

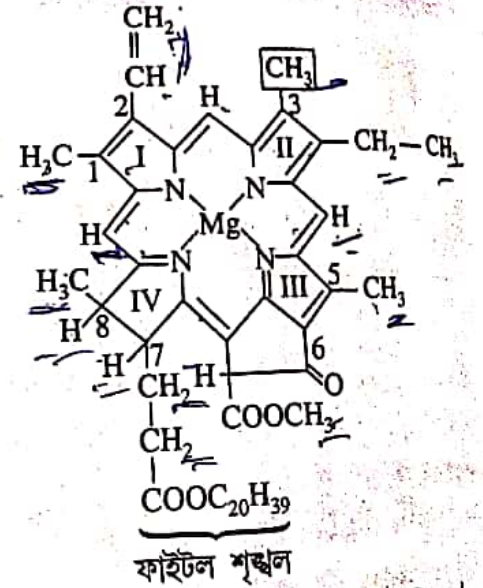
Semester IV
BOTGCOR04T
Plant Physiology and Metabolism

Unit 4 - Photosynthesis

সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জক

① ক্লোরোফিল (Chlorophylls) : উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্টে সংশ্লিষ্ট রঞ্জক পদার্থ বা ক্লোরোফিল সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থের মধ্যে অন্যতম। ক্লোরোফিল -a, -b, -c, -d এবং -e, ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল এবং ব্যাকটেরিওভিওভিডিন নামক মোট সাত প্রকারের ক্লোরোফিল উদ্ভিদ কোশে বর্তমান। এদের মধ্যে সমস্ত প্রকার শৈবাল ও উচ্চ শ্রেণির প্রধান সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ হল ক্লোরোফিল-a।

সমস্ত রকম ক্লোরোফিলের মৌলিক গঠন একই প্রকারের এবং পরফাইরিন (porphyrin) যৌগ সমন্বিত। পরফাইরিন যৌগটি চারটি পাইরল (pyrrole) বলয় দ্বারা গঠিত। তৃতীয় পাইরল বলয়ের সঙ্গে কার্বন অণুর একটি পঞ্চম বলয় বর্তমান। ক্লোরোফিল অণুর কেন্দ্রস্থলে ম্যাগনেশিয়াম (Mg) ধাতু অবস্থিত। এটি চারটি পাইরল বলয়ের নাইট্রোজেনের সঙ্গে দুটি সমযোজী (covalent) ও দুটি সহযোজিত (coordinate) বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত থাকে। বিভিন্ন ক্লোরোফিলে পাইরল বলয়ের সংলগ্ন শৃঙ্খলে পার্থক্য দেখা যায়। ক্লোরোফিল-a এবং b-এর মধ্যে দ্বিতীয় পাইরল বলয়ে পার্থক্য দেখা যায়। ক্লোরোফিল-a এর দ্বিতীয় পাইরল বলয়ের তৃতীয় কার্বনে একটি মিথাইল ($-CH_3$) বর্গ থাকে যেটি ক্লোরোফিল-b-তে অ্যালডিহাইড ($-CHO$) মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়।



চিত্র 4.6 ক্লোরোফিল-a-র রাসায়নিক গঠন

বিভিন্ন সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জকপুঞ্জের রাসায়নিক সংকেত :

- ক্লোরোফিল-**a** : $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$
- ক্লোরোফিল-**b** : $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$
- ক্লোরোফিল-**c** : $C_{35}H_{72}O_5N_4Mg$
- ক্লোরোফিল-**d** : $C_{54}H_{70}O_6N_4Mg$
- কারোটিন : $C_{40}H_{56}$
- ক্সানথোফিল : $C_{40}H_{56}O_2$
- ফাইকোসায়ানিন : $C_{34}H_{44}O_8N_4$
- ফাইকোএরিথ্রিন : $C_{34}H_{46}O_8N_4$
- থ্যাটোফিওক্লোরোফিল : $C_{55}H_{74}O_6N_4Mg$
- ক্লোরোবিয়াম ক্লোরোফিল : $C_{55}H_{72}O_6N_4Mg$

● **ক্লোরোসিস (Chlorosis) :** বিশেষ কয়েকটি খনিজ উপাদানের অভাবে (Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, K, Cu, N) ক্লোরোফিল সংশ্লেষ হয় না। ফলে গাছের সবুজ অংশ হলদে হয়ে যায়। একে ক্লোরোসিস বলে।

● **অ্যালবিনো উদ্ভিদ (Albino Plant) :** বিশেষ জিনের প্রভাবে উদ্ভিদদেহে ক্লোরোফিল সৃষ্টি হয়। এই জিনের অভাবে ক্লোরোফিল সৃষ্টি না হলে উদ্ভিদের যে অবস্থা সৃষ্টি হয় (সবুজ অংশ বর্ণহীন হয়ে যাওয়া) তাকে অর্থাৎ ক্লোরোফিলবিহীন উদ্ভিদকে অ্যালবিনো উদ্ভিদ বলে।

ক্লোরোফিল-a** এবং ক্লোরোফিল-**b**-এর মধ্যে পার্থক্য (Differences between Chlorophyll-a and Chlorophyll-b) :**

বৈশিষ্ট্য	ক্লোরোফিল- a	ক্লোরোফিল- b
1. মূল সংকেত	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$
2. গঠন	দ্বিতীয় পাইরল বলয়ে একটি মিথাইল বর্গ ($-CH_3$) থাকে।	দ্বিতীয় পাইরল বলয়ে মিথাইল বর্গের পরিবর্তে একটি অ্যালডিহাইড ($-CHO$) বর্গ থাকে।
3. আণবিক গুণজন	893	907
4. বর্ণ	বিশুদ্ধ ক্লোরোফিল- a নীলাভ সবুজ।	বিশুদ্ধ ক্লোরোফিল- b হালকা সবুজ।
5. আলোক শোষণ বর্ণালি	435 nm (নীলচে বেগুনি) এবং 660 nm (লাল) তরঙ্গের আলো সর্বাধিক শোষণ করে।	453 nm (নীল) ও 642 nm (লাল) তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সবচেয়ে বেশি শোষণ করে।
6. আর্শ শ্রাবক	পেট্রোলিয়াম ইথার।	মিথাইল অ্যালকোহল।
7. ক্রিয়াশীলতা	স্বাধীনভাবে সালোকসংশ্লেষে সক্ষম।	ক্লোরোফিল- a -এর অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষে অক্ষম। এই ক্লোরোফিল আলো শোষণ করে আলোকশক্তিকে ক্লোরোফিল- a -তে সঞ্চারিত করে।
8. প্রাপ্তিস্থান	সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদে দেখা যায়, তাই একে সর্বজনীন রঞ্জক (universal pigment) বলে।	সমস্ত উন্নত উদ্ভিদে পাওয়া গেলেও অনেক শৈবালে (সায়ানোফাইসি, রোডোফাইসি) অনুপস্থিত।

2) কারোটিনয়েডস্ (Carotenoids) :

■ **সংজ্ঞা (Definition) :** উদ্ভিদে লাল, হলুদ, কমলা, বাদামী প্রভৃতি বর্ণের যে টারপিনয়েড যৌগগুলি ফুল ও ফলের বর্ণ দান করে ও সালোকসংশ্লেষে অতিরিক্ত রঞ্জকরূপে ক্রিয়া করে তাদের কারোটিনয়েড বলে।

○ **শ্রেণিবিভাগ (Classification) :** রাসায়নিক গঠনের উপর ভিত্তি করে এদের দুটি ভাগে ভাগ করা হয়, যথা—কারোটিন ও ক্সানথোফিল।

1) কারোটিন (Carotene) :

1) কারোটিন একটি অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন যার মূল সংকেত $C_{40}H_{56}$ । এদের বর্ণ সচরাচর গাজরের মতো সাধারণত লালে কমলা বর্ণের হয় বলে এদের কারোটিন বলে।

iii) উদ্ভিদে প্রধানত α , β , γ ও δ এই চার ধরনের ক্যারোটিন পাওয়া যায়। α ও β ক্যারোটিনের দু'প্রান্তে দুটি আয়োনোন (ionone) বলয় থাকে কিন্তু γ ও δ ক্যারোটিনে একটি মাত্র আয়োনোন বলয় থাকে।

iii) ক্যারোটিন নীলচে বেগুনি আলো (449 nm - 478 nm) সর্বাধিক শোষণ করে।

iv) ক্যারোটিন জলে অদ্রবণীয় এবং অ্যালকোহল, ইথার, ক্লোরোফর্ম, বেনজিন প্রভৃতি জৈব দ্রাবকে সর্বাধিক দ্রবণীয়।

v) ক্যারোটিনের বর্ণ বৈচিত্র্য সবচেয়ে আকর্ষণীয়। টম্যাটোতে লাল, বিভিন্ন ফুলে হলুদ, স্কুইডে কালচে নীল ও অ্যাভোক্যাডোতে সবুজ বর্ণের ক্যারোটিন পাওয়া যায়।

vi) ক্লোরোফিল উৎপাদন আলোর উপর নির্ভরশীল কিন্তু গাজর জাতীয় মৃদগত মূল অথবা কাণ্ডে ক্যারোটিনের উপস্থিতি প্রমাণ করে যে ক্যারোটিন সংশ্লেষ আলোর উপস্থিতির ওপর নির্ভর করে না।

Ⓑ জ্যান্থোফিল (Xanthophyll) :

i) অক্সিজেনযুক্ত ক্যারোটিনকেই জ্যান্থোফিল বলে। জ্যান্থোফিলের স্থূল সংকেত $C_{40}H_{56}O_2$; ক্যারোটিনের অণুর আয়নন বলয়দ্বয়ের প্রতিটিতে একটি করে মোট দুটি অক্সিজেন পরমাণু যুক্ত হয়ে জ্যান্থোফিল গঠিত হয়।

ii) লিউটিন (Lutein) নামক জ্যান্থোফিল সবুজ উদ্ভিদে সবচেয়ে বেশি পাওয়া যায়, যা α ক্যারোটিনের জারণের ফলে উৎপন্ন হয়। এ ছাড়া টম্যাটোতে লাইকোজ্যান্থিন ও ভুট্টায় জিয়াজ্যান্থিন পাওয়া যায়। বিভিন্ন শ্রেণির শৈবালে অস্তুত কুড়ি ধরনের জ্যান্থোফিল পাওয়া যায় যার মধ্যে ফিউকোজ্যান্থিন, ভায়োলাজ্যান্থিন প্রভৃতি বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

○ ক্যারোটিনয়েডস্-এর কাজ (Function of carotenoids) :

i) সালোকসংশ্লেষ : ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল আলোক শোষণ করে উত্তেজিত হয় কিন্তু প্রত্যক্ষভাবে সালোকসংশ্লেষ করতে পারে না। এই উত্তেজিত রঞ্জককণাগুলি তাহাদের উত্তেজিত শক্তিকে ক্লোরোফিল-a অণুতে স্থানান্তরিত করে পরোক্ষভাবে সালোকসংশ্লেষের হারকে বৃদ্ধি করে। এই কারণে ক্যারোটিনয়েডকে সহায়ক রঞ্জক পদার্থ বলা হয়।

ii) বর্ণ গঠন : নানা বর্ণের ক্যারোটিনয়েড ফুল ও ফলের বর্ণ সৃষ্টি করে পরাগযোগ ও বীজের বিস্তারে সহায়তা করে।

iii) আলোক জারণ : তীব্র আলোয় ক্লোরোফিলের আলোকজারণ (photooxidation) হয়। ভায়োলাজ্যান্থিন, অ্যান্থেরা-জ্যান্থিন ও জিয়াজ্যান্থিন এই তিনটি জ্যান্থোফিল তীব্র আলোক শোষণ করে তাকে তাপীয় শক্তিতে রূপান্তরিত করে ক্লোরোফিলকে আলোক জারণের হাত থেকে রক্ষা করে। এই প্রক্রিয়াকে নন ফোটোকেমিকাল কোয়েন্টিং (non-photochemical quenching) বলে (Harton, 1996)।

রঞ্জকতন্ত্র

○ প্রথম রঞ্জকতন্ত্র (Pigment system-I or Photosystem-I) : PS-I তন্ত্রটি গ্রানাপদার বাহরের দিকে অবস্থান করে। এই রঞ্জকতন্ত্রে বর্তমান আলোকগ্রাহী রঞ্জক অণুগুলির মধ্যে বেশি পরিমাণে ক্লোরোফিল-a, কম পরিমাণে ক্লোরোফিল-b, ক্যারোটিন ও অন্যান্য রঞ্জক অণু থাকে। এক্ষেত্রে ক্লোরোফিল-a এর বিক্রিয়া কেন্দ্রে P_{700} (700_{nm} আলোক শোষণে সক্ষম) নামক একটি বিশেষ আলোক জারিত রঞ্জক পদার্থ বিদ্যমান। আলোকগ্রাহী বিভিন্ন রঞ্জক অণু বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত ফোটোন কণাকে শোষণ করে এবং সেই শোষিত শক্তিকে অনুনাদ (resonance) পদ্ধতিতে ক্লোরোফিল-a এর P_{700} -কে প্রদান করে। এইভাবে আলোক শোষণ করে ক্লোরোফিল-a P_{700} উত্তেজিত হলে ইলেকট্রনের নির্গমন ঘটে। জারণ-বিজারণ বিভবের ফলে ইলেকট্রনটি ফেরিডক্সিনের মাধ্যমে $NADP^+$ কে বিজারিত করে। $NADP^+$ বিজারণের জন্য প্রয়োজনীয় হাইড্রোজেন (H^+) জলের আলোক বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন হয়।

○ দ্বিতীয় রঞ্জকতন্ত্র (Pigment System II or Photosystem-II) : PS-II তন্ত্রটি গ্রানাপদার ভিতরের দিকে অবস্থান করে। আলোকগ্রাহী রঞ্জক অণু হিসেবে সমস্ত প্রকার রঞ্জক থাকলেও ক্লোরোফিল-b এবং ক্যারোটিনয়েডের পরিমাণ বেশি থাকে। বিক্রিয়া কেন্দ্রে ক্লোরোফিল-a P_{680} অবস্থান করে। এই ক্লোরোফিল a P_{680} আনুষঙ্গিক রঞ্জক থেকে $680 nm$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত ফোটোনকে শোষণ করে এবং উত্তেজিত হয়ে ইলেকট্রন নির্গমন করে।

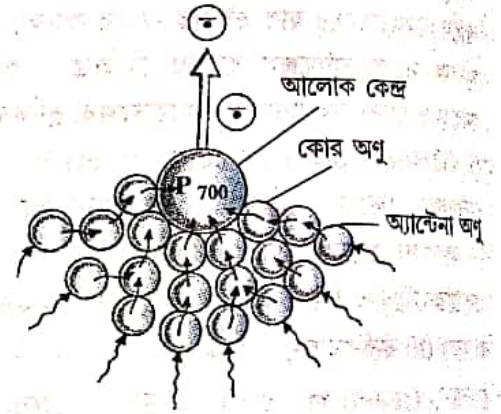
► প্রথম রঞ্জকতন্ত্র (PS-I) এবং দ্বিতীয় রঞ্জকতন্ত্রের (PS-II) পার্থক্য :

PS-I	PS-II
1. বিক্রিয়া কেন্দ্রে ক্লোরোফিল-a P_{700} থাকে।	1. বিক্রিয়া কেন্দ্রে ক্লোরোফিল-a P_{680} থাকে।
2. আবর্তকার ও অনাবর্তকার উভয় ফোটোফসফোরাইলেশনের সঙ্গে যুক্ত।	2. কেবলমাত্র অনাবর্তকার ফোটোফসফোরাইলেশনের সঙ্গে যুক্ত।
3. আলোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটেরিয়া ও উন্নত উদ্ভিদ উভয় ক্ষেত্রেই বর্তমান।	3. কেবলমাত্র উন্নত উদ্ভিদেই বর্তমান।
4. CF_1-CF_0 ATP সিন্থেজ ATP সংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে।	4. ATP সংশ্লেষ ও জলের আলোক বিয়োজন উভয়ক্ষেত্রে অংশগ্রহণ করে।
5. $680 nm$ উর্ধ্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক শোষণ করে।	5. $680 nm$ নিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক শোষণ করে।
6. আলোকগ্রাহী অংশে ক্লোরোফিল-a প্রধান রঞ্জক।	6. আলোকগ্রাহী অংশে ক্লোরোফিল-b প্রধান রঞ্জক।
7. এর অন্তর্গত ক্লোরোফিল-a রঞ্জক অপ্রতিপ্রভ বা ক্ষীণ প্রতিপ্রভ।	7. এর অন্তর্গত ক্লোরোফিল-a রঞ্জক প্রতিপ্রভ।
8. ক্যারোটিনের পরিমাণ বেশী।	8. জ্যান্থোফিলের পরিমাণ বেশী।
9. হিল বিক্রিয়া ঘটে না।	9. Mn কমপ্লেক্স হিল বিক্রিয়া বা জলের ফোটোলাইসিস ঘটিয়ে O_2 উৎপন্ন করে।

বিক্রিয়াকেন্দ্র (reaction centre)

● কোয়ান্টাজোম (Quantasome) : বিজ্ঞানী ইমারসন ও আর্নল্ড (1932) প্রমাণ করেছিলেন যে আনুমানিক 2500টি ক্লোরোফিল অণু এক অণু CO_2 -কে আবদ্ধ করতে ব্যবহৃত হয়। ক্লোরোফিলের এই সংখ্যাকে সালোকসংশ্লেষের একক (Photosynthetic unit) বলে। আবার 1 অণু CO_2 -কে আবদ্ধ করতে 10 কোয়ান্টা আলোক শক্তি লাগে। তাই গাণিতিকভাবে বলা যায় যে 1 কোয়ান্টাম আলোকশক্তি শোষণ করার জন্য $2500/10 = 250$ টি ক্লোরোফিল অণুর প্রয়োজন হয়। 250টি ক্লোরোফিল অণু সমন্বিত সালোকসংশ্লেষের শারীরবৃত্তীয় একককে কোয়ান্টাজোম (Quantasome) বলে। ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মাধ্যমেও প্রমাণিত হয়েছে যে কোয়ান্টাজোম প্রকৃত পক্ষে 230-250টি ক্লোরোফিলের সমন্বয়ে গঠিত এবং এই এককটি $180\text{\AA} \times 160\text{\AA} \times 100\text{\AA}$ আয়তনবিশিষ্ট হয়।

