

根釧地方の草地に対する窒素質肥料の 施用法に関する研究

II. 早春のチモシーの養分吸収・生育
に及ぼすアンモニア態窒素および
硝酸態窒素の影響*

袴田 共之** 平島 利昭***

Application Method of Nitrogen Fertilizers to Pastures
in Nemuro-Kushiro District

II. Effects of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ on nutrient uptake
and growth of timothy in early spring

Tomoyuki HAKAMATA* and Toshiki HIRASHIMA

人工気象箱による8日間の水耕実験を行った結果、萌芽後のチモシーの窒素吸収量、地上部のりん酸、マグネシウムの各含有率は硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)培養液で高く、地上部窒素含有率はpH3では窒素形態に関係なく低く、pH7では培養液中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 比率が増すほど高く、pH5では中間の傾向であった。根部のカルシウム、マグネシウム、地上部のカリウムの各含有率は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 培養液ではその窒素濃度が高い程上昇し、アンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)培養液では逆に低下した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 培養液によるチモシーには枯葉が多く、根部は短く灰褐色を呈し分枝根や根毛が少なかった。地上部および根部の風乾物重は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 単独または $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ の共存の場合の方が、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 単独より勝った。以上のことから、培養液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ がチモシーの根に傷害を与え養分吸収・生育を抑制するため、地上部の生育も停滞するが、培養液中に $\text{NO}_3\text{-N}$ が含まれるとそれらの抑制は軽減されることが考えられる。

結 言

前報⁶⁾の水耕および土耕のポット試験において早春萌芽後のチモシーは硝酸態窒素およびアンモ

ニア態窒素(以下、それぞれ $\text{NO}_3\text{-N}$ および $\text{NH}_4\text{-N}$ と記す)の両者を良く吸収し、土耕の場合は生育に対する両形態の影響の違いはうかがわれなかった。ところが、数種の草地における試験においては、両形態窒素を併用した場合に比較的高収を得たが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ または $\text{NH}_4\text{-N}$ を単用して最高収量を得ることはむずかしかった。この点に関して、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の割合が高い施肥の場合には多量の降雨による溶脱が推測され、結果を不安定にしている可能性を指摘した。しかし、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 単独

- 本報の概要は、1977年度日本土壌肥科学会北海道支部秋季大会(1977年12月)で発表した。
- 北海道立根釧農業試験場 標津郡中標津町
- 元北海道立根釧農業試験場(現農林水産省北海道農業試験場 札幌市豊平区羊ヶ丘)

施用の場合については言及できなかった。

ところで、作物の養分吸収・生育に対する窒素（以下Nと記す）形態の影響は、作物の種類¹⁷⁾や生育段階¹³⁾のほか、環境や培地の条件（pH^{1,8,9,11,12)}、温度^{7,12,16,19)}、N濃度^{3,5,7,10,13)}、通気^{1,2)}など）により異なることが報告されている。前報の試験結果にはこれらの環境や培地の条件の違いが反映していることも考えられる。ところが、チモシーについてこれらの条件による違いを検討した報告はみあたらない。そこで、培養液中のN形態がチモシーの養分吸収・生育に及ぼす影響と、それが上記の条件によってどう変るかを水耕実験により検討し、早春萌芽後のチモシーに対するNH₄-NとNO₃-Nの影響の特徴を明らかにしようとした。

なお、N形態の影響に関する従来の報告は、個体変異の小さい作物による、精度の高い水耕実験によるものが多いため、統計的検討はあまり行われていない。本実験は、①形質の個体変異が大きいチモシーを扱い、②N形態の主効果のほかに、N形態と他の因子との2因子交互作用効果を評価したいなどの理由により、直交表を利用した多因子実験¹⁵⁾として実施したものである。

材料および実験方法

1. 材料

チモシー（品種：Champ；1974年夏に播種）のクローンを1975年5月下旬には場より採取し、根をよく洗浄した後、水道水にて新根を発生させた。生育ステージおよび大きさのできるだけそろったものを選び、各ポット（3ℓ容）当り10本を供試した。

2. 実験方法

表1の実験設計に従い水耕培養を行った。供試培養液の組成は表2のとおりである。温度処理は人工気象箱（2×2×2 m、自然光）により設定した。通気処理は溶存酸素計（東芝・ベックマン社製）で監視しながら、通気時間を変え3水準（それぞれ、おおむね0、0.5、1～2時間/日）を設定した。培養液のpHは、毎日午前中にガラス電極pHメーターによりHClおよびNaOHを使用して調節した。

