

UDC 631.461.1/3:581.526.45(497.1) = 30

DYNAMIK DER STICKSTOFFMINERALISATION IM *FESTUCO-AGROSTIETUM NARDETOSUM*

VLADIMIR HRŠAK und LJUDEVIT ILIJANIĆ

(Botanisches Institut der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zagreb)

Eingegangen am 15. Dezember 1986

In diesem Beitrag wird die Dynamik der Bodenstickstoffmineralisation im *Festuco-Agrostietum* Ht. 1962 *nardetosum strictae* Trinaj. 1972 auf dem Medvednica—Gebirge bei Zagreb (Zagrebačka gora, Nordwestkroatien) dargestellt. Die mit der Freilandbrutversuchsmethode festgestellte Mineralstickstoffnachlieferung in einer Bodenschicht von 0 bis 7 cm war klein und betrug 11,20 kg N_m/ha, im Laborbrutversuch dagegen mehrfach grösser und betrug 75,54 kg N_m/pro Vegetationsperiode. Der Mineralstickstoff war ausschliesslich als Ammonium vorhanden.

Einleitung

Höhere Pflanzen nehmen den Stickstoff, wie bekannt, grösstenteils als Mineralstickstoff auf. Die grössten Mineralstickstoffmenge entstehen im Boden bei natürlichen Bedingungen durch die Mineralisation verschiedener organischer Stickstoffverbindungen (Ellenberg 1963, Zöttl 1960c, Runge 1971). Deswegen nimmt man die Mineralstickstoffakkumulation als Mass der Mineralstickstoffversorgung der Pflanzen. In unserem Land wurden bisher keine Untersuchungen der Stickstoffmineralisation untergenommen. Deshalb haben wir zweijährige vergleichende Untersuchungen der Stickstoffdynamik in Böden von sechs Waldgesellschaften und eine Wiesengesellschaft im Zagreber Medvednica — Gebirge geplant, die von 1983 bis 1985 durchgeführt wurden (vgl. Hršak 1987).

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Untersuchungen der Stickstoffnachlieferung im Wiesenboden beschrieben. Resultate der Unter-

suchungen in Waldgesellschaften werden in einem anderen Beitrag vorgestellt werden.

Untersuchungsgebiet und Objekt

Der für die Untersuchung ausgewählte Wiesenbestand befindet sich im Medvednica-Gebirge (Zagrebačka gora) in einem Wiesenkomplex in der Nähe des Forsthauses »Rauchova lugarnica« auf etwa 900 m Meereshöhe in der Tannen-Buchenmischwald-Zone. Die Wiese wird einmal jährlich gemäht und unregelmässig gedüngt. Syntaxonomisch gehört sie dem *Festuco-Agrostietum* Ht. 1962 bzw. der Subsoz. *nardetosum strictae* Trinaj. 1972 (Tab. 1) mit azidophilen Differenzialarten an, die den Übergangscharakter und die syndynamische Verbindung dieser Gesellschaft mit den *Nardo-Callunetea*-Gesellschaften zeigen. Ähnliche Verhältnisse liegen auch in Gorski kotar vor, wie auch auf dem Strahinščica-Gebirge im Nordkroatischen Bergland (Hrvatsko zagorje) (vgl. Horvat 1962, Trinajstić 1972, Regula-Bevilacqua 1978). Unser Bestand entwickelt sich auf einem Boden über paläosoischem grünem Schiefer.

Nach der Klassifikation von Gračanić (1950) ist der Boden in der Schicht von 0—7 cm lehmig, stark humös (6,17%), sehr stark sauer (pH in H₂O — 4,72; in KCl — 3,74). Die Summe austauschbarer Kationen war niedrig (S = 8,13 mval), die Austauschkapazität hoch (T = 38,90 mval) und der Sättigungsgrad des Sorptionkomplexes niedrig (V = 20,89%). Der Gesamtstickstoffgehalt schwankte während der Vegetationsperiode von 0,235 bis 0,381% (im Durchschnitt 0,299%).

