उत्क्रांतीची रहस्ये उकलायचा प्रयत्न: सूक्ष्मजंतूंवर प्रयोग

सूक्ष्मजंतूंवरील प्रयोगांतून संशोधकांनी प्रयोगशाळेमध्ये उत्क्रांतीची नक्कल घडवून आणली आणि त्यांना किंचित वेगळ्या शर्करा देऊन त्यांच्या अनुकूलनात होणाऱ्या बदलांचा अभ्यास केला.

प्रतिमा श्रेय: Freepix

विज्ञान-कथेमध्ये समांतर विश्वातील एखादे पात्र अपेक्षेपेक्षा वेगळा मार्ग निवडते आणि त्यामुळे कथेत अनंत नवीन शक्यता निर्माण होतात. नेहमी जात असलेल्या एखाद्या ठिकाणी जाताना कधी बसऐवजी ट्रेनने प्रवास केल्यास वेगळे अनुभव येतात, पण आपण पोचतो मात्र अपेक्षित ठिकाणीच. निसर्गातही बहुदा असेच घडत असावे, जसे डार्विनच्या फिंच (शिंजीर) पक्ष्यांच्या चोचींचे आकार त्यांना उपलब्ध अन्नाशी जुळवून घेण्यासाठी वेगवेगळ्या प्रकारे विकसित झाले. प्रजातींची उत्क्रांती वेगवेगळ्या मार्गाने होण्यासाठी अन्नाचे स्रोत किती भिन्न असणे आवश्यक असेल? अन्नामधील फरक सूक्ष्म असले तरी वेगवेगळे गुणधर्म विकसित होतील का? आणि अशा स्थितींमध्ये पुढे काय होईल ते आपण भाकीत करू शकतो का? अनेक दशकांपासून उत्क्रांती जीवशास्त्रातील अशा काही मूलभूत प्रश्नांनी वैज्ञानिकांना गोंधळात टाकले आहे.

भारतीय तंत्रज्ञान संस्था मुंबई (आयआयटी मुंबई) च्या रसायन अभियांत्रिकी विभागातील संशोधकांनी सूक्ष्मजीवांच्या विश्वात ही प्रक्रिया समजून घेण्यास सुरुवात केली. अलीकडील दोन अभ्यासांमध्ये, त्यांच्या गटाने दोन सूक्ष्मजंतू प्रयोगासाठी वापरले: एक नेहमी प्रयोगांत वापरला जाणारा जिवाणू, एशेरिकिया कोलाय (Escherichia coli) किंवा ई. कोलाय (E.coli), आणि एक यूकेरियोटिक यीस्ट, सॅकरोमायसेस सेरेव्हिसिआय (Saccharomyces cerevisiae). ई. कोलाय आतड्यांमध्ये सापडणारा एक सामान्य जिवाणू आहे, आणि यीस्ट हा पाव तयार करताना लागणारा, म्हणजेच बेकिंगमधील एक सामान्य घटक आहे. एकसारख्या शर्करा परंतु थोड्या वेगवेगळ्या प्रकारे या सूक्ष्मजंतूना खाद्य म्हणून दिल्यावर सूक्ष्मजंतूंची प्रतिक्रिया कशी असते आणि ते कसे विकसित होतात, हे शोधायचा प्रयत्न संशोधकांनी केला.

पिढी दर पिढी सजीवांमध्ये होणारे बदल म्हणजे उत्क्रांती. एकसारख्या वातावरणातील अगदी सूक्ष्म भिन्नता प्रजातींना उत्क्रांतीच्या भिन्न मार्गावर नेऊ शकते असे दाखवणारा हा पहिला अभ्यास आहे. संशोधकांनी त्यांच्या प्रयोगांसाठी एका गटातील सूक्ष्मजंतूंना ग्लुकोज आणि गॅलेक्टोज (दुग्धजन्य पदार्थांमध्ये आढळणारी शर्करा) यांचे मिश्रण दिले. इतर गटांना त्यांनी त्याच ग्लुकोज आणि गॅलेक्टोजपासून बनलेल्या जटिल शर्करा (कॉम्प्लेक्स शुगर्स) मेलीबायोस किंवा लॅक्टोज दिले.

थोडक्यात, वरील सूक्ष्मजीवांना ग्लुकोज आणि गॅलेक्टोज समान प्रमाणात दिले गेले, परंतु ते वेगवेगळ्या स्वरूपात होते (साधे आणि जटिल). या अन्न स्रोतांना 'समान' म्हटले जाते, अर्थात त्या समान शर्करा आहेत, परंतु त्यांच्या सादरीकरणात बारीकसे फरक आहेत. उदाहरणार्थ, हे डाळ-भात आणि डोसा या दोन पदार्थांसारखे आहे, ज्यात घटक समान असले तरी सादरीकरण वेगळे असते. संशोधकांच्या गटाने सूक्ष्मजंतूंना या तीन शर्करायुक्त वातावरणात अनेकशे पिढ्यांपर्यंत वाढू दिले. त्यामुळे या सूक्ष्मजीवांच्या विश्वात उत्क्रांतीच्या प्रक्रियेला चालना मिळाली.