実験は、3日間のならし培養（通気：1時間/日；N濃度：10 ppm；他は各処理条件）の後、新しい培養液に交換し、各処理を6月3～10日の8日間実施した。その間、培養液の交換は行わなかった。

Table 1. Experimental design.¹⁾

Factors (Symbols)	Levels		
	1	2	3
Temperature (T)	5°C	9°C	16°C
Aeration (A) ²⁾	None	Light	Heavy
pH (P)	3	5	7
Nitrogen concentration (C)	10 ppm	40 ppm	70 ppm
Nitrogen form (F)	NH ₄	NH ₄ NO ₃	NO ₃

Note 1) Fractional (1/3) factorial design of 5 factors experiment using orthogonal array table (L₈₁).

2) Culture solutions were aerated for about 0.5 or 1-2 hr/day at the 2nd (light) level or the 3rd (heavy) level, respectively, by monitoring with a oxygen analyzer.

Table 2. Composition of culture solution used.

Elements	N	P	K	Ca	Mg	S
Concentration (ppm)	<i>vide</i> Table 1.	15	39	29	24	46

Note) In addition to the above elements, the following elements were added —
Cu, Zn, B, Mo, Mn, Al : 1 ppm each, Co : 0.5 ppm, EDTA-Fe : 10 ppm,
Si : one spoon per a pot as sodium silicate.

Table 3. Analysis of variance (ANOVA) of effects of nitrogen form in culture solution on nitrogen contents and absorbed nitrogen.

Source of variance ²⁾	N content		Absorbed N		
	Root	Top	Root	Top	Root+Top
Mean squares					
F	0.15	0.81**	298.0**	1,651*	2,645**
F×T	0.14	0.02	55.0	175	168
F×A	0.04	0.09	13.9	140	176
F×P	0.04	0.17†	5.3	185	250
F×C	0.06	0.07	15.6	343	486
Error	0.07	0.08	26.9	335	473
General mean ¹⁾	1.66	2.70	8.04	47.9	55.9
C. V. (%) of error	16.4	10.4	64.5	38.2	38.9

Note 1) Units : N content, % ; absorbed N, mg/pot.

2) Symbols used are the same as in Table 1.

3) Degrees of freedom : Main effect, 2; interaction, 4 ; error, 30.

4) †, *, ** 10%, 5%, 1% significant level, respectively.

調査は6月11日に各形質について行い、純水で洗浄した牧草を地上部（茎葉+球茎）と根部に分け、70°Cで通風乾燥（48時間）後秤量、粉碎して分析に供した。牧草体Nはセミマイクロケルダール法により分析し、¹⁵Nの質量分析は理化学研究所に依頼した。湿式分解液について、りん（P）はモリブデンブルー比色法、カリウム（K）、カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）は原子吸光法により定量した。

データの統計計算は、農林水産省農林研究計算センターにて、同ライブラリープログラム¹⁴⁾を使用して実施した。

実験結果

本実験は表1の設計で実施したが、本報では各形質に対するN形態の影響（主効果；以下、単に主効果と記す場合がある）と、それが他の各因子によってどう変るか（2因子交互作用効果；以下、交互作用と略記する）を検討した。したがって、N形態以外の因子の主効果について、およびN形態のかかわらない交互作用については検討の対象からはずしている。

1. 窒素含有率・吸収量

根部のN含有率に対するN形態の影響については、分散分析結果（表3）によると有意性が認められなかった。

一方、地上部については、N含有率に対する有

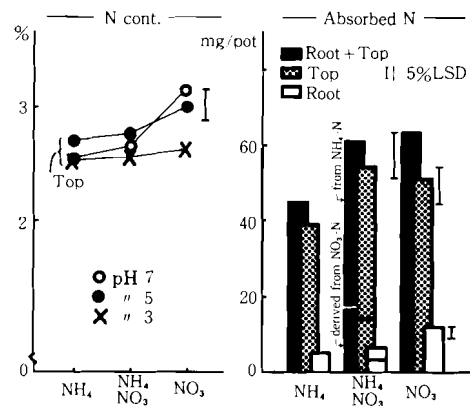


Fig. 1 Effects of nitrogen form on nitrogen content and absorbed nitrogen during the period of experiment (difference in mg N per a pot of the initial value from that at the end of the experiment).

