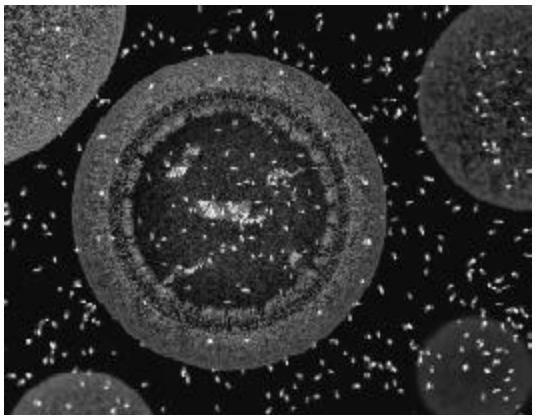
रासायनिक संश्लेषण और संश्लेषित कोशिका

पी. बालाराम

विश्लेषण और संश्लेषण, इन दो शब्दों का रसायन शास्त्र में बहुत विशिष्ट अर्थ है। पदार्थ के अध्ययन में विश्लेषण के ज़्यादा से ज़्यादा परिष्कृत औज़ारों की ज़रूरत सदा से रही है। पिछली दो सदियों में भौतिकी व रसायन शास्त्र की सफलताओं ने पदार्थ - सजीव और निर्जीव दोनों तरह के पदार्थ - की प्रकृति को लेकर काफी समझ प्रदान की है। जीव विज्ञान व जीवन तथा रसायन शास्त्र व निर्जीव पदार्थ के बीच के अंतर सबसे पहले 1820 के दशक में उस समय धुंधले पड़े थे जब फ्रेडरिक व्होलर ने अमोनियम सायनेट को तपाकर यूरिया बना डाला था; जहां यूरिया सजीवों से जुड़ा एक रसायन था वहीं अमोनियम सायनेट निर्जीव रसायन के दायरे में शुमार था। यह वास्तव में पदार्थ और रसायन शास्त्र को एकाकार करने की दिशा में निर्णायक कदम था।

जीवनी शक्ति वाद (वाइटेलिज़्म), जिसमें सजीवों में एक रहस्यमय जीवनी शक्ति की कल्पना की गई थी, को एक ज़ोरदार झटका तब लगा जब एडुआर्ड बुकनर ने उन्नीसवीं सदी के अंतिम वर्षों में 'कोशिकाओं के रस' से किण्वन का प्रदर्शन किया। स्पष्ट था कि जीव विज्ञान रसायन शास्त्र के नियंत्रण में है। बीसवीं सदी में रासायनिक विश्लेषण और रासायनिक संश्लेषण दोनों में ज़बर्दस्त तरक्की हुई है।

संश्लेषण, खास तौर से कार्बनिक रसायनों के संश्लेषण के क्षेत्र में फोकस उन रसायनों को प्रयोगशाला में बनाने की रणनीतियां विकसित करने पर रहा जिन्हें सजीव काफी सहजता व आसानी से बना लेते हैं। प्राकृतिक उत्पादों का 'पूर्ण संश्लेषण' कठिन व श्रमसाध्य प्रायोगिक मुहिमों का क्षेत्र रहा है। जब ऐसी किसी मुहिम का लक्ष्य हासिल हो जाता है, तो अगला काम होता है उसी जैसी संरचना वाले 'गैर-प्राकृतिक' रसायन का संश्लेषण करना। ये प्राकृतिक सदृश रसायन कई बार चिकित्सा वगैरह क्षेत्रों में बहुत मूल्यवान साबित हुए हैं।



प्रकृति के रासायनिक खजाने के चलते प्राकृतिक उत्पादों में इतनी ज़बर्दस्त विविधता पाई जाती है कि यह रासायनिक संरचनाओं के पारखियों को लगातार अचंभित करती रहती है। कार्बनिक संश्लेषण काफी समय से लक्ष्य-आधारित रहा है। ऐसे जटिल संरचना वाले रसायनों को प्रयोग शाला में बनाना अपने आप में चुनौती रही है। परमाणुओं को एक-दूसरे से जोड़ना और साथ-साथ उनकी त्रि-आयामी जमावट पर भी नियंत्रण रखना कोई आसान काम नहीं है। संपूर्ण संश्लेषण के लंबे व कठिन अभियान के लिए कल्पनाशीलता, प्रायोगिक हुनर, धैर्य और लगन की ज़रूरत होती है। अलबत्ता, विज्ञान के अन्य क्षेत्रों की तरह कार्बनिक संश्लेषण का क्षेत्र भी बदल रहा है। जल्दी ही 'परमाणु किफायत' और 'हरित रसायन शास्त्र' जैसे जुम्ले इस क्षेत्र में हावी हो जाएंगे। नेचर पत्रिका में एस.ए. स्नाइडर ने हाल के अपने एक आलेख में कहा है कि "इक्कीसवीं सदी के संश्लेषण रसायन शास्त्र की सबसे बड़ी चुनौती संभवतः सिर्फ दिए गए लक्षित अणु को बनाना नहीं बल्कि उसे ऐसी कार्य कुशलता व लागत पर बनाने की होगी जो स्वयं प्रकृति से टक्कर ले सके।"

