**Pregledni članek**

**APNENI DUŠIK – OKOLJU PRIJAZNO GNOJILO, KI POVEČUJE RODOVITNOST TAL**

Dr. Andrej Šušek; Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede

Izvleček

Apneni dušik (kalcijev cianamid) je prvo mineralno gnojilo, ki je bilo proizvedeno v industrijskem proizvodnem procesu. Vsebuje okrog 20 % dušika in 50 % kalcija in je okolju prijazno gnojilo, kar pomeni, da oskrbuje tla s temi hranili na način, da zagotavlja trajnostno rodovitnost tal. V tem članku so pregledno predstavljene lastnosti apnenega dušika, ki vključujejo:

- počasno sproščanje dušika, ki ostaja v rizosferi (v delu tal, kjer so korenine) in ki se sprošča skladno s potrebami rasti rastlin;

- izpiranje in demineralizacija sta minimalni, zaradi česar je onesnaženje okolja z nitratom zmanjšano;

- kombinacija hranil dušika in kalcija povečuje učinkovitost pridelave - povečuje se pridelek in kvaliteta, pri čemer se ne povečuje izpust toplogrednih plinov;

- rodovitnost tal se povečuje z ohranjanjem raznovrstnosti talnih organizmov, vplivov na njihovo sestavo in množino populacij ter z zatiranjem škodljivih talnih mikroorganizmov.

Uporaba apnenega dušika je predstavljena v povezavi povečevanja pridelave hrane na način, ki ohranja biološko raznolikost talnih organizmov in s tem zagotavlja trajnostni razvoj.

UVOD

Izzivov, ki se nanašajo na rastlinsko proizvodnjo v naslednjih 50 letih, je veliko. Nujno potrebno je povečati rastlinsko pridelavo, vendar na način, ki ne predstavlja povečane nevarnosti za klimatske spremembe, degradacijo (poslabšanja) tal, vodne vire in osiromašenja biodiverzitete (Tollefson 2010). Trenutno se kmetijska pridelava povečuje za 2 % letno, da pa bi zagotovili prehrano vseh ljudi, bi bilo potrebno doseči 3 % letno povečanje (Dixon, 2009a, Braum, 2010). Uporaba umetnih dušikovih gnojil omogoča doseganje večjih pridelkov. Večina dušikovih gnojil ima tendenco povečanja nitratov v talni raztopini in posledično izpiranje v podtalnico. Vse oblike dušika pa se ne izpirajo enako. K izpiranju je podvržen samo nitratni dušik (NO3). Amonijski dušik (NH4) se veže v tleh na glinene in humusne talne delce in se ne izpira (Wild, 1988).

IZDELAVA APNENEGA DUŠIKA

Apneni dušik je najstarejše umetno dušikovo gnojilo. Je hidroliziran produkt kalcijevega cianamida, ki je bil prvič sintetiziran leta 1898. Fiksacija dušika je dosežena v postopku, kjer se najprej z združitvijo apnenca (kalcijev karbonat) z virom ogljika (običajno je to premog) tvori kalcijev karbid. Z dodajanjem dušika v plinasti obliki (pridobiva se ga iz zraka), se pri visokih temperaturah tvori kalcijev cianamid (CaCN2), ki ga imenujemo tudi apneni dušik. Proizvodnja apnenega dušika poteka od leta 1909 (Dixon, 2009b) v tovarni Alzchem na Bavarskem in se trenutno prodaja v granulirani obliki pod trgovskim imenom »Perlka®«.

OVIRANA NITRIFIKACIJA IN OMEJENO IZPIRANJE

Že zelo zgodnje raziskave, ki so bile narejene na britanski raziskovalni postaji Rothamsted dokazujejo, da se mikrobna aktivnost v tleh povečuje, če gnojimo z apnenim dušikom (Ashby, 1905). Apneni dušik se razlikuje od ostalih mineralnih gnojil po tem, da se mora v tleh najprej razgraditi, da postane vir dostopnega dušika za rastline.

