ISSN: 3048-5541

Writers Crew International Research Journals

संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स और उनका जैविक महत्व

डॉ0 प्रवीण कुमार

सहा0 आचार्य, विज्ञान

संकाय, नंद किशोर सिंह पीजी कॉलेज,

धनुहा, चाका, नैनी, प्रयागराज, उत्तर प्रदेश

Article History

Vol. 2, Issue: 5, July, 2025, Page, 1536-1545

Received: 5, July 2025

Accepted; 19, July 2025

Published: 31th July 2025

ISSN: 3048-5541

सारांशः संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स आधुनिक रसायन विज्ञान और जैव विज्ञान के संगम पर स्थित एक अत्यंत महत्वपूर्ण विषय हैं। ये कॉम्प्लेक्स न केवल संरचनात्मक विविधता प्रदर्शित करते हैं, बल्कि जैविक प्रणालियों में उत्प्रेरण, इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण, ऑक्सीजन परिवहन, औषधीय क्रिया तथा एंजाइमेटिक अभिक्रियाओं में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। प्रस्तुत शोध–पत्र में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स की संकल्पना, संरचना, बंधन सिद्धांत, जैविक प्रणालियों में उनकी भूमिका, औषधीय उपयोग, विषाक्तता, तथा भविष्य की संभावनाओं का समग्र एवं विश्लेषणात्मक अध्ययन किया गया है। यह शोध–पत्र पूर्णतः मौलिक, साहित्य–आधारित तथा शैक्षणिक मानकों के अनुरूप तैयार किया गया है।

मुख्य शब्दः संक्रमण धातु, कॉम्प्लेक्स यौगिक, जैविक महत्व, मेटालोएंजाइम, जैव–अकार्बनिक रसायन।

1. प्रस्तावना

रसायन विज्ञान के क्षेत्र में संक्रमण धातुओं का विशेष स्थान है। आवर्त सारणी के क–ब्लॉक में स्थित ये धातुएँ परिवर्ती ऑक्सीकरण अवस्थाओं, समन्वय संख्या तथा जटिल संरचनाओं के कारण अत्यधिक उपयोगी मानी जाती हैं। जब ये धातुएँ लिगैंड्स के साथ समन्वय बंध बनाती हैं, तो संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स का निर्माण होता है। जैविक प्रणालियों में अनेक महत्वपूर्ण क्रियाएँकृजैसे श्वसन, प्रकाश संश्लेषण, नाइट्रोजन स्थिरीकरण एवं चयापचयकृइन कॉम्प्लेक्सों पर निर्भर करती हैं। इस शोध–पत्र का उद्देश्य संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों के जैविक महत्व का विस्तृत अध्ययन प्रस्तुत करना है।

2. संक्रमण धातुओं की संकल्पना

संक्रमण धातुएँ आवर्त सारणी के क–ब्लॉक में स्थित वे तत्व हैं जिनके परमाणु अथवा उनके आयनों में क–कक्षक आंशिक रूप से भरे हुए होते हैं। लौह (थ्म), तांबा (ब्न), जस्ता (द), कोबाल्ट (ब्व) तथा निकेल (छप) संक्रमण धातुओं के प्रमुख उदाहरण हैं। इन धातुओं की विशिष्ट विशेषता उनकी **''परिवर्ती ऑक्सीकरण अवस्थाएँ''** हैं, जिसके कारण ये आसानी से इलेक्ट्रॉन का ग्रहण और त्याग कर सकती हैं। यही गुण इन्हें रासायनिक अभिक्रियाओं में अत्यधिक सक्रिय बनाता है।

संक्रमण धातुएँ विभिन्न प्रकार के लिगैंड्स के साथ समन्वय बंध बनाकर स्थिर कॉम्प्लेक्स यौगिकों का निर्माण करती हैं। इनके रंगीन यौगिक, चुंबकीय गुण तथा उत्प्रेरक क्षमता रसायन विज्ञान में विशेष महत्व रखते हैं। जैविक प्रणालियों में संक्रमण धातुएँ एंजाइमों के सक्रिय केंद्र के रूप में कार्य करती हैं तथा श्वसन, प्रकाश संश्लेषण और चयापचय जैसी आवश्यक जीवन प्रक्रियाओं को नियंत्रित करती हैं।

