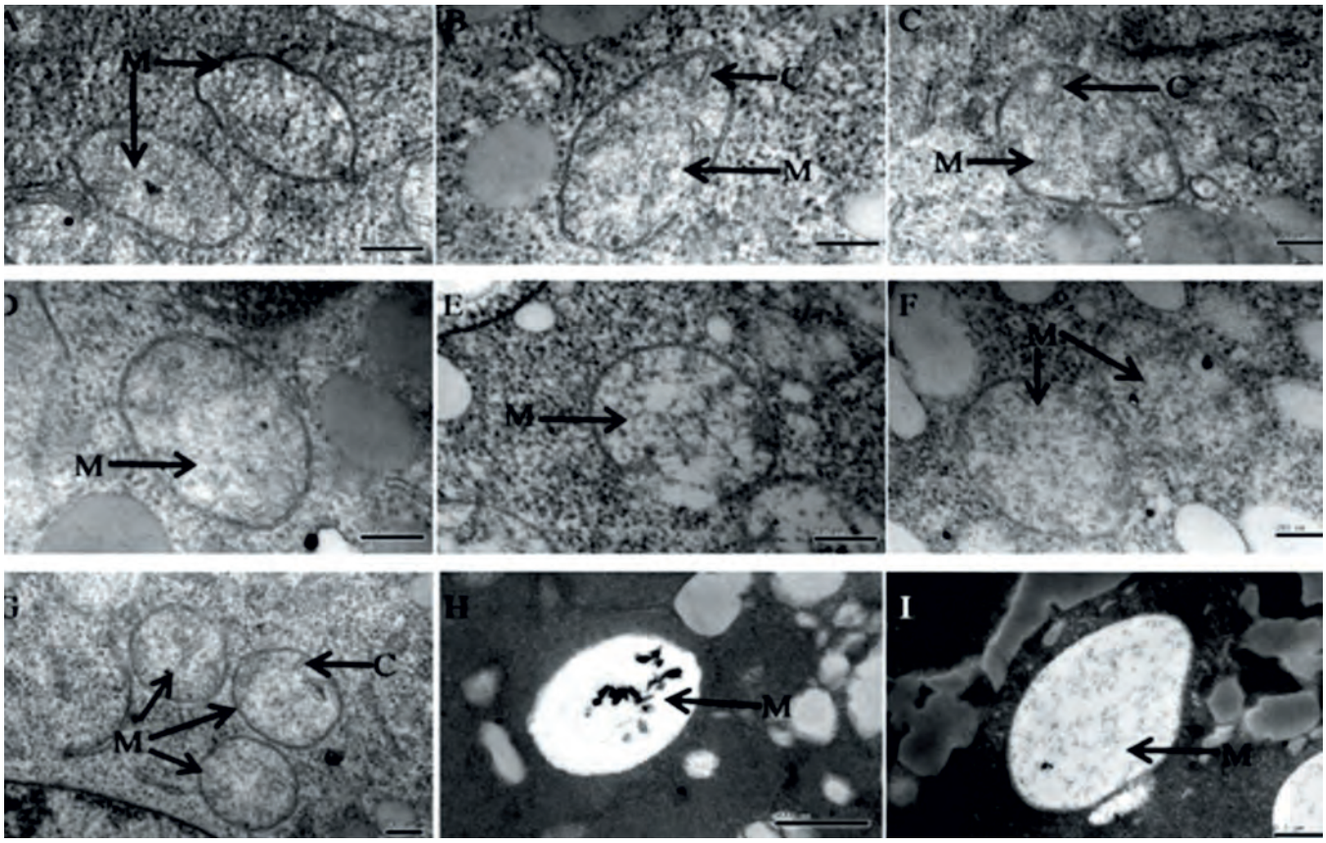
बीज की आयु का माइटोकॉन्ड्रियल आधार

रविश चौधरी, धर्मपाल सिंह, डी. विजय, मंजूनाथ प्रसाद सी.टी. और **ज्ञान प्रकाश मिश्रा**

