

باب 13

بڑے پودوں میں ضیائی تالیف

(Photosynthesis in Higher Plants)

انسان سمیت تمام جانور اپنی غذا کے لیے پودوں پر منحصر ہیں۔ کیا آپ نے کبھی سوچا ہے کہ پودے اپنی غذا کہاں سے حاصل کرتے ہیں؟ سبز پودوں کو دراصل اپنی غذا خود بنانی پڑتی ہے اور باقی سبھی جاندار عضویے اپنی غذائی ضروریات کے لیے پودوں پر منحصر رہتے ہیں۔ سبز پودے ضیائی تالیف کرتے ہیں جو طبعی کیمیائی عمل ہے جس میں وہ نوری توانائی کا استعمال کر کے نامیاتی (Organic) مرکبات کی تالیف کرتے ہیں۔ بالآخر توانائی کے لیے زمین پر رہنے والے جاندار عضویوں کا انحصار سورج کی روشنی پر ہوتا ہے۔ پودوں میں ضیائی تالیف کے دوران سورج کی روشنی کا استعمال زمین پر زندگی کی بنیاد ہے۔ ضیائی تالیف، دو وجوہات کی بنا پر اہم ہے: زمین پر تمام غذا کا یہ ابتدائی منبع ہے اور یہ سبز پودوں سے آکسیجن فضا میں خارج کرنے کے لیے ذمہ دار ہے۔ آپ نے کبھی سوچا ہے کہ اگر سانس لینے کے لیے آکسیجن نہ ہو تو کیا ہوگا؟ اس باب میں ضیائی تالیف کی مشینری کی ساخت اور ان عملوں کے بارے میں پڑھیں گے جو نوری توانائی کو کیمیائی توانائی میں تبدیل کرتے ہیں۔

13.1 ہم کیا جانتے ہیں؟ (What do we know?)

ذرا یہ معلوم کریں کہ ہم ضیائی تالیف کے بارے میں کیا جانتے ہیں؟ کچھ آسان تجربات آپ نے گذشتہ جماعتوں میں کئے ہوں گے جن سے یہ معلوم ہوا ہوگا کہ ضیائی تالیف کے لیے کلوروفل (پتوں میں موجود سبز پگھٹ) سورج کی روشنی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ (CO_2) کی ضرورت ہوتی ہے۔

13.1 ہم کیا جانتے ہیں؟

13.2 ابتدائی تجربات

13.3 ضیائی تالیف کہاں

واقعہ ہوتی ہے؟

13.4 ضیائی تالیف میں کتنے

پگھٹس حصہ لیتے ہیں؟

13.5 نوری تعامل کیا ہے؟

13.6 الیکٹران ٹرانسپورٹ

13.7 اے ٹی پی اور این اے

ڈی پی ایچ کہاں

استعمال ہوتے ہیں؟

13.8 C_4 پاتھ وے

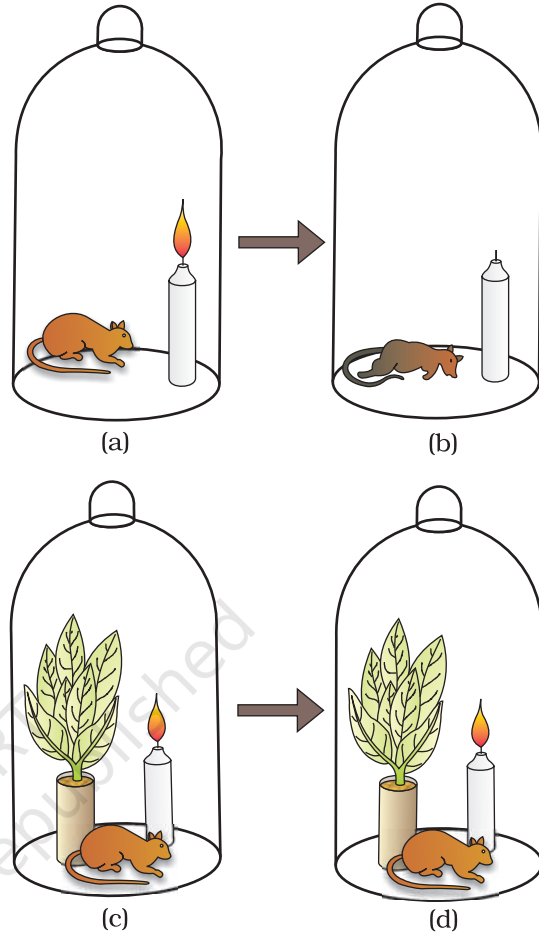
13.9 ضیائی تنفس

13.10 ضیائی تالیف کو متاثر

کرنے والے عوامل

آپ نے یہ تجربات کیے ہوں گے کہ داغ دار (Variegated) پتوں میں نشاستہ (اسٹارچ) بنتا ہے یا ایک پتی کو کالے کاغذ سے ڈھک کر اور دوسری کو کھلا رکھ کر اور جانچ کے بعد یہ معلوم ہوا ہوگا کہ صرف سبز پتیوں میں روشنی کی موجودگی میں ضیائی تالیف ہوتی ہے۔

دوسرا تجربہ آپ نے آدھی پتی کا کیا ہوگا جس میں پتی کا آدھا حصہ جانچ نلی میں رکھ دیا جاتا ہے جس میں پہلے سے KOH میں ڈبوئی ہوئی روئی (جو CO_2 کو جذب کر لیتی ہے) موجود تھی جبکہ دوسرا نصف حصہ ہوا میں کھلا چھوڑ دیا جاتا ہے اس پودے کو دھوپ میں کچھ دیر کے لیے رکھ دیا جاتا ہے۔ بعد میں دونوں پتیوں کے حصوں میں نشاستے کی موجودگی کی جانچ کرنے سے معلوم ہوتا ہے کہ کھلی ہوئی نصف پتی میں نشاستہ (Starch) موجود ہے جبکہ جانچ نلی والی پتی میں نہیں۔ اس سے معلوم ہوتا ہے کہ ضیائی تالیف کے لیے CO_2 ضروری ہے۔ کیا آپ بتا سکتے کہ اس تجربے سے یہ نتیجہ کیوں اخذ کیا گیا؟



شکل 13.1 پریسٹلی کا تجربہ

13.2 ابتدائی تجربات (Early Experiments)

آسان تجربات کی مدد سے ضیائی تالیف کے بارے میں ہماری معلومات میں بتدریج اضافہ ہوا ہے۔ جوزف پریسٹلی (Joseph Priestley 1733-1804) نے 1770 کی دہائی میں سلسلے وار تجربات کر کے یہ بتایا کہ سبز پودے کی نمو میں ہوا کا بہت اہم کردار ہے۔ آپ کو معلوم ہوگا کہ پریسٹلی نے 1774 میں آکسیجن کی دریافت کی۔ پریسٹلی نے مشاہدہ کیا کہ اگر موم بتی کو بند فضا مثلاً نیل جار میں جلایا جائے تو جلد ہی بجھ جاتی ہے (شکل 13.1 a,b,c,d)۔ اسی طری بند فضا میں چوہا بہت جلد گھٹن محسوس کرنے لگتا ہے۔ اس نے نتیجہ نکالا کہ جلتی ہوئی موم بتی یا سانس لیتا ہوا جانور کسی نہ کسی شکل میں ہوا کو نقصان پہنچاتا ہے۔ لیکن جب اس نے ایک سبز پودا بھی اس نیل جار میں رکھ دیا تو چوہا بھی زندہ رہا اور موم بتی بھی جلتی رہی۔ پریسٹلی نے یہ نتیجہ نکالا کہ سانس لینے والا جانور اور جلتی ہوئی موم بتی جو چیز ہوا سے نکال لیتی ہے اس کو پودا بحال کر دیتا ہے۔

کیا آپ تصور کر سکتے ہیں کہ پریسٹلی نے موم بتی اور پودے کا استعمال اس تجربے میں کیسے کیا ہوگا؟ یاد رکھیے کہ اسے موم بتی کو کچھ دنوں کے بعد دوبارہ جلانا تھا۔ یہ معلوم کرنے کے لیے کہ وہ دوبارہ جلتی ہے یا نہیں؟ اس سیٹ اپ میں بغیر خلل ڈالے موم بتی جلانے کے آپ کتنے طریقے سوچ سکتے ہیں؟

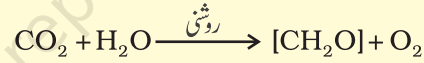
اس طرح کے تجرباتی سیٹ اپ کو ایک بار اندھیرے میں اور ایک بار سورج کی روشنی میں استعمال کر کے جان انجن ہاؤز (1730 - 1799) نے ثابت کیا کہ پودے کے لیے سورج کی روشنی لازمی ہے۔ پودے ضیائی تالیف کے ذریعہ ہوا کو صاف کرتے ہیں جو جلتی ہوئی موم بتی یا سانس لینے والے جانور نے خراب کر دی تھی۔ انجن ہاؤز نے آبی پودے پر ایک عمدہ تجربہ کر کے بتایا کہ سورج کی روشنی کی موجودگی میں سبز حصے کے پاس چھوٹے چھوٹے بلبلے بنتے ہیں

جبکہ یہ اندھیرے میں رکھنے پر نہیں بنتے۔ بعد میں اس نے دکھایا کہ یہ بلبے آکسیجن کے ہوتے ہیں لہذا اس نے نتیجہ نکالا کہ صرف پودے کے سبز حصے ہی آکسیجن خارج کر سکتے ہیں۔

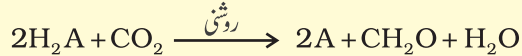
1854 کے آس پاس جوہلیس وان ساکس (Julius Von Sachs) نے ثبوت پیش کیے کہ پودوں کی نمو کے دوران گلوکوز کی تالیف ہوتی ہے۔ اس کے بعد کے مطالعے سے یہ معلوم ہوا کہ پودوں میں یہ سبز مادہ (جسے ہم اب کلوروفل کے نام سے جانتے ہیں) خلیوں میں موجود مخصوص ساختوں (کلوروپلاسٹ) میں پایا جاتا ہے۔ اس نے یہ بھی معلوم کیا کہ گلوکوز ان سبز حصوں میں ہی بنتا ہے، اور یہ کہ گلوکوز نشاستہ کی شکل میں جمع ہو جاتا ہے۔

ایک دلچسپ تجربہ ٹی۔ ڈبلیو۔ اینگل مین (1843 - 1909) نے کیا۔ انہوں نے ایک سبز الچی کلیڈ و فوراکو ہوا باش بیکٹیریا کے معلقہ میں رکھا اور ایک پرزم (منثور) کے ذریعے روشنی کو اس کے سات قدرتی رنگوں میں توڑ کر اس سبز الچی پر ڈالا تو بیکٹیریا نے آکسیجن کے اخراج کی جگہوں کو ڈھونڈ نکالا۔ اس نے مشاہدہ کیا کہ اسپیکٹرم (طیف) کے نیلے اور لال خطوں کے پاس جمع ہو گئے۔ اس طرح ضیائی تالیف کا پہلا ایکشن اسپیکٹرم (Action Spectrum) وجود میں آیا۔ یہ کلوروفل a اور b کے انجذابی اسپیکٹرم سے مشابہت رکھتا ہے (جس کے بارے میں 13.4 میں بحث کریں گے)۔

