

कुछ विषमचक्रीय नियामकों द्वारा मृदा में यूरिया नत्रजन के नाइट्रीकरण का नियमन

जे पी शर्मा*, टीकम सिंह*, राजेश कुमार, एच के तनेजा एवं एस एस तोमर

*मृदा विज्ञान एवं कृषि रसायन संभाग, भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली-110 012

कृषि रसायन संभाग, भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली-110 012

सारांश : मृदा में प्रयोग की गई नत्रजन की मात्रा की लगभग 30 से 40% ही नत्रजन-उपयोग क्षमता होती है। इतनी कम आभासी नत्रजन उपलब्धि और उपयोग क्षमता के कारणों में अमोनियाकृत वाष्पीकरण, विनाइट्रीकरण, नाइट्रीकरण और नाइट्रेट का भूमि की निचली सतहों में निक्षालन आदि हैं। उपरोक्त कारणों से ही मृदा-स्वास्थ्य, पोषक तत्वों की उपलब्धता एवं वातावरण पर भी नकारात्मक प्रभाव पड़ता है। नाइट्रीकरण ही इस समस्या का केन्द्र बिन्दु है जो अपर्याप्त नत्रजन उपयोग, विनाइट्रीकरण और निक्षालन का कारक है। इन समस्याओं को सुलझाने के लिये विश्व स्तर पर प्रयास जारी हैं। इसके लिये नत्रजन नियामकों का प्रयोग किया जा सकता है¹⁻⁶। अधिकांश प्रतिष्ठित क्षमता वाले नत्रजन नियन्त्रक विषमचक्रीय यौगिक ही हैं जैसे कि डीसीडी (एन सर्व या नाइट्रापाइरिन), 2-क्लोरो-6-(ट्राइक्लोरोमिथाइल) पाइरीडीन, 5-इथोक्सी-3-ट्राइक्लोरोमिथाइल-1,2,4-थायाडायाज़ोल (इटरीडायाज़ोल), 4-अमीनो-1,2,4-ट्रायज़ोल (एटीसी), 3-मिथाइलपाइराज़ोल-1-कार्बोक्सामाइड (एमपीसी), 2,4-डाइअमीनो-5-ट्राइक्लोरोमिथाइलट्रायज़ीन और 2-अमीनो-4-क्लोरो-6-मिथाइलपाइरीडीन इत्यादि। अमोनिया ऑक्सीकरण जिसको, *नाइट्रोसोमोनाज़ इरोपिया* बैक्टीरिया शुरू करता है, दो अवस्थाओं में पूरा होता है। इसकी प्राथमिक अवस्था में अमोनिया का ऑक्सीकरण हाइड्रॉक्सिलअमीन में होता है। यह क्रिया झिल्ली बन्धित एन्ज़ाइम अमोनिया मोनोऑक्सीजिनेज़ (एएमओ) द्वारा होती है। एक नत्रजन नियामक की नत्रजन नियन्त्रण क्षमता उसके एएमओ के साथ बंधन के कारण होती है जो *नाइट्रोसोमोनाज़ इरोपिया* में पाया जाता है। चूँकि एएमओ विषमचक्रीय रसायनों द्वारा प्रभावित होता है इसलिये प्रयोगशाला में कुछ आइसोऑक्साज़ोल श्रेणी के विषमचक्रीय रसायनों का निर्माण किया गया। मृदा के साथ इन्क्यूबेशन अध्ययन में इन रसायनों के प्रभाव को देखने पर पता चला कि एक सप्ताह बाद 5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल और 3-मिथाइल-5-(4-मिथोक्सीफिनाइल) आइसोऑक्साज़ोल द्वारा क्रमशः 78.2 और 82.6% नाइट्रीकरण का नियन्त्रण हुआ जोकि संदर्भीय नाइट्रीकरण नियामक डाइसाइनडाइएमाइड (डीसीडी) द्वारा प्रदर्शित 85.1% नियन्त्रण के समकक्ष था।

