आँखों देखा उद्विकास

शम्पा एम. घोष

प्राकृतिक चयन और उद्विकास सुदूर अतीत में हुई प्रक्रियाओं की कल्पनाओं को जन्म देते हैं। क्या हम वास्तविक समय में उद्विकास का अवलोकन कर सकते हैं? क्या हम इन अवलोकनों का उपयोग प्रकृति में होने वाले उद्विकास के परिवर्तनों को समझने के लिए कर सकते हैं?

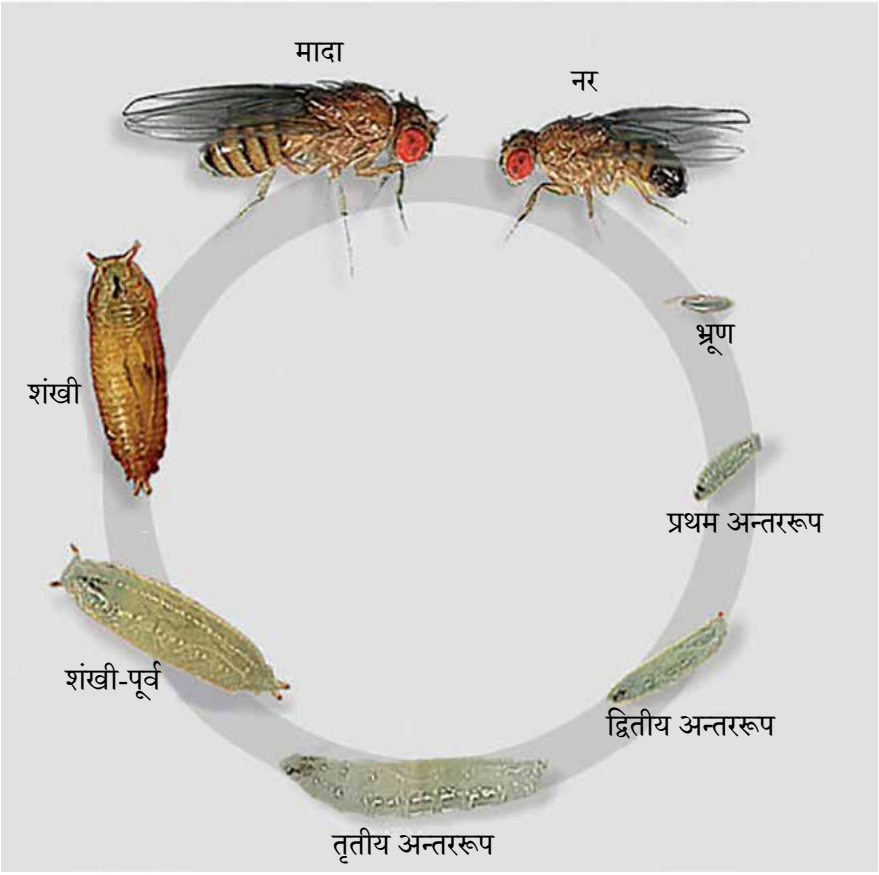
आमतौर पर उद्विकास के बारे में माना जाता है कि वह करोड़ों साल पहले घटित हुआ था। लेकिन मच्छरों में डीडीटी (डाईक्लोरो डाईफिनाइल ट्रायक्लोरोइथेन) के ख़िलाफ़ प्रतिरोध का विकास और महामारी के लिए ज़िम्मेदार नॉवेल कोरोनावायरस का उभरना मात्र दो उदाहरण हैं जिनसे पता चलता है कि उद्विकास एक चलती हुई प्रक्रिया है। यह तो हमारे चारों ओर इस क्षण भी जारी है।

