水稻の植傷みに関する研究

第3報 苗の剪根の有無が移植後初期の器官別の体内成分含有量と 活着に及ぼす影響*

山 本 由 徳

(高知大学農学部)

平成元年3月13日受理

要 旨: 水稻苗(成苗)の根をできるだけ切らないで苗をとり、そのまま移植する区(無剪根区)と全ての根を基部より剪除して移植する区(剪根区)を設けて、活着期を中心に移植後2週間にわたっての器官別の体内成分含有量と生育に及ぼす苗の剪根の有無の影響について検討した。

1) 移植に伴い剪根区では葉身が著しく萎凋し、さらに一部が枯死して、無剪根区にくらべて植傷みが大きくなった。剪根区の地上部各器官の乾物重は、無剪根区にくらべて移植後1日目で既に10~15%低下し、葉身では14日目にかけて、また葉鞘と茎では8日目にかけて35~40%低下した。しかし、移植直後の発根数には無剪根区との間に差異はみられず、活着への影響は小さいものと考えられた。そして、根の乾物重は移植後14日目までに無剪根区の37%まで回復した。

2) 移植後の体内成分含有量に及ぼす苗の根の有無の影響は、移植後約3日間に最も顕著にみられ、無剪根区では地上部各器官の炭水化物含有量が増大した。他方、剪根区では移植直後に地上部各器官の蛋白および澱粉の分解が急速に進み、非蛋白態窒素および全糖含有量が増加した。そして、この期間における無剪根区の炭水化物の蓄積は器官別には茎>葉鞘>葉身の順に、また剪根区では非蛋白態窒素および全糖含有量の増加は茎で著しかった。剪根区の可溶性物質の増加が全ての器官の原基形成部位である茎において最も顕著に認められたことは、移植後の発根数には無剪根区との間に差異が認められなかったことと関連して注目された。

キーワード: 植傷み、初期生長、水稻、剪根、炭水化物含有量、窒素含有量、発根、分けつ。

Studies on Transplanting Injury in Rice Plant III. Effects of root pruning treatment on the organic constituents in each organ and rooting of seedlings after transplanting : Yoshinori YAMAMOTO (*Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku, Kochi 783, Japan*)

Abstract: This study was undertaken to clarify the effects of root pruning on the organic constituents and early growth in each organ of seedling after transplanting, using 6 leaf aged seedlings without pruning roots (CS) or with pruning all roots (PS).

The degree of transplanting injury was severer in PS than that in CS. Wilting of leaf blade and sheath in PS was conspicuous, and carbohydrate was scarcely accumulated as a whole after transplanting. Nevertheless, degradation of protein in the leaf blade and starch in the leaf sheath and stem was accelerated just after transplanting and non-protein nitrogen or sugars accumulated in the stem. The accumulation of these soluble substances in the stem promoted rooting of PS, so that there was little difference in taking roots relative to CS which markedly accumulated carbohydrate, especially sugars, in not only the stem but also in the leaf sheath just after transplanting. Moreover, root dry weight of PS recovered by 37% of CS until 14 days after transplanting. However, growth and development of tiller buds of PS was inhibited, due to partitioning of most of the carbohydrate and nitrogen for the formation of new roots. Consequently, the dry weight in top organs decreased 35—40% as compared with CS during 8—14 days after transplanting by less development of leaf area of the tillers.

Key words: Carbohydrate content, Early growth, Nitrogen content, Paddy rice, Rooting, Root pruning, Tillering, Transplanting injury.

前報^{20,21)}では成苗の剪根の程度が植傷みと移植後の初期生育に及ぼす影響について検討し、移植時の苗の基部に3 cm以上根が残存していれば移植に伴う断根の影響はほとんど認められないことを明らかにした。また、全ての根を基部より剪除した苗では植

傷みが著しく、移植直後に苗体内に炭水化物の蓄積がみられないが、根への乾物分配率を増加して発根は無剪根区と同程度に行われていることを明らかにした。このことは、断根の程度が著しく、移植直後の養水分の吸収および光合成作用が大きく抑制された苗においては、体内における貯蔵養分を新根の生育に優先的に振り向けていることを示唆する。そこ

