शोध पत्र / Research Paper

सौर चक्र 24 और 25 के दौरान सौर गतिविधि और ब्रह्मांडीय किरण मॉड्यूलेशन की सांख्यिकीय तुलना

Statistical Comparison of Solar Activity and Cosmic Ray Modulation during Solar Cycles 24 and 25

वी. के. मिश्र

V.K. Mishra

Department of Physics, Atal Bihari Vajpayee Hindi Vishwavidyalaya,
Bhopal - 462038
vkmishra74@yahoo.com

https://doi.org/10.5281/zenodo.18442719

सारांश

ब्रह्मांडीय किरणों की तीव्रता में होने वाला परिवर्तन सौर आउटपुट से बहुत अधिक प्रभावित होता है। बढ़ी हुई सौर गतिविधि की अवधि के दौरान, सूर्य का बढ़ा हुआ चुंबकीय क्षेत्र और एक विस्तारित हीलियोस्फीयर कॉस्मिक किरणों के प्रवेश को बाधित करता है, जिसके परिणामस्वरूप पृथ्वी की सतह पर तीव्रता कम हो जाती है। इसके विपरीत, सौर न्यूनतम के दौरान, कम सौर आउटपुट ब्रह्मांडीय किरणों के अधिक प्रवाह की अनुमति देता है। यह अध्ययन कॉस्मिक किरणों की तीव्रता (CRI) की जांच करने के लिए ओलू और मॉस्को से न्यूट्रॉन मॉनिटर (NM) डेटा का उपयोग करता है और इसकी तुलना सौर गतिविधि संकेतकों, अर्थात् सनस्पॉट संख्या (SSN) और सौर फ्लेयर इंडेक्स (SFI) से करता है। सौर चक्र 24 (2008-2019) ने SSN और CRI (सहसंबंध गुणांक ~ –0.87) के बीच एक उल्लेखनीय व्युत्क्रम संबंध प्रदर्शित किया। सौर चक्र 25 से प्रारंभिक अवलोकन, जो आधिकारिक तौर पर दिसंबर 2019 में शुरू हुआ था, वर्तमान में जारी है। हालाँकि इस चक्र के बारे में निश्चित निष्कर्ष निकालना अभी भी जल्दबाजी होगी, फिर भी एक समान लेकिन थोड़ा मजबूत व्युत्क्रम सहसंबंध (~ –0.91) प्राप्त होता हैं। दोनों सौर चक्रों के लिए, CRI और SFI के बीच एकसमान सहसंबंध (~ –0.66) प्राप्त हुआ। इसके अलावा, सौर चक्र 25 ने चक्र 24 (146.1) की तुलना में काफी अधिक सनस्पॉट संख्या (जनवरी 2025 तक 215.6) प्रदर्शित की।दोनों चक्रों के दौरान क्रॉस–सहसंबंध फलन भी उल्लेखनीय अंतर दिखाता है। सौर चक्र 25 के लिए संबंधित पूर्वानुमान पर भी विचार किया गया है और वर्तमान निष्कर्षों के साथ तुलना की गई है।

Abstract

The variation in cosmic ray intensity is heavily influenced by solar outputs. During periods of heightened solar activity, the Sun's enhanced magnetic field and an expanded heliosphere impede cosmic ray penetration, resulting in decreased intensity at Earth's surface. Conversely, during solar minima, reduced solar output allows a greater influx of cosmic rays. This study utilizes neutron monitor (NM) data from Oulu and Moscow to examine cosmic ray intensity (CRI) and compares it with solar activity indicators, namely sunspot number (SSN) and solar flare index (SFI). Solar Cycle 24 (2008-2019) demonstrated a notable inverse relationship between SSN and CRI (correlation coefficient ~ -0.87). Preliminary observations from the solar cycle 25, officially commenced in December 2019, is currently ongoing. While it is still too early to draw definitive conclusions about this cycle, suggest a similar but slightly stronger inverse correlation (~ -0.91). For both cycles, the CRI and SFI showed a consistent correlation (~ -0.66). Furthermore, Solar Cycle 25 displayed a

significantly higher peak sunspot count (215.6 by Jan 2025) compared to Cycle 24 (146.1). The running cross-correlation function also shows a noticeable difference during both cycles. The related forecast for solar cycle 25 has also been considered and likened with present findings.

मुख्य शब्द : सन्स्पॉट संख्या, सौर चक्र, सोलर फ्लयेर सूचकांक, कस्मिक किरण तीव्रता।

Keywords : Sunspot numbers, Solar cycle, Solar flare index, Cosmic ray intensity.

