บทที่ 1

บทนำ

สาหร่ายดูนาลิเอลลา Dunaliella salina (Dunal) Teodoresco เป็นสาหร่ายสีเขียว เซลล์เดียว มีการพบครั้งแรกประมาณ 90 ปีมาแล้วโดย Teodoresco (1905) สาหร่ายชนิดนี้มีการแพร่กระจายกว้างมากพบได้ในแหล่งน้ำทั่วโลก โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่มีความเค็มสูงมาก เช่น Dead sea ประเทศอิสราเอล (Borowitzka and Borowitzka,1988a) Great salt lake ในประเทศสหรัฐอเมริกา หรือทะเลสาบน้ำเค็มบริเวณฝั่งตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย เป็นต้น สาหร่ายชนิดนี้มีความสามารถในการสะสมเบตาแคโรทีนซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญ โดยเซลล์ของสาหร่ายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีส้มเนื่องจากการสะสมเบตาแคโรทีนเมื่อเซลล์อยู่ในสภาวะแวดล้อมจำกัด เช่น ความเข้มของแสงสูง ความเค็มสูง ปริมาณอาหารน้อย เป็นต้น

เบตาแคโรทีนพบได้ทั่วไปในพืชเนื่องจากเป็นรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์แสง สำหรับในสัตว์นั้น เบตาแคโรทีนทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามิน เอ อีกทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มีความเชื่อว่าสามารถต่อต้านโรคมะเร็ง เบตาแคโรทีนที่มีการผลิตในปัจจุบันแบ่งได้เป็นสองกลุ่ม คือ เบตาแคโรทีนจากการสังเคราะห์ และเบตาแคโรทีนจากธรรมชาติ การสังเคราะห์ทางเคมีจะมีกระบวนการโดยการเตรียม Beta-ionone จาก Citral หรือ Acetone และนำมาผ่านกระบวนการจนได้สารเบตาแคโรทีน การสังเคราะห์เบตาแคโรทีนมีการดำเนินการในระดับอุตสาหกรรมมาเป็นระยะเวลานานแล้ว อย่างไรก็ตาม เบตาแคโรทีนจากธรรมชาติกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น และผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติมากกว่า

ตลาดของเบตาแคโรทีนในปัจจุบันจะเป็นเบตาแคโรทีนที่ได้จากการสังเคราะห์ 90% ที่เหลือจะเป็นผลผลิตจากธรรมชาติ มูลค่าของตลาดเบตาแคโรทีนสังเคราะห์อยู่ระหว่าง 75-100 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี โดยเป็นตลาดของสหรัฐอเมริกาประมาณหนึ่งในสามถึงครึ่งหนึ่ง คิดเป็นมูลค่าระหว่าง 33-50 ล้านเหรียญสหรัฐ ราคาของเบตาแคโรทีนที่ได้จากการสังเคราะห์อยู่ระหว่าง 400-1,000 เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัม ในขณะที่เบตาแคโรทีนจากธรรมชาติจะมีราคาสูงกว่า คือ ระหว่าง 1,500-2,000 เหรียญสหรัฐต่อกิโลกรัม (Cintron,1993) ตลาดส่วนใหญ่จะเป็นสหรัฐ

อเมริกา และญี่ปุ่น มูลค่าของตลาดของผลิตภัณฑ์เบตาแคโรทีนโดยรอบในปี 1992 เพิ่มขึ้น 37.5% จากปี 1991 โดยมีมูลค่ารวมถึง 550 ล้านเหรียญสหรัฐ (Gannon,1993) ในปัจจุบันตลาดของเบตาแคโรทีนจากธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากที่มีส่วนแบ่งการตลาด 10% ของเบตาแคโรทีนทั้งหมด ความต้องการส่วนแบ่งการตลาดจะเพิ่มขึ้นเป็น 25% ในปี 1995 แม้ว่าเบตาแคโรทีนจากธรรมชาติจะมีราคาแพงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากผู้บริโภคยินดีที่จะจ่ายเงินมากขึ้นกับผลผลิตจากธรรมชาติ ซึ่งมีความมั่นใจว่าปลอดภัยมากกว่าจากสารเคมีสังเคราะห์

ในปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเพื่อผลผลิตเบตาแคโรทีนในระดับอุตสาหกรรมในหลายประเทศ เช่น อิสราเอล ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา จีน และชิลี เป็นต้น ผลผลิตหลักของสาหร่ายดูนาลิเอลลาจะอยู่ในสองรูปแบบ ได้แก่ สาหร่ายแห้งสำหรับใช้เป็นอาหารเสริมและเป็นส่วนผสมในอาหาร และในรูปสารสกัดเบตาแคโรทีนสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม ในประเทศดังกล่าวมีลักษณะภูมิประเทศและสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ประเทศอิสราเอลใช้ระบบการเลี้ยงแบบเข้ม (Intensive) ซึ่งมีระบบการผลิตที่ซับซ้อน ทำให้การผลิตสาหร่ายมีต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากบริษัทที่ทำธุรกิจมีความจำกัดเรื่องที่ดินและแหล่งน้ำเค็ม ในขณะที่ประเทศออสเตรเลียใช้ระบบการเลี้ยงในพื้นที่กว้าง (Extensive) เนื่องจากมีพื้นที่มาก แม้ว่าระบบนี้จะให้ผลผลิตที่ต่ำกว่า แต่ก็ทำให้ใช้การลงทุนต่ำลงเช่นกัน ผลผลิตมูลค่าสูงของสาหร่ายดูนาลิเอลลาในปัจจุบันมีวางจำหน่ายในหลายประเทศ