● লোহিত চ্যুতি ও ইমারসন এফেক্ট (Red drop and Emerson effect) : বিজ্ঞানী ইমারসন ও লেভিস (Emerson & Levis, 1943) মনোক্রোমাটিক বা একটি নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো প্রয়োগ করে *Chlorella* নামক শৈবালে সালোকসংশ্লেষের হার বা কোয়ান্টাম ইন্ডেক্স লক্ষ্য করেছিলেন। তাঁরা দৃশ্যমান বর্ণালির (390nm - 760nm)



চিত্র 4.11 সালোকসংশ্লেষীয় একক কর্তৃক আলোক তরঙ্গ সংগ্রহ

প্রতিটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সালোকসংশ্লেষের হার পরিমাপ করেছিলেন। তাঁরা প্রমাণ করেছিলেন যে লাল বর্ণের আলোয় সালোকসংশ্লেষের হার বা কোয়ান্টাম ইন্ড সর্বাধিক হয়। কিন্তু 680 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরবর্তী তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোয় সালোকসংশ্লেষের হার দ্রুত কমে যায়। উচ্চতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত লাল আলোয় সালোকসংশ্লেষের এই অবনতিকে লোহিত চ্যুতি (Red drop) বলা হয়।

ইমারসন ও ক্যালমার্স (Emerson and Chalmers, 1957) আরও পর্যবেক্ষণ করেছিলেন যে 680 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরবর্তী তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোয় লোহিত চ্যুতি ঘটলেও এই সময় যদি ওই লাল আলোর সঙ্গে তুলনামূলকভাবে কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো (653 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কমলা বর্ণের আলো) প্রয়োগ করা হয় তাহলে সালোকসংশ্লেষের হার অনেক বেড়ে যায়। ওই বিজ্ঞানীরা আরও লক্ষ করেছিলেন যে পৃথক পৃথক ভাবে লাল (700 nm) এবং পরিপূরক কমলা বর্ণের আলো (653 nm) প্রয়োগ করলে তাদের সালোকসংশ্লেষের হারের যোগফলের চেয়ে দুটি আলোকে একত্রে প্রয়োগ করলে, কোয়ান্টাম ইন্ড বা সালোকসংশ্লেষের হার বেশি হয়। এই ঘটনাকে ইমারসন এফেক্ট (Emerson's Enhancement Effect) বলে। গাণিতিকভাবে ইমারসনের এই বর্ধিত প্রভাব (E) নিম্নলিখিত সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয় —

$$E = \frac{\Delta O_2 (\text{যুগ্ম আলোয়}) - \Delta O_2 (\text{হ্রস্ব আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে})}{\Delta O_2 (\text{দীর্ঘ আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে})}$$

$\Delta O_2 =$ অক্সিজেন নির্গমনের হার

● অ্যান্টেনা ক্লোরোফিল ও সালোকসংশ্লেষের বিক্রিয়া কেন্দ্র (Antena Chlorophyll and Reaction Centre of Photosynthesis) ৪ আনুমানিক 250টি ক্লোরোফিল সালোকসংশ্লেষকারী একক বা কোয়ান্টাজোম গঠন করে এবং এই ধরনের প্রতিটি একক 1 কোয়ান্টাম আলোকশক্তি শোষণ করে। কোয়ান্টাজোমের অধিকাংশ ক্লোরোফিল অণু আলোকশক্তি শোষণ করার পর উদ্দীপ্ত হয়ে শক্তি (Inductive resonance) পার্শ্ববর্তী ক্লোরোফিল অণুগুলিতে ছড়িয়ে দেয়। পরবর্তী পর্যায়ে এই ক্লোরোফিল অণুগুলির শক্তি নির্দিষ্ট ক্লোরোফিলে কেন্দ্রীভূত হয়। যে ক্লোরোফিল অণুগুলি আলোকশক্তি শোষণ করে শক্তিকে নির্দিষ্ট ক্লোরোফিলে কেন্দ্রীভূত করে তাদের অ্যান্টেনা ক্লোরোফিল (Antena Chlorophyll) বলে। এই অণুগুলি লেঙ্গের মতো আলোকশক্তিকে একত্রিত করে যে নির্দিষ্ট ক্লোরোফিলে প্রেরণ করে তাকে বিক্রিয়া কেন্দ্র (Reaction centre) বলে।

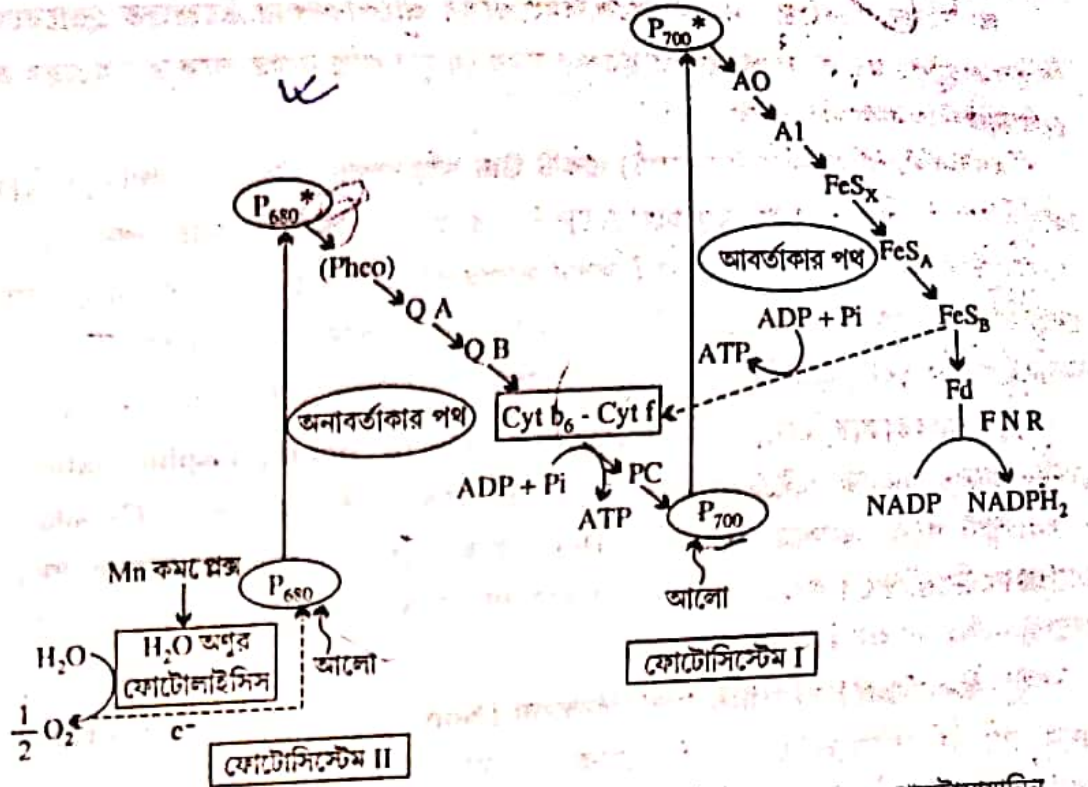
4.15. | সালোকসংশ্লেষের প্রধান ধাপ

Electron transport

ii) ইলেকট্রনের গতিপথ (Pathway of electron) : সালোকসংশ্লেষের আলোকদশায় PS I এবং PS II উভয়ই পৃথকভাবে

সূর্যালোকের ফোটোন কণা গ্রহণ করে উদ্দীপ্ত হয়। ইলেকট্রনের গতিপথটি বিজ্ঞানী হিল ও বেভাল (Hill and Bendal) আবিষ্কার করেন। সামগ্রিকভাবে এই গতিপথটি আড়াআড়িভাবে Z-এর মতন দেখতে লাগে বলে একে হিল ও বেভালের 'Z' স্কিম বলে। ইলেকট্রনের গতিপথকে আবার দুটি ভাগে ভাগ করা হয়, যথা—অনাবর্তকার পথ ও আবর্তকার পথ।

i) অনাবর্তকার পথ (Noncyclic pathway) : এই পথের প্রথমে PS II-র 680 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো শোষণকারী P₆₈₀ রঞ্জক উত্তেজিত হয়ে P₆₈₀*-এ রূপান্তরিত হয়। P₆₈₀* থেকে নির্গত ইলেকট্রন পর্যায়ক্রমিক-



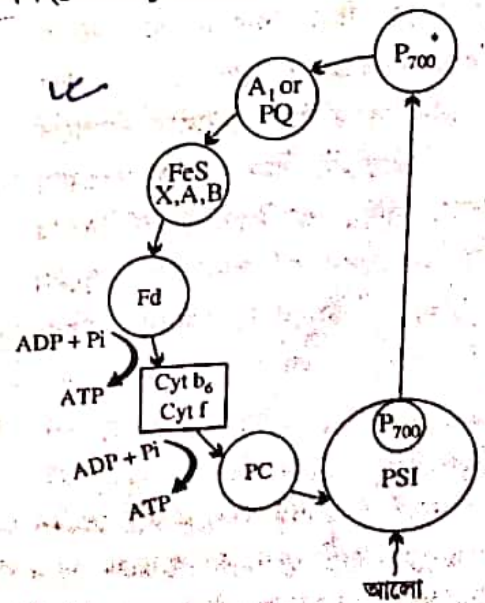
Pheo = ফিওফাইটিন, QA ও QB = প্লাস্টোকুইনোন, Cyt = সাইটোক্রোম, PC = প্লাস্টোসায়ানিন, A₀ ও A₁ = কুইনোন, FeS_x, FeS_A ও FeS_B = আয়রন সালফার প্রোটিন, Fd = ফেরিডক্সিন, FNR = ফ্ল্যাভোপ্রোটিন ফেরিডক্সিন-NADP রিডাকটেজ, NADP = নিকোটিনামাইড অ্যাডিনোসিন ডাই-নিউক্লিওটাইড ফসফেট।

চিত্র 4.14 • অনাবর্তকার ফোটোসিস্টেম I-এ ইলেকট্রন পরিবাহন (Z পথক্রম)

ভাবে বিভিন্ন ইলেকট্রন বাহকদের মধ্য দিয়ে পরিবাহিত হয়। এই ইলেকট্রন বাহকগুলি হল ফিওফাইটিন (Pheophytine), প্লাস্টোকুইনোন (Plastoquinone A and B, যারা QA ও QB নামে পরিচিত), সাইটোক্রোম b₆-সাইটোক্রোম f কমপ্লেক্স (Cyt b₆ - Cyt f complex) ও প্লাস্টোসায়ানিন (PC)। এই ইলেকট্রন বাহকগুলির মধ্য দিয়ে PS II থেকে ইলেকট্রন PSI-এ চলে আসে। যেহেতু PS II থেকে নির্গত ইলেকট্রন এই গতিপথের মাধ্যমে PS II-তে ফিরে না এসে PS I এ চলে যায় তাই এই গতিপথকে অনাবর্তকার পথ (Non-cyclic pathway) বলে।

ফেরিডক্সিন থেকে ইলেকট্রন অন্য একটি পথে এসে NADPH-কে বিজারিত করে NADPH₂ গঠন করতে পারে। এইক্ষেত্রে FNR বা ফ্ল্যাভোপ্রোটিন ফেরিডক্সিন NADP রিডাকটেজ উৎসেচকটি NADP-কে বিজারিত করে।

iii) আবর্তকার পথ (Cyclic pathway) : ফোটোসিস্টেম I-এ উচ্চতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো শোষণকারী রঞ্জক P₇₀₀ পৃথকভাবে 700 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো শোষণ করে উত্তেজিত হয়ে P₇₀₀* গঠন করে। এই উত্তেজিত ক্লোরোফিল থেকে ইলেকট্রন প্রথমে কুইনোন (A₁) বা প্লাস্টোকুইনোন (PQ) ও পরে বিভিন্ন আয়রন সালফার প্রোটিন বাহকের (FeS_x, FeS_A ও FeS_B) মধ্য দিয়ে পরিবাহিত হয়ে ফেরিডক্সিনে (Fd) উপস্থিত হয়। ফেরিডক্সিন থেকে ইলেকট্রন Cyt b₆-Cyt f কমপ্লেক্সে গিয়ে প্লাস্টোসায়ানিনের মাধ্যমে পুনরায় P₇₀₀-এ ফিরে আসে। এই গতিপথে P₇₀₀ থেকে নির্গত ইলেকট্রন পুনরায় P₇₀₀ রঞ্জকতন্ত্রে বা PS I-এ ফিরে আসে বলে একে আবর্তকার পথ (Cyclic path way) বলে।



চিত্র 4.15 • আবর্তকার ফোটোসিস্টেম I-এ ইলেকট্রন পরিবাহন

③ ফোটোফসফোরাইলেশন (Photophosphorylation) :

■ সংজ্ঞা (Definition) : সালোকসংশ্লেষের আলোকদশায় উত্তেজিত ক্লোরোফিল অণু থেকে নির্গত ইলেকট্রন বিভিন্ন বাহকের মধ্য দিয়ে পরিবাহিত হওয়ার সময় যে মুক্ত শক্তি নির্গত করে তাকে গ্রহণ করে ATP উৎপাদনের প্রক্রিয়াকে ফোটোফসফোরাইলেশন বলে।

ATP (অ্যাডিনোসিন ট্রাইফসফেট) একটি উচ্চ শক্তিসম্পন্ন যৌগ। যে পদ্ধতিতে ADP (অ্যাডিনোসিন ডাই ফসফেট) অজৈব ফসফেটের (Pi) সঙ্গে যুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন করে তাকে ফসফোরাইলেশন বলে। এক্ষেত্রে সূর্যালোকের ফোটন কণা থেকে গৃহীত শক্তির মাধ্যমে ফসফোরাইলেশন সম্পন্ন হয় বলে এই পদ্ধতিকে ফোটোফসফোরাইলেশন বলা হয়। হিল ও বেভালের 'Z' স্কিমটি লক্ষ করলে দেখা যায় যে, ATP উৎপাদন প্রক্রিয়াটি আবার দুটি পর্যায়ে বিভক্ত যাদের আবর্তকার ও অনাবর্তকার (Cyclic and noncyclic) ফোটোফসফোরাইলেশন বলে (Arnon, 1961)।

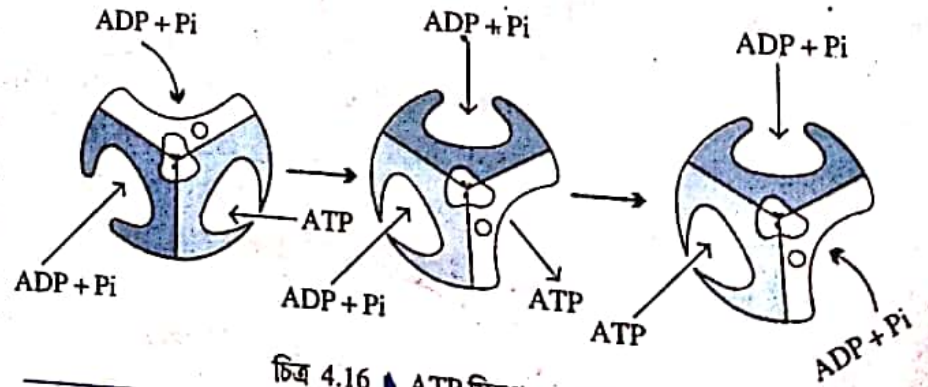
i) আবর্তকার ফোটোফসফোরাইলেশন (Cyclic photophosphorylation) PS I থেকে নির্গত ইলেকট্রন ফেরিডক্সিনের মাধ্যমে সাইটোক্রোম 5-f কমপ্লেক্সে এসে প্লাস্টোসায়ানিনের (PC) মাধ্যমে P₇₀₀ এ ফিরে এসে আবর্তকার পথের সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে ফেরিডক্সিন (Fd) থেকে Cyt b₆-f কমপ্লেক্সে আসার সময় এবং Cyt b₆-f কমপ্লেক্স থেকে প্লাস্টোসায়ানিনে (PC) যাওয়ার সময় 1 অণু করে দুই অণু ATP ফোটোফসফোরাইলেশনের মাধ্যমে সংশ্লেষিত হয়। (চিত্র 4.15 দেখো)

ii) অনাবর্তকার ফোটোফসফোরাইলেশন (Non-cyclic photophosphorylation) PSI থেকে নির্গত ইলেকট্রন যখন PS II-তে চলে যায় তখন তাকে অনাবর্তকার গতিপথ বলে এবং এই গতিপথে Cytb₆-f কমপ্লেক্স থেকে প্লাস্টোসায়ানিনে (PC) ইলেকট্রন পরিবাহিত হওয়ার সময় ফোটোফসফোরাইলেশনের মাধ্যমে 1 অণু ATP উৎপন্ন হয়। অনাবর্তকার চক্রে ATP ছাড়াও NADPH + H⁺ এবং O₂ উৎপন্ন হয়। (চিত্র 4.14 দেখো)

এই কারণে আলোকদশায় আবর্তকার ও অনাবর্তকার গতিপথে ইলেকট্রন প্রবাহিত হলে 2 + 1 = 3 অণু ATP উৎপন্ন হয়।

● ATP সংশ্লেষের কেমিঅসমোটিক মতবাদ (Chemiosmotic hypothesis of ATP synthesis) : থাইলাকয়েডের

আবরণী গায়ে অবস্থিত বিভিন্ন ইলেকট্রন বাহকগুলির মধ্য দিয়ে ইলেকট্রন পরিবাহিত হয়। থাইলাকয়েডের ভিতরের সূক্ষ্ম নালিকাকার অংশকে লুমেন (Lumen) এবং বাইরের অঞ্চলটিকে স্ট্রোমা (Stroma) বলে। থাইলাকয়েড পর্দার অন্তর্ভাগে অর্থাৎ লুমেনের দিকে হিল বিক্রিয়া বা জলের আলোকবিশ্লেষণ (Photolysis) H⁺ আয়নের ঘনত্ব বেড়ে যায়। স্ট্রোমার সাপেক্ষে লুমেনে H⁺ আয়নের ঘনত্ব বেড়ে যাওয়ায় থাইলাকয়েড পর্দায় অবস্থিত F₀-F₁ কণার মধ্য দিয়ে অভিস্রবণ প্রক্রিয়ার মতন লুমেন



