緒　　言

稲作における緒作業の中で，最後まで機械化を拒んでいた移植についても田植機の実用化によってようやく省力化が実現し，待望久しかった水田の機械化一貫作業体系が成立することになった。しかし，こうした栽培技術の省力化は近年における米の生産調整，兼業化にともなう労力不足などを契機としてひたすら進められてきたものだけに，冷害対策の基幹をなしてきた諸技術にもたらされる大きな変革などは最近に至るまでほとんど顧慮されることはなかった[18,75,89,90,96]。すなわち，熟苗栽培法[66]，堆肥施用による地力培養，窒素の適正施用などはいずれも，耐冷性品種の作付とともに耐冷性強化技術の主体をなすものであったが[74,96]，省力化の進展とともに熟苗栽培法は厚播，短期育苗の稚苗移植栽培に変り，また，堆肥施用は，その生産・施用が機械化を受け入れにくいという事情もあって，ほとんどが姿を消し，わらの焼却・窒素多施，生わらの施用などが卓越するようになった。とりわけ，ここ十数年間における堆肥施用量の著しい減少は[27]稚苗移植栽培や除草剤の大量使用などとともに最近の省力稲作を象徴するものであろう。北海道において窒素の施用量が近年増加しつつあること，しかも，それが基肥の増加によってもたらされていることが最近のアンケート調査に示されている[67]。このことはもちろん，施肥の省力化や耐肥性品種の普及などに関連しているに相違ないが，同時に堆肥施用量の減少による地力窒素の低下や生わらの施用による生育初期の窒素吸収力の低下などとも深くかかわっていると考えられる。

こうした栽培技術の省力化は究極的に耐冷性の低下を招くことは容易に想像される。しかし，苗の生育の相違が冷温[注1)]による出穂遅延（遅延型冷害）にどのように影響するのか，また，窒素をどの程度多施すれば幼穂形成期～開花期の冷温による不稔発現（障害型冷害）が，著しく助長されるようになるかなどの技術改善に直接かかわる問題についてはいまだ十分明らかでなく，また，それらの冷害に対する堆肥施用の効果についてもそれを明確に証明するデータがはなはだ乏しい。冷害対策の一環としての堆肥施用については今後もさらに研究を進め，その意義を明確にする必要があると考えられる。

冷害は生育の各段階においていろいろなかたちで現われるが[30,54]，それらの中で活着期冷温による出穂遅延と穂孕期冷温による不稔の発生は北海道において最も関心が高くかつ深刻な問題である。

本論文はこれら二つの時期の冷害にする技術改善の方策を上述の稲作の省力化に関連させて論述しようとしたものである。すなわち，第1編では活着期冷温による出穂遅延を機械移植の普及にともなう育苗法の変化に関連づけ，第2編では穂孕期冷温による不稔発現を窒素多施，堆肥施用量の減少に関連させて検討した。

本研究は1969年から1982年まで北海道立上川農業試験場において行ったものである。1969年から1972年までは前北海道立上川農業試験場水稲栽培科長砂田喜与志氏（現北海道立中央農業試験場畑作部長），1973年から1982年までは現同科長森脇良三郎氏の御指導のもとに水稲栽培試験の一環として行った。その間，元北海道立上川農業試験場長

注1）作物に冷害をもたらす温度は，果樹などに凍害をもたらす氷点下の温度を含めて一般的には“低温”とよばれている。しかし，“低温”といっても氷点を境として障害の機構に大きな違いがあることから，西山[54,56]は氷点より上の低温については別の術語“冷温”（Cool or Cool temperature）を用いることを提唱している。水稲の冷害は“冷温”による被害の意味であり，本論文においてもこの言葉を用いることにする。

島崎佳郎博士(現北海道拓殖短期大学教授)，前同場長森哲郎氏(現全農札幌支所)，現同場長長内俊一博士からは終始暖かい激励と試験遂行上の御配慮を頂いた。また，北海道農業試験場稲第3研究室長佐竹徹夫博士，同主任研究官西山岩男博士(現農業研究センター稲栽培第1研究室長)には本研究開始当初より御指導と御鞭撻を頂き，神戸大学教授丹下宗俊博士，佐賀大学教授田中典幸博士，農業技術研究所太田保夫博士からはとくに第2編第3章の研究に対して貴重な御意見，御示唆を賜った。さらに，京都大学教授栗原浩博士，同助教授森脇勉博士には筆者が1982年12月より1983年2月まで京都大学農学部に国内研修中御厚誼，御指導を賜わるとともに本論文の御校閲の労をとって頂いた。以上の各氏に対して衷心より謝意を表する。

また，本研究の遂行に当たり常に論議の機会を与えて頂き，御協力を惜しまれなかった北海道立上川農業試験場水稲栽培科小川勉氏，同谷川晃一氏，同相川宗厳氏，元同竹川昌和氏(現北海道立中央農業試験場)，北海道農業試験場稲第2研究室森田弘彦氏，北海道立中央農業試験場山崎信弘氏，北海道士別地区農業改良普及所吉田典彦氏に対して厚くお礼申し上げる。

最後に本研究への契機を与えて頂くとともに御教示，激励を賜った京都大学名誉教授長谷川浩博士(現近畿大学教授)に対して感謝の意を捧げたい。

第1編　苗の葉齢と活着期の冷温による出穂遅延との関係

遅延型冷害は登熟期の冷温によっておこる場合もあるが，出穂までの生育各期の冷温による出穂遅延の結果としておこる場合が多い。冷温によって出穂が著しく遅延する時期として，活着期から分げつ開始期頃まで，幼穂分化期前後および出穂期直前があげられているが[24]，これら三時期のうち，活着期から分げつ開始期頃までの期間は苗の健否を通して出穂期に大きく影響する点でとくに注目される。

本編では，まず，第1章で，育苗法の相違によって活着期冷温による出穂遅延がどのように変化するかを明らかにし，第2章では，第1章で得られた知見をもとに密播条件下における育苗管理技術について検討した。

第1章　苗の葉齢の相違が出穂期に及ぼす影響

水稲品種の出穂性に関する生態的な研究はこれまで数多く行われているが，[8,19,59,69,95,98,100,101]苗の生育と出穂との関係を研究したものは少ない[20,34,44]。水稲の移植栽培に用いられる苗は機械移植栽培に広く利用される2葉[注2)]前後の稚苗から，かっての熟苗栽培法における5葉前後のものまで様々であり，同一年次，品種でも出穂期にかなりの変異を生じ，品種間以上に出穂期が異なることがある。そこで，本章では主として葉齢の相違に着目して苗の活着期温度反応と出穂期との関係を究明しようとした。

第1節　活着期がとくに冷温年における場合

活着期の温度条件が著しく異なる1969年と1970年のデータにもとずいて検討した。

注2)本論文では不完全葉を除く。

材料および方法

1969年および1970年にしおかりを供試し，第1表に示したように育苗様式，播種密度，育苗日数，施肥量などを変えて葉齢の異なる13～15種類の苗を養成した。それらの苗を上川農業試験場圃場に両年とも同一日に移植して，移植後の主稈出葉数，平均出穂速度ならびに出穂期を調査した。なお，出穂期は各区全茎の50～60%が出穂した日とし，観察によって判定した。1区2反復，栽植密度は1株3本，m²当たり25株，施肥は窒素，燐酸，加里をそれぞれ10a当たり8，8，6kgずつ全量基肥とした。

両年の気温は第1図に示す通りである。すなわち，1969年は5月下旬から6月上旬にかけて平年

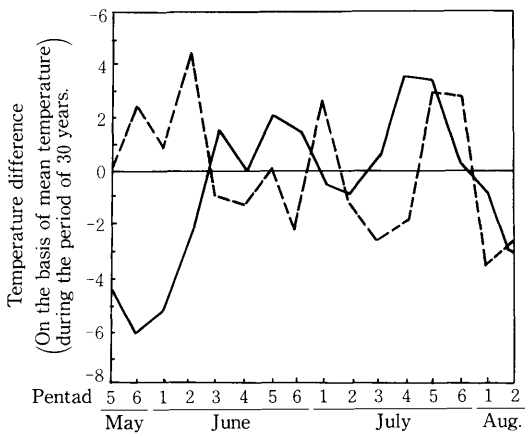

Fig. 1　Seasonal changes in daily mean air temperature in 1969 and 1970 at Kamikawa Agricultural Experiment Station.

