

水稻の植傷みに関する研究
IX. 移植操作が新葉と新根の形態に及ぼす影響

山本 由徳・松岡 寿充
(農学部作物・育種学研究室)

Studies on Transplanting Injury in Rice Plant
IX. Effects of Transplanting on the Morphological Changes of New
Leaves and Roots of Seedlings after Transplanting

Yoshinori YAMAMOTO and Toshimitsu MATSUOKA
Laboratory of Crop Science and Plant Breeding, Faculty of Agriculture

Abstract: Using the materials in the previous report ²⁾, effects of transplanting *per se* and pruning part by transplanting procedures on the outer and inner morphology of new leaves on the main stem and new roots emerged after transplanting were studied. 1) Effects of transplanting on the leaf sheath length, leaf blade length and leaf area, and leaf width and number of stomata were severest on the 5th, 6th, and 7th leaf, respectively and those except leaf width and number of stomata were reduced in order of seedling without pruning (TP-S) > with pruning all leaf blades (LC-S) > with pruning all roots (RC-S) than those of non-transplanted ones (DS-S). The total number of stomata on the 6th leaf blade was not significantly different among the seedlings, because the greater the leaf area reduced, the higher the density was. All the seedlings were almost equal in number of vascular bundles of the 6th leaf blade, but distances between large or small vascular bundles and leaf blade thicknesses were less in order of TP-S > RC-S > LC-S than those of DS-S. 2) The diameter of new roots measured at 1cm from their base on the 3rd and 7th day after transplanting was larger in order of DS-S > TP-S > RC-S > LC-S, mainly depending on the thickness of cortex, and significant difference was found even between DS-S and TP-S. These results suggested that morphological changes of newly emerged leaves and roots in transplanted seedlings were closely related to their early growth through the photosynthetic ability of the leaves and water or nutrient absorption rate of the roots.

緒 言

前報¹⁾において、水稻の植傷み発現に伴う生育の停滞からの回復は乾物重増加速度が最も遅れることを明らかにした。これには、移植に伴い分けつの発生時期が遅れ、葉面積の拡大速度が一時的に低下すること¹⁾の他に、移植後新たに抽出・展開した新葉、および発根・伸長した新根の形態変化も関与しているものと考えられる。すなわち、移植後の新葉の外部・内部形態の変化は、葉面積の多少や光合成能力を通して、また、新根の形態変化は養水分の吸収能力を通して移植直後の乾物増加速度と密接に関係するものと思われる。

このような観点から、本報告では移植と移植に際しての苗体の損傷部位が新葉と新根の形態変化

に及ぼす影響について検討した。

実験材料および方法

前報²⁾の実験で得られた材料を用い、移植後の新葉と新根の形態観察を行った。処理区および処理区の略称についても前報と同様であり、処理区は非移植区 (DS区と略す)、移植区 (同TP区)、剪葉区 (同LC区)、および剪根区 (同RC区)である。

新葉の形態については、移植後21日目に各区とも12個体について主茎の第5～第8葉の葉身長、葉鞘長、葉身幅を測定し、つづいて自動葉面積計 (林電工社製、AAM-7型) で葉面積を測定した。そして、各区のそれぞれの葉位の葉身について、葉面積が中庸な3葉を選び、市販のセメダインで葉身の表・裏両面の中央部³⁾のレプリカを取った後、各葉身とも顕微鏡下 (×400) で中肋から葉縁にかけて5視野、合計30視野 (表面15視野+裏面15視野) の気孔数、すなわち気孔密度を求めた。また、気孔密度に各葉身の平均葉面積を乗じて葉身当りの気孔数を算出した³⁾。

また、各区とも主茎第6葉身について、葉身の中央部の内部形態をパラフィン切片法で18 μmの横断切片を作成して観察した。

新根の形態については、移植後3日目の新根のうちDS、TP区は5～6cm、LC、RC区は3～4cmの新根を、また7日目には各区5～7cmの新根を選び、根の基部約1cmの部位⁴⁾の横断徒手切片を作り、顕微鏡下 (×100) で根径、中心柱径および皮層の厚さ (表皮細胞を含む) と内皮から外皮までの細胞層数を調査した。

