

水稲品種の根系発達におよぼすアンモニア態窒素と 硝酸態窒素の影響

野間 貴文・廣瀬 大介*・有馬 進
(作物生態生理学研究室, *南九州大学環境造園学部)
平成17年9月30日 受理

Effects of Ammonium Nitrogen and Nitrate Nitrogen on the Root System Development of Different Rice Varieties

Takafumi NOMA, Daisuke HIROSE* and Susumu ARIMA
(Laboratory of Crop Science, *Faculty of Environment Landscape
Architecture Minamikyushu University)
Received September 30, 2005

Summary

As a part to elucidate the influence that the chemical combination forms of nitrogen fertilizer gave to root system of different rice ecotypes, with nitrate nitrogen and ammonium nitrogen as nitrogen source, nine varieties has compared in water culture. As a result, better root system development was accepted in fertilizer nitrate nitrogen in three foreign rice varieties. Therefore the root system development of a case variety (IR24) and a control variety (Koshihikari) was examined and compared more in detail. The growth of IR24 was significantly higher compare to Koshihikari in nitrate and vice versa in ammonium until 75th day. In addition it was suggested that the nodal root number and degree of branching causes the total root length differences. Furthermore, it was shown that the difference of root system development was influenced by chemical form of nitrogen. However, a constant tendency was not seen in an ecotype and differences in root system formation and plant growth was suggested.

Key words: Ammonium nitrogen, Nitrate nitrogen, Nitrogen fertilizer, Rice plant, Root system

緒 言

著者ら¹⁾はこれまでに、施肥窒素の化合形態の違いが水稲の根系発達におよぼす影響について検討してきた。その結果、アンモニア態が、硝酸態より根長が長くなることを示し、その差が、分枝発達程度の差ではなく、節根数の差から生じていると考えた。しかし、品種によっては硝酸態がアンモニア態より生育が優れること²⁾や、根系発達におよぼす施肥窒素の化合形態の影響度合いが異なるとも報告されている^{2),3)}。

そこで本実験では、施肥窒素の化合形態が水稲の根系におよぼす影響を解明する一環として、水耕栽培における窒素源としてのアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響を生態型と根の太さが

異なる⁴⁾水稲10品種を用いて比較検討した。

材料と方法

(実験1) 本実験は、佐賀大学ガラス室内で行なった。供試品種には日本型水稲の亀治および秋晴、インド型水稲の Star Bonnet, Aurinaldora, M201および Yabani-Pearl, 日交雑水稲の統一, IR24および青二矮の9品種を用いた。2003年6月7日に、種籾を0.1%ベンレート溶液で消毒し、30℃、3日間の催芽処理を行なったのち、パーミキュライトを入れた容器に播種して育苗した。播種後15日苗(第2葉期)の茎基部をウレタンで巻き、培養液量40ℓを入れたコンテナの水面に浮かべた直径2cmの穴を開けた1cm厚の発泡スチロール板に移植した。各品種10個体ずつとし、1コンテナあたり3品種とした。水耕液の組成は春日井氏液⁵⁾を参考に第1表のようにした。水耕液は毎日午前と午後の2回、pH5.5に調整し、5日毎に更新した。試験区は、硫酸アンモニウムを施用したアンモニア区と硝酸ナトリウムを施用した硝酸区の2区とした。生育調査は水耕開始直前(播種後15日目)と播種後40日目、50日目の計3回行った。調査は各品種3個体について、葉身、葉鞘、稈および根の各器官乾物重と根長を測定した。根長はルーツキャナーにより測定した。

第1表 水耕液の組成。

各要素の形態	mg/L
KH_2PO_4	43.9
K_2SO_4	67.0
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	368.0
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	102.0
$\text{Na} \cdot \text{EDTA} - \text{Fe}$	13.1
$\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1.3
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2.2
H_3BO_3	2.8
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	100.0
or	
NaNO_3	125.0

窒素としてアンモニア区には $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を、硝酸区には NaNO_3 をそれぞれ用いた。

