

第2編 窒素ならびに堆肥施用と穂孕期の冷温による不稔との関係

穂孕期の冷温による不稔（穂孕期不稔）は、北海道における米の安定生産を阻害する最も大きな要因のひとつである。この時期の耐冷性を高める方法として、確実でかつ効果的な方法は品種改良であるが、栽培条件によっても品種間以上に大きな効果を示すことがある。しかし、圃場における穂孕期耐冷性は、従来は、精農家によって種々の技術が総合的に組み立てられてのち初めて獲得されるものとされ、実験的に再現させることがなかなか困難であった。

ところが、最近、施肥や栽培法によって穂孕期の耐冷性を向上させ得ることを実験的に示した例が2、3報告されている。佐々木・和田⁷²⁾は窒素施用量が多いと不稔が多発するが、燐酸施用量を増すと不稔が軽減できることを示した。また、松崎・松島⁴¹⁾はV字理論稲作が穂孕期不稔に対して抵抗性を強めることを報告している。このように、穂孕期の耐冷性を多少とも実験的に再現できるようになったことは耐冷栽培法を策定する上で大きな意味を持つ。

栽培条件と穂孕期耐冷性との関係については、今後、さらに精密な圃場実験によって検討することが必要である。筆者は1975年に作物体局部冷却法ならびに冷水灌漑法によって圃場栽培の稲を穂孕期に精密に冷温処理する2種の装置を考案し、栽培条件と穂孕期耐冷性との関係を研究できる実験系を確立した¹⁾。本編では、まずこれらの装置の構造、性能、利用価値などについて論及し（第1章）、ついで、穂孕期における稲体の窒素栄養の診断法（第2章）、および堆肥を施用した水稻の形態と機能（第3章）をそれぞれ穂孕期不稔との関連において検討する。

第1章 圃場における穂孕期冷温処理方法の検討

水稻の冷害研究を計画的に行うためには、人為

的に冷害を起こさせる冷温処理装置が不可欠である。近年、大型のファイトトロンや人工気象室が各所に設置され、冷害の生理学的研究や品種の耐冷性検定に有効に利用され、成果をあげている^{26,55,56,73)}。しかし、そのような装置の中での実験は、精密かつ再現性がある半面、ポットで養成した材料を限られた空間に置かねばならず、圃場と比べ、著しく異なった条件下であることは免れない。

近年、圃場試験にも利用し得るような人工気象装置が2、3考案されてはいるが^{11,47)}、著しく高価であったり、性能がまだ不十分なため、本研究には利用し難い。

冷害研究において冷温処理が正確にできるかどうかは、研究の成否を左右すると考えられる。そこで、まず、圃場で栽培した稲を穂孕期に精密に冷温処理する方法について述べる。

第1節 穂を含む葉鞘部を冷却する方法

圃場において一定の空間をガラスや透明プラスチックで囲い、その中の気温を調節しようとするとき、その空間が大きいほど強力な冷却装置が必要であり、かつ精密な温度制御が困難になる。

より安価な方法でしかも高精度に冷温処理するための一つの方法として、冷温感受性の部位のみを冷却する方法が考えられる。穂孕期不稔における冷温感受性の部位は穂であるが、実際にはその部分のみを冷温処理することは極めて困難なため、穂を含めた葉鞘部を冷却する方法について検討した。

装置の構造

本装置は第20図に示すように、空気の温度を所定の温度に制御する機械部、葉鞘を含む穂部を覆う透明プラスチック製円筒ならびに両者を連絡する断熱パイプよりなっている。また、圃場へ自由に移動できるように機械部には車輪を取り付けて

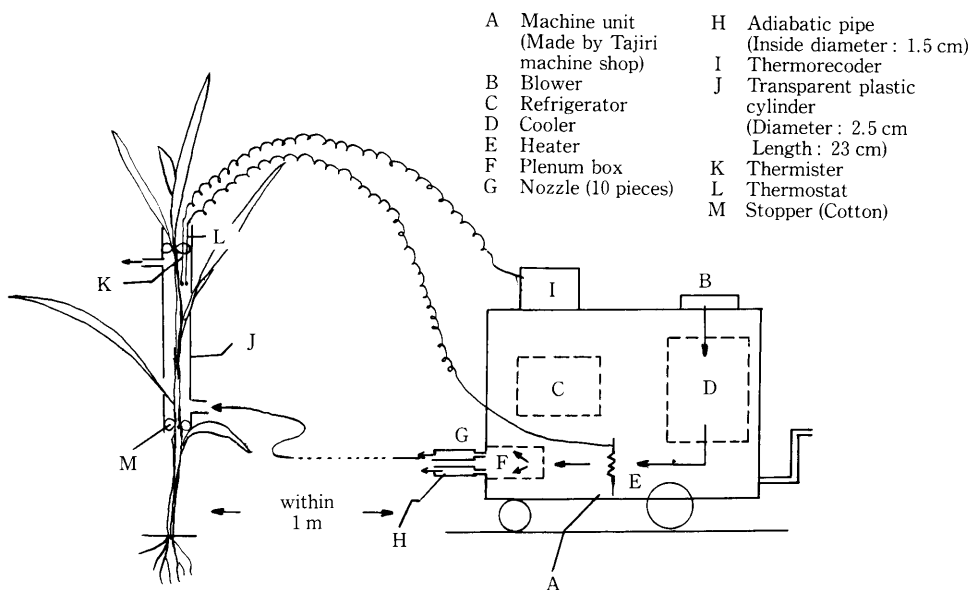


Fig.20 Apparatus for cooling a part of a leaf sheath including a panicle.

ある。機械部は概要次の機能をもつ。

送風器によって取り込んだ外気を冷凍機によつてまず 0 ~ 3℃ に冷却する。次に、その空気をヒーターによつて設定温度にまで加温し、十分攪拌して10本の排風孔から断熱パイプを通して円筒へ送り込む仕組みである(排風孔における流速は11.1 l/min)。10本の排風孔は5本ずつ別回路になっているので、10本とも同じ温度にあるいは5本ずつ別々の温度に制御することができる。なお、機械部は3相200V、約4 kW/hの電力を必要とし、総重量は約300kgである。

使用結果

穂を含む葉鞘部を覆うのにどのようなものを使用するかについて種々検討した結果、幼穂が位置している葉鞘の部分に直径2.5cm、長さ23cmの透明プラスチック製の円筒をかぶせ葉身は円筒に開けた小孔を通して外に出すことにした。そして、円筒の上下開口部に脱脂綿を詰めることによって円筒内温度の維持に好結果を得た。

実際に使用した結果の一例を示すと、第21図の

ようである。8月1日は晴天で、外気温は10℃以上変化したが、10個の円筒内の気温を同じ温度にする場合、あるいは5本ずつを別々の温度に保つ

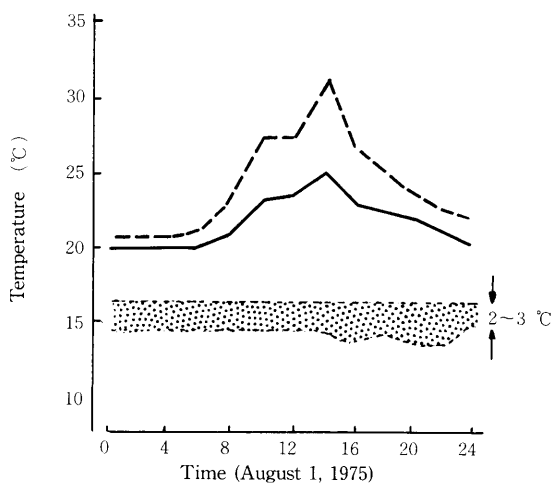


Fig.21 Temperature inside cylinder on a day.

- Notes**
- : Water temperature .
 - - - : Air temperature .
 - : Temperature inside cylinder .

場合のいずれにおいても、2～3℃の振幅で制御することができた。圃場で栽培したしおかりとマツマエを10茎ずつ穂孕期に6日間15℃で処理したところ、第22図に示したように前者に58%、後者に38%の不稔を誘発させることができた。

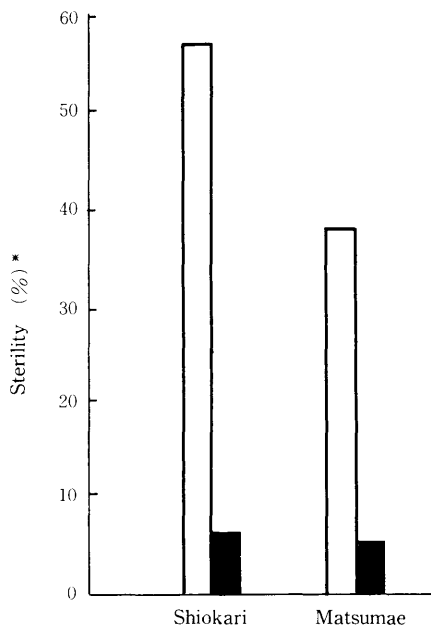


Fig.22 Sterility induced by cooling the parts of leaf sheathes including panicles at the booting stage.

Notes □ : Cooled. ■ : Control.

Auricle distance at the start of cooling :
Shiokari, -3.0_l~1.0; Matsumae, 0~4.0cm.
Cooling treatment : 15°C for 6 days.

$$* : \frac{\text{No. of sterile spikelets per panicle}}{\text{No. of spikelets per panicle}} \times 100$$

In this investigation, sterility was estimated after staining spikelets with 1% iodine-potassium iodide solution³⁹.