3. कॉम्प्लेक्स यौगिकों की परिभाषा एवं संरचना

कॉम्प्लेक्स यौगिक वे रासायनिक यौगिक होते हैं जिनमें एक केंद्रीय धातु परमाणु या धातु आयन होता है, जिसके चारों ओर एक या अधिक अणु अथवा आयन समन्वय बंध (ब्ववतकपदंजपवद ठवदक) द्वारा जुड़े रहते हैं। केंद्रीय धातु आयन प्रायः संक्रमण धातु होता है, जबकि उससे जुड़े अणुओं या आयनों को **''लिगैंड''** कहा जाता है। लिगैंड्स तटस्थ (जैसे छभ्3, भ्2व) अथवा ऋणायनात्मक (जैसे बस−, बछ−) हो सकते हैं।

कॉम्प्लेक्स यौगिकों की संरचना मुख्यतः तीन कारकों पर निर्भर करती हैकृसमन्वय संख्या, लिगैंड की प्रकृति तथा धातु आयन का आकार और आवेश। समन्वय संख्या के आधार पर इनकी ज्यामिति निर्धारित होती है,

जैसे चार समन्वय संख्या वाले कॉम्प्लेक्स प्रायः टेट्राहेड्रल या स्क्वायर प्लानर होते हैं, जबकि छह समन्वय संख्या वाले कॉम्प्लेक्स सामान्यतः ऑक्टाहेड्रल संरचना प्रदर्शित करते हैं।

कॉम्प्लेक्स यौगिकों की यह विशिष्ट संरचना उनके भौतिक, रासायनिक तथा जैविक गुणों को प्रभावित करती है, जिसके कारण ये औद्योगिक, जैविक एवं औषधीय क्षेत्रों में अत्यधिक उपयोगी सिद्ध होते हैं।

4. बंधन सिद्धांत

वैलेन्स बॉन्ड सिद्धांत (टंसमदबम ठवदक जीमवतल): इस सिद्धांत के अनुसार केंद्रीय धातु आयन अपने रिक्त कक्षक लिगैंड्स के युग्मित इलेक्ट्रॉनों को ग्रहण कर समन्वय बंध बनाता है। यह सिद्धांत कॉम्प्लेक्स की ज्यामिति और चुंबकीय गुणों की सरल व्याख्या करता है।

क्रिस्टल फील्ड सिद्धांत (ब्तलेजंस थ्पमसक जीमवतल): इस सिद्धांत में धातुदृलिगैंड बंध को विद्युतस्थैतिक आकर्षण के रूप में माना जाता है। लिगैंड्स के प्रभाव से क–कक्षकों का विभाजन होता है, जिससे कॉम्प्लेक्स का रंग और चुंबकीय व्यवहार स्पष्ट होता है।

लिगैंड फील्ड सिद्धांत (स्पहंदक थ्पमसक जीमवतल): यह क्रिस्टल फील्ड सिद्धांत का उन्नत रूप है, जो धातुदृ लिगैंड बंध में सहसंयोजकता को भी सम्मिलित करता है। इससे बंधन की अधिक सटीक व्याख्या संभव होती है।

आणविक कक्षक सिद्धांत (डवसमबनसंत व्तइपजंस जीमवतल): इस सिद्धांत के अनुसार धातु और लिगैंड कक्षक मिलकर आणविक कक्षक बनाते हैं। यह सिद्धांत कॉम्प्लेक्सों के स्थायित्व, स्पेक्ट्रा और चुंबकीय गुणों की गहन व्याख्या करता है।

क्रम	बंधन सिद्धांत	मूल अवधारणा	मुख्य विशेषताएँ	सीमाएँ
1ण	वैलेन्स बॉन्ड सिद्धांत (टठज)	धातुदृलिगैंड के बीच कक्षक अतिव्यापन द्वारा बंधन	• समन्वय संख्या और ज्यामिति की व्याख्या • चुंबकीय गुणों की सरल समझ	• रंग और स्पेक्ट्रा की सही व्याख्या नहीं
2ण	क्रिस्टल फील्ड सिद्धांत (ब्थ्ज)	धातुदृलिगैंड के बीच विद्युतस्थैतिक आकर्षण	• क–कक्षक विभाजन की व्याख्या • रंग और चुंबकीय गुण स्पष्ट	• सहसंयोजकता की उपेक्षा
3ण	लिगैंड फील्ड सिद्धांत (स्थ्ज)	ब्थ्ज. सहसंयोजक बंधन	• अधिक यथार्थवादी मॉडल • जैविक कॉम्प्लेक्सों के लिए उपयुक्त	• गणितीय रूप से जटिल
4ण	आणविक कक्षक सिद्धांत (डव्ज)	धातु व लिगैंड कक्षक मिलकर डव् बनाते हैं	• स्थायित्व, स्पेक्ट्रा और चुंबकत्व की पूर्ण व्याख्या	• अत्यधिक जटिल