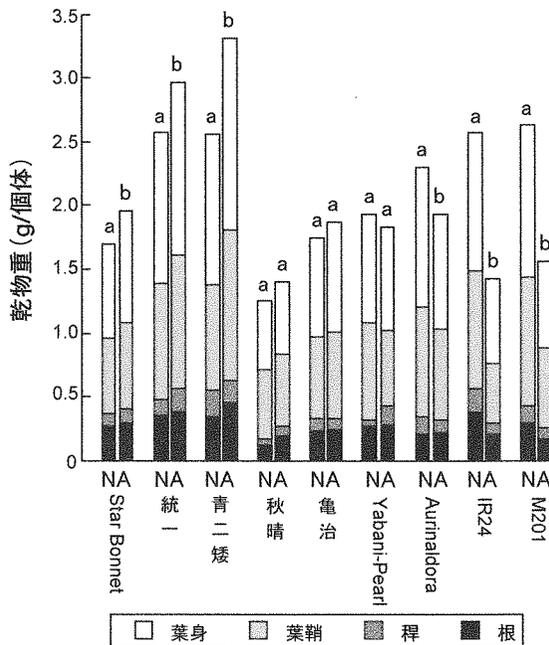
(実験2) 供試品種は、実験1で硝酸態窒素で生育が優れた IR24, 対照品種にアンモニア態窒素で生育が優れたコシヒカリ¹⁾の2品種を用いた。水耕栽培は実験1と同様に10月15日~12月30日の期間で行った。その際、加温と日長調節を行い、最低気温20℃、日長14時間とした。試験区はアンモニア区、硝酸区で、窒素濃度が20ppm, 30ppm および40ppm の3段階をそれぞれ設けた。調査は、水耕開始時から15日毎に播種後75日目までの計5回行った。調査項目は、葉身、葉鞘、稈および根の各器官乾物重ならびに節根数、根長、根端数を測定した。根長および根端数は、コンピューター画像解析法⁶⁾により測定した。

結 果

(実験1) 播種後50日目の器官別乾物重を第1図に示した。総乾物重は、秋晴、亀治および Yabani-Pearl は両区に有意な差は見られなかったが、Star Bonnet, 統一および青二矮は硝酸区より、アンモニア区が有意に増かった。逆に Aurinaldora, IR24および M201はアンモニア区より、硝酸区で有意に増かった。また、器官別では、全品種、いずれの試験区も葉身の値が最も重かった。また、アンモニア区、硝酸区それぞれで有意に生育が優れた品種は葉鞘が重かった。また、根乾物重については、硝酸区で有意に増かった IR24を除いて有意な差は見られなかった。

播種後50日目の各品種の地上部/地下部比(T/R比)を第2表に示した。秋晴、Yabani-Pearl および Aurinaldora では硝酸区が有意に高い値となった。しかし、他の品種では有意な差が見られなかった。

根長は、Star Bonnet および秋晴はアンモニア区で有意に長く、IR24および M201は硝酸区で



第1図 播種後50日目の器官別乾物重。

N：硝酸区，A：アンモニア区

図中の a, b は一元配置の分散分析により，同一品種内で5%水準で有意差があることを示す。

第2表 播種後50日目の T/R 比，比根長，節根数。

	Star	統一	青二矮	秋晴	亀治	Yaba	Auri	IR24	M201	
T/R 比	A	5.6	7.0	6.3	6.3	6.9	5.6	8.0	5.8	8.5
	N	5.2	6.3	6.5	9.0	6.4	6.3	10.3	5.8	8.1
	有意差	ns	ns	ns	*	ns	*	*	ns	ns
比根長 (m/g)	A	75	137	100	120	91	88	103	127	116
	N	61	138	125	102	77	85	113	128	83
	有意差	*	ns	*	*	*	ns	ns	ns	*
節根数	A	62	74	91	66	66	87	48	60	55
	N	53	68	77	47	57	63	46	61	62
	有意差	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*

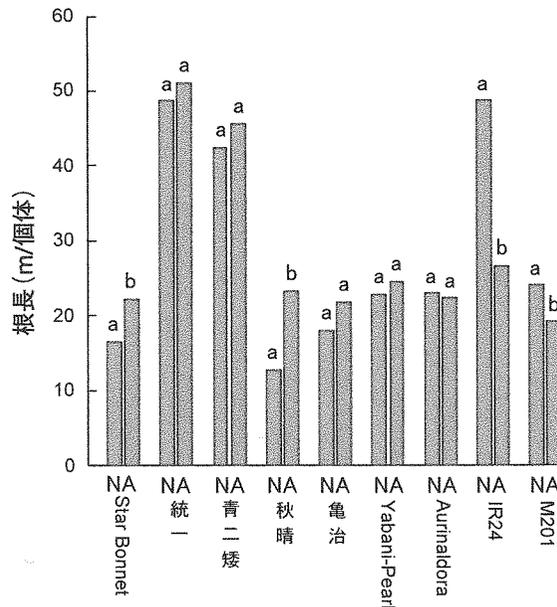
Star: Star Bonnet, Yaba: Yabani-Pearl, Auri: Aurinaldora, A: アンモニア区, N: 硝酸区を示す。

