

## 「MC タイプ」のイネ品種 Basmati 217 における 幼植物の形態的解析\*

渡 邊 肇・高 橋 清

(東北大学農学部)

1995 年 1 月 31 日受理

**要 旨** : イネ幼植物の生育型の一つである MC タイプの意義を明らかにする目的で, その代表的な品種 Basmati 217 を用いて, 幼植物中の MC 個体の外部形態および内部形態の特徴を調べた. 玄米を消毒後, 0.8% 寒天培地を含む試験管に置床し, 30°C, 完全暗条件下で 14 日間無菌培養した. MC 個体の鞘葉長および M/C 比 (中茎長/鞘葉長の比) の頻度分布をとると, それぞれ大小 2 つの山が認められた. この 2 つの山は, 鞘葉節冠根の有無によって分けることができる 2 つのグループが混在することによるものであった. そこで, 冠根非出現型 MC 個体 (MC<sub>N</sub>) と冠根出現型 MC 個体 (MC<sub>R</sub>) に分けると鞘葉長の平均値はそれぞれ,  $8.3 \pm 0.5$  mm,  $35.2 \pm 1.4$  mm, M/C 比の平均値はそれぞれ,  $16.6 \pm 0.9$ ,  $2.8 \pm 0.3$  となり明らかに異なっていた. MC<sub>R</sub> では中茎長と鞘葉長との間に, 1% レベルで有意な負の相関 ( $r = -0.537$ ) が認められたが, MC<sub>N</sub> では認められなかった ( $r = +0.032$ ). MC 個体は, 発芽時に比べて葉の分化は進んでいた. しかし, MC<sub>N</sub> は MC<sub>R</sub> に比べて, 分化葉数が 0.6 枚少なく, 葉の発育が遅延していた. 以上の結果をまとめると, 暗条件下におけるイネ芽生器官の伸長様式は鞘葉からの第 1 葉以降の葉の抽出, 鞘葉長, 鞘葉節冠根の有無により, 冠根非出現型 MC 個体, 冠根出現型 MC 個体, 非 MC 個体の 3 つに分けることが妥当であるとの結論を得た. なお, 深播き適応性について若干の考察を行った.

**キーワード** : イネ, 鞘葉, 鞘葉節冠根, 中茎, 深播き, 幼植物.

**Morphological and Anatomical Characteristics of 'MC Type' Rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings of cv. Basmati 217** : Hajime WATANABE and Kiyoshi TAKAHASHI (*Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai, 981 Japan*)

**Abstract** : To clarify the morphological features and internal structure of shoot apex of MC seedlings, one of the rice seedlings type, in relation to agricultural significance, an Indian rice cultivar, Basmati 217, was used. Sterilized brown rice grains were cultured on 0.8% agar medium and maintained at 30°C in the dark for 14 days. The lengths of mesocotyl, coleoptile, first leaf and second leaf were examined. The M/C ratio (mesocotyl length/coleoptile length) was also calculated. Based on the existence of coleoptilar node root, 2 types of frequency distribution of the coleoptile final length and MC ratio were observed. One type belonged to the MC<sub>N</sub> (MC seedlings with no nodal root), and the other one to the MC<sub>R</sub> (MC seedlings with nodal root). The mean length of coleoptile and mean M/C ratio of MC<sub>N</sub> were  $8.3 \pm 0.5$  mm and  $16.6 \pm 0.9$  whereas those of MC<sub>R</sub> were  $35.2 \pm 1.4$  mm and  $2.8 \pm 0.3$  respectively. The correlation coefficient for mesocotyl length versus coleoptile length of the MC<sub>R</sub> was significantly negative ( $r = -0.537^{**}$ ) whereas that of the MC<sub>N</sub> was positive and not significant ( $r = +0.032$ ). It was observed that the number of leaf primordia of MC<sub>R</sub> was 0.6 higher than that of MC<sub>N</sub>. The shoot apex of MC<sub>R</sub> was more developed than that of MC<sub>N</sub>. From these results, we identified three types of rice seedlings based on the emergence of the first leaf, coleoptile length and the existence of coleoptilar node root as follows: MC<sub>N</sub>, MC<sub>R</sub> and non-MC seedling.

