

水稻の穂首節間を走向する大維管束の種類と数 および横断面積の品種間比較

新田洋司^{*1)}・姚友礼²⁾・山本由徳²⁾・吉田徹志²⁾・松田智明¹⁾・宮崎彰²⁾

(¹⁾茨城大学・²⁾高知大学)

要旨：穂重型日本稲 (JP), 穂数型日本稲 (JN), 中国産日本型稲 (CJ), 日印交雑稲 (JI), 長稈インド型稲 (TI) および半矮性インド型稲 (SDI) の計 18 品種をポット栽培して, 穂首節間を走向する大維管束の種類と数および横断面積を調査し, 品種 (群) 間で比較した. CJ, JI, TI および SDI では, 大型 (L1) および小型 (L2) の大維管束が走向していた. L1 の数 (9.2~13.0) は品種群間で大差はなかった. L2 の数 (1.3~9.3) は品種群間差が大きかった. L1 と L2 の合計は, SDI>TI>JI>CJ>JP>JN の順に多かった. 1 次枝梗数に対する大維管束数の比 (維管束比) は, JP および JN では 1 程度であったが, JI, TI, SDI では L2 の数が加わった分, 1 を大きく越えた. 1 つの L1 における全体および節部横断面積は, JP および JN に較べて, JI, TI, SDI で大きい傾向にあった. 穂首節間を走向するすべての大維管束の全体および節部の横断面積は, いずれも, SDI>TI, JI>CJ>JP>JN の順で品種群間差異が大きく, L2 が走向する品種群で大きかった. 水田で JP (コガネマサリ) および SDI (桂朝 2 号) を穂肥窒素量を増やして栽培したところ, 穂首節間を走向するすべての大維管束の全体および節部の横断面積が大きくなる傾向が認められた. 今後の水稻育種では, 穂首節間を走向する大維管束の横断面積の拡大, ならびに小型の大維管束の走向による光合成産物の輸送体制の強化が 1 つの育種目標になると考えられた.

キーワード：維管束, 維管束面積, 1 次枝梗, 水稻, 登熟, 穂首節間.

一般に, 日本で育成され栽培されている水稻品種は, 穂重型と穂数型に大別される. 穂の形質に着目すると, 穂重型品種は穂数型品種に較べて, 1 次枝梗数や 2 次枝梗数, およびそれらに着生する穎花の数が多いという特徴がある. 一方, 両品種群に共通して, 穂首節間を走向する大維管束は 1 本ずつ 1 次枝梗に通じるとされ (星川 1975), 1 次枝梗数に対する大維管束の数の比 [維管束比 (福山・石井 1993, 福嶋・秋田 1997)] は基本的に 1 であるとされてきた.

ところが, 近年になって, インド型稲品種では維管束比は必ずしも 1 にはならず, 1 を越える品種のあることが報告された (福山・石井 1993, Fukuyama and Takayama 1995, 福嶋・秋田 1997). このような品種では, 1 本の 1 次枝梗に 2 本以上の大維管束が通じることがあり, 当該 1 次枝梗への光合成産物の供給能力が従来の日本稲に較べて高いことが推定される.

近年, 日本をはじめとして中国や韓国などで育成された穂重型および超穂重型品種は, 1 次枝梗ばかりではなく 2 次および 3 次以上の枝梗を多数有することによって多数の穎花を着生させている (小松ら 1984). これらの品種では, 多数の穎花を登熟させるために, 光合成産物の生産能力ばかりではなく輸送能力の向上が求められるが, これを説明する形態的なデータは少ない.

本研究では, 日本で育成された穂重型および穂数型品種をはじめ, 近年各国で育成された穂重型および超穂重型品種など各種の草型の品種を供試して, 穂首節間を走向する大維管束の数および横断面積を詳細に調査した. また, 一部の品種について, 穂肥窒素の増施およびリン酸施用の有

無が穂首節間を走向する大維管束の数や横断面積におよぼす影響について調査した. そして, それぞれの品種 (群) における維管束の発達程度と光合成産物の輸送能力との関係について考察した.

材料と方法

1. 実験 A

高知大学農学部圃場において出穂期がほぼ同じである水稻 18 品種を本実験に供試した. 供試した水稻は, 穂重型日本稲 3 品種, 穂数型日本稲 3 品種, 中国産日本型稲 2 品種, 日印交雑稲 2 品種, 長稈インド型稲 3 品種, 半矮性インド型稲 5 品種であった (第 1 表). 1/5000 a ワグネルポットに水田土壌を充填し, 1997 年 5 月 19 日に 11 品種, 同 20 日に 7 品種の催芽籾を円形に 20 粒播種 (佐竹 1972) した. 生育の揃った主茎個体を得るために, 出現した分けつは逐次除去した. 施肥は, 5 月 31 日から止葉展開後 1 週目まで 1 週間ごとに, 液肥 [硫酸アンモニウム 189 g, リン酸 2 ナトリウム (12 水塩) 50 g, 塩化カリウム 48 g を水に溶かして 1 L とした溶液] 5 mL を約 500 mL の水で薄めて与えた.

