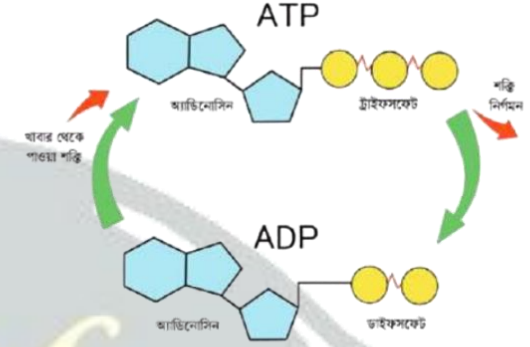


জীবনীশক্তি বা জৈবশক্তি (bioenergy)

- জীবদেহ বা জৈব অণুর রাসায়নিক বন্ধন ছিন্ন করার মাধ্যমে প্রাপ্ত শক্তিকে জীবনীশক্তি বা জৈবশক্তি বলে।
- জীব প্রতিনিয়ত পরিবেশ থেকে শক্তি সংগ্রহ করে, সংগৃহীত শক্তিকে একরূপ থেকে অন্যরূপে পরিবর্তিত করে, কখনো বা সঞ্চয় করে এবং শেষে সেই শক্তি আবার পরিবেশে ফিরিয়ে দেয়।



চিত্র 4.01: অ্যাডিনোসিন ডাইফসফেট (ADP) সাথে ফসফেট (P) যুক্ত হয়ে অ্যাডিনোসিন ট্রাইফসফেট (ATP) গঠিত হতে যতখানি শক্তি বাইরে থেকে সরবরাহ করা প্রয়োজন, ATP তে ADP ও ফসফেট উৎপাদন করলে প্রায় ততখানি শক্তি নির্গত হয়। জীবকোষে এই দুটি বিক্রিয়া চক্রাকারে চলতে থাকে।

ফসফোরাইলেশন	<ul style="list-style-type: none"> DNA এবং RNA-এর গাঠনিক উপাদানগুলোর একটি হলো অ্যাডেনিন। এটি একটি নাইট্রোজেন বেস। এর সাথে পাঁচ কার্বনবিশিষ্ট রাইবোজ সুগার অণু যুক্ত হয়ে তৈরি হয় অ্যাডিনোসিন। অ্যাডিনোসিন অণুর সাথে পর্যায়ক্রমে একটি, দুটি এবং তিনটি ফসফেট/ফসফোরিক এসিড গ্রুপ যুক্ত হয়ে যথাক্রমে অ্যাডিনোসিন মনোফসফেট (AMP), অ্যাডিনোসিন ডাইফসফেট (ADP) এবং অ্যাডিনোসিন ট্রাইফসফেট (ATP) গঠন করে। এভাবে ফসফেট যুক্ত করতে বাইরে থেকে শক্তি দিতে হয়। এই বিক্রিয়ার নাম ফসফোরাইলেশন (phosphorylation)।
ডিফসফোরাইলেশন	<ul style="list-style-type: none"> এর বিপরীত প্রক্রিয়ায়, ফসফেট গ্রুপ বিচ্ছিন্ন হলে শক্তি বের হয়ে আসে। এই বিক্রিয়ার নাম ডিফসফোরাইলেশন (dephosphorylation)।

[উল্লেখ্য, প্রতিমোল ATP অণুর প্রাক্তীয় ফসফেট গ্রুপে **7.3 কিলোক্যালরি** (প্রায় **30.55 কিলোজুল**) শক্তি জমা থাকতে পারে।]

- পরিবেশ থেকে শক্তি সংগ্রহ করে তাকে কোষের তথ্য জীবদেহের ব্যবহার-উপযোগী রূপে পরিবর্তিত করার জন্য কাজ করে দুটি কোষীয় অঙ্গাণু: **মাইটোকন্ড্রিয়া এবং প্লাস্টিড**।
- উভয়েরই রয়েছে ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম নামক একসেট বিশেষ জৈব অণু, যাদের কাজ হলো বাহ্যিক শক্তি-উৎস থেকে আহরিত শক্তিকে ATP-এর ফসফেট গ্রুপের শক্তি হিসেবে জমা করা।

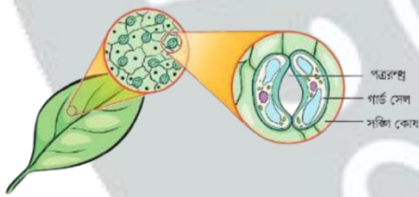
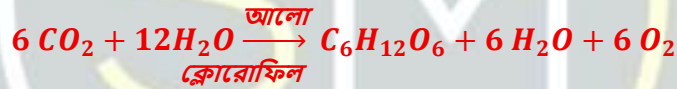
মাইটোকন্ড্রিয়া	<ul style="list-style-type: none"> মাইটোকন্ড্রিয়ার ক্ষেত্রে সেই শক্তি-উৎস হতে পারে পুষ্টি উপাদান (যেমন: গ্লুকোজ) বা কোনো অন্তর্বর্তীকালীন অণু (যেমন: $NADH_2$)।
প্লাস্টিড	<ul style="list-style-type: none"> প্লাস্টিডের (বিশেষত ক্লোরোপ্লাস্ট) ক্ষেত্রে সেই শক্তি-উৎস হলো সূর্যালোক বা অন্য কোনো উপযুক্ত উৎস থেকে আগত ফোটন।

- আবার, ATP-এর রাসায়নিক বন্ধন ভেঙে যে শক্তি বের হয়, সেই শক্তি দিয়ে জীবদেহের প্রতিটি জৈবনিক কাজ সম্পন্ন হয়। আমরা যে খাবার খাই তা জারিত হয়, সেই জারণ থেকে নির্গত শক্তি দ্বারা ফসফোরাইলেশনের মাধ্যমে আবার সেই ভাঙা দুই টুকরা জোড়া লেগে ATP তৈরি হয়। শক্তির প্রয়োজন হলে তা আবার ভাঙে। তারপর খাদ্য থেকে শক্তি নিয়ে আবার জোড়া লাগে। এ যেন এক **রিচার্জবল ব্যাটারি**।