Notes　——: 1969 (Cool temperature at the rooting stage).
……: 1970 (Ordinary temperature at the rooting stage).

値を著しく下まわり，活着が著しく停滞したのに対し，1970年はこの期間が平年より高めに経過し，活着は良好であった。その他の時期については年次間に大差は認められなかった。

Table 1. Raising methods of seedling.

Year	Type of nursery	plot No.	Seeding density (ml/m²)	Length of nursery period (Day)	Basal dressing (g/m²) N	Basal dressing (g/m²) P_2O_5	Basal dressing (g/m²) K_2O	Top dressing (g/m²) N	Remarks
1969	Ordinary upland nursery	1	330	30	30.0	30.0	20.0	15.0	Mature seedling
		2	220	45	30.0	30.0	30.0	18.0	Well matured seedling
	Paper pot nursery	3	660	20	18.3	18.3	22.7	0	●
		4	660	27	18.3	18.3	22.7	5.5	●
		5	660	34	18.3	18.3	22.7	11.0	●
		6	660	34	18.3	18.3	22.7	11.0	○
		7	440	27	18.3	18.3	22.7	5.5	■
		8	440	34	18.3	18.3	22.7	11.0	■
		9	440	34	18.3	18.3	22.7	11.0	□
	Box-type nursery	10	2,000	20	0	5.5	5.5	5.5	Young seedling*
		11	1,700	27	0	5.5	5.5	11.0	do. *
		12	1,400	34	0	5.5	5.5	16.5	do. *
		13	2,000	20	0	5.5	5.5	5.5	do.
1970	Ordinary upland nursery	1	330	30	30.0	30.0	22.0	15.0	Mature seedling
		2	220	42	30.0	30.0	22.0	18.0	Well matured seedling
	Paper pot nursery	3	440	30	18.3	18.3	22.7	5.5	●
		4	290	30	18.3	18.3	22.7	5.5	■
		5	440	30	18.3	18.3	22.7	5.5	○
		6	290	30	18.3	18.3	22.7	5.5	□
		7	440	42	18.3	18.3	22.7	11.0	●
		8	290	42	18.3	18.3	22.7	11.0	■
		9	440	42	18.3	18.3	22.7	11.0	○
		10	290	42	18.3	18.3	22.7	11.0	□
	Box-type nursery	11	2,000	20	0	5.5	5.5	5.5	Young seedling
		12	1,000	20	0	5.5	5.5	5.5	do. *
		13	2,000	20	0	5.5	5.5	5.5	do. *
		14	1,000	30	0	5.5	5.5	11.0	do. *
		15	2,000	30	0	5.5	5.5	11.0	do. *

● Small-sized pot ($1.5 \times 1.5 \times 3.0^{cm}$)
■ Large-sized pot ($2.0 \times 2.0 \times 3.0^{cm}$)
} Roots don't grow out of the pot.

○ Small-sized pot ($1.5 \times 1.5 \times 3.0^{cm}$)
□ Large-sized pot ($2.0 \times 2.0 \times 3.0^{cm}$)
} Few roots grow out of the pot and absorb water and nutrients from soil under the pot.

* Partitions of 3 cm depth divided the box in 1 cm intervals. The partition was designed to enable the seedlings to pull smoothly out from the box like a string, so that the machine can transplant them in succession.

結　果

第2図に移植時の葉齢と出穂期との関係を示した。両者の間には密接な負の相関が認められ，葉齢の低い苗ほど出穂期は遅延した。また，葉齢にかかわりなく1969年の出穂期は1970年にくらべて遅延した。出穂遅延度は葉齢の低い苗ほど大きかった。

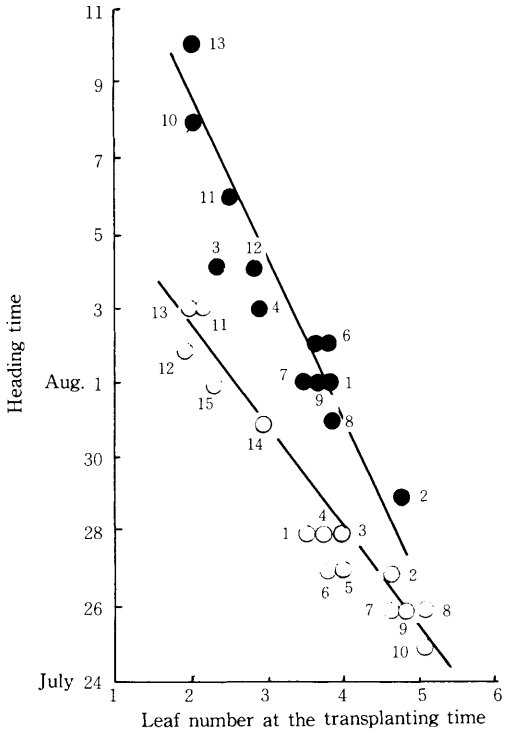

Fig.2 Relation between leaf number of seedlings at the transplanting time and heading time.

Notes —●—：1969. —○—：1970. Numerals in the figure indicate the plot number of table 1.

第3図および第4図に移植後の主稈出葉数ならびに出葉速度を示した。主稈出葉数は両年とも葉齢の低い苗ほど増加し，年次間差はほとんど認められなかった。出葉速度は両年とも葉齢の低い苗ほど促進し，1969年は1970年に比べて明らかに小さかった。両年の回帰直線は出穂期の場合と異なり，ほぼ平行的であった。

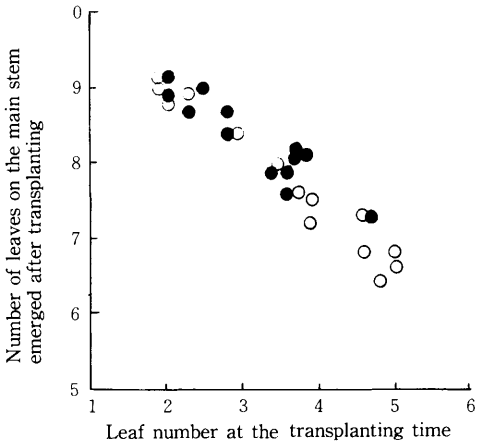

Fig.3 Relation between leaf number at the transplanting time and number of leaves on the main stem emerged after transplanting.

Notes ●：1969.　○：1970.

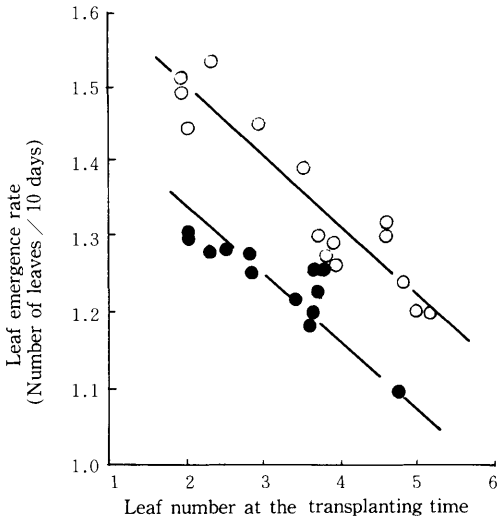

Fig.4 Relation between leaf number at the transplanting time and leaf emergence rate.

Notes —●—：1969.···○···1970.

