

水稻品種の栄養生理的特性に関する研究

Ⅳ. 根系発達の特徴と窒素吸収特性*

古山 芳広** 南 松 雄**

Studies on Nutritional and Physiological Characteristics
of Rice Varieties in Hokkaido

Ⅳ. Development of root systems with reference to
nitrogen absorption

Yoshihiro FURUYAMA and Matsuo MINAMI

重窒素をもちいたポット試験および根箱試験によって、水稻品種の根系発達の差異と窒素吸収特性の関係を比較検討した。全層施肥窒素の吸収量は「イシカリ」(早の晩, 穂数型), 「そらち」(中の中, 穂数型), 「しおかり」(中の早, 偏穂数型)の順に多く, 「しおかり」と「そらち」の差異は根重の優劣によったが, 「イシカリ」は単位根重あたりの窒素吸収量が多かった。また, 「しおかり」と「そらち」は「イシカリ」にくらべ土壌窒素の依存度が高い傾向が認められた。根系の差異は, 「イシカリ」では太い根が直下層に発達し, 下層分布型をとり, 「しおかり」は根重がもっとも劣ると同時に表層分布型をとり, 根が細く根活性が低下しやすい特性をもっていた。「そらち」は根数が多く根系は広いが開傘的で, 直下層の分布がやや劣った。窒素の施肥位置の差異は根の発達にいちじるしく影響したが, 品種間では「しおかり」がもっとも強く影響を受けた。

結 言

最近の水稻品種は, 多肥多収性のいわゆる耐肥性の強い品種が育成選抜されており, その養分吸収能あるいは光合成能は旧品種にくらべて高く, 根の肥大成長や根の分布様式をはじめ根活性においても差異が認められている⁵⁾。

前報⁴⁾においては, 草型および熟期のことなる品種, 「イシカリ」, 「しおかり」, 「そらち」について基肥窒素および追肥窒素の利用特性を調査し, 施肥窒素および土壌窒素の利用率にいちじるしい

差異を認めた。本報告では, 前報と同様の3品種を供試して, 重窒素をもちいたポット試験および根箱試験によって, 品種による根の発達様式の差異と窒素吸収の関係について検討した結果を報告する。

試験方法

1. 試験項目

本試験は, 1) 品種による根系発達の特徴と窒素吸収利用特性の差異 (1975年, ポット試験), 2) 窒素の施肥位置による根系発達の差異 (1976年, 根箱試験) の2項目について検討した。

2. 供試品種

「イシカリ」(早の晩, 穂数型), 「しおかり」(中の早, 偏穂数型), 「そらち」(中の中, 穂数型)の3品種を供試した。移植苗は35日の成苗をもちいた。

1977年9月19日受理

* 本報告の一部は日本土壤肥料学会(1977年4月)で発表した。

** 北海道立上川農業試験場 旭川市永山町

3. 施肥処理と栽培条件

(1) 試験（ポット試験）

a/5,000樹脂製ポットに、施肥、代かき後土層の厚さが15 cmになるように、所定量の農試水田作土（腐植10%，土性CL）を充てんした。

施肥量は、N、P₂O₅、K₂Oをそれぞれポットあたり0.5 g 施用し、処理区は、①上層（0～7.5 cm）¹⁵N ラベル区、②下層（7.5～15 cm）¹⁵N ラベル区の2区を設定した。

栽植本数はポットあたり2本植1株（移植期；5月30日）とし、網室において栽培し、生育時期別に1処理2ポットを調査分析にあてた。根重は、ポットから土層を抜き出し、5 cm ごとに横断し、それぞれよく水洗したのち乾物重として求めた。また、根数は1 cm 以上に伸長した冠根（1次根）のみについて調査した。

(2) 試験（根箱試験）

片面ガラス張りの樹脂製根箱（深さ30 cm、巾30 cm、厚さ4 cm、有底）を使用した。

土壌は、腐植および粘土含量が少なく、根の観察と根の洗い出しに都合のよい農試水田下層土（土色10 YR5/6、土性CL、T-N 0.11%、T-C 1.28%、CEC 18.2 me）を供試した。根箱の土層は上部から施肥層15 cm、心土層10 cm、砂層4 cmとし、心土層はよく突き固め、施肥層のみを代かきした。共通施肥量は、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ0.8 kg/a、熔燐5 kg/a、珪カル15 kg/aを施用した。

窒素の施肥位置は、①全層（0～15 cm）施肥区、②表層（0～5 cm）施肥区、③下層（10～15 cm）

施肥区の3処理区を設定した。窒素の施肥量はいずれの区も合計1.6 kg/a（192 mg/箱）とし、全層施肥区は窒素の全量を¹⁵N 硫酸で施用し、表層施肥区および下層施肥区はN 0.8 kg/aの普通硫酸を全層（0～15 cm）に施用したのち、所定の施肥位置にN 0.8 kg/aの¹⁵N 硫酸を施用した。

栽植本数は、箱あたり1本植（移植期；6月1日）とし、水田内に設置したコンクリート水槽内に根箱を設置して栽培した。根系の調査および撮影は根箱から土層全体を静かに抜き出し、土層の表面をわずかに水洗したのちに行った。

4. 分析方法

(1) ¹⁵N 分析法

¹⁵N 標識硫酸は、5.0¹⁵N atom%を使用し、分析方法は前報⁴⁾に準じた。

(2) 根の CEC 測定法

白杵²⁰⁾の方法に準じ、よく水洗した新鮮根5 gをpH 7.0のN-酢酸アンモン溶液100 cc中で2時間振とうし、つぎに95%アルコールで数回洗浄し、その根をさらに10% NaCl 溶液100 cc中に投入し、再度2時間振とうしたのち、ろ過洗浄し、浸出液中のNH₄-Nを定量した。