意な主効果、およびpHとの間の有意な交互作用が認められた。主効果/交互作用の分散比は、4.76とかなり大きいので、まず主効果を検討し、その上で交互作用を検討¹⁵⁾した。すなわち、地上部のN含有率（図1左）は培養液中NO₃-N比率が増すほど高かった。しかし、厳密にはpHにより異なり、pH3区ではN形態にかかわらず相対的に低含有率ではほぼ一定値を示し、pH7区では培養液中NO₃-N比率が増すほど上昇し、pH5区では中間の傾向であった。

次いで、実験期間中のN吸収量については、根

部, 地上部および個体 (根部+地上部を示す, 以下同様) において有意な主効果が認められ (表 3), 根部では NH_4 区 $\equiv$ NH_4NO_3 区 $<$ NO_3 区, 地上部および個体では NH_4 区 $<$ NH_4NO_3 区 $\equiv$ NO_3 区であった (図 1 右)。なお, N 吸収量について N 形態と他の因子との交互作用は有意でなかった。

図 1 の NH_4NO_3 区の N 吸収量については, ^{15}N により $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ に由来する部分を分けて示した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 由来部分が根部では 49%, 地上部では 26%, 個体では 29% であった。すなわち, NH_4NO_3 培養液からチモシーは $\text{NH}_4\text{-N}$ をより多く吸収した。なお, 図示は省略したが各温度における $\text{NO}_3\text{-N}$ 由来部分の割合は, 個体について, 5℃ 区, 29%; 9℃ 区, 27%; 16℃ 区, 38% であったが区間差は統計的に有意ではなかった。この結果が前報の場合 (3~6℃ で約 30%, 11℃ で 46%) とやや異なったのは, 生育段階 (前報は種子から発芽, 生育した牧草), pH (前報は非調節)

などの実験条件のちがいによると考えられる。

2. 無機成分含有率

分散分析結果 (表 4) によると, 主効果のみ有意な形質は地上部の P, Mg であった。具体的には (図 2), いずれも NO_3 区が最高値を示し, 他の 2 区間では, P は NH_4 区 $\equiv$ NH_4NO_3 区であったが, Mg は NH_4 区 $<$ NH_4NO_3 区であった。なお, 地上

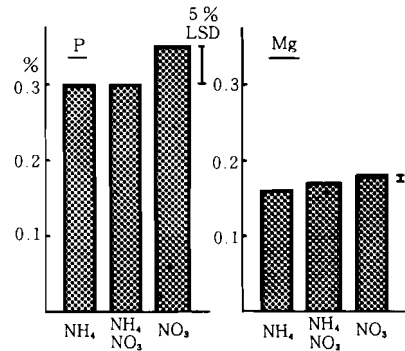


Fig. 2 Statistically significant effects of nitrogen form on mineral contents in timothy top.

Table 4. ANOVA of effects of nitrogen form in culture solution on mineral contents in timothy root and top.

Source of variance ²⁾	Root				Top			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
Mean squares	$\times 10^{-3}$		$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-3}$		$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$
F	15.0**	1.67**	31.7**	39.6**	24.8†	3.06**	1.0	3.4**
F × T	5.1†	0.28**	2.1†	3.5†	7.6	0.03	0.7	0.1
F × A	1.1	0.01	0.6	1.6	3.8	0.02	1.1	0.1
F × P	0.8	0.06	0.7	1.8	13.3	0.06	1.6	0.3
F × C	0.2	0.04	4.3**	3.9*	7.6	0.24**	0.4	0.4
Error	2.3	0.06	1.0	1.4	7.6	0.04	1.2	0.2
General mean ¹⁾	0.30	0.81	0.16	0.14	0.32	2.25	0.23	0.17
C.V.(%) of error	16.1	29.9	19.7	26.5	28.6	8.9	15.1	9.0

Note 1) Unit: %.

2), 3), 4) vide. Table 3.