**Key words** : Coleoptilar node root, Coleoptile, Deep seeding, Mesocotyl, Rice, Seedling.

前報<sup>8)</sup>において, 著者らは全世界の遺伝的背景の異なる多数のイネ品種を材料に完全暗黒下で 14 日間無菌培養したときの, 中茎, 第 1 節間, 第 2 節間の伸長性の品種間差異および地理的分布を明らかにした. そのなかに, 上記条件下では, その葉条が鞘葉と中茎からなり第 1 葉以降の葉が鞘葉の中に包まれたまま出葉せず, その後の発育が外見上停止する生育型を認め, これを MC 個体と命名した. この MC 個体は光照明下に移すとその後の発育が正常に

進むことから, この生育型の出現には何らかの光調節系が関与しているものと指摘した<sup>11)</sup>. また, これらの MC タイプ (MC 個体が優先する品種群) がインド亜大陸地域のヒマラヤ山間丘陵地帯に起源を持つイネ品種に多数認められ, 栽培種 *Oryza sativa* の 2 つの祖先種 (*Oryza rufipogon*, *Oryza nivara*) に由来する可能性が高いことが示された<sup>12)</sup>. さらに, MC タイプはパナマで深播きがなされる農法の一つ (a chuzo) において出現頻度が高かった<sup>12)</sup>.

これら MC タイプの意義を明らかにする目的で, その代表的な品種 Basmati 217 を用いて, 幼植物中

\* 大要は, 第 197 回講演会 (1994 年 4 月) において発表.

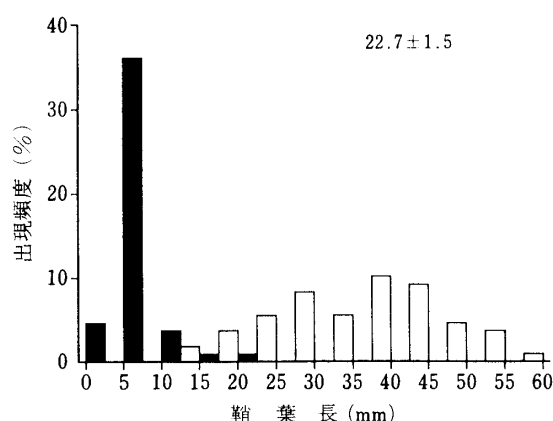
のMC個体の外部形態および内部形態の特徴を明らかにしようとした。その結果、MC個体にはさらに異なる2つのグループに分けることが妥当であるとの結論に達したのでここに報告する。

### 材料と方法

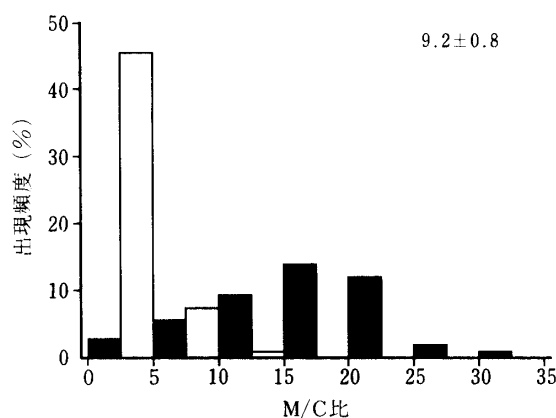
**第1実験:** 供試品種はMCタイプの代表として Basmati 217 を用いた。この品種の起源国はインドであり比較的古い在来品種の一つである。供試種子は、東北大学農学部構内において、1993年5月に8時間日長で短日処理し、昼温 30°C、夜温 25°C のファイトトロン内で育成した植物から得たものである。なお、植物の開花期は7月9日頃、採種日は8月13日であった。実験は9月下旬から開始した。

