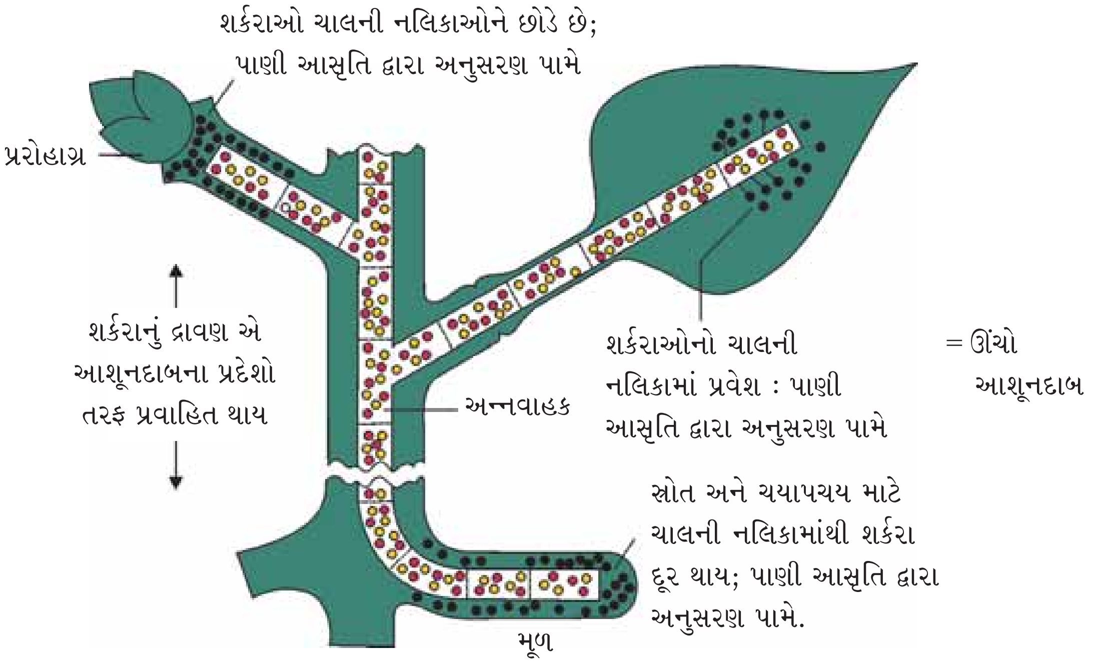
11.6.1 દાબ પ્રવાહ કે સામૂહિક વહનનો અધિતર્ક (The Pressure Flow or Mass Flow Hypothesis)

સ્રોતથી સિંક કે જરૂરિયાત તરફ શર્કરાનું સ્થળાંતર કરવા માટે આવશ્યક સ્વીકૃત ક્રિયાવિધિને દાબ વહન કે દાબ પ્રવાહની પરિકલ્પના કહે છે (આકૃતિ 11.10). જેમ કે, સ્રોતમાં ગ્લુકોઝ (પ્રકાશસંશ્લેષણ દ્વારા) સંશ્લેષણ પામે છે. તે સુક્રોઝમાં (એક ડાયસેકેરાઈડ)માં પરિવર્તિત થાય છે. ત્યારબાદ સાથીકોષોમાં અને ત્યારબાદ સક્રિય વહન દ્વારા જીવંત વાહક પેશી એટલે કે અન્નવાહકની ચાલનીનલિકામાં વહન પામે છે. સ્રોતમાં શર્કરા જેવા પદાર્થોમાં ભરાવો થવાથી આ ક્રિયા અન્નવાહકમાં અધિસાંદ્ર સ્થિતિ સર્જે છે.

નિકટવર્તી જલવાહકમાંથી શર્કરા આસૃતિ દ્વારા અન્નવાહકમાં દાખલ થાય છે. અન્નવાહકમાં દાખલ થયેલ શર્કરાને કારણે તેના અન્ય વિસ્તારમાં સાંદ્રતા ઓછી હોવાથી શર્કરાયુક્ત દ્રાવણ અન્નવાહકના વિસ્તાર તરફ વહન પામે છે. જેવો આસૃતિદાબ સર્જાય કે તરત અન્નવાહક રસ નિમ્ન સાંદ્રતા વિસ્તાર તરફ વહન પામે છે. સ્રોત તરફ આસૃતિદાબ ઘટે છે. આ ઘટના માટે સક્રિય વહન આવશ્યક હોય છે. જેથી શર્કરાઓ દૂર થાય, આસૃતિદાબ ઘટે છે અને પાણી અન્નવાહકમાંથી બહાર નીકળે છે.

ટૂંકમાં, અન્નવાહક શર્કરાઓના વહન સ્રોતથી શરૂ થાય છે; જ્યાં શર્કરાઓનો એક ચાલની નલિકામાં (સક્રિય વહન દ્વારા) ભરાવો થાય છે. અન્નવાહકમાં આ ભરાવો એક જલક્ષમતા ઢાળની શરૂઆત કરે છે જો કે અન્નવાહકમાં સામૂહિક વહનને સરળ બનાવે છે.

અન્નવાહક પેશી ચાલની નલિકાઓ દ્વારા બને છે. જે લાંબી સ્તંભ કે નલિકા જેવી રચના કરે છે. જેની છેડાની દીવાલમાં છિદ્રો હોય છે. જેને ચાલની પટ્ટિકા કહે છે. કોષરસીય તંતુઓ ચાલની પટ્ટિકાના છિદ્રમાં પ્રવેશ પામે છે અને સતત તંતુમય રચના બનાવે છે. જેવું પ્રવાહી સ્થિતિ દબાણ અન્નવાહકની ચાલનીનલિકામાં વધે છે તે સાથે જ દાબ વહનની શરૂઆત થાય છે અને પ્રવાહી કે અન્નવાહક રસનું વહન અન્નવાહકમાંથી થાય છે. આ દરમિયાન સિંક તરફ આવનારી શર્કરાને



આકૃતિ 11.10 : સ્થળાંતરની ક્રિયાવિધિની રૂપરેખાની પ્રસ્તુતિ

અન્નવાહક તરફથી સક્રિય રીતે અને શર્કરાના જટિલ રૂપે બહાર નીકળે છે. અન્નવાહકમાં દ્રાવ્ય પદાર્થની તેની ઊણપ તરફ એક ઊંચી જલક્ષમતા ઉત્પન્ન કરે છે અને પાણી અંતમાં જલવાહકની પાસે આવે છે.

એક સામાન્ય પ્રયોગ, જેને ગિર્ડલીંગ કહેવાય છે. તેના પ્રયોગને ખોરાકના વહનમાં ભાગ લેતી પેશીને ઓળખીને કરાય છે. વૃક્ષના પ્રકાંડ પરથી છાલને એક વલય (રીંગ) રૂપે અન્નવાહક સુધી સાવધાનીપૂર્વક દૂર કરાય છે. નીચેની તરફ હવે ખોરાકનું વહન ન થવાને કારણે વલયની ઉપરની છાલ કેટલાક અઠવાડિયા પછી ફૂલી જાય છે. આ સામાન્ય પ્રયોગ દર્શાવે છે કે અન્નવાહક પેશી ખોરાકના સ્થળાંતરણ માટે જવાબદાર છે અને વહનની દિશા એકદિશીય છે અર્થાત્ મૂળની તરફ. આ પ્રયોગને તમે સહેલાઈથી કરી શકો છો.

સારાંશ

વનસ્પતિઓ વિવિધ અકાર્બનિક ખનીજતત્ત્વો (આયન) તેમજ ક્ષારોને તેમની આસપાસના પર્યાવરણમાંથી ખાસ કરીને હવા, પાણી અને ભૂમિમાંથી મેળવે છે. આ પોષક તત્ત્વોનું વહન પર્યાવરણમાંથી વનસ્પતિઓમાં અને એક વનસ્પતિના કોષોમાંથી બીજી વનસ્પતિના કોષો સુધી, આવશ્યક સ્વરૂપે પટલની આરપાર વહન દ્વારા થાય છે. કોષરસપટલની આરપાર વહન, પ્રસરણ, સાનુકૂલિત પ્રસરણ કે સક્રિય વહન દ્વારા થાય છે. મૂળ દ્વારા શોષાયેલા ખનીજ ક્ષારો અને પાણીનું જલવાહક દ્વારા વહન થાય છે અને પર્ણો દ્વારા સંશ્લેષિત કાર્બનિક પદાર્થ વનસ્પતિના વિવિધ ભાગોમાં જલવાહક દ્વારા વહન થાય છે.

નિષ્ક્રિય વહન (પ્રસરણ, આસૃતિ) અને સક્રિય વહન સજીવોમાં પોષક પદાર્થોને પટલોની આરપાર વહન કરવા માટેના બે પરિપથો છે. નિષ્ક્રિય વહનમાં પ્રસરણ દ્વારા પટલની આરપાર ઊર્જાના વ્યય વગર પોષક પદાર્થોનું વહન સંકેન્દ્રણ ઢાળને અનુસરીને થાય છે. પદાર્થોનું પ્રસરણ આકાર અને તેમના પાણીમાં કે કાર્બનિક દ્રાવણમાં ઓગળવાની ક્ષમતા પર નિર્ભર કરે છે. આસૃતિ એક વિશેષ પ્રકારનું પ્રસરણ છે. જેમાં પાણી અર્ધ પ્રવેશશીલ પટલને પસાર કરે છે અને દબાણ તેમજ સંકેન્દ્રણ ઢાળ પર નિર્ભર કરે છે. સક્રિય વહનમાં ATPની ઊર્જા, અણુઓનો સંકેન્દ્રણ ઢાળની વિરુદ્ધ પટલને પસાર કરી પંપ કરે છે. જલક્ષમતા પાણીની સ્થિતિ ઊર્જા છે જે પાણીની ગતિમાં મદદરૂપ થાય છે. આ દ્રાવ્ય પદાર્થોની અંતઃશક્તિ અને દબાણની અંતઃશક્તિ દ્વારા નિર્ધારિત થાય છે. કોષનો આ વ્યવહાર આસપાસના દ્રાવણો પર નિર્ભર કરે છે. જો કોષની આસપાસ દ્રાવણ અધિસાંદ્ર છે તો કોષરસનું સંકોચન થાય છે. બીજ તેમજ શુષ્ક કાષ્ઠો દ્વારા પાણીનું શોષણ વિશેષ પ્રકારનું પ્રસરણ છે જેને અંતઃ ચૂષણ કહે છે.

ઉચ્ચ કક્ષાની વનસ્પતિઓમાં વાહકતંત્ર જલવાહક અને અન્નવાહક પદાર્થોના સ્થળાંતરણ માટે જવાબદાર છે. પાણી ખનીજ ક્ષારો અને પોષક દ્રવ્યો વનસ્પતિ દેહમાં માત્ર પ્રસરણ દ્વારા વહન પામી શકતા નથી, એટલા માટે સામૂહિક વહનતંત્ર દ્વારા વહન થાય છે. ખનીજ તત્ત્વોનું સામૂહિક રીતે એક સ્થાનેથી બીજા સ્થાને વહન બે બિંદુઓની વચ્ચે આવેલા દાબ તફાવતને કારણે થાય છે.

મૂળરોમ દ્વારા શોષણ પામેલ પાણી મૂળની ઊંડાઈમાં બે અલગ-અલગ પરિપથોથી જાય છે. ઉદાહરણ તરીકે - અપદ્રવ્ય પરિપથ અને સંદ્રવ્ય પરિપથ. ભૂમિમાંથી વિવિધ આયનો અને પાણી પ્રકાંડની ઓછી ઊંચાઈ સુધી મૂળદાબ દ્વારા વહન થાય છે. બાષ્પોત્સર્જન ખેંચાણ બળથી પાણીને વહનના સર્વાધિક સ્વીકૃત રૂપમાં કરે છે. બાષ્પના સ્વરૂપે વનસ્પતિના વિભિન્ન ભાગો દ્વારા પાણી વાયુરંધ્રો કે પર્ણરંધ્રો દ્વારા ત્યાગ કે વ્યય થાય છે. તાપમાન, પ્રકાશ, આર્દ્રતા (ભેજ), હવાનો વેગ બાષ્પોત્સર્જનના દર પર અસરકારક પરિબળો છે. પાણીની વધુ માત્રા

વનસ્પતિના પર્ણોને પ્રરોહાગ્રમાંથી બિંદુ સ્વરૂપે સ્રાવ કરે છે. વનસ્પતિઓમાં ખોરાક મુખ્યત્વે શર્કરાનું વહન ઉદ્‌ગમ સ્થાનથી જરૂરિયાત સુધી અન્નવાહક દ્વારા વહન પામે છે જેના માટે અન્નવાહક પેશી જવાબદાર છે. અન્નવાહકમાં સ્થળાંતરણ દ્વિદિશીય હોય છે અને સ્રોત અને સિંકનો સંબંધ વૈવિધ્યપૂર્ણ હોય છે. અન્નવાહકમાં સ્થળાંતરણ દાબ-વહન અધિતર્ક દ્વારા વર્ણવી શકાય છે.

સ્વાધ્યાય

1. પ્રસરણના દરને કયા કારકો/પરિબળો અસર પહોંચાડે છે ?
2. પોરિન્સ શું છે ? પ્રસરણમાં તેઓ શું ભૂમિકા ભજવે છે ?
3. વનસ્પતિઓમાં સક્રિય વહન દરમિયાન પ્રોટીન પંપ દ્વારા શું ભૂમિકા ભજવે છે ? તેની વ્યાખ્યા આપો.
4. શુદ્ધ પાણીની સૌથી વધારે જલક્ષમતા કેમ હોય છે ? વર્ણન કરો.
5. નીચે આપેલાઓનો તફાવત આપો :
   (a) પ્રસરણ અને આસૃતિ
   (b) બાષ્પોત્સર્જન અને બાષ્પીભવન
   (c) આસૃતિદાબ અને આસૃતિ ક્ષમતા
   (d) પ્રસરણ અને અંતઃચૂષણ
   (e) વનસ્પતિઓમાં પાણીનું શોષણ માટે અપદ્રવ્ય પરિપથ અને સંદ્રવ્ય પરિપથ
   (f) બિંદુસ્વેદન અને બાષ્પોત્સર્જન
6. જલક્ષમતાને સંક્ષિપ્તમાં વર્ણન કરો. કયું પરિબળ તેને અસર પહોંચાડે છે ? પાણી, ક્ષમતા, દ્રાવ્ય પદાર્થની ક્ષમતા અને દાબક્ષમતાના પરસ્પર સંબંધોની વ્યાખ્યા કરો.
7. જ્યારે શુદ્ધ પાણી કે દ્રાવણ પર વાતાવરણના દબાણની તુલનામાં વધારે દબાણ આપવમાં આવે ત્યારે શું થાય છે ?
8. (a) રેખાંકિત આકૃતિની મદદથી વનસ્પતિઓ કોષરસનું સંકોચનની વિધિનું વર્ણન ઉદાહરણ સહિત કરો.
   (b) જો વનસ્પતિના કોષને ઊંચી જલક્ષમતાવાળા દ્રાવણમાં મૂકવામાં આવે તો શું થાય છે ?
9. વનસ્પતિમાં પાણી તેમજ ખનીજ તત્ત્વોનું શોષણમાં માઈકોરાઈઝાનો સંબંધ કેટલો મદદરૂપ થાય છે ?
10. વનસ્પતિમાં પાણીનાં વહન માટે મૂળદાબ શું ભૂમિકા ભજવે છે ?
11. વનસ્પતિઓમાં પાણીનાં વહન માટે બાષ્પોત્સર્જન ખેંચાણ બળનું વર્ણન કરો. બાષ્પોત્સર્જન ક્રિયાને કયું પરિબળ પ્રભાવિત કરે છે ? વનસ્પતિઓ માટે કોણ ઉપયોગી છે ?
12. વનસ્પતિઓમાં જલવાહકમાં રસારોહણ માટે જવાબદાર પરિબળોની વ્યાખ્યા કરો.
13. વનસ્પતિઓમાં ખનીજોનું શોષણ દરમિયાન અંતઃ સ્તરની આવશ્યક ભૂમિકા શું છે ?
14. જલવાહક વહન એકદિશીય તથા અન્નવાહક વહનમાં દ્વિદિશીય વહન કેમ થાય છે ? તેની સમજૂતી આપો.
15. વનસ્પતિઓમાં શર્કરાનું સ્થળાંતરણ દાબ પ્રવાહ કે દાબ વહનના અધિતર્કની સમજૂતી આપો.
16. બાષ્પોત્સર્જન દરમિયાન રક્ષકકોષો ખૂલવાની તેમજ બંધ થવાનું કારણ શું છે ?

પ્રકરણ 12

ખનીજ પોષણ (Mineral Nutrition)

12.1 વનસ્પતિઓમાં ખનીજ તત્ત્વોની આવશ્યકતાઓના અભ્યાસની પદ્ધતિઓ

12.2 આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો

12.3 ખનીજ તત્ત્વોના શોષણની ક્રિયાવિધિ

12.4 દ્રાવ્ય પદાર્થનું સ્થળાંતરણ

12.5 ભૂમિ, આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વોના સંચય સ્થાનના સ્વરૂપમાં

12.6 નાઈટ્રોજનનું ચયાપચય

બધા સજીવોની મૂળભૂત જરૂરિયાતો આવશ્યક રીતે એક સમાન હોય છે. તેઓને તેમની વૃદ્ધિ અને વિકાસ માટે ગુરૂ પોષક અણુઓ જેવાં કે કાર્બોદિત, પ્રોટીન, ચરબી તેમજ પાણી તથા ખનીજ ક્ષારોની જરૂરિયાત હોય છે.