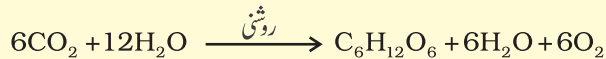
انیسویں صدی کے وسط تک ضیائی تالیف کی کلیدی خصوصیات معلوم ہو چکی تھیں۔ وہ یہ کہ پودے CO_2 اور پانی سے روشنی کی موجودگی میں کاربوہائیڈریٹ بناتے ہیں۔ آکسیجن خارج کرنے والے عضویوں میں ضیائی تالیف کے مجموعی عمل کو ظاہر کرنے والی تجرباتی مساوات (Equation) کو اس وقت مندرجہ ذیل طریقے سے سمجھا گیا۔



جہاں $[CH_2O]$ کاربوہائیڈریٹ کو ظاہر کرتا ہے (مثلاً گلوکوز، چھ کاربن ایٹوں پر مشتمل شکر)۔ ضیائی تالیف سے متعلق ہماری معلومات میں اضافہ ایک مائیکرو بائیولوجسٹ کارنیلئس وان نیل (1897 - 1985) نے کیا اور یہ تعاون سنگ میل کی حیثیت رکھتا ہے۔ جامنی اور سبز بیکٹیریا کے مطالعے کی بنیاد پر اس نے دکھایا کہ ضیائی تالیف کا انحصار روشنی پر ہے۔ جس میں تکسید ہونے والے مرکبات سے ہائیڈروجن نکل کر کاربن ڈائی آکسائیڈ کی تحویل (Reduction) کرتی ہے۔ اسے ہم مندرجہ ذیل مساوات سے دکھا سکتے ہیں:



سبز پودوں میں H_2O ہائیڈروجن معطی ہے اور اس کی O_2 میں تکسید ہو جاتی ہے۔ کچھ عضویے ضیائی تالیف کے دوران O_2 خارج نہیں کرتے۔ جامنی اور سبز سلفر بیکٹیریا میں جہاں H_2S پر ہائیڈروجن معطی ہے وہاں تکسیدی ماحصلات سلفر یا سلفیٹ ہوتے ہیں اور اس کا انحصار عضویہ پر ہوتا ہے نہ کہ O_2 پر۔ اس سے یہ نتیجہ نکالا کہ سبز پودوں میں O_2 ، کاربن ڈائی آکسائیڈ کے بجائے H_2O سے نکلتی ہے۔ اس کو بعد میں ریڈیو آکسوٹوپک تکنیک کی مدد سے ثابت کیا گیا۔ لہذا ضیائی تالیف کی صحیح نمائندگی کرنے والی مساوات مندرجہ ذیل ہے:



$C_6H_{12}O_6$ گلوکوز ہے۔ پانی سے آکسیجن خارج ہوتی ہے؛ اس کو ریڈیو آکسٹوپک تکنیک سے ثابت کیا گیا۔ کیا آپ بتا سکتے ہیں کہ مندرجہ بالا مساوات میں پانی کے 12 سالمے لمبسٹریٹ (Substrate) کی حیثیت سے کیوں استعمال کیے گئے ہیں؟

13.3 ضیائی تالیف کا عمل کہاں واقع ہوتا ہے؟

(Where Does Photosynthesis Take Place?)

باب 8 میں جو کچھ آپ نے پہلے پڑھا ہے اس کی بنیاد پر آپ کا جواب ہوگا کہ سبز پتی یا کلوروپلاسٹ میں۔ آپ بالکل صحیح ہیں۔ قطعی طور پر ضیائی تالیف کا عمل سبز پتیوں میں واقع ہوتا ہے۔ لیکن یہ پودے کے دوسرے سبز حصوں میں بھی واقع ہوتا ہے۔ کیا آپ ان حصوں کے نام بتا سکتے ہیں جہاں آپ سمجھتے ہیں کہ ضیائی تالیف ہو سکتی ہے؟

گذشتہ باب کی بنا پر یاد کیجیے کہ پتیوں کے میزوفل خلیوں میں بڑی تعداد میں کلوروپلاسٹ ہوتے ہیں۔ عموماً کلوروپلاسٹ میزوفل خلیے کی دیوار سے ساتھ صف بندی لیتے ہیں تاکہ انہیں روشنی کی مناسب مقدار حاصل ہو سکے۔ آپ کے خیال میں کب کلوروپلاسٹ اپنی چپٹی سطح کو دیوار کے متوازی رکھتے ہیں اور کب وقوع پذیر روشنی کے لحاظ سے عمودی پر ہوتے ہیں۔

آپ نے کلوروپلاسٹ کی ساخت کے بارے میں باب 8 میں پڑھا ہے۔ کلوروپلاسٹ کے اندر گرینا، اسٹروما لیمیٹی اور اسٹروماسیال پر مشتمل جھیلوں کا نظام ہوتا ہے۔ (شکل 13.2) صاف ظاہر ہے کہ کلوروپلاسٹ میں محنت کی تقسیم موجود ہے۔ جھیلوں کے نظام کی ذمہ داری روشنی کی توانائی کو قید کرنا اور اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کی تالیف ہے۔ اسٹروما میں خامروں کی مدد سے CO_2 پودے میں داخل ہو کر شکر کی تالیف کرتی ہے جو بعد میں نشاستے میں تبدیل ہو جاتی ہے۔ اول الذکر عملوں میں چونکہ روشنی کا دخل ہے لہذا یہ نوری تعاملات (Light reactions) کہلاتے ہیں۔ آخر الذکر عملوں کا انحصار روشنی پر براہ راست نہیں ہوتا لیکن وہ لائٹ ری ایکشن کے ماحصلات اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ پر منحصر ہوتے ہیں۔ لہذا فرق کرنے کے لیے اس عمل کو تاریک تعامل (Dark reaction) کہتے ہیں۔ لیکن اس سے یہ اخذ کرنا کہ یہ صرف تاریکی میں ہی عمل پذیر ہوتے ہیں یا وہ روشنی پر منحصر نہیں ہوتے غلط ہوگا۔

بیرونی جھلی

اندرونی جھلی

اسٹروما لیمیٹا

گرینا

اسٹروما

راینوسومز

نشاستے کے دانے

لپڈ کے چھوٹے قطرے

شکل 13.2 کلوروپلاسٹ کا الیکٹران مائیکروگراف

13.4 ضیائی تالیف میں کتنے پگمنٹس حصہ لیتے ہیں؟

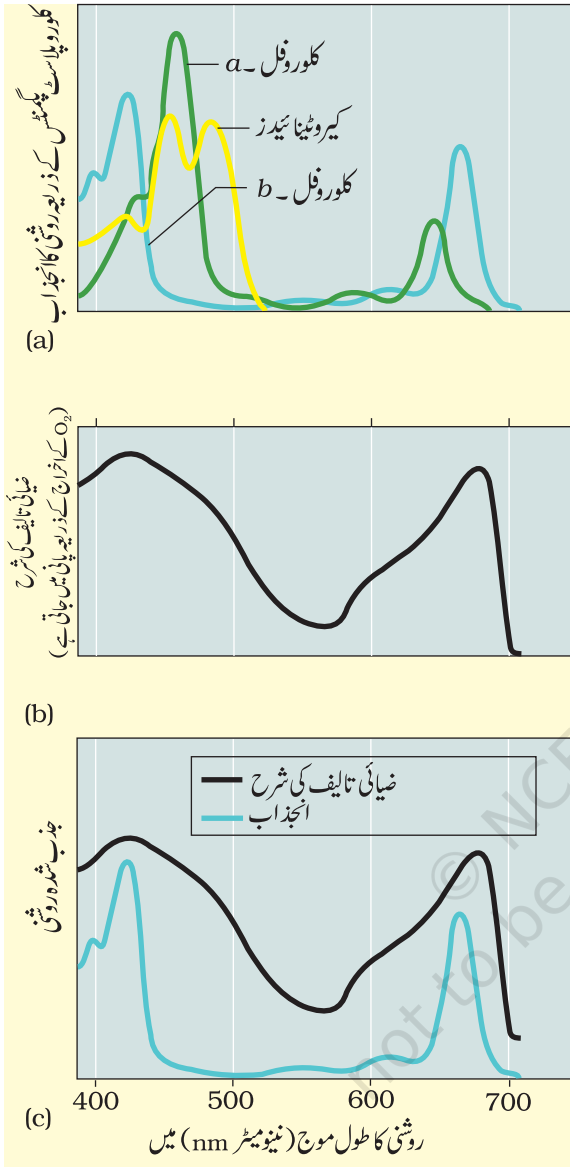
(How Many Pigments are Involved in Photosynthesis?)

پودوں کو دیکھ کر کیا کبھی آپ نے سوچا ہے کہ ایک ہی پودے میں سبز رنگ کے اتنے سارے شیڈ کیوں اور کیسے ہوتے ہیں؟ پیپر کرومیٹوگرافی کے ذریعے پتیوں کے پگمنٹس کو الگ کر کے ہم اس سوال کا جواب تلاش کرنے کی کوشش کریں گے۔ پتیوں کے پگمنٹس کو کرومیٹوگرافک تکنیک کے ذریعے الگ کرنے پر معلوم ہوتا ہے کہ پتیوں کا رنگ صرف ایک پگمنٹ کی وجہ سے نہیں بلکہ چار پگمنٹس کی وجہ سے ہوتا ہے۔ وہ پگمنٹس کلوروفل a (پنکدار اور کرومیٹوگرام میں نیلا سبز) کلوروفل بی (زرد سبز) زینتھوفل (زرد) اور کیروٹینائیڈ (زرد سے زرد نارنجی تک)۔ آئیے اب دیکھیں کہ ضیائی تالیف میں کون سا پگمنٹ کیا کردار ادا کرتا ہے۔

پگمنٹس وہ مادے ہیں جو خاص طول موج (Waveleagth) کی روشنی کو جذب کرنے کی صلاحیت رکھتے ہیں۔ کیا آپ قیاس لگا سکتے ہیں کہ اس دنیا میں کون سا پگمنٹ کثرت سے ملتا ہے؟ اب ذرا اس گراف کو دیکھیے (شکل 13.3a) جو مختلف طول موج پر کلوروفل اے کے ذریعے مختلف طول موج کی روشنی کو جذب کرنے کی صلاحیت کو ظاہر کرتا ہے۔ امید ہے کہ آپ مرئی اسپیکٹرم (Visible Spectrum) اور (VIBGYOR) سے تو واقف ہوں گے۔

شکل 13.3a سے کیا آپ معلوم کر سکتے ہیں کہ کس طول موج (روشنی کارنگ) پر کلوروفل اے سب سے زیادہ انجذاب کرتا ہے؟ کیا یہ کسی اور طول موج پر انجذابابی چوٹی (Absorption Peak) دکھاتا ہے؟ اگر ہاں تو کس پر؟

اب شکل (13.3b) کو دیکھیے یہ اس طول موج کو ظاہر کرتی ہے جس پر پودوں میں سب سے زیادہ ضیائی تالیف ہو رہی ہے۔ کیا آپ دیکھ سکتے ہیں کہ وہ طول موج جن پر کلوروفل اے کے ذریعے سب سے زیادہ انجذاب ہو رہا ہے یعنی نیلے اور سرخ خطوں میں، وہیں پر ضیائی تالیف شرح کی سب سے زیادہ ہے۔ شکل 13.3c کو دیکھ کر کیا آپ کہہ سکتے ہیں کہ کلوروفل اے کے انجذابابی اسپیکٹرم اور ضیائی تالیف کے ایکشن اسپیکٹرم کے درمیان مکمل یکسانیت ہے؟



