

葉齢および播種密度を異にする水稻乳苗の活着特性

佐々木良治*・後藤克典

(東北大学)

要旨: 水稻乳苗の葉齢増加に伴う活着特性の変化を明確にするために、育苗日数 (5~9 日間) と播種量 (育苗箱当たり乾粒換算 200 g と 300 g) との組み合わせにより、葉齢と苗素質の異なる計 10 種の乳苗を育苗した。出芽器 (32°C, 暗黒) 内に 2 日間置いて出芽させたのち、昼/夜温度が 24/19°C の自然光型ファイトトロン内で育苗した。そして、移植後も同一温度条件下で生育させ、各苗の活着特性を比較検討した。葉齢 2.8, 3.0 の苗の移植後 8 日目の根数は、葉齢 2.1~2.6 の苗と比べてわずかに多かった。しかし、葉齢が 2.6 より若い苗では出葉の停滞がなく活着がスムーズに進行するのに対して、葉齢が 2.6 より進んだ苗では出葉が停滞し植傷みを生ずることが明らかとなった。ただし、移植後 4 日間の出葉速度は、苗の総葉身長/総根長比と密接 ($r = -0.941^{***}$) に関連することから、葉齢が 2.6 より若い苗であっても移植に伴う断根の程度が大きければ、移植後の出葉速度が低下し、植傷みが生じるものと推察される。また、播種量を乳苗の一般的な播種量 (育苗箱当たり乾粒換算 200 g) の 1.5 倍とした場合、葉齢 2.8, 3.0 の苗では移植後の出葉速度の低下がより顕著に認められ、移植後 8 日間の RGR (相対生長率) も低下したのに対し、葉齢が 2.6 より若い苗では播種量増加の影響はほとんど認められなかった。したがって、播種量を通常の 1.5 倍量としても、葉齢 2.6 までは活着への影響はごく小さいと推察される。

キーワード: 移植, イネ, 植傷み, 活着, 生長, 乳苗, 播種密度, 葉齢。

水稻の省力・低コスト技術として、乳苗移植栽培技術が開発され、一部に普及している。乳苗は葉齢 2.0~3.0 未満 (不完全葉を第 1 葉とする) の苗 (富民協会 1990, 姫田 1994) とされており、適正な栽培管理技術を確立するためには、葉齢の増加に伴う苗の特性変化を明確にする必要がある。前報 (Sasaki and Hoshikawa 1997 a) では、苗の葉齢 2.4 頃に実質的に光合成が開始し、この葉齢に達すれば、低温条件下での育苗であっても機械移植に必要とされる草丈 7 cm (桐山 1991, 姫田 1994) に達することを報告した。また、葉齢 2.4 頃には鞘葉節冠根がほぼすべて発根することを報告した。そして、鞘葉節冠根の根端部分を除去して移植しても活着に影響されなかったことから、移植した乳苗にとって、鞘葉節冠根は養水分の吸収という点で大きな役割を担い、第 1 節冠根を速やかに発根させることで活着すると考察した (Sasaki and Hoshikawa 1997 b)。しかしながら、乳苗の植傷みや活着の様相について、葉齢の増加に伴うこれら変化との関係から詳細に検討した報告はみあたらない。

そこで、本報告では同一温度条件下で葉齢の異なる乳苗を育苗し、移植後も同じ温度条件下で生育させ、葉齢の異なる乳苗の活着特性について調査した。また、乳苗は通常かなりの密播で育苗されることから、育苗期間の増加に伴う苗素質の低下が懸念される。この点については、播種密度を通常の 1.5 倍として同様に育成し、通常の播種密度で育苗した乳苗と活着特性を比較検討した。