આ પ્રકરણ મુખ્યત્વે અકાર્બનિક વાનસ્પતિક પોષણને કેન્દ્રિત કરે છે. જેમાં તમે વનસ્પતિઓની વૃદ્ધિ તેમજ વિકાસ માટે અનિવાર્ય પોષક તત્ત્વોને ઓળખવાની રીતો અને તેમની આવશ્યકતા નિર્ધારિત કરવા માટેના માપદંડ વિશે અભ્યાસ કરશો. તમે આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વોની ભૂમિકા, તેમની ઊણપથી ઉદ્ભવતાં લક્ષણો અને તેમના શોષણની ક્રિયાવિધિ વિશે પણ અભ્યાસ કરીશું. આ પ્રકરણમાં તમને સંક્ષિપ્તમાં જૈવિક નાઈટ્રોજન (N_2) સ્થાપનની ક્રિયાવિધિ અને તેની અગત્ય વિશે માહિતગાર કરાવીશું.

12.1 વનસ્પતિઓમાં ખનીજ તત્ત્વોની આવશ્યકતાઓના અભ્યાસની પદ્ધતિઓ (Methods to Study The Mineral Requirements of Plants)

જુલિયસ વૉન સેચ (1860), એક અગ્રણી જર્મન વનસ્પતિ શાસ્ત્રીએ સૌપ્રથમ દર્શાવ્યું કે વનસ્પતિઓને ભૂમિ કે જમીનની ગેરહાજરીમાં પોષક દ્રાવણમાં પુખ્તાવસ્થા સુધી ઉછેરી શકાય છે. વનસ્પતિઓને પોષક દ્રાવણમાં ઉગાડવાની આ તક્નિક **જલસંવર્ધન(Hydroponics)**ના નામથી પ્રચલિત છે. ત્યારબાદ કેટલીક ઉચ્ચ કક્ષાની રીતો કે પદ્ધતિઓ પ્રયોગમાં ઉપયોગમાં લેવાયેલી છે. જેનાથી વનસ્પતિઓ માટે ખનીજ પોષક તત્ત્વોની આવશ્યકતા નક્કી કરવામાં આવી છે. ઉપરોક્ત બધી પદ્ધતિઓના પ્રયોગના નિષ્કર્ષ દ્વારા જણાયું કે વનસ્પતિઓને ભૂમિ વગર પોષક દ્રાવણમાં ઉગાડી શકાય છે. આ પદ્ધતિઓમાં શુદ્ધ કરેલ પાણી તેમજ ખનીજ પોષક તત્ત્વોની આવશ્યકતા હોય છે. શું તમે સમજાવી શકો છો કે તે કેમ આટલું આવશ્યક છે ?

શ્રેણીબદ્ધ પ્રયોગોના અંતે, વનસ્પતિના મૂળને પોષક દ્રાવણમાં રાખવામાં આવ્યા અને તત્ત્વને ઉમેરીને કે દૂર કરીને કે વિવિધ સાંદ્રતા જાળવીને, વનસ્પતિના વૃદ્ધિ માટે યોગ્ય એવું પોષણ દ્રાવણ પ્રાપ્ત થાય છે. આ રીત દ્વારા આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વોની ઓળખ થાય છે અને તેઓની ઊણપના

કારણે ઉદ્‌ભવતાં લક્ષણોનું સંશોધન થયું. જલસંવર્ધનની તક્‌નિક દ્વારા શાકભાજી જેવી કે ટામેટા, બીજવિહીન કાકડી અને સલાડ (કચુંબર માટે વપરાતી શાકભાજી) (Lettuce)ને વ્યાપારિક ઉત્પાદનના હેતુથી સફળતાપૂર્વક ઉગાડી શક્યા છીએ. એ ધ્યાન રાખવા યોગ્ય બાબત છે કે વનસ્પતિની ઈષ્ટતમ વૃદ્ધિ માટે પોષક દ્રાવણને પ્રચૂર વાયુમય માધ્યમમાં રાખવામાં આવે છે. જો દ્રાવણમાં હવાનું પ્રમાણ ઓછું હોય તો શું થાય છે ? જલસંવર્ધન તક્‌નિકને **આકૃતિ 12.1 અને 12.2**માં દર્શાવેલ છે.

આકૃતિ 12.1 : પોષક દ્રાવણ સંવર્ધન માટે એક આદર્શ અવસ્થાની રેખાકૃતિ

12.2 આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો (Essential Mineral Elements)

ભૂમિમાં આવેલા મોટા ભાગના ખનીજ તત્ત્વો મૂળ દ્વારા વનસ્પતિઓમાં પ્રવેશી શકે છે. હકીકતમાં સંશોધિત થયેલા 105 તત્ત્વો પૈકી 60 કરતાં વધુ તત્ત્વો વનસ્પતિઓમાં જોવા મળ્યાં છે. કેટલીક વનસ્પતિઓની જાતિઓ સેલેનિયમ(Se)નો સંગ્રહ કરે છે. જ્યારે કેટલીક વનસ્પતિઓ સોનાને (Au), ન્યુક્લીયર પરીક્ષણ સ્થળોની નજીકમાં ઉગતી વનસ્પતિઓ રેડિયોઍક્ટિવ સ્ટ્રૉન્શિયમ(Sr) મેળવે છે. વનસ્પતિઓમાં ખનીજ તત્ત્વોનું ન્યૂનતમ સંકેન્દ્રણ કે સાંદ્રતા (10^{-8} g/mL)ને પણ નક્કી કરવાની તક્‌નિક આજે ઉપલબ્ધ છે. પ્રશ્ન એ થાય છે કે શું બધા વિવિધ વિપરિત ખનીજ તત્ત્વો જે વનસ્પતિઓ મેળવે છે ઉદાહરણ તરીકે ઉપર વર્ણવેલ સોનું અને સ્ટ્રૉન્શિયમ (Sr) વનસ્પતિઓ માટે ખરેખર આવશ્યક છે ? આપણે તે કેવી રીતે નિર્ધારિત કરીએ કે વનસ્પતિઓ માટે તેઓ આવશ્યક છે કે નથી ?

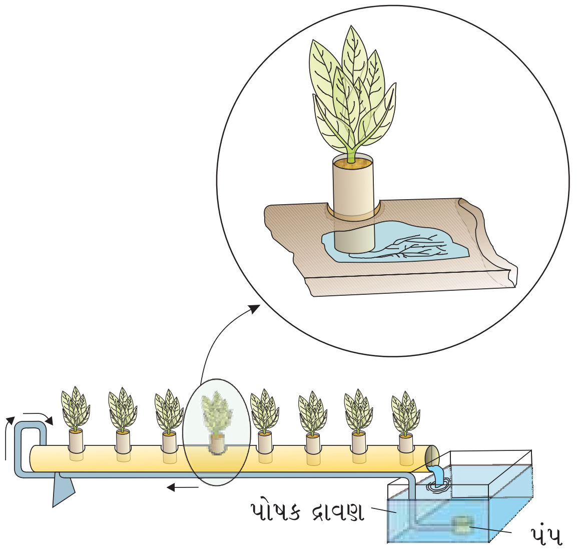
12.2.1 આવશ્યકતા માટેના માપદંડો (Criteria for Essentiality)

કોઈ પણ તત્ત્વની આવશ્યકતાના માપદંડ નીચે પ્રમાણે છે :

(a) તત્ત્વ, વનસ્પતિની સામાન્ય વૃદ્ધિ અને પ્રજનનના હેતુ માટે તદ્દન આવશ્યક હોવું જોઈએ. તે તત્ત્વની ગેરહાજરીમાં વનસ્પતિ પોતાનું જીવનચક્ર પૂરું કરી શકતું નથી કે બીજને સર્જી શકતું નથી.

(b) તત્ત્વની આવશ્યકતા વિશિષ્ટ હોવી જોઈએ અને તેને કોઈ અન્ય તત્ત્વ દ્વારા પ્રતિસ્થાપિત કરી શકાય નહિ. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો કોઈ એક તત્ત્વની ઉણપ કોઈ અન્ય તત્ત્વ દ્વારા દૂર કરી શકાતી નથી.

(c) તત્ત્વ, વનસ્પતિની ચયાપચયની ક્રિયામાં પ્રત્યક્ષ રૂપે ભાગ લેતું હોવું જોઈએ.



આકૃતિ 12.2 : જલસંવર્ધનથી વનસ્પતિઓનું ઉત્પાદન, વનસ્પતિઓને નળીમાં કે ઢાળવાળા સ્થાનો પર ઉછેરવામાં આવે છે. પંપ પોષક દ્રાવણનું તેના સંચય સ્થાનથી નળીના બીજા છેડા તરફ વહન કરે છે. દ્રાવણ નળીની નીચે વહન દરમિયાન ગુરૂત્વાકર્ષણને કારણે તે પોતાના સંચય સ્થાને પાછું ફરે છે. આપેલ વ્યવસ્થામાં એવા છોડ દર્શાવવામાં આવેલા છે કે જેના મૂળ સતત વાત પોષક દ્રાવણમાં ડૂબેલા રહે છે. આકૃતિમાં દર્શાવેલ તીર વહનની દિશા દર્શાવે છે.

ઉપરોક્ત માપદંડોને આધારે માત્ર કેટલાક જ ખનીજ તત્ત્વો વનસ્પતિઓની વૃદ્ધિ તેમજ ચયાપચય માટે ચોક્કસપણે આવશ્યક છે તેવું જોવા મળ્યું. આ તત્ત્વોને તેમના જથ્થાને આધારે બે જૂથમાં વહેંચવામાં આવ્યા.

(i) ગુરૂપોષક તત્ત્વો (બૃહદ્પોષક તત્ત્વો), (ii) લઘુપોષક તત્ત્વો (સૂક્ષ્મપોષક તત્ત્વો).

(i) ગુરૂપોષક તત્ત્વો (બૃહદ્પોષક તત્ત્વો) : ગુરૂપોષક તત્ત્વો સામાન્ય રીતે વનસ્પતિની પેશીઓમાં (શુષ્ક પદાર્થના 10m mole kg^{-1} થી) વધુ માત્રામાં આવેલા હોય છે, આ જૂથમાં સમાયેલા ગુરૂપોષક તત્ત્વો - કાર્બન, હાઇડ્રોજન, ઑક્સિજન, નાઇટ્રોજન, ફૉસ્ફરસ, સલ્ફર, પોટૅશિયમ, કેલ્શિયમ અને મૅગ્નેશિયમ છે. તેમાંથી કાર્બન, હાઇડ્રોજન અને ઑક્સિજન મુખ્યત્વે CO_2 તેમજ H_2O માંથી પ્રાપ્ત થાય છે. જ્યારે અન્ય ખનીજ તત્ત્વો ભૂમિમાંથી ખનીજ સ્વરૂપે શોષણ પામે છે.

(ii) લઘુપોષક તત્ત્વો (સૂક્ષ્મપોષક તત્ત્વો) : સૂક્ષ્મપોષક તત્ત્વો અથવા લેશ તત્ત્વો કે જેની આવશ્યકતા ઓછી માત્રામાં હોય છે (શુદ્ધ વજનનાં 10m mole kg^{-1} થી ઓછી માત્રામાં). તેમાં આયર્ન (લોહ), મૅંગેનીઝ, કૉપર, મોલિબ્ડેનમ, ઝિંક, બોરોન, ક્લોરિન અને નિકલનો સમાવેશ થાય છે.

ઉપર વર્ણવેલા 17 આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો ઉપરાંત, કેટલાક અન્ય લાભદાયક તત્ત્વો પણ છે, જેવાં કે સોડિયમ, સિલિકોન, કોબાલ્ટ અને સેલેનિયમ. તેઓ ઉચ્ચ કક્ષાની વનસ્પતિઓ માટે આવશ્યક છે.

આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વોને તેમના વિવિધ કાર્યોને આધારે સામાન્ય રીતે ચાર જૂથમાં વહેંચી શકાય છે. આ જૂથો આ પ્રમાણે છે :

(i) આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો જૈવિક અણુઓના ઘટક તરીકે હોય છે અને આથી કોષોના રચનાત્મક તત્ત્વ તરીકે ઓળખાય છે. (દા.ત., કાર્બન, હાઇડ્રોજન, ઑક્સિજન અને નાઇટ્રોજન).

(ii) આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો જે વનસ્પતિઓમાં ઊર્જા સંબંધિત રાસાયણિક સંયોજનોના ઘટકો છે; દા.ત., હરિત દ્રવ્યમાં મૅગ્નેશિયમ અને ATP નાં બંધારણમાં ફૉસ્ફરસ.

(iii) આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો જે ઉત્સેચકોની સક્રિયતા અને અવરોધકતા સાથે સંકળાયેલા છે ઉદાહરણ તરીકે Mg^{+2} એ રિબ્યુલોઝ બાયફૉસ્ફેટ કાર્બોક્ઝાયલેઝ ઑક્સિજીનેઝ (RuBisCO) અને ફૉસ્ફોઇનોલ પાયરૂવેટ કાર્બોક્ઝાયલેઝ બંનેને સક્રિય કરે છે. આ બંને ઉત્સેચકો પ્રકાશસંશ્લેષણમાં કાર્બન સ્થાપન માટે અતિ મહત્ત્વપૂર્ણ છે. Zn^{+2} એ આલ્કોહોલ ડીહાઈડ્રોજીનેઝને સક્રિય કરે છે અને Mo, નાઇટ્રોજન ચયાપચય દરમિયાન નાઇટ્રોજીનેઝને સક્રિય કરે છે. શું તમે આ જૂથમાં કેટલાક અન્ય ખનીજ તત્ત્વોનાં નામ ઉમેરી શકો છો ? આ માટે તમારે કેટલાંક જૈવ રાસાયણિક પરિપથોનો અભ્યાસ કરવો આવશ્યક છે, જેનો તમે અગાઉ અભ્યાસ કરેલ છે.

(iv) કેટલા આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો કોષની આસૃતિ ક્ષમતાને બદલે છે. પોટૅશિયમની હાજરી પર્ણરંધ્રો કે વાયુરંધ્રોને ખોલવા અને બંધ કરવામાં અગત્યની ભૂમિકા ભજવે છે. તમે કોષની જલક્ષમતાને નક્કી કરતાં ખનીજ તત્ત્વોના દ્રાવ્ય પદાર્થના સ્વરૂપની ભૂમિકાને યાદ કરો.

12.2.2 ગુરૂ અને લઘુપોષક તત્ત્વોની ભૂમિકા (Role of Macro and Micro-nutrients)

આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો ઘણાં કાર્યો કરે છે. તે વનસ્પતિઓના કોષોની વિવિધ ચયાપચયની ક્રિયાઓમાં ભાગ લે છે. જેવી કે કોષરસપટલની પ્રવેશશીલતા, કોષીય પ્રવાહીની આસૃતિ- સાંદ્રતાનું નિયંત્રણ, ઈલેક્ટ્રૉન પરિવહન તંત્ર, બફર ક્રિયાવિધિ, ઉત્સેચકકીય ક્રિયાશીલતા અને મહાઅણુઓ તથા સહઉત્સેચકના મુખ્ય ઘટકોનું કાર્ય કરે છે.

આવશ્યક ખનીજ પોષક તત્ત્વોનાં વિવિધ સ્વરૂપો અને તેમના કાર્યો નીચે પ્રમાણે છે :

નાઈટ્રોજન : આ તત્ત્વની આવશ્યકતા વનસ્પતિઓમાં સૌથી વધારે માત્રામાં હોય છે. આ તત્ત્વનું શોષણ મુખ્યત્વે ભૂમિમાંથી NO_3^- ના સ્વરૂપમાં થાય છે. પરંતુ કેટલીક માત્રામાં NO_2^- કે NH_4^+ ના સ્વરૂપમાં પણ શોષણ પામે છે. આ તત્ત્વની આવશ્યકતા વનસ્પતિઓના બધા જ ભાગોમાં, ખાસ કરીને વર્ધમાન પેશીઓમાં તેમજ ચયાપચયિક સક્રિય કોષોમાં હોય છે. નાઇટ્રોજન એ પ્રોટીન, ન્યુક્લિઇક ઍસિડ્સ, વિટામિન અને અંતઃસ્રાવોનો એક મુખ્ય બંધારણીય ઘટક છે.

ફૉસ્ફરસ : ફૉસ્ફરસ વનસ્પતિઓ દ્વારા ફૉસ્ફેટ આયનો ($H_2PO_4^{-1}$ કે HPO_4^{-2})ના સ્વરૂપે જમીનમાંથી શોષાય છે. ફૉસ્ફરસ કોષરસપટલ કેટલાક પ્રોટીન, બધા જ ન્યુક્લિઇક ઍસિડ અને ન્યુક્લિઓટાઇડનો બંધારણીય ઘટક છે તથા બધી જ ફૉસ્ફોરાયલેશન પ્રક્રિયા માટે જરૂરી છે.

પોટૅશિયમ : વનસ્પતિઓ દ્વારા તેઓનું શોષણ પોટૅશિયમ આયન(K^+)ના સ્વરૂપે થાય છે. તેની જરૂરિયાત વનસ્પતિઓની વર્ધમાન પેશીઓ, કલિકાઓ, પર્ણો અને મૂળાગ્રમાં વધારે માત્રામાં હોય છે. પોટૅશિયમ, કોષોમાં ધનાયન-ઋણાયન સંતુલન કે આયનિક સંતુલનને જાળવવામાં મદદરૂપ થાય છે. તે પ્રોટીન સંશ્લેષણ, વાયુરંધ્રો કે પર્ણરંધ્રોની ઉઘાડ બંધની ક્રિયામાં, ઉત્સેચકની સક્રિયતામાં અને કોષોની આશૂનતાની જાળવણીમાં મદદરૂપ છે.

