิสระได้ โดยไลโค

ปีนลดอนุมูลอิสระได้มากกว่า 10.5% Lavelli *et al.* (1999) พบว่ามะเขือเทศสดที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 80°ซ เป็นเวลา 400 นาที ยังมีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์อยู่

Giovannucci (2001) รายงานว่าเมื่อให้มะเขือเทศมากกว่าอาทิตย์ละ 2 ครั้ง แก่เพศชายจะช่วยยับยั้งการแบ่งตัวของเซลมะเร็งที่ต่อมลูกหมากได้ 21-34% นอกจากนี้ไลโคปีนยังยับยั้งการเกิดมะเร็งทรวงอกในหนู (Nagasawa *et al.*, 1995) มะเร็งลำไส้ (Narisawa *et al.*, 1996) มะเร็งต่อมลูกหมาก (Leffingwell, 2002) และยังลดการเกิดโรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน (Agarwal and Rao, 1998) โดยลดการเกิดกระบวนการออกซิเดชันใน low density lipoprotein (LDL, Clinton, 1998) ด้วย

แหล่งของสารสี

สีของไข่แดงเป็นประเด็นหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคแม้ว่าสีของไข่แดงที่เกิดจากรงควัตถุบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่เป็นสารสังเคราะห์อาจจะไม่มีคุณค่าทางโภชนะและไม่มีความสัมพันธ์กับสุขภาพหรือการให้ผลผลิตของสัตว์ แต่การที่ไข่แดงมีสีเข้มในระดับที่พอเหมาะย่อมเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่าไข่สีจาง ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะทำให้ไข่แดงมีสีเข้มด้วยการเติมสารสีทั้งจากแหล่งธรรมชาติและสารสังเคราะห์ สารสีจากแหล่งธรรมชาติ ได้แก่ ข้าวโพดเหลือง พริกยักษ์แดง (paprika) กลีบดอกดาวเรือง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ใบกระถิน แครอทและพืชผักสีเขียวชนิดต่างๆ เป็นต้น ซึ่งจะมีชนิดและปริมาณรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบแตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 6 สำหรับสารสีสังเคราะห์ที่นิยมเสริมในอาหารสัตว์ปีก ได้แก่ Carophyll red, Carophyll yellow, β-carotene, Lucanthin yellow, Lucanthin red (canthaxanthin), Lucanthin pink (astaxanthin) และ Lucanthin CX forte (citranaxanthin) เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้สีของแคโรทีนอยด์

ปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้สีของแคโรทีนอยด์ ได้แก่

1. โครงสร้างทางเคมี

1.1 สเตอริโอไอโซเมอริซึม (Sterio isomerism)

ไอโซเมอร์ (isomer) คือ สารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่มีการจัดเรียงอะตอมต่างกัน ดังนั้นไอโซเมอร์ที่มีการจัดอะตอมหรือหมู่ของอะตอมใน 3 มิติ แตกต่างกันเรียกว่าสเตอริโอไอโซเมอร์ ไอโซเมอร์เกิดเป็นคู่ๆและเป็นภาพในกระจกเงาของกันและกัน จึงทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไอโซเมอร์ทั้งสองเหมือนกัน ยกเว้นสมบัติในการหมุนรอบระนาบของแสงโพลาไรส์ สารประกอบที่สามารถหมุนระนาบของแสงโพลาไรส์ได้ เรียกว่ามีคุณสมบัติออพติคัล-แอกติวิตี

ตารางที่ 6. ชนิดและปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่มีในธรรมชาติ

แหล่งสารสี	ชนิดแคโรทีนอยด์	ปริมาณ (มก./ก.)
Alfalfa meal	Total xanthophyll	220-330
Carrots	"	54
Corn	"	20-25
Marigold petal	"	8,000
Apple	Total carotenoid	1-5
Apricots	"	35
Grapes	"	2
Strawberry	"	1
Algae (Spirulina *spp.*)	Myxoxanthophyll	2512
Red pepper (*Capsicum annuum L.*)	Capsanthin	523-656
Salmon	Astaxanthin	5
Shrimp	"	100

ที่มา : Klasing (1998); Sikder *et al.* (1998); Mingues-Mosquera and Hornero-Mendez (1993); Anderson *et al.* (1991); Janky *et al.* (1982)

