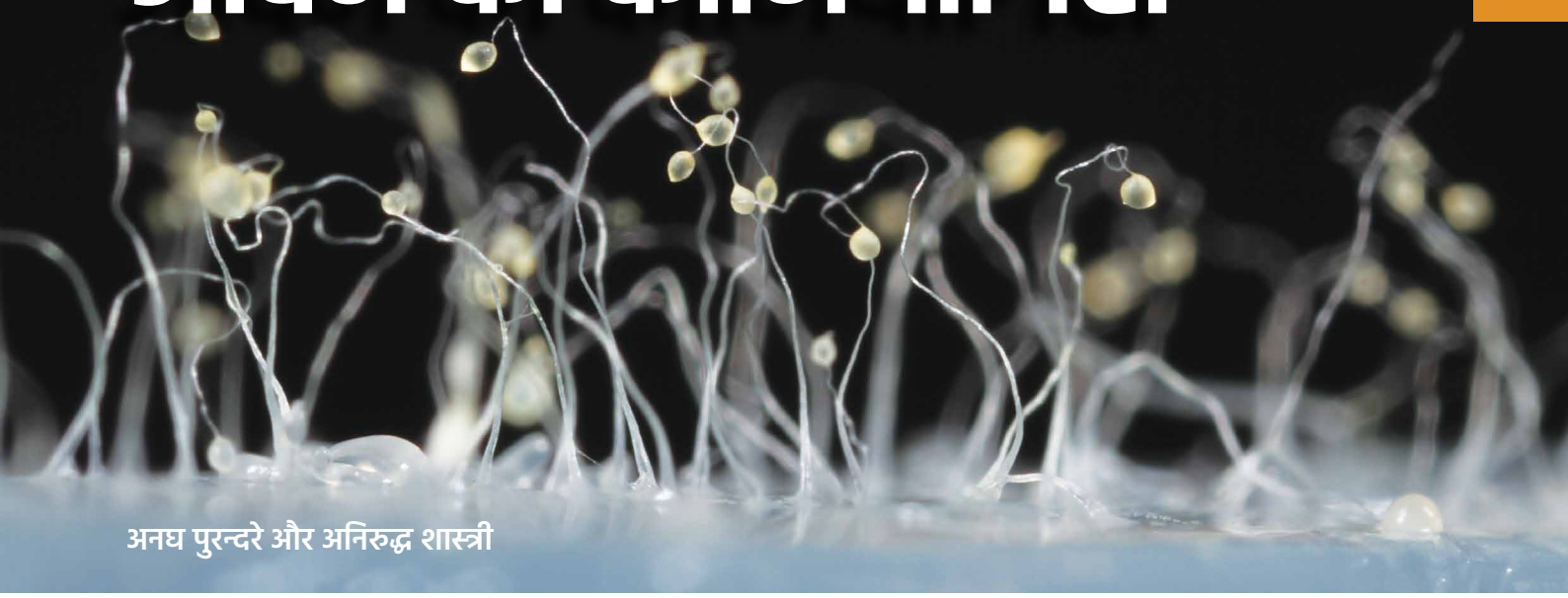
जीवन की कीमियागिरी



अनघ पुरन्दरे और अनिरुद्ध शास्त्री

जीवित प्राणियों का अध्ययन, उनकी संरचना के विभिन्न स्तरों – अणुओं से लेकर पारिस्थितिकी तंत्रों (ईकोसिस्टम) तक किया जा सकता है। रसायनशास्त्र को लेकर हमारी मौजूदा समझ इन विभिन्न स्तरों पर जीवित प्राणियों सम्बन्धी हमारी समझ पर कुछ प्रकाश डालती है। यह लेख रसायन के लेंस के ज़रिए हमें 'जीवन' के कुछ दिलचस्प पहलुओं की एक झलक दिखलाता है।

कल्पना कीजिए, आप एक सड़क पर चले जा रहे हैं और आपकी नज़र एक चट्टान पर बैठे एक कीड़े पर पड़ती है। चट्टान और कीड़ा, दोनों ही पदार्थ बुनियादी रूप से पदार्थ से बने हैं। तिस पर भी, वे दोनों एक-दूसरे से अलग हैं। हो सकता है कि चट्टान प्राकृतिक रूप से पाए जाने वाले सभी 92 तत्वों से बनी हो, जबकि उस पर बैठा कीड़ा शायद ऐसे महज़ 30 तत्वों से ही बना हो। अब कौन-सी चीज़ भला इन 30 तत्वों को ख़ास बनाती है? क्या किसी कीड़े की कीमियागिरी उसे एक चट्टान से इतना अलग बनाती है?