Talni mikroorganizmi razgrajujejo apneni dušik v posamezne spojine (Slika 1). Prva vmesna oblika, ki se tvori dan ali dva potem, ko je gnojilo prišlo v stik s talno vlago, je cianamid (H2CN2). Le-ta je fitotoksičen in do neke mere deluje v tleh insekticidno, fungicidno, herbicidno in proti mehkužcem (polžem). V času od enega do dveh tednov (odvisno od količine potrošenega gnojila in temperatur) se cianamid popolnoma spremeni v dušikovi obliki kot sta urea (CO(NH2)2 in amonij (Bjälfve, 1957). Zaradi cianamidne faze je potrebno upoštevati čakalno dobo 8-14 dni pred setvijo ali saditvijo. Čakalni čas je odvisen od uporabljene količine, talne vlage in talne temperature (Cornforth, 1971). Nedavno je bilo ugotovljeno, da je cianamid naraven proizvod. Kamao s sod. (2003, 2008) je dokazal, da se cianamid tvori po biološki poti pri rastlinah: akaciji (*Robinia pseudoakacia*), *Vicia villosa* subs. *villosa* in *Vicia cracca*.

Apneni dušik

CaCN2

Nitrat

NO3

Amonij

NH4

Urea

CO(NH2)2

Cianamid

H2CN2

Kalcij

Ca(OH)2

Dicianamid

Slika 1: Razgradnja apnenega dušika v tleh

Pri razgradnji cianamida pa se ga del pretvori v dicianamid ((H2N)2C=N–CN), ki je v Evropski skupnosti (direktiva 2003/2003; amandma iz 8. nov. 2008) registriran kot zaviralec nitrifikacije. Amberger (1986,1989) poroča o mehanizmu s katerim dicianamid, ki se tvori pri razgradnji apnenega dušika, zadržuje proces nitrifikacije. Zaradi tvorbe dicianamida, ki deluje na nitrifikacijske bakterije (*Nitrosomonas*), ostaja dušik dalj časa v amonijski obliki v primerjavi z ostalimi običajnimi dušičnimi gnojili (Villsmeier in Amberger 1978, Rathsack 1978) (slika 2). Zato nitrifikacija poteka počasi in enakomerno, ker ustreza prehrani rastlin. To se kaže v njihovi odpornosti in bujnosti. Zagotovljena je zdrava, ne stresna rast rastlin, istočasno pa je izpiranje nitratov minimalno. Dicianamid se razgradi v tleh biotično in abiotično v ogljikov dioksid, vodo in amonij.

Nitrobacter

Nitrosomonas

Nitrat (NO3)

Nitrit (NO2)

Amonij

DCD

Slika 2: Dicianamid (DCD) ovira proces nitrifikacije

Nommik (1958) je proučeval vsebnost nitratov v vzorcih tal, ki so bila gnojena z apnenim dušikom in ugotovil, da je pretvorba v nitrat potekala dalj časa v tleh, ki so bila pognojena z apnenim dušikom v primerjavi s tlemi, ki smo jih gnojili z amonijevim sulfatom. Ugotovil je, da na odstotek pretvorbe dušika vpliva tudi tekstura tal. V peščenih tleh ostaja dušik v rizosferi (območju korenin) dlje časa, če gnojimo z apnenim dušikom v primerjavi z ostalimi dušikovimi gnojili. Z zmanjšanjem temperature tal se je hitrost nitrifikacije upočasnila v tleh, ki smo jih gnojili z apnenim dušikom. Z odstranitvijo mikroorganizmov iz tal (s tretiranjem tal z živosrebrnim kloridom) pretvorba apnenega dušika do amonija ni bila mogoča, kar dokazuje, da je dostopnost dušika iz tega gnojila v veliki meri odvisna od mikrobiološke aktivnosti. Predhodno je Jacob s sod. (1924) dokazal, da je razkuževanje tal z fenolom imelo podobne učinke na procese razgradnje cianamida.

V poskusih, ki so potekali 15 let (1958-1972) na Portugalskem, kot poroča Miranda (1975), so primerjali vpliv različnih dušikovih gnojil (amonijev nitrat, amonijev sulfat, apneni dušik, kalcijev nitrat in urea ter negnojena površina) na reakcijo tal (pH) (Preglednica 1).

