# इकाई 7

# जल में घुलनशील विटामिन

## इकाई की रूपरेखा


7.1 प्रस्तावना

अपेक्षित अध्ययन परिणाम

7.2 विटामिन B कॉम्प्लैक्स

थायामीन (विटामिन $B_1$)

राइबोफ्लेविन (विटामिन $B_2$)

निआसिन (विटामिन $B_3$)

पाइरीडॉक्सिन (विटामिन $B_6$)

सायनोकोबालैमीन (विटामिन $B_{12}$)

फोलिक अम्ल

7.3 विटामिन C

7.4 सारांश

7.5 पाठांत प्रश्न

7.6 उत्तर


## 7.1 प्रस्तावना

विटामिन, जैसा कि इनके नाम से ही पता चलता है, हमारे स्वस्थ रहने के लिए अनिवार्य है। **कैसीमीर फंक** ने 1912 में शब्द 'विटामिन' (vitamine) दिया था, जिसका अर्थ है जीवन का ऐमीन। यद्यपि, बाद में ये पाया गया कि ये सभी सहायक कारक संरचना में ऐमीन नहीं थे और इसमें से शब्द 'e' को हटा दिया गया। विटामिन अनिवार्य कार्बनिक पोषक हैं जिनकी आवश्यकता हमारे आहार में बहुत अल्प मात्रा में होती है। यद्यपि, ये अन्य भोजन की भांति ऊर्जा नहीं प्रदान करते हैं लेकिन कार्बोहाइड्रेट, लिपिड और प्रोटीन उपापचय के ऊर्जा प्रदान करने वाले पथों में सहायता करते हैं। मानव शरीर को अपने आहार में विटामिनों की आवश्यकता अच्छे स्वास्थ्य के लिए होती है, क्योंकि अधिकांश विटामिनों का हमारे शरीर में संश्लेषण नहीं होता है।

विटामिनों को व्यापक रूप से 2 वर्गों में वर्गीकृत किया गया है – **जल में घुलनशील विटामिन** जिनमें B-कॉम्प्लैक्स और C विटामिन शामिल हैं तथा **वसा (लिपिड) में घुलनशील विटामिन** जिनमें A, D, E और K शामिल हैं।

जल में घुलनशील विटामिन जल में विलेय होते हैं और शरीर में भंडारित नहीं होते हैं। अतिरिक्त मात्रा में ले लिए जाने पर, ये मूत्र में उत्सर्जित हो जाते हैं और इस प्रकार अधिक मात्रा से होने वाली विषाक्तता से बचाव होता है। इनकी हमारे आहार में प्रतिदिन आवश्यकता होती है। इस इकाई में हम इन जल में घुलनशील विटामिनों के महत्व, दैनिक आवश्यकताओं और इनसे संबन्धित रोगों पर केन्द्रित करेंगे।

## अपेक्षित अध्ययन परिणाम

इस इकाई को पढ़ने के पश्चात् आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ आहार में विटामिनों के महत्व को परिभाषित कर सकेंगे;
- ❖ प्रत्येक विटामिन से संबन्धित हीनता रोगों का नाम बता सकेंगे;
- ❖ विटामिनों के संस्तुत दैनिक आहारीय अंतर्ग्रहण और विटामिन विशेष से समृद्ध खाद्य वर्गों के बारे में बता सकेंगे;और
- ❖ प्रत्येक विटामिन से होने वाले हीनता रोग के जैवरासायनिक आधार को स्पष्ट कर सकेंगे।

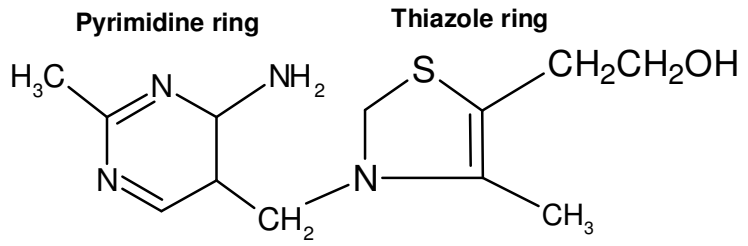
# 7.2 विटामिन B कॉम्प्लैक्स

विटामिन B कॉम्प्लैक्स में अनेक जल में घुलनशील विटामिन होते हैं जो हमारे शरीर में विभिन्न जैवरासायनिक अभिक्रियाओं के लिए सहकारकों की भांति कार्य करते हैं।

इस भाग में हम इनमें से कुछ विटामिन के विषय में पढेंगे जिनमें थायामीन (विटामिन $B_1$), राइबोफ्लेविन (विटामिन $B_2$), निआसिन (विटामिन $B_3$), पाइरीडॉक्सिन (विटामिन $B_6$), कोबालैमीन (विटामिन $B_{12}$) और फोलिक अम्ल शामिल हैं। बायोटिन और पैन्टोथीनिक अम्ल, बायोटिन को ऊर्जा मोचन (निर्मुक्त करने वाले) विटामिन भी कहा जाता है क्योंकि ये ऊर्जा प्रदान करने वाले उपापचयी पथों में भागीदारी करते हैं, जबकि फोलिक अम्ल और $B_{12}$ को रक्तोत्पादक विटामिन कहते हैं, क्योंकि इनकी शरीर में लाल रक्त कोशिकाओं के संश्लेषण के लिए आवश्यकता होती है।

## 7.2.1 थायामीन (विटामिन $B_1$)

थायामीन या विटामिन $B_1$ को एन्यूरीन भी कहते हैं। ये एक सल्फर युक्त विटामिन है और इसलिए इसका नाम थायोविटामिन या थायामीन पड़ा है। 1926 में, एक डच चिकित्सक क्रिस्टियन एजमैन ने थायामीन की पहचान एक एन्टी बेरीबेरी कारक के रूप में की थी। ये एक रंगहीन यौगिक है जिसका रासायनिक सूत्र $C_{12}H_{17}N_4O_5$ है। इसकी संरचना में पाइरिमिडीन वलय और एक थायजोल वलय होता है जो मेथिलीन समूह से जुड़ा रहता है (चित्र 7.1)। थायामीन का संश्लेषण जीवाणुओं, कवकों और पौधों में होता है। इसकी एल्डिहाइड स्थानांतरणों के लिए आवश्यकता होती है, और इसलिए कार्बोहाइड्रेट, वसाओं और प्रोटीनों के उपापचय में इसकी आवश्यकता होती है।




**चित्र 7.1 : थायामीन की रासायनिक संरचना।**

## जैवरासायनिक कार्य

थायामीन पाइरोफॉस्फेट या TPP (जिसे थायामीन डाइफॉस्फेट या TDP भी कहते हैं) विटामिन $B_1$ का एक सक्रिय कोएन्जाइम है। थायामीन निर्भर अभिक्रियाओं में एल्डिहाइड स्थानांतरण होता हैं। एल्डिहाइड सहसंयोजी रूप से थायाजोल वलय में एक कार्बन से जुड़ा होता है। वे अभिक्रियाएं जिनको TPP की आवश्यकता होती है, में ऑक्सीकरणी विकार्बोक्सिलीकरण, ट्रांसकीटोलेस, अभिक्रियाएं आदि शामिल हैं। TPP ट्रांसकीटोलेस पाइरूवेट डीहाइड्रोजिनेस (PDH) और $\alpha$–कीटोग्लूटारेट डीहाइड्रोजिनेस जैसे एन्जाइमों के लिए महत्वपूर्ण सहकारक/कोफैक्टर की भांति कार्य करता है। उदाहरण के लिए TPP निर्भर डिपेन्डेन्ट पाइरूवेट डीहाइड्रोजिनेस पाइरूवेट के एसीटिल कोएन्जाइम A में ऑक्सीकरणी विकार्बोक्सिलीकरण को उत्प्रेरित करता है (चित्र 7.2)।

$$\text{Pyruvate} \xrightarrow[\text{Pyruvate dehydrogenase}]{\text{TPP}} \text{Acetyl CoA}$$

**चित्र 7.2 : पाइरूवेट का एसीटिल कोएन्जाइम A में ऑक्सीकरणी विकार्बोक्सिलीकरण।**

TCA चक्र का क्रियाधार होने के अतिरिक्त; एसीटिल CoA न्यूरोट्रांसमिट्र्स जैसे एसीटिल कोलीन के संश्लेषण का पूर्ववर्ती है। लिपिड जैसे कि माइलिन के संश्लेषण के लिए भी एसीटिल CoA की आवश्यकता होती है, जो तंत्रिका तंत्र के उचित रूप से कार्य करने क लिए थायमीन के महत्व को बताता है।

TPP उत्प्रेरित ट्रांसकीटोलेस अभिक्रिया पेन्टोस फॉस्फेट पथ में महत्वपूर्ण है जो न्यूक्लीक अम्ल संश्लेषण के लिए पेन्टोस शर्कराओं के साथ ही वसा अम्ल जैव संश्लेषण के लिए NADPH का स्रोत है। TPP की आवश्यकता कीटो अम्लों के आक्सीकरणी विकार्बोक्सिलीकरण के लिए भी होती है जो शाखित श्रृंखला ऐमीनो अम्लों ल्यूसीन, आइसोल्यूसीन और वैलीन से व्युत्पन्न होते हैं। आप पहले ही इन पथों के बारे में उपापचय पर पाठ्यक्रमों BBCCT-109 और BBCCT-113 में पढ़ चुके हैं।

थायामीन तंत्रिका चालन में $Cl^-$ चैनल को भी नियंत्रित करते हैं।

## आहारीय आवश्यकताएं

थायामीन ऊर्जा उपापचय से संबन्धित है; इसलिए इसकी आहारीय आवश्यकता कैलोरी अंतर्ग्रहण पर निर्भर करती है। विटामिन $B_1$ की दैनिक आवश्यकता वयस्कों के लिए 0.5 mg/1000 kcal है। यद्यपि, कैलोरी अंतर्ग्रहण के 2000 kcal से कम होने पर भी थायामीन के 1 mg के न्यूनतम दैनिक अंतर्ग्रहण की संस्तुति की जाती है। थायामीन की आवश्यकता का आकलन इरिथ्रोसाइट ट्रांसकीटोलेस क्रिया गुणांक (ETK-AC) के मानों (Values; वैल्यूस) और आहारीय थायामीन के अंतर्ग्रहण के आंकड़ों का ग्राफ बनाकर प्राप्त किया जाता है। ये आंकड़े स्वस्थ वयस्क मानव जनसंख्या अध्ययनों से प्राप्त किए जाते हैं। औसत आवश्यकता (EAR) का परिकलन प्रतिगमन विश्लेषण (regression analysis) के द्वारा किया गया था (ICMR-NIN, 2020)।

इसी के अनुसार स्थानबद्ध प्रवृति (sedentary habits; सिडेन्टरी हैक्टि्स) के एक 65 kg के वयस्क पुरूष के लिए EAR 1.2 μg/दिन; स्थानाबद्ध जीवनशैली वाली 55 kg वजन की वयस्क महिला के लिए थायामीन का EAR 1.1 μg/दिन है। शारीरिक कार्यकलापों में वृद्धि के साथ, उसी के अनुरूप थायामीन के लिए EAR में वृद्धि होती है। इसी प्रकार, गर्भावस्था के दौरान EAR मातृ और भ्रूणीय वृद्धि के लिए आवश्यक 350 kcal के अतिरिक्त कैलोरी की अनुपात मात्रा के आधार पर बढ़कर 1.6 mg/दिन हो जाता है।

स्तनपान कराते समय, थायामीन के दूध में स्त्रवण के लिए समायोजित करने को EAR 1.7μg/दिन हो जाता है। बच्चों और किशोरों के लिए EAR उनकी उचित वृद्धि को सुनिश्चित करने के लिए उनकी ऊर्जा आवश्यकताओं पर निर्भर करता है (अनुलग्नक 1. 1)।

