# विकिरण प्रौद्योगिकी एवं खाद्य सुरक्षा

सुधांशु सक्सेना एवं सत्येंद्र गौतम

भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई

खाद्य पदार्थों में हमें विविध प्रकार के क्षय देखने को मिलते हैं, जौ प्रत्यक्ष अथवा परोक्ष रूप से प्राकृतिक संसाधनों का भी क्षय है। जैसे फल-सब्जियों का सड़ जाना, अंकुरित होकर खाने योग्य ना रहना, अनाज, मसालों में कीड़े लग जाना, तैयार खाद्य पदार्थों (रेडी टू ईट फूड) का कम समय में खराब हो जाना, मौसमी फलों का वर्ष भर (या लम्बे समय तक) उपलब्ध ना होना, इत्यादि। बढ़ती जनसंख्या के पोषण हेतु खाद्य सुरक्षा नितांत आवश्यक है और आधुनिक काल में पर्यावरण को ध्यान में रखते हुए खाद्य सुरक्षा हेतु हमें ऐसी प्रौद्योगिकी को अपनाना है जिसका पर्यावरण एवं हमारे स्वास्थ्य, दोनों पर कोई दुष्प्रभाव न हो। विकिरण प्रौद्योगिकी एक ऐसी ही प्रभावी प्रक्रिया है जिससे खाद्य सुरक्षा और संरक्षण, दोनों को सुनिश्चित किया जा सकता है। दुनिया के 70 से भी अधिक देश वर्तमान में खाद्य सुरक्षा और संरक्षण के लिए विकिरण प्रौद्योगिकी का उपयोग कर रहे हैं। विकिरण स्रोत के रूप में रेडियोसमस्थानिकों (रेडियोआइसोटोप) जैसे कि कोबाल्ट-60 ($^{60}Co$) और सीज़ियम-137 ($^{137}Cs$) का उपयोग किया जाता है । इसके इलावा, इलेक्ट्रॉन किरणपुंज (इलेक्ट्रॉन बीम) तथा और एक्स-किरणों (एक्स-रे) जैसे मशीन-युक्त विकिरण स्रोत भी उपयोग में लाए जाते हैं। विकिरण प्रौद्योगिकी के बहुआयामी उपयोग हैं और इसके प्रचार एवं प्रसार और विस्तार से खाद्य सुरक्षा, संरक्षण और खाद्य-संबंधित अंतरराष्ट्रीय व्यपार में अनेक लाभ प्राप्त किए जा सकते हैं।

## भारत में खाद्य विकिरण की पृष्ठभूमि

भारत में विकिरण प्रौद्योगिकी का आरंभ डॉ. होमी जहांगीर भाभा के द्वारा किया गया था। खाद्य पदार्थों पर आयनकारी विकिरण के प्रयोग वर्ष 1967 में भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई में प्रारंभ हुए। खाद्य पदार्थों का विकिरण राष्ट्रीय ( भारतीय खाद्य सुरक्षा और मानक प्राधिकरण) एवं अंतरराष्ट्रीय संस्थानों (संयुक्त राष्ट्र खाद्य एवं कृषि संगठन) द्वारा अनुमोदित है, जिसके फलस्वरूप आज विश्वभर में 70 से भी अधिक देशों में इसे उपयोग में लाया जा रहा है। इस समय, भारत में 30 व्यावसायिक खाद्य विकिरण केंद्र हैं और आगामी वर्षों में इनकी संख्या में निश्चित बढ़ोतरी देखने को मिलेगी।