Regulation of nitrification of soil-applied urea by some heterocyclics

J P Sharma*, Teekam Singh*, Rajesh Kumar, H K Taneja & S S Tomar

*Division of Soil Science & Agricultural Chemistry, IARI, New Delhi - 110 012

Division of Agricultural Chemicals, Indian Agricultural Research Institute

New Delhi - 110 012

Abstract

The nitrogen use efficiency of ammonical fertilizers in soil, particularly in tropics, is only 30-40% of the applied dose. The factors contributing to the low N-use efficiency include ammonia volatilization, nitrification, denitrification and nitrate leaching etc. These processes also contribute to health and environmental hazards. Nitrification seems to be the centre point of the problem leading to inefficient N-use, denitrification and nitrate leaching being just the consequences. Efforts are, therefore, underway all over the world to retard and regulate the soil microbes driven nitrification phenomenon. Most of the well established potential nitrification inhibitors are nitrogen containing heterocyclic compounds viz N-serve or nitrapyrin, 2-chloro-6-(trichloromethyl) pyridine, 2-ethynylpyridine, 5-ethoxy-3-trichloro-methyl-1,2,4-thiadiazole (etridiazole), 4-amino-1,2,4-triazole (ATC), 3-methyl pyrazole-1-carboxamide (MPC), 2,4-diamino-5-trichloromethyl triazine and 2-amino-4-chloro-6-methyl pyrimidine etc. Compounds bearing thiocarbonyl moiety, owing to their tendency to form chelates with ammonia mono oxygenase (AMO) enzyme generally associated with *Nitrosomonas europea*, the primary inhibitor of nitrification phenomenon, have also been reported to have potential nitrification inhibitory property. But none of the above chemicals have found favour with the farmers/industrialists due to high application cost. Oxidation of ammonia by *Nitrosomonas europea* bacteria that initiates the nitrification as a whole is a two-stage process that involves the initial oxidation of ammonia to hydroxylamine by the membrane bound enzyme known ammonia mono oxygenase, which has remarkably broad substrate range that can account for

the inhibitory effects of many compounds on this enzyme. Therefore, in our endeavour to develop viable N-regulators for soil-applied urea some simple heterocyclic molecules were synthesized and evaluated in the laboratory. A series of substituted iso oxazoles, which was synthesized by condensation of appropriate unsaturated carbonyl compounds with hydroxyl ammonium hydrochloride, has exhibited wide range of nitrification inhibitory activity. The laboratory incubation experiments were carried out in a typic Haplustept. The compounds were screened at 10% of applied urea-N dose and incubated for a period of 28 days at $28 \pm 2^\circ\text{C}$, maintaining moisture at 50% of the water holding capacity of the soil. Evaluated weekly over a period of four weeks, most of the test compounds had been found to be mild inhibitors of nitrification. 5-phenyl iso oxazole and 3-methyl-5-(4'-methoxy phenyl) iso oxazole were found to be best among the series and were comparable to dicyandiamide the reference nitrification regulator. During the first week of application, these chemicals showed 78.2 and 82.6% nitrification inhibition, respectively as compared to 85.1% by dicyandiamide. The effect however, was considerably reduced by third and fourth week. The study indicated that the above compounds could be used as nitrification regulators for soil applied urea-N.

प्रस्तावना

उष्णकटिबन्धीय क्षेत्रों में मृदा में प्रयोग की गई नत्रजन की मात्रा की केवल 30 से 40% ही नत्रजन-उपयोग क्षमता होती है। इतनी कम नत्रजन उपलब्धि और उपयोग क्षमता के कारणों में अमोनियाकृत वाष्पीकरण, विनाइट्रीकरण, नाइट्रीकरण और नाइट्रेट का भूमि की निचली सतहों में निक्षालन आदि हैं। उपरोक्त कारणों से ही मृदा-स्वास्थ्य, पोषक तत्वों की उपलब्धता एवं वातावरण पर भी नकारात्मक प्रभाव पड़ता है। नाइट्रीकरण ही इस समस्या का केन्द्र बिन्दु है, जो अपर्याप्त नत्रजन उपयोग विनाइट्रीकरण और निक्षालन का कारक है। इन समस्याओं के समाधान के लिये विश्व स्तर पर प्रयास जारी हैं। इसके लिये नत्रजन नियामक रसायनों का प्रयोग किया जा सकता है¹⁻⁶। एक नत्रजन नियामक की नत्रजन नियन्त्रण क्षमता उसके अमोनिया मोनोऑक्सीजिनेज़ (एमएमओ) के साथ बंधन के कारण होती है जो *नाइट्रोसोमोनाज़ इरोपिया* में पाया जाता है। अमोनिया ऑक्सीकरण जो *नाइट्रोसोमोनाज़ इरोपिया* बैक्टीरिया द्वारा प्रारम्भ होता है, दो अवस्थाओं में पूरी होती है। इसकी प्राथमिक अवस्था में अमोनिया का ऑक्सीकरण हाइड्रॉक्सिलामीन में होता है। यह क्रिया झिल्ली बन्धित एन्ज़ाइम एएमओ द्वारा होती है। अधिकांश प्रतिष्ठित क्षमता वाले नत्रजन नियन्त्रक विषमचक्रिय यौगिक ही हैं जैसे कि एन सर्व या नाइट्रापाइरिन, 2-क्लोरो-6-(ट्राइक्लोरोमिथाइल) पाइरीडीन, 5-इथॉक्सी-3-ट्राइक्लोरोमिथाइल-1,2,4-थायाडायाज़ोल (इटरीडायाज़ोल), 4-अमीनो-1,2,4-ट्रायज़ोल (एटीसी), 3-मिथाइलपाइराज़ोल-1-कार्बोक्सामाइड (एमपीसी), 2,4-डाइअमीनो- 5-ट्राइक्लोरो-मिथाइलट्रायज़ीन और 2-अमीनो-4-क्लोरो-6- मिथाइलपाइरीडीन इत्यादि। उपरोक्त बात को ध्यान में रखते हुए आइसोऑक्साज़ोल श्रेणी के कुछ विषमचक्रिय रसायनों का निर्माण प्रयोगशाला में किया गया। इन्हें उचित असंतृप्त कार्बोनाइल यौगिकों और हाइड्रॉक्सिल अमीन हाइड्रोक्लोराइड के साथ संघनित करके समुचित मात्रा में प्राप्त किया गया। प्रस्तुत अध्ययन में इन रसायनों का आंकलन नत्रजन नाइट्रीकरण नियन्त्रण के लिये भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली के कृषि फार्म की मृदा टिपिक-हेप्लूस्टेप्ट में इन्क्यूबेशन द्वारा प्रयोगशाला में किया गया है। इस शोध-पत्र में