実験結果および考察

1) 新葉の外部および内部形態

Table 1に移植後抽出展開した主茎の葉位別葉身長、葉鞘長、葉身幅および葉面積と気孔数について示した。DS区にくらべてTP、LC、RC区では各形質とも劣ったが、影響のあらわれる葉位は形質によって異なり、葉鞘長では第5葉位に、葉身長と葉面積では第6葉位に、また葉身幅では第6、第7葉位に最も影響が認められた。また、その影響の程度は葉身幅を除いてRC > LC > TP区の順に大きかった。しかし、葉身長および葉鞘長においては、最も影響の認められた葉位よりTP区では1葉位上位の、またLC、RC区では2葉位上位においてDS区より葉身長、葉鞘長がそれぞれ優る傾向が認められた。これに対して、葉身幅では影響が第8葉位にまで及んでおり、影響をうける期間が葉身長、葉鞘長にくらべて長かった。

葉身当りの気孔数は第5、第6葉身では各区間に有意差はみられなかったが、第7葉身ではDS区にくらべてTP > RC > LC区の順に劣り、最も処理の影響が認められ、第8葉身においてもLC、RC区ではDS区にくらべて有意に劣った。これは処理各区の葉面積が小さくなったこと、および気孔密度が低下したことによる。これに対して、第5葉身では、葉面積、気孔密度に処理の影響が認められなかったこと、また葉面積に最も影響が認められた第6葉身では、気孔密度がDS区の182個/mm²に対して、TP、LC、RC区ではそれぞれ226、266、316個/mm²と著しく高くなった⁵⁾ことにより、各区間の葉身当りの気孔数には有意差は認められなかった。

上述のように、移植操作あるいは苗の葉および根の損傷によって葉の外部形態および気孔数に著しい影響があらわれることが明らかとなった。このような移植に伴う苗体の損傷による移植後の葉の外部形態の変化は、当然、内部形態にも変化をもたらしていることが容易に予想される。そこで、葉身の外部形態に最も影響の認められた第6葉身について葉厚および2、3の内部形態についての観

察を行った (Table 2, 3)。

Table 1. Some leaf characters of successive leaves on the main stem

Leaf position*	Treatment**	Leaf blade length (cm)	Leaf blade width (mm)	Leaf area (cm ²)	Leaf sheath length (cm)	Stomatal density*** (/mm ²)	No. of stomata per leaf*** (×100)
5 th	DS	15.8(100)a	5.6(100)a	7.31(100)a	9.6(100)a	186(100)a	1363(100)a
	TP	15.8(100)a	5.2(93)b	6.62(91)a	8.9(93)b	189(102)a	1249(92)a
	LC	—	—	—	8.5(89)b	—	—
	RC	15.8(100)a	5.8(104)a	7.25(99)a	7.8(81)c	188(101)a	1362(100)a
6 th	DS	19.1(100)a	6.9(100)a	10.79(100)a	10.4(100)a	182(100)d	1968(100)a
	TP	16.3(85)b	6.1(88)b	8.03(74)b	10.6(102)a	226(124)c	1811(92)a
	LC	16.9(88)b	5.2(75)d	6.58(61)c	9.6(92)c	266(146)b	1747(89)a
	RC	13.5(71)c	5.6(81)c	5.93(55)d	10.1(97)b	316(174)a	1865(95)a
7 th	DS	20.6(100)b	8.5(100)a	13.80(100)a	12.1(100)b	226(100)a	3118(100)a
	TP	21.9(106)a	8.3(98)a	13.27(96)a	12.9(107)a	207(92)a	2736(88)b
	LC	18.7(91)c	6.0(71)c	9.55(69)c	12.6(104)a	201(89)a	1919(62)c
	RC	18.9(92)c	6.7(79)b	11.34(82)b	12.9(107)a	190(84)a	2158(69)c
8 th	DS	22.8(100)c	9.2(100)a	16.39(100)a	16.1(100)a	252(100)ab	4125(100)b
	TP	25.1(110)a	8.6(93)b	16.79(102)a	16.3(101)a	275(109)a	4617(112)a
	LC	24.6(108)ab	8.2(89)c	14.61(89)b	15.1(94)b	216(86)a	3152(76)c
	RC	23.7(104)bc	8.1(88)c	14.07(86)b	16.2(101)a	246(98)b	3457(84)c

Note 1) Numerals in parenthesis show the relative values to DS (=100).