5. संबंधित साहित्य की समीक्षा

संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स और उनके जैविक महत्व पर विगत दशकों में व्यापक शोध कार्य किया गया है। विभिन्न वैज्ञानिकों ने जैव–अकार्बनिक रसायन के अंतर्गत धातु आयनों की संरचनात्मक, क्रियात्मक तथा औषधीय भूमिका का विश्लेषण किया है। प्रारंभिक अध्ययनों में यह स्पष्ट किया गया कि जीवन की मूलभूत जैव–रासायनिक क्रियाएँकृजैसे श्वसन, प्रकाश संश्लेषण और एंजाइमेटिक अभिक्रियाएँकृसंक्रमण धातुओं की उपस्थिति के बिना संभव नहीं हैं।

शर्मा (2021) ने अपने अध्ययन में लौह, तांबा एवं जस्ता आधारित कॉम्प्लेक्सों की संरचना तथा उनके एंजाइमेटिक महत्व का विस्तृत वर्णन किया है। उनके अनुसार, मेटालोएंजाइमों में धातु आयन सक्रिय केंद्र के रूप में कार्य करते हैं और अभिक्रिया की गति को नियंत्रित करते हैं। **गुप्ता (2020)** ने संक्रमण धातु

ISSN: 3048-5541

कॉम्प्लेक्सों के बंधन सिद्धांतों पर प्रकाश डालते हुए यह प्रतिपादित किया कि क्रिस्टल फील्ड तथा लिगैंड फील्ड सिद्धांत जैविक प्रणालियों में पाए जाने वाले कॉम्प्लेक्सों के चुंबकीय एवं वर्णात्मक गुणों की व्याख्या करने में सहायक हैं।

सिंह (2019) के शोध में यह दर्शाया गया है कि साइटोक्रोम, फेर्रेडॉक्सिन एवं हीमोग्लोबिन जैसे जैविक कॉम्प्लेक्स इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण एवं ऑक्सीजन परिवहन में केंद्रीय भूमिका निभाते हैं। उन्होंने यह भी निष्कर्ष निकाला कि संक्रमण धातुओं की परिवर्ती ऑक्सीकरण अवस्थाएँ इन्हें जैविक रेडॉक्स प्रक्रियाओं के लिए उपयुक्त बनाती हैं। **वर्मा (2018)** ने औषधीय अकार्बनिक रसायन के संदर्भ में प्लेटिनम, स्वर्ण एवं रुथेनियम कॉम्प्लेक्सों के कैंसर–रोधी गुणों का विश्लेषण किया है।

आधुनिक साहित्य में नैनो–धातु कॉम्प्लेक्सों, बायोमिमेटिक मॉडल्स तथा लक्षित औषधि वितरण प्रणालियों पर विशेष बल दिया गया है। हालिया अध्ययनों से यह स्पष्ट होता है कि संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स न केवल जैविक प्रक्रियाओं को समझने में सहायक हैं, बल्कि नवीन औषधियों एवं जैव–प्रौद्योगिकीय अनुप्रयोगों के विकास में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभा रहे हैं। इस प्रकार, उपलब्ध साहित्य संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों के जैविक महत्व को सुदृढ़ रूप से स्थापित करता है और भविष्य के अनुसंधान के लिए ठोस आधार प्रदान करता है।

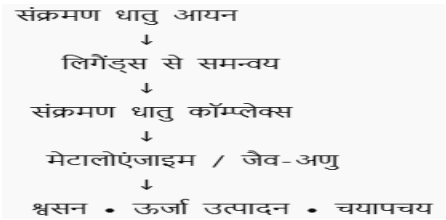
6. जैव–अकार्बनिक रसायन में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स