* は一元配置の分散分析により，同一品種内で5%水準で有意差があり，ns は有意差なしをそれぞれ示す。

有意に長くなった（第2図）。また，秋晴ではアンモニア区で約1.8倍長く，IR24では硝酸区で約1.9倍長くなった。その他の品種では有意な差が見られなかった。

播種後50日目の比根長（根長／根重比）を第2表に示した。Star Bonnet, 秋晴, 亀治およびM201はアンモニア区で，青二矮は硝酸区で有意に高い値を示した。しかし，統一, Aurinaldora, IR24およびYabani-Pearlでは有意な差が見られなかった。

播種後50日目の節根数を第2表に示した。青二矮, 秋晴およびYabani-Pearlはアンモニア区で，M201は硝酸区で有意に多い値を示した。しかし，他の品種では有意な差が見られなかった。



第2図 播種後50日目の根長。

N：硝酸区，A：アンモニア区

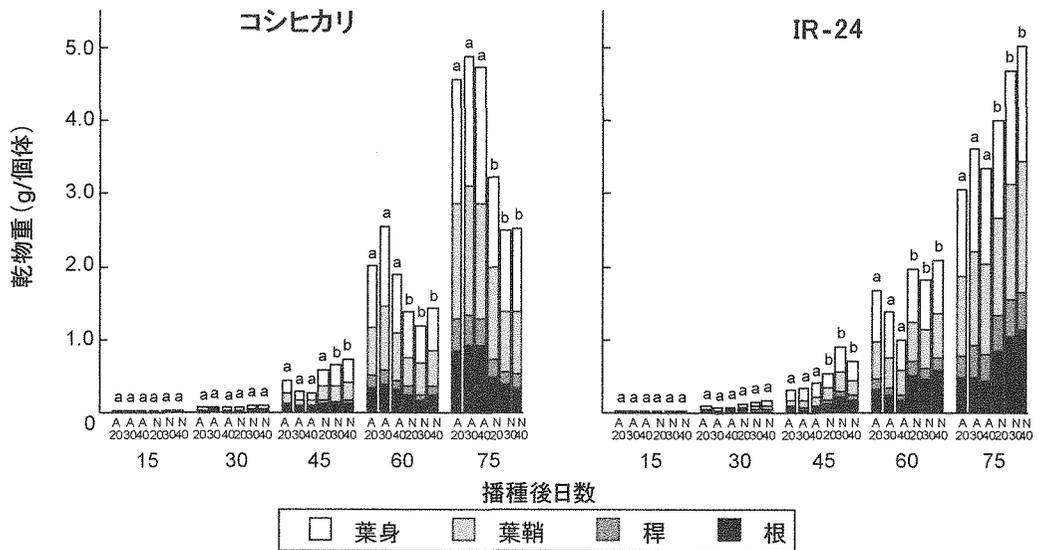
図中の a, b は一元配置の分散分析により，同一品種内で 5% 水準で有意差があることを示す。

(実験2) 器官別乾物重の推移を第3図に示した。総乾物重の増加は、コシヒカリでは播種後45日目まで硝酸区がやや優る傾向を示したが、60日目以降アンモニア区で有意に重くなった。また、播種後75日目の濃度別の値を見ると、濃度の違いによる有意な差は見られなかったが、アンモニア区では30ppmが重くなった。硝酸区でも有意な差は見られなかったが、20ppmで重く、30および40ppmでは劣る傾向を示した。また、根乾物重の増加反応は、総乾物重と同様な傾向を示したが、播種後75日目の濃度別の値を見ると、アンモニア区では濃度の上昇に伴って重くなり、硝酸区では濃度の上昇に伴って軽くなる傾向を示した。IR24の総乾物重は硝酸区が試験期間を通してアンモニア区に優った。また、播種後75日目の濃度別の値を見ると、両区で濃度の違いによる有意な差は見られなかったが、アンモニア区では30ppmが重くなった。硝酸区では40ppmで重く、濃度の低下に伴って劣る傾向を示した。