स्थानबद्ध कार्य में संलिप्त पुरूष और महिला दोनों के लिए, थायामीन के लिए 1.4 mg/दिन के RDA की संस्तुति की जाती है। जब अधिक श्रम वाले कार्य किए जाते हैं, जिनके लिए अधिक ऊर्जा की आवश्यकता होती है, तो थायामीन के लिए RDA भी उसी के अनुसार बढ़ जाएगा। थायामीन के RDA में अतिरिक्त अनुमत मात्रा गर्भवती और स्तनपान कराने वाली महिलाओं के लिए अतिरिक्त कैलोरी की अनुमत मात्रा के आधार पर संस्तुति की जाती है। बच्चों और किशोरों के लिए थायामीन के लिए RDA की आवश्यकता उनकी इष्टतम वृद्धि आवश्यकता के अनुसार होती है (अनुलग्नक 1.2)।

ये सुझाया गया है कि स्वस्थ व्यक्ति में भोजन अथवा पूरक पदार्थों (suppliments) से थायामीन के अतिरिक्त अंतर्ग्रहण का कोई प्रतिकूल प्रभाव नहीं होता है। इसके विपरीत निष्कर्ष के लिए सीमित आंकड़े उपलब्ध है। अतः दैनिक थायामीन अंतर्ग्रहण के लिए किसी सह्य ऊपरी सीमा (tolerable upper limit; TUL) व्युत्पन्न नहीं की गई है।

**आहारीय स्रोत**

कुछ फर्म, कच्ची मछली और सी फूड (समुद्री खाद्य पदार्थ) में एन्जाइम थाइएमीनेस होता है

मद्यपान करने वाले व्यक्तियों में थायामीन की कमी से बेरी–बेरी नहीं बल्कि वर्निक–कोसीकोफ सिन्ड्रोम हो जाता है, जिसकी पहचान मानसिक विक्षिप्तता से होती है।

साबुत अनाज, फलियां/शिंब, मूंगफली, अखरोट, सरसों के बीज, सूरजमुखी और कुसुंभ के बीज, सोयाबीन, सूअर का मांस (पोर्क), लिवर, अंडे, यीस्ट आदि विटामिन $B_1$ के समृद्ध स्रोत है। भारतीय खाद्य संयोजन तालिकाओं (Indian Food Composition Tables; IFCT; 2017) में विभिन्न आहार स्रोतों में सूक्ष्म पोषकों की मात्रा को दिया गया है। देखिए कि किन अन्य खाद्य स्रोतों में थायामीन होता है। अनाजों की मिलिंग (पेषण) और पॉलिशिंग से थायामीन की हानि होती है। कच्चे खाद्य पदार्थों में उपस्थित लगभग 40-50% थायामीन प्रसंस्करण और पकाने के दौरान नष्ट हो जाता है।

**हीनता रोग और हीनता रोगों का जैवरासायनिक आधार**

बेरीबेरी, शुष्क (लकवा करने वाला) और आर्द्र (एडिमा/शोफ करने वाला) रोग थायामीन की कमी से होता है। ये रोग तंत्रिकीय और हृदयसंवहनी तंत्रों को प्रभावित करता है।

भारत में अब बेरीबेरी रोग दुर्लभ रूप से ही पाया जाता है। यद्यपि, गंभीर शोथ वाले, कुपोषण के इतिहास वाले और आन्त्रेतर पोषण (parenteral nutrition; पारएन्टेरल न्यूट्रीशन) वाले व्यक्ति थायामीन हीनता के लिए संवेदनशील होते हैं। आहार में थायमीनेस की उपस्थिति भी थायामीन को नष्ट कर सकती है और हीनता उत्पन्न कर सकती है। जठरांत्रीय गड़बड़ियों से भी थायामीन हीनता हो जाती है।

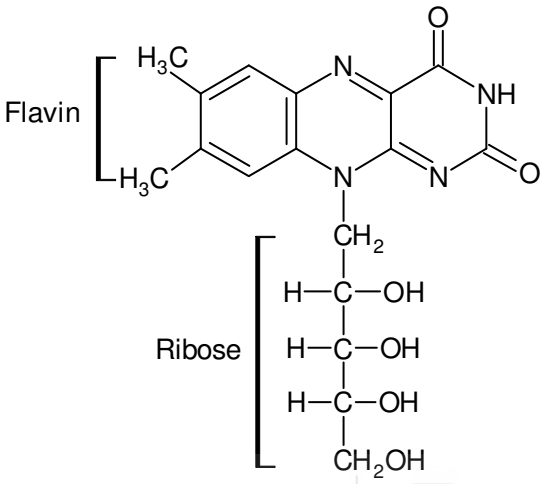
विटामिन $B_2$ और $B_3$ को **रेडॉक्स विटामिन** भी कहते हैं।

## 7.2.2 राइबोफ्लेविन (विटामिन $B_2$)

राइबोफ्लेविन नाम शर्करा राइबोस और वलय अर्धांश 'फ्लेविन' से व्युत्पन्न है। फ्लेविन समूह एक कार्बन–नाइट्रोजन बंध के द्वारा रिबिटॉल (राइबोस शर्करा का एक ऐल्कोहॉल) से बद्ध होता है। वलय तंत्र (आइसोएलोक्साजीन) की उपस्थिति के कारण, ये विटामिन चटख पीला रंग दर्शाता है और UV प्रकाश के लिए उद्भासित होने पर गहन हरी पीली प्रतिदीप्ति उत्सर्जित करता है।

दो प्रमुख कोएन्जाइम, जिनको फ्लेविन न्यूक्लिओटाइड भी कहते हैं, FMN (फ्लेविन मोनोन्यूक्लिओटाइड) और FAD (फ्लेविन एडीनिन डाइन्यूक्लिओटाइड) में एक घटक के रूप में राइबोफ्लेविन होता है। ये अनेक ऑक्सीकरण–अपचयन अभिक्रियाओं और श्वसन श्रृंखला के द्वारा ऊर्जा उत्पादन में शामिल होते हैं।

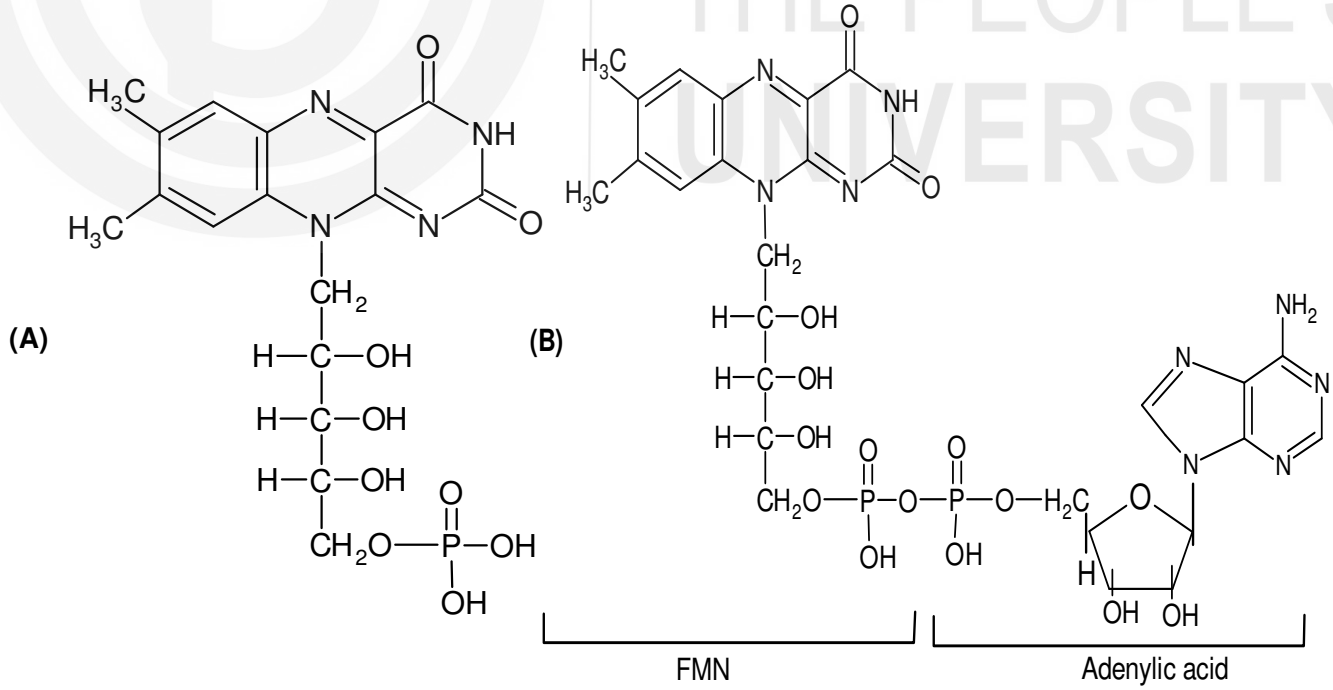
कुन. गायोर्जी एवं. वैगनर ने 1933 में अंडों से राइबोफ्लेविन को वियुक्त किया था।




**चित्र 7.3 : राइबोफ्लेविन की संरचना।**

## जैवरासायनिक कार्य

फ्लेविन मोनोन्यूक्लिओटाइड (FMN) और फ्लेविन एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड (FAD) राइबोफ्लेविन के कोएन्जाइम संरूप है। FMN की संरचना में फॉस्फेट समूह राइबोफ्लेविन की राइबोस शर्करा से जुड़ा होता है जबकि FAD ATP के उपयोग द्वारा FMN से बनता है (चित्र 7.4)।




**चित्र 7.4 : राइबोफ्लेविन के कोएन्जाइम संरूप; फ्लेविन मोनोन्यूक्लिओटाइड (FMN) और फ्लेविन एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड (FAD) की संरचनाएं।**

FAD एक रेडॉक्स (अपचयोपचय) कोएन्जाइम है जो उपापचय में अनेक ऑक्सीकरण–अपचयन अभिक्रियाओं में शामिल होता है। जो एन्जाइम ऐसी रेडॉक्स अभिक्रियाओं में सम्मिलित होते हैं, वे डीहाइड्रोजिनेस कहलाते हैं। डीहाइड्रोजिनेस क्रियाधार से हाइड्रोजन परमाणु के एक जोड़े को निष्कासित कर देते हैं और इनको कोएन्जाइम ग्राहियों के रूप में FAD या FMN की आवश्यकता होती है।

कुछ FMN और FAD डिपेन्डेन्ट (निर्भर) एन्जाइमों को नीचे सूचीबद्ध किया गया है :

**FMN निर्भर एन्जाइम** : L-ऐमीनो एसिड ऑक्सीडेस, NADH डीहाइड्रोजिनेस

**FAD निर्भर एन्जाइम** : D-ऐमीनो एसिड ऑक्सीडेस, पाइरूवेट डीहाइड्रोजिनेस कॉम्प्लैक्स, $\alpha$–कीटोग्लूटारेट डीहाइड्रोजिनेस कॉम्प्लैक्स और सक्सीनेट डीहाइड्रोजिनेस, अन्य में इलैक्ट्रोन अभिगमन श्रृंखला का कॉम्प्लैक्स II, एसिल CoA डीहाइड्रोजिनेस, जैन्थीन ऑक्सीडेस के साथ ही ये माइक्रोसोमी हाइड्रोक्सीलेस तंत्र का एक घटक भी है। FAD की आवश्यकता ग्लूटाथियॉन रिडक्टेस के सहकारक के रूप में होती है, अतः ये कोशिकीय एन्टीऑक्सीडेन्ट (प्रतिऑक्सीकारक) क्रिया के लिए महत्वपूर्ण है। राइबोफ्लेविन की आवश्यकता विटामिन $B_6$, निआसिन और विटामिन K के उपापचय के लिए होती है। आपको BBCCT-109 और BBCCT-113 में पहले ही इन एन्जाइमी अभिक्रियाओं को विस्तार से बताया गया है, उन्हें दोहरा लीजिए।