考　察

第1図に示した半旬別気温の比較から，1969年における出穂遅延は活着期冷温が主因であると考

えられる。

出穂期は第2図に示したように年次にかかわらず葉齢の低い苗ほど遅延するが，活着期が冷温であった1969年における出穂遅延が葉齢の低い苗ほど助長されている。このように葉齢の高低によって出穂遅延度が相違する原因を移植後の主稈出葉数と出葉速度の2因子に分けて検討してみると，主稈出葉数は第3図に示すように冷温の影響がほとんど認められないものの，葉齢の低い苗ほど多く，出葉速度は第4図に示すようにどの苗もほぼ同程度に冷温の影響を受け低下している。したがって，止葉出葉までの所要日数の年次間差異は，移植後主稈出葉数が多くなる葉齢の低い苗程増幅されることになる。葉齢の高低による出穂遅延度の相異には，これら2因子の他に穂揃性の影響も考慮しなければならないが，2因子によっておおむね説明できる。

活着期冷温による出穂遅延を軽減するためには(1)出葉速度を促進する，(2)移植後の主稈出葉数を減少させる，のいずれかであるが，冷温条件下で出葉速度を促進させることは実際には困難であろう。これに対し，移植後主稈出葉数は苗の葉齢で相違が生ずるが，活着期冷温の影響をほとんど受けていない。したがって，機械移植栽培においてもできるだけ葉齢の進んだ苗を移植し，主稈出葉数を減少させることが必要である。

第2節　活着期が冷水地温条件下における場合

前節では出穂期の活着期温度反応を活着期の気温が著しく異なる2カ年の調査結果にもとずいて検討したが，活着期の温度が水稲に与える影響は主として水地温を通してである[13,40,86]。そこで，本節では活着期に精密に水地温処理を行い，その後は同一の環境条件において第1節の結果を確認するとともに，苗の種類と活着期の出葉との関係を明らかにしょうとした。

材料および方法

第1節に示した1969年の苗の中から畑苗代育苗における熟苗（葉齢4.7），成苗（葉齢3.6）および箱育苗における稚苗（葉齢2.1）を供試した。窒素，燐酸，加里を10a当たり8，8，6kgずつ施用した苗代土壌を直径11cm，深さ15cmのブリキ製ポットにつめ，5月24日に3種類の苗を同一ポットに3個体ずつ移植した。

水地温処理は人工気象室内に設置された恒温水槽を用いて行った。すなわち，昼（午前9時～午後5時）8，12，16，20，24，28，32℃の7段階，夜（午後5然～午前9時）8，12，16，22，24℃の5段階に制御した恒温水槽を用意しておき毎日午前9時および午後5時にそれぞれ所定の水槽にポットを移動する要領で移植後10日間25組合せ区について水地温処理（夜温は常に昼温以下）を行った。なお，気温は各区とも昼20℃，夜12℃とし，水深はポットの地表面から水槽の水面までの高さを調節し，約3cmとした。

処理終了後直ちに3～4ポットについて苗の種類別に葉齢を調査した。また，昼夜8℃区および昼28℃，夜20℃区については，3種類の苗をそれぞれ1株1本植として6～9株ずつ，できるだけ根を傷めないようにして本田に移植し，出穂期を比較した。なお，出穂期は主稈の穂の抽出日を6～9株について調査し，平均値で示した。本田施肥は窒素，燐酸，加里を10a当たり成分量で8，8，6kgずつ全量基肥とした。

結　果

第5図に処理期間中の葉齢の変化を示した。葉齢は水地温の昼夜較差によっても多少影響を受けたが，日平均水地温と密接な関係が認められた。処理期間中の葉齢の増加パターンには，苗の種類による差は認められなかった。

つぎに，移植時の葉齢と出穂期との関係を第6図に示した。移植後10日間の水地温の高低にかかわらず出穂期は移植時葉齢の低い稚苗において最も遅延した。また，移植後10日間の冷水地温処理（昼夜8℃区）による出穂遅延は葉齢の低い苗ほど増大する傾向が認められた。

考　察

活着期冷温による出穂遅延が葉齢の低い苗ほど

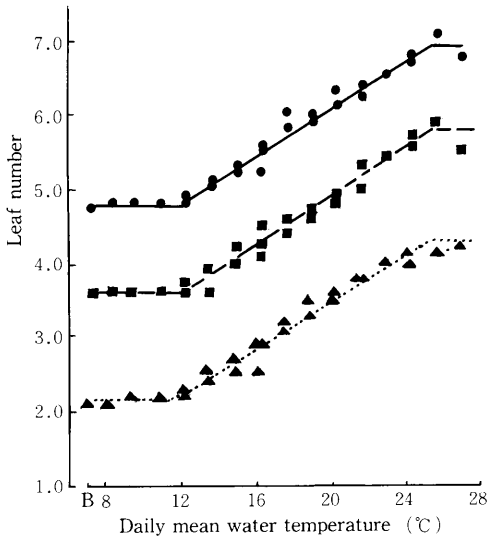

Fig.5 Effect of water temperature during 10 days after transplanting on the leaf number of seedlings.

Notes —●— : Well matured seedling
---■--- : Mature seedlings.
---▲--- : Young seedling
B : Just before transplanting.

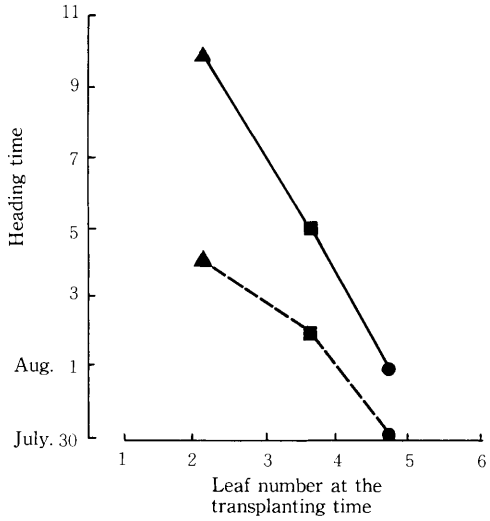

Fig.6 Relation between leaf number of seedlings at the transplanting time and heading time

Notes —— : 8℃ constant
------ : 28℃・day, 20℃・night
● : Well matured seedling
■ : Mature seedling
▲ : Young seedling

助長されることは水地温処理実験においても確認された。角田は[97]水稲農林17号の成苗を用いて生育時期別に水地温処理を行い，適水温による出穂促進効果は生育の初期ほど著しいことを明らかにし，とりわけ，活着期については水温上昇に対する配慮がきわめて重要であることを指摘している。稚苗移植栽培においては，おそらく，活着期の水温上昇効果はさらに顕著であろう。しかし，水田水温を人為的に上昇させることなどは実際には容易でないことから，稚苗移植栽培における出穂遅延対策を水温上昇のみに期待することは無理といわねばならない。

一方，木根淵[34]は稚苗移植栽培の研究の中で，稚苗は胚乳養分が残存しているために冷温条件下でも活着の停滞が少ないことを認め，この特性を稚苗移植栽培の出穂遅延対策の一つにあげている。しかし，移植後10日間の葉齢の変化をみると，葉齢増加の限界温度はどの苗も12℃前後であり，また，12℃以上の温度でもどの区においても稚苗の葉齢増加が他の苗に比べて大きいという結果は得られていない。苗の相違による冷温活着性の差異については，苗の素質，冷温の条件などを含めて今後さらに検討しなければならないが，本実験の結果は，北海道における稚苗移植栽培の出穂遅延対策を稚苗の冷温活着性に求めることも困難であることを示唆している。

実際に活着期冷温による出穂遅延を軽減するためには，前節でも指摘したごとく，機械移植栽培といえども葉齢の進んだ苗を移植し，移植後の主稈出葉数を減少させることが必要である。

第3節 晩植条件下における場合

ビニールハウスなどの保護苗代が普及した今日では，冷温によって播種期が遅延することはほとんどないが，移植期は冷温の影響を受けてしばしば遅延する。そこで，本節では，移植期を遅らせ

ることによって活着期冷温を回避した場合，苗によって出穂期がどのように変化するかを検討しようとした。

材料および方法

1978年，1979年の2カ年にわたって試験を行った。両年ともイシカリを供試した。

1978年は，横30cm，縦60cm，深さ3cmの育苗箱に箱当たり50cc，200ccおよび350cc（以下単に50cc，200cc，350ccと記す）の催芽籾を播種し，播種密度に関して3区を設けた。育苗期の施肥は，基肥として窒素，燐酸，加里を箱当たり成分量で1gずつ，追肥として1，2，3葉期に窒素を箱当たり1gずつとした。育苗はビニールハウス内で行った。各区とも，5月20日，5月30日，6月9日の3回にわたって移植した。

