

水稻の葉における亜鉛とマンガンの集積パターン

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	小畑, 仁 北岸, 確三
巻/号	51巻4号
掲載ページ	p. 285-291
発行年月	1980年8月

水稻の葉における亜鉛とマンガンの集積パターン*

小畑 仁**・北岸確三**

水稻体内における亜鉛の挙動に関する予備実験¹⁾において、著者の1人北岸は、特定の時期に経根的に吸収された亜鉛は、その時点における活動中心葉の葉身へはほとんど集積されず、急速伸長中の葉に高濃度に集積される傾向を認めた。この結果を手掛かりとして、特定の時期に経根的に吸収された亜鉛の水稻葉における集積パターンを葉の齢との関連において検討するため、亜鉛のラジオアイソトープ(RI)を用いて以下の実験を実施した。すなわち、正常な生育を保證する濃度の亜鉛を与えて水耕培養した水稻を供試し、第8葉出葉期ならびに止葉出葉期に⁶⁵Znを吸収させ、1日および5日後における⁶⁵Znの器官別分布ならびに各葉位葉における長軸に沿った⁶⁵Znの分布につき、⁵⁴Mnとの対比において検討した。マンガンは、亜鉛と同じ第1遷移金属群に属する必須微量養分元素であって、亜鉛との比較に必要な共通の基盤を持ちながら植物体内における挙動が亜鉛と対照的であることが、北岸ら^{3,9)}の“植物体内における重金属元素の分布と存在様式に関する研究”のなかで明らかにされているので、本研究でも比較にマンガンを用いた。

1. 実験方法

実験 1. 第8葉出葉期の水稻を供試した場合

1) 前培養：水稻(品種：農林29号)を6月27日にシャーレに播種し、30°Cで発芽させた後、2.5 l容のポットに移して水耕培養した。培養液の組成は木村氏B液(水稻用)にしたがい¹⁾、成分濃度は、発芽後10日間純水のみを与えた後、1週間基準濃度の1/2とし、以後基準濃度とした。

微量元素については、水稻体が亜鉛およびマンガンに関し過剰にも欠乏にもならないように、培養液に塩化亜鉛をZnとして0.025 ppm、塩化マンガンをMnとして0.25 ppm加え、その他の微量元素濃度は、ホウ素0.2 ppm、銅0.01 ppm、モリブデン0.01 ppmとした。培養液の更新は週1回とし、pHは更新の際5.1に調節し、以後毎日更正した。なお実験結果の解析を容易にするため、全期間にわたり密植状態で培養して分けつの発

* 水稻体内における亜鉛の挙動に関する研究(第1報)
本報告の概要は昭和51年度日本土壌肥科学会大会において発表した。

** 三重大学農学部(津市上浜町)
昭和54年11月5日受理

日本土壌肥科学雑誌 第51巻 第4号 p.285~291(1980)

生を抑制した。

2) RIの吸収と試料の解体：前培養した水稻を、8月4日(第8葉出葉期)に⁶⁵Zn 10 μCi/ポットまたは⁵⁴Mn 10 μCi/ポットのいずれかを含むRI吸収液に移してRIを吸収させた。RI吸収液は、⁶⁵Znまたは⁵⁴Mnを含むほかは前培養液と同じ組成である。RI投与開始後1日ならびに5日の時点で、各ポットから標準的な水稻体を10個体ずつ採取し、根を水洗した後ただちに部位別に解体した。解体法は以下のとおりである。まず根を切り取った後第1~4葉を取り、ついで茎下端から約6 mmを切り取って茎基部とした。第5~9葉は分離した後それぞれ葉身と葉鞘に分け、葉身、葉鞘とも各葉ごとに全長を4等分し、そのうち基部側の1/4はさらに2分割して、各葉位葉につき10試料を得た。実験は2連で実施した。

3) RIの測定：各試料をポリエチレン製試験管につめ、ウエル型シンチレーションカウンターで放射能を測定した後、70°Cで通風乾燥し、乾物重を求めた。各部位のRI存在量はcpm単位で、乾物当りのRI存在量はcpm/mgで表わした。

