एन्जाइमों की भौतिक एवं रासायनिक अभिक्रियाओं में धातु आयनों की भूमिका–एक अध्ययन

विजय शंकर
असिस्टेन्ट प्रोफेसर, रसायन विज्ञान विभाग
बी0एस0एन0वी0 पी0 जी0 कॉलेज लखनऊ–226001, उ0प्र0, भारत
rao.vijay55@gmail.com

प्राप्त तिथि–31.07.2015, स्वीकृत तिथि–08.09.2015

सार

धातु आयनों Ca^{2+}, Co^{2+}, Mg^{2+} Mn^{2+}, Mo^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Fe^{3+}, Zn^{2+} आदि जो पी0 एच और स्थायित्व पर निर्भर करते हैं। एन्जाइमों की भौतिक एवं रासायनिक अभिक्रियाओं में यह भाग लेकर एन्जाइम को सक्रिय बनाते है। कुछ एन्जाइमों की पूर्ण सक्रियता के लिए धातु आयन आवश्यक है। आर्सिनेज के लिए Co^{2+}, Mn^{2+} अथवा अन्य द्विसंयोजक धातु आयनों की आवश्यकता होती है। इसी प्रकार फास्फोग्लूकोम्यूटेस को अपनी पूर्ण सक्रियता के लिए Mg^{2+} Mn^{2+} अथवा Co^{2+} आयनों की आवश्यकता होती है। एन्जाइम की सक्रियता से उर्जा उत्पादन तथा उर्जा उपभोग प्रक्रमों में संतुलित सम्बन्ध बना रहता है जिससे जीवन का अस्तित्व भी बना रहता है।

बीज शब्द– धातु आयन, सक्रियता, एन्जाइम, स्थायित्व।

Role of metal ions in physical and chemical reactions of enzymes-A study

Vijay Shankar
Assistant Professor, Department of Chemistry
B.S.N.V. P.G. College Lucknow-226001, U.P. India
rao.vijay55@gmail.com

Abstract

Metal ions such as Ca^{2+}, Co^{2+}, Mg^{2+} Mn^{2+}, Mo^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Fe^{3+}, and Zn^{2+} etc are depending on the pH and stability. It makes activation of enzymes due to participation in physical and chemical reaction. It is mandatory for complete activation of some enzymes. For Arsenage, Co^{2+}, Mn^{2+} or bivalent metal ions are required, Similarly for complete activation of Phosphoglucomutase Mg^{2+} Mn^{2+} or Co^{2+} ions are required. From activation of enzymes the equilibrium system between production and consumption of energy remain maintained that supports the existence of life.

Key Word- Metal ions, activation, enzymes, stability.

प्रस्तावना– जीव पदार्थ में जीवन के अस्तित्व के लिए इस प्रकार की क्रियाविधि को भौतिक रूप से सर्वाधिक आवश्यकता होती है कि खाद्य पदार्थों के ऑक्सीकरण जैसी रासायनिक प्रतिक्रियाओं से उत्पन्न स्वतंत्र ऊर्जा, ऊष्मा के रूप में नष्ट होने की बजाय ऐसी अभिक्रियाओं एवं प्रक्रमों के लिए उपलब्ध रहे जिनमें इसकी आवश्यकता हो। उदाहरणतः जीव संश्लेशाणात्मक क्रियाएँ, जो प्रजनन एवं बुद्धिरत नव–जीवपदार्थ के निर्माण के लिए आवश्यक हैं, अवशोषण एवं स्त्राव में परासरणी कार्य गति अथवा संचालन के लिये यांत्रिक कार्य, विशेष रूप से उच्च जीवों में, कुछ अन्य विशेष प्रक्रम जैसे जुगनुओं में जीव–संदीप्ति अथवा विद्युत–सर्पमीन में विद्युत निर्माण प्रक्रमों में ऊर्जा की आवश्यकता होती है। जीव पदार्थ में अनेक ऐसे अस्थायी पदार्थ होते हैं जो निरन्तर भंग होते रहते हैं और तदनन्तर संश्लेषण द्वारा पुनः बनते रहते हैं जिससे जीव विकास को सामान्य अवस्था में बने रहने के लिए आवश्यक ऊर्जा की निरन्तर पूर्ति होती रहे। इसी चक्रीय प्रक्रम पर ये जीव पदार्थ निर्भर करते हैं। सामान्यतः स्थायी पदार्थ जैसे प्रोटीन भी अन्तः कोशिकीय अवस्थाओं में स्वलयनी एन्जाइमों की उपस्थिति में विच्छेदित होते हैं, क्योंकि इन पदार्थों के पुनर्निर्माण में ऊर्जा की आवश्यकता होती है। यदि ऊर्जा पूर्ति में अवरोध आता है तो स्थायी परन्तु