કૅલ્શિયમ : વનસ્પતિઓ કૅલ્શિયમ આયન (Ca^{+2})ના સ્વરૂપમાં જમીનમાંથી શોષણ કરે છે. કૅલ્શિયમ વર્ધનશીલ પેશીઓ અને વિભેદન પામતી પેશીઓ માટે જરૂરી હોય છે. કોષવિભાજન દરમિયાન કોષદીવાલના સંશ્લેષણમાં ઉપયોગી છે. ખાસ કરીને મધ્યપટલમાં કૅલ્શિયમ પેક્ટેટ તરીકે તેમજ સમસૂત્રીત્રાકના નિર્માણ દરમિયાન પણ જરૂરી છે. જૂના પર્ણોમાં સંગ્રહ પામે છે. તે કોષરસપટલની સામાન્ય ક્રિયાઓ સાથે પણ સંકળાયેલ છે. તે કેટલાક ઉત્સેચકોને સક્રિય કરે છે અને ચયાપચયિક ક્રિયાઓના નિયમનમાં મહત્ત્વનો ભાગ ભજવે છે.

મૅગ્નેશિયમ : તે વનસ્પતિઓ દ્વારા દ્વિસંયોજક મૅગ્નેશિયમ (Mg^{+2}) આયનના સ્વરૂપે શોષણ પામે છે. તે પ્રકાશસંશ્લેષણ અને શ્વસન ક્રિયાના ઉત્સેચકોને સક્રિયતા આપે છે અને DNA અને RNAના સંશ્લેષણમાં ભાગ લે છે. મૅગ્નેશિયમ (Mg) ક્લોરોફિલની વલય રચનાનો બંધારણીય ઘટક છે અને રિબોઝોમના બંધારણને જાળવી રાખવામાં મદદરૂપ થાય છે.

સલ્ફર : વનસ્પતિઓ સલ્ફરને સલ્ફેટ $\left(SO_4^{-2}\right)$ના સ્વરૂપમાં મેળવે છે. તે સિસ્ટીન (Cysteine) અને મિથિયોનીન (Methionine) નામના એમિનો ઍસિડોમાં મળી આવે છે અને કેટલાક સહઉત્સેચકો તેમજ વિટામિનો (થાયેમીન, બાયોટીન, કૉએન્ઝાઇમ A) તથા ફેરેડોક્સીનના મુખ્ય ઘટક છે.

આયર્ન (લોહ) : વનસ્પતિ આયર્ન(લોહ)ને ફેરિક આયન (Fe^{+3})ના સ્વરૂપમાં મેળવે છે. વનસ્પતિઓમાં તેમની આવશ્યકતા, અન્ય લઘુપોષક તત્ત્વની તુલનામાં વધારે માત્રામાં જરૂરી છે. તે ફેરેડૉક્સિન અને સાઇટોક્રોમ જેવા ઈલેક્ટ્રૉન્સ (વીજાણુઓ)ના પરિવહન સાથે સંકળાયેલા પ્રોટીનનો પણ મુખ્ય ઘટક છે. ઈલેક્ટ્રૉન પરિવહન દરમિયાન તેનું Fe^{+2}માંથી Fe^{+3}ના સ્વરૂપમાં પ્રતિવર્તી ઑક્સિડેશન થાય છે. તે કેટાલેઝ ઉત્સેચકને સક્રિય કરે છે અને હરિતદ્રવ્યના નિર્માણ માટે આવશ્યક છે.

મેંગેનીઝ : મેંગેનીઝ આયન (Mn^{+2})ના સ્વરૂપમાં તે શોષણ પામે છે. તે પ્રકાશસંશ્લેષણ, શ્વસન અને નાઇટ્રોજન ચયાપચય સાથે સંકળાયેલા અનેક ઉત્સેચકોને સક્રિય કરે છે. મેંગેનીઝનું શ્રેષ્ઠ કાર્ય પ્રકાશસંશ્લેષણ દરમિયાન પાણીનું વિભાજન કરી ઑક્સિજનને મુક્ત કરવાનું છે.

ઝિંક : વનસ્પતિઓ ઝિંક આયન (Zn^{+2})ના સ્વરૂપે ઝિંક મેળવે છે. તે વિવિધ ઉત્સેચકો, ખાસ કરીને કાર્બોક્ઝાયલેઝને સક્રિય કરે છે. તેની આવશ્યકતા ઑક્ઝિન સંશ્લેષણમાં પણ હોય છે.

કૉપર : તે ક્યુપ્રિક આયન (Cu^{+2})ના સ્વરૂપે શોષણ પામે છે. તે વનસ્પતિઓની બધી જ ચયાપચય ક્રિયાઓ માટે આવશ્યક છે. આયર્નની જેમ તે પણ રેડૉક્ષ પ્રક્રિયાઓની સાથે સંકળાયેલ કેટલાક ઉત્સેચકોની સાથે સંકળાયેલ રહે છે અને તે પણ પ્રતિવર્તી દિશામાં Cu^{+}માંથી Cu^{+2}માં ઑક્સિડેશન પામે છે.

બોરોન : તે BO_3^{-3} અથવા $B_4O_7^{-2}$ આયનોના સ્વરૂપમાં શોષણ પામે છે. તેની આવશ્યકતા Ca^{+2}ના શોષણ અને ઉપયોગ માટે, પટલની કાર્યશીલતા જાળવવા, પરાગરજના અંકુરણ, કોષ વિસ્તરણ, કોષ વિભેદન તેમજ કાર્બોદિતનાં સ્થળાંતરણમાં ભાગ લે છે.

મોલિબ્ડેનમ : વનસ્પતિઓ તેને મોલિબ્ડેટ આયન $\left(MoO_2^{+2}\right)$ના સ્વરૂપમાં મેળવે છે. તે નાઇટ્રોજન ચયાપચયમાં ભાગ લેતા ઘણા ઉત્સેચકો, જેવાં કે નાઇટ્રોજીનેઝ અને નાઇટ્રેટ રિડક્ટેઝ બંનેનો ઘટક છે.

ક્લોરિન : તે ક્લોરાઇડ આયનના (Cl^{-}) સ્વરૂપમાં શોષણ પામે છે. પોટૅશિયમ (K^{+}) તેમજ સોડિયમ (Na^{+})ની સાથે મળીને તે કોષોમાં દ્રાવ્ય પદાર્થની સાંદ્રતા અને એનાયન કેટાયન સંતુલન કે આયન સંતુલન નક્કી કરવામાં મદદરૂપ થાય છે. તે પ્રકાશસંશ્લેષણમાં પાણીના વિભાજનની ક્રિયાવિધિ માટે આવશ્યક છે, કે જેથી ઑક્સિજન મુક્ત થાય છે.

12.2.3 આવશ્યક તત્ત્વોની ઊણપનાં લક્ષણો (ચિહ્નો) (Deficiency Symptoms of Essential Elements)

આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વોની મર્યાદિત પ્રાપ્યતા હોવાને લીધે વનસ્પતિઓની વૃદ્ધિ અવરોધાય છે. આવશ્યક તત્ત્વની જે સાંદ્રતાથી ઓછી સાંદ્રતાએ વનસ્પતિની વૃદ્ધિ અવરોધાય તે સાંદ્રતાને **સંક્રાંતિ સાંદ્રતા (Critical Concentration)** કહે છે. જ્યારે જે તત્ત્વની સાંદ્રતા તેની સંક્રાંતિ સાંદ્રતા કરતાં ઓછી હોય ત્યારે તે તત્ત્વોની ઉણપ છે તેમ કહેવાય.

પ્રત્યેક તત્ત્વ વનસ્પતિઓમાં એક કે વધુ ચોક્કસ સંરચનાત્મક અને કાર્યાત્મક ભૂમિકા ધરાવે છે, કોઈ નિયત તત્ત્વની ગેરહાજરીથી વનસ્પતિઓ કેટલાક બાહ્યાકાર ફેરફારો દર્શાવે છે. આવા બાહ્યાકાર ફેરફારો કોઈ ચોક્કસ તત્ત્વની ઉણપનું સૂચન કરે છે. જેને તત્ત્વની અપ્રાપ્યતાના કે ઉણપીય ચિહ્નો કહે છે. અપર્યાપ્તતાના લક્ષણો તત્ત્વ અનુસાર જુદા જુદા હોય છે. અને તેઓ તેની અપર્યાપ્તતાની પૂર્તિ કરવાથી દૂર થાય છે. આથી જો તે ઊણપો સતત જળવાઈ રહે તો છેવટે વનસ્પતિ મૃત્યુ પામે છે. વનસ્પતિનો જે ભાગ તત્ત્વની અપ્રાપ્યતાના લક્ષણો દર્શાવે છે. તેનો આધાર તત્ત્વની વહનશીલતા પર રહેલો છે. વનસ્પતિઓમાં સક્રિય રીતે વહન પામતા તત્ત્વો જે તરુણ, વિકાસશીલ પેશીઓમાં નિકાસિત થાય છે, તેવા કિસ્સામાં અપર્યાપ્તતાના લક્ષણો (ચિહ્નો) જીર્ણ પેશીઓમાં પહેલાં જોવા મળે છે. ઉદાહરણ તરીકે નાઇટ્રોજન, પોટૅશિયમ અને મૅગ્નેશિયમની ઉણપના લક્ષણો સૌ પ્રથમ જીર્ણ પામેલ પર્ણોમાં જોવા મળે છે. જીર્ણ પર્ણોમાં, તે તત્ત્વ ધરાવતા જૈવિક અણુઓનું વિઘટન થાય છે. જેથી તરુણ પર્ણોમાં તેમના વહનને શક્ય બનાવે છે.

જ્યારે તત્ત્વ અવહનશીલ હોય છે અને પરિપક્વ અંગોમાંથી બહાર નીકળતા નથી ત્યારે અપર્યાપ્તતાના લક્ષણો તરુણ પેશીમાં પહેલા જોવા મળે છે. ઉદાહરણ તરીકે સલ્ફર અને કૅલ્શિયમ તત્ત્વ જે કોષના સંરચનાત્મક

ઘટકના ભાગ રૂપે છે, આમ, તેઓ સરળતાથી છૂટા પડતા નથી. વનસ્પતિઓનાં ખનીજ પોષણનું આ પાસું કૃષિવિદ્યા અને બાગાયતવિદ્યા માટે આવશ્યક અને મહત્ત્વપૂર્ણ છે.

વનસ્પતિઓ દ્વારા દર્શાવાતા ઊણપીય લક્ષણોમાં ક્લોરોસીસ, નેક્રોસીસ, વનસ્પતિની કુંઠિત વૃદ્ધિ, કસમયે પર્ણો અને કલિકાઓનું ખરી પડવું અને કોષવિભાજનને અવરોધે વગેરેનો સમાવેશ થાય છે. ક્લોરોફિલનો ઘટાડો કે વ્યય થવાથી પર્ણો પીળા બને છે. તેને ક્લોરોસીસ કહે છે. આ લક્ષણ N, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn અને Moની ઊણપને લીધે સર્જાય છે. એ જ રીતે, Ca, Mg, Cu અને Kની ઊણપને કારણે નેક્રોસીસ, એટલે કે પેશીઓનું મૃત્યુ ચોક્કસપણે પર્ણની પેશીઓનું. N, K, S તેમજ Moનો અભાવ કે તેમના ઓછા પ્રમાણને કારણે કોષવિભાજન અવરોધાય. કેટલાંક તત્ત્વો જેવાં કે N, S તેમજ Moની સાંદ્રતા ઓછી થવાને કારણે વનસ્પતિઓમાં પુષ્પસર્જન વિલંબાય છે.

ઉપરોક્ત વર્ણનથી તમે જોઈ શકો છો કે કોઈ પણ તત્ત્વની ઊણપને કારણે ઘણાં લક્ષણો જોવા મળે છે અને આ એકસરખા લક્ષણો એક કે ઘણા વિવિધ તત્ત્વોની ઊણપથી ઉદ્ભવે છે. આમ, ઊણપ પામતું તત્ત્વ ઓળખવા માટે વનસ્પતિના વિવિધ ભાગોમાં જોવા મળતાં લક્ષણોનો અભ્યાસ કરવો પડે છે અને પ્રમાણિત કોષ્ટક સાથે તુલના કરવી પડે છે. આપણે એ વાતની પણ જાણકારી રાખવી પડે છે કે એક તત્ત્વની ઊણપ જુદી જુદી વનસ્પતિમાં ભિન્ન લક્ષણોની પ્રતિક્રિયા દર્શાવે છે.

12.2.4 લઘુપોષક તત્ત્વોની વિષારિતા (Toxicity of Micronutrients)

લઘુપોષક તત્ત્વોની જરૂરિયાત ન્યૂનતમ માત્રામાં હોય છે, જ્યારે થોડીક માત્રાની ઊણપથી પણ ઊણપજન્ય ચિહ્નો ઉદ્ભવે છે. તથા તેઓની માત્રામાં અલ્પ માત્રામાં પણ જો વધારો થાય તો તે વિષારિતા ઉત્પન્ન કરે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો સાંદ્રતાઓના સંકીર્ણ વિસ્તાર કે જેમાં કોઈ તત્ત્વ અનુકૂળતમ હોય છે. કોઈ પણ ખનીજ આયનની તે સાંદ્રતા જો પેશીઓના શુષ્કદળમાં 10 ટકાનો ઘટાડો થાય, તો તેને વિષારી ગણવામાં આવે છે. આવી તે સંક્રાંતિ સાંદ્રતા વિવિધ લઘુપોષક તત્ત્વોની વચ્ચે ભિન્ન હોય છે. વિષારિતાનાં લક્ષણો ઓળખવા મુશ્કેલ છે. અલગ-અલગ વનસ્પતિઓનાં તત્ત્વોની વિષારિતાના સ્તર ભિન્ન ભિન્ન હોય છે. કોઈક વાર કોઈ એક તત્ત્વનું વધુ પ્રમાણ બીજા તત્ત્વના અંતર્વહનને અવરોધે છે. ઉદાહરણ માટે, પીળાશ પડતી શિરાઓ દ્વારા વાદળી કે જાંબલી રંગના ડાઘાઓ દેખાય છે. જે મૅંગેનીઝની વિષારિતાનું મુખ્ય લક્ષણ છે. તે જાણવું આવશ્યક છે કે આયર્ન તેમજ મૅગ્નેશિયમની સાથે મૅંગેનીઝનો પ્રવેશ અને ઉત્સેચકની સાથે જોડાવા માટે મૅગ્નેશિયમ અને આયર્ન વચ્ચે સ્પર્ધા થાય છે. મૅંગેનીઝ પ્રરોહાગ્રમાં કૅલ્શિયમના શોષણને પણ અવરોધે છે. જેથી મૅંગેનીઝની વધુ માત્રાને લીધે વાસ્તવમાં આયર્ન, મૅગ્નેશિયમ અને કૅલ્શિયમની ઊણપ સર્જાય છે. આમ, જે લક્ષણ આપણને મૅંગેનીઝની ઊણપના પ્રતિત થાય છે, તે ખરેખર લોહ (આયર્ન), મૅગ્નેશિયમ અને કૅલ્શિયમની ઊણપથી જોવા મળે છે. શું આ જ્ઞાન ખેડૂતો, માળીઓ કે તમારા કિચન-ગાર્ડનમાં તમારા માટે મહત્ત્વનું છે ?

12.3 તત્ત્વોના શોષણની ક્રિયાવિધિ (Mechanism of Absorption of Elements)

વનસ્પતિઓ દ્વારા તત્ત્વોની શોષણની ક્રિયાવિધિનો અભ્યાસ અલગ તારવેલા કોષો, પેશીઓ કે અંગોમાં કરવામાં આવે છે. પ્રથમ તબક્કામાં, આયનોનું અપદ્રવ્ય પથ દ્વારા કોષના મુક્ત અવકાશ (free space) કે બાહ્ય અવકાશ (outer space)માં ઝડપથી અંતઃગ્રહણ થાય છે, જે નિષ્ક્રિય

વહન છે. બીજા તબક્કામાં, આયનોનું કોષના 'આંતરિક અવકાશ' (inner space)માં ધીમું વહન થાય છે, જે સંદ્રવ્યપથ છે. અપદ્રવ્ય પથમાં આયનોનું નિષ્ક્રિય વહન સામાન્ય રીતે આયન માર્ગો (ચેનલો) તથા પાર પટલ પ્રોટીન જે પસંદગીશીલ છિદ્ર તરીકે વર્તે છે. તેના દ્વારા થાય છે. બીજી તરફ સંદ્રવ્ય પથમાં આયનોનો પ્રવેશ અને નિકાલ માટે ચયાપચાયક ઊર્જાની આવશ્યકતા હોય છે કે જે એક **સક્રિય** પ્રક્રિયા છે. આયનોના વહનને સામાન્ય રીતે **ફ્લક્સ (Flux)** કહે છે. તેઓ કોષોની અંદરની તરફ વહન પામે તો તેને ઇનફ્લક્સ (Influx) અને કોષોની બહાર વહન પામે તો તેને ઈફ્લક્સ (Efflux) કહે છે તે તમે પ્રકરણ 11માં અભ્યાસ કર્યો છે. વનસ્પતિઓમાં ખનીજ ક્ષારોનું શોષણ અને વહન કેવી રીતે વહન થાય છે.

12.4 દ્રાવ્ય પદાર્થોનું સ્થળાંતરણ (Translocation of Solutes)

ખનીજ ક્ષારો જલવાહકના માધ્યમથી પાણીના ઉર્ધ્વ પ્રવાહની સાથે વહન પામે છે, જે વનસ્પતિમાં બાષ્પોત્સર્જનથી સર્જાતા ખેંચાણ બળ દ્વારા ઉપરની તરફ પાણી ઉર્ધ્વગમન પામે છે. જલવાહક રસના વિશ્લેષણથી ખનીજ ક્ષારોની હાજરીને તેમાં જાણી શકાય છે કે તેઓ ખનીજ ક્ષારો ધરાવે છે. વનસ્પતિઓમાં રેડિયો સમસ્થાનિક(Radioisotope)ના ઉપયોગથી પણ તે પ્રમાણિત કરી શકાય છે કે ખનીજ તત્ત્વો વનસ્પતિઓમાં જલવાહકના માધ્યમથી પરિવહન પામે છે. તમે જલવાહકના માધ્યમથી પાણીના વહનની ચર્ચા પ્રકરણ 11માં કરી ચૂક્યા છો.