สำหรับในประเทศไทยได้มีการสำรวจพบสาหร่ายดูนาลิเอลลาในบริเวณพื้นที่ทำนาเกลือ บริเวณชายฝั่งทะเล และพื้นที่ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Powtongsook,1993) แล้วนำตัวเซลล์สาหร่ายชนิดนี้ที่พบในประเทศไทยมาทำการทดลองในหลายสภาวะเพื่อหาจุดที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงในประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีปัจจัยหลายอย่างที่เอื้ออำนวยต่อการผลิตสาหร่ายดูนาลิเอลลา โดยประเทศไทยมีพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวนมากกว่า 17.8 ล้านไร่ (สมศรี อรุณินท์, 2536) เป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถทำประโยชน์ได้ในทางเกษตรกรรมนอกจากการทำนาเกลือ ซึ่งมีราคาค่อนข้างต่ำ รวมทั้งพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะที่เคยเป็นบ่อเลี้ยงกุ้งและปัจจุบันไม่ได้เลี้ยงกุ้งแล้ว เนื่องจากกุ้งตายจากปัญหาสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจนทำให้เกษตรกรต้องเลิกเลี้ยงกุ้งไปเกือบทั้งหมด ทำให้ในปัจจุบันเกษตรกรมาปรับพื้นที่บางส่วนกลับมาเป็นนาเกลือ แต่ยังมีนากุ้งเก่าอีกมากมายที่ยังถูกปล่อยให้รกร้างว่างเปล่า

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาในพื้นที่ดังได้กล่าวน่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่อาจประยุกต์ใช้ในพื้นที่การเลี้ยงกุ้งไม่ได้ผลดังกล่าว นอกจากนี้ยังเป็นหนทางในการนำพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ที่คาดว่าจะเป็นประโยชน์และคุ้มค่ามากกว่า

วัตถุประสงค์การทดลอง

1. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมเพื่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาในน้ำเกลือสินเธาว์
2. เพื่อประเมินความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการพัฒนาไปสู่การเพาะเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาจะให้ผลผลิตที่มีมูลค่าสูง
2. ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลที่สำคัญเพื่อพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาในระดับอุตสาหกรรม
3. เป็นหนทางในการให้เกษตรกรนำพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลา โดยเฉพาะพื้นที่ดินเค็มหรือพื้นที่ทำนาเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
4. เป็นการส่งเสริมอาชีพเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร

การสำรวจเอกสาร

สาหร่ายดูนาลิเอลลา

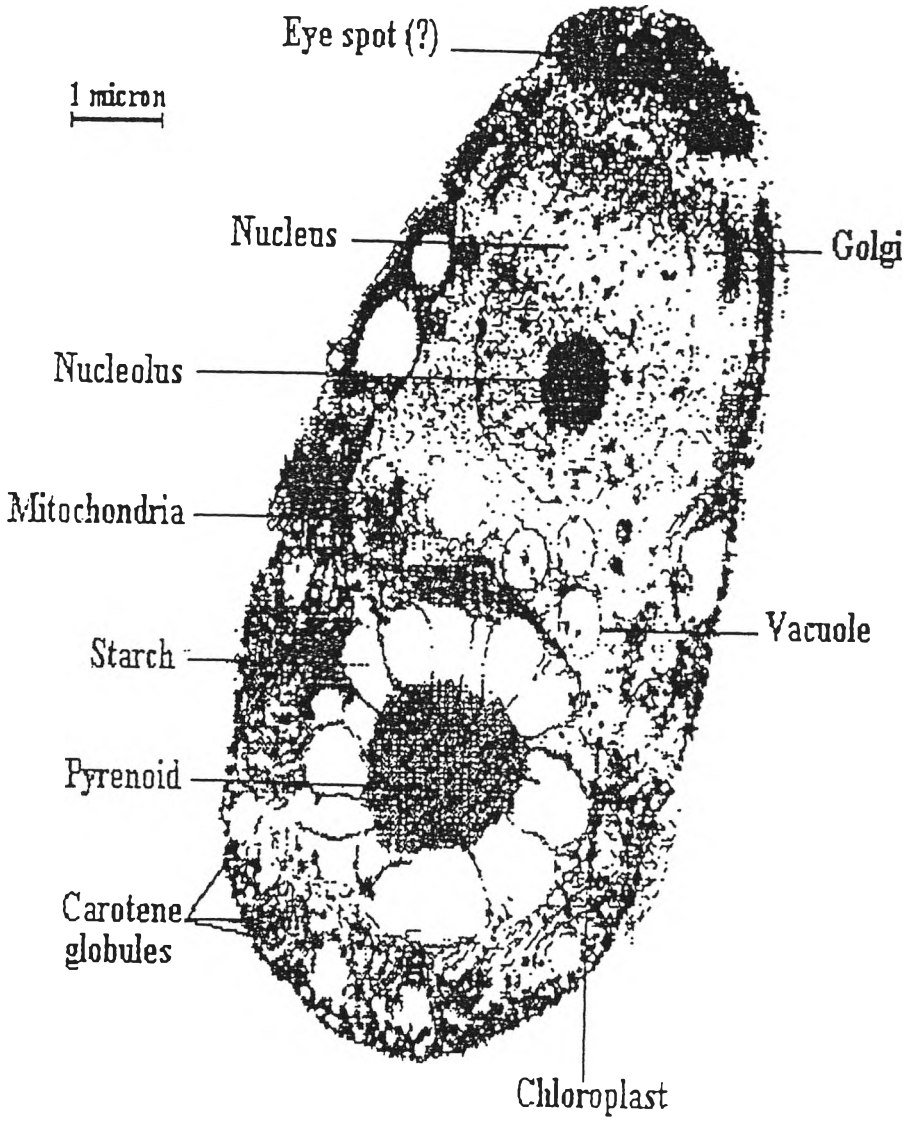
อนุกรมวิธาน และลักษณะทั่วไป

Division	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Volvocales
Family	Polyblepharidaceae
Genus	Dunaliella
	Dunaliella salina (Dunal) Teodoresco