材料と方法

供試品種としてササニシキを用いた。1995 年 5 月 22 日に、催芽粒を市販の粒状培土を詰めた育苗箱 (58×28×3

cm) に播種して軽く覆土した。播種量は乳苗の一般的な播種量に準じた育苗箱当たり乾粒換算 200 g (200 g 播種区) と、その 1.5 倍量の 300 g (300 g 播種区) とした。播種した育苗箱を出芽器 (温度 32°C 一定, 暗黒条件) 内に 2 日間置いて出芽させ、その後は昼 24°C 夜 19°C (12 時間サイクル) の自然光型ファイトトロン内に移し育苗した。播種後 5 日目から 9 日目まで毎日、両播種区から葉齢の揃った生育中庸の苗 250 本以上を採取した。採取に際し断根に注意して行ったが、生育の進んだ苗で若干の断根が認められた。苗は根に付いた土を軽く洗い流し、100 本を苗形質の調査に用い残りの苗を移植に用いた。化成肥料 (8-8-8) を 2.5 g 全層に施用し、移植前日に代かきを模して土壌を攪拌しておいたシードリングケース (15×5.5×10 cm) に 3 株、1 株 5 本植えて移植した。苗の植付け深さは約 2 cm とした。移植したシードリングケースは、プラスチックコンテナ内に設置し、土表面から約 2 cm の高さに水位を維持した。移植後 2, 4, 6, 8, 16 日目に各苗とも 2 シードリングケースから植物体を取り出し、根に付着した土を洗い流した。

苗形質の調査用として採取した苗 100 本のうち、20 本は直ちに凍結保存し 80 本は 70°C で数日以上乾燥した。凍結保存した苗は後日冷蔵庫内で解凍し、葉齢、草丈、葉身長、葉鞘長、根数を調査するとともに個々の根の長さを測定し個体当たりの総根長を求めた。また、乾燥した苗は、茎葉、根および種子に切り分け乾物重を測定した。胚乳養分の消費割合は、玄米種子乾物重の減少程度より算出した。移植後 2~8 日目に採取した個体は、各ケース 2 株 (計 20 個体) を凍結保存し、残りの 2 株 (10 個体) は 70°C で乾燥した。形態調査を上記と同様に行ったのち 70°C で

数日間乾燥し、先に乾燥した10個体とともに株当たり乾物重を茎葉、根および種子別に測定した。なお、個々の根の長さの測定は、新根と旧根とを分けないで行った。移植後16日目に採取した個体については、生育中庸な8個体について形態調査（根長を除く）を行うとともに20個体について乾物重を測定した。なお、葉齢の表記は「不完全葉」を第1葉とした。