Preglednica 1: Vpliv dolgotrajnega gnojenja z dušikovimi gnojili na pH tal (pH določen v kalijevem kloridu) v obdobju 1958-1972 (po Mirandu, 1975)

|  |  |
| --- | --- |
| Gnojilo | Obdobje od 1958 -1972 |
| 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |
| Negnojeno | 5.10 | 5.05 | 5.16 | 5.18 | 4.90 | 4.68 | 4.77 | 5.23 | 4.77 | 4.63 | 4.81 | 4.65 | 4.70 | 4.64 | 4.58 |
| Apneni dušik | 5.05 | 5.15 | 5.25 | 5.33 | 5.17 | 5.04 | 5.14 | 5.59 | 5.11 | 5.06 | 5.28 | 5.11 | 5.22 | 5.10 | 5.09 |
| Urea | 5.02 | 5.00 | 5.04 | 5.02 | 4.73 | 4.50 | 4.61 | 5.03 | 4.55 | 4.38 | 4.53 | 4.44 | 4.53 | 4.41 | 4.27 |
| Amonijev sulfat | 5.02 | 4.73 | 4.79 | 4.79 | 4.54 | 4.27 | 4.28 | 4.81 | 4.22 | 4.03 | 4.13 | 4.11 | 4.11 | 4.05 | 3.91 |
| Amonijev nitrat | 5.08 | 5.07 | 5.13 | 5.13 | 4.89 | 4.69 | 4.75 | 5.16 | 4.72 | 4.63 | 4.83 | 4.68 | 4.73 | 4.64 | 4.56 |
| Kalcijev nitrat | 5.10 | 5.00 | 5.13 | 5.12 | 4.93 | 4.78 | 4.85 | 5.31 | 4.88 | 4.74 | 4.96 | 4.74 | 4.88 | 4.70 | 4.64 |
| LSD P = 5% | - | 0.19 | 0.12 | 0.14 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.17 | 0.10 | 0.08 | 0.13 | 0.08 | 0.10 | 0.09 | 0.11 |
| P = 1% | - | 0.26 | 0.16 | 0.20 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.23 | 0.13 | 0.11 | 0.18 | 0.11 | 0.14 | 0.12 | 0.15 |

Parcele gnojene z apnenim dušikom so ostale signifikantno značilno bolj alkalne v primerjavi s parcelami, ki so bile gnojene z ostalimi gnojili, ki so povečali zakisanost tal. Poskus je potekal na področju, kjer je bila letna količina padavin 1100 mm. Uporaba apnenega dušika se je izkazala v večjem zadrževanju izmenljivega kalcija v primerjavi z ostalimi tretiranji. Ta članek prav tako citira ostala portugalska dela (Almeida in Ricardo, 1972), ki so potekala več kot deset let in kjer uporaba apnenega dušika ohranja vsebnost kalcija v tleh. Vsebnost fosfata in kalija pa na tleh, ki smo jih gnojili z apnenim dušikom ostaja stabilna in se odraža v povečani dostopnosti koreninam rastlin do teh hranil v primerjavi z vplivom ostalih gnojil (Mirande 1975). Te dolgoletne raziskave potrjujejo stališče, da apneni dušik ostaja v talnem profilu in se ne izpira zlahka tudi pri dolgotrajnih padavinah. To dokazuje tudi poskus, ki ga je opravil Pleysiser s sodelavci (1987), v katerem je proučeval izpiranje treh dušikovih gnojil. Na vrh kolon napolnjenih z zemljo je ločeno potrosil apneni dušik, kalcijev amonijev nitrat in urea. Potem je kolone zalival z vodo v skupni količini 2400 l/m2, kar ustreza 2400 mm padavin. Izgube z izpiranjem so bile razvrščene: največ dušika se je izpralo iz kolon s kalcijevim amonijevim nitratom, nato z urejo in iz kolon z apnenim dušikom se je izpralo le 3 % dušika.

