પ્રકરણ 13

ઉચ્ચકક્ષાની વનસ્પતિઓમાં પ્રકાશસંશ્લેષણ (Photosynthesis in Higher Plants)

13.1 આપણે શું જાણીએ છીએ ?

13.2 પૂર્વ પ્રયોગો

13.3 પ્રકાશસંશ્લેષણ ક્યાં થાય છે ?

13.4 પ્રકાશસંશ્લેષણમાં કેટલાં રંજકદ્રવ્યકણો સંકળાયેલા છે ?

13.5 પ્રકાશ પ્રક્રિયા શું છે ?

13.6 ઈલેક્ટ્રૉન (વીજાણુ) પરિવહન

13.7 ATP અને NADPHનો ઉપયોગમાં ક્યાં થાય છે ?

13.8 C_4 પરિપથ

13.9 પ્રકાશશ્વસન

13.10 પ્રકાશસંશ્લેષણ પર અસર કરતાં પરિબળો

માનવી સહિત બધા પ્રાણીઓ, આહાર માટે વનસ્પતિઓ પર આધારિત છે. તમને નવાઈ લાગશે કે વનસ્પતિ પોતાનો આહાર ક્યાંથી મેળવે છે ? વાસ્તવમાં, લીલી વનસ્પતિ તેમના જરૂરી ખોરાકનું સંશ્લેષણ કરે છે અને બાકીના બધા સજીવો પોતાની આવશ્યકતા માટે તેના પર નિર્ભર રહે છે. લીલી વનસ્પતિ 'પ્રકાશસંશ્લેષણ' કરે છે, જે એક એવી દેહધાર્મિક-રાસાયણિક પ્રક્રિયા છે કે જેના દ્વારા કાર્બનિક સંયોજનનું સંશ્લેષણ કરવા માટે પ્રકાશ-ઊર્જાનો ઉપયોગ કરે છે. લીલી વનસ્પતિઓ પ્રકાશસંશ્લેષણ દ્વારા તેમનાં જરૂરી ખોરાક બનાવે છે તેથી તેઓને સ્વયંપોષી કહે છે. તમે અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છો કે માત્ર વનસ્પતિઓમાં જ સ્વયંપોષી પોષણ જોવા મળે છે અને બાકીના બધા સજીવો ખોરાક માટે લીલી વનસ્પતિઓ પર નિર્ભર છે. તેઓ વિષમપોષી છે. આમ, બધુ મળીને પૃથ્વી પરના બધા સજીવો ઊર્જા માટે સૂર્યપ્રકાશ પર આધાર રાખે છે. વનસ્પતિઓ દ્વારા સૂર્ય પ્રકાશમાં રહેલી શક્તિનાં ઉપયોગથી પ્રકાશસંશ્લેષણ કરાય છે. જે પૃથ્વી પરના જીવનનો આધાર છે. પ્રકાશસંશ્લેષણ મહત્ત્વપૂર્ણ છે તેના બે કારણ છે : તે પૃથ્વી પર બધા જ પ્રકારના ખોરાકનો પ્રાથમિક સ્રોત છે વનસ્પતિઓ દ્વારા વાતાવરણમાં ઑક્સિજન મુક્ત કરવા માટે પણ જવાબદાર છે. શું તમે ક્યારેય વિચાર્યું છે કે શ્વાસ લેવા માટે ઑક્સિજન ન હોય તો શું થાય ? આ પ્રકરણ પ્રકાશસંશ્લેષણ ક્રિયાવિધિની રચના અને રાસાયણિક શક્તિમાં રૂપાંતર થવાની વિવિધ પ્રક્રિયાઓ પર પ્રકાશ પાડે છે.

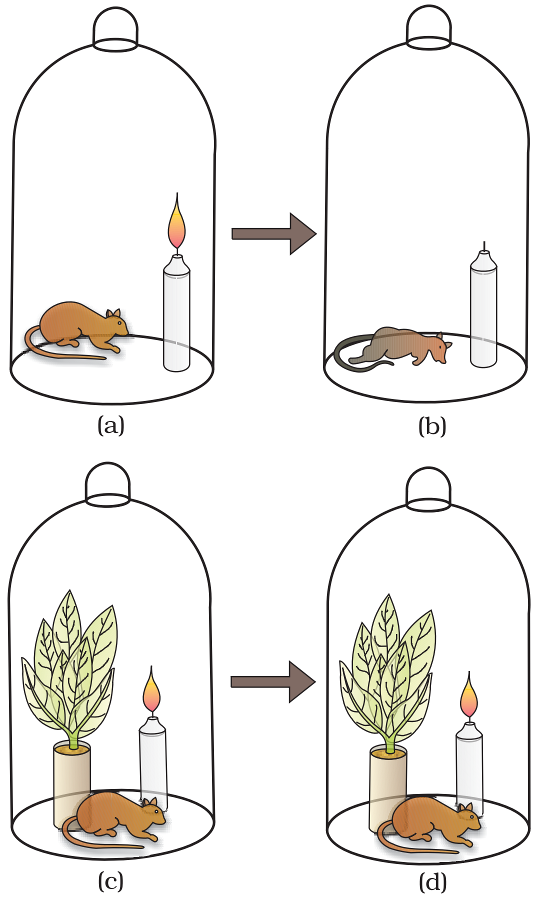
13.1 આપણે શું જાણીએ છીએ ? (What do we know ?)

ચાલો, પહેલાં આપણે તે શોધવા પ્રયત્ન કરીએ કે જે આપણે પ્રકાશસંશ્લેષણ વિશે કેટલું જાણીએ છીએ, અગાઉના ધોરણોમાં તમે કેટલાક સરળ પ્રયોગ કર્યા હશે. જેમાં દર્શાવાયું હશે કે ક્લોરોફીલ (પર્ણોમાં આવેલ લીલા રંગનું રંજકદ્રવ્ય હરિતદ્રવ્ય), પ્રકાશ અને કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ (CO_2) પ્રકાશસંશ્લેષણ માટે આવશ્યક છે.

તમે સ્ટાર્ચના નિર્માણ માટેના બે પર્ણોના પ્રયોગમાં જોયું હશે કે એક પર્ણને કાળા કાગળથી આંશિક રીતે ઢાંકવામાં આવેલું હતું અને બીજાને પ્રકાશમાં ખુલ્લુ રાખવામાં આવેલું હતું. સ્ટાર્ચ માટે આ પર્ણોનું પરીક્ષણ કરવાથી એ વાત સ્પષ્ટ થતી હતી કે પ્રકાશસંશ્લેષણ ક્રિયા સૂર્ય પ્રકાશની

હાજરીમાં લીલા ભાગમાં જ થાય છે.

તમે બીજો એક પ્રયોગ પણ કર્યો જે અર્ધ પર્ણનો પ્રયોગ છે. જેમાં એક પર્ણનો અડધો ભાગ KOHમાં ભીના કરેલા રૂનું પૂમડું ધરાવતી કસનળીમાં રાખ્યો હશે. (KOH એ CO_2નું શોષણ કરે છે). જ્યારે બાકીનો અડધો ભાગ હવામાં ખુલ્લો મૂકવામાં આવેલ હશે. તેના પછરી આ ઉપકરણને થોડાક સમય માટે સૂર્યપ્રકાશમાં મૂકી રાખવામાં આવે છે. કેટલાક સમય પછી તમે સ્ટાર્ચ માટે પર્ણના બે ભાગોનું પરીક્ષણ કરો છો, આ પરીક્ષણથી તમને જ્ઞાન થાય છે કે પર્ણના જે ભાગને કસનળીમાં રાખેલ હતો, તેમાં સ્ટાર્ચનું નિર્માણ થતું નથી. જે ભાગ પ્રકાશમાં હતો, તેમાં સ્ટાર્ચની હાજરી જણાય છે. આ પ્રયોગ દર્શાવે છે કે પ્રકાશસંશ્લેષણ માટે કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ (CO_2) જરૂરી છે. શું તમે તેની સમજૂતી કરી શકો છો કે આવું તારણ કેવી રીતે મેળવી શકાય છે ?



આકૃતિ 13.1 : પ્રિસ્ટલીનો પ્રયોગ

13.2 પ્રાથમિક પ્રયોગો/પ્રારંભિક પ્રયોગો (Early Experiments)

તે સામાન્ય પ્રયોગોના વિષયમાં જાણવું ખૂબ જ રસપ્રદ હશે કે જેનાથી પ્રકાશસંશ્લેષણનો આપણી સમજમાં ક્રમિક વિકાસ થાય છે.

જૉસેફ પ્રિસ્ટલી (1733-1804) નામના વૈજ્ઞાનિકે 1770માં શ્રેણીબદ્ધ પ્રયોગો કર્યા, જેનાથી જાણવા મળ્યું કે લીલી વનસ્પતિઓની વૃદ્ધિમાં હવાની એક આવશ્યક ભૂમિકા છે. તમને યાદ હશે કે પ્રિસ્ટલીએ 1774માં ઑક્સિજનની શોધ કરી હતી. પ્રિસ્ટલીએ નિરીક્ષણ કર્યું કે એક બંધ સ્થાન - એક બેલજારમાં સળગતી મીણબત્તી ઝડપથી ઓલવાઈ જાય છે. (આકૃતિ 13.1 a, b, c, d). એ જ રીતે કોઈ ઉંદરનો શ્વાસ બંધ સ્થાનમાં ઝડપથી રૂંધાઈ જાય છે. આ અવલોકનોના આધારે તેમણે એ નિર્ણય કર્યો કે સળગતી મીણબત્તી કે કોઈ પ્રાણી જે હવામાંથી શ્વાસ લે છે, તેઓ બંને કોઈક રીતે, હવાના બંધારણને નુકસાન પહોંચાડે છે. પરંતુ તેમણે બેલજારમાં એક ફુદીનાનો છોડ મૂક્યો તો ઉંદર એમ ને એમ જીવિત જોવા મળ્યો અને મીણબત્તી પણ સતત સળગતી રહી છે. આને આધારે પ્રિસ્ટલીએ નીચે પ્રમાણેની પરિકલ્પના કરી હતી. ''પ્રાણીઓના શ્વસનથી અને સળગતી મીણબત્તી દ્વારા દૂર થયેલ ઑક્સિજનની પૂર્તિ વનસ્પતિ કરે છે.''

તમે કલ્પના કરી શકો છો કે પ્રિસ્ટલીએ એક મીણબત્તી અને એક વનસ્પતિનો ઉપયોગ કરી કેવી રીતે પ્રયોગ કર્યો હશે ? યાદ રાખો કે, થોડા દિવસ બાદ મીણબત્તી સળગી જતી હોવાથી, ફરીથી નવી મીણબત્તી સળગાવવાની જરૂર પડી હતી. પ્રયોગને ગોઠવીને કોઈ પણ ખલેલ વગર તમે મીણબત્તીને સળગાવવા માટે કેટલી રીતો વિચારી શકો છો ?

જૉન ઈન્જેનહાઉસે (1730-1799) પ્રિસ્ટલી દ્વારા ઉપયોગમાં લેવાયેલ સાધન (ઉપકરણ)નો ઉપયોગ કર્યો, પરંતુ તેમણે એકવાર અંધારાવાળી જગ્યામાં અને પછી એકવાર સૂર્યપ્રકાશમાં રાખ્યું હતું, એનાથી એ જાણી શકાયું કે વનસ્પતિઓની આ પ્રક્રિયામાં સૂર્યપ્રકાશ આવશ્યક છે અને સૂર્યપ્રકાશમાં થતી પ્રક્રિયા કે જે સળગતી મીણબત્તી કે શ્વાસ લેવાવાળા પ્રાણીઓ દ્વારા પ્રદુષિત થયેલ હવાને શુદ્ધ કરે છે. ઈન્જેનહાઉસે એક જલીય વનસ્પતિના પ્રયોગમાં દર્શાવેલ હતું કે તીવ્ર સૂર્યપ્રકાશમાં વનસ્પતિના લીલા ભાગોની આસપાસ નાના-નાના પરપોટાં નીકળે છે, જ્યારે અંધારામાં રાખેલ વનસ્પતિમાં આમ થતું નથી. ત્યારબાદ તેમણે આ પરપોટાંઓની

ઓળખ ઑક્સિજનના સ્વરૂપમાં કરી હતી. આમ, તેમણે દર્શાવ્યું કે વનસ્પતિઓનો માત્ર લીલો ભાગ જ ઑક્સિજન મુક્ત કરે છે.

1854 સુધી આ જાણકારી ન હતી, પરંતુ જુલિયસ વૉન સેચ નામના વૈજ્ઞાનિકે પુરાવા સાથે એ સાબિત કર્યું કે જ્યારે વનસ્પતિ વૃદ્ધિ કરે છે ત્યારે ગ્લુકોઝ (શર્કરા) ઉત્પન્ન થાય છે. ગ્લુકોઝ સામાન્ય રીતે સ્ટાર્ચના રૂપમાં સંચય કે સંગ્રહ પામે છે. ત્યારબાદ અભ્યાસ પરથી જાણી શકાયું કે વનસ્પતિમાંનો લીલો પદાર્થ - જેને ક્લોરોફિલ (જેને હાલમાં આપણે હરિતદ્રવ્ય તરીકે ઓળખીએ છીએ) કહે છે, જે વનસ્પતિઓના કોષોમાં આવેલ વિશિષ્ટ અંગિકા (જેને હરિતકણ તરીકે આપણે જાણીએ છીએ)માં હોય છે. તેમણે જણાવ્યું કે વનસ્પતિઓના લીલા ભાગમાં ગ્લુકોઝ બને છે અને ગ્લુકોઝ સામાન્યતઃ સ્ટાર્ચના રૂપમાં સંચિત થાય છે.