สาหร่ายดูนาลิเอลลา เป็นสาหร่ายสีเขียว เซลล์เดียว มีแฟลกเจลลา 2 เส้น ขนาดเซลล์ด้านยาวประมาณ 8-25 ไมครอน ด้านกว้างประมาณ 5-15 ไมครอน รูปร่างมีการเปลี่ยนแปลงได้อาจเป็นรูปไข่ รูปทรงกลม รูปทรงกระบอก หรือรูปกระสวย เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น ความเข้มแสง (Riisgard, 1981) หรือลักษณะเฉพาะแต่ละสายพันธุ์ สาหร่ายดูนาลิเอลลามีรูปร่างลักษณะภายนอกคล้าย Chlamydomonas ต้องใช้ Electron micrographs ตรวจพบว่า สาหร่ายดูนาลิเอลลาไม่มีผนังเซลล์ แต่มี Glycocalyx-type ห่อหุ้มเซลล์ไว้ (Oliviera,Bisalpultra and Antia,1980; Klut, Bisalpultra and Antia, 1983) และตำแหน่งของ Golgi bodies และ Mitochondrial profiles ของดูนาลิเอลลาก็แตกต่างจาก Chlamydomonas (Peterfi and Manton, 1968) ดูนาลิเอลลา Chloroplast เป็นรูปถ้วย มี Pyrenoid ขนาดใหญ่ และ Nucleus มี 1 อัน (ภาพที่ 1)

สาหร่ายดูนาลิเอลลา ได้มีการนำเสนอครั้งแรกโดย Teodoresco(1905) แต่ M.F. Dunal (1837) ทำให้ D. salina เป็นที่รู้จักกันดีในการให้สารสีแดง เมื่ออยู่ในความเค็มสูง (Borowitzka and Borowitzka, 1988a) ปรากฏว่า D. salina เกิดการสะสมสารสีแดง คือ เบตาแคโรทีน ปริมาณมากเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมจำกัด (Massyuk, 1973)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบภายในเซลล์ของ Dunaliella bardawil (Ben-Amotz and Avron, 1990)

การสืบพันธุ์

การสืบพันธุ์มีทั้งอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ แบบไม่อาศัยเพศ (Vegetative reproduction) โดยการแบ่งตัวตามยาว ในระยะ Motile state (Hamburger, 1908; Labbe, 1923; Lerche, 1937; Bold and Wynne, 1978) จะเกิดเมื่อเซลล์อยู่ในสภาพขาดอาหาร (ปริมาณอาหารน้อย) อย่างรุนแรง หรือสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง โดยเซลล์จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ Cysts (Aplanospores) หรือ Palmellae (Margulis, Barghoorn, Ashendorf, Banerjee, Chase, Francis, Giovanonni and Stolz, 1980) ตัวลูกจะได้ แฟลกเจลลาจากตัวแม่ไปตัวละ 1 เส้น (Smith, 1933) แบบอาศัยเพศ (Sexual reproduction) โดย Isogamy ผสมกัน (Conjugation) ได้ Zygote และพัฒนาจนถึงระยะ Resting state หลังจากนั้นนิวเคลียสของ Zygote จะพัฒนาถึง 32 เซลล์ แล้วจะได้รับการปลดปล่อยออกจากเซลล์แม่ (Lerche, 1937; Borowitzka, Post and Borowitzka, 1982)

การแพร่กระจาย

สาหร่ายดูนาลิเอลลาพบได้อย่างกว้างขวางเกือบทั่วโลก พบ 29 สายพันธุ์ (Massyuk, 1973) มีทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม และในดินเค็ม ในน้ำจืด เช่น D. flagellata D. chordata D. lateralis D. paupera น้ำกร่อย ตัวอย่างเช่น D. tertiolecta D. bioculata D. primolecta อาศัยในน้ำเค็ม เช่น D. salina D. minuta D. parva D. viridis และดำรงชีวิตในดินเค็ม เช่น D. terricola (Borowitzka and Borowitzka, 1988a)

ดูนาลิเอลลาสามารถดำรงชีวิตได้ในช่วงความเค็มที่กว้างมาก โดยเฉพาะ D. salina สามารถอยู่ในความเค็มได้ตั้งแต่ 0.2%-35% NaCl (Ben-Amotz and Avron, 1981) เมื่ออยู่ในสภาพปกติความเค็มที่ไม่สูงมาก จะเห็นไม่เด่นชัดคล้ายสาหร่ายอื่นๆทั่วไป แต่พอความเค็มสูงถึงสูงมาก เช่นที่ ทะเลสาบน้ำเค็ม หรือแหล่งน้ำที่ความเค็มสูงๆ สาหร่ายชนิดนี้จะเป็นสาหร่ายที่โดดเด่น (Predominate) ดั่งที่ได้สำรวจพบที่ Dead Sea ประเทศอิสราเอล Pink Lake ในบริเวณชายฝั่งตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย และ Great Salt Lake ประเทศสหรัฐอเมริกา (Ben-Amotz and Avron, 1990) แหล่งน้ำเค็มจะกลายเป็นสีแดง (Borowitzka, 1981)

สาหร่ายดูนาลิเอลลาสามารถเจริญเติบโตในแหล่งที่มีความเค็มของเกลือสูงๆได้ โดยการสะสมกลีเซอรอลเพื่อปรับความดันออสโมติกภายนอกและภายในเซลล์ ซึ่งสะสมได้สูงถึง 50% ของน้ำหนักแห้ง (Ben-Amotz and Avron, 1990) ในประเทศอิสราเอลมีการเลี้ยงสาหร่ายนี้ในระดับโรงงานต้นแบบ เพื่อผลิตกลีเซอรอลและเบตาแคโรทีน