* 大要は、第162回講演会(昭和51年10月)において発表。

で本報告では、苗の剪根の有無が活着期を中心とする移植後の苗の器官別の体内成分含有率の推移と生育に及ぼす影響について検討した。

材料と方法

供試品種として黄金錦を用いた。苗の育成にはプラスチック製のバット (40×32×20 cm) を用い、畑土と川砂を7:3の割合で混合した土壌を充填し、硫酸、過磷酸石灰、塩化加里をそれぞれ15 g, 15 g, 7.5 gずつ全層に施用した。そして、1975年5月12日に3×2 cmの密度に播種して、保温折衷苗代様式で育成した。6月12日に根をできるだけ切らないように丁寧に土を洗い流しながら苗を取り、分けつを2本有する生育の揃った苗を選んだ (平均葉齢6.8, 草丈33.0 cm, 地上部乾物重254 mg, 根乾物重52 mg)。そして、無剪根区 (無処理) と剪根区 (すべての根を基部より剪除) を設けて移植した。移植は畑土を充填して、硫酸、過磷酸石灰、塩化加里をそれぞれ3 g, 3 g, 1.5 gずつ全層に施用した1/5000 a 磁製ポットに行った。ポット当りの植付け株数は4株、1株2本植とし、植付け深度は約2 cm, 湛水深は約3 cmとした。

調査は、移植後1, 3, 8, 14日目に両区とも7~8ポットから植物体 (28~32個体) を丁寧に抜き取り、地上部および根の生育調査を行った後、90°Cで1~2時間、65°Cで2日以上通風乾燥して、器官別に乾物重を測定した。そして、この乾燥材料について窒素 (全窒素と可溶性窒素) および炭水化物 (全糖と澱粉) を分析した。窒素の分析はセミマイクロケルダール法、炭水化物の分析は村山ら¹³⁾の方法により全糖と澱粉に分けて行った。

また、窒素については除蛋白後のアルコール可溶性窒素を非蛋白態窒素とし、全窒素から非蛋白態窒素を差し引いた値を蛋白態窒素として表示した。

結 果

無剪根区では移植に伴う葉身の萎凋はみられなかったが、剪根区では著しく萎凋し、移植後3日目頃に回復したが葉身の一部が枯死した。剪根区の主茎葉身の枯死葉長率は第4, 5, 6, 7葉身でそれぞれ57, 18, 14, 63%であった。また、両区とも移植後8日目までは分けつの発生は認められなかったが、その後14日目にかけて無剪根区では約3本発生したのに対して、剪根区での発生は著しく少なかった (第1図)。しかし、移植直後の新根発生数には両

Fig. 1. Changes of number of tillers and roots per plant after transplanting.

● : Control (seedlings without pruning roots)
○ : Root pruned (seedlings with pruning all roots)
— Number of tillers, Number of roots.

Fig. 2. Changes of dry weight in each organ of seedlings with pruning all roots (Relative values to control).

Numerals in figure show the measured values of control (mg).

△ : Leaf blade, ● : Leaf sheath, ○ : Stem, × : Roots.

区間に差異は認められなかった (第1図)。

次に、移植後の器官別の乾物重の推移をみると、いずれの器官も剪根区が無剪根区にくらべて劣った (第2図)。すなわち、無剪根区に対する剪根区の地上部各器官の乾物重の比率は移植後1日目に既に

10～15%低下し、その後葉身では移植後14日目にかけて、また葉鞘と茎では8日目にかけて、いずれの器官も35～40%低下した。一方、根の乾物重は移植後14日目に無剪根区の37%まで回復した。

移植後の器官別の窒素および炭水化物含有率の推移をそれぞれ第3図と第4図に示した。無剪根区の地上部器官では移植後3日目にかけて蛋白態窒素含有率が低下したのに対して、全糖および澱粉含有率は著しく増加した。一方、剪根区では移植後3日目にかけて蛋白態窒素含有率は葉身では低下したが、葉鞘と茎における変化は小さく、またこれらの地上部諸器官では非蛋白態窒素含有率が著しく増加した。とくに、この非蛋白態窒素含有率の増加は茎において顕著であった。これに対して、剪根区の澱粉含有率は葉身では移植後3日目まで、また葉鞘と茎では移植後1日目にかけて急減し、全糖含有率が増加した。従って、両区の移植後における地上部諸器官の成分含有率を比較すると、窒素含有率は剪根区>無剪根区、逆に炭水化物含有率は無剪根区>剪根区で推移する傾向がみられた。しかし、移植後8～14日目にかけては両区の成分含有率の差は小さ