“कठोर पर्यावरणीय परिस्थितियों में जीवित रहने और आनुवंशिक जानकारी अगली पीढ़ी तक प्रसारित करने में बीज एक आवश्यक कड़ी है। हालांकि, लंबे समय तक भंडारण से बीज की व्यवहार्यता कम हो जाती है। माइटोकॉन्ड्रिया एक महत्वपूर्ण कोशिकीय अंग है। बीज की उम्र बढ़ने से माइटोकॉन्ड्रिया में आरओएस का स्तर बढ़ जाता है, जो अन्य अंगों के डिसफंक्शन का कारण बनता है। यह मुख्य कोशिकीय घटकों को ऑक्सीडेटिव क्षति के स्तर में होने वाली वृद्धि में अपना योगदान देता है। ये ऑक्सीडेटिव क्षति माइटोकॉन्ड्रिया के संरचनात्मक परिवर्तन और शिथिलता का कारण बनती है। इस प्रकार बीज की उम्र बढ़ने के तंत्र को समझने से बीज के संरक्षण और दीर्घायु के लिए एक नई विधि को बढ़ावा मिलेगा। इससे बीज को खराब होने से बचाया जा सकता है और लंबे समय तक उसकी अंकुरण क्षमता बनी रह सकती है।”



विभिन्न नमी सामग्री स्थितियों के तहत जई के बीजों की भ्रूण कोशिकाओं में माइटोकॉन्ड्रियल संरचनात्मक परिवर्तन दिखाते हुए ट्रांसमिशन इजेक्ट्रॉन माइक्रोग्राफ (A-C) 0 दिन (A), 16 दिन (B) और 40 दिन (C) के लिए 4 प्रतिशत नमी सामग्री वाले बीज; (D-F) 0 दिन (D), 16 दिन (E) और 40 दिन (F) के लिए 10 प्रतिशत नमी सामग्री वाले बीज; (G-I) 0 दिन (G), 16 दिन (H) और 40 दिन (I) के लिए 16 प्रतिशत सामग्री वाले बीज। स्केल बार: 200 एनएम (A, B, C, D, E, F और G)500 एनएम (H) और 0.5 माइक्रॉन (I) IC-क्रिस्टे; M-माइटोकॉन्ड्रिया

अनुवंशिक पौधों के पास नए क्षेत्र बसाने का मौका होता है। बीज पौधों को कठोर पर्यावरणीय परिस्थितियों में जीवित रहने और अगली पीढ़ी तक आनुवंशिक जानकारी प्रसारित करने में मदद करते हैं। लंबे समय तक भंडारण से बीज की उम्र बढ़ने के कारण अंकुरित होने की क्षमता कम हो जाती है।

बीज विज्ञान एवं प्रौद्योगिकी संभाग, भाकृअनुप-भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली-110012

बीज व्यवहार्यता में कमी के कारणों को समझना जीन बैंकों में पाए जाने वाले जीन संसाधनों के कुशल संरक्षण के लिए आवश्यक है। इससे न केवल जहां बीजों में उम्र बढ़ने की प्रक्रिया शुरू होती है बल्कि वह क्रम भी शामिल है जिसमें यह प्रक्रिया सामने आती है। बीजों के अंदर मौजूद कोशिकाओं में कुछ खास अंग होते हैं, जिन्हें माइटोकॉन्ड्रिया कहा जाता है। अन्य अंगों की तुलना में, माइटोकॉन्ड्रिया अधिक तेजी से और गंभीर रूप से ऑक्सीडेटिव क्षति के संपर्क में आते हैं। ये प्रतिक्रियाशील ऑक्सीजन प्रजातियों (आरओएस) के प्राथमिक उत्पादक होते हैं।

माइटोकॉन्ड्रियल तत्व की एंटीऑक्सीडेंट प्रणाली अन्य कोशिकाओं की तुलना में कम सक्रिय होती है। ये माइटोकॉन्ड्रियल ‘दोष’ बीज की उम्र बढ़ने के साथ-साथ विभिन्न प्रकार के कोशिकीय कार्यों पर गंभीर प्रभाव डाल सकते हैं।

