

تشریح کامل چرخه کربس

کپی ممنوع

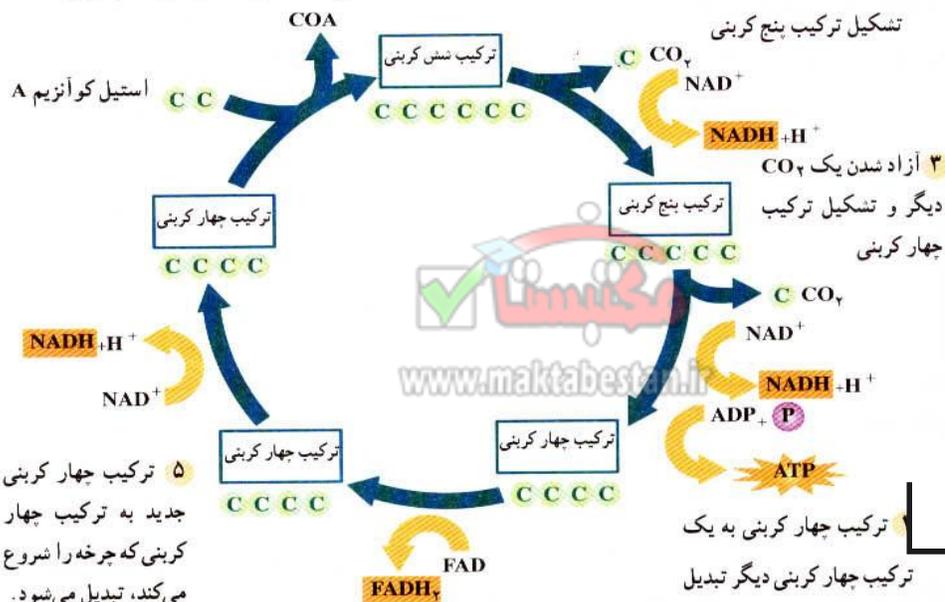
نویسنده: روح اله امرایی

■ چرخه‌ی کربس

چرخه‌ی سیتریک اسید به افتخار کاشف آن «هانس کربس» دانشمند آلمانی، به نام چرخه‌ی کربس نام‌گذاری شده است. چرخه‌ی کربس با ترکیب استیل کوآنزیم A با یک مولکول ۴ کربنی به نام اگزالوآستات شروع می‌شود. محصول این واکنش تشکیل مولکولی شش کربنی، به نام سیتریک اسید است. همراه با تشکیل سیتریک اسید، کوآنزیم A نیز جدا می‌شود. در ادامه‌ی چرخه‌ی کربس با انجام مجموعه‌ای از واکنش‌های آنزیمی و طی مراحل مختلف، دو مولکول CO_2 آزاد می‌شود. هم‌چنین ATP و مولکول‌های پر انرژی $NADH$ و $FADH_2$ تولید می‌شوند. با خروج دو مولکول CO_2 از چرخه، مجدداً مولکول چهار کربنی اگزالوآستات تشکیل می‌شود.

۱ ترکیب استیل کوآنزیم A با یک مولکول چهار

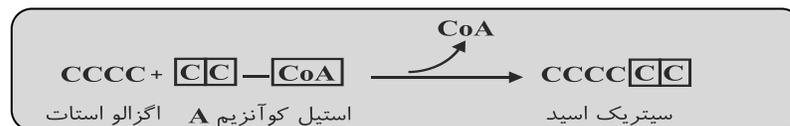
کربنی و تشکیل یک مولکول شش کربنی



شکل ۲۰-۸- چرخه کربس

همان‌طور که در شکل ۲۰-۸ می‌بینید، چرخه‌ی کربس در پنج گام به شرح زیر انجام می‌شود:

گام ۱: استیل کوآنزیم A به یک مولکول چهار کربنی می‌پیوندد و یک مولکول شش کربنی تولید می‌کند. کوآنزیم A نیز جدا می‌شود.

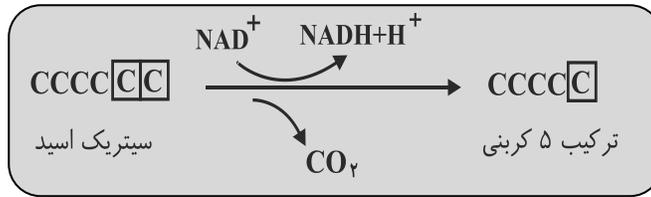


۱- این واکنش درون ماتریکس میتوکندری روی می‌دهد.