परिचय

सौर आउटपुट और कॉस्मिक किरण मॉड्यूलेशन पर उनके प्रभाव को समझना पिछले कुछ वर्षों में अत्यंत महत्वपूर्ण हो गया है और इसका, विशेष रूप से सौर चक्र 23 और 24 के प्रकाश में [1, 2, 3] बड़े पैमाने पर अध्ययन किया गया है। 24 की तुलना में सौर चक्र 25 का प्रारंभिक अध्ययन भी किया गया है [4, 5] । प्रत्येक सौर चक्र गतिविधि के विभिन्न पैटर्न प्रदर्शित करता है जो सौर घटनाओं और ब्रह्मांडीय विकिरण स्तरों के बीच जटिल संबंधों की गहरी समझ में योगदान देता है। सौर गतिविधि में कई तरह की घटनाएं शामिल हैं – जैसे सनस्पॉट, सौर फ्लेयर्स, और कोरोनल मास इजेक्शन (सीएमई) – ये सभी अत्यधिक गतिशील हैं और अंतरिक्ष के मौसम को आकार देने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। सौर उत्सर्जन और कॉस्मिक किरणों (बाह्य अंतरिक्ष से उत्पन्न होने वाले उच्च–ऊर्जा कण) के बीच संबंध यह समझने के लिए महत्वपूर्ण है। दो सौर चक्रों में ब्रह्मांडीय किरणों के गुणों और मॉड्यूलेशन प्रवृत्तियों का अध्ययन करके, इस शोध पत्र का उद्देश्य ब्रह्मांडीय विकिरण को प्रभावित करने वाली अंतर्निहित प्रक्रियाओं को प्रकट करना और अंतरिक्ष मौसम पर भविष्य के प्रभाव की भविष्यवाणी करने की हमारी क्षमता में सुधार करना है। सौर चक्रों का अध्ययन खगोल भौतिकी का एक महत्वपूर्ण हिस्सा है, क्योंकि उनका पृथ्वी को प्रभावित करने वाली विभिन्न ब्रह्मांडीय घटनाओं और स्थितियों पर महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ता है। सौर चक्र, जो आमतौर पर लगभग 11 वर्षों तक चलता है, सौर गतिविधि में उतार–चढ़ाव से चिन्हित होता है, जिसमें सनस्पॉट, सौर फ्लेयर्स और कोरोनल मास इजेक्शन शामिल हैं। ये परिवर्तन यह समझने के लिए महत्वपूर्ण हैं कि सूर्य कैसे काम करता है, और वे इस बात में भी बड़ी भूमिका निभाते हैं कि ब्रह्मांडीय किरणें सौर मंडल के चारों ओर कैसे घूमती हैं। उदाहरण के लिए, जैसे–जैसे सौर गतिविधि बढ़ती है, अधिक सौर हवा और चुंबकीय क्षेत्र बनते हैं, जो पृथ्वी को ब्रह्मांडीय विकिरण से बचा सकते हैं, और इस प्रकार पृथ्वी पर मौसम और विकिरण के स्तर को प्रभावित करते हैं। 1700 से 1966 तक का ऐतिहासिक ऑरोरल डेटा नियमित पैटर्न प्रकट करता है जो सौर गतिविधि को जलवायु परिवर्तन से जोड़ता है और सौर घटनाओं और पृथ्वी पर पर्यावरण के बीच जटिल संबंधों को दर्शाता है [6]। बाद के अध्ययनों ने पता लगाया कि सौर चक्र 23 और 24 के दौरान सनस्पॉट काउंट और कोरोनल मास इजेक्शन (सीएमई) की चरम गति में बदलावों की जांच करके कॉस्मिक किरण तीव्रता (सीआरआई) को कैसे मॉड्यूलेट किया गया था [7]। अध्ययन ने निष्कर्ष निकाला कि अधिकतम सीएमई स्पीड इंडेक्स सनस्पॉट संख्याओं की तुलना में कॉस्मिक किरण तीव्रता के सौर मॉड्यूलेशन का अधिक सटीक प्रतिनिधित्व प्रदान करता है, जो कॉस्मिक किरण विविधताओं को समझने में सीएमई विशेषताओं के महत्व पर बल देता है। हमारे पिछले शोध ने एक अनुभवजन्य मॉडल को नियोजित करके गैलेक्टिक कॉस्मिक–रे मॉड्यूलेशन पर ध्यान केंद्रित किया, जिसमें सौर और हेलियोस्फेरिक दोनों चर शामिल थे। इन चरों का उपयोग करके, अनुमानित संशोधित कॉस्मिक–रे तीव्रता ने देखे गए डेटा के साथ मजबूत समझौते को दिखाया, इन परस्पर संबद्ध कारकों के बारे में जानकारी प्राप्त करना, भविष्य में सौर व्यवहार का पूर्वानुमान लगाने तथा अंतरिक्ष मौसम और जलवायु में उतार–चढ़ाव पर इसके संभावित प्रभावों का आकलन करने के लिए महत्वपूर्ण है। [8]

गैलेक्टिक कॉस्मिक किरण तीव्रता और सनस्पॉट संख्या के बीच विपरीत सहसंबंध अब अच्छी तरह से स्थापित है और अवलोकन संबंधी साक्ष्य द्वारा व्यापक रूप से समर्थित है, जिसमें सीआरआई की चरम तीव्रता 11–वर्ष के सौर चक्र के अंत में होती है, हालांकि सौर

चक्र अधिकतम और सीआरआई न्यूनतम के समय में एक अंतराल होता है [9, 10]। कॉस्मिक किरण तीव्रता वक्र एक 22–वर्षीय चक्र को प्रदर्शित करता प्रतीत होता है, जो चपटे शीर्ष के साथ स्पष्ट मध्यवर्ती चोटियों की विशेषता है। कई अध्ययनों ने कॉस्मिक किरण मॉड्यूलेशन के विभिन्न मॉडलों की जांच की है [11–14], जो अधिकतर सौर चुंबकीय क्षेत्र के 11–वर्षीय ध्रुवीयता उत्क्रमण के महत्व पर प्रकाश डालते हैं, साथ ही हीलियोस्फीयर की चुंबकीय संरचना के भीतर वक्रता और ढाल बहाव के प्रभावों पर भी प्रकाश डालते हैं। न्यूट्रान मॉनिटर 0.5 से 20 GeV ऊर्जा रेंज में कॉस्मिक किरणों के प्रति विशेष रूप से प्रतिक्रियाशील हैं, जो उन्हें सौर मॉड्यूलेशन प्रभावों का विश्लेषण करने के लिए अत्यधिक प्रभावी बनाता है। पहले के अध्ययनों ने सौर गतिविधि और कॉस्मिक किरण तीव्रता (CRI) [15 और उसके अंदर के संदर्भ] में दीर्घकालिक बदलावों के बीच एक विपरीत सहसंबंध स्थापित किया है। सौर चक्र के विभिन्न चरणों में सनस्पॉट संख्या (SSN) और CRI के बीच संबंध को एक सांख्यिकीय दृष्टिकोण का उपयोग करके जांचा गया था जिसे रनिंग क्रॉस–सहसंबंध विधि के रूप में जाना जाता है। हमारे पिछले निष्कर्षों से संकेत मिलता है कि SSN कई अन्य सौर संकेतकों के साथ एक मजबूत मासिक औसत सहसंबंध प्रदर्शित करता है, जो इसे सहसंबंध–आधारित अध्ययनों के लिए एक विश्वसनीय प्राचल बनाता है–जब तक कि विशिष्ट परिस्थितियों में वैकल्पिक सौर सूचकांकों का उपयोग आवश्यक न हो [16]।

यह अध्ययन सौर चक्र 24 के दौरान सौर गतिविधि और ब्रह्मांडीय किरण मॉड्यूलेशन के पैटर्न की जांच करता है और सौर चक्र 25 (2024 तक विस्तारित) के न्यूनतम से बढ़ते चरणों की जांच करता है, जिसमें पहले के चक्रों की तुलना की जाती है। विश्लेषण सनस्पॉट नंबर, सोलर फ्लेयर इंडेक्स और ओलू न्यूट्रॉन मॉनिटर द्वारा दर्ज किए गए कॉस्मिक किरण तीव्रता के मासिक डेटा पर आधारित है, जिसकी कट ऑफ रिजिडिटी 0.8 GV है।