実験 2. 幼穂形成期の水稻を供試した場合

1) 前培養：実験1と同じ。

2) RIの吸収と試料の解体：前培養した水稻を9月1日(第12葉出葉期、幼穂形成期)に、⁶⁵Zn 10 μCi/ポットまたは⁵⁴Mn 10 μCi/ポットのいずれかを含むRI吸収液に移してRIを吸収させた。そのほかについては実験1と同様である。解体法も実験1に準じたが、節間については分離した後全長を4等分した。なお節および節間の名称は、葉との関連を明確にするために、第n葉の付着する節を第n節、第n節と第n+1節の間を第n~n+1節間とした。実験は2連で実施した。

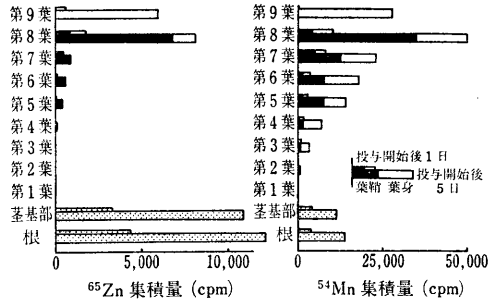
3) RIの測定：実験1と同じ。

2. 結果と考察

実験 1. 第8葉出葉期の水稻を供試した場合

供試水稻は栄養生長期にあり、またRI投与期間中を通じて第8葉出葉期にあった。

各葉位葉の、⁶⁵Znならびに⁵⁴Mn集積総量の比較を第1図に掲げた。RI投与開始後5日の時点についてみると、⁶⁵Znは根と茎基部に多く集積され、第7葉以下の葉身へはほとんど集積されず、第9葉の葉身ならびに



第 1 図 ^{65}Zn , ^{54}Mn の器官別集積量 (第 8 葉出葉期)

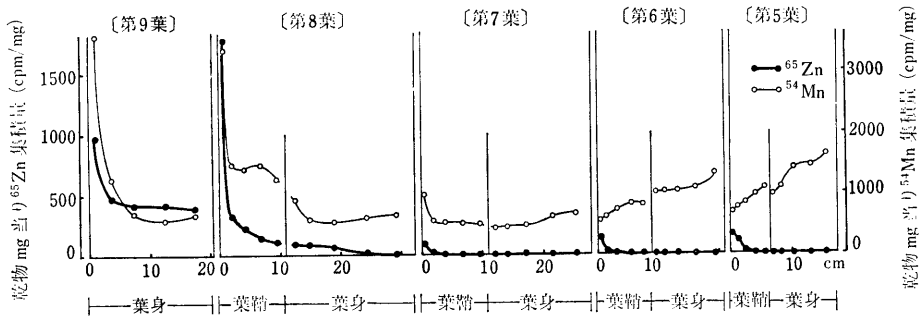
第 8 葉の葉鞘に顕著に集積された。これに対し ^{54}Mn は、 ^{65}Zn 同様第 9 葉と第 8 葉に顕著な集積が認められたが、第 7 葉以下の葉にも多くの集積が認められ、しかもその半量は葉身に集積された。

次に第 5 葉から第 9 葉にわたる各葉位葉について、RI 投与開始後 5 日の時点における ^{65}Zn ならびに ^{54}Mn の葉の長軸方向に沿った分布を、葉位別に比較し、第 2 図に掲げた。急速伸長開始後のこれらの葉では、後に述べるように、先端ほど古く基部ほど若い細胞で、葉の長軸方向に沿って基部から先端に向かい加齢が認められている。第 2 図では、各葉位葉についての長軸方向に沿った分布曲線が、最も若い第 9 葉から、齢の最も進んだ第 5 葉まで左から右に順次配列されている。ここで各葉位葉の特徴を整理してみると、まず第 9 葉は第 8 葉の葉鞘に包まれて葉身が急速伸長中で、光合成や蒸散はほとんど営まれていない。第 8 葉は出葉中で、葉鞘が急速伸長中であり、また葉身は急速伸長を終了して先端から展開を開始しているが基部はまだ針状のまま、光合成や蒸散は微弱と考えられ、第 9 葉とともに光合成産物の受容器官となっている。これに対し、第 7 葉は展開直後でこれから活動中心葉に移行しようとする段階にあり、その 6 日前に展開を完了した第 6 葉は活動中心葉として最も活発に光合成を営み蒸散も旺盛に行っている。さらに 6 日

