

فتو سنسز C₄ و ساز و کارهای آن



علی اکبری
دبیر زیست شناسی شهرستان ابهر



○ برای سرعت بخشیدن به کشاورزی استفاده از سوخت های فسیلی افزایش یافت و محیط را بیش تر تغییر داد .
○ آدمی ماهی گیری را ادامه داد تا جایی که تاکنون ۱۲ مورد از ۱۳ حوضه ی ماهی گیری کره ی زمین نابود شده اند . بریدن درختان برای به دست آوردن چوب ، آلودگی و فرسایش خاک کشاورزی موجب پیدایش مناطق مرده شد .

آیا می توانیم از ششمین انقراض جلوگیری کنیم؟

اکوسیستم های جهان در بحران قرار گرفته اند . برخی زیست شناسان عقیده دارند که هیچ اکوسیستمی ، حتی اکوسیستم های اقیانوسی از گزند آدمی در امان نیستند . اقدامات حفاظتی ، توسعه ی پایدار و سرانجام تثبیت جمعیت آدمی و تصحیح الگوهای مصرف می توانند امیدهایی به وجود آورند که ششمین انقراض به وسعت سومین انقراض گروهی که در حدود ۲۴۵ میلیون سال پیش روی داد و ۴۵٪ از تیره های جهان را از میان برد ، نخواهد بود .

زندگی بر کره ی زمین همواره به اندازه ای انعطاف پذیر بوده است که خسارت های ناشی از انقراض های گروهی بزرگ را نیز حتی پس از مدتی طولانی جبران کند . علت ششمین انقراض گروهی خود ما هستیم ، یعنی آدمیان اندیشمند (*Homo sapiens*) . اکنون دو راه در برابرمان گشوده ست : یا به راه نابودی برویم و در دره ی ژرف انقراضی عظیم در غلطیم ؛ یا با اصلاح رفتارمان از خرابی اکوسیستم جهانی که ما خود عضوی از آن هستیم ، جلوگیری کنیم .

منبع

<http://www.actionbioscience.org/environment/index.html>

در اکثر گیاهان، اولین ماده‌ی پایدار که پس از جذب CO_2 در چرخه‌ی کالوین پدیدار می‌شود، ماده‌ی سه‌کربنی ۳- فسفوگلیسرات^۱ است. به همین علت به این گیاهان C_3 گفته می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در برخی گیاهان مثل نیشکر اولین ماده‌ی حاصل در واکنش‌های تاریکی فتوسنتز، اسیدی چهارکربنی به نام اگزالو استات^۲ است که به اسید مالیک یا اسید آسپارتیک تبدیل می‌شود. بنابراین مسیر کربن در فتوسنتز منحصر به چرخه‌ی کالوین نیست، بلکه در برخی گیاهان مسیر دیگری طی می‌شود که به علت تشکیل ترکیب چهارکربنی به‌عنوان اولین ترکیب پایدار، به چرخه‌ی C_4 معروف است. فتوسنتز C_4 سازگاری گیاهان مناطق گرمسیری است. نشانگان C_4 دست‌کم در ۱۶ خانواده (مانند *Euphorbiaceae*، *Chenopodiaceae*، *Caryophyllaceae*، *Poaceae*...) از گیاهان گلدار وجود دارد. در این گیاهان در اولین واکنش مرحله‌ی تاریکی فتوسنتز، CO_2 تحت تأثیر آنزیم فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز^۳ (PEP) با فسفوانول پیرووات^۴ (PEP) ترکیب می‌شود و اگزالو استات تولید می‌کند. سپس اگزالو استات به اسید مالیک یا اسید آسپارتیک تغییر شکل می‌دهد. CO_2 تثبیت شده به صورت اسید چهارکربنی از طریق پلاسمودسم‌ها به سلول‌های غلاف آوندی منتقل می‌شود. در این سلول‌ها اسیدهای چهارکربنی با از دست دادن CO_2 طی فرایند دکربوکسیلاسیون به اسید پیرووات تبدیل می‌شود. CO_2 وارد چرخه‌ی کالوین می‌شود و اسید پیرووات هم به سلول‌های میانبرگ باز می‌گردد و با مصرف ATP به فسفوانول

پیرووات تبدیل می‌شود. به همین علت گیاهان C_4 در مقایسه با گیاهان C_3 به ATP بیش‌تر نیاز دارند و برای تأمین آن سطح نوری بالایی لازم است. این گفته می‌تواند پاسخی برای این سؤال باشد که «چرا گیاهان C_4 فقط در مناطق گرمسیری و اقلیم‌های آفتابی یافت می‌شوند؟»