থেকে স্ট্রোমার অভিমুখে H⁺ আয়ন (অধিক ঘনত্ব থেকে কম ঘনত্বে) পরিবাহিত হয়। এই প্রক্রিয়াকে কেমিঅসমোসিস (Chemiosmosis) বলা হয়। যে H⁺ আয়ন বা প্রোটন স্ট্রোমার অভিমুখে চলে যায় তা NADP-কে বিজারিত করতে ব্যবহৃত হয়। থাইলাকয়েডের গহ্বর বা লুমেন অঞ্চলে ক্রমাগত H⁺ আয়ন উৎপন্ন হওয়ার ফলে এবং ধাত্র বা স্ট্রোমা অঞ্চলে H⁺ ব্যবহৃত হওয়ার জন্য লুমেন অঞ্চলে প্রোটনের ঘনত্ব বেড়ে যায় এবং pH কমে যায়। থাইলাকয়েড পর্দার উভয় দিকে প্রোটন ঘনত্বের প্রভেদের ফলে একটি প্রোটন গ্রেডিয়েন্ট (Proton gradient) তৈরি হয় যা প্রোটনচালক বলের (Proton motive force) সৃষ্টি করে। এই শক্তিকে কাজে লাগিয়েই F₀-F₁ কণা বা ATP সিন্থেজ উৎসেচকের সাহায্যে ADP ও অজৈব ফসফেট যুক্ত হয়ে ATP সংশ্লেষিত হয়। প্রতি 3H⁺ আয়ন নির্গমনের ফলে 1 অণু ATP উৎপন্ন হয়।

C3 cycle

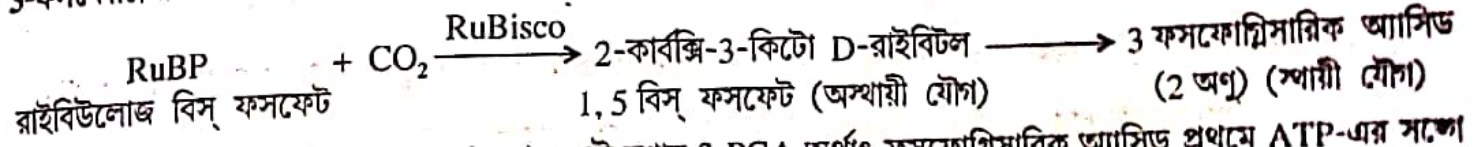
○ সালোকসংশ্লেষের অন্ধকার দশা (Dark phase) ৪ সালোকসংশ্লেষে আলোকদশার পরবর্তী পর্বটিকে অন্ধকার দশা বলে। এই দশাটি আলোর উপর নির্ভরশীল নয় বলে একে অন্ধকার দশা বলে। এটি প্রকৃতপক্ষে আলোক নিরপেক্ষ দশা।

বিজ্ঞানী বেনসন ও কেলভিন (Benson and Calvin, 1956) ক্লোরেল্লা (Chlorella) নামক শৈবালে $^{14}\text{CO}_2$ প্রয়োগ করে ট্রেসার প্রক্রিয়ার সাহায্যে অন্ধকার দশার বিভিন্ন বিক্রিয়ার পর্যায়গুলি আবিষ্কার করেন। এই কারণে একে কেলভিন চক্র (Calvin cycle) বলা হয়। এই কাজের জন্য কেলভিন (1961) নোবেল পুরস্কার পান।

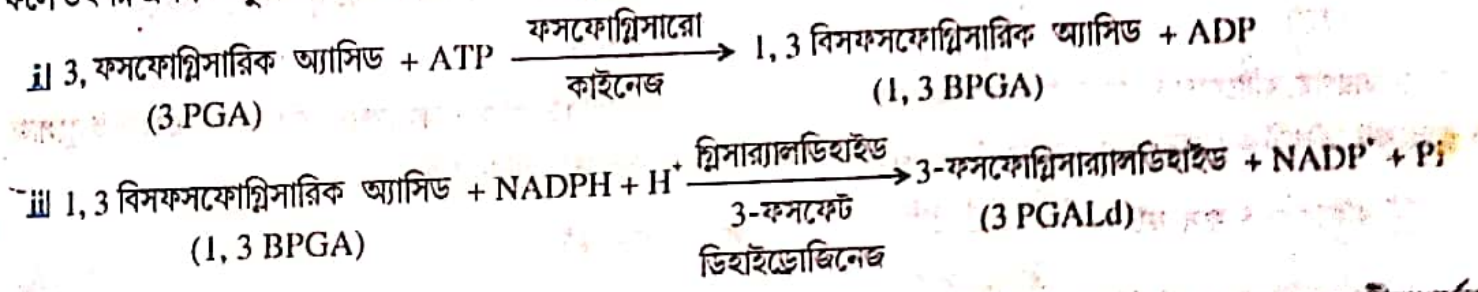
■ সংজ্ঞা (Definition) ৪ সালোকসংশ্লেষের আলোক নিরপেক্ষ দশায় যে জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ার RuBP এবং CO_2 যুক্ত হয়ে জটিল ও চক্রাকার পদ্ধতিতে গ্লুকোজ ও অন্যান্য শর্করার সৃষ্টি করে এবং RuBP পুনরুৎপাদিত হয় তাকে কেলভিন চক্র বলে।

কেলভিন চক্রের বিক্রিয়াগুলি নিম্নলিখিত পর্যায়ে বিভক্ত —

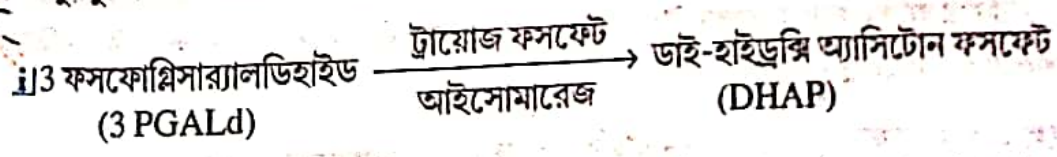
Ⓐ কার্বক্সিলেশন দশা (Carboxylation phase) ৪ এই দশায় রাইবিউলোজ 1, 5 বিস-ফসফেট (RuBP) নামক পাঁচ কার্বনযুক্ত শর্করা বাতাসের CO_2 এর সাথে যুক্ত হয়ে প্রথমে 2-কার্বক্সি-3-কিটো-D-রাইবিটল 1, 5 বিস-ফসফেট নামক একটি 6C যুক্ত অস্থায়ী যৌগ সৃষ্টি করে যা দ্রুত বিভাজিত হয়ে 2 অণু 3 কার্বনযুক্ত 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড গঠন করে। RuBisCO (রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট কার্বক্সিলেজ অক্সিজেনেজ) নামক উৎসেচক এই বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। বাতাসের CO_2 , RuBP-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডরূপে কোশের প্রোটোপ্লাজমে অঙ্গীভূত হয়। তাই এই দশাটিই প্রকৃতপক্ষে কার্বন আস্রীকরণ দশা। 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড (3 PGA) সালোকসংশ্লেষের প্রথম স্থায়ী যৌগ।



Ⓑ বিজারণ দশা (Reduction Phase) ৪ এই দশায় 3, PGA অর্থাৎ ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড প্রথমে ATP-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে 1, 3 বিসফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড (1, 3 BPGA) গঠন করে। এর পর 1, 3 BPGA যৌগটি $\text{NADPH} + \text{H}^+$ নামক বিজারকের দ্বারা বিজারিত হয়ে 3-ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইড (3 PGALd) গঠন করে। 3 PGALd হল সালোকসংশ্লেষের ফলে উৎপন্ন প্রথম ও ক্ষুদ্রতম শর্করা।

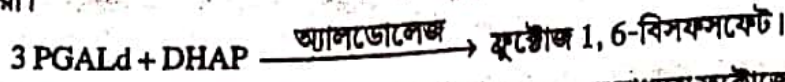


Ⓒ পুনরুৎপাদন দশা (Regeneration phase) ৪ এই পর্যায়ক্রমিক জটিল দশায় PGALd থেকে শুধু যে গ্লুকোজ জাতীয় শর্করা উৎপন্ন হয় তাই নয়, PGALd রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে কেলভিন চক্রের প্রথম যৌগ RuBP পুনরায় উৎপাদন করে—তাই এই পর্যায়কে পুনরুৎপাদন দশা বলে। এই পর্যায়ের বিক্রিয়াগুলি নিম্নরূপঃ

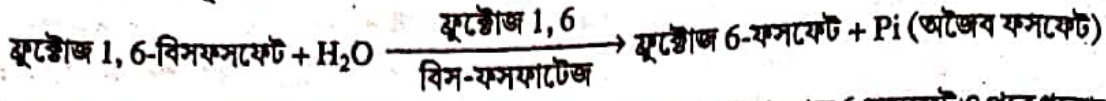


এই পর্যায়ে PGALd নামক অ্যালডোজ শর্করাটি তার একটি কিটো-আইসোমারে (DHAP) রূপান্তরিত হয়।

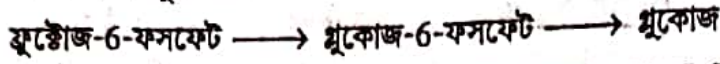
iii) পরবর্তী পর্যায়ে 3 PGALd ও DHAP পরস্পর যুক্ত হয়ে ফুক্টোজ 1, 6-বিসফসফেট গঠন করে। এটি সালোকসংশ্লেষের কয়েক উৎপন্ন প্রথম 6-C যুক্ত শর্করা।



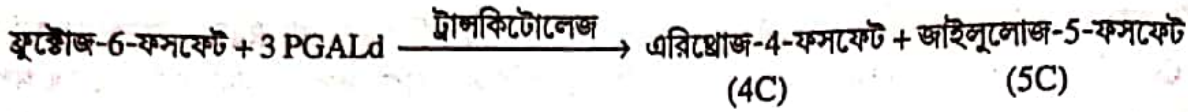
iii) ফুক্টোজ 1, 6-বিসফসফেট যৌগটি ফুক্টোজ 1, 6-বিসফসফেটেজ উৎসেচকের মাধ্যমে ফুক্টোজের প্রথম কার্বনের ফসফেটটি মুক্ত করে ফুক্টোজ-6 ফসফেটে রূপান্তরিত হয়।



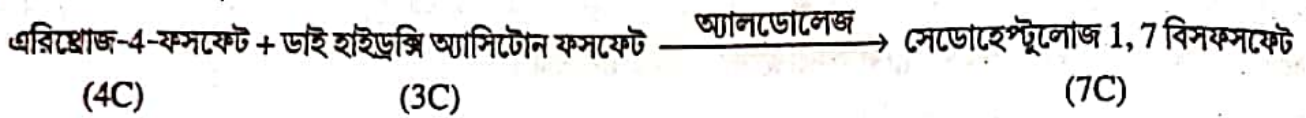
iv) ফুক্টোজ 6-ফসফেট অণুটি ফসফোহেক্সোআইসোমারেজ উৎসেচকের মাধ্যমে গ্লুকোজ 6-ফসফেট ও পরে গ্লুকোজে রূপান্তরিত হয়। এই পর্যায়টি অবশ্য কেলভিন চক্রের অন্তর্ভুক্ত নয়।



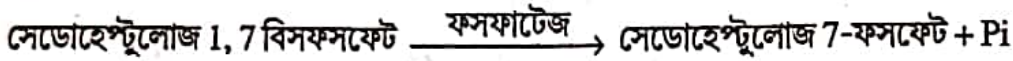
v) এছাড়াও, ফুক্টোজ 6-ফসফেট এক অণু 3-ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইডের সঙ্গে যুক্ত হয়ে একটি 4C যুক্ত শর্করা (এরিথ্রোজ 4-ফসফেট) ও একটি পাঁচ কার্বনযুক্ত শর্করা (জাইলুলোজ 5-ফসফেট) গঠন করে।



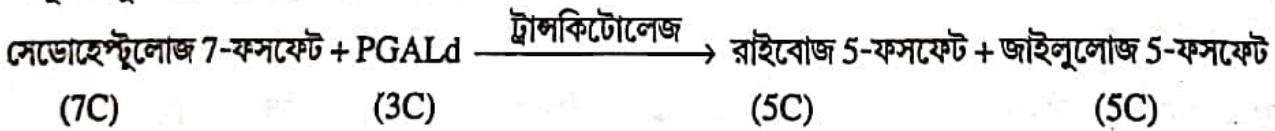
vi) পরবর্তী পর্যায়ে এরিথ্রোজ-4-ফসফেট যৌগটি ডাই-হাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেটের সঙ্গে যুক্ত হয়ে সেডোহেপ্টুলোজ 1, 7-বিসফসফেট নামক 7C যুক্ত শর্করা গঠন করে।



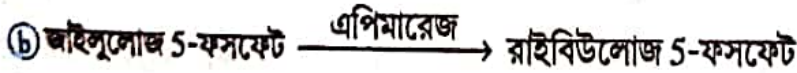
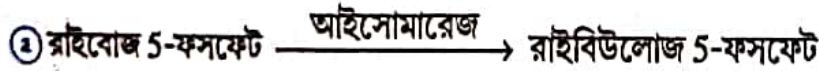
vii) সেডোহেপ্টুলোজ 1, 7-বিসফসফেট পরবর্তী পর্যায়ে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে সেডোহেপ্টুলোজ 7-ফসফেটে পরিণত হয়।



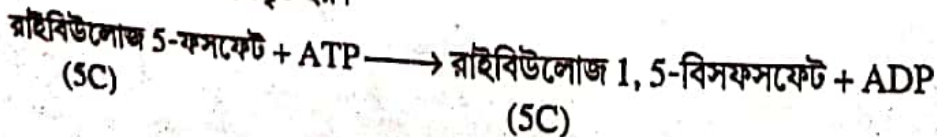
viii) পরবর্তী পর্যায়ে সেডোহেপ্টুলোজ 7-ফসফেট আবার এক অণু PGALd এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে এক অণু রাইবোজ 5-ফসফেট ও এক অণু জাইলুলোজ 5-ফসফেট গঠন করে।



ix) এরপর, রাইবোজ 5-ফসফেট আইসোমারেজ উৎসেচকের মাধ্যমে রাইবিউলোজ 5-ফসফেটে পরিণত হয় এবং জাইলুলোজ 5-ফসফেট যৌগটিও এপিমারেজ উৎসেচকের সাহায্যে রাইবিউলোজ 5-ফসফেটে পরিণত হয়।

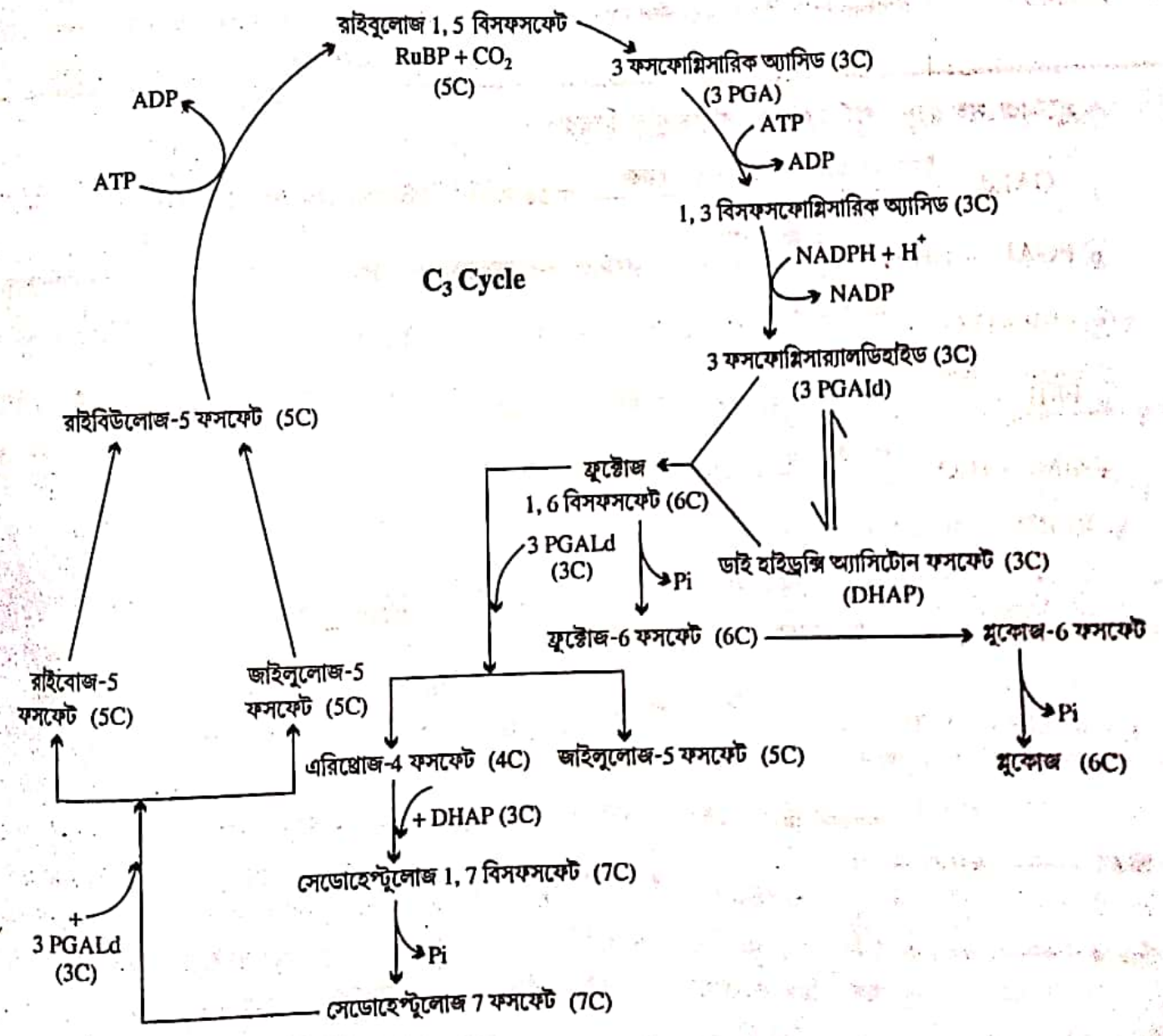


x) কেলভিন চক্রের অন্তিম পর্যায়ে রাইবিউলোজ 5-ফসফেট যৌগ ফসফোরাইবিউলোজ কাইনেজ উৎসেচকের সাহায্যে ATP যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়া করে রাইবিউলোজ 1, 5-বিসফসফেট (RuBP) গঠন করে। এই দশার বিক্রিয়ার মাধ্যমে কেলভিন চক্রের প্রথম বিকারক রাইবিউলোজ 5-ফসফেট বিক্রিয়ার অন্তিম পর্যায়ে আবার উৎপন্ন হয়। তাই একে পুনরুৎপাদন দশা বলে। এই রাইবিউলোজ 1, 5-বিসফসফেট পুনরায় বিভিন্ন শর্করা গঠনে ব্যবহৃত হয়।