- ATP শক্তি জমা করে রাখে এবং প্রয়োজন অনুসারে অন্য বিক্রিয়ায় শক্তি সরবরাহ করে। এজন্য ATP-কে অনেক সময় **'জৈবমুদ্রা' বা 'শক্তি মুদ্রা' (Biological coin or energy coin)** বলা হয়।

সালোকসংশ্লেষণ (Photosynthesis)

- সবুজ উদ্ভিদে সূর্যালোকের উপস্থিতিতে কার্বন ডাই-অক্সাইড (CO_2) এবং পানি থেকে কার্বোহাইড্রেট বা শর্করাজাতীয় খাদ্য তৈরি করার প্রক্রিয়াকে সালোকসংশ্লেষণ (Photosynthesis) বলা হয়।
- এই প্রক্রিয়ায় **আলোকশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত** হয়। সবুজ উদ্ভিদে প্রস্তুত খাদ্য উদ্ভিদ নিজে বেঁচে থাকার জন্য প্রয়োজনীয় বিপাকীয় প্রক্রিয়া সম্পাদন করতে ব্যবহার করে এবং অবশিষ্ট খাদ্য ফল, মূল, কাণ্ড অথবা পাতায় সঞ্চিত রাখে।
- উদ্ভিদে সঞ্চিত এই খাদ্যের উপরেই মানবজাতি ও অন্যান্য জীবজন্তুর অস্তিত্ব নির্ভর করে।
- সালোকসংশ্লেষণের জন্য প্রয়োজনীয় উপকরণগুলো হলো: **ক্লোরোফিল, আলো, পানি এবং কার্বন ডাই-অক্সাইড।**
- সালোকসংশ্লেষণ একটি জৈব রাসায়নিক (biochemical) বিক্রিয়া, যেটি এরকম:



চিত্র 4.03: একটি পত্রপুঞ্জ বা স্টোমা

- পাতার **মেসোফিল টিস্যু** সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার প্রধান স্থান।
 - স্বল্প সবুজ উদ্ভিদ মাটি থেকে মূলের মাধ্যমে পানি শোষণ করে পাতার মেসোফিল টিস্যুর ক্লোরোপ্লাস্টে পৌঁছায় এবং স্টোমা বা পত্রপুঞ্জের মাধ্যমে বায়ু থেকে CO_2 গ্রহণ করে, যা মেসোফিল টিস্যুর ক্লোরোপ্লাস্টে পৌঁছে।
 - জলজ উদ্ভিদ পানিতে দ্রবীভূত CO_2 গ্রহণ করে।

- বায়ুমণ্ডলে 0.03% এবং পানিতে 0.3% CO_2 আছে, তাই জলজ উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষণের হার স্বল্প উদ্ভিদ থেকে বেশি।

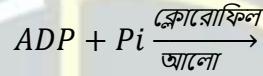
- অক্সিজেন এবং পানি সালোকসংশ্লেষণের উপজাত দ্রব্য (by-product)। এটি একটি জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়া (oxidation-reduction process)। এ প্রক্রিয়ায় **H_2O জারিত হয় এবং CO_2 বিজারিত** হয়।

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া

- 1905 সালে** ইংরেজ শারীরতত্ত্ববিদ **ব্ল্যাকম্যান** (Blackman) এ প্রক্রিয়াকে দুটি পর্যায়ে ভাগ করেন। পর্যায় দুটি হলো, **আলোকনির্ভর পর্যায়** (Light dependent phase) এবং **আলোক নিরপেক্ষ পর্যায়** (Light independent phase)।

(a) আলোকনির্ভর পর্যায় (Light dependent phase)

- আলোকনির্ভর পর্যায়ের জন্য আলো অপরিহার্য। এ পর্যায়ে **সৌরশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত** হয়। এ প্রক্রিয়ায় **ATP** (অ্যাডিনোসিন ট্রাইফসফেট), **NADPH** (বিজরিত নিকোটিনামাইড অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড ফসফেট) এবং **H⁺** (হাইড্রোজেন আয়ন বা প্রোটন) **উৎপন্ন হয়।**
- আলোর ফোটন কণা থেকে রূপান্তরিত এই শক্তি ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইন এর মাধ্যমে সঞ্চিত হয় ATP অণুর ফসফেট গ্রুপের রাসায়নিক বন্ধনশক্তি হিসেবে।
- এই বিক্রিয়ায় ক্লোরোফিল গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। **ক্লোরোফিল অণু আলোকরশ্মির ফোটন (photon) শোষণ করে** এবং শোষণকৃত ফোটন থেকে শক্তি সঞ্চয় করে ADP (অ্যাডিনোসিন ডাইফসফেট) অজৈব ফসফেট (Pi = inorganic phosphate)-এর সাথে মিলিত হয়ে ATP তৈরি করে। ATP তৈরির এই প্রক্রিয়াকে **ফটোফসফোরাইলেশন** (photophosphorylation) বলে।



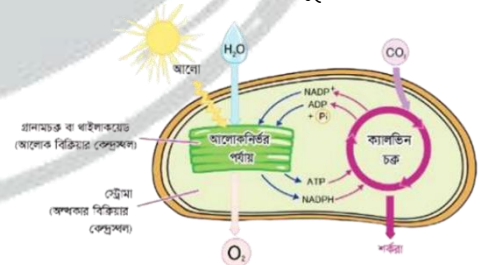
- সূর্যালোক এবং ক্লোরোফিলের সাহায্যে পানি বিয়োজিত হয়ে **অক্সিজেন, প্রোটন (হাইড্রোজেন আয়ন) ও ইলেকট্রন উৎপন্ন হয়।** এ প্রক্রিয়াকে পানির **ফটোলাইসিস** (photolysis) বলা হয়।

(b) আলোক নিরপেক্ষ পর্যায় বা অন্ধকার পর্যায় (Light independent phase বা dark phase)