હવે તમે ટી. ડબ્લ્યુ. એન્જીલમેન (1843-1909) દ્વારા કરવામાં આવેલા રસપ્રદ પ્રયોગ પર ધ્યાન આપો. તેમણે પ્રિઝમનો ઉપયોગ કરી પ્રકાશને તેના વર્ણપટના ઘટકોમાં વિભાજીત કર્યો અને પછી એક લીલી લીલ ક્લેડોફોરાને જારક બૅક્ટેરિયાયુક્ત દ્રાવણમાં રાખી હતી અને બૅક્ટેરિયાનો ઉપયોગ ઑક્સિજન ક્યાંથી મુક્ત થાય છે તે સ્થાન જાણવા માટે કર્યો હતો. તેમને જાણવા મળ્યું કે બૅક્ટેરિયા મુખ્યત્વે વિભાજીત વર્ણપટના વાદળી તેમજ લાલ પ્રકાશના વિસ્તારોમાં એકત્રિત થયા હતા. આ રીતે પ્રકાશસંશ્લેષણના પ્રથમ સક્રિય વર્ણપટ(First Action Spectrum)નું પ્રથમ વર્ણન કરવામાં આવેલું હતું. તે મોટે ભાગે ક્લોરોફિલ a તેમજ ક્લોરોફિલ bના શોષણ વર્ણપટ સાથે લગભગ સમાનતા ધરાવે છે. (વિભાગ 13.4માં વર્ણન કરેલ છે.)

19મી સદીના મધ્ય સુધી વનસ્પતિમાં પ્રકાશસંશ્લેષણ વિશે બધી જ મુખ્ય વિશિષ્ટતાઓ અંગે જાણકારી પ્રાપ્ત થઈ ગઈ હતી, જેવી કે, વનસ્પતિઓ પ્રકાશ-ઊર્જાનો ઉપયોગ કરીને CO_2 અને પાણીમાંથી કાર્બોદિતો બનાવે છે. ઑક્સિજન મુક્ત કરતાં સજીવોમાં પ્રકાશસંશ્લેષણની સમગ્ર પ્રક્રિયાની સમજૂતી સમીકરણ દ્વારા રજૂ કરેલ છે.

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{પ્રકાશ}} [CH_2O] + O_2$$

જ્યાં (CH_2O) એક કાર્બોદિત(જેવા કે ગ્લુકોઝ – એક છ કાર્બન ધરાવતી શર્કરા) છે.

કોર્નેલિયસ વાન નીલ(1897-1985) નામના સૂક્ષ્મજીવ વૈજ્ઞાનિકે પ્રકાશસંશ્લેષણની સમજૂતી માટે મહત્ત્વનું યોગદાન આપ્યું. તેમનો અભ્યાસ જાંબલી તેમજ લીલા રંગના બૅક્ટેરિયા પર આધારિત હતો. તેઓએ જણાવ્યું કે પ્રકાશસંશ્લેષણ આવશ્યક રીતે એક પ્રકાશ આધારિત પ્રતિક્રિયા છે કે જેમાં યોગ્ય ઑક્સિડાઈઝેબલ સંયોજનમાંથી પ્રાપ્ત થતાં હાઈડ્રોજન કાર્બન ડાયૉક્સાઈડનું રિડક્શન કરીને કાર્બોદિત પદાર્થનું નિર્માણ કરે છે. નીચે આપેલ સમીકરણથી સમજાવવામાં આવે છે.

$$2H_2A + CO_2 \xrightarrow{\text{પ્રકાશ}} 2A + CH_2O + H_2O$$

લીલી વનસ્પતિઓમાં H_2O, એ હાઈડ્રોજન દાતા છે અને ઑક્સિડેશન પામીને O_2માં ફેરવાય છે. કેટલાક સજીવ પ્રકાશસંશ્લેષણ દરમિયાન O_2 મુક્ત કરતા નથી. જ્યારે H_2S જાંબલી તેમજ લીલા-સલ્ફર બૅક્ટેરિયા માટે હાઈડ્રોજન દાતા હોય છે ત્યારે જેતે સજીવ આધારિત 'ઑક્સિડેશન' નીપજ O_2ના સ્થાને સલ્ફર અથવા સલ્ફેટ હોય છે. તેના પરથી તેઓએ નિર્ણય કર્યો કે લીલી વનસ્પતિઓ દ્વારા ઑક્સિજન H_2Oમાંથી મુક્ત થાય છે, કાર્બન ડાયૉક્સાઈડમાંથી મુક્ત થતો નથી. પછી આ બાબત રેડિયો સમસ્થાનિક પદ્ધતિના ઉપયોગથી સાબિત કરવામાં છે, આથી એટલા માટે સંપૂર્ણ પ્રક્રિયા પ્રકાશસંશ્લેષણની રજૂ કરતું સાચું સમીકરણ નીચે આપ્યું :

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{પ્રકાશ}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

જ્યાં, $C_6H_{12}O_6$ એ ગ્લુકોઝ છે. રેડિયો સમસ્થાનિક પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરીને સાબિત કરવામાં આવ્યું કે O_2 પાણીમાંથી મુક્ત થાય છે. નોંધનીય છે કે આ એક ચરણ (Step) ક્રિયા નથી. પરંતુ, ઘણી બધી પ્રક્રિયાઓનું સામૂહિક

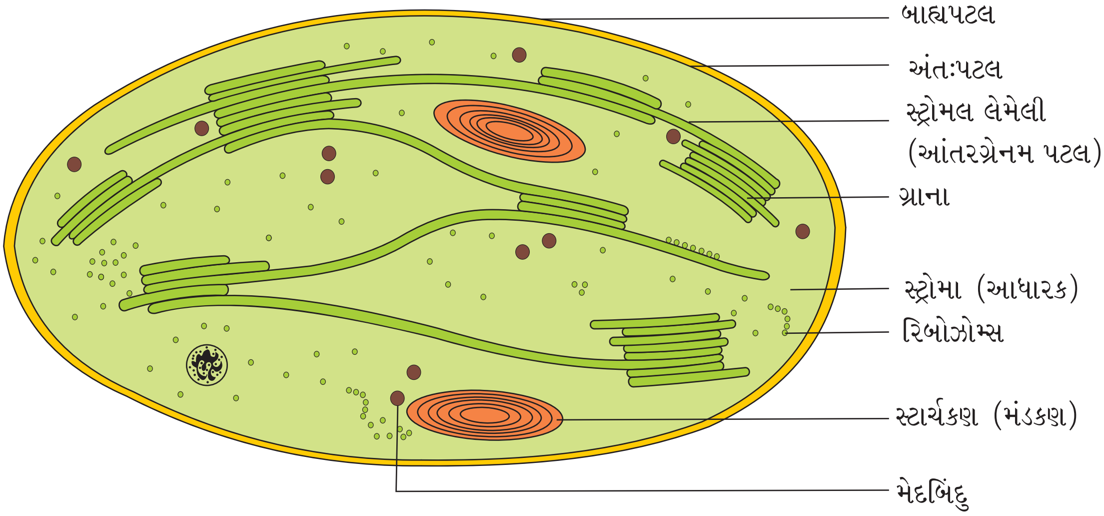
વર્ણન છે જેને પ્રકાશસંશ્લેષણ કહે છે. શું તમે એ સમજાવી શકશો કે ઉપરોક્ત સમીકરણમાં પાણીના 12 અણુઓ પ્રક્રિયક તરીકે ઉપયોગમાં શા માટે લેવાયેલા છે ?

13.3 પ્રકાશસંશ્લેષણ ક્યાં થાય છે ? (Where does Photosynthesis Take Place ?)

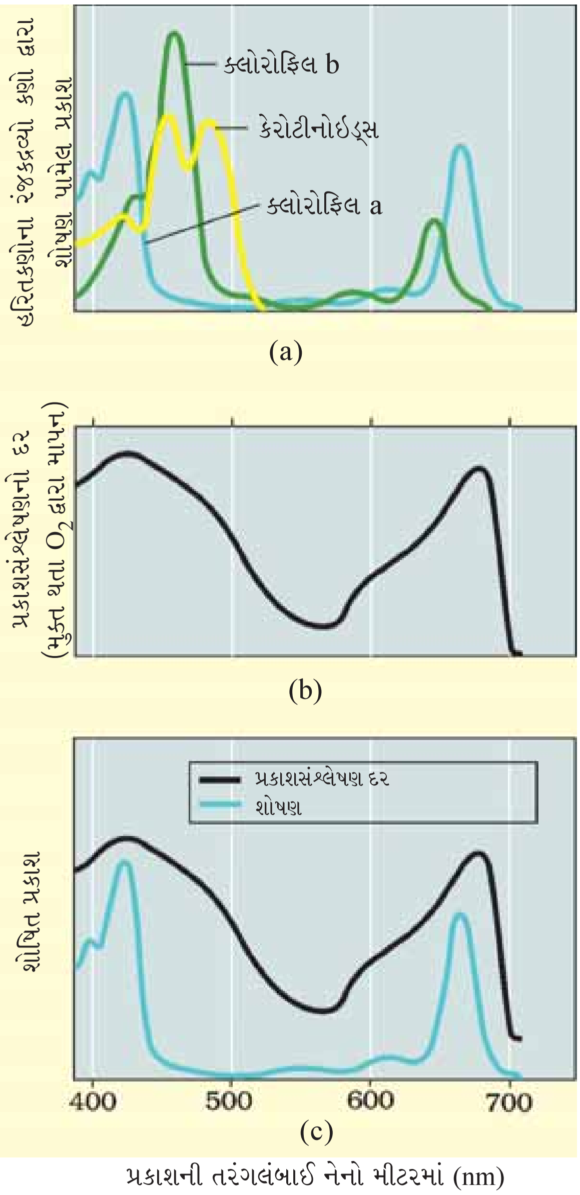
પ્રકરણ 8માં અભ્યાસ કર્યા પછી નિશ્ચિતપણે તમારો જવાબ હશે કે લીલા પર્ણોમાં અથવા તમે કહી શકશો કે હરિતકણોમાં, તમે બિલકુલ સાચાં છો. પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા વનસ્પતિના લીલા પર્ણોમાં થાય છે પરંતુ તે વનસ્પતિઓના અન્ય લીલા ભાગોમાં પણ થાય છે. શું તમે વનસ્પતિઓના કેટલાક અન્ય ભાગોના નામ જણાવી શકો છો કે જ્યાં પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા થઈ શકે છે ?

તમે અગાઉના એકમમાં અભ્યાસ કર્યો હતો કે પર્ણોની મધ્યપર્ણ પેશીઓના કોષો મોટી સંખ્યામાં હરિતકણો ધરાવે છે. સામાન્યતઃ મધ્યપર્ણ કોષોની કોષદીવાલ નજીક હરિતકણો શ્રેણીબદ્ધ ગોઠવાયેલ હોય છે. જેથી તેઓ ઈષ્ટતમ માત્રામાં આપાત થતાં પ્રકાશને મેળવી શકે છે. શું તમે કહી શકો છો કે હરિતકણો ક્યારે કોષદીવાલની સપાટીને સમાંતરે અને ક્યારે લંબ ગોઠવાયેલા હશે ?

તમે પ્રકરણ 8માં હરિતકણની સંરચનાનો અભ્યાસ કર્યો છે. હરિતકણમાં એક પટલમય તંત્ર ધરાવતું ગ્રાના, આંતર ગ્રેનમ પટલો (સ્ટ્રોમા લેમીલી) અને તરલ આધારક (ફ્લ્યુઈડ સ્ટ્રોમા) હોય છે. (આકૃતિ 13.2). હરિતકણમાં સુસ્પષ્ટ શ્રમવિભાજન જોવા મળે છે. પટલમય તંત્ર પ્રકાશ-ઊર્જાને વિવિધ રીતે ગ્રહણ કરવા માટે અને ATP તેમજ NADPH સંશ્લેષણ કરવા માટે જવાબદાર છે. આધારક (સ્ટ્રોમા) પ્રદેશમાં ઉત્સેચકીય પ્રક્રિયાઓ CO_2ને સાંકળીને વનસ્પતિને શર્કરાના નિર્માણ તરફ દોરી જાય છે, જેનું પછી સ્ટાર્ચમાં રૂપાંતરણ થાય છે. પ્રથમ પ્રક્રિયા પ્રત્યક્ષ રીતે પ્રકાશ દ્વારા સંચાલિત હોવાથી તેને **પ્રકાશ પ્રક્રિયા** કહે છે. બીજી પ્રક્રિયા પ્રકાશ પર આધારિત નથી. પરંતુ પ્રકાશ પ્રક્રિયાની નીપજો પર આધારિત હોય છે (ATP તથા NADPH) આમ, તેને **અંધકાર પ્રક્રિયા** કહે છે. આનો અર્થ એ ન થાય કે તેઓ અંધકારમાં થાય છે કે તેઓ પ્રકાશ પર આધાર રાખતી નથી.



આકૃતિ 13.2 : હરિતકણના છેદનું ઇલેક્ટ્રૉન માઇક્રોસ્કોપ દ્વારા રેખાંકિત નિરૂપણ



આકૃતિ 13.3(a) : ક્લોરોફિલ a, b અને કેરોટીનોઈડ્સના શોષણ રંગક્રમ પ્રદર્શિત કરતો આલેખ

આકૃતિ 13.3(b) : પ્રકાશસંશ્લેષણ ક્રિયાત્મક રંગક્રમ પ્રદર્શિત કરતો આલેખ

આકૃતિ 13.3(c) : ક્લોરોફિલ aના શોષણ રંગક્રમ પર પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયાત્મક રંગક્રમ વધુ સક્રિયતા દર્શાવતો દૃશ્ય વર્ણપટનો આલેખ.

13.4 પ્રકાશસંશ્લેષણમાં કેટલા રંજકદ્રવ્યો ભાગ લે છે ? (How Many Pigments are Involved in Photosynthesis ?)