## खाद्य विकिरण - पूर्ण सुरक्षित एवं अनुमत

प्रत्येक खाद्य पदार्थ के लिए विकिरण की मात्रा (डोज़) सुनिश्चित होती है, जिसकी इकाई ग्रे (Gy) होती है (1 ग्रे = 1 जूल ऊर्जा जो एक किलोग्राम पदार्थ द्वारा अवशोषित होती है)। उदाहरण के लिए, आलू और प्याज़ में अंकुरण की रोकथाम के लिए 60 से 70 ग्रे डोज प्रभावी है। खाद्य पदार्थों के विकिरण के दौरान विकिरण स्रोत खाद्य पदार्थ के सीधे संपर्क में नहीं आता है। अपितु, स्रोत से निकलने वाली विकिरण ही खाद्य पदार्थ पर पड़ती है। खाद्य विकिरण में केवल अनुमोदित स्रोत ही उपयोग में लाए जाते हैं। इनसे जो विकिरण निकलती है उनकी ऊर्जा से खाद्य पदार्थों में किसी भी प्रकार का दुष्प्रभाव नहीं होता। खाद्य विकिरण प्रसंस्करण प्रशिक्षित संचालक के द्वारा एक पूर्ण-नियंत्रित केंद्र में किया जाता है। अंतरराष्ट्रीय मानक के अनुसार विकिरण प्रसंस्करित खाद्य पदार्थ के पैकेट पर एक रेडुरा चिह्न (चित्र–1) अवश्य लगा होना चाहिए।

खाद्य विकिरण संयत्र की संपूर्ण सुरक्षा अनेक मापदंडों पर आधारित एवं सुनिश्चित होती है, जिसे संक्षिप्त रूप से

चित्र – 1 विकिरण प्रसंस्करण दर्शाने वाला रेडुरा चिह्न

चित्र – 2 में दिखाया गया है।

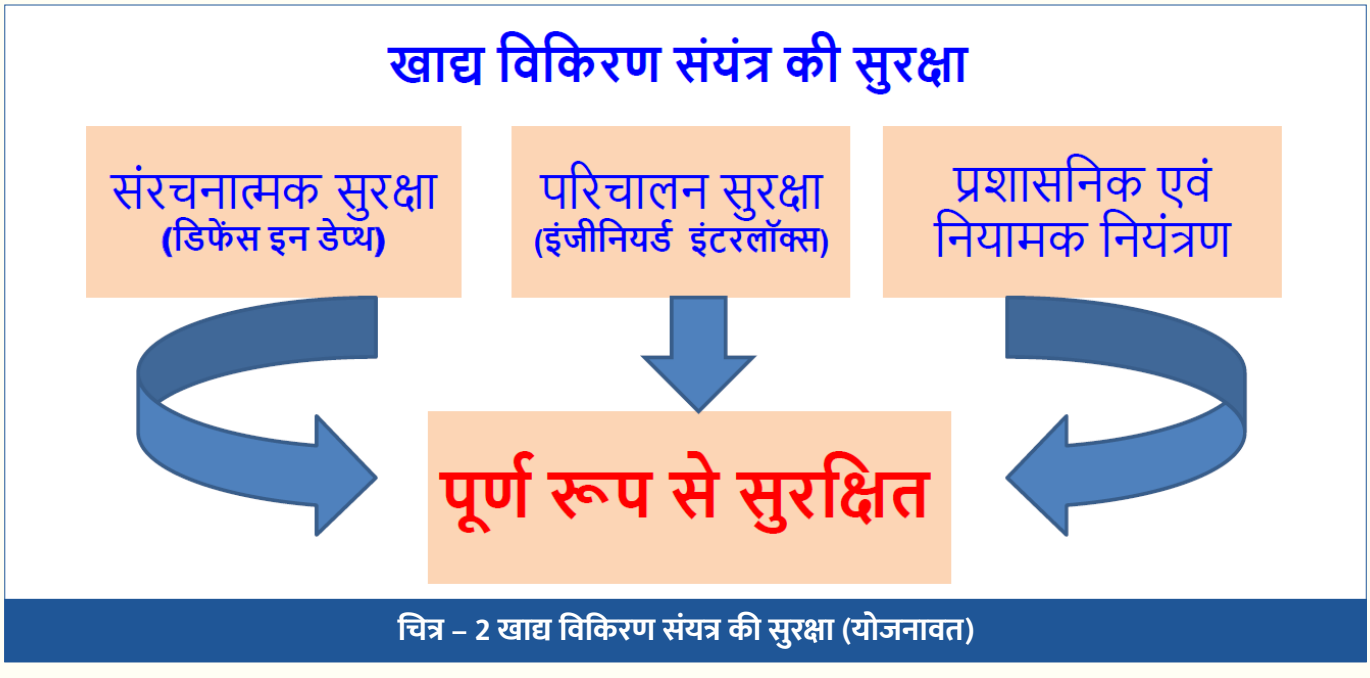
### खाद्य पदार्थों के विकिरण प्रसंस्करण की विशेषताएं