(optical activity) ถ้าหมุนทางขวาตามเข็มนาฬิกา เรียกว่า rectus (R) ถ้าหมุนไปทางซ้ายทวนเข็มนาฬิกา เรียกว่า sinister (S) และถ้านำไอโซเมอร์ทั้งสองผสมอย่างละเท่ากันจะได้สารผสมราซิมิก (racemic mixture) หรือราซิเมต (racemate) ซึ่งจะไม่มีคุณสมบัติออพติคัลแอกติวิตี เพราะการหมุนระนาบแสงโพลาไรส์ของไอโซเมอร์หนึ่งจะหักล้างกับอีกไอโซเมอร์หนึ่งพอดี Hencken (1992) รายงานว่า ไก่ไข่สามารถดูดซึมไอโซเมอร์ของซีแซนทีนได้ต่างกันโดยออพติคัลแอกติวิตีชนิด RR (3R, 3'R) และ SS (3S, 3'S) มีประสิทธิภาพให้สีไข่แดงในไข่ไก่ 100 และ 86% ตามลำดับ ในขณะที่ราซิเมต ซีแซนทีนมีประสิทธิภาพให้สีไข่แดง 92%

1.2 จีโอเมตริคัลไอโซเมอร์ริซึม (Geometrical isomerism)

การจัดเรียงตัวของคาร์บอน (carbon) ที่ทำพันธะคู่กันในแคโรทีนอยด์มีไอโซเมอร์ได้ 2 แบบ โดยถ้ามีหมู่หรืออะตอมที่เหมือนกันอยู่ด้านเดียวกันของพันธะคู่จัดเป็น ซิส ไอโซเมอร์ (cis isomer) แต่ถ้าอยู่ด้านตรงข้ามของพันธะคู่จัดเป็น ทรานส์ ไอโซเมอร์ (trans isomer) ซึ่งไอโซเมอร์ทั้งสองไม่มีคุณสมบัติออพติคัลแอกติวิตีเพราะภาพในกระจกเงาซ้อนกันได้สนิท

ไลโคปีนในธรรมชาติส่วนมากมีโครงรูปแบบทรานส์ (all-trans) แต่จะเปลี่ยนเป็นโครงรูปแบบซิส ไอโซเมอร์ (cis isomer) ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนระหว่างกระบวนการผลิต รวมทั้งแสงและกรด (Nguyen and Schwartz, 1999; Shi *et al.*, 1999) สอดคล้องกับ Boskovic (1997) รายงานว่า ไลโคปีนโครงรูปทรานส์ลดลงมากกว่า 20% ในระหว่างขั้นตอนการผลิต Hencken (1992) รายงานว่า แคโรทีนอยด์ที่เกิดพันธะคู่แบบทรานส์จะให้สีแดงเข้มมากกว่าแคโรทีนอยด์ที่มีพันธะคู่แบบซิสแต่เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของโครงรูปซิสเป็นปริมาณเพียงเล็กน้อยรวมทั้งโครงรูปซิสมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าโครงรูปทรานส์ 2-5 นาโนเมตร ดังนั้นความแตกต่างของสีจากกระบวนการไอโซเมอร์ไรเซชัน (isomerization) จึงมีผลเล็กน้อย (Thomas – Barderan and Robins, 1997) สอดคล้องกับ Khachik *et al.*, (1995) รายงานว่า ความร้อนที่ใช้ในการปรุงอาหาร เช่น การต้ม อบไอน้ำ หรือการเคี่ยวอาหารไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงรูปของแคโรทีนอยด์

Emenhiser *et al.* (1996) พบว่า ในพลาสมา (plasma) และเนื้อเยื่อมีไลโคปีนโครงรูปซิสประมาณ 50-88% ของไลโคปีนทั้งหมด ทั้ง ๆ ที่ในมะเขือเทศสดมีไลโคปีนโครงรูปทรานส์แสดงว่าไลโคปีนจากมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการแปรรูปร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์และดูดซึมไปใช้ได้ดีกว่าไลโคปีนจากผลมะเขือเทศสด (Agarwal and Rao, 1998; Gartner *et al.*, 1997; Porrini *et al.*, 1998) สอดคล้องกับ Schwartz (2000) รายงานว่ามะเขือเทศสดและมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการผลิตทำให้ไลโคปีนในพลาสมาเพิ่ม 12 และ 23% ตามลำดับ