幼植物の育成は、玄米を用い、暗黒、無菌条件下で行った。中程度の大きさの均一な玄米を選び、70% エタノールで30秒から1分間消毒後、有効塩素濃度1%の次亜塩素酸ナトリウム水溶液で20分間滅菌した。滅菌後、滅菌水で数回洗浄し、直ちに、0.8%寒天培地 30 ml/ を含む試験管（直径 3 cm×長さ 30 cm）内に6粒ずつ置床した。培地および試験管はあらかじめ 120°C、2 気圧で15分間加圧滅菌（オートクレーブ）したものを用いた。各試験管は、通気性確保のため、ミリラップ（Millipore 社製、孔径 0.5  $\mu$ m のクロロカーボン製メンブランフィルターリボン）を用いてふたをした。置床後直ちに 30°C、完全暗条件下で生育させ14日後に植物体を70%エタノールで固定した。その後適宜、中茎長、鞘葉長、第1葉長、第2葉長、鞘葉節冠根数を測定した。なお、第1葉、第2葉は鞘葉の中に包まれたまま出葉していなかったため、実体解剖顕微鏡下で鞘葉をはぎ取って測定した。調査個体数は108個体であった。

**第2実験:** 供試品種および培養条件は第1実験と同じであった。暗生長させた幼植物をサンプリングし、FAA（エタノール：酢酸：ホルマリン：水=70：5：5：20 v/v）で固定した後、鞘葉節から上下3~4 mm、合計約8 mmの長さの組織片を切り出し、内部形態を観察するための試料とした。この試料をパラフィン切片法によって厚さ約9  $\mu$ mの連続切片とし、葉原基の数とその発育程度を調査した。染色は Sakai<sup>7)</sup> のトルイジンブルー-0 染色法で行った。なお、冠根非出現型 MC 個体、冠根出現型 MC 個体、ともに10個体を供試して比較調査した。発芽時の材料は、同じ培養条件で27時間培養した胚を用いた。すなわち、幼芽長が2 mm以下のものを用いた。切



第1図 MC個体における鞘葉長の頻度分布。  
■：冠根非出現型，□：冠根出現型。  
図中の数値は、平均値±標準誤差を示す。



第2図 MC個体におけるM/C比の頻度分布。  
■：冠根非出現型，□：冠根出現型。  
M/C比：中茎と鞘葉の伸長比率。  
図中の数値は、平均値±標準誤差を示す。

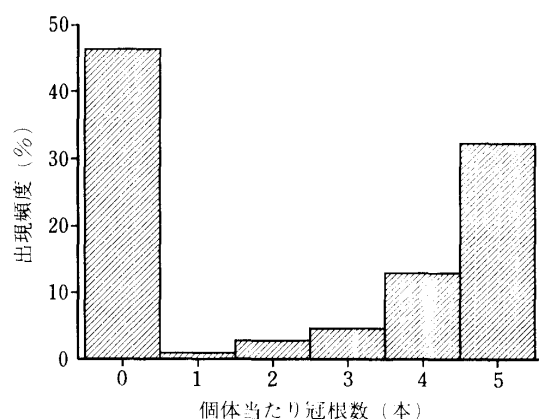
片は幼芽の長軸方向の縦断切片および横断切片の2種類を作成した。

### 結 果

#### 第1実験：MC個体の各器官の伸長特性

MC個体の鞘葉の最終長の頻度分布を第1図に示した。全個体の平均値は  $22.7 \pm 1.5$  mm（レンジは 3.0 mm~57.0 mm）であった。モードは 5 mm~10 mm 未満の区間で、ここに 36.1%の個体が所属し、頻度分布は、大小2つの山からなった。

次に、鞘葉長に加え中茎長という要因を加えさらに詳しく検討した。鞘葉長、中茎長については、両器官の伸長量比を用いることとした。その理由は、両器官の絶対値よりもその伸長量比の方が変異が小さく、解析の精度がより増すと考えられるからである。この中茎と鞘葉の伸長量比を安江らの報告<sup>13)</sup>と同じく M/C 比とし、その頻度分布を調査した。



