第V章　総合考察

府県からの水苗水稲の導入によって始まった本道の稲作は、独自の直播方式を生み、冷床苗代へと移行し、苗素質の理想型である熟苗[85]の普及を最後に手植時代を終えた。

その後の機械移植は手植え労働からの解放と労働時間の短縮[73]に貢献した。機械移植の育苗様式は稚苗に始まり現在は中苗が主流となっているが、さらに成苗へと進展しつつある。この流れは育苗資材・施設・機械などの面からはhigh cost[71][78]への方向で、low costが厳しく求められている[62][72]現状には逆行している。

今後の育苗様式の普及の見通しについてみると、総てが成苗移植に移行することはコストの面からみて困難であろうし、逆に直播水稲へ方向転換するためには現時点では品種の低温発芽性の低さが問題であり、品種開発、苗立ち向上技術、倒伏防止技術など多くの解決すべき難関がある[26][62][72]。従って、多様化している育苗様式のもつそれぞれの長所を生かし、欠点をその他の栽培技術で補いつつ使い分けていくことが経営的にみて最も得策であろう。

育苗様式の差異は、大きくみて、初期生育の良否と生育遅延程度に差異をもたらす。地帯、土壌型、品種の早晩性と耐冷性の強弱、さらには米の用途によって育苗様式の使い分けが可能であり、そのためには育苗様式ごとの本田栽培管理に関するきめ細かな処方箋が求められる。本研究はそのような要求に対し、情報を提供するために行ったものである。

しかし、本研究は透水性がよく、窒素に対する反応性の高い褐色低地土において行ったものであり、また品種も多肥多収性で倒状に強い早生の「イシカリ」を中心とし、一部「ゆきひかり」を使用したに過ぎないので、これらの限定条件を念頭において以下に考察を進めたいと思う。

水稲の生育進度は主稈葉数、出葉速度に律せられ[1][2]、育苗様式、本田の気象環境および栽植密度、施肥などの栽培条件にも強く支配される。

本研究で対象とした育苗様式を比較すると、生育経過からみると成苗ポット苗水稲は初期生育が最もすぐれ、その後の生育も安定しており、生育過剰による登熟の遅延も少なく、冷温下での安定性もすぐれていた。稚苗水稲は生育初期の根の発達が遅れ、分げつ盛期に至って密植のため圃場面積当りの茎数が多くなり、冷温条件下では出穂遅延が大きく、冷温安定性の面で劣った。中苗水稲の生育相は、生育前半は稚苗水稲に類似しているが冷温下での生育遅延の程度は小さく、より安定的である。

収量性についてみると、稚苗水稲は穂数の確保は最も容易である反面、一穂籾数が少なく、成苗水稲や中苗水稲に比べて総籾数の確保の面で劣っている。一方、中苗水稲は稚苗水稲に比べて穂数が幾分少ないが、一穂籾数は中位で総籾数の確保の面では稚苗水稲にまさり、成苗水稲並みの籾数が得られる。

登熟性は成苗ポット苗水稲が最もまさり、籾数が増加しても水稲体の窒素栄養状態が中庸で生育過剰とならず、適度の葉面積指数[67]を保ち出穂後の乾物生産能率が高いために登熟歩合の低下度合が小さいためである。稚苗水稲についても成苗水稲や中苗水稲に比べて同一籾数における登熟歩合が高い利点が認められたが、これは稚苗水稲は密植のため穂揃いがよく、葉の直立[54][79][121]することによると考えられる。しかし、生育後半に体内窒素含有率の低下が著しいために登熟期の単葉の同化能力が低い[66][113]ことが推定される。

図19に「イシカリ」を用いた成苗水稲、中苗水稲、稚苗水稲の基肥窒素８、10、12kgN／10ａの処理区について、玄米収量、総籾数、登熟歩合の関係を一括した。ここでは、稚苗水稲は1975～1977年の３か年、中苗水稲は1978～1981年の４か年、

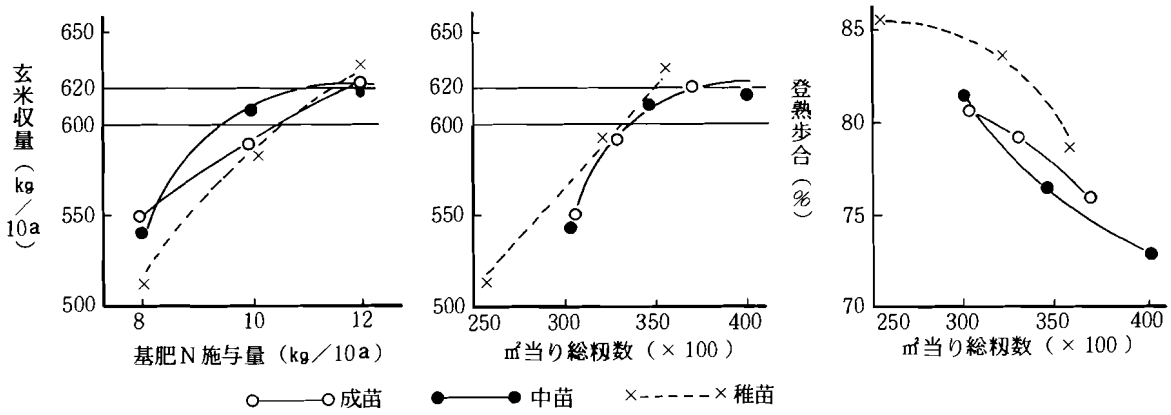

図19　育苗様式による収量性の差異（イシカリ、1975～1981年）

成苗水稲は1975～1981の平均値を用いたので、年次間差を考慮しなければならないが、これらの年次の収量や気温[74]からみてこれらをほぼ比較できるものと判断した。

まず、稚苗水稲の場合、12kgN／10aで総籾数が35,000粒／㎡程度であるが、その範囲内では窒素施与量の増加による籾数の増加に対応した登熟歩合の低下が小さく、総籾数の増加がほとんどそのまま玄米収量に反映する。すなわち、稚苗水稲では総籾数と玄米収量の関係は直線的である。一方、中苗水稲では、8kgN／10aで成苗水稲とほぼ同等の30,000粒／㎡を得ており、窒素施与量を増すことによる総籾数の増加度合は成苗水稲よりも大きく、10kgN／10aで35,000粒／㎡に達し、収量もほぼ頭打ちとなる。この段階では成苗水稲や稚苗水稲に比べて明らかに収量が高いが、さらに窒素を12kgN／10aとすると、総籾数は40,000粒／㎡となり、登熟歩合の低下も大きく、収量は横ばいとなる。このように、中苗水稲では窒素を8kgN／10aから10kgN／10aに増施した効果は稚苗と同様に大きいが、籾数が過大となり登熟歩合が急激に低下し易く、稚苗水稲に比べて窒素過剰の悪影響が出易いと判断される。