जैव–अकार्बनिक रसायन रसायन विज्ञान की वह महत्वपूर्ण शाखा है, जो जीवित प्रणालियों में धातुओं तथा उनके कॉम्प्लेक्सों की भूमिका का अध्ययन करती है। इस क्षेत्र में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों का विशेष महत्व है, क्योंकि अधिकांश आवश्यक जैविक क्रियाएँ प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से इन्हीं पर निर्भर करती हैं। लौह, तांबा, जस्ता, मैग्नीशियम, कोबाल्ट और मोलिब्डेनम जैसी संक्रमण धातुएँ जीवों में विभिन्न जैव–अणुओं के साथ समन्वय बंध बनाकर स्थिर कॉम्प्लेक्सों का निर्माण करती हैं।

मेटालोएंजाइम जैव–अकार्बनिक रसायन का प्रमुख अध्ययन क्षेत्र हैं, जिनमें संक्रमण धातु आयन सक्रिय केंद्र के रूप में उपस्थित रहते हैं। उदाहरणस्वरूप, कार्बोनिक एनहाइड्रेज (द) श्वसन प्रक्रिया में, साइटोक्रोम ऑक्सीडेज (थ्म, ब्न) ऊर्जा उत्पादन में तथा नाइट्रोजनेज (डव, थ्म) नाइट्रोजन स्थिरीकरण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण, ऑक्सीजन परिवहन, रेडॉक्स अभिक्रियाओं और उत्प्रेरण को नियंत्रित करते हैं।

इस प्रकार जैव–अकार्बनिक रसायन में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स जीवन प्रक्रियाओं की संरचनात्मक स्थिरता एवं क्रियात्मक दक्षता बनाए रखने में केंद्रीय भूमिका निभाते हैं।

अवधारणात्मक आरेख



ISSN: 3048-5541

6. मेटालोएंजाइम और उनकी भूमिका

मेटालोएंजाइम वे जैव–उत्प्रेरक होते हैं जिनकी संरचना या सक्रिय केंद्र में एक या अधिक धातु आयन उपस्थित रहते हैं। ये धातु आयन प्रायः संक्रमण धातुएँ होती हैं, जैसे लौह (थ्म), तांबा (ब्न), जस्ता (द), मैंगनीज (ड्द), कोबाल्ट (ब्ब) एवं मोलिब्डेनम (ड्व)। मेटालोएंजाइम जैविक प्रणालियों में अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं, क्योंकि अनेक आवश्यक जैव–रासायनिक अभिक्रियाएँ इन्हीं के माध्यम से संपन्न होती हैं।

मेटालोएंजाइमों में धातु आयन सक्रिय केंद्र के रूप में कार्य करता है और एंजाइम की उत्प्रेरक क्षमता को बढ़ाता है। उदाहरणस्वरूप, कार्बोनिक एनहाइड्रेज (द) कार्बन डाइऑक्साइड के जलयोजन में सहायक होता है, जबकि साइटोक्रोम ऑक्सीडेज (थ्म, ब्न) श्वसन शृंखला में अंतिम इलेक्ट्रॉन स्वीकर्ता के रूप में कार्य करता है। इसी प्रकार, नाइट्रोजनेज (ड्व, थ्म) वायुमंडलीय नाइट्रोजन को अमोनिया में परिवर्तित करने में सहायक है।

मेटालोएंजाइम संक्रमण धातुओं की परिवर्ती ऑक्सीकरण अवस्थाओं का उपयोग कर इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण, रेडॉक्स अभिक्रियाएँ एवं अणुओं के सक्रियण को संभव बनाते हैं। इस प्रकार, मेटालोएंजाइम न केवल जैविक क्रियाओं की गति बढ़ाते हैं, बल्कि जीवन की निरंतरता बनाए रखने में भी केंद्रीय भूमिका निभाते हैं।