पारंपरिक 'प्राकृतिक उत्पाद रसायन शास्त्र' में ध्यान मुख्य रूप से सजीवों, और उनमें भी सूक्ष्मजीवों और वनस्पतियों

द्वारा बनाए जाने वाले 'सेकंडरी मेटाबोलाइट्स' पर दिया गया है। प्रकृति में ये विविध रसायन बनाने (यानी इनका जैव संश्लेषण करने) के लिए कुछ एंज़ाइम्स का उपयोग होता है जो किसी रासायनिक क्रिया को उत्प्रेरित करते हैं। इन्हें प्रयोगशाला में दोहराना सदा संभव नहीं होता। प्रकृति का रसायन शास्त्र सचमुच 'हरित' है। इसमें कुछ ऐसी कार्यक्षमता है जिससे ईर्ष्या की जा सकती है। उक्त एंज़ाइम्स (जो सदा प्रोटीन ही होते हैं) का निर्माण भी अत्यंत कार्य कुशलता के साथ किया जाता है। यह काम जीव के जीनोम में मौजूद 'डी.एन.ए. ब्लूप्रिंट' के आधार पर होता है। इसके अलावा नियंत्रण की अत्यंत परिष्कृत व्यवस्था होती है जो इन रसायनों के निर्माण को बंद और चालू कर सकती है। इस प्रकार से कोई भी जीव अपने पर्यावरण से मिलने वाले उद्दीपनों की उपयुक्त रासायनिक प्रतिक्रिया दे सकता है। यहां एक गौरतलब बात यह है कि जहां सजीवों, खासकर सूक्ष्मजीवों और वनस्पतियों के सेकंडरी मेटाबोलाइट्स संश्लेषण रसायनज्ञों के आकर्षण का विषय रहे हैं वहीं सजीवों द्वारा बनाए जाने वाले प्राथमिक पदार्थ कार्बनिक रसायन की मुख्यधारा से दूर ही रहे हैं।

जैविक रसायन के मुख्य किरदार प्रोटीन्स और न्यूक्लिक एसिड्स हैं। इनमें बहुलक या पोलीमर अणु होते हैं जिनमें कुछ इकाइयां आपस में जुड़ी होती हैं। इन इकाइयों की संख्या काफी सीमित है। इन पोलीमर्स को बनाने के लिए जिन रासायनिक चरणों की ज़रूरत होती है, वे हमेशा चुनौती रहे हैं। प्रोटीन और न्यूक्लिक एसिड के रसायन शास्त्र की शुरुआत उन्नीसवीं सदी के अंतिम वर्षों और बीसवीं सदी के शुरुआती वर्षों में एमिल फिशर के काम से हुई थी। इस क्षेत्र में सबसे नाटकीय प्रगति 1950 और 1970 के दशक में हुई जब न्यूक्लिक एसिड के संश्लेषण की विधियां खोजी गईं। खास तौर से हरगोविंद खुराना ने डी.एन.ए. संश्लेषण के तरीके खोजे और ब्रूस मेरीफील्ड ने 'ठोस अवस्था संश्लेषण' के सिद्धांतों का विकास किया। दरअसल, प्रोटीन व न्यूक्लिक एसिड के चरण-दर-चरण संश्लेषण में जिस तकनीक ने बहुत सहूलियत दी वह यह है कि पोलीमर की बढ़ती श्रृंखला को एक ठोस पदार्थ पर पकड़कर रखा जाए और हर चरण पूरा होने के बाद अभिकारकों को अच्छे से धोकर अलग कर दिया जाए। अंत में ठोस पदार्थ को किसी रसायन में घोलकर मनचाहा प्रोटीन अथवा न्यूक्लिक एसिड प्राप्त किया जा सकता है।