विकिरण प्रसंस्करण (रेडिएशन प्रोसेसिंग) एक पर्यावरणीय अनुकूल एवं अविनाशी प्रक्रिया है। अत्यधिक भेदनक्षमता और प्रभाविता के कारण, बड़े पैमाने पर अनेक प्रकार के खाद्य पदार्थों का कुशलता से प्रसंस्करण किया जा सकता है।

- विकिरण प्रसंस्करण अतापीय प्रक्रिया है जिसमें खाद्य पदार्थ के तापमान में ऐसी वृद्धि नहीं होती जिससे ऊष्मा-संवेदी घटकों का क्षय हो। इस प्रकार खाद्य पदार्थ की गुणवत्ता पर कोई दुष्प्रभाव नहीं पड़ता है।
- रसायनिक प्रक्रिया के विपरीत, विकिरण प्रसंस्करण में किसी भी रसायन का उपयोग नहीं होता है जिसके फलस्वरूप, खाद्य पदार्थ में कोई विशिष्ट रसायनिक अपघटक का निर्माण नहीं होता है।
- यह प्रक्रिया मानव स्वास्थ्य एवं पर्यावरण को खतरे में डालने वाले रसायनिक धूमकों का प्रभावी विकल्प है। रसायनिक धूमन (केमिकल फ्यूमिगेशन) के विपरीत विकिरण प्रसंस्करण पहले से ही पैक किए गए (प्री-पैकेज्ड) खाद्य पदार्थों में की जा सकती है और इसलिए विकिरण के बाद संदूषण (कंटामिनेशन) का कोई खतरा नहीं होता है।
- इस प्रक्रिया से कोई विषाक्त अवशेष उत्पन्न नहीं होते हैं।
- अनुशंसित डोज़ पर यह खाद्य पदार्थ के संवेदी गुणों, बनावट और पोषक मूल्यों को बनाए रखता है।

### विकिरण प्रसंस्करण के लाभ

खाद्य पदार्थों का विकिरण प्रसंस्करण कई प्रकार के




चित्र – 2 खाद्य विकिरण संयत्र की सुरक्षा (योजनावत)

चित्र – 3 : आलू एवं प्याज़ में विकिरण प्रसंस्करण द्वारा अंकुरण अवरोध

वांछनीय लाभों के लिए बहुत ही प्रभावी, क्रियाशील एवं पर्याप्त है। इसके कुछ विशिष्ट लाभ निम्नलिखित हैं :-

**बल्ब, तना, जड़ कंद और प्रकंद में अंकुरण अवरोध - उदाहरण आलू, अदरक एवं प्याज़**

चित्र-3 से स्पष्ट है कि विकिरण प्रसंस्करण द्वारा विभिन्न खाद्य पदार्थों में अंकुरण को विलम्बित / अवरोधित करके उनकी उपयोग युक्त अवधि (शेल्फ लाइफ) को बढ़ाया जा सकता है और खाद्य पदार्थों के नाश/क्षय को कम किया जा सकता है।

**कीट विसंक्रमण तथा सूक्ष्मजीव न्यूनीकरण**

कई अनाज, दालों, मसालों, इत्यादि में विकिरण प्रसंस्करण द्वारा कीट विसंक्रमण एवं सूक्ष्मजीवों की संख्या में कमी लाई जा सकती है एवं खाद्य क्षय को कम किया जा सकता है (चित्र-4)।