شکل 13.3a کلوروفل اے، بی اور کیروٹینائیڈ کے انجذابابی اسپیکٹرم کا گراف

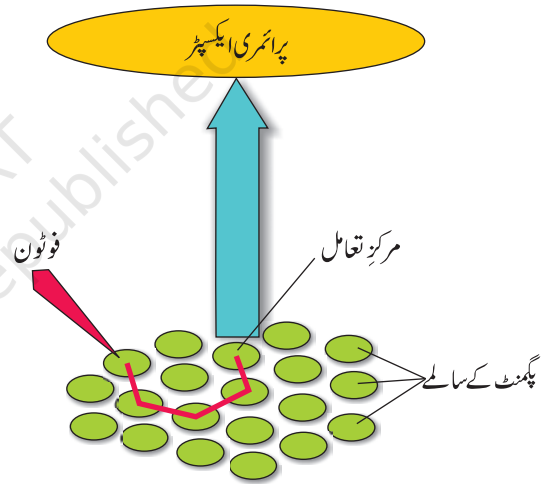
شکل 13.3b ضیائی تالیف کے ایکشن اسپیکٹرم کا گراف

شکل 13.3c ضیائی تالیف کے ایکشن اسپیکٹرم کلوروفل اے کے انجذابابی اسپیکٹرم پر منطبق گراف

یہ گراف، مجموعی طور پر، بتاتے ہیں کہ زیادہ تر ضیائی تالیف، اسپیکٹرم کے نیلے اور سرخ خطوں میں ہوتی ہے۔ کچھ ضیائی تالیف مرئی اسپیکٹرم کی دوسری طول موج میں بھی ہوتی ہے۔ اب دیکھیں یہ ہوتا کیسے ہے؟ حالانکہ کلوروفل روشنی کو قید کرنے کے لیے سب سے اہم پگمنٹ ہے لیکن تھالا کوانڈ کے دوسرے پگمنٹس مثلاً کلوروفل بی، زیتھوفل اور کیروٹینائیڈ جن کو دیگر پگمنٹس کہتے ہیں وہ بھی روشنی کو جذب کرتے ہیں اور توانائی کو کلوروفل اے پر منتقل کر دیتے ہیں۔ لہذا دیگر پگمنٹس نہ صرف آنے والے روشنی کی دوسری طول موج کو ضیائی تالیف کے لیے استعمال کرتے ہیں بلکہ کلوروفل اے کی ضیائی تفسید کو بھی روکتے ہیں۔

13.5 نوری تعامل کیا ہے؟ (What is a Light Reaction?)

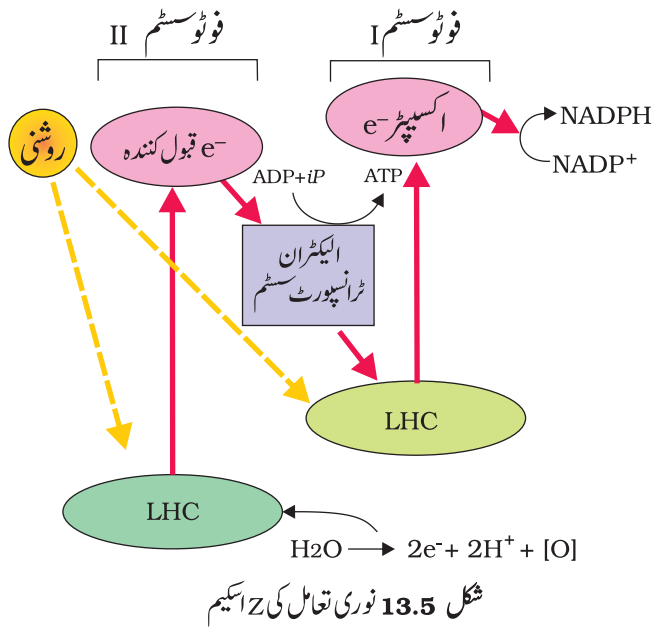
نوری تعامل یا ضیائی کیمیائی دور میں نوری انجذاب، آب پاشیدگی (Hydrolysis)، آکسیجن کا اخراج اور بہت زیادہ توانائی والے کیمیائی ضمنی ماحصلات جیسے اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کی تشکیل شامل ہیں۔ اس عمل میں کئی کمپلیکس بنتے ہیں۔ پگمنٹس دو نمایاں ضیائی کیمیائی لائٹ ہارویسٹنگ کمپلیکس (LHC) جسے فوٹوسسٹم I (PSI) اور فوٹوسسٹم II (PS II) کہتے ہیں۔ ان کے نام ان کی دریافت کی ترتیب کے لحاظ سے رکھے گئے ہیں تاکہ نوری تعامل میں ان کاموں کی ترتیب کے حساب سے LHC پروٹین سے جڑے سینکڑوں پگمنٹ سالموں پر مشتمل ہوتا ہے۔ ہر فوٹوسسٹم میں کلوروفل اے کے علاوہ تمام پگمنٹس مل کر لائٹ ہارویسٹنگ نظام بناتے ہیں جسے انٹینا کہتے ہیں۔ (شکل 13.4) مختلف طول موج کو جذب کر کے یہ پگمنٹس ضیائی تالیف کے عمل کو مزید کارگر بناتے ہیں۔ لوروفل اے کا واحد سالمہ مرکز تعامل کی تشکیل کرتا ہے۔ یہ مرکز تعامل سینٹر دونوں نوری نظاموں میں مختلف ہوتا ہے۔ PS I میں مرکز تعامل کلوروفل اے کی انجذابی چوٹی (700nm) ہوتی ہے لہذا اسے P700 کہتے ہیں جبکہ PS II میں انجذابی میکزما (Absorption maxima) 680nm پر ہوتا ہے اور P680 کہلاتا ہے۔



شکل 13.4 لائٹ ہارویسٹنگ کمپلیکس

13.6 الیکٹران ٹرانسپورٹ (The Electron Transport)

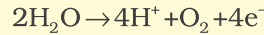
فوٹوسسٹم II میں ری ایکشن سینٹر کلوروفل اے 680nm طول موج والے سرخ روشنی کو جذب کرتا ہے جس کی وجہ سے الیکٹران آزاد ہو جاتے ہیں اور کوڈ کر ایٹمی مرکزے سے ایک آر بٹ اور دور چلے جاتے ہیں۔ الیکٹران قبول کنندہ مرکب ان کو قبول کر کے سائٹوکرومز پر مشتمل الیکٹران ٹرانسپورٹ نظام کو سونپ دیتا ہے (شکل 13.5)۔ تحویل تفسید یارڈکس مضمہ پیمانے کے اعتبار سے یہ الیکٹران پستی کی جانب منتقل ہوتے ہیں۔ الیکٹران ٹرانسپورٹ زنجیر میں منتقلی کے عمل کے دوران یہ الیکٹران استعمال نہ ہو کر فوٹوسسٹم I PS I کو منتقل کر دیے جاتے ہیں۔ بیک وقت جب فوٹوسسٹم I PS I پر 700nm طول موج کی سرخ روشنی پڑتی ہے تو PSI ری ایکشن سسٹم کے الیکٹران بھی آزاد ہو جاتے ہیں



اور ان الیکٹران کو دوسرا مرکب قبول کر لیتا ہے جس کا تکسیدی اور تھوہلی مضمر (Redox Potential) پہلے والے مرکب سے زیادہ ہوتا ہے۔ یہ الیکٹران بھی پستی کی جانب منتقل ہوتے ہیں لیکن اس دفعہ یہ توانائی سے بھرپور سالمے این اے ڈی پی (NADP) اور H^+ کی جانب منتقل ہوتے ہیں۔ الیکٹران اس سالمے سے مل کر $(NADP^+)$ میں تحلیل ہو جاتا ہے۔ الیکٹران کی منتقلی کی پوری اسکیم جب کہ شروعات PS II سے ہوتی ہے، قبول کنندہ کی جانب اوپر جانا پھر پستی کی جانب الیکٹران ٹرانسپورٹ زنجیر سے گزر کر PSI پر جانا آزاد ہونا، دوسرے قبول کنندہ پر منتقل ہونا اور آخر میں پستی کی جانب $NADP^+$ تک پہنچنا اور $NADP^+ + H^+$ کی $NADPH + H^+$ میں تخفیف کرنے کے ان تمام عملوں کو ان کے راستوں کی شکل کے لحاظ سے 'Z' اسکیم کہتے ہیں۔ اس کی یہ شکل اسی وقت بنتی ہے جب تمام جمال تکسیدی و تھوہلی مضمر کے پیمانے پر سلسلہ وار رکھے ہوئے ہوں۔

13.6.1 ضیائی آب پاشیدگی (Splitting of Water)

آپ پوچھ سکتے ہیں کہ PSII کس طرح الیکٹران مسلسل مہیا کرتا رہتا ہے۔ فوٹوسسٹم II سے جدا ہوئے الیکٹران کی جگہ کو پُر کرنا نہایت لازمی ہے۔ ضیائی آب پاشیدگی PSII سے تعلق رکھتی ہے۔ پانی کا سالمہ $[O]$ ، H^+ اور الیکٹران میں ٹوٹتا ہے۔ یہ آکسیجن بناتا ہے جو ضیائی تالیف کا ایک ماحصل ہے۔ فوٹوسسٹم I سے نکلے ہوئے الیکٹران کی جگہوں کو فوٹوسسٹم II سے نکلے ہوئے الیکٹران پر کرتے ہیں۔



ہمیں یہاں اس بات پر زور دینا ہے کہ آبی پاشیدگی کمپلیکس کا تعلق فوٹوسسٹم II سے ہوتا ہے، جو طبعی طور پر تھانلا کوائنڈ جھلی کے اندرونی جانب موجود ہوتے ہیں۔ اب سوال یہ اٹھتا ہے کہ پروٹون اور آکسیجن جو بنتے ہیں وہ کہاں خارج ہوتے ہیں۔ لیوین کے اندر یا جھلی کے باہری جانب؟

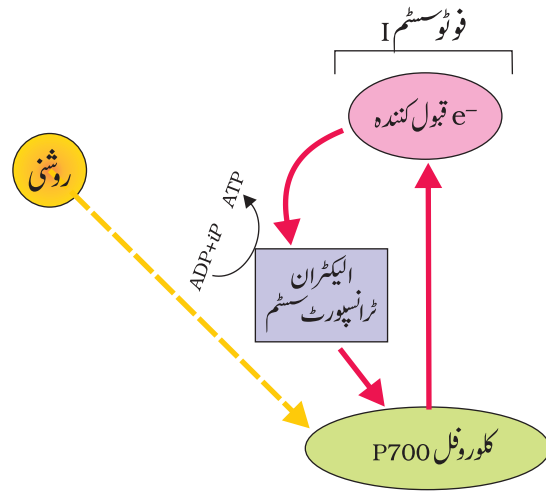
13.6.2 دائری اور غیر دائری فوٹوفوسفوریلیشن

(Cyclic and Non-cyclic Photo-phosphorylation)

جائدار عضویوں کی خاصیت یہ ہے کہ وہ تکسید ہونے والے سبسٹریٹ سے توانائی باہر نکالنے کی صلاحیت رکھتے ہیں۔ اور اس توانائی کو بانڈ توانائی (Bond Energy) کی شکل میں جمع کر سکتے ہیں۔ مخصوص مرکبات جیسے اے ٹی پی اس توانائی کو اپنے کیمیائی بانڈ میں جمع کر لیتے ہیں۔ اس عمل کے ذریعے خلیے میں (مائی ٹوکائڈ یا اورکلو روپلاست میں) اے ٹی پی کی تالیف ہوتی ہے، فوسفوریلیشن کہتے ہیں۔ روشنی کی موجودگی میں اے ڈی پی اور غیر نامیاتی فاسفیٹ سے اے ٹی پی کی تالیف کو فوٹوفوسفوریلیشن کہتے ہیں۔ جب دونوں فوٹوسسٹم تسلسل میں کام کرتے ہیں،