۲- کوآنزیم A مجدداً برای وارد کردن یک بنیان استیل دیگر به چرخه‌ی کربس آزاد می‌شود.

گام ۲: با جدا شدن یک کربن از مولکول شش کربنی، یک مولکول پنج کربنی تولید می‌شود. الکترون‌های حاصل نیز به NAD^+ منتقل

می‌شوند و مولکول $NADH$ را می‌سازند.



● در ارتباط با گام ۲ پرفه کربس به نکات مفهومی و استنباطی زیر توجه کنید:

۱- از دو کربن اضافه شده به اگزالوآستات یک کربن در این گام به شکل CO_2 آزاد می‌شود. این دومین مولکول CO_2 تولید شده در تنفس سلولی هوازی است.

۲- الکترون‌های آزاد شده در گام ۲، جذب گیرنده‌ی الکترونی NAD^+ می‌شوند و به همراه یون‌های هیدروژن به شکل NADH در می‌آیند.

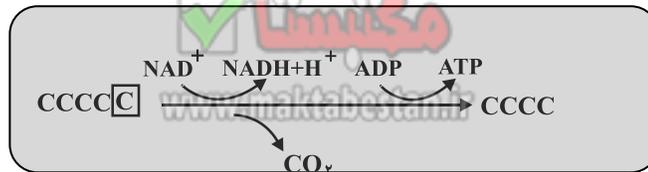
۳- مواد مصرفی گام ۲ عبارتند از: سیتریک اسید، NAD^+

۴- مواد تولیدی گام ۲ عبارتند از: ترکیب پنج کربنی، H^+ ، NADH و CO_2

۵- این واکنش نیز درون ماتریکس رخ می‌دهد.

گام ۳: با خروج CO_2 از مولکول پنج کربنی، مولکول چهار کربنی ساخته می‌شود، هم‌چنین یک مولکول ATP و یک مولکول NADH تولید می‌شود.

📖 نکته مقایسه‌ای: گام ۲ و ۳ بسیار شبیه‌اند، تفاوت آن‌ها در تولید یک مولکول ATP در گام سوم است.



● در ارتباط با گام ۳ پرفه کربس به نکات مفهومی زیر توجه کنید:

۱- در گام ۳، دومین کربن باقی‌مانده از استیل کوآنزیم A نیز جدا می‌شود و دومین CO_2 آزاد می‌شود.

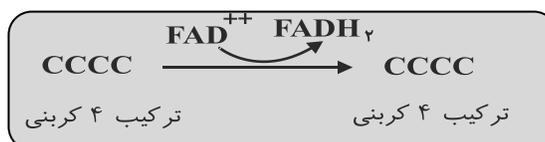
۲- هیدروژن‌های آزاد شده جذب NAD^+ شده و دومین NADH نیز تولید می‌شود.

۳- مواد مصرفی: ماده پنج کربنی، NAD^+ و ADP

۴- مواد تولیدی: ماده چهار کربنی، H^+ ، NADH ، CO_2 و ATP

۵- بار دیگر ماده‌ی ۴ کربنی ابتدای گام ۱ بازسازی می‌شود، اما این ترکیب چهار کربنی فقط از نظر تعداد کربن با اگزالوآستات مشابه است.

گام ۴: ترکیب چهار کربنی به مولکول چهار کربنی دیگری تبدیل می‌شود. الکترون‌های حاصل از این تبدیل به یک پذیرنده‌ی الکترونی به نام FAD منتقل می‌شوند و یک مولکول FADH_2 تولید می‌کنند. FADH_2 نوعی مولکول حامل الکترون است.



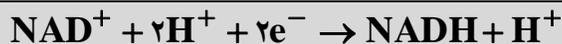
کندقت کنید که: در گام ۴، تغییری در تعداد کربن‌ها نداریم. اما ترکیب شیمیایی آن‌ها تغییر می‌کند و الکترون آزاد می‌شود. این الکترون‌ها به ناقل FAD^{++} جذب می‌شوند.