1979年も，前年と同じ規格の育苗箱を用いて1箱当たり播種密度に関して50cc，100cc，150cc，200cc，350ccの5区を設け，4月22日に播種した。育苗は前年と同じ方法で行った。各区とも，5月22日を第1回目の移植日とし，5～8日間隔で次々に移植した。

両年とも育苗期は1区3箱，本田は1区制（1区7.5m²）とした。栽植密度はm²当たり25株，1株3本植えとし，施肥は窒素，燐酸，加里をそれぞれ10a当たり8，8，6kgずつ施用した。

苗の葉齢は移植日ごとに調査した。また，引き続き，苗代に残した苗についても数日おきに葉齢を調査した。1979年はそのほかに葉面積を測定し，葉面積指数（LAI）を算出した。なお，葉面積の測定にあたっては，特に下位葉の測定において誤差を生じやすい自動葉面積計の使用を避け，葉身をゼロックスで複写して求める重量法によった。出穂期は第1節と同様，各区全茎の約50%が出穂した日によって判定した。

2カ年の気温は第7図に示す通りである。1978年は5月第5半旬から6月第1半旬にかけて平年を下まわる時期があったが，どの苗も活着の停滞はほとんどみられなかった。その後は平年よりも高く推移し，出穂は平年よりも促進された。1979年は移植期間の気温はほぼ平年なみであったが，7月第1半旬（穎花分化期頃）および7月第4半旬（穂孕期頃）の冷温により出穂期は1978年よりも遅延した。

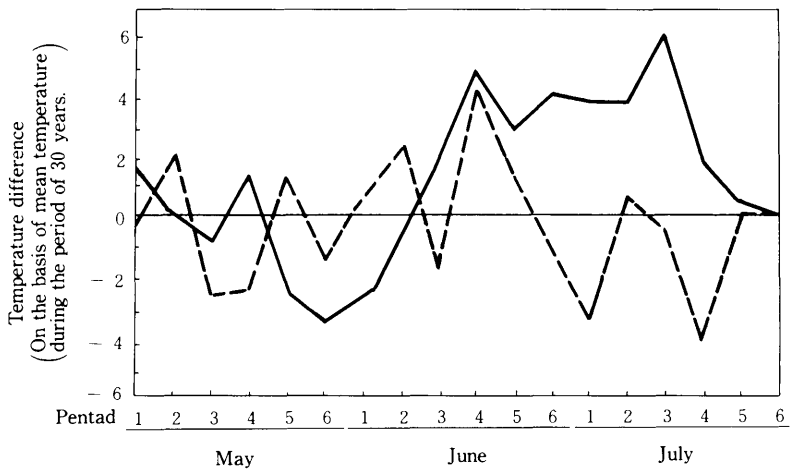

Fig.7 Seasonal changes in daily mean air temperature in 1978 and 1979 at Kamikawa Agricultural Experiment Station.

Notes ——：1978.　……：1979.

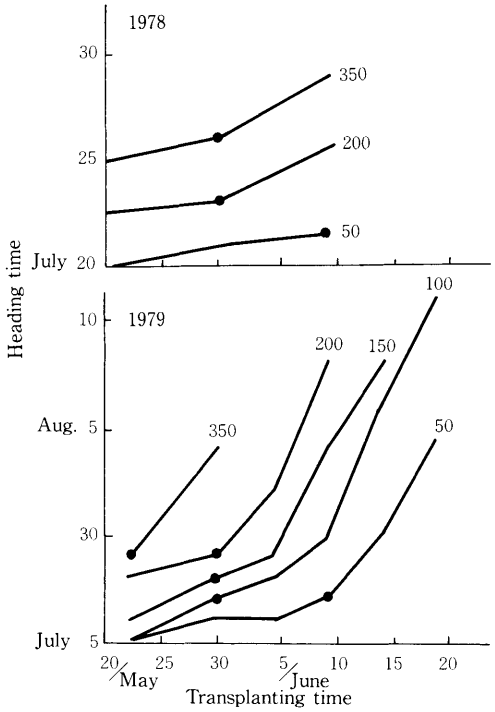

Fig.8 Effect of transplanting time on heading time.

Notes Numerals in the figure indicate the seeding density(ml/box).

● : Critical transplanting time (Later limit of transplanting when heading time was 2 days later than that in the earliest transplanting plot.).

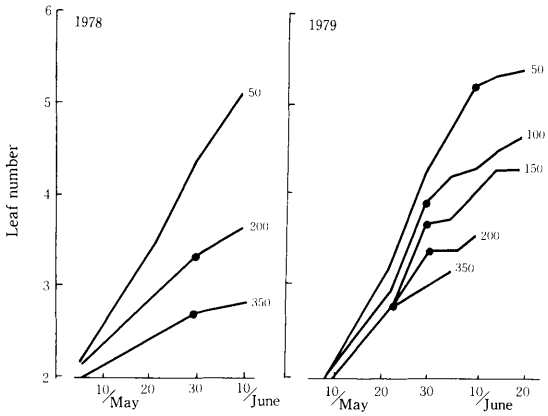

Fig.9 Effect of seeding density on the leaf emergence of seedlings.

Notes Numerals in figure indicate seeding density(ml/box).

● : Turning point of leaf emergence rate.

結　果

第8図に作期の移動が出穂に及ぼす影響を示した。播種密度にかかわらず移植期の遅れとともに出穂期は遅延し，出穂遅延度は播種密度の高い程大きかった。また，その傾向は出穂期が遅延した1979年においてより明瞭であった。最も早い時期に移植した区に比べて出穂期がほとんど遅延しない（2日以内とする）移植期の晩限（限界

Table 2. Relation between the critical transplanting date* and the turning point of leaf emergence rate at the nursery stage.

Seeding density (ml/box)	1978		1979	
	Critical transplanting date	Turning point of leaf emergence rate	Critical transplanting date	Turning point of leaf emergence rate
50	June 9		June 9	June 9
100	—	—	May 30	May 30
150	—	—	30	30
200	May 30	May 30	30	30
350	30	30	22	30

Note ＊: Refer to Fig. 8.

移植期）は，播種密度の高いほど早い時期に認められた。

第9図に苗代期における各区の出葉経過を示した。出葉速度はどの区も始め早いが，ある時期を境に急速に低下した。出葉速度が急速に低下し始める時期（出葉転換点）は播種密度の高いほど早い時期に認められた。第2表は各区の限界移植期と出葉転換点との関係を示したものである。この表で明らかなように，2カ年とも限界移植期は出葉転換点にほぼ一致することが認められた。また，第3図に出葉転換点におけるLAIを示した。各区のLAIは6.2～8.3の範囲であった。

Table 3. Leaf area index (LAI) at the turning point of leaf emergence rate.

Seeding density (ml/box)	LAI
50	6.2
100	6.7
150	6.6
200	8.3
350	7.2

考　察

どの移植時期においても，播種密度の高い区ほど出穂期が遅延し，また，移植期の温度にかかわらず晩植ほど出穂期の区間差が増幅されるが，これは，第9図に示すように密播区ほど移植時の葉齢が低く，晩植になるほど葉齢の区間差が増大することによる。

播種密度の相違による限界移植期の早晩は移植期の許容幅の長短を示していると考えられる。播種密度が100cc以上になると移植期の許容幅は50cc区（従来の畑苗代における成苗の標準播種密度に相当する）に比べて著しく縮小され，350cc区では1979年の例のように，移植期を遅らせて活着期冷温を回避しても出穂遅延はほとんど軽減されない。実際には，6月第1半旬まで移植期を遅らせることがしばしばあるが，この時期まで移植期移動の許容幅を拡大するためには，播種密度を100cc以下に止める必要がある。現行の機械移植栽培は播種密度が350cc～400ccの稚苗，200cc～250ccのいわゆる中苗を用いることによって成立しているが，今後は100cc以下の播種密度の苗を機械移植できる技術の開発を強力に進めなければならない。