पार्थिव जीवन का आधार कार्बन है

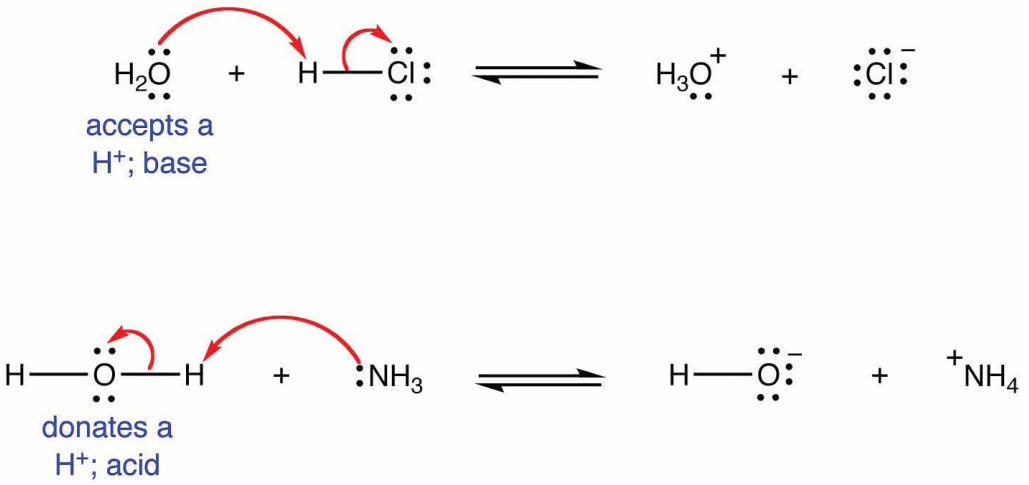
हालाँकि यह सुझाया गया है कि एलियन (अन्य ग्रहों के) जीवों का आधार शायद सिलिकॉन हो, लेकिन पृथ्वी के तमाम जीव कार्बन आधारित हैं।

सिलिकॉन और कार्बन दोनों में चार-चार संयोजी-इलेक्ट्रॉन होते हैं और आवर्त सारणी में सिलिकॉन का स्थान कार्बन के ठीक नीचे है। लेकिन, Si-Si बन्धनों की तुलना में C-C बन्धन ज़्यादा मज़बूत होते हैं और पानी में ज़्यादा टिकाऊ रहते हैं। इसके अलावा, पूरी तरह से ऑक्सीकृत किए जाने पर कार्बन एक गैस यानी कार्बन डाईऑक्साइड बनाता है, जबकि सिलिकॉन एक ठोस बनाता है – सिलिकॉन डाईऑक्साइड। और कोई गैस (कार्बन डाईऑक्साइड) – विसरण व री-साइक्लिंग – के लिए किसी ठोस के मुक़ाबले (कार्बन डाइऑक्साइड) ज़्यादा उपयुक्त होती है। ये वे प्रक्रियाएँ हैं जिनके बग़ैर जीवन निभ नहीं सकता।

सोचने के लिए सवाल : सिलिकॉन-सिलिकॉन बन्धनों (Si-Si बॉण्ड्स) की तुलना में कार्बन-कार्बन बन्धन (C-C बॉण्ड्स) क्यों बहुत मज़बूत होते हैं? (सुराग़ – आवर्त सारणी देखें)

डाईहाइड्रोजन मोनोऑक्साइड (H_2O) जीवन को बनाए रखता है

रासायनिक गुणों के एक अद्वितीय संयोजन के चलते पृथ्वी पर जीवन बनाए रखने में पानी की अपरिहार्य भूमिका बन जाती है। किसी कोशिका में होने वाली लाखों ज़रूरी जीवन-समर्थक अभिक्रियाओं को चलायमान रखने के लिए अणुओं को एक-दूसरे से टकराना होता है।



चित्र-1 : पानी में, एक अम्ल और एक क्षार, दोनों की तरह क्रिया करने की क्षमता होती है।
Credits: Adapted from Gamini Gunawardena, OChemPal. URL: http://www.ochempal.org/index.php/alphabetical/a-b/amphoteric/.

सोचने के लिए सवाल : रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए तरल पदार्थ सबसे उपयुक्त माध्यम क्यों हैं?

किसी ठोस या गैस माध्यम की तुलना में एक द्रव-माध्यम में ये आणविक-भिड़न्तें अधिक सम्भाव्य होती हैं। पानी के क्वथनांक और हिमांक के बीच बहुत बड़ा अन्तर (~100 °C) होने के चलते पिछले 350 करोड़ सालों के दौरान इस ग्रह पर विविध तापमानों पर पृथ्वी पर मौजूद अधिकांश पानी द्रवित अवस्था में रहा है। ब्रह्माण्ड में सर्वाधिक परिमाण में मौजूद दो तत्वों – हाइड्रोजन और ऑक्सीजन – से बना होने के चलते इस पूरी अवधि में पानी बहुतायत से मौजूद रहा है।

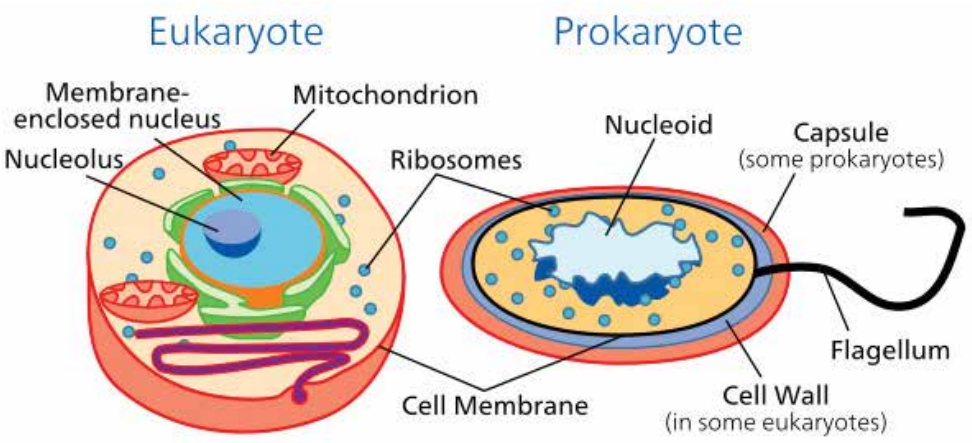
पानी बड़ी संख्या में विलेयों को घोल लेता है। इसके अलावा पानी, एक अम्ल और एक क्षार, दोनों की तरह काम करता है – किसी ज़्यादा प्रबल अम्ल की उपस्थिति में एक प्रोटॉन लेकर और एक अधिक प्रबल क्षार की मौजूदगी में एक इलेक्ट्रॉन देकर (**देखें चित्र-1**)।