考 察

穂孕期冷温処理における冷媒は水でも空気でもよいが、冷却方法の難易からみると、冷却する部位が地上部の一部である場合は、本装置のように

空気の方が容易であろう。空調方式においては制御する部位の乾燥がまず問題となる。本装置は湿度の調節機構がないために、乾燥による生育障害が懸念されたが、円筒の上下に取り付けた脱脂綿を湿らせておくことによって筒内の湿度が適度に保たれ、乾燥による障害はほとんど問題にならなかった。

従来、作物の地上部の一部分の温度を制御するために作られた簡易な装置として、沢村・相見⁸⁰)によって考案されたものをあげることができる。この装置はコンプレッサーで空気を円筒内に送り、途中の蛇管で冷却あるいは加熱して円筒内部の温度を調節するものである。同氏らはこの装置を用いて一応目標温度を得ることに成功している。しかし、蛇管の冷却方法が氷または水道水によるという単純な方法であるために、外気温が変化するとそのつど円筒と蛇管の間の長さや太さを変えたりして熱の吸収を調節しなければならず、圃場試験に利用することはまず不可能である。

本装置は温度制御機構が自動化されているため、上述のような欠点は除去されている。したがって、本装置は現状のまま圃場試験における冷温処理装置として利用できる。しかし、円筒と機械部との間が1 m以上離れると温度制御能力が急速に低下するとともに円筒内部に若干の温度むらができるなど、さらに改善すべき点が今後に残されている。このような事情から、少なくとも現時点での圃場における穂孕期冷温処理には、次に述べる冷水灌漑装置の方が利用価値は高い。

第2節 冷水を灌漑する方法

圃場で栽培した稲を冷温処理するために古くから行われている方法は、河川や湧水地から導いた冷水を直接圃場に灌漑する方法である^{10,88)}。これは高価な設備を必要とせず、かつ多数の個体を容易に処理できる利点がある。したがって、多数の品種や系統の耐冷性を検定する方法としてとりわけ優れており、種々の改良を加えながら今日でも広く使われている⁹⁴⁾。しかし、この方法を栽培試験に利用するためには、処理の精度をいっそう向上させなければならない。そこで、上記のように冷水

灌漑の長所を保持しつつ、精密な冷温処理ができる方法について検討した。

装置の構造

本装置は第23図に示すように、地下水と河川水をくみ上げる2台の揚水ポンプ、それらの水を混

合して一定水温にする大型水槽、その水を水田に灌漑するパイプ、ならびに水田に設置した木枠の4つの部分によって構成されている。地下水は直径55mmのパイプを地下5mに打ち込み、また、河川水は至近距離にある灌漑用水路から揚水するようにした。

- | | |
|--|--|
| A Suction pump from river water (1 HP) | H Partition |
| B Suction pump from subteranean water (2 HP) | I Balk |
| C Water tank (120×240×130 cm) | J Wooden frame |
| D Over flow | K Vinyl chloride pipe with small holes (Diameter: 65 mm) |
| E Valve | L Drain pipe |
| F Thermostat | |
| G Water level regulator | |

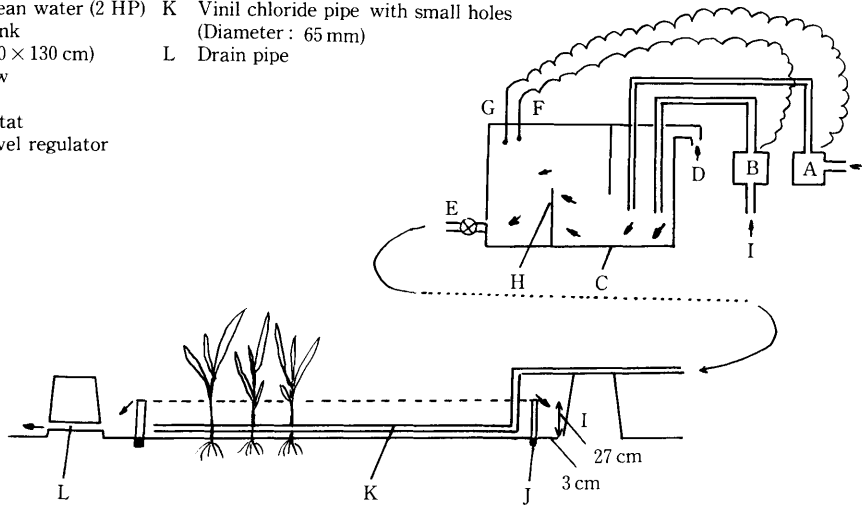


Fig. 23 Apparatus for cool water irrigation.

上川農業試験場の地下水は年間を通して10~11℃の恒温であるが、河川水の温度は日変化ならびに季節変化する。この2つの異なる水温の水を混合して一定水温を得るために次のような方法を採用した。すなわち、水槽内に水位調節スイッチおよびサーモスイッチをそれぞれひとつずつ取り付け、前者を河川水揚水ポンプに、後者を地下水揚水ポンプに接続して流入する両者の水量が自動的に調節されるようにした。いま、水温を15℃に設定したとすると、まず、暖かい河川水と冷たい地下水が同時に流入し、水槽の水位は急上昇する。満水になると、水位調節スイッチが作動し河川水の流入は止まる。しかし、地下水は引き続き流入するので水温はしだいに低下していく。設定温度にまで低下すると、直ちにサーモスイッチが

切れて地下水の流入も停止する。他方、水槽の水は一定の流速（最大323l/min）で絶えず水田へ送られる仕組みとなっているため、水槽の水位は低下の一途をたどる。所定の位置まで水位が低下すると、水位調節スイッチが入り河川水が流入する。水温が再び上昇し、設定温度を越えるとサーモスイッチが入り、河川水と地下水が同時に流入して上記のことが繰り返される。こうして、ほぼ一定水温に調節された水は水槽の側面にある流出調節バルブを通り、直径65mmの塩化ビニール製のパイプによって水田に送られる。この水は田面に設置されたパイプの小孔を通してあらかじめ所定の大きさ、高さに組まれた木枠の中に均一に流出する。木枠の中が満水になると余剰水は四方から均等にあふれ、排水溝から流出してゆく。

使用結果

第24図は穂孕期に水温を15℃、水深を27cmに設定し、面積26㎡の木枠を組んで使用した時の水温の制御事例を示したものである。この図で明らかのように、木枠の中の水温は快晴の日でも気温の影響を受けることなく、極めて正確に制御された。測定位置による温度差は±0.5℃以内であった。また、河川水の取り入れ口に取付けたストレーナーによって小さなごみはあらかじめ除去され、これにきれいな地下水が混合されるため、灌漑水はよく澄んでおり、水垢による稲体の汚染は河川水を直接灌漑する方法に比べて著しく少なかった。

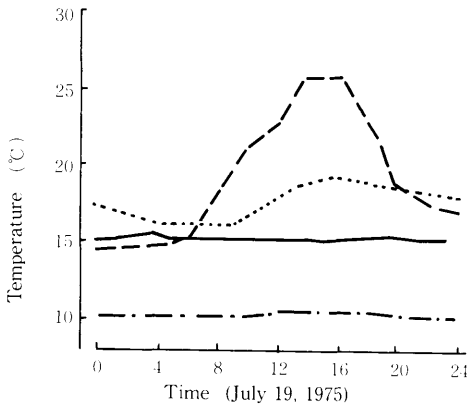


Fig. 24 Temperature of irrigation water on a day.

Notes — : Water temperature inside the flame.
 - - - : Subterranean water temperature.
 : River water temperature.
 - · - · : Air temperature.

圃場で栽培したしおかりを穂孕期に本装置を用いて5日間、水深27cm、15℃で処理したところ第25図に示したように20~50%の不稔が誘発された。

考 察

本装置における冷温処理の精度は第24図に示したように極めて高く、真夏の晴天日でも約30㎡の水田の全茎の幼穂を穂孕期に11~16℃の範囲で温度処理することができる^(注3)。使用に当たり以下に

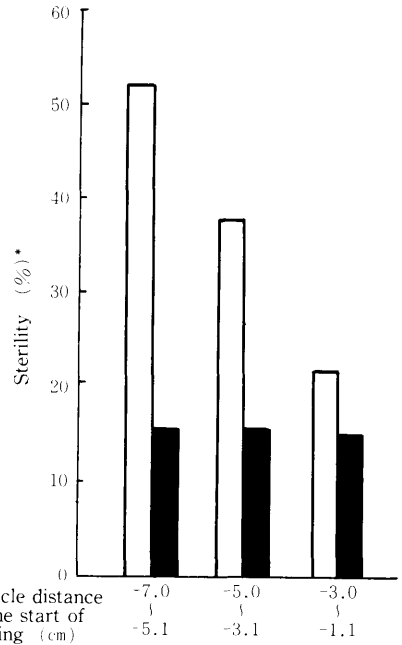


Fig. 25 The booting sterility induced by using the cool water irrigation apparatus.

Notes □ : Cooled. ■ : Control.
 Variety : Shiokari
 Cooling : 15 c for 5 days.
 Depth of water : 27cm.
 * : Refer to Fig.22.

述べるように多少の制約はあるものの、圃場試験における穂孕期冷温処理法としては極めて利用価値は大きいと考えられる。

本装置によって精密な冷温処理が行われるためには、まず、地下水の確保ができるという前提のもとにポンプの揚水能力が十分でなければならない。経験的には、真夏の晴天日に水深を30cmにして約30㎡の枠内の水温を一定に保つためには、それぞれのポンプに毎分約300 l 以上の揚水能力が必要であった。したがって、設置する場所の地下水の条件によっては、かなり大がかりな設備を余儀なくされるであろう。また、本装置によって制御し得る水温の範囲は、地下水の最高温度と河川水の最低温度の範囲に限られる。上川農業試験場の場合、地下水の水温は10~11℃でほぼ恒温である。一方、河川水の水温は盛夏であっても16℃に低下

することがあるので、穂孕期冷温処理は11～16℃の範囲で可能である。このように、処理温度はあらかじめ地下水と河川水の温度変化をよく調べてから決定しなければならない。

圃場試験においては、冷温処理中またはその前後に自然の冷温の影響を受けて冷温処理の効果が不明確になることがある。こうした影響を避けるために、今後、本装置においても冷温時には直ちに試験区の草冠部をビニールなどで覆うことのできるような設備を取り付けることが望ましい。

第3節 小 括

圃場試験の材料を穂孕期に精密に冷温処理する方法について検討した。

1. 移動式の稲体局部冷却装置を考案した。これは、1～5茎の穂部を含む葉鞘を一括して透明なプラスチック製の円筒で覆い、その中に冷気を送る仕掛けである。10本の吹き出し口があるので5本ずつ別々の温度にも制御できる。また、目的とする圃場に自由に運べるように車輪が取り付けられている。圃場において外気温が10℃以上変化しても2～3℃の幅で筒内の温度を制御することができた。

2. 圃場において厳密に幼穂温度を調節できる冷水灌漑装置を考案した。これは、地下水と河川水を混合することによって一定面積の水田水温が自動的に調節される仕掛けである。この装置を用いて約30㎡の水田の全茎の幼穂を穂孕期に11～16℃の範囲で恒温(±0.5℃)に温度調節することができた。

第2章 穂孕期の冷温による不稔を軽減 ・防止する稲体の窒素栄養条件 について

穂孕期の冷温による不稔(穂孕期不稔)が窒素多施によって助長されることは冷害年のたびに経験され⁸³⁾、また、実験的にも証明されている^{61,68,72)}。こうした多窒素による不稔の多発を防止するためには、穂孕期不稔に関する窒素栄養の診

断指標を明らかにし、これにもとづいて施肥することが必要であろう^{3,5,6)}。しかし、その明確な診断指標はなく、もっぱら経験的な勘によって診断されているのが現状である。こうしたことから、穂孕期不稔に関する窒素栄養の診断指標を明らかにしようとした。