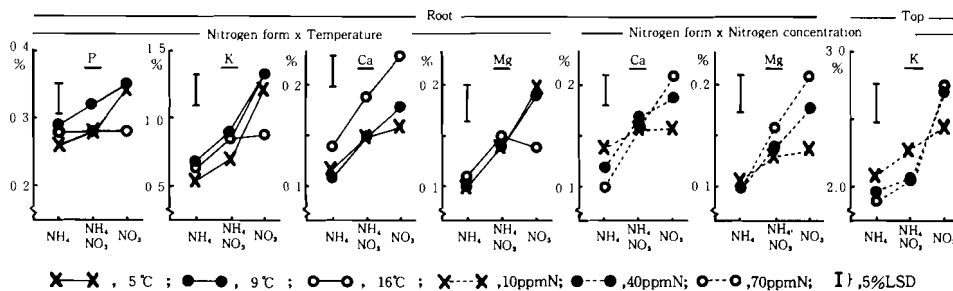


Fig. 3 Statistically significant interaction effects of nitrogen form on mineral contents in timothy roots and tops.

部のCaについては主効果・交互作用ともに有意でなく、N形態の影響はうかがわれなかった。

その他については主効果とともにいずれかの交互作用が有意であり、以下のとおりであった(図3)。

根部: K, Ca, Mgに対する主効果が有意で、いずれも NH_4 区 $<\text{NH}_4\text{NO}_3$ 区 $<\text{NO}_3$ 区であった。Pについては主効果が有意であったが、主効果/交互作用の分散比が小さかった(2.93)ので、交互作用についてのみ検討すればよい¹⁵⁾。

これら4成分含有率に対するN形態の影響は温度によって異なった。すなわち、16°CにおけるP含有率にはN形態間の差が認められなかった。16°CにおけるK, Mg含有率および5°CにおけるCa含有率は、 NH_4 区 $<\text{NH}_4\text{NO}_3$ 区 $\approx\text{NO}_3$ 区であった。しかし、これらの温度条件下における特異的な反応の原因については、今回は明らかにできなかった。ちなみに、他の温度条件下では各成分含有率とも主効果の場合と同様の傾向であった。

CaとMg含有率については培養液中N濃度によってN形態の影響が異なった。 NO_3 区ではN濃度の上昇に伴い両含有率が上昇した。ところが、 NH_4 区のCaの場合はその関係が逆転し、Mgの場合はいずれも低含有率であった。なお、データは省略するが、Kについて有意ではないが類似の傾向がうかがわれた。これらのことから、 NO_3 区

ではカチオンがN濃度に応じて吸収され、 NH_4 区ではCaの吸収がN濃度に伴って、またMgはN濃度にかかわらず抑制(NH_4^+ との競合)された、といえる。

地上部: K含有率に対する主効果が有意であり、 NH_4 区 $<\text{NH}_4\text{NO}_3$ 区 $<\text{NO}_3$ 区であった(主効果/交互作用の分散比: 12.8)。しかし、培養液中N濃度によって異なり、 NH_4 区ではN濃度が高いとK含有率は低下し、 NO_3 区ではその逆の傾向がうかがわれ、根部と同様の関係を示した。なお、この関係はCaとMgについては認められなかった。

3. チモシーの生育

根部(表5, 図4): 根長に対する主効果が有意であり、 NH_4 区 $\approx\text{NH}_4\text{NO}_3$ 区 $<\text{NO}_3$ 区で、 NH_4 —

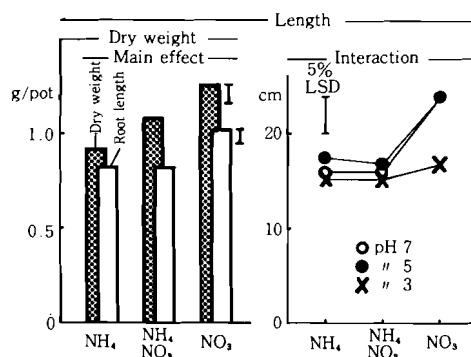


Fig. 4 Effects of nitrogen form on dry weight and length of timothy root.

Table 5. ANOVA of effects of nitrogen form in culture solution on growth of timothy.

Source of variance ²⁾	Root		Top						Root + Top
	Length	Dry weight	Length	Dry weight	New tiller	Number of leaf			Dry weight
						Green leaf	Brown leaf	Total	
Meen squares									
F	150.1 **	0.833 **	93.2 **	0.99	0.05	15.74**	12.86 **	0.21	3.14 *
F × T	3.6	0.041	9.8	0.25	0.05	0.08	0.49	0.37	0.41
F × A	6.4	0.030	1.4	0.11	0.38	0.05	0.30	0.22	0.34
F × P	19.3 **	0.047	2.6	0.75	0.10	0.02	0.13	0.11	1.34
F × C	2.0	0.037	4.1	0.20	0.19	0.57	0.43	0.17	0.47
Error	4.4	0.058	6.4	0.43	0.20	0.33	0.26	0.23	0.72
General mean ¹⁾	17.6	1.09	32.0	3.57	1.8	5.7	2.4	8.1	4.66
C. V. (%) of error	11.9	22.1	7.9	18.4	24.5	10.1	21.4	5.9	18.3

Note 1) Units: Length, cm; dry weight, mg/pot.