根長についても、両品種とも根重と同様の施肥反応を示した(第4図)。コシヒカリでは、20ppm区を除いて播種後60日目以降、アンモニア区が硝酸区より有意に長くなった。播種後75日目ではアンモニア区は硝酸区より、20ppmで約1.5倍、30ppmで約2.3倍、40ppmで約2.5倍長くなった。IR24では、30ppmで播種後45日目以降、硝酸区がアンモニア区より有意に長くなり、20ppm、40ppmでも60日目以降、硝酸区が有意に長くなった。播種後75日目では硝酸区はアンモニア区より、20ppmで約1.6倍、30ppmで約2.0倍、40ppmで約2.2倍長くなった。

播種後75日目の比根長(根長/根重比)を第5図に示した。コシヒカリでは硝酸区がアンモニア区より各区とも高い値を示したが、20ppm以外の区では有意な差が見られなかった。IR24ではアンモニア区が硝酸区より高い値を示したが、有意な差が見られなかった。

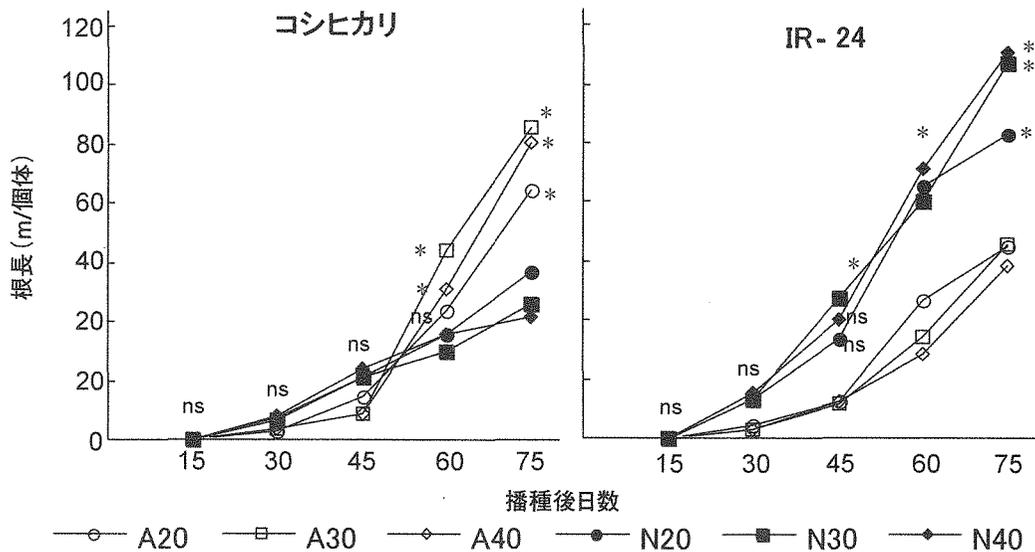
播種後75日目の節根数を第6図に示した。コシヒカリではアンモニア区が硝酸区より各濃度とも、有意な増加を示した。20ppmで約1.2倍、30ppmで約1.5倍、40ppmで約1.3倍増加した。IR24では硝酸区がアンモニア区より各濃度とも、有意な増加を示した。20ppmで約1.2倍、30



第3図 器官別乾物重の推移。

A20：アンモニア20ppm区，A30：アンモニア30ppm区，A40：アンモニア40ppm区，
N20：硝酸20ppm区，N30：硝酸30ppm区，N40：硝酸40ppm区。