Methoden

Bodenproben wurden vom 13. Juni 1983 bis zum 17. Oktober 1984 im Zeitintervall von 3 Wochen während der Vegetationsperiode und noch einmal (am 15. Mai) im 1985 entnommen. Jeweils 12 Kleinproben wurden aus der oberen Bodenschicht von 0 bis 7 cm gestochen, durch ein 2-mm-Sieb gesiebt und gemischt.

Stickstoffmineralisation wurde im Freilandbrutversuch (Ehrhardt 1959, Runge 1965, Gigon 1968, Marković-Gospodarić 1968), und im Laborbrutversuch (Zöttl 1960a) bestimmt. Die Bebrütung dauerte 6 Wochen, d. h. die Bebrütungsperioden überlappten sich 3 Wochen, was bei der Berechnung der Mineralstickstoffnachlieferung in kg/ha pro Vegetationsperiode berücksichtigt wurde.

Der Ammonium- und Nitrat-Gehalt wurde spektrophotometrisch im Bodenauszug bestimmt. Der Bodenauszug wurde durch die Extraktion von 10 bzw. 20 g Frischboden in 50 ml 1% KAl/SO₄/₂ Lösung bekommen. Der Ammoniumstickstoff wurde mit der Mikrodiffusions-Methode nach Conway unter Verwendung von Nessler's Reagenz (Steubing 1965) und der Nitratstickstoffgehalt mit der Xylenol-Methode bestimmt (Scharer und Seibel 1956, Montgomery and Dymock 1962, Allen et al. 1974). Die Absorption wurde mit dem Spektrophotometer Beckman DB-GT gemessen. Der Gesamtstickstoffgehalt wurde mit Kjeldahl-Foerster-Methode bestimmt (Steubing 1965), der Kalkgehalt volumetrisch mit Scheibler's Kalzimeter gemessen und der Adsorptionskomplex nach Kapfen analysiert. Die Bodenreaktion wurde elektrometrisch in destilliertem Wasser und in KCl-Suspension gemessen.

Tab. 1. FESTUCO-AGROSTIETUM NARDETOSUM

Oberfläche (m ²)	100
Meereshöhe (m)	900
Exposition	NNW
Neigung (°)	15
Assoziations-Kennarten	
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	1.2
<i>Stellaria graminea</i> L.	1.1
Subass.-Differentialarten	
<i>Festuca tenuifolia</i> Sibth.	+ .2
<i>Nardus stricta</i> L.	+ .2
<i>Lycopodium clavatum</i> L.	+ .2
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	+
<i>Carex pilulifera</i> L.	+
Verbands-, Ordnungs- und Klassen-Kennarten (<i>Arrhenatherion</i> , <i>Arrhenatheretalia</i> , <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>)	
<i>Leontodon danubialis</i> Jacq.	2.2
<i>Avenochloa pubescens</i> (Huds.)	1.2
<i>Trifolium pratense</i> L.	1.2
<i>Centaurea jacea</i> L.	1.1
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.	1.1
<i>Holcus lanatus</i> L.	1.1
<i>Carex hirta</i> L.	+ .2
<i>Festuca rubra</i> L.	+ .2
<i>Campanula patula</i> L.	+
<i>Leontodon autumnalis</i> L.	+
<i>Lotus corniculatus</i> L.	+
<i>Vicia cracca</i> L.	+
<i>Ranunculus acris</i> L.	+
<i>Cerastium holosteoides</i> Fries.	+
Begleiter	
<i>Hieracium pilosella</i> L.	2.2
<i>Viola reichenbachiana</i> Jord. ex Boreau	1.2
<i>Euphrasia rostkoviana</i> subsp. <i>montana</i> Wettst.	1.2
<i>Rumex acetosella</i> L.	1.1
<i>Hypochoeris radicata</i> L.	1.1
<i>Orchis sambucina</i> L.	1.1
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	1.1
<i>Hieracium lactucella</i> Wallr.	1.1
<i>Linum catharticum</i> L.	1.1
<i>Briza media</i> L.	1.1
<i>Luzula campestris</i> (L.) DC.	+ .2
<i>Polygala vulgaris</i> L.	+
<i>Carex pallescens</i> L.	+
<i>Orchis morio</i> L.	+
<i>Fragaria vesca</i> L.	+
<i>Campanula persicifolia</i> L.	+
<i>Anga reptans</i> L.	+
<i>Erigeron acris</i> L.	+

Der Pflanzenbestand wurde nach der üblichen pflanzensoziologischen Methode (Braun-Blanquet 1964) aufgenommen. Nomenklatur der Pflanzen richtet sich nach Ehrendorfer (1973).

