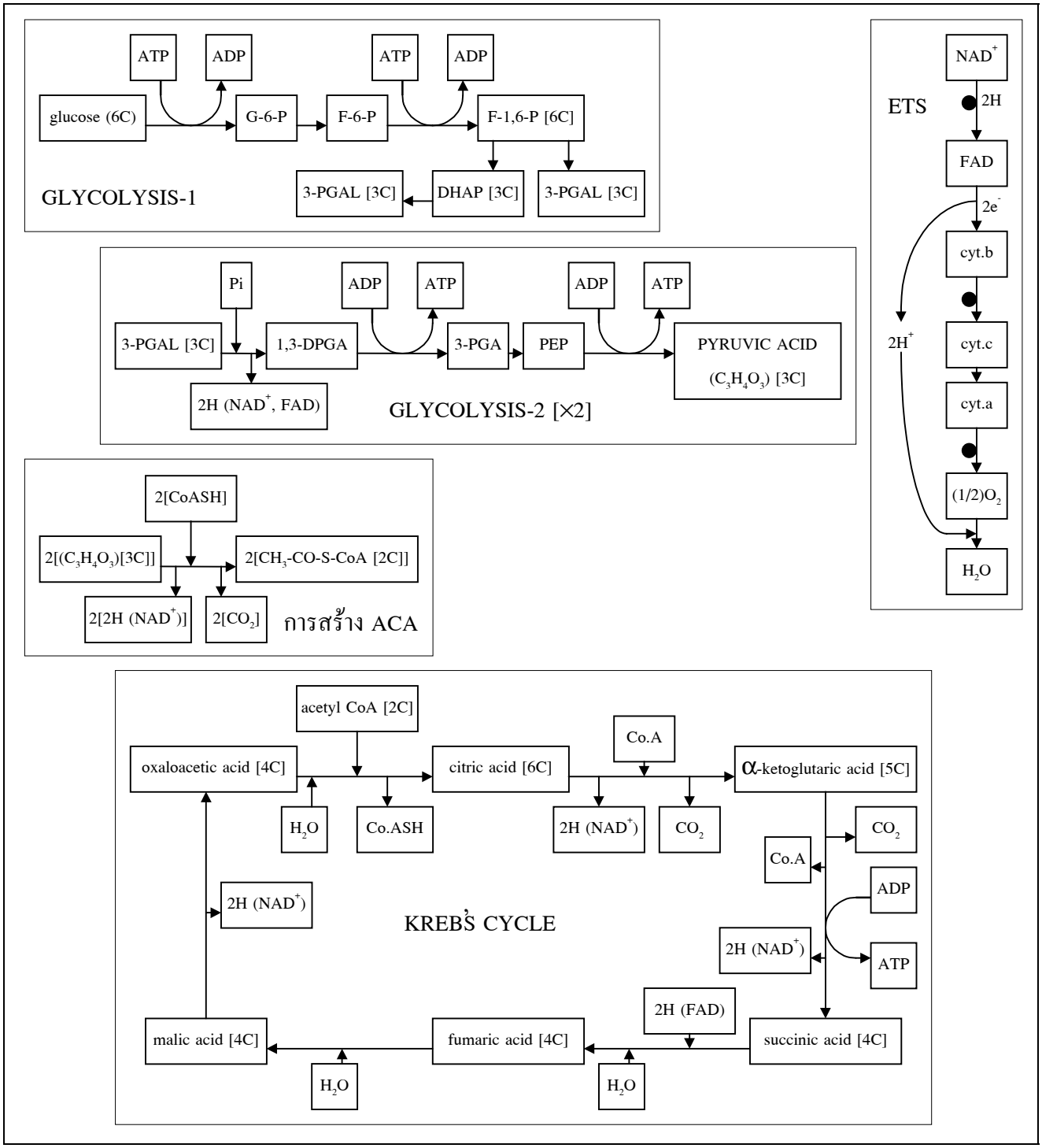
Concept 10-1

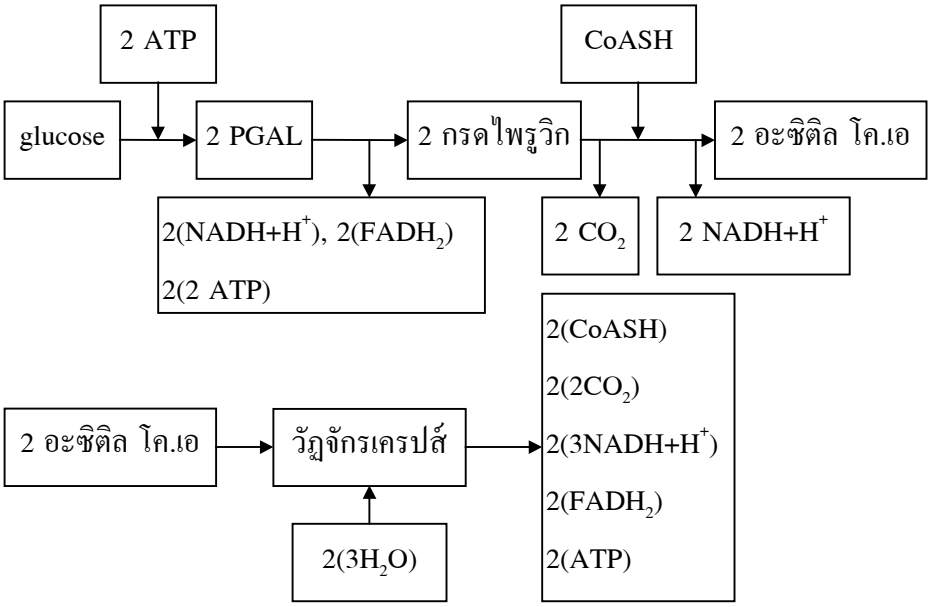


โดย ประพันธ์ สุขสมปอง

CONCEPT 10-1

แผนภาพสรุป

1. การสลายกลูโคสโดยการหายใจแบบใช้ O_2

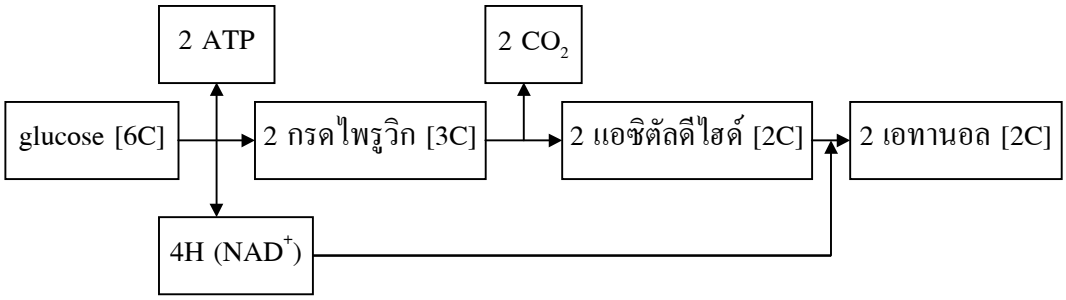


1 PGAL $\Longrightarrow$ 19, 20 ATP

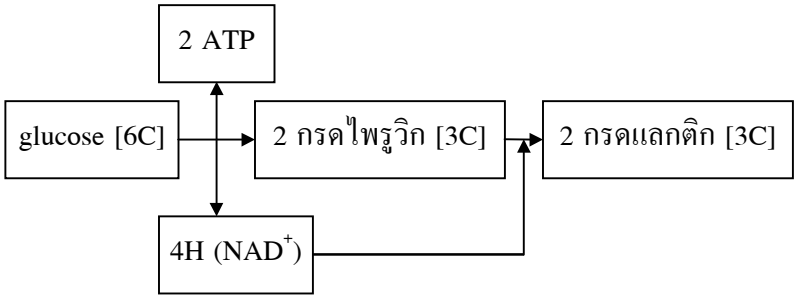
1 Pyruvic acid $\Longrightarrow$ 15 ATP

1 Acetyl Co.A $\Longrightarrow$ 12 ATP

2. การสลายกลูโคสในกระบวนการหมัก alc.



3. การสลายกลูโคสในกระบวนการหมักกรดแลกติก



CONCEPT 10-1

1. **การหายใจ** (Respiration) คือ กระบวนการออกซิไดส์ (สลาย) โมเลกุลสารอาหาร โดยอาศัยการควบคุมของเอนไซม์ภายในเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานที่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตสามารถนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อการดำรงชีวิตของเซลล์

2. การหายใจแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

การหายใจภายนอก (external Respiration)	การหายใจภายใน (internal or cellular Respiration)
เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างโครงสร้างแลกเปลี่ยนก๊าซกับสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนนี้เซลล์ยังไม่ได้รับประโยชน์ใด ๆ	เป็นกระบวนการสลายโมเลกุลอาหารภายในเซลล์เพื่อให้ได้พลังงานในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต (เช่น ATP) ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นภายในเซลล์ที่มีชีวิตทุกเซลล์ โดยมี enzyme ภายในเซลล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงอาจเรียกว่า <u>การหายใจระดับเซลล์</u> (Cellular Respiration)