穂の先端が止葉の葉鞘から出た日を出穂日とし, 全個体の出穂日を調べた. また, 各個体の止葉葉位および 1 次枝梗数を調べ, 各品種で最も頻度が高かった止葉葉位および 1 次枝梗数の穂を選び, 以下の実験に供試した. 各個体の出穂後 10 日目に, 穂首節間を含む穂を各品種 10 本ずつ採取し, FAA 溶液 (70% エタノール: ホルマリン: 酢酸 = 18:1:1) で固定した. 穂首節間の頂端部から基部側約 3 mm の部分で, カミソリの刃を用いて徒手横断切片を作

第1表 供試個体の止葉葉位と穂相。

品種名	草型等	止葉 葉位	1 次 枝梗数	着生穎花数#			合計
				1次枝梗	2次枝梗	3次枝梗	
ヒエリ	穂重型日本稲	16	12	68.4 ± 0.5	65.3 ± 3.1	—	133.7 ± 3.0
農林 22 号	〃	15	11	64.4 ± 0.4	47.4 ± 2.6	—	111.8 ± 2.5
黄金錦	〃	16	9	53.3 ± 0.3	51.1 ± 2.0	—	104.4 ± 2.1
金南風	穂数型日本稲	16	8	45.8 ± 0.4	39.3 ± 2.2	—	85.1 ± 2.0
中生新千本	〃	17	8	45.3 ± 0.2	46.9 ± 3.2	—	92.2 ± 3.2
日本晴	〃	15	10	55.3 ± 0.5	36.5 ± 2.0	—	91.8 ± 2.0
9004	中国産日本型稲	16	11	65.5 ± 0.9	68.6 ± 3.4	—	134.1 ± 3.3
92-133	〃	16	12	69.3 ± 0.5	72.0 ± 3.3	—	141.3 ± 3.2
水原 258 号日印交雑稲		18	10	54.5 ± 0.6	105.5 ± 5.7	2.1 ± 0.8	162.1 ± 6.1
密陽 23 号	〃	15	10	55.8 ± 0.7	89.7 ± 6.4	3.3 ± 1.9	148.8 ± 7.7
Tadukan	長稈インド型稲	14	11	59.5 ± 0.9	123.8 ± 4.4	10.3 ± 1.4	193.5 ± 4.0
Dawn	〃	14	16	97.3 ± 0.9	121.9 ± 8.7	—	219.2 ± 9.3
AC130	〃	14	12	72.9 ± 1.1	127.3 ± 4.9	—	200.2 ± 4.9
IR36	半矮性インド型稲	17	9	48.2 ± 0.7	60.9 ± 4.4	0.2 ± 0.2	109.3 ± 4.8
桂朝 2 号	〃	15	12	71.5 ± 0.4	136.9 ± 6.0	0.2 ± 0.1	208.6 ± 6.2
BR3	〃	18	11	64.9 ± 1.4	104.0 ± 5.5	0.1 ± 0.1	169.0 ± 6.5
揚稲 4 号	〃	15	12	64.8 ± 1.3	120.7 ± 6.9	—	185.5 ± 7.3
タカナリ	〃	15	13	77.6 ± 0.8	114.9 ± 6.3	0.6 ± 0.3	193.1 ± 6.1

#: 平均値 ± 標準誤差。

製した。横断面の稈および維管束等の形態を光学顕微鏡で観察するとともに、ビデオマイクロメーター（オリンパス社製 VM-30）でそれらの諸形質を計測した。

2. 実験 B

品種コガネマサリ（穂重型日本稲）および桂朝 2 号（半矮性インド型稲）を供試した。高知大学農学部附属農場水田において、基肥として N, P₂O₅, K₂O を 10 a あたりそれぞれ 4, 8, 6 kg 施用後、中苗（葉齢 4.0、ただし不完全葉を第 1 葉として数える）を 1996 年 5 月 25 日に 1 株 2 本植えて移植した。7 月 5 日～8 月 1 日まで中干し・間断灌漑を行った。穂肥として、10 a あたり窒素を成分量で 5 kg (N) または 10 kg (2N) 施用する区と、リン酸を 0 または 6 kg (P) 施用する区を組み合わせた 4 処理区を設け、7 月 20 日と 8 月 1 日に半量ずつ施用した。出穂期（コガネマサリ: 8 月 15 日、桂朝 2 号: 同 13 日）後 23 日目に、平均的な茎数を有する株を 10 株抜き取り、すべての穂の 1 次枝梗数を数えて、最も頻度が高かった 1 次枝梗数を有する穂を 30 本選んだ。穂首節間を含む穂を、実験 A と同じ方法で FAA 溶液で固定後、光学顕微鏡で観察し、ビデオマイクロメーターで諸形質を計測した。