● কেলভিন চক্রের গুরুত্ব : অশ্বকার দশা বা কেলভিন চক্রের গুরুত্ব নিম্নরূপ —

- ① কেলভিন চক্রের মাধ্যমে বাতাসের CO_2 গ্যাস RuBP-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে প্রথমে 3 ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড তৈরি করে যা বিজারিত হয়ে 3-ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইড নামক 3C শর্করা গঠন করে। এই শর্করা থেকেই জটিল বিক্রিয়াগুলির মাধ্যমে বিভিন্ন শর্করা উৎপন্ন হয়।
- ② কেলভিন চক্রের মাধ্যমে শৃঙ্খল বিক্রিয়ার প্রথম বিকারক RuBP পুনরায় উৎপাদিত হয়। ফলে এই চক্রের মাধ্যমে সমস্ত যৌগগুলি পুনরুৎপাদিত হতে পারে।
- ③ ফুক্টোজ 1, 6 বিসফসফেট থেকে সালোকসংশ্লেষের মুখ্য শর্করা গ্লুকোজ উৎপন্ন হয়, যদিও ফুক্টোজ থেকে গ্লুকোজ উৎপাদনের পর্যায়গুলি কেলভিন চক্রের নয়।
- ④ কেলভিন চক্রের মাধ্যমে উৎপন্ন শর্করাগুলি উদ্ভিদকোশের বিভিন্ন বিপাকীয় কাজে ব্যবহৃত হয়, যেমন রাইবোজ শর্করা নিউক্লিক অ্যাসিড উৎপাদনে এবং জাইলুলোজ শর্করা কোশপাটীর গঠনে ব্যবহৃত হয়। আবার কেলভিন চক্রের মাধ্যমে উৎপন্ন গ্লুকোজই পলিমার গঠন করে স্টার্চ ও সেলুলোজ জাতীয় পদার্থ গঠন করে। একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য যে কেলভিন চক্রের মাধ্যমে উৎপন্ন 3C যুক্ত শর্করা বা PGALd এর মাত্র ছয় ভাগের একভাগ শর্করা গঠনের কাজে লাগে এবং বাকি 3C যৌগই RuBP-ই পুনরুৎপাদন করে।
- ⑤ কেলভিন চক্রে বাতাসের CO_2 শোষিত হয়। এর ফলে, পরিবেশে O_2 - CO_2 ভারসাম্য বজায় থাকে।



চিত্র 4.21 ● কেলভিন চক্রের প্রবাহচিত্র

C4 cycle

4.22. C₄ চক্র (C₄ Cycle)

■ সংজ্ঞা (Definition) : যে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় 4-কার্বনবিশিষ্ট অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড প্রথম স্থায়ী যৌগ হিসাবে উৎপন্ন হয় তাকে C₄ চক্র বলে। এই চক্রের আবিষ্কারীদের নামানুসারে এই চক্রটি হ্যাচ ও স্ল্যাক (Hatch and Slack) চক্র নামেও পরিচিত।

অধিকাংশ উদ্ভিদই কেলভিন চক্রের মাধ্যমে অঙ্গার আকীকরণ করে। এই চক্রের প্রথম স্থায়ী যৌগটি 3-কার্বনযুক্ত 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড হওয়ায় এই চক্রটি C₃ চক্র নামে পরিচিত। বিজ্ঞানী হুগো কর্টসচাক (Hugo Kortschak), হার্ট (Hart) এবং জর্জ বার (George Burr) 1965 খ্রিস্টাব্দে প্রথম লক্ষ করেন যে আখগাছের পাতায় সালোকসংশ্লেষের সময় ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডের (3C) পরিবর্তে অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড (4C) প্রথম স্থায়ী যৌগ হিসাবে উৎপন্ন হয়। বিজ্ঞানী হ্যাচ ও স্ল্যাক (Hatch and Slack, 1970) সালোকসংশ্লেষের একটি বিশেষ চক্র আবিষ্কার করেন, যেখানে অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিডের মাধ্যমে কার্বন আকীকরণ প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন হয়। তাদের নামানুসারে এই চক্রটিকে হ্যাচ ও স্ল্যাক চক্র (Hatch and Slack Cycle) বলা হয়। যে উদ্ভিদে এই ধরনের চক্র দেখা যায় তাকে C₄ উদ্ভিদ বলে। গুপ্তবীজী উদ্ভিদের 19টি গোত্রের 1000টিরও বেশি উদ্ভিদে এই চক্রের উপস্থিতি লক্ষ করা গেছে। 3টি একবীজপত্রী এবং 16টি দ্বিবীজপত্রী গোত্রে C₄ চক্র দেখা যায়। একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য যে কোনো উদ্ভিদই শুধু C₄ চক্রের মাধ্যমে সালোকসংশ্লেষ করে না, এদের পাতায় C₃ চক্রও পাশাপাশি কার্যকরী থাকে। শৈবাল থেকে শুরু করে ব্যক্তবীজী উদ্ভিদে C₄ চক্র অনুপস্থিত। আখ (*Saccharum officinarum*), ভুট্টা (*Zea mays*), সরগাম এবং কিছু ঘাসজাতীয় উদ্ভিদে (*Atriplex*, *Amaranthus* etc.) এই চক্র দেখা যায়।

C_4 উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য (Characters of C_4 plants) :

i) C_4 উদ্ভিদে নালিকা বাস্তিলকে আবৃত করে এক বা দ্বিস্তরী ঘনসন্নিবিষ্ট কোশসমূহ লক্ষ করা যায় যাকে বাস্তিল শিদ্ (Bundle sheath) বলে। বিজ্ঞানী লেইটস্ (Laetsch, 1974) এই ধরনের কলাস্থানিক গঠনকে ক্রান্স অ্যানাটমি (Kranz anatomy) বলে অভিহিত করেছেন। Kranz জার্মান শব্দটির অর্থ হল বলয় বা মালা (Halo or Wreath)।

ii) C_4 উদ্ভিদ সম্ভবত মায়োসিন যুগের শেষ ভাগে (520 মিলিয়ন বছর) সৃষ্টি হয়েছিল যখন বাতাসে CO_2 -এর ঘনত্ব অনেক কম ছিল।

iii) C_4 উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষের হার অনেক বেশি হওয়ায় এদের ক্ষয়পূরণ বিন্দু (compensation point) 0 হয়।

iv) C_3 উদ্ভিদের তুলনায় বাষ্পমোচনের হার অনেক কম হয়।

v) এইসব উদ্ভিদে কেলভিন চক্র ও C_4 চক্র উভয়ই চালু থাকায় এদের CO_2 আত্মীকরণকারী উৎসেচক দুটি হল RuBisCO এবং

vi) C_4 চক্রের প্রথম স্থায়ী যৌগ হল অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড (OAA)।

vii) C_4 উদ্ভিদের ক্ষেত্রে কেলভিন চক্রে RuBisCO এবং C_4 চক্রে PEPcase উভয়ই CO_2 -কে আবদ্ধ করে আত্মীকরণ ঘটায় বলে

viii) সালোকসংশ্লেষের হার অনেক বেশি হয়।

ix) তীব্র সূর্যালোকে, জলপীড়ন অবস্থায় (water stress condition) এবং উচ্চ তাপমাত্রায় এদের সালোকসংশ্লেষের হার

দ্রব্যাহত থাকে।

x) C_3 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন (photorespiration) নামক ক্ষতিকারক যে চক্র চালু থাকে তা C_4 উদ্ভিদে দেখা যায় না বলে

xi) সালোকসংশ্লেষের হার C_4 উদ্ভিদে অনেক বেশি হয়।

xii) উন্নত আবহাওয়ায় এদের অভিযোজন ক্ষমতা অনেক বেশি এবং লবণাক্ত মাটিতেও এরা ভালোভাবে বৃদ্ধি পায়।

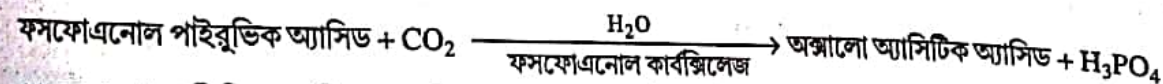
C_4 উদ্ভিদের জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়া (Biochemical reactions of C_4 plants) :

মেসোফিল কোশ ও বাস্তিল শিদ্ কোশে বিভক্ত। C_4 চক্রের বিক্রিয়াগুলি

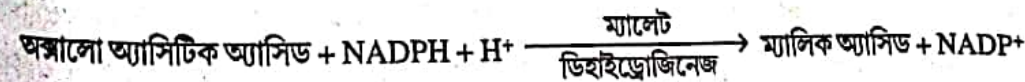
(A) মেসোফিল কোশের বিক্রিয়া (Reactions of mesophyll cell) :

i) বাতাসের CO_2 মেসোফিল কোশে প্রবেশ করার পর কার্বনিক অ্যানহাইড্রিজ নামক উৎসেচকের সাহায্যে জল অণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে কার্বনিক অ্যাসিড (H_2CO_3) গঠন করে।

ii) কার্বনিক অ্যাসিড ফসফোএনোল পাইরুভিক অ্যাসিডের (PEPA) সঙ্গে যুক্ত হয়ে অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড (OAA) উৎপন্ন করে। তার কার্বনযুক্ত OAA হল C_4 চক্রের প্রথম স্থায়ী যৌগ। পেরকার্বক্সিলেজ উৎসেচক এই বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে। এই বিক্রিয়ায় একটি পাইরুভিক ফসফেট (Pi) নির্গত হয়।

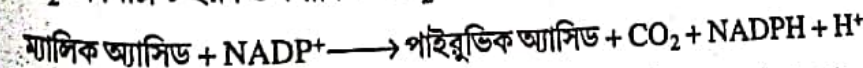


iii) অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড (কোশীয় দ্রবণে সমস্ত অ্যাসিডগুলি আয়নিত অবস্থায় থাকে; তখন তাদের অক্সালোঅ্যাসিটেট, ম্যালেট প্রভৃতি নামে অভিহিত করা হয়) বা অক্সালোঅ্যাসিটেট NADPH দ্বারা বিজারিত হয়ে ম্যালেট উৎপন্ন করে। ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজ উৎসেচক এই বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।

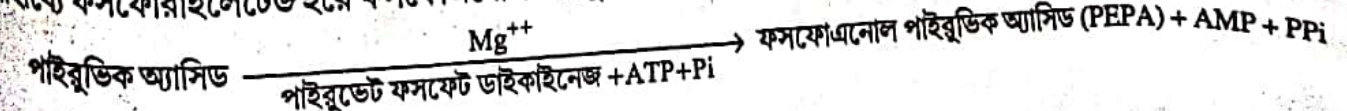


(B) বাস্তিল শিদ্ বা বাস্তিল আবরণী কোশের বিক্রিয়া (Reactions of bundle sheath) :

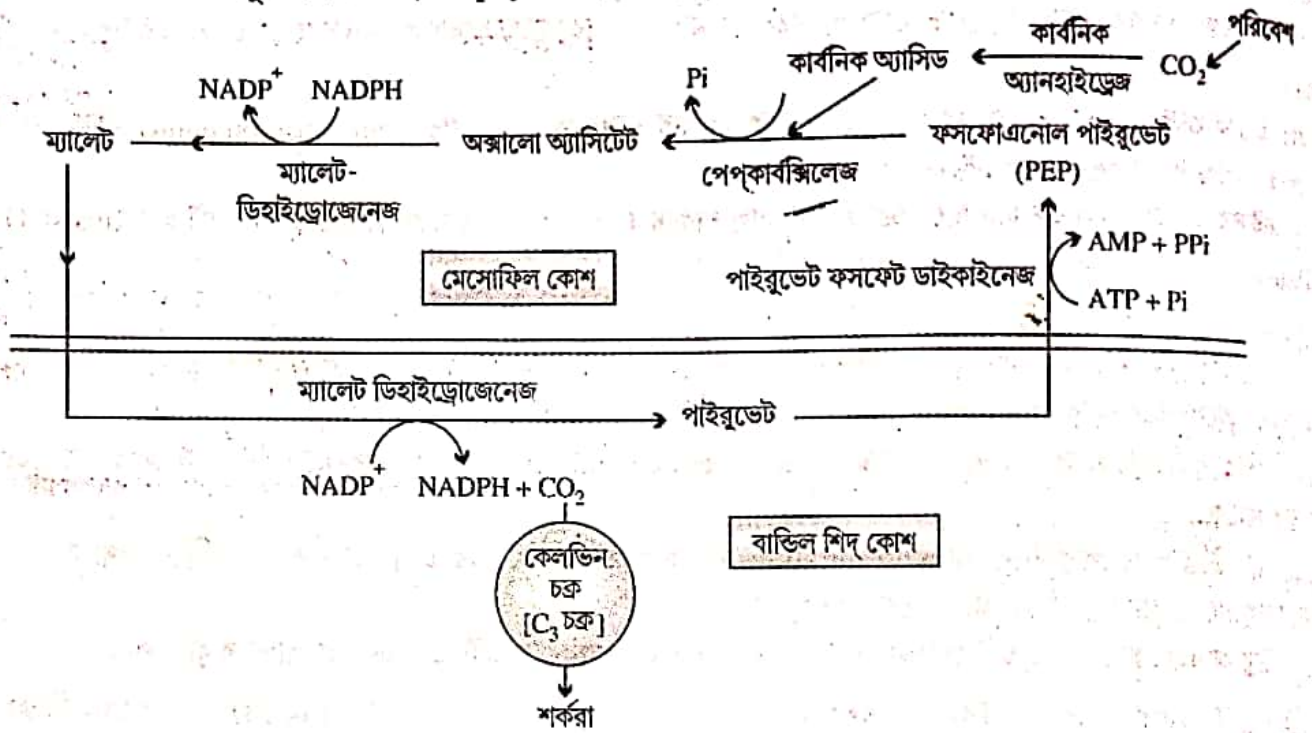
i) ম্যালেট যৌগটি মেসোফিল কোশ থেকে বাস্তিল শিদ্ এসে ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেজ উৎসেচকের দ্বারা জারিত হয়ে পাইরুভেট CO_2 -এ বিক্লিষ্ট হয়। উৎপাদিত CO_2 কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে শর্করা উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।



ii) পাইরুভেট যৌগটি আবার বাস্তিল শিদ্ থেকে মেসোফিল কোশে প্রবেশ করে পাইরুভেট ফসফেট ডাইকাইনেজ উৎসেচকের সাহায্যে ফসফোরাইলেটেড হয়ে ফসফোএনোল পাইরুভেট গঠন করে।



○ C_4 -সালোকসংশ্লেষের গুরুত্ব (Importance of C_4 photosynthesis) : i) C_4 উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষীয় উৎপাদন ক্ষমতা অনেক বেশি হয়। ii) CO_2 এর কম ঘনত্বেও সালোকসংশ্লেষ ব্যাহত হয় না। iii) C_4 উদ্ভিদের বৃষ্টির হার ও ফসল উৎপাদন ক্ষমতা বেশি হয়। iv) উন্ন আবহাওয়ায় এবং জল পীড়ন (water-stress) অবস্থাতেও সালোকসংশ্লেষ উপযুক্ত পরিমাণে চলাতে পারে। v) উচ্চ লবণ-ঘনত্বযুক্ত মাটিতেও (halophytic condition) বৃষ্টি ভালো হয়।



চিত্র 4.27 C_4 চক্রের প্রবাহচিত্র (হ্যাচ ও স্ল্যাক চক্র)

○ C_4 -উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য (Characteristic features of C_4 plants) : ① এইসব উদ্ভিদের পাতায় নালিকা বাস্তিলকে ঘিরে দুটি বাস্তিল আবরণী কোশস্তর থাকে। ② পাতায় দু-প্রকারের ক্রোরোপ্লাস্ট থাকে। বাস্তিল আবরণী কোশে ক্রোরোপ্লাস্ট বড়ো হয়, গ্রানা থাকে না, RuBP carboxylase উৎসেচক থাকে, শ্বেতসার সঞ্চিত থাকে। ③ মেসোফিল কোশে ক্রোরোপ্লাস্ট ছোটো হয়, গ্রানা থাকে, RuBP carboxylase উৎসেচক থাকে না, PEP carboxylase উৎসেচক থাকে, শ্বেতসার সঞ্চিত থাকে না। ④ (C_4 -উদ্ভিদের পাতার নালিকা বাস্তিলকে ঘিরে মালার মতো বাস্তিল আবরণী কোশ থাকে যাকে ক্রান্স অ্যানাটমি (Kranz anatomy) বলে) ⑤ এই জাতীয় উদ্ভিদে আলোক শ্বসন প্রায় দেখা যায় না। ⑥ কার্বন আন্তীকরণের হার দ্রুত হয়। ⑦ C_4 উদ্ভিদ উন্নমণ্ডলীয় আবহাওয়ার পক্ষে উপযুক্ত।

CAM pathway

(7) C_4 ডাঙদ উন্নতভাৱে আনহাইড্ৰেজৰ পক্ষে তৈয়াৰ কৰে।

4.23. ক্ৰাসুলেসিয়ান অ্যাসিড মেটাবলিজম (Crassulacean Acid Metabolism-CAM)

○ ক্ৰাসুলেসিয়ান অ্যাসিড মেটাবলিজম (Crassulacean Acid Metabolism) : ক্ৰাসুলেসি গোত্ৰৰ কিছু উদ্ভিদে (*Bryophyllum*, *Kalanchoe*, *Sedum* প্রভৃতি) পত্ৰৰ পৰা ৰাত্ৰে খোলা থাকে এবং CO_2 স্থিতিকৰণৰ মাধ্যমে ম্যালিক অ্যাসিড সৃষ্টি হয়। বিজ্ঞানী মোয়েস ও সহকাৰীগণ (*Moyse et al*, 1957) ক্ৰাসুলেসি গোত্ৰে এই বিশেষ কাৰ্বন আন্তীকৰণ প্ৰক্ৰিয়া আবিষ্কাৰ কৰেন যাকে ক্ৰাসুলেসিয়ান অম্ল বিপাক (Crassulacean Acid Metabolism) বলে। ক্যাকটেসি, অৰ্কিডেসি, ব্ৰোমেলিয়েসি প্রভৃতি গোত্ৰেও CAM দেখা যায়।