अध्ययन के प्रमुख अंशों का वर्णन किया गया है।

सामग्री एवं विधि

रासायनिक संश्लेषण: डीसीडी (डाइसाइनाडाइएमाइड) नामक संदर्भ नियामक को बाज़ार से खरीदा गया। डीसीडी के अतिरिक्त प्रयोग में लाये गए सभी रासायनिक नियामक प्रयोगशाला में ही संश्लेषित किये गये। प्रत्येक आइसोऑक्साज़ोल का संघनन एक उचित एल्फा बीटा-असंतृप्त कार्बोनाइल यौगिक हाइड्रॉक्सिल अमोनियम क्लोराइड के साथ हाइड्रोक्लोरिक अम्ल की उपस्थिति में रासायनिक क्रिया द्वारा किया गया⁷⁻⁸ और इन्हें क्रिस्टलीकरण एवं स्तंभ वर्णलेखन (column chromatography) विधि से शुद्ध किया गया। इनकी संरचना की जांच भौत-रासायनिक स्पेक्ट्रोस्कोपी तकनीक से की गई। उदाहरण के लिये एक आइसोऑक्साज़ोल रसायन की संश्लेषण विधि प्रस्तुत है:

3-मिथाइल-5 (4-मिथॉक्सीफिनाइल) आइसोआक्साज़ोल (II) : 4 (4-मिथॉक्सीफिनाइल) ब्यूट-3-डीन -2-ओन (0.01mol, 1.76g) और हाइड्रॉक्सिल अमोनियम क्लोराइड (0.015mol, 1.2g) को मिथाइल एल्कोहल में दो बूंद हाइड्रोक्लोरिक अम्ल की उपस्थिति में 3-5 घंटे तक उबाला गया। उत्पाद को ठंडा करके बर्फीले पानी में रखने पर जो ठोस अवक्षेप प्राप्त हुआ उसका एल्कोहल से क्रिस्टलीकरण करने पर वांछित आइसोऑक्साज़ोल (II, 1.6g, 70%), की प्राप्ति हुई।

रसायन का अवरक्त स्पेक्ट्रोस्कोपिक एवं नाभिकीय चुम्बकीय अनुनाद स्पेक्ट्रम सारणी 1 में दर्शायी गई संरचनाओं के अनुरूप पाया गया। अन्य सभी आइसोऑक्साज़ोल रसायन (I-X) भी इसी तरह संश्लेषित किये गये।

इन्क्यूबेशन अध्ययन : उपरोक्त संश्लेषित रसायनों की यूरिया की नाइट्रीकरण अवरोधक क्षमता के लिये जांच की गयी। प्रयोग को कम्पलीट रेन्डोमाइज्ड डिजाइन के अनुरूप लगाया गया। प्रत्येक 250 mL के बीकर में पिसी एवं छनी हुई मिटटी टिपिक-हेप्लूस्टेप्ट अथवा इन्सेप्टीसोल, सेन्डी क्ले लोम, pH मान 7.7, ई सी 0.05