(3) α-ナフチルアミン酸化能測定法

吉田²³⁾の方法に準じた。

試験 結果

1. 品種による根系発達の特徴と窒素吸収利用特性の差異

移植後25日目、35日目、50日目の3時期に、地

第1表 生育経過ならびに根の生育量の品種間差異

生育時期	項目 品種	草丈 cm	茎数 本	根数 本	最長 根長 cm	総 根重 mg	層別根分布割合 (重量%)			1 茎数 あたり 根 数	平 均 1 根 重 mg	* アルファー ナフチル アミン 酸 化 能
							0～5 cm	5～10 cm	10～15 cm			
移植後 25日目 (6.25)	イシカリ	43.6	19.2	142	23.1	587	60.8	25.4	13.8	7.4	4.1	3.67
	しおかり	39.0	18.2	147	24.4	500	60.9	23.3	15.8	8.1	3.4	5.15
	そらち	38.7	17.8	159	22.9	569	60.7	27.6	11.7	8.9	3.6	4.00
移植後 35日目 (7.4)	イシカリ	50.5	27.5	182	29.8	1153	35.7	42.2	22.1	6.6	6.3	4.57
	しおかり	46.0	25.0	185	28.8	1030	32.8	46.2	31.0	7.4	5.6	4.97
	そらち	42.3	25.5	209	28.2	1261	35.8	42.1	22.1	8.2	6.0	5.10
移植後 50日目 (7.18)	イシカリ	62.0	22.0	170	32.0	3034	27.2	36.7	36.1	7.7	17.8	4.97
	しおかり	65.8	21.0	185	36.3	2419	40.3	32.2	27.5	8.8	13.1	3.04
	そらち	62.3	25.8	189	35.1	2756	30.9	36.5	32.6	7.3	14.6	4.36

* 根乾物1 gあたりのmgで示した。

上部の生育と、根重およびその分布割合などについて調査した結果を第1表に示した。移植後25日目は分けつ盛期、35日目は幼穂形成期、50日目はほぼ止葉抽出期に相当した。

まず、茎数についてみると、移植後35日目までは「イシカリ」がもっともまさり、「そらち」は初期分けつがやや緩慢であったが、移植後50日目に最大となり、3品種中もっとも多かった。一方、「しおかり」の茎数は他の2品種にくらべて少なかった。

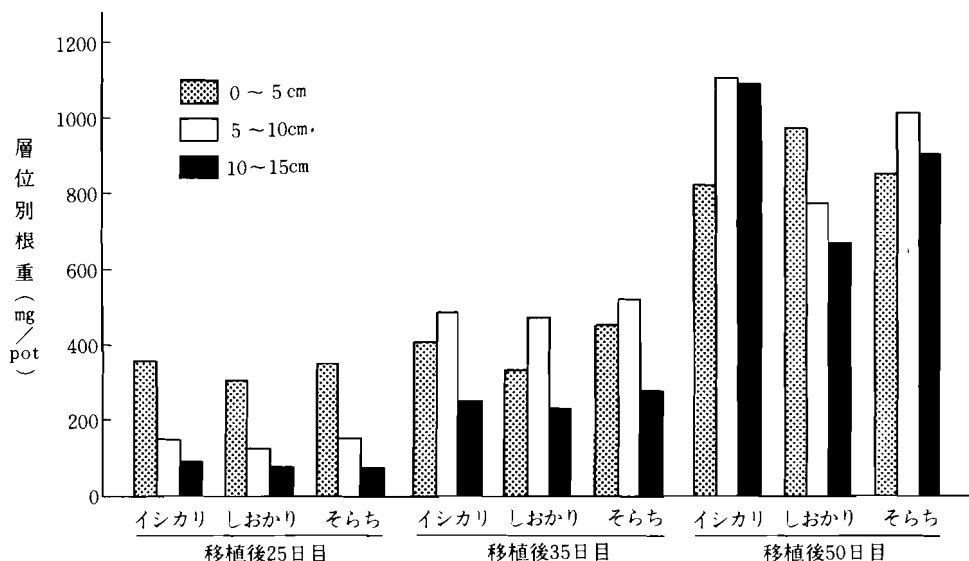
つぎに、地下部の生育量についてみると、総根数は「そらち」がもっともまさり、「イシカリ」と「しおかり」の差異は比較的小さかった。総根重の差異をみると、移植後25日目および50日目では「イシカリ」がもっともまさり、35日目では「そらち」の方がややまさっていたが、両品種の差異は比較的小さかった。これに対し、「しおかり」はいずれの時期においても明らかに劣っていた。

以上のように、茎数—根数—根重の3者の関係は、品種によって異なると同時に生育時期によっても異なったが、「イシカリ」は他の2品種にくらべて1茎数あたりの根数が少なく、その反面平均1本根重が重く、「しおかり」は分けつ数が少ないが1茎数あたりの根数が多く、反面平均1本根重はもっとも軽い特徴をもっていた。

さらに、 α -ナフチルアミン酸化能によって根の

活性をみると、「イシカリ」は移植後25日目では他の品種よりもやや低い値を示しているが、移植後50日目に最大となり、根重の顕著な増加にともなって根活性も高く維持されており、養水分吸収に有利な一面をもっていた。「しおかり」は移植後25日目にもっとも高い数値を示していたが、その後次第に低下し、移植後50日目ではいちじるしく低くなり、3品種中もっとも低い数値を示し、生育にともなって根活性の低下しやすい特徴をもっているものと思われた。「そらち」では、移植後25日目から35日目における根重の増加がもっとも大きく、根の活性も移植後35日目に最大となり、50日目では「しおかり」と同様に低下したが、その程度は小さかった。

