باب 7
بائیوانرجیٹکس
BIOENERGETICS

اہم عنوانات

Bioenergetics and the Role of ATP	7.1 بائیوانرجیٹکس اور ATP کا کردار
Photosynthesis	7.2 فوٹوسنتھی سیز
Mechanism of Photosynthesis	7.2.1 فوٹوسینتھی سیز کا میکانزم
Role of Chlorophyll and Light	7.2.2 کلوروفل اور روشنی کا کردار
Limiting Factors in Photosynthesis	7.2.3 فوٹوسینتھی سیز میں لمٹنگ فیکٹرز
Respiration	7.3 ریسپریشن
Aerobic and Anaerobic Respiration	7.3.1 ایروبک اور اینایروبک ریسپریشن
Mechanism of Respiration	7.3.2 ریسپریشن کا میکانزم
The Energy Budget of Respiration	7.3.3 ریسپریشن کا انرجی بجٹ

باب 7 میں شامل اہم اصطلاحات کے اردو تراجم

بائیوانرجیٹکس (bioenergetics)	حیاتیاتی توانائی سے متعلق علم	
ریسپریشن (respiration)	تنفس	
کلوروفل (chlorophyll)	سبزینہ	
سٹارچ (starch)	نشاستہ	
فوٹوسنتھی سیز (photosynthesis)	ضیائی تالیف	
میکانزم (mechanism)	طریقہ کار	

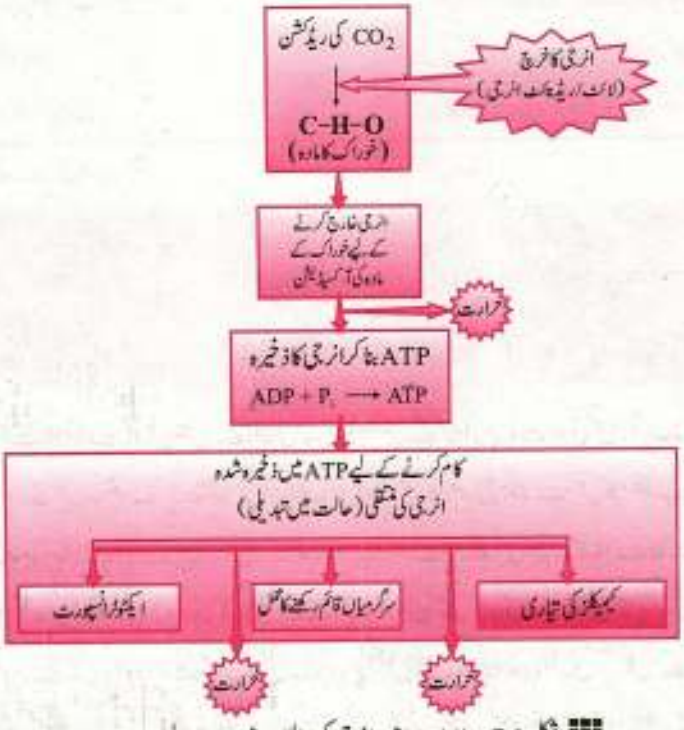
باب 4 میں سیل کی ساخت اور باب 6 میں سیل کے افعال میں اینزائمز کے کردار پر بات ہوئی تھی۔ ایک زندہ سیل میں کیمیکل ری ایکشنز مسلسل ہو رہے ہوتے ہیں۔ ہم نے پڑھا تھا کہ سیل ایک 'اوپن سسٹم' کی طرح ہوتا ہے جس کا مطلب یہ ہے کہ ہر وقت مختلف مادے سیل کے اندر اور باہر آ جا رہے ہوتے ہیں۔ سیل کے اندر مادے توڑے جاتے ہیں اور نئے مادے بنائے جاتے ہیں۔ سیل میں ہونے والے ان تمام افعال کو توانائی (انرجی) چلاتی ہے۔ جانداروں میں انرجی دو اشکال میں پائی جاتی ہے۔ کائنیٹک (kinetic) انرجی کام کرنے میں براہ راست شامل ہوتی ہے اور پوٹینشل (potential) انرجی مستقبل کے استعمال کے لیے ذخیرہ ہوتی ہے۔ پوٹینشل انرجی کیمیکل بانڈز میں ذخیرہ ہوتی ہے اور ان بانڈز کے ٹوٹنے پر یہ کائنیٹک انرجی کی شکل میں خارج ہوتی ہے۔

7.1 بائیوانرجیٹکس اور اے ٹی پی کا کردار Bioenergetics and the Role of ATP

بائیوانرجیٹکس سے مراد جانداروں میں انرجی کے تعلقات اور انرجی کی تبدیلیاں ہے۔

جاندار اپنی تیار کی ہوئی یا کھائی ہوئی خوراک کا میٹابولزم کر کے انرجی حاصل کرتے ہیں۔ اس خوراک کے بانڈز میں پوٹینشل انرجی موجود ہوتی ہے۔ جب یہ بانڈز توڑے جاتے ہیں تو عام طور پر کائینیٹک انرجی کی بہت بڑی مقدار خارج ہوتی ہے۔ اس میں سے کچھ کو تو اے ٹی پی (ATP) مالیکیولز کے بانڈز میں پوٹینشل انرجی بنا کر ذخیرہ کر لیا جاتا ہے جبکہ باقی ہیٹ (heat) انرجی کی شکل میں نکل جاتی ہے۔ اے ٹی پی میں ذخیرہ شدہ پوٹینشل انرجی کو زندگی کے افعال سرانجام دینے کے لیے دوبارہ کائی نیٹک انرجی میں تبدیل کیا جاتا ہے۔ (شکل 7.1)

یاد کریں:
پودے اور چند مائیکروآرگنزم (فوٹوسنتھیٹک بیکٹیریا اور الجی) کاربن ڈائی آکسائیڈ اور پانی سے روشنی کی موجودگی میں اپنی خوراک خود تیار کرتے ہیں (فوٹوسنتھیسز کے ذریعہ)۔ جبکہ جانور، فنجائی اور بہت سے مائیکروآرگنزمز (نان فوٹوسنتھیٹک بیکٹیریا اور پروٹوزوز) دوسروں سے تیار شدہ خوراک حاصل کرتے ہیں۔



شکل 7.1: جانداروں میں انرجی کی حالتوں میں چند تبدیلیاں
نوٹ کیجیے کہ ہر تبدیلی کے دوران حرارت خارج ہوتی ہے

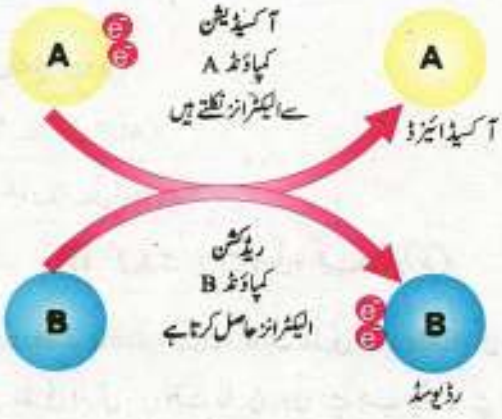
آکسیڈیشن ریڈکشن ری ایکشنز Oxidation Reduction Reactions

جانداروں میں ہونے والے مختلف اعمال میں انرجی کا بہاؤ ہوتا ہے۔ اس دوران انرجی حاصل کی جاتی ہے، اس کو ایک قسم سے دوسری میں تبدیل کیا جاتا ہے (transformation) اور اسے مختلف افعال مثلاً گروتھ، حرکت اور ریپروڈکشن وغیرہ کے لیے استعمال کیا جاتا ہے۔

زندگی کے تمام افعال کے لیے آکسیڈیشن ریڈکشن ری ایکشنز یعنی ری۔ڈوکس (redox) ری ایکشنز انرجی کا بلاواسطہ ذریعہ ہیں۔ ری۔ڈوکس ری ایکشنز کے دوران ایٹمز کے درمیان الیکٹرانز کا تبادلہ ہوتا ہے۔ کسی ایٹم سے الیکٹرانز کا نکل جانا آکسیڈیشن جبکہ کسی ایٹم کا الیکٹرانز حاصل کرنا ریڈکشن کہلاتا ہے۔

الیکٹرانز انرجی کا ذریعہ ہو سکتے ہیں اور اس بات کا انحصار ایٹم کے اندران کے مقام اور ترتیب سے ہے۔ مثال کے طور پر جب وہ آکسیجن میں موجود ہوں تو آکسیجن ایٹم کی ساتھ مستحکم تعلق بناتے ہیں اور انرجی کا اچھا ذریعہ نہیں ہوتے۔ لیکن جب الیکٹرانز کو آکسیجن سے دور کھینچ لیا جائے اور کسی دوسرے ایٹم مثلاً کاربن یا ہائیڈروجن کے ساتھ جوڑ دیا جائے تو وہ وہاں غیر مستحکم رشتہ بنا پاتے ہیں۔ ایسی حالت میں وہ دوبارہ آکسیجن کی طرف جانے کی کوشش کرتے ہیں اور جب وہ ایسا کرتے ہیں تو انرجی خارج ہوتی ہے۔

جانداروں میں ریڈوکس ری ایکشنز کے دوران ہائیڈروجن ایٹمز کا لین دین ہوتا ہے۔ ہم جانتے ہیں کہ ہائیڈروجن ایٹم میں ایک پروٹان اور ایک الیکٹران ہوتا ہے۔ اس کا مطلب ہے کہ جب ایک مالیکیول ایک ہائیڈروجن ایٹم چھوڑتا ہے تو دراصل وہ ایک الیکٹران چھوڑتا ہے (آکسیڈیشن) اور اسی طرح جب کوئی مالیکیول ہائیڈروجن ایٹم حاصل کرتا ہے تو دراصل وہ ایک الیکٹران حاصل کرتا (ریڈکشن) ہے۔



شکل 7.2: ری۔ڈوکس ری ایکشنز

اے ٹی پی - سیل کی انرجی کرنسی ATP - The Cell's Energy Currency

تمام سیلز کی بڑی انرجی کرنسی ایک نیوکلیوٹائیڈ (nucleotide) ہے جسے ایڈینوسین ٹرائی فاسفیٹ یعنی اے ٹی پی (Adenosine Triphosphate: ATP) کہتے ہیں۔ یہ سیل کے زیادہ تر افعال مثلاً میکرومالیکیولز (ڈی این اے، آر این اے، پروٹینز) کی تیاری، حرکات، نروامپلس کی ترسیل، ایکٹوٹرانسپورٹ، ایکسوسائٹوسس اور اینڈوسائٹوسس وغیرہ کے لیے انرجی کا اہم ذریعہ ہے۔

ATP کی انرجی ذخیرہ کرنے اور پھر خارج کرنے کی صلاحیت اس کے مالیکیول کی ساخت کی وجہ سے ہے۔ شکل 7.3 میں ATP کی ایک آسان ڈایاگرام دی گئی ہے۔ ہر ATP مالیکیول میں تین سب یونٹس (subunits) ہوتے ہیں۔