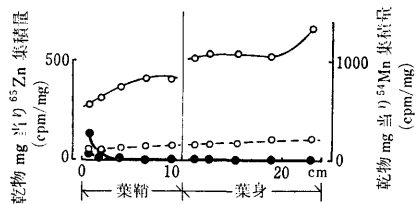
前に展開を完了した第 5 葉もなお活動中心葉としての機能を営んでおり、これらの葉は光合成産物供給器官となっている。

第 2 図においてまず展開直後の第 7 葉についてみると、 ^{65}Zn は葉鞘基部にわずかに集積されたが、葉身にはほとんど集積されなかった。その 6 日前に展開を完了した第 6 葉でも ^{65}Zn の分布は同一のパターンを示し、 ^{65}Zn は葉身には集積されなかった。さらに一段階齢の進んだ第 5 葉でも同様のパターンが認められたが、葉鞘基部における曲線の立上りは第 6 葉に比べやや顕著になった。これに対し ^{54}Mn の分布は、第 7 葉ではおおむね ^{65}Zn の分布曲線が上に平行移動した形となり、第 6 葉では、葉鞘基部における曲線の立上り部分が消え、葉鞘基部から葉身先端に向かって右上りの勾配を持つ曲線となり、第 5 葉ではさらにその勾配が増大した。一方、出葉中の第 8 葉で ^{65}Zn は、伸長を終了した葉身にはわずかしこ集積されず、急速伸長中の葉鞘基部に顕著な集積が認められた。これに対し ^{54}Mn は、葉身、葉鞘ともかなりの集積が認められたが、葉鞘基部には ^{65}Zn と同様に顕著な集積が認められた。第 9 葉では、 ^{65}Zn は葉身全体に分布すると同時に基部に顕著な集積が認められた。 ^{54}Mn についてもほぼ同様のパターンが認められた。

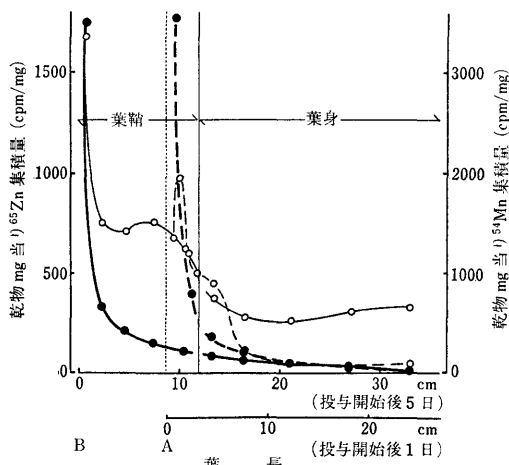
次に代表的な葉位葉について、RI 投与開始後 1 日の時点における ^{65}Zn ならびに ^{54}Mn の長軸方向に沿った分布を、5 日後の時点の分布と比較し第 3～5 図に掲げた。まず活動中心葉である第 6 葉についてみると、第 3 図に示されるように、1 日後に葉鞘の基部に認められた ^{65}Zn の曲線のわずかな立上りが、5 日後になるとやや顕著になった。また葉身では、 ^{65}Zn の集積は 1 日後にはほとんど認められず、5 日後になってもその集積量は増加しなかった。これに対して ^{54}Mn は、1 日後には葉身、葉鞘を通じて少量ながら先端までほぼ様な分布が認められ、5 日後には分布曲線が上に移動すると同時に右上りとなり、蒸散の末端器官である葉身の先端に向か



第 2 図 投与開始後 5 日の時点における ^{65}Zn , ^{54}Mn の葉の長軸方向に沿った分布の葉位別比較 (第 8 葉出葉期)



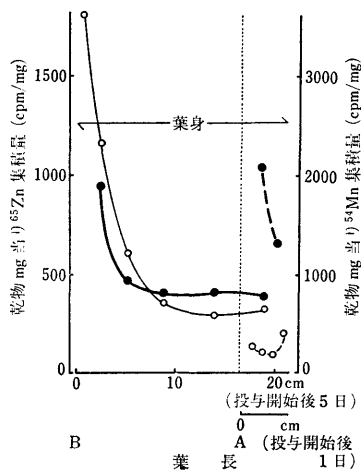
第3図 第6葉における⁶⁵Zn, ⁵⁴Mnの分布の試料採取日別比較
 ●---●, ⁶⁵Zn 投与開始後1日
 ●—●, ⁶⁵Zn 投与開始後5日
 ○---○, ⁵⁴Mn 投与開始後1日
 ○—○, ⁵⁴Mn 投与開始後5日