第1節 葉身限界窒素含有率

作物の窒素栄養を診断するために種々の方法が提案されているが^{22,60,52,71)}、成分分析による診断は信頼度が高く、しばしば利用される方法である^{12,37,93)}。穂孕期不稔の場合、稔実歩合が急激に低下する稲体の窒素含有率、すなわち、穂孕期不稔に関する稲体の限界窒素含有率が診断の指標になると考えられる。この値が掴めれば、稲体の窒素含有率がそれ以下になるように施肥すればよいことになる。したがって、本節においては穂孕期不稔に関する稲体の限界窒素含有率を明らかにしようとした。

材料および方法

1976年から1980年までの5ヵ年間、上川農業試験場の圃場において、基肥ならびに穎花分化期追肥の窒素量を変え、毎年ほぼ同じ方法による実験を行った。

1976、1977および1980年はしおかり、1978および1979年はイシカリを供試した。試験区は窒素肥料(硫酸)に関して、10a当たり成分量で4、8、12、16および22kgを全量基肥とする5区、このほかに、基肥8kg、穎花分化期追肥4kgの区を設け、計6区とした。磷酸、加里は過磷酸石灰、塩化加里を用い、各区ともそれぞれ10a当たり成分量で8kg、6kg相当量を全量基肥として施した。第1編第2章第1節に示した箱育苗の方法に準じて(ただし、出芽器は使用しなかった)、3葉苗を養成し、1株3個体、㎡当たり25株の栽植密度で5月下旬に移植した。1区面積は約5.5㎡で1区制とした。これらの材料を前章第2節で述べた冷水灌漑装置(水深30cm)を用いて穂孕期に冷温処理した。

注3) 小林・佐竹³⁵⁾の研究によれば、17～20cmの水深で冷温感受性が最も高い時期の穎花の80%が水で覆われる。

1976, 1977および1979年は15℃・5日間, 1978および1980年は13℃・3日間の処理を行った。なお, 各区がほぼ同一ステージに処理されるように比較的生育が進む区と遅れる区の2群にあらかじめ分けておき, 処理開始日を2~3日ずらすようにした。各年とも, 各区全茎の約10%の茎の葉耳間長がプラスに達した日を処理開始の目安とした(本章ではこの時期を穂孕期と記す)。穂孕期に数十株の全茎について, 止葉より1枚下位の葉の葉耳と接している止葉の位置にマジックインクで印を付け, 後日, 穂孕期における各茎の葉耳間長を測定できるようにした。また, 穂孕期に8株を抜き取り, 葉耳間長7.0~1.1cmの1次分けつならびに株全体の葉身の乾物当たり全窒素含有率(N%)を測定した。1977年はこのほかに葉耳間長7.0~1.1cmの1次分けつの稈と葉鞘を込みにし

たもの(稈+葉鞘)および穂についても測定した。窒素の分析はセミマイクロケルダール法で行った。

成熟期に8株を採取し, 2株については全茎, 残りの6株については1次分けつのみについて, 穂孕期の葉耳間長別に稔実歩合(100-不稔歩合)を求めた。なお, 本調査では, 前章第1節と同様80%エタノールで脱色後1%ヨードヨードカリ(I₂-KI)液で胚乳が染色されないものを不稔とした³⁹⁾。収量は中庸な生育を示した1~2m²を刈り取り, 粒厚1.8mm以上の精玄米重で示した。

一方, この実験を続行中の1980年に, 北海道士別地区農業改良普及所(士別)におけるしおかりと北海道農業試験場(札幌)におけるイシカリに穂孕期から開花期にかけての冷温による不稔が発生した。この年の士別と札幌における7, 8月の

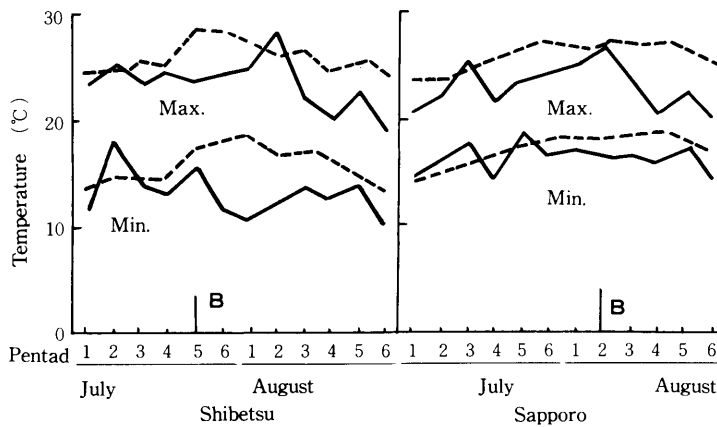


Fig. 26 Daily maximum and minimum air temperature in Shibetsu and Sapporo.

Notes —: 1980. - - - -: Mean. B: The booting stage.

気温は第26図に示す通りである。この2ヶ所の水稲は, それぞれ別の目的で栽培されたものであるが, 窒素の施肥量を変えて栽培されていたので, これらの稲についても穂孕期葉身N%ならびに全茎の平均稔実歩合を調査した。士別のしおかりは7月24日, 札幌のイシカリは8月8日にそれぞれ2~4株を抜き取り, 全茎の葉身を窒素分析に供した。また, 不稔調査は成熟期に2~4株を採取し, 透視法で行った。

結 果

第27図に窒素施用の稔実歩合に及ぼす影響を示した。各年とも稔実歩合は窒素施用量の多いほど低下した。施肥量が同一の場合は, 追肥区よりも基肥区において稔実歩合は低下した。また, 第28図に稔実歩合と収量との関係を示した。各年とも稔実歩合と収量との間に正の相関が認められた。その相関は年次を込みにした場合にも認められた。

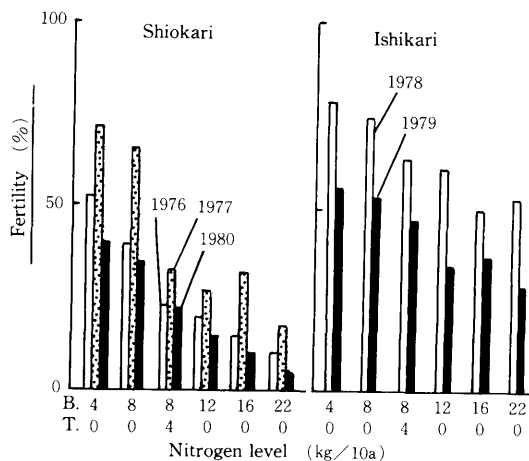


Fig. 27 Effect of nitrogen application on the sterility induced by cooling at the booting stage.

Notes B : Basal dressing.

T : Top dressing at the spikelet differentiation stage.

Fertility in all the control plots is more than 85%.

成分分析による栄養診断においては、分析の部位がまず問題となる^{12,37,93}。第29図は穂孕期の稲体各部にける窒素含有率の相関を示したものである。葉身、穂、「稈+葉鞘」の中では、葉身N%が窒素施用量の変化に最もよく感応し、かつ他部位のN

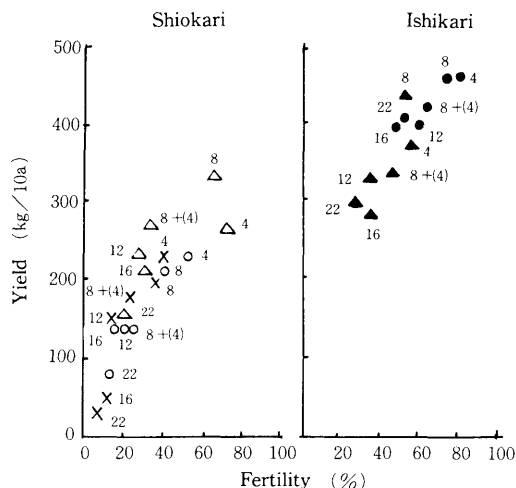


Fig. 28 Correlation between fertility and yield.

Notes Numerals indicate the amount of nitrogen applied as basal fertilizer. Numerals in parentheses indicate the amount of nitrogen applied as top dressing at the spikelet differentiation stage.

Shiokari : ○1976 ($r=0.952^{**}$), △1977 ($r=0.787^*$), ×1980 ($r=0.924^{**}$), 1976, 1977, 1980 ($r=0.864^{***}$),
Ishikari: ●1978 ($r=0.921^{**}$), ▲1979 ($r=0.796^*$), 1978, 1979 ($r=0.901^{***}$).

* : Significant at 10% level.

** : Significant at 1% level.

*** : Significant at 0.1% level.

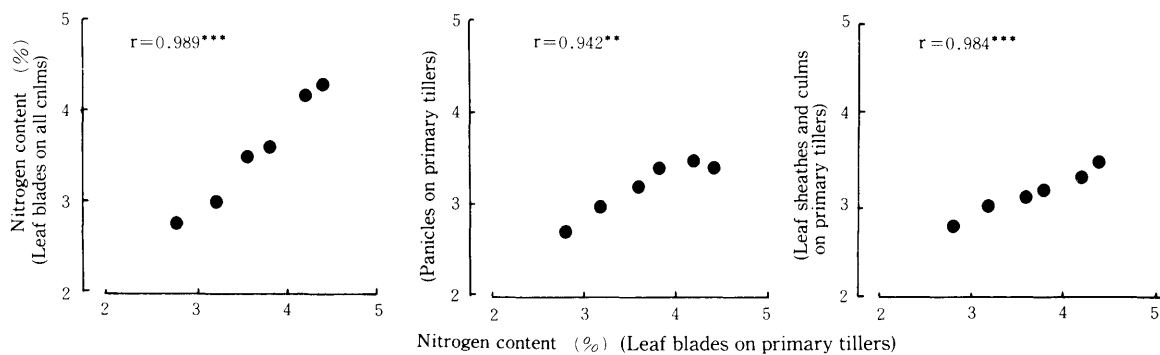


Fig. 29 Correlation between nitrogen content in leaf blade and that in other parts of the rice plant at the booting stage.

Notes ** : Significant at 1% level. *** : Significant at 0.1% level.