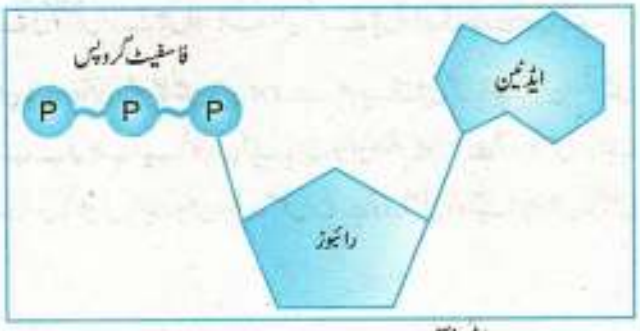
a- ایڈنین (adenine): ڈبل رنگ (ring) والی نائٹروجنس بیس (nitrogenous base)

b- رائبوز (ribose): 5 کاربن والی شوگر

c- سیدھی چین میں لگے 3 فاسفیٹ گروپس

1929ء میں کارل لومین (Karl Lohmann) نے اے ٹی پی کو دریافت کیا۔ اسے 1941ء میں نوبل انعام یافتہ فرز لپمین (Fritz Lipmann) نے انرجی کے تبادلہ کے اہم مالیکیول کے طور پر بیان کیا۔

چونکہ اے ٹی پی تمام جانداروں میں انرجی کرنسی کے طور پر مرکزی کردار ادا کرتا ہے، یہ زندگی کی ابتدائی تاریخ میں ہی معرض وجود میں آ گیا ہوگا۔



شکل 7.3: ایڈینوسین ٹرائی فاسفیٹ کا مالیکیولر سٹرکچر

دو فاسفیٹس کو ملانے والے کوویلینٹ (covalent) بانڈ کو ایک 'ٹلڈ ی' (~ tilde) کی علامت سے ظاہر کیا جاتا ہے اور یہ ایک ہائی- انرجی بانڈ ہے۔ اس بانڈ کی انرجی اس وقت خارج ہوتی ہے جب یہ ٹوٹتا ہے اور ATP سے ایک ان آرگینک (inorganic) فاسفیٹ (Pi) علیحدہ ہو جاتا ہے۔ فاسفیٹ کا ایک بانڈ ٹوٹنے سے ATP کے ایک مول (mole) سے تقریباً 7.3

کلوکیلوریز (kilocalories) یعنی 7300 کیلوریز انرجی خارج ہوتی ہے۔ اسے اس مساوات سے دکھایا جاسکتا ہے۔

$$ATP + H_2O \rightarrow ADP + P_i + \text{energy (7.3 kcal/mole)}$$

عمومی ری ایکشنز کے لیے دونوں ہائی انرجی بانڈز میں سے صرف بیرونی بانڈ ہی توڑا جاتا ہے۔ ایسا ہونے پر ATP تبدیل ہو کر ایڈینوسین ڈائی فاسفیٹ (ADP) بن جاتا ہے اور اس سے ایک Pi خارج ہوجاتا ہے۔ بعض اوقات ADP کو مندرجہ ذیل طریقہ سے مزید توڑا جاتا ہے اور ایڈینوسین مونو فاسفیٹ (AMP) اور Pi بنائے جاتے ہیں۔

سیلز جب ADP سے ATP یا AMP سے ADP تیار کرنے کے لیے انرجی استعمال کرتے ہیں تو حقیقتاً انرجی ذخیرہ کر رہے ہوتے ہیں جیسے کہ ہم بینک میں پیسہ جمع کرواتے ہیں۔

$$ADP + H_2O \rightarrow AMP + P_i + \text{energy (7.3 kcal/mole)}$$

سیلز ہر وقت ATP اور ADP کو ری سائیکل (recycle) کرتے رہتے ہیں۔ ADP اور Pi سے ATP کی تیاری کے لیے فی مول 7.3 کلوکیلوریز انرجی خرچ کرنا پڑتی ہے اور یہ انرجی خوراک کے مادہ کی آکسیڈیشن سے حاصل کی جاتی ہے۔ ہم مختصراً کہہ سکتے ہیں کہ انرجی خارج کرنے والے اعمال ATP بناتے ہیں جبکہ انرجی استعمال کرنے والے اعمال اسے توڑتے ہیں۔ اس طرح ATP میٹابولک ری ایکشنز کے مابین انرجی کے تبادلہ کا کام کرتا ہے۔

7.2 فوٹوسنتھی سیز Photosynthesis

کاربن ڈائی آکسائیڈ اور پانی سے سورج کی روشنی اور کلوروفل کی موجودگی میں گلوکوز تیار کرنا فوٹوسنتھی سیز کہلاتا ہے اور اس میں آکسیجن ایک بائی-پراڈکٹ (by-product) کے طور پر بنتی ہے۔ فوٹوسنتھی سیز ایک اینابولک (تعمیری) عمل ہے اور زندگی کے نظام میں بائیوانرجیٹکس کا ایک اہم حصہ ہے۔

یہ سب سے اہم بائیوکیمیکل سلسلہ ہے اور تقریباً تمام زندگی اس پر منحصر ہے۔ یہ بہت سے باربط بائیوکیمیکل ری ایکشنز پر مشتمل عمل ہے جو پودوں، چند پروٹسٹس (مثلاً الجی) اور چند بیکٹیریا میں ہوتا ہے۔ فوٹوسنتھی سیز کی ایک آسان مساوات مندرجہ ذیل ہے۔

$$6CO_2 + 12H_2O + \text{Light energy} \xrightarrow{\text{کلوروفل}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

لائٹ انرجی + پانی + کاربن ڈائی آکسائیڈ ← پانی + آکسیجن + گلوکوز

پانی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ کو جسم میں لے جانا Intake of Carbon dioxide and Water

> یاد کریں:
> پانی کا ممبرین کے ذریعہ ایک ڈائیلوٹ سولیوشن سے کنسنٹریٹڈ سولیوشن میں جانا اوسموسس کہلاتا ہے۔

پانی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ فوٹوسنتھی سیز میں خام مواد ہیں۔ پودوں کے پاس ان مادوں کو جسم میں لینے اور ترسیل کرنے کے لیے میکانزمز (mechanisms) موجود ہیں۔

مٹی میں موجود پانی کو جڑیں اور روٹ ہیئرز اوسموسس کے ذریعہ جذب کرتے ہیں۔ یہ پانی زائیلم ویسلز کے ذریعہ پتوں تک پہنچا دیا جاتا ہے۔

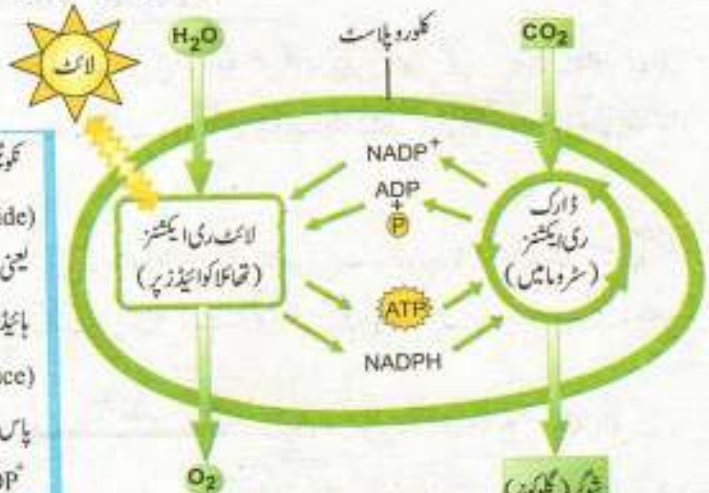
> سٹومیٹا پتے کی سطح کا صرف 2% - 1 حصہ ہی بناتے ہیں، لیکن وہ اپنے اندر سے کافی ہوا گزرنے کا موقع دیتے ہیں۔

چھوٹے سوراخوں یعنی سٹومیٹا کے ذریعہ جو ہوا پتے میں داخل ہوتی ہے وہ میزوفل ٹشوز کے گرد موجود ایئر سپیسز (air spaces) میں پہنچ جاتی ہے۔ اس ہوا میں کاربن ڈائی آکسائیڈ موجود ہوتی ہے جو میزوفل سیلز کی دیواروں پر لگے پانی میں جذب ہو جاتی ہے۔ یہاں سے، کاربن ڈائی آکسائیڈ میزوفل سیلز میں ڈفیوز کر جاتی ہے۔

7.2.1 فوٹوسنتھی سیز کا میکانزم Mechanism of Photosynthesis

فوٹوسنتھی سیز دو بڑے مراحل میں مکمل ہوتی ہے (شکل 7.4)۔ پہلے مرحلہ میں لائٹ انرجی کو استعمال کرکے ہائی انرجی مالیکیولز (ATP اور NADPH) بنائے جاتے ہیں۔ یہ ری ایکشنز کلوروپلاسٹس کی تھائلاکوائیڈ ممبرینز پر ہوتے ہیں اور لائٹ ری ایکشنز (light reactions) کہلاتے ہیں۔ دوسرے مرحلہ میں کاربن ڈائی آکسائیڈ کی ریڈکشن کرکے گلوکوز تیار کیا جاتا ہے۔ اس عمل میں ہائی انرجی مالیکیولز (ATP اور NADPH) کی انرجی استعمال ہوتی ہے۔ چونکہ ان ری ایکشنز میں براہ راست لائٹ انرجی

> نکوٹینامائیڈ ایڈینین ڈائی نیوکلیوٹائیڈ (Nicotinamide adenine dinucleotide) یعنی NAD^+ ایک کو-اینزائم ہے جو الیکٹرانز اور ہائیڈروجن آئنز لے کر NADH میں ریڈیوس (reduce) ہو جاتا ہے۔ اس کو-اینزائم کی ایک قسم کے پاس فاسفیٹ بھی ہوتا ہے اس لیے اسے $NADP^+$ کہتے ہیں۔



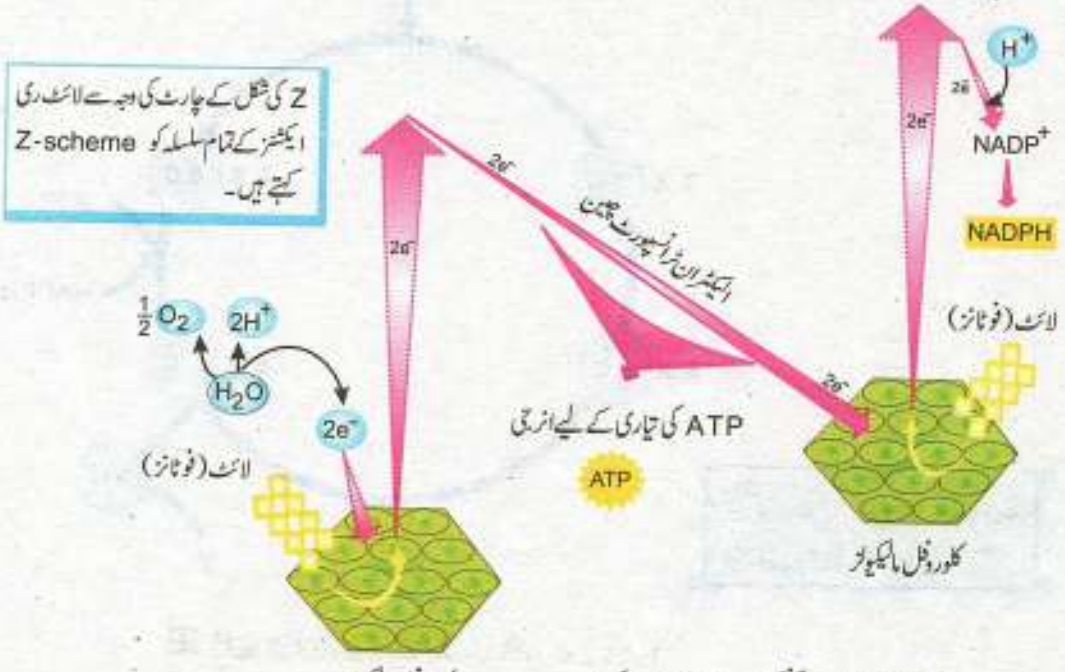
شکل 7.4: فوٹوسنتھی سیز کی سمری

استعمال نہیں ہوتی، اس لیے انہیں ڈارک ری ایکشنز (dark reactions) کہتے ہیں۔ ڈارک ری ایکشنز کلوروپلاسٹس کے سٹروما میں ہوتے ہیں۔