Die Dynamik des aktuellen Mineralstickstoffgehaltes (N_{mom}) ist in Tabelle 2 angegeben. Im Vergleich mit dem Gesamtstickstoffgehalt N_{mom} war im Durchschnitt nur 0,4% des Gesamtstickstoffs vertreten. Die niedrigsten N_{mom} -Werte wurden am Sommerende bzw. im Herbst (September 1983, August und Oktober 1984) gemessen. Das stimmt mit den Ergebnissen aus einigen anderen Gebieten überein (vgl. Klötzli 1969, Runge 1971, Kovacs 1975, Fousseki and Margaris 1981).

Tab. 2. Aktueller Mineralstickstoffgehalt (N_{mom})

Datum	N_{mom} (mg/100 g)	
	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$
13. 06. 83.	0,0	1,75
05. 07. 83.	0,0	1,56
23. 07. 83.	0,0	1,08
15. 08. 83.	0,0	1,51
05. 09. 83.	0,0	0,35
26. 09. 83.	0,0	0,06
17. 10. 83.	0,0	0,94
07. 11. 83.	0,0	1,30
26. 04. 84.	0,0	3,40
25. 05. 84.	0,0	1,07
18. 06. 84.	0,0	1,14
09. 07. 84.	0,0	1,96
22. 07. 84.	0,0	1,16
20. 08. 84.	0,0	0,33
03. 09. 84.	0,0	1,15
10. 10. 84.	0,0	1,31
17. 10. 84.	0,0	0,0
15. 05. 85.	0,0	1,26

Die Mineralstickstoffakkumulation im Freilandbrutversuch (N_{ak}) ist aus Abb. 1 und Tabelle 3 ersichtlich. In der Vegetationsperiode 1983 wurde N_{ak} nur im Juli (Probe von 23. 07.) festgestellt. 1984 herrschten offensichtlich etwas günstigere Bedingungen für die Stickstoffmineralisation. Die grösste N_{ak} wurde im Juni und im August gemessen. Im April 1984 (Probe vom 26. 04.) konnte weder im Freiland- noch im Labor-Brutversuch Mineralstickstoffakkumulation festgestellt werden (vgl. Tab. 3) trotz der günstigen Temperatur- und Bodenwasserverhältnisse

STICKSTOFFMINERALISATION IM *FESTUCO-AGROSTIETUM NARDETOSUM*

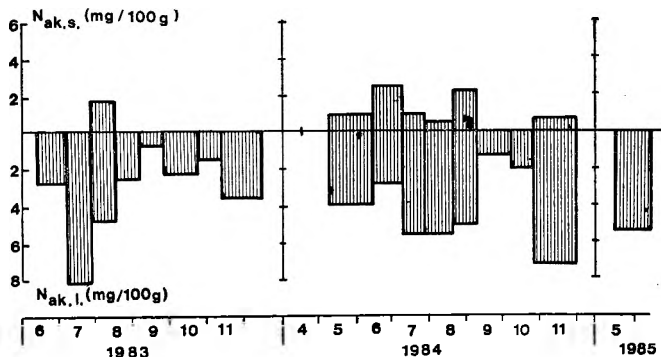


Abb. 1. Stickstoffakkumulationsverlauf im Freilandbrutversuch (N_{ak.s.}) und im Laborbrutversuch (N_{ak.l.})

T a b. 3. Mineralstickstoffakkumulation im Freilandbrutversuch (N_{ak.s.}) und im Laborbrutversuch (N_{ak.l.})