گام ۵: مولکول چهار کربنی حاصل از گام ۴ به اگزالوآستات تبدیل و $NADH$ دیگری نیز تولید می‌شود.



● در ارتباط با گام ۵ پرفه کربس به نکات مفهومی زیر توجه کنید:

- ۱- مواد مصرفی: ماده چهار کربنی و NAD^+
- ۲- مواد تولیدی: اگزالوآستات چهار کربنی و $NADH$
- ۳- تعداد کربن‌ها تغییری نمی‌کند اما ترکیب شیمیایی تغییر کرده و الکترون آزاد می‌شود که در NAD^+ به دام می‌افتد.
- ۴- برای تبدیل هر NAD^+ به $NADH+H^+$ ، دو الکترون و دو یون هیدروژن مورد نیاز است.



۵- برای تبدیل FAD به $FADH_2$ ، دو الکترون و دو یون هیدروژن لازم است.



● با توجه به کل فرآیند پرفه کربس به نکات جمع بندی زیر توجه کنید:

- ۱- در طول چرخه‌ی کربس ۸ پروتون و ۸ الکترون جدا شده و مصرف می‌شوند.
- ۲- در طول چرخه‌ی کربس به ازای هر مولکول استیل کوآنزیم A، سه مولکول $NADH+H^+$ تولید می‌شود. این مولکول‌ها در گام‌های ۲، ۳ و ۵ تولید می‌شوند.
- ۳- در طول چرخه‌ی کربس به ازای هر مولکول استیل کوآنزیم A، یک مولکول ATP و یک مولکول $FADH_2$ تولید می‌شوند به ترتیب در گام ۳ و ۴.
- ۴- مواد مصرفی چرخه‌ی کربس عبارتند از: یک مولکول استیل کوآنزیم A، سه مولکول NAD^+ ، یک مولکول FAD و یک مولکول ADP .

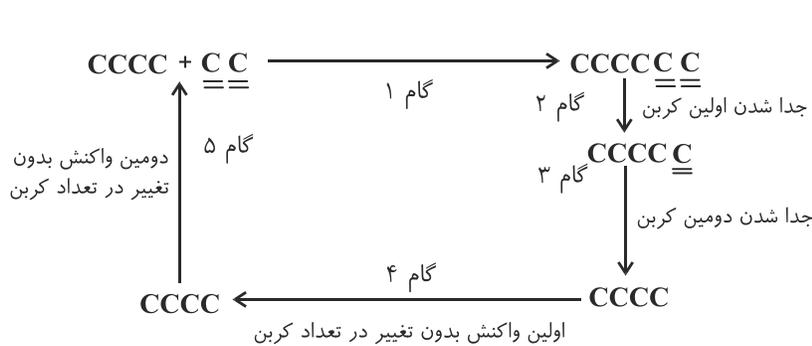
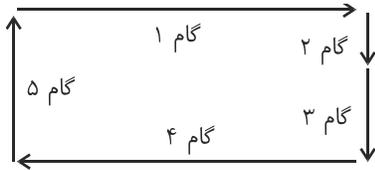
۵- مواد تولیدی در چرخه‌ی کربس: سه مولکول $NADH$ ، یک مولکول $FADH_2$ ، یک مولکول ATP و دو مولکول CO_2

● خلاصه: از آنجایی که به ازای هر مولکول گلوکز دو مولکول استیل کوآنزیم A تولید می‌شود، دو چرخه کربس نیز برای هر مولکول مورد نیاز است. بعد از دو گردش چرخه، گلوکز اولیه تمام کربن‌های خود را از دست داده و به طور کامل مصرف می‌شود. به طور خلاصه، بازده چرخه‌ی اسید سیتریک به ازای هر مولکول گلوکز عبارتست از:

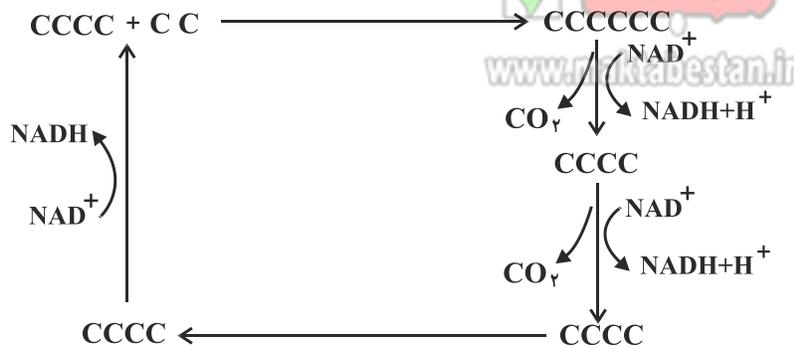


😊 روش حفظ کردن پرفه‌ی کربس (روش امرایی)