POVEČANO DELOVANJE KORISTNIH MIKROORGANIZMOV

Že raziskave Alison (1924) in Mukeri (1932) dokazujejo, da apneni dušik značilno poveča število mikroorganizmov v tleh. Biološka aktivnost tal, ki je merjena z encimsko aktivnostjo je povečana, če uporabljamo apneni dušik. Poleg rastlin tudi mikroorganizmi v okolje izločajo encime, ki v tleh katalizirajo predvsem koristne in redkeje škodljive kemijske reakcije. Bosch in Amberger (1983) iz Tehnične univerze v Munchnu sta pri ocenjevanju stalnega poskusa, ki je trajal preko 53 let z različnimi dušikovimi gnojili (hlevski gnoj, KAN, apneni dušik, amonijev sulfat, kalcijev nitrat) prišla do rezultatov, kjer so bili parametri rodovitnosti tal (aktivnost sedmih encimov) na parcelah, ki so jih gnojili z apnenim dušikom največji (slika 3).

Slika 3: Parametri plodnosti tal. Aktivnost sedmih encimov v tleh, ki so bila v času 53 let gnojena z različnimi N-oblikami (izraženo v enotah aktivnosti - AE)

Prost in vezan kalcijev oksid, ki se sprošča iz apnenega dušika ohranja pH tal alkaln. Zaradi tega se povečuje delovanje mikroorganizmov in posledično sproščanje dušika, ki poteka postopoma zaradi prisotnosti dicianamida. Do podobnih rezultatov sta prišla Crowther in Richardson (1932), ki sta ugotovila povečano rodovitnost na tleh, kjer se je več let zapored uporabljal apneni dušik. Prikazala sta pomembnost učinka apnenja in uporabe gnojila, kjer imamo sestavljene dušikove in kalcijeve atome znotraj posamezne molekule gnojila na rodovitnost tal. Počasnejšo stopnjo nitrifikacije in posledično tvorbo nitratov pri uporabi apnenega dušika v primerjavi z amonijevim sulfatom je ugotovil tudi Verona (1969).

ZATIRANJE ŠKODLJIVIH TALNIH MIKROORGANIZMOV

Gnojilo apneni dušik ima tudi fungicidne učinke. Veliko raziskav dokazuje učinkovito delovanje cianamida (ki se tvori pri razgradnji) na številne bolezni tal. Na testni postaji v Belgiji (Fruitteelt v Sint-Truidenu) in testni postaji za kmetijstvo in hortikulutro v Sachsenu (Nemčija) dokazujejo, da apneni dušik zmanjša do 90 % število spor škrlupa in hruševe rjave pegavosti v nasadih. O delovanju na fuzarijsko uvelost jagod (*Fusarium oxysporum*), jagodno koreninsko gnilobo (*Rhizoctonia* sp.) in uvenelost jagod (*Verticillium* sp.) poročaj Lijing s sod. (2007); na zatiranje golšavosti (*Plasmodiophora brassicae*) kapusnic (zelja, cvetače, brokoli, ohrovt idr.) poroča več avtorjev (Dixon in Williamson 1984, Klasse 1996, Tremblay s sod. 2005). Bletsos (2005, 2006) poroča, da apneni dušik popolnoma zatre uvenelost jajčevcev (povzroča jo gliva *Verticillium dahliae*) in priporoča uporabo apnenega dušika namesto metil-bromida (razkuževalca tal, katerega uporaba je prepovedan v EU od leta 2005).

Prav tako pa Shi in sod. (2009) ugotavljajo, da so mikroorganizmi različno dovzetni na apneni dušik. Znano je, da lahko glive vrste *Aspargillus* in *Penicillium* koristijo molekule cianamida kot vir dušika pri razgradnji organskih snovi (celuloze) v tleh. Zaradi tega se bodo ti mikroorganizmi v prisotnosti cianamida v tleh razmnožili, povečala se bo biodiverziteta in njihova množina, s tem pa bodo po naravni poti preprečevali razvoj škodljivih mikroorganizmov (Dixon, 2009c).

Številni talni mikroorganizmi so naravno sposobni negativnih medvrstnih razmerij z drugimi mikroorganizmi, rastlinami in živalmi, ki pri pridelavi kulturnih rastlin povzročajo škodo. Koristni mikroorganizmi lahko škodljive organizme zatirajo na različne načine: tako da z njimi tekmujejo za virom hrane, jih parazitirajo, proizvajajo antibiotike in druge snovi (toksine), ki zatirajo škodljive organizme (Raaijmakers s sod. 2010).