- আলোক নিরপেক্ষ পর্যায়ে আলোর প্রত্যক্ষ প্রয়োজন পড়ে না, তবে আলোর উপস্থিতিতেও এই প্রক্রিয়া চলতে পারে।
- বায়ুমণ্ডলের CO₂ পত্রবন্ধের মধ্য দিয়ে কোষে প্রবেশ করে। আলোক পর্যায়ে তৈরি ATP, NADPH এবং H⁺ এর সাহায্যে আলোক নিরপেক্ষ পর্যায়ে **CO₂ বিজরিত হয়ে কার্বোহাইড্রেটে পরিণত হয়।**
- সবুজ উদ্ভিদে CO₂ বিজারণের তিনটি গতিপথ শনাক্ত করা হয়েছে। সেগুলো হচ্ছে
 - ক্যালভিন চক্র,
 - হ্যাচ ও স্ল্যাক চক্র এবং
 - ক্রেসুলেসিয়ান এসিড বিপাক (Crassulacean Acid Metabolism বা CAM)।

(i) ক্যালভিন চক্র বা C₃ গতিপথ (Calvin cycle বা C₃ cycle):

- CO₂ আণীকরণের এ গতিপথকে আবিষ্কারকদের নামানুসারে **ক্যালভিন-বেনসন ও ব্যাশাম চক্র** বা সংক্ষেপে ক্যালভিন চক্র বলা হয়।
- ক্যালভিন তার এ আবিষ্কারের জন্য 1961 সালে নোবেল পুরস্কার পান।
- এর **প্রথম স্থায়ী পদার্থ 3-কার্বনবিশিষ্ট ফসফোগ্লিসারিক এসিড**, সেজন্য এ ধরনের গতিপথকে C₃ গতিপথ এবং যেসব উদ্ভিদে এই চক্র সম্পন্ন হয় তাদেরকে C₃ উদ্ভিদ বলে।
- অধিকাংশ উদ্ভিদে** এই প্রক্রিয়ায় শর্করা তৈরি হয়।

চিত্র 4.04: C₃ উদ্ভিদে আলোকসংশ্লেষণের দুটি ধাপ— আলোকনির্ভর পর্যায় ও ক্যালভিন চক্র

<p>(ii) হ্যাচ ও স্ল্যাক চক্র বা C_4 গতিপথ (Hatch and Slack cycle বা C_4 cycle):</p>	<ul style="list-style-type: none"> • অস্ট্রেলীয় বিজ্ঞানী M.D. Hatch ও C. R. Slack (1966 সালে) CO_2 বিজারণের আর একটি গতিপথ আবিষ্কার করেন। • এই গতিপথের প্রথম স্থায়ী পদার্থ হলো 4-কার্বনবিশিষ্ট অক্সালো এসিটিক এসিড, সেজন্য একে C_4 গতিপথ এবং যেসব উদ্ভিদে এই চক্র সম্পন্ন হয় তাদেরকে C_4 উদ্ভিদ বলে। • সাধারণত ভুট্টা, আখ, অন্যান্য ঘাসজাতীয় উদ্ভিদ, মুখা ঘাস, নটে গাছ (Amaranthus) ইত্যাদি উদ্ভিদে C_4 পরিচালিত হয়। • C_4 উদ্ভিদে একই সাথে হ্যাচ ও স্ল্যাক চক্র এবং ক্যালভিন চক্র পরিচালিত হতে দেখা যায়। • C_3 উদ্ভিদের তুলনায় C_4 উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষণের হার বেশি এবং উৎপাদন ক্ষমতাও বেশি।
---	---

<p>সালোকসংশ্লেষণে ক্লোরোফিলের ভূমিকা</p>	<ul style="list-style-type: none"> • পাতার ক্লোরোফিলের পরিমাণের সাথে সালোকসংশ্লেষণের হারের সরাসরি সম্পর্ক রয়েছে, কারণ একমাত্র ক্লোরোফিলই আলোকশক্তি গ্রহণ করতে পারে। পুরাতন ক্লোরোপ্লাস্ট নষ্ট হয়ে যায় এবং তখন নতুন ক্লোরোপ্লাস্ট সংশ্লেষিত হয়। নতুন ক্লোরোপ্লাস্ট এবং ক্লোরোপ্লাস্টের উপাদান সৃষ্টির হারের উপর সালোকসংশ্লেষণের হার নির্ভরশীল। • সালোকসংশ্লেষণ ক্ষমতা রক্ষা করার জন্য ক্লোরোপ্লাস্টের বিভিন্ন উপাদান দ্রুত এবং প্রচুর পরিমাণে পুনর্গঠিত হওয়া প্রয়োজন। তবে কোষে খুব বেশি পরিমাণ ক্লোরোফিল থাকলে এনজাইমের অভাব দেখা দেয় এবং সালোকসংশ্লেষণ কমে যায়।
<p>সালোকসংশ্লেষণে আলোর ভূমিকা</p>	<ul style="list-style-type: none"> • সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় আলোর গুরুত্ব অপরিমিত। পানি এবং CO_2 থেকে শর্করা তৈরির জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির উৎস আলো। • সূর্যালোক ক্লোরোফিল সৃষ্টিতে অংশগ্রহণ করে। • সূর্যালোকের প্রভাবেই পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়, CO_2 পাতার অভ্যন্তরে প্রবেশ করতে পারে এবং খাদ্য প্রস্তুতকরণে অংশগ্রহণ করে। • কিন্তু পাতায় যেটুকু আলো পড়ে, তার অতি সামান্য অংশই সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। আবার আলোকবর্ণালির লাল, নীল, কমলা এবং বেগুনি অংশটুকুতেই সালোকসংশ্লেষণ ভালো হয়। সবুজ কিংবা হলুদ আলোতে সালোকসংশ্লেষণ ভালো হয় না। • একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত আলোর পরিমাণ বাড়লে সালোকসংশ্লেষণের হারও বেড়ে যায়। কিন্তু আলোর পরিমাণ অত্যধিক বেড়ে গেলে পাতার ভিতরকার এনজাইম নষ্ট হয়ে যায়, ক্লোরোফিল উৎপাদন কম হয়। ফলে সালোকসংশ্লেষণের হারও কমে যায়। • সাধারণত 400nm থেকে 480nm এবং 680nm (ন্যানোমিটার) তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলোতে সালোকসংশ্লেষণ সবচেয়ে ভালো হয়।

সালোকসংশ্লেষণের প্রভাবক

(a) বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ

(i) আলো	<ul style="list-style-type: none"> • এ সম্পর্কে ইতোমধ্যে আলোচনা করা হয়েছে।
---------	--