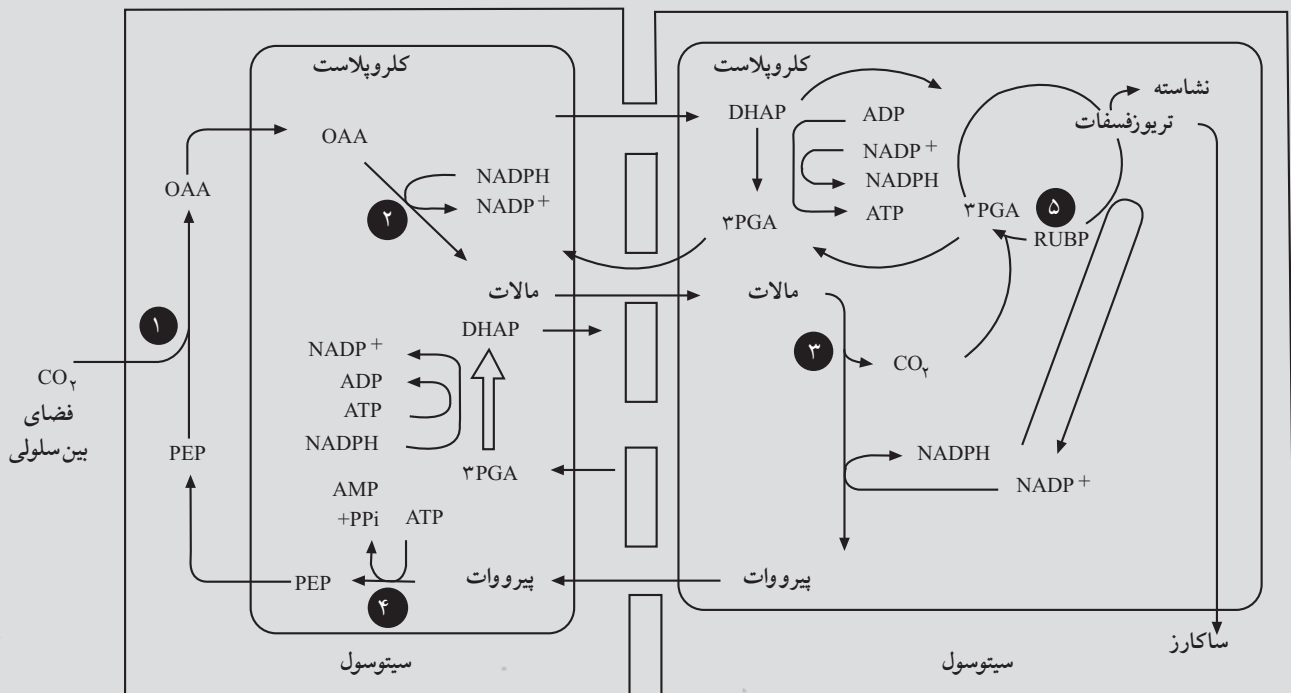
سه نوع فرعی از گونه‌های C_4 بر مبنای تفاوت‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژی، آناتومیکی به ویژه آنزیم‌های دخیل در کربوکسیل زدایی تشخیص داده شده‌اند (NADP-ME، NADP-ME، PCK) که در این مقاله آن‌ها را معرفی می‌کنیم.