%とも有意な正の相関を示した。また、この材料では、1次分けつの葉身N%と株全体の葉身N%はほぼ等しかった。したがって、本研究では、1次分けつまたは全茎の葉身を窒素分析に供した。

第30図に全茎の穂孕期葉身N%と稔実歩合の相対値(穂孕期葉身N%が最小の区の稔実歩合を100とした時の各区の稔実歩合の比)との関係を示した。稔実歩合の相対値は、いずれも穂孕期葉身N%の増加にともなって初め緩やかに、その後急激に低下した。Ulrich¹⁰²⁾の方法にしたがって、稔実歩合の相対値が90の穂孕期葉身N%を穂孕期不稔に関する葉身限界N%(以下、穂孕期葉身限界N%と記す)とすると、それらはしおかりでは3.0~3.2%、イシカリでは3.4~3.6%であった。また、第

31図に葉耳間長の等しい1次分けつについて穂孕期葉身N%と稔実歩合の相対値との関係を示した。曲線の形状はいずれも第30図に類似しており、穂孕期葉身N%の増加にともなって稔実歩合の相対値は低下した。これらの曲線から求められる穂孕期葉身限界N%は、しおかりでは3.0~3.3%、イシカリでは3.3~3.5%であった。

第32図は土別と札幌における穂孕期葉身N%と稔実歩合の相対値との関係を示したものである。この場合も、稔実歩合の相対値は、穂孕期葉身N%の増加にともなって初め緩やかに、その後急激に低下した。これらの曲線から求められる穂孕期葉身限界N%は、しおかりでは3.1~3.2%、イシカリでは3.5~3.6%であった。

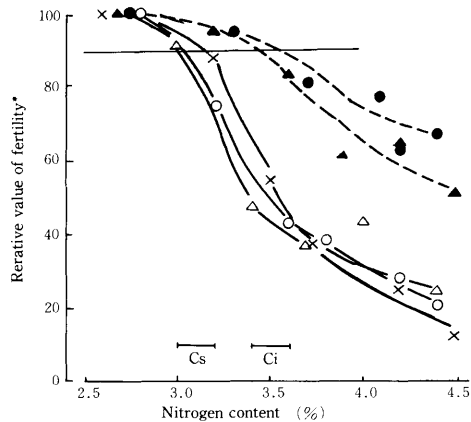


Fig. 30 Relation between nitrogen content in leaf blade at the booting stage and sterility induced by cooling Nitrogen content (%)

Notes Nitrogen content and sterility were measured for all culms of two hills.

Shiokari —○— : 1976, —△— : 1977, —×— : 1980.
—×— : 1980.

Ishikari ...●... : 1976, ...▲... : 1979.

— : Critical range of nitrogen content
(Cs : Shiokari, Ci : Ishikari).

*: Ratio of fertility in each plot to that in minimum nitrogen content plot.

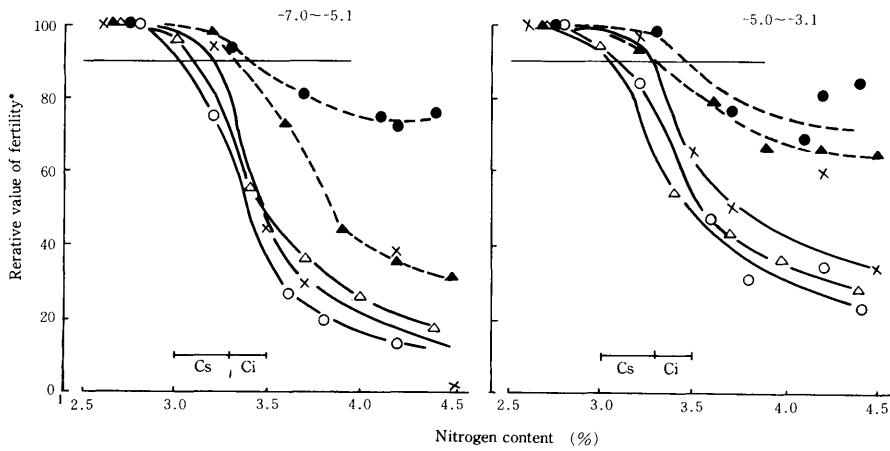


Fig. 31 Relation between nitrogen content in leaf blade at the booting stage and sterility induced by cooling at the booting stage.

Notes Nitrogen content and sterility were measured for primary tillers of six hills. Numerals in the figure indicate auricle distance at the start of cooling (cm). Refer to Fig. 30 for other symbols.

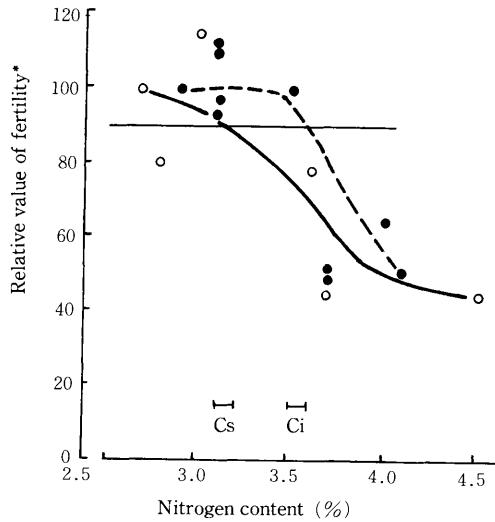


Fig. 32 Relation between nitrogen content in leaf blade at the booting stage and sterility caused by cool weather during the booting stage in Shibetsu and Sapporo.

Notes Nitrogen content and sterility were measured for all culms of two or four hills.
 —○— : Shiokari (Shibetsu, 1980).
 ---●--- : Ishikari (Sapporo, 1980).
 Refer to Fig.30 for other symbols.

考 察

穂孕期不稔が窒素多施によって助長されることは、本実験においても認められた。穂孕期不稔が多窒素によって助長されることについては、稲体の生理的状态の変化以外に圃場条件下では、繁茂度の相違によっておこる微気象の影響や生育ステージのずれなどがかなりのウエイトで関与するものと想像されている。しかし、この実験では、ほぼ同一の生育ステージの稲が冷水によって均一に処理されており、微気象や生育ステージの影響を受ける余地は少ない。したがって、多窒素そのものが不稔発生を助長したものと考えられる。

各年の試験における収量は、第28図に示すように窒素施用の相違によってあらわれた稔実歩合の多少によって支配されていることが明らかである。

稲体の窒素栄養状態と穂孕期不稔との関連性については、樋口・太田¹⁵⁾が東北の品種を用いて葉身N%と不稔歩合との関係を実験し不稔歩合は葉身N%に対して正の相関を示すことを報告している。しかし、この実験ではプロットの数少なく、穂孕期葉身限界N%は明らかでない。これを明らかにするためには、さらに多くの窒素水準、また、種々の環境条件のもとで水稻を栽培し、両者の関係を実験することが必要であろう。本研究では、上川農業試験場の圃場において6段階の窒素施用量で、また、年次を異にして栽培した水稻を穂孕期に異なる処理温度で精密に冷温処理して不稔を起させ、穂孕期葉身N%と稔実歩合の相対値との関係曲線を描いた。

全茎の穂孕期葉身N%と稔実歩合の相対値との関係試線から求めたしおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界N%は、それぞれ3.0~3.2%、3.4~3.6%である。また、同じ材料について、葉耳間長の等しい生育の揃った1次分げつの穂孕期葉身N%と稔実歩合の相対値との関係曲線から求めたしおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界N%は、それぞれ3.0~3.3%、3.3~3.5%である。全茎および1次分げつの曲線による穂孕期葉身限界N%は、品種ごとにはほぼ一致している。

1980年における札幌と士別の材料は、冷温処理によって求めた穂孕期葉身限界N%が自然の冷温

においても妥当かどうかを検討する良い材料と考えられる。この調査によって得られた穂孕期葉身限界N%は、第32図に示すようにしおかりでは3.1~3.2%、イシカリでは3.5~3.6%であり、いずれも冷温処理によって求めた穂孕期葉身限界N%の範囲内に入っている。

したがって、穂孕期葉身限界N%は以上の結果を総合して、しおかりでは3.0~3.3%、イシカリでは3.3~3.6%とみてよいであろう。穂孕期葉身限界N%に品種間差がみられるのは興味ある点であり、品種の耐冷性に関連させて今後さらに検討する必要がある。

第2節 葉身窒素含有率と葉色との関係

現地圃場における栄養診断には、まず第1に簡易、迅速性が要望される。葉色による窒素栄養の診断はこの要望に合致するものであるが、正確さと客観性に欠ける難点があった。しかし、最近、色票（富士カラースケール）やグリーンメータなどが開発され^{57,58)}、それらを用いてかなり容易に葉色診断ができるようになってきている。そこで、本節では、富士カラースケールを用いてどの程度の精度で葉身窒素含有率を推定できるかを検討し、前節で求めた穂孕期葉身限界窒素含有率の葉色値を明らかにしようとした。

材料および方法

1979年から1981年までの3カ年間にわたって異なる圃場条件のもとで葉色の異なる3品種を基肥ならびに追肥窒素量を変えて栽培した。第7表-1、2に各年の施肥条件、試験場所、ならびに供試品種を示した。なお、表示した以外の栽培管理は、各農業試験場および農家の標準耕種法に準じた。

葉色の測定は、各年とも穎花分化期および穂孕期に生育中庸な数株を選び、分げつ茎の最上位展開葉に色票を当て、1~3m離れて測定した（個葉測定法）。この方法で1区5枚以上（普通は10~20枚）を測定し、平均値で示した。1980年は、イシカリについて上記のように個葉についての測定を行う一方、最上位展開葉附近に色票を当て、約3m離れて群落の葉色を測定した（群落測定

Table 7-1. Fertilizer application methods, the locations of experiments and varieties used.

Year	No. of plot	Amount of nitrogen fertilizer applied (kg/10a)		Location, variety and other remarks
		Basal dressing	Top dressing*	
1979	1	0	0	Location: Kamikawa Agricultural Experiment Station (Asahikawa). Variety: Ishikari, Shiokari. Basal dressing: Ammonium sulfate, Superphosphate of lime, Potassium chloride. Top dressing: Ammonium sulfate. P ₂ O ₅ and K ₂ O applications were 8 kg, 6 kg per 10a, respectively.
	2	4	0	
	3	8	0	
	4	8	1	
	5	8	2	
	6	8	3	
	7	8	4	
	8	8	6	
	9	8	10	
	10	8	16	
	1	0	0	Location: Same as 1979. Variety: Ishikari, Kitahikari. Basal dressing } Top dressing } Same as 1979. P ₂ O ₅ and K ₂ O } applications }
	2	0	4	
	3	4	0	
	4	4	4	
	5	8	0	
	6	8	4	
	7	12	0	
	8	12	4	
	9	12	0	
	10	16	4	
1980	11	0	0	Location: Hokkaido Central Agricultural Experiment Station (Iwamizawa). Variety: Ishikari, Kitahikari. Basal dressing: Compound fertilizer. Top dressing: Ammonium sulfate. P ₂ O ₅ and K ₂ O applications depended on the amount of basal N.
	12	0	3	
	13	3	0	
	14	3	3	
	15	6	0	
	16	6	3	
	17	9	0	
	18	9	3	
	19	12	0	
	20	12	3	
	21	0	0	Location: Hokkaido National Agricultural Experiment Station (Sapporo). Variety: Ishikari, Kitahikari. Basal dressing } Top dressing } Same as Iwamizawa. P ₂ O ₅ and K ₂ O } applications }
	22	0	3	
	23	3	0	
	24	3	3	
	25	6	0	
	26	6	3	
	27	9	0	
	28	9	3	
	29	12	0	
	30	12	3	

* : A week before the spikelet differentiation stage.