हम उद्विकास का अध्ययन कैसे करते हैं? हममें से अधिकांश लोग उन अध्ययनों से तो वाक़िफ़ ही हैं जिनमें प्रागैतिहासिक जीवाश्मों की जाँच-पड़ताल की जाती है (पुराजीवाश्म विज्ञान) या जिनमें विभिन्न प्रजातियों की तुलना की जाती है (तुलनात्मक अध्ययन)। लेकिन बहुत कम लोग जानते हैं कि इस प्रक्रिया का अध्ययन वास्तविक समय में भी प्रयोगशाला की नियंत्रित परिस्थितियों में किया जा सकता है। इसे 'प्रायोगिक उद्विकास' नामक रोमांचकारी तरीक़े से किया जा सकता है। इसके लिए प्रयोगशाला में विकसित जीवों की आबादियों पर चुनिन्दा वैकासिक दबाव डाला जाता है और यह देखा जाता है कि ऐसे दबाव के चलते कई पीढ़ियों में किस तरह के परिवर्तन पैदा होते हैं। इस तरीक़े में आमतौर पर बैक्टीरिया, निमेटोड कृमि और फ्रूट फ्लाई वग़ैरह का उपयोग किया जाता है (देखें **चित्र-1**)। एक तो इन जीवों को प्रयोगशाला में पालना आसान है तथा दूसरी ओर, इनकी प्रजनन अवधि कम है और यह जेनेटिक दृष्टि से अध्ययन के योग्य हैं। इसका मतलब हुआ कि इन जीवों में वैकासिक परिवर्तन चन्द महीनों या वर्षों में ही उजागर हो जाते हैं, और वैज्ञानिक इन परिवर्तनों के पीछे के जेनेटिक कारणों को भी आसानी से देख सकते हैं।

उदाहरण 1 : 'विलम्बित बुढ़ापे' का विकास

हम बूढ़े क्यों होते हैं? इस सवाल ने हमें सदियों से परेशान कर रखा है। वैकासिक जीव वैज्ञानिक इस प्रक्रिया की एक व्याख्या प्रस्तुत करते हैं, जिसे बुढ़ाने का वैकासिक सिद्धान्त कहते हैं। यह सिद्धान्त इस मान्यता पर टिका है कि किसी भी आबादी की प्रजनन सफलता में सबसे अधिक योगदान युवाओं का होता है। यदि कोई जीव प्रजनन उम्र तक पहुँचने से पहले ही मर जाता है तो उसके जीन्स उसके साथ ही मर जाते हैं। लिहाज़ा, प्राकृतिक चयन उन जीन्स या गुणधर्मों को वरीयता देता है, जो किसी युवा को प्रजनन उम्र तक जीने में मददगार हों और वह स्वस्थ सन्तानें पैदा कर सके। जब कोई जीव प्रौढ़ होकर प्रजनन करने के लिए

ड्रॉसोफिला मेलानोगास्टर का जीवन चक्र



चित्र-1 : 25°C पर फ्रूट फ्लाई के जीवन चक्र की अवधि मात्र 10-12 दिन होती है। अर्थात ज़ायगोट को एक वयस्क बनने में केवल 10-12 दिन का समय लगता है। इस प्रक्रिया में परिवर्धन की कई अवस्थाएँ होती हैं – भ्रूण, इल्ली (प्रथम अन्तररूप, द्वितीय अन्तररूप और तृतीय अन्तररूप), शंखी (प्यूपा) तथा वयस्क।

Credits: Image Editor, Flickr. URL: https://www.flickr.com/photos/11304375@N07/2993342324. License: CC-BY.

पर्याप्त जी चुके, तो उस पर चयन का दबाव कम हो जाता है। यदि वह उसके बाद मर भी जाता है, तो उसके जीन्स अगली पीढ़ी में प्रसारित हो ही चुके हैं। इसलिए, किसी जीव को फिट रखने का दवाब उम्र के साथ घटता जाता है और ऐसे ख़तरनाक जीन्स प्रजाति में बने रहते हैं जो बड़ी उम्र में सक्रिय होते हैं। इस वजह से जीव में कई परिवर्तन होते हैं, जैसे कोशिकाओं में ऑक्सीकारक क्षतियों का इकट्ठा होना या शरीर के अंगों का कमज़ोर पड़ना। परिणामस्वरूप, जीव की सेहत में क्रमिक गिरावट होती है और बुढ़ापा या जर्जरता सामने आती है।