つぎに、層別根重(第1図)とその分布割合(第1表)から、品種による根の分布様式の差異を比較すると、移植後35日目以前においては「イシカリ」と「そらち」の総根重および根分布割合は比較的良好に類似しているものと思われたが、「イシカリ」は、移植後25日目の下層の根重がややまさり、移植後50日目に至ると、その増加量がいちじるしく、下層の根分布割合がもっとも高く、下層分布型をとった。「しおかり」は移植後35日目以前においては、下層の分布割合がやや高く、長い根が比較的すなおに下層へ伸長しているものと思われたが、移植後50日目では、表層の根重が3品種



第1図 層別根重の推移

第2表 分画別窒素吸収量の品種間差異

項目 生育時期 品種	総 窒 素 吸 収 量* mg			¹⁵ N 吸 収 量 mg			土 壌 窒 素 吸 収 量** mg		
	移植後 25日目	移植後 35日目	移植後 50日目	移植後 25日目	移植後 35日目	移植後 50日目	移植後 25日目	移植後 35日目	移植後 50日目
イシカリ	113 (0.19)	209 (0.37)	420 (0.23)	91	167	334	22 (19.5)	42 (19.7)	86 (20.5)
しおかり	83 (0.17)	154 (0.29)	408 (0.29)	61	118	316	22 (26.5)	36 (23.9)	92 (22.5)
そらち	93 (0.16)	161 (0.23)	421 (0.28)	77	127	327	16 (17.2)	34 (21.1)	94 (22.3)

* ()内の数値は単位根重あたりの窒素吸収量を示した。移植後25日目の根の分析ははぶいた。

** ()内の数値は総窒素吸収量に占める土壌窒素吸収量の割合(%)を示した。

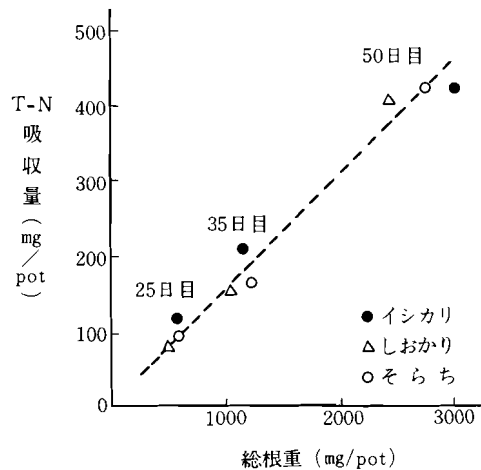
第3表 層位別¹⁵N利用率の品種間差異

品種	生育時期 層位	移植後* 25日目	移植後 35日目	移植後 50日目
	上層	30.0	40.4	56.4
イシカリ	下層	6.4	26.4	77.2
	全層	18.2	33.4	66.8
しおかり	上層	18.8	30.8	53.2
	下層	5.6	16.4	73.2
	全層	12.2	23.6	63.2
そらち	上層	23.6	32.4	56.4
	下層	7.2	18.4	74.4
	全層	15.4	25.4	65.4

* 移植後25日目は根の¹⁵N吸収量を含まない。

中ももっとも多くなり、逆に下層の根重が少なく、表層分布型をとった。「そらち」は根重および根分布からみると、両者の中間的性格を示した。

つぎに、総根重と総窒素吸収量との関係のみると第2図に示したとおり、両者の間にきわめて密接な関係が認められ、生育の進行にともなう窒素吸収量の推移は、根重の推移と直線的な関係を示した。しかし、品種別にみると、「イシカリ」は移植後35日目以前においては、他の2品種にくらべて単位根重あたりの窒素吸収量が大きく(第2表)、この傾向は移植後25日目よりも35日目の方がより顕著であった。一方、「しおかり」と「そらち」を比較すると、単位根重あたりの窒素吸収量は、移植後35日目では「そらち」がやや劣る傾向が認められたが、窒素吸収量の大小は総根重の大小にはほぼ支配されているものと思われた。このことは、「しおかり」と「そらち」では窒素吸収量が根重そのものに影響されているのに対し、「イシカリ」



第2図 総根重と総窒素吸収量の関係

では根重以外の要因によって窒素吸収能が高く維持されているものと思われた。

いま、総窒素吸収量を由来別に分画すると、第2表に示したように、施肥窒素の利用率は「イシカリ」>「そらち」>「しおかり」の順に高く、移植後35日目における品種間差異がもっとも大きかった。一方、土壌窒素の吸収量は、いずれの生育時期においても、総窒素吸収量のおよそ20%前後で推移し、移植後35日目以前においては、施肥窒素の利用率の高い「イシカリ」は相対的に土壌窒素吸収量も多かったが、総窒素吸収量に占める土壌窒素吸収量の割合、すなわち土壌窒素依存度は他の2品種にくらべてむしろ低かった。このことは、「イシカリ」の総窒素吸収量の優位性は、由来別にみると施肥窒素利用率の高いことによることを示していた。

一方、根系発達が劣り、施肥窒素の利用率の低

い「しおかり」はいずれの時期においても土壌窒素依存度が高く、「そらち」も「イシカリ」にくらべてや、高く、根系の発達の遅速と根の分布位置が土壌窒素の吸収に影響することを示唆するものと思われた。

つぎに、上層(0～7.5 cm)および下層(7.5～15 cm)の施肥窒素の利用率についてみると、上層の施肥窒素利用率は、移植後25日目および35日目では「イシカリ」>「そらち」>「しおかり」の順に高く、移植後25日目における品種間差異がもっとも大きかった。下層の施肥窒素利用率は、3品種の平均では、移植後25日目では6.4%にすぎないが、35日目では20.4%、50日目では74.9%にも達して上層の施肥窒素利用率(平均で55.3%)をはるかにうまわっており、下層に存在する施肥窒素の意義の大きいことを示していた。下層の施肥窒素利用率の品種間差異は、移植後25日目ではその差異が小さいが、移植後35日目における品種間差異がもっとも大きく、この順位は上層の施肥窒素利用率と全く同様であった。このような上、下層の施肥窒素の利用率の差異と層別別の根重分布と関連させて考えると、移植後25日目では、「イシカリ」の上層部位の根重は「そらち」のそれよりもわずかにまさるにすぎず、35日目においては、「イシカリ」よりも「そらち」の方が下層部位の根重が多いことからみて、「イシカリ」の施肥窒素利用率の高い理由は、根重の層別別分布の差異では説明できない。