गुणधर्मों के इस अनुपम संयोजन के चलते, जैव-रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए पानी एक आदर्श माध्यम बन जाता है।

जीवन की कीमियागिरी पर तापमान की बन्दिश

जीवन प्रक्रियाएँ दो-या-दो से ज़्यादा कोशिकीय अणुओं की अभिक्रियाओं पर निर्भर करती हैं। इन अभिक्रियाओं के होने के लिए यह ज़रूरी है कि ये अणु एक-दूसरे से टकराएँ। कोशिका की अफ़रा-तफ़री से भरी आन्तरिक दुनिया में अणु हर समय यहाँ-वहाँ तफ़रीह करते रहते हैं। अणुओं की यह तफ़रीह और टकराहटें उस गतिज ऊर्जा के परिमाण पर निर्भर करती हैं जो उन्होंने अपने परिवेश से ली है। ऊर्जा का यह परिमाण प्राणी के परिवेश के तापमान पर निर्भर करता है। साथ ही, यह इस बात पर भी निर्भर करता है कि कोशिका के दिए हुए आयतन में मौजूद अणुओं की संख्या कितनी है, जो उनकी कोशिकीय सान्द्रता पर निर्भर करती है। इस प्रकार, प्रत्येक जैव-रासायनिक अभिक्रिया, तापमानों और सान्द्रताओं की एक निश्चित रेंज में होती है।

पता करें : कुछ जीव (जिन्हें एक्सट्रीमोफाइल्स के नाम से जाना जाता है) पर्यावरण की चरम परिस्थितियों में कैसे रहते हैं?



चित्र-2 : केन्द्रकयुक्त कोशिकाओं में झिल्ली से घिरे कोशिकांग जैव-अणुओं की प्रभावी सान्द्रताएँ बढ़ाते हैं।
Credits: Owned by Science Primer (National Center for Biotechnology Information), vectorized by Mortadelo2005 and uploaded on Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Celltypes.svg.

यद्यपि सभी जीवों पर तापमानों की ये बन्दिशें लागू होती हैं, लेकिन कोशिकाओं ने अणुओं की प्रभावी सान्द्रताएँ बढ़ाने के कुछ तरीक़े विकसित कर लिए हैं। उदाहरण के लिए, यूकैरिऑटिक (केन्द्रकयुक्त) कोशिकाएँ झिल्ली-आधारित कोशिका-अंगक विकसित कर यह उपलब्धि अर्जित करती हैं (**देखें चित्र-2**)।

जीवन की जानकारी एक रासायनिक क्रम के रूप में संग्रहित है

हालाँकि प्रोटीन ही ज़्यादातर कोशिकीय कार्यों को अंजाम देते हैं, लेकिन कौन-से प्रोटीन कब बनेंगे, ये सारी हिदायतें डीएनए (डीऑक्सीराइबोन्युक्लिक ऍसिड) में संग्रहित होती हैं।

हरेक डीएनए अणु, न्यूक्लिओटाइड्स नाम के कार्बनिक अणुओं के दो रेशों से मिलकर बनता है। उनके नाइट्रोजनी क्षार की प्रकृति

पता करें : किस तरह से पानी का घनत्व, तापमान के साथ बदलता है। और जीवन प्रक्रियाओं के विकास पर इसका असर क्या होगा?

सोचने के लिए सवाल : रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए द्रव सबसे ज़्यादा उपयुक्त माध्यम क्यों होते हैं?

के हिसाब से ये न्यूक्लिओटाइड्स चार क़िस्म के होते हैं – एडिनीन (A), गुआनिन (G), थाइमीन (T) और साइटोसीन (C)। ये दो रेशे सीढ़ी-नुमा हाइड्रोजन आबन्धों द्वारा दोहरी कुण्डली (डबल हेलिक्स) आकार में लिपटे रहते हैं। ये हाइड्रोजन आबन्ध अनुपूरक न्यूक्लिओटाइड्स के नाइट्रोजनी क्षारों के बीच बनते हैं। सो, किसी नियत जगह पर, एक रेशे का एक एडिनीन (A) दूसरे रेशे पर उसी जगह में मात्र थाइमीन (T) के साथ हाइड्रोजन आबन्ध बना सकता है और इसके उलट भी। ठीक इसी प्रकार, एक रेशे का एक गुआनिन (G), दूसरे रेशे में उसी स्थान पर मौजूद साइटसिन (C) के साथ ही हाइड्रोजन आबन्ध बना सकता है और इसके उलट भी (**देखें चित्र-3**)।