2) Treatments followed by a common alphabetical letter are not significantly different at 5 % level by Duncan's Multiple Range test.

* Counted acropetally.

** DS: Non-transplanted seedling, TP, LC, RC: Transplanted seedlings without pruning and with pruning all leaf blades or all roots, respectively.

*** Mean value of adaxial and abaxial sides.

Table 2. Thickness at some positions and distance between vascular bundles of the 6 th leaf blade on the main stem

Treatment*	Thickness (μm)							Distance between vbs. (μm)				
	VB 1**	VB 2	vb 1**	vb 2	vb 2	mc 1**	mc 2	mc 3	DT 1**	DT 2	DT 3	Mean
DS	165.8a*	154.2a	111.7a	110.4a	102.9a	89.2a	86.5a	82.1a	220.4a	223.9a	198.1a	214.1a
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
TP	154.2b	137.5b	100.0b	95.4b	88.3b	84.6a	79.2b	79.2a	206.7a	204.5b	180.8b	197.5b
	(93)	(89)	(90)	(86)	(86)	(95)	(92)	(96)	(94)	(91)	(91)	(92)
LC	136.7c	122.1c	89.6c	86.3c	80.0c	73.8b	67.1c	66.3b	159.1c	170.5d	153.3d	161.9d
	(82)	(79)	(80)	(78)	(78)	(83)	(78)	(81)	(72)	(76)	(77)	(76)
RC	132.5c	115.8c	87.9c	87.9c	79.2c	73.8b	71.7c	66.3b	189.5b	182.6c	161.9c	178.0c
	(80)	(75)	(79)	(80)	(77)	(83)	(83)	(81)	(86)	(82)	(82)	(83)

Note 1) VB: Large vascular bundle, vb: Small vascular bundle, mc: Motor cell.

2) Numerals in parenthesis show the relative values to DS (=100).

*. ** Refer to Table 1 and Fig. 1, respectively.

Table 3. Diameter of large and small vascular bundle and length of motor cell

Treatment *	Diameter (μm) of					Length (μm) of		
	VB 1 **	VB 2	vb 1 **	vb 2	vb 3	mc 1 **	mc 2	mc 3
DS	80.4a*	76.9a	27.1a	26.5a	25.2a	38.8a	35.0ab	31.7a
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
TP	73.3b	69.0b	24.4b	26.5a	24.4a	39.2a	37.9a	32.9a
	(91)	(90)	(90)	(100)	(97)	(101)	(108)	(104)
LC	69.0c	60.1c	24.8b	25.4a	20.8b	31.7b	30.8c	26.3b
	(86)	(78)	(92)	(96)	(83)	(82)	(88)	(83)
RC	66.3d	62.3c	23.8b	24.2a	21.0b	35.4ab	32.9bc	30.0ab
	(82)	(81)	(88)	(91)	(83)	(91)	(94)	(95)

Note) Numerals in parenthesis show the relative values to DS (=100).

*Refer to Table 1., **Refer to Fig. 1 and Table 2.

第6葉身の維管束数（葉身の中央より片側の数）は各区とも大維管束数3，小維管束数12の合計15で等しかった（Fig. 1）。そこで，Fig. 1に示した大維管束部（VB1と2），小維管束部（vb1～3）および機動細胞部（mc1～3）で葉厚を測定した結果，いずれの部位の葉厚も中央から葉縁にかけて徐々に薄くなっていった。また，TP，LC，RC区の大，小維管束部葉厚は，DS区にくらべて有意に薄かったが，LC，RC区ではTP区にくらべても有意に劣った。一方，機動細胞部葉厚はmc2部を除きTP区とDS区に有意差は認められなかったが，LC区とRC区はDS，TP区にくらべて有意に薄かった。

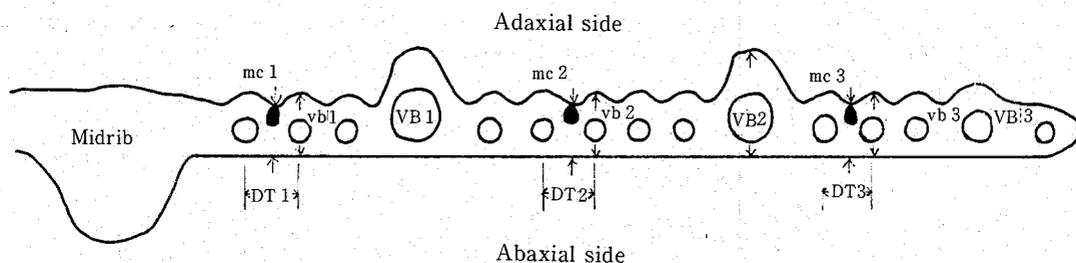


Fig. 1. Measured position of thickness and distance between vascular bundles in transverse section of the 6th leaf blade.