(ii) কার্বন ডাই-অক্সাইড	<ul style="list-style-type: none"> • সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় যে খাদ্য প্রস্তুত হয় তা কার্বন ডাই-অক্সাইড বিজারণের ফলেই হয়ে থাকে। • বায়ুমণ্ডলে কার্বন ডাই-অক্সাইডের পরিমাণ 0.03 ভাগ, কিন্তু এ প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদ শতকরা এক ভাগ পর্যন্ত কার্বন ডাই-অক্সাইড ব্যবহার করতে পারে। তাই বায়ুমণ্ডলে কার্বন ডাই-অক্সাইডের পরিমাণ বৃদ্ধি পাওয়ার সাথে সামঞ্জস্য রেখে সালোকসংশ্লেষণের পরিমাণও বেড়ে যায়। • তবে কার্বন ডাই-অক্সাইডের পরিমাণ খুব বেশি মাত্রায় বেড়ে গেলে পাতার মেসোফিল টিস্যুর কোষের অপ্সিস ও বেড়ে যায় এবং পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে সালোকসংশ্লেষণের হার কমে যায়।
(iii) তাপমাত্রা	<ul style="list-style-type: none"> • সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার জন্য পরিমিত (optimum) তাপমাত্রা হলো 22° সেলসিয়াস থেকে 35° সেলসিয়াস পর্যন্ত। তাপমাত্রা 22° সেলসিয়াসের কম বা 35° সেলসিয়াসের বেশি হলে সালোকসংশ্লেষণের হার কমে যায়। • সাধারণত অতি নিম্ন তাপমাত্রা (0° সেলসিয়াস, এর কাছাকাছি) এবং অতি উচ্চ তাপমাত্রায় (45° সেলসিয়াসের উপরে) এ প্রক্রিয়া চলতে পারে না।
(iv) পানি	<ul style="list-style-type: none"> • সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় শর্করা তৈরির উদ্দেশ্যে CO₂ কে বিজারণের জন্য প্রয়োজনীয় H⁺ (হাইড্রোজেন আয়ন) পানি থেকেই আসে। • পানির ঘাটতি হলে পত্ররন্ধ্রের রক্ষীকোষের স্ফীতি হারিয়ে রন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়। ফলে বাতাস থেকে CO₂ অনুপ্রবেশ বাধাগ্রস্ত হয়। • অতিরিক্ত পানি ঘাটতির ফলে এনজাইমের সক্রিয়তা বিনষ্ট হয়ে সালোকসংশ্লেষণ বাধাগ্রস্ত হতে পারে।
(v) অক্সিজেন	<ul style="list-style-type: none"> • বাতাসে অক্সিজেনের ঘনত্ব বেড়ে গেলে সালোকসংশ্লেষণের হার কমে যায় আর অক্সিজেনের ঘনত্ব কমে গেলে সালোকসংশ্লেষণের হার বেড়ে যায়। • তবে অক্সিজেনবিহীন পরিবেশে সালোকসংশ্লেষণ সম্পূর্ণ বন্ধ থাকে।
(vi) খনিজ পদার্থ	<ul style="list-style-type: none"> • ক্লোরোফিলের প্রধান উপকরণ হচ্ছে নাইট্রোজেন এবং ম্যাগনেসিয়াম। • লোহার অনুপস্থিতিতে পাতা ক্লোরোফিল সংশ্লেষণ করতে পারে না, ফলে পাতা হলুদ হয়ে যায়। কাজেই মাটিতে এসব খনিজের অভাব হলে সালোকসংশ্লেষণের হার কমে যায়।
(vii) রাসায়নিক পদার্থ:	<ul style="list-style-type: none"> • বাতাসে ক্লোরোফর্ম, হাইড্রোজেন সালফাইড, মিথেন বা কোনো বিষাক্ত গ্যাস থাকলে সালোকসংশ্লেষণে ব্যাঘাত ঘটে বা একেবারেই বন্ধ হয়ে যায়।

(b) অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ

(i) ক্লোরোফিল	<ul style="list-style-type: none"> • এ সম্পর্কে ইতোমধ্যে আলোচনা করা হয়েছে।
(ii) পাতার বয়স ও সংখ্যা	<ul style="list-style-type: none"> • একেবারে কচি পাতা এবং একেবারে বয়স্ক পাতায় ক্লোরোফিলের পরিমাণ কম থাকে বলে সালোকসংশ্লেষণ কম হয়। বয়স বাড়ার সাথে সাথে ক্লোরোপ্লাস্টের সংখ্যাও বেশি হয়। • মধ্যবয়সি পাতায় সবচেয়ে বেশি সালোকসংশ্লেষণ ঘটে। • পাতার সংখ্যা বেশি হলে সালোকসংশ্লেষণ বেশি হয়।

(iii) শর্করার পরিমাণ	<ul style="list-style-type: none"> সালোকসংশ্লেষণ চলাকালীন শর্করার পরিবহণ কম হলে তা সেখানে জমা হয়ে থাকে। বিকলে পাতায় বেশি শর্করা জমা হয় বলে সালোকসংশ্লেষণের গতি মন্দ্র হয়।
(iv) পটাশিয়াম	<ul style="list-style-type: none"> পটাশিয়ামের অভাবে সালোকসংশ্লেষণের পরিমাণ বেশ কমে যেতে দেখা যায়। কারণ, সম্ভবত এ প্রক্রিয়ায় পটাশিয়াম অনুঘটক হিসেবে কাজ করে।
(v) এনজাইম	<ul style="list-style-type: none"> সালোকসংশ্লেষণের জন্য বিভিন্ন ধরনের এনজাইমের প্রয়োজন হয়।