本研究の範囲内での最高収量は620kg／10a前後で、育苗様式間に大差なく、総籾数も36,000～37,000粒／㎡であった。この時の窒素の施肥量は成苗水稲と稚苗水稲では12kgN／10a、中苗水稲では10kgN／10aであった。

すなわち、最適籾数[14) 13) 61) 110) 122)]には育苗様式による差異が認められなかったが、これを達成するための窒素の施与量に差異が認められ、中苗水稲は成苗水稲や稚苗水稲に対して2kgN／10a少ない窒素量で籾数を確保できるが、収量の頭打ちも籾数の少ない段階で起き易いことを示している。

これに対して稚苗では、通常の年には受光態勢がよく、登熟歩合が高いので、総籾数が多く確保された時には登熟期間の葉身の窒素含有率を高め[12) 120)]、同化能力を高めることにより増収が期待できる。このことは本研究において基肥窒素10kgN／10aに止葉期2kgN／10aの追肥によって700kg／10aの収量を上げたことによって実証された。

さて、北海道では冷害対策として窒素の分施法を奨めている[106)]が、幼穂形成期の追肥は不稔の発生を助長することから危険視されてきた。しかし、褐色低地土においては、稚苗水稲の場合基肥窒素量が少ない時には、肥料切れが早期に起こり、窒素含有率の低下も大きく、一穂籾数の減少を招き総籾数の減少をきたすので、幼穂形成期前後から

幼穂形成期１週間後の早目の追肥も必要となる。稚苗水稲の最高分げつ期は成苗水稲に比べて幼穂形成期に近く、この時期の窒素含有率も低く推移するので、基肥窒素８kgN／10ａに対する幼穂形成期の２kgN／10ａ程度の追肥では生育過剰を招いたり、不稔発生[1]、倒伏、登熟遅延を起こす危険は少なく、基肥を多施するよりは安全である。もちろん品種によって基肥窒素の適量が異なり、追肥時期の優劣も認められる[11~13) 61]ので充分考慮する必要がある。

中苗水稲については、基肥窒素８kgN／10ａで総籾数30,000粒／㎡は容易に確保され、窒素の増施は過繁茂と籾数過多になり易いため、幼穂形成期追肥は肥料切れが強く起こった時に限り行う。

この場合、基肥窒素量は成苗並みの８kgN／10ａに抑えて適度な籾数を確保したうえで登熟性を高めるための止葉期追肥を行うことが最も安全である[21]。

成苗ポット苗水稲については、試験年次が高温年と遅延型冷害年の両極端の年であった。

遅延型冷害年にはそのすぐれた活着力と初期生育のよさが力を発揮し、登熟遅延が緩和され減収程度が小さかった。高温年においては止葉期前10日ごろに窒素吸収が停滞し、穂数の減少や千粒重の低下によって減収し、基肥窒素施与量を増しても成苗水稲を上回ることはなかった。成苗ポット苗水稲は葉面積指数は比較的小さく、受光態勢もよいことから、基肥窒素量を成苗水稲よりも２kgN／10ａ程度増施することも可能であるが、安全性の面からは成苗水稲と同じく８kgN／10ａとし、分げつ盛期（幼穂形成期前７日ころ）の追肥と止葉期追肥の併用により多収をねらい得る[22]。褐色低地土ではこのように高温年では窒素不足になり易いが、窒素供給量の多い土壌や初期生育不良地帯では成苗水稲並みの施肥量では後期に生育過剰となることもあり[22]、土壌窒素供給量の多少を見極めることが大切である。

以上要するに、育苗様式による差異は、(a)苗令を主とする苗素質の差と(b)１株苗本数を主とする栽植密度に帰因する養分吸収の遅速、穂数と一穂籾数の構成比の差に解析できる。なお、育苗様式による最適総籾数の差異はないが、それを達成するための基肥窒素の適量には差があり、さらに草型の差異による登熟性の良否と生育相の遅延程度によって施肥法が異なってくる。

最後に、各育苗様式の主な栄養生理的特性の差異とそれに対応した施肥管理法について集約すると次のとおりである（表36）。

表36　育苗様式別の特性と施肥法の集約表

特性 ＼ 育苗様式（苗令 栽植密度*）	稚苗水稲（2.0～2.5葉 25株〔4～5本〕）	中苗水稲（3.1～3.5葉 25株〔4～5本〕）	成苗ポット苗水稲（4.0葉 22～25株〔2～4本〕）
Ⅰ　冷温安定性	弱	中	強
1)冷温活着性	中、成苗にまさる	成苗に劣る	成苗にまさる
2)生育相の遅延程度			
最高分げつ期	成苗より7～10日早い	稚苗に類似、冷温による遅延は小さい	成苗に類似
幼穂形成期・出穂期	成苗より2～5日遅い	成苗より1日遅い	成苗より1日早い
Ⅱ　収量性	—	—	—
1)籾数の確保	成苗よりも少ない	成苗並み	成苗よりもやや少ない
穂数確保	容易	容易	中、成苗に劣る
一穂籾数	少	稚苗よりも多	成苗並み
2)登熟歩合、千粒重	同一籾数では成苗よりも登熟歩合が高い	籾数過多となり易く、登熟歩合が低下し易い	籾数が多くても登熟歩合が高い、千粒重やや小
3)受光態勢	短稈、直立葉で、LAIが小さく成苗にまさる	LAIが大きく、成苗に劣る	LAIが小さく、草型もよい
4)耐倒伏性	稈長、下位節間は短いが稈質は弱い	稈長は成苗並みで、稈質は弱い	稈長、下位節間が短く、成苗よりもやや強い
Ⅲ　N反応性	大	小	中
1)幼穂形成期前後の茎葉のN含有率	中、成苗よりかなり低い	成苗並み	成苗よりも分げつ期から止葉期にかけて低い
2)幼穂形成期から止葉期のN吸収	停滞し易い	稚苗に類似するが、生育に対する影響は比較的小さい	成苗に比べて止葉期の10日前ころからやや劣る
3)基肥N増施	籾数の増加により増収率が高い	籾数過剰で増収率が低い	籾数、千粒重の増加により増収する
4)追肥N反応	幼穂形成期追肥の効果大 止葉期追肥の効果もある	追肥効果は小さい	分げつ期追肥の効果がある
施肥法　基肥N適量	10kg N/10a	8 kg N/10a	10kg N/10a
施肥法　増収のためのN施肥法	基肥8 kg＋幼形期2kg N/10a 基肥10kg＋止葉期2kg N/10a	基肥8 kg＋止葉期2kg N/10a	基肥8kg＋幼形期前7日2kg＋止葉期2kg N/10a

