

บทที่ 11

แผนการอธิษัมของจุลินทรีย์

เอนไซม์มีคุณสมบัติในการย่อยสาร ไม่เลกูลให้ญี่ให้กลไกเป็นสาร ไม่เลกูลเดิม ทำให้ได้เป็นสารอาหารซึ่งจะนำไปใช้ในการเจริญของเซลล์ต่อไป และส่วนของพลังงานที่ได้ออกมาสามารถนำไปใช้สังเคราะห์สารใหม่ในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เกิดนี้องจาก การทำงานของเอนไซม์ทั้งสิ้น ปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้น เรียกว่าเป็นกระบวนการแมทบอโลซิม (metabolism) ซึ่งมีทั้งการหายใจแบบใช้อกซิเจน และไม่ใช้อกซิเจน และกระบวนการหลัก

11.1 ໂອນິຈຸນ໌ (enzyme)

การที่สิ่งมีชีวิตกินอาหารเข้าไปก็ต้องอาศัยเอนไซม์ย่อยให้เป็นโมเลกุลที่เด็กลง ซึ่งเซลล์ต้องการเอนไซม์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อทำภาระเร่งบัญญัติลง

11.1.1 คุณสมบัติของอนุชัม

คATALYST เป็นสาร ปัจจัยที่มีส่วนร่วมในการปฏิกริยาเคมี โดยที่ตัวบันทึก ไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากเกิดปฏิกริยา ใจนี้จะมีผลทำลายความร้อน และลดผลกระทบด้วยอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น โปรตีอีส (protease) ไลเปส (lipase) อินเวอร์เทส (invertase) และอะมายลีส (amylase) เป็นต้น

โคเอนไซม์ (coenzyme) ประกอบด้วยโปรตีนกับสารอินทรีย์อันที่มีหน้าหักไมเลกุลต่า ส่วนที่เป็นโปรตีนเรียกว่า อปเปอนไซม์ (apoenzyme) เมื่อมารวมกันจึงเป็นเอนไซม์ที่สมบูรณ์ (holoenzyme) องค์ประกอบของโคเอนไซม์จะเป็นวิตามินบี 1 บางครั้งต้องอาศัย โคแฟกเตอร์ (cofactor) ไอออนของโลหะ เช่น Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} และ Zn^{2+} เป็นต้น มาร่วมในปฏิกิริยา

11.1.2 ชนิดของอนุไชม์

สามารถแบ่งเงินไซม์ออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้ คือ

แบ่งตามลักษณะการสร้าง

เอนไซม์อินดิว (induced enzyme) เอนไซม์ที่ถูกเหนี่ยวนำเมื่อมีอาหาร (inducer) ถ้าไม่มีอาหารก็จะไม่สร้างเอนไซม์ดังกล่าว

เอนไซม์คอนสติติวทีฟ (constitutive enzyme) เป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นได้เองปกติโดยไม่ขึ้นอยู่กับอาหาร

แบ่งตามแหล่งที่เอนไซม์ทำงาน

extracellular enzyme หรือ exoenzyme เป็นเอนไซม์ที่สร้างภายในเซลล์ ถูกขับออกมานอกเซลล์ทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ต้นจนได้โมเลกุลเล็กลง เช่น โปรตีนase (proteinase)

intracellular enzyme หรือ endoenzyme เป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นภายในเซลล์ทำปฏิกิริยา กับสารต่างๆ ต้นจนได้โมเลกุลเล็กลง เช่น ออกซิเดส (oxidase)

11.1.3 การทำงานของเอนไซม์

สารตั้งต้น (substrate) ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ จนได้เป็นสารเชิงช้อน ซึ่งจะแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กลงเรียกว่า ผลผลิต (product) และได้เอนไซม์ตามเดิม ส่วนสารตั้งต้นก็จะมีการเปลี่ยนรูปร่างให้เข้ากับเอนไซม์ได้ ตำแหน่งที่เข้ากันนี้เรียกว่า บริเวณเร่ง (active site)