क्या हम जर्जरता को आगे धकेल सकते हैं और जीवन अवधि बढ़ा सकते हैं? कैलिफोर्निया विश्वविद्यालय, इरविन (यूएसए) के प्रोफ़ेसर माइकल रोस ने फ्रूट फ्लाई (*Drosophila melanogaster*) के सन्दर्भ में इस सवाल का जवाब देने की कोशिश की है (देखें **चित्र-2**)। वयस्क फ्रूट फ्लाई का औसत जीवन काल 35-40 दिन होता है। मादा आजीवन अण्डे देती रहती है, लेकिन उम्र बढ़ने के साथ उसके द्वारा दिए जाने वाले अण्डों की संख्या तेज़ी-से घटती है। रोस ने तय किया कि वे उस उम्र को विलम्बित करेंगे जिसमें मक्खियाँ पहली बार प्रजनन करती हैं और ऐसा वे हर पीढ़ी के साथ करेंगे। उनकी भविष्यवाणी थी कि इस आबादी की मक्खियों में दो गुणधर्मों का उद्विकास देखने को मिलेगा – विलम्बित बुढ़ापा और लम्बा जीवन काल। क्यों? क्योंकि ऐसी परिस्थितियों में प्राकृतिक चयन उन मक्खियों को वरीयता देगा जो लम्बे समय तक जीवित रही थीं, फिट बनी रही थीं और जिन्होंने अपनी उम्र की मक्खियों से ज़्यादा अण्डे दिए थे।

अपनी भविष्यवाणी की जाँच करने के लिए, रोस और उनके साथियों ने शुरुआत फ्रूट फ्लाई की पाँच एक-सी (Replicate) आबादियों से की। यह वंश एक जंगली आबादी से तैयार किए गए थे ताकि यह प्रयोगशाला में आमतौर पर अन्त:प्रजनन से उत्पन्न वंशों से ज़्यादा विविधता दर्शाएँ। उन्होंने इन आबादियों को दो समूहों में बाँट दिया– B (मतलब 'बेस') और O (यानी 'ओल्ड')। B आबादी की मक्खियों के अण्डे उनकी सामान्य प्रजनन उम्र पर एकत्रित किए गए। इसके विपरीत, O आबादी में से सिर्फ़ अधिकतम उम्र वाली मक्खियों के अण्डों को ही अगली पीढ़ी शुरू करने दिया गया। इससे पहले की उम्र में दिए गए अण्डों को नष्ट कर दिया गया। चयन का यह क्रम कई पीढ़ियों तक दोहराया गया और O आबादी की हर अगली पीढ़ी में अण्डे एकत्रित करने की उम्र बढ़ती गई।

O आबादी की मक्खियों ने बड़ी उम्र में प्रजनन के लिए इस चयन पर काफ़ी जल्दी प्रतिक्रिया दी। रोस की भविष्यवाणी के अनुरूप, उन्होंने न सिर्फ़ बढ़ी हुई उम्र में ज़्यादा अण्डे देने की क्षमता विकसित कर ली, बल्कि उनका जीवन काल भी पूरे अध्ययन के दौरान बढ़ता रहा। चयन के

चित्र-2 : एक वयस्क फ्रूट फ्लाई (*Drosophila melanogaster*) केले का भक्षण करती हुई।