2), 3), 4) vide Table 3.

Nを含む区が明らかに劣った。また、pHとの交互作用が認められ、pH3の時にはN形態にかかわらず短く、pH5および7においては NO_3 区が勝った。

一方、根の風乾物重に対しては主効果のみ有意であり NH_4 区 $<\text{NH}_4\text{NO}_3$ 区 $<\text{NO}_3$ 区であった。

なお、観察(写真1)によると、 NH_4 区のチモシー根は NO_3 区に比べ分枝根や根毛が少なく、実験期間の後半には灰褐色の根が急増し、それらの触感は軟弱であった。根の横断面の顕微鏡観察(写真2)によれば、 NH_4 区の根は中心柱外縁の内皮の明瞭なものが多い反面、外皮および中間の柔組織がぜい弱であった。すなわち、 NH_4 区の根は $\text{NH}_4\text{-N}$ による傷害を受けたと判断される。

地上部(表5、図5)：有意性が認められたのは、茎葉長、緑葉数および枯葉数に対する主効果のみであり、風乾物重、新分けつ数および総葉数に対する主効果は有意でなかった。また、有意な交互



Plate 1 Timothy roots grown with culture solutions containing $\text{NO}_3\text{-N}$ (left) and $\text{NH}_4\text{-N}$ (right).

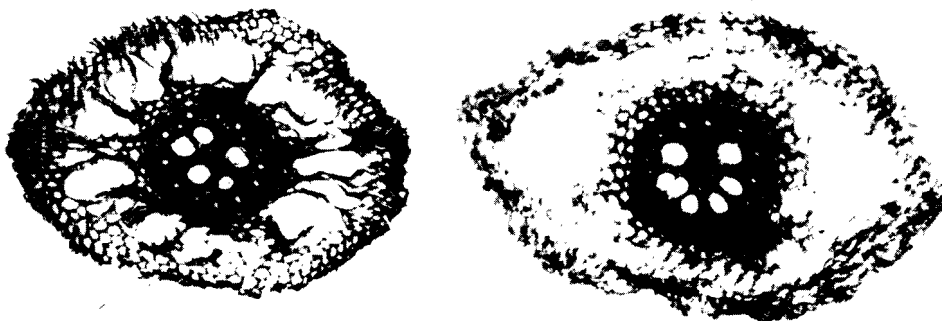


Plate 2 Transverse sections of timothy roots grown with culture solutions containing $\text{NO}_3\text{-N}$ (left) and $\text{NH}_4\text{-N}$ (right).

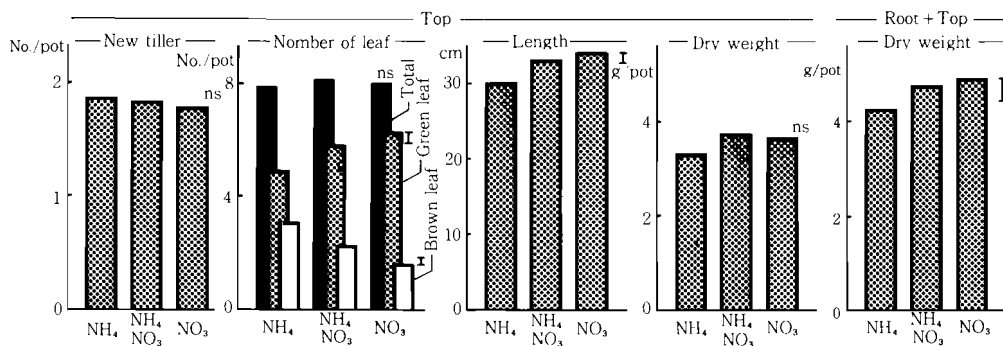


Fig. 5 Effects of nitrogen form on the growth of timothy top and whole plant. Interactions of nitrogen form with other factors were not significant.