○ জৈব ৰাসায়নিক বিক্ৰিয়া (Biochemical reactions) : ক্ৰাসুলেসিয়ান অ্যাসিড বিপাক প্ৰক্ৰিয়াটি দুটি পৰ্যায়ে বিভক্ত :

(A) ৰাত্ৰিকালীন অম্লীভবন (Dark acidification) :

i) ৰাত্ৰিবেলায় CAM উদ্ভিদে পত্ৰৰ পৰা খোলা থাকে এবং পৰিবেশ থেকে CO_2 পাতায় প্ৰবেশ কৰে। কাৰ্বনিক অ্যানহাইড্ৰেজ উৎসেচক CO_2 -এৰ সঙ্গে H_2O কে সংযুক্ত কৰে কাৰ্বনিক অ্যাসিড (H_2CO_3 যৌগ HCO_3^- -এ বিশ্লিষ্ট হয়) উৎপন্ন কৰে।

ii) HCO_3^- -আয়ন ফসফোএনোল পাইরুভেটের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অক্সালোঅ্যাসিটেট উৎপন্ন করে এবং Pi নির্গত হয়।
 iii) পরবর্তী পর্যায়ে অক্সালোঅ্যাসিটেট NAD^+ ম্যালাটে ডিহাইড্রোজেনেজ উৎসেচকের মাধ্যমে NADH দ্বারা বিজারিত হয়ে ম্যালাটে উৎপন্ন করে। এই ম্যালাটে কোশগহুরে ম্যালিক অ্যাসিডবুসে সঞ্চিত হয়। ম্যালিক অ্যাসিড সঞ্চারের ফলে প্রোটোপ্লাজম আম্লিক হয় অর্থাৎ pH এর মান কম হয়। রাতিকালে CAM উদ্ভিদ আম্লিক হয় এবং এই প্রক্রিয়াকে রাতিকালীন বা অন্ধকারকালীন অম্লীভবন (dark acidification) বলে।

৬) দিবাকালীন বিঅম্লীভবন (Light deacidification) :

i) দিনের বেলায় কোশ গহুর থেকে ম্যালিক অ্যাসিড নির্গত হয় যা প্রথমে ম্যালাটে রূপান্তরিত হয়।

ii) ম্যালাটে ডিকার্বক্সিলেজ উৎসেচক ম্যালাটকে বিস্মিক্ত করে পাইরুভেট ও CO_2 উৎপন্ন করে। এই পাইরুভেট প্রথমে ফসফোএনোল

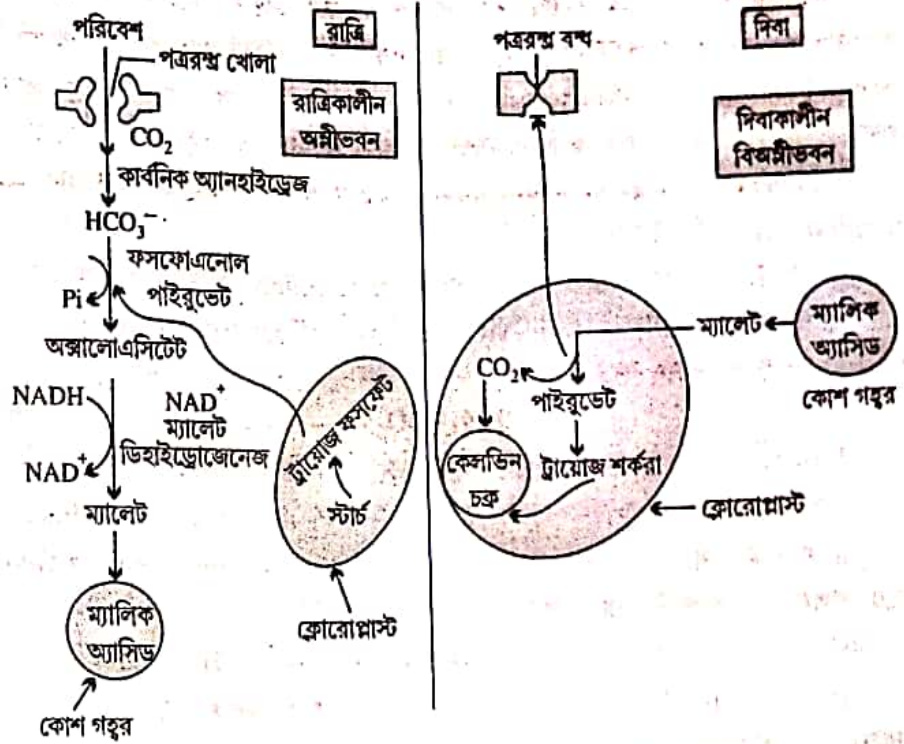
পাইরুভেট (PEP) ও পরবর্তী পর্যায়ে 3-ফসফোগ্লিসারেট উৎপন্ন হয়ে কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে। অপরদিকে উৎপাদিত CO_2 অনু কেলভিন চক্রে এসে কার্বন আকর্ষণে অংশগ্রহণ করে।

iii) দিনের বেলায় পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকায় নির্গত CO_2 পরিবেশে মুক্ত হতে পারে না এবং কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে সালোকসংশ্লেষে অংশগ্রহণ করে। এছাড়াও স্বাভাবিক কেলভিন চক্র ও (C_3 চক্র) চালু থাকায় CAM উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের হার C_3 উদ্ভিদের চেয়ে বেশি হয়।

দিনের বেলায় কোশগহুরের ম্যালিক অ্যাসিড বিস্মিক্ত (dissociate) হয় বলে প্রোটোপ্লাজমের অম্লত্ব কমে যায় অর্থাৎ pH বেড়ে 7.0 এর কাছাকাছি হয়। এই প্রক্রিয়াকে দিবাকালীন বিঅম্লীভবন বলে।

০ CAM-উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য (Characteristic features of CAM Plants) :

- i) এইপ্রকার উদ্ভিদ আংশিক শুষ্ক পরিবেশে (semi-arid/xeric) জন্মায়।
- ii) কাণ্ড, পাতা, পত্রবৃন্ত রসালো প্রকৃতির হয়।
- iii) পাতার আয়তন সাধারণত ক্ষুদ্র, পত্ররন্ধ্র নিমজ্জিত (sunken stomata), পুরু কিউটিকলযুক্ত, পত্রকোশ অধিক সংখ্যক ক্লোরোপ্লাস্টযুক্ত।
- iv) নালিকা বাস্তিল আবরণী যুক্ত (Bundle-sheath) হয়। বাস্তিল আবরণী কোশে ক্লোরোপ্লাস্ট থাকে না।
- v) পত্ররন্ধ্র রাত্রে খোলা থাকে এবং দিনেরবেলায় বন্ধ থাকে।
- vi) CAM পথের সকল বিক্রিয়াগুলি মেসোফিল কলায় ঘটে।
- vii) CAM উদ্ভিদে প্রস্বেদন ও আলোক-শ্বসনের হার খুব কম।
- viii) রাত্ৰিবেলায় কোশ গহুরে ম্যালিক অ্যাসিড সঞ্চারের জন্য পাতা আম্লিক হয়।
- ix) ক্ষয়পূরণ বিন্দু অত্যন্ত কম (0-5 ppm) যা প্রমাণ করে যে এদের সালোকসংশ্লেষের হার বেশী।
- x) আলোকশ্বসন অনুপস্থিত।



চিত্র 4.28 ক্রাসুলেসিয়াম অ্যাসিড মেটাবলিজমের (CAM) প্রবাহ

Photorespiration

4.29. আলোকশ্বসন বা ফোটোরেসপিরেশন (Photorespiration)

আলোকশ্বসন একটি বিশেষ শ্বসন পদ্ধতি। এইপ্রকার শ্বসন সবুজ উদ্ভিদে আলোক ও অক্সিজেনের উপস্থিতিতে ঘটে। এই পদ্ধতি ডিকার (Dicker) ও টাইও (Tio) 1959 খ্রিস্টাব্দে তামাক গাছে পর্যবেক্ষণ করেন। বিজ্ঞানী ক্রোটভ ও সহকর্মীবৃন্দ (Crotov et. at. 1963) ^{14}C আইসোটোপের সাহায্যে প্রমাণ করেন যে, এই পদ্ধতিতে প্রথম উৎপন্ন যৌগ 2-কার্বনবিশিষ্ট ফসফোগ্লাইকোলিক অ্যাসিড (PGA)। বিজ্ঞানী ক্রোটভ এই পদ্ধতিটিকে আলোকশ্বসন আখ্যা দেন। এই পদ্ধতিতে প্রথম উৎপন্ন যৌগ 2-কার্বনবিশিষ্ট ফসফোগ্লাইকোলিক অ্যাসিড হওয়ায় একে C_2 -পথও বলা হয়। এই চক্রাকার পথকে PCO চক্র বা ফোটোসিন্থেটিক কার্বন অক্সিডেটিভ (Photosynthetic carbon oxidative) চক্রও বলা হয়।

সমগ্র চক্রটি তিনটি পৃথক কোশ অঙ্গাণুতে (ক্লোরোপ্লাস্ট, পারক্সিজোম ও মাইটোকন্ড্রিয়া) সম্পন্ন হয় এবং দুটি অ্যামাইনো অ্যাসিড—গ্লাইসিন ও সেরিন উৎপন্ন হয়।

■ সংজ্ঞা (Definition) : আলোকের তীব্রতায় ও অধিক O_2 ঘনত্বে সবুজ উদ্ভিদকোশে যে অতিরিক্ত শ্বসন ঘটে, ফলে বাড়তি CO_2 নির্গত হয় তাকে আলোকশ্বসন বলে।

○ স্থান (Site) : আলোকশ্বসন সবুজ ও সজীব কোশের কোশ অঙ্গাণু ক্লোরোপ্লাস্ট, পারক্সিজোম এবং মাইটোকন্ড্রিয়াতে সম্পন্ন হয়।

উল্লেখ্য সাধারণ শ্বসন সমস্ত প্রকার সজীব কোশে এবং মাইটোপ্লাজম ও কোশ অঙ্গাণু মাইটোকন্ড্রিয়াতে সম্পন্ন হয়।

- আলোকশ্বসনের শ্বসন বস্তু : সদ্য উৎপন্ন গ্লাইকোলেট বা গ্লাইকোলিক অ্যাসিড
- মুখ্য উৎপাদিত যৌগ : গ্লাইকোলেট এবং গ্লাইসিন ও সেরিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড
গ্লাইকোলেট 2-কার্বন যৌগ হওয়ায় আলোকশ্বসনকে C_2 চক্র বলা হয়।

● আলোক শ্বসনকারী কয়েকটি উদ্ভিদ (Some plants of Photorespiration) :

- | | | |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| ● ধান— <i>Oryza sativa</i> | ● মুগ— <i>Phaseolus sp.</i> | ● তুলা— <i>Gossypium sp.</i> |
| ● মটর— <i>Pisum sativum</i> | ● তামাক— <i>Nicotiana sp.</i> | ● লংকা— <i>Capsicum sp.</i> |
| ● পিটুনিয়া— <i>Petunia sp.</i> | ● সূর্যমুখী— <i>Helianthus sp.</i> | |

○ আলোকবহনের বৈশিষ্ট্য :

① আলোকবহন কালে উদ্ভিদ যে পরিমাণ CO₂ ভ্যাগ করে তা আর পূরণ হয় না। সালোকসংশ্লেষ চলার সময় যে পরিমাণ CO₂ গৃহীত হয় তার প্রায় অর্ধেক এই প্রক্রিয়ার সেহ থেকে নির্গত হয়।

② আলোকবহনে কার্বোহাইড্রেট জাতীয় কোনো গুরুত্বপূর্ণ যৌগ গঠিত হয় না, এবং ATP ও NADPH₂-এর অবস্থা অপচয় ঘটে।

③ অক্সিজেন ঘনত্ব বৃদ্ধির দরুন অক্সিজেনের প্রতি RuBP কার্বক্সিলেজ উৎসেচকের আসক্তি বাড়লেও কার্বন ডাইঅক্সাইডের প্রতি আসক্তি কমে যায়।

④ আলোকবহন প্রক্রিয়াটি তিনটি অঙ্গাণুতে সম্পন্ন হয়, যেমন—ক্রোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিজোম ও মাইটোকন্ড্রিয়া।

⑤ আলোকবহন প্রক্রিয়াটি কেবল সূর্যালোকের উপস্থিতিতে সম্পন্ন হয়।

⑥ উন্নত বৃদ্ধির জন্য আলোকবহনের পরিমাণ বাড়ে, ফলে সালোকসংশ্লেষের মাধ্যমে CO₂-এর 3PGA উৎপাদনের পরিমাণ হ্রাস পায়।

⑦ এই প্রক্রিয়ায় গ্লাইসিন ও সেরিন নামে দুটি অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

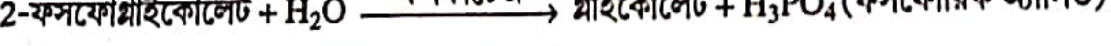
⑧ C₃ উদ্ভিদে আলোকবহন ঘটে তাই এই ধরনের উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষের হার C₄ ও CAM উদ্ভিদের চেয়ে কম।

○ আলোকবহন পদ্ধতি (Mechanism of Photorespiration) : আলোকবহনের জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি ক্রোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিজোম ও মাইটোকন্ড্রিয়া এই তিনটি কোশীয় অঙ্গাণুর মধ্যে সম্পন্ন হয়।

Ⓐ ক্রোরোপ্লাস্টে সংঘটিত বিক্রিয়া (প্রাথমিক পর্যায়) :

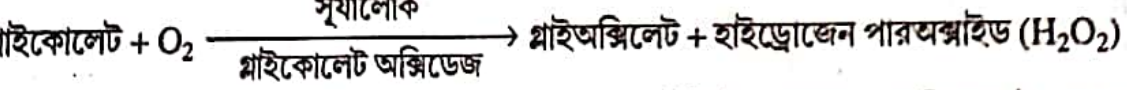
i) অক্সিজেনের অধিক ঘনত্বে C₃ উদ্ভিদের ক্রোরোপ্লাস্টে উপস্থিত RuBisCO উৎসেচকটি RuBP কার্বক্সিলেজরূপে কাজ না করে RuBP অক্সিজেনেজ হিসাবে কাজ করে এবং RuBP-কে জারিত করে 3 ফসফোগ্লিসারেট (3C) এবং 2-ফসফোগ্লাইকোলেট উৎপন্ন করে।

ii) 2-ফসফোগ্লাইকোলেট যৌগটি ফসফাটেজ উৎসেচকের মাধ্যমে অজৈব ফসফেট অপসারিত করে গ্লাইকোলেটে পরিণত হয়।

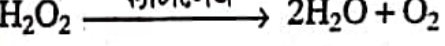


Ⓑ পারঅক্সিজোমে সংঘটিত বিক্রিয়া (প্রাথমিক পর্যায়) :

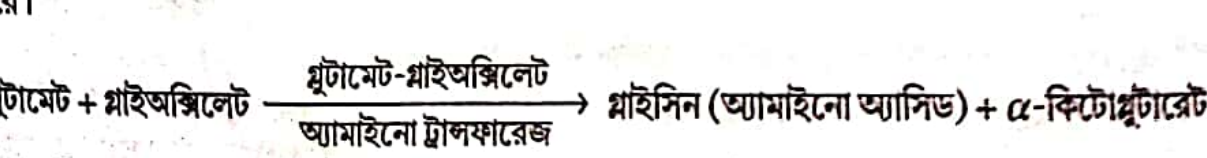
i) গ্লাইকোলেট ক্রোরোপ্লাস্ট থেকে পারঅক্সিজোমে প্রবেশ করে এবং আলোর উপস্থিতিতে জারিত হয়ে গ্লাইঅক্সিলেট এবং H₂O₂ উৎপন্ন করে।



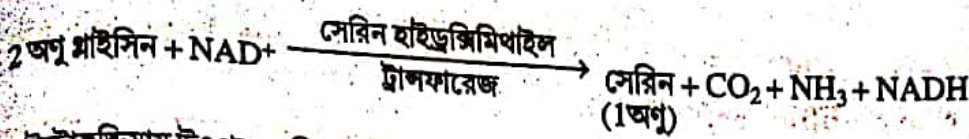
পারঅক্সিজোমে উপস্থিত ক্যাটালেজ উৎসেচক H₂O₂-কে বিস্মিত করে জল ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে।



ii) পরবর্তী পর্যায়ে গ্লাইঅক্সিলেট, গ্লুটামেটের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ট্রান্সঅ্যামাইনেজ প্রক্রিয়ার গ্লাইসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপন্ন করে।



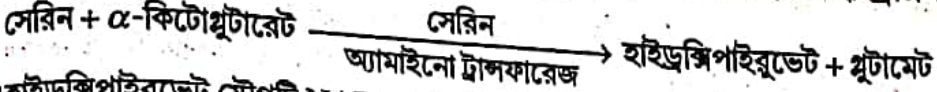
Ⓒ মাইটোকন্ড্রিয়ায় সংঘটিত বিক্রিয়া : গ্লাইসিন অ্যামাইনো অ্যাসিডটি পারঅক্সিজোম থেকে মাইটোকন্ড্রিয়ায় আসে। দুই অণু গ্লাইসিন NAD⁺ দ্বারা জারিত হয়ে 1 অণু সেরিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড ও CO₂ উৎপন্ন করে। উৎপাদিত CO₂ কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে অথবা পরিবেশে ফিরে যায়। এই বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন বিধাস্ত NH₃ যৌগটি গ্লুটামেট সিঙ্থেজ উৎসেচকের মাধ্যমে গ্লুটামেটে পরিণত হয়।



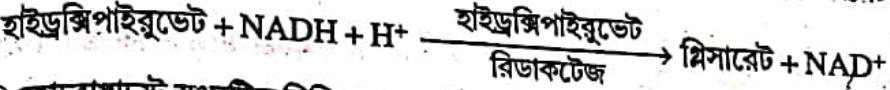
মাইটোকন্ড্রিয়ায় উৎপন্ন সেরিন পুনরায় পারঅক্সিজোমে ফিরে যায়।

Ⓓ পারঅক্সিজোমে সংঘটিত বিক্রিয়া (পরবর্তী পর্যায়) :

i) সেরিন অ্যামাইনো অ্যাসিডটি α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে হাইড্রক্সিপাইরুভেট ও গ্লুটামেট উৎপন্ন করে।