結 果

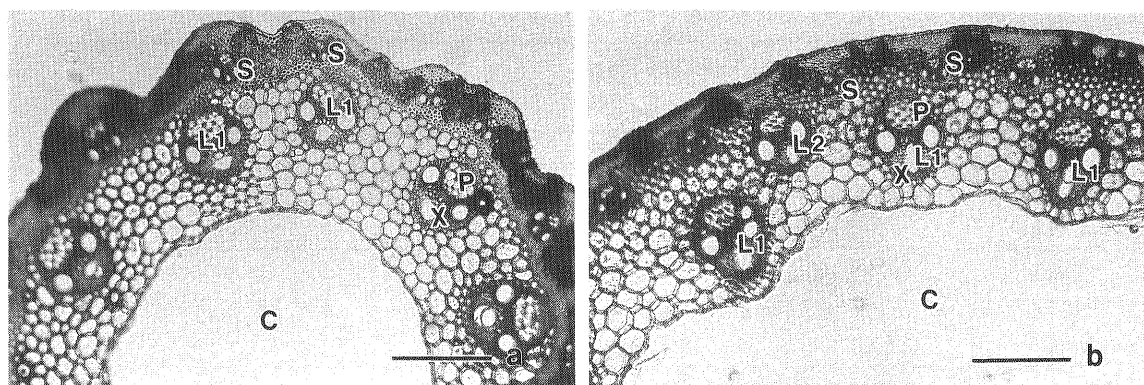
1. 穂首節間を走向する大維管束の品種間差異（実験 A）

実験に供試した個体の止葉葉位、1 次枝梗数、および着生穎花数を第 1 表に示した。個体の止葉葉位は 14～18、1

次枝梗数は 8～16 の範囲にあった。穂重型および穂数型日本稲、中国産日本型稲では枝梗は 2 次枝梗まで認められ、1 穂穎花数は 85～141 の範囲にあった。日印交雑稲、長稈および半矮性インド型稲では枝梗は 3 次枝梗まで認められ、1 穂穎花数は多く（109～219）、品種間差も大きかった。

穂首節間の横断面を光学顕微鏡で観察した結果、穂重型および穂数型日本稲の稈壁では大きさに大差がない 1 種類の大維管束が走向していた。第 1 図 a にはその 1 例として、日本晴の場合の光学顕微鏡写真を示した。これに対して、中国産日本型稲、日印交雑稲、長稈および半矮性インド型稲の稈壁では、大きさが異なる 2 種類の大維管束が走向していた。第 1 図 b にはその 1 例として、タカナリの場合の光学顕微鏡写真を示した。2 つのタイプの大維管束のうち、大型の大維管束は稈壁の内側を、小型の大維管束は稈壁の外側を走向しており、これら的大維管束はそれぞれの穂で容易に区別することができた。なお、いずれの品種においても、稈壁の周辺部には皮層繊維組織が存在し、その中を小維管束が走向していた（第 1 図 a, b）。

第 2 表に、穂首節間を走向する大維管束の数と維管束比を示した。穂首節間を走向する大維管束の数は、大型および小型の大維管束の合計で、半矮性インド型稲 > 長稈インド型稲 > 日印交雑稲 > 中国産日本型稲 > 穂重型日本稲 > 穂数型日本稲の順に多かった。また、日本型稲では 8.6～13.0 個の範囲にあったのに対して、日印交雑稲およびインド型稲では 16.6～26.5 個の範囲にあり、変異が大きかった。



第1図 穂首節間の横断面の光学顕微鏡写真。a: 日本晴, b: タカナリ。

C: 髓腔, L1: 大型の大維管束, L2: 小型の大維管束, S: 小維管束, P: 篩部, X: 木部。Bar=200 μ m。

第2表 穂首節間を走向する大維管束の数と維管束比。

品種名	大維管束数			維管束比
	大型	小型	合計	
ヒエリ	11.3 cde	—	11.3 gh	0.94 j
農林22号	10.6 fg (10.4)	—	10.6 hi (10.4)	0.96 ij (0.98)
黄金錦	9.3 i	—	9.3 jk	1.03 ghij
金南風	8.6 j	—	8.6 k	1.08 fgh
中生新千本	9.1 ij (9.2)	—	9.1 jk (9.2)	1.14 fgh (1.07)
日本晴	9.8 h	—	9.8 ij	0.98 hij
9004	10.7 efg (11.1)	1.0 g (1.3)	11.7 g (12.4)	1.06 fgh (1.07)
92-133	11.4 cd	1.6 fg	13.0 f	1.08 fgh
水原258号	10.2 gh (10.6)	6.7 d (6.5)	16.9 e (17.1)	1.69 cd (1.71)
密陽23号	11.0 def	6.3 de	17.3 e	1.73 c
Tadukan	11.7 c	5.0 e	16.7 e	1.52 e
Dawn	13.9 a (13.0)	2.7 f (5.5)	16.6 e (18.5)	1.04 ghi (1.47)
AC130	13.3 a	8.8 c	22.1 b	1.84 b
IR36	9.6 hi	7.1 d	16.7 e	1.86 b
桂朝2号	12.4 b	10.2 b	22.6 b	1.86 b
BR3	11.1 cdef(11.9)	9.8 bc(9.3)	20.9 c (21.2)	1.90 b (1.86)
揚稲4号	12.7 b	6.5 d	19.2 d	1.60 de
タカナリ	13.6 a	12.9 a	26.5 a	2.04 a