作用は認められなかった。具体的には次のとおりであった。

N形態は基数に対して影響を与えなかった。すなわち、供試クローンは各ポット 10 本であり、新分けつ数にN形態による差がなかったため全基数としても差がなかった。総葉数についての有意性は認められなかったが、緑葉と枯葉に分けると、緑葉数は NH_4 区 $<$ NH_4NO_3 区 $<$ NO_3 区であり枯葉数は逆であった。一方、茎葉長は NH_4 区が明らかに劣っていた。従って風乾物重は NH_4 区 $<$ NH_4NO_3 区 $\approx$ NO_3 区の傾向がうかがわれたが、区間差は有意でなかった。

個体 (表 5, 図 5) : N形態は個体の風乾物重に有意な影響を与え、 NH_4 区 $<$ NH_4NO_3 区 $\approx$ NO_3 区であった。交互作用は認められなかった。

考 察

1. 実験の精度および交互作用

本実験の精度を誤差の変異係数でみる (表 3 ~ 5) と、根部のN吸収量が約 65% であったほかは多くの形質で 10 ~ 30% 前後を示し、ほ場試験よりやや精度が高い程度であった。これは、おもにチモシーの各形質の変異が元来大きいことによると考えられる。

つぎに、N形態の各形質に対する影響は、概して大きく、特に根部において著しかった。有意な交互作用が認められた形質は全般に少なく、無機成分含有率の一部 (表 3, 4, 図 1, 3) のほか、生育に関しては根長 (N形態 $\times$ pH) についてののみ認められた (表 5, 図 4)。なお、根部の無機成分含有率にみられたN形態と温度との交互作用についての機作は不明である。また、通気との間の有意な交互作用は、調査した全形質に関し認められなかった。

N形態の影響が他の条件によって変るためには、その条件下で、ある程度の日数を経過する必要があると考えられる。本実験が、早春の再生初期を想定した短期間 (8 日間) の実験であったため、一般に施肥処理に対する反応が早い無機成分含有率 (とりわけ、相互に影響しやすいカチオン) と、培養液に直接接している根部に交互作用が早く現れたと考えられる。もし、この実験をより長期に継続すれば、傾向が一層明瞭になるとともに茎葉にも影響が及び、交互作用がより多くの形質

に現れると予想される。

2. 窒素形態の影響の特徴

越冬後再生したチモシーは NH_4NO_3 培養液から NH_4 -N をより多く吸収した。一方、N吸収および生育は NH_4 -N 培養液に比べ NO_3 -N 培養液で一層良好であった。

本実験条件下のチモシーが NH_4 区で生育が劣ったのは、他のカチオン吸収が NH_4^+ との競合のため NO_3 区より劣ったことにもよるが、そのほかに NH_4 -N の害作用が考えられる。

従来、一般に、 NO_3 -N 培地で生育した作物に比べ、 NH_4 -N 培地で生育した作物は、カチオン吸収が抑制されアニオン吸収が促進されるとされてきた^{2,18)}。ところが、本実験のチモシーは NH_4 区のPの吸収も抑制され、測定した全ての養分吸収が NH_4 区で劣っていた。これは、 NH_4 区のチモシーの養分吸収機能そのものが阻害されたことを示すと考えられる。作物に対する NH_4 -N の害作用としては根の呼吸・活性の阻害、光りん酸化反応の阻害、Nや炭水化物の代謝異常などが指摘されてきた¹⁸⁾。本実験においては NH_4 区の根に傷害が観察された。ペレニアルライグラスでは代謝異常の影響が根に最も現れやすいという³⁾。また Beaumont *et al.* は本実験結果と同様と考えられる牧草根の傷害を、無菌・非無菌培養の比較により微生物による損傷と推論している⁴⁾。害作用の機作はさておいても、根の傷害により養分吸収が劣りチモシーの生育が抑制されたことは十分推察できる。

ところで、 NH_4 -N および NO_3 -N に対する生育反応と選択吸収能との関係は、但野・田中¹⁷⁾ によれば、一般に、 NH_4 -N または NO_3 -N 培地で生育が良好な作物は、それぞれのN源を選択的に吸収する傾向がある (ただし、但野・田中の供試幼作物中にチモシーは含まれていない)。しかし、生育反応と選択吸収能について、今回のチモシーと同様の関係がペレニアルライグラスにおいても推定される。すなわち、ペレニアルライグラスは Beaumont *et al.*⁴⁾ によると NH_4 -N 培地より NO_3 -N 培地で良く生育するが、他方、Lycklama⁹⁾ によれば、 NH_4NO_3 培地から NH_4 -N をより多く吸収する。N形態と作物の養分吸収・生育との関係には極めて多くの要因が介在するので、作物や培養条件によっては、但野・田中の認めた一般的