لائٹ ری ایکشنز Light Reactions

لائٹ ری ایکشنز کی سمری مندرجہ ذیل ہے۔

- جب کلوروفل مالیکیولز لائٹ کو جذب کرتے ہیں، ان کا انرجی لیول (energy level) بڑھ جاتا ہے اور ان میں سے الیکٹرانز خارج ہوتے ہیں۔
- یہ الیکٹرانز ایک الیکٹران ٹرانسپورٹ چین (electron transport chain) پر سے گزرتے ہیں اور اپنے اندر موجود انرجی سے ATP بناتے ہیں۔
- لائٹ انرجی پانی کے ایک مالیکیول کو بھی توڑتی ہے جس سے آکسیجن خارج ہوتی ہے۔ اسے پانی کی فوٹولائیسز (photolysis) کہتے ہیں۔ اس کے دوران بننے والے ہائیڈروجن ایٹمز کلوروفل کو الیکٹرانز دے دیتے ہیں اور خود آئنز بن جاتے ہیں۔
- کلوروفل کے الیکٹرانز (ATP بنا لینے کے بعد) اور پانی کے ہائیڈروجن آئنز کو استعمال کر کے $NADP^+$ کی ریڈکشن کی جاتی ہے اور NADPH بنا لیا جاتا ہے۔

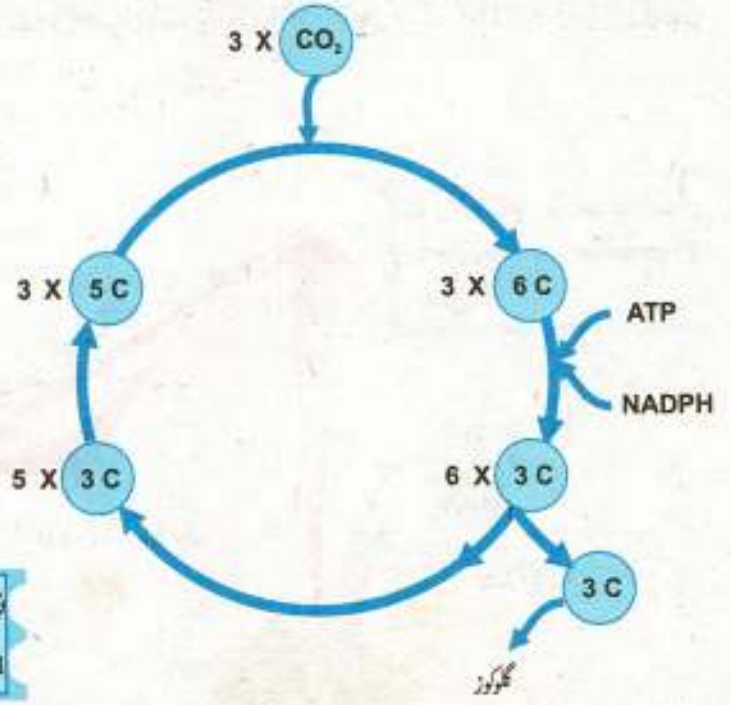


شکل 7.5: فوٹوسنتھیسز کے لائٹ ری ایکشنز

ڈارک ری ایکشنز (کیلون سائیکل) Dark Reactions (Calvin Cycle)

ڈارک ری ایکشنز کی تفصیلات کو یونیورسٹی آف کیلیفورنیا کے میلون کیلون (Malvin Calvin) اور اس کے ساتھیوں نے دریافت کیا تھا۔ ڈارک ری ایکشنز، جنہیں کیلون سائیکل بھی کہتے ہیں، کی سمری مندرجہ ذیل ہے (شکل 7.6)۔

- کاربن ڈائی آکسائیڈ کو پہلے سے موجود 5- کاربن والے کمپاؤنڈز کے ساتھ ملایا جاتا ہے جس کے نتیجہ میں 6- کاربن والے عارضی کمپاؤنڈز بنتے ہیں۔ ان میں سے ہر کمپاؤنڈ 3- کاربن والے دو کمپاؤنڈز میں ٹوٹ جاتا ہے۔
- 3- کاربن والے کمپاؤنڈز کی ریڈکشن کر کے 3- کاربن والے کاربوہائیڈریٹس بنائے جاتے ہیں۔ اس عمل کے لیے ATP اور NADPH کی ہائیڈروجن استعمال ہوتی ہے۔ 3- کاربن والے کاربوہائیڈریٹس کو گلوکوز بنانے کے لیے استعمال کیا جاتا ہے۔
- 3- کاربن والے کاربوہائیڈریٹس کو استعمال کر کے آغاز میں استعمال ہونے والے 5- کاربن والے کمپاؤنڈز بھی دوبارہ بنا لیے جاتے ہیں۔ اس مرحلہ میں بھی ATP استعمال ہوتے ہیں۔



فوٹوسنتھی سیز کی تفصیلات پر کام کرنے پر کیلون کو 1961ء میں نوبل انعام دیا گیا۔

شکل 7.6: فوٹوسنتھی سیز کے ڈارک ری ایکشنز (کیلون سائیکل)

؟ ڈارک ری ایکشنز کے دوران 3- کاربن والے کمپاؤنڈز کی ریڈکشن کر کے کاربوہائیڈریٹس بنائے جاتے ہیں۔ اس ریڈکشن کے لیے ہائیڈروجن کا ابتدائی ماخذ کیا ہے؟

7.2.2 کلوروفل اور روشنی کا کردار Role of Chlorophyll and Light

نظر آنے والی روشنی جذب کرنے والے مادوں کو پگمنٹ کہتے ہیں۔ مختلف پگمنٹس مختلف ویولینتھ کی روشنی (مختلف رنگ) کو جذب کرتے ہیں۔

سورج کی روشنی کو کلوروفل جذب کرتا ہے۔ بعد میں اسے کیمیکل انرجی میں تبدیل کیا جاتا ہے جو فوٹوسنتھی سیز کے تمام عمل کو چلاتی ہے۔ پتے پر پڑنے والی روشنی میں سے صرف 1% ہی جذب ہوتی ہے۔ پڑنے والی باقی روشنی ریفلیکٹ (reflect) یا ٹرانسمٹ (transmit) ہو جاتی ہے۔ فوٹوسنتھی سیز کے پگمنٹس روشنی کی مختلف ویو لینتھ (wavelength) کی شعاعوں کو نہ صرف مختلف مقدار میں جذب کرتے ہیں بلکہ یہ شعاعیں فوٹوسنتھی سیز میں بھی مختلف اثرات دکھاتی ہیں۔ نیلی اور سرخ روشنیاں فوٹوسنتھی سیز میں زیادہ موثر ہوتی ہیں۔

فوٹوسنتھی سیز کے پگمنٹس کلوروپلاسٹس کی تھائلا کوائڈ ممبرینز پر گچھوں یعنی فوٹوسسٹمز (photosystems) کی شکل میں پائے جاتے ہیں۔ کلوروفل-a سب سے اہم پگمنٹ ہے۔ دوسرے پگمنٹس کو اضافی (accessory) پگمنٹس کہتے ہیں اور ان میں کلوروفل-b اور کیروٹینوائڈز (carotenoids) شامل ہیں۔ کلوروفلز بنیادی طور پر نیلے اور سرخ رنگ کی روشنی جذب کرتے ہیں۔ جن ویولینتھز کو کلوروفل-a جذب نہیں کرتا انہیں اضافی پگمنٹس جذب کر لیتے ہیں (اور اس کے بالعکس بھی)۔

7.2.3 فوٹوسنتھی سیز میں لمٹنگ فیکٹرز Limiting Factors in Photosynthesis

ایسا ماحولیاتی عنصر (factor) جس کی غیر موجودگی یا کمی کسی میٹابولک ری ایکشن کی رفتار کم کر دے، اس مخصوص ری ایکشن کے لیے لمٹنگ فیکٹر کہلاتا ہے۔ ماحول کے کئی عناصر مثلاً روشنی کی شدت، ٹمپریچر، کاربن ڈائی آکسائیڈ کی کنسنٹریشن اور پانی کی دستیابی فوٹوسنتھی سیز کے لیے لمٹنگ فیکٹرز ہوتے ہیں۔

روشنی کی شدت اور ٹمپریچر کا اثر Effect of Light Intensity and Temperature

روشنی کی شدت کے ساتھ ساتھ فوٹوسنتھی سیز کی رفتار تبدیل ہوتی رہتی ہے۔ روشنی کی شدت کم ہونے سے فوٹوسنتھی سیز کی رفتار کم ہوتی ہے اور شدت بڑھنے سے بڑھتی ہے۔ تاہم روشنی کے بہت زیادہ شدید ہو جانے پر فوٹوسنتھی سیز کی رفتار مزید نہیں بڑھتی اور مستقل ہو جاتی ہے۔

ٹمپریچر کم ہونے سے فوٹوسنتھی سیز کی رفتار کم ہوتی ہے۔ جب ٹمپریچر ایک مناسب حد تک بڑھے تو فوٹوسنتھی سیز کی رفتار میں اضافہ ہوتا ہے۔ لیکن اگر روشنی کی شدت مستقل رہے تو ٹمپریچر بڑھنے کا فوٹوسنتھی سیز کی رفتار پر اثر کم ہوتا ہے۔

کاربن ڈائی آکسائیڈ کی کنسنٹریشن کا اثر Effect of Carbon dioxide Concentration

کاربن ڈائی آکسائیڈ کی کنسنٹریشن بڑھنے سے فوٹوسنتھی سیز کی رفتار اس وقت تک بڑھتی ہے جب تک دوسرے عوامل اسے کم نہ کردیں۔ کاربن ڈائی آکسائیڈ کی کنسنٹریشن میں ایک حد سے زیادہ اضافہ سٹومیٹا بند ہوجانے کی وجہ بنتا ہے اور اس سے فوٹوسنتھی سیز کی رفتار کم ہوجاتی ہے۔

پریکٹیکل ورک
فوٹوسنتھی سیز کا ثبوت

فوٹوسنتھی سیز کے عمل کو ایک آبی پودا، جیسے کہ ہائیڈریلا (*Hydrilla*)، استعمال کر کے ثابت کیا جاسکتا ہے۔ ہم جانتے ہیں کہ فوٹوسنتھی سیز کے دوران آکسیجن ایک بائی-پراڈکٹ کے طور پر خارج ہوتی ہے۔ اس لیے ایک تجرباتی سامان سے آکسیجن کا اخراج فوٹوسنتھی سیز ہونے کی دلیل ہوگا۔

پرابلم: کیا ہائیڈریلا تمام ضروری عناصر فراہم کیے جانے کے بعد فوٹوسنتھی سیز کرتا ہے؟

ہائپوتھیسز: ہائیڈریلا ایک آبی پودا ہے جو کاربن ڈائی آکسائیڈ اور پانی استعمال کر کے فوٹوسنتھی سیز کرتا ہے اور اسکے ساتھ ہی آکسیجن بھی خارج کرتا ہے۔