同一アルファベットを含む品種間ではフィッシャーのLSD法による5%水準での有意差がないことを示す。()内は各品種群の平均値。

大維管束の数を大型および小型の別にみると、大型の大維管束の数は、穂数型日本稲で8.6~9.8個と最も少なく、長稈インド型稲では11.7~13.9個と最も多かったが、品種群間で大差はなかった。一方、小型の大維管束の数は、日印交雑稲およびインド型稲では2.7~12.9個と変異が大きかった。したがって、日印交雑稲およびインド型稲における大型および小型の大維管束の数の合計の変異は、小型の大維管束の数の差異によった。中国産日本型稲における小型の大維管束の数は1.0~1.6個であった。

維管束比は、穂重型日本稲(0.98)および穂数型日本稲

(1.07)ではいずれも1程度であったが、日印交雑稲(1.71)、長稈インド型稲(1.47)、半矮性インド型稲(1.86)では1を大きく越えた。これらの品種群で維管束比が1を大きく越えたのは、大型の大維管束の数が1次枝梗数(第1表)とほぼ同程度であったのに加えて、小型の大維管束の数が加わったためであった。中国産日本型稲の維管束比は、小型の大維管束の数が日印交雑稲、長稈および半矮性インド型稲に較べて少なかったため、1.06~1.08にとどまった。

穂首節間を走向する大型および小型の大維管束について

第3表 穂首節間を走向する大維管束1個あたりの横断面積。

品種名	大型の大維管束 μm^2		小型の大維管束 μm^2	
	全体	篩部	全体	篩部
ヒエリ	20596 fghi	4518 def	—	—
農林 22 号	19697 hi (19926)	4169 ghi (4291)	—	—
黄金錦	19484 i	4186 ghi	—	—
金南風	20043 ghi	3884 ij	—	—
中生新千本	20228 ghi (19456)	3626 j (3739)	—	—
日本晴	18097 j	3706 j	—	—
9004	20965 fg (21788)	4126 hi (4238)	13674 e (14168)	2692 f (2867)
92-133	22611 de	4349 efgh	14662 de	3042 cedf
水原 258 号	24242 c (23874)	4495 defg (5137)	16237 bc (16802)	3425 b (4039)
密陽 23 号	23505 cd	5778 a	17367 ab	4653 a
Tadukan	22495 de	4336 fgh	15772 cd	3154 bcde
Dawn	21616 ef (22454)	5158 b (4719)	14673 de (15260)	3477 b (3261)
AC130	23250 cd	4662 de	15336 cde	3152 bcde
IR36	21249 fg	4195 ghi	14565 de	3089 cdef
桂朝 2 号	21122 fg	4222 fgh	14786 de	3002 def
BR3	26272 b (23653)	4765 cd (4400)	17737 a (15862)	3317 bc (3107)
揚稻 4 号	28831 a	5059 bc	18081 a	3280 bcd
タカナリ	20793 fgh	3759 j	14143 e	2845 ef

同一アルファベットを含む品種間ではフィッシャーの LSD 法による 5%水準での有意差がないことを示す。() 内は各品種群の平均値。

て、それぞれの1個あたりの横断面積を第3表に示した。まず、大型の大維管束の全体の横断面積は、穂重型日本稲 (19926 μm^2) および穂数型日本稲 (19456 μm^2) は、日印交雑稲 (23874 μm^2)、長稈インド型稲 (22454 μm^2)、半矮性インド型稲 (23653 μm^2) に較べて明らかに小さかった。中国産日本型稲 (21788 μm^2) は、6品種群内で中間的であった。大型の大維管束の篩部横断面積は、日印交雑稲>長稈インド型稲>半矮性インド型稲>穂重型日本稲、中国産日本型稲>穂数型日本稲の順に大きかった。したがって、大型の大維管束の全体および篩部の横断面積は、穂重型および穂数型日本稲に較べて、日印交雑稲、長稈インド型稲、半矮性インド型稲で大きい傾向にあった。

つぎに、小型の大維管束の全体の横断面積は、4つの品種群で 14168~16802 μm^2 の範囲にあった。これらの面積は、大型の大維管束の全体の横断面積の約 65~70%に相当した。また、小型の大維管束の篩部横断面積は、4つの品種群で 2867~4039 μm^2 の範囲にあった。これらの面積は、大型の大維管束の篩部横断面積の約 67~78%に相当した。

第4表に、穂首節間を走向する大型および小型の大維管束の総横断面積を示した。大維管束の全体面積および篩部面積は、いずれも、半矮性インド型稲>長稈インド型稲、日印交雑稲>中国産日本型稲>穂重型日本稲>穂数型日本稲の順に大きかった。とくに、半矮性および長稈インド型

