

## পর্ব-৩

### সৌর শক্তির আলোক রাসায়নিক রূপান্তর

ভিনসেন্জা বালজানি, আলবার্টো ক্রেডি এবং মার্গেরিটা ভেঞ্চুরি  
রসায়ন বিভাগ, ইউনিভার্সিটি অব বলগ্না, ভায়া সেল্‌মি ২, ৪০১২৬ বলগ্না, ইটালী  
(*ChemSusChem* 2008, 1(1-2), 26)

(ইটালীর ইউনিভার্সিটি অব বলগ্নার রসায়ন বিভাগের প্রফ্যাত অ্যামিরিটাস অধ্যাপক জিয়াকোমো  
সিয়ামিসিয়ান এঁর ১৫০তম জন্মবার্ষিকীতে তাঁর স্মৃতির উদ্দেশ্যে নিবেদিত)

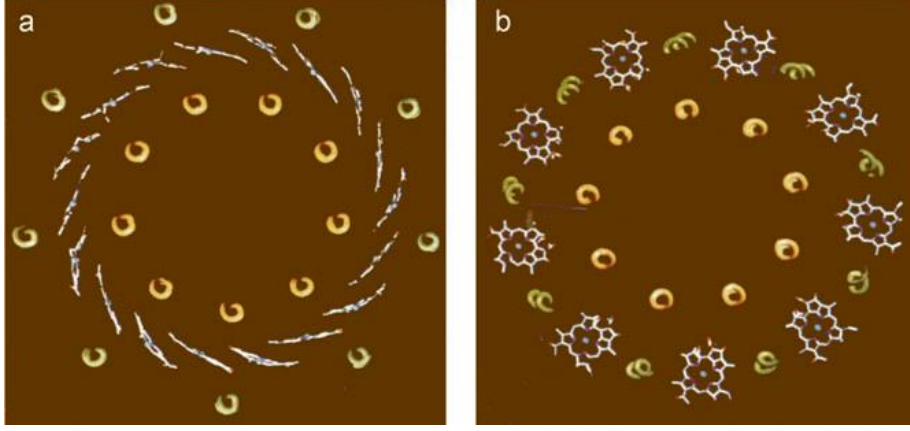
ভাবানুবাদ  
কেশব কুমার অধিকারী

### প্রাকৃতিক সালোকসংশ্লেষণ

**২.১ পূর্বকথা:** সালোক সংশ্লেষণ ঘটায় এমন প্রাণময় বস্তু, উদ্ভিদ এবং প্রাণীকূলের সর্বত্রই সমানভাবে বিচরণ করতে দেখা যায়। প্রাণের উন্মেষ এবং বিকাশ সাধনে এদের অবদান অনস্বীকার্য। প্রকৃতিগত ভাবে এরা ভিন্ন ভিন্ন প্রজাতির হলেও আভ্যন্তরীণ নিগূঢ়তম রাসায়নিক কৌশল প্রধানতঃ একই। যেখানে আলোক শক্তি প্রাথমিক ভাবে অ্যান্টেনা প্রোটিনের (Antenna proteins) অসংখ্য আলোক সংবেদী কণা (Chromophores) কর্তৃক বিশোষিত হয়। অতঃপর এই শোষিত শক্তি স্থানান্তরিত হয় বিশেষ এক কেন্দ্রীয় বিক্রিয়ক প্রোটিনে (Specialized reaction center protein), যেখানে এই শক্তি বিশেষ এক ধরনের ইলেক্ট্রন স্থানান্তর প্রক্রয়ার (Electron transfer reaction) মাধ্যমে রূপান্তরিত হয় রাসায়নিক শক্তিতে (Chemical energy)<sup>১৭</sup>।