Table 7-2. Fertilizer application methods, the locations of experiments and varieties used.

Year	No. of plot	Amount of nitrogen fertilizer applied (kg/10a)		Location, variety and other remarks
		Basal dressing	Top dressing*	
1981	1	0	0	Location: Kamikawa Agricultural Experiment Station (Asahikawa).
	2	0	4	
	3	4	0	Variety } Basal dressing } Top dressing } Same as Iwamizawa in 1980. P ₂ O ₅ and K ₂ O } applications }
	4	4	4	
	5	8	0	
	6	8	4	
	7	12	0	
	8	12	4	
	9	16	0	
	10	16	4	
	11	6	0	} Ammonium chloride, Superphosphate of lime, Potassium chloride.
	12	12	0	
	13	6	0	} Ammonium sulfate, Superphosphate of lime, Potassium sulfate.
	14	12	0	
	15	4	0	} Compost application (1.2t/10a).
	16	8	0	
	17	4	0	} 50 % shading from June 15 to July 25.
	18	8	0	
	19	5	0	Location: Farmer's paddy field (Furano).
	20	7	0	Variety } Fertilization } Same as Iwamizawa in 1980.
	21	9	0	

* : A week before the spikelet differentiation stage.

法)。両測定法とも、色票に示された1から7までの緑色値を中間値を0.5として13段階に分けて読み取った。読み取りは常に複数の人で行ない、平均値で示した。

葉色測定後3株の生葉身を採取し、乾燥、粉碎後インフラライザーで全窒素を分析（北海道立中央農業試験場稲作部に依頼）し、乾物当たりパーセントで示した。

結 果

第33図に1980年の試験における3人の測定者間の相関を示した。個葉測定法においても、群落測定法においても、どの測定者間にも有意な正の相関が認められたが、相関係数は総じて個葉測定法

の場合に高く、葉色の読み取り値の個人差は個葉測定法の方が小さかった。

第34図～38図は個葉測定法による葉色と葉身窒素含有率（葉身N%）との関係が、品種、生育時期、場所、栽培条件ならびに年次によってどのように変化するかを示したものである。品種については、第34図に示したようにしおかりとイシカリの間にはほとんど差は認められなかったが、イシカリとキタヒカリではイシカリの方が濃緑側に片寄る傾向が認められた。生育時期については、第35図に示したように1979年にはほとんど差が認められなかったが、1980年および1981年では穎花分化期の方が穂孕期よりも濃緑側に片寄る傾向が認められた。また、同一葉色でも、葉身N%は穎花

分化期において高い傾向を示した。場所については第36図に示した。旭川、岩見沢および富良野にほとんど差は認められなかったが、札幌では同一葉色でも、他の場所に比べて葉身N%が高い傾向を示す場合と、逆に低い傾向を示す場合があった。栽培条件については、第37図に示したようにプロットの数が少ないので断定できないが、本試験の

範囲では、ほとんど差は認められなかった。年次については、第38図に示したようにキタヒカリの穂孕期のごとく、同一葉色でも1981年の葉身N%が1980年のそれよりも高い傾向を示す場合もあったが、その他については、ほとんど差は認められなかった。

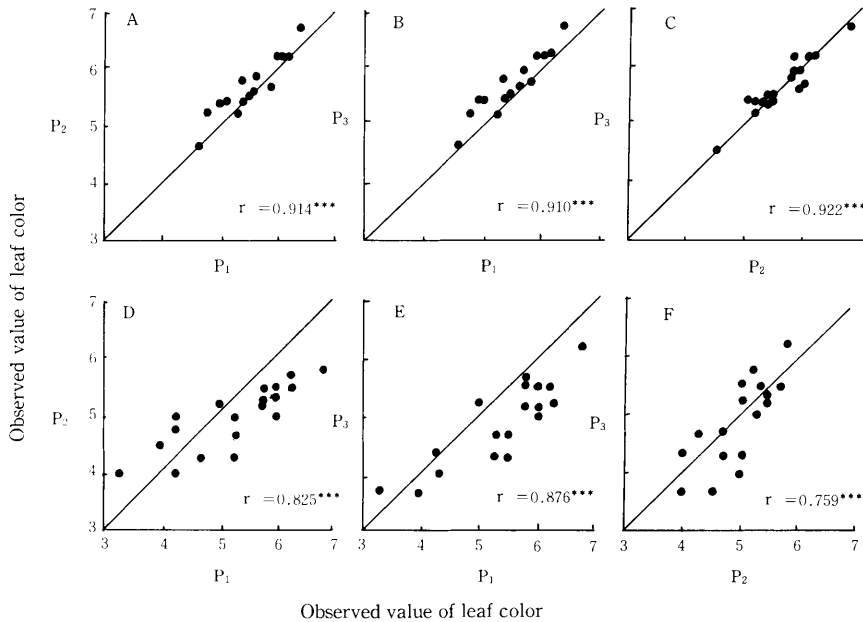


Fig. 33 Difference in observed values of leaf color depending on individual observers.

Notes A~C : Color of individual leaf (Uppermost expanded leaf blade)
 D~F : Color of leaf group in plant community.
 P₁, P₂, P₃ : Observers.
 * * * :Significant at 0.1% level.

以上の検討において、明確な差が認められなかった場所、栽培条件、年次を込みにして、品種別、生育時期別に葉色と葉身N%との関係を示すと第39図のようになる。この図の各グラフにおける回帰係数の有意差検定をしたところ、AとB、CとDはそれぞれ有意水準5%で差が認められた。また、AとC、BとDについても、それぞれ有意水準5%で差が認められた。いずれのグラフも相関

係数は0.1%水準で有意であったが、葉色による葉身N%の推定の精度はおよそ0.4~0.5%であった。

前節で明らかにしたしおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界N% (しおかし：3.0~3.3%、イシカリ：3.3~3.6%) に対応する葉色値は、第39図のBの回帰式からそれぞれ4.8~5.3、5.3~5.8と計算された。

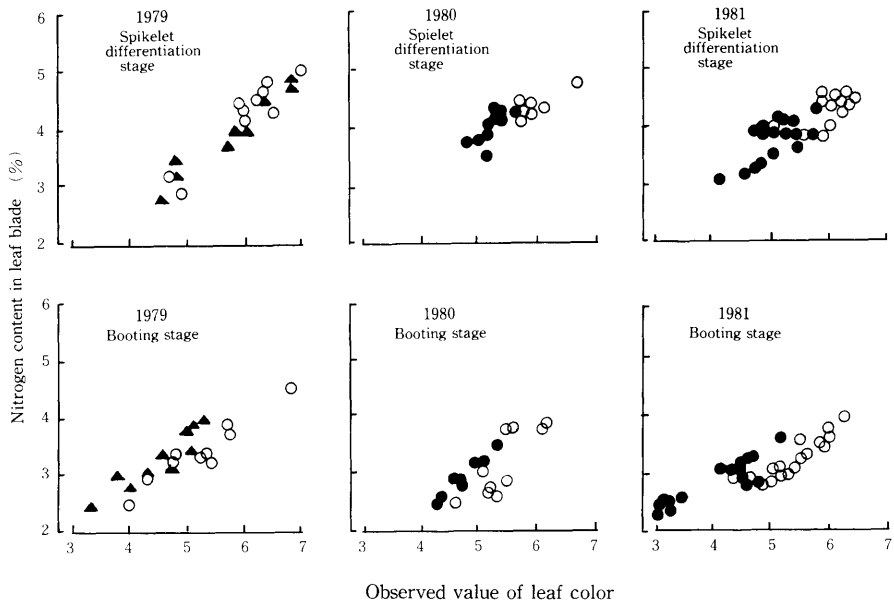


Fig. 34 Relation between leaf color and nitrogen content of leaf blade in different varieties.

Notes ○ : Ishikari, ● : Kitahikari, ▲ : Shiokari.

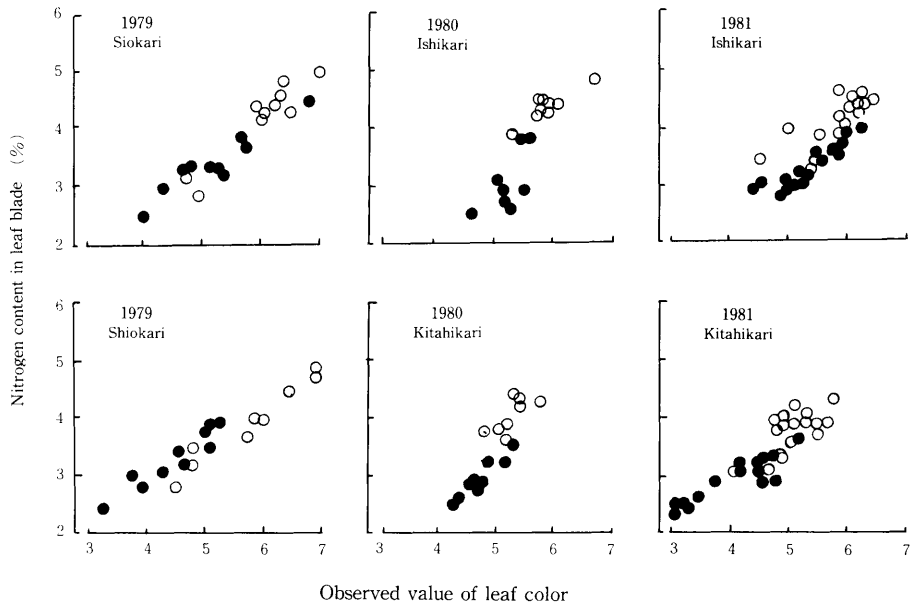


Fig.35 Relation between leaf color and nitrogen content of leaf blade in different growth stages.

Notes ○ : Spikelet differentiation stage. ● : Booting stage .

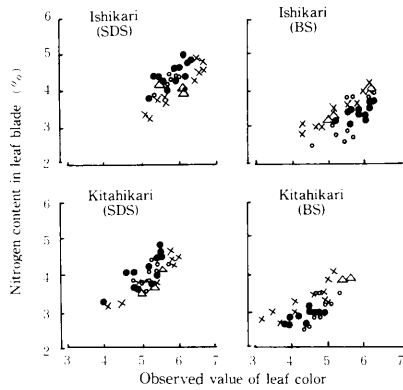


Fig. 36 Relation between leaf color and nitrogen content of leaf blade in different locations.

- Notes**
- : Kamikawa Agricultural Experiment Station (Asahikawa).
 - : Hokkaido central Agricultural Experiment Station (Iwamizawa).
 - × : Hokkaido National Agricultural Experiment Station (Sapporo)
 - △ : Farmer's paddy field (Furano).
 - SDS : Spikelet differentiation stage .
 - BS : Booting stage .