結 果

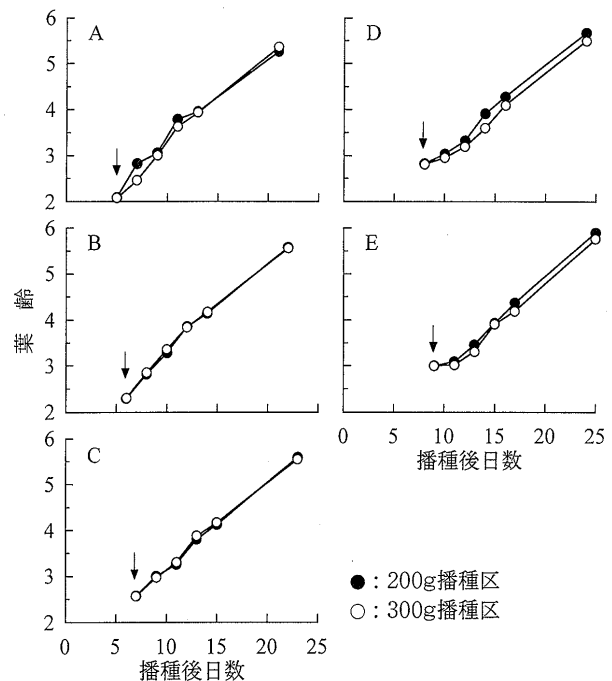
1. 苗形質の葉齢及び播種量による差異

移植した苗の形質を第1表に示した。育苗日数を5～9日間とすることにより、移植した苗は葉齢2.1～3.0、草丈5.2～13.9 cm、茎葉乾物重3.6～8.6 mg、根数5.1～7.3本の範囲となった。また、胚乳養分の消費割合は、43～81%の範囲であった。これら形質に対する播種量の影響はみられなかった。苗の充実度の指標とされる茎葉乾物重/草丈比（香山 1962）は0.61～0.82 mg cm⁻¹の範囲にあり、苗間差は極わずかであったが、総じて葉齢の進んだ苗で低下する傾向にあった。また、総葉身長、総根長はともに育苗日数の増加に伴って長くなったが、総葉身長は育苗日数が5日間から9日間へと長くなることで約4倍増加したのに対し、総根長の増加は約1.5倍に過ぎなかった。

2. 移植後の生育

育苗日数（移植時の葉齢）の異なる苗ごとに、移植後の主茎の出葉経過（葉齢増加）を第1図に示した。出葉の一時的な停滞は、育苗日数が7日間以下の苗、すなわち移植時の葉齢が2.6以下の苗では認められなかったが、育苗日数が8日間および9日間の苗、すなわち移植時の葉齢が2.8と3.0の苗に認められた。また、この出葉の一時的な

停滞は、300 g 播種区でより顕著であった。そこで、出葉経過を移植後0～4日目までと移植後6日目以降16日目までに分け、それぞれについて移植後日数と葉齢との間で回帰直線を求めた（相関係数は0.89～1.00の範囲にあった）。そして、移植した苗の葉齢と回帰直線の傾き、すなわち出葉速度との関係を第2図に示した。移植後4日目までの出葉速度は、葉齢2.1と2.3の苗間ではほとんど差がなかったが、葉齢が2.3より進んだ苗では葉齢の増加に伴って低下した。一方、移植後6日目以降16日目までの出葉速度は、苗間でほとんど差がなかった。これら2つの期



第1図 移植後の主茎葉齢の推移。

図中矢印は移植日を示し、A～Eはそれぞれ5～9日苗を示す。

第1表 移植時の苗の形質。

育苗 期間 (日)	葉齡	草丈 (cm)	総葉身長 (cm)	根数 (本)	総根長 (cm)	総葉身長/ 総根長比	乾物重 (mg/個体)		胚乳養分 消費割合 (%)	茎葉乾物 重/草丈比 (mg cm ⁻¹)
							茎葉	根		
200 g 播種区										
5	2.1	5.4(0.2)	2.7(0.3)	5.3(1.0)	11.3(2.2)	0.24	3.8	2.2	44.0	0.70
6	2.3	6.0(0.3)	4.0(0.2)	5.6(0.6)	13.3(2.4)	0.31	4.9	2.6	53.8	0.82
7	2.6	8.5(0.5)	6.3(0.5)	5.9(0.9)	14.2(2.8)	0.46	6.1	2.9	62.6	0.72
8	2.8	11.1(0.6)	8.4(0.5)	6.6(1.2)	16.2(2.5)	0.53	7.2	3.1	71.9	0.65
9	3.0	13.9(1.1)	10.1(1.0)	7.2(1.6)	17.7(4.3)	0.61	8.5	3.0	80.8	0.61
300 g 播種区										
5	2.1	5.2(0.4)	2.5(0.4)	5.1(1.0)	10.4(1.9)	0.25	3.6	1.9	42.7	0.69
6	2.3	6.1(0.4)	4.0(0.3)	5.6(0.9)	12.6(2.5)	0.33	4.6	2.3	50.4	0.75
7	2.6	8.3(0.4)	6.0(0.4)	6.3(1.3)	16.0(2.7)	0.38	5.6	2.7	61.3	0.67
8	2.8	11.1(0.5)	8.7(0.3)	6.1(0.7)	17.1(4.1)	0.54	7.2	2.8	73.7	0.65
9	3.0	13.4(0.8)	10.0(0.9)	7.3(1.3)	15.7(4.2)	0.68	8.6	2.8	80.2	0.64