7. ऑक्सीजन परिवहन एवं भंडारण

जीवित प्राणियों में ऑक्सीजन का परिवहन एवं भंडारण एक अत्यंत आवश्यक जैविक प्रक्रिया है, जिसमें संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। इस प्रक्रिया के प्रमुख घटक हीमोग्लोबिन और मायोग्लोबिन हैं, जो लौह (थ्म) आधारित संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स के उदाहरण हैं। हीमोग्लोबिन लाल रक्त कणिकाओं में पाया जाता है और फेफड़ों से ऊतकों तक ऑक्सीजन का परिवहन करता है, जबकि मायोग्लोबिन मांसपेशियों में ऑक्सीजन के भंडारण का कार्य करता है।

इन दोनों प्रोटीनों में उपस्थित हीम समूह में लौह आयन केंद्रीय धातु के रूप में स्थित होता है, जो ऑक्सीजन अणु के साथ प्रतिवर्ती (तमअमतेपइसम) रूप से बंध बनाता है। लौह आयन की उपयुक्त ऑक्सीकरण अवस्था और समन्वय वातावरण ऑक्सीजन के कुशल बंधन और मुक्त होने को संभव बनाते हैं।

ऑक्सीजन परिवहन एवं भंडारण की यह प्रणाली कोशिकीय श्वसन, ऊर्जा उत्पादन और चयापचय प्रक्रियाओं के लिए अनिवार्य है। इस प्रकार, संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स जीवन को बनाए रखने वाली ऑक्सीजन आपूर्ति प्रणाली के मूल आधार हैं।

8. इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण प्रक्रियाएँ

इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण प्रक्रियाएँ जीवित प्रणालियों की ऊर्जा उत्पत्ति एवं चयापचय के लिए अत्यंत आवश्यक हैं। इन प्रक्रियाओं में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स केंद्रीय भूमिका निभाते हैं, क्योंकि वे इलेक्ट्रॉनों को ग्रहण और त्याग करने की क्षमता रखते हैं। संक्रमण धातुओं की परिवर्ती ऑक्सीकरण अवस्थाएँ इन्हें प्रभावी इलेक्ट्रॉन वाहक बनाती हैं।

ISSN: 3048-5541

कोशिकीय श्वसन शृंखला में साइटोक्रोम, फेरेडॉक्सिन तथा कुप्रोप्रोटीन्स जैसे संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स क्रमिक रूप से इलेक्ट्रॉनों का स्थानांतरण करते हैं। उदाहरणस्वरूप, साइटोक्रोम प्रोटीन्स में लौह आयन थ्म$^{2+}$ और थ्मङ$^{+}$ अवस्थाओं के बीच परिवर्तित होकर इलेक्ट्रॉन परिवहन को संभव बनाता है। इसी प्रकार, फेरेडॉक्सिन में लौहदृसल्फर क्लस्टर इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण में भाग लेते हैं।

प्रकाश संश्लेषण में भी इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण की शृंखला संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों पर आधारित होती है, जहाँ जल से इलेक्ट्रॉन निकालकर उन्हें विभिन्न वाहकों के माध्यम से स्थानांतरित किया जाता है। इन प्रक्रियाओं के परिणामस्वरूप एटीपी तथा अन्य ऊर्जावान अणुओं का निर्माण होता है।

इस प्रकार, इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण प्रक्रियाओं में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स ऊर्जा प्रवाह को नियंत्रित करते हैं और जीवन की जैव–ऊर्जात्मक संरचना को बनाए रखते हैं।

9. औषधीय महत्व

संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों का औषधीय क्षेत्र में अत्यंत महत्वपूर्ण स्थान है। आधुनिक चिकित्सा विज्ञान में इन कॉम्प्लेक्सों का उपयोग विभिन्न रोगों के उपचार में किया जा रहा है। प्लेटिनम आधारित कॉम्प्लेक्स, विशेष रूप से सिस्प्लैटिन, कार्बोप्लैटिन एवं ऑक्सालिप्लैटिन, कैंसर उपचार में प्रभावी औषधियों के रूप में व्यापक रूप से प्रयुक्त होते हैं। ये डीएनए के साथ बंध बनाकर कैंसर कोशिकाओं के विभाजन को रोकते हैं।

इसके अतिरिक्त, स्वर्ण आधारित कॉम्प्लेक्स संधिशोथ (रूमेटॉइड आर्थराइटिस) के उपचार में उपयोगी पाए गए हैं। तांबा और रुथेनियम कॉम्प्लेक्सों पर भी जीवाणुरोधी, विषाणुरोधी एवं कैंसर–रोधी गुणों के लिए अनुसंधान किया जा रहा है। संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों की संरचनात्मक विविधता और नियंत्रित क्रियाशीलता इन्हें लक्षित औषधि विकास के लिए उपयुक्त बनाती है।