জীবজগতে সালোকসংশ্লেষণের গুরুত্ব

- সালোকসংশ্লেষণ বিশ্বের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার মাধ্যমেই সূর্যালোক এবং জীবনের মধ্যে সেতুবন্ধন সৃষ্টি হয়েছে। বিশ্বজুড়ে এ বিক্রিয়ার ব্যাপকতা লক্ষ করে কোনো কোনো বিজ্ঞানী এ প্রক্রিয়াকে জৈব রাসায়নিক কারখানা নামে অভিহিত করেছেন।
- সমস্ত শক্তির উৎস হলো সূর্য। একমাত্র সবুজ উদ্ভিদই সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় সৌরশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে পরিণত করে খাদ্যের মধ্যে আবদ্ধ করতে পারে। কোনো প্রাণীই তার নিজের খাদ্য প্রস্তুত করতে পারে না, তার সবই প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে সবুজ উদ্ভিদ থেকে পেয়ে থাকে। কাজেই খাদ্যের জন্য সমগ্র প্রাণিকুল সবুজ উদ্ভিদের উপর সম্পূর্ণভাবে নির্ভরশীল, আর সবুজ উদ্ভিদ এ খাদ্য প্রস্তুত করে সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায়। কাজেই বলা যায়, পৃথিবীর সকল উদ্ভিদ এবং প্রাণীর খাদ্য প্রস্তুত হয় সালোকসংশ্লেষণের মাধ্যমে।
- পরিবেশের ভারসাম্য রক্ষায়, বিশেষ করে O_2 ও CO_2 -এর সঠিক অনুপাত রক্ষায় সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া এক বিশেষ ভূমিকা পালন করে থাকে। উল্লেখ্য বায়ুতে অক্সিজেন গ্যাসের পরিমাণ 20.95 ভাগ এবং CO_2 গ্যাসের পরিমাণ 0.033 ভাগ।
- পৃথিবীতে উদ্ভিদ ও প্রাণীর স্বাভাবিক বৃদ্ধি এবং জীবনযাপনের জন্য বায়ুতে এ দুটি গ্যাসের পরিমাণ স্বাভাবিক পর্যায়ে থাকতে হয়। এ পরিমাণের তারতম্য ঘটলে বায়ুমণ্ডল জীবজগতের জন্য ক্ষতিকর হয়ে উঠবে। আমরা জানি, সব জীবেই (উদ্ভিদ ও প্রাণী) সব সময়ের জন্য শ্বসনক্রিয়া চলতে থাকে। শ্বসন প্রক্রিয়ায় জীব O_2 গ্রহণ করে এবং CO_2 ত্যাগ করে। কেবল শ্বসন প্রক্রিয়া চলতে থাকলে বায়ুমণ্ডলে O_2 গ্যাসের স্বল্পতা এবং CO_2 গ্যাসের আধিক্য দেখা দিত। কিন্তু সবুজ উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় বায়ুমণ্ডল থেকে CO_2 গ্রহণ করে এবং O_2 ত্যাগ করে বলে এখনও বায়ুমণ্ডলে O_2 ও CO_2 গ্যাসের সঠিক অনুপাত রক্ষিত হচ্ছে। তবে বর্তমানে অধিক হারে বন-জঙ্গল ধ্বংস করার ফলে বায়ুমণ্ডলে এ দুটি গ্যাসের অনুপাত নষ্ট হওয়ার আশঙ্কা দেখা দিয়েছে, কাজেই আমাদেরকে অবশ্যই অধিক হারে গাছ লাগাতে হবে।
- মানবসভ্যতার অগ্রগতি অনেকাংশে সালোকসংশ্লেষণের উপর প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে নির্ভরশীল। অল্প, বস্ত্র, শিল্পসামগ্রী (যেমন নাইলন, রেয়ন, কাগজ, সেলুলোজ, কাঠ, রাবার), ঔষধ (যেমন কুইনাইন, মরফিন), জ্বালানি কয়লা, পেট্রল, গ্যাস প্রভৃতি উদ্ভিদ থেকে পাওয়া যায়। তাই সালোকসংশ্লেষণ না ঘটলে মানবসভ্যতা ধ্বংস হবে, বিলুপ্ত হবে জীবজগৎ।
- শুধু তা-ই নয়, আজ থেকে প্রায় 5 বিলিয়ন বছর আগে যখন পৃথিবী সৃষ্টি হয়, তখন এখানে কোনো গ্যাসীয় অক্সিজেন ছিল না। আদি উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় অক্সিজেন তৈরি করে এই পৃথিবীকে আমাদের জন্য বাসযোগ্য করে দিয়েছিল।

শ্বসন (Respiration)

- যে জৈব-রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় জীবদেহ যৌগিক খাদ্যদ্রব্য জারিত করে সরল দ্রব্যে পরিণত করে এবং শক্তি উৎপন্ন করে, তাকে শ্বসন বলে।
- সালোকসংশ্লেষণের সময় উদ্ভিদ সৌরশক্তিকে শর্করা জাতীয় খাদ্যবস্তুর মধ্যে স্থিতি শক্তিরূপে (Potential energy) সঞ্চার করে রাখে। খাদ্যের মধ্যে সঞ্চিত এই ধরনের শক্তি জীব তার জীবন ধারণের জন্য সরাসরি ব্যবহার করতে পারে না। শ্বসনের সময় জীবদেহে এই স্থিতি শক্তি রাসায়নিক শক্তি (ATP) হিসেবে তাপরূপে মুক্ত হয় এবং জীবের বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় কাজের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি যোগায়।
- শর্করাজাতীয় খাদ্যবস্তু ছাড়াও প্রোটিন, ফ্যাট এবং বিভিন্ন জৈব এসিড শ্বসনিক বস্তুরূপে ব্যবহৃত হয়। জীবদেহে এই জটিল যৌগগুলো প্রথমে ভেঙে সরল যৌগে পরিণত হয় এবং পরে জারিত হয়ে রাসায়নিক শক্তিতে (ATP) রূপান্তরিত হয়।
- সাধারণ তাপমাত্রায় জীবদেহের প্রতিটি কোষে দিবারাত্রি 24 ঘন্টাই শ্বসন চলতে থাকে। তবে উদ্ভিদের বর্ধিষ্ণু অঞ্চলে (ফুল ও পাতার কুঁড়ি, অঙ্কুরিত বীজ, মূল ও কাণ্ডের অগ্রভাগ) শ্বসন ক্রিয়ার হার অনেক বেশি।