() 内の数字は標準偏差(±)を示す。ただし、標準偏差は各苗について20個体の値から計算した。

総根長は、移植時に採取した個体に残存した個々の根の総長を示す（ただし、採取時に一部断根あり）。

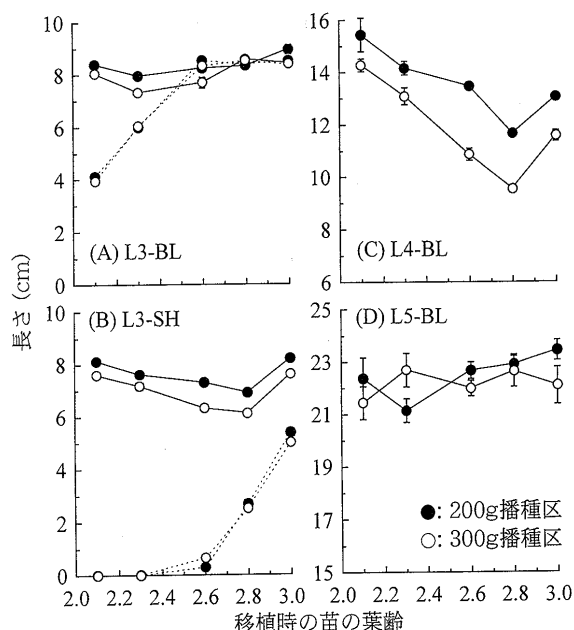
胚乳養分消費割合は、玄米種子乾物重の減少程度より算出した。

間における出葉速度は、苗の葉齢2.6でほぼ一致した。また、葉齢2.8, 3.0の苗では、移植後4日目までの出葉速度が200 g 播種区と比べて300 g 播種区でより低下した。

つぎに、展開後の葉身・葉鞘長を第3図に示した。まず、第3葉身長は、苗の葉齢2.3でわずかに短い。総じて移植した苗の葉齢や播種量の影響は小さかった。これに対して、第4葉身長は、苗の葉齢の増加とともに大きく低下し、葉齢2.8の苗で最短となった。この傾向は両播種区とも認められたが、300 g 播種区の葉身長は200 g 播種区より常に下まわった。第3葉鞘長の苗の葉齢に対する変化のパターンは、第4葉身長のそれと同様であったが、変化の程度は第4葉身長に比べて小さかった。一方、第5葉身長には、第4葉身長や第3葉鞘長でみられた傾向は認められなかった。

移植後8日目の苗の根数と総根長(旧根を含む)を第4図に示した。葉齢2.8と3.0の苗の移植後8日目の根数は、葉齢が2.6より若い苗と比較してわずかに多かった。また、根数に対する播種量の影響は、葉齢3.0の苗を除いて有意ではなかった。一方、総根長は、葉齢が2.6より若い苗では播種量の影響がほとんどみられないが、葉齢2.8, 3.0の苗では200 g 播種区に比べて300 g 播種区で13~15%短かった。

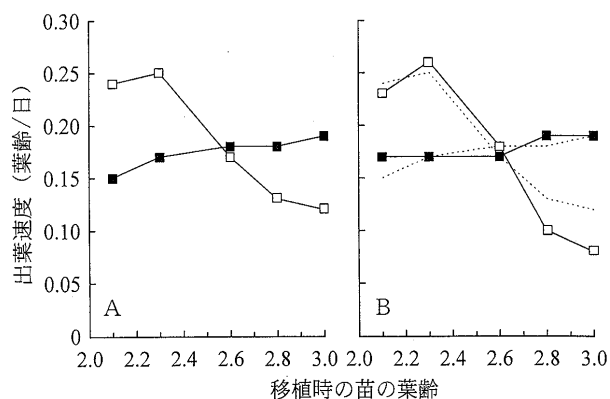
移植後8日目の苗の茎葉乾物重をみると(第5図)、葉齢2.1から2.3まで増加し、その後は低下に転じ、葉齢2.8から3.0にかけて再び増加した。また、300 g 播種区の茎葉乾物重は、200 g 播種区と比べて小さく、特に両播種区の差は葉齢2.6以降増大する傾向にあった。一方、根