第4図 第8葉における⁶⁵Zn, ⁵⁴Mnの分布の試料採取日別比較
 ●---●, ⁶⁵Zn 投与開始後1日
 ●—●, ⁶⁵Zn 投与開始後5日
 ○---○, ⁵⁴Mn 投与開始後1日
 ○—○, ⁵⁴Mn 投与開始後5日

って集積量が増加する傾向が認められた。⁶⁵Znならびに⁵⁴Mnにおける、1日後から5日後に至る間の分布パターンのこの推移は、第2図における、第6葉の分布パターンから第5葉の分布パターンへの推移と同一の傾向とみることができる。

次に第8葉では第4図に示されるように、葉身はすでに急速伸長を終えていたが葉鞘は急速伸長中で、この間にAの位置からBの位置まで伸長した。まず⁶⁵Znについてみると、葉身では5日後になっても集積はわずかで、急速伸長の終了とともに⁶⁵Znの集積が激減する傾向が認められた。また葉鞘基部には、1日後に分布曲線の急激な立上りが認められ、続いて葉鞘の伸長に伴い曲線の立上り部が左に平行移動した。これに対して⁵⁴Mnは、急速伸長を終了している葉身では全体にわたりわずかに集積が認められ、5日後にかけて分布曲線は上に平



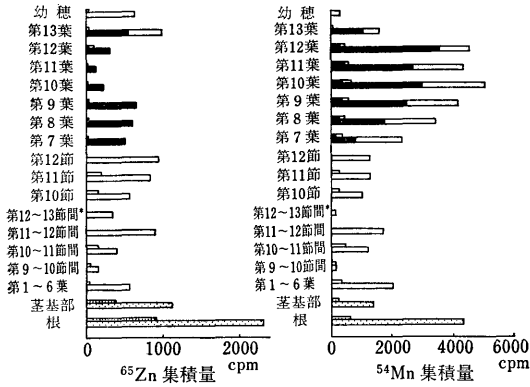
第5図 第9葉における⁶⁵Zn, ⁵⁴Mnの分布の試料採取日別比較
 ●---●, ⁶⁵Zn 投与開始後1日
 ●—●, ⁶⁵Zn 投与開始後5日
 ○---○, ⁵⁴Mn 投与開始後1日
 ○—○, ⁵⁴Mn 投与開始後5日

行移動し、また葉鞘では1日後、5日後ともに⁶⁵Znと同様基部付近に顕著な立上りが認められた。第9葉では第5図に示されるように、葉身がAの位置からBの位置まで伸長した。まず⁶⁵Znの分布曲線では、1日後に基部に顕著な立上りが認められた。5日後になるとRI投与期間中に伸長した葉身全体にわたり集積が認められると同時に、葉身の伸長に伴い立上り部が左に平行移動した。これは第8葉葉鞘で認められたものと同様の現象と考えられる。一方⁵⁴Mnは、5日後には⁶⁵Znと同様なパターンを示したが、1日後にはほとんど集積されておらず、⁵⁴Mnの顕著な集積は⁶⁵Znよりも数日遅れて開始されることが認められた。この現象は、本実験以外でも繰り返し認められており、報を改めてとりあげる予定である。

実験 2. 幼穂形成期の水稻を供試した場合

本実験に供試した水稻は、RI投与開始の時点ですでに節間伸長を開始しており、また第12葉出葉期にあって、第12葉の葉鞘と第13葉(止葉)の葉身および第10~11節間が急速伸長中で、光合成産物の受容器官となり、第9, 10葉が光合成産物の供給器官となっていた。RI投与期間中に一段階齢が進み、RI投与開始後5日の時点では第13葉出葉期になり、第13葉の葉鞘と幼穂および第11~12節間が急速伸長の段階に入って光合成産物受容器官に、また第10, 11葉が供給器官にな