Apneni dušik prav tako vpliva na povečanje izmenljivega kalcija v tleh, kar je dokazal Murakami s sod. (2002). Število koristnih bakterij, kot so bakterije za fiksacijo dušika se povečuje v tleh, ki jih gojimo z apnenim dušikom. Fiksacija dušika je bila do 50 % večja na parcelah s sojo, ki smo jo gnojili z apnenim dušikom v primerjavi z negnojenimi parcelami (Tewari s sod. 2004).

Zaradi navedenega je uporaba apnenega dušika okolju prijazen ukrep, ki povečuje rodovitnost tal. Zeleno gnojenje in kolobar so ukrepi, ki so prav tako nujno potrebni za ohranjanje in izboljšanje rodovitnosti tal (Wiggins in Kinkel 2005, Ball s sod. 2005). Z uporabo apnenega dušika se njihov učinek še poveča. Apneni dušik je okolju prijazno gnojilo, tudi zato, ker nima škodljivih učinkov na ključne talne vrste, kot so črvi, kot dokazuje Bauchhenss (1994)

V POVEZAVI Z EKOLOGIJO TAL

Tla so dinamična mešanica različno velikih organskih in mineralnih delcev ter živih organizmov in njihovih ostankov. Rodovitna tla so tista, ki imajo visoko biološko raznolikost talnih organizmov (od deževnikov do mikroorganizmov) in kjer poteka aktivna razgradnja organskih ostankov in mineralizacija (Bruggen s sod. 2006). Rodovitnost tal se zmanjšuje zaradi intenzivne pridelave, gnojenja z gnojili, ki povečujejo kislost tal (Kirkby, 1968), časovno neprimerne obdelave tal ali prekomerne izsušitve ali prekomernega namakanja. Motnje se odražajo, kot nihanja v sestavi in množini talnih organizmov. V rodovitnih tleh so amplitude nihanja majhne, aktivnost in raznovrstnost talnih organizmov pa ostane visok, zaradi česar je razvoj škodljivih organizmi omejen po naravni poti.

Ugotovljeno je, da običajna raba apnenega dušika ohranja raznovrstnost talnih organizmov in vpliva na njihovo sestavo in množino populacij (Bruggen s sod. 2006). Prav tako ima kolobar trajen vpliv na mikrobne lastnosti tal oziroma njeno rodovitnost, kot poroča Alvarez-Solis in Anzuetto-Martinez (2004). Rezultati njihovih analiz dokazujejo pomembnost dodatnega vnašanja organskih in mineralnih snovi v tla, ki služijo kot vir energije talnim mikroorganizmom. Sestava in množina mikrobnih populacij pa je odvisna tudi od fizikalnih (tekstura, struktura tal) in kemičnih (pH, pufernost..) lastnosti tal. Uporaba apnenega dušika ohranja strukturna tla in preprečuje zakisanje tal (v kislih tleh je razvoj določenih škodljivih mikroorganizmov povečan). Tako se ustvarja naravno stimulativno okolje za delovanje in razvoj koristnih mikroorganizmov, ki zatirajo oziroma omejujejo delovanje in razvoj škodljivih organizmov. Apneni dušik povečuje rodovitnost tal in podpira naravne procese zatiranja rastlinskih patogenih organizmov.

LITERATURA

Allison, F. E. (1924). The effect of Cyanamid and related compounds on the number of microorganisms in soil. Journal of Agricultural Research 28 (11): 1159-1166.

Ashby, S. F. (1905). Note on the fate of calcium cyanamide in the soil. Journal of Agricultural Science, 1: 358-360.

Almeida, L. A. V., Ricardo, A. R. P. (1972). Influence de la fertilisation azote dans le complexe d’exchange d’un sol brun acide derive de granite. An. Inst Sup. Agron. 32 : 265-286.

Amberger, A. (1986). Potential of nitrification inhibitors in modern fertiliser management. Z. Pflanzenern. Bodenkde 149: 469-484.