پہلے PSII اور اس کے بعد PSI تب غیر دائری فوٹو فسفوریلیشن واقع ہوتا ہے۔ جیسا کہ ہم پہلے Z اسکیم میں دیکھ چکے ہیں۔ دونوں فوٹوسسٹم الیکٹران ٹرانسپورٹ زنجیر کے ذریعے آپس میں منسلک رہتے ہیں۔ ATP اور $\text{NADPH} + \text{H}^+$ دونوں کی تالیف اس طرح کے الیکٹران بہاؤ کے ذریعے ہوتی ہے (شکل 13.5)۔

جب صرف PSI کام کرتا ہے تو الیکٹران فوٹوسسٹم کے اندر ہی چکر لگاتا ہے اور فوسفوریلیشن، الیکٹران کے دائری بہاؤ کے ذریعے عمل میں آتا ہے (شکل 13.6)۔ اسٹرومالیمیٹی وہ ممکن جگہ ہے جہاں یہ تمام عمل واقع ہوتے ہیں۔ گرینا کے لیمیٹی کی جھلیوں میں PSI اور PSII ہوتا ہے، مگر اسٹرومالیمیٹی میں PSII اور این اے ڈی پی ریڈکٹیز خامرہ نہیں ہوتا۔ آزاد الیکٹران NADP^+ پر نہ جا کر الیکٹران ٹرانسپورٹ زنجیر کے ذریعے واپس PSI پر آ جاتا ہے (شکل 13.6)۔ لہذا دائری بہاؤ صرف اے ٹی پی کی ہی تالیف کے دوران ہوتا ہے اور $\text{NADPH} + \text{H}^+$ کی تالیف میں نہیں ہوتا۔ دائری فوٹو فسفوریلیشن اس حالت میں بھی ہوتا ہے جب الیکٹران کی آزادی کے لیے 680nm سے زیادہ طول موج والی روشنی مہیا رہتی ہے۔



شکل 13.6 دائری فوٹو فسفوریلیشن

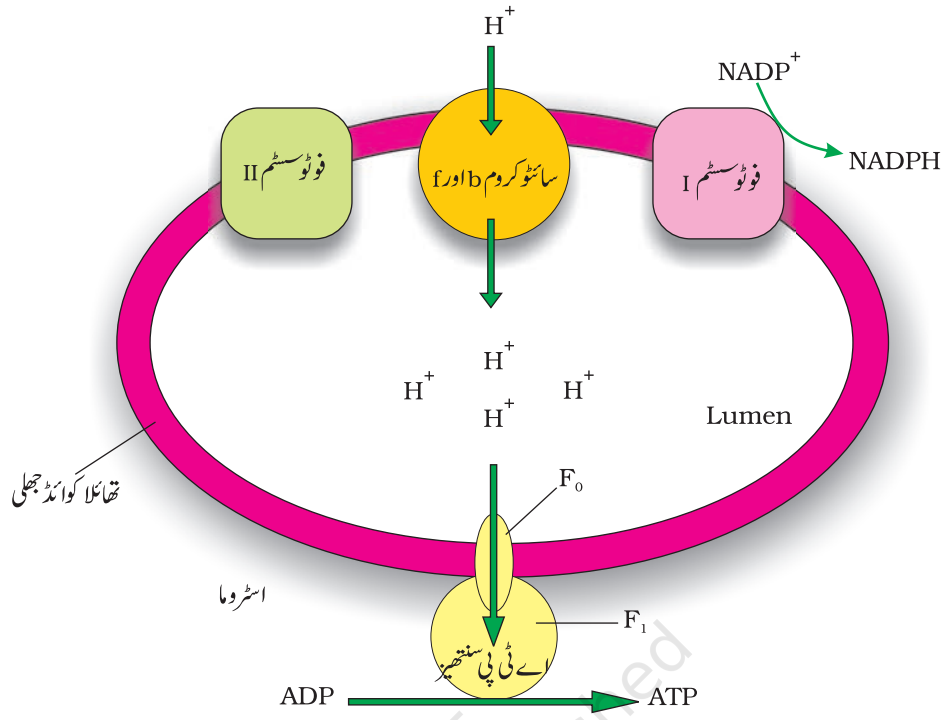
13.6.3 کیمیائی ولوجی مفروضہ (Chemiosmotic Hypothesis)

اب ہم یہ سمجھنے کی کوشش کریں گے کہ اصل میں کلوروپلاسٹ میں اے ٹی پی کی تالیف کیسے ہوتی ہے؟ اس کو سمجھانے کے لیے کیمیائی ولوجی نظریہ پیش کیا گیا۔ تنفس کی طرح ضیائی تالیف میں بھی اے ٹی پی کی تالیف جھلی کے آر پار پروٹونوں کے ڈھلان سے جڑی ہوئی ہوتی ہے۔ اس دفعہ یہ جھلیاں تھانلا کوانیڈز کی ہیں لیکن ایک فرق یہ ہے کہ یہاں پروٹونوں کا ذخیرہ جھلی کی اندرونی جانب یعنی لیومین (Lumen) میں ہوتا ہے۔ تنفس میں پروٹون جب ای ٹی ایس (Electron Transport System) سے گزرتے ہیں تو ان کا ذخیرہ مائی ٹوکائڈ ریا کی دو جھلیوں کے درمیان ہوتا ہے (باب 14)۔

اب ذرا سمجھیں کہ جھلی کے آر پار پروٹونوں کے ڈھلان کی وجہ کیا ہے؟ اس کے لیے ہمیں ان عملوں کو ذہن میں رکھنا ہوگا جو پروٹونوں کی آزادی اور ان کی منتقلی کے دوران واقع ہوتے ہیں جو پروٹون ڈھلان کے پیدا ہونے کی وجہ ہیں (شکل 13.7)۔

(a) چونکہ آب پاشیدگی جھلی کے اندرونی جانب ہوتی ہے، لہذا اس سے بننے والے پروٹونز یا ہائیڈروجن آئن کی تذخیر تھانلا کوانیڈز کے لیومین میں ہوتی ہے۔

(b) الیکٹرانز جیسے جیسے نور نظاموں (Photosystems) سے گزرتے ہیں پروٹون جھلی کے پار نکل جاتے ہیں۔ یہ اس وجہ سے ممکن ہوتا ہے کہ ابتدائی الیکٹران قبول کنندہ جو جھلی کے بیرونی جانب واقع ہوتا ہے الیکٹران کو الیکٹران کیئر پر نہ منتقل کر کے H کیئر پر منتقل کر دیتا ہے۔ لہذا یہ سالمہ اسٹروما سے ایک پروٹون ہٹاتا ہے اور ایک وقت ایک الیکٹران کو منتقل کرتا ہے۔ جب یہ سالمہ اپنے الیکٹران کو جھلی کے اندرونی جانب موجود الیکٹران کیئر پر منتقل کرتا ہے تو ایک پروٹون اندرونی جانب یا جھلی کی لیومین کی جانب خارج ہو جاتا ہے۔



شکل 13.7 کیمیائی ولوج کے ذریعے اے ٹی پی (ATP) کا بننا

(c) NADP^+ ریڈکٹیز خامرہ جھلی میں استروما کی جانب ہوتا ہے۔ NADP^+ سے $\text{NADPH} + \text{H}^+$ کی تحویل کے لیے، PSI کے الیکٹران ایکسپٹر سے نکلے ہوئے الیکٹران اور پروٹون کی موجودگی لازمی ہے۔ یہ پروٹون استروما سے بھی باہر نکلتے ہیں۔

لہذا کلورو پلاسٹ کے اندر استروما میں پروٹونوں کی تعداد میں کمی آجاتی ہے جبکہ لیومین میں پروٹون اکٹھے ہو جاتے ہیں۔ اس طرح سے تھانلا کوائنڈ جھلی کے آر پار پروٹون ڈھلان کی ایک تدریج پیدا ہوتا ہے اور لیومین کے pH میں مقابل لحاظ کمی واقع ہو جاتی ہے۔

ہم پروٹون ڈھلان کی تدریج میں کیوں اتنی دلچسپی رکھتے ہیں؟ یہ ڈھلان اس لیے اہم ہے کیونکہ یہ اس ڈھلان کا بریک ڈاؤن ہے جس سے توانائی کا اخراج ہوتا ہے۔ یہ ڈھلان اس وقت ٹوٹ جاتا ہے جب پروٹان AT Pose کے ٹرانس ممبرین چینل کے F_0 کے ذریعے استروما کی طرف جھلی کے آر پار حرکت کرتے ہیں۔ آپ نے اے ٹی پی اور اے ٹی پی ہینز خامرے کے بارے میں باب 12 میں پڑھا ہے۔ آپ کو یاد ہوگا کہ اے ٹی پی ہینز خامرہ دو حصوں پر مشتمل ہوتا ہے: ایک حصہ F_0 کہلاتا ہے جو جھلی میں دھنسا رہتا ہے اور اس کے آر پار ایک چینل بناتا ہے جو جھلی کے پار پروٹونوں کے نفوذ کا ذریعہ بنتا ہے دوسرا حصہ F_1 کہلاتا ہے جو تھانلا کوائنڈ کی بیرونی سطح کی طرف نکلا رہتا ہے یعنی جھلی کی اس جانب جس کا رخ استروما کی طرف ہوتا ہے۔ ڈھلان بریک ڈاؤن کی وجہ سے جو توانائی پیدا ہوتی ہے اس سے اے ٹی پی ہینز کے F_1 حصے میں ساختی تبدیلی آتی ہے جس کی وجہ سے خامرہ توانائی سے بھر پور اے ٹی پی کے کئی سالموں کی تالیف کرتا ہے۔

کیمیائی ولوج (Chemiosmosis) کے لیے ایک جھلی، ایک پروٹون پمپ، پروٹون ڈھلان اور اے ٹی پی ہینز خامرے کی ضرورت ہوتی ہے۔ تھانلا کوائنڈ لیومین میں ڈھلان پیدا کرنے کے لیے یا پروٹونوں زیادہ ذخیرہ کے لیے

اور پروٹون کو جھلی کے پار پروٹونوں کو پمپ کرنے کے لیے توانائی کا استعمال کیا جاتا ہے۔ اے ٹی پیئر کے پاس ایک چینل ہے جس کے ذریعے جھلی کے پار پروٹونوں کا نفوذ ہوتا ہے، اس عمل سے جو توانائی خارج ہوتی ہے وہ اے ٹی پیئر خامرے کو فعال بنانے کے لیے کافی ہوتی ہے جو اے ٹی پی کے تالیفی عمل میں مدد دیتا ہے۔

الیکٹرانوں کی منتقلی سے NADPH کی تالیف کے ساتھ ساتھ اسٹروما میں واقع ہونے والے حیاتی تالیف (Bio Synthesis) کے عمل میں ATP فوراً کام آجاتی ہے جو CO_2 کی تثبیت (Fixation) اور مختلف شکر کی تالیف کے لیے ذمہ دار ہے۔

13.7 اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کہاں استعمال ہوتے ہیں؟

(Where are the ATP and NADPH Used?)