第2表に示すように限界移植期は各区とも苗の出葉転換点にほぼ一致している。また，出葉転換点におけるLAIは播種密度にかかわらず6.2～8.3の範囲であり、かなり高い値を示している。これらのことは限界移植期が苗代の過繁茂と密接な関係にあることを示唆している。

苗代における出葉転換点は，基本的には，播種密度によって支配されるが，密播条件下においても育苗管理によって出葉転換点を遅らせることはある程度可能であろう。その点については次章で述べることにする。

第4節　小　括

活着期の温度条件が著しく異なる2カ年の調査，活着期の水地温処理実験ならびに移植期の移動実験を試み，出穂期との関連において苗の活着期温度反応を検討した。

1．播種密度，育苗日数，育苗様式などを異にして養成した多種多様な苗を同一日に移植したところ，活着期冷温年次（1969年）における出穂遅延は葉齢の低い苗ほど助長された。

2．活着期冷温年次における出穂遅延が葉齢の低い苗ほど助長されるのは，活着期冷温によって移植後の主稈出葉数はほとんど変化しない一方で，出葉速度は苗の葉齢にかかわらずほぼ同程度に低下したことによって説明できる。

3．活着期冷温による出穂遅延が若齢苗ほど助長される現象は，活着期の水地温処理実験によっても認められた。

4．移植後10日間の葉齢増加の限界温度は熟苗，成苗，稚苗とも12℃前後であった。また，それ以上の生育可能温度域における葉齢増加についても，苗の種類による相違はみられなかった。

5．播種密度の高い苗，また，葉齢の低い苗ほど移植期の遅れにともなう出穂遅延が助長され，移植期の許容範囲が縮少された。

6．以上を要するに，活着期の冷温による出穂遅延は葉齢の低い苗ほど増大する。活着期冷温による出穂遅延を軽減するためには，機械移植栽培においても葉齢の進んだ苗を移植することが必要である。

第2章　育苗期における葉齢の促進方法の検討

生育各期の冷温による障害については，生理・生態的な見地から研究が数多く行われており，その機作についての知見も少なくない[26,28,49,50,55,56,73,76,77,78,79]。しかし，生育各期の冷温による出穂遅延を実際に軽減するための新しい知見は少なく，前章で指摘したように苗代期における葉齢をできる限り増大させ，それを早植えすることが最も効果的な手段となる[5]。ところが，機械移植栽培の育苗は，機械の移植性能や育苗経費における制約から，単位面積当たりの播種量が従来の畑苗代の数倍に達する条件でおこなわなければならないために，苗代において葉齢を増加させることが極めて困難になっている。

こうしたことから，密播条件下で苗の葉齢を増加させる育苗管理法について検討を行った。

第1節　育苗様式が苗の葉齢に及ぼす影響

機械移植栽培における育苗は，実に様々な方法でおこなわれているが，出芽方法からみると二つに大別される。ひとつは，育苗箱に播種し，それを出芽器に搬入して人工的に加温する方法であり，もうひとつは，ビニールハウス内に設定した苗床にポリエチレンフィルムなどを被覆して出芽させる方法である。前者は稚苗移植栽培の確立とともにその出芽法として広く普及している方法であり，後者は成苗ないしは熟苗の育苗において畑苗代において従来から行われていた方法である。

1973年に機械移植栽培の苗を種々の方法で養成したが，出芽方法を異にするいわゆる簡易育苗と箱育苗において，移植時の葉齢が著しく異なっているのが観察された。本節では，この二つの育苗様式における葉齢，地上部乾物重／草丈比，葉位別葉身長，育苗期の地温ならびに出穂期を比較検討する。

材料および方法

しおかりを供試し，催芽籾を枠または箱当たり250ccずつ簡易育苗では4月11日，4月16日，4月23日および5月1日，箱育苗では4月11日，4月16日，4月20日および4月26日に播種した。

なお，簡易育苗とは，育苗作業の省力化ならびに資材の節減を主目的に考案された育苗様式で，被覆資材を用いて出芽させる育苗法のひとつである。すなわち，均平にした地表に多数の小孔のあるポリエチレンフィルムを敷き，その上に育苗箱と同じ規格の無底の木枠を置いて土を詰め播種するものである。根はポリエチレンフィルムの小孔を通して床土にまで伸長することができる。被覆は寒冷紗を用い，播種後7日間行った。

一方，箱育苗は塩化ビニール製の育苗箱を用い，根が箱の底の小孔を通して伸長しないように新聞紙を3枚敷き，その上に土を詰めて播種した。播種後直ちに30℃に設定した出芽器に60時間入れて出芽させた。出芽後は両育苗様式とも同一のビニールハウスの中でほぼ同一の育苗管理をおこなった。

施肥は，基肥として3要素を枠または箱当たり1gずつ施用し，さらに追肥として，1.5葉期および2.5葉期に窒素を1gずつ施用した。4月11日に播種した区について，4月24日から5月5日までの地表下0.5cm（籾の位置）の地温をサーミスター温度計によって測定した。

本田への移植は5月20日に行った。本田施肥は窒素，燐酸，加里を10a当たり8，8，6kgずつ全量基肥とし，栽植密度は1株3個体，m²当たり25株とした。苗代期は1区3箱，本田は1区2反復とした。

移植時に苗の葉齢，草丈，地上部乾物重ならびに各葉位の葉身長を測定した。出穂期は，生育中庸な10株を調査株に選び，全茎の50%が出穂した

日で示した。

結　果

第10図に移植時の葉齢を示した。簡易育苗，箱育苗とも播種期が遅いほど葉齢は低下したが，簡易育苗の葉齢は箱育苗のものよりも増加すること

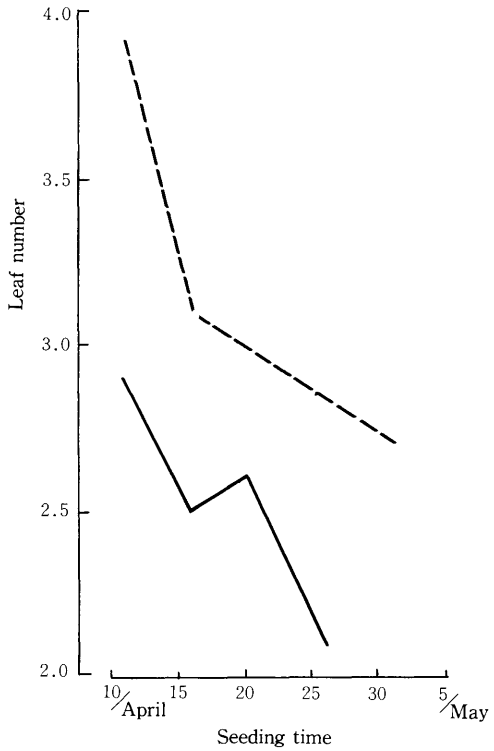

Fig.10 Effect of raising method of seedlings on the leaf number at the transplanting

Notes —— : The box-type nursery.
…… : The simplified nursery*
* : A frame which has the same size as the seedling box are placed on soil surface covered with thin polyethylene film with small holes. Seedling roots elongate through the holes of the film and absorb water and nutrients.

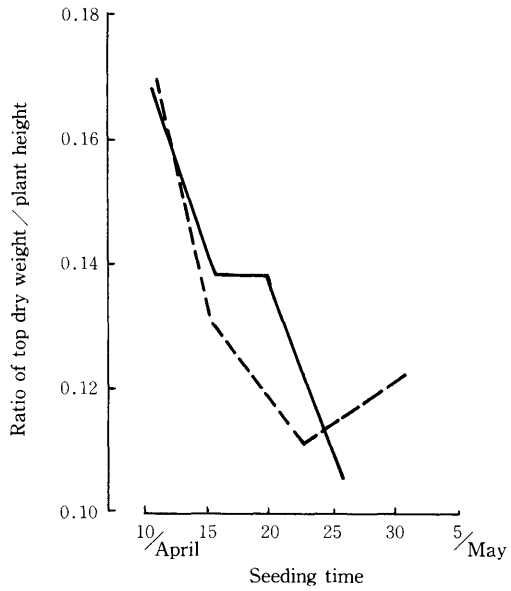

Fig.11 Effect of raising method of seedlings on the ratio of top dry weight／plant height at the transplanting time.