傾向から外れる可能性は否定できない。今回のチモシーの場合は、 NH_4NO_3 培養液から $\text{NH}_4\text{-N}$ を選択的に吸収しながらも、 $\text{NH}_4\text{-N}$ による根の傷害が生じたため、相対的に $\text{NO}_3\text{-N}$ 単独培養液で生育が良かったものと考えられる。つまり、早春再生時のチモシーは、N吸収からみると好アンモニア性であるが、生育からみれば好硝酸性ということができる。

つぎに、従来の報告では、培地が酸性の時には $\text{NO}_3\text{-N}$ が有利で、中性の時には $\text{NH}_4\text{-N}$ が有利というものが多い^{1,8,11)}。しかし、本実験ではそれと異なり、pH 3 区では N 形態にかかわらず N 吸収や根の生長が劣り、また pH 5 区および pH 7 区では $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用が支配的となったために NO_3 区が勝ったと考えられる。

そこで、本実験結果を概括すれば、N 形態の影響は地上部より根部に対して大きく、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は根の養分吸収・生育を抑制し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は促進する傾向がある。そのため、 NH_4 区の地上部の生育は停滞し枯葉がふえるが、培養液中に $\text{NO}_3\text{-N}$ が含まれると生育阻害は軽減され、個体の風乾物重は NH_4 区でやや低下し、 NH_4NO_3 区は NO_3 区とほぼ等しかった。培養液の pH や温度 (春先に想定される低温条件) によって、この結果がやや異なることがあったが、それは N 形態と養分吸収・生育との関係を本質的に変えるほどではなかった。

なお、以上の結果から、前報における $\text{NH}_4\text{-N}$ 区の相対的な低収性⁹⁾が説明できるかもしれない。しかし、本実験結果をほ場条件へあてはめるためには、さらに土壤培地における $\text{NH}_4\text{-N}$ の害作用が確認される必要があると考えられる。

本実験の遂行にあたり根釧農業試験場草地科の科員に各種のご協力を頂き、とりまとめにあたっては、特に小関純一草地科長および松中照夫研究職員に貴重な討論を頂いた。各位に深く感謝する。

本稿の校閲を賜った国立公害研究所環境情報調査室広崎昭太室長、根釧農業試験場松代平治場長に深甚の謝意を表する。

引用文献

- 1) Arnon, D. I. "Ammonium and nitrate nitrogen nutrition of barley at different seasons in relation to hydrogen-ion concentration, manganese, copper, and oxygen supply". *Soil Sci.* **44**, 91-121(1937).
- 2) ——— "Effect of ammonium and nitrate nitrogen on the mineral composition and sap characteristics of barley". *Soil Sci.* **48**, 295-307(1939).
- 3) Barta, A. L. "Effect of nitrogen nutrition on distribution of photosynthetically incorporated $^{14}\text{CO}_2$ in *Lolium perenne*". *Can. J. Bot.* **53**, 237-242(1975).
- 4) Beaumont, A. B., Eisenmenger, W. S., Moore, W. J. "Assimilation of fixed nitrogen by grasses and clovers". *J. Agric. Res.* **47**, 495-503(1933).
- 5) Cox, W. J., Reisenauer, H. M. "Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogen as nitrate, or ammonium, or both". *Plant and Soil*, **38**, 363-380 (1973).
- 6) 袴田共之, 平島利昭. "根釧地方の草地に対する窒素質肥料の施用法に関する研究, I. 早春の牧草に対する硝酸態窒素施用についての一考察". 北海道立農試集報, **39**, 66-74 (1978).
- 7) 原田登五郎, 高木浩. "幼植物の生育と窒素の給源, I". 土肥誌, **35**, 181-186 (1964).
- 8) 春日井新一郎. "水耕法に関する研究". 土肥誌, **13**, 669-822 (1939).
- 9) Lycklama, J. C. "The absorption of ammonium and nitrate by perennial ryegrass". *Acta Bot. Neerl.* **12**, 316-423(1963).
- 10) MacLeod, L. B., Suzuki, M. "Effect of potassium on the content of amino acids in alfalfa and orchardgrass grown with NO_3^- and NH_4^+ nitrogen in nutrient solution culture". *Crop Sci.* **7**, 599-605(1967).
- 11) Michael, G., Schumacher, H., Marschner, H. "Aufnahme von Ammonium- und Nitratstickstoff aus markiertem Ammoniumnitrat und deren Verteilung in der Pflanze". *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd.* **110**, 225-238(1965).
- 12) Minotti, P. L., Williams, D. C., Jackson, W. A. "Nitrate uptake by wheat as influenced by ammonium and other cations". *Crop Sci.* **9**, 9-14(1969).
- 13) 尾形昭逸. "作物の生育に対するアンモニア態窒素と硝酸態窒素の栄養生理的意義に関する研究, I, $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の培養液中濃度と燕麦の生育との関係". 土肥誌, **34**, 313-322 (1963).
- 14) 奥野千恵子. "3^{*}型直交表実験の解析, II, ". 農林研究計算センター報告, **A8**, 1-31 (1972).
- 15) 奥野忠一, 芳賀敏郎. "実験計画法". 培風館, 1969, p. 94-130, p. 209-215, p. 250-257.
- 16) Stoin, H. R. "Effects of nitrogen nutrition and