ہم جانتے ہیں کہ نوری تعامل کے حاصل اے ٹی پی، این اے ڈی پی ایچ اور آکسیجن ہوتے ہیں۔ ان میں سے آکسیجن کلوروپلاسٹ سے باہر نفوذ ہو جاتی ہے جبکہ اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ غذا کی خاص طور پر شکر کی تالیف کے عملوں کو چلانے میں استعمال ہوتے ہیں۔ یہ ضیائی تالیف کا حیاتیات تالیفی دور ہے۔ یہ عمل بالواسطہ روشنی کی موجودگی پر منحصر نہیں ہوتا بلکہ نوری تعامل کے حاصل پر منحصر ہوتا ہے یعنی CO_2 اور H_2O کے علاوہ اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ پر۔ آپ سوچ رہے ہوں گے کہ اس کی تصدیق کیسے کی جاتی ہے؟ یہ بہت آسان ہے: روشنی کی غیر دستیابی کے فوراً بعد کچھ دیر تک حیاتیاتی تالیفی عمل جاری رہتا ہے اور اس کے بعد رک جاتا ہے۔ اگر اس وقت روشنی دوبارہ مہیا کر دی جائے تو یہ تالیفی عمل دوبارہ شروع ہو جاتا ہے۔ تو کیا ہم کہہ سکتے ہیں کہ اس حیاتیاتی تالیفی عمل کو تاریک تعامل کہنا اصطلاح کا غلط استعمال ہے؟ اس موضوع پر آپس میں بحث کیجیے۔

اب معلوم کریں کہ اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ حیاتیاتی تالیفی عمل میں کس طرح استعمال ہوتے ہیں۔ ہم پہلے پڑھ چکے ہیں کہ CO_2 اور H_2O باہم مل کر $(CH_2O)_n$ یا شکر بناتے ہیں۔ سائنسدانوں کی دلچسپی اس بات میں تھی کہ یہ تعامل کیسے آگے بڑھتا ہے، یا CO_2 جب اس تعامل میں داخل ہوتی ہے تو پہلا حاصل کیا ہوتا ہے یا CO_2 کی تثبیت کیسے ہوتی ہے؟ دوسری جنگ عظیم کے فوراً بعد ریڈیو ہم جا (Radio Isotopes) کو بہت سارے دیگر مفید استعمال میں لانے کے لیے کی گئی متعدد کوششوں میں، میلوں کیلون کا کام قابل تقلید ہے۔ اگلی میں ضیائی تالیف کے مطالعے کے دوران اس نے ^{14}C ریڈیو ہم جا کا استعمال کیا اور یہ دریافت کیا کہ CO_2 کی تثبیت کے عمل کا پہلا حاصل تین کاربن والا نامیاتی ایسڈ ہوتا ہے۔ بعد ازاں اس نے مکمل حیاتیاتی تالیفی پاتھ وے (Biosynthetic Pathway) معلوم کیا اور اس نسبت سے اس پاتھ وے کو کیلون سائیکل کہتے ہیں۔ 3 فاسفو گلیسرک ایسڈ یا پی جی اے کی شکل میں پہلے حاصل کی شناخت ہوئی۔ اس میں کاربن کے کتنے ایٹم ہوتے ہیں؟

سائنسدانوں نے یہ بھی معلوم کرنے کی کوشش کی کہ کیا ہر پودے میں پی جی اے، CO_2 تثبیت کا پہلا حاصل ہوتا ہے اور کیا دوسرے پودوں میں کوئی اور حاصل ہوتا ہے۔ بہت سارے پودوں پر تجربات کے دوران معلوم ہوا کہ پودوں کا ایک ایسا گروپ بھی ہے جن میں CO_2 تثبیت کا پہلا حاصل ایک نامیاتی تیزاب ہی ہے مگر اس میں چار کاربن ایٹم ہوتے ہیں۔ اس کی شناخت آگزیلو اسٹیک ایسڈ یا او، اے کے شکل میں گئی اس انکشاف کے بعد کہا گیا

کہ ضیائی تالیف کے دوران CO_2 کا استحالہ دو قسم کا ہوتا ہے: وہ پودے جن میں CO_2 تثبیت کا پہلا مرحلہ C_3 ایسڈ (PGA) ہے یعنی C_3 پاتھ وے، اور دوسرا گروپ ان پودوں کا ہوتا ہے جن میں پہلا مرحلہ C_4 ایسڈ (او۔ اے۔) ہے۔ (اے) ہوتا ہے یعنی C_4 پاتھ وے کہلاتا ہے۔ پودوں کے ان دونوں گروپوں سے کچھ اور خصوصیات بھی منسلک ہوتی ہیں جن کا ذکر ہم بعد میں کریں گے۔

13.7.1 کاربن ڈائی آکسائیڈ کا ابتدائی اکسیپٹر (The Primary Acceptor of CO_2)

ایک سوال ہم اپنے آپ سے پوچھنا چاہتے ہیں جو ان سائنسدانوں نے پوچھا تھا جو تاریک تعامل کے بارے میں مزید سمجھنے کی کوشش میں لگے ہوئے تھے۔ اس سائلے میں کاربن کے کتنے ایٹم ہوں گے جس میں CO_2 کو قبول (تثبیت کے دوران) کرنے کے بعد (پی جی اے کے) تین کاربن ہوتے ہیں؟

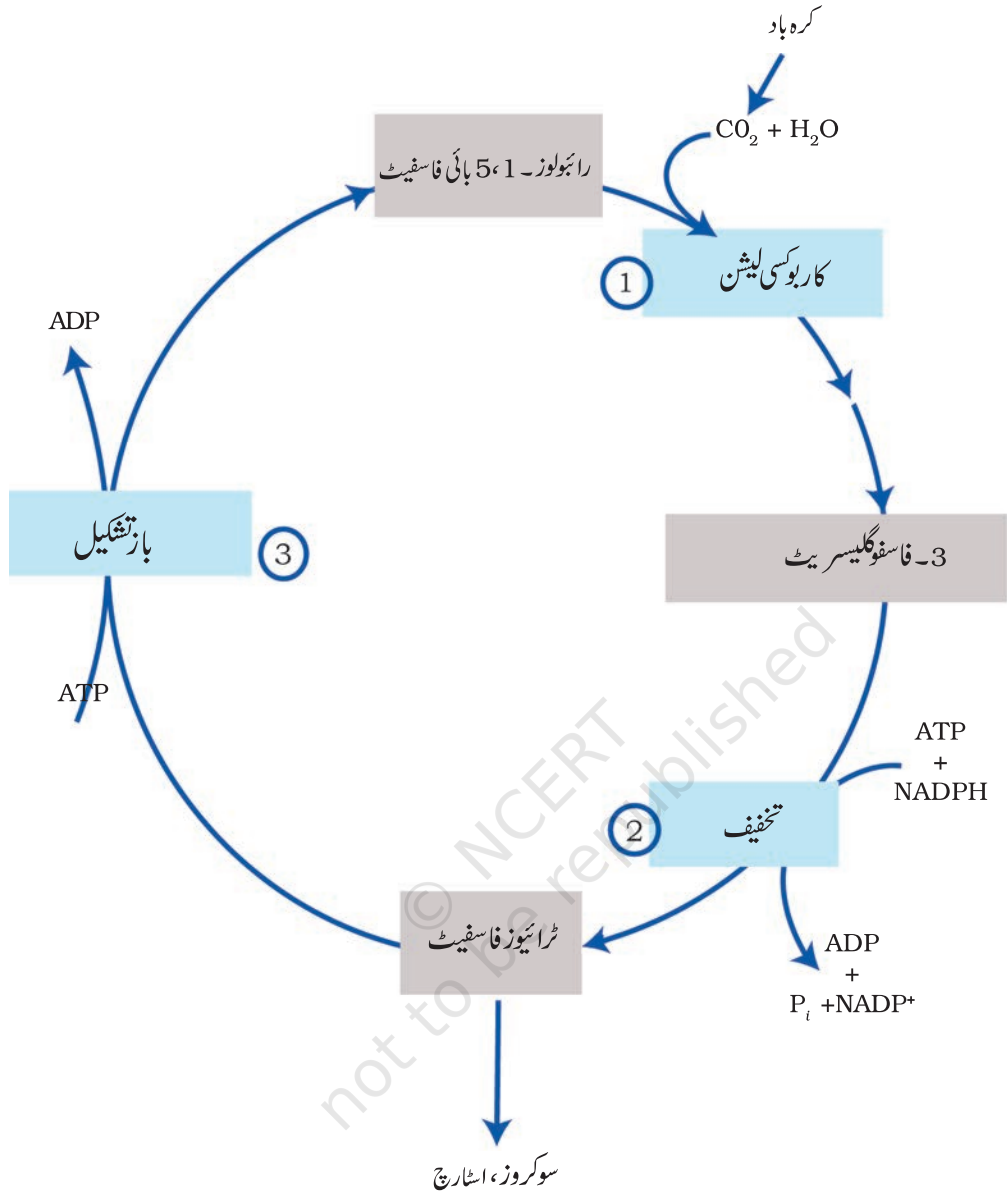
خلاف توقع، تحقیق کے دوران معلوم ہوا کہ قبول کنندہ سالمہ پانچ کاربن والا کیٹوز شکر (Ketose Sugar)، رائبوز بائی فاسفیٹ (RuBP) ہے۔ کیا آپ نے اس امکان کے بارے میں سوچا تھا؟ پریشان نہ ہوں، سائنسدانوں کو بھی بہت تجربات کرنے کے بعد اس نتیجے پر پہنچنے میں کافی عرصہ لگا۔ پانچ کاربن والا RuBP مرکب تلاش کرنے سے پہلے ان کا بھی یہ قیاس تھا کہ چونکہ پہلا مرحلہ C_3 تیزاب تھا لہذا ابتدائی قبول کنندہ دو کاربن والا مرکب ہوگا؛ انہوں نے کئی سال دو کاربن مرکب تلاش کرنے میں صرف کر دیے۔

13.7.2 کیلون دور (The Calvin Cycle)

کیلون اور اس کے ساتھیوں نے پورے پاتھ وے پر کام کیا اور معلوم کیا کہ یہ دوری طور (Cyclic Manner) پر چلتا ہے اور RuBP دوبارہ پیدا ہوتا ہے۔ اب ہم معلوم کریں گے کہ کیلون پاتھ وے کیسے عمل میں آتا ہے اور شکر کی تالیف کہاں ہوتی ہے۔ سب سے پہلے یہ جان لینا ضروری ہے کہ کیلون پاتھ وے ہر اس پودے میں ہوتا ہے جو ضیائی تالیف کرتا ہے اور یہ اہم نہیں ہے کہ ان میں C_3 یا C_4 یا کوئی اور پاتھ وے ہوتا ہے (شکل 13.8)۔ آسانی کے لیے کیلون دور کو تین حصوں میں بانٹا جاسکتا ہے: کاربوکسی لیشن، تحویل اور بازتخلیل۔

1- کاربوکسی لیشن۔ CO_2 کی مستحکم نامیاتی ضمنی ماحصلات میں تبدیلی کاربوکسی لیشن ہے۔ کاربوکسی لیشن، کیلون دور کا فیصلہ کن مرحلہ ہے جس میں CO_2 کا استعمال RuBP کے کاربوکسی لیشن میں ہوتا ہے۔ خامرہ RuBP کاربوکسی لیز اس تعامل میں مدد کرتا ہے اور پی جی اے کے دو سالموں کی تالیف کرتا ہے۔ چونکہ یہ خامرہ آپکیشن بھی کرتا ہے اس لیے بہتر ہوگا کہ اس کو RuBP کاربوکسی آپکیشنز یا RuBisCO کا نام دیا جائے۔