Note) VB: Large vascular bundle, vb: Small vascular bundle, mc: Motor cell.

次に，小維管束間距離を Fig. 1に示した3箇所（DT1～DT3）で測定した結果，いずれもDS区にくらべてTP > RC > LC区の順に値が小さくなっており，DT1のDS区とTP区を除き各処理区間に有意差が認められた。また，DT1～DT3の3箇所におけるTP，LC，RC各区の小維管束間距離は，いずれもDS区（=100）に対する比数がTable 1の葉身幅の比数とよく一致しており，このことは葉身幅の減少が葉身の中央部から葉縁部にかけての各部位でほぼ均等に行われたことを示していると考えられる。

Table 3には大維管束（VB1, 2）および小維管束（vb1～3）の径 $\{(\text{縦径} + \text{横径}) / 2\}$ と機動細胞長（mc1～3）についての測定結果を示した（Fig. 1）。大・小維管束径はDS区で最も大きく，移植各区では劣ったが，小維管束にくらべて大維管束径の差が大きかった。また，LC，RC区

ではTP区にくらべても小さくなったが、両区の差は小さかった。機動細胞長はTP区ではいずれの部位ともDS区にくらべてやや長くなり、またRC区ではやや短くなったものの有意差は認められず、LC区のみがDS区にくらべて有意に劣った。

山崎⁶⁾は、水稻の葉の形態形成に関する研究において、第 n 葉身抽出開始時には発育段階を異にする4個の葉原基ないし幼葉が存在するとしている。そして、葉身あるいは葉鞘の長軸に沿っての伸長は、主としてintercalary meristemによって行われ、この分裂組織による伸長は葉身では第 $n+1$ 葉と第 n 葉が、また葉鞘では1葉位下位の第 $n-1$ 葉と第 n 葉で最も活発であることを報告している。また、葉身幅を決定する葉縁分裂組織は第 n 葉身抽出開始時には第 $n+2$ および第 $n+1$ 葉身において最も活発であることを報告している。

従って、本実験のように移植に伴う苗体の一部損傷によって体内の代謝生理が乱された場合には、上述の分裂組織の活性の低下を通して葉の長さあるいは幅が減少したものと考えられ、さらに影響をうける葉位は葉身、葉鞘、葉身幅によって異なったものと考えられる。すなわち、本実験では移植時葉齢が4.6であり、DS区にくらべて移植各区の葉鞘長は第5~6葉位、葉身長は第6~7葉位、葉身幅は第6~8葉位で劣り、それぞれ影響のあらわれる葉位がほぼ1葉位ずつ異なり、上述の山崎⁶⁾の結果と一致した。しかし、影響のあらわれた葉位は、山崎のいう葉位にくらべて、上述のように1葉位上位にずれてみられる傾向にあったのは、本実験の移植時抽出中の第5葉身が半ば抽出していたためであろう。

山崎⁶⁾はまた、上述の研究において水稻葉における維管束の分化は、大維管束と小維管束では1葉位ずれておこり、第 n 葉身抽出開始時には、大維管束の分化は第 $n+3$ 葉身において、小維管束の分化は第 $n+2$ 葉身においてはじまり、第 $n+1$ 葉身では両維管束とも分化を完了するとしている。また、気孔の分化は第 $n+1$ 葉身においてはじまり、intercalary meristemの消長に対応して向基的に分化するとしている。本実験では第6葉身について大・小維管束数を測定したが、移植操作あるいは移植時の苗の剪葉および剪根処理によってもDS区との間に差異がみられなかったのは、上記の山崎の報告より、既に分化を完了していたためと考えられる。しかし、維管束径が小さくなったことは、分化後の維管束構成細胞の生長が移植によって抑制されたことを示唆している。そして、第6葉身の気孔密度が葉面積の小さくなった区ほど高くなったのは、この葉位においては気孔の分化がほぼ完了していたことを推定させる。なお、LC区の第8葉身では、葉面積はRC区と同じく、DS区、TP区にくらべて有意に小さくなったにもかかわらず、気孔密度が他区にくらべて有意に劣ったのは、この葉位の気孔は移植時には未だ分化を開始していないことから、移植時の苗の剪葉そのものの影響よりは、その結果もたらされる移植後の初期生育が他区にくらべて著しく劣ったことによるものと推定される。