図中の a， b は一元配置の分散分析により，同一品種内で 5%水準で有意差があることを示す。

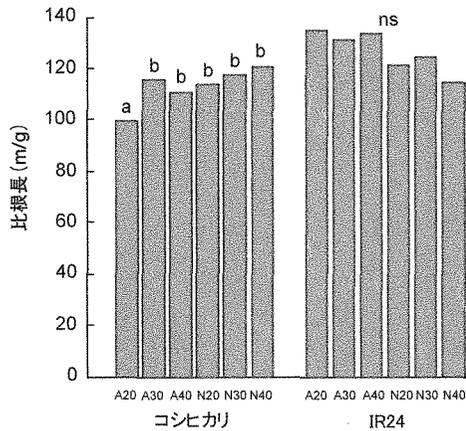


第4図 根長の推移。

図中の ns および * はそれぞれ一元配置の分散分析により有意差なし，5%水準で有意差があることを示す。

ppm で約1.5倍，40ppm で約1.8倍増加した。

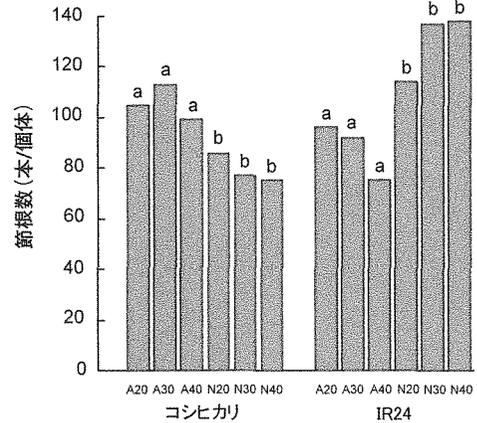
播種後75日目の根端数を第7図に示した。コシヒカリではアンモニア区が硝酸区より各濃度とも，有意な増加を示した。20ppm で約1.4倍，30ppm で約1.8倍，40ppm で約2.0倍増加した。IR24では硝酸区がアンモニア区より各濃度とも，有意な増加を示した。20ppm で約1.8倍，30ppm で約2.9倍，40ppm で約2.9倍増加した。



第5図 播種後75日目の比根長。

A：アンモニア区，N：硝酸区

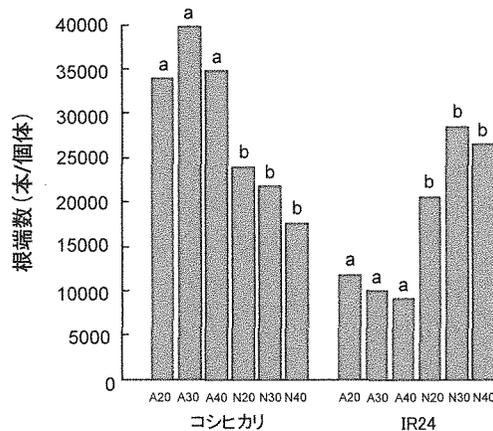
図中の a, b は一元配置の分散分析により、同一品種内で5%水準で有意差があり、ns は有意差なしをそれぞれ示す。



第6図 播種後75日目の節根数。

A：アンモニア区，N：硝酸区

図中の a, b は一元配置の分散分析により、同一品種内で5%水準で有意差があることを示す。



第7図 播種後75日目の根端数。

A：アンモニア区，N：硝酸区

図中の a, b は一元配置の分散分析により、同一品種内で5%水準で有意差があることを示す。

考 察

水稲に施肥する窒素の化合形態は、硝酸態窒素よりアンモニア態窒素の方が生育に適すると言われてきた^{5),7)}。しかし、実験1の結果、Liuら²⁾の報告と同様に硝酸態窒素で生育の優れた品種が一部の外国稲 (Aurinaldora, IR24, M201) で認められた (第1図)。また、硝酸態窒素で生育が優れた IR24, M201 では、根長についても有意に長くなることが示された (第2図)。野間・廣瀬¹⁾はアンモニア態窒素で生育が優れた品種では、根系の長さが長くなると報告している。また、地上部/地下部比 (第2表) は、品種、窒素形態の違いにより変化し、有意な差が見られた品種はすべて硝酸区で高く、地下部の生育が劣ったことを示唆した。しかし、生態型、根系形態および窒素形態の違いとの関係については明らかではなかった。また比根長は、根系

を構成する根の平均的な直径の指標、あるいは分枝程度の指標で、この値が高いほど細い根が多いか、あるいは分枝が発達していると言われている⁸⁾。比根長および節根数（第2表）より、アンモニア態で根系の長さを長くした Star Bonnet は分枝を発達させ、秋晴は節根数と分枝を発達させることにより、根系の長さを長くしていることが示唆された。また、硝酸態で根系の長さを長くした M201 は分枝を減らす節根数を増やすことにより、根系の長さを長くしていることが考えられた。しかし、硝酸態で根系の長さを長くした IR24 については分枝程度と節根数に有意な差が見られなかった。

実験2では、実験1で硝酸態で生育が優れた IR24 と、対照品種コシヒカリの根系発達について詳しく比較検討した。生育および根長は（第3図、第4図）、コシヒカリで播種後45日目までは硝酸態がアンモニア態より優れたが、播種後60日目以降は逆転し、アンモニア態が優れた。IR24 では播種後45日目以降、硝酸態が優れた。アンモニアは硝酸に比べて、毒性があり過剰障害が出やすい⁹⁾ことや、生育時期により生育が優れる窒素形態が異なるとの報告がある^{2),9)}ことから、コシヒカリでは、播種後45日目まで硝酸態の方が優れたことが考えられた。