2- تحویل: یہ سلسلہ وار تعاملات ہیں جو آخر میں گلوکوز بناتے ہیں۔ اس میں CO_2 کے ایک سائلے کی تثبیت کے لیے دو اے ٹی پی کے سائلے فوسفوریلیشن میں اور تحویل کے لیے دو این اے ڈی پی ایچ کے سائلے استعمال ہوتے ہیں۔ اس پاتھ وے سے گلوکوز کے ایک سائلے کو ہٹانے کے لیے CO_2 کے چھ سالموں کی تثبیت اور دور کے چھ چکروں کی ضرورت ہوتی ہے۔



شکل 13.8 کیلون دور تین مرحلوں میں مکمل ہوتا ہے۔ 1- کاربوکسی لیشن، جس کے دوران CO₂، راینولوز-5،1 بائی فوسفیٹ سے کے ساتھ متحد ہو جاتی ہے۔ 2- بازتعمیل، اس کے دوران ضیائی کیمیائی طریقے سے بنے اے ٹی پی اور این ڈی پی ایچ کے استعمال سے کاربوہائڈریٹ بنتا ہے۔ اور 3- بازتعمیل کے دوران CO₂ کو حاصل کرنے والا 5،1 بائی فوسفیٹ دوبارہ بنتا ہے تاکہ یہ دور جاری رہ سکے۔

3- بازتعمیل: اگر اس دور کو بغیر کسی خلل چلتے رہنا ہے تو CO₂ قبول کنندہ سالمہ RuBP کی بازتعمیل نہایت ضروری عمل ہے۔ بازتعمیل کے مراحل میں فوسفوریلیشن کے ذریعے RuBP بنانے کے لیے ایک عدد اے ٹی پی کی ضرورت پڑتی ہے۔

لہذا کیلون دور میں داخل ہونے والے ہر CO_2 سالموں کے لیے اے ٹی پی کے تین سالموں اور این اے ڈی پی ایچ کے دو سالموں کی ضرورت ہوتی ہے۔ اور شاید تاریک تعامل میں استعمال ہونے والے اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کی تعداد میں اس کمی کو پورا کرنے کے لیے دائری فاسفوریلیشن عمل میں آتا ہے۔

گلوکوز کا ایک سالمہ بنانے کے لیے دور کے چھ چکر درکار ہوتے ہیں۔ معلوم کیجیے کہ کیلون پاتھ وے کے ذریعے گلوکوز کے ایک سالمے کی تالیف کے لیے اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کے کتنے سالموں کی ضرورت ہوگی؟

اگر ہم غور کریں کہ کیلون دور میں کیا داخل ہوتا ہے اور کیا خارج ہوتا ہے تو شاید ہمیں یہ سمجھنے میں آسانی ہو جائے گی۔

داخل	خارج
چھ CO_2	ایک گلوکوز
18 اے ٹی پی	18 اے ڈی پی
12 این اے ڈی پی ایچ	12 این اے ڈی پی

13.8 C_4 پاتھ وے (The C_4 Pathway)

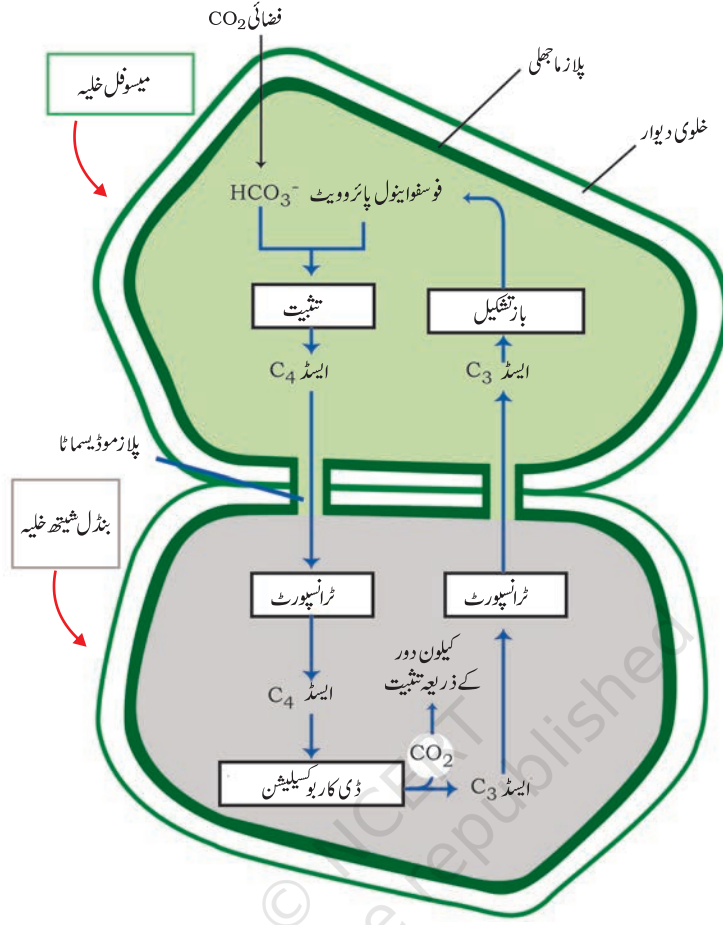
خشک گرم سیر علاقوں میں پائے جانے والے پودوں میں C_4 پاتھ وے ہوتا ہے۔ حالانکہ ان میں C_4 اگر بیو اسٹیک ایسڈ CO_2 تثبیت کا پہلا مرحلہ حاصل ہوتا ہے مگر یہ C_3 پاتھ وے یا کیلون دور کا استعمال خاص حیاتیاتی تالیفی پاتھ وے کے طور پر کرتے ہیں۔ اب آپ یہ سوال پوچھ سکتے ہیں کہ یہ C_3 پودوں سے کس طرح مختلف ہیں؟

C_4 خاص پودے ہیں جن کی پتیوں کی ایک مخصوص اناٹومی ہے، ان میں زیادہ درجہ حرارت برداشت کرنے کی صلاحیت ہوتی ہے، ان میں روشنی کی زیادہ شدت کے تیس رد عمل ہوتا ہے، ان میں ضیائی تنفس (Photorespiration) نہیں ہوتا اور غیر معمولی مقدار میں بائیوماس پیدا کرتے ہیں۔

تجربہ گاہ میں، ایک C_3 اور ایک C_4 پودے کی پتی کے عمودی سیکشن کا مطالعہ کیجیے۔ کیا آپ کوئی فرق محسوس کرتے ہیں؟ کیا دونوں میں ایک ہی طرح کی میزوفیل ہیں۔ ویسکولر بنڈل کے غلاف کے اطراف کے خلیے کیا ایک ہی طرح کے ہیں۔

C_4 پاتھ وے والے پودوں کے ویسکولر بنڈل کے اطراف میں خصوصاً بڑے خلیے بنڈل شیٹھ خلیے کہلاتے ہیں، اور وہ پتیاں جن میں اس طرح کی اناٹومی ہوتی ہے کرائز اناٹومی (Kranz Anatomy) کہلاتی ہے۔ خلیوں کی ترتیب کی بنا پر جن کی شکل کرائز یعنی ریتھ جیسی ہوتی ہے۔ ویسکولر بنڈلز کے چاروں طرف بنڈل شیٹھ خلیوں کی کئی پرتیں ہو سکتی ہیں، کلوروپلاسٹ کی کثرت سے موجودگی ان کی خاصیت ہے۔ خلوی دیواریں دبیز ہوتی ہیں جو گیس کے تبادلے کی مزاحمت کرتی ہیں اور خلیوں کے درمیان خالی جگہیں نہیں ہوتیں۔ کرائز اناٹومی اور خلیوں میں میزوفیل کی ترتیب کے مشاہدے کے لیے آپ C_4 پودوں یعنی مکایا جوار کی پتیوں کے سیکشن کا ٹیس اور اندرونی ساخت کا مطالعہ کریں۔

آپ کے لیے یہ دلچسپ مشغلہ ہوگا کہ آس پاس کے مختلف پودوں کی پتیاں جمع کریں اور ان کے عمودی سیکشن کا ٹیس اور خوردبین کے ذریعے ان کا مشاہدہ کریں خاص طور سے ویسکولر بنڈلوں کے اطراف بنڈل شیٹھ کا مطالعہ کریں۔ بنڈل شیٹھ کی موجودگی آپ کو C_4 پودے پہچاننے میں مدد کرے گی۔



شکل 13.9 بیج اور سلیک پاتھ وے: بہت مختصر میسوفل اور بی ایس خلیہ دکھاتے ہوئے۔

اب شکل 13.9 میں دیے گئے پاتھ وے کا مطالعہ کریں۔ اس پاتھ وے کا نام بیج اور سلیک پاتھ وے (Hatch and Slack Pathway) ہے اور یہ بھی دوری عمل ہے (Cyclic Process)۔

تین کاربن سالمہ فوسفواینال پائی روویٹ (پی ای پی) ابتدائی CO₂ ایکسپٹر ہے اور میزوفل خلیوں میں موجود ہوتا ہے۔ اس تثبیت کا ذمہ دار خامرہ پی ای پی کاربوکسی لیزیا پی ای پی کیز (PEP case) ہوتا ہے۔ خیال رہے کہ میزوفل خلیوں میں RuBisCO خامرہ نہیں ہوتا۔ C₄ ایسڈ اوالے اے میزوفل خلیوں میں بنتا ہے۔

پھر یہ میزوفل خلیوں میں دیگر چار کاربن والے مرکبات جیسے میلک ایسڈ یا البیسپارٹک ایسڈ بنتا ہے، جو بندل شیتھ کے خلیوں میں منتقل ہو جاتا ہے۔ یہاں یہ C₄ ایسڈ CO₂ اور تین کاربن سالموں میں ٹوٹ جاتا ہے۔ تین کاربن والے سالمے واپس میزوفل میں منتقل ہو جاتے ہیں جہاں وہ پی ای پی میں تبدیل ہو جاتے ہیں اور اس طرح یہ دور تکمیل کو پہنچاتا ہے۔

بندل شیتھ کے خلیوں سے خارج شدہ CO₂ کیلون یا C₃ پاتھ وے میں داخل ہوتی ہے جو تمام پودوں میں پائی جاتی ہے بندل شیتھ خلیوں میں RuBisCO کثرت سے پایا جاتا ہے لیکن ان میں PEPcase نہیں ہوتا۔ لہذا

بنیادی پاتھ وے جس کے نتیجے میں شکر بنتی ہے یعنی کیلون سائیکل C_3 اور C_4 پودوں میں مشترک ہوتی ہے۔ کیا آپ نے ذہن نشین کیا کہ C_3 کیلون پاتھ وے پودوں کے تمام میزوفل میں واقع ہوتا ہے اور C_4 پودوں کے میزوفل خلیوں میں نہ ہو کر صرف بنڈل شیٹھ کے خلیوں میں واقع ہوتا ہے۔

13.9 ضیائی تنفس (Photorespiration)

اب ہم ایک اور عمل ضیائی تنفس پر یعنی غور کریں گے جو C_3 اور C_4 پودوں میں تفریق کرتا ہے۔ اس کو سمجھنے کے لیے ہمیں کیلون پاتھ وے کے پہلے مرحلہ یعنی CO_2 کی تثبیت کے پہلے مرحلہ کے بارے میں مزید معلومات حاصل کرنی ہوں گی یعنی یہ وہ تعامل ہے جہاں $RuBP$ ، CO_2 سے مل کر 3 پی جی اے کے دو سالمے بناتا ہے اور $RuBisCO$ خامرہ اس میں مدد کرتا ہے۔