くなった。

次に、根における成分含有率の変化をみると、無剪根区では地上部と異なり移植後3日目にかけて蛋白態窒素含有率の低下がみられず、わずかに増加する傾向がみられた。澱粉含有率は移植後徐々に低下した。また、全糖含有率は移植後1日目にかけて急減したのち、3日目にかけて移植時の値にまで回復したが、その後は再び低下した。一方、剪根区の根は全て移植後に発生、伸長した新根のみで構成されるため、窒素および炭水化物含有率のいずれも無剪根区にくらべて高く推移したが、非蛋白態窒素および全糖含有率は生育とともに低下した。

第1表には、両区間に著しい差異のみられた移植後1日目と3日目の窒素および炭水化物含有率に各器官の乾物重を乗じて各器官における成分含有量を求め、移植時の値を100とした比数で示した。各器官の全窒素含有量の増加は無剪根区、剪根区とも移植後3日目まで著しく抑制され、とくに剪根区の葉身の全窒素含有量は蛋白態窒素の減少により、わずかながら移植時にくらべて減少した。移植後3日目における葉身の蛋白態窒素含有量の減少程度を主茎

Fig. 3. Changes of nitrogen content as dry weight basis in each organ after transplanting.

Symbols are the same as in Fig. 1.

Fig. 4. Changes of carbohydrate content as dry weight basis in each organ after transplanting.
Symbols are the same as in Fig. 1.

の葉位別にみると第5図のとおりである。移植時に抽出中の第7葉身を除き無剪根区、剪根区ともに減少したがその程度は下位葉身ほど大きく、いずれの葉位とも無剪根区に比べて剪根区で大きかった。一方、移植後3日目までの無剪根区の根の全窒素含有量の増加量は地上部諸器官にくらべて大きかった。また、移植後3日目にかけての非蛋白態窒素含有量は剪根区の葉身、葉鞘では、それぞれ移植時の約2倍、茎で約3倍に増加した。この移植直後の地上部器官における非蛋白態窒素の増加は無剪根区においても認められたが、葉身における増加量は少なく、また葉鞘と茎ではそれぞれ移植時の1.5倍、2.0倍であり、剪根区にくらべて増加割合は小さかった。その結果、移植後3日目までの地上部器官の非蛋白態窒素/全窒素含有量比は無剪根区にくらべて剪根区で著しく高くなった(第3図)。各器官の全糖+澱粉(TAC)含有量の変化をみると、無剪根区の地上部器官では移植後3日目までに移植時の2~3倍までの増加がみられた。これに対して、剪根区では葉身および茎でそれぞれ移植時の約1.3倍および1.5倍に増加したが、葉鞘では減少し、著しく異なった

(第1表)。この無剪根区の地上部器官および剪根区の葉身と茎のTAC含有量の増加は、主として全糖によるものであり、剪根区の葉鞘におけるTAC含有量の減少は澱粉によるものであった。従って、移植後3日目までの剪根区における地上部各器官の全糖/TAC比は無剪根区にくらべて高くなった。

考 察

移植時の水稻苗の根の有無は、移植後約3日間における苗体内の成分含有量(率)に著しい差異をもたらした。すなわち、無剪根区の地上部には多量の炭水化物の蓄積がみられたのに対して、植傷が大きく認められた剪根区の炭水化物の蓄積は著しく少なかった。この無剪根区の活着に至るまでの期間における地上部の炭水化物含有量(率)の増大は、成苗の移植栽培において既に認められている^{1,6,11,14,17)}が、その蓄積炭水化物は澱粉にくらべて全糖が多いこと、さらに増加割合は器官別には茎>葉鞘>葉身の順に高いことが明らかになった。著者らは移植時の成苗の根をできるだけ切らないで移植(本実験の無剪根区に相当する)し、移植後に外観上、葉身の

Table 1. Organic constituents in top organs on the 1st and 3rd day after transplanting (Relative values to those at transplanting = 100).