सारणी 1 — आइसोऑक्साज़ोल नत्रजन नियामकों की संरचना

रसायन सं	रसायन का नाम	R ₁	R ₂
I	5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल	H	C ₆ H ₅
II	3-मिथाइल-5-(4-मिथॉक्सीफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल	CH ₃	CH ₃ O C ₆ H ₄
III	5-फिनाइल-3-स्टाइराइलआइसोऑक्साज़ोल	C ₆ H ₅	C ₆ H ₅ CH:CH
IV	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल	C ₆ H ₅	CH ₂ O ₂ C ₆ H ₃
V	3-ईथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल	C ₂ H ₅	C ₆ H ₅
VI	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल	NO ₂ C ₆ H ₄	CH ₂ O ₂ C ₆ H ₃
VII	5-फ्युराइल-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल	C ₄ H ₃	NO ₂ C ₆ H ₄
VIII	5-(2-क्लोरोफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल	NO ₂ C ₆ H ₄	Cl C ₆ H ₄
IX	3,5-डाइफिनाइलआइसोऑक्साज़ोल	C ₆ H ₅	C ₆ H ₅
X	3-मिथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल	CH ₃	C ₆ H ₅

dSm⁻¹, CEC 15.5 {-Cmol(p+)⁻¹kg⁻¹}, अमोनिकल-नत्रजन 4.5mg kg⁻¹, नाइट्रेट-नत्रजन 4.7mg kg⁻¹, ऑक्सिजन फॉस्फोरस 7.0mg kg⁻¹, विनिमय-पोटेशियम 5.4mg kg⁻¹, एक सौ ग्राम की मात्रा में ली गई तथा उसमें उपरोक्त नियामक रसायन 2 mg और यूरिया 20 mg मिलाया गया। मृदा में जल की मात्रा उसकी जलग्रहण क्षमता (WHC) की 50% रखी गई। प्रयोग में आर्द्रता आवश्यकतानुसार हर तीसरे दिन पानी डालकर पूरी की गई। सब उपचारों का इन्क्यूबेशन 30°C पर 28 दिनों के लिये बीओडी (BOD) इन्क्यूबेटर में किया गया। नियामक रसायन यौगिकों का प्रयोग उपयुक्त नत्रजन की 10% मात्रा पर किया गया। प्रत्येक सात दिन के अन्तराल पर 28 दिन तक पांच ग्राम मिट्टी बीकर में से निकाली गई तथा उनमें अमोनियम, नाइट्राइट एवं नाइट्रेट नत्रजन की मात्रा आंकी गई^{9,10}।

प्रतिशत नाइट्रीकरण अवरोध की गणना निम्न प्रकार की गई¹⁴ :

प्रतिशत नाइट्रीकरण अवरोध = (कंट्रोल में नाइट्राइट एवं नाइट्रेट की मात्रा - उपचार में नाइट्राइट एवं नाइट्रेट की मात्रा) × 100/कंट्रोल में नाइट्राइट एवं नाइट्रेट की मात्रा

क्रान्तिक अन्तर कम्प्यूटर प्रोग्राम SPSS-10 का प्रयोग करके निकाला गया।

परिणाम एवं व्याख्या

अमोनिया ऑक्सीकरण जो नाइट्रोसोमोनाज़ इरोपिया बैक्टीरिया द्वारा शुरू होता है, दो अवस्थाओं में पूरा होता है। इसकी प्राथमिक

अवस्था में अमोनिया का ऑक्सीकरण हाइड्रोक्सिल अमीन में होता है। यह क्रिया झिल्ली बन्धित एन्जाइम एएमओ द्वारा होती है। अतः केवल वही रसायन/यौगिक नत्रजन नियामक के रूप में प्रयुक्त किये जा सकते हैं जो एएमओ के साथ योजक अथवा बन्धित हो सकते हैं। चूंकि एएमओ विषमचक्रीय रसायनों द्वारा प्रभावित होता है इसलिये उपरोक्त बात को ध्यान में रखते हुए आइसोऑक्साज़ोल श्रेणी के रसायनों का संश्लेषण किया गया। सभी आइसोऑक्साज़ोल रसायन, जिन्हें प्रयोगशाला में बनाया गया था, की संरचना की परख गलनांक एवं भौतिक-रासायनिक स्पेक्ट्रोस्कोपी के आधार पर की गई। आइसोऑक्साज़ोल रसायन (I-X) उपर्युक्त संश्लेषण विधि से सुगमतापूर्वक और उचित मात्रा में संश्लेषित किये जा सके। रसायनों का अवरक्त स्पेक्ट्रोस्कोपिक (IR) एवं नाभिकीय चुम्बकीय अनुनाद (NMR) स्पेक्ट्रम को सारणी 1 में दर्शायी गई संरचनाओं के अनुरूप पाया गया^{8,11}।

विभिन्न उपचारों में मृदा में पाई गयी अमोनियम नत्रजन (NH₄-N) की मात्रा सारणी 2 में, नाइट्राइट नत्रजन (NO₂-N) की मात्रा सारणी 3 में, नाइट्रेट (NO₃-N) नत्रजन की मात्रा सारणी 4 में एवं प्रतिशत नाइट्रीकरण अवरोध सारणी 5 में दर्शायी गयी है।