1. **การหายใจแบบใช้ออกซิเจน** (Aerobic respiration) $\Longrightarrow$ เป็นขบวนการสลายโมเลกุลอาหาร โดยใช้ก๊าซออกซิเจนเข้าร่วม ซึ่งเป็นการหายใจแบบปกติที่พบในพืชและสัตว์ทั่ว ๆ ไป

ไกลโคลิซิส (glycolysis = Anaerobic breakdown of glycogen (glucose) to pyruvic acid), EMP Pathway	• $C_6H_{12}O_6$ (6C) + 2ADP + 2Pi $\longrightarrow$ $2C_3H_4O_3$ (3C) + 2ATP + 4H (NAD^+)
	• เกิดที่ cytoplasm ของเซลล์ทุกเซลล์
	• กระบวนการขั้นแรกของการหายใจ
	• ผู้ริเริ่มศึกษาขบวนการนี้ มี 3 คน คือ Emden , Meyerhof , Parnas
	• ไม่ต้องอาศัย O_2 อิสระ
	• เป็นกระบวนการชีวภาพที่พบอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ไม่ว่าสิ่งมีชีวิตนั้นจะอยู่ในภาวะแวดล้อมเป็นอย่างไร กระบวนการนี้จะถูกชักนำให้เกิดขึ้นในเซลล์อยู่เสมอ
	• เป็นกระบวนการสลายหรือออกซิไดส์กลูโคส (น้ำตาล) ซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอม ไปเป็นกรดไพรูวิก (pyruvic acid = $C_3H_4O_3$) ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม
	• กระบวนการนี้จะไปเชื่อมต่อกับกระบวนการอื่นได้หลายทาง ทางหนึ่งที่สำคัญคือ การเชื่อต่อของไกลโคไลซิสกับพวก dehydrogenase system ตัวอย่างเช่น
	  • ในสภาวะมี O_2 มันจะเชื่อมต่อกับ Pyruvate dehydrogenase complex เพื่อสร้าง acetyl coenzyme A
	  • ในสภาวะไม่มีออกซิเจน มันจะเชื่อมกับ alcohol dehydrogenase ในพวกยีสต์ หรือ lactate dehydrogenase ในกล้ามเนื้อลาย

CONCEPT 10-1

การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์เอ (2C) (Acetyl Co.A)	• $[C_3H_4O_3$ (3C)] ⟶(2CoASH⟶)(⟶$2CO_2$)⟶ 2 [CH_3-CO-S-CoA (2C) + 2H (NAD^+)] • เกิดภายใน Matrix • กรดไพรูวิกที่เกิดจากไกลโคลิซิส แต่ละโมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับ Coenzyme A (CoASH) ได้เป็น Acetyl Coenzyme A โดยการทำงานของกลุ่มเอนไซม์ pyruvate dehydrogenase complex • ถือเป็นศูนย์กลางของการสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ • ประกอบด้วยการออกซิไดส์ 3 ครั้ง • การเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในกลูโคส พบว่า ในกระบวนการสร้างอะซิติลโคเอ นี้ จะเปลี่ยน 1/3 ของคาร์บอนในกลูโคส กลายเป็น CO_2 ส่วนอีก 2/3 ของคาร์บอน จะปรากฏอยู่ในรูปอะซิติลโคเอ
$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi + 2CoASH \longrightarrow 2CH_2$-CO-S-CoA + 2ATP + 2H ($NAD^+$,FAD) + 4H ($NAD^+$) + $2CO_2$	
วัฏจักรเครบส์ (Krebs' cycle , Citric acid cycle , Tricarboxylic acid cycle , TCA cycle)	• [อะซีติลโคเอนไซม์เอ + $3H_2O$ + ADP + Pi] $\longrightarrow$ 2 [$2CO_2$ + ATP + 6H(NAD^+) + 2H(FAD) + โคเอนไซม์เอ] • สารตั้งต้นของวัฏจักรเครบส์ คือ อะซิติลโคเอ (2C) กับกรดออกซาโลอะซิติก (4C) เมื่อสาร 2 ชนิดนี้เข้ารวมตัวกันโดยเกิดปฏิกิริยาจะได้เป็นกรดอะซิติก (6C) กรดซิตริกจะมีการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอนโดยการทำงานของเอนไซม์หลายชนิด ในระหว่างปฏิกิริยาจะมีการลดจำนวน C ในกรดซิตริกจาก 6C $\longrightarrow$ 5C (α-Ketoglutaric acid) $\longrightarrow$ 4C (Succinic acid , Fumalic acid , Malic acid , Oxaloacetic acid) ซึ่งได้สาร 4C กลับมาตามเดิม ปฏิกิริยาช่วงนี้มีลักษณะเป็นวัฏจักร จึงเรียกว่า วัฏจักรเครบส์ตามชื่อของ Sir Hans Krebs ผู้ศึกษาพบวัฏจักรนี้ • เป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนอะซิติลโคเอไปเป็น CO_2 • เกิดขึ้นโดยมีออกซิเจนเป็น inducer • เกิดขึ้นภายใน Matrix ใน ไมโทคอนเดรีย • เป็นขั้นที่ได้ H อะตอม (2/3 ของ H ที่เกิดขึ้นทั้งหมด) และ CO_2 มากที่สุด • ถือเป็นปลายทางของการสลายสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซ CO_2 • GTP เมื่อถูก Hydrolysis จะให้พลังงานออกมาเท่ากับ ATP • ลำดับการเปลี่ยนแปลงจำนวน C $\Rightarrow$ 6C $\longrightarrow$ 5C $\longrightarrow$ 4C หรือ 2C $\longrightarrow$ 6C $\longrightarrow$ 5C $\longrightarrow$ 4C
$C_6H_{12}O_6 + 4ADP + 4Pi + 6H_2O \longrightarrow 6CO_2 + 4ATP + 24H$	