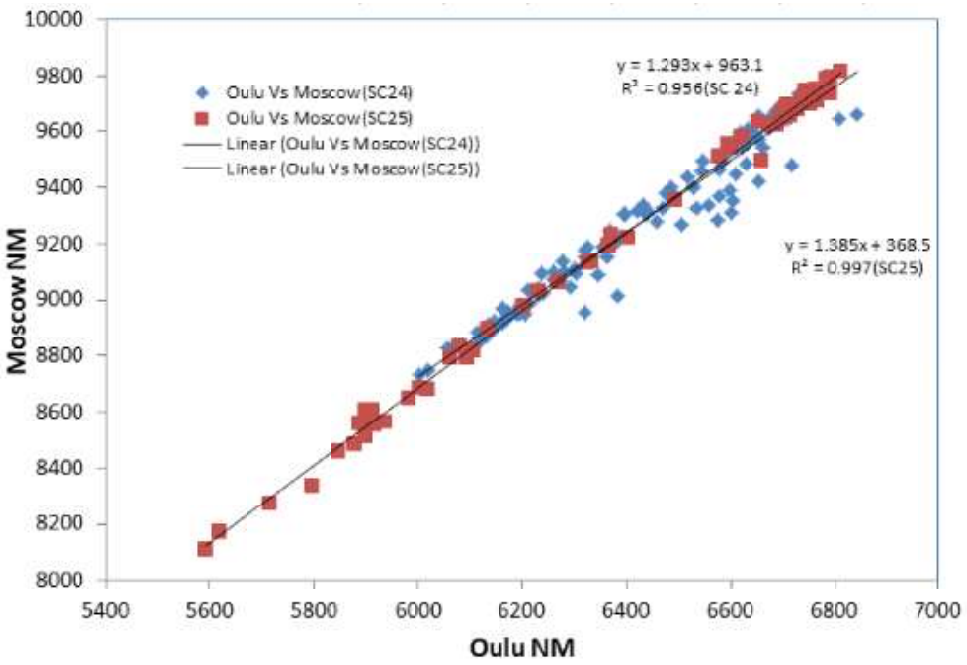
डेटा और विश्लेषण की विधि

विश्लेषण में ओलू न्यूट्रॉन मॉनिटर (0.8 GV की कट ऑफ रिजिडिटी के साथ) से कॉस्मिक किरण तीव्रता (CRI) के मासिक औसत मूल्यों का उपयोग किया गया है, जिसे मुख्य सौर गतिविधि संकेतकों के रूप में सनस्पॉट संख्या (SSN) और सोलर फ्लेयर इंडेक्स (SFI) के साथ जोड़ा गया है। ओलू न्यूट्रॉन मॉनिटर से कॉस्मिक किरण डेटा अप्रैल 1964 से वेबसाइट के माध्यम से सार्वजनिक रूप से ऑनलाइन उपलब्ध है (https://cosmicrays.oulu.fi) सनस्पॉट संख्या डेटा [http://sidc.be/sileso-data-SN-m-tot-V2.0.txt] से प्राप्त किया गया था, जबकि सोलर फ्लेयर इंडेक्स (SFI) डेटा NOAA (नेशनल ओशनिक एंड एटमॉस्फेरिक एडमिनिस्ट्रेशन) की वेबसाइट से प्राप्त किए गए थे। प्रत्येक सौर चक्र के दौरान CRI मॉड्यूलेशन के विशिष्ट पैटर्न को स्पष्ट करने के लिए, इस अध्ययन ने बिना किसी समय अंतराल को लागू किए, CRI और SSN तथा CRI और SFI दोनों के बीच सहसंबंध गुणांक की गणना की।

इस कार्य में, एक समय पैमाने पर कास्मिक किरण तीव्रता और सौर गतिविधि सूचकांकों के बीच संबंधों की जांच करने के लिए चल क्रॉस–सहसंबंध विधि का उपयोग किया गया है [17–19]। इस विधि में, समय t पर एक समय विंडो T परिभाषित की जाती है, जो अंतराल [t–T/2, t+T/2] को कवर करती है। इस विंडो के भीतर, क्रॉस–सहसंबंध गुणांक C(t) की गणना की जाती है। फिर विंडो को एक छोटे समय चरण Δt द्वारा स्थानांतरित किया जाता है, जहां $\Delta t<T$, और नई विंडो स्थिति के लिए क्रॉस–सहसंबंध गुणांक की पुनर्गणना की जाती है। सौर चक्र 24 और 25 के प्रत्येक महीने के लिए कास्मिक किरण तीव्रता और सनस्पाट संख्या/सोलर फ्लेयर इंडेक्स के बीच सहसंबंध गुणांक की गणना एक महीने के समय बदलाव का उपयोग करके की गई थी। यह मान दो आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए चुना गया था जो एक दूसरे के विरोध में हैं: पहला – गणना की गई C(t) में अनिश्चितता T के बढ़ने पर कम हो जाती है, और दूसरा – क्रॉस–सहसंबंध फ़ंक्शन की ठीक लौकिक संरचना को दिखाने के लिए, T छोटा होना चाहिए।