12.5 ભૂમિ, આવશ્યક તત્ત્વોના સંચય સ્થાન તરીકે (Soil as Reservour of Essential Elements)

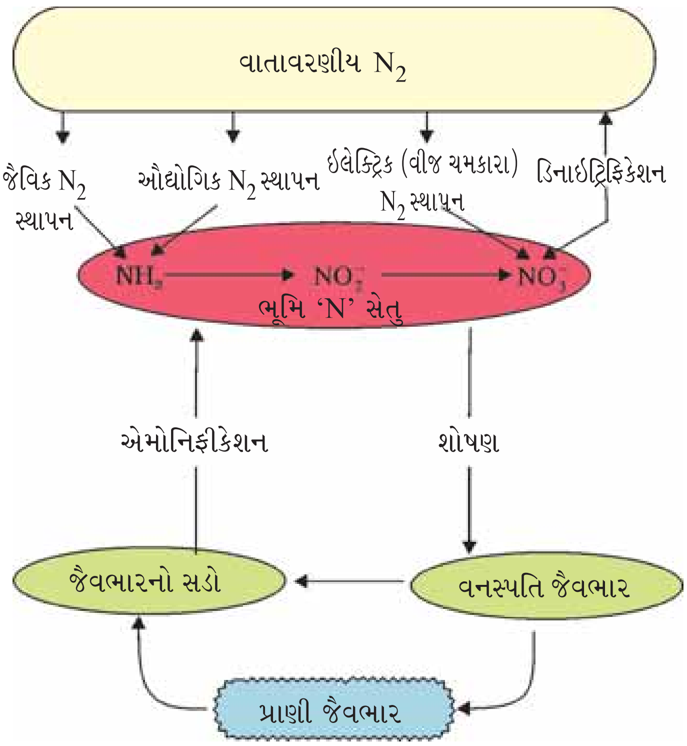
મોટા ભાગનાં ખનીજો વનસ્પતિઓની વૃદ્ધિ તેમજ વિકાસ માટે આવશ્યક છે અને તેઓ ખડકોના તૂટવાથી તેમજ ક્ષરણ પામવાથી વનસ્પતિઓના મૂળને તેમની પ્રાપ્ત થાય છે. આવી પ્રક્રિયાઓ ભૂમિને દ્રાવ્ય આયનો અને અકાર્બનિક ક્ષારોથી સમૃદ્ધ કરે છે. તેઓ ખડકોમાં રહેલા ખનિજો દ્વારા પ્રાપ્ત થાય છે; જેથી વનસ્પતિ પોષણમાં તેઓની ભૂમિકાને ખનીજ પોષણ કહેવાય છે. ભૂમિ ઘણા પ્રકારના પદાર્થો ધરાવે છે. ભૂમિ માત્ર ખનીજની પ્રાપ્યતા કરતી નથી પરંતુ નાઇટ્રોજન સ્થાપન કરનારા જીવાણુ અને અન્ય સૂક્ષ્મજીવોને સંરક્ષણ આપે છે, પાણીનો સંગ્રહ પણ કરે છે, તેમજ મૂળને હવાની પ્રાપ્યતા બક્ષે છે તથા વનસ્પતિઓનું સ્થાપન કરવા માટેનો આધાર આપે છે. જો કે આવશ્યક ખનીજોની ઊણપ ખેતીવિષયક પાકને નુકસાન પહોંચાડે છે. જેથી કૃત્રિમ ખાતરો દ્વારા આવશ્યકતા પૂરી પાડવામાં આવે છે. ગુરૂપોષક તત્ત્વો (N, P, K, S વગેરે) અને લઘુ પોષક તત્ત્વો (Cu, Zn, Fe, Mn વગેરે) બંને ખાતરોના ઘટકો છે અને તેમને જરૂરિયાત મુજબ ઉમેરવામાં આવે છે.

12.6 નાઈટ્રોજન ચયાપચય (Metabolism of Nitrogen)

12.6.1 નાઈટ્રોજન ચક્ર (Nitrogen Cycle)

જીવંત સજીવોમાં કાર્બન, હાઇડ્રોજન અને ઑક્સિજન ઉપરાંત નાઇટ્રોજન પણ મુખ્ય તત્ત્વ છે. નાઇટ્રોજન એમિનો ઍસિડ્સ, પ્રોટીન, અંતઃસ્ત્રાવો, હરિત દ્રવ્ય અને મોટા ભાગના વિટામિન્સનો બંધારણીય ઘટક છે. ભૂમિમાં રહેલા મર્યાદિત નાઇટ્રોજન માટે વનસ્પતિએ સૂક્ષ્મ જીવો સાથે સ્પર્ધા

કરવી પડે છે. આમ, નાઇટ્રોજન નૈસર્ગિક તેમજ કૃષિ નિવસનતંત્ર એમ બંને માટે સીમાંતક ખનીજ પોષક તત્ત્વ તરીકે છે. નાઇટ્રોજનમાં નાઇટ્રોજનના બે પરમાણુઓ મજબૂત ત્રણસહસંયોજક બંધથી જોડાયેલા છે ($N \equiv N$), નાઇટ્રોજન (N_2)નું એમોનિયામાં રૂપાંતરણ થવાની પ્રક્રિયાને **નાઇટ્રોજન સ્થાપન** કહે છે. પ્રકૃતિમાં, વીજળીના ચમકારા અને પારજાંબલી વિકિરણો નાઇટ્રોજનને નાઇટ્રોજન ઑક્સાઇડ(NO, NO_2, N_2O)માં ફેરવવા માટે ઊર્જા પૂરી પાડે છે. ઔદ્યોગિક દહન, જંગલમાં લાગેલી આગ, વાહનોનો ધુમાડો અને વીજ ઉત્પાદન કેન્દ્ર પણ વાતાવરણીય નાઇટ્રોજન ઑક્સાઈડનો સ્રોત છે. મૃત વનસ્પતિઓ તેમજ પ્રાણીઓમાં આવેલા કાર્બનિક નાઇટ્રોજનનું એમોનિયામાં વિઘટન થવાની ક્રિયાને એમોનીફીકેશન કહેવાય છે. તેમાંથી કેટલોક એમોનિયા બાષ્પીભવન પામીને વાતાવરણમાં પુનઃ પ્રવેશે છે. પરંતુ મોટા ભાગનાં એમોનિયા ભૂમિમાં આવેલા સૂક્ષ્મજીવો દ્વારા નાઇટ્રેટમાં ફેરવાય છે. જે નીચેના તબક્કાઓ પ્રમાણે થાય છે.



આકૃતિ 12.3 : જે મુખ્ય નાઇટ્રોજન સેતુઓ - વાતાવરણ, ભૂમિ અને જૈવભાર સાથે સંબંધ દર્શાવતું નાઇટ્રોજન ચક્ર

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 2H^+ + 2H_2O \qquad \text{.............(i)}$$

$$2NO_2^{-2} + O_2 \longrightarrow 2NO_3^- \qquad \text{.............(ii)}$$

સૌ પ્રથમ એમોનિયાનું ઑક્સિડેશન નાઇટ્રોસોમોનાસ અને/અથવા નાઇટ્રોકોક્સ બેક્ટેરિયા (જીવાણુ) દ્વારા નાઇટ્રાઇટમાં થાય છે. નાઇટ્રાઇટનું નાઇટ્રોબેક્ટર બેક્ટેરિયાની મદદથી નાઇટ્રેટમાં ઑક્સિડેશન થાય છે. આ પ્રક્રિયાઓને **નાઇટ્રિફિકેશન** કહેવાય છે **(આકૃતિ 12.3)**. આ નાઇટ્રિફાઈંગ બેક્ટેરિયા **રસાયણ સ્વોપજીવી (Chemoautotroph)** હોય છે.

વનસ્પતિ આ પ્રકારે નિર્માણ પામેલ નાઇટ્રેટનું શોષણ કરી પર્ણો તરફ વહન કરે છે. પર્ણોમાં, તેનું રીડક્શન કરીને એમોનિયા બનાવે છે કે જે એમિનો ઍસિડનો એમિનો સમૂહ બનાવે છે. ભૂમિમાં આવેલ નાઇટ્રેટ પણ ડિનાઇટ્રિફિકેશન દ્વારા નાઇટ્રોજનમાં રીડક્શન પામે છે. ડિનાઇટ્રિફિકેશનની પ્રક્રિયા સ્યુડોમોનાસ તેમજ થાયોબેસિલસ બેક્ટેરિયા દ્વારા થાય છે.

12.6.2 જૈવિક નાઇટ્રોજન સ્થાપન (Biological Nitrogen Fixation)

નાઇટ્રોજન હવામાં પ્રચુર માત્રામાં આવેલો હોવા છતાં, ઘણા ઓછા સજીવો નાઇટ્રોજનનો સીધો ઉપયોગ કરી શકે છે. કેટલીક આદિકોષકેન્દ્રીય (પ્રોકેરિયોટિક) જાતિઓમાં જ ફક્ત નાઇટ્રોજનનું સ્થાપન કરવા

સક્ષમ છે. સજીવો દ્વારા નાઇટ્રોજનનું એમોનિયામાં રીડક્શન થવાથી તેને **જૈવિક નાઇટ્રોજન સ્થાપન** કહેવાય છે. નાઇટ્રોજીનેઝ ઉત્સેચક કે જે નાઇટ્રોજનનું રીડક્શન કરે છે તે સામાન્યતઃ આદિ કોષકેન્દ્રીય સજીવોમાં વિશિષ્ટપણે આવેલા હોય છે. આવા સૂક્ષ્મજીવો N_2 સ્થાપકો કહેવાય છે.

$$N \equiv N \xrightarrow{\text{નાઇટ્રોજીનેઝ}} NH_3$$

નાઇટ્રોજન સ્થાપક સૂક્ષ્મજીવો મુક્તજીવી (સ્વતંત્ર) કે સહજીવી હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે એ નાઇટ્રોજન સ્થાપક જારક સૂક્ષ્મ જીવાણુઓ સ્વતંત્ર કે મુક્ત જીવી એઝેટોબેક્ટર (*Azotobacter*) અને બાઇજર્નિકિયા (*Beijernickia*) જ્યારે રોડોસ્પાઇરિલિયમ (*Rhodospirilum*) અજારક પ્રકારના છે અને બેસિલસ (*Bacillus*) મુક્તજીવી છે. વધુમાં તેની સાથે કેટલાક નીલહરિત બેક્ટેરિયા જેવા કે એનાબીના (*Anabaena*), નોસ્ટૉક (*Nostoc*) પણ સ્વતંત્ર કે મુક્ત જીવી નાઇટ્રોજન સ્થાપક છે.

સહજીવી જૈવિક નાઇટ્રોજન સ્થાપન (Symbiotic Biological Nitrogen Fixation) :

સહજીવી જૈવિક નાઇટ્રોજન સ્થાપનના કેટલાક પ્રકારોનું જૂથ જાણીતું છે. આ બધામાં મુખ્યત્વે શિમ્બી વનસ્પતિઓના મૂળ (Legume) અને બેક્ટેરિયા (જીવાણુ) વચ્ચે સંબંધ સ્થપાયેલો હોય છે. અલ્ફાલ્ફા (રજકો), સ્વીટ ક્લોવર (કપીલો), વટાણા, મસૂર, બગીચાના વટાણા, બ્રોડ બીન્સ (બાફળા), ક્લોવર બીન (ગંગેટી) (વાલ) વગેરેના મૂળમાં દંડાકાર રાઇઝોબિયમ પ્રજાતિ આ પ્રકારનો સંબંધ ધરાવે છે. સૌથી સામાન્ય સહજીવન મૂળની ગાંઠોના સ્વરૂપમાં થાય છે. આ ગાંઠો મૂળ પરના બહિરુદ્ભેદ છે. (મૂળગંડિકાઓ). લેગ્યુમિનોસ સિવાયની વનસ્પતિઓ(દા.ત. એલ્નસ)ના મૂળ પર સૂક્ષ્મ જીવ ફ્રૅન્કિયા (Frankia) N_2 સ્થાપક ગ્રંથિઓ ગંડિકાઓ ઉત્પન્ન કરે છે. રાઇઝોબિયમ અને ફ્રૅન્કિયા બંને ભૂમિમાં મુક્ત જીવી છે; પરંતુ સહજીવીના રૂપમાં વાતાવરણીય નાઇટ્રોજનનું સ્થાપન કરી શકે છે.

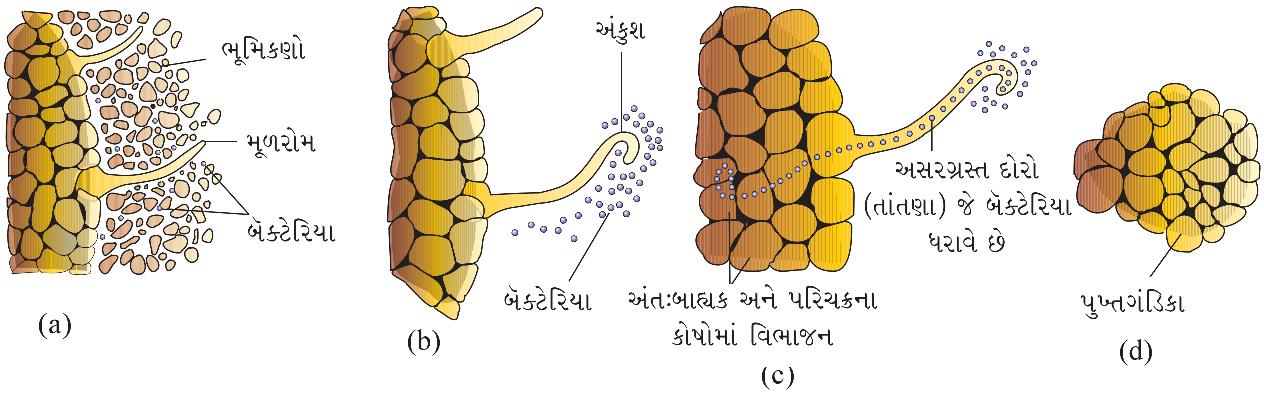
પુષ્પસર્જન પહેલાં કોઈ કઠોળના એક છોડને મૂળથી ઉખાડો, તમે મૂળ પર લગભગ ગોળાકાર બહિરુદ્ભેદ જોઈ શકશો, તે ગંડિકાઓ છે. જો તમે તેઓનો છેદ લઈને કેન્દ્રસ્થ ભાગ જોશો તો તે લાલ કે ગુલાબી રંગનો દેખાય છે. ગંડિકાઓને ગુલાબી કોણ બનાવે છે ? આ રંગ લેગ્યુમિનસ હીમોગ્લોબીન કે લેગહિમોગ્લોબીનને લીધે સર્જાય છે.

મૂળગંડિકાનું નિર્માણ (Nodule Formation) :

ગંડિકા નિર્માણમાં યજમાન વનસ્પતિઓના મૂળ તેમજ રાઇઝોબિયમ બેક્ટેરિયા વચ્ચે થતી ઘણી શ્રેણીબદ્ધ આંતર ક્રિયાઓ સંકળાયેલ છે. ગંડિકા નિર્માણના ચાર તબક્કાઓ નીચે મુજબ છે :

રાઇઝોબિયમ બહુગુણન પામીને મૂળની આસપાસ વસાહત રચે છે અને અધિસ્તર અને મૂળરોમના કોષો સાથે જોડાઈ જાય છે. મૂળરોમમાં વહન પામે છે અને જીવાણુ મૂળરોમમાં પ્રવેશે છે. એક સંક્રમિત તાંતણા જેવી રચના ઉત્પન્ન થાય છે. જે જીવાણુને મૂળના બાહ્યક (Cortex) સુધી લઈ જાય છે કે જ્યાં તેઓ ગંડિકા નિર્માણની શરૂઆત કરે છે. ત્યાર બાદ જીવાણુ તાંતણાથી મુક્ત થઈને કોષોમાં દાખલ થાય છે, જ્યાં તે વિશિષ્ટ નાઇટ્રોજન સ્થાપન કોષોમાં વિભેદન પામે છે. આ પ્રકારે ગંડિકાનું નિર્માણ થાય છે. જે યજમાનની વાહક પેશી સાથે પોષક તત્ત્વોની આપલે માટે સંકળાય છે. આ ઘટનાક્રમ આકૃતિ 12.4માં દર્શાવેલી છે.

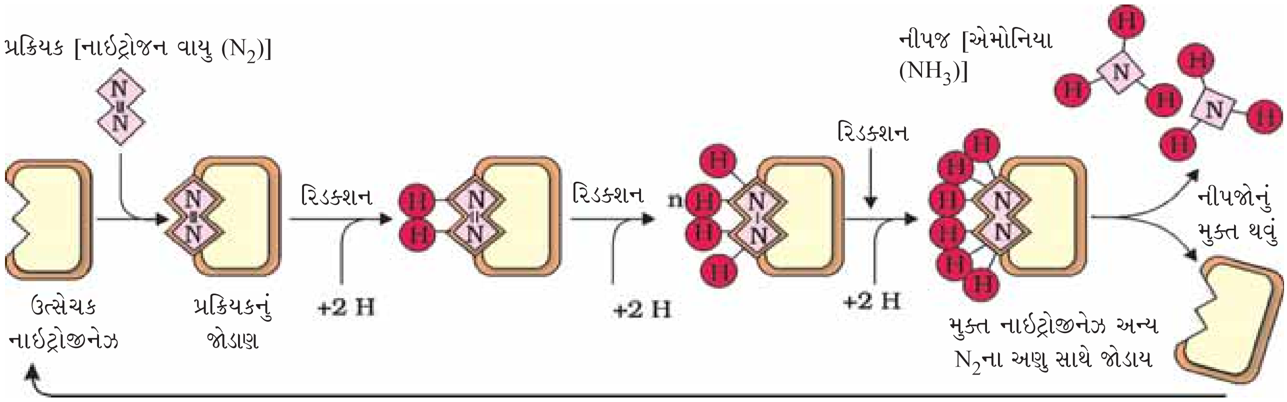
આ ગંડિકાઓમાં નાઇટ્રોજીનેઝ ઉત્સેચક તેમજ લેગહીમોગ્લોબિન જેવા બધા જૈવ રાસાયણિક ઘટકો સમાયેલા હોય છે. નાઇટ્રોજીનેઝ ઉત્સેચક Mo–Fe યુક્ત પ્રોટીન છે જે વાતાવરણીય નાઇટ્રોજનને એમોનિયામાં પરિવર્તન કરવા માટે ઉત્પ્રેરિત કરે છે (**આકૃતિ 12.5**). જે નાઇટ્રોજન સ્થાપનની પ્રથમ સ્થાયી નીપજ છે.