11.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมปฏิกิริยาของเอนไซม์

ปฏิกิริยาจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ ดังนี้ คือ

1) ความเข้มข้นของเอนไซม์

เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์เพิ่มขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น คือปฏิกิริยาของเอนไซม์จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของเอนไซม์ และจะต้องมีสารตั้งต้นมากเกินพอ

2) ความเข้มข้นของสารตั้งต้น

เมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด แต่จะคงที่ในภายหลัง แม้จะเพิ่มสารตั้งต้น ความเร็วของปฏิกิริยาจะไม่เพิ่มขึ้น

3) พีอีช

พีอีชเป็น 7 จะทำให้มีปฏิกิริยาของเอนไซม์ดีที่สุด แต่เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพีอีชให้ต่างไปจากค่าที่เหมาะสมสมปฏิกิริยาของเอนไซม์จะลดลง

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็น 30-40°C จะทำให้มีปฏิกิริยาของเอนไซม์ดีที่สุด ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปการทำงานของเอนไซม์จะหยุดชะงัก ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปเอนไซม์จะถูกทำลาย

11.1.5 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์จะให้ปฏิกิริยาช้าลง การยับยั้งการทำงานแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1) การยับยั้งแบบดาวร

ใช้ตัวยับยั้งเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์บริเวณเร่ง (active site) ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงกลับคืนมาให้อยู่ในรูปที่ทำงานได้

2) การยับยั้งแบบกลับคืนได้

การยับยั้งแบบแข็งขัน ตัวยับยั้งจะแข็งขันกับสารตั้งต้นเพื่อแบ่งจับกับเอนไซม์ บริเวณเร่ง ถ้าสารตั้งต้นมากตัวยับยั้งไม่สามารถจับกับเอนไซม์ได้ทัน ตัวอย่างตัวยับยั้ง เช่น กรดมาโนโนิก

การยับยั้งแบบไม่แข็งขัน ตัวยับยั้งไม่ได้แบ่งสารตั้งต้นในการจับกับบริเวณเร่งของ เอนไซม์ แต่จะจับกับไอออนของโลหะ เช่น โซเดียมจะทำให้เอนไซม์ทำงานไม่ได้

11.2 แมบทabolism (metabolism)