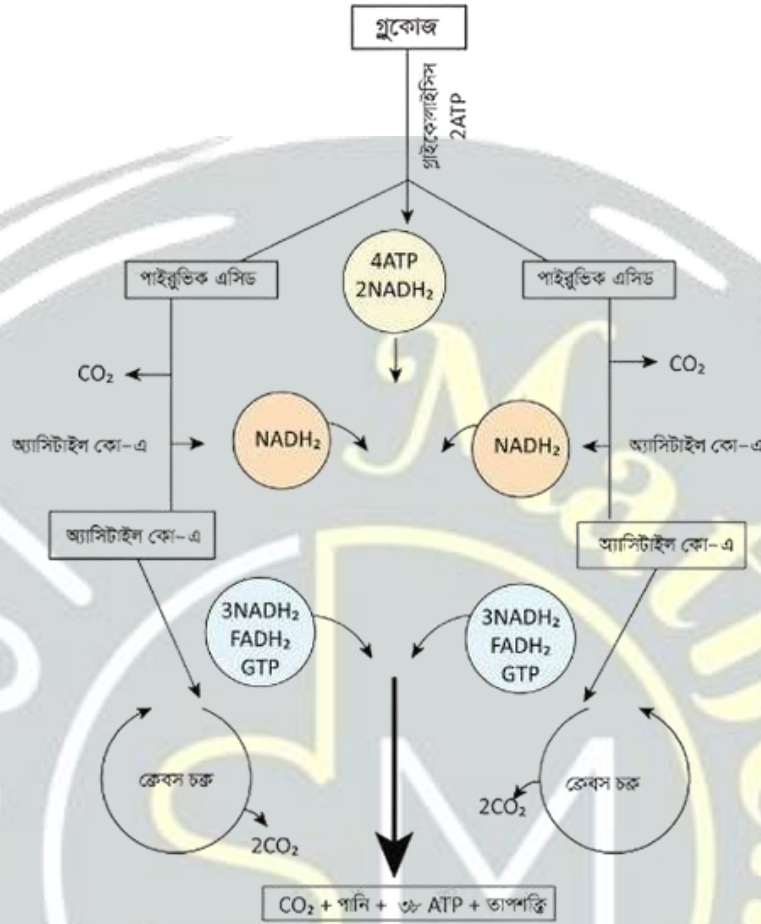
শ্বসনের প্রকারভেদ

- শ্বসনের সময় অক্সিজেনের প্রয়োজনীয়তার ভিত্তিতে শ্বসনকে দুভাগে ভাগ করা হয়।

সবাত শ্বসন (Aerobic respiration)	অবাত শ্বসন (Anaerobic respiration)
<ul style="list-style-type: none"> যে শ্বসন প্রক্রিয়ায় অক্সিজেনের প্রয়োজন হয় এবং শ্বসনিক বস্তু (শর্করা, প্রোটিন, লিপিড, বিভিন্ন ধরনের জৈব এসিড) সম্পূর্ণভাবে জারিত হয়ে CO_2, H_2O এবং বিপুল পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন করে, তাকে সবাত শ্বসন বলে। 	<ul style="list-style-type: none"> যে শ্বসন প্রক্রিয়ায় কোনো শ্বসনিক বস্তু অক্সিজেনের সাহায্য ছাড়াই শ্বসনিক বস্তু আংশিকরূপে জারিত এবং বিভিন্ন প্রকার জৈব যৌগ (ইথাইল অ্যালকোহল, ল্যাকটিক এসিড ইত্যাদি), CO_2 এবং সামান্য পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন করে, তাকে অবাত শ্বসন বলে।
<ul style="list-style-type: none"> কোষের সাইটোপ্লাজম ও মাইটোকন্ড্রিয়াতে শ্বসন প্রক্রিয়া সম্পন্ন হয়। 	<ul style="list-style-type: none"> কোষের সাইটোপ্লাজমে শ্বসন প্রক্রিয়া সম্পন্ন হয়।
<ul style="list-style-type: none"> সবাত শ্বসনের সামগ্রিক সমীকরণটি এরকম: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{বিভিন্ন এনজাইম}} 6CO_2 + 6H_2O + \text{শক্তি (686 k Cal / Mole)}$ <p>গ্লুকোজ</p>	<ul style="list-style-type: none"> অবাত শ্বসনের সামগ্রিক সমীকরণটি এরকম: $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{এনজাইম}} 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{শক্তি (56 k Cal / Mole)}$ <p>গ্লুকোজ ইথাইল অ্যালকোহল</p>
<ul style="list-style-type: none"> সবাত শ্বসনই হলো উদ্ভিদ ও প্রাণীর স্বাভাবিক শ্বসন প্রক্রিয়া। সবাত শ্বসন প্রক্রিয়ায় এক অণু গ্লুকোজ সম্পূর্ণরূপে জারিত হয়ে সর্বমোট 6 অণু CO_2, 6 অণু পানি এবং 38টি ATP উৎপন্ন করে। 	<ul style="list-style-type: none"> কেবল মাত্র কিছু অণুজীবে যেমন ব্যাকটেরিয়া, ইস্ট ইত্যাদিতে অবাত শ্বসন হয়ে থাকে।

(a) সবাত শ্বসনের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা

সবাত শ্বসন প্রক্রিয়া সাধারণত চারটি ধাপে সম্পন্ন হয়। ধাপগুলো এরকম:



চিত্র 4.06: সর্বাত্মক শ্বসন প্রক্রিয়া

<p>ধাপ 1: গ্লাইকোলাইসিস (Glycolysis)</p>	<ul style="list-style-type: none"> এই প্রক্রিয়ায় এক অণু গ্লুকোজ ($C_6H_{12}O_6$) বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জারিত হয়ে দুই অণু পাইরুভিক এসিড ($C_3H_4O_3$) উৎপন্ন করে। এই ধাপে চার অণু ATP (এর মাঝে দুই অণু খরচ হয়ে যায়) এবং দুই অণু $NADH+H^+$ উৎপন্ন হয়। এই প্রক্রিয়ার জন্য কোনো অক্সিজেনের প্রয়োজন হয় না, তাই গ্লাইকোলাইসিস সর্বাত্মক ও অবাত উভয় প্রকার শ্বসনেরই প্রথম পর্যায়। গ্লাইকোলাইসিসের বিক্রিয়াগুলো কোষের সাইটোপ্লাজমে ঘটে থাকে।
<p>ধাপ 2: অ্যাসিটাইল কো-এ সৃষ্টি</p>	<ul style="list-style-type: none"> গ্লাইকোলাইসিস পর্যায়ে সৃষ্ট প্রতি অণু পাইরুভিক এসিড পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়া শেষে 2 কার্বনবিশিষ্ট এক অণু অ্যাসিটাইল কো এনজাইম-এ (Acetyl Co-A), এক অণু CO_2 এবং এক অণু $NADH+H^+$ (অথবা $NADH_2$) উৎপন্ন করে (অর্থাৎ দুই অণু পাইরুভিক এসিড থেকে দুই অণু অ্যাসিটাইল কো এনজাইম-এ, দুই অণু CO_2 এবং দুই অণু $NADH+H^+$ উৎপন্ন হয়)। এই ধাপটি সাইটোপ্লাজমে ঘটে বলে এক সময় মনে করা হতো, তবে সর্বশেষ তথ্য উপাত্ত অনুসারে জানা গেছে বিক্রিয়াটি ঘটে মাইটোকন্ড্রিয়ার ম্যাট্রিক্সে।