શું તમને ક્યારેય આશ્ચર્ય થયું છે કે એક જ વનસ્પતિના પર્ણોમાં પણ લીલા રંગ માટે વિવિધતા શા માટે અને કેવી રીતે જોવા મળતી હશે ? એક જ વનસ્પતિના વિવિધ પર્ણોમાં પણ આવું શા માટે અને કેવી રીતે હોય છે ? લીલી વનસ્પતિના પર્ણના રંજકદ્રવ્યોનું પેપર ક્રોમેટોગ્રાફી દ્વારા અલગીકરણ કરવાનો પ્રયત્ન કરી આપણે આ પ્રશ્નનો જવાબ આપી શકીએ છીએ. પર્ણોમાં આવેલ રંજકદ્રવ્યોનું ક્રોમેટોગ્રાફીક અલગીકરણ દર્શાવે છે કે પર્ણોનો રંગ કોઈ એક રંજકદ્રવ્યને કારણે નહિ, પરંતુ ચાર પ્રકારના રંજકદ્રવ્યોને કારણે છે : **ક્લોરોફિલ a** (ક્રોમેટોગ્રામમાં ચળકતો કે વાદળી પડતો લીલો રંગ ધરાવે), **ક્લોરોફિલ b** (પીળાશ પડતો લીલો રંગ), **ઝેન્થોફિલ** (પીળો રંગ) અને **કેરોટીનોઈડ્સ**(પીળાશ પડતો નારંગી રંગ)ના કારણે હોય છે. ચાલો, હવે જોઈએ કે પ્રકાશસંશ્લેષણમાં વિવિધ રંજક દ્રવ્યોની ભૂમિકા શું છે ?

રંજક દ્રવ્યો એવા પદાર્થો છે કે જેઓ પ્રકાશની ચોક્કસ તરંગલંબાઈઓનું શોષણ કરવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. શું તમે અનુમાન કરી શકો છો કે વિશ્વમાં સૌથી પ્રભાવી વનસ્પતિ રંજકદ્રવ્ય કયું છે ? આવો, આપણે ક્લોરોફિલ a રંજકદ્રવ્યની પ્રકાશની વિવિધ તરંગલંબાઈઓનું શોષણ કરવાની ક્ષમતા ધરાવતા આલેખનો અભ્યાસ કરીએ. (આકૃતિ 13.3(a)). અલબત્ત તમે **જાનીવાલીપીનાલા (VIBGYOR)** તરીકે પ્રકાશના દૃશ્ય વર્ણપટની તરંગલંબાઈથી પરિચિત છો.

આકૃતિ 13.3(a)ને જોઈને તમે નક્કી કરી શકશો કે ક્લોરોફિલ a કઈ તરંગલંબાઈઓનું સૌથી વધુ શોષણ કરી શકશે ? શું તે કોઈ અન્ય તરંગલંબાઈએ પ્રકાશ શોષણનો શૃંગ દર્શાવે છે ? જો હા, તો તે કઈ છે ?

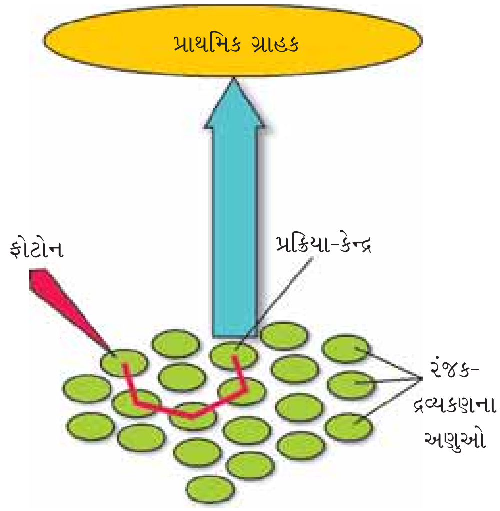
હવે તમે આકૃતિ 13.3(b)ને જુઓ. જે દર્શાવે છે કે કઈ તરંગલંબાઈએ મહત્તમ પ્રકાશસંશ્લેષણ થાય છે. તમે જોઈ શકો છો કે ક્લોરોફિલ a દ્વારા કઈ તરંગલંબાઈનું મહત્તમ શોષણ થાય છે એટલે કે ક્લોરોફિલ a વાદળી અને લાલ રંગની તરંગલંબાઈનું વધુ શોષણ કરે છે. જે પ્રકાશસંશ્લેષણનો ઊંચો દર દર્શાવે છે. આથી, આપણે નિર્ણય કરી શકીએ છીએ કે ક્લોરોફિલ a પ્રકાશસંશ્લેષણ સાથે સંકળાયેલ મુખ્ય રંજકદ્રવ્ય છે પરંતુ આકૃતિ 13.3(c) જોઈને તમે કહી

શકશો કે ક્લોરોફિલ a નો શોષણ વર્ણપટ અને પ્રકાશસંશ્લેષણનો સક્રિય વર્ણપટ એકબીજા સાથે સંપૂર્ણ રીતે આચ્છાદિત થાય છે ?

આ આલેખ, એક સાથે એ દર્શાવે છે કે વર્ણપટના વાદળી તેમજ લાલ પ્રકાશના વિસ્તારમાં મોટા ભાગનું પ્રકાશસંશ્લેષણ થાય છે અને થોડુંઘણું પ્રકાશસંશ્લેષણ દશ્ય વર્ણપટની અન્ય તરંગલંબાઈઓમાં પણ થાય છે. આપણે જોઈએ કે તે કેવી રીતે થાય છે. ક્લોરોફિલ a પ્રકાશનું શોષણ કરનાર મુખ્ય રંજકદ્રવ્ય છે, છતાં પણ થાઈલેકૉઇડમાં રહેલાં અન્ય રંજકદ્રવ્યો જેવાં કે ક્લોરોફિલ b, ઝેન્થોફિલ અને કેરોટીનોઇડ કે જેઓને સહાયક રંજકદ્રવ્યો કહેવાય છે, તેઓ પણ પ્રકાશનું શોષણ કરે છે અને શોષણ પામેલ ઊર્જાને ક્લોરોફિલ a તરફ સ્થળાંતરિત કરે છે. વાસ્તવમાં તે રંજકદ્રવ્યો માત્ર પ્રકાશસંશ્લેષણ માટે અંદર પ્રવેશ પામતા પ્રકાશની ઉપયોગી તરંગલંબાઈઓના વિસ્તારોને વધારતા નથી પરંતુ તેઓ ક્લોરોફિલ a ને ફોટો ઑક્સિડેશન(ક્લોરોફિલનું વિઘટન)થી પણ બચાવે છે.

13.5 પ્રકાશ પ્રક્રિયા શું છે ? (What is Light Reaction ?)

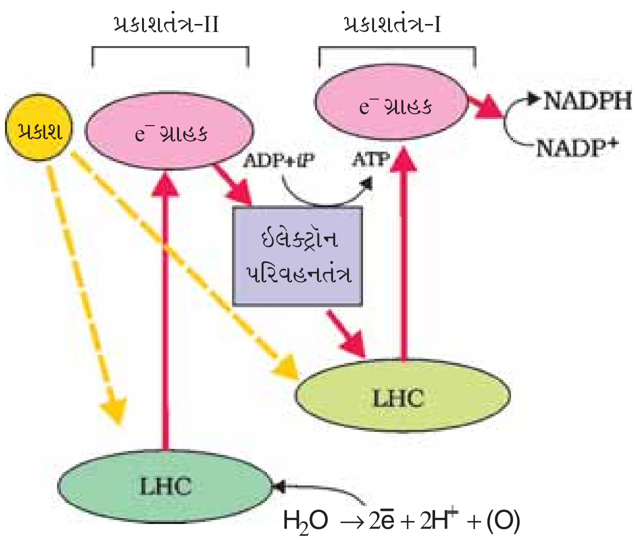
પ્રકાશ પ્રક્રિયા અથવા પ્રકાશ રાસાયણિક તબક્કામાં પ્રકાશનું શોષણ, પાણીનું વિભાજન, ઑક્સિજનનો ઉદ્ભવ અને ઉચ્ચ ઊર્જા મૂલ્ય ધરાવતાં મધ્યસ્થીઓ જેવાં કે ATP અને NADPHનો નિર્માણનો પણ સમાવેશ થાય છે. આ પ્રક્રિયામાં અનેક સંકુલો સંકળાયેલા હોય છે. અહીંયાં રંજકદ્રવ્યો બે સ્પષ્ટ અલગ પ્રકાશ રસાયણિક **લાઈટ હાર્વેસ્ટિંગ કૉમ્પ્લેક્સ (પ્રકાશગ્રાહી સંકુલો) (LHC)** જેને **રંજકદ્રવ્ય તંત્ર-I (ફોટોસિસ્ટમ-Ps I)** અને **રંજકદ્રવ્ય તંત્ર-II (ફોટોસિસ્ટમ-Ps II)** ધરાવે છે. પ્રકાશ પ્રક્રિયા દરમિયાન તેમના કાર્યની ક્રમિકતાને આધારે નહીં પણ તેમના નામ સંશોધનના ક્રમને આધારે અપાયેલા છે. LHC પ્રોટીનથી અનુબંધિત હજારો રંજકદ્રવ્યોના અણુઓથી બને છે. પ્રત્યેક ફોટોસિસ્ટમમાં બધા રંજકદ્રવ્યો હોય છે. (સિવાય કે ક્લોરોફિલ aનો એક અણુ જ હોય) જે પ્રકાશગ્રાહી સંકુલ LHCનું નિર્માણ કરે છે, જેને એન્ટેની કે **એન્ટેના** પણ કહે છે. (આકૃતિ 13.4) આ રંજકદ્રવ્યકણો વિવિધ તરંગલંબાઈના પ્રકાશનું શોષણ કરી પ્રકાશસંશ્લેષણને વધારે કાર્યક્ષમ બનાવવામાં મદદરૂપ થાય છે. ક્લોરોફિલ aના એકાકી અણુ **પ્રક્રિયા-કેન્દ્ર** બનાવે છે. બંને ફોટો સિસ્ટમમાં પ્રક્રિયા કેન્દ્ર અલગ હોય છે. Ps-Iમાં પ્રક્રિયા કેન્દ્ર તરીકે ક્લોરોફિલ aનો અણુ 700 nm તરંગલંબાઈએ સર્વોચ્ચ માત્રામાં શોષણ કરે છે. આથી તેને $\mathbf{P_{700}}$ કહે છે. Ps-IIમાં તે 680 nm તરંગલંબાઈએ સૌથી વધુ પ્રકાશનું શોષણ થાય છે. આથી તેને $\mathbf{P_{680}}$ કહે છે. (ફોટો સિસ્ટમ = પ્રકાશતંત્ર)



આકૃતિ 13.4 : લાઈટ હાર્વેસ્ટિંગ સંકુલ (પ્રકાશગ્રાહી સંકુલ)

13.6 ઈલેક્ટ્રૉન પરિવહન (Electron Transport)

ફોટોસિસ્ટમ-IIમાં પ્રક્રિયા-કેન્દ્રમાં આવેલ ક્લોરોફિલ 'a' અણુ 680 nm તરંગલંબાઈવાળા લાલ પ્રકાશનું શોષણ કરે છે, જેના કારણે ઈલેક્ટ્રૉન (વીજાણુ) ઉત્તેજિત થઈને પરમાણુના કેન્દ્રથી દૂરની કક્ષામાં કૂદી જાય છે. આ ઈલેક્ટ્રૉનને એક ઈલેક્ટ્રૉન ગ્રાહી ગ્રહણ કરી લે છે. જે ઈલેક્ટ્રૉનને સાયટોક્રોમ ધરાવતા **ઈલેક્ટ્રૉન્સ**



આકૃતિ 13.5 : પ્રકાશ-પ્રક્રિયાની Z-સ્કીમ

ટ્રાન્સપોર્ટ સિસ્ટમ (વીજાણુ પરિવહન તંત્ર)માં લઈ જાય છે. ઑક્સિડેશન - રિડક્શન કે રેડોક્ષ પોટેન્શિયલના માપદંડ અનુસાર અધોગામી (downhill) છે. (આકૃતિ 15.3). જ્યારે પરિવહન શૃંખલામાંથી ઈલેક્ટ્રૉન્સ પસાર થાય છે ત્યારે તેઓનો ઉપયોગ થતો નથી કે વપરાઈ જતા નથી. પરંતુ તેઓ ફોટોસિસ્ટમ-I (Ps-I)ના રંજકદ્રવ્યો આપી દે છે. તેથી સાથે સાથે Ps-Iના પ્રક્રિયા- કેન્દ્રમાં પણ ઈલેક્ટ્રૉન લાલ પ્રકાશની 700 nm તરંગલંબાઈનું શોષણ થવાથી ઉત્તેજિત થાય છે અને તે અન્ય ગ્રાહી અણુ તરફ સ્થળાંતરિત થાય છે. જેની રેડોક્ષ પોટેન્શિયલ વધારે હોય છે. આ ઈલેક્ટ્રૉન્સ પુનઃ અધોગામી ગતિ કરે છે; પરંતુ આ વખતે તે અણુ ઊર્જાથી ભરપૂર $NADP^+$ તરફ ગતિ કરે છે. આ ઈલેક્ટ્રૉન્સનો ઉમેરો થવાથી $NADP^+$નું (રિડક્શન કરી)ને NADPH + H^+ બનાવે છે. ઈલેક્ટ્રૉન્સના સ્થળાંતરણની ઈલેક્ટ્રૉન પરિવહન યોજના Ps-IIથી પ્રારંભ થઈ ગ્રાહી એકમ તરફ ઉર્ધ્વગમન પામીને, ઈલેક્ટ્રૉન પરિવહન શૃંખલા દ્વારા Ps-I તરફ અધોગમન થઈ, અન્ય ગ્રાહી એકમોમાં સ્થળાંતર પામી અને છેવટે $NADP^+$ તરફ અધો વહન પામી, $NADP^+$નું રિડક્શન કરી NADPH + H^+ બનવા સુધી થાય છે. આ બધી યોજના Z આકારની હોય છે. એટલા માટે તેને **Z સ્કીમ (Z-યોજના)** કહે છે. (આકૃતિ 13.5) આ આકાર ત્યારે બને છે જ્યારે બધા વાહકો એક જ રેડોક્ષ ક્ષમતા માપદંડ પર ક્રમાનુસાર ગોઠવાય છે.