CONCEPT 10-1

การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (electron transport),Respiratory chain,H-transfer,ETS	• $24H + 6O_2 + 34,32\ (ADP+Pi) \longrightarrow 12H_2O + 34,32\ ATP$
	• เกิดขึ้นที่เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรีย (Innermembrane of mitochondria) และที่เยื่อหุ้มเซลล์ของโปรคาริโอต
	• เป็นขบวนการเปลี่ยนแปลงสาร $NADH+H^+$ ที่เกิดจากขบวนการที่ 1, 2, 3 กับ $FADH_2$ จากกระบวนการที่ 3 ในรูป ATP และเกิดน้ำ (H_2O) เป็นผลิตผลสุดท้าย
	• เป็นขั้นที่ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ถูกสารที่เป็นตัวรับไฮโดรเจน (Hydrogen acceptor) รับไปแล้วถ่ายอิเล็กตรอน (e^-) ของไฮโดรเจนให้ Cytochrome ชนิดต่าง ๆ ส่วนโปรตอนของไฮโดรเจน (H^+) จะหลุดเป็นอิสระ สำหรับอิเล็กตรอนที่ไซโตโครมรับไปจะถ่ายทอดไปยังไซโตโครมตัวอื่น จนในที่สุดจะหลุดเป็นอิสระ จากนั้นทั้งโปรตอนและอิเล็กตรอนที่หลุดเป็นอิสระ จะรวมกับออกซิเจนที่ได้รับจากการหายใจทำให้เกิดน้ำขึ้น
	• เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของ $NADH+H^+$ และ $FADH_2$ กับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน
	• ได้พลังงานในรูป ATP เกิดขึ้นมากที่สุด ถึง 34 ATP/1 โมเลกุลของกลูโคส
	• เกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนอิสระภายในเซลล์โดยออกซิเจนจะเป็นตัวรับโปรตอนและอิเล็กตรอน (Proton and electron acceptor) เกิดขึ้นเป็น H_2O ทั้งสิ้น 12 โมเลกุล/1 โมเลกุลของกลูโคส
	• การถ่ายทอดอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับการสร้างสาร ATP ด้วย หากขาดการสร้างสาร ATP การถ่ายทอดอิเล็กตรอนก็จะเกิดขึ้นไม่ได้
	• ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากสารที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐายของครึ่งเซลล์ต่ำ (redox potential มีค่าต่ำ) ไปยังสารที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์สูงกว่า (redox potential มีค่ามากกว่า
	• ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจากสารชนิดหนึ่งไปยังสารอีกชนิดหนึ่งนั้น อาจถูกยับยั้งได้ด้วยสารพิษบางชนิด เช่น
	  • Sodium amytal ยับยั้งการถ่ายทอดอิเล็กตรอนระหว่าง NAD^+ กับ FAD
	  • ไซยาไนด์ และ CO จะยับยั้งการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก Cyt.a ไปยัง O_2
	  • antimycin ยังยั้งการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก Cyt. b ไปยัง Cyt. c
	• $NADH+H^+$ และ $FADH_2$ เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะได้พลังงาน 3 ATP และ 2 ATP ต่อโมเลกุล เรียงตามลำดับ
	• ขั้นที่มีพลังงานสูงในการสร้าง ATP คือ $NADH+H^+ \longrightarrow FADH_2$, Cyt.b $\longrightarrow$ Cyt.C และ Cyt.a $\longrightarrow O_2$
	• เกิดการสร้าง ATP จากปฏิกิริยา oxidative phosphorulation เริ่มต้นด้วย Pi เข้าทำปฏิกิริยากับ ADP โดยพลังงานจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน และมีการสูญเสียน้ำ 1 โมเลกุล