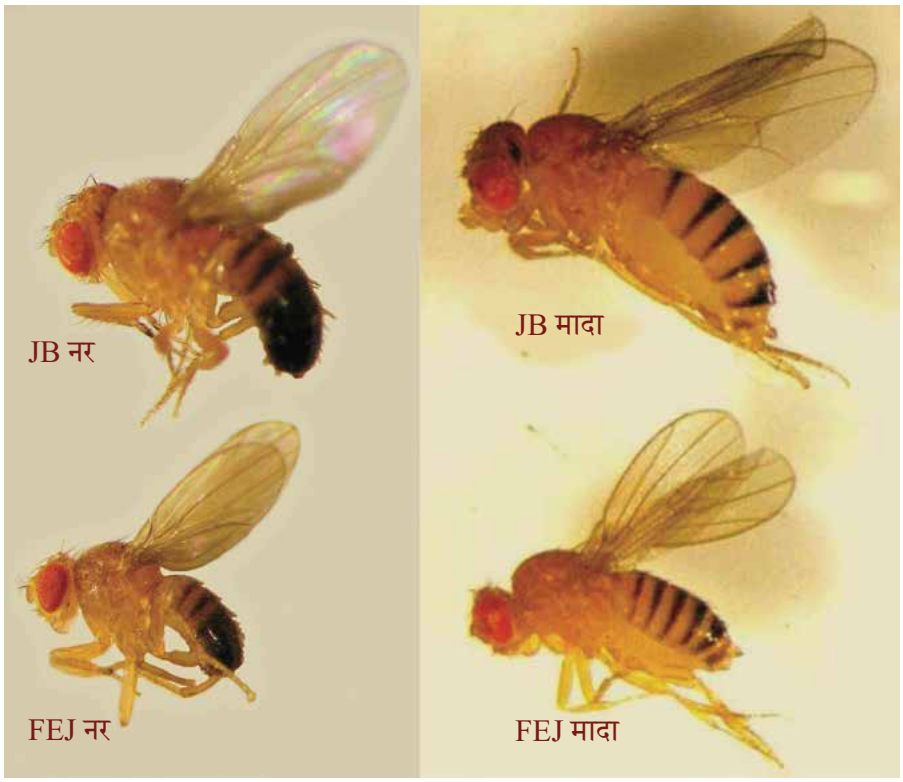
Credits: Sanjay Acharya, Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drosophila_melanogaster_Proboscis.jpg. License: CC-BY-SA.

लगभग एक दशक बाद (यानी क़रीब 75 पीढ़ियों के बाद) O आबादी की मक्खियों का औसत जीवन काल B आबादी की मक्खियों से दुगना था। हालिया रिपोर्ट के मुताबिक O आबादी की मक्खियाँ विकसित होकर अब सामान्य फ्रूट फ्लाई के मुक़ाबले चार गुना अधिक समय तक जीती हैं।

रोस ने इन दीर्घजीवी *ड्रॉसोफिला* आबादियों को 'मेथुसेला मक्खियाँ' नाम दिया है। यह नामकरण मेथुसेला के नाम पर है जो हेब्रू बाइबल के अनुसार सबसे अधिक जीने वाला पुरुष है। लेकिन बात यहीं नहीं रुकी। O मक्खियों में ज़्यादा चयापचयी भण्डारण देखा गया, भुखमरी, शुष्कीकरण और ऑक्सीकारक तनाव के विरुद्ध ज़्यादा प्रतिरोध देखा गया। कुल मिलाकर, यह मक्खियाँ *ड्रॉसोफिला* की सामान्य उम्र से भी अधिक देर तक युवा बनी रहीं। इन परिणामों ने यह दर्शाकर बुढ़ाने के वैकासिक सिद्धान्त का समर्थन किया कि यदि बूढ़े जन्तुओं में प्राकृतिक चयन क्रियाशील रहे तो बुढ़ापे को टाला जा सकता है।

उदाहरण 2 : तेज़तर परिवर्धन का विकास

क्या हम किसी जीव के परिवर्धन की अवधि को कम कर सकते हैं? इस सवाल का एक जवाब तो प्राकृतिक स्थिति में *ड्रॉसोफिला* जैसे कीट के अवलोकनों से मिलता है। इन जीवों का परिवर्धन सड़ते फलों के अन्दर होता है। वृद्धि करती इल्लियाँ भोजन के लिए एक-दूसरे से होड़ करती हैं। वे अपने विषैले अपशिष्ट पदार्थ भी फल के अन्दर ही छोड़ती हैं, जिसके चलते फल बढ़ते क्रम में अखाद्य होता जाता है। लिहाज़ा, यदि बाक़ी सब एक समान रहे, तो उम्मीद की जाती है कि प्राकृतिक चयन उन इल्लियों को वरीयता देगा जो अन्य के मुक़ाबले तेज़ी-से विकसित होकर वयस्क मक्खी में बदल सकती हैं। 1990 के दशक में चार शोध दलों ने इसी तर्क के आधार पर फ्रूट फ्लाई की ऐसी आबादियाँ तैयार करने में सफलता हासिल की थी जो सामान्य से तेज़ गति से परिवर्धित होती हैं। इनमें से



चित्र-3 : FEJ आबादी में मक्खियाँ JB आबादी की तुलना में कहीं अधिक छोटी हैं।
Credits: Shampa M. Ghosh. License: CC-BY-NC.