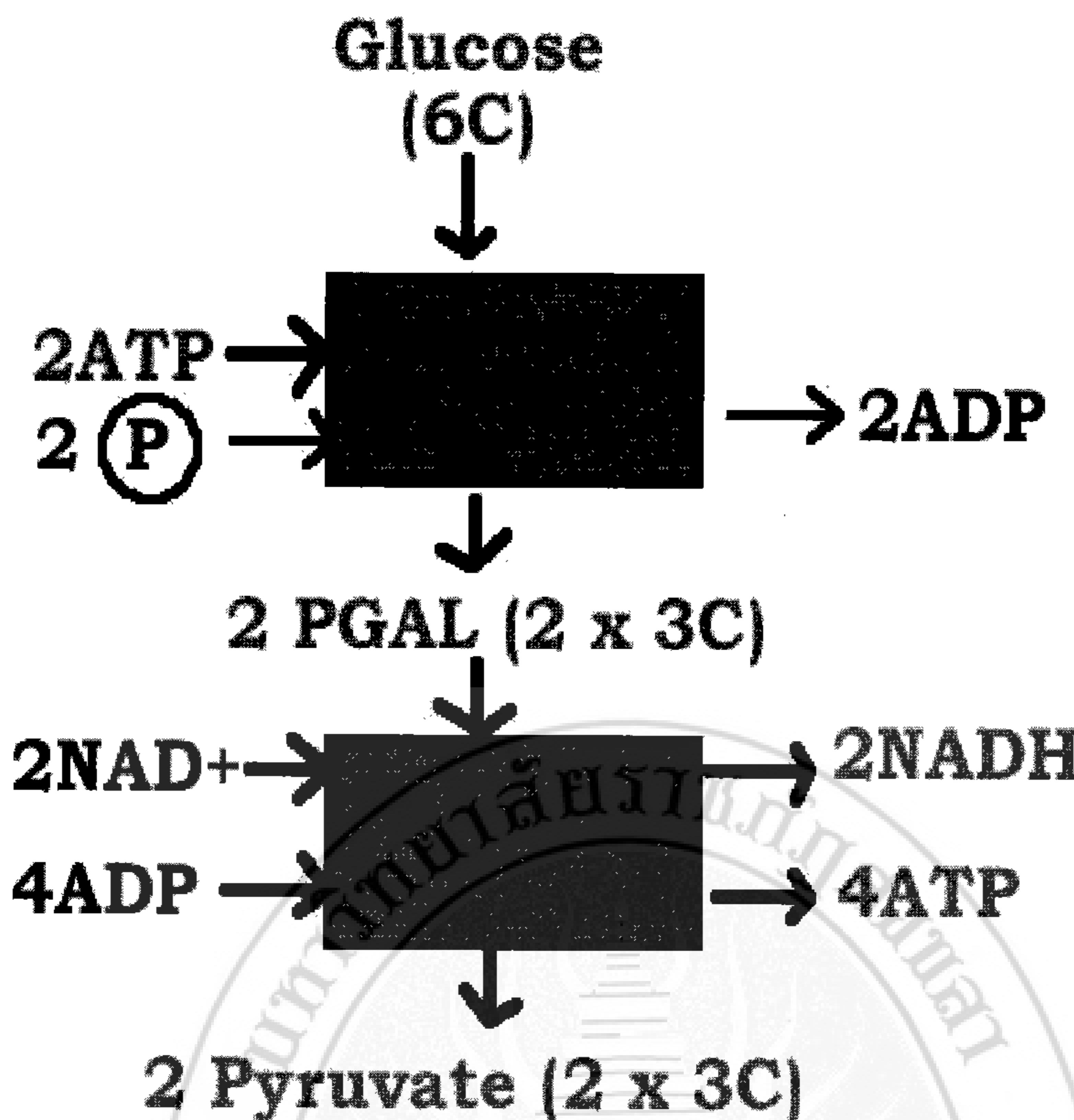
เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการ แอนนาบoliซึม (anabolism) เป็นการสร้างสาร โมเลกุลใหม่จากสาร โมเลกุลเดิมที่ต้องใช้พลังงานจึงจะ ทำให้เกิดการเติบโต คatabolism เป็นการสลายสาร โมเลกุลใหม่ให้เป็นสาร โมเลกุลเดิมจะ ได้พลังงานโดยผ่านกระบวนการหายใจ (respiration) ซึ่งการหายใจเป็นการ เปลี่ยนแปลงแบบออกซิเดชัน-รีดักชันภายในเซลล์เพื่อให้สาร โมเลกุลใหม่เปลี่ยนเป็นสาร โมเลกุล เดิม และได้พลังงานออกมานะ

11.3 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

เป็นการเปลี่ยนแปลงสารอาหาร โดยเฉพาะกลูโคสเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ น้ำและจะได้เป็นพลังงานเกิดขึ้น โดยมีออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย กระบวนการ หายใจมี 3 ขั้นตอนคือ

1) ไกโอลิซิส (glycolysis หรือ Embden-Meyerhof pathway)

เกิดในไซโทพลาสซึมเกิดในเซลล์ทุกชนิด และมีการใช้ออกซิเจน โดยมีการเปลี่ยน สารประกอบคาร์บอน 6 อะตอม (C6 กลูโคส) ให้เป็นสารประกอบคาร์บอน 3 อะตอม (C3) เช่น PGA และ PEP จากนั้นก็จะมีการเปลี่ยน C3 ให้เป็นกรดไฟฟ์วิก (C3) 2 โมเลกุล พลังงาน ATP 2 โมเลกุล น้ำ 2 โมเลกุล และ NADH 2 โมเลกุล การสร้างพลังงาน ATP เกิดขึ้นในขณะที่สารตั้งต้น มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยมีการถ่ายทอดพลังงานเป็นระดับ (substrate level phosphorylation) (ภาพที่ 11.1)



ภาพที่ 11.1 การหายใจแบบใช้ออกซิเจนตามวิถีไอล โกล โคไลซิส (glycolysis)