ڈیڈکشن: پودے کے جسم سے آکسیجن کا اخراج فوٹوسنتھی سیز کا ثبوت ہوگا۔

ضروری سامان: ہائیڈریلا کی تازہ شاخیں، 500 ml بیکر، فنل، ٹیسٹ ٹیوب، پوٹاشیم بائی کاربونیٹ، ماچس، پانی کا ٹب

پس منظر معلومات: کاربن ڈائی آکسائیڈ اور پانی فوٹوسنتھی سیز کے خام مواد ہیں۔ جب پانی میں پوٹاشیم بائی کاربونیٹ حل کیا جائے تو یہ کاربونیٹ اور ہائیڈروجن آئنز میں ٹوٹ جاتا ہے اور کاربونیٹ آئنز کاربن ڈائی آکسائیڈ بنا دیتے ہیں۔

پروسیجر:

1. 500 ml بیکر کو پانی سے آدھا بھر لیں۔
2. ہائیڈریلا کی تازہ شاخیں لیں اور انہیں ایک فنل کی چوڑی سائیڈ میں رکھیں۔ فنل کو شکل 7.7 کے مطابق بیکر میں رکھیں۔
3. فنل کے ٹیوب والے حصہ پر ایک ٹیسٹ ٹیوب الٹی رکھیں۔ (مندرجہ بالا کام تمام اپریٹس کو پانی کے ٹب میں رکھ کر کریں تاکہ ٹیسٹ ٹیوب میں ہوا داخل نہ ہونے پائے۔ تیسرے سٹیپ کے بعد اپریٹس کو پانی سے باہر لے آئیں۔)
4. بیکر کے پانی میں پوٹاشیم بائی کاربونیٹ کی کچھ مقدار ڈالیں۔
5. تمام سامان کو سورج کی روشنی میں رکھیں اور مشاہدہ کریں۔

مشاہدہ: ٹیسٹ ٹیوب میں بلبلے پیدا ہوں گے اور یہ ٹیوب کے اوپری کنارے کی طرف جمع ہوجائیں گے۔

نتیجہ: شاخوں نے بلبلوں کی شکل میں آکسیجن گیس خارج کردی ہے۔

تصدیق: جب ٹیسٹ ٹیوب میں کافی گیس جمع ہو جائے تو ٹیوب کے منہ پر انگوٹھا رکھ کر اسے اٹھائیں۔ ایک جلتی ہوئی دیا سلائی ٹیوب کے اندر لے جائیں۔ اس کا شعلہ مزید بھڑکتا ہے جو اس بات کی تصدیق ہے کہ ٹیوب کے اندر موجود گیس آکسیجن ہے۔

غلطی کا تجزیہ: یہ تجربہ اس صورت میں متوقع نتیجہ نہیں دے گا جب فوٹوسنتھی سیز کے لیمنگ فیکٹرز مثلاً کاربن ڈائی آکسائیڈ، پانی، روشنی اور کلوروفل میں سے کوئی بھی غیر موجود ہو۔ اسی طرح اگر تجربہ میں گیس کے بلبلے نظر نہ آئیں تو پودے کی شاخیں مردہ اور گلی سڑی ہو سکتی ہیں۔

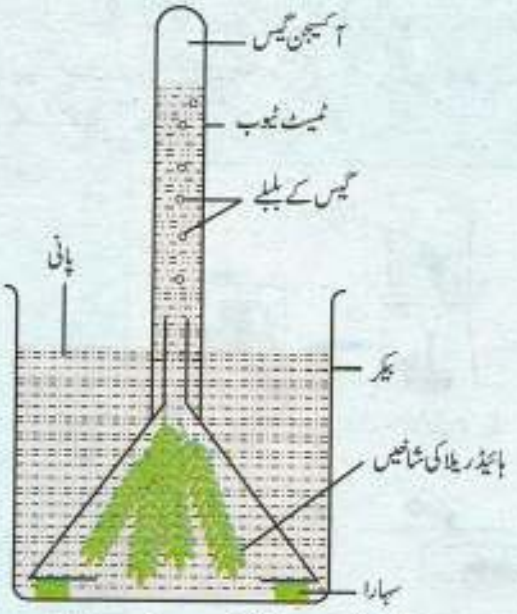
جائزہ:

i. فوٹوسنتھی سیز کے دو مراحل ہیں یعنی لائٹ ری ایکشنز اور ڈارک ری ایکشنز۔ آکسیجن کونسے مرحلہ میں پیدا ہوتی ہے؟

ii. تجربہ میں ہائیڈریلا کی تازہ شاخیں استعمال کرنا کیوں ضروری تھا؟

iii. تصدیق کے لیے آپ نے جلتی ہوئی دیا سلائی کیوں استعمال کی؟

iv. فوٹوسنتھی سیز کے دوران آکسیجن کے علاوہ اور کون سے پراڈکٹس بنتے ہیں؟



شکل 7.7: فوٹوسنتھی سیز ثابت کرنے کے لیے تجربہ کا سیٹ اپ

پریکٹیکل ورک

سٹارچ کی موجودگی کی تحقیق

ہم جانتے ہیں کہ فوٹوسنتھی سیز میں پودے کاربن ڈائی آکسائیڈ کی ریڈکشن کر کے گلوکوز تیار کرتے ہیں۔ زیادہ تر پودوں میں تیار شدہ گلوکوز کو سٹارچ میں تبدیل کر دیا جاتا ہے۔ اسطرح پتے میں سٹارچ کی موجودگی تصدیق کرتی ہے کہ پتے نے فوٹوسنتھی سیز کی ہے۔ سٹارچ کی موجودگی کو سٹارچ ٹیسٹ کے ذریعہ جانچا جاتا ہے۔

پرابلم: یہ کیسے معلوم ہوگا کہ پتے میں سٹارچ موجود ہے؟

ہائپوتھیسز: ایک تازہ پتا فوٹوسنتھی سیز کر چکا ہے اور اس کے سیلز میں سٹارچ جمع ہو چکی ہے۔

ڈیڈکشن: اگر تجرباتی پتے کو سٹارچ ٹیسٹ سے گزارا جائے تو یہ سٹارچ کے لیے مثبت نتیجہ دے گا۔

ضروری سامان: تازہ پتے، 500 ml بیکر، فورسپس (foreceps)، ٹیسٹ ٹیوب، ایتھانول، ڈائلوٹ آئیوڈین سولیوشن، ڈراپر، پیٹری ڈش

پس منظر معلومات:

جب کوئی پتا کچھ دیر کے لیے ابلتے پانی میں رکھا جائے تو یہ مر جاتا ہے اور نرم ہو جاتا ہے۔

جب نرم پتے کو ایتھانول میں ابالا جائے تو اس کا کلوروفل نکل جاتا ہے۔ نرم اور بے رنگا پتا سٹارچ ٹیسٹ میں جانچا جا سکتا ہے۔

جب سٹارچ کو ڈائلوٹ آئیوڈین سولیوشن سے ٹیسٹ کیا جاتا ہے تو یہ نیلا رنگ دیتی ہے۔

پروسیجر:

1. ابلتے پانی میں ایک پتے کو دس سیکنڈز کے لیے رکھیں۔
2. پتے کو ابلتے پانی سے نکال کر ایتھانول والی ٹیسٹ ٹیوب میں رکھ دیں۔
3. ٹیسٹ ٹیوب کو دس منٹ کے لیے گرم پانی والے بیکر میں رکھ دیں۔ ایتھانول ابلنا شروع کر دیتا ہے اور اس میں موجود پتا بے رنگا ہو جاتا ہے۔
4. پتے کو بیکر میں موجود پانی میں اوپر نیچے حرکت دے کر دھوئیں اور دھلا ہوا پتا ایک پیٹری ڈش میں رکھ دیں۔
5. پتے پر سٹارچ ٹیسٹ کریں۔ اس کے لیے پتے پر آئیوڈین سولیوشن کے قطرے گرائیں۔

مشاہدہ: پتا سیاہی مائل نیلے رنگ کا ہو جائیگا۔

نتیجہ: پتے میں سٹارچ موجود ہے۔

شکل 7.8: سٹارچ ٹیسٹ کے تجربہ کا سیٹ اپ

غلطی کا تجزیہ: اگر پتے کو ابلتے پانی میں زیادہ دیر کے لیے رکھا جائے تو اس میں موجود سٹارچ کے مالیکیولز ٹوٹ جاتے ہیں۔ ایسا پتا سٹارچ ٹیسٹ کے متوقع نتائج نہیں دیتا۔

جائزہ:

i. پتے نے سٹارچ کہاں سے حاصل کی؟

ii. پتے کو ایتھانول میں کیوں رکھا گیا؟

پریکٹیکل ورک

اس بات کی تحقیق کرنا کہ فوٹوسنتھی سیز کے لیے کلوروفل ضروری ہے

میزوفل ٹشو کے سیلز کے کلوروپلاسٹس کے اندر کلوروفل موجود ہوتا ہے۔ ایسے پتے جن کا کلوروفل کسی بیماری کی وجہ سے یا سالٹس کی کمی کی وجہ سے ختم ہو چکا ہو، فوٹوسنتھی سیز نہیں کر سکتے اور آخر کار مر جاتے ہیں۔

پرابلم: کیا فوٹوسنتھی سیز کی لیے کلوروفل لازمی ہے؟

ہائپوتھیسز: فوٹوسنتھی سیز کے لیے کلوروفل لازمی ہے۔

ڈیڈکشن: پتے کے ایسے حصے جہاں کلوروفل موجود نہیں ہوتا وہاں تو فوٹوسنتھی سیز نہیں ہوگی اور اسلئے ان حصوں میں سٹارچ کی تیاری بھی نہیں ہوگی۔

ضروری سامان: ایک ویریگیٹڈ (variegated) پتا مثلاً جیرینیم (*Geranium*) کا پتا، 500 ml بیکر، فورسیپس، ٹیسٹ ٹیوب، ایتھانول، ڈائلیوٹ آئیوڈین سولیوشن، ڈراپر، پیٹری ڈش

پس منظر معلومات:

- کچھ پتوں کی سبز سطح پر زرد حصے پائے جاتے ہیں۔ ایسے حصے کلوروفل (کلوروپلاسٹس) کی غیر موجودگی کی نشاندہی کرتے ہیں۔ ایسے نشان زدہ پتوں کو ویریگیٹڈ پتے کہا جاتا ہے۔
- فوٹوسنتھی سیز کا وقوع پذیر ہونا سٹارچ ٹیسٹ کے ذریعہ سٹارچ کی موجودگی معلوم کر کے ثابت کیا جا سکتا ہے۔

پروسیجر:

1. گملے میں لگا ایک ایسا پودا لیں جس پر ویریگیٹڈ پتے لگے ہوں مثلاً جیرینیم کا پودا۔
2. پودے کو گملے سمیت کئی دنوں تک روشنی میں رکھیں تاکہ اس میں فوٹوسنتھی سیز ہو سکے۔
3. پودے کا ایک ویریگیٹڈ پتا علیحدہ کریں اور کاپی میں اس کی بالائی سطح کی تصویر بنائیں۔ تصویر میں سبز اور غیر سبز حصوں میں واضح فرق ہونا چاہیے۔
4. سارے پتے پر سٹارچ ٹیسٹ کریں۔

مشاہدہ: پتے کے سبز رنگ (کلوروفل) والے حصے سیاہی مائل نیلے ہو جائیں گے جبکہ غیر سبز حصے بے رنگ ہی رہیں گے۔