आवश्यक पदार्थों के भंग होते रहने से तथा अपचयी एन्जाइमी प्रक्रमों की प्रधानता से सम्पूर्ण निकाय क्षीण होता रहता है और इस प्रकार कोशिका का स्वलयन हो जाता है। जब यह प्रक्रम पर्याप्त रूप से आगे बढ़ जाता है तो यह अनुत्क्रमणीय हो जाता है क्योंकि संश्लेषण प्रतिक्रियाएँ आवश्यक उत्प्रेरकों के अभाव में पुनः स्थापित नहीं हो सकतीं। वस्तुतः इसी को ही कोशिका की मृत्यु कहा जा सकता है। अतः एक विशेष एन्जाइम निकाय द्वारा ही ऊर्जा–उत्पादन तथा ऊर्जा–उपभोग प्रक्रमों में संतुलित संबंध बना रहता है जिससे जीवन का अस्तित्व भी बना रहता है।[1 3]

उत्प्रेरक– एन्जाइमों में भी इन अकार्बनिक उत्प्रेरकों के कई समान अभिलक्षण होते हैं। उत्प्रेरित अभिक्रियाओं का एक मुख्य अभिलक्षण यह है कि उत्प्रेरक की मात्रा तथा स्थानान्तरित आधारी की मात्रा में कोई स्टोक्योमीट्रिक सम्बन्ध नहीं होता है किसी उत्प्रेरक की दक्षता इस प्रकार दर्शायी जा सकती है 'इकाई समय में प्रतिग्राम–अणुक उत्प्रेरक द्वारा स्थानान्तरित आधारी के ग्राम अणुकों की संख्या'। एन्जाइमों की उत्प्रेरण दक्षता अत्यधिक होती है, इसका इसी प्रेक्षण से अनुमान लगाया जा सकता है कि एक विशुद्ध इन्जाइम, आधारी के 10,000 से 1,000,000 ग्राम अणु प्रति मिनट एन्जाइम के प्रति ग्राम अणु की दर से रूपान्तरण का उत्प्रेरण कर सकता है। उत्प्रेरण में एक अन्य मुख्य अभिमुखता यह भी है कि उत्प्रेरित अभिक्रियाएँ दिश्ट प्रकृति की होती है। कार्बनिक रसायन के क्षेत्र में यह सामान्यतः पाया जाता है कि सामान्यतः अभिक्रियाएँ उच्च तापक्रम अथवा दबाव पर की जाती हैं और इच्छित पदार्थ, अन्य उत्पादको के मिश्रण के साथ प्राप्त होता है। उत्प्रेरित क्रियाएँ व्यापक रूप से अधिकतर एकसमान रूप से होती हैं अर्थात् उत्पाद की प्राप्त मात्रा अधिक होती है और यही एन्जाइमी अभिक्रियाओं में भी होता है। उत्प्रेरकों के कुछ प्रारूपिक गुणों का, जो एन्जाइमों में भी होते है, यहाँ पर उल्लेख करना आवश्यक है। बहुधा यह पाया गया है कि उत्प्रेरित क्रिया की गति, उत्प्रेरक की सान्द्रता के अनुक्रमानुपाती होती है और एन्जाइमों के संदर्भ में भी यह लगभग सार्वत्रिक है। अधिकांश एन्जाइम द्वारा प्रेरित अभिक्रियाएँ एन्जाइम की पूर्ण अनुपस्थिति में उल्लेखनीय गति से नहीं होती। एन्जाइमों सहित, उत्प्रेरकों का एक अभिलाक्षणिक गुण यह भी है कि वह किसी अभिक्रिया को अग्र एवं उत्क्रम दोनों दिशाओं में समान रूप से उत्प्रेरित करते हैं। इसको निम्न प्रकार से समझाया जा सकता है। कोई रसायनिक अभिक्रिया $A+B \rightleftharpoons C+D$, जो एक सरलतम क्रिया–विधि से होती है, अग्रदिषा में अभिक्रिया की गति V_1 A एवं B की सान्द्रताओं के अनुक्रमानुपाती होती है।