**आहारीय आवश्यकताएं**

राइबोफ्लेविन के लिए EAR 1.6 µg/दिन है और वयस्क पुरूषों (65 Kg वजन के) के लिए, जो स्थानबद्ध कार्य करते हैं, संगत RDA 2.0 µg/दिन है। स्थानबद्ध कार्य करने वाली वयस्क महिलाओं (55 Kg वजन की) के लिए राइबोफ्लेविन के लिए EAR 1.6 µg/दिन है जबकि RDA 1.9 µg/दिन है। सक्रियता के स्तर के बढ़ने के साथ आवश्यकता बढ़ जाती है। गर्भावस्था में राइबोफ्लेविन के लिए RDA 2.7 µg/दिन हो जाता है क्योंकि इस अवस्था में मातृ और भ्रूणीय वृद्धि की पूर्ति के लिए ऊर्जा आवश्यकता 350 kcal/दिन तक बढ़ जाती है। स्तनपान कराने के 0-6 माह में RDA 3.0 µg/दिन और 7-12 माह में 2.9 µg/दिन होता है। अनुलग्नक 1.1 (EAR) और 1.2 (RDA) में भी सभी आयु वर्ग के बच्चों के लिए राइबोफ्लेविन की मात्रा की संस्तुतियां दी गई हैं।

राइबोफ्लेविन को फ्लेवोप्रोटीनों के रूप में अंतग्रहित किया जाता है और मुक्त राइबोफ्लेविन को एक ATP निर्भर प्रक्रिया के द्वारा आंत में अवशोषित कर लिया जाता है। विटामिन का मुख्य भंडारण संरूप FAD है जो मुख्यतः लिवर (यकृत) में पाया जाता है। एन्जाइमों के अपचय से निर्मुक्त होने वाले राइबोफ्लेविन को तेजी से नए संश्लेषित एन्जाइमों में समावेशित कर लिया जाता है; संभवतः इसी के कारण राइबोफ्लेविन की हीनता घातक नहीं होती है।

राइबोफ्लेविन के लिए कोई सह्य ऊपरी सीमा (TUL) निर्धारित नहीं की गई है (ICMR-NIN, 2020)।

**आहारीय स्रोत**

दूध, दही मांस, अंडे, लिवर, हरी सब्जियां, फलियां/शिंब, गिरियां आदि राइबोफ्लेविन के अच्छे स्रोत हैं। यह कम मात्रा में अन्य खाद्य स्रोतों में भी पाया जाता है (IFCT, 2017)। लगभग 20% विटामिन भारतीय पकाने के तरीकों में लुप्त हो जाते हैं।

**हीनता रोग और हीनता लक्षणों का जैवरासायनिक आधार**

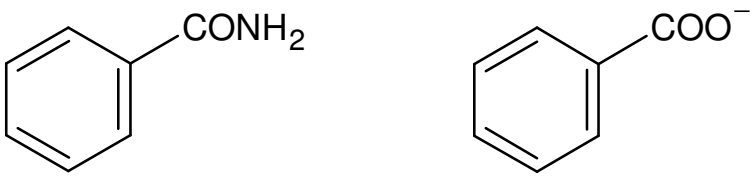
राइबोफ्लेविन की आहारीय कमी भारत में व्यापक रूप से पाई जाती है। श्वसनीय संक्रमणों से राइबोफ्लेविन की ऊतक क्षीणता (tissue depletion; टिशू डिप्लीशन) हो सकती है। लंबी अवधि तक ज्वर, कुअवशोषण, दुर्दमता (melignancy) और हाइपरथाइरॉइडिज्म (थायरॉइड का बढ़ जाना) राइबोफ्लेविन हीनता से संबद्ध हो सकते हैं।

राइबोफ्लेविन की कमी यानी राइबोफ्लेवीनोसिस के लक्षण त्वचा और श्लेष्म कलाओं में दिखाई देते हैं, जैसे मुख का शोथ (angular stomatitis; एंगुलर स्टोमेटाइटिस) जीभ का शोथ (glossitis; ग्लॉसाइटिस) होंठों की श्लेष्म कलाओं का लाल हो जाना (cheilosis; चीलोसिस) नासा–ओष्ठ ओर वृषण कोष क्षेत्रों के आसपास शुष्क और शल्कीय त्वचा (seborrheic dermatitis; सीबोरिक डर्मेटाइटिस) आदि।

राइबोफ्लेविन की हीनता से साइकोमोटर (psychomotor) प्रदर्शन में गड़बड़ी आयरन का कम अवशोषण जिसके फलस्वरूप एनीमिया (रक्ताल्पता), त्वचा कौलोजन परिपक्वता में कमी और कम दृष्टि/दृश्य तीक्ष्णता भी हो सकते हैं।

## 7.2.3 निआसिन (विटामिन $B_3$)

शब्द 'निआसिन' से अभिप्राय निकोटिनिक अम्ल और निकोटिनेमाइड (निकोटीनिक अम्ल एमाइड) से है। निकोटिनिक अम्ल एक पाइरिडीन–3–कार्बोक्सिलिक अम्ल है। एक एमाइड समूह के साथ होने पर निकोटिनिक अम्ल निकोटिनेमाइड कहलाता है (चित्र 7.5)। निआसिन की खोज पैलैग्रा (pallegra) रोग के अध्ययनों के दौरान एक पोषक के रूप में की गई थी। ये पूरी तरह से एक विटामिन नहीं है क्योंकि अल्प मात्रा में इसका शरीर में संश्लेषण ट्रिप्टोफान से किया जा सकता है जो एक अनिवार्य ऐमीनो अम्ल है (60 mg ट्रिफ्टोफान से 1 mg निआसिन बनता है)।

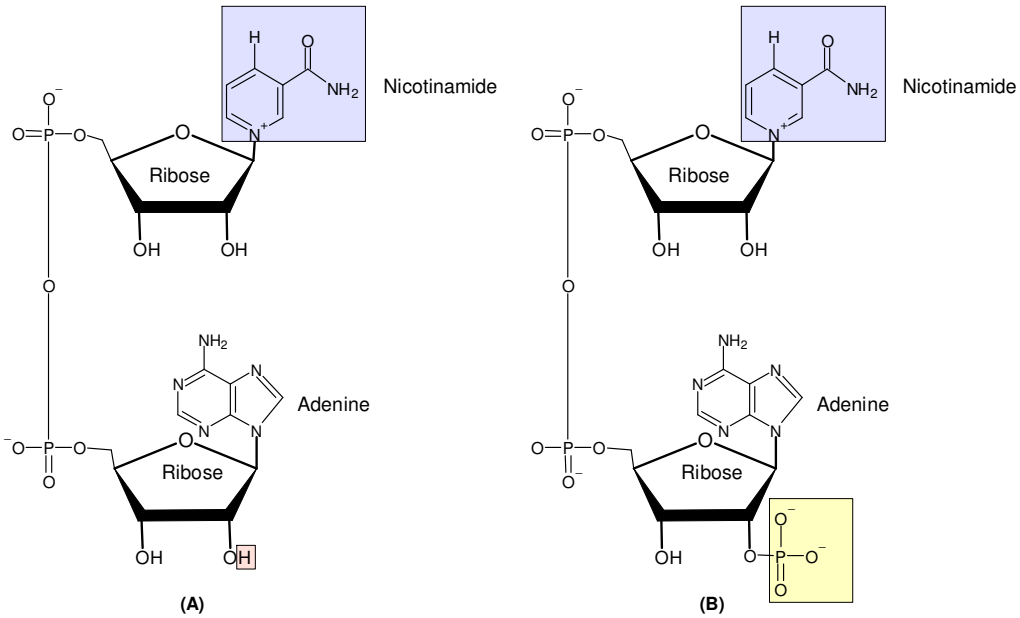



**Nicotinamide** **Nicotinic acid**

**चित्र 7.5 : निकोटिनेमाइड और निकोटीनिक अम्ल की संरचनाएं।**

निकोटिनेमाइड से व्युत्पन्न दो कोएन्जाइम $NAD^+$ (निकोटिनेमाइड एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड) और $NADP^+$ (निकोटिनेमाइड एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड फॉस्फेट) (चित्र 7.6a और b) हैं। $NAD^+/NADP^+$ और इसके अपचयित रूप NADH/NADPH अनेक जैवसंश्लेषी अभिक्रियाओं में भागीदारी करते हैं।

NADP$^+$ अपने राइबोस वलय के 2′ स्थान पर एक अतिरिक्त फॉस्फेट समूह की उपस्थिति में NAD$^+$ से भिन्न होता है, ये वलय एडिनीन अर्धांश को धारण करता है।




**चित्र 7.6 : a) निकोटिनेमाइड एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड (b) निकोटिनेमाइड एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड फॉस्फेट की संरचना।**

## जैवरासायनिक कार्य

NAD$^+$ और NADP$^+$ कोएन्जाइम की आवश्यकता ग्लाइकोलिसिस ऊतक श्वसन, वसा अम्ल उपापचय और ऑक्सीकरण अपचयन अभिक्रियाओं समेत अनेक अभिक्रियाओं के लिए होती है। ये ऑक्सीकरण कर्मकों की भांति कार्य करते हैं। अन्य अणुओं से इलैक्ट्रोन ग्रहण करते हैं और NADH/NADPH में अपचयित हो जाते हैं। NAD$^+$ का उपयोग व्यापक रूप से अपचयी रेडॉक्स अभिक्रियाओं में किया जाता है जो माइटोकॉन्ड्रिया के मैट्रिक्स में होती है। NADPH, DNA मरम्मत और कैल्सियम आयनों की गतिशीलता के लिए महत्वपूर्ण है। पेन्टोस फॉस्फेट पथ NADPH उत्पादन के लिए प्रमुख स्रोत है। कुछ NAD$^+$ और NADP$^+$ (dependent; निर्भर) एन्जाइम नीचे दिए गए हैं :

NAD$^+$ डिपेन्डेन्ट एन्जाइम

**I. कार्बोहाइड्रेट उपापचय**

ग्लिसरेल्डिहाइड–3–फॉस्फेट डीहाइड्रोजिनेस

लैक्टेट डीहाइड्रोजिनेस

पाइरूवेट डीहाइड्रोजिनेस कॉम्प्लैक्स

$\alpha$–कीटोग्लूटारेट डीहाइड्रोजिनेस कॉम्पलैक्स

मैलेट डीहाइड्रोजिनेस

**II. लिपिड उपापचय**

$\beta$ (3) - हाइड्रोक्सीब्यूटारेट डीहाइड्रोजिनेस

$\beta$ (3) - हाइड्रोक्सीएसिल CoA डीहाइड्रोजिनेस

ऐल्कोहॉल डीहाइड्रोजिनेस

**III. प्रोटीन उपापचय**

टाइरेमीन डीहाइड्रोजिनेस

ग्लूटामेट डीहाइड्रोजिनेस

शाखित श्रृंखला कीटो अम्ल डीहाइड्रोजिनेस

**IV. NADP डिपेन्डेन्ट एन्जाइम**

ग्लूकोस–6–फॉस्फेट डीहाइड्रोजिनेस

मैलिक एन्जाइम

**V. NADPH डिपेन्डेन्ट एन्जाइम**

HMG CoA रिडक्टेस

3–कीटोएसिल रिडक्टेस

कोलेस्टेरॉल 7($\alpha$)–हाइड्रोक्सीलेस

फेनिलएलानिन हाइड्रोक्सीलेस

डाइहाइड्रोफोलेट रिडक्टेस

स्क्वालीन सिन्थेटेस

इन एन्जाइमों द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रियाओं को BBCT-109 और BBCCT-113 में से दोहराना अच्छा रहेगा।