った。
 まず実験1と同様に、各器官の⁶⁵Znならびに⁵⁴Mn

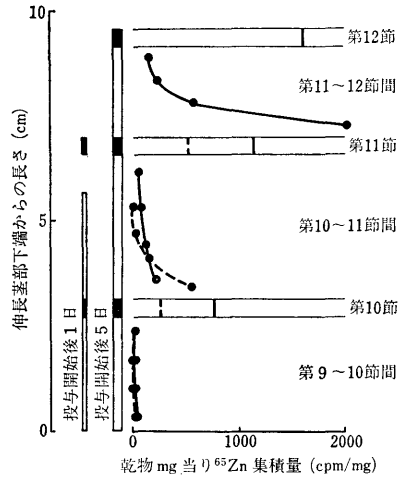


第 6 図 ^{65}Zn , ^{54}Mn の器官別集積量 (幼穂形成期)
棒グラフ上段, 投与開始後 1 日; 下段, 5 日。
葉において, 黒塗部, 葉鞘; 白ぬき部, 葉身。

* 第 13 節は微小なため分離できなかったのここに含めた。

の集積総量の比較を第 6 図に掲げた。RI 投与開始後 5 日の時点についてみると, ^{65}Zn は実験 1 と同じく根, 茎基部に多く集積され, さらに各節ならびに第 11~12 節間に顕著な集積が認められた。 ^{65}Zn は第 12 葉以下の葉身にはほとんど集積されず, 葉鞘 (とくに第 9 葉以下の, 老化し機能の衰えつつある葉の葉鞘) に多く集積され, また第 13 葉と幼穂には顕著な集積が認められた。一方 ^{54}Mn は, 他の部位に比較して第 12 葉以下の葉への集積が顕著で, ^{65}Zn と異なりそれらの葉身へも多く集積され, また第 13 葉と幼穂への集積は少なかった。

次に, 葉の長軸方向に沿った ^{65}Zn ならびに ^{54}Mn の分布を, RI 投与開始後 5 日の時点について葉位別に比較し, 第 7 図に掲げた。 ^{65}Zn は, すでに急速伸長を終了している第 12 葉以下の葉の葉身にはほとんど集積されず, 葉鞘の基部にわずかに集積されたのに対し, 急速伸長中の第 13 葉葉鞘の基部と幼穂には, 高濃度の集積が認められた。RI 投与期間中に各葉の齢が一段階進んだために, RI 投与開始の時点で急速伸長中であった第



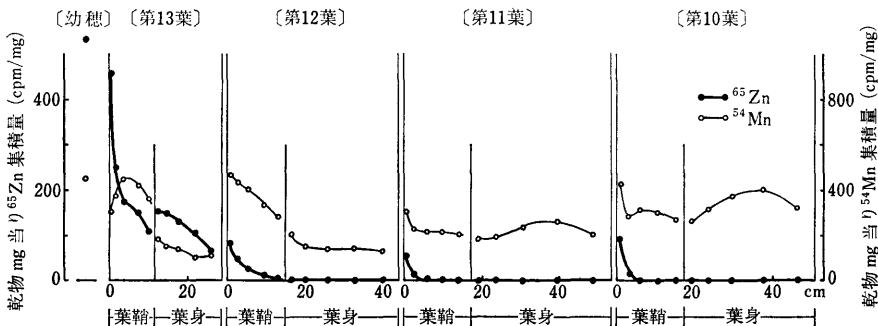
第 8 図 伸長茎部の節, 節間における ^{65}Zn の集積量
---, 投与開始後 1 日; —, 投与開始後 5 日。

12 葉の葉鞘ならびに第 13 葉の葉身にも ^{65}Zn の集積が認められた。 ^{54}Mn も実験 1 とほぼ同様な傾向を示した。

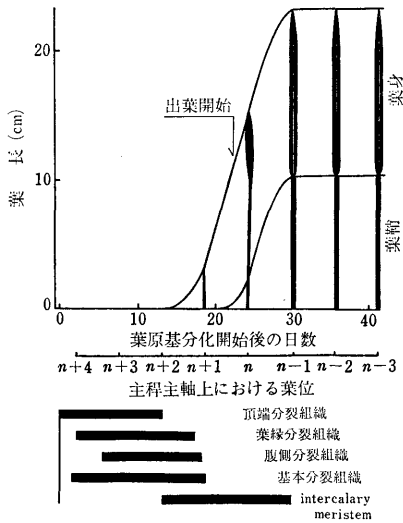
次に ^{65}Zn の節ならびに節間への集積 (節間については長軸方向に沿った分布) を, 投与開始 1 日後と 5 日後について第 8 図に示した。RI 投与開始時点ですでに伸長を終了している第 9~10 節間では, RI 投与開始後 1 日, 5 日の両時点とも ^{65}Zn の集積はほとんど認められなかった。1 日後の時点で急速伸長中の第 10~11 節間では, 1 日後の時点において基部に高濃度の集積が認められた。5 日後になると, 第 10~11 節間は急速伸長を停止して ^{65}Zn の濃度は低下し, かわって第 11~12 節間が急速伸長段階に入り, その基部に高濃度の集積が認められた。