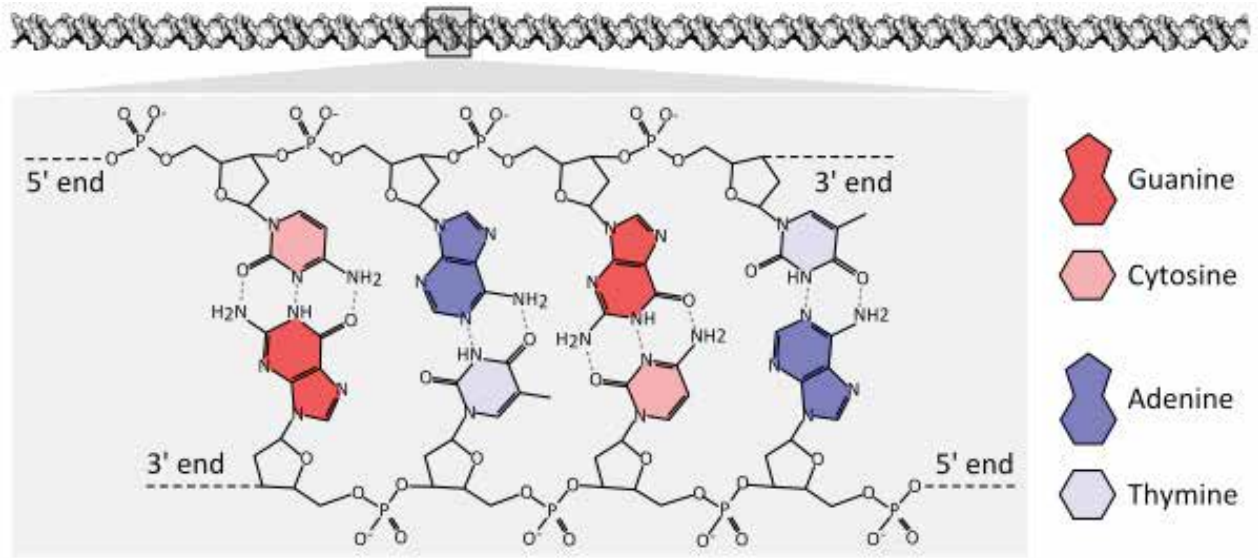
डीएनए के प्रत्येक रेशे में न्यूक्लिओटाइड्स का सटीक क्रम तय करता है कि सम्बद्ध कोशिका प्रोटीनों की कौन-सी विशिष्ट क़िस्में बना सकेगी। उसके क्षारों की अनुपूरकता ही सुनिश्चित करती है कि एक ही डीएनए अणु में निहित जानकारी की विश्वसनीय नक़ल दूसरे अणु के रूप में बनेगी। कोशिका-विभाजन के लिहाज़ से यह निहायत ज़रूरी है।

उच्च-ऊर्जा वाले आबन्धन जीवन अभिक्रियाओं का संचालन करते हैं!

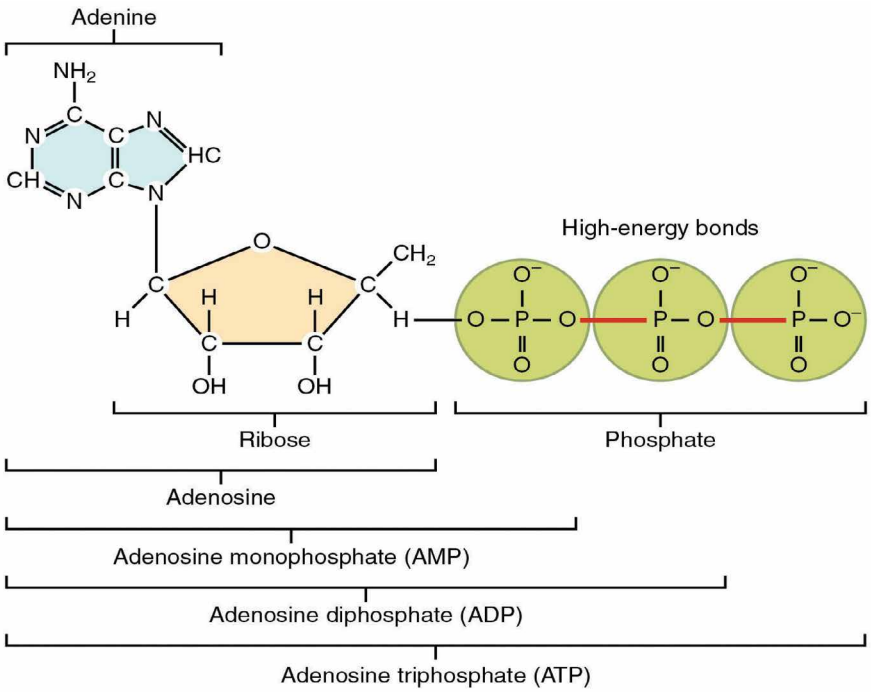
सभी कोशिकाओं को ऊर्जा चाहिए रहती है। यह ऊर्जा वे शर्कराओं (मुख्यतः ग्लूकोज़) के ऑक्सीकरण के द्वारा प्राप्त करती हैं। इन अभिक्रियाओं से निकली ऊर्जा एक अणु में संग्रहित होती है जिसे एडिनोसीन ट्राइफ़ॉस्फ़ेट (एटीपी) कहते हैं। सो, एटीपी को कोशिका की ऊर्जा मुद्रा/ करंसी भी कहा जाता है।

प्रत्येक एटीपी अणु में एक नाइट्रोजनी क्षार (एडिनोसीन), एक शर्करा (राइबोस) और तीन फ़ॉस्फ़ेट समूहों वाला एक पुछल्ला होता है। ये तीन फ़ॉस्फ़ेट समूह राइबोस अणु के साथ क्रमशः जुड़कर एएमपी (एडिनोसीन

सोचने के लिए सवाल : आपके हिसाब से डीएनए की दो शृंखलाओं के बीच हाइड्रोजन आबन्ध बनने में ग़लतियाँ रह जाने से क्या होगा?