13.6.1 પાણીનું વિભાજન (Splitting of Water)

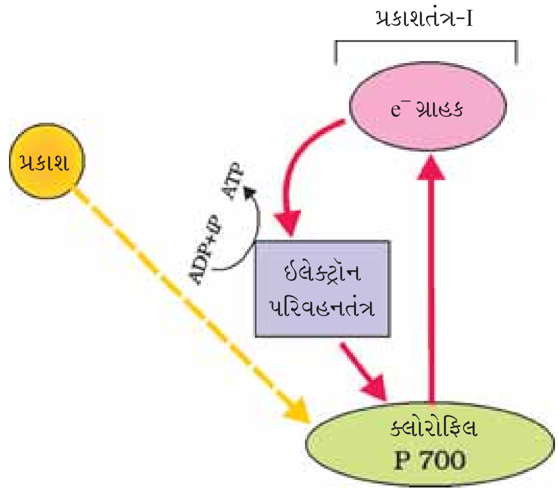
હવે, પછી તમે પૂછશો કે Ps-II કેવી રીતે ઈલેક્ટ્રૉન સતત પૂરા પાડે છે ? ઈલેક્ટ્રૉન્સ (વીજાણુઓ) જે ફોટોસિસ્ટમ-II (Ps-II)માંથી નીકળે છે. તેમનું સ્થાન નિશ્ચિતરૂપે બીજા ઈલેક્ટ્રૉન લે છે. પાણીના વિભાજનને કારણે ઈલેક્ટ્રૉન્સની પ્રાપ્તિ થાય છે. પાણીના વિભાજનની ક્રિયા Ps-II સાથે સંકળાયેલ છે. પાણી (H_2O), H^+, [O] અને ઈલેક્ટ્રૉનમાં વિભાજન પામે છે. આમાંથી ઉત્પન્ન થતો ઑક્સિજન પ્રકાશસંશ્લેષણની એકમાત્ર વાસ્તવિક નીપજ છે. ઈલેક્ટ્રૉન્સના જરૂરી સ્થાનફેર માટે ફોટોસિસ્ટમ-I (PS-I)માંથી દૂર થયેલ ઈલેક્ટ્રૉન, ફોટોસિસ્ટમ-II (PS-II) દ્વારા પૂરા પાડવામાં આવે છે.

$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$$

આપણે તે સારી રીતે જાણી લેવું જોઈએ કે પાણીનું વિભાજન PS-II સાથે સંકળાયેલ છે કે જે આપમેળે ભૌતિક રીતે થાઈલેકૉઇડના પટલની અંદરની તરફ થાય છે. તો પછી આ દરમિયાન પ્રોટોન્સ (H^+) તેમજ O_2 ક્યાં મુક્ત થાય છે ? પોલાણમાં અંદર કે પટલની બહારની તરફ ?

13.6.2 ચક્રીય તેમજ અચક્રીય ફોટોફૉસ્ફોરાયલેશન (Cyclic and Non-Cyclic Photophosphorylation)

સજીવો ઑક્સિડેશન થઈ શકે તેવા પદાર્થોમાંથી ઊર્જા મુક્ત કરી અને તેને રાસાયણિક બંધના સ્વરૂપમાં તે



આકૃતિ 13.6 : ચક્રીય ફોટોફૉસ્ફોરાયલેશન

ઊર્જાને સંચય કરવાની ક્ષમતા ધરાવે છે. વિશિષ્ટ પદાર્થ જેવાં કે ATP, આ ઊર્જાને પોતાના રાસાયણિક બંધમાં જકડી રાખે છે. કોષો દ્વારા (કણાભસૂત્રો અને હરિતકણોમાં) ATPના સંશ્લેષણની આ પ્રક્રિયાને ફૉસ્ફોરાયલેશન (ફૉસ્ફોરીકરણ) કહે છે. ફોટોફૉસ્ફોરાયલેશન એક એવી પ્રક્રિયા છે કે જેમાં પ્રકાશની હાજરીમાં ADP અને અકાર્બનિક ફૉસ્ફેટ દ્વારા ATPનું સંશ્લેષણ થાય છે. જ્યારે બે પ્રકાશતંત્ર (ફોટોસિસ્ટમ) ક્રમિક કાર્ય કરે છે જેમાં Ps-II પહેલાં અને બીજા ક્રમમાં Ps-I કાર્ય કરે ત્યારે થતી પ્રક્રિયાને અચક્રીય ફોટોફૉસ્ફોરાયલેશન કહે છે. આ બંને ફોટોસિસ્ટમ એક ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન શૃંખલા થઈ જોડાયેલ હોય છે. આપણે અગાઉ Z સ્કીમમાં (સંયોજનમાં) જોયું છે. ATP અને NADP + H^+ બંને આવા પ્રકારના ઇલેક્ટ્રૉન પ્રવાહ દ્વારા સંશ્લેષિત થાય છે. (આકૃતિ 13.5)

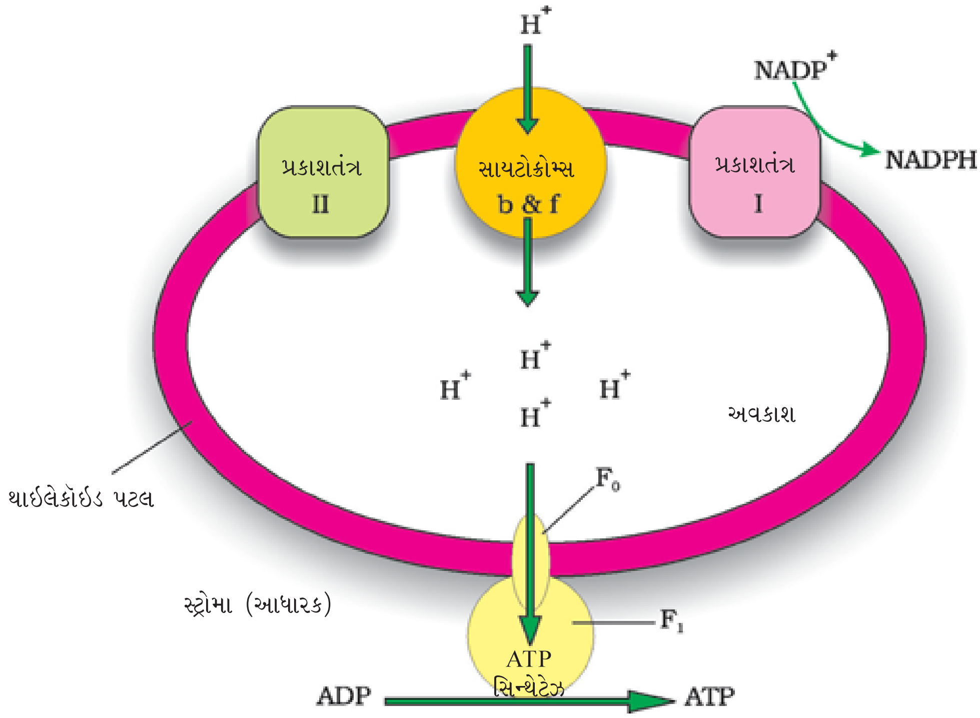
જ્યારે માત્ર PS-I ક્રિયાશીલ હોય છે, ત્યારે ઇલેક્ટ્રૉન ફોટોસિસ્ટમમાં જ ફરતો રહે છે અને ઇલેક્ટ્રૉનના ચક્રીય પ્રવાહને કારણે ફૉસ્ફોરાયલેશન થાય છે. (આકૃતિ 13.6). આ પ્રવાહની સંભવિતતા સ્ટ્રોમા લેમિલી(આંતરગ્રેનમ પટલ)માં હોય છે. જ્યારે ગ્રેનાના પટલ કે ગ્રેનાના પટલોમાં PS-I તેમજ PS-II બંને હોય ત્યારે સ્ટ્રોમા લેમિલીના પટલોમાં (આંતર ગ્રેનન પટલમાં) PS-II તેમજ NADP રિડક્ટેઝ ઉત્સેચક હોતા નથી. ઉત્તેજિત ઇલેક્ટ્રૉન $NADP^+$ તરફ વહન પામતો નથી તે ETS દ્વારા PS-I તરફ ચક્રીય રીતે પાછો ફરે છે. (આકૃતિ 13.6). આમ, ચક્રીય પ્રવાહમાં માત્ર ATPનું સંશ્લેષણ થાય છે પરંતુ NADPH + H^+નું નિર્માણ થતું નથી. ચક્રીય ફોટોફૉસ્ફોરાયલેશન માત્ર ત્યારે જ થાય છે કે જ્યારે તેની ઉત્તેજના માટે પ્રાપ્ત પ્રકાશની તરંગલંબાઈ 680 nmથી વધારે હોય છે.

13.6.3 રસાયણાસૃતિ અધિતર્ક (Chemiosmotic Hypothesis)

ચાલો, હવે આપણે એ સમજવાનો પ્રયત્ન કરીએ કે વાસ્તવિક રીતે ATP નું સંશ્લેષણ હરિતકણમાં કેવી રીતે થાય છે ? આ પ્રક્રિયાનું વર્ણન કરવા માટે રસાયણાસૃતિ (કેમિઓસ્મોટિક) અધિતર્ક રજૂ કરવામાં આવ્યો છે. શ્વસનની જેમ પ્રકાશસંશ્લેષણમાં પણ, ATPનું સંશ્લેષણ પટલની આરપાર પ્રોટોન ઢોળાંશ સાથે સંકળાયેલ છે. આ વખતે આ પટલો થાઇલેકૉઇડના હોય છે. અહીં એક તફાવત એ છે કે પ્રોટોન, થાઇલેકૉઇડના પટલની અંદર અથવા તેના અવકાશમાં સંચિત થાય છે. જ્યારે શ્વસનમાં પ્રોટોન (H^+) કણાભસૂત્રોના આંતરપટલ અવકાશમાં સંચિત થાય છે, જ્યારે ETS (ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન તંત્ર - પ્રકરણ - 14) દ્વારા ઇલેક્ટ્રૉનનું વહન થાય છે.

આવો, હવે એ સમજીએ કે કયાં કારણોસર પટલની આરપાર પ્રોટોન ઢોળાંશ સર્જાય છે ? આપણે એ પ્રક્રિયાઓ પર ધ્યાન આપવું જોઈએ કે જે ઇલેક્ટ્રૉનની સક્રિયતા અને તેઓના પરિવહન દરમિયાન પૂર્ણ થાય છે. જેથી તે તબક્કાઓને સુનિશ્ચિત કરી શકાય જેના કારણે પ્રોટોન ઢોળાંશનો વિકાસ થાય છે. (આકૃતિ 13.7).

(a) જ્યારે પટલની અંદરની તરફ પાણીના અણુનું વિભાજન થાય છે, જેના કારણે ઉત્પન્ન થતાં પ્રોટોન કે હાઇડ્રોજન આયન (H^+) થાઇલેકૉઇડના અવકાશમાં સંચિત થાય છે.



આકૃતિ 13.7 : રસાયણસૃતિ દ્વારા ATPનું સંશ્લેષણ

(b) જેમ કે ઇલેક્ટ્રૉન્સ ફોટોસિસ્ટમમાંથી પસાર થાય છે, ત્યારે પ્રોટોન પટલની આરપાર સ્થળાંતરિત થઈ જાય છે. એવું એટલા માટે થાય છે, કે ઇલેક્ટ્રૉનનો પ્રાથમિક ગ્રાહક કે જે પટલની બહારની તરફ આવેલો હોય છે, તેના પોતાના ઇલેક્ટ્રૉનને એક ઇલેક્ટ્રૉન વાહક તરફ સ્થાનાંતરિત કરતા નથી. પરંતુ હાઇડ્રોજન વાહક તરફ સ્થળાંતરિત કરે છે. આમ, ઇલેક્ટ્રૉન પ્રવાહના સમયે આ અણુ આધારક (સ્ટ્રોમા)માંથી એક પ્રોટોન લઈ લે છે; જ્યારે આ અણુ પોતાના ઇલેક્ટ્રૉનને પટલની અંદરની તરફ આવેલા ઇલેક્ટ્રૉન વાહકને આપી દે છે. ત્યારે પટલની અંદર તરફ અથવા પટલના અવકાશ તરફ પ્રોટોન મુક્ત થાય છે.

(c) NADP રિડક્ટેઝ ઉત્સેચક, પટલની બહારની તરફ એટલે કે સ્ટ્રોમા તરફ હોય છે. PS-Iના ઇલેક્ટ્રૉન ગ્રાહીમાંથી આવતા ઇલેક્ટ્રૉનની સાથે સાથે આ પ્રોટોન $NADP^+$ને NADPH + H^+માં રિડક્શન કરવા માટે આવશ્યક હોય છે. આ પ્રોટોન સ્ટ્રોમામાંથી પણ દૂર થાય છે.

આમ હરિતરણના આધારક (સ્ટ્રોમા)માં આવેલ પ્રોટોનની સંખ્યા ઘટે છે; જ્યારે થાઇલેકૉઇડના અવકાશમાં પ્રોટોનનો સંગ્રહ થાય છે. આ રીતે થાઇલેકૉઇડ પટલની આરપાર એક પ્રોટોન ઢોળાંશ ઉત્પન્ન થાય છે અને એ જ રીતે પોલાણની pH માં પણ નોંધનીય ઘટાડો થાય છે.