माइटोकॉन्ड्रिया में आरओएस का उत्पादन

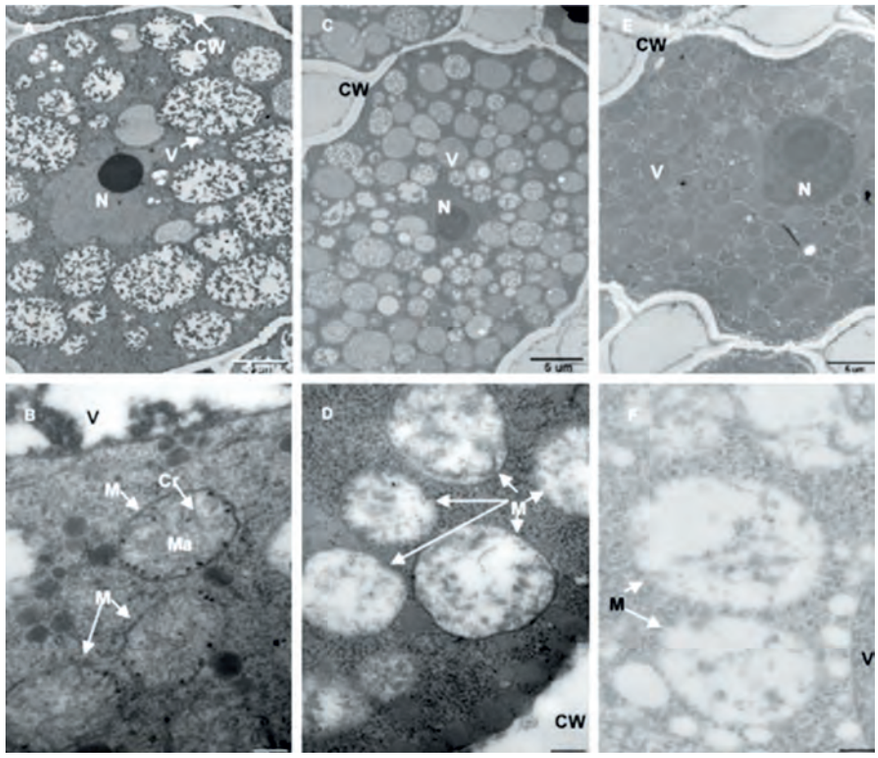
इलेक्ट्रॉन संचार शृंखला (ईटीसी) के माध्यम से आरओएस का उत्पादन

इस प्रक्रिया में सर्वप्रथम मुक्त कण मुख्यतया इलेक्ट्रॉन संचार शृंखला में उत्पन्न होते हैं। प्रोटीन कॉम्प्लेक्स के माध्यम से इलेक्ट्रॉन की गति की दर में भिन्नता के कारण, इलेक्ट्रॉनों का रिसाव होता है। इसे ऑक्सीजन अणुओं द्वारा स्वीकार किया जाता है, परिणामस्वरूप सुपरऑक्साइड रेडिकल ($O^{2\bullet-}$) में बदल जाता है।

मुख्य रूप से माइटोकॉन्ड्रियल आरओएस उत्पादन स्थल एक जटिल माइटोकॉन्ड्रियल इलेक्ट्रॉन संचार शृंखला (ईटीसी) है। ईटीसी-मध्यस्थता वाली आरओएस पीढ़ी मुख्य रूप से यूबिसेमीक्विनोन रेडिकल्स की उपस्थिति के कारण होती है, जो एक इलेक्ट्रॉन को ऑक्सीजन में स्थानांतरित कर सकती है, जिससे सुपरऑक्साइड के उत्पादन को बढ़ावा मिलता है।