चित्र-3 : डीएनए अणु की संरचना।
Credits: Thomas Shafee, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DNA_chemical_structure_2.svg. License: CC-BY.



चित्र-4 : एटीपी अणु की संरचना। लाल रेखाएँ इसके दो उच्च-ऊर्जा फ़ॉस्फ़ेट बॉण्ड्स दर्शाती हैं।
Credits: OpenStax College from Anatomy & Physiology, Connexions (http://cnx.org/content/col11496/1.6/), Jun 19, 2013, and uploaded on Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:230_Structure_of_Adenosine_Triphosphate_(ATP)-01.jpg. License: CC-BY.

मोनोफ़ॉस्फ़ेट), एडीपी (एडिनोसीन डाईफ़ॉस्फ़ेट) और अन्ततः एटीपी बनाते हैं (**देखें चित्र-4**)।

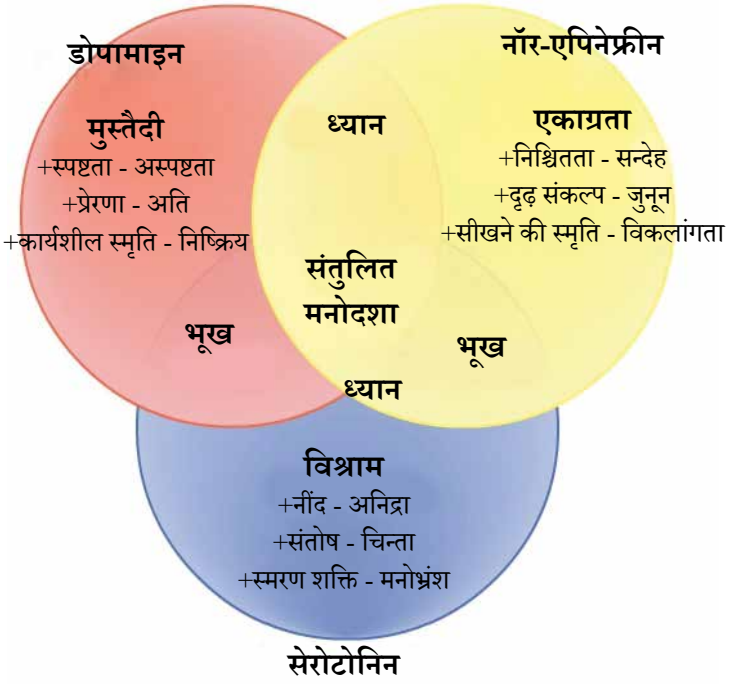
सोचने के लिए सवाल : एटीपी में मौजूद तीन फ़ॉस्फ़ेट आबन्धों में से केवल दो ही क्यों उच्च–ऊर्जा आबन्ध होते हैं?

शरीर का एक भाग दूसरे के साथ रासायनिक तरीक़े से 'बात करता' है!

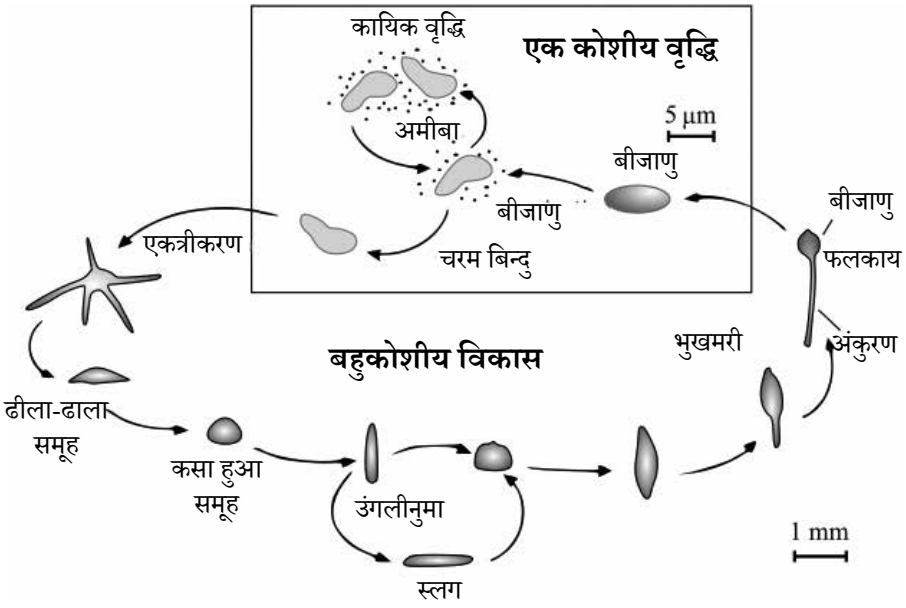
किसी जटिल बहु-कोशिकीय जीव का जीवित रहना उसकी विभिन्न कोशिकाओं, ऊतकों और अंगों के परस्पर-तालमेल पर निर्भर करता है। यह तालमेल सम्प्रेषण के ज़रिए अर्जित किया जाता है – और शरीर के विभिन्न हिस्सों के बीच का सारा सम्प्रेषण रसायनों के द्वारा होता है। मसलन, क्या आपने कभी सोचा है कि चॉकलेट का एक टुकड़ा खाते ही आप थोड़ी देर को ही सही इतना ख़ुश-ख़ुश क्यों महसूस करते हैं? चॉकलेटों में ट्रिप्टोफ़ॅन, थिओब्रोमीन और फिनाइलएथिलएलेनीन जैसे रसायन होते हैं। ये रसायन मस्तिष्क में पहुँचकर एंडॉर्फिन्स नामक अणु समूहों के उत्सर्जन को प्रेरित करते हैं। एंडॉर्फिन्स एक तरह के न्यूरोट्रांसमीटर (तंत्रिका-सन्देशवाहक) होते हैं – ऐसे रसायन जो तंत्रिका-कोशिकाओं व शरीर की अन्य कोशिकाओं के बीच सन्देशों के सीधे प्रसारण में मददगार होते हैं। 100 से भी ज़्यादा ऐसे न्यूरोट्रांसमीटरों को पहचाना जा चुका है। वे सब मिलकर, नाना प्रकार के शारीरिक व शरीर-क्रियात्मक क्रियाकलापों को बरक़रार रखते हैं।

वैसे चॉकलेट मतलब ज़हर!