نتیجہ: غیر سبز حصوں میں سٹارچ موجود نہیں ہے۔ دوسرے لفظوں میں ان غیر سبز حصوں میں تو فوٹوسنتھی سیز کا عمل نہیں ہوا۔

غلطی کا تجزیہ: اگر غیر سبز کے ساتھ ساتھ سبز حصے بھی سٹارچ کی موجودگی نہیں دکھاتے تو اس کا مطلب ہے کہ پودے کو دوسرے ضروری متغیرات مثلاً روشنی، کاربن ڈائی آکسائیڈ، پانی وغیرہ میں سے کوئی میسر نہیں تھا۔

شکل 7.9: فوٹوسنتھی سیز کے لیے کلوروفل کی ضرورت کو ثابت کرنے کے لیے ٹیسٹ

جائزہ:

i. اگر پتے کے غیر سبز حصوں میں فوٹوسنتھی سیز نہیں ہوتی تو وہ زندہ کیسے ہیں؟
ii فوٹوسنتھی سیز کے کون سے مرحلہ میں کلوروفل اپنا کردار ادا کرتا ہے؟
iii. کلوروفل-a پرنسپل پگمنٹ ہے۔ اضافی پگمنٹس کون سے ہیں؟

پریکٹیکل ورک

اس بات کی تحقیق کرنا کہ فوٹوسنتھی سیز کے لیے روشنی ضروری ہے

لائٹ انرجی کلوروفل کے الیکٹرانز کو جوش دیتی (انرجی لیول بلند کرتی) ہے جو بعد میں ATP بناتے ہیں اور کاربن ڈائی آکسائیڈ کی ریڈکشن میں استعمال ہوتے ہیں۔ اس طرح لائٹ انرجی گلوکوز کے بانڈز میں کیمیکل انرجی کی صورت میں ذخیرہ ہو جاتی ہے۔

پرابلم: کیا فوٹوسنتھی سیز کے لیے روشنی لازمی ہے؟

ہائپوتھیسز: فوٹوسنتھی سیز کے لیے روشنی لازمی ہے۔

ڈیڈکشن: پتے کے ایسے حصے جن کو مناسب مقدار میں روشنی میسر نہ ہو وہاں فوٹوسنتھی سیز نہیں ہوگی اور اس لیے ان حصوں میں سٹارچ کی تیاری بھی نہیں ہوگی۔

ضروری سامان: صحت مند پتوں کے ساتھ ایک گملے میں لگا پودا، 500 ml بیکر، فورسیپس، ٹیسٹ ٹیوب، ایتھانول، ڈائیلوٹ آئیوڈین سولیوشن، ڈراپر، پیٹری ڈش

پس منظر معلومات:

- اگر ایک پودے کو کئی دنوں تک اندھیرے میں رکھا جائے تو وہ اپنا ذخیرہ شدہ سٹارچ استعمال کر لیتا ہے اور اس طرح ڈی۔سٹارچ (destarch) ہو جاتا ہے۔
- کالا کاغذ پتے پر پڑنے والی روشنی کو روک سکتا ہے۔
- فوٹوسنتھی سیز کا وقوع پذیر ہونا سٹارچ ٹیسٹ کے ذریعہ سٹارچ کی موجودگی معلوم کر کے ثابت کیا جا سکتا ہے۔

پروسیجر:

1. گملے میں لگا ایک ایسا پودا لیں اور اسے تین دن تک اندھیرے میں رکھیں تا کہ اس کے پتے ڈی۔سٹارچ ہو جائیں۔
2. کالے کاغذ کی ایک پٹی پتے کی بالائی اور زیریں جانب شکل 7.10 کے مطابق لگائیں۔
3. پودے کو گملے سمیت کم از کم 5 گھنٹوں تک روشنی میں رکھیں تا کہ اس میں فوٹوسنتھی سیز ہو سکے۔
4. تجرباتی پتا اتاریں اور اس پر سٹارچ ٹیسٹ کریں۔ نتائج دکھانے کے لیے ڈرائنگ بھی بنائیں۔

مشاہدہ: پتے کا وہ حصہ جس پر کالے کاغذ کی پٹی لگائی گئی تھی بے رنگا ہی رہے گا جبکہ دوسرے حصے سیاہی مائل نیلے ہو جائیں گے۔

نتیجہ: پتے کا وہ حصہ جسے کالے کاغذ سے ڈھانپا گیا تھا اس میں سٹارچ موجود نہیں ہے۔ دوسرے لفظوں میں اس حصہ میں فوٹوسنتھی سیز کا عمل نہیں ہوا۔

غلطی کا تجزیہ: اگر ڈھانپے گئے حصہ میں بھی سٹارچ کی موجودگی دکھائی دے تو اس کا مطلب ہے کہ اندھیرے میں رکھنے پر یہ مکمل طور پر ڈی۔سٹارچ نہیں ہوا تھا۔

جائزہ:

i. اگر فوٹوسنتھی سیز کے لیے روشنی ضروری ہے تو پودے کے دوسرے حصے جن پر روشنی پڑتی ہے وہ فوٹوسنتھی سیز کیوں نہیں کرتے؟

ii. روشنی کو زیادہ سے زیادہ جذب کرنے کے لیے پتوں میں کیا مطابقتیں (adaptations) پائی جاتی ہیں؟

iii. پتے روشنی کے کون سے رنگوں کو سب سے کم جذب کرتے ہیں؟

شکل 7.10: فوٹوسنتھی سیز کے لیے روشنی کی ضرورت کو ثابت کرنے کے لیے ٹیسٹ

پریکٹیکل ورک

اس بات کی تحقیق کرنا کہ فوٹوسنتھی سیز کے لیے کاربن ڈائی آکسائیڈ ضروری ہے

فوٹوسنتھی سیز میں کاربن ڈائی آکسائیڈ کی ریڈکشن کر کے کاربوہائیڈریٹس (گلوکوز) بنائے جاتے ہیں۔ پودے کاربن ڈائی آکسائیڈ اس ہوا سے حاصل کرتے ہیں جو ان کے پتوں میں سٹومیٹا کے ذریعہ داخل ہوتی ہے۔

پرابلم: کیا فوٹوسنتھی سیز کے لیے کاربن ڈائی آکسائیڈ لازمی ہے؟

ہائپوتھیسز: فوٹوسنتھی سیز کے لیے کاربن ڈائی آکسائیڈ لازمی ہے۔

ڈیڈکشن: پتے کے ایسے حصے جن کو کاربن ڈائی آکسائیڈ میسر نہ ہو وہاں فوٹوسنتھی سیز نہیں ہوگی اور اس لیے ان حصوں میں سٹارچ کی تیاری بھی نہیں ہوگی۔

ضروری سامان: صحت مند پتوں کے ساتھ ایک گملے میں لگا پودا، 500 ml بیکر، فورسیپس، ٹیسٹ ٹیوب، ایتھانول، ڈائیلوٹ آئیوڈین سولیوشن، ڈراپر، پیٹری ڈش، پوٹاشیم ہائیڈروآکسائیڈ سولیوشن، ربر کارک کے ساتھ شیشہ کی ایک فلاسک

پس منظر معلومات:

- اگر ایک پودے کو کئی دنوں تک اندھیرے میں رکھا جائے تو وہ اپنا ذخیرہ شدہ سٹارچ استعمال کر لیتا ہے اور اس طرح ڈی-سٹارچ (destarch) ہو جاتا ہے۔
- پوٹاشیم ہائیڈروآکسائیڈ اپنے اردگرد موجود کاربن ڈائی آکسائیڈ جذب کر لیتا ہے۔
- فوٹوسنتھی سیز کا وقوع پذیر ہونا سٹارچ ٹیسٹ کے ذریعہ سٹارچ کی موجودگی معلوم کر کے ثابت کیا جا سکتا ہے۔

پروسیجر:

1. گملے میں لگا ایک پودا لیں اور اسے تین دن تک اندھیرے میں رکھیں تا کہ اس کے پتے ڈی۔ سٹارچ ہو جائیں۔
2. شیشہ کی فلاسک میں پوٹاشیم ہائیڈروآ کسائیڈ لیں اور فلاسک کے منہ پر ربڑ کارک فٹ کر دیں۔ فٹ کرنے سے پہلے کارک کے لمبائی کے رخ دو ٹکڑے کر لیں۔
3. ڈی۔ سٹارچ کئے ہوئے پودے کا ایک پتا منتخب کریں (اس پتے کو پودے پر سے اتاریں نہیں)۔ اس پتے کے آدھے حصہ کو کارک میں موجود شگاف میں سے اس طرح گزاریں کہ پتے کا آدھا حصہ فلاسک کے اندر اور آدھا باہر ہو (شکل 7.11)۔
4. پودے کو مناسب روشنی والی جگہ پر 5 گھنٹوں کے لیے رکھ دیں۔
5. تجرباتی پتا اتاریں اور سٹارچ ٹیسٹ کریں۔ نتائج دکھانے کے لیے ڈرائنگ بھی بنائیں۔

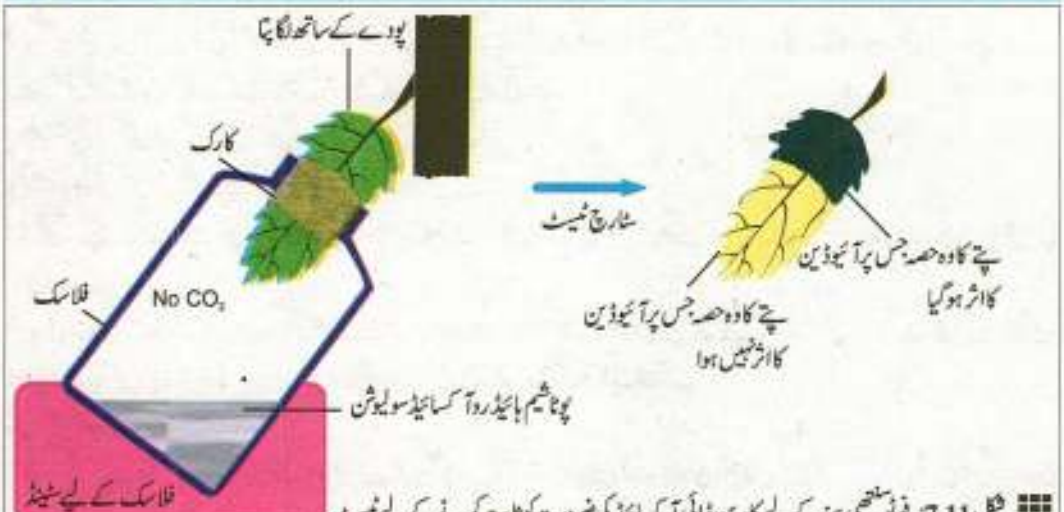
مشاہدہ: پتے کا وہ حصہ جو فلاسک کے اندر تھا بے رنگے ہی رہے گا جبکہ دوسرے حصہ جو تازہ ہوا میں تھا سیاہی مائل نیلا ہو جائیگا۔

نتیجہ: فلاسک کی ہوا میں موجود کاربن ڈائی آکسائیڈ کو پوٹاشیم ہائیڈروآکسائیڈ نے جذب کر لیا تھا۔ اس لیے پتے فلاسک کے اندر والا حصہ فوٹوسنتھی سیز نہیں کر سکا اور اس میں سٹارچ موجود نہیں ہے۔