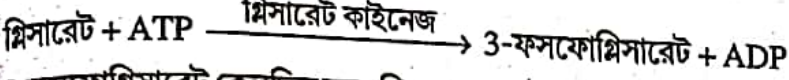


ii) হাইড্রক্সিপাইরুভেট যৌগটি NADH + H⁺ দ্বারা বিজারিত হয়ে রিডাকটেজ উৎসেচকের সহায়তায় গ্লিসারেট উৎপন্ন করে।



Ⓔ ক্লোরোপ্লাস্টে সংঘটিত বিক্রিয়া (পরবর্তী পর্যায়) :

গ্লিসারেট যৌগটি পুনরায় ক্লোরোপ্লাস্টে ফিরে এসে ATP দ্বারা ফসফোরাইলেটেড হয়ে এবং গ্লিসারেট কাইনেজ উৎসেচকের সাহায্যে 3-ফসফোগ্লিসারেট উৎপন্ন করে।



3-ফসফোগ্লিসারেট কেলভিন চক্রে গিয়ে RuBP উৎপন্ন করে

এবং আলোকশ্বসনের চক্রকার পথটিকে সম্পূর্ণ করে।

○ আলোকশ্বসনের গুরুত্ব (Significance of photo-respiration) :

i) আলোকশ্বসনের ফলে ATP উৎপাদন হয় না, তাই তাকে প্রকৃত শ্বসন বলা যায় না।

ii) আলোকশ্বসনের ফলে NADH + H⁺ এবং ATP ব্যয় হয়।

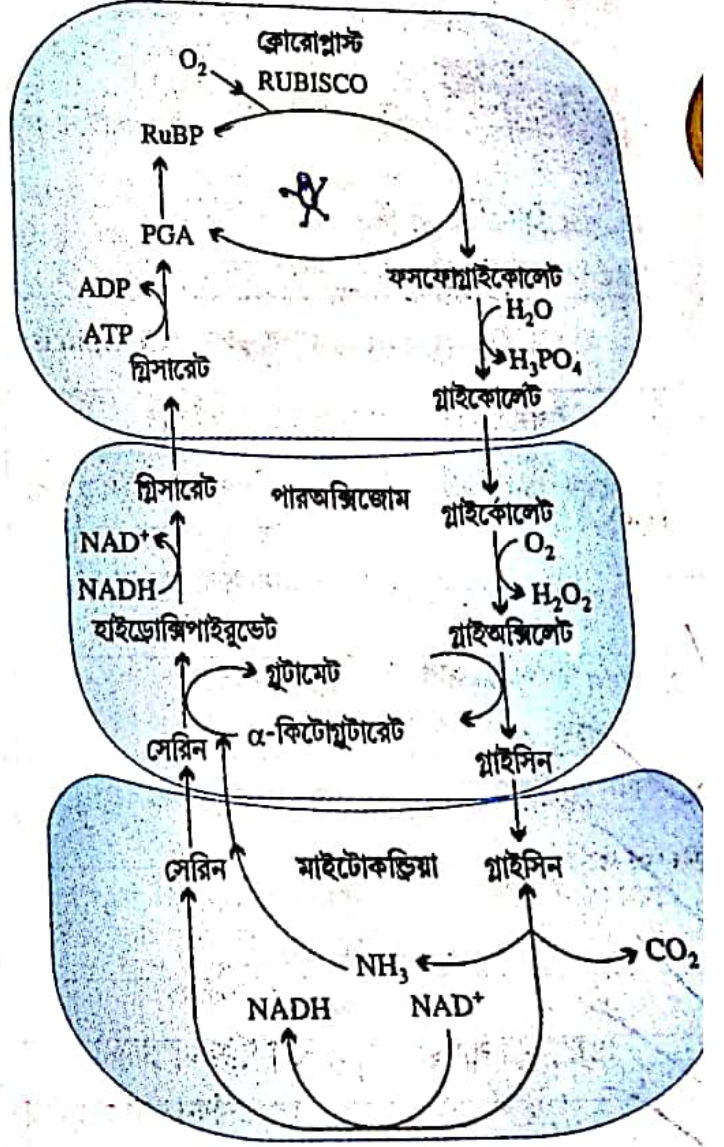
iii) এই পদ্ধতিতে সালোকসংশ্লেষীয় উৎপাদিত বস্তুর ক্ষরণের ফলে অপচয় ঘটে। তাই এটি একটি ক্ষতিকারক পদ্ধতি।

iv) PGA উৎপাদন বিলম্ব ঘটে।

v) তা সত্ত্বেও পদ্ধতিটিকে সম্পূর্ণ ক্ষতিকারক বলা যায় না কারণ এই পথে গ্লাইসিন, সেরিন প্রভৃতি অ্যামাইনো অ্যাসিডের সঞ্চার ঘটে।

vi) তাছাড়া পদ্ধতিটিকে এড়ানো যায় না, কারণ অধিক O₂ ঘনত্বে RuBP কার্বক্সিলেজ RuBP অক্সিজিনেজ হিসেবে কাজ করে পদ্ধতিটির সূত্রপাত ঘটায়।

vii) বিজ্ঞানী Kazaki এবং Takeba (1996) 'র মতে অধিক আলোক তীব্রতা, উষ্ণতা এবং O₂ ঘনত্বে আলোক জারণের (photo-oxidation) ফলে যে ক্ষতি হতে পারত আলোকশ্বসন উদ্ভিদকে তার হাত থেকে রক্ষা করে।



চিত্র 4.30 আলোকশ্বসন পদ্ধতি (Photorespiration / C₂ Pathway)

► C₃, C₄ ও CAM উদ্ভিদের তুলনা (Comparison between C₃, C₄ and CAM plants):

বৈশিষ্ট্য	C ₃ উদ্ভিদ	C ₄ উদ্ভিদ	CAM উদ্ভিদ
1. পত্রের গঠন প্রকৃতি	বান্ডিল শিদ্ উপস্থিত বা অনুপস্থিত। উপস্থিত থাকলেও ক্রোরোপ্লাস্ট সাধারণত থাকে না।	বান্ডিল শিদ্ উপস্থিত এবং নালিকা বান্ডিলকে ঘিরে ক্রোরোপ্লাস্টযুক্ত।- 2টি সমকেন্দ্রিক বান্ডিল শিদ্ ক্রোপ্লাস্ট আনটিমি গঠন করে।	C ₄ উদ্ভিদের মতো অর্থাৎ ক্রোপ্লাস্ট আনটিমি গঠিত হয় না।
2. কার্বন আকর্ষণকারী উৎসেচক	শুধু RuBisCO।	RuBisCO এবং PEPcase।	RuBisCO এবং PEPcase।
3. কার্বন আকর্ষণ চক্র	কেলভিন চক্র (C ₃ চক্র)।	হ্যাচ-স্ল্যাক চক্র এবং কেলভিন চক্র।	ম্যালিক অ্যাসিড চক্র ও কেলভিন চক্র।
4. প্রথম স্থায়ী যৌগ	3 ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড (3 PGA)।	অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড (OAA)।	অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড (OAA)।
5. আলোকশ্বসন	উপস্থিত।	অনুপস্থিত।	অনুপস্থিত।
6. ক্ষয়পূরণ বা পূর্তিবিন্দু	25-100 ppm।	0-10 ppm।	0-10 ppm।
7. সালোকসংশ্লেষের হার	কম।	সবচেয়ে বেশি।	C ₃ -এর চেয়ে বেশি কিন্তু C ₄ -এর চেয়ে কম।

বৈশিষ্ট্য	C ₃ উদ্ভিদ	C ₄ উদ্ভিদ	CAM উদ্ভিদ
৪. আঙ্গিক পরিবর্তন	হয় না।	হয় না।	রাত্রিবেলায় ম্যালিক অ্যাসিড সঞ্চারের ফলে প্রোটোপ্লাজম আঙ্গিক হয়। দিনের বেলায় ম্যালিক অ্যাসিড অপসারিত হওয়ায় pH 7.0-এর কাছাকাছি চলে আসে।
৯. CO ₂ আবশ্যকারী যৌগ	RuBP বায়ুমণ্ডলের CO ₂ -কে যুক্ত করে।	PEP প্রথমে বায়ুমণ্ডলের CO ₂ -কে আবশ্য করে পরে কেবলভিন চক্রে RuBP ও CO ₂ -কে আবশ্য করে।	C ₄ উদ্ভিদের ন্যায়।
১০. কার্বনিক অ্যাসিড উৎপাদন	হয় না।	বাতাসের CO ₂ কার্বনিক অ্যানহাইড্রিজ উৎসেচকের মাধ্যমে প্রথমেই কার্বনিক অ্যাসিডে (H ₂ CO ₃) পরিণত হয়।	C ₄ উদ্ভিদের মতন H ₂ CO ₃ উৎপন্ন করে।
১১. ১ অণু CO ₂ আবশ্য করতে কত অণু ATP ও NADPH + H ⁺ যৌগ ব্যবহৃত হয়। (CO ₂ : ATP : NADPH + H ⁺)	1 : 3 : 2।	প্রজাতিভেদে 1 : 5 : 2 অথবা 1 : 4 : 2।	প্রজাতিভেদে 1 : 6 : 5 অথবা 1 : 5 : 2।
১২. বাষ্পমোচনের হার	অধিকাংশই মেসোফাইট তাই বাষ্পমোচনের হার সর্বোচ্চ।	তুলনামূলকভাবে কম।	রসালো ও জাঙ্গল উদ্ভিদ এবং দিনের বেলায় পত্ররশ্মি বন্ধ থাকায় বাষ্পমোচনের হার সর্বনিম্ন।
১৩. সালোকসংশ্লেষের অনুকূল তাপমাত্রা	15°C-25°C।	30°C-45°C।	35°C।
১৪. পাতায় ক্লোরোফিল a ও b-এর অনুপাত (a : b)	2.8।	3.9।	2.5।
১৫. শর্করা পরিবহনের হার	সর্বনিম্ন।	সবচেয়ে দ্রুত।	C ₃ এবং C ₄ -এর অন্তর্ভুক্ত।
১৬. বৃদ্ধির হার	মাঝারি।	সর্বাধিক।	সবচেয়ে কম।
১৭. পত্ররশ্মির উন্মোচন	দিনে খোলা, রাতে বন্ধ।	C ₃ উদ্ভিদের মতন।	দিনে বন্ধ এবং রাতে খোলা থাকে।
১৮. উদাহরণ	ধান (<i>Oryza sativa</i>) গম (<i>Triticum sativum</i>)	ভুট্টা (<i>Zea mays</i>) আখ (<i>Saccharum officinarum</i>)	ক্রাসুলা (<i>Crassula</i>) ব্রায়োফাইলাম (<i>Bryophyllum</i>)

Unit 5 : Respiration

8.16.

শ্বসন পদ্ধতি (Mechanism of Respiration) :

সবাত শ্বসনের সমগ্র পদ্ধতিটি নীচে উল্লিখিত 4টি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। কোশস্থিত প্রধান শ্বসন বস্তু গ্লুকোজ বিভিন্ন উৎসেচক বিক্রিয়া দ্বারা উক্ত পর্যায়গুলির মাধ্যমে সম্পূর্ণরূপে জারিত হয়ে CO_2 , H_2O ও শক্তি উৎপন্ন করে। পর্যায়গুলি হল—

1. গ্লাইকোলাইসিস (Glycolysis) : শ্বসনের প্রথম পর্যায়ে গ্লুকোজ কোশের সাইটোপ্লাজমে আংশিক জারিত হয়ে পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। গ্লাইকোলাইসিসের বিক্রিয়াগুলি অক্সিজেন নিরপেক্ষ।
2. পাইরুভিক অ্যাসিডের জারণ (Oxidation of pyruvic acid) : পাইরুভিক অ্যাসিড মাইটোকন্ড্রিয়ার ধাত্রে প্রবেশ করার পর জারিত হয়ে 2-কার্বন যুক্ত অ্যাসিটাইল CoA উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়ায় কার্বন ডাইঅক্সাইডের অপসারণ ঘটে বলে একে ডিকার্বক্সিলেশন বিক্রিয়াও বলা হয়।

3. ক্রেবস চক্র (Krebs cycle) : মাইটোকন্ড্রিয়া ধাত্রে অ্যাসিটাইল CoA বিভিন্ন উৎসেচক বিক্রিয়ায় বহু জৈব অ্যাসিড উৎপাদন মাধ্যমে চক্রাকার পথে জারিত হয়ে CO_2 , H_2O ও বিজারিত সহ-উৎসেচক $NADH_2$, $FADH_2$ উৎপন্ন করে।
4. প্রান্তীয় শ্বসন বা ইলেকট্রন স্থানান্তরণ পদ্ধতি (Electron transport system) : ক্রেবস চক্রের পর্যায়গুলি থেকে উদ্ভূত বিজারিত NAD^+ ইলেকট্রন পরিবহণ শৃঙ্খলের মাধ্যমে স্থানান্তরিত হয়ে পরিশেষে অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে জল উৎপন্ন করে। ইলেকট্রন স্থানান্তরণের সময় নির্গত শক্তি ADP ও Pi-কে যুক্ত করে ATP অণু সৃষ্টিতে সাহায্য করে।

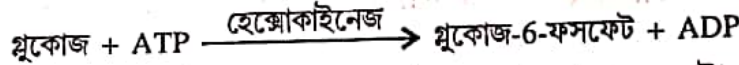
(a) গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতি (Mechanism of Glycolysis) :

সংজ্ঞা (Definition) :

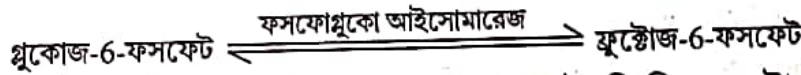
(শ্বসনের প্রাথমিক ধাপে যে পর্যায়ক্রমিক রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে এক অণু গ্লুকোজ সাইটোপ্লাজমে আংশিকভাবে জারিত হয়ে দুই অণু পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে তাকে গ্লাইকোলাইসিস বলে)

(বিক্রিয়ার পর্যায়গুলির আবিষ্কারকদের নাম অনুযায়ী EMP (Embden, Meyerhof, Parnas Pathway) পথও বলা হয়) বিক্রিয়াগুলি কোশের সাইটোপ্লাজমে অক্সিজেনের উপস্থিতি বা অনুপস্থিতিতে ঘটে থাকে। গ্লাইকোলাইসিস পদ্ধতির বিক্রিয়াগুলি পর্যায়ক্রমে নিচে উল্লেখ করা হল—

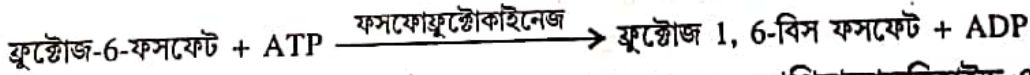
- (i) গ্লুকোজ অণু প্রথমে ATP-র সাহায্যে গ্লুকোজ-6-ফসফেট যৌগ এবং ADP প্রস্তুত করে। এই বিক্রিয়াটি হেক্সোকাইনেজ উৎসেচকের প্রভাবে সংঘটিত হয়।



- (ii) গ্লুকোজ-6-ফসফেট ফসফোগ্লুকোআইসোমারেজ নামক উৎসেচকের প্রভাবে ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেটে পরিণত হয়।



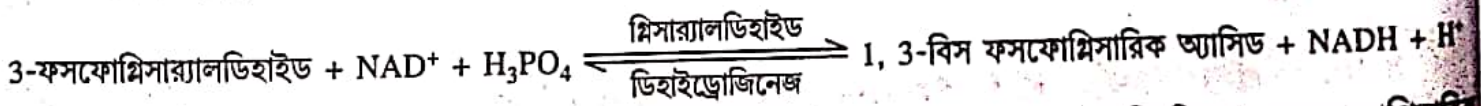
- (iii) ফ্রুক্টোজ-6-ফসফেট ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ উৎসেচক ও ATP-র উপস্থিতিতে ফ্রুক্টোজ-1, 6-বিস ফসফেট যৌগ ও ADP তৈরি করে। উৎপন্ন যৌগটি 6 কার্বন যুক্ত।



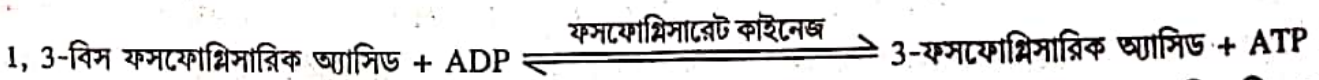
- (iv) ফ্রুক্টোজ 1, 6-বিস-ফসফেট অ্যালডোলেজ উৎসেচকের প্রভাবে 3-ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইড এবং ডাই-হাইড্রক্সি-অ্যাসিটোন ফসফেটে রূপান্তরিত হয়।



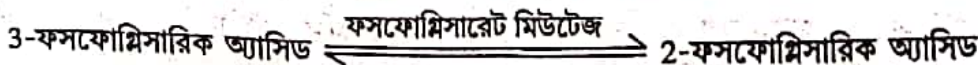
- (v) 3-ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইড থেকেই গ্লাইকোলাইসিসের পরবর্তী বিক্রিয়া চলতে থাকে। এরপর 3-ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইড H_3PO_4 দ্বারা ফসফরাসযুক্ত হয় এবং NAD^+ দ্বারা জারিত হয়ে 1, 3-বিস-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। বিক্রিয়াটি গ্লিসার্যালডিহাইড ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক দ্বারা সম্পন্ন হয়।



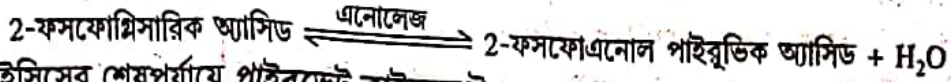
- (vi) 1, 3-বিস-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড ফসফোগ্লিসারেটকাইনেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়ায় ফসফরাস বিযুক্ত হয়ে ADP-র সঙ্গে যুক্ত হয় এবং ATP গঠন করে।



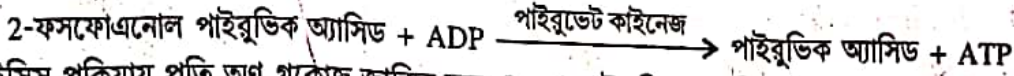
- (vii) 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড, ফসফোগ্লিসারেটমিউটেজ নামক উৎসেচকের সহায়তায় 2-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।



(viii) 2-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড পরবর্তী পর্যায়ে এনোলেজ উৎসেচকের প্রভাবে এক অণু জল ত্যাগ করে 2-ফসফোএনোল পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