従って、「イシカリ」の単位根重あたりの窒素吸収量が多い理由は、根系の発達や根の層別別分布

などの量的形質よりも、根の質的形質の差異によるものと思われる。すなわち、同一根重でも地上部の光合成能が高く、根への呼吸基質の供給がまきり、根の呼吸能が高く維持されていることが考えられる。

2. 窒素の施肥位置による根系発達の差異

根箱法によって、窒素の施肥位置を変えた場合の根系発達の品種間差異を調査した。

この試験はポット試験にくらべて土壌の窒素地力も低く、施肥量も少ない低窒素レベルの条件で行われた。また、生育はポット試験よりも10日程度遅延し、移植後48日目が幼穂形成期に、60日目は止葉抽出期に相当した。

茎数および根数と根重の差異について第4表に示した。

茎数および根数、根重は、いずれも「そらち」がもっともまきり、「イシカリ」と「しおかり」の茎数および根数は大差ないが、根重は「しおかり」がもっとも劣った。ポット試験とは異なり、「そらち」の生育がまさったが、これは窒素レベルの差異が品種の特性をより強調した形で示されたものと思われ、「そらち」では低窒素レベルでも比較的生育がよく、「イシカリ」や「しおかり」ではより高窒素レベルで生育がよいものと思われた。また、第5表に示したように、「しおかり」は前述の試験と同様に、3品種の中でもっとも根重が劣り、かつR/Tが小さく、1茎数あたりの根数が多い反面、平均1本根重が軽く、観察によると(写真)根が細い傾向が認められた。

つぎに、窒素の施肥位置との関係についてみる

第4表 窒素の施肥位置が根数および根重におよぼす影響

品 種	生育時期 処 理 区 別	移 植 後 48 日 目			移植後60日目		同左増加量	
		茎数 本	根数 本	根重 g	根数 本	根重 g	根数 本	根重 g
イ シ カ リ	全層施肥	15	176	1.22	212	2.16	36	0.94
	表層 "	17	178	1.39	187	2.00	26	0.61
	下層 "	16	161	1.26	225	2.16	47	0.90
し お か り	全層施肥	15	178	1.11	234	1.61	56	0.50
	表層 "	18	233	1.29	241	1.94	8	0.65
	下層 "	16	206	1.29	287	2.15	81	0.86
そ ら ち	全層施肥	20	216	1.64	259	2.59	43	0.95
	表層 "	21	213	1.51	232	2.03	19	0.52
	下層 "	20	200	1.33	249	2.46	29	1.13

第5表 窒素の施肥位置の差異が根の特性におよぼす影響(移植後60日目)

品 種	項 目 処理区別	茎 葉 乾物量 g	R/T	1 茎数あ たり根数 本	平均1 本 根 重 mg	最 長 根 長 cm	アルファーナフ チルアミン酸化 能 mg/g	根 の C E C m.e
イ シ カ リ	全層施肥	10.6	0.20	13	10.2	36.5	1.27	88
	表層 "	9.2	0.22	12	10.7	39.0	0.90	97
	下層 "	10.3	0.21	15	9.6	38.0	1.22	115
し お か り	全層施肥	9.8	0.16	17	6.9	41.0	1.05	91
	表層 "	10.5	0.19	17	8.0	46.5	1.03	79
	下層 "	12.9	0.17	19	7.5	43.5	1.10	129
そ ら ち	全層施肥	10.2	0.25	13	10.0	40.0	1.11	87
	表層 "	11.9	0.17	12	8.8	40.5	0.76	94
	下層 "	10.1	0.24	13	9.9	42.5	1.14	119

と、茎数はいずれの品種も表層施肥区>下層施肥区>全層施肥区の順にまさったが、その差異は比較的小さかった。根数および根重は、品種によって施肥位置の影響が異なり、「イシカリ」や「そらち」では施肥位置による差異が比較的小さいのに対し、「しおかり」では施肥位置の影響をもっとも強く受けた。すなわち、「しおかり」では全層施肥区よりも表層施肥区および下層施肥区の根数および根重がまさり、とくに移植後60日目では表層施肥区よりも下層施肥区の方がよりまさった。一方、「イシカリ」と「そらち」は、表層施肥や下層施肥による根数ならびに根重の増加はほとんど認められず、むしろ全層施肥区よりも劣る傾向が認められ、移植後48日目における「イシカリ」の表層施肥区の根重がやや増加しているにすぎなかった。

表層施肥区は、各品種とも移植後48日目から60日目にかけての根数および根重の増加がもっとも少なく、その肥効の持続性が低いのにに対し、下層施肥区では逆に根数および根重の増加量が多い。しかし、全層施肥区にくらべ根系の発達が遅延し、移植後60日目において全層施肥区と同等となり、その肥効は遅延した。

つぎに、移植後60日目における全層施肥区によって根系の品種間差異をみると、写真に示したように、「イシカリ」は根長が比較的小さく、かならずしも根系が広いとは思われないが、太い根が株の直下層に多く、表層部分の横への張り方も比較的小さかった。「しおかり」は根が細い傾向が認められ、一部長い根が深く伸長しているが、大部分

の根が施肥層にとどまり、表層にかたよった分布を示し、かつ、うわ根の発達もよく、表層分布型をとった。「そらち」は斜め下方への根の発達がよく、反面、株の直下層へ分布する根が少なく全体に開傘的な様相を示した。以上のように、根箱による根系観察の結果は、ポット試験における傾向をうらづけていた。