प्रोटीन द्वारा आरओएस उत्पादन

प्रोटीन, जो इलेक्ट्रॉनों को एंजाइम क्यू पूल में स्थानांतरित करने के साथ-साथ आरओएस के गठन में योगदान करने में भी सक्षम होते हैं। माइटोकॉन्ड्रियल ग्लिसरॉफॉस्फेट डिहाइड्रोजनेज एंजाइम आंतरिक झिल्ली में इंटरमेम्ब्रेन स्पेस के सामने स्थित होता है। मल्टी सबयूनिट पाइरूवेट डिहाइड्रोजनेज कॉम्प्लेक्स और α-कीटोग्लूटारेट डिहाइड्रोजनेज एंजाइम कॉम्प्लेक्स संरचनात्मक रूप से एक समान झिल्ली से बंधे हुए होते हैं। इस प्रक्रिया के तहत सुपरऑक्साइड और हाइड्रोजन पेरॉक्साइड स्रोत के रूप में प्राप्त होते हैं।



ट्रांसमिशन इलेक्ट्रॉन माइक्रॉग्राफ 0 दिन (A और B), 18 दिन (C और D) और 41 दिन (E और F) तक पुराने बीजों से अक्ष कोशिकाओं की अल्ट्रास्ट्रक्चर दिखाते हैं। पैन A, C और E प्रत्येक उम्र बढ़ने के चरण में सेलुलर संरचनाओं का अवलोकन प्रदान करते हैं। पैनल B, D और F प्रत्येक उम्र बढ़ने की अवधि के अनुरूप माइटोकोन्ड्रिया की अल्ट्रास्ट्रक्चर को दर्शाते हैं। मुख्य अंग और संरचनाओं को लेवल किया गया है: M-माइटोकॉड्रिया; Ma-मैट्रिक्स; CR-क्रिस्टे; V-रिक्तिका; N-नाभिक; CW-कोशिका भित्ति।

इस प्रकार α-कीटोग्लूटारेट डिहाइड्रोजनेज के प्राकृतिक इलेक्ट्रॉन स्वीकार्यता निकोटिनेमायीड एडीनिन की उपलब्धता पर निर्भर होते हैं। सामान्यत: कई प्रोटीनों में उनके सक्रिय स्थल में फ्लेविन होता है, जो सीधे इलेक्ट्रॉनों के साथ संपर्क करता है और इलेक्ट्रॉन रिसाव में संभावित भूमिका निभाता है। एकोनिटेज, माइटोकॉन्ड्रियल मैट्रिक्स में एक एंजाइम, आयरन और सल्फर की उपस्थिति में फेंटन प्रतिक्रिया के दौरान हाइड्रोजन पेरोक्साइड को हाइड्रॉक्सिल रेडिकल में बदलने में सक्षम होते हैं।

इसके अतिरिक्त माइटोकॉन्ड्रिया, नाइट्रिक ऑक्साइड से प्राप्त प्रतिक्रियाशील नाइट्रोजन प्रजातियों का एक मुख्य स्रोत है। नाइट्रिक ऑक्साइड एंजाइमेटिक रूप से नाइट्रिक ऑक्साइड सिंथेस (एनओएस) द्वारा उत्पन्न होता है। ये एंजाइम कैल्शियम (Ca^{2+}) आयनों और कम थिओल्स की उपस्थिति में एक सब्सट्रेट के रूप में एल-आर्जिनिन और एक इलेक्ट्रॉन स्रोत के रूप में एनएडीपीएच (NADPH) का उपयोग करके नाइट्रिक ऑक्साइड को संश्लेषित करते हैं। माइटोकॉन्ड्रियल इलेक्ट्रॉन संचार भी नाइट्रिक ऑक्साइड को उत्पन्न कर सकता है।

नाइट्रिक ऑक्साइड का उच्च स्तर ऑक्सीजन-नाइट्रोजन या सल्फरयुक्त अमीनो अम्ल की साइड चेन के नाइट्रोसेशन से जुड़ा होता है, जिसके परिणामस्वरूप इसमें कार्यात्मक परिवर्तन होते हैं। इसमें ऑक्सीजन (O^2), हाइड्रोजन पेरॉक्साइड (H_2O_2) का उत्पादन करने के लिए विघटित हो जाती है और नाइट्रिक ऑक्साइड सहित अन्य