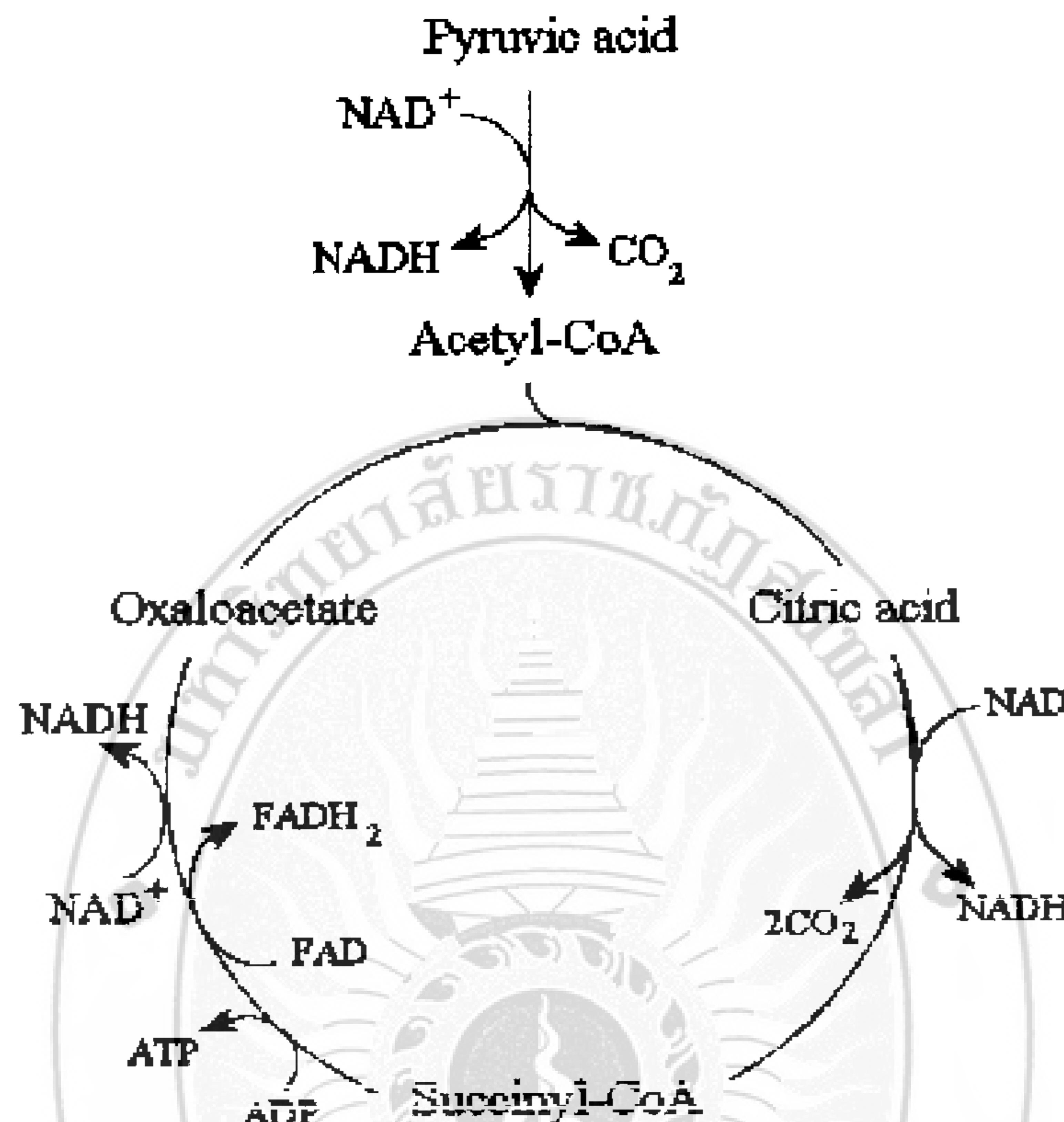
ที่มา : www.staff.jccc.net/pdecell/bio122/glycolysis

2) วัฏจักรเครปส์ (Kreb's cycle หรือ tricarboxylic acid cycle)