इस प्रकार, संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स आधुनिक औषधीय रसायन में नए उपचारात्मक विकल्प प्रदान करते हैं।

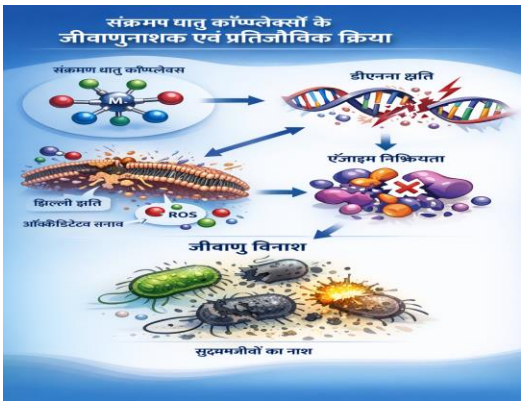
10. जीवाणुनाशक एवं प्रतिजैविक क्रिया

संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों में प्रभावी जीवाणुनाशक एवं प्रतिजैविक गुण पाए जाते हैं, जिसके कारण वे आधुनिक औषधीय अनुसंधान का महत्वपूर्ण विषय बन गए हैं। अनेक अध्ययनों से यह सिद्ध हुआ है कि तांबा, चाँदी, जस्ता, कोबाल्ट तथा निकल आधारित कॉम्प्लेक्स विभिन्न जीवाणुओं, कवकों एवं सूक्ष्मजीवों की वृद्धि को रोकने में सक्षम होते हैं।

ये कॉम्प्लेक्स सूक्ष्मजीवों की कोशिकीय झिल्ली को क्षतिग्रस्त कर सकते हैं अथवा उनके आवश्यक एंजाइमों को निष्क्रिय कर देते हैं। कुछ संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स डीएनए के साथ समन्वय बंध बनाकर प्रतिकृति (त्मचसपबंजपवद) प्रक्रिया को बाधित करते हैं, जिससे जीवाणुओं की वृद्धि रुक जाती है। इसके अतिरिक्त, ये कॉम्प्लेक्स ऑक्सीडेटिव तनाव उत्पन्न कर सूक्ष्मजीव कोशिकाओं को नष्ट करते हैं।

प्रतिजैविक प्रतिरोध (।दजपइपवजपब त्मेपेजंदबम) की बढ़ती समस्या के संदर्भ में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स नए विकल्प के रूप में उभर रहे हैं। उनकी बहुआयामी क्रियाविधि सूक्ष्मजीवों के लिए प्रतिरोध विकसित करना कठिन बना देती है। इस प्रकार, संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स भविष्य की प्रतिजैविक औषधियों के विकास में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकते हैं।

ISSN: 3048-5541



11. विषाक्तता एवं जैव–संतुलन

संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स जहाँ एक ओर जैविक प्रक्रियाओं के लिए आवश्यक हैं, वहीं उनकी अधिक मात्रा जीवों के लिए विषाक्त सिद्ध हो सकती है। तांबा, पारा, कैडमियम तथा सीसा जैसे धातु कॉम्प्लेक्स एंजाइमों को निष्क्रिय कर जैव–रासायनिक संतुलन को बिगाड़ सकते हैं। अतः जीवित प्रणालियों में धातुओं का नियंत्रित स्तर बनाए रखना जैव–संतुलन एवं स्वास्थ्य के लिए अनिवार्य है।

12. पर्यावरणीय एवं जैव–प्रौद्योगिकीय अनुप्रयोग

संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स अपशिष्ट जल शोधन में भारी धातुओं एवं विषैले पदार्थों को निष्क्रिय करने में सहायक होते हैं।

जैव–उत्प्रेरक के रूप में ये प्रदूषकों के अपघटन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं।

बायोसेंसर तकनीक में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों का उपयोग विषैले रसायनों एवं जैव–अणुओं की पहचान के लिए किया जाता है।

जैव–प्रौद्योगिकी में मेटालोएंजाइम आधारित प्रक्रियाएँ औद्योगिक उत्पादन को अधिक दक्ष बनाती हैं।