稲や日印交雑稲のなかには、穂重型および穂数型日本稲品種の2倍以上の面積を有する品種があり、品種間差が顕著に認められた。

2. 穂肥の施用が穂首節間を走向する大維管束諸形質におよぼす影響 (実験 B)

桂朝2号では、実験Aと同様、穂首節間を走向する大型および小型の2種類の大維管束の走向が認められた。コガネマサリでは実験Aの穂重型品種の場合と同様、小型の大維管束の走向は認められなかった。

第5表に、穂肥窒素およびリン酸の施用量が穂首節間を走向する大維管束の諸形質におよぼす影響を示した。両品種において、穂肥の窒素施用量の増加およびリン酸の施用の有無によって、維管束比は大きく変わらなかった。これに対して、両品種において、大維管束の全体および篩部総面積は、穂肥の窒素施用量が増加すると大きくなる傾向が認められた。

考 察

近年、中国や韓国などのアジア諸国では、1穂粒数の多いタイプ的水稲品種が育成・栽培され、単位面積あたりの収量が向上している (Miahら 1996, 万・池橋 1994 a, b, 王 1995 b)。一方、日本では、水稲の単位面積あたりの収量の伸びは現在頭打ちになってきているが、1982年

から 15 年間にわたって行われた農林水産省のプロジェクト研究では、1 穂粒数の多いタイプの品種を作出することが単位面積あたりの収量向上の有効策であると指摘された(東 1988)。このように、水稻の多収穫の実現には、1 穂粒数の多い品種、すなわち穂重型または超穂重型品種の作出が 1 つのカギと言える。

これまで、日本や中国、韓国などで育成された多収性穂重型または超穂重型品種は、育種の過程でインド型稲の形

質が導入された場合が多い(東 1988, 中根・丸山 1992)。育成された品種は、1 次枝梗ばかりではなく 2 次枝梗を多く着けることによって、200 粒以上の 1 穂粒数を獲得している場合がある。このような多収性穂重型または超穂重型品種における登熟歩合ならびに収量の向上には、穂首節間を走向する維管束系の発達が重要であるという指摘がある(亀島ら 1987)。また、1 穂内の個々の穎花の登熟は、維管束系の発達と密接に関係しているという報告もある(Chaudhry and Nagato 1970)。したがって、穂首節間を走向する維管束系を形態学的に検討することは、今後の多収性品種の育成における重要な基礎的資料となる。

林(1976)は、穂首節間を走向する大維管束の数と 1 次枝梗数との間には、有意な正の相関関係があることを明らかにした。その理由は、穂首節間を走向する大維管束が、1 本ずつ 1 次枝梗に通じているからであり(星川 1975)、その結果、既述した維管束比は基本的に 1 になることが知られていた(福嶋・秋田 1997, 福山・石井 1993)。本研究でも、まずこのことを確認するとともに、近年、維管束比が必ずしも 1 にはならない場合のあることが報告されたことから(福嶋・秋田 1997, 福山・石井 1993, Fukuyama and Takayama 1995)、草型が異なる品種を用いて、それぞれの品種および草型における大維管束の数と 1 次枝梗数との関係について検討した。

18 品種を供試した実験 A の結果、まず、中国産日本型稲、日印交雑稲、長稈インド型稲および半矮性インド型稲の穂首節間では、大きさが異なる 2 つのタイプの大維管束(大型および小型)が走向することが明らかになった。そして逆に、穂重型日本稲や穂数型日本稲の穂首節間では、走向する大維管束は大型のみであり、小型の大維管束は走向しないことが判明した。この結果、維管束比は、穂重型日本稲および穂数型日本稲では 1 程度であったが、日印交雑稲、長稈インド型稲、半矮性インド型稲では 1 を大きく越えた。

福嶋・秋田(1997)は、半矮性インド型稲 IR 36 では小

第 4 表 穂首節間を走向する大維管束の総横断面積。

品種名	大維管束 μm^2	
	全体	篩部
ヒエリ	232332 gh	50941 gh
農林 22 号	207492 hi (207079)	43953 ij (44601)
黄金錦	181412 ij	38910 jk
金南風	172422 j	33380 k
中生新千本	183983 ij (177783)	32803 k (34124)
日本晴	176945 j	36188 k
9004	237579 g (258966)	47175 hi (50711)
92-133	280352 f	54246 g
水原 258 号	355080 de (361667)	68659 e (80692)
密陽 23 号	368254 d	92724 a
Tadukan	342341 de	66438 ef
Dawn	340135 e (375369)	81287 d (79053)
AC130	443632 b	89433 ab
IR36	307372 f	62152 f
桂朝 2 号	412166 c	82826 cd
BR3	464847 ab (426640)	85378 bcd (80783)
揚稲 4 号	484193 a	85811 bcd
タカナリ	464622 ab	87746 abc