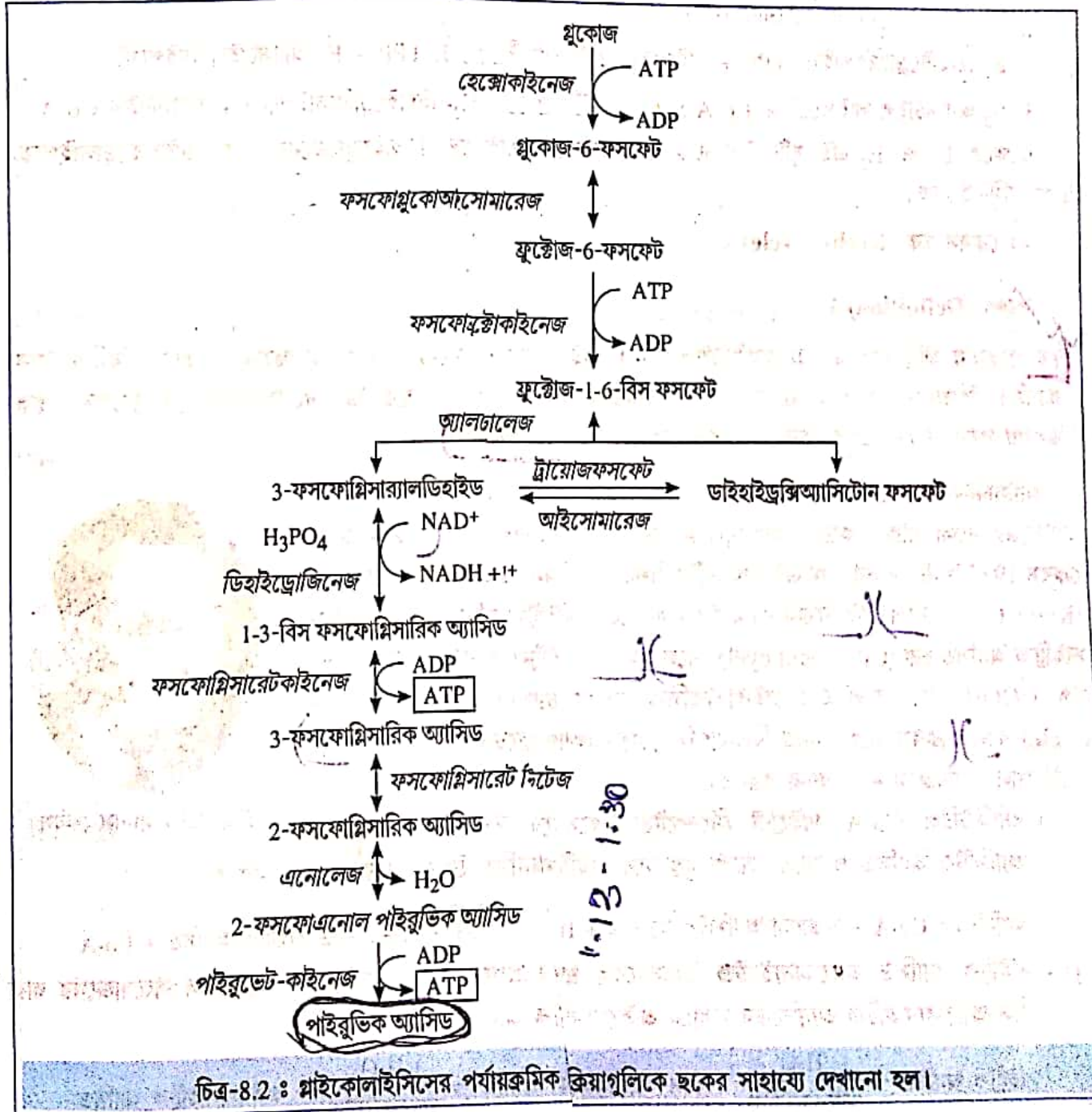


(ix) গ্লাইকোলাইসিসের শেষপর্যায়ে পাইরুভেট কাইনেজ উৎসেচকের প্রভাবে 2-ফসফোএনোলপাইরুভিক অ্যাসিড থেকে ফসফেট মুক্ত হয়ে ATP ও পাইরুভিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়।



গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় প্রতি অণু গ্লুকোজ জারিত হয়ে 2 অণু পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। বিক্রিয়ার পর্যায়গুলিতে মোট 4 অণু ATP উৎপন্ন হয় এবং 2 অণু ব্যয় হয়, ফলে $4 - 2 = 2$ অণু ATP প্রকৃত (net) লাভ হয়। গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ার একটি ধাপে উৎপন্ন 2 অণু NADH_2 থেকে সবার শ্বসনের ক্ষেত্রে পরবর্তী পর্যায়ে $2 \times 1.5 = 3$ অণু ATP পাওয়া যায়।

গ্লাইকোলাইসিসে তিনটি পর্যায়ে একমুখী বিক্রিয়া দেখা যায়। বিক্রিয়াগুলি হল—(i) গ্লুকোজ \rightarrow গ্লুকোজ 6 ফসফেট, (ii) ফ্রুক্টোজ 6 ফসফেট \rightarrow ফ্রুক্টোজ 1, 6 বিসফসফেট, (iii) 2 ফসফোএনোল পাইরুভিক অ্যাসিড \rightarrow পাইরুভিক অ্যাসিড।



চিত্র-8.2 : গ্লাইকোলাইসিসের পর্যায়ক্রমিক ক্রিয়াগুলিকে ছকের সাহায্যে দেখানো হল।

● গ্লাইকোলাইসিসের তাৎপর্য (Significance of Glycolysis) :

(i) গ্লাইকোলাইসিসের ফলে উৎপন্ন দুই অণু পাইরুভিক অ্যাসিড ক্রেবস চক্রের সাবস্ট্রেট হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

(ii) গ্লাইকোলাইসিসের ফলে 8 অণু ATP নিট (net) লাভ হয়।

(iii) অত্যন্ত শ্বসনকারী জীবদের ক্ষেত্রে গ্লাইকোলাইসিসের ফলে উৎপন্ন 2 অণু $NADH_2$ অন্যান্য বিপাকীয় কাজে ব্যবহৃত হয়।

(iv) অন্তর্বর্তী যৌগ হিসেবে উৎপন্ন ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট চর্বি বিপাকে গ্লিসারল সৃষ্টিতে সাহায্য করে।

(v) গ্লাইকোলাইসিসে উৎপন্ন একাধিক অন্তর্বর্তী যৌগ জীবের বিভিন্ন বিপাকীয় কাজে ব্যবহৃত হয়।

(vi) গ্লাইকোলাইসিস হল সকল প্রকার জীব কোশে গ্লুকোজ জারণের একটি সাধারণ পর্যায়।

(b) পাইরুভিক অ্যাসিড ক্রেবস চক্রে প্রবেশের পূর্বে একটি জটিল বিক্রিয়ার মাধ্যমে 2-কার্বনযুক্ত অ্যাসিটাইল Co-A উৎপন্ন করে এবং CO_2 মুক্ত করে।

1851 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী লাইনেন এই জটিল পর্যায়টির বর্ণনা দেন। এই বিক্রিয়ার পর্যায়গুলি হল—

1. পাইরুভিক অ্যাসিড + E_1 -TPP $\xrightarrow{\text{পাইরুভেট ডিকার্বক্সিলেজ}}$ E_1 - α -হাইড্রোক্সিইথাইল-TPP + CO_2
(থাইমিন পাইরোফসফেট)

2. E_1 - α -হাইড্রোক্সিইথাইল-TPP + লাইপয়েট $\xrightarrow{\text{ট্রান্সঅ্যাসিটাইলেজ}}$ E_1 -TPP + E_2 -অ্যাসিটাইল লাইপয়েট

3. E_2 -অ্যাসিটাইল লাইপয়েট + Co-A-SH $\xrightarrow{\text{ট্রান্সঅ্যাসিটাইলেজ}}$ E_2 -ডাইহাইড্রোক্সিলাইপয়েট + অ্যাসিটাইল-Co-A

এক্ষেত্রে E_1 ও E_2 এই দুটি উৎসেচক হল যথাক্রমে পাইরুভেট ডিহাইড্রোজেনেজ এবং ডাইহাইড্রোলাইপয়েট ট্রান্সঅ্যাসিটাইলেজ।

(c) ক্রেবস চক্র (Krebs Cycle) :

সংজ্ঞা (Definition) :

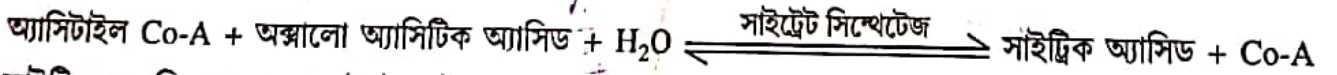
যে প্রক্রিয়ায় জীবদেহে উৎপন্ন অ্যাসিটাইল Co-A মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে বিভিন্ন উৎসেচকের সাহায্যে বিভিন্ন জৈব অ্যাসিড উৎপাদনের মাধ্যমে চক্রাকার পথে জারিত হয়ে জল, কার্বন ডাইঅক্সাইড এবং বিজারিত হাইড্রোজেন বাহক উৎপন্ন করে, তাকে ক্রেবস চক্র বা ট্রাইকার্বক্সিলিক অ্যাসিড চক্র বলে।

অ্যাসিটাইল-Co-A ক্রেবস চক্রের সূচনা করে। এটি 4-কার্বনযুক্ত অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে 6-কার্বনযুক্ত সাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে (বিজ্ঞানী হ্যানস ক্রেবস 1937 খ্রিস্টাব্দে সর্বপ্রথম এই পদ্ধতিটির বিশদ বর্ণনা দেন বলে এই চক্রকে ক্রেবস চক্র (Krebs Cycle) বলে)। এই চক্রের প্রথম উৎপাদিত যৌগ সাইট্রিক অ্যাসিড বলে এই চক্রকে সাইট্রিক অ্যাসিড চক্র (Citric acid cycle) বলে। আবার সাইট্রিক অ্যাসিডে তিনটি কার্বক্সিল গ্রুপ (COOH) থাকে বলে একে ট্রাইকার্বক্সিলিক অ্যাসিড চক্রও (Tricarboxylic Acid Cycle) বলে। ক্রেবস চক্রের সমগ্র বিক্রিয়াগুলি কোশ-অঙ্গাণু মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে ঘটে। বিক্রিয়াগুলি পর্যায়ক্রমে নিচে বর্ণনা করা হল—



চিত্র-8.3 : হ্যানস ক্রেবস।

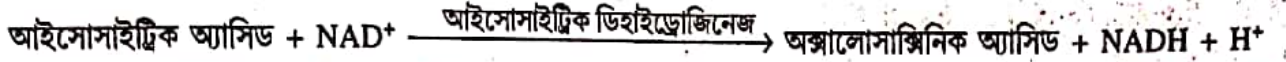
(i) অ্যাসিটাইল Co-A সাইট্রেট সিন্থেটেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড ও জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে সাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। Co-A মুক্ত হয়।



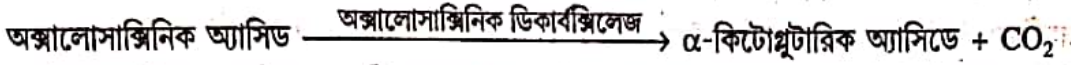
(ii) সাইট্রিক অ্যাসিড অ্যাকোনাইটেজ উৎসেচকের প্রভাবে প্রথমে জল বিয়োজন ও পরে জল সংযোজনের দ্বারা সিস-অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিডের মাধ্যমে আইসোসাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।



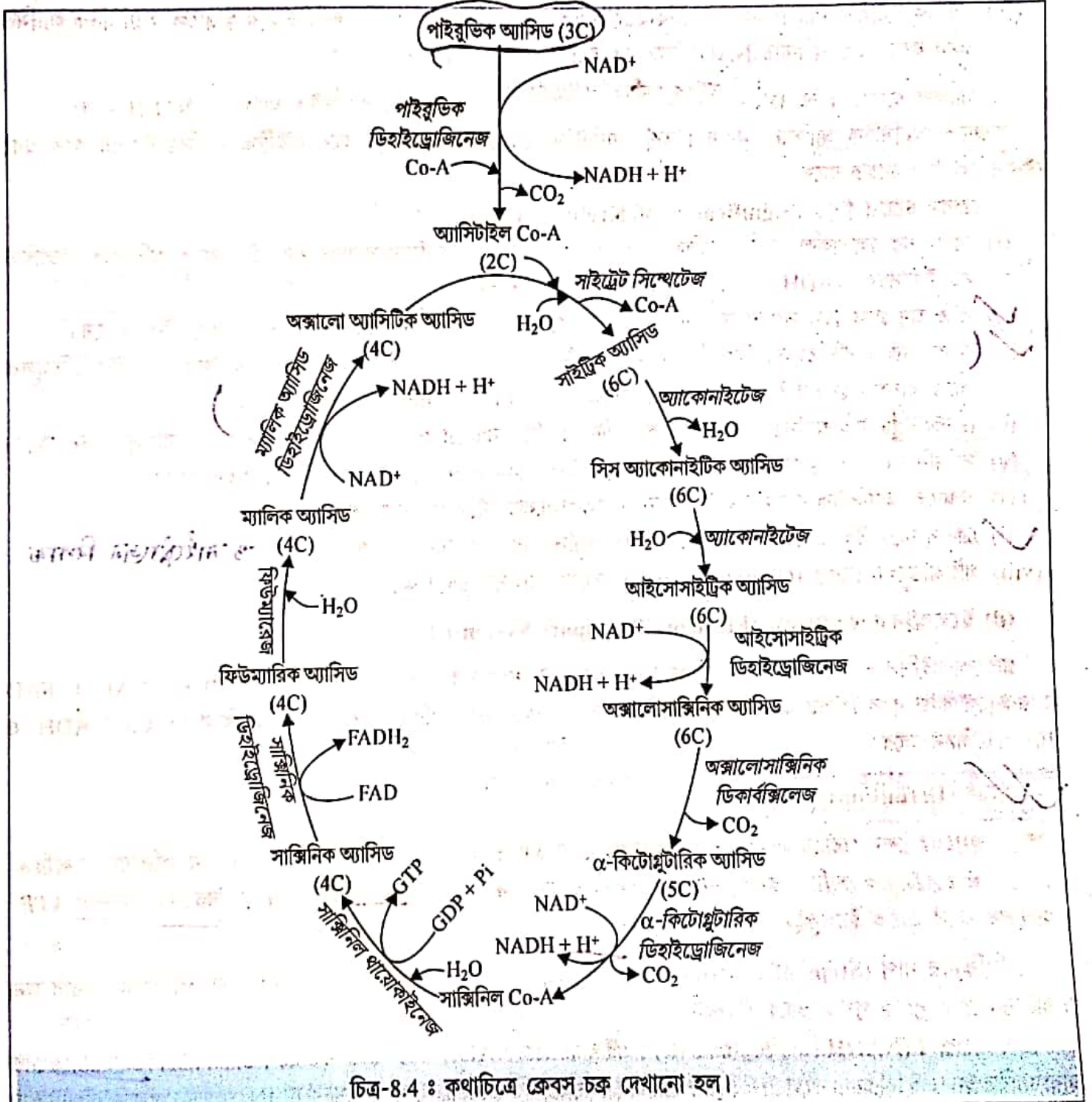
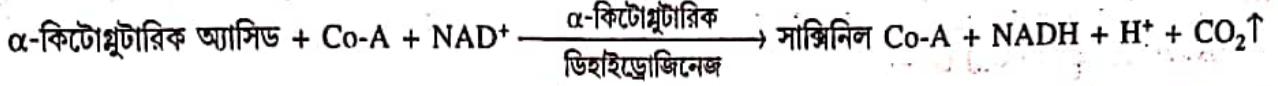
(iii) আইসোসাইট্রিক অ্যাসিড, আইসোসাইট্রিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক ও NAD^+ এর উপস্থিতিতে জারিত হয়ে অক্সালোসাল্লিনিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। NAD^+ বিজারিত হয়ে $NADH + H^+$ গঠন করে।



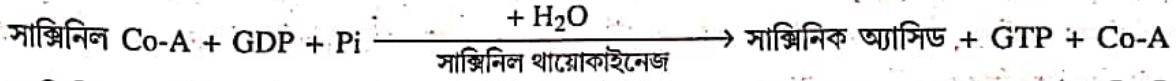
(iv) অক্সালোসাল্লিনিক অ্যাসিড, অক্সালোসাল্লিনিক ডিকার্বক্সিলেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে এক অণু CO_2 নির্গত করে α -কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।



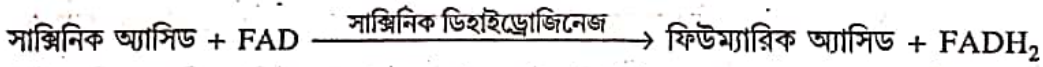
(v) α -কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড, α -কিটোগ্লুটারিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে Co-A এবং NAD^+ এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটিয়ে সাল্লিনিল Co-A তে পরিণত হয় ও CO_2 নির্গত করে।



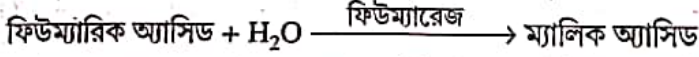
(vi) সাক্সিনিল Co-A, সাক্সিনিল থায়োকোইনেজ উৎসেচকের প্রভাবে H₂O এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটিয়ে সাক্সিনিক অ্যাসিডে পরিণত হয়, Co-A মুক্ত হয় এবং এই বিক্রিয়ায় এক অণু গুয়ানোসিন ডাই ফসফেট (GDP) থেকে এক অণু গুয়ানোসিন ট্রাইফসফেট (GTP) উৎপন্ন হয়।



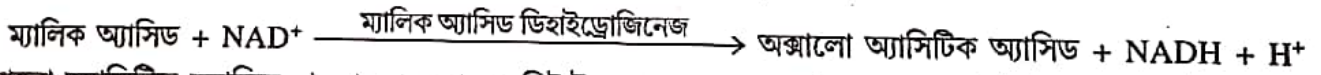
(vii) সাক্সিনিক অ্যাসিড, সাক্সিনিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের সহায়তায় ও FAD-র উপস্থিতিতে জারিত হয়ে ফিউম্যারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়, এবং সহ উৎসেচক FAD হাইড্রোজেন গ্রহণ করে বিজারিত হয়।



(viii) ফিউম্যারিক অ্যাসিড, ফিউমারেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে এক অণু জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ম্যালিক অ্যাসিড গঠন করে।