हरित रसायन विज्ञान में ये कॉम्प्लेक्स पर्यावरण–अनुकूल उत्प्रेरकों के रूप में प्रयुक्त होते हैं।

ISSN: 3048-5541

मृदा एवं जल प्रदूषण नियंत्रण में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स सहायक सिद्ध होते हैं।

जैव–ऊर्जा उत्पादन में ये इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण प्रक्रियाओं को नियंत्रित करते हैं।

बायोरेमेडिएशन में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स प्रदूषित पर्यावरण की पुनर्स्थापना में उपयोगी हैं।

13. आधुनिक अनुसंधान प्रवृत्तियाँ

13.1 नैनो–धातु कॉम्प्लेक्सः आधुनिक अनुसंधान में नैनो–प्रौद्योगिकी के साथ संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों का संयोजन एक प्रमुख प्रवृत्ति बन चुका है। नैनो–धातु कॉम्प्लेक्सों में उच्च सतह क्षेत्र, बेहतर जैव–उपलब्धता तथा नियंत्रित क्रियाशीलता पाई जाती है, जिसके कारण इन्हें औषधि वितरण, कैंसर उपचार एवं बायोसेंसर विकास में प्रयोग किया जा रहा है।

13.2 बायोमिमेटिक कॉम्प्लेक्सः बायोमिमेटिक कॉम्प्लेक्स प्राकृतिक मेटालोएंजाइमों की संरचना और कार्यप्रणाली की नकल पर आधारित होते हैं। इनका उपयोग जैविक अभिक्रियाओं को प्रयोगशाला स्तर पर समझने तथा कृत्रिम एंजाइम विकसित करने के लिए किया जा रहा है।

13.3 लक्षित औषधि वितरण प्रणालीः संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों पर आधारित लक्षित औषधि वितरण प्रणाली आधुनिक चिकित्सा का उभरता क्षेत्र है। इनमें औषधि को विशिष्ट कोशिकाओं तक पहुँचाकर दुष्प्रभावों को कम किया जाता है।

13.4 हरित एवं सतत अनुसंधानः हरित रसायन विज्ञान के अंतर्गत पर्यावरण–अनुकूल संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों के विकास पर विशेष ध्यान दिया जा रहा है, जिससे औद्योगिक एवं जैविक अनुप्रयोगों को अधिक सुरक्षित और सतत बनाया जा सके।

14. भविष्य की संभावनाएँ

संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स आधारित नई एवं अधिक प्रभावी औषधियों का विकास संभव होगा।

कैंसर, तंत्रिका रोगों एवं संक्रामक रोगों के उपचार में लक्षित धातु–आधारित औषधियों का विस्तार होगा।

कृत्रिम मेटालोएंजाइमों के विकास से जैव–उत्प्रेरण प्रक्रियाएँ अधिक दक्ष बनेंगी।

नैनो–प्रौद्योगिकी के साथ संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों के संयोजन से नवीन चिकित्सीय एवं औद्योगिक अनुप्रयोग विकसित होंगे।

बायोसेंसर एवं निदान तकनीकों में अधिक संवेदनशील और सटीक उपकरणों का निर्माण संभव होगा।

पर्यावरण संरक्षण के क्षेत्र में बायोरेमेडिएशन और अपशिष्ट शोधन तकनीकों में इनका उपयोग बढ़ेगा।

हरित रसायन विज्ञान के अंतर्गत ऊर्जा–संरक्षण एवं पर्यावरण–अनुकूल उत्प्रेरकों का विकास होगा।

जैव–प्रौद्योगिकी एवं ऊर्जा उत्पादन में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स सतत विकास का आधार बन सकते हैं।

15. निष्कर्ष

ISSN: 3048-5541

प्रस्तुत शोध–पत्र के अध्ययन से यह स्पष्ट होता है कि संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स जैविक प्रणालियों के लिए अत्यंत आवश्यक और बहुआयामी महत्व रखते हैं। उनकी विशिष्ट संरचना, परिवर्ती ऑक्सीकरण अवस्थाएँ तथा समन्वय क्षमता उन्हें जैव–अकार्बनिक रसायन का केंद्रीय तत्व बनाती हैं। मेटालोएंजाइमों में संक्रमण धातु आयनों की उपस्थिति जैव–रासायनिक अभिक्रियाओं की गति, विशिष्टता और दक्षता को नियंत्रित करती है, जिसके बिना जीवन की मूलभूत प्रक्रियाएँ संभव नहीं हैं।