第3図 展開後の葉身・葉鞘長。

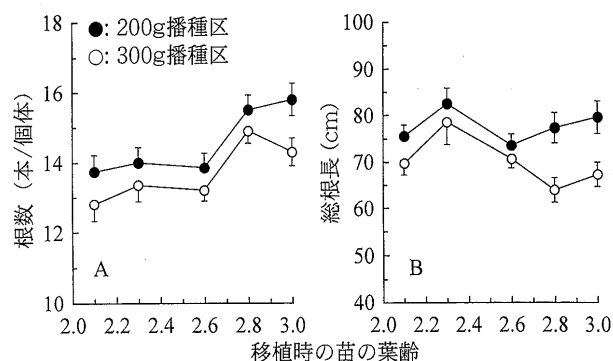
図A, B中の点線は、移植時点で解剖肉眼観察した葉身・葉鞘長を示す。L3~L5はそれぞれ第3~5葉を示し、BLとSHは葉身と葉鞘を示す。図中の垂線は標準誤差を示し、シンボルの大きさ内の場合は省略した。

の乾物重は各苗間で大きな差はないが、葉齢2.8と3.0の苗では200 g 播種区に比べて300 g 播種区で20%低下した。総乾物重(茎葉+根)について求めた移植後8日目以降16日目までの相対生長率(RGR)には(第6図)、移植した苗の葉齢や播種量による差がみられなかったのに対し、移植後0~8日目までの相対生長率は葉齢の若い苗ほど高く、葉齢2.8および3.0の苗では播種量の増加によって低下した。



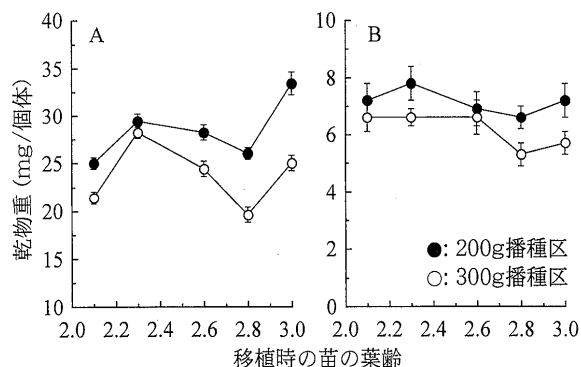
第2図 移植後0~4日目(□)及び移植後6~16日目まで(■)の出葉速度。

出葉速度は第1図に示す主茎葉齢の推移より各苗について回帰直線を求め、回帰直線の傾きを出葉速度とした。A: 200 g 播種区, B: 300 g 播種区。図Bの点線は、200 g 播種区(A)の出葉速度を示す。