注）＊㎡当りの株数、〔　〕内は1株苗本数。

第Ⅵ章　摘　　要

北海道における水稲の機械移植は1970年ころの稚苗水稲に始まり、1976年の冷害を契機に中苗水稲へと移行し、現在は中苗のマット苗型式が主体となっている。さらに、近年では冷温安定性をより高めるべく成苗の機械移植の実用化が開始されている。

本道におけるこれらの育苗様式水稲のそれぞれについての本田における栄養生理的解析例は極めて少ないので、本報告では稚苗水稲、中苗水稲（ともに箱マット型式)、成苗水稲（成苗ポット苗）を対象に、本田での窒素を中心とした栄養生理的特性を明らかにする目的で、1974年から1984年にわたって上川農業試験場の褐色低地土の水田で行った試験結果について検討した。なお、基準施肥量は８kgN／10ａとし、栽培方法は北海道水稲機械移植栽培基準に従い、育苗様式の比較は手植成苗を基準として行った。

得られた結果の概要は次のとおりである。

１．稚苗水稲の特性

１）幼穂形成期および出穂期は２～５日遅れたが、最高分げつ期は７～10日早く、有効茎終止期も５～７日早まった。

２）穂数は明らかに多いが、一穂籾数が著しく少ないため総籾数は劣る場合が多く、登熟歩合は大差ないが、千粒重がやや小さく、基準施肥量では玄米収量が劣る傾向があった。

３）幼穂形成期から止葉期にかけての乾物生産量ならびに窒素吸収量が少なく、そのために一穂籾数が少なく、有効茎歩合が低い。

４）短稈、短穂で、下位節間は短いが、稈が細く、耐倒伏性は弱い。

５）上位２葉の葉身長が短く、直立するため登熟期の受光態勢がよく、葉面積指数が大きいわりに群落相対照度が高い。

６）基肥窒素の増施により、有効茎歩合、一穂籾数および総籾数が増し、収量が増加する。10kgN／10ａ以上の窒素施与量では成苗水稲の収量に匹敵し、最高収量は12kgN／10ａで得られた。

７）稚苗水稲の根は分げつ盛期までは表層分布型であり、表層施肥および条間施肥窒素の吸収率が高い。

８）(a)分げつ初期の冷温は茎数と根数を減少させるが、その後自然条件にもどすと、葉数＞草丈≫地上部窒素吸収量≒乾物重＞茎数の順に回復する。(b)分げつ盛期の冷温は成苗水稲では穂数が減少するが、稚苗水稲では逆に増加し、出穂は２～４日遅延し、後発穂が多くなり、出穂期間が延長する。(c)幼穂形成期から止葉期の冷温により、栄養生長が助長され、一穂籾数が増加し、不稔粒が多くなり、この傾向は特に窒素増施で顕著である。(d)幼穂形成期前後の冷温処理は、体内のアスパラギン、グルタミン、全糖含有率を高め、栄養生長を助長する。

９）窒素の追肥効果は、(a)幼穂形成期＞止葉期≒分げつ期施与の順で、幼穂形成期追肥の効果は成苗水稲より高い。(b)幼穂形成期追肥は、窒素の吸収率が高く、それによる穂数および一穂籾数の増加は成苗水稲よりも大きいが、登熟歩合の低下度合もやや大きい。

２．中苗水稲の特性

１）茎数の推移は稚苗型で、有効茎終止期は成苗水稲より４～６日早く、有効茎歩合、一穂籾数なども稚苗水稲に近いが、幼穂形成期や出穂期の遅れは１日程度で、成苗に近い。

２）幼穂形成期までの乾物生産および窒素吸収は旺盛で稚苗水稲に類似しているが、著しい冷温年の初期生育は稚苗水稲よりも旺盛である。

３）幼穂形成期から止葉期の乾物生産と窒素吸収は、稚苗水稲と同様に停滞しがちであるが、穂数が幾分少ないため一穂籾数の低下度合は小さ

い。出穂期以降の乾物生産量および窒素吸収量は成苗水稲に類似である。

4）成苗水稲に比べて葉面積指数が大きく、窒素施与量を増すことによる増加度合が大きく、群落相対照度や耐倒伏性は窒素10kgN／10aを境にして著しく悪化した。従って、基肥窒素施与量は10kgN／10aが限界であり、成苗水稲と同様に基肥8kgN／10aとし、止葉期に追肥することが望ましい。

3．成苗ポット苗水稲の特性

1）苗は窒素およびりん酸含有率が高く、乾物重も大きく健苗の素質をもち、移植後の根の生長が良好で、初期の生育・窒素吸収が旺盛で、この促進効果は冷温年に特に顕著で登熟の遅延を軽減する。

2）収量性はおおむね成苗水稲に類似するが、高温年には窒素施与量が少ないと、穂数の減少、千粒重の低下により減収する。窒素施与量に対する反応性が強く、成苗水稲と同等の収量を得るには2kgN／10a程度の増肥が必要で、最高収量は12kgN／10aで得られた。

3）葉面積指数は成苗水稲よりも小さく、稈長、下位節間長はともに短く、登熟期の受光態勢がまさり、同一籾数を得た場合の登熟歩合は、成苗水稲や中苗水稲に比べて高い。

4）生育初期の乾物生産が旺盛なため、分げつ期から止葉期にかけて体内窒素含有率が低下し、止葉期の10日位前から窒素吸収が幾分停滞気味となる傾向がある。基肥窒素施与量が少ない場合には穂数と千粒重の低下の原因となるので、分げつ盛期（幼穂形成期前7日ころ）追肥と止葉期追肥の組合せが有効である。

謝　　辞

本論文の取りまとめに当っては、北海道大学農学部教授田中明博士に終始懇切なるご指導をいただき、さらに本稿のご校閲を賜った。また、北海道大学農学部教授佐久間敏雄博士、および木下俊郎博士には本稿のご校閲をいただき有益なご助言をいただいた。ここに深甚なる謝意を表する。