Notes —— : The box-type nursery.
…… : The simplified nursery*
* : Refer to Fig.10.

が認められた。地上部乾物重／草丈比は第11図に示すように，両育苗様式とも播種期が遅いほど低下したが，両者の間に大差は認められなかった。また，第12図に葉位別葉身長を示した。第2葉および第3葉は，播種期が遅れるほど葉身が長くなる傾向を示したが，第1葉の葉身は播種期にかかわらずほぼ一定であった。育苗様式間で比較してみると，第1および第2葉の葉身長は簡易育苗において明らかに短かかったが，第3葉の葉身長は播種期が早い場合は簡易育苗において長く，遅い場合は箱育苗において長かった。

出穂期は第13図に示した。両育苗様式とも播種期が遅れるほど出穂期は遅延したが，播種期が同一の場合は，簡易育苗において出穂期は促進された。

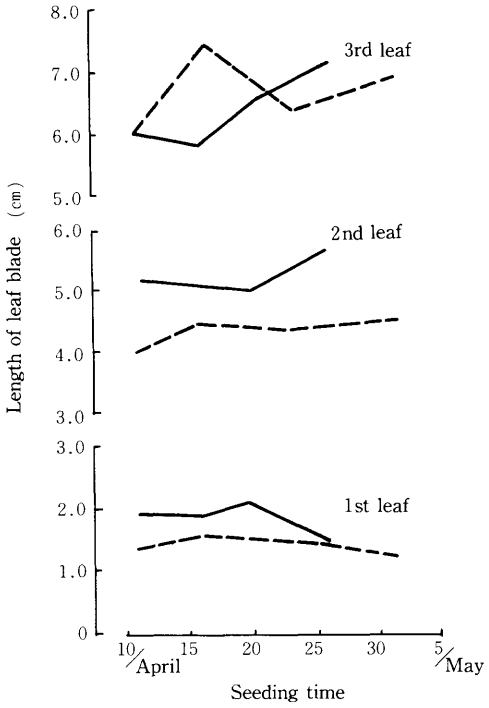

Fig.12 Effect of raising method of seedlings on the length of each leaf blade.

Notes —— : The box-type nursery.
…… : The simplified nursery*.
* : Refer to Fig.10.

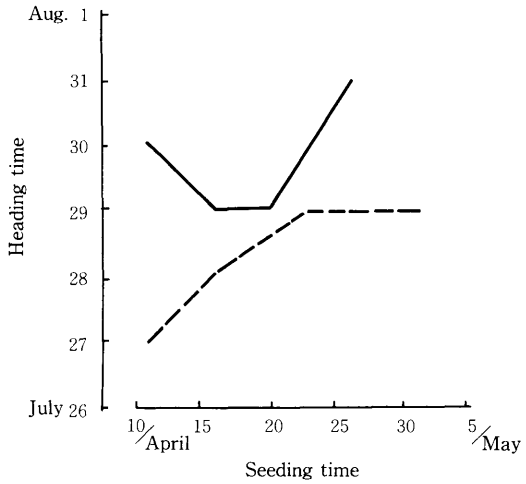

Fig.13 Difference in heading time between different methods of seedling production.

Notes —— : The box-type nursery.
…… : The simplified nursery*.
* Refer to Fig. 10.

Table 4. Soil temperature at 0.5 cm depth.

Kind of nursery	Temperature (°C)	April							May					Mean
		24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	
The simplified nursery*	Max.	20.5	14.0	13.5	28.0	27.0	15.0	31.0	27.5	14.0	32.5	34.5	37.5	24.5
	Min.	11.5	10.0	8.5	6.5	8.0	8.5	6.5	10.0	11.0	7.5	7.0	10.0	8.8
	Mean	16.0	12.0	11.0	17.3	17.5	11.8	18.8	18.8	12.5	20.0	20.8	23.8	16.7
The box-type nursery	Max.	21.5	15.0	14.5	29.0	28.0	16.0	31.5	29.0	14.0	30.0	35.0	38.5	25.2
	Min.	9.5	9.0	7.5	6.0	7.0	6.5	5.5	8.5	9.5	5.5	5.5	8.0	7.3
	Mean	15.5	12.0	11.0	17.5	17.5	11.3	18.5	18.8	11.8	17.8	20.3	23.3	16.3

Note * : Refer to Fig. 10.

第4表は地表下0.5cmの地温を示したものである。この表で明らかなように簡易育苗は箱育苗に比べて最高温度は低いが，最低温度は高く，平均温度はやや高い値を示した。

考　察

簡易育苗区は箱育苗区に比べて葉齢が増加し，その違いが出穂期まで影響することが認められる。両育苗様式における地上部乾物重／草丈比には大差がないことから簡易育苗によって苗の充実度が

低下することなく，葉齢が増加していることがわかる。

上述した育苗様式における葉齢の相違をもたらす原因として，まず，茎の生長点附近の地温（以下単に地温を記す）が考えられる[13,86]。1973年はわずか12日間だけの測定ではあるが，第4表に示したように，簡易育苗は箱育苗に比べて最高地温は低いものの最低地温は高く，平均地温もやや高く推移する傾向がみられる。同一のビニールハウスの中でほぼ同じ育苗管理を行ったにもかかわらずこのように地温が異なるのは，箱育苗では箱内土壌と床土との間に空隙があり，根の下方への伸長が遮断されているのに対し，簡易育苗では有孔ポリエチレンフィルムを挟んで枠内の土壌と床土とが密着しているためであると考えられる。しかし，両育苗様式における葉齢の相違を説明するには，両者の地温差は僅少であり，さらに別の要因を求めねばならない。

武田・丸田[87]は，苗代において肥料が十分与えられている状態では，播種密度の増加による苗の素質の低下は主として葉の相互遮へいによる同化量の低下によるものであることを明らかにしている。本実験では，両育苗様式とも窒素肥料は十分施用されており，播種密度は同一であるので同化量を変化させる要因としては草型の相違が考えられる。本実験では草型や同化量は測定されていないが，第12図に示すように簡易育苗は箱育苗に比べて第1および第2葉身長が短縮している。その結果，簡易育苗においては葉身が直立型になり，葉の相互遮へいが軽減されて同化量が増加すると解することもできる。葉身長はそれが伸長する期間の環境条件によって左右されるので[110]，両育苗様式における第1および第2葉身長の差は，発芽から出芽までの環境条件，すなわち，主として温度および光条件の差に起因していると考えられる。

いずれにしても，さらに詳細な調査を行ってこれらの推論の正否を証明する必要がある。簡易育苗と箱育苗において葉齢が異なることの機構を究明することによって，密播条件下の育苗管理における技術改善の手掛かりが得られるものと思われる。

第2節　出芽条件が苗の出葉速度に及ぼす影響

前節において移植時における葉齢が簡易育苗では箱育苗よりも促進することを見い出し，その原因を地温ならびに草型の面から考察した。そこで，本節では，出芽条件が苗の出葉速度に及ぼす影響について実験し，前節で示した推論の正否を明らかにしょうとした。

材料および方法

しおかりを供試し，簡易育苗ならびに箱育苗の2様式で苗を養成した。いずれも前節の育苗に用いたものと同じ規格の枠ならびに箱を用いた。両育苗様式とも，4月15日に催芽籾を150ccずつ播種した。

簡易育苗区はビニールハウス内で寒冷紗を1枚被覆して出芽させた。箱育苗区については2通りの方法で出芽させ計3区を設けた。ひとつは，30℃に設定した出芽器（暗所）に60時間入れる方法であり，もう一つは，簡易育苗と同様にビニールハウス内で寒冷紗を一枚被覆する方法である。寒冷紗を被覆した箱育苗における地表下0.5cmの地温ならびに地表上5cmの気温は第5表に示す通りである。この方法における播種から出芽までの所要日数は6日であり，その間の平均地温は約20℃であった。したがって，本節では，出芽器を使用した箱育苗を30℃箱育苗区，寒冷紗を使用した箱育苗を20℃箱育苗区と呼ぶ。出芽期以降はすべて同一のビニールハウス内に置き，ほぼ同一の管理を行った。育苗施肥は前節と同じである。

各区3箱を用い，各葉位の抽出期を調査した。簡易育苗および30℃箱育苗区については，2葉期における葉面積の垂直分布，葉身の湾曲度のほか生育に伴う純同化率（NAR），地上部の全窒素含有率（地上部N%），葉位別の葉身長および葉鞘長の変化を調査した。なお，葉面積の垂直分布は20個体を茎基部から2cmごとに切り離し，各層別に葉面積を測定して全葉面積のパーセントで示した。葉面積の測定は，第1章第3節と同様葉身をゼロックスで複写して求める重量法によった。葉身の湾曲度は葉身長を葉耳から湾曲した葉身の先端までの距離で除した値で示した[91]。窒素の分析はセミ

Table 5. Soil temperature in the seedling box and air temperature in the binyl house.