นอกจากสามารถทนต่อความเค็มได้ในช่วงกว้างแล้ว ยังสามารถทนต่อ pH และอุณหภูมิได้ในช่วงกว้างเช่นเดียวกัน สาหร่ายดูนาลิเอลลาสายพันธุ์ D. acidophila พบในแหล่งน้ำที่มี pH 1 และ D. salina พบในแหล่งน้ำที่มี pH 11 (Borowitzka and Borowitzka, 1988a) แต่ pH 9 เหมาะสมในการสะสมเบตาแคโรทีนของ D. bardawil (= salina) (Anon, 1983)

อุณหภูมิที่สาหร่ายดูนาลิเอลลา (D. salina) สามารถทนอยู่ได้ตั้งแต่ -35 °C (Teodoresco, 1906; Massyuk, 1966) ถึงประมาณ 40 °C (Wegmann, Ben-Amotz and Avron, 1980) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 20 °C ถึง 40 °C (Gibor, 1956; Yurina, 1966; Borowitzka, 1981) D. salina สามารถทนอยู่ในสภาพที่มีความเข้มแสงสูงได้ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสะสมเบตาแคโรทีน (Ben-Amotz, Lers and Avron, 1988; Ben-Amotz, Shaish and Avron, 1989; Borowitzka and Borowitzka, 1988a)

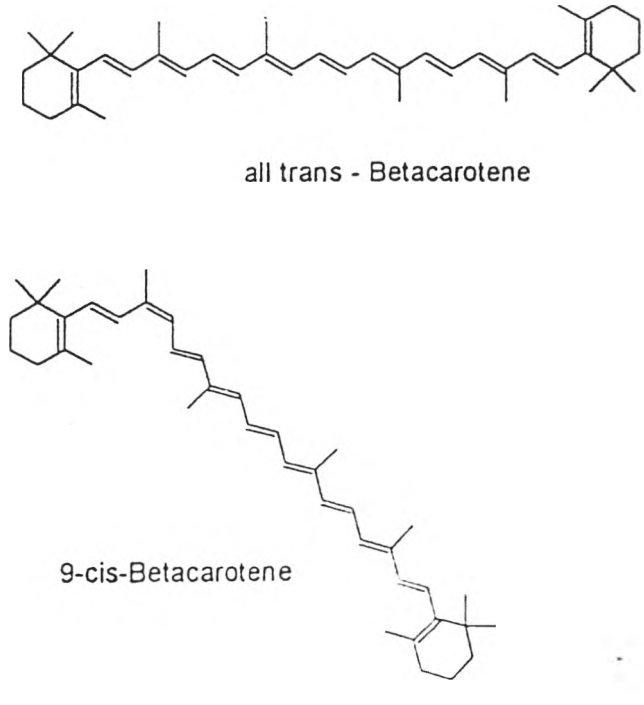
การสะสมเบตาแคโรทีน

แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) เป็นรงควัตถุพบได้กว้างขวางในพืชและสัตว์ สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มได้แก่ แคโรทีน (Carotene) ซึ่งเป็น Polyenes ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอน ตัวอย่างของแคโรทีนได้แก่ แอลฟา และเบตาแคโรทีน เป็นต้น แคโรทีนอยด์อีกกลุ่มเรียกว่า แซนโทฟิลด์ (Xanthophylls) เป็น Polyenes ที่มีออกซิเจนในโมเลกุล แซนโทฟิลด์ที่เป็นที่รู้กันดีได้แก่ Lutein และ Zeaxanthin เป็นต้น

บทบาทที่สำคัญของแคโรทีนอยด์ในพืชก็คือ การป้องกันเซลล์จากการเสียสภาพเนื่องจากแสง (Photodynamic destruction) และเป็นรงควัตถุในการสังเคราะห์แสง รูปแบบหนึ่งของแคโรทีนที่พบได้มากและมีความสำคัญได้แก่ เบตาแคโรทีน ซึ่งเป็นแคโรทีนที่ประกอบด้วยเส้นสายคาร์บอนไม่อิ่มตัว 40 อะตอม (C-40 unsaturated hydrocarbon) เบตาแคโรทีนพบได้ทั่วไปในพืชเนื่องจากเป็นรงควัตถุในการสังเคราะห์แสง สำหรับในสัตว์นั้นเบตาแคโรทีนทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามิน เอ (Provitamin A) ตามปกติจะพบ เบตาแคโรทีนได้ใน 2 รูปแบบ (Isomers) คือ all-Trans betacarotene และ 9-Cis betacarotene (ภาพที่ 2) สัดส่วนของ all-Trans betacarotene และ 9-Cis betacarotene จะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด

แคโรทีนอยด์มีความสำคัญทางโภชนาการ และมีคุณสมบัติในแง่ของสีธรรมชาติ โดยมีสีอยู่ในช่วงแถบสีเหลืองถึงแดง ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ในสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นๆ แคโรทีนอยด์หลายชนิดมีคุณสมบัติเป็น Provitamin A ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอในสัตว์ชั้นสูง การบริโภควิตามินเอมากเกินไปเป็นพิษต่อร่างกาย แต่การ บริโภคเบตาแคโรทีนหรือ Provitamin A จากอาหารหรืออาหารเสริมไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย อีกทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่สามารถต่อต้านโรคมะเร็ง (Zarborsky, 1985; Henrikson, 1989)

จากการศึกษาทางการแพทย์พบว่า การได้รับเบตาแคโรทีนในระดับปกติหรือระดับสูงจะมีผลช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ และจากการศึกษาในระยะยาวโดย US National Cancer Institute มีผลสนับสนุนเกี่ยวกับการใช้เบตาแคโรทีนเสริมในอาหารเพื่อลดโอกาสการเกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ ส่วนในสัตว์นั้นได้มีการศึกษาในวัวพบว่าการเพิ่มเบตาแคโรทีนในอาหารมีความสัมพันธ์กับการเจริญพันธุ์