غلطی کا تجزیہ: اگر فلاسک کے اندر والے حصہ میں بھی سٹارچ کی موجودگی دکھائی دے تو اس کا مطلب ہے کہ ربڑ کارک میں شگاف ضرورت سے زیادہ چوڑا تھا جس سے کچھ ہوا فلاسک میں داخل ہو گئی۔

جائزہ:

i. فلاسک کے اندر والا حصہ سٹارچ کیوں نہ بنا سکا؟
ii. فلاسک کے اندر ہوا میں موجود کاربن ڈائی آکسائیڈ کہاں گئی؟



شکل 7.11: فوٹوسنتھی سیز کے لیے کاربن ڈائی آکسائیڈ کی ضرورت کو ثابت کرنے کے لیے ٹیسٹ

پیلی سیڈ میزوفل میں کلوروپلاسٹس کی تعداد سپونجی میزوفل کی نسبت زیادہ ہوتی ہے۔ ایسا کیوں ہے؟

7.3 ریسپریشن Respiration

سیلولر ریسپریشن میں خوراک کی آکسیڈیشن ہوتی ہے اور کاربن ڈائی آکسائیڈ بن جاتی ہے، جبکہ آکسیجن کی ریڈکشن ہوتی ہے اور پانی بن جاتا ہے۔

جب ہم ایندھن جلاتے ہیں تو یہ آکسیجن استعمال کرتا ہے اور روشنی اور حرارت کی شکل میں توانائی پیدا کرتا ہے۔ جلنے کے اس عمل میں آکسیجن ایندھن کے مالیکیولز میں موجود C-H بانڈز توڑنے کے لیے استعمال ہوتی ہے۔ بالکل اسی طرح جاندار بھی اپنے سیلز میں خوراک کے C-H بانڈز توڑنے کے لیے آکسیجن استعمال کرتے ہیں۔ اس عمل میں بھی انرجی پیدا ہوتی ہے جسے ATP میں بدل دیا جاتا ہے۔ اس عمل کے دوران C-H بانڈز کو آکسیڈیشن-ریڈکشن ری ایکشنز سے توڑا جاتا ہے۔ اس لیے کاربن ڈائی آکسائیڈ اور پانی بھی بنتے ہیں۔ سیلز کے اندر انرجی پیدا کرنے والے عمل کو سیلولر ریسپریشن (cellular respiration) کہتے ہیں۔

7.3.1 ایروبک اور این ایروبک ریسپریشن Aerobic and Anaerobic Respiration

سیلولر ریسپریشن کے ذریعہ انرجی حاصل کرنے کے لیے سب سے زیادہ استعمال ہونے والا ایندھن گلوکوز ہے۔ گلوکوز کو کس طرح اس مقصد کے لیے استعمال کیا جاتا ہے، اس بات کا انحصار آکسیجن کی دستیابی پر ہے۔ آکسیجن کی موجودگی میں ہونے والی سیلولر ریسپریشن ایروبک ریسپریشن کہلاتی ہے جبکہ وہ جو آکسیجن کی غیر موجودگی میں ہوا سے این ایروبک ریسپریشن کہتے ہیں۔

i. ایروبک ریسپریشن Aerobic Respiration

آکسیجن کی موجودگی میں گلوکوز کی مکمل آکسیڈیشن کر دی جاتی ہے اور انرجی کا اخراج زیادہ سے زیادہ ہوتا ہے۔ ایروبک ریسپریشن کے پہلے مرحلہ میں گلوکوز (6- کاربن) کے ایک مالیکیول کو 3- کاربن والے پائی رووک ایسڈ (pyruvic acid) کے دو مالیکیولز میں توڑا جاتا ہے۔ دوسرے مرحلہ میں پائی رووک ایسڈ کے مالیکیولز کی مکمل آکسیڈیشن کر دی جاتی ہے یعنی ان میں موجود تمام C-H بانڈز توڑ دیے جاتے ہیں۔ اس طرح کاربن ڈائی آکسائیڈ اور پانی بن جاتے ہیں اور پائی رووک ایسڈ میں موجود تمام انرجی خارج ہو جاتی ہے۔ مجموعی ری ایکشن ایسے ہے۔

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{Energy}$$

گلوکوز + آکسیجن ← کاربن ڈائی آکسائیڈ + پانی + انرجی

ii. این ایروبک ریسپریشن (فرمنٹیشن) Anaerobic Respiration (Fermentation)

آکسیجن کی غیر موجودگی میں گلوکوز کی نامکمل آکسیڈیشن ہوتی ہے اور کم انرجی خارج ہوتی ہے۔ این ایروبک ریسپریشن کا پہلا مرحلہ

ایروبک ریسپریشن جیسا ہی ہے یعنی اس کے آغاز میں بھی گلوکوز کا ایک مالیکیول پائی رووک ایسڈ کے دو مالیکیولز میں توڑا جاتا ہے۔ لیکن آکسیجن کی غیر موجودگی کی وجہ سے دوسرے مرحلہ میں پائی رووک ایسڈ کی مکمل آکسیڈیشن نہیں ہوسکتی۔ پائی رووک ایسڈ کو ایتھائل الکحل (ethyl alcohol) یا لیکٹک ایسڈ (lactic acid) میں تبدیل کردیا جاتا ہے۔ اس طرح ان پراڈکٹس میں بہت سے C-H بانڈز ٹوٹے بغیر رہ جاتے ہیں۔ این ایروبک ریسپریشن کی مزید اقسام مندرجہ ذیل ہیں۔

a- الکحلک فرمنٹیشن (Alcoholic Fermentation): یہ عمل بیکٹیریا اور یسٹ (yeast) وغیرہ میں ہوتا ہے۔ این ایروبک ریسپریشن کی اس قسم میں پائی رووک ایسڈ کو الکحل (C_2H_5OH) اور کاربن ڈائی آکسائیڈ میں مزید توڑ دیا جاتا ہے۔

پائی رووک ایسڈ ⟵ ایتھائل الکحل + کاربن ڈائی آکسائیڈ

b- لیکٹک ایسڈ فرمنٹیشن (Lactic acid Fermentation): یہ عمل انسان اور دوسرے جانوروں کے سکیلیٹل مسلز میں تیز اور زیادہ جسمانی کام کرنے کے دوران ہوتا ہے۔ یہ عمل دودھ میں موجود بیکٹیریا میں بھی ہوتا ہے۔ اس این ایروبک ریسپریشن میں پائی رووک ایسڈ کا مالیکیول لیکٹک ایسڈ ($C_3H_6O_3$) میں بدل دیا جاتا ہے۔

پائی رووک ایسڈ ⟵ لیکٹک ایسڈ

این ایروبک ریسپریشن کی اہمیت Importance of Anaerobic Respiration

زمین پر زندگی کے آغاز کے وقت ابتدائی زمینی اور آبی مساکن (habitats) میں آزاد آکسیجن (O_2) موجود نہیں تھی۔ اس طرح کے این ایروبک حالات میں شروع کے جاندار اپنے کاموں کے لئے انرجی این ایروبک ریسپریشن سے ہی حاصل کرتے تھے۔ حتیٰ کہ آج بھی جب آزاد آکسیجن دستیاب ہے چند جاندار، جن میں کچھ بیکٹیریا اور کچھ فنجائی شامل ہیں، این ایروبک ریسپریشن سے انرجی حاصل کرتے ہیں اور این ایروبز (**anaerobes**) کہلاتے ہیں۔

انسان اور چند دوسرے جانور این ایروبک ریسپریشن سے اپنے سکیلیٹل مسلز کو انرجی فراہم کرسکتے ہیں۔ ایسا اس وقت ہوتا ہے جب سکیلیٹل مسلز کو زیادہ کام کرنا پڑے (مثلاً ورزش کے دوران) لیکن ضرورت پوری کرنے کے لیے آکسیجن کی دستیابی نہ بڑھائی جاسکے۔

سائنسدانوں نے بیکٹیریا اور فنجائی کی فرمنٹیشن کی صلاحیت کو انسانی فائدہ کے لیے استعمال کیا ہے۔ مثال کے طور پر بیکٹیریا کی فرمنٹیشن سے پنیر (cheese) اور دہی بنایا جاتا ہے۔ یسٹ میں فرمنٹیشن کو شراب اور بیکری کی صنعت میں استعمال کیا جاتا ہے۔ اسی طرح ایک فنگس ایسپر جیلس (*Aspergillus*) کی فرمنٹیشن سے سویا (soy) پودے کی چٹنی یعنی سویا ساس (soy sauce) بنائی جاتی ہے۔

7.3.2 ریسپریشن کا میکانزم Mechanism of Respiration

ریسپریشن کے عمل میں ری ایکشنز کے پیچیدہ سلسلے شامل ہیں۔ گلوکوز کی آکسیڈیشن کے تمام ری ایکشنز سمجھنے کے لیے ہم ایروبک ریسپریشن کے میکانزم کو دیکھیں گے۔

ایروبک ریسپریشن ایک مسلسل عمل ہے لیکن اپنی آسانی کے لیے ہم اسے تین بڑے مراحل میں تقسیم کرتے ہیں جو کہ گلائکولائسز، کریبز سائیکل اور الیکٹران ٹرانسپورٹ چین ہیں۔

گلائکولائسز (Glycolysis) کا عمل سائٹوپلازم میں ہوتا ہے اور اس مرحلہ میں آکسیجن استعمال نہیں ہوتی۔ اس عمل میں گلوکوز مالیکیول (6- کاربن) کو پائی رووک ایسڈ (3- کاربن) کے دو مالیکیولز میں توڑا جاتا ہے۔

کریبز سائیکل (Krebs Cycle) میں پائی رووک ایسڈ کے مالیکیولز کی مکمل آکسیڈیشن کر دی جاتی ہے اور اس دوران ATP، NADH اور $FADH_2$ بنتے ہیں۔ کریبز سائیکل میں داخل ہونے سے پہلے پائی رووک ایسڈ کو ایک 2- کاربن والے کمپاؤنڈ ایسیٹائل کو-اینزائم A (Acetyl CoA) میں تبدیل کر دیا جاتا ہے۔