ज़रा ठहरो! फेंको नहीं अभी अपने सारे चॉकलेट। चॉकलेट, कॉफ़ी और चाय क्रमशः इन पौधों से प्राप्त किए जाते हैं – थिओब्रोमा कॅकाओ, कॉफीआ प्रजातियाँ



चित्र-5 : डोपामाइन, सेरोटोनिन और नॉर-एपिनेफ्रीन जैसे न्यूरोट्रांसमीटर शारीरिक व शरीर-क्रियात्मक कामकाज बरक़रार रखते हैं।
Credits: Niklis Papageorgio, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dopamine_Norepinephrine_Serotonin.png. License: CC-0.



चित्र-6 : डिक्टियोस्टेलियम डिस्कोइडम का जीवन चक्र।

Credits: Drawn by the user Hideshi and converted to SVG by Tijmen Stam and IIVQ on Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dicty_Life_Cycle_H01.svg. License: GFDL & CC-BY-SA.

और कॅमेलिआ सायनेन्सिस। ये पौधे, थिओब्रोमीन और कैफ़ीन जैसे रसायन पैदा कर, कीट शाकाहारियों को उन्हें खाने से हतोत्साहित करते हैं। ये रसायन कीटों के तंत्रिका तंत्र तथा पेशीय तंत्र को ऐसे प्रतिकूल ढंग से प्रभावित करते हैं कि उनकी भूख कम हो जाती है, उनकी चाल-ढाल गड़बड़ा जाती है, उनकी वृद्धि और प्रजनन-क्रिया आदि बाधित हो जाते हैं।

दिलचस्प बात यह है कि कीट तंत्रिका तंत्र में थिओब्रोमीन व कैफ़ीन से जुड़ने वाले अणुओं (ग्राहियों) की संरचना मानव मस्तिष्क के ग्राहियों की संरचना सरीखी ही होती है। और कीटों से मानवों में तंत्रिका ग्राहियों की रासायनिक संरचनाओं का यह संरक्षण ही मानवों को स्फूर्तिदायकों के बतौर इन कीट 'विषों' का उपभोग करने देता है (**देखें चित्र-5**)। इसमें न केवल प्रसन्नता पर नियंत्रण शामिल है, बल्कि अन्य 'मूड्स' पर भी लगाम कसती है – जैसे कि उदासी, बोरियत और उनींदापन। इनमें से हरेक एहसास का सम्बन्ध मस्तिष्क के कुछ ख़ास हिस्सों में कुछ ख़ास न्यूरोट्रांसमीटरों के उत्सर्जन से होता है।

कुछ मामलों में, विभिन्न ऊतकों या अंगों में सम्प्रेषण अप्रत्यक्ष भी हो सकता है। इस तरह के सन्देशों को ढोने वाले रसायनों को हॉर्मोन कहा जाता है। उदाहरण के लिए, अग्न्याशय इन्सुलिन नाम का हॉर्मोन बनाता है जो रक्त प्रवाह में छोड़ा जाता है और फिर उसके ज़रिए शरीर के विभिन्न हिस्सों तक पहुँचता है। इन्सुलिन मांसपेशी कोशिकाओं की सतह पर उपस्थित विशिष्ट रसायनों (ग्राहियों) से जा जुड़ता है।

यह जुड़ाव मांसपेशी की कोशिकाओं को निर्देश देता है कि वे ख़ून में से ग्लूकोज़ का आयात बढ़ा लें और उसके दहन से ऊर्जा प्राप्त करें।

पता करें : हमें मिर्ची तीखी क्यों लगती है लेकिन तोतों को नहीं?

रसायन : वह सार्वभौमिक भाषा जिसमें सारे जीव एक-दूसरे के साथ सम्प्रेषण करते हैं!

जीव-जगत में संवाद फ़क़त ऊतकों या अंगों के स्तर पर नहीं होता। उसी या भिन्न प्रजाति के जीव भी एक-दूसरे के साथ संवाद करते हैं। मसलन, मिट्टी-वासी अमीबा डिक्टीओस्टीलियम डिस्कोइडियम (प्यार से हम उसे डिक्टी बुलाते हैं) अनुकूल पर्यावरण में एक-कोशिकीय होता है। लेकिन पर्यावरण के प्रतिकूल होते ही ये अमीबा चक्रीय-ऍडीनोसीन मोनोफ़ॉस्फ़ेट (c-AMP) नामक एक रसायन स्रावित करते हैं जो आस-पास के अन्य एक-कोशिकीय जीवों को खींचकर अपने पास ले आता है। फिर क्या, देखते-ही-देखते ये सारे एक-कोशिकीय जीव मिलकर एक बहु-कोशिकीय संरचना बनाते हैं जिसे फलन काय (फ्रूटिंग बॉडी) कहते हैं। इस फलन काय में एक लम्बा छड़ाकार डण्ठल होता है जिस पर बीजाणु (स्पोर्स) नाम का कोशिकाओं का एक समूह सवार होता है। ये बीजाणु बिखरते हैं और तने की वजह से इतना ऊपर उठे होते हैं कि उनमें से कुछ अपने जनक से छिटक दूर जा गिरते हैं जहाँ उन्हें अपने जीने के लिए अनुकूल परिस्थितियाँ मिलती हैं (**देखें चित्र-6**)।