આકૃતિ 12.4 : સોયાબીનમાં મૂળગંડિકાનો વિકાસ (a) રાઇઝોબિયમ જીવાણુ ગ્રહણશીલ મૂળરોમના સંપર્કમાં આવી તેમની નજીક વિભાજીત થાય છે. (b) સંક્રમણ પછી મૂળરોમમાં વલનને પ્રેરિત કરે છે. (c) સંક્રમણ પામેલ રચના (સૂત્ર જેવી) જીવાણુઓનો બાહ્યકની અંદર તરફ લઈ જાય છે. જીવાણુ દંડ (સળિયા) આકારની જીવાણુસમ રચનાઓમાં રૂપાંતરિત થાય છે અને અંતઃબાહ્યક એટલે કે અંતઃસ્તર તેમજ પરિચક્રના કોષોમાં વિભાજન પ્રેરે છે. બાહ્યક અને પરિચક્રના કોષોના વિભાજન તેમજ વૃદ્ધિ, ગંડિકા નિર્માણને પ્રેરે છે. (d) મૂળની વાહક પેશી સાથે સાતત્ય ધરાવતી પુખ્ત મૂળગંડિકા સર્જાય છે. તેનું સમીકરણ આ પ્રકારનું છે.

$$N_2 + 8e^- + 8H^+ + 16\ ATP \longrightarrow 2NH_3 + H_2 + 16\ ADP + 16P_i$$

નાઇટ્રોજીનેઝ ઉત્સેચક આણ્વિક ઑક્સિજન પ્રત્યે અત્યંત સંવેદનશીલ હોય છે. તેને અજારક વાતાવરણની આવશ્યકતા હોય છે. ઉત્સેચકને ઑક્સિજનથી રક્ષિત કરવા માટે ગંડિકા દ્વારા અનુકૂલન સાધેલું હોય છે. આ ઉત્સેચકોની સુરક્ષા માટે ગંડિકાઓ એક ઑક્સિજનગ્રાહી (Scavenger) ધરાવે છે જેને લેગહીમોગ્લોબિન (Lb) કહે છે. તે એક રસપ્રદ બાબત છે કે મુક્તજીવી અવસ્થાઓમાં આવા સૂક્ષ્મજીવો જારક પ્રકારના હોય છે (જ્યાં નાઇટ્રોજીનેઝ ક્રિયાશીલ હોતો નથી) પરંતુ નાઇટ્રોજન સ્થાપનની ઘટના દરમિયાન તેઓ અજારક બને છે. (આથી નાઇટ્રોજીનેઝ ઉત્સેચકની સુરક્ષા કરે છે) ઉપર દર્શાવેલ સમીકરણમાં તમે નોંધ્યું કે નાઇટ્રોજીનેઝ દ્વારા એમોનિયાના સંશ્લેષણ માટે ખૂબ જ વધુ ઊર્જાની



આકૃતિ 12.5 : નાઇટ્રોજન સ્થાપક બેક્ટેરિયામાં જોવા મળતા નાઇટ્રોજીનેઝ ઉત્સેચકીય સંકુલ દ્વારા વાતાવરણમાં રહેલા નાઇટ્રોજન (N_2) વાયુનું એમોનિયામાં રૂપાંતરણના વિવિધ તબક્કાઓ

અનિવાર્યતા હોય છે. (એક NH_3 અણુ માટે 8ATP જોઈએ). આથી જરૂરી ઊર્જા તેઓ યજમાન કોષોમાં થતા શ્વસનમાંથી મેળવે છે.

એમોનિયાનું ભાવિ (Fate of Ammonia)

એમોનિયાના દેહધાર્મિક રીતે નિયત pH આંકે નત્રલીકરણ (પ્રોટોનીકરણ) પામ્યા બાદ NH_4^+ (એમોનિયમ આયન)માં રૂપાંતરિત થાય છે, જ્યારે મોટા ભાગની વનસ્પતિઓ નાઇટ્રેટ તેમજ એમોનિયમ આયનને પણ આયનની જેમ સંચિત કરી શકે છે. પછી તે વનસ્પતિઓ માટે વિષકારક બને છે અને આથી વનસ્પતિઓ તેઓને સંચિત કરી શકતી નથી. આવો, આપણે જોઈએ કે વનસ્પતિઓમાં એમોનિયમ આયન $\left(NH_4^+\right)$ કઈ રીતે એમિનો ઍસિડોનું સંશ્લેષણ કરવા માટે ઉપયોગી છે. આમ થઈ શકવા માટે બે મુખ્ય પરિપથો છે :

(i) **રિડક્ટિવ એમિનેશન :** આ પ્રક્રિયામાં એમોનિયા α - કિટોગ્લુટેરિક ઍસિડની સાથે પ્રક્રિયા કરીને ગ્લુટેમિક ઍસિડ બનાવે છે નીચે આપેલા સમીકરણમાં સૂચિત થાય છે.

$$\alpha - \text{કિટોગ્લુટેરિક ઍસિડ} + NH_4^+ + NADPH \xrightarrow{\text{ગ્લુટેમેટ ડિહાઇડ્રોજીનેઝ}} \text{ગ્લુટેમેટ} + H_2O + NADP$$

(ii) **ટ્રાન્સઍમિનેશન :** આમાં એક એમિનો ઍસિડમાંથી એમિનો સમૂહનું અન્ય કિટો ઍસિડના કિટો સમૂહમાં સ્થળાંતરણ થવાની પ્રક્રિયા સંકળાયેલી છે. ગ્લુટેમિક ઍસિડ મુખ્ય એમિનો ઍસિડ છે, કે જેમાંથી એમિનો સમૂહ (NH_2) સ્થળાંતરણ પામે છે અને આ એમિનો સમૂહ દ્વારા બીજા એમિનો ઍસિડ્સનું નિર્માણ ટ્રાન્સએમિનેશન દ્વારા થાય છે. **ટ્રાન્સએમિનેઝ** ઉત્સેચક આ રીતની બધી પ્રક્રિયાઓને પ્રેરિત કરે છે. ઉદાહરણ માટે,

$$\underset{\text{એમિનો-દાતા}}{R_1 - \overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{\underset{\underset{\displaystyle NH_3^+}{|}}{C}} - COO^-} + \underset{\text{એમિનો-ગ્રાહી}}{R_2 - \underset{\underset{\displaystyle O}{||}}{C} = COO^-} \underset{\text{ટ્રાન્સઍમિનેઝ}}{\rightleftharpoons} R_1 - \underset{\underset{\displaystyle O}{||}}{C} - COO^- + R_2 - \overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{\underset{\underset{\displaystyle NH_3^+}{|}}{C}} - COO^-$$

વનસ્પતિઓમાં એસ્પરજીન અને ગ્લુટેમિન બે મુખ્ય એમાઇડ મળી આવે છે. જે પ્રોટીનનો રચનાત્મક ભાગ છે. તેઓ બે એમિનો ઍસિડ ક્રમશઃ એસ્પાર્ટિક ઍસિડ અને ગ્લુટેમિક ઍસિડમાંથી પ્રત્યેકની સાથે એમિનો સમૂહ જોડીને કે ઉમેરાઈને નિર્માણ પામે છે. આ પ્રક્રિયામાં ઍસિડનો હાઇડ્રોક્સિલ સમૂહ અન્ય NH_2 મૂલકથી વિસ્થાપિત થાય છે. એમાઇડ્સ કે જે એમિનો ઍસિડ કરતાં વધુ નાઇટ્રોજન ધરાવે છે, આમ તેઓ જલવાહક પેશીઓ દ્વારા વનસ્પતિના અન્ય ભાગોમાં સ્થળાંતરિત થઈ જાય છે, વધુમાં કેટલીક વનસ્પતિઓ (જેવી કે સોયાબીન)ની ગંડિકાઓ ઉત્સ્વેદનના પ્રવાહની સાથે સ્થાયી નાઇટ્રોજનનું યુરિડ્સ (Ureides)ના સ્વરૂપે નિકાલ પામે છે. આ સંયોજનો કાર્બનની તુલનામાં નાઇટ્રોજનનું વધુ પ્રમાણ ધરાવે છે.

સારાંશ

વનસ્પતિ અકાર્બનિક પોષકતત્ત્વો હવા, પાણી અને ભૂમિમાંથી મેળવે છે. વનસ્પતિઓ ઘણા પ્રકારના ખનીજ તત્ત્વોનું શોષણ કરે છે. વનસ્પતિઓને તેમના દ્વારા શોષણ પામેલા બધા પ્રકારના ખનીજ તત્ત્વોની આવશ્યકતા હોતી નથી. અત્યાર સુધી 105 થી પણ વધારે ખનીજ તત્ત્વોનું સંશોધન થયેલું છે તેમાંથી 21થી ઓછા ખનીજ તત્ત્વ વનસ્પતિઓની સામાન્ય વૃદ્ધિ તેમજ વિકાસ માટે અનિવાર્ય તેમજ લાભદાયક હોય છે. વધુ પ્રમાણમાં આવેલા આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો ગુરૂપોષક તત્ત્વો અને ઓછા પ્રમાણમાં

આવશ્યક ખનીજ તત્ત્વો લઘુપોષક તત્ત્વો કહેવાય છે. આ તત્ત્વો પ્રોટીન, કાર્બોદિત, ચરબી, ન્યુક્લિઇક ઍસિડ્સ વગેરે માટે આવશ્યક ઘટક હોય છે અને વનસ્પતિઓની વિવિધ ચયાપચયની પ્રક્રિયાઓમાં ભાગ લે છે. તેમાંથી કોઈ એક આવશ્યક તત્ત્વોની ઉણપને લીધે ઉણપીય લક્ષણો ઉદ્ભવે છે. ઉણપ સંબંધી લક્ષણોમાં ક્લોરોસીસ, નેક્રોસીસ, અવકુંઠિત વૃદ્ધિ, અસમાન કોષવિભાજન વગેરે મુખ્યત્વે દર્શાવાય છે. વનસ્પતિ મૂળ દ્વારા ખનીજ તત્ત્વોને સક્રિય તેમજ નિષ્ક્રિય રીતે શોષણ કરે છે. તે જલવાહક પેશીઓ દ્વારા પાણીના વહનની સાથે વનસ્પતિઓના વિવિધ ભાગોમાં સ્થળાંતરિત થાય છે.

નાઇટ્રોજન, જીવન ટકાવવા માટે અતિ આવશ્યક છે. વનસ્પતિઓ વાતાવરણીય નાઇટ્રોજનનો ઉપયોગ પ્રત્યક્ષ કે સીધો કરી શકતા નથી. પરંતુ કેટલીક વનસ્પતિઓ ખાસ કરીને લેગ્યુમના (કઠોળના) મૂળ એ નાઇટ્રોજન સ્થાપક બેક્ટેરિયા સાથે સહજીવી થઈ વાતાવરણીય N_2નું જૈવિક રીતે ઉપયોગી સ્વરૂપોમાં પરિવર્તન કરે છે. નાઇટ્રોજન સ્થાપન માટે શક્તિશાળી રીડક્શન અને ATP સ્વરૂપે ઊર્જાની આવશ્યકતા હોય છે. નાઇટ્રોજન સ્થાપન સૂક્ષ્મજીવો મુખ્યત્વે, રાઇઝોબિયમથી થાય છે. ઉત્સેચક નાઇટ્રોજીનેઝ જે જૈવિક N_2 સ્થાપનમાં મુખ્ય ભૂમિકા ભજવે છે, જે ઑક્સિજન પ્રત્યે સંવેદી હોય છે. મોટા ભાગની પ્રક્રિયાઓ અજારક વાતાવરણમાં થાય છે. ઊર્જા(ATP)ની આવશ્યકતાની પૂર્તતા યજમાન કોષોના જારક શ્વસનમાંથી થાય છે. નાઇટ્રોજન સ્થાપન દ્વારા નિર્માણ પામતા એમોનિયા એ એમિનો ઍસિડના એમિનો સમૂહ સ્વરૂપે સમાઈ જાય છે.

સ્વાધ્યાય

1. ‘વનસ્પતિઓમાં ઉત્તરજીવિતતા માટે આવેલા બધાં તત્ત્વો આવશ્યક હોતા નથી.’ ચર્ચા કરો.
2. જલસંવર્ધનમાં ખનીજ પોષણ સાથે સંકળાયેલ અભ્યાસમાં પાણી અને પોષક ક્ષારોની શુદ્ધતા જરૂરી કેમ છે ?
3. ઉદાહરણ સહિત સમજાવો : ગુરુપોષક તત્ત્વો, લઘુપોષક તત્ત્વો, ઉપયોગી પોષક તત્ત્વો, વિષારી તત્ત્વો અને આવશ્યક તત્ત્વો.
4. વનસ્પતિઓના ઓછામાં ઓછી પાંચ ઊણપનાં લક્ષણો આપો. તેનું વર્ણન કરો અને ખનીજોની ઊણપથી તેમનો સહસંબંધ સ્પષ્ટ કરો.
5. ધારો કે એક વનસ્પતિમાં એકથી વધારે તત્ત્વોની ઊણપનાં લક્ષણો જોવા મળે છે તો પ્રાયોગિક રીતે તમે કેવી રીતે તેને ચકાસશો કે કયા ખનીજ તત્ત્વની ઊણપ છે ?
6. કેટલીક વનસ્પતિઓમાં ઊણપનાં લક્ષણો સૌથી પહેલા તરુણ ભાગમાં જ જોવા મળે છે, જ્યારે કેટલીક અન્ય વનસ્પતિઓમાં પરિપક્વ અંગોમાં કેમ જોવા મળે ?
7. વનસ્પતિઓ દ્વારા ખનીજોનું શોષણ કેવી રીતે થાય છે ?
8. રાઇઝોબિયમ દ્વારા વાતાવરણીય નાઇટ્રોજનનું સ્થાપન કરવા માટેની જરૂરી શરતો કઈ છે ? અને N_2 સ્થાપનમાં તેમની ભૂમિકા શું છે ?
9. મૂળગંડિકાના નિર્માણ માટે કયા તબક્કા સંકળાયેલા છે ?
10. નીચે આપેલાં વિધાનોમાં કયા સાચાં છે ? જો ખોટું વિધાન હોય તો તેને સાચું લખો :
    (a) બોરોનની ઊણપથી અક્ષ કુંઠિત બને છે.
    (b) કોષમાં આવેલા પ્રત્યેક ખનીજ તત્ત્વ તેના માટે આવશ્યક છે.
    (c) નાઇટ્રોજન પોષક તત્ત્વના સ્વરૂપમાં વનસ્પતિ વધુ અચલિત છે.
    (d) લઘુપોષક તત્ત્વોની આવશ્યકતા નક્કી કરવી અત્યંત સરળ છે, કારણ કે તેઓ ખૂબ જ ઓછી માત્રામાં જ જરૂરી છે.

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

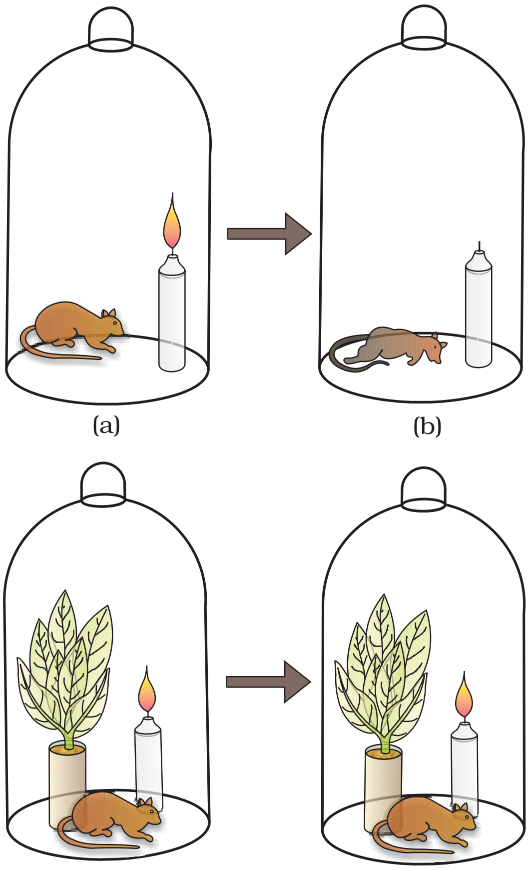
હાજરીમાં લીલા ભાગમાં જ થાય છે.

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 ?

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.’’