窒素の施肥位置の差異についてみると、いずれの品種も根系にいちじるしい影響を受け、表層施肥区は施肥層附近に根群域がかたより、うわ根の発達がよく、表層分布型をとった。この傾向は「しおかり」がもっともいちじるしく、細い根が上層部に密集し、うわ根の発達も顕著であった。下層施肥区は根が全層に分散的であるが、長い根が下層深く伸長し、心土層へも伸長し、観察によると、白根が多く、施肥層では分岐根がよく発達していた。

結局、窒素の施肥位置が根数や根重をはじめ、根分布にも著しい影響をおよぼすが、品種別にみると、「しおかり」がもっとも強く影響され、ついで、「そらち」、「イシカリ」の順で、「イシカリ」は比較的小さな程度が弱かった。

つぎに第5表に示したように、窒素の施肥位置の差異による根活性および根の塩基置換容量におよぼす影響をみると、根の活性は移植後60日目では、根の老化によりいずれの品種も低い数値を示しているが、全層施肥区では、「イシカリ」>「そらち」>「しおかり」の順に高く、表層施肥区はいずれの品種も根活性の低下をとめない、下層施肥区の根活性は全層施肥区と同等であった。根の塩基

置換容量は、品種間の差異は小さいが、全層施肥区にくらべ下層施肥区の方が大きかった。下層施肥による根の置換容量の増加は、地上部の窒素吸収量の増加による根の蛋白含量の増加や、分岐根と根毛の発達による単位根重あたりの根表面積

の拡大によることなどが考えられるが、この点に關しては検討を要する。

最後に、各施肥位置にラベルした施肥窒素 (^{15}N) の利用率をみると (第6表)、3品種の平均では全層施肥窒素の利用率は60.0%、表層施肥窒素の利

第6表 窒素の施肥位置を異にした場合の窒素吸収量および ^{15}N 利用率の差異

品種 項目 処理区別	イ シ カ リ				し お か り				そ ら ち			
	T-N mg	^{15}N mg	土壌 N mg	^{15}N 利用率%	T-N mg	^{15}N mg	土壌 N mg	^{15}N 利用率%	T-N mg	^{15}N mg	土壌 N mg	^{15}N 利用率%
全層施肥	140.0	121.4	18.6 (13.3)	63.2	130.0	110.2	19.8 (15.2)	57.4	136.4	114.3	22.1 (16.2)	59.5
表層 "	114.5	41.7	—	43.4	125.5	42.0	—	43.8	127.4	44.9	—	46.8
下層 "	153.6	71.5	—	74.5	157.6	71.0	—	74.0	145.1	69.0	—	71.9

註) 土壌窒素の()の数値は総窒素吸収量に占める土壌窒素の割合(%)を示した。

用率は44.7%、下層施肥窒素の利用率は73.5%であった。品種による差異をみると、移植後60日目では小さいが、全層施肥窒素の利用率は「イシカリ」>「そらち」>「しおかり」の順に高く、この傾向はポット試験と同様であった。表層施肥窒素の利用率は「そらち」>「しおかり」>「イシカリ」の順に高く、下層施肥窒素の利用率は逆に「イシカリ」>「しおかり」>「そらち」の順に高く、表層施肥窒素の利用率の高い品種は下層施肥窒素利用率が低い傾向が認められた。また、全層施肥区において、施肥窒素利用率の低い品種は土壌窒素の依存度が高い傾向が認められた。

表層施肥窒素の利用率の品種間差異は、表層施肥窒素がごく生育初期に吸収されるため、生育初期の根数が多く、根が比較的表層分布型をとる品種の方が利用率が高いものと思われる。一方、下層施肥窒素の利用率の差異は、下層への根の到達の早さと、その根の活性(下位節根の活性)の高い品種ほどまさるものと思われる。

考 察

ポット試験および根箱試験の結果、品種によって根数や根重などの根の量的形質に差異が認められ、これらの量的形質と根の層別分布があい関連し、品種独特の根系を形成していた。また、窒素の施肥位置の影響は根の分布にいちじるしい差異をもたらしたが、その程度は品種によって異なる結果が得られた。さらに、両試験に共通して、

窒素吸収量は「イシカリ」>「そらち」>「しおかり」の順にまさり、「イシカリ」は他の2品種にくらべて単位根重あたりの窒素吸収能が高いことが確認された。

まず、根重と窒素吸収量との関連についてみると、経時的な窒素吸収量の差異は根重の大小によって大部分を説明し得るが、品種間の差異は根の呼吸能(生理的活性)の差異として考えた方が妥当と思われる。

根の養分吸収量は、つぎの2つによって大部分が支配されているものと考えられている。1つは、根の表面積や根の塩基置換容量などの根圏との接触面の大きさであり、1つは根の呼吸能の強さによる養分吸収力の差異によるものである。このうち、根の表面積は、厳密には根長、根数、根径の3者によって決定されるが、根の表面積は根乾物重によってかなり推定できるとされている¹⁴⁾。

しかし、根の量的形質の中で根の太さ(根径)は、窒素吸収に関連してしばしば問題となる。根の太さは稲体の栄養状態や着生部位によって異なり、吸収表面積をはじめ側根発生域を増大せしめ、太い根は老化が遅く¹⁴⁾、側根は根の活力維持期間を長くする¹¹⁾ことが知られており、また、根の太さには品種間差異が存在し^{12,13)}、根の太い品種は枯葉率が小さく、還元抵抗性が強い¹³⁾ことも報告されており、根の太さが根の生理面にかかわる度合が強いものとみられる。