### ২.২ প্রাকৃতিক অ্যান্টেনা পদ্ধতি (Natural antenna system):

আসলে প্রাকৃতিক অ্যান্টেনা সমূহ মূলতঃ পার্পল ব্যাকটেরিয়ার<sup>১৮</sup> (Purple bacteria) আলোক সংগ্ৰহী জটিল যৌগ (Light harvesting complex)। রোডোসিউডোমোনাস অ্যাসিডোফাইলার (Rhodospseudomonas acidophila) সালোক সংশ্লেষী অঙ্গের আলোক সংগ্ৰহী (Light harvesting) অ্যান্টেনা কমপ্লেক্স (Antenna complex), LH2 এর উচ্চ বিন্যস্ত এক্স-রে কৃষ্ণাল গঠন (High resolution x-ray crystal structure) [ছবি-১] প্রকৃতপক্ষে উন্মুক্ত করেছিলো এতদসংক্রান্ত গবেষণার সম্ভাব্য দ্বার। এই কমপ্লেক্স আসলে ব্যাকটেরিও ক্লোরোফিল (Bacteriochlorophyll), Bchl., অনুর সুসংবদ্ধ দু'টি চক্র (Ring) সমন্বয়ে গঠিত। যার একটি হলো সেলের (Cell) বহিঃআবরণের (Membrane) সাথেই ১৮টি অনু সমন্বয়ে পিঠাপিঠি সমান্তরাল ভাবে এমন ভাবে সাজানো থাকে যেন ঠিক অনেকটা টারবাইন চক্রের মতো [ছবি-১(a)]। অন্য সেটটি নয় Bchl. অনু বিশিষ্ট সমতলীয় চক্র এবং পূর্ববর্তী চক্রের তলের সাথে সমকৌণিক ভাবে সেল আবরণের দ্বি-বিস্তৃতির (Bilayer) মাঝে বিশেষ এক পদ্ধতিতে বিন্যস্ত থাকে [ছবি-১(b)]।

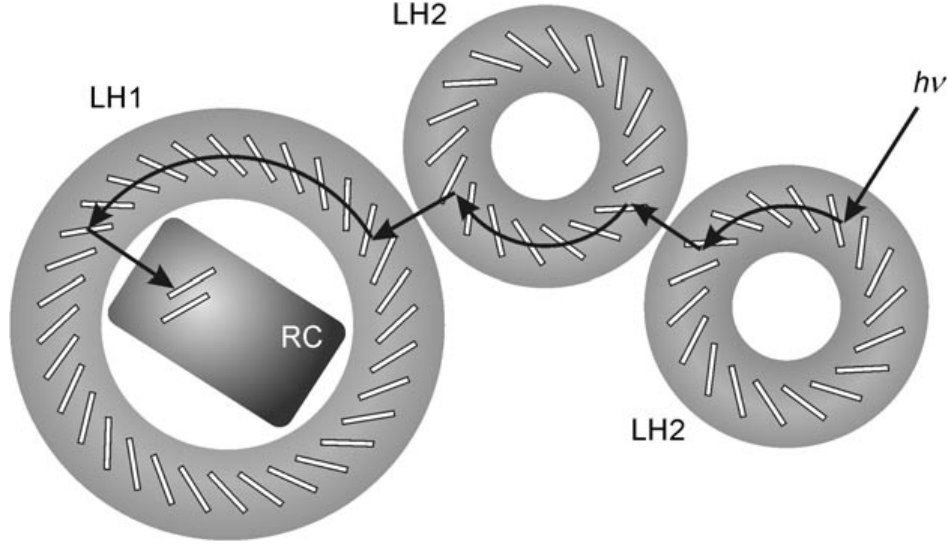


**চিত্র-১:** রোডোসিউডোমোনাস অ্যাসিডোফাইলার (*Rhodospseudomonas acidophila*) আলোক সংগ্ৰহী LH2 অ্যান্টেনা পদ্ধতির গঠন শৈলী। (a) ১৮টি Bchl. অনু সমন্বয়ে গঠিত চক্র এবং (b) ৯টি অনুর চক্র।