"*रासायनिक दृष्ट्या एकमेकांच्या जवळ असलेल्या शर्करा आम्ही इथे निवडल्या. खाद्य कोणत्या स्वरूपात मिळते याचा सूक्ष्मजीवांना काही फरक पडतो का ते आम्हाला पहायचे होते,*" असे या अभ्यासाचे नेतृत्व करणारे आयआयटी मुंबईचे प्रा. सुप्रीत सैनी म्हणाले.

अनेक पिढ्यांनंतर, अन्नातील सूक्ष्म फरकांमुळे उत्क्रांतीच्या मार्गाला फाटे फुटत जातात. तीनशे पिढ्यांनंतर, जिवाणूंच्या एका गटामध्ये त्यांची संख्या वाढण्याचा वेग वाढलेला दिसून आला, तर दुसऱ्या गटामध्ये जीववस्तुमान (बायोमास; एकूण वजन) जास्त दिसून आले. अशा प्रकारे त्यांच्या वाढीमध्ये दोन भिन्न वैशिष्ट्ये आढळली. यीस्टच्या गटांमध्येही असेच भिन्न परिणाम दिसून आले. साखरेच्या रचनेनुसार, सूक्ष्मजंतूंचा प्रत्येक गट अन्नातील फरकांशी जुळवून घेत उत्क्रांतीच्या दोन अशा मार्गांवर अनुकूलन (adaptation) करत जातो ज्यांचे पूर्वानुमान लावता येत नाही. अनेक उत्परिवर्तनांमुळे (mutations) हे अनुकूलन झाले असे जनुकीय अभ्यासात दिसून आले.

"*(अन्नामधील) एवढे बारीक फरक सूक्ष्मजीवांच्या अनुकूलन प्रक्रियेमध्ये पूर्णतः वेगवेगळे मार्ग तयार करतील असे आम्हाला अपेक्षित नव्हते. आमची निरीक्षणे असे सुचवतात की पेशी ज्या प्रकारे एखाद्या पोषकतत्वाला प्रतिक्रिया देतात त्याचा परिणाम कोणती उत्परिवर्तने उपयुक्त ठरतील आणि उत्क्रांती कोणत्या मार्गाने होईल यावर होतो,*" अशी माहिती दोन्ही अभ्यासाच्या सहलेखिका आणि पोस्ट डॉक्टरल संशोधिका नीतिका अहलावत यांनी दिली.

एखाद्या विशिष्ट अन्न स्रोताशी सूक्ष्मजंतूंचे अनुकूलन, म्हणजे जुळवून घेणे, त्यांच्या नवीन वातावरणातील वर्तनावर परिणाम करू शकते. या अतिरिक्त (स्पिल-ओव्हर) परिणामाला 'प्लेओट्रॉपिक प्रतिसाद' (pleiotropic response) किंवा एखाद्या वातावरणातील अनुकूलनाच्या अनुषंगाने येणारा परिणाम असे म्हटले जाते. आश्चर्याची गोष्ट म्हणजे, जेव्हा संशोधकांनी ई. कोलाय आणि यीस्ट या दोन्हीच्या विकसित झालेल्या नव्या गटांना प्रयोगांध्ये वापरल्या गेलेल्या शर्करांपेक्षा वेगळ्या शर्करा स्रोतांमध्ये हलवले तेव्हा त्यांची वाढ वर्तवलेल्या अंदाजाप्रमाणे होत गेली. ज्या वातावरणात हे सूक्ष्मजीवांचे गट वाढले होते, त्या वातावरणातील त्यांच्या कामगिरीचा अंदाज लावता येत नसला तरी, त्यांच्या उत्क्रांतीचे परिणाम यशस्वीरित्या वर्तवता आले!

"*उत्क्रांतीची प्रक्रिया परिवर्तनशील आहे आणि त्याला मर्यादा पण आहेत याची आठवण या निरीक्षणामुळे होते. समान वातावरणात (सूक्ष्मजीवांच्या वर्तनात) काय बदल होतील याचाअंदाज वर्तवता येणे शक्य नव्हते. उत्क्रांतीमधील संभाव्य परिवर्तनशीलतेचे हे उदाहरण आहे. तरीही, त्या उत्क्रांतीचे नवीन वातावरणामध्ये*

दिसून येणारे प्लेओट्रॉपिक परिणाम आश्चर्यकारकपणे सुसंगत होते. विकसित झालेले जीव एखाद्या वेगळ्या वातावरणात कशी कामगिरी करतील ते त्यांच्या पूर्वजांचे वर्तन कसे होते या आधारावर भाकीत केले जाऊ शकते," असे आयआयटी मुंबईच्या माजी पीएचडी विद्यार्थिनी आणि ई. कोलाय वरील अभ्यासाच्या सहलेखिका पवित्रा वेंकटरामन यांनी सांगितले.