Zeitintervall	N _{ak.s.} (mg/100 g)		N _{ak.l.} (mg/100 g)	
	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N
13. 06. — 25. 06. 83.	0,0	0,0	0,0	2,8
05. 07. — 16. 08. 83.	0,0	0,01	0,0	8,3
23. 07. — 03. 09. 83.	0,0	1,67	0,0	4,91
15. 08. — 26. 09. 83.	0,0	0,0	0,0	2,49
05. 09. — 17. 10. 83.	0,0	0,0	0,0	0,67
26. 09. — 07. 11. 83.	0,0	0,0	0,0	2,29
17. 10. — 28. 11. 83.	0,0	0,0	0,0	1,52
07. 11. — 19. 12. 83.	0,0	0,0	0,0	3,57
26. 04. — 07. 06. 84.	0,0	0,0	0,0	0,00
25. 05. — 06. 07. 84.	0,0	0,92	0,0	4,11
18. 06. — 30. 07. 84.	0,0	2,63	0,0	2,81
09. 07. — 20. 08. 84.	0,0	0,91	0,0	5,51
22. 07. — 02. 09. 84.	0,0	0,50	0,0	5,56
20. 08. — 01. 10. 84.	0,0	2,32	0,0	5,06
03. 09. — 15. 10. 84.	0,0	0,0	0,0	1,31
10. 10. — 21. 11. 84.	0,0	0,0	0,0	1,92
17. 10. — 28. 11. 84.	0,0	0,74	0,0	7,12
15. 05. — 26. 06. 85.	0,0	0,0	0,0	5,39

im Laborbrutversuch. Es scheint, dass die für ein bestimmtes Zeitintervall erhaltenen Werte der Stickstoffnachlieferung nicht nur von den Bedingungen während dieses Zeitraums, sondern auch von den vorher herrschenden Verhältnissen abhängig sind. Da die Mineralstickstoffakkumulation (Netto-Mineralisation) in der Vegetationsperiode der Unterschied zwischen der Brutto-Mineralisation und der Mineralstickstoffimmobilisation ist, muß die Mikroorganismenzahl und ihre Tätigkeit am Anfang der Vegetationsperiode über ein bestimmtes Mass aufwachsen, um eine positive Stickstoffakkumulation im Boden zu erreichen (Zöttl 1960 b, Runge 1974).

Die in unseren Freilandbrutversuchen festgestellte Mineralstickstoffakkumulation im *Festuco-Agrostietum nardetosum* betrug nur 11,20 kg N_m /ha pro Vegetationsperiode. Das ist viel weniger als z.B. in einigen Arrhenathereten-Wiesen in der Bundesrepublik Deutschland, wo die N_m -Summen von 30—54,8 kg/ha im Oberboden (bis über 100 kg/ha im ganzen Bodenprofil) festgestellt wurden (vgl. Dierschke 1974). Für den Trespen-Halbtrockenrasen (*Mesobromion*) im Jura bei Basel wurden die Werte von 20—30 kg N_m /ha erhalten (Gigon 1968). Eine schlechtere Mineralstickstoffversorgung als in unserem *Festuco-Agrostietum nardetosum* im Medvednica-Gebirge, wurde in einigen Gesellschaften auf Rendzinaböden, wie *Geranio-Peucedanetum* (7,3—11,3 kg/ha), *Teucrio-Seslerietum* (3,2—6,9 kg/ha), *Gentiano-Koelerietum* (2,0—4,9 kg/ha) festgestellt (Dierschke 1974).

Mit der schlechten Stickstoffversorgung des *Festuco-Agrostietum nardetosum* im Medvednica-Gebirge stimmt auch die niedrige nach Ellenberg (1963) berechnete mittlere N-Zahl ($mN_i = 1,48$) überein.

Es sei noch betont, dass der Mineralstickstoff im Boden des *Festuco-Agrostietum nardetosum* ausschliesslich als Ammonium vorhanden war (vgl. Tab. 2 u. 3). Das bedeutet, dass im Boden keine Nitrifikationsvorgänge herrschten. Man könnte eine sehr saure Bodenreaktion als Ursache voraussetzen (vgl. Gigon 1968, Marković-Gospodarić 1968, Zöttl 1960d, Kovacs 1975, 1975, Ellenberg 1982).