道立十勝農業試験場長南松雄博士にはこの研究の端緒を賜り、研究遂行上多くの便宜とご指導をいただき、かつ取りまとめの機会を与えていただいた。心から謝意を表する。

道立上川農業試験場長として在任された島崎佳郎博士、森哲郎氏、長内俊一博士、そして現場長仲野博之氏にはご激励とご援助を賜った。元道立中央農業試験場長中山利彦博士、元道立根釧農業試験場長松代平治氏、元道立天北農業試験場長後藤計二氏、前道立滝川畜産試験場長奥村純一博士、道立根釧農業試験場長岩淵晴郎博士、道立道南農業試験場長大垣昭一氏、道立中央農業試験場農芸化学部長高尾欽弥氏、同環境資源部長大崎玄佐雄氏には研究の途次ならびに取りまとめ中有益なるご助言とご激励をいただいた。心から謝意を表する。

研究遂行時に道立上川農業試験場土壌肥料科に在籍した藤原耕治氏（現島根県農業試験場）、土居晃郎氏（現道立中央農業試験場環境保全科長）、木村清氏（現上川農業試験場主任研究員）には共同研究者として絶大なる御協力をいただいた。また、山口正栄氏（現上川農業試験場総括専門技術員）、野崎輝義氏（現中央農業試験場研究職員）、前田要博士（現中央農業試験場専門技術員）とは論議をともにしご助言をいただいた。さらに上川農業試験場土壌肥料科の坂本宣崇博士（現土壌肥料科長）、同科研究職員長谷川進氏、野村美智子氏、横井義雄氏、三浦周氏には実験・データ整理等多くのご援助をいただいた。道立上川農業試験場管理科職員、同場臨時職員各位には圃場管理と調査に絶大なるご協力をいただいた。

以上の各位に対し深甚の謝意を表する。

引 用 文 献

1) 天野高久：水稲の冷害に関する作物学的研究．道立農試報告，46，1－55（1984）
2) 天野高久・小川勉・砂田喜与志：水稲の生育促進に関する研究（第1報）育苗法と出穂ならびに生育との関係．道立農試集報，27，26－35（1973）
3) 天野高久・小川勉・森脇良三郎：水稲の生育促進に関する研究（第2報）機械移植栽培における生育促進法．道立農試集報，30，25－31（1974）
4) 千葉泰弘・遠藤征彦・君成田陛・高橋和吉：散播5葉指向苗を主体とした機械移植水稲の耐冷安定化技術（第6報）本田施肥法について．東北農業研究，33，21－22（1983）
5) 近井謙二：水稲の機械移植栽培における施肥法と秋落型生育の改善．農及園，56，23（1981）
6) 土居晃郎・古山芳広：水稲に対する側条施肥の表層施肥効果．北農，52，45－56（1965）
7) 藤井義典：水稲における分岐根の発達について；その2．日作紀，29，66－68（1959）
8) 藤原彰夫．石井博：冷害稲の栄養生理（第1報）栄養生長期における低温処理の影響．日土肥誌，34，97－100（1963）
9) 藤原彰夫・石井博：冷害稲の栄養生理（第2報）最高分げつ期における低温及び遮光処理の影響．日土肥誌，34，102－106（1963）
10) 藤原耕治・南松雄・古山芳広：機械移植による稚苗水稲の生理生態的特性について．道立農試集報,44，62－71（1980）
11) 古山芳広・南松雄：水稲品種の栄養生理的特性に関する研究（第1報）品種の生理生態特性と基肥Nの反応性．道立農試集報，28，1－12（1973）
12) 古山芳広・南松雄：水稲品種の栄養生理的特性に関する研究（第2報）品種の生理生態特性と追肥窒素の反応性．道立農試集報，29，148－160（1974）
13) 古山芳広・藤原耕治・南松雄：水稲品種の栄養生理的特性に関する研究（第3報）^{15}Nトレーサー法による施肥窒素の吸収利用特性．道立農試集報，30，32－44（1974）
14) 古山芳広・南松雄：水稲品種の栄養生理的特性に関する研究（第4報）根系発達とN吸収特性．道立農試集報，39，42－53（1978）
15) 古山芳広・坂本宣崇・野村美智子：水稲に対する各種りん酸資材多量施用の影響．日土肥要旨集，29－Ⅱ，207（1983）
16) 北海道立中央農業試験場：昭和51年北海道水稲冷害要因の技術解析．道立農試資料，7（1977）
17) 北海道立中央農業試験場：北海道農業の現状と将来－試験研究からの展望－．道立農試資料，14（1982）
18) 北海道立中央農業試験場：昭和55年から58年連続異常気象と水稲生育の技術解析．道立農試資料17（1985）
19) 北海道立上川農業試験場：北海道上川地方における昭和44年度異常気象下の水稲生育に関する技術解析．上川農試調査資料，1（1970）
20) 北海道立上川農業試験場：水稲に対する深層追肥用化成の肥効試験．北海道農業試験会議資料（1971）