تیپ NADP-ME (NADP مالیک آنزیم)^۵

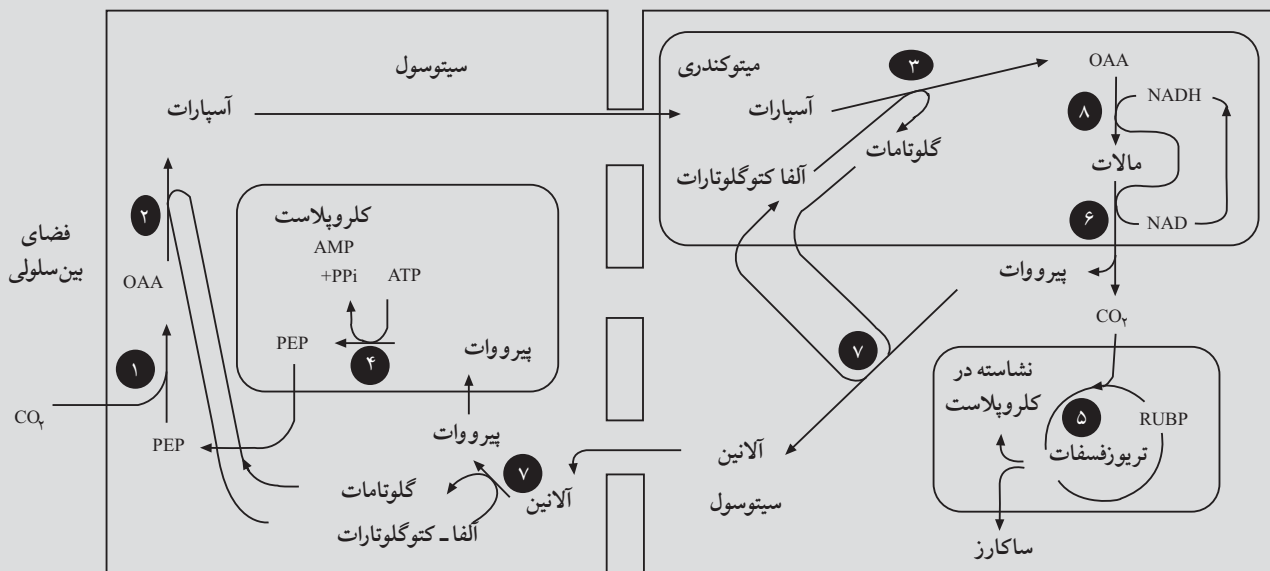
در این تیپ اگزالو استات تولید شده، از سیتوپلاسم سلول‌های میانبرگ به کلروپلاست منتقل می‌شود و تحت تأثیر آنزیم مالات دهیدروژناز^۲ به اسید مالیک تبدیل می‌شود. اسید مالیک از کلروپلاست خارج می‌شود و پس از عبور از سیتوزول از طریق پلاسمودسم‌ها به سیتوزول سلول‌های غلاف آوندی و سپس به کلروپلاست سلول غلاف آوندی وارد می‌شود و تحت تأثیر آنزیم NADP-مالیک دکربوکسیلاز می‌شود. CO_2 حاصل وارد چرخه‌ی کالوین می‌شود و اسید پیرووات تولید شده نیز به سلول‌های میانبرگ بر می‌گردد و بعد از ورود به کلروپلاست آن‌ها، تحت تأثیر آنزیم پیرووات پیروفسفات دی‌کیناز^۳ به PEP تبدیل می‌شود (این مرحله در هر سه تیپ به یک شکل انجام می‌شود) (شکل ۱).

سلول میانبرگ

سلول غلاف آوندی



شکل شماره ۱ - NADP-ME (۱) - PEP- کربوکسیلاز، (۲) - مالات دهیدروژناز، (۳) - NADP-مالیک آنزیم، (۴) پیرووات-Pi-دی کیناز، (۵) روییسکو