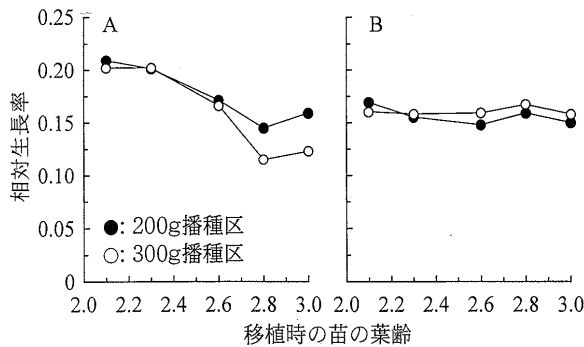


第4図 移植後8日目の苗の根数(A)と総根長(B)。

総根長には旧根を含む。図中の垂線は標準誤差を示す。



第5図 移植後8日目の苗の茎葉(A)と根(B)の乾物重。図中の垂線は標準誤差を示す。



第6図 移植後0～8日目 (A) 及び移植後8～16日目 (B) の苗の相対生長率 (RGR)。

考 察

移植した水稻苗の生育は、主として植傷みにより一時的に停滞し、その後徐々に生育が回復し、最終的には生長速度が一定となって移植に伴う植傷みから回復する (三本 1983, 山本 1991)。山本ら (1995) は、葉齢 0 (鞘葉のみで第 1 葉未抽出の出芽苗) から葉齢 7.2 までの計 11 種の苗を移植し、各苗の植傷みの程度を移植後 3 日間の出葉速度の低下から評価した。その結果、葉齢の若い苗ほど移植に伴う植傷みは小さい傾向にあったと報告している。また、上村ら (1990) も、乳苗の移植後の出葉速度は、稚苗に比べて速いことを報告している。本研究では乳苗のステージに焦点をあて、葉齢 2.1～3.0 の苗を移植した (葉齢 3.0 の苗は、稚苗の範ちゅうに分類される (星川 1971))。移植後 4 日間の出葉速度は、葉齢の進んだ苗ほど小さい傾向を示した。移植した苗の葉齢が 2.6 より若い苗では、移植に伴う出葉速度の停滞はみられず、移植後 4 日間の方が移植後 6 日目を以降 16 日目までより出葉速度は大きかった。一方、葉齢が 2.6 より進んだ苗では、移植に伴う出葉の停滞がみられ植傷みを発現した。そして、この植傷みは播種量の増加によってより大きく発現した。

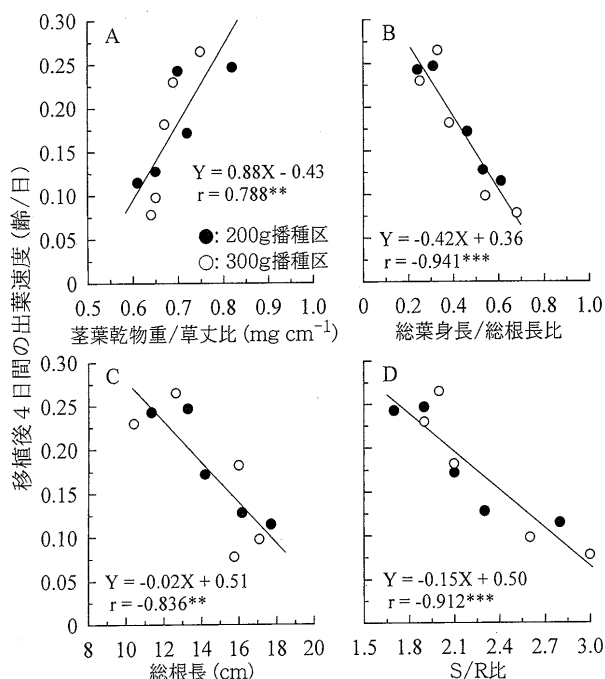
茎葉乾物重/草丈比 (香山 1962) は、苗の特性、充実度を示す指標の一つである。本研究で移植した苗の茎葉乾物重/草丈比は $0.61\sim0.82\text{ mg cm}^{-1}$ と極わずかな範囲内であったが (第 1 表)、移植後 4 日間の出葉速度との間に $r=0.788^{**}$ と高い正の相関関係を示した (第 7 A 図)。前報 (Sasaki and Hoshikawa 1997 b) で、移植した乳苗の生育は、断根数ではなく移植時に残存する総根長と密接に関連し、総根長の減少にともなって低下することを報告した。しかし、移植した苗の活着、生育における一時的な遅れは、吸水と蒸散とのバランスの崩れによるものである (山本 1991)。また、供試した苗は、育苗期間の増加に伴う総葉身長と総根長の増加程度が異なったことから (第 1 表)、本報告では総葉身長と総根長の比率が、苗の葉齢の増加に伴う活着特性の変化を示す指標になると考えた。第 7 図に示すように、移植後 4 日間の出葉速度は、総葉身長/総根長比と高い負の相関関係 ($r=-0.941^{***}$) を示し