**आहारीय स्रोत**

निआसिन अनेक प्रकार के खाद्य पदार्थों जैसे अपरिष्कृत अनाजों, दालों, मूंगफली, फलियों/शिंबो, लिवर और मांस से प्राप्त किया जाता है। लगभग 25% निआसिन पकाने में लुप्त हो जाता है।

**पैलेग्रा :** निआसिन हीनता के कारण होने वाला डर्मेराइटिस

**आहारीय आवश्यकताएं**

निआसिन के लिए व्यक्तिगत आवश्यकताओं का अभिकलन ऊर्जा आवश्यकताओं के आधार पर किया गया है। वयस्कों के लिए संस्तुत EAR 5.6 mg NE/1000 kcal है, जिसे निआसिन के मूत्रीय उपापचयज अध्ययनों से व्युत्पन्न किया गया था (ICMR-NIN, 2020)। एक mg NE (निआसिन इक्विलेन्ट) 60 mg ट्रिप्टोफान के बराबर होता है (ICMR-NIN, 2020) उसी के अनुसार, स्थानबद्ध पुरूषों और महिलाओं के लिए EAR को क्रमशः 12 mg/दिन और 9 mg/दिन नियत किया गया था (अनुलग्नक 1.1)। निआसिन के RDA का निर्धारण EAR+2CV(10% CV) के रूप में किया गया है। अतः स्थानबद्ध पुरूषों और महिलाओं के लिए ये क्रमशः 14 mg/दिन और 11 mg/दिन है (अनुलग्नक 1.2)। गर्भावस्था और स्तनपान कराने के दौरान महिलाओं का निआसिन का अंतर्ग्रहण संस्तुत किए गए अधिक ऊर्जा अंतर्ग्रहण के कारण अधिक होता है। इन निआसिन अंतर्ग्रहणों के साथ ही शिशुओं और विभिन्न आयु वर्ग के बच्चों के लिए निआसिन अंतर्ग्रहण के लिए अनुलग्नक 1.1 (EAR) और अनुलग्नक 1.2 (RDA) को देखिए।

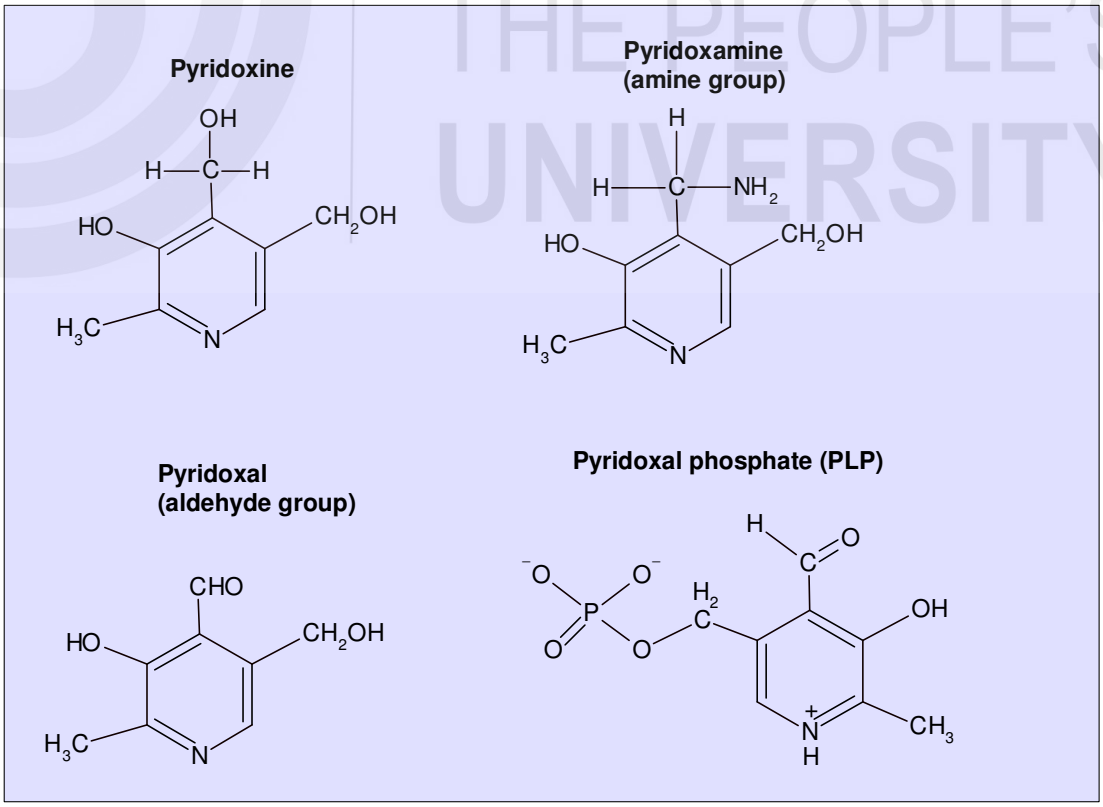
आहार–आधारित निआसिन के अधिक सेवन के प्रतिकूल प्रभावों पर कोई आंकड़े उपलब्ध नहीं है। उच्चतर मात्राओं से ग्लाइकोजन भंडारों का अधिक उपयोग, सीरम लिपिडों और वसा अम्ल गतिशीलता में कमी हो सकती है। अतः 35 mg/दिन को निआसिन के लिए TUL के रूप में नियत किया गया है (ICMR-NIN, 2020) (अनुलग्नक 1.3)।

**हीनता रोग और हीनता लक्षणों का जैवरासायनिक आधार**

आहार में निआसिन की कमी से पैलाग्रा रोग हो जाता है। पैलाग्रा में त्वचा, जठरांत्रीय पथ और केन्द्रीय तंत्रिका तंत्र प्रभावित होते हैं। लक्षणों में डर्मेटाइटिस, डायरिया और डीमेन्शिया सम्मिलित है और अनुपचारित रहने पर मृत्यु भी हो सकती है। प्रकाशसंवेदी डर्मेटाइटिस त्वचा संक्रमण संभवतः DNA मरम्मत में $NAD^+$ की भूमिका से संबन्धित है। पाचन की समस्याएं भी निआसिन अथवा ट्रिप्टोफान हीनता से संबन्धित हो सकती है जैसे कि हार्टनप रोग (ऐमीनो अम्ल अभिगमन का एक आनुवंशिक विकार) जिसमें ट्रिप्टोफान की त्रुटिपूर्ण अभिगमन क्रियाविधि के कारण आंत्रीय कुअवशोषण और वृक्कीय पुर्नअवशोषण नहीं होने से हीनता हो जाती है। भारत में लक्षण स्थानिक रूप में उन क्षेत्रों में दिखाई देते हैं जहां ज्वार को मुख्य भोजन के रूप में खाया जाता है।

## 7.2.4 पाइरीडॉक्सिन (विटामिन $B_6$)

विटामिन $B_6$ के तीन भिन्न रूप हैं : पाइरीडॉक्सिन, पाइरीडॉक्सेमीन और पाइरीडॉक्सल (चित्र 7.7)। इन सभी को फॉस्फोरिलीकृत करके सक्रिय रूप पाइरीडॉक्सल फॉस्फेट में रूपांतरित किया जा सकता है। इन सभी में पाइरीडीन वलय होता है। विटामिन $B_6$ की आवश्यकता ऐमीनो अम्लों के संश्लेषण, अपचय और परस्पर रूपांतरण के लिए होती है।




**चित्र 7.7 : पाइरीडॉक्सिन, पाइरीडॅक्सेमीन, पाइरीडॉक्सल और पाइरीडॉक्सल फॉस्फेट (PLP) की संरचनाएं।**

## जैवरासायनिक कार्य

पाइरीडॉक्सल फॉस्फेट (PLP) विटामिन $B_6$ का एक सक्रिय कोएन्जाइम रूप है। विटामिन $B_6$ को अंतर्ग्रहित मात्रा के 80% तक प्रभावी रूप से अवशोषित कर लिया जाता है। ये एल्ब्यूमिन के साथ बद्ध होकर रक्त में अभिगमन करता है। अवशोषण से पहले PLP को आंत्रीय एल्केलाइन फॉस्फेटेस द्वारा जलअपघटित कर लिया जाता है। पाइरीडॉक्सिन का सीमित भंडारण, अधिकतर ग्लाइकोजन फॉस्फोरिलेस के साथ संयोजन में होता है, जिसके लिए ये प्राथमिक रूप से पेशियों में एक कोएन्जाइम है।

PLP मध्यवर्ती उपापचय विशेषरूप से ऐमीनो अम्ल उपापचय में अनेक अभिक्रियाओं में कोएन्जाइम के रूप में भागीदारी करता है। इसी के अनुसार विटामिन $B_6$ की आवश्यकता प्रोटीन के अंतर्ग्रहण में वृद्धि के साथ बढ़ जाती है। कुछ प्रमुख PLP निर्भर अभिक्रियाएं ट्रांसएमिनीकरण, विकार्बोक्सिलीकरण, संघनन, ट्रिप्टोफान उपापचय आदि है। अतः इसकी आवश्यकता हीम जैवसंश्लेषण और न्यूरोट्रांसमिटर जैसे सिरोटोनिन, डोपामाइन, नोरएपीनेफ्रीन और हिस्टामीन के संश्लेषण के लिए होती है। यह ग्लाइकोजन फॉस्फोरिलेस की क्रिया के लिए महत्वपूर्ण है और ग्लाइकोजन अपघटन को प्रेरित करता है। इसकी आवश्यकता स्टेरॉइड हार्मोन की क्रिया में परिवर्तन, होमोसिस्टीन के सिस्टीन में रूपांतरण और एन्टीऑक्सीडेन्ट क्रियाविधि में होती है। आप इनमें से अनेक $B_6$ उत्प्रेरित पथों से परिचित हैं, प्रासंगिक भागों को पढ़कर अपनी स्मृति को ताजा करें।

## आहारीय स्रोत

साबुत अनाज, गिरियां, तिलहन, फलियां, लहसुन, लाल मिर्च, जीरा और सौंफ के दाने, केला, आलू, गाजर, चुकंदर, ओइस्टर मशरूम, मांस, कुक्कुट (पोल्ट्री) और मछली में विभिन्न मात्राओं में विटामिन $B_6$ होता है (IFCT, 2017)। जंतु खाद्य पदार्थों की तुलना में पादप खाद्यों से पाइरीडॉक्सिन की जैव उपलब्धता कम हो सकती है क्योंकि इसका कुछ भाग ग्लाइकोसाइड के रूप में बद्ध रूप में पाया जाता है। लगभग 13% विटामिन पकाने के समय में नष्ट हो सकता है।