เกิดในไมโทคอนเดรียการสร้างพลังงาน ATP เกิดขึ้นในขณะที่สารตัวต้นมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยมีการถ่ายทอดพลังงานเป็นระดับ (substrate level phosphorylation) มีสารตัวกลาง (intermediate) หลายชนิด ใช้เป็นสารตัวต้น (precursor) ในการสังเคราะห์กรดอะมิโน พิวรีน และ ไฟฟิมิดิน เป็นต้น(ภาพที่ 11.2)

ก่อนเข้าสู่วัฏจักรเครปส์จะเกิดกระบวนการดีكارบอคซิเลชัน (decarboxylation) โดยกรดไขมัน 1 โมเลกุลจะรวมตัวกับโคเออนไซม์เอ (CoASH) ได้เป็นอะซิทิล โคเออนไซม์เอ (acetyl coenzyme A หรือ acetyl CoA) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมี NAD+ marrow อิเล็กตรอน คลายเป็น NADH₂ acetyl CoA จะทำปฏิกิริยากับ oxaloacetic acid (C4) ได้เป็น citric acid (C6) เปลี่ยนเป็น isocitric acid α-ketoglutaric acid succinic acid fumaric acid และ malic acid ตามลำดับ จากนั้น oxaloacetic acid จะรวมตัวกับ acetyl CoA เกิดเป็น citric acid วนเวียนอีกรอบ

ดังนั้นผลผลิตที่ได้จึงเริ่มต้นจาก acetyl CoA 1 โมเลกุลจะได้เป็น 2CO_2 , 3NADH_2 (1 NADH_2 มีค่า 3 ATP) FADH_2 (1 FADH_2 มีค่า 2 ATP) และ 1 GTP (GTP เมื่อนำไปสังเคราะห์จะได้เป็น ATP)



ภาพที่ 11.2 การหายใจแบบใช้ออกซิเจนตามวัฏจักร krebs (Kreb's cycle)