ภาพที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้างของ all-Trans และ 9-Cis betacarotene

เบตาแคโรทีนที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกือบทั้งหมดมาจากการสังเคราะห์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของ all-Trans betacarotene ในขณะที่ 9-Cis betacarotene ไม่สามารถสังเคราะห์ได้และจะพบในธรรมชาติเท่านั้น all-Trans betacarotene จะละลายได้ยากในน้ำมันและมีแนวโน้มจะตกเป็นผลึก ในขณะที่ 9-Cis betacarotene จะสามารถละลายได้ดีใน hydrophobic solvents และจะตกเป็นผลึกได้ยาก ในพืชบางชนิดเช่นแครอท มีเบตาแคโรทีนที่ประกอบด้วย all-Trans betacarotene เป็นส่วนใหญ่ ต่างไปจากในสาหร่าย Dunaliella ที่มีรูปแบบของ all-Trans betacarotene และ 9-Cis betacarotene อยู่รวมกันในอัตราส่วนประมาณ 1:1 (Tanticharoen, 1994)

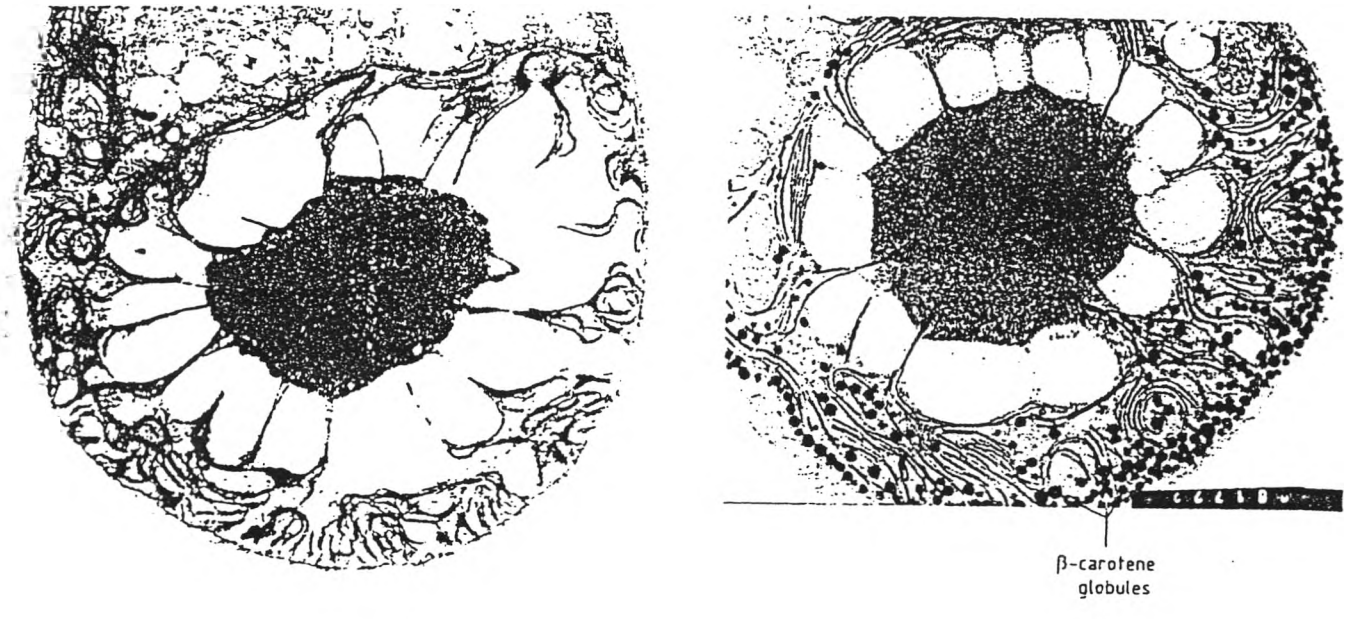
โดยทั่วไปสาหร่ายมีเบตาแคโรทีนประมาณ 0.3% ของน้ำหนักแห้ง แต่ใน D. salina สามารถสะสมได้มากกว่า 14% ของน้ำหนักแห้ง (Ben-Amotz, Katz and Avron, 1982; Borowitzka, Borowitzka and Moulton, 1984) ภายใน Oily globules ใน Interthylakoid ของ Chloroplast (Ben-Amotz et al., 1988) เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมบางประการ เช่น ความเข้มแสงสูง ความเค็มสูง ปริมาณอาหารน้อย หรืออุณหภูมิสูง (Ben-Amotz et al., 1982; Ben-Amotz and Avron, 1983; Ben-Amotz et al., 1989; Powtongsook, 1993) ดังแสดงในภาพที่ 3

Loeblich (1982) ได้ศึกษาระดับความเค็มต่อการสะสมเบตาแคโรทีน พบว่า D. salina สะสมแคโรทีนอยด์ค่อนข้างน้อยเมื่อเลี้ยงในระดับความเค็มต่ำ (ประมาณ 5-10% NaCl) และมีการสะสมแคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นเมื่อความเค็มสูงขึ้น อัตราส่วนระหว่างแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิล (Total carotenoid : chlorophyll a+b ratio) ก็จะเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น