2. กระบวนการสกัดสารสี

Hencken (1992) รายงานว่ากระบวนการสปอนนิฟิเคชัน (saponification) ของแซนโทฟิลทำให้ไก่เนื้อใช้ประโยชน์ แซนโทฟิลได้เพิ่มขึ้น 40-60% สอดคล้องกับ Coon and Couch (1976) ที่ศึกษาการย่อยได้ของดอกดาวเรืองป่น (marigold meal) และสารสกัดจากดอกดาวเรืองในรูปแบบต่าง ๆ อีก 3 แบบ (marigold extract, esterified xanthophyll จาก marigold extract และ saponified marigold extract) ในอาหารไก่ไข่โดยให้มีแซนโทฟิลระดับ 33 และ 132 มก./กก. ของอาหาร พบว่าการย่อยได้ของดอกดาวเรืองทั้ง 4 แบบ ที่ระดับแซนโทฟิล 33 มก./กก. เท่ากับ 88.5, 89.1, 81.2 และ 97% ตามลำดับ แต่ที่ระดับ 132 มก./กก. การย่อยได้ลดลง ชี้ให้เห็นว่า กระบวนการสปอนนิฟิเคชันเพิ่มการย่อยได้และความสามารถในการใช้ประโยชน์ของดอกดาวเรือง แต่กระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) จะลดการย่อยได้ลดลง แต่ถ้าเสริมกรดไขมันสายสั้นในอาหารจะช่วยปรับปรุงการย่อยได้ดีขึ้น (Alam *et al.*,1998; Hamilton, 1992; Tyczkowski *et al.*, 1989)

3. ชนิดของแคโรทีนอยด์

แหล่งของแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น ข้าวโพดเหลือง มีแซนโทฟิล 20-25 มก./กก. เมื่อใช้ในอาหาร 50% ให้คะแนนสีไข่แดง 6.5-7 จากพัดเทียบสี (Roch Yolk Colour Fan) (Scott *et al.*, 1968) แต่ Sikder *et al.* (1998) รายงานว่าได้คะแนนเพียง 4.1-4.8 จากการใช้ข้าวโพดระดับเดียวกัน ในขณะที่ Koran *et al.* (1992) ได้คะแนน 4.6 เมื่อใช้ข้าวโพด 55% Marusich and Bauernfeind (1970) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้สีของ lucerne meal, ดอกดาวเรืองป่น, สาหร่าย 2 ชนิด (*Chlorella pyrenoidosa* และ *Spongiococcum excentricum*) และ corn gluten meal พบว่า corn gluten meal มีประสิทธิภาพการให้สีในไข่แดงดีกว่าวัตถุดิบอาหารชนิดอื่น ๆ เนื่องจากอัตราส่วนของ ลิวเทอีนต่อซีแซนทีน ใน corn gluten meal ต่ำกว่าวัตถุดิบตัวอื่น (11.5:1; 22:1; 15.6:1 vs. 1.83:1 ตามลำดับ) ซึ่งลิวเทอีนให้สีเหลืองอ่อนกว่าซีแซนทีน (Smith and Perdue, 1966) สอดคล้องกับ Nakaue *et al.* (1966) พบว่าลิวเทอีนมีประสิทธิภาพในการให้สี 8.5% ในขณะที่ซีแซนทีนสามารถให้สีได้ 36.2% ของปริมาณที่กิน Witt *et al.* (1972) รายงานว่า กลีบดอกดาวเรืองมีการใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าข้าวโพด เนื่องจากลิวเทอีนในข้าวโพดเป็น unesterified form แต่ลิวเทอีนในกลีบดอกดาวเรืองเป็น diester ของ dipalmitic และ dimyristic fatty acid (Alam *et al.*, 1968; Couch and Coon, 1972) ซึ่งการเกิดพันธะ ester แบบนี้ ไก่มีการย่อยได้และดูดซึมได้น้อย (Hencken, 1992)

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของแคโรทีนอยด์ในสัตว์ปีก

1. พันธุ์และความแปรปรวนระหว่างตัวสัตว์

Fletcher *et al.* (1977a) พบว่าไก่ไข่ 12 สายพันธุ์ ให้สีไข่แดงที่แตกต่างกัน เนื่องจากความสามารถในการดูดซึมรงควัตถุ สอดคล้องกับ Kumar *et al.* (1971) ที่รายงานว่า ไก่พันธุ์ Rhode Island Red และ Indian ให้คะแนนสีไข่แดงเท่ากับ 9.3 และ 11.2 ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับ Karunajeewa *et al.* (1984) และ Scott *et al.* (1968) ที่รายงานว่าพันธุ์ไก่มีผลต่อการสะสมสารสี นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการดูดซึมและการสะสมแซนโทฟิลแตกต่างกันไปในไก่แต่ละตัวแม้ว่าจะอยู่ในสายพันธุ์เดียวกัน