इसी क्रम में बहुत से अन्य खाद्य पदार्थों का भी विकिरण प्रसंस्करण किया जाता है, जिनमें मछली, जलीय-कृषि, समुद्री भोजन (सी-फ़ूड) एवं उनके ताज़ा एवं फ्रोज़न उत्पाद, केकड़े, झींगा, लॉबस्टर जैसे परुषकवची (क्रस्टेशियन) जीवों में रोगजनक उन्मूलन, भण्डारण विस्तार तथा मानव परजीवियों का नियंत्रण, इत्यादि शामिल हैं। पारम्परिक/जातीय भोजन (एथनिक फ़ूड), सैन्य राशन, अंतरिक्ष में उपयोग आने वाला भोजन (स्पेस फ़ूड), खाने के लिए तैयार (रेडी टू ईट) एवं पकाने के लिए तैयार (रेडी टू कुक) भोजन, न्यूनतम प्रसंस्कृत खाद्य पदार्थों, इत्यादि का विकिरण प्रसंस्करण मुख्यतः सम्पर्करोध/संगरोध (क्वारंटाइन) तथा सूक्ष्मजीवों की संख्या में कमी लाने के लिए किया जाता है।

**विकिरणित भोजन की संपूर्णता, पोषण संबंधी पर्याप्तता और सुरक्षा**

खाद्य पदार्थ के विकिरण प्रसंस्करण के उपरांत उसमें किसी भी प्रक्रार की रेडियोधर्मिता (रेडियोसक्रियता) उत्पन्न नहीं होती है तथा प्रसंस्कृत खाद्य सामग्री की गुणवत्ता में कमी नहीं आती है। उसके मौलिक पोषक तत्व जैसे प्रोटीन, कार्बोहाइड्रेट, वसा (फैट्स), खनिजों (मिनरल्स), इत्यादि पर किसी भी प्रकार का दुष्प्रभाव नहीं पड़ता है। अतः उनका सेवन स्वास्थ्य के लिए पूर्णतया सुरक्षित है। खाद्य पदार्थों को विकिरणित करने से उनमें उपलब्ध विटामिनों का अनुपात उच्च तापमान पर अथवा जमने वाले तापमान पर प्रसंस्कृत किए गए खाद्य पदार्थों के विटामिनों के अनुपात के तुलनीय

**चित्र – 4 : अनाज मसालों, इत्यादि में विकिरण प्रसंस्करण द्वारा कीट विसंक्रमण एवं सूक्ष्मजीव नियंत्रण**

ही होता है। भारत सहित 70 से अधिक देशों ने 100 से भी अधिक खाद्य पदार्थों के विकिरण प्रसंस्करण को मंजूरी दी है। दुनिया के विभिन्न हिस्सों में पादप- स्वच्छता (फाइटोसैनिटरी) अनुप्रयोगों के लिए खाद्य पदार्थों के विकिरण प्रसंस्करण का अभ्यास किया गया है।

## अंतरराष्ट्रीय व्यापार में खाद्य विकिरण प्रसंस्करण की उपयोगिता

अंतरराष्ट्रीय व्यापार में आमों की विकिरण प्रक्रिया अनुमोदित है। संयुक्त राज्य अमेरिका (USA) को आम भेजने के लिए, सम्पर्करोधन/संगरोधन के अनुपालन के क्रियान्वयन हेतु, 400 ग्रे (Gy) विकिरण डोज़ देना अनिवार्य है। संयुक्त राज्य अमेरिका के कृषि विभाग (यूएसडीए) और भारत के मध्य हुए समझौते के फलस्वरूप भारतीय आमों को विकिरण प्रक्रिया के बाद ही संयुक्त राज्य अमेरिका को निर्यात किया जाता है। वर्ष 2007 से यह क्रम चल रहा है और वर्ष 2025 में लगभग 3000 टन भारतीय आमों का निर्यात संयुक्त राज्य अमेरिका को किया गया है जो विकिरण प्रक्रिया का एक विशिष्ट योगदान है। इससे भारतीय आम को उचित मूल्य और वैश्विक पहचान मिलती है।