Amberger A. (1989). Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 20: 1933-1955.

Alvarez-Solis, J. D., Anzuetto-Martinez, M de J. (2004). Soil microbial activity under different corn cropping systems in the Highlands of Chiapas, Mexico. Agrociencia (Montecillo) 38 (1): 13-22.

Ball, B. C., Bingham, I., Rees, R. M., Watson, C. A., Litterick, A. (2005). The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. Can. J. Soil Sci. 85: 557-577.

Bauchhenß, J. (1994). Influence of Alzodef and Perlka on earthworms (Einfluß von Alzodef und Perlka auf Regenwürmer), Report KA-187, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising, Germany.

Bjälfve, G. (1957). The nitrification of calcium cyanamide and its effects on the soil microflora. Annals of the Agricultural College of Sweden 23 : 423-456.

Bletsos, F.A., (2005). Use of grafting and calcium cyanamide as alternatives to methyl bromide soil fumigation and their effects on growth, yield, quality and fusarium wilt control in melon. J. Phytopathol. 153: 155–161.

Bletsos, F.A., (2006). Grafting and calcium cyanamide as alternatives to methyl bromide for greenhouse eggplant production. Sci. Hortic 107: 325–331.

Bosch, M & Amberger, A. (1983). Influence of long-term fertilising with different forms of nitrogen fertiliser on pH, humic fractions, biological activity and dynamics of nitrogen of an arable brown earth (Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen N-Formen auf pH-Wert, Humusfraktionen, biologische Aktivität und Stickstoffdynamik einer Acker-Braunerde). Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 146: 714-724.

Braun, J. Von (2010). Strategic body needed to beat food crises. Nature 465 (7298): 548-549.

Bruggen, A. H. C. van, Semenov, A. M., Diepeningen, A. D. van, Vos, O. J. De., Blok, W. J. (2006). Relation between soil health, wave-like fluctuations in microbial populations and soil-borne plant disease management. European Journal of Plant Pathology 115(1): 105-122.

Cornforth, I. S. (1971). Calcium cyanamide in agriculture. Soils and Fertilisers. 34(5): 463-468.

Crowther, E. M., Richardson, H. L. (1932). Studies on calcium cyanamide. 1. The decomposition of calcium cyanamide in the soil and its effects on germination, nitrification and soil reaction. Journal of Agricultural Science 22 (2): 300-334.

Dixon, G. R. (2009a). The Impact of Climate and Global Change on Crop Production. Chapter 17 In: Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth, T. M. Letcher (urednik), Elsevier, Oxford.

Dixon, G. R. (2009b). Calcium cyanamide – 100 years of successful integrated control. Plant Protection Science 45 (1): 37-38.

Dixon, G. R. (2009c). Plasmodiophora brassicae in its environment. Chapter 3 In: Plasmodiophora brassicae (Clubroot) – a plant pathogen that alters host growth and productivity. Urednik: G. R. Dixon, Special Edition Journal of Plant Growth Regulation. 28 (3): 193-303.

Dixon, G. R., Williamson, C. J. (1984). Factors affecting the use of calcium cyanamide for control of Plasmodiophora brassicae. Strani 238-244. Proceedings of Better Brassicas ’84 Conference, St Andrews September 1984, Scottish Crop Research Institute, Dundee DD2 5DA

Jacob, K. D., Allison, F. E., Braham, J. M. (1924). Chemical and biological studies with Cyanamid and some of its transformation products. Journal of Agricultural Research 28 (1): 37-69.

[Kamo, T](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Kamo%20T%22%5BAuthor%5D)., [Endo, M](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Endo%20M%22%5BAuthor%5D)., [Sato, M](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Sato%20M%22%5BAuthor%5D)., [Kasahara, R](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Kasahara%20R%22%5BAuthor%5D)., [Yamaya, H](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Yamaya%20H%22%5BAuthor%5D)., [Hiradate, S](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Hiradate%20S%22%5BAuthor%5D)., [Fujii, Y](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Fujii%20Y%22%5BAuthor%5D)., [Hirai, N](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Hirai%20N%22%5BAuthor%5D)., [Hirota, M](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Hirota%20M%22%5BAuthor%5D). (2008). Limited distribution of natural cyanamide in higher plants: occurrence in Vicia villosa subsp. varia, V. cracca, and Robinia pseudoacacia. Phytochemistry 69(5):1166-72.