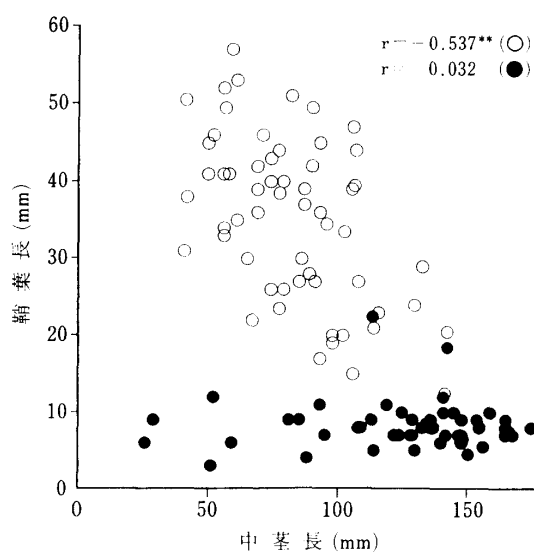
第3図 MC 個体における鞘葉節冠根数の頻度分布。冠根は鞘葉節冠根を示す。

M/C 比の頻度分布を第2図に示した。全個体の M/C 比の平均値は  $9.2 \pm 0.8$  (レンジは  $0.82 \sim 33.4$ ) であった。モードは 0~5 未満の区間に認められ、ここに 48.2% の個体が所属した。頻度分布は大小あわせて 2 つの山からなり、M/C 比の比較的低い区間に多くの個体が所属した。

観察の結果、MC 個体の中には鞘葉節冠根の発生に差異が認められた。そこで、MC 個体の冠根数の頻度分布を調査し、さらに冠根数と鞘葉長および M/C 比との関連性について調査した。MC 個体の冠根数の頻度分布を第3図に示した。冠根が出現しないものが全個体の約 47% を占めた。一方、冠根が 1 本以上発生した個体は、全調査個体数の約 53% を占めた。さらに、冠根が発生した個体の中で、1 個体中 5 本の冠根が発生したものの出現頻度が最も高く、次いで 4 本のものとなり、冠根の発生が少なくなるにつれてその個体の出現頻度も小さくなった。このように、全個体の分布は冠根が発生するものとししないものと大きく 2 つに分かれた。

鞘葉節冠根の有無を考慮に入れて第1図を見ると、鞘葉長の頻度分布は 2 つに分かれた。つまり、冠根が出現しない個体群（以下、冠根非出現型と略す）の分布は鞘葉が極端に短い区間に集中したのに対し、冠根が出現する個体群（以下、冠根出現型と略す）は鞘葉が比較的短い区間から長い区間に広く分布した。この 2 つの生育型の鞘葉長の平均値を比較すると、冠根出現型のものは  $35.2 \pm 1.4$  mm、冠根非出現型のものは  $8.3 \pm 0.5$  mm となり、冠根出現型のものが冠根非出現型のものに比べて大きくなった。これは、冠根非出現型の鞘葉長が冠根出現型のものに比べて小さいことを示す。

鞘葉節冠根の有無と M/C 比との関係について第



第4図 MC 個体における冠根の有無別にみた中茎長と鞘葉長の関係。

●: 冠根非出現型, ○: 冠根出現型。

\*\* は 1% レベルで有意であることを示す。

2 図をみると、M/C 比の分布は鞘葉長と同様に冠根の有無により、2 つに分かれた。冠根非出現型のものは、M/C 比が比較的小さい区間から大きい区間に広く分布したのに対し、冠根出現型のものは、M/C 比が小さい区間に分布が集中した。さらに、冠根非出現型の M/C 比の平均値は  $16.6 \pm 0.9$ 、冠根出現型のものは  $2.8 \pm 0.3$  となり、冠根非出現型のものが冠根出現型に比べて大きくなった。これは、冠根非出現型の中茎が冠根出現型に比べて長いことを示す。