एक दल ने बेंगलूरु के जवाहरलाल नेहरू प्रगत वैज्ञानिक अनुसन्धान केन्द्र के प्रोफ़ेसर अमिताभ जोशी के नेतृत्व में काम किया था।

जोशी के दल ने *ड्रॉसोफिला* की चार एक-सी (Replicate) आबादियों (जिन्हें जोशी बेसलाइन या JB कहा गया था) पर चयन का निम्नलिखित क्रम लागू किया – प्रत्येक पीढ़ी में मात्र 25 प्रतिशत सबसे तेज़ी-से परिवर्धित मक्खियों को ही प्रजनन करने दिया गया। शेष 75 प्रतिशत को ख़ारिज कर दिया गया। इसके अलावा, इन मक्खियों को तुलनात्मक समूह की मक्खियों के मुक़ाबले कम उम्र में प्रजनन करने दिया गया। इससे जल्दी परिवर्धित होने का एक चयन दबाव बना, क्योंकि जो मक्खियाँ ऐसा नहीं कर पाती थीं, उन्हें अपने जीन्स अगली पीढ़ी में पहुँचाने का अवसर नहीं दिया गया। 100वीं पीढ़ी आते-आते इन FEJ (फास्टर-डेवलपिंग, अर्ली-रिप्रोड्यूसिंग, JB व्युत्पन्न) मक्खी आबादियों में अण्डे से वयस्क तक परिवर्धन की अवधि उनके पूर्वजों द्वारा ली गई अवधि की तीन-चौथाई थी।

लेकिन इस क्षमता की उन्होंने भारी कीमत भी चुकाई – इल्लियों की अधिक मृत्यु दर, लिपिड भण्डारण में कमी, तनाव के ख़िलाफ़ प्रतिरोध में कमी, और घटा हुआ प्रजनन आउटपुट वग़ैरह। यह इसलिए क्योंकि *ड्रॉसोफिला* के जीवन चक्र में परिवर्धन की अवधि अत्यन्त महत्त्वपूर्ण होती है। इल्ली के रूप में फ्रूट फ्लाई जमकर खा सकती है और साइज़ में बढ़ सकती है। लेकिन जब वह कायान्तरण के लिए प्यूपा खोल में क़ैद हो जाती है, तब उसके शरीर के पदार्थ में कुछ कमी आती है, और एक वयस्क के रूप में उसका सख़्त बाह्य-कंकाल साइज़ में और वृद्धि को रोक देता है। अर्थात, एक वयस्क मक्खी का साइज़ और शेष जीवन के लिए ऊर्जा की ज़रूरतें कमोबेश उस अवधि पर निर्भर करती हैं जो उसने इल्ली के रूप में भोजन करते बिताई है। यही कारण है कि तेज़तर परिवर्धित होती FEJ मक्खियों में वृद्धि तथा अण्डा उत्पाद समेत विभिन्न

कार्यों के लिए ऊर्जा की उपलब्धता कमतर होगी। इससे लगता है कि अन्य गुणधर्मों को प्रभावित किए बग़ैर किसी एक गुणधर्म को अधिकतम करना या बेहतर करना शायद सम्भव न हो। यह भी लगता है कि प्रकृति में परिवर्धन की जो औसत अवधि हमें नज़र आती है, वह किसी जीव के जीवन चक्र के कई गुणधर्मों के बीच एक सन्तुलन बनाती है। लिहाज़ा, अपेक्षा के विपरीत, प्राकृतिक चयन उन मक्खियों को शायद वरीयता न दे, जो इतनी तेज़ी-से परिवर्धित होती हैं कि अन्य गुणधर्मों पर असर पड़ता है।

रोचक बात यह रही कि FEJ का शारीरिक वज़न भी कम रहा। 70वीं पीढ़ी तक यह मक्खियाँ JB की तुलना में आधी साइज़ की थीं (देखें **चित्र-3**)। संकरण के एक सिलसिले ने दर्शाया कि FEJ और BJ आबादियाँ सफलतापूर्वक परस्पर प्रजनन करने में कम सक्षम थीं। चूँकि जीवों की किन्हीं दो आबादियों के बीच प्रजनन का अलगाव दो भिन्न प्रजातियों को परिभाषित करता है, इसलिए FEJ अध्ययन प्रयोगशाला में प्रजातिकरण (या, एक नई प्रजाति के निर्माण) की दिशा में प्रगति का एक दुर्लभ उदाहरण भी प्रस्तुत करता है।