अतः $V_1=K$, [A] [B] उत्क्रम अभिक्रिया के लिए $V_2=K_2$, [C] [D] जब कि K_1 तथा K_2 प्रत्येक के गति स्थिरांक है। साम्यावास्था पर $V_1=V_2$ अतः $K_1[A][B]= K_2[C][D]$ अथवा $K= \frac{K_1}{K_2} = \frac{[C][D]}{[A][B]}$, K, इस अभिक्रिया के लिये साम्य स्थिरांक है। अभिक्रिया की गति की शुद्ध दिशा प्रत्येक क्रियाकारक की प्रारम्भिक सान्द्रता तथा स्थिरांक के मान से निर्धारित होती है। अब एक उत्प्रेरक जो अल्प सान्द्रताओं में है और सम्पूर्ण क्रिया में प्रयुक्त नहीं होता, साम्य स्थिरांक पर कोई प्रभाव नहीं रख सकता। यदि उत्प्रेरक के योग से V_1 का मान किसी गुणक द्वारा बढ़ता है तो K_1 का मान भी उसी गुणक से बढ़ना चाहिये। यदि K_1 के मान में वृद्धि होती है तो K को स्थिर रखने के लिये K_2 के मान में भी उसी गुणक से वृद्धि होनी चाहिये इसलिए प्रायः उत्प्रेरक का प्रभाव K_1 एवं K_2 तथा V_1एवं V_2 दोनों ही पर समान होता है। जीवों में तापक्रम परिवर्तन से उपापचयी अभिक्रियाओं की गति पर कोई प्रभाव नहीं होता क्योंकि उच्च तापक्रम पर जीवन का अस्तित्व ही समाप्त हो सकता है। अतः जीव–तापक्रम पर ही प्रक्रम में तीव्रता लाने के लिए उत्प्रेरित अभिक्रिया आवश्यक है। इसके विपरीत, यदि जैविक अभिक्रियाएँ बिना उत्प्रेरण के होती हैं, तो उनकी गति को नियंत्रित नहीं किया जा सकता। यदि जीव में मुख्य अभिक्रियाओं की गति अनियंत्रित हो जाती है तो सम्पूर्ण कार्य प्रणाली अवरूद्ध हो जाती है जिससे जीव की मृत्यु हो सकती है।

भौतिक एवं रसायनिक प्रकृति– प्रोटीन के सामान्य गुणों की विस्तृत विवेचना करना यहाँ पर असम्भव है किन्तु कुछ मुख्य अभिलक्षण उल्लेखनीय हैं। प्रोटीन अणु की संरचनात्मक इकाई में कई सौ या कई हजार ऐमीनो अम्ल इकाइयों के परस्पर संधनन से बनी एक लम्बी श्रृंखला होती है जिसको बहुपेप्टाइड कहते हैं। इस श्रृंखला में अभिलाक्षणिक CO-NH- बन्ध होते हैं जिन्हें पेप्टाइड–बन्ध कहा जाता है। प्राकृतिक प्रोटीन में जो पेप्टाइड श्रृंखलाएँ होती हैं उनमें ऐमीनो अम्ल इकाइयाँ संघनित होती हैं। जिसका सामान्य सूत्र है $H_2N\text{-}\underset{\displaystyle R}{\underset{|}{CH}}\text{-}COOH$ इसमें R विभिन्न प्रकार के गुणों को प्रदर्शित करता है।