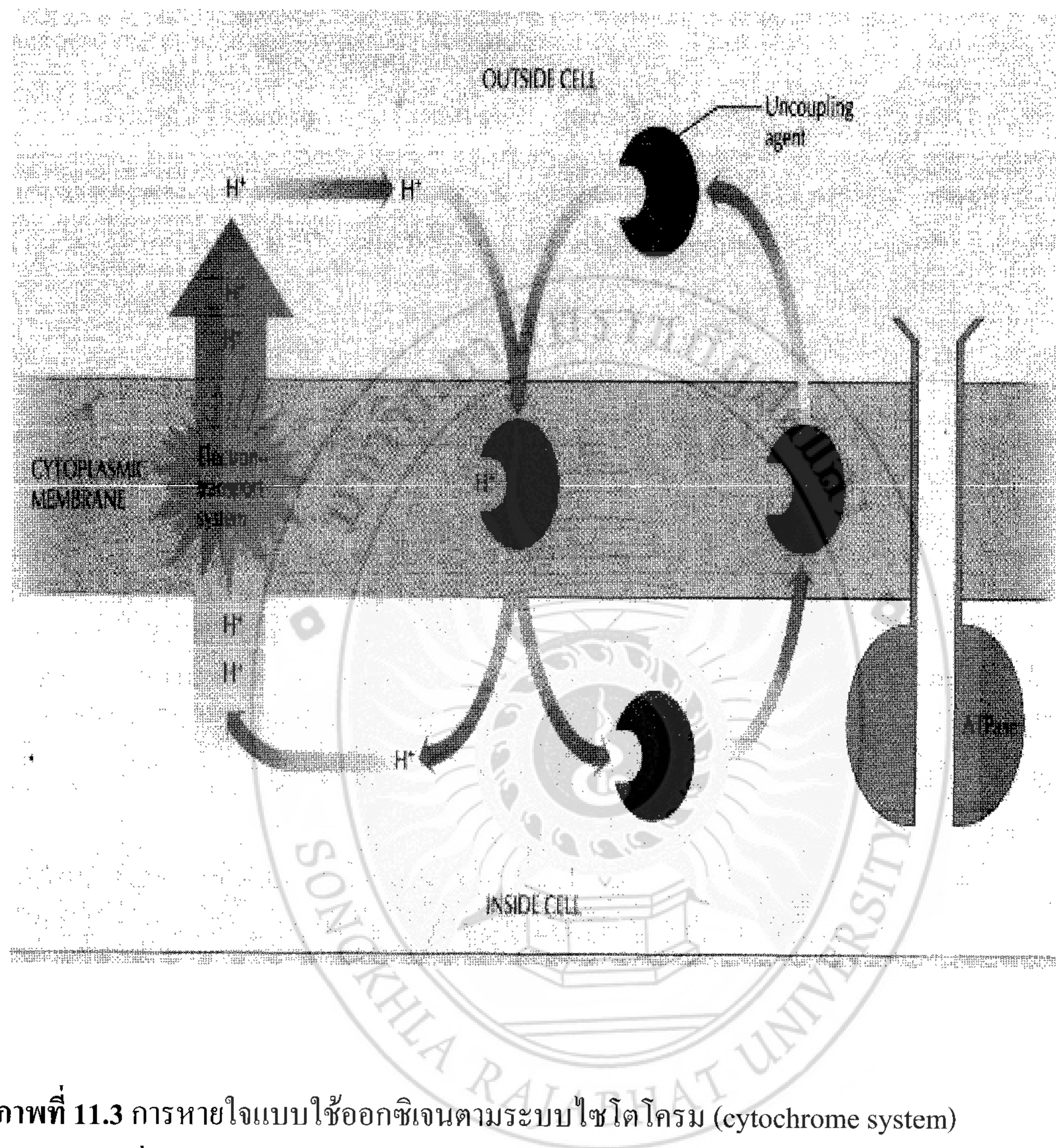
ที่มา : www.starsandscas.ca/..../kreb_5

3) ลูกโซ่หายใจ (respiratory chain) หรือกระบวนการรับส่งอิเล็กตรอน (electron transport system) หรือระบบไซโตโครม (cytochrome system)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดเป็นลูกโซ่อxygen ต่อเนื่อง เกิดในไนโตรคอนเดรียมีการนำตัวนำอิเล็กตรอน คือ NADH_2 และ FADH_2 ไปให้ออกซิเจนซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย มีการสร้างพลังงานแบบ oxidative level phosphorylation ได้พลังงานทั้งหมด 36 หรือ 38 ATP

ในกระบวนการรับส่งอิเล็กตรอน ประกอบด้วย โคเอนไซม์คือ NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) FAD (flavin adenine dinucleotide) และ FMN (flavin mononucleotide) เป็น โคเอนไซม์ของเอนไซม์ไฮโดรเจนase (dehydrogenase enzyme)