Temperature (°C)		April												
		(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	23	24	25	26	27	28
Soil temperature (0.5 cm under soil surface)	Max.	20.0	22.0	45.0	34.5	38.5	33.0	36.5	33.0	36.0	36.0	21.5	24.5	38.0
	Min.	8.5	7.5	5.0	6.0	6.5	7.0	9.0	10.0	5.0	8.5	10.5	9.5	8.0
	Mean	14.3	14.8	25.0	20.3	22.5	20.0	22.8	21.5	20.5	22.3	16.0	17.0	23.0
Air temperature (5.0 cm above soil surface)	Max.	—	17.0	36.5	31.5	32.0	39.5	35.0	32.0	32.5	35.0	21.5	25.0	28.5
	Min.	—	—	1.5	0.5	3.0	3.0	7.0	6.0	1.5	1.0	7.5	7.5	4.5
	Mean	—	—	19.0	16.0	17.5	21.3	21.0	19.0	17.0	18.0	16.8	16.3	16.5

Notes Parenthesis indicates the date when the nursery bed was covered with cheese cloth.
Mean soil temperture during the period covered with cheese cloth was 20 °C.

ミクロケルダール法で行い，乾物当たりパーセントで示した。

結　果

第14図に育苗期間における出葉経過を示した。簡易育苗区および20℃箱育苗区では播種後45～50日目（5月30日～6月4日）に葉齢が4.0に達したが，30℃箱育苗区では3.5に達しなかった。簡易育苗区と20℃箱育苗区における出葉経過はほぼ等しく，葉齢3まではいずれもほぼ直線的に出葉したものの，それ以降は出葉速度がやや低下した。一方，30℃箱育苗区では葉齢1までの出葉速度は著しく促進され他の2区を大きく上まわったが，それ以降しだいに低下し，葉齢2に達してからは他の2区より劣る結果となった。

簡易育苗区と30℃箱育苗区の葉齢がほぼ一致する5月8日～5月11日に両区の葉面積の垂直分布ならびに第2葉々身の湾曲度を比較した。その結果を第15図および第16図に示した。第17図はこの時期における両区の生育状態を示したものである。これらの図で明らかなように，30℃箱育苗区は簡易育苗区に比べて第2葉の葉身は湾曲しており，葉身が上層により多く分布していることが認められた。

2葉期以降2回NARを測定したが，第6表に示すように30℃箱育苗区のNARは簡易育苗区のも

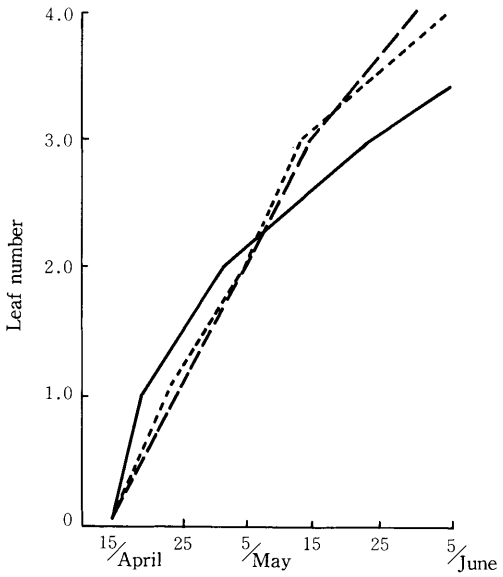

Fig.14 Pattern of leaf emergence in seedlings grown under different emergence conditions.

Notes ——：30℃* } The box-type nursery.
-----：20℃* }
·····：The simplified nursery**
*：Mean soil temperature during the period from seeding to emergence of seedlings.
**：Refer to Fig.10.

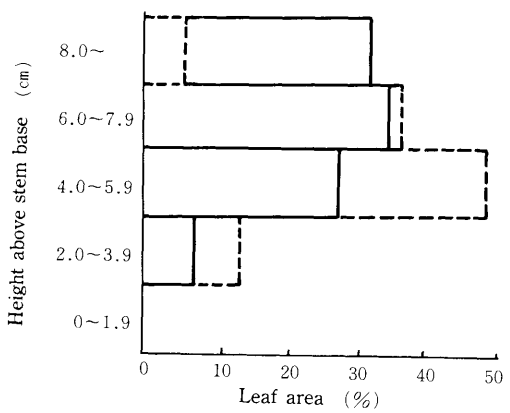

Fig.15 Effect of raising method of seedlings on the vertical distribution of leaf area at the 2nd leaf stage.

Notes ▭ : The30℃-box type nursery (estimated on May 11).
▭ : The simplified nursery* (estimated on May 8).
* : Refer to Fig.10.

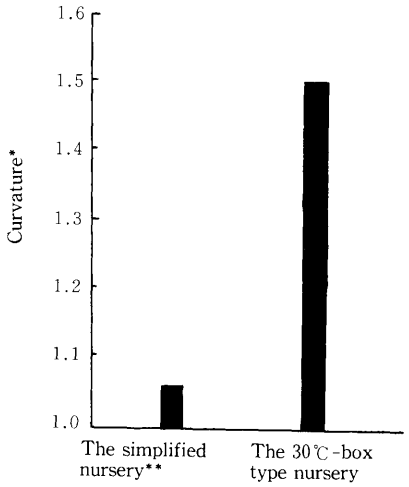

Fig.16 Effect of raising method of seedlings on the curvature of the 2nd leaf blade.

Notes * : $\frac{\text{Length of leaf blade}}{\text{Distance(chord) between auricle and the top of curved leaf blade}}$
** : Refer to Fig.10.

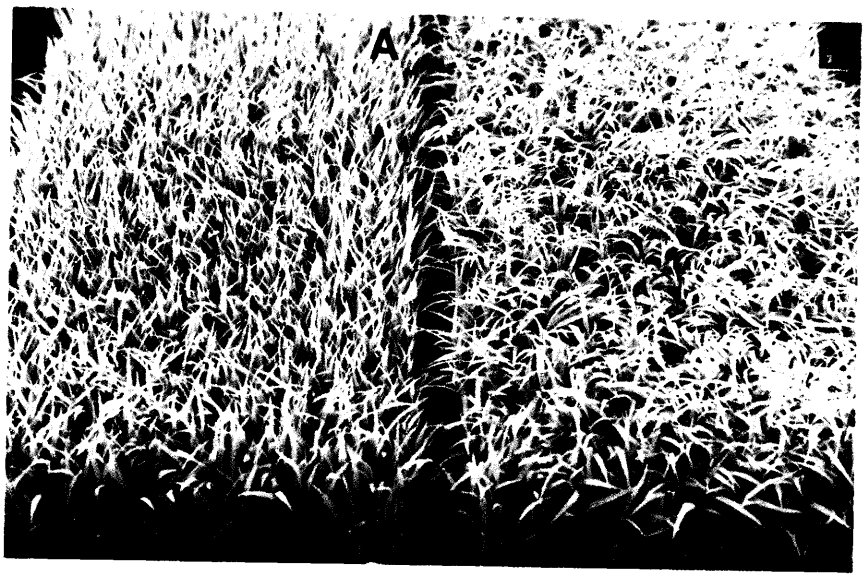

Fig.17 Growth of seedlings at the 2nd leaf stage.