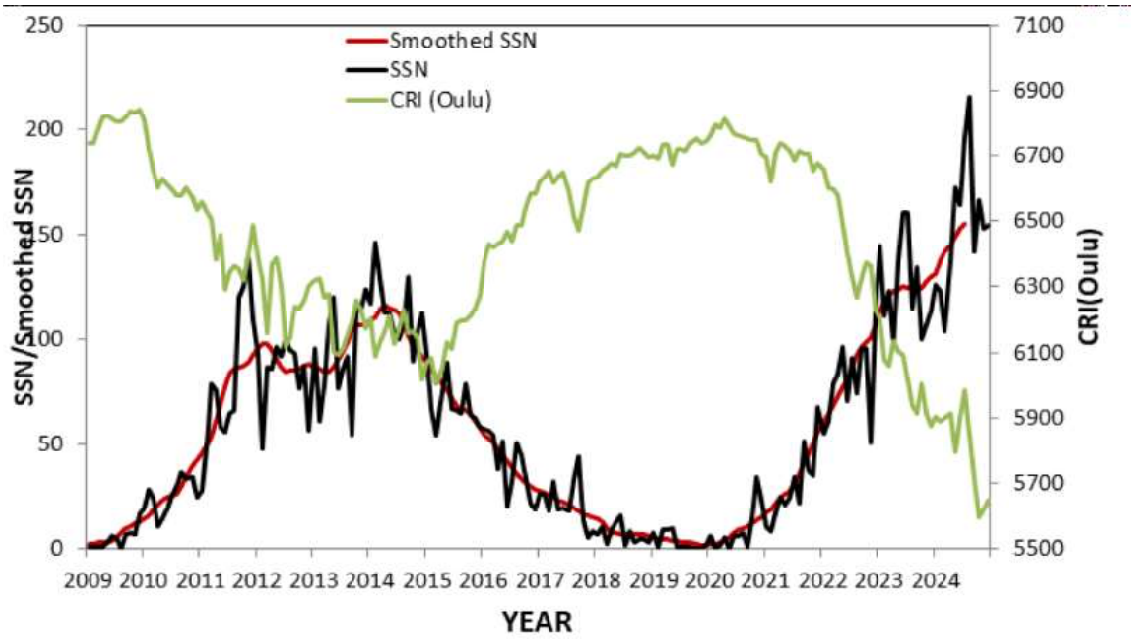
परिणाम और चर्चा

CRI डेटा की दीर्घकालिक विश्वसनीयता का परीक्षण करने के लिए, ओलू और मॉस्को न्यूट्रॉन मॉनिटर के मासिक औसत का उपयोग किया गया (चित्र 1)। वास्तव में, दो स्टेशनों के डेटा की तुलना की गई और सौर चक्र 24 और 25 के लिए लगभग 0.98 और 0.99 के मानों के साथ एक बहुत मजबूत सहसंबंध पाया गया। इसलिए, आगे के अध्ययन के लिए, हमने केवल ओलू एनएम स्टेशन डेटा का उपयोग किया।



चित्र 1: सौर चक्र 24 और 25 के लिए ओलू और मॉस्को न्यूट्रॉन मॉनिटर की गणना दरों के बीच प्रकीर्णन आरेख।

सौर चक्र 24 और सौर चक्र 25 के न्यूनतम और आरोही चरणों के लिए उनके समतल मूल्यों (13 महीने की चल औसत) के साथ CRI (ओलू एनएम) और SSN का समग्र व्यवहार चित्र 2 में दिखाया गया है। चित्र 2 स्पष्ट रूप से SSN और CRI के बीच एक व्युत्क्रम संबंध की सामान्य प्रवृत्ति को प्रदर्शित करता है, लेकिन दोनों के बीच समय में अंतराल है। इसके अलावा, यह भी देखा गया है कि समय के साथ सहसंबंध की ताकत गुणात्मक रूप से बदल जाती है। CRI और SSN के बीच भिन्नता का एक समान पैटर्न चक्र 24 और 25 में स्पष्ट है। चक्र 24 में SSN का न्यूनतम मूल्य 0 (अगस्त 2009) था, जबकि चक्र 25 में केवल 0.2 (फरवरी 2020 और अप्रैल 2020) पाया गया। 24वें चक्र की शुरुआत के दौरान जुलाई 2008 से अगस्त 2009 तक और 25वें सौर चक्र की इसी अवधि के दौरान जुलाई 2019 से सितंबर 2020 तक सनस्पॉट का स्तर लंबे समय तक निम्न स्तर पर रहा है। चक्र 24 के अंतिम सौर न्यूनतम के दौरान, पृथ्वी पर देखी गई गैलेक्टिक कॉस्मिक किरणों की तीव्रता ओलू और मॉस्को न्यूट्रॉन मॉनिटर द्वारा दर्ज की गई सबसे अधिक थी।



चित्र 2: सौर चक्र 24 और 25 के दौरान SSN, स्मूथ्ड SSN और CRI (ओलू एनएम) का दीर्घकालिक परिवर्तन।

सौर चक्र 24 और 25 की सांख्यिकीय तुलना तालिका–1 में दी गई है

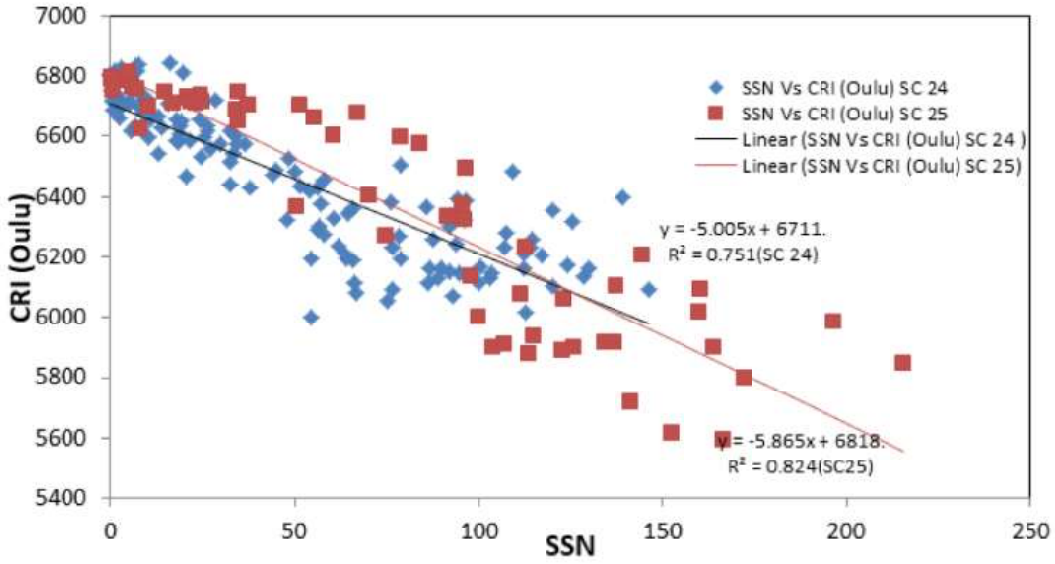
तालिका 1: सौर चक्र 24 और 25 की सांख्यिकीय तुलना