21)　北海道立上川農業試験場：中苗機械移植水稲の施肥法に関する試験．北海道農業試験会議資料（1982）
22)　北海道立上川農業試験場：成苗ポット苗水稲の栄養生理的特性と窒素の施肥法．北海道農業試験会議資料（1985）
23)　北海道農業試験場：北海道農業技術研究史，北農会．103－161（1968）
24)　北海道農務部：昭和55年普及奨励ならびに指導参考事項（1980）
25)　北海道農務部：昭和59年普及奨励ならびに指導参考事項（1984）
26)　北農会：北海道農業と土壌肥料．北農研究シリーズ，Ⅲ,302－308（1969）
27)　本田靖・臼田純雄：水稲苗に関する生理生態学的研究・日作紀，27，429－431（1959）
28)　星川清親：稚苗・中苗の生理と技術．農山漁村文化協会・（1977）
29)　星野達三・柿本彰・佐竹徹夫：寒地に於ける水稲栽培の解析的研究（第１報）栽植密度、特に株間距離と株内本数との関係について、北農試彙報，72，28－35（1957）
30)　伊田黎之輔・下田健之介・石脇勇：水稲収量水準向上の阻害要因の解明とその改良に関する研究（第３報）稚苗移植水稲の短穂化現象に関与する二、三の要因について．鳥取県農試研究報告，21，101－109（1984）
31)　飯田周治：稚苗機械移植栽培の施肥対策．農及園，47，307－311（1972）
32)　石塚喜明・田中明：水稲に対する施肥の位置に関する研究，日土肥誌，33，88－92（1962）
33)　石塚喜明・田中明・広瀬晃：水稲の冷害に関する研究（第１報）水稲の冷害と物質の体内移動．日土肥誌，33，286－290（1962）
34)　石塚喜明・田中明：水稲の栄養生理，養賢堂．81－92，225－231（1963）
35)　伊藤延男：イネの冷温障害－とくに遅延型冷害について－．農及園，50，1465－1470（1975）
36)　伊藤延男：イネの冷温障害－とくに遅延型冷害について－．農及園，51，261－266（1976）
37)　伊藤俊一・三浦貞幸・高橋英一：稚苗移植栽培の植付深．東北農業研究，11，68－70（1970）
38)　川島栄・田辺猛：水稲の紙筒移植に関する研究（第１報）紙筒移植が水稲の生育ならびに収量におよぼす影響．日作紀，39，383－390（1970）
39)　木戸賢治・小川勉：寒冷地におけるわか苗の生育相について．北農，35，８－14（1968）
40)　木根淵旨光：水の管理と水稲の養分吸収．農及園，43，1091－1094（1968）
41)　木根淵旨光：水稲稚苗栽培技術の確立ならびに機械化技術における実証的研究．東北農試研究報告，38，１－151　（1969）
42)　木内知美・石阪英男：水稲の収量形成過程におよぼす栄養条件の影響（窒素）．日土肥誌，31，289（1960）
43)　今野一男・渡辺公吉・稲津脩：中苗機械移植水稲に対する窒素施肥（第１報）基肥および初期追肥の効果．道立農試集報，47，１－12（1982）
44)　今野一男・渡辺公吉・稲津脩：中苗機械移植水稲に対する窒素施肥（第２報）幼穂形成期以降の追肥の役割．道立農試集報，51，33－42（1984）
45)　小管伸郎：湛水土壌における脱窒の研究．農及園，54，495－500（1979）
46)　小山雄生：^{15}N 利用による水田土壌窒素肥沃度測定の実際と生産力．日土肥誌，46，260－269（1975）
47)　玖村敦彦：水稲における葉身の窒素濃度が収量構成要素に及ぼす影響．日作紀，24，177－180

(1956)
48) 前田要：北海道の強粘質水田の理工学性と排水不良対策に関する研究．道立農試報告，42，38－43（1983）
49) 前田要・稲津脩・水野直治：湿田土壌の動態と水稲の生産性向上に関する研究（第３報）土壌環境に対応したりん酸施肥法の改善．日土肥要旨集，30－Ⅱ，229（1984）
50) 前田乾一：最近における施肥とその問題点．農及園，57，145－150（1981）
51) 松実成忠・三宅正紀・石塚潤爾：寒地水稲の栽培技術改善に関する研究（第１報）移植にともなう稲体内諸成分の消長．北農試彙報，76，42－45（1961）
52) 松島省三：水稲収量の成立と予察に関する作物学的研究、農技研報告，A5，１－271（1957）
53) 松島省三：水稲収量成立原理とその対応に関する作物学的研究（第９報）水稲登熟機構の研究．日作紀，27，201－203（1958）
54) 松島省三・田中孝幸・星野孝文：水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究．第73報過繁茂の場合における稲体の受光態勢による登熟歩合診断の研究．日作紀，34，25－29（1966）
55) 松浦欣哉・岩田忠寿・長谷川毅：水稲の深層追肥の効果に関する研究．日作紀，38，215－221（1969）
56) 御子柴穆：施肥位置と栽培技術，水稲の施肥位置．日本土壌肥料学会編，博友社，139－194（1983）
57) 三本弘乗：東北地方北部における水稲苗の活着に関する研究．青森県農試研究報告，27，１－69（1983）
58) 南松雄・多賀辰義：寒地水稲の窒素代謝に関する研究（第１報）窒素追肥の影響．道立農試集報，21，89－102（1970）
59) 三宅正紀・星忍：北海道における水稲栽培法の比較．北農試彙報，75，53－59（1960）
60) 三宅信・小川昭夫・木村裕顕：水稲稚苗育苗の施肥法について．栃木県農試研究報告，15，21－28（1971）
61) 深山政治・岡部達雄：水稲の品種特性と最適窒素保有量．日土肥誌，55，１－８（1984）
62) 宮坂昭：北海道の稲作．農及園，59，197－203（1984）
63) 水野直治・小林荘司：北海道稲作の施肥実態および窒素栄養と生産性の関係．北農，52，29－44（1985）
64) 森敏夫：水稲根の太さの組織学的解析．日作紀，28，12－14（1959）
65) 村上利男：水稲多収栽培の水管理．農業技術，22，205－210（1967）
66) 村田吉男・長田明夫・猪山純一郎：水稲の光合成に関する研究（第７報）肥料条件及び栽植密度を変えた場合の光合成作用．日作紀，26，159－164（1957）
67) 村田吉男・猪山純一郎：水稲の光合成に関する研究（第９報）密植多肥条件下の水稲の光合成作用と乾物生産．日作紀，27，９－11（1958）
68) 長井保・広田秀憲：根の特性からみた栽培稲品種（第１報）苗代放置稲の二三の生態について，（第２報）根径，発根その他の特性について．日作紀，27，217－220（1958）
69) 長井保・吉田茂政・立道美朗：根の特性からみた栽培稲品種（第７報）根の量的形質に関する二三の考察．日作紀，30，137－142（1961）
70) 西潟高一・藤森信四郎・藤村利夫・藤田勇・首藤良一：水稲の施肥法について，北農，27，９－