Ben-Amotz and Avron (1983) พบว่า ปริมาณไนเตรทช่วง 0-1 mM สาหร่าย D. bardawil จะมีการสะสมเบตาแคโรทีนเพิ่มขึ้นตามลำดับ นอกจากปริมาณช่วงนี้แล้วเบตาแคโรทีนจะลดลง จะเห็นได้ว่าไนเตรทในปริมาณที่น้อยทำให้เกิดการสะสมเบตาแคโรทีน ส่วนคลอโรฟิลจะแปรผันตามปริมาณไนเตรท ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการสะสมเบตาแคโรทีนคือ ความเข้มแสงสูง การสะสมเบตาแคโรทีนในปริมาณสูงเพื่อป้องกันการเสียสภาพของเซลล์หรือการตายของสาหร่ายดูนาลิเอลลา โดยเฉพาะช่วงแสงสีน้ำเงิน (Ben-Amotz et al., 1989) การเพาะเลี้ยง D. bardawil ในสภาพที่ความเข้มแสงสูงและความเค็มของอาหารเลี้ยงสูง จะเกิดการสะสมเบตาแคโรทีนทั้ง 2 รูปแบบ (Isomers) ในอัตราที่สูงใกล้เคียงกัน (50% all-Trans and 40% 9-Cis) (Ben-Amotz et al., 1988)

Powtongsook (1993) พบว่าการเพาะเลี้ยง D. salina ที่ระดับความเค็มสูง และลดปริมาณไนเตรทจะทำให้อัตราการเจริญลดลงแต่ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น การทดลองเลี้ยง D. salina ในความเข้มแสงต่างๆ พบว่ามีอัตราการเจริญไม่แตกต่างกันแต่ปริมาณแคโรทีนอยด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น และเซลล์จะเปลี่ยนเป็นสีส้ม วิเคราะห์พบว่า แคโรทีนอยด์เกือบทั้งหมด (98%) คือ เบตาแคโรทีน

กระบวนการสังเคราะห์เบตาแคโรทีนในธรรมชาติ (Biosynthetic pathway)มี 4 ขั้นตอน คือ (1) Mevalonic acid เปลี่ยนรูปไปเป็น Geranylgeranyl pyrophosphate (2) ผ่านกระบวนการ Condensation ไปอยู่ในรูป Phytoene (3) ลดการอิ่มตัวของ Phytoene ไปเป็น Lycopene และ (4) Lycopene ผ่านขบวนการต่างๆ และได้ Beta-carotene มีการศึกษากระบวนการสังเคราะห์เบตาแคโรทีนจากพืชชั้นสูง แบคทีเรีย (Goodwin, 1980; Bauernfeind, 1981) และสาหร่ายดูนาลิเอลลา (Ben-Amotz, Grassel and Avron, 1987; Shaish, Avron and Ben-Amotz, 1990)



A B

ภาพที่ 3 แสดงการสะสมเบตาแคโรทีนของ Dunaliella bardawil (A) ก่อนเกิดการสะสมเบตาแคโรทีน (B) เกิดการสะสมเบตาแคโรทีน (Ben- Amotz et al., 1988)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลา

สาหร่ายขนาดเล็กชนิดแรกที่ทำการเพาะเลี้ยงระดับใหญ่ (Large-scale) คือ Chlorella เพื่อผลิตโปรตีน ในปี 1950 ต่อมาก็เพาะเลี้ยง Spirulina เพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพสำหรับมนุษย์ การเพาะเลี้ยง Dunaliella ในระดับอุตสาหกรรมมีหลายประเทศ เช่น อิสราเอล ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา เป็นต้น การเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาเพื่อการค้า ประเทศออสเตรเลียเลี้ยงในพื้นที่กว้าง (Extensive culture) ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ต่ำแต่การลงทุนก็น้อย ประเทศสหรัฐอเมริกามีการเพาะเลี้ยงแบบควบคุม (Intensive culture) ลงทุนสูงแต่ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ก็สูงเช่นกัน (Liangchen, 1990)

ระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดใหญ่เพื่อการค้า โดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ ระบบการเพาะเลี้ยงแบบเข้ม (Intensive cuture) และ ระบบการเพาะเลี้ยงแบบใช้พื้นที่กว้าง (Extensive culture) การเพาะเลี้ยงแบบเข้ม ทำการสร้างบ่อด้วยอิฐ คอนกรีต หรือปูบ่อด้วยพลาสติก เป็นบ่อแบบ raceway รูปวงรี ทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำด้วยใบพัด (Paddle wheel) บ่อขนาด 1,000-4,000 ตารางเมตร ควบคุมปัจจัยการเลี้ยงทุกๆอย่าง ได้ผลผลิตสาหร่ายแห้ง 10 กรัม หรือ เบตาแคโรทีน 300 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วัน ระบบการเพาะเลี้ยงแบบพื้นที่กว้าง เป็นระบบที่ควบคุมโดยธรรมชาติ ไม่มีใบพัดช่วยหมุนเวียนน้ำ ต้องเพาะเลี้ยงสาหร่ายในความเค็มสูง เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งมีชีวิตอื่นที่จะกินสาหร่าย (Predators) ทำให้อัตราการเจริญลดลง ได้ผลผลิตสาหร่ายแห้งต่ำกว่า 100 มิลลิกรัม หรือ เบตาแคโรทีน 10 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วัน (Ben-Amotz and Avron, 1990)

Powtongsook (1993) ทดลองเพาะเลี้ยง D. salina ในบ่อเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้งขนาด 9.1 ตารางเมตร ความลึก 20 เซนติเมตร มีใบพัดหมุนเวียนน้ำในบ่อให้มีสภาวะแวดล้อมสม่ำเสมอกัน ได้ค่าอัตราการเจริญจำเพาะของสาหร่ายเท่ากับ 0.15 ต่อวัน หรือใช้เวลา 4.62 วัน ในการแบ่งเซลล์เป็นสองเท่า ได้ผลผลิตสาหร่ายสูงสุด 12.04 กรัม/ตารางเมตร ในวันที่ 22 ของการเพาะเลี้ยง

Cordero, Enrico and Erazo (1990) ทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบเข้ม โดยใช้อุปกรณ์เพื่อทำให้น้ำหมุนเวียน 2 อย่าง คือ Drag-board และ Paddle wheel บ่อทดลองขนาด 100 ตารางเมตร พบว่า Drag-board ได้เบตาแคโรทีนมากกว่า (1.16 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/วัน) การใช้ Paddle wheel (1.03 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร/วัน) และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า