এই যে চক্রাকার গঠন গুলো, এগুলো রয়েছে আবার ১.৮ এবং ৩.৪ ন্যানোমিটার (nm) ব্যাসার্ধের দু'টি প্রোটিন সিলিন্ডারের (Protein cylinder) দেওয়ালের মাঝে। আর এই যে দুই সেট Bchl. অনুর চক্রাকার গঠন, ভিন্নতর রাসায়নিক পরিবেশগত কারণে এদের আলোক সংবেদনশীলতা তথা গ্রহীতার মাত্রা (Adsorption) এবং আলোক সংবেদী ভৌত গুণাবলী (Photophysical properties) গুলিও নিছক আলাদা ধরনের। ফলে ১৮ Bchl. অনুসমন্বয়ে গঠিত বৃহত্তর চক্রটির ন্যূনতম শক্তি পর্যায়ের বিশোষণ সূচক (Absorption maxima) পাওয়া যায় ৮৫০ ন্যানোমিটার (nm) এবং একে নামাঙ্কিত করা হয় B850 বলে। পক্ষান্তরে, নয় Bchl. অনুসমন্বয়ে গঠিত অপেক্ষাকৃত ছোট চক্রটি যা কিনা সেল আবরণের বাইলেয়ারের (Bilayer) মাঝে রয়েছে, তার ন্যূনতম শক্তি বিশোষণ সূচক হলো ৮০০ ন্যানোমিটার (nm) এবং একে বলা হয় B800। এছাড়াও এই দুই সেট রঞ্জক (Pigment)<sup>২০</sup> পদার্থের মাঝে আরোও কিছু বিশেষ পার্থক্যতো রয়েছেই। যেমন, B800 প্রজাতিটি (Species) ব্যাপক ভাবে সতন্ত্র বা একক ভাবে (Monomeric) বিদ্যমান অথচ B850 গৃহীত ইলেক্ট্রন সমন্বয়ে শক্তিশালী যুগল (Exciton coupled), তার মানে হলো- ইলেক্ট্রন সঞ্চারণ কালে (Exciton state) ইলেক্ট্রন গুলো ছড়িয়ে পড়ে (Delocalized) একাধিক (বিশেষ করে অন্ততঃ চারটিতে) Bchl. অনুতে। সবগুলো Bchl. অনুই কোষ বা সেলের একটি এলাকায় পলিপেপটাইড (Polypeptides) অনু গুলোর মধ্যে একটি বিশেষ বন্ধনে সুনিয়ন্ত্রিত অবস্থায় ছড়িয়ে থাকে। সেলের ক্যারোটিনয়েড (Carotenoids) গুলোও LH2 গঠনের সঙ্গে সম্পর্কিত। বিশেষ করে এই গঠনের আলোক সংগ্ৰহী প্রকৃয়ার উত্তরণ ঘটায় এবং গঠনটিকে আলোক সংবেদনশীলতায় (Photosensitization) উদ্ভূত সিংলেট (Singlet) অক্সিজেন অনুর দ্বারা আলোক জারিত (Photo-oxidation) হয়ে নিষ্ক্রিয় (Quenching) হতে বাধা দেয়। এখন এই B800 বিন্যাস যে আলোক শক্তি বিশোষণ করে তা প্রতি এক পিকোসেকেন্ডে (Picosecond) স্থানান্তরিত হয়ে জড়ো হয় B850 চক্রে। পরবর্তী ৩০০ ফেমটোসেকেন্ডের (Femtosecond) মধ্যেই এই স্থানান্তরিত শক্তি ইলেক্ট্রন সমন্বয়ক অবস্থার (Exciton state) শক্তি হিসেবে B850 গুলোর মধ্যে ছড়িয়ে পড়ে।

এবার LH2 অ্যান্টেনা গুলো তাদের সংগৃহীত আলোক শক্তিকে স্থানান্তরিত করে অপর এক অ্যান্টেনা কমপ্লেক্সে (Antenna complex), নাম যার LH1। LH1 অ্যান্টেনা চক্রটি বিক্রিয়া কেন্দ্রের

(Reaction center) চতুর্দিক ঘিরে চক্রাকারে থাকে। এই বিক্রিয়া কেন্দ্রটিই রিয়েকশন সেন্টার (Reaction center) RC; আসলে সংগ্রহীত শক্তির চূড়ান্ত গন্তব্য, যেখানে আহরিত শক্তির দ্বারা আধান (Charge) পৃথকীকৃত হয়ে ইলেক্ট্রনের উদ্ভব ঘটায়, যাকে বলা হয় আধান পৃথকীকরণ প্রকৃয়া (Charge separation process)। আলোক সংগ্রহী প্রকৃয়ার একটি সম্ভাব্য চিত্রকর্ম চিত্র-২ এ উপস্থাপিত হলো। LH1 এর গঠনটির অধিকাংশই আসলে এখনো অজানা, অন্ততঃপক্ষে LH2 এর গঠন সম্পর্কে আমরা যতটা অবগত হয়েছি তদনুসারে। তবে রডোস্পিরিলাম রাব্রামের (*Rhodospirillum rubrum*)<sup>২৩</sup> LH1