次に、中茎長、鞘葉長、冠根数の 3 つの関連性について調査したものが第4図である。中茎長と冠根の有無に着目すると、冠根の有無に関わらず、中茎が短いものから長いものが存在した。それに対し、鞘葉長との関係では、鞘葉長が 12 mm を境にして 2 つのグループに分かれた。つまり、鞘葉長が 12 mm 以下の個体は全て冠根非出現型のものであった。鞘葉が 12 mm よりも長い個体では、2 個体を除く全ての個体で冠根出現型であった。なお、鞘葉が比較的長い個体、具体的には 46 mm 以上のものは全て冠根が 5 本出現していた。さらに、鞘葉長が 12 mm 以下で、中茎が 142 mm 以上の領域では、冠根非出現型しか認められなかった。このように冠根の有無は、中茎長よりは鞘葉長との間に明瞭な関係を示した。

さらに、鞘葉節冠根の有無に分けて、中茎長と鞘葉長の相関関係を調査した。冠根出現型のものでは、中茎長と鞘葉長との間に 1% レベル ( $r = -0.537^{**}$ ) で有意な負の相関が認められた。一方、冠根非出現

第1表 発芽時の個体および冠根非出現型 MC 個体 (MC<sub>N</sub>) と冠根出現型 MC 個体 (MC<sub>R</sub>) における確認幼葉と葉原基の数.

調査個体	確認幼葉数	隆起した葉原基数	合 計
発芽時	2.0	1.0	3.0
冠根非出現型 (MC <sub>N</sub> )	3.0	1.0	4.0
冠根出現型 (MC <sub>R</sub> )	4.0	0.6	4.6

確認幼葉とは伸長途中もしくは伸長を停止した若い葉で、その高さが生長円錐の頂端を超えるもの。鞘葉は含まない。

葉原基とは生長円錐基部側方で隆起として認められ、その高さが生長円錐の頂端をこえないもの。

型では有意な相関が認められなかった ( $r=+0.032$ )。なお、冠根非出現型、冠根出現型をこみにした場合、1%レベルで有意な負の相関が認められた ( $r=-0.623^{**}$ )。中茎長は、同じ個体の鞘葉長と負の相関があること<sup>6)</sup>、さらに 30°C 暗所、飽和水蒸気中で 10 日生育の場合、中茎長と鞘葉長の相関は  $-0.455^{*}$ であったとする報告がある<sup>9)</sup>。本研究では、冠根出現型のものでは既報と一致したが冠根非出現型のものでは一致しなかった。これより、幼植物における鞘葉と中茎の生長との関係については再検討する必要があると考えられる。

以上の結果から、MC 個体は、大きく 2 つのグループに分かれることが示唆された。つまり、MC 個体は鞘葉長と鞘葉節冠根の有無によって 2 つのグループに分かれた。つまり、鞘葉が短く、鞘葉節冠根が出現しない冠根非出現型 MC 個体 (以下、MC<sub>N</sub> と略す) と鞘葉が長く鞘葉節冠根が出現する、冠根出現型 MC 個体 (以下、MC<sub>R</sub> と略す) の 2 つの生育型に分けることが妥当であると考えられる。

## 第2実験: MC<sub>R</sub> と MC<sub>N</sub> の内部形態の比較

本実験では、MC<sub>R</sub>, MC<sub>N</sub> の葉の発育程度を示すために生長円錐上で隆起した葉原基数と確認幼葉数を調査した (第1表)。本実験で、葉原基とは生長円錐基部側方で隆起として認められ、かつその隆起の高さが生長円錐の頂端をこえないものと定めた。確認幼葉は伸長途中あるいは伸長を停止した若い葉で、その高さが生長円錐の頂端を超えるものとした。なお、鞘葉は確認幼葉には含まないことにした。

MC<sub>R</sub> は、10 個体全てにおいて鞘葉、第1葉、第2葉、第3葉、第4葉が伸長中かあるいは伸長を停止していた。このうち第4葉は、高さが生長円錐を超え、そのかたちがフード状になっていた。さらに、10 個体中 6 個体で第5葉原基が生長円錐基部側方に隆起し分化していることが確認された。