सामान्यतः एक ही प्रोटीन अणु में कई विभिन्न ऐमीनों अम्ल हो सकते हैं और यह अनिवार्यतः L-संरूपण में ही होते हैं। प्रोटीन अणु में विभिन्न घटक ऐमीनों अम्लों की प्रकृति एवं अनुपात, प्रोटीन के जल–अपघटन(अम्ल अथवा क्षार के साथ उबाल कर) द्वारा ज्ञात किये जा सकते हैं। प्रोटीन अणु की पेप्टाइड श्रृंखला में ऐमीनो अम्लों के व्यवस्था–क्रम को ज्ञात करने की दिशा में पर्याप्त विकास हुआ है और श्रृंखला–संरक्षण के विषय में भी अध्ययन किये गये हैं। एन्जाइमों के अन्य अभिलाक्षणिक गुण उनके आवेश–प्रकृति के कारण होते हैं क्योंकि एन्जाइमी क्रिया पर pH मान परिवर्तन का तीव्र प्रभाव होता है अतः विशुद्ध एन्जाइमों के विलगन से पूर्व ही यह समझा गया कि एन्जाइम जल–अपघट्य हैं और अम्ल तथा क्षार दोनों से लवण बनाने के

कारण वह उभय–धर्मी की भाँति व्यवहार करते हैं। प्रोटीन में कई धनात्मक एवं ऋणात्मक आवेश होते हैं जो अणु में कार्बाक्सिल (-COOH), ऐमीनों ($-NH_2$) तथा अन्य गुणों के कारण होते हैं। पेप्टाइड–श्रृंखला में दो छोर होते हैं, एक छोर पर स्वतन्त्र कार्बाक्सिल समूह तथा दूसरे छोर पर एक स्वतन्त्र ऐमीनो समूह होता है। इनके अतिरिक्त पार्श्वश्रृंखलाओं में भी –COOH, $-NH_2$ तथा अन्य आयनीय समूह होते हैं। उदाहरण ऐमीनों अम्ल, ग्लुटामिक अम्ल

में दो कार्बाक्सिल समूह होते हैं जिनमें से एक पेप्टाइड–बन्ध में प्रयुक्त हो जाता है और दूसरा स्वतन्त्र होता है। इसी प्रकार ऐमीनो अम्ल

लाइसीन में भी एक ऐमीनो समूह पेप्टाइड में निर्माण में प्रयुक्त होता है और दूसरा ऐमीनो समूह स्वतन्त्र रहता है। पूर्णतः उदासीन विलयनों मे, जो सामान्यतः शारीरिक परिस्थितियों में होते हैं अधिकांशतः यह गुण आयनीकृत अवस्था में होते हैं जिसके कारण प्रोटीन अणुओं में अनेक स्थानों पर धनात्मक तथा ऋणात्मक आवेश रहते हैं। यही आवेश प्रोटीन विलयन में मिलाये नये अन्य आयनों को सम्बद्ध कर लेते हैं, और इसी समबद्धता से एन्जाइम क्रिया संम्बधित है। अतः एन्जाइमों की क्रियाशीलता पर pH का प्रभाव होता है जो विभिन्न आवेषित समूह से घनिष्ठ रूप से सम्बंधित है। उपयुक्त परिस्थितियों में वे आयनीय समूह आयनीकृत होकर –COO तथा $-NH_3$ आयन देते हैं जिससे सम्पूर्ण अणु उभयाविश्ट आयन (Zwitter Ion) के रूप में रहते हैं।

$$-COOH + H_2O \rightleftharpoons -COO^- + H_2O^+$$
$$-NH_2 + H_2O \rightleftharpoons NH_3 + OH^-$$