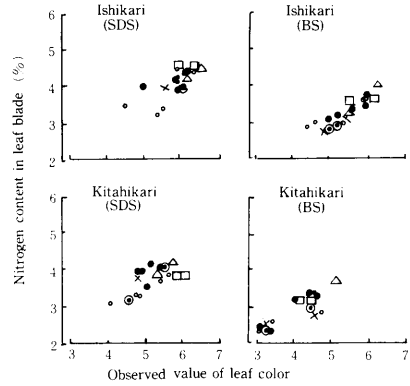


Fig. 37 Relation between leaf color and nitrogen content of leaf blade in different cultivation conditions.

- Notes**
- : Basal dressing of compound fertilizer.
 - : Top dressing of ammonium sulfate.
 - △ : Shading .
 - : Compost application .
 - ⊙ : Basal dressing of ammonium chloride, superphosphate of lime and potassium chloride .
 - × : Basal dressing of ammonium sulfate, superphosphate of lime and potassium sulfate .
 - SDS, BS: Refer to Fig. 36 .

考 察

本研究に用いた色票は、水稻葉の光学的特性をもとに新しく開発されたもので、従来の色票に比べて使い易く作られており、すでに、この色票を用いて単位面積当たりの籾数の推定や倒伏の診断に利用する試みもおこなわれている^{23,33,42,43,57,58,92}。葉色の測定には、個葉測定法と群落測定法の2通りがあるが、どちらで行うかは測定の精度や難易を勘案して決定すべきである。測定の操作は群落測定法の方が簡便であるが、第33図に示すように葉色の読み取り値の個人差は個葉測定法よりも大きい。したがって、できるだけ精度の高い診断が要求される穂孕期耐寒性の診断においては、測定にやや時間を要しても個葉測定法で行った方がよ

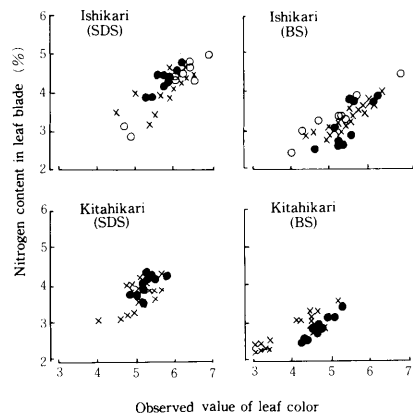


Fig. 38 Relation between leaf color and nitrogen content of leaf blade in different years.

- Notes**
- : 1979, ● : 1980, × : 1981.
 - SDS, BS : Refer to Fig.36

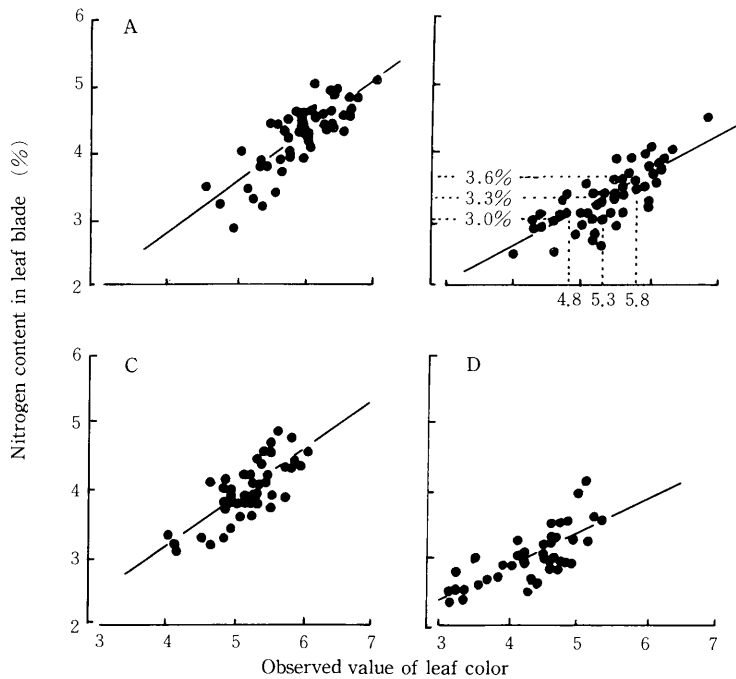


Fig. 39 Relation between leaf color and nitrogen content of leaf blade in the case including all the locations, cultivation conditions and years estimated.

Notes A : Shiokari, Ishikari, spikelet differentiation stage.

$$Y = 0.784X - 0.150, \quad r = 0.801^{***}$$

90% confidence interval for estimation : $\pm 0.48 \sim \pm 0.53\%$.

B : Shiokari, Ishikari, booting stage.

$$Y = 0.538X + 0.444, \quad r = 0.757^{***}$$

90% confidence interval for estimation : $\pm 0.47 \sim \pm 0.49\%$.

C : Kitahikari, spikelet differentiation stage.

$$Y = 0.689X + 0.411, \quad r = 0.780$$

90% confidence interval for estimation : $\pm 0.44 \sim \pm 0.52\%$.

D : Kitahikari, booting stage.

$$Y = 0.449X + 1.059, \quad r = 0.703^{***}$$

90% confidence interval for estimation : $\pm 0.46 \sim \pm 0.50\%$.

X : Leaf color Y : Nitrogen content in leaf blade.

*** : Significant at 0.1%.

い。個葉測定法における測定葉位は、最上位展開葉がよい。下位葉の場合、葉色に濁りがあり、しばしば測定が困難である。

葉色と葉身N%との関係は、品種や生育の時期、場所などを込みにして一つの回帰式で示されることが望ましい。しかし、品種や生育時期、場所などによって葉色と葉身N%の関係が変化する

とすれば、それぞれについて回帰式を求めなければならないのでその点をよく検討しておく必要がある。

まず、品種についてみると、イシカリは Kitahikari に比べて明らかに濃緑側に片寄っており、また、葉色が同じでも葉身N%が異なる場合があることから、これらの品種は別の回帰式で示した方

がよい。しおかりについては単年度の結果であるが、イシカリと込みにしてよいと考えられる。生育時期については、穎花分化期は穂孕期に比べて濃緑側に片寄っており、また、葉色が同一でも穎花分化期の葉身N%が穂孕期のそれよりも高い傾向が認められるので、穎花分化期と穂孕期は別の回帰式を求めた方がよい。場所については、札幌のプロットが他の場所に比べて異なる傾向を示している。しかし、同一の葉色に対して葉身N%が他の場所よりも高い場合と低い場合があり、一定の傾向を示していない。したがって、精度はやや落ちるであろうが場所は込みにして扱ってよいと考えられる。栽培条件については、施肥法や肥料成分などが変わっても同一の回帰式で示すことができる。葉色と葉身N%の関係に著しい年次間差があると、その年ごとに回帰式を求めねばならず、色票を窒素栄養診断に利用することが困難となる。キタヒカリの穂孕期において、1981年がやや異なる傾向を示しているが、その他については年次間差はほとんど認められない。したがって、年次を込みにして同じ回帰式を適用してよいであろう。

以上、項目ごとの検討において明瞭な差が認められなかった場所、栽培条件、年次を込みにすると、第39図に示すように品種と生育時期について4つの回帰式にまとめられる。各式の回帰係数にはそれぞれ有意な差があり、込みにして扱うことはできない。これらの式による葉身N%の推定の精度はおよそ0.4~0.5%である。N%の推定の精度としてはあまり高いとは言えないが、現地圃場において行う診断には、十分役立つと考えられる。同一場所の、同一品種というように条件をさらに限定すれば、葉身N%の推定の精度はさらに高まるであろう。

しおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界N%の葉色値は、計算上は、それぞれ4.8~5.3、5.3~5.8である。しかし、回帰式による葉身N%の推定の

精度があまり高くないことを考慮すると、現地圃場における診断には、それぞれの上限值に最も近い葉色値（しおかり：5.5イシカリ6.0）を穂孕期葉身限界N%の葉色値とみなせばよい。

第3節 耐冷栽培における葉色の推移

しおかりとイシカリについては、葉色と葉身窒素含有率との関係は、場所、栽培条件、年次を込みにして生育時期ごとに同一の直線回帰式で示すことができ、穎花分化期および穂孕期における稲の窒素栄養状態を葉色によって診断できることを明らかにした。そこで、上記2品種について、実際に窒素分施肥栽培を行い、その結果にもとずいて耐冷栽培の葉色推移曲線を作成しようとした。

材料および方法

窒素分施肥栽培(分施肥区)は、藤村²¹⁾がとりまとめた方法に準じて行った。すなわち、初期生育促進対策として各年ともポット育苗法^{注4)}で養成した4葉苗(成苗ポット苗)を5月26日~27日に本田に移植した。また、生育初期は浅水(3~5cm)に管理し、水温上昇に努めた。分施肥区における窒素の施用量および施用時期は第8表に示す通りである。

一方、基肥区は農家の多肥栽培法に準じた。すなわち、第8表に示したように10a当たり12kgの窒素を耕起前に全量全層施用し、堆肥は施用しなかった。各年とも第1編、第2章、第1節に示した箱育苗の方法に準じて3葉苗(中苗)を養成し、分施肥区と同一日に本田に移植した。湛水深は常時5~10cmとした。栽植密度は成苗ポット苗は1株3個体、中苗は1株4個体、いずれもm²当たり25株とした。

移植後出穂までの生育各期(移植期、分けつ盛期、穎花分化期、最高分けつ期、穂孕期、出穂期)に茎数ならびに葉色を測定した。葉色の測定は本

注4)成苗を機械移植するために最近開発された育苗法である¹⁶⁾。619mm×315mmの薄いプラスチック板に448個の円型のポット(上径16mm、底径13mm)が19mm×20mm間隔で成型されており、専用播種器によってポット当たり3~4粒の催芽種が播種される。ポットの底には小孔があり、根は小孔を通して床土にまで伸長することができる。本田初期生育は稚苗、中苗に比べて明らかに良好である。

Table 8. Amount of nitrogen applied and time of it's application.

Plot	Year	Basal dressing (kg/10a)		Top dressing (kg/10a)	Compost application (t/10a)
		Before tillage (Whole layer application)	Just prior to the final puddling (Surface application)	Booting stage	
Split application	1980	8	0	4	0
	1981	4	4	4	0
	1982	6	2	4	1.2
Basal application	1980	12	0	0	0
	1981	12	0	0	0
	1982	12	0	0	0

Notes Ishikari and Shiokari were used.

N, P₂O₅ (8 kg/10 a, basal dressing) and K₂O (6 kg/10a, basal dressing) were applied, as ammonium sulfate, superphosphate of lime and potassium chloride, respectively.