temperature on the growth, carbohydrate content, and nitrogen metabolism of cool season grasses". Diss. Abstr. Intern., B. **30**, 28B(1969); Herbage Abstr. **40**, 2820(1970).

- 17) 但野利秋, 田中明. "アンモニア態および硝酸態窒素適応性の作物種間差, I, 生育初期におけるアンモニア態および硝酸態窒素選択吸収能と生育反応——比較植物栄養に関する研究——". 土肥誌. **47**, 321-328 (1976).
- 18) 高橋英一. "比較植物栄養学", 養賢堂, 1974, p. 51-61, p. 134-137.
- 19) 高橋治助, 柳沢宗男, 河野通佳, 矢沢文雄, 吉田武彦. "作物の養分吸収に関する研究". 農技研報告. **B4**, 1-84 (1955).

Application Method of Nitrogen Fertilizers to Pastures in Nemuro-Kushiro District

II. Effects of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ on nutrient uptake and growth of timothy in early spring

Tomoyuki HAKAMATA* and Toshiaki HIRASHIMA**

Summary

This paper describes the effects of ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$) and nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) on nutrient uptake and growth of timothy in early spring. Timothies were grown for eight days with culture solution containing $\text{NH}_4\text{-N}$ and/or $\text{NO}_3\text{-N}$ in three growth cabinets ($2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$, under natural light). The experiment was carried out according to the fractional ($1/3$) factorial design of five factors with the orthogonal array table (L_{81}) to study not only the main effect of the nitrogen forms but also the two-factor interaction of the nitrogen form factor with other factors, i.e., temperature, aeration, pH and nitrogen concentrations in solution (Table 1).

The results are summarized as follows:

Nutrient uptake and growth of timothy, especially in the root, were remarkably influenced by the form of nitrogen in culture solution. Some two-factor interactions were recognized among several characteristic values.

1) The higher the ratio of $\text{NO}_3\text{-N}$ in solution, the more nitrogen was absorbed by timothy plant. However, the nitrogen at exposed portions remained low at pH 3, but increased visibly at pH 7, and moderately at pH 5 as the $\text{NO}_3\text{-N}$ content of the solution was increased.

2) Calcium and magnesium contents increased in the root of timothy with the increase in $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration, but decreased with the increase in $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration. Similar tendency was observed on the potassium content in the exposed portion of timothy.

3) Timothies grown with $\text{NH}_4\text{-N}$ solution had many brown leaves and short greyish-brown roots having a few branched roots and root hairs.

4) The order of yields in the dried plant was as follows regardless of other factors: $\text{NH}_4\text{-N} < \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} \doteq \text{NO}_3\text{-N}$.

We conclude that the roots of timothy are damaged in $\text{NH}_4\text{-N}$ solution, so that their nutrient uptake and growth are suppressed compared to those grown with $\text{NO}_3\text{-N}$ solution.

* Hokkaido Prefectural Kosen Agricultural Experiment Station, Nakashibetsu, Hokkaido, 086-11 Japan

** Present address : Hokkaido National Agricultural Experiment Station, Hitsujigaoka, Sapporo, 061-01 Japan.