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 4ADP + 4Pi + 34,32\ (ADP+Pi) \xrightarrow{enzyme} 6CO_2 + 6H_2O + 36,38\ ATP$	

1. การมี O_2 ในเซลล์ทำให้เกิดการหายใจอย่างสมบูรณ์ เพราะเกิดปฏิกิริยาการสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ได้ทั้งหมด
2. พลังงานทั้งหมดที่ได้จากการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล แบบใช้ O_2 จะได้ พลังงานทั้งสิ้น 36 หรือ 38 ATP ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวรับ H ที่อยู่ในไมโทคอนเดรีย กล่าวคือ H ของ $NADH+H^+$ 2 โมเลกุลที่เกิดจาก Glycolysis

จะถูกส่งเข้าไปใน mitochondria เพื่อเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ถ้าในไมโทคอนเดรียมี FAD มารับ H จะทำให้ได้ 4 ATP แต่ถ้ามี NAD^+ มารับ H เหมือนเดิม จะได้ 6 ATP

3. พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการหายใจแบบใช้ออกซิเจนได้มากกว่าพลังงานจากการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนถึง 19 (18) เท่าโดยประมาณ

ขบวนการ	ใช้ATP	ผลิต ATP ได้	reducing equivalent	ATP รวม
ไกลโคลิซิส	2 ATP	4 ATP	2X2H (NAD^+) = 6 ATP (2x3) หรือ 2X2H (FAD) = 4 ATP (2X2)	8 หรือ 6 ATP
การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์เอ	-	-	2X2H (NAD^+) = 6 ATP	6 ATP
วัฏจักรเครบส์	-	2 GTP = 2 ATP	6X2H (NAD^+) = 18 ATP 2X2H (FAD) = 4 ATP	24 ATP
กลูโคส$\longrightarrow 6CO_2$	2 ATP	6 ATP	32, 34 ATP	38,36 ATP

1. การสลายไขมันและกรดอะมิโน

การสลายไขมัน (lipid)	**การสลายกรดอะมิโน** (Amino acid Catabolism) (NH_2-HCR-COOH)

• ขั้นแรก $\Longrightarrow$ ไฮโดรไลซิสไขมันด้วยเอนไซม์ lipase ได้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล
• **การสลายกลีเซอรอล** $\Longrightarrow$ กลีเซอรอลจะถูกเปลี่ยนเป็น Phosphoglyceraldehyde : PGAL ซึ่งจะถูกออกซิไดส์ต่อไปอีก
• **การสลายกรดไขมัน** (Fatty acid catabolism) (R-COOH)
  • กรดไขมันจะถูกสลายเพื่อให้ได้พลังงานโดย chain of HC จะถูกตัดออกทีละ 2 C อะตอม เข้ารวมกับ Co.A กลายเป็น Acetyl Co.A เรียกกระบวนการนี้ว่า β-oxidation
  • Acetyl Co.A ที่เกิดขึ้น จะถูกนำไปเปลี่ยนแปลงต่อไปในวัฏจักรเครบส์ แต่ถ้าเป็นในพืช อาจเข้าสู่ glyoxylate cycle
  • Acetyl Co.A แต่ละโมเลกุล เมื่อถูกเผาผลาญในวัฏจักรเครบส์ โดยสมบูรณ์ และผ่าน H เข้าสู่การถ่ายทอดอิเล็กตรอน แล้ว จะได้พลังงาน 2 ATP
	• หมู่ R เป็นส่วนที่ทำให้การสลายกรดอะมิโนแต่ละชนิดเกิดพลังงานไม่เท่ากัน
	• ขจัดหมู่อะมิโน (NH_2-) ออกจากโมเลกุลเสียก่อน $\Longrightarrow$ Deamination $\Longrightarrow$ NH_2- จะถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเสียไนโตรเจน (N-waste) เช่น NH_3 (แอมโมเนีย) ยูเรีย หรือกรดยูริก ขจัดออกไปพร้อมกับเหงื่อ ปัสสาวะ ลมหายใจ แล้วแต่ชนิดของ N-waste
	• มีการกำจัด S , N ของกรดอะมิโนบางชนิด
	• เมื่อได้ R-CH_2-COOH แล้ว ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นสารตัวกลาง เช่น
	  • pyruvic acid (ทรีโอนีน,ไกลซีน,เซอรีน,อะลานีน,ซิสเตอีน)
	  • Acetyl Co.A (ไลซีน,ทริปโตเฟน,ฟีนิลอะลานีน,ไทโรซีน,ลูซีน)
	  • -ketoglutaric acid (กลูตามีน,กรดกลูตามิก,ซีสติดีน,อาร์จินีน,โปรลีน)
	  • succinyl Co.A (ทรีโอนิน,ไอโวลูซีน,เวลีน)
	  • fumalic acid (ไทโรซีน)
	  • oxaloacetic acid (แอสปาราจีน,กรดแอสปาร์ติก)