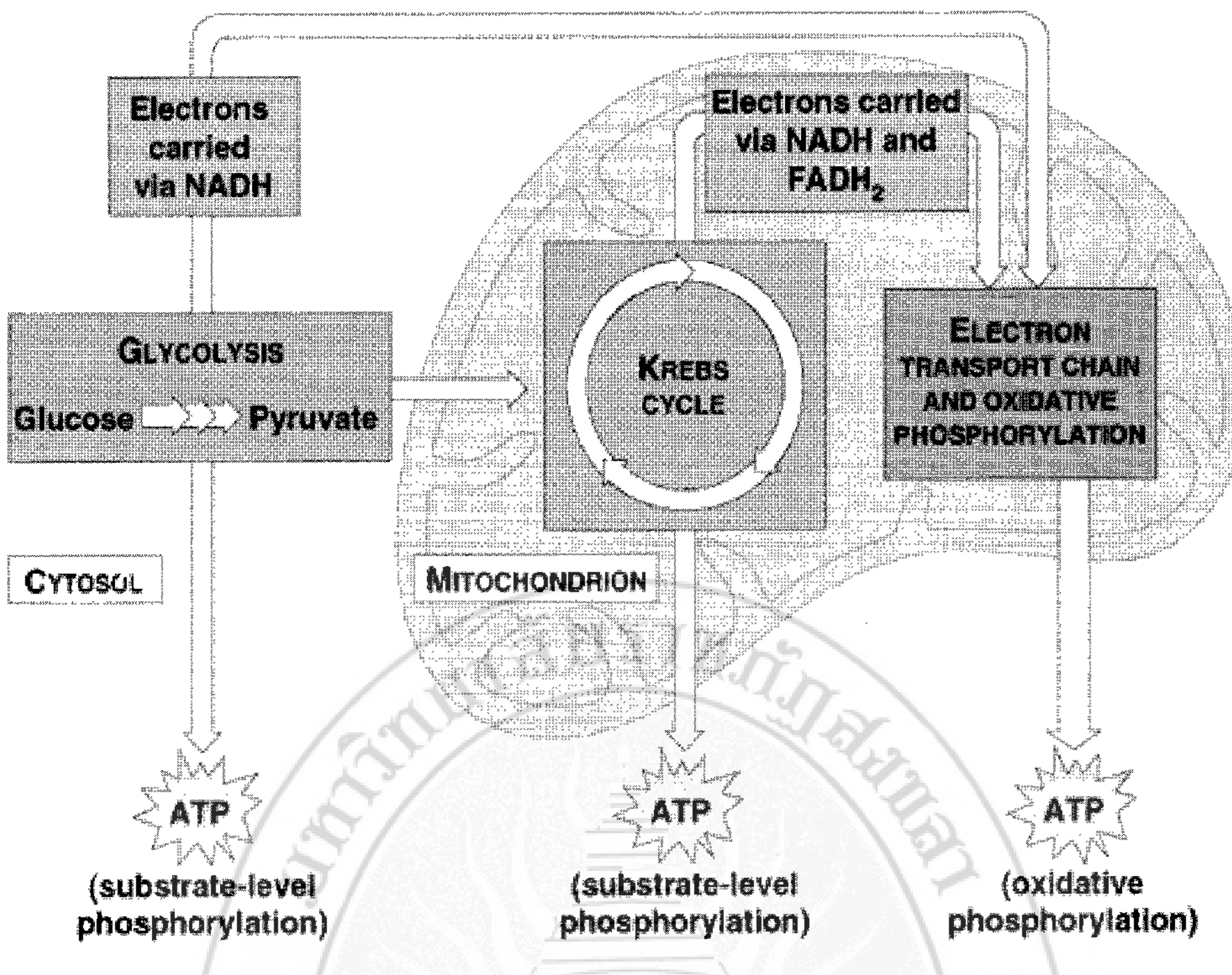
ไซโตโครม (cytochrome) เป็นระบบเอนไซม์มีอะตอมของธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ แบ่งเป็นไซโตโครม a b และ c มีหน้าที่ในการขนส่งอิเล็กตรอนจากยูบิวีโนน (ubiquinone) ไปยังออกซิเจนเรียกว่า ไซโตโครมออกซิเดส (cytochrome oxidase) (ภาพที่ 11.3)



ภาพที่ 11.3 การหายใจแบบใช้ออกซิเจนตามระบบไซโตโครม (cytochrome system)

ที่มา : www.starsandscas.ca/..../kreb_5

การหายใจแบบใช้ออกซิเจนทั้ง 3 แบบสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 11.4



© 2009 Addison Wesley, Longman, Inc.

ภาพที่ 11.4 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

ที่มา : www.biologycorner.com/resources/resp_summary

11.4 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

การใช้สารอื่นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจน ตัวรับอิเล็กตรอนมีดังนี้คือ การรีดิวช์ไนเตรต (nitrate reduction) มีการเปลี่ยนจากไนโตร (NO₃⁻) ไปเป็นไนโตรเจน (N₂) และเปลี่ยนไนเตรต (NO₃⁻) ไปเป็นไนโตร (NO₂⁻) พบในเชื้อ เช่น *Pseudomonas* และ *Bacillus* เป็นต้น

การรีดิวช์ซัลเฟต (sulphate reduction) มีการเปลี่ยนจากซัลเฟต (SO₄²⁻) เป็นไฮドโรเจนซัลไฟท์ (H₂S) พบในเชื้อ เช่น *Desulfovibrio* และ *Clostridium* เป็นต้น