दो से तीन दिन बाद सभी उपचारों में यूरिया की मात्रा नगण्य पाई गई। इससे पता चलता है कि उपर्युक्त रसायन यूरिया हाइड्रोलेज़ पर कोई स्पष्ट प्रभाव नहीं डालते। सात दिन बाद उपचार सं 2 (5-फिनाइल आइसोऑक्साज़ोल), 3 (3-मिथाइल-5-4-मिथॉक्सीफिनाइल आइसोऑक्साज़ोल), 4 (5- 3,4-मिथिलीनडाइऑक्सी-3-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल), और 6 (5-3,4-मिथिलीनडाइऑक्सी-4-नाइट्रोफिनाइल आइसोऑक्साज़ोल) में अमोनिकल नत्रजन की मात्रा

सारणी 2 — विभिन्न उपचारों में अमोनियम नत्रजन ($\text{NH}_4\text{-N}$) की मात्रा (ppm)

उपचार सं.	उपचार	अन्तराल (दिन)			
		7	14	21	28
1	यूरिया	4.7	3.2	3.7	3.3
2	5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	98.7	47.3	20.3	4.0
3	3-मिथाइल-5-(4-मिथॉक्सीफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	101.3	79.7	28.0	5.0
4	5-फिनाइल-3-स्टाइराइलआइसोऑक्साज़ोल*	51.7	25.0	6.0	4.0
5	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	12.7	10.7	7.0	4.0
6	3-ईथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	38.7	11.3	6.0	4.3
7	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	14.3	12.3	7.0	5.3
8	5-फ्यूराइल-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	11.3	11.0	6.0	4.3
9	5-(2-क्लोरोफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	12.7	12.0	9.0	4.3
10	3,5-डाइफिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	11.7	10.7	7.3	3.7
11	3-मिथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	16.7	11.3	6.0	4.0
12	डीसीडी*	107.0	83.0	44.3	29.3
	क्रान्तिक अन्तराल 5% पर	3.5	2.2	1.6	1.2
* यूरिया के साथ					

सारणी 3 — विभिन्न उपचारों में नाइट्राइट नत्रजन ($\text{NO}_2\text{-N}$) की मात्रा (ppm)

उपचार सं.	उपचार	अन्तराल (दिन)			
		7	14	21	28
1	यूरिया	3.4	ND	ND	ND
2	5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	ND	ND	ND	ND
3	3-मिथाइल-5-(4-मिथॉक्सीफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	ND	ND	ND	ND
4	5-फिनाइल-3-स्टाइराइलआइसोऑक्साज़ोल*	4.6	ND	ND	ND
5	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	3.8	ND	ND	ND
6	3-ईथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	2.1	ND	ND	ND
7	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	3.7	ND	ND	ND
8	5-फ्यूराइल-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	3.2	ND	ND	ND
9	5-(2-क्लोरोफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	3.5	ND	ND	ND
10	3,5-डाइफिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	2.9	ND	ND	ND
11	3-मिथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	4.5	ND	ND	ND
12	डीसीडी*	ND	ND	ND	ND
	क्रान्तिक अन्तराल 5% पर	0.5	—	—	—
* यूरिया के साथ ND-नगण्य (<0.5 ppm)					

क्रमशः 98.7, 101.3, 51.7 और 38.7 ppm थी जबकि दूसरे सभी उपचारों में अमोनिकल नत्रजन की मात्रा लगभग एक समान थी। 21 दिन बाद उपचार सं 2 और 3 में ही अमोनिकल नत्रजन की मात्रा 20.3 से 28.0 ppm पायी गई। इसके बाद केवल संदर्भ नियामक डीसीडी में ही कुछ दिन तक अधिक अमोनिकल नत्रजन पाई गई। इससे निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि 3 से 4 सप्ताह में ही लगभग सारी अमोनिकल नत्रजन नाइट्रेट नत्रजन में परिवर्तित

हो जाती है।

5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल (उपचार सं 2), 3-मिथाइल (5-4-मिथॉक्सीफिनाइल) आइसोऑक्साज़ोल (उपचार सं 3), क्रमशः 7 दिन तक 78.2, 82.6, 14 दिन तक 65.9, 75.2 और 21 दिन तक 29.6, 45.9% में नाइट्रीकरण का अवरोध कर सके। जबकि संदर्भ नियामक डीसीडी ने इस समय में 85.1, 79.7 और 52.2% नाइट्रीकरण का अवरोध किया। 5- 3,4-मिथिलीनडाइऑक्सी