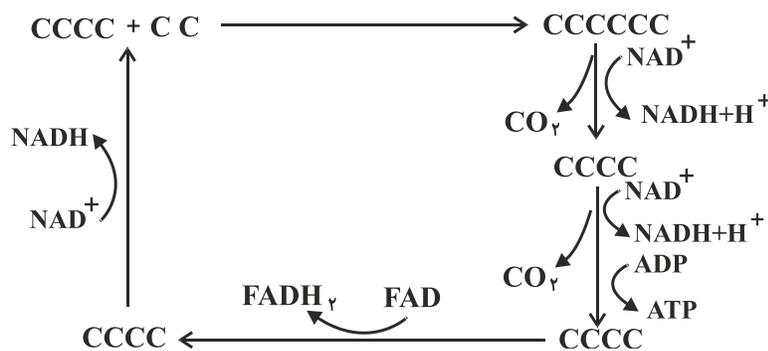
۱- یک مستطیل رسم کنید که ضلع سمت راست آن دو پاره خط باشد. (درست مشابه مستطیل چرخه‌ی کالوین با این تفاوت که در اینجا هر فلش معرف یک گام است.)



۳- سپس با توجه به این که جدا شدن هر کربن یک NADH تولید می‌کند، در گام‌های ۲ و ۳ که کربن جدا می‌شود NADH نیز تولید می‌شود. یعنی گام ۵ نیز NADH تولید می‌کند.



۴- در آخرین مرحله نیز یک مولکول ATP را که در گام ۳ تولید می‌شود و FADH_۲ که در گام ۴ تولید می‌شود را اضافه می‌کنیم.



● نکته: از اکسیداسیون یک مولکول استیل کوآنزیم A در چرخه‌ی کربس محصولات زیر به دست می‌آیند:

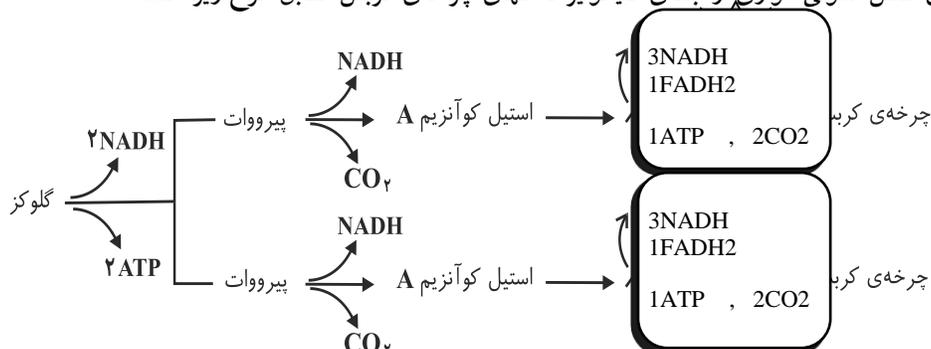


● نکته ۲: از اکسیداسیون یک مولکول پیرووات در چرخه کربس محصولات زیر به دست می آیند:

۱ ATP, ۱ FADH_۲, ۴ NADH, ۳ CO_۲

● نکته ۳: پیرووات قبل از ورود به چرخه کربس و طی تبدیل شدن به استیل کوآنزیم A یک NADH تولید می کند.

جمع بندی چرخه تنفس سلولی هوازی از ابتدای گلیکولیز تا انتهای چرخه کربس مطابق طرح زیر است:



◀ مطابق جمع بندی فوق، از اکسیداسیون یک مولکول گلوکز، از ابتدای گلیکولیز تا انتهای چرخه کربس، محصولات زیر به دست می آیند:

۴ ATP, ۲ FADH_۲, ۱۰ NADH, ۶ CO_۲

دقت کنید که در سؤالات کدام ماده مورد سؤال قرار گرفته اند و واکنش ها تا کدام مرحله مورد سؤال قرار می گیرند.