18（1960）
71）新田政司・吉田功三・岡島正昭・佐々木忠勝：成苗機械移植栽培法—みのる樹脂ポット—　東北農業研究，31，27－28（1982）
72）農業研究センター編：地域低コスト稲作技術体系確立試験研究，昭和59年度試験研究成績書（1985）
73）農林水産省北海道統計情報事務所：北海道農林水産統計年報（総合編）昭和58～59年．70－71（1984）
74）農林水産省北海道統計情報事務所：北海道の農業情勢（地域構造分析）．24－25（1985）
75）岡本将宏・長谷川清善・西川吉和・大橋恭一・中田均：機械移植水稲の施肥配分が物質生産と窒素収支に及ぼす影響（第１報）生産構造と窒素吸収について．日土肥要旨集，29，150（1983）
76）岡本将宏・大橋恭一・西川吉和：機械移植水稲の施肥配分が物質生産と窒素収支に及ぼす影響（第２報）施肥配分と１株苗数について．日土肥要旨集，30，173（1984）
77）岡崎暁：水稲機械化稚苗移植の栽培上の問題点．農及園，44，483－486（1969）
78）岡島正昭・佐藤隆・米沢確・高橋修・遠藤征彦・上野剛・宮部克己：散播５葉指向苗を主体とした機械移植水稲の耐冷安定化技術（第７報）総合技術実証と評価．東北農業研究，33，23－24（1983）
79）奥山隆治、栃木喜八郎、外山宏樹：水稲の収量向上に関する実証的研究（第２報）稚苗栽培について．栃木農試研究報告，15，11－19（1971）
80）小野允：施肥法の開発－側条施肥技術．東北農業研究，34，43－50（1984）
81）大平幸次：近代農業における土壌肥料の研究，水稲の窒素代謝；遊離アミノ酸について．日本土壌肥料学会編，養賢堂．159－165（1970）
82）太田保夫・李鐘薫：水稲の地上部の形質におよぼす根の役割に関する研究（第１報）草型の異なる品種の地上部形質と根の形質との関係．日作紀，39，487－495（1970）
83）大山信雄：東北地方の水稲栽培における側条施肥法．日土肥誌，56，343（1985）
84）李鐘薫・太田保夫：水稲の地上部の形質におよぼす根の役割に関する研究（第５報）施肥位置および施肥量のちがいが根と地上部形質におよぼす影響，日作紀，40，217－222（1971）
85）斉藤準二・今野一男：北海道における早播熟苗栽培法．農業技術，21，１－５（1966）
86）斉藤準二・片岡孝義：水稲の稚苗移植栽培における低温活着性と地域適応性について．北農，36，38－44（1969）
87）斉藤満保・石川雄紀：成型ポット苗の栽培特性．東北農業研究，35，25－26（1984）
88）坂本宣崇・古山芳広・岩渕晴郎：寒地水稲における移植後の気温と表層施肥効果の発現との関係．道立農試集報，53，51－60，（1985）
89）桜井一男・徳山順一・千葉満男・鈴木次男：水稲箱育苗における尿素の移植直前の施用について．東北農業研究，29，21－22（1981）
90）佐々木一男・和田定：イネの冷害不稔発生に及ぼす窒素，燐酸，および加里の影響．日作紀，44，250－254（1975）
91）佐々木忠勝：五葉苗の育苗法と耐冷性．東北農業研究，34，31－42（1984）
92）佐竹徹夫：北海道における昭和55年水稲冷害の実態と技術的要因．農業技術，36，193－199（1981）
93）佐竹徹夫：障害型冷害におけるイネの雄性不稔（１）．農及園，46，1534－1538（1971）

94) 佐竹徹夫：障害型冷害におけるイネの雄性不稔（2）．農及園，46，1675－1680（1971）
95) 佐竹徹夫：障害型冷害におけるイネの雄性不稔（3）．農及園，47，285－290（1972）
96) SATAKE，T.，I．NISHIYAMA，N．ITO and H．HAYASE：Male Sterility caused by Cooling Treatment at the Meiotic Stage in Rice plants (1)Methods of growing rice plants and inducing sterility in the phytotron. Proc.Crop Sci.Soc.Jap., 38, 603—609 (1969)
97) SATAKE，T., and H．HAYASE：Male Sterility Caused by Cooling Treatment at the Young Microspore Stage in Rice Plants (5)Estimations of pollen developmental stage and the most sensitive Stage to Coolness. Proc.Crop. Sci.Soc.Jap., 38, 468—473 (1970)
98) 佐藤福男・小野允・阿部仁：5葉苗の養分状態と低温抵抗性．東北農業研究，29，63－64（1981）
99) 佐藤庚：稲の籾殻の大きさの意義について．日作紀，37，454（1969）
100) 佐藤庚：環境に対する水稲の生育反応（第3報）日長と温度が生育と体内成分に及ぼす影響．日作紀，43，402－409（1974）
101) 佐藤庚：環境に対する水稲の生育反応（第4報）気温・地温が ^{14}C 同化産物の転流・分配に及ぼす影響．日作紀，43，410－415（1974）
102) 関矢信一郎・志賀一一：北海道における水田土壌中の窒素の動態と窒素吸収パターンについて．日土肥誌，46，280－285（1975）
103) 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎：時期別の気温・水温処理が水稲の生育に及ぼす影響（第1報）昼夜別気温・水温および処理日数と不稔歩合との関係．日作紀，39，401－408（1970）
104) 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎：時期別の気温・水温処理が水稲の生育に及ぼす影響（第2報）昼夜別気温・水温および処理日数と出穂期との関係．日作紀，42，267－274（1973）
105) 柴田和博・柳川忠男・佐々木一男・和田定：水稲新品種「イシカリ」の育成について．道立農試集報，25，22－34（1972）
106) 志賀一一：北海道における水田施肥について．北農，43，1－34（1968）
107) 志賀一一：稲作における施肥（土づくりを含む）技術の現状と見通し．農及園，59，141－147（1984）
108) 志賀一一・関矢信一郎：寒地における高収水稲のための窒素供給法（第1報）基肥窒素の役割と限界．北農試研究報告，116，121－138（1976）
109) 志賀一一・宮崎直美・遠藤和雄：寒地における高収水稲のための窒素供給法（第2報）幼穂形成期及び止葉期の追肥について．北農試研究報告，117，31－44（1977）
110) 志賀一一・柿本彰・土井康生・栗崎弘利・三宅正紀・関矢信一郎・片岡正義：高位収穫田の環境と水稲特性の解析．北農試彙報，99，30－40（1971）
111) 島隆三郎・石原信一郎：水稲の稚苗移植栽培に関する研究－作季の移動が生育収量に及ぼす影響．富山県農試研究報告，5，1－11（1972）
112) 島田晃雄：養分吸収よりみた深層追肥（1）．農及園，45，99－103（1970）
113) 島崎佳郎・伊藤延男・土井康生：生育各時期の低温処理が稲の生育に及ぼす影響，特に処理時期及び期間との関係（水稲冷害の解析的研究Ⅱ）．北農試彙報，76，1－8（1961）
114) 島崎佳郎・佐竹徹夫・伊藤延男・土井康生・渡辺潔：穂孕期の低温処理による不稔粒発生要因の解析（水稲冷害の解析的研究Ⅲ）．北農試彙報，83，1－9（1964）
115) 島崎佳郎：北海道における水稲栽培法の特質，水稲の育苗法．北農会編．北農研究シリーズⅣ，