<p>ধাপ 3: ক্রেবস চক্র (Krebs cycle)</p>	<p>[ইংরেজ প্রাণরসায়নবিদ Sir Hans Krebs এ চক্রটি আবিষ্কার করেন বলে একে ক্রেবস চক্র বলা হয়।]</p> <ul style="list-style-type: none"> এ পর্যায়ে অ্যাসিটাইল Co-A মাইটোকন্ড্রিয়াতে প্রবেশ করে এবং ক্রেবস চক্রে অংশগ্রহণ করে। এ চক্রের সকল বিক্রিয়াই মাইটোকন্ড্রিয়াতে সংঘটিত হয়। এই চক্রে এক অণু অ্যাসিটাইল Co-A থেকে দুই অণু কার্বন ডাইঅক্সাইড, তিন অণু $\text{NADH}+\text{H}^+$, এক অণু FADH_2 এবং এক অণু GTP (গুয়ানোসিন ট্রাইফসফেট) উৎপন্ন হয় (অর্থাৎ দুই অণু অ্যাসিটাইল Co-A থেকে চার অণু CO_2, 6 অণু $\text{NADH}+\text{H}^+$, দুই অণু FADH_2 এবং দুই অণু GTP উৎপন্ন হয়)। <p>[উল্লেখ্য, প্রাণিকোষের ক্রেবস চক্রে কখনো কখনো GTP এর পরিবর্তে সরাসরি ATP উৎপন্ন হতে পারে, কিন্তু প্রায় সমস্ত উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এই চক্রে GTP এর পরিবর্তে সবসময়ই ATP উৎপন্ন হয়। পরবর্তী ধাপ ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্রে যেহেতু এক অণু GTP এর সমতুল্য হিসেবে এক অণু ATP উৎপন্ন হয়, সেহেতু এই পার্থক্যটি ক্রেবস চক্র থেকে উৎসারিত মোট শক্তির পরিমাণে কোনো তারতম্য ঘটায় না।]</p>
<p>ধাপ 4: ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্র (Electron transport system)</p>	<ul style="list-style-type: none"> উপরোক্ত তিনটি ধাপে যে $\text{NADH}+\text{H}^+$ (বিজারিত NAD), FADH_2 (বিজারিত FAD) উৎপন্ন হয়, এই ধাপে সেগুলো জারিত হয়ে ATP, পানি, উচ্চশক্তির ইলেকট্রন এবং প্রোটন উৎপন্ন হয়। উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রনগুলো ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্রের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার সময় যে শক্তি প্রদান করে, সেই শক্তি ATP তৈরিতে ব্যবহৃত হয় অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায়। ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্র মাইটোকন্ড্রিয়ায় সংঘটিত হয়।

ATP ও CO_2 হিসাব:

- 1 অণু $\text{NADH}+\text{H}^+$ = 3 অণু ATP
- 1 অণু FADH_2 = 2 অণু ATP
- 1 অণু GTP = 1 অণু ATP

স্থানের পর্যায়	উৎপাদিত বস্তু	ব্যয়িত বস্তু	নিট উৎপাদন
গ্লাইকোলাইসিস	2 অণু পাইরুভিক এসিড 2 অণু $\text{NADH}+\text{H}^+$ 4 অণু ATP	- - 2 অণু ATP	- 6 অণু ATP 2 অণু ATP
অ্যাসিটাইল Co-A	2 অণু অ্যাসিটাইল Co-A 2 অণু CO_2 2 অণু $\text{NADH}+\text{H}^+$	2 অণু পাইরুভিক এসিড	2 অণু CO_2 6 অণু ATP
ক্রেবস চক্র	4 অণু CO_2 6 অণু $\text{NADH}+\text{H}^+$ 2 অণু FADH_2 2 অণু GTP	2 অণু অ্যাসিটাইল Co-A	4 অণু CO_2 18 অণু ATP 4 অণু ATP 2 অণু ATP
মোট			38 অণু ATP + 6 অণু CO_2

(b) অবাত শ্বসনের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা

- দুটি ধাপে অবাত শ্বসন হয়ে থাকে। ধাপ দুটি হলো:

ধাপ 1: গ্লুকোজের অসম্পূর্ণ জারণ (গ্লাইকোলাইসিস)	<ul style="list-style-type: none"> এই ধাপে এক অণু গ্লুকোজ থেকে দুই অণু পাইরুভিক এসিড, চার অণু ATP (এর মধ্যে দুই অণু ব্যবহার হয়ে যায়) এবং দুই অণু $NADH+H^+$ উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ আপাতদৃষ্টিতে এ পর্যন্ত বিক্রিয়া সবাত শ্বসনের গ্লাইকোলাইসিসের অনুরূপ। তবে উৎপন্ন পাইরুভিক এসিড পরবর্তী ধাপে বিজারিত হয়ে যায় বলে অবাত শ্বসনে গ্লুকোজের অসম্পূর্ণ জারণ ঘটে- এমনটা বিবেচনা করা হয়।
ধাপ 2: পাইরুভিক অ্যাসিডের বিজারণ	<ul style="list-style-type: none"> সাইটোপ্লাজমে অবস্থিত এনজাইমের কার্যকারিতায় পাইরুভিক অ্যাসিড বিজারিত হয়ে CO_2 এবং ইথাইল অ্যালকোহল অথবা শুধু ল্যাকটিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে গ্লাইকোলাইসিসে উৎপন্ন বিজারিত NAD (অর্থাৎ $NADH+H^+$) জারিত হয়ে যে ইলেকট্রন, প্রোটন ও শক্তি নির্গত করে, তা ব্যবহৃত হয় পাইরুভিক অ্যাসিড থেকে ল্যাকটিক অ্যাসিড বা ক্ষেত্রবিশেষে ইথানল উৎপাদনের জন্য। অন্যদিকে, অক্সিজেনের অভাবে তখন অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশনও চলে না। তাই অবাত শ্বসনের ক্ষেত্রে এক অণু গ্লুকোজের গ্লাইকোলাইসিসে নিট মাত্র 2 অণু ATP পাওয়া যায়।