આપણા માટે પ્રોટોન ઢાળ એટલો રસપ્રદ કેમ છે ? પ્રોટોન ઢાળ એટલા માટે મહત્ત્વપૂર્ણ છે કારણ કે ઢોળાંશ તૂટવાથી ઊર્જા મુક્ત થાય છે. પટલમાં આવેલ ATPaseના પારપટલ માર્ગ (Fo)ના માધ્યમથી, પટલની અંદરની તરફથી બહાર આધારક તરફ પ્રોટોનની ગતિશીલતાને

કારણે આ ઢોળાંશ તૂટે છે. ATPase ઉત્સેચક બે ભાગો ધરાવે છે : તેમાં એક Fo કહેવાય છે, જે પટલની અંદર સ્થાપિત હોય છે અને પારપટલ માર્ગની રચના કરે છે. જે પટલની આરપાર પ્રોટોનના બહારની તરફના પ્રસરણને અનુકૂળ બનાવે છે. તેનો બીજો ભાગ F_1 કહેવાય છે અને તે થાઈલેકૉઇડની બહારની સપાટી કે જે આધારક (સ્ટ્રોમા)ની તરફ ઉપસેલ સ્વરૂપે હોય છે. ચોક્કસપણે ઢોળાંશ તૂટવાની ક્રિયા પર્યાપ્ત ઊર્જા પૂરી પાડે છે. જેના કારણે ATPaseના F_1માં સ્વરૂપીય પરિવર્તન આવે છે. જેથી ઉત્સેચકીય પ્રક્રિયા દ્વારા ઊર્જાથી પ્રચુર ATPના ઘણા અણુઓનું સંશ્લેષણ થાય છે.

રસાયણાસૃતિ માટે એક પટલ, એક પ્રોટોન પંપ, પ્રોટોન ઢોળાંશ અને ATPaseની આવશ્યકતા હોય છે. એ થાઈલેકૉઇડના અવકાશમાં પ્રોટોનની ઊંચી સાંદ્રતાનું સર્જન કરવા માટે પટલની આરપાર પ્રોટોનને દબાણપૂર્વક મોકલવા માટે ઊર્જાનો ઉપયોગ થાય છે, ATPase એક ચેનલ કે નલિકામય માર્ગ ધરાવે છે. જે પટલની આરપાર પ્રોટોનને પરવાનગી આપે છે. આ મુક્ત થયેલ પર્યાપ્ત ઊર્જા ATPase ઉત્સેચકને સક્રિય કરી ATP નિર્માણનું ઉદ્દીપન કરે છે.

ઇલેક્ટ્રૉનના વહનથી ઉત્પન્ન થયેલ NADPHની સાથે સાથે ATP પણ આધારક (સ્ટ્રોમા)માં થતી જૈવસંશ્લેષણની પ્રક્રિયામાં તરત જ ઉપયોગમાં લેવાય છે. જે CO_2ના સ્થાપન તેમજ શર્કરાના સંશ્લેષણ માટે જવાબદાર છે.

13.7 ATP અને NADPH ક્યાં ઉપયોગમાં આવે છે ? (Where are the ATP and NADPH used ?)

આપણે જોયું કે પ્રકાશ પ્રક્રિયાની નીપજ ATP, NADPH અને O_2 છે. તેમાંથી O_2 હરિતકણની બહાર પ્રસરણ પામે છે, જ્યારે ATP અને NADPHનો ઉપયોગ આહાર અથવા ચોક્કસ રીતે શર્કરાનું સંશ્લેષણ કરતી પ્રક્રિયાઓમાં થાય છે. આ પ્રકાશસંશ્લેષણનો **જૈવસંશ્લેષણ** તબક્કો છે. આ પ્રક્રિયા સીધી રીતે પ્રકાશ પર નિર્ભર હોતી નથી, પણ તે CO_2 અને H_2O ઉપરાંત પ્રકાશ પ્રક્રિયાની ઉત્પાદનો (નીપજો) પર આધારિત હોય છે. એટલે કે ATP અને NADPH પર આધારિત હોય છે. તમને કદાચ એ આશ્ચર્ય થશે કે આવું પરીક્ષણ કેવી રીતે કરી શકાય ? તે ખૂબ જ સરળ છે. પ્રકાશની પ્રાપ્યતા અટકાવતા જૈવ સંશ્લેષણ પ્રક્રિયા થોડોક સમય સુધી ચાલુ રહે છે પરંતુ ત્યાર બાદ તે બંધ થઈ જાય છે. જો ફરીથી પ્રકાશ આપવામાં આવે તો તે પુનઃ શરૂ થાય છે.

આમ, જૈવસંશ્લેષણને **અંધકાર પ્રક્રિયા** (Dark Reaction) કહેવું શું ખોટું છે ? તમારા મિત્રો વચ્ચે તેની ચર્ચા કરો.

આવો, હવે જોઈએ કે જૈવસંશ્લેષણ તબક્કામાં ATP અને NADPHનો ઉપયોગ કેવી રીતે થાય છે. આપણે પહેલાં જોયેલું છે કે H_2Oની સાથે CO_2 સંકળાઈને $(CH_2O)_n$ અથવા શર્કરા ઉત્પન્ન કરે છે. વૈજ્ઞાનિકોની ઉત્સુકતાથી તેઓએ એ શોધ્યું કે આ પ્રક્રિયા કેવી રીતે પૂર્ણ થાય છે અથવા એ જાણવું જોઈએ કે CO_2નો પ્રક્રિયામાં પ્રવેશ થવાને લીધે અથવા તેનું સ્થાપન થવાને લીધે પહેલી નીપજ કઈ બને છે. દ્વિતીય વિશ્વયુદ્ધના થોડાક સમય પછી, લાભદાયી ઉપયોગ માટે રેડિયો આઈસોટોપ્સનો ઉપયોગ કરી પ્રયત્ન કરાયો હતો. જેમાં મેલ્વિન કૅલ્વિનનું કાર્ય વખાણવા લાયક હતું. તેઓએ રેડિયો ઍક્ટિવ ^{14}C નો ઉપયોગ કરી લીલમાં પ્રકાશસંશ્લેષણનો અભ્યાસ કર્યો અને સંશોધન કર્યુ કે CO_2ના સ્થાપનથી નીપજ તરીકે એક 3 કાર્બન પરમાણુયુક્ત કાર્બનિક ઍસિડ ઉત્પન્ન થાય છે. તેની સાથે જ તેમણે સંપૂર્ણ જૈવસંશ્લેષણ પરિપથના સંશોધનમાં પણ યોગદાન આપ્યુ. આમ, તેને

કૅલ્વિનચક્ર કહેવામાં આવ્યું. સૌ પ્રથમ નીપજ **3-ફૉસ્ફોગ્લિસરિક ઍસિડ** તરીકે ઓળખવામાં આવી અથવા ટૂંકમાં, તેને **PGA(3C)** કહે છે. કેટલા કાર્બન પરમાણુઓ તે ધરાવે છે ?

વૈજ્ઞાનિકોએ તે જાણવાનો પણ પ્રયત્ન કર્યો કે શું બધી જ વનસ્પતિઓ CO_2નું સ્થાપન કર્યા પછી પહેલી નીપજ PGA જ બનાવે છે કે પછી અન્ય વનસ્પતિઓમાં કોઈ બીજી નીપજનું નિર્માણ થતું હશે. અન્ય વનસ્પતિ સમૂહોમાં વ્યાપક સંશોધન કરવામાં આવ્યું જ્યાં CO_2નું સ્થાપન થયા પછી પહેલી સ્થાયી નીપજ પુનઃ એક કાર્બનિક ઍસિડ જ હતો, જેમાં કાર્બનના ચાર પરમાણુ હતા. આ ઍસિડ **ઓક્ઝેલો ઍસિટિક ઍસિડ** અથવા OAA તરીકે ઓળખવામાં આવ્યો. ત્યાર પછીથી પ્રકાશસંશ્લેષણ દરમિયાન CO_2ના સ્વાંગીકરણ કે પરિપાચન મુખ્ય બે પ્રકારે થાય છે એમ કહી શકીએ. જે વનસ્પતિઓમાં CO_2નું સ્થાપન થયા પછી પહેલી નીપજ C_3 ઍસિડ(PGA)ની હતી તેમને **C_3 પરિપથ** અને જેમની પ્રથમ નીપજ C_4 ઍસિડ (OAA) હતી તેને **C_4 પરિપથ** કહે છે. આ બંને સમૂહોની વનસ્પતિઓમાં અન્ય આનુષંગિક લાક્ષણિકતાઓ પણ હોય છે, જેની ચર્ચા આપણે પછી કરીશું !

13.7.1 CO_2નો પ્રાથમિક ગ્રાહક (The Primary Acceptor of CO_2)

આવો, હવે આપણે આપણી જાતને જ એક પ્રશ્ન પૂછીએ, જેવી રીતે તે વૈજ્ઞાનિકો દ્વારા પૂછાયેલો હતો કે જેઓ અંધકાર પ્રક્રિયાને સમજવા માટે સંઘર્ષ કરી રહ્યા હતા. તે અણુમાં CO_2નું ગ્રહણ (સ્થાપન) કર્યા પછી કેટલા કાર્બન પરમાણુઓ ધરાવે છે ? PGAના સ્વરૂપમાં ત્રણ (3) કાર્બન પરમાણુઓ ધરાવતો હશે ?

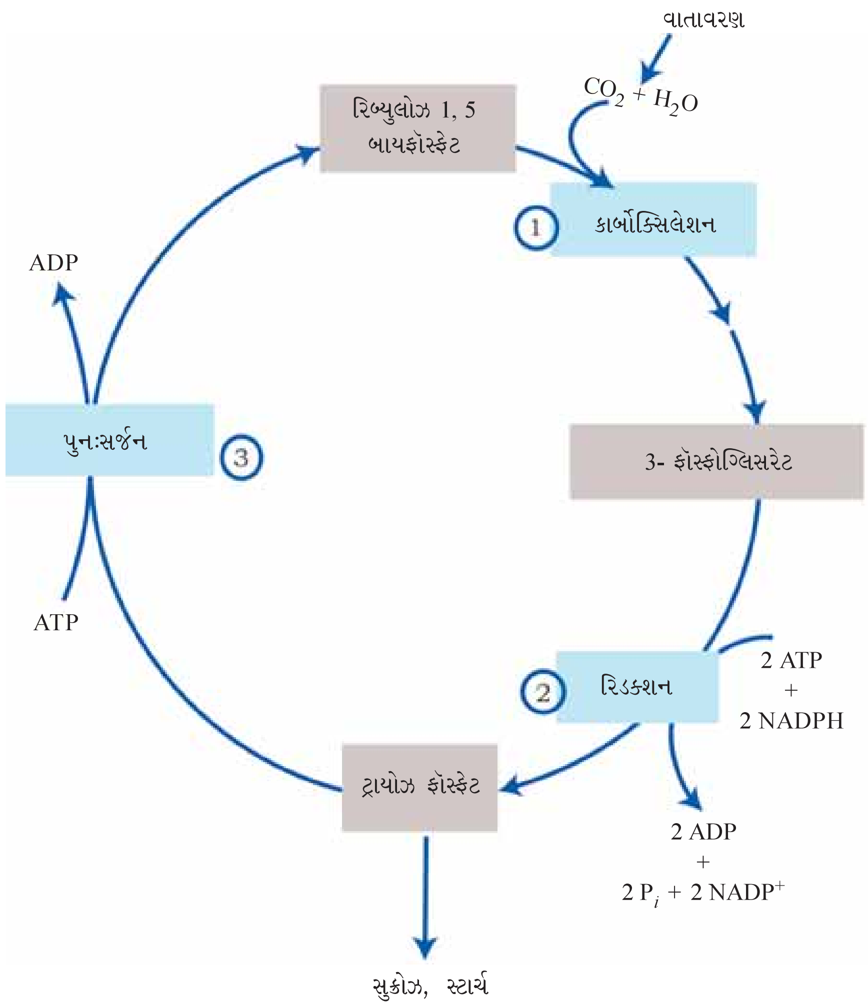
ખૂબ જ અનપેક્ષિત રીતનો અભ્યાસ દર્શાવે છે કે CO_2 ગ્રહણ કરનાર અણુ એક પાંચ કાર્બનયુક્ત કિટોઝ શર્કરા હતી. તે રિબ્યુલોઝ 1-5 બાયફૉસ્ફેટ (RuBP) હતી. શું તમારામાંથી કોઈએ આ સંભાવના વિશે વિચાર્યું હતું ? ચિંતા ન કરો. વૈજ્ઞાનિકોએ પણ આ તારણ સુધી પહોંચવા માટે ઘણો સમય લીધો હતો તેમણે કોઈ નિર્ણય પર પહોંચતા પહેલા ઘણા બધા પ્રયોગો કર્યા હતા. તેઓ એમ પણ માનતા હતા કે પહેલી નીપજ C_3 ઍસિડ હોય, તો પ્રાથમિક ગ્રાહક એ 2 કાર્બનવાળો સંયોજન હશે. તેઓએ 5 કાર્બનવાળો પદાર્થ / સંયોજન RuBpના સંશોધન પહેલા 2 કાર્બનવાળા સંયોજનને ઓળખવા માટેનો પ્રયત્ન ઘણાં વર્ષો સુધી કર્યો.

13.7.2 કૅલ્વિનચક્ર (The Calvin Cycle)

કૅલ્વિન અને તેમના સાથીદારોએ સંપૂર્ણ પરિપથ વિશેનું સંશોધન કરીને દર્શાવ્યું કે આ પરિપથ એક ચક્રીય ક્રમમાં સંચાલિત છે; જેમાં RuBPનું પુનઃ નિર્માણ થાય છે. આવો, હવે એ જોઈએ કે કૅલ્વિનચક્રનો પરિપથ કેવી રીતે સંચાલિત થાય છે અને શર્કરા ક્યાં સંશ્લેષણ પામે છે. આવો, હવે સ્પષ્ટ રીતે સમજી લઈએ કે કૅલ્વિનચક્ર **બધી પ્રકાશસંશ્લેષિત વનસ્પતિઓમાં** થાય છે. તેનાથી કોઈ ફેર પડતો નથી કે તે C_3 અથવા C_4 પરિપથ (અથવા કોઈ અન્ય પરિપથ) ધરાવતી હોય. (આકૃતિ 13.8).