**চিত্র-২:** ব্যাকটেরিয়ার সালোকসংশ্লেষণে LH1 এবং LH2 অ্যাণ্টেনা কমপ্লেক্স কর্তৃক সামগ্রিক আলোক শক্তি সংগ্রহ প্রকৃয়ার উপস্থাপন যোগ্য সম্ভাব্য চিত্রকর্ম। এখানে RC সম্ভাব্য বিক্রিয়া কেন্দ্রকে নির্দেশ করছে।

কমপ্লেক্সের দ্বিমাত্রিক ক্রিস্টালের ইলেক্ট্রন ক্রিস্টালোগ্রাফীর ব্যাঙ্ক্ষ্যা থেকে জানা যায় যে, LH1 এবং LH2 এর কার্যক্রমের মধ্যে আসলে পদ্ধতিগত কোন পার্থক্য নেই, যদিও LH1 আকৃতিগত দিক দিয়ে LH2 এর তুলনায় অনেক বড়। কাজেই বলা যায় যে, LH1 এর বক্রিটি Bchl. অনু LH2 এর B850-র মতো করেই পরস্পর বিন্যস্ত। এদিকে LH1-এর আবার আলোক বিশোষণ সূচক হলো ৮৮০ ন্যানো মিটার (nm), মানে, নিম্নতম শক্তিপর্যায়ে অনুগুলো সৌরকিরণ শোষণ করে বা উদ্দীপিত হয় ৮৮০ ন্যানোমিটার (nm) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মির ক্ষেত্রে, আর তাই এর নাম হলো B880। এদিকে সম্ভবতঃ LH1 ও LH2 অবস্থানগত ভাবে পরস্পরের নিকটবর্তী। প্রাপ্ত তথ্যের সমীক্ষা থেকে জানা যায় যে এ দূরত্ব ৩০ আংস্ট্রম (Å) এর চেয়ে কম; ফলে, LH2 হতে LH1-এ শক্তির স্থানান্তর ঘটে অবিশ্বাস্য দ্রুততায়, প্রায় ৩ পিকোসেকেন্ড-এ (Picosecond)। এদিকে LH1 হতে বিক্রিয়া কেন্দ্রে (Reaction Center, RC) সমস্ত ইলেক্ট্রন স্থানান্তর প্রকৃয়ার গড়পড়তা গতি কিন্তু বেশ স্লথ, প্রায় এক দশমাংশ, মানে ৩৫ পিকোসেকেন্ড (ps)! এখানে যেহেতু LH1 চক্রের অনুগুলো ইলেক্ট্রন সমন্বয়ে শক্তিশালী যুগল (Exciton coupled) হিসেবে ক্রিয়াশীল, কাজেই B850-র মতোই এখানেও ঘটছে শক্তি স্থানান্তরের প্রকৃয়া। LH1 এর প্রায় আটটি বিভিন্ন ভৌত অবস্থান হতে এই শক্তি স্থানান্তরের ঘটনাটি ক্রমাগত ঘটে চলেছে। আসলে সংশ্লিষ্ট শক্তিপ্রকৃয়াকরণ এলাকা গুলো ৪টি Bchl.

অনুসম্বয়ে গঠিত। সবশেষে এই স্থানান্তরিত শক্তি এসে জমা হচ্ছে আভ্যন্তরীণ মূল বিক্রিয়া কেন্দ্রে (RC-তে); এখানে দেখা যাচ্ছে যে, LH1 এর প্রতি ৩২টি Bchl. অনুর জন্য রয়েছে ১টি মাত্র মূল বিক্রিয়া কেন্দ্র, RC<sup>২০</sup>।

উপসংহারে বলা যায়, প্রাকৃতিক আলোক সংগ্ৰহী অ্যান্টেনা (Light harvesting antennae) সমূহ সুষম অবকাঠামোয় গঠিত একক জটিল যৌগের মধ্যস্থিত সমশক্তির অন্য সব সাব-ইউনিট গুলোতে অতি দ্রুত (Ultrafast) শক্তির স্থানান্তর ঘটায়, অতঃপর নগণ্য পরিমাণে হারিয়ে (With minimal losses) দ্রুত শক্তি স্থানান্তরিত হতে থাকে অপেক্ষাকৃত স্বল্প শক্তির কমপ্লেক্সে। ধারণা করা হয় যে এখানে ফরস্টারের (Förster's) কার্যকর সংঘটন পদ্ধতি (Mechanism) অনুসারেই প্রকৃতি গুলো সম্পন্ন হতে থাকে।