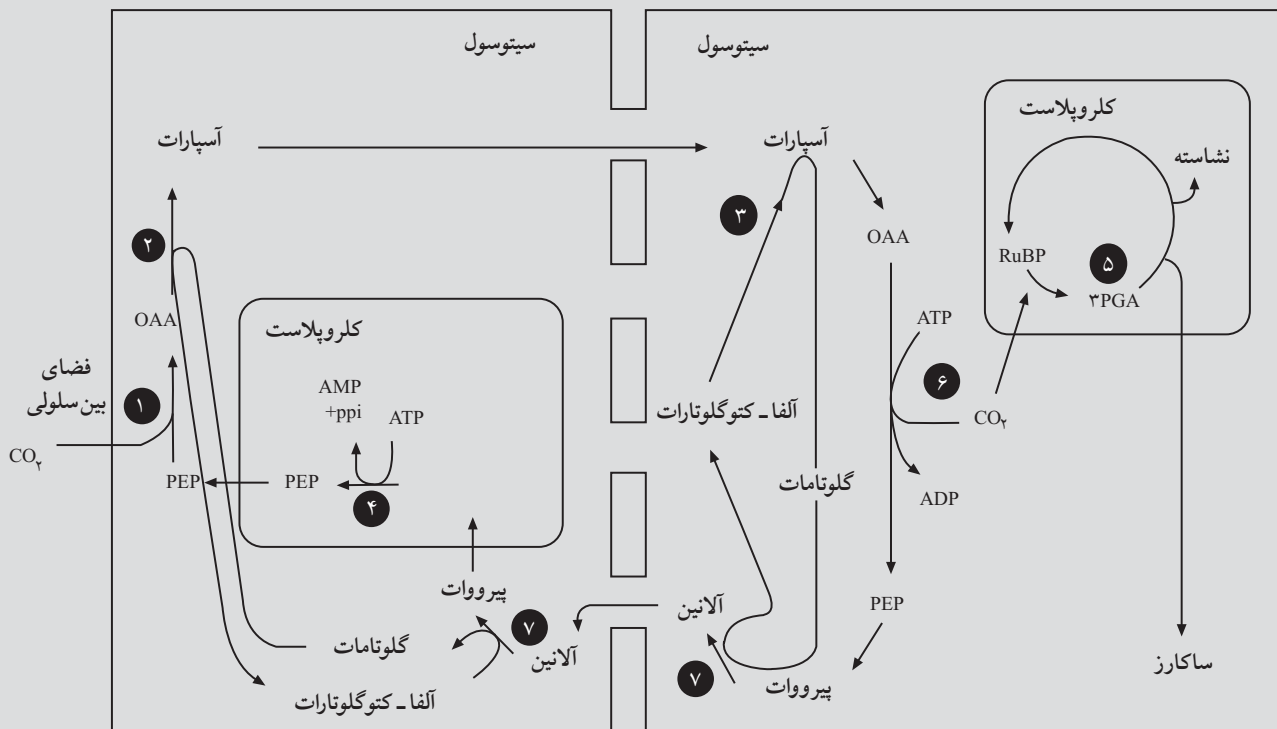


شکل شماره ۲- تیپ NAD-ME (۱- PEP- کربوکسیلاز، ۲- آسپارات آمینو ترانسفراز، ۳- آسپارات آمینو ترانسفراز، ۴- پیرووات- Pi- دی کیناز، ۵- روبیسکو، ۶- NAD- مالیک آنزیم، ۷- آلانین آمینو ترانسفراز، ۸- NAD- مالات دهیدروژناز .



تیپ NAD-ME (NAD- مالیک آنزیم)^۱

در این تیپ میتوکندری به تثبیت کربن فتوسنتزی کمک می کند .
 اگزوالوستات تولید شده در اولین مرحله ی تثبیت دی اکسید کربن در
 سیتوپلاسم سلول های میانبرگ تحت تأثیر آنزیم آسپاراتات آمینو
 ترانسفراز^۲ به اسید آسپارتیک تبدیل می شود و از طریق پلاسمودسم ها
 وارد سیتوپلاسم سلول های غلاف آوندی می شود و از آن جا به
 میتوکندری آن ها می رود ، در میتوکندری اسید آسپارتیک تحت تأثیر
 آنزیم آسپاراتات آمینو ترانسفراز به اگزوالوستات و سپس اگزوالوستات
 تحت تأثیر آنزیم مالات دهیدروژناز به اسید مالیک تبدیل می شود .
 اسید مالیک وارد سیتوزول می شود و در آن جا تحت تأثیر آنزیم NAD
 - مالیک آنزیم دکربوکسیله می شود و دی اکسید کربن و اسید
 پیروویک تولید می کند . دی اکسید کربن وارد چرخه ی کالوین
 می شود و اسید پیروویک بعد از تبدیل به آلانین به سلول های میانبرگ
 بر می گردد و در آن جا ابتدا به اسید پیروویک تبدیل می شوند و سپس
 در کلروپلاست آن سلول ها به حالت PEP در می آید . (شکل ۲)



شکل شماره ۳- تیپ PCK (۱- PEP- کربوکسیلاز، ۲- آسپارات آمینو ترانسفراز، ۳- آسپارات آمینو ترانسفراز، ۴- پیرووات-Pi- دی کیناز، ۵) روییسکو، ۶- PEP- دکربوکسیلاز، ۷- آلانین آمینو ترانسفراز

تیپ PCK (فسفو انول پیرووات کربوکسی کیناز)

در این تیپ نیز اسید آسپارتیک تولید شده در سیتوپلاسم سلول های میانبرگ از طریق پلاسمودسم ها وارد سلول های غلاف آوندی می شود و در آن جا تحت تأثیر آنزیم آسپارات آمینو ترانسفراز به اگزالواتات تبدیل می شود. اگزالواتات تحت تأثیر آنزیم فسفو انول پیرووات کربوکسی کیناز دکربوکسیله می شود و با مصرف ATP دی اکسید کربن و فسفو انول پیرووات اسید تولید می کند. دی اکسید کربن وارد چرخه ی کالوین می شود و PEP تحت تأثیر PEP- کیناز به اسید پیرووات تبدیل می شود. اسید پیرووات بعد از تبدیل به آلانین به سیتوزول سلول های میانبرگ می رود و در آن جا دوباره به حالت اسید پیرووات برمی گردد و در بازسازی PEP شرکت می کند.

(شکل ۳).

زیرنویس

1. 3-phosphoglycerate
2. Oxaloacetate
3. Phosphoenolpyruvate carboxylase
4. (PEP) Phosphoenolpyruvate
5. NADP-malic enzyme
6. Malate dehydrogenase
7. Pyruvate-pi-dikinase
8. NAD-malic enzyme
9. Aspartate aminotransferase
10. Phosphoenolpyruvate carboxykinase

منابع

۱. لمبرز، چاپین و پونز. اکوفیزیولوژی گیاهی. ترجمه ی علیرضا کوچکی و همکاران، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۸۴.
۲. تاینز و زایگر. فیزیولوژی گیاهی (جلد ۱). ترجمه ی دکتر محمد کافی و همکاران، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۳۸۵.
3. Peter J. Lea and Richard C. Leegood. Plant Biochemistry and Molecular Biology. John Wiley & Sons Ltd. 1999.
4. www.steve.gb.com/science/photorespiration.html