以上より、移植操作によって移植後の葉齢進度にほとんど影響のみられなかった場合²⁾にも、移植直後に出葉する葉の外部形態のみならず内部形態にも影響が認められた。すなわち、非移植区にくらべて葉の長軸あるいは横軸方向への生長が劣るのみならず、気孔数が減少し、葉の厚さが薄くなり、さらに維管束数には差異は認められなかったものの、維管束間距離が葉身幅の減少に応じて短くなり、また維管束径も小さくなることが示された。そして、移植に伴うこのような内部形態の変化は、外部形態と同様に移植時の葉の損傷や強度の断根によって、より一層助長されるが、その程度は根にくらべて葉で大きいことが示された。また、移植に伴う上述の葉の厚さの減少および気孔密度の低下は、葉面積当りの光合成量を低下させ⁸⁾、葉身面積の減少とともに移植後初期の乾物重の低下の一因と考えられた。

2) 根の内部形態

移植後3日目と7日目の新根の根径、中心柱径および皮層の厚さ(表皮を含む)と皮層細胞数を

Table 4. Diameter of new root and its components at 3 and 7 days after transplanting

Treatment *	3 days after transplanting				7 days after transplanting			
	Diameter of		Thickness	No. of cortical	Diameter of		Thickness	No. of cortical
	root (μ m)	stele (μ m)	of cortex (μ m)	cell layers **	root (μ m)	stele (μ m)	of cortex (μ m)	cell layers **
DS	813a *	194a	619a	7.5ab	845a	223a	622a	8.0a
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
TP	794ab	220a	549a	7.8a	758b	191b	567b	7.5a
	(98)	(103)	(96)	(104)	(90)	(86)	(91)	(94)
LC	672c	190a	482c	6.8b	507b	150c	357b	6.1b
	(83)	(98)	(78)	(91)	(60)	(68)	(57)	(76)
RC	758b	213a	542b	7.3ab	579c	184b	395c	6.1b
	(93)	(110)	(88)	(97)	(69)	(82)	(63)	(76)

Note) Numerals in parenthesis show the relative values to DS (=100).

*Refer to Table 1., **Included epidermal cell.

Table 4に示した。移植後3日目, 7日目の根径はDS > TP > RC > LC区の順に太く, 各区間の差は移植後3日目に比べて7日目で大きく有意差が認められた。そして, 移植後3日目の根径の差は皮層の厚さの差によるものであり, 中心柱径には各区間に大差は認められなかった。一方, 移植後7日目の各区間の根径の差は, 中心柱径および皮層の厚さの両部位の差異に基づくが, TP区を除きLC, RC区では中心柱径にくらべて皮層の厚さの低下割合が大きかった。この皮層の厚さの差は移植後3日目と異なり, 皮層細胞の個々の大きさに加えて細胞数の減少によるものであった。

以上より, 移植後の新根の発生や伸長に非移植区との間に差異が認められなかった移植区²⁾においても, 発生した新根の根径は明らかに劣っていることが示された。野島・平野⁹⁾は移植により根径が直播区にくらべて細くなることを報告している。また, 移植後の同一葉齢時における新根の発生数や伸長は非移植区や移植区を凌駕した剪根区では, 非移植区のみならず移植区にくらべても根径が劣り, さらに新根の発生, 伸長が著しく劣った剪葉区では剪根区にくらべても根径が劣った。佐藤¹⁰⁾は水稻の剪葉処理により, 処理後発生する新根数のみならず, その長さも劣り, さらに根径も細くなることを報告しており, 本実験の結果と一致した。また, 川田ら^{11,12)}は水稻冠根の伸長および根径形成には糖類の供給が必要であること, さらに植物ホルモンによっても影響される¹²⁾ことを報告している。植物ホルモンによって水稻冠根の発生, 伸長が影響をうけることは著者¹³⁾もこれを観察した。従って, 水稻の移植操作や移植時の苗の根や葉身の損傷程度に伴う移植後の苗の光合成量の多少に加えて, 苗体内の生長調節物質の変化¹⁴⁾が, 苗の新根の発生, 伸長および根径の太さなどに影響を及ぼしているものと考えられた。そして, このような移植後に発生する新根の根径の差異は, 分岐根や根毛の発生数の差異¹⁵⁾につながり, さらには移植後の養水分の吸水量の多少を通して, 葉身の光合成能に影響を及ぼしているものと推定された。