सौर चक्र (एससी)	सहसंबंध गुणांक (समय-अंतराल के बिना)		अधिकतम SSN/समतल SSN	मानक विचलन
	SSN-CRI	SFI-CRI		
एससी 24	-0.87	-0.66	146.1/116.4	41.4
एससी 25	-0.91	-0.66	215.5/154.9	59.9

तालिका–1 से पता चलता है कि SC 25 में SC 24 की तुलना में काफी अधिक अधिकतम SSN (215.5) और समतल SSN (154.9) प्रदर्शित होता है, जो SC 25 में अधिक मजबूत सौर गतिविधि को दर्शाता है। इसके अतिरिक्त, SC 25 के दौरान SSN का मानक विचलन SC 24 की तुलना में अधिक है, जो सौर गतिविधि में अधिक उतार–चढ़ाव का संकेत देता है। इसका मतलब है कि SC 25 न केवल अधिक सक्रिय है, बल्कि SC 24 की तुलना में अधिक परिवर्तनशील भी है। यदि यह प्रवृत्ति बनी रहती है, तो SC 25 अपने पूर्ववर्ती की तुलना में अधिक महत्वपूर्ण अंतरिक्ष मौसम की घटनाओं को जन्म दे सकता है।

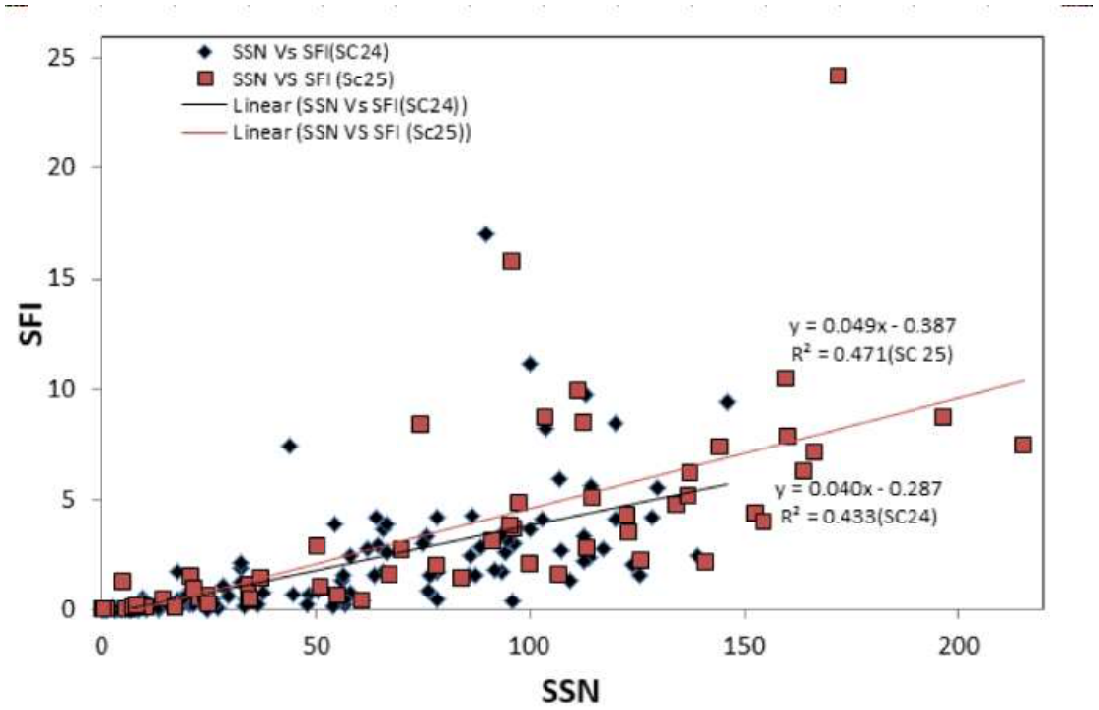
SSN और CRI के बीच संबंध (औसत) के संख्यात्मक मूल्य का विश्लेषण करने के लिए, दो चरों का एक क्रॉस–प्लॉट बनाया गया था (चित्र 3)। सौर चक्र 24 और 25 के बीच SSN और CRI सांख्यिकीय रूप से इष्टतम प्रवृत्ति रेखा में उल्लेखनीय अंतर देखे गए। चक्र 25 के लिए इष्टतम–फिट रेखा शुरू में चक्र 24 की प्रवृत्ति रेखा से ऊपर होती है, लेकिन अंततः इसके साथ संरेखित होती है। यह बताता है कि चक्र 24 के समान SSN स्तर होने के बावजूद, चक्र 25 के दौरान एक अवधि के लिए CRI स्तर ऊंचा रहता है। SSN और CRI के बीच एक अस्थायी

बदलाव लागू किए बिना क्रॉस–सहसंबंध गुणांक चक्र 24 और 25 के लिए लगभग समान (~–0.87 और ~–0.91) निर्धारित किए गए थे।



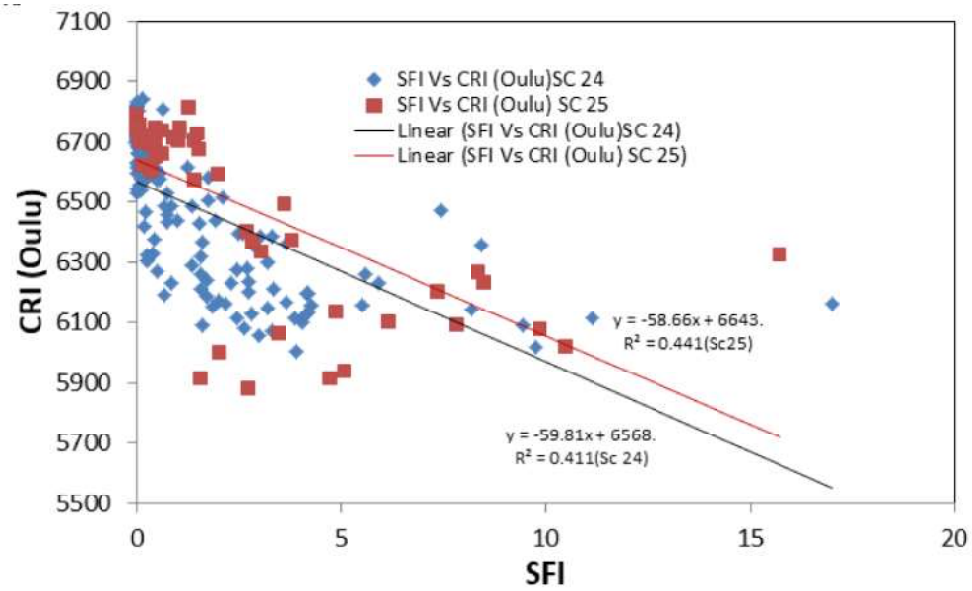
चित्र 3: सौर चक्र 24 और 25 के लिए SSN और CRI (ओलू) के बीच संबंध दर्शाने वाला प्रकीर्णन आरेख।