## आहारीय आवश्यकताएं

पाइरीडॉक्सिन की आवश्यकता आहार की प्रोटीन की मात्रा पर आधारित होती है। EAR का निर्धारण इरिथ्रोसाइट ऐस्पार्टेट ट्रांसएमीनेस की क्रियात्मक सक्रियता के आकलन द्वारा किया गया था जिसकी सहकारक के रूप में पाइरीडॉक्सिन की आवश्यकता होती है। स्थानबद्ध कार्यों में संलिप्त वयस्क पुरूषों और महिलाओं के लिए EAR 1.6 mg/दिन हैं, इसी वर्ग के लिए RDA 1.9 mg/दिन है। ये मान कार्य की श्रेणी में परिवर्तनों के साथ परिवर्तित हो जाते हैं। वयस्कों के लिए व्युत्पन्न किए गए EAR और RDA को ऊर्जा आवश्यकताओं के आधार पर अन्य शरीरक्रियात्मक और आयु वर्ग के लिए बर्हिवेशित (extrapolated; एक्स्ट्रापोलेट) किया गया था (अनुलग्नक 1.1 और 1.2)। पाइरीडॉक्सिन का वयस्कों के लिए TUL 100 mg/दिन है (अनुलग्नक 1.3)।

## हीनता रोग और हीनता लक्षणों का जैवरासायनिक आधार

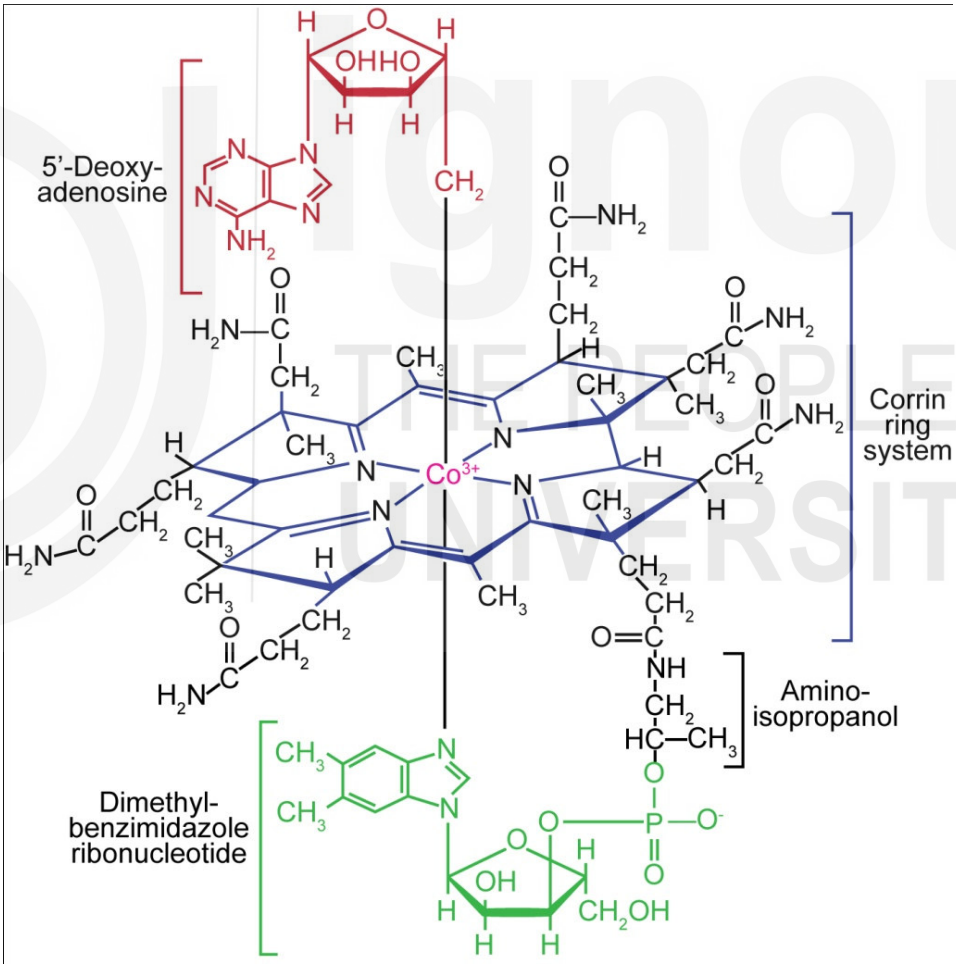
विटामिन $B_6$ प्रायः जल में घुलनशील अन्य विटामिनों के साथ संयुग्मित पाया जाता है। गर्भनिरोधक गोलियों का सेवन करने वाली महिलाओं, मद्यपान करने वालों या डिब्बे का दूध पीने वाले शिशुओं में हीनता लक्षण दिखाई दे सकते हैं। विटामिन $B_6$ की हीनता के

मुख्य लक्षणों में एनीमिया और तंत्रिकीय दुष्क्रिया शामिल हैं। व्यक्तियों में त्वचा पर धब्बे (लीजन), जठरांत्रीय विकार, ग्लॉसाइटिस, कीलोसिस, जी मिचलाना और उल्टी होने के लक्षण भी दिखाई दे सकते हैं। शिशुओं में विटामिन $B_6$ की हीनता से एनीमिया, दौरे पड़ना आदि हो सकते हैं।

## 7.2.5 सायनोकोबालैमीन (विटामिन $B_{12}$)

विटामिन $B_{12}$ सभी विटामिनों में सबसे बड़ा और सबसे अधिक जटिल (कॉम्प्लैक्स) है। ये एकमात्र विटामिन है जो न तो पादपों और न ही जंतुओं द्वारा संश्लेषित होता है, बल्कि सिर्फ जीवाणुओं की कुछ जातियों से संश्लेषित होता है। ये कोबाल्ट युक्त यौगिक है अतः इसे सायनोकोबालैमीन भी कहते हैं। हमारी आंत में कुछ जीवाणु विटामिन $B_{12}$ का संश्लेषण करने में सक्षम होते हैं। कोरिन वलय तंत्र की टेट्रा पाइरोल संरचना पोरफाइरिन के समान होती है जिसमें केन्द्र में कोबाल्ट होता है (चित्र 7.8)। यद्यपि, सायनो समूह को विटामिन को सक्रिय रूप में परिवर्तित करने के लिए निकालने की आवश्यकता होती है।

आमाशय के कैन्सर के कारण इलियम को शल्यक्रिया के द्वारा निकाल देने से आंतर कारकों की कमी के कारण हीनता संबन्धी समस्याएं हो सकती हैं। परनीशियस एनीमिया एक स्वप्रतिरक्षी (ऑटोइम्यून) रोग है जो प्रबल आनुवंशिक पृष्ठभूमि के 40 वर्ष से अधिक आयु के व्यक्तियों को प्रभावित करता है।




चित्र 7.8 : विटामिन $B_{12}$ की संरचना।

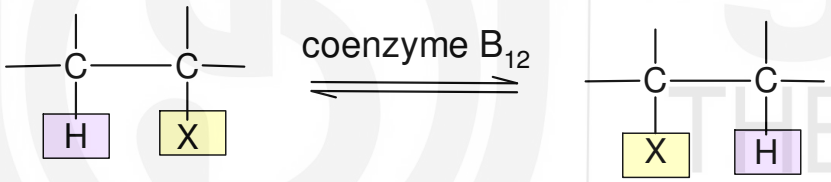
चूंकि इसका संश्लेषण सूक्ष्मजीवों द्वारा होता है, यह जंतु उत्पत्ति के खाद्य पदार्थों द्वारा खाद्य श्रृंखला में प्रवेश कर सकता है। यहां पर ये जानना महत्वपूर्ण है कि आमाशय में विटामिन $B_{12}$ आंतर कारक (intrinsic factor) नामक ग्लाइकोप्रोटीन से बद्ध होता है

(जिसे आमाशय की परिधिय कोशिकाओं द्वारा स्त्रावित किया जाता है)। गेस्ट्रिक (आमाशय) अम्ल और पेप्सिन खाद्य पदार्थ में बद्ध प्रोटीन से निर्मुक्त करके उसे लार द्वारा स्त्रावित एक बंधनकारी प्रोटीन कोबालोफिलिन से बद्ध होने के लिए उपलब्ध बनाते हैं। ड्यूडीनम में, कोबालोफिलिन जलअपघटित होकर आंतर कारक से बद्ध होने के लिए विटामिन को निर्मुक्त कर देता है। ये कॉम्प्लैक्स फिर इलियम में जाता है, विटामिन को आंत की म्यूकोसा के इलियमी ग्राहियों द्वारा अवशोषित कर लिया जाता है। अवशोषण के बाद, विटामिन ट्रांसकोबालैमीन नामक प्लास्मा प्रोटीन द्वारा बद्ध हो जाता है।

विटामिन $B_{12}$ कोएन्जाइम के रूप में कार्य करता है। इसके दो सक्रिय रूप मेथिल कोबालैमीन और एडीनोसिलकोबालैमीन हैं। विटामिन की तंत्रिका तंत्र और मस्तिष्क की सामान्य क्रियाशीलता और लाल रक्त कोशिकाओं के निर्माण में भी प्रमुख भूमिका होती है। अतः विटामिन $B_{12}$ को रक्तोत्पादक विटामिन भी कहते हैं। सामान्यतः जल में घुलनशील विटामिन भंडारित नहीं होते हैं। लेकिन $B_{12}$ एक अपवाद है। इसे लिवर में भंडारित किया जा सकता है। लिवर भंडार में लगभग 1 mg विटामिन $B_6$ होता है। ट्रांसकोबालैमीन–I और III विटामिन के उत्कृष्ट भंडारण संरूप है।

## जैवरासायनिक कार्य

कोएन्जाइम $B_{12}$ जैवरासायनिक अभिक्रियाओं जैसे मेथिल समूह स्थानांतरण और हाइड्रोजन परमाणु को एक समूह से दूसरे में स्थानांतरित करने से संबद्ध है (चित्र 7.9)। ये वसा अम्लों के उपापचय और DNA के संश्लेषण में भागीदारी करता है।




**चित्र 7.9 : विटामिन $B_{12}$ की जैवरासायनिक अभिक्रिया।**

दो एन्जाइम है जो विटामिन $B_{12}$ निर्भर होते हैं।

1. **मेथिआनिन सिन्थेस** : ये मेथिल समूह के $N^5$ मेथिलहाइड्रोटेट्राफोलेट से होमोसिस्टीन पर स्थानांतरण को उत्प्रेरित करता है, जिससे टेट्राहाइड्रोफोलेट और मेथिओनिन बनते हैं। इस अभिक्रिया में मेथिलकोबालैमीन सहकारक की भांति कार्य करता है। अतः कोबालैमीन की फोलिक अम्ल के उपापचय में भूमिका होती है।

2. **L-मेथिलमेलोनिल CoA म्यूटेस** : यह विटामिन $B_{12}$ की उपस्थिति में मेथिलमेलोनिल CoA के सक्सीनिल CoA में समावयवीकरण को उत्प्रेरित करता है। विटामिन $B_{12}$ की हीनता में, मेथिलमेलोनिक अम्ल मूत्र के साथ उत्सर्जित हो जाता है (methylmelonic aciduria; मेथिलमेलोनिक अम्ल मूत्रता)।

## आहारीय स्रोत

इसका संश्लेषण मुख्यतः आंत के सूक्ष्मजीवों द्वारा होता है। विटामिन $B_{12}$ के सामान्य आहारीय स्रोत जंतु खाद्य पदार्थ जैसे मांस, गुर्दे, अंडे, मछली, दूध और पनीर आदि हैं। लिवर सबसे समृद्ध स्रोत है।