2. อายุสัตว์

Day and William (1958) รายงานว่าการใช้ประโยชน์ของแซนโทฟิลจะสูงในช่วงหลังของการเจริญเติบโตในไก่กระทง ดังนั้นการให้อาหารที่มีระดับแซนโทฟิลต่ำในช่วงอายุ 4-5 สัปดาห์ จะได้สีหน้าแข้งและผิวหนังจางกว่าการให้ในช่วงอายุ 8-9 สัปดาห์ แต่อย่างไรก็ตามการให้อาหารที่มีแซนโทฟิลในช่วง 3 สัปดาห์สุดท้ายมักให้สีไม่พอกับความต้องการ ซึ่งตรงกับรายงานของ Bartov and Bornstein (1969) ที่พบว่า ไก่ซึ่งได้รับอาหารที่มีแซนโทฟิลในระดับต่ำในระยะแรกมีประสิทธิ

ภาพการใช้ประโยชน์จากแซนโทฟิลสูงกว่าในระยะหลังของการเจริญเติบโต Marusich and Bauernfeind (1970) พบว่าการให้แซนโทฟิลระดับเท่ากันในช่วง 3-5 สัปดาห์สุดท้ายก่อนฆ่าจะให้สีของผิวหนังและหน้าแข้งดีกว่าพวกที่ให้หนึ่งสัปดาห์ก่อนฆ่าถึง 50% ชี้ให้เห็นว่าถึงแม้การใช้ประโยชน์จากแซนโทฟิลจะดีในช่วงหลังของการเจริญเติบโต แต่ถ้าให้ในช่วงเวลาที่สั้นจะทำให้การสะสมสารสีในไก่ไม่เพียงพอกับความต้องการ ส่วนในไก่ไข่ไม่พบอิทธิพลของอายุสัตว์

3. ไขมันในอาหาร

ไขมันที่ใช้ในอาหารมีทั้งไขมันจากพืชและสัตว์ซึ่งมีผลต่อการให้สีในไข่แดง อย่างไรก็ดีพบว่าผลดังกล่าวค่อนข้างแปรปรวน เช่น Hartfiel and Tuller (1968) รายงานว่าการเสริมน้ำมันข้าวโพด 3% หรือน้ำมันเมล็ดทานตะวัน 2-4% (Abu-Serewa, 1976 อ้างโดย Karunajeewa, 1984) ในอาหารที่มีระดับสีสังเคราะห์ 2.2 มก./กก. จะช่วยเพิ่มสีของไข่แดงให้ดีขึ้น ในขณะที่ Madiedo and Sunde (1964) รายงานว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ที่ได้จาก safflower ในระดับ 5% ไม่มีผลต่อสีไข่แดง Biedermann and Prabucki (1969) พบว่าเมื่อใช้สีสังเคราะห์ระดับต่ำ (1.5 mg/kg) ร่วมกับการใช้น้ำมันจากเมล็ดทานตะวันและกากเรปซีดช่วยเพิ่มสีไข่แดง 1-2 คะแนน แต่ถ้าใช้สีสังเคราะห์ระดับสูง (7.2-8.8 mg/kg) น้ำมันพืชไม่มีผลต่อสีไข่แดง Health and Shaffner (1972) ศึกษาผลการเสริมไขมันถั่วเหลือง ระดับ 4, 7 และ 10% ในอาหาร พบว่า การเพิ่มระดับไขมันในอาหารทำให้ปริมาณ xanthophyll ที่สะสมในผิวหนังและเนื้อเยื่อสูงขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Day and William (1958) ที่เสริมไขมันสัตว์ ในระดับ 2, 5 และ 10%ในอาหาร พบว่า เพิ่มการใช้ประโยชน์ของ xanthophyll อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ Sullivan and Holeman (1962) รายงานว่า การเสริมไขมันสัตว์ 4% ในอาหารไม่มีผลต่อการสะสมสารสีในไข่แดง