Days after transplanting	Constituents	Treatment	Leaf blade	Leaf sheath	Stem	Top	Roots
1	Total nitrogen	CS	101	113	123	105	116
		PS	99	112	123	104	—
	Protein nitrogen	CS	101	109	121	104	113
		PS	93	104	111	97	—
	Non-protein nitrogen	CS	108	146	144	126	144
		PS	195	173	213	187	—
	Total available Carbohydrate	CS	179	158	169	166	84
		PS	108	96	120	101	—
	Starch	CS	131	145	156	143	118
		PS	67	70	79	70	—
	Total sugar	CS	197	320	223	253	68
		PS	123	152	277	139	—
3	Total nitrogen	CS	105	118	145	110	157
		PS	97	120	168	106	13
	Protein nitrogen	CS	105	118	137	109	160
		PS	93	109	137	99	21
	Non-protein nitrogen	CS	98	123	197	114	145
		PS	166	206	325	193	60
	Total available Carbohydrate	CS	161	241	283	216	144
		PS	128	93	145	107	20
	Starch	CS	101	127	217	128	114
		PS	58	78	111	77	14
	Total sugar	CS	184	486	535	326	158
		PS	154	126	277	144	22

* CS : Control (seedlings without pruning roots), PS : Root pruned (seedlings with pruning all roots).

Fig. 5. Amounts of protein nitrogen in successive leaf blades on main stem on the 3rd day after transplanting (Relative values to those at transplanting).

■ : Control, □ : Root pruned.

萎凋が観察されない場合にも、非移植区に比べて葉身や分げつの伸長速度が移植後一時的に低下することを明らかにしている²³⁾。従って、本実験において、活着に至るまでの期間に無剪根区の地上部に多量の炭水化物が蓄積したのは、移植に伴う植傷により生長が一時的に抑制されたにもかかわらず、葉身の光合成への影響は比較的小さく、光合成によって生産された同化産物が生長に利用されることな

く、体内に蓄積された結果と考えられる²⁾。Hsiao⁹⁾およびBoyer³⁾は水ストレスに対する葉の生長の感受性は光合成にくらべて高いことを報告しており、無剪根区においても移植に伴って葉身の萎凋に至らない程度の弱い水ストレスが生じ、その結果、一時的に生長が抑圧されているものと考えられる。また、上述のように無剪根区の地上部の炭水化物が移植後急激に蓄積したにもかかわらず、根においては移植後1日目に全糖含有量の低下によりTAC含有量が減少したおり、このことは移植直後の地上部から根への同化産物の転流が一時的に阻害されていることを示唆する。

一方、剪根区では苗の吸水と蒸散のバランスがくずれて、葉身が移植直後に著しい水ストレス条件下にさらされ、その結果、葉身の急激な萎凋とそれに伴う一部枯死により、光合成作用が強く抑制されたものと考えられる。そして、呼吸作用をはじめとする代謝の維持のために葉鞘および茎内に貯蔵された澱粉を急速に分解した結果、全糖含有量が増加したのであろう。また、剪根区では葉身の萎凋により、蛋白質の分解が促進されて非蛋白態窒素が増加し⁹⁾、その一部が葉鞘や茎に転流したものと推定さ

れた。そして、この全糖あるいは非蛋白態窒素含有量の増加割合は、器官別には茎で高かった。

このように、移植後の光合成作用が著しく抑制され、TAC含有量の増加がほとんど認められなかった剪根苗においても、移植直後に貯蔵澱粉を分解して全糖含有量を高め、また蛋白質の分解あるいは合成の阻害によって非蛋白態窒素含有量を高めていることは、移植直後の水ストレスに対する一種の浸透調整作用^{15,16)}と考えられる。Munnsら¹²⁾は、水ストレスを受けたコムギの茎頂および伸長中の若い葉には多量のエタノール可溶性物質が増加し、これらの部位の浸透ポテンシャルを低下させて、水ストレスによる被害を回避すると報告している。そして、移植直後にこれらの可溶性物質がすべての器官の原基が形成される茎部において最も顕著に認められたことは、剪根苗の移植直後の発根数に無剪根苗との間に差異が認められなかったことと関連して注目される。水稻苗の発根には窒素^{8,10,18,19)}あるいは炭水化物^{7,14,18,19)}が重要な働きをしているとの報告は多い。しかし、剪根区においては移植直後の茎部に蓄積した養分が優先的に発根に振り向けられる結果、分けつ芽の伸長は抑制されたものと推定された⁵⁾。その結果、活着直後の分けつの発生数は無剪根区にくらべて劣り、さらには各器官の乾物重も劣ったものと考えられた。