3. 論 議

水稻葉の形態形成に関しては, 山崎¹¹⁾や川原ら²⁾の詳細な研究がある。葉原基は約 6 日間隔で茎の生長点にお



第 7 図 投与開始後 5 日の時点における ^{65}Zn , ^{54}Mn の葉の長軸方向に沿った分布の葉位別比較 (幼穂形成期)



第9図 水稻葉の生育段階と各時期に活動する分裂組織

いて分化し、幼葉の段階を経て、分化後約 18 日で葉身が急速伸長を開始し、約 6 日遅れて葉鞘の急速伸長がこれに続き、分化から約 30 日後に葉は形態的にはほぼ完成することが解明されており、本研究との関連においてこの過程を模式化すれば第9図のようになる。この際、葉が葉原基や幼葉の段階にあって長さ数 mm に達するまでは、頂端分裂組織や葉縁分裂組織などの各種の分裂組織が活動しているが、急速伸長を開始した後はもっぱら intercalary meristem が活動し、しかもそれは葉の基部に局在している。したがって急速伸長開始後の葉では、先端ほど古く、逆に基部ほど若い細胞で、基部から先端に向けて加齢が認められている。

以上は特定の葉の形態形成過程を、葉原基の分化に始まる経時的推移として把握したのであるが、逆に時間を特定の時点に固定し、その時点において出葉中の葉を第 n 葉として、主稈に沿った各葉位葉の上下関係として把握するならば一換言すれば、第9図の x 軸において分化後の日数（時間）を主稈の葉位に置き換えるならば、上述の形態形成過程における生育段階の推移は次のように書き換えることができる。まず第 n 葉は葉身が急速伸長を終了した直後で、葉鞘が急速伸長中であり、第 $n+1$ 葉は、葉身が第 n 葉葉鞘に包まれて急速伸長中である。またこの時点では、生長点近傍において第 $n+2$ 葉から第 $n+4$ 葉まで分化が行われている。第 $n-1$ 葉は葉鞘が急速伸長を完了しており、第 $n-2$ 葉はその 6 日前に出葉し、第 $n-3$ 葉はさらに 6 日前に出葉した。また実験 2 の場合のように、第 n 葉が止葉に該当する場合は、幼穂が第 $n+1$ 葉に相当することになる。

以上の形態形成の領域における山崎や川原らの業績を、植物栄養学の領域における田中¹⁰⁾の活動中心葉に関する業績と結合させ、著者らの観点から論ずると、1 枚の葉は、ヘテロトロフ的性格を持つ光合成産物受容器官に始まり、オートトロフ的性格の光合成産物供給器官に転換し、その後老化の段階に入って光合成能が低下し、やがて枯死に至る。また以上の 1 枚の葉についての経時的推移を、特定の時点における主稈に沿った各葉位葉の上下関係として把握すれば、次のように書き換えることができる。すなわち、第 $n+1$ 葉ならびに第 n 葉は光合成産物の受容器官であり、第 $n-1$ 葉において受容器官から供給器官への転換がなされ、第 $n-2$ 、 $n-3$ 葉が活動中心葉となり供給器官としての機能をはたし、第 $n-4$ 葉以下の葉は光合成能が衰え老化していく段階に入っている。生長点近傍における葉原基の分化は、約 6 日間隔で規則正しく繰り返され、それと同調して出葉が規則正しく繰り返される。したがって少なくとも第 5 葉から止葉にわたる範囲においては、第 n 葉は、約 6 日の間隔で上位葉へと移動していくことになる。またこの範囲 ($n \geq 5$) においては、上述の諸関係が常に成立するわけである。本研究は、その時点で出葉中の葉（第 n 葉）を基準とした各葉位葉の機能の相対的關係に着目して、特定の時期に経根的に吸収された ^{65}Zn の挙動を追跡し、齢との関連において挙動の実態を把握しようとするものである。