Die Ergebnisse verschiedener Autoren zeigen jedoch, dass bei noch niedrigeren pH-Werten als im *Festuco-Agrostietum nardetosum* eine gewisse Nitrifikation festgestellt werden konnte (vgl. Klötzli 1969, Runge 1971, 1974, Dierschke 1974, Hršak 1987). Niedrige pH-Werte könnten demnach nicht als wichtigster bzw. einziges limitierender Nitrifikationsfaktor genommen werden, sondern es können auch andere Bodenfaktoren die Tätigkeit der Nitrifikationsmikroorganismen verhindern.

Auch in Laborbrutversuchen wurde im *Festuco-Agrostietum nardetosum* ausschliesslich Ammoniumstickstoff festgestellt. Seine Gesamtmenge war aber mehrfach grösser als im Freilandbrutversuch am Standort und betrug 75,54 kg/ha pro Vegetationsperiode.

Literatur

- Allen, S. E., H. M. Grimshaw, J. A. Parkinson, C. Quarmby, 1974: Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications, Oxford—London—Edinburgh—Melbourne.
- Braun-Blanquet, J., 1964: Pflanzensoziologie. Springer Verlag, Wien—New York.
- Dierschke, H., 1974: Saumgesellschaften im Vegetations- und Standortsgefälle an Waldrändern. Scripta Geobotanica 6, Göttingen.

- Ehrendorfer, F.**, (Ed.), 1973: Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. 2. Aufl. Fischer, Stuttgart.
- Ehrhardt, F.**, 1959: Untersuchungen über den Einfluss des Klimas auf die Stickstoffnachlieferung von Waldhumus in verschiedenen Höhenlagen der Tiroler Alpen. Diss. Staatwirtsch. Fak. Univ. Münch.
- Ellenberg, H.**, 1963: Stickstoff als Standortfaktor. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 77, 82—92.
- Ellenberg, H.**, 1982: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Fousseki, E., N. S., Margaris**, 1981: Nitrification in a phryganic (east mediterranean) ecosystem. *Ekologija* 61(2), 167—172.
- Gigon, A.**, 1968: Stickstoff- und Wasserversorgung von Trespen-Halbtrockenrasen (Mesobromion) im Jura bei Basel. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stifftg. Rübél 38, 28—85.
- Gračanin, M.**, 1950: Metodika ekoloških istraživanja tla. U: S. Horvatić (edit.): Priručnik za tipološko istraživanje i kartiranje vegetacije 89—207. Nakladni zavod Hrvatske, Zagreb.
- Horvat, I.**, 1962: Vegetacija planina zapadne Hrvatske. *Acta biologica* II, Prirodoslov. istraživ. JAZU 30, Zagreb.
- Hršak, V.**, 1987: Istraživanje dinamike dušika u tlima nekih biljnih zajednica na Medvednici. Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Klötzli, F.**, 1969: Zur Ökologie nordschweizerischer Bruchwälder. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stifftg. Rübél 39, 56—123.
- Kovacs, M.**, 1975: Beziehung zwischen Vegetation und Boden. *Akademiai Kiadó*, Budapest.
- Markovič-Gospodarić, Lj.**, 1968: Istraživanja mineralnog dušika na staništima dviju nitrofilnih biljnih zajednica u južnoj Njemačkoj. *Acta Bot. Croat.* 26/27, 53—70.
- Montgomery, H. A. C., J. F., Dymock**, 1962: The rapid determination of nitrate in fresh and saline waters. *Analyst* 87, 374—378.
- Regula-Bevilacqua, Lj.**, 1978: Biljni pokrov Strahinšćice u Hrvatskom zagorju. Doktorska disertacija, Zagreb.
- Runge, M.**, 1965: Untersuchungen über die Mineralstickstoffnachlieferung an nordwestdeutschen Waldstandorten. *Flora* 155, 353—386.
- Runge, M.**, 1971: Investigation of the contents and the production of mineral nitrogen in soils. *Ecological Studies* 2. Springer Verlag, Berlin.
- Runge, M.**, 1974: Die Stickstoff-Mineralisation im Boden eines Sauerhumus-Buchenwaldes. *Oecol. Plant.* 9(3), 201—218.
- Scharrer, K., W., Seibel**, 1956: Bestimmung von Nitrat in Boden- und Pflanzenextrakten nach der 2,4-xylenol Methode. *Z. Tierernährg. Futtermittelkde.* 11, 131—194.
- Steubing, L.**, 1965: Pflanzenökologisches Praktikum. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Trinajstić, I.**, 1972: Prilog fitocenološko tipološkim istraživanjima livadne vegetacije gorskih predjela Hrvatske. *Poljopriv. znan. smotra* 28, 95—101.
- Zöttl, H.**, 1960a: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoffnachlieferung des Waldbodens. *Forstws. Cbl.* 79(3/3), 72—90.
- Zöttl, H.**, 1960b: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. I Beziehung zwischen Bruttomineralisation und Nettomineralisation. *Plant and Soil* 13(2), 116—182.
- Zöttl, H.**, 1960c: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. II Einfluss des Stickstoffgehaltes auf die Mineralstickstoffnachlieferung. *Plant and Soil* 13(3), 193—206.
- Zöttl, H.**, 1960d: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. III pH-Wert und Mineralstickstoff-Nachlieferung. *Plant and Soil* 13(3), 207—223.