अन्य प्रजातियों के जीव फेरोमोन्स नामक रसायनों के ज़रिए संवाद करते हैं। मसलन, बहुत-से कीट (जैसे कि चींटियाँ) फेरोमोनों के ज़रिए ख़तरे, भोजन और उसके स्रोत और घोंसले की जानकारी का लेन-देन करते हैं। हैरत की बात तो यह है कि कुछ पौधे भी वातावरण में ख़ास तरह के रसायन छोड़कर शाकभक्षी ख़तरे का संकेत देते हैं। इस रासायनिक चेतावनी के सम्पर्क में आने वाले इन्हीं या भिन्न प्रजातियों के अन्य पौधे जवाब में शाकभक्षी-नाशी रसायन पैदा करते और छोड़ते हैं। अकसर, यह जवाबी कार्रवाई शाकभक्षी के उन पौधों तक आने से पहले ही शुरू हो जाती है!

रसायन प्रकाश भी 'देख' सकते हैं!

कुछ रसायन प्रकाश महसूस करने में जीवों की मदद करते हैं। मसलन, रीढ़दार प्राणियों के रेटिना में रोडोप्सिन नामक विशेष प्रकाश-ग्राही होते हैं। रोडोप्सिन प्रोटीन से जुड़ा रेटिनल अणु होता है जो कुछ ख़ास तरंग-लम्बाई वाला प्रकाश अवशोषित कर सकता है। प्रकाश अवशोषित करते

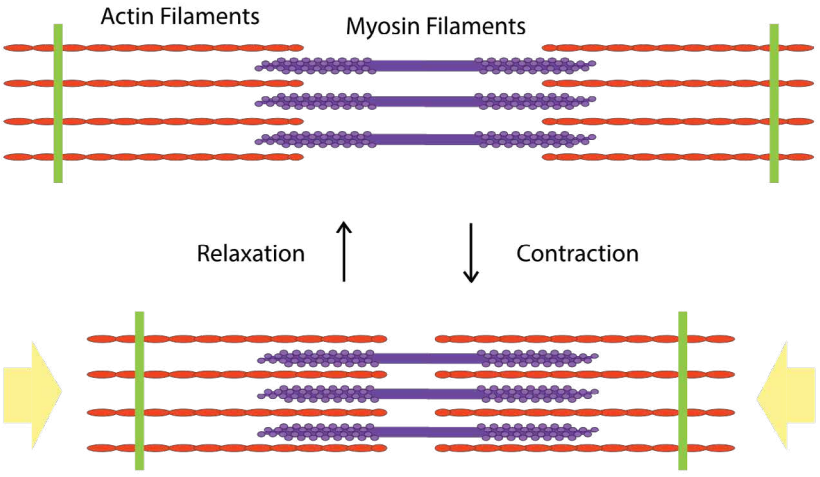
ही, रेटिनाई अणु की संरचना बदल जाती है, जिसके नतीजतन, इससे जुड़े प्रोटीन की संरचना में भी बदलाव आ जाता है। यह परिवर्तित प्रोटीन फिर रासायनिक अभिक्रियाओं की एक शृंखला शुरू कर देता है जिसके चलते एक ऐसा तंत्रिका-सिग्नल मस्तिष्क को जाता है जो उसे प्राप्त प्रकाश की मात्रा और उसकी गुणवत्ता की जानकारी देता है। जब-जब आँख में रोशनी जाती है रेटिना कोशिकाओं में यह समूची प्रक्रिया होती है। चूँकि रेटिनाई अणु विटामिन 'ए' का एक एल्डीहाइड होता है, इस विटामिन की कमी से रतौंधी हो सकती है।

पता करें : क्या जीवित प्राणियों में ऐसे ही अन्य प्रकाश-संवेदी अणु होते हैं? उनमें ऐसे कौन-से साझा गुण होते हैं कि वे प्रकाश देख लेते हैं?

आणविक मोटरें आपके हाथों का भार उठाती हैं!

जब भी आप क़लम या पानी से भरी बाल्टी उठाते हैं तो आपकी बाँह के अगले हिस्से की बाइसेप्स पेशियाँ सिकुड़ती हैं। यह संकुचन दो लम्बे, रेशे-सरीखे कोशिकीय प्रोटीनों – मायोसिन और ऍक्टिन की क्रिया के चलते होती है।

ये प्रोटीन किसी सुप्त मांसपेशी कोशिका के अन्दर परस्पर-समान्तर होते हैं। लेकिन कोशिका को सिकुड़ने का संकेत मिलते ही मायोसिन और एक्टिन सक्रिय हो आपस में जुड़कर एक-दूसरे के ऊपर सरकने लगते हैं, जिसके चलते मांसपेशी तन्तु की लम्बाई कम हो जाती है (**देखें चित्र-7**)। एटीपी की



चित्र-7 : मांसपेशीय कोशिकाओं में ऍक्टिन व मायोसिन तन्तुओं का सिकुड़ना।

Credits: Adapted from an image created by Alli Sarfati on Proteins of the Deep Sea, Kier Laboratory, UNC Chapel Hill as part of the HHMI Internship for Future Teachers. URL: http://www.unc.edu/depts/our/hhmi/hhmi-ft_learning_modules/octopusmodule/images/contraction.png.