કૅલ્વિનચક્રને સરળતાથી સમજવા માટે તેનું - કાર્બોક્સિલેશન, રિડક્શન અને પુનઃસર્જન (Regeneration) એમ ત્રણ તબક્કામાં વર્ણન કરાય છે.

(1) કાર્બોક્સીલેશન : તે CO_2 સ્થાપનની પ્રક્રિયા છે કે જેમાં એક સ્થાયી કાર્બનિક મધ્યસ્થી પદાર્થ બને છે. કૅલ્વિનચક્રમાં કાર્બોક્સિલેશન એક અતિ નિર્ણાયક તબક્કો છે, જેમાં RuBPના કાર્બોક્સિલેશન માટે CO_2નો ઉપયોગ થાય છે. આ પ્રક્રિયા ઉત્સેચક RuBP કાર્બોક્સિલેઝ દ્વારા ઉત્તેજિત થાય છે, જેના પરિણામ સ્વરૂપે 3-PGAના બે અણુઓ બને છે. ઉપરાંત આ ઉત્સેચક ઑક્સિજીનેશન કરવાની ક્ષમતા પણ ધરાવે છે. આમ, તે વધારે યોગ્ય હશે કે આપણે આ ઉત્સેચકને RuBP કાર્બોક્સિલેઝ - ઑક્સિજીનેઝ અથવા **રુબિસ્કો (RuBisCO)** તરીકે પણ ઓળખીશું.



આકૃતિ 13.8 : કેલ્વિનચક્રને ત્રણ ભાગોમાં વહેંચી શકાય. (1) કાર્બોક્સીલેશન, જે દરમિયાન CO_2 રિબ્યુલોઝ 1-5 બાય ફૉસ્ફેટની સાથે જોડાય છે. (2) રિડક્શન, જે દરમિયાન કાર્બોદિતનું નિર્માણ પ્રકાશ રાસાયણિક પ્રક્રિયાથી બનેલા ATP અને NADPHના વપરાશથી થાય છે અને (3) પુનઃસર્જન, જે દરમિયાન CO_2 ગ્રાહી રિબ્યુલોઝ 1-5 બાયફૉસ્ફેટનું ફરીથી નિર્માણ થાય છે તથા ચક્ર સતત ચાલતું રહે છે.

(2) રિડક્શન : આ ગ્લુકોઝનું નિર્માણ કરતી પ્રક્રિયાઓની એક શૃંખલા છે. આ તબક્કામાં પ્રત્યેક CO_2અણુનું સ્થાપન કરવા માટે ATPના 2 અણુઓનો ઉપયોગ ફૉસ્ફોરાયલેશન માટે અને NADPHના બે અણુઓનો ઉપયોગ રિડક્શન માટે થાય છે. આ પરિપથમાં ગ્લુકોઝનો એક અણુ બનવા માટે CO_2ના 6 અણુઓનું સ્થાપન અને ચક્રનું ચક્રીયકરણ 6 વખત જરૂરી છે.

(3) રિજનરેશન (પુનઃસર્જન) : જો આ ચક્રને અવરોધ કે ખલેલ વિના સતત ચાલતુ રહેવા માટે CO_2ના ગ્રાહી અણુ RuBPનું પુનઃસર્જન થવું જરૂરી છે. પુનઃસર્જનના તબક્કામાં RuBPના નિર્માણ હેતુ ફૉસ્ફોરાયલેશન માટે એક ATPની આવશ્યકતા હોય છે.

એટલા માટે, કેલ્વિનચક્રમાં CO_2ના પ્રત્યેક અણુનો પ્રવેશ કરવા માટે ATPના 3 અણુ અને NADPHના બે અણુઓની આવશ્યકતા હોય છે. અંધકાર પ્રક્રિયામાં વપરાતા ATP અને NADPH અણુની સંખ્યાના તફાવતને પહોંચી વળવા માટે ચક્રીય ફોટો ફૉસ્ફોરાયલેશન થાય છે.

ગ્લુકોઝના એક અણુના નિર્માણ માટે આ ચક્રને 6 વખત ચક્રીયકરણની આવશ્યકતા હોય છે. એ ગણતરી કરો કે કેલ્વિન પરિપથના માધ્યમથી ગ્લુકોઝનાં એક અણુની રચના માટે કેટલા ATP અને NADPHના અણુઓની જરૂર હોય છે.

તમને આ વાતને કદાચ સમજવામાં મદદ મળશે કે કેલ્વિનચક્રમાં શું અંદર પ્રવેશે છે અને શું બહાર નીકળે છે.

અંદર (પ્રક્રિયક)	બહાર (નિપજ)
6 CO_2	એક ગ્લુકોઝ
18 ATP	18 ADP
12 NADPH	12 NADP

13.8 C_4 પરિપથ (The C_4 Pathway)

અગાઉ જણાવ્યા મુજબ, ઉષ્ણ કટિબંધીય વિસ્તારમાં અનુકૂલન પામેલ વનસ્પતિઓ C_4 પરિપથ ધરાવે છે. આ વનસ્પતિઓમાં CO_2નું સ્થાપન થવાથી પહેલી સ્થાયી નીપજ તરીકે C_4 ઓક્ઝેલો ઍસિટિક ઍસિડનું નિર્માણ થાય છે છતાં પણ આના મુખ્ય જૈવસંશ્લેષણ પરિપથ તરીકે C_3 પરિપથ અથવા કેલ્વિનચક્રનો ઉપયોગ કરે છે. ત્યારે C_4 વનસ્પતિઓ, C_3 વનસ્પતિઓ કરતા કઈ રીતે જુદી પડે છે ? આ એક પ્રશ્ન છે જે તમે પૂછી શકો છો.

C_4 વનસ્પતિઓ વિશિષ્ટ હોય છે. તેઓ તેમના પર્ણોમાં એક વિશિષ્ટ પ્રકારની અંતઃસ્થ રચના ધરાવે છે. જે ઊંચા તાપમાનને સહન કરી શકે છે. તેઓ પ્રકાશની વધુ તીવ્રતાની સામે પ્રતિક્રિયા દર્શાવે છે. તેમાં પ્રકાશશ્વસન કહેવાતી પ્રક્રિયાનો અભાવ જોવા મળે છે, તેઓમાં જૈવભારની ખૂબ જ ઊંચી ઉત્પાદકતા હોય છે. આવો, તેઓને એક-એક કરીને સમજીએ.

C_3 અને C_4 પર્ણોનો આયામ છેદ લઈને અભ્યાસ કરો. શું તમને આ બંને છેદમાં કોઈ ભેદ જોવા મળ્યો છે ? શું બંને પર્ણોમાં એક જ પ્રકારની મધ્યપર્ણ પેશી ધરાવે છે ? શું તેઓ વાહીપુલની આસપાસ સમાન પ્રકારના કોષો ધરાવે છે ?

C_4 પરિપથ ધરાવતી વનસ્પતિઓના વાહિપુલની આસપાસ મોટા કોષો આવેલા છે તેને **પુલકંચુક કોષો** કહેવાય છે અને પર્ણોમાં જોવા મળતી આવી અંતઃસ્થ રચના તેને **ક્રેન્ઝ પેશીય સંરચના (અંતઃસ્થ રચના)** કહે છે. અહીંયાં ક્રેન્ઝનો અર્થ એ થાય છે કે આવરવું અને તે કોષોની વિશિષ્ટ ગોઠવણી છે. વાહિપુલની આસપાસ પુલકંચુકીય **કોષોના અનેક સ્તરો** આવેલા હોય છે; તેમાં હરિતકણોની વધુ સંખ્યા તેની લાક્ષણિકતા છે. તેઓની જાડી કોષદીવાલ વાતવિનિમય માટે અપ્રવેશશીલ હોય છે અને આંતરકોષીય અવકાશો હોતા નથી. C_4 વનસ્પતિઓ જેવી કે મકાઈ અથવા જુવારના પર્ણોના છેદ લઈ, ક્રેન્ઝ પેશીય સંરચના (અંતઃસ્થ રચના) તેમજ મધ્યપર્ણ કોષોનું વિતરણ તમને જોવું ગમશે.

તે તમારા માટે રસપ્રદ રહેશે કે તમારી આસપાસની વનસ્પતિઓની વિવિધ જાતિઓનાં પર્ણો એકત્ર કરીને અને તેઓના પર્ણોનો આયામ છેદ લો. સૂક્ષ્મદર્શકયંત્ર વડે વાહિપુલની આસપાસ આવેલા પુલકંચુકને

નિહાળો. પુલકંચુક જે C_4 વનસ્પતિઓ ઓળખવામાં તમને મદદરૂપ થશે.

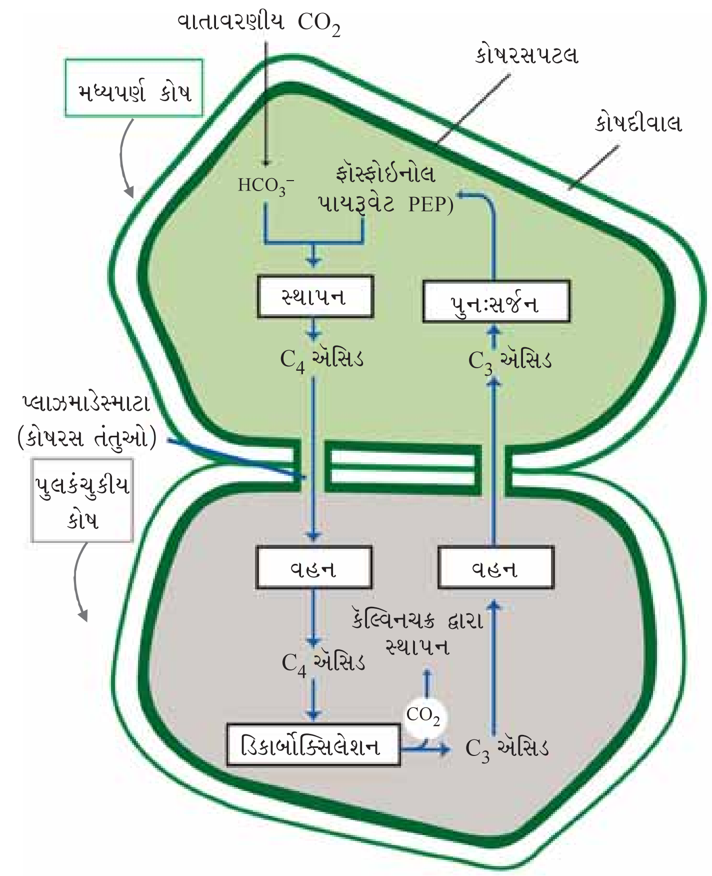
હવે આકૃતિ 13.9માં દર્શાવેલ પરિપથનો અભ્યાસ કરો. આ પરિપથને હેચ અને સ્લેક પરિપથ કહે છે અને આ પણ એક ચક્રીય પ્રક્રિયા છે. ચાલો, તેના તબક્કાઓની નોંધ લઈ પરિપથનો અભ્યાસ કરીએ.

CO_2નો પ્રાથમિક ગ્રાહક એક 3 કાર્બન યુક્ત અણુ **ફૉસ્ફૉઈનોલ પાયરૂવેટ (PEP)** છે. અને તે મધ્યપર્ણ કોષોમાં આવેલ હોય છે. સ્થાપન માટે જવાબદાર ઉત્સેચક PEPcase કે **PEP કાર્બોક્સીલેઝ.** અહીં એ નોંધવું મહત્ત્વનું છે કે મધ્યપર્ણ કોષોમાં રુબિસ્કો (RuBisCO) ઉત્સેચક હોતો નથી. C_4 ઍસિડ OAA મધ્યપર્ણના કોષોમાં નિર્માણ પામે છે.

ત્યારબાદ તે મધ્યપર્ણના કોષોમાં અન્ય 4-કાર્બનયુક્ત સંયોજન મેલિક ઍસિડ કે એસ્પાર્ટિક ઍસિડનું નિર્માણ કરે છે, કે જે પુલકંચુકીય કોષમાં સ્થળાંતરિત થાય છે. પુલકંચુકીય કોષોમાં આ C_4 ઍસિડ વિઘટન પામીને CO_2 અને એક 3-કાર્બનયુક્ત અણુ મુક્ત કરે છે.

3-કાર્બન અણુ પુનઃ મધ્યપર્ણ પેશીના કોષમાં પુનઃ પ્રવેશે છે, જ્યાં તે ફરીથી PEP (ફૉસ્ફોઈનોલ પાયરૂવેટ)માં પરિવર્તિત થાય છે, આ રીતે આ ચક્ર પૂરું થાય છે.

પુલકંચુકીય કોષોમા રહેલ CO_2 એ કૅલ્વિન પરિપથ અથવા C_3 પરિપથમાં પ્રવેશ કરે છે. કૅલ્વિન પરિપથ એક એવો પરિપથ છે જે બધી વનસ્પતિઓમાં સામાન્ય છે. પુલકંચુકીય કોષો રિબ્યુલોઝ બાયફોસ્ફેટ કાર્બોક્સીલેઝ ઑક્સીજીનેઝ **(RuBisCO)** ઉત્સેચકથી પ્રચૂર હોય છે. પરંતુ PEPcaseનો અભાવ હોય છે. આમ, મૂળભૂત પરિપથ કે જેના પરિણામ સ્વરૂપ શર્કરાનું નિર્માણ થાય છે તે કૅલ્વિન પરિપથ - C_3 અને C_4 વનસ્પતિઓમાં સામાન્ય છે.



આકૃતિ 13.9 : હેચ અને સ્લેક પરિપથની રેખાંકન પ્રસ્તુતિ

શું તમે નોંધ્યુ કે દરેક C_3 વનસ્પતિઓના બધા મધ્યપર્ણ કોષોમાં કેલ્વિન પરિપથ જોવા મળે છે ? C_4 વનસ્પતિઓમાં મધ્યપર્ણ કોષોમાં આ પરિપથ જોવા મળતો નથી, પરંતુ પુલકંચુકીય કોષોમાં જ જોવા મળે છે.