MC<sub>N</sub> は、MC<sub>R</sub> に比べて、第3葉の発育が遅れて

いた。第4葉は葉原基の状態であり、その高さが生長円錐を超えるものはなかった。また、第5葉はその分化を確認することができなかった。

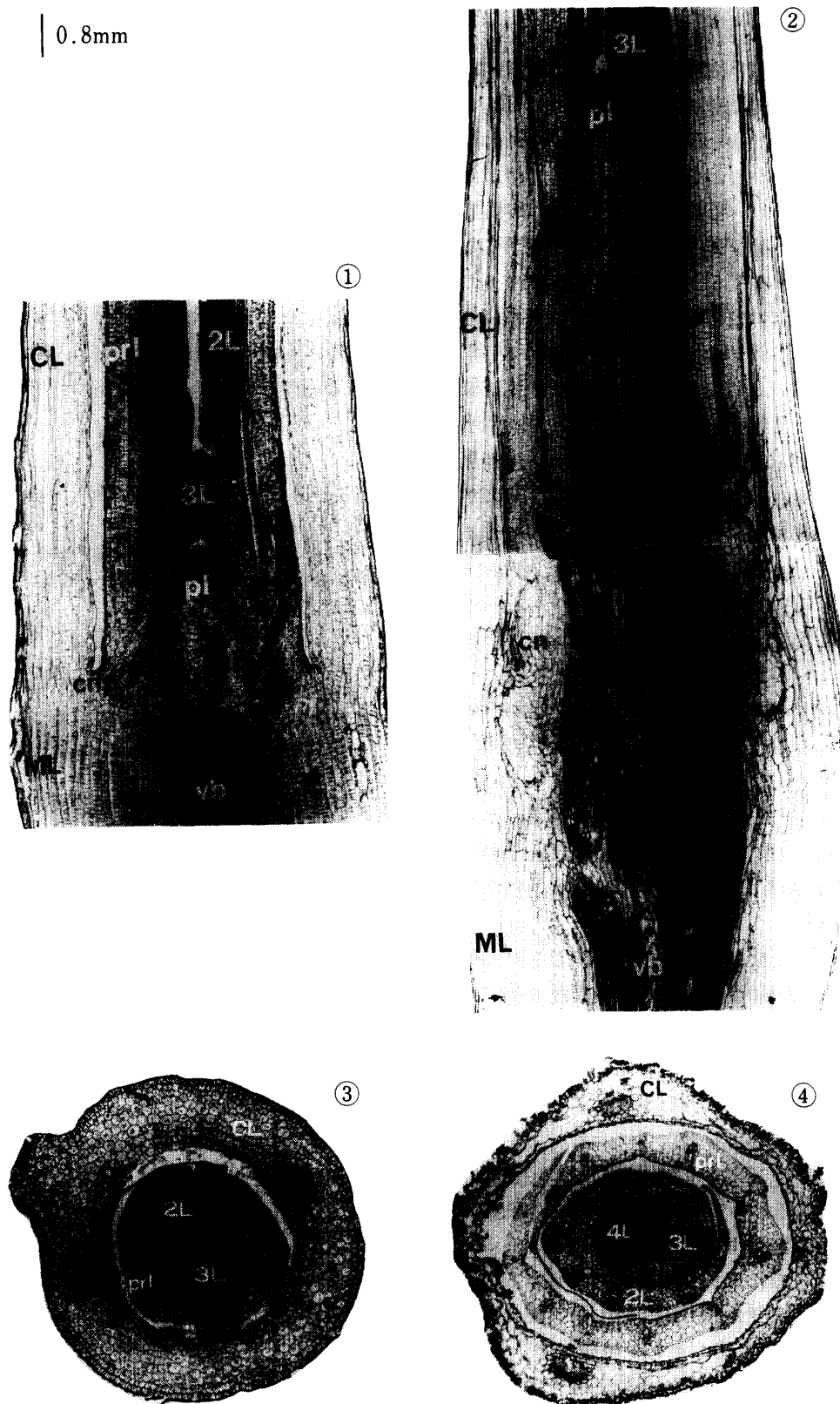
発芽時の幼芽では鞘葉、第1葉、第2葉が伸長中であり、第3葉の葉原基を確認した。この葉原基はその先端が生長円錐を超えないものであった。