## अनाजों का रसायन मुक्त संरक्षण

अनाज का संरक्षण खाद्य सुरक्षा में अत्यंत महत्वपूर्ण है। अनाज के संग्रहण में प्रायः रसायनिक प्रक्रिया का उपयोग किया जाता है और वह भी अनेकों बार। उपयोग में लाए जाने वाले कई रसायन जैसे एल्युमीनियम फॉस्फाइड, मेलाथियान, डेल्टामैथ्रिन, इत्यादि पर्यावरण और मानव-स्वास्थ्य पर होने वाले दुष्प्रभावों के कारण बहुत से देशों द्वारा प्रतिबंधित कर दिए गए हैं। विकिरण प्रक्रिया एक ऐसा तरीका है जिसमें किसी भी प्रकार के रसायन का उपयोग नहीं किया जाता है और पूर्ण पैकेजिंग के उपरान्त अनाज को विकिरण देकर लम्बे समय तक संरक्षित किया जा सकता है।

हमारे देश में अनाज का उत्पादन बहुत ही अधिक मात्रा में होता है। इनके संरक्षण के लिए देशव्यापी विकिरण केंद्रों की आवश्यकता है। निर्धारित अवधि में विकिरण केंद्रों की सीमित क्षमता एक प्रकार का अवरोध है। इसलिए, भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई द्वारा संरचनात्मक सुधार युक्त ऐसे विकिरण संयंत्रों का विकास किया जा रहा है, जिनके उपयोग द्वारा अधिक मात्रा में भी अनाज का संरक्षण किया जा सकता है। देश के कई राज्य अनाज के रसायन मुक्त संरक्षण

के लिए भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई के संपर्क में हैं।

**खाद्य विकिरण में नवीन पहल**

भारत सरकार के खाद्य प्रसंस्करण उद्योग मंत्रालय द्वारा बहु-उत्पाद खाद्य विकिरण इकाइयों की स्थापना के लिए आवेदन आमंत्रित किए गए हैं। इन इकाइयों की स्थापना के लिए देश भर के संभावित उद्यमियों से "प्रधान मंत्री किसान संपदा योजना" की एकीकृत शीत श्रृंखला, मूल्यवर्धन एवं परिरक्षण अवसरंचना योजना (इंटीग्रेटेड कोल्ड चेन एंड वैल्यू एडिशन इंफ्रास्ट्रक्चर स्कीम) के अंतर्गत, 'रुचि की अभिव्यक्ति' (एक्सप्रेशन और इंटरेस्ट) के माध्यम से प्रस्ताव आमंत्रित किए गए हैं। केंद्रीय मंत्रिमंडल ने "प्रधान मंत्री किसान संपदा योजना" के लिए अतिरिक्त परिव्यय को स्वीकृति दी है। इसमें बजट घोषणा के अनुरूप इस योजना के अंतर्गत 50 बहु-उत्पाद खाद्य विकिरण इकाइयों की स्थापना की मंजूरी दी गई है। इन इकाइयों के क्रियान्वयन से विकिरणित खाद्य का प्रति वर्ष 20 से 30 लाख मीट्रिक टन तक कुल संरक्षण क्षमता सृजित होने की उम्मीद है।