Ben-Amotz (1995) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาแบบ 2 ขั้นตอน (Two-phase) เพื่อผลิตเบตาแคโรทีน 1) เพาะเลี้ยงในที่มีอาหารมากเพียงพอสำหรับการเจริญอย่างเต็มที่ เซลล์สาหร่ายจะสีเขียวขนาดเล็ก อัตราส่วนเบตาแคโรทีนต่อคลอโรฟิลต่ำ (5.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) 2) ลดปริมาณอาหารไนเตรท ประมาณ 4 เท่า เพื่อให้เกิดการสะสมเบตาแคโรทีน พบว่า ผลผลิตเบตาแคโรทีนจาก 450 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วัน ในขั้น 1 เป็น 300 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วันของขั้น 2 อัตราส่วนเบตาแคโรทีนต่อคลอโรฟิลมากขึ้น(10.0มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) เซลล์สาหร่ายสีส้มขนาดโต การเลี้ยงสาหร่ายดูนาลิเอลลาโดยปกติจะได้ ผลผลิตเบตาแคโรทีนประมาณ 200 มิลลิกรัม/ตารางเมตร/วัน

เกลือสินเธาว์

องค์ประกอบของเกลือในดินเค็มเกิดจากการรวมตัวของธาตุ ที่มีประจุบวกพวกโซเดียม แมกนีเซียม รวมกับธาตุที่มีประจุลบ เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต ไบคาร์บอเนต และไนเตรท ดินเค็มที่เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อยู่ในรูปของ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) คล้ายคลึงกับดินเค็มชายทะเล ยกเว้นแต่ดินเค็มชายทะเลมีแมกนีเซียม อยู่ในรูปคลอไรด์ และซัลเฟต มากกว่าดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (อรุณี ยูวะนิยม, 2536)

แหล่งกำเนิดเกลือ

ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีแหล่งกำเนิดมาจากสาเหตุใหญ่ ๆ ดังนี้

1. ชั้นหินเกลือในหน่วยหินมหาสารคาม พบบริเวณตอนกลางของแอ่งสกลนคร และแอ่งโคราช ชั้นหินเกลือนี้อยู่ลึกห่างจากผิวดินมากเกลือไม่สามารถซึมผ่านขึ้นมาบนผิวดินได้ โดยแรงดึงดูดของน้ำ แต่ส่วนใหญ่จะขึ้นมาปรากฏด้วยวิธีการทำเหมืองแร่

2. การผุพังสลายตัวของวัตถุกำเนิดดินที่เป็นหินทรายและหินดินดาน ที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบอยู่ไม่ห่างจากผิวดินมากนักในฤดูฝนจะถูกละลายชะล้างโดยน้ำ เมื่อน้ำระเหยออกมาจะเห็นคราบเกลือตามผิวดินในฤดูแล้ง

3. น้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ระดับตื้นใกล้ผิวดิน ส่วนน้ำใต้ดินเค็มที่อยู่ลึกจากดินนั้นจะถูกสูบขึ้นมาตากหรือต้มเพื่อทำเกลือ (Wongsomsak, 1986 ; Sinaruwong and Takaya, 1974)

การวิเคราะห์และประเมินโครงการเพื่อการลงทุน

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน

เกณฑ์การตัดสินใจแบบไม่ต้องปรับค่าของเวลา

เกณฑ์การตัดสินใจแบบนี้มีหลายวิธีด้วยกัน

1. การตรวจสอบอย่างง่าย ๆ (Ranking by inspection) เกณฑ์การวัดชนิดนี้เป็นวิธีที่ง่ายและช่วยการตัดสินใจได้อย่างคร่าว ๆ เพียงแต่ทราบปริมาณการลงทุนและผลตอบแทน

2. ระยะคืนทุน (Payback period) ระยะคืนทุน ได้แก่ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าลงทุนของโครงการ ถ้าหากโครงการมีอายุยืน หรือยังคงสามารถให้ผลประโยชน์ตอบแทนได้นานกว่าระยะคืนทุนที่คำนวณได้ก็จะได้รับกำไร การคำนวณสามารถคำนวณได้ง่าย ๆ คือ

ระยะคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน / ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี

3. อัตราผลตอบแทนต่อการลงทุน วิธีมุ่งวัดค่าของโครงการในรูปของอัตราต่อการลงทุนยิ่งสูงเท่าไรก็ยิ่งดีเท่านั้น

$$\text{อัตราผลตอบแทนต่อการลงทุน} = \frac{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยจากการดำเนินงาน X 100}}{\text{ค่าลงทุน}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจแบบปรับค่าของเวลา

หลังจากที่ได้ปรับค่าของเวลาของค่าใช้จ่ายและผลตอบแทน หรือผลตอบแทนสุทธิของโครงการแล้ว ผู้วิเคราะห์โครงการก็อยู่ในฐานะที่จะทำการวินิจฉัยได้ว่า โครงการนั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ โดยอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจแบบที่มีการปรับค่าของเวลาเกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งหรือทั้งสามเกณฑ์ ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value method หรือ NPV) ถ้าค่าของ NPV ที่ได้ออกมามีค่ามากกว่า 0 หรือเป็น + ก็เป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่ถ้า NPV ที่ได้ออกมาเป็น - หรือต่ำกว่า 0 แสดงว่าการลงทุนตามโครงการนั้นจะไม่คุ้มค่า สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

หรือ $$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

อนึ่ง ถ้าค่าใช้จ่ายที่นำมาหักออกจากผลตอบแทน เป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (K_0) เพียงปีแรกปีเดียว คำนวณได้ดังนี้

$$NPV = - K_0 + \frac{b_1 - c_1}{(1+i)} + \frac{b_2 - c_2}{(1+i)^2} + \ldots\ldots\ldots + \frac{b_n - c_n}{(1+i)^n}$$