以上のような概念を導入して本報告の結果を整理すると、実験 1, 2 で認められた主要な現象は次のように一括して把握することができる。特定の時期に経根的に吸収された ^{65}Zn と ^{54}Mn の挙動に関しては、

1) ^{65}Zn は、第 $n-2$ 葉と第 $n-3$ 葉の葉鞘基部にわずかに集積されるだけで、それらの葉身にはほとんど集積されない。これに対し ^{54}Mn は、第 $n-2$ 、 $n-3$ 葉の葉身にも多量の集積が認められる。

2) ^{65}Zn は、第 n 葉葉鞘と第 $n+1$ 葉葉身に顕著に集積されるが、いずれもその基部への局在化が顕著である。 ^{54}Mn も第 n 葉葉鞘と第 $n+1$ 葉葉身の基部に集積されるが、第 $n+1$ 葉葉身では ^{65}Zn に比較して顕著な集積開始が数日遅れる。

一般に根から吸収された物質は蒸散流によって地上部に運ばれ、蒸散の旺盛な部位にまず分布することが知られている。しかし ^{65}Zn はこれらの蒸散の活発な葉の葉身へは集積されず、むしろ蒸散が微弱な第 $n+1$ 葉の葉身、第 n 葉の葉鞘、幼穂に多量に集積されたという事実注目する必要がある。

2) に関しては、水稻葉の形態形成に関する山崎¹¹⁾の研究から、第 n 葉葉鞘ならびに第 $n+1$ 葉葉身基部は主

として intercalary meristem に当ることが推定される。また実験 2 で急速伸長中の節間の基部に ^{65}Zn の顕著な集積が認められたが、この部位も intercalary meristem に該当する。亜鉛が植物体内の若い部位に高濃度で集積される事実は、サバタレニアンクローバー^{8,9)}、トマト⁵⁾ など多くの作物について報告されているが、本実験ではそれは若い器官のなかでもさらに分裂組織に局在することが推定された。

本実験ではまず第一段階として、特定時期に経根的に吸収された ^{65}Zn のある時点における体内分布を、必要に応じ器官内分布にまでわたって詳細に検討したのであるが、化学形態の上からいえば、もとより全 ^{65}Zn をみているのにすぎない。顕著な集積が認められた場合も、遊離のイオンのまま多量にとりこまれたのか、それとも何らかの生体成分にとりこまれたのか、は重要な問題であり、局在化の顕著な部位について、 ^{65}Zn の化学形態を検討する必要がある。

次に本実験では、亜鉛やマンガンに関し水稻が過剰にも欠乏にもならないように、前培養ならびに RI 投与時における水耕液中の両元素の濃度を、亜鉛 0.025 ppm、マンガン 0.25 ppm とした。したがって本実験において認められた ^{65}Zn と ^{54}Mn の挙動の差異は、正常な生育を保証する培養条件下における差異である。これらの差異が、水耕液中の両元素の濃度差の反映にすぎないのか、それとも、濃度を等しくしても消去されない両元素に固有のものなのかを検討することもまた必要と考える。

また経根的に吸収された ^{65}Zn が、投与開始後 1 日の時点において活動中心葉に集積されず、形態形成中の光合成産物受容器官に集積されることが、実験 1, 2 を通じ繰り返し認められた。その際 ^{65}Zn は、蒸散流によっていったん活動中心葉にとりこまれた後迅速に再転流されるのか、それとも、根から活動中心葉の葉身に至るいずれかの箇所短絡経路が存在し、 ^{65}Zn は蒸散流から奪取されて直接受容器官に運ばれるのかは、亜鉛の輸送体制に関して興味深い問題である。木部から節部への溶質の移行に適した機構が、双子葉植物を中心とする多くの植物に存在することが見出されている⁷⁾。したがって本研究でも、このような短絡経路の存在に着目して検討を進めることも必要であろう。そのためにまず各葉位葉における ^{65}Zn の集積曲線を比較検討することから開始し、必要に応じ形態の面からの検討に移行する計画を立てている。また第 n 葉ならびに第 $n+1$ 葉基部において、 ^{65}Zn の局在化が認められた部位が intercalary meristem に当ることを推定したが、この点を確認し、さらに微細形態の上から検討を進める必要があると考えている。