同一アルファベットを含む品種間ではフィッシャーの LSD 法による 5%水準での有意差がないことを示す。() 内は各品種群の平均値。

第 5 表 穂肥施用量が穂首節間を走向する大維管束諸形質におよぼす影響。

品種名	穂肥施用量	稈壁面積 mm^2	維管束比	大維管束の総面積 μm^2	
				全体	篩部
コガネマサリ	N	1.26 b	1.03 b	201437 b	39663 b
	2N	1.67 a	1.05 b	244972 a	50155 a
	N+P	1.33 b	1.04 b	203944 b	41224 b
	2N+P	1.69 a	1.14 a	244122 a	47531 ab
桂朝 2 号	N	2.27 a	1.70 a	429617 a	77310 a
	2N	2.39 a	1.79 a	465520 a	77053 a
	N+P	2.00 b	1.77 a	375435 b	62575 b
	2N+P	2.33 a	1.82 a	436009 a	73977 a

同一アルファベットを含む処理区間ではフィッシャーの LSD 法による 5%水準での有意差がないことを示す。

型の大維管束が走向し、維管束比が1を越えることを、Fukuyama and Takayama (1995) は、日本を含む6カ国産の531品種を調べた結果、インド型稲では維管束比が1を越えることを報告した。これらの報告はいずれも、インド型稲において維管束比が1を越えることを示したものであり、実験Aの結果と一致する。また、実験Aでは、インド型稲に加えて日印交雑稲および中国産日本型稲において維管束比が1を越えることが明らかになった。

本研究では、穂首節間の大維管束が穂のどの位置の1次枝梗に通じているかの追跡調査はしなかった。福嶋・秋田(1997)は、半矮性インド型稲IR36では、穂の上位の1次枝梗へは1本の大型の大維管束が、穂の中～下位の1次枝梗へは1本の大型の大維管束に加えて2本の小型の大維管束が通じることを明らかにした。本研究の実験Aでは、品種にかかわらず、大型の大維管束の数(第2表)と1次枝梗数(第1表)はほぼ一致した。このことと、上記の福嶋・秋田(1997)の結果を考えあわせると、穂首節間を走向する大型の大維管束は、1本ずつ1次枝梗に通じているものと考えられる。したがって、小型の大維管束は、大型の大維管束と同じいずれの位置かの1次枝梗に通じているものと考えられる。また、このように考えると、維管束比は小型の大維管束数の分だけ1を越えることが考えられる。

大型の大維管束の数に比べて小型の大維管束の数は品種群間差が大きく(第2表)、その結果、大型および小型の大維管束の合計数は、半矮性インド型稲>長稈インド型稲>日印交雑稲>中国産日本型稲>穂重型日本稲>穂数型日本稲の順に多く、品種群間差がみられた。また、小型の大維管束の数は同一品種群内における品種間差も大きく、とくに、長稈インド型稲および半矮性インド型稲では品種間差が顕著であった。このように、小型の大維管束は、走向する品種群と走向しない品種群があるのに加えて、走向する品種群内では品種間差が大きいことが判明した。

本研究では水稻18品種を供試して、穂首節間を走向するすべての大維管束の横断面積を求め品種間で比較した。その結果、1つの大型の大維管束における全体および節部の横断面積は、穂重型日本稲および穂数型日本稲に比べて、日印交雑稲、長稈インド型稲、半矮性インド型稲で大きい傾向にあった。また、穂首節間を走向するすべての大維管束の全体および節部の横断面積は、いずれも、半矮性インド型稲>長稈インド型稲、日印交雑稲>中国産日本型稲>穂重型日本稲>穂数型日本稲の順で品種群間差異が大きく、小型の大維管束が走向する中国産日本型稲、日印交雑稲、長稈インド型稲および半矮性インド型稲でとくに大きかった。これらの結果は、穂重型および穂数型日本型稲に比べて中国産日本型稲、日印交雑稲、長稈および半矮性インド型稲では、1つの大型の大維管束の横断面積が大きいという点に小型の大維管束が走向することによって、穂首節間を走向する大維管束の合計の横断面積が大きいことを示

している。従来、穂首節間を走向する大維管束の横断面積について、草型の異なる水稻品種間での検討例はみあたらず、上記の本実験の結果はきわめて注目される。

従来、イネの穂首節間を走向する維管束の諸形質と収量性との関係については、王ら(1995a)、亀島ら(1987)、笹原・福山(1999)が検討している。王ら(1995a)は、多収性を示す中国産日本型水稻系統9004と、出穂期がほぼ等しいコガネマサリの穂首節間を走向する大維管束の横断面積を比較した。その結果、9004はコガネマサリに比べて、穂首節間を走向するすべての大維管束および節部の横断面積が大きく、このことが1000粒重の増大を通して多収性に結びついていると結論づけた。亀島ら(1987)は、超穂重型6品種・系統を供試して穂首節間を走向する大維管束の面積を調査した。その結果、これらの品種・系統の登熟歩合および収量は、籾1粒当たり的大維管束面積に左右されることを示唆した。また、笹原・福山(1999)は、日本型イネ29品種を圃場栽培して、穂首節間を走向する維管束の数と収量構成要素との関係を調査した。その結果、維管束比の高い品種群は低い品種群に比べて、小型の大維管束が走向することによって2次枝梗穎花の数が多くなるもののその1粒重は低下せず、1穂全体の粒重は大きくなることを示唆した。さらに、穂首節間を走向する維管束の横断面積が大きいほど登熟に有利であることは、コムギ(Evansら1970)およびエンバク(Housley and Peterson 1982)でも報告されている。