विलयन में, इस प्रकार के आयनीकरण के फलस्वरूप वैद्युत–क्षेत्र में प्रोटीन का अभिगमन होता है। इस प्रक्रम को वैद्युत कण–संचालन (इलेक्ट्रोफोरेसिस) कहा जाता है। पर्याप्त रूप से अम्लीय विलयन में (निम्न pH मान पर) प्रोटीन के कार्बाक्सिल समूह अवियोजित COOH अवस्था में होते है जब कि ऐमीनो समूह आवेशित $-NH_3$ रूप में रहते हैं, अतः प्रोटीन अणु में शुद्ध धनावेश होता है और विभव लगाने पर ऋणाग्र की ओर अभिगमन करता है। इसके विपरीत उच्च pH मान आयनों की अधिकता में प्रोटीन अणु के कार्बाक्सिल एवं ऐमीनो समूह क्रमशः –COO एवं $-NH_2$ रूप में होंगे अतः अणु पर शुद्ध ऋणवेश होगा और यह धनाग्र की ओर अभिगमन करेगा। किसी मध्यवर्ती pH मान पर धनात्मक तथा ऋणात्मक समूह बराबर होगे तब अणु पर कोई शुद्ध आवेश नहीं होगा और वैद्युत क्षेत्र में कोई संचालन नहीं होगा उस pH मान पर जब कोई अभिगमन नहीं होता तो समविभव बिन्दु कहलाता है और यह प्रोटीन का एक अभिलाक्षणिक गुण है।

विस्तृत अध्ययनों से यह ज्ञात हुआ है कि कुछ एन्जाइम साधारण प्रोटीन होते हैं, अर्थात यह विशुद्ध एन्जाइम होते है, पाचन तन्त्रों के एन्जाइम पेप्सिन तथा ट्रिप्सन इसी प्रकार के एन्जाइम है। इनके अतिरिक्त अन्य एन्जाइमों में प्रोटीन के साथ–साथ अ–प्रोटीन भाग भी होता है अतः ये संयुग्मित प्रोटीन होते हैं। इस प्रकार के एन्जाइमों में प्रोटीन भाग को एपोएन्जाइम एवं अ–प्रोटीन भाग को प्रॉस्थेटिक समूह कहते हैं। वह सम्पूर्ण एन्जाइम, जिसमें कि एपोएन्जाइम तथा प्रॉस्थेटिक समूह दोनों ही होते हैं होलोएन्जाइम कहलाता है कुछ दशाओं में प्रास्थेटिक समूह एपोएन्जाइम से सरलता से पृथक हो जाता है, तब यह सह–एन्जाइम कहलाता है। उदाहरणतः एक एन्जाइम लैक्टेट डिहाइड्रोजिनेस जो लैक्टिक अम्ल को उपचयन द्वारा पायरूविक अम्ल में परिवर्तित करता है, शीघ्रता से वियोजित होकर अपना एपोएन्जाइम भाग तथा अ–प्रोटीन भाग, जो सह–एन्जाइम–। कहलाता है, देता है। अन्य कुछ एन्जाइमों में केवल प्रोटीन और एक धातु होते है। उदाहरणतः कुछ एन्जाइम, कॉपर–प्रोटीन जैसे एस्कार्बिक अम्ल