(ix) ম্যালিক অ্যাসিড, ম্যালিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের সহায়তায় জারিত হয়ে অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড গঠন করে। এই বিক্রিয়ায় NAD⁺ বিজারিত হয়ে NADH + H⁺ গঠন করে।



অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড পুনরায় 1 অণু অ্যাসিটাইল Co-A-র সঙ্গে যুক্ত হয়ে সাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে এবং ক্রেবস চক্রকে অব্যাহত রাখে।

● ক্রেবস চক্রের গুরুত্ব (Significance of Krebs Cycle) :

(i) ক্রেবস চক্র হল শর্করা, ফ্যাটি অ্যাসিড এবং অ্যামাইনো অ্যাসিড জারণের সাধারণ পথ। জীবকোশে অধিকাংশ বিজারিত সহ উৎসেচক NADH₂, FADH₂ এই পথে সংশ্লেষিত হয়।

(ii) প্রতি অণু গ্লুকোজের সম্পূর্ণ জারণে ক্রেবস চক্র থেকে 20 অণু ATP (প্রচলিত মতে 24 অণু) উৎপন্ন হয়।

(iii) ক্রেবস চক্র অপচিতিমূলক বিপাকীয় পথের একটি পর্যায় হলেও এই পথে সংশ্লেষিত বহু জৈব যৌগ উপচিতিমূলক কাজে ব্যবহৃত হয়। তাই একে অ্যান্ফিবোলিক (amphibolic-pathway) পথও বলা হয়।

(iv) α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড ও অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড নাইট্রোজেন বিপাকের সঙ্গে সরাসরি যোগসূত্র রচনা করে।

(v) সাক্সিনিল Co-A ক্লোরোফিল, হিমোগ্লোবিন, সাইটোক্রোম প্রভৃতি যৌগ সংশ্লেষে অংশগ্রহণ করে।

(vi) অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড পিরিমিডিন, অ্যালকালয়েড যৌগ গঠনে অংশগ্রহণ করে।

(vii) ক্রেবস চক্রে উৎপন্ন জৈব অ্যাসিডগুলি জৈব অ্যাসিড বিপাকে সক্রিয় অংশগ্রহণ করে। শু-নাইট্রোজেন বিপাক

(viii) গ্লাইক্সিলেট চক্রের (Glyoxylate cycle) সঙ্গে যোগসূত্র রচনা করে।

(d) ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্র (Electron Transport System) :

গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবসচক্রে যে জারণমূলক ক্রিয়াগুলি সম্পন্ন হয় তাতে আণবিক O_2 লাগে না। NAD ও FAD জারকরূপে কাজ করে বিভিন্ন অন্তর্বর্তী যৌগগুলিকে জারিত করে এবং বিক্রিয়ার শেষে নিজেরা বিজারিত হয়ে $NADH_2$ ও $FADH_2$ গঠন করে।

সংজ্ঞা (Definition) :

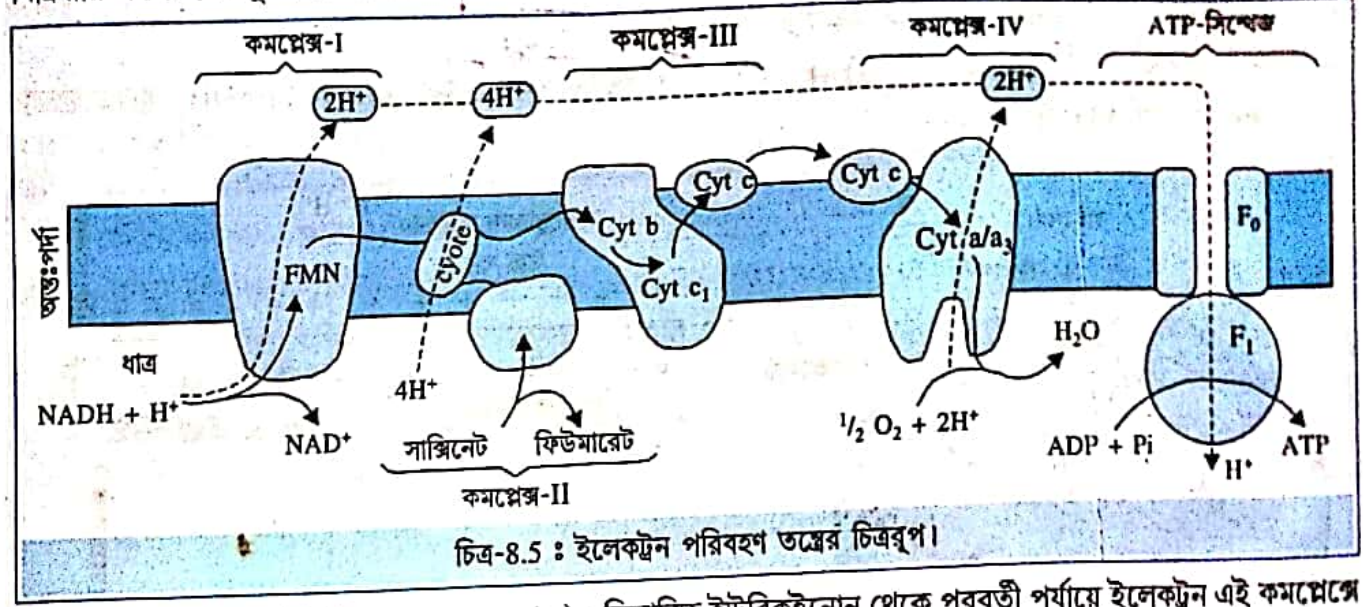
স্বাসনের শেষ পর্যায়ে মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃপর্দায় উপস্থিত বিভিন্ন ইলেকট্রন বাহকগুলি যে প্রক্রিয়ায় বিজারিত NAD ও FAD কে জারিত করে এবং আণবিক অক্সিজেনের উপস্থিতিতে জলের অণু ও উচ্চ ক্ষমতাসম্পন্ন ATP সংশ্লেষ করে তাকে ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্র বলে।

● বিক্রিয়ার ধাপ (Steps of reaction) : মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃপর্দায় ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্র পরিচালনা করার জন্য চারটি কমপ্লেক্স পৃথক পৃথক ভাবে অবস্থান করে।

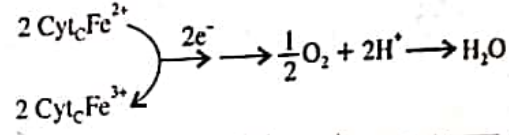
● কমপ্লেক্স-I ($NADH$ ডিহাইড্রোজেনেজ) : এই কমপ্লেক্সে $NADH + H^+$ উপস্থিত হলে তা $NADH$ ডিহাইড্রোজেনেজ দ্বারা জারিত হয়। এই বিক্রিয়ার ফলে $2H^+$ নিগূর্ণিত হয়। এই কমপ্লেক্সে ডিহাইড্রোজেনেজ উৎসেচক FMN (ফ্ল্যাভিন মনোনিউক্লিওটাইড)

ও কয়েকটি Fe-S কেন্দ্র থাকে। কমপ্লেক্স-I-এর পাশেই ইউবিকুইনোন (ubiquinone) নামে একটি ইলেকট্রন বাহক থাকে যা ইলেকট্রনকে (NADH₂ জারিত হওয়ার সময় নির্গত ইলেকট্রন) কমপ্লেক্স-I থেকে কমপ্লেক্স-II-তে পরিচালিত করে।

● কমপ্লেক্স-II (সাকসিনেট ডিহাইড্রোজেনেজ) : দেখা গেছে যে ক্রেবস চক্রের সাকসিনিক অ্যাসিড এইখানে জারিত হয়ে ফিউমারিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয় এবং এই বিক্রিয়ার ফলে নির্গত ইলেকট্রন আবার ইউবিকুইনোনে ফিরে আসে। এই বিক্রিয়ার ফলে ইউবিকুইনোন বিজারিত হয়।



● কমপ্লেক্স-III (সাইটোক্রোম bc₁ কমপ্লেক্স) : বিজারিত ইউবিকুইনোন থেকে পরবর্তী পর্যায়ে ইলেকট্রন এই কমপ্লেক্সে আসায় ইউবিকুইনোন জারিত হয়। এই কমপ্লেক্সে আসার পর ইলেকট্রন সাইটোক্রোম-b (Cyt b) অণুতে আসে এবং সেখান থেকে পরপর সাইটোক্রোম-c₁ এবং সাইটোক্রোম-c অণুতে পরিবাহিত হয়। এইখানে বিজারিত সাইটোক্রোম-c সাইটোক্রোম অক্সিডেজ উৎসেচক দ্বারা জারিত হয়। শ্বসনের প্রান্তভাগে আণবিক অক্সিজেনের উপস্থিতিতে এই জারণ প্রক্রিয়া সম্পন্ন হয় বলে একে প্রান্তীয় শ্বসন (terminal respiration) বলে। শ্বসনের সময় গৃহীত অক্সিজেন এই প্রান্তীয় শ্বসনেই ব্যবহৃত হয়। সাইটোক্রোম অণুগুলি লৌহ সমৃদ্ধ ক্রোমোপ্রোটিন এবং এই প্রোটিনের জারিত লৌহ (Fe³⁺) ইলেকট্রন গ্রহণের ফলে বিজারিত লৌহ (Fe²⁺) পরমাণুতে রূপান্তরিত হয়। ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্রে ইলেকট্রন সাইটোক্রোম b→c₁→c এই পথে প্রবাহিত হয়। সবশেষে বিজারিত সাইটোক্রোম-c প্রান্তীয় শ্বসনে O₂-কে ব্যবহার করে সাইটোক্রোম অক্সিডেজ উৎসেচকের সাহায্যে জারিত হয়ে জল উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াটি হল—



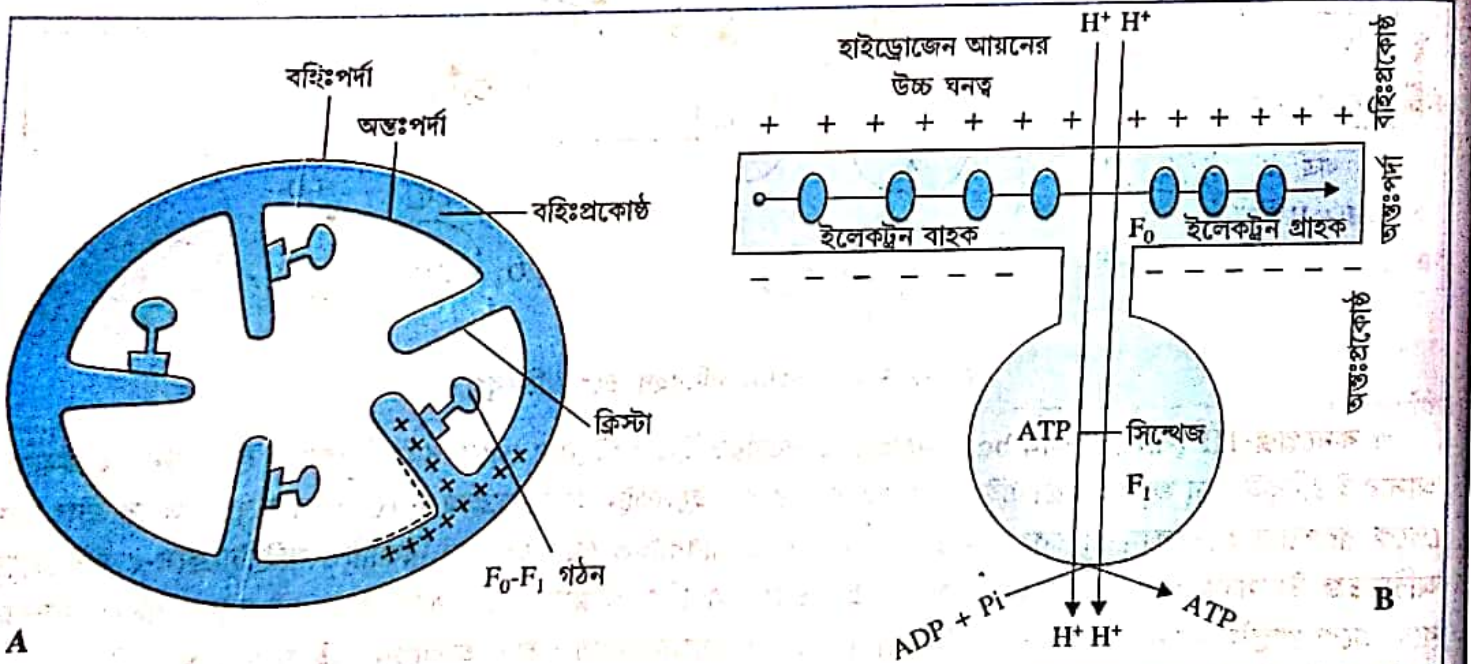
এক্ষেত্রে 2 অণু বিজারিত সাইটোক্রোম-c (2 cyt_cFe²⁺) দুটি ইলেকট্রন ত্যাগ করে পুনরায় জারিত সাইটোক্রোম-c-তে (2 cyt_cFe³⁺) পরিণত হয়। নির্গত ইলেকট্রন দুটি অক্সিজেন পরমাণু ও দুটি H আয়নের (2H⁺) সঙ্গে যুক্ত হয়ে H₂O গঠন করে।

● কমপ্লেক্স-IV (F₀-F₁ ATP সিন্থেজ) : একটি বিষয় লক্ষণীয় যে ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্রের মাধ্যমে ইলেকট্রন পরিবাহিত হওয়ার সময় বিভিন্ন পর্যায়ে মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃপ্রকোষ্ঠ থেকে (M face) বহিঃপ্রকোষ্ঠের (C face) দিকে H⁺ আয়ন চালিত হয়। ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্র পাম্পের মতো কাজ করে H⁺ আয়নকে বাইরের দিকে পরিচালিত করলে মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃপর্দার দুপাশে প্রোটন (H⁺) ঘনত্বের একটি প্রভেদ বা অবক্রমের (Proton gradient) সৃষ্টি হয়। এই অবক্রম একটি মাত্রায় পৌঁছোলে প্রোটন চালক বলের (Proton motive force) সৃষ্টি হয়। মাইটোকন্ড্রিয়ার F₀-F₁ কণায় এই প্রোটন চালক বলকে কাজে লাগিয়ে ADP ও অজৈব ফসফেট (Pi) যুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন করে।

বিজ্ঞানী পিটার মিচেল (Peter Mitchell) উল্লেখ করেন যে মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃগাত্রের তিতর ও বাইরের দিকে H⁺ আয়নের ঘনত্বের প্রভেদের ফলে যে প্রোটনচালক বলের সৃষ্টি হয় তার শক্তিকে কাজে লাগিয়ে ADP ও Pi যুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন হয়। শ্বসন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ATP উৎপাদনের এই আধুনিক মতবাদকে 'রাসায়নিক অভিস্রবণ' (Chemiosmotic

hypothesis) মতবাদ বলে (মাইটোকন্ড্রিয়ায় আণবিক অক্সিজেনের উপস্থিতিতে ADP ও Pi (অজৈব ফসফেট) যুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন হয় বলে এই প্রক্রিয়াকে অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশন বলে)

- শ্বসনে একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য যে ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্র শ্বসনে দুটি প্রধান কাজ সম্পন্ন করে, যেমন—
1. NAD^+ ও FAD গ্লাইকোলাইসিসে এবং ক্রেবস চক্রে জারকের ভূমিকা গ্রহণ করে বিভিন্ন জৈব যৌগকে জারিত করে নিজেরা বিজারিত হয়ে $\text{NADH} + \text{H}^+$ এবং FADH_2 -তে পরিণত হয়। ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্রে এই বিজারিত যৌগগুলি পুনরায় জারিত হয়ে গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস চক্রে ব্যবহৃত হয়।
 2. ইলেকট্রন পরিবহণ তন্ত্রে এক অণু $\text{NADH} + \text{H}^+$ জারিত হওয়ার সময়ে 3 অণু ATP এবং FADH_2 জারিত হওয়ার সময় 2 অণু ATP উৎপন্ন হয়।



চিত্র-8.6 : A. মাইটোকন্ড্রিয়ার দু-পাশে প্রোটন ঘনত্বের অবক্রম সৃষ্টি।

B. প্রোটন চালিত বলের সাহায্যে ATP সিন্থেজ উৎসেচক (F_1)-এর ATP উৎপাদন।

Unit 4: Photosynthesis

- i) इंसानों के लिए अत्यंत लाभदायक है, लेकिन छुड़ि बलते की रोक ?
- ii) C_4 पथ या C_3 - पथ के अंतर में अंतर बताइए, C_4 के फायदों की वजह से C_3 और C_4 के फायदों में अंतर बताइए, गन्ना, गन्ना, गन्ना
- iii) CAM की? इसे अंतर बताइए, CAM के फायदों की वजह से?
- iv) अणुसंश्लेषण और प्रकाश संश्लेषण की वजह से? अणुसंश्लेषण एक आणविक संश्लेषण है।
- v) PSI और PSII पर गहराई से लिखें, आणविक संश्लेषण के लिए आवश्यक है।
- vi) आणविक संश्लेषण और प्रकाश संश्लेषण की वजह से? आणविक संश्लेषण और प्रकाश संश्लेषण के अंतर बताइए।
- vii) अणुसंश्लेषण C_3 पथ के अंतर बताइए, जीवमूलक विनिर्माण के लिए आवश्यक है।
- viii) 2 - scheme बताइए ?
- ix) कोशिकाओं की?
- x) कोशिकाओं a और कोशिकाओं b पर गहराई से लिखें, C_3 और C_4 के फायदों में अंतर बताइए, RuBisCo 2 लिखें और लिखें, कोशिकाओं की?

Unit 5: respiration

- ① ग्लाइकोलाइसिस की ? टूकणशर टुकन अउरन जीरि प्रसंजीत रस ? प्रसंजीत ग्लाइकोलाइसिस प्रसिंशति एगलोठता कुरा,
- ② टुकरस हउर काले गले ? एके TCA हउर गले टुकन ? जीरि गोथार गलर रस ? टुकरस हउरि प्रसंजीत रस कुरा, टुकरस हउरि गुरुय की ?
- ③ अउरन रूलेकुरेन अउरन अउरन एकीर कसरेक दउ,
- ④ अउरन अउरन अउरन अउरन काले ?
- ⑤ टुकरन अउरन अउरन अउरन अउरन काले ?