これらの報告で指摘されたように、穂首節間を走向する維管束の横断面積が大きいことが光合成産物の輸送能力が高いことに通じると考えると、本実験の結果から、穂重型および穂数型日本型稲に比べて中国産日本型稲、日印交雑稲、長稈および半矮性インド型稲では、光合成産物の輸送能力が優れ、登熟に有利であることが考えられる。

実験Bにおいて、水田で穂重型日本稲(コガネマサリ)および半矮性インド型稲(桂朝2号)を穂肥窒素およびリン酸の施用量を変えて栽培しても、両品種の維管束比は大きく変わらなかった。手塚(1998)は、異なる栽培条件(施肥量、栽植密度)および気象条件下で栽培した12品種(計17区)について、大維管束数と1次枝梗数との関係を調査した。その結果、大維管束数と1次枝梗数との間の数量的関係は施肥量や栽植密度によって影響されにくいことを示した。また、福山・石井(1993)は、維管束比が異なるイネ15品種を用いて施肥量を変えて栽培した。同報告では肥料の種類および施肥時期については明らかにされていないが、各品種で施肥量の増加に伴って大維管束数および1次枝梗数は増加し、その結果、維管束比は変わらないことが報告されている。これらの結果は、本実験とは施肥時期が同じとは言えないが、維管束比が施肥量を変えても変化しない点において一致している。また、福山・石井(1993)およびFukuyama and Takayama (1995)は、維管束比が栽培条件で変化しにくい品種特性の強い形質で

あることを、さらには大維管束数と1次枝梗数とのバランスを調節する遺伝子系の存在が示唆されることを明らかにしている。

また、実験Bにおいて、穂首節間を走向するすべての大維管束の全体および篩部の横断面積が、穂肥窒素の増施によって大きくなったことが注目される。一般に穂肥の効果は、退化穎花数の増大を抑えることによって1穂穎花数を多くすることにあると言われている(星川 1984)。本実験の結果、穂首節間を走向する大維管束の横断面積を大きくし、光合成産物の供給能力を増強することも穂肥の効果の1つと考えられ、注目される。

穂首節間では、本研究で取り扱った大維管束のほかに、稈壁の外周部を小維管束が走向している(第1図)。小維管束の横断面積は大維管束の1/10~1/5程度と小さいが、数は大維管束と同程度ぐらい存在している。穂首節間における光合成産物の輸送システムを把握するためには、この小維管束の存在も考慮されなければならないが、本論文では、まず、光合成産物の主要な輸送通路が大維管束であると考え、小維管束については取り扱わなかった。今後の課題といえる。

ところで、Fischer and Wilson (1975) は、ソルガムの開花後1週目に穂の基部側の茎を半分以上切傷処理しても種子収量は減少しなかったことを報告した。松田ら(1986) は、水稻の出穂後5日目に止葉節または穂首節間を切傷し、維管束横断面積を約40%に減少させても登熟量は減少しなかったことを報告した。これらの報告は、いずれも、穂に通じる維管束の横断面積が登熟を左右する決定的要因ではないことを示すとともに、上記の切傷処理によって維管束の横断面積が減少した分、残された維管束部分では光合成産物の転流量が補償的に多くなったことを示している。また、玖村(1990) は、水稻の登熟にはシンク側およびソース側の多数の要因が関与すると指摘している。これらの報告からも明らかのように、今後、本研究で認められた品種あるいは品種群間の維管束系の形態的差異とそれらの物質輸送機能との関係についての検討が必要である。

謝辞: 本研究の遂行にあたっては、高知大学農学部小林裕典氏ならびに大島直美氏にご援助をいただいた。また、中国揚州大学農学院教授王余龍博士からは有益な助言をいただいた。記して謝意を表する。