1. การที่สารอาหารจำพวกไขมัน สลายให้พลังงานได้มากกว่าสารอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ในจำนวนกรัมเท่า ๆ

กัน เพราะเหตุว่า สัดส่วนของ H:O มากกว่า 2:1 เป็นสัดส่วนต่างกัน อย่างมาก เช่น กรดไขมันสเตียริก ($C_{17}H_{35}COOH$) พบว่า H:O = 18:1

2. **ตัวนำอิเล็กตรอน** (electron carrier)

2.1. การรับอิเล็กตรอนทำให้ตัวนำอิเล็กตรอนถูกรีดิวซ์

2.2. O_2 ไม่ใช่ตัวนำอิเล็กตรอน แต่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย

2.3. ขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจากตัวนำอิเล็กตรอนหนึ่งไปยังตัวนำตัวต่อไปเป็นทอด ๆ นั้น พลังงานจากอิเล็กตรอนจะถูกปล่อยออกมาเป็นระยะ ๆ ออกซิเจนจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในขณะที่อิเล็กตรอนมีระดับพลังงานต่ำสุด

ตัวนำที่รับเฉพาะอิเล็กตรอน ⟹ Cytochrome คือ รงควัตถุในรูปโปรตีน ซึ่งมีธาตุเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบ มีหน้าที่สำคัญ คือ เป็นตัวรับและถ่ายทอดอิเล็กตรอน ในกระบวนการหายใจ คือ Cytochrome b⟶c⟶a ตามลำดับ	**ตัวนำที่สามารถรับอิเล็กตรอนพร้อมด้วยโปรตอน ⟹ Coenzyme ⟹ Hydrogen acceptor ⟹** กลุ่มสารอินทรีย์ที่มีวิตามิน B เป็นองค์ประกอบ หน้าที่สำคัญ คือ เป็นตัวรับและถ่ายทอดไฮโดรเจน (H-acceptor) ในกระบวนการหายใจ เช่น NAD^+ , FAD และ Co.A

1. เนื่องจากอะตอมของ N ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโมเลกุล NAD มีประจุบวกอยู่ด้วย จึงมักเขียนคำย่อว่า NAD^+

Coenzyme	ย่อมาจาก	ส่วนประกอบ	หน้าที่
NAD^+	Nicotinamide adenine dinucleotide	วิตามิน B_5	รับและถ่ายทอดไฮโดรเจน (ขั้นที่ 1,2,3,4)
FAD	Flavin adenine dinucleotide	วิตามิน B_2	รับและถ่ายทอดไฮโดรเจน (ขั้นที่ 3 และ 4)
Co.A	Coenzyme A	วิตามินบีรวม Pantothenic acid	ตัวนำหมู่เอซิลเพื่อสร้าง Acetyl Co.A (ขั้นที่ 2)

1. สารที่ถือได้ว่าเป็นตำแหน่งกลางของกระบวนการ metabolism (การสลายสารอาหารต่าง ๆ และการสังเคราะห์สารต่าง ๆ) คือ Acetyl Co.A