章第2節に示した個葉測定法によって行った。成熟期に収量ならびに収量構成要素を調査した。収量は2m²を刈り取り、粒厚1.8mm以上の精玄米重で示した。稔実歩合は透視法により、また、登熟歩合は比重1.06の塩水選を行ってそれぞれ算出した。精玄米千粒重は水分含有率16%に換算して示した。出穂期は全茎の50~60%が出穂した日とし、観察によって判定した。

3カ年の気温は第40図に示す通りである。1980年は7月第5半旬までは平常並みないしは高温多照の日が多かったが、7月第6半旬から8月第2半

旬にかけて冷温が持続し、最低気温が10°Cを下まわる日もあった。水稻は初期の生育が特に旺盛であった。1981年は7月第4半旬に一時高温多照であった以外はおおむね平常よりも冷温で、とくに、5月下旬から6月上旬の平均気温は著しく低かった。水稻は活着、初期生育が著しく劣り、出穂期は平常よりも遅延した。1982年は6月第6、7月第5、第6半旬にやや強い冷温があった。それ以外の時期も平常よりも冷温の場合が多く、3カ年のうち、稔実歩合が最も低下した年次であった。

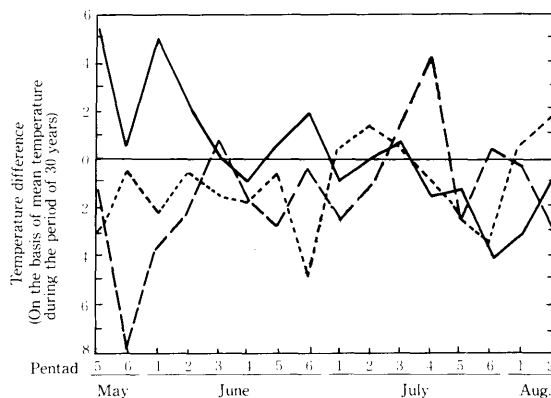


Fig. 40 Seasonal changes in daily mean air temperature in 1980, 1981 and 1982 at Kamikawa Agricultural Experiment Station.

Notes — : 1980, ---- : 1981, : 1982.

結 果

第41図にしおかりおよびイシカリの葉色推移曲線を示した。分施肥区、基肥区とも、年次によって葉色推移曲線は異なったが曲線のパターンには毎年明瞭な区間差が認められた。分施肥区における穂孕

期の葉色値は、3ヵ年ともそれぞれの品種の穂孕期葉身限界窒素含有率の葉色値（しおかり：4.8~5.3、イシカリ：5.3~5.8）の上限を下まわったが、基肥区では3ヵ年ともそれを上まわった。第9表は収量ならびに収量関連形質を示したもの

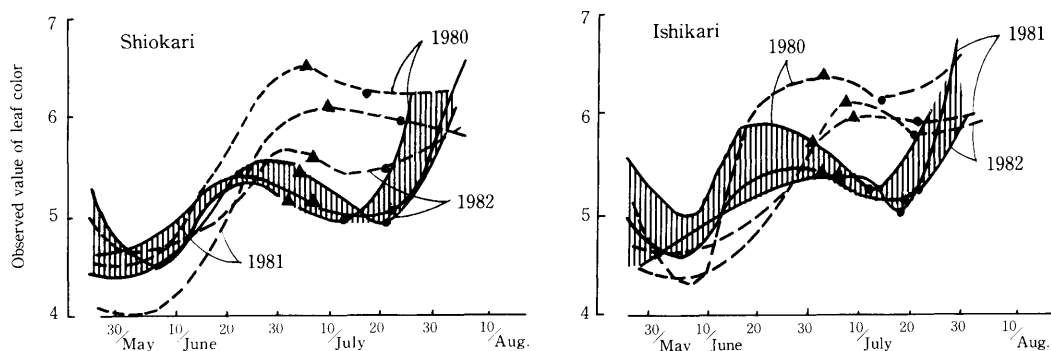


Fig. 41 Effect of fertilizer application method on seasonal change in leaf color.

Notes— : Split application plot. ---- : Basal application plot.
 ||||| : Seasonal changes in leaf color as an indicator for rice cultivation in the cool region.
 ▲ : Spikelet differentiation stage. ● : Booting stage.

Table 9. Yield, yield components, the emergence time of the last bearing tiller and heading date in split application plots and basal application plots.

Variety	Year	Plot	Yield (kg/10a)	No. of panicles /m ²	No. of spikelets /m ² (×10 ⁴)	Percentage of ripened grains	Weight of 1,000 grains (g)	Fertility (%)	Emergence time of the last bearing tiller	Heading date
Shiokari	1980	Sp	557 (99)	510	3.0	82.2	21.3	91.8	June 29	July 26
		B	565 (100)	530	3.3	80.3	21.1	92.7	29	30
	1981	Sp	508 (104)	515	3.3	75.3	21.3	91.8	July 3	Aug. 6
		B	490 (100)	512	3.2	70.1	20.8	88.8	4	10
	1982	Sp	567 (101)	522	3.2	77.0	21.9	87.3	1	2
		B	560 (100)	513	3.2	72.1	21.7	81.2	2	6
Ishikari	1980	Sp	575 (97)	621	3.2	82.2	22.4	94.1	June 29	July 24
		B	590 (100)	600	3.5	75.0	21.7	92.7	29	28
	1981	Sp	550 (107)	529	3.2	79.0	22.3	91.2	July 1	Aug. 3
		B	514 (100)	534	3.2	70.8	22.2	91.8	3	7
	1982	Sp	663 (107)	615	3.5	81.3	22.5	88.7	June 29	July 29
		B	619 (100)	603	3.4	79.4	22.0	83.7	30	Aug. 2

Notes (): Relative yield compared with basal application plot.
 Sp: Split application of nitrogen fertilizer.
 B: Basal application only.

である。1980年は基肥区の方が分施肥区に比べて増収したが、1981年および1982年はいずれも分施肥区において増収した。1980年および1981年の稔実歩合には明瞭な区間差は認められなかったが、1982年の稔実歩合は、分施肥区において数パーセント高かった。登熟歩合、精玄米千粒重、有効茎終止期ならびに出穂期は、いずれも分施肥区において増加または促進される傾向を示した。穂数ならびに m^2 当たり籾数は、分施肥区において増加する場合と逆に低下する場合があり、一定の傾向は認められなかった。

考 察

穂孕期の葉色が穂孕期葉身限界N%の葉色値を下まわる葉色曲線は理論上は無数に考えられるが、本試験では、しおかりおよびイシカリについてそれぞれの穂孕期葉身N%の上限値を下まわる3本の曲線を窒素分施肥栽培によって実証的に示した。

窒素分施肥栽培は冷害対策技術のひとつとして北海道において古くから研究されてきたものであるが²⁾、このような葉色推移曲線における収量性についてはさらに検討しておく必要がある。分施肥区の収量は、1980年を除いていずれも基肥区より増加している。1981年は生育初期の冷温による出穂遅延によって登熟歩合が低下し、収量も低下したが、分施肥区における減収率はこうした年次において低い。これは、分施肥区において有効茎終止期、出穂期が促進されることと密接な関係があると考えられる。また、1981年のしおかり、1982年のイシカリのように、分施肥区において m^2 当たり籾数が増加している場合でも、分施肥区の登熟歩合が高い。1982年における稔実歩合が80%台に低下したのは、おそらく、穂孕期冷温によるものと思われる。この年の稔実歩合は両品種とも分施肥区において多少高くなっている。以上の事実は、こうした葉色推移曲線において、穂孕期冷温条件を含めて種々の気象条件のもとで、分施肥区が対照区に比べて安定して多収をあげることを示すものであろう。

したがって、耐冷栽培の葉色推移曲線は、第41図の斜線のように示すことができる。斜線の部分は、3カ年の曲線を総合してやや模式化して示し

たものであるが、上川農業試験場圃場において実際に描き得る葉色推移曲線をおおむね包括していると考えられる。この曲線のパターンは、基肥区のそれと穎花分化期以降において明らかに異っている。したがって、穎花分化期以降の葉色推移をみることによって穂孕期における窒素過剰状態を大まかに診断することが可能である。今後は、地域ごと、圃場ごとにこうした研究を積み重ね、さらにきめ細かい診断指標を作成する必要がある。

第4節 小 括

穂孕期不稔に関する窒素栄養の診断指標を明らかにしようとした。まず、穂孕期葉身限界窒素含有率を実験的に究明し、次いで、その値を葉色によって迅速かつ早期に診断する方法について検討した。

1. 穂孕期葉身限界窒素含有率は、しおかりでは3.0~3.3%、イシカリでは3.3~3.5%であった。

2. 葉色と葉身窒素含有率との間には、品種ごと、生育時期ごとに、場所、栽培条件、年次を込みにして、0.1%水準の有意な正の相関が認められた。穎花分化期および穂孕期における回帰式は、それぞれ次の通りである。すなわち、しおかり・イシカリ：穎花分化期、 $Y=0.784X-0.150$ ；穂孕期、 $Y=0.538X+0.444$ ；キタヒカリ：穎花分化期、 $Y=0.689X+0.411$ ；穂孕期、 $Y=0.449X+1.059$ 。ただし、Y：葉身窒素含有率、X：葉色(最上位展開葉)、予測値の信頼域は各式とも0.4~0.5%であった。

3. しおかりおよびイシカリにおける穂孕期葉身限界窒素含有率に対応する葉色値は、それぞれ4.8~5.3、5.3~5.8であった。ただし、現地圃場における診断においては、それぞれの上限值に最も近い色票の読み取り値(しおかり：5.5、イシカリ：6.0)を穂孕期葉身限界窒素含有率の葉色値とみなせばよい。

4. しおかりおよびイシカリを供試して上川農業試験場圃場において窒素分施肥栽培を行い、それにもとずいて耐冷栽培の葉色推移曲線を策定した。この葉色推移曲線を指標にして、穎花分化期以降の葉色推移を見ることによって穂孕期における窒

素過剰状態を大まかに診断することが可能である。

第3章 穂孕期の冷温による不稔に対する堆肥施用の効果

生育各期の耐冷性を高めるための方法として古くから奨励されてきたものに堆肥施用がある^{18,45,46)}。堆肥施用はかつての米作コンクール上位入賞者にみられた共通の技術要因であり、安定多収に対して重要な役割を果たしているとされているが^{17,18,29,70,99)}、穂孕期不稔に対する効果については実験的根拠はほとんどなく、今ひとつはっきりしないところがある。

穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果を明確にするためには、単に、冷害年次の事例を調査するだけでなく、堆肥連用水田と堆肥無施用水田で栽培された水稻を穂孕期に精密に冷温処理して不稔を起させ、実験的に研究することが必要である^{4,5,7)}。しかし、このような研究は、人工気象室を用いたポット試験に期待することはできないし、圃場試験でもこうした目的の研究はまったく行われていない。