खाद्य विकिरण एक बहुत ही प्रभावी और रसायन मुक्त भौतिक प्रक्रिया है। वर्षों के शोध के फलस्वरूप यह सुनिश्चित हो गया है कि खाद्य विकिरण के द्वारा खाद्य संरक्षण की खाद्य सुरक्षा और अंतरराष्ट्रीय व्यापार में अग्रणी भूमिका है। आने वाले वर्षों में भारत में अनेक खाद्य विकिरण संयत्र स्थापित होंगे जो हमारे देश के लिए बहुत अहम भूमिका निभाएंगे। ऐसे विकिरण संयंत्र जिन्हें कम लागत पर लगाया जा सके, पर अनुसंधान एवं विकास कार्य आवश्यक है जिसके परिणामस्वरूप निजी कंपनियां भी खाद्य विकिरण संयंत्र को स्थापित कर सकें और देश की समृद्धि में योगदान दे सकें। साथ में यह भी आवश्यक है कि ऐसे खाद्य एवं संबंधित पदार्थ जिनकी विकिरण द्वारा सुरक्षा एवं संरक्षण की मानक प्रचालन प्रक्रिया अपूर्ण है, को पूर्ण विकसित करने की दिशा में और तेज़ी से शोध कार्य किया जाए। शिक्षण संस्थानों के पाठ्यक्रम में खाद्य विकिरण विषय को शामिल किया जाना चाहिए और जन-जागरूकता अभियान पर भी ज़ोर दिया जाना चाहिए ताकि खाद्य विकिरण को व्यापक बनाया जा सके। सभी के सहयोग, जागरूकता, सहभागिता, समन्वय और विश्वास के फलस्वरूप खाद्य विकिरण को नए शिखर पर ले जाया जा सकता है।

**तालिका - 1 खाद्य वस्तुओं के विकिरण प्रसंस्करण का वर्ग आधारित अनुमोदन (अनुसूची I)**

| वर्ग | खाद्य उत्पाद | वर्गीकृत उद्देश्य | डोज़ सीमा (kGy) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | न्यूनतम | अधिकतम |
| 1 | बल्ब, तना, जड़ कंद और प्रकंद | अंकुरण अवरोध | 0.02 | 0.2 |
| 2 | ताज़े फल / सब्जियां (वर्ग 1 के अलावा) | पकने की प्रक्रिया को मंद करना | 0.2 | 1.0 |
| | | कीट विसंक्रमण | 0.2 | 1.0 |
| | | भंडारण विस्तार | 1.0 | 2.5 |
| | | सम्पर्करोध/संगरोध (क्वारंटाइन) | 0.1 | 1.0 |
| 3 | अनाज और उनके पिसे हुए उत्पाद, दालें और उनके पिसे हुए उत्पाद, मेवे, तिलहन, सूखे मेवे और उनके उत्पाद | कीट विसंक्रमण | 0.25 | 1.0 |
| | | सूक्ष्मजीवों की संख्या में कमी | 1.5 | 5.0 |
| 4 | मछली, जलीय कृषि, समुद्री भोजन और उनके ताज़ा एवं फ्रोजन उत्पाद और क्रस्टेशियन | रोगजनक उन्मूलन | 1.0 | 7.0 |
| | | भंडारण विस्तार | 1.0 | 3.0 |
| | | परजीवियों का नियंत्रण | 0.3 | 2.0 |

| वर्ग | खाद्य उत्पाद | वर्गीकृत उद्देश्य | डोज़ सीमा (kGy) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | न्यूनतम | अधिकतम |
| 5 | पोल्ट्री (ताज़ा और फ्रोजन) और अंडे सहित मांस और मांस उत्पाद | रोगजनक उन्मूलन | 1.0 | 7.0 |
| | | भंडारण विस्तार | 1.0 | 3.0 |
| | | परजीवियों का नियंत्रण | 0.3 | 2.0 |
| 6 | सूखी सब्जियाँ, मसाले, सूखी जड़ी-बूटियाँ और उनके उत्पाद, चाय, कॉफी, कोको, पौधों के उत्पाद | सूक्ष्मजीवों का उन्मूलन | 6.0 | 14.0 |
| | | कीट विसंक्रमण | 0.3 | 1.0 |
| 7 | पशु मूल के सूखे खाद्य पदार्थ और उनके उत्पाद | कीट विसंक्रमण | 0.3 | 1.0 |
| | | फफूंद पर नियंत्रण | 1.0 | 3.0 |
| | | रोगजनक सूक्ष्मजीवों का उन्मूलन | 2.0 | 7.0 |
| 8 | जातीय भोजन, सैन्य राशन, अंतरिक्ष खाद्य पदार्थ, खाने के लिए तैयार, पकाने के लिए तैयार/न्यूनतम प्रसंस्कृत खाद्य पदार्थ | संपर्करोध/संगरोध (क्वारंटाइन) | 0.25 | 1 |
| | | सूक्ष्मजीवों की संख्या में कमी | 2 | 10 |