Tyczkowski *et al.* (1989) รายงานว่า กรดไขมันอิ่มตัวสายสั้นช่วยให้การดูดซึมของลิวเทอีนดีขึ้นกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวโดยพบว่า เมื่อให้น้ำมันมะพร้าว 2% ($C_{12:0}$) จะตรวจพบลิวเทอีนในซีรัมสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ได้รับน้ำมันมะกอก (olive oil, $C_{18:1}$) (9.55 vs. 3.8 และ 6.56 ไมโครกรัม/มล. ของซีรัม ตามลำดับ) และเมื่อให้ไขมันในอาหาร 5% จากตารางที่ 7 จะเห็นว่ากรดไขมันอิ่มตัวสายยาว (myristic, palmitic และ stearic) และ tristearin ช่วยให้ลิวเทอีนดูดซึมดีขึ้นเล็กน้อย (0.48-0.77 ไมโครกรัม/มล.) ในขณะที่กรดไขมันสายสั้น เช่น lauric มีการดูดซึมได้ดีที่สุดเกือบ 2 เท่าของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว (oleic และ linolenic) และ ไตรกลีเซอไรด์ (trilaurin และ triolein)

ตารางที่ 7. อิทธิพลของกรดไขมันประเภทสายสั้นและสายยาวต่อประสิทธิภาพการดูดซึมของลิวเทอีนในพลาสมาของไก่ (Tyczkowski *et al.*, 1989)

Lipid	Chain length: saturation	Lutein (µg/mL)
Capric acid	10:0	1.45 ± 0.19^{b}
Lauric acid12:0	12:0	3.17 ± 0.49^{a}
Myristic acid	14:0	0.77 ± 0.15^{c}
Palmitic acid	16:0	0.64 ± 0.13^{c}
Stearic acid	18:0	0.60 ± 0.08^{c}
Oleic acid	18:1	1.34 ± 0.11^{b}
Linoleic acid	18:2	1.45 ± 0.08^{b}
Trilaurin	12:0	1.74 ± 0.14^{b}
Tristearin	18:0	0.48 ± 0.01^{c}
Triolein	18:1	1.38 ± 0.14^{b}

$^{a-c}$ Values with no common superscripts are significantly different ($P<0.05$).

4. ระยะเวลาการเก็บและสภาพแวดล้อม

ระยะเวลาการเก็บรักษาวัตถุดิบอาหารสัตว์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แคโรทีนอยด์ถูกทำลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานาน Quackenbush (1963) พบว่า แคโรทีนอยด์ใน corn gluten meal และอัลฟัลฟาลดลง 50% เมื่อเก็บไว้ 1 ปี นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังถูกทำลายได้เมื่อโดนความร้อน แสง และออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้แคโรทีนอยด์เกิดกระบวนการออกซิเดชัน ดังนั้นแคโรทีนอยด์จะเสถียรมากขึ้นถ้าเก็บแบบแช่แข็งหรือทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) Anderson *et al.* (1991) รายงานว่าแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายสไปรูไลนา (spirulina) ถ้าทำให้แห้งโดยความร้อน 125°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 669 มก./กก. แต่ถ้าทำให้แห้งแบบเยือกแข็งจะมีแคโรทีนอยด์สูงขึ้น 9 เท่า คือสูงถึง 5,787 มก./กก.

5. โรค

Hamilton (1992) พบว่าเชื้อ *E. acervulina* ทำให้การดูดซึมแคนตาแซนทีนลดลง 99% ภายใน 5 วัน หลังจากได้รับเชื้อ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเชื้อดังกล่าวอาศัยที่ duodenum และ jejunum ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับการดูดซึมของแคโรทีนอยด์ (Tyczkowski and Hamilton, 1986)

Ogbuokiri and Edgar (1986) ทดลองให้เชื้อ *E. acervulina*, *E. mivati*, *E. maxima*, *E. necartrix*, *E. brunetti* และ *E. tenella* ในอาหารไก่ที่มีปริมาณแซนโทฟิลในระดับ 13.55 มก./กก.