चलते-चलते

प्रायोगिक उद्विकास से हमें इस प्रक्रिया को वास्तविक समय में देखने का अवसर मिलता है, और उद्विकास की विशिष्ट परिकल्पनाओं की तहक़ीक़ात के लिए दोहराने योग्य प्रयोगशाला आधारित प्रयोग डिज़ाइन करने में मदद मिलती है। साथ ही उद्विकास के पीछे के जेनेटिक कारकों को देखने में भी मदद मिलती है। व्यापक पर्यावरणीय उथल-पुथल, जैसे निर्वनीकरण, प्राकृतवास की क्षति और वैश्विक तापमान वृद्धि, के इस दौर में यह तरीक़ा प्रकृति में होने वाले परिवर्तनों को समझने और उनकी भविष्यवाणी करने का एक महत्त्वपूर्ण औज़ार हो सकता है।

मुख्य बिन्दु

- प्रायोगिक उद्विकास हमें प्रयोगशाला के अन्दर उद्विकास को वास्तविक समय में देखने का रोमांचक अवसर प्रदान करता है।
- इस तरीक़े में, उद्विकास का अध्ययन करने के लिए प्रयोगशाला में जीवों की एक आबादी पर कई पीढ़ियों तक चयन का विशिष्ट दबाव बनाया जाता है।
- इस तरीक़े में इस्तेमाल किए जाने वाले सबसे आम जन्तुओं में बैक्टीरिया, निमेटोड कृमि और फ्रूट फ्लाई हैं, हालाँकि अन्य छोटे जन्तुओं का उपयोग भी किया जा सकता है।
- यह तरीक़ा हमें विकसित प्रतिक्रियाओं (जेनेटिक परिवर्तनों समेत) का बारीकी से अध्ययन करने का मौक़ा देता है।
- इस तरीक़े से ऐसी फ्रूट फ्लाई का विकास हुआ जिनका जीवन काल लम्बा है और प्रयोगशाला में परिवर्धन तेज़तर है।

Note: Source of the image used in the background of the article title: https://www.pxfuel.com/en/free-photo-obrql. License: CC-0.

References:

1. Garland, T., and Rose M.R., Editors 2009. Experimental Evolution. University of California Press, Berkeley.
2. Kawecki, T.J., Lenski, R.E., Ebert, D., Hollis, B., Olivieri, I., and Whitlock, M.C. 2012. Experimental Evolution. Trends in Ecology and Evolution 27, 547–560.
3. Rose M.R. 1984. Laboratory evolution of postponed senescence in Drosophila melanogaster. Evolution 38, 1004–1010.
4. Rose M.R., Passananti, H.B., and Matos, M., Editors. 2004. Methuselah Flies: A Case Study in the Evolution of Aging. World Scientific Publishing, Singapore.
5. Prasad, N.G., and Joshi, A. 2003. What have two decades of laboratory life-history evolution studies on Drosophila melanogaster taught us? Journal of Genetics 82, 45–76.
6. Ghosh S. M. and Joshi, A. 2012 Evolution of reproductive isolation as a by-product of divergent life-history evolution in laboratory populations of Drosophila melanogaster. Ecology and evolution 2(12), 3214–3226.

शम्पा एम. घोष कलिंग इंस्टीट्यूट ऑफ़ इंडस्ट्रियल टेक्नॉलॉजी, भुवनेश्वर में सहायक प्राध्यापक हैं। उनकी प्रयोगशाला *ड्रॉसोफिला* का उपयोग करके प्रायोगिक उद्विकास और वैकासिक जीवविज्ञान के क्षेत्र में काम करती है। उनसे shampa.ghosh@kiitbiotech.ac.in पर सम्पर्क किया जा सकता है।

अनुवाद : सुशील जोशी **कॉपी एडिटर :** कविता तिवारी