ब्रह्मांडीय किरणों की तीव्रता में बदलाव मुख्य रूप से सौर आउटपुट के बाहरी संवहन से प्रेरित होते हैं, जो अक्सर सनस्पॉट से जुड़े होते हैं। हालाँकि, सनस्पॉट सूर्य की सतह की विशेषताएँ हैं, इसलिए वे सीधे तौर पर अंतरग्रहीय माध्यम के लगातार बदलते मापदंडों से जुड़े नहीं हैं। इसके विपरीत, सौर फ्लेयर इजेक्टा अंतरग्रहीय माध्यम के भीतर लंबी दूरी के प्रसार को प्रदर्शित करता है, जिससे सौर फ्लेयर सूचकांक सौर मॉड्यूलेशन का अध्ययन करने के लिए अधिक विश्वसनीय प्राचल बन जाता है। समूहीकृत सौर फ्लेयर्स (GSF) में, सौर फ्लेयर्स को आमतौर पर उनके व्यक्तिगत महत्व या अवधि पर विचार किए बिना समूहीकृत किया जाता है। इसके विपरीत, सौर फ्लेयर इंडेक्स (SFI) प्रत्येक फ्लेयर की तीव्रता और अवधि दोनों को ध्यान में रखता है। 1952 में पहली बार प्रयोग किये गये SFI को 24 घंटे की अवधि में दैनिक फ्लेयर गतिविधि के माध्यम से मापने के लिए सूत्र $Q = i \times t$ का उपयोग किया जाता है, जहा i फ्लेयर का महत्व (Importance) तथा t समय व्यक्त करता है। उपरोक्त को ध्यान में रखते हुए, सौर चक्र 24 और 25 (चित्र 4) के लिए SSN और SFI के बीच एक क्रॉस–प्लॉट तैयार किया गया है। हमारे पिछले अध्ययन [8] ने निष्कर्ष निकाला है कि SSN–SFI संबंध में प्रतिगमन रेखाओं की ढलान सौर चक्र 21 से 24 तक लगातार कम हो रही है। हालाँकि, यह प्रवृत्ति सौर चक्र 25 में बनी नहीं रहती है, क्योंकि SC 25 के लिए प्रवृत्ति रेखा की ढलान SC 24 की तुलना में थोड़ी अधिक है। इससे पता चलता है कि, 2024 तक, सौर चक्र 25 SSN–SFI संबंध के संदर्भ में पिछले चार चक्रों की तुलना में अलग व्यवहार प्रदर्शित कर रहा है।



चित्र 4: सौर चक्र 24 और 25 के दौरान SSN और SFI के बीच सहसंबंध को दर्शाने वाला प्रकीर्णन आरेख़।

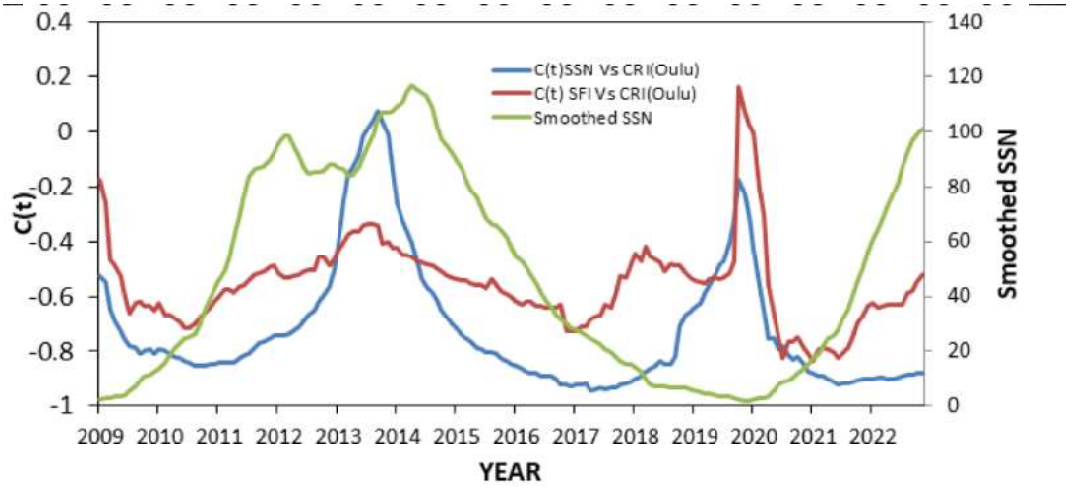
जैसा कि ऊपर बताया गया है, SFI और CRI के बीच संबंधों की जांच करने के लिए एक सहसंबंध विश्लेषण किया गया था और इसे चित्र 5 में दर्शाया गया है। निष्कर्षों से दो चरों के बीच एक व्युत्क्रम संबंध का पता चलता है, जिसका अर्थ है कि जैसे–जैसे SFI बढ़ता है, CRI घटता है। SC 25 और SC 24 ($r \sim -0.66$) के लिए सहसंबंध समान है, जो दर्शाता है कि व्युत्क्रम संबंध दोनों चक्रों के लिए समान है। जबकि दोनों प्रतिगमन रेखाओं की ढलान समान हैं, SC 25, SC 24 की तुलना में SFI में प्रति इकाई वृद्धि पर CRI में अधिक गिरावट दर्शाता है। यह नकारात्मक सहसंबंध इस अपेक्षा के अनुरूप है कि उच्च सौर गतिविधि (उच्च SFI) सौर चुंबकीय क्षेत्र को मजबूत करती है, जिससे पृथ्वी तक पहुँचने वाली ब्रह्मांडीय किरणों की संख्या कम हो जाती है। एससी 25 के लिए अधिक ढलान यह सुझाव देता है कि एससी 24 की तुलना में इस चक्र में ब्रह्मांडीय किरणों पर SFI का प्रभाव अधिक मजबूत हो सकता है। एससी 25 के लिए प्रवृत्ति रेखा एससी 24 से ऊपर बनी हुई है, जो दर्शाती है कि चक्र 25 के दौरान CRI का स्तर ऊंचा बना हुआ है, बावजूद इसके कि चक्र 24 के समान SSN स्तर है। आंकड़ा दो आउटलेयर बिंदु भी दिखाता है– प्रत्येक चक्र में एक। एससी 24 में आउटलेयर अक्टूबर 2014 में सौर गतिविधि के अधिकतम चरण के दौरान हुआ था, जबकि एससी 25 में आउटलेयर सितंबर 2014 में सौर गतिविधि के आरोही चरण के दौरान दिखाई दिया था। यह इस तथ्य के कारण हो सकता है कि सौर चक्र 24, एक सदी से अधिक समय में सबसे कमजोर था इसी तरह, एससी 25 के आरोही चरण के दौरान, कमजोर या अनियमित सौर हवा के कारण सूर्य के चुंबकीय क्षेत्र को पूरी तरह से मजबूत होने में अधिक समय लग सकता है, जो पृथ्वी को ब्रह्मांडीय किरणों से बचाने के लिए पर्याप्त नहीं था, जिससे CRI का स्तर उच्च बना रहा। हालांकि, एक निश्चित निष्कर्ष पर पहुंचने के लिए आगे अल्पकालिक विश्लेषण आवश्यक है।