डीएनए क्षति

माइटोकॉन्ड्रियल डीएनए में उत्परिवर्तन का सबसे मान्यता प्राप्त स्रोत आरओएस है, जो ईटीसी द्वारा निर्मित होता है। इसके अलावा, हाइड्रोजन पेराऑक्साइड द्वारा प्रेरित स्ट्रैंड माइटोकॉन्ड्रियल डीएनए में बुनियादी साइटों पर टूट जाता है। आरओएस द्वारा डीएनए न्यूक्लियोटाइड में क्षति, शर्करा के अवशेषों के ऑक्सीकरण और स्ट्रैंड के टूटने के कारण होती है। डीऑक्सीराइबोज और न्यूक्लियोबेस दोनों आरओएस ऑक्सीडेटिव क्षति के लिए अतिसंवेदनशील होते हैं। डीएनए विखंडन का कारण बनने वाला सबसे आक्रामक स्रोत हाइड्रॉक्सिल (OH^-) आरओएस है। आरओएस मुख्य रूप से हाइड्रोजन परमाणु जारी करके डीएनए के अणुओं में डीऑक्सीराइबोज को बाधित करता है। ऑक्सीकरण के माध्यम से हुई कमी कार्बोहाइड्रेट-फॉस्फेट वाली संरचनाओं को तोड़ देती है। इससे एकल और डबल-स्ट्रैंड टूट जाते हैं और आधारों का रासायनिक संशोधन शुरू होता है। फलस्वरूप कार्बोनिल और एमिन समूहों का क्रॉस-लिंकिंग होता है। आरओएस लगभग 20 विभिन्न प्रकार के डीएनए न्यूक्लियोटाइड क्षति को प्रेरित करता है। इनमें से सबसे मुख्य ग्वानिन (जी) में होने वाला संशोधन है। इसके परिणामस्वरूप 8-ऑक्सोगुआनिन का गठन होता है, जिसे ऑक्सीडेटिव तनाव का बायोमार्कर माना जाता है। डीएनए में इस आधार की उपस्थिति अनुप्रस्थ उत्परिवर्तन (जीसी→टीए) में योगदान करती है।

रेडिकल्स के साथ प्रतिक्रिया कर सकता है। इस प्रतिक्रिया का उत्पाद, पेरॉक्सीनाइट्राइट ($ONOO^-$), एक शक्तिशाली ऑक्सीडेंट है, जो ऑक्सीकरण और प्रोटीन नाइट्रेशन ($NO^{\cdot} f O2^{\cdot-} \rightarrow ONOO^-$) की ओर ले जाता है।

प्रति-ऑक्सीनाइट्राइट एसएच समूहों और अन्य एंटीऑक्सिडेंट्स की कमी, लिपिड के ऑक्सीकरण, डीएनए बेस के डीमिनेशन, प्रोटीन में सुगंधित अमीनो अम्ल के अवशेषों के नाइट्रेशन और मिथिओनिन के सल्फोक्साइड के ऑक्सीकरण का कारण बन सकता है। माइटोकॉन्ड्रिया में नाइट्रोसेशन के लिए एक प्रमुख लक्ष्य प्रोटीन श्वसन कॉम्प्लेक्स बनाना है।

बीज के माइटोकॉन्ड्रिया में ऑक्सीडेटिव क्षति

आरओएस के संचयन से ऑक्सीडेटिव क्षति और शिथिलता तथा झिल्ली प्रणाली के विकारों के साथ-साथ माइटोकॉन्ड्रियल प्रोटीन, डीएनए और लिपिड की ऑक्सीडेटिव क्षति भी होती है।