เมื่อ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ

Bt = ผลตอบแทนในปีที่ 1,2,...,n

Ct ค่าใช้จ่ายในปีที่ 1,2,...,n ซึ่งอาจจะรวม K_0 หรือไม่รวมแล้วแต่กรณี

i = อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของทุน

t = ปีของโครงการคือปีที่ 1,2,...,n

n = อายุของโครงการ

นอกจากการประเมินโครงการโดยวิธีการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิแล้ว ยังสามารถหา "ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี" (Average annual net benefit) ได้

2. อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal rate of return หรือ IRR) IRR คือ อัตราที่จะทำให้ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายที่ได้คิดลดเป็นค่าในปัจจุบันเท่ากัน สูตรที่ใช้ก็คือ

IRR คือค่า r (อัตราส่วนลด)ที่จะทำให้ $\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0$

เพื่อช่วยการตัดสินใจ เมื่อได้ IRR ออกมาแล้ว ก็นำไปเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทุน ถ้า IRR ที่ได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยโอกาสตอบแทน จะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่ถ้า IRR ที่ได้ ต่ำกว่าค่าเสียโอกาสของทุน จะเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า

3. อัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย (Benefit cost ratio หรือ B\C ratio) สูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$B/C = PV \text{ of benefits} / PV \text{ of cost}$$

หรือ
$$= \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

เมื่อ B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในปีที่ t

t = ปีของโครงการ 1,2,...,n

i = อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินก็คือ เลือกโครงการต่างๆ ที่มีค่า B/C เกินกว่า 1 ทั้งนี้เพราะเมื่อค่า B/C เกินกว่า 1 แล้วก็หมายความว่า ผลตอบแทนที่ได้จากโครงการจะมีมากกว่าค่าใช้จ่ายที่เสียไปในการนั้น

เพื่อให้สามารถทำการประเมินโครงการตามเกณฑ์ต่าง ๆ ดังกล่าวได้ ขั้นตอนของการวิเคราะห์โครงการจึงประกอบด้วย

1. การระบุรายการและปริมาณของค่าใช้จ่าย และผลตอบแทนจากการมีโครงการเป็นรายปีตลอดชั่วอายุของโครงการ

2. การตีราคาค่าใช้จ่าย และผลตอบแทน โดยนำเอาปริมาณในรายการค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนคูณด้วยราคาที่เหมาะสม เพื่อประมาณการเป็นค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่คัดออกมาเป็นมูลค่า

3. การปรับค่าของเวลาของค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนหรือผลตอบแทนสุทธิ

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนของโครงการ

ค่าใช้จ่ายของโครงการประกอบด้วยสินค้าและบริการที่นำมาใช้กับโครงการ (UNIDO, 1972) และเมื่อคิดเป็นมูลค่าแล้ว ค่าใช้จ่ายของโครงการจึงได้แก่มูลค่าของการใช้สิ่งที่ใส่เข้าไปหรือสินค้าและบริการ อันเป็นผลจากการมีโครงการ มูลค่าของสิ่งที่ใส่เข้าไปนั้นอาจเป็นทางด้านการลงทุน (Investment costs) การดำเนินงานและบำรุงรักษา

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน หมายถึงมูลค่าของการใช้สิ่งที่ใส่เข้าไปเพื่อสิ่งอำนวยความสะดวกหรือเป็นฐานของการผลิตผลผลิตออกมา เช่น ที่ดิน สิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์การผลิต และการติดตั้ง ส่วนค่าใช้จ่ายทางด้านการดำเนินงานและบำรุงรักษา หมายถึง มูลค่าของการใช้สิ่งที่ใส่เข้าไปเพื่อการดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการ เช่น ค่าแรงงานและเจ้าหน้าที่ วัตถุดิบ น้ำมันเชื้อเพลิงและหล่อลื่น ค่าไฟฟ้า น้ำประปา โทรศัพท์ อะไหล่ ค่าฝึกอบรบ ค่าล่วงเวลาและค่าเดินทาง เป็นต้น

ผลตอบแทนโครงการ ผลผลิตของโครงการในที่นี้จะใช้ในความหมายที่กว้าง คือ หมายถึงผลผลิตออกทั้งหมดของโครงการ และรวบถึงกิจกรรมส่วนอื่น ๆ ซึ่งจะไม่มีผลผลิตเลยหากไม่มีโครงการ (UNIDO, 1972) ผลตอบแทนโครงการจึงสามารถแบ่งออกได้เป็น ผลตอบแทนทางตรง (Direct benefits) หรือบางครั้งอาจเรียกว่าผลตอบแทนขั้นต้น (Primary benefits) ซึ่งได้แก่ มูลค่าของสินค้าและบริการที่ผลิตได้โดยตรงจากโครงการ และผลตอบแทนทางอ้อม (Indirect benefits) หรือที่บางครั้งอาจเรียกว่า ผลตอบแทนขั้นรอง (Secondary benefits) ค่าของสินค้าและบริการที่ได้เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมส่วนอื่น ๆ หรือเป็นผลตอบแทนที่เกิดขึ้นภายนอกโครงการ

โดยทั่วไปหากระบบเศรษฐกิจมีการแข่งขันที่สมบูรณ์ ราคาตลาดที่ปรากฏอยู่ก็คือ ราคาดุลยภาพที่สะท้อนถึงมูลค่าที่แท้จริงของสินค้าและบริการ เมื่อราคาตลาดเป็นราคาที่แท้จริงของสินค้าและบริการที่สะท้อนถึงการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ราคาตลาดจึงสามารถนำมาใช้ในการตีค่าของผลตอบแทนของโครงการได้เช่นเดียวกับการตีราคาที่ใช้จ่ายของโครงการ (ประสิทธิ์ ตงยิ่งศิริ, 2540)