た。この移植した苗の移植後 4 日間の出葉速度は、総根長や茎葉と根の乾物重比 (S/R 比) と高い相関関係 (それぞれ $r=-0.836^{**}$, $r=-0.912^{***}$) を示すが、総葉身長/総根長比との間で最も高い相関関係を示したことから、総葉身長/総根長比は乳苗の植傷みの程度を評価する有効な指標と考えられる。

乳苗の生育のほとんどは、葉齢が 2.4～2.5 に達するまで種子中の胚乳養分に依存しており、光合成は実質的に葉齢 2.4 頃に開始することを著者はすでに報告した (Sasaki and Hoshikawa 1997 a)。一方、山本ら (1994) は、胚乳残存率が 35% (葉齢 2.5 前後) 以下になると、苗の活着および初期生育は残存胚乳養分の影響を受けないと報告している。つまり、これらの報告は、従属栄養生長から独立栄養生長への転換が 2 葉期の中頃に起こることを示唆している。本研究で移植した苗は、葉齢が 2.6 を越えると胚乳養分の残存率が 35% 以下となったことから、葉齢が 2.6 より進んだ苗では、苗の生長に対する種子中の残存胚乳養分の寄与の程度は低く、逆に光合成産物への依存度が高まったと推測される。したがって、播種量の違いが移植した苗の胚乳養分の消費割合に殆ど影響を及ぼさなかったにもかかわらず、葉齢 2.8 および 3.0 の苗で 200 g 播種区と比べて 300 g 播種区でより大きく植傷みが発現したのは、総葉身長や総根長といった量的なバランスの崩れに、さらに質的な低下が加わったことによると推測される。

つぎに、移植した苗の葉齢と葉身・葉鞘長との関係について考察する。イネ葉身の伸長は、1 葉位前の葉鞘内で起こり、それは葉身基部の細胞分裂・伸長に依存している (山崎 1963)。移植した苗を肉眼で解剖観察した結果、葉齢 2.1 と 2.3 の苗では、移植時点で第 3 葉身はなお伸長段階にあった (第 3 A 図)。しかし、展開後の第 3 葉身長は移植によってほとんど影響を受けなかった。それは、上述したようにこれらの苗では、移植にともなう植傷みがほとんど発現しなかったことによる。移植時点での第 3 葉鞘長を第 3 B 図に示したが、葉齢 2.6 の苗から肉眼で確認することができた。また、移植時の第 4 葉身長は調査していないが、第 n 葉身と第 $(n-1)$ 葉鞘とはほぼ同時に伸長する (山崎 1963) ことが知られており、第 4 葉身も葉齢 2.6 前後から著しい伸長を始めたと推測される。一方、細胞の分裂や増大は、水分ストレスによって顕著に抑制される (Begg and Turner 1976) ことが知られており、第 4 葉身長、第 3 葉鞘長の伸長パターンにみられる苗の葉齢に対する変化は、植傷みの強さと葉身・葉鞘の伸長ステージの違いによると推察される。

以上より、箱育苗した葉齢の異なる乳苗では、葉齢が 2.6 より若い苗では出葉の停滞がなく活着がスムーズに進行するが、葉齢が 2.6 より進んだ苗では出葉が停滞し植傷みを生ずることが明らかになった。ただし、移植直後の出葉速度は、総葉身長/総根長比と密接に関連することから、葉齢が 2.6 より若い苗であっても、移植に伴う断根の程度



第7図 移植後0～4日目の苗の出葉速度と移植した苗の茎葉乾物重/草丈比 (A), 総葉身長/総根長比 (B), 総根長 (C) 及び乾物重の茎葉/根比 (S/R比, D) との関係。

, *: 1%, 0.1%水準で有意。

が大きければ移植直後の出葉速度は低下し、植傷みが生じる (Sasaki and Hoshikawa 1997b) と推察される。また、播種量を通常の1.5倍とした場合、葉齢2.8と3.0の苗では移植後4日間の出葉速度がさらに低下し、移植後8日間の相対生長率も低下したのに対し、葉齢が2.6より若い苗では播種量増加の影響はみられなかった。したがって、播種量を通常の1.5倍量、すなわち育苗箱当たり乾粒換算300g程度で育苗する場合、少なくとも葉齢2.6までは活着への影響は小さいものと推測される。