चित्र 5: सौर चक्र 24 और 25 के दौरान SFI और CRI (ओलू) के बीच संबंध को दर्शाने वाला प्रकीर्णन आरेख।

सौर गतिविधि सूचकांक (SSN और SFI) और CRI के बीच क्रॉस–सहसंबंध के अस्थायी व्यवहार के बारे में गहरी जानकारी हासिल करने के लिए, चलित क्रॉस–सहसंबंध फलन की गणना की गई और चित्र 6 में इसे दर्शाया गया। आंकड़ा दिखाता है कि C(t) सौर चक्रों के आरोही और अवरोही चरणों के दौरान अधिक ताकत प्रदर्शित करता है, जबकि यह चक्र के चरम के पास अपनी कमजोरी दिखाता है, जिसमें अधिकतम और न्यूनतम दोनों शामिल हैं SSN और CRI के बीच क्रास सहसम्बंध फलन नकारात्मक सीमा (ज्यादातर –0.9 और –0.3 के बीच) के भीतर उतार–चढ़ाव करता है, जो समय–समय पर गिरावट और सुधार दिखाता है। 2010, 2016 और 2020 के आसपास, यानी सौर चक्रों के आरोही और अवरोही चरणों के दौरान उल्लेखनीय गिरावट देखी गई है शिखर (सहसंबंध गुणांक के न्यूनतम मान) 2013-14 (SC 24 के अधिकतम चरण के पास) और 2019-20 (SC 24 और SC 25 के बीच न्यूनतम) के आसपास दिखाई देते हैं, जबकि गर्त 2010-11, 2017-18 और 2022-23 (सौर चक्रों के बढ़ते और घटते चरण) के आसपास होते हैं। 2013-14 और 2019-20 के दौरान SSN/SFI और CRI के बीच में एक सकारात्मक या कमजोर नकारात्मक सहसंबंध देखा गया है।

अपने 11 वर्षीय चक्र के शिखर पर, जिसे सौर अधिकतम के रूप में जाना जाता है, सूर्य में बढ़ी हुई गतिविधि दिखाई देती है, जिसकी विशेषता कई सौर तूफान, कोरोनल मास इजेक्शन (CME) और इसके चुंबकीय क्षेत्र में उतार–चढ़ाव है। तीव्र CME क्षण भर के लिए हीलियोस्फीयर को अशांत कर सकते हैं, जिसके परिणामस्वरूप कॉस्मिक किरणों की तीव्रता में अल्पकालिक उतार–चढ़ाव होता है जब तक कि हीलियोस्फीयर परिरक्षण अपनी ताकत को फिर से स्थापित नहीं कर लेता। इसी तरह, SFI और CRI में अल्पकालिक उतार–चढ़ाव एक उल्लेखनीय विसंगति प्रदर्शित कर सकते हैं, खासकर उस अवधि के दौरान जब हीलियोस्फीयर चुंबकीय क्षेत्र कम या अस्थिर होता है।



चित्र 6 – 2009 से 2022 तक सौर चक्र विविधताओं (समतल SSN) के साथ–साथ SSN–CRI और SFI–CRI के बीच क्रास–सहसम्बंध फलन का अस्थायी परिवर्तन।

सौर गतिविधि चरों के पूर्वानुमान और [20] द्वारा विकसित गैलेक्टिक कॉस्मिक किरण मॉड्यूलेशन मॉडल के आधार पर, सौर चक्र 25 के सौर चक्र 24 की तुलना में थोड़ा अधिक सक्रिय होने की उम्मीद है। इसके अतिरिक्त, पुनर्निर्मित F10.7 (10.7 सेमी सौर रेडियो प्रवाह) मूल्य मॉडल की अनिश्चितताओं के भीतर, SC25 के बढ़ते चरण के दौरान मॉडल की भविष्यवाणियों के साथ संरेखित होते हैं [21]। एनओएए के अंतरिक्ष मौसम पूर्वानुमान केंद्र (SWPC) ने भी अपने पूर्वानुमान को संशोधित किया है, जिसमें दिसंबर 2019 में एक विशेषज्ञ पैनल द्वारा शुरू में अनुमान लगाए गए सौर गतिविधि में अधिक वृद्धि और उच्च शिखर की भविष्यवाणी की गई है। अद्यतित प्रक्षेपण जनवरी और अक्टूबर 2024 के बीच सौर चक्र 25 के चरम पर पहुंचने का अनुमान लगाता है।