このように、移植直後に茎部に蓄積された養分が地上部と根のいずれの生育に多く配分されるか⁴⁾は、移植に伴う苗体内のホルモンレベルの変化²²⁾によるものと考えられる。

謝辞：本論文をまとめるに当たり、終始ご指導を頂いた本学部教授前田和美博士並びに林喜三郎博士に衷心より謝意を表す。また、供試種子を分譲いただいた高知県農事試験場に対して謝意を表す。

引用文献

1. 青田精一・木根淵旨光・橋本 勉・水野 進 1964. 北陸地域における水稻晩植栽培の減収要因とその収量性. 北陸農試報 7: 29—58.
2. Barlow, E.W.R. and L.Boersma 1976. Interaction between leaf elongation, photosynthesis, and carbohydrate levels of water-stressed corn seedlings. *Agron. J.* 68: 923—926.
3. Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and rate in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46: 233—235.
4. Gersani, M., S.H. Lips and T. Sachs 1980. The influence of shoots, roots, and hormones on sucrose distribution. *J. Exp. Bot.* 31: 177—184.
5. 花田毅一 1964. 作物の分枝性に関する研究. 第2報 水稻幼苗における遮光および移植が分けつ芽の分化および発育に及ぼす影響. 日作紀 33: 156—163.
6. 平野哲也・島田裕之・小野寺守一 1956. 晩植水稻の生育相. 日作紀 25: 1—7.
7. ———・小野寺守一・竹村武雄 1958. 水稻苗の活着に関する研究. 日作紀 26: 199—202.
8. 本田 靖・臼田純雄 1959. 水稻苗に関する生理生態学的研究. 日作紀 29: 429—431.
9. Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519—570.
10. 木根淵旨光・青田精一 1962. 北陸地域における水稻晩植栽培に関する研究. 第1報 晩植水稻の植傷み発現について. 日作紀 30: 302—304.
11. 松美成忠・三宅正紀・石塚潤爾 1961. 寒地水稻の栽培技術改善に関する研究. I 移植にともなう苗体内諸成分の消長. 北海道農試彙報 76: 42—45.
12. Munns, R., C. J. Brady and E. W. R. Barlow 1979. Solute accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 6: 379—389.
13. 村山 登・吉野 実・大島正雄・塚原貞雄・川原裕司 1955. 水稻の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究. 農技研報 B4: 123—166.
14. 佐々木信介・福重裕康 1958. 水稻の早期栽培に関する生理生態学的研究. 第1報 移植後地下部低温が苗の炭水化物及び窒素の含有量に及ぼす影響と発根力の関係. 弘前大農学報 4: 19—28.
15. Turner, N. C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In *Stress Physiology in Crop Plants* (Eds.) Mussel, H. and R. C. Staples, John Wiley and Sons, New York. 343—372.
16. 牛島忠廣 1981. 水とイオンのストレス, 熊沢喜久雄編 植物生理学 5, 水とイオン, 朝倉書店, 東京. 209—222.
17. 山田 登・太田保夫 1956. 早期及び晩期栽培水稻の生育相. 農及園 31: 769—774.
18. ———・——— 1957. 水稻の苗質に関する研究. 農業技術 12: 13—15.
19. Yamada, N. and Y. Oota 1957. Physiological character of rice seedlings. (I). *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 25: 165—168.
20. 山本由徳・前田和美・林喜三郎 1978. 水稻の植傷みに関する研究. 第1報 移植後の初期生育に及ぼす苗の剪根程度の影響. 日作紀 47: 31—38.
21. ———・———・——— 1978. ———. 第2報 移植後の体内有機成分含有量並びに生長速度に及ぼす苗の剪根程度の影響. 日作紀 47: 39—47.
22. ——— 1979. 水稻の移植に伴う含水量, 体内有機成分含有量並びに生長調節物質の消長と初期生長との関係. 日作四国支紀 15: 1—5.
23. ———・久野訓弘 1986. 水稻の植傷みに関する研究. 第12報 移植後の苗各部位における成分含有量の変化—とくに直播稻との比較—. 日作紀 55(別1): 58—59.