本試験では根重を中心に検討し、総根長や根径

などについて測定していないが、根箱による観察と平均1本根重(単位根長あたりの生根重で測定するのが実際の根の太さに近い⁶⁾)から推定すると、「イシカリ」は他の2品種よりも根が太く、活性が高いが、「そらち」では根が必ずしも太くないが根数面で補償しているものとみられる。一方、「しおかり」は根が細く根活性も低く、しばしば観察されるように、下葉の枯上り程度³⁾と密接に関連しているものと思われる。

さて、根の窒素吸収能について考察すると、窒素吸収量の差異の大きい時期は移植後35日目であったが、この時期は幼穂形成期に相当し、栄養生理面でも転換期であり、地上部の栄養状態にも品種間差異の現われやすい時期である。山田・太田²⁴⁾によると、根の窒素吸収能は根の呼吸能と密接な関係があり、根の呼吸能は移植後10~20日頃にピークが現われ、その後は漸減して行くことが明らかにされている。従って、このピークを過ぎたあとは、根の呼吸能が地上部の栄養状態と土壤からの窒素供給条件に規制を受けやすくなるものと思われる。また、根系の発達は地上部の生育と密接な関係をもっていることはよく知られているが、根の肥大成長と根の呼吸とは密接な関係があり、いずれも地上部からの炭水化物の供給が必須条件であり、還元糖の果たす役割が大きいことが示唆されており^{21,22)}、また根への炭水化物の供給は主として下葉が分担している¹⁹⁾ことが知られている。

著者らは第1報²⁾で、「しおかり」は「そらち」よりも葉鞘・稈中の炭水化物含量が低く推移することを報告したが、別の試験(未発表)において、「イシカリ」は「しおかり」よりも葉鞘・稈中の炭水化物含量が高く推移し、「しおかり」は分けつ期から幼穂形成期にかけて急激に低下すること、さらに、この時期においては、「そらち」よりも「イシカリ」の方がまさっていることを確認している。このような炭水化物の消長が品種の分けつ力の差異と関連し、根数や根重をはじめ、根長、根径などの根の量的形質に差異をもたらす、かつ根の呼吸能を通じて根の窒素吸収能に影響をおよぼすものと考えられる。この点に関しては、根の表面積、根の呼吸能と炭水化物の消長などについて一貫した検討が必要であろう。

つぎに、窒素吸収と根の分布様式との関係につ

いてみると、閉鎖系で行われた本試験の範囲内では、すくなくとも幼穂形成期ごろまでの窒素吸収量の品種間差異は、根重と根の生理的活性に支配される面が強く、根の分布様式の関与する度合いが小さいものと思われた。

しかし、幼穂形成期以降においては施肥窒素の大部分が吸収され、施肥窒素よりも土壤窒素に依存する度合いが高まってくるのが普通であり^{4,17,25)}、この時期における根の分布様式の差異は当然土壤窒素の吸収に影響をおよぼすことが考えられる。実際に、幼穂形成期以降に表層部位の根重割合が高まってくる「しおかり」や「そらち」などでは、「イシカリ」よりも土壤窒素依存度が高い結果を得た。これは前報における圃場試験の結果と同じ傾向であり、とくに「しおかり」ではうね根の発達もよく、追肥窒素利用率の高い理由の主要因と思われる。また、実際圃場においては、作土の厚さ、透水性の程度、温度分布や窒素含量の差異が根の分布様式の品種間差異をより強調し、施肥窒素をはじめ土壤窒素の吸収利用率の品種間差異も大きくなるものと思われる。また圃場における下層土の存在¹⁸⁾と根の深浅も重要となろう。

結局、根の分布様式の差異は、主として施肥窒素が吸収し終えて、土壤窒素に依存する度合いの高くなる段階に至ってより重要となり、かつ根の活性の重要性も増すものと考えられる。

つぎに、窒素の施肥位置について考察すると、施肥位置が水稻根の伸長、分布範囲に影響し、肥料の利用率に差異をもたらすことは石塚・田中⁸⁾によって詳細に検討されている。本試験においても、同様の結果を得ているが、窒素の施肥位置による影響は品種によって異なる結果が得られた。すなわち表層施肥窒素の利用率の高い品種(そらち)は下層施肥窒素の利用率が低く、下層施肥窒素の利用率の高い品種(イシカリ)は表層施肥窒素の利用率が低かった。

表層施肥窒素の利用率は全層施肥や下層施肥窒素の利用率にくらべてはるかに低く、表層に施用された窒素は早期に脱窒される^{9,25)}ことを示している。「そらち」では、分けつ数が多い品種であり、根数の多い性格をもっているが、生育の初期においても表層に分布する根数が多く、表層施肥窒素をより早く吸収するものと考えられる。李・太田^{15,16)}によると茎数の増加が旺盛な品種は、生育

前期において下位節根にくらべて上位節根の割合が多く、その活力も高い傾向を認め、根群は表層に集中的に分布すると報告している。また、表層施肥により上位節根重や上位節根活力が高まる反面、下位節根重や下位節根活力が低下することを認めており、本試験の表層施肥区の根活性の低下と一致している。すなわち、表層施肥による根活性の低下は、根群が表層にかたより、下層への根の伸長が劣るため、早期に窒素吸収が終了し、脱窒現象もともなって窒素不足をきたすことと表裏一体の現象といえよう。

下層施肥についてみると、根が施肥層に到達してはじめて吸収されるが、根の層位別分布量からみると移植後25日目ごろから徐々に吸収されるものとみられ、根系が下層分布型をとる「イシカリ」では他の品種よりも早期に施肥層に到達し、かつ下位節根の活性が高く保たれているため、下層施肥窒素の利用率が高いものと推定される。一方、「しおかり」や「そらち」では、上位節根が表層に発達し、下位節根の活性が相対的に低下するため、「イシカリ」にくらべて下層施肥窒素の利用率が低いものと思われる。また、「しおかり」は表層、下層施肥窒素の利用率は両者の中間に位置したが、根の形質や根系分布の反応性の強さからみて、この品種は本来分けつ数が少なく、高窒素レベルで分けつが促進され、根の発達も促進されるものと考えられる。