要 約

前報²⁾の材料を用いて, 移植操作あるいは移植に際しての苗体の損傷部位が移植後の新葉および新根の外部・内部形態に及ぼす影響について検討した。

1) 移植に伴い葉鞘長, 葉身長と葉面積, 葉身幅と気孔数は, それぞれ第5, 第6, 第7葉位に最も影響がみられ, 葉身幅と気孔数を除くと移植(TP)区 > 剪葉(LC)区 > 剪根(RC)区の順に非移植(DS)区に劣った。また, 葉身長と葉面積に移植による影響が最も認められた第6葉身の気孔密度は葉面積の減少割合が大きいく程増大し, 葉身当りの総気孔数には各区間に有意差がなかった。次

に、第6葉身について内部形態を比較したところ維管束数は各区等しかったが、維管束間距離、葉厚は移植各区ともにDS区にくらべて有意に減少し、その程度はLC > RC > TP区の順に大きかった。

2) 移植後3日目と7日目の新根の根径は、主に皮層の厚さの差により、DS > TP > RC > LC区となったが、とくに7日目で差が大きく、TP区でもDS区にくらべて有意に劣った。

引用文献

- 1) 山本由徳・前田和美・林喜三郎：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(1978).
- 2) 山本由徳・松岡寿充：同 VIII. 移植操作が移植後の出葉と発根との関係に及ぼす影響. 高知大学研報, 39, 〇-〇.
- 3) 吉田智彦・小野敏忠：二, 三の環境条件が 稲葉身の気孔密度に及ぼす影響. 日作紀, 47, 506-514(1978).
- 4) 森 敏夫：水稻根の組織学的解析. 日作紀, 28, 12-13(1959).
- 5) 田辺 猛：直播水稻の生育, 収量に及ぼす断根処理の影響 第1報 断根処理による形態および生態的变化と生育との関係. 日作紀, 51, 310-315(1982).
- 6) 山崎耕宇：水稻の葉の形態形成に関する研究 1. 葉の発育過程に関する一般的観察. 日作紀, 31, 371-377(1963).
- 7) 山崎耕宇：同 2. 葉の形態形成を解明する 二, 三の実験. 日作紀, 32, 237-242(1964).
- 8) 長南信雄：作物の葉. 北条良夫・星川清親共編, 作物の形態と機能, p. 132-148, 農業技術協会, 東京 (1976).
- 9) 野島数馬・平野寿助：水稻直播栽培法に関する研究 第1報 代掻湛水直播, 不代掻湛水直播及移植栽培に於ける水稻生育相の比較. 関東・東山農試研報, 1, 1-8(1951).
- 10) 佐藤 庚：禾本科作物における剪葉後の生長回復過程に関する研究 第2報 水稻剪葉直後の器官別の生長と組織内澱粉の消長. 日作紀, 38, 299-305(1969).
- 11) 川田信一郎・石原愛也・松井重雄・花咲茂 樹：水稻種子根の培養, とくに糖の種類, 濃度および供給方法が根の生育に及ぼす影響. 日作紀, 44, 93-108(1975).
- 12) 川田信一郎・松井重雄：“葉ざし”法によって生育させた水稻冠根の直径等に及ぼす諸要因の影響. 日作紀, 48, 131-138(1979).
- 13) 山本由徳：水稻根の発生と伸長に及ぼす植物ホルモンおよび糖類の影響. 日作四国支紀, 23, 27-32 (1986).
- 14) 山本由徳：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育との関係. 日作四国支紀, 15, 1-5(1979).
- 15) 藤井義典：稲・麦における根の生育の規則性に関する研究. 佐賀大農彙報, 12:1-117(1961).

(1990年 9月29日受理)

(1990年12月27日発行)