ऑक्सिडेस इसमें कॉपर प्रोटीन से दृढ़तापूर्वक बन्धित होता है और प्रोटीन से सरलापूर्वक पृथक नहीं होता है। कई अन्य एन्जाइमों के लिए धातु–आयनों की आवश्यकता होती है जो इस एन्जाइम को सक्रिय बनाते हैं। यदि ये आयन निष्कासित कर दिए जाय तो एन्जाइम की क्रियाशीलता समाप्त हो जाती है। इस प्रकार ये आयन सह–एन्जाइम नहीं वरन् सक्रियकारक कहलाते हैं। ये आयन आधारी से संयोग करके धातु–आधारी संकर बनाते हैं जो कि एन्जाइम–प्रोटीन से क्रिया करता है। उदाहरणतः अर्जिनेस कुछ फॉस्फेटेस तथा पेप्टाइडेस इस प्रकार के एन्जाइम है जिनमें सक्रियता के लिये धातु–आयनों की आवश्यकता होती है। Ca, Co, Cu, Mg, Mo, Na, K तथा Zn आयन एन्जाइमी प्रक्रियाओं में भाग लेते है।[4] उपरोक्त उदाहरणों में प्रॉस्थेटिक समूह अपोहन(Dialysis) द्वारा एपोएन्जाइम से पृथक किया जा सकता है जिसमें प्रॉस्थेटिक समूह झिल्लिका से शीघ्रता से निकल जाते हैं जब कि एपोएन्जाइम झिल्लिका को नहीं पार कर पाते। अन्य कुछ एन्जाइम इस प्रकार के होते हैं जिनमें प्रॉस्थेटिक समूह, एपोएन्जाइम द्वारा दृढ़ता से संलग्न रहता है जो आयोहन आदि द्वारा पृथक नहीं किया जा सकता है। उदाहरणतः लाल–भूरा एन्जाइम केटेलेस (Catalase) जिसमें प्रॉस्थेटिक समूह हिमैटिन एपोएन्जाइम से दृढ़तापूर्वक जुड़ा होता है। यह एन्जाइम अम्लीय माध्यम से वियोजित होकर रंगहीन प्रोटीन(एपोएन्जाइम) तथा फेरीप्रोटोपोरफिन प्रॉस्थेटिक समूह देता है।

सक्रिय कारक एवं रक्षक– एन्जाइमों की पूर्ण सक्रियता के लिये धातु आयन आवश्यक है। आर्जिनेस के लिये Co^{++}, Mn^{++} अथवा अन्य द्विसंयोजक धातु आयनों की आवश्यकता होती है इसी प्रकार फास्फो ग्लूकोम्यूटेस को अपनी पूर्ण सक्रियता के लिये Mg^{++} Mn^{++} अथवा Co^{++} आयनों की आवश्यकता होती है।[5] पेंक्रिआज का लाइपेस(Pancreatic Lipase) पित्त लवणों(Bile Salts) कैल्सियम ओलियेट एवं ऐल्बुमिन(Albumin) द्वारा सक्रिय होता है यह अविशिष्ट सक्रियकारक पदार्थो की अनुपस्थित में भी पर्याप्त सक्रिय रहती है। पेंक्रिआज एवं लार (Salivary) एमाइलेजों के लिये क्लोराइड आयन की आवश्यकता होती है, ब्रोमाइड तथा आयोडाइड आयन कम प्रभावकारी होते हैं। बरसिन[6] तथा अन्य कार्यकर्ताओं ने बतलाया कि कुछ एन्जाइम, जिनमें सल्फहाइड्रिल समूह देता है, शीघ्रता से उपचित हो जाते हैं, उनको सक्रियता के लिये अपचायकों की आवश्यकता होती है। ऐसे भी अनेक एन्जाइम पाये गये हैं जिनमें विभिन्न बाह्य पदार्थों के मिलाने से उनको क्रियाशील में वृद्धि हो जाती है। पहले यह बतलाया गया था कि यह क्रियाशीलता में वृद्धिवर्धक अथवा ऑक्सो प्रभाव के आधार पर होती है। इस सक्रियता वृद्धि की व्याख्या इस प्रकार भी की जा सकती है कि सम्भवतः एन्जाइम से किसी विष जो मिलाये पदार्थ से अधिक बन्धुता रखता हो, के निष्कासन से उस एन्जाइम की क्रियाशीलता बढ़ जाती है। उदाहरण के लिये, यूरिएस–अभिक्रिया मिश्रण में रक्त–सीरम प्रोटीन, एमीनो अम्ल, गोंद(, HCN, H_2S एवं अन्य कई पदार्थों के मिलने से यूरिएस की सक्रियता में वृद्धि हो जाती है। समनर एवं हैन्ड[7,8] ने इस सक्रियकरण का कारण बतलाया कि एन्जाइम विलयन बनाने में प्रयुक्त आसवित जल में भारी धातुओं की सूक्ष्म मात्राएँ विद्यमान थी जिनके कारण एन्जाइम का विषाक्तन हुआ होगा। जब काँच के उपकरण द्वारा पुनः आसवित जल प्रयोग किया गया तो रक्त–सीरम आदि के मिलाने का कोई प्रभाव नहीं पाया गया।