下層施肥により根活性が高まり登熟面に好影響をおよぼすことはよく知られているが¹⁰⁾本試験においては、根の塩基置換容量も高まった。この理由については明らかではないが、分岐根や根毛の増加、あるいは根の蛋白含量や炭水化物の質的变化^{7,11)}などが関連していることが予想される。いずれにしても、根の塩基置換容量の増加は養分吸収量の増加をもたらすことを前提とすると、水稻の生育後期の栄養条件を改善するものと思われる。

以上のように、水稻品種による施肥窒素に対する反応性の差異は、実際栽培面においても充分留意すべきである。移植様式がほとんど手植えから機械移植に移行した現在、これら機械移植に対応した施肥法を確立するうえにも重要な意味をもつ。たとえば、成苗手植にくらべ稚苗移植の根は浅く、表層分布型をとるが¹⁰⁾、当然、追肥を含めた施肥位置や施肥量の問題を考慮に入れるべきで

あり、この際、品種による根分布の様相を明らかにしておく必要がある。さらに、施肥位置が異なると、肥料の利用率の差異のみならず、その結果生じた根分布様式の差異によって土壤窒素の利用の仕方にも影響することが考えられ、品種の根系発達の差異は施肥効率の向上をはかるうえにも重要な意味をもつものと考えられる。

引用文献

- 1) 藤井義典, “水稻における分岐根の発達について; その2”. 日作紀, **29**, 66-68 (1959).
- 2) 古山芳広, 南 松雄, “水稻品種の栄養生理的特性に関する研究, 第1報, 品種の生理生態特性と基肥Nの反応性”. 道農試集報, **28**, 1-12 (1972).
- 3) ———, ———, “同上, 第2報, 品種の生理生態特性と追肥窒素の反応性”. 道農試集報, **29**, 148-160 (1974).
- 4) ———, ———, “同上, III, ¹⁵Nトレーサー法による施肥窒素の吸収利用特性”. 道農試集報, **30**, 32-44 (1974).
- 5) 速水彦彦, “水稻品種の施肥反応と栄養生理特性について—根系分布, 活性と光合成能力, 養分吸収特性の関係”. 土肥要旨集, **20**, 112 (1976).
- 6) 稲田勝美, 馬場 勉, “水稻根の諸特性と養分吸収との関係(水稻根の生理・生態的研究, その1)”. 農業技術, **13**, 289-293 (1958).
- 7) 位田藤久太郎, 堀 士郎, 奥田 東, “作物の塩基吸着に関する研究(第2報), 根および組織における塩基吸着ならびに塩基置換容量と窒素含量の関係”. 土肥誌, **29**, 380-382 (1958).
- 8) 石塚喜明, 田中 明, “水稻に対する施肥の位置に関する研究”. 土肥誌, **33**, 88-92 (1962).
- 9) 小菅伸郎, 飯村康二, “水田土壌におけるガス収支について”. 土肥要旨集, **21**, 78 (1975).
- 10) 南 松雄, 野村美智子, “機械移植水稻に対するペースト肥料の側施効果について”. 土肥要旨集, **23** (II), 15 (1977).
- 11) 三井進午, 岡本哲也, 熊沢喜久雄, “作物の養分吸収に関する動的研究(第11報), 作物根の塩基置換容量について”. 土肥誌, **27**, 30-32 (1956).
- 12) 森 敏夫, “水稻根の太さの組織学的解析”. 日作紀, **28**, 12-14 (1959).
- 13) 長井 保, 広田秀憲, “根の特性からみた栽培稲品種, (I) 苗代放置稲の二三の生態について, (II) 根径, 発根その他の特性について”. 日作紀, **27**, 217-220 (1958).

- 14) ———, 吉田茂政, 立道美朗. “同上, VII. 根の量的形質に関する二三の考察”. 日作紀. **30**, 137-142 (1961).
- 15) 太田保夫, 李 鐘薫. “水稻の地上部の形質におよぼす根の役割に関する研究, 第1報, 草型の異なる品種の地上部形質と根の形質との関係”. 日作紀. **39**, 487-495 (1970).
- 16) 李 鐘薫, 太田保夫. “同上, 第5報, 施肥位置および施肥量のちがいが根と地上部諸形質におよぼす影響”. 日作紀. **40**, 217-222 (1971).
- 17) 関谷信一郎, 志賀一一. “水田土壌の動態と水稻の生育について (第3報)”. 土肥要旨集. **20**, 73 (1974).
- 18) ———, ———. “同上 (第5報)”. 土肥要旨集. **21**, 79 (1975).
- 19) 田中 明. “葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究 (第11報 [完]), 各葉位葉の同化作用力及び同化産物の移動”. 土肥誌. **29**, 327-333 (1958).
- 20) 臼杵督郎. “作物根の塩基置換容量について”. 北海道土壌肥料研究通信. **26**, 5-9 (1958).
- 21) 吉田武彦, 高橋治助. “作物根の生理的活性に関する研究, (第2報) 機能態有機成分含有率の生育時期別変化について (水稻)”. 土肥誌. **29**, 252-254 (1958).
- 22) ———, ———. “同上, (第3報), 細胞膜成分含有率の生育時期別変化, ならびに乾物構成成分に関する総括的考察 (水稻)”. 土肥誌. **29**, 298-300 (1958).
- 23) ———. “根の活力測定法”. 土肥誌. **37**, 63-68 (1966).
- 24) 山田 登, 太田保夫. “水稻根の呼吸と窒素吸収 (水稻根の生理・生態的研究, その2)”. 農業技術. **13**, 341-345 (1958).
- 25) 吉野 喬, 出井嘉光. “水田土壌の窒素の有効化過程に関する研究, (第3報) 土壌窒素の有効化に対する窒素施用と水稻作付の影響”. 土肥要旨集. **17**, 107 (1971).