謝辞: 本研究は、東北大学名誉教授故星川清親博士のご指導のもとに行われたものであり、衷心より感謝の意を捧げたい。

引用文献

- Begg, J.E. and N.C. Turner 1976. Crop water deficits. Adv. Agron. 28: 161–217.
- 富民協会 1990. 乳苗稲作の誕生. 富民協会, 東京. 1–157.
- 姫田正美 1994. 水稻の乳苗移植栽培技術 [1], [2] —その研究成果と今後の展望—. 農及園 69: 679–683, 791–796.
- 星川清親 1971. 稚苗の生理と育苗技術. 農文協, 東京. 183–192.
- 桐山隆 1991. 乳苗移植における植付け精度. 北陸作物学会報 26: 20–21.
- 香山俊秋 1962. 水稻の育苗技術. 朝倉書店, 東京. 1–174.
- 三本弘乗 1983. 東北地方北部における水稻苗の活着に関する研究. 青森農試研報 27: 1–69.
- Sasaki, R. and K. Hoshikawa 1997a. Changes in energy dependence and morphological characteristics with the development of rice nurdling seedlings raised under different light and temperature conditions. Jpn. J. Crop Sci. 66: 252–258.
- Sasaki, R. and K. Hoshikawa 1997b. The role of crown roots from coleoptilar node in the rooting and development of transplanted rice nurdling seedlings. Jpn. J. Crop Sci. 66: 259–267.
- 上村幸正・香西修治・松島貴則 1990. 水稻晩期栽培における乳苗の出葉と分けつの特徴. 日作四国支紀 27: 1–7.
- 山本由徳 1991. 水稻の移植における植傷みとその意義に関する研究. 高知大農紀要 54: 1–167.
- 山本由徳・池尻明彦・新田洋司 1994. 胚乳養分が水稻若齢苗の活着・初期生育に及ぼす影響. 日作紀 62 (別2): 13–14.
- 山本由徳・池尻明彦・新田洋司 1995. 葉齢を異にする水稻苗の活着, 初期生育および出穂特性. 日作紀 64: 556–564.
- 山崎耕字 1963. 水稻の葉の形態形成に関する研究. 1. 葉の發育経過に関する一般的観察. 日作紀 31: 371–378.

Characteristics of Rooting and Early Growth of Transplanted Rice Nursling Seedlings with Several Plant Ages in Leaf Number: Ryouji SASAKI* and Katsunori GOTOH (Fac. of Agr., Tohoku Univ., Sendai 981-0914, Japan)

Abstract: The rooting and development of transplanted rice seedlings (*Oryza sativa* L.) are affected by the characters of the seedlings and the amount of damage to roots incurred by transplanting. Experiments were conducted to examine the influences of these factors on the rooting and early growth of transplanted rice nurdling seedlings. To obtain these seedlings with different plant ages in leaf number and seedling characters, seedlings were placed in a dark nursery chamber (32°C) for 2 days, then raised for 3–7 days in a temperature-controlled greenhouse set at a day/night cycle of 24/19°C under different seeding densities (200 g and 300 g per nursery box). The seedlings were continuously grown under the same temperature conditions after transplanting. The number of roots at 8 days after transplanting was higher in seedlings with older plant ages compared with younger plants. However, transplanting injury, indicated by the rate of leaf emergence at 0–4 days after transplanting, was observed when the plant age of a transplanted seedling exceeded 2.6 in leaf number. This was primarily due to an imbalance between the total length of the leaf blade and that of the roots. Furthermore, this transplanting injury was aggravated by high-density seeding. These results suggest that the characters of seedlings greatly degrade when a plant exceeds an age of 2.6 in leaf number.

Key words: Growth, Nursling seedling, Plant age in leaf number, Rice, Rooting, Seeding density, Transplanting, Transplanting injury.