આકૃતિ 13.1 : પ્રિસ્ટલીનો પ્રયોગ

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 ઑક્સિડાઇઝેબલ સંયોજનમાંથી પ્રાપ્ત થતાં હાઇડ્રોજન કાર્બન ડાયૉક્સાઇડનું રિડકશન 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 હાઇડ્રોજન 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 હાઇડ્રોજન 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 ડાયૉક્સાઇડમાંથી 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

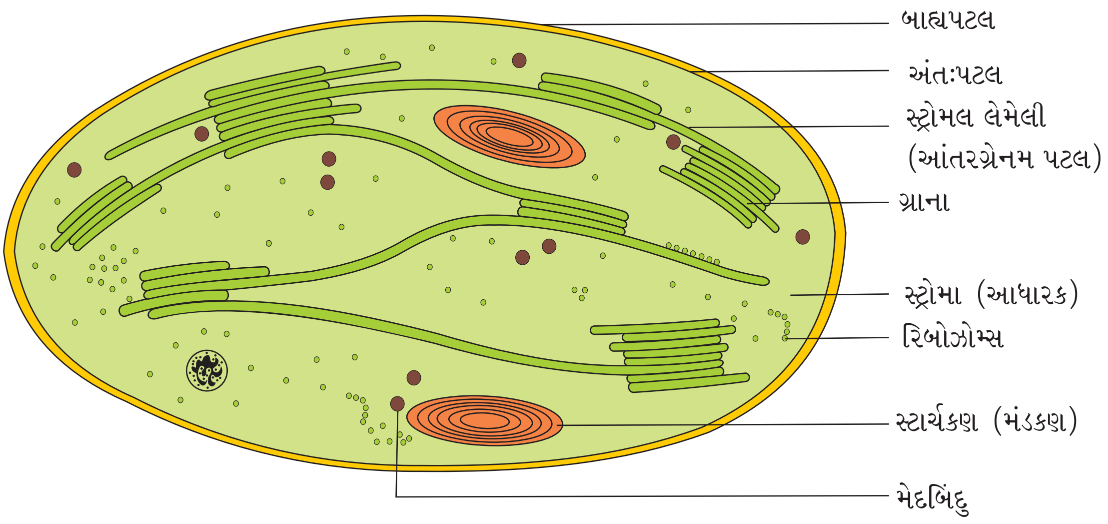
વર્ણન છે જેને પ્રકાશસંશ્લેષણ કહે છે. શું તમે એ સમજાવી શકશો કે ઉપરોક્ત સમીકરણમાં પાણીના 12 અણુઓ પ્રક્રિયક તરીકે ઉપયોગમાં શા માટે લેવાયેલા છે ?

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

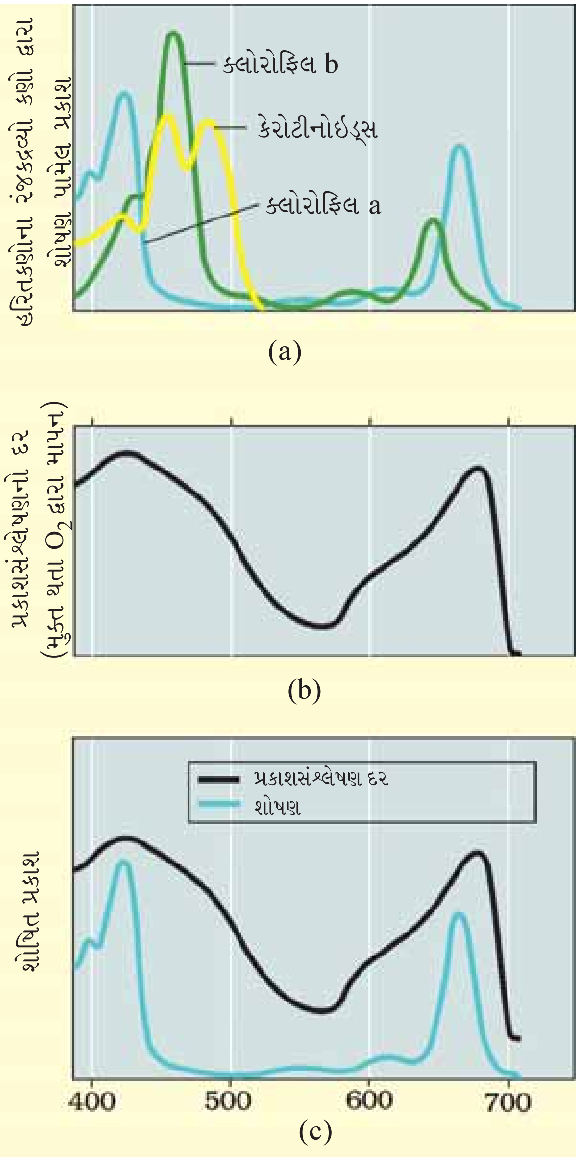
પ્રકરણ 8માં અભ્યાસ કર્યા પછી નિશ્ચિતપણે તમારો જવાબ હશે કે લીલા પર્ણોમાં અથવા તમે કહી શકશો કે હરિતકણોમાં, તમે બિલકુલ સાચાં છો. પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયા વનસ્પતિના લીલા પર્ણોમાં થાય છે પરંતુ તે વનસ્પતિઓના અન્ય લીલા ભાગોમાં પણ થાય છે. શું તમે વનસ્પતિઓના કેટલાક અન્ય ભાગોના નામ જણાવી શકો છો કે જ્યાં પ્રકાશસંશ્લેષણની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



પ્રકાશની તરંગલંબાઈ નેનો મીટરમાં (nm)

આકૃતિ 13.3(a) : ક્લોરોફિલ a, b અને કેરોટીનોઇડ્સના 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 **કેરોટીનોઇડ્સ**(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 ?

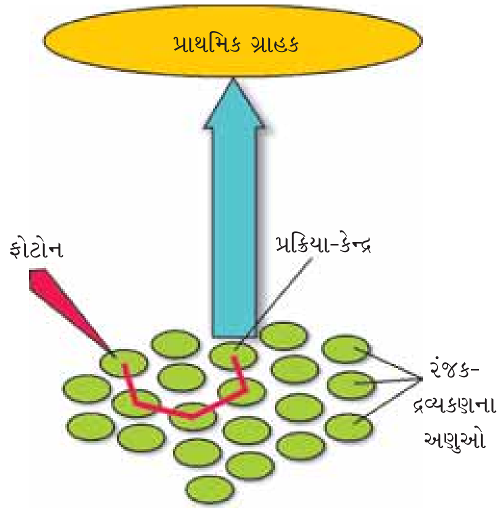
હવે તમે આકૃતિ 13.3(b)ને જુઓ. જે દર્શાવે છે કે કઈ તરંગલંબાઈએ મહત્તમ પ્રકાશસંશ્લેષણ થાય છે. તમે જોઈ શકો છો કે ક્લોરોફિલ a દ્વારા કઈ તરંગલંબાઈનું મહત્તમ શોષણ થાય છે એટલે કે ક્લોરોફિલ a વાદળી અને લાલ રંગની તરંગલંબાઈનું વધુ શોષણ કરે છે. જે પ્રકાશસંશ્લેષણનો ઊંચો દર દર્શાવે છે. આથી, આપણે નિર્ણય કરી શકીએ છીએ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

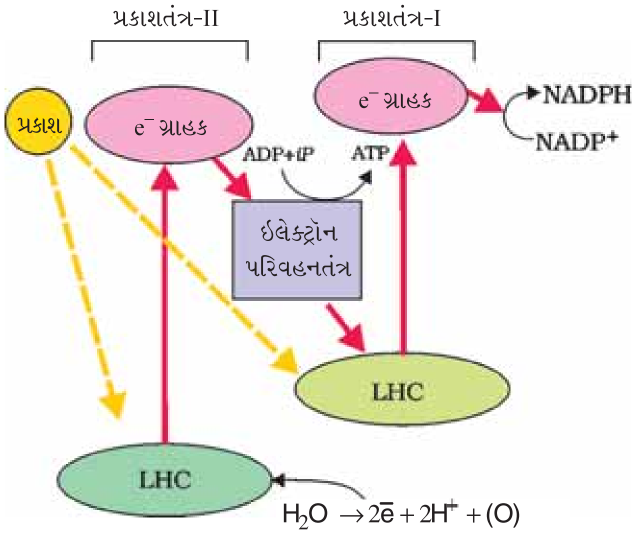
પ્રકાશ પ્રક્રિયા અથવા પ્રકાશ રાસાયણિક તબક્કામાં પ્રકાશનું શોષણ, પાણીનું વિભાજન, ઑક્સિજનનો ઉદ્ભવ અને ઉચ્ચ ઊર્જા મૂલ્ય ધરાવતાં મધ્યસ્થીઓ જેવાં કે ATP અને NADPHનો નિર્માણનો પણ સમાવેશ થાય છે. આ પ્રક્રિયામાં અનેક સંકુલો સંકળાયેલા હોય છે. અહીંયાં રંજકદ્રવ્યો બે સ્પષ્ટ અલગ પ્રકાશ રસાયણિક **લાઈટ હાર્વેસ્ટિંગ 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 ઈલેક્ટ્રોનને 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 ઇલેક્ટ્રૉન્સ 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 ઇલેક્ટ્રૉન 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 ઇલેક્ટ્રૉન્સ પુનઃ અધોગામી ગતિ કરે છે; પરંતુ આ વખતે તે અણુ ઊર્જાથી ભરપૂર $NADP^+$ તરફ ગતિ કરે છે. આ ઇલેક્ટ્રૉન્સનો ઉમેરો થવાથી $NADP^+$નું (રિડક્શન કરી)ને $NADPH + H^+$ બનાવે છે. ઇલેક્ટ્રૉન્સના સ્થળાંતરણની ઇલેક્ટ્રૉન પરિવહન યોજના Ps-IIથી પ્રારંભ થઈ ગ્રાહી એકમ તરફ ઉર્ધ્વગમન પામીને, ઇલેક્ટ્રૉન 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 ઇલેક્ટ્રૉન સતત પૂરા પાડે છે ? ઇલેક્ટ્રૉન્સ (વીજાણુઓ) જે ફોટોસિસ્ટમ-II (Ps-II)માંથી નીકળે છે. તેમનું સ્થાન નિશ્ચિતરૂપે બીજા ઇલેક્ટ્રૉન લે છે. પાણીના વિભાજનને કારણે ઇલેક્ટ્રૉન્સની પ્રાપ્તિ થાય છે. પાણીના વિભાજનની ક્રિયા Ps-II સાથે સંકળાયેલ છે. પાણી (H_2O), H^+, [O] અને ઇલેક્ટ્રૉનમાં વિભાજન પામે છે. આમાંથી ઉત્પન્ન થતો ઑક્સિજન પ્રકાશસંશ્લેષણની એકમાત્ર વાસ્તવિક નીપજ છે. ઇલેક્ટ્રૉન્સના જરૂરી સ્થાનફેર માટે ફોટોસિસ્ટમ-I (PS-I)માંથી દૂર થયેલ ઇલેક્ટ્રૉન, ફોટોસિસ્ટમ-II (PS-II) દ્વારા પૂરા પાડવામાં આવે છે.

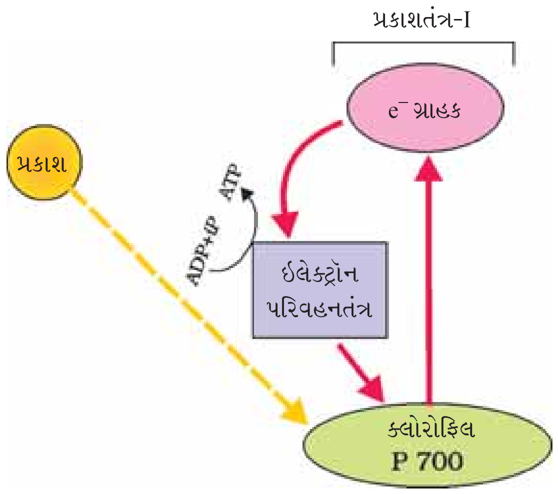
$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$$

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

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)



આકૃતિ 13.6 : ચક્રીય ફોટોફૉસ્ફોરાયલેશન

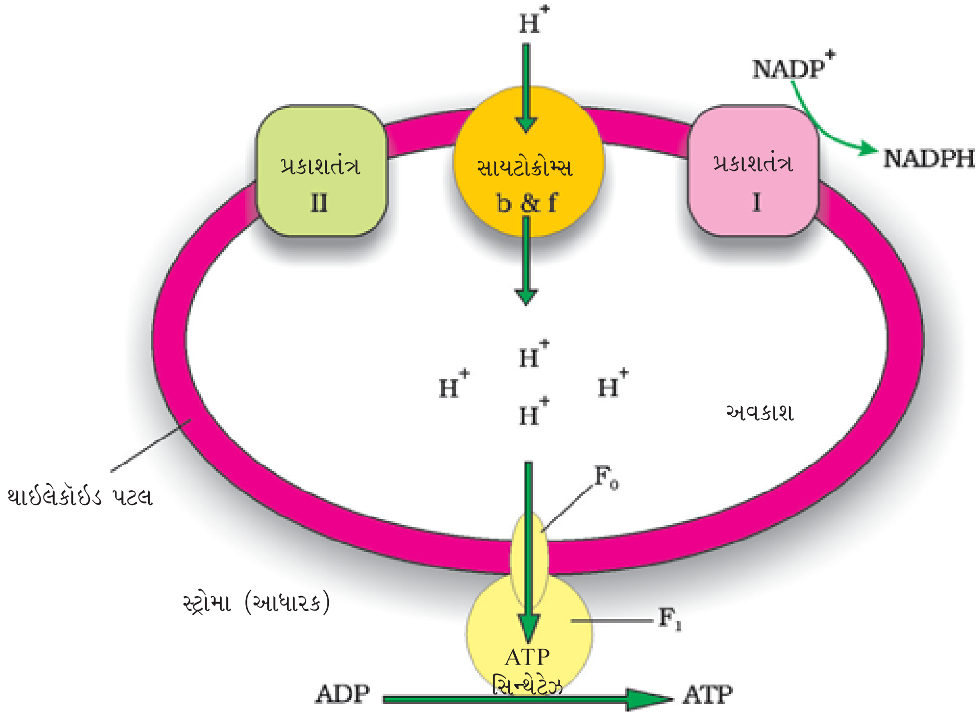
જ્યારે માત્ર PS-I ક્રિયાશીલ હોય છે, ત્યારે ઇલેક્ટ્રૉન ફોટોસિસ્ટમમાં જ ફરતો રહે છે અને ઇલેક્ટ્રૉનના ચક્રીય પ્રવાહને કારણે ફૉસ્ફોરાયલેશન થાય છે. (આકૃતિ 13.6). આ પ્રવાહની સંભવિતતા સ્ટ્રોમા લેમિલી(આંતરગ્રેનમ પટલ)માં હોય છે. જ્યારે ગ્રેનાના પટલ કે ગ્રેનાના પટલોમાં PS-I તેમજ PS-II બંને હોય ત્યારે સ્ટ્રોમા 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 ઈલેક્ટ્રૉન્સ ફોટોસિસ્ટમમાંથી પસાર થાય છે, ત્યારે પ્રોટોન પટલની આરપાર સ્થળાંતરિત થઈ જાય છે. એવું એટલા માટે થાય છે, કે ઈલેક્ટ્રૉનનો પ્રાથમિક ગ્રાહક કે જે પટલની બહારની તરફ આવેલો હોય છે, તેના પોતાના ઈલેક્ટ્રૉનને એક ઈલેક્ટ્રૉન વાહક તરફ સ્થાનાંતરિત કરતા નથી. પરંતુ હાઈડ્રોજન વાહક તરફ સ્થળાંતરિત કરે છે. આમ, ઈલેક્ટ્રૉન પ્રવાહના સમયે આ અણુ આધારક (સ્ટ્રોમા)માંથી એક પ્રોટોન લઈ લે છે; જ્યારે આ અણુ પોતાના ઈલેક્ટ્રૉનને પટલની અંદરની તરફ આવેલા ઈલેક્ટ્રૉન 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 ઈલેક્ટ્રૉન ગ્રાહીમાંથી આવતા ઈલેક્ટ્રૉનની 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 થાઈલેકૉઈડના અવકાશમાં પ્રોટોનનો સંગ્રહ થાય છે. આ રીતે થાઈલેકૉઈડ 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 થાઈલેકૉઈડની 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 થાઈલેકૉઈડના 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 કેલ્વિનનું કાર્ય વખાણવા લાયક હતું. તેઓએ રેડિયો ઍક્ટિવ ^{14}C નો ઉપયોગ કરી લીલમાં પ્રકાશસંશ્લેષણનો અભ્યાસ કર્યો અને સંશોધન કર્યું 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 ?