13.9 પ્રકાશશ્વસન (Photorespiration)

ચાલો, આપણે એક બીજી પ્રક્રિયા પ્રકાશશ્વસનને જાણવાનો પ્રયત્ન કરીએ, જે C_3 અને C_4 વનસ્પતિઓમાં રહેલો મહત્ત્વનો ભેદ સ્પષ્ટ કરે છે. **પ્રકાશશ્વસન** સમજવા માટે આપણે કૅલ્વિન પરિપથનો પ્રથમ તબક્કો અથવા CO_2ના સ્થાપનના પ્રથમ તબક્કાના વિષયમાં કેટલીક વધારે જાણકારી મેળવવી પડે. આ તે પ્રક્રિયા છે જેમાં RuBP, કાર્બન ડાયૉક્સાઇડની સાથે સંયોજાઈને 3PGAના બે અણુઓનું નિર્માણ કરે છે રિબ્યુલોઝ RuBisCO ઉત્સેચક દ્વારા ઉદ્દીપન પામે છે.

$$RuBP + CO_2 \xrightarrow[\text{(RuBisCO)}]{\text{રુબિસ્કો}} 2 \times 3PGA$$

રુબિસ્કો ઉત્સેચક વિશ્વમાં સૌથી વિપુલ પ્રમાણમાં મળતો ઉત્સેચક છે. (તમને આશ્ચર્ય થશે કે કેમ ?) આ ઉત્સેચકનું લક્ષણ એ છે કે તેના સક્રિય સ્થાને CO_2 તેમજ O_2 બંને જોડાઈ શકે છે. એટલા માટે તેને રુબિસ્કો કહે છે. શું તમે વિચારી શકો છો કે આ કેવી રીતે સંભવિત છે ? RuBisCOને O_2 કરતાં CO_2 પ્રત્યે વધુ આકર્ષણ હોય છે. કલ્પના કરો કે જો આવું ન થતું હોત તો શું થાય ? આ જોડાણ ક્ષમતા સ્પર્ધાત્મક હોય છે. O_2 અથવા CO_2 તેમાંથી ઉત્સેચક સાથે કોણ જોડાશે તેનો આધાર તેમની સાપેક્ષ સાંદ્રતા પર રહેલો છે.

C_3 વનસ્પતિઓમાં કેટલાક O_2 રુબિસ્કોની સાથે જોડાય છે. આથી, CO_2ના સ્થાપનમાં ઘટાડો થાય છે. અહીં, પ્રકાશશ્વસનમાં RuBP, 3 PGAના બે અણુઓમાં પરિવર્તિત થવાને બદલે ઑક્સિજન સાથે સંયોજાઈને પરિપથમાં એક ફૉસ્ફોગ્લિસરેટનો ત્રણ કાર્બનયુક્ત અણુ અને એક ફૉસ્ફોગ્લાયકોલેટના અણુનું નિર્માણ કરે છે. પ્રકાશશ્વસનના પરિપથમાં શર્કરા કે ATPનું સંશ્લેષણ થતું નથી, પરંતુ તેના પરિણામ સ્વરૂપ તેમાં ATPના ઉપયોગની સાથે CO_2 પણ મુક્ત થાય છે. પ્રકાશશ્વસન પરિપથમાં ATP કે NADPHનું સંશ્લેષણ થતું નથી. આમ, પ્રકાશશ્વસન એ વ્યયકારક પ્રક્રિયા છે.

C_4 વનસ્પતિઓમાં પ્રકાશશ્વસન થતું નથી. તેનું કારણ એ છે કે તે એક એવું તંત્ર ધરાવે છે જે ઉત્સેચક સ્થાને CO_2ની સાંદ્રતા વધારી દે છે. એવું ત્યારે જ થાય છે જ્યારે મધ્યપર્ણમાંથી C_4 ઍસિડ પુલકંચુકીય કોષોમાં વિઘટન પામીને CO_2ને મુક્ત કરે છે, જેના પરિણામ સ્વરૂપે CO_2ની અંતઃકોષીય સાંદ્રતા વધતી જાય છે. તેનાથી એ સુનિશ્ચિત થાય છે કે RuBisCO (રુબિસ્કો) **કાર્બોક્સિલેઝ** વધારે કાર્ય કરે છે. અને ઑક્સિજીનેઝ સ્વરૂપે તેની પ્રક્રિયાને ન્યૂનત્તમ કરે છે.

હવે, તમે જાણો છો કે C_4 વનસ્પતિઓમાં પ્રકાશશ્વસન થતું નથી. હવે સંભવતઃ તમે સમજી ગયા હશો કે આ વનસ્પતિઓમાં ઉત્પાદકતા તેમજ ઉત્પાદન કેમ વધુ સારું હોય છે. તે ઉપરાંત આવી વનસ્પતિઓ ઊંચા તાપમાન સામે સહિષ્ણુતા દર્શાવે છે.

ઉપરોક્ત પરિચર્ચાના આધારે શું તમે તે વનસ્પતિઓની તુલના કરી શકો છો કે, જેઓ C_3 અને C_4 પરિપથ દર્શાવે છે ? આપેલા કોષ્ટકનો ઉપયોગ કરીને આવશ્યક સૂચનાઓ ભરો.

કોષ્ટક 13.1 : C_3 તેમજ C_4 વનસ્પતિઓ વચ્ચેના તફાવત માટે આ કોષ્ટકની કૉલમ 2 અને 3 ને ભરો.

વિશિષ્ટતાઓ	C_3 વનસ્પતિઓ	C_4 વનસ્પતિઓ	આમાંથી પસંદ કરો
કેલ્વિન ચક્ર દર્શાવતા કોષનો પ્રકાર			મધ્યપર્ણ પેશી/પુલકંચુકીય કોષો/બંને
પ્રારંભિક કાર્બોક્સિલેશન પ્રક્રિયા થતી હોય તેવા કોષનો પ્રકાર			મધ્યપર્ણ પેશી/પુલકંચુકીય કોષો/બંને
પર્ણમાં CO_2નું સ્થાપન કરતા કેટલા પ્રકારના કોષો હોય છે			(1) મધ્યપર્ણ પેશી (2) પુલકંચુકના કોષો અને મધ્યપર્ણ પેશી (3) પુલકંચુકના કોષો, લંબોત્તક, શિથિલોતક મધ્યપર્ણ પેશી
CO_2નો પ્રાથમિક ગ્રાહક કયો છે ?			RuBP/PEP/PGA
પ્રાથમિક CO_2 ગ્રાહક કાર્બનની સંખ્યા ?			5 / 4 / 3
CO_2ના સ્થાપનની પ્રાથમિક નીપજ કઈ છે ?			PGA/OAA/RuBP
CO_2ના સ્થાપનની પ્રાથમિક નીપજમાં કેટલા કાર્બન છે ?			3 / 4 / 5
શું વનસ્પતિમાં RuBisCO હોય છે ?			હા/ના/હંમેશાં ન હોય
શું વનસ્પતિમાં PEPcase હોય છે ?			હા/ના/હંમેશાં ન હોય
વનસ્પતિના કયા કોષોમાં RuBisCO હોય છે ?			મધ્યપર્ણ કોષો/પુલકંચુકીય કોષ/કોઈ પણ નહીં
તીવ્ર પ્રકાશની સ્થિતિમાં CO_2ના સ્થાપનનો દર			ઓછો/ વધારે/મધ્યમ
શું પ્રકાશની ઓછી તીવ્રતામાં પ્રકાશશ્વસન થાય છે ?			વધારે/નહિવત્/ક્યારેક
શું પ્રકાશની વધુ તીવ્રતામાં પ્રકાશશ્વસન થાય છે ?			વધારે/નહિવત્/ક્યારેક
શું CO_2ની ઓછી સાંદ્રતામાં પ્રકાશશ્વસન થાય છે ?			વધારે/નહિવત્/ક્યારેક
શું CO_2ની વધુ સાંદ્રતામાં પ્રકાશશ્વસન થશે ?			વધારે/નહિવત્/ક્યારેક
ઇષ્ટમાન તાપમાન			30-40° C/20°-25°C/40°Cથી વધારે
ઉદાહરણો			વિવિધ વનસ્પતિઓના પર્ણોના ઊભા છેદ તથા સૂક્ષ્મદર્શકયંત્ર વડે ક્રેન્ઝ પેશીય સંરચના (અંતઃસ્થ રચના)નું નિરીક્ષણ અને યોગ્ય કૉલમમાં તેમની યાદી

13.10 પ્રકાશસંશ્લેષણને અસર કરતાં પરિબળો (Factors Affecting Photosynthesis)

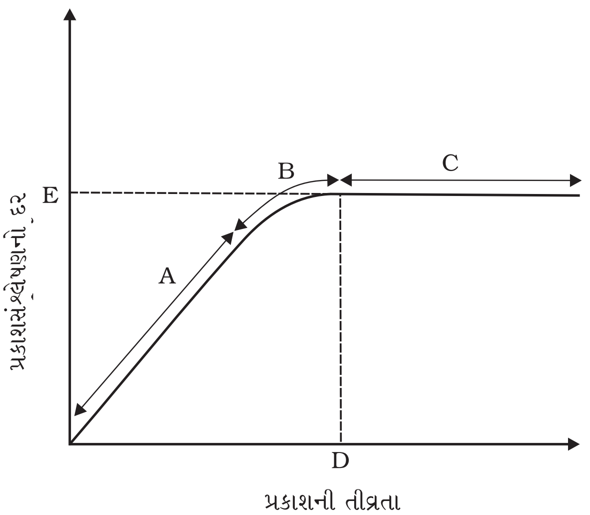
પ્રકાશસંશ્લેષણને અસર કરનારા પરિબળોને સમજવા જરૂરી છે. ખેતીલાયક સહિતની તમામ વનસ્પતિઓનું ઉત્પાદન નિર્ધારિત કરવા માટે પ્રકાશસંશ્લેષણનો દર ખૂબ મહત્ત્વનો છે. પ્રકાશસંશ્લેષણ ઘણાં પરિબળો દ્વારા અસર પામે છે. જે બાહ્ય તેમજ આંતરિક બંને પ્રકારના હોઈ શકે છે. વનસ્પતિ પરિબળોમાં સંખ્યા, પર્ણની, ઉંમર, કદ અને પર્ણવિન્યાસ, મધ્યપર્ણ કોષો અને હરિતકણો, CO_2ની આંતરિક સાંદ્રતા અને ક્લોરોફિલનું પ્રમાણ વગેરે છે. વનસ્પતિ અથવા આંતરિક પરિબળો આનુવંશિક પૂર્વાનુકૂળતા અને વનસ્પતિઓની વૃદ્ધિ પર આધારિત હોય છે.

બાહ્ય પરિબળોમાં સૂર્યપ્રકાશની પ્રાપ્તિ, તાપમાન, CO_2ની સાંદ્રતા અને પાણીનો સમાવેશ થાય છે. વનસ્પતિની પ્રકાશસંશ્લેષણ પ્રક્રિયામાં ઘણા પરિબળો એકસાથે પ્રકાશસંશ્લેષણ કે CO_2ના સ્થાપનને અસર પહોંચાડે છે. છતાં કોઈ પણ એક પરિબળ સિમિત પરિબળ તરીકેનું મુખ્ય કારણ બને છે. આમ, કોઈ પરિબળ જે તેના ઈષ્ટતમ પ્રમાણથી (Sub-optimal level) ઓછો પ્રાપ્ય હશે તે પ્રકાશસંશ્લેષણનો દર નક્કી કરશે.

જ્યારે અનેક પરિબળો કોઈ (જૈવ) રાસાયણિક પ્રક્રિયાને અસર કરે છે તો બ્લૅકમૅન(1905)ના **ન્યૂનતમ કારકોનો નિયમ** અસરકારક બને છે. તે નીચે પ્રમાણે જણાવેલ છે.

તેના અનુસાર જો કોઈ રાસાયણિક પ્રક્રિયા એકથી વધારે પરિબળો દ્વારા અસરકારક બને તો તેના દરનું નિર્ધારણ તેવા કારકથી થશે જે પોતાના ન્યૂનતમ મૂલ્યની નજીક હશે. જો તે પરિબળના પ્રમાણમાં ફેરફાર કરવામાં આવે તો તે પરિબળ, પ્રક્રિયાને સીધી રીતે અસર પહોંચાડી શકે છે.

ઉદાહરણ તરીકે, એક લીલું પર્ણ, ઈષ્ટતમ પ્રકાશ અને CO_2 ની હાજરી હોવા છતાં પણ, જો તાપમાન ખૂબ ઓછું હોય તો પ્રકાશસંશ્લેષણ થઈ શકતું નથી. આ પર્ણમાં પ્રકાશસંશ્લેષણ ત્યારે જ શરૂ થશે, જ્યારે તેને ઈષ્ટમાન તાપમાન મળશે.



આકૃતિ 13.10 : પ્રકાશની તીવ્રતા વિરુદ્ધ પ્રકાશસંશ્લેષણના દર પર અસર દર્શાવતો આલેખ

13.10.1 પ્રકાશ (Light)

જ્યારે આપણે પ્રકાશને પ્રકાશસંશ્લેષણ પર અસરકારક પરિબળના રૂપમાં લઈએ છીએ ત્યારે આપણે પ્રકાશની ગુણવત્તા, પ્રકાશની તીવ્રતા તથા પ્રકાશ અવધિ વચ્ચેનો ભેદ પારખવો આવશ્યક છે. અહીંયાં પ્રકાશની ઓછી તીવ્રતા એ આપાત થતો પ્રકાશ અને CO_2ના સ્થાપનના દર વચ્ચે એક રેખીય સંબંધ છે. પ્રકાશની વધુ તીવ્રતાઓ આ દરમાં કોઈ વૃદ્ધિ થતી નથી કારણ કે અન્ય પરિબળ સીમિત પરિબળ બની જાય છે. (આકૃતિ 13.10). ધ્યાન આપવા જેવી રસપ્રદ વાત એ છે કે પ્રકાશ સંતૃપ્તિ પૂર્ણ સૂર્ય પ્રકાશના 10 % એ હોય છે. છાયાવાળા કે સઘન જંગલોમાં ઉગતી વનસ્પતિઓ સિવાયની વનસ્પતિઓ માટે પ્રકાશ કદાચ જ પ્રકૃતિમાં સીમાંતક પરિબળ બને છે, એક સીમા પછી આપાત પ્રકાશ ક્લોરોફિલ (હરિતદ્રવ્ય)ના વિઘટનનું કારણ હોય છે. જેનાથી પ્રકાશસંશ્લેષણનો દર ઘટે છે.