以上を数値化してまとめると以下ようになる。確認幼葉数と隆起した葉原基数の合計は、それぞれ 3.0 (発芽時)、4.0 (MC<sub>N</sub>)、4.6 (MC<sub>R</sub>) となり、MC 個体の葉の発育は、発芽時に比べて進んでいるが、MC<sub>R</sub> の方が MC<sub>N</sub> に比べて 0.6 枚進んでいた。さらに第3葉、第4葉、第5葉の発育程度を比較すると、MC<sub>R</sub> の方が進んだものとなっていたことから、MC<sub>R</sub> の方が、MC<sub>N</sub> に比べて葉の発育が進行していることが明らかとなった。

さらに、MC<sub>R</sub>, MC<sub>N</sub> の生長円錐近傍の組織の形態について詳しく観察を行った (第5図)。この図によると生長円錐の頂端と鞘葉節との間の長さは MC<sub>R</sub> では約 1.37 mm、MC<sub>N</sub> では約 0.32 mm となり、MC<sub>R</sub> が MC<sub>N</sub> に比べて約 4.3 倍となった。この長さの違いは、主に第2節間の伸長によるものであった。さらに、鞘葉節付近の維管束の構造に着目すると、MC<sub>R</sub> の方がより複雑であり、分化が進んでいることが確認された。第5図によると鞘葉の長さは、MC<sub>N</sub> のものが MC<sub>R</sub> のものに比べて厚く、構成する皮層細胞の状態も若いものが多い。さらに、皮層の破生空隙の形成状態をみると、MC<sub>R</sub> のものが大であった。また第1葉の皮層の状態も、鞘葉とほぼ同様の傾向が得られた。これらから、MC<sub>R</sub> は MC<sub>N</sub> に比べて節間と維管束の発育も進んでいることが確認された。

## 考 察

これまでの報告と本研究で示された生育型との関連性を考察する。イネ幼植物ひいてはイネ科幼植物



第5図 冠根非出現型 MC 個体 (1, 3) と冠根出現型 MC 個体 (2, 4) における生長円錐近傍の縦断および横断切片像。

CL: 鞘葉, cn: 鞘葉節, ML: 中茎, prl: 第1葉, pl: 幼芽, vb: 維管束, 2LN: 第2節間, 2L: 第2葉, 3L: 第3葉, 4L: 第4葉。

の芽生器官の伸長様式をもとにタイプ分けを試みた例はすでにいくつか報告されている<sup>2,3,4,13)</sup>。星川<sup>2)</sup>は、イネ科植物 89 属 220 種について調査した結果、地下部形態からイネ科植物を、Arundinoid, Bambusoid, Eragrostoid, Festucoid, Oryzoid, Panicoid の生育型に分類しうることを報告している。井之上<sup>3)</sup>および伊藤ら<sup>4)</sup>は、暗黒下におけるイネ科植物の中茎と鞘葉の伸長量を調べた結果、イネ科植物の幼芽の抽出パターンを、トウモロコシやエンバクのように中茎と鞘葉が伸長するトウモロコシ型 (A 型)、コムギやライムギのように中茎は伸長せず、鞘葉のみが伸長するコムギ型 (B 型) および中茎がほとんど伸長せず、鞘葉もあまり伸長しない日本型水稻型 (C 型) の 3 型に分類した。安江ら<sup>13)</sup>は、暗黒無覆土条件下における芽生器官の伸長様式、特に中茎と鞘葉の伸長量およびその伸長比率を調べ、イネ科植物には、中型伸長型 (*Panicoideae*, *Eragrostoidae*)、子葉鞘伸長型 (*Festucoideae* のうちの *Triticeae*)、および中間型 (*Oryzoideae* と *Festucoideae*) の 3 つのタイプがあることを示した。