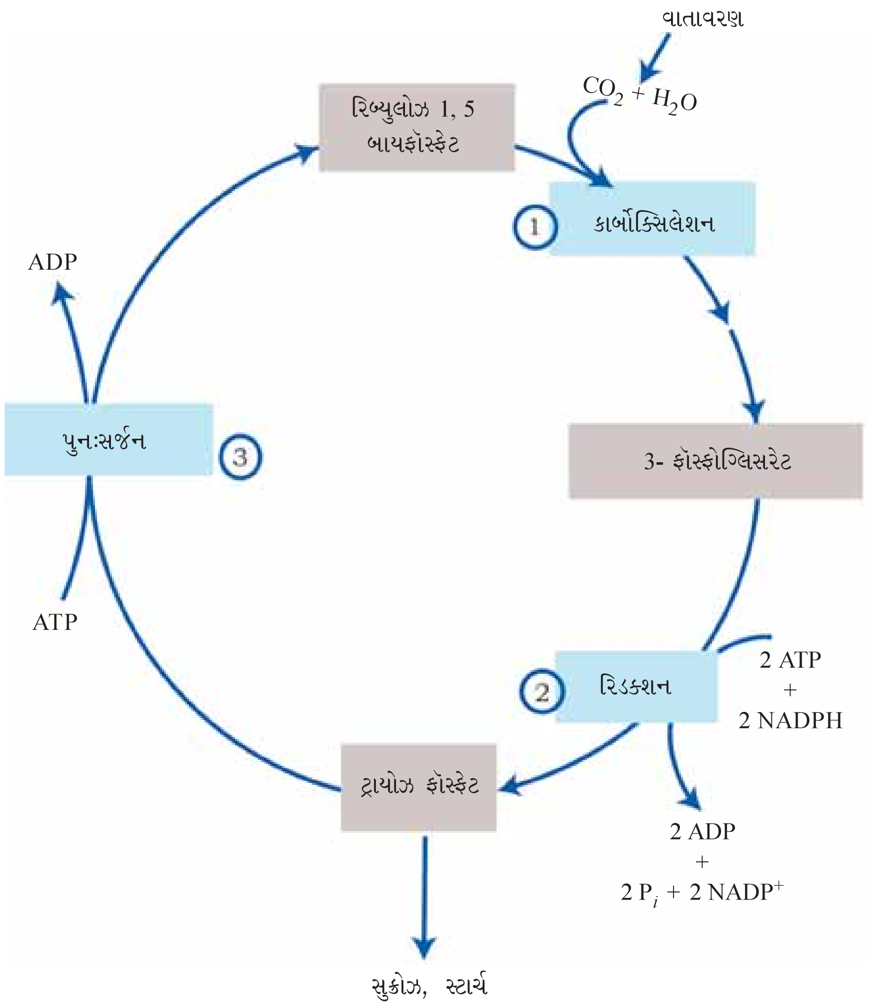
ખૂબ જ અનપેક્ષિત રીતનો અભ્યાસ દર્શાવે છે કે CO_2 ગ્રહણ કરનાર અણુ એક પાંચ કાર્બનયુક્ત કિટોઝ શર્કરા હતી. તે રિબ્યુલોઝ 1-5 બાયફૉસ્ફેટ (RuBP) હતી. શું તમારામાંથી કોઈએ આ સંભાવના વિશે વિચાર્યું હતું ? ચિંતા ન કરો. વૈજ્ઞાનિકોએ પણ આ તારણ સુધી પહોંચવા માટે ઘણો સમય લીધો હતો તેમણે કોઈ નિર્ણય પર પહોંચતા પહેલા ઘણા 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.

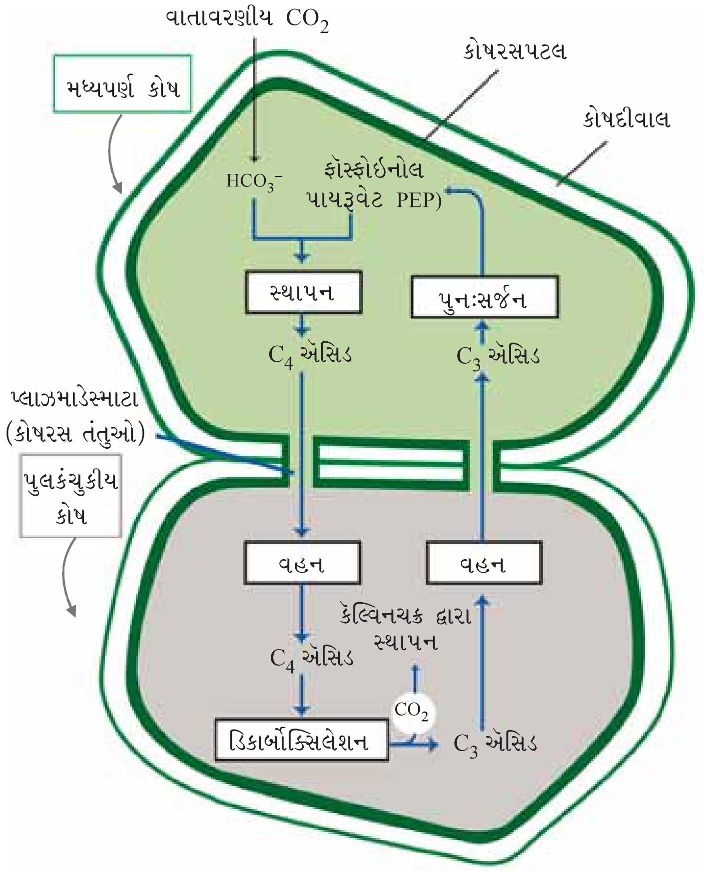
હવે આકૃતિ 13.9માં દર્શાવેલ પરિપથનો અભ્યાસ કરો. આ પરિપથને હેચ અને સ્લેક પરિપથ કહે છે અને આ પણ એક ચક્રીય પ્રક્રિયા છે. ચાલો, તેના તબક્કાઓની નોંધ લઈ પરિપથનો અભ્યાસ કરીએ.

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 કેલ્વિન 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 ન્યૂનતમ 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)

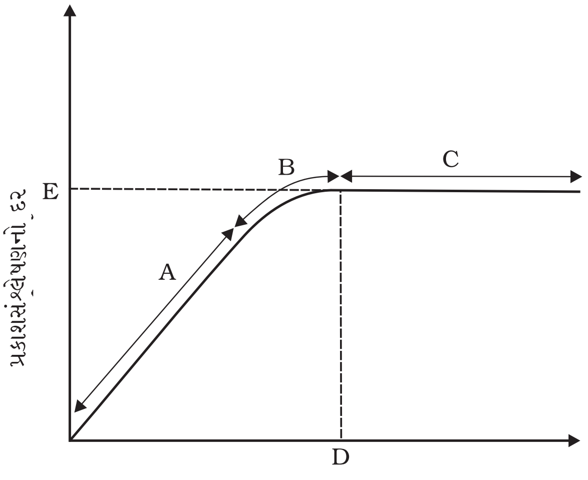
પ્રકાશસંશ્લેષણને અસર કરનારા પરિબળોને સમજવા જરૂરી છે. ખેતીલાયક સહિતની તમામ વનસ્પતિઓનું ઉત્પાદન નિર્ધારિત કરવા માટે પ્રકાશસંશ્લેષણનો દર ખૂબ મહત્ત્વનો છે. પ્રકાશસંશ્લેષણ ઘણાં પરિબળો દ્વારા અસર પામે છે. જે બાહ્ય તેમજ આંતરિક બંને પ્રકારના હોઈ શકે છે. વનસ્પતિ પરિબળોમાં સંખ્યા, પર્ણની, ઉંમર, કદ અને પર્ણવિન્યાસ, 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 ડાયૉક્સાઈડની 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 ઈષ્ટમાન 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 થાઈલેકૉઇડના 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)

પ્રકરણ 14

વનસ્પતિઓમાં શ્વસન (Respiration in Plants)

14.1 શું વનસ્પતિઓ શ્વાચ્છોચ્છ્વાસ દર્શાવે છે ?
14.2 ગ્લાયકોલીસીસ
14.3 આથવણ
14.4 જારક શ્વસન
14.5 શ્વસન સંતુલન ચાર્ટ
14.6 ઉભયધર્મી પરિપથ
14.7 શ્વસનાંક

આપણે બધા જીવંત રહેવા માટે શ્વાસ લઈએ છીએ, પરંતુ જીવન માટે શ્વાસોચ્છ્વાસ લેવો એટલો આવશ્યક કેમ છે ? જ્યારે આપણે શ્વાસોચ્છ્વાસ કરીએ છીએ, ત્યારે શું થાય છે ? શું બધા સજીવો, વનસ્પતિઓ હોય કે સૂક્ષ્મજીવો હોય શ્વાસોચ્છ્વાસ કરે છે ? જો એવું હોય તો કેવી રીતે શ્વાસ લે છે ?

બધા સજીવોને પોતાના રોજિંદા કે દૈનિક જીવનમાં શોષણ, પરિવહન, હલનચલન, પ્રજનન જેવાં કાર્યો કરવા માટે અને ત્યાં સુધી કે શ્વાસોચ્છ્વાસ લેવા માટે પણ ઊર્જાની આવશ્યકતા હોય છે. આ બધી ઊર્જા ક્યાંથી આવે છે ? આપણે જાણીએ છીએ કે ઊર્જા માટે આપણે ખોરાક લઈએ છીએ; પરંતુ આ ઊર્જા ખોરાકમાંથી કેવી રીતે મળે છે ? આ ઊર્જા કેવી રીતે ઉપયોગમાં આવે છે ? શું બધા પ્રકારના ખાદ્ય પદાર્થોમાંથી સરખા પ્રમાણની ઊર્જા મળે છે ? શું વનસ્પતિઓ ખોરાક લે છે ? વનસ્પતિઓ આ ઊર્જા ક્યાંથી મેળવે છે ? અને સૂક્ષ્મજીવો આ ઊર્જાની આવશ્યકતા માટે શું ખોરાક મેળવે છે ?

ઉપરોક્ત કરેલા પ્રશ્નોથી તમને આશ્ચર્ય થઈ રહ્યું હશે કે તેઓ અસંબંધિત લાગતા હશે. પરંતુ વાસ્તવમાં શ્વાસોચ્છ્વાસની પ્રક્રિયા તેમજ ખાદ્ય પદાર્થમાંથી મુક્ત થનારી ઊર્જાની પ્રક્રિયામાં ખૂબ વધારે સંબંધ હોય છે. આપણે આ સમજવાનો પ્રયત્ન કરીએ કે આ કેવી રીતે થાય છે ?

જીવન માટે આવશ્યક બધી ઊર્જા કેટલાક મહાઅણુઓના ઑક્સિડેશનથી પ્રાપ્ત થાય છે; જેને ખાદ્ય પદાર્થ કહે છે. માત્ર લીલી વનસ્પતિઓ તેમજ નીલહરિત જીવાણુઓ પોતાનો ખોરાક સ્વયં બનાવી શકે છે. જે પ્રકાશસંશ્લેષણ ક્રિયા દ્વારા પ્રકાશ ઊર્જાને રાસાયણિક ઊર્જામાં રૂપાંતર કરીને ગ્લુકોઝ, સુક્રોઝ તેમજ સ્ટાર્ચના જેવા કાર્બોદિતોના બંધમાં સંચિત કરે છે. આપણે એ યાદ રાખવું જોઈએ કે લીલી વનસ્પતિઓમાં પણ બધા જ કોષો, પેશીઓ અને અંગોમાં પ્રકાશસંશ્લેષણ થતું નથી. માત્ર તે કોષો, જેમાં હરિતકણો હોય છે કે જે મોટે ભાગે ઉપલા સ્તરમાં સ્થાન પામેલા હોય છે. તેઓ પ્રકાશસંશ્લેષણ કરે છે. કારણ કે લીલી વનસ્પતિઓમાં બધા અંગો, પેશીઓ તેમજ કોષો લીલા હોતા નથી. જેથી તેમાં ખાદ્ય પદાર્થો માટે ઑક્સિડેશનની આવશ્યકતા હોય છે. જેથી ખાદ્ય પદાર્થો હરિતકણ વિહીન ભાગોમાં વહન પામે છે. પ્રાણીઓ વિષમપોષી હોય છે; જેથી તેઓ પોતાનો ખોરાક વનસ્પતિઓમાંથી પ્રત્યક્ષ (શાકાહારી), કે પરોક્ષ(માંસાહારી)ના સ્વરૂપમાં મેળવે છે. મૃતોપજીવી જેવી કે ફૂગ, મૃત કે સડતા પદાર્થો પર નિર્ભર હોય છે. આ જાણી લેવું અત્યંત મહત્ત્વપૂર્ણ

છે કે જીવન માટે આવશ્યક બધા ખાદ્ય પદાર્થો પ્રકાશસંશ્લેષણ દ્વારા પ્રાપ્ત થાય છે. આ પ્રકરણમાં **કોષીય શ્વસન** અથવા **કોષોમાં ખાદ્ય પદાર્થોનું વિઘટન** થવાથી મુક્ત થતી ઊર્જાની ક્રિયાવિધિ અને આ શક્તિના ઉપયોગથી ATPનું સંશ્લેષણ સમજાવેલ છે.

નિઃસંદેહ પ્રકાશસંશ્લેષણ હરિતકણમાં થાય છે. (યુકેરિયોટિક કોષમાં), જો કે ઊર્જા પ્રાપ્ત કરવા માટે જટિલ અણુઓનું વિઘટન કોષરસ અને કણાભસૂત્રોમાં થાય છે. (તે પણ માત્ર યુકેરિયોટિકમાં). જો કે કોષોમાં જટિલ અણુઓના –C–C– (કાર્બન-કાર્બન) બંધનું, ઑક્સિડેશન થવાથી પર્યાપ્ત માત્રામાં ઊર્જાને મુક્ત કરે છે જેને **શ્વસન** કહે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન જે સંયોજનનું ઑક્સિડેશન થાય છે તેને **શ્વાસ્ય પદાર્થો** સામાન્ય રીતે કાર્બોદિતનું ઑક્સિડેશન થવાથી ઊર્જા મુક્ત થાય છે. પરંતુ કેટલીક વનસ્પતિઓમાં વિશિષ્ટ પરિસ્થિતિઓમાં પ્રોટીન, ચરબી તેમજ ત્યાં સુધી કે કાર્બનિક ઍસિડને પણ શ્વાસ્ય પદાર્થના રૂપમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે. કોષોની અંદર ઑક્સિડેશન દરમિયાન શ્વાસ્ય પદાર્થ આવેલી બધી ઊર્જા કોષમાં એક સાથે મુક્ત થતી નથી કે એક જ તબક્કામાં પણ મુક્ત થતી નથી. આ ઉત્સેચક દ્વારા નિયંત્રિત તબક્કાવાર ધીમી પ્રક્રિયાઓના સ્વરૂપમાં મુક્ત થાય છે, જે રાસાયણિક ઊર્જા ATPના સ્વરૂપમાં સંચિત થાય છે. અહીંયાં એ સમજી લેવું આવશ્યક છે કે શ્વસનમાં ઑક્સિડેશન દ્વારા મુક્ત થતી ઊર્જા સીધી ઉપયોગમાં લેવાતી નથી. પરંતુ આ ATP સંશ્લેષણના ઉપયોગમાં લેવાય છે અને આ ઊર્જા જ્યારે પણ આવશ્યકતા હોય (જ્યાં પણ) ત્યારે તે વિઘટન પામે છે. આ કારણથી ATP કોષ માટે ઊર્જા ચલણના સ્વરૂપમાં કાર્ય કરે છે. ATPમાં સંચય પામેલ ઊર્જા, સજીવોની વિવિધ ઊર્જાની આવશ્યક પ્રક્રિયાઓમાં ઉપયોગમાં લેવાય છે. શ્વસન દરમિયાન નિર્માણ પામેલો કાર્બનિક પદાર્થ કોષમાં બીજા અણુઓનાં સંશ્લેષણ માટે પૂર્વગામી સ્વરૂપમાં કામમાં આવે છે.

14.1 શું વનસ્પતિઓ શ્વાસોચ્છ્વાસ કરે છે ? (Do Plants Breathe ?)

આ પ્રશ્નનો કોઈ સીધો જવાબ નથી. હા, વનસ્પતિને શ્વસન માટે ઑક્સિજન (O_2)ની આવશ્યકતા હોય છે અને તેઓ કાર્બન ડાયોક્સાઈડ (CO_2)ને મુક્ત કરે છે. આ કારણથી વનસ્પતિઓમાં એવી વ્યવસ્થા છે, જેમાં ઑક્સિજન (O_2)ની પ્રાપ્યતા સુનિશ્ચિત થાય છે. વનસ્પતિઓમાં પ્રાણીઓની જેમ વાયુઓના વિનિમય માટે વિશિષ્ટ અંગો હોતા નથી. પરંતુ તેમાં વાયુરંધ્ર અને વાતછિદ્રો આ હેતુ માટે આવેલા છે. શા માટે વનસ્પતિઓમાં શ્વસન અંગો હોતા નથી તેના ઘણા કારણો છે. પહેલું કારણ એ છે કે વનસ્પતિઓના પ્રત્યેક ભાગો પોતાના વાયુઓનાં વિનિમયની આવશ્યકતાનું ધ્યાન રાખે છે. વનસ્પતિઓના એક ભાગમાંથી બીજા ભાગમાં વાયુઓનું વહન ખૂબ જ ઓછું થાય છે. બીજું કારણ એ છે કે વનસ્પતિઓમાં વાયુઓના વિનિમયની વધારે જરૂરિયાત હોતી નથી. મૂળ, પ્રકાંડ તેમજ પર્ણોમાં શ્વસન, પ્રાણીની તુલનામાં ખૂબ ધીમા દરે થાય છે. માત્ર પ્રકાશસંશ્લેષણ દરમિયાન વાયુઓનો વિનિમય વધારે થાય છે અને પ્રત્યેક પર્ણ, સંપૂર્ણ રીતે આ પ્રકારથી અનુકૂલિત થાય છે. આ સમયગાળા દરમિયાન તેમની પોતાની જરૂરિયાતનું ધ્યાન રાખે છે. જ્યારે કોષ પ્રકાશસંશ્લેષણ કરે છે ત્યારે ઑક્સિજનની હાજરીની કોઈ સમસ્યા હોતી નથી; કારણ કે કોષમાં પ્રકાશસંશ્લેષણ દરમિયાન ઑક્સિજન મુક્ત થાય છે. ત્રીજું કારણ એ છે કે મોટા કદની ઘટાદાર વનસ્પતિઓમાં વાયુઓ વધારે અંતર સુધી પ્રસરણ પામી શકતા નથી. વનસ્પતિઓમાં પ્રત્યેક જીવંત કોષ વનસ્પતિઓની સપાટીની બિલકુલ નજીક આવેલો હોય છે. પર્ણ માટે આ વિધાન સત્ય છે. તમે એ પૂછી શકો છો કે જાડા, કાષ્ઠીય પ્રકાંડો અને મૂળ માટે શું થાય છે ? પ્રકાંડમાં જીવંત કોષો, છાલ તેમજ છાલની નીચેના

પાતળા સ્તરના સ્વરૂપમાં ગોઠવાયેલ હોય છે. આમાં પણ છિદ્ર હોય છે; જેને વાતછિદ્રો કહે છે. અંદરના કોષો મૃત હોય છે અને તે ફક્ત યાંત્રિક આધાર આપે છે. આમ, વનસ્પતિઓના મોટા ભાગના કોષોની સપાટી હવાના સંપર્કમાં હોય છે. આ ઉપરાંત તે પર્ણ, પ્રકાંડ અને મૂળમાં મૃદુત્તકીય કોષોની શિથિલ ગોઠવણી ધરાવે છે, જે વાયુ અવકાશો તે એકબીજા સાથે સાંકળતું જાળુ બનાવે છે.