การรีดิวช์คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide reduction) มีการเปลี่ยนจากการรับอนเดต (CO₃²⁻) เป็นมีเทน (CH₄) พบในเชื้อ เช่น *Methanococcus* และ *Methanobacterium* เป็นต้น

11.5 กระบวนการหมัก

เป็นการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ให้เกิดพลังงานโดยไม่ใช้ตัวรับอิเล็กตรอนให้พลังงานเพียงเล็กน้อย และเกิดในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน กระบวนการหมักมี 2 แบบ คือ

11.5.1 โซโนเฟอร์เมนเทชัน (homofermentation) เป็นการหมักที่ได้ผลผลิตเพียงชนิดเดียว คือ กรดแอลกอฮอลิก จากการหมักกลุ่มโคส พบในเชื้อ *Streptococcus* และ *Lactobacillus* เป็นต้น

11.5.2 เอเทอโรเฟอร์เมนเทชัน (heterofermentation) เป็นการหมักที่ให้ผลผลิตหลายชนิด เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ กรดอะซิติก และกรดแอลกอติก เป็นต้น พบในเชื้อ *E.coli*

ตัวอย่างการหมักที่ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เช่น

การหมักแอลกอฮอล์ (alcoholic fermentation)

เกิดในไซโทพลาสซึม มีการสร้างพลังงานแบบ substrate level phosphorylation เริ่มจากกลุ่มโคสเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก จากนั้นเปลี่ยนเป็นอะเซทัลเดไฮด์ (acetaldehyde : C₂) ก้าวต่อไปคือการออกไซด์ เอทานอล และพลังงาน ATP

การหมักกรดแลกติก (lactic acid fermentation)

เกิดในไซโทพลาสซึม มีการสร้างพลังงานแบบ substrate level phosphorylation เริ่มจากกลุ่มโคสเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก สุดท้ายเปลี่ยนเป็นกรดแลกติก (C3) และพลังงาน ATP

การหายใจแบบใช้ออกซิเจน ไม่ใช้ออกซิเจน และกระบวนการหมักสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 11.1

ตารางที่ 11.1 การเปรียบเทียบการหายใจแบบใช้ออกซิเจน ไม่ใช้ออกซิเจน และกระบวนการหมัก

การหายใจใช้ออกซิเจน	การหายใจไม่ใช้ออกซิเจน	กระบวนการหมัก
ใช้ออกซิเจน	ไม่ใช้ออกซิเจน	ไม่ใช้ออกซิเจน
มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน	มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน	ไม่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน
มีออกซิเจนรับอิเล็กตรอน	NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , CO ₃ ²⁻ รับอิเล็กตรอน	อะเซทัลเดไฮด์รับอิเล็กตรอน
สร้างพลังงานแบบ substrate level phosphorylation และ oxidative phosphorylation	สร้างพลังงานแบบ substrate level phosphorylation และ oxidative phosphorylation	สร้างพลังงานแบบ substrate level phosphorylation

11.6 ບົກສຽບ

เน้นไซม์มีความสำคัญในการย่อysารตั้งต้นให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย เน้นไซม์จะกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ถ้าไม่ถูกทำลายโดยความร้อนที่มีอุณหภูมิที่สูงจนเกินไป กระบวนการแม่แบบซึ่งมีการสร้างและถล窑โดยกลุ่มสารอาหาร โดยใช้วัสดุต่างๆ เช่น การหายใจแบบใช้ออกซิเจน มี 3 กระบวนการ คือ ไกลโคซิส วัสดุจัดเรียงปั๊ส และถูกใช้หายใจ การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนก็จะมีการใช้สารตัวอื่นเป็นตัวรับอิเล็กตรอน เช่น ไนเตรต และซัลเฟต เป็นต้น และกระบวนการหมักเกิดในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไม่ใช้ตัวรับอิเล็กตรอน มีทั้งแบบไฮเมอร์-เมนเททีฟ และไฮโทโรเฟอร์เมนเททีฟ