1－42（1972）
116）東海林覚・斉藤昭四郎：稚苗田植水稲の養分吸収パターン．日土肥誌，44，39－40（1973）
117）須藤孝久・中村信夫、佐藤福男・小林次郎：高冷地稲作の耐冷安定化技術－５葉苗の育苗法－．東北農業研究，31，25－26（1982）
118）多賀辰義・南松雄：寒地水稲の窒素代謝に関する研究（第２報）低温処理の影響．道立農試集報，22，34－47（1970）
119）高橋重郎・和田源七・庄子貞雄：水田における窒素の動態と水稲による窒素吸収について（第７報）窒素吸収パターンと水稲の生育・収量構成要素．日作紀，45，220－225（1976）
120）高橋治助・柳沢宗男、河野通佳・矢沢文雄・吉田武彦：作物の養分吸収に関する研究．農技研報告，B4，1－166（1955）
121）竹川昌和・砂田喜与志：寒地稲の子実生産の解析的研究（第１報）栽植密度が生育相と受光態勢に及ぼす影響．道立農試集報，30，16－24（1974）
122）竹川昌和：寒地水稲の子実生産の解析的研究（第２報）栽植密度と施肥法が生産態勢と子実収量に及ぼす影響．道立農試集報，32，8－17（1975）
123）竹島溥二：水稲生育におよぼす地温の研究（第３報）三要素および水分の吸収におよぼす Age の差異並びに地下部変温の影響．日作紀，32，319－329（1964）
124）田辺猛・川島栄：水稲の紙筒移植に関する研究（第２報）紙筒育苗水稲の苗令．移植の深浅ならびに培土がその後の生育収量に及ぼす影響．日作紀，39，391－396（1970）
125）田中明：葉位別に見た水稲葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究（第11報〔完〕）各葉位葉の同化作用力及び同化産物の移動．日土肥誌，29，327－333（1958）
126）田中明・山口淳一・島崎佳郎・柴田和博：草型よりみた北海道における水稲品種の歴史的変遷．日土肥誌，39，526－534（1968）
127）田中稔：51年の水稲冷害と技術対策．農及園，51，1469－1474（1976）
128）田中典幸・立場久雄・江頭俊雄・杜政則・藤井義典：稚苗機械移植株および成苗移植株における根群の生育について．日作紀（講演要旨），46，7－8（1977）
129）田中良・高橋正道・千葉隆久：成型ポット苗を利用した栽培法．東北農業研究，33，11－12（1983）
130）田中良・佐藤久悦・千葉隆久：水稲の成型ポット苗の育苗日数の短縮及び延長．東北農業研究，35，23－24（1984）
131）TATSUMI，J. and Y. KONO :Translocation of Foliar-Appplied Nitrogen to Rice Roots. Japan. Jour. Crop Sci., 50, 302－310 (1981)
132）戸苅義次：作物試験法．農業技術協会，315－317（1959）
133）外山宏樹・奥山隆治・栃木喜八郎：水稲稚苗栽培における移植の早晩限および栽植密度について　栃木県農試研究報告，15，1－9（1971）
134）津野幸人・清水強：主要作物の収量予測に関する研究（第４報）登熟期における水稲光合成能力と葉身窒素含量との関係について．日作紀，30，325－328（1962）
135）和田源七・庄子貞雄・高橋重郎：水田における窒素の動態と水稲による窒素吸収について（第１報）基肥窒素の吸収．日作紀，40，275－280（1971）
136）和田定・佐々木忠雄：北海道における最近の水稲品種の推移と問題点．農及園，59，387－395

(1984)

137) 和田定・佐々木忠雄：北海道の水稲冷害（1）－昭和58年と最近の冷害年から－．農及園，59，505－510（1984）

138) 和田定・佐々木忠雄：北海道の水稲冷害（2）－昭和58年と最近の冷害年から－．農及園，59，633－638（1984）

139) 和田学：暖地稚苗機械植水稲の収量性の統計的解析．日作紀（講演要旨），46，19－20（1977）

140) 渡辺公吉・今野一男・稲津脩・佐々木幸男：ちっ素施肥反応からみた水稲紙筒移植栽培法の特質について．北農，48，1－15（1981）

141) YAMADA，N and Y. OTA :Physiological Character of Rice Seedlings.Pros.Crop Sci.Soc. Jap., 25, 165--168 (1957)

142) 山田登・太田保夫：水稲苗の素質に関する研究（その2）水苗と畑苗を中心として．農業技術，12，50－57（1957）

143) 山田登・太田保夫・櫛渕欽也：水稲の登熟に関する研究（第1報）登熟における窒素の役割について．日作紀，26，111－115（1957）

144) 山田登・太田保夫：水稲根の呼吸と窒素吸収（水稲根の生理生態的研究，その2）．農業技術，13，341－345（1958）

145) 山口金栄・吉田昭：稚苗の栄養状態と本田での初期生育．東北農業研究，29，19－20（1981）

146) 山本由徳・前田和美・林喜三郎：水稲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）

147) 山本由穂・前田和美・林喜三郎：水稲の植傷みに関する研究（第2報）移植後の体内有機成分含有量並びに生長速度に及ぼす苗の剪根程度の影響．日作紀，47，39－47（1978）

148) 山室成一：水田土壌中における施肥窒素の有機化，脱窒および水稲による吸収．日土肥誌，46，260－269（1975）

149) 吉田武彦・高橋治助：作物根の生理的活性に関する研究（第2報）機能態有機成分含有率の生育時期別変化について（水稲）．日土肥誌，29，252－254（1958）

150) 吉田武彦・高橋治助：作物根の生理的活性に関する研究（第3報）細胞膜成分含有率の生育時期別変化，ならびに乾物構成成分に関する総括的考察（水稲）．日土肥誌，37，63－68（1966）

151) 吉野喬・出井嘉光：水田土壌における施肥窒素の行方および窒素肥料の土壌窒素無機化に及ぼす影響．農事試研究報告，28，91－113（1978）

Methods of Cultivating Rice Seedlings, Using Mechanical Transplantation in Hokkaido and the Corresponding Technique of Nitrogen Application

by

Yoshihiro FURUYAMA

Summary

Mechanical transplantation of rice seedlings was introduced to Hokkaido in about 1970. This was replaced by transplantation of medium-sized seedlings in 1976, due to cool weather damage. This system, using mat-type medium-sized seedlings, is now the standard method of cultivation. Furthermore in recent years, mechanical transplantation of nursery plants has been used to increase stability in cool temperatures.