**तालिका - 2 संबद्ध उत्पादों के विकिरण प्रसंस्करण की स्वीकृति (अनुसूची II)**

| क्रमांक | संबद्ध उत्पाद | प्रयोजन | डोज़ सीमा (kGy) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | न्यूनतम | अधिकतम |
| 1 | पशु खाद्य पदार्थ और चारा | कीट विसंक्रमण<br>सूक्ष्मजीवों का उन्मूलन | 0.25<br>5.0 | 1.0<br>10.0 |
| 2 | आयुर्वेदिक जड़ी-बूटियाँ, उनके उत्पाद तथा दवाइयाँ | कीट विसंक्रमण<br>सूक्ष्मजीवों का उन्मूलन<br>जीवाणुनाशन | 0.25<br>5.0<br>10 | 1.0<br>10.0<br>25 |
| 3 | खाद्य / संबद्ध उत्पादों के लिए पैकेजिंग सामग्री | सूक्ष्मजीवों का उन्मूलन<br>जीवाणुनाशन | 5.0<br>10.0 | 10.0<br>25 |
| 4 | खाद्य योजक | कीट विसंक्रमण<br>सूक्ष्मजीवों का उन्मूलन<br>जीवाणुनाशन | 0.25<br>5.0<br>10 | 1.0<br>10.0<br>25 |
| 5 | स्वास्थ्य खाद्य पदार्थ, आहार पूरक और न्यूट्रास्यूटिकल्स | कीट विसंक्रमण<br>सूक्ष्मजीवों का उन्मूलन<br>जीवाणुनाशन | <br>5.0<br>10 | 1.0<br>10.0<br>25 |
| 6 | शरीर की देखभाल और सफाई उत्पाद | सूक्ष्मजीवों का उन्मूलन<br>जीवाणुनाशन | <br>10 | 10.0<br>25 |
| 7 | फूल | संपर्करोध/संगरोध (क्वारंटाइन)<br>भंडारण विस्तार | 0.25<br>0.25 | 1.0<br>1.0 |

चित्र – 5 खाद्य प्रौद्योगिकी विभाग, भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई में स्थापित देश का पहला खाद्य विकिरण संयंत्र (स्थापना वर्ष - 1967)

## आभार

लेखकगण, इस लेख की सरंचना में प्रत्यक्ष एवं परोक्ष रूप से सहयोग एवं मार्गदर्शन देने वाले सभी व्यक्तियों विशेषकर डॉ. संजीव कुमार, वैज्ञानिक अधिकारी/जी और डॉ. सचिन हजारे, वैज्ञानिक अधिकारी/जी; खाद्य प्रौद्योगिकी प्रभाग, भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई के प्रति हार्दिक आभार प्रकट करते हैं। प्रस्तुत जानकारी में प्रयुक्त पुस्तकों, लेखों और ऑनलाइन संसाधनों के लेखकों का भी हम आभार व्यक्त करते हैं।

## लेखकगण का परिचय

**सुधांशु सक्सेना**

डॉ. सुधांशु सक्सेना, भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई के खाद्य प्रौद्योगिकी प्रभाग (FTD) में वैज्ञानिक अधिकारी-जी के पद पर कार्यरत हैं।

**सत्येंद्र गौतम**

डॉ. सत्येंद्र गौतम, भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र, मुंबई के खाद्य प्रौद्योगिकी प्रभाग (FTD) में उत्कृष्ट वैज्ञानिक के रूप में कार्यरत हैं।