**आहारीय आवश्यकताएं**

विटामिन $B_{12}$ के लिए EAR का परिकलन करने को 1 mg/दिन के औसत दैनिक उत्सर्जन और 50% औसत जैवउपलब्धता को लिया गया था (ICMR-NIN, 2020)। सभी वयस्कों और स्कूली बच्चों के लिए (6 माह से 5 वर्ष), EAR 2 µg/दिन और RDA 2.2 µg/दिन है। गर्भावस्था और स्तनपान कराने के दौरान क्रमशः 0.2 µg/दिन के और 0.8 µg/दिन के EAR; 0.25 µg/दिन के RDA की अतिरिक्त आवश्यकता होती है (अनुलग्नक 1.1 और 1.2)। भारत में, व्यक्ति अधिकतर शाकाहारी भोजन करते हैं, जिससे दूध और दुग्ध उत्पादों के अतिरिक्त और किसी से $B_{12}$ नहीं मिलता इसलिए भोजन से उच्च ग्रहण की संभावना और $B_{12}$ के लिए TUL नहीं सुझाए गए हैं। (ICMR-NIN, 2021)।

**हीनता रोग और हीनता लक्षणों का जैवरासायनिक आधार नहीं है**

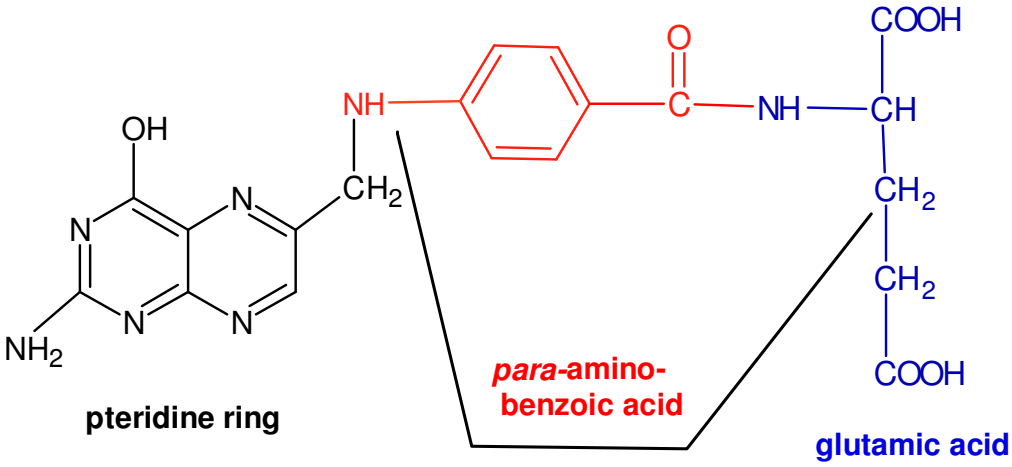
पोषण अथवा जठरांत्रीय समस्याओं से विटामिन $B_{12}$ की कमी हो सकती है। सबसे प्रचलित रूप से देखी जाने वाली विटामिन $B_{12}$ की कमी पर्नीशियस एनीमिया (pernicious anemia) है जिसकी पहचान कम RBC संख्या हीमोग्लोबिन के कम स्तर, कमजोरी, थकान, भूख नहीं लगने, वजन में कमी और प्रगामी तंत्रिकीय समेत अवसाद बोध अपह्यसन, डीमेन्शिया और विकास में विलंब से होती है। मनुष्य अपनी बड़ी आंत में जीवाणुओं द्वारा संश्लेषित कोबालैमीन को अवशोषित करने में अक्षम होते हैं। क्या आप बता सकते हैं कि ऐसा क्यों होता है? ऐसा इसलिए है क्योंकि आमाशय (आंतर कारकों का स्रोत) और इलियम (अवशोषण का स्थान) दोनों उत्पादन के स्थल (बड़ी आंत) से दूर स्थित होते हैं। दिलचस्प रूप से खरगोशों में ये समस्या आदतन अपने भोजन को मलीय पदार्थ से दूषित करने की प्रकृति के कारण दूर हो जाती है।

यहां पर ये जानना महत्वपूर्ण है कि $B_{12}$ की हीनता से होने वाले एनीमिया (रक्ताल्पता) को रक्तविज्ञानी रूप से फोलेट की हीनता से होने वाले एनीमिया से विभेदित नहीं किया जा सकता है। प्रमुख हीनता लक्षणों में मेगेलोब्लास्टिक एनीमिया, न्यूट्रोफिल का अतिखंडीभवन और परिधीय तंत्रिकाओं और रीढ़रज्जु का विमायलिनीकरण सम्मिलित हैं।

## 7.2.6 फोलिक अम्ल

फोलिक अम्ल एक रक्तोत्पादक (hematopoietic; हीमेटोपॉयटिक) विटामिन है। इसके नाम फोलिक अम्ल की उत्पत्ति लेटिन शब्द 'फोलियम' जिसका अर्थ पत्ती से हुई है। हरी पत्तेदार सब्जियां फोलिक अम्ल का समृद्ध स्रोत होती है। फोलिक अम्ल की संरचना में तीन समूह – **टेरीडीन (pteridine)** वलय तंत्र (6–मेथिलटेरीडीन) जो **पैरा–ऐमीनोबेन्जोइक अम्ल** (PABA) और एक **ग्लूटामिक अम्ल अवशेष** से जुड़ा रहता है (चित्र 7.10)।

यदि वृद्धि माध्यम में PABA उपलब्ध हो तो अनेक सूक्ष्मजीव फोलिक अम्ल का संश्लेषण करने में सक्षम होते हैं। स्तनधारी जीव फोलिक अम्ल का संश्लेषण नहीं कर सकते हैं और उनको इसे आहार में अवश्य लेना चाहिए। इसका अवशोषण जीजूनम (jejunum) में होता है और मेथिलटेट्राहाइड्रोफोलेट प्रमुख परिसंचरण संरूप है। एक बार लिवर में पहुंच जाने पर विभिन्न कोएन्जाइम संरूप बन जाते हैं।




अल्फा औषधियां (PABA के तुल्यरूप) सूक्ष्मजीवों में फोलेट के संश्लेषण को रोक देते हैं जिससे उनकी वृद्धि रूक जाती है।

**चित्र 7.10 : फोलिक अम्ल की संरचना।**

## जैवरासायनिक कार्य

टेट्राहाइड्रोफोलेट (THF) फोलिक अम्ल का एक कोएन्जाइम संरूप है। यह अनेक जैवरासायनिक अभिक्रियाओं में एक कार्बन इकाई के स्थानांतरण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। ये एक–कार्बन खंड THF के N5 (फोर्मिल, फोर्मइमीनों या मेथिल समूहों), $N^{10}$ (फोर्मिल) या $N^5$-$N^{10}$ सेतु मेथिलीन या मेथिनिल समूहों/स्थानों से जुड़ जाते हैं। टेट्राहाइड्रोफोलेट विभिन दाता अणुओं से एक कार्बन इकाइयां ग्रहण करता है और उनको विशिष्ट ग्राहियों पर स्थानांतरित कर देता है। यह विशिष्ट रूप से ऐमीनो अम्लों और न्यूक्लिक अम्लों के उपापचय के लिए अनिवार्य है। फोलेट की आवश्यकता तेजी से वृद्धि और गुणन कर रही कोशिकाओं के लिए होती है। कुछ एन्जाइम जिनको THF की आवश्यकता होती है, वे हैं : – THF डीहाइड्रोजिनेस, मेथिनिल – THF साइक्लोहाइड्रोलेस और फोर्मिल – THF सिन्थेटेस। आपको पाठ्यक्रम BBCCT-113 (अमीनो अम्लों और न्यूक्लियोटाइड का उपापचय) में दिए गए एक–कार्बन उपापचय को पुनः पढ़ना चाहिए।

**फोलेट पाश परिकल्पना**

कोबालैमीन की कमी के दौरान फोलेट 5–मेथिल–THF के रूप में पाशित होता है जिससे फोलेट की क्रियात्मक हीनता हो जाती है।

कुछ प्रमुख अभिक्रियाएं हैं :

i. सीरीन का ग्लाइसीन में रूपांतरण

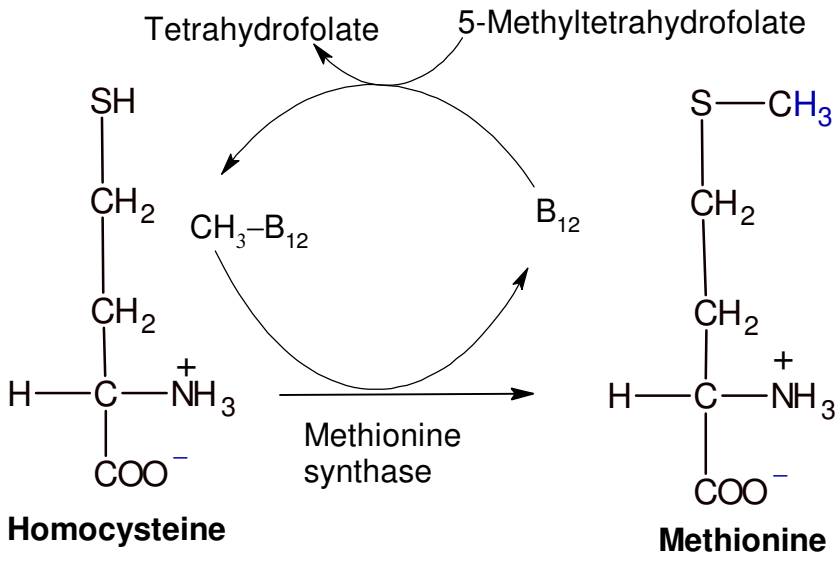
ii. सीरीन का संश्लेषण

iii. ग्लाइसीन का निम्नीकरण

iv. होमोसिस्टीन का मेथिओनिन में रूपांतरण जिसके लिए विटामिन $B_{12}$ की भी आवश्यकता होती है (चित्र 7.11)

v. फोर्मिलमेथिओनिल – tRNA का संश्लेषण

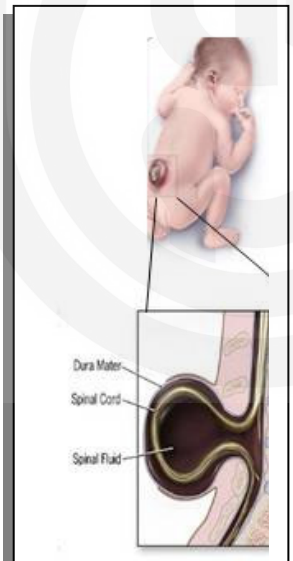
vi. प्यूरीन न्यूक्लिओटाइडों का संश्लेषण




चित्र 7.11 : टेट्राहाइड्रोफोलेट की मध्यस्थता वाली एक अभिक्रिया।

### आहारीय स्रोत

फोलेट हरी पत्तेदार और अन्य सब्जियों, साबुत अनाज, फलियों, यीस्ट, लिवर, समुद्री और मीठे पानी की मछलियों तथा अंडों में पाया जाता है। फोलेट मुक्त रूप में अथवा पोलीग्लूटामेट कोन्जूगेट्स/संयुग्मी रूपों के रूप में पाया जाता है। आंत में अवशोषण से पहले, अतिरिक्त ग्लूटामेट अवशेषों को लाइसोसोमी एन्जाइम फोलेट कोन्जूगेस द्वारा बाहर निकाल दिया जाता है। भारतीय आहारों में उपस्थित लगभग 50% फोलेट को अवशोषित कर लिया जाता है। आहार में रेशे अवशोषण में हस्तक्षेप कर सकते हैं। पकाने के दौरान लगभग 32% फोलेट लुप्त हो जाता है (ICMR-NIN, 2020)।




तंत्रिका नली त्रुटि (स्पाइना बाइफिडा) : तंत्रिका नली के पूर्ण रूप से बंद न होने के परिणामस्वरूप स्पाइनल कॉर्ड बाहर की तरफ निकलना।