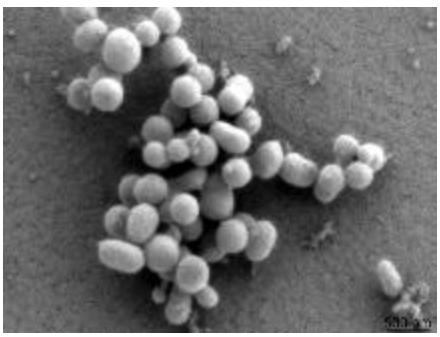
चूंकि इस प्रक्रिया में एक ही चरण बार-बार दोहराया जाता है इसलिए इसे स्वचालित बनाना आसान है। आजकल स्वचालित 'संश्लेषक' आधुनिक प्रयोगशालाओं में एक सामान्य-सा उपकरण है। इन्होंने रसायनज्ञों के काफी समय व श्रम की बचत की है। अब तो शोधकर्ता संश्लेषित न्यूक्लिक एसिड व प्रोटीन्स इंटरनेट पर खरीद सकते हैं। ऐसा किसी ने सपने में भी नहीं सोचा था। इसी प्रकार से, निहायत तेज़ गति से जीनोम का विश्लेषण (यानी श्रृंखला निर्धारण) करने की क्षमता ने आणविक जीव विज्ञान में क्रांति ला दी है। जीन्स का संश्लेषण भी अब काफी कम लागत पर और काफी रफ्तार से किया जा सकता है। डी.एन.ए. की प्रतिलिपियां बनाना, उसमें से हिस्सों को काटना, तथा कहीं और चिपका देना, इन क्षमताओं का विकास जैव टेक्नॉलॉजी के केंद्र में रहा है।

इस पृष्ठभूमि में जब हाल ही में 'रासायनिक रूप से संश्लेषित जीनोम द्वारा नियंत्रित बैक्टीरिया कोशिका के निर्माण' की घोषणा हुई तो यह लगभग अपेक्षित ही था। क्रेग वेंटर की अगुआई में काम कर रहे शोधकर्ताओं के एक दल ने '*मायकोप्लाज़्मा मायकॉइड्स* नामक जीव के समान जीनोम के डिज़ाइन, संश्लेषण व जमावट' का विवरण दिया है। करीब 10.8 लाख क्षार-जोड़ियों को जमाकर संश्लेषित जीनोम निर्माण के काम में 1078 'डी.एन.ए. केसेट्स' का उपयोग किया गया; प्रत्येक केसेट पर 1080 क्षार जोड़ियां थीं। संश्लेषित श्रृंखला पर कुछ 'वॉटर मार्क' हैं जिनसे इसे प्राकृतिक श्रृंखला से अलग पहचानने में मदद मिलती है। वेंटर के दल ने इस संश्लेषित जीनोम को एक अपेक्षाकृत तेज़ी से वृद्धि करने वाले सूक्ष्मजीव *मायकोप्लाज़्मा केप्रिकोलम* में रोप दिया, यह देखने के लिए कि क्या कोई कोशिका एक संश्लेषित जीनोम के नियंत्रण में वृद्धि कर सकती है और विभाजित हो सकती है। विशेषज्ञ लोग ज़रूर इस लक्ष्य तक पहुंचने की रणनीति की चीरफाड़ करेंगे, मगर इतना

स्पष्ट है कि यह एक रासायनिक सफर है जिसने वर्तमान आणविक जीव विज्ञान की विश्लेषण व संश्लेषण की क्षमता प्रदर्शित की है।

वेंटर व उनके साथियों का यह शोध पत्र आणविक जीव विज्ञान की फतह का एक और झंडा है। शोधकर्ताओं का कहना है, "पिछले पच्चीस वर्षों में जीनोमिक सूचना को डिजिटलाइज़ करने की हमारी क्षमता कम से कम 10 करोड़ गुना बढ़ गई है।" रासायनिक रूप से संश्लेषित जीनोम बनाने के पीछे उनका तर्क काफी सरल है, "किसी भी कोशिकीय व्यवस्था के सारे जीन्स को उनकी जैविक भूमिका के लिहाज़ से नहीं समझा गया है। यहां तक कि सरल बैक्टीरिया कोशिका में भी क्या गुणसूत्रों में पूरा जिनेटिक खजाना मौजूद होता है? यदि ऐसा है, तो क्या डी.एन.ए. की डिजिटल सूचना के आधार पर रासायनिक रूप संश्लेषित इकाई की मदद से एक पूरी जिनेटिक व्यवस्था को पुनर्स्थापित किया जा सकता है?"

सवाल यह है कि क्या वेंटर और उनके साथियों ने मात्र डी.एन.ए. के रासायनिक घटकों को जोड़कर,*मायकोप्लाज़्मा* के रूप में, संश्लेषित जीवन निर्मित कर लिया है? शोधकर्ता कहते हैं कि वे "रासायनिक इकाइयों से निर्मित जीनोम द्वारा नियंत्रित कोशिका को 'संश्लेषित कोशिका' कहते हैं हालांकि इस ग्राहक कोशिका का कोशिका द्रव्य संश्लेषित नहीं है।" वे आगे कहते हैं कि "जब प्रत्यारोपित जीनोम वाली कोशिका संख्या-वृद्धि करेगी, तब ग्राहक कोशिका के कोशिका द्रव्य के गोचर प्रभाव कमज़ोर पड़ते जाएंगे।" और वे यह भी जोड़ते हैं. "संश्लेषित जीनोम द्वारा नियंत्रित कोशिका के गुणधर्म ठीक वही होने की उम्मीद है जो तब होते जब यह पूरी कोशिका ही संश्लेषित ढंग से प्राप्त की जाती।"