播種後75日目について見ると、比根長は、コシヒカリのアンモニア態20ppm を除いて有意な差は見られなかったが、両品種とも生育の優れる窒素形態を施肥することで小さくなった（第5図）。また、根端数は、両品種とも生育の優れる窒素形態を施肥することにより増加した（第7図）。このことから、両品種とも生育の優れる窒素形態を施肥することにより、比根長の値から、太い根が増加し、根端数の値から分枝が発達していることが示唆された。また、節根数は、両品種とも生育の優れる窒素形態を施肥することにより増加した（第6図）。野間・廣瀬¹⁾はアンモニア態が硝酸態より、根長が長くなるのは分枝程度の発達ではなく、節根数の差から生じていると報告している。しかし、コシヒカリはアンモニア態で、IR24 は硝酸態で根長が優れたのは、節根数と分枝を発達させ根端数の増加に伴って長くなったものと考えられた。

両品種で施肥窒素の化合形態の違いが生育や根系の長さにおよぼした影響を見てみると、IR24 より、コシヒカリの方がアンモニア区と硝酸区の差が大きかった（第3図、第4図）。また、根端数は品種間において両区に差が見られなかったが（第6図）、IR24 がコシヒカリより、約1.5倍増加した（第7図）。このことから、品種によって施肥窒素の化合形態の違いによる根長への影響は異なり、この違いには、根端数の差によりもたらされたことが示唆された。

以上見たように、播種後75日目までの水稲の生育は、コシヒカリではアンモニア態で、IR24 では硝酸態で有意に優れた。また、根長の差は節根数と根の分枝程度の差から生じていることが示唆された。さらに、品種により根系発達におよぼす施肥窒素の化合形態の影響度合いが異なることが示された。しかし、生態型および根系形態の違いと生育の差には、一定の傾向は見られなかった。

摘 要

施肥窒素の化合形態が水稲の根系におよぼす影響を解明する一環として、水耕栽培における窒素源としてのアンモニア態窒素と硝酸態窒素の施用効果を生態型が異なる9品種で比較した。その結果、硝酸態窒素施用で根系発達の優れる品種が3種の外国稲に認められた。そこで、該当品種（IR24）と対照品種（コシヒカリ）の根系発達についてより詳しく比較検討した。播種後75日目までの水稲の生育は、コシヒカリではアンモニア態で、IR24 では硝酸態で有意に優れた。また、根系の長さの差は節根数と根の分枝程度の差から生じていることが示唆された。さらに、品種により根系発達におよぼす施肥窒素の化合形態の影響度合いが異なることが示され

た。しかし、生態型および根系形態の違いと生育の差には、一定の傾向は見られなかった。

引用文献

- 1) 野間貴文・廣瀬大介 (2005). 水稻の根系発達におよぼすアンモニア態窒素と硝酸態窒素の影響. 日作紀. 74, 270-275.
- 2) Liu, Z., Y. Goto and I. Nishiyama (2000). Effects of benzylaminopurine on shoot and root development and growth of rice (cv. North rose) grown hydroponically with different nitrogen forms. *Plant Prod. Sci.* 3, 349-353.
- 3) Chanh, T., M. Tsutsumi and K. Kurihara (1981). Comparative study on the response of indica and japonica rice plants to ammonium and nitrate nitrogen. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27, 83-92.
- 4) 有馬進・最所一雅 (2002). 画像解析を利用した水稻根系の形態解析とその品種間差異. 日作九支報. 68, 15-18.
- 5) 春日井新一郎 (1939). 水耕法に関する研究. 土肥誌 13, 669-828.
- 6) Kimura, K., S. Kikuchi, and S. Yamasaki (1997). Measurement of root length and width using image analysis system. In *Plant nutrition-for sustainable food production and environment*. T. Ando et al. (Eds). Kluwer Academic Publishers. 683-684.
- 7) Smirnoff, N. and G. R. Stewart (1985). Nitrate assimilation and translocation by higher plant : Comparative physiology and ecological consequence. *Physiol. Plant.* 64, 133-140.
- 8) 根の事典編集委員会 (1998). 根の事典 朝倉書店, 東京, 230-236, 376.
- 9) 林茂一・熊沢喜久雄 (1985). 水稻並びに小麦幼植物の生長に及ぼす有機酸の影響, とくにアンモニア態あるいは硝酸態窒素を与えた場合. 日作紀. 54, 134-140.