### आहारीय आवश्यकताएं

सामान्य प्लास्मा स्तर को बनाए रखने के लिए आहारीय आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए फोलेट के ≥10 nmol/L के स्तर को प्राप्त करने की आवश्यकता होती है। वयस्क पुरूषों (65 kg) और वयस्क महिलाओं (55 kg) के लिए EAR क्रमशः 250 µg/दिन और 180 µg/दिन है। RDA क परिकलन वयस्क पुरूषों के लिए 300 µg/दिन और वयस्क महिलाओं के लिए 220 µg/दिन का किया गया है। आवश्यकता सभी प्रकार के कार्यों के लिए समान है। गर्भावस्था और स्तनपान कराने के दौरान क्रमगुणित अतिरिक्त आवश्यकताओं की पूर्ति के लिए अतिरिक्त मात्रा की आवश्यकता होती है। बच्चों और किशोरों के लिए EAR और RDA मानों को वृद्धि कारकों और शरीर क वजन के आधार पर वयस्क मानों से बर्हिवेशित किया गया है (ICMR-NIN, 2020) (अनुलग्नक 1.1 और 1.2)।

फोलेट के लिए सह्य ऊपरी सीमा (TUL) वयस्कों के लिए 1000 µg/दिन है। बच्चों (6–9 वर्ष) और किशोरों (7–18 वर्ष) के लिए यह क्रमशः 300 µg/दिन और 600-800 µg/दिन है (अनुलग्नक 1.3)।

### हीनता रोग और हीनता लक्षणों का जैवरासायनिक आधार

फोलिक अम्ल की हीनता हमारे देश में काफी सामान्य है। सामान्यतः यह आहारीय कमी अथवा त्रुटिपूर्ण आंत्रीय अवशोषण के कारण होती है। आपने अभी पढ़ा है कि फोलिक अम्ल प्यूरीन न्यूक्लिओटाइड के संश्लेषण में शामिल होता है। अतः अप्रत्यक्ष रूप से फोलिक अम्ल DNA प्रतिकृतीयन और कोशिका विभाजन को प्रभावित करता है। इसकी कमी तेजी से विभाजन कर रही कोशिकाओं को प्रभावित करती है और वे आकार में सामान्य से बड़ी हो जाती है। मैक्रोसाइट्रिक एनीमिया के साथ बोनमेरो (अस्थिमज्जा) में मैगेलोब्लास्टिक (महालोहित) एनीमिया फोलेट हीनता की प्रमुख विशेषताएं हैं। यद्यपि, काबालैमीन की हीनता के कारण मैगेलोब्लास्टिक एनीमिया को फोलेट हीनता से होने वाले एनीमिया और माइक्रोसाइटिक एनीमिया में विभेदित करना कठिन है, जो भारत में आयरन हीनता के कारण व्यापक रूप से पाया जाता है। गर्भधारण की क्रांतिक अवस्थाओं में फोलेट की कमी से नवजातों में तंत्रिका नली त्रुटी (spinda bifida; स्पाइना बाइफिडा) हो जाती हैं। फोलेट और $B_{12}$ दोनों की कमी से हीमोसिस्टीन के मेथिओनिन में रूपांतरण में गड़बड़ियां हो सकती हैं जिससे रक्त में होमोसिस्टीन की मात्रा अधिक हो जाती हैं जिसे हृदयसंवहनी रोग का एक मुख्य हेतुकारक माना जाता है।

## बोध प्रश्न 1

क) विटामिन B और ..... जल में घुलनशील विटामिन हैं।

ख) थायामीन या विटामिन $B_1$ को ..... भी कहते हैं और ये ..... युक्त विटामिन है।

ग) TPP ..... का एक सक्रिय कोएन्जाइम रूप है।

घ) पाइरूवेट डीहाइड्रोजिनेस को सहकारक के रूप में ..... की आवश्यकता होती है।

ड) बेरीबेरी रोग ..... की हीनता के कारण होता है।

च) विटामिन $B_2$ ..... वलय तंत्र की उपस्थिति के कारण चटक पीला रंग प्रदर्शित करता है।

छ) डीहाइड्रोजिनेस को कोएन्जाइमों के रूप में ..... की आवश्यकता होती है।

ज) ..... की एक पोषक के रूप में खोज पैलाग्रा रोग के अध्ययन के दौरान हुई थी।

झ) हमारे शरीर में, निआसिन का संश्लेषण ..... ऐमीनो अम्ल से होता है।

ट) पाइरीडॉक्सिन पाइरीडॉक्सेमीन और पाइरीडॉक्सल ..... के कोएन्जाइम संरूप है।

ठ) विटामिन $B_{12}$ एकमात्र ऐसा विटामिन है जिसका संश्लेषण न तो पौधों और न ही जंतुओं में, बल्कि ..... की कुछ जातियों से होता है।

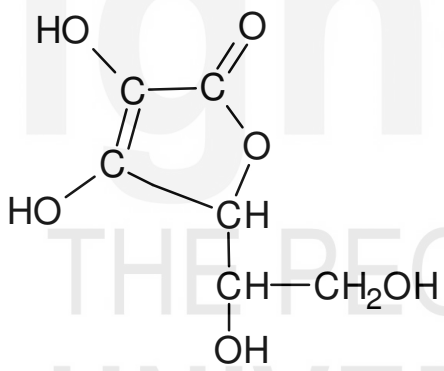
ढ) विटामिन $B_{12}$ ..... युक्त यौगिक है और इसे सायनोकोबालेमीन भी कहते हैं।

त) सबसे प्रचलित रूप से दिखाई देने वाला विटामिन $B_{12}$ हीनता रोग ..... एनीमिया है।

थ) टेट्राहाइड्रोफोलेट (THF) ..... का कोएन्जाइम संरूप है।

## 7.3 विटामिन C

1933 में किंग एवं वॉ ने संतरे से एक प्रबल अपचायी प्रकृति के प्रतिस्कर्वी कर्मक को वियुक्त किया था। 1938 में हैवार्थ द्वारा इस संरचना को स्थापित किया गया। विटामिन C एक जल में घुलनशील प्राकृतिक एन्टीऑक्सीडेन्ट (प्रतिऑक्सीकारक) है जिसे **ऐस्कॉर्बिक अम्ल** भी कहते हैं। ऐस्कॉर्बिक अम्ल एक छह–कार्बन लैक्टोन अणु ($C_6H_8O_6$) है (चित्र 7.12)। इसे ग्लूकोस से अनेक जंतुओं और पादपों में संश्लेषित किया जाता है लेकिन मनुष्यों में एन्जाइम L-ग्लूकोनोलैक्टोन ऑक्सीडेस की अनुपस्थिति के कारण इसका संश्लेषण नहीं होता है। विटामिन C की अपचायी प्रकृति इसकी अपने इनडाइओल समूह से अपचायी तुल्यरूपों को देने की प्रबल प्रकृति के कारण होती है।




**चित्र 7.12 : विटामिन C की संरचना**

**जैवरासायनिक कार्य**

ऐस्कॉर्बिक अम्ल की संरचना हैक्सोस शर्करा की संरचना से मिलती है। ये L और D समावयवों दोनों के रूप में पाया जा सकता है। यद्यपि, सिर्फ L-ऐस्कोर्बेट में विटामिन क्रिया होती है और ये निम्नलिखित जैवरासायनिक प्रक्रियाओं में शामिल होता है :

- यह अभिक्रियाशील मुक्त मूलकों के अपमार्जन के लिए प्रतिऑक्सीकारकों की भांति कार्य करता है।
- ये कोलाजन के जैवसंश्लेषण में भूमिका निभाता है और प्रोलीन तथा लाइसीन के हाइड्राक्सिलन को उत्प्रेरित करता है।
- इसकी नोर एपीनेफ्रीन, कार्नीटीन और पित्त अम्ल के संश्लेषण में महत्वपूर्ण भूमिका होती है।
- ये आयरन के अवशोषण और इस प्रकार हीमोग्लोबिन उपापचय में सहायक होता है।

- घावों को भरने और खनिज उपापचय के लिए इसकी आवश्यकता होती है।

- इनमें से अनेक प्रक्रियाओं में, ऐस्कोर्बिक अम्ल अभिक्रिया में प्रत्यक्ष रूप से भागीदारी नहीं करता है, लेकिन उस अभिक्रिया में अपचायी रूप में भागीदारी कर रहे धातु सहकारक को बनाए रखने के लिए इसकी आवश्यकता होती है। यह धातु सहकारक उस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करने वाले एन्जाइम की क्रिया के लिए आवश्यक होता है। ये एन्जाइम कॉपर ($Cu^{+}$) अथवा आयरन ($Fe^{2+}$) युक्त हाइड्रोक्सीलेस होते हैं। हाइड्रोक्सिलन के दौरान; $Cu^{+}$ (क्यूप्रस आयन) $Cu^{2+}$ (क्यूप्रिक आयन) में और $Fe^{2+}$ (फैरस आयन), $Fe^{3+}$ (फैरिक आयन) में ऑक्सीकृत हो जाता है। वापस $Cu^{+}$ या $Fe^{2+}$ में अपचयन के लिए विशिष्ट रूप से ऐस्कोर्बेट की आवश्यकता होती है जो इस प्रक्रिया में डीहाइड्रोऐस्कोर्बिक अम्ल में ऑक्सीकृत हो जाता है। शरीर में दोनों संरूप जैविक रूप से सक्रिय होते हैं क्योंकि डीहाइड्रोऐस्कोर्बिक अम्ल (ऑक्सीकृत रूप) अपचायी कर्मकों जैसे ग्लूटाथियॉन द्वारा वापस अपचयित रूप (ऐस्कॉर्बिक अम्ल) में परिवर्तित हो सकता है। अतः विटामिन C एक प्रारूपिक कोएन्जाइम की भांति, सीधे क्रियाधार से अभिक्रिया करने का कार्य नहीं भी कर सकता है। इनमें से अनेक एन्जाइम पूर्ववर्ती प्रोटीनों के रूपांतरण में शामिल होते हैं।

### आहारीय स्रोत

ताजे सिट्रस फल, स्ट्रॉबेरी, कच्ची या हल्की पकी हरी सब्जियां, टमाटर, आंवला विटामिन C के श्रेष्ठ स्रोत है। ये विटामिन ताप, प्रकाश, ऑक्सीजन और उच्च pH के लिए अत्यधिक संवेदनशील है और विलयन में तेजी से ऑक्सीकृत हो जाता है। पकाने से ऐस्कॉर्बिक अम्ल की मात्रा 60-75% कम हो जाती है।

### आहारीय आवश्यकताएं

आहारीय अंतर्ग्रहण की सिफारिश इस औचित्य पर आधारित है कि ऐस्कॉर्बिक अम्ल की दैहिक पूल संतृप्तता 900 mg है। इस मान को उपापचयी हानि (2.9% प्रतिदिन) से गुणा करके 25% प्रतिदिन की मूत्रीय हानि की क्षतिपूर्ति होती है। भारतीय खाद्य पदार्थों में 50% की अवशोषण क्षमता पर भी विचार किया गया था। वयस्क पुरूषों (65 kg) के लिए EAR 65 mg/दिन और RDA 80 mg/दिन नियत किया गया है। वयस्क महिलाओं (55 kg) को विटामिन C के 55 mg/दिन के EAR और 65 mg/दिन के RDA की आवश्यकता होती है। गर्भवती और स्तनपान कराने वाली महिलाओं को ऐस्कोर्बिक अम्ल की अतिरिक्त मात्रा की आवश्यकता होती है और बच्चों के लिए आवश्यकता उम्र बढ़ने के साथ बढ़ती जाती है (अनुलग्नक 1.1 और 1.2)। शाकाहारी भोजन खाने वाले भारतीयों में आयरन के अवशोषण को बेहतर बनाने के लिए भोजन में ऐस्कोर्बिक अम्ल के महत्व पर संस्तुतियां बनाते समय ध्यान रखा गया है, क्योंकि ये सबसे प्रभावी अ–हीम आयरन अवशोषण वर्धक है (ICMR-NIN, 2020)।