以上の諸問題に関しては、次報以下で逐次報告していく予定である。

4. 要 約

特定の時期に経根的に吸収された亜鉛の水稻葉における集積パターンを齢との関連で検討するため、亜鉛の RI を用いて、第 8 葉出葉期 (実験 1) ならびに幼穂形成期 (実験 2) に経根的に吸収された ^{65}Zn の、投与開始 1 日後ならびに 5 日後における葉の長軸方向に沿った分布を、葉位別に比較した。比較のため ^{54}Mn についても同様の実験を実施した。

1) 葉鞘が急速伸長中で出葉中の葉を第 n 葉として整理すると、 ^{65}Zn の挙動は、実験 1, 2 を通じ一括して次のように把握することができる。

(1) ^{65}Zn は、第 $n-2$ 葉ならびに第 $n-3$ 葉では、葉鞘基部にわずかに集積されるだけで、葉身にはほとんど集積されない。これに対し ^{54}Mn は、第 $n-2$ 、 $n-3$ 葉において葉身にも多量の集積が認められる。

(2) ^{65}Zn は、第 n 葉葉鞘ならびに第 $n+1$ 葉葉身に顕著に集積されるが、いずれもその基部への局在が顕著である。第 n 葉が止葉の場合、第 $n+1$ 葉葉身に相当する幼穂にも ^{65}Zn が顕著に集積される。

2) 節間伸長開始後の水稻では、急速伸長中の節間基部にも、 ^{65}Zn の顕著な集積が認められる。

謝 辞 本研究を実施するに当り大沢潤君の絶大なる協力を得た。ここに記して深謝するしだいである。

文 献

- 1) 馬場 起・高橋保夫：水耕法及び砂耕法，作物試験法，p. 163，農業技術協会 (1967)
- 2) 川原治之助・長南信雄・和田 清：稲の形態形成に関する研究 (第 3 報)，葉，穂，稈の伸長の相互関係および稈の分裂組織について，日作紀，37，372~383 (1968)
- 3) 北岸確三：重金属をめぐる植物栄養学の諸問題 1. 緒論，近代農業における土壤肥料の研究，第 3 集，p. 62~65，養賢堂 (1972)
- 4) 北岸確三・大橋望東生：各生育時期に吸収された ^{65}Zn の水稻体内における挙動，三重大農学報，51，87~95 (1976)
- 5) LANGSTON, R.: Distribution Patterns of Radioisotopes in Plants. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 68, 370~376 (1956)
- 6) 大橋望東生：重金属をめぐる植物栄養学の諸問題 4. 植物体内における重金属元素の分布と存在様式，近代農業における土壤肥料の研究，第 3 集，p. 81~86，養賢堂 (1972)
- 7) PATE, J. S.: Exchange of Solutes between Phloem and Xylem and Circulation in the Whole Plant. in *Encyclopedia of Plant Physiology New Series*, Vol. 1, eds. M. H. ZIMMERMANN and J. A. MILBURN, p. 451~473, Springer-Verlag, Berlin (1975)

- 8) RICEMAN, D. S. and JONES, G. B. : Distribution of Zinc in Subterranean Clover (*Trifolium subterraneum* L.) Grown to Maturity in a Culture Solution Containing Zinc Labelled with the Radioactive Isotope ^{65}Zn . *Aust. J. Agric. Res.*, 9, 446~463 (1958)
- 9) RICEMAN, D. S. and JONES, G. B. : Distribution of Dry Weight and of Zinc and Copper among the Individual Leaves of Seedlings of Subterranean Clover (*Trifolium subterraneum* L.) Grown in Complete Culture Solution and in a Culture Solution Deficient in Zinc. *ibid.*, 9, 730~744 (1958)
- 10) 田中 明：葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究（第6報），活動中心葉の概念と各葉並びに各葉子間の相互関係，土肥誌，28，231~234（1957）
- 11) 山崎耕宇：水稻の葉の形態形成に関する研究1，葉の発育経過に関する一般的観察，日作紀，31，371~378（1963）