$RuBisCO$ جو دنیا میں سب سے زیادہ پایا جانے والا انزائم ہے۔ (معلوم ہے کیوں؟) اپنے نام کی مناسبت سے اس کی خاصیت یہ ہے کہ اس کی ایکٹیو سائٹ سے CO_2 اور O_2 دونوں وابستہ ہو سکتے ہیں۔ کیا آپ سوچ سکتے ہیں کہ ایسا کیسے ممکن ہو پاتا ہے؟ ریو بسکو کا میلان O_2 کے مقابلے CO_2 سے کہیں زیادہ ہوتا ہے۔ قیاس کیجیے کہ اگر ایسا نہ ہوتا تو کیا ہوتا؟ یہ میلان بہم آزما (Competitive) ہوتا ہے۔ اس کا فیصلہ کہ O_2 اور CO_2 میں سے کون خامرے سے جڑے گا، ان دونوں کا نسبتی ارتکاز کرتا ہے۔

C_3 پودوں میں $RuBisCO \times O_2$ سے کسی حد تک جڑتی ہے لہذا CO_2 کی تثبیت میں کمی واقع ہو جاتی ہے۔ یہاں $RuBP$ پی جی اے کے دو سالموں میں تبدیل ہونے کے بجائے O_2 سے مل کر صرف ایک سالمہ بناتا ہے اور ایک پاتھ وے میں فاسفو گلائیکولیٹ ہوتا ہے جسے ضیائی تنفس کہتے ہیں۔ ضیائی تنفس کے پاتھ وے میں شکر اور اے ٹی پی کی تالیف نہیں ہوتی بلکہ یہ اے ٹی پی استعمال کر کے CO_2 خارج کرتا ہے۔ اس پاتھ وے میں اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ کی بھی تالیف نہیں ہوتی۔ اس لیے ضیائی تنفس ایک فضول عمل ہے۔

ضیائی تنفس C_4 پودوں میں نہیں ہوتا کیونکہ ان میں ایک نظام ہوتا ہے جس کے ذریعے خامرے کی جگہ CO_2 کا ارتکاز بڑھ جاتا ہے۔ یہ اس وقت ہوتا ہے جب میزوفل سے حاصل شدہ C_4 ترشے بنڈل کے خلیوں میں ٹوٹ کر CO_2 خارج کرتے ہیں اور نتیجتاً خلیوں کے اندر CO_2 کا ارتکاز بڑھ جاتا ہے۔ لہذا $RuBisCO$ خامرے کی آکسیجینز (Oxygenase) سرگرمی کم ہو جاتی ہے یہ کاربوکسی لیز کی حیثیت سے عمل کرتا ہے۔

اب جب کہ آپ کو معلوم ہو گیا کہ C_4 پودوں میں ضیائی تنفس لینس ہوتا ہے یہ سمجھنا آسان ہوگا کہ ان پودوں میں پیداوار کیوں بہتر ہوتی ہے۔ اس کے علاوہ ان پودوں میں زیادہ درجہ حرارت کو برداشت کرنے کی صلاحیت بھی ہوتی ہے۔ مندرجہ بالا بحث کی بنا پر کیا آپ C_3 اور C_4 پاتھ وے والے پودوں کا موازنہ کر سکتے ہیں؟ اگلے صفحہ پر دیئے گئے جدول کا استعمال کیجیے اور اس میں خالی جگہوں کو پر کیجیے۔

جدول 13.1 C_3 اور C_4 پودوں کے فرق کو واضح کرنے کے لیے کالم 2 اور 3 کو بھریے۔

خصوصیات	C_3 پودے	C_4 پودے	مندرجہ ذیل میں سے منتخب کیجیے
خلیوں کی قسم جن میں کیلون دور ہوتا ہے۔			میزوفل / بنڈل شیٹھ / دونوں
خلیوں کی قسم جن میں کاربوکسی لیشن کے ابتدائی عمل ہوتے ہیں۔			میزوفل / بنڈل شیٹھ / دونوں
خلیوں کی کتنی اقسام میں CO_2 کی تثبیت ہوتی ہے			دو: بنڈل شیٹھ اور میزوفل ایک: میزوفل تین: بنڈل شیٹھ، پیلی سیڈ، اسٹینچی میزوفل
ابتدائی CO_2 ایکسیپیٹر کون سا ہے			آریوڈی پی / پی ای پی / پی جی اے
ابتدائی ایکسیپیٹر میں کاربن کی تعداد			5/4/3
ابتدائی CO_2 تثبیت کا ماحصل کون ہے			پی جی اے / اے اے / آریوڈی پی / پی ای پی
ابتدائی CO_2 تثبیت کے ماحصل میں کاربن کی تعداد			5/4/3
کیا پودوں میں RuBisCO ہوتا ہے۔			ہاں / نہیں / ہمیشہ نہیں
کیا پودوں میں پی ای پی کیس (PEPcase) ہوتا ہے؟			ہاں / نہیں / ہمیشہ نہیں
پودوں کے کون سے خلیوں میں RuBisCO ہوتا ہے۔			میزوفل / بنڈل شیٹھ / کسی میں نہیں
زیادہ روشنی کی موجودگی میں CO_2 تثبیت کی شرح			کم / زیادہ / درمیانی
کیا کم روشنی میں ضیائی تنفس واقع ہوتا ہے؟			زیادہ / نہیں کے برابر / کبھی کبھی
کیا زیادہ روشنی میں ضیائی تنفس واقع ہوتا ہے؟			زیادہ / نہیں کے برابر / کبھی کبھی
کیا کم CO_2 کے ارتکاز میں ضیائی تنفس واقع ہوتا ہے؟			زیادہ / نہیں کے برابر / کبھی کبھی
کیا زیادہ CO_2 کے ارتکاز میں ضیائی تنفس واقع ہوتا ہے؟			زیادہ / نہیں کے برابر / کبھی کبھی
معقول درجہ حرارت			30-40 C / 20-25 C / 40 C سے زیادہ
مثالیں			مختلف پودوں کی پتیوں کا عمودی سیکشن کاٹے اور خوردبین سے کرائز اناٹومی کا مشاہدہ کیجیے اور موزوں کالم میں ان کی فہرست بنائیے۔

13.10 ضیائی تالیف کو متاثر کرنے والے عوامل

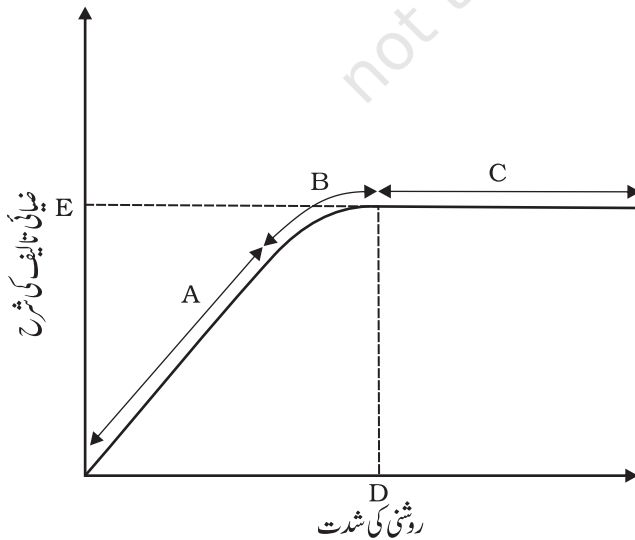
(Factors Affecting Photosynthesis)

ان عوامل کو سمجھنا ضروری ہے جو ضیائی تالیف پر اثر انداز ہوتے ہیں۔ پودوں اور فصلوں کی پیداوار کا تعین کرنے کے لیے ضیائی تالیف کی شرح بہت اہم ہے۔ ضیائی تالیف کئی عوامل کے زیر اثر ہوتی ہے جو اندرونی (پودے) اور بیرونی ہوتے ہیں۔ اندرونی اسباب میں پتیوں کی تعداد، سائز، عمر، پتیوں کی بناوٹ، میزوفیل خلیے، کلوروپلاسٹ، اندرونی CO_2 کا ارتکاز اور کلوروفیل کی مقدار شامل ہیں۔ اندرونی عوامل پودے کی نمو اور جینی رجحان پر منحصر ہوتے ہیں۔ بیرونی اسباب میں سورج کی روشنی کی دستیابی، درجہ حرارت، CO_2 کا ارتکاز اور پانی شامل ہیں۔ پودے میں ضیائی تالیف کے دوران یہ تمام اسباب بیک وقت اثر انداز ہوتے ہیں۔ چونکہ کئی باہمی عمل (Interact) کرتے ہیں لہذا CO_2 تثبیت یا ضیائی تالیف پر بیک وقت اثر انداز ہوتے ہیں، عموماً ایک سبب ضیائی تالیف کی شرح کو محدود کرنے کا باعث بنتا ہے۔ چنانچہ کسی ایک وقت پر شرح کا تعین اس سبب سے ہوگا جو مناسب سطح سے کم دستیاب ہوگا۔

کسی حیاتیاتی یا حیاتیاتی کیمیائی عمل پر کئی عوامل اثر انداز ہوتے ہیں تو اس پر بلیک مین (1905) کا تحدیدی عوامل کا قانون (Law of Limiting Factors) نافذ ہو جاتا ہے جس کو مندرجہ ذیل الفاظ میں بیان کر سکتے ہیں:

اگر کوئی کیمیائی عمل ایک سے زیادہ عوامل سے متاثر ہوتا ہے تو اس کی شرح کا تعین اس عامل کی بنیاد پر ہوگا جو اپنے کم از کم قدر کے قریب ہوگا: اگر اس عامل کی مقدار میں تبدیلی کی جائے تو یہ اس عمل کو براہ راست متاثر کرے گا۔ مثال کے طور پر، سبز پتے اور بھرپور روشنی اور CO_2 کی موجودگی میں بھی پودا ضیائی تالیف نہیں کر پائے گا اگر درجہ حرارت بہت کم ہو۔ اس پتی کو اگر معقول مقدار میں درجہ حرارت مہیا کر لیا جائے تو ضیائی تالیف کا عمل شروع ہو جائے گا۔

13.10.1 روشنی (Light)



شکل 13.10 ضیائی تالیف کی شرح پر روشنی کی شدت کا اثر

جب ہم ضیائی تالیف پر اثر انداز ہونے والے عامل کے طور پر روشنی کا تذکرہ کرتے ہیں تو ہمیں روشنی کی قسم، روشنی کی شدت اور مدت میں فرق کرنے کی ضرورت ہے۔ کم روشنی کی موجودگی میں پتیوں پر گرنے والی روشنی اور CO_2 کی تثبیت کی شرح میں خطی تعلق (Linear Relationship) ہوتا ہے۔ زیادہ روشنی کی موجودگی میں یہ شرح بتدریج بڑھتی ہے۔ مگر ایک جگہ پہنچ کر اس سے آگے نہیں بڑھتی چونکہ اس وقت دوسرے عوامل تحدیدی (Limiting) ہوتے جاتے ہیں (شکل 13.10)۔ ایک دلچسپ بات مشاہدے میں یہ آتی ہے کہ روشنی کی سیری (Saturation) بھرپور سورج کی روشنی کا دس فیصدی ہوتا ہے۔ چنانچہ قدرت میں سوائے ان پودوں کے جو سائے میں یا گھنے جنگلوں