พบว่าเชื้อบิดเหล่านี้ไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว แต่ทำให้สีของหน้าแข้งลดลงภายใน 4 วันหลังได้รับเชื้อ โดย *E. maxima*, *E. mivati* และ *E. acervulina* มีผลให้สีของหน้าแข้งซีดลงมากกว่าเชื้อบิดชนิดอื่น เนื่องจากกลุ่มนี้อาศัยอยู่บริเวณลำไส้เล็กและพบว่า *E. tenella* มีผลให้สีแข้งซีดน้อยกว่าเชื้อบิดชนิดอื่น ๆ เพราะ *E. tenella* จะรบกวนการดูดซึมแซนโทฟิลที่บริเวณ caeca

6. การเปลี่ยนเป็น vitamin A

แคโรทีนอยด์นอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารสีแล้วแคโรทีนอยด์บางตัว เช่น เบต้าแคโรทีน ยังมีคุณสมบัติเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอได้ ดังนั้นประสิทธิภาพการให้สีจึงลดลง นอกจากนี้ วิตามินเอที่เสริมในอาหารยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ provitamin A Madiedo and Sunde (1964) รายงานว่า การเสริมวิตามินเอ 25,000 I.U./กก. อาหาร ทำให้สีไข่แดงลดลง แต่ถ้าเสริมไขมัน 11-12% ในอาหาร พบว่าไม่มีผลต่อสีของไข่แดง (McDonald, 1981) สอดคล้องกับ Hayes et al. (1966) ที่รายงานว่าการใช้วิตามินเอปริมาณ 26,455 I.U./กก. อาหาร ร่วมกับ ไขวัว 3% ทำให้สีของไข่แดงไม่ลดลง

7. การจัดการโรงเรือน

Janky *et al.* (1982) รายงานว่าไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีแสงผ่านได้ 42% มีแซนโทฟิลในเลือดและปริมาณเม็ดสีในผิวหนังต่ำกว่าโรงเรือนที่แสงผ่านได้ 89% สอดคล้องกับ Fletcher *et al.* (1977a,b) ซึ่งศึกษาผลของแสงแดดที่มีอิทธิพลต่อแคโรทีนอยด์ในไข่แดงและสีผิวแข้ง พบว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงในฤดูหนาว (มกราคม-กุมภาพันธ์) ได้รับแสงแดดน้อยจะมีปริมาณเม็ดสีในไข่แดงและผิวหนังน้อยกว่าไก่ไข่ที่เลี้ยงในฤดูร้อน (กรกฎาคม) เนื่องจากแสงแดดกระตุ้นให้ลิวเทอีนที่ผิวหนังไก่หรือที่แข้งเกิดกระบวนการไอโซเมอร์ไรเซชันกลายเป็นซีแซนทีน ดังนั้น ไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนเปิดจึงมีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าไก่ที่เลี้ยงในโรงเรือนแบบปิด (Fletcher, 1981)

8. แอนติออกซิแดนท์

แคโรทีนอยด์ถูกทำลายได้ง่ายโดยแสงและอุณหภูมิเป็นตัวเร่งให้เกิดกระบวนการออกซิเดชัน ดังนั้น การเติมแอนติออกซิแดนท์ลงในอาหารจะช่วยป้องกันให้แคโรทีนอยด์ถูกทำลายน้อยลง Kurnick *et al.* (1966) พบว่า ethoxyquin 150-1200 ppm ช่วยเพิ่มสีในไข่แดงได้ 10.3-40.4% และช่วยลดการสูญเสียของเบต้าแคโรทีนและแซนโทฟิลใน dehydrated alfalfa meal (0.4-12.8 และ 11.4-19.6% ตามลำดับ) Bartov and Borstein (1969) พบว่า ethoxyquin ปริมาณ 100-1200 มก./กก. ทำให้ oxycarotenoid มีประสิทธิภาพให้สีในไข่แดง 54% ในช่วงหน้าร้อน และ 24% ในช่วงหน้าหนาว แอนติออกซิแดนท์นอกจาก ethoxyquin และ butylated hydroxytoluene (BHT) แล้ว วิตามินอีในธรรมชาติก็ทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ด้วยโดย Saunders *et al.*

(1967 อ้างโดย Karunajeewa, 1984)) รายงานว่าในอาหารที่มีน้ำมันดอกทานตะวัน 3% แล้วเสริมวิตามิอี 14.6 มก./กก. ช่วยเพิ่มสีไข่แดงดีกว่าการใช้ BHT ปริมาณ 125 มก./กก.