There are extremely few examples of nutriophysiological studies of paddy fields for the above mentioned methods of cultivation in Hokkaido. This report, therefore, examines the results of experiments with rice plants grown from seedlings, medium-sized seedlings (both using the boxed mat system) and nursery plants (nursery pot-plants).

The studies were carried out at Kamikawa Agricultural Experiment Station, between 1974 and 1984, in paddy fields with brown lowland soil. The aim was to clarify the nutriophysiological characteristics of the different cultivation methods with special reference to the use of nitrogen. The standard application of nitrogen, used, was 8 KgN / 10a. In our experiments we used the standard Hokkaido method of mechanical transplantation. A comparison, was also carried out, between different cultivation methods, using hand-planting. The results obtained are as follows:

1. The Characteristics of Rice Grown from Seedlings

1) Panicle and head formation were both delayed by 2 to 5 days;but the maximum tiller number stage was accelerated by 7 to 10 days, the last productive culm stage was also accelerated by 5 to 7 days.

2) Although a greater number of heads, were produced, there were many cases in which the total number of seeds decreased, since the number of seeds per head was remarkably low. There was no significant difference in the percentage of ripend grain, however thousand grain weight was low. This suggests that the yield of hulled rice is inferior for the standard application amount.

3) There was less dry matter production and nitrogen absorption between panicle formation and last leaf emergence consequently there were smaller numbers of seeds per head and the percentage of productive culms was low.

4) The stalk, the head and inferior internode were short; and the stalks were slender with a low wind resistence.

5) The length of the upper 2 leaves was short and the stand geometry, at the ripening stage, was favourable due to the plants' upright stance. Consequently, the relative illuminance of the canopy was high, in spite of the large leaf area index.

6) By increasing the basal nitrogen dressing, the percentage of productive culms, the number of seeds per head and the total number of seeds all increased, also the yield increased too. When the application amount of nitrogen was increased above 10 kgN/10a, the yield was equal to that achieved by nursery plant cultivation.
The highest yield was obtained using 12 kgN/10a.

7) The roots of rice plants, grown from seedlings, showed the type of surface distribution seen prior to the active tillering stage; and the nitrogen absorption rate was high, after application to the surface and interrow spaces.

8) (a) Cool temperature,during the first tillering stage,decreased the numbers of stems and roots. However,when the plants were returned to natural conditions they recovered in the following order: leaf number $>$ stem length $\gg$ nitrogen absorption amount in the stalk $\fallingdotseq$ dry weight $>$ stem number. (b) Although cool temperature, during the active tillering stage, decreased the number of heads in rice grown from nursery plants; it actually increased the number for plants grown from seedlings. Head formation was delayed by 2 to 4 days, but the resulting number of heads increased and the heading period was prolonged. (c) The use of cool temperature between panicle formation and last leaf emergence promoted vegetative growth. The number of seeds per head also increased, together with the percentage of sterile panicles. This trend was even more apparent when the application of nitrogen was increased. (d) Cool temperature treatment during panicle formation elevated asparagine, glutamine and total sugar levels and promoted vegetative growth.

9) The effects of nitrogen top dressing, at different times, were studied : (a) When applied during panicle formation the best results were achieved; and these were better than those achieved with nursery cultivated plants. The results obtained for application during the last leaf emergence and tillering stages were similar. (b) Top dressing during panicle formation increased the absorption rate of nitrogen. The increases in head number and number of seeds per head were greater than those obtained with rice grown from nursery plants. However, there was a large reduction

in percentage of ripened grain produced.

2. The Characteristics of Rice Grown from Medium-sized Seedlings

1) The change in stem number showed a similar trend to that seen in plants from seedlings. Formation of the last productive stem occurred 4 to 6 days earlier than in rice from nursery plants. The percentage of productive stems, the number of seeds per head and other parameters resembled those seen in rice plants from seedlings. The delay in panicle and head formation and was about one day, similar to that for nursery plants.

2) Although dry matter production and nitrogen absorption before panicle formation were active and resembled that in rice from seedlings; the first growth in extremely cool years was more active than that for rice from seedlings.

3) Dry matter production and nitrogen absorption between panicle formation and last leaf emergence were both slow, similar to the results with rice from seedlings. Although the number of heads produced was lower, the reduction in the number of seeds per head was small. The levels of dry matter production and nitrogen absorption, after head formation, were similar to those for rice grown from nursery plants.

4) The leaf area index was large incomparison to that of rice from nursery plants; and was greatly increased by increasing the level of nitrogen applied. The relative illuminance of the canopy and the wind resistance were significantly reduced with nitrogen applications of more than 10kg／10a. Consequently, 10Nkg／10a is regarded as the limit for the basal dressing; the optimum level is 8kgN／10a. The top dressing was applied during last leaf emergence; the same as for rice from nursery plants.

3. The Characteristics of Rice Grown from Nursery pot-plants

1) The levels of nitrogen and phosphorus were high in the plants, and dry weight was also large. The plants had the appearance of sound seedlings; and root growth after transplanting was favourable. First season growth and nitrogen absorption were both active; this was evident even in years of cool temperature, and the delay in ripening was reduced.

2) The yield resembled that of nursery plants, but in the years of warm temperature when the level of applied nitrogen was low, the yield declined due to a reduction in the number of heads and thousand grain weight. The response to the amount of applied nitrogen was strong and an increased dressing of about 2kgN／10a was necessary to equal the yield from nursery plants. The maximum yield was obtained

at 12kgN／10a.

3) The leaf area index was smaller than that of nursery plants, culm length and inferior internode were both short. The stand geometry, at the ripening stage, was excellent. The percentage of ripened grain in case that same number of unhulled rice was obtained was high incomparison to that for rice from nursery plants and medium-sized seedlings.

4) Since dry matter production in the first grow was high, the plant nitrogen level was lowered between the tillering stage and last leaf emergence. Nitrogen absorption tended to become slow about 10 days before last leaf emergence. The use of low levels of nitrogen in the basal dressing tended to reduce the head number and 1000 grain weight. Consequently, a combination of top dressing during the active tillering stage (about 7 days before panicle formation) and during last leaf emergence was most effective.