Notes A : The simplified nursery*.
B : The 30℃- box type nursery.
* : Refer to Fig.10.

Table 6. Effect of raising method of seedlings on the net assimilation rate (10^{-4} g/cm^2/week).

Kind of nursery	May 3 ~ May 10	May 16 ~ May 23
The simplified nursery*	27.01	19.18
The 30 ℃-box type nursery	8.41	11.23

Note * : Refer to Fig. 10.

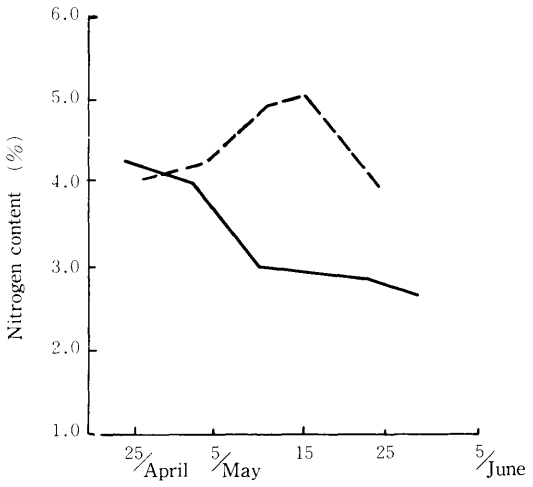

Fig.18 Effect of raising method of seedlings on the nitrogen content of the top.

Notes —— : The 30℃-box type nursery.
…… : The simplified nursery*
* : Refer to Fig.10.

のに比べていずれも低い値を示した。また，地上部N％も第18図に示したように30℃箱育苗区は簡易育苗区に比べて低く推移した。地上部N％が急速に低下し始める時期は，両区とも出葉速度が急速に低下し始める時期にほぼ一致していた。第19図は葉位別の葉身長ならびに葉鞘長を示したものである。第1葉および第2葉については，葉身，葉鞘とも30℃箱育苗区において伸長が促進され，伸長完了時の長さも増大した。第3葉については，伸長速度は葉身および葉鞘とも30℃箱育苗区において促進されたが，伸長完了時の長さには大差は認められなかった。第4葉については，伸長完了時の長さを測定できなかったが，葉身の伸長速度は育苗期後半簡易育苗区において促進する傾向が認められた。

考　察

簡易育苗区の葉齢が出芽器（30℃・暗所・60時間）を使用した箱育苗区のものよりも増加することは，本実験においても確認された。この理由は，葉齢が2に達してから以降における両区の出葉速度の相違にある。簡易育苗区と30℃箱育苗区の2葉期以降の出葉速度に対して，前節で指摘したように地温が関与しているか否かは，簡易育苗区と20℃箱育苗区の出葉経過を比較することによって確かめられる。出芽条件が同じであれば，簡易育苗区と箱育苗区の出葉経過は第14図に示すようにほぼ一致する。したがって，育苗様式の相違による地温差の範囲では出葉速度にほとんど影響はないと考えられる。

簡易育苗区および30℃箱育苗区の2葉期における草型をみると，30℃箱育苗区は簡易育苗区に比べて第2葉の葉身が湾曲しており，上層に葉が集中している。30℃箱育苗区の群落が湾曲型になるのは，第19図に示すように第1および第2葉の葉身および葉鞘，とくに第2葉の葉身が30℃箱育苗区において長くなるためであると考えられる。田中[91]はLAIが7.1の水稲群落において湾曲葉群落と直立葉群落では光－同化曲線が異なることを示している。すなわち，湾曲葉群落では上層の葉による光遮断が強いために光が群落深部に達し難く，

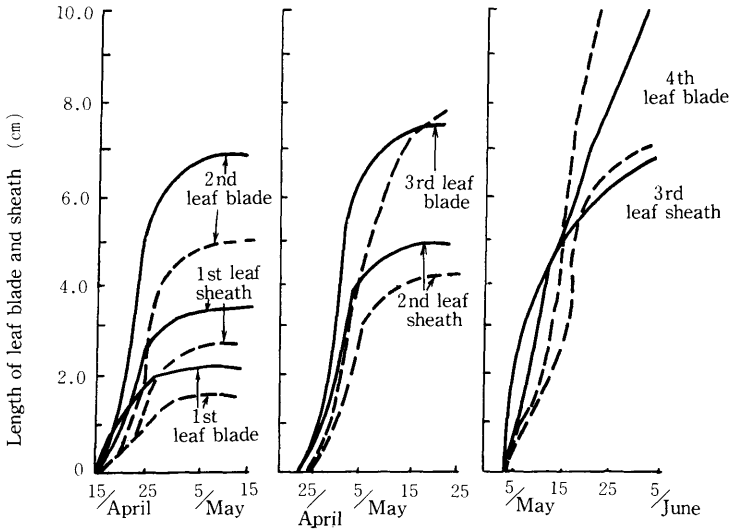

Fig.19 Effect of raising method of seedlings on the growth of leaf blades and sheathes.

Notes —— : The 30℃-box type nursery.
…… : The simplified nursery.*
* : Refer to Fig.10.

群落に投射される光が強まっても群落深部の同化量が増加しない。一方，群落上層の葉は早くから光飽和に達するので，それ以上投射光が強まったとしても群落全体の同化量は増加しないことを明らかにした。この実験結果は本実験における30℃箱育苗区と簡易育苗区との比較にも当てはまる。すなわち，湾曲型群落の30℃箱育苗区において受光量が制限されるとともに光の利用効率が低下し，これが2葉期以降における急速な葉身N%の低下と相まって著しく低いNARに結びついたと考えられる。

以上を要するに，出芽条件を異にする簡易育苗と箱育苗における生育の比較から，密播条件下の育苗において2葉期の草型が2葉期以降の出葉速度に強く関与することが明らかである。各葉位の中で第2葉の葉身長に顕著な差が認められることから，第2葉の葉身長を短くすることが密播条件下における育苗管理上の重要な目標になる。その具体的な葉身長については，今後さらに異なる品種や環境条件のもとで検討しなければならないが，2ヵ年の結果を総合すると5cm以内に止める必要があろう。

被覆資材を用いた出芽法はそのための有効な手段のひとつであると考えられる。第2葉の葉身長の制御については，出芽法，窒素施用法，生育抑制剤の利用などの面から今後さらに検討する必要がある。

第3節 小 括

出芽条件を異にする簡易育苗と箱育苗における生育の比較から，密播条件下において葉齢を増加させる育苗管理法を検討した。

1．被覆資材を用いて出芽させた簡易育苗は，出芽器（30℃・暗所・60時間）を使用して出芽させた箱育苗よりも移植時における葉齢が増加することを見い出した。前者は葉齢3まで出葉速度は低下しなかったのに対して，後者は葉齢が2に達してから急速に低下した。

2．箱育苗でも簡易育苗と同じ被覆資材を用いて出芽させれば，両者の出葉経過はほぼ一致した。

したがって，育苗様式の相違による地温の差は出葉速度にほとんど影響していないとみられた。

3．出芽器を使用した箱育苗（30℃箱育苗）は簡易育苗に比べて第2葉の葉身が湾曲化し，葉が上層に集中していた。2葉期以降のNARは30℃箱育苗において著しく低下した。また，30℃箱育苗の地上部窒素含有率は2葉期以降急速に低下した。

4．30℃箱育苗の群落が湾曲型になるのは出芽期の高温・暗黒によって第1，第2葉の葉身および葉鞘が長くなるためであると考えられた。

5．以上のような簡易育苗と箱育苗における生育の比較から，密播条件下の育苗において，2葉期の草型が2葉期以降の出葉速度に強く関与することを示した。

6．簡易育苗と30℃箱育苗における各葉位の中で第2葉の葉身長に最も顕著な差を認めた。密播条件下において出葉速度を促進させ，葉齢を増加させるためには，第2葉の葉身長を5㎝以内に止めることが必要である。被覆資材を用いる出芽法はそのための有効な手段のひとつである。