เมื่อไม่ใช้แอนติออกซิแดนท์ แคโรทีนอยด์ที่สูญเสียง่าย คือ เบต้าแคโรทีน นีโอแซนทีน (neoxanthin) ไวโอลาแซนทีน (violaxanthin) และ ฟลาโวแซนทีน (flavoxanthin) ปริมาณที่พบในอาหารคือ 0-53% หลังจากเก็บมานานสองเดือนในขณะที่คริพโตแซนทีน ลิวเทอีน และ ซีแซนทีนจะมีความเสถียรมากกว่า ปริมาณที่พบคือ 72-77% ในอาหาร (Kumick *et al.*, 1966; Nakaue *et al.*, 1966) แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ ethoxyquin ถึงแม้จะป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้แต่แคโรทีนอยด์ก็ยังสามารถเกิดกระบวนการไอโซเมอร์ไรเซชันได้ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของแคโรทีนอยด์ (Sunde, 1992)

Madiedo and Sunde (1964) พบว่า การใช้ ethoxyquin 0.01, 0.02 และ 0.1% ทำให้แคโรทีนอยด์ในไข่แดงเพิ่มขึ้นเป็น 85, 90 และ 104 ไมโครกรัม/ก. ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีแคโรทีนอยด์เพียง 55 ไมโครกรัม/ก. ไข่แดง เท่านั้น

การนำกากมะเขือเทศมาใช้เป็นอาหารสัตว์

Squires *et al.*, (1992) ได้นำกากมะเขือเทศไปใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลืองในอาหารไก่เนื้อ โดยทำการปรับทั้งระดับ ME และเยื่อใยของสูตรอาหารที่ใช้กากมะเขือเทศให้มีปริมาณเท่ากับกลุ่มควบคุม รวมทั้งยังได้นำกากมะเขือเทศไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การแช่น้ำ แช่กรดและแช่ด่าง หรือผ่านความร้อนเพื่อทำลายสารพิษและช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในกากมะเขือเทศก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมของสูตรอาหารไก่เนื้อที่ระดับ 10 และ 20% ผลการทดลองพบว่า การนำกากมะเขือเทศที่แช่ด่างมาเสริมในอาหารระดับ 20% ทำให้ไก่มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นมากกว่าทุกกลุ่ม ในขณะที่การเสริมกากมะเขือเทศแช่ด่างหรือกากปกติในระดับ 10% ให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ไก่ที่ได้รับการเสริมกากมะเขือเทศที่ผ่านความร้อนจะมีการเพิ่มน้ำหนักและมีอัตราการเปลี่ยนอาหารใกล้เคียงกับกลุ่มที่ได้รับกากมะเขือเทศปกติ ทั้งที่ระดับ 10 และ 20% ซึ่งการใช้ที่ 2 ระดับนี้ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่เนื้อ แสดงว่าในเศษเหลือของกากมะเขือเทศไม่มีสารพิษหรือถ้ามี เช่น สารยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibitor) ก็มีในระดับต่ำมากจนไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของไก่

วิโรจน์และคณะ (2539) ได้ศึกษาความเป็นไปได้และระดับที่เหมาะสมในการใช้กากมะเขือเทศเป็นอาหารเป็ดเทศ 4 ระดับ คือ 0, 10, 15 และ 20% ผลการทดลองปรากฏว่า เป็ดเทศทุกกลุ่มมีอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินและประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไม่แตกต่างกัน การใช้กากมะเขือเทศในระดับสูงขึ้นจะทำให้ต้นทุนค่าอาหารในการเพิ่มน้ำหนักตัวลดลง โดยกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมกากมะเขือเทศที่ระดับ 20% มีต้นทุนต่ำที่สุด เท่ากับ 12.66 บาท/กก.

วิทยาและคณะ (2540) ได้ทดลองใช้กากมะเขือเทศแห้งระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหารสำหรับไก่พื้นเมืองลูกผสมที่ช่วงอายุ 6-14 สัปดาห์ พบว่าสามารถใช้กากมะเขือเทศผสมในสูตรอาหารไก่ได้ทั้ง 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30% ซึ่งทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อการเพิ่มน้ำหนักตัว 1 กก. ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านเพศและระดับของกากมะเขือเทศแห้งที่ผสมในสูตรอาหารไก่พื้นเมืองลูกผสม