میں پائے جاتے ہیں روشنی شاز و نادر بھی ضیائی تالیف کے لیے تحدیدی ہوتی ہے۔ آنے والی روشنی میں ایک خاص حد سے اضافہ کلوروفل کو نقصان پہنچاتا ہے اور ضیائی تالیف کی شرح کم ہو جاتی ہے۔

13.10.2 کاربن ڈائی آکسائیڈ کا ارتکاز (Carbon Dioxide Concentration)

کاربن ڈائی آکسائیڈ، ضیائی تالیف کے لیے بہت اہم تحدیدی عامل ہے۔ CO_2 کا ارتکاز فضا میں بہت کم ہوتا ہے۔ (0.03 اور 0.04 فی صدی کے درمیان)۔ اس ارتکاز میں 0.05 فی صدی تک کا اضافہ CO_2 تثبیت کی شرح میں اضافہ کر سکتا ہے، اس سے زیادہ کا طویل مدتی اضافہ نقصان دہ ثابت ہو سکتا ہے۔ CO_2 کے ارتکاز کے تین C_3 اور C_4 کا رد عمل مختلف ہوتا ہے۔ کم روشنی کی موجودگی میں دونوں گروپوں میں سے کوئی بھی زیادہ CO_2 کے ارتکاز پر کوئی رد عمل نہیں کرتا لیکن روشنی کی زیادہ شدت کی موجودگی میں C_3 اور C_4 دونوں پودے ضیائی تالیف کی شرح میں اضافہ دکھاتے ہیں۔ نوٹ کریں کہ C_4 پودوں میں سیری $360 \mu\text{l}^{-1}$ ہوتی ہے جبکہ CO_2 ، C_3 پودے ارتکاز کے اضافے پر رد عمل کرتے ہیں اور سیری $450 \mu\text{l}^{-1}$ کے بعد مشاہدے میں آتی ہے۔ لہذا اس وقت CO_2 کی دستیابی کی سطح C_3 پودوں کے لیے تحدیدی ہے۔ C_3 پودے CO_2 کے زیادہ ارتکاز پر رد عمل کرتے ہیں اور ضیائی تالیف کی شرح میں اضافہ ہو جاتا ہے جس کی وجہ سے پیداوار میں بھی اضافہ ہوتا ہے، اس حقیقت کا استعمال گرین ہاؤس فصلوں مثلاً ٹماٹر اور شملہ مرچ پر کیا جا چکا ہے۔ ان کو کاربن ڈائی آکسائیڈ سے بھر پور ماحول میں اگایا جاتا ہے اور اچھی پیداوار حاصل کی جاتی ہے۔

13.10.3 درجہ حرارت (Temperature)

تاریک تعامل خامروں کی موجودگی میں ہوتا ہے لہذا یہ درجہ حرارت منضبط ہوتا ہے۔ حالانکہ نوری تعامل بھی درجہ حرارت سے متاثر ہوتا ہے لیکن یہ اثر بہت کم حد تک ہوتا ہے۔ C_4 پودے زیادہ درجہ حرارت پر رد عمل ظاہر کرتے ہیں اور ضیائی تالیف کی شرح بڑھا دیتے ہیں جبکہ C_3 پودے یہی عمل کم درجہ حرارت پر کرتے ہیں۔ مختلف پودوں میں ضیائی تالیف کے لیے معقول درجہ حرارت پر انحصار ان کے مسکن پر ہوتا ہے جس سے وہ توافق کر لیتے ہیں۔ منطقہ حارہ والے پودوں میں یہ معقول درجہ حرارت منطقہ معتدلہ والے علاقوں میں پائے جانے والے پودوں کے مقابلے میں زیادہ ہوتا ہے۔

13.10.4 پانی (Water)

حالانکہ پانی نوری تعامل میں حصہ لیتا ہے مگر عامل کی حیثیت سے پانی کا اثر براہ راست ضیائی تالیف پر ہونے کے بجائے خود پودے کے ذریعے سے ہوتا ہے۔ پانی کی کمی پتیوں کے اسٹومیٹا کو بند کرنے میں مدد کرتی ہے اور اس طرح CO_2 کی دستیابی میں کمی واقع ہو جاتی ہے۔ اس کے علاوہ پانی کی کمی کی وجہ سے پتیاں مرجھا جاتی ہیں اور ان کی سطح کا رقبہ کم ہو جاتا ہے اور یہ کہ ان کی استھالی سرگرمی (Metabolic Activity) میں بھی کمی واقع ہو جاتی ہے۔

خلاصہ

ضیائی تالیف کے ذریعے سبز پودے اپنی غذا خود تیار کرتے ہیں۔ اس عمل کے دوران فضا سے CO_2 پتیوں کے اسٹومیٹا کے ذریعے اندر داخل ہوتی ہے جس کا استعمال کاربوہائیڈریٹ خاص کر گلوکوز اور اسٹارچ بنانے میں ہوتا ہے۔ پودے کے صرف سبز حصوں میں ضیائی تالیف ہوتی ہے خاص کر پتیوں میں۔ پتیوں کے اندر موجود میزوفل خلیوں میں لا تعداد کلوروپلاسٹ ہوتے ہیں جو CO_2 کی تثبیت کے لیے ذمہ دار ہیں۔ کلوروپلاسٹ کے اندر جھیلوں میں نوری تعاملات واقع ہوتے ہیں، جبکہ کیمیائی تالیفی پاتھ وے اسٹروما میں انجام پذیر ہوتا ہے۔ ضیائی تالیف کو دو حصوں میں بانٹا جاسکتا ہے: نوری تعامل اور CO_2 کی تثبیت کا تعامل۔ نوری تعامل کے دوران نوری توانائی انٹینا میں موجود پگمیت کے ذریعے جذب ہوتی ہے اور مخصوص کلوروفل a سالمہ جسے مرکز تعامل کلوروفل کہتے ہیں، پر منتقل ہو جاتی ہے۔ دو فوٹوسسٹم ہوتے ہیں PSI اور PSI-PSIL مرکز تعامل سینٹر میں 700nm انجذابی کلوروفل a P700 سالمہ ہوتا ہے۔ جبکہ PSII میں P680 مرکز تعامل ہوتا ہے جو سرخ روشنی کو 680nm پر جذب کرتا ہے۔ روشنی جذب کرنے کے بعد الیکٹرون آزاد ہو جاتے ہیں اور PSII اور PSI کے ذریعے آخر میں این اے ڈی پر منتقل ہو کر این اے ڈی ایچ بناتے ہیں۔ اس عمل کے دوران تھانلا کو انیڈ کی جھلی کے آر پار پروٹون ڈھلانا پیدا ہوتا ہے۔ اے ٹی پینر خامرے کی F_0 حصے کے ذریعے منتقلی کی وجہ سے پروٹون ڈھلان کے ٹوٹنے سے جو توانائی خارج ہوتی ہے وہ اے ٹی پی کی تالیف کے لیے کافی ہوتی ہے۔ پانی کی ضیائی آب پاشیدگی PSII سے منسلک ہے جس کے نتیجے میں پروٹون اور O_2 خارج ہوتے ہیں اور الیکٹران PSII پر منتقل ہو جاتے ہیں۔

کاربن کے تثبیتی دور میں، RuBisCO خامرے کی مدد سے، CO_2 ایک پانچ کاربن پر مشتمل مرکب RuBP سے جڑ جاتی ہے جو تبدیل ہو کر تین کاربن پر مشتمل پی جی اے کے دو سالمے کی تالیف کرتا ہے کیلون دور کے ذریعے یہ شکر میں تبدیل ہو جاتے ہیں اور RuBP دوبارہ بنتا ہے۔ نوری تعامل کے دوران تالیف شدہ اے ٹی پی اور این اے ڈی پی ایچ اس عمل میں استعمال ہو جاتے ہیں۔ $\text{C}_3 \text{ RuBisCO}$ پودوں میں آکسیجینیشن عمل میں بھی مدد کرتا ہے جو ایک فضول عمل ہے اسے ضیائی تنفس کہتے ہیں۔ منطقہ حارہ میں پائے جانے والے پودے ایک خاص قسم کی ضیائی تالیف کرتے ہیں جو C_4 پاتھ وے کہلاتا ہے ان پودوں کے میزوفل میں ہونے والی CO_2 تثبیت کا پہلا ماحصل چار کاربن پر مشتمل مرکب ہوتا ہے۔ کاربوہائیڈریٹ کی تالیف کے لیے کیلون پاتھ وے بنڈل شیٹھ کے خلیوں میں انجام پذیر ہوتا ہے۔

مشق

- 1- پودوں کی باہری ساخت کو دیکھ کر کیا آپ بتا سکتے ہیں کہ پودا C_3 یا C_4 ہے؟ کیوں اور کیسے؟
- 2- پودے کی کس اندرونی ساخت کو دیکھ کر آپ C_3 اور C_4 پودے کو پہچان سکتے ہیں؟ وضاحت کیجیے۔

- 3۔ جب کہ C_4 پودوں کے کچھ ہی خلیے حیاتیاتی تالیفی کیلون پاتھ وے عمل انجام دے سکتے ہیں، اس کے باوجود ان میں پیداوار کہیں زیادہ ہوتی ہے۔ کیا آپ اس موضوع پر بحث کر سکتے ہیں کہ ایسا کیوں ہے؟
- 4۔ RuBisCO وہ خامرہ ہے جو کاربوکسی لیز اور آکسیجنز دونوں کی حیثیت سے عمل کرتا ہے۔ آپ کیوں ایسا سوچتے ہیں کہ C_4 پودوں میں RuBisCO کاربوکسی لیشن کا کام زیادہ انجام دیتا ہے؟
- 5۔ فرض کیجیے کہ پودوں میں کلوروفل بی کا ارتکاز زیادہ اور کلوروفل اے بالکل نہیں ہے تو کیا ایسا پودا ضیائی تالیف کر پائے گا؟ پھر پودوں میں کلوروفل بی اور دیگر پگمنٹس کیوں موجود ہوتے ہیں؟
- 6۔ تاریک جگہ پر رکھی گئی پتی عموماً پیلی یا ہلکی سبز کیوں ہو جاتی ہے؟ آپ کے خیال میں کون سا پگمنٹ زیادہ مستحکم ہوتا ہے۔
- 7۔ ایک پودے کی پتی کا معائنہ کیجیے اور اس کے سائے کی طرف دار رخ اور سورج کی طرف والے رخ کا موازنہ کیجیے یا سائے میں رکھے ہوئے پودوں کا موازنہ روشنی میں رکھے ہوئے پودوں سے کیجیے۔ ان میں سے کس پودے کی پتیاں گہری سبز ہیں؟ اور کیوں؟
- 8۔ شکل 13.10 میں دیا گیا گراف ضیائی تالیف پر روشنی کے اثر کو دکھا رہا ہے۔ گراف کا بغور مطالعہ کر کے مندرجہ ذیل سوالوں کے جواب دیجیے:

(a) منحنی (Curve) کے کس نقطے (C یا B، A) پر روشنی تحدیدی عامل بن جاتی ہے؟

(b) خطہ اے میں کون سا عامل یا عوامل تحدیدی ہو جاتے ہیں؟

(c) منحنی میں C اور D کیا ظاہر کرتے ہیں؟

9۔ مندرجہ ذیل کا موازنہ کیجیے۔

(a) C_3 اور C_4 پاتھ ویز

(b) دائری اور غیر دائری فوٹوفوسفوریلیشن

(c) C_3 اور C_4 پودوں کی پتیوں کی انٹومی