प्रोटीन की ऑक्सीडेटिव क्षति

माइटोकॉन्ड्रियल प्रोटीन की ऑक्सीडेटिव क्षति में पाइरूवेट डिकार्बोक्सिलेज कॉम्प्लेक्स की सबयूनिट, एटीपी सिंथेज की सबयूनिट और ट्राइकार्बोक्सिलिक एसिड (टीसीए) चक्र के एंजाइमों की क्षति भी शामिल होती है। आरओएस अमीनो अम्ल के प्रत्यक्ष ऑक्सीकरण, सीआईएस अवशेषों के ऑक्सीकरण का कारण बनता है, जो डाइसल्फाइड बंध बनाता है।

मेथिओनिन अवशेषों के ऑक्सीकरण से जो मेथिओनिन सल्फॉक्साइड बनता है। इससे आर्जिनिन, लाइसिन, प्रोलाइन, हिस्टिडाइन, सेरीन और थ्रेओनीन अवशेषों का ऑक्सीकरण होता है, परिणामस्वरूप साइड में कार्बोनिल समूह बनता है। इस प्रक्रिया द्वारा माइटोकॉन्ड्रियल प्रोटीन की गतिविधि को पोस्ट-ट्रांसलेशनल स्तर पर नियंत्रित किया जाता है, उदाहरणत:, एस-नाइट्रोसिलेशन (एक कार्बनिक अणु में नाइट्रिक ऑक्साइड समूह को जोड़ने की प्रक्रिया, जो इसे निष्क्रिय बनाती है)।

लिपिड में परिवर्तन

माइटोकॉन्ड्रियल झिल्लियों में लिपिड पेरोक्सीडेशन झिल्ली लिपिड के पॉलीअनसेचुरेटेड फैटी एसिड के पेरोक्सीडेशन को संदर्भित करता है। मैलोन्डियलडिहाइड (एमडीए) और 4-हाइड्रॉक्सी-2-नॉनिल (एचएनई) लिपिड पेरोक्सीडेशन के अंतिम उत्पाद के रूप में प्राप्त होते हैं, जो कोशिकाओं के साथ क्रिया करके उनके कार्यों को कम या समाप्त कर सकते हैं।

एमडीए डीएनए आधारों के साथ प्रतिक्रिया कर सकता है, जिसके परिणामस्वरूप जीन उत्परिवर्तन होता है, जबकि 4-हाइड्रॉक्सी-2-नॉनिल (एचएनई) ज्यादातर प्रोटीन के साथ प्रतिक्रिया करता है, जिससे कार्यात्मक परिवर्तन होते हैं। नम ऊतकों में माइटोकॉन्ड्रियल एमडीए और हाइड्रोजन पेरोक्साइड सामग्री में वृद्धि माइटोकॉन्ड्रियल झिल्ली की संरचना और उसके कार्य को नुकसान पहुंचाती है।

दीर्घायु वाले बीज के माइटोकॉन्ड्रिया में एंटीऑक्सीडेंट प्रणाली

आरओएस उत्पादन और एंटीऑक्सीडेंट द्वारा विषहरण के बीच होने वाला संतुलन पौधों की कोशिकाओं में रेडॉक्स प्रतिक्रियाओं को नियंत्रित करता है। श्वसन और ऑक्सीकृत तनाव की प्रतिक्रियाओं सहित विभिन्न अन्य चयापचय प्रक्रियाएं, कोशिकीय रेडॉक्स अवस्था द्वारा सह-नियंत्रित होती हैं।

पादपों के माइटोकॉन्ड्रियल मैट्रिक्स में आरओएस स्केवेंजिंग सिस्टम शामिल होता हैं। इसमें एंजाइमैटिक और गैर-एंजाइमेटिक एंटीऑक्सीडेंट सिस्टम जैसे मैंग्नीज-सुपरऑक्साइड डिसम्यूटेज (एमएन-एसओडी) और एस्कॉर्बेट-ग्लूटाथियोन (एएसए-जीएसएच) चक्र, कैटालेज (सीएटी) और पेरोक्सीरेडॉक्सिन (पेरोक्सीरेडॉक्सिन समेत) आईआईएफ) शामिल होते हैं।