सारणी 4 — विभिन्न उपचारों में नाइट्रेट नत्रजन ($\text{NO}_3\text{-N}$) की मात्रा (ppm)					
उपचार सं	उपचार	अन्तराल (दिन)			
		7	14	21	28
1	यूरिया	146.3	182.7	197.0	204.0
2	5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	32.7	62.3	138.7	186.0
3	3-मिथाइल-5-(4-मिथॉक्सीफिनाइल) आइसोऑक्साज़ोल*	26.0	45.3	106.7	164.0
4	5-फिनाइल-3-स्टाइराइलआइसोऑक्साज़ोल*	57.3	108.3	193.3	200.3
5	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	105.7	152.7	194.7	200.7
6	3-ईथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	95.0	128.3	182.7	200.3
7	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल) आइसोऑक्साज़ोल*	111.0	153.0	191.0	199.7
8	5-फ्युराइल-3-(4-नाइट्रोफिनाइल) आइसोऑक्साज़ोल*	95.0	151.7	191.7	197.7
9	5-(2-क्लोरोफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	88.0	145.7	192.0	198.0
10	3,5-डाइफिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	115.0	149.3	192.3	199.3
11	3-मिथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	101.3	143.3	191.0	198.7
12	डीसीडी*	22.3	37.0	93.3	143.0
	क्रान्तिक अन्तराल 5% पर	5.8	5.0	5.2	4.4

*यूरिया के साथ

सारणी 5 — विभिन्न रसायनों द्वारा नाइट्रीकरण अवरोध (%)					
उपचार सं	उपचार रसायन	अन्तराल (दिन)			
		7	14	21	28
1	5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	78.2	65.9	29.6	8.8
2	3-मिथाइल-5-(4-मिथॉक्सीफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	82.6	75.2	45.9	19.6
3	5-फिनाइल-3-स्टाइराइलआइसोऑक्साज़ोल*	61.7	40.7	1.9	1.8
4	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	29.4	16.4	1.2	1.6
5	3-ईथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	36.5	29.8	7.3	1.8
6	5-(3,4-मिथिलीनडाइऑक्सीफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	25.9	16.3	3.0	2.1
7	5-फ्युराइल-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	36.5	17.0	2.7	3.1
8	5-(2-क्लोरोफिनाइल)-3-(4-नाइट्रोफिनाइल)आइसोऑक्साज़ोल*	41.2	20.3	2.5	2.9
9	3,5-डाइफिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	23.2	18.3	2.4	2.3
10	3-मिथाइल-5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल*	32.3	21.5	3.0	2.6
11	डीसीडी*	85.1	79.7	52.6	29.9
	क्रान्तिक अन्तराल 5% पर	2.4	1.6	0.9	0.8

* यूरिया के साथ

3-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल (उपचार सं 4) ने कुल 7 दिन तक 61.7 और 14 दिन तक 40.7% तक नाइट्रीकरण का अवरोध किया (सारणी 5)। यह बात ध्यान देने योग्य है कि पहले सात दिन तक ही उपचार सं 2 और 3 का प्रभाव डीसीडी के समकक्ष रहा। अधिकतर यौगिक प्रथम सप्ताह में ही नाइट्रीकरण अवरोधन करते हैं (सारणी 4)। हालाँकि 5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल I,

3-मिथाइल-5-(4-मिथॉक्सी फिनाइल) आइसोऑक्साज़ोल II और 5-फिनाइल-3-स्टाइराइलफिनाइल आइसोऑक्साज़ोल III दो सप्ताह तक नत्रजन नियमन कर सके परन्तु III का प्रभाव दो सप्ताह बाद नगण्य ही रहा। इसके बावजूद यह थोड़ा सा समय भी मृदा में व्याप्त शैवाल और जीवाणुओं के लिये नत्रजन संचित करने के लिये पर्याप्त होता है जो बाद में

पौधों के विकास में काम आता है⁵⁻⁷।

नाइट्राइट नत्रजन ($\text{NO}_2\text{-N}$) की मात्रा नगण्य रही, परन्तु नाइट्रेट नत्रजन ($\text{NO}_3\text{-N}$) की मात्रा सभी उपचारों में लगातार बढ़ती रही (सारणी 3 एवं 4)। इसका कारण मृदा में अमोनिकल नत्रजन का नाइट्रीकरण ही नहीं था अपितु मृदा में बसे हुए जीवाणुओं द्वारा वातावरण में से नत्रजन का संचय करना भी था। कभी भी किसी भी उपचार में नाइट्राइट नत्रजन की मात्रा 5 ppm से अधिक नहीं पाई गई। वास्तव में सात दिन बाद तो सब नाइट्राइट नत्रजन 0.5 ppm से नीचे ही रही। जिससे यह सिद्ध होता है कि उपयुक्त रसायन पौधों को हानि पहुँचाने वाले नाइट्राइट को एकत्रित नहीं होने देंगे और ये पौधों की बढ़त में सहायक सिद्ध होंगे।