Yannakopoulos *et al.*, (1992) พบว่าการให้อาหารไก่ไข่ที่มีกากมะเขือเทศบดผสมอยู่ในระดับ 0, 80 และ 150 ก./กก. จะช่วยเพิ่มสีของไข่แดงจาก 11.2 เป็น 12.9 และ 12.9 คะแนน ส่วนน้ำหนักเพิ่มจาก 62.9 เป็น 63.7 และ 64.8 ก. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าจุดเลือดและจุดเนื้อจะต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้กากมะเขือเทศ ส่วนน้ำหนักตัว จำนวนไข่ ปริมาณอาหารที่กินได้ และอัตราการอยู่รอดไม่แตกต่างกัน แสดงว่าการเสริมกากมะเขือเทศในอาหารไก่ไข่ช่วยปรับปรุงสมรรถภาพของไก่ไข่และคุณภาพไข่ได้

Bellea *et al.*, (1977) รายงานว่ากากมะเขือเทศแห้งมีความชื้น โปรตีน ไขมัน และ NFE เท่ากับ 10-11, 19.66, 8.45 และ 22.12% ตามลำดับ การนำมาผสมในอาหารไก่เนื้อ ที่ระดับ 2 และ 3% ทำให้ไก่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.77 และ 1.79 กก. ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.8 กก. ส่วนปริมาณอาหารที่กินได้ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มเสริมกากมะเขือเทศที่ระดับ 2 และ 3% คือ 2.55, 2.58 และ 2.66 กก. ตามลำดับ ในไก่ไข่การเสริม กากมะเขือเทศที่ระดับ 4% พบว่า มีผลผลิตไข่ 45-45.7% เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริม คือ 48.5% สำหรับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ พบว่า กลุ่มที่เสริมกากมะเขือเทศใช้อาหาร 167-179 ก./ฟอง และ 3.2-3.6 กก./กก.ไข่ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม คือ 190 ก./ฟอง และ 3.42 กก./กก. ไข่ ตามลำดับ

Dotas *et al.*, (1999) รายงานการเสริมกากมะเขือเทศในอาหารไก่ไข่ 120 ก./กก. เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เสริมกากมะเขือเทศและกลุ่มที่ใช้สารสีสังเคราะห์ carophyll พบว่า ปริมาณการกินอาหาร ผลผลิตไข่ น้ำหนักไข่ และความหนาเปลือกไข่ ไม่แตกต่างกัน สำหรับสีไข่แดงกลุ่มที่เสริมกากมะเขือเทศจะเข้มกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมสารสี ($P<0.001$) แต่ก็ยังน้อยกว่ากลุ่มที่ใช้สารสีสังเคราะห์ ($P<0.001$) สอดคล้องกับ Gregoriades *et al.*, (1984) ที่ทดลองผสมกากมะเขือเทศในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15% แทนที่กากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร พบว่า น้ำหนักตัว ผลผลิตไข่ และน้ำหนักไข่ ไม่มีความแตกต่างในระหว่างกลุ่ม แต่ไข่แดงมีสีเข้มขึ้นตามระดับการเสริมกากมะเขือเทศ

Mlodkowski and Kuchta (1998) รายงานว่าการผสมกากมะเขือเทศในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0-8% ไม่มีผลต่อสีไข่แดงและไม่ได้เพิ่มปริมาณของแซนโทฟิลหรือแคโรทีนอยด์ในไข่แดง แต่เมื่อเสริมเอมไซม์ cellulolytic ปริมาณ 1-2 ก./กก. อาหาร จะช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของรงควัตถุในกากมะเขือเทศได้

Abou-Akkada *et al.*, (1975) ทดลองใช้กากมะเขือเทศที่ระดับ 2, 4 และ 6% ในไก่ไข่ 3 สายพันธุ์ คือ Alexandria, Dokki และ Fayoumi โดยกากมะเขือเทศมีความชื้น เยื่อใย และโปรตีน เท่ากับ 8-10, 18-26.9 และ 12.5-22.5% ตามลำดับ พบว่าในแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างทาง ผลผลิตไข่ยกเว้นในกลุ่มสายพันธุ์ Fayoumi สำหรับสายพันธุ์ Alexandria มีน้ำหนักไข่ลดเมื่อระดับ กากมะเขือเทศเพิ่มขึ้นแต่กากมะเขือเทศก็สามารถทำให้ไข่มีสีแดงได้ อย่างไรก็ดีในการใช้เมล็ด มะเขือเทศเลี้ยงไก่ไข่ Garcia and Gonzalez (1984) พบว่าไม่สามารถให้สีแก่ไข่แดงได้

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University