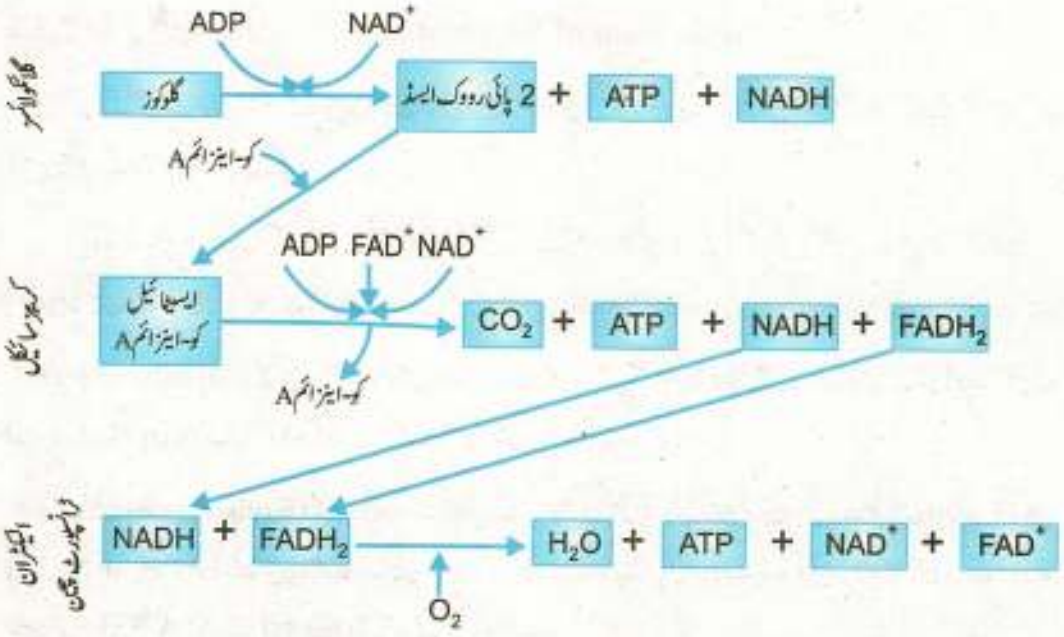
الیکٹران ٹرانسپورٹ چین (Electron Transport Chain) سیلولر ریسپریشن کا آخری مرحلہ ہے۔ اس سے مراد الیکٹرانز کا ایک الیکٹران ٹرانسپورٹ چین پر منتقل ہوتا ہے۔ اس مرحلہ میں NADH اور $FADH_2$ الیکٹرانز اور ہائیڈروجن آئنز کو خارج کرتے ہیں۔ ان الیکٹرانز کو الیکٹران - کیریئرز (electron-carriers) کا ایک سلسلہ حاصل کر لیتا ہے۔ جب الیکٹرانز ان کیریئرز کے سلسلہ سے گزرتے ہیں تو ان میں سے انرجی نکلتی ہے جس سے ATP مالیکیولز بنائے جاتے ہیں۔ اس سلسلہ کے آخر میں الیکٹرانز اور ہائیڈروجن آئنز مالیکیولر آکسیجن کے ساتھ ملتے ہیں اور پانی بنا دیتے ہیں۔

فلیون ایڈینین ڈائی نیوکلیوٹائڈ (FAD) بھی ایک کو-اینزائم ہے جیسے کہ NAD ہے۔ یہ دو ہائیڈروجن لیتا ہے اور ریڈیوس ہو کر $FADH_2$ ہو جاتا ہے۔

ایک برطانوی بائیوکیمسٹ سر ہینز کریبز (Sir Hans Krebs) نے ری ایکشنز کے اس سلسلہ کو دریافت کیا تھا۔ اس لیے اسے کریبز سائیکل کہتے ہیں۔

؟ یہ کہنا کیوں درست نہیں کہ ریسپریشن کا انرجی خارج کرنے والا سٹیپ الیکٹران ٹرانسپورٹ چین ہے؟

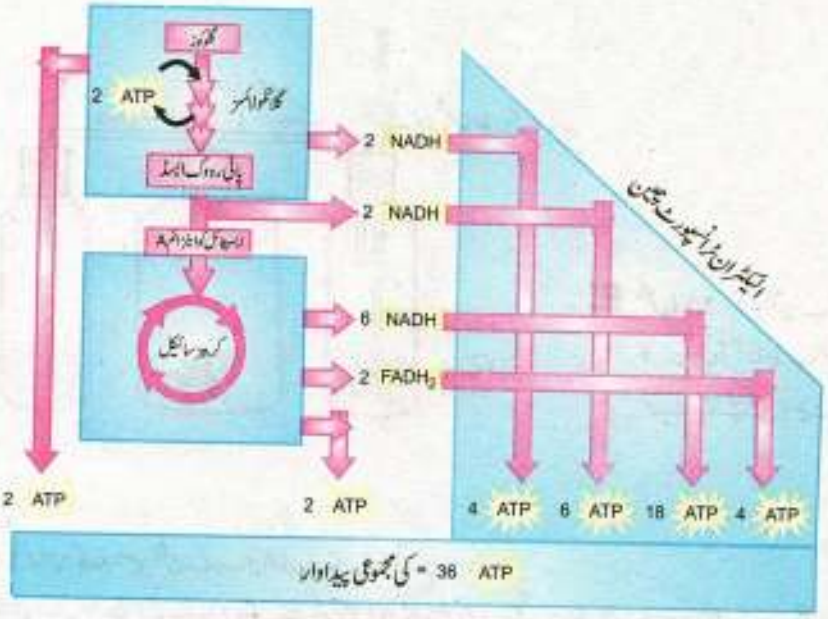
NADH اور $FADH_2$ کی شکل میں انرجی گلائکولائسز اور کریبز سائیکل میں خارج ہوتی ہے۔ الیکٹران ٹرانسپورٹ چین ان مالیکیولز میں موجود انرجی کو ATP کی شکل دیتی ہے۔



شکل 7.12: ریسپریشن کا میکانزم

7.3.3 ریسپریشن کا انرجی بجٹ The Energy Budget of Respiration

ہر NADH الیکٹران ٹرانسپورٹ چین میں تین ATP بناتا ہے۔ جبکہ گلائکولائسز میں بننے والا ہر NADH دو ATP بناتا ہے کیونکہ اسے مائٹوکانڈریا کی ممبرین سے گزرنا پڑتا ہے اور اس کام میں ایک ATP خرچ ہوجاتا ہے۔ $FADH_2$ کا ہر مالیکیول دو ATP بناتا ہے۔ آگے دیے گئے ڈیٹا سے ریسپریشن میں بننے والے ATP کی مکمل تعداد معلوم کی جاسکتی ہے (شکل 7.13)۔ نوٹ کریں کہ ایک گلوکوز مالیکول کی این ایروبک آکسیڈیشن میں مجموعی منافع صرف 2 ATP ہی ہوتا ہے کیونکہ این ایروبک ریسپریشن میں کریبز سائیکل اور الیکٹران ٹرانسپورٹ چین نہیں ہوتے۔



شکل 7.13: ریسپریشن کا انرجی چارٹ

پریکٹیکل ورک

اس بات کی تحقیق کرنا کہ ایروبک ریسپریشن کے دوران کاربن ڈائی آکسائیڈ خارج ہوتی ہے

ایروبک ریسپریشن کے دوران گلوکوز کے C-H ہانڈز ٹوٹتے ہیں۔ اس میں خارج ہونے والی ہائیڈروجن آکسیجن کے ساتھ مل کر پانی بنا دیتی ہے اور کاربن ڈائی آکسائیڈ باقی رہ جاتی ہے۔

پرابلم: کیا ریسپریشن کا عمل کاربن ڈائی آکسائیڈ پیدا کرتا ہے؟

ہائپوتھیسز: ایروبک ریسپریشن کے ایک اختتامی پراڈکٹ کے طور پر کاربن ڈائی آکسائیڈ پیدا ہوتی ہے۔

ڈیڈکشن: ایروبک ریسپریشن کرنے والا ایک جاندار کاربن ڈائی آکسائیڈ خارج کرے گا۔

ضروری سامان: فلاسکس، پوٹاشیم ہائیڈروآکسائیڈ سولیوشن، چونے کا پانی، ایک جانور (مینڈک)

پس منظر معلومات:

- چونے کا پانی فوراً کاربن ڈائی آکسائیڈ کو جذب کر لیتا ہے۔

پروسیجر: شکل 7.14 کے مطابق اپریٹس ترتیب دیں اور چونے کے پانی میں تبدیلی کا مشاہدہ کریں۔

مشاہدہ: چونے کے پانی کے رنگ میں تبدیلی نظر آئے گی۔

نتیجہ: ریسپریشن کے دوران کاربن ڈائی آکسائیڈ پیدا ہوتی ہے۔

جائزہ:

i. چونے کے پانی میں کیا تبدیلی ہوئی؟

ii. ہم نے پوٹاشیم ہائیڈروآکسائیڈ اور چونے کا پانی کیوں استعمال کیا؟

شکل 7.14: ریسپریشن کے دوران کاربن ڈائی آکسائیڈ کے اخراج کو ثابت کرنے کے لیے تجربہ کا سیٹ اپ

پریکٹیکل ورک

اس بات کی تحقیق کرنا کہ ایروبک ریسپریشن کے دوران حرارت خارج ہوتی ہے

ریسپریشن میں بہت سی انرجی خارج ہوتی ہے۔ اس میں سے کچھ تو ATP میں سٹور کر لی جاتی ہے جبکہ بقیہ حرارت کی شکل میں باہر نکل جاتی ہے۔

پرابلم: کیا ریسپریشن کے دوران حرارت نکلتی ہے؟

ہائپوتھیسز: ریسپریشن کے دوران حرارت پیدا ہوتی ہے۔

ڈیڈکشن: ایسے ایکسپریمنٹس میں کہ جہاں ریسپریشن ہو رہی ہو، تھرمامیٹر رکھنے سے ٹمپریچر میں اضافہ نظر آئے گا۔

ضروری سامان: دو فلاسکس، دو تھرمامیٹر، دو بیکر، کاٹن، مٹر کے بیج، 01% کلورین کا سولیوشن

پس منظر معلومات:

- بیجوں میں پودوں کے ایمبریو ہیں جو کئی سیلز کے بنے ہوتے ہیں۔
- بیج ابالے جائیں تو ان کے سیلز مر جاتے ہیں۔
- زیادہ ٹمپریچر ہو جانے پر مردہ بیج گل سڑ جاتے ہیں۔

پروسیجر:

1. مٹر کے بیج لیکر انہیں 24 گھنٹوں کے لیے پانی میں رکھیں۔
2. بیجوں کی سطح پر لگے بیکٹیریا مارنے کے لیے انہیں کسی جراثیم کش مثلاً 01% کلورین سولیوشن سے دھوئیں۔
3. کچھ بیجوں کو دس منٹ تک ابالیں تا کہ ان کے سیلز مر جائیں۔ ان بیجوں کو بعد میں ٹھنڈا بھی کر لیں تا کہ وہ گلنے سڑنے سے بچیں رہیں۔
4. بیجوں کے دونوں سیٹس (زندہ اور مردہ) کو الگ الگ فلاسک میں ڈالیں اور انہیں ترتیب وار 'a' اور 'b' لیبل کر دیں۔ (فلاسک کو اس کے منہ تک نہ بھریں۔)
5. ہر فلاسک کے منہ میں ایک تھرمامیٹر رکھیں اور منہ کو کاٹن کے ساتھ سیل (seal) کر دیں جیسا کہ شکل 7.15 میں دکھایا گیا ہے۔
6. فلاسکس کو الٹائیں اور سٹینڈ کے ساتھ فکس کر دیں۔ دونوں تھرمامیٹرز کا ٹمپریچر نوٹ کر لیں۔
7. سارے سامان کو 4 گھنٹوں کے لیے رکھ چھوڑیں۔

مشاہدہ: فلاسک 'a' میں رکھے تھرمامیٹر میں ٹمپریچر بڑھ جاتا ہے جبکہ فلاسک 'b' کے تھرمامیٹر کا ٹمپریچر نہیں بڑھتا۔