Studies on Nutritional and Physiological Characteristics of Rice Varieties in Hokkaido

IV. Development of root systems with reference to nitrogen absorption

Yoshihiro FURUYAMA* and Matsuo MINAMI*

Summary

This experiment was conducted for investigation of varietal differences of the root system of a rice plant and how they were related to nitrogen absorption by roots among three rice varieties: Ishikari (early-maturing), Shiokari (medium-maturing) and Sorachi (medium-maturing). Differences of nitrogen absorption ability were studied in 1975 by cultivating each rice plant in an a/5,000 Wagner pot. Effects on the root system of the position at which a nitrogen fertilizer was applied were investigated in 1976 by means of the root box method.

The results are summarized as follows :

1. The decreasing order of amount of nitrogen absorbed is as follows : Ishikari > Sorachi > Shiokari. Namely, Ishikari was superior in the amount of nitrogen absorbed per unit dry weight of the roots to the other varieties ; it was assumed that its root activities were most active.
2. As to varietal differences of the root system at the booting stage, Ishikari had richly thick roots distributed in the direct foot layer of soil, While Shiokari's roots grew poor, their distribution being mainly limited to the surface layer of soil. Sorachi had a numerous number of roots distributed in a wide range, but the rate of their distribution in the direct foot layer against other layers was slightly inferior to Ishikari.
3. As to the effect of the position of a nitrogen fertilizer applied on utilization ratio of nitrogen absorbed, it was highest in Ishikari when applied in the deep layer, while it was highest in Sorachi when applied in the surface layer.

* Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Asahikawa, Hokkaido, 078-02 Japan.

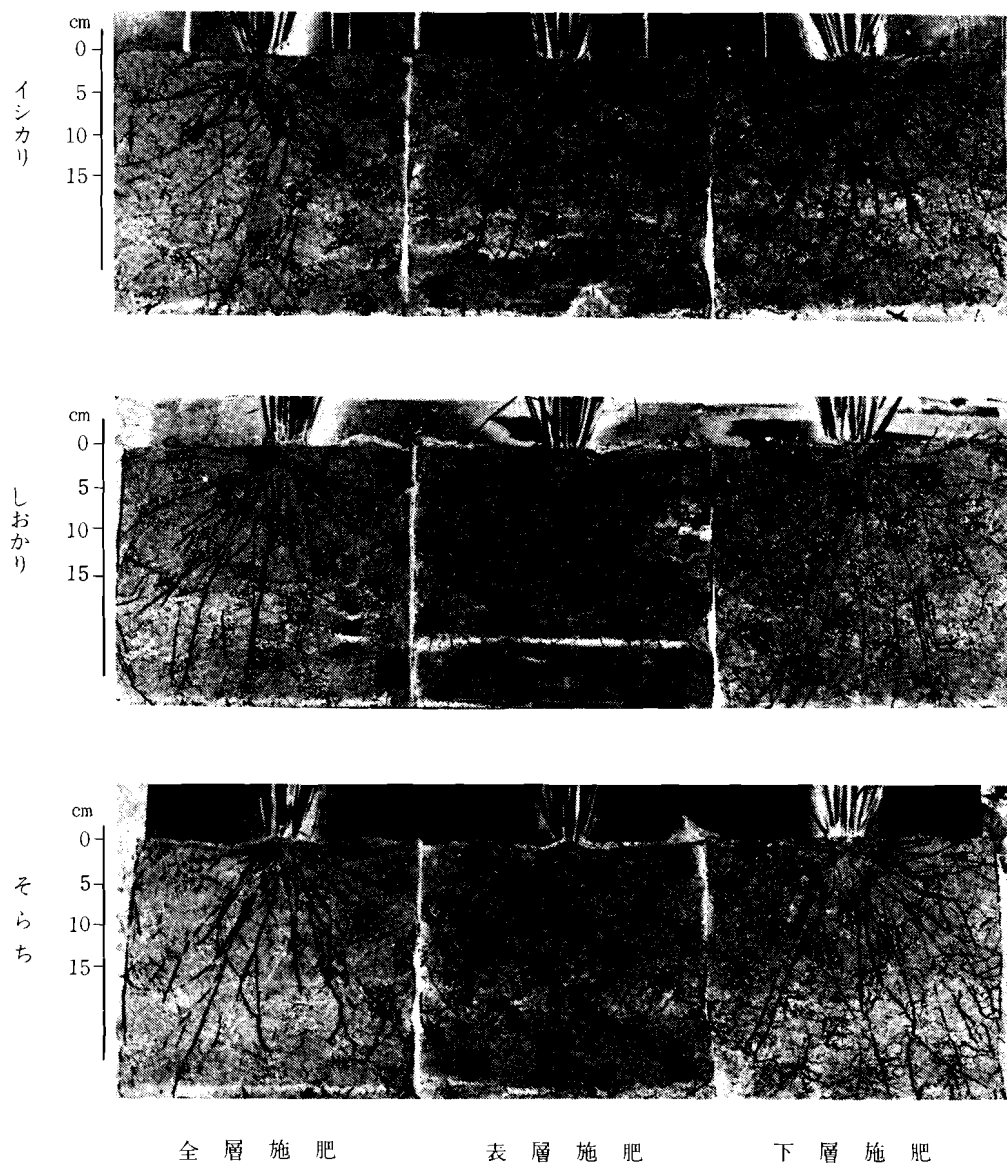


写真1 窒素の施肥位置を異にした場合の根系の品種間差異（移植後60日目）