13.10.2 કાર્બન ડાયૉક્સાઇડની સાંદ્રતા (Concentration of Carbon dioxide)

પ્રકાશસંશ્લેષણમાં કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ (CO_2) એક મુખ્ય સીમાંતક પરિબળ છે. વાતાવરણમાં CO_2ની સાંદ્રતા ખૂબ જ ઓછી છે. (0.03 અને 0.04 % ની વચ્ચે) CO_2ની સાંદ્રતામાં 0.05% સુધી વધારો કરવામાં આવે તો CO_2 ના સ્થાપન દરમાં વધારો થઈ શકે છે. પરંતુ તેનાથી વધારે માત્રામાં લાંબા સમય સુધી વધારો થાય તો તે હાનિકારક બની શકે છે.

C_3 તેમજ C_4 વનસ્પતિઓ CO_2ની સાંદ્રતા પ્રત્યે ભિન્ન પ્રતિભાવ દર્શાવે છે. ઓછા પ્રકાશની સ્થિતિમાં બંનેમાંથી કોઈપણ સમૂહ CO_2ની વધુ સાંદ્રતાએ પ્રતિક્રિયા દર્શાવતા નથી. પ્રકાશની વધુ તીવ્રતામાં C_3 અને C_4 બંને વનસ્પતિઓના પ્રકાશસંશ્લેષણના દરમાં વધારો થાય છે. અહીંયા એ નોંધવું મહત્ત્વપૂર્ણ છે કે C_4 વનસ્પતિઓ લગભગ 360 μlL^{-1} પર સંતૃપ્તિ દર્શાવે છે. C_3 વનસ્પતિઓ CO_2ની વધુની સાંદ્રતાએ પ્રતિભાવ આપે છે અને 450 μlL^{-1} થી વધુ એ જ સંતૃપ્તિ દર્શાવે છે. આમ, પ્રાપ્ત CO_2નું સ્તર C_3 વનસ્પતિઓ માટે સીમાંતક બને છે.

સાચું એ છે કે C_3 વનસ્પતિઓ CO_2ની વધુ સાંદ્રતામાં પ્રક્રિયા કરે છે અને પ્રકાશસંશ્લેષણના દરમાં વધારો થાય છે જેના ફળસ્વરૂપે ઉત્પાદનમાં વધારો થાય છે અને તે સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ ગ્રીન હાઉસ પાક, જેવાં કે ટામેટા તેમજ સિમલા મરચાંમાં કરવામાં આવે છે. તેમને કાર્બન ડાયૉક્સાઇડથી ભરપૂર વાતાવરણમાં ઉછેરવાની તક આપવામાં આવે છે જેથી ઉત્પાદકતામાં વધારો થાય.

13.10.3 તાપમાન (Temperature)

અંધકાર પ્રક્રિયા ઉત્સેચકીય પ્રક્રિયા છે. તેથી તાપમાન દ્વારા નિયંત્રિત થાય છે. આમ પ્રકાશ-પ્રક્રિયા પણ તાપમાન સંવેદી છે, પરંતુ તેના પર તાપમાનની ખૂબ જ ઓછી અસર થાય છે. C_4 વનસ્પતિઓ વધુ તાપમાને પ્રતિક્રિયા કરે છે અને તેમાં પ્રકાશસંશ્લેષણનો દર પણ ઊંચો કે વધારે દર્શાવે છે. જ્યારે C_3 વનસ્પતિઓ ખૂબ જ ઓછું ઇષ્ટમાન તાપમાન ધરાવે છે.

વિવિધ વનસ્પતિઓમાં પ્રકાશ સંશ્લેષણ માટે ઈષ્ટમાન તાપમાન તેમના અનુકૂલિત વસવાટ પર આધાર રાખે છે. સમશીતોષ્ણ વનસ્પતિઓ કરતાં ઉષ્ણ કટિબંધની વનસ્પતિઓમાં ઈષ્ટતમ તાપમાન વધુ હોય છે.

13.10.4 પાણી (Water)

પ્રકાશ પ્રક્રિયામાં પાણી એક મહત્ત્વનું પ્રક્રિયક છે છતાં પાણીની એક પરિબળ તરીકેની પ્રત્યક્ષ રીતે પ્રકાશસંશ્લેષણ પર થતી અસર કરતાં સમગ્ર વનસ્પતિ પર વધારે અસર પડે છે. જલતાણને કારણે પર્ણરંધ્રો બંધ થાય છે. આથી CO_2 ની પ્રાપ્તિમાં ઘટાડો થાય છે. આની સાથે સાથે જલતાણથી પર્ણો વલન પામે છે, જેનાથી પર્ણના સપાટીય ક્ષેત્રફળમાં પણ ઘટાડો થાય છે અને તેમની ચયાપચયિક ક્રિયાઓ પણ ઘટી જાય છે.

સારાંશ

વનસ્પતિઓ ખોરાકને પ્રકાશસંશ્લેષણ દ્વારા તેમનો પોતાનો ખોરાક બનાવે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન વાતાવરણમાં રહેલા કાર્બન ડાયૉક્સાઇડને પર્ણોના પર્ણરંધ્રો દ્વારા મેળવે છે અને કાર્બોદિતો - મુખ્યત્વે ગ્લુકોઝ (શર્કરા) તેમજ સ્ટાર્ચ બનાવવામાં ઉપયોગ કરે છે. પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા વનસ્પતિઓના લીલા ભાગો, મુખ્યત્વે પર્ણોમાં થાય છે. પર્ણોમાં આવેલી મધ્યપર્ણ કોષોમાં વધારે માત્રામાં હરિતકણો ધરાવે છે, જે CO_2નું સ્થાપન કરવા માટે જવાબદાર છે. હરિતકણમાં પટલમય ભાગો (ગ્રાના) પ્રકાશ પ્રક્રિયા માટેનું સ્થાન છે જ્યારે રસાયણ સંશ્લેષણ પરિપથ આધારક (સ્ટ્રોમા)માં થાય છે. પ્રકાશસંશ્લેષણ બે તબક્કાઓ ધરાવે છે. પ્રકાશ-પ્રક્રિયા અને અંધકાર પ્રક્રિયા (કાર્બન સ્થાપન પ્રક્રિયા). પ્રકાશ-પ્રક્રિયામાં પ્રકાશ-ઊર્જા ઍન્ટેનામાં આવેલા રંજકદ્રવ્યકણો દ્વારા શોષણ પામે છે અને પ્રક્રિયા કેન્દ્ર કહેવાતાં વિશિષ્ટ ક્લોરોફિલ a ના અણુઓને મોકલે છે. અહીંયાં બે ફોટો સિસ્ટમ પ્રકાશતંત્ર Ps-I અને Ps-II હોય છે. Ps-Iના પ્રક્રિયા કેન્દ્રમાં ક્લોરોફિલ a નો P_{700}નો અણુ પ્રકાશ તરંગલંબાઈ 700 nmનું શોષણ કરે છે, જ્યારે Ps-IIમાં એક P_{680} પ્રક્રિયા કેન્દ્ર હોય છે જે લાલ પ્રકાશને 680 nmના પ્રકાશનું શોષણ કરે છે. પ્રકાશના શોષણ પછી ઇલેક્ટ્રૉન ઉત્તેજિત થાય છે અને Ps-II અને Ps-I દ્વારા સ્થાનાંતરિત થઈને અંતમાં NADP સુધી પહોંચે છે અને NADPHની રચના કરે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન થાઇલોકૉઇડના પટલની આરપાર એક પ્રોટોન ઢોળાંશ ઉત્પન્ન થાય છે. ATPase ઉત્સેચકના ભાગો F_0માંથી પ્રોટોનની ગતિના કારણે ઢાળ તૂટે છે અને ATPના સંશ્લેષણ માટે પર્યાપ્ત ઊર્જા મુક્ત થાય છે. પાણીના અણુનું વિઘટન Ps-II ની સાથે સંકળાયેલું છે. પરિણામ રૂપે O_2 તથા પ્રોટોન મુક્ત થાય અને Ps-IIમાં ઇલેક્ટ્રૉનનું સ્થળાંતરણ થાય છે.

કાર્બન સ્થાપન ચક્રમાં, ઉત્સેચકમાં રુબિસ્કો દ્વારા CO_2 એક 5 કાર્બન યુક્ત RuBPની સાથે સંયોજન કરે છે અને 3-કાર્બનયુક્ત PGAના 2 અણુઓમાં રૂપાંતરિત કરે છે. ત્યારબાદ કૅલ્વિનચક્ર દ્વારા તે શર્કરામાં પરિવર્તિત થાય છે અને RuBP પુનઃ સર્જન પામે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન પ્રકાશ-પ્રક્રિયા દરમિયાન સંશ્લેષિત થયેલા ATP તેમજ NADPH વપરાય છે. C_3 વનસ્પતિઓમાં રુબિસ્કો એક નિરર્થક ઑક્સિજીનેશન પ્રક્રિયાથી પ્રકાશશ્વસનને ઉત્તેજે છે.

કેટલીક ઉષ્ણકટિબંધીય વનસ્પતિઓ ખાસ કે વિશિષ્ટ પ્રકારનું પ્રકાશસંશ્લેષણ દર્શાવે છે, જેને C_4 પરિપથ કહે છે. આ વનસ્પતિઓના મધ્યપર્ણ કોષોમાં પૂર્ણ થતી પ્રક્રિયામાં CO_2ના સ્થાપનથી 4-કાર્બનયુક્ત સંયોજન OAA ઉદ્ભવે છે. પુલકંચુકીય કોષમાં કૅલ્વિન પરિપથ થાય છે, જેથી કાર્બોદિતોનું સંશ્લેષણ થાય છે.

સ્વાધ્યાય

1. કોઈ વનસ્પતિને બાહ્યાકાર લક્ષણોને આધારે શું તમે કહી શકો કે તે C_3 છે કે C_4 છે ? શા માટે અને કેવી રીતે ?
2. કોઈ વનસ્પતિની આંતરિક સંરચનાને જોઈને શું તમે કહી શકો કે તે C_3 છે કે C_4 છે ? સમજૂતી આપો.

3. જો કે C_4 વનસ્પતિઓમાં ખૂબ ઓછા કોષો જૈવસંશ્લેષણ-કૅલ્વિન પરિપથનું વહન કરે છે, છતાં પણ તે વધુ ઉત્પાદકતાવાળી વનસ્પતિઓ છે. શું આ બાબત પર ચર્ચા કરી શકો છો કે આવું શા માટે છે ?

4. RuBisCO એક ઉત્સેચક છે જે કાર્બોક્સિલેઝ અને ઑક્સિજીનેઝના સ્વરૂપે કાર્ય કરે છે. તમે એવું કેમ માનો છો કે C_4 વનસ્પતિઓમાં RuBisCO વધારે માત્રામાં કાર્બોક્સિલેશન કરે છે ?

5. માની લો કે, કોઈ વનસ્પતિઓમાં ક્લોરોફિલ bની ઉચ્ચ સાંદ્રતા ધરાવે છે, પણ તેમાં ક્લોરોફિલ aનો અભાવ છે, શું તે પ્રકાશસંશ્લેષણ કરતી હશે ? તો પછી વનસ્પતિઓ શા માટે ક્લોરોફિલ b અને બીજા ગૌણ (સહાયક) રંજકદ્રવ્ય ધરાવે છે ?

6. જો પર્ણને અંધારામાં રાખવામાં આવે તો તેનો રંગ ક્રમિક પીળા તેમજ લીલાશ પડતો પીળો શા માટે થઈ જશે ? તમારા વિચારમાં કયા રંજકદ્રવ્યકણ વધારે સ્થાયી છે ?

7. એક જ વનસ્પતિના પર્ણના (છાયાવાળી) (નીચેની) બાજુએ જુઓ અને તેની પ્રકાશવાળી (ઉપરની) બાજુ સાથે તુલના કરો અથવા કુંડામાં રાખેલા છોડને સૂર્યપ્રકાશમાં રાખીને તેની છાંયડામાં રાખેલા છોડ સાથે તુલના કરો. તેમાંથી કયા પર્ણો ઘેરો લીલો રંગ ધરાવે છે ? શા માટે ?

8. આકૃતિ 13.10 એ પ્રકાશસંશ્લેષણના દર પર પ્રકાશની અસર દર્શાવે છે. આલેખને આધારે નીચે આપેલ પ્રશ્નોના જવાબ આપો.

   (a) વક્રના કયા બિંદુ અથવા બિંદુઓ પર (A, B અથવા C) પ્રકાશ એક સીમાંતક પરિબળ છે ?

   (b) A વિસ્તારમાં સીમાંતક કારક કે કારકો કયા છે ?

   (c) વક્રમાં C અને D શું પ્રસ્તુત કરે છે ?

9. નીચેના વચ્ચેની તુલના આપો :

   (a) C_3 અને C_4 પરિપથ

   (b) ચક્રીય તેમજ અચક્રીય ફોટોફૉસ્ફોરાયલેશન

   (c) C_3 તેમજ C_4 વનસ્પતિઓમાં પર્ણોની પેશીય સંરચના (અંતઃસ્થ રચના)