रासायनिक ऊर्जा के यांत्रिक ऊर्जा में बदलते ही, मांसपेशियाँ सिकुड़ने लगती हैं।

निष्कर्ष

"वे आप में और मुझ में हैं; उन्होंने हमारा तन और मन बनाया है; और उन्हें बचाए रखना ही हमारे अस्तित्व का सार है। उन प्रतिकृतिकारकों/ नक़ल नवीसों ने एक लम्बा सफ़र तय किया है। अब उनका नामकरण 'जीन्स' हुआ है और हम उनकी जीवन-रक्षा मशीनें हैं।"

–'द सेल्फिश जीन' में रिचर्ड डॉकिन्स।

एक अत्यन्त ध्यानाकर्षक उदाहरण के द्वारा रिचर्ड डॉकिन्स रेखांकित करते हैं कि किस तरह कीमियागिरी जैविक प्रक्रियाओं को आदेशित करती है। हाँ, यह एक क्रान्तिकारी नज़रिया ज़रूर है, लेकिन हम यह भी जानते हैं कि दसियों लाखों सालों में प्राकृतिक चयन के चलते कुछेक क़िस्म की रासायनिकी को जैविक तंत्रों में अन्य के मुक़ाबले ज़्यादा तैनात किया गया है। इन्हीं रसायनों और उनकी अभिक्रियाओं के चलते न सिर्फ़ एक कीड़ा किसी चट्टान से अलग दिखता है, बल्कि इनसे ही तमाम जीवों का अस्तित्व सफलतापूर्वक कायम रहा है।

यह लेख, कुछेक उदाहरणों के द्वारा हमें बताता है कि रासायनिकी के सिद्धान्तों की समझ के बूते हम किस तरह जीवों सम्बन्धी अपनी समझ को समृद्ध कर सकते हैं और इसके उलट भी। लेकिन जैविकी की समझ के साथ रासायनिकी के प्रबल बन्धन को देखते हुए यही कहा जा सकता है अभी तो ऐसे कई बन्धनों की गाँठें खुलनी बाक़ी हैं। मसलन, क्या आपने कभी भोजन सम्बन्धी अपनी ज़रूरत पर रासायनिक दृष्टि से विचार किया है? भोजन को ऊर्जा में बदलने का आशय वास्तव में क्या है? और इस ऊर्जा का इस्तेमाल होता किसलिए है? क्या आप ऐसी अन्य कड़ियों के बारे में सोच सकते हैं?

Note: Credits for the image used in the background of the article title: *Dictyostelium discoideum*, Usman Bashir, Queller/Strassmann Research Group at Washington University in St. Louis, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dictyostelium_discoideum_43.jpg. License: CC-BY-SA.

Additional Resources

1. Cooper GM. The Cell: A Molecular Approach. 2nd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2000. DNA Replication. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK9940/.
2. Lodish H, Berk A, Zipursky SL, et al. Molecular Cell Biology. 4th edition. New York: W. H. Freeman; 2000. Section 2.4, Biochemical Energetics. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21737/.
3. Cooper GM. The Cell: A Molecular Approach. 2nd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2000. Metabolic Energy. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK9903/.
4. Westheimer, F. (1987). Why nature chose phosphates. Science, [online] 235(4793), pp.1173-1178. Available at: http://archives.evergreen.edu/webpages/curricular/2006-2007/m2o2006/seminar/westheimer.pdf [Accessed 6 Jun. 2018].

अनघ पुरन्दरे ऋषि वैली स्कूल में विज्ञान व जैविकी पढ़ाते हैं। उनके पुराने कार्य-अनुभव में स्कूली बच्चों की अवधारणात्मक समझ को परखने के साधन डिज़ाइन करना शामिल रहा है। उनकी रुचि अलग-अलग विषयों को परस्पर जोड़कर विज्ञान सीखना आसान बनाने में है। उनसे anaghp@rishivalley.org या anaghrv@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनिरुद्ध शास्त्री ने पुणे के इंडियन इंस्टिट्यूट ऑफ़ साइंस एजूकेशन एंड रिसर्च (IISER) से पौधों में तापमान सहनशीलता विषय पर अपने काम में पीएचडी प्राप्त की है। ASSET ग्रीष्मकालीन कार्यक्रम के ज़रिए उन्होंने प्रतिभाशाली विद्यार्थियों के साथ काम किया है। उनकी रुचि विज्ञान शिक्षण के सन्दर्भ में पाठ्यक्रम, मूल्यांकन परीक्षण और अन्य शैक्षिक उपकरण बनाने में है। सम्प्रति 'एजूकेशनल इनिशिएटिव्स' के साथ कार्यरत हैं। उनसे aniruddh0810@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : मनोहर नोतानी **पुनरीक्षण :** सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** अनुज उपाध्याय

Printed and published by Manoj P on behalf of Azim Premji Foundation for Development.
Printed at Suprabha Colorgrafix (P) Ltd., No. 10, 11, 11-A, J.C. Industrial Area, Yelachenahalli, Kanakapura Road, Bangalore 560062.
Published at Azim Premji University, Pixel B Block, PES College of Engineering Campus, Electronics City, Bangalore 560100.
Editors: Ramgopal Vallath & Chitra Ravi