2. สารอาหารที่สามารถสลายตัวแบบไม่ใช้ O_2 คือ glucose,amino acid (บางชนิด) และ glycerol (เพราะสามารถสลายตัวเข้าที่ช่วง glycolysis คือ เปลี่ยนเป็น pyruvic acid ได้) ส่วนกรดไขมัน (fatty acid) ไม่สามารถนำมาสลายตัวแบบไม่ใช้ O_2 ได้เลย (เพราะจะสลายตัวเป็น acetyl Co.A และเข้าวัฏจักรเครบส์ต่อไป จึงต้องเป็นแบบใช้ O_2 เท่านั้น

3. **Mitochondria (Mitochondrion)**

3.1. มีลักษณะเป็นแท่งยาวรี

3.2. เป็นแหล่งผลิตพลังงาน หรือ โรงไฟฟ้าของเซลล์ (Powerhouse of cell)

3.3. พบในสิ่งมีชีวิตพวกยูคาริโอต

3.4. ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการหายใจของเซลล์

3.5. เซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ทำหน้าที่ต่างกันจะมีปริมาณไมโทคอนเดรียไม่เท่ากัน

3.5.1. เซลล์ตับ และ เซลล์ไข่ของหอยแม่น จะมีจำนวนไมโทคอนเดรียมาก คือ ประมาณ 2,500 และ 15,000 อัน ตามลำดับ

3.5.2. เซลล์ที่ใช้พลังงานน้อย ก็จะมีจำนวนไมโทคอนเดรียจำนวนน้อยลง

3.6. มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น (Double unit membrane)

3.6.1. เยื่อชั้นนอก (Outer membrane) $\Longrightarrow$ มีลักษณะเรียบ $\Longrightarrow$ ทำหน้าที่คอยควบคุมการผ่านเข้า-ออกของสาร

3.6.2. เยื่อชั้นใน (Inner membrane)

- บางส่วนยื่นเข้าไปในโพรงกลางไมโทคอนเดรีย มีลักษณะหยักไปมาคล้ายวิลลัสในลำไส้เล็กของคน ส่วนที่ยื่นเข้าไปนี้ เรียกว่า Crista ซึ่งบน Crista นี้เอง มีโครงสร้างเป็นเม็ดกลม ๆ เล็ก ๆ (knob , Inner membrane particle) ติดอยู่เต็มไปหมด ที่เชื่อกันว่าเป็นแหล่งที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน , เก็บสารที่เป็นตัวนำ e^- , เป็นแหล่งสังเคราะห์ ATP

3.7. ถัดจากเยื่อชั้นในเข้าไป มีของเหลวบรรจุอยู่ เรียกว่า Matrix ภายในเซลล์ของเหลวนี้มีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการหายใจในขั้นวัฏจักรเครบส์

3.8. ในร่างกายของคน ไมโทคอนเดรยจะมีมากที่สุดในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

4. **การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน** (Anaerobic respiration)

alcoholic fermentation : กระบวนการหมัก alc.	lactic acid fermentation
• รา ยีสต์ เมล็ดพืช และ พืชเมื่อขาดออกซิเจน • $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{Enzymes} 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2\ ATP$ • ตัวรับ e^-,H ตัวสุดท้าย จาก $NADH+H^+$ คือ acetaldehyde (2C) • ethyl alcohol ในเซลล์ยีสต์ เกิดจาก acetaldehyde + H_2 (acetaldehyde เกิดจาก pyruvic acid ที่เสีย CO_2 ออกไปนั่นเอง) • เอทานอลถ้ามีปริมาณมากจะเป็นอันตรายแก่เซลล์ ยีสต์ก็เหมือนสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่มีความคงทนต่อปริมาณแอลกอฮอล์ ถ้าปริมาณแอลกอฮอล์สูงมาก ยีสต์จะตาย • ผลผลิตจากกระบวนการหมักแบบนี้ ที่สำคัญ คือ เบียร์ สุรา ไวน์ ต่าง ๆ • ในปัจจุบัน มีผู้นำความรู้นี้ไปผลิตแอลกอฮอล์จากวัสดุเหลือใช้ เช่น การผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล นอกจากลดปัญหามลภาวะของกากน้ำตาลแล้ว แอลกอฮอล์ยังเป็นสารที่มีพลังงานแฝงอยู่มาก สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้	• กล้ามเนื้อลาย ขณะออกกำลังกาย พยาธิตัวตืดและแบคทีเรียบางชนิด • $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{Enzymes} 2C_3H_6O_3$ (ทั้ง 6C ของ C ในกลูโคส) + พลังงาน (2ATP) • $NADH+H^+$ จะถ่ายทอดอะตอมของไฮโดรเจนให้แก่กรดไพรูวิก (ตัวรับ e^- ตัวสุดท้าย) • กรดแลกติกเมื่อสะสมมากจะทำให้กล้ามเนื้อล้า (fatique) จนกระทั่งทำงานไม่ได้ ต้องได้รับ O_2 มาชดเชยเพื่อสลายกรดแลกติกต่อไป จนได้ CO_2 และ H_2O ซึ่งร่างกายจะกำจัดออกสู่ภายนอกได้ แต่ถ้ามีไม่มากนักจะถูกลำเลียงไปที่ตับเพื่อนำกลับมาสร้างเป็นกลูโคสใหม่ • มนุษย์ใช้ประโยชน์จากกระบวนการหมัก ของจุลินทรีย์ในการผลิตอาหารบางชนิด ได้แก่ เต้าเจี้ยว เต้าหู้ยี้ นมเปรี้ยว โยเกิร์ต การดองผักและผลไม้