यूरिया की जल अपघटन दर उष्ण तथा शीतकटिबन्धीय क्षेत्रों में लगभग एक जैसी ही होती है¹²⁻¹³। परन्तु मृदा में नाइट्राइट एवं नाइट्रेट नत्रजन का बनना पौधों द्वारा नत्रजन अधिग्रहण तथा फसल प्राप्ति में मुख्य भूमिका निभाता है। नाइट्राइट नत्रजन का तेज़ी से बनना न केवल पौधों के स्वास्थ्य के लिये हानिकारक है बल्कि यह मूल्यवान तत्व वायुमंडल में विलीन हो जाता है और किसान को धन की हानि भी होती है। अमोनिकल नत्रजन को नाइट्राइट नत्रजन में बदलने की गति को धीमा करने में जो समय लगता है उस समय मृदा में पाया जाने वाला सॉयल बैक्टीरिया नत्रजन को मिट्टी में समाहित कर लेने के लिये पर्याप्त होता है ताकि उसका बाद में उपयोग हो सके। यह तथ्य अधिक नत्रजन अपचयन तथा नत्रजन प्राप्ति द्वारा सिद्ध हो चुका है⁵⁻⁷। धीमी गति से नाइट्राइट बनने पर यह कम मात्रा में एकत्रित अथवा निक्षालित होता है तथा भूमिगत जल के प्रदूषण की सम्भावना काफी कम हो जाती है।

निष्कर्ष

प्रयोग में लाये गये अधिकतर यौगिक मध्यम क्षमता वाले नत्रजन नियन्त्रक पाये गये। एक सप्ताह बाद 5-फिनाइलआइसोऑक्साज़ोल और 3-मिथाइल-5-(4-मिथॉक्सीफिनाइल) आइसोऑक्साज़ोल से क्रमशः 78.2 और 82.6% नाइट्रीकरण का नियन्त्रण हुआ। इन्हें संदर्भीय नाइट्रीकरण नियामक डाइसाइनडाइएमाइड (डीसीडी) द्वारा प्रदर्शित 85.1% नियन्त्रण के सापेक्ष कहा जा सकता है। कथित प्रयोग में पाया गया कि उपर्युक्त रसायनों को यूरिया के साथ नत्रजन नियामकों के रूप में प्रयोग किया जा सकता है। अन्ततः उपर्युक्त प्रयोगों से यह निष्कर्ष निकलता है कि उष्णकटिबन्धों में जहाँ भूमि में प्लावित यूरिया नत्रजन का उपयोग बहुतायत से होता है वहाँ नत्रजन ह्रास को कम करने के लिए नत्रजन नियामकों का समुचित मात्रा में प्रयोग न केवल फसल की उपज को बढ़ाता है अपितु नत्रजन उपलब्धि

और आभासी नत्रजन वसूली की वृद्धि में भी सहायक होता है। परन्तु सभी रसायनों का प्रयोग नियामकों के रूप में नहीं किया जा सकता क्योंकि बहुचर्चित नाइट्रोपाइरीन नामक क्लोरीनेटिड नियामक भी कुछ दोषों से परिपूर्ण है इसलिए खेती में इसका प्रयोग नहीं हो रहा है। इसकी तुलना में उपर्युक्त आइसोऑक्साज़ोल नियामकों में किसी में भी क्लोरीन नहीं है और यह विषमचक्रीय होने के कारण मृदा में शीघ्र ही विघटित भी हो जाते हैं। इन रसायनों का उपयोग मृदा के जीवाणुओं पर कोई बुरा असर नहीं छोड़ता है, न ही नाइट्रेट नत्रजन को बढ़ावा देता है, जो फसल की पैदावार के लिए हानिकारक होती है। इस तरह इन नियामकों का प्रयोग केवल अमोनिकल नत्रजन का त्वरित ह्रास ही नहीं रोकेंगा अपितु नाइट्रेट बनने की विनाइट्रीकरण की प्रक्रिया को नियन्त्रित करके फसल उत्पादन बढ़ाने में भी सहायक होगा।