SUMMARY

DYNAMICS OF NITROGEN MINERALIZATION IN THE SOIL
OF THE COMMUNITY *FESTUCO-AGROSTIETUM NARDETOSUM*

Vladimir Hršak and Ljudevit Ilijanić

(Department of Botany, Faculty of Science, University of Zagreb)

The dynamics of nitrogen mineralization in the soil of the community *Festuco-Agrostietum* Ht. 1962 *nardetosum strictae* Trinaj. 1972 on the mountain Medvednica near Zagreb were investigated for two vegetational periods.

The soil in the community was strongly acid (pH in H₂O-4.72, and in KCl-3.74), very humous (6.17%) and the adsorption complex was unsaturated with bases. The average contents of total nitrogen amounted to 0.299% (0.235—0.381%), while mineral nitrogen accounted for a very low percentage (0.40% on an average) in relation to the total nitrogen contents.

The total accumulation of mineral nitrogen in the soil at a depth of 0—7 cm was 11.20 kg/ha during the vegetational period, which shows that the community *Festuco-Agrostietum nardetosum strictae* has a poor nitrogen supply. The mineral nitrogen in the soil of this community appeared exclusively in the form of ammonium, both in the natural habitat and under laboratory conditions of incubation. The accumulation in the laboratory was, however, considerably higher than in the habitat, and it amounted to 75.54 kg/ha during the vegetational period.

SAŽETAK

DINAMIKA MINERALIZACIJE DUŠIKA U TLU ZAJEDNICE
FESTUCO-AGROSTIETUM NARDETOSUM

Vladimir Hršak i Ljudevit Ilijanić

(Botanički zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu)

Dvije vegetacijske sezone istraživana je dinamika mineralizacije dušika u tlu sastojine zajednice *Festuco-Agrostietum* Ht. 1962 *nardetosum strictae* Trinaj. 1972 na Medvednici (Zagrebačkoj gori).

Tlo u toj zajednici bilo je jako kisele reakcije (pH u H₂O 4,72, u KCl 3,74), vrlo humozno (6,17%), a adsorpcijski kompleks bazama je bio nezasićen. Prosječna količina ukupnog dušika iznosila je 0,299% (0,235—0,381%), dok je mineralni dušik bio zastupljen vrlo malim postotkom (prosječno 0,40%) u odnosu na količinu ukupnog dušika. Akumulacija mineralnog dušika na staništu i u laboratoriju znatno je varirala tijekom vegetacijske sezone. Ukupna akumulacija mineralnog dušika na staništu (0—7 cm) iznosila je 11,20 kg/ha po sezoni što pokazuje da je zajednica *Festuco-Agrostietum nardetosum strictae* slabo opskrbljena dušikom. Mineralni dušik se u tlu ove zajednice nalazio isključivo u amonijskom obliku, kako na staništu tako i u laboratorijskim pokusima inkubacije. Akumulacija u laboratoriju bila je međutim znatno veća i iznosila je 75,54 kg/ha po sezoni.

Mr. Vladimir Hršak.

Prof. dr. Ljudevit Ilijanić

Botanički zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Marulićev trg 20/II

YU-41000 Zagreb (Jugoslavija)