そこで、本章では、堆肥施用の効果を圃場試験によって究明し、水稻の形態と機能との関連性について検討した。

第1節 稔実歩合に対する効果

稔実歩合に対する堆肥施用の効果を明らかにしようとした。

材料および方法

堆肥連用水田（堆肥区）は次のようにして設定した。1975年4月に上川農業試験場の水田40m²から作土15cmを取り除き、そのあとに、近接する農家の堆肥連用水田（主として馬小屋に敷いた稲わらを堆積して腐熟させたものを1950年頃から毎年10a当たり約1tを施用している）から得た等量の作土を移し入れた。この年から上川農業試験場で生産された堆肥（稲わらと畦畔雑草を堆積して腐熟させたもの）を毎年10a当たり1.2t施用した。ただし、1980年は水分含量の少ない生わら同様の未熟堆肥であった。

一方、堆肥無施用水田（無堆肥区）は1969年までは数年おきに若干の堆肥が施用されていたが、1970年以後は堆肥も生わらもいっさい施用しなかった。土壌は、堆肥区および無堆肥区とも、排水良好（一日当たり減水深が15~25mm）な中粗粒褐色低地土である。両区における耕起前の土壌の理化学性は第10表に示す通りである。

1975年は、両区とも化成肥料を用いて窒素、磷酸、加里をそれぞれ10a当たり8, 8, 6kg施用した後、ロータリー式耕耘機で深さ15cmに耕起し、上川農業試験場の標準的耕種法に準拠した栽培のもとで生育状況を予備的に観察した。

翌1976年から6ヵ年間、前章第1節で述べた方法に準じて毎年1品種を栽培し、これを無堆肥区とした。1976, 1977および1980年はしおかり、1978および1979年はイシカリ、1981年はキタヒカリを供試した。堆肥区の窒素肥料は無堆肥区同様硫酸を用い、10a当たり4および8kgを全量基肥とし

Table 10. Some chemical and physical properties of soil before tillage (1981).

plot	Soil depth (cm)	P H		Distribution of soil three phases (%)			NH ₄ -N after 30°C, 28 day incubation (mg/100g)		Effect of soil drying
		H ₂ O	KCl	Solid	Liquid	Gaseous	dried soil	Wet soil	
Control plot	0 ~ 10	5.8	4.6	37.5	57.2	5.3	13.3	3.1	10.2
	10 ~ 20	5.9	4.7	34.2	56.0	9.8	11.8	2.9	8.9
Compost plot	0 ~ 10	5.8	4.5	38.4	53.1	8.5	17.1	4.2	12.9
	10 ~ 20	5.9	4.6	36.6	52.8	10.6	15.2	3.9	11.3

Note: Soil was sampled at 6th day after rainfall.

た。1977年には、さらに基肥8kgに穎花分化期追肥4kgの区を加えて計3区とした。いずれも各施肥区毎に2区ずつを設け、一方は冷温処理、他方は常温とした。

冷温処理は、各施肥区とも水深を30cmに設定し、1976、1977、1979および1981年は15℃・5日間、1978および1980年は13℃・3日間行った。また、冷温処理は全区一律に穂孕期（全茎の約10%の茎の葉耳間長がプラスに達した日）に開始し、各区とも数十株の全茎につきその日の葉耳間長を記録する一方、葉耳間長7.0～1.1cmの1次分けつにおける葉身窒素含有率（葉身N%）を測定した。窒素の分析はセミマイクロケルダール法で行い、含有率は乾物当たりパーセントで示した。稔歩合（100-不稔歩合）の調査は成熟期に行った。本

章では、第1章と同様80%エタノールで脱色後、1%のI₂-KI液で胚乳が染色されないものを不稔とした。

結 果

第42図は1976および1977年の成熟株について葉耳間長が等しい1次分けつにおける稔歩合を比較したものである。稔歩合は堆肥区も無堆肥区も葉身N%が高いものほど低下した。葉身N%が3%程度では両区の稔歩合に大差はなかったが、それよりも高い場合には明瞭な差が認められ、堆肥区の稔歩合は無堆肥区のものよりも高かった。

1978～1981年の結果については第43図に示した。この図で明らかなように、ほぼ等しい葉身N%で比較した場合、堆肥区の稔歩合は、1980年を除

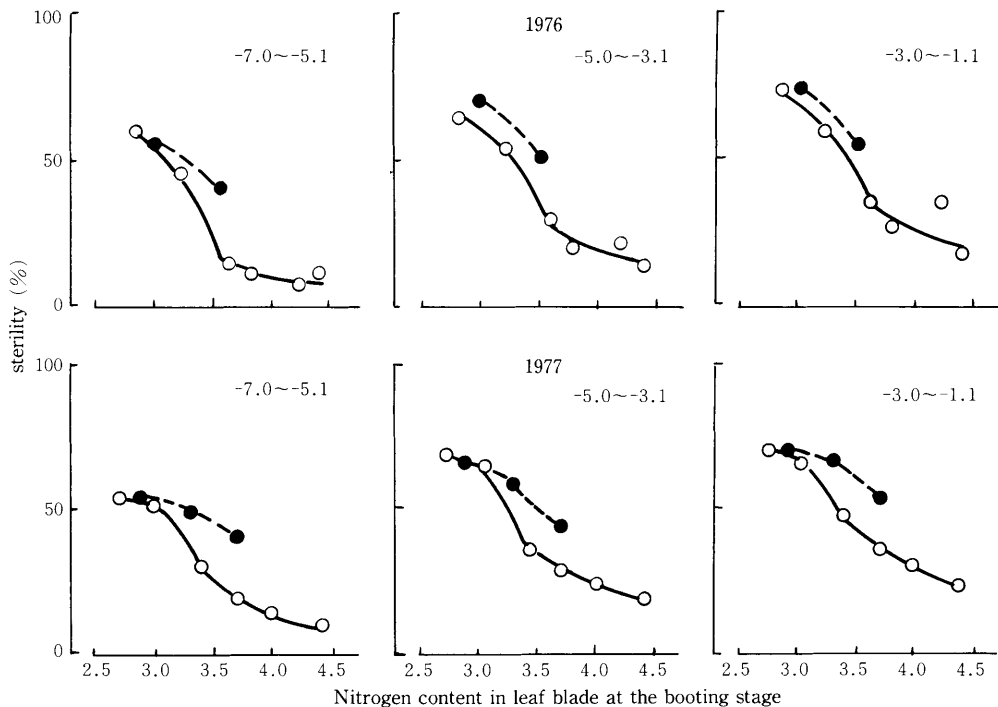


Fig. 42 Effect of compost application on sterility at the same level of leaf nitrogen content.

Notes ○ : Control plot. ● : Compost plot.

Numerals in the figure indicate auricle distances at the start of cooling treatment (cm).

いて、いずれも無堆肥区よりも高いことが認められた。

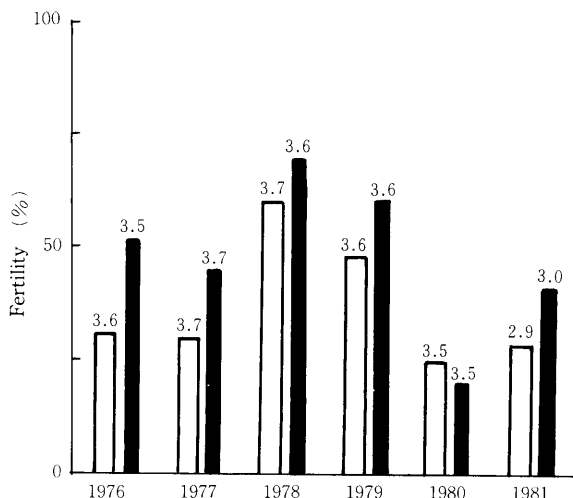


Fig. 43 Effect of compost application on sterility at the same level of leaf nitrogen content.

Notes □ : Control plot. ■ : Compost plot.

Numerals in figure indicate nitrogen content in leaf blade at the booting stage.

1976, 1977 : Shiokari, Cooled at 15°C for 5 days.

1978 : Ishikari, Cooled at 13°C for 3 days.

1979 : Ishikari, Cooled at 15°C for 5 days.

1980 : Shiokari, Cooled at 13°C for 3 days.

1981 : Kitahikari, Cooled at 15°C for 5 days.

考 察

水田における堆肥の効果として重要なことは、まず、その窒素肥料的な効果である^{9,14,82,103,109})。堆肥の窒素的肥効は、堆肥の原材料や土壌条件などによって相違するが、例えば、高坂³⁶⁾の報告では、稲わら堆肥10a 当たり 1 t は、面積当たり収数確保の点からみて10a 当たり約 2 kgの窒素量に相当

しており、かなりの肥効を示している。化学肥料による窒素量にさらに堆肥による窒素量が加算されれば稲体の窒素含有率は高まり、穂孕期冷温による不稔発生が助長されるであろう。穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果は、単に堆肥の施用量の多少のみに帰せられるものでないことが容易に想像される。したがって、穂孕期不稔に対する効果をみる場合、堆肥の施用量や種類などに応じて堆肥区の窒素施用量を調節しなければならない。しかし、実際には堆肥区と無堆肥区の窒素量を完全に一致させることは困難なため、本研究では、穂孕期の稲体の窒素栄養状態(葉身N%)を基礎にして比較した。この比較の方が化学肥料の施用量を一定にして比較する方法に比べて堆肥そのものの効果をより容易かつ的確に示し得ると考えたからである。

第42図に示すように、稔実歩合は堆肥区も無堆肥区も穂孕期葉身N%が高いほど低下するが、堆肥区と無堆肥区は別の系列をなしている。すなわち、穂孕期の葉身N%が3%程度では両者の稔実歩合に大差はないが、それよりも高い場合には、堆肥区の稔実歩合は無堆肥区よりも明らかに高い。また、品種や温度処理条件を変えて行ったその他の年度の実験においても、ほぼ等しい葉身N%で比較した場合、堆肥区の稔実歩合は、1980年を除いて、いずれも無堆肥区よりも高いことが認められた。

したがって、穂孕期冷温による不稔は堆肥施用によって軽減されるとみなしてよいであろう。なお、1980年の試験において堆肥区の稔実歩合が無堆肥区のものよりも低下したのは、おそらく、施用した堆肥が生わら同様の未熟堆肥であったためと考えられる。

以上の結果は排水良好な乾田タイプの水田において稲わら完熟堆肥(1980年を除く)を用いて行った実験によって得られたものであるが、これとは異なる条件でも有効かどうか、有効とすればどのような条件で有効なのかについては十分明らかにされていない。堆肥施用効果発現の機作の解明を含め、効果についてのデータの蓄積がさらに必要であると考えられる。