1. แบคทีเรียบางชนิด หลังจากกระบวนการ glycolysis แล้ว จะใช้สารอนินทรีย์ที่ไม่ใช่ออกซิเจน เช่น NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} มารับอิเล็กตรอน เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้ $\Longrightarrow$ ได้พลังงาน 2 + 2(3) = 8ATP
2. ปฏิกิริยาการสลายกลูโคส ทั้งที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนจะต้องผ่านปฏิกิริยาไกลโคลิซีสทั้งสิ้น

3. ปฏิกิริยาที่ $NADH+H^+$ ไปรีดิวซ์กรดไพรูวิก เรียก การหมัก (fermentation)
4. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียต่างชนิดกันอาจให้ผลลัพธ์ของปฏิกิริยาต่างกันออกไป เช่น E.coli อาจให้ผลลัพธ์เป็น CH_3COOH หรือ บางชนิด อาจเกิดในรูปกรดฟอร์มิก
5. นักชีววิทยา<u>บางท่าน</u> อธิบายความหมายของการหายใจว่า เป็นการสลายสารอาหารที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเพื่อสังเคราะห์ ATP ไม่ว่าตัวรับอิเล็กตรอนจะเป็นออกซิเจน หรือ สารอนินทรีย์อื่น ในกรณีที่มีการสลายสารอาหารที่ไม่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน เรียกว่า การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้น <u>ตามข้อความที่อธิบายนี้ กระบวนการหมัก จึงไม่ถือว่าเป็นการหายใจ เพราะไม่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน</u>
6. ตารางเปรียบเทียบ

	การหายใจแบบใช้ O_2	กระบวนการหมัก	การใช้สารอนินทรีย์
สภาพการเจริญ	แบบใช้อากาศ	แบบไม่ใช้อากาศ	
กระบวนการถ่ายทอด e^-	มี	ไม่มี	มี
สลายโมเลกุลอาหาร	สมบูรณ์ C อินทรีย์เปลี่ยนเป็นอนินทรีย์หมด	ไม่สมบูรณ์ C อินทรีย์ ยังคงปรากฏอยู่	
ชนิดของฟอสโฟรีเลชัน เพื่อสร้าง ATP	ส่วนใหญ่เป็นออกซิเดทีฟ มีบางตอนเป็นซับสเตรต	ซับสเตรตฟอสโฟรีเลชัน ทั้งหมด	ส่วนใหญ่เป็นออกซิเดทีฟ มีบางตอนเป็นซับสเตรตฟอสโฟรีเลชัน
ตัวรับ H ตัวสุดท้าย, ตัวรับ e^- ตัวสุดท้าย	ออกซิเจนอิสระ (O_2)	สารอินทรีย์ เช่น กรดไพรูวิก , แอซีตัลดีไฮด์	มักเป็นสารอนินทนีย์เช่น NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}
พลังงาน/1 โมเลกุลกลูโคส	36/38 ATP	2 ATP	8 ATP

การหายใจแบบใช้ O_2	การหายใจแบบไม่ใช้ O_2
ผลลัพธ์สุดท้าย ได้ $CO_2 + H_2O$ และ พลังงาน	ผลลัพธ์สุดท้ายในยีสต์และพืช คือ เอทานอล + CO_2 และ พลังงาน สำหรับในกล้ามเนื้อลาย พยาธิตัวตืด และ แบคทีเรีย จะได้กรดแลกติก และพลังงาน
เกิดทั้งใน Cytoplasm และ mitochondria	เกิดใน Cytoplasm