**स्कर्वी**

विटामिन C की कमी से स्पंजी रक्तस्त्राव करते मसूड़े

ऐस्कोर्बिक अम्ल का अत्यधिक अंतर्ग्रहण जठरांत्रीय गड़बड़ियां, अधिक ऑक्सलेट उत्सर्जन और गुर्दे की पथरी कर सकता है। सह्य ऊपरी सीमा (TUL) को सभी वयस्कों के लिए 2000 mg/दिन नियत किया गया है (अनुलग्नक 1.3)।

**हीनता रोग और हीनता लक्षणों का जैवरासायनिक आधार**

विटामिन C की कमी से स्कर्वी रोग होता है। इस रोग की पहचान कौलाजन रेशों तिर्यक बंधन/क्रॉस लिंकिंग में कमी से होती है जिसके फलस्वरूप रक्त वाहिनियां भंगुर हो जाती है और हैमरेज होता है। मसूड़ों से खून आना बहुत सामान्य है, दांत ढीले हो जाते हैं और घाव देर से भरते हैं।

## बोध प्रश्न 2

**रिक्त स्थानों को भरिए :**

क) विटामिन C एक जल में घुलनशील प्राकृतिक एन्टीऑक्सीडेन्ट (प्रतिऑक्सीकारक) है, जिसे ..... भी कहते हैं।

ख) ताजे सिट्रस फल और आंवला ..... के श्रेष्ठ स्रोत है।

ग) ..... रोग की पहचान कौलाजन रेशों के कम तिर्यक बंधन/क्रॉस लिंकिंग से होती है जिससे रक्त वाहिनियां भंगुर हो जाती है और हैमरेज होते हैं।

## 7.4 सारांश

- विटामिन हमारी तंदरूस्ती के लिए बहुत आवश्यक हैं। ये अनिवार्य कार्बनिक पोषक हैं जिनकी आवश्यकता हमारे आहार में बहुत अल्प मात्रा में होती है और ये ऊर्जा प्रदान करने वाले कार्बोहाइड्रेट, लिपिड और प्रोटीन उपापचय पथों में सहायक होते हैं।

- विटामिन C और विटामिन B-कॉम्पलैक्स जल में घुलनशील विटामिन हैं, जो हमारे शरीर में भंडारित नहीं होते हैं। अतः इनकी शरीर को दैनिक आवश्यकता होती है।

- थायामीन या विटामिन $B_1$ एक सल्फर युक्त विटामिन है, जिसका पौधों, जीवाणुओं और कवकों में संश्लेषण होता है। इसकी आवश्यकता एल्डिहाइड स्थानांतरणों के लिए होती है और इसलिए कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन और वसा उपापचय में इसकी जरूरत होती है। थायामीन पाइरोफॉस्फेट (TPP) विटामिन $B_1$ का एक सक्रिय कोएन्जाइम रूप है। थायामीन की हीनता से बेरीबेरी रोग होता है। ये रोग तंत्रिकीय और हृदयसंवहनी तंत्रों को प्रभावित करता है।

- राइबोफ्लेविन दो प्रमुख कोएन्जाइमों का घटक है जो फ्लेविन न्यूक्लिओटाइड कहलाते हैं, ये FMN (फ्लेविन मोनोन्यूक्लिओटाइड) और FAD (फ्लेविन एडिनीन डाइन्यूक्लीओटाइड) हैं। ये उपापचय में अनेक ऑक्सीकरण अपघटन अभिक्रियाओं में शामिल होते हैं। राइबोफ्लेविन हीनता के लक्षण त्वचा और श्लेष्म कलाओं तक सीमित हैं।

- निआसिन पूरी तरह से विटामिन नहीं है, इसका संश्लेषण शरीर में अल्प मात्रा में एक अनिवार्य ऐमीनो अम्ल ट्रिप्टोफान से हो सकता है (60 mg ट्रिप्टोफान से 1 mg निआसिन)। यह एक पाइरिडीन व्युत्पन्न है (पाइरिडीन 3–कार्बोक्सिलिक अम्ल)। निकोटिनेमाइड से व्युत्पन्न दो कोएन्जाइम $NAD^+$ (निकोटिनेमाइड एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड) और $NADP^+$ (निकोटिनेमाइड एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड फॉस्फेट) हैं। अनेक ऑक्सीकरण–अपचयन अभिक्रियाओं में इन कोएन्जाइमों की आवश्यकता होती है। ये ऑक्सीकरण कर्मकों की भांति कार्य करते हैं। अन्य अणुओं से इलेक्ट्रॉन को ग्रहण करते हैं और NADH/NADPH में अपचयित हो जाते हैं। पैलेग्रा रोग आहार में निआसिन की कमी से होता है।

- विटामिन $B_6$ की आवश्यकता अनेक अभिक्रियाओं में ऐमीनो अम्लों के संश्लेषण, अपचय और परस्पर रूपांतरण के लिए होती है। ये तीन भिन्न रूपों में पाया जाता है : पाइरीडॉक्सिन, पाइरीडॉक्सेमीन और पाइरीडॉक्सल। ये सभी फॉस्फोरिलीकृत होकर पाइरीडॉक्सल फॉस्फेट (PLP) में परिवर्तित हो जाते हैं, जो सक्रिय रूप है। इन सभी में पाइरीडीन वलय होता है। एक कोएन्जाइम के रूप में पाइरिडीन मध्यवर्ती उपापचय में विशेष रूप से ऐमीनो अम्लों के उपापचय में अनेक अभिक्रियाओं में भागीदारी करते हैं। विटामिन $B_6$ की हीनता के प्रमुख लक्षणों में एनीमिया और तंत्रिकीय दुष्क्रिया सम्मिलित हैं।

- विटामिन $B_{12}$ एक कोबाल्ट युक्त यौगिक है और इसे सायनो कोबालैमीन भी कहते हैं। ये एकमात्र ऐसा विटामिन है जिसका संश्लेषण न तो पौधों और न ही जंतुओं से बल्कि जीवाणुओं की कुछ जातियों से होता है। सामान्यतः जल में घुलनशील विटामिन भंडारित नहीं होते हैं लेकिन विटामिन $B_{12}$ को लिवर में भंडारित किया जा सकता है। कोएन्जाइम $B_{12}$ जैवरासायनिक अभिक्रियाओं जैसे मेथिल समूह स्थानांतरण और एक समूह से अन्य समूह पर हाइड्रोजन परमाणु के स्थानांतरण से संबद्ध है। ये वसा अम्लों के उपापचय और DNA संश्लेषण में भागीदारी करता है। $B_{12}$ की हीनता से पर्नीशियस एनीमिया हो जाता है जिसकी पहचान RBC संख्या में कमी, हीमोग्लोबिन के अल्प स्तर और प्रगामी तंत्रिकीय अपह्यसन से होती है।

- हरी पत्तेदार सब्जियां फोलिक अम्ल का समृद्ध स्रोत है। टेट्राहाइड्रोफोलेट (THF) फोलिक अम्ल का कोएन्जाइम रूप है और ये अनेक जैवरासायनिक अभिक्रियाओं में एक कार्बन इकाई के स्थानांतरण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। ये विभिन्न दाता अणुओं से एक कार्बन इकाइयों को प्राप्त करके विशिष्ट ग्राहियों तक उनको पहुंचाता है।

- विटामिन C या ऐस्कोर्बिक अम्ल एक 6–कार्बन लैक्टोन अणु है। इसमें प्रबल अपचायी गुण होते हैं क्योंकि ये अपने ईनडाइओल समूह से अपचायी तुल्यरूपों को दे सकता है। ये अपचायी रूप में एन्जाइम क्रिया के लिए आवश्यक धातु सहकारक को बनाए रखने में सहायता करता है। इनमें से अनेक एन्जाइम पूर्ववर्ती प्रोटीनों के रूपांतरण में शामिल होते हैं। सिट्रस फल ऐस्कोर्बिक अम्ल से समृद्ध होते हैं। इनकी कमी से स्कर्वी रोग हो जाता है।

## 7.5 पाठांत प्रश्न

1. आहार में विटामिनों के महत्व पर चर्चा कीजिए।
2. विटामिन $B_1$ के जैवरासायनिक कार्यों का वर्णन कीजिए।
3. राइबोफ्लेविन के महत्वपूर्ण कोएन्जाइमों के नाम बताइए। ऐसे दो एन्जाइमों के नाम बताइए जे इन कोएन्जाइमी रूपों पर अपने उत्प्रेरण के लिए निर्भर करते हैं।
4. विटामिन $B_3$ से संबन्धित हीनता रोगों के जैवरासायनिक आधार की विवेचना कीजिए।
5. विटामिन $B_6$ के भिन्न रूप कौन से हैं? इनके जैवरासायनिक महत्व के बारे में लिखिए।
6. सायनोकोबालेमीन पर टिप्पणी लिखिए।
7. विटामिन $B_{12}$ से संबद्ध हीनता रोगों का वर्णन कीजिए।
8. आहार में विटामिन C के जैवरासायनिक महत्व का वर्णन कीजिए।

## 7.6 उत्तर

### बोध प्रश्न

1. क) विटामिन C

   ख) एन्यूरीन, सल्फर

   ग) विटामिन $B_1$

   घ) TPP;

   ङ) थायामीन या विटामिन $B_1$

   च) आइसोएलोक्साजीन

   छ) FAD या FMN

   ज) निआसिन

   झ) ट्रिप्टोफान

   ट) विटामिन $B_6$

   ठ) जीवाणु

   ढ) कोबाल्ट

   त) पर्नीशियस

   थ) फोलिक अम्ल

2. क) ऐस्कॉर्बिक अम्ल

   ख) विटामिन C

   ग) स्कर्वी

## पाठांत प्रश्न

1. भाग 7.2 को देखिए।

2. TPP एन्जाइमों जैसे कि ट्रांसकीटोलेस, पाइरूवेट डीहाइड्रोजिनेस (PDH) और α-कीटोग्लूटारेट डीहाइड्रोजिनेस के लिए प्रमुख सहकारक के रूप में कार्य करता है। उदाहरण के लिए, TPP डिपेन्डेन्ट पाइरूवेट डीहाइड्रोजिनेस पाइरूवेट के एसीटिल कोएन्जाइम A में ऑक्सीकरणी विकार्बोक्सिलीकरण को उत्प्रेरित करता है। अधिक जानकारी के लिए भाग 7.2.1 को देखिए।

3. FMN (फ्लेविन मोनोन्यूक्लिओटाइड) और FAD (फ्लेविन एडिनीन डाइन्यूक्लिओटाइड) में राइबोफ्लेविन घटक के रूप में होता है। ये अनेक उपापचय में अनेक ऑक्सीकरण–अपचयन अभिक्रियाओं में शामिल होते हैं। अधिक जानकारी के लिए भाग 7.2.2 को देखिए।

4. भाग 7.2.3 को देखिए।

5. विटामिन $B_6$ के तीन भिन्न रूप हैं : पाइरीडॉक्सिन, पाइरीडोक्सैमीन और पाइरीडॉक्सल। ये सभी फॉस्फोरिलीकृत हो सकते हैं और सक्रिय रूप पाइरीडॉक्सल फॉस्फेट में परिवर्तित हो सकते हैं। अधिक जानकारी के लिए भाग 7.2.4 को देखिए।

6. भाग 7.2.5 को देखिए।

7. भाग 7.2.5 को देखिए।

8. भाग 7.3 को देखिए।

ignou
THE PEOPLE'S
UNIVERSITY