引用文献

- Chaudhry, F.M. and K.Nagato 1970. Role of vascular bundles in ripening of rice kernel in relation to the location on panicle. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 39: 301—309.
- Evans, L. T., R. L. Dunstone, H. M. Rawson and R. F. Williams 1970. The phloem of the wheat stem in relation to requirements for assimilate by the ear. Aust. J. Biol. Sci. 23: 743—752.
- Fisher, K. S. and G. L. Wilson 1975. Studies of grain production in *Sorghum bicolor* (L. Moench.). III The relative importance of assimilate supply, grain growth capacity and transport system. Aust. J. Agric. Res. 26: 11—23.
- 福嶋陽・秋田重誠 1997. イネにおける穂軸の大維管束の走向と分化時期の品種間差異. 日作紀 66: 24—28.
- 福山利範・石井博和 1993. 栽培イネの1次枝梗及び大維管束形成に対する環境の影響. 育種 43(別1): 203.
- Fukuyama, T. and T. Takayama 1995. Variations of the vascular bundle system in Asian rice cultivars. Euphytica 86: 227—231.
- 林把翠 1976. 水稻の大維管束数と穂の形成に関する研究. 第1報 稈の大維管束数と草型との関係. 日作紀 45: 322—327.
- 東正昭 1988. 水稻の超多収品種育種の現状と今後の課題. 農及園 63: 793—799.
- 星川清親 1975. 解剖図説イネの生長. 農文協, 東京. 216—243.
- 星川清親 1984. 新編食用作物. 養賢堂, 東京. 124—134.
- Housley, T.L. and D.M. Peterson 1982. Oat stem vascular size in relation to kernel number and weight. I Controlled environment. Crop Sci. 22: 259—263.
- 亀島雅史・松尾喜義・小松良行 1987. 多収性外国稲の品種生態の解析. 8 超穂重型品種の穂首節間における大維管束数とその大きさ. 日作紀 56(別2): 55—56.
- 小松良行・金忠男・松尾喜義・片山信浩・片岡孝義 1984. 多収性外国稲の品種生態. 四国農試報 43: 1—37.
- 玖村敦彦 1990. 物質生産・物質分配からみた多収性の生理. 松尾孝嶺編, 稲学大成 第2巻 生理編. 農文協, 東京. 555—581.
- 松田智明・川原治之助・長南信雄 1986. 節または節間の維管束切傷が登熟に及ぼす影響. イネにおける光合成産物の転流系の構造と機能. グリーンエナジー計画成果シリーズII系 No. 10. 農林水産技術会議事務局. 175—179.
- Miah, M.N.H., T. Yoshida, Y. Yamamoto and Y. Nitta 1996. Characteristics of dry matter production and partitioning of dry matter to panicles in high yielding semidwarf indica and japonica-indica hybrid rice varieties. Jpn. J. Crop Sci. 65: 672—685.
- 中根晃・丸山清明 1992. 多収性. 櫛淵欽也監, 日本の稲育種. 農業技術協会, 東京. 230—243.
- 笹原英樹・福山利範 1999. 日本型イネ品種における穂首維管束系と収量構成要素との関係. 育種学研究 1: 77—81.
- 佐竹徹夫 1972. イネポット栽培の改良法. 一生育時期の揃った穂を得るために. 日作紀 41: 361—362.
- 手塚一清 1998. イネにおける穂の維管束数と穂の性状. 日作東北支部報 41: 27—28.
- 万建民・池橋宏 1994a. 中国における稲の栽培と品種の動向 [1]. 農及園 69: 1181—1186.
- 万建民・池橋宏 1994b. 中国における稲の栽培と品種の動向 [2]. 農及園 69: 1275—1278.
- 王余龍・山本由徳・新田洋司 1995a. 中国産日本型水稻9004系統の多収要因の解析. 第1報 面積当たりの穀数水準同一下での日本稲品種との収量性の比較. 日作紀 64: 545—555.
- 王余龍 1995b. 水稻の登熟歩合および千粒重の成立とそれらの向上方法に関する研究. 一特に近年中国で育成された穂重型多収性品種について. 愛媛大学大学院連合農学研究科学学位論文.

Varietal Differences in the Number and Cross Area of Large Vascular Bundles at the Neck Internode of Rice : Youji NITTA^{*,1)}, Youli YAO²⁾, Yoshinori YAMAMOTO²⁾, Tetsushi YOSHIDA²⁾, Toshiaki MATSUDA¹⁾ and Akira MIYAZAKI²⁾ (¹⁾*School of Agr., Ibaraki Univ., Ami 300-0393, Japan ;* ²⁾*Fac. of Agr., Kochi Univ.*)

Abstract : Varietal differences in the number and cross area of large vascular bundles (LVs) at the neck internode were investigated in 18 rice cultivars. There were two kinds of LVs in Chinese japonica (CJ), Japonica-indica hybrid (JI), Tall indica (TI) and Semidwarf indica (SDI) types, i.e. the large (L1) and the small (L2) bundles. The number of L2 varied with the cultivar group. The total number of LVs was in the decreasing order of SDI > TI > JI > CJ > JP (Japonica panicle weight type) > JN (Japonica panicle number type). The ratio of the number of LVs to the number of primary rachis branches (V/R ratio) was nearly 1.0 in JP and JN. However, the V/R ratios in JI, TI and SDI were higher than 1.0 because the number of L2 was added. Total or phloem areas of L1 were larger in TI and SDI than in JP and JN. The whole area of LVs and phloem areas were in the decreasing order of SDI > TI, JI > CJ > JP > JN because of the difference in the numbers of L2. The whole area of LVs and phloem areas of JP (cv. Koganemasari) and SDI (cv. Gui zhao 2) were increased by the increment of N application at the panicle formation stage. The increment of the area of LVs and the running of L2 at the neck internode are considered to be important indicators to strengthen the transportation system of assimilates by breeding.

Key words : Area of vascular bundle, Neck internode, *Oryza sativa* L., Primary rachis branch, Rice, Ripening, Vascular bundle.