ગ્લુકોઝના સંપૂર્ણ દહનથી અંતિમ નીપજના સ્વરૂપમાં કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ (CO_2) અને પાણી (H_2O)ની સાથે ઊર્જા મુક્ત થાય છે. જેનો મોટા ભાગનો જથ્થો ઉષ્મા સ્વરૂપે બહાર આવે છે.

$$C_6H_{16}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ઊર્જા}$$

જો આ ઊર્જા કોષ માટે આવશ્યક હોય. તો તેનો ઉપયોગ કોષમાં બીજા અણુઓનું સંશ્લેષણ કરવામાં થવો જોઈએ. ગ્લુકોઝના અણુનું વિઘટન થવાથી મુક્ત થતી બધી ઊર્જા ઉષ્માના સ્વરૂપમાં વ્યય પામતી નથી. મુખ્ય વાત એ છે કે ગ્લુકોઝનું ઑક્સિડેશન એક તબક્કામાં ન થતાં નાના-નાના અનેક તબક્કાઓમાં થાય છે. જેમાં કેટલાક તબક્કા એટલા મોટા હોય છે કે તેમાંથી મુક્ત થતી ઊર્જા ATPના સંશ્લેષણમાં ઉપયોગમાં આવે છે. આ કેવી રીતે થાય છે ? વાસ્તવમાં આ શ્વસનનો ઇતિહાસ છે.

શ્વસનની ક્રિયાવિધિ દરમિયાન ઑક્સિજનનો ઉપયોગ થાય છે અને કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ, પાણી અને ઊર્જા નીપજ તરીકે મુક્ત થાય છે. દહન પ્રક્રિયા માટે ઑક્સિજનની આવશ્યકતા હોય છે પરંતુ, કેટલાક કોષો ઑક્સિજનની હાજરી અને ગેરહાજરીમાં પણ જીવંત રહી શકે છે. શું તમે એવી પરિસ્થિતિઓ વિશે (અને સજીવો) વિચારી શકો છો. જ્યાં ઑક્સિજન પ્રાપ્ય નથી ? વિશ્વાસ કરવા માટે પર્યાપ્ત કારણ છે કે પ્રથમ કોષ આ ગ્રહ પર એવા વાતાવરણમાં મળ્યો હતો, જ્યાં ઑક્સિજનની હાજરી ન હતી. આજે પણ, જે કેટલાક સજીવોમાં આપણે જાણીએ છીએ કે તે ઑક્સિજનરહિત વાતાવરણ માટે પોતાને અનુકૂલિત છે. આમાંથી કેટલાક વૈકલ્પિક પણે અજારક છે, જો કે કેટલાક માટે ઑક્સિજનરહિત સ્થિતિની આવશ્યકતા ફરજિયાત હોય છે. પ્રત્યેક સ્થિતિમાં બધા સજીવોમાં ઉત્સેચકીય તંત્ર હોય છે, જે ગ્લુકોઝને ઑક્સિજનની મદદ વગર આંશિક રીતે ઑક્સિડેશન કરે છે. આ પ્રકારે ગ્લુકોઝનું પાયરૂવિક ઍસિડમાં વિઘટન **ગ્લાયકોલીસીસ** કહેવાય છે.

14.2 ગ્લાયકોલીસીસ (Glycolysis)

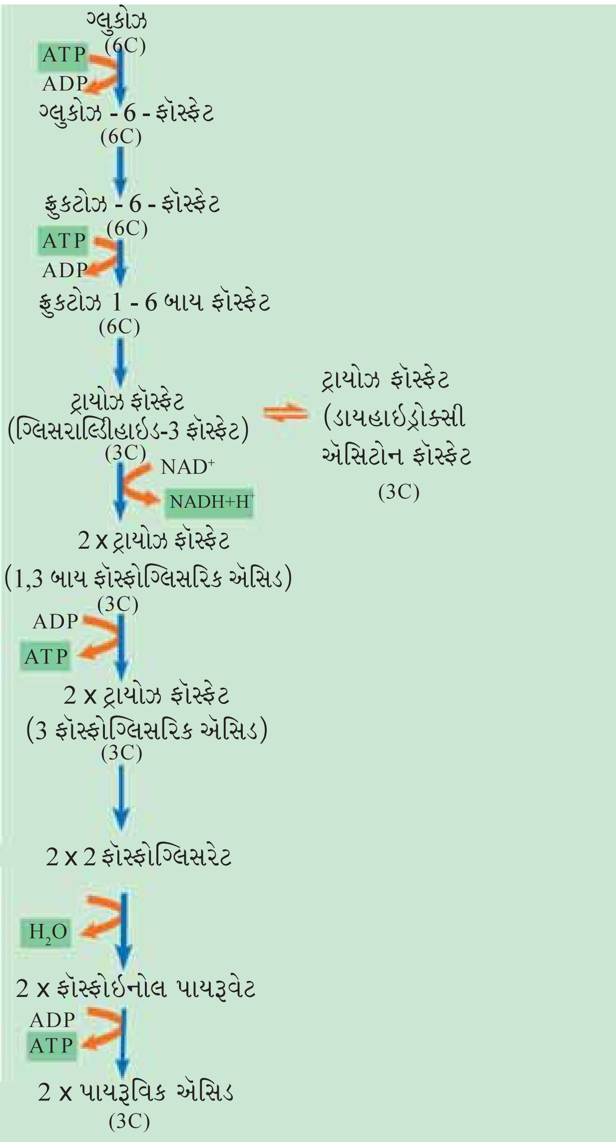
ગ્લાયકોલીસીસ શબ્દની ઉત્પત્તિ ગ્રીક શબ્દ 'ગ્લાઇકોસ'નો અર્થ શર્કરા છે તેમજ 'લાઇસીસ'નો અર્થ તૂટવું કે વિઘટન થાય છે. ગ્લાયકોલીસીસની પ્રક્રિયા ગુસ્તાવ ઇમ્બ્ડેન, ઓટો મેયરહોફ અને જે પરનાસ દ્વારા અપાયેલ છે અને આને સામાન્યતઃ EMP પરિપથ કહે છે. અજારક સજીવોમાં શ્વસન માત્ર આ પ્રક્રિયા થાય છે. ગ્લાયકોલીસીસ કોષરસમાં થાય છે અને આ બધા સજીવોમાં થાય છે. આ પ્રક્રિયામાં ગ્લુકોઝ આંશિક ઑક્સિડેશન દ્વારા પાયરૂવિક ઍસિડના બે અણુઓમાં ફેરવાય છે. વનસ્પતિઓમાં આ ગ્લુકોઝ, સુક્રોઝમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે, જે પ્રકાશસંશ્લેષણની અંતિમ નીપજ છે અથવા સંચિત કાર્બોદિતમાંથી પ્રાપ્ત થાય છે. સુક્રોઝ ઇન્વર્ટેઝ કે સુક્રેઝ નામના ઉત્સેચકની મદદથી ગ્લુકોઝ અને ફ્રુક્ટોઝમાં રૂપાંતરિત થાય છે. આ બંને મોનો સેકેરાઇડ સરળતાથી ગ્લાયકોલાઇટિક ચક્રમાં પ્રવેશ કરે છે. ગ્લુકોઝ તેમજ ફ્રુક્ટોઝ, હેક્ઝોકાઈનેઝ ઉત્સેચક દ્વારા ફૉસ્ફોરાયલેશન પામીને ગ્લુકોઝ-6-ફૉસ્ફેટ બનાવે છે. ગ્લુકોઝનું ફૉસ્ફોરાયલેશનના થયા બાદ તેના સમઘટક ફ્રુક્ટોઝ-6-

ફૉસ્ફેટમાં રૂપાંતરિત થાય છે. ગ્લુકોઝ તેમજ ફ્રુક્ટોઝનો ચયાપચયિક પથ એક સરખો હોય છે. ગ્લાયકોલીસીસની વિવિધ પ્રક્રિયાઓ આકૃતિ 14.1માં દર્શાવેલી છે. વિવિધ ઉત્સેચકોના નિયંત્રણ હેઠળની, ગ્લાયકોલીસીસમાં શ્રેણીબદ્ધ દસ (10) પ્રક્રિયાઓ ગ્લુકોઝમાંથી પાયરૂવેટના નિર્માણ માટે થાય છે. ગ્લાયકોલીસીસની વિવિધ પ્રક્રિયાઓના અભ્યાસ દરમિયાન તે પ્રક્રિયાઓ પર ધ્યાન આપો કે જેમાં ATP કે NADH + H^+ (આ કિસ્સામાં)નો ઉપયોગ કે સંશ્લેષણ થાય છે.

ATPનો ઉપયોગ બે તબક્કામાં થાય છે : પહેલો તબક્કો જેમાં ગ્લુકોઝ, ગ્લુકોઝ-6-ફૉસ્ફેટમાં રૂપાંતર પામે છે અને બીજો તબક્કો કે જેમાં ફ્રુક્ટોઝ-6-ફૉસ્ફેટનું ફ્રુક્ટોઝ 1-6-બાયફૉસ્ફેટમાં રૂપાંતરણ થાય છે.

ફ્રુક્ટોઝ 1-6-બાયફૉસ્ફેટ વિઘટિત થઈને ડાયહાઈડ્રોક્સી ઍસિટોન ફૉસ્ફેટ (DHAP) અને 3-ફૉસ્ફોગ્લિસરાલ્ડીહાઈડ (PGAL) બનાવે છે. જ્યારે 3-ફૉસ્ફોગ્લિસરાલ્ડીહાઈડ (PGAL)નું 1-3 બાયફોસ્ફોગ્લીસરેટ (BPGA)માં રૂપાંતરણ થાય છે ત્યારે NAD^+માંથી NADH+ H^+નું નિર્માણ થાય છે. PGALમાંથી બે સમાન રેડૉક્ષ બે હાઈડ્રોજન પરમાણુ ($2H^+$)ના સ્વરૂપમાં NAD^+ સાથે જોડાઈને સ્થાયી બનીને એક અણુની જેમ સ્થળાંતરિત થાય છે. PGAL ઑક્સિડેશન પામી અકાર્બનિક ફૉસ્ફેટ મળવાથી BPGAમાં રૂપાંતરિત થાય છે. BPGAનું 3-ફૉસ્ફોગ્લિસરિક ઍસિડમાં પરિવર્તન પણ ઊર્જા ત્યાગી પ્રક્રિયા છે. આ ઊર્જાનો ઉપયોગ ATPના સંશ્લેષણમાં થાય છે. PEP (ફૉસ્ફોઈનોલ પાયરૂવેટ)નું પાયરૂવિક ઍસિડમાં રૂપાંતરણ દરમિયાન પણ ATPનું નિર્માણ થાય છે. શું તમે એ ગણતરી કરી શકો છો કે એક ગ્લુકોઝ અણુમાંથી કેટલા ATPના અણુઓનું પ્રત્યક્ષ સ્વરૂપમાં આ પ્રક્રિયામાં સંશ્લેષણ થાય છે ?

પાયરૂવિક ઍસિડ ગ્લાયકોલીસીસની મુખ્ય નીપજ છે. પાયરૂવેટના ચયાપચયનું ભવિષ્ય શું છે ? તે કોષોની આવશ્યકતા પર આધારિત છે. મુખ્ય ત્રણ રીતો છે. જેમાં વિવિધ કોષો ગ્લાયકોલીસીસ દ્વારા ઉત્પન્ન થતાં પાયરૂવિક ઍસિડનો ઉપયોગ કરે છે. તે લેક્ટિક ઍસિડ આથવણ,

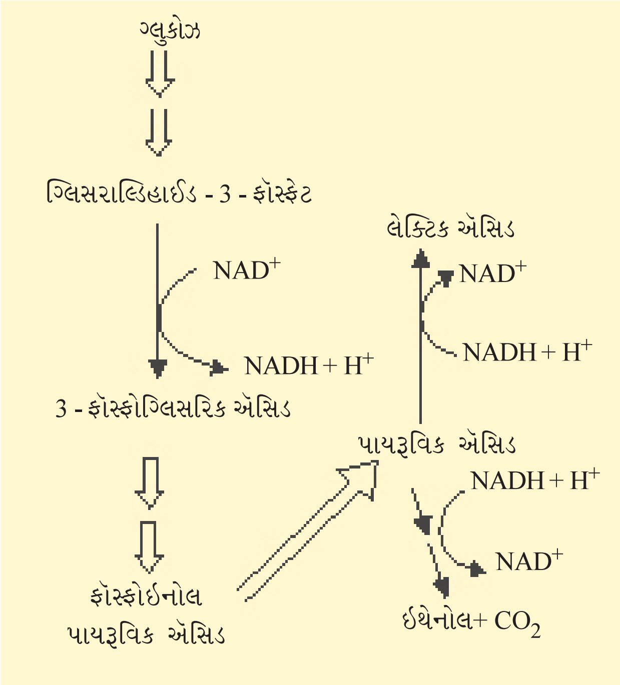


આકૃતિ 14.1 : ગ્લાયકોલીસીસના તબક્કાઓ

આલ્કોહોલિક આથવણ અને જારક શ્વસનમાં ઉપયોગી છે. મોટા ભાગના પ્રોકેરિયોટ્સ અને એકકોષીય યુકેરિયોટ્સમાં આથવણ અજારક પરિસ્થિતિઓમાં થાય છે. ગ્લુકોઝનું પૂર્ણ ઑક્સિડેશનના ફળ સ્વરૂપે કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ અને પાણીનું નિર્માણ કરવા માટે સજીવોમાં ક્રેબ્સચક્ર થાય છે. જેને જારક શ્વસન કે શ્વસન પણ કહે છે. જેમાં ઑક્સિજનની જરૂરિયાત હોય છે.

14.3 આથવણ (Fermentation)

આથવણમાં યીસ્ટ દ્વારા ગ્લુકોઝનું અજારક પરિસ્થિતિઓમાં અપૂર્ણ ઑક્સિડેશન થાય છે. જેમાં પ્રક્રિયાઓના વિવિધ તબક્કાઓ દ્વારા પાયરૂવિક ઍસિડનું કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ તેમજ ઇથેનોલમાં રૂપાંતરણ થાય છે. ઉત્સેચક પાયરૂવિક ઍસિડ ડિકાર્બોક્સીલેઝ તેમજ આલ્કોહોલ ડિહાઈડ્રોજીનેઝ આ પ્રક્રિયાના પ્રેરક ઘટક છે. બીજા સજીવો જેવાં કે કેટલાક બૅક્ટેરિયા પાયરૂવિક ઍસિડમાંથી લેક્ટિક ઍસિડનું નિર્માણ કરે છે. આમાં સમાયેલ તબક્કાઓ આકૃતિ 14.2માં દર્શાવેલ છે. પ્રાણીઓની સ્નાયુ પેશીઓના કોષોમાં કસરત દરમિયાન કે પરિશ્રમ દરમિયાન જ્યારે કોષીય શ્વસન માટે અપૂરતી માત્રામાં ઑક્સિજન હોય છે ત્યારે પાયરૂવિક ઍસિડ લેક્ટેટ ડિહાઈડ્રોજીનેઝ ઉત્સેચક દ્વારા લેક્ટિક ઍસિડમાં રૂપાંતરિત થાય છે. રીડ્યુસીંગકારક ઘટક NADH+ H^+, જે બંને પ્રક્રિયાઓમાં NAD^+માં પુનઃ ઑક્સિડેશન પામે છે.



આકૃતિ 14.2 : અજારક શ્વસનના મુખ્ય પરિપથો

લેક્ટિક ઍસિડ અને આલ્કોહોલિક આથવણ બંનેમાં વધારે માત્રામાં ઊર્જા મુક્ત થતી નથી. ગ્લુકોઝમાં રહેલ 7 % થી ઓછી ઊર્જા મુક્ત થાય છે અને તેથી ઊર્જાનો ઉપયોગ ઉચ્ચ ઊર્જાયુક્ત બંધવાળા ATPના નિર્માણમાં થતો નથી. ઍસિડ કે આલ્કોહોલ નિર્માણ કરતી ઉત્પાદનની પ્રક્રિયાઓ હાનિકારક હોય છે. ગ્લુકોઝના એક અણુના આથવણ પછી આલ્કોહોલ કે લેક્ટિક ઍસિડના નિર્માણ દરમિયાન કેટલા વાસ્તવિક ATPનું સંશ્લેષણ થાય છે ? (ગ્લાયકોલીસીસમાં કેટલા અણુ ATP સંશ્લેષણ પામે છે અને કેટલા અણુ ATP વપરાય છે તેની ગણતરી કરીને) જ્યારે આલ્કોહોલનું પ્રમાણ 13 % કે તેનાથી વધારે હોય છે, ત્યારે યીસ્ટ માટે આ વિષાક્ત બને છે, કે તેના મૃત્યુનું કારણ બને છે. નૈસર્ગિક રીતે આથવણ દ્વારા પ્રાપ્ત પીણામાં આલ્કોહોલની મહત્તમ સાંદ્રતા કેટલી હોય છે ? શું તમે વિચારી શકો છો કે માદક પીણામાં આલ્કોહોલનું પ્રમાણ તેમાં આવેલા આલ્કોહોલની સાંદ્રતાથી વધુ કેવી રીતે મેળવી શકાય છે ?