वेंटर के शोध पत्र ने इस पुराने सवाल को फिर से खोल दिया है: 'क्या जीवन का संश्लेषण किया जा सकता है?' इस शोध पत्र पर जो टिप्पणियां आई हैं, लगभग उन सबमें तकनीकी उपलब्धि की तारीफ की गई है मगर इस धारणा को खारिज कर दिया गया है कि कोशिका के रासायनिक घटकों से शुरू करके प्रयोगशाला में जीवन का निर्माण कर लिया गया है। इस पर संश्लेषण जीव विज्ञान के आठ विशेषज्ञों की राय हाल ही में नेचर में प्रकाशित हुई है। इन्हें पढ़ना दिलचस्प है। स्टीवन बेनर एक उकसाने वाली राय प्रस्तुत करते हैं: "संश्लेषण एक क्षेत्र नहीं है। वास्तव में यह अनुसंधान की एक रणनीति है, जिसे वैज्ञानिक ऐसे किसी भी क्षेत्र में लागू कर सकते हैं जहां टेक्नॉलॉजी की मदद से नए पदार्थों की डिज़ाइन संभव है। रसायन शास्त्र में ऐसी टेक्नॉलॉजी हमेशा से उपलब्ध रही है जहां इसने कुछ क्षेत्रों में सिद्धांतों के अपेक्षाकृत तेज़ विकास में मदद दी बजाय उन क्षेत्रों के जहां संश्लेषण संभव नहीं था, जैसे ग्रहीय विज्ञान या जीव विज्ञान।" बेनर का मत है कि संश्लेषण की प्रमुख चुनौती यह नहीं है कि 'प्राकृतिक जैविक घटकों' के साथ छेड़छाड़ की जाए, बल्कि यह है कि नई डिज़ाइन निर्मित की जाए। वे आगे कहते हैं: "यदि डिज़ाइन की रणनीतियों में खामियां हैं, तो वे इस तरह नाकाम होंगी जिसको अनदेखा नहीं किया जा सकेगा। लिहाज़ा संश्लेषण खोज और तकनीकी नवाचार को जिस ढंग से आगे बढ़ाता है, वैसा मात्र अवलोकन और विश्लेषण नहीं कर सकते।"

जिम कोलिन्स थोड़ा हतोत्साहित करते हैं, "स्पष्ट कहूं तो जीव वैज्ञानिक जीव विज्ञान के बारे में इतना नहीं जानते कि जीवन का सृजन कर सकें। यह सही है कि मानव जीनोम प्रोजेक्ट ने कोशिका के पुर्जों की सूची को विस्तृत कर दिया है मगर इन्हें जोड़कर एक सजीव कोशिका बनाने का निर्देश-मैनुअल अभी नहीं बना है। यह तो ऐसा ही है कि जंबो जेट के सारे पुर्जों को जोड़कर हवाई जहाज़ बनाना - असंभव।"

संश्लेषित कोशिका ने एक और पुराने सवाल को खोल दिया है: 'जीवन क्या है?' यह सवाल एर्विन श्रोडिंजर ने अपनी पुस्तक में उठाया था, और इस पुस्तक ने भौतिक शास्त्रियों की एक पूरी पीढ़ी को

जीव विज्ञान की ओर आकृष्ट करने का काम किया था। इस सवाल का जवाब कभी बहुत स्पष्ट नहीं रहा और संश्लेषित कोशिका सम्बंधी बहस भी कोई संतोषजनक समाधान प्रस्तुत करती नज़र नहीं आती।

वेंटर और उनके साथियों ने जो तकनीकी फतह हासिल की है, वह इंजीनीयर्ड जीनोम्स (यानी परिवर्तित जीनोम्स) का मार्ग प्रशस्त करेगी। जैव टेक्नॉलॉजी में इसके कई उपयोग होंगे। जीनोम विश्लेषण और संश्लेषण परिवर्तित जीवों की रचना के प्रमुख औज़ार होंगे। ये जीव हमारी मनपसंद रासायनिक क्रियाएं करने के लिए तैयार किए जाएंगे। अलबत्ता, संश्लेषित जीवन फिर भी एक दूरस्थ स्वप्न ही रहेगा। कई वर्षों पहले संश्लेषण रसायन के प्रतिष्ठित वैज्ञानिक आर. बी. वुडवर्ड से पूछा गया थाः "क्या आपका अगला कदम जीवन के संश्लेषण का होगा?" उनका जवाब उल्लेखनीय हैः "अभी जिस ढंग से जीवन का निर्माण होता है, मैं उससे खुश हूं।" ***(स्रोत फीचर्स)***