इस अध्ययन में अवलोकन संबंधी परिणाम [20] और [21] की भविष्यवाणियों के साथ काफी हद तक सुसंगत हैं। SWPC के पूर्वानुमान के संबंध में, हमारे निष्कर्ष संकेत देते हैं कि उच्चतम समतल सनस्पॉट संख्या जुलाई 2024 में होगी, जो 154.9 तक पहुंच जाएगी – एससी 24 में 116.4 के चरम मूल्य से काफी अधिक। इससे पता चलता है कि एससी 25 वास्तव में अपने पूर्ववर्ती (चित्र 2) की तुलना में अधिक सक्रिय है। सौर चक्र 25 के दौरान गैलेक्टिक कॉस्मिक किरणों (जीसीआर) के मॉड्यूलेशन का अध्ययन करना कॉस्मिक किरण भौतिकी में एक प्रमुख फोकस है, जो सौर गतिविधि और कॉस्मिक विकिरण के बीच जटिल संबंध में अंतर्दृष्टि प्रदान करता है। इस चक्र के दौरान सौर उत्पादन और अंतरग्रहीय चुंबकीय क्षेत्र (आईएमएफ) में बदलाव पृथ्वी तक पहुंचने वाले जीसीआर की तीव्रता और वितरण को संचालित करने में आवश्यक भूमिका निभाते हैं।

आभार: लेखक वर्ल्ड डेटा सेंटर SILSO, रॉयल ऑब्जर्वेटरी ऑफ बेल्जियम को उनकी वेबसाइट के माध्यम से सनस्पॉट डेटा उपलब्ध कराने के लिए धन्यवाद देते हैं। हम कॉस्मिक रे डेटा के लिए यूनिवर्सिटी ऑफ ओलू/सोडांक्यला जियोफिजिकल ऑब्जर्वेटरी के कॉस्मिक रे स्टेशन और SFI डेटा के लिए NOAA का भी आभार व्यक्त करते हैं। हम एम.पी.सी.एस.टी., भोपाल (मध्यप्रदेश) के विशेष आभारी हैं जिन्होंने परियोजना संख्या ए/आर.डी./आर.पी.–2/413 के माध्यम से वित्तीय सहायता प्रदान की।

एक ऐसी स्थिति जिसमें सरकारी अधिकारी का निर्णय उसकी व्यक्तिगत रूचि से प्रभावित हो: लेखकों के बीच कोई हितों का टकराव नहीं है।

संदर्भ

1. Ross, E. and Chaplin, W.J. (2019). The behaviour of galactic cosmic-ray intensity during solar activity cycle 24, *Solar Physics*, Vol. 294, pp. 8–24.
2. Pacini, A.A. and Usoskin, I.G. (2015). An unusual pattern of cosmic-ray modulation during solar cycles 23 and 24, *Solar Physics*, Vol. 290, pp. 943–950.
3. Mishra, V.K. and Mishra, A.P. (2016). Study of solar activity and cosmic ray modulation during solar cycle 24 in comparison to previous solar cycle, *Indian Journal of Physics*, Vol. 90, pp. 1333–1339.
4. Mishra, V.K. (2023). Study of solar activity and cosmic ray modulation during solar cycles 24 and 25, *Journal of Scientific Research and Innovations*, Vol. 1, pp. 66–72.
5. Rahmanifard, F., MacLeod, M.L., de Wet, W.C., Jordan, A.P., Wilson, J.K., Spence, H.E. and Schwadron, N.A. (2024). Proceeding toward the maximum of solar cycle 25 with a radiation environment similar to the previous cycle, *Advances in Space Research*, Vol. 74, pp. 6183–6193.
6. Scafetta, N. (2012). A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature, *Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics*, Vol. 74, pp. 145–163.
7. Sarp, V., Kilcik, A. and Yurchyshyn, V. (2019). Cosmic ray modulation with the maximum CME speed index during solar cycles 23 and 24, *Solar Physics*, Vol. 294, p.p 86.
8. Mishra, V.K. and Mishra, A.P. (2018). Long-term modulation of cosmic-ray intensity and correlation analysis using solar and heliospheric parameters, *Solar Physics*, Vol. 293, pp. 141–162.
9. Forbush, S.E. (1954). World-wide cosmic ray variations, 1937–1952, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 59(4), pp. 525–542.
10. Forbush, S.E. (1958). Cosmic-ray intensity variations during two solar cycles, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 63(4), pp. 651–669.
11. Jokipii, J.R., Levy, E.H. and Hubbard, W.B. (1977). Effects of particle drifts on cosmic-ray transport. I. General properties, application to solar modulation, *Astrophysical Journal*, Vol. 213, pp. 861–868.
12. Jokipii, J.R. and Thomas, B.T. (1981). Effects of drift on the transport of cosmic rays. IV. Modulation by a wavy interplanetary current sheet, *Astrophysical Journal*, Vol. 243, pp. 1115–1122.
13. Smith, E.J. (1990). The heliospheric current sheet and modulation of galactic cosmic rays, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 95, pp. 731–735.
14. Potgieter, M.S. (1998). The transport of galactic cosmic rays in the heliosphere: Theory and models, *Space Science Reviews*, Vol. 83, pp. 147–158.
15. Mishra, V.K. and Tiwari, D.P. (2003). Long-term association of solar activity and cosmic ray intensity for solar cycles 21 and 22, *Indian Journal of Radio and Space Physics*, Vol. 32(2), pp. 65–69.

16. Mishra, V.K., Tiwari, D.P., Tiwari, C.M. and Agrawal, S.P. (2005). Comparative study of different solar parameters with sunspot numbers, *Indian Journal of Radio and Space Physics*, Vol. 34, pp. 13–16.

17. Gupta, M., Mishra, V.K. and Mishra, A.P. (2006). Study of cosmic ray intensity variations in relation to solar activity for sunspot cycles 19 to 23, *Indian Journal of Radio and Space Physics*, Vol. 35, pp. 167–173.

18. Mishra, A.P., Gupta, M. and Mishra, V.K. (2006). Cosmic ray intensity variations in relation with solar flare index and sunspot numbers, *Solar Physics*, Vol. 239, pp. 475–491.

19. Usoskin, I.G., Kanane, H., Mursula, K., Tanskanen, P. and Kovaltsov, G.A. (1998). Correlative study of cosmic-ray intensity and solar activity parameters, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103(A5), pp. 9567–9574.

20. Yanke, V.G., Belov, A.V. and Gushchina, R.T. (2024). Forecast of modulation of cosmic rays with rigidity of 10 GV in the 25th solar activity cycle, *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 64, pp. 201–210.

21. Penza, V., Bertello, L. and Cantoresi, M. (2023). Prediction of solar cycle 25: Applications and comparison, *Rendiconti Lincei. Fisica e Scienze Naturali*, Vol. 34, pp. 663–670.