সাম্প্রতিক গবেষণা গুলো থেকে কোয়ান্টাম যোজনায় (Quantum coherence)<sup>২২</sup> তরঙ্গায়িত আকারে শক্তির স্থানান্তর সম্পর্কিত তথ্য-প্রমাণের আভাস মেলে। অতি গাঠনিক অবস্থার (Superposition state) শক্তিশালী যুগলসমূহ (Exciton state components) স্বাভাবিক শক্তি বিকিরণের মাধ্যমে উচ্চতর শক্তিস্তরে হতে নিম্নস্তরে উভয়মুখী আরোহন-অবরোহন করে থাকে। আর এই প্রকৃতি যথাযথ ভাবে শক্তি স্থানান্তরিত হয়ে এক একক কার্যকর শক্তি আধারের উদ্দেশ্যে যাত্রা করে। ব্যবস্থাটিকে এই দৃষ্টিকোণে বিবেচনা করায় অবশ্যস্বাভাবিকই প্রতিভাত হয় যে প্রকৃতি একটি সতন্ত্র কোয়ান্টাম (Single quantum) পরিমাপন পদ্ধতিতেই অগ্রসরমান, যে কিনা একই সময়ে অসংখ্য শক্তিবহুর দশা গুলোকে সনাক্ত করতে সক্ষম এবং সঠিক পরিগমন পথকে খুঁজে নিতে পারদর্শী। এর মানেই হলো, পুরো ব্যাপারটি একটি সফল শক্তি স্থানান্তরের এক অসাধারণ ব্যবস্থা এবং মৌলিকত্বের প্রতীক।

সবুজ উদ্ভিদের আলোক সংগ্ৰহী জটিল যৌগ সম্পর্কে এখনো পর্যন্ত যথেষ্ট তথ্যের অভাব রয়েছে। তাছাড়াও ব্যাকটেরিয়ার সালোকসংশ্লেষণ<sup>২৩,২৪</sup> প্রকৃতির চাইতে এদের পদ্ধতি গত জটিলতা আরোও অনেক বেশী। এর কিছু কারণও আছে, তবে যাইহোক, মূল পরিচালন প্রকৃতিটির পদ্ধতিগত দিকটি উভয় ক্ষেত্রেই অভিন্ন; পূর্বাধিক আলোচনায় তা বিস্তারিতভাবে বিধৃত হয়েছে।

#### তথ্যসূত্র:

- [১৭] R. E. Blankenship, *Molecular Mechanisms of Photosynthesis*, Blackwell Science, Oxford, 2002.
- [১৮] X. Hu, A. Damjanovic, T. Ritz, K. Schulten, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 1998, 95, 5935.
- [১৯] G. McDermott, S. M. Prince, A. A. Freer, A. M. Hawthornthwaite-Lawless, M. Z. Papiz, R. J. Cogdell, N. W. Isaacs, *Nature* 1995, 374, 517.

- [20] T. Pullerits, V. Sundström, *Acc. Chem. Res.* **1996**, *29*, 381, and references therein.
- [21] S. Karrash, P. A. Bullough, R. Ghosh, *EMBO J.* **1995**, *14*, 631.
- [22] G. S. Engel, T. R. Calhoun, E. L. Read, T.-K. Ahn, T. Mancal, Y.-C. Cheng, R. E. Blankenship, G. R. Fleming, *Nature* **2007**, *446*, 782.
- [23] W. Kühlbrandt, D. N. Wang, Y. Fujiyoshi, *Nature* **1994**, *367*, 614.
- [28] a) E. Formaggio, G. Cinque, R. Bassi, *J. Mol. Biol.* **2001**, *314*, 1157; b) H. Rogl, R. Schodel, H. Lokstein, W. Kühlbrandt, A. Schubert, *Biochemistry* **2002**, *41*, 2281; c) A. N. Melkozernov, V. H. R. Schmid, S. Lin, H. Paulsen, R. E. Blankenship, *J. Phys. Chem. B* **2002**, *106*, 4313.