बीजों की उम्र बढ़ने के दौरान, माइटोकॉन्ड्रियल एएसए-जीएसएच चक्र में कमी के परिणामस्वरूप एएसए और जीएसएच कम ऑक्सीकृत होते हैं। इससे आरओएस का संचय हो सकता है, जो माइटोकॉन्ड्रियल डिसफंक्शन को प्रभावित करता है। कृत्रिम रूप से वृद्ध बीजों में माइटोकॉन्ड्रियल एसओडी, एपीएक्स, एमडीएचएआर, डीएचएआर और जीआर जैसे आरओएस एंजाइमों की गतिविधियों में कमी देखी गयी है।

आरओएस और माइटोकॉन्ड्रियल डिसफंक्शन के कारण माइटोकॉन्ड्रिया की संरचना में परिवर्तन विभिन्न प्रतिक्रियाओं को प्रभावित करते हैं, जो माइटोकॉन्ड्रियल और परमाणु जो बीज आयु के लिए महत्वपूर्ण हैं, उनकी जीन अभिव्यक्ति को नियंत्रित करते हैं। ■

बीज संरक्षण

माइटोकॉन्ड्रिया एक महत्वपूर्ण कोशिकीय अंग है। इसका मुख्य उद्देश्य कोशिकीय श्वसन की प्रक्रिया के दौरान एटीपी के रूप में ऊर्जा उत्पन्न करना है। बीज की उम्र बढ़ने से माइटोकॉन्ड्रिया में आरओएस का स्तर बढ़ जाता है और आरओएस का बढ़ा हुआ स्तर अन्य अंगों के डिसफंक्शन का कारण बनता है। यह मुख्य कोशिकीय घटकों को ऑक्सीडेटिव क्षति के स्तर में होने वाली वृद्धि में अपना योगदान देता है। इससे कार्यात्मक समूहों के ऑक्सीकरण के कारण एंजाइमी गतिविधियों में कमी आती है। फलस्वरूप कोशिकीय झिल्ली के लिपिड पेरोक्सीडेशन में वृद्धि होती है। श्वसन मशीनरी, जो रेडॉक्स रसायन विज्ञान पर आधारित है। वह बदलती परिस्थितियों के प्रति संवेदनशील रूप से प्रतिक्रिया करती है। ये ऑक्सीडेटिव क्षति माइटोकॉन्ड्रिया के संरचनात्मक परिवर्तन और शिथिलता का कारण बनती है। अंत में यह कह सकते हैं कि भविष्य में इस प्रकार बीज की उम्र बढ़ने के तंत्र को समझने से बीज के संरक्षण और दीर्घायु के लिए एक नई विधि को बढ़ावा मिलेगा। इससे बीज को खराब होने से बचाया जा सकता है और लम्बे समय तक उसकी अंकुरण क्षमता बनी रह सकती है।

बीजों में माइटोकॉन्ड्रियल गतिविधि

कोशिका वृद्धि और चयापचय क्रियाओं के लिए माइटोकॉन्ड्रिया ऊर्जा का सबसे महत्वपूर्ण स्रोत है। इसके अलावा, माइटोकॉन्ड्रिया प्रतिक्रियाशील ऑक्सीजन प्रजातियों (एमटीआरओएस) के उत्पादन के लिए भी प्रमुख स्थल हैं। इस प्रकार, आरओएस होमियोस्टेसिस के रखरखाव में शामिल रहता है। सुपरऑक्साइड, हाइड्रोजन पेराऑक्साइड और हाइड्रॉक्सिल रेडिकल्स जैसे आरओएस जो सेलुलर घटकों का ऑक्सीकरण करते हैं, फलस्वरूप यह कोशिकीय अंग कोशिका झिल्ली की अखंडता और उसके मुख्य कोशिकीय घटकों के बीच सामंजस्य बनाने का कार्य करते हैं।