[Kamo, T](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Kamo%20T%22%5BAuthor%5D)., [Hiradate, S](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Hiradate%20S%22%5BAuthor%5D)., [Fujii, Y](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%22Fujii%20Y%22%5BAuthor%5D). (2003). First isolation of natural cyanamide as a possible allelochemical from hairy vetch Vicia villosa. J. Chem. Ecol. 29: 275-283.

Lijing,W., Tongle H., Lijing J, Keqiang C. (2007). Inhibitory efficacy of calcium cyanamide on the pathogens of replant diseases in strawberry. Front. Agric. China 1(2): 183–187.

Kirkby, E. A. (1968). Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. Soil Science 105(3): 133-141.

Klasse, H.J., 1996. Calcium cyanamide – an effective tool to control clubroot – a review. Acta Hortic. 407: 403–409.

Miranda, V. H. B. (1975). Influence of nitrogenous fertilisers upon some soil characteristics. Landwirtsch. Forsch. 29 (1): 21-27.

Mukerji, B. K. (1932). Studies on calcium cyanamide. II. Microbiological aspects of nitrification in soils under varied environmental conditions. Journal of Agricultural Science 22 (2): 335-347.

Murakami, H., Tsushima, S., Kuroyanagi, Y., Shishido, Y. (2002). Reduction of resting spore density of Plasmodiophora brassicae and clubroot disease severity by liming. Soil Science and Plant Nutrition 48 (5): 685-691.

Nõmmik, H. (1958). On decomposition of calcium cyanamide in the soil. Acta Agriculturae Scandinavica 8 (4): 404-440.

Pleysier, L., Arora, Y., Juo, A. S. R. (1987). Nitrogen leaching and uptake from calcium cyanamide in comparison to urea and calcium ammonium nitrate in an ultisol from humid tropics. Nutrient Cycling in Agroecosystems 12 (3): 193-199.

Raaijmakers, J. M., Paulitz, T. C., Steinberg, C., Alabouvette, C., Moënne-LOccoz, Y. (2010). The rhizospere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. Plant and Soil: 321 (1-2): 305-339.

Rathsack, K.(1978). Die nitrificide Wirkung des Dicyananamides. Landw. Forsch. 31: 347-358.

Shi, K., Wang, L., Zhou, Y-H. Yu, Y-L., Yu, J-Q. (2009). Effects of calcium cyanamide on soil microbial communities and Fusarium oxysporum f. sp. cucumerinum. Chemosphere 75: 872-877.

Tewari, K., Suganuma, T., Fuijikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., Ohyama, T. (2004). Effect of deep placement of N fertilisers and different inoculation methods of bradyrhizobia on growth, N-fixation activity and N-absorption rate of field-grown soybean plants. Journal of Agronomy and Crop Science 190(1): 46-58.

Tollefson, J. (2010). Intensive farming may ease climate change. Nature (London), 465 (7300): 853.

Tremblay, N., Bélec, C., Coulombe, J., Godin, C. (2005). Evaluation of calcium cyanamide and liming for control of clubroot disease in cauliflower. Crop Prot. 24: 798–803.

Verona, O. (1969). The effects of calcium cyanamide on some groups of lower fungi. Landwirtsch. Forsch. 23: 50.

Vilsmeier, K., Amberger, A. (1978). Model experiments concerning the breakdown of powdered and granulated calcium cyanamide fertilisers. Journal of Agronomy and Crop Science 147: 68-77.

Wild, A. (1988). Plant nutrients in soil: nitrogen. Starni 652- 694. Russell’s Soil Conditions and Plant Growth (A. Wild, Editor). Longman Scientific & Technical, Harlow England.

Wiggins, B. E., Kinkel, L. L. (2005). Green manures and crop sequences influence potato diseases and pathogen inhibitory activity of indigenous Streptomyces. Phytopathology 95: 178-185.