まず、安江ら<sup>13)</sup>の分類と比較すると、鞘葉からの葉の抽出といった観点を考慮にいていないので、非 MC 個体にあたる生育型が存在せず、すべて MC 個体に相当する。次に、井之上<sup>3)</sup>および伊藤ら<sup>4)</sup>の研究と比較すると、MC 個体は MC<sub>R</sub>, MC<sub>N</sub> を含めて A 型と B 型にあたり、非 MC 個体は C 型にあたる。

以上、井之上<sup>3)</sup>および伊藤ら<sup>4)</sup>や安江ら<sup>13)</sup>の研究は、外部形態的な伸長量および伸長量比を基にした分類であって内部形態的な面は考慮されていない。それに対し、本研究では、中茎と鞘葉の伸長量および伸長比の概念に加え、冠根の発生、内部形態の差異という視点を加えることによって、イネ幼植物の生長様式のタイプをより鮮明にしたといえる。

さらに、前報<sup>12)</sup>において MC 個体は幼芽の抽出力が強く深播き適応性を持つ伸長様式の一つであると考察した。著者らのこれまでの実験結果によると、MC 個体は第 1 葉以降の葉が鞘葉の中に包まれ出葉せず、中茎が著しく伸長することが特徴である<sup>10)</sup>。この伸長は伸長速度の増大よりも伸長期間の増大によるものであった<sup>10)</sup>。通常、中茎は、置床後 6 日前後で伸長を完了するが<sup>1)</sup>、MC タイプ (Basmati 217) では 10 日であった<sup>10)</sup>。また、本報の実験結果から、鞘葉の皮膚が厚く、しかも鞘葉内の皮層の崩壊と空隙

の発達がみられず比較的若い状態に保たれていることが明らかになった。しかし、葉の分化は、生長円錐近傍で確実に進んでいた。これはコムギやイネの分げつ芽において見られる現象と類似していた。すなわち、草野ら<sup>5)</sup>は春播性コムギを用いて、分げつにおける葉は、伸長が抑えられる条件下、つまり、外見上、分げつ芽が休眠している状態においても次々と分化していることを報告している。

以上の結果、MC 個体は内部形態的にも深播きに適応していることが示された。今後、MC 個体の発現の抑制要因を明らかにすると共に、実際の栽培条件下での適応性を明らかにしたいと考えている。

## 引用文献

1. 浜田秀男 1935. 稲芽生器官生長による品種鑑別の研究 (2). 農及園 10: 748—758.
2. Hoshikawa, K. 1969. Underground organs of the seedlings and the systematics of Gramineae. Bot. Gaz. 130: 192—203.
3. 井之上準・伊藤健次 1968. 作物の出芽に関する研究, イネ科数種作物の幼芽の抽出力について. 日作紀 37: 352—358.
4. 伊藤健次・井之上準 1973. 作物の出芽性と水稻の種子処理による出芽力の促進. 農業技術 28: 391—394.
5. 草野晴子・尾田義治 1958. 分げつ発生に関する研究, 特に分げつ体系における葉の分化と伸長について. 東北大農研彙報 10: 1—11.
6. 中山 包 1942. 稲の発芽に於ける芽生器官生長の相関に就て. 農及園 17: 47—51.
7. Sakai W.S. 1973. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue O. Stain Technol. 48: 247—249.
8. 高橋 清・渡邊 肇・星川清親 1995. イネの中茎および低位節間の伸長性の品種間差異と地理的分布. 日作紀 64: 66—72.
9. 高橋成人 1973. 作物における芽生器官の生長と環境. 日作紀 42 別(1): 151—152.
10. 渡邊 肇・高橋 清 1994. イネ幼植物における芽生器官の伸長パターンの分化. 日作紀 63(別 1): 222—223.
11. ———— 1994. MC 個体の出葉に関わる外的要因の解析. 日作紀 63(別 1): 224—225.
12. ———— 1995. イネ栽培種 (*Oryza sativa* L.) とその祖先種における中茎および低位節間の伸長性. 日作紀 64: 500—508.
13. 安江多輔・藤井和弘 1979. イネ科植物の中茎及び子葉鞘の伸長に関する研究. 第 1 報 中茎と子葉鞘の伸長比について. 日作紀 48: 356—364.