শ্বসন প্রক্রিয়ার প্রভাবকসমূহ

(a) বাহ্যিক প্রভাবক:

(i) তাপমাত্রা	<ul style="list-style-type: none"> 20° সেলসিয়াসের নিচে এবং 45° সেলসিয়াসের উপরের তাপমাত্রায় শ্বসন হার কমে যায়। শ্বসনের জন্য উত্তম তাপমাত্রা 20° সেলসিয়াস থেকে 45° সেলসিয়াস।
(ii) অক্সিজেন	<ul style="list-style-type: none"> সবাত শ্বসনে পাইরুভিক এসিড জারিত হয়ে CO_2 ও H_2O উৎপন্ন করে। কাজেই অক্সিজেনের অভাবে সবাত শ্বসন কোনোক্রমেই চলতে পারে না।
(iii) পানি	<ul style="list-style-type: none"> পরিমিত পানি সরবরাহ শ্বসন ক্রিয়াকে স্বাভাবিক রাখে। কিন্তু অত্যন্ত কম কিংবা অতিরিক্ত পানির উপস্থিতিতে শ্বসন প্রক্রিয়া ব্যাহত হয়।
(iv) আলো	<ul style="list-style-type: none"> শ্বসন কার্যে আলোর প্রয়োজন পড়ে না সত্যি কিন্তু দিনের বেলা আলোর উপস্থিতিতে পত্ররন্ধ্র খোলা থাকায় O_2 গ্রহণ ও CO_2 ত্যাগ করা সহজ হয় বলে শ্বসন হার একটু বেড়ে যায়।
(v) কার্বন ডাই-অক্সাইড	<ul style="list-style-type: none"> বায়ুতে CO_2-এর ঘনত্ব বেড়ে গেলে শ্বসন হার একটুখানি কমে যায়।

(b) অভ্যন্তরীণ প্রভাবক:

(i) খাদ্যদ্রব্য	<ul style="list-style-type: none"> শ্বসন প্রক্রিয়ায় খাদ্যদ্রব্য (শ্বসনিক বস্তু) ভেঙ্গে শক্তি, পানি এবং CO_2 নির্গত করে, তাই কোষে খাদ্যদ্রব্যের পরিমাণ ও ধরন শ্বসন হার নিয়ন্ত্রণ করে।
(ii) উৎসেচক	<ul style="list-style-type: none"> শ্বসন প্রক্রিয়ায় অনেক ধরনের এনজাইম বা উৎসেচক সক্রিয়ভাবে অংশগ্রহণ করে। কাজেই এনজাইমের ঘাটতি শ্বসনের হার কমিয়ে দেয়।

(iii) কোষের বয়স	• অল্পবয়স্ক কোষে, বিশেষ করে ভাজক কোষে প্রোটোপ্লাজম বেশি থাকে বলে সেখানে বয়স্ক কোষ থেকে স্বসনের হার বেশি।
(iv) অজৈব লবণ	• কোনো কোনো লবণ স্বসন প্রক্রিয়াকে ব্যাহত করলেও কোষের সূষ্ঠু ও স্বাভাবিক কাজের জন্য এবং স্বাভাবিক স্বসন প্রক্রিয়া পরিচালনার জন্য কোষের ভিতরে অজৈব লবণ থাকতে হয়।
(v) কোষমধ্যস্থ পানি	• বিভিন্ন স্বসনিক বস্তু দ্রবীভূত করতে এবং এনজাইমের কার্যকারিতা প্রকাশের জন্য পানির প্রয়োজন।

স্বসনের গুরুত্ব

- স্বসন প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন শক্তি দিয়ে জীবের সব ধরনের ক্রিয়া-বিক্রিয়া এবং কাজকর্ম পরিচালিত হয়।
- স্বসনে নির্গত CO_2 জীবের প্রধান খাদ্য শর্করা উৎপন্নের জন্য সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।
- এ প্রক্রিয়া উদ্ভিদে খনিজ লবণ পরিশোধণে সাহায্য করে, যা পরোক্ষভাবে উদ্ভিদের বৃদ্ধি এবং অন্যান্য জৈবিক প্রক্রিয়া চালু রাখে।
- কোষ বিভাজনের প্রয়োজনীয় শক্তি ও কিছু আনুষঙ্গিক পদার্থ স্বসন প্রক্রিয়া থেকে আসে। তাই বলা যেতে পারে এ প্রক্রিয়া জীবের দৈহিক বৃদ্ধিও নিয়ন্ত্রণ করে।
- এ প্রক্রিয়া বিভিন্ন উপ-ক্ষার ও জৈব এসিড সৃষ্টিতে সহায়তা করার মাধ্যমে জীবনের অন্যান্য জৈবিক কাজেও সহায়তা করে।
- কিছু কিছু ব্যাকটেরিয়া অক্সিজেনের উপস্থিতিতে বাঁচতে পারে না। এদের শক্তি উৎপাদনের একমাত্র উপায় হলো অবাত স্বসন।
- এ প্রক্রিয়ায় ইথাইল অ্যালকোহল তৈরি হয়, যা বিভিন্ন শিল্পে ব্যবহৃত হয়। ল্যাকটিক এসিড ফার্মেন্টেশনের মাধ্যমে এ প্রক্রিয়ায় দই, পনির ইত্যাদি উৎপাদিত হয়।
- ইস্টের অবাত স্বসনের ফলে অ্যালকোহল এবং CO_2 গ্যাস তৈরি হয়। এই CO_2 গ্যাসের চাপে রুটি ফুলে গিয়ে ভিতরে ফাঁপা হয়। তাই রুটি তৈরিতে এ প্রক্রিয়া ব্যবহৃত হয়।