نتیجہ: فلاسک 'a' کے بیجوں کے زندہ سیلز میں ہونیوالی ریسپریشن میں حرارت نکلتی ہے۔

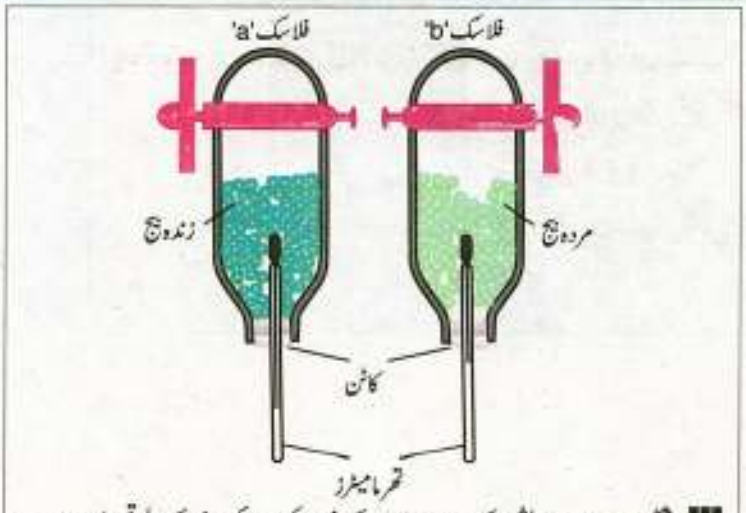
غلطی کا جائزہ: اگر فلاسک 'b' کے تھرمامیٹر کا بھی ٹمپریچر بڑھ جائے تو یہ کمرہ کے ٹمپریچر کے بڑھنے کی وجہ سے ہوسکتا ہے۔ ایسے حالات میں فلاسک 'a' کے تھرمامیٹر کا ٹمپریچر دوسرے سے زیادہ بڑھے گا۔

جائزہ:

i. فلاسکس کو منہ تک کیوں نہ بھرا گیا؟

ii. فلاسک 'a' کے تھرمامیٹر کا ٹمپریچر کیوں بڑھا اور فلاسک 'b' کے تھرمامیٹر کا ٹمپریچر کیوں نہ بڑھا؟

iii. کیا ہمارے جسم میں ریسپریشن کے دوران کوئی حرارت پیدا ہوتی ہے؟



شکل 7.15: ریسپریشن کے دوران حرارت کے اخراج کو ثابت کرنے کے لیے تجربہ کا سیٹ اپ

ٹیبل 7.1 : فوٹوسنتھی سیز اور ریسپریشن میں فرق

خصوصیت	فوٹوسنتھی سیز	ریسپریشن
میٹابولزم کی قسم	اینابولزم	کیٹابولزم
انرجی پیدا ہونا یا خرچ ہونا	لائٹ انرجی کا خرچ، اسے بانڈ انرجی میں سٹور کرنے کے لیے	بانڈ انرجی کا ATP کی کیمیکل انرجی میں تبدیل ہوجانا
کرنے والے جاندار	چند بیکٹیریا، تمام الجی، تمام پودے	تمام جاندار
وقوع پذیر ہونے کا مقام	کلوروپلاسٹس	سائٹوپلازم اور مائٹوکانڈریا
وقوع پذیر ہونے کا وقت	صرف دن کے وقت، روشنی کی موجودگی میں	تمام وقت

ٹیبل 7.2 : ایروبک اور این ایروبک ریسپریشن میں فرق		
خصوصیت	ایروبک ریسپریشن	این ایروبک ریسپریشن
آکسیجن کی موجودگی	ضروری ہے	ضروری نہیں
ATP کا مجموعی فائدہ	36	2
اختتامی پراڈکٹس	کاربن ڈائی آکسائیڈ اور پانی	لیکٹک ایسڈ یا ایتھائل الکحل اور کاربن ڈائی آکسائیڈ
وقوع پزیر ہونیکا مقام	گلائکولائسز سائٹوپلازم میں، جبکہ کریبز سائیکل اور الیکٹران ٹرانسپورٹ چین مائٹوکانڈریا میں	سائٹوپلازم میں
اہمیت	زیادہ تر جانداروں کے لیے انرجی کا ذریعہ	• این ایروبک جانداروں کے لیے انرجی کا ذریعہ • ایروبک جانداروں کے لیے آکسیجن کی کمی کی صورت میں انرجی کا ذریعہ • کئی پراڈکٹس مثلاً ایتھائل الکحل، پنیر وغیرہ کا ذریعہ

جائزہ سوالات

کثیر الانتخاب Multiple Choice

1. ریسپریشن کے کون سے مرحلہ میں کاربن ڈائی آکسائیڈ پیدا ہوتی ہے؟
(ا) گلائکولائسز (ب) کریبز سائیکل (ج) الیکٹران ٹرانسپورٹ چین (د) ان تمام میں

2. ایروبک ریسپریشن میں آکسیجن کون سے مرحلہ میں ری ایکشنز میں حصہ لیتی ہے؟
(ا) گلائکولائسز (ب) گلائکولائسز اور کریبز سائیکل کا درمیانی مرحلہ
(ج) کریبز سائیکل (د) الیکٹران ٹرانسپورٹ چین

3. جب ایک پودے کو بہت دنوں تک اندھیرے میں رکھا گیا تو اس کے پتے زرد پڑ گئے۔ کیوں؟
(ا) پتوں کو آکسیجن نہ ملی اس لیے وہ فوٹوسنتھی سیز نہ کر سکے
(ب) پتوں کو روشنی نہ ملی اس لیے وہ ریسپریشن نہ کر سکے
(ج) پتوں کو آکسیجن نہ ملی اس لیے وہ ریسپریشن نہ کر سکے
(د) پتوں کو روشنی نہ ملی اس لیے وہ فوٹوسنتھی سیز نہ کر سکے

4. ATP کے کون سے بانڈز سے انرجی حاصل کی جاتی ہے؟
(ا) P--P بانڈ (ب) C--H بانڈ (ج) C--O بانڈ (د) C--N بانڈ

5. پتے کے سیلز کے کون سے حصہ میں کلوروفل پایا جاتا ہے؟
(ا) سٹروما (ب) پلازمامبرین (ج) تھائلا کوائڈ (د) سائٹوپلازم

6. ان میں سے کون کریبز سائیکل میں داخل ہو سکتا ہے؟
(ا) گلوکوز (ب) پائی روویک ایسڈ
(ج) سٹرک ایسڈ (د) ایسیٹائل کوانیزائم A

7. جب ہم زیادہ کام کرتے ہیں تو مسلز میں تکلیف (مسل فٹیگ: fatigue) کا شکار ہو جاتے ہیں، کیونکہ مسل سیلز:
(ا) زیادہ رفتار سے ایروبک ریسپریشن کرتے ہیں اور تھک جاتے ہیں
(ب) این ایروبک ریسپریشن کرتے ہیں اور اپنے اندر کاربن ڈائی آکسائیڈ جمع کر لیتے ہیں
(ج) این ایروبک ریسپریشن کرتے ہیں اور اپنے اندر لیکٹک ایسڈ جمع کر لیتے ہیں

(د) زیادہ رفتار سے ایروبک ریسپریشن کرتے ہیں اور اپنے اندر لیکٹک ایسڈ جمع کر لیتے ہیں

8. ایک مرتبہ کریبز سائیکل چلنے سے کاربن ڈائی آکسائیڈ کے کتنے مالیکیولز پیدا ہوتے ہیں؟

(ا) 01 (ب) 02 (ج) 03 (د) 06

9. کون سے میٹابولک عمل میں مالیکیولز کی آکسیڈیشن کے ساتھ ساتھ ریڈکشن بھی ہوتی ہے؟

(ا) فوٹوسنتھی سیز (ب) ریسپریشن (ج) دونوں (د) کوئی نہیں

10. کلوروفل پگمنٹ کون سے ویولینتھ کی روشنی کو زیادہ سے زیادہ جذب کرتا ہے؟

(ا) سبز اور نیلی (ب) سبز اور سرخ (ج) صرف سبز (د) سرخ اور نیلی

فہم و ادراک Understanding the Concepts

1. جانداروں میں ہونیوالے آکسیڈیشن-ریڈکشن ری ایکشنز کے ساتھ تعلق بنا کر بائیوانرجیٹکس کی تعریف کیسے کریں گے؟
2. وضاحت کریں کہ کس طرح ATP سیلز کی انرجی کرنسی ہے؟
3. فوٹوسنتھی سیز میں روشنی اور کلوروفل کا کیا کردار ہے؟
4. فوٹوسنتھی سیز میں ہونے والے اعمال کا ایک خاکہ تیار کریں۔
5. بیان کریں کہ کس طرح روشنی کی شدت، کاربن ڈائی آکسائیڈ کی کنسنٹریشن اور ٹمپریچر فوٹوسنتھی سیز کی رفتار پر اثر رکھتے ہیں۔
6. گلائیکولائسز، کریبز سائیکل اور الیکٹران ٹرانسپورٹ چین کی تعریف کرتے ہوئے ریسپریشن کے میکانزم کے اہم نکات بیان کریں۔
7. ایروبک اور این ایروبک ریسپریشن کا موازنہ کریں۔
8. ریسپریشن اور فوٹوسنتھی سیز کا موازنہ کریں۔

مختصر سوالات Short Questions

1. یہ کیوں کہا جاتا ہے کہ تمام طرح کی زندگیاں فوٹوسنتھی سیز پر منحصر ہیں؟
2. پودوں میں پانی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ لینے کے لیے کون سی ساختیں اور عمل شامل ہیں؟
3. جانداروں کے اجسام میں ریسپریشن کی توانائی کے کیا استعمال ہیں؟
4. این ایروبک ریسپریشن کی کیا اہمیت ہے؟

اصطلاحات سے واقفیت — The Terms to Know

- ایسیٹائل کوانیزائم A
- این ایروبک ریسپریشن
- الیکٹران ٹرانسپورٹ چین
- ایروبک ریسپریشن
- لیکٹک ایسڈ فرمنٹیشن
- الکحلک فرمنٹیشن
- AMP
- اینابولزم
- ATP
- بائیوانرجیٹکس
- کیلون سائیکل
- کلوروفل
- ADP
- FAD
- NAD
- گلائکولائسز
- کریبز سائیکل
- ایڈینین
- لائٹ ری ایکشنز
- ڈارک ری ایکشنز
- لمٹنگ فیکٹر
- میزوفل
- میٹابولزم
- آکسیڈیشن
- فوٹولائسز
- فوٹوسنتھی سیز
- فوٹوسسٹم
- پگمنٹ
- پائی رووک ایسڈ
- ریڈکشن
- ریسپریشن
- سٹارچ
- سٹروما
- تھائلاکوائڈ
- Z- سکیم

سوچ بچار اور پلاننگ کرنا — Initiating and Planning

1. کم خرچ میٹیریل استعمال کر کے ATP کا مالیکیولر ماڈل تیار کریں۔
2. کم خرچ میٹیریل استعمال کر کے لائٹ ری ایکشنز اور ڈارک ری ایکشنز کا خاکہ تیار کریں۔

سرگرمیاں — Activities

1. ایک آبی پودا مثلاً ہائیڈریلا لے کر فوٹوسنتھی سیز کا عمل ثابت کریں۔
2. مائیکروسکوپ کے ذریعہ مشاہدہ کر کے پتے کے عرضی تراش میں سیل اور ٹشو درجہ کی ساختوں کی نشاندہی کریں۔
3. مناسب کنٹرول استعمال کر کے فوٹوسنتھی سیز کے لیے کلوروفل، روشنی اور کاربن ڈائی آکسائیڈ کا ضروری ہونا ثابت کریں۔
4. اگتے ہوئے بیجوں میں ریسپریشن کا عمل ثابت کریں۔
5. اگتے ہوئے بیجوں میں ریسپریشن کے دوران کاربن ڈائی آکسائیڈ اور حرارت کا اخراج ثابت کریں۔

آن لائن تعلیم — On-line Learning

- en.wikipedia.org/wiki/Bioenergetics
- photoscience.la.asu.edu/
- www.sambal.co.uk/respiration.html
- www.fi.edu/learn/heart/systems/respiration.html