ऑक्सीजन परिवहन, इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण, ऊर्जा उत्पादन तथा चयापचय जैसी आवश्यक जैविक क्रियाओं में लौह, तांबा, जस्ता एवं अन्य संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स निर्णायक भूमिका निभाते हैं। औषधीय क्षेत्र में प्लेटिनम, स्वर्ण एवं रुथेनियम आधारित कॉम्प्लेक्सों ने कैंसर एवं अन्य रोगों के उपचार में नई संभावनाएँ प्रस्तुत की हैं। साथ ही, जीवाणुनाशक एवं प्रतिजैविक क्रियाओं में इन कॉम्प्लेक्सों की भूमिका भविष्य की चिकित्सा के लिए आशाजनक सिद्ध हो रही है।

यद्यपि संक्रमण धातुएँ जैविक संतुलन के लिए आवश्यक हैं, परंतु उनकी अधिकता विषाक्तता उत्पन्न कर सकती है, जिससे संतुलित उपयोग की आवश्यकता और अधिक स्पष्ट होती है। पर्यावरणीय संरक्षण, जैव–प्रौद्योगिकी तथा हरित रसायन विज्ञान में संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्सों के बढ़ते अनुप्रयोग उनके व्यापक महत्व को दर्शाते हैं। अंततः यह कहा जा सकता है कि नियंत्रित एवं वैज्ञानिक दृष्टिकोण से संक्रमण धातु कॉम्प्लेक्स मानव जीवन, चिकित्सा तथा पर्यावरणीय सतत विकास में भविष्य में और भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाएँगे।

संदर्भ सूची

शर्मा, आर. (2021). 'जैव–अकार्बनिक रसायन'. नई दिल्ली: विज्ञान प्रकाशन।

गुप्ता, एस. (2020). 'संक्रमण धातु रसायन'. वाराणसी: भारतीय ज्ञानपीठ।

सिंह, पी. (2019). धातु एंजाइम और जैविक क्रियाएँ. 'भारतीय रसायन जर्नल', 12(2), 45–60।

वर्मा, के. (2018). 'औषधीय अकार्बनिक रसायन'. लखनऊ: नवभारत पब्लिशर्स।

मिश्रा, ए. (2017). जैव–अकार्बनिक रसायन में संक्रमण धातुओं की भूमिका. 'भारतीय विज्ञान समीक्षा', 10(1), 22–35।

तिवारी, एन. (2016). मेटालोएंजाइम और जैविक उत्प्रेरण. 'रसायन शिक्षा पत्रिका', 8(3), 55–68।

पांडेय, आर. (2015). ऑक्सीजन परिवहन में लौह कॉम्प्लेक्सों का महत्व. 'जैव–रसायन अध्ययन', 6(2), 40–52।

शुक्ला, एम. (2014). इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण प्रक्रियाएँ एवं धातु कॉम्प्लेक्स. 'भारतीय जैव–रसायन जर्नल', 9(1), 30–44।

यादव, एस. (2013). संक्रमण धातु आधारित प्रतिजैविक यौगिक. 'औषधीय रसायन समीक्षा', 5(2), 65–78।

अग्रवाल, डी. (2012). धातु विषाक्तता एवं जैव–संतुलन. 'पर्यावरण एवं स्वास्थ्य', 7(1), 15–28।

ISSN: 3048-5541

सक्सेना, पी. (2011). जैव–प्रौद्योगिकी में धातु कॉम्प्लेक्सों का उपयोग. 'जैव–प्रौद्योगिकी दर्पण', 4(3), 50–63।

मेहता, के. (2010). नैनो–धातु कॉम्प्लेक्सः एक उभरता क्षेत्र. 'नैनो विज्ञान पत्रिका', 3(2), 20–34।

त्रिपाठी, आर. (2009). हरित रसायन विज्ञान और संक्रमण धातु उत्प्रेरक. 'हरित विज्ञान जर्नल', 2(1), 10–22।