संदर्भ

1. कॉर्नफोर्थ आई एस एवं चैनी ए डी, नाइट्रीफिकेशन इन्हिबिटर एण्ड अमोनिया वोलेटिलाइज़ेशन, *प्लांट एण्ड सॉयल*, **43** (1971) 497-499.
2. गौरिंग सी ए आई, कंट्रोल ऑफ नाइट्रीफिकेशन ऑफ अमोनियम फर्टिलाइज़र, *प्रोसीडिंग सॉयल साइन्स सोसाइटी ऑफ अमेरिका*, **93** (1962) 211-218.
3. गौरिंग सी ए आई, कंट्रोल ऑफ नाइट्रीफिकेशन ऑफ अमोनियम फर्टिलाइज़र बाई 2-क्लोरो-6- ट्राइक्लोरोमिथाइलपाइरीडीन, *प्रोसीडिंग सायल साइन्स सोसाइटी ऑफ अमेरिका*, **93** (1962बी) 431-436.
4. प्रसाद आर, देवकुमार सी एवं संजय वाई एस, सिगनिफिकेन्स इन इन्क्रीज़िंग फर्टिलाइज़र नाइट्रोजन एफिशिएन्सी इन नीम रिसर्च एण्ड डिवेलपमेन्ट (एन एस रंघावा एवं बी एस परमार) एस पी एस पब्लिकेशन नं 3, सोसाइटी ऑफ पेस्टीसाइड साइन्स इंडिया, नई दिल्ली, (1993) 97-108.
5. शर्मा जे पी एवं तोमर एस एस, एवेल्युएशन ऑफ एल्फा हैक्सा क्लोरो साइक्लो हेक्सेन एन्ड इट्स डेरिवेटिव्स एज़ नाइट्रीफिकेशन रेगुलेटर्स, *करन्ट एग्रीकल्चर*, **22** (1998) 77-82.
6. मेक्कारटी जी डब्ल्यू, मोड्स ऑफ एक्शन ऑफ नाइट्रीफिकेशन इन्हिबिटर्स, *बायोलॉजी फर्टिलिटी एण्ड सॉयल*, **29** (1999) 1-9.
7. तोमर एस एस, तनेजा एच के एवं शर्मा जे पी, एवेल्युएशन ऑफ सम नाइट्रोजन हिट्रोसाइक्लक्स एज़ नाइट्रीफिकेशन रेगुलेटर्स इन इन्सेप्टीसॉल, *करन्ट एग्रीकल्चर*, **22** (1998) 83-88.
8. यजनयलू ए एस आर, सुधा रानी जी गौरी, अन्नपूर्णा के, मालवथानी यु वी एवं मूर्ति वाई एम एन, सिन्थेसिस एण्ड कंटेन्टराइज़ेशन ऑफ सम न्यू ऑक्सीजन एण्ड नाइट्रोजन हिट्रोसाइक्लक्स पार्ट-2,3,5- डाइएराइल थायोक्सोपाइराज़ोल्ज एण्ड 4,6-डाइअराइल पारिभिडीज़, *इंडियन जर्नल ऑफ कैमिस्ट्री*, **3-4 B** (1995) 938.
9. ब्रेगनेर जे एम एवं कीनी डी आर, डिटरमिनेशन एण्ड आइसोटोप रेशियो ऑफ डिफरेंट फार्म्स ऑफ नाइट्रोजन इन सॉयल एण्ड एक्सचेन्जेबल

- अमोनियम नाइट्रेट बाई एक्सट्रैक्शन डिस्टिलेशन मैथड, *प्रोसीडिंग सॉयल साइन्स सोसाइटी ऑफ अमेरिका*, **29** (1966) 504-507.
10. ध्यान सिंह, छेकर पी के एवं पांडे आर एन, सॉयल प्लांट वाटर एनालिसिस: ए मैथड मैनुअल, भारतीय कृषि अनुसंधान संस्थान, नई दिल्ली, (1999) 160.
 11. तोमर एस एस, प्रसाद डी, बब्बर लोकेश एवं तनेजा एच के, एवेल्युएशन ऑफ सम आइसोऑक्साज़ोल्स अगैस्ट प्लांट पैरासाइटिक नेमेटोड्स, *एनल्स ऑफ प्लांट प्रोटेक्शन साइन्सेस*, **14** (2006) 197-201.
 12. डिलाउने आर डी एवं पेटरिक डब्ल्यू एच, यूरिया कन्वर्जन टू अमोनिया इन वाटर लॉग्ड सायल्स, *प्रोसीडिंग सॉयल साइन्स सोसाइटी ऑफ अमेरिका*, **34** (1970) 603-607.
 13. तामिनी वाई एन एवं कनेहिरो, यूरिया ट्रान्सफॉर्मेशन इन हवाईयन सायल्स, *हवाई फार्म साइंस*, जुलाई (1962) 6-7.
 14. सहरावत के एल एवं कीनी डी आर, पर्सपेक्टिव्स फॉर रिसर्च ऑन डिवेलपमेंट ऑफ नाइट्रीफिकेशन, *कम्युनिकेशन्स इन सॉयल साइन्स एण्ड प्लांट एनालिसिस*, **16** (1985) 517-524.