हे निष्कर्ष मोठ्या प्रमाणावर औद्योगिक उपयोगांसाठी वापरले जाऊ शकतात. सूक्ष्मजंतूंना उपलब्ध असलेल्या संसाधनांच्या संयोजनात फेरफार केल्याने सूक्ष्मजंतूंमध्ये फायदेशीर गुणधर्म उत्पन्न करता येऊ शकतील. सुधारित वाढ असलेल्या आणि चयापचयादरम्यान उत्तम उत्पाद तयार करणाऱ्या सूक्ष्मजंतूंचा उपयोग अन्न आणि पेये, औषधनिर्माण आणि जैवइंधने (बायोफ्युएल्स) यासारख्या उद्योगांमध्ये व्यावसायिक उपयोगांसाठी केला जाऊ शकतो.

"विशिष्ट संसाधनांचा वापर करून रोगजंतूंचे उत्क्रांतीचे मार्ग मर्यादित ठेवता येतील असा विचार आपण आता करू शकतो. त्यामुळे प्रतिजैविकांना रोखणाऱ्या प्रतिकारशक्तीला (अँटिबायोटिक रेझिस्टन्स) आळा घालता येईल. सध्या संशोधनाचा सुरवातीचा काळ आहे, पण या शक्यता आमचा उत्साह वाढवणाऱ्या आहेत," असे प्रा. सैनी यांनी सुचवले.

अनेक कथानकांची मिसळ असलेल्या एखाद्या काल्पनिक कथेप्रमाणे, उत्क्रांतीमध्ये अनंत भिन्न शक्यता निर्माण होऊ शकतात. कथा आणि उत्क्रांती, दोन्हींमध्ये एक समान धागा आहे: एक समान सुरुवात, एक वेगळे वळण आणि भिन्न अनुभव, मात्र ज्याचे भाकित आपण करू शकतो असा अदृश्य नियमांवर आधारित शेवट. सदर अभ्यासाचे निष्कर्ष असे दर्शवतात की आपण या कथेचा शेवट तर बघू शकतोच, शिवाय त्यामागचे अदृश्य नियम शिकून निकालाचे भाकीत देखील करू शकतो!

VETTED / UNVETTED	VETTED
Title of Research Paper	1. Effects of resource packaging on the adaptative and pleiotropic consequences of evolution 2. Resource presentation dictates genetic and phenotypic adaptation in yeast
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1038/s41540-025-00558-2, https://doi.org/10.1186/s12862-025-02361-3
List of all researchers with affiliations	Neetika Ahlawat, Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai-400076, India Pavithra Venkataraman, Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai-400076, India Raman Gulab Brajesh,

VETTED / UNVETTED	VETTED
	Department of Biomedical Engineering and Bioinformatics, Swami Vivekanand Technical University, Durg, India Anjali Mahilkar Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai-400076, India Supreet Saini, Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai-400076, India
Email of researcher/s	pavithrav@iitb.ac.in, saini@che.iitb.ac.in, neetika.ahlawat@gmail.com, brajeshrg@csvtu.ac.in
Writer name	Divyapriya Chandrasekaran
Transcreator name	Shilpa Inamdar-Joshi
Credits to Graphic:	Image from Freepix
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/Technology/Engineering/Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive/Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	#Evolution, #Microbes, #Yeast, #Bacteria, #Genetics, #Adaptation, #Pleiotropy
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	1. Can a tiny tweak in the choice lead to different paths? Read the deep-dive to know how microbes' food source pushes them to separate routes with possible side effects. 2. Like a fiction story with multiple plots, evolution can create endless variations. Researchers replicate evolution in the lab using common microbes and feeding them with subtly different sugars, and then observing how their adaptations diverge. Read on for more at <link> extra: Darwin Finches Explainer
Social Media Handles to be added	@iitbombay

VETTED / UNVETTED	VETTED
Social Media handles of writer	Instagram: @divyapriya_iora
Social Media handles of researchers	X: @microbialevo, @SupreetSaini13, @AhlawatNeetika, and @pavivenkat
Funding information (Source: Research paper)	DBT/Wellcome Trust (India Alliance) grant, Prime Minister's Research Fellowship, Post Doctoral Fellowship at IIT Bombay, Council of Scientific and Industrial Research (CSIR), Government of India.
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	None
Location:	Mumbai