यूरिएस में स्वतन्त्र 'SH' समूह पाया गया है,[9] यदि यूरिएस को आयोडीन की आवश्यक न्यूनतम मात्रा से उपचयित कर दिया जाता है तो यह निष्क्रिय एवं जल में अविलेय हो जाता है। तुरन्त ही हाइड्रोजन सल्फाइड की सूक्ष्म मात्रा के मिलाने से अधिकांश यूरिएस पुनः विलेय हो जाता है और सक्रियता भी पुनः आ जाती है। पिलेमर एवं सहयोगियों[10] ने दर्शाया कि किस्टलीय यूरिएस का मन्द उपचयन करने पर अनुत्क्रमणीय निष्क्रियण हो जाता है जबकि पराबैगनी प्रकाश से किरणन(Irradiate) करने पर यूरिएस का अनुत्क्रमणीय निष्क्रियण हो जाता है। प्रेंकिअस एमाइलेस का ग्लूटाथायोन द्वारा सक्रियण सम्भवतः भारी धातुओं के निष्कासन के कारण होता है। जैसा कि ऊपर बताया गया है कि एन्जाइमों को निष्क्रियण से रक्षित करने के लिये कुछ पदार्थ मिलाये जाते हैं जो विषों से क्रिया करके एन्जाइमों के विषाक्तन को रोकते हैं, अतः ये पदार्थ रक्षक कहलाते हैं।

निष्कर्ष– एन्जाइमों की निष्क्रियता से शरीर की उपापचयी क्रियाओं पर विपरीत प्रभाव पड़ता है। वैज्ञानिक मतों के अनुसार एन्जाइम की निष्क्रियता को दूर करने में धातु आयन अत्यन्त प्रभावकारी सिद्ध होते हैं। इसके अनुकरण से जीवन को बचाया जा सकता है।

सन्दर्भ

1. पफाइजर, जे0(1954) एन्जाइम्स द फिजिक्स एण्ड केमिस्ट्री आफ लाइफ, साइमन एंड सुस्टर, न्युयार्क, मु0पृ0 171–175.।
2. हारो, वी0 एवं माजुर, ए0(1958) टेस्ट बुक ऑफ बायोकेमिस्ट्री, सौन्डर्स, फिलाडेल्फिया, मु0पृ0 109।
3. वेनेट, टी0 पी0 एवं फ्रेडेन, ई0(1969) माडर्न टॉपिक्स इन बायो केमिस्ट्री, मैकमिलन, लंदन, मु0पृ0 43–45।
4. होलम, जे0(1968) एलीमेन्टस ऑफ जनरल एन्ड बायोलाजिकल केमिस्ट्री, सेकेण्ड एडीसन, वाइली, न्यूयार्क, मु0पृ0 377।
5. कोरी, जी0 टी0 एवं अन्य(1938) जे0 बायलो0 केम0, खण्ड–124, मु0पृ0 543।
6. वरसिन, टी0(1955) एरजेव एन्जाइम फोर्स, खण्ड–4, मु0पृ0 68।
7. यूलर, एच0 वान एवं अन्य(1937) फिजियोलॉजिकल केम0, मु0पृ0 227।
8. मार्टिनेक, आर0(1969) प्रैक्टिकल क्लिनिकल एन्जाइमोलॉजी जे0 अमे0 मेड0 टेक0, खण्ड–31, मु0पृ0 162।9. समनर, जे0वी0 तथा पोलेण्ड, एल0ओ0(1933) प्रोक साक एक्सपेटल बायोल0 मेड0, खण्ड–30, मु0 पृ0 553।
10. पिलेमर, एल0 एवं अन्य(1938) जे0 बायोल0 केम0, खण्ड–123, मु0पृ0 365।