● سه سؤال زیر را مقایسه کنید:

۱- از اکسیداسیون کوآنزیم A در طی چرخه کربس چند ATP، NADH و FADH_۲ تولید می شود؟

۱ FADH_۲ و ۱ ATP و ۳ NADH

۲- از اکسیداسیون هر مولکول پیرووات، در طی چرخه کربس چند ATP، NADH و FADH_۲ تولید می شود؟

۱ FADH_۲ و ۱ ATP و ۴ NADH

✓ دقت کنید که هنگام تبدیل پیرووات به استیل کوآنزیم A یک NADH تولید می شود.

۳- از اکسیداسیون هر مولکول گلوکز، در طی چرخه کربس چند ATP، NADH و FADH_۲ تولید می شود؟

۲ FADH_۲ و ۴ ATP و ۱۰ NADH

● نکته: مولکول های NADH و FADH_۲ حاصل، مقدار زیادی از انرژی را به صورت ذخیره دارند که در زنجیره انتقال الکترون به

ATP تبدیل می شود.



(خارج کشور ۸۷)

تست: چرخه کالوین در ... انجام نمی شود.

- ۱) کلب (۲) نورو سپورا
- ۲) تازکدار چرخان
- ۳) کلامیدوموناس (۴) کلامیدوموناس

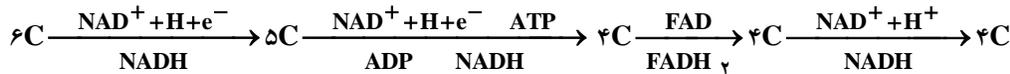
پاسخ تشریحی: کپک نورو سپورا خارج و هتروتروف است. پرفه کالوین در هتروتروفها و شیمیواتوتروفها وجود ندارد. پاسخ صحیح گزینه ی «۲» است.

(خارج کشور ۸۷)

تست: در چرخه کربس، ... در یک گام حاصل می شوند.

- ۱) ترکیب پنج کربنی و ATP
- ۲) $FADH_2$ و CO_2
- ۳) ترکیب پنج کربنی و $FADH_2$
- ۴) $NADH$ و CO_2

پاسخ تشریحی:



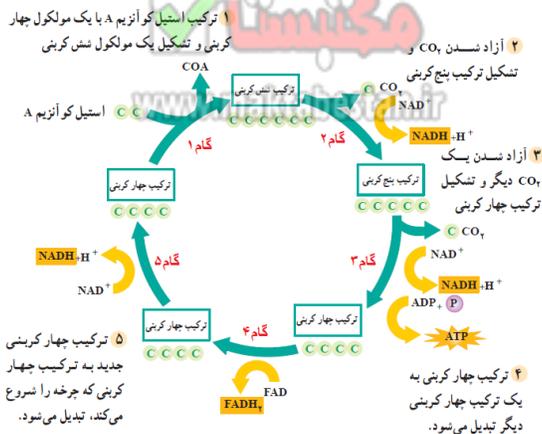
پاسخ صحیح گزینه ی «۳» است.

تست: در یک سلول گیرنده ی مکانیکی گوش انسان، با مصرف یک مولکول استیل کوانزیم A، در گام ... ۳ گام ... ۵، ... خواهد شد.

(سراسری ۹۲)

- ۱) همانند - ATP تولید
- ۲) همانند - NAD^+ مصرف
- ۳) برخلاف - $NADH$ تولید
- ۴) برخلاف - FAD مصرف

پاسخ تشریحی: در گام ۳ پرفه ی کربس همانند گام ۵، NAD^+ مصرف می شود:



پاسخ صحیح گزینه ی «۲» است.

تست: به منظور مصرف یک مولکول استیل کوانزیم A توسط گیرنده ی مخروطی چشم انسان، لازم است تا در گام ... ۲ گام ... ۵، ... شود.

(خارج کشور ۹۲)

- ۱) برخلاف - $2CO_2$ آزاد
- ۲) همانند - $NADH$ تولید
- ۳) برخلاف - ATP ساخته
- ۴) همانند - $2NAD^+$ مصرف

پاسخ تشریحی: در گام ۲ همانند گام ۵، $NADH$ تولید می شود. پاسخ صحیح گزینه ی «۲» است.